

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมแขนกลโดยใช้สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ  
Controlling a robotic arm using Electromyogram



โดย

นายรัชชัย เจริญนอก  
นายนะครุต ฤกษ์ชัย  
นายวีระชัย กะการดี

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....**62529**  
วันเดือนปี.....**19 ส.ค. 2549**

b.....**11625892**  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การควบคุมแขนกลโดยใช้สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ**  
**Controlling a robotic arm using Electromyogram**

โดย

นายรัชชัย เจริญนอก 46015264

นายณะกเรศ ฤกษ์ชัย 46015267

นายวีระชัย กะการดี 46015281

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2548

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมแขนกลโดยใช้สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

(Controlling a robotic arm using Electromyogram)

ผู้จัดทำ

1. นายรัชชัย เจริญนอก รหัส 46015264

2. นายณะเศรษฐ ฤกษ์ชัย รหัส 46015267

3. นายวีระชัย กะการดี รหัส 46015281



(อ. พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การควบคุมแขนกลโดยใช้สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

นายรัชชัย เจริญนอก รหัส 46015264

นายณะเรศ ฤกษ์ชัย รหัส 46015267

นายวีระชัย กะการดี รหัส 46015281

อ.พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2548

### บทคัดย่อ

โครงการควบคุมแขนกลโดยใช้สัญญาณกล้ามเนื้อ เป็นการวัดค่าสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ได้จากกล้ามเนื้อส่วน Biceps brachii ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อหลักในการงอแขน แล้วใช้โปรแกรม Lab VIEW ในการเก็บข้อมูลและแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์รวมทั้งวิเคราะห์ลักษณะของสัญญาณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการใช้งานกล้ามเนื้อ แล้วส่งสัญญาณดิจิทัลออกจากคอมพิวเตอร์ เพื่อไปป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller MCS-51) ไปควบคุมการทำงานของแขนกลให้สามารถทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Controlling a robotic arm using EMG

Mr. Tawatchai Jarernnork (46015264)

Mr. Nakaret Rockchai (46015267)

Mr. Weerachai Kakarndee (46015281)

Mr. Polsart Lertprasert Advisor

Educational Year 2005

### Abstract

This Project, “Controlling a robotic arm using EMG”, is about measurement the electric muscle form the Biceps brachii that is a main muscle for raising an arm. After that we use the LabVIEW for analyzing and keeping the electric graph when the subject moves the arm. Finally, computer sends the digital output to microcontroller for controlling a robotic arm.

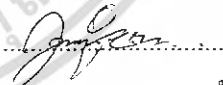
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

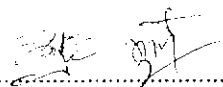
## กิตติกรรมประกาศ

การสร้างโครงการเรื่อง การควบคุมแบคทีเรียโดยใช้สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อได้ใช้เวลา การการศึกษาข้อมูล รวบรวมข้อมูลและเก็บรายละเอียดต่างๆ โดยใช้เวลาดังกล่าวทั้งหมดประมาณหนึ่งปี ซึ่งแต่ละขั้นตอนของการทำงานได้พบอุปสรรคต่างๆ มากมาย แต่ก็สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้จัดทำ จึงขอแสดงความขอบคุณทุกท่าน โดยเฉพาะอาจารย์ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ ให้คำแนะนำและความสะดวก และจัดหาอุปกรณ์ในการจัดทำคอยให้ความรู้คำแนะนำต่างๆ ซึ่งมี ประโยชน์อย่างมาก ทั้งนี้อาจารย์ยังคอยกระตุ้นให้ทำงานอย่างสม่ำเสมอ ผู้จัดทำหวังว่าความรู้และ ประสบการณ์ต่างๆ ที่ได้รับจากการทำงานในครั้งนี้คงจะมีประโยชน์อย่างมากในการนำไป ประยุกต์ใช้ในการทำงานต่อไปในอนาคต

ผู้จัดทำขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ท่านอื่นๆ และทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือเป็น ผู้ทดลองในการวัดเพื่อหาผลการทดลองของโครงการนี้ และให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จน โครงการนี้สำเร็จและบรรลุจุดประสงค์ที่ได้ตั้งใจไว้

  
.....  
(นายวิชาชัย เจริญนอก)

  
.....  
(นายณะเศรษฐ ฤกษ์ชัย)

  
.....  
(นายวีระชัย กะการดี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VI
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน</b>	3
2.1 โครงสร้างและหน้าที่ของกล้ามเนื้อ	3
2.1.1 กายวิภาคของ Skeletal muscle (Anatomy of Skeletal muscle)	4
2.1.2 เส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscle Fiber)	6
2.1.3 การกระตุ้นของ Skeletal muscle (Activation of Skeletal muscle)	7
2.2 ระบบการนำไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ	8
2.2.1 The Neuromuscular Junction	8
2.2.2 Motor Units	9
2.2.3 Fueling Muscle Contraction	10
2.2.4 ลักษณะทั่วไปของสัญญาณ Muscle action potential	12
2.3 สัญญาณกล้ามเนื้อไฟฟ้า (Electromyogram: EMG)	13
2.4 ระบบประสาทและกล้ามเนื้อ	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>บทที่ 3 LabVIEW</b>	17
3.1 ที่มาของ LabVIEW	19
3.2 การทำงานของ LabVIEW	21
3.2.1 Front Panel	21
3.2.2 Block Diagram	21
3.2.3 Icon and Connector	22
3.3 ส่วนประกอบต่างๆ ของ LabVIEW	22
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ VI	24
3.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel	24
3.4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมบน Block Diagram	27
3.5 การนำโปรแกรม LabVIEW มาประยุกต์ใช้ในโครงการนี้	30
3.5.1 Function การนำสัญญาณเข้าสู่โปรแกรม	30
3.5.2 ภาครองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)	33
3.5.3 ภาควัด Band Reject 50 Hz	34
<b>บทที่ 4 ทฤษฎีการออกแบบและการสร้างเครื่องแสดงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ</b>	36
4.1 อิเล็กทรอนิกส์	37
4.2 ภาควัด Preamplifier	37
4.2.1 วงจร Power Supply	38
4.2.2 วงจร Preamplifier and Body reference	39
4.2.3 วงจรกรองความถี่	40
4.3 Gain and Bias adjustment	41
4.3.1 Amplifier (Gain)	42
4.3.2 Bias Adjustment	44
<b>บทที่ 5 ขั้นตอนการควบคุมแขนกล</b>	48
5.1 การควบคุมแขนกลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	48
5.1.1 วงจร Power Supply	55
5.1.2 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ฮาร์ดแวร์แขนกล	57
5.2.1 วงจร Power Supply	57
5.2.2 วงจรควบคุมแขนกล	57
<b>บทที่ 6 ผลการทดลองและผลการทดลอง</b>	<b>60</b>
6.1 สัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลโหมด	60
6.1.1 สัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลโหมดของภาค Preamplifier	60
6.1.2 สัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลโหมดที่ Vout_Final	62
6.2 สัญญาณคอมมอนโหมด	63
6.2.1 สัญญาณคอมมอนโหมดของภาค Preamplifier	63
6.2.2 สัญญาณคอมมอนโหมดที่ Vout_Final	64
6.3 การคำนวณค่า CMRR	66
6.4 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ	67
6.4.1 แสดงสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเมื่อผู้ทำการทดลอง ยกน้ำหนัก 1 Kg	67
6.4.2 แสดงสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเมื่อผู้ทำการทดลอง ยกน้ำหนัก 4 Kg	69
6.4.3 แสดงสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเมื่อผู้ทำการทดลอง ยกน้ำหนัก 5 Kg	71
6.4.4 แสดงสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเมื่อผู้ทำการทดลอง ยกน้ำหนัก 6 Kg	73
6.4.5 แสดงสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเมื่อผู้ทำการทดลอง ยกน้ำหนัก 9 Kg	75
6.5 ระดับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของแต่ละบุคคล	77
6.5.1 ระดับของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะปล่อยแขน (0 องศา) ของแต่ละบุคคล	77
6.5.2 ระดับของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะยกแขนขึ้น ของแต่ละบุคคล	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5.3	ระดับของสัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อขณะยกแขนค้างไว้ (90 องศา) ของแต่ละบุคคล	79
6.6	ระดับสัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อที่จะนำไปใช้ในการควบคุมแขนกล	80
บทที่ 7	สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง บรรณานุกรม	83 85



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 Skeletal muscle ในร่างกาย	4
รูปที่ 2.2 (a) Triceps muscle มองจากด้านหลังของแขนข้างขวา	5
(b) biceps muscle มองจากด้านหน้าของแขนข้างขวา	5
(c) รูปกล้ามเนื้อของ forearm	5
รูปที่ 2.3 โครงกระดูก (Skeleton)	6
รูปที่ 2.4 เส้นใยกล้ามเนื้อ	7
รูปที่ 2.5 The neuromuscular junction	8
รูปที่ 2.6 แหล่งที่มาของพลังงาน ATP	11
รูปที่ 2.7 ช่วงต่างๆ ของ Muscle action potential	13
รูปที่ 2.8 รูปสัญญาณ EMG วัดจาก M. Biceps brachii	14
(a) สัญญาณที่วัดได้จาก bipolar อิเล็กโทรด	14
(b) สัญญาณที่วัดได้จาก Laplacian อิเล็กโทรด	15
รูปที่ 3.1 (a) Front Panel	17
(b) Block Diagram	17
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการวัดอุณหภูมิและนำอุณหภูมิที่ได้มาแสดงที่หน้าจอคอมพิวเตอร์	19
รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างการเขียนโปรแกรม LabVIEW ใน Block Diagram	20
รูปที่ 3.4 แสดง Block Diagram การทำงานของโปรแกรม LabVIEW	20
รูปที่ 3.5 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของโปรแกรม LabVIEW	22
(a) Front Panel	22
(b) Block Diagram	23
รูปที่ 3.6 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel	24
รูปที่ 3.7 แสดง Tool Palette	25
รูปที่ 3.8 แสดง Operate Value Tool	25
รูปที่ 3.9 แสดง Position /Size /Select Tool	25
รูปที่ 3.10 แสดง Edit Text Tool	26
รูปที่ 3.11 แสดง Set Color Tool	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 3.12 แสดง Object Shortcut Menu Tool	26
รูปที่ 3.13 แสดง Scroll Window Tool	27
รูปที่ 3.14 แสดง Get Color	27
รูปที่ 3.15 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ Block Diagram	28
รูปที่ 3.16 แสดง Tools Palette สำหรับ Block Diagram	28
รูปที่ 3.17 แสดง Front Panel Toolbar	29
รูปที่ 3.18 แสดง Block Diagram ของ USB-6008/6009	31
รูปที่ 3.19 แสดงช่องสัญญาณต่างๆ ของอนาล็อกอินพุต	31
รูปที่ 3.20 แสดงช่องสัญญาณต่างๆ ของอนาล็อกเอาต์พุต	32
รูปที่ 3.21 แสดงภาครับสัญญาณจากการ์ด DAQ	33
รูปที่ 3.22 แสดงการกำหนดค่าภาคกรองความถี่ต่ำผ่าน	33
รูปที่ 3.23 แสดงรูปแบบการทำงานของ Low Pass Filter ชนิด Butterworth Filter	34
รูปที่ 3.24 แสดงการกำหนดค่าของภาค Band Reject 50 Hz	34
รูปที่ 3.25 แสดงรูปแบบการทำงานของ Band Reject ชนิด Butterworth Filter	36
รูปที่ 3.26 แสดง Block Diagram ของภาคแสดงผลสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ	36
รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ	36
รูปที่ 4.2 ตำแหน่งของอิเล็กโทรดที่วางบนกล้ามเนื้อ	37
รูปที่ 4.3 วงจร Power Supply $\pm 12V$	38
รูปที่ 4.4 ภาค preamplifier และวงจร body reference	39
รูปที่ 4.5 วงจร RC high pass filter ความถี่ 12 เฮิรท์	40
รูปที่ 4.6 วงจร Non – inverting amplifier	42
รูปที่ 4.7 วงจร Amplifier with gain adjustment	43
รูปที่ 4.8 วงจร Offset adjustment for voltage follower	44
รูปที่ 4.9 วงจร Bias Adjustment	46
รูปที่ 4.10 วงจรที่ใช้วัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ	47
รูปที่ 5.1 แสดง Flow Chart โปรแกรมหลัก	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 5.2 แสดง Flow Chart โปรแกรมย่อย	50
รูปที่ 5.3 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย +5 V	55
รูปที่ 5.4 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	56
รูปที่ 5.5 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย +24 V	57
รูปที่ 5.9 วงจรสำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ โดยใช้ไอซี L298	58
รูปที่ 6.1 แสดงการป้อนสัญญาณอินพุต	61
รูปที่ 6.2 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัด	61
รูปที่ 6.3 แสดงการป้อนสัญญาณอินพุต	62
รูปที่ 6.4 แสดงสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลของระบบ	62
รูปที่ 6.5 แสดงการป้อนสัญญาณอินพุต	63
รูปที่ 6.6 แสดงสัญญาณคอมมอนโหมดที่ได้จากภาค Preamplifier	64
รูปที่ 6.7 แสดงการป้อนสัญญาณอินพุต	65
รูปที่ 6.8 แสดงสัญญาณคอมมอนโหมดที่วัดได้ที่ Vout_Final	65
รูปที่ 6.9 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะปล่อยแขนที่น้ำหนัก 1 Kg (0 องศา)	67
รูปที่ 6.10 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะยกแขนขึ้นที่น้ำหนัก 1 Kg	68
รูปที่ 6.11 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะยกแขนค้างไว้ที่ น้ำหนัก 1Kg (90 องศา)	68
รูปที่ 6.12 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะยกน้ำหนัก 1 Kg	69
รูปที่ 6.13 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะปล่อยแขนที่น้ำหนัก 4 Kg (0 องศา)	69
รูปที่ 6.14 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะยกแขนขึ้นที่น้ำหนัก 4 Kg	70
รูปที่ 6.15 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะยกแขนค้างไว้ที่ น้ำหนัก 4 Kg (90 องศา)	70
รูปที่ 6.16 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะยกน้ำหนัก 4 Kg	71
รูปที่ 6.17 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะปล่อยแขนที่น้ำหนัก 5 Kg (0 องศา)	71
รูปที่ 6.18 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะยกแขนขึ้นที่น้ำหนัก 5 Kg	72
รูปที่ 6.19 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะยกแขนค้างไว้ที่ น้ำหนัก 5 Kg (90 องศา)	72
รูปที่ 6.20 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะยกน้ำหนัก 5 Kg	73

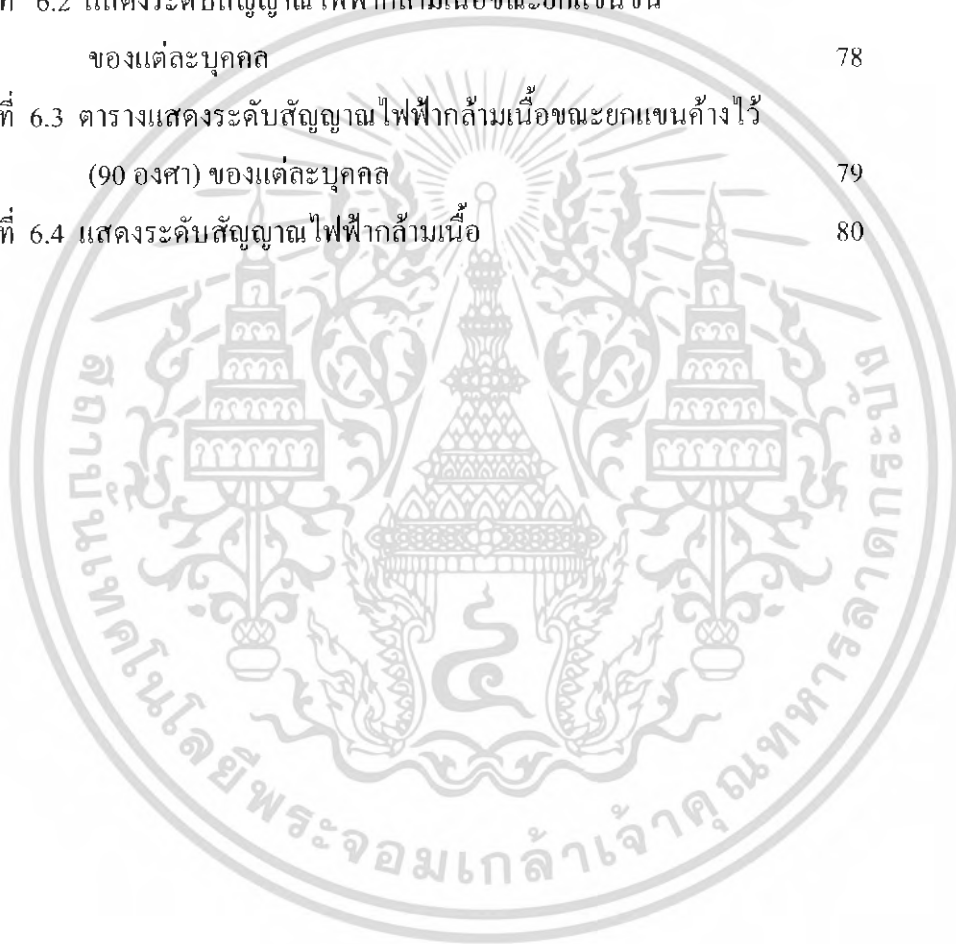
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 6.21 สัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อขณะปล่อยแขนที่น้ำหนัก 6 Kg ( 0 องศา )	73
รูปที่ 6.22 สัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อขณะยกแขนขึ้นที่น้ำหนัก 6 Kg	74
รูปที่ 6.23 สัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อขณะยกแขนค้างไว้ที่ น้ำหนัก 6 Kg ( 90 องศา )	74
รูปที่ 6.24 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อขณะยกน้ำหนัก 6 Kg	75
รูปที่ 6.25 สัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อขณะปล่อยแขนที่น้ำหนัก 9 Kg ( 0 องศา )	75
รูปที่ 6.26 สัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อขณะยกแขนขึ้นที่น้ำหนัก 9 Kg	76
รูปที่ 6.27 สัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อขณะยกแขนค้างไว้ที่ น้ำหนัก 9 Kg ( 90 องศา )	76
รูปที่ 6.28 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อขณะยกน้ำหนัก 9 Kg	77
รูปที่ 6.29 กราฟแสดงระดับสัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อขณะปล่อยแขน (0 องศา) ของแต่ละบุคคล	78
รูปที่ 6.30 กราฟแสดงระดับสัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อขณะยกแขนขึ้น ของแต่ละบุคคล	78
รูปที่ 6.31 กราฟแสดงระดับสัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อขณะยกแขนค้างไว้ (90 องศา) ของแต่ละบุคคล	79
รูปที่ 6.32 แสดงระดับของสัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อที่จะนำไปควบคุมแขนกล	80
รูปที่ 6.33 แขนกลในลักษณะปล่อยแขนปกติ	81
รูปที่ 6.34 แขนกลในลักษณะกำลังยกแขนขึ้นและกำลังยกแขนลง	81
รูปที่ 6.35 แขนกลในลักษณะยกแขนค้างไว้	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบสัคย์ไฟฟ้า และความถี่ที่ค้องการของระบบบันทึกคลื่นไฟฟ้า อี.อี.จี. , อี.ซี.จี. และ อี.เอ็ม.จี.	16
ตารางที่ 5.1 แสดงลอจิกการทำงานของไอซี L298	58
ตารางที่ 6.1 แสดงระดับของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของแต่ละบุคคล	77
ตารางที่ 6.2 แสดงระดับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะยกแขนขึ้นของแต่ละบุคคล	78
ตารางที่ 6.3 ตารางแสดงระดับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะยกแขนค้างไว้ (90 องศา) ของแต่ละบุคคล	79
ตารางที่ 6.4 แสดงระดับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ	80



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

ในปัจจุบันได้พบว่ามนุษย์เรามีอัตราการตายที่ลดลงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับอดีตที่ผ่านมา ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องมาจากเทคโนโลยีทางการแพทย์ที่มีความเจริญก้าวหน้ามากกว่าสมัยอดีตที่ผ่านมา และยังคงมีการประดิษฐ์คิดค้นเครื่องมือที่มีความทันสมัยตลอดเวลา ซึ่งสิ่งเหล่านี้ได้มีส่วนเข้ามาช่วยเสริมสร้างประสิทธิภาพในการรักษาพยาบาลผู้ป่วยที่เกิดจากโรคต่างๆ หรืออุบัติเหตุที่เกิดขึ้น นอกจากนี้เครื่องมือที่คิดค้นขึ้นใหม่เหล่านี้ยังสามารถทำให้มนุษย์รู้ถึงประสิทธิภาพของร่างกายของร่างกายตนเองในขณะนั้นได้ด้วย ซึ่งทำให้เรารู้ว่ามีสิ่งใดที่เกิดขึ้นผิดปกติในร่างกายของเราและสามารถที่จะรักษาได้ทันทั่วทั้งก่อนที่จะป่วยหนักถึงขั้นรักษาไม่ได้ และเครื่องมือที่ใช้ตรวจร่างกายก็เช่น เครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiogram: ECG) เครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้าสมอง (Electroencephalogram: EEG) เครื่องวัดความดันเลือด (Blood-pressure measurement) เครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyogram: EMG) และอื่นๆ อีกมากมาย

ศาสตร์ทางด้านนี้นอกจากจะใช้ในการรักษาโรคแล้ว ยังคงสามารถใช้ในการด้าน ระบบรักษาความปลอดภัย

(Biometrics: Voice, Iris scan, Retinal scan) การสร้างอวัยวะเทียม (biomechanics) และอื่นๆ อีกมากมาย และในส่วนของผู้จัดทำได้นำสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อมาประยุกต์ใช้ในการบังคับแขนหุ่นยนต์

#### 1.1 ความเป็นมา

ในอดีตได้ค้นพบว่าการควบคุมกล้ามเนื้อนั้นเกิดขึ้นมาจากการปล่อยสัญญาณของหน่วยกล้ามเนื้อ (Single motor unit) โดยการใช้ไอเล็กโทรดแบบเข็ม และทำการแสดงค่าลงบนออสซิลโลสโคปและถ้าโพรงเครื่องกระจายเสียงและยังมีการศึกษาถึงการควบคุมการปล่อยสัญญาณในหน่วยกล้ามเนื้อที่อื่นๆ ไปยังกล้ามเนื้อ ในอัตราที่หลากหลายและในจังหวะที่หลากหลาย

ตั้งแต่นั้นมาก็มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านให้ความสนใจในการทดลองเพื่อให้เห็นผลของสัญญาณกล้ามเนื้อจากกล้ามเนื้อทุกส่วนในร่างกาย Budzynski และ Stoyva (1969) แสดงให้เห็นถึงการได้รับเสียงตอบสนองจากความตึงของกล้ามเนื้อบริเวณหน้าผาก ซึ่งมีลักษณะเป็นสัญญาณในหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ในช่วงระยะเวลา 20 นาที

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เราเน้นถึงการนำสัญญาณที่ได้จากกล้ามเนื้อแขน M. Biceps Brachii โดยใช้ Surface Electrode 3 ชิ้น แล้วนำสัญญาณที่ได้มาทำการวิเคราะห์ถึงลักษณะของสัญญาณในขณะที่แขนขยับไปในลักษณะต่างๆ กันในคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW แล้วนำผลจากการวิเคราะห์ไปบังคับแขนกลให้ขยับตามแขนเราขยับ

## 1.2 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาทั้งหมด 7 บท ซึ่งอาจแยกเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน ได้แก่ ทฤษฎีกล้ามเนื้อ คุณสมบัติเครื่องมือที่ใช้ในการวัดสัญญาณ สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

บทที่ 3 การใช้โปรแกรม LabVIEW ขั้นตอนการออกแบบวงจรกรองความถี่ การสร้างอัตราขยายสัญญาณ การวิเคราะห์สัญญาณโดยใช้ FFT

บทที่ 4 ทฤษฎีการออกแบบและสร้างเครื่องแสดงคลื่นสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

บทที่ 5 ขั้นตอนการควบคุมแขนกล

บทที่ 6 การทดลองและผลการทดลอง

บทที่ 7 สรุปผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

## บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน

ในบทนี้เราจะกล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของกล้ามเนื้อทุกส่วนในร่างกายและ รวมถึง M. Biceps Brachii ด้วย ระบบการนำไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyogram) การวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าในสภาวะปกติ และกล่าวถึงคุณสมบัติของอิเล็กทรอนิกส์โทรด

### 2.1 โครงสร้างและหน้าที่ของกล้ามเนื้อ

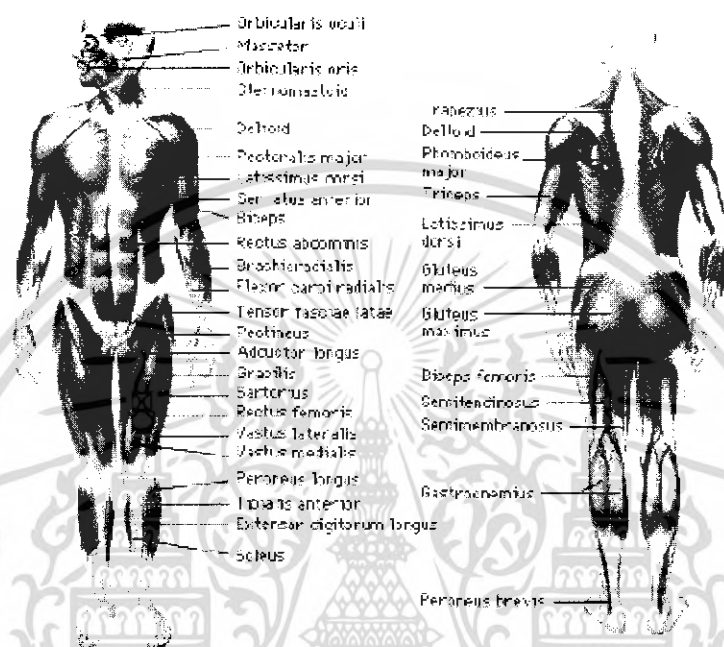
กล้ามเนื้อเป็นอวัยวะที่มีอยู่ทุกส่วนในร่างกายมนุษย์ ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีในรูปพลังงานเคมีในรูปพลังงาน ATP ไปเป็นพลังงานทางกลไกที่ใช้ในการเคลื่อนไหว ซึ่งในสัตว์มีกระดูกสันหลังนั้นเราพบว่าสามารถแบ่งชนิดของกล้ามเนื้อออกได้เป็น 3 ชนิดดังนี้คือ

- กล้ามเนื้อหัวใจ ( Heart muscle ) อาจจะเรียกได้ว่า cardiac muscle เป็นส่วนที่ทำหน้าที่สร้างผนังหัวใจ โดยที่ตลอดชีวิตนั้นมันจะทำหน้าที่สูบฉีดหัวใจ 70 ครั้งต่อนาที โดยที่ในแต่ละนาทีนั้นมีเลือดส่งผ่านประมาณ 5 ลิตร
- Smooth muscle เป็นส่วนประกอบของผนังของอวัยวะต่างๆ ( ยกเว้นหัวใจ ) และการหดตัวของกล้ามเนื้อบริเวณนี้มีส่วนในการลดขนาดโครงสร้างด้วย ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้
  - มีส่วนในการปรับสมดุลการไหลของเลือดใน arteries
  - มีส่วนช่วยในการลำเลียงอาหารลงไปส่วนกระเพาะอาหาร
  - มีส่วนช่วยในการขับยูเรียออกจากกระเพาะปัสสาวะ
  - มีส่วนช่วยในการคลอคลุก
  - ปรับสมดุลการไหลของอากาศภายในปอด

การหดตัวของกล้ามเนื้อชนิดนี้ไม่สามารถควบคุมได้ด้วยความคิด มันจะทำหน้าที่อย่างอัตโนมัติ

- Skeletal muscle เป็นกล้ามเนื้อที่สัมผัสกับกระดูก ซึ่งอาจจะเรียกว่า Striated muscle ก็ได้มนุษย์สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อชนิดนี้ได้ตั้งใจ

## 2.1.1 กายวิภาคของ Skeletal muscle (Anatomy of Skeletal muscle)



รูปที่ 2.1 Skeletal muscle ในร่างกาย

Skeletal muscle (รูปที่ 2.1) ยกตัวอย่างเช่น triceps muscle ซึ่งสัมพันธ์อยู่ในลักษณะ

- ส่วนต้น (origin) ต่อเข้ากับกระดูกในบริเวณกว้างในกรณีนี้ก็คือ ส่วนของกระดูกต้นแขน ส่วนต่อ (insertion) มีลักษณะเรียวเล็กลง ไปสู่เส้นเอ็นสีขาว ซึ่งในกรณีนี้ต่อติดอยู่กับกระดูกเขน ท่อนในเป็นกระดูกชิ้นหนึ่งที่อยู่ในแขน

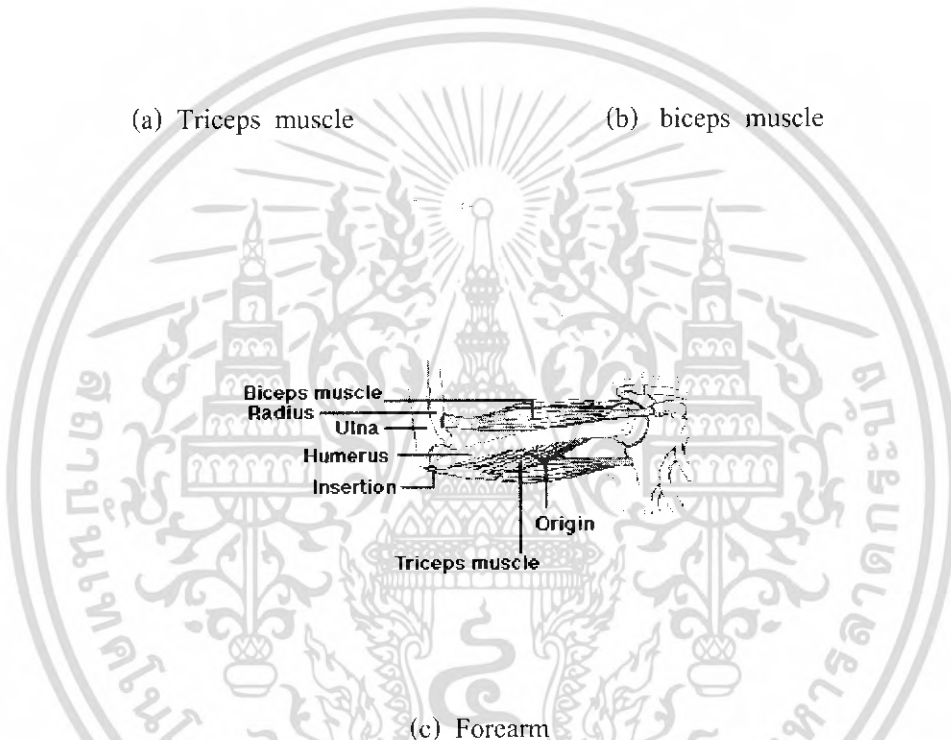
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) Triceps muscle



(b) biceps muscle



(c) Forearm

รูปที่ 2.2 (a) Triceps muscle มองจากด้านหลังของแขนข้างขวา

(b) biceps muscle มองจากด้านหน้าของแขนข้างขวา

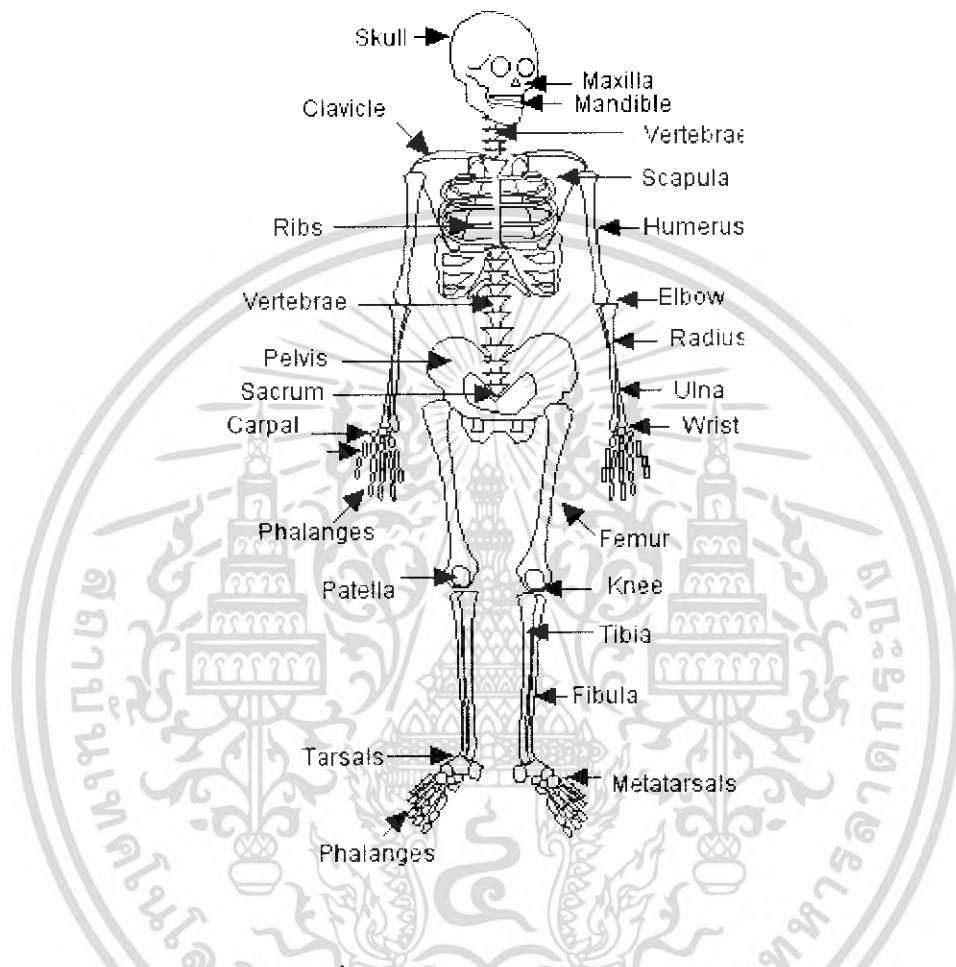
(c) รูปกล้ามเนื้อของ forearm

ในกรณีที่ Triceps muscle (รูปที่ 2.2 a) ทำการหดตัวส่งผลให้ ส่วนต่อจะทำการดึงส่วนต้น โดยตรงเป็นเหตุให้ แขนมีลักษณะเหยียดตรงและศอกเปิดกว้างขวางขึ้น เพราะฉะนั้น triceps muscle ก็คือกล้ามเนื้อส่วนที่ช่วยให้แขนและขาเหยียดได้ (extensor)

กล้ามเนื้อในส่วนที่สองก็คือ กล้ามเนื้อที่ใช้ในการโค้งงอส่วนต่างๆของร่างกาย (Flexor) ซึ่งทำหน้าที่ในการหดและงอของกล้ามเนื้อที่เชื่อมต่อ Biceps muscle (รูปที่ 2.2 b) เป็น flexor ของแขนส่วนล่าง (lower arm) เพราะฉะนั้น Biceps muscle และ triceps muscle เป็นกล้ามเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ทำหน้าที่ตรงข้ามกัน (antagonistic pair) และกล้ามเนื้อคู่นี้ก็ทำงานในส่วนข้อต่อต่างๆด้วย หรือก็คือเกือบทั้งหมดของกระดูกตามรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงกระดูก (Skeleton)

### 2.1.2 เส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscle fiber)

Skeletal muscle นั้นประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscle fiber) รูปทรงกระบอกนับ 1,000 ชั้น โดยส่วนใหญ่จะเป็นตัวเชื่อมระหว่างส่วนต้น (origin) และส่วนต่อ (insertion) เส้นใยเหล่านี้ถูกทำให้เป็นตัวแบ่งเขตระหว่างเส้นเลือดและประสาท ภายในเนื้อเยื่อเชื่อมต่อ

ในเส้นใยแต่ละเส้นประกอบไปด้วย

- ชุดของไมโอไฟบริก (myofibrils) ซึ่งถูกกองไว้ตามแนวยาวและมีตลอดความยาวของเส้นใย
- Mitochondria
- Endoplasmic reticulum ขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

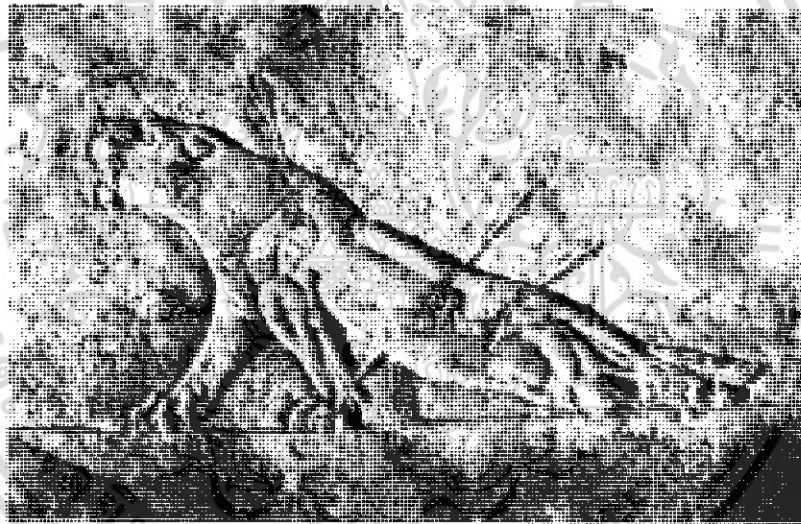
- นิวเคลียส มากมาย

สาเหตุที่ทำให้มีนิวเคลียส มากมายเป็นเพราะเส้นใยกล้ามเนื้อนั้นพัฒนามาจากการรวมตัวของเซลล์จำนวนมาก (เรียกว่า Myoblasts)

จำนวนของเส้นใยภายในร่างกายนั้นถูกกำหนดมาแล้วตั้งแต่แรกเกิด ส่วนเรื่องความแข็งแรงและบีบึ้นนั้นเกิดมาจากความหนาแน่นของแต่ละเส้นใยที่มีมากขึ้น และการเพิ่มขึ้นของจำนวนเนื้อเยื่อเชื่อมต่อ

### 2.1.3 การกระตุ้นของ Skeletal muscle (Activation of Skeletal muscle)

การหดคลายของกล้ามเนื้อ Skeletal muscle นั้นถูกควบคุมโดยระบบประสาท



รูปที่ 2.4 เสือใกล้ตาย

จากรูปเสือใกล้ตายจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า การบาดเจ็บที่บริเวณไขสันหลังเป็นสาเหตุให้บริเวณขาหลังนั้นเป็นอัมพาตทั้งๆ ที่ไม่ได้รับบาดเจ็บ ในเรื่องนี้เกี่ยวข้องกับถึงว่า Skeletal muscle นั้นแตกต่างจาก smooth muscle และ cardiac muscle นั่นก็คือทั้ง smooth และ cardiac muscle สามารถทำงานได้โดยปราศจากคำสั่งจากระบบประสาท แต่ว่ามีระบบประสาทชนิดที่ทำงานอัตโนมัติทำหน้าที่ในการควบคุมแทน

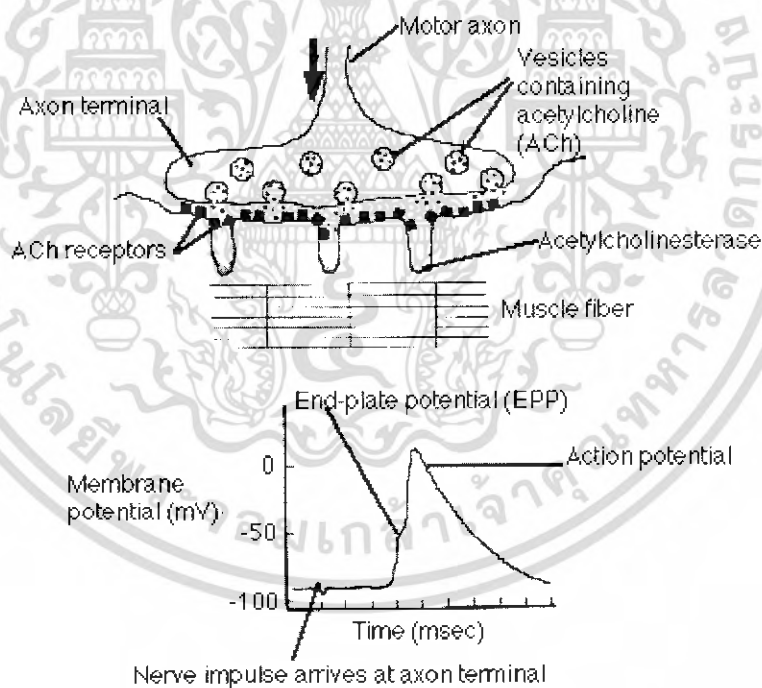
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ระบบการนำไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ

### 2.2.1 The Neuromuscular Junction

อิมพัลส์ที่เกิดในเส้นประสาท (Action potential) เคลื่อนที่ผ่านเซลล์ประสาทส่วน motor ของ sensory-somatic branch ในระบบประสาท เป็นเหตุให้เส้นใยประสาทในส่วนของ Skeletal นั้นสิ้นสุดการทำงาน จุดเชื่อมต่อระหว่างส่วนปลายของเซลล์ประสาทส่วน motor กับเส้นใยกล้ามเนื้อถูกเรียกว่า neuromuscular junction ซึ่งมันก็คือชนิดหนึ่งของส่วนเชื่อมต่อของแกนเซลล์กับกิ่งก้าน (synapse)

ที่บริเวณส่วนปลายของ motor axons ประกอบด้วย vesicles ที่มีสารกระตุ้นระบบประสาทอัดโนมีต (acetylcholine: Ach) อยู่นับ 1,000 ก้อนดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 The neuromuscular junction

ตามรูปจะเห็นได้ว่า เมื่อ Action potential (AP) เคลื่อนที่ผ่านมาถึงส่วนปลายของ axon ตัว vesicles จำนวนนับร้อยจะทำการปล่อย Ach ของตัวเองออกมาสู่บริเวณเฉพาะของ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ สงวนลิขสิทธิ์ สำหรับการโฆษณาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

postsynaptic membrane ในไฟเบอร์ จึงทำให้บริเวณนี้เต็มไปด้วยกลุ่มของเยื่อเซลล์ที่พร้อมสำหรับการแลกเปลี่ยนสารเคมี ซึ่งถูกเปิดโดย Ach และเป็นเหตุให้ โซเดียม (Na<sup>+</sup>) แพร่เข้ามาภายในเซลล์ได้

เส้นใยกล้ามเนื้อในขณะที่ไม่มีการทำงานนั้นจะมีค่า Resting potential ที่ประมาณ -95 mV จากการไหลเข้าของประจุโซเดียมจึงทำให้เกิดช่วง end plate potential ขึ้นและถ้าค่าของ end plate potential ขึ้นสูงเกินค่าของ threshold voltage (ประมาณ -50 mv) จากการที่ประจุโซเดียมไหลเข้าสู่เซลล์อย่างรวดเร็วจึงทำให้เกิดค่า action potential ขึ้นในไฟเบอร์ และ action potential ก็ไหลกวาดลงไปอย่างรวดเร็วตามแนวยาวของไฟเบอร์

เกิดสัญญาณที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในเส้นใยกล้ามเนื้อช่วงที่ Action potential ไหลผ่านอย่างรวดเร็วในช่วงนี้เกิดขึ้นประมาณ 3-10 msec หลังจากการไหล เรียกว่า latent periods ก่อนที่ latent periods จะหมดไปนั้น

- เอนไซม์ acetyl cholinesterrase
  - ทำการหยุด Ach ใน neuromuscular junction ที่ความเร็ว 25,000 โมเลกุลต่อวินาที
  - ช่องทางการไหลของโซเดียมปิดลง
  - พื้นที่บริเวณนั้นถูกเคลือบเพื่อรอรบอิมพัลส์ชุดถัดไป
- Resting potential ถูกทำให้กลับมาเป็นเหมือนเดิมจากการไหลออกของประจุโพแทสเซียม เรียกว่าช่วง refractory period

### 2.2.2 Motor Units

เซลล์ประสาทส่วน Motor ของ skeletal muscles ทุกตัวจะมีส่วนแตกย่อยเป็น axons โดยที่ปลายของแต่ละ axons นั้นต่ออยู่ในส่วนของ neuromuscular junction และ a single muscle fiber ซึ่งสัญญาณอิมพัลส์ของระบบประสาทจะเดินทางผ่านเซลล์ประสาทส่วน motor แล้วทำให้เกิดแรงกระตุ้นขึ้นในเส้นใยกล้ามเนื้อทั้งหมดที่ตำแหน่ง ส่วนปลายของเซลล์ประสาทส่วนย่อยและจำนวนหน่วยที่ใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อน้อยที่สุดเรียกว่า motor unit

ขนาดของ Motor unit ภายในกล้ามเนื้อมีขนาดเล็ก ยกตัวอย่างเช่น

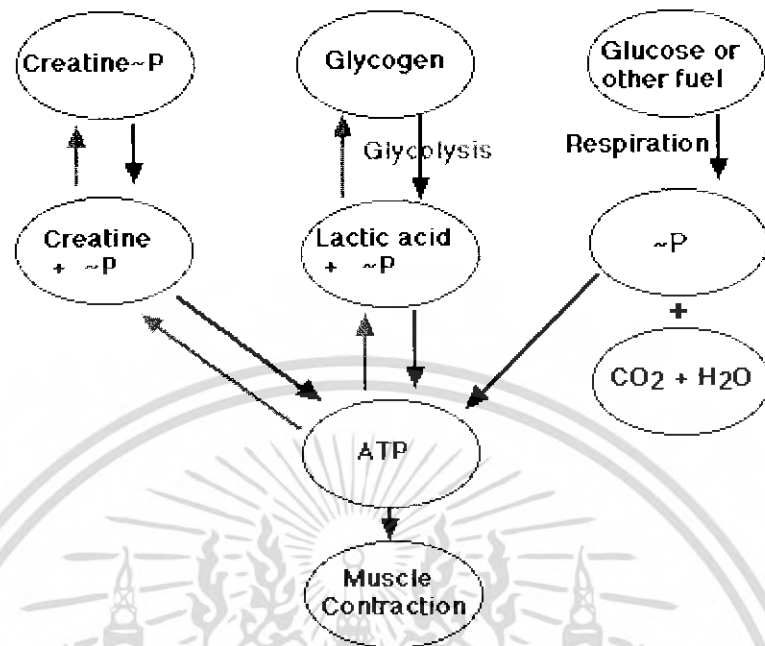
- ในการควบคุมการขยับดวงตามีแรงกระตุ้นเซลล์ประสาทส่วน Motor น้อยกว่า 10 ไฟเบอร์
- Motor unit ของการควบคุมกล้ามเนื้ออกต้องเสียนีมีขนาดเล็กเท่ากับ 2-3 ไฟเบอร์ต่อ motor neuron
- ในอีกด้านหนึ่ง Motor unit ของกล้ามเนื้อกระเพาะอาจจะรวมกันถึง 1,000-2,000 ไฟเบอร์

แม้ว่าผลตอบสนองของ Motor unit คือทั้งหมดหรือไม่มีเลยก็ตาม ประสิทธิภาพของการตอบสนองของกล้ามเนื้อทั้งหมดนั้นถูกกำหนดโดยจำนวนของ motor unit ที่ทำงานอยู่

ถึงแม้ว่าอยู่ในช่วงพัก Skeletal muscles เกือบทั้งหมดก็ยังมีบางส่วนที่ทำงานอยู่ด้วย เรียกว่า Tonus ซึ่ง tonus ยังคงอยู่ได้ด้วยการทำงานของ motor unit ตลอดเวลาในช่วงการพักของกล้ามเนื้อ ในการทำงานของ motor unit นั้นหากมีตัวใดตัวหนึ่งพักการทำงานก็จะมีตัวอื่นเข้ามาทำงานแทน

### 2.2.3 Fueling Muscle Contraction

ATP เป็นแหล่งจ่ายพลังงานแบบฉับพลันให้กับการหดตัวของกล้ามเนื้อ ในเส้นใยกล้ามเนื้อนั้นมีพลังงาน ATP บรรจุอยู่เพียงพอที่ให้พลังงานแก่อาการสะดุ้งเมื่อได้รับความเจ็บปวด เพราะฉะนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเติมพลังงาน ATP ไว้ที่นี้ให้เพียงพอเสมอ โดยมีแหล่งที่มาของพลังงาน 3 แหล่งดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แหล่งที่มาของพลังงาน ATP

- Creatine phosphate
- Glycolysis ของ glycogen
- Cellular respiration ใน ไมโทคอนเดรียของไฟเบอร์

### Creatine phosphate

ใน Creatine phosphate ประกอบไปด้วย กลุ่มของฟอสเฟตที่เกาะกันอยู่ด้วยพลังงานพันธะระดับสูงในรูปพลังงาน ATP เนื่องจาก creatine phosphate ได้รับพลังงานฟอสเฟตระดับสูงมาจาก ATP และจ่ายพลังงานคืนมาในรูปของ ADP สามารถอธิบายได้ตามสมการนี้



พลังงานสะสมที่อยู่ในเส้นใยกล้ามเนื้อที่เกิดจาก creatine phosphate นั้น มีประมาณมากกว่าที่ได้จากแหล่งอื่นประมาณ 10 เท่า จึงเปรียบเสมือนว่า เป็นแหล่งเก็บรวบรวมพลังงาน ATP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Glycolysis

ภายในเส้นใยของ Skeletal muscle ประกอบด้วย glycogen อยู่ 1% และมี glycolysis ปล่อยพลังงาน ATP มา 2 โมเลกุล ในแต่ละคู่การผลิตของโมเลกุลกรดแลคตริกถึงแม้ว่าพลังงานที่ออกมาไม่มากแต่ก็เพียงพอที่จะใช้กิจกรรมต่างๆ ของกล้ามเนื้อ ถ้าในกรณีที่มิใช่เพียงพอจำเป็นที่จะต้องรับพลังงาน ATP จากการหายใจ อย่างไรก็ตามแหล่งจ่ายพลังงาน ATP นี้ก็ยังมีข้อจำกัดซึ่งก็ต้องขึ้นอยู่กับ cellular respiration

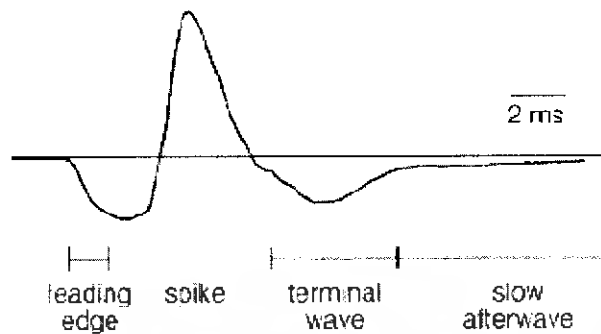
### Cellular respiration

Cellular respiration ไม่ได้ให้พลังงาน ATP แก่การทำกิจกรรมต่างๆ ของกล้ามเนื้อเพียงอย่างเดียว ( ได้จากการหายใจลึกและเร็ว ) แต่ยังคงใช้ในการสังเคราะห์ glycogen จากกรดแลคตริก ( เกิดขึ้นจากการหายใจลึกๆ หลังจากการออกกำลังกาย )

#### 2.2.4 ลักษณะทั่วไปของสัญญาณ Muscle action potential

Muscle action potential (รวมถึง motor unit action potentials (MUAPs) และ Compound muscle action potentials (CMAPs)) ได้มีการรวบรวมไว้ก็เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ระบบประสาทที่ยุ่งเหยิงของกล้ามเนื้อรวมถึงการประเมินถึงหน้าที่การทำงานของกล้ามเนื้อ ผลที่ได้จากรูปสัญญาณได้ถูกนำมาใช้ในการอธิบายในวิชากายวิภาคและสรีรวิทยาให้รับทราบถึงผลของกล้ามเนื้อในขณะต่างกัน เช่น ขณะออกกำลังกายเมื่อปวดแขน , อายุขัยที่แตกต่างกัน

รูปร่างของสัญญาณโดยทั่วไปจะให้ความสำคัญต่อช่วง spike ที่เกิดจากภาวะที่ถูกกระตุ้นในเส้นใยกล้ามเนื้อ ( Muscle Fibers ) แต่จากผลงานวิจัยต่างๆ ที่ได้ค้นหามานั้นทำให้ทราบว่า รูปร่างของสัญญาณนั้นยังรวมถึงผลกระทบที่เกิดจาก ความยาวที่จำกัด ช่องว่างระหว่างกล้ามเนื้อ โครงสร้างทางสถาปัตยกรรมของกล้ามเนื้อ ขนาดกล้ามเนื้อ ความไม่เหมือนกันของกล้ามเนื้อ ปริมาณความถี่ที่ใช้ควบคุมกล้ามเนื้อและ การคืนรูปเฟสอย่างช้าของ Intracellular action potential ( IAP ) ทุกปัจจัยที่กล่าวมานั้นล้วนมีความสำคัญต่อความแม่นยำของรูปสัญญาณทั่วทุกตำแหน่งทั้งแขนและขา



รูปที่ 2.7 ช่วงต่างๆ ของ Muscle action potential

จากรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่า ในช่วง leading edge ถูกสร้างจากการที่ AP เริ่มเข้าไปสู่บริเวณ endplate ช่วง terminal wave เป็นกราฟที่เกิดจากการที่ AP ไหลเข้าไปถึงส่วนต่อกล้ามเนื้อหรือเส้นเอ็น และ ช่วง Slow after ถูกสร้างจากการคืนรูปเฟสอย่างช้าๆ ของ IAP

### 2.3 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ( Electromyogram: EMG )

สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อนั้น ตำแหน่งที่ทำการวัดก็มีความสำคัญต่อรูปร่างของสัญญาณเป็นอย่างมากยิ่งเสมือนกับการวัดสัญญาณอื่นๆ ในร่างกาย และโดยเฉพาะการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ที่กล้ามเนื้อต่างชนิดกันค่าสัญญาณที่ได้ก็จะแตกต่างกันไปด้วย ในหัวข้อวิทยานิพนธ์นี้ เราทำการทดลองวัดเฉพาะ M. Biceps brachii ดังนั้นในหัวข้อนี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จาก M. Biceps brachii เท่านั้นโดยใช้ surface electrode

Surface electrode EMG เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวินิจฉัยโรคโดยไม่ต้องสอดใส่เข้าไปในร่างกาย สำหรับเทคโนโลยีในปัจจุบันที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์สัญญาณ EMG นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะสเปกตรัมของเวลาและความถี่ และในเร็ววันนี้ค้นพบว่า ลูกคลื่น wavelets ก็สามารถใช้ในการวิเคราะห์ EMG ได้ด้วย อย่างไรก็ตาม สัญญาณ EMG นั้นมีความซับซ้อนมีลักษณะเป็นสัญญาณสุ่มเลือก ไม่หยุดนิ่ง ไม่เป็นสัญญาณเชิงเส้น (ไม่เป็นเชิงเส้นในความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานของกล้ามเนื้อกับรูปแบบของสัญญาณ EMG ) และไม่เป็นสัญญาณคาบ (periodic) แม้ว่าสัญญาณ EMG ที่ออกมาจะมีลักษณะดังที่กล่าวมา แต่ในบางครั้ง เทคนิคที่ไม่เป็นเชิงเส้นเหล่านี้ก็มีความจำเป็นในการศึกษาลักษณะของสัญญาณที่ได้มาจากร่างกายและลักษณะของสัญญาณโดยสมบูรณ์

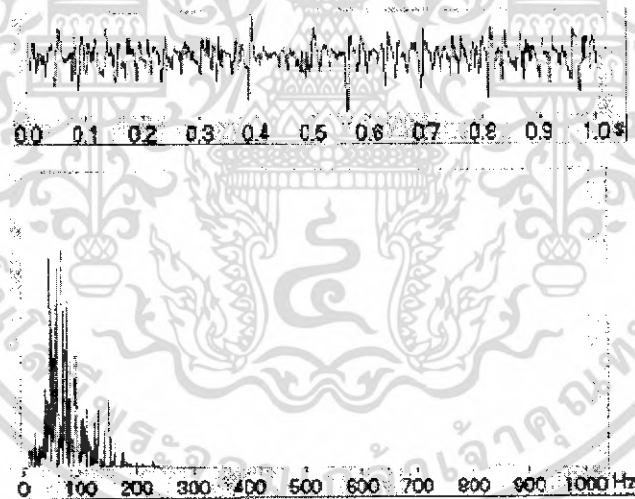
สัญญาณ EMG ที่เรารวตได้นั้นจะต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยใหญ่ๆ 2 ปัจจัยดังนี้

1. ปัจจัยทางกายภาพ

- จำนวนของ motor units และ fibers ภายในตัวเราเอง
- เส้นผ่านศูนย์กลางของไฟเบอร์ และจะมีผลต่อสัญญาณมาในกรณีที่เป็นไฟเบอร์เดี่ยว
- ช่องว่างภายในไฟเบอร์และ motor units ภายในกล้ามเนื้อระยะทางระหว่างไฟเบอร์และจุดที่ทำการวัดมีผลต่อค่าแอมพลิจูดของ AP
- ความยาวของไฟเบอร์

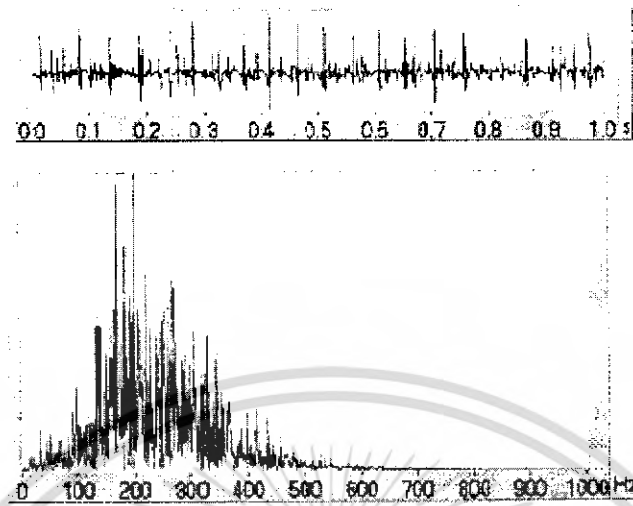
2. ปัจจัยที่เกิดจากผลการทดลอง

- ช่องว่างเกิดขึ้นในอิเล็กโทรด
- การสูญเสียที่ผิดพลาด
- Signal to noise ratio (SNR)



(a) สัญญาณที่วัดได้จาก bipolar อิเล็กโทรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) สัญญาณที่วัดได้จาก Laplacian อิเล็กโทรด

### รูปที่ 2.8 รูปสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อวัดจาก M. Biceps brachii

จากรูปที่ 2.8 เป็นการแสดงให้เห็นถึงรูปสัญญาณของ EMG ที่วัดจาก M. Biceps brachii โดยใช้อิเล็กโทรดต่างชนิดกัน ดังรูป (a) ใช้อิเล็กโทรดแบบ bipolar และ (b) ใช้อิเล็กโทรดแบบ Laplacian ซึ่งเราจะเห็นว่าสัญญาณทั้งสองจะมีความแตกต่างกันทั้งในโดเมนเวลา (ภาพบน) และ โดเมนความถี่ (ภาพล่าง) ดังนั้นการเลือกใช้อิเล็กโทรดมีความสำคัญมากในการทดลองจึงควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับการทดลอง

## 2.4 ระบบประสาทและกล้ามเนื้อ

เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในระบบประสาทและกล้ามเนื้อ มีลักษณะที่แตกต่างจากเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ในระบบอื่น 2 ประการ คือ

1. ระบบประสาทซึ่งรวมทั้งส่วนสมองส่วนต่างๆ เส้นประสาทกับระบบกล้ามเนื้อ เป็นอวัยวะที่สามารถสร้างไฟฟ้าขึ้นได้เอง ดังนั้น ในการตรวจวัดและบันทึกจึงไม่ต้องใช้ทรานสดิวเซอร์ คือ ตรวจวัดไฟฟ้าได้โดยตรง
2. เนื่องจากระบบประสาท โดยเฉพาะสมอง เป็นอวัยวะที่มีกลไกการทำงานที่ยุ่ยาก เครื่องที่ใช้จึงต้องมีกลไกการทำงานที่ซับซ้อนด้วย

เครื่องมือที่ใช้ในระบบประสาทและกล้ามเนื้อสามารถแบ่งออกเป็น 3 พวก คือ

1. เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง ( อี.อี.จี. ) และเครื่องที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน
2. เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อลาย ( อี.เอ็ม.จี. )
3. เครื่องอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ เช่น เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง เครื่องทำช็อคด้วยไฟฟ้า และเครื่องวัดความต้านทานของผิวหนัง เป็นต้น

เนื่องจากโรงแรงงานนี้เกี่ยวข้องกับกล้ามเนื้อลายดังนั้นจะแสดงรายละเอียดของเครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อลาย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลาย เรียกว่า electromyograph หรือเรียกย่อๆ ว่า EMG ( อี.เอ็ม.จี. )

การตรวจ อี.เอ็ม.จี. ในทางคลินิกมีประโยชน์ในการช่วยวินิจฉัยโรคของกล้ามเนื้อและประสาทเทคนิคการตรวจด้วย อี.เอ็ม.จี. จึงอาจเปรียบเทียบได้กับการตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ อี.ซี.จี. หรือการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง อี.อี.จี. เนื่องจากเทคนิคทั้ง 3 เป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการแพทย์จึงสมควรนำลักษณะที่สำคัญทางไฟฟ้ามาเปรียบเทียบกันซึ่งผลเป็นดังนี้ ช่วงของศักย์ไฟฟ้าและความถี่ใน อี.เอ็ม.จี. กว้างกว่าใน อี.อี.จี. และ อี.ซี.จี. มาก คือ ใน อี.อี.จี. และ อี.ซี.จี. จะต้องตรวจวัดศักย์ไฟฟ้าซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงได้ประมาณร้อยเท่า และความถี่อยู่ในช่วงเพียง 100 เฮิทซ์ ส่วนเครื่อง อี.เอ็ม.จี. นั้น ต้องออกแบบให้มีการรับสนองต่อความถี่ของศักย์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงได้ถึง 1,000 เท่า และอยู่ในช่วงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงได้ถึงประมาณ 10,000 เฮิทซ์ ฉะนั้น เนื่องจากความแตกต่างดังกล่าว จึงไม่สามารถใช้แอมพลิไฟเออร์ที่ออกแบบสำหรับ อี.อี.จี. หรือ อี.ซี.จี. มาใช้ในเครื่อง อี.เอ็ม.จี. ได้

นอกจากนั้น ในการบันทึก อี.เอ็ม.จี. ที่จะให้ได้ประโยชน์ในทางคลินิก จะต้องใช้บันทึกด้วยอิเล็กทรอนิกส์แบบเข็มขนาดเล็กซึ่งมีความต้านทานสูง แอมพลิไฟเออร์จึงต้องมีลักษณะเฉพาะเพิ่มขึ้นไปอีก

Recording System	Voltage Range	Frequency Response
EEG	0.001-0.10 mV	0.02-100 Hz
ECG	0.02-5 mV	0.1-30 Hz
EMG	0.003-5 mV	2-10,000 Hz

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบศักย์ไฟฟ้า และความถี่ที่ต้องการของระบบบันทึกคลื่นไฟฟ้า อี.อี.จี. , อี.ซี.จี. และ อี.เอ็ม.จี.

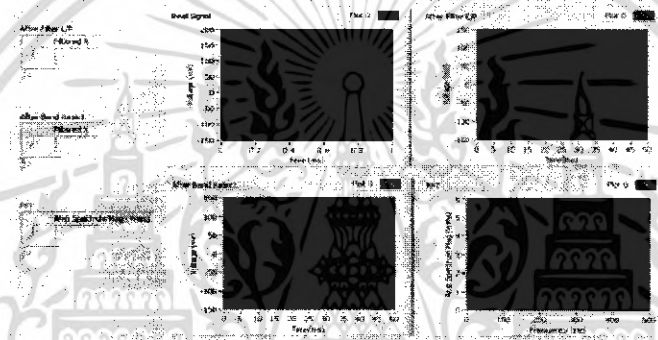
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

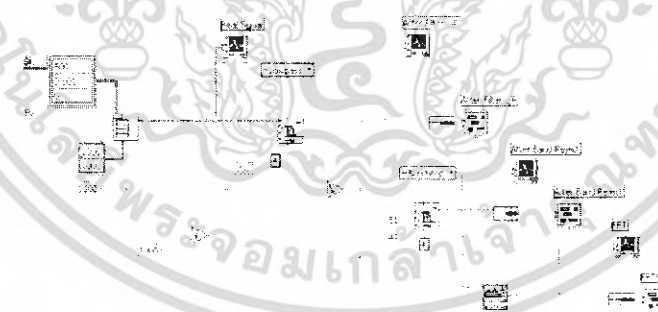
## บทที่ 3

### LabVIEW

LabVIEW คือ เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา Application (โปรแกรมประยุกต์) ชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับ Visual Basic, Visual C++ แต่จะเป็นการเขียนโปรแกรมโดยใช้รูปในการพัฒนา (Graphical-based Programming) ซึ่งจะแตกต่างจากแนวคิด Text based Programming เช่น Text-based จะทำงานจากบนลงล่าง แต่ LabVIEW จะทำงานแบบ Dataflow



(a)



(b)

รูปที่ 3.1.

(a) Front Panel

(b) Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก 62529 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LabVIEW สามารถเขียนเป็นสมการต่างๆ ที่ซับซ้อนได้เหมือน Text-Based เช่น ภาษา C โดยใช้ Formula Node และ LabVIEW การทำงานจะเน้นทางการติดต่อกับเครื่องมือหรือทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ที่ใช้สัญญาณทางกายภาพต่างๆและ นอกจากนั้นสามารถนำประโยชน์จาก Computer Technology และ Network Technology มาประยุกต์ใช้งาน เช่น เก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูล (Database) หรือส่งผ่านข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต ทำให้ในหลายอุตสาหกรรมได้นำเอา LabVIEW มาประยุกต์ใช้งานกับงานควบคุมและอัตโนมัติ (Automation)

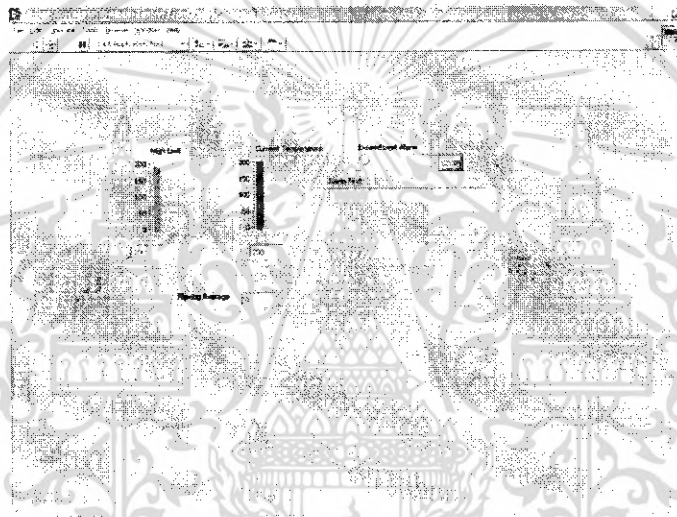
ระยะแรกผู้ใช้จะไม่คุ้นเคยกับโปรแกรมแบบรูปภาพ (Graphical-based)แต่เมื่อคุ้นเคยกับการพัฒนา Application แบบรูปภาพแล้วจะรู้สึกด้วยตนเองว่าเป็นการพัฒนา Application ที่เร็วและสนุก ถึงแม้ว่าการเขียนโปรแกรมโดยใช้ LabVIEW จะเข้าใจง่าย อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้โปรแกรม LabVIEW ต้องมีการเรียนรู้ถึงวิธีการเขียนเช่นเดียวกับภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมอื่นๆจึงจะสามารถพัฒนา Application ได้เร็วและมีประสิทธิภาพ ดังนั้นพื้นฐานการเขียนโปรแกรม LabVIEW จึงเป็นสิ่งสำคัญ ถ้าไม่รู้พื้นฐานที่ติดตั้งแต่แรกจะทำให้เสียเวลามาก

LabVIEW เป็นโปรแกรมที่สามารถนำไปใช้งานทางด้านอุตสาหกรรม และนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เช่น

- ทดสอบอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์และทดสอบแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในคอมพิวเตอร์
- ควบคุมการเคลื่อนไหวของเซอร์โว (servo) และ Stepper motor
- ควบคุมกระบวนการทำไอศกรีม
- ตรวจสอบการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรเจนบน Space Shuttle
- จำลองระบบกำลังต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ หาคุณภาพของระบบกำลังนั้น

### 3.1 ที่มาของ LabVIEW

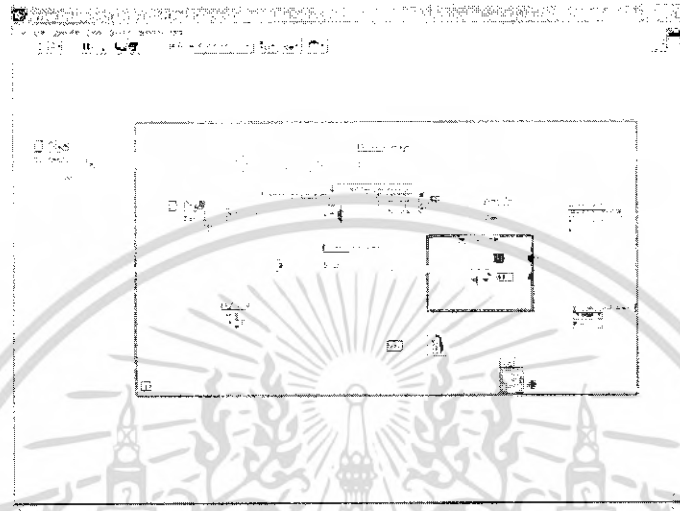
LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ LabVIEW จะเรียกว่า Virtual Instrument หรือเรียกย่อๆ ว่า VI ซึ่งหมายถึงเครื่องมือวัดเสมือน ดังตัวอย่างจากรูปนี้เป็นการวัดอุณหภูมิแล้วนำอุณหภูมิที่ได้มาแสดงผลที่หน้าจอกอมพิวเตอร์โดยมี LED แสดงการเตือน และมี Alarm Text แสดงการเตือนเป็นข้อมูลคั่วหนังสือ



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการวัดอุณหภูมิและนำอุณหภูมิที่ได้มาแสดงที่หน้าจอกอมพิวเตอร์

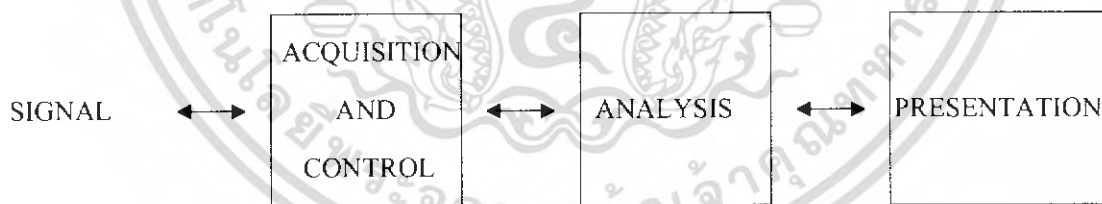
LabVIEW จะมี Front Panel ซึ่งเปรียบเสมือนได้กับสิ่งที่ผู้ใช้เห็นและควบคุมการทำงาน ผู้ใช้สามารถสร้างรูปแบบขึ้นเองได้อย่างรวดเร็วเพราะ LabVIEW มีส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้สำหรับออกแบบหน้าจอกอมพิวเตอร์มากมาย เช่น จอแสดงผลแบบออสซิลโลสโคป, ปุ่มหมุน และ สวิตช์ เป็นต้น โดย LabVIEW จะแสดงผลและควบคุมการทำงานผ่านหน้าจอกอมพิวเตอร์

พื้นที่ส่วนที่เขียนโปรแกรมจะเรียกว่า Block Diagram เปรียบเสมือนกับ Hardware ภายในเครื่องมือวัด โดย LabVIEW จะเขียนโปรแกรมโดยอาศัยรูปภาพ



รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างการเขียนโปรแกรม LabVIEW ใน Block Diagram

LabVIEW อาศัยการทำงานของเครื่องมือวัดหรือการวัดคุมทำให้ผู้ใช้สามารถออกแบบรูปแบบโปรแกรมตามที่ใช้ต้องการ หลักการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ใหญ่ๆ คือ



รูปที่ 3.4 แสดง Block Diagram การทำงานของโปรแกรม LabVIEW

1. Acquisition ซึ่งเป็นส่วนที่รับข้อมูล (Input) จากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ระบบในที่นี้คือ คอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่เข้าสู่ระบบนี้อาจจะมาจาก การ์ด DAQ (สำหรับสัญญาณทางไฟฟ้า), การ์ด IMAQ (สำหรับข้อมูลประเภทรูป) หรือ GPIB (สำหรับควบคุมเครื่องมือวัด)

2. หลังจากที่ได้รับข้อมูลแล้วอาจจะผ่านฟังก์ชัน ในการทำการวิเคราะห์ ข้อมูลซึ่งจะแสดงผลในรูปที่สื่อความหมายในสิ่งที่ผู้ใช้งานสามารถนำไป แสดงแทนสื่อที่วัดได้และใช้งานได้
3. Presentation คือ การแสดงผลในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน โดยอาจแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เช่น DMM (Digital Multimeter) แสดงผลเฉพาะสัญญาณที่วัดได้โดยไม่จำเป็นต้องรู้ความสัมพันธ์กับเวลา หรือ Oscilloscope แสดงผลของข้อมูลที่สัมพันธ์กับเวลา หรือ Spectrum Analyzer จะแสดงผลสัญญาณในรูปความถี่หรือการพิมพ์ออกมา เป็นรายงานหรือเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์

### 3.2 การทำงานของ LabVIEW

โปรแกรม LabVIEW เรียกว่า “Virtual Instrument (VIs)” เพราะว่ามันมีรูปร่างและการทำงานเลียนแบบเครื่องมือจริงๆ ซึ่ง VI สามารถแยกได้ 3 ส่วนหลักๆ คือ

1. Front Panel
2. Block Diagram
3. Icon and Connector

#### 3.2.1 Front Panel

Front Panel เป็นการติดต่อกันระหว่างผู้ใช้กับ VI สาเหตุที่ได้ชื่อว่า VI (Virtual Instrument) นั้นเพราะว่าที่หน้าจอนั้นจะเป็นการเลียนแบบรูปของเครื่องมือจริงๆ ขึ้นมาจริงๆ โดย Front Panel นั้นอาจจะประกอบด้วย ลูกบิด ปุ่มกดต่างๆ กราฟและตัวควบคุมต่างๆ (ที่ผู้ใช้กำหนดขึ้นมา) และตัวแสดงผล (ทางด้านเอาต์พุต) เราสามารถใส่ค่าอินพุตต่างๆ โดยการใช้นเมาส์ (Mouse) และ คีย์บอร์ด (keyboard) และเราสามารถสร้างภาพการแสดงผลได้ทางหน้าจอรวมถึงเครื่องมือที่ใช้ในการทำงาน และหน้าต่าง Control ที่ใช้ในการเลือกวัตถุต่างๆขึ้นมาแสดงบนหน้าจอ

#### 3.2.2 Block Diagram

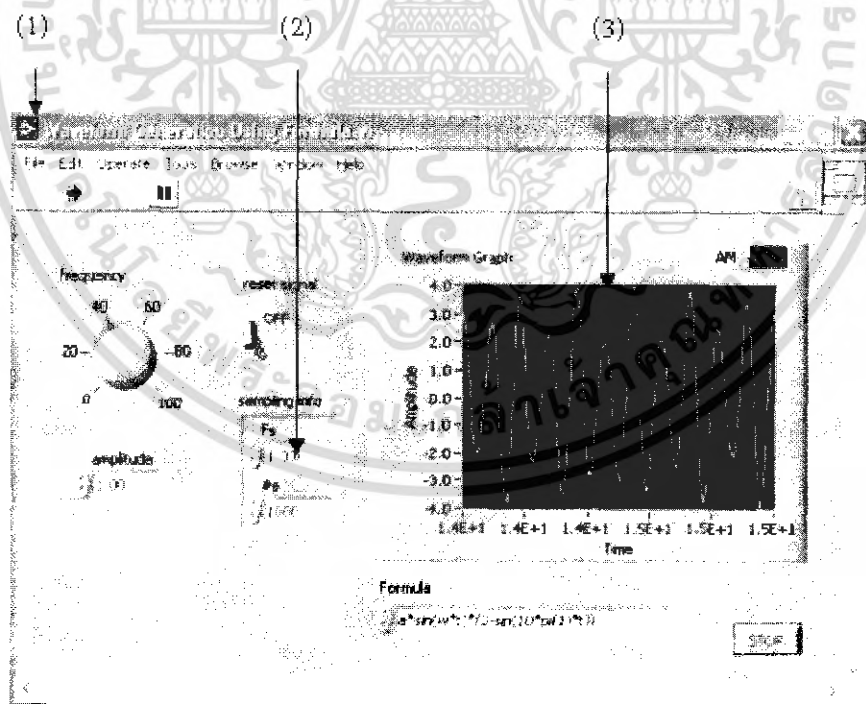
Block Diagram หรือ VIs Source Code ซึ่ง Block Diagram นั้นแม้ว่ามันจะเป็นเพียงรูปภาพแต่มันก็คือ โปรแกรมที่สามารถปฏิบัติงานให้สำเร็จได้จริงๆ ส่วนประกอบของ Block Diagram คือ Icon โครงสร้างภายในของ Function ตัวแทนของ Lower-Level VIs และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมโครงสร้างของ Block Diagram เราใช้ต่อสาย Icon เข้าด้วยกันเพื่อแสดงการไหลของข้อมูลใน Block Diagram รวมถึงเครื่องมือที่ใช้ในการทำงาน และหน้าต่าง Function ที่ใช้ในการเลือกวัตถุต่างๆ ขึ้นมาแสดงบนหน้าจอ

### 3.2.3 Icon and Connector

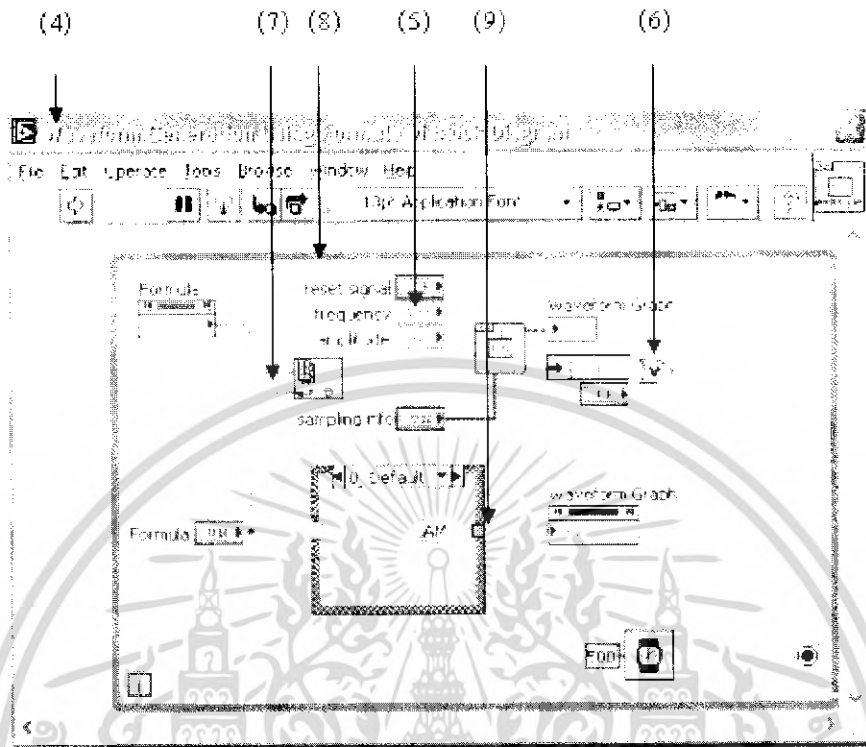
Icon and Connector ของ VI จะยอมให้ VIs อื่นผ่านข้อมูลต่างๆ มายัง VI ซึ่ง Icon จะเป็นตัวที่จะแสดงให้เห็น VI ใน Block Diagram ของ VI โดย VIs ต่างๆ นั้นจะมีความสำคัญเป็นไปตามลำดับและแล้วแต่ว่าจะนำมาต่อใช้งานในแบบใด ซึ่งสามารถนำ VIs ต่างๆ มาใช้งานได้เหมือนกับการนำโปรแกรมสำรองที่อยู่ภายในโปรแกรมอื่นมาใช้งาน หรือการนำโปรแกรมสำรองอื่นๆ ที่อยู่ภายในซึ่งเป็นโปรแกรมระดับเดียวกันออกมาใช้งาน VI ที่ใช้งานภายใน VI อื่นๆ ก็เปรียบเสมือนกับ Subroutine ซึ่งเรียกว่า Sub VI

### 3.3 ส่วนประกอบต่างๆ ของ LabVIEW



(a) Front Panel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) Block Diagram

รูปที่ 3.5 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของโปรแกรม LabVIEW

อธิบายจากรูป (ตามหมายเลข)

1. Front Panel คือส่วนที่จะติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) ซึ่งส่วนนี้จะประกอบด้วย Control หรือ Input (รับข้อมูลจากผู้ใช้) และ Indicator หรือ Output (แสดงผลให้ผู้ใช้งานเห็น)
2. Control คือสิ่งที่ผู้ใช้งานจะป้อนค่าหรือเปลี่ยนค่าได้ ซึ่งก็คือ Input เข้าสู่ระบบในรูปแบบ Numeric Control (ตัวรับข้อมูลแบบตัวเลข)
3. Indicator เป็นสิ่งที่โปรแกรมแสดงออกมาให้ผู้ใช้งานเห็น ซึ่งก็คือ Output ที่ออกมาจากระบบหรือ Application ที่เราพัฒนา ในรูปแบบตัวอย่างของ Numeric Indicator (ตัวแสดงผลแบบตัวอักษร)
4. Block Diagram คือส่วนที่ผู้พัฒนาใช้ในการเขียนโปรแกรม หรือส่วนของ Source Code
5. Terminal จะมีสองแบบ คือ จุดกำเนิด (Source) หรือ (Output Terminal) และจุดรับ (Sink) หรือ (Input Terminal)

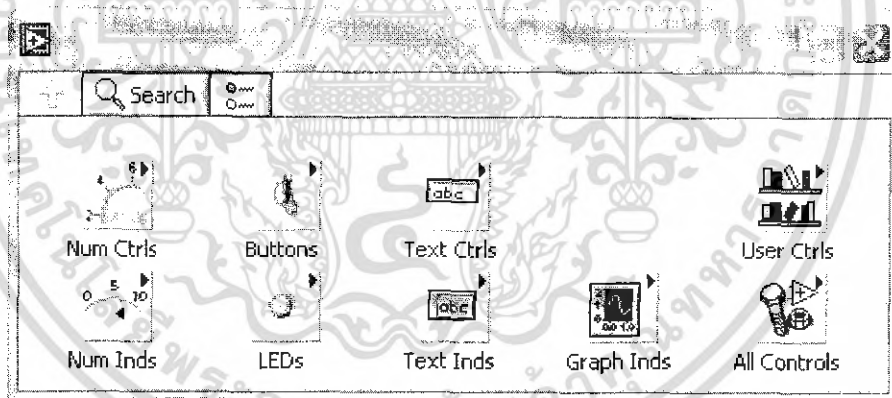
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Icons คือ ส่วนที่มีการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งเมื่อโปรแกรมทำงาน เช่น ฟังก์ชัน ซึ่งเป็นส่วนประกอบพื้นฐานที่มีอยู่แล้วใน LabVIEW ได้แก่ Add, Subtract หรือ Sub Vis ซึ่งจะหมายถึง VI ที่เรียกจาก VI หนึ่ง
7. Wires คือ เส้นทางของข้อมูลที่ส่งผ่านจุดกำเนิดข้อมูล (Source) ไปจุดรับข้อมูล / จุดสิ้นสุด (Sink)
8. Structures คือ ส่วนที่ควบคุมขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม เช่น For Loop
9. Nodes คือ จุดเชื่อมต่อระหว่างข้อมูลกับ SubVI, Function หรือ Structure

### 3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ VI

#### 3.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel

เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel จะใช้ Control Palette และ Tools Palette ที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel

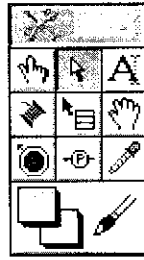


รูปที่ 3.6 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel

ซึ่งเป็นส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) โดยจะจัดเป็นกลุ่มต่างๆ เช่น กลุ่มของตัวเลข (Numeric) ซึ่งภายในกลุ่มจะมี Control และ Indicator ต่างๆ ที่เกี่ยวกับตัวเลข

Tools Palette คือ เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม ซึ่งจะใช้ทั้งการออกแบบ Front Panel และ Block Diagram ในส่วนนี้จะกล่าวถึง Tools Palette สำหรับออกแบบ Front Panel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดง Tool Palette

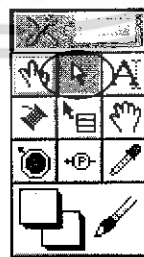
Tools ที่ใช้บ่อยๆ ในการออกแบบ Front Panel

1. Operate Value Tool ใช้เปลี่ยนแปลงค่าของ Controls หรือ Indicators โดยการ Click Operating Tool แล้วเลื่อนไปที่ค่าของ Control หรือ Indicator ที่เราต้องการเปลี่ยนแปลงค่า แล้ว Click เพื่อเปลี่ยนค่า



รูปที่ 3.8 แสดง Operate Value Tool

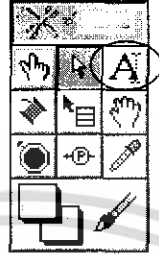
2. Position /Size /Select Tool ใช้สำหรับเลือก (Select) หรือจัดวางตำแหน่ง (Position) ใหม่ หรือการปรับขนาด (Size) ของ Control หรือ Indicator



รูปที่ 3.9 แสดง Position /Size /Select Tool

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Edit Text Tool ใช้ในการแก้ไขข้อความที่เป็นตัวอักษรหรือเพิ่มข้อความลงบน Front Panel



รูปที่ 3.10 แสดง Edit Text Tool

4. Set Color Tool ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสีของสิ่งที่เราต้องการเปลี่ยนสี ซึ่งสามารถเปลี่ยนสีทั้งสีด้านบน (Foreground) ของสิ่งใดๆ และสีพื้น (Blackground) ถ้าสิ่งนั้นมี Blackground



รูปที่ 3.11 แสดง Set Color Tool

Tool อื่นๆที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel มีดังต่อไปนี้

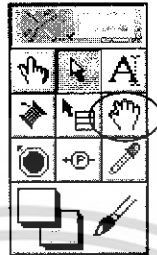
Object Shortcut Menu Tool ใช้สำหรับแสดงและเลือก Menu ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งต่างๆ บน Front Panel และ Block Diagram ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะคลิกขวาแทนการเลือก Tools นี้



รูปที่ 3.12 แสดง Object Shortcut Menu Tool

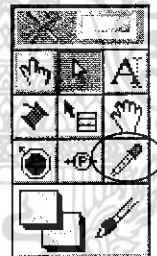
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Scroll Window Tool ใช้สำหรับการเลื่อน (Scroll Window) ทั้ง Front Panel และ Block Diagram



รูปที่ 3.13 แสดง Scroll Window Tool

Get Color เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการคัดลอก (Copy) สีที่เราเลือกจากวัตถุหนึ่งเพื่อที่จะนำไปใช้ในการเปลี่ยนสีของอีกวัตถุหนึ่งให้สีเหมือนกับวัตถุที่เรา Copy สีมา โดยใช้ Color Tool

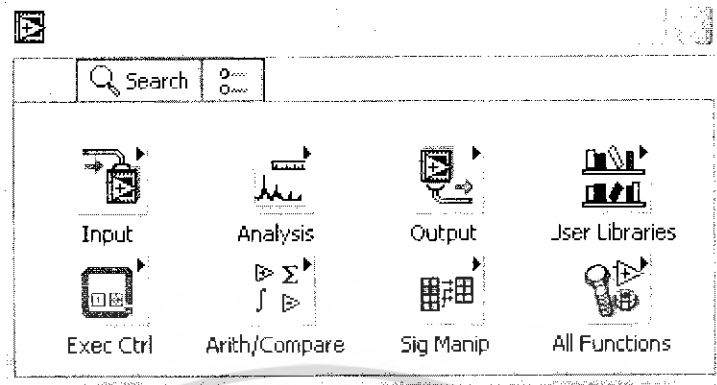


รูปที่ 3.14 แสดง Get Color

### 3.4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมบน Block Diagram

LabVIEW ใช้ Functions Palette ซึ่งจะมี Function และ SubVI ต่างๆ ที่มีอยู่แล้วให้ผู้ใช้เลือกใช้ โดย Function และ SubVI จัดเป็นกลุ่มๆ เช่น Numeric Function จะมี Function ต่างๆ เกี่ยวกับตัวเลข เช่น บวก ลบ คูณ หาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ Block Diagram

### Tools Palette สำหรับ Block Diagram

(1) (2) (3)



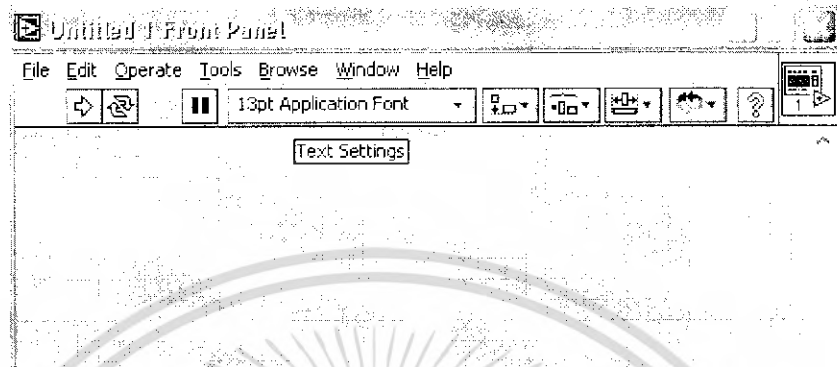
(4)

รูปที่ 3.16 แสดง Tools Palette สำหรับ Block Diagram







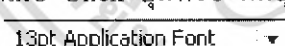





- (1) Operator Tool ใช้ในการเปลี่ยนแปลงค่าหรือเลือกค่าคงที่ใน Block Diagram
- (2) Position /Size /Select ใช้ในการเลือก /เคลื่อนย้าย /จัดขนาดของสิ่งที่สร้างขึ้นบน Block Diagram
- (3) Edit Text Tool ใช้ในการแก้ไขข้อความที่เป็นตัวอักษร หรือเพิ่มข้อความลงบน Front Panel
- (4) Wiring Tool ใช้ในการโยงสาย (Wiring) ระหว่าง Terminal หรือ Node ซึ่งสายที่โยงนี้จะป็นทางเดินของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Front Panel Toolbar



รูปที่ 3.17 แสดง Front Panel Toolbar

-  โปรแกรมสามารถ Run ได้เมื่อ Click ปุ่มนี้บน Toolbar
-  โปรแกรมกำลัง Run อยู่
-  โปรแกรมสามารถ Run แบบต่อเนื่อง (Continuous) เมื่อ Click ปุ่มนี้
-  กำลัง Run อย่างต่อเนื่องจนกระทั่ง Click ปุ่ม Stop
-  เมื่อโปรแกรมกำลัง Run อยู่สามารถหยุดการทำงานโปรแกรมโดยการ Click ปุ่ม Stop
-  หยุดชั่วคราว เพื่อตรวจสอบการทำงานของโปรแกรม ซึ่งสามารถ Run ต่อไปได้เมื่อ Click ปุ่มหรือ กดปุ่ม อีกครั้ง
-  13pt Application Font เลือกหรือแก้ไขรูปแบบตัวอักษรที่ต้องการ
-  จัดแนวของสิ่งต่างๆ (Objects)
-  จัดระยะทางระหว่างสิ่งต่างๆ (Objects)
-  ปรับขนาดสิ่งต่างๆ ที่อยู่บน Front Panel หลายๆ สิ่งที่ซ้อนกัน
-  จัดลำดับ Objects ที่วางซ้อนกัน
-  แสดง Context Help

### 3.5 การนำโปรแกรม LabVIEW มาประยุกต์ใช้ในโครงการนี้

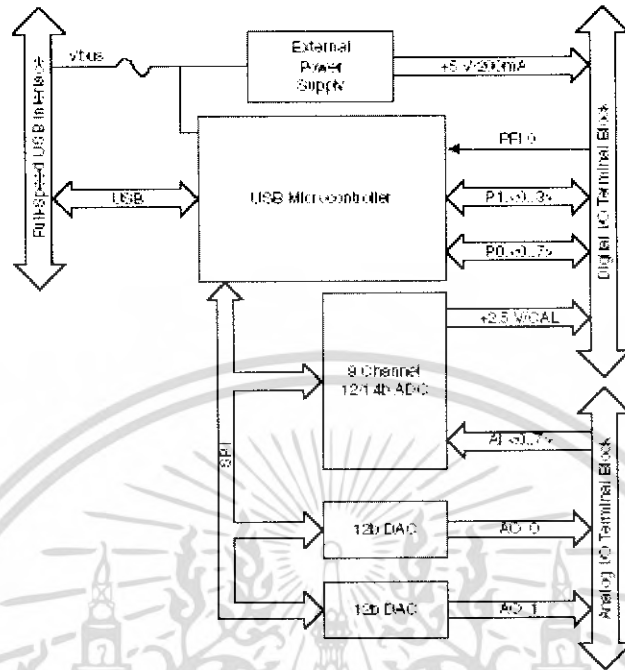
จากที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นว่าโปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมภาษาภาพและสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ในหลายๆ ด้านในส่วนของกรออกแบบวงจรกรองความถี่เองก็เช่นเดียวกัน โปรแกรม LabVIEW สร้างขึ้นมาได้ด้วย Function ต่างๆ ที่มีอยู่ใน Block Diagram Window เนื่องจากสัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื่อนั้นอยู่ในช่วงความถี่ที่ 0-500 Hz ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องสร้างวงจรกรองความถี่ต่ำในช่วง 0-500 Hz และอีกตัวที่มีความสำคัญคือ ตัวกรองความถี่ที่ 50 Hz ที่มีความจำเป็นต้องสร้างเป็นเพราะว่าไฟฟ้าที่เดินตามสายไฟฟ้าในประเทศไทยนั้นเป็นไฟฟ้าที่มีความถี่มีความถี่อยู่ที่ 50 Hz ซึ่งมีผลรบกวนต่อสัญญาณที่ได้จากไฟฟ้ากล่อมเนื่อนี้ ดังนั้นจึงต้องกรองความถี่ 50 Hz เพื่อลดสัญญาณรบกวน

#### 3.5.1 Function การนำสัญญาณเข้าสู่โปรแกรม

การนำสัญญาณเข้าสู่คอมพิวเตอร์นั้นจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ Hardware คือการ์ด USB-6008 ซึ่งมีขนาดเล็กและสามารถพกพาได้สะดวก สำหรับการ์ด USB-6008 ต้องใช้ Software คือ NI-DAQmx Base

โดยที่ตัว USB-6008 นั้นต่อเข้ากับ Port USB ได้โดยตรง เพื่อใช้ในการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และระบบสัญญาณภายนอก ทั้งการนำสัญญาณเข้าและออกจากคอมพิวเตอร์ USB-6008 นั้นสามารถรับสัญญาณเข้า Input ได้ทั้งอนาล็อก (Analog) และดิจิทัล (Digital) สัญญาณเอาท์พุทก็เช่นกันสามารถรับได้ทั้งอนาล็อก (Analog) และดิจิทัล (Digital) โดยที่สัญญาณอนาล็อกอินพุทมีทั้งหมด 8 channel คือ AI0-AI7 อนาล็อกเอาท์พุทมี 2 channel คือ AO0-AO1 Port ดิจิตอลสามารถเป็นได้ทั้งอินพุทและเอาท์พุทมีทั้งหมด 12 channel คือ P1.0-P1.3 และ P0.0-P0.7

NI-DAQmx Base Driver Software เป็นซอฟต์แวร์ระดับสูงที่ใช้ในการทำงานร่วม USB-6008 ซึ่งเป็นเครื่องมือที่เตรียมการเขียนข้อมูลเข้าสู่ช่องทางเข้าแบบอนาล็อก AI0-AI7

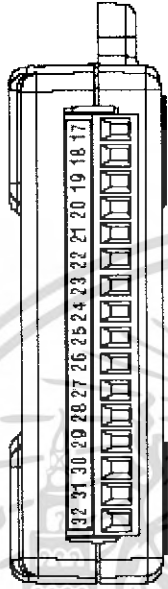


รูปที่ 3.18 แสดง Block Diagram ของ USB-6008/6009

Module	Terminal	Signal, Single-Ended Mode	Signal, Differential Mode
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AO 0	AO 0
	15	AO 1	AO 1
	16	GND	GND

รูปที่ 3.19 แสดงช่องสัญญาณต่างๆ ของอนาส็อกอินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Module	Terminal	Signal
	17	P0.0
	18	P0.1
	19	P0.2
	20	P0.3
	21	P0.4
	22	P0.5
	23	P0.6
	24	P0.7
	25	P1.0
	26	P1.1
	27	P1.2
	28	P1.3
	29	P1.0
	30	+2.5 V
	31	+5 V
	32	GND

รูปที่ 3.20 แสดงช่องสัญญาณต่างๆ ของอนาล็อกเอาต์พุต

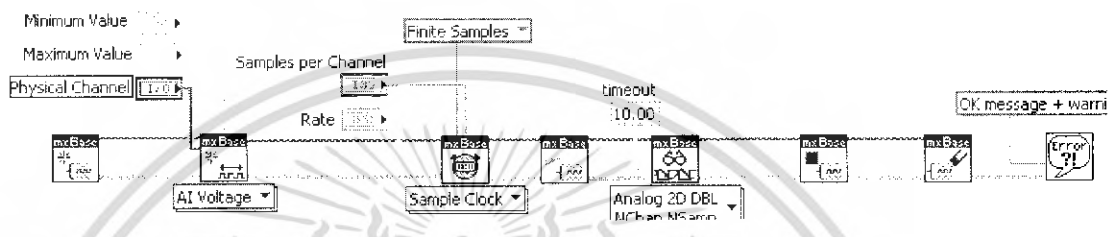
หลังจากการที่ทำการต่อ Hardware เข้าสู่คอมพิวเตอร์ที่เหลือก็ทำการเขียน โปรแกรม ภาพ LabVIEW ภายในส่วนของ Block Diagram โดยสามารถแบ่งออกเป็นภาคใหญ่ๆ ดังนี้

1. ภาครับสัญญาณไฟฟ้ากลับเนื่อจากการ์ด USB-6008
2. ภาคกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)
3. ภาค Band Reject 50 Hz
4. ภาค Spectrum Analysis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ภาครับสัญญาณไฟฟ้ากล้ำมเนื่องจากการ์ด USB-6008

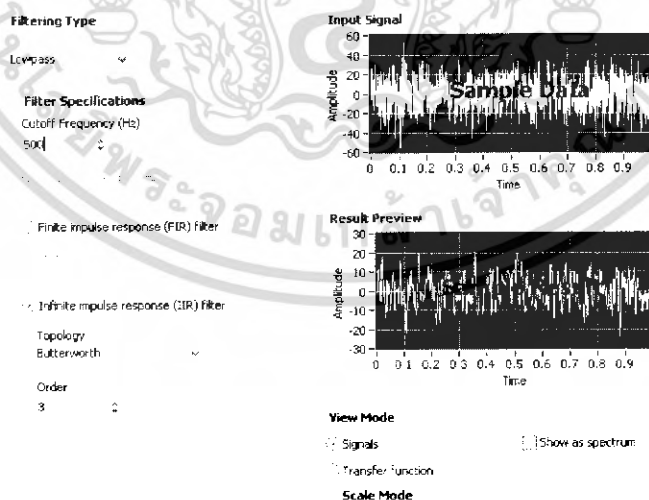
ภาคนี้เป็นการเขียน โปรแกรมเพื่อให้สามารถนำสัญญาณไฟฟ้ากล้ำมเนื่องจากการ์ด USB-6008 เข้าคอมพิวเตอร์ได้ และเมื่อนำสัญญาณเข้ามาแล้วก็จะมีการสุ่มสัญญาณ (sampling)เพื่อที่จะได้สัญญาณที่เหมือนกับสัญญาณที่แท้จริงมากที่สุด



รูปที่ 3.21 แสดงภาครับสัญญาณจากการ์ด DAQ

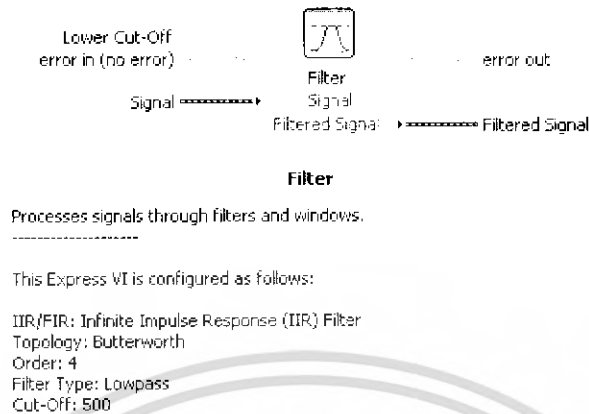
### 3.5.2 ภาครองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)

เป็นภาคที่ทำหน้าที่กรองความถี่ต่ำผ่าน เหตุที่มีภาคนี้เนื่องจากว่าสัญญาณไฟฟ้ากล้ำมเนื้อในร่างกายเรานั้นมีความถี่ที่ 0-500 Hz ดังนั้นความถี่ที่สูงกว่านี้จึงเป็นสัญญาณรบกวนที่ต้องกำจัดออกไป



รูปที่ 3.22 แสดงการกำหนดค่าภาครองความถี่ต่ำผ่าน

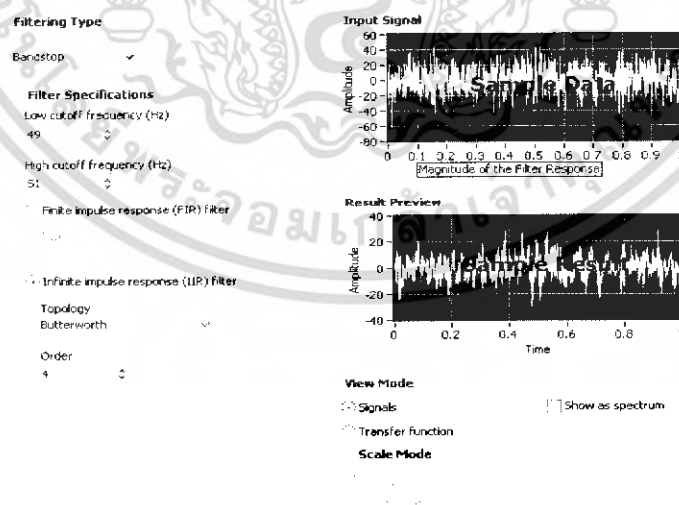
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 แสดงรูปแบบการทำงานของ Low Pass Filter ชนิด Butterworth Filter

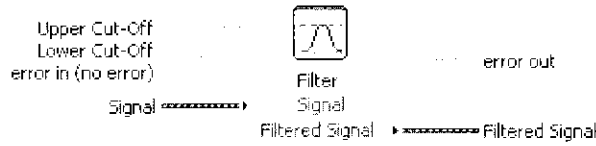
### 3.5.3 ภาค Band Reject 50 Hz

เป็นภาคที่ทำหน้าที่ตัดความถี่ที่ 50 Hz เนื่องจากว่าในวงจร Instrument Amplifier ของเรานั้นจะมีสัญญาณความถี่ 50 Hz เข้ามารบกวน สัญญาณ 50 Hz นี้เกิดขึ้นเนื่องจากไฟฟ้าในประเทศไทยได้ใช้ไฟฟ้าแรงดัน 220 โวลต์ ความถี่ 50 Hz ซึ่งความถี่นี้เองที่จะเข้าไปรบกวนสัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อในวงจรของเรา ดังนั้นเราจึงต้องทำการกำจัดออกโดยใช้ Sub VI ที่คล้ายกับ Low Pass filter เพียงแต่นำมาเปลี่ยนเป็น Bandstop แทนและเปลี่ยน Low cutoff เป็น 49 Hz และ High cutoff เป็น 51 Hz ส่วนอื่นนั้นใช้หลักการเดียวกัน



รูปที่ 3.24 แสดงการกำหนดค่าของภาค Band Reject 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



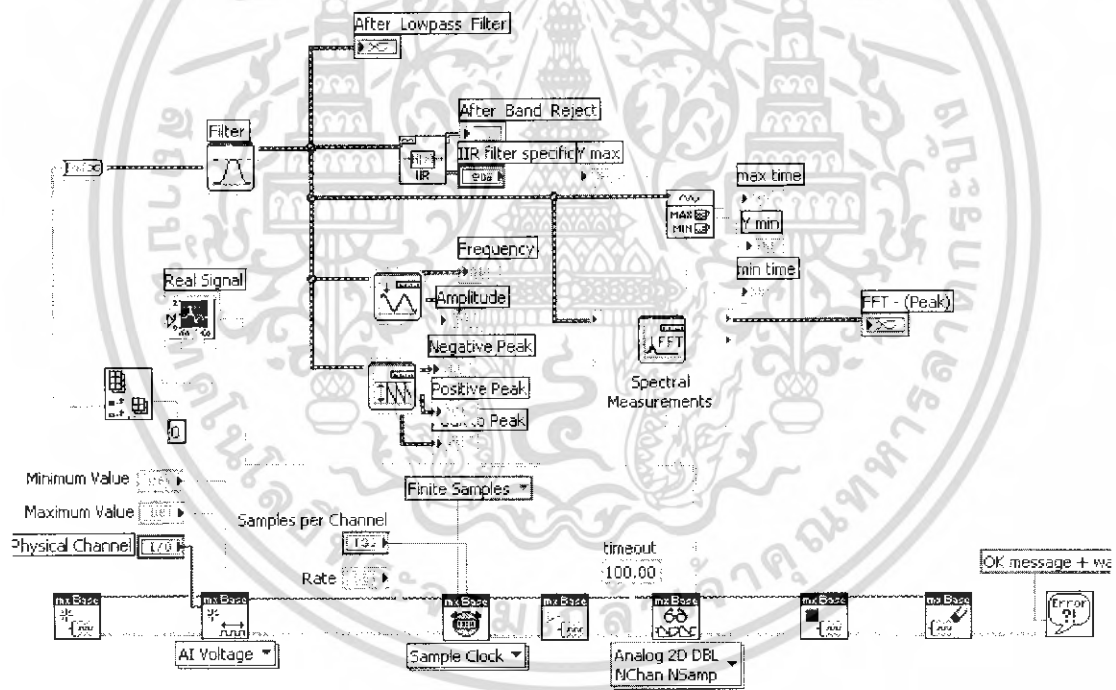
**Filter**

Processes signals through filters and windows.

This Express VI is configured as follows:

IIR/FIR: Infinite Impulse Response (IIR) Filter  
 Topology: Butterworth  
 Order: 4  
 Filter Type: Bandstop  
 Upper Cut-Off: 51  
 Lower Cut-Off: 49

รูปที่ 3.25 แสดงรูปแบบการทำงานของ Band Reject ชนิด Butterworth Filter



รูปที่ 3.26 แสดง Block Diagram ของภาคแสดงผลสัญญาณไฟฟ้ากลั่นเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

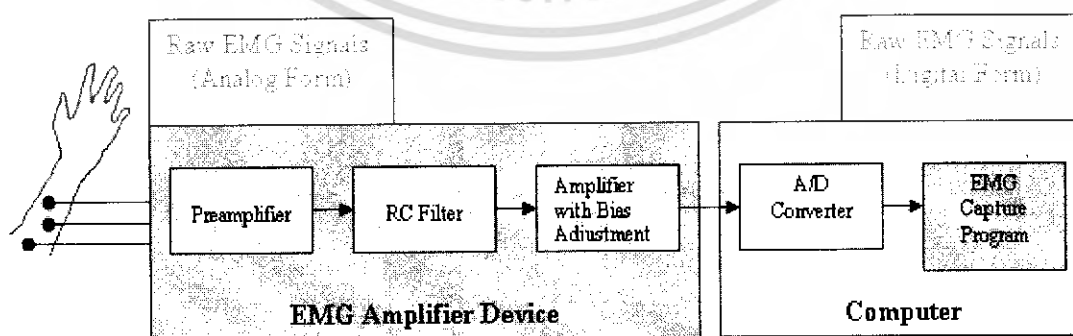
#### บทที่ 4

### ทฤษฎีการออกแบบและสร้างเครื่องแสดงคลื่นสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

ในบทนี้จะอธิบายถึงการออกแบบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นส่วนที่มีความจำเป็นมาก เนื่องจากต้องนำสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้ไปใช้ในการสร้างสัญญาณที่จะใช้ในการควบคุมแขนกล ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดควรมีความสามารถในการจับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากอิเล็กโทรดได้เป็นอย่างดี โดยวงจรที่ใช้ในการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจะประกอบด้วย อิเล็กโทรด, ภาควัด Preamplifier , กรองความถี่ , และภาคขยายกับ Bias Adjustment ในการแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์จะใช้การ์ด DAQ USB 6008 ในการแปลงสัญญาณ A/D (แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล) โดยมีการกำหนดสัญญาณที่เข้าสู่การ์ด DAQ จะต้องไม่เกิน +10 โวลต์ และ -10 โวลต์

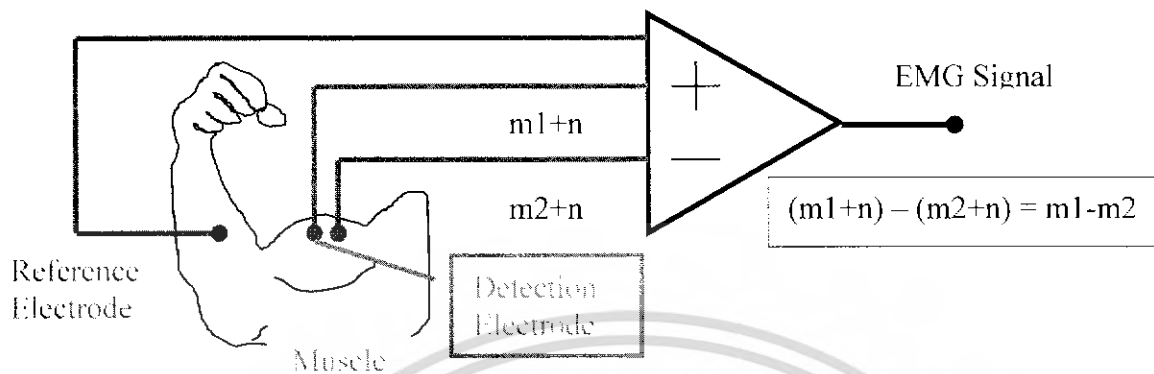
ในรูปที่ 4.1 จะแสดงขั้นตอนของการวัดสัญญาณ เมื่ออิเล็กโทรดสัมผัสกับกล้ามเนื้อ จะทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ต่อจากนั้นภาค Preamplifier จะทำการขยายสัญญาณให้มีสัญญาณที่เพียงพอที่จะป้องกันสัญญาณรบกวน ดังนั้นภาค Preamplifier จึงเป็นภาคที่ทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวนด้วย หลังจากนั้นจะเป็นภาคขยายทำหน้าที่ขยายสัญญาณและปรับ Bias Adjustment ซึ่งภาค Bias Adjustment เป็นส่วนที่ใช้ในการปรับระดับของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ เนื่องจากว่าสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้นั้น ในแต่ละจุดจะมีระดับสัญญาณที่แตกต่างกันออกไป ในส่วนสุดท้ายจะทำการส่งสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเข้าสู่โปรแกรม LabVIEW เพื่อทำการวิเคราะห์สัญญาณซึ่งจะใช้การ์ด DAQ USB 6008 ในการรับสัญญาณ

เมื่อทำการทดลองอิเล็กโทรดจะถูกนำมาวางที่บริเวณกล้ามเนื้อ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 อุปกรณ์ EMG Amplifier จะถูกวางไว้บริเวณกล้ามเนื้อ Forearm



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ตำแหน่งของอิเล็กโทรดที่วางบนกล้ามเนื้อ

#### 4.1 อิเล็กโทรด

EMG Amplifier ออกแบบมาเพื่อใช้กับ Surface electrode ซึ่งอิเล็กโทรดเป็นชนิดไบโพลาร์ ปัญหาที่เกิดจาก Surface electrode คือเมื่อเราขยับแขนจะทำให้การสัมผัสของอิเล็กโทรดขยับตามได้ด้วยทำให้อาจเกิดสัญญาณรบกวนได้ อีกประการหนึ่งคือเนื่องจากว่าอิเล็กโทรดมีความต้านทานสูงจึงสามารถที่จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนจากความร้อน เพื่อหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนดังกล่าว จึงควรที่จะเลือกอิเล็กโทรดที่สามารถยึดติดกับผิวหนังได้เป็นอย่างดี

#### 4.2 ภาค Preamplifier

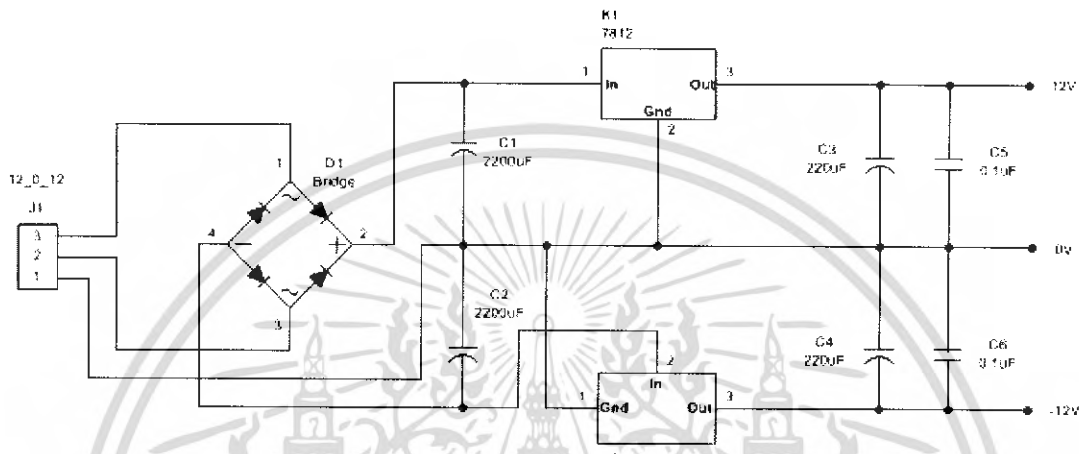
เนื่องจากว่าสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อนั้นเป็นสัญญาณขนาดเล็กที่คอมพิวเตอร์ไม่สามารถจะอ่านได้ ในขณะที่สัญญาณมีขนาดระหว่าง 0 – 10 มิลลิโวลต์ (peak to peak) หรือ 0 – 1.5 มิลลิโวลต์ (rms) และสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อมีความถี่อยู่ระหว่าง 50 – 150 เฮิรต ดังนั้นเราจำเป็นต้องขยายสัญญาณให้สูงขึ้นโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเฟสหรือความถี่ของสัญญาณ ในส่วนของ Preamplifier นั้นจะใช้เป็นวงจรขยายแบบขยายความแตกต่างของสัญญาณ ซึ่งมี 2 อินพุต คือ อินพุตบวกและอินพุตลบ โดยวงจรขยายความแตกต่างจะนำอินพุตทั้งสองมาลบกันแล้วขยายสัญญาณที่มีความแตกต่างกัน

เพื่อให้ได้ระดับของสัญญาณอินพุตที่ถูกต้องจำเป็นต้องมีวงจร Body reference ซึ่งทำงานโดยการป้อนกลับสัญญาณจากอินพุต เมื่อไหร่ก็ตามที่อุณหภูมิของร่างกายมีการเปลี่ยนแปลงหรือสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมไปจนถึงการนำเข้าสู่สัญญาณรบกวนจากร่างกาย body reference นี้จะช่วยรักษาระดับของสัญญาณไว้ให้ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1 วงจร Power Supply

วงจร Power Supply เป็นส่วนที่มีความสำคัญมากวงจรหนึ่ง โดยวงจรเพาเวอร์ซัพพลายที่สร้างขึ้นนี้ต้องการเอาท์พุทมีค่าเท่ากับ + 12 โวลต์ และ - 12 โวลต์ ซึ่งวงจรมีลักษณะดังต่อไปนี้

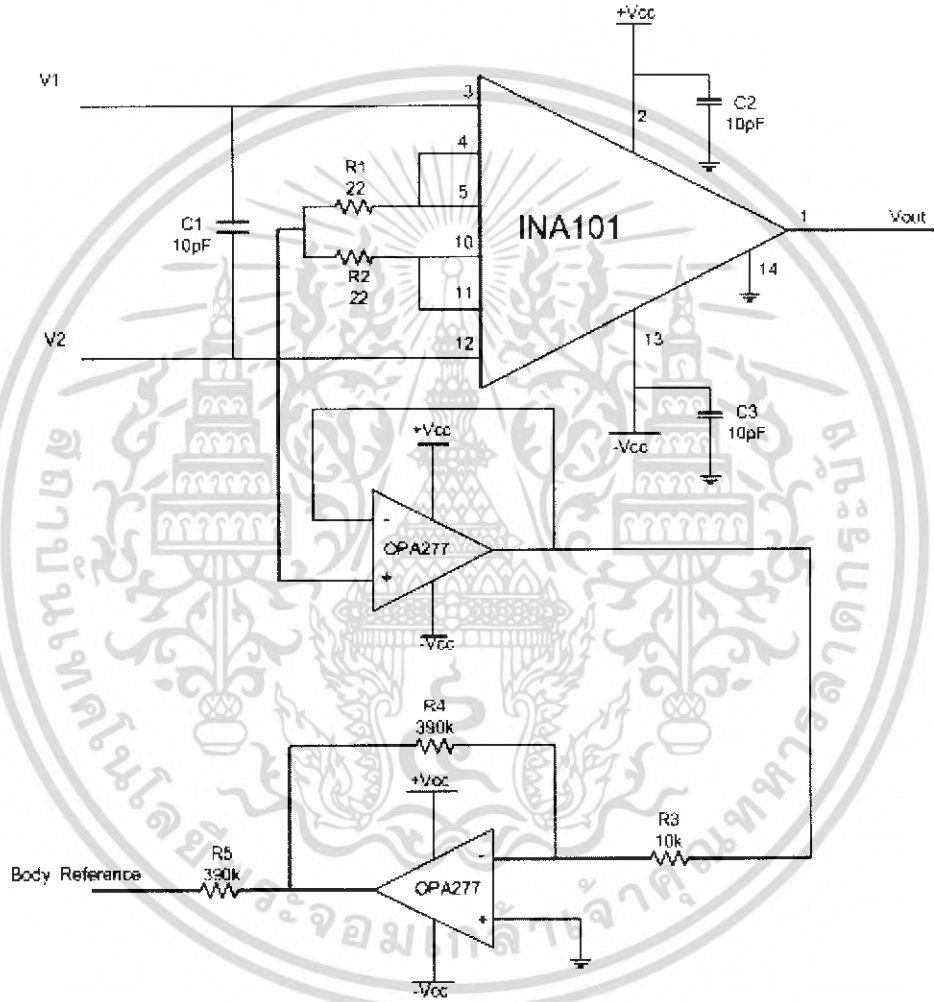


รูปที่ 4.3 วงจร Power Supply  $\pm 12V$

จากรูปที่ 4.3 แสดงวงจร Power Supply ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้คือ หม้อแปลงทำหน้าที่แปลงไฟ 220 โวลต์ เป็น 12-0-12 โวลต์ จากนั้นจะผ่านไดโอดบริดจ์เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยมี C1 และ C2 ทำหน้าที่กรองไฟให้เรียบจากนั้นก็เข้าขา IN ของไอซีเรกูเรต โดยไอซีเบอร์ 7812 ทำหน้าที่เรกูเรตไฟบวกและไอซีเบอร์ 7912 ทำหน้าที่เรกูเรตไฟลบและจะมี C3 และ C4 ทำหน้าที่ป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจจะเกิดขึ้นกับไอซีค่าต่างๆ

4.2.2 วงจร Preampifier and Body reference

การเลือกใช้ op-amp ในวงจรที่ใช้วัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ำมเนื้อควรเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูง เพราะว่ามันจะให้แบนวิดท์ที่สูงยิ่งกว่านั้นยังให้อัตราขยายที่สูง การขยายสัญญาณไฟฟ้ากล้ำมเนื้อนั้นจะใช้ไอซีเบอร์ INA101 สำหรับภาค Preampifier และจะใช้ไอซีเบอร์ OPA277 ในวงจร body reference



รูปที่ 4.4 ภาค preampifier และวงจร body reference

จากรูปที่ 4.4 เป็นการแสดงวงจร preampifier และวงจร body reference ซึ่งภาค preampifier จะมีอัตราการขยายสูงประมาณ 1000 เท่า ซึ่งสมการมีดังต่อไปนี้

$$\text{Gain} = 1 + \frac{40k}{RG} \tag{4.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $RG/2 = R1=R2$  สำหรับ  $Gain = 1000$  สามารถหาค่า  $R1$  และ  $R2$  ได้โดยตรงจากสมการที่ (4.1) ดังนี้

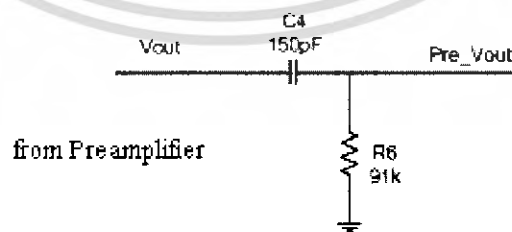
$$\frac{RG}{2} = \frac{1}{2} \times \frac{40k}{(1000-1)} = 20.02$$

หลังจากคำนวณ  $RG/2$  จะได้ค่าประมาณ 20.02 โอห์ม อย่างไรก็ตามค่าความต้านทานที่หาซื้อได้ตามท้องตลาดและมีค่าใกล้เคียงกับที่คำนวณได้นั้นคือความต้านทาน 22 โอห์ม ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่าความต้านทาน  $R1, R2$  ที่มีค่าเท่ากับ 22 โอห์ม ดังแสดงในรูปที่ 4.4 แทน  $RG/2$  ค่าเท่ากับ 22 โอห์ม ในสมการที่(4.1)จะทำให้ได้อัตราการขยายเท่ากับ

$$Gain = 1 + \frac{40k}{2 \times 22} = 910.09$$

#### 4.2.3 วงจรกรองความถี่

วงจรกรองความถี่ซึ่งใช้หลังจากเอาท์พุทของภาค preamplifier ซึ่งใช้ในการป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดจากภาค preamplifier และวงจรกรองความถี่ยังสามารถที่จะลดไฟฟ้ากระแสดร่งไม่ให้เข้าไปยังภาคขยายได้อีกด้วย สัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อ จะอยู่ในย่าน 50 - 150 เฮิรต์ ดังนั้นจึงใช้วงจรกรองความถี่สูง 12 เฮิรต์ เพราะว่าวงจรมีจะไม่กำจัดข้อมูลที่จำเป็นในสัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อ การต่อวงจรกรองความถี่สูง 12 เฮิรต์แสดงดังรูปที่ 4.5 โดยใช้ค่าความต้านทาน 91 กิโลโอห์ม และค่าตัวเก็บประจุ 150 นาโนฟารัด



รูปที่ 4.5 วงจร RC high pass filter ความถี่ 12 เฮิรต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรกรองความถี่สูง 12 เฮิรท์ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$f_{cutoff} = \left( \frac{1}{2\pi \times RC} \right) \quad (4.2)$$

การคำนวณความถี่คัทออฟ ของวงจร RC filter สามารถใช้สมการที่ (4.2) ในการคำนวณโดยเลือกใช้ค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสม โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

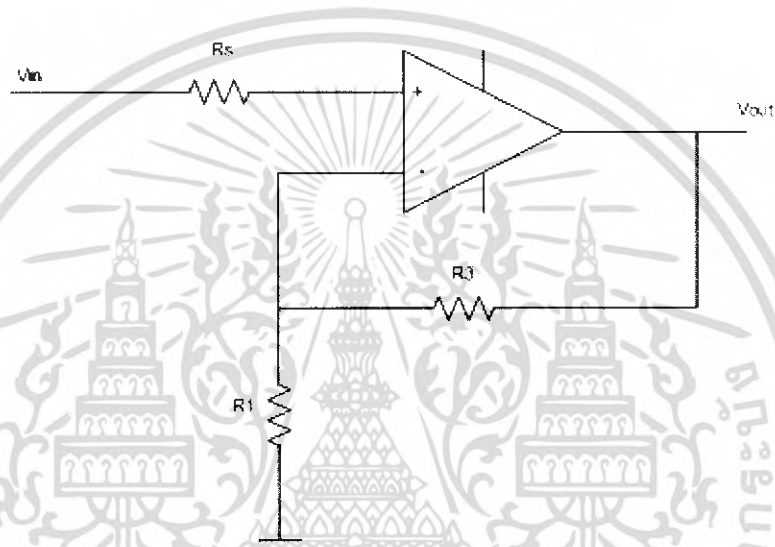
$$\begin{aligned} f(\text{cutoff}) &= \left( \frac{1}{2\pi \times 91k \times 150nF} \right) \\ &= 11.66 \\ &\approx 12 \text{ Hz} \end{aligned}$$

#### 4.3 Gain and Bias Adjustment

เนื่องจากขนาดและระดับของสัญญาณที่ได้จากภาค Preamplifier นั้นมีขนาดของสัญญาณที่เล็กและระดับสัญญาณอาจจะไม่อยู่ที่จุดศูนย์กลางของสโคป ดังนั้นเราจำเป็นต้องมีวงจรขยายสัญญาณและปรับระดับสัญญาณ วงจรปรับระดับสัญญาณสามารถที่จะปรับระดับขึ้นลงได้โดยด้านบวกปรับได้ 12 โวลต์ ด้านลบปรับได้ 12 โวลต์เช่นกัน อย่างไรก็ตามโดยธรรมชาติของออปแอมป์ เอาท์พุทของออปแอมป์ไม่สามารถขยายสัญญาณได้มากกว่าแรงดันเพาเวอร์ซัพพลายได้ เช่น ถ้าจ่าย 2 โวลต์ที่อินพุทให้แก่วงจรขยายที่มีอัตราขยายเท่ากับ 3 เท่า และมีแรงดันออฟเซตเพิ่มขึ้น 2 โวลต์ ดังนั้นเอาท์พุทมีค่าเท่ากับ  $[(2 * 3)+2]$  ถ้าเพาเวอร์ซัพพลายจ่ายแรงดันเท่ากับ +12 โวลต์ และ - 12 โวลต์ เอาท์พุทของออปแอมป์มีค่าเท่ากับ 8 โวลต์ ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ แต่ถ้าเกนการขยายมีค่าเท่ากับ 6 เท่า กับสัญญาณอินพุทค่าเดิม เอาท์พุทที่ได้จะมีค่าเท่ากับ  $[(2 * 6)+2] = 14$  โวลต์ เนื่องจากคุณสมบัติของออปแอมป์จะให้เอาท์พุทได้ไม่เกิน 12 โวลต์ ดังนั้นสัญญาณที่เกินจะถูกขลิบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรปรับอัตราขยายเพื่อให้เอาท์พุทที่ได้มีความเหมาะสม

#### 4.3.1 Amplifier (Gain)

ภาคขยายในวงจรวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ำเนื้อของเรานั้นจะใช้ วงจร non-inverting amplifier โดยอินพุทของวงจรจะรับมาจากภาคกรองความถี่ สามารถปรับอัตราขยายได้ โดยให้ความต้านทานแบบปรับค่าได้ (Potentiometers) ต่อในวงจร อัตราขยายสูงสุดของวงจรอยู่ที่ประมาณ 20 ถึง 21 เท่าตามทฤษฎี



รูปที่ 4.6 วงจร Non – inverting amplifier

จากรูปที่ 4.6 สามารถคำนวณหาแรงดันเอาต์พุทและอัตราขยายได้โดย

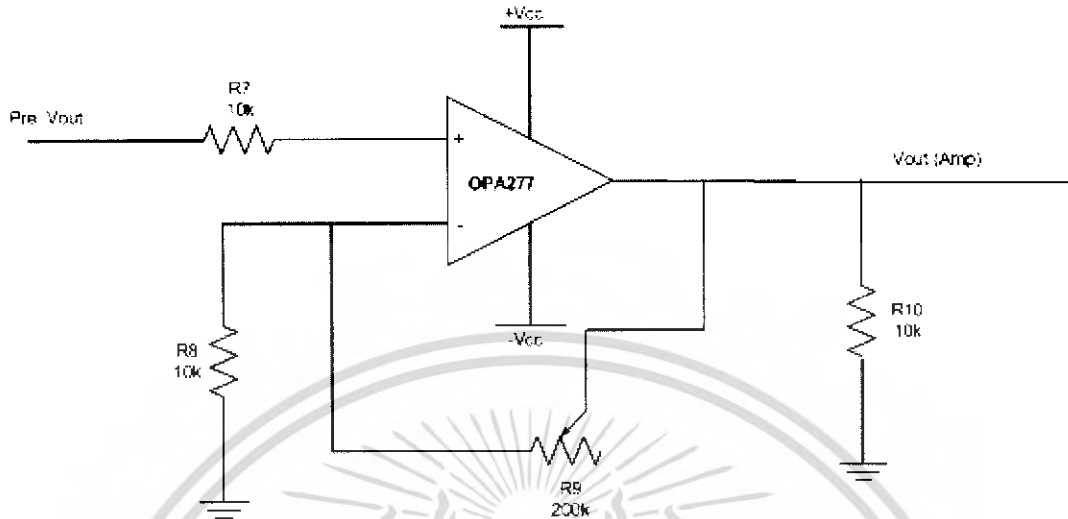
$$V_{out} = V_{in} \left( 1 + \frac{R_3}{R_1} \right) \quad (4.3)$$

$$\text{Gain} = \left( 1 + \frac{R_3}{R_1} \right) \quad (4.4)$$

ตัวต้านทาน  $R_s$  ต่อเพื่อลดค่าความผิดพลาดของแรงดันเอาต์พุท โดยค่า  $R_s$  นั้นโดยปกติจะมีค่าเท่ากับผลรวมของ  $R_1$  และ  $R_3$  ขนานกัน

ในการขยายสัญญาณไฟฟ้ากล้ำเนื้อของเรานั้นจะใช้ไอซีเบอร์ OPA277 มาสร้างเป็น

วงจร noninverting amplifier เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 วงจร Amplifier with gain adjustment

ในรูปที่ 4.7 แสดงวงจรขยาย R7 ต่อเพื่อชดเชยค่าความผิดพลาด ซึ่งมีค่าเท่ากับ R8 ขนานกับ R9 และ R9 เป็นตัวต้านทานที่ใช้ปรับอัตราขยาย ซึ่งอัตราขยายของวงจรสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.4) ดังนี้  
ที่  $R9 = 0$

$$\begin{aligned} \text{Gain} &= \left( 1 + \frac{R9}{R8} \right) \\ &= \left( 1 + \frac{0}{10k} \right) \\ &= 1 \end{aligned}$$

ที่  $R9 = 200 k$

$$\begin{aligned} \text{Gain} &= \left( 1 + \frac{R9}{R8} \right) \\ &= \left( 1 + \frac{200k}{10k} \right) \\ &= 21 \end{aligned}$$

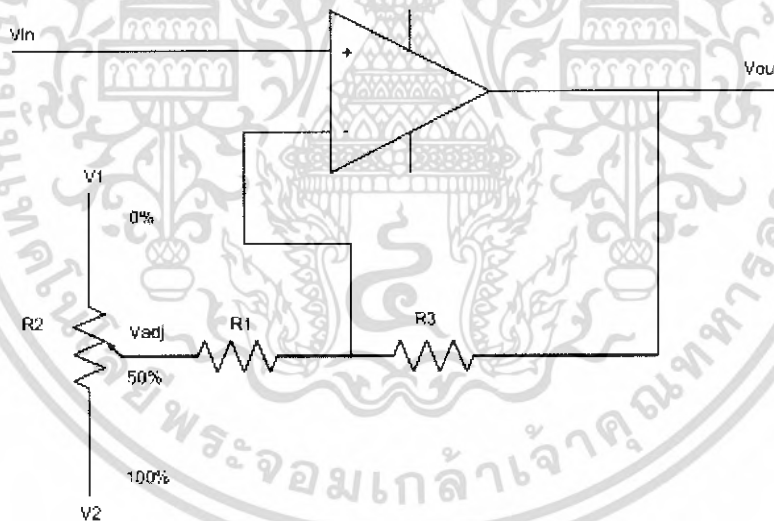
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาค่า R7 ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} R7 &= \frac{R9R8}{R9 + R8} \\ &= \frac{200k \times 10k}{200k + 10k} \\ &\approx 10k \Omega \end{aligned}$$

#### 4.3.2 Bias Adjustment

Bias Adjustment ใช้สำหรับปรับระดับของสัญญาณไฟฟ้ากล้ำเนื้อให้เพิ่มขึ้นหรือลดลง จุดอ้างอิงของสัญญาณจะอยู่ที่กราวด์หรือศูนย์โวลต์ อย่างไรก็ตามถ้าจุดอ้างอิงไม่อยู่ที่กราวด์หรือศูนย์โวลต์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจร Bias Adjustment



รูปที่ 4.8 วงจร Offset adjustment for voltage follower

รูปที่ 4.8 แสดงวงจรที่ใช้ในการปรับระดับสัญญาณไฟฟ้ากล้ำเนื้อ เพื่อความเข้าใจในวงจรสามารถคำนวณเพื่ออธิบายความแตกต่างของ 3 กรณีดังนี้

1. เมื่อ R2 ถูกปรับอยู่ที่ 0 %
2. เมื่อ R2 ถูกปรับอยู่ที่ 50 %
3. เมื่อ R2 ถูกปรับอยู่ที่ 100 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้ง 3 กรณีสามารถใช้สมการที่ (4.5) ในการคำนวณหา  $V_{out}$

$$V_{out} = (V_{in} \times \text{Gain}) + V_{adj} \quad (4.5)$$

ซึ่ง :  $V_1 \leq V_{adj} \leq V_2$

โดยให้  $V_1$  มีค่าเท่ากับ  $+V_{cc}$  และ  $V_2$  มีค่าเท่ากับ  $-V_{cc}$

ในกรณีที่ 1 ที่ 0% ของ  $R_2$  ( $R_2 = 0$  โอห์ม ;  $V_{adj} = +V_{cc}$  โวลต์)

$$\text{Gain} = 1 + \frac{R_3}{R_1}$$

$$V_{out} = V_{in} \left( 1 + \frac{R_3}{R_1} \right) + V_{cc}$$

ในกรณีที่ 2 ที่ 50% ของ  $R_2$  ( $R_2 = \frac{R_2}{2}$  โอห์ม ;  $V_{adj} = 0$  โวลต์)

$$\text{Gain} = 1 + \frac{R_3}{R_1 + \frac{R_2}{2}}$$

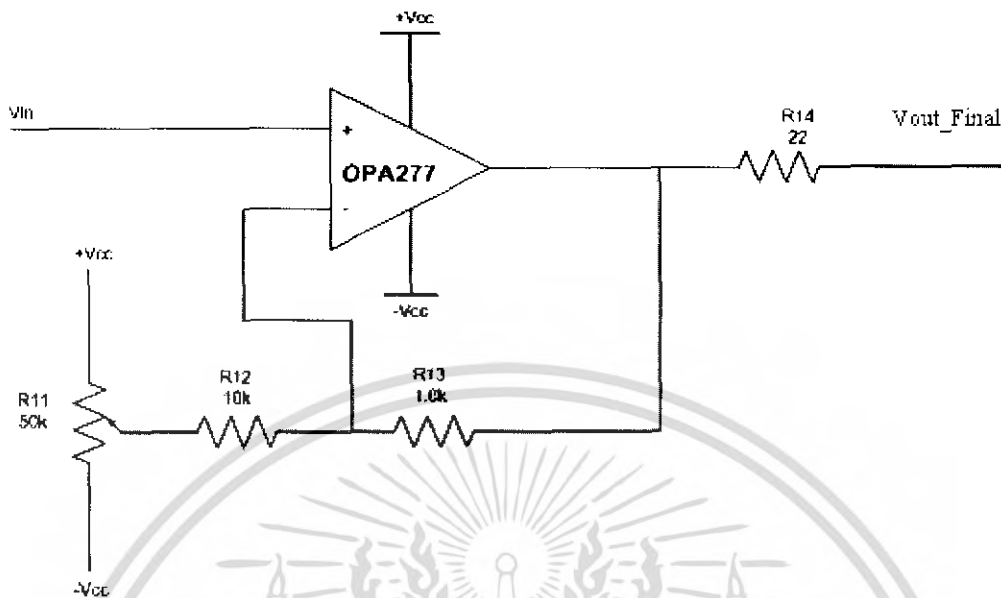
$$V_{out} = V_{in} \left( 1 + \frac{R_3}{R_1 + \frac{R_2}{2}} \right)$$

ในกรณีที่ 3 ที่ 100% ของ  $R_2$  ( $R_2 = R_2$  โอห์ม ;  $V_{adj} = -V_{cc}$  โวลต์)

$$\text{Gain} = 1 + \frac{R_3}{R_1 + R_2}$$

$$V_{out} = V_{in} \left( 1 + \frac{R_3}{R_1 + R_2} \right) - V_{cc}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

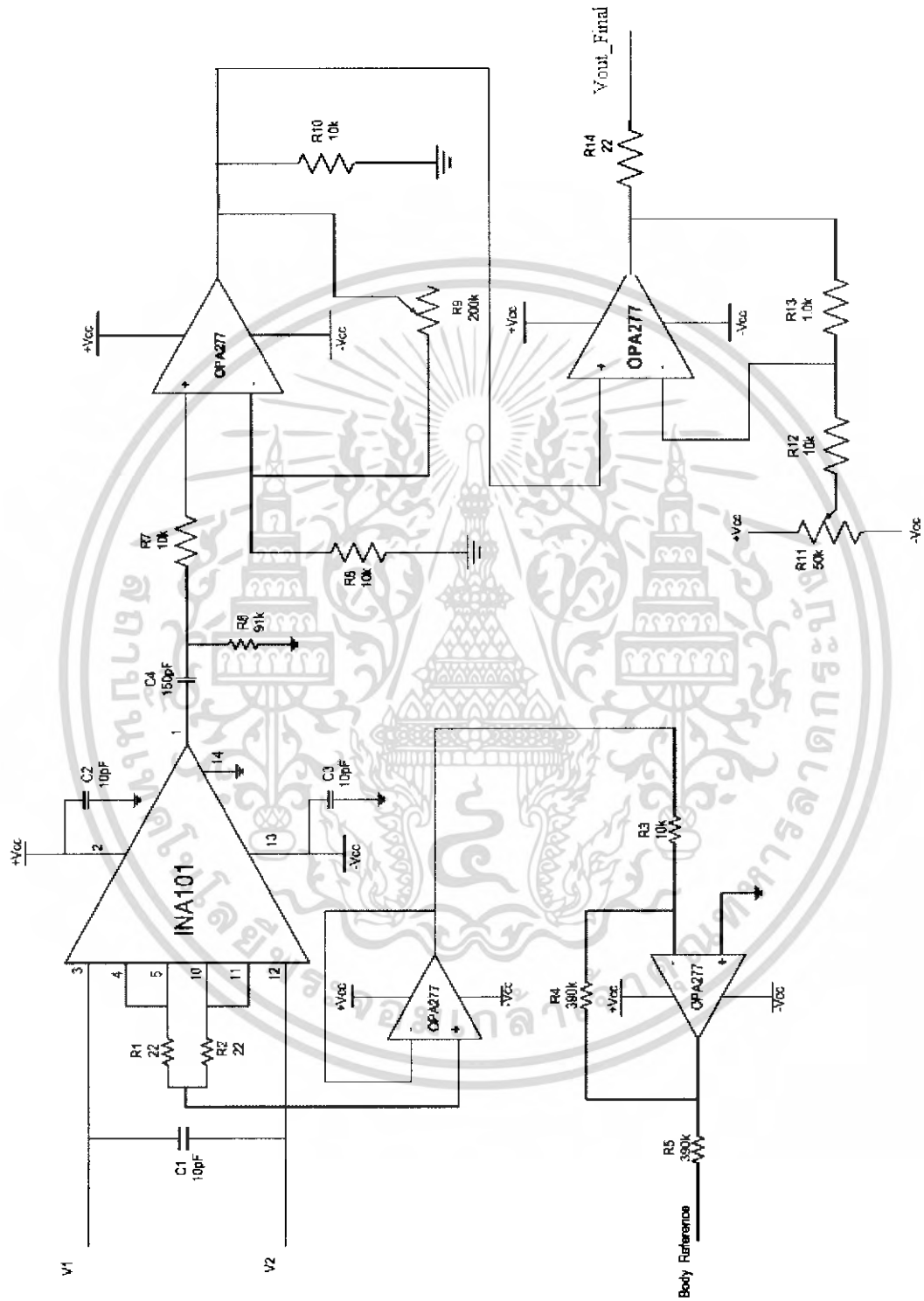


รูปที่ 4.9 วงจร Bias Adjustment

ในรูปที่ 4.9 แสดงรูปวงจร Bias Adjustment ซึ่งค่าของ  $V_{out\_final}$  นั้นจะมีค่าคงสมการดังต่อไปนี้

$$V_{out\_final} = V_{out} (Amp) \pm 12 V$$

R14 ต่อไว้เพื่อป้องกันการลัดวงจร ในกรณีของเอาต์พุตของวงจรเกิดการลัดวงจรลงกราวด์ ถ้าสถานการณ์นี้เกิดขึ้นโดยไม่มี R14 วงจรอาจจะเกิดการเสียหายได้ ค่าความต้านทาน R14 จะมีค่าที่ต่ำเพื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่านไปได้อย่างง่ายดาย โดยในวงจรนี้เลือกใช้ R14 = 22 โอห์ม



รูปที่ 4.10 วงจรที่ใช้ตัวสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ขั้นตอนการควบคุมแขนกล

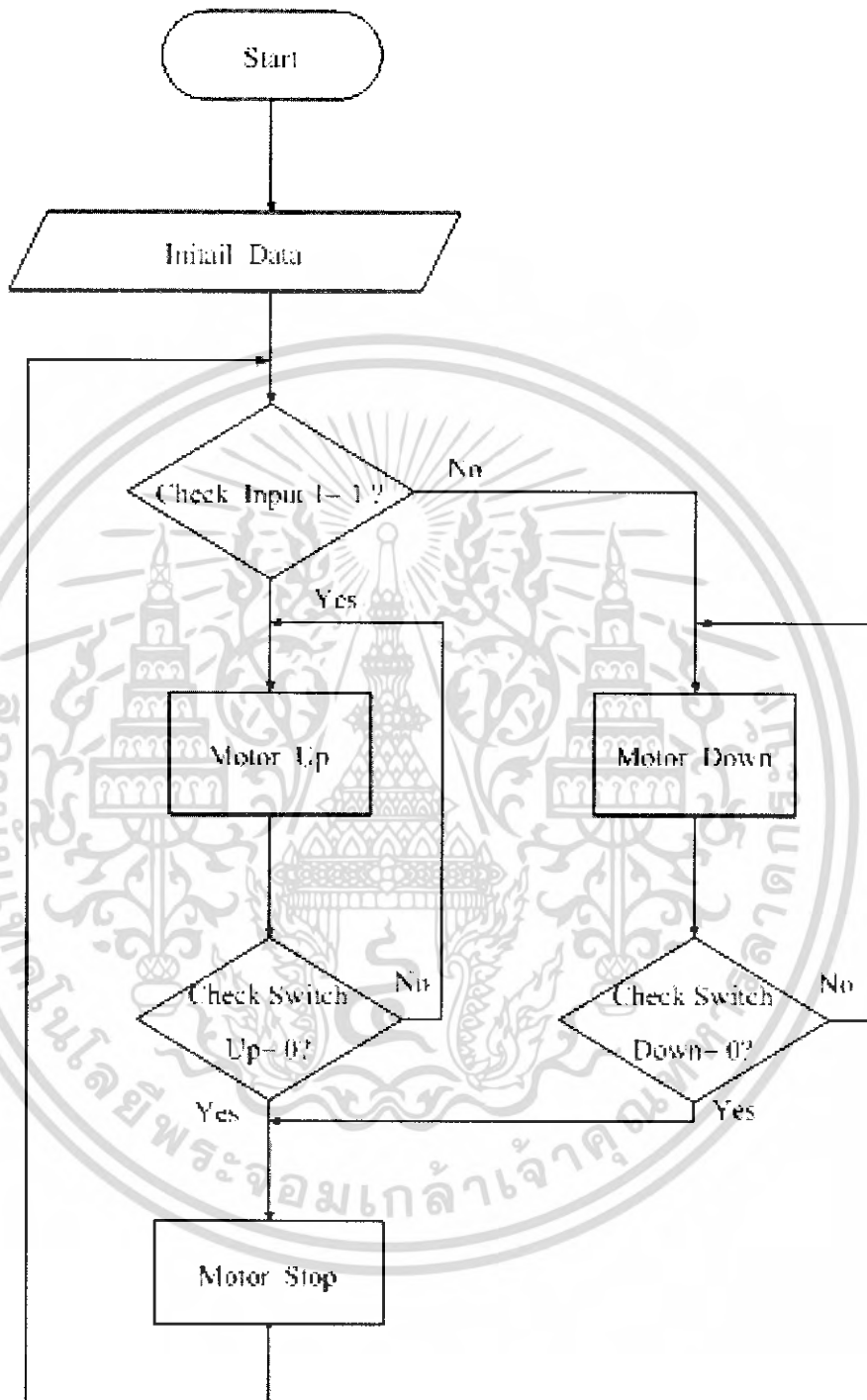
ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการในการควบคุมแขนกล ซึ่งรายละเอียดในการทำงานนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังต่อไปนี้

1. ส่วนโปรแกรมควบคุม
2. ส่วนฮาร์ดแวร์แขนกล

#### 5.1 การควบคุมแขนกลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

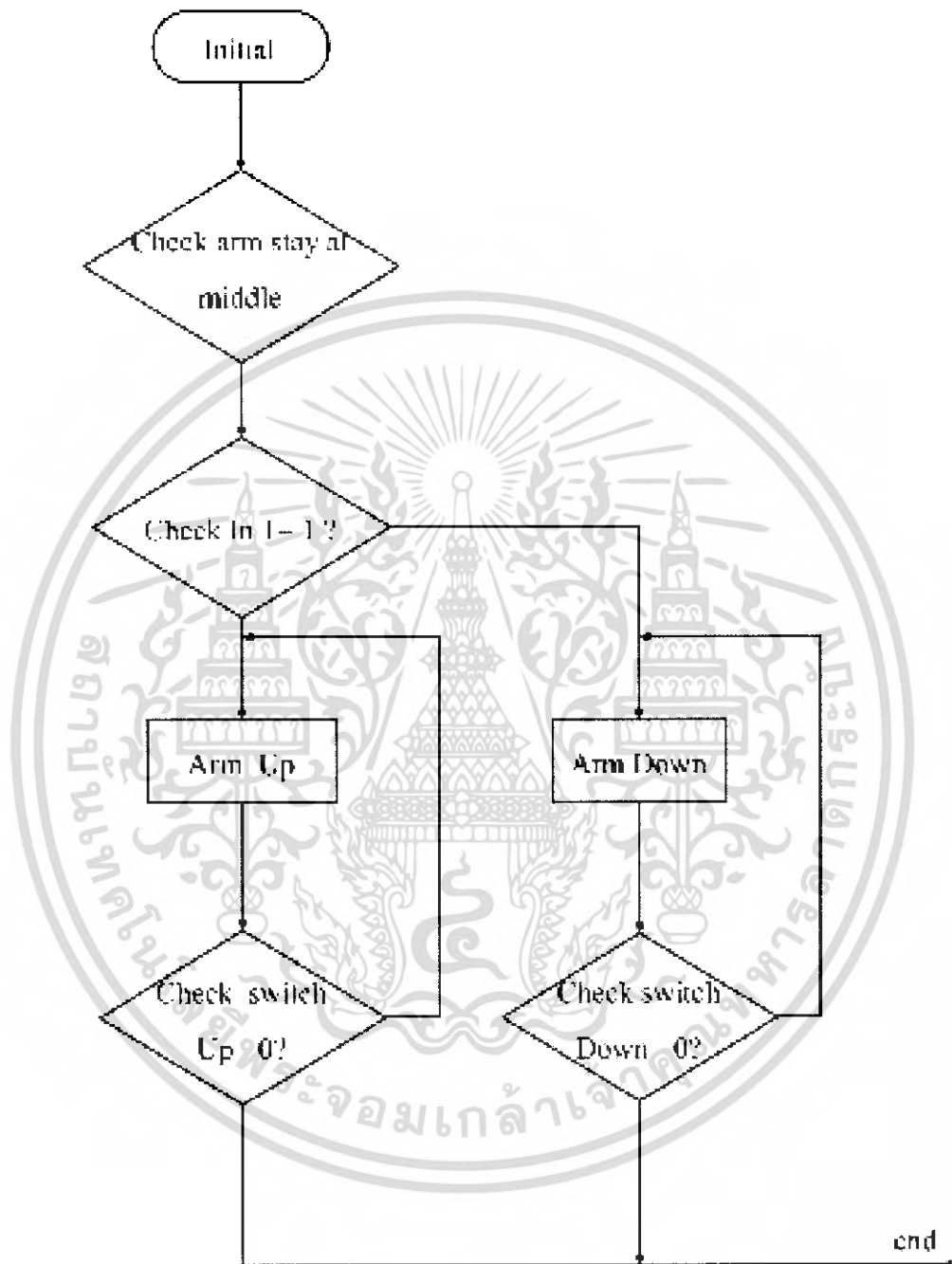
เนื่องจากแขนกลที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นการนำมอเตอร์ชนิด ดีซีมอเตอร์มาใช้ในการขับเคลื่อนแขนกล การทำงานของแขนกลจะทำงานดังนี้คือ เมื่อเรายกแขนขึ้นสัญญาณที่ได้จาก Digital Output ของการ์ด DAQ จะมีลอจิกเป็น 1 ในทางกลับกันเมื่อเราปล่อยแขนลงสัญญาณที่ได้จาก Digital Output ของการ์ด DAQ จะมีลอจิกเป็น 0 และจะใช้สวิทช์ในการตรวจจับว่าแขนกลอยู่ในตำแหน่งใดและใช้ในการสั่งให้มอเตอร์หยุดหมุน

จากการอธิบายข้างต้นของโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมแขนกล เราสามารถนำมาเขียนออกมาเป็นลักษณะของ Flow Chart เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น อีกทั้งยังช่วยให้เขียนโปรแกรมง่ายขึ้นอีกด้วย ซึ่ง Flow Chart สามารถเขียนได้ดังรูปที่ 5.1 และ 5.2 ได้ดังนี้



รูปที่ 5.1 แสดง Flow Chart โปรแกรมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 แสดง Flow Chart โปรแกรมย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก Flow Chart สามารถใช้โปรแกรมภาษา C เขียนได้ดังนี้

```
// Program      : Arm Control
// Description   : use dc motor
//
//                                     : X-tal 11.0592MHz,input from DAQ(NI) 2 bit
//                                     : detec micro sw(position)
// Filename      : arm.c
// Version       : 1.0Rev.
// Compiler      : Keil 7.03
//-----
// include file
//-----
#include<reg52.h>
#include<AT89x051.H>
#include<intrins.h>
//-----
// define Port&Pin
//-----
sbit   in1 = P1^0;
sbit   in2 = P1^1;

sbit   up_sw = P1^2;
sbit   dn_sw = P1^3;

sbit   cn_up = P1^4;
sbit   cn_dn = P1^5;

sbit   led = P1^6;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//-----
// delay milisec use timer 0 (mode 1 16 bit timer)
//-----
void delay_msec(unsigned int time)
{
    unsigned int delay;
    for (delay = 0; delay < time; delay++)
    {
        TMOD = 0x21;
        TH0 = 0xfc; /*11.0592 MHz = 0xfc 12MHz = 0xfc*/
        TL0 = 0x66; /*11.0592 MHz = 0x66 12MHz = 0x17*/
        TF0 = 0;
        TR0 = 1;
        while (TF0 == 0);
        TR0 = 0;
    }
}
//-----
// initail
//-----
void init(void)
{
    delay_msec(250);

    in1 = 1;
    in2 = 1;

    cn_up = 1;          // active '1' if all = '1' motor stop
    cn_dn = 1;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

up_sw = 1;           // active '0'
dn_sw = 1;

// move up or down when arm stay at middle
if(dn_sw == 1 && up_sw == 1)
{
    if(in1 == 1)     // up
    {
        cn_dn = 0;
        while(up_sw == 1);
        cn_dn = 1;
    }
    if(in1 == 0)     // down
    {
        cn_up = 0;
        while(dn_sw == 1);
        cn_up = 1;
    }
}
}

//-----
// main program start here
//-----

void main(void)
{
    init();           // initial value
    while(1)         // finite loop

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(in1 == 1)          // up
{
    if(dn_sw == 0)
    {
        cn_dn = 0;
        while(up_sw == 1);
        cn_dn = 1;
    }
}

if(in1 == 0)          // down
{
    if(up_sw == 0)
    {
        cn_up = 0;
        while(dn_sw == 1);
        cn_up = 1;
    }
}

led = 0;
delay_msec(500);
led = 1;
delay_msec(500);

} // end loop while

} // end loop main

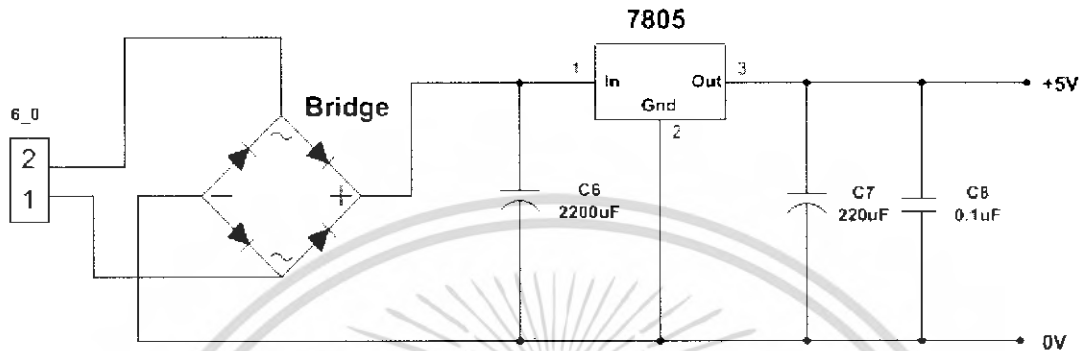
//-----

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.1.1 วงจร Power Supply

วงจรเพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้ไฟ +5 V ซึ่งจะใช้หม้อแปลงขนาด 6 โวลต์และ 0 โวลต์ โดยใช้ไอซีเบอร์ 7805 ในการเรกูเลต ซึ่งวงจรมีลักษณะดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.3 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย +5 V

### 5.1.2 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

วงจรที่ใช้ในภาคควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นส่วนที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูลในหลายๆ ส่วน เช่น อินพุตที่รับมาจากสวิตช์ของแขนกล อินพุตที่รับมาจากการ์ด DAQ และ Output Control ที่ส่งไปยังวงจรควบคุมแขนกล

โดยใช้ P 1.0 และ P 1.1 เป็นตัวรับอินพุตจากการ์ด DAQ ส่วน P 1.2 กับ P 1.3 เป็นตัวรับอินพุตจากสวิตช์ของแขนกล และ P 1.4 กับ P 1.5 เป็นตัวส่งสัญญาณลจิกไปยังวงจรควบคุมแขนกลเพื่อสั่งงานให้แขนกลขึ้นลงตามแขนของเรา

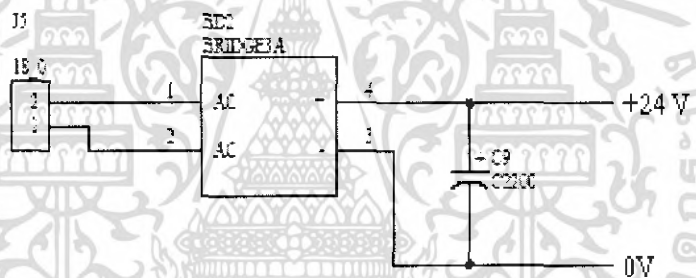


## 5.2 ฮาร์ดแวร์แขนกล

จากการวิเคราะห์สัญญาณ EMG ที่ได้แสดงผลจากการใช้โปรแกรม Lab VIEW จึงนำความแตกต่างของลักษณะสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ได้จากท่าทางการขยับแขน มาแสดงผลทางดิจิทัลโดยให้เป็นลอจิกที่จอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์ของคอมพิวเตอร์และส่งสัญญาณลอจิกไปยังเอาต์พุตที่พอร์ตดิจิทัลของการ์ด USB 6008 เพื่อไปควบคุมแขนกล

### 5.2.1 วงจร Power Supply

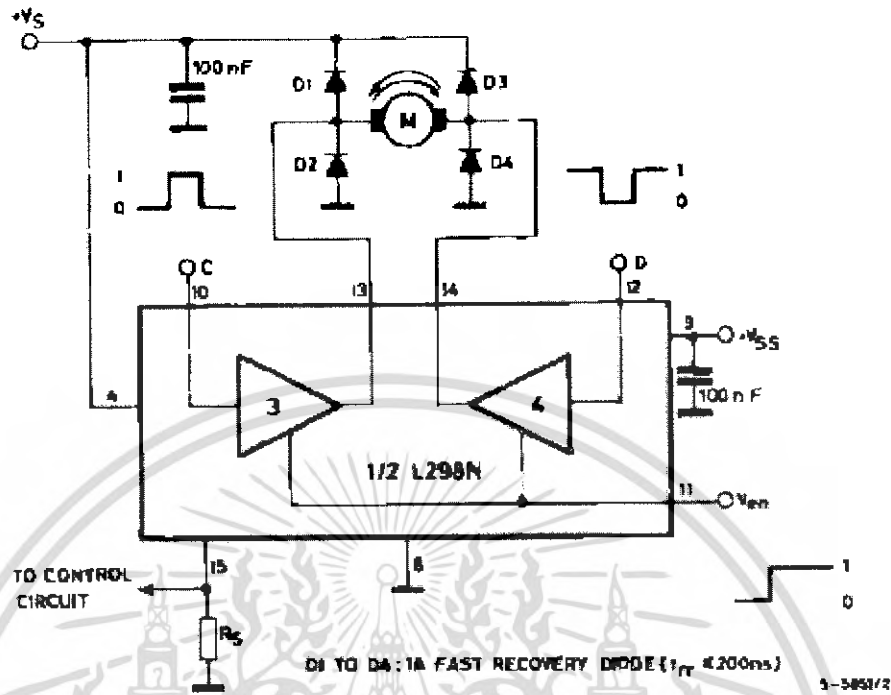
วงจรเพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้ในวงจรควบคุมแขนกลจะมี 2 ชุด คือ  $-5$  V ป้อนให้กับไอซี L298 และอีกชุดหนึ่งจะใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ใช้ไฟประมาณ  $+24$  V ซึ่งไฟ  $-5$  V จะใช้ชุดเดียวกันกับที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนไฟ  $+24$  V วงจรมีลักษณะดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.5 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย  $+24$  V

### 5.2.2 วงจรควบคุมแขนกล

วงจรควบคุมแขนกลเป็นส่วนที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ของแขนกล ซึ่งมอเตอร์ที่ใช้เป็นดีซีมอเตอร์ เราใช้ไอซี L298 ซึ่งเป็นไอซีขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ทนกระแสได้สูงถึง 4 แอมป์ และสามารถทำให้มอเตอร์หมุนกลับไปมาเพื่อที่จะให้แขนกลเคลื่อนไหว ขึ้น- ลง ได้ โดยมีรูปวงจรดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.6 วงจรสำหรับขับมอเตอร์ โดยใช้ไอซี L298

ภายในไอซี L298 มีชุดควบคุมมอเตอร์อยู่ 2 ชุด แต่เราเลือกใช้เพียงชุดเดียว โดยไอซีมี  
 ลอจิกการทำงานดังต่อไปนี้

Inputs		Function
$V_{en} = H$	C = H ; D = L	Forward
	C = L ; D = H	Reverse
	C = D	Fast Motor Stop
$V_{en} = L$	C = X ; D = X	Free Running Motor Stop

L = Low

H = High

X = Don't care

ตารางที่ 5.1 แสดงลอจิกการทำงานของไอซี L298

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าเราสามารถเลือกใช้ลจจกการทำงานของไอซี L 298 ได้ โดยเราจะกำหนดให้  $V_{en} = H$  ตลอดโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการเขียนโปรแกรมควบคุม การยกแขนกลขึ้นหรือยกแขนกลลงลง และหยุดของแขนกล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ เครื่องมือที่ใช้ในการวัดต้องมีความแม่นยำสูง และต้องมีการกำจัดสัญญาณรบกวนที่ดีที่สุดด้วย เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการวัดโดยการหาค่า CMRR (Common Mode Rejection Ratio) ซึ่งค่า CMRR คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังขยายของสัญญาณที่เป็น Differential Mode ต่อกำลังขยายของวงจรที่เป็น Common Mode โดยค่า CMRR เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวงจรขยายความแตกต่างที่สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้โดยค่า CMRR ถ้าหากมีค่ามาก ๆ ก็จะสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดีซึ่งค่า CMRR ควรจะมีค่าไม่ต่ำกว่า 60 dB ดังนั้นถ้าหากต้องการค่า CMRR สูงวงจรที่ใช้ต้องมีอัตราขยายของสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียล โหมดสูง และมีอัตราขยายของสัญญาณคอมมอน โหมดต่ำ ซึ่งเราสามารถวัดสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียล โหมด และสัญญาณคอมมอน โหมดได้ดังต่อไปนี้

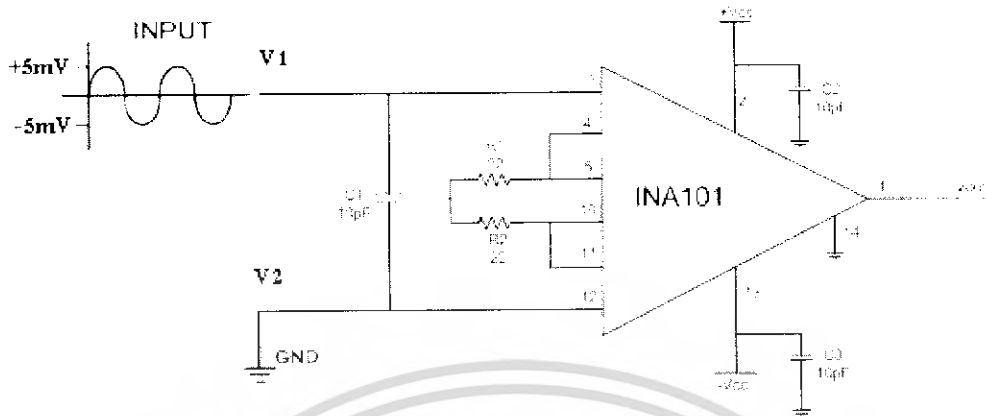
#### 6.1 สัญญาณดิฟเฟอเรนเชียล โหมด

สัญญาณดิฟเฟอเรนเชียล โหมด คือสัญญาณที่มีความแตกต่างกันระหว่างอินพุต V1 และ V2 ดังนั้นการวัดสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียล โหมดเราจะป้อนสัญญาณอินพุตเข้าที่ V1 และที่ V2 ต่อลงกราวด์ วัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ที่ Vout และหาอัตราขยายของวงจร ในการทดลองจะวัดสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียล โหมด 2 จุด คือ

1. ที่ Vout ของ ภาค Preamplifier
2. ที่ Vout\_Final ของระบบ

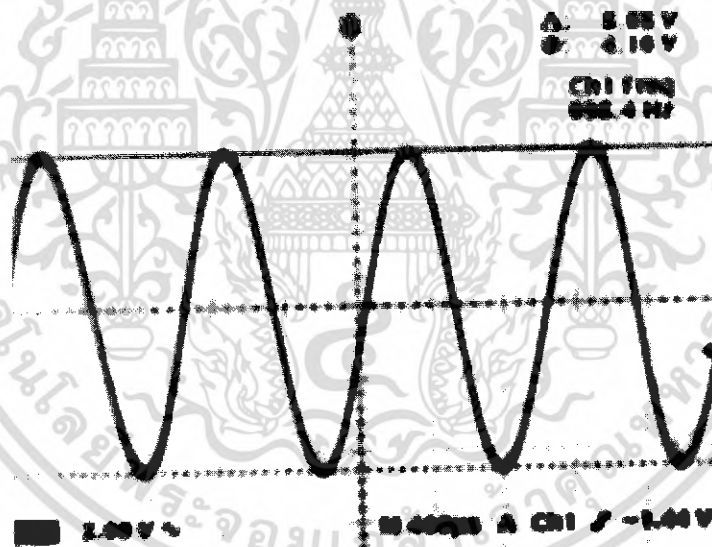
##### 6.1.1 สัญญาณดิฟเฟอเรนเชียล โหมดของภาค Preamplifier

การวัดสัญญาณที่ภาค Preamplifier เราได้ทำการป้อนสัญญาณเข้าที่  $V1 = \pm 5mV$  โดยต่อ V2 ลงกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 แสดงการป้อนสัญญาณอินพุต

สัญญาณที่ได้จากการวัดที่ Vout จะมีลักษณะดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัด

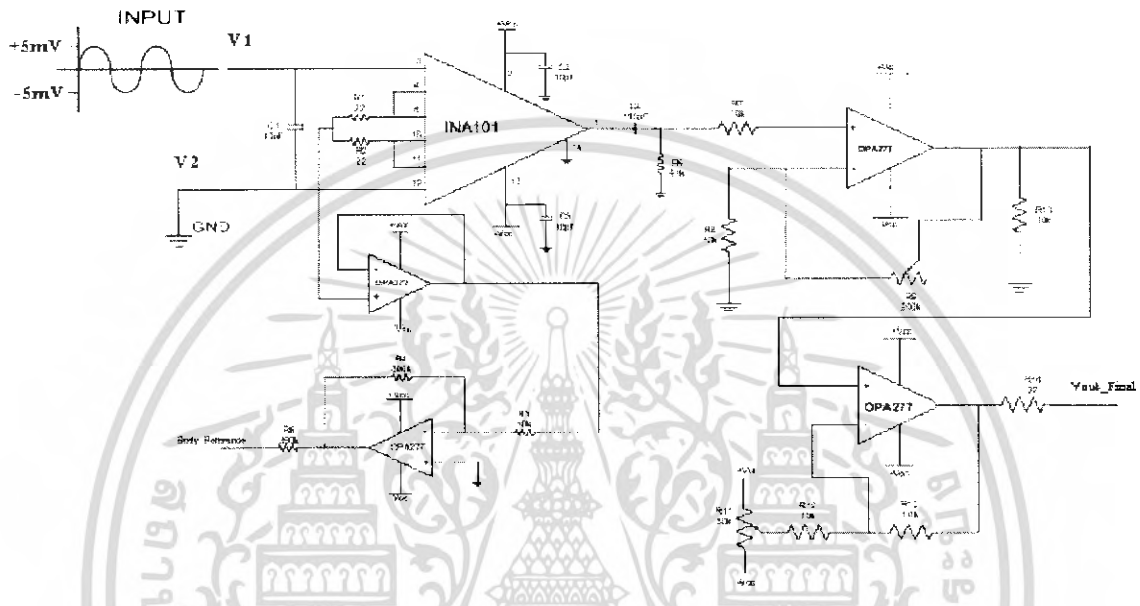
เมื่อได้สัญญาณเอาต์พุตเราสามารถคำนวณหาอัตราขยายของภาค Preamplifier ตามสมการที่ (6.1) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 A_{d \text{ Preamplifier}} &= \frac{V_{out}}{V_{in}} & (6.1) \\
 &= \frac{8.68V}{10mV}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

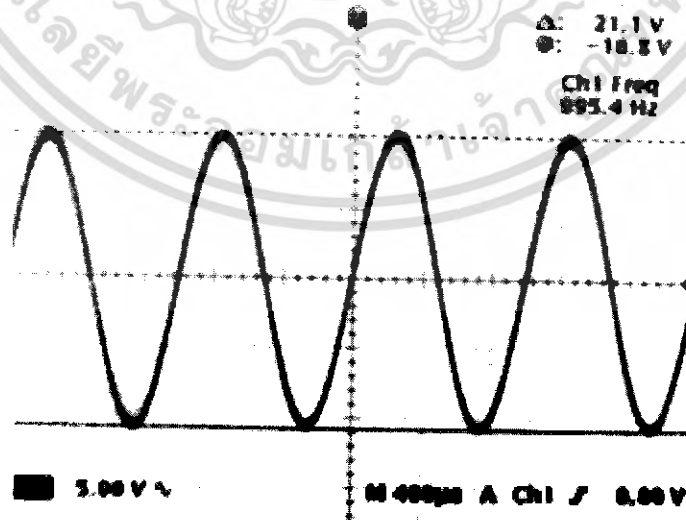
6.1.2 สัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลเฟอ์เรียนเซียลโหมดที่  $V_{out\_Final}$

การวัดสัญญาณดิฟเฟอ์เรียนเซียลโหมดที่  $V_{out\_Final}$  สามารถทำได้โดยป้อนอินพุท  $V_1 = \pm 5mV$  โดยต่อ  $V_2$  ลงกราวด์ดังแสดงในรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 แสดงการป้อนสัญญาณอินพุท

สัญญาณที่ได้จากกราวด์ที่  $V_{out\_Final}$  จะมีลักษณะดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 แสดงสัญญาณดิฟเฟอ์เรียนเซียลของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

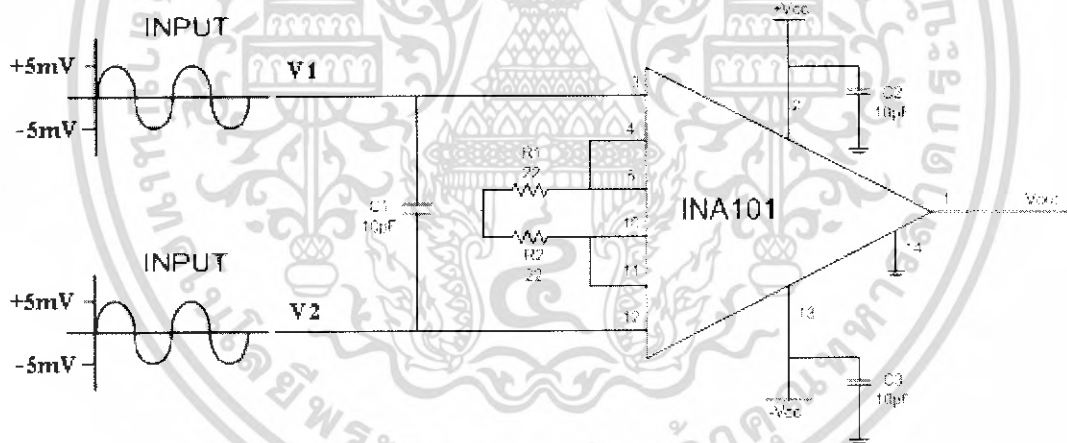
จากสัญญาณเอาต์พุตที่วัดได้สามารถคำนวณหาอัตราขยายของระบบตามสมการที่ (6.2) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Ad_{System} &= \frac{V_{out\_Final}}{V_{in}} \\ &= \frac{21.1V}{10mV} \\ &= 2,110 \text{ เท่า} \end{aligned} \quad (6.2)$$

## 6.2 สัญญาณคอมมอนโหมด

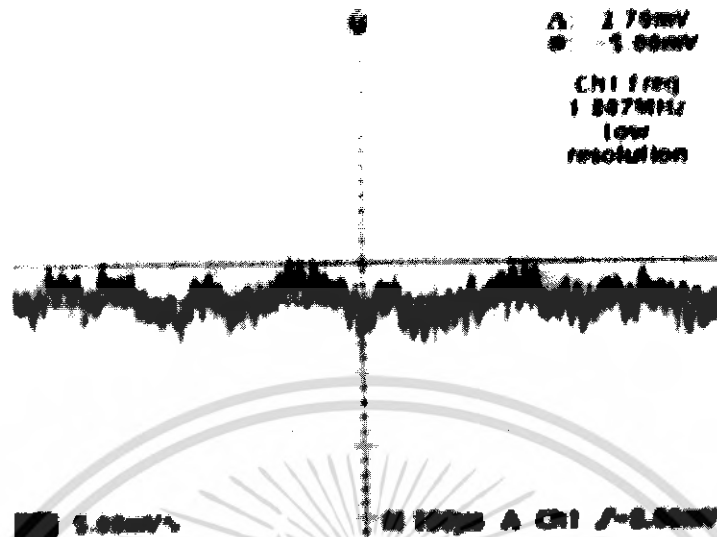
การวัดสัญญาณคอมมอนโหมดเราจะป้อนสัญญาณอินพุตให้กับขา V1 และ V2 โดยสัญญาณที่ป้อนนั้นมีเฟสและแอมพลิจูดที่เท่ากัน และวัดสัญญาณที่ Vout เพื่อหาอัตราขยาย

### 6.2.1 สัญญาณคอมมอนโหมดของภาค Preamplifier



รูปที่ 6.5 แสดงการป้อนสัญญาณอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



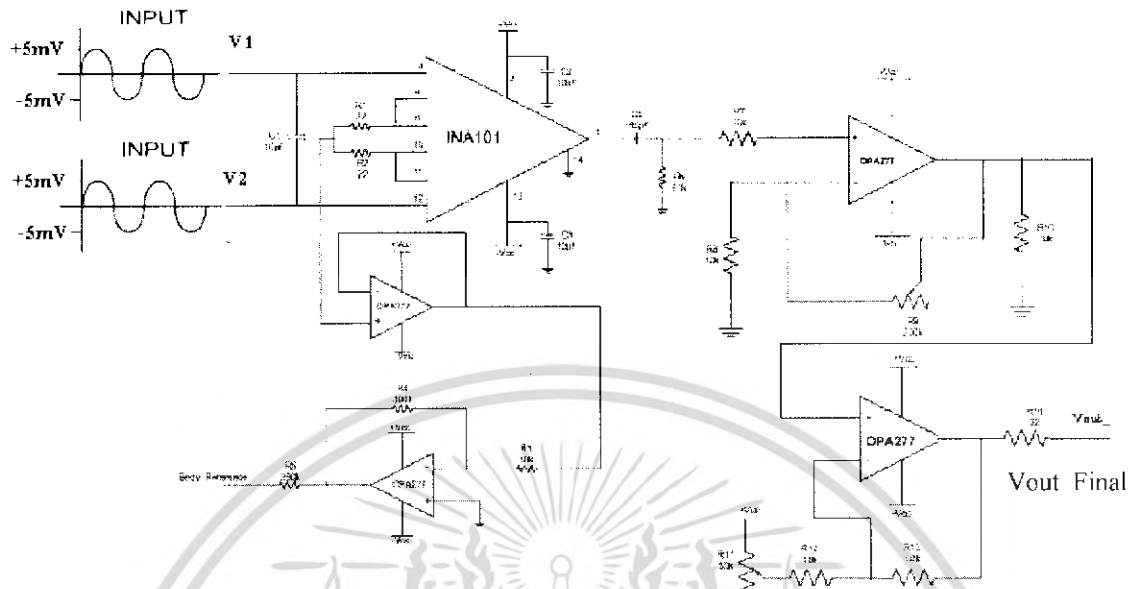
รูปที่ 6.6 แสดงสัญญาณคอมมอนโหมดที่ได้จากภาค Preamplifier

จากสัญญาณเอาต์พุตที่วัดได้เราสามารถหาอัตราขยายของวงจรตามสมการที่ (6.3) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 A_{c \text{ Preamplifier}} &= \frac{V_{out}}{V_{in}} & (6.3) \\
 &= \frac{2.76mV}{10mV} \\
 &= 0.276 \text{ เท่า}
 \end{aligned}$$

### 6.2.2 สัญญาณคอมมอนโหมดที่ Vout\_Final

การวัดสัญญาณคอมมอนโหมดเราจะป้อนสัญญาณอินพุตให้กับขา V1 และ V2 โดยสัญญาณที่ป้อนนั้นมีเฟสและแอมพลิจูดที่เท่ากัน และวัดสัญญาณที่ Vout\_Final เพื่อหาอัตราขยาย



รูปที่ 6.7 แสดงการป้อนสัญญาณอินพุต



รูปที่ 6.8 แสดงสัญญาณคอมมอนโหมดที่วัดได้ที่ Vout\_Final

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเอาต์พุตที่วัดได้สามารถคำนวณหาอัตราขยายของวงจรตามสมการที่ (6.4) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} A_{c\_System} &= \frac{V_{out\_Final}}{V_{in}} \\ &= \frac{6.40mV}{10mV} \\ &= 0.64 \text{ เท่า} \end{aligned} \quad (6.4)$$

### 6.3 การคำนวณหาค่า CMRR

ค่า CMRR ของวงจรสามารถคำนวณหาได้โดยตรงจากสมการที่ (6.5) ดังนี้

$$CMRR = 20 \log \left( \frac{A_d}{A_c} \right) \quad (6.5)$$

$A_d$  คือ อัตราขยายดิฟเฟอเรนเชียลโหมด

$A_c$  คือ อัตราขยายคอมมอนโหมด

เพราะฉะนั้นค่า CMRR ของภาค Preamplifier สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (6.5) ดังนี้

$$\begin{aligned} CMRR &= 20 \log \left( \frac{A_d}{A_c} \right) \\ &= 20 \log \left( \frac{868}{0.276} \right) \\ &= 69.92 \text{ dB} \end{aligned}$$

และค่า CMRR ของระบบสามารถหาค่าได้ดังนี้

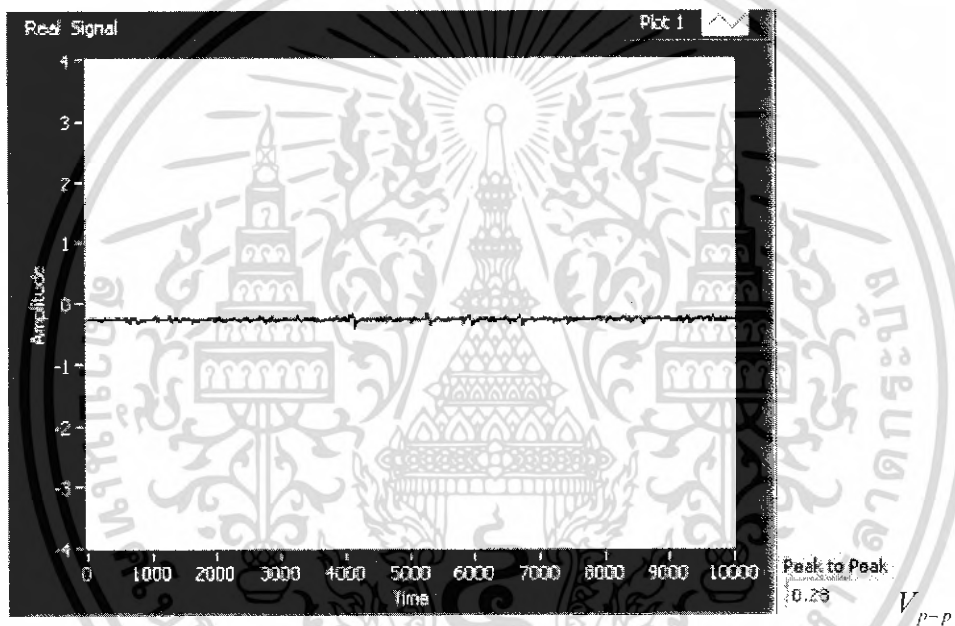
$$\begin{aligned} CMRR &= 20 \log \left( \frac{A_d}{A_c} \right) \\ &= 20 \log \left( \frac{2110}{0.64} \right) \\ &= 70.36 \text{ dB} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.4 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

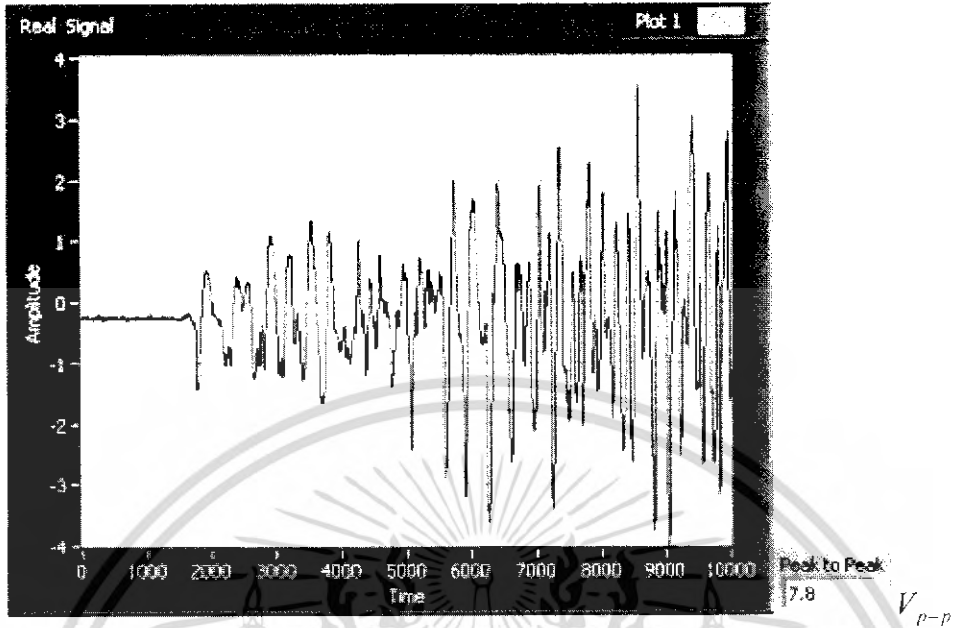
ในการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อนั้นเราได้ทำการทดลองยกน้ำหนัก โดยใช้น้ำหนักที่มีความแตกต่างกัน คือ 1Kg,4Kg,5Kg,6Kg,9Kg ตามลำดับ โดยยกจากระดับ 0 ถึง 90 องศา เพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างของสัญญาณที่เกิดขึ้น โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการแสดงผล ซึ่งผลการทดลองที่ได้สามารถแสดงดังนี้

### 6.4.1 แสดงสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเมื่อผู้ทำการทดลองยกน้ำหนัก 1 Kg

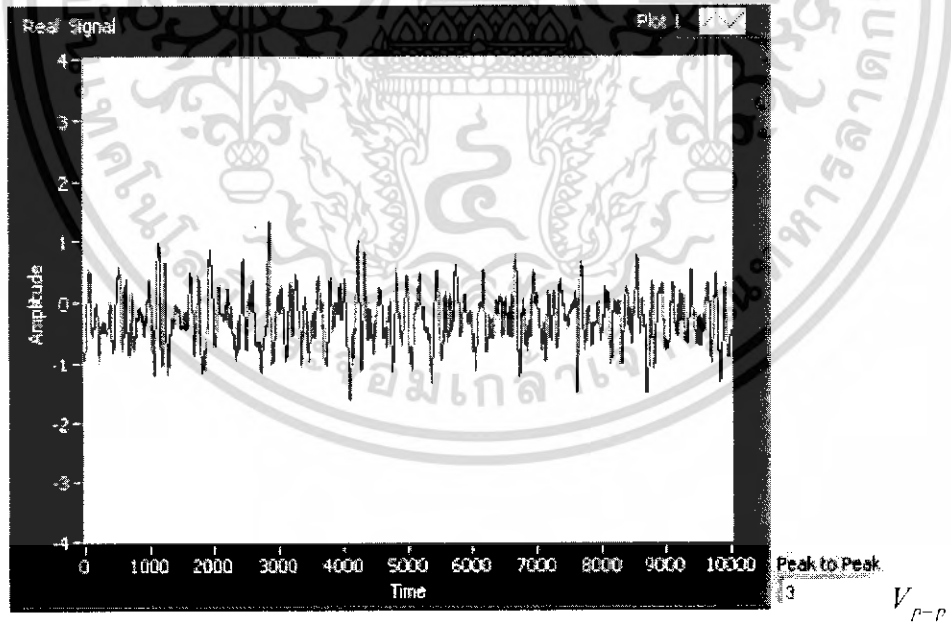


รูปที่ 6.9 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะปล่อยแขน (0 องศา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

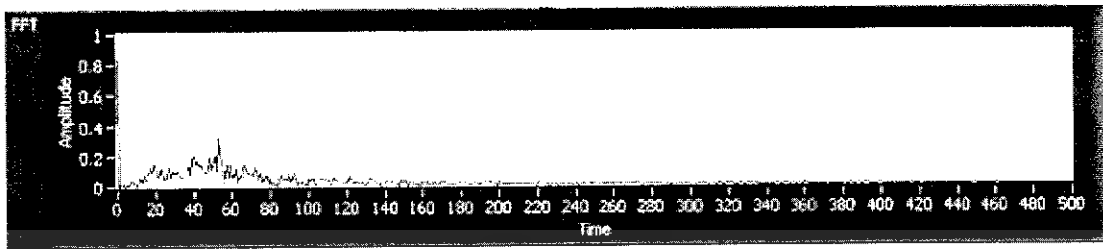


รูปที่ 6.10 สัญญาณไฟฟ้ากลั่นเนื้อขณะยกแขนขึ้น



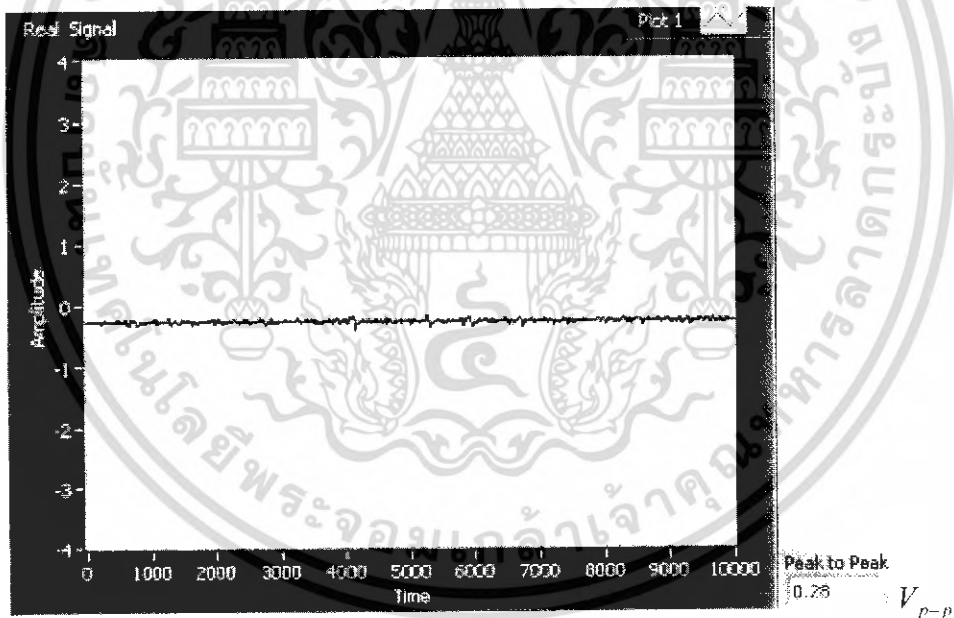
รูปที่ 6.11 สัญญาณไฟฟ้ากลั่นเนื้อขณะยกแขนค้างไว้ (90 องศา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



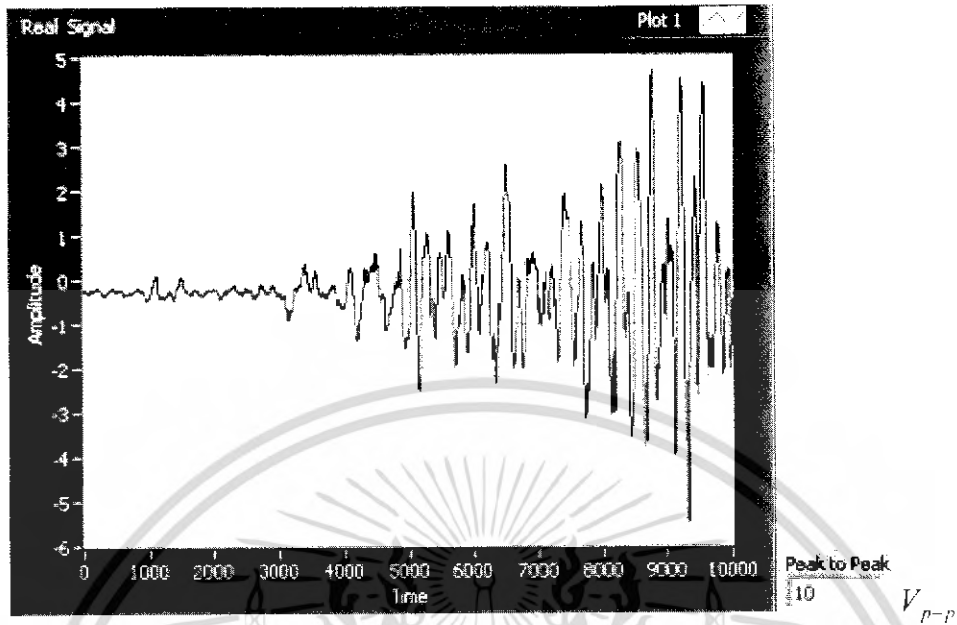
รูปที่ 6.12 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะยกน้ำหนัก 1 Kg

#### 6.4.2 แสดงสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเมื่อผู้ทำการทดลองยกน้ำหนัก 4 Kg

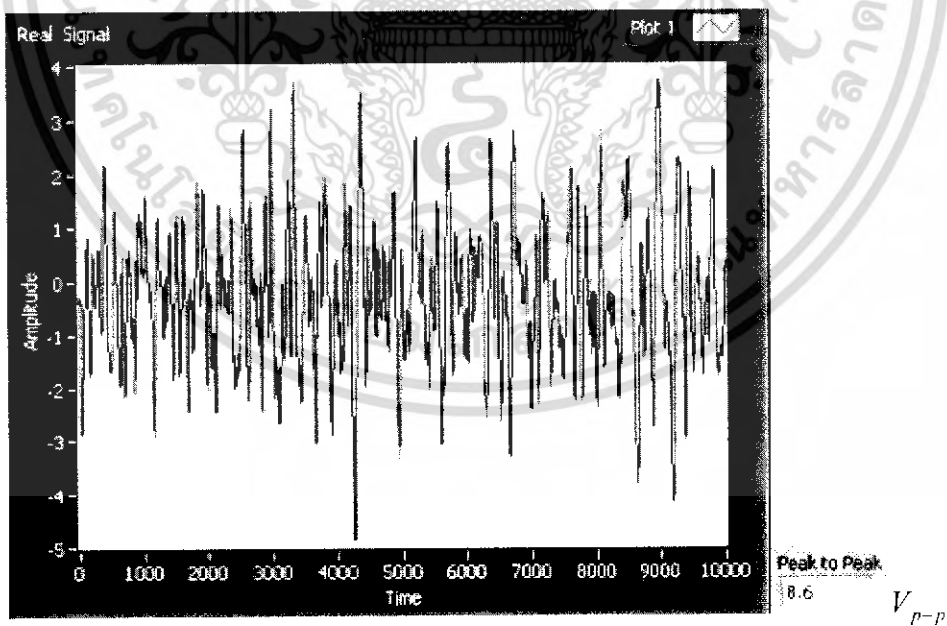


รูปที่ 6.13 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะปล่อยแขน (0 องศา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

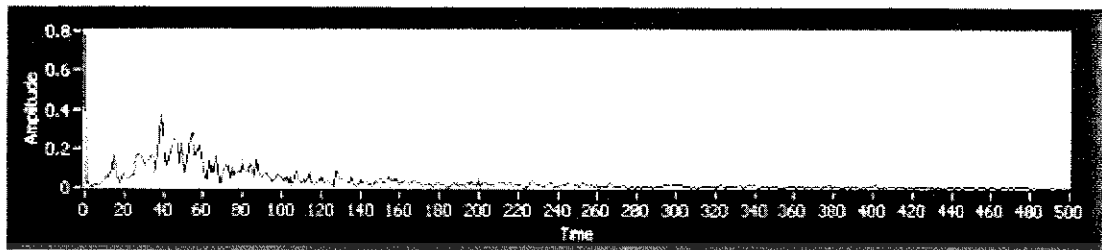


รูปที่ 6.14 สัญญาณไฟฟ้ากลั่นเนื้อขณะยกแขน



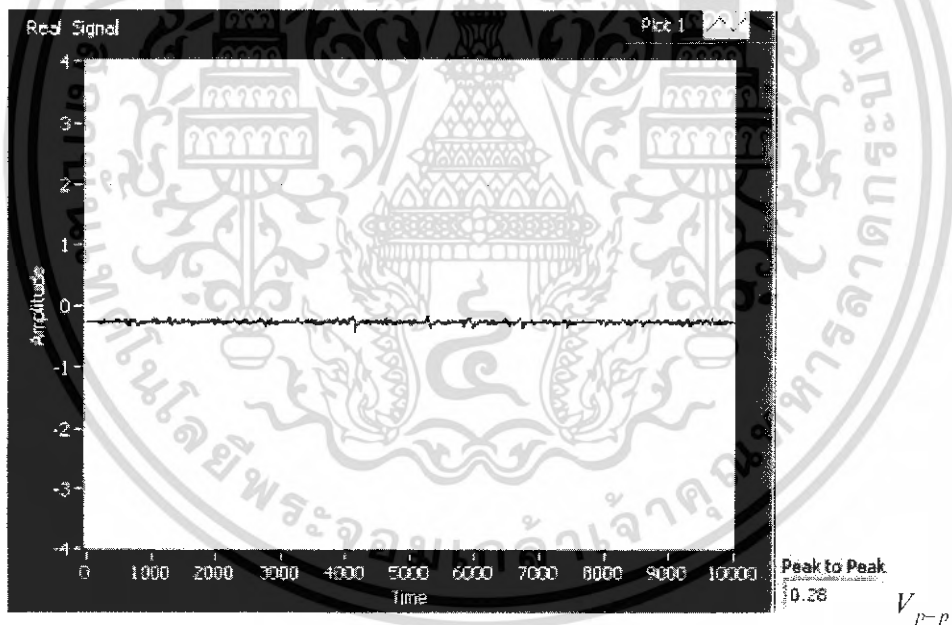
รูปที่ 6.15 สัญญาณไฟฟ้ากลั่นเนื้อขณะยกแขนค้ำไว้ (90 องศา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



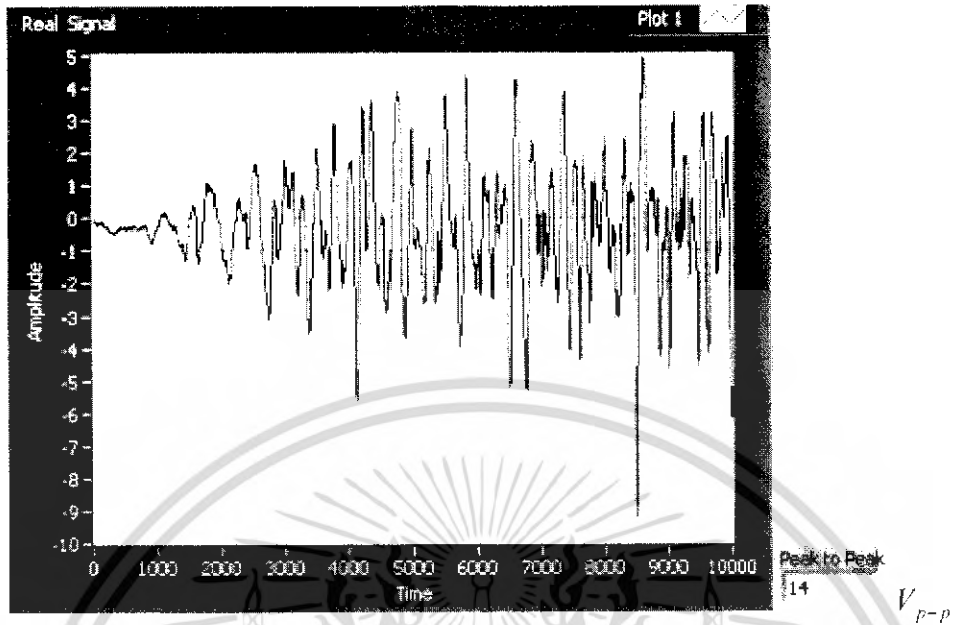
รูปที่ 6.16 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณไฟฟ้ากล้ำมเนื้อขณะยกน้ำหนัก 4 Kg

#### 6.4.3 แสดงสัญญาณไฟฟ้ากล้ำมเนื้อเมื่อผู้ทำการทดลองยกน้ำหนัก 5 Kg

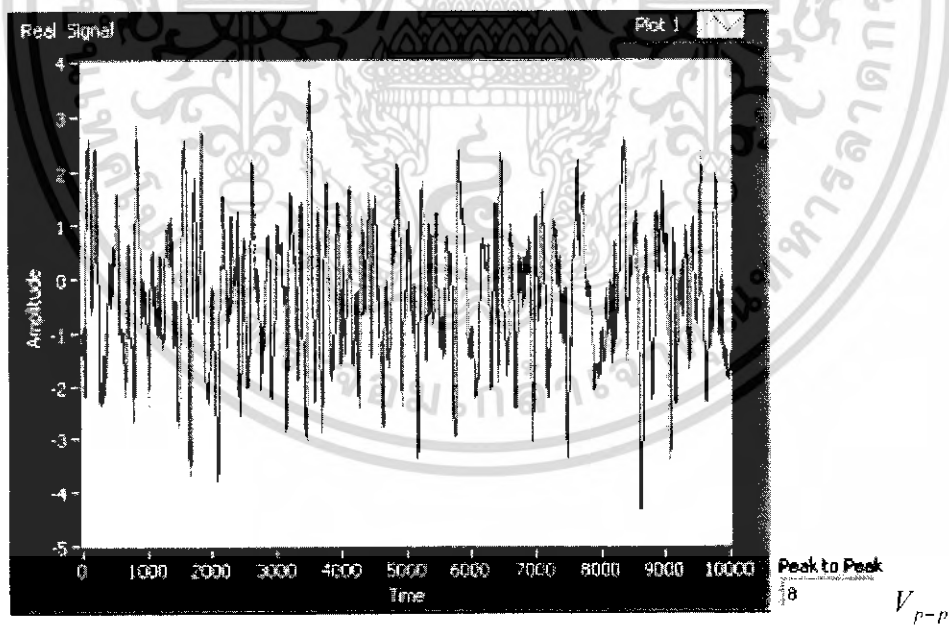


รูปที่ 6.17 สัญญาณไฟฟ้ากล้ำมเนื้อขณะปล่อยแขน (0 องศา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

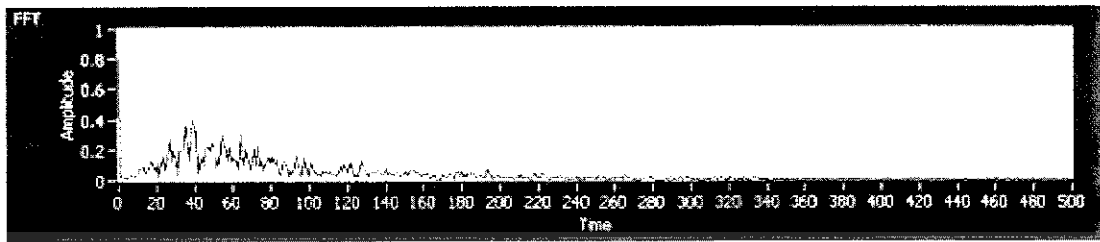


รูปที่ 6.18 สัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อขณะยกแขน



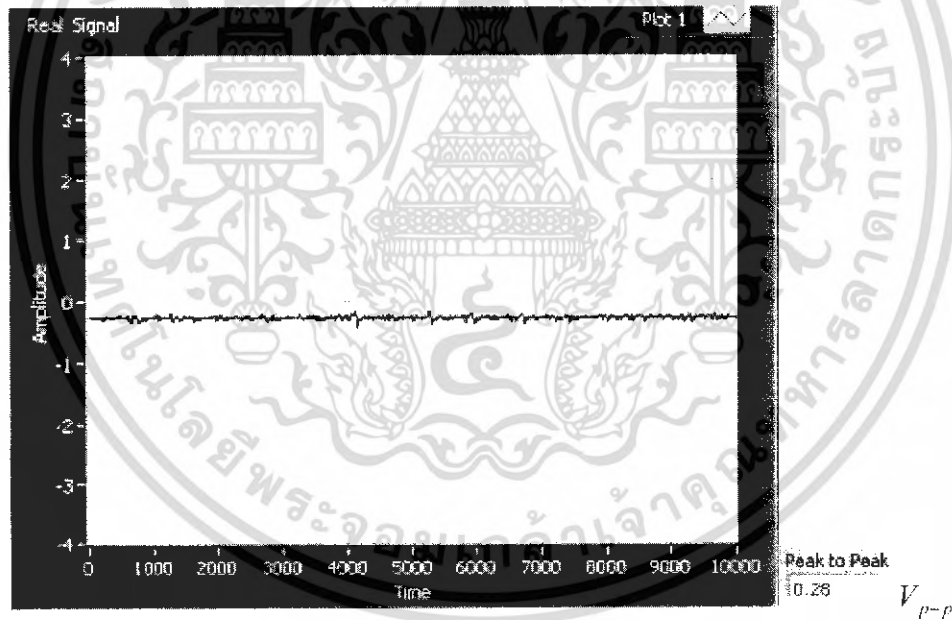
รูปที่ 6.19 สัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อขณะยกแขนค้ำไว้ (90 องศา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



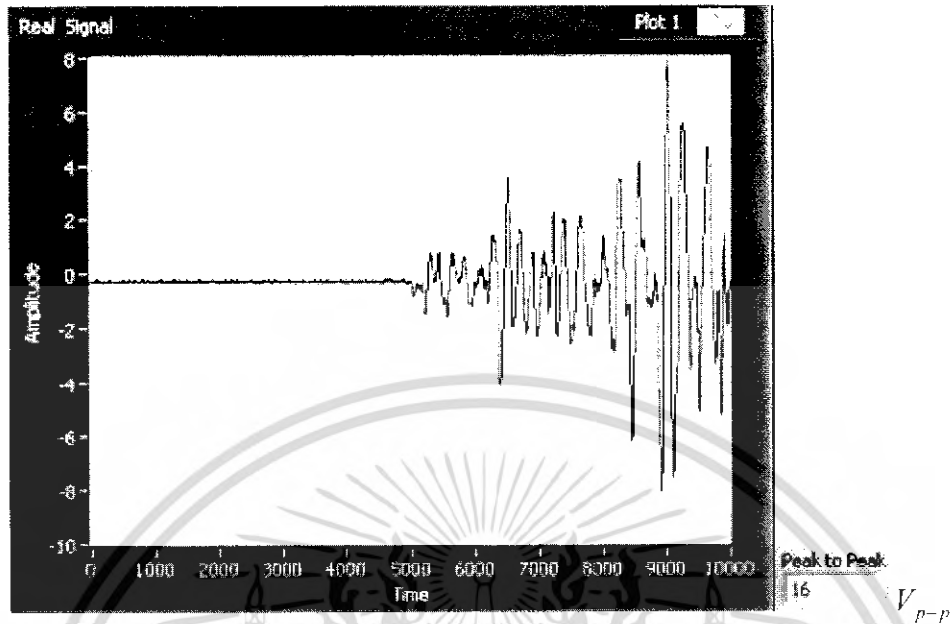
รูปที่ 6.20 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะยกน้ำหนัก 5 Kg

#### 6.4.4 แสดงสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเมื่อผู้ทำการทดลองยกน้ำหนัก 6 Kg

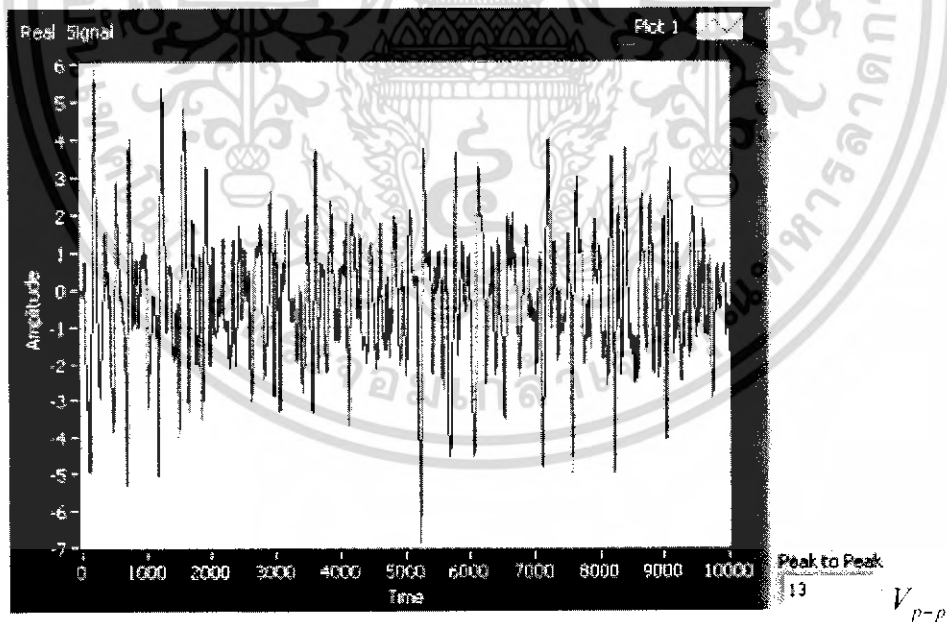


รูปที่ 6.21 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะปล่อยแขน (0 องศา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

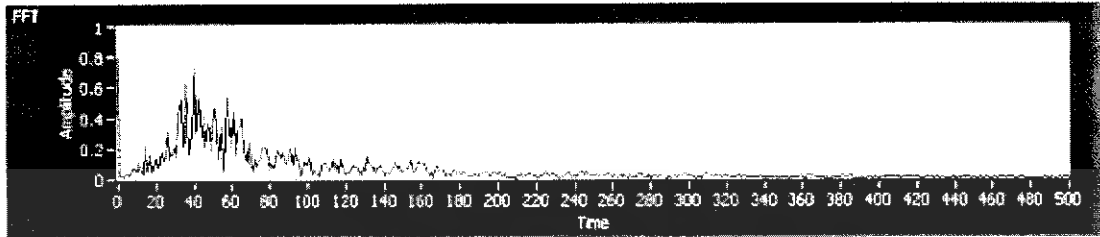


รูปที่ 6.22 สัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อขณะยกแขนขึ้น



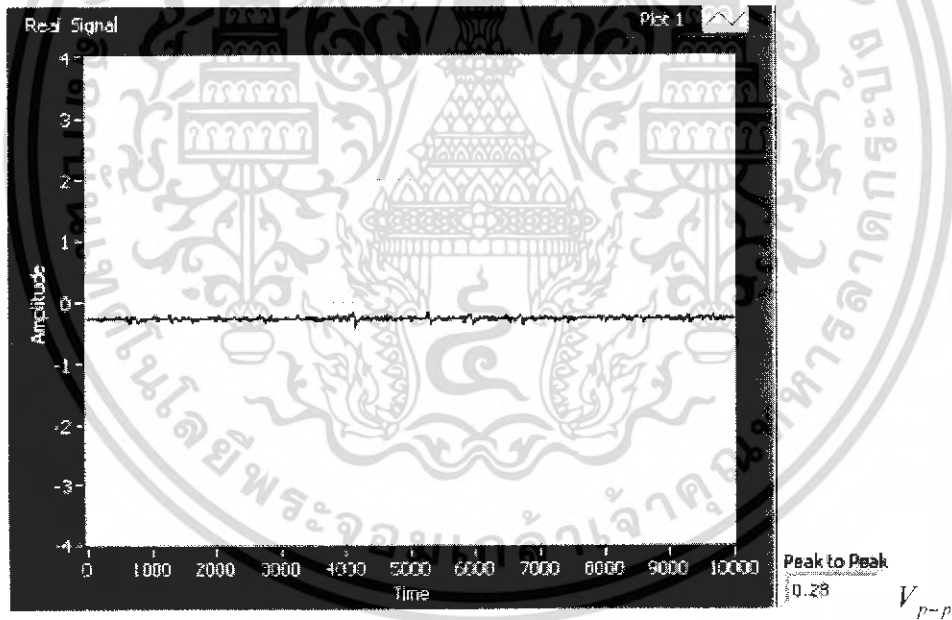
รูปที่ 6.23 สัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อขณะยกแขนค้างไว้ (90 องศา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



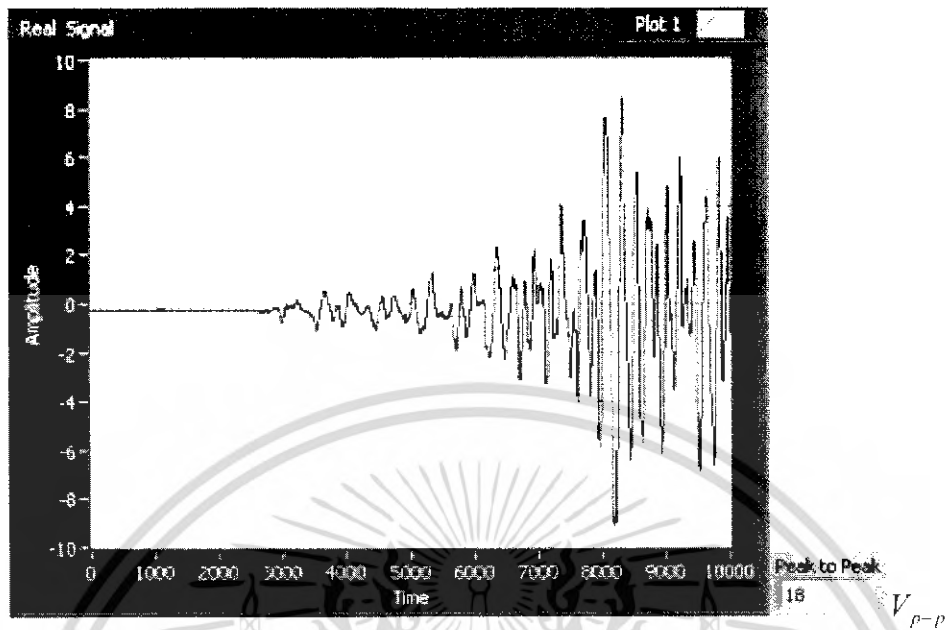
รูปที่ 6.24 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะยกน้ำหนัก 6 Kg

#### 6.4.5 แสดงสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเมื่อผู้ทำการทดลองยกน้ำหนัก 9 Kg

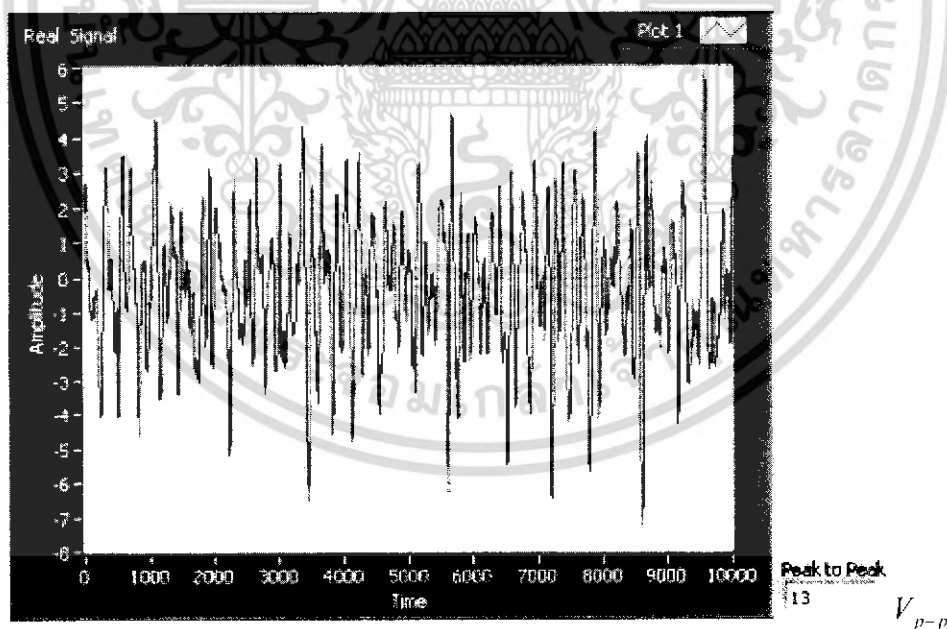


รูปที่ 6.25 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะปล่อยแขน (0 องศา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

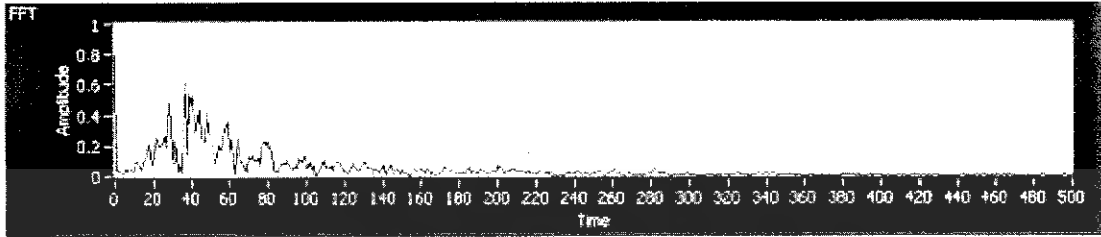


รูปที่ 6.26 สัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อขณะยกแขนขึ้น



รูปที่ 6.27 สัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อขณะยกแขนค้างไว้ (90 องศา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.28 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณไฟฟ้ากล้ำมเนื้อขณะยกน้ำหนัก 9 Kg

### 6.5 ระดับสัญญาณไฟฟ้ากล้ำมเนื้อของแต่ละบุคคล

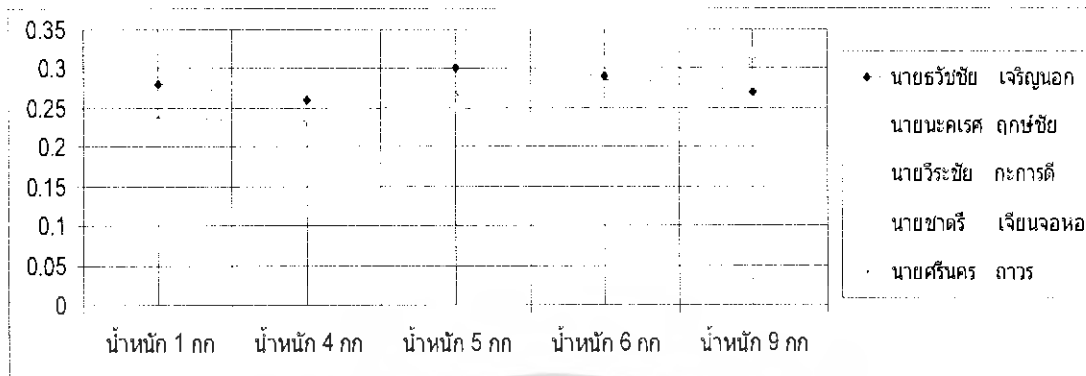
เมื่อเราทำการทดลองจากหลายๆ บุคคลเราจะได้ค่าของสัญญาณไฟฟ้ากล้ำมเนื้อในระดับที่แตกต่างกัน ค่าของสัญญาณไฟฟ้ากล้ำมเนื้อที่ได้นั้นจะแปรผันตรงกับการออกแรงยกของผู้ทำการทดลองด้วย ซึ่งสามารถแสดงค่าความแตกต่างของสัญญาณไฟฟ้ากล้ำมเนื้อของแต่ละบุคคลได้ดังต่อไปนี้

#### 6.5.1 ระดับของสัญญาณไฟฟ้ากล้ำมเนื้อขณะปล่อยแขน (0 องศา) ของแต่ละบุคคล

รายชื่อบุคคล	น้ำหนัก 1 กก	น้ำหนัก 4 กก	น้ำหนัก 5 กก	น้ำหนัก 6 กก	น้ำหนัก 9 กก
นายรัชชัย เจริญนอก	0.28	0.26	0.3	0.29	0.27
นายณะกร เกตุชัย	0.22	0.27	0.25	0.24	0.29
นายวีระชัย กะการดี	0.26	0.28	0.27	0.31	0.32
นายชาติรี เจียนจ่อหอ	0.27	0.28	0.31	0.29	0.32
นายศรีนคร อวาร	0.24	0.23	0.27	0.29	0.31

ตารางที่ 6.1 แสดงระดับของสัญญาณไฟฟ้ากล้ำมเนื้อของแต่ละบุคคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

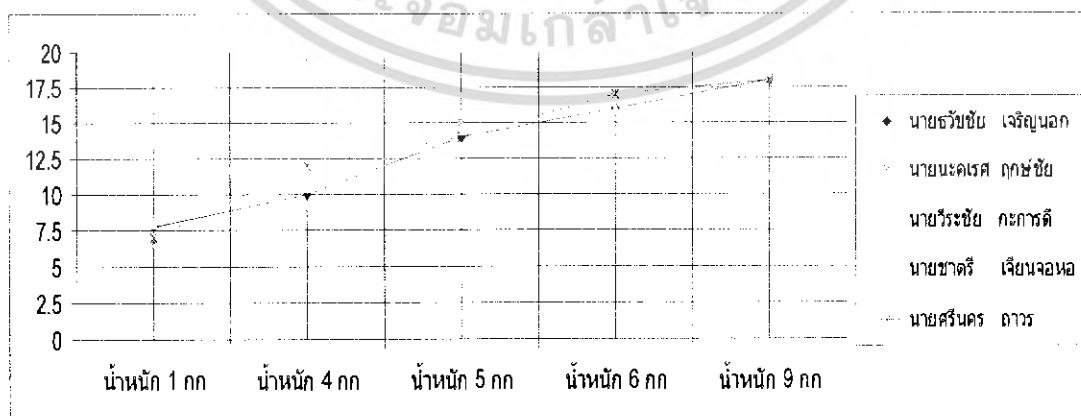


รูปที่ 6.29 กราฟแสดงระดับสัญญาณไฟฟ้ากล้ำเนื้อขณะปล่อยแขน (0 องศา) ของแต่ละบุคคล

### 6.5.2 ระดับของสัญญาณไฟฟ้ากล้ำเนื้อขณะยกแขนขึ้นของแต่ละบุคคล

รายชื่อบุคคล	น้ำหนัก 1 กก	น้ำหนัก 4 กก	น้ำหนัก 5 กก	น้ำหนัก 6 กก	น้ำหนัก 9 กก
นายธวัชชัย เจริญนอก	7.8	10	14	16	18
นายณะเศรษฐ์ ฤกษ์ชัย	6.5	9	15	17	18
นายวีระชัย กะการดี	8	10.5	14.5	16	19
นายชาติรี เจียนจ่อหอ	8.2	11	13	16	18.5
นายศรีนคร ถาวร	7	12	14	17	18

ตารางที่ 6.2 แสดงระดับสัญญาณไฟฟ้ากล้ำเนื้อขณะยกแขนขึ้นของแต่ละบุคคล



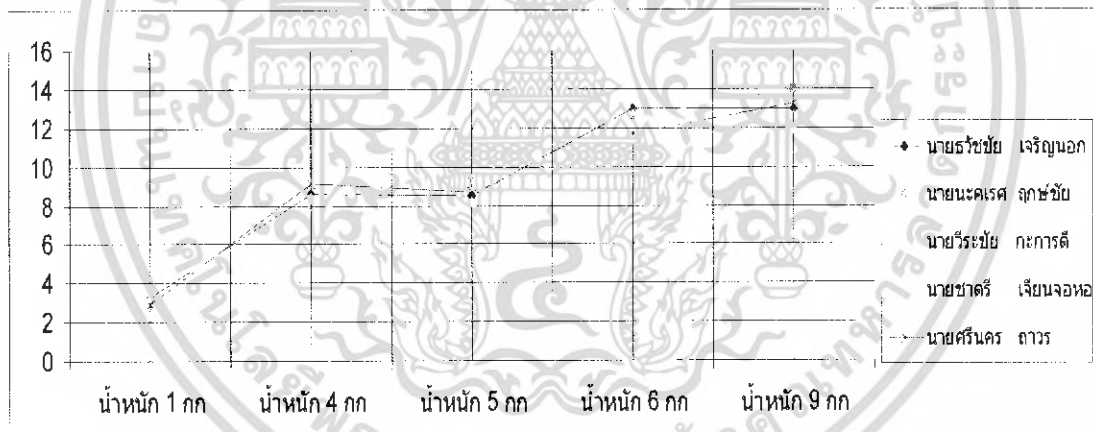
รูปที่ 6.30 กราฟแสดงระดับสัญญาณไฟฟ้ากล้ำเนื้อขณะยกแขนขึ้นของแต่ละบุคคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่เช่นด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.5.3 ระดับของสัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อขณะยกแขนค้างไว้ (90 องศา) ของแต่ละบุคคล

รายชื่อบุคคล	น้ำหนัก 1 กก	น้ำหนัก 4 กก	น้ำหนัก 5 กก	น้ำหนัก 6 กก	น้ำหนัก 9 กก
นายรัชชัย เจริญนอก	3.3	8.6	8.5	13	13
นายณะเกรต ลูกชัย	2.8	8.3	9.3	12.5	14
นายวีระชัย กะการดี	3.4	8.4	8.2	11.5	12
นายชาติร์ เจียนจอหอ	3.7	7.8	9.5	12.8	12.8
นายศรีนคร ทาวร	2.9	9.1	8.7	11.7	13.3

ตารางที่ 6.3 ตารางแสดงระดับสัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อขณะยกแขนค้างไว้ (90 องศา) ของแต่ละบุคคล



รูปที่ 6.31 กราฟแสดงระดับสัญญาณไฟฟ้ากล่อมเนื้อขณะยกแขนค้างไว้ (90 องศา) ของแต่ละบุคคล

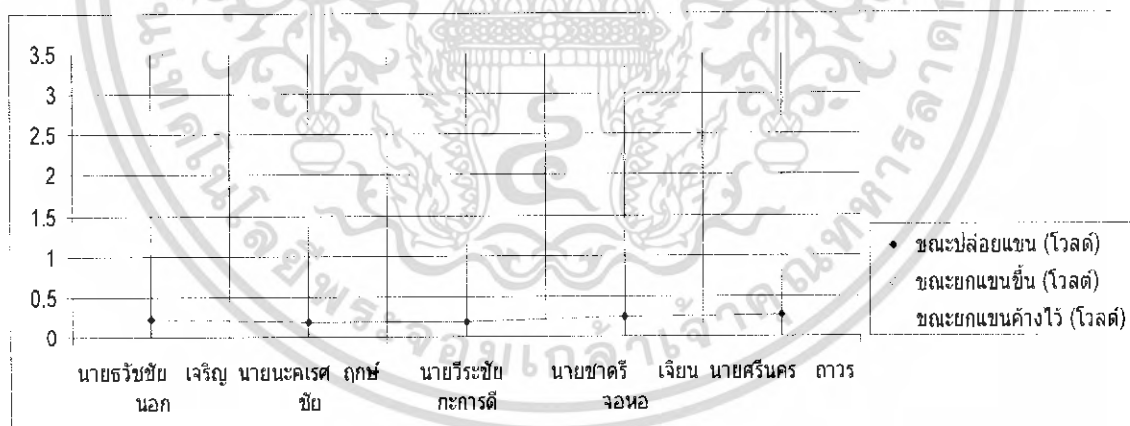
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.6 ระดับสัญญาณไฟฟ้ากล้ำเนื้อที่จะนำไปใช้ในการควบคุมแขนกล

จากการทดลองวัดค่าสัญญาณไฟฟ้ากล้ำเนื้อของผู้ทดสอบทั้งหมด 5 คน เพื่อหาระดับสัญญาณเฉลี่ยที่ใช้ในการยกแขน ผลการวัดที่ได้นั้นแสดงตามตารางที่ 6.1

ผู้ทำการทดลอง	ค่าระดับแรงดันขณะ ปล่อยแขน (โวลต์)	ค่าระดับแรงดันขณะ ยกแขนขึ้น (โวลต์)	ค่าระดับแรงดันขณะ ยกแขนค้างไว้ (โวลต์)
1	0.22	2.4	1.1
2	0.19	2.7	1.5
3	0.20	2.0	1.2
4	0.25	2.2	1.4
5	0.27	2.9	0.9
ค่าเฉลี่ย	0.226	2.44	1.22

ตารางที่ 6.4 แสดงระดับสัญญาณไฟฟ้ากล้ำเนื้อที่จะนำไปใช้ในการควบคุมแขนกล



รูปที่ 6.32 แสดงระดับของสัญญาณไฟฟ้ากล้ำเนื้อที่จะนำไปควบคุมแขนกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

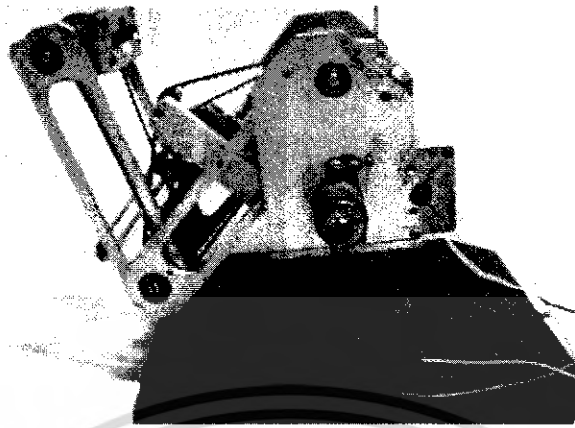
เมื่อเราได้ค่าระดับสัญญาณไฟฟ้าเฉลี่ยในขณะปล่อยแขนเท่ากับ 0.226 โวลต์ ขณะยกแขนขึ้นเท่ากับ 2.44 โวลต์ และขณะยกแขนค้างไว้เท่ากับ 1.22 โวลต์ เราจะนำค่าขณะยกแขนค้างไว้มาเป็นค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับสัญญาณที่วัดได้ขณะเราขยับแขนแล้วใช้โปรแกรม LabVIEW เปรียบเทียบแล้วส่งข้อมูลออกมาเป็นลอจิก 0 และ 1 โดยถ้าสัญญาณไฟฟ้ากล่อมนี้มีค่าต่ำกว่า 1.22 โวลต์จะส่งลอจิก 0 และถ้าสัญญาณไฟฟ้ากล่อมนี้มีค่ามากกว่า 1.22 โวลต์จะส่งลอจิก 1 ออกทางดิจิทัลเอาต์พุตของการ์ด DAQ ซึ่งการทำงานของแขนกลสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 6.33 แขนกลในลักษณะปล่อยแขนปกติ

รูปที่ 6.34 แขนกลในลักษณะกำลังยกแขนขึ้นและกำลังยกแขนลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.35 แขนกลในลักษณะยกแขนค้างไว้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อในโครงการนี้จะใช้โปรแกรม LabVIEW เป็นตัวแสดงผลและวิเคราะห์สัญญาณ โดยเริ่มต้นจากการออกแบบวงจรอินสตรูเมนต์ชั้น เพื่อทำการวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ โดยให้มีอัตราการขยายที่สูงเพราะขนาดของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อมีขนาดเล็กมากจึงจำเป็นต้องมีอัตราการขยายที่สูงและต้องมีสัญญาณรบกวนน้อยที่สุด สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ได้มาจะเป็นสัญญาณอนาล็อก การติดต่อกับคอมพิวเตอร์จะต้องเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลก่อนถึงจะติดต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ การเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลจะต้องใช้วงจร A/D แต่ในโครงการนี้ได้ใช้การ์ด USB 6008 เป็นตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลแทนวงจร A/D และยังเป็นตัวที่ใช้เชื่อมต่อระหว่าง Instrumentation Amplifier กับคอมพิวเตอร์ด้วย โดยที่การ์ด USB 6008 มีอัตราในการสุ่มวัด 10 KS/s การแสดงสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อบนคอมพิวเตอร์จะใช้โปรแกรม LabVIEW เป็นตัวแสดงผลและวิเคราะห์ โดยจะทำการวิเคราะห์คุณลักษณะของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่อเราขยับแขนในระดับต่าง ๆ กัน

จากการทดลองที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อนั้นมีรูปร่างลักษณะที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา ในขณะที่มีการเคลื่อนไหวหรือเกิดการทำงานของกล้ามเนื้อ และสามารถสรุปออกมาได้ดังนี้คือ

1. ขณะงอแขนขึ้น ขนาดของสัญญาณไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างมากและกะทันหันเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะปล่อยแขนตามสบาย
2. ช่วงงอแขนทิ้งไว้ ขนาดของสัญญาณจะลดลงจากช่วงงอแขนขึ้น แต่จะมีค่ามากกว่าขณะปล่อยตามสบาย ส่วนความถี่นั้นอยู่ในระดับเดียวกับช่วงงอแขนขึ้น
3. ขณะปล่อยแขนลง ขนาดของสัญญาณลดลงจนถึงจุดปล่อยแขนตามสบาย

จึงอาจกล่าวได้ว่าสัญญาณไฟฟ้าถูกส่งมาจากระบบประสาทในปริมาณที่สูงมากกว่าในสภาวะปกติที่ไม่มีการเคลื่อนไหวหรือในการบังคับกล้ามเนื้อหดตัว (งอแขน) และเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วแต่ในช่วงการคลายตัวนั้นกระแสไฟฟ้าจะค่อยๆ หายไปอย่างช้าๆ และจากการที่ทำการวัดค่าสัญญาณไฟฟ้าหลายๆ ครั้ง จะเห็นได้ว่าสัญญาณในการวัดแต่ละครั้งจะมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งรวมถึงการใช้แรงในการยกแขนด้วยคือ ถ้าหากมีการเกร็งแขนโดยใช้แรงไม่เท่ากันสัญญาณที่ได้ก็จะมีค่าไม่เท่ากันด้วย ถ้าออกแรงในการเกร็งแขนมากสัญญาณไฟฟ้าก็จะมีค่ามากตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากว่าสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเป็นสัญญาณที่มีระดับของสัญญาณที่ต่ำมาก ดังนั้น สิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ สัญญาณรบกวน เพราะว่าถ้าหากว่าสัญญาณรบกวนเข้ามามากๆ จะทำให้ แยกแยะระหว่างสัญญาณรบกวนและสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ได้ลำบากไม่สามารถนำไปใช้ในการ วิเคราะห์ได้ว่าช่วงไหนที่จอเซนขึ้น จอเซนลงและช่วงไหนที่วางแขนไว้ตามปกติ

### ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

1. เนื่องจากโปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมที่ค่อนข้างใหม่สำหรับคณะผู้จัดทำ จึงทำให้เกิดความล่าช้าเพราะต้องศึกษาโปรแกรมใหม่ทั้งหมด ทางคณะผู้จัดทำจึงพยายามศึกษาโปรแกรม โดยตลอดจนสามารถใช้งานได้ในระดับหนึ่ง

2. ในส่วนของ Instrumentation Amplifier จะมีปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนที่ค่อนข้างมาก จึงได้ใช้วิธีการลดสัญญาณรบกวนแบบต่างๆ โดยเราเลือกใช้โปรแกรม LabVIEW ในการกำจัดสัญญาณรบกวน

### แนวทางการพัฒนา

แนวทางในการพัฒนาต่อมี 2 ทาง ดังนี้

1. การนำสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อไปแสดงบนคอมพิวเตอร์โดยใช้ LabVIEW เป็นตัวแสดงผลและวิเคราะห์ผลเหมือนเดิมแต่จะเปลี่ยนแปลงโดยจะใช้การติดต่อระหว่าง Instrumentation Amplifier กับคอมพิวเตอร์ จะใช้พอร์ตอนุกรม (Serial port) แทนการใช้การ์ด USB 6008 ทำให้ต้องใช้วงจร A/D เพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล

2. เนื่องจากสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อในแต่ละจุดของร่างกายเรามีค่าแตกต่างกัน ดังนั้น เราต้องสร้าง Instrument Amplifier ให้มี Channel มากขึ้นและนำไปวัดสัญญาณในแต่ละจุดของ แขนงเรา นำสัญญาณแต่ละจุดที่วัดได้มาเปรียบเทียบกันเพื่อใช้ในการควบคุมแขนกลให้มีการ เคลื่อนไหวเหมือนแขนของเรามากที่สุด

บรรณานุกรม

1. Mahesh L. Chugani ,“ LabVIEW Signal Processing” ,1998
2. John G. Webster , Editor ,“Medical Instrumentation Application and Design” , 1998
3. Jacques Duchene and Jean-Yves Hogrel , “A Model of EMG Generation” , IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING , VOL. 47 , NO 2 FEBRUARY 2000
4. Kevin C. McGill , Zoia C.Lateva , and Shaojun Xiao ,“A Model of the Muscle Action Potential for describing the Leading Edge , Terminal Wave , and Slow After wave” ,IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING , VOL.48 , NO. 12 , DECEMBER 2001
5. Kevin C. McGill\* and Zoia C.Lateva ,“A Model of the Muscle-Fiber Intracellular Action Potential Waveform , Including the Slow Repolarization Phase” , IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING ,VOL.48 , NO. 12 ,DECEMBER 2001
6. Ludovic Dupont ,“Motor unit recruitment and EMG power spectra during ramp contractions of a bifunctional muscle” , journal of Electromyography and Kinesiology 10 (2000)
7. D.Farina ,“Two methods for the measurement of voluntary contraction torque in the biceps brachii muscle” ,Medical Engineering & Physics 21 (1999)
8. A.D. Cechetto , “The effects of four time-varying factors on the mean frequency of a myoelectric signal” , Journal of Electromyography and Kinesiology 11 (2001)
9. K.Roeleveld ,“ Volume Conduction Models for Surface EMG; Confrontation with Measurements” , J.Electromyogr. Kinesiol. Vol.7 ,1997
10. Martin Bilodeau ,“Variations in the relationship between the frequency content of EMG signals and the rate of torque development in voluntary and elicited contractions” , Journal of Electromyography and Kinesiology 12 (2002)
11. J.-Y. Hogrel ,“Use of surface EMG for studying motor unit recruitment during isometric linear force ramp” , Journal of Electromyography and Kinesiology 13 (2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. Adrian Burden ,“Normalization of EMG amplitude : an evaluation and comparison of old and new methods” , Medical Engineering & Physics 21 (1999)
13. GianCarlo Filligoi ,“ Detection of hidden rhythms in surface EMG signals with a nonlinear time-series tool” , Fractal analysis of surface EMG signals from the biceps” , International Journal of Medical Informatics 45 (1997)

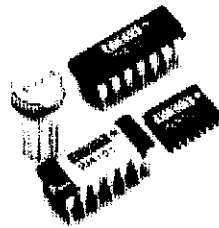


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



INA101

## High Accuracy INSTRUMENTATION AMPLIFIER

### FEATURES

- LOW DRIFT: 0.25 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C max
- LOW OFFSET VOLTAGE: 25 $\mu$ V max
- LOW NONLINEARITY: 0.002%
- LOW NOISE: 13nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
- HIGH CMR: 106dB AT 60Hz
- HIGH INPUT IMPEDANCE: 10<sup>10</sup> $\Omega$
- 14-PIN PLASTIC, CERAMIC DIP, SOL-16, AND TO-100 PACKAGES

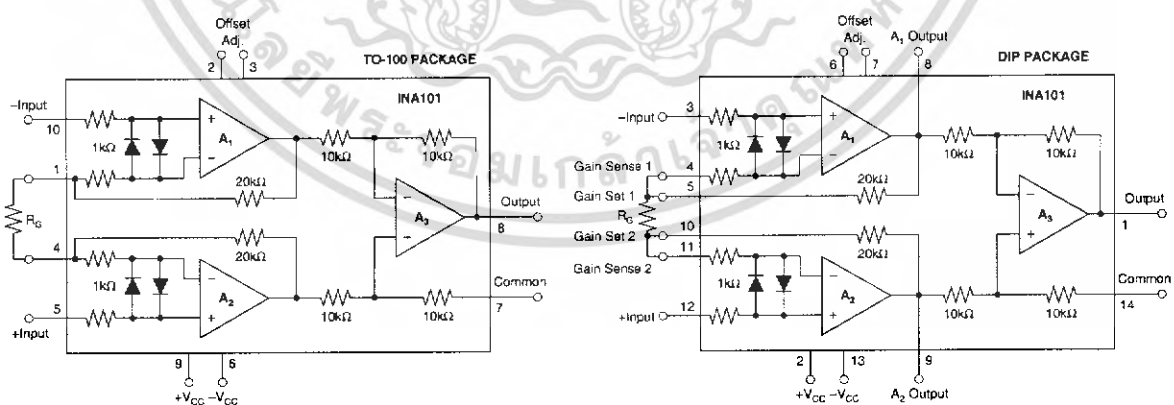
### APPLICATIONS

- STRAIN GAGES
- THERMOCOUPLES
- RTDs
- REMOTE TRANSDUCERS
- LOW-LEVEL SIGNALS
- MEDICAL INSTRUMENTATION

### DESCRIPTION

The INA101 is a high accuracy instrumentation amplifier designed for low-level signal amplification and general purpose data acquisition. Three precision op amps and laser-trimmed metal film resistors are integrated on a single monolithic integrated circuit.

The INA101 is packaged in TO-100 metal, 14-pin plastic and ceramic DIP, and SOL-16 surface-mount packages. Commercial, industrial and military temperature range models are available.



International Airport Industrial Park • Mailing Address: PO Box 11400, Tucson, AZ 85734 • Street Address: 6730 S. Tucson Blvd., Tucson, AZ 85706 • Tel: (520) 746-1111 • Twx: 910-952-1111  
Internet: <http://www.burr-brown.com/> • FAXLine: (800) 548-6133 (US/Canada Only) • Cable: BBRCORP • Telex: 066-6491 • FAX: (520) 889-1510 • Immediate Product Info: (800) 548-6132

©1981 Burr-Brown Corporation

PDS-454K

Printed in U.S.A. July, 1998

# PECIFICATIONS

## ELECTRICAL

±25°C with ±15VDC power supply and in circuit of Figure 1, unless otherwise noted.

PARAMETER	INA101AM, AG			INA101SM, SG			INA101CM, CG			INA101HP, KU			UNITS
	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
GAIN Voltage Gain Gain Equation Error from Equation, DC <sup>(1)</sup>  Gain Temp. Coefficient <sup>(2)</sup> G = 1 G = 10 G = 100 G = 1000 Nonlinearity, DC <sup>(3)</sup>	1	$G = 1 + (40k/R_G)$ $\pm(0.04 + 0.00016G$ $-0.02/G)$	1000 $\pm(0.1 + 0.0003G$ $-0.05/G)$	•	•	•	•	•	•	•	$\pm(0.1 +$ $0.00015G)$ $-0.05/G)$	$\pm(0.3 +$ $0.0002G)$ $-0.10/G)$	V/V V/V %
		2	5	•	•	•	•	•	•	•	•	•	ppm/°C
		20	100	•	•	•	•	10	•	•	•	•	ppm/°C
		22	110	•	•	•	•	11	•	•	•	•	ppm/°C
		22	110	•	•	•	•	11	•	•	•	•	ppm/°C
	$\pm(0.002 + 10^{-5} G)$	$\pm(0.005 + 2 \times 10^{-5} G)$		$\pm(0.001$ $+10^{-5} G)$	$\pm(0.002$ $+10^{-5} G)$		$\pm(0.001$ $+10^{-5} G)$	$\pm(0.002$ $+10^{-5} G)$					% of p-p FS
LIMITED OUTPUT Voltage Current Input Impedance Capacitive Load	±10	±12.5		•	•	•	•	•	•	•	•	•	V mA Ω pF
	±5	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		0.2		•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		1000		•	•	•	•	•	•	•	•	•	
INPUT OFFSET VOLTAGE Initial Offset at -25°C  vs Temperature  vs Supply vs Time		±(25 - 200/G)	±(50 + 400/G)	±10- 100/G)	±(25 +200/G)	±(10- 100/G)	±(10- 100/G)	±(25 + 200/G)	±(125 + 450/G)	±(125 - 450/G)	±(250 + 900/G)		μV μV/°C μV/V μV/min
			±(2 + 20/G)		±(0.75 + 10/G)			±(0.25 + 10/G)					
		±(1 - 20/G)											
		±(1 - 20/G)											
INPUT BIAS CURRENT Initial Bias Current (each input) vs Temperature vs Supply Initial Offset Current vs Temperature		±15	±30	±10		±5	±20						nA nA/°C nA/V nA nA/°C
		±0.2											
		±0.1											
		±15	±30	±10		±5	±20						
		±0.5											
INPUT IMPEDANCE Differential Common-mode		10 <sup>10</sup>    3											Ω    pF Ω    pF
		10 <sup>10</sup>    3											
INPUT VOLTAGE RANGE Voltage, Linear Response MR with 1kΩ Source Imbalance DC to 60Hz, G = 1 DC to 60Hz, G = 10 DC to 60Hz, G = 100 to 1000	±10	±12											V dB dB dB
	80	90							65	85			
	96	106							90	95			
	106	110							100	105			
INPUT NOISE μV Voltage Noise f <sub>B</sub> = 0.01Hz to 10Hz Density, G = 1000 f <sub>B</sub> = 10Hz f <sub>B</sub> = 100Hz f <sub>B</sub> = 1kHz pA Current Noise f <sub>B</sub> = 0.01Hz to 10Hz Density f <sub>B</sub> = 10Hz f <sub>B</sub> = 100Hz f <sub>B</sub> = 1kHz		0.8											μV, p-p nV/√Hz nV/√Hz nV/√Hz pA, p-p pA/√Hz pA/√Hz pA/√Hz
		18											
		15											
		13											
		50											
		0.8											
DYNAMIC RESPONSE Small Signal, ±3dB Flatness G = 1 G = 10 G = 100 G = 1000 Small Signal, ±1% Flatness G = 1 G = 10 G = 100 G = 1000 Full Power, G = 1 to 100 Slew Rate, G = 1 to 100 Settling Time (0.1%) G = 1 G = 100 G = 1000 Settling Time (0.01%) G = 1 G = 100 G = 1000		300											
		140											
		25											
		2.5											
		20											
		10											
		1											
		200											
		6.4											
		0.4											
		30	40										μs
		40	55										μs
		350	470										μs
		30	45										μs
		50	70										μs
	500	650										μs	
POWER SUPPLY Rated Voltage Voltage Range Current, Quiescent <sup>(4)</sup>	±5	±15	±20	•	•	•	•	•	•	•	•	•	V V mA
		±6.7	±8.5										
TEMPERATURE RANGE <sup>(5)</sup> Specification Operation Storage	-25		+85	-55		-125	•	•	•	0		+70	°C °C °C
	-55		-125	•	•	•	•	•	•	-25		+85	
	-65		+150	•	•	•	•	•	•	-40		+85	

Specifications same as for INA101AM, AG.

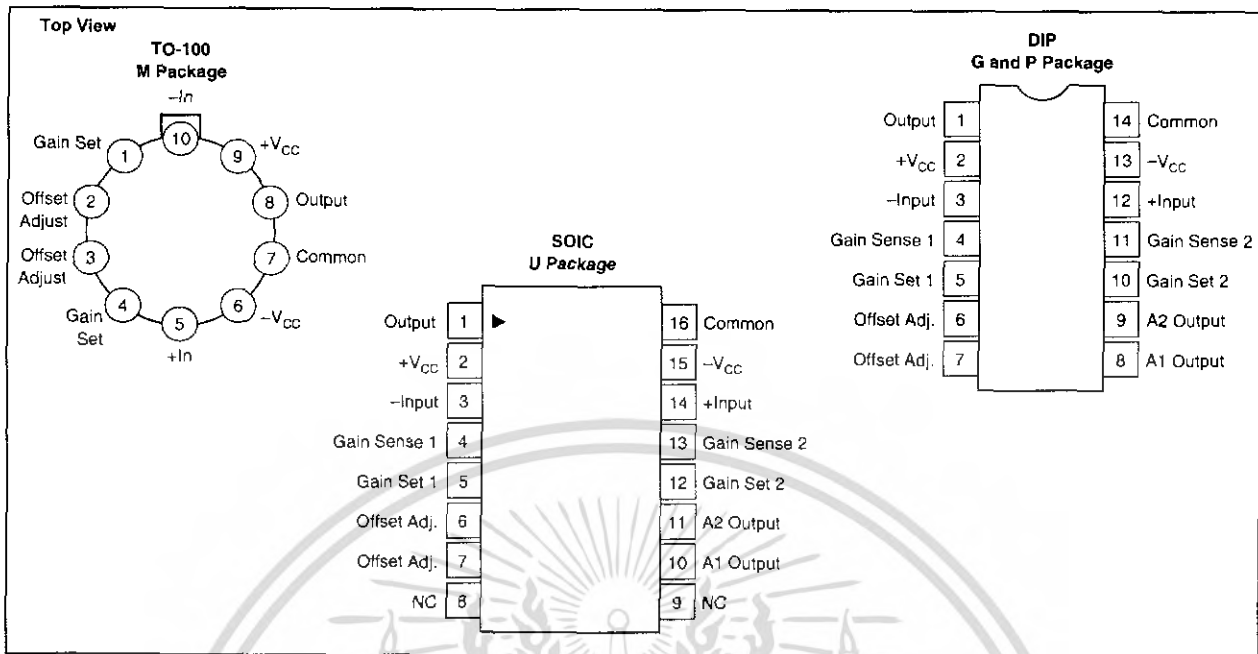
NOTES: (1) Typically the tolerance of R<sub>G</sub> will be the major source of gain error. (2) Nonlinearity is the maximum peak deviation from the best straight-line as a percentage of peak-to-peak full scale output. (3) Not including the TCR of R<sub>G</sub>. (4) Adjustable zero at any one gain. (5) θ<sub>JC</sub> output stage = 113°C/W, θ<sub>JC</sub> quiescent circuitry = 19°C/W, θ<sub>Jθ</sub> = 83°C/W



INA101 กสารที่สวนงไว้สำหรับการใช้งาน<sup>2</sup>เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## PIN CONFIGURATIONS



## ORDERING INFORMATION

PRODUCT	PACKAGE	TEMPERATURE RANGE
INA101AM	10-Pin Metal TO-100	-25°C to +85°C
INA101CM	10-Pin Metal TO-100	-25°C to +85°C
INA101AG	14-Pin Ceramic DIP	-25°C to +85°C
INA101CG	14-Pin Ceramic DIP	-25°C to +85°C
INA101HP	14-Pin Plastic DIP	0°C to +70°C
INA101KU	SDL-16 Surface-Mount	0°C to +70°C
INA101SG	14-Pin Ceramic DIP	-55°C to +125°C
INA101SM	10-Pin Metal TO-100	-55°C to +125°C

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage	±20V
Power Dissipation	600mW
Input Voltage Range	±V <sub>CC</sub>
Output Short Circuit (to ground)	Continuous
Operating Temperature M, G Package	-55°C to +125°C
P, U Package	-25°C to +85°C
Storage Temperature M, G Package	-65°C to +150°C
P, U Package	-40°C to +85°C
Lead Temperature (soldering, 10s) M, G, P Package	+300°C
Lead Temperature (wave soldering, 3s) U Package	+260°C

## PACKAGE INFORMATION

PRODUCT	PACKAGE	PACKAGE DRAWING NUMBER(1)
INA101AM	10-Pin Metal TO-100	007
INA101CM	10-Pin Metal TO-100	007
INA101AG	14-Pin Ceramic DIP	169
INA101CG	14-Pin Ceramic DIP	169
INA101HP	14-Pin Plastic DIP	010
INA101KU	SOL-16 Surface-Mount	211
INA101SG	14-Pin Ceramic DIP	169
INA101SM	10-Pin Metal TO-100	007

NOTE: (1) For detailed drawing and dimension table, please see end of data sheet, or Appendix D of Burr-Brown IC Data Book.



## ELECTROSTATIC DISCHARGE SENSITIVITY

This integrated circuit can be damaged by ESD. Burr-Brown recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

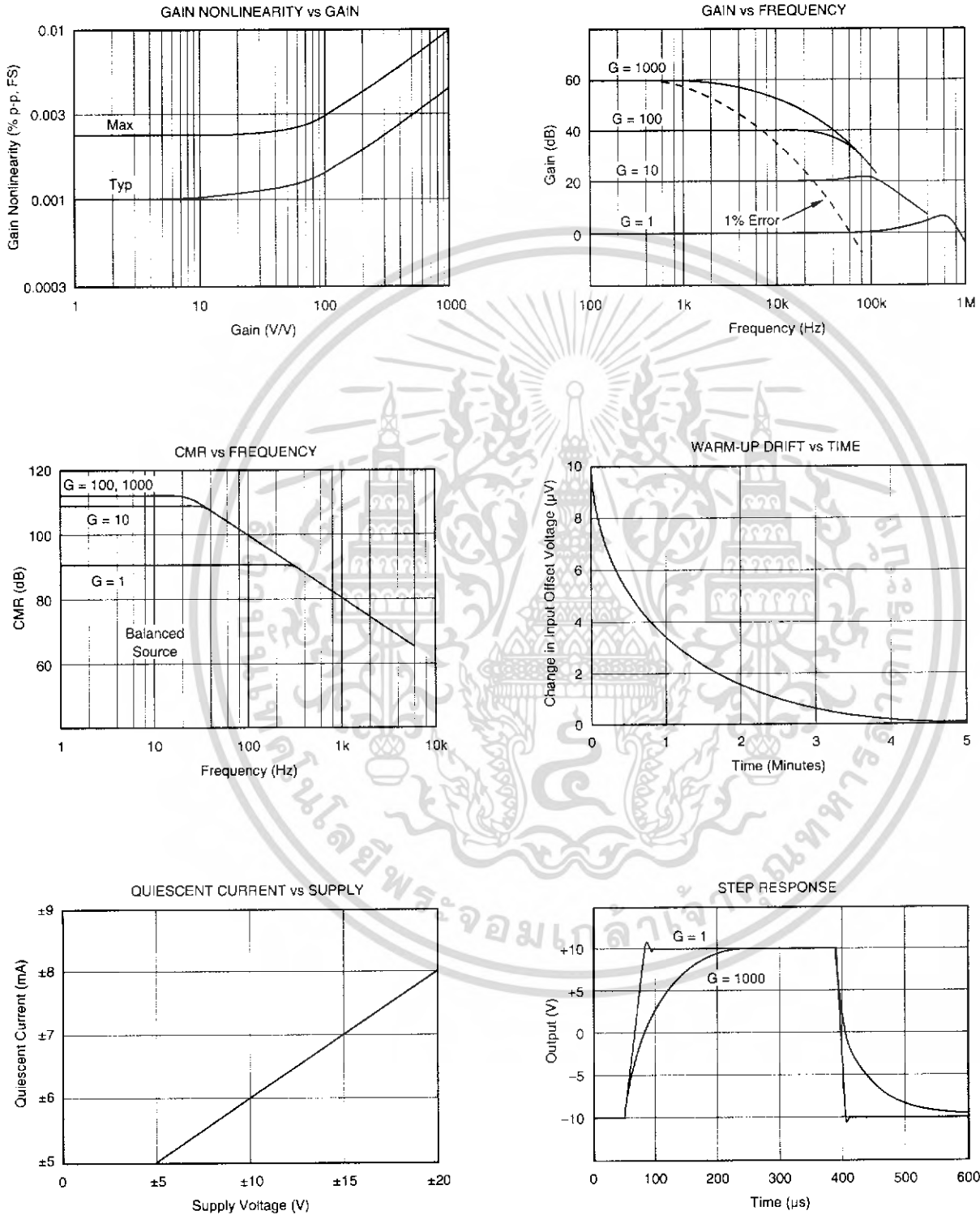
The information provided herein is believed to be reliable; however, BURR-BROWN assumes no responsibility for inaccuracies or omissions. BURR-BROWN assumes no responsibility for the use of this information, and all use of such information shall be entirely at the user's own risk. Prices and specifications are subject to change without notice. No patent rights or licenses to any of the circuits described herein are implied or granted to any third party. BURR-BROWN does not authorize or warrant any BURR-BROWN product for use in life support devices and/or systems.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INA101

# TYPICAL PERFORMANCE CURVES

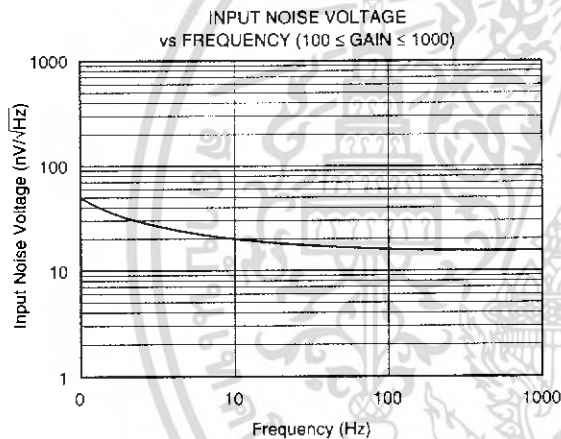
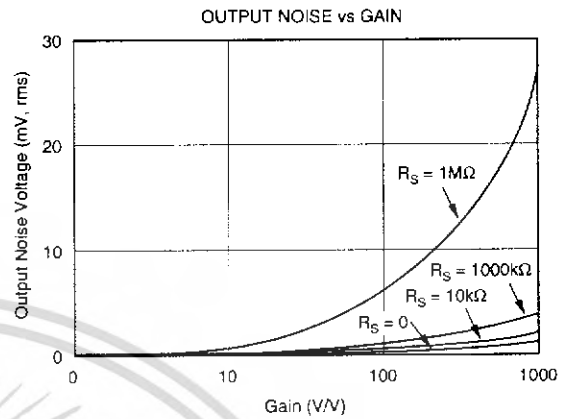
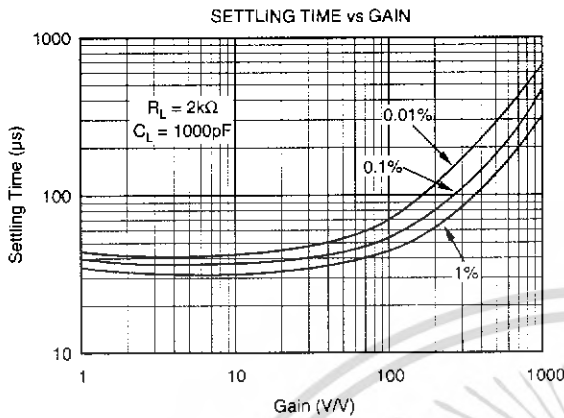
At +25°C,  $V_{CC} = \pm 15V$  unless otherwise noted.



INA101

# TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

At +25°C, V<sub>CC</sub> = ±15V unless otherwise noted.



## APPLICATION INFORMATION

Figure 1 shows the basic connections required for operation of the INA101. (Pin numbers shown are for the TO-100 metal package.) Applications with noisy or high impedance power supplies may require decoupling capacitors close to the device pins as shown.

The output is referred to the output Common terminal which is normally grounded. This must be a low-impedance connection to assure good common-mode rejection. A resistance greater than 0.1Ω in series with the Common pin will cause common-mode rejection to fall below 106dB.

### SETTING THE GAIN

Gain of the INA101 is set by connecting a single external resistor, R<sub>G</sub>:

$$G = 1 + \frac{40k\Omega}{R_G} \quad (1)$$

The 40kΩ term in equation (1) comes from the sum of the two internal feedback resistors. These are on-chip metal film resistors which are laser trimmed to accurate absolute values. The accuracy and temperature coefficient of these resistors are included in the gain accuracy and drift specifications of the INA101.

The stability and temperature drift of the external gain setting resistor, R<sub>G</sub>, also affects gain. R<sub>G</sub>'s contribution to gain accuracy and drift can be directly inferred from the gain equation (1). Low resistor values required for high gain can make wiring resistance important. Sockets add to the wiring resistance which will contribute additional gain error (possibly an unstable gain error) in gains of approximately 100 or greater. The gain sense connections on the DIP and SOL-16 packages (see Figure 2) reduce the gain error produced by wiring or socket resistance.

## OFFSET TRIMMING

The INA101 is laser trimmed for low offset voltage and drift. Most applications require no external offset adjustment. Figure 2 shows connection of an optional potentiometer connected to the Offset Adjust pins for trimming the input offset voltage. (Pin numbers shown are for the DIP package.) Use this adjustment to null the offset voltage in high gain ( $G \geq 100$ ) with both inputs connected to ground. Do not use this adjustment to null offset produced by the source or other system offset since this will increase the offset voltage drift by  $0.3\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  per  $100\mu\text{V}$  of adjusted offset.

Offset of the output amplifier usually dominates when the INA101 is used in unity gain ( $G = 1$ ). The output offset

voltage can be adjusted with the optional trim circuit connected to the Common pin as shown in Figure 2. The voltage applied to Common terminal is summed with the output. Low impedance must be maintained at this node to assure good common-mode rejection. The op amp connected as a buffer provides low impedance.

## THERMAL EFFECTS ON OFFSET VOLTAGE

To achieve lowest offset voltage and drift, prevent air currents from circulating near the INA101. Rapid changes in temperature will produce a thermocouple effect on the package leads that will degrade offset voltage and drift. A shield or cover that prevents air currents from flowing near the INA101 will assure best performance.

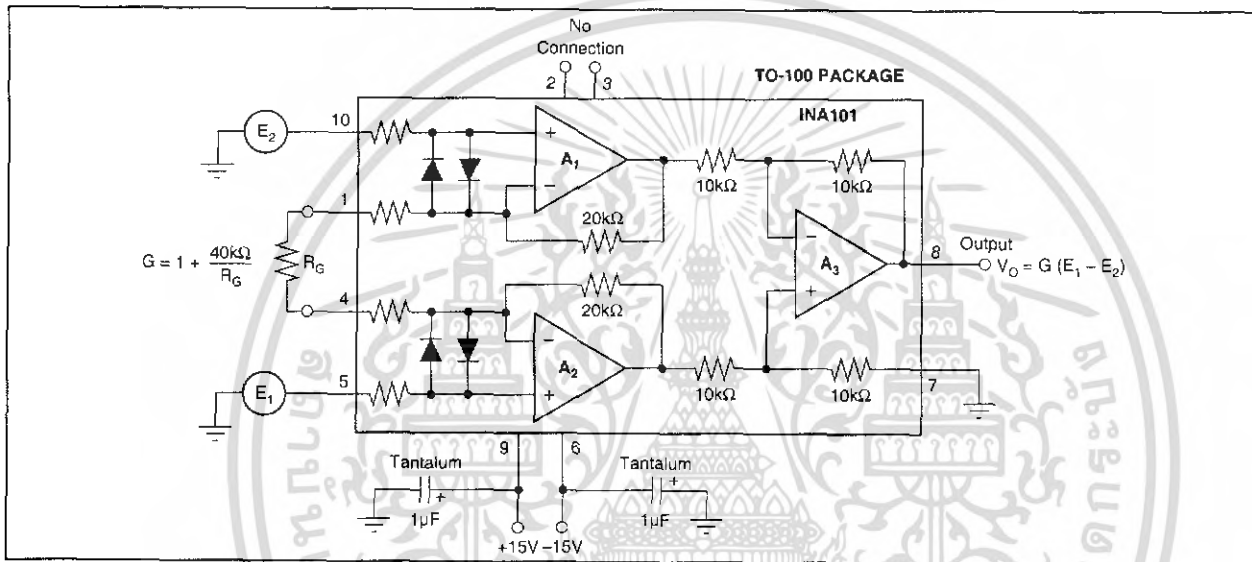


FIGURE 1. Basic Connections.

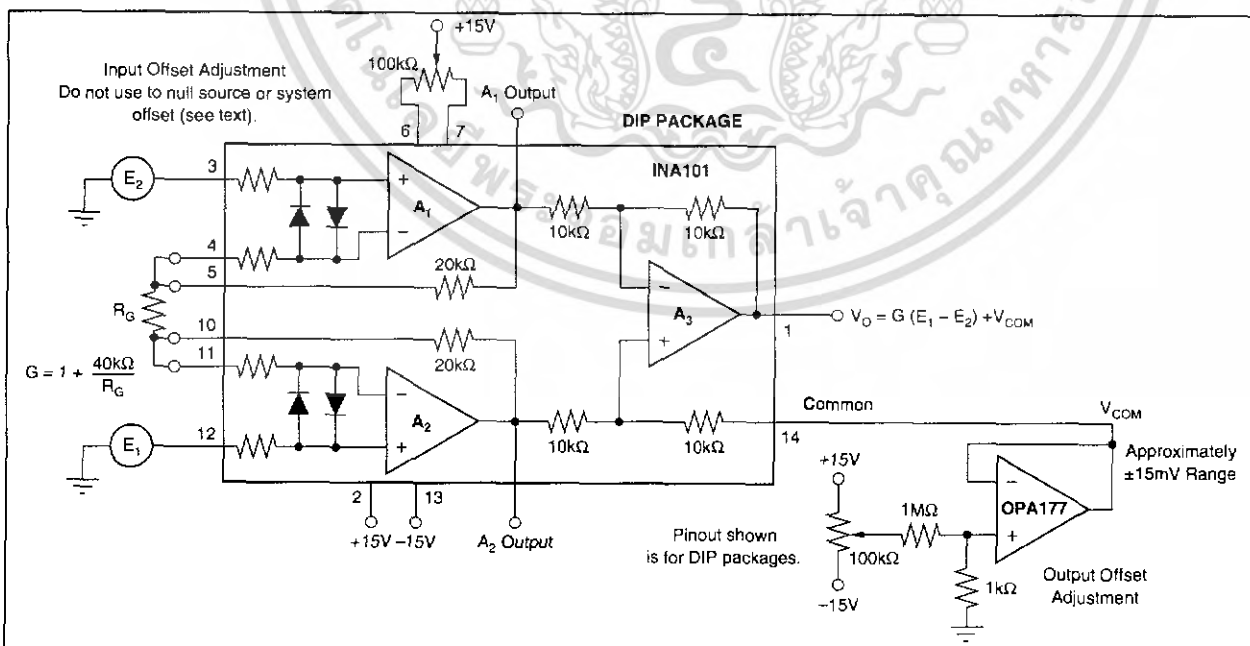


FIGURE 2. Optional Trimming of Input and Output Offset Voltage.



INA101 กสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PACKAGING INFORMATION**

Orderable Device	Status <sup>(1)</sup>	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan <sup>(2)</sup>	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp <sup>(3)</sup>
INA101AG	NRND	CDIP SB	JD	14	27	Green (RoHS & no Sb/Br)	Call TI	N / A for Pkg Type
INA101AM	NRND	TO-100	LME	10	20	Green (RoHS & no Sb/Br)	Call TI	N / A for Pkg Type
INA101AM2	OBSOLETE	TO-100	LME	10		TBD	Call TI	Call TI
INA101CM	NRND	TO-100	LME	10	20	Green (RoHS & no Sb/Br)	Call TI	N / A for Pkg Type
INA101CM1	OBSOLETE	TO-100	LME	10		TBD	Call TI	Call TI
INA101HP	ACTIVE	PDIP	N	14	25	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
INA101KU	ACTIVE	SOIC	DW	16	48	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
INA101KU/1K	ACTIVE	SOIC	DW	16	1000	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
INA101SG1	OBSOLETE	TO-100	LME	10		TBD	Call TI	Call TI
INA101SM	NRND	TO-100	LME	10	20	Green (RoHS & no Sb/Br)	Call TI	N / A for Pkg Type

<sup>(1)</sup> 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.

<sup>(2)</sup> 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)

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

**Important Information and Disclaimer:** The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

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

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

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI 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 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. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation.

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

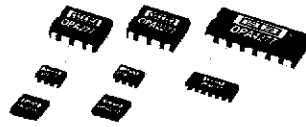
Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

<b>Products</b>		<b>Applications</b>	
Amplifiers	<a href="http://amplifier.ti.com">amplifier.ti.com</a>	Audio	<a href="http://www.ti.com/audio">www.ti.com/audio</a>
Data Converters	<a href="http://dataconverter.ti.com">dataconverter.ti.com</a>	Automotive	<a href="http://www.ti.com/automotive">www.ti.com/automotive</a>
DSP	<a href="http://dsp.ti.com">dsp.ti.com</a>	Broadband	<a href="http://www.ti.com/broadband">www.ti.com/broadband</a>
Interface	<a href="http://interface.ti.com">interface.ti.com</a>	Digital Control	<a href="http://www.ti.com/digitalcontrol">www.ti.com/digitalcontrol</a>
Logic	<a href="http://logic.ti.com">logic.ti.com</a>	Military	<a href="http://www.ti.com/military">www.ti.com/military</a>
Power Mgmt	<a href="http://power.ti.com">power.ti.com</a>	Optical Networking	<a href="http://www.ti.com/opticalnetwork">www.ti.com/opticalnetwork</a>
Microcontrollers	<a href="http://microcontroller.ti.com">microcontroller.ti.com</a>	Security	<a href="http://www.ti.com/security">www.ti.com/security</a>
		Telephony	<a href="http://www.ti.com/telephony">www.ti.com/telephony</a>
		Video & Imaging	<a href="http://www.ti.com/video">www.ti.com/video</a>
		Wireless	<a href="http://www.ti.com/wireless">www.ti.com/wireless</a>

Mailing Address: Texas Instruments  
Post Office Box 655303 Dallas, Texas 75265

Copyright © 2006, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## High Precision OPERATIONAL AMPLIFIERS

### FEATURES

- **ULTRA LOW OFFSET VOLTAGE:** 10 $\mu$ V
- **ULTRA LOW DRIFT:**  $\pm 0.1\mu$ V/ $^{\circ}$ C
- **HIGH OPEN-LOOP GAIN:** 134dB
- **HIGH COMMON-MODE REJECTION:** 140dB
- **HIGH POWER SUPPLY REJECTION:** 130dB
- **LOW BIAS CURRENT:** 1nA max
- **WIDE SUPPLY RANGE:**  $\pm 2$ V to  $\pm 18$ V
- **LOW QUIESCENT CURRENT:** 800 $\mu$ A/amplifier
- **SINGLE, DUAL, AND QUAD VERSIONS**
- **REPLACES OP-07, OP-77, OP-177**

### APPLICATIONS

- **TRANSDUCER AMPLIFIER**
- **BRIDGE AMPLIFIER**
- **TEMPERATURE MEASUREMENTS**
- **STRAIN GAGE AMPLIFIER**
- **PRECISION INTEGRATOR**
- **BATTERY POWERED INSTRUMENTS**
- **TEST EQUIPMENT**

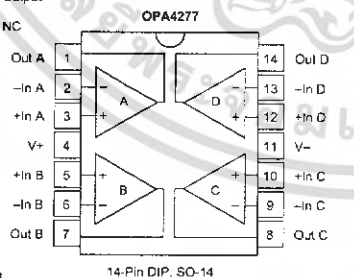
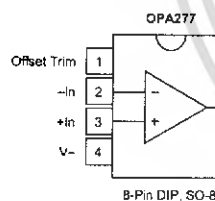
### DESCRIPTION

The OPA277 series precision op amps replace the industry standard OP-177. They offer improved noise, wider output voltage swing, and are twice as fast with half the quiescent current. Features include ultra low offset voltage and drift, low bias current, high common-mode rejection, and high power supply rejection. Single, dual, and quad versions have identical specifications for maximum design flexibility.

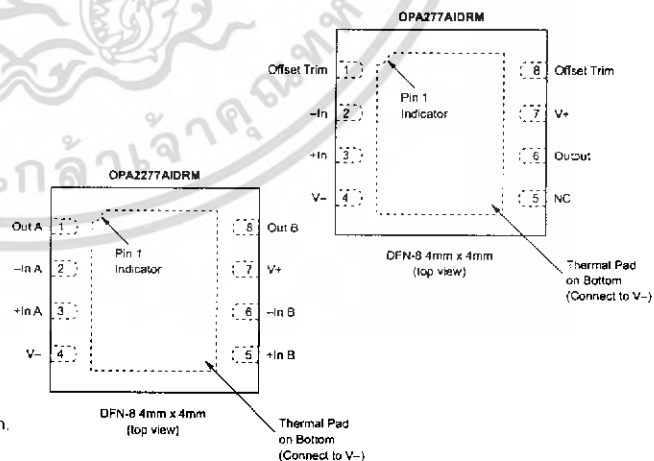
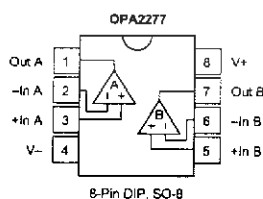
OPA277 series op amps operate from  $\pm 2$ V to  $\pm 18$ V supplies with excellent performance. Unlike most op amps which are specified at only one supply voltage, the OPA277 series is specified for real-world applications; a single limit applies over the  $\pm 5$ V to  $\pm 15$ V supply range. High performance is maintained as the amplifiers swing to their specified limits. Because the initial offset voltage ( $\pm 20\mu$ V max) is so low, user adjustment is usually not required. However, the single version (OPA277) provides external trim pins for special applications.

OPA277 op amps are easy to use and free from phase inversion and overload problems found in some other op amps. They are stable in unity gain and provide excellent dynamic behavior over a wide range of load conditions. Dual and quad versions feature completely independent circuitry for lowest crosstalk and freedom from interaction, even when overdriven or overloaded.

Single (OPA277) and dual (OPA2277) versions are available in DIP-8, SO-8, and DFN-8 (4mm x 4mm) packages. The quad (OPA4277) comes in DIP-14 and SO-14 surface-mount packages. All are fully specified from  $-40^{\circ}$ C to  $+85^{\circ}$ C and operate from  $-55^{\circ}$ C to  $+125^{\circ}$ C.



NC = No connection.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

All trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



Copyright © 1999-2005, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS<sup>(1)</sup>

Supply Voltage .....	36V
Input Voltage .....	(V-) -0.7V to (V+) +0.7V
Output Short-Circuit <sup>(2)</sup> .....	Continuous
Operating Temperature .....	-55°C to +125°C
Storage Temperature .....	-55°C to +125°C
Junction Temperature .....	150°C
Lead Temperature (soldering, 10s) .....	300°C
ESD Rating (Human Body Model) .....	2000V
(Machine Model) .....	100V

NOTE: (1) Stresses above these rating may cause permanent damage. Exposure to absolute maximum conditions for extended periods may degrade device reliability. (2) Short-circuit to ground, one amplifier per package.



## ELECTROSTATIC DISCHARGE SENSITIVITY

This integrated circuit can be damaged by ESD. Texas Instruments recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

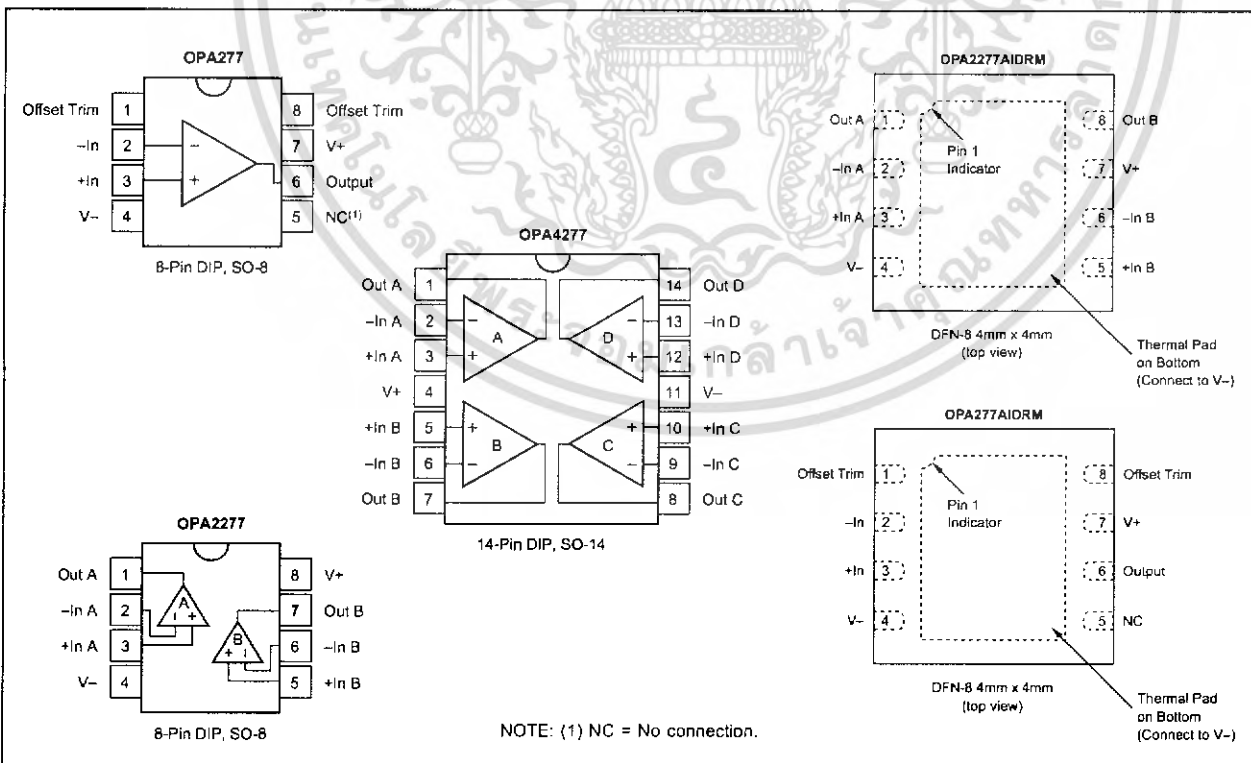
ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

## PACKAGE/ORDERING INFORMATION<sup>(1)</sup>

PRODUCT	OFFSET VOLTAGE max, $\mu\text{V}$	OFFSET VOLTAGE DRIFT max, $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	PACKAGE-LEAD
<b>Single</b>			
OPA277PA	$\pm 50$	$\pm 1$	DIP-8
OPA277P	$\pm 20$	$\pm 0.15$	DIP-8
OPA277UA	$\pm 50$	$\pm 1$	SO-8 Surface Mount
OPA277U	$\pm 20$	$\pm 0.15$	SO-8 Surface Mount
OPA277AIDRM	$\pm 100$	$\pm 1$	DFN-8 (4mm x 4mm)
<b>Dual</b>			
OPA2277PA	$\pm 50$	$\pm 1$	DIP-8
OPA2277P	$\pm 25$	$\pm 0.25$	DIP-8
OPA2277UA	$\pm 50$	$\pm 1$	SO-8 Surface Mount
OPA2277U	$\pm 25$	$\pm 0.25$	SO-8 Surface Mount
OPA2277AIDRM	$\pm 100$	$\pm 1$	DFN-8 (4mm x 4mm)
<b>Quad</b>			
OPA4277PA	$\pm 50$	$\pm 1$	DIP-14
OPA4277UA	$\pm 50$	$\pm 1$	SO-14 Surface Mount

NOTE: (1) For the most current package and ordering information, see the Package Option Addendum located at the end of this data sheet or visit the TI web site at [www.ti.com](http://www.ti.com).

## PIN DESCRIPTIONS



# ELECTRICAL CHARACTERISTICS: $V_S = \pm 5V$ to $V_S = \pm 15V$

At  $T_A = +25^\circ C$ , and  $R_L = 2k\Omega$ , unless otherwise noted.

**Boldface** limits apply over the specified temperature range,  $-40^\circ C$  to  $+85^\circ C$ .

PARAMETER	CONDITION	OPA277P, U OPA2277P, U			OPA277PA, UA OPA2277PA, UA OPA4277PA, UA			OPA277AIDRM, OPA2277AIDRM			UNITS
		MIN	TYP <sup>(1)</sup>	MAX	MIN	TYP <sup>(1)</sup>	MAX	MIN	TYP <sup>(1)</sup>	MAX	
<b>OFFSET VOLTAGE</b> Input Offset Voltage: $V_{OS}$ OPA277P, U (high grade, single) OPA2277P, U (high grade, dual) All PA, UA, Versions AIDRM Versions			$\pm 10$	$\pm 20$		$\pm 20$	$\pm 50$		$\pm 35$	$\pm 100$	$\mu V$ $\mu V$ $\mu V$ $\mu V$
<b>Input Offset Voltage Over Temperature</b> OPA277P, U (high grade, single) OPA2277P, U (high grade, dual) All PA, UA, Versions AIDRM Versions	$T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$ $T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$ $T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$ $T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$			$\pm 30$ $\pm 50$			$\pm 100$				$\mu V$ $\mu V$ $\mu V$ $\mu V$
<b>Input Offset Voltage Drift</b> $dV_{OS}/dT$ OPA277P, U (high grade, single) OPA2277P, U (high grade, dual) All PA, UA, AIDRM Versions	$T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$ $T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$ $T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$		$\pm 0.1$ $\pm 0.1$	$\pm 0.15$ $\pm 0.25$		$\pm 0.15$	$\pm 1$		$\pm 0.15$	$\pm 1$	$\mu V/^\circ C$ $\mu V/^\circ C$ $\mu V/^\circ C$
<b>Input Offset Voltage: (all models) vs Time</b> <b>vs Power Supply</b> PSRR $T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$ <b>Channel Separation (dual, quad)</b>	$V_S = \pm 2V$ to $\pm 18V$ $V_S = \pm 2V$ to $\pm 18V$ dc		0.2 $\pm 0.3$	$\pm 0.5$ $\pm 0.5$		* *	$\pm 1$ $\pm 1$		* *	$\pm 1$ $\pm 1$	$\mu V/mo$ $\mu V/V$ $\mu V/V$ $\mu V/V$
<b>INPUT BIAS CURRENT</b> Input Bias Current $I_b$ $T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$ Input Offset Current $I_{OS}$ $T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$			$\pm 0.5$	$\pm 1$ $\pm 2$		* *	$\pm 2.8$ $\pm 4$ $\pm 2.8$ $\pm 4$			$\pm 2.8$ $\pm 4$ $\pm 2.8$ $\pm 4$	nA nA nA nA
<b>NOISE</b> Input Voltage Noise, $f = 0.1$ to $10Hz$ Input Voltage Noise Density, $f = 10Hz$ $e_n$ $f = 100Hz$ $f = 1kHz$ $f = 10kHz$ Current Noise Density, $f = 1kHz$ $i_n$			0.22 0.035 12 8 8 8			* * * * * *		* * * * * *			$\mu V_{pp}$ $\mu V_{rms}$ nV/ $\sqrt{Hz}$ nV/ $\sqrt{Hz}$ nV/ $\sqrt{Hz}$ nV/ $\sqrt{Hz}$ pA/ $\sqrt{Hz}$
<b>INPUT VOLTAGE RANGE</b> Common-Mode Voltage Range $V_{CM}$ Common-Mode Rejection CMRR $T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$	$V_{CM} = (V-) + 2V$ to $(V+) - 2V$ $V_{CM} = (V-) + 2V$ to $(V+) - 2V$	(V-) + 2 130 128	140	(V+) - 2	* 115 115	* * *	* 115 115	* * *	* 115 115	* * *	V dB dB
<b>INPUT IMPEDANCE</b> Differential Common-Mode	$V_{CM} = (V-) + 2V$ to $(V+) - 2V$		100    3 250    3			* *		* *			M $\Omega$    pF G $\Omega$    pF
<b>OPEN-LOOP GAIN</b> Open-Loop Voltage Gain $A_{OL}$  $T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$	$V_O = (V-) - 0.5V$ to $(V+) - 1.2V$ , $R_L = 10k\Omega$ $V_O = (V-) + 1.5V$ to $(V+) - 1.5V$ , $R_L = 2k\Omega$ $V_O = (V-) + 1.5V$ to $(V+) - 1.5V$ , $R_L = 2k\Omega$		140			* * *		* * *			dB dB dB
<b>FREQUENCY RESPONSE</b> Gain-Bandwidth Product GBW Slew Rate SR Settling Time, 0.1% 0.01% Overload Recovery Time Total Harmonic Distortion + Noise THD+N	$V_S = \pm 15V$ , $G = 1$ , 10V Step $V_S = \pm 15V$ , $G = 1$ , 10V Step $V_{IN} * G = V_S$ 1kHz, $G = 1$ , $V_O = 3.5V_{rms}$		1 0.8 14 16 3 0.002			* * * * * *		* * * * * *			MHz V/ $\mu s$ $\mu s$ $\mu s$ $\mu s$ %

\* Specifications same as OPA277P, U.

NOTE: (1)  $V_S = \pm 15V$ .

## OPA277, OPA2277, OPA4277

SBOS079A



www.ti.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ELECTRICAL CHARACTERISTICS: $V_S = \pm 5V$ to $V_S = \pm 15V$ (CONT)

At  $T_A = +25^\circ C$ , and  $R_L = 2k\Omega$ , unless otherwise noted.

**Boldface** limits apply over the specified temperature range,  $-40^\circ C$  to  $+85^\circ C$ .

PARAMETER	CONDITION	OPA277P, U OPA2277P, U			OPA277PA, UA OPA2277PA, UA OPA4277PA, UA			OPA277AIDRM, OPA2277AIDRM			UNITS
		MIN	TYP <sup>(1)</sup>	MAX	MIN	TYP <sup>(1)</sup>	MAX	MIN	TYP <sup>(1)</sup>	MAX	
<b>OUTPUT</b>											
Voltage Output	$V_O$										V
$T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$	$R_L = 10k\Omega$	(V-) +0.5		(V+) -1.2	*		*	*		*	V
	$R_L = 10k\Omega$	(V-) +0.5		(V+) -1.2	*		*	*		*	V
	$R_L = 2k\Omega$	(V-) +1.5		(V+) -1.5	*		*	*		*	V
$T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$	$R_L = 2k\Omega$	(V-) +1.5		(V+) -1.5	*		*	*		*	V
Short-Circuit Current	$I_{SC}$		$\pm 35$			*			*		mA
Capacitive Load Drive	$C_{LOAD}$		See Typical Curve			*			*		
<b>POWER SUPPLY</b>											
Specified Voltage Range	$V_S$	$\pm 5$		$\pm 15$	*		*	*		*	V
Operating Voltage Range		$\pm 2$		$\pm 18$	*		*	*		*	V
Quiescent Current (per amplifier)	$I_Q$		$\pm 790$	$-825$		*		*		*	$\mu A$
$T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$	$I_Q = 0$			$\pm 900$						*	$\mu A$
$I_Q = 0$										*	$\mu A$
<b>TEMPERATURE RANGE</b>											
Specified Range		$-40$		$+85$	*		*	*		*	$^\circ C$
Operating Range		$-55$		$+125$	*		*	*		*	$^\circ C$
Storage Range		$-55$		$+125$	*		*	*		*	$^\circ C$
Thermal Resistance	$\theta_{JA}$										
SO-8 Surface-Mount			150			*					$^\circ C/W$
DIP-8			100			*					$^\circ C/W$
DIP-14			80			*					$^\circ C/W$
SO-14 Surface-Mount			100			*					$^\circ C/W$
DFN-8 <sup>(2)</sup>								45			$^\circ C/W$

\* Specifications same as OPA277P, U.

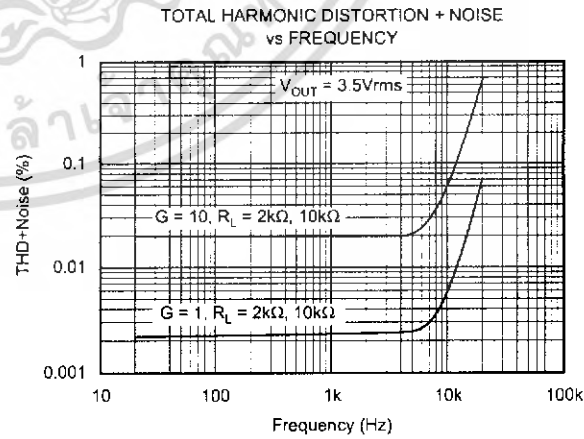
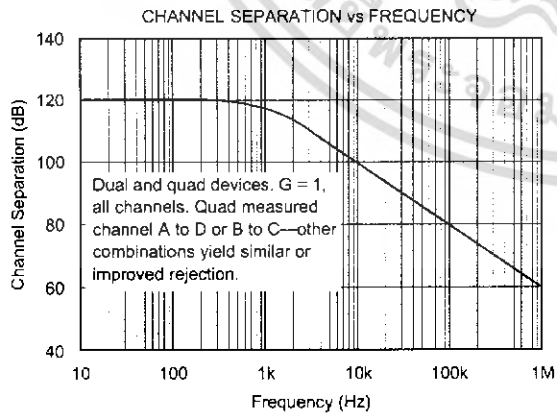
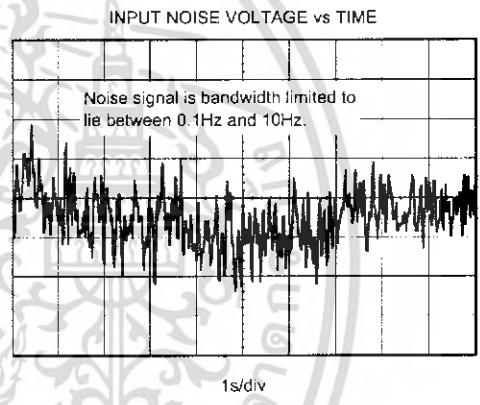
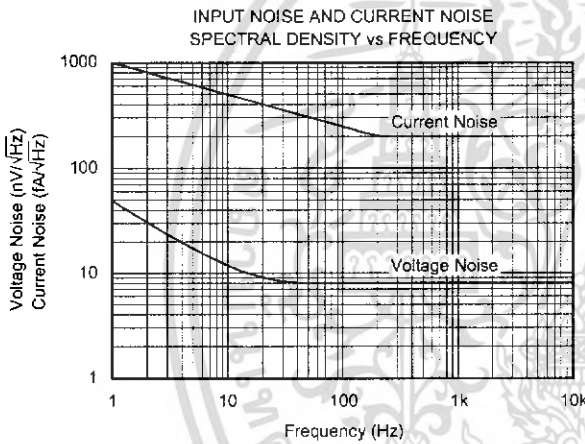
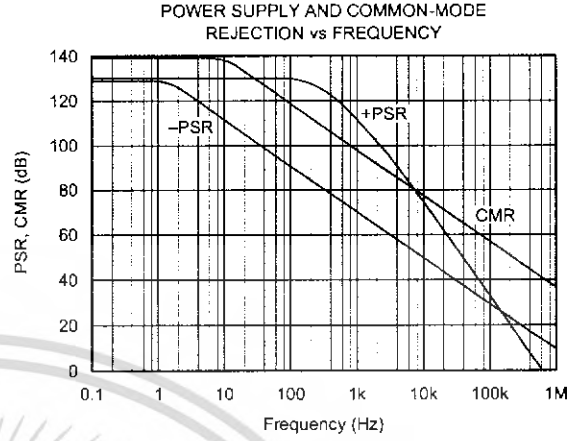
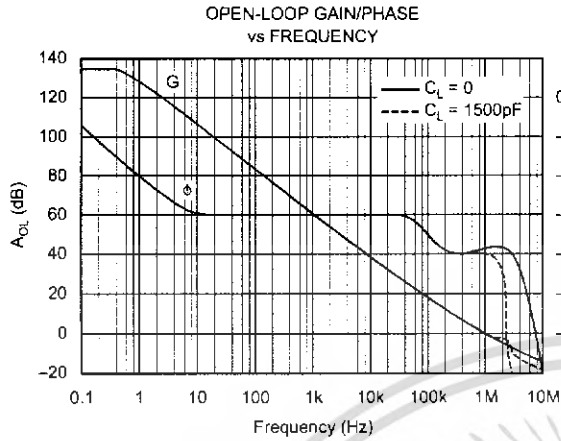
NOTES: (1)  $V_S = \pm 15V$ .

(2) Thermal pad soldered to printed circuit board (PCB).



# TYPICAL CHARACTERISTICS

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ , and  $R_L = 2\text{k}\Omega$ , unless otherwise noted.



**OPA277, OPA2277, OPA4277**

SBOS079A



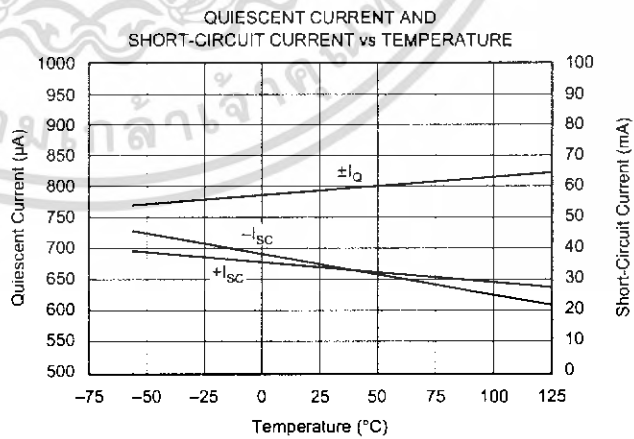
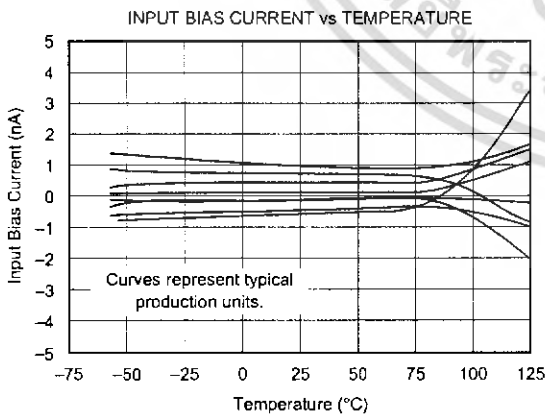
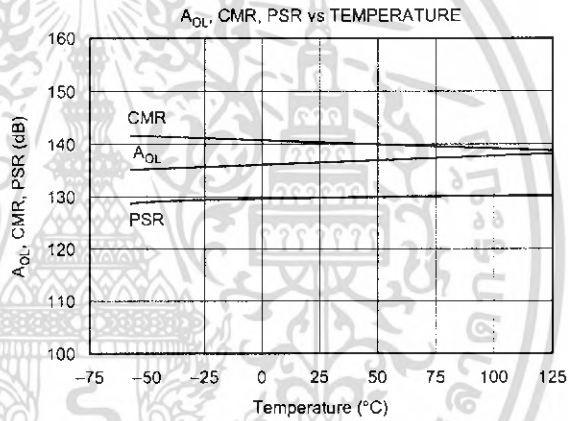
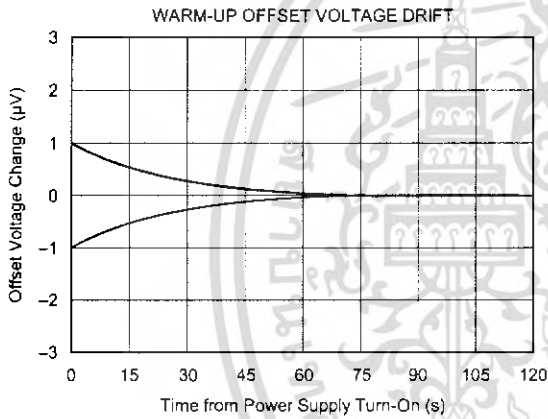
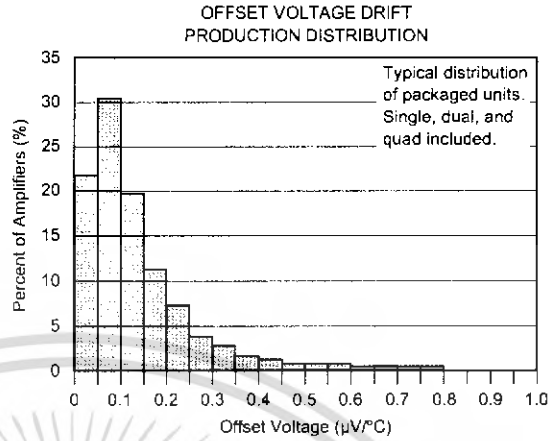
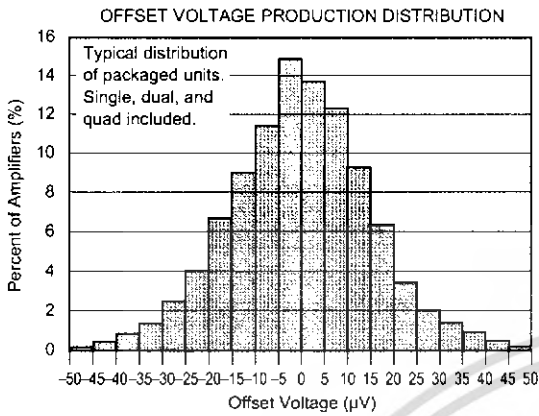
www.ti.com

นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

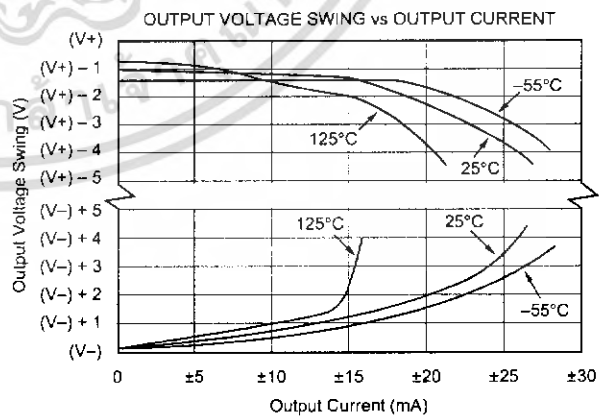
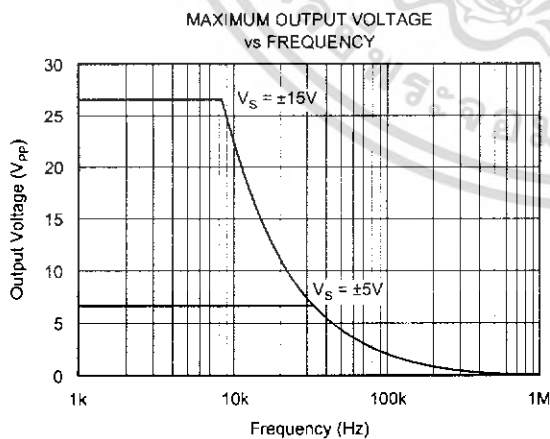
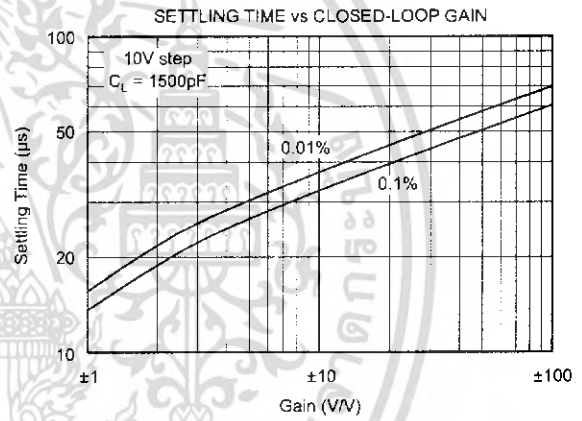
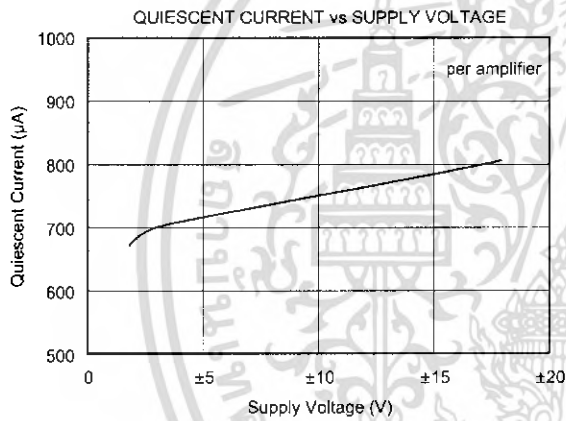
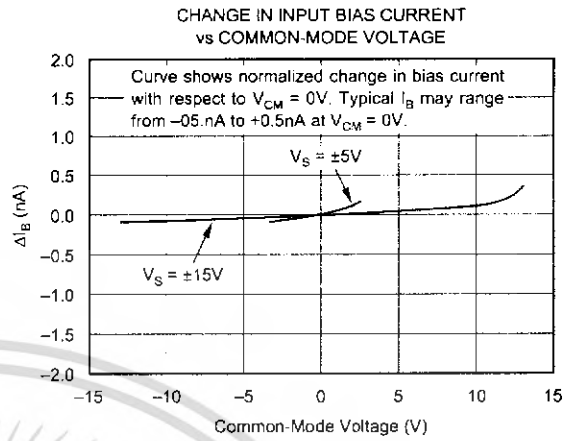
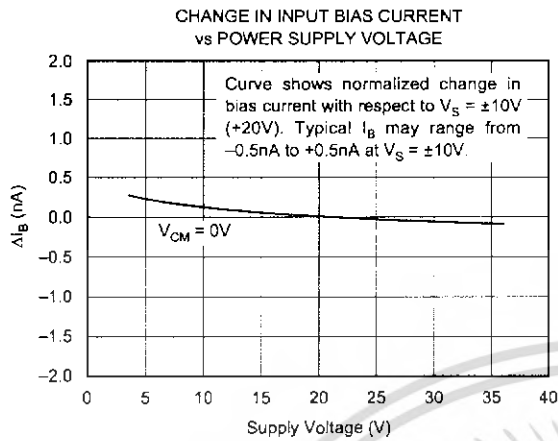
# TYPICAL CHARACTERISTICS (CONT)

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ , and  $R_L = 2\text{k}\Omega$ , unless otherwise noted.



# TYPICAL CHARACTERISTICS (CONT)

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ , and  $R_L = 2\text{k}\Omega$ , unless otherwise noted.



**OPA277, OPA2277, OPA4277**

SBOS079A

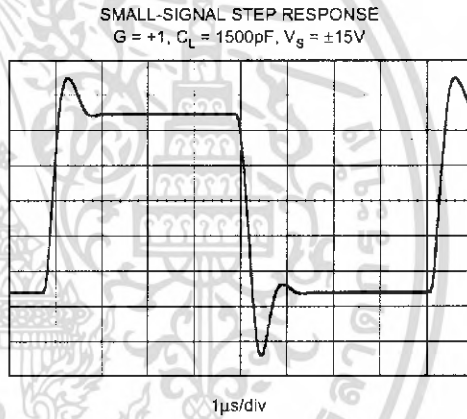
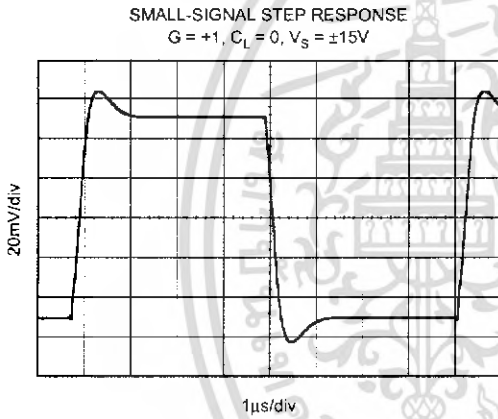
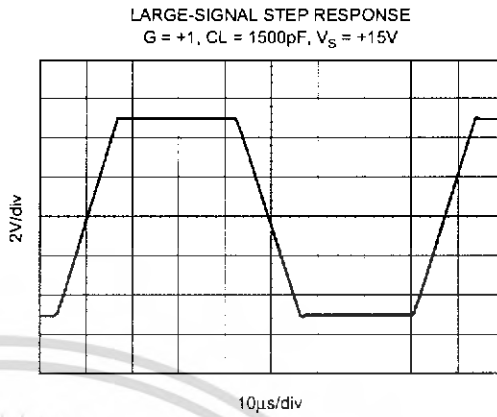
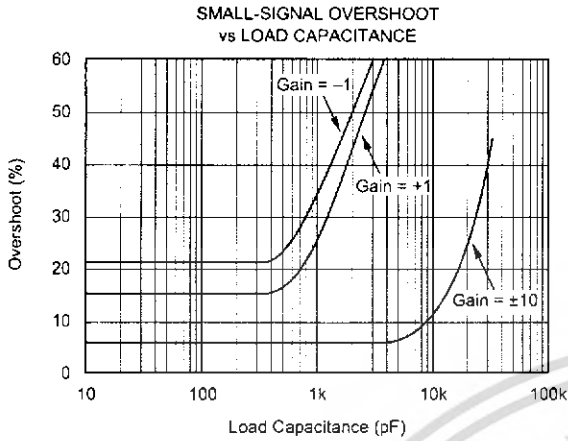


นี่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ [www.ti.com](http://www.ti.com) เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TYPICAL CHARACTERISTICS (CONT)

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ , and  $R_L = 2\text{k}\Omega$ , unless otherwise noted.



## APPLICATIONS INFORMATION

The OPA277 series is unity-gain stable and free from unexpected output phase reversal, making it easy to use in a wide range of applications. Applications with noisy or high impedance power supplies may require decoupling capacitors close to the device pins. In most cases 0.1µF capacitors are adequate.

The OPA277 series has very low offset voltage and drift. To achieve highest performance, circuit layout and mechanical conditions should be optimized. Offset voltage and drift can be degraded by small thermoelectric potentials at the op amp inputs. Connections of dissimilar metals will generate thermal potential which can degrade the ultimate performance of the OPA277 series. These thermal potentials can be made to cancel by assuring that they are equal in both input terminals.

- Keep thermal mass of the connections made to the two input terminals similar.
- Locate heat sources as far as possible from the critical input circuitry.
- Shield op amp and input circuitry from air currents such as cooling fans.

### OPERATING VOLTAGE

OPA277 series op amp operate from ±2V to ±18V supplies with excellent performance. Unlike most op amps which are specified at only one supply voltage, the OPA277 series is specified for real-world applications; a single limit applies over the ±5V to ±15V supply range. This allows a customer operating at  $V_S = \pm 10V$  to have the same assured performance as a customer using ±15V supplies. In addition, key parameters are assured over the specified temperature range, -40°C to +85°C. Most behavior remains unchanged through the full operating voltage range (±2V to ±18V). Parameters which vary significantly with operating voltage or temperature are shown in typical performance curves.

### OFFSET VOLTAGE ADJUSTMENT

The OPA277 series is laser-trimmed for very low offset voltage and drift so most circuits will not require external adjustment. However, offset voltage trim connections are provided on pins 1 and 8. Offset voltage can be adjusted by

connecting a potentiometer as shown in Figure 1. This adjustment should be used only to null the offset of the op amp. This adjustment should not be used to compensate for offsets created elsewhere in a system since this can introduce additional temperature drift.

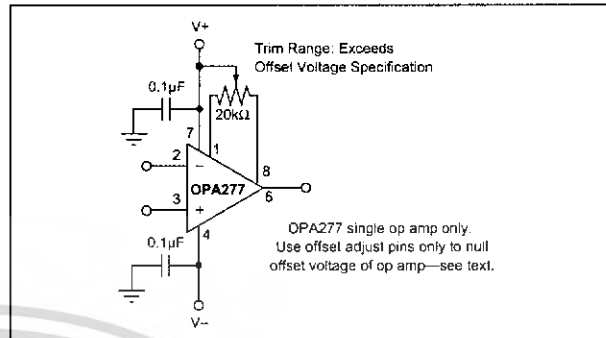


FIGURE 1. OPA277 Offset Voltage Trim Circuit.

### INPUT PROTECTION

The inputs of the OPA277 series are protected with 1kΩ series input resistors and diode clamps. The inputs can withstand ±30V differential inputs without damage. The protection diodes will, of course, conduct current when the inputs are over-driven. This may disturb the slewing behavior of unity-gain follower applications, but will not damage the op amp.

### INPUT BIAS CURRENT CANCELLATION

The input stage base current of the OPA277 series is internally compensated with an equal and opposite cancellation circuit. The resulting input bias current is the difference between the input stage base current and the cancellation current. This residual input bias current can be positive or negative.

When the bias current is canceled in this manner, the input bias current and input offset current are approximately the same magnitude. As a result, it is not necessary to use a bias current cancellation resistor as is often done with other op amps (Figure 2). A resistor added to cancel input bias current errors may actually increase offset voltage and noise.

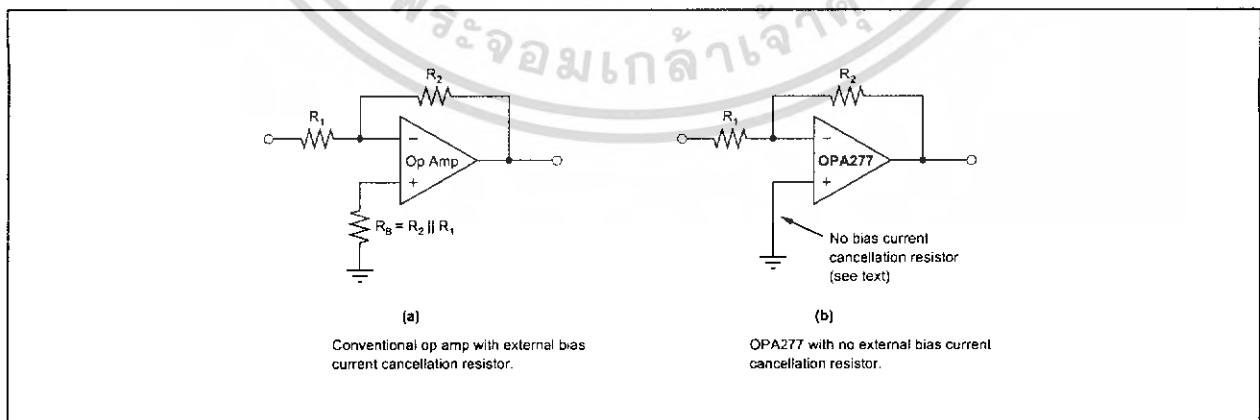


FIGURE 2. Input Bias Current Cancellation.

## OPA277, OPA2277, OPA4277

SBOS079A



www.ti.com

นี่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

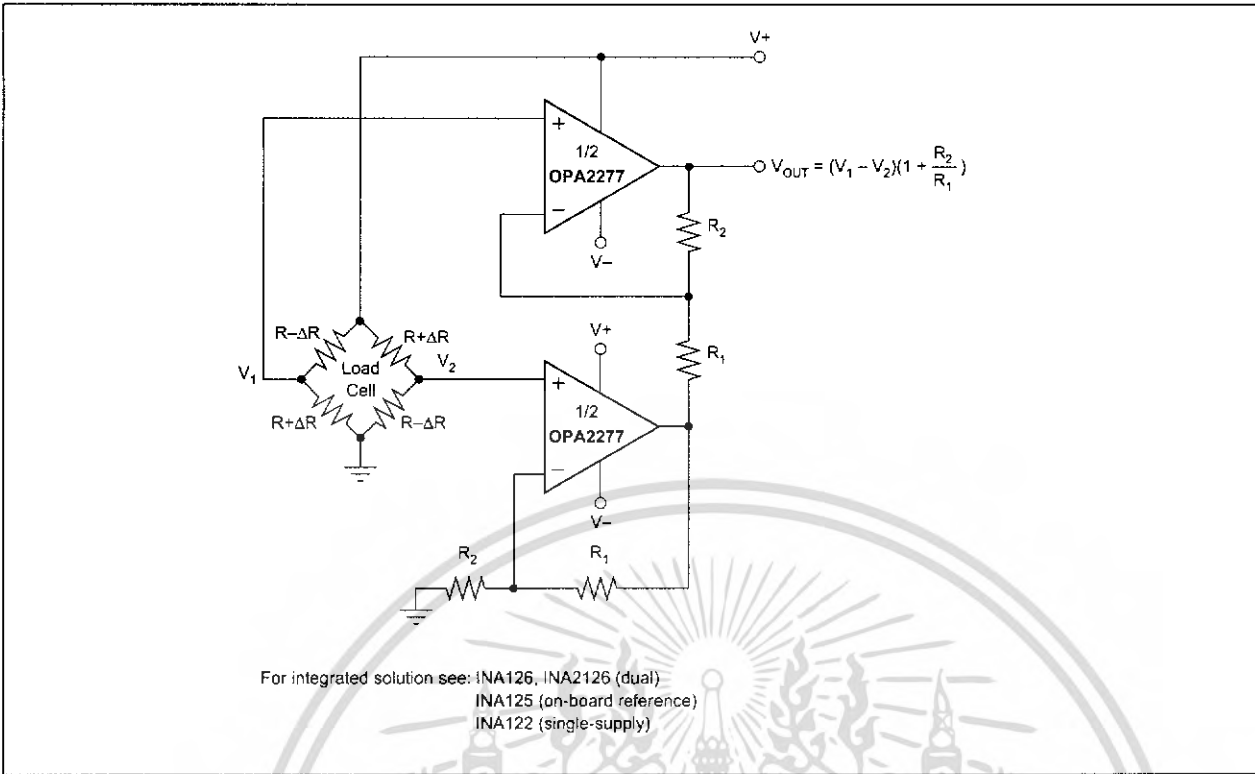


FIGURE 3. Load Cell Amplifier.

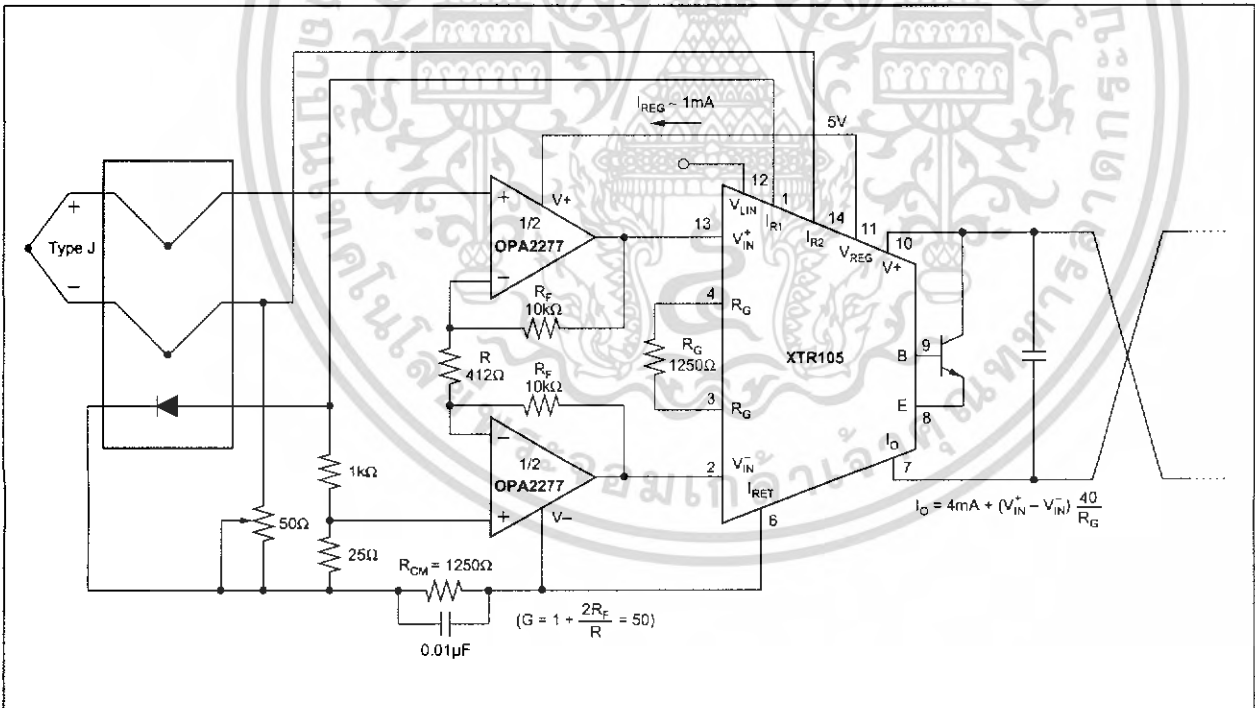


FIGURE 4. Thermocouple Low Offset, Low Drift Loop Measurement with Diode Cold Junction Compensation.

## DFN PACKAGE

The OPA277 series uses the 8-lead DFN (also known as SON), which is a QFN package with contacts on only two sides of the package bottom. This leadless, near-chip-scale package maximizes board space and enhances thermal and electrical characteristics through an exposed pad.

DFN packages are physically small, have a smaller routing area, improved thermal performance, and improved electrical parasitics, with a pinout scheme that is consistent with other commonly-used packages, such as SO and MSOP. Additionally, the absence of external leads eliminates bent-lead issues.

The DFN package can be easily mounted using standard printed circuit board (PCB) assembly techniques. See Application Note, *QFN/SON PCB Attachment* (SLUA271) and Application Report, *Quad Flatpack No-Lead Logic Packages* (SCBA017), both available for download at [www.ti.com](http://www.ti.com).

**The exposed leadframe die pad on the bottom of the package should be connected to V–.**

## LAYOUT GUIDELINES

The leadframe die pad should be soldered to a thermal pad on the PCB. Mechanical drawings located at the end of this data sheet list the physical dimensions for the package and pad.

Soldering the exposed pad significantly improves board-level reliability during temperature cycling, key push, package shear, and similar board-level tests. Even with applications that have low-power dissipation, the exposed pad **must** be soldered to the PCB to provide structural integrity and long-term reliability.



**PACKAGING INFORMATION**

Orderable Device	Status <sup>(1)</sup>	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan <sup>(2)</sup>	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp <sup>(3)</sup>
OPA2277AIDRMR	ACTIVE	SON	DRM	8	3000	TBD	Call TI	Call TI
OPA2277AIDRMT	ACTIVE	SON	DRM	8	250	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
OPA2277AIDRMTG4	ACTIVE	SON	DRM	8	250	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
OPA2277P	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
OPA2277PA	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
OPA2277U	ACTIVE	SOIC	D	8	100	TBD	CU NIPDAU	Level-3-220C-168 HR
OPA2277U/2K5	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	TBD	CU NIPDAU	Level-3-220C-168 HR
OPA2277U/2K5G4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	TBD	Call TI	Call TI
OPA2277UA	ACTIVE	SOIC	D	8	100	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
OPA2277UA/2K5	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
OPA2277UA/2K5E4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
OPA2277UAE4	ACTIVE	SOIC	D	8	100	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
OPA2277UG4	ACTIVE	SOIC	D	8	100	TBD	Call TI	Call TI
OPA2277AIDRMR	ACTIVE	SON	DRM	8	3000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
OPA2277AIDRMRG4	ACTIVE	SON	DRM	8	3000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
OPA2277AIDRMT	ACTIVE	SON	DRM	8	250	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
OPA2277AIDRMTG4	ACTIVE	SON	DRM	8	250	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
OPA2277P	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	Call TI	N / A for Pkg Type
OPA2277PA	ACTIVE	PDIP	P	8	1	Green (RoHS & no Sb/Br)	Call TI	N / A for Pkg Type
OPA2277U	ACTIVE	SOIC	D	8	100	TBD	CU NIPDAU	Level-3-220C-168 HR
OPA2277U/2K5	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	TBD	CU NIPDAU	Level-3-220C-168 HR
OPA2277UA	ACTIVE	SOIC	D	8	100	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
OPA2277UA/2K5	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
OPA2277UA/2K5E4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
OPA2277UAE4	ACTIVE	SOIC	D	8	100	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
OPA2277UG4	PREVIEW	SOIC	D	8	100	TBD	Call TI	Call TI
OPA4277PA	ACTIVE	PDIP	N	14	25	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
OPA4277UA	ACTIVE	SOIC	D	14	58	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR

Orderable Device	Status <sup>(1)</sup>	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan <sup>(2)</sup>	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp <sup>(3)</sup>
OPA4277UA/2K5	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
OPA4277UA/2K5E4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR
OPA4277UAE4	ACTIVE	SOIC	D	14	58	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR

<sup>(1)</sup> 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.

<sup>(2)</sup> 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)

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

**Important Information and Disclaimer:** The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

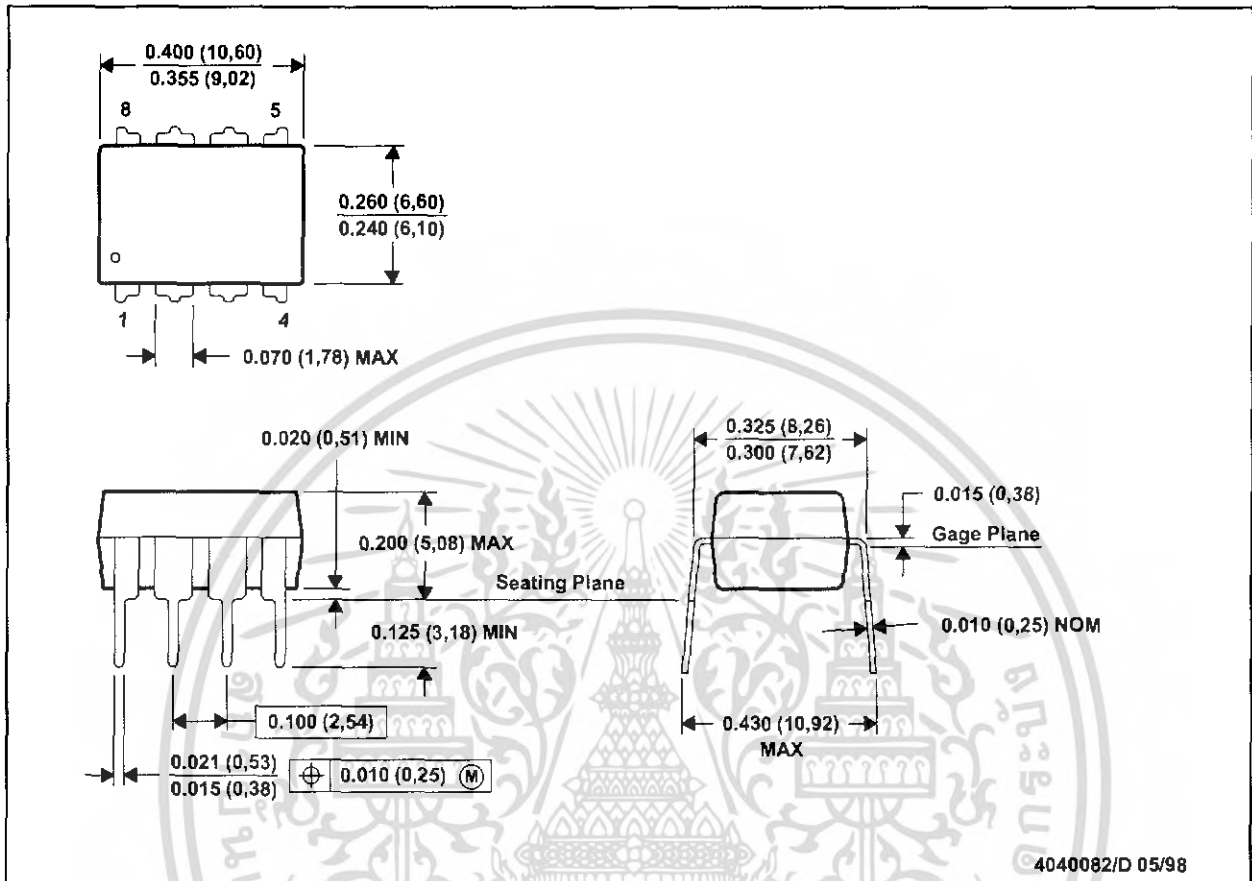
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

# MECHANICAL DATA

MPDI001A – JANUARY 1995 – REVISED JUNE 1999

P (R-PDIP-T8)

PLASTIC DUAL-IN-LINE



- NOTES: A. All linear dimensions are in inches (millimeters).  
 B. This drawing is subject to change without notice.  
 C. Falls within JEDEC MS-001

For the latest package information, go to [http://www.ti.com/sc/docs/package/pkg\\_info.htm](http://www.ti.com/sc/docs/package/pkg_info.htm)



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

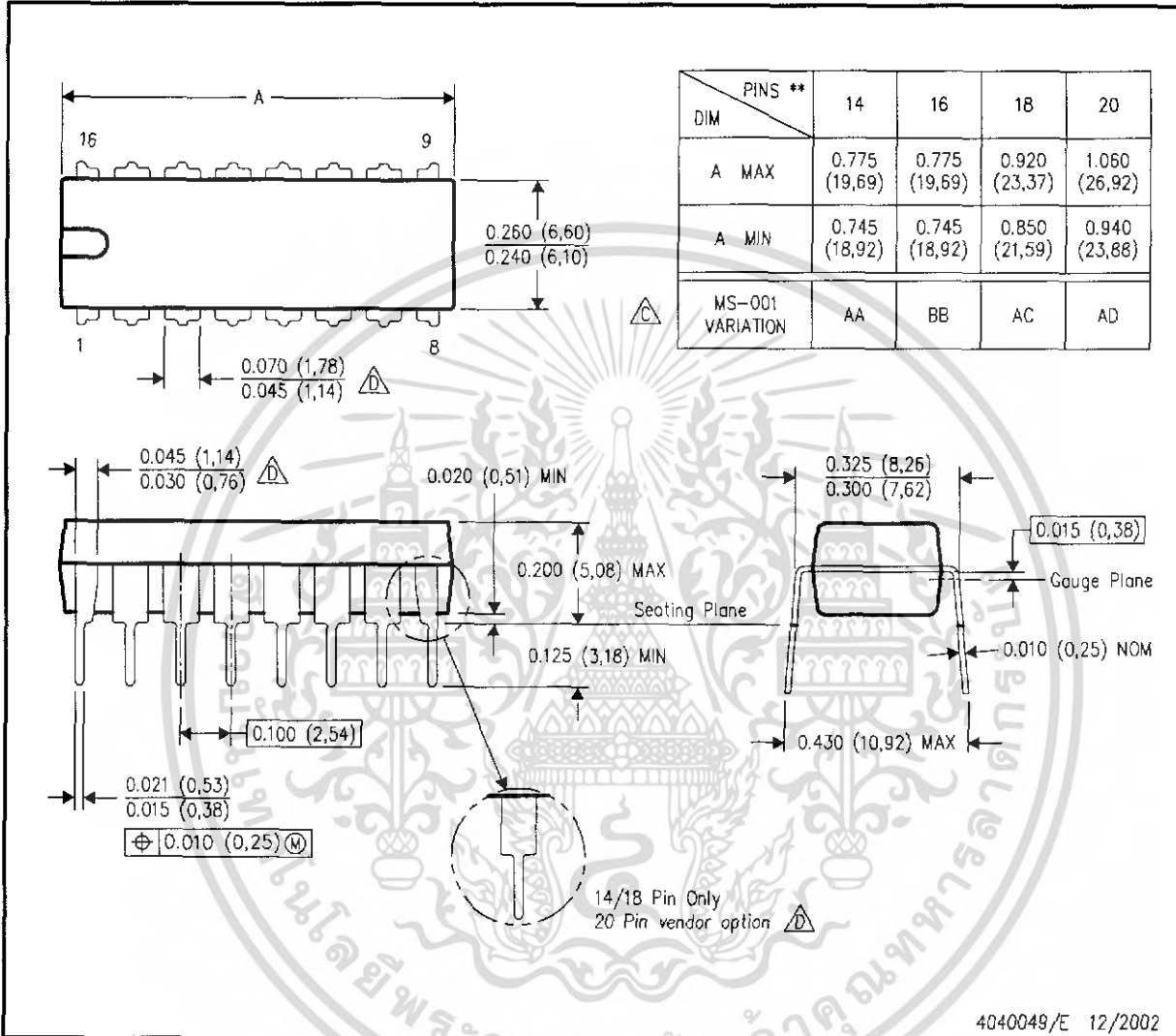
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MECHANICAL DATA

## N (R-PDIP-T\*\*)

## PLASTIC DUAL-IN-LINE PACKAGE

16 PINS SHOWN

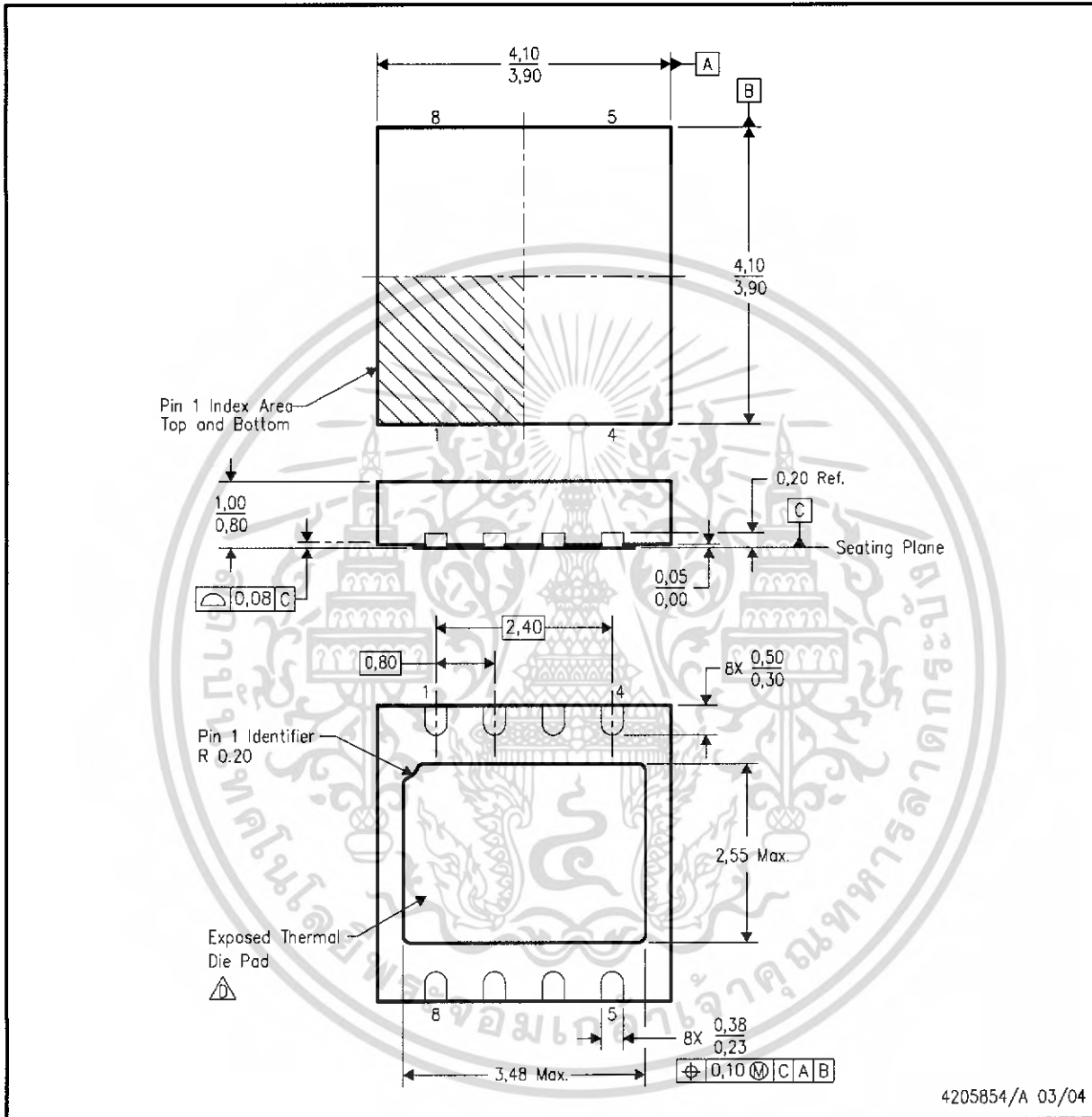


- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - Falls within JEDEC MS-001, except 18 and 20 pin minimum body length (Dim A).
  - The 20 pin end lead shoulder width is a vendor option, either half or full width.

MECHANICAL DATA

DRM (S-PDSO-N8)

PLASTIC SMALL OUTLINE



4205854/A 03/04

- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters.
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. SON (Small Outline No-Lead) package configuration.
  - The Package thermal performance may be enhanced by bonding the thermal die pad to an external thermal plane. This pad is electrically and thermally connected to the backside of the die and possibly selected ground leads..
  - E. Package complies to JEDEC MO-229.

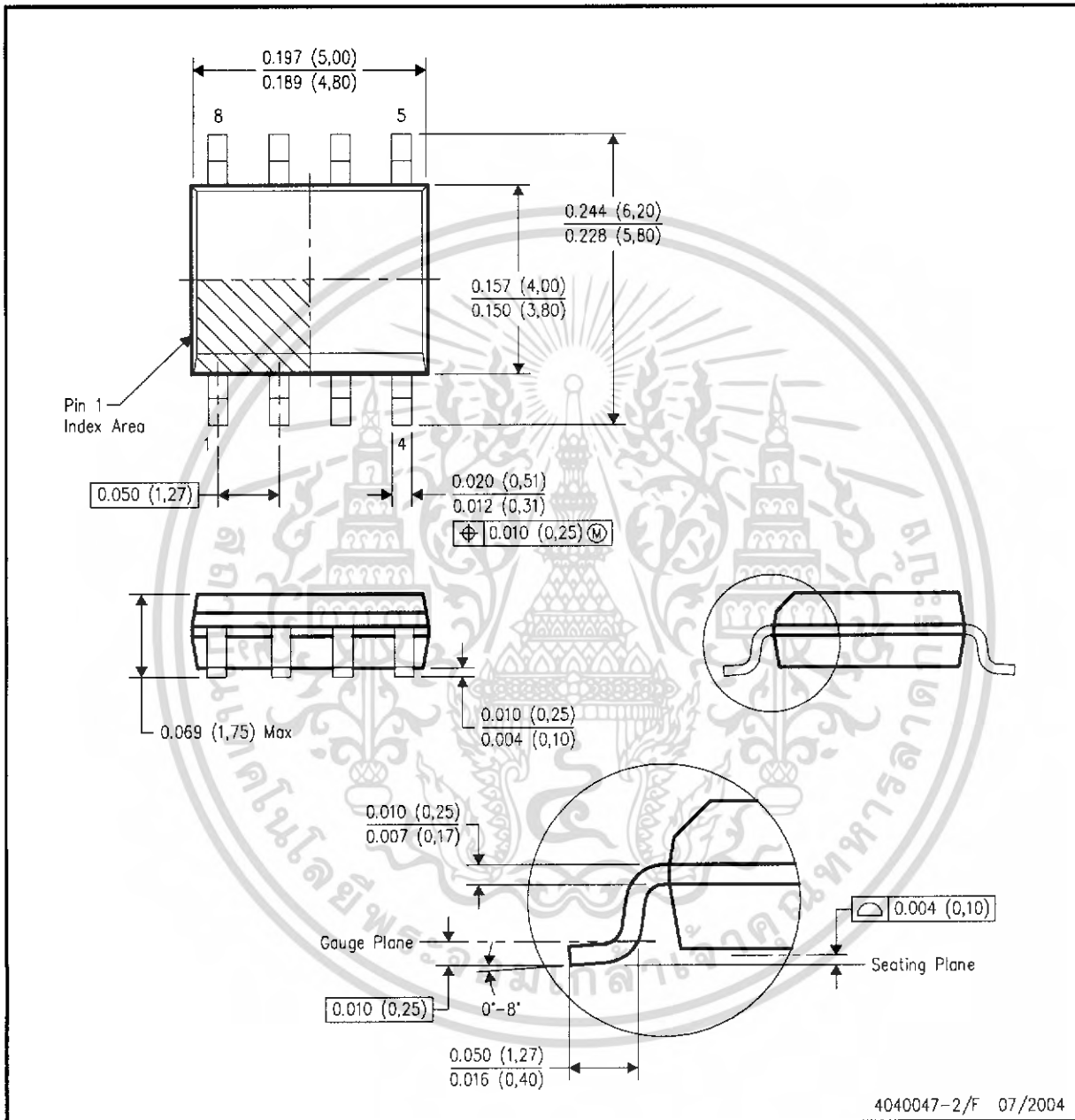


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MECHANICAL DATA

D (R-PDSO-G8)

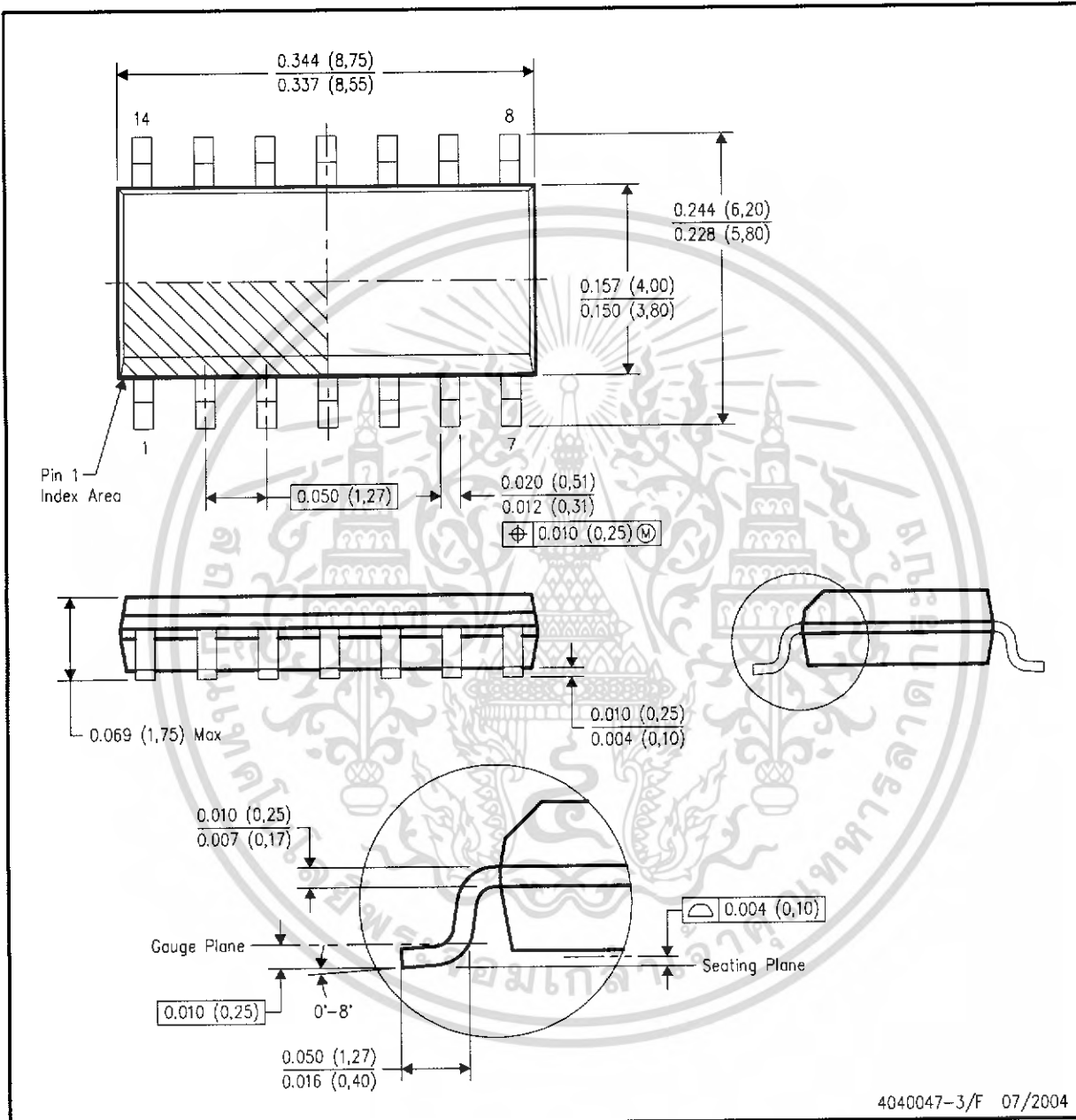
PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion not to exceed 0.006 (0,15).
  - D. Falls within JEDEC MS-012 variation AA.

D (R-PDSO-G14)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion not to exceed 0.006 (0,15).
  - D. Falls within JEDEC MS-012 variation AB.

## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

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

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

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI 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 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. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation.

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

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

<b>Products</b>		<b>Applications</b>	
Amplifiers	<a href="http://amplifier.ti.com">amplifier.ti.com</a>	Audio	<a href="http://www.ti.com/audio">www.ti.com/audio</a>
Data Converters	<a href="http://dataconverter.ti.com">dataconverter.ti.com</a>	Automotive	<a href="http://www.ti.com/automotive">www.ti.com/automotive</a>
DSP	<a href="http://dsp.ti.com">dsp.ti.com</a>	Broadband	<a href="http://www.ti.com/broadband">www.ti.com/broadband</a>
Interface	<a href="http://interface.ti.com">interface.ti.com</a>	Digital Control	<a href="http://www.ti.com/digitalcontrol">www.ti.com/digitalcontrol</a>
Logic	<a href="http://logic.ti.com">logic.ti.com</a>	Military	<a href="http://www.ti.com/military">www.ti.com/military</a>
Power Mgmt	<a href="http://power.ti.com">power.ti.com</a>	Optical Networking	<a href="http://www.ti.com/opticalnetwork">www.ti.com/opticalnetwork</a>
Microcontrollers	<a href="http://microcontroller.ti.com">microcontroller.ti.com</a>	Security	<a href="http://www.ti.com/security">www.ti.com/security</a>
		Telephony	<a href="http://www.ti.com/telephony">www.ti.com/telephony</a>
		Video & Imaging	<a href="http://www.ti.com/video">www.ti.com/video</a>
		Wireless	<a href="http://www.ti.com/wireless">www.ti.com/wireless</a>

Mailing Address: Texas Instruments  
Post Office Box 655303 Dallas, Texas 75265

Copyright © 2006, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้