

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวัดความเร็วกระแสประสาทบริเวณแขน  
Nerve Conduction Velocity Measurement



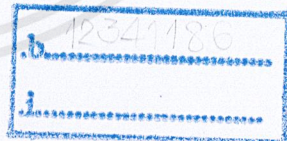
T117485

วิจักขณ์ ณ เชียงใหม่  
ศิระ อังสุนทรสฤณี  
ศุภชัย ออมอำไพ

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี.....

117485

5 ส.ค. 2554



ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์เรื่อง เครื่องวัดความเร็วกระแสประสาทบริเวณแขน

**Nerve Conduction Velocity**

จัดทำโดย

- |                             |                       |
|-----------------------------|-----------------------|
| 1. นาย วิจักขณ์ ณ เชียงใหม่ | รหัสนักศึกษา 50011454 |
| 2. นาย ศิวะ อังสุนทรสฤทธ์   | รหัสนักศึกษา 50011578 |
| 3. นาย ศุภชัย ออมอำไพ       | รหัสนักศึกษา 50011590 |



.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ผศ.ดร. กิตติพล ชิตสกุล )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เครื่องวัดการตอบสนองของกล้ามเนื้อแขน

นายวิจักขณ์	ณ เชียงใหม่	50011454
นายศิวัะ	อังสุนทรสถิตย์	50011578
นายศุภชัย	ออมอำไพ	50011590
ผศ.ดร.กิติพล	ชิตสกุล	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2553		

## บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาเพื่อสร้างเครื่องทดสอบการตอบสนองของกล้ามเนื้อ โดยใช้วิธีการกระตุ้นด้วยแรงดันไฟฟ้า โดยแสดงผลออกทางจอกราฟฟิค LCD แรงดันกระตุ้นใช้รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมขนาด 0-60 โวลต์ ช่วง 20 ms ส่วนภาคขยายสัญญาณถูกกระตุ้น (Evoke Potential) บริเวณปลายนิ้วใช้วงจรขยายแบบอินสตรูเมนเตชันแบบแยกกราวนด์ ปรับค่าอัตราขยายได้ ความเร็วของกระแสประสาทคำนวณได้จากการวัดเวลาตั้งแต่เมื่อมีการกระตุ้นจนเกิดสัญญาณถูกกระตุ้นและระยะทางจากจุดกระตุ้นจนถึงจุดวัด

# Nerve Conduction Velocity Measurement

Mr.VIJAK	NA CHIENGMAI	50011454
Mr.SIWA	ANGSOONTORN SARID	50011578
Mr.SUPACHAI	AOMAUMPAI	50011590
Assist.Prof. Kitiphol Chitsakul		Advisor
Educational Year 2010		

## Abstract

This project is concerned about implementation of a Nerve Velocity Measurement Device. By using built in electrical stimulator of 0-60 volts output with 20 mS duration, the resulting evoked potential is shown on a graphic LCD. An isolated adjustable gain instrumentation amplifier is used to amplify the evoked potential. The nerve conduction velocity can be calculated by response time and distance from a stimulating point to a measuring evoked potential electrode.

## กิตติกรรมประกาศ

การทำโครงการในครั้งนี้ ประกอบไปด้วยทีมงานและปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายๆท่านซึ่งผู้เขียนขอขอบพระคุณทุกๆท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. กิติพล ชิตสกุล ผู้ซึ่งให้ความรู้และคอยให้คำปรึกษาในด้านของวงจรรวมไปถึงติดตามผลงานตลอดมา และขอขอบพระคุณ ดร. สุรเดช ตรีไตรลักษณ์ ผู้ซึ่งสละเวลาพาคณะผู้จัดทำไปหาความรู้และขอคำปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับโครงการนี้ภายนอกสถานที่ รวมไปถึงเพื่อนๆและรุ่นพี่ในภาค ที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านการปฏิบัติงานได้เป็นอย่างดี จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายวิจักขณ์ ณ เชียงใหม่  
นายศิวัช อังสุนทรสฤกษ์  
นายศุภชัย ออมอำไพ

# สารบัญ

บทคัดย่อ .....	I
Abstract .....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ .....	1
1.4 เนื้อหาภายในรายงานนี้ .....	1
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	2
2.1 ทฤษฎีการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	2
2.2 จอแสดงผลแอลซีดี (LCD Display).....	5
2.3 การทำงานของระบบประสาท.....	10
2.4 คริสตัล (Crystal).....	13
2.5 DC to DC Converter Isolated.....	14
2.6 อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง (Opto Isolator).....	15
2.7 หลักการทำงานของเครื่องวัดความเร็วกระแสประสาท.....	16
บทที่ 3 การออกแบบเครื่องวัดความเร็วกระแสประสาท.....	18
3.1 แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC Power Supply) .....	18
3.2 วงจรขยายสัญญาณและวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน .....	21
3.3 วงจรเชื่อมต่อทางแสง (Opto Isolator) .....	22
3.4 วงจรควบคุมการทำงานของเครื่องกระตุ้นระบบประสาท .....	24
3.5 หลักการออกแบบวงจรปรับระดับแรงดันเอาต์พุต .....	25
3.6 ภาคจ่ายไฟให้กับจอ LCD.....	26
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	27
4.1 การทดลองที่ 1.....	27

## สารบัญ(ต่อ)

4.2 การทดลองที่ 2.....	29
บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์.....	33
เอกสารอ้างอิง.....	36
ภาคผนวก (Appendix)	



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ในปัจจุบันนี้ ลักษณะการทำงานของคนส่วนใหญ่มักเป็นการใช้คอมพิวเตอร์เป็นเวลานานๆ และเป็นประจำ ซึ่งอาจเป็นผลเสียแก่ร่างกายได้ โดยเป็นที่สังเกตว่าในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา มีผู้เข้ามาปรึกษาแพทย์เกี่ยวกับความผิดปกติที่เกิดกับมือ และต้องเข้ารับการรักษาและฟื้นฟูโดยการทำกายภาพบำบัดจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ อาการที่พบเป็นประจำได้แก่ อาการมือชาจนอ่อนแรงหยิบจับอะไรไม่ค่อยได้ บางครั้งมีอาการเจ็บปวดร่วมด้วย อาการดังกล่าวมีสาเหตุส่วนหนึ่งจากการกดทับเส้นประสาทของเอ็นบริเวณโพรงกระดูกมือซึ่งโดยทั่วไปแล้วเครื่องมือที่ใช้ในการวัดกระแสประสาทกับกระตุ้นเส้นประสาทจะปรากฏควบรวมกับเครื่องมือวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ มีขนาดใหญ่และราคาแพงทำให้ไม่สามารถจัดหาเพื่อทำการตรวจรักษาในโรงพยาบาลขนาดเล็กได้ คณะผู้จัดทำจึงได้ออกแบบสร้าง เครื่องวัดความเร็วกระแสประสาทบริเวณแขนที่มีจอกราฟฟิคแอลซีดี(Graphic LCD)แสดงผล เพื่อให้ขนาดของเครื่องมีขนาดเล็กและสามารถเคลื่อนย้ายไปตามสถานที่ห่างไกลได้

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษา เรียนรู้ การเขียน โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยภาษาซี
2. สามารถนำความรู้ในการเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ไปประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์อื่นๆ ได้
3. มีความรู้ความเข้าใจเรื่องเครื่องวัดความเร็วกระแสประสาทบริเวณแขนและสามารถนำไปใช้งานได้ อย่างมีประสิทธิภาพ

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

สำหรับขอบเขตของโครงการฉบับนี้มีรายละเอียดดังนี้คือ สามารถแสดงฟังก์ชันการทำงานต่าง ๆ ได้ เช่น สามารถเลือกค่าแรงดันที่เหมาะสมสำหรับที่จะแสดงผลและคำนวณความเร็วของสัญญาณเอาต์พุต

### 1.4 เนื้อหาภายในรายงานนี้

บทที่ 1 บทนำ

บทที่ 2 ทฤษฎี

บทที่ 3 การออกแบบเครื่องวัดความเร็วกระแสประสาท

บทที่ 4 ผลการทดลอง

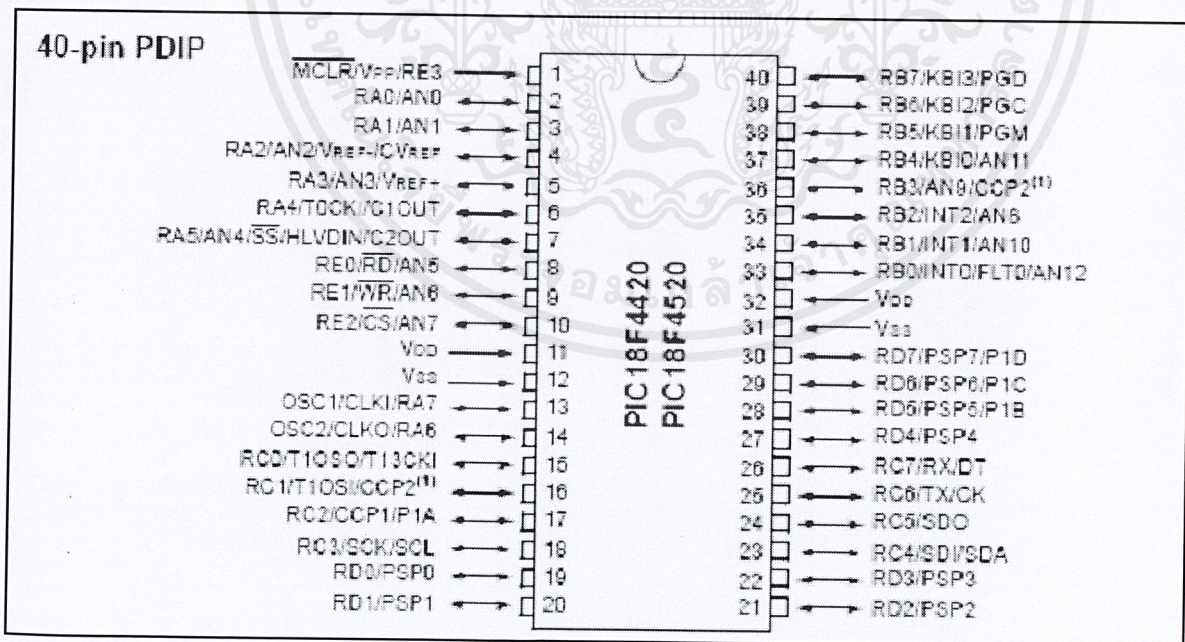
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 ทฤษฎีการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC (Microcontroller PIC)

PIC คือ microcontroller อีกตระกูลหนึ่ง ย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller ซึ่ง concept ของ microcontroller ตระกูลนี้ก็คือ พยายามรวมเอาทุกอย่างเอาไว้ในตัวของมันไม่ว่าจะเป็น PROGRAM MEMORY, RAM, EEPROM, SERIAL, I2C, PWM, A/D ฯลฯ โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอก ในตัวของ PIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผล รวมทั้งหน่วยความจำ เพราะฉะนั้นจึงสามารถพิจารณาว่า PIC เป็นเหมือนกับ CPU คอมพิวเตอร์ตัวเล็กๆตัวหนึ่งได้เลย รหัสนำหน้าของ PIC จนถึงปัจจุบันมีทั้งหมด 3 รุ่นด้วยกัน ได้แก่ 16xxx, 17xxx, 18xxx โดยในรุ่น PIC ที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ PIC มีจำนวนคำสั่ง Assembly และขนาดของ ROM RAM มากขึ้นตามไปด้วย ทำให้สามารถเขียนโปรแกรมเข้าควบคุมได้อย่างง่ายดายมากขึ้น สถาปัตยกรรมของ PIC จะยึดถือการออกแบบที่รวบรวมทุกอย่างไว้ในชิพ(Chip)ตัวเดียวโดยไม่ต้องต่ออุปกรณ์ใดๆ เพิ่มเติมเหมือน Z80 ผลที่ตามมาคือแผงวงจรจะมีขนาดเล็ก และอุปกรณ์ที่ใช้จะไม่มาก บางงานอาจจะใช้แค่ PIC เพียงตัวเดียวโดยไม่ต้องใช้ชิพอื่นมาเพิ่มเติมเลย



รูปที่ 2.1 ตัวอย่าง PIC 18F4520 ที่ใช้ในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยรีจิสเตอร์ (Register) จำนวนมากโดยจะแยกทำหน้าที่ต่าง ๆ กัน เช่น 1. ไทม์เมอร์-เคาน์เตอร์รีจิสเตอร์(Timer/ Counter Register) ทำหน้าที่ในการนับเวลา 2. ALU(Arithmetic and Logical Unit) ทำหน้าที่ดำเนินการบางอย่างทางคณิตศาสตร์ 3. หน่วยความจำภายใน(Internal Memory) ทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลต่าง ๆ หรือผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ ฯลฯ ขาเอาต์พุตต่างๆจะถูกแบ่งออกเป็นชุดๆแยกไว้เป็นพอร์ต ซึ่งจำนวนพอร์ตจะมีได้ต่างกันตามจำนวนขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งบางขาอาจจะทำงานได้มากกว่า 1 อย่าง เช่น บางขาสามารถทำหน้าที่เป็นอินพุตของอุปกรณ์ประเภทอนาล็อก(Analog Module) ได้ นอกเหนือไปจากการทำหน้าที่เป็นอินพุตและเอาต์พุต (Input/Output) แบบปกติ

สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ในเครื่องวัดการตอบสนองของกล้ามเนื้อแขนนี้ถูกใช้ในการควบคุมหน้าจอกราฟฟิกแอลซีดี(Graphic LCD Display) การสร้างพัลส์(Pulse) การแปลงข้อมูลจากอนาล็อก(Analog) เป็นดิจิทัล(Digital) และการรับคำสั่งจากภายนอกโดยผู้ใช้งาน รวมไปถึงการกำหนดเวลาที่จะหยุดการทำงาน สำหรับวิธีในการควบคุมจอกราฟฟิกแอลซีดีมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธีหลัก แบ่งตามจำนวนขา(Pin)ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการติดต่อกับจอแอลซีดีได้แก่ 4 บิต และ 8 บิต โดยการติดต่อแบบ 4 บิต จะมีข้อดีมากกว่า 8 บิต ตรงที่เราสามารถประหยัดขาไปได้ถึง 4 ขา ในการใช้งานกราฟฟิกแอลซีดีเราจำเป็นต้องกำหนดรูปแบบการทำงานต่างๆของกราฟฟิกแอลซีดีผ่านทางโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์เช่น เราสามารถที่จะกำหนดได้ว่าจะให้มีเคอร์เซอร์(Cursor) ปรากฏในหน้าจอหรือไม่ หรือจะให้ตัวอักษรที่ปรากฏมีขนาดเท่าไร

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC จะมีไทม์เมอร์(Timer Module) อยู่ภายใน โดยจำนวนชุดของไทม์เมอร์จะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับรุ่นของ PIC และไทม์เมอร์แต่ละตัวมีความสามารถในการนับต่างกันรวมถึงระดับความถี่ที่จะใช้ในการนับ ซึ่งการจะใช้งานไทม์เมอร์แต่ละตัว จำเป็นต้องกำหนดค่าเริ่มต้นและความถี่(หรือก็คือคาบเวลานั่นเอง)ที่จะใช้ในการนับ ซึ่งไทม์เมอร์บางตัวสามารถใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกได้(External Clock) รวมไปถึงโหมดการทำงานต่าง ๆ ในชุดรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับโมดูลนั้นๆก่อน เมื่อไทม์เมอร์ตัวใดตัวหนึ่งนับเวลาจนครบแล้วจะปล่อยสัญญาณออกมาทำการอินเทอร์รัพต์(Interrupt) การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเราสามารถกำหนดระดับความสำคัญของการอินเทอร์รัพต์ (Interrupt Priority) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Reset Values on page
TMR0L	Timer0 Register, Low Byte								50
TMR0H	Timer0 Register, High Byte								50
INTCON	GIE/GIEH	PEIE/GIEL	TMR0IE	INT0IE	RBIE	TMR0IF	INT0IF	RBIF	49
T0CON	TMR0ON	T08BIT	T0CS	T0SE	PSA	T0PS2	T0PS1	T0PS0	50
TRISA	RA7 <sup>(1)</sup>	RA6 <sup>(1)</sup>	RA5	RA4	RA3	RA2	RA1	RA0	52

**Legend:** Shaded cells are not used by Timer0.

**Note 1:** PORTA<7:6> and their direction bits are individually configured as port pins based on various primary oscillator modes. When disabled, these bits read as '0'.

รูปที่ 2.2 Register ที่เกี่ยวข้องกับ Timer0

Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Reset Values on page
INTCON	GIE/GIEH	PEIE/GIEL	TMR0IE	INT0IE	RBIE	TMR0IF	INT0IF	RBIF	49
PIR1	PSPIF <sup>(1)</sup>	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	52
PIE1	PSPIE <sup>(1)</sup>	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	52
IPR1	PSPIP <sup>(1)</sup>	ADIP	RCIP	TXIP	SSPIP	CCP1IP	TMR2IP	TMR1IP	52
TMR1L	Timer1 Register, Low Byte								50
TMR1H	Timer1 Register, High Byte								50
T1CON	RD16	T1RUN	T1CKPS1	T1CKPS0	T1OSCEN	T1SYNCR	TMR1CS	TMR1ON	50

**Legend:** Shaded cells are not used by the Timer1 module.

**Note 1:** These bits are unimplemented on 28-pin devices; always maintain these bits clear.

รูปที่ 2.3 Register ที่เกี่ยวข้องกับ Timer1

Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Reset Values on page
INTCON	GIE/GIEH	PEIE/GIEL	TMR0IE	INT0IE	RBIE	TMR0IF	INT0IF	RBIF	49
PIR1	PSPIF <sup>(1)</sup>	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	52
PIE1	PSPIE <sup>(1)</sup>	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	52
IPR1	PSPIP <sup>(1)</sup>	ADIP	RCIP	TXIP	SSPIP	CCP1IP	TMR2IP	TMR1IP	52
TMR2	Timer2 Register								50
T2CON	—	T2OUTPS3	T2OUTPS2	T2OUTPS1	T2OUTPS0	TMR2ON	T2CKPS1	T2CKPS0	50
PR2	Timer2 Period Register								50

**Legend:** — = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used by the Timer2 module.

**Note 1:** These bits are unimplemented on 28-pin devices; always maintain these bits clear.

รูปที่ 2.4 Register ที่เกี่ยวข้องกับ Timer2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Reset Values on page
INTCON	GIE/GIEH	PEIE/GIEL	TMR0IE	INT0IE	RBIE	TMR0IF	INT0IF	RBIF	49
PIR2	OSCFIF	CMIF	—	EEIF	BCLIF	HLVDIF	TMR3IF	CCP2IF	52
PIE2	OSCFIE	CMIE	—	EEIE	BCLIE	HLVDIE	TMR3IE	CCP2IE	52
IPR2	OSCFIP	CMIP	—	EEIP	BCLIP	HLVDIP	TMR3IP	CCP2IP	52
TMR3L	Timer3 Register, Low Byte								51
TMR3H	Timer3 Register, High Byte								51
T1CON	RD16	T1RUN	T1CKPS1	T1CKPS0	T1OSCEN	$\overline{T1SYNC}$	TMR1CS	TMR1ON	50
T3CON	RD16	T3CCP2	T3CKPS1	T3CKPS0	T3CCP1	$\overline{T3SYNC}$	TMR3CS	TMR3ON	51

**Legend:** — = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used by the Timer3 module.

### รูปที่ 2.5 Register ที่เกี่ยวข้องกับ Timer3

ซึ่งวิธีการนี้มีประโยชน์มากเพราะจะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำงานอื่นไปก่อนได้โดยไม่ต้องจำเป็นต้องรอให้ทำงานส่วนจับเวลาเสร็จก่อน เช่น ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำงานส่วนแสดงผลที่หน้าจอกราฟฟิกแอลซีดีได้ระหว่างที่นับเวลาไปด้วย

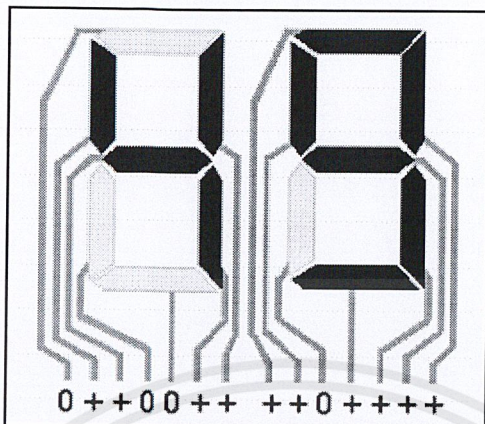
สำหรับส่วนการแปลงข้อมูลจากอนาล็อกเป็นดิจิทัลจะใช้ ADC โมดูลที่อยู่ภายใน PIC หลักการทำงานของวงจรตั้งอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีการสุ่ม กล่าวคือ วงจรในโมดูลจะทำการสุ่ม (Sampling) สัญญาณอนาล็อกออกมาเป็นชุด โดยความถี่ในการสุ่มสัญญาณนั้นสามารถกำหนดได้จากการเขียนโปรแกรมโดยถ้าหากความถี่ในการสุ่มสูง ๆ จะทำให้ค่าที่อ่านค่าได้เร็วขึ้นและละเอียดขึ้น ทำให้ได้ผลลัพธ์ในการอ่านที่แม่นยำมากกว่าความถี่ในการสุ่มต่ำ ๆ ผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงจะอยู่ในรูปข้อมูลเลขฐานสอง(Binary code)ซึ่งเราสามารถกำหนดจำนวนบิตผลลัพธ์ได้ในขั้นตอนการเขียนโปรแกรม

## 2.2 จอแอลซีดี(LCD Display)

จอแอลซีดีแบ่งได้เป็น 3 ประเภท หลักๆ ตามลักษณะของหน้าจอได้แก่

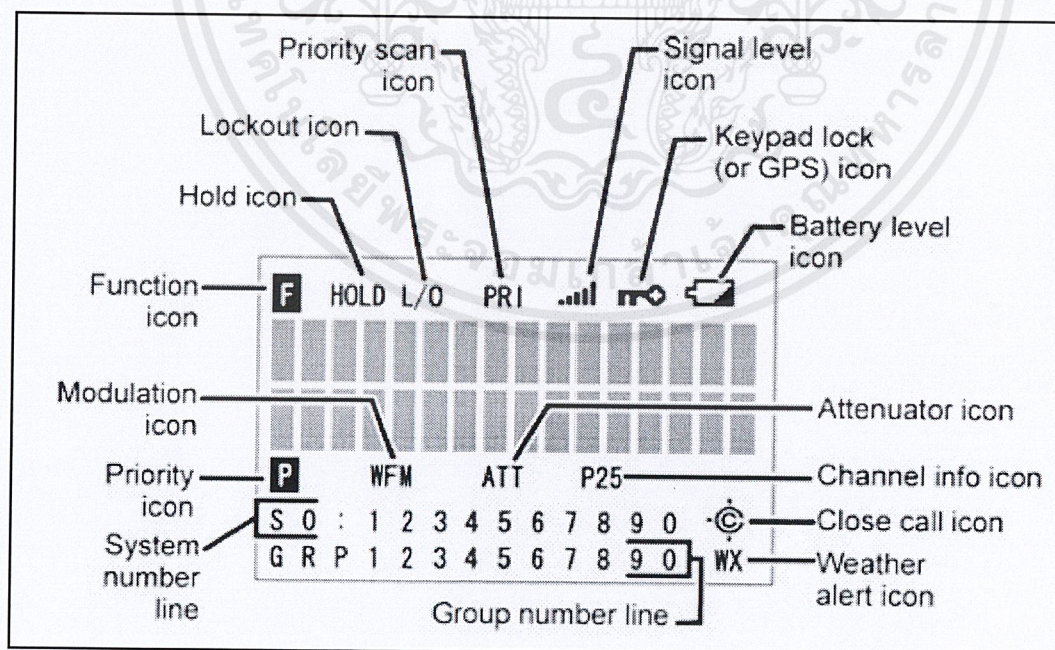
**2.2.1 Segment LCD** เป็นจอแอลซีดีที่มีรูปแบบการแสดงผลแบบตายตัว ไม่จำเป็นจะต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานเนื่องจากแอลซีดีประเภทนี้จะมีส่วนควบคุมจอแอลซีดี(LCD Controller) โดยเฉพาะไว้อยู่แล้ว ข้อดีของแอลซีดีประเภทนี้คือกินพลังงานต่ำ ใช้งานง่าย แต่ไม่สามารถแสดงผลแบบอื่นได้นอกเหนือไปจากที่ทางผู้ผลิตได้ผลิตมาให้ ตัวอย่างอุปกรณ์ ที่ใช้จอแอลซีดีประเภทนี้ได้แก่ เครื่องคิดเลขทั่วไปตามท้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ตัวอย่าง Segment LCD

**2.2.2 Dot Matrix LCD** การแสดงผลของจอแอลซีดีประเภทนี้จะเป็นจุดหลาย ๆ จุด รวมกันแสดงผลออกมาเป็นตัวอักษร ข้อดีของแอลซีดีประเภทนี้คือการแสดงผลมีความยืดหยุ่นมากขึ้นสามารถสร้างตัวอักษรเฉพาะงานตามแต่ต้องการลงไปได้ ผ่านทางการเขียน โปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่ยังคงไม่สามารถแสดงผลเป็นรูปภาพหรือกราฟได้ โดย Dot Matrix LCD ทั่วไปตามท้องตลาดมีให้เลือก 3 ขนาด ได้แก่ ขนาด 8x2, 16x2 และ 16x4



รูปที่ 2.7 ตัวอย่าง Dot Matrix LCD

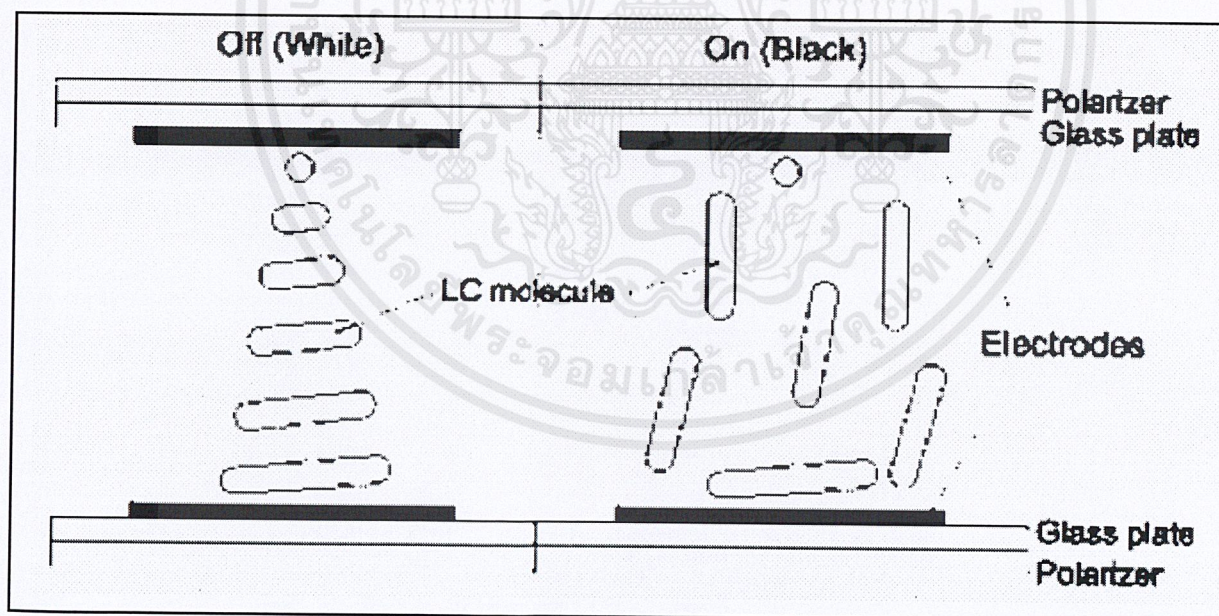
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 จอ Graphic LCD

เป็นจอแอลซีดีที่สามารถแสดงผลออกมาเป็นรูปภาพได้นอกเหนือ จากการแสดงผลเป็นตัวอักษร โดยผู้ใช้งานสามารถควบคุมการแสดงผลรวมไปถึงการกำหนดตัวอักษรแบบใหม่ได้ผ่านทางโปรแกรมลงไมโครคอนโทรลเลอร์ข้อเสียของจอแอลซีดีประเภทนี้คือ มีราคาแพงและกินไฟที่สุด สำหรับหลักการทำงานจะขึ้นอยู่กับชนิดของผลึกเหลว(Liquid Crystal) ที่ใช้ในการสร้างหน้าจอ อาทิเช่น

#### N + Film (Twisted Nematic + Film)

Twisted Nematic (TN) คือสารประเภทนี้จะมีการจัดโครงสร้างโมเลกุลเป็นเกลียว แต่ถ้าเราผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปมันก็จะคลายตัวออกเป็นเส้นตรง เราใช้ปรากฏการณ์นี้เป็นตัวกำหนดว่าจะให้แสงผ่านได้หรือไม่ Twisted Nematic (TN) ผลึกเหลวชนิดนี้จะให้เราสามารถเปลี่ยนทิศทางการสั่นของคลื่นแสงได้ 90 องศา ถึง 150 องศา คือเปลี่ยนจากแนวตั้งให้กลายเป็นแนวนอน หรือเปลี่ยนกลับกันจากแนวนอนให้เป็นแนวตั้งก็ได้ ด้วยจุดนี้เองทำให้ค่าตอบสนองสัญญาณเทียบกับเวลา(Response Time) มีค่าสูง

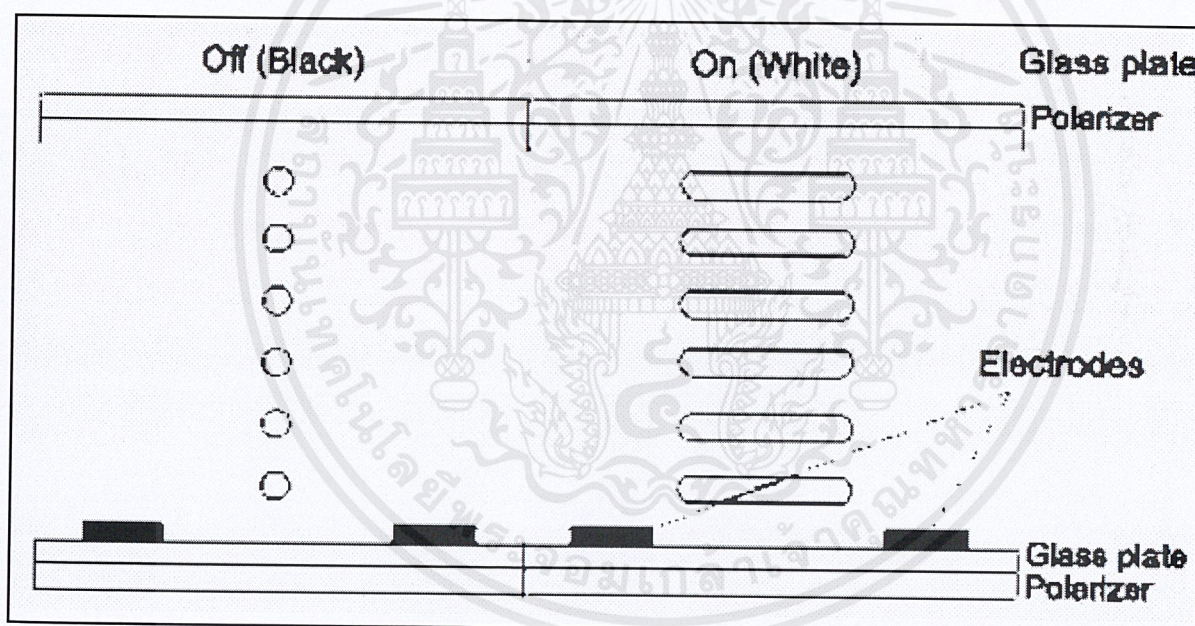


รูปที่ 2.8 แสดงการทำงานของ LCD แบบ TN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### IPS (In-Plane Switching or Super-TFT)

การจัดโครงสร้างของผลึกจากเดิมที่วางไว้ตามแนวขนานกับแนวตั้ง (เทียบกับระนาบ) เปลี่ยนมาเป็นวางตามแนวขนานกับระนาบ เรียกจอชนิดนี้ว่า IPS (In-Plane Switching or Super-TFT) จากเดิมขั้วไฟฟ้าจะอยู่คนละด้านของผลึกเหลวแต่แบบนี้จะอยู่ด้านเดียวกันแปะหัวท้ายเพราะย้ายแนวของผลึกให้ตั้งขึ้น (เมื่อมองจากมุมมองของคนดูจอ) เป้าหมายเพื่อออกแบบมาแก้ไขการที่มุมของผลึกเหลวจะเปลี่ยนไปเมื่อมันอยู่ห่างจากขั้วไฟฟ้าออกไป ปัญหานี้ทำให้จอมีมุมมองที่แคบมาก จอชนิด IPS จึงทำให้สามารถมีมุมมองที่กว้างขึ้น แต่ข้อเสียของจอชนิดนี้ก็คือ ต้องใช้ทรานซิสเตอร์สองตัวต่อหนึ่งจุดทำให้เปลืองมาก นอกจากนั้นการที่มีทรานซิสเตอร์เยอะกว่าเดิมทำให้แสงจากด้านหลังผ่านได้น้อยลง ทำให้ต้องมีไฟพื้นหลัง(Backlight) ที่สว่างกว่าเดิม ความสิ้นเปลืองพลังงานก็มากขึ้นอีกด้วย

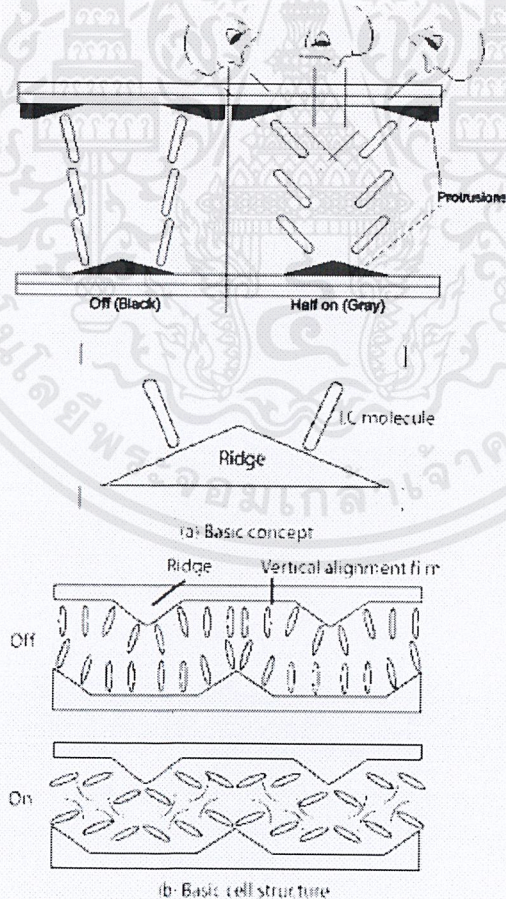


รูปที่ 2.9 แสดงการทำงานของ LCD แบบ IPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MVA (Multi-Domain Vertical Alignment)

บริษัทฟูจิสี (Fujitsu) ค้นพบผลึกเหลวชนิดใหม่ที่ทำให้คุณสมบัติคือทำงานในแนวระนาบ โดยธรรมชาติ และต้องการทรานซิสเตอร์เพียงตัวเดียวก็สามารถให้ผลลัพธ์เหมือน IPS เลยเรียกว่าชนิด VA (Vertical Align) จอชนิดนี้จะไม่ใช้ผลึกเหลวที่ทำงานเป็นเกลียวอีกต่อไป แต่จะมีผลึกเป็นแท่ง ซึ่งปกติถ้าไม่มีไฟป้อนเข้าไปหากจะขวางจอเอาไว้ทำให้เป็นสีดำ และเมื่อได้รับกระแสไฟฟ้าก็จะตั้งฉากกับจอให้แสงผ่านเป็นสีขาว ทำให้จอชนิดนี้มีความเร็วสูงมาก เพราะไม่ได้เคลื่อนที่ แต่ปรับทิศทางของผลึกเท่านั้น จอชนิดนี้จะมีมุมมองได้กว้างราว 160 องศา ปัจจุบันบริษัทฟูจิสีได้ออกจอชนิดใหม่คือ MVA (Multi-Domain Vertical Alignment) ออกมาแก้จุดด้อยของตัวเอง คือจากรูปจะเห็นว่าด้วยความที่เป็นผลึกแท่ง และองศาของการหมุนใช้กำหนดความสว่างของจุด ดังนั้นเมื่อมองจากมุมมองอื่น ความสว่างของภาพจะเปลี่ยนไปเลย เพราะถูกผสมในอีกรูปแบบหนึ่ง จอ Multidomain ก็จะพยายามกระจายมุมมองให้แต่ละพิกเซล (Pixel) นั้นมีผลึกหลายมุมเฉลี่ยกันไป ทำให้ผลกระทบจากการมองมุมที่ต่างออกไปหักล้างกันเอง



รูปที่ 2.10 โครงสร้างแบบต่างๆของจอ LCD

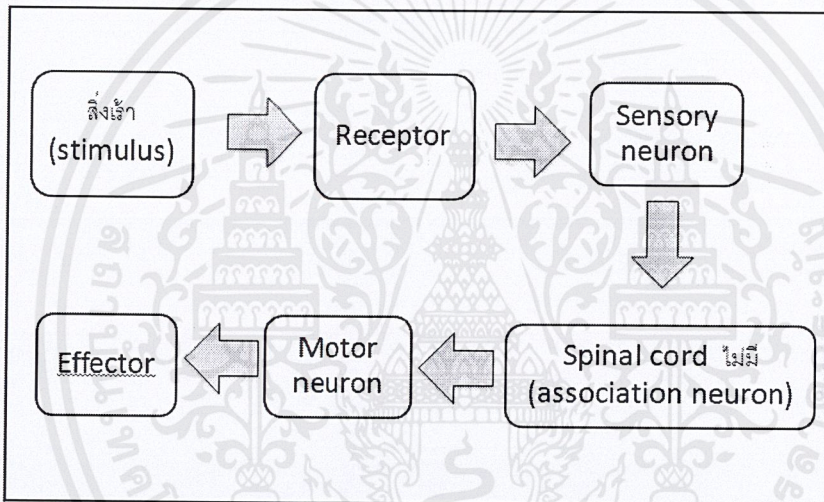
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 การทำงานของระบบประสาท

ระบบประสาทของสัตว์มีกระดูกสันหลังชั้นสูง แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบประสาทส่วนกลาง (Central Nervous System หรือ CNS) ได้แก่ สมองและไขสันหลัง อีกระบบคือ ระบบประสาทรอบนอก (Peripheral Nervous System หรือ PNS) ได้แก่ เซลล์ประสาทรับความรู้สึก และเซลล์ประสาทสั่งการ ระบบประสาท แบ่งการทำงานเป็น 2 ประเภท ได้แก่

### 2.3.1 ระบบประสาทที่ทำงานภายใต้อำนาจจิตใจ (Voluntary N.S.)

ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อลาย (Striated muscle) หรือกล้ามเนื้อโครงร่าง (Skeletal muscle) โดยการควบคุมของสมองส่วนซีรีบรัม (Cerebrum) ได้แก่ ระบบประสาทโซมาติก (Somatic Nervous System : SNS)



รูปที่ 2.11 แผนผังการทำงานของระบบประสาทที่ทำงานภายใต้อำนาจจิตใจ

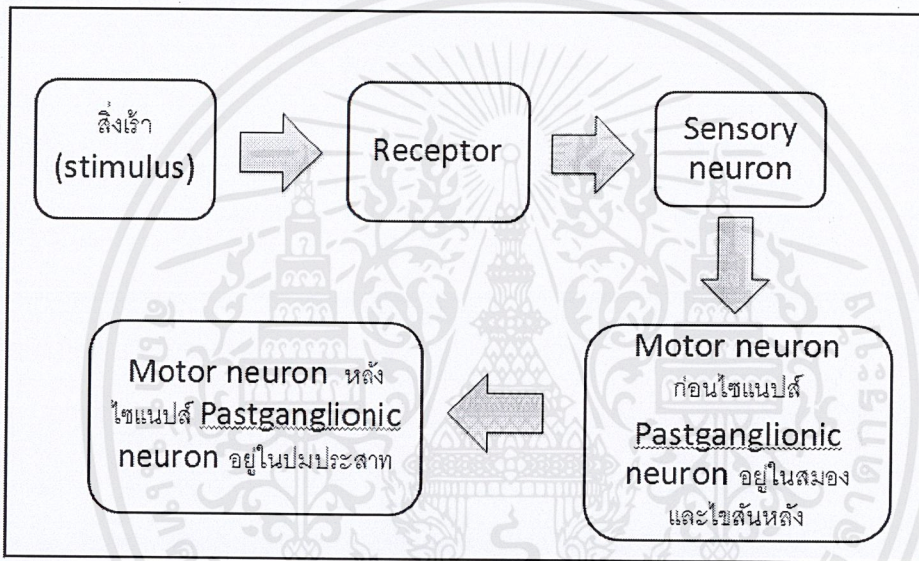
### 2.3.2 ระบบประสาทที่ทำงานนอกอำนาจจิตใจ (Involuntary N.S.)

ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อเรียบ (Smooth muscle), กล้ามเนื้อหัวใจ (Cardiac muscle) และต่อมต่างๆ ทำงานเร็วขึ้นหรือช้าลงเท่านั้น ระบบประสาทอัตโนมัติ แบ่งเป็น 2 ระบบย่อย ที่ทำงานตรงข้ามกันและคอยควบคุมซึ่งกันและกันให้ร่างกายอยู่ในสภาพสมดุล คือ

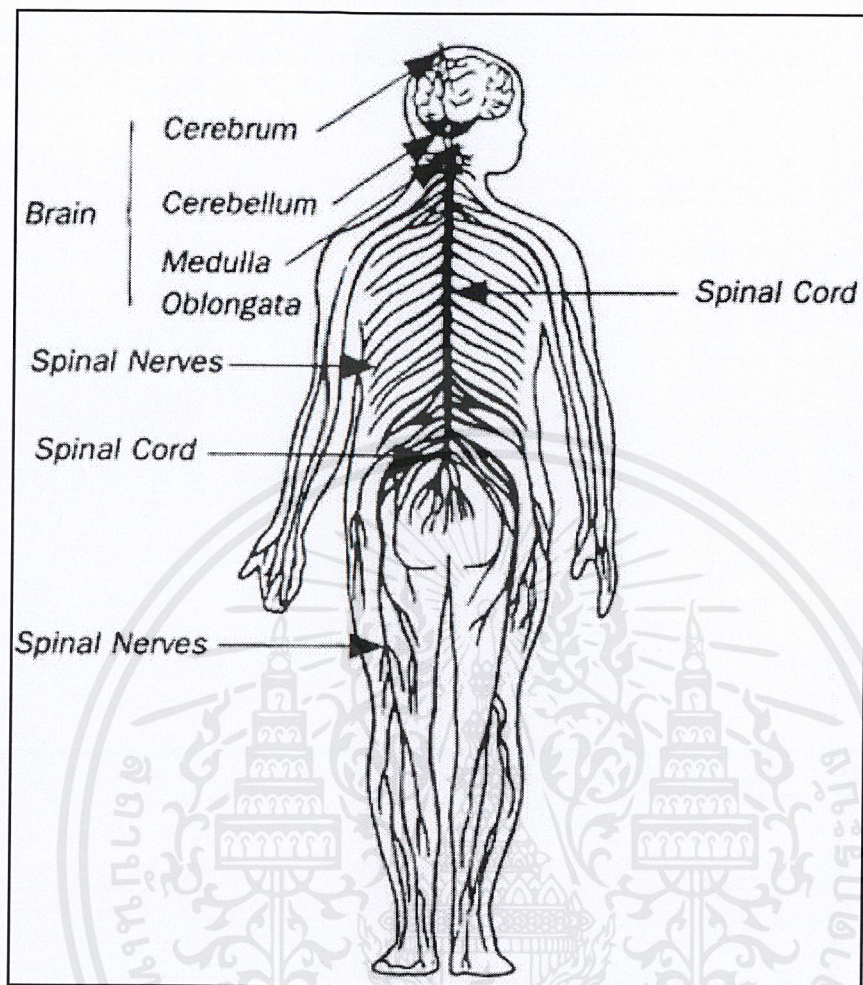
**2.3.2.1 Sympathetic N.S** มีศูนย์กลางการสั่งงานอยู่ที่ไขสันหลังบริเวณอกและบริเวณเอว โดยมีเส้นประสาทคู่เล็กๆ เด่นขนานกับกระดูกสันหลัง ข้างละเส้น ในตำแหน่งไขสันหลังบริเวณทรวงอกและบั้นเอว ทางเดินของเส้นประสาทหลัง ไซแนปส์ (Synapse) หรือจุดประสานประสาทของระบบประสาทซิมพาเทติก ที่ไปยังอวัยวะภายนอกเช่น ผิวหนัง ต่อมเหงื่อ จะไปรวมกับเส้นประสาทไขสันหลัง ระบบประสาทซิมพาเทติกส่วน

ใหญ่เป็นระบบที่กระตุ้น การทำงานของอวัยวะส่วนต่างๆให้เร็วขึ้น (คล้ายตัวเร่ง) เป็นประสาทของการทำงาน/ต่อสู้อุจกเงิน/การใช้พลังงาน

**2.3.2.2 Parasympathetic N.S** มีศูนย์การสั่งการอยู่ที่สมองส่วนเมดูลลาเรออบลองกาตาร์(Medulla Oblongata) และไขสันหลังบริเวณกระเบนเหน็บที่ 2,3,4 ระบบประสาทพาราซิมพาเรติกส่วนใหญ่เป็นระบบที่ทำให้การทำงานของอวัยวะส่วนต่างๆให้ช้าลง(คล้ายเบรก) เป็นประสาทของการพักผ่อน/ซ่อมแซม/การควบคุมและการสร้างพลังงาน-สะสมพลังงาน



รูปที่ 2.12 แผนผังการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ



รูปที่ 2.13 ระบบประสาทต่าง ๆ ในร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sympathetic N.S	Parasympathetic N.S
<p>1. มีตำแหน่งออกจากไขสันหลังระหว่างบริเวณถึงบั้นเอว</p> <p>2. ปมประสาท sympathetic nerve อยู่ใกล้ศูนย์สั่งงานทำให้เส้นประสาทคำสั่งที่อยู่หน้าปมประสาท (preganglionic fiber) สั้นกว่าเส้นประสาทนำคำสั่ง ที่อยู่หลังปมประสาท (postganglionic fiber)</p> <p>3. ปลายกิ่ง axon จะสร้างสารเคมีชื่อ norepinephrine</p>	<p>1. มีตำแหน่งออกจากสมองที่ส่วนท้ายสุด (medulla oblongata) หรือไขสันหลังบริเวณกระเบนเหน็บ</p> <p>2. ปมประสาท parasympathetic nerve อยู่ใกล้ศูนย์สั่งการ(อยู่ใกล้หน่วยปฏิบัติงาน) หรืออยู่ภายในหน่วยภายในหน่วยปฏิบัติงาน</p> <p>3. ปลายกิ่ง axon จะสร้างสารเคมีชื่อ acetylcholine</p>

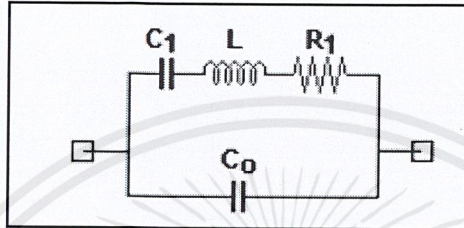
ตารางที่ 2.1 แสดงข้อแตกต่างระหว่างซิมพาเทติก และพาราซิมพาเทติก

#### 2.4 คริสตัล (Crystal)

อุปกรณ์กำเนิดสัญญาณไฟฟ้าความถี่คงที่ ที่เราเรียกว่า สัญญาณนาฬิกา โดยเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยม เพื่อใช้ในอุปกรณ์ส่งวิทยุ หรือเครื่องคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วย ผลึกควอตซ์ (หินเขี้ยวหนุมาน) แผ่นบางๆ มีแผ่นโลหะฉาบอยู่ 2 ด้านที่เชื่อมต่อกับขั้วต่อภายนอก 2 ขั้วมีหลักการทำงาน คือ เมื่อผลึกควอตซ์ ได้รับแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากขั้วต่อทั้งสอง จะเกิดสนามไฟฟ้าซึ่งจะทำให้เกิดแรงต่อประจุในโครงสร้างของผลึก ทำให้ผลึกเปลี่ยนรูป และสั่น ทำให้ประจุมีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ จนเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าออกมาด้านแรงเคลื่อนเดิม ขึ้นที่ขั้วทั้งสอง แต่สัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีความถี่คงที่ค่าหนึ่ง เรียกว่าความถี่เรโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Resonance Frequency) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับพื้นที่หน้าตัดและความหนาของผลึก ในการใช้งานเราจะใช้คริสตัลจากความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งเราอาจเรียกว่าความถี่มูลฐาน โดยจะใช้งานในช่วงตั้งแต่ระดับกิโลเฮิร์ตซ์ (KHz) ถึงระดับหลายร้อยเมกะเฮิร์ตซ์ (MHz) แต่อาจมีความถี่ฮาร์โมนิก (Harmonic) ที่มีขนาดแอมพลิจูด (Amplitude) น้อยมาก ซึ่งเป็นความถี่ฮาร์โมนิกที่ 3 แทรกเข้ามา



รูปที่ 2.14 วงจรสมมูลของคริสตัล

ข้อได้เปรียบของคริสตัล คือ

1. ทำให้วงจรมีขนาดกระทัดรัด
2. มีความแม่นยำสูง
3. ความถี่คงที่ แม้อุณหภูมิจะเปลี่ยนไป ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

จึงทำให้มีการนำมาใช้แทนวงจรที่ใช้ขดลวด, ตัวเก็บประจุ และตัวต้านทาน แบบเดิม

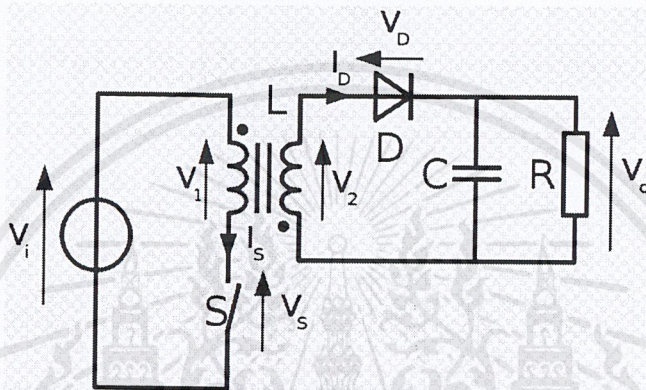
## 2.5 DC to DC Converter Isolated

DC-DC Converter นั้นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงไฟและรักษาระดับแรงดันเหมือนวงจรรักษาระดับแรงดันแบบเชิงเส้นทั่วไปเพียงแต่ DC-DC Converter นั้นจะใช้หลักการทำงานแบบสวิตชิ่ง (Switching) ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่า การสูญเสียเป็นความร้อนน้อยกว่า เราสามารถแบ่งชนิดของ DC-DC Converter ได้เป็น 2 ประเภทหลักๆคือ

1. DC-DC Converter แบบแปลงลง (Buck Converter) เป็นแบบแปลงแรงดันไฟลง มีหรือไม่ต้องมีหม้อแปลงก็ได้ เพียงแต่ถ้าไม่มีหม้อแปลง วงจรลักษณะนี้กราวด์ (Ground) ของอินพุต (Input) จะยังคงอยู่ร่วมกับกราวด์ของเอาต์พุต (Output) ซึ่งเราถือว่าอินพุตและเอาต์พุตไม่ถูกแยก (Isolated) ออกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. DC-DC Converter แบบแปลงขึ้น (Boost Converter) เป็นแบบแปลงแรงดันไฟขึ้น มีหรือไม่ต้องมีหม้อแปลงก็ได้ เพียงแต่ถ้าไม่มีหม้อแปลง วงจรลักษณะนี้กราวด์ของอินพุตจะยังคงอยู่ร่วมกับกราวด์ของเอาต์พุตซึ่งเราถือว่าอินพุตและเอาต์พุตไม่ถูกแยก(Isolated) ออกจากกัน แต่ถ้าเป็นแบบที่ใช้หม้อแปลงนั้นเราจะเรียกวางจร DC-DC Converter แบบนี้ว่า Flyback Converter ซึ่งกราวด์ของอินพุตและเอาต์พุตถูกแยกออกจากกัน ทำให้อินพุตและเอาต์พุตแยกกันอยู่อย่างอิสระ



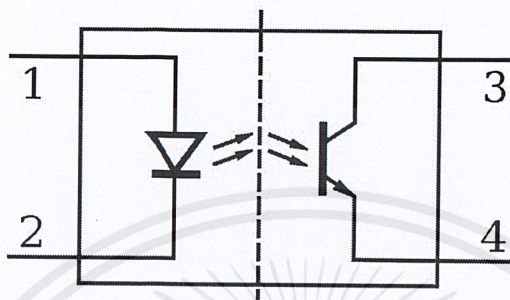
รูปที่ 2.15 แสดงวงจรเสมือนของ Flyback Converter

ในวงจรนี้เราเลือกใช้ DC-DC Converter แบบที่สองซึ่งก็คือแบบแปลงไฟขึ้น(Boost Converter) ชนิดที่มีหม้อแปลงอยู่ภายใน (Flyback Converter) โดยทำหน้าที่จ่ายไฟและแยกกราวด์ของผู้ที่ใช้กับกราวด์ของเครื่องวัดความเร็วกระแสประสาทซึ่งต่ออยู่กับไฟบ้าน โดยตรง เพื่อป้องกันผู้ใช้จากอันตรายของไฟบ้านซึ่งอาจรั่วไหลมาสู่ร่างกายของผู้ใช้ได้

## 2.6 อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง (Opto-Isolator)

อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง (Opto-Isolator) หรือที่เรียกว่าออปโตคัปเปิลเลอร์ (Opto-Coupler) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อทางแสง โดยใช้หลักการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง และเปลี่ยนกลับจากแสงเป็นไฟฟ้าตามเดิม ใช้สำหรับการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างสองวงจรที่ต้องการแยกกันทางไฟฟ้าอย่างเด็ดขาดเพื่อป้องกันการรบกวนกันทางไฟฟ้า แบ่งออกเป็นหลายชนิดแต่ละชนิดจะประกอบด้วย LED ส่ง

แสงซึ่งปกติจะเป็นชนิดอินฟราเรด(LED Infrared) และตัวรับแสงที่เป็นโฟโตทรานซิสเตอร์(Photo Transistor) หรือโฟโตไดโอด(Photo Diode) โดยจะถูกผลิตรวมอยู่ในชิปตัวเดียวกัน



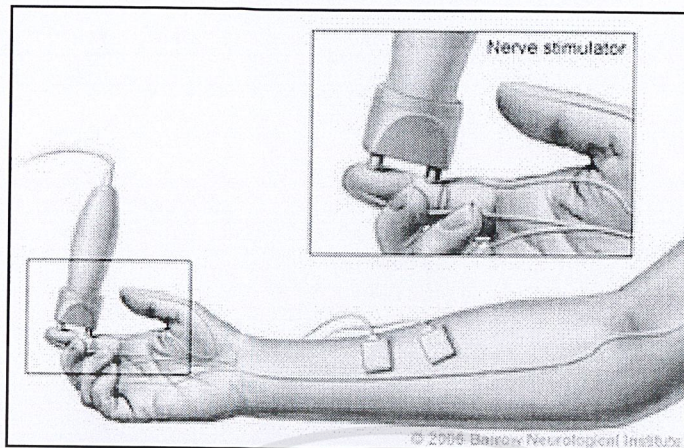
รูปที่ 2.16 แสดงวงจรเสมือนของ Opto-Isolator

## 2.7 หลักการทำงานของเครื่องวัดความเร็วกระแสประสาท

เครื่องวัดความเร็วกระแสประสาทสามารถแบ่งโครงสร้างเป็น 2 ส่วน ดังนี้

2.7.1 ส่วนที่เป็นตัวกระตุ้นด้วยแรงดันไฟฟ้าที่ควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC) ทำการรับค่าความถี่ของพัลส์ (Pulse) และระยะเวลาในการทำงานจากผู้ใช้งาน จากนั้นเริ่มทำการสร้างพัลส์ โดยแรงดันเอาต์พุตที่กระตุ้นสามารถปรับค่าได้ 25 ระดับ และความถี่ในการกระตุ้นสามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 10 ถึง 120 ครั้ง/นาทิจึงเป็นการปรับขึ้นทีละ 10 ครั้ง/นาทิจึงมีระยะเวลาการใช้งานสามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 1 นาทีถึง 15 นาที โดยปรับครั้งละ 1 นาที ผู้ใช้งานสามารถปรับระดับความแรงในการกระตุ้นหรือแอมพลิจูด (Amplitude) ได้โดยการปรับแรงดันกระแสจากตัวต้านทานปรับค่าได้ (Variable Resistor) โดยระดับของแรงดันสูงสุดของพัลส์ (Peak Voltage) จะถูกคงค่าไว้โดยวงจรคงค่า (Peak Hold) และแสดงผลออกทางจอกราฟฟิคแอลซีดี (Graphic LCD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงตัวอย่างการใช้งาน



รูปที่ 2.18 แสดงตัวอย่างการใช้งาน<sup>[1]</sup>

2.7.2 ส่วนวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ถูกกระตุ้น โดยส่วนนี้จะวัดสัญญาณโดยใช้อิเล็กทรอนิกส์คือ บวก ลบ และระดับอ้างอิง ติดบนแขนตามด้านซ้ายของรูปที่ 15 และรับสัญญาณไฟฟ้าที่ถูกกระตุ้นจากตัวกระตุ้น จากนั้นผ่านวงจรขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมนต์ชัน(Instrumentation Amplifier) โดยใช้ไอซีเบอร์ INA121 เพื่อเป็นตัวขยายสัญญาณเพราะสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อนั้นมีขนาดเล็กเป็นมิลลิโวลต์ตั้งแต่ 0.5 mV-10 mVและเป็นสัญญาณความถี่ต่ำ สัญญาณที่ได้จึงต้องผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน(Low pass Filter) เพื่อกรองสัญญาณรบกวนความถี่สูงออกไปเหลือเพียงแต่สัญญาณที่เราต้องการ จากนั้นสัญญาณจะมาเข้าที่ขา A/D (Analog to Digital Converter) ของ PIC 18F4520 ซึ่งจะนำสัญญาณอนาล็อกที่ได้จากการวัดไปทำการแปลงให้สัญญาณนั้นอยู่ในรูปแบบของดิจิตอล เพื่อนำสัญญาณนี้ไปแสดงผลทางหน้าจอกราฟฟิกแอลซีดี โดยผู้ใช้งานสามารถวัดค่าเวลาและความเร็วของสัญญาณกระแสประสาทจากรูปกราฟได้

117485

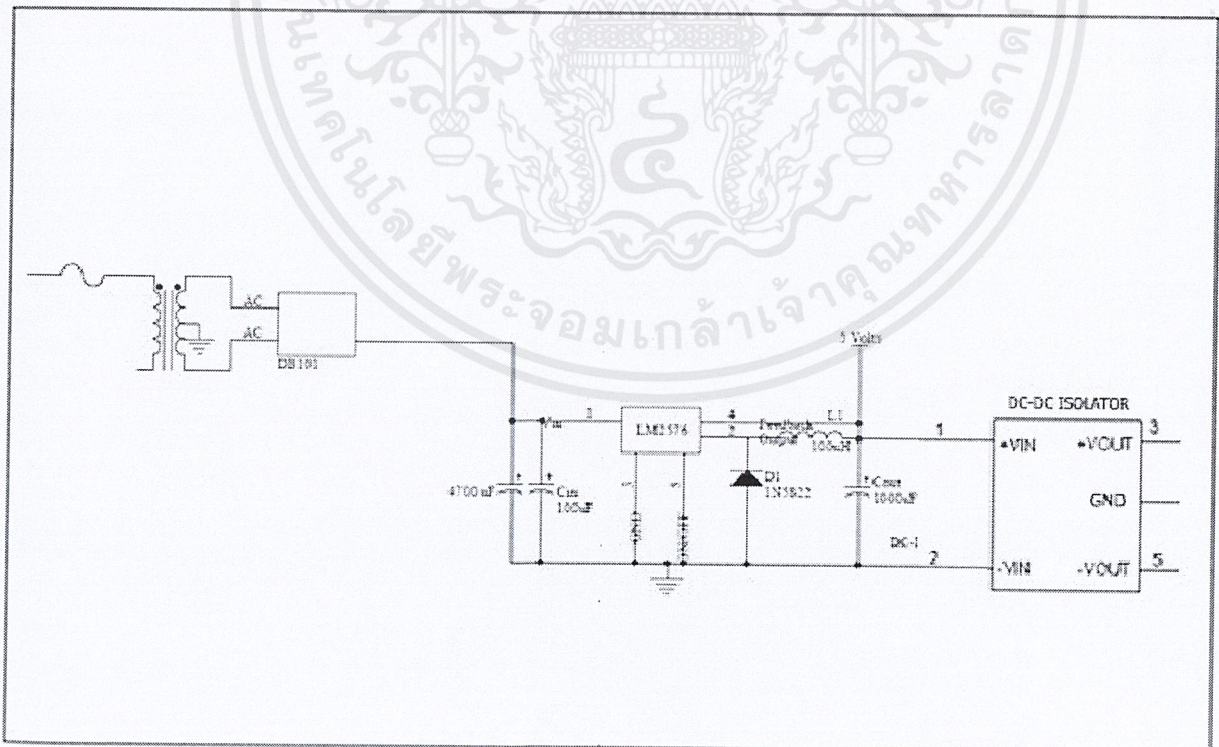
### บทที่ 3

## การออกแบบเครื่องวัดความเร็วกระแสประสาท

### 3.1 ส่วนวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ( DC Power Supply )

วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทุกวงจรจำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง(หรือกระแสสลับในบางกรณี) เพื่อทำหน้าที่เป็นแรงดันอ้างอิง(คือไฟบวก, ไฟลบและกราวด์)ให้แก่วงจร และทำหน้าที่ให้พลังงานไฟฟ้า (แรงดันและกระแส)แก่อุปกรณ์ต่างๆ เช่น ไอซี(Integrated Circuit) ตัวเก็บประจุ(Capacitor) ขดลวดเหนี่ยวนำ (Inductor) เป็นต้น เปรียบเสมือนได้ว่าแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงนี้เป็นหัวใจของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทุกวงจร

หลักการของวงจร คือ ใช้หม้อแปลง(Transformer) แปลงไฟจาก 220 V ให้เหลือประมาณ 12 V จากนั้นนำมาผ่านวงจรเรียงกระแส(Rectifier) ซึ่งใช้แบบไอซีสำเร็จรูป(DB101) เพื่อทำให้กระแสมีทิศทางเดียว( AC to DC ) จากนั้นใช้ตัวเก็บประจุทำการลดแรงดันกระเพื่อม(Ripple Voltage) แล้วจึงใช้วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า(Voltage Regulator) ซึ่งใช้เป็นไอซีเบอร์ LM2576 สำหรับแรงดันไฟบวก และ LM7905 สำหรับแรงดันไฟลบ และมี DC-DC Converter Isolated ซึ่งใช้ในการแยกกราวด์ของส่วนรับอินพุตจากผู้ใช้ออกจากวงจรหลัก โดยมีวงจรดังรูปที่ 3.1

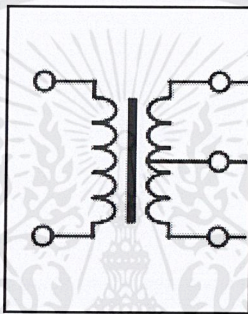


รูปที่ 3.1 วงจรจ่ายไฟของเครื่องวัดความเร็วกระแสประสาทแบบมีส่วนแยกกราวด์โดยใช้ DC/DC Converter Isolated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.1 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

หม้อแปลงทำหน้าที่ในการเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้า ให้ได้แรงดันตามที่เราต้องการ หม้อแปลงมีอยู่ 2 แบบหลักๆคือหม้อแปลงไฟขึ้น(Step Up Transformer) และหม้อแปลงไฟลง(Step Down Transformer)ซึ่งเราต้องการแปลงไฟบ้าน(220V 50Hz) ซึ่งมีค่าสูงเกินกว่าที่เราต้องการ ให้มีค่าน้อยลงจนถึงระดับที่เราต้องการจะใช้ ดังนั้นจึงต้องใช้หม้อแปลงแบบแปลงไฟลง

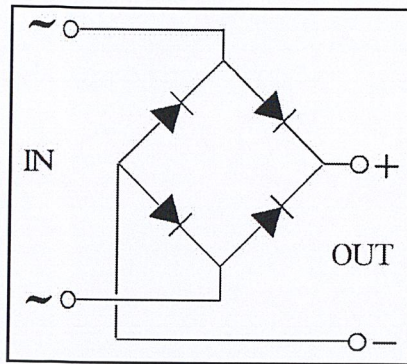


รูปที่ 3.2 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบมีแท็ปกลาง (Centertapped Transformer)

เนื่องจากในกรณีนี้เราต้องการค่าแรงดันเอาต์พุต(Output Voltage) ที่มีค่าทั้งบวกและลบ จึงได้เลือกใช้หม้อแปลงแบบที่มีแท็ปกลาง(Center Tapped) ที่ให้แรงดันเอาต์พุตคือ 12V, 6V, 0V โดยในวงจรนี้จะใช้ระดับแรงดันอ้างอิงหรือกราวนด์( Ground ) คือ 6V จึงจะได้แรงดันไฟทั้งบวกและลบตามต้องการ

### 3.1.2 วงจรเรียงกระแส ( Rectifier)

หลังจากที่ได้ระดับแรงดัน ไฟฟ้าที่ต้องการมาแล้วนั้น จะยังไม่สามารถนำแรงดันไฟนั้นไปใช้ได้ เนื่องจากแรงดันไฟที่ได้นี้ยังคงอยู่ในลักษณะของไฟฟ้ากระแสสลับ(AC) ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับให้อยู่ในรูปของไฟฟ้ากระแสตรง(AC to DC Conversion) ซึ่งวงจรที่สามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพคือวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์(Bridge diode full wave rectifier) โดยเลือกใช้เป็นแบบไอซีสำเร็จรูป ในการเลือกใช้ไดโอดจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติและความสามารถในการทนกระแสและแรงดัน ในที่นี้ได้เลือกใช้ Bridge Diode ขนาด 35V 1A (DB101 )



รูปที่ 3.3 วง Full wave rectifier แบบ Bridge diodes

### 3.1.3 วงจรกรองลดแรงดันกระเพื่อม (Ripple Filter)

เมื่อได้แรงดันไฟตรงมาแล้ว(หลังจากผ่าน rectifier) ก็ยังคงไม่สามารถนำไปใช้กับวงจรได้อีก เพราะแรงดันไฟตรงที่ได้มานั้น มีการกระเพื่อมของระดับสัญญาณอยู่ (Ripple Voltage) ทำให้แรงดันไฟตรงมีค่าไม่คงที่ ดังนั้นจึงต้องทำการลดแรงดันกระเพื่อมเหล่านี้ให้มีค่าน้อยที่สุด โดยใช้ตัวเก็บประจุเข้ามาช่วย โดยต่อตัวเก็บประจุกร่วมระหว่างระดับสัญญาณนี้กับกราวด์ แล้วอาศัยหลักการทำงานของตัวเก็บประจุคือการรับและคายพลังงาน (Charge and Discharge) ช่วยในการลดค่าแรงดันกระเพื่อม ดังนั้นถ้าค่าแรงดันไฟตรงที่ต้องการเท่ากับ 5 V และต้องการให้การกระเพื่อมของระดับแรงดันไฟฟ้ามีค่าประมาณ 5% ของค่าแรงดันที่ต้องการ จึงต้องทำการกรองแรงดันกระเพื่อมนี้ให้เหลือประมาณ 1 V<sub>pp</sub> โดยสามารถคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุที่สัมพันธ์กับค่าแรงดันกระเพื่อมได้ดังนี้

$$C_{\text{Filter}} = I_{\text{DC}} / (F_R \times \Delta V_{\text{DC}})$$

$$= 1 / (2 \times 50 \times 2) = 5000 \text{ uF}$$

นอกจากนี้ ในการเลือกใช้ตัวเก็บประจุยังต้องคำนึงถึงค่าแรงดันที่มากที่สุดที่ตัวเก็บประจุสามารถทนได้ เนื่องจากในที่นี้ได้เลือกใช้หม้อแปลงขนาด 6 Vrms ดังนั้น

$$V = \sqrt{2} * V_{\text{rms}}$$

$$V = \sqrt{2} * 6$$

$$V = 8.4 \text{ V}$$

ดังนั้นจึงต้องเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่ทนความต่างศักย์ได้ไม่ต่ำกว่า 9 V แต่ในที่นี้เพื่อความปลอดภัย จึงได้เลือกใช้ตัวเก็บประจุที่ทนความต่างศักย์ได้ 25 V

### 3.1.4 วงจรรักษาระดับแรงดัน ( Voltage Regulator )

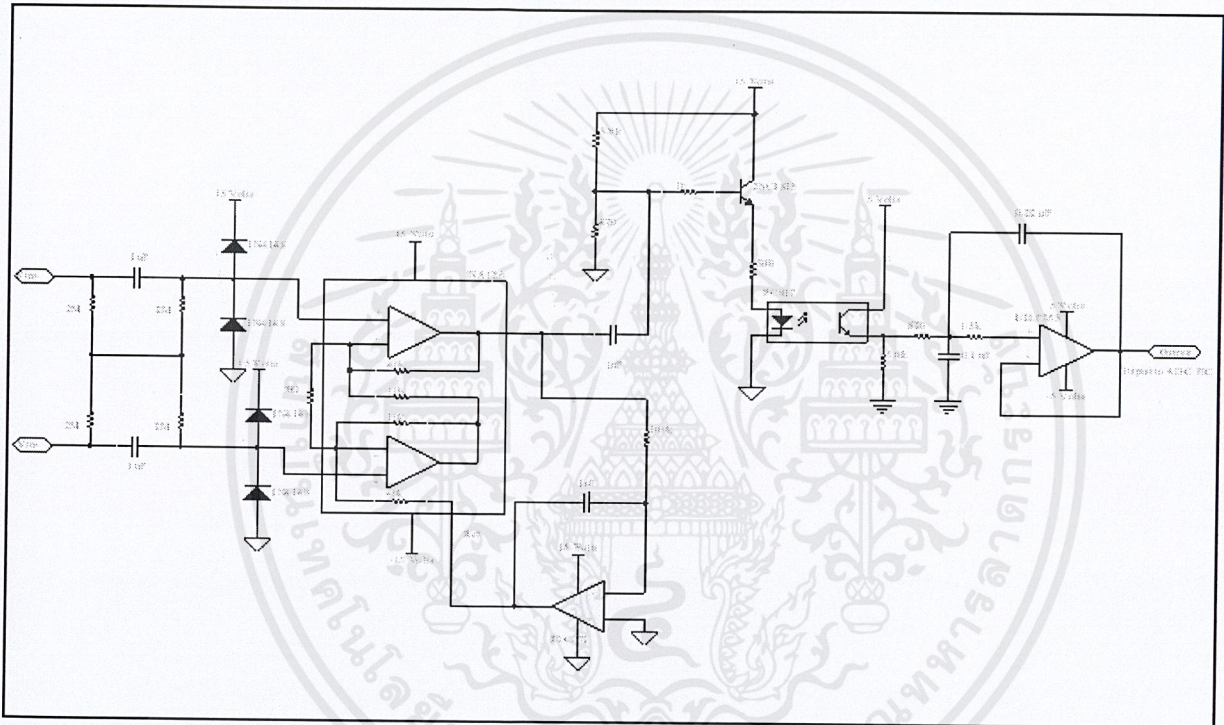
ในวงจรนี้เราต้องการแรงดันทั้งไฟบวกและไฟลบดังนั้นจึงต้องใช้ไอซีสำหรับรักษาระดับแรงดันสองตัวคือ LM2576 กับ LM7905 โดยเป็นแรงดันบวกและลบตามลำดับ สำหรับในส่วนของแรงดันไฟลบนั้นไม่ต้องการกระแสมากนักจึงเลือกใช้ LM7905 ซึ่งเป็นวงจรแบบเชิงเส้น(Linear Voltage Regulator) แต่ในส่วนของแรงดันไฟบวกนั้นต้องการปริมาณกระแสไปใช้ในวงจรค่อนข้างสูง ถ้าใช้ไอซีแบบเชิงเส้นนั้นจะมีปัญหาเรื่องความร้อนที่เกิดขึ้นที่ตัวถังของไอซี ซึ่งเป็นผลมาจากการจ่ายกระแสในปริมาณมากในระดับที่ใกล้เคียงกับระดับสูงสุดที่ไอซีจะสามารถจ่ายได้ (LM7805 จ่ายกระแสได้สูงสุดเพียง 1.5 A) ดังนั้นจึงได้เลือกใช้ไอซีเบอร์ LM2576 ซึ่งเป็น ไอซีรักษาระดับแรงดันแบบสวิตชิ่ง สามารถจ่ายกระแสได้ถึง 3 A เพียงพอต่อการนำไปใช้ในวงจร และเป็นการลดปัญหาความร้อนที่เกิดขึ้นที่ตัวถังของไอซีไปด้วย

### 3.2 วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier)<sup>[4]</sup> และวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)

วงจรในส่วนนี้นั้นถือได้ว่าสำคัญที่สุด เนื่องจากต้องทำการรับค่าสัญญาณอินพุต หรือก็คือสัญญาณที่ใดรับมาจากผู้ใช้ที่ถูกกระตุ้น ซึ่งในความเป็นจริงแล้วสัญญาณที่วัดได้นั้นมีค่าต่ำมาก(ค่าเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 3mV) และสัญญาณที่วัดได้นั้นจะมีระดับของสัญญาณรบกวน(Noise)ปะปนอยู่ด้วยค่อนข้างมาก จึงต้องทำการขยายระดับสัญญาณนั้นให้มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น และต้องทำการกรองสัญญาณรบกวนเหล่านั้นออกไปด้วย เพื่อที่จะให้ได้สัญญาณที่เราต้องการจริงๆ ดังนั้นถ้าวงจรในส่วนนี้ไม่สามารถทำการขยายและกรองสัญญาณรบกวนออกไปได้ก็จะทำให้รูปสัญญาณที่นำไปแสดงบนจอ Graphic LCD นั้นผิดเพี้ยนไปจากความจริง ทำให้ค่าความเร็วและคาบเวลาอาจจะผิดพลาดไปด้วย

ในภาคขยายสัญญาณ (Amplifier) เราใช้วงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์ชัน(Instrumentation Amplifier) โดยใช้ไอซีสำเร็จรูปเบอร์INA126 เป็นวงจรที่ต้องรับค่าสัญญาณอินพุตมาจากผู้ใช้ที่ถูกกระตุ้น ดังนั้นจึงต้องทำการแยกวงจรส่วนนี้ออกจากวงจรส่วนอื่นๆ เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้าที่มาจากแหล่งจ่ายโดยตรง วงจรนี้จึงได้นำเอา DC to DC Converter Isolated ขนาดของอินพุต 5 V และเอาท์พุท +15, -15V มาใช้ในการแยกกราวด์ทางด้านอินพุตของวงจรขยายส่วนนี้ออกจากส่วนอื่นๆ ซึ่งเอาท์พุทจาก DC-DC Converter ที่ได้นี้จะป้อนแหล่งจ่ายแรงดันให้กับวงจรขยาย(INA126) หลังจากรับสัญญาณที่ได้จากการกระตุ้นเข้ามาแล้ว สัญญาณเหล่านั้นจะถูกนำไปผ่านวงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์ชัน ซึ่งเป็นวงจรขยายที่สามารถรับค่าอินพุตได้ 3 ค่า

พร้อมๆกัน และมีอัตราขยาย(Gain)สูงได้ถึง 1000 เท่า เมื่อสัญญาณถูกขยายแล้วจะถูกส่งผ่านออกไปยังวงจรเชื่อมต่อทางแสง(Opto Isolator หรือ Opto Coupler) ซึ่งทำหน้าที่แยกกราวด์ทางด้านเอาท์พุทของวงจรขยายนี้ ออกจากส่วนอื่นๆของวงจร หลังจากนั้นสัญญาณนี้จะถูกนำไปผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน(Low Pass Filter) เพื่อทำการลดสัญญาณรบกวนในย่านความถี่สูงๆออกไป เป็นการป้องกันความผิดพลาดของรูปสัญญาณที่อาจจะเกิดจากสัญญาณรบกวน ในที่สุดสัญญาณที่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนเรียบร้อยแล้วนี้จะไปเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการประมวลผลและนำไปแสดงบนจอกราฟฟิกแอลซีดี(Graphic LCD) ต่อไป



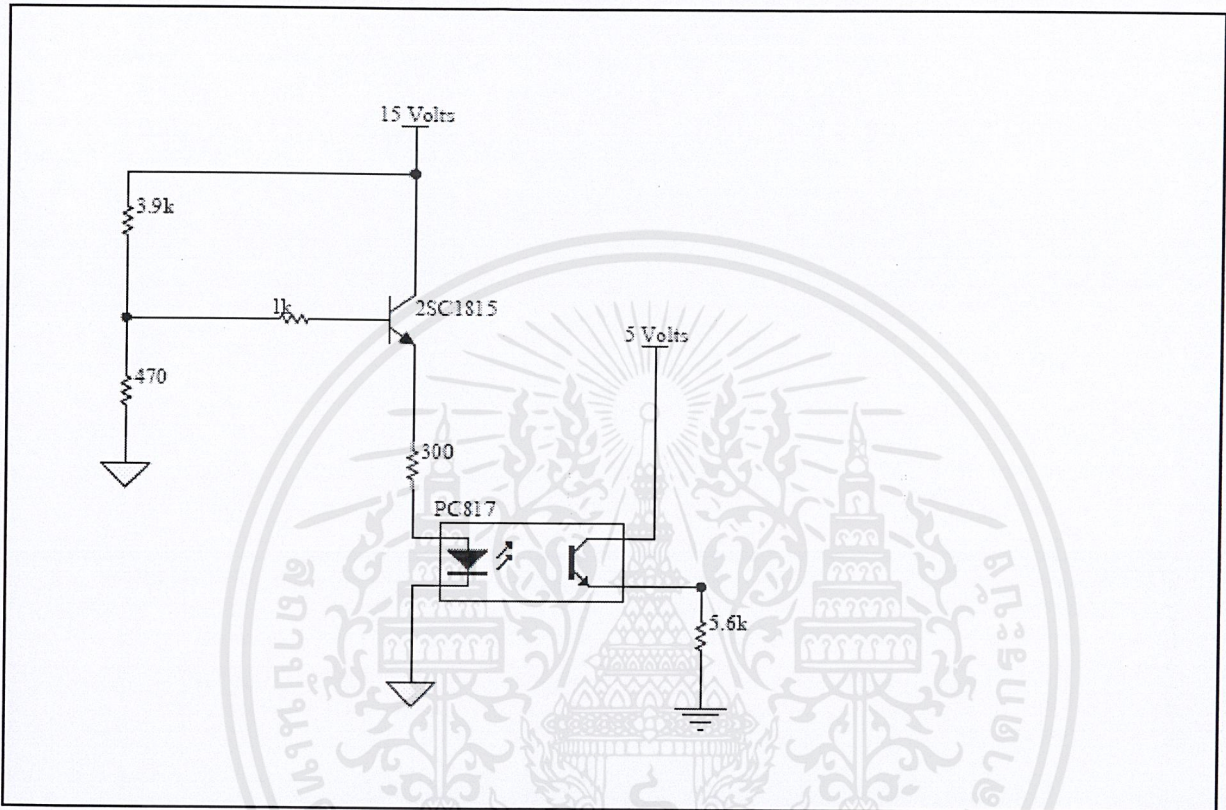
รูปที่ 3.4 วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) และวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)

### 3.3 วงจรเชื่อมต่อทางแสง ( Opto Isolator หรือ Opto Coupler )

วงจรมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นส่วนที่ทำหน้าที่แยกวงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์ชัน (Instrumentation) ซึ่งรับสัญญาณอินพุทมาจากผู้ใช้ ออกจากส่วนอื่นๆของวงจร เพื่อเป็นการป้องกันการรบกวนกันทางไฟฟ้าที่เกิดจากการรบกวนกันของกราวด์แหล่งจ่ายแรงดัน(Power Supply) ซึ่งอาจทำให้ผู้ใช้ได้รับอันตรายได้ โดยอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงนั้นมีโครงสร้างของวงจรเสมือนเป็นทรานซิสเตอร์(Transistor) ตัวหนึ่ง (ดังรูปที่ 18) โดยมีขาเบส(Base) เป็นแอลอีดีที่เปล่งแสงในย่านความถี่อินฟราเรด(LED Infrared) มีส่วนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอลเลคเตอร์(Collector) และอิมิตเตอร์(Emitter) เป็นส่วนเอาต์พุต เมื่อให้แรงดันไบอัสแก่แอลอีดีหรือส่วนเบส นี้แล้ว จะทำให้เกิดกระแสเอาต์พุตขึ้นที่คอลเลคเตอร์(Collector Current) ไหลในวงจรไปยังโหลด(Load) ซึ่ง โหลดในที่นี้ก็คือภาคของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน(Low Pass Filter) นั่นเอง



รูปที่ 3.5 วงจรเชื่อมต่อทางแสง (PC817)

เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากการขยายในวงจรขยายแบบอินสตรูเมนเตชันมาแล้วนั้นมีค่าประมาณ 3 V และมีขนาดของกระแสต่ำมาก แต่ในขณะเดียวกันการไบอัสให้แก่แอลอีดีที่ส่วนเบสของวงจรเชื่อมต่อทางแสง นั้น จำเป็นต้องใช้แรงดันไฟตรงประมาณ 1 V และต้องใช้กระแสในปริมาณที่มากกว่าสัญญาณอินพุตจะมีได้ จึงต้องมีการนำแรงดันไฟตรงจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่ผ่านการแยกกราวด์มาแล้วผ่าน DC-DC Converter Isolated (15 V) มาช่วยในการไบอัสด้วย โดยใช้วงจรแบ่งแรงดัน(Voltage Divider) นำแรงดันไฟตรงประมาณ 1.6 V มาใช้ในการไบอัสแอลอีดี เพื่อเป็นการลดภาระการจ่ายกระแสไบอัสแอลอีดีให้แก่สัญญาณอินพุต ซึ่งถ้าวงจรในส่วนนี้ไม่ได้นำแรงดันไฟตรงมาช่วยในการไบอัสแล้ว จะทำให้สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเชื่อมต่อทางแสงนี้ผิดเพี้ยนไปเป็นอย่างมาก ซึ่งเป็นผลมาจากการจ่ายกระแสเพื่อไบอัสให้แก่แอลอีดีนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 วงจรควบคุมการทำงานของเครื่องกระตุ้นระบบประสาท

ส่วนของวงจรถูกควบคุมจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังนี้

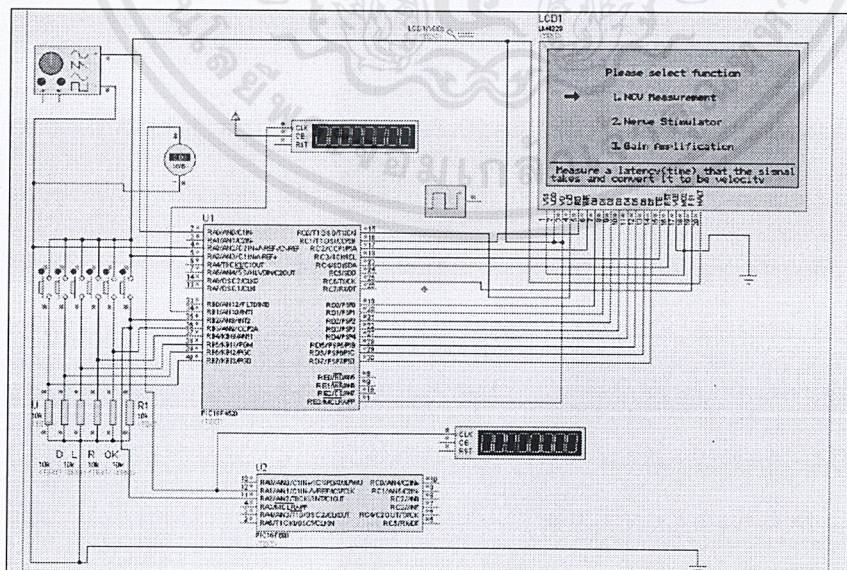
**3.4.1) Selection Switch** ทำหน้าที่เป็นอินพุตให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ใช้ในการตั้งค่าและเลือกฟังก์ชันต่างๆจากผู้ใช้งาน โดยสวิทช์(Switch) ที่ใช้จะเป็นแบบกดติดปลายดับ (ทำงานแบบ Active High)

**3.4.2) Graphic LCD** เลือกใช้ความละเอียดของหน้าจอเป็นแบบ 240\*128 ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตแสดงผล เช่น เมนูและโหมดฟังก์ชันต่างๆ รูปภาพของสัญญาณที่ได้จากการกระตุ้น เป็นต้น

**3.4.3) Microcontroller** ใช้ PIC เบอร์ 18F4520 และ 16F690 ทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลสัญญาณอินพุตที่ได้รับจากการวัด ควบคุมจอกราฟฟิกแอลซีดี(Graphic LCD) ให้แสดงข้อมูลต่างๆและรับค่าอินเทอร์เฟซ (Interface) จากผู้ใช้งาน โดยภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมเป็นภาษาซี ใช้โปรแกรม MikroC เป็นคอมไพเลอร์ (Compiler) โดยมีวงจรดังรูปที่ 18

**3.4.4) LED 7 Segment** ทำหน้าที่ในการแสดงระดับของแรงดันที่ใช้ในการกระตุ้น โดยระดับแรงดันจะถูกปรับค่าจากตัวต้านทานปรับค่าได้ ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป โดยจะแสดงผลเป็นระดับของแรงดันตั้งแต่ 0 – 25 ตามลำดับของความแรงในการกระตุ้น

**3.4.5) Reset Switch** ทำหน้าที่ในการรีเซ็ตเครื่องวัดความเร็วกระแสประสาท เมื่อผู้ใช้งานต้องการออกจากโหมดฟังก์ชันใดๆแบบทันที หรือเมื่อเครื่องเกิดมีปัญหาขึ้น ซึ่งจะทำให้เครื่องเริ่มต้นการทำงานใหม่

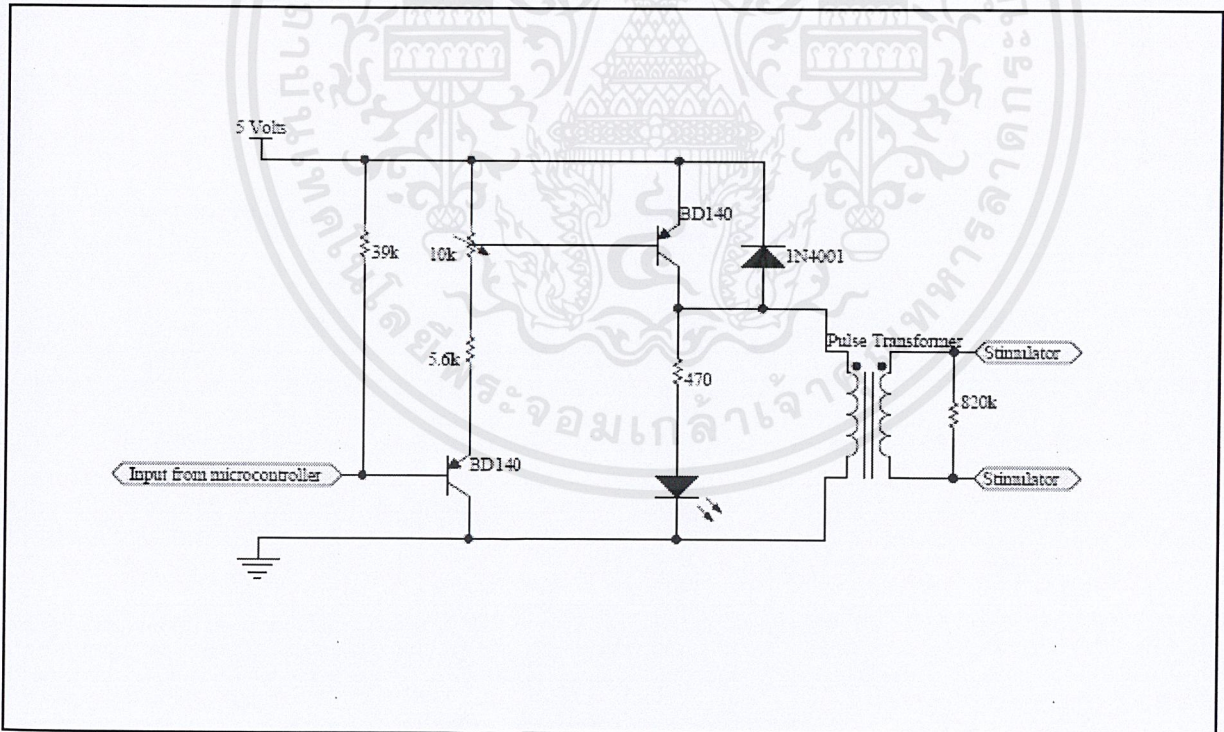


รูปที่ 3.6 วงจรควบคุมการทำงานของเครื่องกระตุ้นระบบประสาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 หลักการออกแบบวงจรปรับระดับแรงดันเอาต์พุต

ในการกระตุ้นเส้นประสาทโดยใช้ไฟฟ้านั้น ต้องใช้แรงดันและกระแสไฟฟ้าในปริมาณที่สูงพอสมควร แต่เนื่องจาก PIC ไม่สามารถจ่ายกระแสได้ในปริมาณที่สูงมากนัก ทำให้กระแสที่ใช้ในการกระตุ้นไม่เพียงพอ จึงต้องมีการนำวงจรขยายกระแสมาใช้ร่วมด้วย โดยทรานซิสเตอร์ (Transistor) ตัวแรกจะรับค่าของพัลส์ที่ส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ใช้ในการเปิดปิด (ON-OFF) ตามจังหวะของสัญญาณที่ได้รับเข้ามา ทรานซิสเตอร์ตัวที่สองจะทำหน้าที่ขยายกระแสที่ได้จากเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ตัวแรก โดยที่เอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ตัวนี้จะถูกนำไปใช้ในการกระตุ้นผ่านหม้อแปลงแปลงไฟขึ้น (Step Up Transformer) เพื่อขยายระดับของแรงดันที่จะกระตุ้น ซึ่งหม้อแปลงที่ใช้ในทางด้านขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิ (Primary-Secondary) จะต้องแยกออกจากกันอย่างอิสระ เนื่องจากที่ด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงนั้นจะต้องนำไปใช้ในการกระตุ้น ซึ่งต้องมีการสัมผัสกับผู้ใช้ ดังนั้นถ้าทั้งสองฝั่งของหม้อแปลงไม่แยกจากกันแล้วอาจจะสร้างความอันตรายให้กับผู้ใช้ก็เป็นได้ และจะมีตัวต้านทานแบบปรับค่าได้อยู่ด้วย เพื่อทำหน้าที่ปรับระดับแรงดันหรือความแรงที่ต้องการใช้ในการกระตุ้นนั่นเอง โดยมีวงจรดังรูปที่ 19

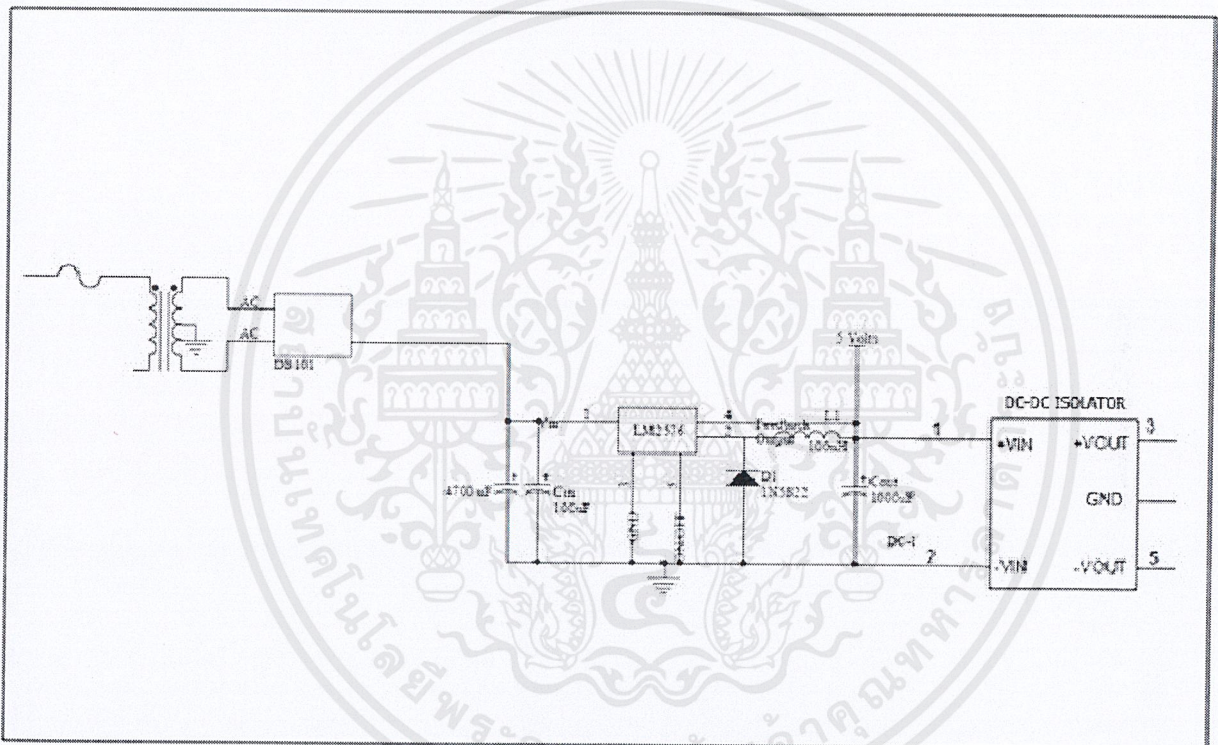


รูปที่ 3.7 วงจรปรับแรงดันเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 ภาคจ่ายไฟให้กับจอ Graphic LCD

เนื่องจากจอกราฟฟิกแอลซีดีจำเป็นต้องมีไฟพื้นหลัง ( Backlight ) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญมากสำหรับจอ LCD เพราะเป็นส่วนที่ทำให้หน้าจอสว่าง และสามารถแสดงผลได้อย่างชัดเจน (สามารถปรับความสว่างของหน้าจอได้) โดยที่การจ่ายไฟให้กับหน้าจอสำหรับไฟพื้นหลังนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้กระแสในปริมาณมาก ( ประมาณ 900 mA ) และด้วยเหตุผลนี้เองที่วงจรนี้จำเป็นที่จะต้องใช้ภาคจ่ายไฟแบบสวิตชิง (Switching Voltage Regulator) โดยใช้ LM2576 เพื่อเป็นการลดความร้อนที่จะเกิดขึ้นที่ตัวถังของไอซี ดังวงจรในรูปที่ 20



รูปที่ 3.8 วงจรภาคจ่ายไฟให้พื้นหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 การทดลองที่ 1

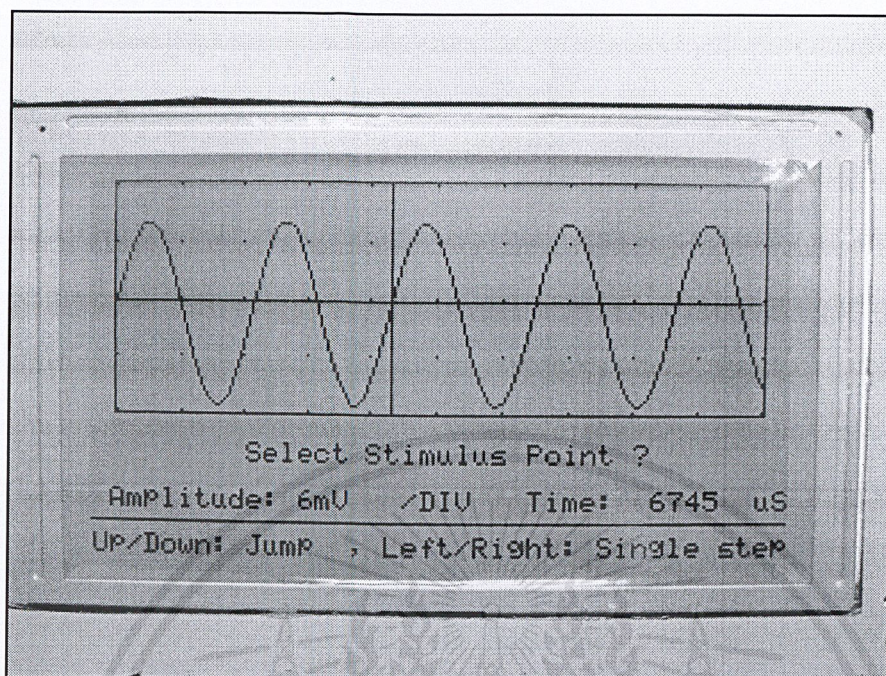
การทดลองในครั้งนี้เป็นการนำสัญญาณรูปไซน์(Sine) จากเครื่องฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์(Function Generator) โดยทำการเปรียบเทียบค่าคาบเวลาที่เครื่องฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์จ่ายออกมา กับค่าที่เครื่องวัดความเร็วกระแสประสาทวัดได้ เพื่อตรวจสอบว่าเครื่องวัดความเร็วกระแสประสาท สามารถแสดงค่าคาบเวลาของสัญญาณที่เอาท์พุทบนจอกราฟฟิกแอลซีดี(Graphic LCD) ได้ใกล้เคียงกับค่าคาบเวลาของสัญญาณจริงหรือไม่และมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่าไร ดังแสดงในตาราง

คาบสัญญาณเวลาจริง	คาบสัญญาณเวลาที่แสดงจาก Graphic LCD	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
10 ms	9.940 ms	0.6
5 ms	4.970 ms	0.6
2.5 ms	2.485 ms	0.6
2 ms	1.988 ms	0.6

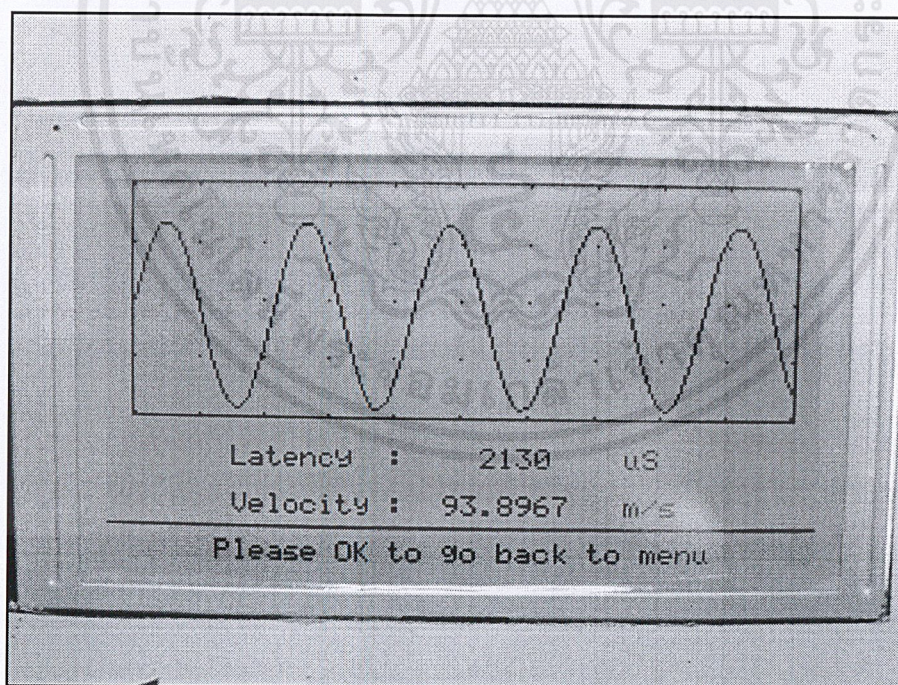
ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบคาบสัญญาณเวลา

$$\% \text{ความคลาดเคลื่อน} = \frac{\text{ค่าจริง} - \text{ค่าทดลอง}}{\text{ค่าจริง}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

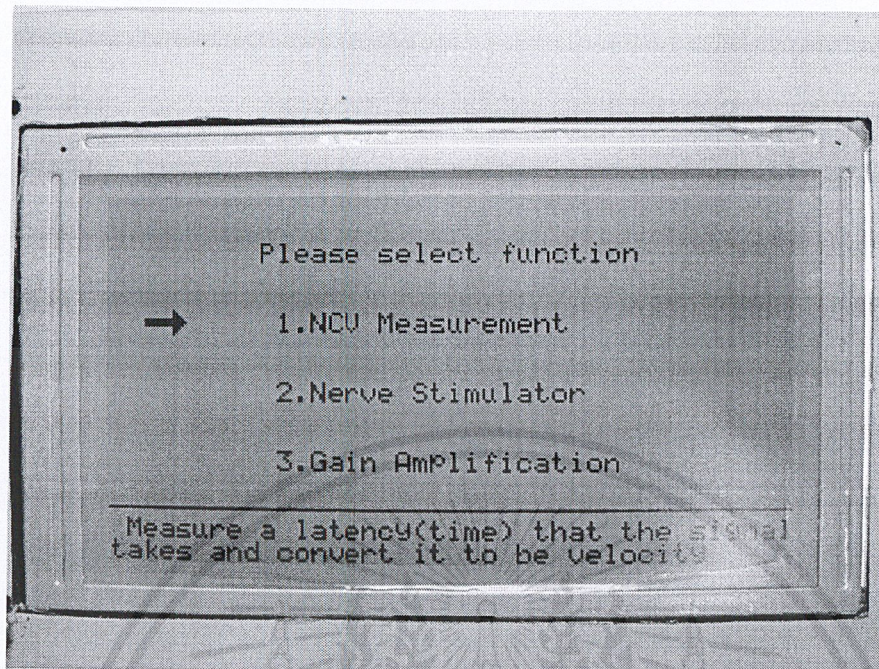


รูปที่ 4.1 ภาพสัญญาณที่ได้จากเครื่องฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์แสดงผ่านจอ Graphic LCD



รูปที่ 4.2 ภาพแสดงการคำนวณความเร็วจากคาบเวลาผ่านจอ Graphic LCD

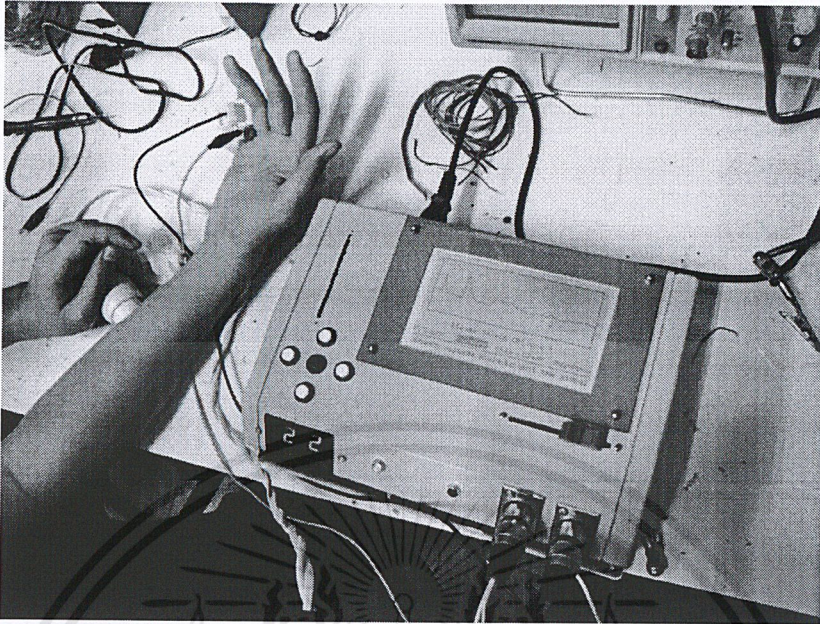
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



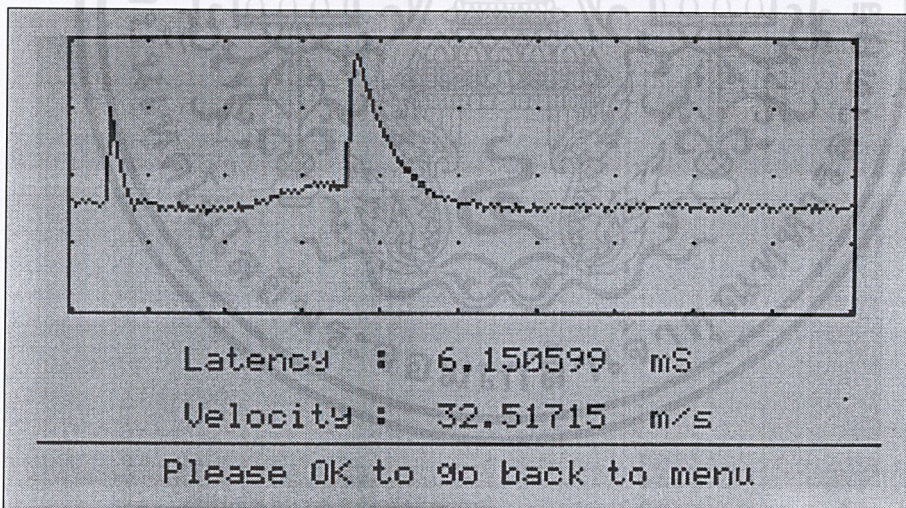
รูปที่ 4.3 ภาพแสดงฟังก์ชันการทำงาน

#### 4.2 การทดลองที่ 2

ในการทดลองที่ 2 นี้จะเป็นการทำการทดลองวัดสัญญาณจริงที่ได้รับจากกระแสประสาทที่ถูกกระตุ้นผ่านทางแผ่นอิเล็กโทรด(Electrodes) ที่ติดกับร่างกาย โดยติดที่บริเวณมือ(ซ้ายหรือขวาก็ได้) ข้อนี้นักวิจัย 2 ข้อจะติดอิเล็กโทรด ขั้วบวกและลบ ส่วนบริเวณข้อเท้าเราจะติดอิเล็กโทรดเพื่อทำหน้าที่เป็นระดับสัญญาณอ้างอิง (Reference) สัญญาณที่ได้จะมี 2 ส่วน โดยส่วนแรกนั้นจะเป็นสัญญาณกระตุ้นจากตัวเครื่อง(ลูกคลื่นแรกทางซ้ายมือ) และลูกคลื่นที่ 2 จะเป็นสัญญาณที่วัดได้จากการตอบสนองของเส้นประสาทจากจุดกระตุ้น ไปยังปลายนิ้ว(ลูกคลื่นที่ 2 ทางขวามือ) ดังแสดงในรูปที่ 24 และ 25

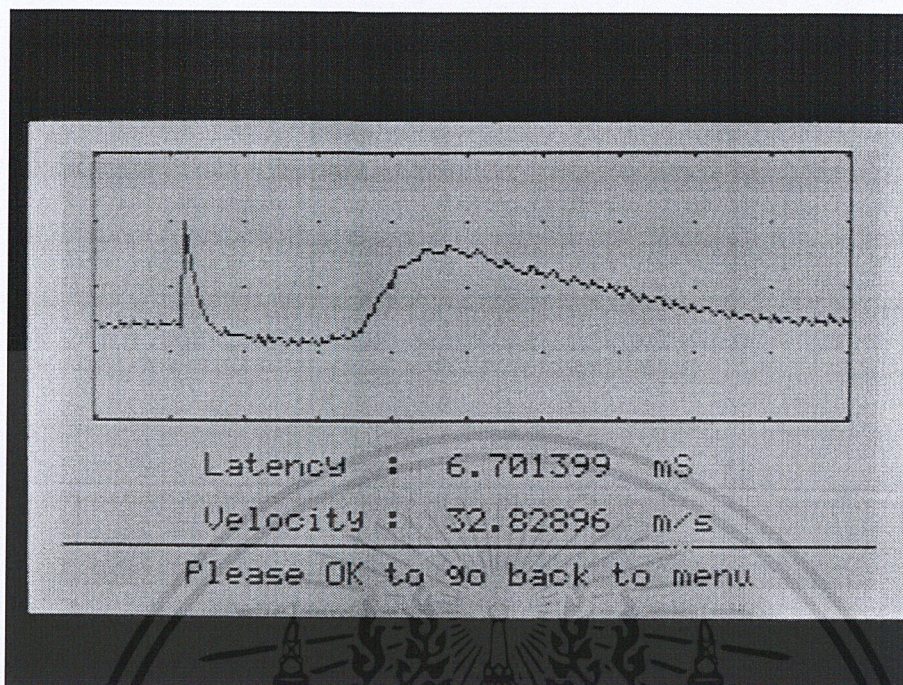


รูปที่ 4.4 แสดงการทดลอง

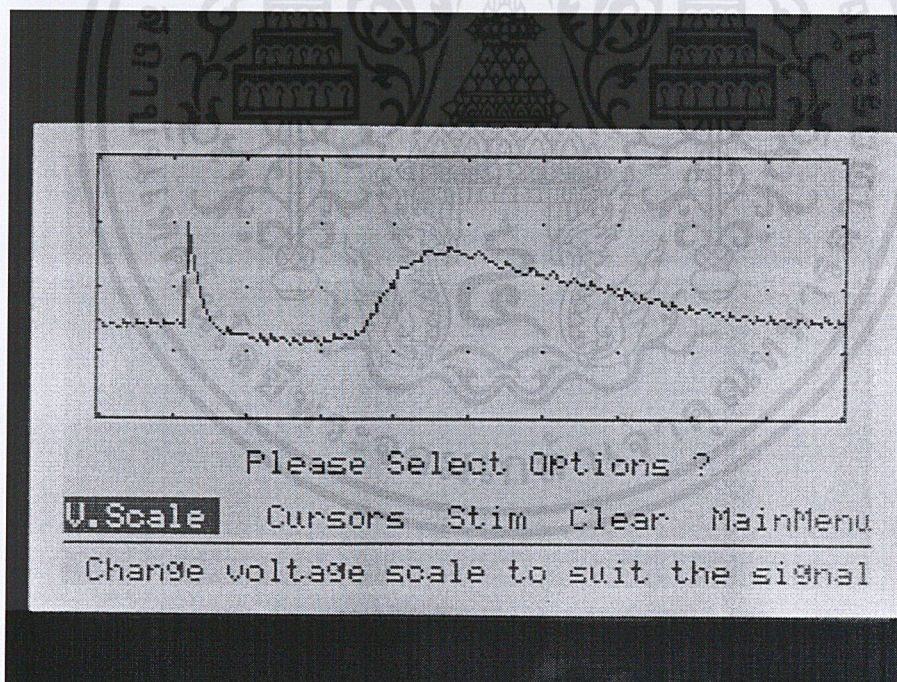


รูปที่ 4.5 ผลที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ผลที่ได้จากการทดลอง

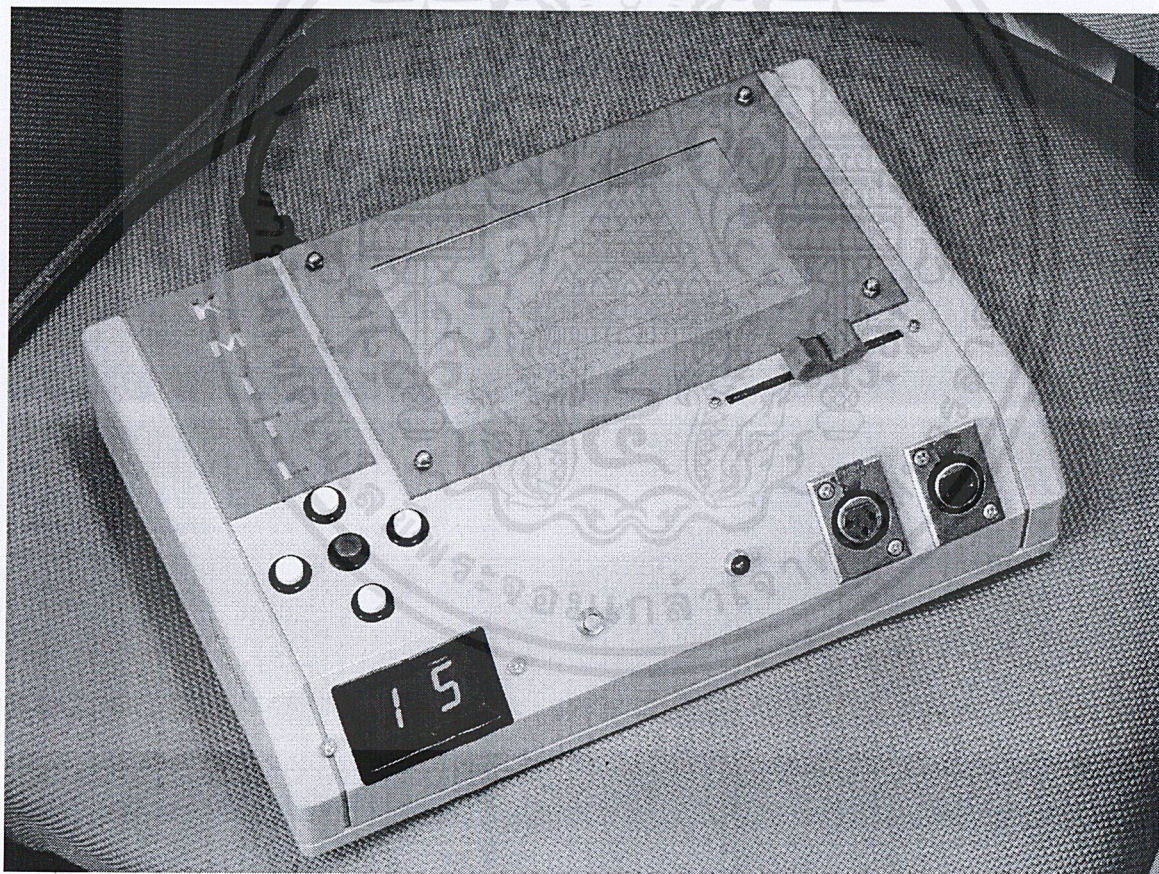


รูปที่ 4.7 ผลที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่	ความเร็วกระแสประสาท ของผู้ทดลองที่ 1 (m/s)	ความเร็วกระแสประสาท ของผู้ทดลองที่ 2 (m/s)	ความเร็วกระแสประสาท ของผู้ทดลองที่ 3 (m/s)
1	33.51768	32.82896	33.40215
2	32.51515	33.17525	32.54923
3	32.51715	32.47940	32.51296
ค่าอ้างอิง	33.8	33.8	33.8

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าของความเร็วกระแสประสาทที่วัดได้



รูปที่ 4.8 เครื่องวัดความเร็วกระแสประสาทบริเวณแขน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุปและวิจารณ์

โปรเจกต์นี้ได้แสดงแนวคิดที่จะออกแบบเครื่องตรวจวัดความเร็วกระแสประสาทซึ่งควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัท Microchip ตระกูล PIC เบอร์ 18F4520 และเบอร์ 16F690 โดยตัวเครื่องมีโหมดการทำงานอยู่ทั้งหมด 2 โหมด คือ โหมดตรวจวัดความเร็วกระแสประสาท(Nerve Conduction Velocity Measurement) และ โหมดกระตุ้นกล้ามเนื้อโดยใช้กระแสไฟฟ้า(Nerve Stimulator) ในโหมดตรวจวัดความเร็วกระแสประสาทนั้นหลักการทำงานของเครื่องจะเริ่มต้นจากการกดสวิทช์ที่ตัวแบ่งกระตุ้น เพื่อให้ตัวเครื่องทำการปล่อยสัญญาณไฟฟ้าไปกระตุ้นที่กล้ามเนื้อโดยสัญญาณกระตุ้นนั้นจะเป็นสัญญาณที่ผ่านการคัปปลิงจากหม้อแปลงเพื่อความปลอดภัยของผู้ถูกวัด จากนั้นตัวเครื่องจะทำการวัดสัญญาณกระแสประสาทที่ตอบสนองจากสัญญาณไฟฟ้าที่กระตุ้นโดยผ่านวงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์ซึ่งจะช่วยกำจัดสัญญาณรบกวนแบบคอมมอนโหมด จากนั้นจึงผ่านวงจรคัปปลิงทางแสงเพื่อแยกกราวด์ของผู้ถูกวัดออกจากกราวด์ของตัวเครื่องวัดเพื่อความปลอดภัยของผู้ถูกวัด แล้วส่งผ่านต่อให้วงจรรองความถี่ต่ำผ่านจากนั้นจึงเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเปลี่ยนจากสัญญาณอนาล็อกที่รับมาเป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วจึงนำมาแสดงผลออกทางจอกราฟฟิคแอลซีดี ซึ่งตัวโปรแกรมสามารถทำการวัดค่าคาบเวลาระหว่างจุด 2 จุดที่อยู่บนหน้าจอกราฟฟิคแอลซีดีเพื่อนำมาคำนวณหาค่าเวลาที่ใช้ในการตอบสนองของกล้ามเนื้อได้ ส่วนอีกโหมดการทำงานคือโหมดกระตุ้นกล้ามเนื้อโดยใช้กระแสไฟฟ้านั้นหลักการทำงานของเครื่องจะเริ่มจากการกำหนดค่าความถี่ในการกระตุ้นในหน่วย ลูกต่อนาที จากนั้นเครื่องจะถามถึงระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นเป็นหน่วยของนาฬิกา เมื่อกำหนดค่าต่างๆครบแล้วเครื่องจะทำการปล่อยสัญญาณไฟฟ้าช่วงสั้นๆประมาณ 30 มิลลิวินาทีต่อครั้งตามค่าความถี่ที่ตั้งค่าไว้จนครบช่วงเวลาที่กำหนด

นอกจากนี้ตัววงจรยังมีภาควัดแรงดันของสัญญาณไฟฟ้าที่นำมากระตุ้นกระแสประสาทโดยแบ่งระดับแรงดันออกเป็น 25 ระดับแสดงผลผ่านทางเซเวนเซกเมนต์รวมทั้งยังมีวงจรจ่ายไฟกระแสตรงแบบแยกกราวด์ไว้สำหรับเลี้ยงวงจรต่างๆในส่วนที่ต้องสัมผัสกับคนโดยตรงเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ทำการวัดหรือกระตุ้นได้

## วิธีการติดตั้งก่อนการใช้งาน

- 1.เสียบปลั๊กไฟเข้ากับตัวเครื่องและเปิดสวิตซ์การทำงานที่อยู่ทางด้านซ้ายมือบริเวณด้านหลังของตัวเครื่อง
- 2.ต่อตัวแท่งกระตุ้นและสายวัดสัญญาณเข้ากับตัวเครื่องที่อยู่บริเวณด้านหน้าขวามือโดยเสียบเข้าไปให้ลึกที่สุดจนได้ยินเสียง “คลิก” แสดงว่าแน่นแล้ว

## การใช้งานในโหมดวัดสัญญาณกระแสประสาท

- 1.ในหน้าเมนูให้เลือกโหมดที่ 1 NCV Measurement จากนั้นเลือกค่าขนาดของแอมพลิจูดให้เหมาะสมกับสัญญาณที่จะทำการวัดส่วนความแรงของสัญญาณที่ใช้ในการกระตุ้นสามารถปรับได้จากปุ่มบริเวณด้านหน้าซ้ายของตัวเครื่อง
- 2.กดปุ่มตกลง (สีเขียว) เพื่อรับค่าสัญญาณกระแสประสาทมาแสดงผลทางจอกราฟฟิคแอลซีดี
- 3.หากต้องการกระตุ้นและวัดค่าใหม่สามารถทำได้โดยเลือกที่คำสั่ง Clear และตามด้วยคำสั่ง Stim เพื่อกลับไปสู่หน้าเลือกค่าแอมพลิจูดอีกครั้ง แต่ถ้าหากไม่ต้องการลบข้อมูลเก่าออกก่อนก็สามารถกระตุ้นเพื่อวัดค่าใหม่ได้โดยไปที่คำสั่ง Stim โดยตรง
- 4.เลือกไปที่โหมด Cursor จากนั้นทำการกำหนดจุดของสัญญาณกระตุ้นแล้วกดปุ่มตกลงและกำหนดจุดของสัญญาณกระแสประสาทที่ตอบสนองแล้วกดปุ่มตกลง
- 5.ป้อนค่าระยะทางจากจุดที่ปล่อยสัญญาณกระตุ้น ไปยังจุดที่ทำการวัดสัญญาณกระแสประสาทแล้วกดปุ่มตกลง
- 6.ตัวเครื่องจะแสดงค่าของเวลา (Latency) ในหน่วยมิลลิวินาที (milli second) และค่าความเร็วของกระแสประสาท (Nerve Velocity) ในหน่วยของเมตรต่อวินาที (m/s) ออกมา
- 7.กดปุ่มตกลง เพื่อเป็นการกลับสู่เมนู และเลือกที่คำสั่ง Main Menu เพื่อเป็นการกลับไปหน้าจอเลือกโหมดการทำงานอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การใช้งานในโหมดกระตุ้นกระแสประสาท

1. ในหน้าเมนู ให้เลือกโหมดที่ 2 Nerve Stimulator จากนั้นกดปุ่มตกลง (สีเขียว)
2. กำหนดค่าความถี่ที่ใช้ในการกระตุ้นโดยมีหน่วยเป็น ลูก/นาที จากนั้นกดปุ่มตกลง
3. กำหนดค่าระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นมีหน่วยเป็นนาที จากนั้นกดปุ่มตกลง
4. เครื่องจะทำการกระตุ้นตามค่าที่กำหนดไว้โดยที่ความแรงของสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้ในการกระตุ้น

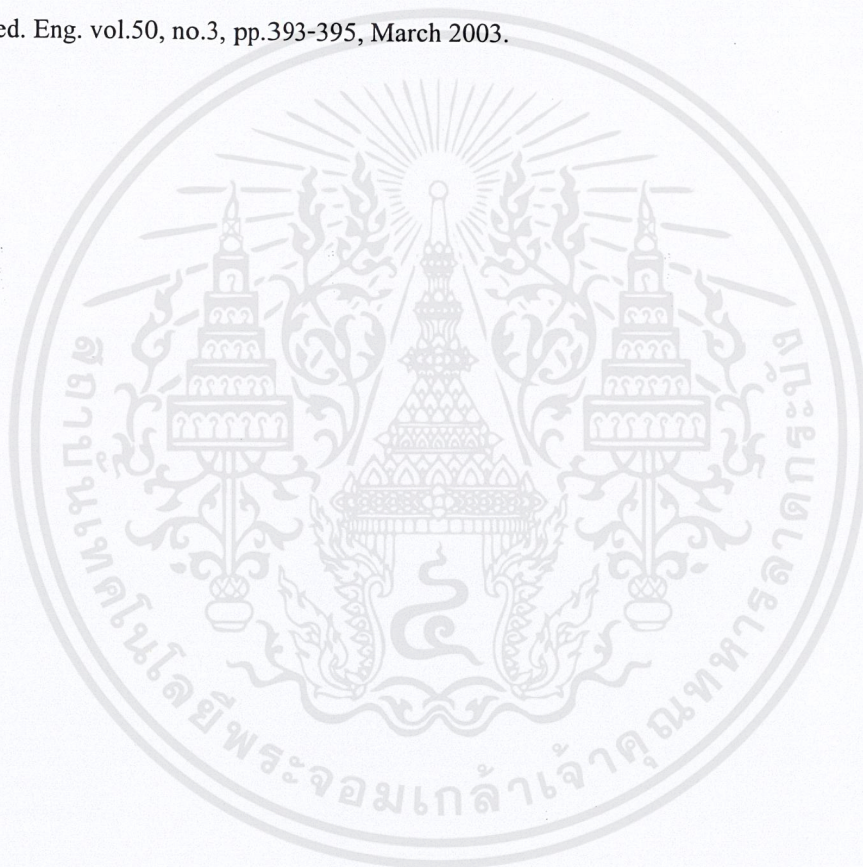
สามารถที่จะปรับได้ที่ปุ่มบริเวณด้านหน้าขวามือของตัวเครื่อง เมื่อตัวเครื่องทำงานเสร็จจะกลับไปสู่หน้าเมนูหลักเองโดยอัตโนมัติ

โครงการนี้ยังมีส่วนที่ควรจะต้องปรับปรุงพัฒนาต่อไปซึ่งก็คือส่วนของวงจรรับค่าสัญญาณกระแสประสาทเนื่องจากในรูปคลื่นของสัญญาณที่ผ่านอุปกรณ์คัปปลิงเป็นสัญญาณที่มีความผิดเพี้ยนค่อนข้างมาก รวมทั้งควรจะต้องปรับปรุงในส่วนของการชิลด์ตัวเครื่องเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนแบบโหมดร่วม เพราะในการใช้งานจริงตามโรงพยาบาลนั้นจะมีสัญญาณรบกวนการเครื่องมืออุปกรณ์การแพทย์ต่างๆค่อนข้างสูง

จุดมุ่งหมายของโครงการนี้คือ มุ่งเน้นที่จะนำไปใช้เป็นเครื่องมือเพื่อตรวจสอบความผิดปกติของกล้ามเนื้อโดยสามารถวินิจฉัยอาการเบื้องต้นได้ มีราคาไม่แพงสามารถมีติดไว้ใช้งานตามโรงพยาบาลขนาดเล็กหรือโรงพยาบาลในต่างจังหวัด ซึ่งจะช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายของผู้ป่วยที่ต้องเดินทางเข้ามารักษาในตัวเมืองหรือในกรุงเทพฯ มีขนาดเล็กกระทัดรัดพกพาสะดวก และที่สำคัญมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน

## เอกสารอ้างอิง

- [1] [www.infoisfree.com/drupal/?q=book/export/html/7](http://www.infoisfree.com/drupal/?q=book/export/html/7)
- [2] <http://neurologycoffecup.wordpress.com/2009/01/26/nerve-conduction-study/>
- [3] <http://www.yourhealthyguide.com/article/aj-locked-finger.html>
- [4] E.M. Spinelli, R. Palla-Aren y, M. A. Mayosky, A.C Coupling Font-End for Biopotential Measurements, IEEE Trans. Biomed. Eng. vol.50, no.3, pp.393-395, March 2003.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PC817 Series

## High Density Mounting Type Photocoupler

\* Lead forming type (I type) and taping reel type (P type) are also available. (PC817I/PC817P) (Page 656)  
 \*\*TUV (VDE0884) approved type is also available as an option.

### Features

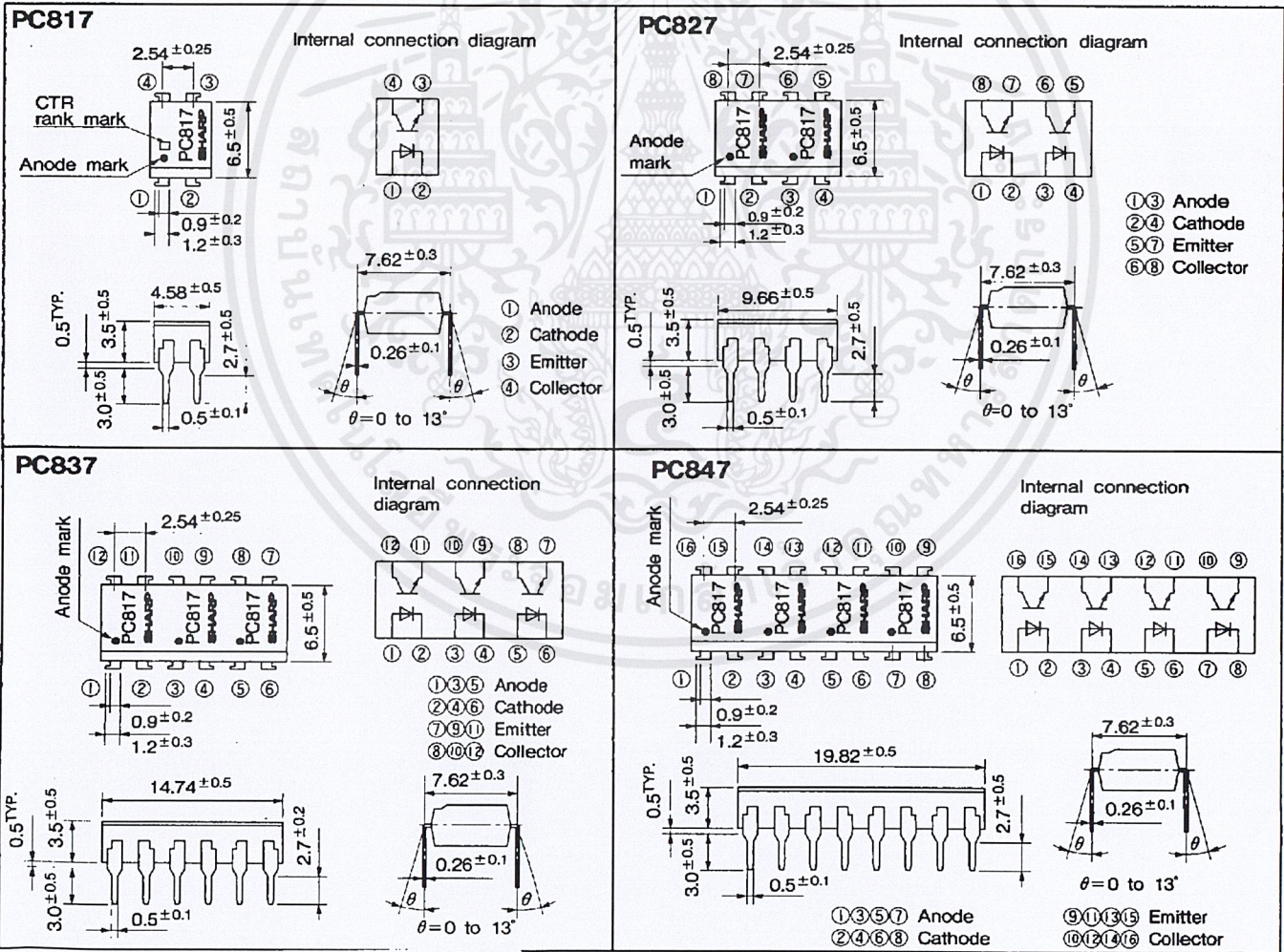
1. Current transfer ratio  
(CTR : MIN. 50% at  $I_F=5mA$ )
2. High isolation voltage between input and output ( $V_{iso} : 5\ 000V_{rms}$ )
3. Compact dual-in-line package  
**PC817** : 1-channel type  
**PC827** : 2-channel type  
**PC837** : 3-channel type  
**PC847** : 4-channel type
4. Recognized by UL, file No. E64380

### Applications

1. Computer terminals
2. System appliances, measuring instruments
3. Registers, copiers, automatic vending machines
4. Electric home appliances, such as fan heaters, etc.
5. Medical instruments, physical and chemical equipment
6. Signal transmission between circuits of different potentials and impedances

### Outline Dimensions

(Unit : mm)



8180798 0011741 0T5

"In the absence of confirmation by device specification sheets, SHARP takes no responsibility for any defects that occur in equipment using any of SHARP's devices, shown in catalogs, data books, etc. Contact SHARP in order to obtain the latest version of the device specification sheets before using any SHARP's device."

**Absolute Maximum Ratings** (Ta = 25°C)

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Forward current	IF	50	mA
*1Peak forward current	IFM	1	A
Reverse voltage	VR	6	V
Power dissipation	P	70	mW
Collector-emitter voltage	VCEO	35	V
Emitter-collector voltage	VECO	6	V
Collector current	IC	50	mA
Collector power dissipation	PC	150	mW
Total power dissipation	Ptot	200	mW
*2Isolation voltage	Viso	5 000	Vrms
Operating temperature	Topr	-30 to +100	°C
Storage temperature	Tstg	-55 to +125	°C
*3Soldering temperature	Tsol	260	°C

\*1 Pulse width ≤ 100 μs, Duty ratio = 0.001

\*2 40 to 60%RH, AC for 1 minute

\*3 For 10 seconds

**Electro-optical Characteristics** (Ta = 25°C)

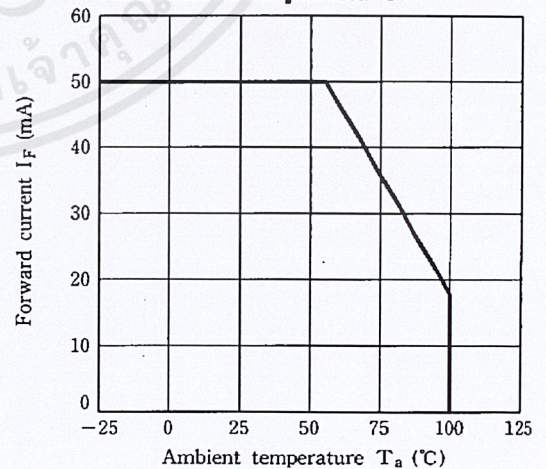
Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Forward voltage	VF	IF = 20mA	—	1.2	1.4	V
Peak forward voltage	VFM	IFM = 0.5A	—	—	3.0	V
Reverse current	IR	VR = 4V	—	—	10	μA
Terminal capacitance	Ct	V = 0, f = 1kHz	—	30	250	pF
Collector dark current	ICEO	VCE = 20V	—	—	10 <sup>-7</sup>	A
*4Current transfer ratio	CTR	IF = 5mA, VCE = 5V	50	—	600	%
Collector-emitter saturation voltage	VCE(sat)	IF = 20mA, IC = 1mA	—	0.1	0.2	V
Isolation resistance	RISO	DC500V, 40 to 60%RH	5 × 10 <sup>10</sup>	10 <sup>11</sup>	—	Ω
Floating capacitance	Cf	V = 0, f = 1MHz	—	0.6	1.0	pF
Cut-off frequency	fc	VCE = 5V, IC = 2mA, RL = 100Ω, -3dB	—	80	—	kHz
Response time	Rise time	VCE = 2V, IC = 2mA, RL = 100Ω	—	4	18	μs
	Fall time		—	3	18	μs

\*4 Classification table of current transfer ratio is shown below.

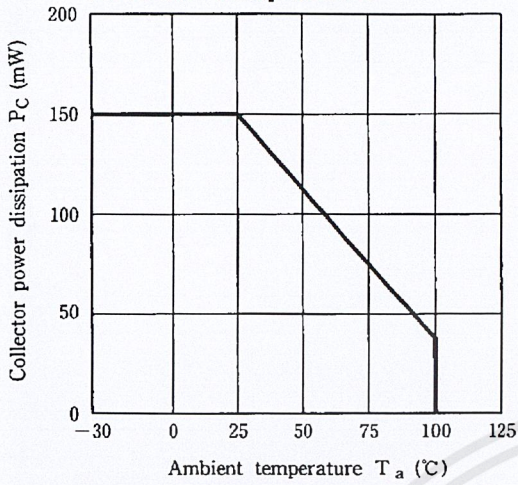
Model No.	Rank mark	CTR (%)
PC817A	A	80 to 160
PC817B	B	130 to 260
PC817C	C	200 to 400
PC817D	D	300 to 600
PC8*7AB	A or B	80 to 260
PC8*7BC	B or C	130 to 400
PC8*7CD	C or D	200 to 600
PC8*7AC	A, B or C	80 to 400
PC8*7BD	B, C or D	130 to 600
PC8*7AD	A, B, C or D	80 to 600
PC8*7	A, B, C, D or No mark	50 to 600

\* : 1 or 2 or 3 or 4

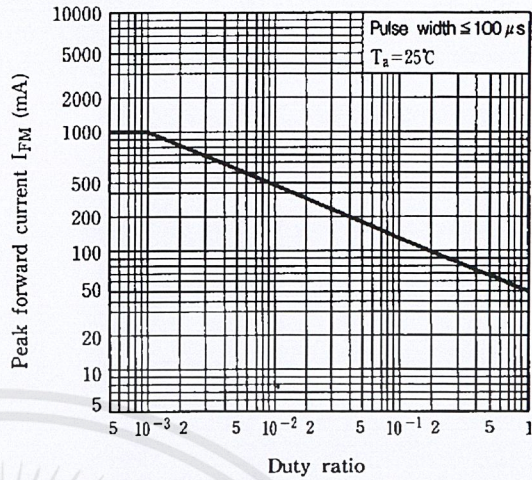
**Fig. 1 Forward Current vs. Ambient Temperature**



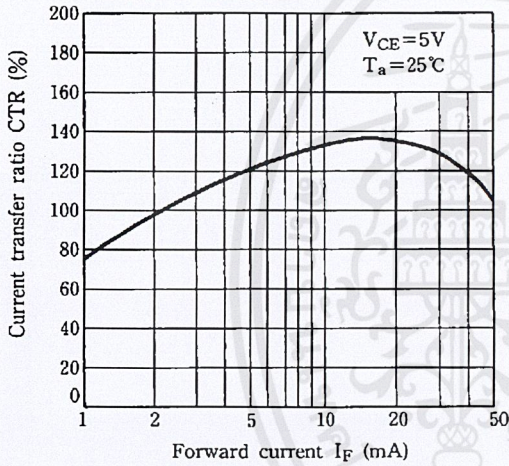
**Fig. 2 Collector Power Dissipation VS. Ambient Temperature**



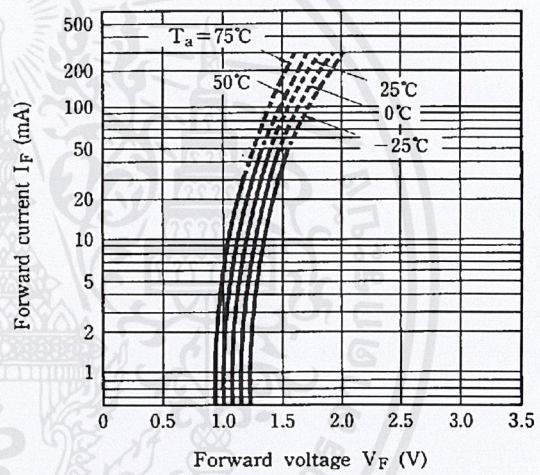
**Fig. 3 Peak Forward Current vs. Duty Ratio**



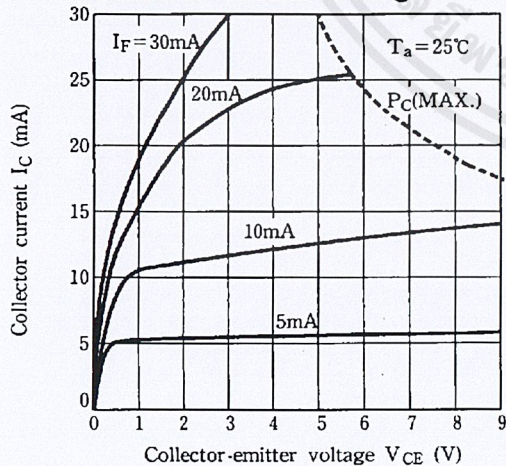
**Fig. 4 Current Transfer Ratio vs. Forward Current**



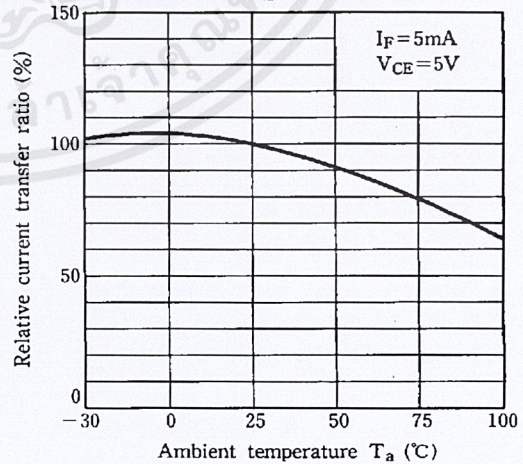
**Fig. 5 Forward Current vs. Forward Voltage**



**Fig. 6 Collector Current vs. Collector-emitter Voltage**

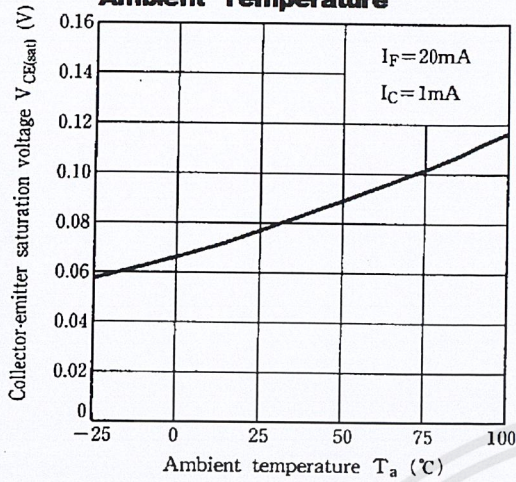


**Fig. 7 Relative Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature**

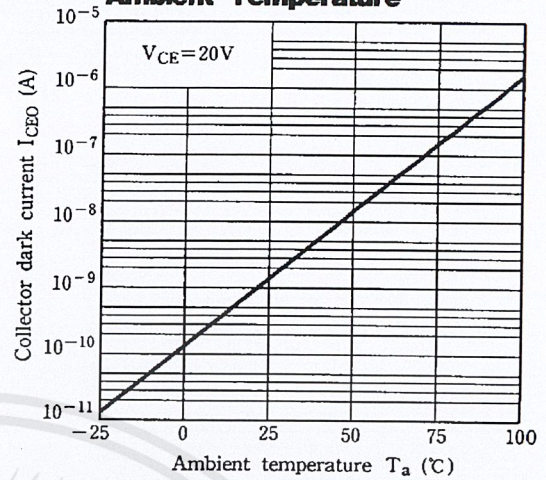


6 Photocouplers

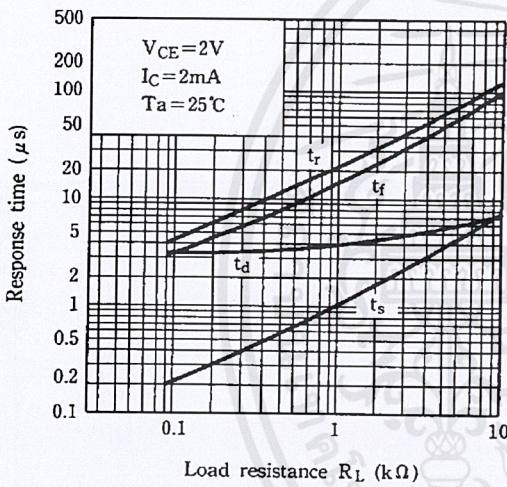
**Fig. 8 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Ambient Temperature**



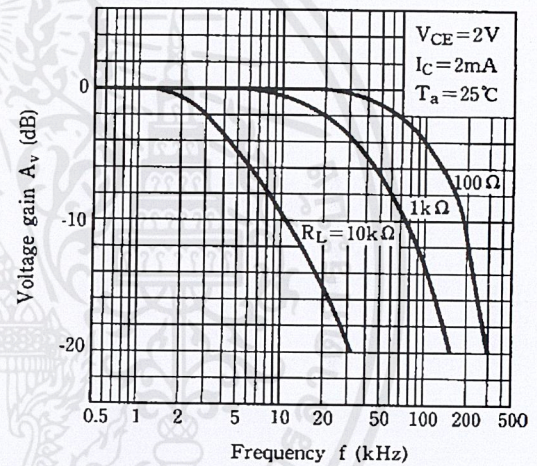
**Fig. 9 Collector Dark Current vs. Ambient Temperature**



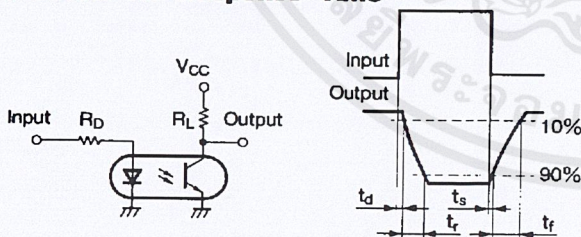
**Fig.10 Response Time vs. Load Resistance**



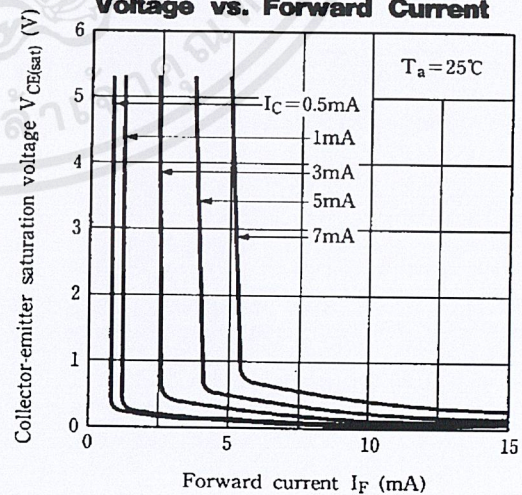
**Fig.11 Frequency Response**



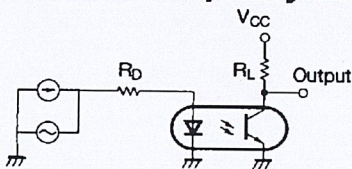
**Test Circuit for Response Time**



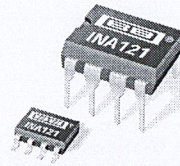
**Fig.12 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Forward Current**



**Test Circuit for Frequency Response**



● Please refer to the chapter "Precautions for Use" (Page 78 to 93)



INA121

# FET-Input, Low Power INSTRUMENTATION AMPLIFIER

## FEATURES

- LOW BIAS CURRENT:  $\pm 4\mu\text{A}$
- LOW QUIESCENT CURRENT:  $\pm 450\mu\text{A}$
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE:  $\pm 200\mu\text{V}$
- LOW INPUT OFFSET DRIFT:  $\pm 2\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- LOW INPUT NOISE:  
20nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$  at  $f = 1\text{kHz}$  ( $G = 100$ )
- HIGH CMR: 106dB
- WIDE SUPPLY RANGE:  $\pm 2.25\text{V}$  to  $\pm 18\text{V}$
- LOW NONLINEARITY ERROR: 0.001% max
- INPUT PROTECTION TO  $\pm 40\text{V}$
- 8-PIN DIP AND SO-8 SURFACE MOUNT

## APPLICATIONS

- LOW-LEVEL TRANSDUCER AMPLIFIERS  
Bridge, RTD, Thermocouple
- PHYSIOLOGICAL AMPLIFIERS  
ECG, EEG, EMG, Respiratory
- HIGH IMPEDANCE TRANSDUCERS
- CAPACITIVE SENSORS
- MULTI-CHANNEL DATA ACQUISITION
- PORTABLE, BATTERY OPERATED SYSTEMS
- GENERAL PURPOSE INSTRUMENTATION

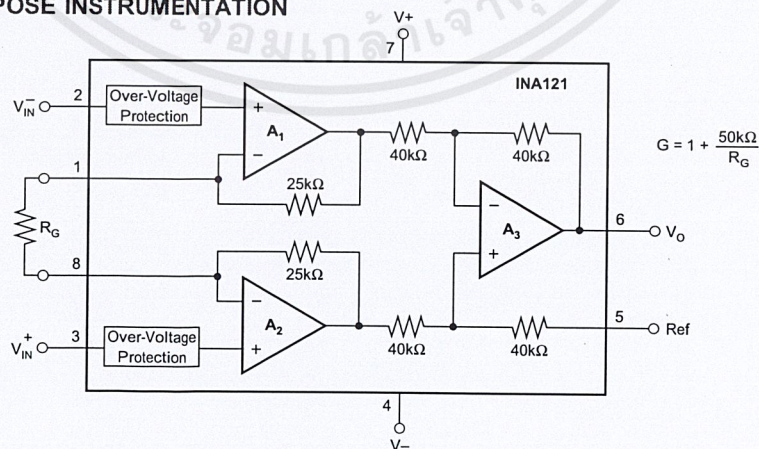
## DESCRIPTION

The INA121 is a FET-input, low power instrumentation amplifier offering excellent accuracy. Its versatile three-op amp design and very small size make it ideal for a variety of general purpose applications. Low bias current ( $\pm 4\mu\text{A}$ ) allows use with high impedance sources.

Gain can be set from 1V to 10,000V/V with a single external resistor. Internal input protection can withstand up to  $\pm 40\text{V}$  without damage.

The INA121 is laser-trimmed for very low offset voltage ( $\pm 200\mu\text{V}$ ), low offset drift ( $\pm 2\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ), and high common-mode rejection (106dB at  $G = 100$ ). It operates on power supplies as low as  $\pm 2.25\text{V}$  ( $+4.5\text{V}$ ), allowing use in battery operated and single 5V systems. Quiescent current is only  $450\mu\text{A}$ .

Package options include 8-pin plastic DIP and SO-8 surface mount. All are specified for the  $-40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$  industrial temperature range.



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

# SPECIFICATIONS: $V_S = \pm 15V$

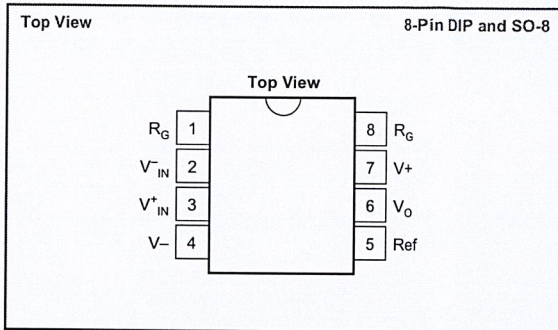
At  $T_A = +25^\circ C$ ,  $V_S = \pm 15V$ ,  $R_L = 10k\Omega$ , and  $I_A$  reference =  $0V$ , unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	INA121P, U			INA121PA, UA			UNITS	
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
<b>INPUT</b> Offset Voltage, RTI vs Temperature vs Power Supply Long-Term Stability Impedance, Differential Common-Mode Input Voltage Range Safe Input Voltage Common-Mode Rejection	$V_S = \pm 2.25V$ to $\pm 18V$		$\pm 200 \pm 200/G$	$\pm 500 \pm 500/G$		$\pm 300 \pm 200/G$	$\pm 1000 \pm 1000/G$	$\mu V$	
			$\pm 2 \pm 2/G$	$\pm 5 \pm 20/G$		*	$\pm 15 \pm 20/G$	$\mu V/^\circ C$	
	$V_O = 0V$		$\pm 5 \pm 20/G$	$\pm 50 \pm 150/G$		*	*	$\mu V/V$	
				$\pm 0.5$		*	*	$\mu V/mo$	
				$10^{12} \parallel 1$		*	*	$\Omega \parallel pF$	
			$10^{12} \parallel 12$		*	*	$\Omega \parallel pF$		
	$V_{CM} = -12.5V$ to $13.5V$	See Text and Typical Curves						V	
	$G = 1$	78	86		72	*		dB	
	$G = 10$	91	100		85	*		dB	
	$G = 100$	96	106		90	*		dB	
	$G = 1000$		106			*		dB	
<b>BIAS CURRENT</b> vs Temperature Offset Current vs Temperature	$V_{CM} = 0V$		$\pm 4$	$\pm 50$		*	*	pA	
			See Typical Curve			*	*	pA	
			$\pm 0.5$			*		pA	
			See Typical Curve			*		pA	
<b>NOISE, RTI</b> Voltage Noise: $f = 10Hz$ $f = 100Hz$ $f = 1kHz$ $f = 0.1Hz$ to $10Hz$ Current Noise: $f = 1kHz$	$R_S = 0\Omega$ $G = 100$ $G = 100$ $G = 100$ $G = 100$					*		$nV/\sqrt{Hz}$	
				30			*		$nV/\sqrt{Hz}$
				21			*		$nV/\sqrt{Hz}$
				20			*		$nV/\sqrt{Hz}$
				1			*		$\mu Vp-p$
			1		*		$fA/\sqrt{Hz}$		
<b>GAIN</b> Gain Equation Range of Gain Gain Error  Gain vs Temperature <sup>(1)</sup>  Nonlinearity	$V_O = -14V$ to $13.5V$ $G = 1$ $G = 10$ $G = 100$ $G = 1000$	1	$1 + (50k\Omega/R_G)$	10,000	*	*		V/V	
			$\pm 0.01$	$\pm 0.05$		*	$\pm 0.1$	%	
			$\pm 0.03$	$\pm 0.4$		*	$\pm 0.5$	%	
			$\pm 0.05$	$\pm 0.5$		*	$\pm 0.7$	%	
		$\pm 0.5$	$\pm 10$		*	*	%		
		$G = 1$	$\pm 1$	$\pm 10$	*	*	ppm/°C		
		$G > 1$	$\pm 25$	$\pm 100$	*	*	ppm/°C		
		$V_O = -14V$ to $13.5V$ $G = 1$ $G = 10$ $G = 100$ $G = 1000$		$\pm 0.0002$	$\pm 0.001$	*	$\pm 0.002$	% of FSR	
				$\pm 0.0015$	$\pm 0.005$	*	$\pm 0.008$	% of FSR	
				$\pm 0.0015$	$\pm 0.005$	*	$\pm 0.008$	% of FSR	
			$\pm 0.002$		*		% of FSR		
<b>OUTPUT</b> Voltage: Positive Negative Positive Negative Capacitance Load Drive Short-Circuit Current	$R_L = 100k\Omega$ $R_L = 100k\Omega$ $R_L = 10k\Omega$ $R_L = 10k\Omega$		$(V+) - 0.9$			*	V		
			$(V-) + 0.15$			*	V		
			$(V+) - 0.9$		*	V			
			$(V-) + 0.25$		*	V			
			$(V-) + 1$		*	V			
		1000		*	pF				
		$\pm 14$		*	mA				
<b>FREQUENCY RESPONSE</b> Bandwidth, -3dB  Slew Rate Settling Time, 0.01%  Overload Recovery	$G = 1$ $G = 10$ $G = 100$ $G = 1000$  $V_O = \pm 10V$ , $G \leq 10$ $G = 1$ to $10$ $G = 100$ $G = 1000$  50% Input Overload		600			*	kHz		
			300			*	kHz		
			50			*	kHz		
			5			*	kHz		
			0.7			*	V/ $\mu s$		
	$G = 1$ to $10$	20		*	$\mu s$				
	$G = 100$	35		*	$\mu s$				
	$G = 1000$	260		*	$\mu s$				
		5		*	$\mu s$				
<b>POWER SUPPLY</b> Voltage Range Quiescent Current	$I_O = 0V$	$\pm 2.25$	$\pm 15$	$\pm 18$	*	*	V		
			$\pm 450$	$\pm 525$	*	*	$\mu A$		
<b>TEMPERATURE RANGE</b> Specification Operating Storage Thermal Resistance, $\theta_{JA}$ 8-Lead DIP SO-8 Surface Mount		-40		85	*	*	°C		
		-55		125	*	*	°C		
		-55		125	*	*	°C		
			100			*	°C/W		
			150			*	°C/W		

\* Specification same as INA121P, U.

NOTE: (1) Temperature coefficient of the "Internal Resistor" in the gain equation. Does not include TCR of gain-setting resistor,  $R_G$ .

## PIN CONFIGURATION



## 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.

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

Supply Voltage .....	$\pm 18V$
Analog Input Voltage Range .....	$\pm 40V$
Output Short-Circuit (to ground) .....	Continuous
Operating Temperature .....	$-55^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$
Storage Temperature .....	$-55^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$
Junction Temperature .....	$+150^{\circ}C$
Lead Temperature (soldering, 10s) .....	$+300^{\circ}C$

NOTE: (1) Stresses above these ratings may cause permanent damage. Exposure to absolute maximum conditions for extended periods may degrade device reliability.

## PACKAGE/ORDERING INFORMATION

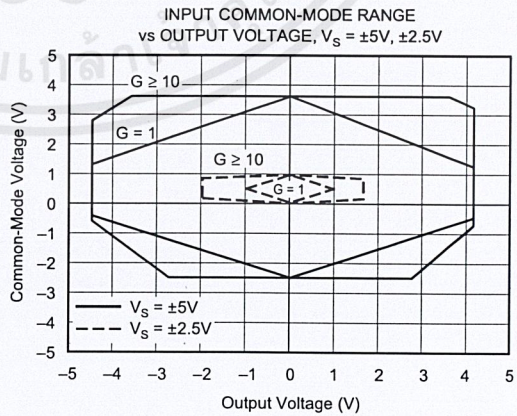
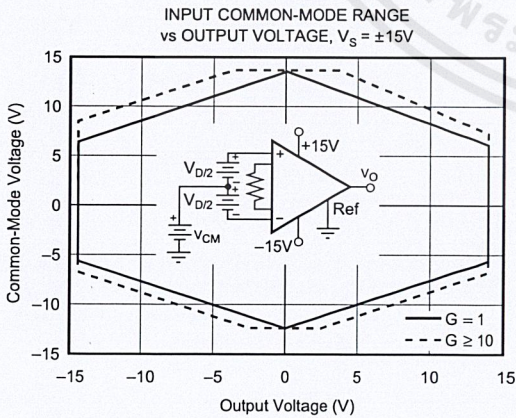
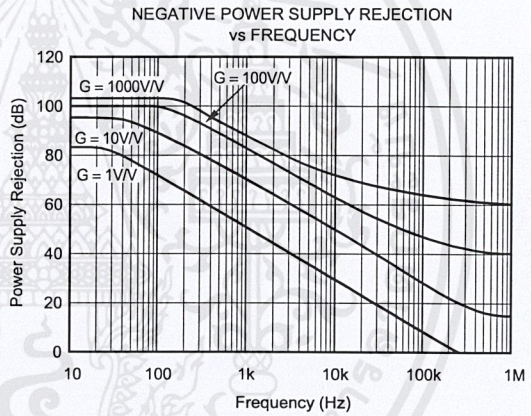
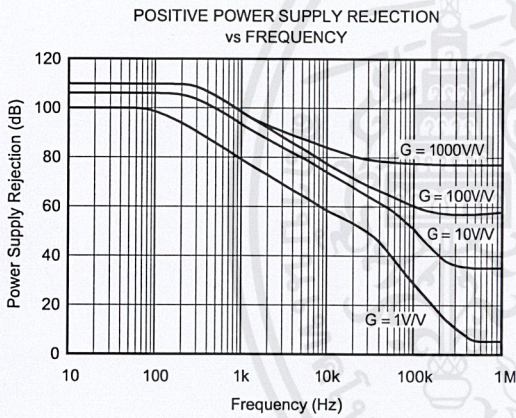
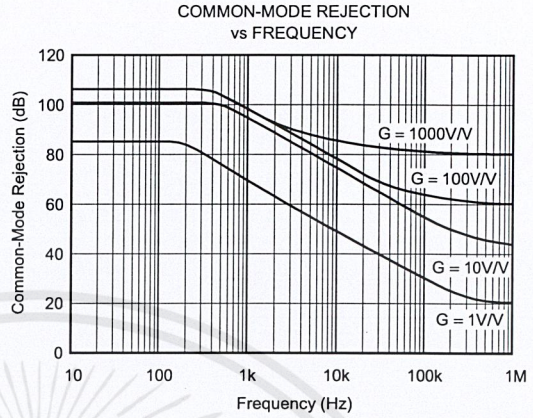
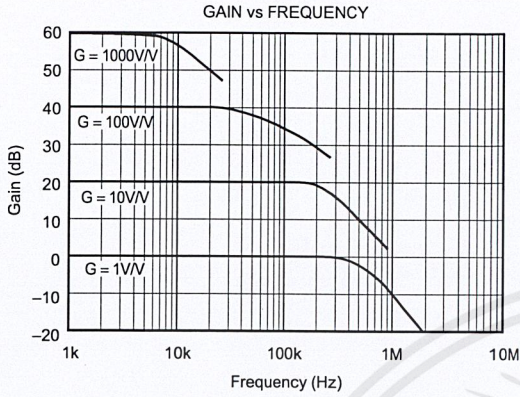
PRODUCT	PACKAGE	PACKAGE DRAWING NUMBER(1)	SPECIFIED TEMPERATURE RANGE	PACKAGE MARKING	ORDERING NUMBER(2)	TRANSPORT MEDIA
Single						
INA121P	8-Pin DIP	006	$-40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$	INA121P	INA121P	Rails
INA121PA	8-Pin DIP	006	$-40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$	INA121PA	INA121PA	Rails
INA121U	SO-8 Surface-Mount	182	$-40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$	INA121U	INA121U	Rails
"	"	"	"	"	INA121U/2K5	Tape and Reel
INA121UA	SO-8 Surface-Mount	182	$-40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$	INA121UA	INA121UA	Rails
"	"	"	"	"	INA121UA/2K5	Tape and Reel

NOTES: (1) For detailed drawing and dimension table, please see end of data sheet, or Appendix C of Burr-Brown IC Data Book. (2) Models with a slash (/) are available only in Tape and Reel in the quantities indicated (e.g., /2K5 indicates 2500 devices per reel). Ordering 2500 pieces of "INA121U/2K5" will get a single 2500-piece Tape and Reel. For detailed Tape and Reel mechanical information, refer to Appendix B of Burr-Brown IC Data Book.

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.

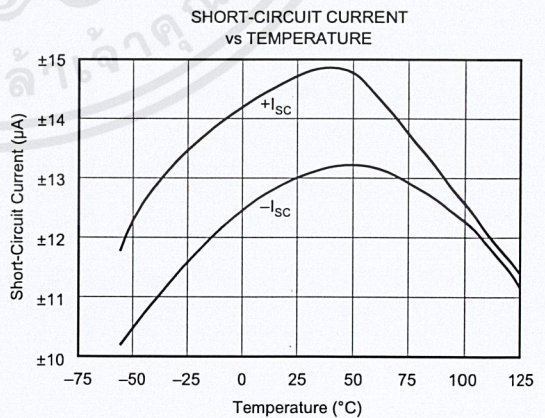
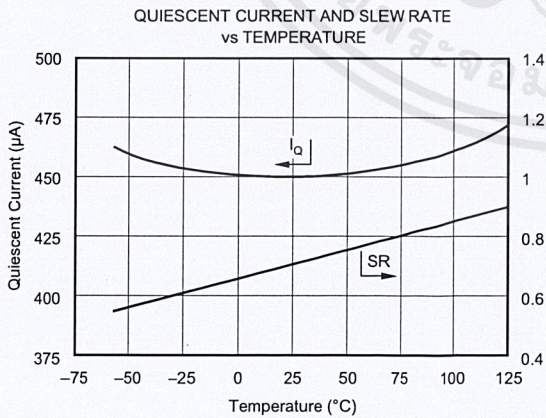
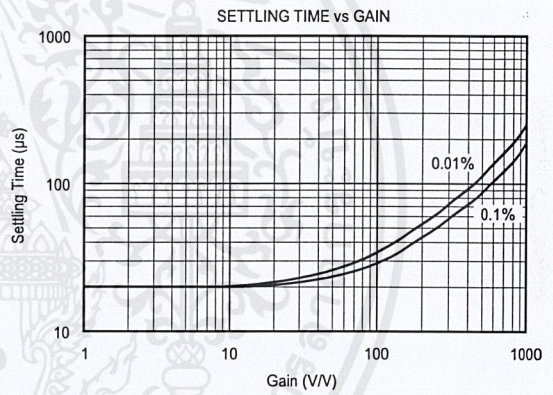
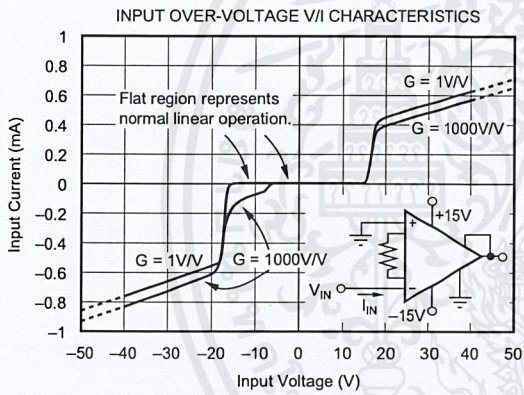
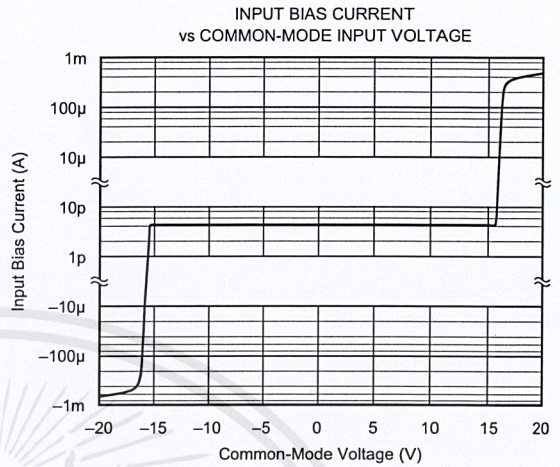
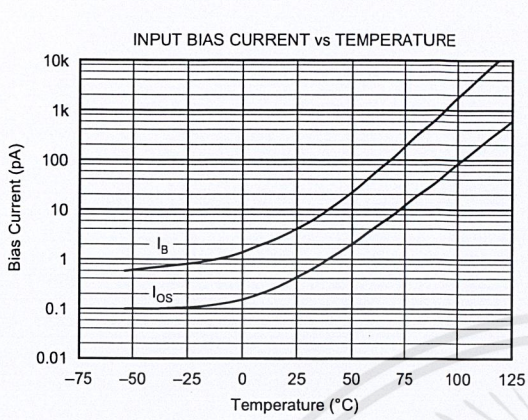
# TYPICAL PERFORMANCE CURVES

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



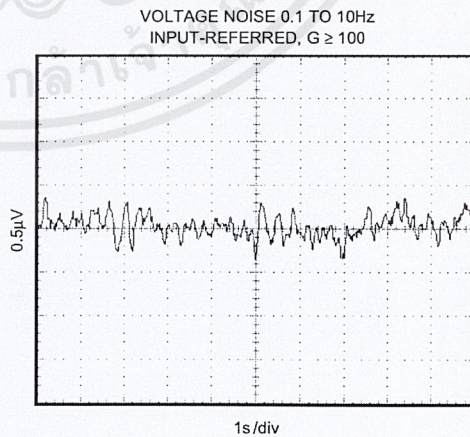
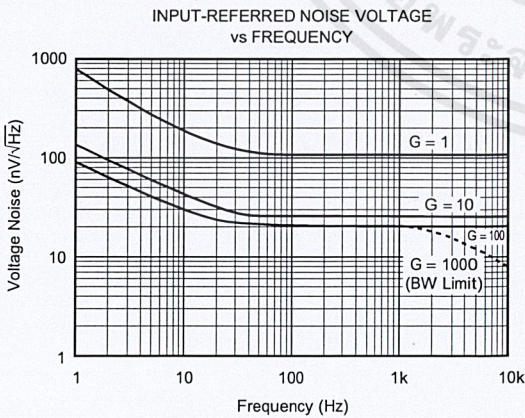
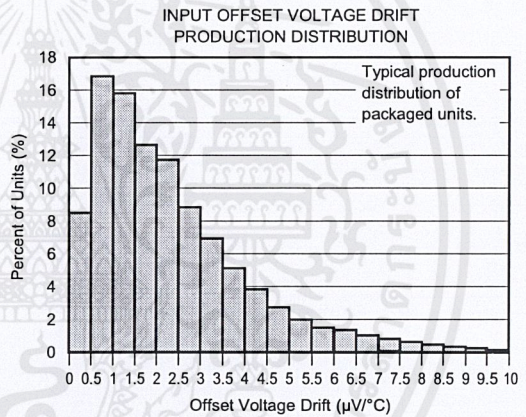
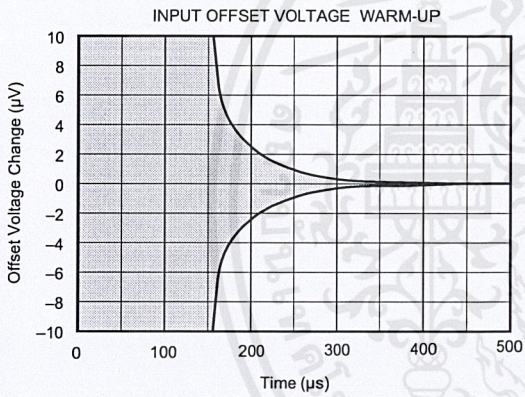
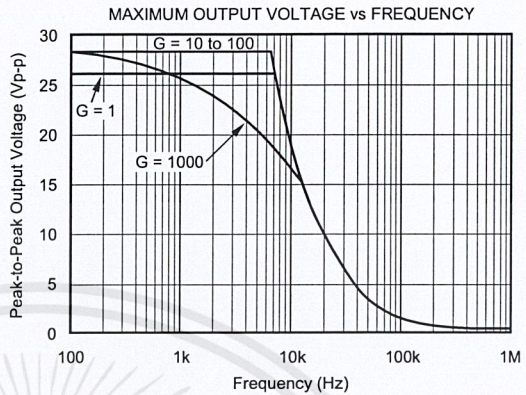
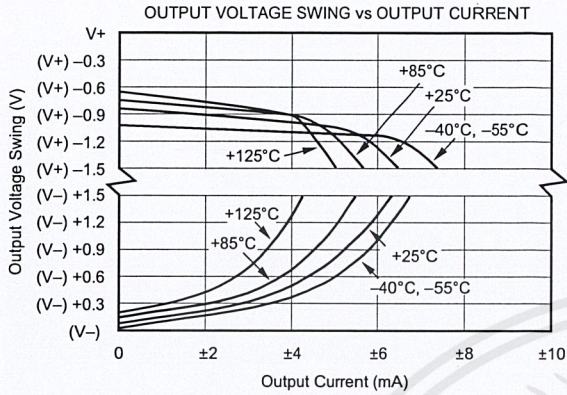
# TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

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



# TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

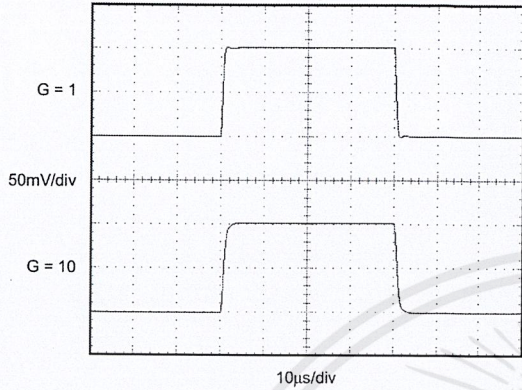
At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ , unless otherwise noted.



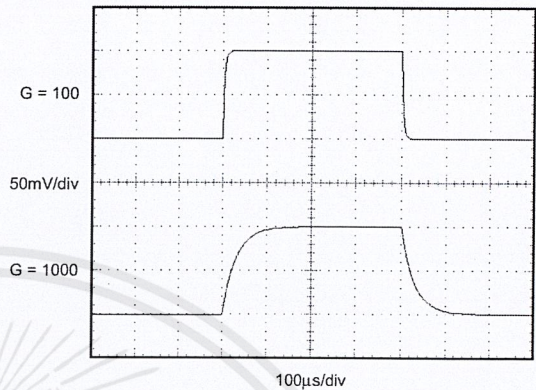
# TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

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

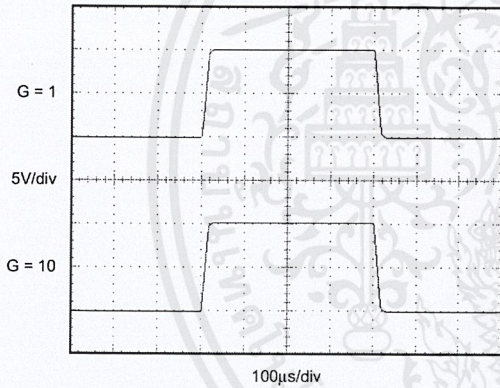
SMALL-SIGNAL STEP RESPONSE  
(G = 1, 10)



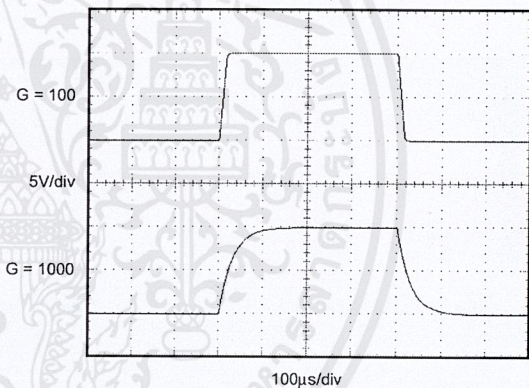
SMALL-SIGNAL STEP RESPONSE  
(G = 100, 1000)



LARGE-SIGNAL STEP RESPONSE  
(G = 1, 10)



LARGE-SIGNAL STEP RESPONSE  
(G = 100, 1000)



# APPLICATION INFORMATION

Figure 1 shows the basic connections required for operation of the INA121. 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 reference (Ref) terminal which is normally grounded. This must be a low-impedance connection to assure good common-mode rejection. A resistance of 8Ω in series with the Ref pin will cause a typical device to degrade to approximately 80dB CMR (G = 1).

## SETTING THE GAIN

Gain of the INA121 is set by connecting a single external resistor, R<sub>G</sub>, connected between pins 1 and 8:

$$G = 1 + \frac{50k\Omega}{R_G} \quad (1)$$

Commonly used gains and resistor values are shown in Figure 1.

The 50kΩ term in Equation 1 comes from the sum of the two internal feedback resistors of A<sub>1</sub> and A<sub>2</sub>. These on-chip metal film resistors 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 INA121.

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.

## DYNAMIC PERFORMANCE

The typical performance curve "Gain vs Frequency" shows that, despite its low quiescent current, the INA121 achieves wide bandwidth, even at high gain. This is due to the current-feedback topology of the INA121. Settling time also remains excellent at high gain.

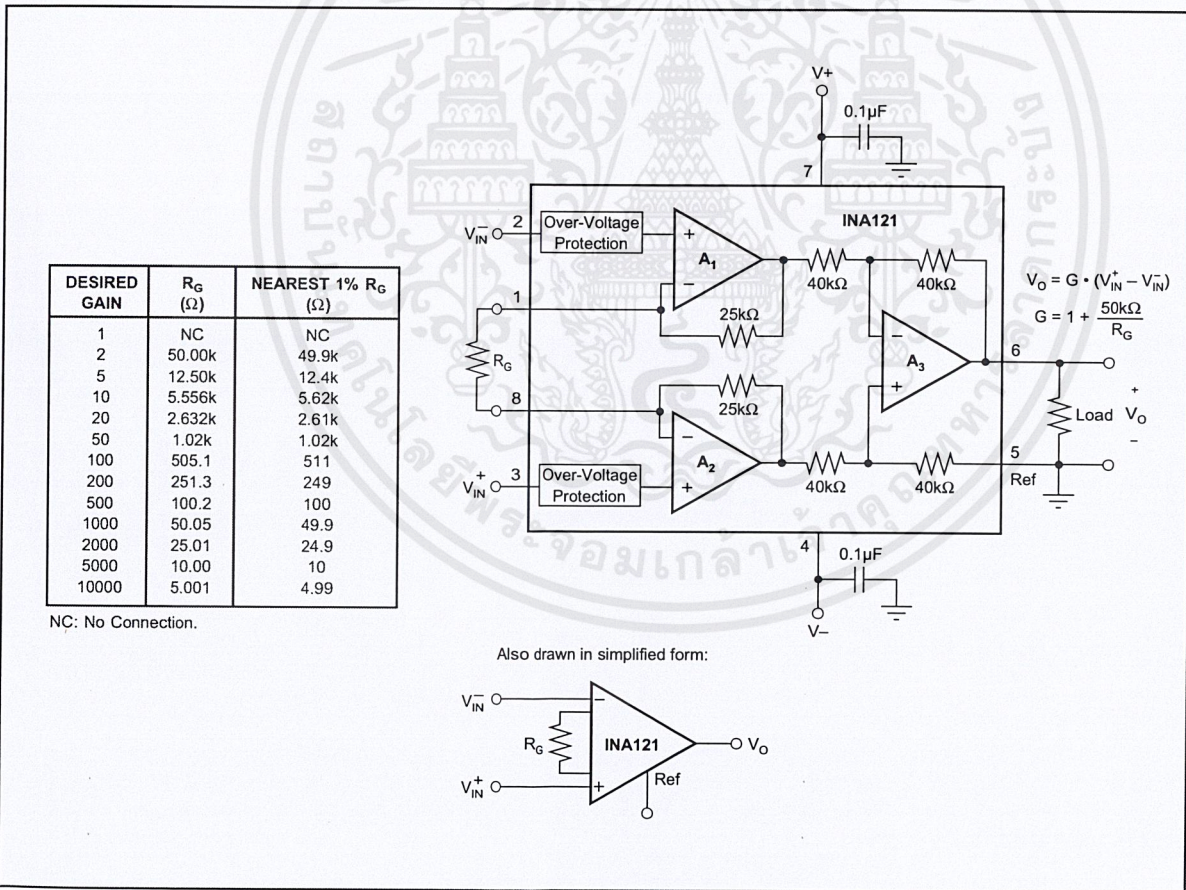


FIGURE 1. Basic Connections.

The INA121 provides excellent rejection of high frequency common-mode signals. The typical performance curve, “Common-Mode Rejection vs Frequency” shows this behavior. If the inputs are not properly balanced, however, common-mode signals can be converted to differential signals. Run the  $V_{IN}^+$  and  $V_{IN}^-$  connections directly adjacent each other, from the source signal all the way to the input pins. If possible use a ground plane under both input traces. Avoid running other potentially noisy lines near the inputs.

**NOISE AND ACCURACY PERFORMANCE**

The INA121’s FET input circuitry provides low input bias current and high speed. It achieves lower noise and higher accuracy with high impedance sources. With source impedances of 2kΩ to 50kΩ the INA114, INA128, or INA129 may provide lower offset voltage and drift. For very low source impedance ( $\leq 1k\Omega$ ), the INA103 may provide improved accuracy and lower noise. At very high source impedances ( $> 1M\Omega$ ) the INA116 is recommended.

**OFFSET TRIMMING**

The INA121 is laser trimmed for low offset voltage and drift. Most applications require no external offset adjustment. Figure 2 shows an optional circuit for trimming the output offset voltage. The voltage applied to Ref terminal is summed at the output. The op amp buffer provides low impedance at the Ref terminal to preserve good common-mode rejection. Trim circuits with higher source impedance should be buffered with an op amp follower circuit to assure low impedance on the Ref pin.

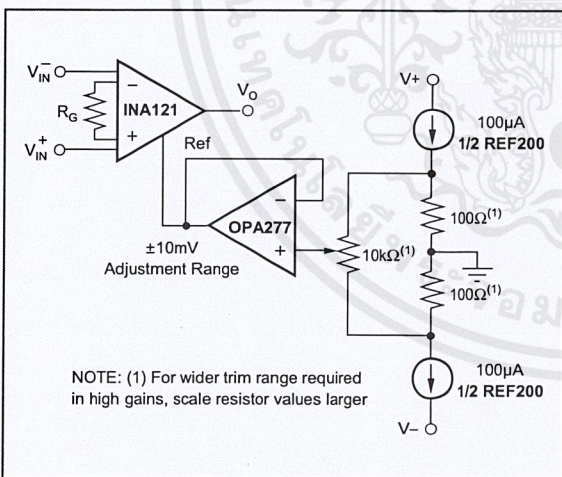


FIGURE 2. Optional Trimming of Output Offset Voltage.

**INPUT BIAS CURRENT RETURN PATH**

The input impedance of the INA121 is extremely high—approximately  $10^{12}\Omega$ . However, a path must be provided for the input bias current of both inputs. This input bias current is typically 4pA. High input impedance means that this input bias current changes very little with varying input voltage.

Input circuitry must provide a path for this input bias current if the INA121 is to operate properly. Figure 3 shows various provisions for an input bias current path. Without a bias current return path, the inputs will float to a potential which exceeds the common-mode range of the INA121 and the input amplifiers will saturate.

If the differential source resistance is low, the bias current return path can be connected to one input (see the thermocouple example in Figure 3). With higher source impedance, using two resistors provides a balanced input with possible advantages of lower input offset voltage due to bias current and better high-frequency common-mode rejection.

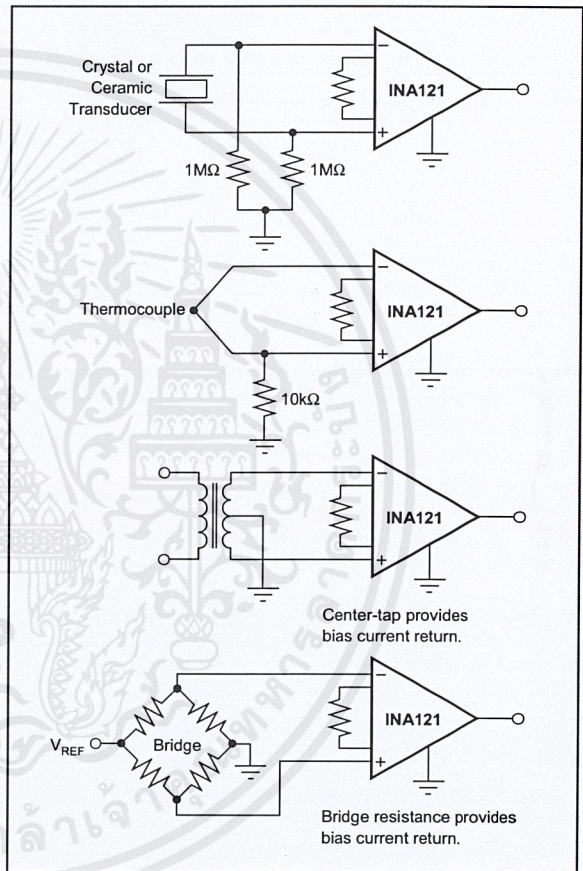


FIGURE 3. Providing an Input Common-Mode Current Path.

**INPUT COMMON-MODE RANGE**

The linear input voltage range of the input circuitry of the INA121 is from approximately 1.2V below the positive supply voltage to 2.1V above the negative supply. A differential input voltage causes the output voltage to increase. The linear input range, however, will be limited by the output voltage swing of amplifiers A<sub>1</sub> and A<sub>2</sub>. So the linear common-mode input range is related to the output voltage of the complete amplifier. This behavior also depends on supply voltage—see typical performance curve “Input Common-Mode Range vs Output Voltage”.

A combination of common-mode and differential input voltage can cause the output of  $A_1$  or  $A_2$  to saturate. Figure 4 shows the output voltage swing of  $A_1$  and  $A_2$  expressed in terms of a common-mode and differential input voltages. For applications where input common-mode range must be maximized, limit the output voltage swing by connecting the INA121 in a lower gain (see performance curve "Input Common-Mode Voltage Range vs Output Voltage"). If necessary, add gain after the INA121 to increase the voltage swing.

Input-overload can produce an output voltage that appears normal. For example, if an input overload condition drives both input amplifiers to their positive output swing limit, the difference voltage measured by the output amplifier will be near zero. The output of  $A_3$  will be near 0V even though both inputs are overloaded.

### LOW VOLTAGE OPERATION

The INA121 can be operated on power supplies as low as  $\pm 2.25V$ . Performance remains excellent with power supplies ranging from  $\pm 2.25V$  to  $\pm 18V$ . Most parameters vary only slightly throughout this supply voltage range—see typical

performance curves. Operation at very low supply voltage requires careful attention to assure that the input voltages remain within their linear range. Voltage swing requirements of internal nodes limit the input common-mode range with low power supply voltage. Typical performance curves, "Input Common-Mode Range vs Output Voltage" show the range of linear operation for  $\pm 15V$ ,  $\pm 5V$ , and  $\pm 2.5V$  supplies.

### INPUT FILTERING

The INA121's FET input allows use of an R/C input filter without creating large offsets due to input bias current. Figure 5 shows proper implementation of this input filter to preserve the INA121's excellent high frequency common-mode rejection. Mismatch of the common-mode input time constant ( $R_1C_1$  and  $R_2C_2$ ), either from stray capacitance or mismatched values, causes a high frequency common-mode signal to be converted to a differential signal. This degrades common-mode rejection. The differential input capacitor,  $C_3$ , reduces the bandwidth and mitigates the effects of mismatch in  $C_1$  and  $C_2$ . Make  $C_3$  much larger than  $C_1$  and  $C_2$ . If properly matched,  $C_1$  and  $C_2$  also improve ac CMR.

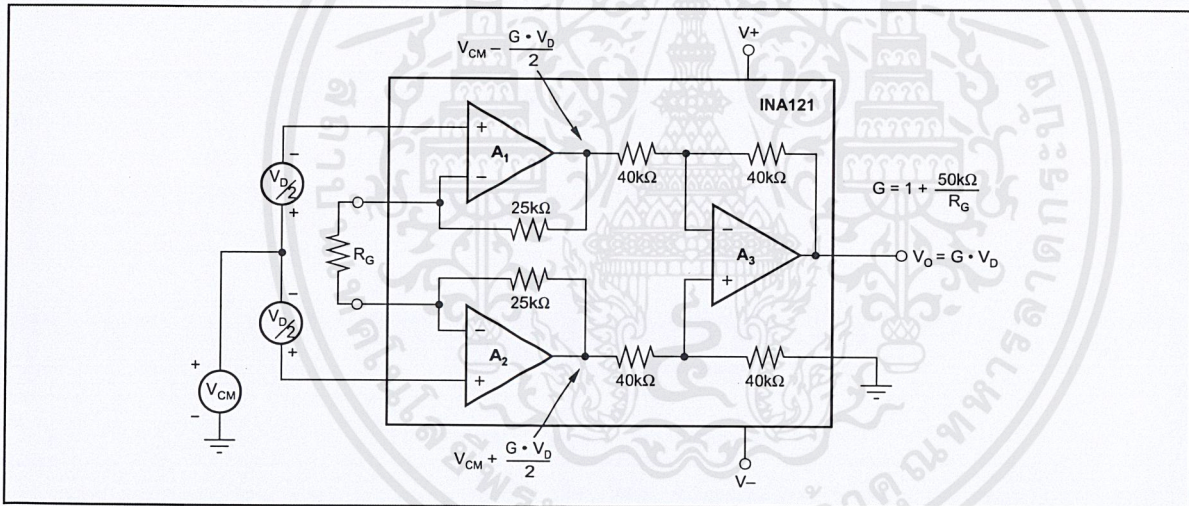


FIGURE 4. Voltage Swing of  $A_1$  and  $A_2$ .

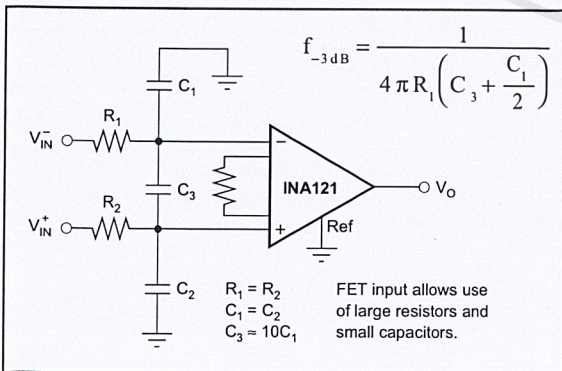


FIGURE 5. Input Low-Pass Filter.

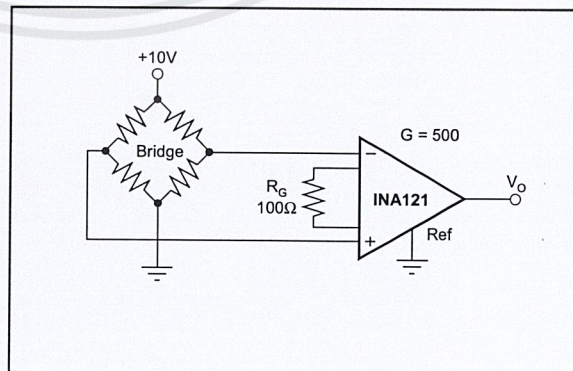


FIGURE 6. Bridge Transducer Amplifier.

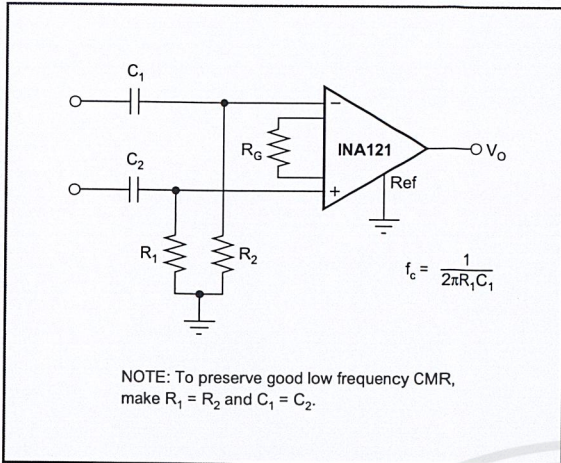


FIGURE 7. High-Pass Input Filter.

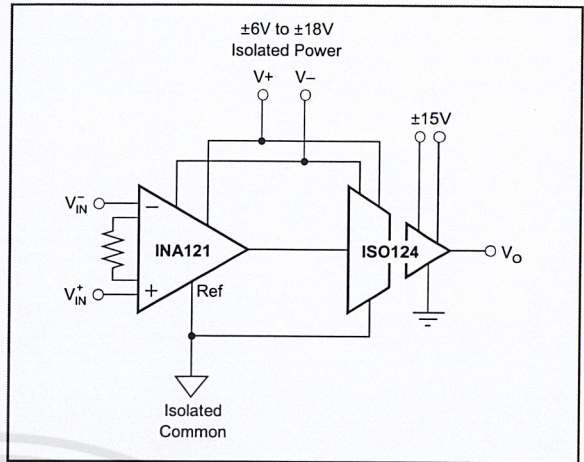


FIGURE 8. Galvanically Isolated Instrumentation Amplifier.

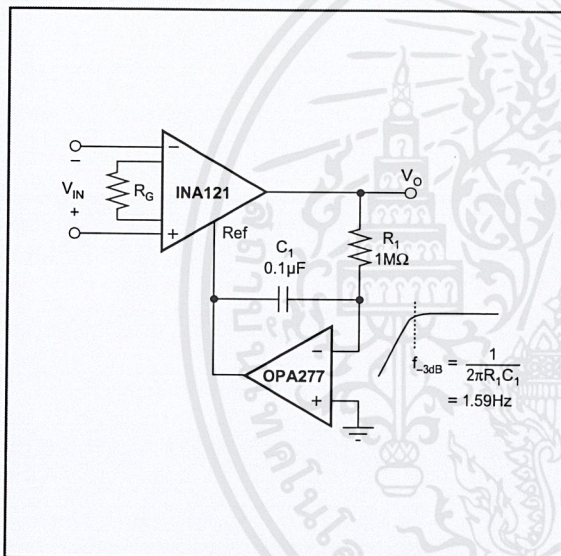


FIGURE 9. AC-Coupled Instrumentation Amplifier.

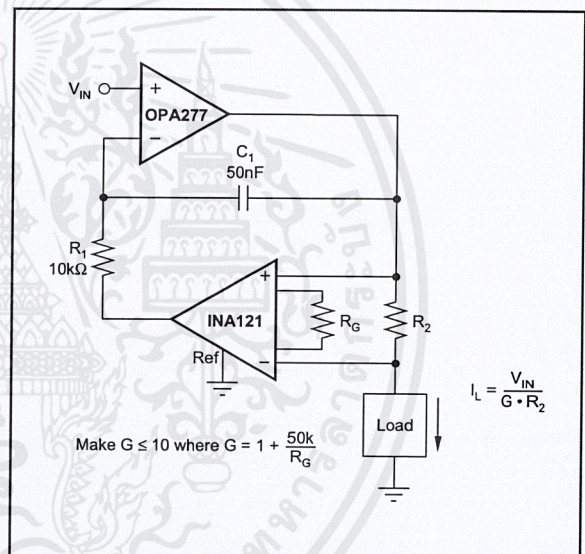


FIGURE 10. Voltage Controlled Current Source.

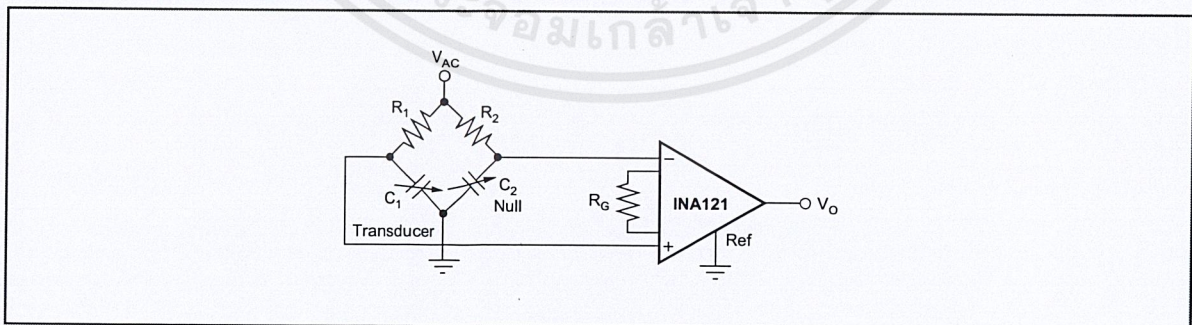


FIGURE 11. Capacitive Bridge Transducer Circuit.

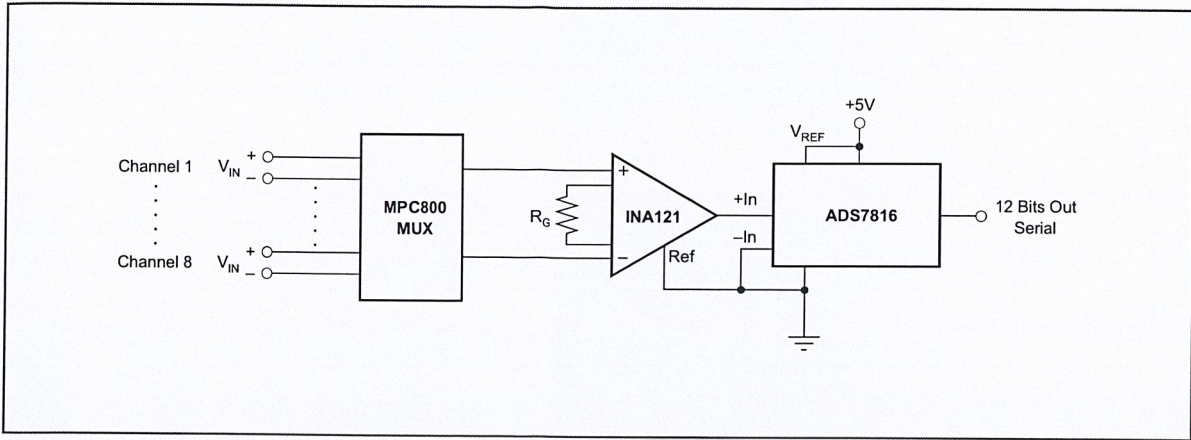


FIGURE 12. Multiplexed-Input Data Acquisition System.

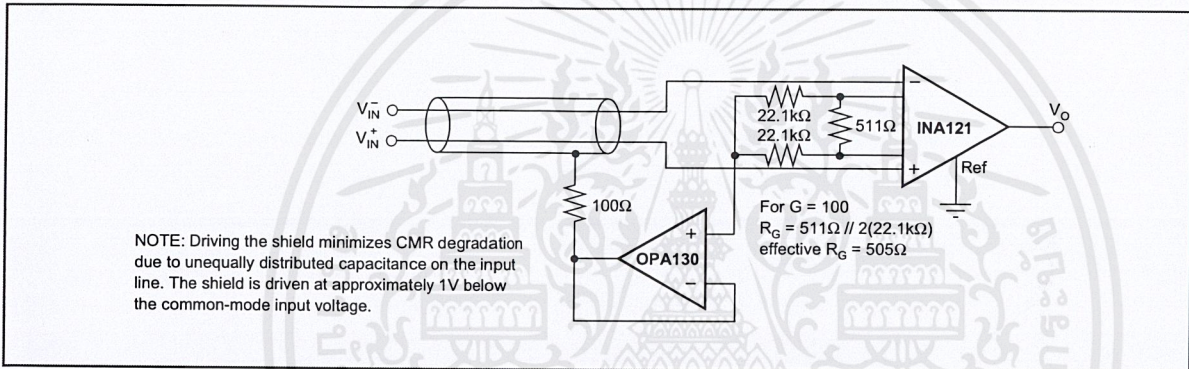


FIGURE 13. Shield Driver Circuit.

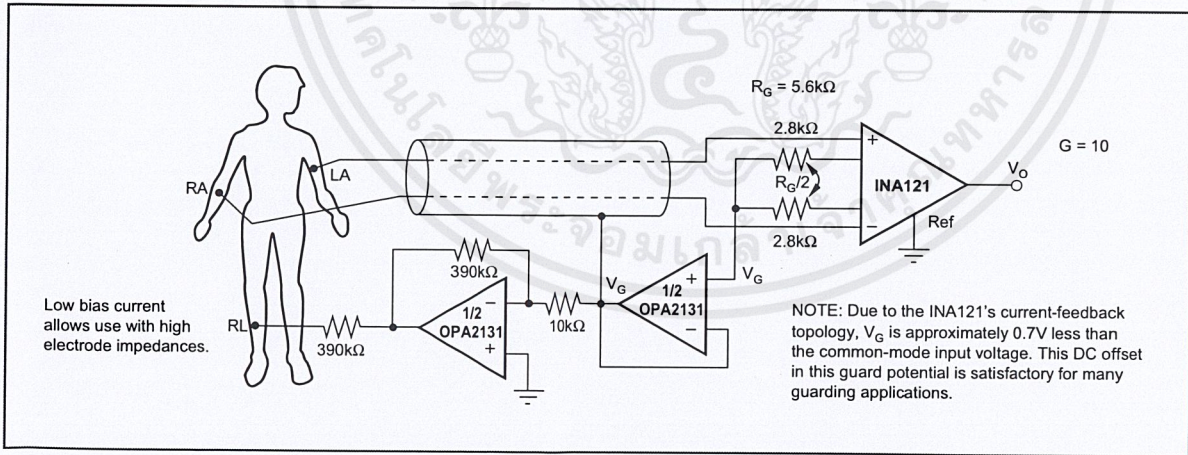


FIGURE 14. ECG Amplifier With Right-Leg Drive.