

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวัดจังหวะการเต้นหัวใจโดยใช้แสง

PULSE DIGITAL METER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดจังหวะการเต้นของหัวใจโดยแสง

PULSE DIGITAL METER

โดย

นายวรุตม์ เอื้อสู่เจริญ รหัส 46010673

นายสภานต์ บุญยาพิษฐาน รหัส 46010800

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. สุริภณ สมควรพาณิชย์

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครบาล

เรื่อง เครื่องวัดจังหวะการเต้นหัวใจโดยใช้แสง

ผู้จัดทำ

1. นายวรุฒม์ เอื้อสุจริญ รหัส 46010673
2. นายสกลานต์ บุญยาพิชญาน รหัส 46010800



.....(อาจารย์ที่ปรึกษา)

(รศ.ดร. สุริภณ สมควรพานิชย์ )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครื่องวัดอัตราการเต้นหัวใจโดยใช้แสง	
นักศึกษา	นายวรุฒม์ เอื้อสุ่เจริญ	รหัส 46010673
	นายสกานต์ บุญยาภิธาน	รหัส 46010800
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์	
พ.ศ.	2549	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. สุวิภณ สมควรพาณิชย์	

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเครื่องวัดอัตราการเต้นหัวใจโดยใช้แสงได้ใช้อุปกรณ์กำเนิดแสงในช่วงความยาวคลื่น 750-1050 นาโนเมตร โดยมีตัวรับแสงเป็นโฟโตทรานซิสเตอร์จะตรวจจับสัญญาณโดยการให้แสงทะลุผ่านที่ปลายนิ้วมือ โดยผู้จัดทำได้ทำโพรบขึ้นมาเพื่อป้องกันแสงภายนอกที่จะเข้ามารบกวน โดยสัญญาณที่ได้จากโฟโตทรานซิสเตอร์นั้น ผ่านวงจรขยาย 32500 เท่า และผ่านวงจรเปรียบเทียบแรงดันเพื่อแปลงสัญญาณจากอนาล็อก เป็น ดิจิตอล และประมวลผลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วนำมาแสดงผลบนหน้าจอแอลซีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis</b>	Pulse Digital Meter	
<b>Students</b>	Mr. Varut Uasoocharoen	ID 46010673
	Mr. Skarn Boonyatistarn	ID 46010800
<b>Graduate Level</b>	Bachelor's degree of Engineering	
<b>Department</b>	Electronic Engineering	
<b>Years</b>	2006	
<b>Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Suripon Somkuampanit	

### ABSTRACT

This thesis present a Pulse Digital Meter which uses infrared emitting diode as an illumination source in the wave length 750 -1050 nm. and we use phototransistor as a sensor by detecting the light that penetrates through a fingertip. We reduce noise ,which is the surrounding light around the light sensor, by making a dark probe which greatly improve overall performanee of the entire system. We get the signal from phototransistor and amplifier it to the gain of 32500. Then we put the signal to a comparator to convert the analog signal into a digital one. Signal is then processed by microcontroller to calculate the pulse rate and display it on L.CD.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้จะไม่สำเร็จเลย หากขาดคนที่คอยให้ความรู้ ความเข้าใจ และความรัก ขอขอบคุณ  
อาจารย์ที่ปรึกษาของเราอาจารย์สุริภณ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและคอยจัดสรรเวลาทำโครงการ  
ให้ ขอขอบคุณคุณพ่อคุณแม่ที่คอยเลี้ยงดู เอาอาหารให้ทานเวลาเหนื่อย ขอขอบคุณเพื่อนๆซึ่งรวมถึง  
พี่ๆที่จบไปแล้วที่คอยให้กำลังใจตลอดจนอธิบายวงจรบางวงจรที่เราไม่เข้าใจ เราขอขอบพระคุณ  
ทุกท่านอีกครั้งครับ



นายวรุฒม์ เอื้อสุเจริญ

นายสกันต์ บุญยาทินฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	
กิตติกรรมประกาศ	
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 เกี่ยวกับรายงานฉบับนี้	1
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
บทที่ 2 เนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับหัวใจ	
2.1 ส่วนประกอบต่างๆของหัวใจ	3
2.2 คุณสมบัติการทำงานของหัวใจ	4
2.3 คลื่นไฟฟ้าหัวใจ	6
2.4 ความหมายและรูปร่างของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	9
2.5 การวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ	10
2.6 การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจ	10
2.7 ความปลอดภัยของร่างกายต่อกระแสไฟฟ้า	11
2.8 อันตรายจากกระแสไฟฟ้า	12
บทที่ 3 อุปกรณ์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในโครงการ	
3.1 ไดโอดเปล่งแสง (light-emitting diode :LED)	14
3.1.1 การเลือกใช้ LED ในโครงการ	17
3.1.2 พื้นฐานการทำงานของ LED	17
3.1.3 แรงดันไบอัสตรง (Forward Voltage)	18
3.1.4 กระแสไบอัสตรง (Forward Current)	19
3.1.5 แรงดันไบอัสกลับ (Reverse Breakdown Voltage)	20
3.1.6 กระแสไบอัสกลับ (Reverse Current)	20
3.1.7 มุมของแสงที่กำหนดออกมาจาก LED (Beam Angle)	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
3.2 โฟโตทรานซิสเตอร์	21
3.2.1 ลักษณะสมบัติของโฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor)	21
3.3 โฟโตไดโอด (Photo diode)	23
3.3.1 พื้นฐานการทำงานของโฟโตไดโอด	24
3.3.2 ค่าความจุไฟฟ้าบริเวณรอยต่อ (Junction Capacitance)	28
3.3.3 Dark Current	28
3.3.4 ความไว (sensitivity)	29
3.3.5 การตอบสนองต่อความยาวคลื่น (spectral response)	29
3.4 ออปแอมป์ Operational Amplifiers	30
3.4.1 นิยามของออปแอมป์ในอุดมคติ	31
3.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อกับโครงงาน	32
3.5.1 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)	32
3.5.2 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier)	33
3.5.3 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบพื้นฐาน	34
3.5.4 วงจรคอมพาราเตอร์	35
บทที่ 4 การออกแบบวงจร	
4.1 แผนผังการออกแบบวงจร	37
4.2 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่ 10 kHz	38
4.3 การออกแบบส่วนขยายสัญญาณจากโฟโตทรานซิสเตอร์	38
4.4 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	39
4.5 ส่วนวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส	39
4.6 ส่วนวงจรเปรียบเทียบแรงดัน	39
4.7 วงจรไฟเลี้ยง	40
บทที่ 5 ผลการทดลอง	
5.1 สัญญาณ PPG ที่ออกจากโฟโตทรานซิสเตอร์	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
5.2 ศึกษาดูงาน PPG หลังจากผ่านวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส	42
5.3 ศึกษาดูงาน PPG ที่ออกจากส่วนวงจรขยายกลับเฟส	42
5.4 ศึกษาดูงาน PPG หลังจากผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านรอบที่ 2	45
5.5 ศึกษาดูงาน PPG หลังจากผ่านวงจรคอมพาราเตอร์	46
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	47

บรรณานุกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
บทที่ 2	
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆของหัวใจความเป็นมา	3
รูปที่ 2.2 ระบบไฟฟ้าหัวใจ	6
รูปที่ 2.3 สัญญาณไฟฟ้าหัวใจ	8
รูปที่ 2.4 แสดงผลอิเล็กทรอนิกส์คาร์ดิโอแกรมของคนปกติ	9
บทที่ 3	
รูปที่ 3.1 ไดโอดเปล่งแสง (LED)	14
รูปที่ 3.2 สัญลักษณ์ของ LED	14
รูปที่ 3.3 LED เจ็ดส่วนใช้งานการแสดงผล	15
รูปที่ 3.4 เมื่อ LED ได้รับไบแอสกลับกราฟที่ได้จะมีลักษณะคล้ายกับของซีเนอร์ไดโอด	15
รูปที่ 3.5 แสดงการหาค่าความต้านทานเมื่อทราบค่าแรงดัน $V_f$ และกระแส $I_f$	16
รูปที่ 3.6 การใช้ LED เป็นตัวแสดงผลในวงจรไฟสลัปที่มีแรงดันต่ำ	17
รูปที่ 3.7 การใช้ LED เป็นตัวแสดงผลในวงจรไฟสลัปที่มีแรงดันสูง	17
รูปที่ 3.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไบอัสตรงและกำลังงานที่กำเนิดจาก LED	19
รูปที่ 3.9 มุมของแสงที่กำเนิดออกมาจาก LED	21
รูปที่ 3.10 แสดงสัญลักษณ์และโครงสร้างของโฟโตทรานซิสเตอร์	22
รูปที่ 3.11 แสดงวงจรโฟโต้ไดโอดและกราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสกับความเข้มของแสง	23
รูปที่ 3.12 ลักษณะการต่อใช้งานโฟโต้ไดโอด	24
รูปที่ 3.13 โฟโต้ไดโอดแบบรอยต่อ P-N เมื่อได้รับแสง	24
รูปที่ 3.14 พื้นฐานการทำงานของโฟโต้ไดโอด	25
รูปที่ 3.15 กราฟกระแสเอทท์พุทที่ความเข้มแสงต่างๆ ของโฟโต้ไดโอด	26
รูปที่ 3.16 ลักษณะของ P-I-N โฟโต้ไดโอด	27
รูปที่ 3.17 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าและแรงดันไบอัสของโฟโต้ไดโอดเบอร์ OSD15-5T	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.18 การตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสงของ โฟโตทรานซิสเตอร์เบอร์ (TOPS-050TB2)	30
รูปที่ 3.19 วงจรสมมูลของ non-Ideal Op amp	31
รูปที่ 3.20 ออปแอมป์ทางอุดมคติ	31
รูปที่ 3.21 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส	32
รูปที่ 3.22 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส	33
รูปที่ 3.23 ฟิลเตอร์ชนิดกรองความถี่ต่ำผ่าน -20 dB/decade	34
รูปที่ 3.24 กราฟตอบสนองความถี่ของวงจร	35
รูปที่ 3.25 วงจรคอมพาราเตอร์	36
บทที่ 4	
รูปที่ 4.1 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่ 10 kHz โดยใช้ NE555N	38
รูปที่ 4.2 วงจรขยายสัญญาณจากโฟโตทรานซิสเตอร์	38
รูปที่ 4.3 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	39
รูปที่ 4.4 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส	39
รูปที่ 4.5 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	40
รูปที่ 4.6 วงจรไฟเลี้ยง	40
บทที่ 5	
รูปที่ 5.1 สัญญาณ PPG ที่ออกจากโฟโตทรานซิสเตอร์	41
รูปที่ 5.2 สัญญาณ PPG หลังจากผ่านวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส	42
รูปที่ 5.3 สัญญาณ PPG หลังจากผ่านวงจรขยายกลับเฟสชุดแรก	43
รูปที่ 5.4 สัญญาณ PPG หลังจากผ่านวงจรขยายกลับเฟสชุดที่ 2	43
รูปที่ 5.5 สัญญาณ PPG หลังจากผ่านวงจรขยายกลับเฟสชุดที่ 3	44
รูปที่ 5.6 สัญญาณ PPG หลังจากผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านรอบที่ 2	45
รูปที่ 5.7 สัญญาณ PPG หลังจากผ่านวงจรคอมพาราเตอร์	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบันนี้อัตราการเสียชีวิตของมนุษย์ลดลงเป็นอย่างมาก เมื่อเทียบกับในอดีต ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากการนำเทคโนโลยีใหม่ๆเข้ามาใช้ในการแพทย์ เพื่อช่วยเสริมสร้างประสิทธิภาพในการวินิจฉัยโรค ตลอดจนรักษาพยาบาลคนไข้จากความเจ็บปวดจากโรคร้ายต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นความเจ็บป่วยที่เกี่ยวข้องกับหัวใจ แต่เนื่องจากอุปกรณ์และเครื่องมือแพทย์ที่จะนำมาใช้ส่วนใหญ่ จะต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูง ดังนั้น เพื่อให้ราคาถูกลงเราจึงควรผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์ขึ้นเองแต่ทั้งนี้ทั้งนั้น ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยและประสิทธิภาพของตัวเครื่องมือให้ทัดเทียมกับต่างประเทศด้วย

เครื่องวัดจังหวะการเต้นหัวใจก็เป็นเครื่องมือสำคัญเครื่องมือหนึ่งในการแพทย์ เพื่อใช้ในการวินิจฉัยอาการป่วยของคนไข้ โดยเครื่องมือที่ใช้วัดการเต้นส่วนใหญ่ในปัจจุบันนั้น ทำในลักษณะเครื่องวัดแรงดันแบบหูฟังโดยแพทย์จะเป็นผู้ทำการวัดในลักษณะการนับจำนวนครั้งโดยจับเวลา ดังนั้นเพื่อความสะดวกสบายและรวดเร็วยิ่งขึ้นทางขณะผู้จัดทำจึงคิดสร้าง เครื่องวัดการเต้นหัวใจ โดยใช้แสงแสดงผลบนหน้าจอLCD (ทำในลักษณะแหวนสวมนิ้ว) เพื่อให้ผู้ที่ต้องการวัดสามารถทำได้เองโดยง่าย

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาลักษณะของสัญญาณคลื่นPlethysmographyเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าจังหวะการเต้นหัวใจแล้วนำไปแสดงผลทางจอLCD โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม
2. ออกแบบวงจรและสร้างเครื่องมือวัดการเต้นของหัวใจในลักษณะแหวนสวมนิ้ว
3. พัฒนาเทคโนโลยีและอุปกรณ์การแพทย์ให้เจริญก้าวหน้าต่อไป

### 1.3 เกี่ยวกับรายงานฉบับนี้

บทที่ 2 กล่าวเกี่ยวกับเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับหัวใจต่างๆ เช่น ทำไมเราต้องวัดที่นิ้ว , การวัดสัญญาณ Plethysmographyและการวิเคราะห์สัญญาณ , ความปลอดภัยของร่างกายจากกระแสไฟฟ้า

บทที่ 3 กล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองซึ่งใช้ในโครงการนี้ เช่น Infra-Red Emitter(TSAL 7400) , Phototransistor(TOPS-050TB2) รวมถึงลักษณะการทำงาน,ทฤษฎีต่างๆที่ใช้ในโครงการ

บทที่ 4 เป็นบทที่เกี่ยวกับวงจรและการออกแบบ

บทที่ 5 ผลการทดลองและสรุปผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยรายงานฉบับนี้ทางผู้จัดทำหวังว่าจะเป็นประโยชน์กับผู้อ่านอย่างยิ่งไม่มากก็น้อย และหวังว่าจะมีผู้ที่สนใจสามารถนำไปพัฒนาให้อุปกรณ์นี้ดียิ่งขึ้นต่อไป เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาทางด้านอิเล็กทรอนิกส์การแพทย์ (Biomedical engineering) ในประเทศไทยต่อไป

#### 1.4 ขอบเขตของโครงการ

1. เป็นอุปกรณ์ที่วัดจังหวะการเต้นของหัวใจออกมาแสดงผลทางหน้าจอLCD
2. เป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก สามารถพกพาได้
3. เป็นอุปกรณ์ที่มีประโยชน์ทางการแพทย์ในการวินิจฉัยโรคได้



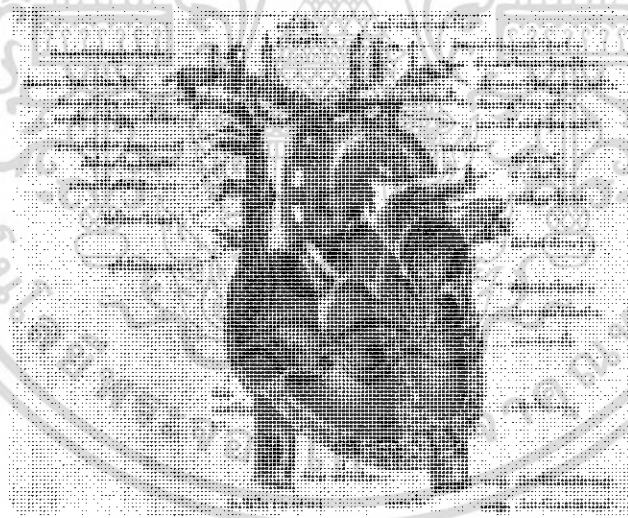
## บทที่ 2

### เนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับหัวใจ

หัวใจเป็นอวัยวะที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งของร่างกายทำหน้าที่สูบฉีดโลหิตให้หมุนเวียนไปทั่วร่างกาย โดยที่การหดตัวและพองตัวอย่างสม่ำเสมอของหัวใจเพื่อส่งโลหิตไปทั่วร่างกายนั้น จะถูกควบคุมการทำงานด้วยกล้ามเนื้อพิเศษที่เรียกว่า กล้ามเนื้อหัวใจ (Myocardium) ที่ถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณไฟฟ้าจาก Sinoatrial node การหดตัวและพองตัวดังกล่าวนี้เกิดไปพร้อมกับศักดาไฟฟ้า (electric potential) กระจายไปสู่ส่วนต่างๆ ของร่างกาย

#### 2.1 ส่วนประกอบต่างๆของหัวใจ

หัวใจเป็นอวัยวะที่ประกอบด้วยกล้ามเนื้อหัวใจ ทำหน้าที่สูบฉีดเลือดโลหิตไปทั่วร่างกาย หัวใจอยู่ในถุงหุ้มซีสเพอริคาร์เดียม ประกอบด้วยเนื้อเยื่อเพอริคาร์เดียม ภายในถุงมีช่องบรรจุของเหลวเรียกว่า เพอริคาร์เดียมฟลูอิด เพื่อกันหัวใจกระทบกระแทกหัวใจคนมี 4 ห้อง ห้องบนเรียกว่า เอเตรียม มี 2 ห้อง และ 2 ห้องล่างเรียกว่า เวนทริเคิล ภายในของหัวใจมีเนื้อเยื่อเลนโคคาร์เดียม



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆของหัวใจ

1. Atria or auricles: เอเตรียม หรือ ออริเคิล เป็นหัวใจห้องบนมี 2 ห้อง โดยหัวใจห้องเอเตรียมซ้ายรับเลือดที่มีออกซิเจนสูง จากปอด ทางเส้นเลือดพัลโมนารีเวน หัวใจห้องเอเตรียมขวา รับเลือดที่มีออกซิเจนต่ำจากส่วนต่างๆของร่างกายเส้นเลือดซูพีเรีย และอินฟีเรียเวนาคาวา ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือดในเส้นเลือดทั้งสองนี้ ได้ให้ออกซิเจนแก่เซลล์ร่างกายและรับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากเซลล์เข้ามา

2. Ventricles: เวเนทริกเกิล เป็นหัวใจห้องล่าง 2 ห้อง โดยหัวใจห้องเวเนทริกเกิลซ้ายรับเลือดจากเอเทรียมซ้าย และสูบฉีดเลือดไปตามเส้นเลือดเอออร์ตาหัวใจห้องเวเนทริกเกิลขวารับเลือด จากเอเทรียมขวา และสูบฉีดเลือดไปตามเส้นเลือดพัลโมนารี อาร์เตอร์ไปพัลโมนารีทรวงอกและสู่ปอดทั้งสองข้างเส้นเลือดอาร์เตอร์และเส้นเลือดเวเนที่สำคัญ

1. Aorta: เอออร์ตา เป็นเส้นเลือดอาร์เตอร์ ใหญ่ที่สุดในร่างกายโดยเส้นเลือดที่มีออกซิเจนสูงออกจากหัวใจห้องเวเนทริกเกิลซ้าย ซึ่งเป็นจุดที่จะส่งเลือดไปเลี้ยงร่างกาย

2. Pulmonary trunk: พัลโมนารีทรวงอก เป็นเส้นเลือดอาร์เตอร์ นำเลือดมีออกซิเจนต่ำออกจากหัวใจห้องเวเนทริกเกิลขวา เส้นเลือดนี้จะแยกเป็นพัลโมนารีอาร์เตอร์ซ้ายและขวา ไปยังปอดทั้งสองข้าง

3. Superior vena cava: ซูพีเรียเวนาคาวา เป็นเส้นเวเน ใหญ่หนึ่งในสองเส้นที่สำคัญ นำเลือดที่มีออกซิเจนต่ำจากส่วนบนของร่างกายไปยังหัวใจห้องเอเทรียมขวา โดยเส้นเลือดเวเนที่อยู่ส่วนบนของร่างกายทั้งหมดนำเลือดเข้าสู่เส้นเลือดนี้

4. Inferior vena cava: อินฟีเรียเวนาคาวา เป็นเส้นเวเนใหญ่หนึ่งในสองเส้นที่สำคัญ นำเลือดที่มีออกซิเจนต่ำจากส่วนล่างของร่างกายไปยังหัวใจห้องเอเทรียมขวา เส้นเลือดเวเนที่อยู่ส่วนล่างของร่างกายทั้งหมดนำเลือดเข้าสู่เส้นเลือดนี้

5. Pulmonary veins: พัลโมนารีเวเน เป็นเส้นเวเน 4 เส้นที่นำเลือดที่มีออกซิเจนสูงไปยังหัวใจห้องเอเทรียมซ้าย เส้นพัลโมนารีเวเนด้านขวา 2 เส้นมาจากปอดด้านขวา และเส้นพัลโมนารีเวเนซ้าย 2 เส้นมาจากปอดด้านซ้าย

## 2.2 คุณสมบัติการทำงานของหัวใจ

หัวใจมีคุณสมบัติหลายอย่างซึ่งเป็นลักษณะพิเศษดังต่อไปนี้

1. กล้ามเนื้อหัวใจสามารถทำงานได้ด้วยตนเอง (Automatically) เนื่องจากมีศักดาไฟฟ้าทำงาน

2. การทำงานมีความต่อเนื่อง (Contractility) คุณสมบัติเช่นนี้เป็นลักษณะธรรมชาติของกล้ามเนื้อหัวใจ การบีบตัวของหัวใจเรียกว่า ซิสโตล (Systole) และการคลายตัวเรียกว่า ไดแอสโตล (Diastole) แล้วตามด้วยระยะพัก การทำงานครบวงจรเช่นนี้เรียกว่า วงจรการทำงานของหัวใจ (Cardiac Cycle)

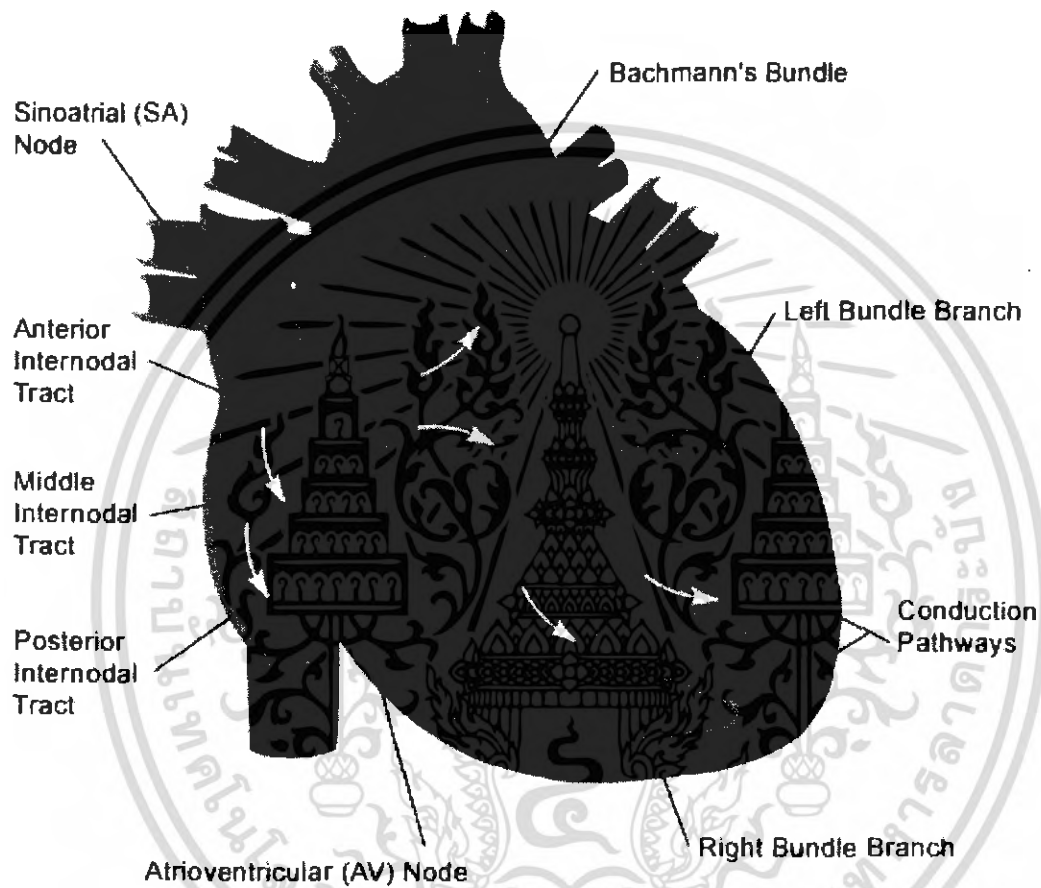
3. มีระบบสื่อ นำ (Conductivity) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างคุณสมบัติของกล้ามเนื้อและประสาท ทำหน้าที่นำคำสั่งไปยังส่วนต่างๆ ของหัวใจเพื่อให้การทำงานเป็นจังหวะ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และพร้อมเพรียงกัน ถึงแม้ว่ากล้ามเนื้อหัวใจจะทำงานได้เอง แต่ในร่างกายจะต้องมีระบบสื่อำนำเป็นตัวเริ่มทำให้เกิดพลังประสาท ดังแสดงในรูป 2.1 ระบบสื่อำนำที่กล่าวนี้ ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์อยู่ที่บริเวณหัวใจห้องบนขวา (Right Atrium) ใกล้กับรูเปิดของหลอดเลือดซุพีเรียเวนาคาวา (Superior Vena Cava) เรียกว่า ไสโน-เอเทรียลโนด (Sino-atrial Node: S-A Node) ทำหน้าที่สร้างสัญญาณไฟฟ้ากระตุ้นเพื่อให้เกิดการบีบตัวของหัวใจห้องบนและนำคลื่นไฟฟ้าส่งต่อไปยังกลุ่มเซลล์ที่บริเวณส่วนบนของหัวใจห้องล่างขวา (Right Ventricle) เรียกว่า เอเทรียโอเวนตริคูลาร์โนด (Atrioventricular Node: A-V Node) โดยที่เซลล์กลุ่มนี้มีส่วนของเนื้อเยื่อที่เรียกว่าบันเดิลออฟฮิส (Bundle of his ) และส่วนของเส้นใยพิเศษเรียกว่า เพอร์คินจ์ (Purkinje Fibers) ทำหน้าที่เป็นสื่อำนำสัญญาณจากกลุ่มเซลล์ที่บริเวณส่วนบนของหัวใจห้องล่างขวามาไปยังกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่าง ระบบสื่อำนำตั้งแต่กลุ่มเซลล์ที่บริเวณส่วนบนของหัวใจห้องล่างขวาลงมาเรียกว่าระบบเพอร์คินจ์ (Purkinje's System)

4. กล้ามเนื้อหัวใจมีระยะดื้อนาน ในระยะบีบตัว กล้ามเนื้อยังอยู่ในภาวะ ดีโพลาไรซ์ (Depolarization) ซึ่งเป็นระยะแรกที่เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจถูกกระตุ้นและรีโพลาไรซ์ (Repolarization) เป็นช่วงที่กลับคืนสู่สภาวะปกติ จึงยังไม่สนองต่อการกระตุ้น ระยะนี้เรียกว่า ระยะ แอปโซลูทรีแฟรคทอรี (Absolute Refractory Period) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 0.25 วินาที แต่ ต่อมาในระยะต้นของการคลายตัวนั้น กล้ามเนื้อหัวใจมีการสนองต่อการกระตุ้น (Excitability) มากขึ้น แต่ก็ยังคงอยู่ต้องทำการกระตุ้นด้วยตัวกระตุ้นที่แรงมากพอ จึงสามารถตอบสนองได้ เรียกระยะนี้ว่าระยะรีเลทีฟรีแฟรคทอรี (Relative Refractory Period) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 0.05 วินาที

### 2.3 คลื่นไฟฟ้าหัวใจ

#### Electrical System of the Heart



รูปที่ 2.2 ระบบไฟฟ้าหัวใจ

คลื่นไฟฟ้าหัวใจ ( Electrocardiogram ) ตัวย่อ EKG คือ การแสดงการทำงานของหัวใจในรูปแบบกราฟ โดยกราฟที่เกิดขึ้นนี้เกิดจาก การวัดความต่างศักย์ของการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจนั่นเอง

หัวใจเป็นอวัยวะที่มีพลังอย่างมากที่สุดของร่างกาย เพราะจะต้องสูบฉีดโลหิตไปเลี้ยงร่างกายประมาณ 5 ลิตร ต่อนาที ประกอบด้วย 4 ห้อง ตามลักษณะทางกายวิภาค คือ ห้องบน 2 ห้อง ได้แก่ Rt. & Lt. atriums และห้องล่าง 2 ห้อง ได้แก่ Rt. & Lt. ventricles ในทางสรีรไฟฟ้า (หมายถึง การทำงานของหัวใจทางไฟฟ้า electrophysiology ) การเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าเกิดขึ้น จาก จุดเล็กๆจุดหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ เราเรียกว่า sino-atrial node (SA node) ที่อยู่ในหัวใจห้องเอเทรียมขวาซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการเหนี่ยวนำไฟฟ้าทั้งหมดภายในหัวใจ โดยจะส่งกระแสไฟฟ้า ลงมายังหัวใจห้องล่าง ขณะที่ไฟฟ้าผ่านกล้ามเนื้อหัวใจ กล้ามเนื้อหัวใจจะเกิดการหดตัว และคลายตัวตามมา ผลคือ หัวใจจึงสามารถบีบตัวไล่เลือดจากห้องบน มายังห้องล่าง ได้อย่างสัมพันธ์กัน ดังนั้น เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจจึงมีคุณสมบัติพิเศษ ซึ่งเรียกคุณสมบัติเหล่านี้ว่าเป็น "pacemaker cell" สามารถเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าได้เอง "โดยอัตโนมัติ" ทำให้เกิดการทำงานของหัวใจได้อย่างเป็นจังหวะ จนในที่สุดเกิดการหดและคลายตัวของกล้ามเนื้อหัวใจอย่างสม่ำเสมอ และตลอดเวลา ซึ่งเป็นการทำงานที่เกิดขึ้นเอง อยู่นอกเหนือการควบคุมของสมอง

ตามปกติเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจจะมีแรงดันไฟฟ้าภายในเซลล์มีค่าเป็นลบมากกว่าแรงดันไฟฟ้าภายนอกเซลล์ประมาณ 90 มิลลิโวลต์ แรงดันไฟฟ้าดังกล่าวเรียกว่า ศักย์ไฟฟ้าขณะอยู่นิ่ง (resting potential) ถ้าศักย์ไฟฟ้าขณะอยู่นิ่งนี้มีค่าสูงกว่าขีดจำกัดค่าหนึ่งจะมีการแตกตัวของอนุภาคและประจุไฟฟ้าเกิดขึ้นเมื่อมีการแตกตัวให้ประจุเกิดขึ้นศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์จะมีค่าประมาณ +30 มิลลิโวลต์ และเซลล์กล้ามเนื้อจะกลับไปมีค่าเท่ากับ ศักย์ไฟฟ้าขณะหยุดนิ่ง และเซลล์จะอยู่ในลักษณะคลายตัว จนกว่าวัฏจักรจะเริ่มซ้ำ

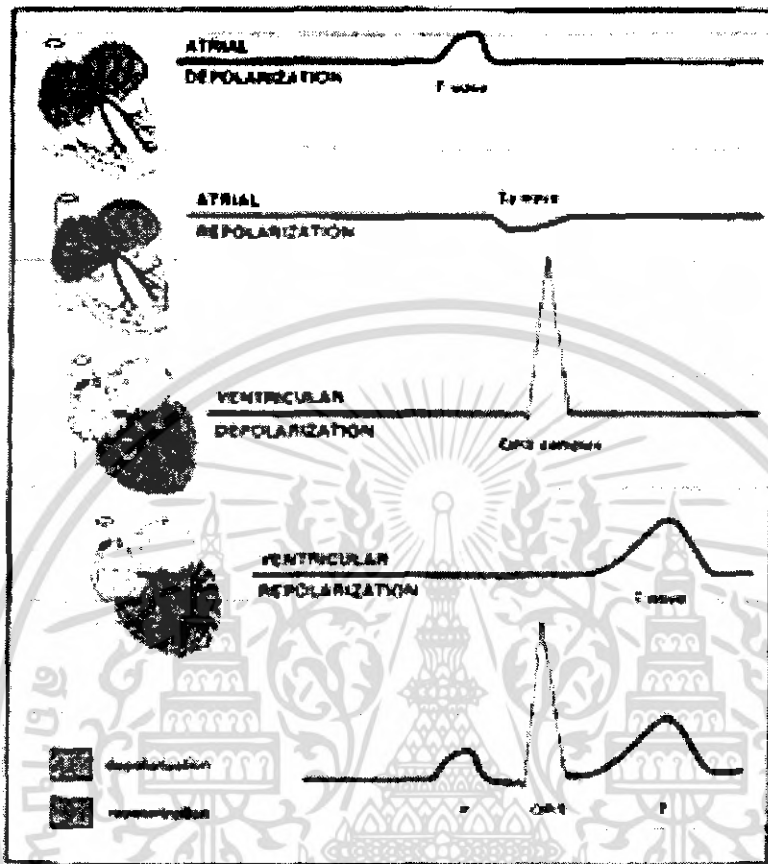
หัวใจส่วนบนมีการเกี่ยวพันทางไฟฟ้ากับเซลล์ข้างเคียง ดังนั้นเมื่อเซลล์หนึ่งเกิดการแตกตัวให้ประจุเซลล์ใกล้เคียงจะได้รับการกระตุ้นให้ปลดปล่อยประจุด้วยคลื่นของการปลดปล่อยประจุจะกระจายไปทั่วส่วนบนในที่สุดเซลล์ทุกเซลล์ในหัวใจส่วนบนจะมีการแตกตัวให้ประจุหัวใจส่วนบนจะหดตัว คลื่นของการปลดปล่อยประจุเกิดจากเซลล์จำนวนมากทำให้เกิดความแตกต่างศักย์ไฟฟ้ามากพอที่จะวัดได้โดยการใช้ขั้วไฟฟ้าวางบนผิวหนัง ค่าแรงดันที่วัดได้ด้วยวิธีนี้เรียกว่าอิเล็กโตรคาร์ดิโอแกรม

ในการทำงานเดียวกันกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในห้องหัวใจส่วนบน เซลล์ทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบของกล้ามเนื้อหัวใจส่วนล่างทั้ง 2 ห้องจะมีความสัมพันธ์ทางไฟฟ้ากับเซลล์ข้างเคียง ดังนั้นเซลล์ใดเซลล์หนึ่งในหัวใจส่วนล่างมีการแตกตัวของอนุภาคและให้ประจุออกมา(และการหดตัว)ในทุกๆเซลล์ของหัวใจส่วนล่าง

อย่างไรก็ตาม หัวใจส่วนบนและหัวใจส่วนล่างไม่ได้เชื่อมต่อกันโดยตรง บริเวณแนวเชื่อมต่อของช่องทางไฟฟ้าของหัวใจส่วนบนและหัวใจส่วนล่างเรียกว่า โหนดเอวี (Atrio Ventricular Node) การส่งผ่านสัญญาณทางไฟฟาระหว่างหัวใจส่วนบนและหัวใจส่วนล่างจะทำให้ทั้ง 2 ส่วนได้รับสัญญาณช้ากว่ากัน 0.04 วินาทีการนี้ทำให้หัวใจส่วนบนที่เวลาฉีดเลือดให้หัวใจส่วนล่าง การล่าช้าดังกล่าวยังเป็นตัวจำกัดจำนวนครั้งต่อนาทีที่หัวใจบีบตัวตลอดจากหัวใจส่วนบนจนถึงหัวใจส่วนล่างในกรณีที่หัวใจส่วนบนมีการบีบรัดตัวเร็วเกินไป การจำกัดอัตราการบีบรัดตัวของหัวใจส่วนล่างเป็นการทำให้ชีวิตปลอดภัย ทั้งนี้เพราะว่าการสูบฉีดเลือดของหัวใจส่วนล่างนี้เองที่ทำให้เลือดไหลไปสู่สมองและอวัยวะต่างๆได้มากที่สุด ถ้าการบีบตัวดังกล่าวเกิดขึ้นเร็วเกินไป การไหลเอกรสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเลือดจะลดลงเนื่องจากไม่มีเวลามากพอที่จะให้สูบเลือดเข้าสู่หัวใจส่วนล่างซึ่งเวลาดังกล่าวก็คือช่วงเวลาระหว่างการหด



รูปที่ 2.3 สัญญาณไฟฟ้าหัวใจ

จากรูปเป็นแผนภาพวงจรควบคุมการปลดปล่อยประจุของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจถ้าไม่มีการกระตุ้นจากภายนอกทำให้เกิดการแตกตัวให้ประจุไฟฟ้า เซลล์หัวใจจะค่อยๆ เปลี่ยนแปลงจากสภาพที่มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศักย์ไฟฟ้า ขณะหยุดนิ่งมีการแตกตัวของอนุภาคให้ประจุไฟฟ้าด้วยจำนวนคงที่ เซลล์ที่มีการปลดปล่อยประจุไฟฟ้าเร็วที่สุดจะเป็นเซลล์ที่นำซึ่งทำให้เกิดการปลดปล่อยประจุที่สุด โหนด เอวี สัญญาณการปลดปล่อยประจุจากเซลล์นำจะกระจายสู่เซลล์ต่างๆ ในหัวใจส่วนบนก่อน จากนั้นโหนดเอวีจะนำสัญญาณไฟฟ้า ไปยังเส้นใยไฟฟ้า ซึ่งจะนำไฟฟ้าเข้าสู่หัวใจส่วนบนก่อนที่ จะนำสัญญาณไฟฟ้าไปยังเส้นใยไฟฟ้าซึ่งจะนำไฟฟ้าสู่หัวใจส่วนล่างอย่างรวดเร็วการกระตุ้นให้เกิดการปลดปล่อยประจุในหัวใจส่วนล่างทั้ง 2 ห้องจะเกิดขึ้นพร้อมกัน โดยเริ่มจากภายในสู่ผนังหัวใจภายนอก เซลล์ในหัวใจตอนบนจะมีแนวโน้มที่จะปลดปล่อยประจุประมาณ 60-100 ครั้งต่อวินาที เซลล์ในโหนดเอวีซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างหัวใจส่วนบนกับหัวใจส่วนล่างมีแนวโน้มที่จะปลดปล่อยประจุประมาณ 30 ครั้งต่อวินาที

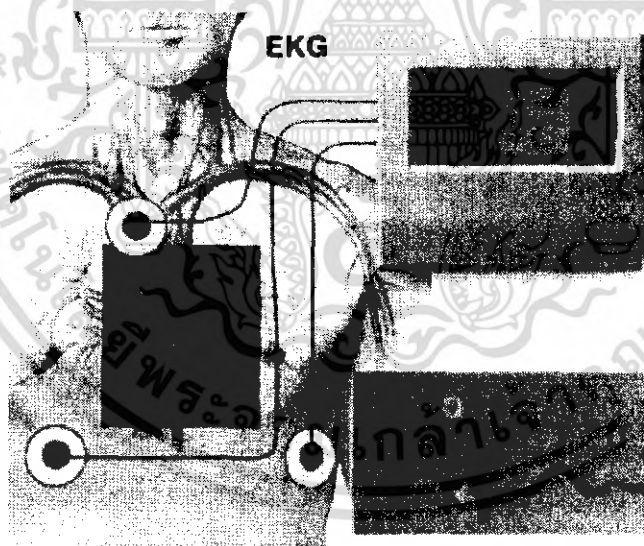
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการหดตัวของหัวใจส่วนบนจะเกิดขึ้นก่อน ตามด้วยระยะเวลาที่ทิ้งช่วงและการหดตัวของหัวใจส่วนล่างจากนั้นจะมีระยะหยุดพักก่อนที่จะมีการบีบตัวของหัวใจ หรือวัฏจักรการทำงานของหัวใจครั้งต่อไปจะเกิดขึ้น เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจมีการปลดปล่อยประจุและหดตัวเป็นลำดับเป็นจังหวะ เป็นเวลา สัญญาณจากโหนดเอสจะเข้ามาแล้วทำให้เกิดการปลดปล่อยประจุและหดตามอัตราที่เป็นลักษณะเฉพาะตัว ดังนั้นโหนดเอวีจึงเป็นผู้นำในการทำงานของหัวใจ ถ้าโหนดเอวีไม่ทำงาน หรือสัญญาณที่ส่งมาถูกแนวโหนดเอวีที่เป็นโรคกักไว้ หัวใจส่วนล่างจะยังคงบีบรัดตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพเพราะว่าเซลล์บางเซลล์ในหัวใจส่วนล่างสามารถที่จะปลดปล่อยประจุได้เอง และทำตัวเป็นผู้นำหัวใจส่วนล่าง อัตราการเต้นของหัวใจในลักษณะนี้จะช้า (ประมาณ 30 ครั้งต่อ นาที) แต่จังหวะการเต้นของหัวใจเพื่อความอยู่รอดเช่นนี้มีก็จะเพียงพอที่จะทำให้ชีวิตรอดได้

#### 2.4 ความหมายและรูปร่างของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

ลักษณะของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ปกติแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 ภาพคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่บันทึกได้ จะเริ่มตั้งแต่ก่อนการบีบตัวของหัวใจจนกระทั่งมีการคลายตัวในแต่ละครั้ง ดังนั้นจึงเกิดสัญญาณขึ้นเป็นจังหวะโดยมีความถี่เท่ากับอัตราการเต้นของหัวใจ



The EKG breaks down each heartbeat into a series of electrical waves. Three of the waves, the P wave, the QRS complex and the T wave, are associated with the heart's contractions. The P wave reflects activity in the heart's upper chambers. The QRS complex and T wave reflect activity in the lower chambers.

รูปที่ 2.4 แสดงผลอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพคลื่นไฟฟ้าหัวใจในแต่ละจังหวะประกอบด้วยคลื่นไฟฟ้าย่อย 3 คลื่นคือ

1. ช่วงคลื่น P เป็นผลรวมทางไฟฟ้าขบวนการดีโพลาร์ไรซ์ที่เกิดขึ้นที่หัวใจห้องล่างด้านซ้ายและขวาซึ่งเกิดก่อนที่หัวใจทั้งสองห้องจะมีการบีบตัว
2. ช่วงคลื่น QRS เป็นผลรวมทางไฟฟ้าจากขบวนการดีโพลาร์ไรซ์ของหัวใจห้องล่างด้านซ้ายและขวาซึ่งเกิดขึ้นก่อนที่หัวใจทั้งสองข้างจะมีการบีบตัว โดยที่ขนาดของคลื่นสัญญาณ R สำหรับการทำงานปกติของหัวใจมีค่าประมาณ 1 มิลลิโวลต์
3. ช่วงคลื่น T เป็นผลรวมทางไฟฟ้าจากขบวนการรีโพลาร์ไรซ์ของหัวใจห้องล่างทั้งซ้ายและขวาและเกิดขึ้นก่อนที่หัวใจทั้งสองห้องจะมีการคลายตัว โดยขนาดของสัญญาณ T มีค่าประมาณ 1/3 ของขนาดของสัญญาณ R

## 2.5 การวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ

การเคลื่อนที่ของไอออนภายในเซลล์ของเยื่อหัวใจทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าทำงาน (Action potential) และทำให้หัวใจเต้น การเคลื่อนที่ของไอออนภายในเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจจะรวมตัวเป็นการไหลของกระแสไฟฟ้า และเป็นผลทำให้เกิดความต่างศักดาไฟฟ้าภายนอกเนื้อเยื่อและที่บริเวณผิวหนังของร่างกาย การไหลของกระแสจะเกิดขึ้นเฉพาะเวลาที่เกิดการกระจายของศักดาไฟฟ้าที่ทำงานเท่านั้นเช่น ในช่วงของคลื่น QRS หรือ ในระหว่างที่เซลล์กลับคืนสู่สภาพอยู่นิ่ง เช่น ในช่วงคลื่น T

ศักดาไฟฟ้าทำงานในเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อหัวใจกระจายลงล่าง โขดเดียวไอออนเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณที่แรง เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงศักดาไฟฟ้าจาก -70 mV ในขณะที่เซลล์อยู่นิ่งเป็น 20 mV การเคลื่อนที่ของไอออนเหล่านั้นรวมกันเป็นกระแสไฟฟ้าไหลเป็นทางวงกลมผ่านความต้านทานของตัวกลางภายนอก ทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าคกรวม และมีขึ้นดังรูปบริเวณที่อยู่ด้านหน้าของการกระจายศักดาไฟฟ้าทำงาน จะเป็นบวกเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่อยู่ด้านหลัง

## 2.6 การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจ

คลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็นการบันทึกสภาพการทำงานของหัวใจ ที่วัดได้บนผิวหนังของร่างกายด้วยเครื่องวัดและแสดงสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiogram) จึงถือได้ว่าคลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็นพารามิเตอร์ของร่างกาย (Physiological parameter) ที่นำมาใช้ประโยชน์ในการวินิจฉัยอาการความผิดปกติและประเมินสภาวะของหัวใจได้เป็นอย่างดี การวิเคราะห์และแปลผลคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่บันทึกได้จึงเป็นข้อมูลที่สำคัญในการประกอบการรักษาโรคต่างๆ ของผู้ป่วย โดยเฉพาะเกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือด การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจจะทำการบันทึกคลื่นไฟฟ้าหัวใจลงบนกระดาษกราฟ ซึ่งมีแกนนอนเป็นฐานเวลา (หน่วยเป็นวินาที) ส่วนแกนตั้งเป็นความสูงของคลื่น (หน่วยเป็นมิลลิโวลต์) แล้วอาศัยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญในการแปลผลออกมาทำการอ่านและวัดพารามิเตอร์ต่างๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น รูปคลื่นความสูงของคลื่น ระยะเวลาในช่วงต่างๆ ระดับของเส้นสันนิษฐานเป็นต้นแล้วทำการสรุปผลของผู้เชี่ยวชาญนั้น และคาดคะเนว่าผู้ป่วยมีสภาวะของหัวใจเป็นเช่นใด โดยอาจทำการวิเคราะห์ทั้ง 12 ลีด มาตรฐานหรือเพียงลีดหนึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถและความชำนาญของผู้เชี่ยวชาญนั้น ข้อจำกัดของวิธีแบบนี้ อยู่ที่เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลเนื่องจากภาระกิจประจำของแพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญทำให้การทราบผลที่วิเคราะห์ไม่ทันต่อการดูแลรักษาผู้ป่วย ดังนั้นในปัจจุบันด้วยความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ทำให้สามารถนำคอมพิวเตอร์เข้าช่วยในการวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจแทนคน โดยการแปลงสัญญาณไฟฟ้าหัวใจให้อยู่ในรูปข้อมูลดิจิทัลแล้วส่งไปยังคอมพิวเตอร์ซึ่งมีโปรแกรมที่ทำหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูลดิจิทัลของสัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่เข้ามา เพื่อทำการแปลผลและรายงานผลให้ทราบ ซึ่งวิธีนี้เป็นการแก้ปัญหาบางส่วนของวิธีการวิเคราะห์ในแบบเดิมได้เช่นกรณีไม่มีแพทย์ผู้เชี่ยวชาญมีภาระกิจไม่สามารถทำการวิเคราะห์ผลได้ทั้งยังให้ผลลัพธ์ที่รวดเร็ว แม่นยำและถูกต้อง ทันต่อการรักษาอาการของผู้ป่วย ดังนั้นคอมพิวเตอร์จึงมีบทบาทสำคัญที่เข้ามาช่วยลดภาระของบุคลากรหรือทดแทนการขาดบุคลากร โดยที่ผลการวิเคราะห์ยังคงความเชื่อถือได้อยู่ การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจยังสามารถพิจารณาได้ 5 หัวข้อคือ

1. อัตราการเต้นของหัวใจ (Rate)
2. จังหวะการเต้นของหัวใจ (Rhythm)
3. แนวแกนของหัวใจ (Axis)
4. กล้ามเนื้อหัวใจพองโต (Hypertrophy)
5. กล้ามเนื้อหัวใจตาย (Infarction)

การวิเคราะห์ทั้ง 5 หัวข้อนี้เป็นการพิจารณาความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับหัวใจโดยสามารถสังเกตได้จากคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยแต่ละหัวข้อจะมีวิธีการสังเกตที่แตกต่างกันไป

## 2.7 ความปลอดภัยของร่างกายต่อกระแสไฟฟ้า

ในการนำอุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์มาใช้งานกับผู้ป่วยนั้น สิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณาคือ อันตรายจากกระแสไฟฟ้าที่จะมีต่อผู้ป่วย เป็นอาการช็อกที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายในปริมาณที่ทำให้กล้ามเนื้อในส่วนที่กระแสไหลผ่านมีอาการเกร็งจนไม่สามารถควบคุมได้ และสิ่งที่สำคัญก็คือ ถ้ากล้ามเนื้อส่วนที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเป็นกล้ามเนื้อหัวใจ ก็อาจทำให้หัวใจหยุดเต้นและตายได้ ดังนั้นจึงต้องศึกษาถึงอันตรายที่มีต่อผู้ป่วย และวิธีที่จะป้องกันอันตรายดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 อันตรายจากกระแสไฟฟ้า

อาการช็อกที่จะเกิดกับผู้ป่วยเนื่องจากกระแสไฟฟ้านั้น จะแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ มาโครช็อก (Macroshock) เป็นอาการช็อกที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลเข้าร่างกายผ่านผิวหนังซึ่งมีค่าความต้านทานสูง อีกแบบหนึ่งคือ ไมโครช็อก (Microshock) เป็นอาการช็อกที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกล้ามเนื้อโดยตรง โดยไม่ได้ผ่านผิวหนัง จึงทำให้ทางเดินกระแสไฟฟ้ามีค่าความต้านทานต่ำ

กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดมาโครช็อกมีค่ามากกว่ากระแสที่ทำให้เกิดไมโครช็อกหลายเท่าได้ เคยมีผู้ทำการทดลองเกี่ยวกับกระแสที่ทำให้เกิดมาโครช็อก โดยผู้ทำการทดลองถืออิเล็กโทรดสองอันโดยถือมือละอัน แล้วปล่อยไฟฟ้ากระแสสลับที่ความถี่ 60 Hz ให้ไหลผ่านร่างกายค่าต่างๆกัน โดยเริ่มปรับค่ากระแสตั้งแต่ศูนย์ขึ้นไปเรื่อยๆ ปรากฏว่าจะเกิดอาการต่างๆ ของผู้ทดลองที่ค่าของกระแสต่างๆ กัน เริ่มกระแสจากศูนย์ขึ้นไปจนถึงค่าหนึ่งจะเริ่มมีความรู้สึกต่อกระแสไฟฟ้า ค่าของกระแสที่ระดับนี้เรียกว่า Perception level จากการทดลองกับผู้ใหญ่ชายประมาณ 50% ของผู้ทดลองจะเริ่มรู้สึกที่กระแสประมาณ 1 mA ส่วนผู้ใหญ่อีกจะเริ่มรู้สึกในระดับกระแสที่ต่ำกว่าผู้ใหญ่ชายประมาณ 1 ใน 3 เท่า ถ้าความถี่ของกระแสเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ระดับที่เริ่มรู้สึกเปลี่ยนค่าไปด้วย โดยจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้นมากกว่า 100 Hz

เมื่อเพิ่มกระแสให้มากกว่าระดับที่เริ่มรู้สึกจนถึงค่าประมาณ 10-20 mA จะเริ่มรู้สึกชาที่มือหรือร่างกาย และกล้ามเนื้อที่มือจะมีอาการเกร็งตลอดเวลา จนทำให้บางคนไม่สามารถควบคุมมือให้ปล่อยอิเล็กโทรดได้ ผลจากการทดลองกับผู้ใหญ่ชาย ได้เป็นค่ากระแสที่ความถี่ 60 Hz ซึ่ง 50% ของผู้ทดลองไม่สามารถควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อได้ สันเกตว่าต้องให้กระแสมากขึ้น ถ้าลดความถี่ให้ต่ำลง หรือเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้น

เมื่อเพิ่มกระแสขึ้นไปอีกจนถึง 100 mA ผู้ทดลองจะเริ่มรู้สึกปวดและบางจนถึงกับสิ้นสติ ค่ากระแสระดับนี้ถ้าไหลผ่านหัวใจก็เพียงพอที่จะทำให้เกิด Ventricular fibrillation (หัวใจห้องล่างเต้นเร็ว เมา และไม่เป็นจังหวะ) ระดับของกระแสที่ทำให้เกิด fibrillation จะมีค่าต่ำลงถ้าให้กระแสไหลผ่านหัวใจนานขึ้น ในการทดลองกับแกะประกว่าการใช้กระแส 1000mA เป็นเวลา 0.03 วินาที กับการใช้กระแส 100 mA เป็นเวลานาน 3 วินาที ทั้งคู่ต่างก็ทำให้เกิด fibrillation

ข้อมูลจากการทดลองจากสัตว์หลายๆ ชนิด สามารถนำมาประเมินค่าระดับของกระแสที่ทำให้เกิด fibrillation กับมนุษย์ได้

สำหรับความถี่ 60 Hz ค่ากระแสสูงสุดที่ยังไม่ทำให้เกิด fibrillation กับมนุษย์มีค่าประมาณ  $116 / (t)^{1/2}$  mA เมื่อ t คือ ช่วงเวลาที่กระแสไหลผ่านร่างกายเป็นเวลาวินาที ตัวอย่างเช่น ถ้าปล่อยกระแสนาน 1 วินาที ค่ากระแสสูงสุดที่ยังปลอดภัยคือ 116 mA ถ้าปล่อยนาน 4 วินาที ค่ากระแสสูงสุดที่ปลอดภัยคือ 58 mA

ต่อไปถ้าเพิ่มกระแสจนถึง 6 A หรือมากกว่านี้จะทำให้กล้ามเนื้อหัวใจเกร็ง ซึ่งจะมีอาการคล้ายกับการเกร็งที่มือจนไม่สามารถปล่อยมือออกจากอิเล็กโทรดได้ ถ้าเพิ่มกระแสขึ้นไปเรื่อยๆ อาจเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้การหายใจเป็นอัมพาตชั่วคราว และผิวหนังอาจเกิดการไหม้อย่างรุนแรง ซึ่งขึ้นอยู่กับแรงกดของอิเล็กโทรดต่อผิวหนัง และการสัมผัสกับอิเล็กโทรด

ในกรณีของไมโครชิพ กระแสไม่ได้ไหลผ่านผิวหนังซึ่งมีความต้านทานสูง บ่อยครั้งที่กระแสไฟฟ้าไหลเข้าตามเส้นโลหิตแดงใหญ่สู่หัวใจโดยตรง จะเห็นว่า Ventricular fibrillation สามารถเกิดจากไมโครชิพได้ง่าย เนื่องจากระดับกระตุ้นต่ำกว่ากรณีของมาโครชิพมาก ในการทดลองกับสุนัขพบว่า ถ้าป้อนกระแสเพียง 17  $\mu\text{A}$  เข้าหัวใจโดยตรงจะสามารถทำให้เกิด Ventricular fibrillation ได้จากผลอันนี้นำมาประเมินกับมนุษย์ได้ว่าค่ากระแสที่ทำให้เกิด Ventricular fibrillation เมื่อป้อนโดยตรงมีค่าประมาณ 30  $\mu\text{A}$

จากการทดลองเหล่านี้ใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีความถี่ 60 Hz แต่ผลที่เกิดต่อร่างกายก็ใกล้เคียงกับแหล่งจ่ายไฟที่มีความถี่ 50 Hz

ไมโครชิพมีโอกาสเกิดขึ้นได้มากเนื่องจากปัจจุบันในห้องบำบัดผู้ป่วยพิเศษมีการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาก ในบรรดาผู้ป่วยต่างๆ มีหลายคนที่จะต้องใส่หลอดสวน (Cathode) เข้าไปตามเส้นโลหิต ผู้ป่วยในห้องบำบัดพิเศษบางคนต้องใช้เครื่องมือควบคุมจังหวะการเต้นของหัวใจ (Pace maker) โดยใส่หลอดสวนเข้าไปตามเส้นโลหิตจนสัมผัสกับกล้ามเนื้อหัวใจเพื่อกระตุ้นหัวใจโดยตรง ในกรณีที่การทำงานของหัวใจล้มเหลว หลอดสวนบางชนิดประกอบด้วยเส้นลวดหรือของเหลวที่นำกระแสไฟฟ้าได้ ดังนั้นจึงเกิดทางเดินของกระแสไฟฟ้าที่มีความต้านทานต่ำไปยังหัวใจ ซึ่งจะช่วยให้ความเป็นไปได้ในการเกิดไมโครชิพ

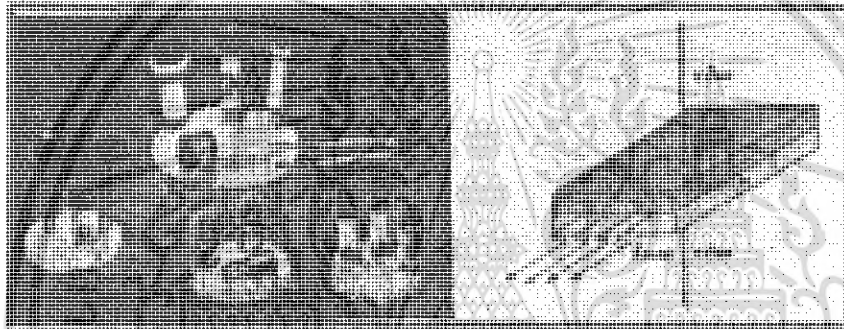
อันตรายจากกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากช่องเสียบไฟชาร์จ หรือสายไฟที่ฉนวนชำรุด หรือขั้วต่อสายไฟแตก มักจะค้นพบและแก้ไขได้ง่าย แต่อันตรายที่ค้นพบยากอาจเกิดในสายจ่ายไฟของเครื่องมือ สายจ่ายไฟมันจะถูกแกะเลยจากการดูแลรักษา สายประเภทนี้อาจจะถูกดึงออกมาจากผนังห้องหรือล้อเลื่อนสำหรับวางเครื่องมือหรือเตียง แล้วพาดไปตามพื้น มีหลายครั้งที่เส้นลวดตัวนำภายในชำรุด สายไฟที่ทันสมัยจะมีเส้นลวดตัวนำภายใน 3 เส้น เป็นเส้นที่มีกระแสไฟฟ้า 2 เส้น และอีกเส้นหนึ่งเป็นสายดิน (Ground) ถ้าสายที่มีกระแสไฟฟ้าเส้นใดเส้นหนึ่งขาดเครื่องมือก็จะไม่ทำงาน และสายทั้งสองสัมผัสกันหรือลัดวงจร จะทำให้ฟิวส์ขาดทั้งสองกรณีสังเกตได้ง่ายแต่ถ้าสายดินขาดจะไม่สามารถรู้ได้เลยและเครื่องมือก็ยังทำงานปกติ จึงทำให้เกิดอันตรายกับผู้ป่วยที่ใช้อิเล็กโทรดภายในร่างกาย

### บทที่ 3

## อุปกรณ์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในโครงการ

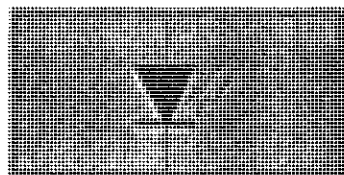
### 3.1 ไดโอดเปล่งแสง (light-emitting diode :LED)

LED คือ ไดโอดซึ่งสามารถเปล่งแสงออกมาได้แสงที่เปล่งออกมาประกอบด้วยคลื่นความถี่เดียวและเฟสต่อเนื่องกัน ซึ่งต่างกับแสงธรรมชาติที่ตาคนมองเห็น อันประกอบด้วยคลื่นซึ่งมีเฟสและความถี่ต่าง ๆ คั่นมารวมกัน ไดโอด ซึ่งสามารถให้แสงออกมาได้ ทั้งชนิดที่เป็นสารกึ่งตัวนำของเหลวก๊าซ ในที่นี้จะกล่าวถึงชนิดที่เป็นสารกึ่งตัวนำเท่านั้น



รูปที่ 3.1 ไดโอดเปล่งแสง (LED)

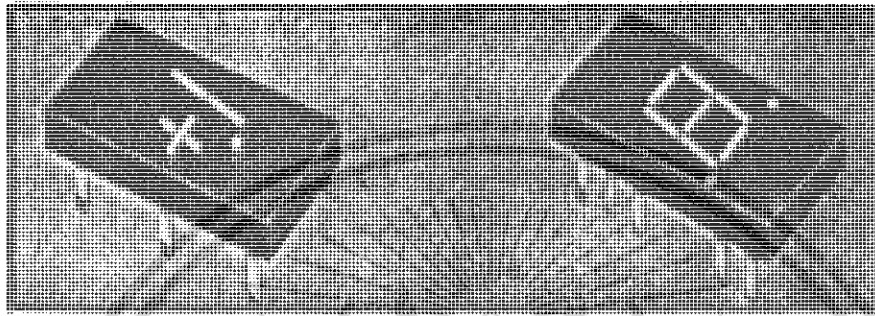
ไดโอดชนิดนี้เหมือนไดโอดทั่ว ๆ ไปที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N ประกบกันมีผิวข้างหนึ่งเรียบเป็นมันคล้ายกระจก เมื่อไดโอดตกไบแอสตรงจะทำให้อิเล็กตรอนที่สารกึ่งตัวนำชนิด N มีพลังงานสูงขึ้นจนสามารถวิ่งข้ามรอยต่อไปรวมกับโฮลใน P ต่อให้เกิดพลังงานในรูปของประจุโฟตอน ซึ่งจะส่งแสงออกมา การประยุกต์ LED ไปใช้งานอย่างกว้างขวางส่วนมากใช้ในภาคแสดงผล (display unit) LED โดยทั่วไปมี 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ LED ชนิดที่ตาคนเห็นได้กับชนิดที่ตาคนมองไม่เห็นต้องใช้ทรานซิสเตอร์มาเป็นตัวรับแสงแทนตาคน



รูปที่ 3.2 สัญลักษณ์ของ LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

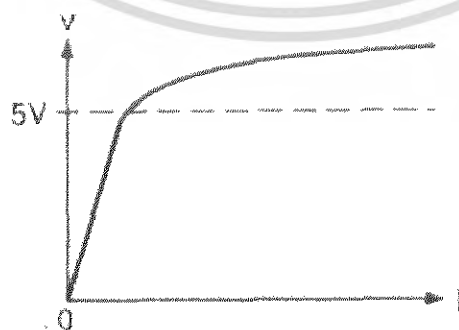
การใช้งานของ LED ที่เห็นได้บ่อย ๆ คือ ภาคแสดงผลของเครื่องคำนวณอิเล็กทรอนิกส์สมัยใหม่ที่ใช้ LED ซึ่งมี 7 ส่วนแสดงเป็นตัวเลขดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 LED เจ็ดส่วนใช้งานการแสดงผล

เมื่อนำ LED มาประกอบกับโฟโตทรานซิสเตอร์ ซึ่งเป็นตัวรับแสงจาก LED โฟโตทรานซิสเตอร์จะให้กระแสที่เปลี่ยนแปลงกับความเข้มของแสงที่มาจากไดโอดอุปรกรณ์ที่รวมกันระหว่าง LED กับโฟโตทรานซิสเตอร์เรียกว่า โฟโตไอโซเลชัน (photo isolation)

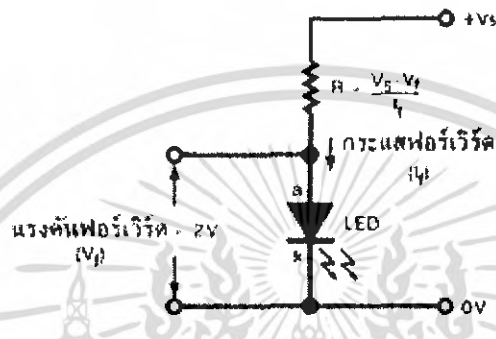
เมื่อ LED ได้รับกระแสไบแอสตรงจะมีแรงดันตกคร่อม LED ประมาณ 2 โวลต์ ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งเป็นค่าแรงดันไบแอสตรงของ LED สีต่าง ๆ ที่กระแสไบแอสตรง 20 มิลลิแอมป์ และถ้า LED ได้รับการไบแอสกลับ ก็จะเกิดปรากฏการณ์อะวาลานซ์หรือซีเนอร์เช่นเดียวกับไดโอดชนิดอื่น ๆ แต่ค่าแรงดันนั้นจะมีค่าน้อยกว่า ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว LED จะทนแรงดันย้อนกลับได้สูงสุดประมาณ 3-5 โวลต์



รูปที่ 3.4 เมื่อ LED ได้รับไบแอสกลับกราฟที่ได้จะมีลักษณะคล้ายกับของซีเนอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการนำ LED ไปใช้งาน จะต้องต่อตัวต้านทานจำกัดกระแสอนุกรมเข้ากับ LED ด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้ LED เสียหาย รูปที่ 2 แสดงการหาค่าตัวต้านทาน R เพื่อให้ได้กระแสที่พอเหมาะแก่ LED โดย R จะต่อที่ขั้วแคโทด หรือแอโนดของ LED ก็ได้ ความสว่างของ LED จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณกระแสที่ไหลผ่านตัวมัน โดยทั่ว ๆ ไป LED จะสามารถทนกระแสได้สูงสุดประมาณไม่เกิน 30-40 มิลลิแอมป์

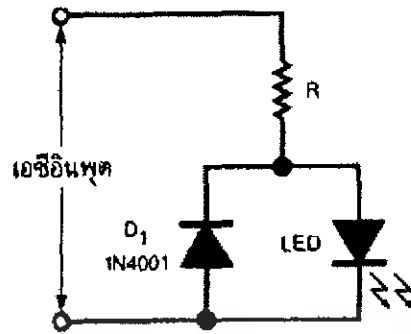


รูปที่ 3.5 แสดงการหาค่าความต้านทานเมื่อทราบค่าแรงดัน  $V_f$  และกระแส  $I_f$

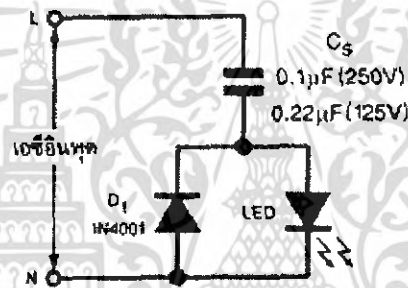
LED ยังสามารถนำไปใช้กับไฟสลับได้ด้วยดังแสดงในรูปที่ 3 โดยการนำไดโอดธรรมดา มาต่อกลับขั้วขนานกับ LED เพื่อป้องกันไม่ให้ LED ได้รับไบแอสกลับ สำหรับค่า R ควรจะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของเมื่อคำนวณได้จากวงจรไฟตรง เพื่อให้ความสว่างเท่าเดิม และถ้าวงจรนี้ใช้กับแหล่งจ่ายไฟสลับที่มีค่าแรงดันสูง ๆ ตัวต้านทาน R ก็จะต้องมีอัตราทนกำลังสูง ๆ ตามไปด้วย เช่น ถ้าใช้กับแหล่งจ่ายไฟ 250 โวลต์ ตัวต้านทานควรอัตราทนกำลังอย่างน้อยที่สุด 2.5 โวลต์ เมื่อคิดที่กระแสที่ผ่าน LED เฉลี่ยประมาณ 10 มิลลิแอมป์หรือถ้าไม่ต้องการใช้ตัวต้านทานที่มีอัตราทนกำลังสูง ๆ ก็อาจใช้ตัวเก็บประจุจำกัดกระแสที่ผ่าน LED ตามต้องการได้เช่นเดียวกัน โดยตัวเก็บประจุ  $C_s$  จะมีอัตรากำลังสูญเสียเล็กน้อยมาก เนื่องจากกระแสและแรงดันที่  $C_s$  มีเฟสต่างกัน 90 องศา สำหรับค่าของ  $C_s$  ประมาณ 0.1 และ 0.22 ไมโครฟารัดสำหรับไฟสลับ 50-60 เฮิรตซ์ 250 โวลต์ และ 125 โวลต์ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 3.6 การใช้ LED เป็นตัวแสดงผลในวงจรไฟสลัที่มีแรงดันต่ำ



รูปที่ 3.7 การใช้ LED เป็นตัวแสดงผลในวงจรไฟสลัที่มีแรงดันสูง

### 3.1.1 การเลือกใช้ LED ในโครงการ

ซึ่งในส่วนของแหล่งกำเนิดแสงสำหรับโครงการนี้เราเลือกใช้ INFRARED EMITTING DIODE ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปแทนที่จะใช้ LED สีแดงเหมือนเครื่องมือวัดที่มีอยู่ตามท้องตลาดทั่วไปเนื่องจากพบว่าจะให้ผลการทดลองที่ชัดเจนกว่า โดย INFRARED ที่ใช้มีชนิดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร มี View Angle ประมาณ 25 องศา และความยาวคลื่นสูงสุด 940 nm โดยปัจจัยที่ใช้เลือก INFRARED ตัวนี้ เราต้องพิจารณาก่อนว่า INFRARED ตัวนี้มีความเข้มแสงออกมาเพียงพอที่จะส่งผ่านเนื้อเยื่อบริเวณปลายนิ้วมือที่มีความกว้างมากกว่า 1 ซม. ได้หรือไม่ นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงขนาด ต้องมีขนาดเล็กเพื่อที่จะสามารถนำไปติดตั้งในหัวตรวจได้

### 3.1.2 พื้นฐานการทำงานของ LED

ไดโอดเปล่งแสงมักเป็นตัวเลือกอันดับแรกๆ ในการใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงเพื่อตรวจจับสัญญาณหรือตัววัดค่าต่างๆ ในเครื่องมือที่ใช้วิธีการทางแสง แต่ไม่ต้องการพลังงานแสงมากนัก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการใช้งานที่ง่ายและไม่ยุ่งยาก ซึ่งปัจจุบันมีการใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจาก LED มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ราคาไม่แพง และความเข้มแสงที่เปล่งออกมาพอเพียงที่จะส่งผ่านปลายนิ้วมือได้ มีความยาวคลื่นแสงให้เลือกมากมายหลายความยาวคลื่นในช่วงตั้งแต่แสงสีน้ำเงินจนถึงแสงย่านอินฟราเรด นอกจากนี้ยังออกแบบวงจรขับ LED ให้ เปล่งแสงออกมายังสามารถทำได้โดยง่าย ใช้พลังงานไม่มาก เทคนิคไม่ซับซ้อนเกินไป

LED เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สารกึ่งตัวนำทางแสง (Optoelectronics) ที่กำเนิดแสงจากการปลดปล่อยพลังงานของอิเล็กตรอน แล้วให้ความยาวคลื่นแสง ( Photon ) ออกมาจากการรวมตัวกันของพาหะส่วนน้อยบริเวณรอยต่อ p-n ในขณะที่ได้รับไบอัสตรง LED ส่วนใหญ่จะทำจากสารกึ่งตัวนำธาตุหมู่ 3-5 , 2-6 และหมู่ 4 โดยส่วนมากมักจะทำมาจาก Gallium Arsenide Phosphide(GaAsP) Gallium Phosphide (GaP) และ Gallium Arsenide (GaAs) LED ที่ทำมาจาก GaAsP และ GaP จะทำให้แสงในย่านที่มองเห็นได้ (ประมาณ 380-780 นาโนเมตร) ในขณะที่ LED ที่ทำมาจาก GaAs จะให้แสงย่านอินฟราเรดแต่ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายคือ Gallium Aluminum Arsenide (GaAlAs) ซึ่งในโครงการนี้เราใช้ TSAL 7400 ซึ่งผลิตมาจาก GaAs และ GaAlAs

หลักการพื้นฐานในการกำเนิดแสงของ LED เมื่ออิเล็กตรอนมีพลังงานมากพอที่จะข้ามบริเวณต้องห้าม (Forbidden energy gap :  $E_g$ ) ขึ้นไปอยู่บริเวณแถบตัวนำ (conduction band) หลังจากนั้นเมื่ออิเล็กตรอนที่ขึ้นไปอยู่บริเวณแถบตัวนำมีพลังงานลดลงและตกกลับลงมาที่สถานะพลังงานที่ต่ำกว่า บริเวณแถบ valence band อิเล็กตรอนดังกล่าวจะปล่อยพลังงานออกมาในรูปของพลังงานโฟตอน โดยความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาจากการตกกลับลงมาของอิเล็กตรอนหรือเป็นความยาวคลื่นแสงที่ LED กำเนิดออกมานั้นเองจะสามารถหาได้จากสมการที่ 3.1

$$E_g = hc/\lambda \tag{3.1}$$

เมื่อ  $E_g$  เป็นความกว้างของบริเวณแถบพลังงานต้องห้ามในหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์ h เป็นค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's constant) มีค่าเท่ากับ  $6.626 \times 10^{-34}$  J S ในส่วน c เป็นความเร็วของแสงในสุญญากาศ ( $3 \times 10^8$  m/s) และ  $\lambda$  เป็นความยาวคลื่นแสงที่ได้จากการคายพลังงานโฟตอนของอิเล็กตรอนออกมา ค่าของ  $E_g$  เป็นคุณสมบัติเฉพาะของธาตุ หรือสารประกอบที่นำมาทำ LED ซึ่งเป็นค่าคงที่ โดยธาตุหรือสารประกอบแต่ละชนิดจะมีค่าไม่เท่ากันและเป็นตัวกำหนดความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาจาก LED เมื่อมีการป้อนไบอัสตรง

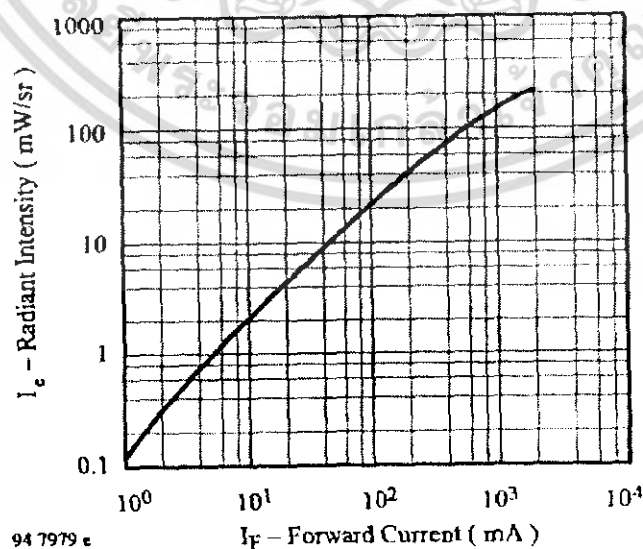
### 3.1.3 แรงดันไบอัสตรง (Forward Voltage)

แรงดันไบอัสตรงของไดโอดปกติจะกำหนดจากค่าแรงดันตกคร่อมรอยต่อ p-n ของไดโอดชนิดนั้นโดยวัดจากขั้วแอโนด (Anode) ไปยังขั้วคาโทด (Cathode) ค่าของแรงดันไบอัสตรงนี้จะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุหรือสารประกอบที่นำมาสร้าง ไดโอดสำหรับใช้งานทั่วไป ชนิดที่ทำมาจากซิลิกอน (Silicon) จะมีแรงดันไบอัสตรงประมาณ 0.7 โวลต์ และมีค่าประมาณ 0.3 โวลต์สำหรับชนิดที่ทำมาจากเจอร์มาเนียม (Germanium) แต่แรงดันไบอัสตรงของ LED จะมีช่วงกว้างมากกว่าคืออยู่ในช่วงประมาณ 0.9-2.5 โวลต์จากสมการที่ 3.1 แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของบริเวณแถบพลังงานต้องห้าม ( $E_g$ ) จะแปรผกผันกันกับความยาวคลื่นแสง ( $\lambda$ ) ของพลังงานโฟตอน ที่กำเนิดจาก LED โดยเมื่อความกว้างของ  $E_g$  มีค่ามาก ความยาวคลื่นแสงที่กำเนิดออกมาก็จะมีค่าน้อย และแรงดันไบอัสตรงของ LED ก็จะแปรผันตรงกับ ความกว้างของบริเวณแถบพลังงานต้องห้ามของธาตุหรือสารประกอบที่นำมาสร้าง LED ดังนั้นจึงทำให้ LED ที่มีแรงดันไบอัสตรงน้อย ก็มาจากการที่ธาตุหรือสารประกอบที่นำมาสร้าง LED นั้นมีค่าความกว้างของบริเวณแถบพลังงานต้องห้ามห้อยด้วย ทำให้ความยาวคลื่นแสงที่กำเนิดออกมาเมื่อได้รับไบอัสตรงมีค่ามาก (เช่น เปล่งแสงออกมาในย่านอินฟราเรด) ในทางกลับกัน LED ที่มีค่าแรงดันไบอัสตรงมากก็就会有ความกว้างของบริเวณแถบพลังงานต้องห้ามมากด้วย ทำให้ได้ค่าความยาวคลื่นแสงที่กำเนิดออกมาจาก LED มีค่าน้อย หรือมีความถี่สูงนั่นเอง (เช่น กำเนิดออกมาในช่วงแสงสีน้ำเงินหรือว่าสีเขียว)

### 3.1.4 กระแสไบอัสตรง (Forward Current)

กระแสไบอัสตรงกำหนดจากค่ากระแสที่ไหลผ่าน LED จากขั้วแอโนด ไปยังขั้วแคโทดของ LED เมื่อ LED มีค่ากระแสไบอัสตรงไหลผ่านเพียงพอก็จะกำเนิดแสงออกมา โดยค่ากระแสไบอัสตรงนี้เป็นคุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของ LED เกี่ยวกับความเข้มของพลังงานแสงที่ LED สามารถกำเนิดออกมาได้โดย ค่าพลังงานแสงที่กำเนิดออกมาในช่วงแรกโดยประมาณมีความเป็นเชิงเส้นกับกระแสไบอัสตรงที่ไหลผ่าน LED ซึ่งจะเป็นช่วงที่มีการใช้งาน



รูปที่ 3.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไบอัสตรงและกำลังงานที่กำเนิดจาก LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.5 แรงดันไบอัสกลับ (Reverse Breakdown Voltage)

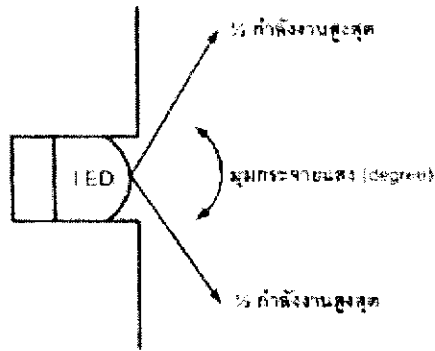
โดยทั่วไปเมื่อไดโอดได้รับการไบอัสกลับจะไม่มีกระแสไหลผ่านข้ามรอยต่อ p-n จนกว่าแรงดันไบอัสกลับนั้นจะมีค่ามากถึงระดับแรงดันพังทลาย (Breakdown Voltage) ของไดโอดตัวนั้นที่ระดับแรงดันพังทลายนี้จะมีกระแสจำนวนมากไหลผ่านรอยต่อ p-n อันจะทำให้ไดโอดได้รับความเสียหาย นอกเสียจากว่าจะมีค่าความต้านทาน (Resistor) เป็นตัวจำกัดกระแสต่ออนุกรมอยู่ด้วย โดย LED ส่วนมากจะมีคุณสมบัติด้านแรงดันไบอัสกลับนี้ค่อนข้างต่ำกว่าไดโอดสำหรับใช้งานทั่วไปมากมักจะอยู่ในช่วงประมาณ 3-5 โวลต์ คุณสมบัติข้อนี้มีความสำคัญในการเลือกและออกแบบวงจรขับ LED ให้สามารถทำงานได้ดีโดยไม่เกิดความเสียหายขึ้น

### 3.1.6 กระแสไบอัสกลับ (Reverse Current)

ในทางอุดมคติจะไม่มีกระแสไหลผ่านในขณะที่รอยต่อ p-n อยู่ในสภาวะได้รับแรงดันไบอัสกลับ แต่ในความเป็นจริงจะมีกระแสรั่วค่าน้อยๆ ไหลผ่าน LED โดยมีค่าประมาณอยู่ในช่วง 0.01-10  $\mu\text{A}$  แต่กระแสที่ไหลผ่านค่านี้นี้เมื่อเปรียบเทียบกับกระแสไบอัสตรงที่มีค่าน้อยมาก ทำให้สามารถตัดผลของค่ากระแสที่ไหลในช่วงไบอัสกลับนี้ทิ้งไปได้

### 3.1.7 มุมของแสงที่กำเนิดออกมาจาก LED (Beam Angle)

รูปที่ แสดงมุมของแสงที่กำเนิดออกมาจาก LED กำหนดจากมุมที่การเปล่งแสงของ LED และมีพลังงานลดลงเหลือครึ่งหนึ่งจากค่าพลังงานสูงสุดจากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่ง (Beam Angle) หรือเรียกอีกอย่างว่ามุมกระจายแสง (View Angle) ในการวัดหาจุดโฟกัสเพื่อหาจุดที่ LED กำเนิดแสงพลังงานสูงสุดปัจจุบันนี้ทำได้ง่ายไม่ยุ่งยาก และ LED ที่มีขายในท้องตลาดในปัจจุบันจะมีค่ามุมของแสงที่เปล่งออกมานี้ได้ตั้งแต่ไม่กี่องศาจนถึง 180 องศา ในการเลือก LED ที่ใช้นั้นเป็นแหล่งกำเนิดแสงผ่านปลายนิ้วมือนั้นจะเลือกใช้ที่มีค่ามุมไม่มากนัก เพื่อให้ได้พลังงานแสงที่มีค่าสูงสุดส่งผ่านออกไปอีกด้านหนึ่งของปลายนิ้วมือ โดยแสงจะมีการกระจายเมื่อเดินทางผ่านเนื้อเนื้อและเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้พลังงานแสงที่กำเนิดออกมาจาก LED ที่มีค่าลดลงก่อนเดินทางไปถึงตัวรับอีกด้านหนึ่งของปลายนิ้วมือ



รูปที่ 3.9 มุมของแสงที่กำเนิดออกมาจาก LED

### 3.2 โฟโตทรานซิสเตอร์

โฟโตทรานซิสเตอร์ (phototransistor) คือ สิ่งประดิษฐ์ที่รวมตัวกันของโฟโตไดโอด (photodiode) และทรานซิสเตอร์ (transistor) ในตัวเดียวกัน โดยทั่วไปมีโครงสร้างคล้ายทรานซิสเตอร์ คือ มีรอยต่อของสารกึ่งตัวนำแบบรอยต่อ p-n-p หรือ n-p-n หรืออาจออกแบบให้มีโครงสร้างแบบทรานซิสเตอร์มากกว่า 20 ปีแล้วมักใช้สำหรับการตรวจวัดแสงว่ามีหรือไม่มี เนื่องจากขนาดสัญญาณเอาต์พุตของโฟโตทรานซิสเตอร์ แปรเปลี่ยนกับความเข้มของแสงในลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่ตื้นๆ จึงไม่นิยมใช้เป็นตัววัดความเข้มของแสง แต่นิยมใช้วัดว่ามีแสงอินพุตเข้ามาหรือไม่ เช่น ใช้เป็นอุปกรณ์รับสัญญาณจาก LED ใช้เป็นอุปกรณ์รับแสงในโฟโตคัปเลอร์ (Photocoupler) ใช้ตรวจเช็คการวิ่งคัตแสงของวัสดุ เป็นต้น

การประยุกต์ใช้งาน โฟโตทรานซิสเตอร์

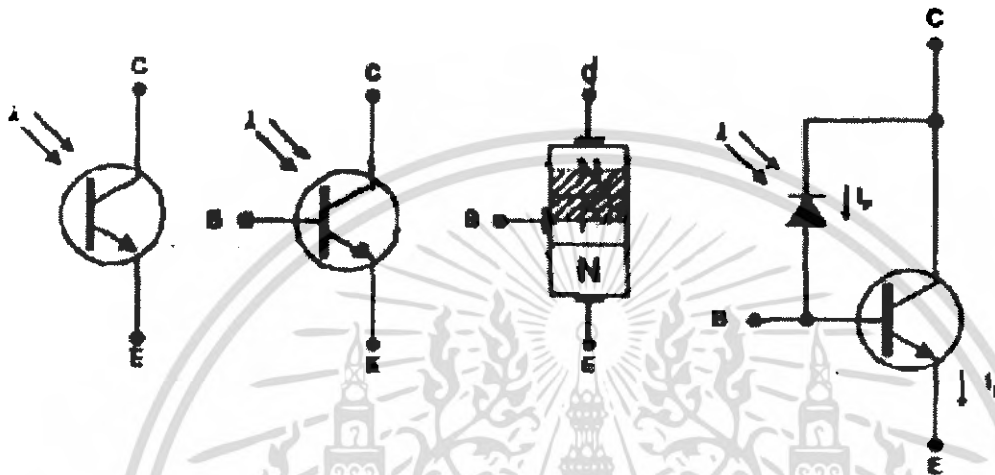
- วงจรสำหรับการใช้งานที่ความถี่สูง
- การใช้โฟโตทรานซิสเตอร์เป็นตัวอ่านเทป (Tape Reader)
- การใช้โฟโตทรานซิสเตอร์วัดแสงจากแฟลชในกล้องถ่ายรูป
- การต่อโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์กับวงจรเพื่อให้การทำงานมีคุณภาพมากขึ้น

#### 3.2.1 ลักษณะสมบัติของโฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor)

โฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) เป็นอุปกรณ์ไวแสงชนิดหนึ่ง ที่อาศัยหลักการเดียวกับโฟโตไดโอด (โฟโตไดโอดถูกสร้างจากรอยต่อพี-เอ็น อิมพีแดนซ์ของรอยต่อพี-เอ็นนี้มีความไวแสง คือจะมีอิมพีแดนซ์สูงเมื่ออยู่ในที่มืดและอิมพีแดนซ์ต่ำเมื่ออยู่ที่สว่าง) การทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของโฟโตไดโอดชนิดนี้ เมื่อแสงตกกระทบบริเวณรอยต่อทำให้เกิดกระแสโดยปกติค่ากระแสนี้มี  
 ก่อนข้างต่ำมากอยู่ในช่วง 1-10  $\mu\text{A}$  เนื่องจากไดโอดให้ค่าเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อแสงต่ำการใช้  
 งานต้องมีตัวขยายกระแสเพิ่มผู้ผลิตจึงหันมาผลิตโฟโตทรานซิสเตอร์แทน สัญลักษณ์ และ  
 โครงสร้างของโฟโตทรานซิสเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.

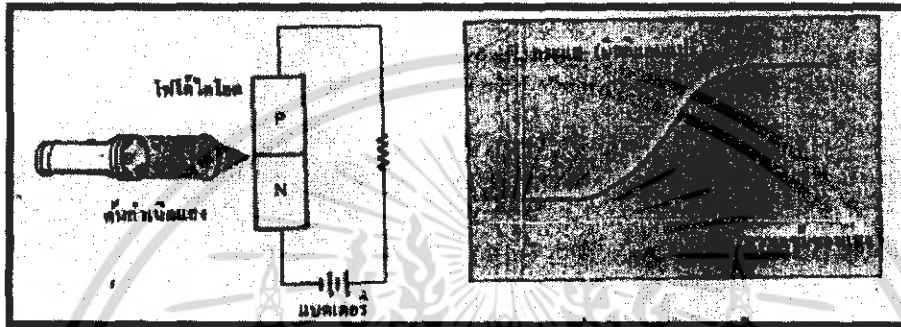


รูปที่ 3.10 แสดงสัญลักษณ์และโครงสร้างของโฟโตทรานซิสเตอร์

รอยต่อระหว่างเบสกับอิมิตเตอร์ของโฟโตทรานซิสเตอร์จะต่อไบอัสตรงส่วนรอยต่อ  
 ระหว่างเบสกับคอลเลกเตอร์จะต่อไบอัสกลับ ที่รอยต่อนี้เป็นส่วนทำให้เกิดค่ากระแสขึ้นเนื่องจาก  
 แสง ( $I_P$ ) กับกระแสเบสที่มาจากภายนอก ( $I_B$ ) กระแสทั้งสองนี้จะถูกขยายด้วยอัตราขยายของ  
 ทรานซิสเตอร์เป็นกระแสอิมิตเตอร์จากสมการเราจะได้  $I_E = (I_P \pm I_B) (h_{FE} + 1)$   
 เมื่อเปรียบเทียบกับโฟโตไดโอดโฟโตทรานซิสเตอร์ จะมีความไวต่อแสงมากกว่า  
 ประมาณ 100 เท่า ในด้านความถี่ใช้งานได้สูงสุดประมาณ 200 – 300 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งต่ำกว่า โฟ  
 โโตไดโอดหลายสิบบางเฮิรตซ์ ในการใช้งานอาจจะต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ระหว่างขาเบสและ  
 อิมิตเตอร์ของโฟโตทรานซิสเตอร์ด้วยก็ได้ เพื่อใช้งานที่มีความไวต่อแสงมากๆ หรือต้องการใช้งาน  
 ที่มีความถี่สูงๆ

### 3.3 โฟโตไดโอด (Photo diode)

โฟโตไดโอด (Photo diode) อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำกระแสได้ก็เนื่องจากการให้พลังงานเพื่อดึงอิเล็กตรอนให้หลุดจากบอนด์ เป็นผลทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮล และเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าจะเกิดสนามไฟฟ้าในแท่งสารนั้นเป็นผลทำให้ประจุอิเล็กตรอนและโฮล เคลื่อนที่ โฟโตไดโอดจึงมีหลักการทำงาน โดยอาศัยแสงในการเพิ่มพลังงานให้กับอิเล็กตรอนในเนื้อสารกึ่งตัวนำ



รูปที่ 3.11 แสดงวงจรโฟโตไดโอดและกราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสกับความเข้มของแสง

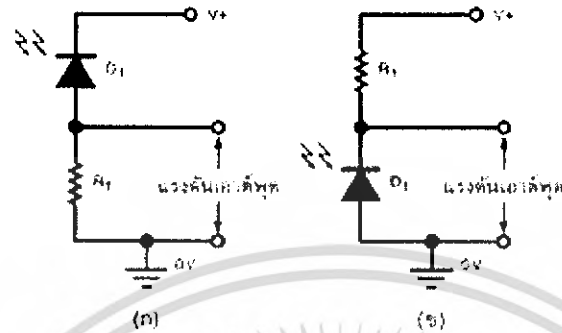
วงจร โฟโตไดโอดเบื้องต้นคือเป็นวงจรความต้านทานโหลดและแหล่งจ่ายไฟตรงรูป โดยปกติ ไดโอดจะถูกไบแอสตรงแต่ในขณะที่ไบแอสตรงนี้ จำนวนอิเล็กตรอนและโฮลที่ในเนื้อสารมีจำนวนไม่มากนัก ดังนั้นกระแสที่ไหลในวงจรจึงเป็นส่วนน้อย เมื่อส่วนของสารกึ่งตัวนำมีแสงส่องถูก จะทำให้เนื้อสารเกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก จำนวนอิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นจะแปรตรงกับความเข้มของแสงแต่เมื่อเพิ่มความเข้มของแสงจนถึงค่าหนึ่งจะ ไม่มีการเพิ่มของอิเล็กตรอนอิสระอีกแล้วในช่วงนี้เราจะเรียกว่า ช่วงอิ่มตัว (saturation region) ในขณะที่ไม่มีแสงตกกระทบจำนวนกระแสที่ไหลผ่านตัวไดโอดนี้เรียกว่า กระแสมืด (dark current)

เมื่อใดที่รอยต่อพี-เอ็น ได้รับการไบแอสกลับ จะเกิดกระแสรั่วไหลย้อนกลับผ่านไดโอด ซึ่งกระแสรั่วไหลย้อนกลับและอิมพีแดนซ์ของรอยต่อพี-เอ็นนี้ มีความไวต่อแสงมาก ก็จะมีอิมพีแดนซ์สูงเมื่ออยู่ในที่มืด และมีอิมพีแดนซ์ต่ำเมื่ออยู่ในที่สว่าง

ไดโอดโดยทั่วไปนั้น จะมีถูกหุ้มรอยต่อนี้ไว้ด้วยวัสดุทึบแสง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปรากฏการณ์นี้ขึ้น แต่สำหรับโฟโตไดโอดเป็นไดโอด ซึ่งถูกผลิตขึ้นมาเพื่อให้เกิดปรากฏการณ์นี้ โดยเฉพาะ รอยต่อจึงถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุที่แสงสามารถผ่านได้ ไดโอดชนิดนี้มี 2 แบบ คือ ชนิดที่ตอบสนองต่อช่วงแสงที่สายตามองเห็น และชนิดที่ตอบสนองต่อแสงย่านอินฟราเรด (IR) ในการนำไปใช้งาน โฟโตไดโอดจะต้องถูกต่อในลักษณะได้รับการไบแอสกลับ สำหรับแรงดันเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

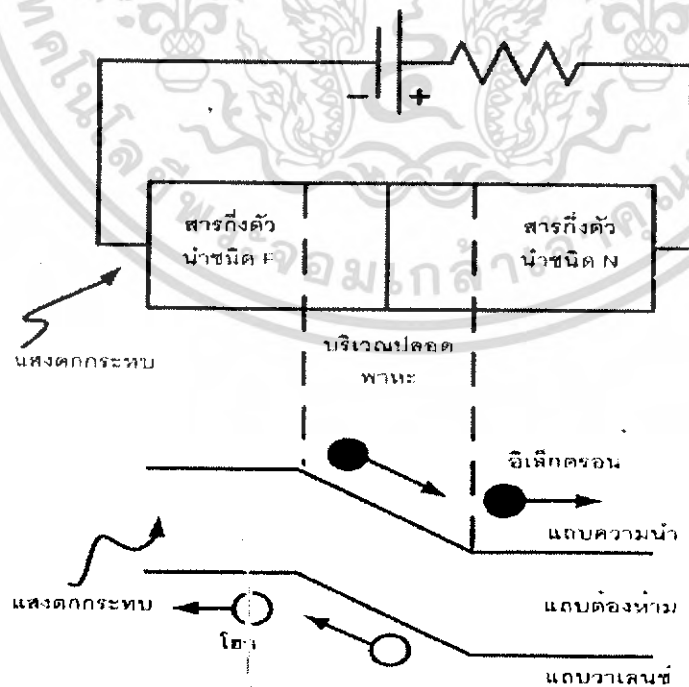
เป็นแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานโหลด ที่ต่ออนุกรมกับโฟโอดีโอด ระหว่างโฟโอดีโอดและกราวนด์ดังรูป 3.12 (ก) หรืออยู่ระหว่างโฟโอดีโอด และแหล่งจ่ายไฟบวก ดังรูป 3.12 (ข) ก็ได้



รูปที่ 3.12 ลักษณะการต่อใช้งานโฟโอดีโอด

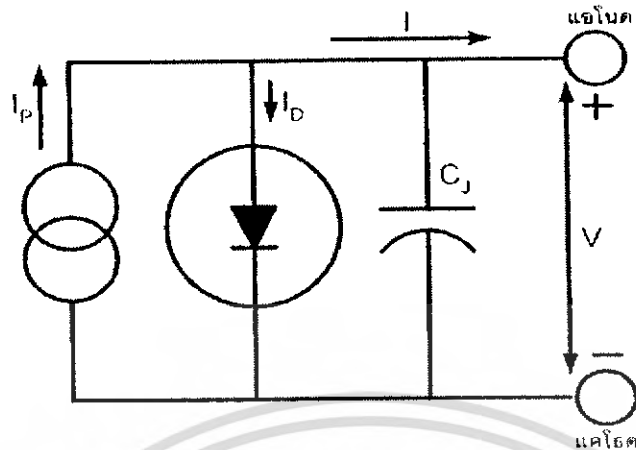
### 3.3.1 พื้นฐานการทำงานของโฟโอดีโอด

พื้นฐานการทำงานของโฟโอดีโอดแบบรอยต่อ p-n แสดงดังรูปที่ 3.13 เป็นรูปแบบจำลอง พื้นฐานของโฟโอดีโอดจะประกอบไปด้วยการชนกันของแหล่งจ่ายกระแส โอดีโอดในอุดมคติ (ideal diode) และค่าคาปาซิแตนซ์ของรอยต่อ (junction capacitance)



รูปที่ 3.13 โฟโอดีโอดแบบรอยต่อ P-N เมื่อได้รับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 พื้นฐานการทำงานของโฟโตไดโอด

จากรูปที่ 3.14 เมื่อทำการวิเคราะห์หาค่ากระแสสุทธิที่จ่ายออกมาจากโฟโตไดโอด (I) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I = I_p - I_D \quad (3.2)$$

โดยค่ากระแส photocurrent ( $I_p$ ) สามารถหาได้จาก

$$I_p = SE \quad (3.3)$$

เมื่อ S เป็นความไว (Sensitivity) หรือเรียกอีกอย่างว่าเป็นค่ากระแส photocurrent ที่กำเนิดออกมาต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่มีแสงตกกระทบ E เป็นความสว่างของแสงที่มาตกกระทบบริเวณรอยต่อ p-n ในส่วนของค่ากระแสที่ไหลผ่านไดโอด  $I_D$  สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$I_D = I_0 [e^{(qV/kT)} - 1] \quad (3.4)$$

เมื่อ  $I_0$  เป็นค่ากระแสอิ่มตัวเมื่อไดโอดได้รับไบอัสกลับ V เป็นแรงดันที่ตกคร่อมไดโอด K เป็นค่าคงที่ของโบลซ์แมน (Boltzmann constant) และ T เป็นอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน (Kelvin)

โฟโตไดโอดจะมีการทำงานอยู่สองรูปแบบด้วยกันคือ รูปแบบแรกเป็นการทำงานแบบ photovoltaic โดยทำงานเหมือนกับแหล่งจ่ายแรงดันเมื่อมีแสงมาตกกระทบ ค่าแรงดันในขณะเปิดวงจร (open circuit) ที่กำเนิดจากโฟโตไดโอดนี้จะไม่เป็นเชิงเส้นกับความเข้มของแสงที่มาตก

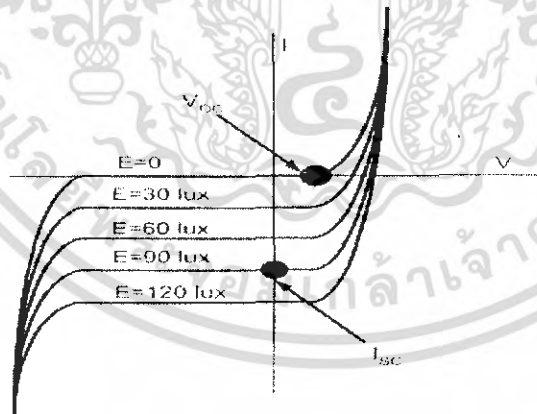
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทบ โดยคิดในขณะเปิดวงจรและไม่มีกระแสไหลออกจากตัวโฟโตไดโอด (I=0) ค่าแรงดันเอาต์พุตจะหาได้จากสมการ

$$V_{oc} = (kT/Q) \ln((I_p/I_D)+1) \quad (3.5)$$

อีกรูปแบบหนึ่งเป็นการทำงานแบบ photoconductive นั่นคือแสงที่มากกระทบทำให้เกิดกระแสขึ้นในตัวโฟโตไดโอดไหลออกมาจากภายนอกเมื่อต่อวงจร โดยลักษณะที่แรงดันตกคร่อมตัวโฟโตไดโอดมีค่าเป็นศูนย์ในขณะลัดวงจร (short circuit) ( $V = 0$ ) หรือมีค่าคงที่เป็นค่าๆ เปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสง การทำงานรูปแบบนี้ค่ากระแสที่เกิดขึ้นจากตัวโฟโตไดโอดจะเป็นสัดส่วนแบบเชิงเส้น โดยตรงกับแสงที่มากกระทบบริเวณรอยต่อ p-n รูปที่ 3.14 แสดงให้เห็นกราฟคุณสมบัติกระแสและแรงดันของโฟโตไดโอดที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ จะมีลักษณะเป็นเชิงเส้นต่อค่าความเข้มแสงที่เข้ามาตกกระทบ โดยค่ากระแสเอาต์พุตสามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

$$I_{sc} = SE \quad (3.6)$$



รูปที่ 3.15 กราฟกระแสเอาต์พุตที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ ของโฟโตไดโอด

จากรูปที่ 3.14 เมื่อโฟโตไดโอดแบบรอยต่อ p-n ใช้งานในรูปแบบ photoconductive จะเห็นว่ามีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับความเข้มของแสงที่ตกกระทบค่อนข้างมาก โดยดูได้ระหว่างแกนของความเข้มแสงและค่ากระแสเอาต์พุต จะให้ค่าความไวของโฟโตไดโอดโดยปกติจะมีค่าเปลี่ยนแปลงประมาณ 0.05% ตลอดช่วงแต่สามารถเพิ่มได้ประมาณ 2-3% ที่ค่าความเข้มแสงและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ากระแสสูงสุด นอกจากนี้ความไวของโฟโตนิกไดโอดยังขึ้นกับความยาวคลื่นแสงที่มากกระทบ ด้วยค่าการตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสง (spectral response) จะขึ้นกับชนิดของธาตุหรือสารประกอบที่ใช้สร้างรวมทั้งความลึกของรอยต่อ p-n โฟโตนิกไดโอดเมื่อใช้งานในรูปแบบ photoconductive จะมีความไวต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปค่อนข้างน้อย โดยทั่วไปจะมีค่าความไวต่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงโดยประมาณ +0.2% นอกจากนี้โฟโตนิกไดโอดมีการตอบสนอง (response time) ต่อแสงที่มากกระทบค่อนข้างเร็วเมื่อเทียบกับ photo cell โดยมีระยะเวลาประมาณ 20uS และโฟโตนิกไดโอดยังมีราคาไม่แพงและการออกแบบวงจรประกอบการใช้งานไม่ยุ่งยาก

โฟโตนิกไดโอดมีอยู่หลายแบบที่แตกต่างจากโฟโตนิกไดโอดพื้นฐานแบบรอยต่อ p-n เช่น โฟโตนิกไดโอดแบบ p-i-n ที่มีการนำเอาสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (intrinsic semiconductor) มาคั่นกลางระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิด p และชนิด n เพื่อลดค่าของตัวเก็บประจุบริเวณรอยต่อ (junction capacitance) ให้มีค่าน้อยลงและเพิ่มพื้นที่ที่รับแสง รวมทั้งการตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสงที่มีค่ามากได้ดีขึ้น โฟโตนิกไดโอดแบบ shottky ที่มี response time สูงทำให้สามารถทำงานที่ความยาวคลื่นแสงน้อยๆ ได้ดี หรือโฟโตนิกไดโอดแบบ metal-semiconductor-metal และโฟโตนิกไดโอดแบบ avalanche โดยโฟโตนิกไดโอดแบบ p-i-n ก็มีการใช้งานในเครื่องวัดความเข้มตัวของออกซิเจนภายในเลือดจกภายใต้เลือดจากภายนอกร่างกายและในการทดลองครั้งนี้ก็ได้ทดลองใช้โฟโตนิกไดโอดชนิด p-i-n เป็นตัวรับความเข้มแสงที่ส่งผ่านปลายนิ้วมือและแปลงเป็นกระแสไฟฟ้า รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะของ p-i-n ไดโอด

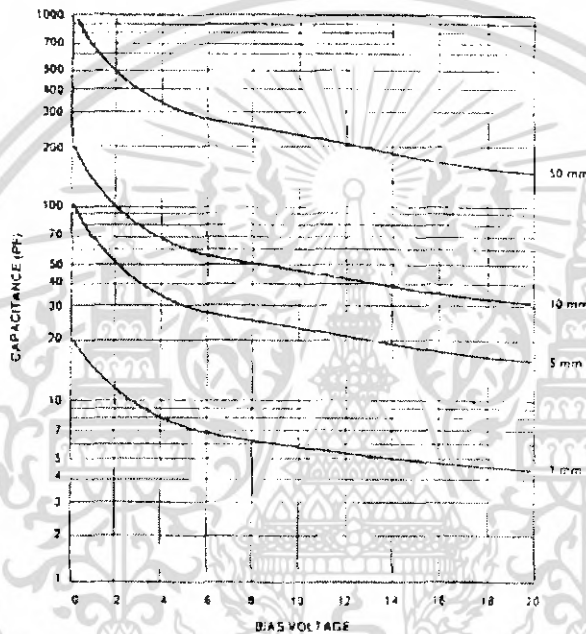
จากที่ได้กล่าวไว้แล้วว่าโฟโตนิกไดโอดแบบ p-i-n จะมีสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์คั่นอยู่ตรงกลางระหว่างชั้นของ สาร p และสาร n จากโครงสร้างที่ได้รับการปรับปรุงนี้ผลก็คือทำให้ค่าคาปาซิแตนซ์ของรอยต่อมีค่าต่ำกว่าไดโอดแบบรอยต่อ p-n ที่มีพื้นที่รับแสงเท่ากันทำให้โฟโตนิกไดโอดแบบ p-i-n มีการตอบสนองต่อแสงเร็วขึ้นนอกจากนี้ยังมี bandwidth ในการตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสงที่กว้างขึ้น ทำให้สามารถตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสงตลอดช่วงที่ทำการทดลองในครั้งนี้ได้ (426-950 นาโนเมตร) โดยใช้โฟโตนิกไดโอดเพียงตัวเดียวที่สำคัญเมื่อขนาดของตัวโฟโตนิกไดโอดแบบ p-i-n มีขนาดเท่ากับโฟโตนิกไดโอดแบบรอยต่อ p-n ราคาในท้องตลาดก็ไม่ต่างกัน



รูปที่ 3.16 ลักษณะของ P-I-N โฟโตนิกไดโอด

### 3.3.2 ค่าความจุไฟฟ้าบริเวณรอยต่อ (Junction Capacitance)

ค่าความจุไฟฟ้าบริเวณรอยต่อของโฟโต้ไดโอด เป็นค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งโดยจะมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่รอยต่อของโฟโต้ไดโอด แต่จะมีค่าลดลงได้เมื่อมีการเพิ่มแรงดันไบอัสย้อนกลับ แต่ก็มีข้อจำกัดเนื่องจากค่าแรงดันพังทลายของโฟโต้ไดโอดมีค่าจำกัด ความไวในการตอบสนองต่อแสงของโฟโต้ไดโอดจะขึ้นอยู่กับค่าคงที่ RC บริเวณรอยต่อ (RC time constant) และค่าความต้านทานที่นำมาต่อเป็นโหลดให้กับตัวโฟโต้ไดโอดอย่างไรก็ตามค่าความไวของโฟโต้ไดโอดก็สามารถเพิ่มได้ โดยการเพิ่มแรงดันไบอัสย้อนกลับให้สูงแต่วิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมใช้ในการนำโฟโต้ไดโอดมาใช้งาน



รูปที่ 3.17 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าและแรงดันไบอัสของโฟโต้ไดโอดเบอร์ OSD15-ST

### 3.3.3 Dark Current

Dark Current เป็นค่ากระแสรั่วย้อนกลับที่ไหลในตัวโฟโต้ไดโอดขณะที่ไม่มีแสงมาตกกระทบ กระแสที่ไหลในขณะที่ไม่มีแสงมาตกกระทบตัวโฟโต้ไดโอดนี้จะมีค่าเฉพาะและขึ้นกับแรงดันไบอัสย้อนกลับที่จ่ายให้กับตัวโฟโต้ไดโอด ในขณะที่แรงดันไบอัสโฟโต้ไดโอดมีค่าเป็นศูนย์จะมีแรงดันตกคร่อมตัวโฟโต้ไดโอดค่าน้อยๆเหมือนกับแรงดัน offset ในออปแอมป์โดยค่ากระแส dark current นี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามแรงดันไบอัสย้อนกลับหรืออุณหภูมิที่โฟโต้ไดโอดได้รับมีค่าเพิ่มขึ้น

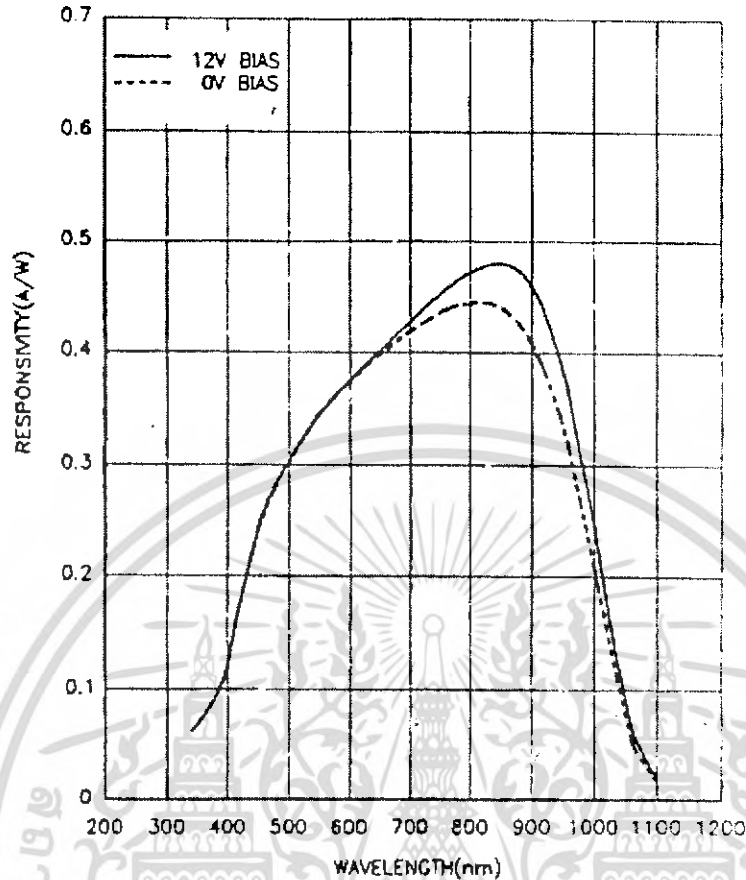
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.4 ความไว (sensitivity)

ดังที่กล่าวไว้แล้วว่าค่ากระแสเอาต์พุตของโฟโตไดโอดเมื่อใช้งานในรูปแบบ photoconductive จะมีความเป็นเชิงเส้นดังนั้นความไวก็คือค่ากระแส output กับความเข้มแสงที่มาตกกระทบในขณะที่มีอุณหภูมิคงที่อยู่ที่ค่าหนึ่งในการหาคุณสมบัติข้อนี้ของ photodiode มีการใช้แหล่งกำเนิดแสงหลายแบบด้วยกันแตกต่างกันในแต่ละโรงงานบางกรณีใช้ LED เป็นแหล่งกำเนิดแสงโดยดูความยาวคลื่นแสงค่ากลาง (center frequency) ที่กำเนิดออกมาใน specification ของ LED ในกรณีนี้ความเข้มของแสงจะมีหน่วยเป็น  $\text{mW}/\text{cm}^2$  แต่ถ้าเป็นการทดสอบมาตรฐานของ CIE จะมีหน่วยเป็น lux และแหล่งกำเนิดแสงมันใช้หลอดทั้งสแตน

### 3.3.5 การตอบสนองต่อความยาวคลื่น (spectral response)

ในรูปที่ 3.18 เป็นการตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสงของโฟโตไดโอด OSD15-ST การตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสงนี้มีความสำคัญในการเลือกโฟโตทรานซิสเตอร์ให้สามารถตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสงที่ต้องการได้ตลอดช่วงโดยปกติโรงงานผู้ผลิตจะบอกว่าการตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสงของโฟโตไดโอดมีความไวสูงสุดที่ความยาวคลื่นใด (peak sensitivity) ผู้ออกแบบต้องพิจารณาเลือกโฟโตไดโอดที่มีความเหมาะสมเองโดยพิจารณาจากกราฟการตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสงของโฟโตไดโอดจาก specification ได้จากผู้ผลิต นอกจากนี้การตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสงของโฟโตไดโอด ยังสามารถกำจัดความยาวคลื่นแสงในช่วงที่ไม่ต้องการได้โดยการใส่ฟิลเตอร์ (filter) ให้มีการตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสงในช่วงที่ต้องการได้ดีขึ้น



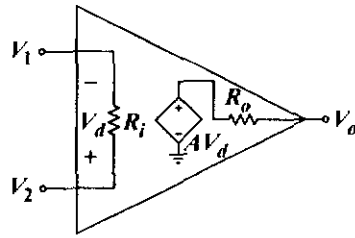
รูปที่ 3.18 การตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสงของโฟโตทรานซิสเตอร์เบอร์ (TOPS-050TB2)

### 3.4 ออปแอมป์ Operational Amplifiers

ออปแอมป์ เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่มีการทำงานเป็นแบบ Voltage-controlled voltage source ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับสัญญาณได้ดังนี้

- รวมสัญญาณ (sum signal)
- อนุพันธ์สัญญาณ (differentiate signal)
- อินทิเกรตสัญญาณ (Integrate signal)
- ขยายสัญญาณ (Amplify signal)

ภายในตัวออปแอมป์เมื่อพิจารณาถึงวงจรภายใน ในสถานะที่ไม่เป็นอุดมคติ(non-ideal) จะประกอบไปด้วยวงจรสมมูล ดังรูป



รูปที่ 3.19 วงจรสมมูลของ non-Ideal Op amp

เมื่อพิจารณาถึงวงจรสมมูล ดังรูปที่ 3.19 สามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุต และแรงดันเอาต์พุต ดังนี้

$$V_o = AV_d = A(V_2 - V_1) \quad (3.7)$$

ซึ่งแหล่งจ่ายแรงดัน จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อ มีแรงดันคคร่อมที่  $R_i$  ซึ่งจะเกิดขึ้นจากแรงดันอินพุต  $V_1$  และ  $V_2$  นั้นเอง

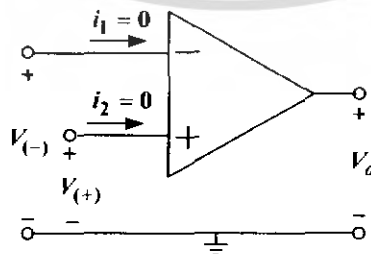
เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ห้วงจรออปแอมป์จะใช้คุณลักษณะทางอุดมคติในการวิเคราะห์ห้วงจร

### 3.4.1 นิยามของออปแอมป์ในอุดมคติ

การพิจารณาออปแอมป์ทางอุดมคติจะกำหนดให้อัตราขยายลูปเปิด  $A$  มีค่าอนันต์ ความต้านทานอินพุตมีค่าเป็นอนันต์ และความต้านทานเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์ คือ

$$\begin{matrix} A; \infty \\ R_i; \infty \\ R_o; 0 \end{matrix}$$

และสามารถสรุปความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.20 ออปแอมป์ทางอุดมคติ

ดังนั้นกระแสที่ไหลเข้าออปแอมป์ทางด้านอินพุตจะมีค่าเท่ากับศูนย์

$$i_1 = 0, i_2 = 0 \text{ หรือ } i_1 = i_2 \quad (3.8)$$

และแรงดันที่ขาบวกและขาลบจะมีค่าเท่ากัน

$$V_{(+)} = V_{(-)} \quad (3.9)$$

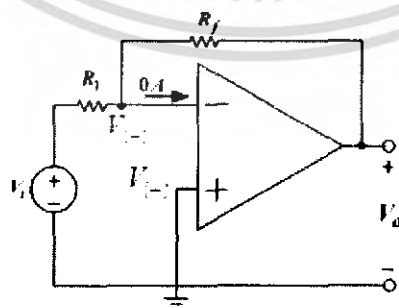
**Note:** เราสามารถหา  $V_{(+)}$ ,  $V_{(-)}$  ง่ายๆ ด้วยการสังเกตที่วงจรถ้าขั้วใดขั้วหนึ่งต่อลงกราวด์ค่าแรงดันตกคร่อมก็จะมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือถ้าเกิดต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันค่าแรงดันตกคร่อมที่ขั้วก็จะมีค่าเท่ากับค่าแรงดันที่แหล่งจ่ายนั้น

เราจะเห็นแล้วว่าสมการเริ่มคำนวณง่ายขึ้น แต่ก็คงสงสัยต่อไปว่าจะคำนวณหาค่าแรงดันเอาท์พุทได้อย่างไรในสภาวะอุดมคตินี้ เราสามารถหาสมการของแรงดันอินพุต และเอาท์พุทได้จากทฤษฎีของ Kirchhoff's Current Laws (KCL) มาช่วยในการคำนวณหาสมการความสัมพันธ์นั้น ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ดังนี้

### 3.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อกับโครงการ

#### 3.5.1 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส คือ วงจรออปแอมป์ที่กลับสัญญาณอินพุตให้มีเครื่องหมายตรงกันข้ามกับของเดิม



รูปที่ 3.21 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาจากรูปด้านบนเราจะ ได้ความสัมพันธ์ของแรงดันอินพุต คือ

$$V_{(-)} = 0 = V_{(+)}$$

(ขั้วบวกของออปแอมป์ต่อลงกราวด์ แรงดันที่ขั้วมันจึงมีค่าเท่ากับศูนย์)

พิจารณาที่ โหนด  $V_{(-)}$  จาก KCL:  $\frac{V_{(-)} - V_i}{R_1} + \frac{V_{(-)} - V_o}{R_f} = 0$

เมื่อแทนค่า  $V_{(-)} = 0$  ในสมการข้างต้น จะได้สมการความสัมพันธ์ คือ

$$\frac{-V_i}{R_1} - \frac{V_o}{R_f} = 0$$

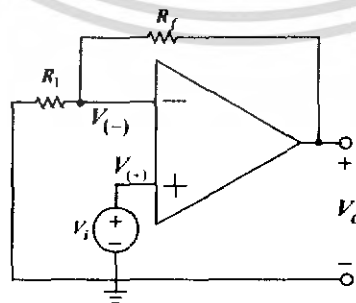
$$V_o = -\frac{R_f}{R_1} V_i \quad (3.10)$$

ซึ่ง  $\frac{R_f}{R_1}$  คือ ค่า voltage gain

จะเห็นได้ว่าค่า voltage gain มีค่าติดลบซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงวงจรดังกล่าวทำหน้าที่ที่กลับสัญญาณ

### 3.5.2 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส คือ วงจรออปแอมป์ที่ออกแบบมาเพื่อให้ voltage gain มีค่าเป็นบวก หรือให้ค่าเอาต์พุตคงค่าเครื่องหมายเหมือนเดิม



รูปที่ 3.22 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรรมนำไปใช้

พิจารณาจากรูปจะได้

$$V_{(c)} = V_i = V_{(c)}$$

(จั่วบวกของ Op amp ต่อกับแหล่งจ่ายแรงดัน แรงดันที่ขั้วอินจึงมีค่าเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่ายนั้น)

พิจารณาที่โหนด  $V_{(c)}$  จาก KCL; 
$$\frac{V_{(c)}}{R_1} + \frac{V_{(c)} - V_o}{R_f} = 0$$

เมื่อแทนค่า  $V_{(c)} = V_i$  ในสมการข้างต้น จะได้

$$\frac{V_i}{R_1} + \frac{V_i - V_o}{R_f} = 0$$

$$V_o = V_i + \left(\frac{R_f}{R_1}\right)V_i$$

(3.11)

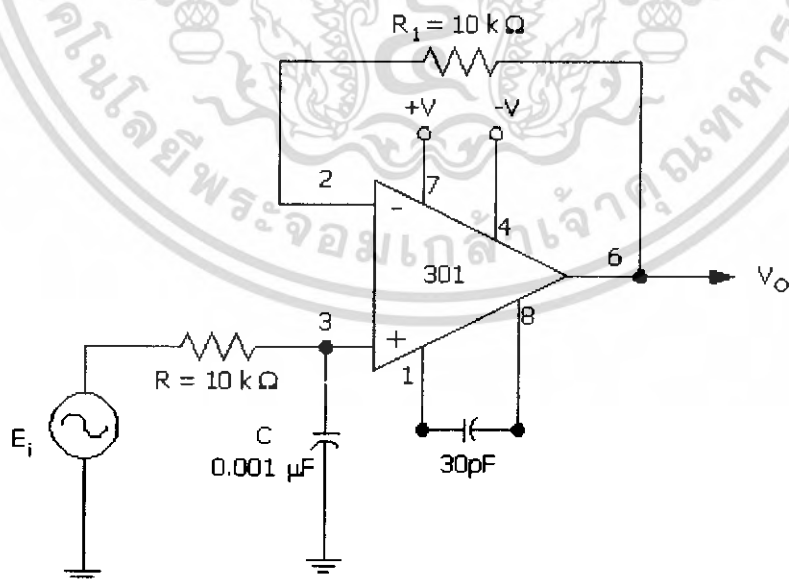
### 3.5.3 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบพื้นฐาน

พิจารณารูปที่ 3.23 เป็นวงจรแบบแอกทีฟฟิวเตอร์อันดับ 1 ซึ่งประกอบด้วย R.C และออฟแอมป์ซึ่งจากวงจรมีอัตราขยายเท่ากันหนึ่งเท่า โดยกำหนดให้  $R_f$  เท่ากับ  $R$  และ แรงดันออฟเซตมีค่าเป็น 0 V ดังนั้นแรงดันที่ขา 2 เท่ากับแรงดันที่ขา 3 สำหรับแรงดันที่ขา 2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $V_o$  นั้นจะทำให้แรงดันคร่อม C ที่ต่อกับ  $E_i$  จะ ได้สมการเป็น

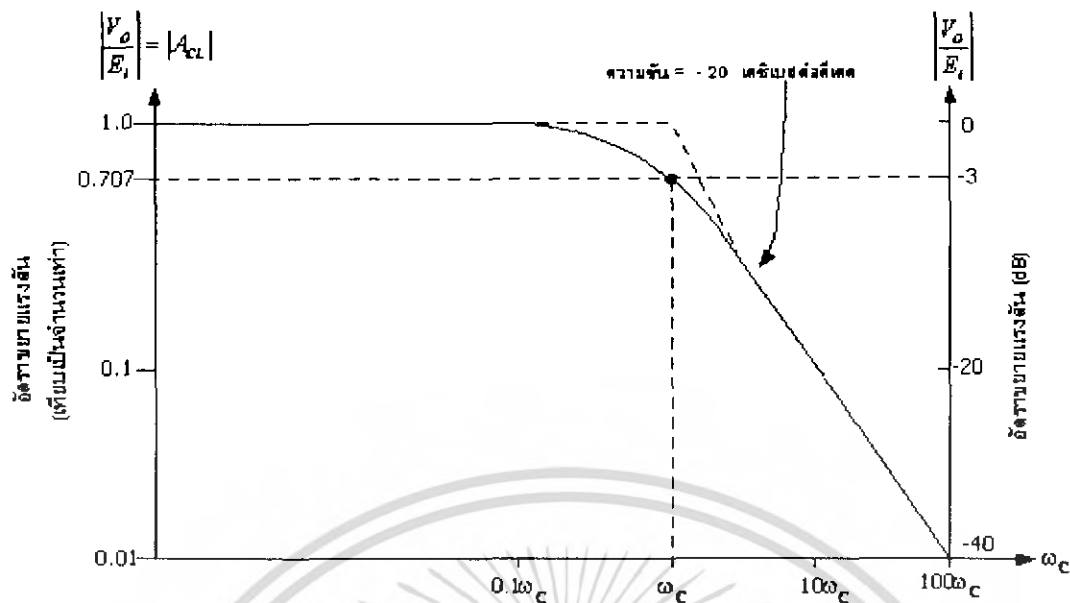
$$V_o = E_i(1/j\omega C)/(R+1/j\omega C) \quad (3.12)$$

นำสมการที่ 6 มาเขียนเป็นค่าอัตราขยายแบบขั้วดูก็ได้คือ

$$\text{Gain} = V_o/E_i = 1/(1+j\omega CR)$$



รูปที่ 3.23 ฟิลเตอร์ชนิดกรองความถี่ต่ำผ่าน -20 dB/decade

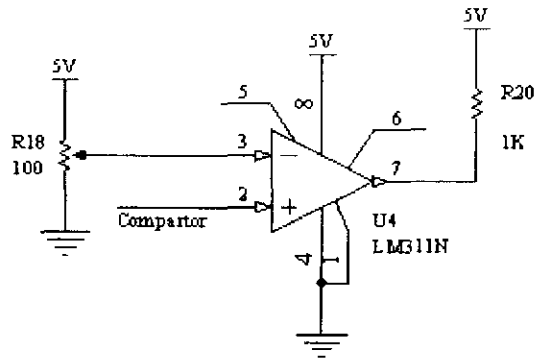


รูปที่ 3.24 กราฟตอบสนองความถี่ของวงจร

จะเห็นได้ว่าอัตราขยายเปลี่ยนแปลงตามความถี่ ถ้าพิจารณาที่ความถี่ต่ำ มีค่าเข้าใกล้ศูนย์นำไปแทนสมการ 3.12 จะทำให้ได้อัตราขยายเท่ากับ 1 เท่า และที่ความถี่สูงมีค่าเข้าใกล้อนันต์จะได้อัตราขยายเท่ากับ 0 เท่า พิจารณารูป 3.24 เป็นกราฟแสดงการตอบสนองความถี่ของวงจรที่ 3.23 ที่มีความชันเท่ากับ  $-20\text{dB/decade}$  ซึ่งจะเห็นว่าที่จุดคัทออฟนั้นอัตราขยายจะเท่ากับ  $-3\text{ dB}$  หรือ  $0.707$  เท่าเมื่อพิจารณาจากสมการที่ 7 ที่คัทออฟคือจุดที่มีค่าเท่ากับ  $1/RC$  นั่นเอง ดังนั้นในการออกแบบเมื่อกำหนด จุดคัทออฟว่ามี  $\omega$  เป็นเท่าไรแล้วก็สามารถเลือกค่า  $RC$  ที่เหมาะสมได้

### 3.5.4 วงจรคอมพาราเตอร์

วงจรคอมพาราเตอร์นั้นทำหน้าที่ในการตรวจจับระดับสัญญาณว่ามีค่าเกินกว่าระดับแรงดันที่ใช้ในการอ้างอิงหรือยัง โดยที่ถ้าหากว่าระดับสัญญาณที่เข้ามามีค่าสูงกว่าระดับแรงดันอ้างอิงที่เราได้ตั้งไว้วงจรก็จะปิดช่วงของสัญญาณที่มีค่าสูงกว่านั้นให้กลายเป็นแรงดันอีกค่าหนึ่งได้ เหตุผลที่เราต้องใช้วงจรคอมพาราเตอร์ก็เพราะว่าเราต้องทำให้สัญญาณที่ได้มาจากวงจรขยายนั่นมาแปลงให้เป็นสัญญาณพัลส์ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถอ่านได้



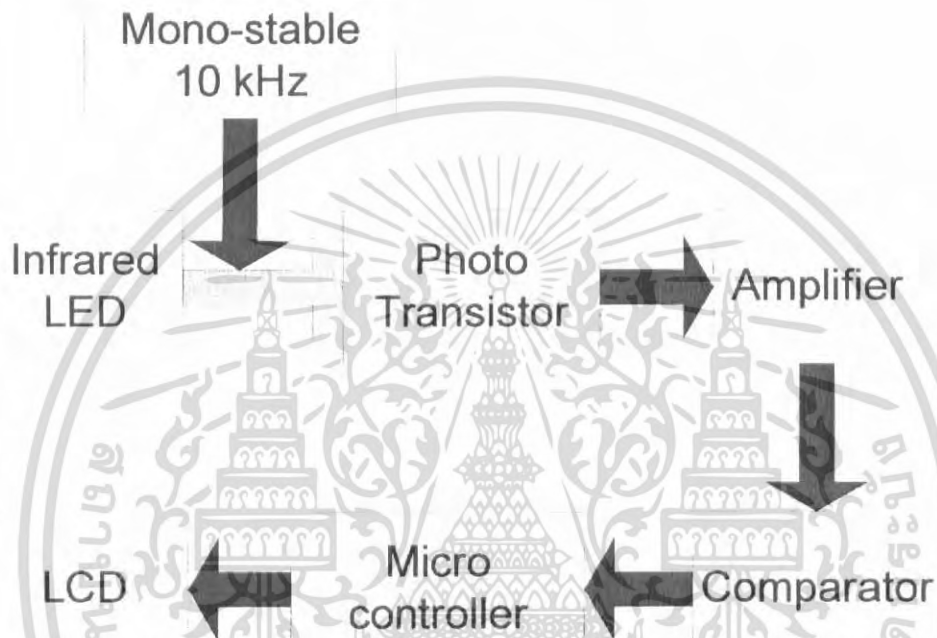
รูปที่ 3.25 วงจรคอมพาราเตอร์



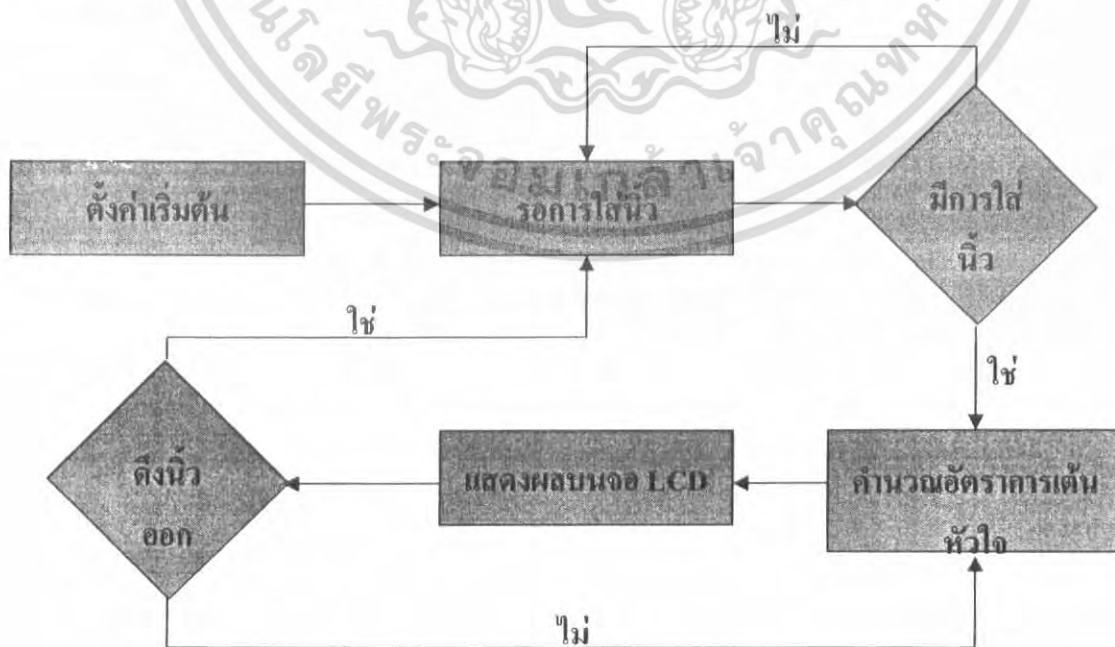
## บทที่ 4

### การออกแบบวงจร

#### 4.1 แผนผังการออกแบบวงจร



#### 4.2 Flow chart program



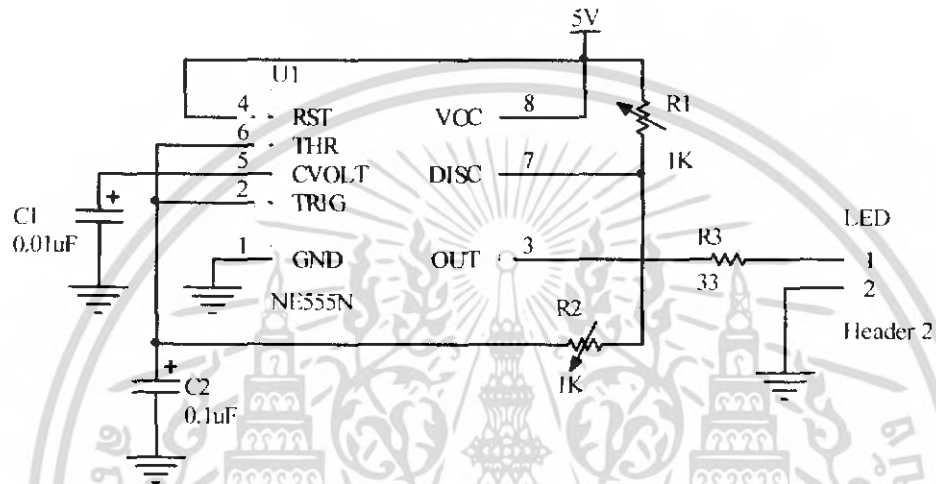
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่ 10 kHz

ในวงจรนี้ใช้ NE555 เป็นตัวสร้างสัญญาณพัลส์ ความถี่ 10 kHz Duty cycle 50% โดยสามารถคำนวณค่าความถี่และค่า Duty cycle ได้จากสมการ

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2) C_1}$$

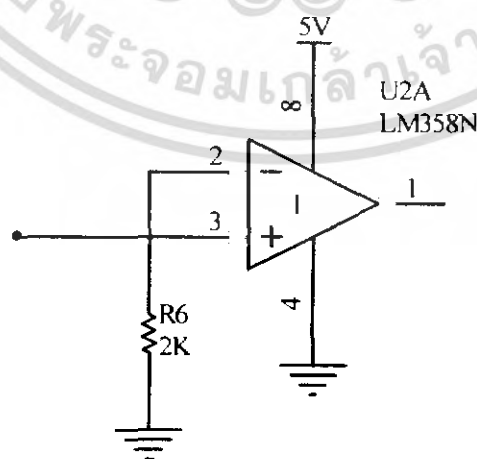
$$D = \frac{R_2}{R_1 + 2R_2}$$



รูปที่ 4.1 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่ 10 kHz โดยใช้ NE555N

### 4.4 การออกแบบส่วนขยายสัญญาณจากโฟโตรีสซิสเตอร์

การออกแบบส่วนนี้นำตัวต้านทาน ต่อที่ขา Emitter ของ โฟโตรีสซิสเตอร์ เพื่อแปลงจากกระแสของ โฟโตรีสซิสเตอร์ ออกเป็นศักดา จากนั้นนำศักดาที่ได้มาขยายด้วยวงจรขยายไม่กลับเฟสซึ่งมี อัตราขยาย 26 เท่า



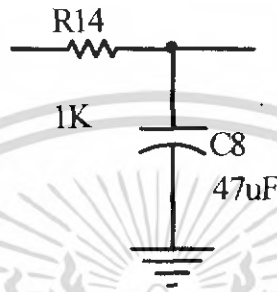
รูปที่ 4.2 วงจรขยายสัญญาณจากโฟโตรีสซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านใช้ในการตัดความถี่สูงที่ไม่ต้องการออกไปเพื่อให้ได้เฉพาะสัญญาณที่เราต้องการการคำนวณความถี่คutoffสามารถหาได้จากสมการ

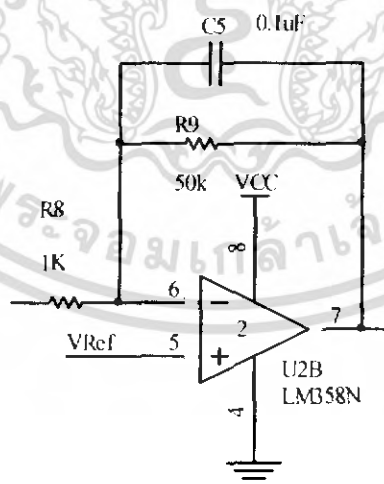
$$f_c = 1/(2\pi RC)$$



รูปที่ 4.3 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

#### 4.6 ส่วนวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส

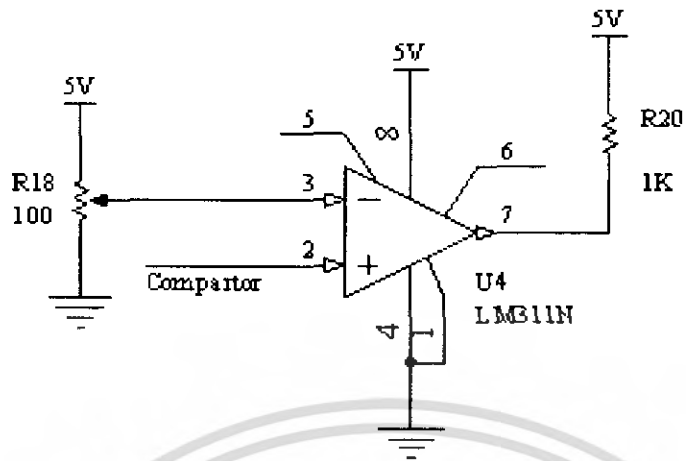
ในโครงการนี้เราใช้วงจรขยายแบบไม่กลับเฟสจำนวน 3 ชุด โดยชุดแรกมีการคัปปลิงเพื่อเอาเฉพาะสัญญาณ กระแสสลับ และมีอัตราขยาย 50 เท่า ส่วนชุดที่ 2 มี อัตราขยาย 50 เท่าและชุดที่ 3 มี อัตราขยาย 5 เท่าดังนั้นจึงทำให้ได้ อัตราขยาย รวมของวงจรขยายสัญญาณไม่กลับเฟสเท่ากับ 12500 เท่า



รูปที่ 4.4 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส

#### 4.7 ส่วนวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

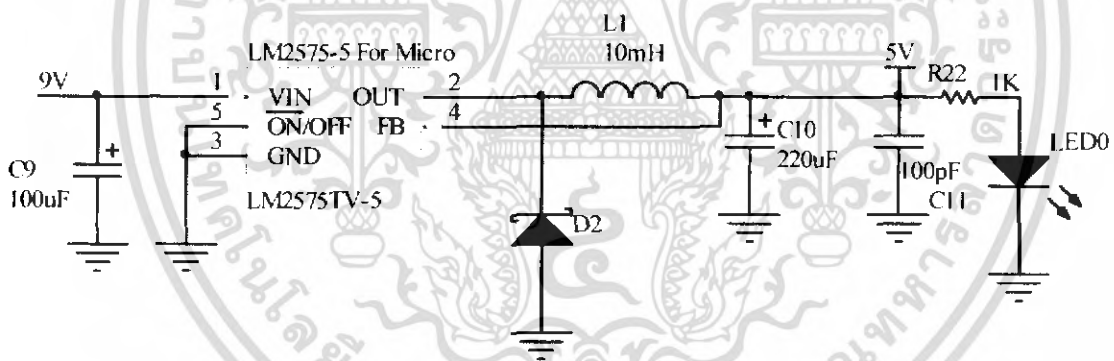
ส่วนของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน จะทำหน้าที่แปลงจากสัญญาณหัวใจซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อให้ ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำค่าไปประมวลผลได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

#### 4.8 วงจรไฟเลี้ยง

ในการออกแบบนี้เราเลือกใช้วงจรรักษาแรงดันเป็นแบบ สวิตซิ่ง เนื่องจากเมื่อแบตเตอรี่มีแรงดันที่ต่ำลงแรงดัน เอาท์พุท ของวงจรรักษาแรงดันแบบ สวิตซิ่ง ก็ยังคงให้แรงดันคงที่



รูปที่ 4.6 วงจรไฟเลี้ยง

## บทที่ 5

### ผลการทดลอง

สำหรับในโครงการนี้ ในขั้นตอนการออกแบบนั้นได้ทำการวางจุดทดสอบไว้ทั้งหมด 7 จุด เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสัญญาณเมื่อออกจากส่วนต่างๆของวงจร ซึ่งจากการทดลอง วัดโดยใช้ออสซิลโลสโคปแบบดิจิตอลนั้นได้ผลการทดลองของแต่ละจุดดังนี้

#### 5.1 สัญญาณ PPG ที่ออกจากโฟโตทรานซิสเตอร์

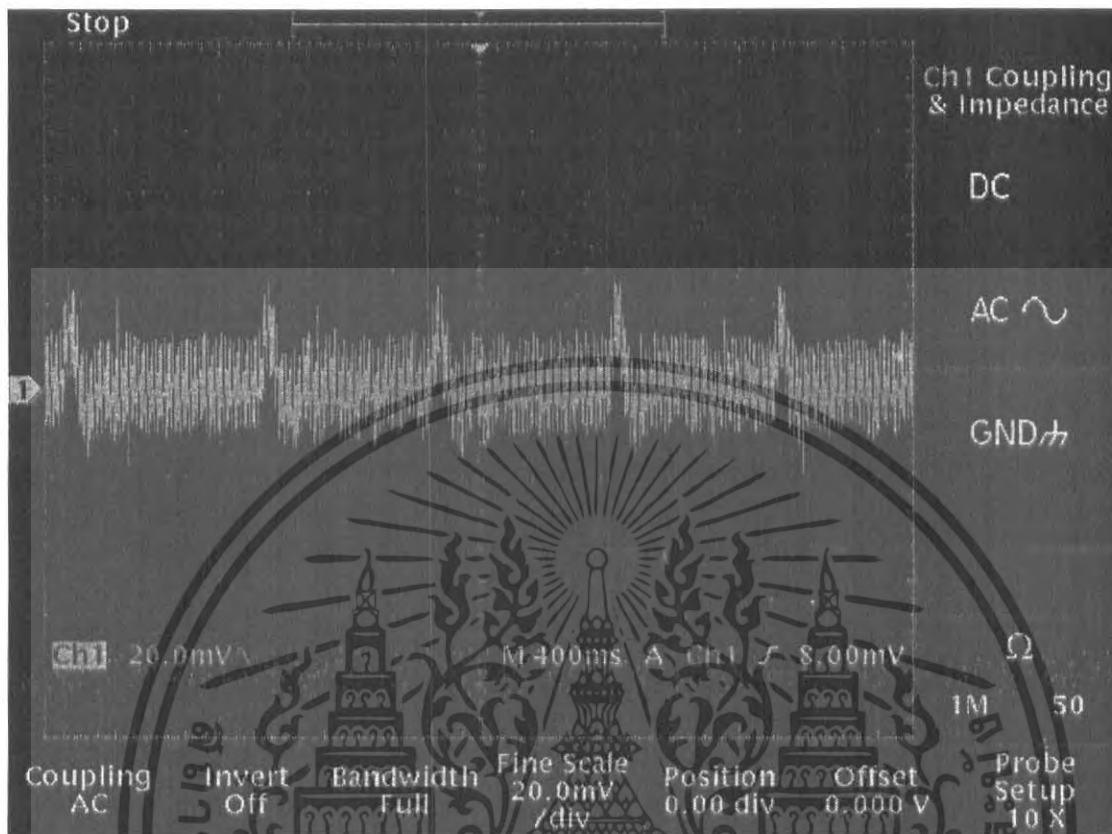


รูปที่ 5.1 สัญญาณ PPG ที่ออกจากโฟโตทรานซิสเตอร์

จากรูปจะเห็นว่าสัญญาณที่ออกมาจากโฟโตทรานซิสเตอร์นั้นมีสัญญาณรบกวนอยู่เป็นจำนวนมากและไม่สามารถมองเห็นสัญญาณ PPG ได้อย่างชัดเจน จึงต้องทำการคัดสัญญาณรบกวนต่างๆออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 สัญญาณ PPG หลังจากผ่านวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

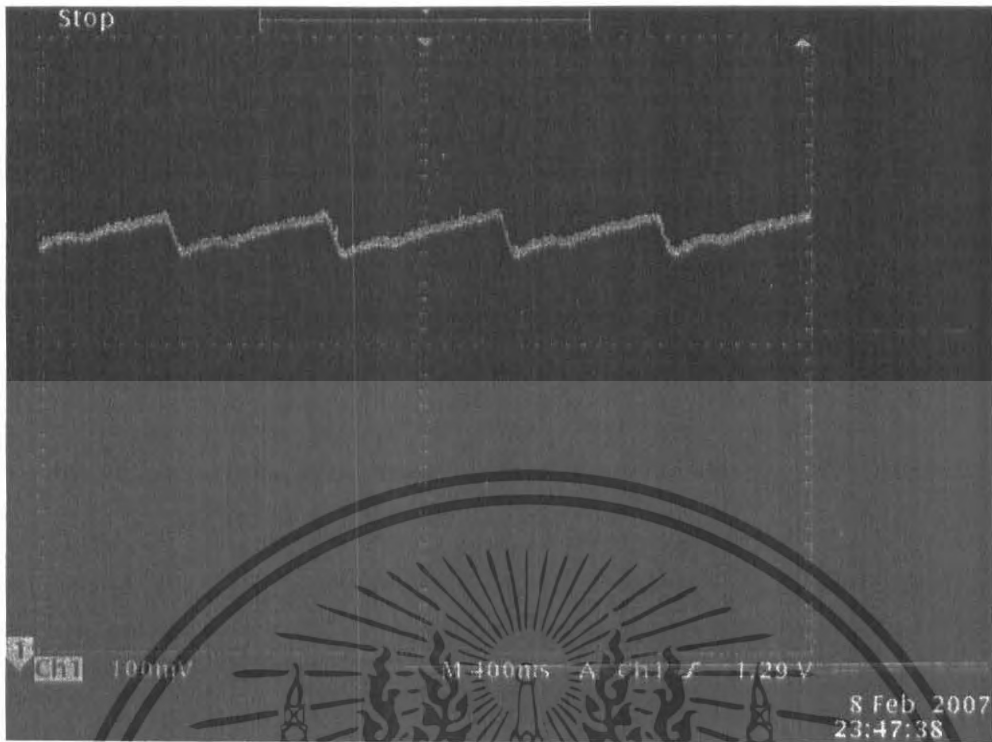


รูปที่ 5.2 สัญญาณ PPG หลังจากผ่านวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

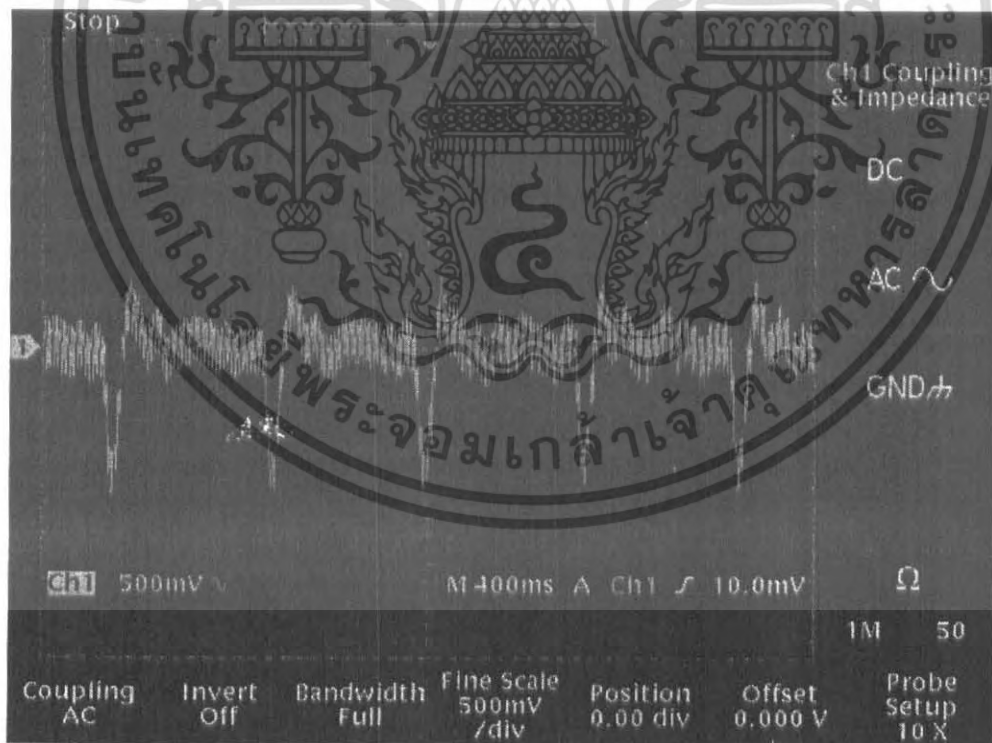
จากรูปจะเริ่มเห็นสัญญาณ PPG ชัดขึ้นในช่วงที่จังหวะหัวใจบีบตัว แต่สัญญาณดังกล่าวมีขนาดเล็กมากและยังมีสัญญาณรบกวนปะปนอยู่ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ จึงต้องทำการปรับแต่งสัญญาณเพื่อให้สามารถนำมาใช้งานได้

## 5.3 สัญญาณ PPG ที่ออกจากส่วนวงจรขยายกลับเฟส

ในจุดนี้ได้ทำการวางจุดทดสอบไว้ 3 ตำแหน่ง

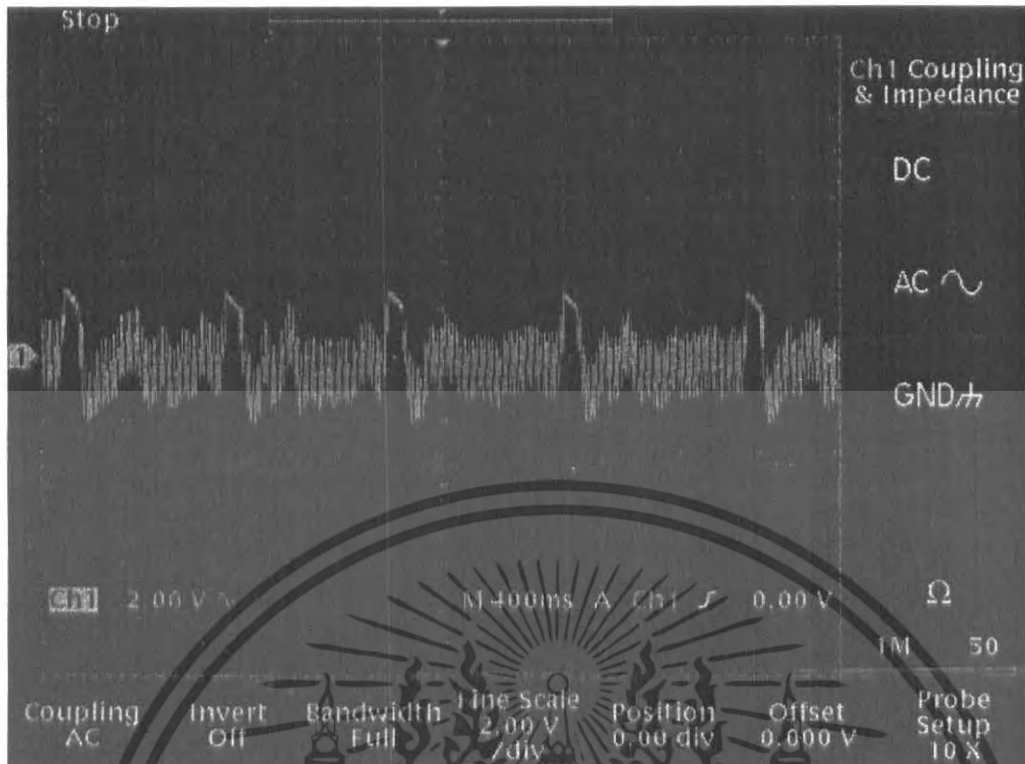


รูปที่ 5.3 สัญญาณ PPG หลังจากผ่านวงจรขยายกลับเฟสชุดแรก



รูปที่ 5.4 สัญญาณ PPG หลังจากผ่านวงจรขยายกลับเฟสชุดที่ 2

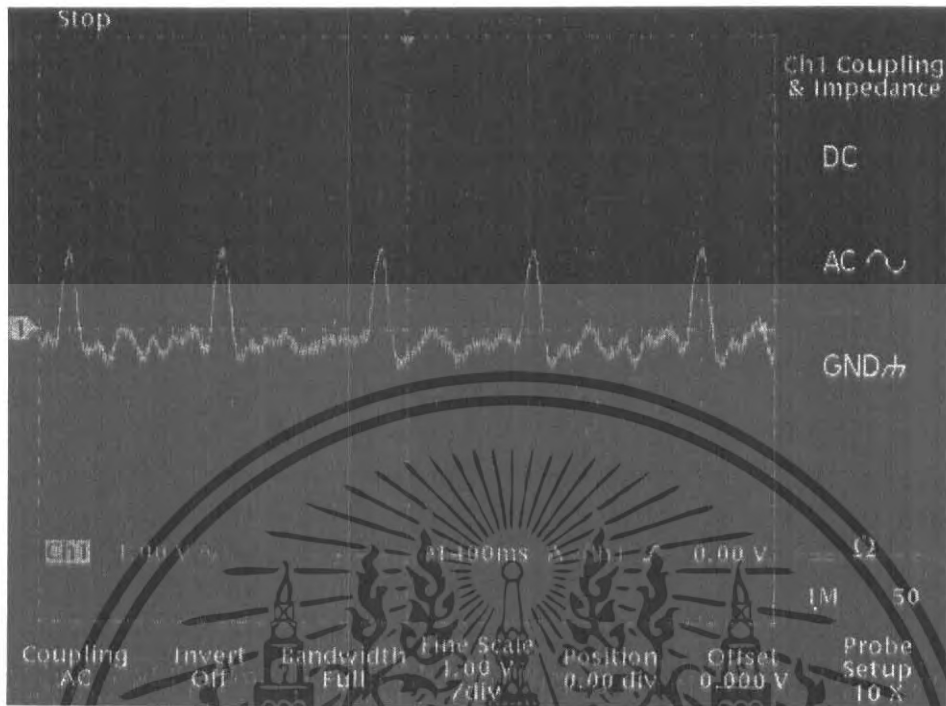
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 สัญญาณ PPG หลังจากผ่านวงจรขยายกลับเฟสชุดที่ 3

จากกราฟจะเห็นว่าสัญญาณ PPG หลังจากผ่านส่วนวงจรขยายสัญญาณกลับเฟสแต่ละชุด นั้นขนาดสัญญาณจะเพิ่มมากขึ้นแต่ปัญหาที่เกิดขึ้นตามมาคือสัญญาณรบกวนที่แทรกอยู่นั้น ได้ถูก ขยายขึ้นด้วย ซึ่งในการแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็น สัญญาณดิจิทัลนั้นอาจเกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงได้ทำการปรับแต่งสัญญาณเพิ่มเติมในขั้นต่อไป

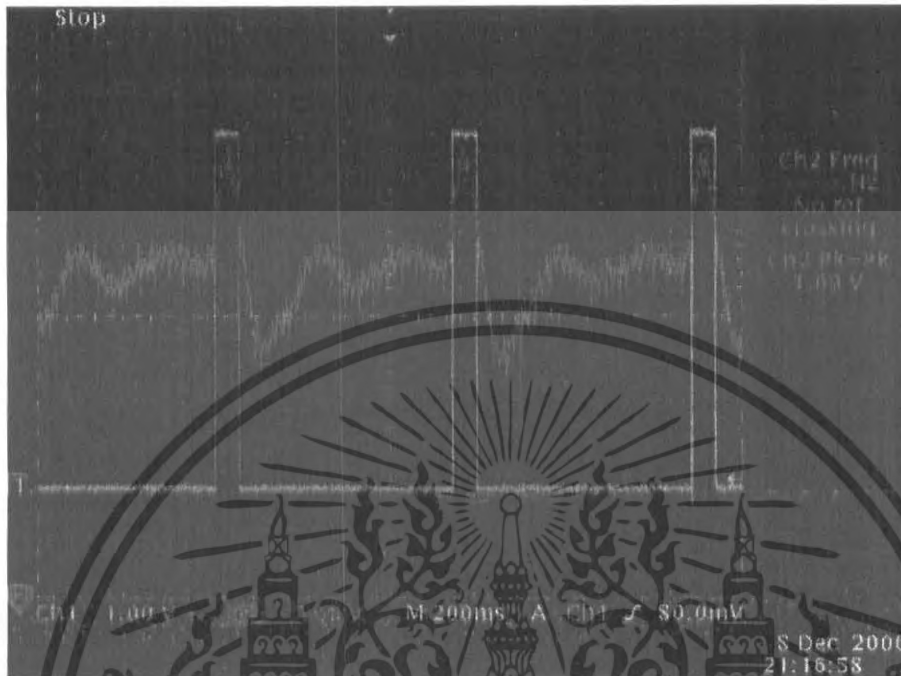
#### 5.4 สัญญาณ PPG หลังจากผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านรอบที่ 2



รูปที่ 5.6 สัญญาณ PPG หลังจากผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านรอบที่ 2

จะเห็นว่าหลังจากวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านรอบที่ 2 นั้น ความชัดเจนและขนาดของสัญญาณเป็นที่น่าพอใจ ซึ่งทำให้สามารถกำหนดจุดอ้างอิงในส่วนวงจรคอมพิวเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 5.5 สัญญาณ PPG หลังจากผ่านวงจรคอมพาราเตอร์



รูปที่ 5.7 สัญญาณ PPG หลังจากผ่านวงจรคอมพาราเตอร์

หลังจากผ่านวงจรคอมพาราเตอร์ จะเห็นว่ากราฟที่ได้นั้นถูกแปลงจากสัญญาณหัวใจซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อกเป็น สัญญาณดิจิทัลซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

## บทที่ 6

### สรุปผลการทดลอง

#### วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

สำหรับการพัฒนาโครงการชิ้นนี้ เป็น โครงการที่ผสมผสานระหว่างทฤษฎีทางไฟฟ้า และ ทฤษฎีเกี่ยวกับทางชีววิทยา ซึ่งปัญหาต่างๆ เกิดจากความไม่แน่นอนของสภาพร่างกายมนุษย์ซึ่งแต่ละคนนั้นจะมีลักษณะทางกายภาพไม่เหมือนกัน ซึ่งในการใช้แสงจากหลอดเปล่งแสง (LED) นั้น แสงจะทะลุผ่านนิ้วของแต่ละคนนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ขนาดของนิ้ว สีผิว และจุดที่แสงทะลุผ่านนิ้ว ซึ่งในขั้นตอนของการออกแบบนั้น อุปกรณ์ที่ได้ออกแบบมาไม่สามารถใช้ได้กับทุกคนเนื่องจากกระแสที่ออกจากโฟโตไดโอดนั้น มีระดับที่ต่ำมาก จึงไม่สามารถนำมาใช้ในการพัฒนาต่อไปได้ เราจึงได้ทำการขยายสัญญาณเพื่อที่จะนำสัญญาณมาใช้ในการทดลองต่อไปได้ และอีกปัญหาหนึ่งที่พบนั้นคือปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนซึ่งเกิดจากสัญญาณความถี่ไฟบ้าน 50 Hz ซึ่งการออกแบบวงจร และการแก้ไขปัญหานั้น โครงการนี้ได้ใช้ อุปกรณ์พื้นฐานทางด้าน อิเล็กทรอนิกส์และ วงจรพื้นฐาน ที่ไม่ยาก และสามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป แต่อาจจะไม่ได้มาตรฐานเพราะอุปกรณ์ที่ใช้จริงในการแพทย์นั้นต้องเป็นอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานและเป็นที่ยอมรับทั่วโลก

หลังจากได้นำอุปกรณ์ต่างๆ มาทดสอบและนำมาใช้งานจริง พบว่าค่าที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียง อาจผิดพลาดอยู่เล็กน้อยประมาณ 3-4 ครั้งต่อนาที กันซึ่งอาจคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากการนับหรือการหยุดนับในเวลาที่ไม่เท่ากัน หรืออาจเกิดจากกระที่จุดที่แสงผ่านนั้น ไม่สม่ำเสมอ แต่ผลที่ออกมาก็นับว่าใกล้เคียงกับความจริง

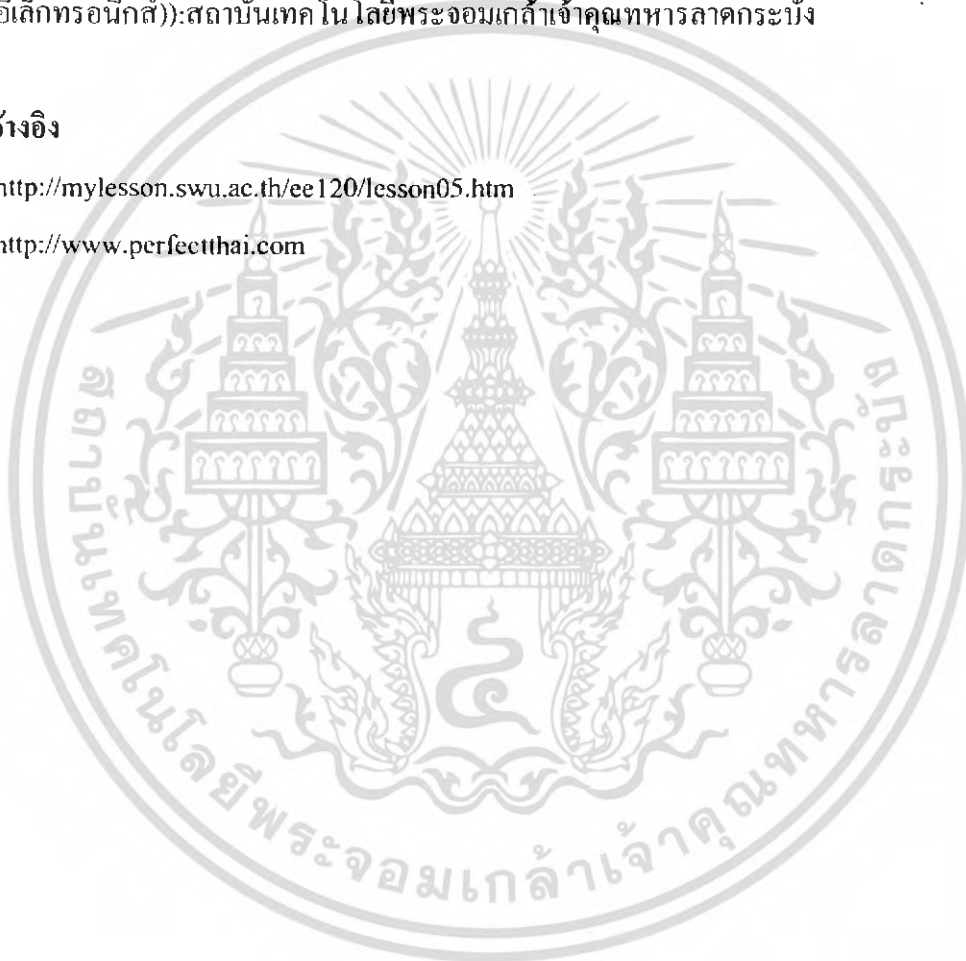
## บรรณานุกรม

### หนังสืออ้างอิง

- (1) Carr, Joseph J.: "Introduction to Biomedical Equipment Technology" Prentice Hall, 2001
- (2) Cromwell, Leslie: "Biomedical Instrument and Measurements" Prentice Hall, 1998
- (3) พรเทพ เทียนสีวาทกุล. 2544. "โสตทัศนวิทยาศูนย์." กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- (4) เกียรติศักดิ์ แสงสุวรรณ. 2548. "การวัดค่าสีมาโตคริต" ปรินซ์นิพนธ์ (วศ.บ.(วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์)): สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### โฮมเพจอ้างอิง

- (1) <http://mylesson.swu.ac.th/ee120/lesson05.htm>
- (2) <http://www.perfectthai.com>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ประจำปีการศึกษา 2549

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดจังหวะการเดินหัวใจโดยใช้แสง

ผู้จัดทำ

1. นายวรุฒม์ เอื้อสุ่เจริญ รหัส 46010673
2. นายสกานต์ บุญยาพิชฐาน รหัส 46010800

.....(อาจารย์ที่ปรึกษา)

(รศ.ดร. สุรภณ สมถาวรพาณิชย์ )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2549

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดจังหวะการเดินหัวใจโดยใช้แสง

ผู้จัดทำ

1. นายวรุตม์ เอื้อสุจริญ รหัส 46010673
2. นายสกันต์ บุญยาพิชฐาน รหัส 46010800

.....(อาจารย์ที่ปรึกษา)

(รศ.ดร. สุริภณ สมควรพาณิชย์ )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



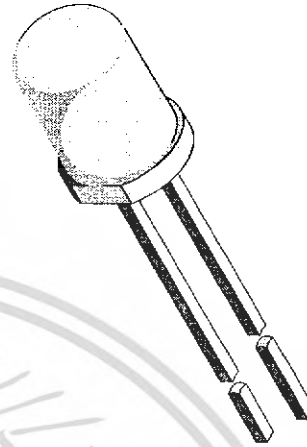
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## GaAs/GaAlAs IR Emitting Diode in $\varnothing$ 5 mm (T-1 $\frac{3}{4}$ ) Package

### Description

TSAL7400 is a high efficiency infrared emitting diode in GaAlAs on GaAs technology, molded in clear plastic packages.

In comparison with the standard GaAs on GaAs technology these emitters achieve more than 100 % radiant power improvement at a similar wavelength. The forward voltages at low current and at high pulse current roughly correspond to the low values of the standard technology. Therefore these emitters are ideally suitable as high performance replacements of standard emitters.



94 8389

### Features

- Extra high radiant power and radiant intensity
- High reliability
- Low forward voltage
- Suitable for high pulse current operation
- Standard T-1 $\frac{3}{4}$  ( $\varnothing$  5 mm) package
- Angle of half intensity  $\varphi = \pm 25^\circ$
- Peak wavelength  $\lambda_p = 940$  nm
- Good spectral matching to Si photodetectors

### Applications

Infrared remote control units with high power requirements  
Free air transmission systems  
Infrared source for optical counters and card readers  
IR source for smoke detectors

### Absolute Maximum Ratings

$T_{amb} = 25^\circ\text{C}$

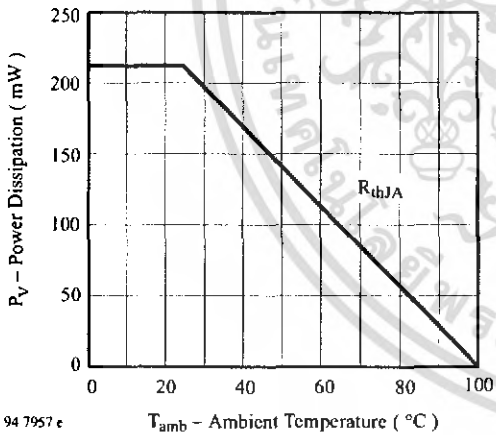
Parameter	Test Conditions	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage		$V_R$	5	V
Forward Current		$I_F$	100	mA
Peak Forward Current	$t_p/T = 0.5, t_p = 100 \mu\text{s}$	$I_{FM}$	200	mA
Surge Forward Current	$t_p = 100 \mu\text{s}$	$I_{FSM}$	1.5	A
Power Dissipation		$P_V$	210	mW
Junction Temperature		$T_j$	100	$^\circ\text{C}$
Operating Temperature Range		$T_{amb}$	-55...+100	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range		$T_{stg}$	-55...+100	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature	$t \leq 5\text{sec}, 2 \text{ mm from case}$	$T_{sd}$	260	$^\circ\text{C}$
Thermal Resistance Junction/Ambient		$R_{thJA}$	350	K/W

Basic Characteristics

T<sub>amb</sub> = 25°C

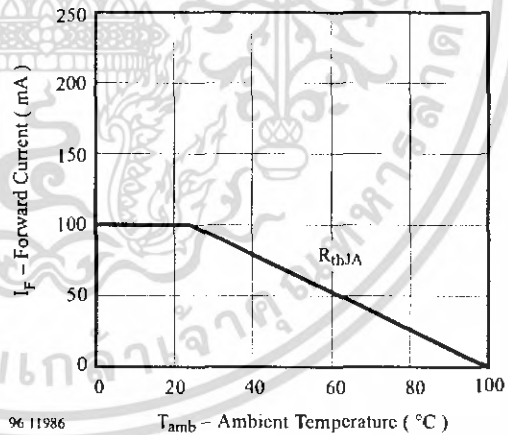
Parameter	Test Conditions	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Forward Voltage	I <sub>F</sub> = 100 mA, t <sub>p</sub> = 20 ms	V <sub>F</sub>		1.35	1.6	V
	I <sub>F</sub> = 1 A, t <sub>p</sub> = 100 μs	V <sub>F</sub>		2.6	3	V
Temp. Coefficient of V <sub>F</sub>	I <sub>F</sub> = 100mA	TK <sub>V<sub>F</sub></sub>		-1.3		mV/K
Reverse Current	V <sub>R</sub> = 5 V	I <sub>R</sub>			10	μA
Junction Capacitance	V <sub>R</sub> = 0 V, f = 1 MHz, E = 0	C <sub>j</sub>		25		pF
Radiant Intensity	I <sub>F</sub> = 100 mA, t <sub>p</sub> = 20 ms	I <sub>e</sub>	25	40		mW/sr
	I <sub>F</sub> = 1.0 A, t <sub>p</sub> = 100 μs	I <sub>e</sub>	220	310		mW/sr
Radiant Power	I <sub>F</sub> = 100 mA, t <sub>p</sub> = 20 ms	Φ <sub>e</sub>		35		mW
Temp. Coefficient of Φ <sub>e</sub>	I <sub>F</sub> = 20 mA	TK <sub>Φ<sub>e</sub></sub>		-0.6		%/K
Angle of Half Intensity		φ		±25		deg
Peak Wavelength	I <sub>F</sub> = 100 mA	λ <sub>p</sub>		940		nm
Spectral Bandwidth	I <sub>F</sub> = 100 mA	Δλ		50		nm
Temp. Coefficient of λ <sub>p</sub>	I <sub>F</sub> = 100 mA	TK <sub>λ<sub>p</sub></sub>		0.2		nm/K
Rise Time	I <sub>F</sub> = 100 mA	t <sub>r</sub>		800		ns
Fall Time	I <sub>F</sub> = 100 mA	t <sub>f</sub>		800		ns
Virtual Source Diameter	method: 63% encircled energy	∅		2.8		mm

Typical Characteristics (T<sub>amb</sub> = 25°C unless otherwise specified)



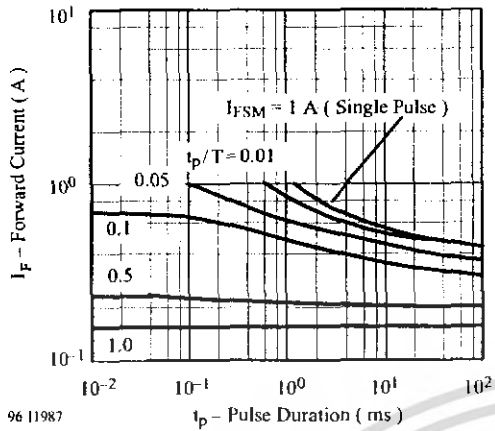
94 7957 e T<sub>amb</sub> - Ambient Temperature (°C)

Figure 1. Power Dissipation vs. Ambient Temperature



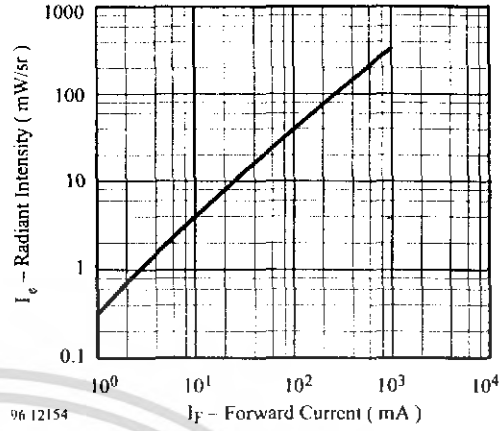
96 11986 T<sub>amb</sub> - Ambient Temperature (°C)

Figure 2. Forward Current vs. Ambient Temperature



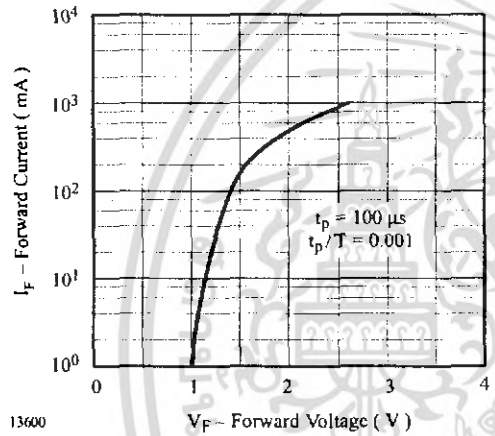
96 11987

Figure 3. Pulse Forward Current vs. Pulse Duration



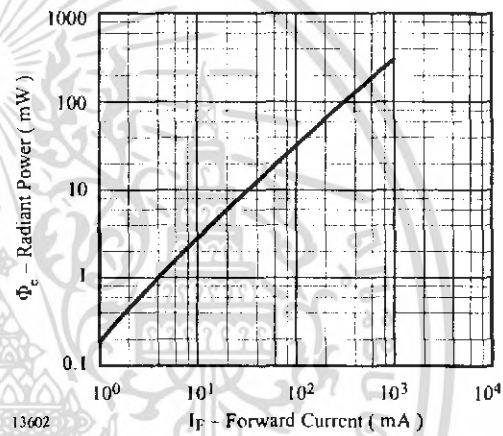
96 12154

Figure 6. Radiant Intensity vs. Forward Current



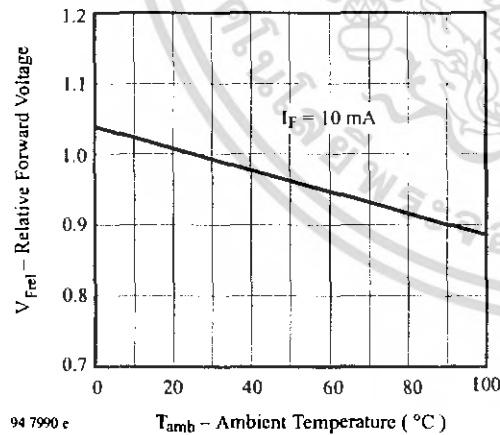
13600

Figure 4. Forward Current vs. Forward Voltage



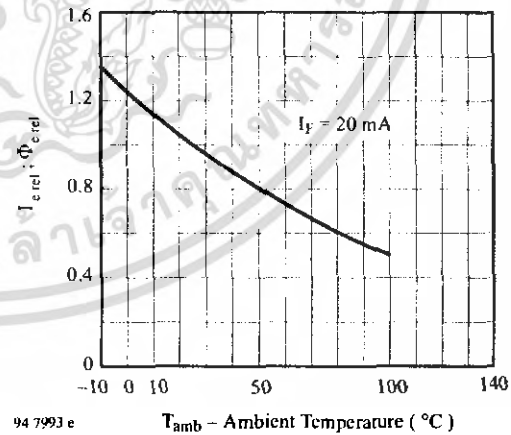
13602

Figure 7. Radiant Power vs. Forward Current



94 7990 e

Figure 5. Relative Forward Voltage vs. Ambient Temperature



94 7993 e

Figure 8. Rel. Radiant Intensity/Power vs. Ambient Temperature

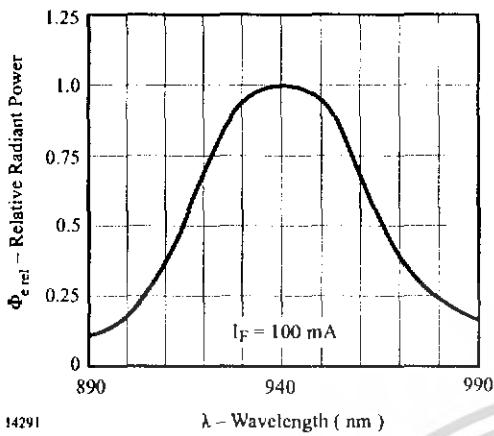


Figure 9. Relative Radiant Power vs. Wavelength

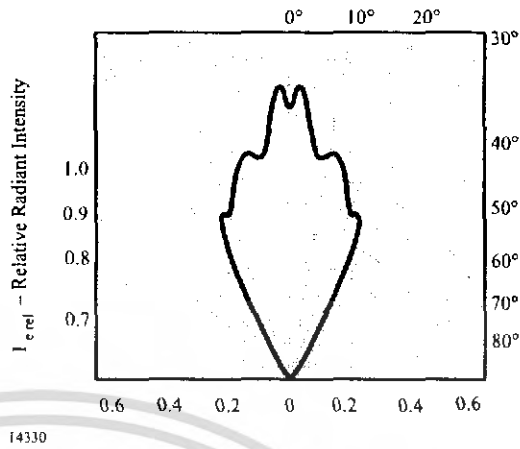
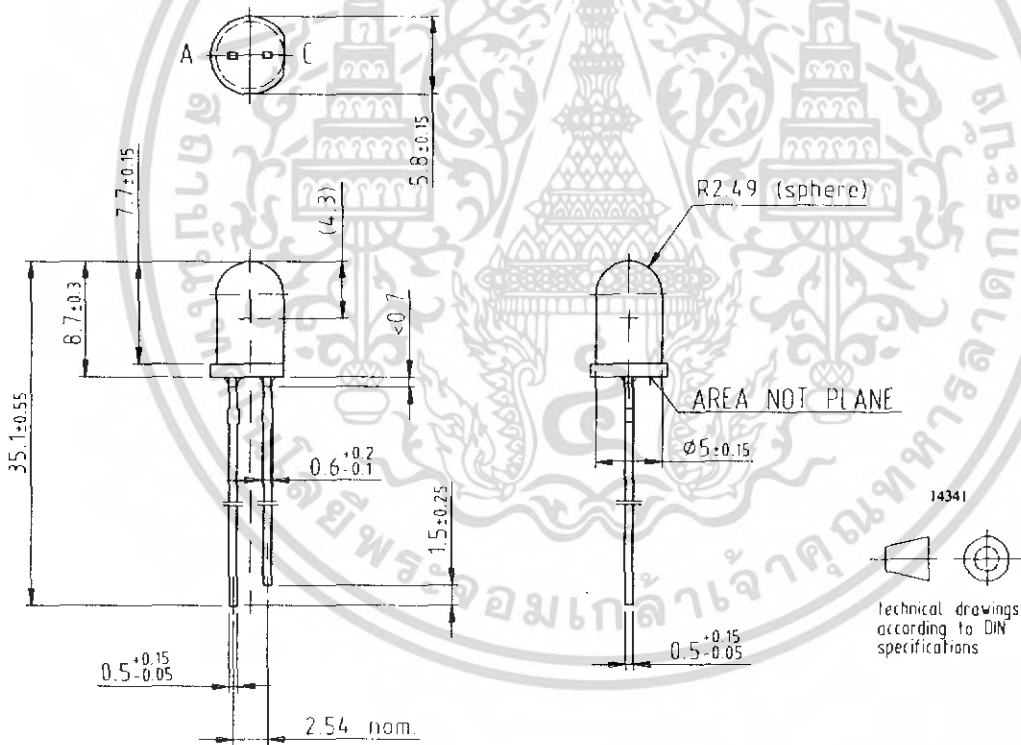


Figure 10. Relative Radiant Intensity vs. Angular Displacement

Dimensions in mm



Technical drawings according to DIN specifications

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Ozone Depleting Substances Policy Statement

It is the policy of **Vishay Semiconductor GmbH** to

1. Meet all present and future national and international statutory requirements.
2. Regularly and continuously improve the performance of our products, processes, distribution and operating systems with respect to their impact on the health and safety of our employees and the public, as well as their impact on the environment.

It is particular concern to control or eliminate releases of those substances into the atmosphere which are known as ozone depleting substances (ODS).

The Montreal Protocol (1987) and its London Amendments (1990) intend to severely restrict the use of ODSs and forbid their use within the next ten years. Various national and international initiatives are pressing for an earlier ban on these substances.

**Vishay Semiconductor GmbH** has been able to use its policy of continuous improvements to eliminate the use of ODSs listed in the following documents.

1. Annex A, B and list of transitional substances of the Montreal Protocol and the London Amendments respectively
2. Class I and II ozone depleting substances in the Clean Air Act Amendments of 1990 by the Environmental Protection Agency (EPA) in the USA
3. Council Decision 88/540/EEC and 91/690/EEC Annex A, B and C (transitional substances) respectively.

**Vishay Semiconductor GmbH** can certify that our semiconductors are not manufactured with ozone depleting substances and do not contain such substances.

**We reserve the right to make changes to improve technical design and may do so without further notice.**

Parameters can vary in different applications. All operating parameters must be validated for each customer application by the customer. Should the buyer use Vishay-Telefunken products for any unintended or unauthorized application, the buyer shall indemnify Vishay-Telefunken against all claims, costs, damages, and expenses, arising out of, directly or indirectly, any claim of personal damage, injury or death associated with such unintended or unauthorized use.

Vishay Semiconductor GmbH, P.O.B. 3535, D-74025 Heilbronn, Germany  
Telephone: 49 (0)7131 67 2831, Fax number: 49 (0)7131 67 2423



# TAIWAN OASIS LED DATA SHEET

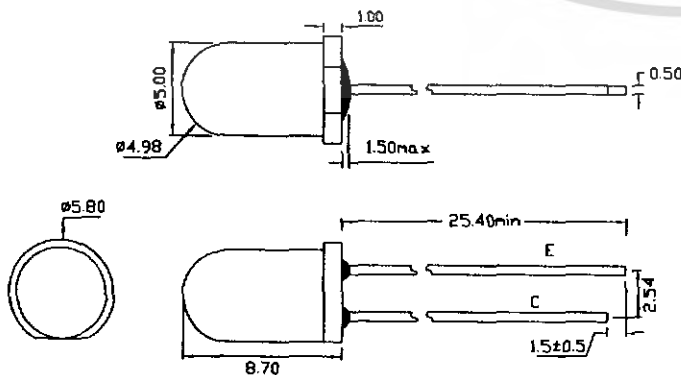
## PART NO. : TOPS-050aTB<sub>2</sub>

ABSOLUTE MAXIMUM RATING (Ta = 25°C)

Parameter	Symbol	Data	Unit	Test Condition
Collector-Emitter Breakdown Voltage	BV <sub>ceo</sub>	30	v	I <sub>c</sub> =100uA I <sub>b</sub> =0
Emitter-Collector Breakdown Voltage	BV <sub>eco</sub>	5	v	I <sub>e</sub> =100uA I <sub>b</sub> =0
Collector Dark Current	I <sub>d</sub>	0.1	uA	V <sub>ce</sub> =10v H=0mW/cm <sup>2</sup>
Collector Light Current	I <sub>L</sub>	4.0	mA	V <sub>ce</sub> =10v 2856k 1000lx
Collect Power Dissipation	P <sub>cm</sub>	140	mW	
Rise/Fall Time	T <sub>r</sub> /T <sub>f</sub>	• 5	uS	R=50• V <sub>ce</sub> =10v I <sub>c</sub> =1mA
Life Time	H	100'000	Hrs	V <sub>ce</sub> =10v
Peak collection Wavelength	• P	900	nm	
Spectral Range		750~1050	nm	
Operating Temperature Rang		-25 °C	to	70 °C
Storage Temperature Range		-30 °C	to	100 °C
Lens Color				Black

PACKAGE DIMENSIONS:

INTERNAL CIRCUIT DIAGRAM:



DATE	11/07/00'	SCALE	2.5:1	TOLERANCE	±0.25 ANGLE ±6°	DRAWN	华明亮	CHECKED	ทนายการศา
UNIT	M/M	SHEET NO.	1/1	DRAWING NO.	S-050aTB <sub>2</sub> -A	CUSTOMER	องเอกสารท	APPROVED	นำไปใช้

**Dual, 1MHz, Operational Amplifiers for Commercial Industrial, and Military Applications**

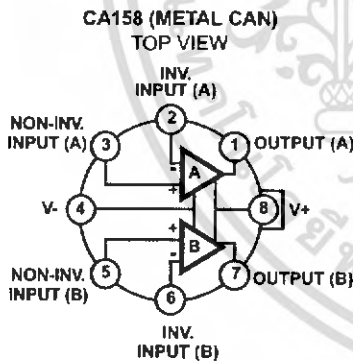
The CA158, CA158A, CA258, CA358, CA358A and CA2904 types consist of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which are designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. They may also be operated from split power supplies. The supply current is basically independent of the supply voltage over the recommended voltage range.

These devices are particularly useful in interface circuits with digital systems and can be operated from the single common 5VDC power supply. They are also intended for transducer amplifiers, DC gain blocks and many other conventional op amp circuits which can benefit from the single power supply capability.

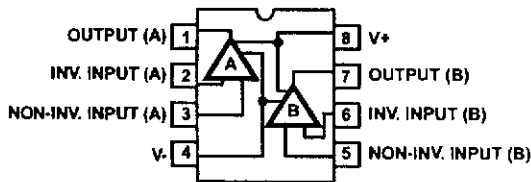
The CA158, CA158A, CA258, CA358, CA358A, and CA2904 types are an equivalent to or a replacement for the industry types 158, 158A, 258, 258A, 358, 358A, and CA2904.

Technical Data on LM Branded types is identical to the corresponding CA Branded types.

**Pinouts**



CA158, CA258, CA358 (PDIP, SOIC)  
CA2904, LM358, LM2904 (PDIP)  
TOP VIEW



**Features**

- Internal Frequency Compensation for Unity Gain
- High DC Voltage Gain ..... 100dB (Typ)
- Wide Bandwidth at Unity Gain ..... 1MHz (Typ)
- Wide Power Supply Range:
  - Single Supply ..... 3V to 30V
- Dual Supplies .....  $\pm 1.5V$  to  $\pm 15V$
- Low Supply Current ..... 1.5mA (Typ)
- Low Input Bias Current
- Low Input Offset Voltage and Current
- Input Common-Mode Voltage Range Includes Ground
- Differential Input Voltage Range Equal to V+ Range
- Large Output Voltage Swing ..... 0V to V+ - 1.5V

**Ordering Information**

PART NUMBER	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
CA0158E	-55 to 125	8 Ld PDIP	E8.3
CA0158AE	-55 to 125	8 Ld PDIP	E8.3
CA0158M	-55 to 125	8 Ld SOIC	M8.15
CA0158T	-55 to 125	8 Pin Can	T8.C
CA0258E	-25 to 85	8 Ld PDIP	E8.3
CA0258M	-25 to 85	8 Ld SOIC	M8.15
CA0358E	0 to 70	8 Ld PDIP	E8.3
CA0358AE	0 to 70	8 Ld PDIP	E8.3
CA0358M	0 to 70	8 Ld SOIC	M8.15
CA2904E	-40 to 85	8 Ld PDIP	E8.3
LM358N	0 to 70	8 Ld PDIP	E8.3
LM2904N	-40 to 85	8 Ld PDIP	E8.3

# CA158, CA158A, CA258, CA258A, CA358, CA358A, CA2904, LM358, LM2904

## Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage	
CA2904, LM2904	26V or ±13V
Other Types	32V or ±16V
Differential Input Voltage (All Types)	32V
Input Voltage	-0.3V to V+
Input Current ( $V_I < -0.3V$ , Note 1)	50mA
Output Short Circuit Duration ( $V+ \leq 15V$ , Note 2)	Continuous

## Operating Conditions

Temperature Range	
CA158, CA158A	-55°C to 125°C
CA258	-25°C to 85°C
CA2904, LM2904	-40°C to 85°C
CA358, CA358A, LM358	0°C to 70°C

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

## NOTES:

1. This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. This current is due to the collector base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the amplifiers to go to the V+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This transistor action is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than -0.3V.
2. The maximum output current is approximately 40mA independent of the magnitude of V+. Continuous short circuits at V+ > 15V can cause excessive power dissipation and eventual destruction. Short circuits from the output to V+ can cause overheating and eventual destruction of the device. Destructive dissipation can result from simultaneous short circuits on both amplifiers.
3.  $\theta_{JA}$  is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.

## Electrical Specifications

Values Apply for Each Operational Amplifier. Supply Voltage V+ = 5V, V- = 0V, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TEMP (°C)	CA158A			CA358A			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage (Note 6)		25	-	1	2	-	2	3	mV
		Full	-	-	4	-	-	5	mV
Average Input Offset Voltage Drift	$R_S = 0\Omega$	Full	-	7	15	-	7	20	$\mu V/^\circ C$
Input Common Mode Voltage Range (Note 5)	V+ = 30V	25	0	-	V+ -1.5	0	-	V+ -1.5	V
	V+ = 30V	Full	0	-	V+ -2	0	-	V+ -2	V
Common Mode Rejection Ratio	DC	25	70	85	-	65	85	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	DC	25	65	100	-	65	100	-	dB
Input Bias Current (Note 4)	$I_{I+}$ or $I_{I-}$	25	-	20	50	-	45	100	nA
	$I_{I+}$ or $I_{I-}$	Full	-	40	100	-	40	200	nA
Input Offset Current	$I_{I+} - I_{I-}$	25	-	2	10	-	5	30	nA
	$I_{I+} - I_{I-}$	Full	-	-	30	-	-	75	nA
Average Input Offset Current Drift		Full	-	10	200	-	10	300	$pA/^\circ C$
Large Signal Voltage Gain	$R_L \geq 2k\Omega$ , V+ = 15V (For Large $V_O$ Swing)	25	50	100	-	25	100	-	kV/V
Output Voltage Swing	$R_L = 2k\Omega$	25	0	-	V+ -1.5	0	-	V+ -1.5	V

**CA158, CA158A, CA258, CA258A, CA358, CA358A, CA2904, LM358, LM2904**

**Electrical Specifications** Values Apply for Each Operational Amplifier. Supply Voltage  $V_+ = 5V$ ,  $V_- = 0V$ , Unless Otherwise Specified (Continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TEMP (°C)	CA158A			CA358A			UNITS	
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
Output Current	Source	$V_{I+} = +1V, V_{I-} = 0V, V_+ = 15V$	25	20	40	-	20	40	-	mA
	Sink	$V_{I+} = 0V, V_{I-} = 1V, V_+ = 15V$	25	10	20	-	10	20	-	mA
		$V_{I+} = 0V, V_{I-} = 1V, V_O = 200mV$	25	12	50	-	12	50	-	$\mu A$
Short Circuit Output Current (Note 2)	$R_L = 0\Omega$	25	-	40	60	-	40	60	-	mA
Crosstalk	$f = 1$ to 20kHz (Input Referred)	25	-	-120	-	-	-120	-	-	dB
Total Supply Current	$R_L = \infty$	Full	-	0.7	1.2	-	0.7	1.2	-	mA
	$R_L = \infty, V_+ = 30V$	Full	-	1.5	3	-	1.5	3	-	mA

NOTES:

- Due to the PNP input stage the direction of the input current is out of the IC. No loading change exists on the input lines because the current is essentially constant, independent of the state of the output.
- The input signal voltage and the input common mode voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The positive limit of the common mode voltage range is  $V_+ - 1.5V$ , but either or both inputs can go to +32V without damage.
- $V_O = 1.4V, R_S = 0\Omega$  with  $V_+$  from 5V to 30V, and over the full input common mode voltage range (0V to  $V_+ - 1.5V$ ).

**Electrical Specifications** Values Apply for Each Operational Amplifier. Supply Voltage  $V_+ = 5V, V_- = 0V$ , Unless Otherwise Specified

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TEMP (°C)	CA158, CA258			CA358, LM358			CA2904, LM2904			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage (Note 9)		25	-	2	5	-	2	7	-	2	7	mV
		Full	-	-	7	-	-	9	-	-	10	mV
Average Input Offset Voltage Drift	$R_S = 0\Omega$	Full	-	7	-	-	7	-	-	7	-	$\mu V/^\circ C$
Input Common Mode Voltage Range (Note 8)	$V_+ = 30V$	25	0	-	$V_+ - 1.5$	0	-	$V_+ - 1.5$	0	-	$V_+ - 1.5$	V
	$V_+ = 30V$	Full	0	-	$V_+ - 2$	0	-	$V_+ - 2$	0	-	$V_+ - 2$	V
Common Mode Rejection Ratio	DC	25	70	85	-	65	70	-	50	70	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	DC	25	65	100	-	65	100	-	50	100	-	dB
Input Bias Current (Note 7)	$I_{I+}$ or $I_{I-}$	25	-	45	150	-	45	250	-	45	250	nA
	$I_{I+}$ or $I_{I-}$	Full	-	40	300	-	40	500	-	40	500	nA
Input Offset Current	$I_{I+} - I_{I-}$	25	-	3	30	-	5	50	-	5	50	nA
	$I_{I+} - I_{I-}$	Full	-	-	100	-	-	150	-	45	200	nA
Average Input Offset Current Drift		Full	-	10	-	-	10	-	-	10	-	$pA/^\circ C$
Large Signal Voltage Gain	$R_L \geq 2k\Omega, V_+ = 15V$ (For Large $V_O$ Swing)	25	50	100	-	25	100	-	-	100	-	KV/V
Output Voltage Swing	$R_L = 2k\Omega$	25	0	-	$V_+ - 1.5$	0	-	$V_+ - 1.5$	0	-	$V_+ - 1.5$	V

# CA158, CA158A, CA258, CA258A, CA358, CA358A, CA2904, LM358, LM2904

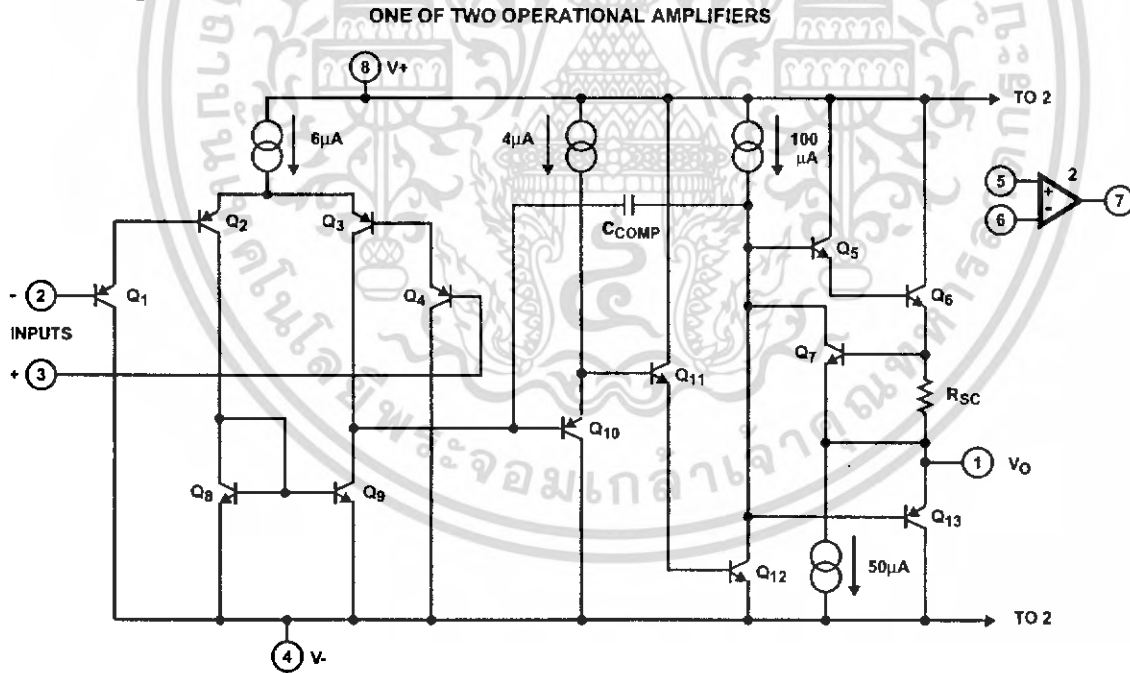
**Electrical Specifications** Values Apply for Each Operational Amplifier. Supply Voltage  $V_+ = 5V$ ,  $V_- = 0V$ , Unless Otherwise Specified (Continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TEMP (°C)	CA158, CA258			CA358, LM358			CA2904, LM2904			UNITS	
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
Output Current	Source	$V_{I+} = +1V, V_{I-} = 0V, V_+ = 15V$	25	20	40	-	20	40	-	20	40	-	mA
	Sink	$V_{I+} = 0V, V_{I-} = 1V, V_+ = 15V$	25	10	20	-	10	20	-	10	20	-	mA
		$V_{I+} = 0V, V_{I-} = 1V, V_O = 200mV$	25	12	50	-	12	50	-	-	-	-	$\mu A$
Short Circuit Output Current (Note 2)	$R_L = 0\Omega$	25	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA	
Crosstalk	$f = 1$ to $20kHz$ (Input Referred)	25	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	dB	
Total Supply Current	$R_L = \infty$	Full	-	0.7	1.2	-	0.7	1.2	-	0.7	1.2	mA	
	$R_L = \infty, V_+ = 30V$	Full	-	1.5	3	-	1.5	3	-	1.5	3	mA	

**NOTES:**

- Due to the PNP input stage the direction of the input current is out of the IC. No loading change exists on the input lines because the current is essentially constant, independent of the state of the output.
- The input signal voltage and the input common mode voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The positive limit of the common mode voltage range is  $V_+ - 1.5V$ , but either or both inputs can go to  $+32V$  without damage.
- $V_O = 1.4V, R_S = 0\Omega$  with  $V_+$  from 5V to 30V, and over the full input common mode voltage range (0V to  $V_+ - 1.5V$ ).

**Schematic Diagram**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Curves

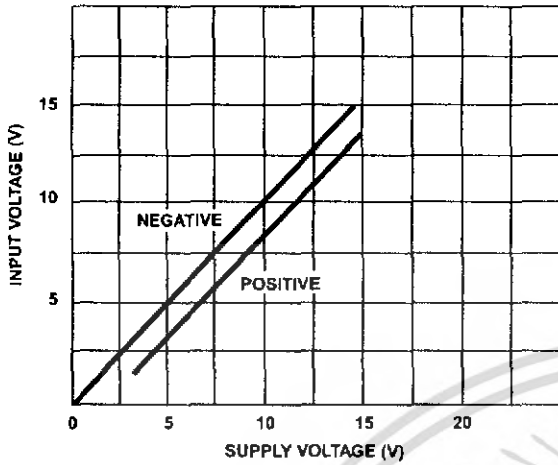


FIGURE 1. INPUT VOLTAGE RANGE vs SUPPLY VOLTAGE

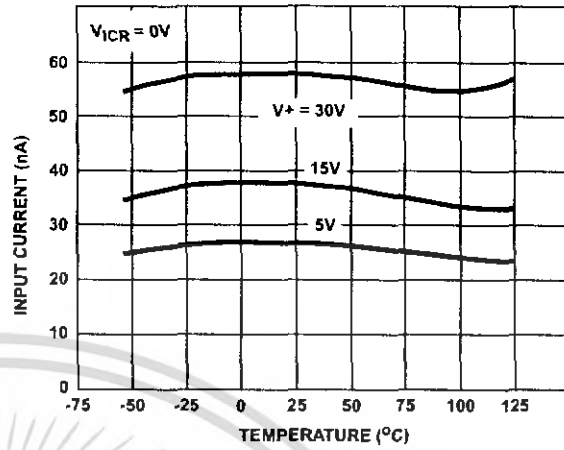


FIGURE 2. INPUT CURRENT vs AMBIENT TEMPERATURE

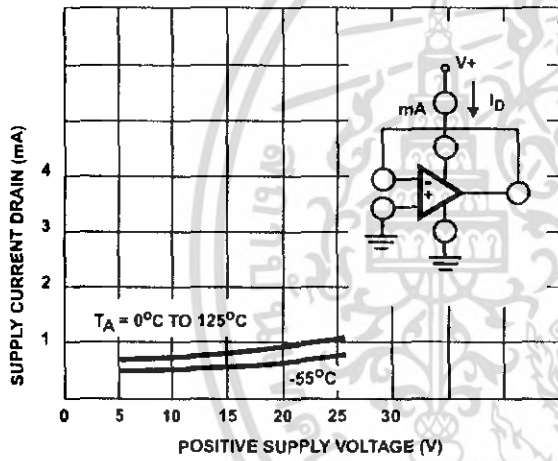


FIGURE 3. SUPPLY CURRENT DRAIN vs SUPPLY VOLTAGE

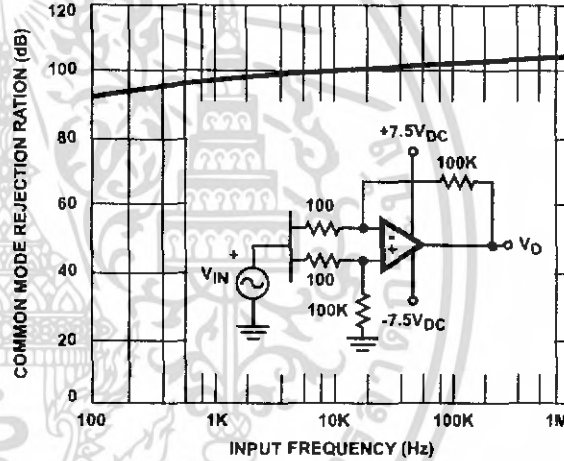


FIGURE 4. COMMON MODE REJECTION RATIO vs INPUT FREQUENCY

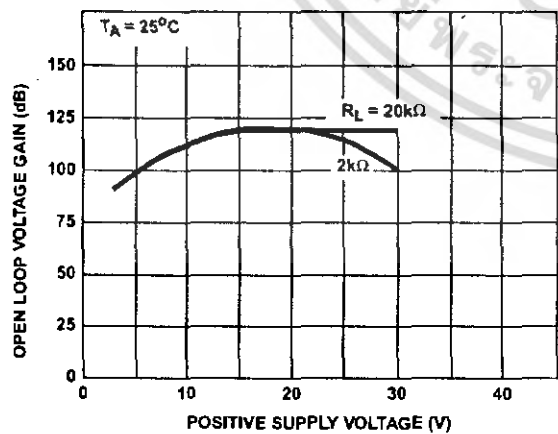


FIGURE 5. VOLTAGE GAIN vs SUPPLY VOLTAGE

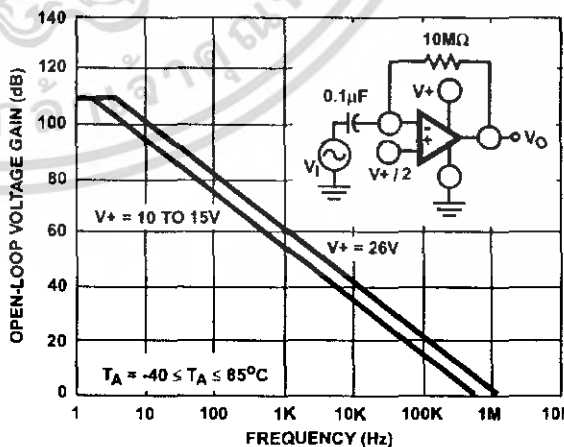


FIGURE 6. OPEN-LOOP FREQUENCY RESPONSE

Typical Performance Curves (Continued)

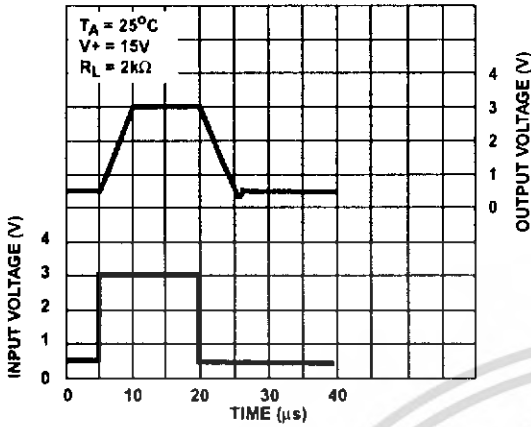


FIGURE 7. VOLTAGE FOLLOWER PULSE RESPONSE (LARGE SIGNAL)

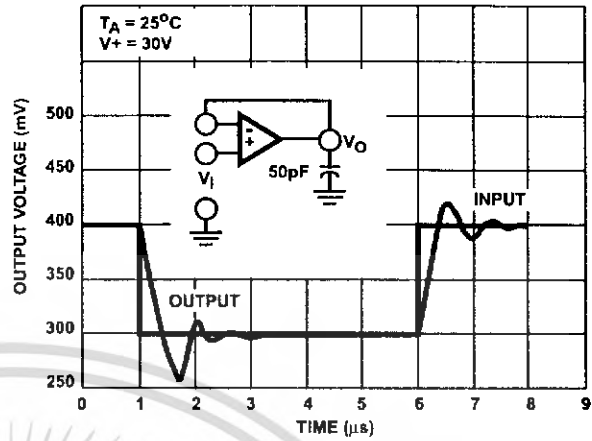


FIGURE 8. VOLTAGE FOLLOWER PULSE RESPONSE (SMALL SIGNAL)

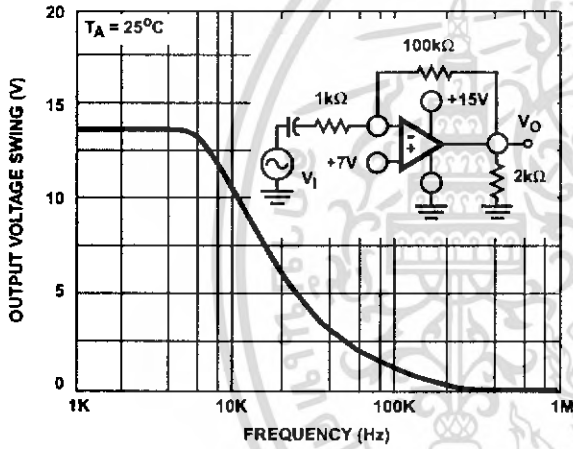


FIGURE 9. LARGE-SIGNAL FREQUENCY RESPONSE

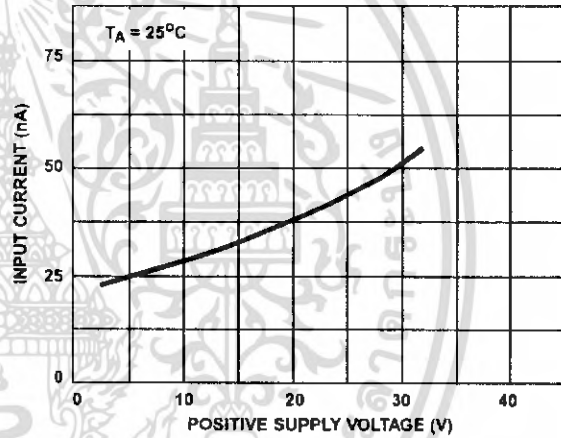


FIGURE 10. INPUT CURRENT vs SUPPLY VOLTAGE

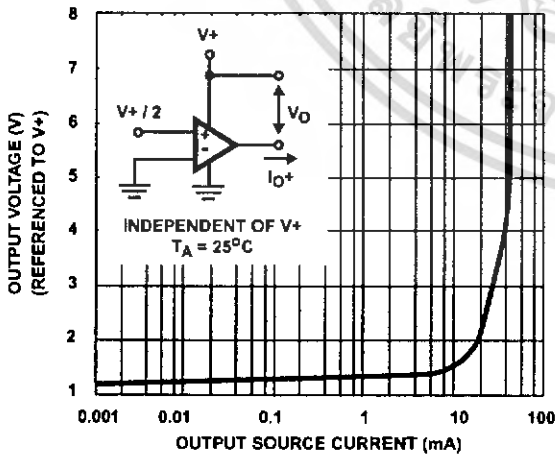


FIGURE 11. OUTPUT SOURCE CURRENT CHARACTERISTICS

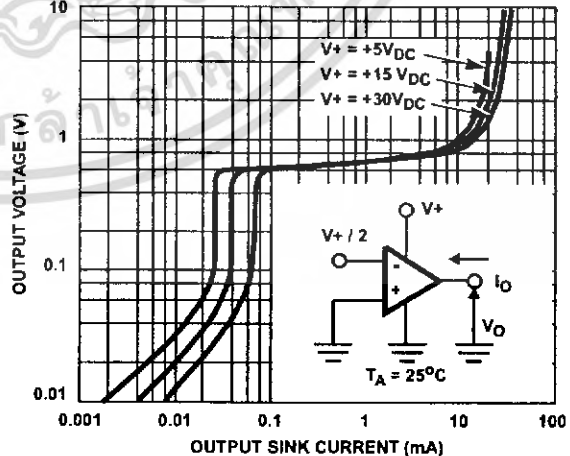


FIGURE 12. OUTPUT SINK CURRENT CHARACTERISTICS

Typical Performance Curves (Continued)

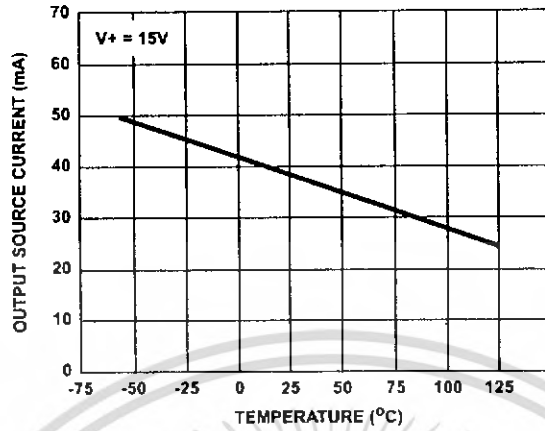
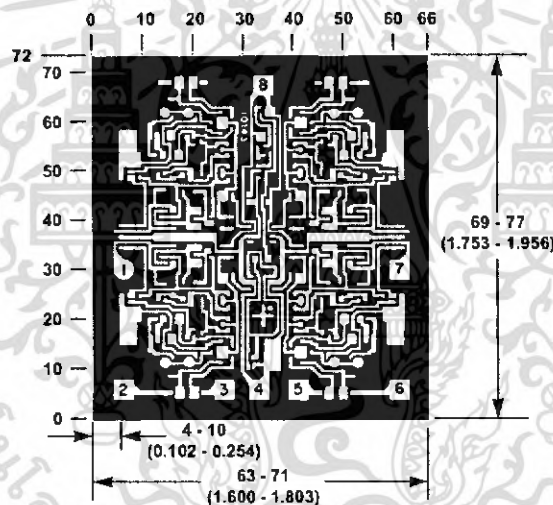


FIGURE 13. OUTPUT CURRENT vs AMBIENT TEMPERATURE

Metallization Mask Layout



Dimensions in parentheses are in millimeters and derived from the basic inch dimensions as indicated. Grid graduations are in mils ( $10^{-3}$  inch).

The photographs and dimensions represent a chip when it is part of the wafer. When the wafer is cut into chips, the cleavage angles are  $57^\circ$  instead of  $90^\circ$  with respect to the face of the chip. Therefore, the isolated chip is actually 7 mils (0.17mm) larger in both dimensions.

All Intersil semiconductor products are manufactured, assembled and tested under ISO9000 quality systems certification.

*Intersil semiconductor products are sold by description only. Intersil Corporation reserves the right to make changes in circuit design and/or specifications at any time without notice. Accordingly, the reader is cautioned to verify that data sheets are current before placing orders. Information furnished by Intersil is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Intersil or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Intersil or its subsidiaries.*

For information regarding Intersil Corporation and its products, see web site <http://www.intersil.com>

This datasheet has been downloaded from:

[www.DatasheetCatalog.com](http://www.DatasheetCatalog.com)

Datasheets for electronic components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Voltage comparator

## LM111/211/311/ LM311B

### DESCRIPTION

The LM111 series are voltage comparators that have input currents approximately a hundred times lower than devices like the  $\mu A710$ . They are designed to operate over a wider range of supply voltages; from standard  $\pm 15V$  op amp supplies down to a single 3V supply. Their output is compatible with RTL, DTL, and TTL as well as MOS circuits. Further, they can drive lamps or relays, switching voltages up to 50V at currents as high as 50mA.

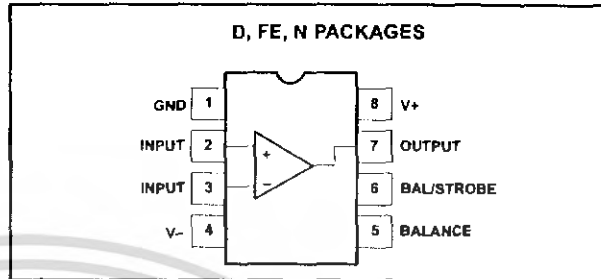
Both the inputs and the outputs of the LM111 series can be isolated from system ground, and the output can drive loads referred to ground, the positive supply, or the negative supply. Offset balancing and strobe capability are provided and outputs can be wire-ORed.

Although slower than the  $\mu A710$  (200ns response time vs 40ns), the devices are also much less prone to spurious oscillations. The LM111 series has the same pin configuration as the  $\mu A710$  series.

### FEATURES

- Operates from single 3V supply (LM311B)
- Maximum input bias current: 150nA (LM311—250nA)
- Maximum offset current: 20nA (LM311—50nA)
- Differential input voltage range:  $\pm 30V$
- Power consumption: 135mW at  $\pm 15V$
- High sensitivity—200V/mV
- Zero crossing detector

### PIN CONFIGURATION



### APPLICATIONS

- Precision squarer
- Positive/negative peak detector
- Low voltage adjustable reference supply
- Switching power amplifier

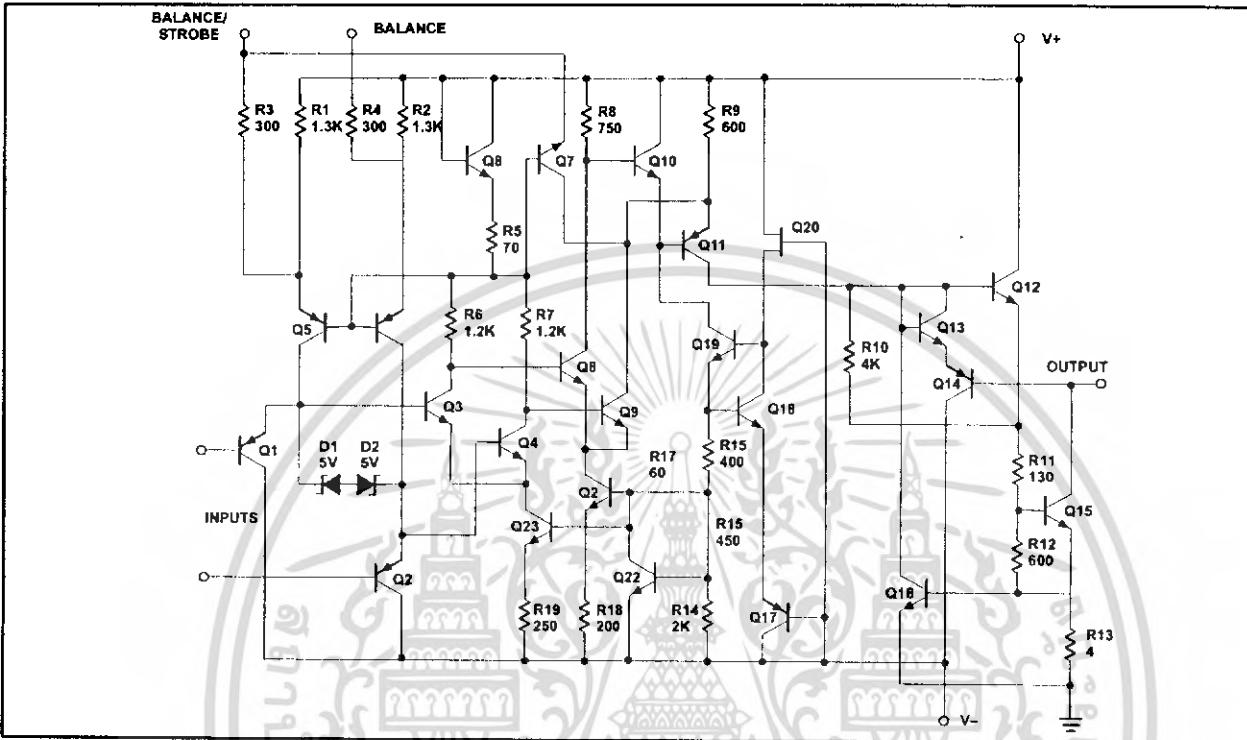
### ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	DWG #
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-55°C to +125°C	LM111N	0404B
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-25°C to +85°C	LM211N	0404B
8-Pin Plastic Small Outline Package (SO)	0 to +70°C	LM311D	0174C
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 to +70°C	LM311N	0404B
8-Pin Plastic Small Outline Package (SO)	-25°C to +85°C	LM211D	0174C
8-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	-55°C to +125°C	LM111FE	0580A
8-Pin Plastic Small Outline Package (SO)	0 to +70°C	LM311BD	0174C
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 to +70°C	LM311BN	0404B

Voltage comparator

LM111/211/311/  
LM311B

EQUIVALENT SCHEMATIC



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNIT
V <sub>S</sub>	Total supply voltage	36	V
	Output to negative supply voltage:		
	LM111/LM211	50	V
	LM311/LM311B	40	V
	Ground to negative supply voltage	30	V
	Differential input voltage	±30	V
V <sub>IN</sub>	Input voltage <sup>1</sup>	±15	V
P <sub>D</sub> MAX	Maximum power dissipation,		
	T <sub>A</sub> =25°C (still-air) <sup>2</sup>		
	F package	810	mW
	N package	1190	mW
	D package	780	mW
I	Output short-circuit duration	10	sec
T <sub>A</sub>	Operating ambient temperature range		
	LM111	-55 to +125	°C
	LM211 LM311/LM311B	-25 to +85 0 to +70	°C
T <sub>STG</sub>	Storage temperature range	-65 to +150	°C
T <sub>SOLD</sub>	Lead soldering temperature (10sec max)	300	°C

NOTES:

1. This rating applies for ±15V supplies. The positive input voltage limit is 30V above the negative supply. The negative input voltage limit is equal to the negative supply voltage or 30V below the positive supply, whichever is less.
2. Derate above 25°C, at the following rates: F package at 6.4mW/°C; N package at 9.5mW/°C; D package at 6.2mW/°C

Voltage comparator

LM111/211/311/  
LM311B

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS<sup>1, 2, 3, 6</sup>

Over temperature range unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM111/LM211			LM311			LM311B			UNIT
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V <sub>OS</sub>	Input offset voltage <sup>3</sup>	T <sub>A</sub> =25°C, R <sub>S</sub> ≤50kΩ		0.7	3.0		2.0	7.5		2.0	7.5	mV
I <sub>OS</sub>	Input offset current <sup>3</sup>	T <sub>A</sub> =25°C		4.0	10		6.0	50		6	25	nA
I <sub>BIAS</sub>	Input bias current	T <sub>A</sub> =25°C		60	100		100	250		100	200	nA
A <sub>V</sub>	Voltage gain	T <sub>A</sub> =25°C		200			200			200		V/mV
	Response time <sup>4</sup>	T <sub>A</sub> =25°C		200			200			500		ns
V <sub>SAT</sub>	Saturation voltage	LM111/211 V <sub>IN</sub> ≤-5mV, I <sub>OUT</sub> =50mA LM311/B V <sub>IN</sub> ≤-10mV, I <sub>OUT</sub> =50mA T <sub>A</sub> =25°C		0.75	1.5		0.75	1.5		0.75	1.5	V
I <sub>BALSTR</sub>	Strobe on current	T <sub>A</sub> =25°C		3.0			3.0			3.0		mA
I <sub>LEAKAGE</sub>	Output leakage current <sup>6</sup>	LM111/211 V <sub>IN</sub> ≥5mV, V <sub>OUT</sub> =35V LM311/B V <sub>IN</sub> ≥10mV, V <sub>OUT</sub> =35V T <sub>A</sub> =25°C, I <sub>STROBE</sub> =3mA (V <sub>-</sub> = V <sub>GND</sub> = -5V)		0.2	10		0.2	50		0.2	50	nA
V <sub>OS</sub>	Input offset voltage <sup>3</sup>	R <sub>S</sub> ≤50kΩ			4.0			10			10	mV
I <sub>OS</sub>	Input offset current <sup>3</sup>				20			70			50	nA
I <sub>BIAS</sub>	Input bias current				150			300			250	nA
V <sub>IN</sub>	Input voltage range	V=±15V (Pin 7 may go to 5V)	-14.5	13.8 to -14.7	13.0	-14.5	13.8 to -14.7	13.0	V <sub>-</sub> +0.5	V <sub>+</sub> -1.5		V
V <sub>OL</sub>	Saturation voltage <sup>6</sup>	V <sub>+</sub> ≥ 4.5V, V <sub>-</sub> = 0 LM111/211 V <sub>IN</sub> ≤-6mV, I <sub>SINK</sub> ≤8mA LM311/B V <sub>IN</sub> ≤-10mV, I <sub>SINK</sub> ≤8mA		0.23	0.4		0.23	0.4		0.23	0.4	V
I <sub>OH</sub>	Output leakage current	V <sub>IN</sub> ≥5mV, V <sub>OUT</sub> =35V		0.1	0.5							μA
I <sub>CC</sub>	Positive supply current	T <sub>A</sub> =25°C		5.1	6.0		5.1	7.5		1.6	3.5	mA
I <sub>EE</sub>	Negative supply voltage	T <sub>A</sub> =25°C		4.1	5.0		4.1	5.0				mA

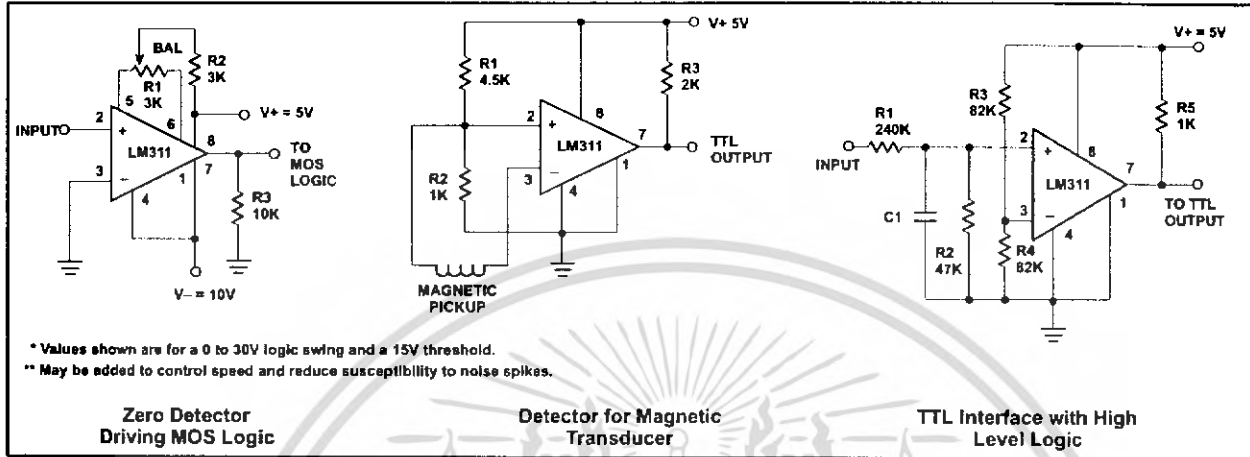
NOTES:

1. This rating applies for ±15V supplies. The positive input voltage limit is 30V above the negative supply. The negative input voltage limit is equal to the negative supply voltage or 30V below the positive supply, whichever is less.
2. These specifications apply for V<sub>S</sub>=±15V and 0°C < T<sub>A</sub> < 70°C unless otherwise specified. With the LM211, however, all temperature specifications are limited to -25°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ 85°C and for the LM111 is limited to -55°C T<sub>A</sub> < 125°C. The offset voltage, offset current, and bias current specifications apply for any supply voltage from a single 5V supply up to ±15V supplies.
3. The offset voltages and offset currents given are the maximum values required to drive the output within a volt of either supply with 1mA load. Thus, these parameters define an error band and take into account the worst case effects of voltage gain and input impedance.
4. The response time specified is for a 100mV input step with 5mV over-drive.
5. Do not short the strobe pin to ground; it should be current driven at 3mA to 5mA.
6. LM311B, all parameters are at V<sub>+</sub> = 3V ±10%, V<sub>-</sub> = GND = 0V.

# Voltage comparator

## LM111/211/311/ LM311B

### TYPICAL APPLICATIONS



Zero Detector  
Driving MOS Logic

Detector for Magnetic  
Transducer

TTL Interface with High  
Level Logic

This datasheet has been download from:

[www.datasheetcatalog.com](http://www.datasheetcatalog.com)

Datasheets for electronics components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้