

หูฟังไร้สาย

WIRELESS HEADPHONE



โดย  
นายวันสันทน์ สวนทรง  
นางสาววรรณิภา ยาดำ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหม.....

เลขทะเบียน...37135

วัน, เดือน, ปี- 4 ก.ย. 2543,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หูฟังไร้สาย

WIRELESS HEADPHONE



โดย

นายวันสันทน์ สนวนทรง 39014449

นางสาววรรณิลา ยาดำ 39014456

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2542

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง หูฟังไร้สาย

Wireless Headphone

ผู้จัดทำ

1. นายวันสันต์ สนวนทรง 39014449
2. นางสาววรรณิภา ยาดำ 39014456

.....ปรามอทย์ วาดเขียน.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
( รศ.ดร. ปรามอทย์ วาดเขียน )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หูฟังไร้สาย

### Wireless Headphone

โดย นายวันสนันท์ สนวนทรง 39014449

นางสาววรรณิภา ยาคำ 39014456

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาและสร้างหูฟังไร้สาย โดยอาศัยสัญญาณอินฟราเรด ซึ่งประกอบด้วยภาคเครื่องส่งและภาคเครื่องรับ ภาคเครื่องส่งจะประกอบไปด้วยวงจรสร้างการมอดูเลตความกว้างพัลส์ และวงจรขับสัญญาณอินฟราเรด ส่วนในภาคเครื่องรับประกอบด้วย ตัวรับสัญญาณอินฟราเรด วงจรขยายสัญญาณ วงจรดีมอดูเลตความกว้างพัลส์ และหูฟัง โดยจะนำสัญญาณเสียงไปทำการมอดูเลตความกว้างพัลส์ และทำการขับสัญญาณอินฟราเรดออกไป ส่วนในภาคเครื่องรับ เมื่อได้รับสัญญาณอินฟราเรดได้แล้ว ก็จะมีการดีเทกต์สัญญาณเสียงที่ส่งคืนมาเพื่อส่งออกทางหูฟัง

### ABSTRACT

The purposes of this project is to study a wireless headphone circuitry and to construct a wireless headphone that uses infrared signal . The wireless headphone has 2 main part which are a transmitter and a receiver . The transmitter circuit consists of a PWM modulator and an infrared transmitter , while the receiver consists of an infrared receiver , an amplifier , a PWM demodulator and an earset. The transmitter operates by modulating the input voice signal and transmits an infrared signal. At the receiver , when it receives an infrared signal then it will detect voice signal that is sent back to be transmitted via the earset as the output

## สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 พื้นฐานเรื่องแสง	1
1.2 เหตุผลที่เลือกใช้แสงในการสื่อสารโทรคมนาคม	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 วงจรสร้างการมอดูเลตความกว้างพัลส์	3
2.2 วงจรดีมอดูเลตความกว้างพัลส์	6
2.3 วงจรขับอินฟราเรด	9
2.4 ตัวรับอินฟราเรด	16
2.5 วงจรขยายสัญญาณ	17
บทที่ 3 คำนวณและการสร้าง	
3.1 วงจรสร้างการมอดูเลตความกว้างพัลส์	22
3.2 วงจรขับอินฟราเรด	24
3.3 วงจรขยายสัญญาณ	24
3.4 วงจรดีมอดูเลตความกว้างพัลส์	25
3.5 วงจรขยายกำลังเสียง	28
3.6 วงจรเครื่องส่ง	29
3.7 วงจรเครื่องรับ	31
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
4.1 การทดลองวงจรสร้างการมอดูเลตความกว้างพัลส์	32
4.2 การทดลองวงจรขับอินฟราเรด	35
4.3 การทดลองขยายสัญญาณภาครับ	36
4.4 การทดลองวงจรดีมอดูเลตความกว้างพัลส์	37
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	39
กิตติกรรมประกาศ	40
บรรณานุกรม	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนผังหุฟั้งไร้สาย	3
ก) ภาคเครื่องส่ง	
ข) ภาคเครื่องรับ	
รูปที่ 2.2 แผนผังวงจรระบบสร้างสัญญาณพีคดับลิวเอ็ม	4
รูปที่ 2.3 สัญญาณที่จุดต่าง ๆ ในระบบในรูปที่ 2.2	5
รูปที่ 2.4 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	6
รูปที่ 2.5 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน กรณี $K = 1$ และ $R_1 = R_2 = 1$	9
รูปที่ 2.6 วงจรสร้างอินฟราเรดอย่างง่าย	
ก) ใช้ไดโอดเปล่งแสง 1 ตัว	11
ข) ใช้ไดโอดเปล่งแสงหลายตัว	11
รูปที่ 2.7 ทรานซิสเตอร์ในวงจรขยายพร้อมทั้งแสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต	13
รูปที่ 2.8 การต่อ $R_B$ ไปยังทรานซิสเตอร์ทำให้ได้รูปร่างเอาต์พุตที่สมบูรณ์	13
รูปที่ 2.9 ก) ตัวอย่างวงจรขยายทรานซิสเตอร์ชนิด PNP	14
ข) แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่สวิงได้สูงสุดโดยไม่ผิดเฟส	14
ค) แสดงการผิดเฟสเมื่อสัญญาณสวิงสูงเกินไป	14
รูปที่ 2.10 การต่อทรานซิสเตอร์ 2 ตัวร่วมกันเพื่อให้วงจรมีอัตราขยายกระแสที่สูง	15
รูปที่ 2.11 ลักษณะการต่อใช้งาน โฟโต ไดโอด	17
รูปที่ 2.12 แผนผังภาคต่าง ๆ ของออปแอมป์	17
รูปที่ 2.13 ลักษณะทั่วไปของออปแอมป์	18
รูปที่ 2.14 ลักษณะการทำงานของออปแอมป์	19
รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ของขั้วต่าง ๆ ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของออปแอมป์	20
รูปที่ 2.16 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส	20
รูปที่ 3.1 วงจรสร้างการมอดูเลตความกว้างพัลส์	23
รูปที่ 3.2 วงจรขับอินฟราเรด	24
รูปที่ 3.3 วงจรขยายสัญญาณ	24
รูปที่ 3.4 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเพื่อใช้ในการคำนวณ	26
รูปที่ 3.5 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน อันดับ 8	28
รูปที่ 3.6 วงจรขยายกำลังเสียง	29
รูปที่ 3.7 วงจรภาคเครื่องส่ง	30
รูปที่ 3.8 วงจรภาคเครื่องรับ	31
รูปที่ 4.1 รูปสัญญาณเอาต์พุตพีคดับลิวเอ็มเทียบกับสัญญาณอินพุตรูปไซน์	33
รูปที่ 4.2 รูปสัญญาณเอาต์พุตพีคดับลิวเอ็มเทียบกับสัญญาณอินพุตรูปฟันเลื่อย	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 4.3 รูปสัญลักษณ์เอาต์พุตพีคแบบลิวเอ็มเทียบกับสัญลักษณ์อินพุตรูปสามเหลี่ยม	34
รูปที่ 4.4 รูปสัญลักษณ์เอาต์พุตพีคแบบลิวเอ็มเทียบกับสัญลักษณ์อินพุตรูปสี่เหลี่ยม	34
รูปที่ 4.5 รูปสัญลักษณ์อินพุตที่ผ่านการชักราค่าตัวอย่างเทียบกับสัญลักษณ์รูปพื้นเลื่อย	35
รูปที่ 4.6 รูปสัญลักษณ์จาก โฟโต ไค โอค เทียบกับสัญลักษณ์ที่ส่งออกไปจากภาคส่ง	36
รูปที่ 4.7 ผลความถี่ตอบสนองของวงจรถยาย	37
รูปที่ 4.8 ผลความถี่ตอบสนองของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน อันดับ 8	38



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงค่าอุปกรณ์ที่คำนวณได้ของวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน อันดับ 8	27
ตารางที่ 3.2 แสดงค่าอุปกรณ์ที่ใช้จริงของวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน อันดับ 8	28



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

ปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการความสะดวกสบายในทุก ๆ ด้านมากขึ้น ทั้งนี้ก็รวมถึงรูปแบบของความบันเทิงก็ถูกพัฒนาเพื่อให้ได้ความสะดวกสบายด้วย เช่น อุปกรณ์เพื่อความบันเทิงจะถูกออกแบบให้มีขนาดเล็กและพกพาสะดวกมีทั้งเครื่องรับเอเอ็ม/เอฟเอ็ม , ซาวด์อะเบาต์ , เครื่องเล่นซีดี ฯลฯ เนื่องจากน้ำหนักที่เบาแต่คุณภาพของเสียงที่ดีจึงทำให้ได้รับความนิยมอย่างมาก แต่ถ้ากล่าวถึงเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ เช่น โทรทัศน์ หรือชุดเครื่องเสียง การรับฟังมักจะถูกจำกัดอยู่ที่การกระจายเสียงของลำโพง ซึ่งความดังที่เกิดขึ้นบางครั้งอาจรบกวนผู้อื่นได้ แต่สามารถแก้ปัญหาได้โดยการใช้ช่องสำหรับรับฟังทางหูฟังได้ แต่ก็ยังคงต้องใช้สายสัญญาณในการเชื่อมโยงทำให้ไม่เกิดความสะดวกเท่าใดนัก ดังนั้นจึงมีการนำเอาอินฟราเรดมาใช้ในการเชื่อมโยงสัญญาณที่ส่งแทนเพื่อเพิ่มความสะดวกสบายในการรับฟัง เพียงแต่นำเครื่องส่งอินฟราเรดต่อเข้ากับช่องหูฟังของโทรทัศน์ ช่องเอาต์พุตของเครื่องเสียง และนำเครื่องรับอินฟราเรดต่อเข้ากับช่องหูฟังสำหรับรับฟัง ซึ่งย่านการทำงานระบบนี้ จะเหมาะกับห้องขนาดเล็กโดยเฉลี่ยทั่วไป

#### 1.1 พื้นฐานแสง

แสงสามารถแบ่งได้เป็นประเภทต่าง ๆ ตามขนาดของความยาวคลื่น ( Wavelength ) ของแสงได้ ดังนี้

- 1) แสงเหนือม่วง ( Ultraviolet ) มีขนาดความยาวคลื่นตั้งแต่ 100 – 400 นาโนเมตร
- 2) แสงที่มองเห็นได้ ( Visible ) มีขนาดความยาวคลื่นตั้งแต่ 400 – 700 นาโนเมตร
- 3) แสงอินฟราเรด ( Infrared ) มีขนาดความยาวคลื่นตั้งแต่ 780 – 1,000,000 นาโนเมตร

ซึ่งแสงเหนือม่วงและแสงอินฟราเรดนั้นเป็นแสงที่มองไม่เห็น ดังนั้นจึงนำแสงทั้ง 2 ชนิดนี้ไปใช้งานตามความเหมาะสม ดังนี้

- แสงเหนือม่วง เป็นแสงที่พลังงานสูงและสามารถทำอันตรายกับดวงตา แต่มีประโยชน์ในด้านอื่น ๆ เช่น ใช้ฆ่าเชื้อโรค ใช้เพิ่มพลังงานให้กับอิเล็กทรอนิกส์ของหน่วยความจำอีพรอม ( EPROM ) เพื่อใช้ในการลบข้อมูล
- แสงอินฟราเรด เป็นแสงที่มีพลังงานต่ำและไม่เป็นอันตรายต่อดวงตา จึงเหมาะที่จะนำไปใช้เป็นตัวตรวจจับและใช้เป็นตัวส่งสัญญาณต่าง ๆ

การใช้แสงอินฟราเรด สามารถตัดปัญหาการรบกวนของแสงภายนอกอื่น ๆ ( ที่มองเห็น ) ลงไปได้อย่างเด็ดขาด ยิ่งไปกว่านั้นวงจรการใช้งานของระบบแสงอินฟราเรด ยังเป็นวงจรที่ง่ายไม่ซับซ้อนและยังมีความเชื่อถือได้สูงในการใช้งานอีกด้วย

#### 1.2 เหตุผลที่เลือกใช้แสงในการสื่อสารโทรคมนาคม

- 1 ) สามารถป้องกันการสอดแทรกต่าง ๆ ทั้งยังทำให้ปลอดภัยทางการสื่อสาร

2 ) สามารถป้องกันการรบกวนจากสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าต่าง ๆ เช่นจากมอเตอร์ สำหรับปัญหาทั้งสองข้อนี้ สามารถป้องกันได้โดยการใช้แสงที่มีความถี่สูงมากแทนการส่งโดยใช้คลื่นวิทยุ ซึ่งความถี่แสงที่ใช้ส่งนี้จะทำการใช้แสงอินฟราเรดที่เป็นแสงที่ไม่สามารถมองเห็นได้

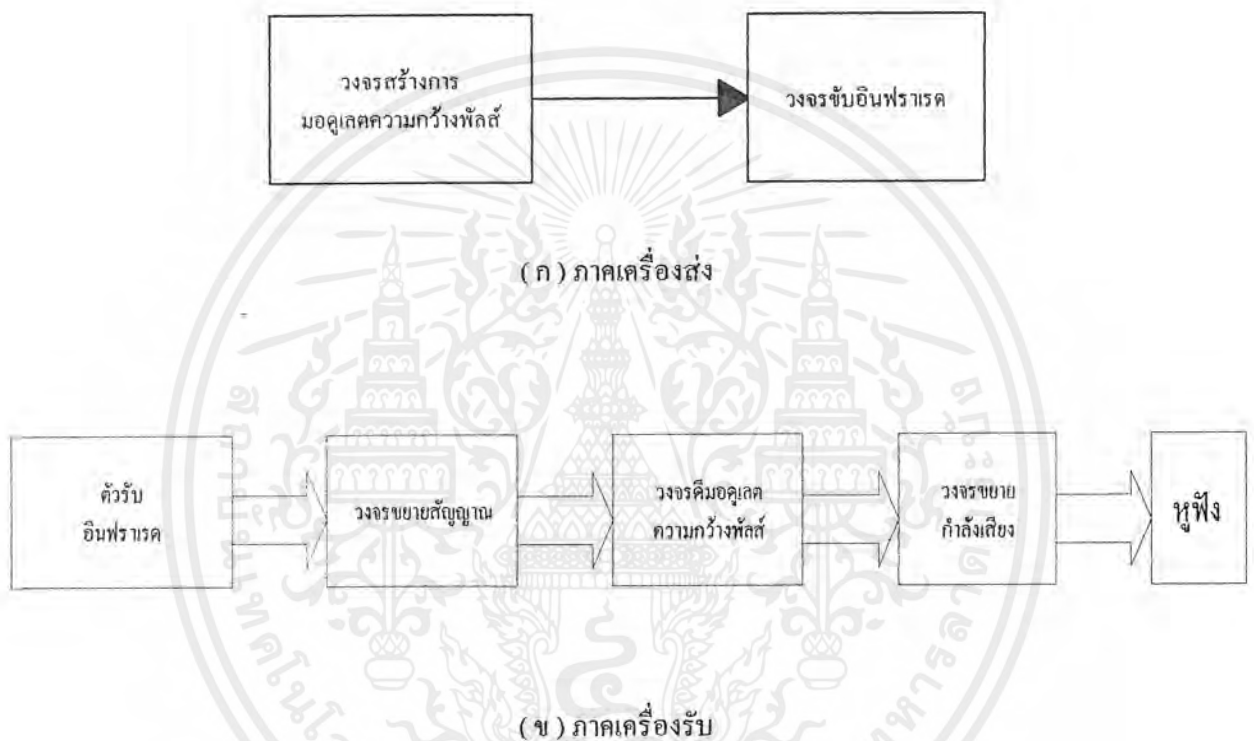


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

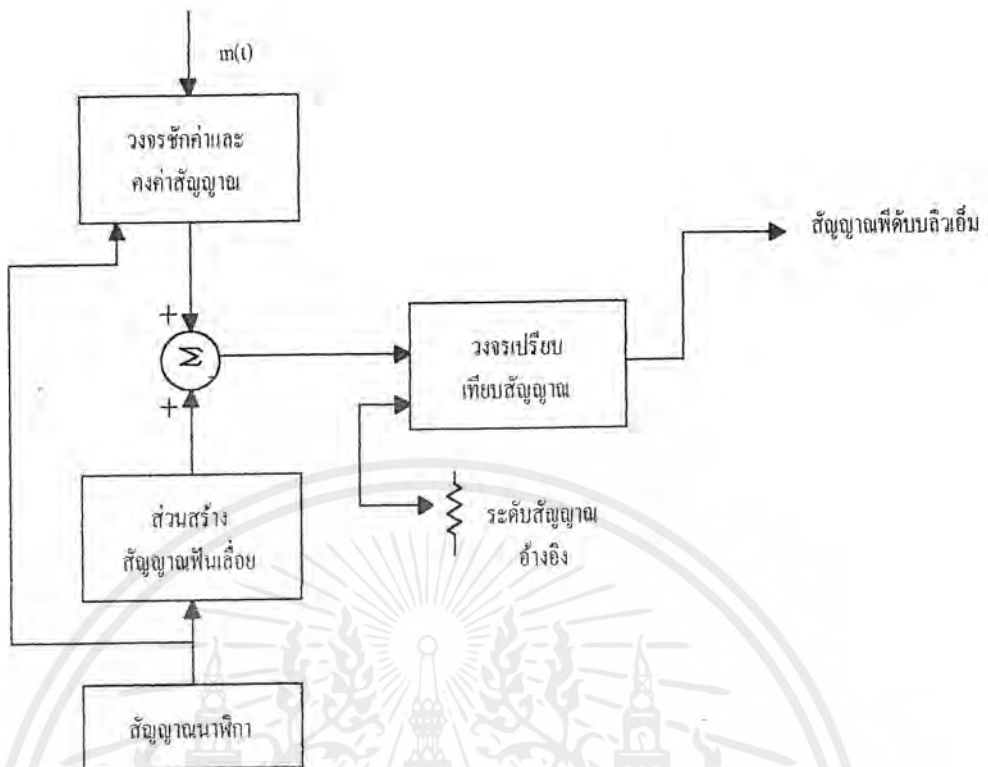
หูฟังไร้สายนี้จะเป็นการนำเอาแสงอินฟราเรดมาใช้ในการเชื่อมโยงสัญญาณเสียงจากเครื่องส่งมายังตัวหูฟัง เนื่องจากการใช้แสงอินฟราเรดสามารถป้องกันการสอดแทรกต่าง ๆ ทั้งยังทำให้เกิดความปลอดภัยในการสื่อสาร และการรบกวนของนอยส์ ( Noise ) ต่าง ๆ ไม่สามารถมารบกวนได้ ซึ่งย่านความถี่อินฟราเรดจะเป็นแสงที่ไม่สามารถเห็นได้ โดยรูปที่ 2.1 จะแสดงแผนผังของหูฟังไร้สายในโครงการนี้



รูปที่ 2.1 แสดงแผนผังของหูฟังไร้สาย

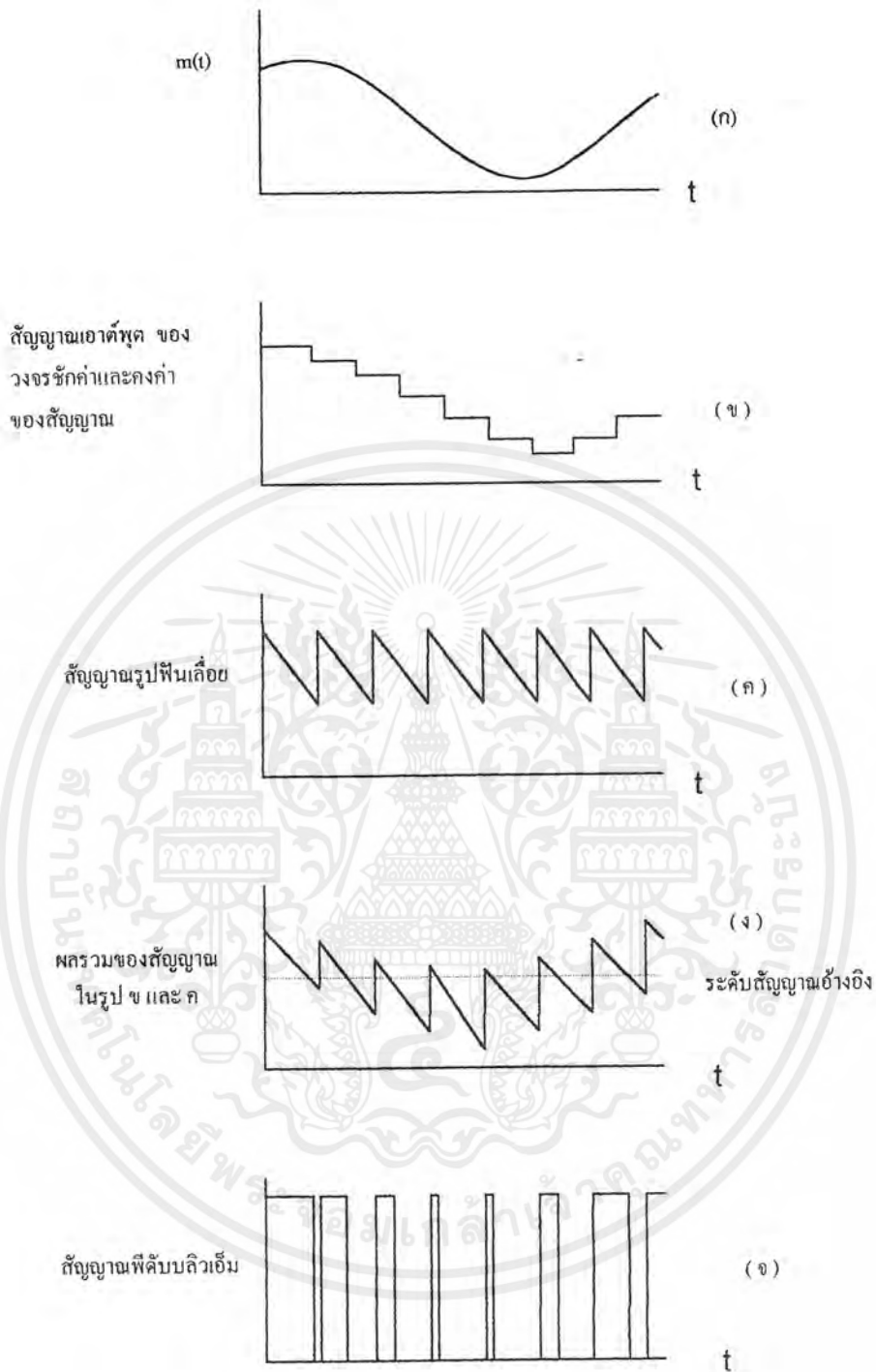
#### 2.1 วงจรสร้างการมอดูเลตความกว้างพัลส์ ( Pulse Width Modulation : PWM modulator )

การสร้างสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์นั้น นิยมใช้ระบบซึ่งประกอบจาก วงจรชั้ค่าและคงค่าระดับสัญญาณ, วงจรสร้างสัญญาณพินเฉื่อย และวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ ( Comparator ) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนผังวงจรระบบสร้างสัญญาณพีคดับลิเอ็ม

การทำงานของระบบอธิบายได้ดังนี้ คือ เมื่อสัญญาณ  $m(t)$  ตามรูปที่ 2.3ก เข้าสู่ระบบวงจรชั่งค่าและคงค่าระดับสัญญาณ จะทำให้เกิดสัญญาณเอาต์พุต ดังแสดงในรูปที่ 2.3ข สัญญาณนี้จะถูกนำไปรวมกับสัญญาณรูปฟันเลื่อยในรูปที่ 2.3ค ทำให้เกิดผลลัพธ์เป็นสัญญาณรูปฟันเลื่อยที่มีการกระเพื่อมตามสัญญาณที่นำมารวมด้วย และเมื่อมีการจัดขนาดของสัญญาณรูปฟันเลื่อยให้มีค่ามากกว่าค่าขนาดจากยอดถึงยอด (Peak to peak) ของสัญญาณ  $m(t)$  เล็กน้อย ก็จะได้สัญญาณที่มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.3ง สัญญาณรวมนี้จะถูกเปรียบเทียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง โดยวงจรเปรียบเทียบ สัญญาณด้วยการใช้ค่าสัญญาณอ้างอิงให้อยู่เหนือระดับสูงสุดของสัญญาณ  $m(t)$  เล็กน้อย ดังปรากฏในรูปที่ 2.3ง แล้วจะได้เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณเป็นสัญญาณพีคดับลิเอ็มดังแสดงในรูปที่ 2.3จ ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณพีคดับลิเอ็มนั้น จะมีความกว้างของพัลส์แปรผันตามขนาดของสัญญาณอินพุต คือ เมื่อสัญญาณอินพุตมีขนาดมาก ความกว้างของพัลส์ก็จะมากด้วย

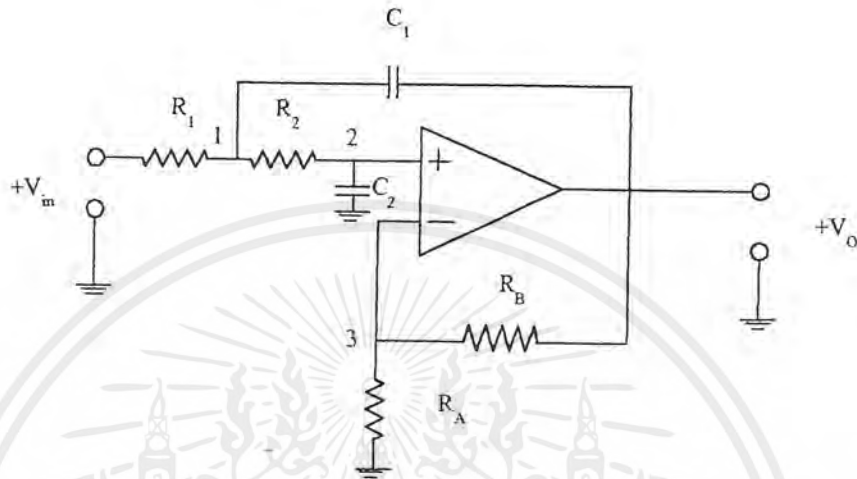


รูปที่ 2.3 สัญญาณที่จุดต่างๆในระบบตามรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 วงจรดีมอดูเลตความกว้างพัลส์ ( PWM demodulator )

การดีมอดูเลตก็คือการนำสัญญาณ  $m(t)$  ที่ส่งกลับคืนมาจากสัญญาณพีดับลิวเอ็มนั้นทำได้โดยการใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ซึ่งมีความถี่ของจุดตัด ( Cutoff frequency ) ที่มีค่ามากกว่าค่าความถี่สูงสุดของสัญญาณอินพุตมากรองสัญญาณพีดับลิวเอ็ม ก็จะได้อินพุตกลับคืนมา



รูปที่ 2.4 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

การที่วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านสามารถนำมาใช้เป็นตัวดีมอดูเลตความกว้างพัลส์ได้ เพราะสัญญาณพีดับลิวเอ็มจะประกอบด้วย ส่วนที่เป็นสัญญาณเสียงที่มีความถี่ในช่วงที่ต่ำกว่ากับส่วนที่เป็นองค์ประกอบของพัลส์ที่มีความถี่สูง ดังนั้นเมื่อทำการกรองเอาแต่เฉพาะสัญญาณในช่วงความถี่ต่ำก็จะสามารถกำจัดส่วนที่เป็นพัลส์ออกไปได้ จึงเหลือแต่ส่วนที่เป็นองค์ประกอบของสัญญาณเสียง

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ( Low Pass Filter ) คือวงจรที่ยอมให้สัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่ของจุดตัด ( อัตราขยายของวงจรมีค่าลดลง 3 เดซิเบล หรือเอาต์พุตตกลงเหลือ 0.707 เท่า ) ผ่านออกมาได้ โดยการสูญเสียที่น้อยที่สุด ขณะที่สัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าความถี่ของจุดตัด ( อัตราขยายผ่านจะมีการสูญเสียมาก ) ถูกกันไม่ให้ผ่านวงจรออกมาได้

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ธ ( Butterworth Low Pass Filter ) เป็นชนิดของวงจรกรองความถี่ที่มีคุณสมบัติเด่นเรื่องการขยายคงที่ในช่วงผ่าน ( Pass Band ) โดยแต่ละโพล ( Pole ) จะมีความชันของเส้นกราฟ ( Roll-Off ) 20 เดซิเบล / ดีเคด ( dB / decade )

จากรูปที่ 2.4

$$\text{โนด 1: } \frac{V_1}{R_1} - \frac{V_{in}}{R_1} + \frac{V_1}{R_2} + sC_1 V_1 - sC_1 V_o - \frac{V_2}{R_2} = 0$$

$$\text{โนด 2: } \frac{V_2}{R_2} - \frac{V_1}{R_2} + sC_2 V_2 = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{โนด3: } \frac{V_2}{R_A} + \frac{V_2}{R_B} - \frac{V_O}{R_B} = 0$$

$$\text{จาก โนด1: } V_1 R_2 - V_{in} R_2 + V_1 R_1 - V_2 R_1 + R_1 R_2 s C_1 V_1 - R_1 R_2 s C_1 V_O = 0 \quad (2.1)$$

$$\text{โนด2: } V_1 = V_2 + R_2 s C_2 V_2 \quad \text{นำไปแทนค่าในสมการ 2.1 จะได้ว่า}$$

$$\begin{aligned} R_2 (V_2 + R_2 s C_2 V_2) - V_{in} R_2 + R_1 (V_2 + R_2 s C_2 V_2) - V_2 R_1 \\ + R_1 R_2 s C_1 (V_2 + R_2 s C_2 V_2) - R_1 R_2 s C_1 V_O = 0 \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$\text{จาก โนด3: } V_2 = \frac{V_O R_A}{R_A + R_B} \quad \text{ถ้าให้ } K = \frac{R_A + R_B}{R_A} \text{ ก็จะได้ } V_2 = \frac{V_O}{K} \quad \text{แล้วเมื่อนำไป}$$

แทนค่าในสมการ 2.2 ก็จะได้ว่า

$$\begin{aligned} R_2 \left( \frac{V_O}{K} + \frac{R_2 s C_2 V_O}{K} \right) - V_{in} R_2 + R_1 \left( \frac{V_O}{K} + \frac{R_2 s C_2 V_O}{K} \right) - \frac{V_O R_1}{K} \\ + R_1 R_2 s C_1 \left( \frac{V_O}{K} + \frac{R_2 s C_2 V_O}{K} \right) - R_1 R_2 s C_1 V_O = 0 \end{aligned}$$

นำ K คูณตลอด

$$\frac{V_O}{V_{in}} = \frac{K R_2}{R_2 + R_2^2 s C_2 + R_1 R_2 s C_2 + R_1^2 R_2 s^2 C_1 C_2 + R_1 R_2 s C_1 - R_1 R_2 s C_1 K} \quad (2.3)$$

นำ  $\frac{1}{R_1^2 R_1 C_1 C_2}$  คูณตลอด

$$\frac{V_O}{V_{in}} = \frac{\frac{K}{R_1 R_2 C_1 C_2}}{\frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} + \frac{s}{R_1 C_1} + \frac{s}{R_2 C_1} + s^2 + \frac{s}{R_2 C_2} - \frac{Ks}{R_2 C_2}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{\frac{K}{R_1 R_2 C_1 C_2}}{\frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} + \left( \frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_2 C_1} + \frac{1}{R_2 C_2} - \frac{K}{R_2 C_2} \right) s + s^2} \quad (2.4)$$

รูปแบบของค่าทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

$$T(s) = \frac{K\omega_o^2}{s^2 + \frac{\omega_o}{Q}s + \omega_o^2} \quad (2.5)$$

จากสมการ 2.4 เมื่อเปรียบเทียบกับสมการ 2.5 จะได้ว่า

$$\omega_o^2 = \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}$$

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

$$K = \frac{R_A + R_B}{R_A} = A_V$$

ถ้ากำหนดให้  $K = 1$ ,  $R_1 = R_2 = 1$  และ  $\omega_o = 1$  แทนลงในสมการ 2.4 และสมการ 2.5 จะได้ว่า

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{\frac{1}{C_1 C_2}}{\frac{1}{C_1 C_2} + \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_2} \right) s + s^2}$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{\frac{1}{C_1 C_2}}{\frac{1}{C_1 C_2} + \left( \frac{2}{C_1} \right) s + s^2} \quad (2.6)$$

$$T(s) = \frac{1}{s^2 + \frac{1}{Q}s + \omega_o^2} \quad (2.7)$$

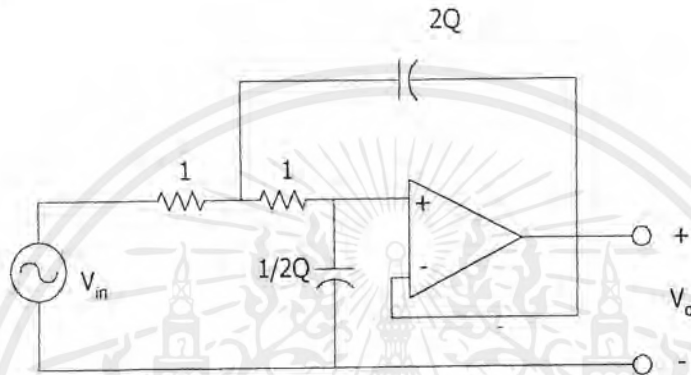
จากสมการ 2.6 เปรียบเทียบกับสมการ 2.7 จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{2}{C_1} = \frac{1}{Q} \quad \text{และ} \quad C_1 C_2 = 1$$

ดังนั้น

$$C_1 = 2Q \quad \text{และ} \quad C_2 = \frac{1}{2Q} \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.5 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านกรณี  $K = 1$  และ  $R_1 = R_2 = 1$

จากสมการ 2.8 จะนำไปใช้ในการออกแบบวงจรดังรูปที่ 2.5 เมื่อได้วงจรออกมาแล้วก็จะทำการคำนวณหาค่าความต้านทาน และตัวเก็บประจุต่าง ๆ ตามหลักสเกลลิง (Scaling) ซึ่งจะได้ว่า

$$R_{\text{new}} = K_m R_{\text{old}} \quad (2.9)$$

$$C_{\text{new}} = \frac{1}{K_m K_f} C_{\text{old}} \quad (2.10)$$

เมื่อ  $K_m$  เป็นค่าคงที่ และ  $K_f = \frac{1}{2\pi f_c}$

จากวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน อันดับ 8 จะมีวงจรอยู่ 4 สเตจ (Stage) โดยค่าอคาสเคลตที่  $Q = 0.51, 0.6, 0.9$  และ 2.56 ตามลำดับ

### 2.3 วงจรขับอินฟราเรด (Infrared transmitter)

#### 2.3.1 คุณสมบัติของตัวกำเนิดแสงอินฟราเรด

หลักการกำเนิดแสงอินฟราเรดนั้นจะทำการนำอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสง ซึ่งจะได้ความยาวคลื่นที่ออกจากอุปกรณ์ตัวนั้น ที่มีความยาวคลื่นในช่วงอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์นี้คือ ไดโอดเปล่งแสงย่านอินฟราเรด ( Infrared Light Emitting Diode ) ซึ่งมีข้อดีหลายประการคือ

- 1) ใช้กระแสและแรงดันที่มีค่าน้อยมากในการผลิตคลื่น
- 2) สามารถควบคุมการทำงานของไดโอดเปล่งแสง ( LED ) ให้มีค่าแน่นอนได้
- 3) มีผลตอบสนองสูง

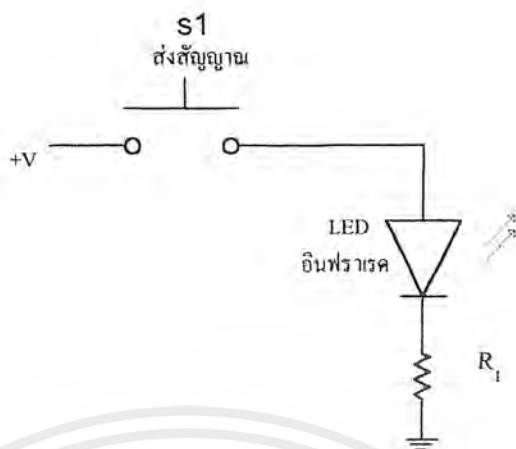
ในการใช้งานไดโอดเปล่งแสงนั้นแรงดันตกคร่อมที่รอยต่อ P-N ของไดโอด ต้องมีค่ามากกว่าแรงดันเทรชโฮลด์จึงจะสามารถทำให้ไดโอดนำกระแสได้ สำหรับซิลิคอนไดโอดแรงดันทำงานมีค่าประมาณ 0.6 โวลต์ ส่วนไดโอดเปล่งแสงที่ให้แสงย่านอินฟราเรดทำจากสาร GaAs มีแรงดันทำงาน 1.5 โวลต์ โดยให้แสงที่มีความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร และถ้าทำจาก AlGaAs จะได้แสงความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร ที่แรงดัน 1.75 โวลต์

พลังงานที่ได้จากการเปล่งแสงของไดโอดเปล่งแสงหาได้จากกระแสไบอัสตรงของไดโอด และต้องไม่ให้กระแสมีค่าสูงจนเกิดความร้อนอันจะทำอันตรายต่อชิ้นไดโอด ถึงสำคัญที่สุดของ ไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดกำลังงานสูงคือ AlGaAs ที่มีความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร และสาร GaAs ซิลิคอนไดโอดที่ให้แสงความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร ซิลิคอนไดโอดเปล่งแสงที่ทำจาก GaAs ให้กำลังงานประมาณ 5 มิลลิวัตต์ ที่กระแสไบอัสตรง 100 มิลลิแอมป์ ไดโอดเปล่งแสงที่ทำจาก AlGaAs จะให้กำลังงานเป็น 2 เท่า เมื่อให้กระแสไบอัสตรงค่าเดียวกัน ข้อที่ดีกว่าอีกประการหนึ่งของไดโอดเปล่งแสงชนิด AlGaAs คือมี เวลาขาขึ้น ( Rise time ) และเวลาขาลง ( Fall time ) ที่เร็วกว่าคือประมาณ 0.5 ไมโครวินาที ในขณะที่ GaAs ซิลิคอนไดโอดมีค่า 1.5 ไมโครวินาที ข้อดีอีกประการหนึ่งคือ การเปล่งแสงของไดโอดเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร ( AlGaAs ) จะใกล้เคียงความยาวคลื่นที่ซิลิคอนโฟโตทรานซิสเตอร์มีความไวสูงสุดจึงเป็นการเหมาะสมที่จะใช้ไดโอดเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่นแสง 880 นาโนเมตร แทนไดโอดเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร นอกจากนี้ไดโอดเปล่งแสงที่ให้ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร ยังไม่ถูกดูดกลืนโดยละอองน้ำเหมือนไดโอดเปล่งแสงที่ให้ความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร จึงสามารถนำไปใช้ตรวจจับไอน้ำในอากาศ ดังนั้นไดโอดเปล่งแสงชนิด 940 นาโนเมตร จึงไม่เหมาะกับการสื่อสารด้วยแสงภายนอกเพราะจุดอ่อนเรื่องการถูกดูดกลืนด้วยไอน้ำในอากาศนั่นเอง ส่วนไดโอดเปล่งแสงชนิดซิลิคอนที่ทำจาก GaAs มักจะใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงย่านอินฟราเรด

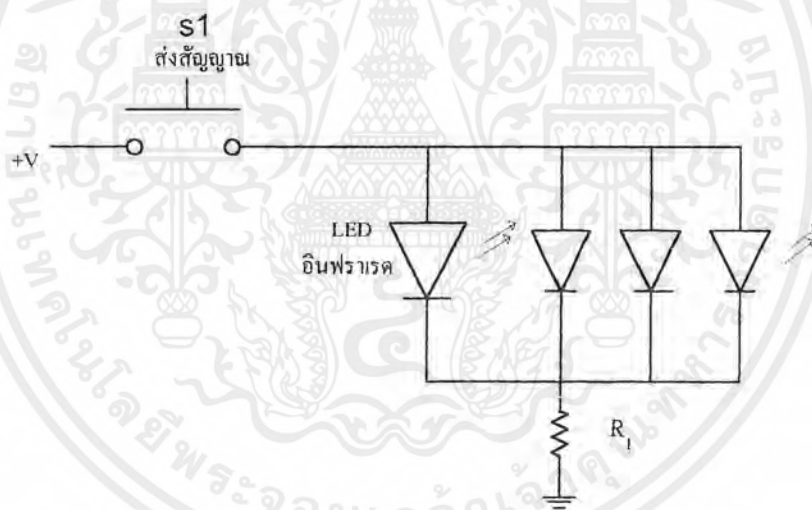
### 2.3.2 ระบบอินฟราเรด

การใช้แสงอินฟราเรดในการส่งสัญญาณ สามารถตัดปัญหาการรบกวนของแสงภายนอกอื่น ๆ ( ที่มองเห็น ) ลงไปได้โดยเด็ดขาด ยิ่งไปกว่านั้นวงจรการใช้งานของระบบอินฟราเรดยังเป็นวงจรที่ง่ายและไม่ซับซ้อน และยังมีราคาถูกสูงในการใช้งานอีกด้วย การส่งสัญญาณแสงย่านอินฟราเรดสามารถกระทำได้ด้วยวงจรง่าย ดังรูปที่ 2.6 ก ซึ่งประกอบด้วย ไดโอดเปล่งแสงที่เปล่งแสงในย่านอินฟราเรด ( เช่น TIL 38 ) ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ โดยมีตัวต้านทาน  $R_1$  ทำหน้าที่จำกัดกระแส ตัวอย่างเช่น สำหรับไดโอดเปล่งแสงที่กินกระแสสูงสุดประมาณ 150 มิลลิแอมป์ หากใช้แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์  $R_1$  จะมีค่าประมาณ 22 โอห์ม แต่ในทางปฏิบัติไม่ควรออกแบบให้ไดโอดเปล่งแสงกินกระแสสูงสุด  $R_1$  ที่ใช้จึงควรมีค่ามากกว่านี้ ( เช่น 100 โอห์ม )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.6 วงจรสร้างอินฟราเรดอย่างง่าย

สัญญาณแสงที่ส่งออกไปโดยไดโอดเปล่งแสงเพียงตัวเดียวจะเหมาะกับการใช้งานในระยะเพียงไม่กี่เมตรเท่านั้น การเพิ่มกำลังส่งของแสงอินฟราเรดให้ไปได้ไกลขึ้นทำได้โดยใช้ไดโอดเปล่งแสงจำนวนหลายตัวขนานกันดังรูปที่ 2.6 ข โดยที่  $R_1$  จะต้องมิต่ำลงกว่าเดิม เพราะต้องขับกระแสมากขึ้น ปัจจุบันมีไดโอดเปล่งแสงย่านอินฟราเรดรุ่นใหม่ที่ให้กำลังส่งสูงหรือความเข้มสูง ช่วยให้ส่งสัญญาณไปได้ไกลกว่าเดิมมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

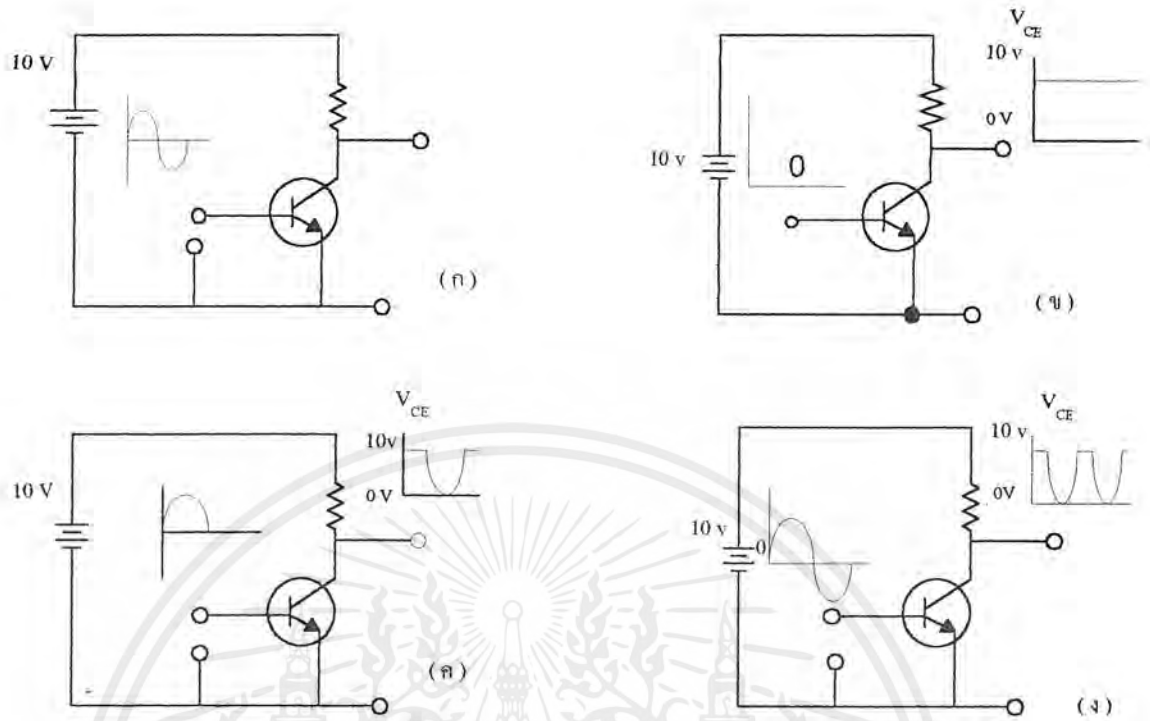
การเพิ่มระยะทางในการทำงานของแสงอินฟราเรด นอกเหนือจากการเพิ่มจำนวนไดโอดเปล่งแสง ดังรูปที่ 2.6 ข อาจทำได้โดยการเพิ่มกระแสที่ขับไดโอดเปล่งแสงให้สูงขึ้น ถึงแม้จะใช้ไดโอดเปล่งแสงเพียงตัวเดียวก็ตาม โดยไดโอดเปล่งแสงต้องไม่เสียหาย ซึ่งสามารถกระทำได้โดยการจำกัดช่วงเวลาการทำงานของไดโอดเปล่งแสงให้สั้นลง ด้วยการใช้นิยามพัลส์เป็นตัวขับกระแสให้ไดโอดเปล่งแสง จากวงจรรูปที่ 2.6ก หากทำการขับสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างพัลส์ไม่เกิน 10 ไมโครวินาที และมีความถี่ไม่เกิน 1 กิโลเฮิร์ตซ์ กระแสที่ขับไดโอดเปล่งแสงอาจมีค่าสูงถึง 2 แอมป์ โดยที่ไดโอดเปล่งแสงไม่เสียหาย ซึ่งจะส่งผลทำให้ความเข้มแสงที่เปล่งออกมามีค่าสูงมากและเดินทางไปได้ไกลกว่าเดิมมากทีเดียว

### 2.3.3 การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นแหล่งจ่ายกระแสและขยายสัญญาณ

ด้วยคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ที่มีการขยายกระแสด้วยค่า  $\beta$  ทำให้สามารถนำทรานซิสเตอร์มาต่อเป็นวงจรขยายสัญญาณได้ ตัวอย่างเช่นการต่อวงจรดังรูปที่ 2.7ก โดยทำการป้อนสัญญาณอินพุตที่เป็นคลื่นไซน์ทางขาเบส (Base) โดยที่  $V_B$  มีค่า 10 โวลต์

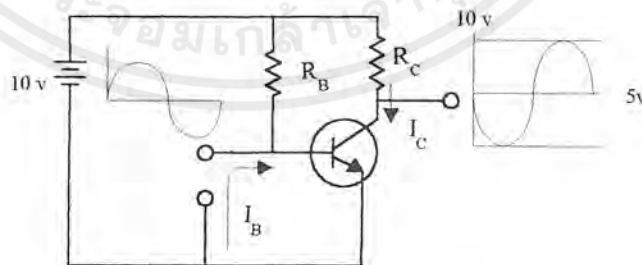
เมื่อสัญญาณอินพุตมีค่าเป็น 0 โวลต์ดังรูปที่ 2.7ข จะไม่เกิดกระแสที่ขาเบส ( $I_B$ ) ผลก็คือกระแสที่ขาคอลเลคเตอร์ ( $I_C$ ) ไม่เกิดด้วย ดังนั้นแรงดันที่  $R_C$  จึงมีค่าเป็น 0 โวลต์ ทำให้แรงดัน  $V_{CE}$  เท่ากับค่า  $V_C$  คือ 10 โวลต์ และทำนองเดียวกัน เมื่อสัญญาณอินพุตที่น้อยกว่า 0.65 โวลต์ สัญญาณเอาต์พุตจะมีค่าเป็น 10 โวลต์เช่นกัน

เมื่อสัญญาณอินพุตมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นลักษณะครึ่งรูปคลื่นไซน์ในช่วงบวก ( ไซเคิลบวก ) ดังรูปที่ 2.7ค ในช่วงนี้จะเกิด  $I_B$  ตามคลื่นไซน์ด้วย จึงทำให้  $I_C$  เกิดตามไปด้วย เมื่อ  $I_B$  เพิ่มมากขึ้น  $I_C$  จะมากขึ้นด้วย ผลทำให้เกิดแรงดันที่  $R_C$  มากขึ้น แรงดัน  $V_{CE}$  จึงเริ่มลดลง เมื่อสัญญาณอินพุตมีค่าสูงสุดจะทำให้แรงดัน  $V_{CE}$  มีค่าลดลงมากที่สุดจนเป็น 0 โวลต์และเมื่อสัญญาณอินพุตเริ่มลดลง แรงดันเอาต์พุตจะเริ่มเพิ่มมากขึ้น จะสังเกตได้ว่าในช่วงนี้สัญญาณเอาต์พุตจะกลับเฟส ( ตรงข้าม ) กับสัญญาณอินพุตคือเมื่อสัญญาณอินพุตมีแรงดันมากขึ้น สัญญาณเอาต์พุตจะมีแรงดันลดลง



รูปที่ 2.7 ทรานซิสเตอร์ในวงจรขยายสัญญาณพร้อมทั้งแสดงสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุต

ในช่วงสัญญาณอินพุตเป็นครึ่งคลื่นรูปไซน์ในช่วงลบ ( ไซเคิลลบ ) ดังรูปที่ 2.7g ในช่วงนี้ขาเบสและขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์จะได้รับ ไบอัสกลับ ทำให้ไม่มี  $I_B$  จึงไม่เกิด  $I_C$  ด้วยเหมือนกับรูปที่ 2.7ข ผลก็คือได้แรงดันเป็น 10 โวลต์ และเมื่อสัญญาณอินพุตมีค่าเป็นไซเคิลบวกอีกก็จะ ได้แรงดัน  $V_{CE}$  ลดลงเป็นคลื่นรูปไซน์ครึ่งคลื่นเช่นกัน



รูปที่ 2.8 การต่อ  $R_B$  ไบอัสทรานซิสเตอร์ทำให้ได้รูปคลื่นเอาต์พุตที่สมบูรณ์

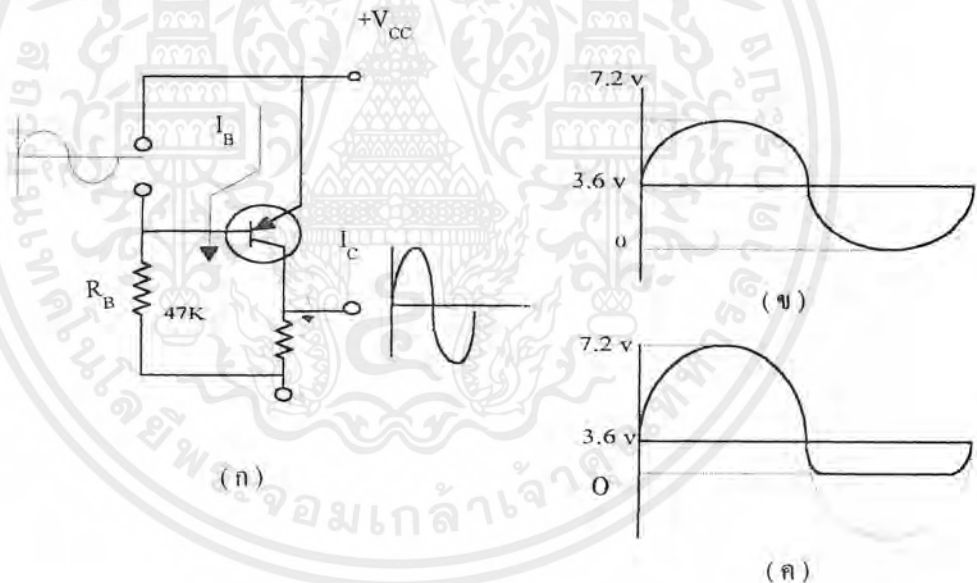
จากตัวอย่างในรูปที่ 2.7g จะเห็นว่าเมื่อต่อวงจรดังรูปจะได้สัญญาณเอาต์พุตผิดเพี้ยน คือมีการขยายเพียงครึ่งไซเคิลเท่านั้น อีกครึ่งไซเคิลลบถูกตัดทิ้งไป ดังนั้นจึงแก้ไขโดยมีการให้ไบอัสแก่

ทรานซิสเตอร์ทางขาเบสก่อน ดังรูปที่ 2.8 ด้วยการ ใช้ตัวต้านทาน  $R_B$  ต่อเข้ากับขาเบสและ  $V_{CC}$  ขณะที่ไม่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเข้าหรือสัญญาณเข้าเป็น 0 โวลต์ ตัว  $R_B$  จะทำให้มี  $I_B$  ค่าหนึ่งซึ่งทำให้เกิด  $I_C$  ที่ทำให้มีแรงดันที่  $R_C$  มีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของ  $V_s$  ในที่นี้คือ 5 โวลต์ ( เรียกสภาวะนี้ว่าจุดสงบ ) เมื่อสัญญาณอินพุตมีค่าเป็นครึ่งไซเคิลบวก  $I_B$  จะเพิ่มขึ้นทำให้  $V_{CE}$  ตกลงต่ำสุดมาเหลือ 0 โวลต์พอดี และเมื่อสัญญาณอินพุตมีค่าเป็นครึ่งไซเคิลลบ  $I_B$  จะลดลงทำให้  $V_{CE}$  มีค่าเพิ่มขึ้น

ด้วยวิธีไบอัสตามรูปที่ 2.8 จะทำให้เกิดการขยายสัญญาณเต็มรูปคลื่น คือสัญญาณเอาต์พุตจะสวิงหรือแกว่งระหว่าง 0 โวลต์กับ  $V_s$  โดยมีจุดสงบที่ครึ่งหนึ่งของ  $V_s$  ทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตสวิงได้มากที่สุด

การไบอัสที่จุดสงบที่ค่าแรงดันต่าง ๆ จะทำให้เกิดผลของการขยายสัญญาณในครึ่งไซเคิลบวกและลบในคลาสต่าง ๆ เช่น ในรูปที่ 2.8 ไบอัสให้อยู่ที่ครึ่งหนึ่งของ  $V_s$  เรียกว่าคลาส A แต่รูปที่ 2.9c ทรานซิสเตอร์ขยายในไซเคิลบวกได้สูง ส่วนในไซเคิลลบไม่ตี เรียกว่าคลาส AB และมีวิธีการต่อทรานซิสเตอร์ 2 ตัว ขยายร่วมกันโดยไบอัสให้ตัวแรกขยายในไซเคิลบวกอย่างเดียว แล้วนำเอาเอาต์พุตของทั้งสองนั้นมารวมกันก็จะได้สัญญาณเอาต์พุตสวิงได้สูงขึ้น วิธีนี้จัดอยู่ในคลาส B ซึ่งคลาสต่าง ๆ เหล่านี้ถูกนำไปใช้ในวงจรขยายเสียงต่างๆ



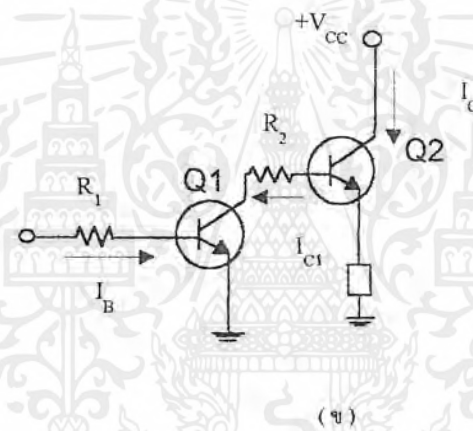
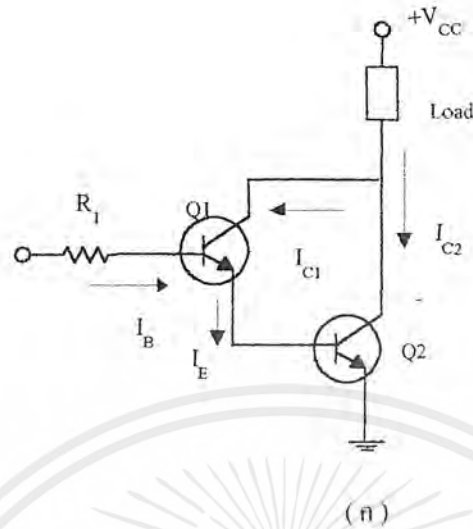
รูปที่ 2.9 (ก) เป็นตัวอย่างวงจรขยายของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

(ข) แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่สวิงได้สูงสุด โดยไม่ผิดเฟส

(ค) แสดงการผิดเฟสเมื่อสัญญาณสวิงสูงเกินไป

ที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงให้เห็นถึงการใช้ทรานซิสเตอร์เพียงตัวเดียว ซึ่งอาจมีอัตราการขยายกระแสต่ำ ไม่เพียงพอสำหรับวงจรที่ต้องการขยายกระแสสูง จึงมีวิธีการต่อทรานซิสเตอร์ให้มีค่า  $\beta$  สูงขึ้นดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 การต่อทรานซิสเตอร์ 2 ตัวร่วมกันเพื่อให้วงจรมีอัตราขยายกระแสสูงมากขึ้น

ในรูปที่ 2.10ก เป็นการต่อในลักษณะที่เรียกว่า “ คาร์ลิงตัน ” ( Darlington ) โดยที่ทรานซิสเตอร์ ทั้งสองมีค่า  $\beta$  ไม่เท่ากัน โดยมีค่าเป็น  $\beta_1$  และ  $\beta_2$  ตามลำดับจะได้

$$I_E = I_{C1} + I_B = (\beta_1 \times I_B) + I_B$$

$$= (\beta_1 + 1)I_B$$

และ  $I_E$  จะป้อนเข้าเป็นกระแสเบสของ  $Q_2$  ลักษณะเป็นเช่นนี้

$$I_{C2} = \beta_2 I_E = \beta_2 (\beta_1 + 1) I_B = \beta_2 \beta_1 I_B$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะเห็นว่ากระแสคอลเลคเตอร์จะถูกขยายด้วย  $\beta_1$  และ  $\beta_2$  จึงทำให้อัตราขยายกระแสสูงมาก ตัวอย่างเช่น ถ้าแต่ละตัวมีค่า  $\beta$  เท่ากันเป็น 100 เท่าจะได้กระแสคอลเลคเตอร์สูงถึง 10,000 เท่าของ  $I_B$  ผลที่เกิดขึ้นอีกอย่างหนึ่งก็คือแรงดัน  $V_{in}$  จะต้องมีค่ามากกว่า 1.2 โวลต์จึงจะเกิด  $I_B$  ได้ ทั้งนี้เพราะกระแสเบสวิ่งผ่านขาเบส , ขาคอลเลคเตอร์ของ  $Q_1$  และขาเบส , ขาคอลเลคเตอร์ของ  $Q_2$  จึงจะครบวงจร แต่ละตัวต้องการแรงดันคร่อมขาเบส , ขาคอลเลคเตอร์เป็น 0.6 โวลต์จึงจะนำกระแส เมื่อเป็นสองตัวเช่นนี้จึงต้องการแรงดันเป็น 1.2 โวลต์และในที่นี้จะหาค่า  $I_B$  ได้ดังนี้

$$I_B = \frac{(V_{in} - 1.2)}{R_1}$$

ตัวอย่างอีกวงจรรูปที่ 2.10ข แสดงให้เห็นถึงการใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวเช่นกัน แต่เป็นคนละชนิดกันแต่ให้ผลเช่นเดียวกับรูปที่ 2.10ก คือ

$$I_{C1} = \beta_1 I_B$$

เนื่องจาก  $I_{C1}$  เป็นกระแสเบสของ  $Q_2$  ทั้งหมดจึงได้

$$I_{C2} = \beta_2 I_{C1} = \beta_2 \beta_1 I_B$$

กระแสเบสถูกขยายด้วยค่า  $\beta_1$  และ  $\beta_2$  เช่นกันแล้วจึงจะเกิด  $I_B$  ได้เมื่อ  $V_{in}$  มีค่ามากกว่า 0.6 โวลต์

#### 2.4 ตัวรับอินฟราเรด

การรับอินฟราเรดจะต้องประกอบด้วยส่วนของตัวรับแสง ที่ใช้ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งมีให้เลือกใช้หลายประเภท เช่น โฟโตไดโอด , โฟโตทรานซิสเตอร์ นอกจากนี้มีการใช้ไอซีที่มีส่วนของตัวรับแสงและมีการขยายในตัวเดียวกันเลยอีกด้วย

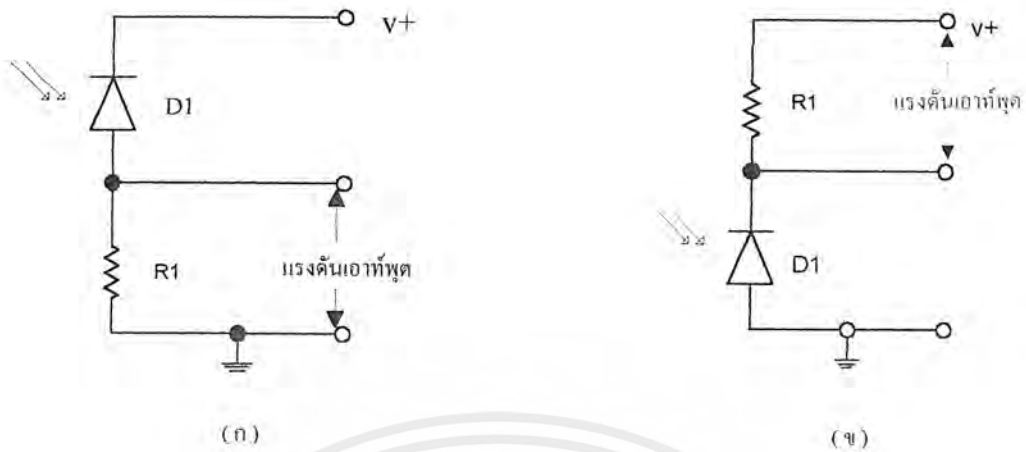
##### โฟโตไดโอด

เมื่อใดที่รอยต่อ P-N ชนิดซีดคอนได้รับการไบอัสกลับ จะเกิดกระแสวโหลย้อนกลับมาผ่านไดโอด ซึ่งกระแสวโหลย้อนกลับและอิมพีแดนซ์ของรอยต่อ P-N นี้มีความไวต่อแสงสูงมาก คือจะมีอิมพีแดนซ์สูงเมื่ออยู่ในที่มืด และมีอิมพีแดนซ์ต่ำเมื่ออยู่ในที่สว่าง

ไดโอดโดยทั่วไปนั้น จะหุ้มรอยต่อนี้ไว้ด้วยวัสดุทึบแสง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปรากฏการณ์นี้ขึ้น แต่สำหรับโฟโตไดโอดเป็นไดโอดซึ่งถูกผลิตขึ้นเพื่อให้เกิดปรากฏการณ์นี้โดยเฉพาะ รอยต่อจึงถูกหุ้มห่อหุ้มด้วยวัสดุที่แสงสามารถผ่านได้ ไดโอดชนิดนี้มี 2 แบบคือ ชนิดที่ตอบสนองต่อช่วงที่สายตามองเห็น และชนิดที่ตอบสนองต่อแสงย่านอินฟราเรด ในการนำไปใช้งาน โฟโตไดโอดจะต้องถูกต่อในลักษณะได้รับการไบอัสกลับ

สำหรับแรงดันเอาต์พุตเป็นแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานโหลดที่ต่ออนุกรมกับโฟโตไดโอดและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



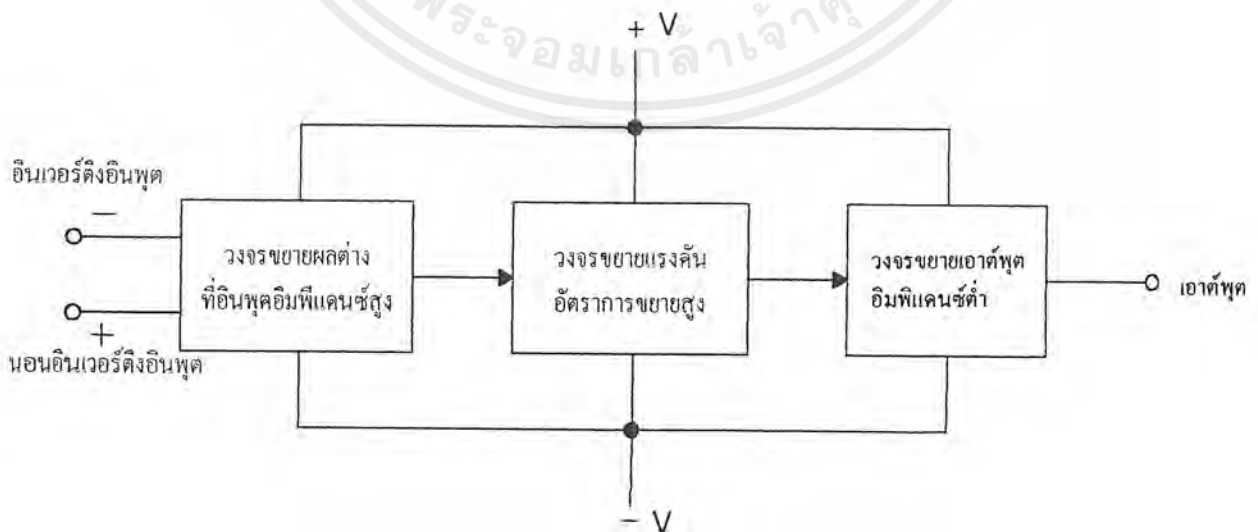
รูปที่ 2.11 ลักษณะการต่อใช้งาน โฟโตไดโอด

กราวนด์ ดังรูปที่ 2.11ก หรืออยู่ระหว่างโฟโตไดโอดและแหล่งจ่ายกระแสไฟบวก ดังรูปที่ 2.11ข ก็ได้  
2.5 วงจรขยายสัญญาณ

2.5.1 คุณสมบัติทั่วไปของออปแอมป์

โดยทั่วไปแล้วสามารถจะกล่าวได้ว่าไอซีออปแอมป์ก็คืออุปกรณ์โซลิดสเตต ( Solid state ) ชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถตรวจวัดระดับสัญญาณไฟตรงและไฟสลับได้ และยังสามารถนำไปใช้ขยายสัญญาณได้อีกด้วย ออปแอมป์พื้นฐานจะต้องประกอบด้วยวงจรภายในภาคต่าง ๆ ดังนี้คือ

- 1) วงจรขยายผลต่าง ( Differential amplifier ) ที่มีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงมาก
- 2) วงจรขยายแรงดันซึ่งมีอัตราขยายสูงมาก
- 3) วงจรขยายภาคเอาต์พุตที่มีเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำมาก



รูปที่ 2.12 แสดงแผนผังของวงจรภายในภาคต่างๆ ของออปแอมป์

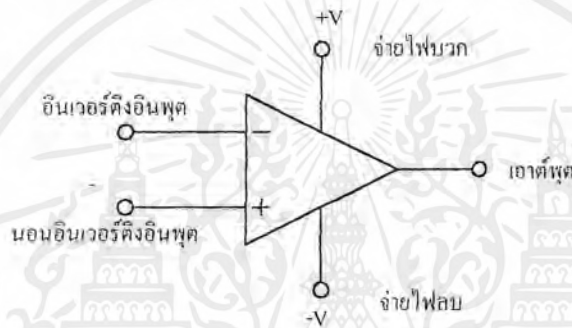
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.12 จะสังเกตเห็นว่าแรงดันไฟตรงที่จ่ายให้แก่ออปแอมป์มักประกอบด้วยไฟบวกและไฟลบ เพื่อให้เอาต์พุตสามารถสวิงได้ทั้งซีกบวกและลบเทียบกับกราวนด์ จากคุณสมบัติที่กล่าวมา ทำให้สามารถสรุปคุณสมบัติที่สำคัญบางประการของออปแอมป์ในอุดมคติได้ดังนี้

1) เนื่องจากอินพุตอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์มีค่าสูงเป็นอนันต์ กระแสเข้าที่อินพุตจะคำนวณเกือบเท่ากับศูนย์ (หรือ ไม่มีกระแสเข้าสู่ออปแอมป์เลย)

2) อัตราขยายขณะเปิดลูป A (ขณะที่ยังไม่มีการป้อนกลับ) จะมีค่าสูงมาก ซึ่งหมายความว่าแรงดันระหว่างขั้วอินพุตควรมีค่าใกล้ศูนย์ (เนื่องจาก  $\frac{V_{out}}{A} = V_{in}$ )

3) เอาต์พุตอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำมากจนไม่ทำตัวเป็นโหลดต่อภาคเอาต์พุตของวงจรขยาย



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะทั่วไปของออปแอมป์

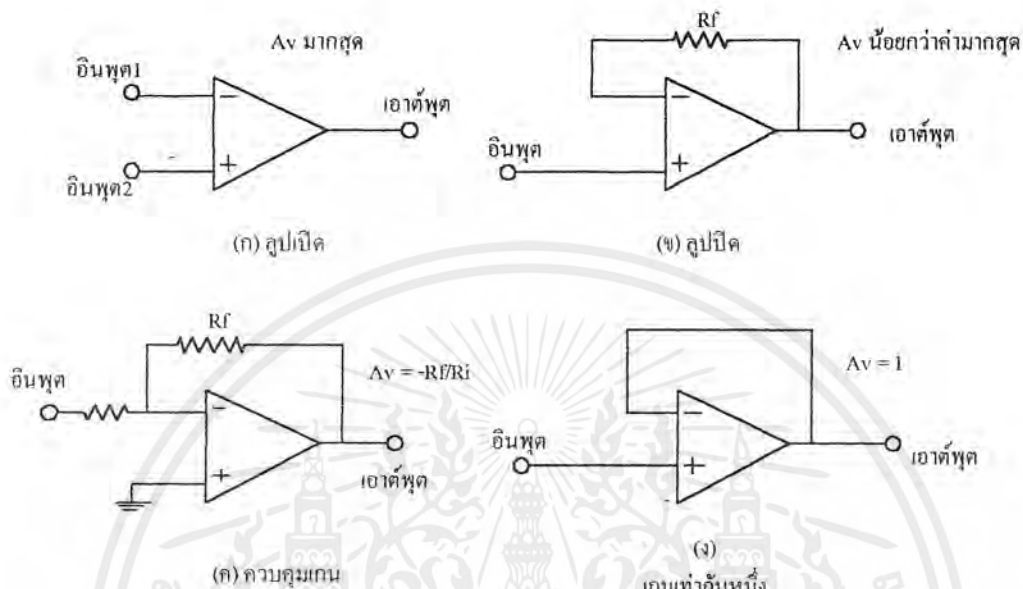
จากรูปที่ 2.13 จะเห็นว่าออปแอมป์ประกอบด้วยอินพุต 2 ขั้ว ขั้วสำหรับแหล่งจ่ายไฟ 2 ขั้ว และ ขั้วเอาต์พุต

ขั้วอินพุตทั้งสองออปแอมป์มีลักษณะต่างกัน คือ เมื่อขั้วลบถูกป้อนไฟตรงหรือไฟสลับเข้าไป ในขณะที่ขั้วบวกต่อกับจุดอ้างอิงจุดหนึ่ง สัญญาณที่ออกมาที่เอาต์พุตจะกลับเฟสกับอินพุต 180 องศา ส่วนการป้อนสัญญาณที่ขั้วบวก เอาต์พุตจะมีเฟสตรงกับอินพุต ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าเครื่องหมายที่อินพุตคือการแสดงเฟสของเอาต์พุตเทียบกับอินพุต

### 2.5.2 ลักษณะการทำงานของออปแอมป์

ออปแอมป์ในอุดมคติจะมีอัตราขยายเป็นอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติอัตราขยายอาจมีค่าสูงสุดเพียง 10,000 หรือ 1,000,000 เท่า นั่น ซึ่งเรียกว่า อัตราขยายขณะเปิดลูป ( $A_v$ ) ดังแสดงในรูปที่ 2.14b ในขณะที่เกิดความแตกต่างของแรงดันเพียงเล็กน้อยสำหรับขั้วอินพุตทั้งสอง เอาต์พุตจะสามารถให้สัญญาณสูงชันหลายเท่า (ตามอัตราขยาย  $A_v$ ) หากแต่จะถูกจำกัดด้วยขนาดของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงที่ป้อนให้แก่ออปแอมป์ด้วย แต่ถึงจะเป็นเช่นนั้น เอาต์พุตก็จะไม่สามารถมีค่าสูงสุดเท่ากับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงได้จริง

จากคุณสมบัติข้างต้นนั้นจะทำให้สามารถนำออปแอมป์ในขณะเปิดลูไปใช้งานเป็น วงจร เปรียบเทียบแรงดัน ( Comparator ) โดยเอาต์พุตจะเปลี่ยนทันทีเมื่อมีความแตกต่างของแรงดันเกิดขึ้น ระหว่างขั้วอินพุตของออปแอมป์



รูปที่ 2.14 ลักษณะการทำงานของออปแอมป์

แต่การทำงานของออปแอมป์ยังมีลักษณะของลูปิด ( มีการป้อนกลับ ) ซึ่งจะทำให้ใช้ประโยชน์จาก ออปแอมป์ได้สูงมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.14ข การป้อนกลับในรูปใช้  $R_f$  เพียงตัวเดียว ซึ่งมีผลทำให้ วงจรมีเสถียรภาพสูงขึ้น และมีสัญญาณรบกวนน้อยลงในขณะเดียวกัน อัตราขยายแรงดันจะลดลง ด้วยวงจรในรูปที่ 2.14ค แสดงการใช้ออปแอมป์โดยมีการป้อนสัญญาณเอาต์พุตกลับมายังอินพุต นอก จากนี้ ยังสามารถควบคุมอัตราขยายแรงดัน ( ขณะเปิดลู ) ได้โดยอาศัยตัวต้านทาน 2 ตัวเท่านั้น ทำให้ อัตราขยายแรงดัน  $A_v$  มีค่าตั้งสมการ

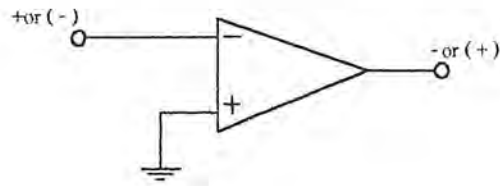
$$A_v = -\frac{R_f}{R_i}$$

โดยมีเครื่องหมายลบแสดงถึงการกลับเฟสของเอาต์พุต ส่วนวงจรรูปที่ 2.14ง แสดงการป้อนกลับ ในกรณีนี้  $A_v = 1$  คุณสมบัติที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้คือคุณสมบัติทั่วไปของออปแอมป์ที่จะนำไปใช้งาน และคุณสมบัติที่น่าสนใจอีกก็คือความสัมพันธ์ของขั้วต่าง ๆ ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของออปแอมป์ ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.15 คือ

1. ถ้าขั้ว ลบ มีศักย์เป็นบวกสูงกว่าขั้ว บวก , เอาต์พุตเป็น ลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

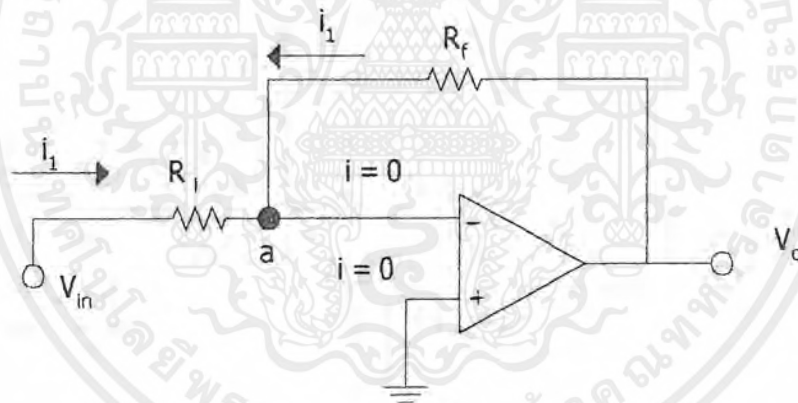
2. ถ้าขั้วลบ มีศักย์เป็นบวกต่ำกว่าขั้วบวก, เอาต์พุตเป็นบวกซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ของขั้วต่างๆ ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของออปแอมป์

### 2.5.3 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส มีลักษณะดังรูปที่ 2.16 ระดับสัญญาณเอาต์พุต  $V_o$  จะถูกป้อนกลับ (Feedback) มายังขาลบของออปแอมป์ผ่าน  $R_f$  และ  $R_i$  โดย  $R_f$  เป็นความต้านทานป้อนกลับ (Feedback Resistor) สัญญาณอินพุต  $V_{in}$  จะเข้าขาลบของออปแอมป์ผ่าน  $R_i$  และขาบวกของออปแอมป์จะต่อกับกราวนด์ (Ground)



รูปที่ 2.16 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส

ถ้าสมมติให้ออปแอมป์เป็นออปแอมป์ในอุดมคติ (Idle Op-amp) ดังนั้น โหนด a จึงมีความต่างศักย์เป็นศูนย์ด้วย จะได้กระแส  $i$ , ผ่าน  $R_i$  เป็น

$$i_1 = \frac{V_{in}}{R_i}$$

เมื่อไม่มีกระแสไหลเข้าออปแอมป์ กระแสทั้งหมดที่ผ่าน  $R_i$  จะต้องไหลผ่าน  $R_f$  ดังนั้นความต่างศักย์ที่เอาต์พุตจะได้

$$V_o = -i_i R_f = -V_{in} \frac{R_f}{R_i}$$

อัตราขยายของวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟสคือ

$$A_v = \frac{V_o}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_i}$$

สมการ โนดที่ โนด a ในรูปที่ 2.16 คือ

$$\frac{V_a - V_{in}}{R_i} + \frac{V_a - V_o}{R_f} = 0$$

ซึ่ง  $V_a$  เป็นความต่างศักย์ที่ โนด a และมีค่าเท่ากับศูนย์เนื่องจากเสมือนกับว่าต่อกับกราวนด์ (Ground) จะได้ว่า

$$A_v = \frac{V_o}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_i} \quad (2.11)$$

โดยเครื่องหมายลบแสดงถึงค่ามุมเฟสขีฟ 180 องศา ระหว่าง  $V_{in}$  และ  $V_o$

### บทที่ 3

#### คำนวณและการสร้าง

จากแผนผัง รูปที่ 2.1 ของระบบหูฟังไร้สาย ในแต่ละส่วนสามารถทำการสร้างได้ดังนี้

#### ภาคส่ง

##### 3.1 วงจรสร้างการมอดูเลตความกว้างพัลส์

ในส่วนนี้เป็นส่วนที่ทำการมอดูเลตแบบความกว้างพัลส์จากสัญญาณเสียง โดยมีการนำไอซีมาใช้หลายตัวด้วยกัน เพื่อทำการสร้างในแต่ละส่วนของวงจรดังอธิบายในหัวข้อ 2.1 ซึ่งแต่ละส่วนมีการสร้างดังนี้

##### 3.1.1 วงจรสร้างสัญญาณพื่นเลื่อย

ในโครงการนี้ได้มีการนำ XR2206 มาใช้ซึ่ง ไอซีเบอร์นี้จะใช้ไฟ +15 โวลต์ กับกราวนด์ และมีสัญญาณพื่นเลื่อยถูกส่งออกมาที่ขา 2 ของไอซี จากนั้นสัญญาณพื่นเลื่อยก็จะถูกนำไปขยายเพื่อให้ได้ขนาดที่ใหญ่ขึ้น โดยใช้อปแอมป์

##### 3.1.2 วงจรสัญญาณพัลส์

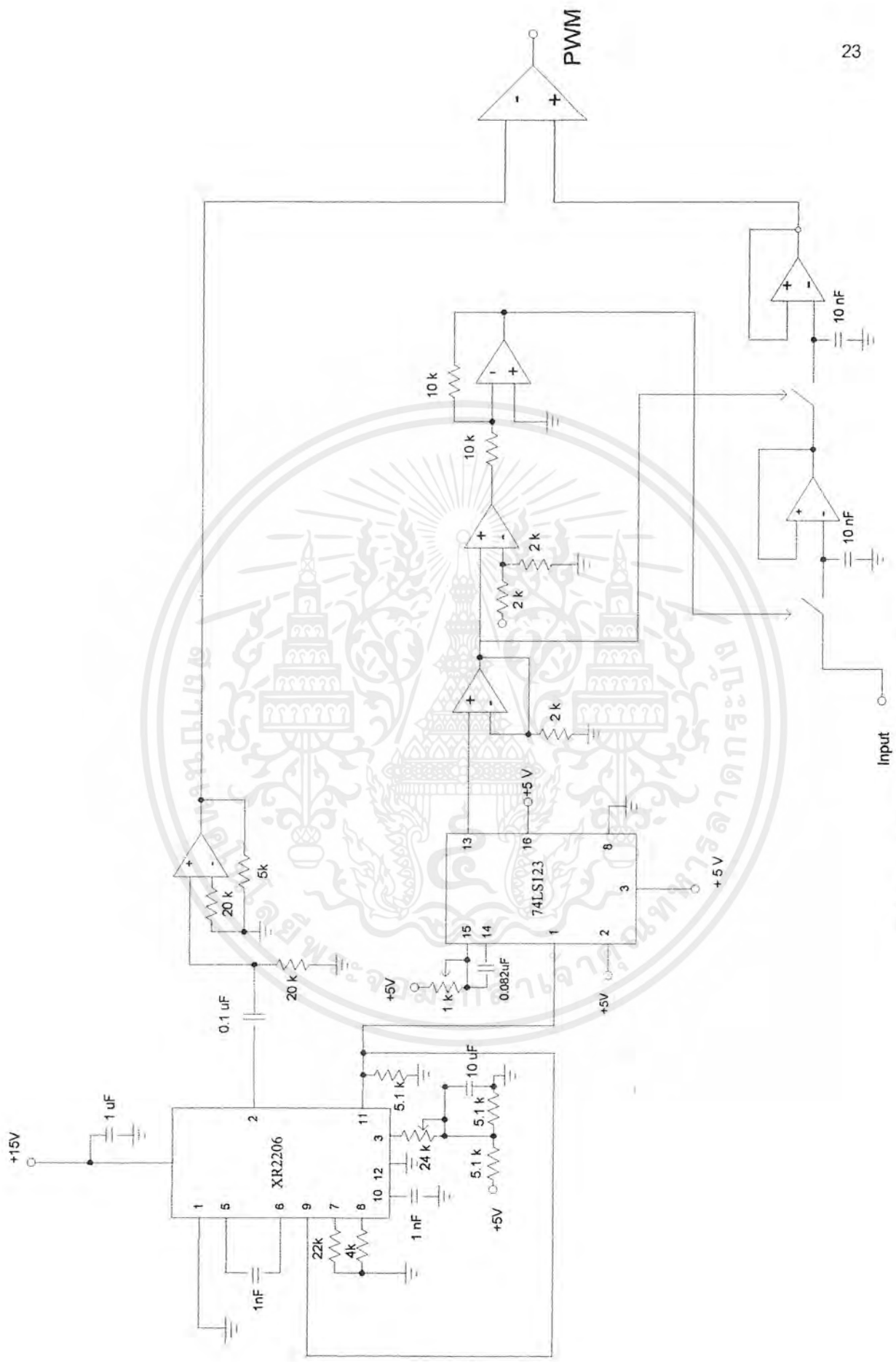
วงจรมีการสร้างพัลส์เพื่อให้วงจรซักรค่าสัญญาณและคงค่าสัญญาณ กับวงจรสร้างสัญญาณพื่นเลื่อยมีการซิงโครไนซ์ ( Synchronize ) กัน โดยวงจรมีการสร้างได้จากการใช้ไอซีเบอร์ 74LS123 โดยไอซีเบอร์นี้จะทำการปรับควิตีไซเคิล ( Duty cycle ) ของพัลส์ให้มีค่าเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ มีอินพุตอยู่ที่ขา 1 ซึ่งในที่นี้จะทำการป้อนสัญญาณพื่นเลื่อย เพื่อสร้างพัลส์ออกมาที่ขาเอาต์พุตที่ขา 3 ของ ไอซี

##### 3.1.3 วงจรซักรค่าและคงค่าสัญญาณ

วงจรมีทำหน้าที่ในการซักรค่าตัวอย่างของสัญญาณอินพุตที่รับเข้ามา หากในที่นี้ก็จะทำการรับสัญญาณเสียงมานั่นเอง โดยมีสัญญาณพัลส์ที่สร้างจากวงจรสร้างสัญญาณพัลส์มาใช้เป็นสัญญาณจังหวะที่ใช้ควบคุมการซักรค่าตัวอย่าง และในโครงการนี้ได้มีการนำไอซีเบอร์ SCL4066B ซึ่งเป็น ไอซี ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์อนาลอกแบบ 4 สวิตช์ แต่ในโครงการนี้จะใช้เพียง 2 สวิตช์เท่านั้น โดยสวิตช์นี้จะมีการเปิด-ปิดตามอัตราที่ต้องการจะทำการซักรค่าตัวอย่างของสัญญาณอินพุตที่รับเข้ามา และทำการคงค่าสัญญาณที่ทำการซักรค่าไว้แล้ว จากนั้นจะนำสัญญาณไปเปรียบเทียบกับสัญญาณพื่นเลื่อยที่วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ

##### 3.1.4 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ

วงจรมีทำการเปรียบเทียบสัญญาณ โดยจะทำการเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างสัญญาณพื่นเลื่อยกับสัญญาณที่ได้มาจากวงจรซักรค่าและคงค่าสัญญาณ โดยมีการนำเอาอปแอมป์มาใช้เป็นตัวเปรียบเทียบซึ่งเอาต์พุตที่ขา 6 ของอปแอมป์จะได้สัญญาณพีคดับลิวเอ็มออกมา

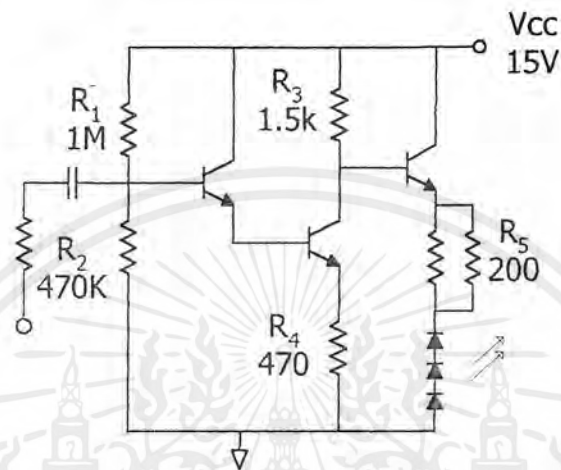


รูปที่ 3.1 วงจรสร้างการมอดูเลตความกว้างพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 วงจรขับอินฟราเรด

วงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณพัลส์ที่ได้มาจากการมอดูเลตความกว้างพัลส์ออกไปเป็นแสงย่านอินฟราเรด โดยมีการนำเอาไดโอดเปล่งแสงที่เปล่งแสงในย่านความถี่อินฟราเรดมาใช้ โดยที่ไดโอดเปล่งแสงนี้จะเปล่งแสงตามสัญญาณพัลส์ที่ป้อนให้ที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในการขยายกระแสเพื่อใช้ในการขับสัญญาณอินฟราเรด วงจรขับอินฟราเรดแสดงดังรูปที่ 3.2

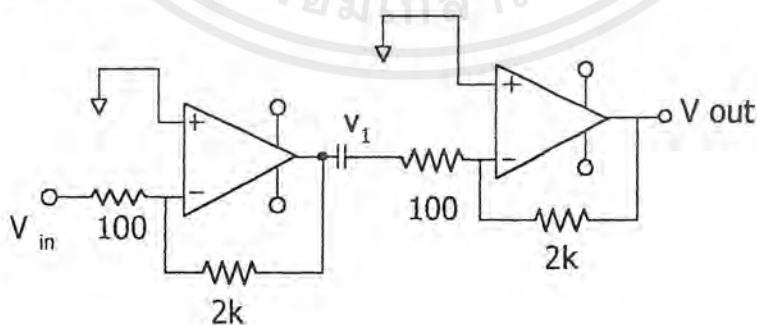


รูปที่ 3.2 วงจรขับอินฟราเรด

### ภาครับ

#### 3.3 วงจรขยายสัญญาณ

วงจรถ่ายสัญญาณจะทำการขยายสัญญาณพัลส์ที่ได้จากตัวโฟโตไดโอด เพราะสัญญาณที่ได้จากโฟโตไดโอดมีขนาดเล็กมาก โดยวงจรส่วนนี้จะประกอบไปด้วย วงจรขยายแบบอินเวอร์ตติง (Inverting amplifier) จำนวน 2 ชุด เพื่อทำให้ขนาดของสัญญาณมีขนาดเพิ่มขึ้นเพียงพอต่อการนำไปตีโมดูลเลต วงจรขยายสัญญาณแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจรขยายสัญญาณ

จากวงจรส่วนแรกจะมีอัตราขยายที่คิดจากสมการ 2.11 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{V_1}{V_{in}} = -\frac{R_{f1}}{R_{in1}} = \frac{2000}{100} = 20 \quad (3.1)$$

จากวงจรส่วนที่สองจะมีอัตราขยายที่คิดจากสมการ 2.11 ดังนี้

$$\frac{V_O}{V_1} = -\frac{R_{f2}}{R_{in2}} = \frac{2000}{100} = 20 \quad (3.2)$$

∴ ในวงจรนี้จะมีอัตราขยายทั้งหมดได้จากการนำสมการ 3.1 และสมการ 3.2 มาคูณกัน

$$\frac{V_1}{V_{in}} \cdot \frac{V_O}{V_1} = \frac{V_O}{V_{in}} = 400$$

### 3.4 วงจรคิมอดูเลตความกว้างพัลส์

วงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณพัลส์ที่ส่งมาจากตัวรับสัญญาณอินฟราเรด แปลงกลับเป็นสัญญาณเสียงคืนมา ในที่นี้จะใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นตัวคิมอดูเลตสัญญาณ

การคำนวณหาค่าความถี่จุดตัดจะต้องมีค่ามากกว่าความถี่สูงสุดของสัญญาณเสียงที่ส่งมา ซึ่งในที่นี้ความถี่สูงสุดของความถี่สัญญาณเสียงมีค่าเท่ากับ 4000 เฮิรตซ์ ในโครงการนี้จะใช้ความถี่จุดตัดเท่ากับ 5000 เฮิรตซ์ การคำนวณแสดงได้ โดยจะทำการเลือกใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน อันดับ 8 ซึ่งมีวิธีการคำนวณดังนี้

จากสูตรวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านกรณีที่มี  $K = 1$ ,  $R_1 = R_2 = 1$  และ  $\omega_0 = 1$  ดังรูปที่ 2.5 จะได้ว่า  $C_1 = 2Q$  และ  $C_2 = \frac{1}{2Q}$  และจากหลักการสมมูลถึง

$$R_{new} = K_m R_{old}$$

$$K_m = \frac{R_{new}}{R_{old}} \quad (3.3)$$

$$C_{new} = \frac{1}{K_m K_f} C_{old} \quad (3.4)$$

แทนค่าสมการ 3.3 ลงในสมการ 3.4 จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

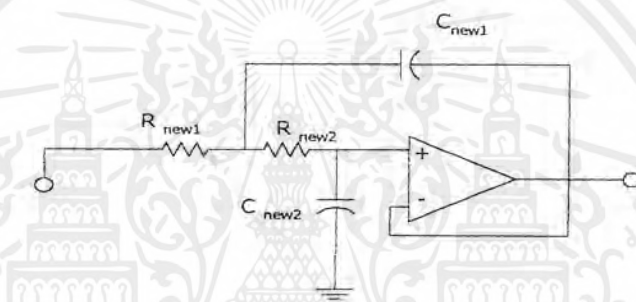
$$C_{\text{new}} = \frac{C_{\text{old}} R_{\text{old}}}{K_f R_{\text{new}}} \quad (3.5)$$

เมื่อกำหนดให้  $K_f = 2\pi f_c$  และ  $R_{\text{old}} = 1$  แทนลงในสมการ 3.5 จะได้ว่า

$$C_{\text{new}} = \frac{C_{\text{old}}}{2\pi f_c R_{\text{new}}} \quad (3.6)$$

$f_c = 5000$  เฮิรตซ์,  $R_{\text{new1}} = R_{\text{new2}} = R_{\text{new}} = 1.5 \text{ k}\Omega$

ถ้าหา  $C_{\text{new1}}$  จะใช้  $C_{\text{old1}} = 2Q$  และถ้าหา  $C_{\text{new2}}$  จะใช้  $C_{\text{old2}} = \frac{1}{2Q}$  แทนลงในสมการ 3.6 จะได้ดังนี้



รูปที่ 3.4 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเพื่อใช้ประกอบการคำนวณ

$$C_{\text{new1}} = \frac{2Q}{2\pi f_c R_{\text{new}}} \quad (3.7)$$

$$C_{\text{new2}} = \frac{1}{2Q \times 2\pi f_c R_{\text{new}}} \quad (3.8)$$

หาค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ในแต่ละส่วนดังนี้

แสดงที่ 1 แทนค่า  $Q = 0.51$  ในสมการ 3.7 และ 3.8 จะได้

$$C_{\text{new1}} = \frac{2 \times 0.51}{2\pi \times 5 \times 10^3 \times 1.5 \times 10^3} = 21.645 \text{ nF}$$

$$C_{\text{new2}} = \frac{1}{2 \times 0.51 \times 2\pi \times 5 \times 10^3 \times 1.5 \times 10^3} = 20.804 \text{ nF}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงที่ 2 แทนค่า  $Q = 0.6$  ในสมการ 3.7 และ 3.8 จะได้

$$C_{new1} = \frac{2 \times 0.6}{2\pi \times 5 \times 10^3 \times 1.5 \times 10^3} = 25.465 \text{ nF}$$

$$C_{new2} = \frac{1}{2 \times 0.6 \times 2\pi \times 5 \times 10^3 \times 1.5 \times 10^3} = 17.683 \text{ nF}$$

แสดงที่ 3 แทนค่า  $Q = 0.9$  ในสมการ 3.7 และ 3.8 จะได้

$$C_{new1} = \frac{2 \times 0.9}{2\pi \times 5 \times 10^3 \times 1.5 \times 10^3} = 38.197 \text{ nF}$$

$$C_{new2} = \frac{1}{2 \times 0.9 \times 2\pi \times 5 \times 10^3 \times 1.5 \times 10^3} = 11.789 \text{ nF}$$

แสดงที่ 4 แทนค่า  $Q = 2.56$  ในสมการ 3.7 และ 3.8 จะได้

$$C_{new1} = \frac{2 \times 2.56}{2\pi \times 5 \times 10^3 \times 1.5 \times 10^3} = 0.108 \text{ }\mu\text{F}$$

$$C_{new2} = \frac{1}{2 \times 2.56 \times 2\pi \times 5 \times 10^3 \times 1.5 \times 10^3} = 4.144 \text{ nF}$$

จากวิธีคำนวณตามสมการ 3.7 และ 3.8 สามารถสรุป ค่าของอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน อันดับ 8 ที่จะมีการคาดเคลื่อนต่อไป 4 ตัวดังตารางที่ 3.1

แสดง	Q	$R_{new}$	$C_{new1}$ (F)	$C_{new2}$ (F)
1	0.51	1.5 k	21.645 n	20.804 n
2	0.6	1.5 k	25.465 n	17.683 n
3	0.9	1.5 k	38.197 n	11.789 n
4	2.56	1.5 k	0.108 $\mu$	4.144 n

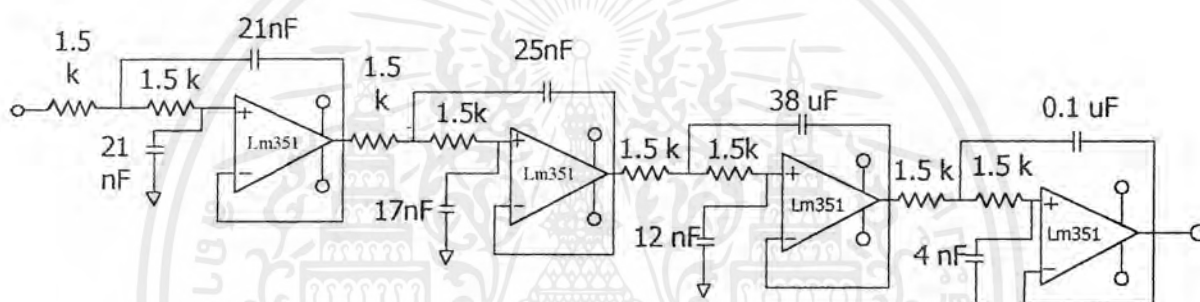
ตารางที่ 3.1 แสดงค่าอุปกรณ์ที่คำนวณได้ในวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน อันดับ 8 ที่มีความถี่จุดตัด 5000 เฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และค่าอุปกรณ์ที่ใช้จริง สำหรับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน อันดับ 8 ดังตารางที่ 3.2 และวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 8 แสดงคircuit ที่ 3.5

สเตจ	Q	$R_{new}$	$C_{new1}$ (F)	$C_{new2}$ (F)
1	0.51	1.5 k	21 n	21 n
2	0.6	1.5 k	25 n	17 n
3	0.9	1.5 k	38 n	12 n
4	2.56	1.5 k	0.1 $\mu$	4 n

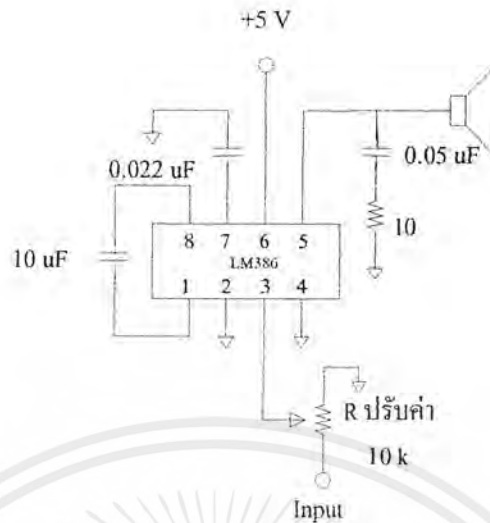
ตารางที่ 3.2 แสดงค่าอุปกรณ์ที่ใช้จริงในวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน อันดับ 8 ที่มีความถี่จุดตัด 5000 เฮิรตซ์



รูปที่ 3.5 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน อันดับ 8

### 3.5 วงจรขยายกำลังเสียง

สัญญาณเสียงที่ออกมาจากวงจรเดิมจะมีความกว้างพัลส์จะเข้าสู่วงจรขยายกำลัง ดังแสดง รูปที่ 3.6 โดยผ่านความต้านทานที่ปรับค่าได้ เพื่อปรับขนาดสัญญาณให้แรงขึ้น โดยใช้ไอซี LM386 ซึ่งสามารถปรับอัตราขยายได้ตั้งแต่ 20-200เท่า หลังจากนั้น สัญญาณเสียงที่ถูกขยายกำลังแล้วผ่านตัวเก็บประจุคัปปลิงออกไปยังลำโพง



รูปที่ 3.6 วงจรขยายกำลังเสียง

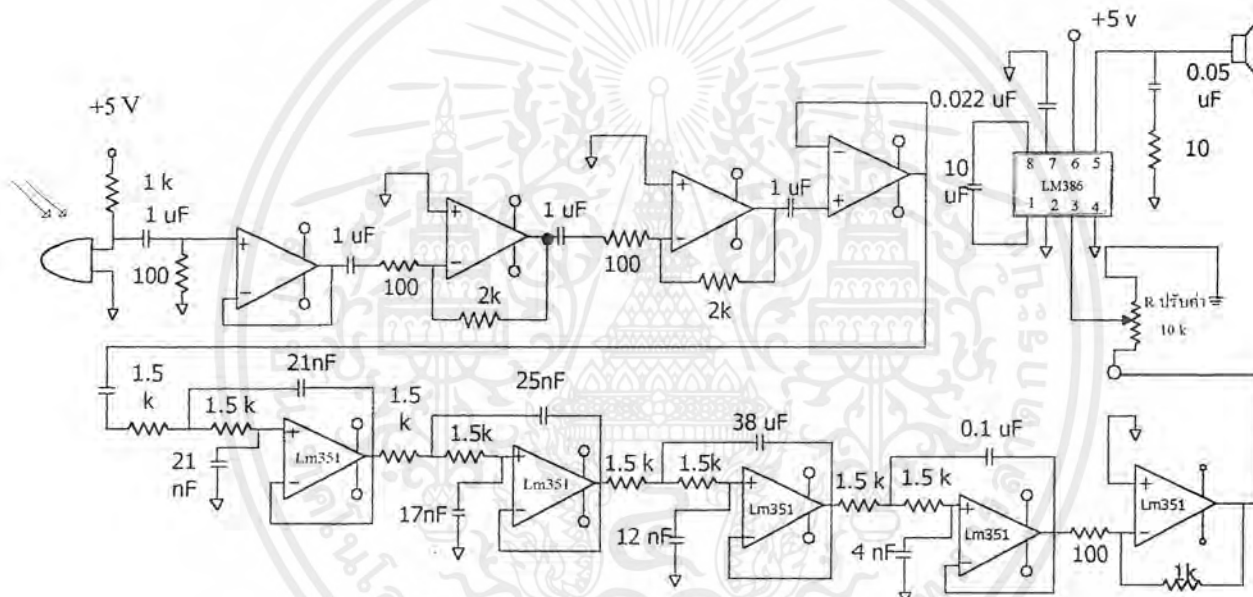
### 3.6 วงจรเครื่องส่ง

วงจรภาคส่งนั้นจะนำสัญญาณเสียงจากไมโครโฟนหรือวิทยุมาเข้าทางอินพุตของวงจรที่คัตบลิวเอ็ม จากนั้นสัญญาณที่คัตบลิวเอ็มก็จะถูกส่งออกไปยังวงจรขับอินฟราเรด ซึ่งจะมีการใช้วงจรขับอินฟราเรด ทั้งหมด 6 ชุด สำหรับขับไดโอดเปล่งแสงจำนวน 18 ตัว เพื่อให้ได้ความเข้มของแสงอินฟราเรดเพิ่มขึ้น และส่งได้ไกลเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังช่วยในการกระจายให้มุ่มมในการส่งครอบคลุมได้ทั่วถึง วงจรทั้งหมดของภาคเครื่องส่งแสดงดังรูปที่ 3.7



3.7 วงจรเครื่องรับ

วงจรรภาคเครื่องรับนั้น เมื่อโฟโตไดโอดรับแสงอินฟราเรดที่ใช้ส่งสัญญาณพีดีบีบลิวเอ็มมาแล้วก็จะถูกนำมาผ่านเข้าวงจรขยายสัญญาณแบบอินเวอร์ตติง จำนวน 2 ชุด เพื่อทำให้ขนาดของสัญญาณพีดีบีบลิวเอ็มมีขนาดมากพอสำหรับใช้ในการดีมอดูเลตความกว้างพัลส์ จากนั้นจะถูกส่งไปยังวงจรดีมอดูเลตความกว้างพัลส์ที่ใช้วงจรรองความถี่ต่ำผ่าน อันดับ 8 เพื่อดีมอดูเลตเอาสัญญาณเสียงเดิมกลับคืนมา จากนั้นจะถูกส่งเข้าไปยังวงจรขยายกำลังเสียง เพื่อขับเสียงออกมาทางลำโพง ซึ่งรูปวงจรรภาคเครื่องรับในแต่ละส่วนจะมีวงจรพีไฟเออร์ต่อกันในแต่ละส่วน เพื่อป้องกันไม่ให้สัญญาณของแต่ละส่วนมากวนวงจรซึ่งกันและกัน รูปวงจรรภาคเครื่องรับแสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วงจรรภาคเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 การทดลองวงจรสร้างการมอดูเลตความกว้างพัลส์

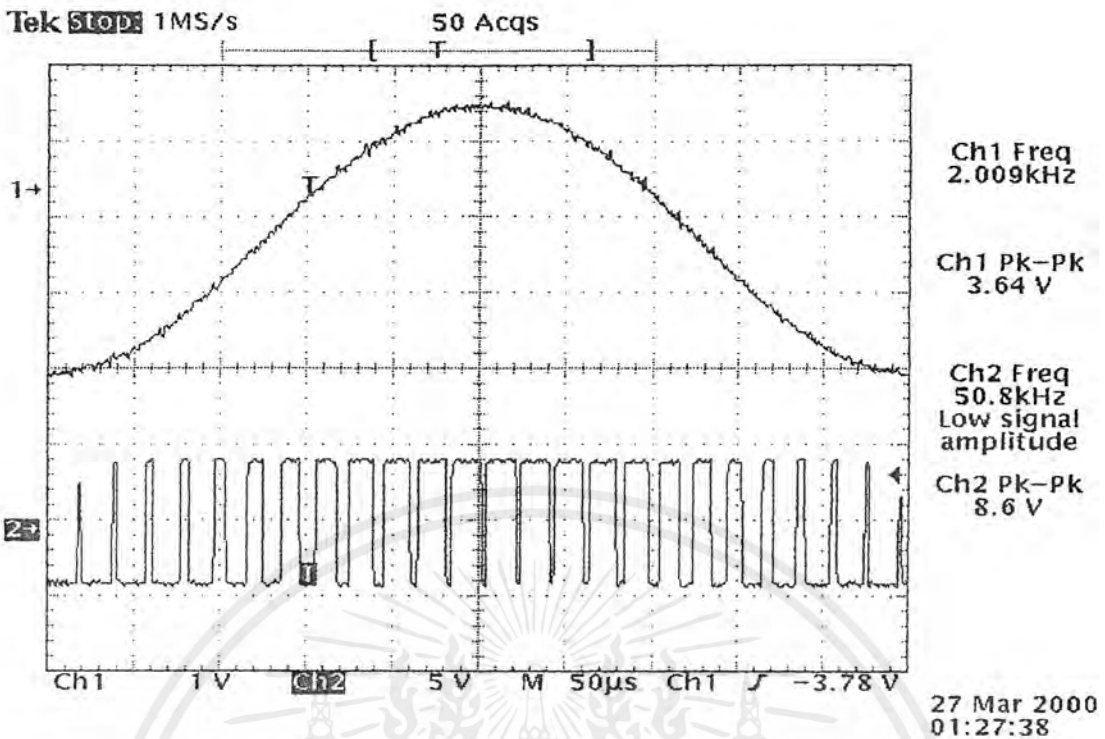
**วัตถุประสงค์ :** เพื่อทราบถึงลักษณะของสัญญาณเมื่อผ่านวงจรสร้างการมอดูเลตความกว้างพัลส์ อีกทั้งยังสามารถทำการออกแบบและสร้างได้จริง

**หลักการ :** ทำการสร้างสัญญาณพื่นเลื่อยด้วย ไอซีเบอร์ XR2206 และสร้างสัญญาณพัลส์ไปทำการควบคุมการชั้ค่าตัวอย่างและคงค่าสัญญาณที่ใช้สวิทช์อนาลอก เพื่อใช้ในการชิง โครไนซ์กับสัญญาณพื่นเลื่อยจากนั้นก็นำสัญญาณที่ทำการชั้ค่าและคงค่าสัญญาณแล้วไปเปรียบเทียบกับสัญญาณพื่นเลื่อย ก็จะได้สัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์ออกมา

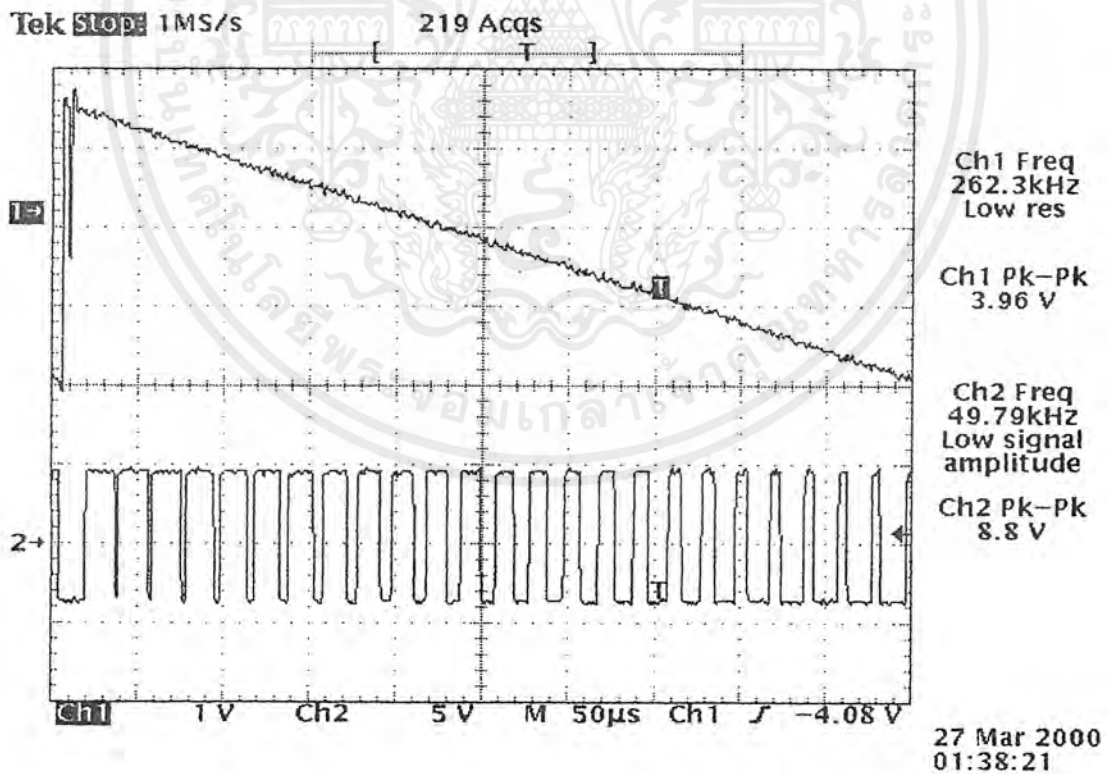
##### 4.1.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 3.1
2. ทำการจ่ายไฟกระแสตรงขนาด +5 และ -5 โวลต์เข้าที่ไฟเลี้ยงของออปแอมป์และ ไอซีเบอร์ SCL4066B ที่ใช้เป็นอนาลอกสวิทช์
3. ทำการจ่ายไฟตรงขนาด +15 โวลต์เข้าหาไฟเลี้ยงของ ไอซีเบอร์ 74LS123 ที่ใช้ในการสร้างพัลส์ควบคุมการชั้ค่าตัวอย่าง
4. ทำการป้อนสัญญาณอินพุตไซน์ความถี่ 2 กิโลเฮิร์ตซ์ ขนาด 3 โวลต์ ที่ขาอินพุตของสวิทช์อนาลอก
5. ทำการวัดสัญญาณที่เอาต์พุตขา 6 ของออปแอมป์ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ทำการชั้ค่าตัวอย่างและคงค่ากับสัญญาณพื่นเลื่อย

##### 4.1.2 ผลการทดลอง

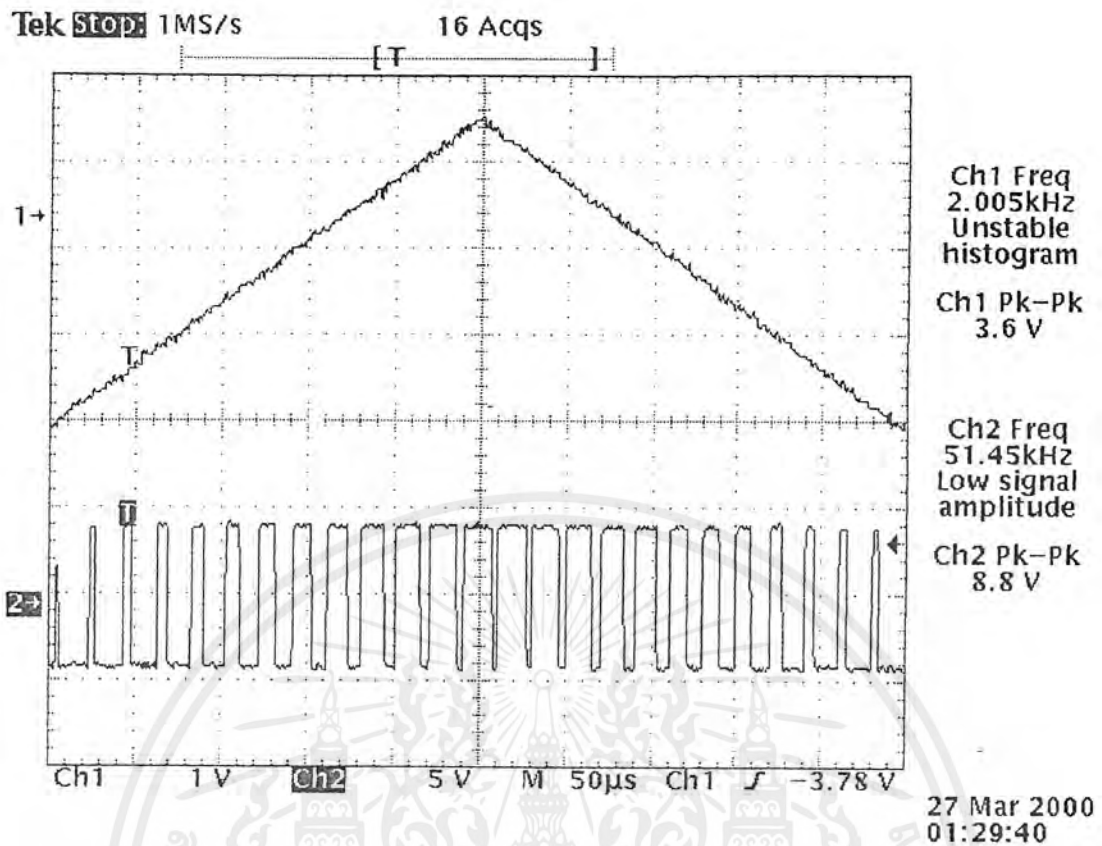


รูปที่ 4.1 สัญญาณเอาต์พุตพีคดับลิวเอ็มเทียบกับสัญญาณอินพุตรูปไซน์

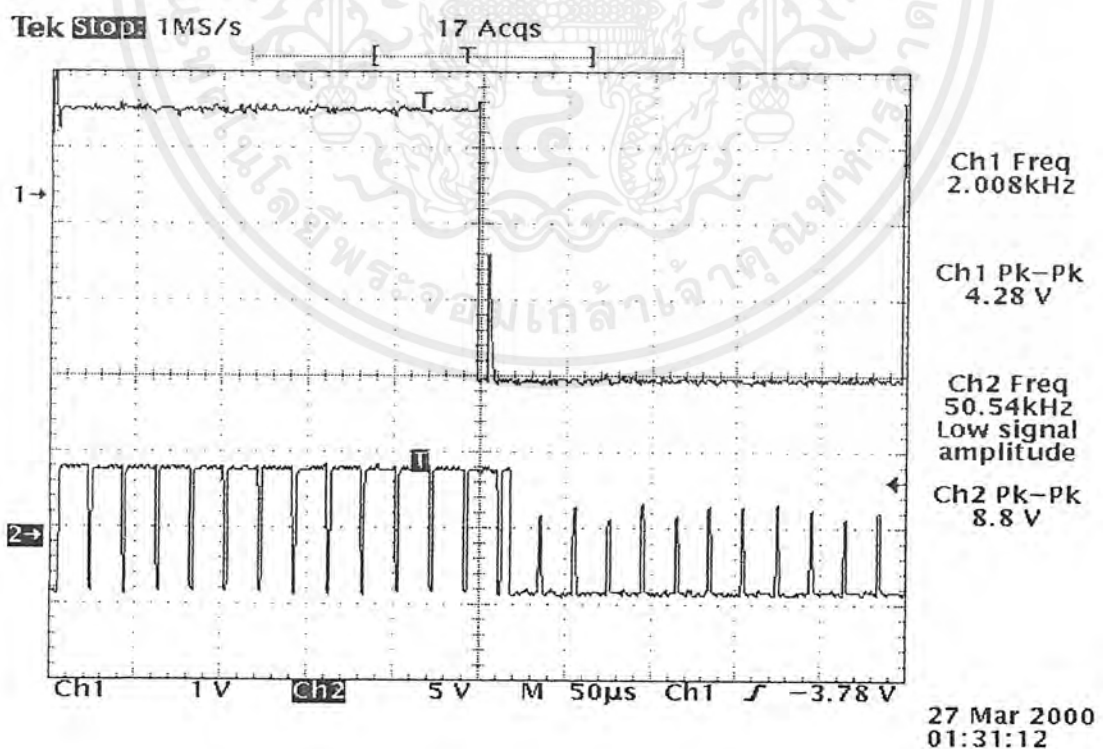


รูปที่ 4.2 สัญญาณเอาต์พุตพีคดับลิวเอ็มเทียบกับสัญญาณอินพุตรูปฟันเลื่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

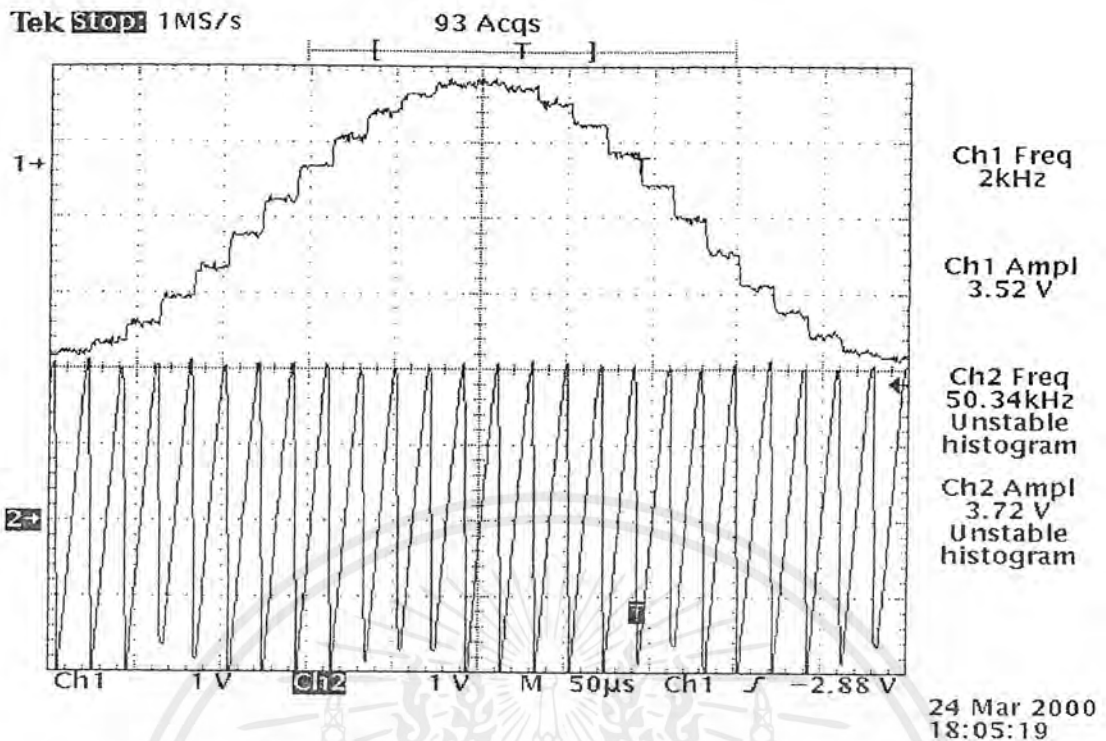


รูปที่ 4.3 สัญญาณเอาต์พุตที่ดับบลิวเอ็มเทียบกับสัญญาณอินพุตรูปสามเหลี่ยม



รูปที่ 4.4 สัญญาณเอาต์พุตที่ดับบลิวเอ็มเทียบกับสัญญาณอินพุตรูปสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 รูปสัญญาณอินพุตที่ผ่านการชั่งค่าตัวอย่างเทียบกับสัญญาณรูปฟันเลื่อย

หมายเหตุ : แชนแนล 1 แทนสัญญาณอินพุต

แชนแนล 2 แทนสัญญาณเอาต์พุตที่เป็นสัญญาณพีคดับลิวเอ็ม

#### 4.1.3 สรุปผลการทดลอง

เมื่อทำการป้อนสัญญาณอินพุตเข้าไปในวงจร วงจรนี้จะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างแปรผันตรงกับขนาดสัญญาณที่ป้อนเข้ามาได้ทุกรูปสัญญาณ ซึ่งผลที่ได้มีความใกล้เคียงกับทฤษฎี

#### 4.2 การทดลองวงจรขับอินฟราเรด

วัตถุประสงค์ : เพื่อส่งสัญญาณพีคดับลิวเอ็มของสัญญาณเสียงออกไปเป็นอินฟราเรด

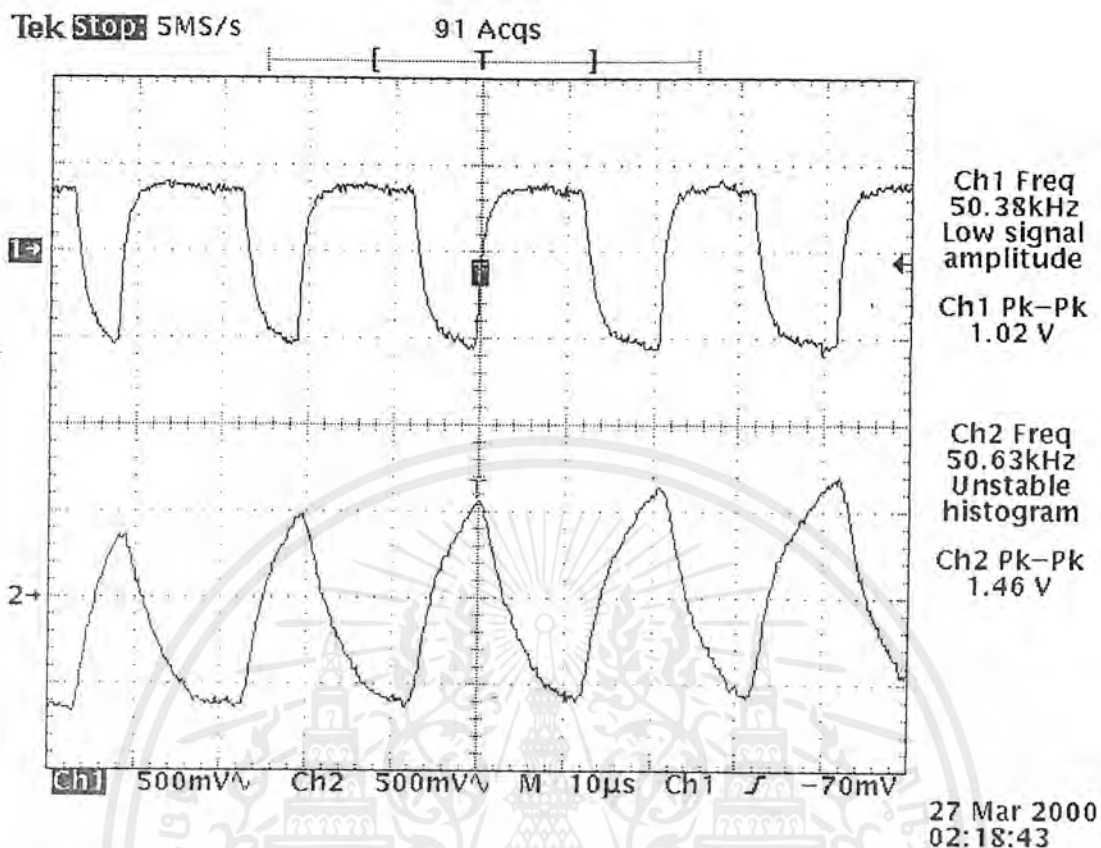
หลักการ : นำวงจรรูปที่ 3.2 มาทำการส่งสัญญาณพีคดับลิวเอ็มของสัญญาณเสียงแล้ว ทำการวัดสัญญาณที่ขาแคโรดของโฟโตไดโอดทางด้านภากรับ

##### 4.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 3.2 และป้อนสัญญาณพีคดับลิวเอ็มของสัญญาณไซน์ขนาด 1.6 โวลต์ ความถี่ 2 กิโลเฮิร์ตซ์
2. จ่ายไฟขนาด +15 โวลต์
3. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดที่ขาแคโรดของ LED ของวงจรขับอินฟราเรด เทียบกับ การวัดที่ขาแคโรดของโฟโตไดโอดทางด้านภากรับ

##### 4.2.2 ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 สัญญาณที่รับได้ของโฟโตไดโอด เทียบกับสัญญาณที่ส่งออกไปจากวงจรขับอินฟราเรด

หมายเหตุ : แชนแนล 1 แทนสัญญาณที่ได้จากขาเอาต์ของวงจรขับสัญญาณอินฟราเรด  
แชนแนล 2 แทนสัญญาณที่ได้จากขาแคโรดของตัวโฟโตไดโอด

#### 4.2.3 สรุปผลการทดลอง

เมื่อทำการส่งสัญญาณพีดีบีทวีสผ่านวงจรขับสัญญาณอินฟราเรด จะสามารถทำการขับสัญญาณออกไปได้ โดยเห็นได้จากการที่โฟโตไดโอดสามารถทำการรับอินฟราเรดที่ส่งออกมาได้

#### 4.3 การทดลองวงจรขยายสัญญาณภาครับ

วัตถุประสงค์ : เพื่อทราบถึงลักษณะของสัญญาณที่ผ่านวงจรขยายสัญญาณภาครับ

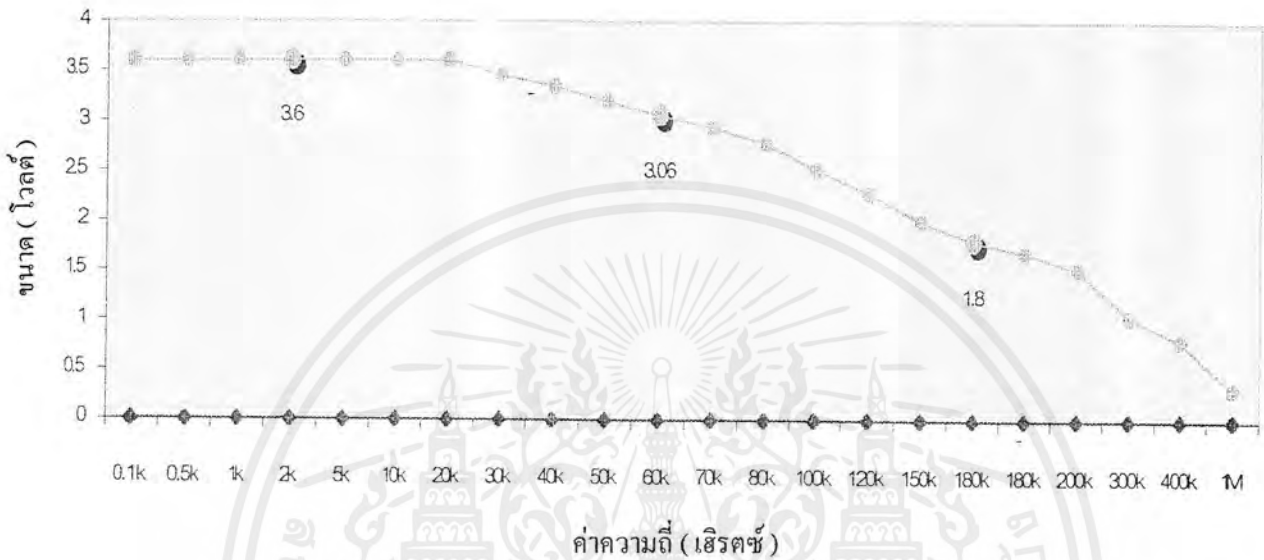
หลักการ : นำเอาวงจรดังรูปที่ 3.3 มารับสัญญาณจากภาคส่ง แล้วทำการวัดสัญญาณที่ขาเอาต์พุต

##### 4.3.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรดังรูปและป้อนอินพุตขนาด 10 มิลลิโวลต์
2. จ่ายไฟตรงขนาด +5 และ -5 โวลต์ เข้าที่ขาไฟเลี้ยงขาที่ 7 และ 4 ของออปแอมป์ตามลำดับ
3. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดที่ขาเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.1 ผลการทดลอง



รูปที่ 4.7 ผลความถี่ตอบสนองวงจรขยาย

#### 4.3.3 สรุปผลการทดลอง

เมื่อทำการป้อนสัญญาณอินพุตเข้าไปในวงจร วงจรนี้จะทำการขยายสัญญาณได้ โดยจะให้การขยายประมาณ 400 เท่า

#### 4.4 การทดลองวงจรคิมอดูเลตความกว้างพัลส์

**วัตถุประสงค์ :** เพื่อทำการคิมอดูเลตสัญญาณพีคดับดิวิเอมให้กลับเป็นสัญญาณดั้งเดิมก่อนทำการมอดูเลต

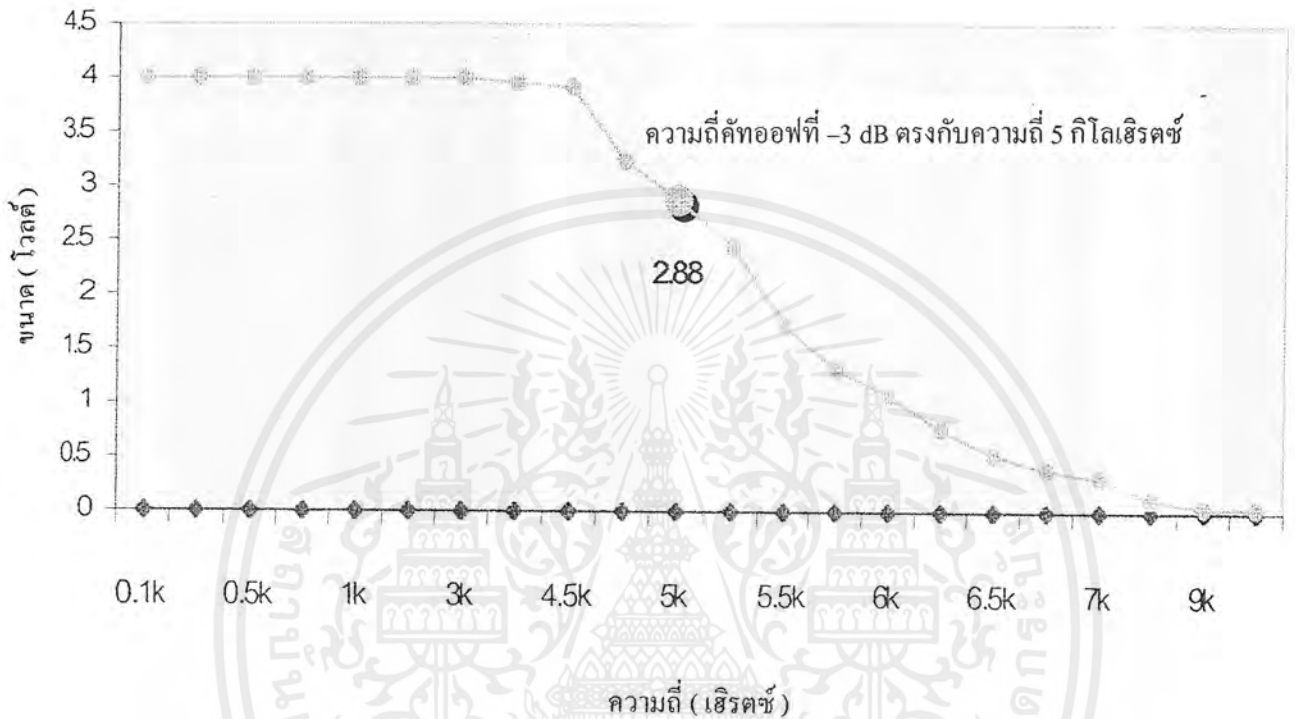
**หลักการ :** ใช้วงจรรองความถี่ต่ำมาใช้ในการคิมอดูเลตสัญญาณ ในที่นี้จะใช้วงจรรองความถี่ต่ำผ่าน อันดับ 8 ในการสร้าง

#### 4.4.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 3.5
2. ทำการป้อนไฟกระแสตรง +5 และ -5 ที่ขาไฟเลี้ยงขาที่ 7 และ 4 ของออปแอมป์ตามลำดับ
3. ป้อนสัญญาณอินพุต 4 โวลต์ เข้าที่ตัวต้านทานที่อยู่กับขาบวกของออปแอมป์
4. วัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 6 ของออปแอมป์ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรเปรียบเทียบ
5. บันทึกค่าของเอาต์พุตของวงจร โดยให้อินพุตของวงจรมีความถี่ต่าง ๆ กัน
6. ทำการพลอตค่าผลตอบสนองความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.1 ผลการทดลอง



รูปที่ 4.8 ผลความถี่ตอบสนองของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน อันดับ 8

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการป้อนสัญญาณขนาด 4 โวลต์ที่ความถี่ต่าง ๆ กันผ่าน วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน เมื่อพิจารณาจากผลความถี่ตอบสนอง ค่าของสัญญาณที่ความถี่สูงนั้นจะถูกลดทอนลงโดยที่จุดที่มีการลดทอนลง -3 เดซิเบล (จุด คัทออฟ) นั้นจะอยู่ที่จุดความถี่ 5 กิโลเฮิรตซ์พอดี

#### 4.4.3 สรุปผลการทดลอง

จากผลความถี่ตอบสนอง เมื่อทำการป้อนสัญญาณขนาดใด ๆ ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ตัวสัญญาณนั้นจะถูกตัดความถี่ที่สูงกว่าความถี่ที่จุดคัทออฟไป รวมทั้งฮาร์โมนิกสูงออกไปด้วย ซึ่งมีอัตราสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มผ่านเข้าวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านนี้ สัญญาณพัลส์ที่เป็นสัญญาณความถี่สูงจะถูกตัดออกไปเหลือเพียงสัญญาณเสียงที่เป็นความถี่ต่ำซึ่งเป็นสัญญาณเสียงช่วงที่ต้องการเท่านั้น ดังนั้นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวคิมอดูเลตความกว้างพัลส์นั่นเอง

## บทที่ 5

### บทวิจารณ์และสรุป

จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น ในส่วนของวงจรสร้างการมอดูเลตความกว้างพัลส์ , วงจรขับอินฟราเรด , วงจรขยายสัญญาณ และวงจรดีมอดูเลตความกว้างพัลส์นั้น ให้สัญญาณเอาต์พุตที่เทียบกับสัญญาณอินพุตมีความใกล้เคียงกับทฤษฎี

ในส่วนของวงจรภาคส่ง - รับสัญญาณอินฟราเรดนั้น เป็นส่วนที่สำคัญมากเพราะต้องการทำให้การรับ - ส่งนี้เป็นได้อย่างดี คือ โกล , มีลำบีมของแสงอินฟราเรดที่กว้าง ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะเป็นส่วนที่จะทำให้คุณภาพเสียงที่ได้มีคุณภาพดี ซึ่งส่วนนี้จำเป็นต้องออกแบบให้มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยในโครงการนี้เราจะทำการใช้กระแสที่ขับไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดให้มีค่ามาก ๆ โดยใช้ไดโอดเปล่งแสงที่ทนกระแสได้สูง อีกทั้งใช้ไดโอดเปล่งแสงหลาย ๆ ตัว เพื่อใช้ในการส่งให้ได้ระยะไกล และมีลำบีมของแสงอินฟราเรดที่กว้างครอบคลุมทั่วห้อง เพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ในการรับฟัง ส่วนในภาครับได้มีการออกแบบรูปร่างของหูฟังให้มีความสะดวกในการใช้งาน โดยพยายามออกแบบให้ใช้วงจรที่เล็ก และใช้ถ่านไฟฉายในการเป็นแหล่งจ่ายไฟสำหรับภาครับ

ผลที่ได้ออกมาอยู่ในระดับที่น่าพอใจ คือสามารถทำการส่งได้จริงเพียงแต่เสียงที่ออกมายังมีคุณภาพยังไม่ดีมากนัก สามารถรับฟังได้ไกลประมาณ 3 เมตร แต่ถ้าต้องการรับฟังให้ได้ไกลกว่านี้ก็สามารถทำได้โดยการเพิ่มเลนส์บนไว้ที่หน้าของไฟโตไดโอด ในระยะโฟกัส ความกว้างของมุมที่รับฟังสามารถทำได้ทั่วถึงในขนาดห้องทั่วไปขนาด 4 x 7 เมตร

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้สามารถดูล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือจากหลายบุคคล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ศ.ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์ , รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน และอาจารย์วิภา แสงพิสิทธ์ ที่คอยให้คำปรึกษา และคำแนะนำ อีกทั้งพี่ปริญญาโท เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกคนที่คอยช่วยในการปฏิบัติงานอย่างดี มาตลอด

จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

ผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บรรณานุกรม

- [ 1 ] ศ.ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์ “ วิศวกรรมการสื่อสาร ” , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2540 , พิมพ์ครั้งที่ 1
- [ 2 ] กลุ่ม CNS , “ Op- amp ออปแอมป์ 741 ” , สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซนเตอร์ , 2535 , พิมพ์ครั้งที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้