

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการควบคุมเอาต์พุตแสงด้วยวิธีการมอดูเลตสัญญาณอินพุต



นายพลศักดิ์ ศรียา

นายวรารุฒิ เมฆรักษาวนิช

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2541

เลขที่.....

เลขทะเบียน 36691

วัน, เดือน, ปี 23 ส.ค. 2543

นี้ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A STUDY OF OPTICAL OUTPUT CONTROL USING  
INPUT SIGNAL MODULATION**



**Mr. Pollasuk Sriya**

**Mr. Varavut Mekruksavanich**

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED  
IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE**

**DEPARTMENT OF APPLIED PHYSICS**

**FACULTY OF SCIENCE**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**1998**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาการควบคุมเอาต์พุตแสงด้วยวิธีการมอดูเลตสัญญาณ

อินพุต

โดย

นายพลศักดิ์ ศรียา

นายวรารุณี เมฆรักษาวนิช

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ยูพาพิน

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า  
คุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นำโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



(รองศาสตราจารย์สุรพล รักvijัย)

(หัวหน้าภาควิชา)



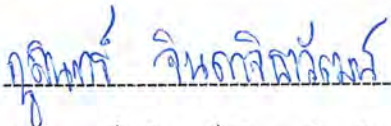
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ยูพาพิน)

(ประธานกรรมการ)



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เครือวัลย์ ศีตะจิตต์)

(กรรมการ)



(อาจารย์กัมรินทร์ จินดาจิราวัฒน์)

(กรรมการ)



(อาจารย์ภัทริยา กิตติเดชาชาญ)

(กรรมการ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาการควบคุมเอาต์พุตแสงด้วยวิธีการมอดูเลตสัญญาณอินพุต
นักศึกษา	นายพลศักดิ์ ศรียา นายวรารุณี เมฆรักษาวนิช
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ดร.ปรีชา ยูพาพิน
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2541

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้นำเสนอการศึกษาการควบคุมเอาต์พุตแสงด้วยวิธีการมอดูเลตสัญญาณอินพุต อาศัยเทคนิคการมอดูเลชันแบบความเข้มแสง โดยใช้แสงจากแอลอีดีสองดวงแล้วนำสัญญาณมารวมกันผ่านตัวคัปเปิลอร์ สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะควบคุมได้โดยสัญญาณที่ให้เข้าไป ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะสอดคล้องกับอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์

<b>Special Project Title</b>	The Study of Optical Output Control using Input Signal Modulation
<b>Name</b>	Mr.Pollasuk Sriya Mr.Varavut Mekruksavanich
<b>Special Project Advisors</b>	Assoc. Prof. Dr. Preecha Yupapin
<b>Department</b>	Applied Physics
<b>Academic Year</b>	1998

### ABSTRACT

This special project presents the study of optical output control using input signal modulation. The principal of device is that modulated light signals from two identical sources are combined via plastic fiber coupler, the optical output is controlled by the employed modulated signals. Results of the optical output have shown the feasibility of using such device for optical transistor.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
สารบัญ.....	III
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญรูปภาพ.....	VI
บทนำ.....	VIII
<b>บทที่ 1 ทรานซิสเตอร์</b>	
1.1 ทรานซิสเตอร์แบบสองรอยต่อ.....	1
1.1.1 หลักการทำงาน.....	1
1.1.2 กราฟแสดงคุณลักษณะ.....	2
1.2 ทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้า(FET).....	4
1.3 แบนวิดท์.....	6
<b>บทที่ 2 แสงและการมอดูเลชันของแสง</b>	
2.1 เฟส.....	8
2.2 โคฮีเรนซ์.....	9
2.3 แอลอีดี.....	9
2.4 โฟโตไดโอด.....	13
2.5 การซ็อนทับกันของคลื่น.....	14
2.6 อุปกรณ์คัปเปลอร์.....	16
2.7 การมอดูเลชันแอลอีดี.....	17
<b>บทที่ 3 เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก</b>	
3.1 บทนำ.....	19
3.2 ทฤษฎีทางแสง.....	19
3.3 นิวเมอริคัลอเปอร์เจอร์.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การนำแสง.....	20
3.5 วัสดุที่ใช้ทำเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก.....	21
3.6 ประเภทของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก.....	21
3.7 การผลิตเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก.....	22
3.8 คุณสมบัติของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก.....	22
3.9 การเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก.....	25
3.10 การสูญเสียเนื่องจากการเชื่อมต่อ.....	26
3.11 อุปกรณ์ตรวจจับ โดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก.....	28
3.12 คัปเปลอร์.....	29
<b>บทที่ 4 การทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง</b>	
4.1 ขั้นตอนการทำตัวคัปเปลอร์.....	32
4.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	32
4.3 วงจรที่ใช้ในการศึกษาในโครงการนี้.....	33
4.4 ผลการทดลอง.....	37
4.5 กราฟคุณลักษณะ.....	38
4.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	41
4.7 การหาค่าการสูญเสียอินทรีย์ชั้น.....	41
4.8 สรุปผลการทดลอง.....	42
เอกสารอ้างอิง.....	43
ภาคผนวก .....	44
ประวัติผู้เขียน .....	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 แสดงความยาวคลื่นของสารกึ่งตัวนำแต่ละชนิด.....	9
ตารางที่ 2-2 แสดงคุณสมบัติของอินฟราเรดแอลอีดี เบอร์ SFH 484 และ SFH 485 ของบริษัทซีเมนส์.....	11
ตารางที่ 4-1 แสดงผลการทดลองเมื่อวัด $V_{p-p}$ ด้วยออสซิลโลสโคป.....	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

### หน้า

บทที่ 1 ทรานซิสเตอร์	
รูปที่ 1-1 แสดงสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์แบบสองรอยต่อ.....	1
รูปที่ 1-2 แสดงให้เห็นว่ากระแสที่เบสต่างกันกับกระแส	
ที่คอลเลคเตอร์มาก.....	2
รูปที่ 1-3 แสดงวงจรสำหรับใช้ตรวจหาคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์	
เบอร์ 2N3053.....	2
รูปที่ 1-4 แสดงกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3053.....	3
รูปที่ 1-5 แสดงกลไกการทำงานของทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้า.....	4
รูปที่ 1-6-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $I_{DS}$ กับ $V_{DS}$ ตามรูปที่ 1-5.....	5
รูปที่ 1-6-2 กราฟแสดงคุณลักษณะด้านเอาต์พุตของ JFET.....	5
รูปที่ 1-6-3 กราฟแสดงคุณลักษณะการส่งผ่านของ JFET.....	5
รูปที่ 1-7 แสดงวงจรการใช้งาน FET ในการขยายสัญญาณ.....	6
รูปที่ 1-8 แสดงการหาแบนวิดท์.....	6
รูปที่ 1-9 แสดงหลักการการทำงานโดยรวมของโครงการ.....	7
บทที่ 2 แสงและการมอดูเลชันของแสง	
รูปที่ 2-1 แสดงความต่างเฟสของคลื่น.....	8
รูปที่ 2-2 แสดงการกระจายสเปกตรัมของอินฟราเรดแอลอีดี.....	9
รูปที่ 2-3 แสดงทิศทางของแสงที่ต้องการนำไปใช้งาน.....	10
รูปที่ 2-4 แสดงการปล่อยแสงของแอลอีดี.....	10
รูปที่ 2-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มเรเดียนต์และ	
กระแสฟอว์เวิร์ดที่ผ่านแอลอีดี.....	12
รูปที่ 2-6 แสดงไรซ์โทม์และฟอลโทม์.....	12
รูปที่ 2-7 แสดงการทำงานของโฟโตไดโอดเมื่อต่อแบบโฟโตคอนดักตีฟโหมด..	13
รูปที่ 2-8 แสดงเฟเซอร์ไดอะแกรมของการรวมคลื่นสองคลื่น.....	15

รูปที่ 2-9 แสดงหลักการของอุปกรณ์ดับเพลิง	17
รูปที่ 2-10 แสดงการมอดูเลชันแบบแอนาล็อกของแอลอีดี	17
<b>บทที่ 4 การทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง</b>	
รูปที่ 4-1 แสดงวงจรส่งขยายกลับเฟส	33
รูปที่ 4-2 แสดงวงจรส่งขยายไม่กลับเฟส	33
รูปที่ 4-3 แสดงวงจรรับ	34
รูปที่ 4-4 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้	35
รูปที่ 4-5 แสดงสัญญาณของวงจรภาคส่ง	35
รูปที่ 4-6 แสดงสัญญาณของวงจรขยายกลับเฟสและ สัญญาณที่รับได้จากวงจรรับ	35
กราฟรูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกลับเฟสและสัญญาณ เอาต์พุตเมื่อป้อนสัญญาณไม่กลับเฟสเป็น $2 V_{p-p}$	38
กราฟรูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกลับเฟสและสัญญาณ เอาต์พุตเมื่อป้อนสัญญาณไม่กลับเฟสเป็น $1.5 V_{p-p}$	39
กราฟรูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกลับเฟสและสัญญาณ เอาต์พุตเมื่อป้อนสัญญาณไม่กลับเฟสเป็น $1.25 V_{p-p}$	40

## บทนำ

ปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นการศึกษาการควบคุมเอาต์พุตแสงด้วยวิธีการมอดูเลตสัญญาณอินพุต ซึ่งจะเป็นหลักการของทรานซิสเตอร์เชิงแสงที่มาของโครงการงาน

จากหลักการของทรานซิสเตอร์ที่ว่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้สามารถควบคุมเอาต์พุตได้ เช่นในกรณีของทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้า(FET) แรงดันที่ขาเกตจะเป็นตัวกำหนดกระแสระหว่างขาซอสและเดรนได้ ดังนั้นถ้าป้อนสัญญาณให้ขาเกต กระแสที่ขาซอสและเดรนก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณที่ป้อนให้ นั่นคือกลไกการควบคุมจะอธิบายโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับกลศาสตร์ควอนตัมและฟิสิกส์ของสารกึ่งตัวนำ แต่ในโครงการงานนี้จะอาศัยหลักการการมอดูเลตทางแสง จำลองการทำงานของทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้าตามที่กล่าวมา กลไกการควบคุมจะใช้ทฤษฎีการรวมกันของคลื่นมาอธิบาย

### วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาหลักการควบคุมเอาต์พุตแสงด้วยวิธีการมอดูเลตสัญญาณอินพุต
- 2) สร้างระบบและออกแบบการทดลองได้

### ขอบข่ายการทำงาน

สร้างระบบ โดยใช้การคับปลิงแสงที่ได้จากการมอดูเลตสัญญาณจากแหล่งกำเนิดสัญญาณ 2 ช่องสัญญาณ สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะถูกควบคุมให้มีคุณลักษณะเป็นเอาต์พุตจากอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถออกแบบระบบการควบคุมเอาต์พุตแสงด้วยวิธีการมอดูเลตสัญญาณอินพุต ซึ่งเป็นหลักการของทรานซิสเตอร์ได้
- 2) มีความรู้เกี่ยวกับระบบทางแสง ซึ่งนำไปประยุกต์ใช้ในงานระบบสื่อสารทางแสงได้
- 3) นำเสนอโพลสติกมาใช้ประโยชน์ในการสื่อสารทางแสงได้

## บทที่ 1

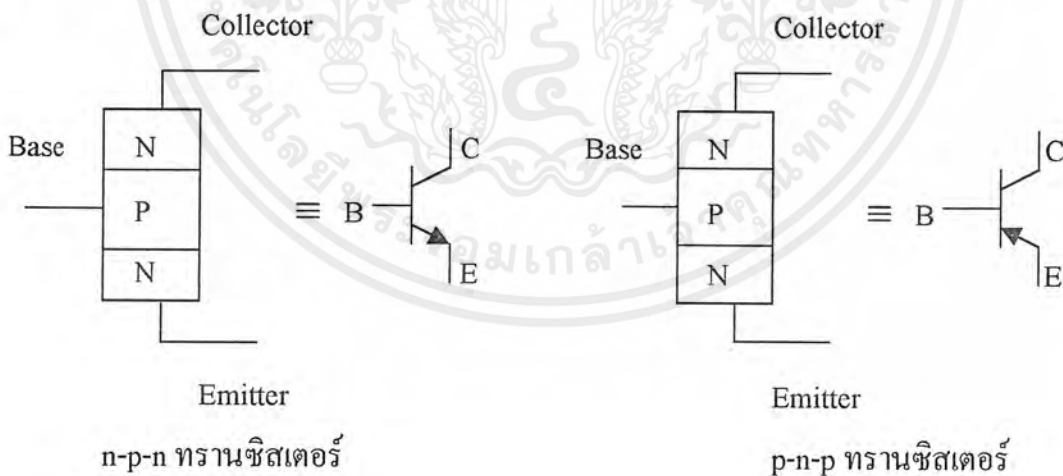
### ทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์แบบสารกึ่งตัวนำที่ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์แบ่งออกได้หลายชนิด ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียงสองชนิดคือ ทรานซิสเตอร์แบบสองรอยต่อและทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้า

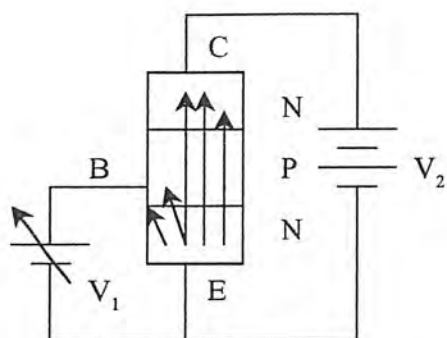
#### 1.1 ทรานซิสเตอร์แบบสองรอยต่อ

##### 1.1.1 หลักการทำงาน

หลักการทำงานของทรานซิสเตอร์ชนิดนี้ก็จะใช้กระแสควบคุมกระแส ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่ากลไกการทำงานของทรานซิสเตอร์ชนิดนี้จะเกี่ยวกับทั้งอิเล็กตรอนและโฮล โดยไบแอสที่รอยต่อทั้งสองไม่เหมือนกัน โดยรอยต่อด้านอินพุตต้องไบแอสไปข้างหน้า ส่วนรอยต่อด้านเอาต์พุตต้องไบแอสย้อนกลับ โดยอาศัยเทคนิคการเจือสารทำให้กระแสด้านอินพุตน้อยกว่ากระแสด้านเอาต์พุตมาก ส่วนการควบคุมนั้นก็เกิดจากการรวมตัวกันของพาหะทั้งสอง



รูปที่ 1-1 แสดงทรานซิสเตอร์แบบสองรอยต่อ โดยขาอิมิตเตอร์ทำหน้าที่ปล่อยอิเล็กตรอน ขาคอลเลกเตอร์ทำหน้าที่เก็บอิเล็กตรอน ส่วนขาเบสทำหน้าที่ควบคุมการไหลของอิเล็กตรอนจากอิมิตเตอร์ไปยังคอลเลกเตอร์

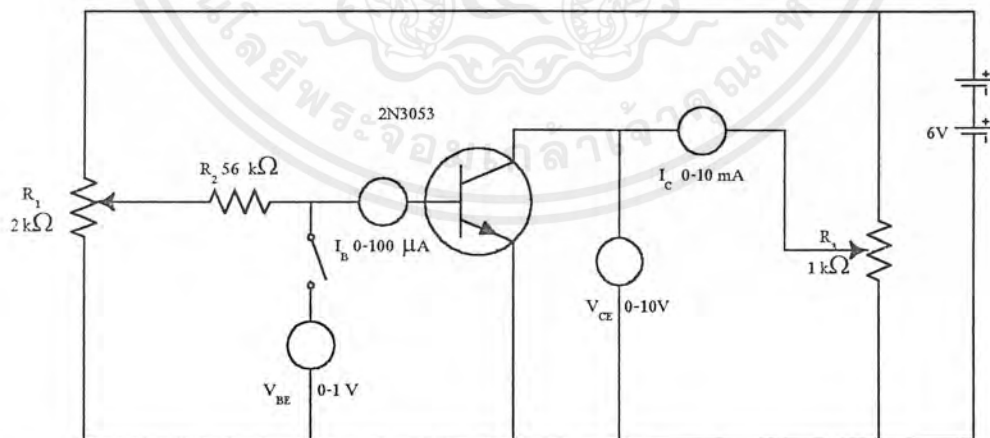


รูปที่ 1-2 แสดงให้เห็นว่ากระแสที่เบสต่างกันกับกระแสที่คอลเลกเตอร์มาก ดังนั้นทรานซิสเตอร์จึงนำไปประยุกต์ใช้ในการขยายสัญญาณได้ (รูปนี้แสดงเฉพาะการไบแอสซึ่งเกี่ยวข้องกับไฟกระแสตรงเท่านั้น)

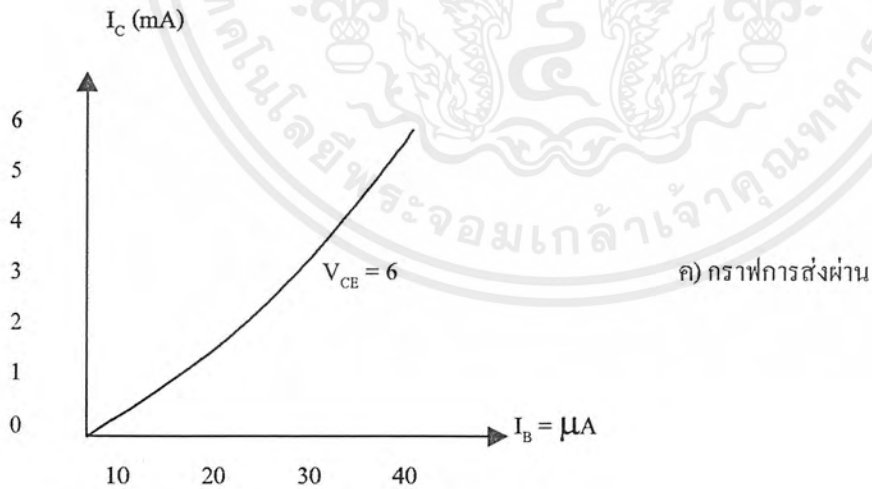
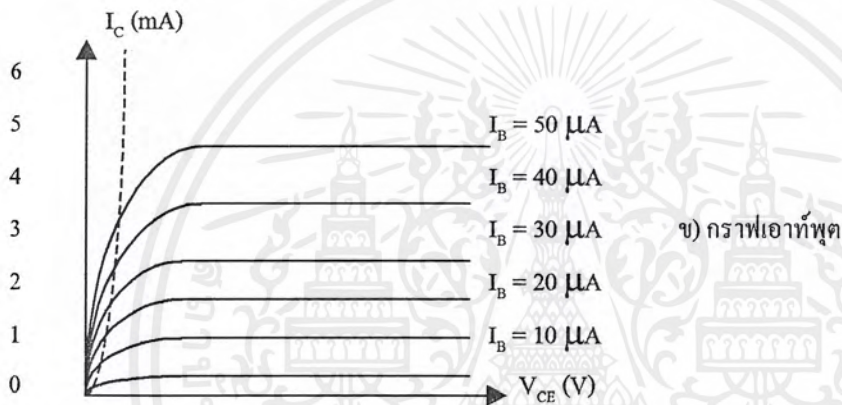
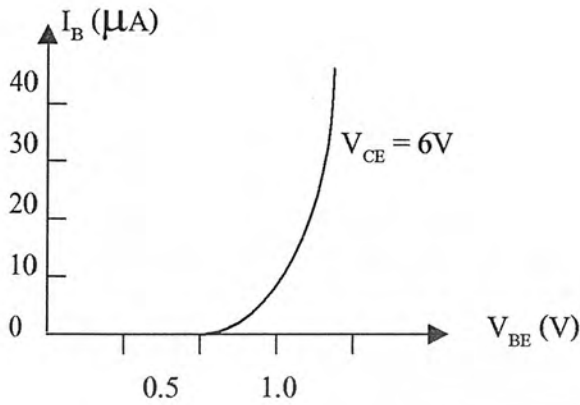
### 1.1.2 กราฟแสดงคุณลักษณะ

เนื่องจากทรานซิสเตอร์มี 3 ขา จึงสามารถต่อได้ 3 แบบ แต่ละแบบก็จะมีคุณลักษณะทางไฟฟ้าแตกต่างกันไป แต่เนื่องจากในงานอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป นิยมต่อแบบอิมิตเตอร์ร่วม ในที่นี้จึงแสดงรายละเอียดเฉพาะอิมิตเตอร์ร่วมเท่านั้น

กราฟแสดงคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วมจะใช้ประโยชน์ในการทำนายประสิทธิภาพของทรานซิสเตอร์เบอร์นั้น ๆ ได้ โดยทั่ว ๆ ไปจะนิยมพล็อตกราฟ 3 รูป แบบคือกราฟคุณลักษณะด้านอินพุต กราฟคุณลักษณะด้านเอาต์พุต และกราฟคุณลักษณะการส่งผ่าน



รูปที่ 1-3 แสดงวงจรสำหรับใช้ตรวจหาคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3053 โดย  $R_2$  จะทำหน้าที่จำกัดกระแสเบส  $R_1$  ทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสที่เบส ส่วนโวลต์มิเตอร์ที่ใช้วัด  $V_{BE}$  ต้องมีความต้านทานภายในสูงมากกว่า  $1\text{ M}\Omega$  เพื่อจะได้ไม่เป็นโหลดแก่วงจร

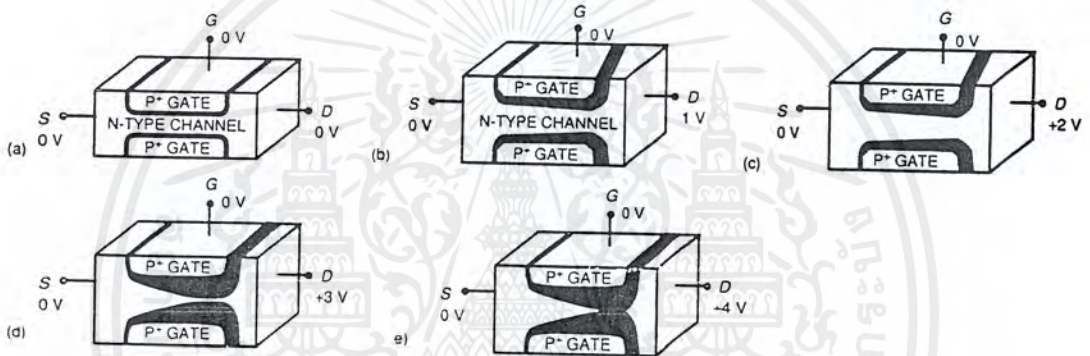


รูปที่ 1-4 แสดงกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์ 2N3053 เมื่อต่อตามรูปที่ 3

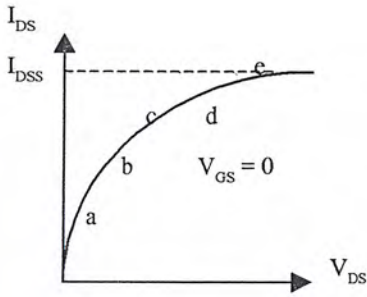
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 ทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้า (FET)

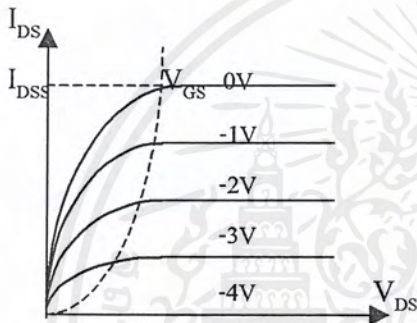
ทรานซิสเตอร์ชนิดนี้บางที่เรียกทรานซิสเตอร์ขั้วเดียว ทั้งนี้เพราะกระแสที่ไหลผ่านเกิดจากพาหะเพียงชนิดเดียวเท่านั้นคือ โฮลหรืออิเล็กตรอน และมีรอยต่อพี-เอ็นเพียงรอยต่อเดียว การควบคุมกระแสต้านเอาต์พุตก็ไม่ได้เกิดจากการรวมตัวกันของพาหะเหมือนทรานซิสเตอร์แบบสองตัว แต่เกิดจากการปิดกั้นทางเดินของพาหะด้วยสนามไฟฟ้า ตามรูปที่ 1-5 แสดงโครงสร้างของ JFET (Junction Field Effect Transistor) ที่มีพาหะเป็นอิเล็กตรอน



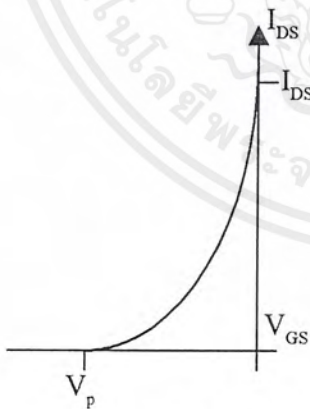
- รูปที่ 1-5 a) แสดงโครงสร้างทั่ว ๆ ไปของ JFET แบบช่องทางเอ็น กรณีนี้ช่องทางจะเปิดกว้างเต็มที่ ค่าคอนดักแตนซ์ ( $g_{ds}$ ) จะสูงสุดในขณะที่ค่ารีซิสแตนซ์จะต่ำสุด ( $r_{ds}$ )
- b) เมื่อ  $V_{DS}$  เพิ่มขึ้นเป็น 1 โวลต์จะได้  $V_{GD} = V_{GS} - V_{DS} = -1\text{ V}$  ดังนั้นเขตปลอดพาหะจะเพิ่มไปทางขาเดรน ค่า  $g_{ds}$  จะเริ่มลดลงในขณะที่ค่า  $r_{ds}$  จะเพิ่มขึ้น
- c) เช่นเดียวกับกรณี b
- d) เช่นเดียวกับกรณี b ความชันของกราฟในรูปที่ 6 จะลดลงเพราะ  $g_{ds}$  ลดลงและ  $r_{ds}$  เพิ่มสูงขึ้นมาก
- e) เมื่อเพิ่ม  $V_{DS}$  ไปจนถึงค่า +4V จะได้  $V_{GD} = V_{GS} - V_{DS} = -4\text{ V} = V_p$  ณ จุดนี้กระแสจะยังไหลได้เพราะแชลแนลพินช์ออฟ (pinched off) ที่ระยะสั้น ๆ เท่านั้น



รูปที่ 1-6-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $I_{DS}$  กับ  $V_{DS}$  ตามรูปที่ 1-5



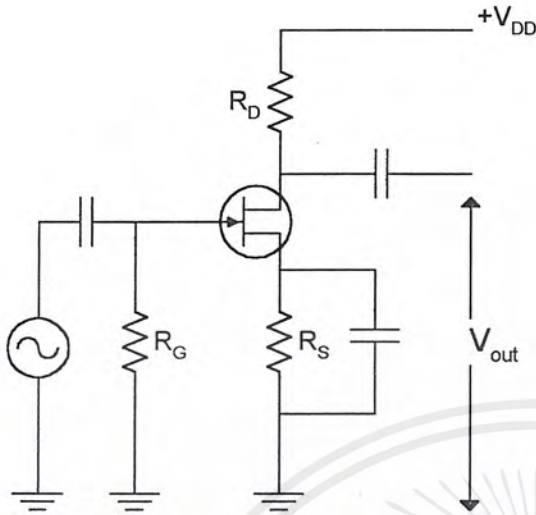
รูปที่ 1-6-2 กราฟแสดงคุณลักษณะด้านเอาต์พุตของ JFET



รูปที่ 1-6-3 กราฟแสดงคุณลักษณะการส่งผ่านของ JFET

จากที่กล่าวมาแล้วจึงสรุปได้ว่าทรานซิสเตอร์แบบ FET ใช้แรงดันควบคุมกระแส และเนื่องจากด้านอินพุตต้องไบแอสแบบย้อนกลับ ดังนั้นกระแสที่ขาเกตจะน้อยมาก (pA) หรือกล่าวได้อีกอย่างว่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของ FET มีค่าสูงมาก (ระดับ  $M\Omega$ )

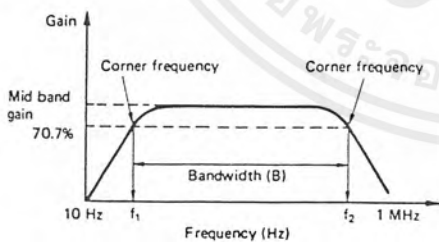
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1-7 แสดงวงจรการใช้นาน FET ในการขยายสัญญาณ

### 1.3 แบนด์วิดท์

ในโครงงานนี้จะอาศัยเทคนิคการมอดูเลชันของแสง โดยจำลองการทำงานของทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในการขยายสัญญาณขนาดเล็ก ดังนั้นการหาแบนด์วิดท์ที่นำไปใช้งานได้จึงมีความสำคัญ แบนด์วิดท์คือย่านความถี่ที่วงจรขยายยังทำงานได้ โดยอัตราขยายแรงดันต้องไม่ตกลงไปต่ำกว่า 70.7% ของอัตราขยายค่ากลางดังรูป 1-8



รูปที่ 1-8 แสดงการหาแบนด์วิดท์

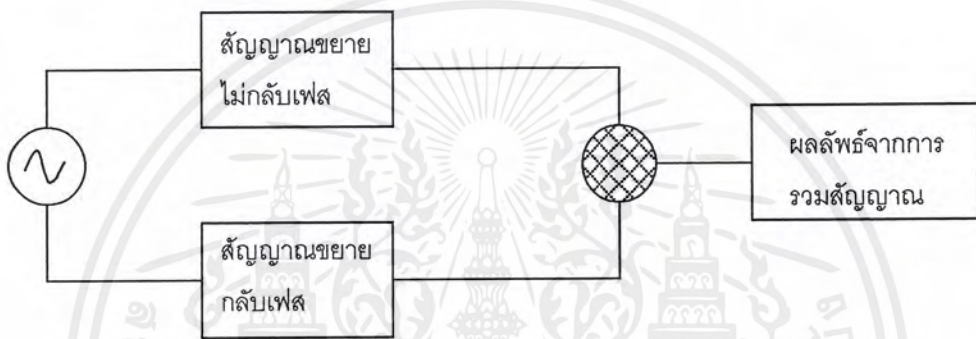
สูตรการหาแบนด์วิดท์คือ  $B = f_2 - f_1$

เช่นถ้า  $f_1 = 25 \text{ Hz}$  และ  $f_2 = 980 \text{ kHz}$

ดังนั้น  $B = 980 \text{ kHz} - 25 \text{ Hz} \cong 980 \text{ kHz}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงงานนี้จะจำลองการทำงานของ JFET สัญญาณจากแหล่งกำเนิดเปรียบเสมือนสัญญาณที่ต้องการขยาย สัญญาณขยายไม่กลับเฟสเปรียบเสมือนจิวเซอร์ส ซึ่งเราต้องไบแอสด้วยกระแสไฟตรงค่าหนึ่ง สัญญาณขยายกลับเฟสเปรียบเสมือนจิวเกตซึ่งคอยควบคุมทางเดินของอิเล็กตรอนจากซอร์สไปเดรนซึ่งถ้าเป็นลบมาก ๆ อิเล็กตรอนก็จะเดินทางได้ลำบาก จิวไฟฟ้าที่ไบแอสที่จิวเกตจึงปรับค่าได้ ในโครงงานนี้จะอาศัยการปรับค่าสัญญาณกลับเฟสซึ่งเปรียบเสมือนจิวเกตแล้วนำสัญญาณทั้งสองมารวมกันซึ่งเปรียบเสมือนจิวเดรนดังรูป 1-9



รูปที่ 1-9 แสดงหลักการการทำงาน โดยรวมของโครงงาน

## บทที่ 2

### แสงและการมอดูเลชันของแสง

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีสมการคือ

$$Y = A \sin(kx - \omega t + \delta) \quad (2-1)$$

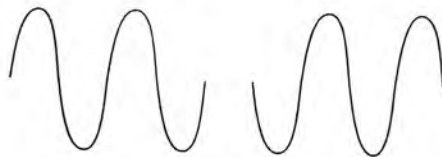
เมื่อ  $A$  คือ อัมพลิจูด  $k$  คือ ค่าเลขคลื่นเท่ากับ  $2\pi/\lambda$  เมื่อ  $\lambda$  คือ ความยาวคลื่น  $\omega$  คือ ความถี่เชิงมุม  $x$  คือ ระยะขจัด  $t$  คือ เวลา  $\delta$  คือ เฟส สมการนี้เป็นสมการเดียวกันกับสมการคลื่นรูปไซน์ที่ได้จากแหล่งกำเนิดสัญญาณ (function generator) ดังนั้นจึงสามารถเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นแสงได้หรือที่เรียกว่า “การมอดูเลชันแบบความเข้มแสง”

#### 2.1 เฟส

เนื่องจากแอลอีดีจะปล่อยคลื่นออกมาหลายความยาวคลื่น ดังนั้นจึงต้องมีค่ากลางค่าหนึ่งที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นเหล่านี้ ค่านี้คือ “เฟส” เฟสเป็นค่าที่บอกว่า ณ ตำแหน่งใด ๆ บนคลื่นหนึ่งสัมพันธ์กับอีกคลื่นหนึ่งเป็นมุมเท่าใด ดังนั้นการบอกความแตกต่างกันของตำแหน่งใด ๆ บนคลื่น 2 คลื่น จึงระบุเป็น “ความต่างเฟส” ความต่างเฟสมีหน่วยเป็นองศาหรือเรเดียนดังรูป



(a)



(b)

รูปที่ 2-1 แสดงความต่างเฟสของคลื่น

a) คลื่นที่มีเฟสตรงกัน

b) คลื่นที่มีเฟสกลับกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 โคฮีเรนซ์

แสงจากแหล่งกำเนิดโคฮีเรนซ์ที่มีคุณสมบัติเป็นโคฮีเรนซ์ หมายความว่า ตำแหน่งของเฟสบนคลื่นเหล่านี้มีค่าตรงกันหมด หรือถ้าต่างกันก็ต่างกันคงที่ตลอด การโคฮีเรนซ์แบบนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าสเปเชียล โคฮีเรนซ์ (spatially coherent) นอกจากนี้ แสงที่มีความยาวคลื่นเดียวหรือมีสีเดียว (mono chromatic light) ก็มีคุณสมบัติโคฮีเรนซ์ที่เรียกว่าเทมเปอรอลลี โคฮีเรนซ์ (temporally coherent) แสงจากแอลอีดี จัดว่าเป็นแสงที่ไม่โคฮีเรนซ์

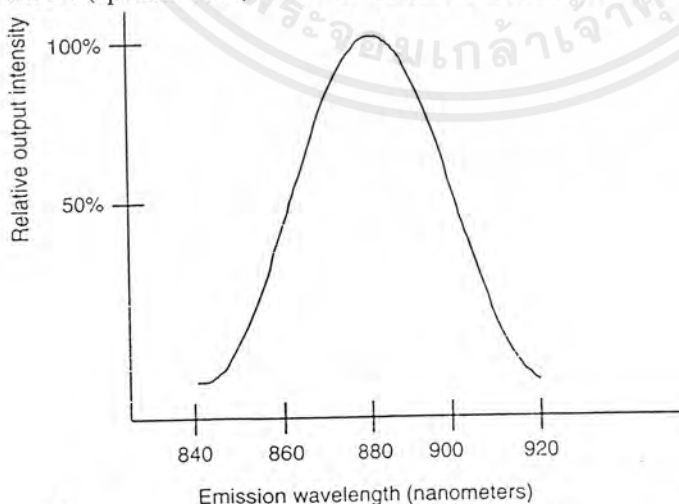
## 2.3 แอลอีดี

ในโครงการนี้ใช้แอลอีดีชนิดใกล้อินฟราเรด (near-infrared) ซึ่งความยาวคลื่นที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารกึ่งตัวนำที่ใช้ ดังตาราง

ชนิดของสารกึ่งตัวนำ	ความยาวคลื่น (nm)
GaAlAs	620-895 (near-infrared)
GaAs	940 (near-infrared)
InGaAsP	1100-1600 (high-infrared)

ตารางที่ 2-1 แสดงความยาวคลื่นของสารกึ่งตัวนำแต่ละชนิด

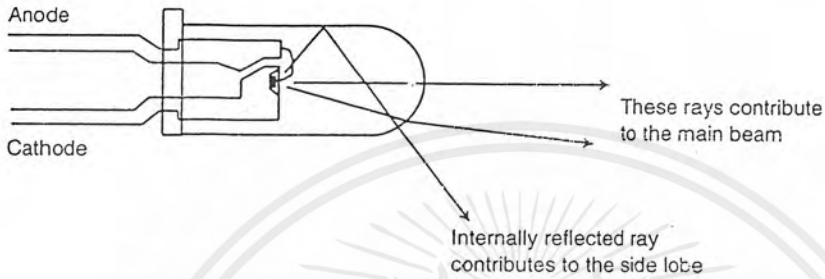
แอลอีดีในย่าน *near-infrared* ความยาวคลื่นขึ้นอยู่กับสัดส่วนโมลของ Al สาเหตุที่แอลอีดีจัดว่าเป็นแหล่งกำเนิดแสงแบบไม่โคฮีเรนซ์เพราะหลักการการเกิดแสงเป็นแบบสไปนเตเนียส (spontaneous) ทำให้ได้ความยาวคลื่นออกมาหลายค่าดังรูป 2-2



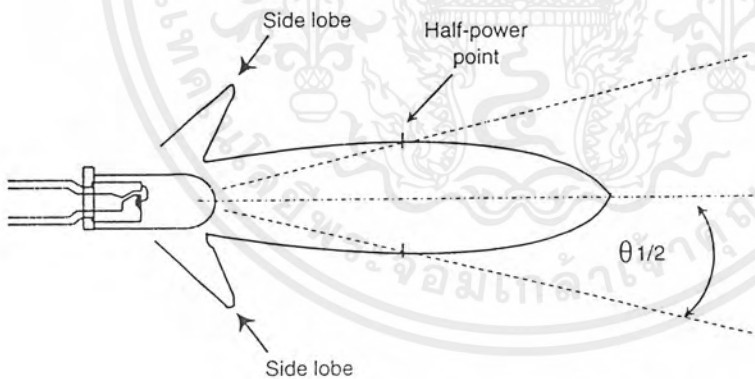
รูปที่ 2-2 แสดงการกระจายสเปกตรัมของอินฟราเรดแอลอีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเนื่องจากแสงถูกปล่อยออกมาจากแอลอีดีจากบริเวณรอยต่อ p-n ที่วางอยู่บนคาโทด และจากหลักการทางแสงการที่แสงถูกปล่อยออกมาและกระจาย ทำให้แสงเกิดการเลี้ยวเบนออกไปด้านข้าง ผลคือทำให้เสียความเข้มแสงส่วนหนึ่งไปดังรูป



รูปที่ 2-3 แสดงทิศทางของแสงที่ต้องการนำไปใช้งาน



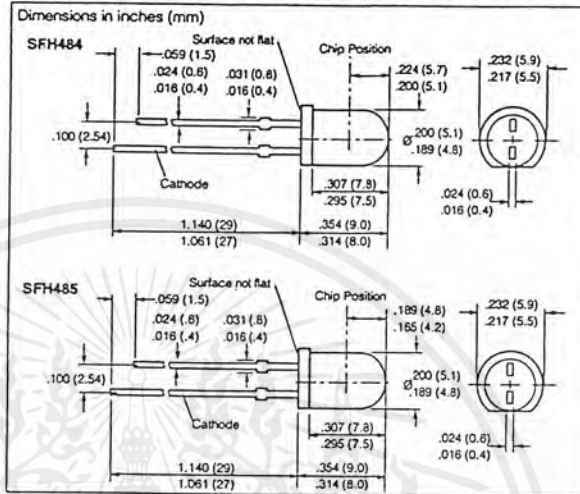
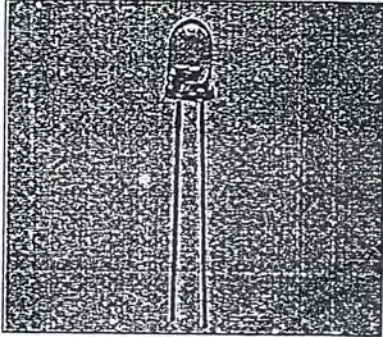
รูปที่ 2-4 แสดงการปล่อยแสงของแอลอีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

SFH 484  
SFH 485

GaAlAs INFRARED EMITTER



FEATURES

- T1 $\frac{3}{4}$  Package
- Blue Tinted Plastic Lens
- Long Term Stability
- Very High Power, 25 mW Typical at 100 mA
- Good Spectral Match with Silicon Photo Detector
- Gallium Aluminum Arsenide Material
- SFH 484-16° Narrow Beam, SFH 485-40° Medium Beam
- Smoke Detection Application: SFH484-E7517 (UL Recognized)

DESCRIPTION

SFH 484, an infrared emitting diode, emits radiation in the near infrared range (880 nm peak). The device comes in a T1 $\frac{3}{4}$  (5 mm) plastic package. Uses for SFH 484 include IR remote control, smoke detectors, and other applications requiring high power, such as IR touch screens.

The SFH 485 contains the same IR emitter chip as the SFH 484 but features a wider beam.

Maximum Ratings

Operating and Storage Temperature Range (T <sub>CR</sub> T <sub>STG</sub> )	.....-55° to +100°C
Junction Temperature (T <sub>J</sub> )	.....100°C
Reverse Voltage (V <sub>R</sub> )	.....5 V
Forward Current (I <sub>F</sub> )	.....100 mA
Surge Current (I <sub>FSM</sub> ) t=10 μs	.....2.5 A
Power Dissipation (P <sub>TOT</sub> )	.....200 mW
Thermal Resistance (R <sub>thJA</sub> )	.....375 K/W

Characteristics (T<sub>A</sub>=25°C)

Parameter	Symbol	Value	Unit	Condition
Peak Wavelength	λ <sub>PEAK</sub>	880±20	nm	I <sub>F</sub> =100 mA, t <sub>p</sub> =20 ms
Spectral Bandwidth	Δλ	80	nm	I <sub>F</sub> =100 mA
Half Angle SFH 484	φ	±8	Deg.	
SFH 485	φ	±20	Deg.	
Active Chip Area	A	0.16	mm <sup>2</sup>	
Active Chip Area Dimensions	L x W	0.4 x 0.4	mm	
Switching Times, I <sub>E</sub> , 10% to 90% and 90% to 10%	t <sub>R</sub> , t <sub>F</sub>	0.6/0.5	μs	I <sub>F</sub> =100 mA
Capacitance	C <sub>0</sub>	25	pF	V <sub>R</sub> =0 V, f=1 MHz
Forward Voltage	V <sub>F</sub>	1.5 (≤1.8)	V	I <sub>F</sub> =100 mA, t <sub>p</sub> =20 μs
	V <sub>F</sub>	3.0 (≤3.8)	V	I <sub>F</sub> =1 A, t <sub>p</sub> =100 μs
Reverse Current	I <sub>R</sub>	0.01 (≤1)	μA	V <sub>R</sub> =5 V
Temperature Coefficient, I <sub>E</sub> or φ <sub>E</sub>	TC <sub>I</sub>	-0.5	%/K	
Temperature Coefficient, V <sub>F</sub>	TC <sub>V</sub>	-2	mV/K	
Temperature Coefficient, λ	TC <sub>λ</sub>	0.25	nm/K	

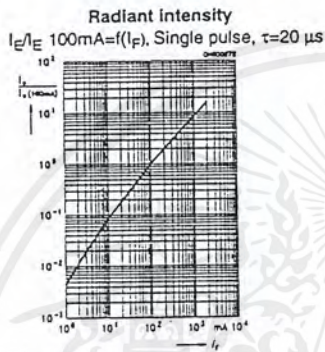
Radiant Intensity I <sub>E</sub> in Axial Direction	Sym	solid angle of Ω=0.01 sr		solid angle of Ω=0.001 sr		Unit	Condition
		SFH 484-1	SFH 484-2	SFH 485-1	SFH 485-2		
I <sub>Emin</sub>		50	80	16	25	mW/sr	I <sub>F</sub> =100 mA, t <sub>p</sub> =20 ms
I <sub>Emax</sub>		100	—	32	—	mW/sr	
I <sub>Etyp</sub>		700	900	220	340	mW/sr	I <sub>F</sub> =1 A, t <sub>p</sub> =100 μs

ตารางที่ 2-2 แสดงคุณสมบัติของ infrared LED เบอร์ SFH 484 และ SFH 485 ของบริษัท ซิเมนส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางแสดงให้เห็นพารามิเตอร์ที่สำคัญต่าง ๆ ของแอลอีดีเบอร์ SFH 484 และ SFH 485 ของบริษัทซีเมนส์ ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ควรพิจารณาได้แก่

- กำลังทางแสงที่ปล่อยออกมา จากตารางคือค่าความเข้มเรเดียนท์ (radiant intensity) มีหน่วยเป็น  $\text{mW/Sr}$  ซึ่งค่านี้จะสัมพันธ์กันกับกระแสฟอว์เวิร์ดที่ผ่านแอลอีดี นั่นคือพารามิเตอร์ค่านี้มีความสำคัญมาก เพราะบ่งบอกถึงการส่งผ่านพลังงานไปยังวงจรต่อไป

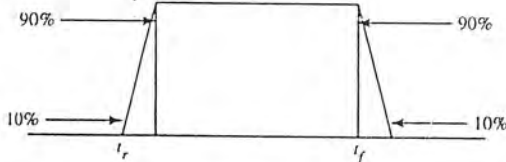


รูปที่ 2-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มเรเดียนท์และกระแสฟอว์เวิร์ดที่ผ่าน LED

- ค่า แบนด์วิดท์สเปกตรัม (spectral bandwidth) บอกให้ทราบว่าแอลอีดีเบอร์นั้น ๆ มีการกระจายของความยาวคลื่นมากน้อยเพียงใด ถ้าจะให้ดีควรมีค่าน้อย ๆ

- ศักย์ที่ตกคร่อมแอลอีดีมีค่าอยู่ระหว่าง 1.5 – 1.8 โวลต์

- ช่วงเวลาปิด-เปิด หรือไรส์ไทม์-ฟอลไทม์ (Rise-time fall-time) เนื่องจากการปิด-เปิดของแอลอีดี ต้องใช้เวลาส่วนหนึ่งในการทำงาน ดังรูป



Rise Time and Fall Time

รูปที่ 2-6 แสดงไรส์ไทม์ และ ฟอลไทม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางของ SFH 484 สามารถหาแบนด์วิดท์ของแอลอีดีเบอร์นี้ได้จากสูตร

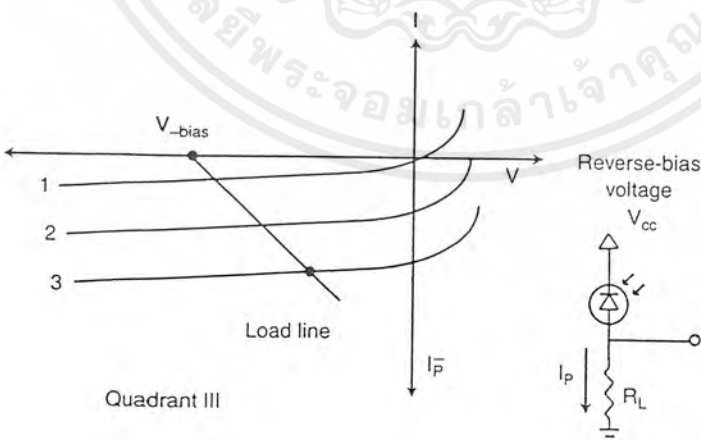
$$Bw = \frac{0.035}{t_r} = \frac{0.035}{0.6 \times 10^{-6}} = 58.33 \text{ kHz} \quad (2-2)$$

## 2.4 โฟโตไดโอด

โฟโตไดโอดที่ใช้ในโครงการนี้ จะต่อแบบโฟโตคอนดักตีฟโหมด (Photoconductive mode) ซึ่งมีหลักการคือต้องต่อไฟแบบย้อนกลับ ผลคือทำให้เขตปลอดพาหะกว้างขึ้นทำให้การตอบสนองต่อแสงเร็วขึ้น โดยมองว่าโฟโตไดโอดเป็นความต้านทานที่ปรับค่าได้ เมื่อมีแสงมาตกกระทบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ( $\rho$ ) จะลดลงทำให้กระแสไหลได้มากขึ้นตามความสัมพันธ์

$$\rho \propto \frac{I}{P} \quad (2-3)$$

กระแสที่ผลิตได้จากโฟโตคอนดักตีฟโหมดนี้จะอยู่ในระดับไมโครแอมป์ ดังนั้นถ้านำโหลดมาต่อ ก็จะทำให้กระแสไหลครบวงจร จะเกิดสัญญาณทางไฟฟ้าได้ดังรูป



รูปที่ 2-7 แสดงการทำงานของโฟโตไดโอดเมื่อต่อแบบ โฟโตคอนดักตีฟโหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟเส้นที่ 1 แสดงสมการไดโอดทั่วไปเมื่อไม่มีแสงก็จะเกิดคาร์ค เคอเรนท์ (dark current) กราฟเส้นที่ 2 และ 3 แสดงคุณลักษณะของโฟโตไดโอดเมื่อแสงมีความเข้มมากขึ้นตามลำดับ จากรูปถ้าให้  $V_s$  คือเอาต์พุต จะหา  $V_s$  ได้จาก

$$V_s = I_p R_L \quad (2-4)$$

เมื่อ  $R_L$  คือ โหลดซึ่งควรให้มามีค่าสูงเพราะถ้ามีค่าต่ำอาจจะทำให้อุณหภูมิของโฟโตไดโอดสูง ซึ่งจะส่งผลให้เกิดเทอร์มัลนอยส์ (thermal noise) เมื่อ  $I_p$  คือกระแสที่โฟโตไดโอดผลิตได้ซึ่งหาได้จากสมการ

$$I_p = \frac{e\eta P_o}{h\nu} \quad (2-5)$$

เมื่อ  $\eta$  คือประสิทธิภาพควอนตัม โดยที่  $\eta$  คือจำนวนอิเล็กตรอนที่ผลิตได้ต่อจำนวนโฟตอน ที่ตกกระทบ  $P_o$  กำลังของแสงที่ตกกระทบสามารถวัดได้  $h$  คือค่าคงที่ของพลังค์ และ  $\nu$  คือ ความถี่ของแสงตกกระทบ

## 2.5 การซ้อนทับกันของคลื่น

แม้ว่าแสงจะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แต่กรณีที่ทำกร โมดุลเลชันด้วยสัญญาณไฟฟ้า กระแสสลับนั้น การซ้อนทับกันของคลื่นจะพิจารณาเฉพาะคลื่นไฟฟ้าเท่านั้น หลักการคือ เมื่อคลื่น 2 คลื่นเคลื่อนที่มาพบกัน จะได้คลื่นลูกใหม่ที่เกิดจากคลื่นทั้งสองรวมกัน ดังนั้นเมื่อให้  $E_1$  คือคลื่นลูกที่ 1 และ  $E_2$  คือคลื่นลูกที่ 2 ดังนั้นจะได้คลื่นสนามไฟฟ้ารวมคือ

$$E_T = E_1 + E_2 \quad (2-6)$$

ใน โครงานนี้จะใช้คลื่นที่มีความถี่เท่ากัน อัมปลิจูดต่างกัน และมีเฟสต่างกัน  $180^\circ$  จะได้ จากสมการเมื่อคลื่น ไฟฟ้า 2 คลื่นที่มีความถี่เท่ากันแต่มีอัมปลิจูดและเฟสต่างกันมีสมการคือ

$$E_1 = E_{01} \sin(k \cdot r_1 + \omega t + \phi_{01}) \quad (2-7)$$

$$E_2 = E_{02} \sin(k \cdot r_2 + \omega t + \phi_{02}) \quad (2-8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากขณะคลื่นมาพบกันที่คับเปลอร์นั้น ค่า  $k.r$  จะมีค่าคงที่ ดังนั้นจะได้ว่า

$$k.r_1 + \varphi_{01} = \alpha_1 \quad (2-9)$$

$$k.r_2 + \varphi_{02} = \alpha_2 \quad (2-10)$$

แทน (2-9) และ (2-10) ลงใน (2-7) และ (2-8) จะได้

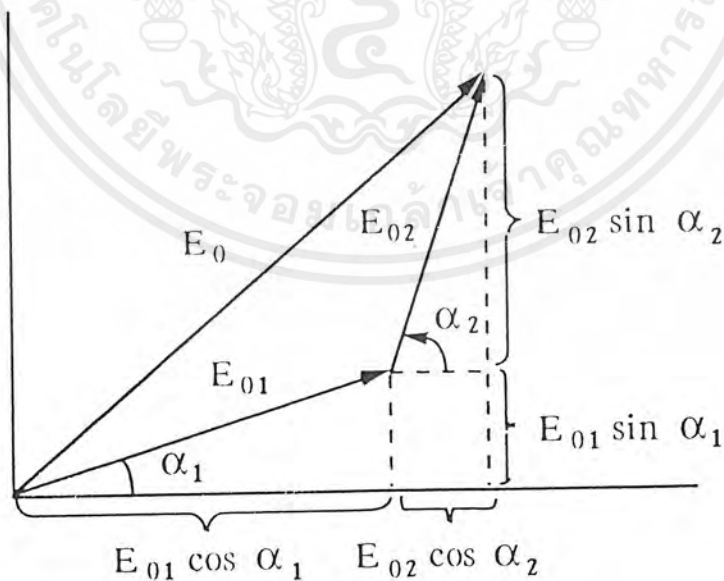
$$E_1 = E_{01} \sin(\omega t + \alpha_1) \quad (2-11)$$

$$E_2 = E_{02} \sin(\omega t + \alpha_2) \quad (2-12)$$

จากหลักการซ้อนทับกัน ใน (2-6) จะได้

$$\begin{aligned} E_T &= E_1 + E_2 \\ &= E_{01} \sin(\omega t + \alpha_1) + E_{02} \sin(\omega t + \alpha_2) \\ &= E_{01} [\sin \omega t \cos \alpha_1 + \cos \omega t \sin \alpha_1] + E_{02} [\sin \omega t \cos \alpha_2 + \\ &\quad \cos \omega t \sin \alpha_2] \\ &= [E_{01} \cos \alpha_1 + E_{02} \cos \alpha_2] \sin \omega t + [E_{01} \sin \alpha_1 + E_{02} \sin \alpha_2] \cos \omega t \end{aligned} \quad (2-13)$$

ถ้าพิจารณาการรวมกันของ  $E_1$  กับ  $E_2$  ในลักษณะของเฟเซอร์ไดอะแกรม ดังรูป



รูปที่ 2-8 แสดงเฟเซอร์ไดอะแกรมของการรวมคลื่นสองคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะได้ว่า

$$E_0 \cos \alpha = E_{01} \cos \alpha_1 + E_{02} \cos \alpha_2 \quad (2-14)$$

$$E_0 \sin \alpha = E_{01} \sin \alpha_1 + E_{02} \sin \alpha_2 \quad (2-15)$$

แทนค่า (2-14) และ (2-15) ใน (2-13) จะได้

$$\begin{aligned} E_T &= (E_0 \cos \alpha) \sin \omega t + (E_0 \sin \alpha) \cos \omega t \\ &= E_0 \sin(\omega t + \alpha) \end{aligned} \quad (2-16)$$

จากสมการ (2-16) จึงสรุปได้ว่าการรวมคลื่นไฟฟ้า 2 คลื่นที่มีความถี่เท่ากัน จะได้ผลลัพธ์เป็นคลื่นไฟฟ้าที่มีความถี่เท่าเดิม แต่มีเฟสและแอมพลิจูดเปลี่ยนไป พลังงานของแสงที่ไปตกลงบนโฟโตไดโอดจะใช้ในเทอมของความเข้ม ไม่ใช่แอมพลิจูด ดังนั้นจากหลักการที่ว่าความเข้มของแสงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแอมพลิจูดยกกำลังสอง จากสมการ (2-16) จะได้

$$E_T^2 = E_0^2 \sin^2(\omega t + \alpha)$$

โดย

$$E_0^2 = E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02} \cos(\alpha_2 - \alpha_1)$$

ดังนั้นจะได้  $I = [I_{01} + I_{02} + 2\sqrt{I_{01}I_{02}} \cos(\alpha_2 - \alpha_1)] \sin^2(\omega t + \alpha)$

ในโครงการงานนี้ สัญญาณทางไฟฟ้าที่มารวมกันจะให้กลับเฟส ดังนั้นสมการ อิเรเดียนซ์ (Irradiance) คือ

$$I = [I_{01} + I_{02} - 2\sqrt{I_{01}I_{02}}] \sin^2(\omega t + \alpha) \quad (2-17)$$

กรณีที่ให้อัมพลิจูดของสัญญาณที่มอดูเลตเข้าไปมีค่าเท่ากัน สมการที่ (2-17) จะเป็นดังนี้

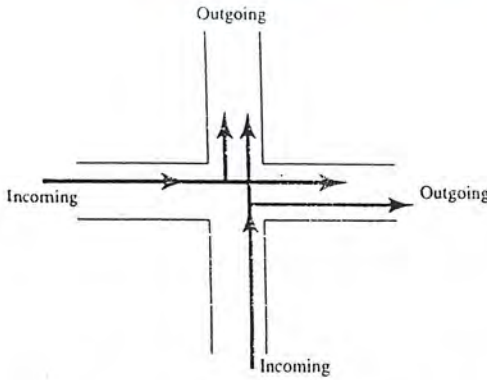
$$I = [2I_{01} - 2I_{01}] \sin^2(\omega t + \alpha) = 0 \quad (2-18)$$

ดังนั้นจึงไม่ควรมียสัญญาณใด ๆ ออกมาจากโฟโตไดโอด

## 2.6 อุปกรณ์คัปเปิลเลอร์

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรวมสัญญาณ ในโครงการงานนี้จะใช้อุปกรณ์คัปเปิลเลอร์ที่ทำขึ้นเอง โคนำแกนใยแก้วพลาสติก 2 เส้นมารวมกันแล้วพันด้วยลวดทองแดง กลไกการรวมกันแสดงดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

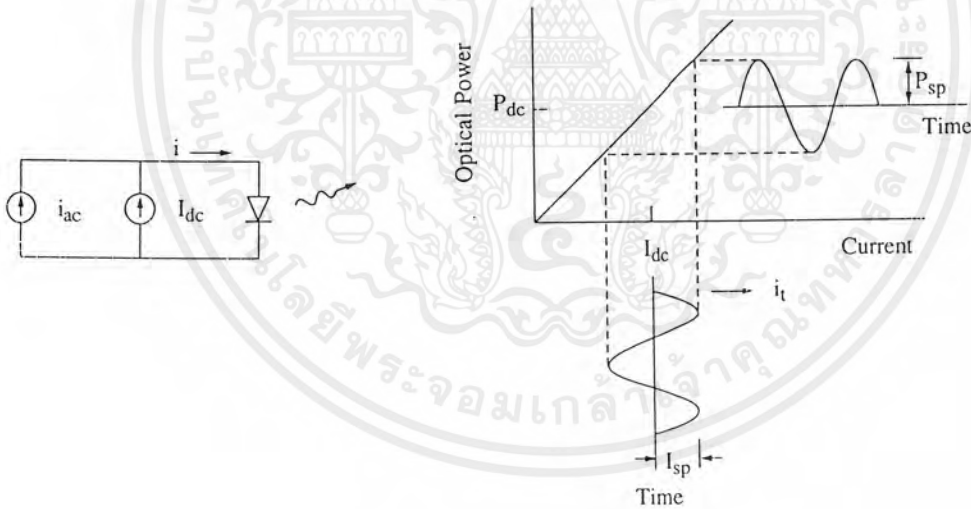


รูปที่ 2-9 แสดงหลักการของอุปกรณ์คัปเปิลเลอร์

ถ้าให้แสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันมารวมกัน แอต์พุตที่ได้ก็จะประกอบด้วยแสงทั้ง 2 ความยาวคลื่น ซึ่งเมื่อกรองด้วยฟิลเตอร์ก็จะสามารถแยกความยาวคลื่นออกมาได้เหมือนเดิม แต่สำหรับในโครงการนี้ใช้ความยาวคลื่นค่าเดียว ดังนั้นจึงเป็นลักษณะของการซ้อนทับกันของคลื่น แอต์พุตที่ได้จะมีอิมพลีจูดที่เปลี่ยนไปตามสัญญาณอินพุต

### 2.7 การมอดูเลชันแอสอีดี

ในโครงการนี้ใช้การมอดูเลตแบบแอนาลอกดังรูป



รูปที่ 2-10 แสดงการมอดูเลชันแบบแอนาลอกกับแอสอีดี

แอนาลอก มอดูเลชัน (analog modulation) จากรูปที่ 2-10 จะเห็นว่าถ้าต้องการแรงดันไฟ กระแสตรงเพื่อให้เกิดกระแสไหลไปข้างหน้า (forward direction) ตลอดเวลาโดยปราศจาก กระแสตรงการแกว่งของสัญญาณในช่วงลบจะเป็นการไปแอสซ็อนกลับไดโอด และกระแสรวม (I) ทั้งหมดจะเป็น

$$I = I_{dc} + I_{sp} \sin \omega t \quad (2-19)$$

และสอดคล้องกับกำลังของแสงคือ

$$P = P_{dc} + P_{sp} \sin \omega t \quad (2-20)$$

เมื่อ  $I_{dc}$  และ  $I_{sp}$  คือกระแสไฟตรงและกระแสสลับ  $P_{sp}$  คือ peak signal power ซึ่งเรียกว่ากำลังกระแสสลับ (ac power) จะสังเกตเห็นว่ารูปร่างของกระแสอินพุตจะเหมือนกับกำลังของแสงเอาต์พุตอันเนื่องมาจากคุณสมบัติความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นระหว่างกำลังกับกระแส โดยการเบี่ยงเบนความเป็นเชิงเส้นทำให้เกิดการเพี้ยน (distortion) ของสัญญาณ ค่าไรซ์ไทม์ และ 3-dB แบนด์วิดท์มีความสัมพันธ์กันตามสมการ

$$f_{3-dB} = 0.35 / t_r \quad (2-21)$$

ซึ่งค่าไรซ์ไทม์ปกติของ LED จะอยู่ในช่วง 2.3 ns จนถึง 250 ns

## บทที่ 3

### เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก

#### 3.1 บทนำ

สังคมโลกของเรา กำลังอยู่ในย่างก้าวของคลื่นลูกที่สาม ซึ่งเป็นยุคของสังคมการสื่อสารซึ่งความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีด้านสื่อสารจะส่งผลกระทบต่อทั้งเศรษฐกิจ การเมือง และการดำเนินชีวิตของมนุษย์ การสื่อสารโดยใช้เส้นใยนำแสง (Optical fibre) เป็นหนึ่งในสาขาวิชาสื่อสารที่ได้ถูกพัฒนาอย่างมาก ในช่วงแรก ๆ ของการพัฒนา นั้นวัสดุที่นำมาทำเส้นใยนำแสงจะเป็นแก้วหรือซิลิกาเท่านั้น ตั้งแต่ปี ค.ศ.1960 เส้นใยนำแสงที่ทำจากวัสดุพลาสติก (Plastic Optical Fibre ; POF) ได้ถูกพัฒนาโดยบริษัทชาวอเมริกัน เหมือน ๆ กับเส้นใยนำแสงที่ทำจากแก้ว POF มีข้อได้เปรียบหลาย ๆ อย่างเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ๆ ได้แก่ ความที่ไม่มีผลจากการรบกวนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความทนทาน ความสามารถในการส่งข้อมูลจำนวนมาก ๆ สามารถใช้ในช่องแสงที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตา และคุณสมบัติในการโค้งได้ด้วยดีต่าง ๆ โดยไม่ลดความสามารถของความโปร่งใส อุปสรรคใหญ่ในการนำวัสดุประเภทพลาสติกมาใช้งานคือ ความโปร่งใสของวัสดุ แต่ก็ได้มีการทำวิจัยต่าง ๆ เพื่อสนับสนุนการใช้ POF ได้แก่ ลดการลดทอน การเพิ่มความสามารถในการต้านทานอุณหภูมิและอายุการใช้งาน เป็นต้น

ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพของ POF จะยังไม่พัฒนาได้อย่างสมบูรณ์ แต่ก็มีการนำ POF ไปประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ ได้แก่ งานส่องสว่างและตกแต่ง อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์และการแพทย์ งานด้านนิวเคลียร์ฟิสิกส์ การแสดงภาพและการส่งข้อมูลในระบบเครือข่ายระยะใกล้

#### 3.2 ทฤษฎีทางแสง

##### การหักเหแสง (Refraction of light)

เมื่อแสงเดินทางตกกระทบตัวกลาง 2 ชนิดที่มีดัชนีหักเหเป็น  $n_1$  และ  $n_2$  ตามลำดับ ถ้า  $n_2 > n_1$  แสงที่เดินทางเข้าไปในตัวกลางที่ 2 โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างแสงที่ตกกระทบและแสงที่หักเหตามกฎของสเนลล์ (Snell's law) ว่า

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \quad (3-1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การสะท้อนแสง (Reflection of light)

ในขณะที่แสงเดินทางตกกระทบบัวกลางชนิดที่ 2 นั้นจะเกิดการสะท้อนของแสงและมุมสะท้อนของแสงจะมีขนาดเท่ากับมุมที่แสงตกกระทบบ

### การสะท้อนกลับหมด (Total internal reflection)

เมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีดัชนีหักเห  $n_1$  ไปยังตัวกลางที่มีดัชนีหักเห  $n_2$  โดย  $n_1 > n_2$  ด้วยมุมตกกระทบบ  $i_1$  เล็ก ๆ และแสงที่หักเหทำมุม  $90^\circ$  กับแกนปกติ นั่นคือ แสงขนานไปกับรอยต่อของตัวกลาง เรียกมุม  $i_1$  ว่า มุมวิกฤติ ถ้ามุมของแสงโตกว่ามุมวิกฤติ แสงจะเกิดปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมด มุมวิกฤตินี้สามารถคำนวณได้จาก

$$\sin i_1 = n_2 / n_1 \quad (3-2)$$

### 3.3 นิวเมอริคัลแอปเจอร์เจอร์ (Numerical Aperture ; NA)

เมื่อปล่อยแสงเข้าเส้นใยนำแสง ถ้าต้องการให้เกิดปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงมุมที่ใช้ในการปล่อยแสงด้วย โดยมุมที่ใช้ปล่อยจะต้องอยู่ในช่วงของกรวยรับแสง (acceptance cone ;  $\theta_0$ ) นั่นคือ

$$\theta_0 < \theta_{\max} = \arcsin\left[\frac{1}{n_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}\right] \quad (3-3)$$

และเรียก  $\sqrt{n_1^2 - n_2^2}$  ซึ่งเป็นคุณสมบัติของเส้นใยนำแสงว่า นิวเมอริคัลแอปเจอร์เจอร์

### 3.4 การนำแสง (Light guiding)

#### เมอริดิโนลเรย์ (Meridional ray)

เมื่อแสงเดินทางเป็นเส้นตรงทำมุม  $\theta$  เล็ก ๆ กับแกนของเส้นใยนำแสงโดยมุม  $\theta$  เท่ากับ

$$\theta < \theta_{\lim} = \arccos(n_2 / n_1) \quad (3-4)$$

แสงจะเดินทางซิกแซกในแกนไปด้วยมุมเท่าเดิมไปเรื่อย ๆ ในขณะที่เดียวกันมุมที่กระทำระหว่างรอยต่อแกน/ แคลด (core/cladding) จะเท่ากันไปตลอด

### สกรูเรย์ (skew rays)

แสงเดินทางในแกนของเส้นใยนำแสงแต่ไม่ผ่านแนวกลางของแกนจะทำให้คาบการ  
เดินทางในแต่ละครั้งอยู่คนละระนาบ

### ลึ้กี้เรย์ (Leaky rays)

เมื่อแสงตกกระทบรอยต่อระหว่างแกน/แคลด จะมีแสงบางส่วนหลุดออกจากแกนไป  
ยังแคลด

### โครงสร้างของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก

ส่วนประกอบของ POF ยังคงมีลักษณะเหมือน ๆ กับเส้นใยนำแสงโดยทั่วไป นั่นคือ  
ประกอบด้วยส่วนกลางเรียกว่า แกน (core) ส่วนของเปลือกเรียกว่า แคลด และอาจจะมีหรือ  
ไม่มีส่วนของเปลือกหุ้มชั้นนอกเพื่อเพิ่มความแข็งแรงก็ได้

### 3.5 วัสดุที่ใช้ทำเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก

โดยทั่วไป POF จะเป็นเส้นใยนำแสงชนิดสเต็ปอินเด็กซ์ (Step index fibre) วัสดุที่  
นำมาทำในส่วนของแกนจะต้องโปร่งใสในช่วงความยาวคลื่นที่ใช้งาน ซึ่งมักใช้วัสดุประเภท  
อมอร์ฟัสโพลีเมอร์ (amorphous polymers) สำหรับแคลดคุณสมบัติที่จะต้องคำนึงถึงเพิ่มได้  
แก่ ความต้านทานอุณหภูมิและอายุการใช้งาน

### 3.6 ประเภทของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก

เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกสามารถแบ่งประเภทหลัก ๆ ได้ตามชนิดของแกน

- เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่มีแกน โพลีเมทิลเมตาไครเลต (Fibres with Polymethyl methacrylate core)
- เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่มีแกน โพลีสไตรีน (Fibres with Polystyrene core)
- เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่มีแกน โพลีคาร์บอเนต (Fibres with Polycarbonate core)
- เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่มีแกนดิวเทอเรทเต็ด (Fibres with deuterated core) ซึ่งเป็นวัสดุประเภท โพลีเมทิลเมตาไครเลตหรือพีเอ็มเอ็มเอ (Polymethylmethacrylate; PMMA) แต่เปลี่ยนตำแหน่งของไฮโดรเจนอะตอมด้วยอะตอมของดิวเทอเรียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(deuterium) ซึ่งทำให้คุณสมบัติความโปร่งใสดีขึ้น

### 3.7 การผลิตเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก

ขั้นตอนสำคัญ ๆ ในการผลิต POF สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. การทำวัสดุให้บริสุทธิ์วัสดุที่นำมาใช้ทำ POF โดยส่วนใหญ่จะมีความบริสุทธิ์ไม่เพียงพอ จำเป็นต้องนำวัสดุดังกล่าวมาทำการกรองโดยใช้อุปกรณ์กลั่นและกรองระบบสุญญากาศ
2. การทำแกน โพลีเมอร์ วัสดุที่นำมาผลิต POF ในตอนแรกจะอยู่ในรูปของโมโนเมอร์ (monomers) ต้องทำโมโนเมอร์ดังกล่าวให้จับตัวกันเป็นโพลีเมอร์โดยควรมีคุณสมบัติโพลีเมอไรเซชัน (polymerization) มากกว่า 95%
3. กระบวนการผลิต (Manufacturing Process) สร้าง ทำได้ 2 วิธีคือ
  - กระบวนการคึง (Coextrusion) จากกระบวนการที่ 2 วัสดุที่อยู่ในรูปเม็ดจะถูกทำให้ร้อนและคึงผ่านหัวคึง จากนั้นจะถูกทำให้เย็นตัวลงและม้วนเก็บ
  - กระบวนการสร้างแท่งพรีฟอร์ม เป็นการทำแกนให้อยู่ในรูปแท่ง เรียกว่าแท่งพรีฟอร์ม (preform) จากนั้นให้ความร้อนแก่แท่งพรีฟอร์ม โดยแท่งพรีฟอร์มจะอ่อนตัว และขยอลงตามแรงโน้มถ่วงผ่านไดมิเตอร์เกจ (diameter gauge) และม้วนเก็บ วิธีการนี้จะเหมือนกับในกรณีที่ใช้กับเส้นใยนำแสงที่ทำจากแก้วหรือซิลิกา

### 3.8 คุณสมบัติของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก

ด้วยความที่ไม่มีมาตรฐานสนับสนุน ในที่นี้ คำว่า “เดคอเรชัน (decoration)” หมายถึงเส้นใยนำแสงพีเอ็มเอ็มเอที่มีการลดทอนสูง, “คอมมิวนิเคชัน (communication)” หมายถึงเส้นใยนำแสงพีเอ็มเอ็มเอที่มีการลดทอนต่ำ

#### ขนาด (Dimension)

- เส้นใยนำแสงเดคอเรชันชนิดเปลือย มีขนาดประมาณ 93-125  $\mu\text{m}$  ถึง 3 mm
- เส้นใยนำแสงคอมมิวนิเคชันชนิดเปลือย มีขนาดประมาณ 500-1500  $\mu\text{m}$  หรือขนาด 250-1000  $\mu\text{m}$  ขึ้นกับผู้ผลิต

- เส้นใยนำแสงคอมมิวนิเคชันชนิดมีส่วนห่อหุ้ม (jacketed) มักมีขนาดจำกัดที่ 500, 750, และ 10,000  $\mu\text{m}$  พร้อมด้วยเปลือกขนาด 1-2.2 mm สำหรับสายเคเบิลเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก (Plastic fibre cables) ขนาดจะขึ้นกับผู้ผลิต

นิวมอริคัลลอเปอร์เจอร์ เป็นค่าที่ใช้หามุมการรับ (acceptance angle) โดยมีค่า

$$A = \arcsin(NA) \text{ โดย } NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (3-5)$$

การลดทอน เมื่อแสงเดินทางในเส้นใยนำแสง กำลังของแสงจะลดลงโดยสามารถคำนวณได้จาก

$$\alpha = 10 \log_{10} (P_e / P_s) \quad \text{dB} \quad (3-6)$$

โดย  $P_e$  และ  $P_s$  เป็นกำลังที่ขาเข้าและขาออก ตามลำดับ

ความกว้างช่วงคลื่น (Bandwidth) เมื่อเส้นใยนำแสงมีความยาวมากขึ้นจำนวนความถี่ที่จะสามารถผ่านได้จะมีจำนวนลดลง

คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical properties) เนื่องจากยังไม่มีมาตรฐานสำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ดังนั้นการทดสอบคุณสมบัติเหล่านี้จะทำตามวิธีการของผู้ผลิต

- ความต้านทานแรงดึง (Tensile resistance) การยืดตัวของเส้นใยนำแสงจะทำให้การลดทอนเพิ่มขึ้น ในกรณีใช้งานทั่วไปแรงดึงที่กระทำกับเส้นใยนำแสงต้องน้อยกว่า 10% ของจุดเสื่อมถาวร (deformation) สำหรับการใช้งานต่อเนื่อง และในบางครั้งแรงดึงอาจยอมให้สูงถึง 95%
- ความต้านทานแรงกด (Compression resistance) ผลแรงกดที่กระทำกับ POF ทำให้นิวเมอริคัลลอเปอร์เจอร์ของบริเวณที่ถูกกดเปลี่ยนซึ่งทำให้เกิดลึกลับเร็ว
- ความต้านทานแรงกระแทก (Shock resistance) แรงกระแทกอาจกระทำความเสียหายให้กับ POF ได้ซึ่งอาจทำให้ POF เสียรูปหรือแตกหักได้

- ความต้านทานแรงบิด (Torsion resistance) คุณสมบัติข้อนี้จำเป็นในบางกรณีเช่น สำหรับการทำอุปกรณ์ตรวจจับ (sensor) ที่ติดตั้งในแขนของหุ่นยนต์ซึ่งในการทดสอบจะทำการหมุน POF ไปเป็นมุม  $180^\circ$  แล้วหมุนกลับ จากผลพบว่าไม่มีผลต่อการส่งผ่าน (transmission) ถึงแม้ว่าจะบิดไปแล้ว 1000 รอบ
- ผลของการม้วนอย่างถาวร เมื่อต้องการเก็บ POF โดยการม้วนไว้ เส้นรัศมีของม้วนควรมีขนาดอย่างน้อย 15-17 เซนติเมตร เนื่องจากผลของการทดสอบของผู้ผลิต แสดงให้เห็นว่า ถึงแม้จะทำการทดสอบคนละวิธีก็ยังสามารถพบผลจากการม้วนเก็บในกรณีที่รัศมีน้อย ๆ
- ความต้านทานการโค้งงอ (Bending resistance) กรณี POF ถูกทำให้โค้งงอระหว่างการใช้งานอาจทำให้ POF แตกหักหรือทำให้รอยต่อระหว่าง แกนและแคลดเสียหายได้
- ความต้านทานอุณหภูมิ เนื่องด้วย POF ทำจากวัสดุที่มีคุณสมบัติเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) ได้แก่ โพลีเอทิลีน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลต่อ POF
- ผลการเปลี่ยนแปลงของการส่งผ่านเนื่องจากอุณหภูมิ จากการทดสอบให้ความร้อนแก่ POF โดยเปลี่ยนเป็นวัฏจักรจาก  $+20^\circ\text{C}$  ไป  $+70^\circ\text{C}$  ไปยัง  $-70^\circ\text{C}$  และกลับไปยัง  $+20^\circ\text{C}$  ในเวลา 7 ชั่วโมง พบว่าในช่วงที่อุณหภูมิเปลี่ยนจาก  $-70^\circ\text{C}$  ไป  $+70^\circ\text{C}$  การส่งผ่านเปลี่ยนไปไม่เกิน 5%
- การลดความต้านทานอุณหภูมิสูงสุด ในการใช้งาน POF ในสถานะที่มีความชื้นเกี่ยวข้องจำเป็นต้องลดอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้งาน และการใช้งานอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูง มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของการลดทอน
- ความต้านทานการแปรเปลี่ยนของอุณหภูมิ (Thermal shock resistance) ในการทดสอบให้อุณหภูมิเปลี่ยนจาก  $-40^\circ\text{C}$  ถึง  $+85^\circ\text{C}$  ในเวลา 30 นาที โดยให้อุณหภูมิเปลี่ยนจนครบรอบ ทำครบ 300 รอบ ยังคงพบว่าไม่มีผลต่อความเข้ม
- ความต้านทานความร้อนและความชื้น โดยการทดสอบให้ความชื้นระหว่าง 80% ถึง 95% รวมกับอุณหภูมิ  $-40^\circ\text{C}$  กับ  $+65^\circ\text{C}$  พบว่าความเข้มเปลี่ยนไม่เกิน 5%
- การหดตัวเนื่องจากความร้อน (Heat shrinkage) เมื่อ POF ถูกให้ความร้อนสูงจะเกิดการหดตัวในเวลาไม่กี่ชั่วโมง และจะอยู่ในสภาพนั้นประมาณ 1 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความต้านทานสารเคมี (Chemical resistance) ในที่นี้ขอยกตัวอย่าง POF เป็นเส้นใยของ Mitsubishi PE-jacketed PMMA
- ความต้านทานของเหลว (Liquid resistance) พบว่า ถึงแม้จะเปลี่ยนสารละลายที่แช่ POF เป็นชนิดต่าง ๆ ความเข้มข้นจะเปลี่ยนไม่เกิน 10%
- ความต้านทานก๊าซ (Gas resistance) พบว่า การนำ POF ผ่านภาชนะที่บรรจุด้วยก๊าซที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อความเข้มของแสง

### 3.9 การเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก

การเชื่อมต่อ (connection) เป็นข้อได้เปรียบข้อหนึ่งของ POF เนื่องด้วยการเชื่อมต่อ POF นั้นกระทำได้ง่ายและมีราคาถูก

การเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงจะคำนึงถึงความต่อเนื่องของหน้าที่ของแต่ละส่วน นั่นคือความต่อเนื่องในการส่งสัญญาณแสง(ซึ่งเกี่ยวข้องกับแกนและเคลด) ความต่อเนื่องของการป้องกันทางกล (ซึ่งเกี่ยวข้องกับปลอกและโครงสร้างของสายเคเบิล) ความต่อเนื่องเฉพาะกรณีเช่น ความสามารถในการป้องกันทางกลเพิ่มขึ้น ความสามารถในการต้านทานทางเคมี ผุกร่อนหรืออื่น ๆ การเชื่อมต่อจะใช้ใน 4 สถานะการคือ

- 1) การเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยนำแสง
- 2) การเชื่อมต่อระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับเส้นใยนำแสง
- 3) การเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยนำแสงกับอุปกรณ์รับแสง
- 4) การเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยนำแสงกับอุปกรณ์แบบพาสซีฟ (passive) เช่น คัปเปิลเลอร์ (couplers)

การเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ได้แก่

การใช้ตัวเชื่อมต่อ ซึ่งจะประกอบด้วย 3 ส่วน นั่นคือ

- 1) ปลั๊ก (plug) เป็นส่วนที่ใช้ต่อปลายของเส้นใยนำแสง
- 2) ทรานสิชัน (transition) หรือตัวเชื่อมต่อใช้เชื่อมระหว่างปลั๊ก 2 ตัวเข้าด้วยกัน
- 3) รีเซปตาเคิล (receptacle) ซึ่งจะประกอบด้วยอุปกรณ์รับ หรือปล่อยแสง ซึ่งจะต่ออยู่กับปลั๊ก

เงื่อนไขในการพิจารณาเลือก ตัวเชื่อมต่อ โดยทั่วไปประกอบด้วย

- สถานะแวดล้อมที่จะมีผลกระทบต่อตัวเชื่อมต่อ ได้แก่ อุณหภูมิ ผลิตภัณฑ์เคมี เป็นต้น
- จำนวนสูงสุดของการเชื่อมต่อ
- ความจำเป็นต้องมีหรือ ไม่มี
- ประสิทธิภาพของแสงที่ต้องการส่วนป้องกันสายเคเบิล
- เส้นใยเป็นแบบซิมเพล็กซ์ (simplex) หรือดูเพล็กซ์ (duplex)
- ราคา
- สถานที่ประกอบตัวเชื่อมต่อ
- ความเสถียรของตัวเชื่อมต่อ

การเชื่อมต่อโดยใช้วิธีสไปลซ์ (splice) หรือหลอมรวม เป็นการเชื่อมต่อแบบถาวรโดยใช้กาว (Adhesive) หรือโดยฟิวชั่น (Fusion) ซึ่งมักใช้ในกรณีที่เส้นใยนำแสงจำเป็นต้องซ่อมส่วนที่เสียหายบริเวณกลางของเส้นใยนำแสง คุณภาพของการสไปลซ์จะขึ้นอยู่กับลักษณะผิวและการต่อส่วนของแคลค

### 3.10 การสูญเสียเนื่องจากการเชื่อมต่อ

การเชื่อมต่อโดยใช้ตัวเชื่อมต่อจะทำให้เกิดความสูญเสียของแสงขึ้นเสมอ นั่นคือ อินเสิร์ตชันลอส (insertion loss) ซึ่งการจัดวางอุปกรณ์ (alignment) ไม่ดี ผิวหน้าของเส้นใยนำแสงไม่สะอาดและเรียบพอ การประกอบหรือเลือกตัวเชื่อมต่อที่ไม่เหมาะสม ประเภทของความสูญเสียที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งได้เป็นชนิดต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ความสูญเสียเนื่องจากการบีบจับ เกิดจากการเสียรูปของแกนจากการใช้อุปกรณ์จับ (crimping tool) ที่ไม่เหมาะสม
- 2) ความสูญเสียเนื่องจากมีระยะห่างระหว่างเส้นใยแก้ว เมื่อเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงแล้วเกิดการเชื่อมต่อไม่สมบูรณ์ทำให้ปลายสองปลายเกิดระยะห่าง  $d$  และแสงที่ปลายเส้นใยนำแสงเส้นแรกกระเจิง โดยมีส่วนที่กระเจิงทำมุมเป็น  $\theta_{max}$  (พิจารณาภาพประกอบ) สามารถที่จะหาความสูญเสียได้จากสมการ

$$\eta_{dist} = -10 \log_{10} [(1 + (2d/D) \tan \theta_{max})^2] \quad (3-7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ความสูญเสียเนื่องจากการจัดวางเส้นใย (Losses due to axial misalignment) เมื่อเชื่อมต่อแล้วเส้นใยนำแสงทั้งสองไม่ตรงกัน จะเกิดความสูญเสียขึ้น โดยคำนวณได้จาก

$$\eta_{\text{axial}} = -10 \log_{10} \left[ \pi / (\pi - 2\arcsin(\Delta/D) - 2\Delta/D\sqrt{1-(D/\Delta)^2}) \right] \quad (3-8)$$

โดย D คือเส้นผ่านศูนย์กลางแกนและ  $\Delta$  คือส่วนที่การจัดวางผิด

4) ความสูญเสียเนื่องจากการเลี้ยวของมุม การเลี้ยวของมุมที่เชื่อมต่อระหว่างเส้นใยนำแสง 2 เส้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของนิวเมอริคัลลอเปอร์เจอร์โดยทั่วไปการเลี้ยวของมุมจะทำให้หน้าตัดของเส้นใยนำแสง (เส้นรับ) มีขนาดเล็กลงและ ระยะห่างระหว่างเส้นใยนำแสง แต่ผลทั้งสองข้างนี้สามารถตัดออกได้ ซึ่งความสูญเสียที่เกิดขึ้นเสมือนว่าเกิดจากการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงที่มีนิวเมอริคัลลอเปอร์เจอร์ต่างกันและมุมการรับของเส้นใยนำแสงเส้นรับจะลดลงด้วยค่าของมุมที่เลี้ยว

5) ความสูญเสียเนื่องจากการขาดความเป็นอโรคอนนอลิตี้หรือความเรียบที่ผิวหน้า การที่ปลายของเส้นใยนำแสงไม่มีคุณสมบัติอโรคอนนอลิตี้จะให้ผลเหมือนกรณีการสูญเสียที่เกิดจากการเลี้ยวของมุมของเส้นใยนำแสง

6) ความสูญเสียเนื่องจากความขรุขระที่ผิว ในการเชื่อมต่อโดยปกติถ้าไม่มีการใช้กาวหรือ อินเด็กแมชซึ่งลิดควิด (index-matching liquid) ปิดช่องว่างอากาศระหว่างเส้นใยนำแสงแสงจะเกิดความสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนของเฟรสเนลซึ่งคำนวณได้จาก

$$\eta_{\text{Fresnel}} = -10 \log_{10} (1-R) \quad \text{โดย } R = \left[ (n_0 - n_1) / (n_0 + n_1) \right]^2 \quad (3-9)$$

และถ้าผิวหน้าของเส้นใยนำแสงขรุขระหรือมีรอยจะทำให้แสงกระจายไม่ตกกระทบเส้นใยนำแสงเส้นรับ ทำให้เป็นการเพิ่มความสูญเสีย

7) ความสูญเสียเนื่องจากความสกปรกที่ผิว ผิวหน้าของเส้นใยนำแสงที่มีความสกปรกจะทำให้เกิดการดูดกลืนและการกระเจิงของแสง

8) ความสูญเสียเนื่องจากนิวมารีคัลลอเปอร์เจอร์ ที่เกิดขึ้นในกรณีนี้คำนวณได้จาก

$$\eta_{NA} = -10 \log_{10} [(1-\cos\theta_{1max})/(1-\cos\theta_{2max})] \quad (3-10)$$

9) ความสูญเสียเนื่องจากความแตกต่างของเส้นผ่านศูนย์กลาง  
ความสูญเสียที่เกิดขึ้นคำนวณได้จาก

$$\text{กรณี 1 ไป 2} \quad \eta_{diam} = -10 \log_{10} (S_{core1}/S_{core2}) \quad (3-11)$$

และ

$$\text{กรณี 2 ไป 1} \quad \eta_{diam} = 0 \text{ dB} \quad (3-12)$$

เมื่อพื้นที่  $S_1$  มากกว่า  $S_2$

10) ความสูญเสียเนื่องจากการเชื่อมต่อโดยทรานสมิตเตอร์ หรืออุปกรณ์ส่ง ในการเชื่อมต่อแหล่งกำเนิดแสงเข้ากับเส้นใยนำแสงจะเกิดความสูญเสียขึ้นเสมอ ซึ่งความสูญเสียจากกรณีนี้จำเป็นต้องใช้การวัดจริง

11) ความสูญเสียเนื่องจากตัวรับในการเชื่อมต่อ ในการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงเข้ากับอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ ความสูญเสียที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับระยะห่างระหว่างเส้นใยนำแสงและอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ

### 3.11 อุปกรณ์ตรวจจับโดยใช้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก

1) อุปกรณ์ตรวจจับโดยวิธีการยับยั้งการส่งผ่าน เป็นวิธีการตรวจจับโดยใช้การยับยั้งการส่งผ่านแสง โดยทั่วไประบบประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสงได้แก่ ไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diode;LED) ซึ่งมักให้แสงสีแดงช่วงความยาวคลื่นประมาณ 660  $\mu\text{m}$  ตัวรับได้แก่ โฟโตไดโอด (Photo diode;PD) และ POF 2 เส้น ซึ่งปลายหนึ่งของแต่ละเส้นจะต่อกับ LED หรือ PD ส่วนอีกปลายของ POF จะปล่อยอิสระ โดยมีช่องว่างอากาศตรงกลาง ซึ่งช่องว่างนี้สามารถวางระหว่างวัตถุที่เคลื่อนที่เพื่อตรวจจับหรือนับวัตถุที่เคลื่อนที่

อีกตัวอย่างได้แก่ การใช้เป็นสวิตช์ทางแสง (optical switch) ทั้งแบบกล และแบบไฟฟ้า เช่น ควินเทลสวิตช์ชิป (QUINTEL Switchop) ซึ่งสามารถใช้เป็นปุ่มของคีย์บอร์ด หรืออินไดเร็กต์แอ็ชชั่นเซ็นเซอร์ (indirect-action sensor) ที่ประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์ทางการแพทย์

2) อุปกรณ์ตรวจจับแบบหลายจุด (Multipoint detection) ในกรณีที่ใช้ LED, PD และ POF หลาย ๆ จุดจะสามารถที่จะใช้บอกตำแหน่งของวัตถุได้

3) อุปกรณ์ตรวจจับโดยการยับยั้งการสะท้อน ในกรณีนี้เช่นเดียวกับการส่งผ่านแสง แต่จะใช้คุณสมบัติความยอมให้แสงผ่านของวัสดุประกอบ โดยที่ใช้การวัดความแตกต่างระหว่างปริมาณของแสงที่สะท้อนกับที่ดูดกลืนที่ผิว ตัวอย่างได้แก่อุปกรณ์ตรวจจับ และ อุปกรณ์ตรวจสอบความผิดพลาดของผิว ซึ่งทำงาน โดยการยับยั้งการส่งผ่านแสงระหว่าง POF 2 เส้น ในสถานะหนึ่ง และ การสะท้อนกลับแสงในอีกสถานะ

อีกตัวอย่างการประยุกต์โดยการใช้การเปลี่ยนแปลงดัชนีหักเหของตัวกลาง เพื่อตรวจจับระดับของของเหลวโดยใช้หลักการ เมื่อระดับของของเหลวในภาชนะเพียงพอ แสงจะส่งผ่านจากปริซึมออกไปที่ของเหลว ทำให้ POF เส้นที่ 2 ไม่ได้รับแสง แต่ในกรณีที่ระดับของของเหลวต่ำ แสงจะหักเหในปริซึม และสะท้อนไปยัง POF เส้นที่ 2

4) การเปลี่ยนแปลงทางแอนาลอกของการส่งผ่านแสง สาเหตุของการเปลี่ยนขนาดของการลดทอนของการส่งผ่านแสงใน POF มีหลายสาเหตุได้แก่ ความยืดหยุ่น (flexious) อุณหภูมิ แต่เป็นการยากที่จะแยกสาเหตุของการเปลี่ยนออกเป็นสาเหตุเดียว ๆ

### 3.12 คัปเปิลเลอร์

เป็นอุปกรณ์การเชื่อมต่อแบบพาสซีฟ เนื่องจากเส้นใยนำแสงมักใช้การเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุดระหว่างอุปกรณ์รับ และส่งสัญญาณแสง ในระบบเครือข่ายต่าง ๆ มีความจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์แบบพาสซีฟในการกระจายพลังงานแสงไปยังส่วนต่าง ๆ คัปเปิลเลอร์ทางแสงจะทำหน้าที่ส่งข้อมูลนี้ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ คัปเปิลเลอร์แบบสตาร์หรือขนาน และคัปเปิลเลอร์แบบลำดับ (series couplers) คัปเปิลเลอร์แบบสตาร์จะมี N ทางเข้าและ N ทางออก แสงที่เข้ามาทุกทางเข้าจะกระจายไปยังทุกทางออกที่ขนานกัน คัปเปิลเลอร์แบบลำดับจะมี 1 ทางเข้าและ 2 ทางออก(เรียกว่าแทปทางแสง (optical taps)) หรือ 2 ทางเข้าและ 1 ทางออก (เรียกว่าคอนเซ็นทราเตอร์ (optical concentrators))

#### คุณลักษณะ

ความสูญเสียแบบอินเสิชชั่น  $\eta_1$  ระหว่างทางเข้าและทางออกเขียนได้ดังสมการ

$$\eta_1 = -10 \log_{10} (P_o/P_i) \quad \text{dB} \quad (3-13)$$

ค่านี้จะถูกกำหนดโดยผู้ผลิต และ สามารถนำไปใช้ในการคำนวณกำลังที่ใช้ ส่วนค่าความสูญเสียแบบเอ็กเซส (excess loss) ของคัปเปลอร์  $\eta_c$  มีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\eta_c = -10 \log_{10} (P_o / \sum P_s) \quad \text{dB} \quad (3-14)$$

ค่านี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ถ้าในกรณีที่เหมาะสมทำให้การกระจายของแสงในทุก N ทางเข้ามีความสม่ำเสมอ ความสัมพันธ์ของความสูญเสียทั้งสอง ( $\eta_i$  และ  $\eta_c$ ) จะสามารถแสดงด้วย

$$\eta_i = \eta_c - 10 \log_{10} (N) \quad (3-15)$$

ความสม่ำเสมอ (Uniformity) เป็นตัวแปรที่อธิบายถึงความสมดุลของการกระจายทางแสงในทุกทางออกของคัปเปลอร์ ค่าจะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ความสม่ำเสมอสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$U = 10 \log_{10} [(P_s)_{\max} / (P_s)_{\min}] \quad \text{dB} \quad (3-16)$$

ไดเรกทิวิตี (Directivity) ค่าไดเรกทิวิตีของคัปเปลอร์คำนวณได้จาก อัตราส่วนของกำลังที่เข้าทางอินพุต  $P_o$  กับกำลังที่รับจากทางเข้าอื่น  $P_r$  ของคัปเปลอร์ ดังสมการ

$$D = 10 \log_{10} (P_o / P_r) \quad \text{dB} \quad (3-17)$$

### การผลิต

- วิธีการฟิวชั่น-ดรออิง (Fusion-drawing method) วิธีการนี้ใช้การรวม N เส้นใยนำแสงในการสร้างออฟติคอลลเอ็นเนอียเอ็กเซ็งโซน ซึ่งเป็นบริเวณที่เส้นใยนำแสงจะถูกบิดในขณะที่ทำให้ความร้อนและถูกดึง ในบริเวณนี้พลังงานจะถูกถ่ายเทจากเส้นใยนำแสงที่เป็นทางเข้าไปยังเส้นใยนำแสงอื่น ๆ (N-1) วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่ายในการผลิต แต่ POF อาจได้รับความเสียหายจากความร้อนทำให้ และมีสมดุลสัมประสิทธิ์การ คัปปลิ่งที่ไม่ดี (เกิดกระจายในแต่ละ

เส้นทาง) ความสูญเสียแบบเอ็กเซส (excess loss) จะมีค่าอยู่ในช่วง 1 dB- 2.5 dB วิธีการนี้สามารถใช้ในการผลิตคัปเปลอร์แบบสตาร์  $N \times N$

- วิธีแกนร่วม (Mixing rod) เป็นวิธีการที่ใช้ แกนร่วมในการเชื่อมต่อระหว่างมัดของเส้นใยนำแสง ความสูญเสียแบบอินเสิร์ชชันของคัปเปลอร์ชนิดนี้ขึ้นกับจำนวนของเส้นใยนำแสงและอัตราส่วนระหว่างผลรวมของพื้นที่แกนของเส้นใยนำแสงกับพื้นที่แกนของแกนร่วมในการลดความสูญเสียแบบอินเสิร์ชชันทำได้โดยการจัดเรียงเส้นใยนำแสงแบบเฮกซะโกนอล และกำหนดอัตราส่วนของแกนที่เหมาะสม ภาพตัดขวางของแกนร่วมมักเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือคราวน์ (crown) เพราะภาพตัดขวางที่เป็นวงกลมไม่ให้การกระจายของแสงที่ทางออกไม่สม่ำเสมอ ถึงแม้เส้นใยนำแสงจะอยู่ที่ตำแหน่งกลางมัดของเส้นใยนำแสง

- วิธีแกนกระบอกที่มีกรวยแยก (Cylindrical rod with a separation cone) อุปกรณ์รวมชนิดนี้ผลิตโดยการใส่ชิ้นส่วนโปร่งใสระหว่างเส้นใยนำแสงอินพุตกับเส้นใยนำแสง  $N$  ทางออกโดยชิ้นส่วนโปร่งใสจะนำแสงไปยังส่วนเอาต์พุตด้วยหลักการการสะท้อนกลับหมดของผิวภายในและภายนอกของชิ้นส่วนโปร่งใส ขนาดของชิ้นส่วนโปร่งใสจะขึ้นอยู่กับภาพตัดขวางรวมของเส้นใยนำแสงเอาต์พุต เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก ความยาวและมุมภายในกรวยแยกของแกนร่วม สามารถคำนวณได้จาก  $N$  ทางออกของเส้นใยนำแสง วิธีการเช่นนี้จะลดความสูญเสียแบบอินเสิร์ชชันและให้การกระจายของแสงในทุกทางออก

- วิธีการขัดและเชื่อมติด (Polishing and joining) วิธีการนี้จะนำเส้นใยนำแสงโค้ง 2 เส้นขัดที่ผิวข้าง และเชื่อมติดเส้นใยนำแสงทั้งสองด้วยกาวจะได้เป็นคัปเปลอร์แบบสตาร์  $2 \times 2$  วิธีการเช่นนี้ยังสามารถทำเป็นคัปเปลอร์แบบพาสซีฟสตาร์  $N \times N$  ได้

- วิธีการใช้เส้นใยนำแสงที่เสื่อม (Fibre deformation) เส้นใยนำแสงที่เสื่อมสามารถทำให้เกิดลึกลับรี ซึ่งถ้านำลำแสงที่หลุครอดนี้วิ่งไปในเส้นใยนำแสงเส้นรองและควบคุมสัมประสิทธิ์การเชื่อมต่อ จะได้เป็นแทปหรือคอนเซ็นทราเตอร์ (คัปเปลอร์แบบ  $2 \times 1$ )

- วิธีปลั๊ก - พิน (Plug - pin system) ในการเชื่อมต่อสาขาย่อย กับเครือข่าย巴士ทางซีเน็ต (CNET) ได้พัฒนาการเชื่อมต่อโดยการทำเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกให้เป็นรูปตัว V และนำเส้นใยนำแสงสาขาย่อยตัดปลายเป็นรูปตัว V เช่นกันมาเชื่อมต่อกับเครือข่าย巴士โดยตรง

## บทที่ 4

### การทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

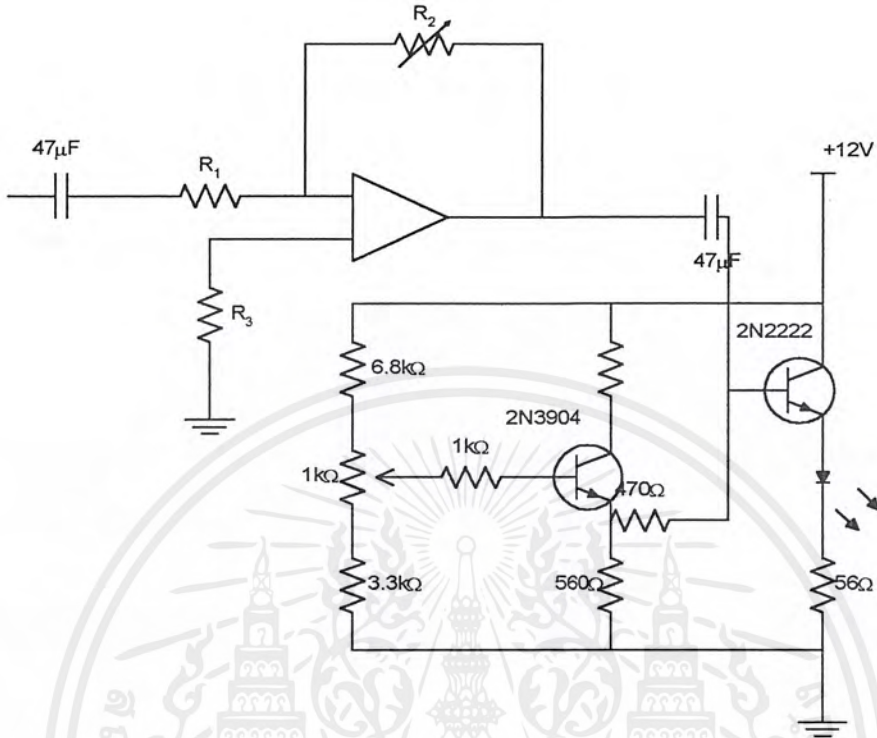
#### 4.1 ขั้นตอนการทำอุปกรณ์คัปเปิลอร์

- 1) ใช้มีดคม ๆ ฉีกเอาส่วนที่เป็นแคลคอกออกไป โดยระยะทางนี้ต้องไม่น้อยเกินไป เพื่อให้แน่ใจว่าแสงเกิดการรวมกันแน่นอน ซึ่งในโครงการนี้ใช้คัปเปิลอร์ยาว 4 เซนติเมตร แล้วมัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 13, 9 และ 0.3 ตามลำดับ
- 2) ปลายของเส้นใยพลาสติกต้องมัดด้วยกระดาษทรายโดยใช้ความละเอียดคลดหลั่นกันลงมา โดยใช้มีดตัดเป็นรูปเลข 8 เพื่อให้มีความเรียบสม่ำเสมอ
- 3) นำเส้นใยพลาสติกสองเส้นมาประกบกันแล้วพันด้วยลวดทองแดงจนแน่ใจว่าประกบกันดีแน่นอน

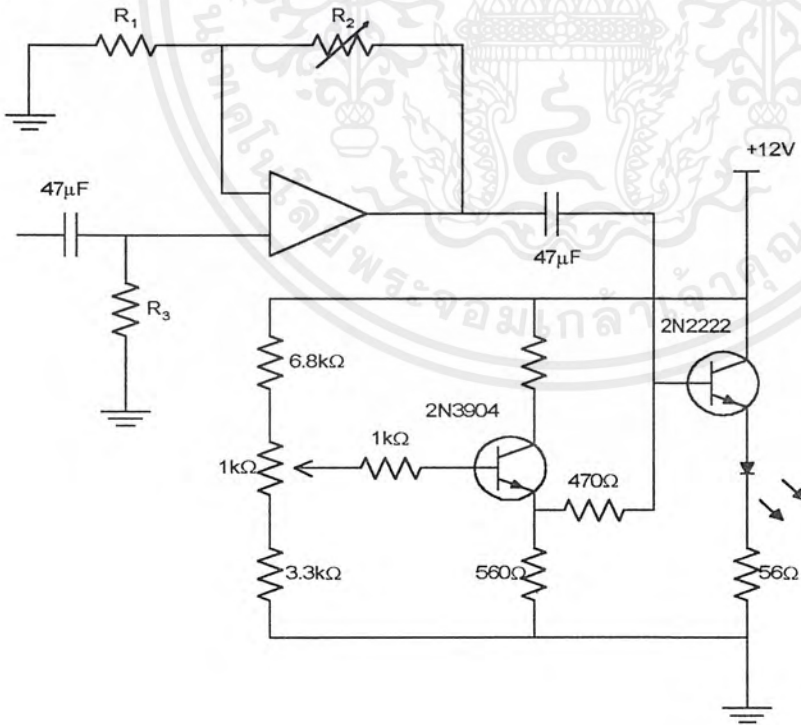
#### 4.2 ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ป้อนสัญญาณที่ต้องการขยาย
- 2) ปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ตัวที่ 2 ให้ได้อัตราขยายสูงสุด  $2 V_{p-p}$
- 3) ปรับเพิ่มและลดความต้านทานปรับค่าได้ตัวที่ 1 เพื่อให้ได้เอาต์พุตตามต้องการ ซึ่งในการทดลองใช้สัญญาณจากแหล่งกำเนิดที่มีความถี่ 1.24 kHz อัมพลิจูดต่ำสุด  $1.2 V_{p-p}$  ความยาวของสายพลาสติกไฟเบอร์เมื่อรวมทั้งส่วนที่เป็นคัปเปิลอร์ 30 เซนติเมตร
- 4) บันทึกค่า  $V_{p-p}$  ของเอาต์พุต

### 4.3 วงจรที่ใช้ในการศึกษาในโครงการนี้

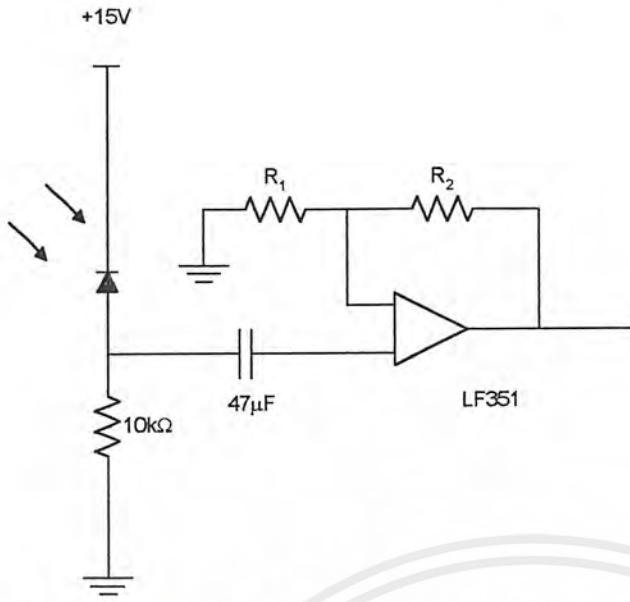


รูปที่ 4-1 แสดงวงจรส่งขยายกลับเฟส



รูปที่ 4-2 แสดงวงจรส่งขยายไม่กลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



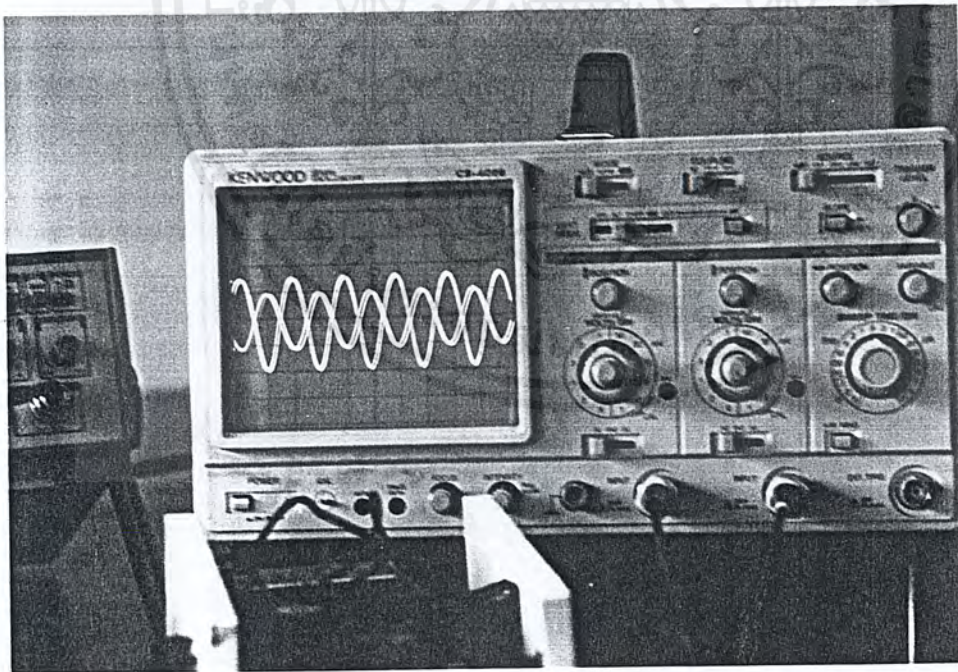
รูปที่ 4-3 แสดงวงจรรับ

จากรูปที่ 4-1 สัญญาณจากแหล่งกำเนิดจะถูกกลับเฟส โดยวงจรขยายกลับเฟสของ ออปแอมป์เบอร์ 741 ทั้งนี้ให้  $R_1$  และ  $R_3$  เท่ากับ 5k โอห์ม ส่วน  $R_2$  จะใช้โพเทนชิโอมิเตอร์ ขนาด 100k โอห์ม เกนขยายแรงดันจะมีค่าเท่ากับ  $-\left(\frac{R_1}{R_2}\right)$  ตัวเก็บประจุขนาด 47  $\mu\text{F}$  ทำหน้าที่เป็นตัวคัปเปิลอร์ให้เฉพาะสัญญาณไฟสลับผ่านเท่านั้น ส่วนวงจรไบแอส ทรานซิสเตอร์ 2N3904 จะใช้การไบแอสแบบแบ่งแรงดัน โดยสามารถปรับเปลี่ยนขนาดได้ จากการปรับตัวโพเทนชิโอมิเตอร์ขนาด 1k โอห์ม ถ้าปรับให้สูงขึ้นกระแสที่ไหลเข้าขาเบส ของ 2N3904 จะน้อยลง ทำให้จุดทำงานของ 2N3904 เลื่อนต่ำลงมา ผลคือกระแสที่ออกจากขา อิมิตเตอร์จะน้อยลง ทำให้กระแสที่ไหลเข้าที่ขาเบสของ 2N2222 น้อยลงด้วย ดังนั้นความเข้ม แสงของอินฟราเรดแอลอีดีจะลดลง ตัวความต้านทานขนาด 1k โอห์มและ 470 โอห์ม ทำหน้าที่ลดกระแสไม่ให้ไหลเข้าที่เบสของ 2N3904 และ 2N2222 มากเกินไป ตามลำดับ ส่วนความ ต้านทานขนาด 56 โอห์ม ทำหน้าที่ลดกระแสไม่ให้ผ่านแอลอีดีมากเกินไปมิฉะนั้นแอลอีดีอาจ เสียหายหรือทำงานในย่านที่ไม่เป็นเชิงเส้น ในโครงการนี้จะใช้ตัวต้านทาน 56 โอห์มขนาด 2 วัตต์ ทั้งนี้เพื่อให้ทนความร้อนได้สูงและระบายความร้อนได้เร็ว กระแสที่ไหลผ่านแอลอีดีหา จาก  $I_{LED} = \left(\frac{V_{CC} - V_{CE} - V_{LED}}{R}\right)$  ส่วนรูปที่ 4-2 สัญญาณอินพุตจะถูกขยายแบบไม่กลับเฟสโดย ป้อนเข้าที่ขาอินพุตบวกของออปแอมป์ 741 เกนขยายแรงดันคือ  $1+(R_2/R_1)$  ส่วนประกอบของ วงจรในรูป 4-2 จะเหมือนในรูป 4-1 ส่วนในรูป 4-3 สัญญาณที่ได้จากวงจรรับจะป้อนเข้าที่ ขาอินพุตบวกของ LF 351 เพื่อทำการขยาย ในโครงการนี้ตัวความต้านทานทุกตัวใช้แบบถูก ต้อง 1%, 0.5 วัตต์ ยกเว้นตัวต้านทาน 56 โอห์ม ใช้แบบถูกต้อง 1%, 2 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

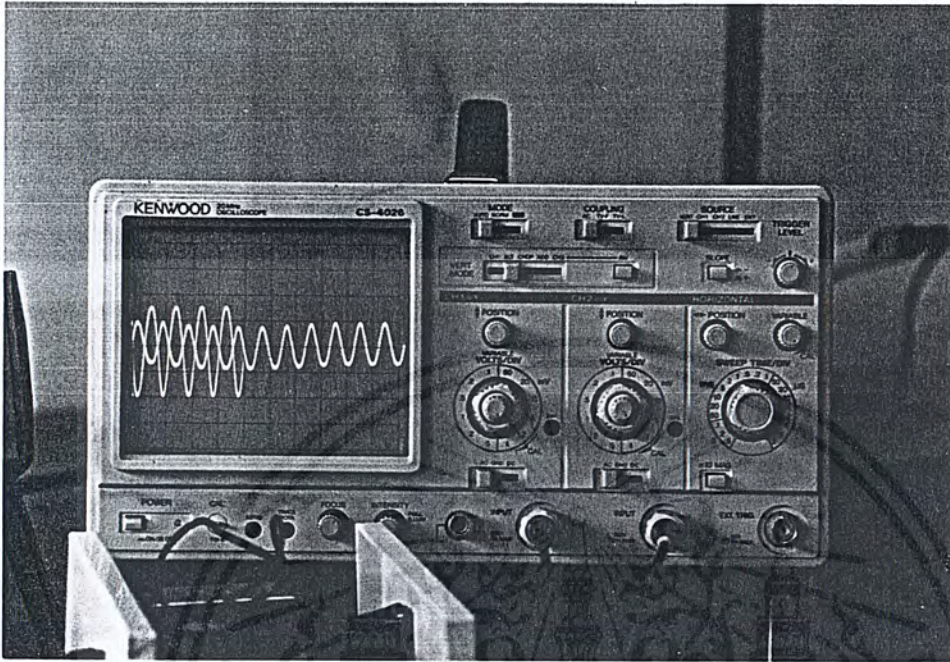


รูปที่ 4-4 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการเรื่องการควบคุมเอาต์พุตแสงด้วยวิธีการมอดูเลต สัญญาณอินพุต



รูปที่ 4-5 แสดงสัญญาณของวงจรภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-6 แสดงสัญญาณของวงจรขยายกลับเฟสและสัญญาณที่ได้รับจากวงจรรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

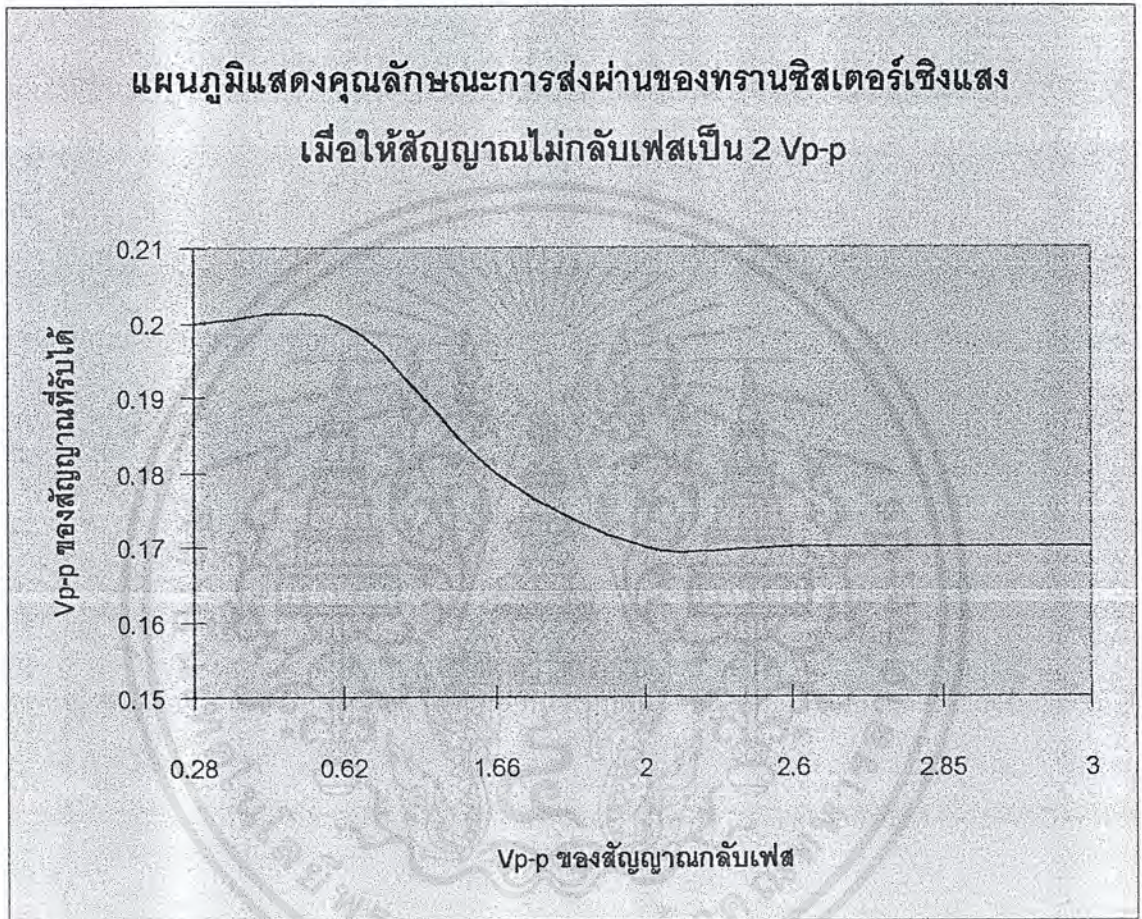
## 4.4 ผลการทดลอง

Vp-pของสัญญาณ ไม่กลับเฟส (โวลต์)	Vp-p ของสัญญาณ กลับเฟส (โวลต์)	Vp-p ของสัญญาณที่รับ (มิลลิโวลต์)	ย่านแบน วิคท์ (กิโลเฮิรต์ซ์)
2	0.28	200	60.86
	0.62	200	
	1.60	180	
	2.00	170	
	2.60	170	
	2.85	170	
	3.00	170	
1.5	0.0050	85	146.08
	0.18	80	
	0.44	75	
	0.70	75	
	1.50	70	
	2.80	60	
	3.00	60	
1.25	0.016	70	113.16
	0.14	65	
	0.31	65	
	0.60	60	
	1.34	60	
	2.15	55	
	2.90	55	
	2.45	55	
	2.80	55	

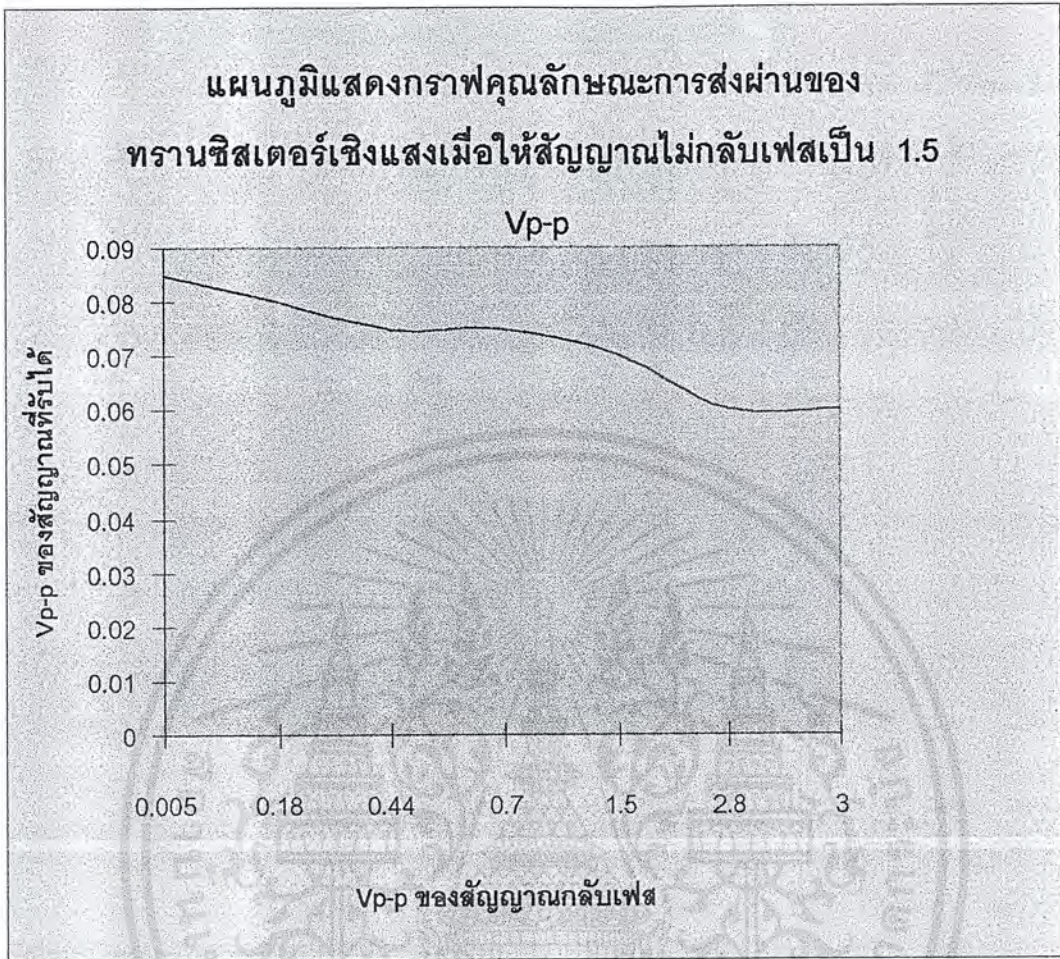
ตารางที่ 4-1 แสดงผลการทดลองเมื่อวัด  $V_{p-p}$  ด้วยออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

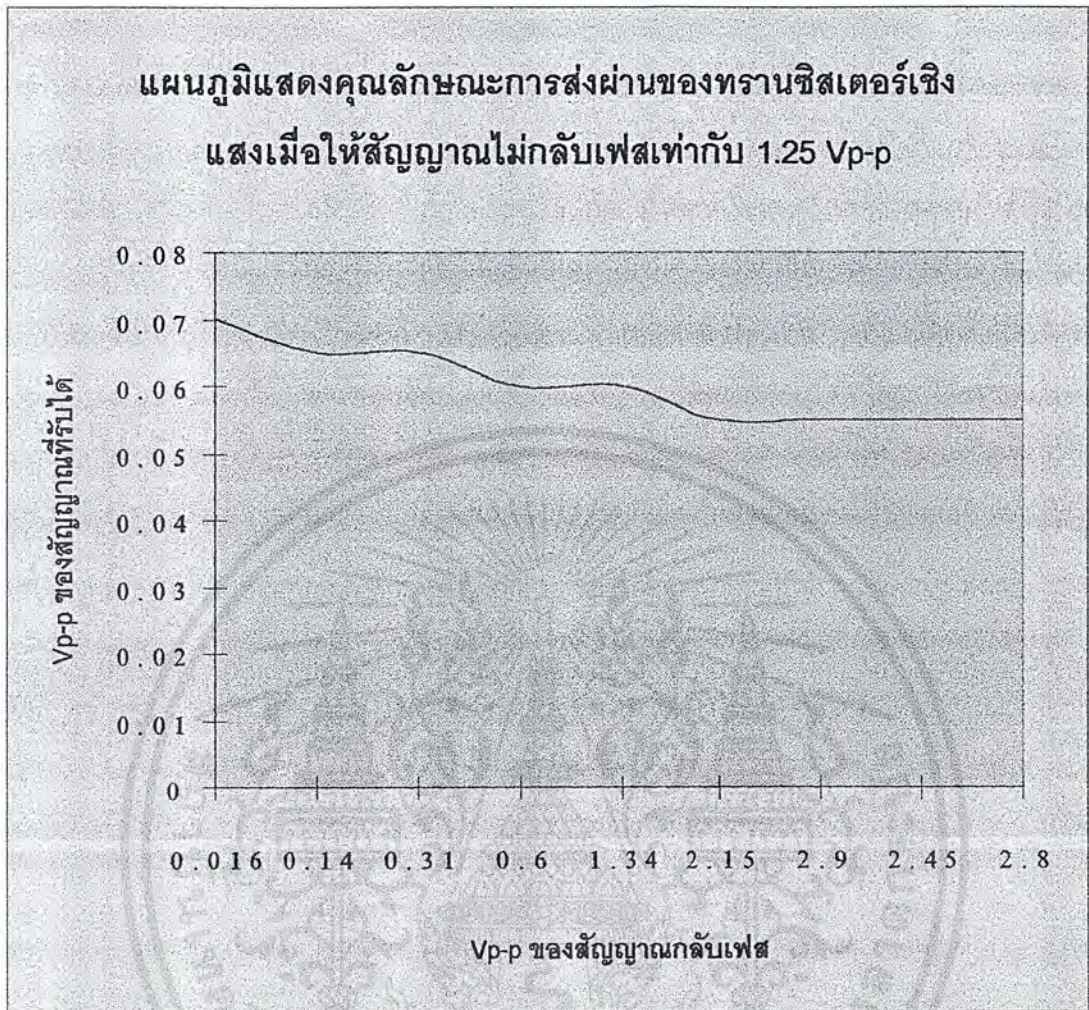
#### 4.5 กราฟแสดงคุณลักษณะ



กราฟรูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกลับเฟสและสัญญาณเอาต์พุตเมื่อป้อนสัญญาณ ไม่กลับเฟสเป็น 2 V<sub>p-p</sub>



กราฟรูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกลับเฟสและสัญญาณเอาต์พุตเมื่อป้อนสัญญาณไม่กลับเฟสเป็น 1.5 V<sub>p-p</sub>



กราฟรูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกลับเฟสและสัญญาณเอาต์พุตเมื่อป้อน  
สัญญาณ ไม่กลับเฟสเป็น 1.25 V<sub>p-p</sub>

#### 4.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง

1) ความต้านทานทานปรับค่าได้  $R_1$  ในวงจรส่งต้องปรับให้เท่ากันเพื่อให้ไฟกระแสตรงที่เข้าไปที่เบสของทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N2222 เท่ากัน ในโครงการนี้จะปรับ  $R_1$  เพื่อให้ได้สัญญาณไม่กลับเฟส โคนขลิบน้อยที่สุด แต่กำลังของ LED ก็จะน้อยลงด้วย ซึ่งถ้าเราปรับ  $R_1$  ให้กำลังของ LED สูงสัญญาณก็จะ โคนขลิบซึ่งเป็นสัญญาณที่ไม่ต้องการ

2) เส้นใยพลาสติกซึ่งเชื่อมต่อระหว่างวงจรส่งถึงอุปกรณ์คัปเปิลเลอร์ต้องยาวเท่ากัน

3) จากกราฟพบว่าเมื่อเพิ่ม  $V_{\text{กลับเฟส}}$  เพิ่มขึ้น  $V_{\text{out}}$  ที่ได้จะลดลงจนถึงค่าค่าหนึ่ง แม้เพิ่ม  $V_{\text{กลับเฟส}}$  ก็จะไม่มีผลต่อ  $V_{\text{out}}$  ซึ่งตามหลักการแล้วสัญญาณที่ได้ควรจะเป็นอย่างนี้

- LED ให้แสงที่มีความยาวคลื่นหลายค่าทั้งนี้เพราะ LED เป็นแหล่งกำเนิดแสงแบบไม่โคฮีเรนต์
- วงจรมอดูเลตจะให้ LED สว่างอยู่ตลอดเวลาด้วยค่าไฟกระแสตรงที่ป้อนให้ที่เบสของทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N2222
- การมอดูเลต ไม่สมบูรณ์ 100%
- ตัวรับยังมีประสิทธิภาพไม่ดีพอ

#### 4.7 การหาค่าการสูญเสียอินเสิร์ชชั่น (insertion loss, L)

ในโครงการนี้ได้ทำอุปกรณ์คัปเปิลเลอร์ขึ้นเอง ดังนั้นการวัดการสูญเสียจึงมีความสำคัญ เพราะจะทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์คัปเปิลเลอร์ที่สร้างขึ้น

$$\eta_I = -10 \log \frac{P_{out}}{P_S}$$

เมื่อ  $\eta_I$  คือค่าการสูญเสียแบบอินเสิร์ชชั่น

$P_{out}$  คือกำลังขาออก

$P_S$  คือกำลังของแหล่งกำเนิด

เนื่องจากว่าแหล่งกำเนิดที่ใช้มี 2 ด้าน ดังนั้นจึงต้องหาการสูญเสียแบบเอ็กเซสก่อนซึ่งหาได้จากสมการ

$$\eta_e = -10 \log \frac{P_{out}}{\sum P_s}$$

เมื่อ  $\eta_e$  คือค่าการสูญเสียแบบเอ็กเซส

$P_{out}$  คือกำลังขาออก

$P_s$  คือกำลังของแหล่งกำเนิด

จากการทดลอง  $P_{out} = 0.05248 \text{ W/1mW}$

$$\sum P_s = 0.0398 + 0.03162 = 0.07142 \text{ W/1mW}$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$\begin{aligned} \eta_e &= -10 \log (0.05248/0.07142) \\ &= 1.33826 \end{aligned}$$

และจากความสัมพันธ์

$$\eta_i = \eta_e - 10 \log_{10} (N)$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \eta_i &= 1.33826 - 10 \log_{10} (2) \\ &= -1.672 \end{aligned}$$

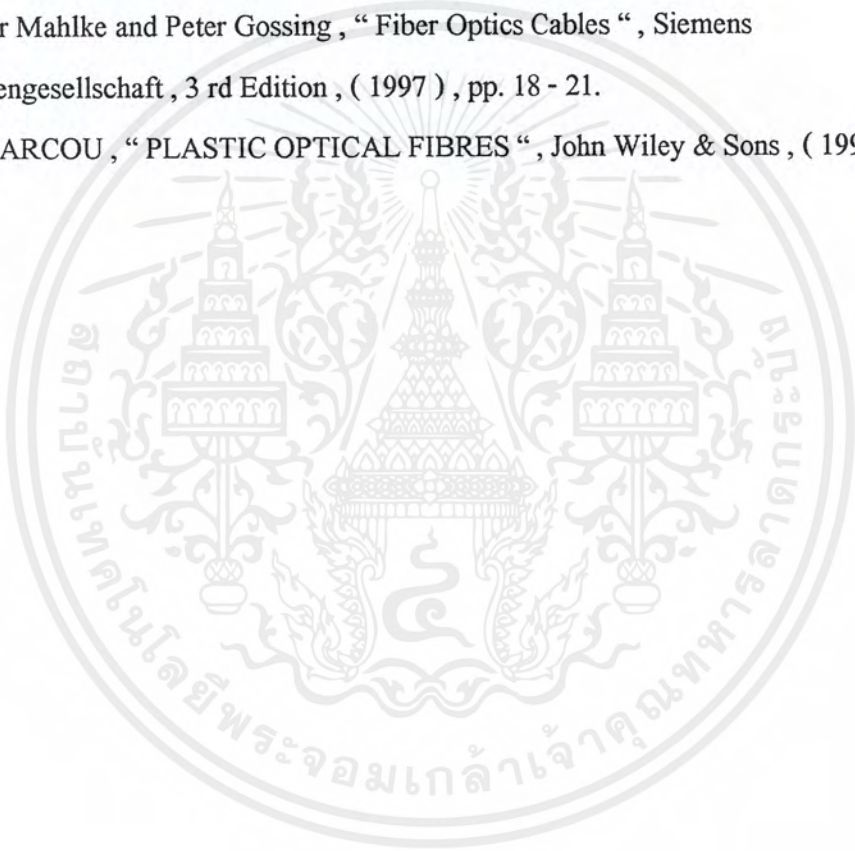
#### 4.8 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า ระบบทรานซิสเตอร์ที่ทำได้มี  $V_{p-p}$  สูงสุดของสัญญาณไม่กลับเฟส แล้วทำให้ได้สัญญาณที่รับได้จากโฟโตไดโอดไม่ถูกขลิบ คือ  $2V_{p-p}$  ส่วนสัญญาณกลับเฟสสูงสุดที่  $2N2222$  ไม่ถูกขลิบคือ  $3V_{p-p}$  ทั้งนี้จะปรับโพเทนชิโอมิเตอร์ให้มีค่าต่ำสุดเพื่อที่จะให้กระแสไฟตรงไบแอสสูงสุด เพื่อให้ได้กำลังเอาต์พุตสูงสุด

เนื่องมาจากพลาสติกไฟเบอร์ที่ใช้มีการสูญเสียสูงมากในย่านอินฟราเรดและตัวรับยังมีประสิทธิภาพไม่ดีพอจึงทำให้สัญญาณที่รับได้มีค่าน้อยมาก เมื่ออิมพลิจูดของสัญญาณกลับเฟสเท่ากับสัญญาณไม่กลับเฟสผลที่ได้ควรจะมีความเป็นศูนย์ แต่จากการทดลองพบว่าได้สัญญาณน้อยมากและเป็นสัญญาณต่ำสุดที่วัดได้ ซึ่งถ้าหาวัสดุที่ไม่เป็นเชิงเส้นมาจะทำให้ทรานซิสเตอร์ที่ศึกษาสมบูรณ์ขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

1. ปรีชา อุพาพิน, “เครือข่ายใยแก้วนำแสง”. สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2541.
2. สุวรรณ คู่อำราญ. “ทัศนศาสตร์ กายภาพ”. ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537.
3. Louis Desmarais. “Applied Electro-Optics” . Prentice Hall PTR, 1998.
4. Duncan Tom. “Advanced Physics” 4<sup>th</sup> ed, John Murray(publishers), 1994.
5. Gunther Mahlke and Peter Gossing , “ Fiber Optics Cables “ , Siemens Aktiengesellschaft , 3 rd Edition , ( 1997 ) , pp. 18 - 21.
6. Jean MARCOU , “ PLASTIC OPTICAL FIBRES “ , John Wiley & Sons , ( 1997 )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

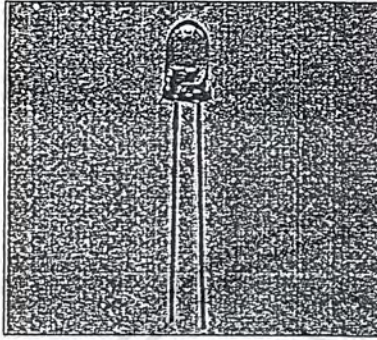


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

SFH 484  
SFH 485

GaAlAs INFRARED EMITTER



FEATURES

- T1<sup>3</sup>/<sub>4</sub> Package
- Blue Tinted Plastic Lens
- Long Term Stability
- Very High Power, 25 mW Typical at 100 mA
- Good Spectral Match with Silicon Photo Detector
- Gallium Aluminum Arsenide Material
- SFH 484—16° Narrow Beam, SFH 485—40° Medium Beam
- Smoke Detection Application: SFH484-E7517 (UL Recognized)

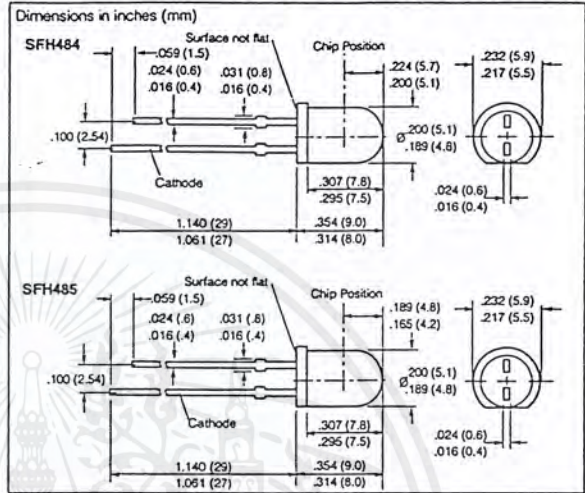
DESCRIPTION

SFH 484, an infrared emitting diode, emits radiation in the near infrared range (880 nm peak). The device comes in a T1<sup>3</sup>/<sub>4</sub> (5 mm) plastic package. Uses for SFH 484 include IR remote control, smoke detectors, and other applications requiring high power, such as IR touch screens.

The SFH 485 contains the same IR emitter chip as the SFH 484 but features a wider beam.

Maximum Ratings

Operating and Storage Temperature Range (T<sub>OP</sub> T<sub>STG</sub>) ..... -55° to +100°C  
 Junction Temperature (T<sub>J</sub>) ..... 100°C  
 Reverse Voltage (V<sub>R</sub>) ..... 5 V  
 Forward Current (I<sub>F</sub>) ..... 100 mA  
 Surge Current (I<sub>FSM</sub>) t=10 μs ..... 2.5 A  
 Power Dissipation (P<sub>TOT</sub>) ..... 200 mW  
 Thermal Resistance (P<sub>TJA</sub>) ..... 375 K/W



Characteristics (T<sub>A</sub>=25°C)

Parameter	Symbol	Value	Unit	Condition			
Peak Wavelength	$\lambda_{PEAK}$	880±20	nm	I <sub>F</sub> =100 mA, t <sub>p</sub> =20 ms			
Spectral Bandwidth	$\Delta\lambda$	80	nm	I <sub>F</sub> =100 mA			
Half Angle SFH 484	$\phi$	±8	Deg.				
SFH 485	$\phi$	±20	Deg.				
Active Chip Area	A	0.16	mm <sup>2</sup>				
Active Chip Area Dimensions	L x W	0.4 x 0.4	mm				
Switching Times, I <sub>E</sub> , 10% to 90% and 90% to 10%	t <sub>R</sub> , t <sub>F</sub>	0.6/0.5	μs	I <sub>F</sub> =100 mA			
Capacitance	C <sub>0</sub>	25	pF	V <sub>R</sub> =0 V, f=1 MHz			
Forward Voltage	V <sub>F</sub>	1.5 (±1.8)	V	I <sub>F</sub> =100 mA, t <sub>p</sub> =20 μs			
	V <sub>F</sub>	3.0 (±3.8)	V	I <sub>F</sub> =1 A, t <sub>p</sub> =100 μs			
Reverse Current	I <sub>R</sub>	0.01 (±1)	μA	V <sub>R</sub> =5 V			
Temperature Coefficient, I <sub>E</sub> or $\phi_E$	TC <sub>I</sub>	-0.5	%/K				
Temperature Coefficient, V <sub>F</sub>	TC <sub>V</sub>	-2	mV/K				
Temperature Coefficient, $\lambda$	TC <sub><math>\lambda</math></sub>	0.25	nm/K				
Radiant Intensity I <sub>E</sub> in Axial Direction	Sym	solid angle of $\Omega=0.01$ sr		Unit	Condition		
		SFH 484-1	SFH 484-2			SFH 485-1	SFH 485-2
	I <sub>Emin</sub>	50	80	16	25	mW/sr	I <sub>F</sub> =100 mA, t <sub>p</sub> =20 ms
	I <sub>Etyp</sub>	700	900	220	340	mW/sr	I <sub>F</sub> =1 A, t <sub>p</sub> =100 μs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 1. Radiation characteristic—SFH484  $I_{REL}=f(\varphi)$

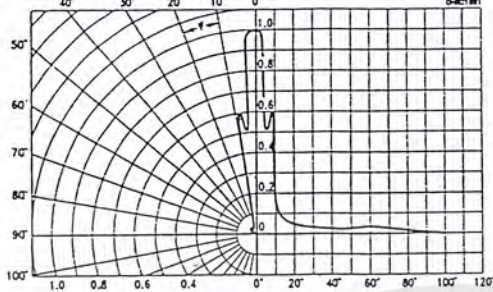


Figure 2. Radiation characteristic—SFH485  $I_{REL}=f(\varphi)$

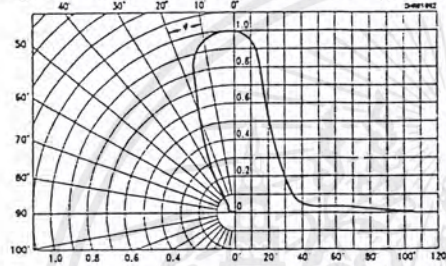


Figure 3. Relative spectral emisson  $I_{REL}=f(\lambda)$

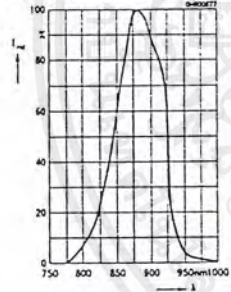


Figure 5. Maximum permissible forward current  $I_F=f(T_A)$

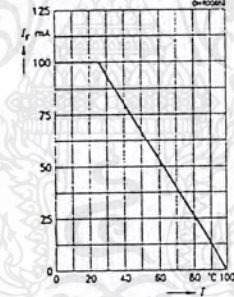


Figure 7. Permissible pulse handling capability  $I_F=f(\tau)$ ,  $T_A=25^\circ\text{C}$ , duty cycle  $D=\text{Parameter}$

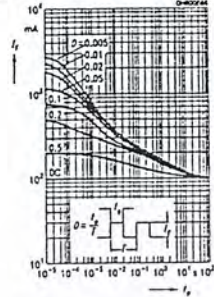
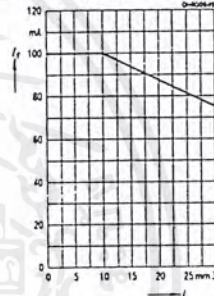


Figure 8. Maximum forward current vs lead length, package bottom and PC board  $I_F=f(l)$ ,  $T_A=25^\circ\text{C}$



Radiant intensity  $I_E/I_E=100\text{mA}=(I_F)$ , Single pulse,  $\tau=20\ \mu\text{s}$

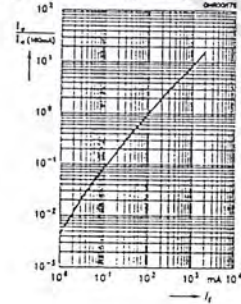


Figure 6. Forward current  $I_F=f(V_F)$  Single pulse,  $\tau=20\ \mu\text{s}$

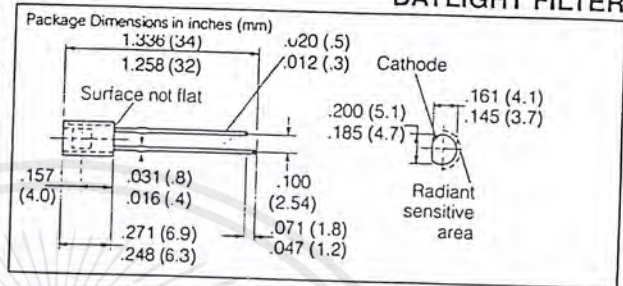
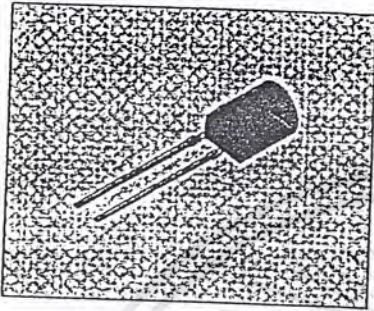


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

# SFH205F SFH205FA

SILICON PIN PHOTODIODE  
DAYLIGHT FILTER



## FEATURES

- Built-in Daylight Filter
- High Reliability
- 0.1" (2.54 mm) Lead Spacing
- Fast Switching Time
- Black Plastic Encapsulated Package
- Suitable for IR Sound Transmission

## APPLICATIONS

- IR Remote Control of HI-FI, TVs, VCRs, Dimmers, etc.
- Light Reflecting Switches for Steady and Varying Intensity

## DESCRIPTION

The SFH 205F/205FA silicon planar PIN photodiode is housed in a plastic package that serves as both a filter and a window for infrared emission. Its terminals are solder tabs at 0.1" (2.54 mm) lead spacing. The cathode marking is stamped at the package edge.

Key features include low junction capacitance, high cut-off frequency, short switching times.

This versatile photodetector can be used as either a diode or as a voltaic cell.

## Maximum Ratings

Operating and Storage Temperature Range ( $T_{OP}$ ,  $T_{STG}$ ) ..... -55 to +80°C  
Soldering Temperature ( $\geq 2$  mm from case bottom) ( $T_S$ )  $\leq 3$  s .. 230°C  
Reverse Voltage ( $V_R$ ) ..... 32 V  
Power Dissipation ( $P_{TOT}$ )  $T_A=25^\circ\text{C}$  ..... 150 mW

Characteristics ( $T_A=25^\circ\text{C}$ )

Parameter	Sym.	Value	Unit	Condition
Spectral Sensitivity	S	60 (242)	$\mu\text{A}$	$V_R=5$ V, $E_E=1.0$ mW/cm <sup>2</sup>
Wavelength, Maximum Photosensitivity	SFH205F	$\lambda_{Smax}$ 950	nm	S=10% of $S_{MAX}$
	SFH205FA	900		
Photosensitivity, Spectral Range	SFH205F	$\lambda$ 800 to 1100		S=10% of $S_{MAX}$
	SFH205FA	740 to 1100		
Radiant Sensitive Area	A	7.00	mm <sup>2</sup>	
Radiant Sensitive Area Dimensions	L x W	2.65 x 2.65	mm	
Distance, Chip Surface to Case Surface	H	2.3 to 2.5		
Half Angle	$\varphi$	$\pm 60$	Deg.	
Dark Current	$I_R$	2 (s30)	nA	$V_R=10$ V
Spectral Sensitivity	SFH205F	$S_\lambda$ 0.59	A/W	$\lambda=950$ nm
	SFH205FA	0.63		$\lambda=870$ nm
Quantum Yield	SFH205F	$\eta$ 0.77	electrons/photon	$\lambda=950$ nm
	SFH205FA	0.9		$\lambda=870$ nm
Open Circuit Voltage	SFH205F	$V_O$ 330 ( $\geq 250$ )	mV	$E_E=0.5$ mW/cm <sup>2</sup>
	SFH205FA	350 ( $\geq 280$ )		$E_E=1$ mW/cm <sup>2</sup>
Short Circuit Current	$I_{SC}$	56	$\mu\text{A}$	$E_E=1$ mW/cm <sup>2</sup>
Rise and Fall Time, Photocurrent	$t_R, t_F$	20	ns	$R_L=50$ $\Omega$ , $V_R=5$ V, $\lambda=850$ nm, $I_P=800$ $\mu\text{A}$
Forward Voltage	$V_F$	1.3	V	$I_F=100$ mA, $E_E=0$
Capacitance	$C_0$	72	pF	$V_R=0$ V, $f=1$ MHz, $E=0$
Temperature Coefficient $V_O$	$TC_V$	-2.6	mV/K	
Temperature Coefficient $I_{SC}$	SFH205F	$TC_I$ 0.18	%/K	$\lambda=950$ nm
	SFH205FA	0.03		$\lambda=870$ nm
Noise Equivalent Power	SFH205F	NEP	$4.3 \times 10^{-14}$	W/Hz
Detection Limit	SFH205F	$D^*$	$6.2 \times 10^{12}$	cm <sup>2</sup> ·Hz <sup>1/2</sup> /W
	SFH205FA			$V_R=10$ V

SFH 205F Data Sheet reprinted with permission from Siemens Components, Inc. Optoelectronics Division.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 1. Directional characteristic  $S_{REL}=f(\varphi)$

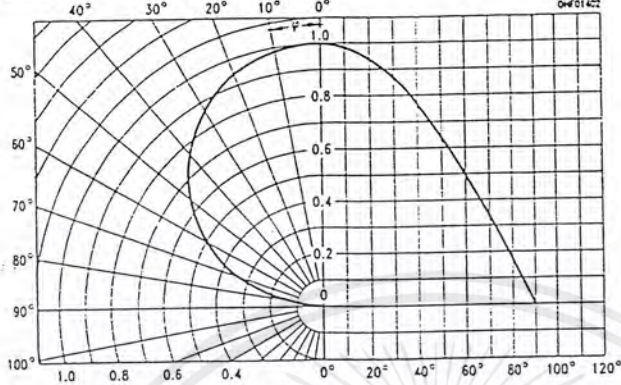


Figure 6. Dark current  $I_R=f(V_R), E=0$

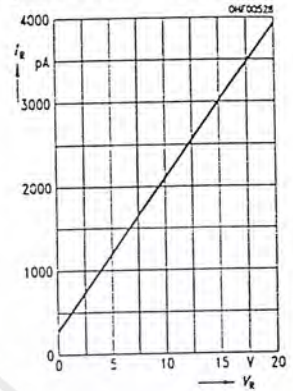


Figure 2. Relative spectral sensitivity  $S_{REL}=f(\lambda)$  SFH205

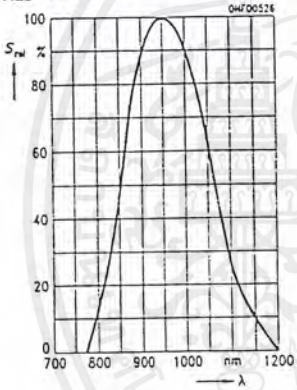


Figure 4. Photocurrent  $I_P=f(E_E) V_R=5 V$   
Photocurrent  $I_P=f(E_E) V_R=5 V$

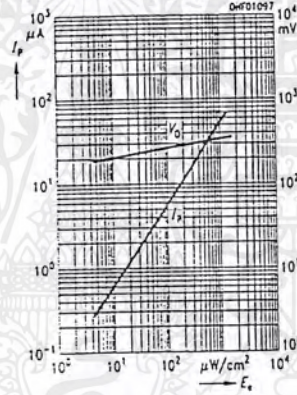


Figure 7. Capacitance  $C=f(V_R), f=1$  MHz,  $E=0$

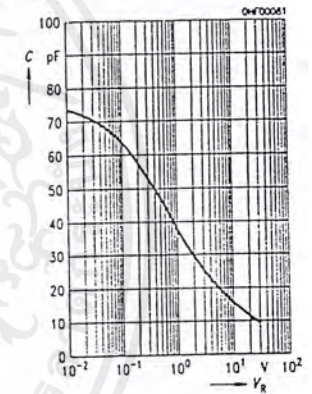


Figure 3. Relative spectral sensitivity  $S_{REL}=f(\lambda)$  SFH205FA

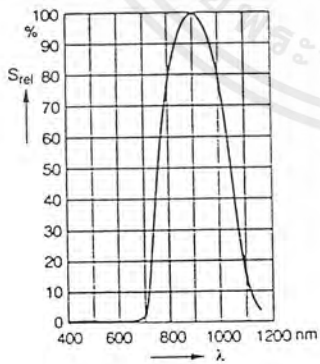


Figure 5. Power dissipation  $P_{TOT}=f(T_A)$

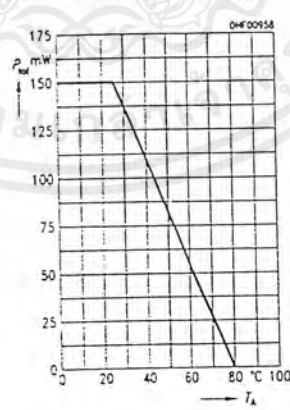
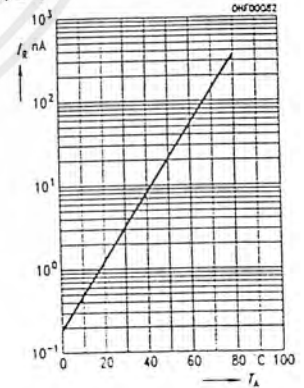


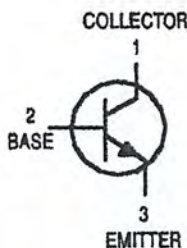
Figure 8. Dark current  $I_R=f(T_A), V_R=10$  V,  $E=0$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Amplifier Transistors

## NPN Silicon



**P2N2222A**



CASE 29-04, STYLE 17  
TO-18 (TO-226AA)

### MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CE0}$	40	Vdc
Collector-Base Voltage	$V_{CBO}$	75	Vdc
Emitter-Base Voltage	$V_{EBO}$	6.0	Vdc
Collector Current — Continuous	$I_C$	600	mA dc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	625 5.0	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	1.5 12	Watts mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

### THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	200	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	83.3	$^\circ\text{C/W}$

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	------

### OFF CHARACTERISTICS

Collector-Emitter Breakdown Voltage ( $I_C = 10 \text{ mA dc}, I_E = 0$ )	$V_{(BR)CEO}$	40	—	Vdc
Collector-Base Breakdown Voltage ( $I_C = 10 \text{ } \mu\text{A dc}, I_E = 0$ )	$V_{(BR)CBO}$	75	—	Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage ( $I_E = 10 \text{ } \mu\text{A dc}, I_C = 0$ )	$V_{(BR)EBO}$	6.0	—	Vdc
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 60 \text{ Vdc}, V_{EB(off)} = 3.0 \text{ Vdc}$ )	$I_{CEX}$	—	10	nA dc
Collector Cutoff Current ( $V_{CB} = 60 \text{ Vdc}, I_E = 0$ ) ( $V_{CB} = 60 \text{ Vdc}, I_E = 0, T_A = 150^\circ\text{C}$ )	$I_{CBO}$	— —	0.01 10	$\mu\text{A dc}$
Emitter Cutoff Current ( $V_{EB} = 3.0 \text{ Vdc}, I_C = 0$ )	$I_{EBO}$	—	10	nA dc
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 10 \text{ V}$ )	$I_{CEO}$	—	10	nA dc
Base Cutoff Current ( $V_{CE} = 60 \text{ Vdc}, V_{EB(off)} = 3.0 \text{ Vdc}$ )	$I_{BEX}$	—	20	nA dc



**MOTOROLA**

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted) (Continued)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
<b>ON CHARACTERISTICS</b>				
DC Current Gain ( $I_C = 0.1\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ ) ( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ ) ( $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ ) ( $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $T_A = -55^\circ\text{C}$ ) ( $I_C = 150\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ ) <sup>(1)</sup> ( $I_C = 150\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 1.0\text{ Vdc}$ ) <sup>(1)</sup> ( $I_C = 500\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ ) <sup>(1)</sup>	$h_{FE}$	35 50 75 35 100 50 40	— — — — 300 — —	—
Collector-Emitter Saturation Voltage <sup>(1)</sup> ( $I_C = 150\text{ mAdc}$ , $I_B = 15\text{ mAdc}$ ) ( $I_C = 500\text{ mAdc}$ , $I_B = 50\text{ mAdc}$ )	$V_{CE(sat)}$	— —	0.3 1.0	Vdc
Base-Emitter Saturation Voltage <sup>(1)</sup> ( $I_C = 150\text{ mAdc}$ , $I_B = 15\text{ mAdc}$ ) ( $I_C = 500\text{ mAdc}$ , $I_B = 50\text{ mAdc}$ )	$V_{BE(sat)}$	0.6 —	1.2 2.0	Vdc

## SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

Current-Gain — Bandwidth Product <sup>(2)</sup> ( $I_C = 20\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 20\text{ Vdc}$ , $f = 100\text{ MHz}$ )	$f_T$	300	—	MHz
Output Capacitance ( $V_{CB} = 10\text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ , $f = 1.0\text{ MHz}$ )	$C_{obo}$	—	8.0	pF
Input Capacitance ( $V_{EB} = 0.5\text{ Vdc}$ , $I_C = 0$ , $f = 1.0\text{ MHz}$ )	$C_{ibo}$	—	25	pF
Input Impedance ( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ ) ( $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	$h_{ie}$	2.0 0.25	8.0 1.25	k $\Omega$
Voltage Feedback Ratio ( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ ) ( $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	$h_{re}$	— —	8.0 4.0	$\times 10^{-4}$
Small-Signal Current Gain ( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ ) ( $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	$h_{fe}$	50 75	300 375	—
Output Admittance ( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ ) ( $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	$h_{oe}$	5.0 25	35 200	$\mu\text{hos}$
Collector Base Time Constant ( $I_E = 20\text{ mAdc}$ , $V_{CB} = 20\text{ Vdc}$ , $f = 31.8\text{ MHz}$ )	$r_b'C_C$	—	150	ps
Noise Figure ( $I_C = 100\text{ }\mu\text{A}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $R_S = 1.0\text{ k}\Omega$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	NF	—	4.0	dB

## SWITCHING CHARACTERISTICS

Delay Time	$(V_{CC} = 30\text{ Vdc}$ , $V_{BE(off)} = -2.0\text{ Vdc}$ , $I_C = 150\text{ mAdc}$ , $I_{B1} = 15\text{ mAdc}$ ) (Figure 1)	$t_d$	—	10	ns
Rise Time		$t_r$	—	25	ns
Storage Time	$(V_{CC} = 30\text{ Vdc}$ , $I_C = 150\text{ mAdc}$ , $I_{B1} = I_{B2} = 15\text{ mAdc}$ ) (Figure 2)	$t_s$	—	225	ns
Fall Time		$t_f$	—	60	ns

1. Pulse Test: Pulse Width  $\leq 300\text{ }\mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2.0\%$ .
2.  $f_T$  is defined as the frequency at which  $|h_{fe}|$  extrapolates to unity.

SWITCHING TIME EQUIVALENT TEST CIRCUITS

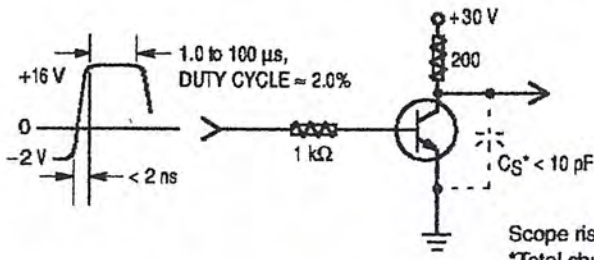


Figure 1. Turn-On Time

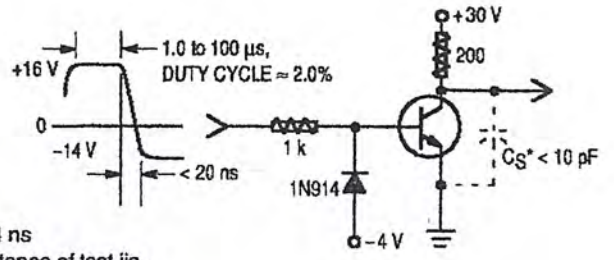


Figure 2. Turn-Off Time

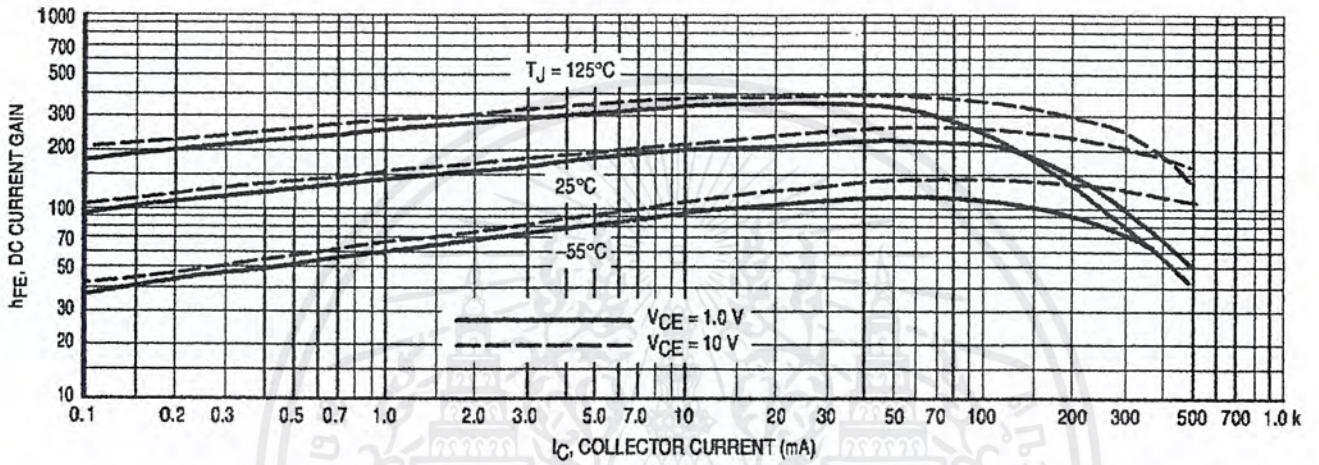


Figure 3. DC Current Gain

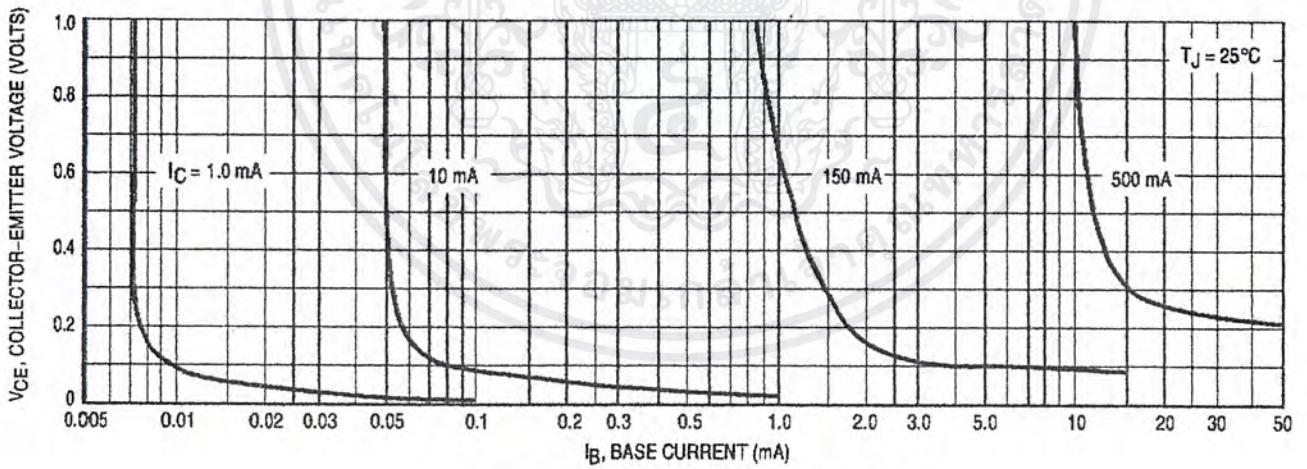


Figure 4. Collector Saturation Region

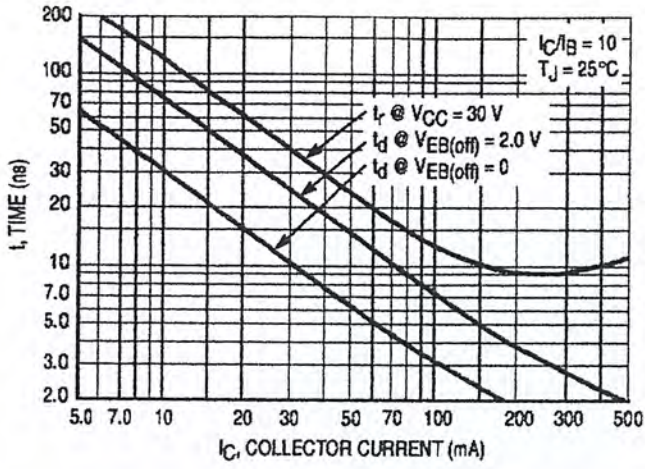


Figure 5. Turn-On Time

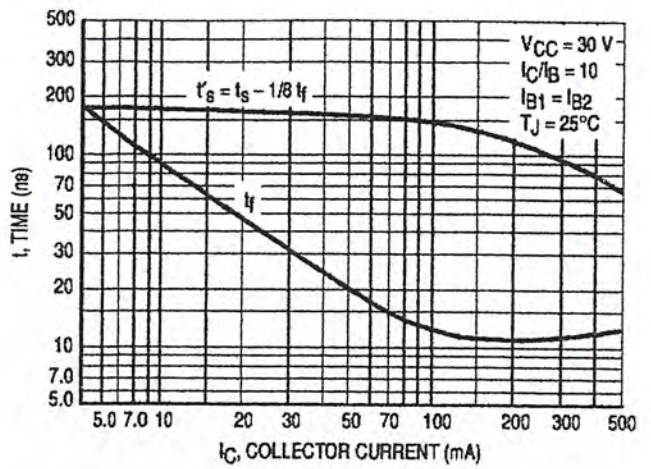


Figure 6. Turn-Off Time

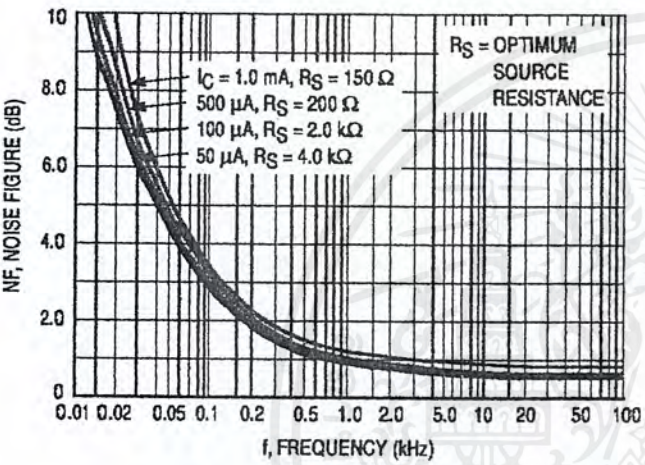


Figure 7. Frequency Effects

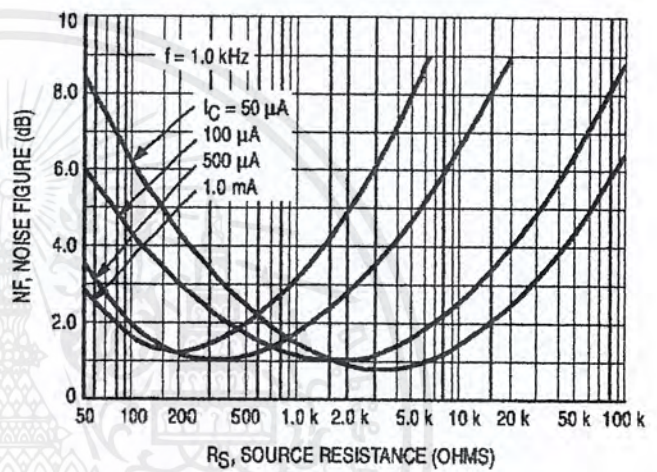


Figure 8. Source Resistance Effects

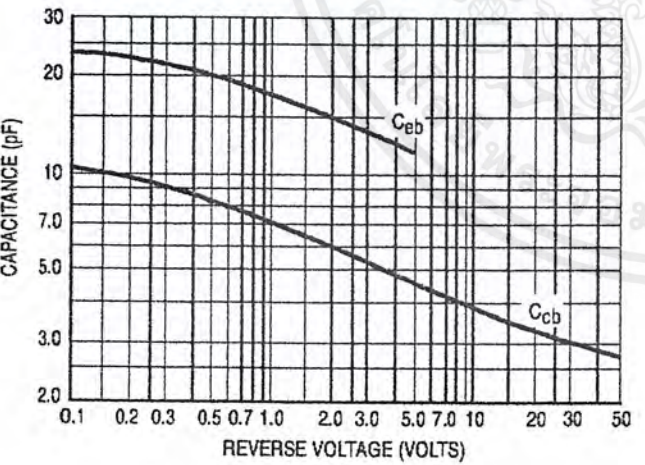


Figure 9. Capacitances

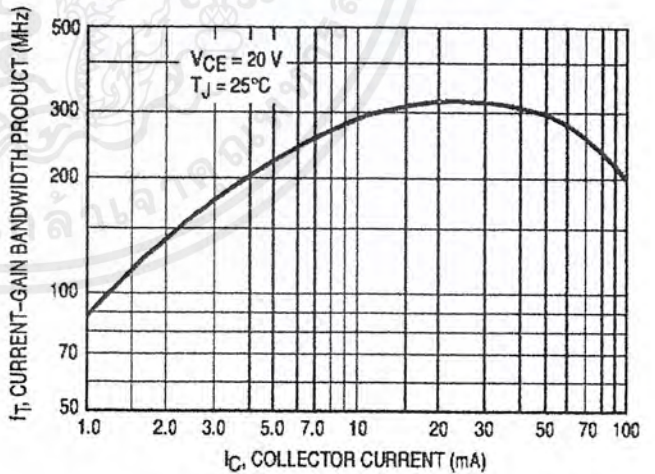


Figure 10. Current-Gain Bandwidth Product

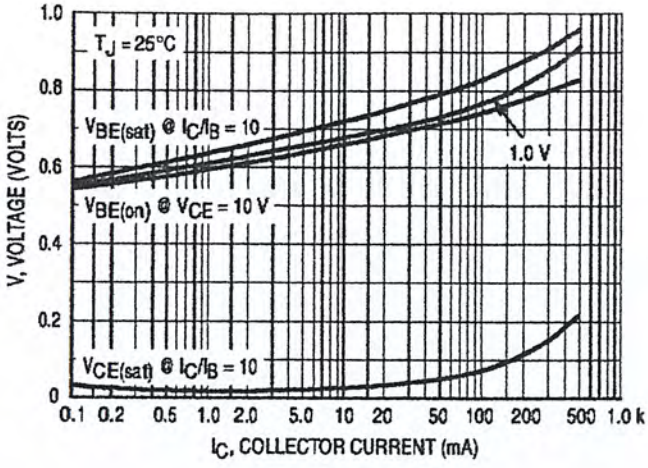


Figure 11. "On" Voltages

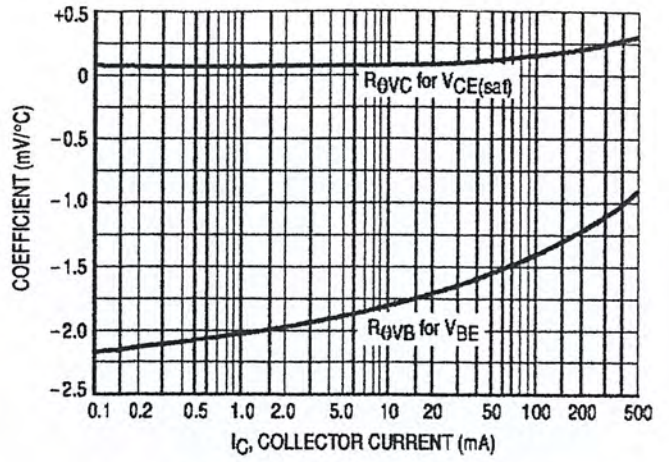
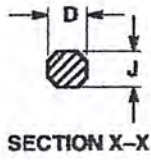
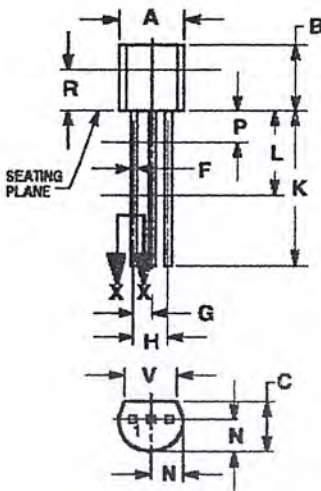


Figure 12. Temperature Coefficients



PACKAGE DIMENSIONS



NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1992.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
4. DIMENSION F APPLIES BETWEEN P AND L. DIMENSION D AND J APPLY BETWEEN L AND K MINIMUM. LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.175	0.205	4.45	5.20
B	0.170	0.210	4.32	5.33
C	0.125	0.185	3.18	4.19
D	0.016	0.022	0.41	0.55
F	0.016	0.019	0.41	0.48
G	0.045	0.055	1.15	1.39
H	0.095	0.105	2.42	2.66
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	—	12.70	—
L	0.250	—	6.35	—
N	0.080	0.105	2.04	2.66
P	—	0.100	—	2.54
R	0.115	—	2.93	—
V	0.135	—	3.43	—

CASE 029-04  
(TO-226AA)  
ISSUE AD

STYLE 17:

1. COLLECTOR
2. BASE
3. EMITTER

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola datasheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:

USA/EUROPE/ Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution;  
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447 or 602-303-5454

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, 6F Seibu-Butsuryu-Center,  
3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-81-3521-8315

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE 602-244-6609  
INTERNET: http://Design-NET.com

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,  
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

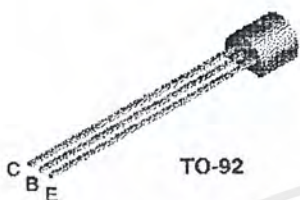




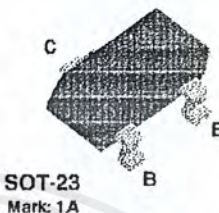
Discrete POWER & Signal Technologies

2N3904 / MMBT3904 / MMPCQ3904 / PZT3904

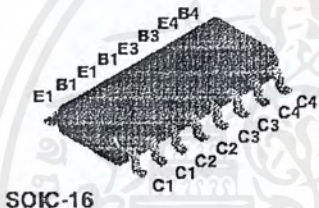
**2N3904**



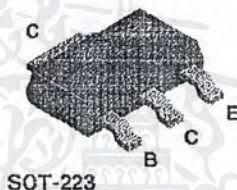
**MMBT3904**



**MMPCQ3904**



**PZT3904**



**NPN General Purpose Amplifier**

This device is designed as a general purpose amplifier and switch. The useful dynamic range extends to 100 mA as a switch and to 100 MHz as an amplifier. Sourced from Process 23.

**Absolute Maximum Ratings\*** TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V <sub>CE0</sub>	Collector-Emitter Voltage	40	V
V <sub>CB0</sub>	Collector-Base Voltage	60	V
V <sub>EB0</sub>	Emitter-Base Voltage	6.0	V
I <sub>C</sub>	Collector Current - Continuous	200	mA
T <sub>J</sub> , T <sub>stg</sub>	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	°C

\* These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

**NOTES:**

- 1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
- 2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## NPN General Purpose Amplifier

(continued)

## Electrical Characteristics

TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Max	Units
--------	-----------	-----------------	-----	-----	-------

## OFF CHARACTERISTICS

$V_{(BR)CEO}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 1.0 \text{ mA}, I_B = 0$	40		V
$V_{(BR)CBO}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 10 \mu\text{A}, I_E = 0$	60		V
$V_{(BR)EBO}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = 10 \mu\text{A}, I_C = 0$	6.0		V
$I_{BI}$	Base Cutoff Current	$V_{CE} = 30 \text{ V}, V_{EB} = 0$		50	nA
$I_{CEX}$	Collector Cutoff Current	$V_{CE} = 30 \text{ V}, V_{EB} = 0$		50	nA

## ON CHARACTERISTICS\*

$h_{FE}$	DC Current Gain	$I_C = 0.1 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$	40	300	
		$I_C = 1.0 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$	70		
		$I_C = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$	100		
		$I_C = 50 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$	60		
		$I_C = 100 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$	30		
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 1.0 \text{ mA}$		0.2	V
		$I_C = 50 \text{ mA}, I_B = 5.0 \text{ mA}$		0.3	V
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 1.0 \text{ mA}$	0.65	0.85	V
		$I_C = 50 \text{ mA}, I_B = 5.0 \text{ mA}$		0.95	V

## SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS

$f_T$	Current Gain - Bandwidth Product	$I_C = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 20 \text{ V},$ $f = 100 \text{ MHz}$	300		MHz
$C_{ob0}$	Output Capacitance	$V_{CB} = 5.0 \text{ V}, I_E = 0,$ $f = 1.0 \text{ MHz}$		4.0	pF
$C_{ib0}$	Input Capacitance	$V_{EB} = 0.5 \text{ V}, I_C = 0,$ $f = 1.0 \text{ MHz}$		8.0	pF
NF	Noise Figure (except MMPQ3904)	$I_C = 100 \mu\text{A}, V_{CE} = 5.0 \text{ V},$ $R_S = 1.0 \text{ k}\Omega, f = 10 \text{ Hz to } 15.7 \text{ kHz}$		5.0	dB

## SWITCHING CHARACTERISTICS (except MMPQ3904)

$t_d$	Delay Time	$V_{CC} = 3.0 \text{ V}, V_{BE} = 0.5 \text{ V},$		35	ns
$t_r$	Rise Time	$I_C = 10 \text{ mA}, I_{B1} = 1.0 \text{ mA}$		35	ns
$t_s$	Storage Time	$V_{CC} = 3.0 \text{ V}, I_C = 10 \text{ mA}$		200	ns
$t_f$	Fall Time	$I_{B1} = I_{B2} = 1.0 \text{ mA}$		50	ns

\*Pulse Test: Pulse Width  $\leq 300 \mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2.0\%$ 

## Spice Model

NPN (Is=6.734f Xli=3 Eg=1.11 Vaf=74.03 Bf=416.4 Ne=1.259 Ise=6.734 Ikf=66.78m Xtb=1.5 Br=.7371 Nc=2 Isc=0 Ikr=0 Rc=1 Cjc=3.638p Mjc=.3085 Vjc=.75 Fc=.5 Cje=4.493p Mje=.2593 Vje=.75 Tr=239.5n Tf=301.2p Ibf=.4 Vbf=4 Xbf=2 Rb=10)

2N3904 / MMBT3904 / MMPQ3904 / PZT3904

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**NPN General Purpose Amplifier**  
(continued)

**Thermal Characteristics**

TA = 25°C unless otherwise noted

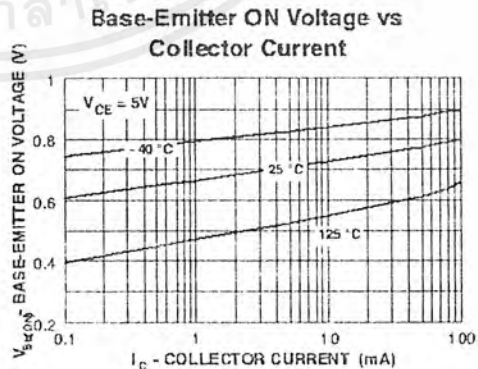
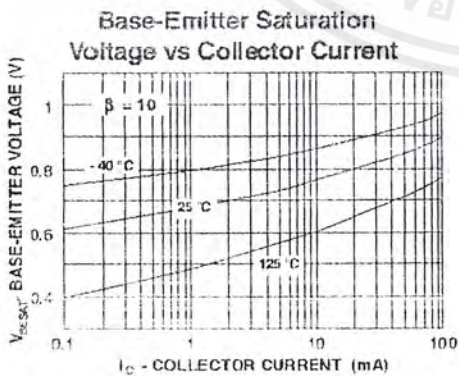
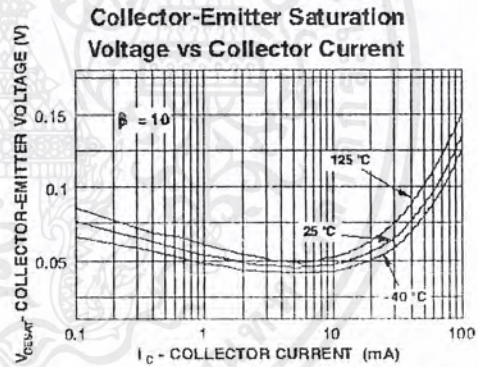
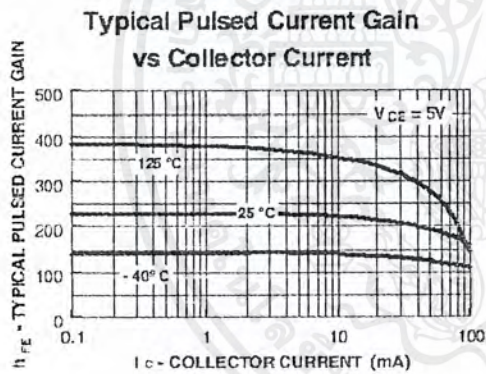
Symbol	Characteristic	Max		Units
		2N3904	*PZT3904	
P <sub>D</sub>	Total Device Dissipation Derate above 25°C	625	1,000	mW
		5.0	8.0	mW/°C
R <sub>θJC</sub>	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3		°C/W
R <sub>θJA</sub>	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	125	°C/W

Symbol	Characteristic	Max		Units
		**MMBT3904	MMPQ3904	
P <sub>D</sub>	Total Device Dissipation Derate above 25°C	350	1,000	mW
		2.8	8.0	mW/°C
R <sub>θJA</sub>	Thermal Resistance, Junction to Ambient Effective 4 Die Each Die	357	125	°C/W
			240	°C/W

\* Device mounted on FR-4 PCB 36 mm X 18 mm X 1.5 mm; mounting pad for the collector lead min. 6 cm<sup>2</sup>.

\*\* Device mounted on FR-4 PCB 1.6" X 1.6" X 0.06."

**Typical Characteristics**



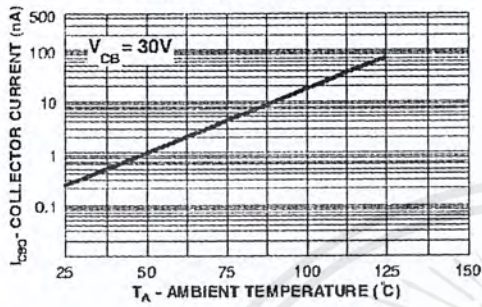
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**NPN General Purpose Amplifier**  
(continued)

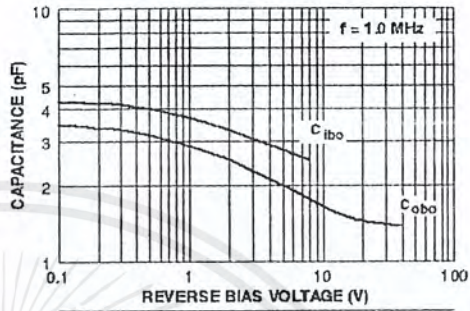
2N3904 / MMBT3904 / MMPCQ3904 / PZT3904

**Typical Characteristics** (continued)

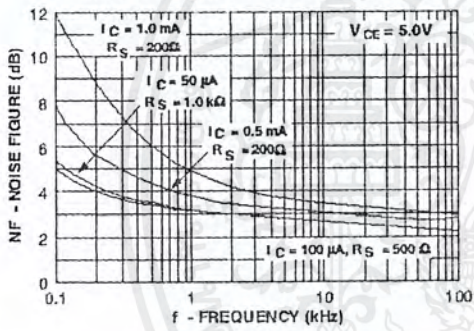
**Collector-Cutoff Current vs Ambient Temperature**



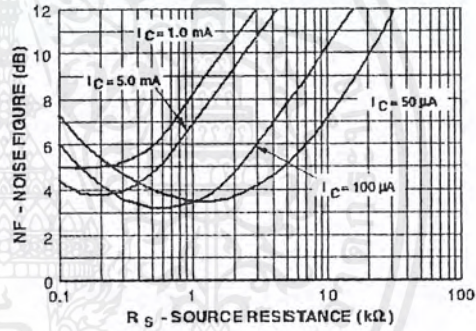
**Capacitance vs Reverse Bias Voltage**



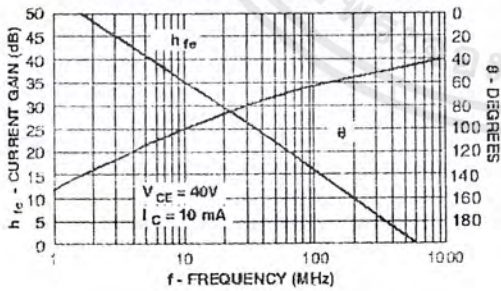
**Noise Figure vs Frequency**



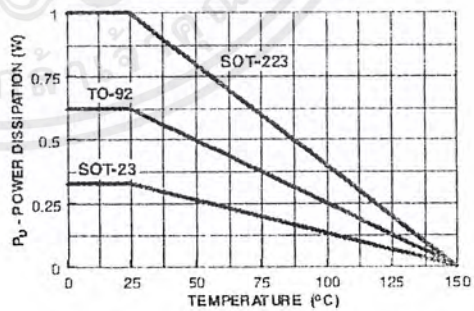
**Noise Figure vs Source Resistance**



**Current Gain and Phase Angle vs Frequency**



**Power Dissipation vs Ambient Temperature**



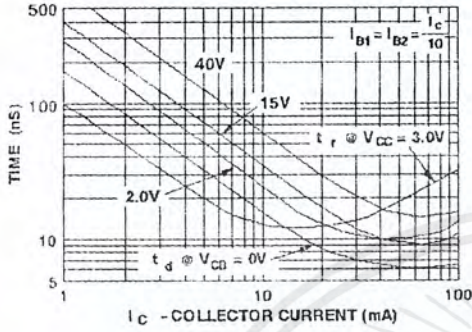
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NPN General Purpose Amplifier  
(continued)

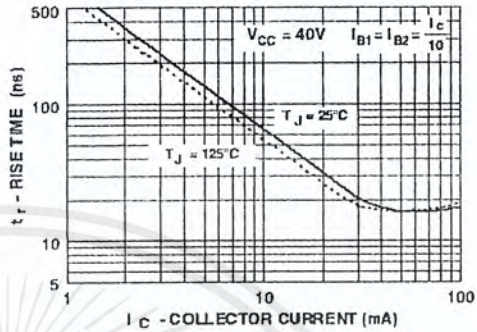
2N3904 / MMBT3904 / MMPCQ3904 / PZT3904

Typical Characteristics (continued)

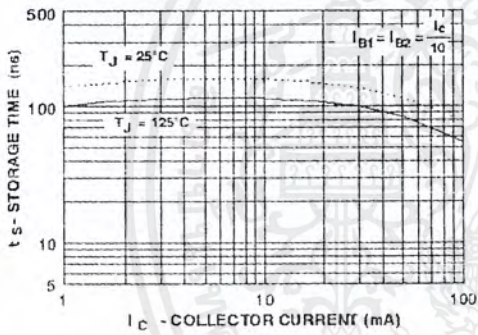
Turn-On Time vs Collector Current



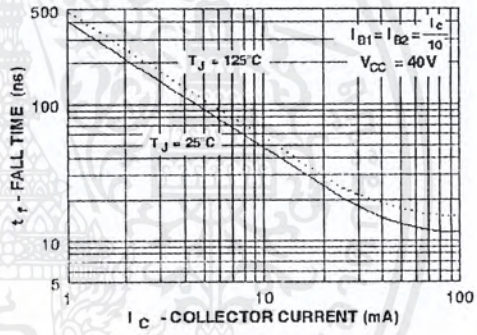
Rise Time vs Collector Current



Storage Time vs Collector Current



Fall Time vs Collector Current



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## NPN General Purpose Amplifier (continued)

### Test Circuits

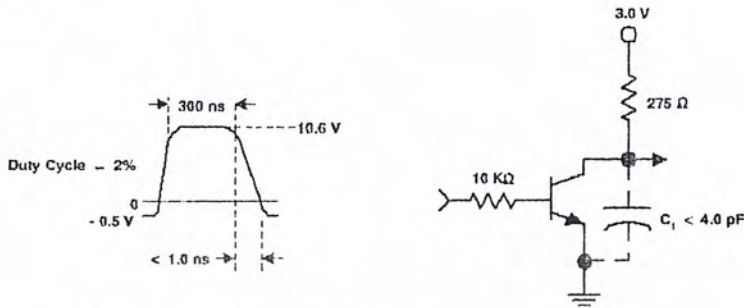


FIGURE 1: Delay and Rise Time Equivalent Test Circuit

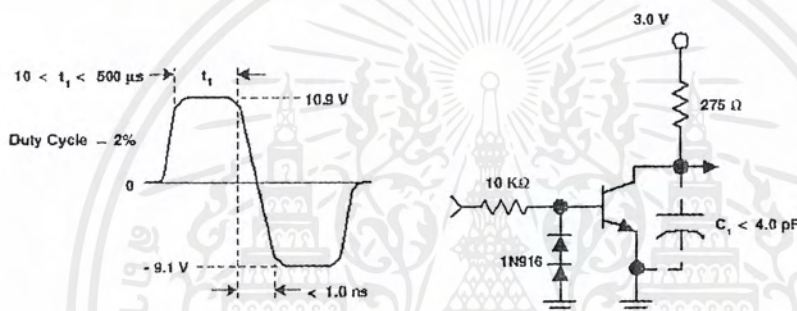
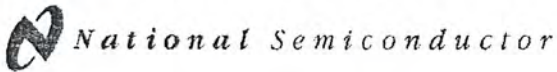


FIGURE 2: Storage and Fall Time Equivalent Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



November 1994

## LM741 Operational Amplifier

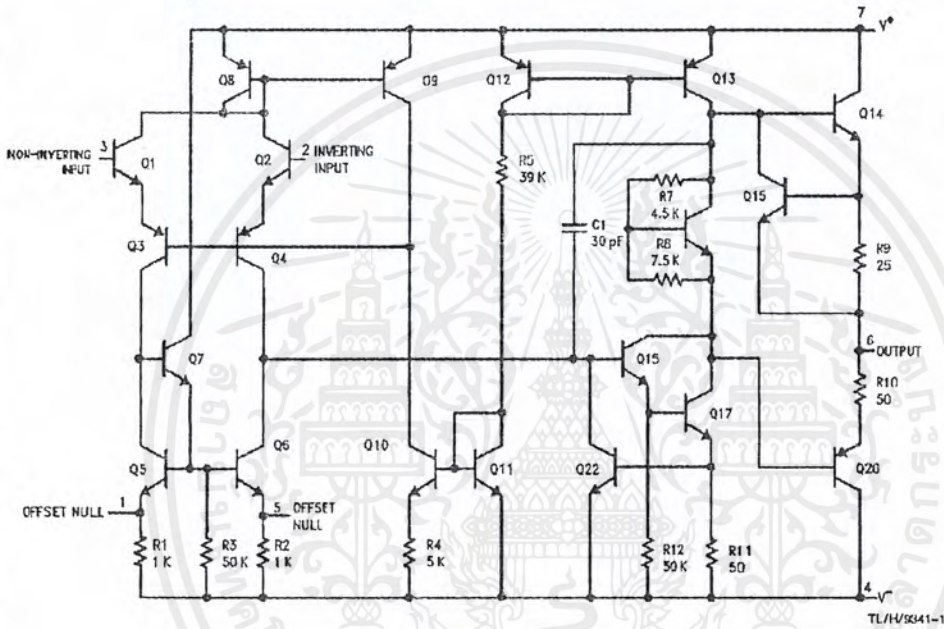
### General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MCI439 and 748 in most applications. The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and

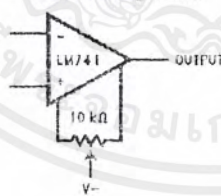
output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

The LM741C/LM741E are identical to the LM741/LM741A except that the LM741C/LM741E have their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

### Schematic Diagram



Offset Nulling Circuit



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.  
(Note 5)

	LM741A	LM741E	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation (Note 1)	500 mW	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V	±30V
Input Voltage (Note 2)	±15V	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	0°C to +70°C	-55°C to +125°C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C	100°C	150°C	100°C
Soldering Information				
N-Package (10 seconds)	260°C	260°C	260°C	260°C
J- or H-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C	300°C
M-Package				
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

ESD Tolerance (Note 6)	400V	400V	400V	400V
------------------------	------	------	------	------

## Electrical Characteristics (Note 3)

Parameter	Conditions	LM741A/LM741E			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_S < 10\text{ k}\Omega$ $R_S < 50\Omega$		0.8	3.0		1.0	5.0		2.0	6.0	mV mV
	$T_{\text{MIN}} < T_A < T_{\text{MAX}}$ $R_S < 50\Omega$ $R_S < 10\text{ k}\Omega$			4.0			6.0			7.5	mV mV
Average Input Offset Voltage Drift				15							$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_S = \pm 20\text{V}$	±10				±15			±15		mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3.0	30		20	200		20	200	nA
	$T_{\text{MIN}} < T_A < T_{\text{MAX}}$			70		85	500			300	nA
Average Input Offset Current Drift				0.5							$\text{nA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		30	80		80	500		80	500	nA
	$T_{\text{MIN}} < T_A < T_{\text{MAX}}$			0.210			1.5			0.8	$\mu\text{A}$
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_S = \pm 20\text{V}$	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0		$\text{M}\Omega$
	$T_{\text{MIN}} < T_A < T_{\text{MAX}}$ , $V_S = \pm 20\text{V}$	0.5									$\text{M}\Omega$
Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$							±12	±13		V
	$T_{\text{MIN}} < T_A < T_{\text{MAX}}$				±12	±13					V
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $R_L > 2\text{ k}\Omega$ , $V_S = \pm 20\text{V}$ , $V_O = \pm 15\text{V}$ , $V_S = \pm 15\text{V}$ , $V_O = \pm 10\text{V}$	50						20	200		V/mV V/mV
	$T_{\text{MIN}} < T_A < T_{\text{MAX}}$ , $R_L > 2\text{ k}\Omega$ , $V_S = \pm 20\text{V}$ , $V_O = \pm 15\text{V}$ , $V_S = \pm 15\text{V}$ , $V_O = \pm 10\text{V}$	32									V/mV V/mV
	$V_S = \pm 5\text{V}$ , $V_O = \pm 2\text{V}$	10			25			15			V/mV
											V/mV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Electrical Characteristics** (Note 3) (Continued)

Parameter	Conditions	LM741A/LM741E			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 20V$ $R_L > 10\text{ k}\Omega$ $R_L > 2\text{ k}\Omega$	$\pm 16$ $\pm 15$									V V
	$V_S = \pm 15V$ $R_L > 10\text{ k}\Omega$ $R_L > 2\text{ k}\Omega$				$\pm 12$ $\pm 10$	$\pm 14$ $\pm 13$		$\pm 12$ $\pm 10$	$\pm 14$ $\pm 13$		V V
Output Short Circuit Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{AMIN} < T_A < T_{AMAX}$	10 10	25	35 40		25		25			mA mA
Common-Mode Rejection Ratio	$T_{AMIN} < T_A < T_{AMAX}$ $R_S < 10\text{ k}\Omega$ , $V_{CM} = \pm 12V$ $R_S < 50\Omega$ , $V_{CM} = \pm 12V$	80	95		70	90		70	90		dB dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$T_{AMIN} < T_A < T_{AMAX}$ $V_S = \pm 20V$ to $V_S = \pm 5V$ $R_S < 50\Omega$ $R_S < 10\text{ k}\Omega$	86	96		77	96		77	96		dB dB
Transient Response	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , Unity Gain										
Rise Time			0.25	0.8		0.3			0.3		$\mu\text{s}$
Overshoot			6.0	20		5			5		%
Bandwidth (Note 4)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.437	1.5								MHz
Slew Rate	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , Unity Gain	0.3	0.7			0.5			0.5		V/ $\mu\text{s}$
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$					1.7	2.8		1.7	2.8	mA
Power Consumption	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_S = \pm 20V$ $V_S = \pm 15V$		80	150		50	85		50	85	mW mW
LM741A	$V_S = \pm 20V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			165 135							mW mW
LM741E	$V_S = \pm 20V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			150 150							mW mW
LM741	$V_S = \pm 15V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$					60 45	100 75				mW mW

Note 1: For operation at elevated temperatures, these devices must be derated based on thermal resistance, and  $T_J$  max (listed under "Absolute Maximum Ratings").  $T_J = T_A + (\theta_{JA} P_D)$

Thermal Resistance	Cerdip (J)	DIP (N)	HOB (H)	SO-8 (M)
$\theta_{JA}$ (Junction to Ambient)	100°C/W	100°C/W	170°C/W	195°C/W
$\theta_{JC}$ (Junction to Case)	N/A	N/A	25°C/W	N/A

Note 2: For supply voltages less than  $\pm 15V$ , the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 3: Unless otherwise specified, these specifications apply for  $V_S = \pm 15V$ ,  $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq 125^\circ\text{C}$  (LM741/LM741A). For the LM741C/LM741E, these specifications are limited to  $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$ .

Note 4: Calculated value from  $BW$  (MHz) =  $0.35/\text{Rise Time}(\mu\text{s})$ .

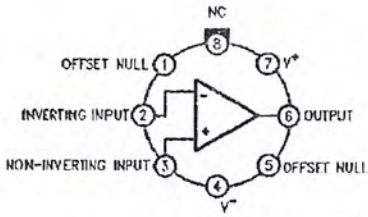
Note 5: For military specifications see RETS741X for LM741 and RETS741AX for LM741A.

Note 6: Human body model, 1.5 k $\Omega$  in series with 100 pF.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Connection Diagrams

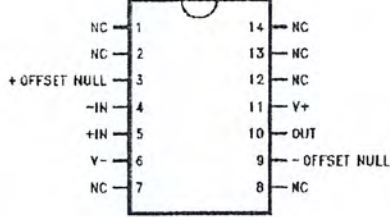
Metal Can Package



TL/H/9341-2

Order Number LM741H, LM741H/883\*,  
LM741AH/883 or LM741CH  
See NS Package Number H08C

Ceramic Dual-In-Line Package



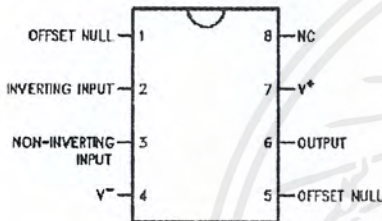
TL/H/9341-5

Order Number LM741J-14/883\*, LM741AJ-14/883\*\*  
See NS Package Number J14A

\*also available per JM36510/10101

\*\*also available per JM36510/10102

Dual-In-Line or S.O. Package



TL/H/9341-3

Order Number LM741J, LM741J/883,  
LM741CM, LM741CN or LM741EN  
See NS Package Number J08A, M08A or N08E

Ceramic Flatpak



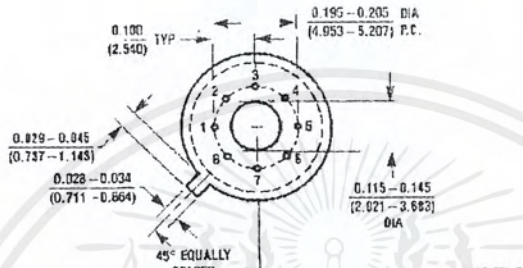
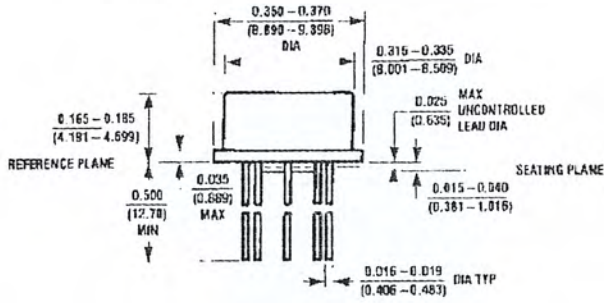
TL/H/9341-6

Order Number LM741W/883  
See NS Package Number W10A

\*LM741H is available per JM36510/10101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Physical Dimensions** inches (millimeters)

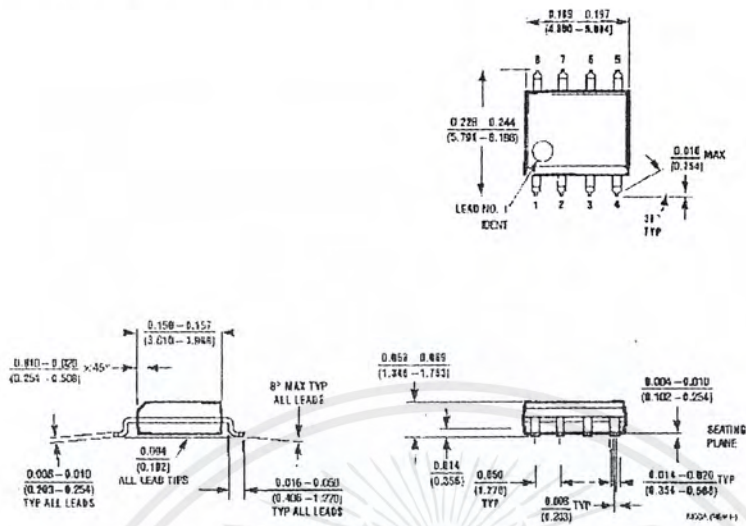


**Metal Can Package (H)**  
**Order Number LM741H, LM741H/B83, LM741AH/B83, LM741CH or LM741EH**  
**NS Package Number H08C**

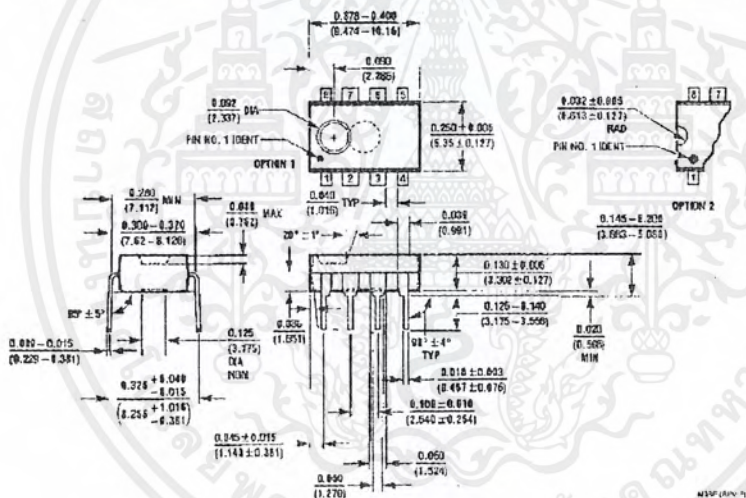
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Physical Dimensions** inches (millimeters) (Continued)



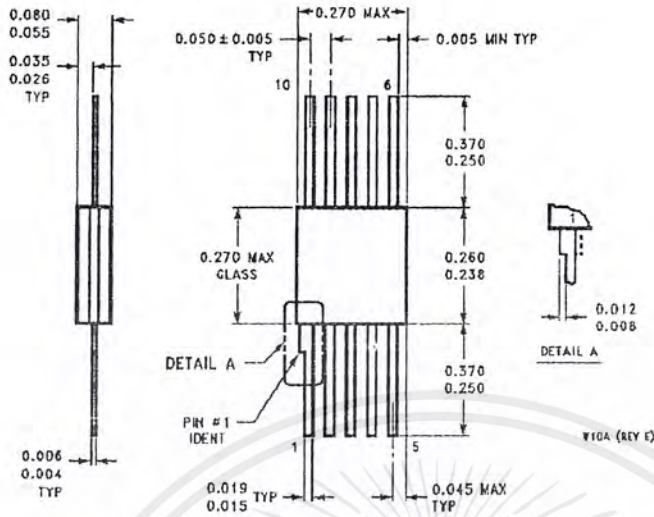
**Small Outline Package (M)**  
**Order Number LM741CM**  
**NS Package Number M08A**



**Dual-In-Line Package (N)**  
**Order Number LM741CN or LM741EN**  
**NS Package Number N08E**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



10-Lead Ceramic Flatpak (W)  
Order Number LM741W/883  
NS Package Number W10A

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation  
1111 West Garden Road  
Arlington, TX 76017  
Tel: 1(800) 272-9959  
Fax: 1(800) 737-7013

National Semiconductor Europe  
Fax: (+45) 0-180-530 16 80  
Email: cnjvge5@vms2.nsc.com  
Deutsch: Tel: (+45) 0-180-530 85 85  
English: Tel: (+45) 0-180-532 73 52  
Français: Tel: (+45) 0-180-532 53 53  
Italiano: Tel: (+45) 0-180-534 16 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.  
10th Floor, Straits Block,  
Ocean Centre, 5 Canton Rd.  
Tsimshatsui, Kowloon  
Hong Kong  
Tel: (852) 2737-1000  
Fax: (852) 2736-5260

National Semiconductor Japan Ltd.  
Tel: 81-043-299-2900  
Fax: 81-043-299-2408

Values do not assume any specific terms of any circuitry described. No patent patent licenses are implied and National Semiconductor reserves the right to change specifications without notice. © 1983 National Semiconductor Corporation

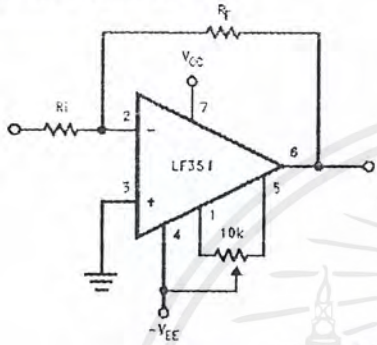
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

currents. The LF351 is pin compatible with the standard LM741 and uses the same offset voltage adjustment circuitry. This feature allows designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM741 designs.

The LF351 may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample-and-hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The device has low noise and offset voltage drift, but for applications where these requirements are critical, the LF356 is recommended. If maximum supply

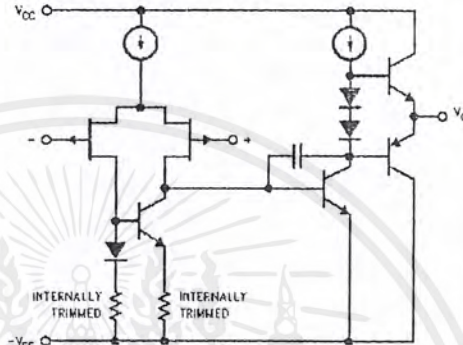
- Low input bias current 50 pA
- Low input noise voltage 25 nV/√Hz
- Low input noise current 0.01 pA/√Hz
- Wide gain bandwidth 4 MHz
- High slew rate 13 V/μs
- Low supply current 1.8 mA
- High input impedance 10<sup>12</sup>Ω
- Low total harmonic distortion  $A_V = 10$ ,  $R_L = 10k$ ,  $V_O = 20$  Vp-p, BW = 20 Hz-20 kHz <0.02%
- Low 1/1 noise corner 50 Hz
- Fast settling time to 0.01% 2 μs

Typical Connection



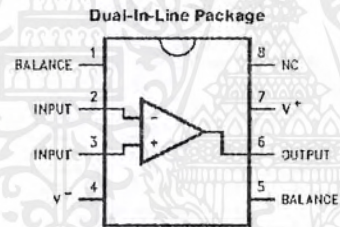
TL/H/5648-11

Simplified Schematic



TL/H/5648-12

Connection Diagrams



TL/H/5648-18

Order Number LF351M or LF351N  
See NS Package Number M08A or N08E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	±18V
Power Dissipation (Notes 1 and 6)	670 mW
Operating Temperature Range	0°C to +70°C
T <sub>J</sub> (MAX)	115°C
Differential Input Voltage	±30V
Input Voltage Range (Note 2)	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temp. (Soldering, 10 sec.)	
Metal Can	300°C
DIP	260°C

 $\theta_{jA}$ 

N Package	120°C/W
M Package	TBD

### Soldering Information

Dual-In-Line Package	
Soldering (10 sec.)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 sec.)	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

ESD rating to be determined.

### DC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF351			Units
			Min	Typ	Max	
V <sub>OS</sub>	Input Offset Voltage	R <sub>S</sub> = 10 k $\Omega$ , T <sub>A</sub> = 25°C Over Temperature		5	10 13	mV mV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Average TC of Input Offset Voltage	R <sub>S</sub> = 10 k $\Omega$		10		$\mu V/^{\circ}C$
I <sub>OS</sub>	Input Offset Current	T <sub>J</sub> = 25°C, (Notes 3, 4) T <sub>J</sub> < 70°C		25	100 4	pA nA
I <sub>B</sub>	Input Bias Current	T <sub>J</sub> = 25°C, (Notes 3, 4) T <sub>J</sub> < 70°C		50	200 8	pA nA
R <sub>IN</sub>	Input Resistance	T <sub>J</sub> = 25°C		10 <sup>12</sup>		$\Omega$
A <sub>VOL</sub>	Large Signal Voltage Gain	V <sub>S</sub> = ±15V, T <sub>A</sub> = 25°C V <sub>O</sub> = ±10V, R <sub>L</sub> = 2 k $\Omega$ Over Temperature	25	100		V/mV V/mV
V <sub>O</sub>	Output Voltage Swing	V <sub>S</sub> = ±15V, R <sub>L</sub> = 10 k $\Omega$	±12	±13.5		V
V <sub>CM</sub>	Input Common-Mode Voltage Range	V <sub>S</sub> = ±15V	±11	+15 -12		V V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	R <sub>S</sub> < 10 k $\Omega$	70	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 5)	70	100		dB
I <sub>S</sub>	Supply Current			1.8	3.4	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**AC Electrical Characteristics** (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF351			Units
			Min	Typ	Max	
SR	Slew Rate	$V_S = \pm 15V, T_A = 25^\circ C$		13		V/ $\mu s$
GBW	Gain Bandwidth Product	$V_S = \pm 15V, T_A = 25^\circ C$		4		MHz
$e_n$	Equivalent Input Noise Voltage	$T_A = 25^\circ C, R_S = 100\Omega, f = 1000\text{ Hz}$		25		nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
$i_n$	Equivalent Input Noise Current	$T_A = 25^\circ C, f = 1000\text{ Hz}$		0.01		pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$

**Note 1:** For operating at elevated temperature, the device must be derated based on the thermal resistance,  $\theta_{JA}$ .

**Note 2:** Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

**Note 3:** These specifications apply for  $V_S = \pm 15V$  and  $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$ .  $V_{OS}$ ,  $I_B$  and  $I_{OS}$  are measured at  $V_{CM} = 0$ .

**Note 4:** The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every  $10^\circ C$  increase in the junction temperature,  $T_J$ . Due to the limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation,  $P_D$ .  $T_J - T_A = \theta_{JA} P_D$  where  $\theta_{JA}$  is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.

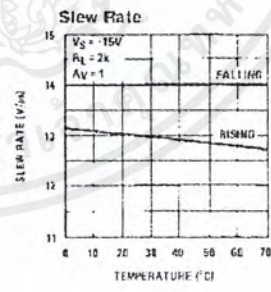
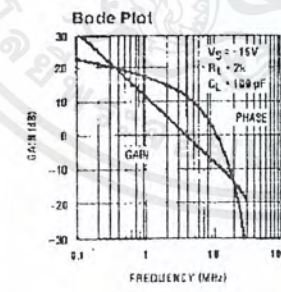
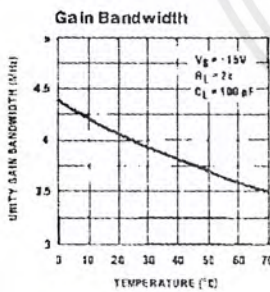
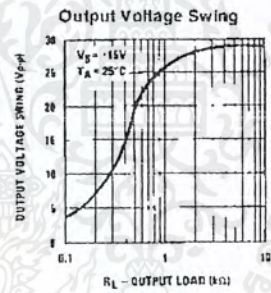
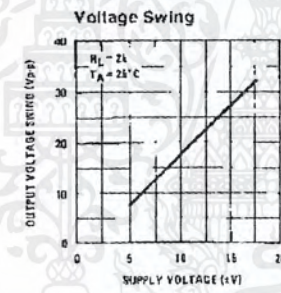
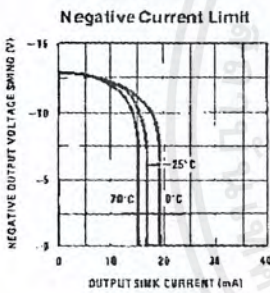
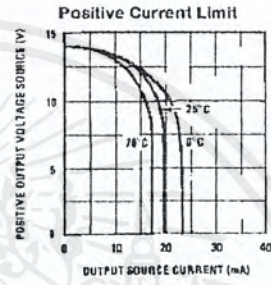
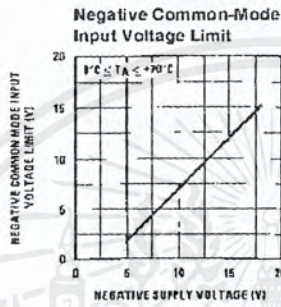
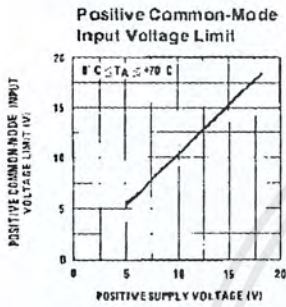
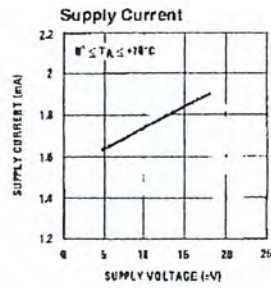
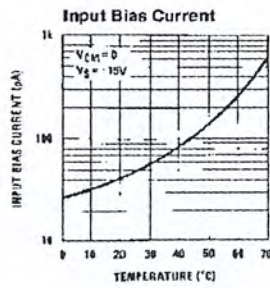
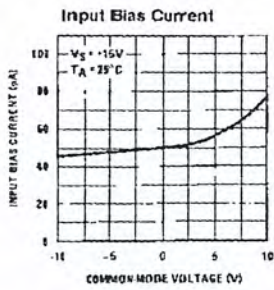
**Note 5:** Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously in accordance with common practice. From  $\pm 15V$  to  $\pm 5V$ .

**Note 6:** Max. Power Dissipation is defined by the package characteristics. Operating the part near the Max. Power Dissipation may cause the part to operate outside guaranteed limits.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

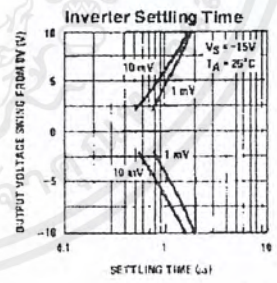
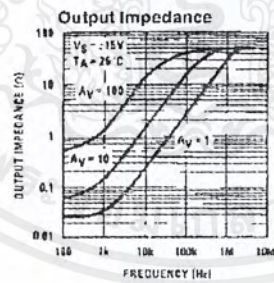
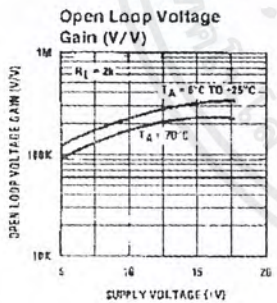
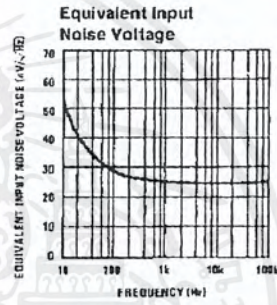
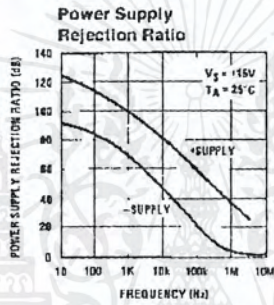
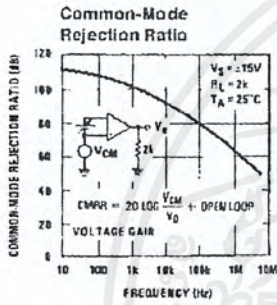
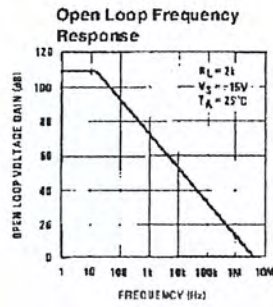
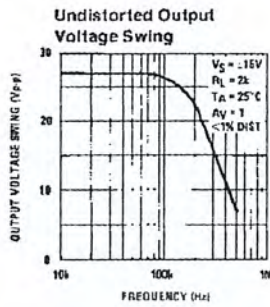
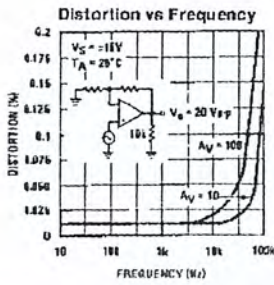
### Typical Performance Characteristics



TL/H/5646-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

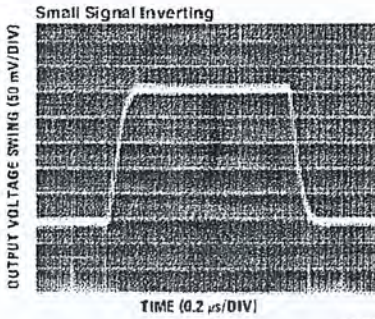
Typical Performance Characteristics (Continued)



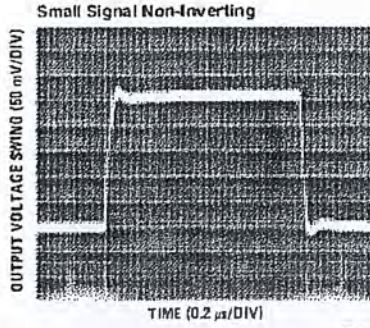
TL/H/564B-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

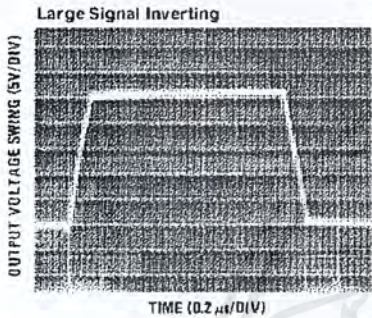
## Pulse Response



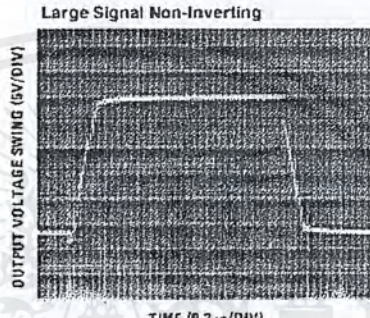
TL/H/564B-4



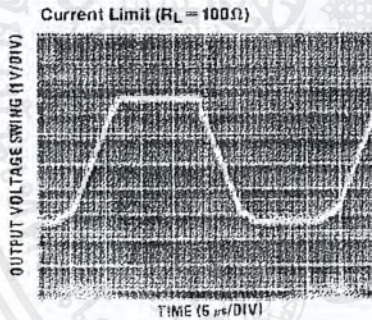
TL/H/564B-5



TL/H/564B-6



TL/H/564B-7



TL/H/564B-8

## Application Hints

The LF351 is an op amp with an internally trimmed input offset voltage and JFET input devices (BI-FET II™). These JFETs have large reverse breakdown voltages from gate to source and drain eliminating the need for clamps across the inputs. Therefore, large differential input voltages can easily be accommodated without a large increase in input current. The maximum differential input voltage is independent of the supply voltages. However, neither of the input voltages should be allowed to exceed the negative supply as this will

cause large currents to flow which can result in a destroyed unit.

Exceeding the negative common-mode limit on either input will force the output to a high state, potentially causing a reversal of phase to the output.

Exceeding the negative common-mode limit on both inputs will force the amplifier output to a high state. In neither case does a latch occur since raising the input back within the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Application Hints (Continued)

common-mode range again puts the input stage and thus the amplifier in a normal operating mode.

Exceeding the positive common-mode limit on a single input will not change the phase of the output; however, if both inputs exceed the limit, the output of the amplifier will be forced to a high state.

The amplifier will operate with a common-mode input voltage equal to the positive supply; however, the gain bandwidth and slow rate may be decreased in this condition. When the negative common-mode voltage swings to within 3V of the negative supply, an increase in input offset voltage may occur.

The LF351 is biased by a zener reference which allows normal circuit operation on  $\pm 4V$  power supplies. Supply voltages less than these may result in lower gain bandwidth and slow rate.

The LF351 will drive a 2 k $\Omega$  load resistance to  $\pm 10V$  over the full temperature range of 0°C to +70°C. If the amplifier is forced to drive heavier load currents, however, an increase in input offset voltage may occur on the negative voltage swing and finally reach an active current limit on both positive and negative swings.

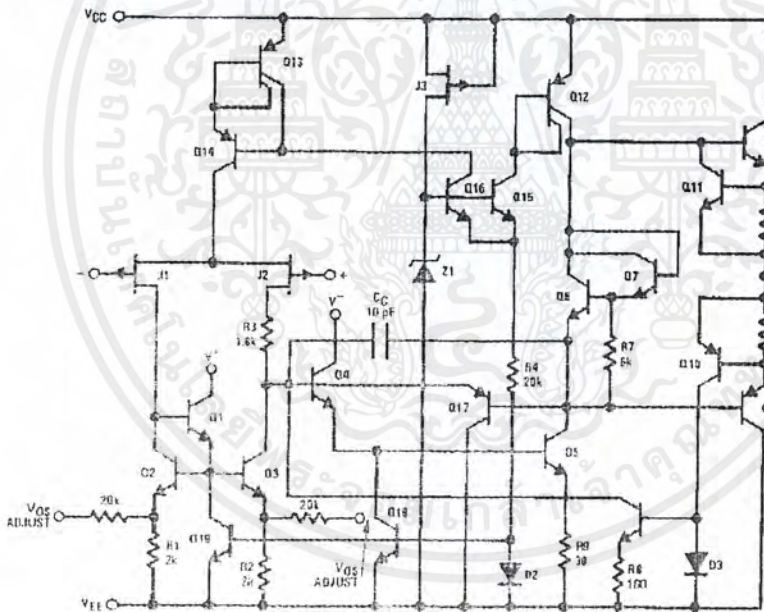
Precautions should be taken to ensure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed back-

wards in a socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

As with most amplifiers, care should be taken with load stress, component placement and supply decoupling in order to ensure stability. For example, resistors from the output to an input should be placed with the body close to the input to minimize "pick-up" and maximize the frequency of the feedback pole by minimizing the capacitance from the input to ground.

A feedback pole is created when the feedback around any amplifier is resistive. The parallel resistance and capacitance from the input of the device (usually the inverting input) to AC ground set the frequency of the pole. In many instances the frequency of this pole is much greater than the expected 3 dB frequency of the closed loop gain and consequently there is negligible effect on stability margin. However, if the feedback pole is less than approximately 6 times the expected 3 dB frequency a lead capacitor should be placed from the output to the input of the op amp. The value of the added capacitor should be such that the RC time constant of this capacitor and the resistance it parallels is greater than or equal to the original feedback pole time constant.

### Detailed Schematic

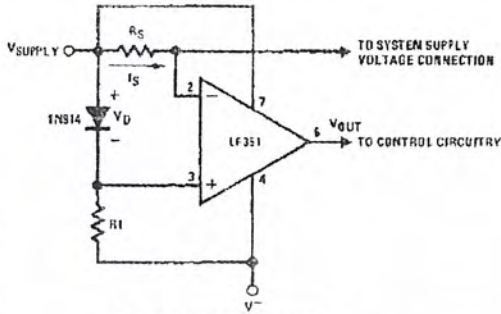


TL/H/564B-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

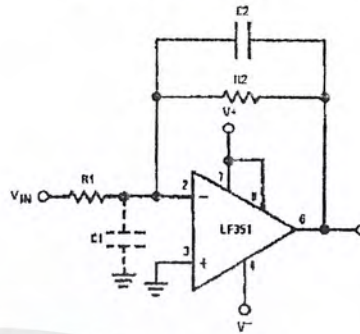
### Typical Applications

Supply Current Indicator/Limiter



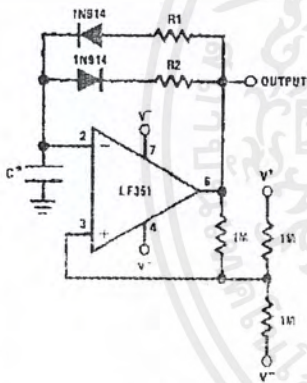
\*  $V_{OUT}$  switches high when  $R_S I_S > V_n$

Hi- $Z_{IN}$  Inverting Amplifier



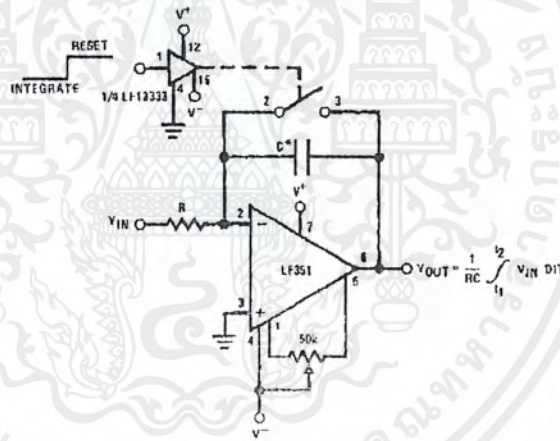
Parasitic input capacitance  $C_1 \approx 3$  pF for LF351 plus any additional layout capacitance interacts with feedback elements and creates undesirable high frequency pole. To compensate, add  $C_2$  such that  $R_2 C_2 \approx R_1 C_1$ .

Ultra-Low (or High) Duty Cycle Pulse Generator



\*  $I_{OUTPUT HIGH} = R1C \ln \frac{4.8 - 2V_S}{4.8 - V_S}$   
 \*  $I_{OUTPUT LOW} = R2C \ln \frac{2V_S - 7.6}{V_S - 7.6}$   
 where  $V_S = V^+ - |V^-|$   
 \*low leakage capacitor

Long Time Integrator

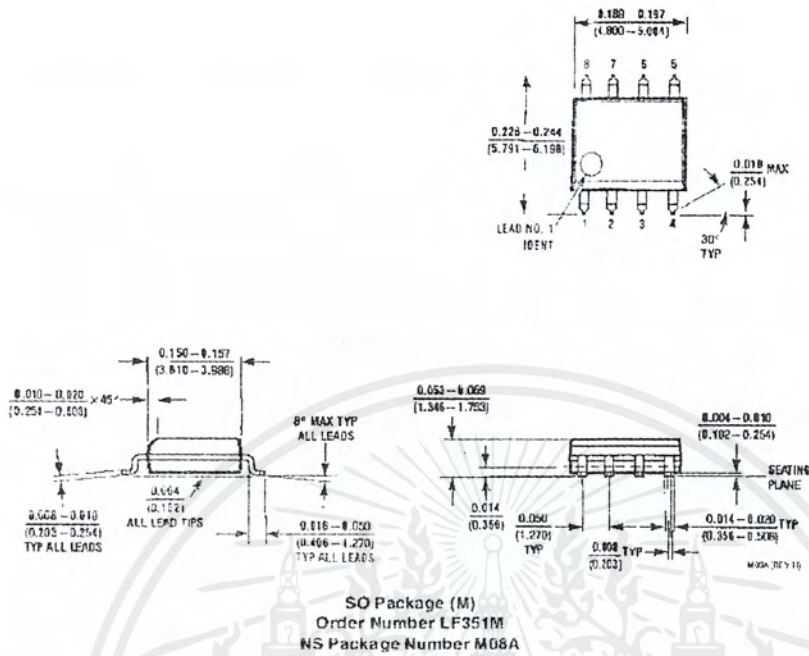


\* Low leakage capacitor  
 \* 50k pot used for less sensitive  $V_{CC}$  adjust

TL/H/554B-10

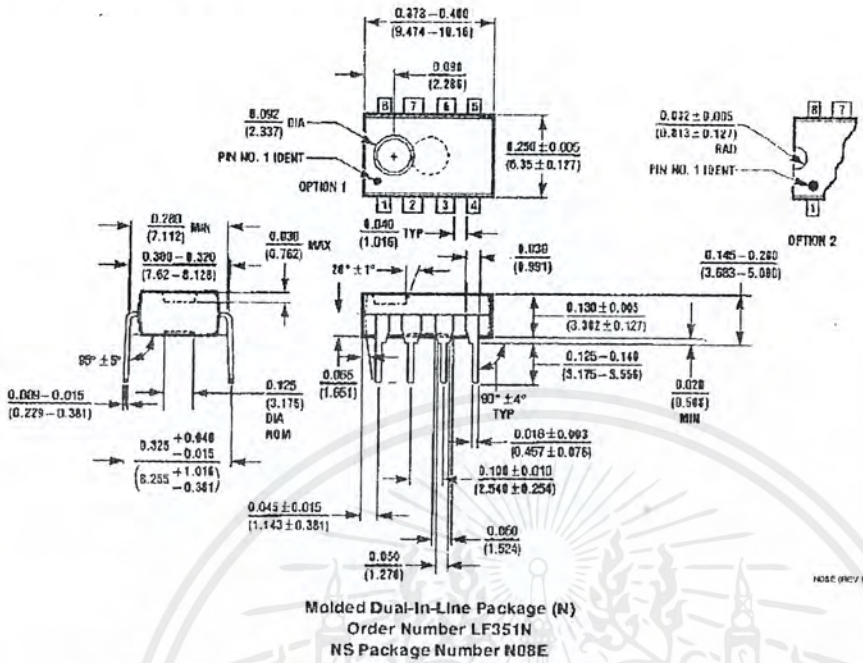
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Physical Dimensions** inches (millimeters)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



## LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation  
1111 West Baldwin Road  
Arlington, TX 76017  
Tel: 1(800) 272-9959  
Fax: 1(800) 737-7018

National Semiconductor Europe  
Fax: (+49) 0-180-580 85 88  
Email: cr@jcs21evm2.nsc.com  
Deutsch Tel: (+49) 0-180-580 85 85  
English Tel: (+49) 0-180-582 78 82  
Français Tel: (+49) 0-180-582 93 88  
Italiano Tel: (+49) 0-180-584 19 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.  
13th Floor, Straight Block,  
Ocean Centre, 5 Canton Rd  
Tat Chee Square, Kowloon  
Hong Kong  
Tel: (852) 2737-1600  
Fax: (852) 2736-5960

National Semiconductor Japan Ltd.  
Tel: 81-643-299-2309  
Fax: 81-643-299-2408

©1993 National Semiconductor Corporation. All rights reserved. National Semiconductor Corporation is not responsible for use of a circuit diagram or product information as a guide to design or construction. National Semiconductor Corporation is not responsible for any damage or injury resulting from the use of a circuit diagram or product information as a guide to design or construction.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายพลศักดิ์ ศรียา  
 เกิดวันที่ 31 พฤษภาคม 2516  
 ภูมิลำเนา บ้านเลขที่ 113 หมู่ 2 ต.บ้านเรือ อ.ภูเวียง จ.ขอนแก่น 40150  
 การศึกษา จบมัธยมปลายจากโรงเรียนภูเวียงวิทยาคม เข้าศึกษาระดับปริญญาตรี  
 ที่ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี  
 พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีพ.ศ. 2538  
 ประวัติการฝึกงาน ฝึกงานที่บริษัทรวมเกษตรอุตสาหกรรมจำกัด (น้ำตาลทรายมิตรผล)

ชื่อ นายวรารุณี เมฆรักษาวณิช  
 เกิดวันที่ 23 กันยายน 2516  
 ภูมิลำเนา บ้านเลขที่ 31/6 ถ.สเรนทร์ ต.สบตุ๋ย อ.เมือง จ.ลำปาง  
 การศึกษา จบมัธยมปลายจากโรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย เข้าศึกษาระดับ  
 ปริญญาตรีที่ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบัน  
 เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีพ.ศ. 2538  
 ประวัติการฝึกงาน ฝึกงานที่ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์โดยอยู่ในการดูแลของอาจารย์  
 อนุพงษ์ สรงประภา