

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประยุกต์ใช้งานไฟเบอร์อปติก
FIBER OPTIC APPLICATIONS



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 86737
วัน,เดือน,ปี 14 ส.ค. 2552

.b.....
.i.....

ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การประยุกต์ใช้งานไฟเบอร์อปติก
FIBER OPTIC APPLICATIONS

ชื่อนักศึกษา นายธงชัย โมสุชะ
นายวรเทพ อุฬารเวชกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ชวลิต เบญจางคประเสริฐ
อาจารย์อรลภก แสงอรุณ

ภาควิชา เทคนิคอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2538

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรม
ศาสตร์บัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
()
.....กรรมการ
()
.....กรรมการ
()
.....กรรมการ
()
.....กรรมการ
()
.....กรรมการ
()

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้งานไฟเบอร์ออปติก

ชื่อนักศึกษา	นายธงชัย โมสุชะ
	นายวรเทพ อุฬารเวชกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ชวลิต เบญจางคประเสริฐ
	อาจารย์อรลภก แสงอรุณ
ระดับการศึกษา	อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
ปีการศึกษา	2538

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอการประยุกต์ใช้งานไฟเบอร์ออปติก โดยได้นำไฟเบอร์เป็นตัวส่งผ่านสัญญาณแสง ซึ่งจะใช้ในการวัดอุณหภูมิและการส่งสัญญาณทางแสงโดยใช้เลเซอร์ไดโอด ในส่วนการวัดอุณหภูมิจะใช้ตัวตรวจวัดอุณหภูมิที่ให้อุณหภูมิเป็นเชิงเส้นกับค่าความต่างศักย์ แล้วนำความต่างศักย์ที่ได้เปลี่ยนให้เป็นความถี่ เพื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสัญญาณแสงส่งผ่านเข้าไปในสายไฟเบอร์ออปติก ในภาครับจะเปลี่ยนสัญญาณแสงที่ส่งมากลับเป็นความถี่อีกครั้งหนึ่งสำหรับนำไปนับและแสดงผล และในส่วนของการส่งสัญญาณทางแสงโดยใช้เลเซอร์ไดโอด จะผลิตความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ตสำหรับนำมามอดูเลตส่งผ่านสายไฟเบอร์ออปติก ใช้เลเซอร์ไดโอดเป็นภาคส่งและใช้โฟโตไดโอดเป็นภาครับ

FIBER OPTIC APPLICATION

NAME TONGCHAI MOSUKHA CODE 37012009
 WORATAP URARAWACHAGUL CODE 37012025
 THESIS ADVISOR CHAWALIT BENJANGKAPRASERT
 ORNLAP SANGARUN
 LEVEL OF STUDY BECHELOR DEGREE IN INDUSTRIAL ELECTRONICS
 YEAR 2538

ABSTRACT

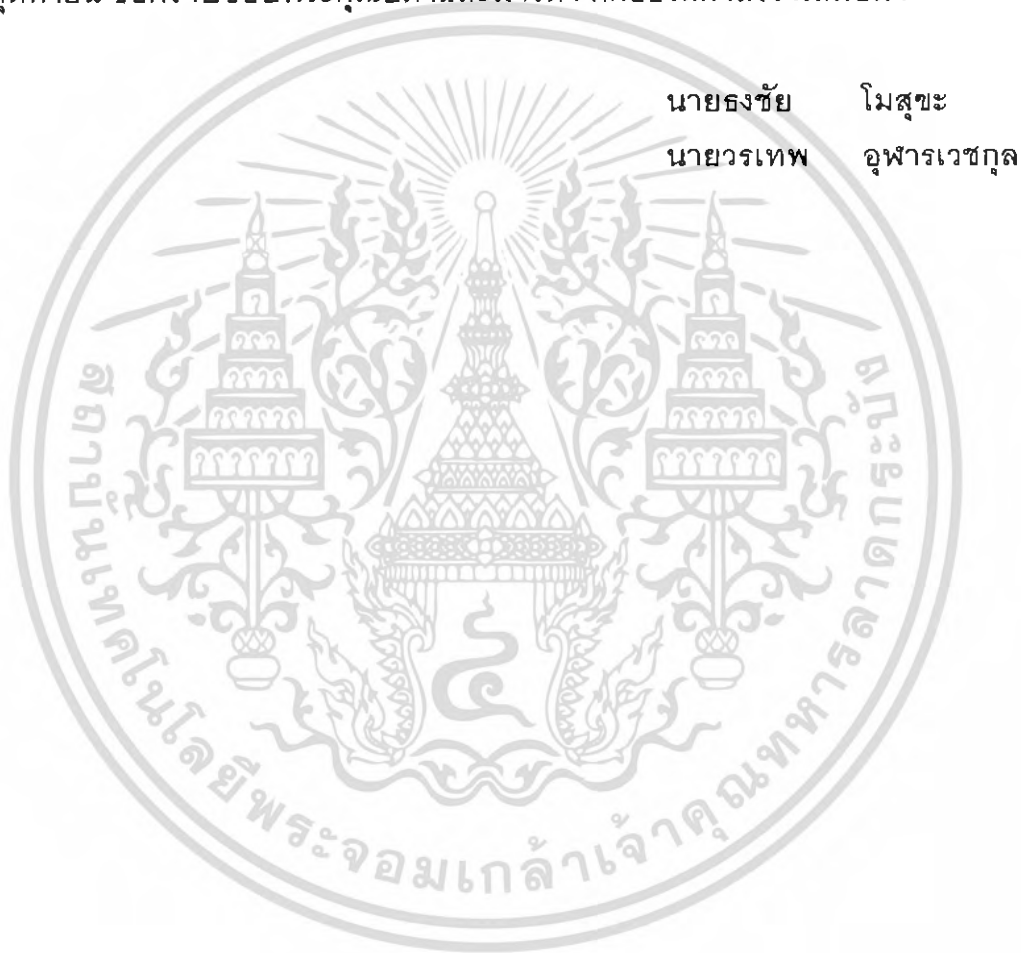
THIS THESIS IS FIBER OPTIC APPLICATIONS, FIBER OPTIC IS TRANSMISSION OPTICAL SIGNAL. IT WILL USED IN TEMPERATURE MEASUREMENT AND USING LASER DIODE TO TRANSMISSION OPTICAL SIGNAL. TEMPERATURE SENSOR IN MEASUREMENT HAS TEMPERATURE IS LINEARITY WITH VOLTAGE. VOLTAGE TO CONVERT IS FREQUENCY FOR CONVERT TO OPTICAL SIGNAL TRANSMISSION IN FIBER OPTIC. IN RECEIVER OF TEMPERATURE MEASUREMENT, CONVERT OPTICAL SIGNAL TO FREQUENCY FOR COUNTER AND DISPLAY. IN USING LASER DIODE TO TRANSMISSION OPTICAL SIGNAL, TRANSMITTER USE LASER DIODE AND OSCILATE OF FREQUENCY IS 5 MHz FOR MODULATE TO TRASSMISSION IN FIBER OPTIC AND RECIEVER USE PHOTODIODE.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยความช่วยเหลือของท่านอาจารย์ชวลิต เบญจางคประเสริฐ และ อาจารย์อรลภ แสงอรุณ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการชิ้นนี้ ขอขอบคุณอาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ สำหรับสถานที่ในการทำโครงการและให้ความช่วยเหลือหลายๆ อย่าง อีกทั้งขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือ

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ที่คอยให้กำลังใจเสมอมา



นายธงชัย โมสุพะ
นายวรเทพ อุฬารเวชกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบข่ายของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้น	5
2.1 ทฤษฎีไฟเบอร์ออปติก	5
2.1.1 เส้นใยนำแสงเบื้องต้น	5
2.1.2 ชนิดของเส้นใยนำแสง	6
2.1.3 การเกิดการสูญเสียในเส้นใยนำแสง	9
2.1.4 ค่าลดทอนในเส้นใยนำแสง	12
2.1.5 การเกิด Dispersion ในเส้นใยแก้วนำแสง	14
2.2 แหล่งกำเนิดแสง	17
2.2.1 Light Emitting Diode	17
2.2.2 เลเซอร์ไดโอด	25
2.3 Light Detector	30
2.3.1 โฟโตไดโอดแบบสารกึ่งตัวนำ	31
2.3.2 PIN Photodiodes	32
2.4 แสงและคุณสมบัติของแสง	36
2.4.1 ฟิสิกส์ของแสง	36
2.4.2 ความเร็วของการแผ่	36
2.4.3 การหักเห	37
2.4.4 ดัชนีการหักเหของแสง	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้าที่
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	40
3.1 การออกแบบและการใช้งานในส่วนของการวัดอุณหภูมิ	40
3.1.1 การใช้งาน LM 335 เป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิ	40
3.1.2 การออกแบบและการสร้างในส่วนแสดงผล	43
3.1.3 การออกแบบและการสร้างในส่วนภาคส่ง	48
3.2 การออกแบบและการสร้างในส่วนของการส่งสัญญาณทางแสง	49
3.2.1 การสร้างวงจรออสซิลเลเตอร์	49
3.2.2 วงจรขยายสัญญาณความถี่สูง	50
3.2.3 วงจรส่งสัญญาณทางแสงโดยใช้เลเซอร์ไดโอด	51
3.2.4 วงจรภาครับสัญญาณ	52
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	54
4.1 การทดลองในส่วนการวัดอุณหภูมิ	54
4.2 การทดลองในส่วนของการส่งสัญญาณทางแสงด้วยเลเซอร์ไดโอด	55
บรรณานุกรม	X
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้าที่
1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิ	2
1.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณทางแสง	3
2.1 แสดงลักษณะของเคเบิลเส้นใยนำแสง	5
2.2 แสดงผลรวมของการกระจายสนามของโหมดที่มีออร์เดอร์ต่ำ (Lp10,Lp11)	6
2.3 แสดงลักษณะของเส้นใยนำแสงชนิด Multimode Step index fiber	7
2.4 แสดงลักษณะการหักเหของเส้นใยนำแสงแบบ Multimode Graded index fiber	8
2.5 แสดงลักษณะของ Singlemode Step index fiber 1) มีอากาศเป็นแคดดิ่ง 2) มีแก้วเป็นแคดดิ่ง	9
2.6 แสดงการสูญเสียในซิลิกาที่บริสุทธิ์ในย่าน UV และ IR	10
2.7 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนของไฮดรอกซิลในแก้วซิลิกา	11
2.8 แสดงการสูญเสียจากการโค้งงอ	12
2.9 แสดงการลดทอนรวมทั้งหมด	13
2.10 แสดงกราฟค่าลดทอนของเส้นใยนำแสง	13
2.11 แสดงสเปกตรัมการลดทอนของเส้นใยแก้วนำแสง	14
2.12 แสดงกลไกที่ทำให้เกิด Dispersion	15
2.13 แสดงสเปกตรัมของแสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสง	16
2.14 แสดงพัลส์ที่เกิดจากความยาวคลื่นต่างกัน	16
2.15 แสดงรอยต่อสัญญาณลักษณะทางไฟฟ้าและแถบพลังงานที่เกี่ยวข้องกับ ไดโอด	17
2.16 แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างเพาเวอร์และกระแส	19
2.17 แสดง Digital Modulation ของ LED	20
2.18 แสดง Analog Modulation ของ LED	20
2.19 แสดง Variation of AC Optic Power with Modulation Frequency	22
2.20 แสดง Rise Time ของแหล่งกำเนิดแสง	22
2.21 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายแบบแลมเบิร์ตของ Surface Emitting LED เมื่อค่า Half Power Width เท่ากับ 120 องศา	23
2.22 แสดง Unsymmetric Radiation จาก Edge-Emitting LED	24
2.23 แสดง Source to Fiber Coupling of a glass covered LED	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้าที่
2.24 a) แสดง LED Mounted on a header	
b) แสดง Micro Lensed LED	24
2.25 1) แสดงคุณลักษณะของค่าเพาเวอร์ทางด้านแสงเอาร์ทพุทกับกระแสอินพุท	
2) แสดงคุณลักษณะและความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดันเลเซอร์ไดโอด	25
2.26 แสดง Digital Modulation ของเลเซอร์ไดโอด	26
2.27 แสดง Analog Modulation ของเลเซอร์ไดโอด	27
2.28 1) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเพาเวอร์ของเลเซอร์ขณะที่ กระแสคงที่	
2) แสดงสเปกตรัมเอาร์ทพุทของ Multimode Laser diodes	
3) แสดงสเปกตรัมเอาร์ทพุทของ Single Longitudinal Mode Laser Diodes	27
2.29 แสดง Radiation Pattern ของเลเซอร์ไดโอด	28
2.30 1) แสดง Laser Diode Package	
2) แสดง Laser Diode with an intergal Fiber Pistail	29
2.31 แสดง Photodetector Risetime	30
2.32 แสดง กลไกการตรวจจับแสงของตัวตรวจจับแบบรอยต่อ	31
2.33 แสดง PIN Photodiode	32
2.34 แสดงผลการตอบสนองของสเปกตรัมของซิลิกอนและ InGaAs	33
2.35 a) แสดงวงจรพื้นฐานของ PIN diodes	
b) แสดงการวิเคราะห์ด้วยกราฟของวงจร	34
2.36 แสดงข้อมูลที่จำเป็นบางอย่างสำหรับแหล่งกำเนิดแสงเส้นใยนำแสง และ Detector	35
2.37 แสดงความถี่และความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านต่าง ๆ	36
2.38 แสดงการหักเหของแสง	37
2.39 แสดงรูปแบบของดัชนีการหักเหตามกฎของสเนล	38
2.40 แสดงแสงที่เบนออกจากเส้นปกติ	39
3.1 ก) แสดงลักษณะรูปร่างและการต่อขาของ LM 335	
ข) แสดงรูปร่างของ LM 335H ในตัวถังแบบ TO-46 เมื่อมองจากด้านล่าง	40
3.2 แสดงวงจรพื้นฐานในการใช้งาน LM 335	41
3.3 แสดงเวลาการตอบสนองของ LM 335 ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ	42
3.4 แสดงวงจรภายในไอซีเบอร์ 4553	43

งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้าที่
3.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมการสร้างความถี่ฐานเวลา 1 Hz จากคริสตอล	44
3.6 แสดงวงจรสร้างความถี่อ้างอิง 1 Hz จากคริสตอล	45
3.7 แสดงไดอะแกรมเวลาในการควบคุมวงจรมัลติ	46
3.8 แสดงวงจรสร้างสัญญาณตีสเอบีล แลตซ์อีนาเบิ้ล และรีเซต	46
3.9 แสดงวงจรสมบรูณ์ของภาครับและส่วนแสดงผล	47
3.10 แสดงวงจรสมบรูณ์ของภาคส่ง	48
3.11 แสดงวงจรออสซิลเลเตอร์	49
3.12 แสดงวงจรมหาสัญญาณความถี่สูง	50
3.13 แสดงวงจรส่งสัญญาณทางแสงโดยใช้เลเซอร์ไดโอด	51
3.14 แสดงวงจรดีเทคเตอร์สัญญาณทางแสงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า	52
4.1 แสดงรูปสัญญาณที่วัดได้ในการทดลอง	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
2.1 แสดงวัสดุที่ใช้ทำ Emitter ความยาวคลื่นและแถบพลังงานช่องว่าง โดยประมาณ	18
2.2 แสดงคุณลักษณะของแหล่งกำเนิดแบบสารกึ่งตัวนำ	29
2.3 แสดงการสรุปพิสัยที่ใช้งานของวัสดุ PIN Photodiode ที่นิยมใช้กัน มากที่สุด	33
2.4 แสดงพารามิเตอร์ที่สำคัญของโฟโตไดโอด	35
2.5 แสดงค่าต่างๆ ไปของดัชนีการหักเหของตัวกลางชนิดต่างๆ	38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปริญญานิพนธ์

ปัจจุบันนี้ไฟเบอร์ออปติกได้เข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมากในงานสื่อสารต่าง ๆ เช่น ระบบชุมสายโทรศัพท์ ระบบการรับส่งสัญญาณวีดีโอ การรับส่งข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ เป็นต้น นอกจากนี้ในอนาคตอันใกล้ไฟเบอร์ออปติกจะมีความสำคัญอย่างมากทางด้านเครื่องมือการแพทย์ และเครื่องวัดแบบอื่น ๆ ด้วย

ข้อได้เปรียบของไฟเบอร์ออปติก

สาเหตุที่ไฟเบอร์ออปติกได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากเนื่องมาจากคุณสมบัติที่ดีของไฟเบอร์ออปติกในด้านการสื่อสาร สายส่งข้อมูลที่ใช้สายไฟเบอร์ออปติกจะมีข้อดีกว่าสายโลหะทั่ว ๆ ไปหรือสายโคแอกเชียลชนิดนี้

มีแถบความถี่กว้าง (High Bandwidth) คลื่นความถี่ของแสงที่จะนำข้อมูลผ่านเข้าไปในสายไฟเบอร์ออปติกมีความถี่ที่สูงอยู่ในช่วง $10^3 - 10^{16}$ เฮิร์ตซ์ ซึ่งมากกว่าแถบความถี่ของสายโลหะมาก (สายโคแอกเชียลจะมีแถบความถี่ประมาณ 500 เมกะเฮิร์ตซ์)

ขนาดเล็กและน้ำหนักเบา (Small Size and Weight) สายของไฟเบอร์ออปติกโดยทั่วไปจะมีขนาดเล็กกว่าสายโคแอกเชียลไม่เก็นเส้นผมของเรา ดังนั้นเมื่อสายไฟเบอร์ออปติกห่อหุ้มด้วยเปลือกนอกจะมีขนาดและน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับสายเคเบิลของทองแดง

ปราศจากการรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Immunity to Interference and Crosstalk) สายไฟเบอร์ออปติกจะทำด้วยแก้วหรือพลาสติกมีคุณสมบัติที่เป็นฉนวน ดังนั้นจึงไม่ถูกรบกวนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

การสูญเสียในการส่งต่ำ (Low Transmission Loss) ไฟเบอร์ออปติกได้พัฒนามาแล้วกว่า 20 ปีทำให้มีการสูญเสียในการส่งในสายไฟเบอร์ออปติกมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับการสูญเสียในสายลวดทองแดงที่ดีที่สุดซึ่งในปัจจุบันสามารถที่จะผลิตสายไฟเบอร์ออปติกที่มีการสูญเสียได้ต่ำสุดถึง 0.1 dB/km

แยกระบบไฟฟ้าของภาครับและภาคส่งออกจากกัน (Electrical Isolation) ไฟเบอร์ออปติกจะสามารถที่แยกระบบไฟฟ้าของภาครับและภาคส่งออกกันได้ทำให้มีประโยชน์เมื่อเราต้องการจะควบคุมอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ไฟแรงสูง ปกติเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์จะใช้แหล่งจ่ายที่มีแรงไฟฟ้า ไฟเบอร์ออปติกจะแยกวงจรแรงไฟสูงและวงจرفีด้าออกจากกันทำให้มีความเกิดปลอดภัยกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ความปลอดภัยกับข้อมูลที่ส่ง (Signal Security) เนื่องด้วยข้อมูลที่ส่งไปในสายไฟเบอร์ออปติกอยู่ในรูปของแสงทำให้การขโมยข้อมูลโดยการเชื่อมต่อเป็นไปได้ยากกว่าสายทองแดง

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์

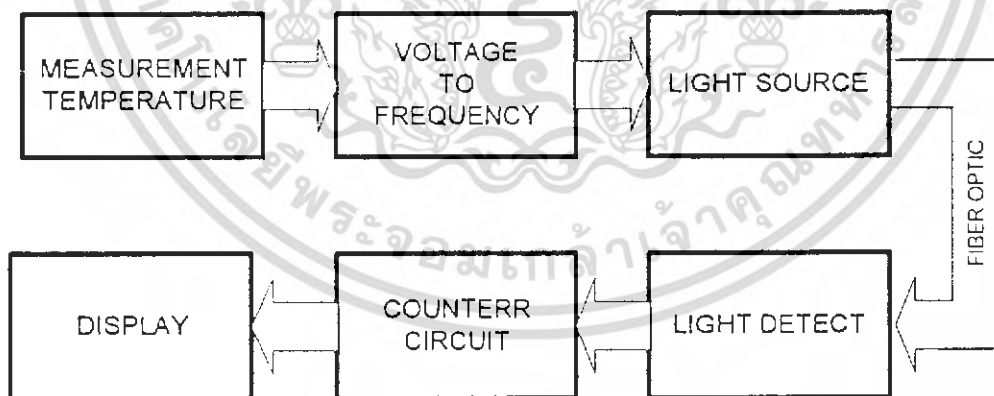
เพื่อศึกษาในเรื่องการนำออปติคอลลไฟเบอร์ไปประยุกต์ใช้ในงานในด้านต่างๆซึ่งในปริญญาานิพนธ์นี้จะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

- ใช้ในการวัดอุณหภูมิ
- แสดงการส่งสัญญาณทางแสงโดยใช้เลเซอร์ไดโอด และทำการดีเทคสัญญาณที่ได้ส่งไป

1.3 ขอบข่ายของปริญญาานิพนธ์

ในปริญญาานิพนธ์ชิ้นนี้เป็นเรื่องของการนำเอาอุปกรณ์ทางออปติคอลลไฟเบอร์มาประยุกต์ใช้งาน โดยในปริญญาานิพนธ์นี้จะเป็นการนำเอาออปติคอลลไฟเบอร์มาใช้ในการวัดอุณหภูมิและการส่งสัญญาณทางแสงโดยใช้เลเซอร์ไดโอดเป็นตัวส่ง และ ไฟโตไดโอด แบบ ฟินไดโอด เป็นตัวรับ เราสามารถอธิบายคร่าวๆ ได้ดังนี้

1) การวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวัดอุณหภูมิ

เราสามารถอธิบายหน้าที่ของแต่ละบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้

- Measurement Temperature จะเป็นส่วนของวงจรที่ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิโดยทั่วไป แล้วจะเปลี่ยนค่าอุณหภูมิที่วัดได้เป็นค่าความต่างศักย์ที่เป็นลิเนียร์กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Voltage To Frequency จะเป็นหน้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนความต่างศักย์ที่ได้มาจากวงจรในส่วนวัดอุณหภูมิ ให้อยู่ในรูปของความถี่ โดยที่การเปลี่ยนแปลงของความถี่จะเป็นลิเนียร์กับค่าความต่างศักย์

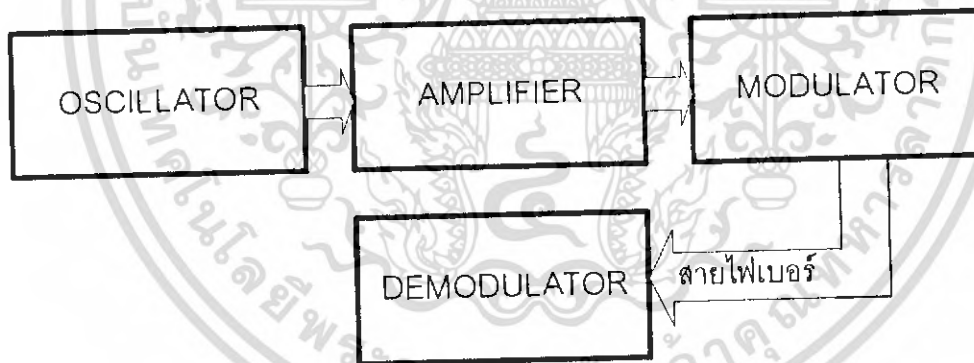
- Light Source จะเป็นหน้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้อยู่ในรูปสัญญาณทางแสงเพื่อจะทำการส่งแสงผ่านเข้าไฟเบอร์ออปติก

- Light Detector จะเป็นหน้าที่ทำหน้าที่รับสัญญาณแสงที่ส่งผ่านไฟเบอร์ออปติกมาจาก Light Source แล้วทำการแปลงสัญญาณแสงให้กลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าเหมือนเดิม

- Counter Circuit จะเป็นหน้าที่ทำหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้าที่ได้มาจาก Light Detector แล้วจะเปลี่ยนสัญญาณให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิตอล เพื่อนำแสดงผลเป็นค่าของอุณหภูมิที่วัดได้จริง

- Display จะเป็นหน้าที่ทำหน้าที่นำค่าอุณหภูมิที่วัดได้ออกมาแสดงผลโดยใช้เป็นตัวเลข 2 หลัก สามารถแสดงผลได้สูงสุดที่ 99.9 °c

2) การส่งสัญญาณทางแสงโดยใช้เลเซอร์ไดโอด



แสดงบล็อกไดอะแกรมของการส่งสัญญาณทางแสง

จากบล็อกไดอะแกรมข้างบน เราสามารถอธิบายการทำงานของแต่ละส่วนได้ดังนี้

- OSCILLATOR จะมีหน้าที่สร้างสัญญาณความถี่ 5 เมกกะเฮิร์ตซ์ขึ้นมา เพื่อนำไปใช้เป็นสัญญาณที่เข้าไปมอดูเลตทางแสง

- AMPLIFIER เนื่องจากสัญญาณที่ผลิตมาจากภาค OSCILLATOR มีขนาดของสัญญาณที่มีขนาดไม่มากนัก เราจะต้องมีภาค Amplifier เข้ามาช่วยขยายสัญญาณ นั้นให้มีขนาดที่มากพอที่เราจะนำสัญญาณนั้นไปมอดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- MODULATE ซึ่งในภาคนี้จะทำการมอดูเลตสัญญาณความถี่ 5 เม็กกะเฮิรตซ์ ที่ได้มาจากภาค Amplifier ให้เป็นสัญญาณทางแสงซึ่งจะมีความเข้มของแสงเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณที่เข้ามา มอดูเลต และในภาคนี้เราสามารถใช้เลเซอร์ไดโอด เป็นตัวส่งแสง

- DEMODULAT ในภาคนี้ก็จะทำการดีเทคสัญญาณที่ส่งมาในรูปของแสงผ่านไฟเบอร์ออปติก โดยในภาคนี้จะประกอบไปด้วยโฟโตไดโอด ซึ่งเป็นแบบ พินไดโอด จะทำหน้าที่ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแสง เป็นกระแส และส่งผ่านไปยังวงจรรขยาย ซึ่งในที่นี้ใช้วงจรรขยาย



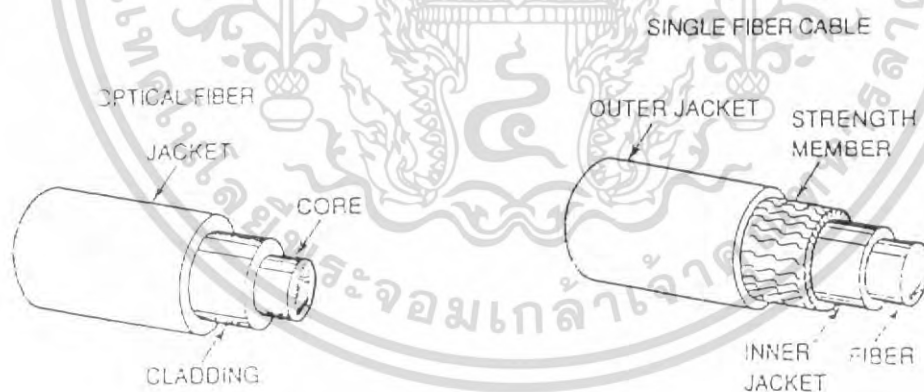
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้น

2.1 ทฤษฎีไฟเบอร์ออปติก

2.1.1 เส้นใยนำแสงเบื้องต้น (Fiber Basic)

เส้นใยนำแสงเป็น circular Dielectric Waveguides ซึ่งเป็นตัวส่งพลังงานแสงและข่าวสาร ลักษณะของเส้นใยแก้วนำแสงจะมีแกนที่เรียกว่า คอร์ (core) อยู่ด้านในซึ่งห่อหุ้มด้วยท่อทรงกระบอกซึ่งเรียกว่า แคลดดิ้ง (cladding) และแคลดดิ้งมีดัชนีการหักเห (Refractive Index) น้อยกว่าคอร์เล็กน้อย (ประมาณ 1 %) เส้นใยแก้วนำแสงที่มีคุณสมบัติดีปกติกจะทำด้วยซิลิกา แล้วถูกโคปด้วย GeO_2 ชั้นนอกสุดจะเป็นส่วนของสารซึ่งป้องกันการกระแทกทำให้เกิด Cross talk ระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงที่ใกล้กันและเกิดการสูญเสียเล็กน้อยลงเมื่อเส้นใยแก้วนำแสงเกิดการโค้งงอขึ้น ในขั้นนี้เราเรียกว่า Jacket เพื่อป้องกันจากสภาพแวดล้อมและทำให้มีความคงทนมากขึ้น เส้นใยแก้วนำแสงจะถูกห่อหุ้มด้วยเคเบิลอีกทีหนึ่ง โดยทั่วไปเคเบิลจะมีแผ่น Polyethylene ประกอบอยู่ภายนอกจึงทำให้เส้นใยแก้วนำแสงมีความแข็งแรงมากขึ้น



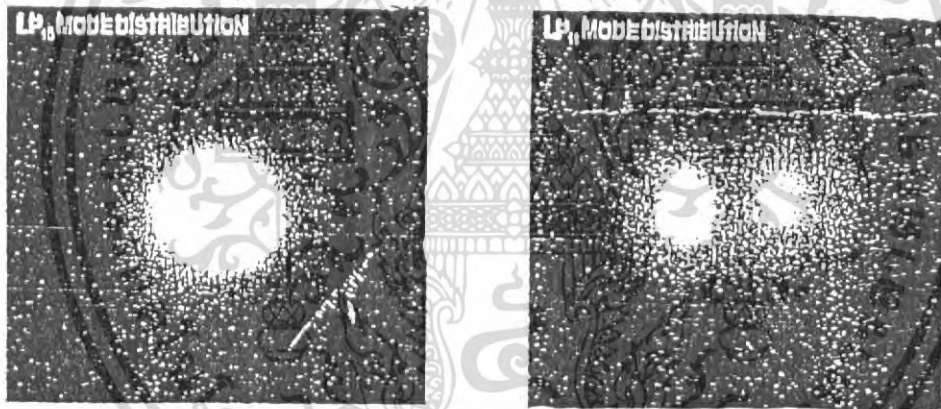
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง

เนื่องจากคอร์มีดัชนีการหักเหมากกว่าแคลดดิ้ง แสงจะถูกจำกัดให้อยู่เฉพาะภายในคอร์ ถ้ามุมที่แสงตกกระทบเป็นไปตามเงื่อนไขของการสะท้อนกลับหมด (Total Internal Refraction) รูปร่างทางเรขาคณิตของเส้นใยแก้วนำแสง และมุมที่ตกกระทบจะเป็นตัวบอกว่า สนามแม่เหล็กไฟฟ้าชุดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหนดที่สามารถผ่าน (Propagate) เส้นใยแก้วนำแสงไปได้ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านไปได้เรียกว่า โหมดของเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber 's Mode) เราแบ่งชนิดของโหมด ได้เป็น 2 ชนิดคือ

- 1) เรดิชันโหมด (Radition Mode)
- 2) โทด์โหมด (Guided Mode)

เรดิชันโหมดจะนำพลังงานออกจากคอร์ แล้วพลังงานจะหายไป (dissipate) ไปอย่างรวดเร็ว ส่วนโทด์โหมดจะถูกจำกัดอยู่เฉพาะในคอร์และจะนำพาพลังงานในรูปของข่าวสารและกำลังไปกับเส้นใยแก้วนำแสง ถ้าคอร์ของเส้นใยแก้วนำแสงมีขนาดใหญ่พอมันจะสามารถที่จะรองรับ โทด์โหมดจะมีความเร็วเป็นของตัวเองและสามารถที่จะแยกออกเป็น 2 คอมโพเนนท์ ซึ่งเป็น orthogonal linear polarized component การกระจายของสนามในเส้นใยแก้วนำแสงสามารถที่จะ จำแนกได้เป็น ผลรวมของโหมดต่าง ๆ โหมดที่มีออร์เดอร์ต่ำที่สุดของเส้นใยแก้วนำแสงที่เป็น Circular Symmetry คือ Lp_{10} และ Lp_{11} ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.2 แสดงผลรวมของการกระจายของสนามของโหมดที่มีออร์เดอร์ต่ำ (Lp_{10} , Lp_{11})

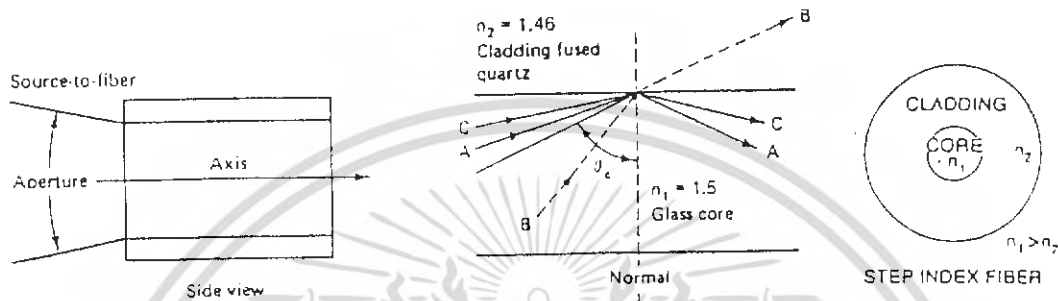
เมื่อเราส่องแสงเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงโหมดไหนจะถูก Excited ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของการ ส่องแสง (Launch Condition) เช่น มุมของรูปกรวยทางเข้า (Input Cone Angle) ขนาดของลำแสง (Spot Size) เป็นต้น การกระจายของพลังงานระหว่างโหมดเกี่ยวข้องกับระยะทางในขณะที่มีการ แลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างกัน พลังงานในโทด์โหมดอาจจะแปลงเป็นเรดิชันโหมดได้โดยการทำให้ เส้นใยแก้วนำแสงงอเพียงเล็กน้อยและบิดมัน

2.1.2 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง (Type of Fiber)

เอกสารนี้เส้นใยแก้วนำแสงจะแบ่งเป็นประเภทได้ตามลักษณะของขนาด (dimension) และรูป การค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่างของดัชนีการหักเห ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

2.1.2.1 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมดแบบสเต็ปอินเด็กโหมด (Multimode Step Index Fiber) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์ระหว่าง 50 - 100 ไมครอน และ ค่าดัชนีการหักเหของ ที่ เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ราคาไม่แพง รับแสงได้ดี ง่ายต่อการใช้งาน เพราะมีคอร์ขนาดใหญ่ แต่มีข้อจำกัดในเรื่องของ แบนด์วิท คือ ไม่สามารถรับข้อมูลที่มีความเร็วสูง ๆ ได้



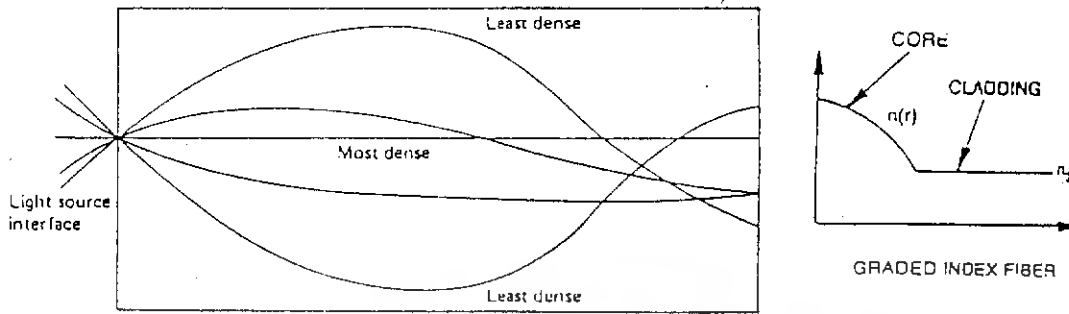
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของเส้นใยแก้วนำแสงชนิด Multimode Step Index Fiber

เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้จะมีมุมในการรับแสงกว้างทำให้แสงสามารถผ่านเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงได้มาก รังสีของแสงที่กระทบรอยต่อของคอร์และแคดดิงที่มีมุมมากกว่ามุมวิกฤต (รังสี A) จะผ่านเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงโดยการสะท้อนกลับป้อนกลับมารอยต่อทั้งสองเป็นรูปซิกแซก รังสีของแสงที่กระทบรอยต่อของคอร์และแคดดิงที่มีมุมน้อยกว่ามุมวิกฤต (รังสี B) จะผ่านเข้าไปในแคดดิงแล้วหายไป จะเห็นได้ว่ามีหลายทางที่แสงจะผ่านเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสง ทำให้รังสีต่าง ๆ เดินทางผ่านเส้นใยแก้วนำแสงที่มีความยาวหนึ่งในเวลาที่ไม่เท่ากัน

2.1.2.2 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมดแบบการัดเดอินเด็ก (Multimode Graded Index fiber) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 50 - 100 ไมครอน และมีค่าดัชนีการหักเหลดลงตามแนวรัศมีจากภายในไปสู่ภายนอก เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ใช้งานง่าย มีแบนด์วิทขนาดปานกลางและมีการสูญเสียน้อย จึงทำให้เป็นที่นิยมใช้กันสำหรับงานด้านการสื่อสาร

จากรูปมีลักษณะของคอร์ที่มีค่าดัชนีการหักเหมีค่ามากที่สุดที่ตรงจุดศูนย์กลาง แล้วค่าดัชนีการหักเหจะลดลงตามแนวรัศมี แสงที่ผ่านเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงโดยการหักเหที่มุมต่าง ๆ กัน ทางเดินของแสงจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง รังสีของแสงด้านนอกสุดจะเดินทางด้วยระยะทางที่ไกลกว่ารังสีของแสงที่อยู่ใกล้กับจุดศูนย์กลางของเส้นใยแก้วนำแสงเนื่องจากค่าดัชนีการหักเหลดลงตามแนวรัศมี และความเร็วแปรผันเป็นส่วนกลับกับดัชนีหักเห ดังนั้น รังสีของแสงที่ห่างจากจุดศูนย์กลางมากจะมีความเร็วมากกว่า ทำให้รังสีทุก ๆ รังสีใช้เวลาในการเดินทางผ่านเส้นใยแก้วนำแสงเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



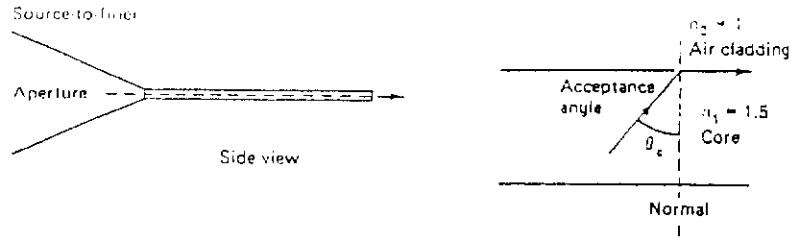
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการหักเหของเส้นใยแก้วนำแสงแบบ Multimode Graded Index

2.1.2.3 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดียวแบบสเต็ปอินเด็ก (Single Mode Step Index Fiber) จะมีขนาดของคอร์เล็กมากจึงทำให้ยอมให้โหมดผ่านไปได้เพียงโหมดเดียว เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ยากต่อการใช้งานต้องมีเครื่องมือพิเศษในการส่องแสงไปในตัวของมัน และยากต่อการตัดและต่อด้วย อย่างไรก็ตาม จะมีแบนด์วิทที่สูงมากและมีการสูญเสียน้อย จึงเหมาะกับการใช้งานในด้านการสื่อสาร นอกจากนี้ ยังมีเส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียวแบบโพลาริเซชัน พรีเซอเวจ (Polarization Preserving) ซึ่งคอร์ของมันจะถูกออกแบบมาเป็นพิเศษ เมื่อแสงผ่านเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงจะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ไบรีฟริเจนซ์ (Birefringence) ในคอร์ของเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งโพลาริเซชันของแสงจะมีรูปแบบที่แน่นอน ปัจจุบันนี้การวิจัยเกี่ยวกับการใช้งานของเส้นใยแก้วนำแสงจะเกี่ยวข้องกับเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดียวเป็นส่วนมาก

จากรูปเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ก็คือมีคอร์เป็นแก้ว ($n_1 = 1.5$) และมีแคดดิงเป็นอากาศ ($n_2 = 1$) ความแตกต่างของดัชนีหักเหของตัวกลางทั้งสองมีมากจะทำให้มุมวิกฤต (ประมาณ 42 องศา) มีค่าน้อยที่รอยต่อระหว่างแก้วและอากาศมีผลทำให้เส้นใยแก้วนำแสงมีมุมรับแสงเป็นมุมกว้าง ดังนั้น ทำให้ง่ายต่อการส่องแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสง อย่างไรก็ตาม เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ง่ายต่อการแตกหักจึงมีข้อจำกัดในการใช้

จากรูป 2) เส้นใยแก้วนำแสงมีคอร์เป็นแก้วและมีแคดดิงที่ไม่ใช่อากาศ ค่าดัชนีหักเหของแคดดิงมีค่าน้อยกว่าค่าดัชนีหักเหของคอร์เล็กน้อยและมีค่าเท่ากันตลอด เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้มีความแข็งแรงกว่าชนิดที่ใช้อากาศเป็นแคดดิง แต่มุมวิกฤตมีค่ามากกว่า (ประมาณ 77 องศา) มีผลทำให้เส้นใยแก้วนำแสงมีมุมรับแสงแคบลงทำให้ยากต่อการส่องแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเข้าไป

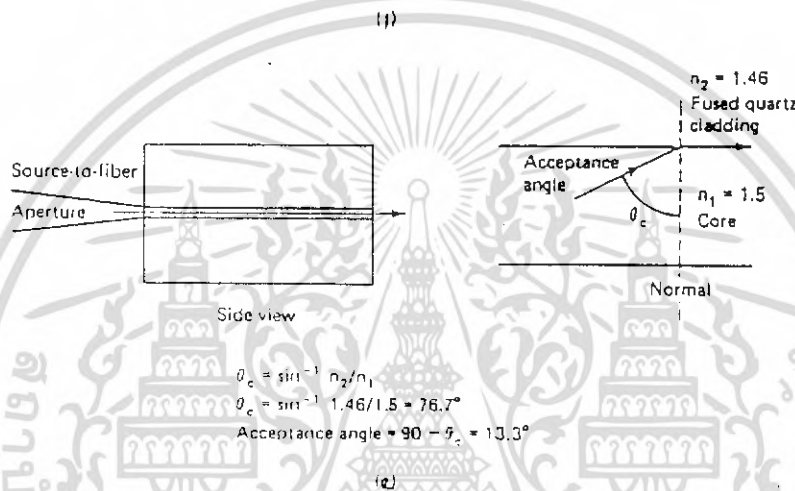
เส้นใยแก้วนำแสงที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$\theta_c = \sin^{-1} n_2/n_1$$

$$\theta_c = \sin^{-1} 1/1.5 = 41.3^\circ$$

$$\text{Acceptance angle} = 90 - \theta_c = 48.2^\circ$$



$$\theta_c = \sin^{-1} n_2/n_1$$

$$\theta_c = \sin^{-1} 1.46/1.5 = 76.7^\circ$$

$$\text{Acceptance angle} = 90 - \theta_c = 13.3^\circ$$

รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของ SingleMode Step Index Fiber 1) มีอากาศเป็นแคดดิง
2) มีแก้วเป็นแคดดิง

2.1.3 การเกิดการสูญเสียในเส้นใยแก้วนำแสง (Attenuation in Silica Optical Fibers)

ถ้ากำลังของแสงเท่ากับ P_0 ถูกส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงที่ยาว L กิโลเมตร กำลังของแสงที่ออกจากเส้นใยแก้วนำแสงจะมีค่าเท่ากับ P (มีค่าน้อยกว่า P_0) โดยทั่วไปแล้วการสูญเสียกำลังของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงจะถูกกำหนดเป็นค่า Attenuation Coefficient (α) ซึ่งจะวัดเป็นหน่วย dB/km โดยที่

$$\alpha L = 10 \log P_0/P$$

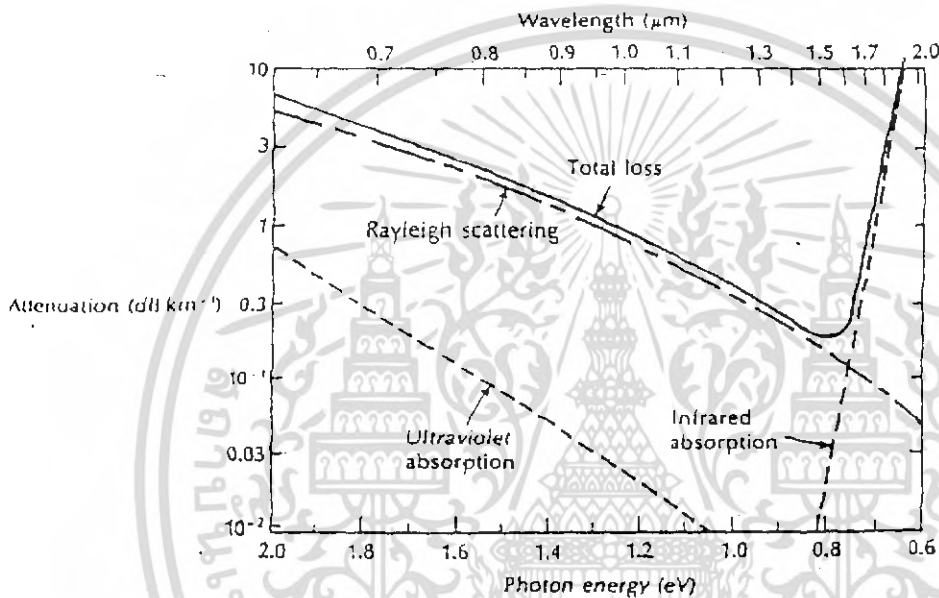
การสูญเสียกำลังของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงมีผลมาจาก

- การดูดกลืนของแสงของวัสดุในเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งได้แก่ คอร์หรือแคดดิง
- การสะท้อนของรังสีของแสง
- การโค้งงอของสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงนามในชื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.1 การดูดกลืนแสงของวัสดุ

การดูดกลืนในแก้วซิลิกาที่บริสุทธิ์ แก้วซิลิกาที่บริสุทธิ์จะดูดกลืนแสงน้อยมากในช่วงความยาวคลื่น 0.8 ไมโครเมตร ถึง 1.7 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นอีกเหตุผลหนึ่งซึ่งทำให้ความยาวคลื่นดังกล่าวถูกเลือกเพื่อใช้ในงานทางด้านการสื่อสาร การดูดกลืนแบบนี้จะมีค่ามากบริเวณที่มีความยาวคลื่นในช่วงปีกของ UV และ IR แบนด์



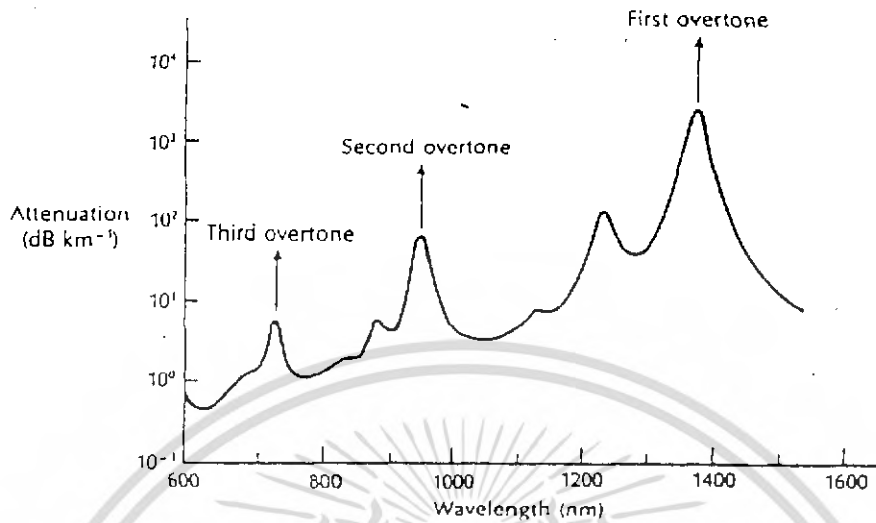
รูปที่ 2.6 แสดงการสูญเสียในซิลิกาที่บริสุทธิ์ ในย่าน UV และ IR

การดูดกลืนของแก้วซิลิกาที่มีสารอื่นเจือปน แก้วซิลิกาที่มีสารอื่นเจือปนอยู่จะทำให้เกิดการดูดกลืนของแสงขึ้น ตัวอย่างเช่น มีสารเจือปนอยู่ในส่วนหนึ่งในล้านส่วนจะทำให้เกิดการดูดกลืนของแสงที่มีความสำคัญ

ในปัจจุบันนี้เทคนิคการผลิตสมัยใหม่สามารถลดอิออนของสารเจือจนถึงระดับที่ไม่มีผลต่อการดูดกลืน อิออนดูดกลืนตัวขึ้นที่ไม่สามารถจะกำจัดได้คือ ไฮดรอกซิล (Hydroxyl, OH)

จุดยอดของการสั่นพื้นฐานของอิออน OH จะเกิดที่ค่าความยาวคลื่นประมาณ 2.72 ไมโครเมตรและพื้นฐาน 4.2 ไมโครเมตรซึ่งการสั่นพื้นฐานนี้จะทำให้เกิดโอเวอร์โทนที่ฮาร์โมนิคต่างๆ ดังนี้ 1.38 ไมโครเมตร 0.95 ไมโครเมตร และ 0.72 ไมโครเมตร และเมื่อรวมระหว่างการสั่นพื้นฐานและโอเวอร์โทนจะได้จุดยอดที่ 1.24 ไมโครเมตร 1.13 ไมโครเมตร และ 0.88 ไมโครเมตร

ไม่ทราบแน่ชัดว่าสารที่ส่งผ่านในใยแก้วนำแสงที่ผลิตขึ้นเพื่อทำการกักเก็บแสงนั้น เมื่อผู้ผลิตเห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ทราบแน่ชัด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนของไฮดรอกซิลในแก้วซิลิกา

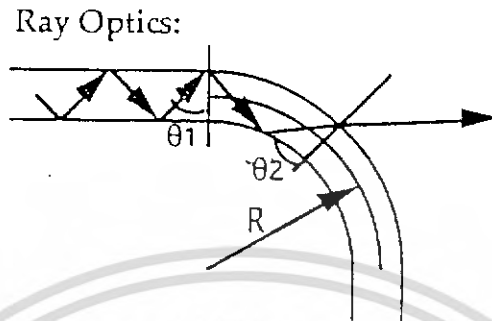
การสะท้อนเรย์เลย์ จะเป็นการดูดกลืนของเส้นใยแก้วนำแสงที่มีความยาวคลื่นสั้น ซึ่งขึ้นอยู่กับ การสะท้อนจากค่าดัชนีหักเหที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนชนิดเรย์เลย์ (α_R) จะเท่ากับ $1/\lambda^4$ ค่าสูญเสียของกำลังแสงที่เกิดจากการสะท้อนเรย์เลย์ จะแสดงในรูปที่ 2.6

2.1.3.2 การสูญเสียจากการโค้งงอ

จะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ การโค้งงอชนิดแมโครสโคปิก (Macroscopic) ถ้ารัศมีของส่วนโค้งมากกว่า 10 มิลลิเมตร และ การโค้งงอชนิดไมโครเบนด์ (Microbends) ถ้ารัศมีของส่วนโค้งน้อยกว่า 10 มิลลิเมตรมาก ๆ การโค้งงอชนิดแมโครสโคปิกจะเกิดเมื่อเส้นใยแก้วนำแสงม้วนอยู่รอบหลอดม้วนหรือถูกโค้งงอตามมุมต่าง ๆ การเกิดการสูญเสียเนื่องจากการโค้งงอแบบนี้ เพราะว่ารังสีของแสงที่เคลื่อนที่ในเส้นใยแก้วนำแสงตรงบริเวณที่โค้งงอจะทำให้มุมตกกระทบตรงรอยต่อระหว่างคอร์และแคดดิง มีค่าน้อยกว่ามุมวิกฤตจึงทำให้อำนาจของแสงกระจายออกไปนอกเส้นใยแก้วนำแสง ดังแสดงในรูปที่ 2.8

การสูญเสียกำลังของแสงจะมีค่าต่ำสำหรับแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำและถ้าค่า $(n_1 - n_2)$ มีค่ามากทำให้การสูญเสียมีค่าสูงเส้นใยแก้วนำแสงชนิดซิงเกิลโหมดที่ทำงานที่ความยาวคลื่นยาวๆ จะไวต่อการโค้งงอและเส้นใยแก้วนำแสงที่ถูกพันอยู่รอบแกนที่รัศมี 10 เซนติเมตร การสูญเสียที่เกิดจากการโค้งงอสามารถที่จะตัดทิ้งไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงการสูญเสียจากการโค้งงอ

การโค้งงอไมโครเบนด์ เกิดจากความไม่สมบูรณ์ของโครงสร้างทางเรขาคณิตของเส้นใยแก้วนำแสง เช่น รัศมีของคอร์ จุดต่อระหว่างคอร์และแคดดิงเจอร์เป็นต้น ซึ่งเป็นผลมาจากขบวนการผลิต การที่เส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยแก้วนำแสงไม่เท่ากันตลอดทั้งเส้นทำให้มีแสงบางส่วนกระจายออกมาจากเส้นใยแก้วนำแสงได้

2.1.4 ค่าลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสง

$$\text{ค่าลดทอนทั้งหมด} = \alpha = \alpha_a + \alpha_b + \alpha_c$$

จากรูปที่ 2.9 จะแสดงการลดทอนทั้งหมดที่วัดได้สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงชนิดซิงเกิ้ลโหมด และการสูญเสียต่ำ จะเห็นได้ว่าการลดทอนต่ำสุด จะอยู่ที่ $\lambda = 1.55$ ไมโครเมตร ซึ่งมีค่าประมาณ 0.2 dB/km นี้เป็นเหตุผลหนึ่งที่ เคเบิลใยแก้วนำแสงได้ทะเลใช้ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

ค่าลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสงชนิดอื่น ๆ

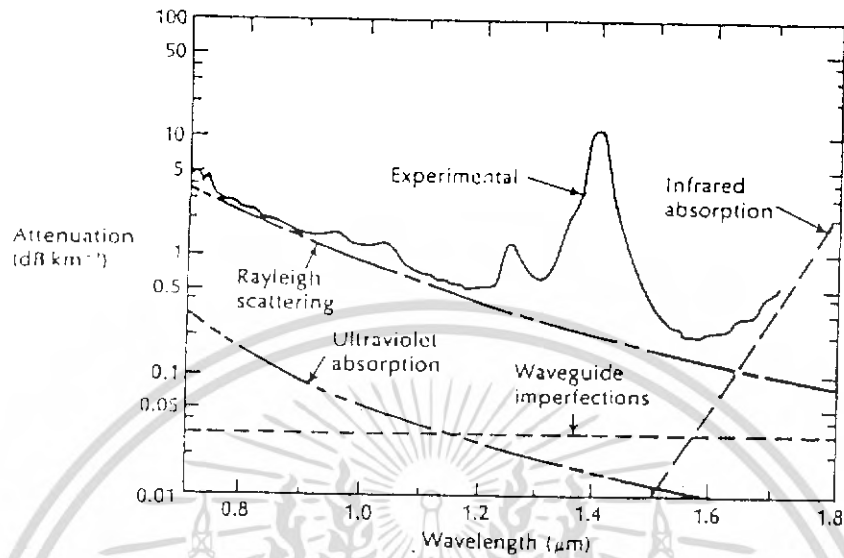
- PCS (Plastic Clad Silica) แบบนี้การสูญเสียจะมีค่าสูงมากเป็นผลเนื่องมาจากการดูดกลืนของแคดดิง (ดูรูปที่ 2.10)

- Plastic Fiber แบบนี้มีการสูญเสียมากที่สุด (ดูรูปที่ 2.9)

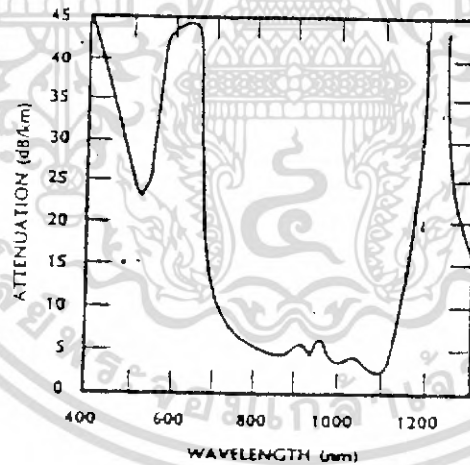
- Fluoride Glass Fiber แบบนี้การสูญเสียในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรด จะมีค่าต่ำกว่าเส้นใยแก้วนำแสงชนิดอื่น ๆ จึงทำให้สามารถนำมาใช้ช่วงความยาวคลื่นมากกว่า 1.7 ไมโครเมตร

ขณะเดียวกันก็สามารถลดการสะท้อนเรย์เลย์ที่ความยาวคลื่นยาว ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงการลดทอนรวมทั้งหมด



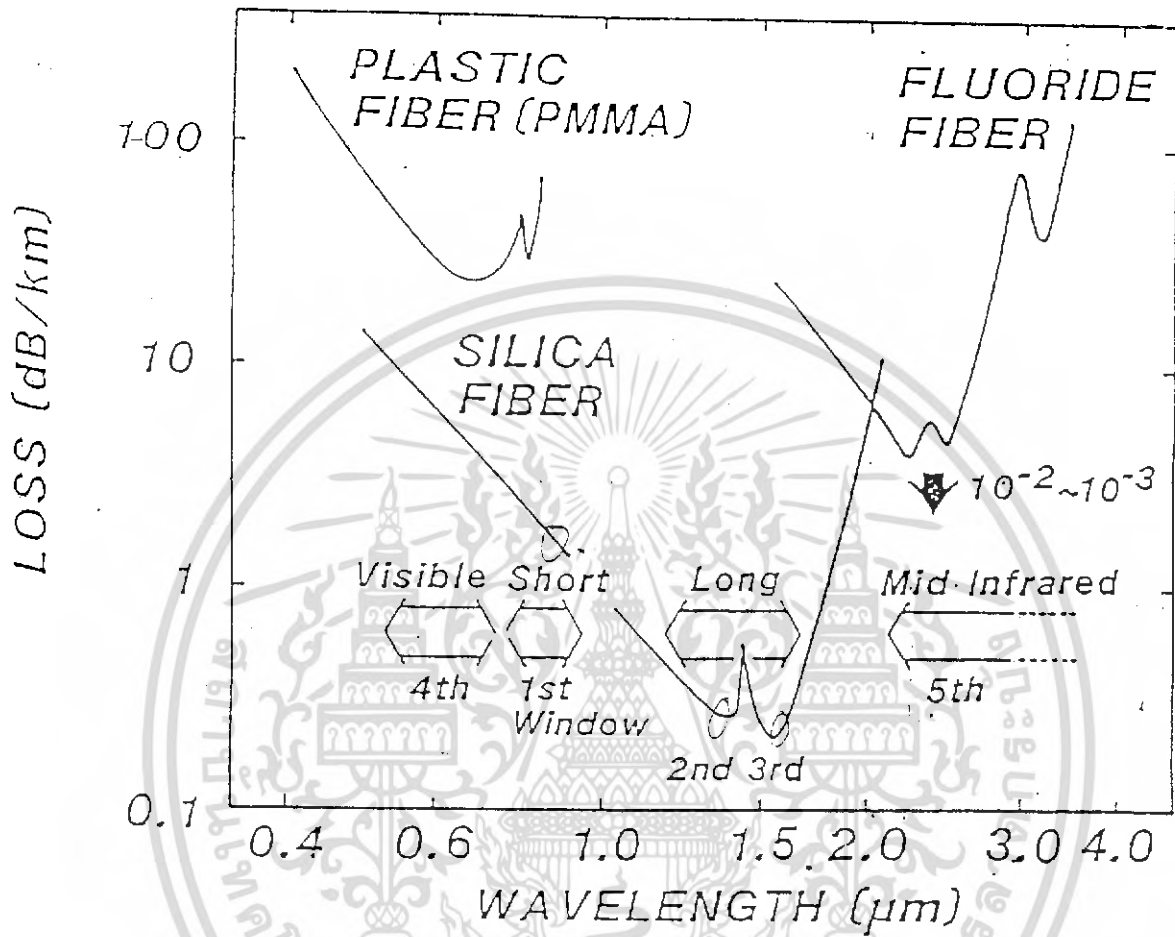
รูปที่ 2.10 กราฟแสดงค่าลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสงชนิดอื่น ๆ

สเปกตรัมการลดทอนของเส้นใยแก้วนำแสง (Spectral Attenuation of Optical Fiber)

ช่วงความยาวคลื่นที่ค่าการสูญเสียต่ำจะมีอยู่ 3 ช่วง คือ

- ช่วง 850 นาโนเมตร ใช้ในงาน LAN และตัวตรวจวัด
- ช่วง 1300 นาโนเมตร ใช้ในงาน High Speed LAN และ การสื่อสารทางโทรคมนาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ การเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



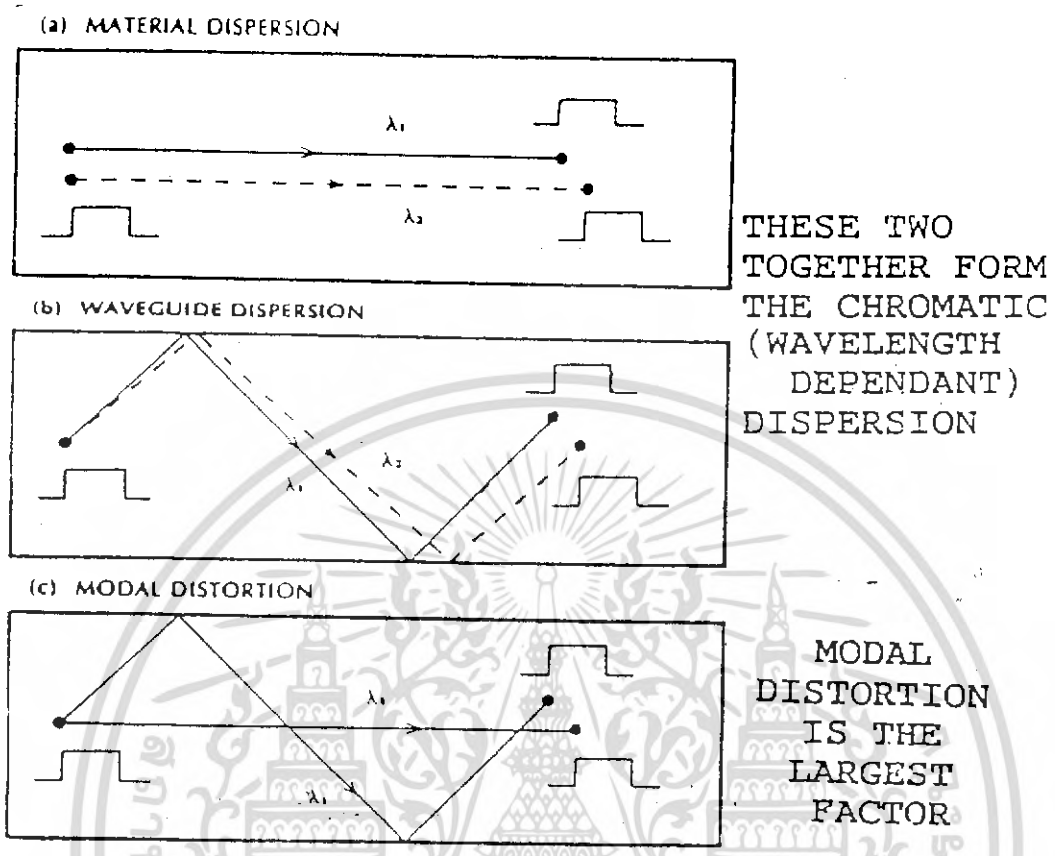
รูปที่ 2.11 แสดงสเปกตรัมการลดทอนของเส้นใยแก้วนำแสง

2.1.5 การเกิด Dispersion ในเส้นใยแก้วนำแสง

ขณะที่พัลส์เดินทางผ่านไปตามเส้นใยแก้วนำแสง พัลส์แต่ละตัวจะขยายกว้างออกและทับพัลส์ที่อยู่ใกล้เคียงทำให้เกิดการผิดพลาดที่ขาออกของเครื่องรับ การเกิดปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิด Dispersion กลไกที่ทำให้เกิด Dispersion มี 3 ชนิด คือ

- 1) Material Dispersion
- 2) Waveguide Dispersion
- 3) Modal Dispersion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 12 แสดงกลไกที่ทำให้เกิด Dispersion

1) Material Dispersion

การกระจายแบบนี้เกิดขึ้นเนื่องจากค่าดัชนีหักเหของซิลิกา จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามความยาวคลื่นของแสงที่เดินทางผ่าน จึงทำให้ความเร็วของแสงในซิลิกาจะเปลี่ยนแปลงไปตามความยาวคลื่น ในขณะที่เดียวกันแสงที่มาจากแหล่งกำเนิดแสง เช่น LED หรือ Laser Diode เป็นต้น จะไม่มีความยาวคลื่นเพียงความยาวคลื่นเดียว แสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะมีความกว้างของสเปกตรัมดังรูปที่ 2.13

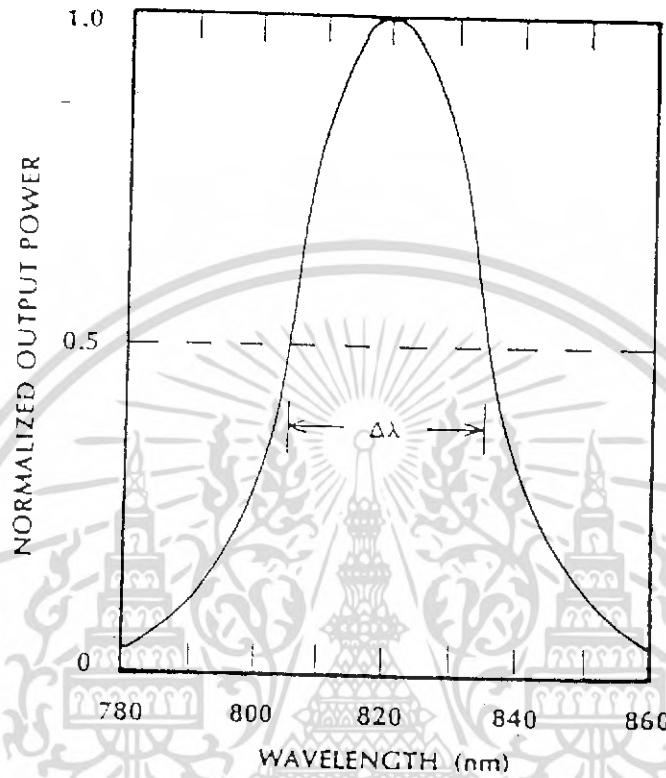
2) Waveguide Dispersion

การกระจายชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นเช่นเดียวกับกับแบบ Material Dispersion

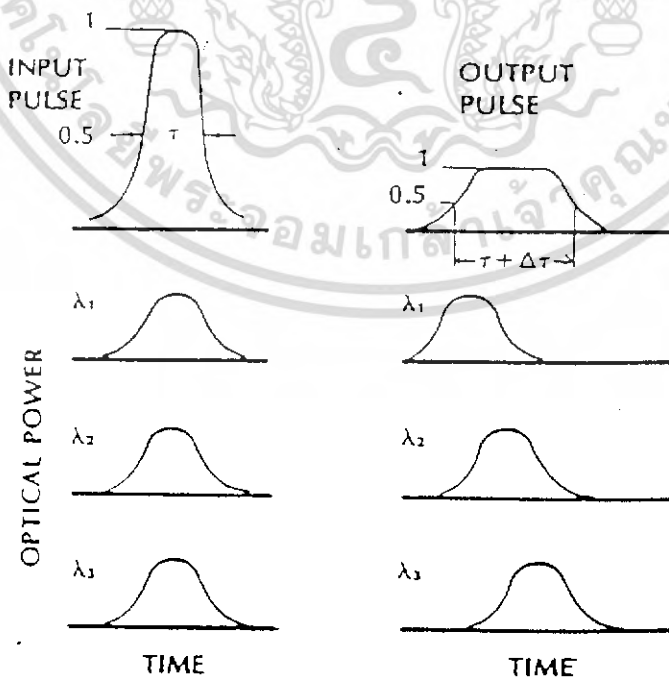
3) Modal Dispersion

ในกรณีแหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นเพียงความยาวคลื่นเดียว ซึ่งจะทำให้ค่าของ d/λ คงที่ แต่โหมดที่เคลื่อนที่ในเส้นใยแก้วนำแสงจะมีอยู่หลายโหมด ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางไปไม่เท่ากันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังปลายทางจะไม่เท่ากันในแต่ละโหมดจึงทำให้ความกว้างของพัลส์ขยายออกเช่นกัน เราจะเห็นได้ว่าการกระจายแบบนี้จะเกิดขึ้นมากใน Multimode Fiber แต่ใน Singlemode Fiber จะไม่มีการกระจายแบบนี้เนื่องจากใน Singlemode Fiber นั้นจะมีเพียงโหมดเดียวที่เคลื่อนที่ผ่านเส้นใยแก้วนำแสง



รูปที่ 2.13 แสดงสเปกตรัมของแสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสง



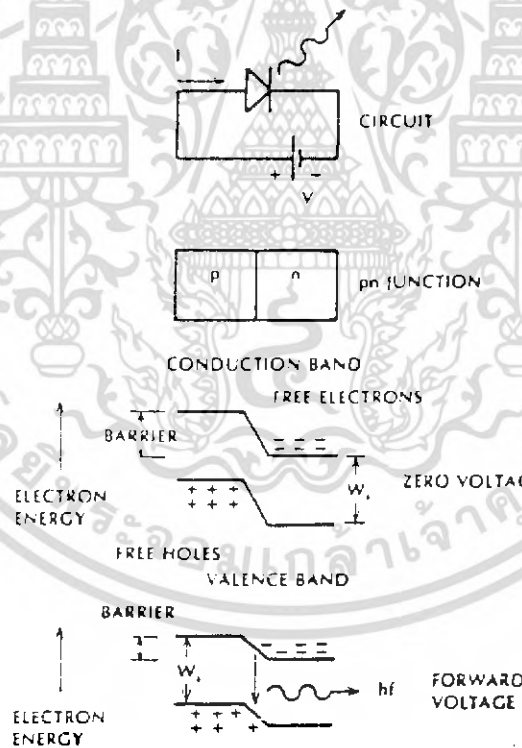
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 2.14 แสดงพัลส์ที่เกิดจากความยาวคลื่นต่างกันนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)

แหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้กันมากที่สุดในระบบเส้นใยนำแสงได้แก่ Laser diodes และ Light Emitting Diodes (LED) ด้วยคุณสมบัติทางด้านขนาดที่เหมาะสมกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กของเส้นใยนำแสงและความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ต่ำ

2.2.1 Light Emitting Diodes (LEDs)

LED เป็นสารกึ่งตัวนำแบบรอยต่อ pn แถบพลังงานด้านบนเรียกว่า conduction band ในระดับของพลังงานด้านล่างเรียกว่า valence band ผลต่างของระดับแถบพลังงานทั้งสองมีค่าเท่ากับ w_g โสไลมีประจุบวกซึ่งเกิดจากอิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมที่เป็นกลางปล่อยให้อะตอมมีประจุบวก อิเล็กตรอนอิสระสามารถรวมตัวกับโฮลแล้วกลับเป็นอะตอมที่มีสภาวะเป็นกลางอีกครั้งหนึ่ง ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมา



รูปที่ 2.15 แสดงถึงรอยต่อ สัญลักษณ์ทางไฟฟ้า และแถบพลังงานที่เกี่ยวข้องกับไดโอด

เมื่อมีการเจือสารกึ่งตัวนำชนิด n และ p เข้าด้วยกันจะมีพลังงานขวางกั้น (energy barrier) เกิดขึ้น อิเล็กตรอนอิสระใน n region มีพลังงานไม่เพียงพอที่จะข้ามแนวขวางกั้น (barrier) และเคลื่อนที่ไปยัง p region ในลักษณะเดียวกันกับโฮลที่ขาดพลังงานเพียงพอที่จะข้ามแนวขวางกั้น พลังงานราคาไม่ต่ำกว่า w_g ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแรงดันไฟฟ้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศักย์ของโฮลซึ่งตรงกันข้ามกับอิเล็กตรอน เพิ่มขึ้นในทิศทางที่ลง ดังแสดงในรูป ถ้าป้อนแรงดัน 0 โวลท์ให้กับไดโอด จะไม่มีประจุใด ๆ เคลื่อนที่ การเพิ่มแรงดันไบแอสไปหน้า (forward voltage) ทำให้แนวขวางกันลดลง เพิ่มพลังงานศักย์ทางด้าน n และลดพลังงานศักย์ทางด้าน p ทำให้อิเล็กตรอนและโฮลอิสระมีพลังงานเพียงพอที่จะเคลื่อนที่ผ่านเข้าสู่บริเวณรอยต่อ (junction) เมื่ออิเล็กตรอนพบกับอิเล็กตรอนอิสระสามารถเข้าไปอยู่ใน valence band และรวมตัวกับโฮล พลังงานที่สูงสูญเสียไประหว่างการเปลี่ยนระดับพลังงานถูกแปลงเป็นพลังงานแสงในรูปของโฟตอน (photon) หรือ ให้เข้าใจง่ายขึ้นแสงจาก LED เกิดจากการรวมตัวของโฮลและอิเล็กตรอนบริเวณรอยต่อ อันเนื่องมาจากแรงดันไบแอสไปหน้า

จากสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานโฟตอนกับความถี่ $w = hf$ จะได้ความยาวคลื่นของแสงที่ส่องสว่างได้

$$\lambda = \frac{hc}{w_g} \quad (1)$$

โดยที่พลังงานช่องว่าง (gap energy) มีหน่วยเป็นจูล (joules) และความยาวคลื่นมีหน่วยเป็นเมตร ถ้าเขียนพลังงานช่องว่างในรูป electron volts และความยาวคลื่นในหน่วยไมโครเมตร สมการที่ (1) เปลี่ยนเป็น

$$\lambda = \frac{1.24}{w_g} \quad (2)$$

วัสดุและส่วนผสมที่ต่างกันทำให้แถบพลังงานช่องว่างแตกต่างกันด้วย วัสดุที่ใช้ทำ emitter ความยาวคลื่นและแถบพลังงานช่องว่างโดยประมาณ แสดงในตารางที่ 1 ช่วงความยาวคลื่นที่ใช้งานสามารถเลือกได้โดยการเปลี่ยนอัตราส่วนขององค์ประกอบของอะตอมใน AlGaAs InGaAs และ InGaAsP การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้แถบพลังงานช่องว่างและความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลง

Material	Wavelength (μm)	Bandgap Energy eV
GaAs	0.9	1.4
AlGaAs	0.8 - 0.9	1.4 - 1.55
InGaAs	1.0 - 1.3	0.95 - 1.24
InGaAsP	0.9 - 1.7	0.73 - 1.35

เอกสารตารางที่ 2.1 แสดงวัสดุที่ใช้ทำ Emitter ความยาวคลื่นและแถบพลังงานช่องว่างโดยประมาณ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

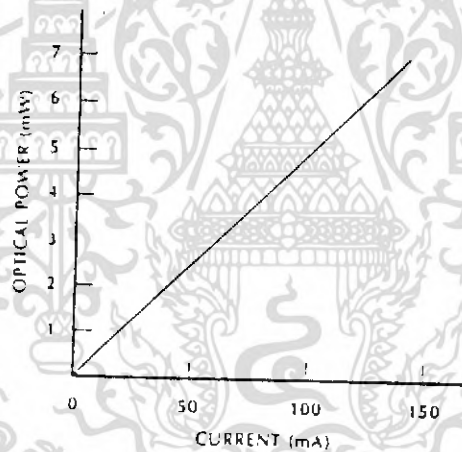
คุณลักษณะการทำงานของ Light Emitting Diodes

เพาเวอร์ของแสงจาก LED เป็นอัตราส่วนเชิงเส้นกับค่ากระแส ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างเพาเวอร์และกระแสไฟฟ้าอธิบายได้ดังนี้ กระแส I ปลอยประจุต่อวินาที จำนวนประจุต่อวินาทีเป็น $N = I/e$ โดยที่ e คือ ขนาดของประจุบนอิเล็กตรอนแต่ละตัว ถ้า n คือ อัตราส่วนประจุเหล่านี้ที่มีการรวมตัวและให้โฟตอนออกมา ค่าเพาเวอร์แสงจะเป็น

$$P = \eta N w_g = \frac{\eta w_g}{e} I \quad (3)$$

แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างเพาเวอร์แสงกับค่ากระแสเป็นเชิงเส้น ถ้าเขียนให้อยู่ในรูปอิเล็กตรอนโวลท์จะได้สมการที่เข้าใจได้ง่ายขึ้น

$$P = \eta' w_g I \quad (4)$$

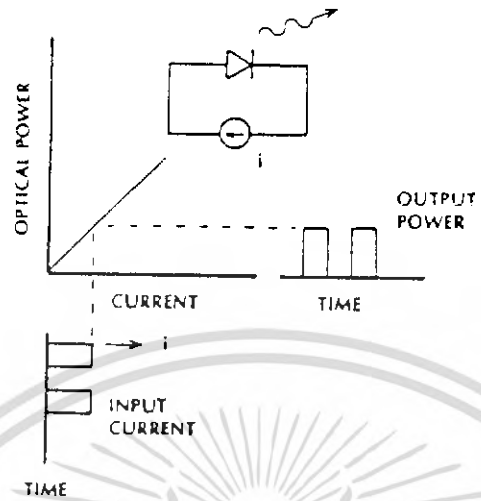


รูปที่ 2.16 แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างเพาเวอร์และกระแสไฟฟ้า

ค่าเพาเวอร์ที่แสดงในรูปที่ 2.16 จะไม่ปรากฏจริงภายในเส้นใยนำแสง เนื่องจากขีดจำกัดทางด้าน numerical aperture ของเส้นใยนำแสงจะเป็นตัวลดทอนค่าเพาเวอร์ที่เชื่อมร่วมเข้ามา การทำงานปกติจะไบแอสให้กระแสไหลผ่าน LED อยู่ในช่วงประมาณ 50 - 100 mA และต้องการแรงดัน 1.2 - 1.8 V

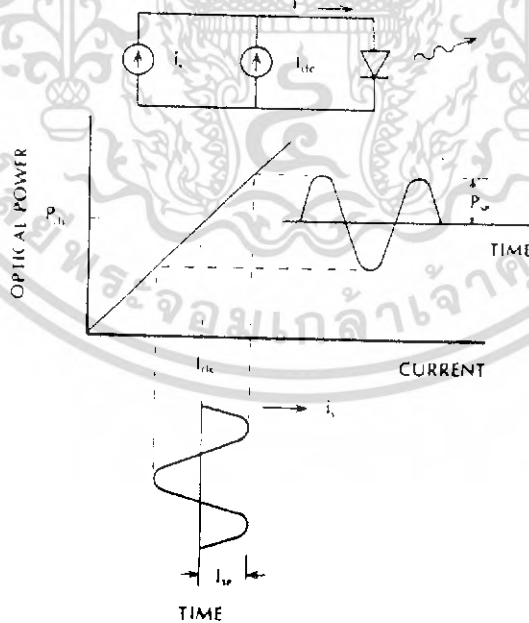
Digital modulation ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.17 ไดโอดถูกมอดูเลตด้วยแหล่งกำเนิดกระแสซึ่งทำให้ LED ติดหรือดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดง Digital modulation ของ LED

Analog modulation ได้แสดงดังรูป 2.18 จะต้องการแรงดันดีซี เพื่อให้เกิดกระแสไหลไปหน้า (forward direction) ตลอดเวลา



รูปที่ 2.18 แสดง Analog modulation ของ LED

ถ้าปราศจากกระแสดีซี การแกว่งของสัญญาณในช่วงลบจะเป็นการไบแอสย้อนกลับไดโอด ทำให้มันดับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสรวมทั้งหมด

$$I = I_{dc} + I_{sp} \sin \omega t \quad (5)$$

และสอดคล้องกับ เพาเวอร์ของแสง

$$P = P_{dc} + P_{sp} \sin \omega t \quad (6)$$

P_{sp} = peak signal power เรียกว่า ac power

จะสังเกตเห็นว่า รูปร่างของกระแสอินพุทจะเหมือนกับรูปคลื่นเพาเวอร์ของแสงเอาท์พุท อันเนื่องมาจากความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นทำให้เกิดการเพี้ยนของสัญญาณ

อัตราการรับ-ส่งข้อมูล ถูกจำกัดด้วยการแพร่กระจายแสงผ่านเส้นใยนำแสง ความสามารถของระบบอาจถูกจำกัดด้วยแหล่งจ่ายได้เช่นเดียวกัน ที่ความถี่ต่ำ $P_{sp} = a_1 I_{sp}$ โดยที่ $a_1 = \Delta P / \Delta I$ (ความชันของเส้นกราฟในรูป 2.18) ที่ความถี่สูงขึ้น รอยต่อและความจุไฟฟ้าที่มีอยู่ล้นตรง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกระแสที่รวดเร็ว เป็นการลดค่าของเพาเวอร์เอซี อย่างไรก็ตามขีดจำกัดของการมอดูเลตที่ความถี่สูง คือ carrier lifetime τ (เวลาเฉลี่ยสำหรับการปล่อยประจุไปรวมกัน) กระแสมอดูเลตต้องเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ เมื่อเทียบกับ τ

ค่า carrier lifetime จำกัดการตอบสนองของ LED ต่อสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งมีความถี่ ω เรเดียนตังนี้คือ

$$P_{sp} = \frac{a_1 I_{sp}}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}} \quad (7)$$

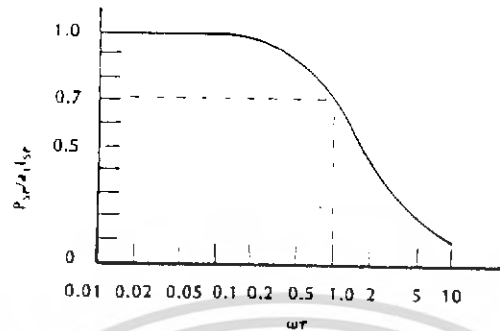
สมการที่ (7) แสดงภาพได้ดังรูปที่ 2.19 ที่ความถี่ $\omega = 1/\tau$ เพาเวอร์เอซีถูกลดลงด้วยตัวคูณ 0.707 ในส่วนของภาครับกระแสที่เกิดจากตัวตรวจจับ เป็นอัตราส่วนกับเพาเวอร์ของแสง ดังนั้นเมื่อเพาเวอร์แสงลดลงด้วย 0.707 กระแสจากตัวตรวจจับก็จะถูกทำให้ลดลงในอัตราส่วนเท่ากันและทำให้เพาเวอร์ที่ภาครับจะลดลงด้วย $0.707^2 = 0.5$ ซึ่งก็คือ -3 dB ด้วยเหตุนี้จึงเรียก $1/\tau$ ว่าเป็น 3-dB modulation bandwidth ของ LED หรือ 3-dB electrical bandwidth ในหน่วยของ hertz 3-dB bandwidth คือ

$$f_{3-dB} = \frac{1}{2\pi\tau} \quad (8)$$

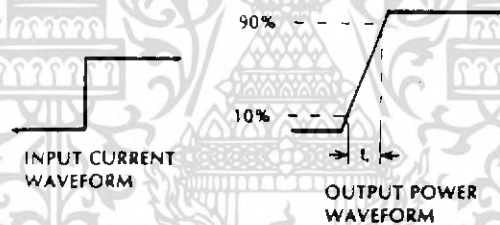
Modulation bandwidth จนถึง 300 MHz สามารถใช้ได้กับ surface emitter แต่โดยส่วนใหญ่ LED ที่ใช้มักมีแบนด์วิดท์แคบกว่าค่าปกติอยู่ในช่วง 1 - 100 MHz

rise time (t_r) ของแหล่งกำเนิด เป็นช่วงเวลาที่เขาต์พุตเปลี่ยนจาก 10 % ถึง 90 % ของค่าสุดท้ายของสัญญาณ เมื่ออินพุตเป็นกระแสแบบ step ปกติ ค่า rise time ของ LED อยู่ในช่วง 2 - 3 ns จนถึง 250 ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แสดง Variation of ac optical power with modulation frequency



รูปที่ 2.20 แสดง rise time ของแหล่งกำเนิดแสง

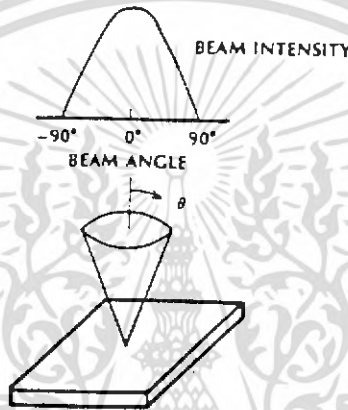
ค่า rise time และ 3-dB electrical bandwidth มีความสัมพันธ์กันตามสมการ

$$f_{3-dB} = \frac{0.35}{t_r} \quad (9)$$

ค่าปกติ rise time ของ LED อยู่ในช่วง 2 - 3 ns จนถึง 250 ns

เป็นที่ทราบกันดีว่า สเปกตรัมของแสงของแหล่งกำเนิด มีผลโดยตรงกับวัสดุที่ใช้ทำ และการกระจายตามความถี่ในท่อนำคลื่น (waveguide dispersion) การกระจายพัลส์เนื่องจากสาเหตุเหล่านี้เพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นกับความกว้างของ source LED ที่ทำงานในช่วงความยาวคลื่น 0.8 - 0.9 μm โดยทั่วไปจะมีความกว้างสเปกตรัม 20 - 50 nm และ LED ที่ส่งความยาวคลื่นที่มากขึ้นก็จะมี ความกว้างสเปกตรัมในช่วง 50 - 100 nm ความกว้างของสเปกตรัมที่เพิ่มขึ้นของ emitter ที่มีความยาวคลื่นมากขึ้นสามารถที่จะชดเชยโดยลดการกระจายตามความถี่ของวัสดุ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพการเชื่อมร่วมแสงขึ้นอยู่กับรูปแบบการแพร่กระจายของ emitter ใน emitter ชนิด surface มีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เรียกว่า รูปแบบแลมเบิร์ต (Lambertian pattern) ซึ่งในรูปแบบนี้ ถ้าเพาเวอร์ลดลงตาม $\cos\theta$ แสงจะมีความสว่างเหมือนกันที่บริเวณผิว แต่พื้นที่ที่แสงไปถึงความสว่างจะลดลงตาม $\cos\theta$ เมื่อมุมมองเปลี่ยน ทำให้เกิดการกระจายเพาเวอร์ของแลมเบิร์ต เพาเวอร์ลดลงร้อยละ 50 ของค่าสูงสุด เมื่อ $\theta = 60$ องศา และมี half power beamwidth ที่ 120 องศา สำหรับ Lambertian emitter



รูปที่ 2.21 แสดง รูปแบบการแพร่กระจายแบบ แลมเบิร์ต ของ surface-emitting LED เมื่อค่า half power width เท่ากับ 120 องศา

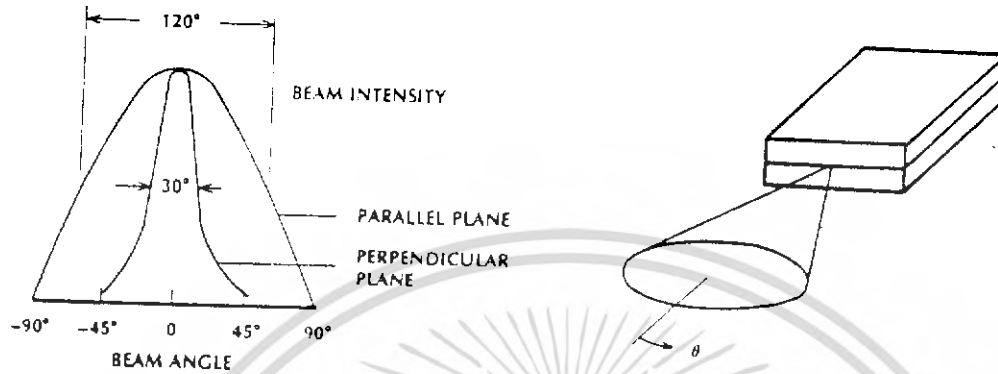
รังสีตกกระทบบนเส้นใยนำแสงที่นอกเหนือมุมที่ยอมรับได้จะถูกเชื่อมร่วม เนื่องจากมุมที่ยอมรับได้สำหรับเส้นใยนำแสงที่มี $NA = 0.24$ เกิดขึ้นเพียง 14 องศา (28 องศาที่ปลายกรวย) เพาเวอร์จำนวนมากที่กำเนิดจากผิวของ emitter จะสูญเสียไป

Edge emitter มีการรวมแสงที่ดีกว่า surface emitter ทำให้การเชื่อมร่วมมีประสิทธิภาพดีขึ้น รูปแบบแสดงในรูปที่ 2.22 ถ้าแสงเป็น Lambertian ในระนาบที่ขนานกับรอยต่อ แต่เปลี่ยนแปลงช้ามากกว่าในระนาบที่ตั้งฉากกับรอยต่อ

LED มีคุณสมบัติที่ไม่เสถียร (reliable) มีอายุการใช้งานยาวนาน ถ้าทำงานภายในขอบเขตของเพาเวอร์ แรงดัน กระแส และอุณหภูมิที่จำกัด ตามข้อกำหนดโดยผู้ผลิต

เมื่ออายุการใช้งานมากขึ้น เพาเวอร์เอาต์พุตจาก LED จะลดน้อยลง lifetime เป็นช่วงเวลาที่เพาเวอร์ลดลงเหลืออยู่ครึ่งหนึ่งของค่าเริ่มต้น lifetime ของ LED มีค่าประมาณ 10^5 ชั่วโมง (ประมาณ 11 ปี) ช่วงอุณหภูมิการใช้งาน - 65 - 125 ° C ถึงแม้ว่าเพาเวอร์เอาต์พุตลดลงขณะที่อุณหภูมิมีบริเวณรอยต่อเพิ่มขึ้นโดยประมาณ 0.012 dB/°C ตลอดช่วง 190 ° C ระหว่าง - 65 ° C ถึงไม่จำกัดใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

125 ° C จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเพาเวอร์ 59 % เพาเวอร์เอาต์พุตสามารถทำให้มีระดับคงที่ได้โดยเพิ่มกระแสขั้วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

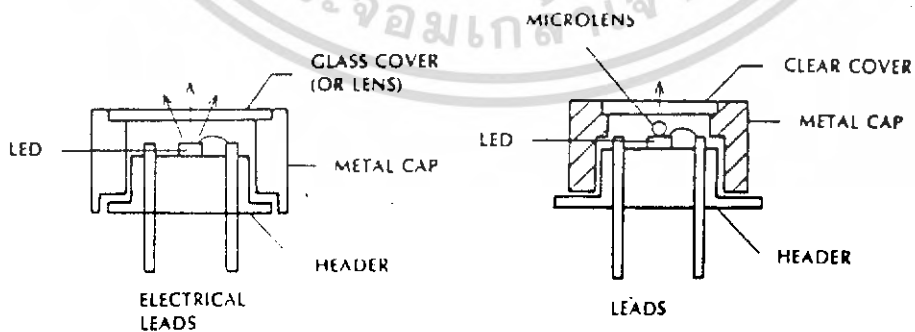


รูปที่ 2.22 แสดง Unsymmetric radiation จาก edge-emitting LED



รูปที่ 2.23 แสดง Source-to-fiber coupling of a glass covered LED

a) ไม่มีเลนส์ b) มีเลนส์



a)

b)

รูปที่ 2.24 a) แสดง LED mounted on a header

b) แสดง microlensed LED
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเราใช้เฉพาะเพื่อการศึกษานั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 เลเซอร์ไดโอด (Laser Diode)

เลเซอร์ไดโอด นับว่าเหมาะสมที่สุดสำหรับการสื่อสารโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสง โดยเลเซอร์ไดโอดมีคุณลักษณะที่สำคัญ คือ

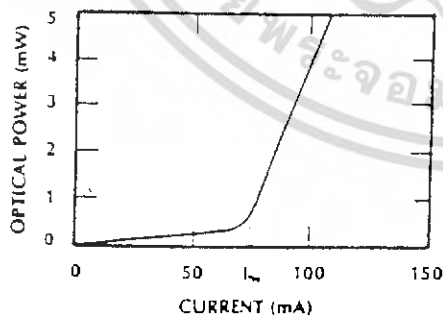
1) Pumping threshold พาวเวอร์อินพุตที่จ่ายให้เลเซอร์ต้องมากกว่าระดับขีดเริ่มเปลี่ยน (threshold) ก่อนที่เลเซอร์จะปล่อยแสง ลักษณะนี้จะไม่เหมือนกับ LED ซึ่งแม้รังสีออกมาถึงแม้ว่าระดับกระแสอินพุตจะต่ำกว่าก็ตาม

2) Output spectrum พาวเวอร์เอาต์พุตของเลเซอร์ไม่ได้มีเพียงความถี่เดียว แต่มีตลอดย่านของความถี่ ปกติพาวเวอร์ไม่เปลี่ยนแปลงแบบราบเรียบ ตลอดย่าน แต่เป็นอนุกรมของสูงและต่ำ

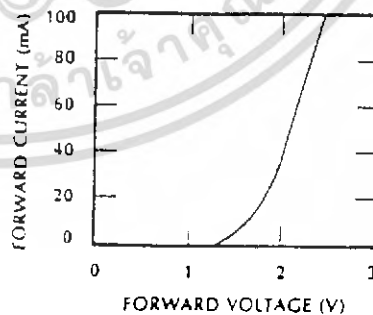
3) Radiation patern พิสัยของมุมเลเซอร์ปล่อยแสงออกมาขึ้นอยู่กับขนาดบริเวณปล่อยแสง (emitting area) และโหมดการออสซิลเลตภายในเลเซอร์

คุณลักษณะการทำงานของเลเซอร์ไดโอด

คุณลักษณะของค่าพาวเวอร์ทางด้านแสงเอาต์พุตกับกระแสอินพุตของเลเซอร์ไดโอด ดังแสดงในรูปที่ 2.25 (1) กระแสเริ่มเปลี่ยนมีค่าเป็น 75 mA ที่ระดับกระแสต่ำกว่านี้ค่าพาวเวอร์จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย การแพร่กระจายของ noncoherent เกิดจากการปล่อยอย่างทันทีทันใดของประจุในชั้นของการรวมตัว (recombination layer) ไดโอดส่วนใหญ่จะมีกระแสขีดเริ่มเปลี่ยนเริ่มต้นจาก 30 - 250 mA และค่าแรงดันขีดเริ่มเปลี่ยนอยู่ในช่วง 1.2 - 2 V กระแสไปหน้า (forward current) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อแรงดันตกคร่อมไดโอดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.25 (2) ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของแรงดันเพียงเล็กน้อยจากค่าขีดเริ่มเปลี่ยนจะทำให้มีกระแสเกิดขึ้นที่จุดทำงาน



1)



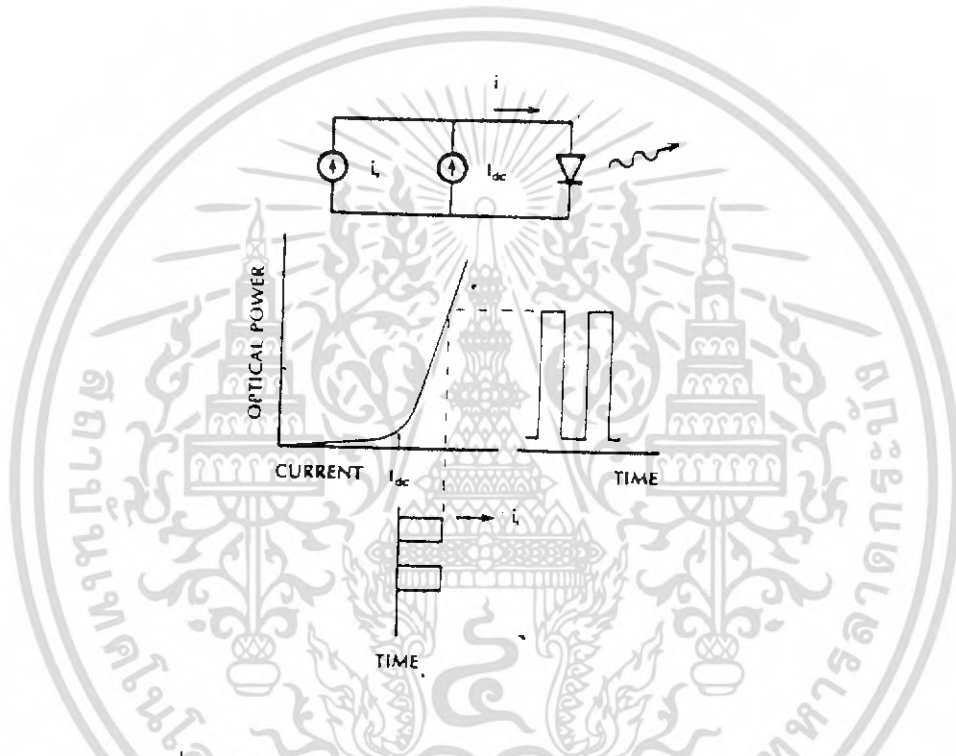
2)

รูปที่ 2.25 (1) แสดงคุณลักษณะของค่าพาวเวอร์ทางด้านแสงเอาต์พุตกับกระแสอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของคุณสมบัติของกระแสและแรงดันเลเซอร์ไดโอด ระเบียบด้านการค้า ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพาเวอร์เอาต์พุตสำหรับเลเซอร์ที่ทำงานอย่างต่อเนื่องมีค่าปกติในช่วง 1 - 10 mW Pulsed lasers ทำงานที่ duty cycle ต่ำ สามารถให้ค่ายอดของเพาเวอร์ที่สูงกว่าได้ แต่ CW lasers ที่สามารถเปิด - ปิดในอัตราสูงจะมีประโยชน์อย่างมากสำหรับระบบสื่อสาร ช่วงกระแสทำงานโดยปกติอยู่สูงกว่ากระแสขีดเริ่มเปลี่ยนประมาณ 20 - 40 mA การทำงานที่กระแสสูงกว่ากำหนดโดยผู้ผลิตจะทำให้ไดโอดมี lifetime สั้น

Digital modulation ของเลเซอร์ไดโอดแสดงดังรูป 2.26 แตกต่างจาก digital modulation ของ LED



รูปที่ 2.26 แสดง Digital modulation ของเลเซอร์ไดโอด

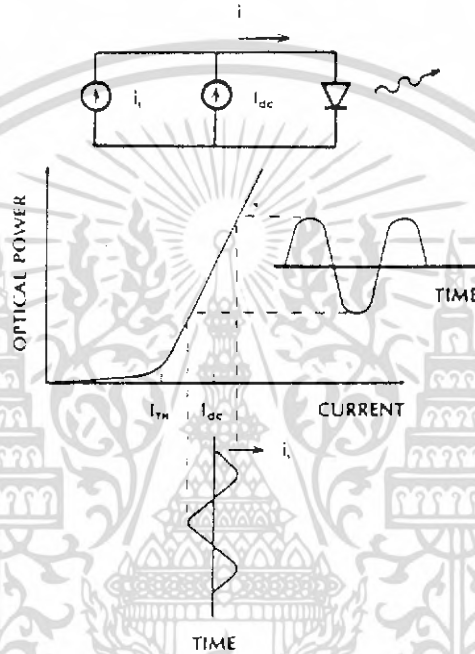
I_{dc} เป็นกระแสขีดเริ่มเปลี่ยน เมื่อกระแส I_s เป็นศูนย์

สำหรับ Analog modulation แสดงในรูป 2.27 กระแสไบแอสอยู่สูงกว่ากระแสขีดเริ่มเปลี่ยน ในบริเวณเชิงเส้นของ power-current characteristic

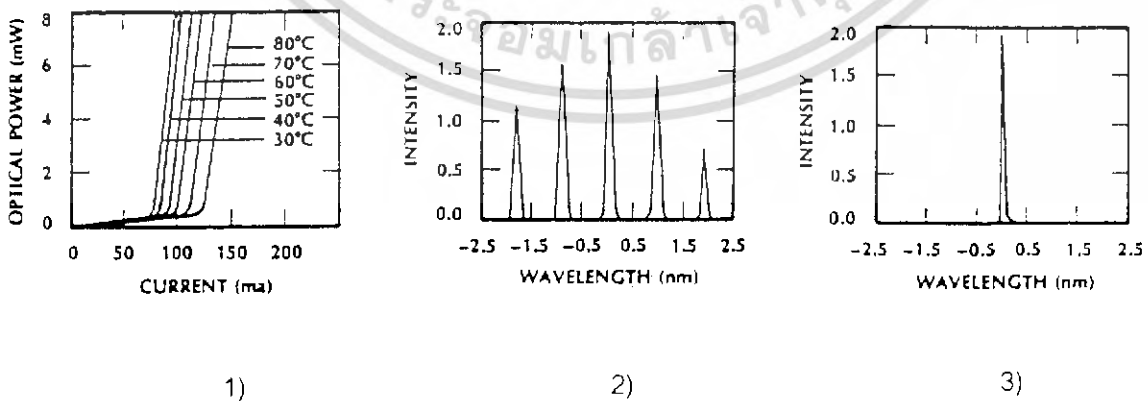
เลเซอร์ไดโอดมีความไวต่ออุณหภูมิมากกว่า LED ดังแสดงในรูปที่ 2.28 (1) ขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่ากระแสขีดเริ่มเปลี่ยนก็มีมากขึ้นด้วย (เพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 % / °C) ที่กระแสคงที่เพาเวอร์เอาต์พุตจะลดลง ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น

การเปลี่ยนแปลงเพาเวอร์อาจยอมรับไม่ได้ เพราะทำให้การรับข้อมูลผิดพลาดมากขึ้น ถ้าเพาเวอร์ลดลงมาก การรับสัญญาณอาจไม่เกิดขึ้น มี 2 วิธีการเพื่อแก้ปัญหานี้คือ ควบคุมอุณหภูมิของไดโอดให้คงที่ หนึ่งใช้ไส้และเปลี่ยนกระแสไบแอสเพื่อชดเชยการเปลี่ยนแปลงกระแสขีดเริ่มไม่ว่การณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยน ในวิธีการควบคุมอุณหภูมิจะใช้รอยต่อของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งเปลี่ยนอุณหภูมิขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสที่ไหลผ่านเลเซอร์ไดโอด โดยที่ตัวเลเซอร์ไดโอดถูกยึดติดกับสารกึ่งตัวนำ เทอร์มิสเตอร์เป็นส่วนหนึ่งของวงจรควบคุมที่ใช้เปลี่ยนกระแสที่ไหลผ่านสารกึ่งตัวนำเพื่อให้อุณหภูมิของไดโอดเสถียร อีกวิธีการหนึ่งเพื่อเพาเวอร์เสถียรคือ การเปลี่ยนแปลงที่แท้จริงในเอาต์พุต จะถูกวัดโดยยอมให้แสงมีการแผ่จากด้านหลังของเลเซอร์ไดโอด แล้ววัดลำแสงด้วย photo detector แล้วทำการเปลี่ยนค่ากระแสดีซี เพื่อนำไปสู่ค่าเพาเวอร์ที่ต้องการ



รูปที่ 2.27 แสดง Analog modulation ของเลเซอร์ไดโอด



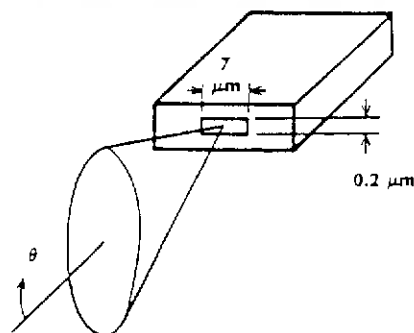
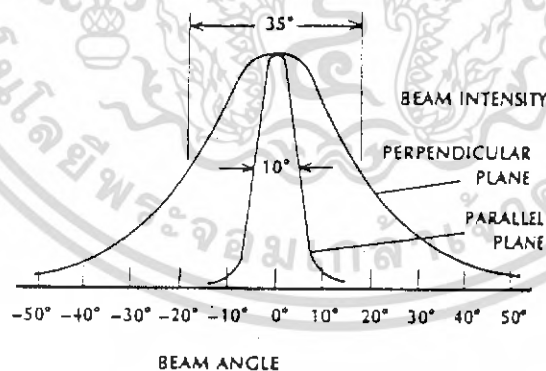
รูปที่ 2.28 (1) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเพาเวอร์ของเลเซอร์ ขณะกระแสคงที่
 (2) แสดงสเปกตรัมเอาต์พุตของ Multimode laser diodes
 (3) แสดงสเปกตรัมเอาต์พุตของ Single longitudinal mode laser diodes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รวบรวมไว้เพื่อให้นักศึกษาที่สนใจศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

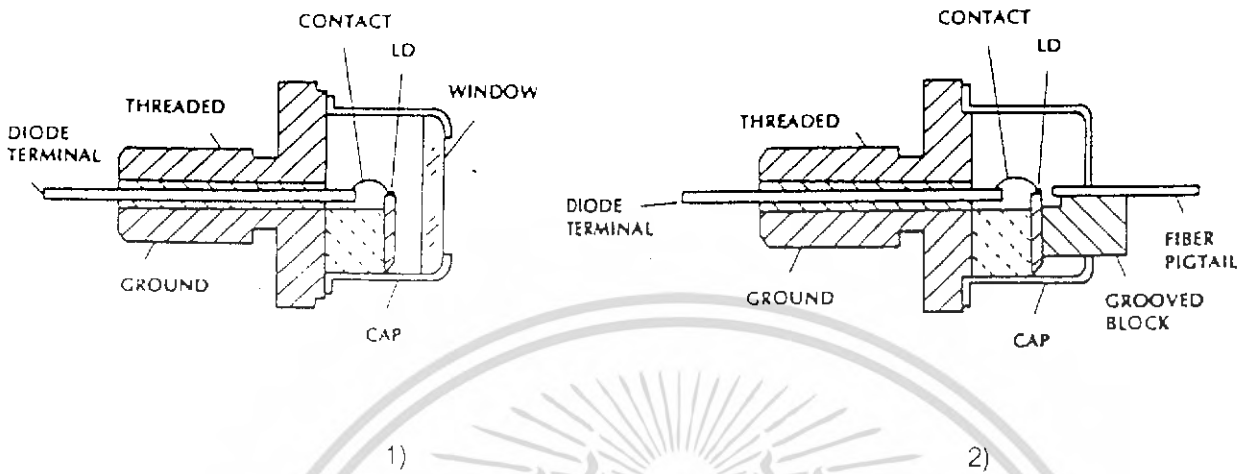
AlGaAs Laser diode มีความยาวคลื่นในช่วง 0.8 - 0.9 ไมโครเมตร InGaAsP Laser Diode แพร่กระจายด้วยความยาวคลื่นที่มากกว่า

เลเซอร์ไดโอดมีความไวมากกว่า Led rise time ของเลเซอร์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 - 1 นาโนวินาที สัญญาณ Analog สามารถ Modulate ที่ความถี่สูง ๆ ถึงหลายพันเมกะเฮิร์ต เลเซอร์ไดโอดมีค่า Linewidth ที่ 1 - 5 นาโนเมตร เปรียบเทียบแล้วน้อยกว่าสเปกตรัมเส้นที่แคบของ LED เมื่อขับกระแสมากกว่าค่ากระแสขีดเริ่มเปลี่ยนเล็กน้อย เลเซอร์ไดโอดจะให้ Multimode Spectra ดังแสดงในรูปที่ 2.28 (2) เมื่อเพิ่มกระแสขึ้น Total linewidth ลดลง และจำนวนของ Longitudinal mode น้อยลงไปที่กระแสสูงเพียงพอ สเปกตรัมจะมีโหมดเดียว จากรูปที่ 2.28 (3) ค่า linewidth มีค่าน้อยกว่าของ Multimode laser ซึ่งมีค่าราว ๆ 0.2 นาโนเมตร จะทำให้การกระจายตามความถี่ของวัสดุตัวที่สูงสุดในเส้นใยนำแสง ทั้งนี้เนื่องจากความกว้างของสเปกตรัมที่แคบ

เลเซอร์ไดโอดแพร่กระจายแสงแบบไม่สมมาตร รูปแบบที่ปรากฏแสดงดังรูปที่ 2.29 Emitting edge ขนาดใหญ่ อยู่ในระนาบขนานกับรอยต่อและทำให้ลำแสงที่กว้างขนาดแคบของขอบในแนวระนาบที่ตั้งฉากกับรอยต่อ ทำให้การแพร่กระจายแสงออกมาในพิสัยของมุมที่เล็กกว่าไดโอด ในรูปมีค่า Half power beamwidth 10 องศา และ 35 องศา ในระนาบตั้งฉาก lifetime ของเลเซอร์ไดโอดมีค่ามากกว่า 11 ปี ในการใช้งานที่ระดับอุณหภูมิของห้อง สำหรับค่า lifetime จะลดลงเมื่อใช้งานที่ที่อุณหภูมิสูง อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิ 70 องศา อายุการใช้งานมากกว่า 10000 ชั่วโมง เหมือนกับ LED เลเซอร์ไดโอดถูกบรรจุหลายรูปแบบด้วยกัน ดังรูปที่ 2.30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 2.29 แสดง Radation pattern ของเลเซอร์ไดโอด นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 (1) แสดง Laser Diode Package

(2) แสดง Laser diode with an intergal fiber pigtail

Property	LED	Laser diode	Single-Mode Laser diode
Spectral width (nm)	20 - 100	1 - 5	< 0.2
Rise time (ns)	2 - 250	0.1 - 1	0.05 - 1
Modulation bandwidth (Mhz)	< 300	2000	6000
Coupling efficiency	Very low	Moderate	High
Compatible fiber	Multimode SI Multimode GRIN	Multimode GRIN Single-mode	Single-mode
Temperature sensitivity	Low	High	High
Circuit complexity	Simple	Complex	Complex
Lifetime (hours)	10^5	$10^4 - 10^5$	$10^4 - 10^5$
Costs	Moderate paths	Long paths	Very long paths
Primary use	Moderate data rates	High data rates	Very high rates

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ตารางที่ 2.2 แสดงคุณลักษณะของแหล่งกำเนิดแบบสารกึ่งตัวนำ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 Light Detectors

เรารู้แสงด้วยตา แต่ตาของมนุษย์ไม่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้งานการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง ทั้งนี้เนื่องมาจากการตอบสนองของตาช้ามากและมีความไวไม่เพียงพอต่อระดับสัญญาณต่ำและยากต่อการต่อร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ในภาครับเพื่อที่จะขยายสัญญาณถอดรหัส หรือดำเนินการอื่น ๆ กับสัญญาณ ยิ่งกว่านั้นการตอบสนองของตาจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 0.4 - 0.7 ไมโครเมตร ที่ซึ่งมีค่าการสูญเสียมากในเส้นใยนำแสง อุปกรณ์ที่เปลี่ยนการแผ่รังสีแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าเรียกว่า photodetector

กลไกการตรวจจับแสงแยกออกเป็น external photoelectric effect และ internal photoelectric effect ในส่วน external photoelectric effect อิเล็กตรอนถูกทำให้ไหลผ่านชั้นโลหะ โดยการดูดกลืนพลังงานจากโฟตอนที่วิ่งมาตกกระทบ vacuum photodiode และ photomultiplier อาศัยหลักการดังกล่าวนี้ ในส่วน internal photoelectric effect เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำแบบรอยต่อ (semiconductor junction devices) ซึ่งประจุอิสระ (ได้แก่ โฮลและอิเล็กตรอน) ถูกสร้างขึ้นด้วยการดูดกลืนโฟตอนที่เข้ามา มีอุปกรณ์พื้นฐาน 3 ชนิด ที่ใช้หลักการนี้คือ pn junction photodiode PIN photodiode และ avalanche photodiode

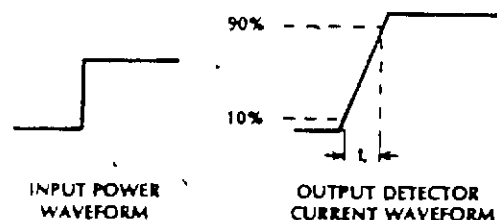
คุณสมบัติที่สำคัญของดีเทคเตอร์ได้แก่ สภาพตอบสนอง (responsivity) การตอบสนองสเปกตรัม (spectram response) และ rise time

สภาพการตอบสนองเป็นอัตราส่วนของค่ากระแสเอาต์พุทของดีเทคเตอร์ต่อเพาเวอร์ของแสงอินพุท

$$p = \frac{I}{P} \quad (10)$$

หน่วยของสภาพการตอบสนองคือ ampere / watt สัญญาณไฟฟ้าเอาต์พุทในดีเทคเตอร์บางตัวอาจจะเป็นแรงดัน ซึ่งในกรณีนี้สภาพการตอบสนองมีหน่วยเป็น volts / watt

การตอบสนองสเปกตรัม หมายถึงเส้นโค้งแสดงสภาพตอบสนอง โดยขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น rise time t_r ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่กระแสเอาต์พุทของดีเทคเตอร์เปลี่ยนแปลงจาก 10 % เป็น 90 % ของค่าสุดท้าย เมื่อการเปลี่ยนแปลงของเพาเวอร์ของแสงเป็นแบบ step



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะที่งานวิจัยของภาควิชาฟิสิกส์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

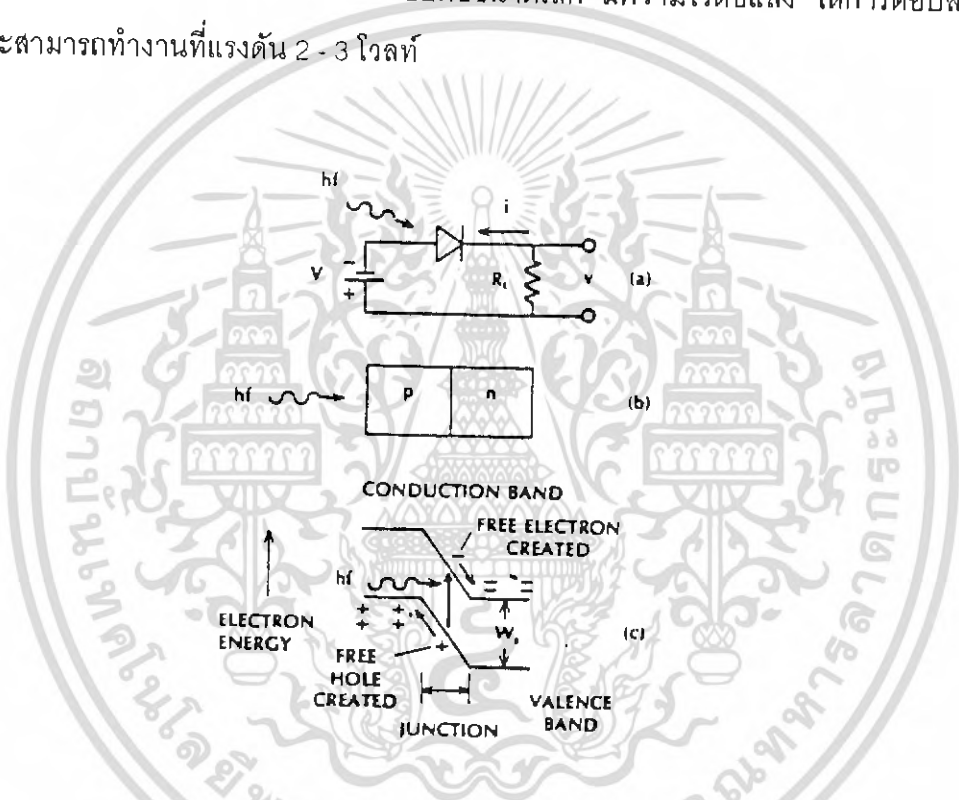
3-dB modulation bandwidth ของดีเทคเตอร์

$$f_{3-dB} = \frac{0.35}{t_r} \quad (11)$$

ที่ความถี่นี้ เพาเวอร์ของสัญญาณไฟฟ้าเอาท์พุทในภาครับจะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่าที่ได้รับที่ความถี่มอดูเลตต่ำมาก ๆ

2.3.1 โฟโตไดโอดแบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor photodiode)

photodiode แบบสารกึ่งตัวนำจะมีรอยต่อขนาดเล็ก มีความไวต่อแสง ให้การตอบสนองที่รวดเร็วและสามารถทำงานที่แรงดัน 2 - 3 โวลท์



รูปที่ 2.32 แสดงถึงกลไกการตรวจจับแสงของตัวตรวจจับแบบรอยต่อ

เมื่อไบแอสย้อนกลับ ศักย์ของพลังงานของแนวขวางกั้นระหว่างบริเวณ p และ n เพิ่มขึ้น อิเล็กตรอนอิสระและโฮลอิสระไม่สามารถข้ามแนวขวางกั้นได้ ดังนั้นจึงไม่มีกระแสไหล รอยต่อ หมายถึงบริเวณซึ่งเกิดแนวขวางกั้นเนื่องจากไม่มีประจุในบริเวณรอยต่อบริเวณนี้เรียกว่า depletion region เมื่อไม่มีประจุอิสระความต้านทานจึงสูง เป็นผลให้แรงดันเกือบทั้งหมดที่ตกคร่อมไดโอดไปปรากฏที่บริเวณรอยต่อ ดังนั้นแรงไฟฟ้า (electrical force) จึงสูงใน depletion region และน้อยมาก ที่นอกบริเวณ region

รูปที่ 2.32 (c) แสดงโฟตอนที่ตกกระทบและถูกดูดกลืนในบริเวณรอยต่อหลังผ่านชั้นของสาร p พลังงานดูดกลืนไปเพิ่มศักยภาพของอิเล็กตรอนให้ข้ามช่องว่าง (bandgap) จาก valence band ไปยัง conduction band เพื่อใช้ในการใช้แสงเพื่อการผลิตไฟฟ้าแทนนั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

band ไปยัง conduction band ขณะนี้อิเล็กตรอนเป็นอิสระที่จะเคลื่อนที่ โฮลอิสระเคลื่อนที่ไปทางซ้ายใน valence band ที่ตำแหน่งซึ่งว่างลงโดยอิเล็กตรอน ตัวพาประจุอิสระถูกสร้างด้วยการดูดกลืนโฟตอนในลักษณะนี้อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ลงแนวขวางกัน และโฮลจะเคลื่อนที่ขึ้นจากแนวขวางกัน การเคลื่อนของประจุเหล่านี้เป็นเหตุให้กระแสไหลผ่านวงจรรายนอกในลักษณะเดียวกับกระแสที่เกิดขึ้นใน vacuum photodiode เมื่อ โฮลและอิเล็กตรอนอิสระรวมตัวกันหรือเมื่อถึงขอบของรอยต่อ ที่ซึ่งแรงทางไฟฟ้า (electrical force) มีเพียงเล็กน้อยประจุหยุดการเคลื่อนที่กระแสก็หยุดไหล

rise time ของ pn diode อยู่ในระดับของ ไมโครเซ็ก ทำให้ไม่เหมาะสมสำหรับระบบเส้นใยนำแสงที่มีอัตราการรับ-ส่งข้อมูลสูง โครงสร้าง PIN diode แก้ปัญหาของสภาพตอบสนองที่ต่ำ และการตอบสนองที่ช้า

2.3.2 ไฟโตไดโอด (PIN photodiode)

ในระบบเส้นใยนำแสงมักนิยมใช้ PIN photodiodes เป็นตัวตรวจจับแสง PIN diode มีชั้นสารกึ่งตัวนำ intrinsic ที่กว้างระหว่างบริเวณ p และ n แสดงดังรูปที่ 2.33 ในชั้นของ intrinsic จะไม่มีประจุอิสระ ดังนั้นความต้านทานของมันจึงสูง ส่วนใหญ่ของแรงดันจะปรากฏที่บริเวณนี้ และแรงไฟฟ้าจะสูง

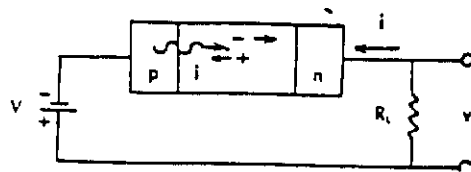
เนื่องจากชั้นของ intrinsic กว้างมากมีความน่าจะเป็นสูงที่โฟตอนที่เข้ามาจะถูกดูดกลืนในบริเวณนี้มากกว่าในบริเวณ p หรือ n ลักษณะเช่นนี้เป็นกำการเพิ่มประสิทธิภาพและความเร็วเมื่อเทียบกับ pn photodiode

silicon มักนิยมใช้เป็น fiber optic detector มากที่สุดใน first window Germanium และ InGaAs ให้กำเนิดสัญญาณรบกวนมากกว่า silicon แต่จะตอบสนองใน second window

ในการสร้าง electron-hole pair โฟตอนที่เข้ามาต้องมีพลังงานเพียงพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนข้ามผ่านช่องว่างได้ ความต้องการนี้คือ $hf \geq W_g$ นำไปสู่ cutoff wavelength

$$\lambda = \frac{1.24}{W_g} \mu\text{m} \quad (12)$$

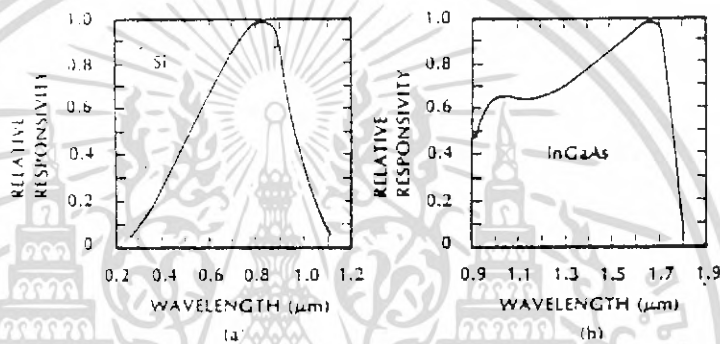
W_g = bandgap energy (eV)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ผู้ช่วยเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้ารูปที่ 2.33 แสดง PIN photodiode
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Material	Wavelength range (μm)	Wavelength of peak response (μm)	Peak Responsivity (A / W)
silicon	0.3 - 1.1	0.8	0.5
Germanium	0.5 - 1.8	1.55	0.7
InGaAs	1.0 - 1.7	1.7	1.1

ตารางที่ 2.3 แสดงการสรุปพิสัยที่ใช้งานของวัสดุ PIN photodiode ที่นิยมใช้กันมากที่สุด



รูปที่ 2.34 แสดงผลการตอบสนองสเปกตรัมของ silicon และ InGaAs

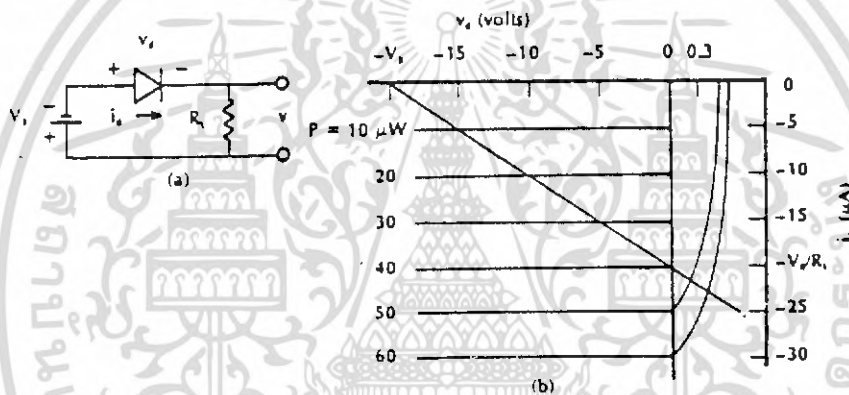
สภาพตอบสนองลดลงที่ความยาวคลื่นสั้นเป็นสาเหตุจากการดูดกลืนของโฟตอนอย่างมากขึ้นในบริเวณ p และ n silicon และ InGaAs มีค่า quantum efficiencies สูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 0.8 ไมโครเมตร สำหรับ silicon ที่ 0.8 ไมโครเมตร จะได้สภาพตอบสนอง (responsivity) 0.5 A / W จะเห็นว่ามีค่าสูงกว่าสภาพการตอบสนองของ vacuum photodiode ซึ่งมีค่า 6.4 mA / W สำหรับ InGaAs ที่ความยาวคลื่น 1.7 ไมโครเมตร และมีประสิทธิภาพร้อยละ 80 % จะให้สภาพตอบสนอง 1.1 A / W จากเส้นโค้งแสดงการตอบสนอง (ในรูปที่ 2.34 (b)) สภาพตอบสนองถูกทำให้ลดลงเหลือ 70 % หรือที่ 0.77 A / W ที่ความยาวคลื่น 1.3 ไมโครเมตร การตอบสนองสูงสุดของ Germanium เกิดขึ้นที่ความยาวคลื่น 1.55 ไมโครเมตร ที่ซึ่งมี quantum efficiency ประมาณ 55 %

เมื่อไบแอสย้อนกลับ ไดโอดทำงานใน photoconductive mode ในโหมดนี้กระแสเอาต์พุตเป็นอัตราส่วนกับเพาเวอร์ของแสง เมื่อไม่มีการไบแอสย้อนกลับเพาเวอร์ของแสงที่ตกกระทบเป็นผลให้มีแรงดันไปหน้าทำงานใน photovoltaic mode ซึ่งเป็นพื้นฐานของโซลาร์เซลล์ซึ่งให้แรงดันไฟฟ้าเมื่ออยู่ภายใต้การแผ่รังสี detector ในการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงจะทำงานใน photoconductive mode รูปที่ 2.35 แสดงคุณลักษณะทางด้านกระแส-แรงดันสำหรับ silicon diode ที่มี responsivity 0.5A / W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่ไม่มีเพาเวอร์ของแสง กระแสไหลผ่านไดโอดขณะไบแอสย้อนกลับเรียกว่า dark current (I_0) dark current เกิดจากประจุอิสระอันเนื่องมาจากความร้อน dark current จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น บางครั้งเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าทุก ๆ 10°C dark current มีค่าอยู่ในช่วงของนาโนแอมแปร์ถึงหลายร้อยนาโนแอมแปร์ โดยทั่วไป silicon detector มีค่า dark current ต่ำสุด InGaAs diode มีค่า dark current มากกว่า และ germanium diode มีค่า dark current มากที่สุด ทำให้ silicon detector มีความนิยมใช้มากกว่า germanium diode ในช่วงความยาวคลื่นที่ photodiode ทั้งสองมีค่าสภาพการตอบสนองใกล้เคียงกัน

วงจรราคับของ PIN photodiode แสดงดังรูปที่ 2.35 จาก Kirchoff 's voltage law กล่าวว่าการบวกแรงดันรอบลูบในวงจรต้องเท่ากับศูนย์



รูปที่ 2.35 a) แสดงวงจรพื้นฐานของ PIN ไดโอด

b) แสดงการวิเคราะห์ด้วยกราฟของวงจร

ใช้ทฤษฎีดังกล่าวในวงจรรูป 2.35 จะได้

$$V_L + V_D + I_p R_L = 0 \quad (13)$$

แรงดันและกระแสของไดโอดกำหนดให้เป็นบวกในทิศทางไปหน้าทั้งกระแสและแรงดันมีค่าเป็นลบ ในกรณีนี้ สมการ (13) เป็นไปตามกราฟคุณลักษณะในรูปที่ 2.35

ความสัมพันธ์ระหว่างเพาเวอร์ของแสงที่ตกกระทบกับกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในโฟโอดีโอด ความสัมพันธ์นี้ก็คือ $I = \rho P$ สำหรับ PIN ไดโอดจะมีค่า responsivity ระหว่าง $0.5 - 0.7 \text{ A/W}$

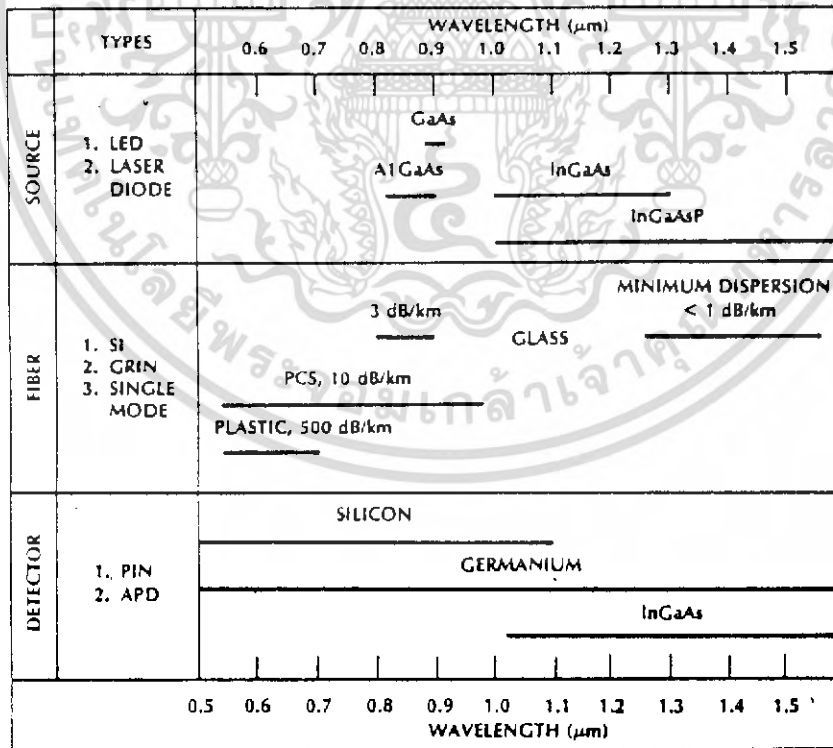
เมื่อเปรียบเทียบกับ PIN ไดโอดกับ APD จะเห็นได้ว่า PIN ไดโอดมีข้อดีกว่าดังนี้

- ราคาถูก
- มีความไวต่ำต่ออุณหภูมิ
- ต้องการแรงดันต่ำกว่าและมีความไวใกล้เคียงกับ APD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Material	Structure	Rise time (ns)	Wavelength (nm)	Responsivity (A / W)	Dark current (na)	Gain
silicon	PIN	0.5	300 - 1100	0.5	1	1
Germanium	PIN	0.1	500 - 1800	0.7	200	1
InGaAs	PIN	0.3	1000-1700	0.6	10	1
silicon	APD	0.5	400 - 1000	77	15	150
Germanium	APD	1	1000-1600	30	700	50

ตารางที่ 2.4 แสดงพารามิเตอร์ที่สำคัญของ Photodiode

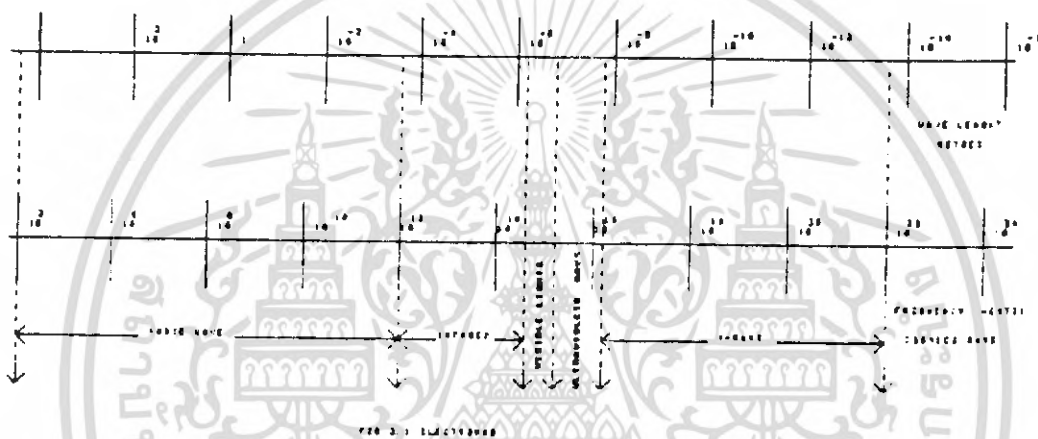


รูปที่ 2.36 แสดงข้อมูลที่เป็นบางอย่างสำหรับ sources เส้นใยนำแสงและ detectors เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 แสงและคุณสมบัติของแสง

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ที่มีความถี่อยู่ในย่านที่สูงกว่าความถี่วิทยุมาก ๆ จึงทำให้แสงมีคุณสมบัติและพฤติกรรมบางอย่างแตกต่างไปจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านอื่น ๆ อาทิ เช่น คุณสมบัติในการสะท้อน (Reflection) การเบี่ยงเบนการหักเห (Refraction) เป็นต้น

แสงมีความเร็วในการเคลื่อนที่ประมาณ 299 , 792 , 458 m / sec ในการเดินทางในระบบสุญญากาศ และมีความถี่ในช่วง 10^{14} - 10^{15} Hz (เป็นย่านที่สายตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ด้วยตา) ซึ่งสามารถที่จะแสดงย่านความถี่ต่าง ๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดังรูป



รูปที่ 2.37 แสดงความถี่และความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านต่าง ๆ

2.4.1 ฟิสิกส์ของแสง (The Physics of Light)

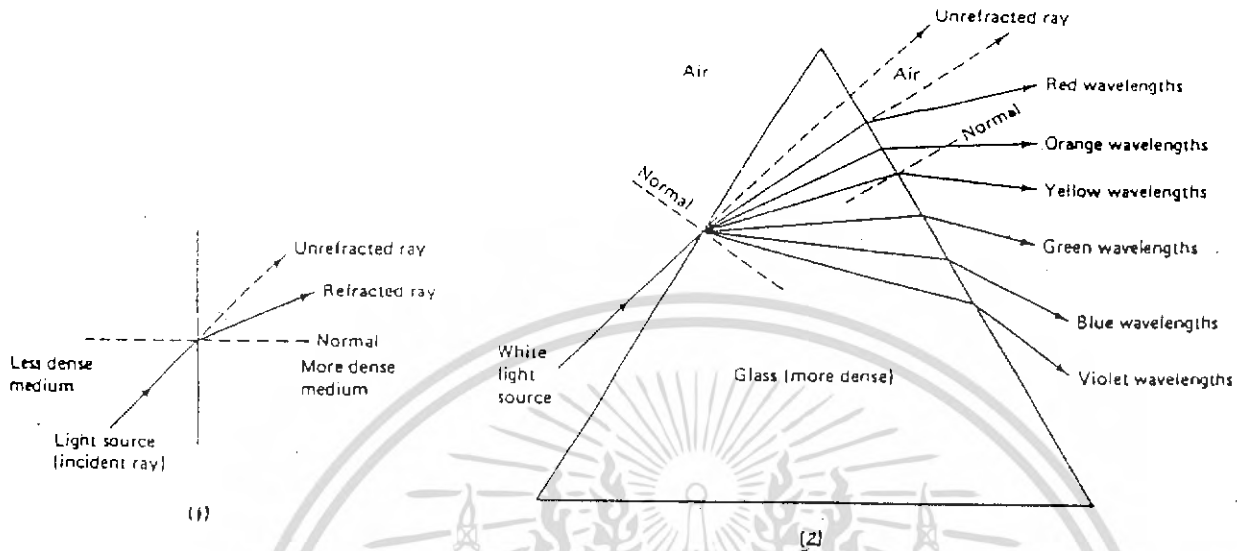
แม้ว่าการประยุกต์ตัวของไฟเบอร์ออปติกสามารถที่จะวิเคราะห์ด้วยสมการแมกเวล (Maxwell) แต่การวิเคราะห์นี้ยุ่งยากและมีความซับซ้อน สำหรับการใช้งานโดยทั่ว ๆ ไปจะใช้วิธีทางจีโอเมตริก (Geometric ray tracing) ก็จะทำให้รายละเอียดได้เพียงพอ

2.4.2 ความเร็วของการแผ่ (Velocity of Propagation)

พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น แสงเดินทางด้วยความเร็วประมาณ 300000 กิโลเมตร ต่อวินาที (186000 ไมล์ ต่อ วินาที) ในสุญญากาศ ความเร็วในการแผ่ของแสงทุก ๆ ความถี่มีค่าเท่ากัน ในสุญญากาศ อย่างไรก็ตามความเร็วของการแผ่ของแสงจะลดลงในสารที่มีความหนาแน่นมากกว่า เมื่อความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลง ขณะที่มันผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่งที่มีความหนาแน่นมากกว่า รังสีของแสงจะหักเหเข้าหาเส้นปกติในสารที่มีความหนาแน่นมากกว่าสุญญากาศและความเร็วของการแผ่ของแสงที่ความถี่ต่างๆจะไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การหักเห (Refraction)



รูปที่ 2.38 แสดงการหักเหของแสง

รูปที่ 2.38 (1) แสดงรังสีของแสงที่หักเหขณะที่เดินทางผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่งที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า รูปที่ 2.38 (2) แสดงแสงอาทิตย์ซึ่งประกอบด้วยแสงทุก ๆ ความถี่ที่หักเห เมื่อมันเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่าไปสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า แสงซึ่งมีเวฟเลินท์ (Wavelength) สีม่วงหักเหมากกว่าสีที่มีเวฟเลินท์สีแดง การแยกสเปกตรัมของแสงสีขาว โดยวิธีการนี้เราเรียกว่า ปริซึมเมตริกรีแฟรคชัน (Prismatic Refraction) ปรากฏการณ์แบบนี้เองที่ทำให้เกิดรุ้ง โดยการหยดน้ำเล็กๆ ในอากาศประพุดิตัวเหมือนปริซึมเล็กๆ ซึ่งแยกสีขาวของแสงอาทิตย์ออกเป็นแสงที่มีเวฟเลินท์ต่างๆทำให้เกิดสเปกตรัมของแสงสีต่างๆขึ้นมา

2.4.4 ดัชนีการหักเหของแสง (Refraction Index)

ปริมาณการหักเหของแสงที่เกิดขึ้นที่รอยต่อของสองตัวกลางจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าดัชนีการหักเหของแสงของตัวกลางทั้งสองนั้น โดยที่ค่าดัชนีการหักเหของตัวกลางใด ๆ ก็คืออัตราส่วนของความเร็วของแสงในสุญญากาศต่อความเร็วของแสงในตัวกลางนั้น ๆ นั่นคือ

$$n = c / v$$

เมื่อ c คือความเร็วของแสงในสุญญากาศ

v คือความเร็วของแสงในตัวกลางใด ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงว่าดัชนีการหักเหของแสงจะเป็นฟังก์ชันของความถี่ของแสงด้วย

ตัวกลาง	ค่าดัชนีการหักเห
สุญญากาศ	1.00
อากาศ	1.0003
น้ำ	1.33
เฮลิดแอลกอฮอล์	1.36
แก้ว	1.5 - 1.9
เพชร	2.0 - 2.42
ซิลิกอน	3.4
แกดเลียมอัลซันท์	3.6

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าทั่วไปของดัชนีหักเหของตัวกลางชนิดต่าง ๆ แสงจะประพฤติตัวอย่างไรเมื่อมันเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง สามารถอธิบายได้ด้วยกฎของสเนล (Snell's Law) ซึ่งกล่าวว่า

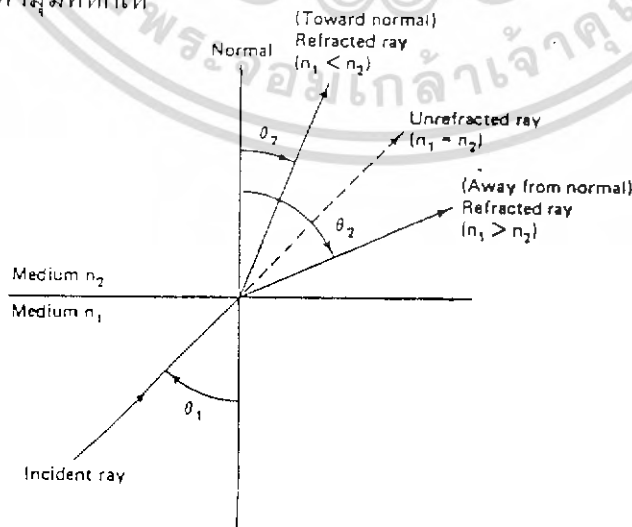
$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

เมื่อ n_1 คือ ค่าดัชนีการหักเหของตัวกลางที่ 1

n_2 คือ ค่าดัชนีการหักเหของตัวกลางที่ 2

θ_1 คือ ค่ามุมที่ตกกระทบ

θ_2 คือ ค่ามุมที่หักเห



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับกรณีใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า รูปที่ 2.39 แสดงรูปแบบของดัชนีการหักเหตามกฎของสเนล ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบในรูปที่ 2.39 ที่รอยต่อของตัวกลาง แสงที่ตกกระทบอาจจะหักเหเข้าหา หรือ ออกจากเส้นปกติ ขึ้นอยู่กับ n_1 น้อยกว่า หรือมากกว่า n_2

รูปที่ 2.40 จะแสดงแสงที่หักเหเมื่อมันเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่าไปยังตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า จะเห็นได้ว่า แสงจะเปลี่ยนทิศทางการที่รอยต่อและมุมหักเหมากกว่ามุมตกกระทบ ผลคือ เมื่อแสงเข้าสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า แสงจะเบนออกจากเส้นปกติ เส้นปกติก็คือเส้นที่ตั้งฉากกับรอยต่อที่จุดตกกระทบของแสง ในทำนองเดียวกันเมื่อแสงเดินทางเข้าสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่าแสงที่จะเบนเข้าหาเส้นปกติ



รูปที่ 2.40 แสดงแสงที่เบนออกจากเส้นปกติ

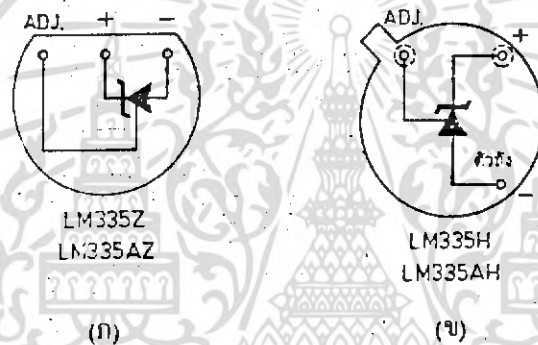
บทที่ 3

การออกแบบและสร้างวงจร

3.1 การออกแบบและการสร้างในส่วนของการวัดอุณหภูมิ

3.1.1 การใช้ LM 335 เป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิ

ไอซีเบอร์ LM 335 เป็นวงจรอินทิเกรทเซอร์คิต ซึ่งใช้ทำเป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิ สำหรับใช้ในย่านอุณหภูมิตั้งแต่ 0°C จนถึง 100°C โดยได้ผลิตออกมาอยู่ภายในตัวถังพลาสติกสีดำ ซึ่งมีลักษณะการต่อขา ดังรูปที่ 3.1(ก) และในตัวถังโลหะแบบ TO-46 ซึ่งมีลักษณะการต่อขา ดังรูป 3.1(ข)

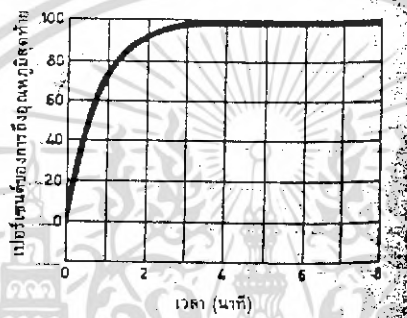


รูปที่ 3.1 (ก) แสดงลักษณะรูปร่างและการต่อขาของ LM 335Z ในตัวถังพลาสติกแบบ TO- 92
(ข) เป็นรูปของ LM 335H ในตัวถังโลหะแบบ TO - 46 เมื่อมองจากด้านล่าง

โดยพื้นฐานแล้ว LM 335 ก็ทำงานเช่นเดียวกับซีเนอร์ไดโอด ดังแสดงในรูปที่ 3.2 แรงดันพหุหลาย ซึ่งหมายถึง แรงดันเอาต์พุตจากวงจรนี้จะแปรโดยตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ โดยมีค่าเท่ากับ 10 มิลลิโวลต์ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศาเคลวิน ($10\text{ mV} / ^{\circ}\text{K}$) ในย่านอุณหภูมิที่ออกแบบมาให้ใช้งาน ค่าตัวต้านทาน R_1 ในรูปที่ 3.2 จะเป็นตัวกำหนดค่าของกระแสที่ไหลผ่านอุปรกรณ์ตัวนี้ แต่เนื่องจากค่าไดนามิคอิมพีแดนซ์ที่กระแส 1 มิลลิแอมป์ จะมีค่าปกติ 0.6 โอห์ม อุปรกรณ์ตัวนี้จึงสามารถทำงานได้ในย่านกระแสตั้งแต่ 400 ไมโครแอมป์ จนถึง 5 มิลลิแอมป์ โดยเสมือนว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของตัวมันเลย ข้อนำสังเกตก็คือค่ากระแสฟอร์เวิร์ดหรือกระแสรีเวิร์ดสูงสุดซึ่งไหลผ่านอุปรกรณ์ตัวนี้อย่างปลอดภัย (แม้ว่าจะในช่วงขณะ) ควรจะเป็น 10 มิลลิแอมป์ ถ้ากระแสสูงกว่านี้จะทำให้เกิดความเสียหายต่อไอซีตัวนี้ได้ ที่อุณหภูมิ 25°C และกระแสรีเวิร์ด 1 mA แรงดันเอาต์พุตพหุจากวงจรในรูปที่ 3.2 จะมีค่าตามที่ออกแบบไว้เท่ากับไว้เท่ากับ 2.98 โวลต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเป็นกระแสต่ำสุดที่ไอซีนี้ทำงานได้เป็นปกติ

ถ้าตัวตรวจจับถูกใช้ในสถานที่ซึ่งค่าความต้านทานทางอุณหภูมิต่อสิ่งแวดล้อมนั้นคงที่ ค่าความผิดพลาดจากความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวเองสามารถที่จะปรับให้ถูกต้องได้ ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์นั้นทำงานด้วยกระแสคงที่โดยที่ไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิความร้อนที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์จะแปรผันโดยตรงกับแรงดันซีเนอร์และอุณหภูมิสัมบูรณ์ ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากความร้อนในตัวเองจะแปรผันโดยตรงกับค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์และความเป็นเชิงเส้นของสเกลอุณหภูมิที่รักษาไว้



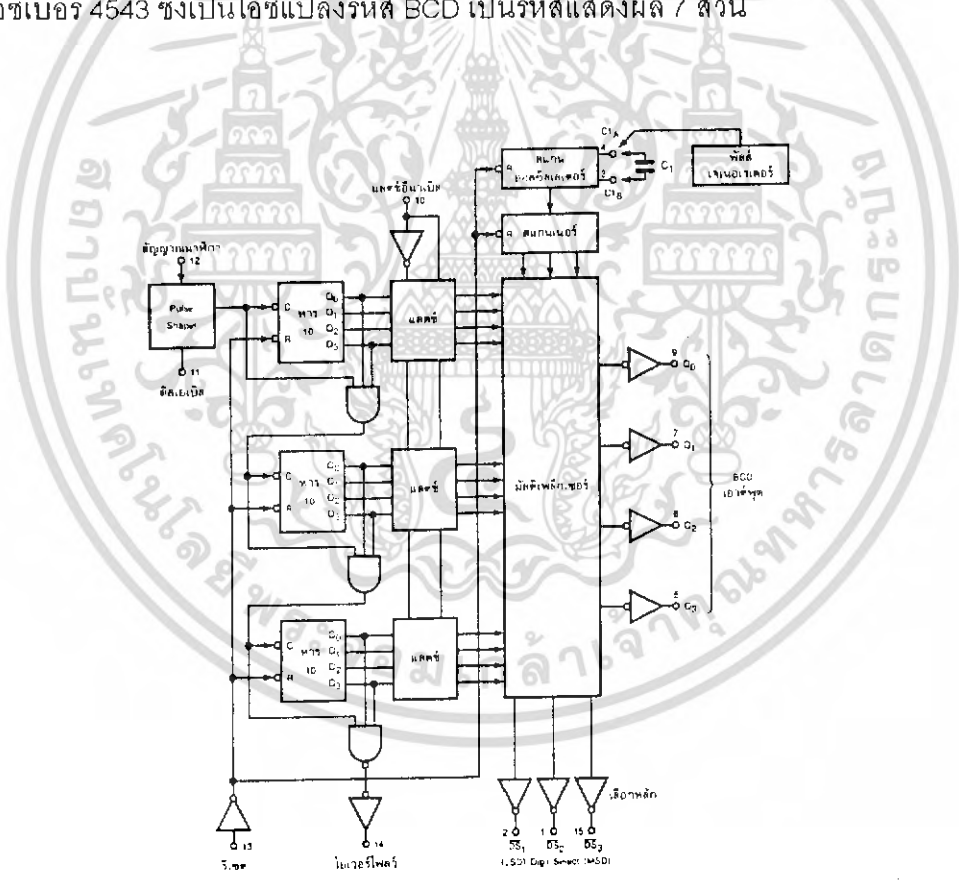
รูปที่ 3.3 แสดงเวลาการตอบสนองของ LM 335 ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในอากาศ

ในวงจรทั่วไปของ LM 335 ซึ่งไม่ได้ปรับค่าความถูกต้องไว้ ให้ทำงานที่กระแส 1 มิลลิแอมป์ ค่าความผิดพลาดเนื่องจากอุณหภูมิจะเท่ากับ 2°C (สูงสุด 6°C) ที่อุณหภูมิ 25°C หรือ 4°C (สูงสุด 9°C) ตลอดย่านการทำงาน เมื่อได้มีการปรับค่าความถูกต้องไว้ ค่าความผิดพลาดที่อุณหภูมิจำกัดไว้เป็น 2°C ความไม่เป็นเชิงเส้นที่ค่ากระแส 1 มิลลิแอมป์จะเท่ากับ 0.3°C ตลอดย่าน ในอากาศอุปกรณ์ตัวนี้ต้องใช้เวลา 3 นาที ที่จะมีค่าอุณหภูมิถึงอุณหภูมิสุดท้าย หลังจากที่คุณอุณหภูมิได้เปลี่ยนไป (ในรูปที่ 3.3) ค่าคงที่ของเวลาจะมีค่าตามที่ออกแบบไว้เท่ากับ 80 วินาที ในน้ำมันที่กวนให้เคลื่อนที่ ค่าอุณหภูมิสุดท้ายจะถึงภายในเวลาประมาณ 3 วินาที (ค่าคงที่ของเวลาจะเท่ากับ 1 วินาที ตามที่ออกแบบไว้) อุปกรณ์จะคงที่อยู่ที่ในช่วง 0.2°C (ตามที่ออกแบบ) ตลอด 1000 ชั่วโมง ถึงแม้ที่อุณหภูมิ 125°C ค่าไดนามิคิมพีแดนซ์จะน้อยกว่า 1 โอห์ม ที่ความถี่สูงกว่า 1 กิโลเฮิรท์ (ตามที่ออกแบบไว้) แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 20 ถึง 30 โอห์ม ที่ความถี่ 100 กิโลเฮิรท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การออกแบบและสร้างในส่วนการแสดงผล

ในการออกแบบจะใช้ไอซีเบอร์ 4553 ซึ่งภายในมีวงจรมับและวงจรถ่ายผลแบบมัลติเพล็กซ์ จะประกอบด้วยวงจรมับลิบฐาน 2 ต่อเรียงกัน 3 ชุด ที่เอาท์พุทแต่ละชุดจะมีการแลตช์ (Latch) ไว้เก็บข้อมูลเพื่อนำไปแสดงผลในส่วนแสดงผลแบบมัลติเพล็กซ์ โดยจะเก็บข้อมูลก็ต่อเมื่อขาแลตช์อินนาเบิล (LE) มีการเปลี่ยนแปลงจากลอจิก " 0 " มาเป็นลอจิก " 1 " คล็อกอินพุตจะต่อผ่านวงจrpulse shaper ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้สัญญาณที่เข้ามามีรูปร่างดีขึ้น และสามารถจะหยุดสัญญาณอินพุตที่เข้ามาได้โดยให้ขาดีสเเบิล (Dis) เป็นลอจิก " 1 " นอกจากนั้นยังสามารถรีเซตวงจรมับทั้งหมดได้โดยให้ขา รีเซต (MR) มีลอจิกเป็น " 1 " หากวงจรมับทั้งหมดนับเกินค่าสิบก็จะส่งลอจิก " 1 " ออกมาที่ขาโอเวอร์โฟลว์ (Overflow) จะใช้ไอซี 4553 เพียงตัวเดียวเพื่อนับความถี่ได้ 3 หลักโดยต่อร่วมกับไอซีเบอร์ 4543 ซึ่งเป็นไอซีแปลงรหัส BCD เป็นรหัสแสดงผล 7 ส่วน

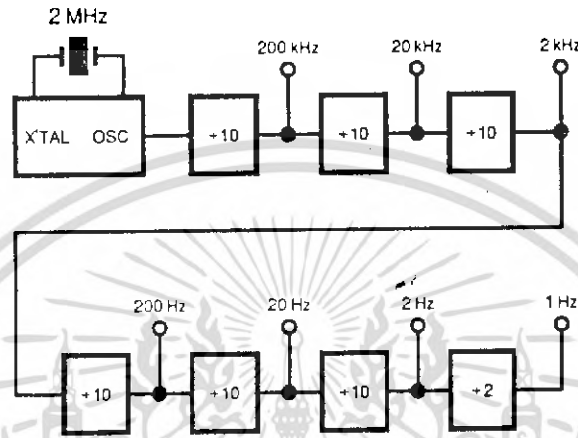


รูปที่ 3 4 แสดงวงจรมับภายในไอซีเบอร์ 4553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การสร้างควมถี่อ้างอิง 1 Hz

เนื่องจากวงจรที่จะใช้งานจะต้องวัดค่าเป็นไซเคิลต่อวินาที จึงจำเป็นต้องมีฐานเวลา 1 Hz มาเป็นตัวอ้างอิง โดยจะนำสัญญาณนี้ไปเปิดเปิดเกตเพื่อให้ความถี่อื่นหลุดเข้ามาในช่วงเวลาเพียง 1 วินาทีเท่านั้น แล้วนำจำนวนพัลส์ที่นับได้ไปแสดงผล



รูปที่ 3.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมการสร้างควมถี่ 1 Hz จากคริสตอล

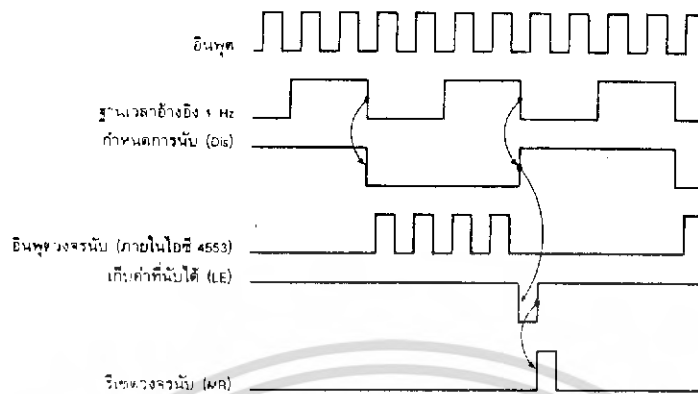
คริสตอลที่นำมาใช้มีค่าเท่ากับ 2 MHz ต้องหารควมถี่ให้เหลือเพียง 1 Hz เพื่อใช้เป็นฐานเวลาสำหรับเปิดเปิดเกตให้วงจรนับ จากรูป 3.5 จะเห็นได้ว่าต้องใช้วงจรหารจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องหาไอซีที่มีฟังก์ชันการหารค่ามาก ๆ อยู่ภายในตัวเดียวกัน ได้เลือกใช้ไอซีตระกูล TTL เบอร์ 74390 ซึ่งเป็นวงจรหาร 10 สองชุดอยู่ในตัวเดียวกันแล้วใช้ไอซีเบอร์ 7474 ซึ่งเป็น ดี ฟลิปฟลอป มาทำเป็นวงจรหาร 2 ซึ่งจะแสดงวงจรดังรูปที่ 3.6

2) ไดอะแกรมควบคุมการทำงาน

เมื่อได้ควมถี่อ้างอิงมาแล้ว จะต้องเขียนไดอะแกรมเวลาขึ้นมาก่อนเพื่อกำหนดจังหวะช่วงเวลากาานับ การแสดงผลและการเคลียร์ตัวนับให้เริ่มต้นใหม่ ซึ่งช่วงเวลาต่างๆ นี้เขียนขึ้นมาจากช่วงเวลาการทำงานของไอซี 4553 แสดงดังรูป 3.7

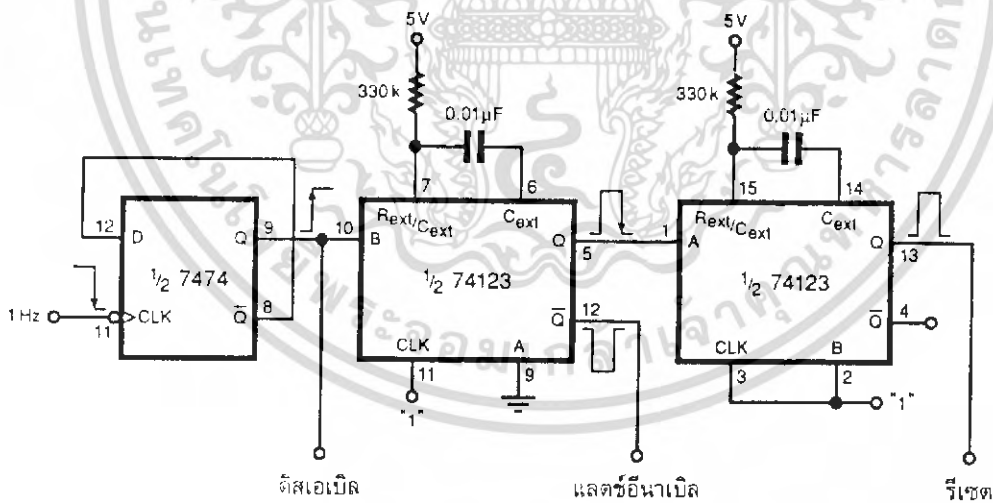
จากรูป สัญญาณที่มีอยู่แล้วคือฐานเวลา 1 Hz ส่วนสัญญาณที่เหลือต้องสร้างขึ้นมาจาก ซึ่งสามารถทำได้ดังต่อไปนี้

สัญญาณกำหนดกาานับ (Dis) เป็นสัญญาณที่กำหนดช่วงเวลาการนับภายในไอซี 4553 โดยให้มีช่วงเวลาการนับ 1 วินาทีและหยุดนับ 1 วินาที สัญญาณนี้สามารถสร้างได้โดยนำฐานเวลา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



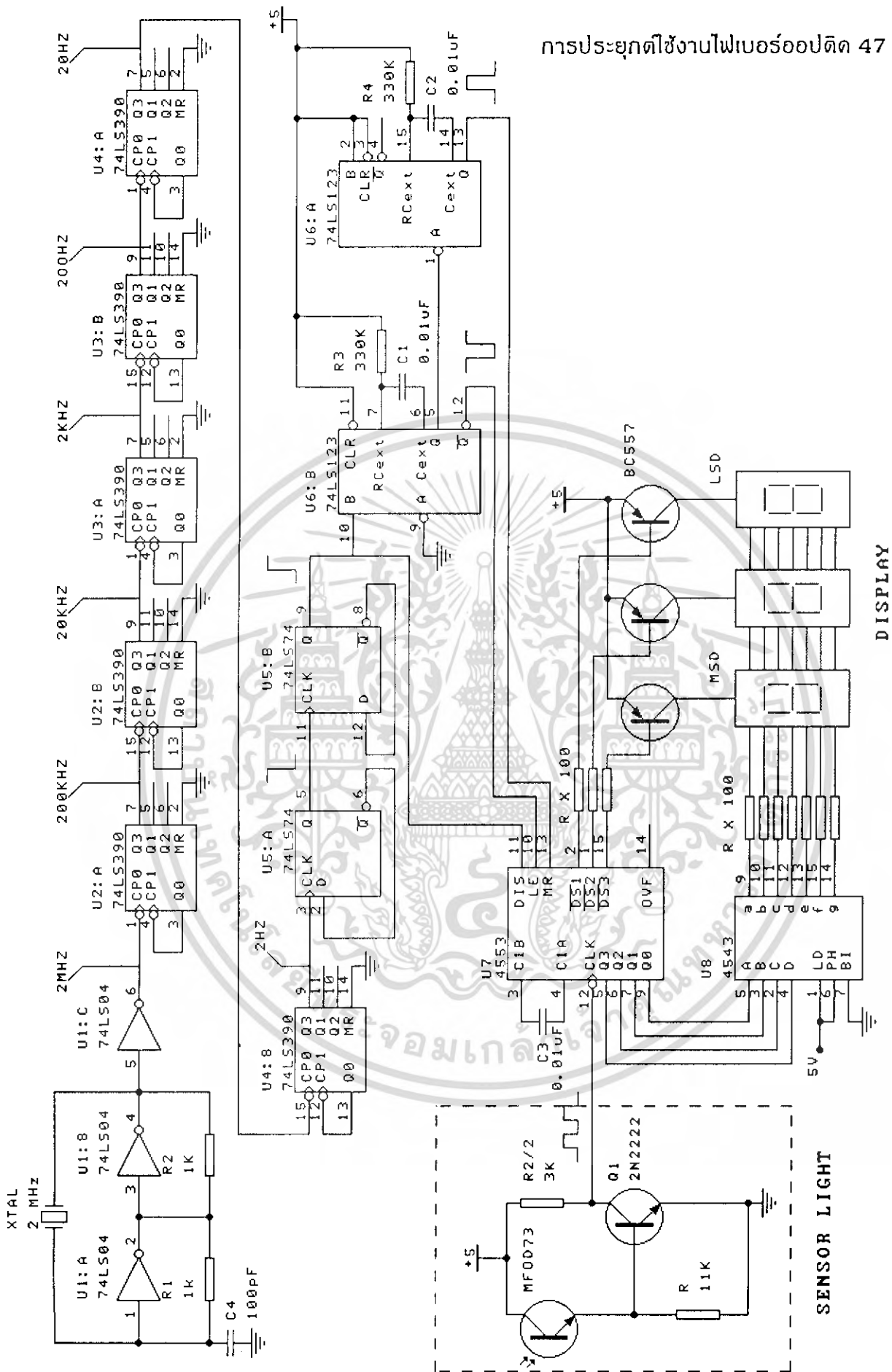
รูปที่ 3.7 แสดงไดอะแกรมเวลาในการควบคุมวงจรรนับ

วงจรมอนิเตอร์แบบเปิดจะใช้ไอซีเบอร์ 74123 ซึ่งมีวงจรมอนิเตอร์แบบเปิด 2 ชุดอยู่ในตัวเดียวกัน จึงนำมาสร้างวงจรถ่ายทอดสัญญาณแลตซ์อีนาเบิลและสัญญาณรีเซต ซึ่งวงจรถ่ายทอดแบบเรียบร้อยแล้ว แสดงดังรูป



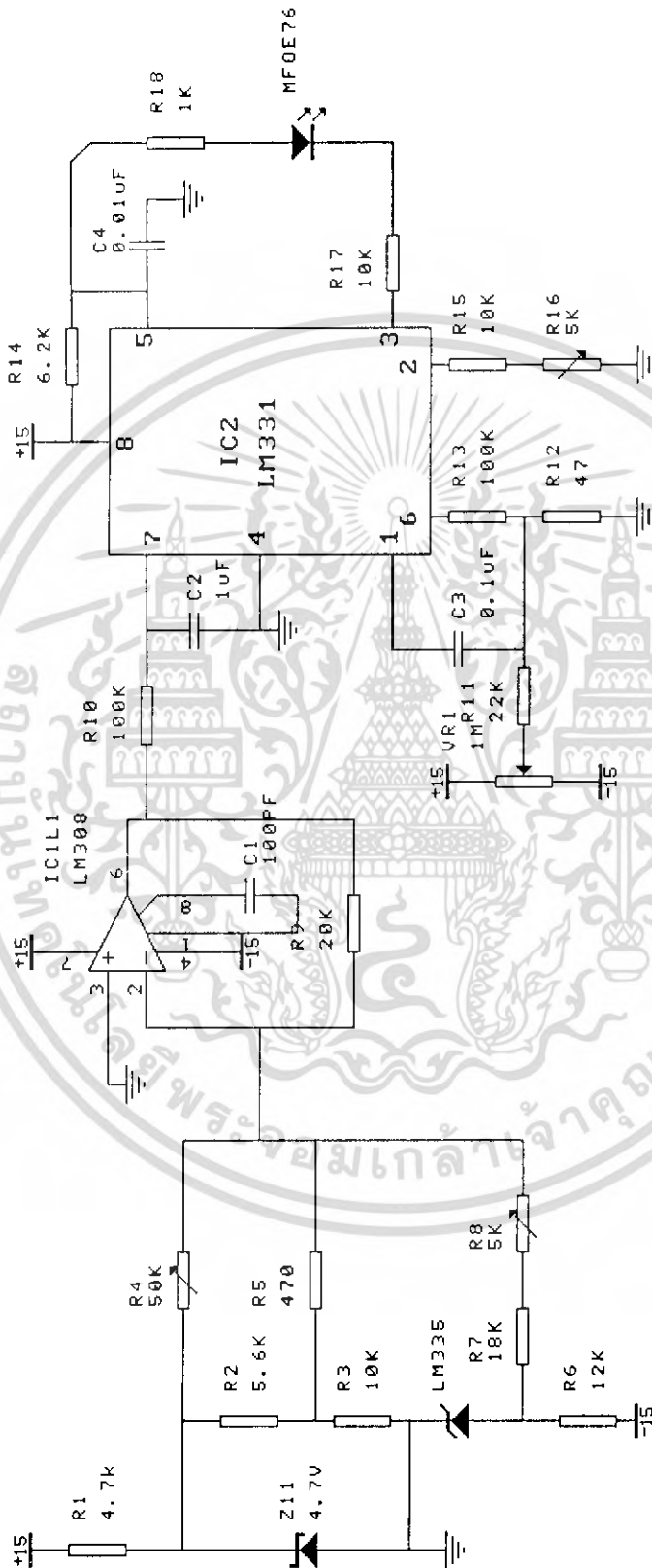
รูปที่ 3.8 แสดงวงจรถ่ายทอดสัญญาณดีสเอเบิล, แลตซ์อีนาเบิลและรีเซต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 3.9 แสดงวงจรสมบูรณของภาควิชาและส่วนแสดงผลมาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การออกแบบและสร้างในสวนภาคส่ง



รูปที่ 3.10 แสดงวงจรที่สมบูรณ์ของภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรนี้ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิแล้วเปลี่ยนเป็นความถี่ เพื่อส่งผ่านทางแสงโดยจะใช้ MFOE 76 ซึ่งเป็น LED มีความยาวคลื่นเท่ากับ 660 nm แต่ถ้ามี MFOE 71 ก็สามารถนำมาใช้งานแทนกันได้ และสามารถใช้งานได้ดีด้วย เนื่องจาก MFOE 71 จะมีความยาวคลื่นที่ 850 nm ซึ่งจะเกิดการสูญเสียในสายไฟเบอร์ออปติกน้อยกว่าแบบ MFOE 76 ในวงจรนี้จะใช้ไอซีเบอร์ LM 308 เป็นวงจรหุ้มมิ่งระหว่างตัววัดอุณหภูมิกับส่วนสร้างแรงดัน 2.73 V เพื่อให้ได้เอาท์พุทที่ LM 308 เป็น 10 mV / °C แล้วผ่านวงจรเปลี่ยนแรงดันให้เป็นความถี่ ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ LM 331 เป็นตัวแปลงแรงดันให้เป็นความถี่ ในวงจรนี้สามารถรับขนาดของแรงดันได้สูงสุด 10 V และจะสร้างความถี่สูงสุดที่ 10 KHz โดยที่ความถี่จะเปลี่ยนแปลงไปตามระดับแรงดันที่รับเข้ามาที่ขา 7 เราสามารถคำนวณค่าของความถี่ที่ LM 331 สร้างขึ้นมาได้โดย

$$f_{out} = \frac{V_{in}}{209 \text{ V}} \times \frac{R_s}{R_L} \times \frac{1}{R_1 C_1}$$

ซึ่งในวงจรนี้จะใช้

$$R_s = 10k + R_{pot} 5k$$

$$C_1 = 0.01 \mu\text{F}$$

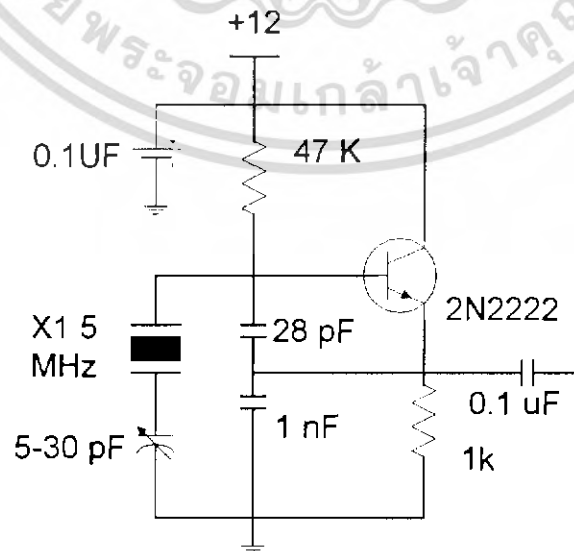
$$R_1 = 6.2 \text{ k}$$

$$R_L = 10 \text{ k}$$

ซึ่งค่า $R_{pot} 5k$ ควรใช้แบบ Trimpot เพื่อที่จะได้ปรับได้ละเอียดยิ่งขึ้นและจะทำให้ได้ความถี่ที่เป็นลิเนียร์

3.2 การออกแบบและการสร้างในส่วนของการส่งสัญญาณทางแสง

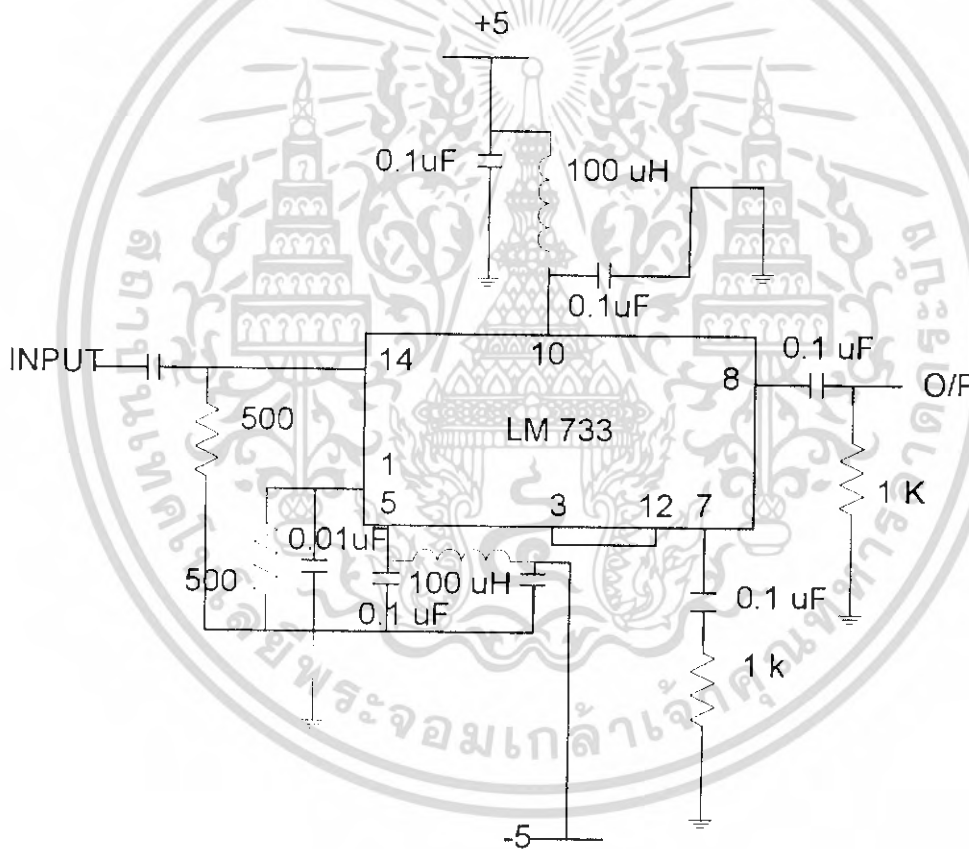
3.2.1 การสร้างวงจรออสซิลเลเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า รูปที่ 3.11 แสดงวงจรออสซิลเลเตอร์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรในรูป 3.11 เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์แบบ โคลปีทออสซิลเลเตอร์ (Colpitt Oscillator) โดยใช้คริสตอล ความถี่ 5 MHz เป็นตัวผลิต และควบคุมความถี่ในวงจร จากวงจรจะใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N 2222A ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ความถี่สูงทำหน้าที่ เป็นตัวขยายสัญญาณออสซิลเลทที่เกิดขึ้น ส่วนตัวเก็บประจุที่ปรับค่าได้ จะทำหน้าที่ปรับความถี่ เพื่อให้ศึกษาในวงจรการส่งสัญญาณทางแสงโดยใช้เลเซอร์ไดโอด และวงจรนี้จะใช้แหล่งจ่ายขนาด 12 V และให้สัญญาณเอาต์พุตที่ ออสซิลเลตออกมา มีขนาด 150 mV

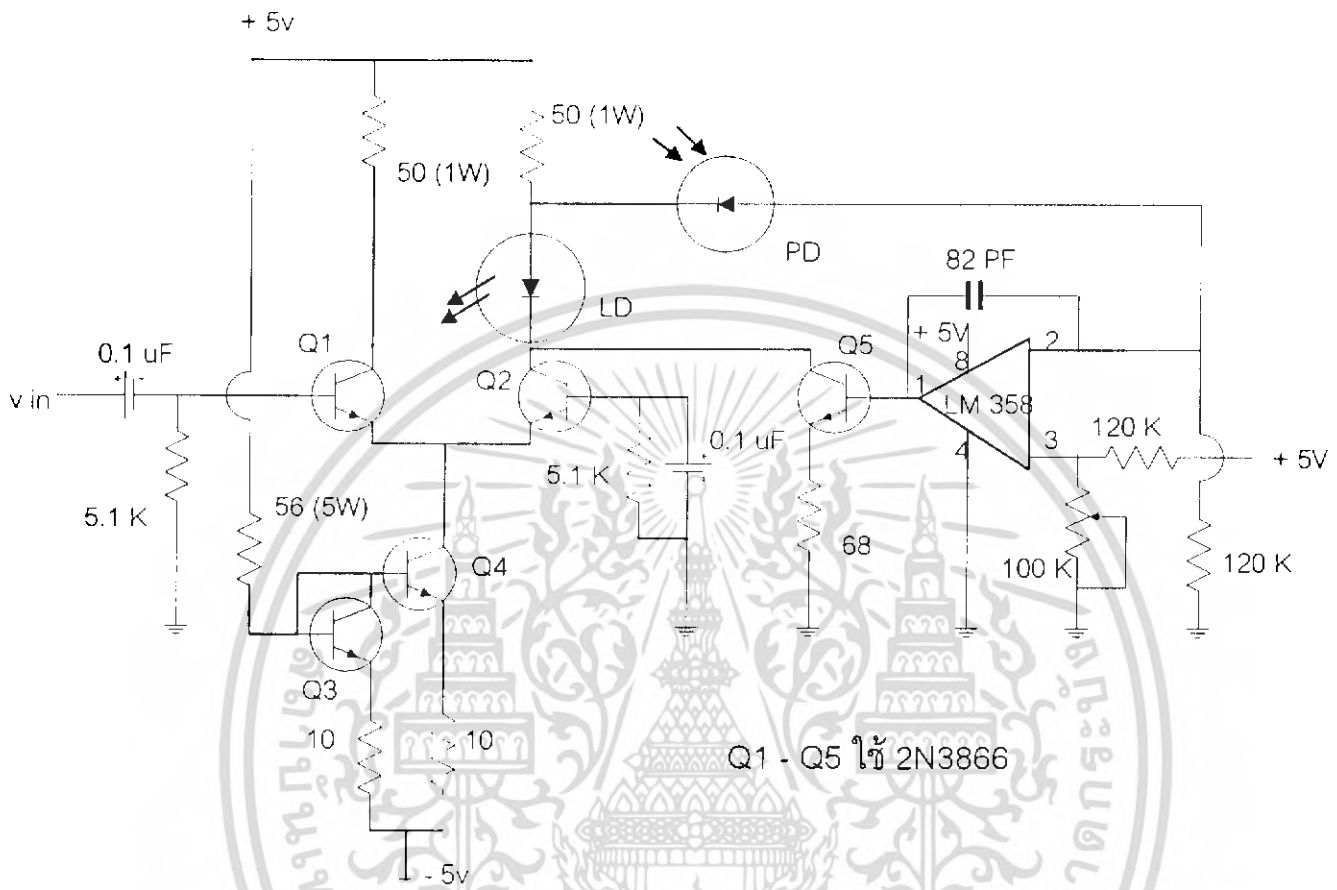
3.2.2 วงจรขยายสัญญาณความถี่สูง



รูปที่ 3.12 แสดงวงจรขยายสัญญาณความถี่สูง

วงจรขยายสัญญาณความถี่สูง ใช้สำหรับขยายสัญญาณที่ผลิตมาจากออสซิลเลเตอร์ เพื่อป้อนเป็นสัญญาณอินพุตให้กับวงจร มีอตุเลขสัญญาณทางแสง โดยภายในวงจรจะใช้ IC Video Amp เบอร์ LM 733 หรือ NE 592 แทนก็ได้ เพราะอุปกรณ์ทั้งสองมีลักษณะการทำงานที่คล้ายคลึงกันมาก และในวงจรที่ใช้งานจริงในปริิพญานิพนธ์นี้ จะมีอัตราค่าขยายประมาณ 50 เท่า โดยขั้นตอนการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 วงจรส่งสัญญาณทางแสงโดยใช้เลเซอร์ไดโอด



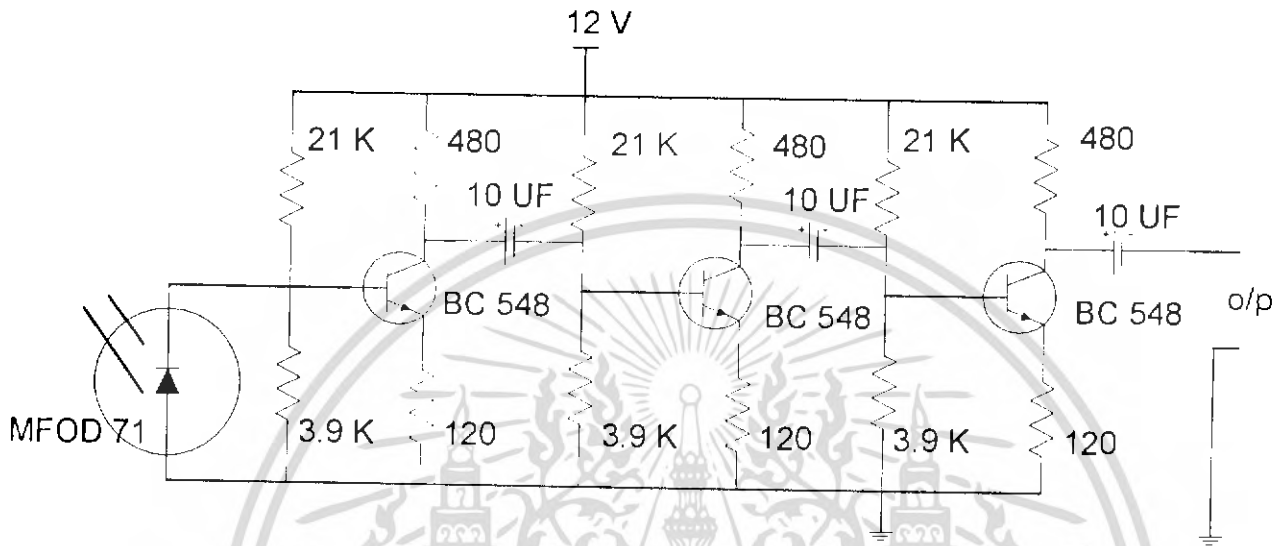
รูปที่ 3.13 แสดงวงจรส่งสัญญาณทางแสงโดยใช้เลเซอร์ไดโอด

จากวงจรข้างบน เป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ โดยคุณสมบัติของวงจรดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์นี้ คือจะให้กระแส I_c ของทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 มีค่าเท่ากัน ส่วน Q3 และ Q4 จะเป็นส่วนของวงจร Current mirror เป็นตัวขับเคลื่อนให้กับเลเซอร์ไดโอด เพราะฉะนั้นเมื่อ V_{in} เข้ามาที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 จะทำให้ กระแสที่ไหลใน Q1 เกิดการเปลี่ยนแปลงและเป็นผลทำให้ ทรานซิสเตอร์ Q2 เกิดการเปลี่ยนแปลงตามด้วย ดังนั้นเมื่อมี V_{in} เข้ามาที่ Q1 มีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณจึงทำให้วงจรนี้สามารถนำมาใช้ในการมอดูเลตเป็นสัญญาณทางแสงได้ แต่เนื่องจากเราใช้ตัว เลเซอร์ไดโอดเป็นตัวกำเนิดแสงดังนั้นเราจึงต้องมีส่วนของวงจรที่จะนำมาใช้ควบคุมกระแสให้กับเลเซอร์ไดโอด โดยในวงจรนี้จะใช้อปแอมป์ LM 358 เป็นตัวไบอัสให้ทรานซิสเตอร์ Q5 เพื่อมาควบคุมกระแสในเลเซอร์ไดโอดให้คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 วงจรภาครับสัญญาณ

3.3.1 วงจรดีเทคต์สัญญาณแสงเป็นไฟฟ้า (O/E Converter)



รูปที่ 3.14 วงจรดีเทคต์สัญญาณทางแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า

การทำงานของวงจร

จากรูปเป็นวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า เมื่อด้านส่งสัญญาณแสงเข้ามาในเส้นใยแสง โดย ทางด้านรับก็จะรับสัญญาณแสงที่ส่งเข้ามาโดยใช้โฟโต้ไดโอด (Photo Diode) จากรูปเมื่อมีแสงเข้ามายังโฟโต้ไดโอดก็จะทำให้ค่าความต้านทานภายในของโฟโต้ไดโอดลดลงซึ่งสามารถทำให้กระแสไหลผ่านตัวโฟโต้ไดโอดได้ ดังนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลมาไบอัสให้แก่ทรานซิสเตอร์ตามสภาวะของแสงที่เข้ามา เมื่อกระแสที่ไบอัสให้แก่ทรานซิสเตอร์ จะมีลักษณะเหมือนทางด้านส่งทุกประการ สัญญาณขาออกจะผ่านคาปาซิเตอร์ไปยังวงจรขยาย 2 สเตท (State) ต่อไป

วิธีการออกแบบ

1. จะต้องกำหนดเบอร์ทรานซิสเตอร์ที่เหมาะสมและเลือกจุดการทำงานของทรานซิสเตอร์ จากกราฟคุณสมบัติ

จากความถี่ของสัญญาณที่เราสร้างขึ้นมีค่า 5 MHz จึงเลือกใช้ทรานซิสเตอร์ เบอร์ BC 548

ซึ่งมี Bandwidth Frequency 300 MHz, $h_{fe}=333$, $V_{ce}=40$ V, $I_{c_{max}} = 600$ mA พิจารณาจากกราฟ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นาเบะเบะเช่นนี้เห็นการค่า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติจะเลือกใช้จุดการทำงานของทรานซิสเตอร์ BC 548 ที่ $V_{CC} = 12\text{ V}$ จะได้

$$I_C = 10\text{ mA} (I_C = I_E), I_B = 30\text{ }\mu\text{A}, V_{CE} = V_{CC} / 2 = 6\text{ V}$$

2. โดย V_E กำหนดให้มีค่า $1/10 V_{CC}$

$$V_E = 1.2\text{ V}$$

3. เพราะฉะนั้นคำนวณหาค่าความต้านทาน R_E

$$R_E = V_E / I_E = 120\text{ โอห์ม}$$

4. คำนวณหาค่าความต้านทาน R_C

$$R_C = (V_{CC} - V_{CE} - V_E) / I_C = 480\text{ โอห์ม}$$

5. คำนวณหาค่าความต้านทาน R_{B2}

$$R_{B2} : 1/10 (\beta R_E) = 3.996\text{ กิโลโอห์ม}$$

$\therefore R_{B2}$ จะมีค่าประมาณ 3.9 กิโลโอห์ม

6. คำนวณหาค่าความต้านทาน R_{B1}

$$\text{เมื่อ } V_{B1} = V_E + V_{BE} = 1.9\text{ V}$$

$$\text{หา } R_{B1} \text{ จากสูตร } V_B = (R_{B2} / (R_{B1} + R_{B2}))$$

$$\therefore R_{B1} = 21\text{ กิโลโอห์ม}$$

นำค่าความต้านทานค่าต่างๆที่คำนวณได้ไปแทนลงในวงจร รูปที่ 3.15 ซึ่งเป็นวงจรในภาครับของปริวิตานิพนธ์นี้ ซึ่งจะเห็นว่าเป็นวงจรขยายสัญญาณ 3 สเตท เพราะสัญญาณที่ได้จากวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า แบบสเตทเดียวมีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงต้องนำเอาสัญญาณที่ได้มาขยายต่อไปอีกเพื่อที่จะได้สัญญาณที่สูงพอที่จะสามารถนำเอาสัญญาณที่เรารับเข้ามาได้นี้ไปใช้ประโยชน์ต่อไป

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองในส่วนวัดอุณหภูมิ

การทดลองในส่วนของวัดอุณหภูมิ เราได้ทำการลองใช้น้ำแข็ง ซึ่งห่อด้วยถุงพลาสติกแล้วนำไปวางแต่ที่ ตัวตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผลที่ได้ก็คือค่าของอุณหภูมิก็จะลดลงเรื่อยๆ และเมื่อเราทำการ เปลี่ยนวิธีจากการใช้ความเย็น มาใช้ทางด้านความร้อนแทน โดยเราใช้ไคโปอาผม หรือ ใช้มีดคัทเตอร์ แต่ที่ตัวตรวจจับอุณหภูมิ แล้วใช้หัวแร้งจี้ที่ มีดคัทเตอร์นั้น ผลที่ออกมาก็คือ อุณหภูมิที่วัดได้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และจากการทดลองที่ผ่านมา เป็นการทดลองอย่างหยาบๆ เมื่อเราได้ทำการทดลองแบบละเอียดเท่าที่ทำได้ก็คือ เราจะทำการปรับแต่งเครื่องวัดอุณหภูมิของเราเทียบกับ เทอร์โมมิเตอร์ โดยเราได้ทำการปรับแต่งให้เครื่องวัดอุณหภูมิให้มีค่าตรงกับอุณหภูมิที่ เทอร์โมมิเตอร์วัดได้ และ ปิดเครื่องไว้ แล้วเมื่อเราต้องการจะดูว่าเครื่องวัดอุณหภูมิของเราทำงานได้จริงหรือไม่ เราก็ลองเปิดเครื่องวัดอุณหภูมิของเราเมื่อใดก็ได้ และดูผลที่ปรากฏออกมาว่า อุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์กับเครื่องวัดอุณหภูมิของเรามีค่าเป็นอย่างไร และจากผลการทดลอง ปรากฏว่า ผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันกับเทอร์โมมิเตอร์ แต่ต้องรออยู่ในช่วงเวลาหนึ่งก่อนที่ตัวตรวจจับอุณหภูมิของเราจะทำงานได้เต็มที่

การปรับแต่งของเครื่องวัดอุณหภูมิ

เทคนิคของการปรับแต่งเครื่องวัดอุณหภูมิก็คือ เราจะต้องทำการปลดล๊อคสัญญาณจาก ตัวตรวจจับอุณหภูมิออก แล้วทำการวัดที่ ขาเอาท์พุทของออปแอมป์ให้ได้ ค่า - 2.73 V และเมื่อเราได้นี้ ออกมาแล้ว ก็ปลดขาแรงดันหักล้างออก และทำการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ให้ได้ค่าของ ระดับแรงดันที่เอาท์พุทของออปแอมป์มีค่าตรงกัน และเมื่อเราได้ค่าของแรงดันที่ตรงกันแล้ว เราก็นำขาของแรงดันหักล้างมาต่อที่วงจรดั้งเดิม และคราวนี้ก็อยู่ที่ว่าเราจะสามารถรู้ได้อย่างไรว่า ขณะนั้น อุณหภูมิเป็นเท่าไร ถ้าเราดูเราก็ทำการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ 5 K ที่ต่ออยู่ในภาค Voltage to Frequency ให้ได้ค่าของอุณหภูมิตามที่เราต้องการ

สรุปผลการทดลองในภาคเครื่องวัดอุณหภูมิ

จากการทดลองจริง ค่าที่วัดได้จะมีการวิ่งเป็นจุดทศนิยม และดิสเพลย์ที่ใช้แสดงค่าของ อุณหภูมิมีความสว่างไม่มากพอ เนื่องจากเราใช้ 7-Segment ที่มีขนาดใหญ่เกินไป และบวกกับเรา

ใช้ตัวนับ BCD สามหลัก

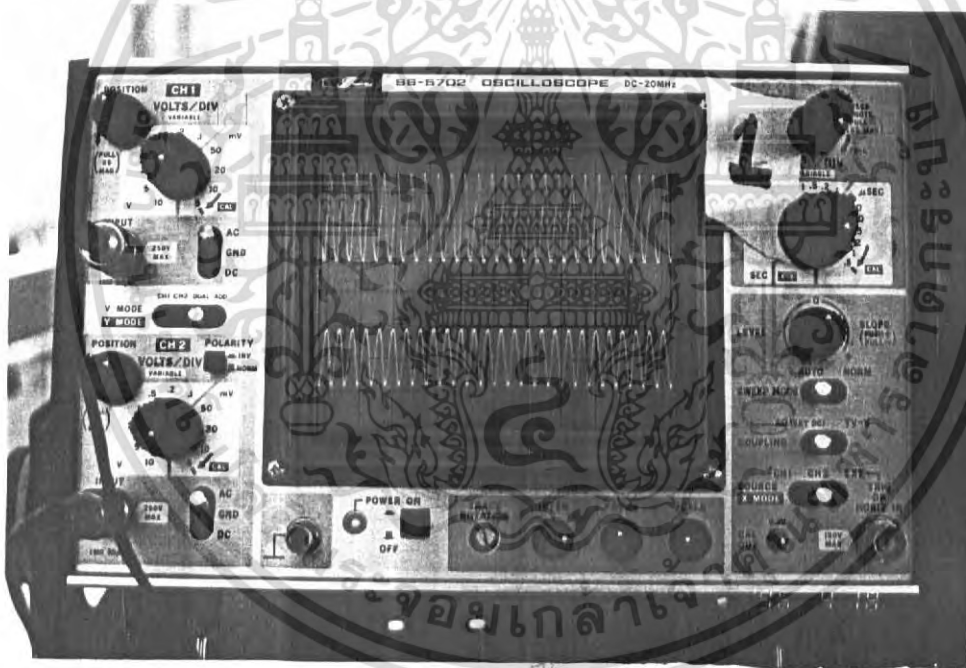
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองในส่วนของการส่งสัญญาณทางแสงด้วยเลเซอร์ไดโอด

จากการทดลองวงจรที่ใช้ในการส่งสัญญาณทางแสงเลเซอร์นี้ ถ้าเรานำสัญญาณที่มีความถี่สูงๆ เข้ามามอดูเลต เราจะต้องทำการขยายสัญญาณความถี่นั้นให้มีขนาดของสัญญาณที่แรงพอสมควร ไม่เช่นนั้นสัญญาณที่นำมามอดูเลตแล้วเวลาที่ภาครับ ทำการดีเทคสัญญาณทางแสงนั้นจะทำให้ภาครับไม่สามารถทำการดีเทคได้ นั่นก็เป็นผลเนื่องมาจาก เมื่อสัญญาณที่มีขนาดของสัญญาณเท่ากัน แต่มีความถี่ต่างกันเมื่อนำมามอดูเลตแล้วจะให้ความแรงของสัญญาณไม่เท่ากัน จากการทดลองเมื่อเรานำสัญญาณที่มีขนาดเล็กที่ความถี่ไม่สูงเกินไป วงจรภาคส่งของเราจะสามารถวัดสัญญาณที่ออกมาจากการมอดูเลตได้ 4 - 5 V ที่วงจรส่ง แต่เมื่อเราเพิ่มความถี่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สัญญาณที่วัดได้จากภาคส่งจะมีขนาดลดลง

แต่ในปริยญาณิพนธ์เราได้สร้างวงจรที่ใช้ในการส่งสัญญาณทางแสงที่ความถี่ 5 MHz และทำการดีเทคออกมาได้เป็นที่น่าพอใจมากดังรูปที่แสดง



รูปแสดงสัญญาณที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- 1) อาจารย์สมศักดิ์ เดียวสุรินทร์, Projects in Fiber Optics By Technical Staff of Newport Corporation, ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ. สงขลา
- 2) Wayne Tomasi, Advanced Electronic Communication System, Prentice-Hall International Editions 1987
- 3) ไชยันต์ สุวรรณชีวะศิริ, ปฐมบทของไฟเบอร์อปติก, เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 115 พ.ศ. 2535
- 4) อภินันท์ มั่นยานนท์, ทฤษฎีการสื่อสารเส้นใยแสง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2528
- 5) พันศักดิ์ ศรีทรัพย์, การสื่อสารด้วยไฟเบอร์อปติก, บริษัท อิเลคเวิลด์ จำกัด
- 6) ราชัญ บุญเจือจันทร์, ปริญญาธิพนธ์ เครื่องส่งสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแสง, ปีการศึกษา 2537
- 7) Motorola Inc. Fiber Optic Communication Prentice-Hall



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIY Kit 41. MINIATURE 5mW VISIBLE RED LASER DIODE MODULE

If you want to experiment with laser light then this is the way to do it. Buy the laser module, connect it to a 3.0 VDC source and there it is. NOTE: never look into the laser light. It can easily harm your eyes permanently. Do not shine it at a persons face.

Output power:	5 mW.
Wavelength:	670 nm, deep red. Wavelength is a function of temperature. At 0°C it is 665nm increasing in a linear fashion to 675nm at 40°C.
Collimating lens:	acrylic, aspheric, anti-reflective coated.
Operating voltage:	3.0 V DC. Do not go over 3.0V. You will just burn out the diode. Over 10 hours on 2 AA batteries.
Operating current:	85mA.
Laser diode:	Sony SLD1122VS.
Case:	brass tube.
Dimensions:	cylinder 18.5mm x 11.5mm (diam.), 0.75" x 0.45".
Beam:	6mm at 5 meters
Beam diameter:	typically 4mm x 6mm.
Operating Temp :	zero to 40 degrees Centigrade.

You can make your own laser pointer or security beam fence with the module, a press button switch and a battery holder supplied. Just add 2 x AA batteries.

LASER DIODES

Laser Diodes (LD) have become the most widely used type of lasers. They are found in CD players, video disks, CD-ROM, printers and supermarket checkout counters where they scan the bar code printed on your purchases to automate and speed-up check-out time. Only laser light can be used in these applications. Polychromatic light (multi-wavelength) cannot be used. Monochromatic light is required.

Compared to the older He-Ne lasers, LDs are smaller, cheaper and far less complicated (both in their own physical size and the support electronics to power them.) Standard LDs are made from gallium-aluminium-arsenide. They give laser light at 775nm which is in the near infra-red part of the spectrum. The newer LDs are made from indium-gallium-aluminium-phosphide which gives laser light at 665nm (red.) It is these visible red LD modules which are used in barcode readers. These readers scan the white and black bars of a barcode; the white bars reflect light which falls on a photodiode while the black bars absorb light. The contrast between reflected and absorbed light becomes greater as the wavelength becomes smaller. Wavelengths above about 780nm cannot be used.

Most CD players, CD_ROM and video disks use 775nm LD modules. On a CD player this allows a distance between tracks of 1.9 um. This gives a total of 18,000 tracks on a 3.3cm wide CD recording surface. Now if smaller 660nm light could be used the number of tracks (and thus the playing time) could be increased by 18%. Blue laser light at 428nm and 523nm is now being looked at for the next generation of these consumer goods for even greater information storage densities - and playback times.

The actual emission surface of LDs is small - only 2.5 square mm. Light is not only emitted forward. About 5% is emitted backwards from its backplane. This falls onto a photodiode whose resistance varies in direct proportion to the intensity. This allows a feedback circuit controlled by the photodiode to regulate the current through the LD. Despite the fact that the photodiode is contained in the same housing the whole unit is referred to as the laser diode. Laser light from a LD is not produced in a narrow beam. A lens system is required to collimate the beam.

Efficient heat sinking is necessary since a temperature rise causes a decrease of optical output power.

ลิขสิทธิ์นี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา (Revised documentation, June 1994.) ขอนัดด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

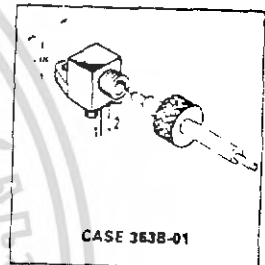
Fiber Optics — FLCS Family Visible Red LED

MFOE76

FLCS FAMILY
FIBER OPTICS
VISIBLE RED
LED
660 nm

This device is designed for low cost, medium frequency, fiber optic systems using 1000 micron core plastic fiber. It is compatible with Motorola's wide variety of detector functions from the MFOE70 series. The MFOE76 employs gallium aluminum technology, and comes pre-assembled into the convenient and popular FLCS connector.

- Low Cost
- Very Simple Fiber Termination and Connection. See Figure 9
- Convenient Printed Circuit Mounting
- Integral Molded Lens for Efficient Coupling
- Mates with 1000 Micron Core Plastic Fiber, such as Eska SH4001



MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	V _R	5	Volts
Forward Current — Continuous	I _F	60	mA
Forward Current — Peak Pulse	I _F	1	A
Total Power Dissipation in T _A = 25°C (1) Derate above 35°C	P _D	132 2	mW mW/°C
Ambient Operating Temperature Range	T _A	-40 to +100	°C
Storage Temperature	T _{stg}	-40 to +100	°C
Lead Soldering Temperature (2)	—	260	°C

Notes: 1. Measured with device soldered into a typical printed circuit board.
2. 5 seconds max; 1/16 inch from case.

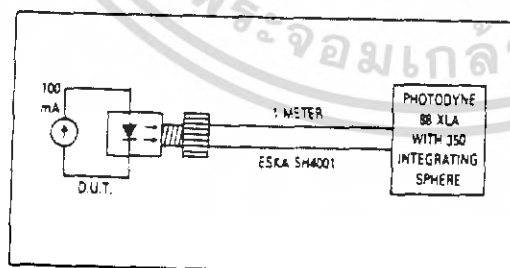


Figure 1. Power Launched Test Setup

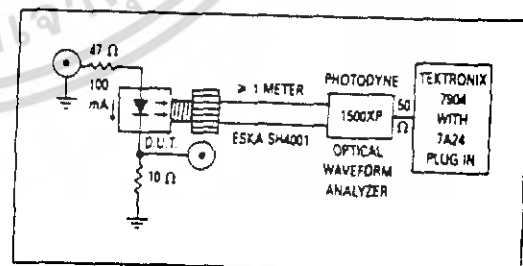
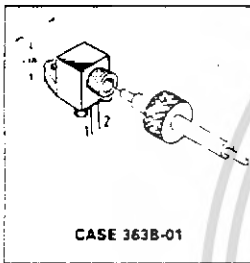


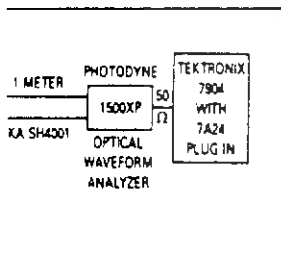
Figure 2. Optical Turn-On and Turn-Off Test Setup

MFOE76

FLCS FAMILY
FIBER OPTICS
VISIBLE RED
LED
660 nm



Value	Unit
5	Volts
60	mA
1	A
132	mW
2	mW/°C
-40 to +100	°C
-40 to +100	°C
260	°C



On and Turn-Off Test Setup

MFOE76

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

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Reverse Leakage Current ($V_R = 3\text{ V}$)	I_R	—	100	—	nA
Reverse Leakage Current ($V_R = 5\text{ V}$)	i_R	—	10	100	μA
Forward Voltage ($I_F = 60\text{ mA}$)	V_F	—	1.8	2.2	V
Temperature Coefficient of Forward Voltage	ΔV_F	—	-2.2	—	mV/K
Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$)	C	—	50	—	pF

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

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Peak Wavelength ($I_F = 60\text{ mA}$)	λ_p	—	660	—	nm
Instantaneous Power Launched ($I_F = 100\text{ mA}$, Figure 1)	P_L	200	540	—	μW
Optical Turn-On Time (Figure 2)	t_{on}	—	200	—	ns
Optical Turn-Off Time (Figure 2)	t_{off}	—	150	—	ns
Half-Power Electrical Bandwidth (1)	BWe	—	5	—	MHz

(1) $I_F = 160\text{ mA}$ pk-pk, 100% modulation

TYPICAL CHARACTERISTICS

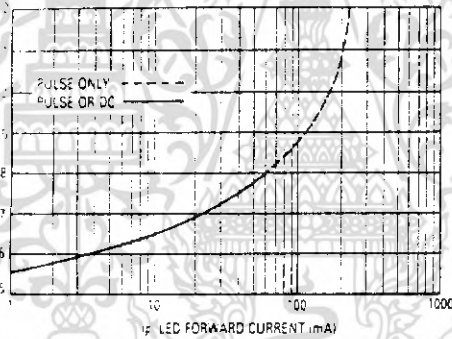


Figure 3. Forward Voltage versus Forward Current

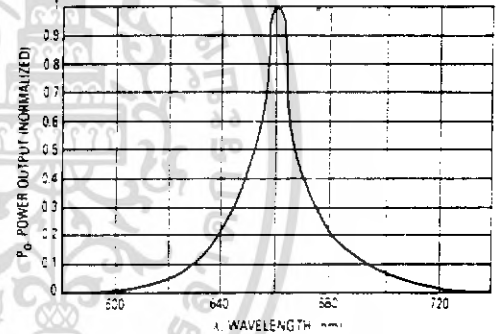


Figure 4. Relative Spectral Output

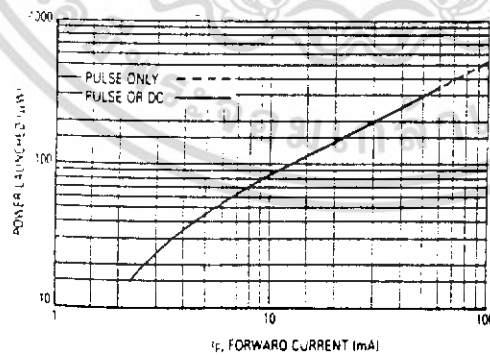


Figure 5. Power Launched versus LEO Forward Current

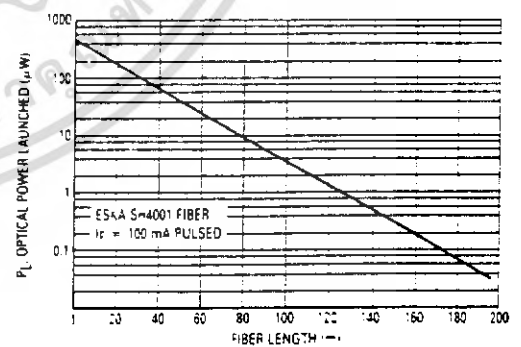


Figure 6. Power Launched versus Fiber Length

MFOE76

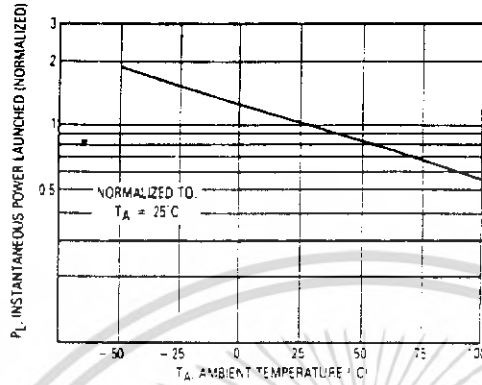


Figure 7. Instantaneous Power Output versus Ambient Temperature

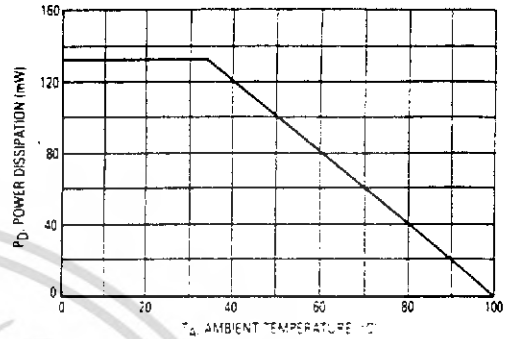


Figure 8. Power Dissipation

The system length achieved with a MFOE76 emitter and various detectors, using 1000 micron core plastic fiber (Eska SH4001 or equivalent), depends on the LED forward

current (I_f) and the responsivity of the detector chosen. Each detector will perform with the MFOE76 up to the distances shown below.



Figure 9. MFOE76 Working Distances

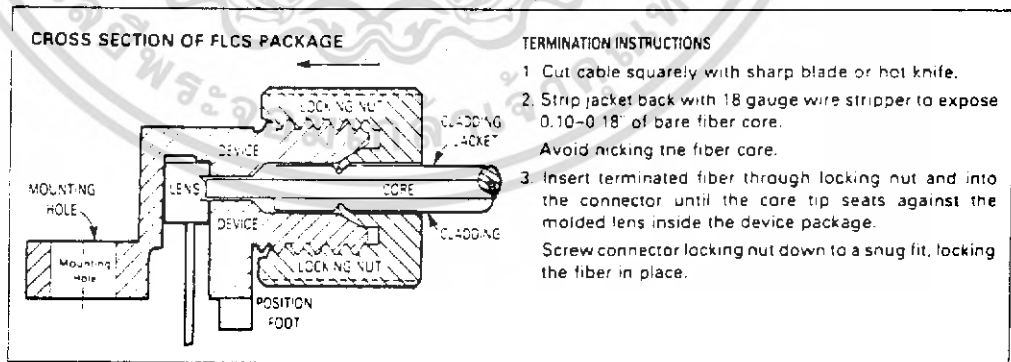
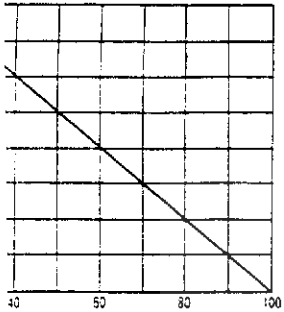


Figure 10. FO Cable Termination and Assembly

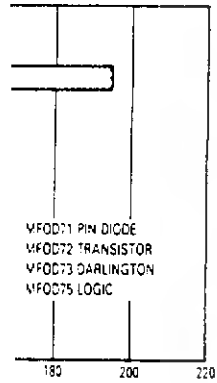
MFOE76



AMBIENT TEMPERATURE (°C)

3. Power Dissipation

Consistency of the detector chosen. Form with the MFOE76 up to the



Sharp blade or hot knife.
 Large wire stripper to expose re.
 e.
 Rough locking nut and into core tip seats against the vice package.
 Push down to a snug fit, locking

OUTLINE DIMENSIONS

NOTES:

1. Y AND Z ARE DATUM DIMENSIONS AND T IS A DATUM SURFACE.
2. POSITIONAL TOLERANCE FOR D Ø (2 PL): $\pm 0.25 (0.010) \text{ (T | Y | Z)}$
3. POSITIONAL TOLERANCE FOR F DIMENSION (2 PL): $\pm 0.25 (0.010) \text{ (T | Y | Z)}$
4. POSITIONAL TOLERANCE FOR H DIMENSION (2 PL): $\pm 0.25 (0.010) \text{ (T | Y | Z)}$
5. POSITIONAL TOLERANCE FOR Ø Ø: $\pm 0.25 (0.010) \text{ (T | Y | Z)}$
6. POSITIONAL TOLERANCE FOR Ø: $\pm 0.25 (0.010) \text{ (T | Y | Z)}$
7. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
8. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

STYLE 1
PIN 1: ANODE
2: CATHODE

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	2.30	2.33	0.780	0.840
B	3.14	3.29	0.360	0.370
C	7.57	8.12	0.300	0.320
D	1.55	1.62	0.061	0.064
E	2.41	2.56	0.095	0.105
F	0.43	0.58	0.017	0.023
G	1.94 BSC		0.100 BSC	
H	0.33	2.45	0.013	0.078
J	7.62 BSC		0.300 BSC	
K	3.31	3.43	0.350	0.430
L	1.14	1.55	0.045	0.065
M	2.54 BSC		0.100 BSC	
O	3.25	3.30	0.120	0.130
R	7.62	8.12	0.300	0.320
S	1.28 BSC		0.200 BSC	
U	0.66	0.81	0.025	0.036
V	6.86	7.11	0.270	0.280
W	5.28 BSC		0.210 BSC	
X	12.87	13.55	0.428	0.455

**CASE 363B-01
PLASTIC**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่วางกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fiber Optics — FLCS Family
Photo Detector
Darlington Output

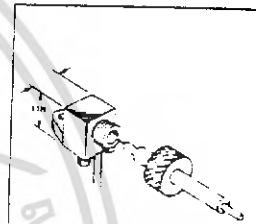
MFOD73

FLCS FAMILY
FIBER OPTICS
PHOTO DETECTOR
DARLINGTON OUTPUT

... designed for low cost, short distance Fiber Optic Systems using 1000 micron core plastic fiber.

Typical applications include: high isolation interconnects, disposable medical electronics, consumer products, and microprocessor controlled systems such as coin operated machines, copy machines, electronic games, industrial clothes dryers, etc.

- High Sensitivity Photodarlington Output
- Ideally Matched to MFOE76 Emitter for Plastic Fiber Systems
- Annular Passivated Structure for Stability and Reliability
- FLCS Package
 - Includes Connector
 - Simple Fiber Termination and Connection (Figure 4)
 - Easy Board Mounting
 - Molded Lens for Efficient Coupling
 - Mates with 1000 Micron Core Plastic Fiber (Eska SH4001)



CASE 363B-01
 PLASTIC

5

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	60	Volts
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	150 2	mW mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-40 to -100	°C

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

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Collector Dark Current ($V_{CE} = 10\text{ V}$)	I_D	—	—	100	nA
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 10\text{ mA}$)	V_{BRICE0}	60	—	—	Volts

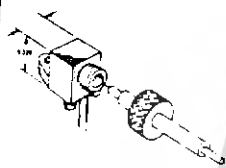
OPTICAL CHARACTERISTICS

Responsivity ($V_{CC} = 5\text{ V}$, Figure 2)	R	1,000	1,500	—	$\mu\text{A}/\mu\text{W}$
Saturation Voltage ($\lambda = 850\text{ nm}$, $V_{CC} = 5\text{ V}$) ($P_{in} = 1\text{ }\mu\text{W}$, $I_C = 2\text{ mA}$)	$V_{CE(sat)}$	—	0.75	1	Volts
Turn-On Time	$R_L = 100\ \Omega$, $P_{in} = 1\text{ }\mu\text{W}$, $\lambda = 850\text{ nm}$, $V_{CC} = 5\text{ V}$	t_{on}	—	125	μs
Turn-Off Time		t_{off}	—	150	μs

MFOD73

MFOD73

FLCS FAMILY
FIBER OPTICS
PHOTO DETECTOR
DARLINGTON OUTPUT



CASE 3638-01
PLASTIC

Value	Unit
60	Volts
150	mW
2	mW/°C
-30 to +100	°C

Typ	Unit
100	nA
	Volts

1.500	—	μA/μW
0.75	1	Volts
125	—	μS
150	—	μS

TYPICAL COUPLED CHARACTERISTICS

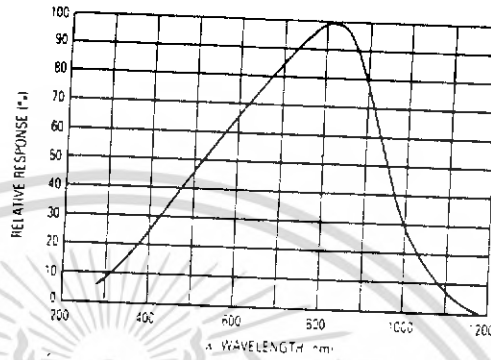


Figure 1. Relative Spectral Response

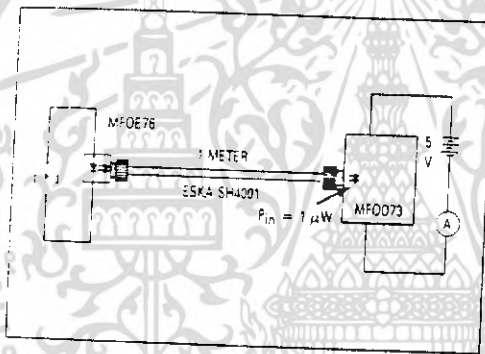


Figure 2. Responsivity Test Configuration

The system length achieved with a MFOE76 emitter and various detectors, using 1000 micron core plastic fiber (Eska SH4001 or equivalent), depends on the LED forward

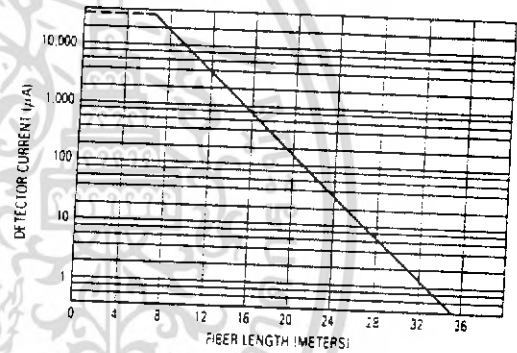


Figure 3. Detector Current versus Fiber Length

current (I_f) and the responsivity of the detector chosen. Each detector will perform with the MFOE76 up to the distances shown below.

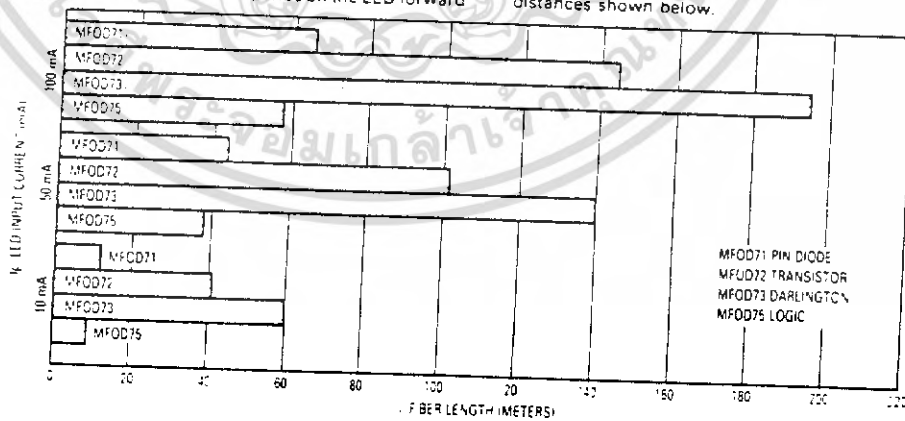


Figure 4. MFOE76 Working Distances

MFOD73

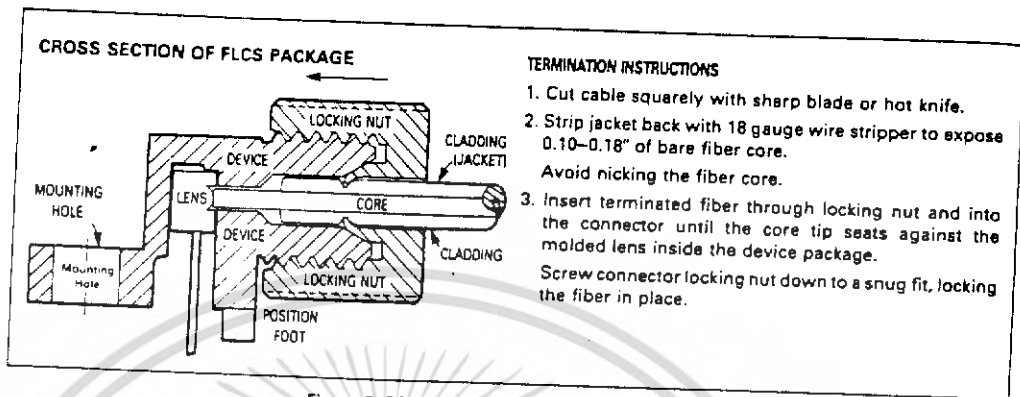


Figure 5. FO Cable Termination and Assembly

INPUT SIGNAL CONDITIONING

The following circuits are suggested to provide the desired forward current through the emitter.

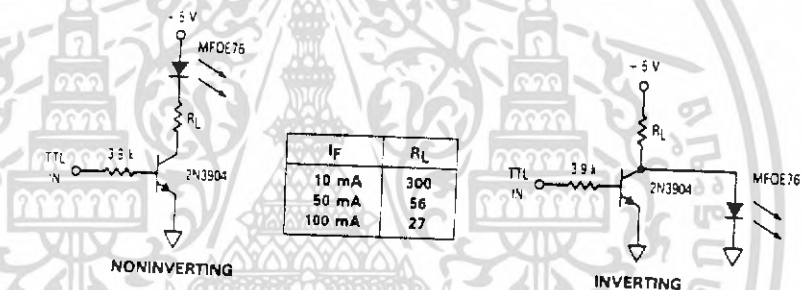


Figure 6. TTL Transmitters

OUTPUT SIGNAL CONDITIONING

The following circuit is suggested to take the FLCS detector output and condition it to drive TTL with an acceptable bit error rate.

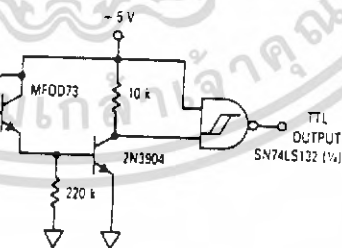
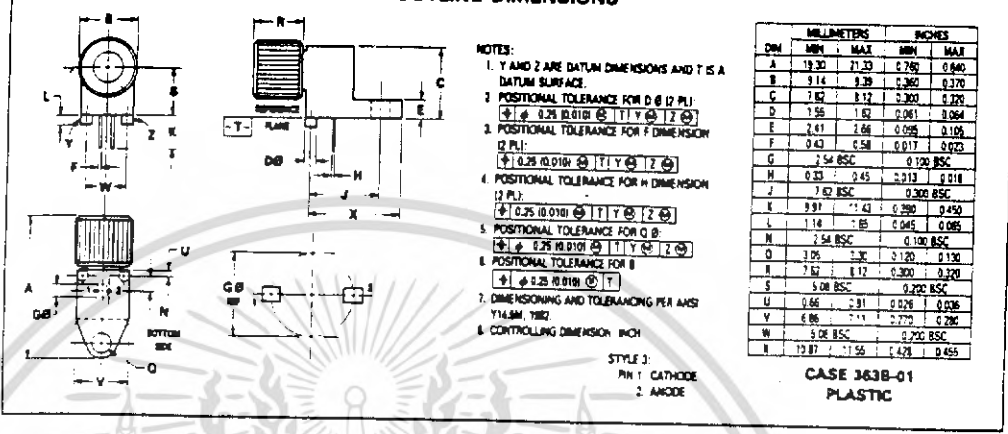


Figure 7. 1 kHz Darlington Receiver

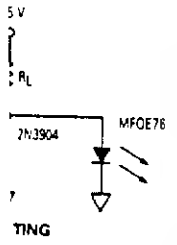
MFOD73

OUTLINE DIMENSIONS



with sharp blade or hot knife.
 18 gauge wire stripper to expose
 er core.
 r core.
 er through locking nut and into
 the core tip seats against the
 le device package.
 ng nut down to a snug fit, locking

with the emitter.



to drive TTL with an acceptable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fiber Optics — FLCS Family
Photo Detector
Diode Output

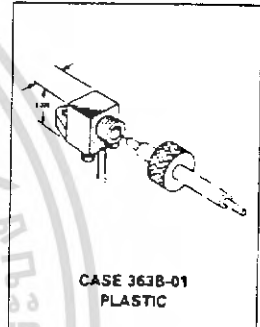
MFOD71

FLCS FAMILY
FIBER OPTICS
PHOTO DETECTOR
DIODE OUTPUT

... designed for low cost, short distance Fiber Optic Systems using 1000 micron core plastic fiber.

Typical applications include: high isolation interconnects, disposable medical electronics, consumer products, and microprocessor controlled systems such as coin operated machines, copy machines, electronic games, industrial clothes dryers, etc.

- Fast PIN Photodiode: Response Time < 5 ns
- Ideally Matched to MF0E76 Emitter for Plastic Fiber Systems
- Annular Passivated Structure for Stability and Reliability
- FLCS Package
 - Includes Connector
 - Simple Fiber Termination and Connection (Figure 4)
 - Easy Board Mounting
 - Molded Lens for Efficient Coupling
 - Mates with 1000 Micron Core Plastic Fiber (Eska SH4001)



5

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	MFOD71 V_R	100	Volts
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	150 2	mW mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-40 to +100	°C

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

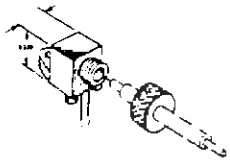
Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Dark Current ($V_R = 20\text{ V}, R_L = 1\text{ M}\Omega$; $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 85^\circ\text{C}$)	i_D	—	0.06 10	10	nA
Reverse Breakdown Voltage ($I_R = 10\ \mu\text{A}$)	$V_{(BR)R}$	50	100	—	Volts
Forward Voltage ($I_F = 50\text{ mA}$)	V_F	—	—	1.1	Volts
Series Resistance ($I_F = 50\text{ mA}$)	R_S	—	8	—	Ohms
Total Capacitance ($V_R = 20\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$)	C_T	—	3	—	pF

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

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Responsivity ($V_R = 5\text{ V}$, Figure 2)	R	0.15	0.2	—	$\mu\text{A}/\mu\text{W}$
Response Time ($V_R = 5\text{ V}, R_L = 50\ \Omega$)	$t_{(resp)}$	—	5	—	ns

MFOD71

FLCS FAMILY
FIBER OPTICS
PHOTO DETECTOR
DIODE OUTPUT



CASE 362B-01
PLASTIC

Value	Unit
100	Volts
150	mW
2	mW/°C
-40 to +100	°C

in	Typ	Max	Unit
-	0.06	10	nA
-	10	—	—
0	100	—	Volts
-	—	1.1	Volts
-	8	—	Ohms
-	3	—	pF

15	0.2	—	$\mu\text{A}/\mu\text{W}$
-	5	—	ns

MFOD71

TYPICAL COUPLED CHARACTERISTICS

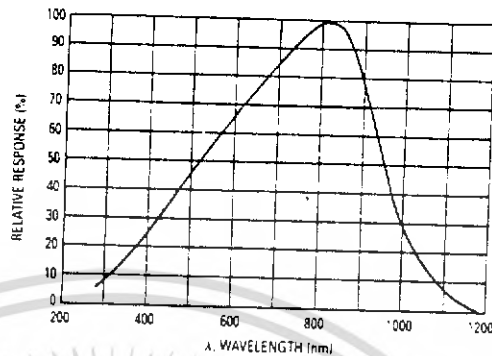


Figure 1. Relative Spectral Response

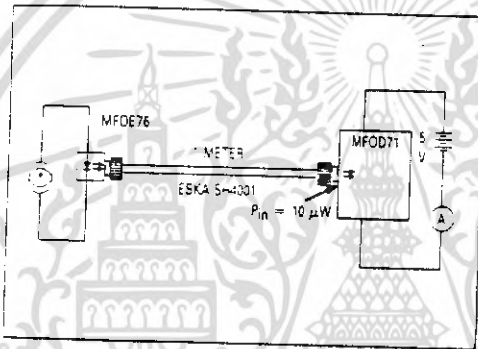


Figure 2. Responsivity Test Configuration

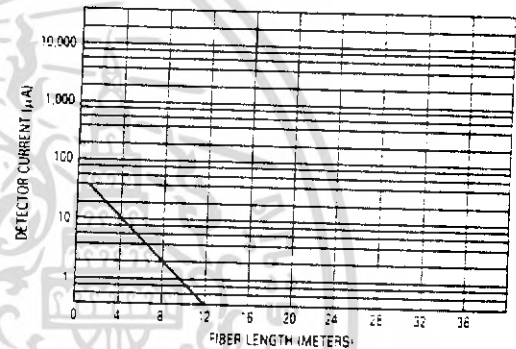


Figure 3. Detector Current versus Fiber Length

The system length achieved with a MFOE76 emitter and various detectors, using 1000 micron core plastic fiber (Eskal SH4001 or equivalent), depends on the LED forward

current (I_f) and the responsivity of the detector chosen. Each detector will perform with the MFOE76 up to the distances shown below.

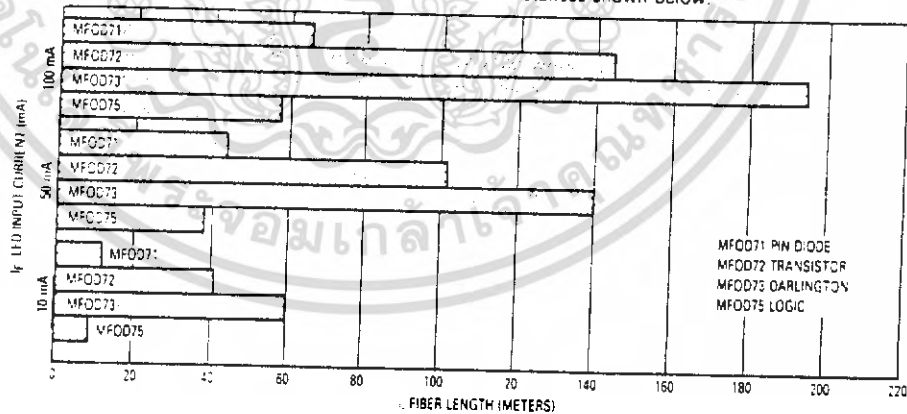


Figure 4. MFOE76 Working Distances

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MFOD71

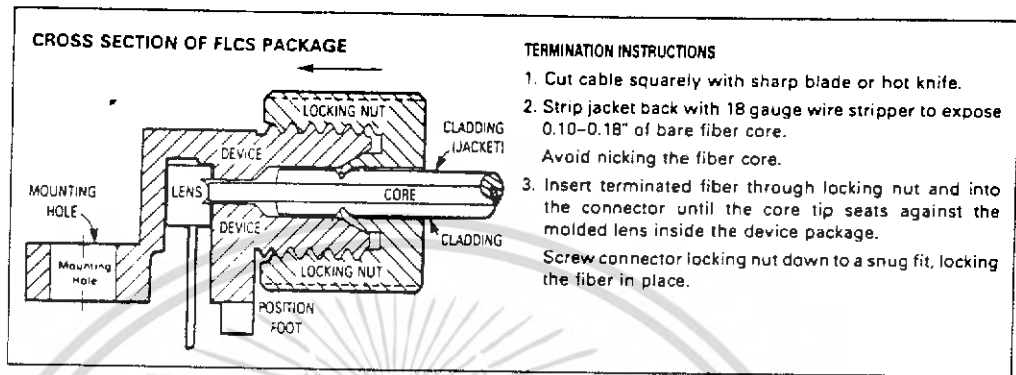


Figure 5. FO Cable Termination and Assembly

INPUT SIGNAL CONDITIONING

The following circuits are suggested to provide the desired forward current through the emitter.

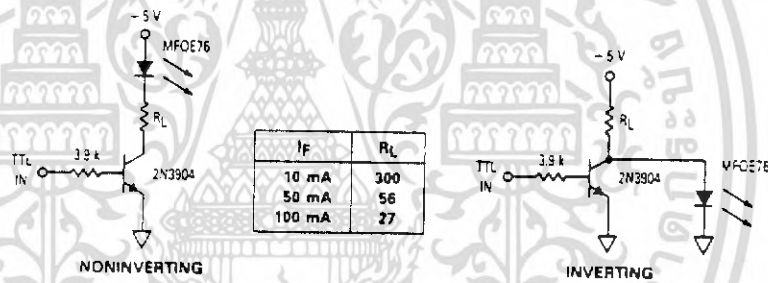
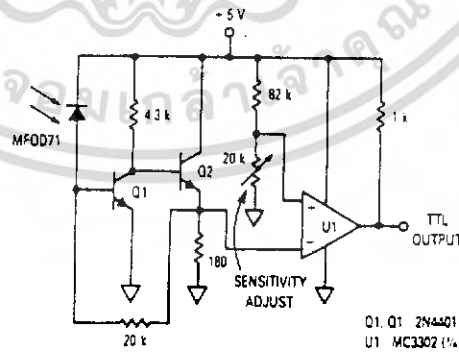


Figure 6. TTL Transmitters

OUTPUT SIGNAL CONDITIONING

The following circuit is suggested to take the MFOD71 detector output and condition it to drive TTL with an acceptable bit error rate.

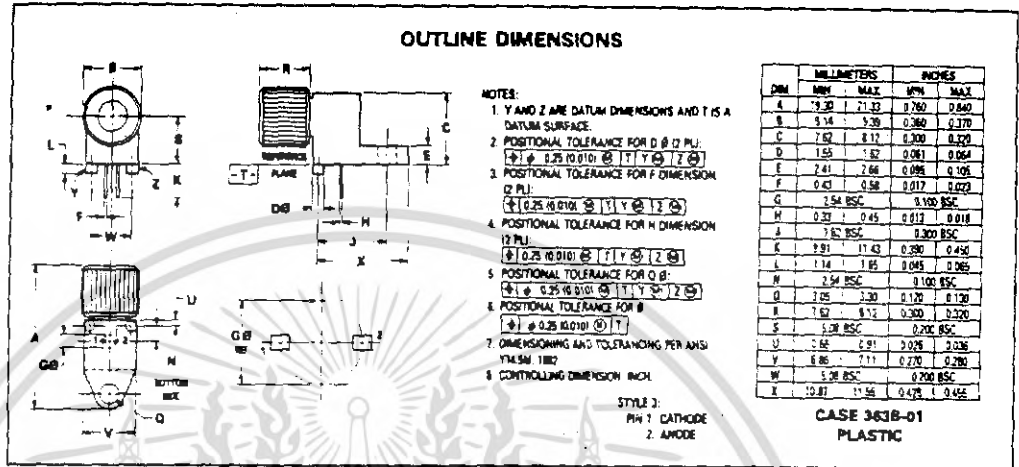


1 MHz PIN RECEIVER

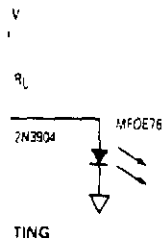
Figure 7. TTL Receiver

MFOD71

with sharp blade or hot knife.
 18 gauge wire stripper to expose
 er core.
 er core.
 er through locking nut and into
 the core tip seats against the
 he device package.
 ng nut down to a snug fit, locking



h the emitter.



to drive TTL with an acceptable

LM158/LM258/LM358, LM158A/
LM258A/LM358A, LM2904



Operational Amplifiers/Buffers

LM158/LM258/LM358, LM158A/LM258A/LM358A, LM2904 Low Power Dual Operational Amplifiers

General Description

The LM158 series consists of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM158 series can be directly operated off of the standard +5 V_{DC} power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional ±15 V_{DC} power supplies.

Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.
- The unity gain cross frequency is temperature compensated.
- The input bias current is also temperature compensated.

Advantages

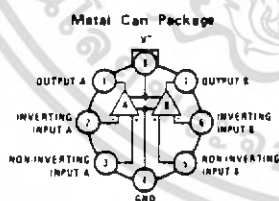
- Eliminates need for dual supplies
- Two internally compensated op amps in a single package

- Allows directly sensing near GND and V_{OUT} also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation
- Pin-out same as LM1558/LM1458 dual operational amplifier

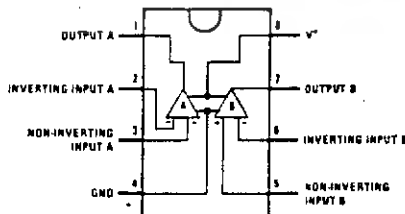
Features

- Internally frequency compensated for unity gain
- Large dc voltage gain 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain) 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
 - Single supply 3 V_{DC} to 30 V_{DC}
 - or dual supplies ±1.5 V_{DC} to ±15 V_{DC}
- Very low supply current drain (500μA) — essentially independent of supply voltage (1 mW/op amp at +5 V_{DC})
- Low input biasing current 45 nA_{DC} (temperature compensated)
- Low input offset voltage and offset current 2 mV_{DC} 5 nA_{DC}
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing 0 V_{DC} to V⁺ - 1.5 V_{DC}

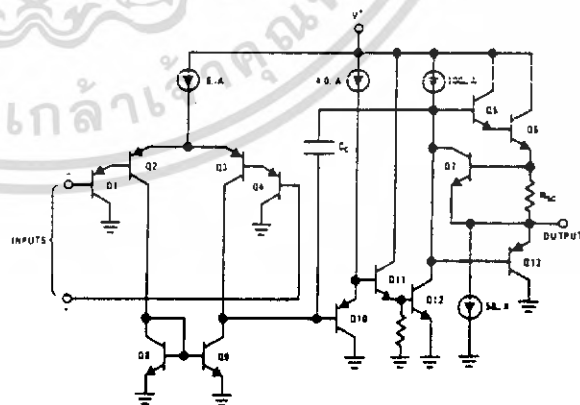
Connection Diagrams (Top Views) Schematic Diagram (Each Amplifier)



Order Number LM158AH, LM158H, LM258AH,
LM258H, LM358AH or LM358H
See NS Package H08C



Order Number LM358AN, LM358N or LM2904N
See NS Package N08B



Absolute Maximum Ratings

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage, V^+	LM2904	LM158/LM258/LM358	LM2904
Differential Input Voltage	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A
Input Voltage	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A
Power Dissipation (Note 1)	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A
Molded DIP (LM358N)	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A
Metal Can (LM158H/LM258H/LM358H)	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) (Note 2)	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A
$V^+ \leq 15$ VDC and $T_A = 25^\circ\text{C}$	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A
Input Current ($V_{IN} < -0.3$ VDC) (Note 3)	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A
Operating Temperature Range	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A
LM358	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A
LM258	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A
Storage Temperature Range	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A	LM158A/LM258A/LM358A

Electrical Characteristics ($V^+ = +5.0$ VDC, Note 4)

PARAMETER	LM158A		LM258A		LM358A		LM158/LM258		LM2904		UNITS	
	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN		TYP
Input Offset Voltage	TA = 25°C, (Note 5)											
Input Bias Current	I _{IN(+)} or I _{IN(-)} , TA = 25°C, (Note 6)											
Input Offset Current	I _{IN(+)} - I _{IN(-)} , TA = 25°C											
Input Common Mode Voltage Range	V ⁺ - 30 VDC, TA = 25°C (Note 7)											
Supply Current	RL = ∞, VCC = 30V (LM2904 VCC = 26V)											
Large Signal Voltage Gain	RL = ∞ On All Op Amps											
	Over Full Temperature Range											
Output Voltage Swing	V ⁺ = 15 VDC (For Large V _O Swing)											
	RL ≥ 2 kΩ, TA = 25°C											
Common Mode Rejection Ratio	RL = 2 kΩ, TA = 25°C (LM2904 RL ≥ 10 kΩ)											
	DC, TA = 25°C											
Power Supply Rejection Ratio	DC, TA = 25°C											
	f = 1 kHz to 20 kHz, TA = 25°C											
Amplifier-to-Amplifier Coupling	(Input Referred), (Note 8)											
	VIN ⁺ = 1 VDC, VIN ⁻ = 0 VDC.											
Output Current Source	V ⁺ = 15 VDC, TA = 25°C											

LM158/LM258/LM358, LM158A/
LM258A/LM358A, LM2904





LM733/LM733C Differential Video Amp

General Description

The LM733/LM733C is a two-stage, differential input, differential output, wide-band video amplifier. The use of internal series-shunt feedback gives wide bandwidth with low phase distortion and high gain stability. Emitter-follower outputs provide a high current drive, low impedance capability. It's 120 MHz bandwidth and selectable gains of 10, 100, and 400, without need for frequency compensation, make it a very useful circuit for memory element drivers, pulse amplifiers, and wide band linear gain stages.

The LM733 is specified for operation over the -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ military temperature range. The LM733C is specified for operation over the 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$ temperature range.

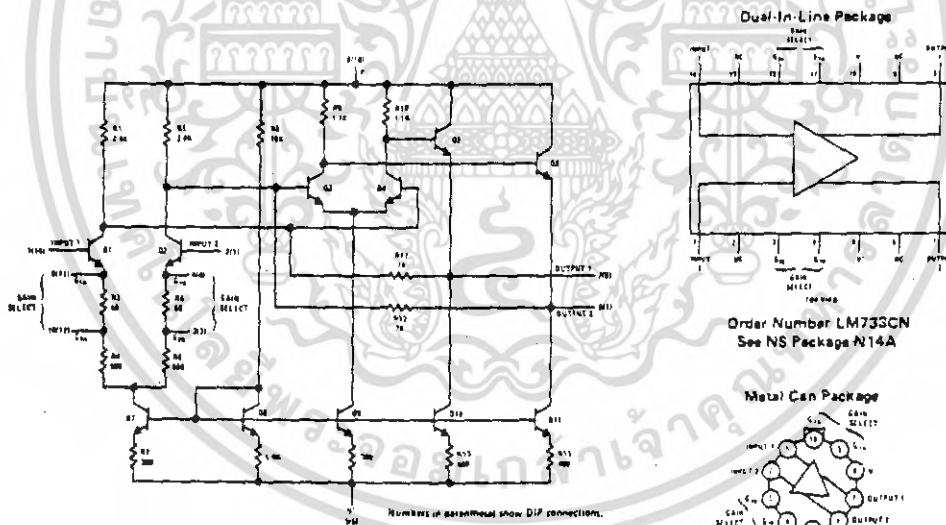
Features

- 120 MHz bandwidth
- 250 k Ω input resistance
- Selectable gains of 10, 100, 400
- No frequency compensation
- High common mode rejection ratio at high frequencies.

Applications

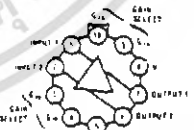
- Magnetic tape systems
- Disk file memories
- Thin and thick film memories
- Woven and plated wire memories
- Wide band video amplifiers.

Schematic and Connection Diagrams



Order Number LM733GN
See NS Package N14A

Metal Can Package

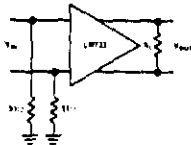


Note: Pin 5 connected to case.

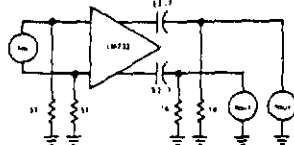
Order Number LM733H or LM733CH
See NS Package M100

Test Circuits

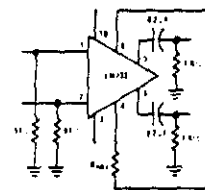
Test Circuit 1



Test Circuit 2



Voltage Gain Adjust Circuit



$V_E = 5V, T_A = 25^{\circ}\text{C}$
(Pin numbers apply to TO-6 package)

Blocks

ratio at high



733CN
V14A

age
net
v
output
input

LM733CH
410D

Just Circuit



(in TO5 package)

Absolute Maximum Ratings

Differential Input Voltage	±5V
Common-Mode Input Voltage	±6V
V _{CC}	±8V
Output Current	10 mA
Power Dissipation (Note 1)	500 mW
Junction Temperature	+150°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Operating Temperature Range LM733	-55°C to +125°C
LM733C	0°C to +70°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	300°C

Electrical Characteristics (T_A = 25°C, unless otherwise specified, see test circuits, V_S = ±6.0V)

CHARACTERISTICS	TEST CIRCUIT	TEST CONDITIONS	LM733			LM733C			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Differential Voltage Gain			300	400	500	250	400	600	
Gain 1 (Note 2)	1	R _L = 2 kΩ, V _{OUT} = 3 V _{pp}	80	100	110	80	100	120	
Gain 2 (Note 3)			9.0	10	11	8.0	10	12	
Gain 3 (Note 4)									
Bandwidth									
Gain 1	2			40			40		MHz
Gain 2				90			90		MHz
Gain 3				120			120		MHz
Rise Time									
Gain 1	2	V _{OUT} = 1 V _{pp}		10.5			10.5		ns
Gain 2				4.5	10		4.5	12	ns
Gain 3				2.5			2.5		ns
Propagation Delay									
Gain 1	2	V _{OUT} = 1 V _{pp}		7.5			7.5		ns
Gain 2				6.0	10		6.0	10	ns
Gain 3				3.6			3.6		ns
Input Resistance									
Gain 1				4.0			4.0		kΩ
Gain 2				20	30	10	30		kΩ
Gain 3				250	250		250		kΩ
Input Capacitance		Gain 2		2.0			2.0		pF
Input Offset Current				0.4	3.0		0.4	5.0	μA
Input Bias Current				9.0	20		9.0	30	μA
Input Noise Voltage		BW = 1 kHz to 10 MHz		12			12		μVrms
Input Voltage Range	1		±1.0			±1.0			V
Common Mode Rejection Ratio									
Gain 2	1	V _{CM} = ±1V f = 100 kHz	60	86		60	86		dB
Gain 2		V _{CM} = ±1V f = 5 MHz		60			60		dB
Supply Voltage Rejection Ratio									
Gain 2	1	ΔV _S = ±0.5V	50	70		50	70		dB
Output Offset Voltage									
Gain 1	1	R _L = ∞		0.6	1.5		0.8	1.5	V
Gain 2 and 3				0.35	1.0		0.35	1.5	V
Output Common Mode Voltage	1	R _L = ∞	2.4	2.9	3.4	2.4	2.9	3.4	V
Output Voltage Swing	1	R _L = 2k	3.0	4.0		3.0	4.0		V
Output Sink Current			2.5	3.6		2.5	3.6		mA
Output Resistance			20			20			Ω
Power Supply Current	1	R _L = ∞	18	24		18	24		mA

LM733/LM733C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)

(The following specifications apply for $-65^{\circ}\text{C} < T_A < 125^{\circ}\text{C}$ for the LM733 and $0^{\circ}\text{C} < T_A < 70^{\circ}\text{C}$ for the LM733C, $V_S = \pm 6.0\text{V}$)

CHARACTERISTICS	TEST CIRCUIT	TEST CONDITIONS	LM733			LM733C			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Differential Voltage Gain									
Gain 1			200		600	250		800	
Gain 2	1	$R_L = 2\text{ k}\Omega, V_{OUT} = 3 V_{PP}$	80		120	80		120	
Gain 3			8.0		12.0	8.0		12.0	
Input Resistance Gain 2			8			8		$\text{k}\Omega$	
Input Offset Current					5		6	μA	
Input Bias Current					40		40	μA	
Input Voltage Range	1		± 1			± 1		V	
Common Mode Rejection Ratio								dB	
Gain 2	1	$V_{CM} = \pm 1\text{V}, f \leq 100\text{ kHz}$	50			50			
Supply Voltage Rejection Ratio								dB	
Gain 2	1	$\Delta V_S = \pm 0.5\text{V}$	50			50			
Output Offset Voltage								V	
Gain 1	1	$R_L = \infty$			1.5		1.5		
Gain 2 and 3					1.2		1.5		
Output Voltage Swing	1	$R_L = 2\text{ k}\Omega$	2.5			2.8		V_{PP}	
Output Sink Current			2.2			2.5		mA	
Power Supply Current	1	$R_L = \infty$			27		27	mA	

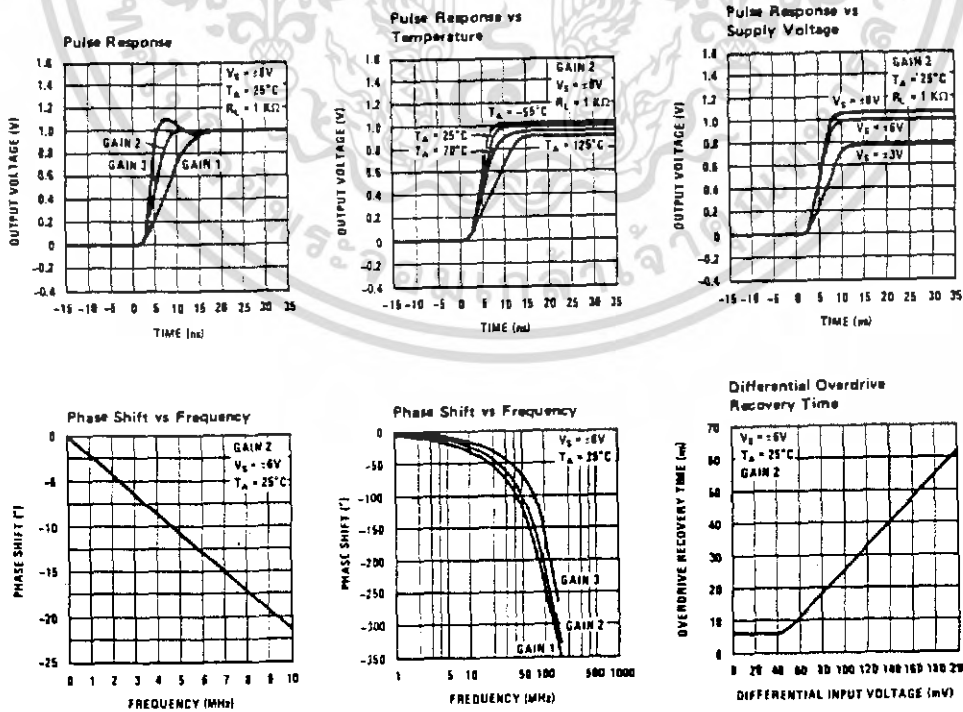
Note 1: The maximum junction temperature of the LM733 is 150°C , while that of the LM733C is 100°C . For operation at elevated temperatures devices in the TO-100 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W junction to ambient or 45°C/W junction to case. Thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W .

Note 2: Pins G1A and G1B connected together.

Note 3: Pins G2A and G2B connected together.

Note 4: Gain select pins open.

Typical Performance Characteristics



Typical Performance Characteristics (Continued)

3C, $V_S = \pm 6.0V$

K	UNITS
0	k Ω
	μA
	μA
	V
	dB
	dB
	V
	V
	V_{PP}
	mA
	mA

For operation C/W junction

rs

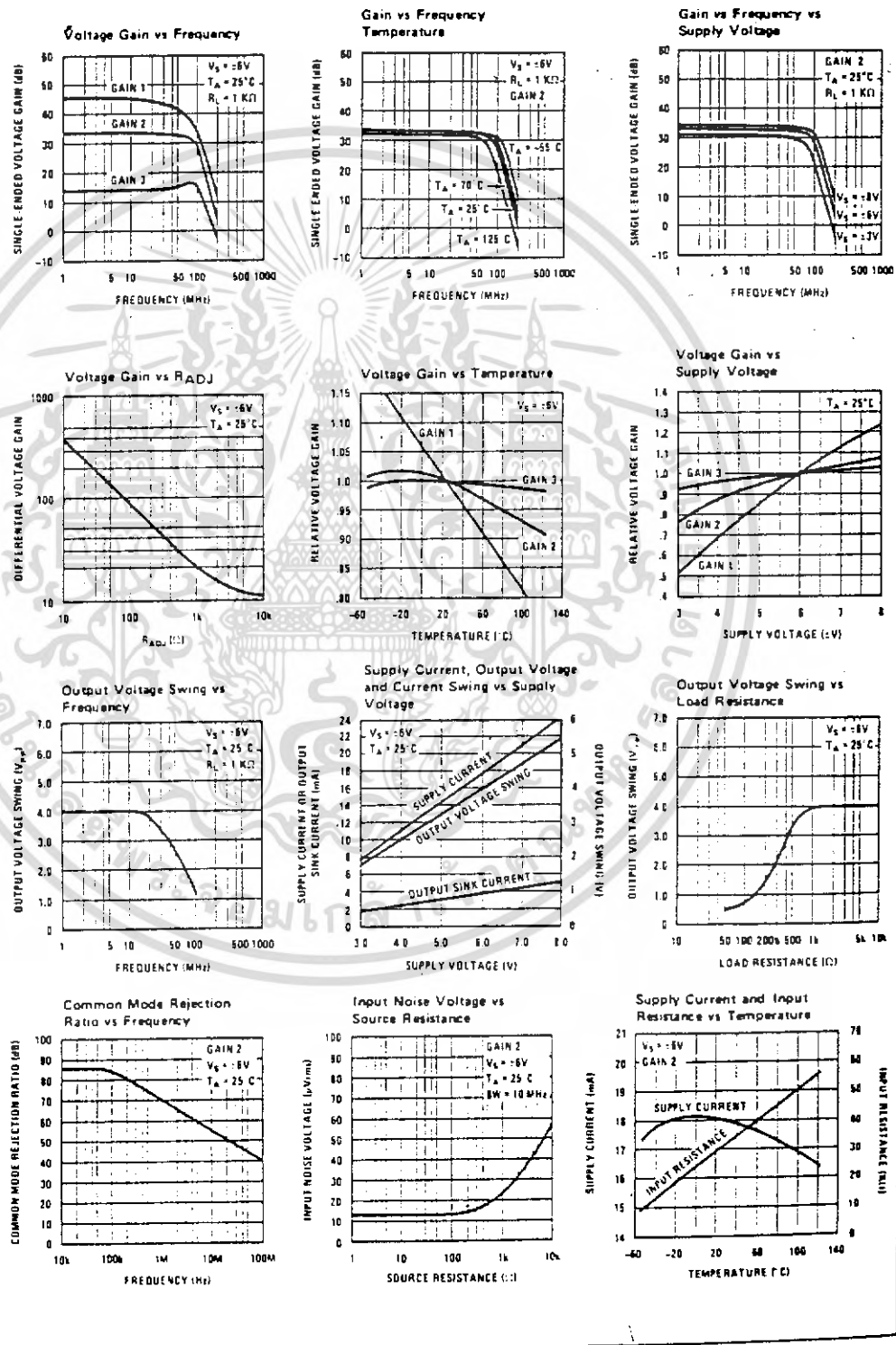
GAIN 2	$T_A = 25^\circ C$
$V_S = \pm 6V$	$R_L = 1 K\Omega$
$V_S = \pm 6V$	
$V_S = \pm 3V$	

15 20 25 30 35

five

70	140	180	200
----	-----	-----	-----

VOLTAGE (mV)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LM131A/LM131, LM231A/LM231, LM331A/LM331
Precision Voltage-to-Frequency Converters**

General Description

The LM131/LM231/LM331 family of voltage-to-frequency converters are ideally suited for use in simple low-cost circuits for analog-to-digital conversion, precision frequency-to-voltage conversion, long-term integration, linear frequency modulation or demodulation, and many other functions. The output when used as a voltage-to-frequency converter is a pulse train at a frequency precisely proportional to the applied input voltage. Thus, it provides all the inherent advantages of the voltage-to-frequency conversion techniques, and is easy to apply in all standard voltage-to-frequency converter applications. Further, the LM131A/LM231A/LM331A attains a new high level of accuracy versus temperature which could only be attained with expensive voltage-to-frequency modules. Additionally the LM131 is ideally suited for use in digital systems at low power supply voltages and can provide low-cost analog-to-digital conversion in microprocessor-controlled systems. And, the frequency from a battery powered voltage-to-frequency converter can be easily channeled through a simple photoisolator to provide isolation against high common mode levels.

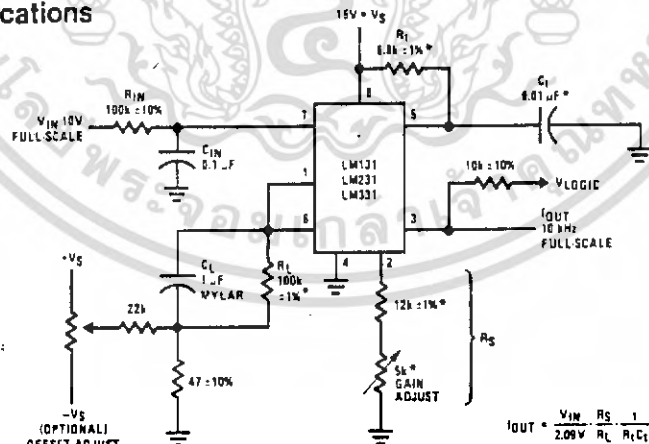
The LM131/LM231/LM331 utilizes a new temperature-compensated band-gap reference circuit, to provide excellent accuracy over the full operating temperature range, at power supplies as low as 4.0V. The precision timer circuit has low bias currents without degrading

the quick response necessary for 100 kHz voltage-to-frequency conversion. And the output is capable of driving 3 TTL loads, or a high voltage output up to 40V, yet is short-circuit-proof against V_{CC} .

Features

- Guaranteed linearity 0.01% max
- Improved performance in existing voltage-to-frequency conversion applications
- Split or single supply operation
- Operates on single 5V supply
- Pulse output compatible with all logic forms
- Excellent temperature stability, ± 50 ppm/ $^{\circ}$ C max
- Low power dissipation, 15 mW typical at 5V
- Wide dynamic range, 100 dB min at 10 kHz full scale frequency
- Wide range of full scale frequency, 1 Hz to 100 kHz
- Low cost

Typical Applications



*Use stable components with low temperature coefficients. See Typical Applications section.

FIGURE 1. Simple Stand-Alone Voltage-to-Frequency Converter with $\pm 0.03\%$ Typical Linearity ($f = 10$ Hz to 11 kHz)

LM131A/LM131,
LM231A/LM231, LM331A/LM331

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM131A/LM131,
LM231A/LM231, LM331A/LM331

Absolute Maximum Ratings

	LM131A/LM131	LM231A/LM231	LM331A/LM331
Supply Voltage	40V	40V	40V
Output Short Circuit to Ground	Continuous	Continuous	Continuous
Output Short Circuit to V _{CC}	Continuous	Continuous	Continuous
Input Voltage	-0.2V to +V _S	-0.2V to +V _S	-0.2V to +V _S
Operating Ambient Temperature Range	T _{MIN} T _{MAX} -55°C to +125°C	T _{MIN} T _{MAX} -25°C to +85°C	T _{MIN} T _{MAX} 0°C to +70°C
Power Dissipation (P _D at 25°C) and Thermal Resistance (θ _{jA})			
(H Package) P _D	670 mW	570 mW	570 mW
(H Package) θ _{jA}	150°C/W	150°C/W	150°C/W
(N Package) P _D		500 mW	500 mW
(N Package) θ _{jA}		155°C/W	155°C/W

Electrical Characteristics T_A = 25°C unless otherwise specified. (Note 1)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
VFC Non-Linearity (Note 2)	4.5V ≤ V _S ≤ 20V		±0.003	±0.01	% Full Scale	
	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}		±0.006	±0.02	% Full Scale	
	In Circuit of Figure 1	V _S = 15V, f = 10 Hz to 11 kHz		±0.024	±0.14	% Full Scale
Conversion Accuracy Scale Factor (Gain)	V _{IN} = -10V, R _S = 14 kΩ	LM131, LM131A, LM231, LM231A	0.95	1.00	1.05	kHz/V
		LM331, LM331A	0.90	1.00	1.10	kHz/V
Temperature Stability of Gain	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX} , 4.5V ≤ V _S ≤ 20V	LM131/LM231/LM331		±30	±150	ppm/°C
		LM131A/LM231A/LM331A		±20	±50	ppm/°C
Change of Gain with V _S	4.5V ≤ V _S ≤ 10V		0.01	0.1	%/V	
	10V ≤ V _S ≤ 40V		0.006	0.06	%/V	
Rated Full-Scale Frequency	V _{IN} = -10V	10.0			kHz	
Overrange (Beyond Full-Scale) Frequency	V _{IN} = -11V	10			%	
INPUT COMPARATOR						
Offset Voltage	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}	LM131/LM231/LM331	±3	±10	mV	
		LM131A/LM231A/LM331A	±4	±14	mV	
Bias Current	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}		±3	±10	mV	
Offset Current			-80	-300	nA	
Common-Mode Range			±8	±100	nA	
	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}	-0.2		V _{CC} - 2.0	V	
TIMER						
Timer Threshold Voltage, Pin 5		0.63	0.667	0.70	x V _S	
Input Bias Current, Pin 5	V _S = 15V 0V ≤ V _{PIN 5} ≤ 9.9V	All Devices	±10	±100	nA	
		LM131/LM231/LM331		200	1000	nA
VSAT PIN 5 (Reset)	I = 5 mA	LM131A/LM231A/LM331A		200	500	nA
				0.22	0.5	V

Electric

PA
CURRENTS:
Output Current
LM131, LM231, LM331, LM331A
Change with V _S
Current Source
LM131, LM231, LM331, LM331A
All Devices
Operating Range
REFERENCE
LM131, LM231, LM331, LM331A
Stability vs T _A
Stability vs T _{IN}
LOGIC OUTPUT:
VSAT
OFF LEAKAGE:
SUPPLY CURRENT:
LM131, LM231, LM331, LM331A

Note 1: At 10 Hz
Note 2: Non-linear at 10 Hz and at 1

Function

Registered trademark

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1331

V_S
X
°C

Electrical Characteristics (Continued) T_A = 25°C unless otherwise specified (Note 1)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
CURRENT SOURCE (Pin 1)					
Output Current LM131, LM131A, LM231, LM231A LM331, LM331A	R _S = 14 kΩ, V _{PIN 1} = 0	126 118	135 136	144 156	μA
Change with Voltage	0V ≤ V _{PIN 1} ≤ 10V		0.2	1.0	μA
Current Source OFF Leakage LM131, LM131A LM231, LM231A, LM331, LM331A All Devices	T _A = T _{MAX}		0.01 0.02 2.0	1.0 10.0 50.0	nA
Operating Range of Current (Typical)			(10 to 500)		μA
REFERENCE VOLTAGE (Pin 2)					
LM131, LM131A, LM231, LM231A LM331, LM331A		1.76 1.70	1.89 1.89	2.02 2.08	V _{DC}
Stability vs Temperature			±60		ppm/°C
Stability vs Time, 1000 Hours			±0.1		%
LOGIC OUTPUT (Pin 3)					
V _{SAT}	I = 5 mA I = 3.2 mA (2 TTL Loads), T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}		0.15 0.10	0.50 0.40	V
OFF Leakage			±0.05	1.0	μA
SUPPLY CURRENT					
LM131, LM131A, LM231, LM231A LM331, LM331A	V _S = 5V V _S = 40V V _S = 5V V _S = 40V	2.0 2.5 1.5 2.0	3.0 4.0 3.0 4.0	4.0 6.0 6.0 8.0	mA

Note 1: All specifications apply in the circuit of Figure 3, with 4.0V ≤ V_S ≤ 40V, unless otherwise noted.
 Note 2: Nonlinearity is defined as the deviation of I_{OUT} from V_{IN} × (10 kHz/10 V_{DC}) when the circuit has been trimmed for zero error at 10 Hz and at 10 kHz, over the frequency range 1 Hz to 11 kHz. For the timing capacitor, C_T, use NPO ceramic, Teflon[®], or polystyrene.

Functional Block Diagrams

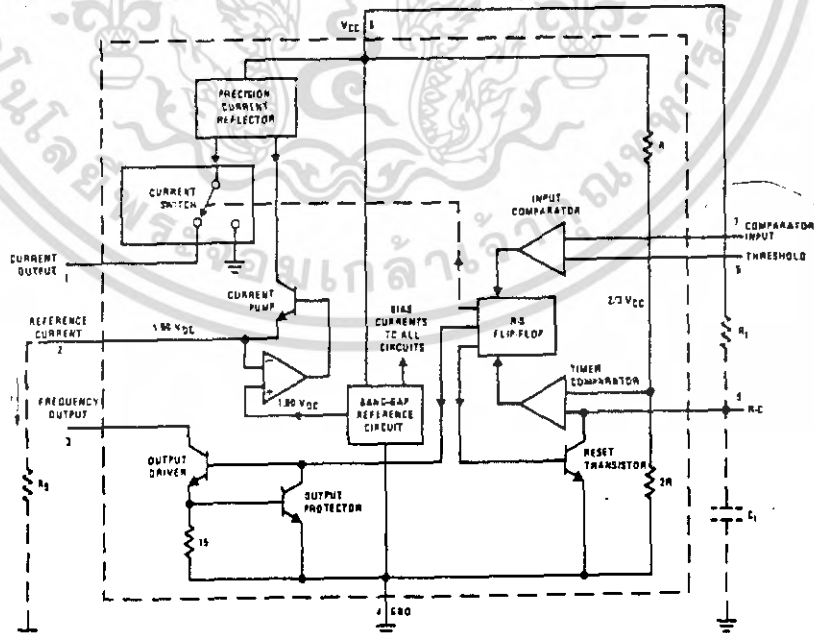


FIGURE 1a

8-253

LM131A/LM131,
LM231A/LM231, LM331A/LM331

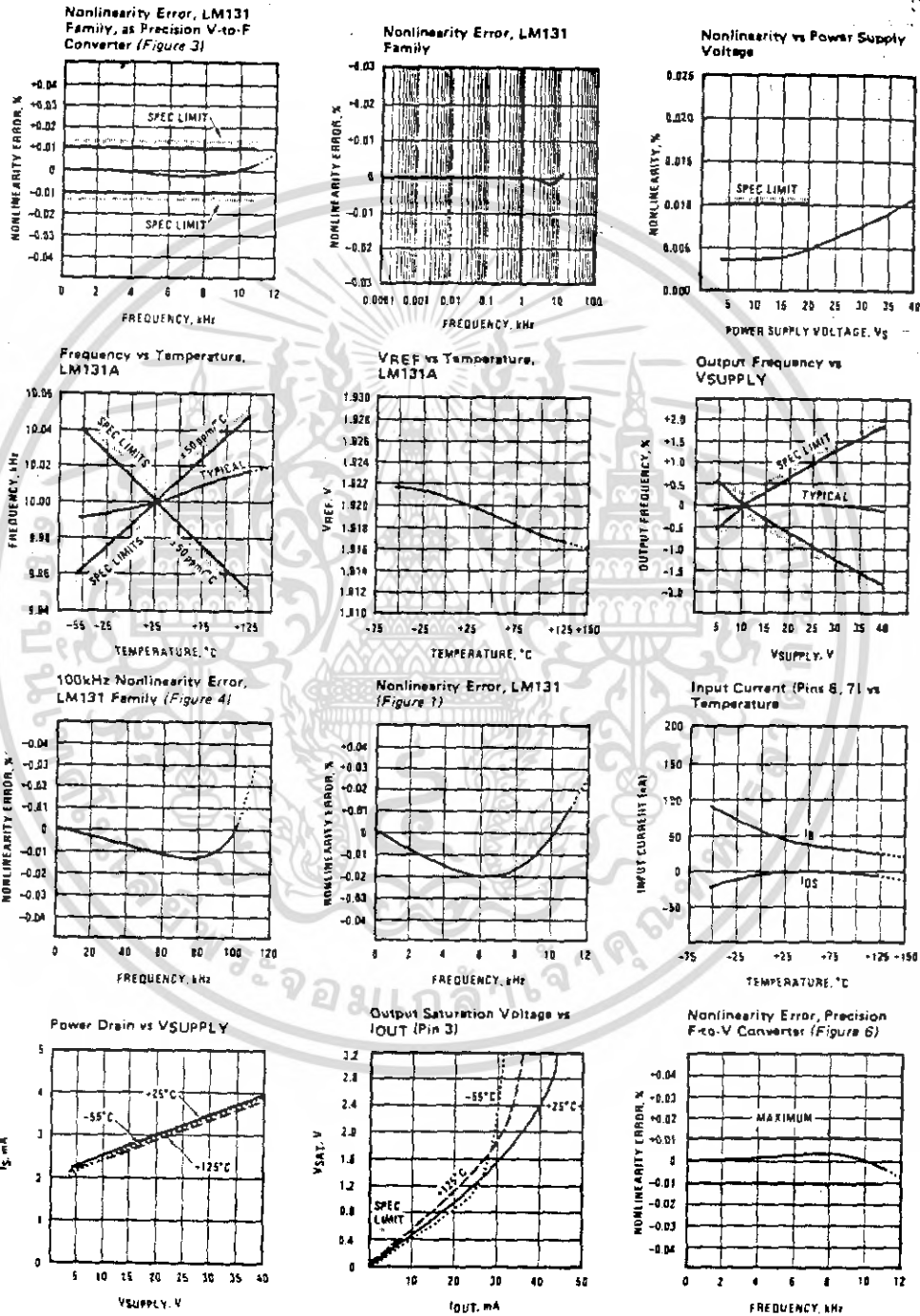
8

MAX	UNITS
±0.01	% Full Scale
±0.02	% Full Scale
±0.14	% Full Scale
1.05	kHz/V
1.10	kHz/V
±150	ppm/°C
±50	ppm/°C
0.1	V/V
0.06	V/V
	kHz
	%
±10	mV
±14	mV
±10	mV
±300	nA
±100	nA
V _{CC} -2.0	V
0.70	x V _S
±100	nA
1000	nA
500	nA
0.5	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

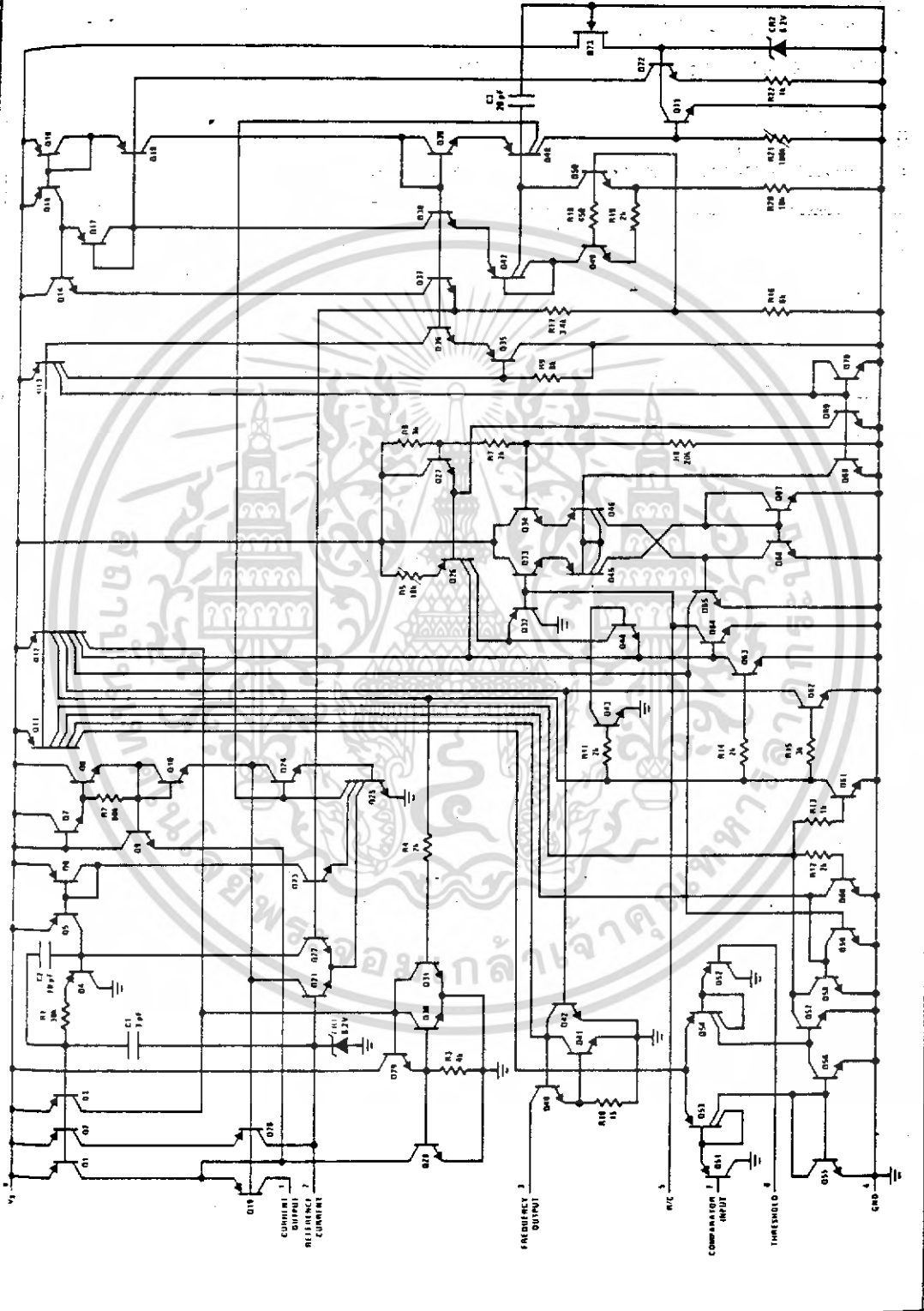
Typical Performance Characteristics

(All electrical characteristics apply for the circuit of Figure 3, unless otherwise noted.)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Schematic Diagram



8-261

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Industrial Blocks

LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A Precision Temperature Sensors

General Description

The LM135 series are precision, easily-calibrated, integrated circuit temperature sensors. Operating as a 2-terminal zener, the LM135 has a breakdown voltage directly proportional to absolute temperature at +10 mV/°K. With less than 1Ω dynamic impedance the device operates over a current range of 400 μA to 5 mA with virtually no change in performance. When calibrated at 25°C the LM135 has typically less than 1°C error over a 100°C temperature range. Unlike other sensors the LM135 has a linear output.

Applications for the LM135 include almost any type of temperature sensing over a -55°C to +150°C temperature range. The low impedance and linear output make interfacing to readout or control circuitry especially easy.

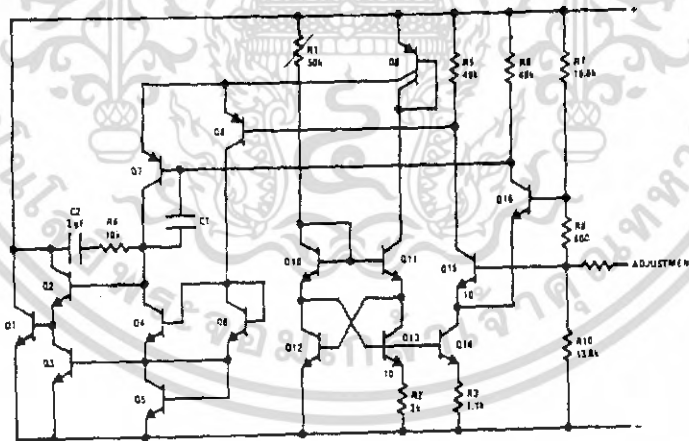
The LM135 operates over a -55°C to +150°C temperature range while the LM235 operates over a -40°C

to +125°C temperature range. The LM335 operates from -40°C to +100°C. The LM135/LM235/LM335 are available packaged in hermetic TO-46 transistor packages while the LM335 is also available in plastic TO-92 packages.

Features

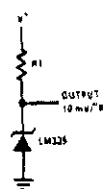
- Directly calibrated in °Kelvin
- 1°C initial accuracy available
- Operates from 400 μA to 5 mA
- Less than 1Ω dynamic impedance
- Easily calibrated
- Wide operating temperature range
- 200°C overrange
- Low cost

Schematic Diagram

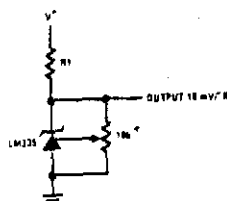


Typical Applications

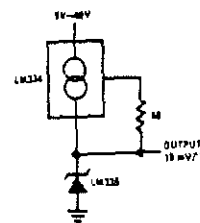
Basic Temperature Sensor



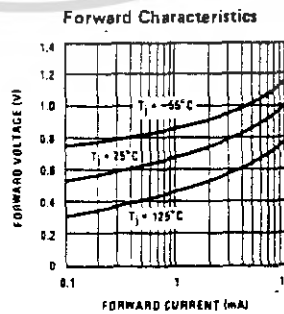
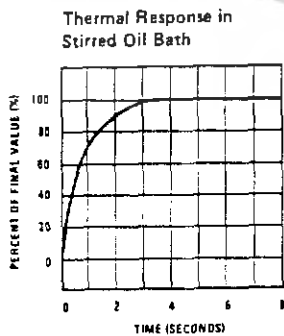
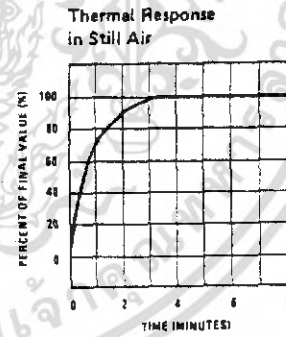
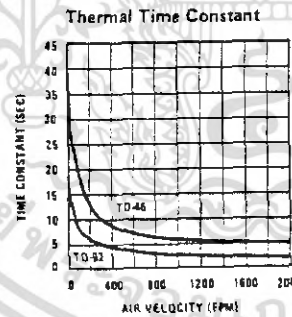
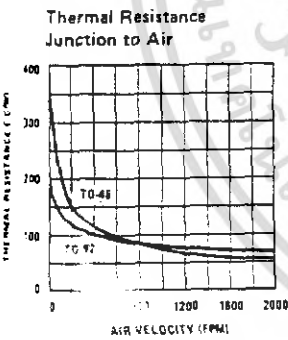
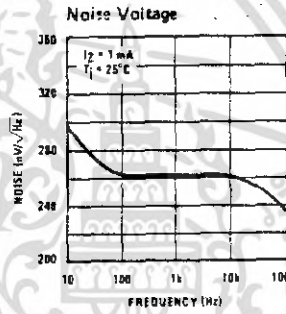
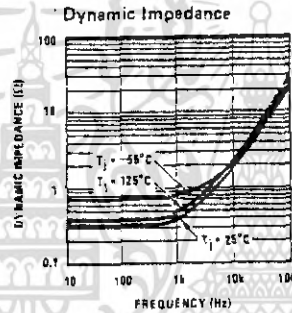
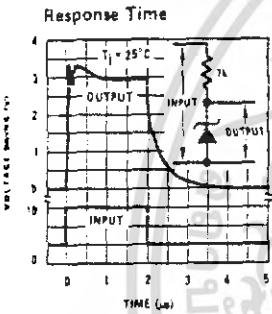
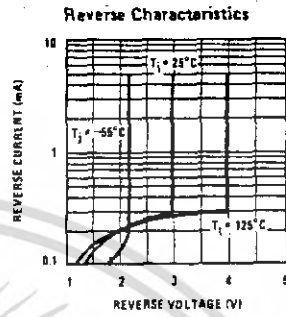
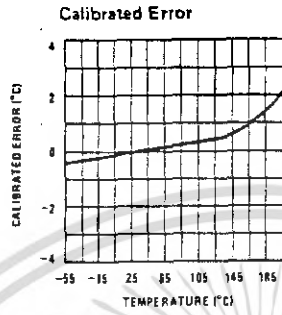
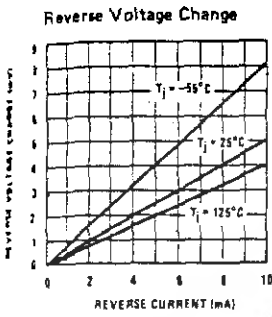
Calibrated Sensor



Wide Operating Supply



Typical Performance Characteristics



UNITS

V
°C
°C
°C
°C
°C

UNITS

V
°C
°C
°C
°C

UNITS

mV
°C
mV/°C
SP
SP
SP
°C/kh

life expect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

Reverse Current	15 mA
Forward Current	10 mA
Storage Temperature	
TO-46 Package	-60°C to +180°C
TO-92 Package	-60°C to +150°C
Specified Operating Temperature Range	
Continuous	Intermittent (Note 2)
LM135, LM135A	-55°C to +150°C 150°C to 200°C
LM235, LM235A	-40°C to +125°C 125°C to 150°C
LM335, LM335A	-40°C to +100°C 100°C to 125°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

Temperature Accuracy LM135/LM235, LM135A/LM235A (Note 1)

PARAMETER	CONDITIONS	LM135A/LM235A			LM135/LM235			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$	2.97	2.98	2.99	2.95	2.98	3.01	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	3	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} < T_C < T_{\text{MAX}}$, $I_R = 1\text{ mA}$		1.3	2.7		2	5	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} < T_C < T_{\text{MAX}}$, $I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1		0.5	1.5	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	0.5		0.3	1	°C

Temperature Accuracy LM335, LM335A (Note 1)

PARAMETER	CONDITIONS	LM335A			LM335			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$	2.95	2.98	3.01	2.92	2.98	3.04	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$		1	3		2	6	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} < T_C < T_{\text{MAX}}$, $I_R = 1\text{ mA}$		2	5		4	9	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} < T_C < T_{\text{MAX}}$, $I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	2	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1.5		0.3	1.5	°C

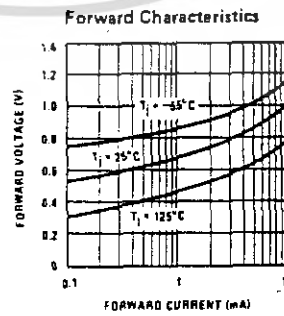
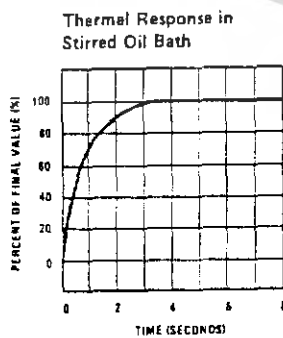
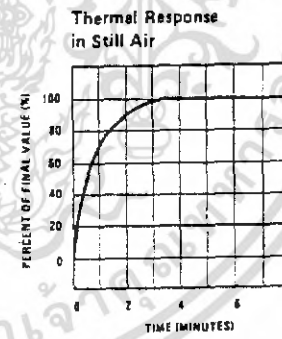
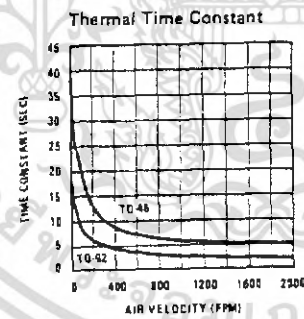
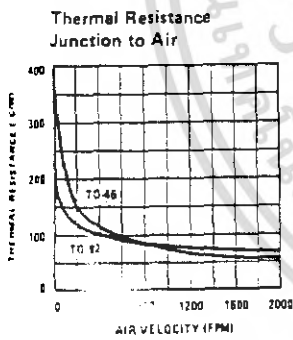
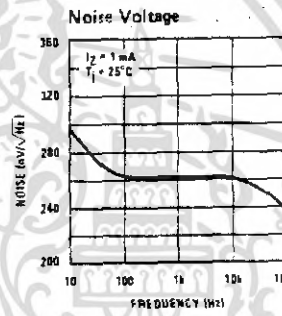
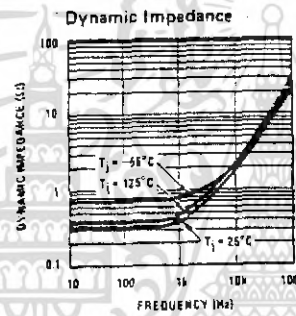
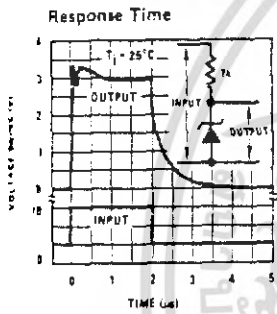
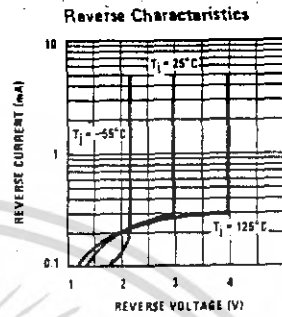
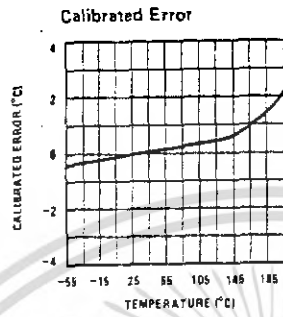
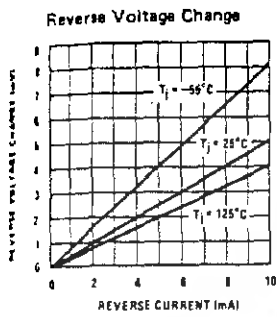
Electrical Characteristics (Note 1)

PARAMETER	CONDITIONS	LM135/LM235 LM135A/LM235A			LM335 LM335A			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Operating Output Voltage Change with Current	$400\ \mu\text{A} < I_R < 5\text{ mA}$ At Constant Temperature		2.5	10		3	14	mV
Dynamic Impedance	$I_R = 1\text{ mA}$		0.5			0.6		Ω
Output Voltage Temperature Drift			+10			+10		mV/°C
Time Constant	Still Air		80			80		sec
	100 ft./Min Air		10			10		sec
	Stirred Oil		1			1		sec
Time Stability	$T_C = 125^\circ\text{C}$		0.2			0.2		°C/yr

Note 1: Accuracy measurements are made in a well-stirred oil bath. For other conditions, self heating must be considered.

Note 2: Continuous operation at these temperatures for 10,000 hours for H package and 5,000 hours for Z package may decrease life expectancy of the device.

Typical Performance Characteristics



UNITS

V
°C
°C
°C
°C
°C

UNITS

V
°C
°C
°C
°C
°C

UNITS

m
°C
mV/°C
sA
sA
sA
°C/kh

life expect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

54123/74123 Dual Retriggerable Monostable Multivibrator with Clear

Package	C	P	M	CF
IN-174W				
IN-174				
IN-174A				
IN-174B				
IN-174C				
IN-174D				
IN-174E				
IN-174F				
IN-174G				
IN-174H				
IN-174J				
IN-174K				
IN-174L				
IN-174M				
IN-174N				
IN-174P				
IN-174Q				
IN-174R				
IN-174S				
IN-174T				
IN-174U				
IN-174V				
IN-174W				
IN-174X				
IN-174Y				
IN-174Z				

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL				
	Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		
	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	
T.I.																					
FAIRCHILD																					
MOTOROLA																					
R.S.C.																					
PHILIPS																					
SIGNETICS																					
SIEMENS																					
FUJITSU																					
HITACHI																					
mitsubishi																					
NEC																					
TOSHIBA																					

Electrical Characteristics SN54LS123 SN74LS123

absolute maximum ratings operating free-air temperature range

Supply voltage, VCC	V	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	V	Storage temperature range	SN74LS	-55°C to 125°C

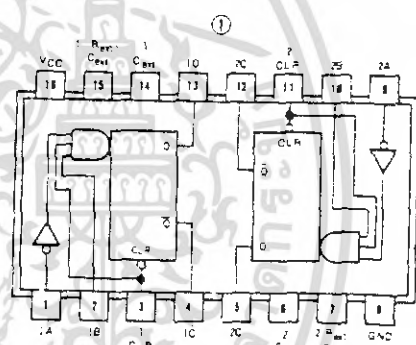
recommended operating conditions

	SN54LS123			SN74LS123			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, VCC	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, IOH			200			200	mA
Low-level output current, IOL			4			4	mA
Pulse width, tp	40		20			20	ns
External timing capacitor, CT	5		100	5		250	pF
External timing capacitor, CE		No resistor			No resistor		
Timing resistance at test terminals, RT			20			20	Ω
Operating free-air temperature			0 to 70			0 to 70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER*	TEST CONDITIONS†	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
V _{IH}	High-level input voltage		2		V
V _{IL}	Low-level input voltage			0.8	V
V _{OC}	Output clamp voltage	V _{CC} - MIN		-1.5	V
V _{OH}	High-level output voltage	V _{CC} - MIN	1.0H - MAX	2.7	V
V _{OL}	Low-level output voltage	V _{CC} - MIN	1.0L - MIN	0.35	V
I _{IN}	Input current at max. high-level voltage	V _{CC} = MAX	V _I = 1V	0.1	mA
I _{OH}	High-level output current	V _{CC} = MAX	V _O = 2.7V	20	μA
I _{OL}	Low-level output current	V _{CC} = MAX	V _O = 0.4V	0.4	mA
I _{CS}	Short-circuit output current	V _{CC} = MAX	See Note 1	20	mA
I _{CC}	Supply current (quiescent or triggered)	V _{CC} = MAX		12	mA
t _{PLH}	From A to output Q	V _{CC} = 5V, C _{EXT} = 0, R _{EXT} = 5kΩ		22	ns
t _{PLL}	From B to output Q			23	ns
t _{PHL}	From A to output Q			32	ns
t _{PHL}	From B to output Q			34	ns
t _{CLR}	From Clear to output Q	V _{CC} = 5V, C _{EXT} = 10pF, R _L = 2kΩ		20	ns
t _{CLR}	From Clear to output Q			28	ns
t _{CLR}	(Asym.) from A or B to output Q			16	ns
t _{QD}	From A or B to output Q	C _{EXT} = 100pF, R _{EXT} = 10kΩ		5	ns

Pin Assignment (Top View)



FUNCTION TABLE

123 LS123 U123 (See Note 4)

CLEAR	INPUTS		OUTPUTS	
	A	B	Q	Q
L	X	X	L	L
X	L	X	L	L
X	X	L	L	H
L	L	L	L	L
H	L	H	L	L
L	H	L	L	L

- NOTES: 1. Ground C_{EXT} to measure V_{OH} at Q, V_{OL} at Q, X = LOG at Q. C_{EXT} is open to measure V_{OH} at Q, V_{OL} at Q, or V_{CS} at Q.
 2. Quiescent I_{CC} is measured (after clearing) with 2.4V applied to A, Clear and A inputs, B inputs grounded, all outputs open, C_{EXT} = 0.02 μF, and R_{EXT} = 25kΩ.
 3. I_{CC} is measured in the triggered state with 2.4V applied to A, Clear and B inputs, A inputs grounded, all outputs open, C_{EXT} = 0.02 μF, and R_{EXT} = 25kΩ.
 4. A = high level (steady state), L = low level (steady state), ↑ = transition from low to high level, ↓ = transition from high to low level, Δ = one high-level pulse (1 μs wide low-level pulse, X = irrelevant (any input, including transitions).
 B An external timing capacitor may be connected between Clear and C_{EXT} (positive).
 C For accurate, repeatable pulse widths, connect an external resistor between R_{EXT} and V_{CC} with R_L open-circuited.
 D To obtain variable pulse widths, connect external resistance between R_{EXT} or R_{EXT}, C_{EXT} and V_{CC}.

*TYP values shown as MIN or MAX use the value specified under recommended operating conditions.
 †All input values are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.
 ‡Not more than one output should be asserted at a time.
 §Propagation delay time from high-level output.
 ¶HL propagation delay time from low-level output.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCL4543B
Preliminary



**BCD-TO-SEVEN SEGMENT
LATCH/DECODER/DRIVER**

FEATURES

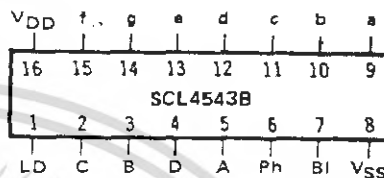
- ◆ Phase Input Signal Reproduced on Outputs for Liquid Crystal Display
- ◆ Latched Storage of Input Code
- ◆ Blanking Input for Display Intensity Modulation
- ◆ Readout Blanking for Illegal Input Combinations
- ◆ Pin Compatible with CD4056A (with Pin 7 Tied to V_{SS})
- ◆ Balanced Output Drive Current Specifications

DESCRIPTION

The SCL4543B BCD-to-7 Segment Latch/Decoder/Driver is designed for use with liquid crystal readouts and is constructed with complementary MOS (CMOS) enhancement-mode devices. The circuit provides the functions of a 4-bit storage latch and a 8421 BCD-to-seven segment decoder and driver. The device has the capability to invert the logic levels of the output combinations. The Phase (Ph), Blanking (BI), and Latch Disable (LD) inputs are used to reverse the truth-table phase, blank the display, and store a BCD code, respectively. For liquid crystal readouts, a square wave is applied to the Ph input of the circuit and the electrically common backplane of the display. The outputs of the circuit are connected directly to the segments of the readout. For other types of readouts, such as light-emitting diode (LED), incandescent, gas discharge, and fluorescent readouts, connection diagrams are given on this data sheet.

Applications include instrument (e.g., counter,

CONNECTION DIAGRAM
(all packages)



Add suffix for package:

- C 16-pin Cerdip
- D 16-pin Ceramic
- E 16-pin Epoxy
- F 16-pin Flat
- H Chip

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

- DC Supply Voltage $V_{DD} - V_{SS}$ 3 to 15 V_{DC}
- Operating Temperature T_A
 - C, D, F, H Device -55 to +125 °C
 - E Device -40 to +85 °C

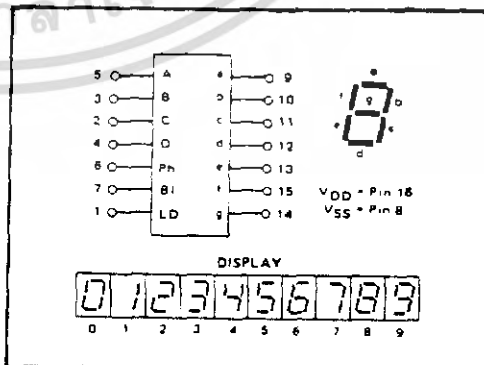
DVM, etc.) display driver, computer/calculator display driver, cockpit display driver, and various clock, watch, and timer uses.

TRUTH TABLE

INPUTS				OUTPUTS										
LD	BI	Ph	O	C	B	A	g	f	e	d	c	b	a	Q-state
X	1	0	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	Blank
1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	2
1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	3
1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	4
1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	5
1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	6
1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	7
1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	9
1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Blank
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Blank
1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Blank
1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Blank
1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Blank
1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Blank
1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	Blank
1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	Blank
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	Blank
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Blank
0	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	**
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Invert of Output Combinations Above

X = Don't care
 * = Above Combinations
 ** = For liquid crystal readouts, apply a square wave to Ph.
 For common cathode LED readouts, select Ph = 0.
 For common anode LED readouts, select Ph = 1.
 *** = Outputs use the BCD code previously applied when LD = 1.

BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS^{1,2}

PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	CONDITIONS	T _{LOW} ²		+25°C			T _{HIGH} ²		Units
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I _{DD}	V _{IN} =V _{SS} or V _{DD} All valid input combinations	-	5	-	0.05	5	-	150	μA _{dc}
			-	10	-	0.1	10	-	300	
			-	15	-	0.2	15	-	600	

NOTES: ¹ Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".

² T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.
= -40°C for E device.

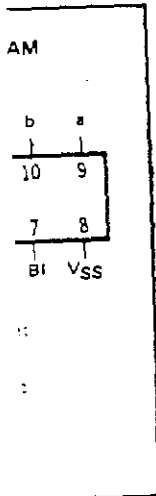
T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.
= + 85°C for E device.

³ This device has been designed for balanced output drive current specifications. Consult Family Specifications.

DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

PARAMETER		V _{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
PROPAGATION DELAY TIME	t _{PLH} , t _{MHL}	5	-	550	1100	ns
		10	-	210	420	
		15	-	160	320	
OUTPUT TRANSITION TIME	t _{TLH} , t _{THL}	5	-	100	200	ns
		10	-	50	100	
		15	-	40	80	
MINIMUM DATA INPUT SETUP TIME	t _{setup}	5	-	-40	0	ns
		10	-	-15	0	
		15	-	-10	0	
MINIMUM DATA INPUT HOLD TIME	t _{hold}	5	-	40	80	ns
		10	-	15	30	
		15	-	10	20	
MINIMUM LD PULSE WIDTH	PW _{LD}	5	-	125	250	ns
		10	-	50	100	
		15	-	40	80	

SEGMENT DRIVER

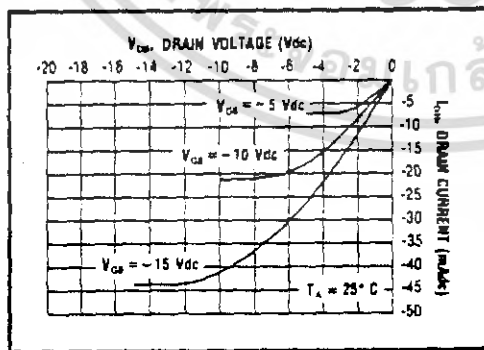
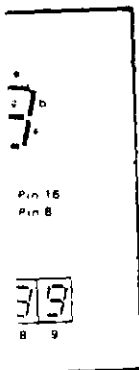


CONDITIONS

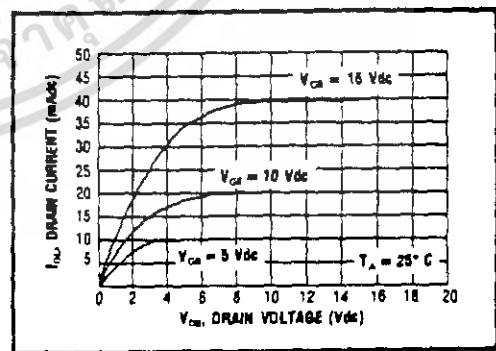
3 to 15 Vdc

55 to +125 °C
-40 to +85 °C

meter/calculator
r, and various

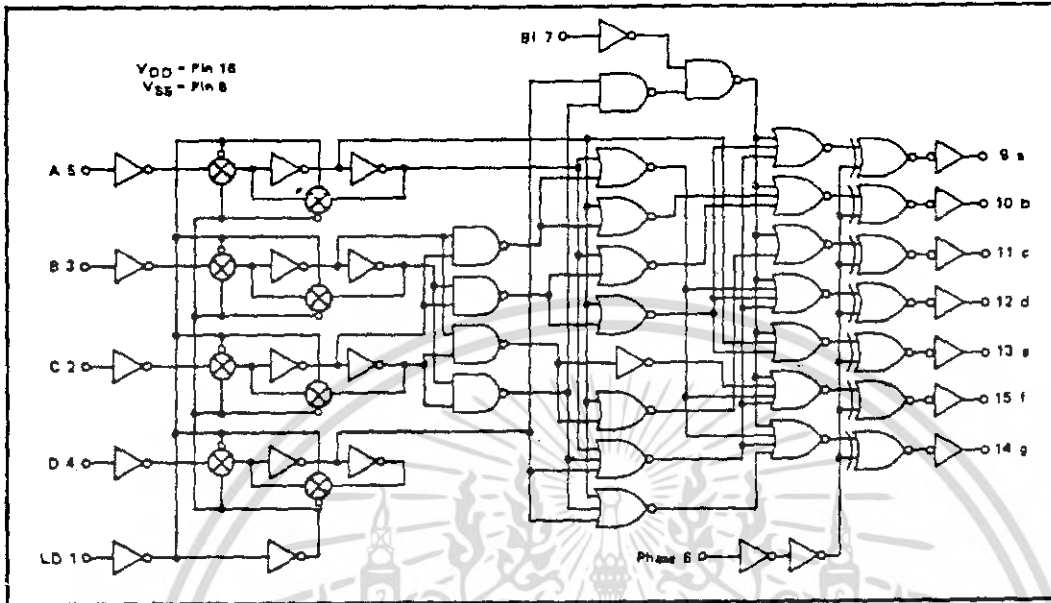


Typical P-Channel Source Current Characteristics



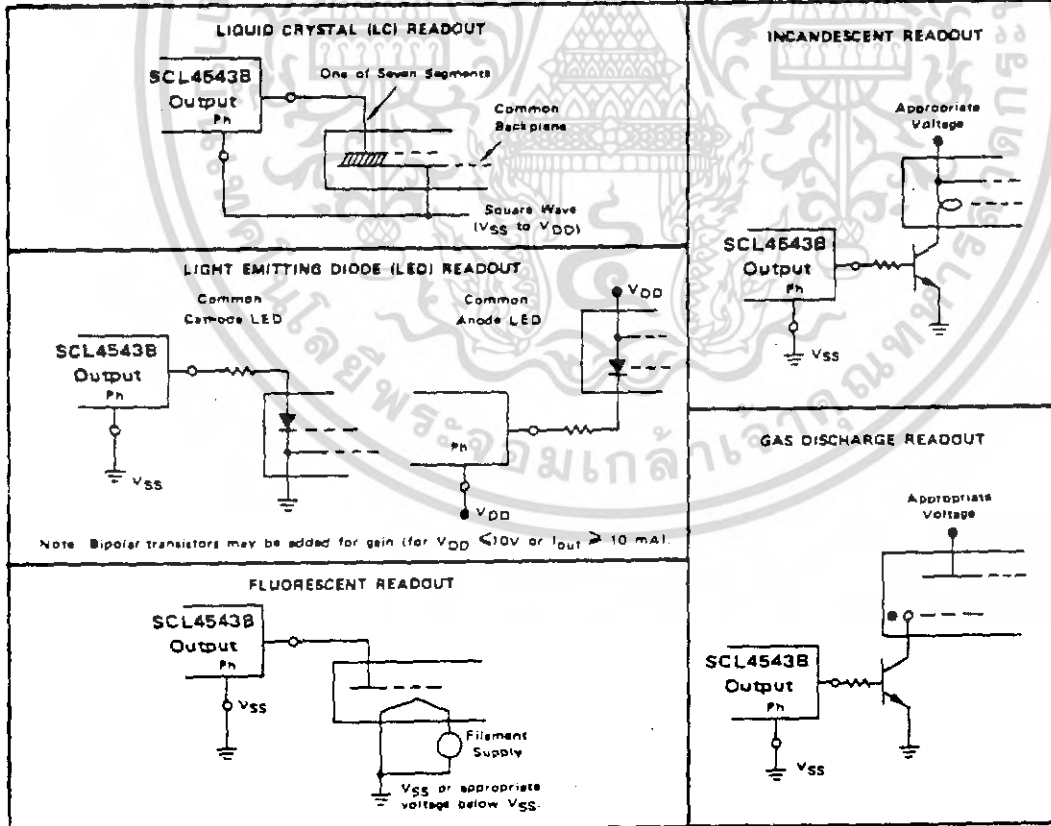
Typical N-Channel Sink Current Characteristics

LOGIC DIAGRAM



APPLICATIONS INFORMATION

CONNECTIONS TO VARIOUS DISPLAY READOUTS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1
S
S
1
FE
◆
◆
DE
wit
mo
Sel
IE:
Q2
ge
sele
deci
etc.
SCL
deci
plex
digit

Er
X

2N3866 2N3866A

JAN, JTX, JTXV AVAILABLE
CASE 79-02, STYLE 1
TO-39 (TO-205AD)

HIGH FREQUENCY TRANSISTOR

NPN SILICON

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V _{CEP}	30	Vdc
Collector-Base Voltage	V _{CB0}	55	Vdc
Emitter-Base Voltage	V _{EB0}	3.5	Vdc
Collector Current — Continuous	I _C	0.4	Adc
Total Device Dissipation (at T _C = 25°C Derate above 25°C)	P _D	5.0 28.6	Watts mW/°C
Storage Temperature	T _{stg}	-65 to +200	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS				
Collector-Emitter Breakdown Voltage (I _C = 5.0 mAdc, R _{BE} = 10 Ω)	V _{CE(sus)}	55	—	Vdc
Collector-Emitter Sustaining Voltage (I _C = 5.0 mAdc, I _B = 0)	V _{CE(sus)}	30	—	Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage (I _E = 100 μAdc, I _C = 0)	V _{EB(sus)}	3.5	—	Vdc
Collector Cutoff Current (V _{CE} = 28 Vdc, I _B = 0)	I _{CEO}	—	0.02	mAdc
Collector Cutoff Current (V _{CE} = 30 Vdc, V _{BE} = -1.5 Vdc (Rev.), T _C = 200°C) (V _{CE} = 55 Vdc, V _{BE} = -1.5 Vdc (Rev.))	I _{CEX}	—	5.0 0.1	mAdc
Emitter Cutoff Current (V _{BE} = 3.5 Vdc, I _C = 0)	I _{EBO}	—	0.1	mAdc
ON CHARACTERISTICS				
DC Current Gain (I _C = 360 mAdc, V _{CE} = 5.0 Vdc) (I _C = 50 mAdc, V _{CE} = 5.0 Vdc)	h _{FE}	5.0 10 25	— 200 200	—
Collector-Emitter Saturation Voltage (I _C = 100 mAdc, I _B = 20 mAdc)	V _{CE(sat)}	—	1.0	Vdc
SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS				
Current-Gain — Bandwidth Product (I _C = 50 mAdc, V _{CE} = 15 Vdc, f = 200 MHz)	f _T	500 800	—	MHz
Output Capacitance (V _{CB} = 28 Vdc, I _E = 0, f = 1.0 MHz)	C _{obo}	—	3.0	pF
FUNCTIONAL TEST (FIGURE 1)				
Amplifier Power Gain (V _{CC} = 28 Vdc, P _{out} = 1.0 W, f = 400 MHz)	G _{pe}	10	—	dB
Collector Efficiency (V _{CC} = 28 Vdc, P _{out} = 1.0 W, f = 400 MHz)	η	45	—	%

3 Vdc
F Output

DEVICES

SMALL-SIGNAL DEVICES

MOTOROLA SEMICONDUCTORS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 1 - 400 MHz TEST CIRCUIT SCHEMATIC

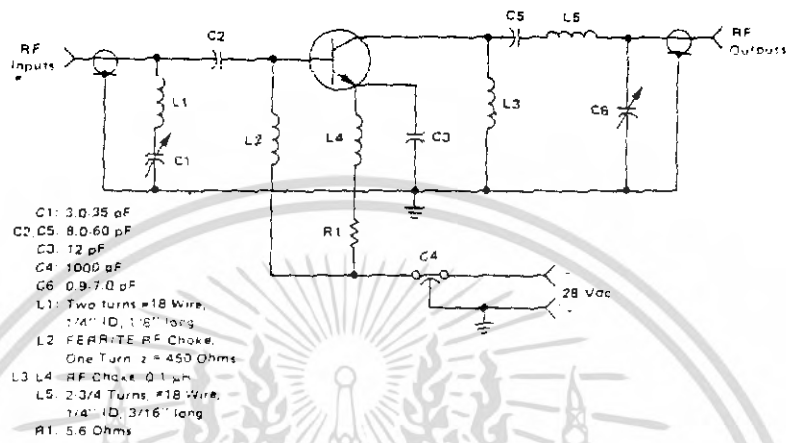


FIGURE 2 - POWER OUTPUT versus FREQUENCY (Class C)

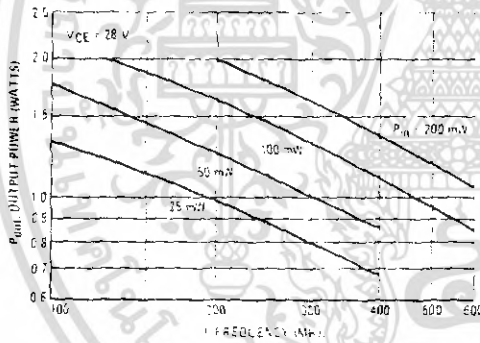


FIGURE 3 - CURRENT GAIN - BANDWIDTH PRODUCT

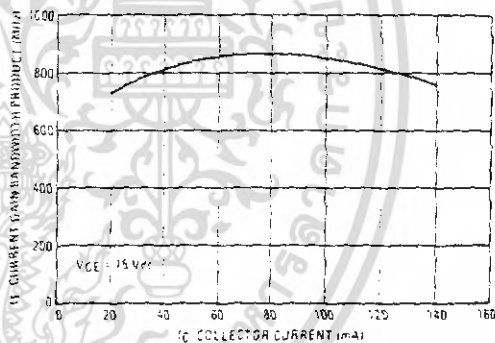


FIGURE 4 - COLLECTOR BASE TIME CONSTANT

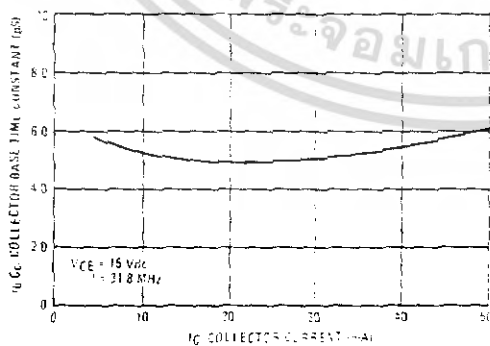
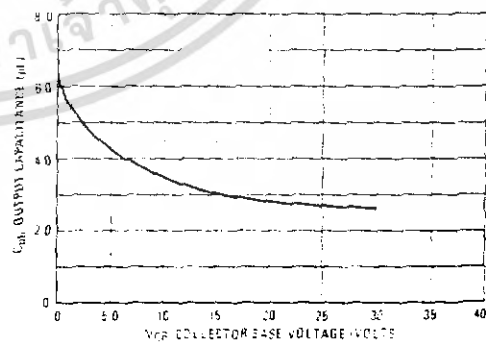


FIGURE 5 - OUTPUT CAPACITANCE



เอกสารนี้แบ่งเอกสารที่ส่งไปสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N3866 • 2N3866A

FIGURE 6 - OUTPUT POWER versus INPUT POWER (CLASS C)

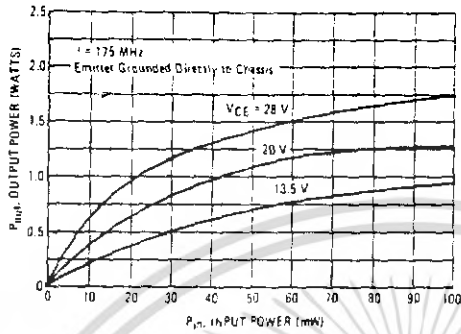


FIGURE 7 - SMALL SIGNAL CURRENT GAIN

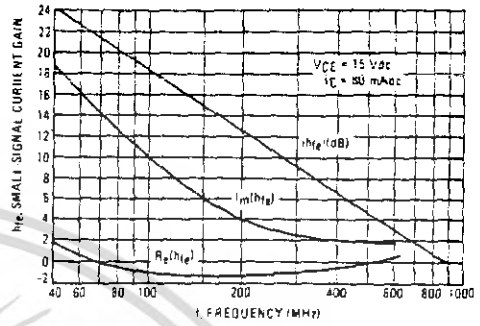


FIGURE 8 - LARGE-SIGNAL SERIES EQUIVALENT IMPEDANCES

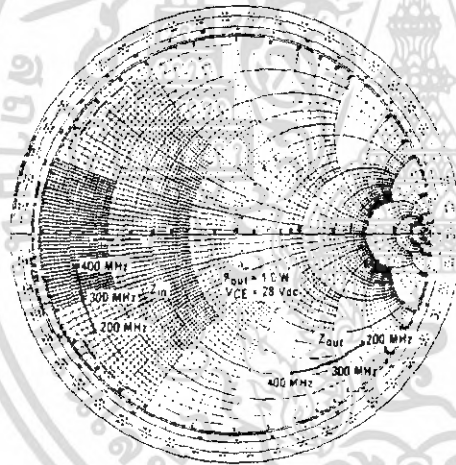
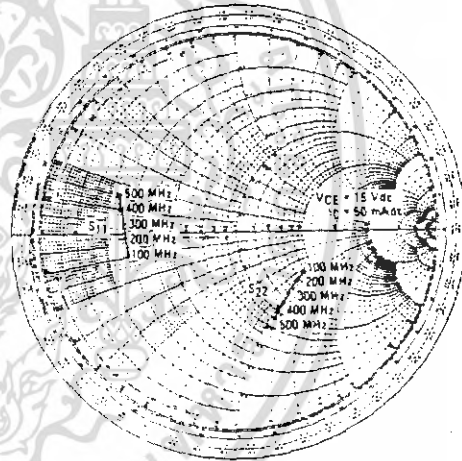


FIGURE 9 - S₁₁ AND S₂₂ versus FREQUENCY



DUCT



140 100



35 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N3866 • 2N3866A

FIGURE 10 - S_{21} versus FREQUENCY

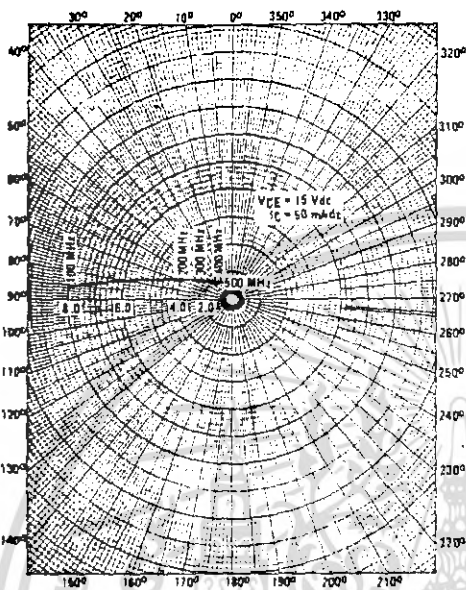
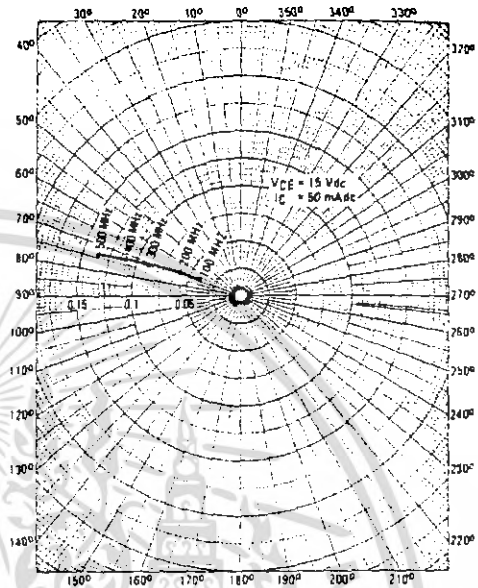


FIGURE 11 - S_{12} versus FREQUENCY



7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานและเผยแพร่โดยไม่อนุญาตให้แก้ไขโดยไม่ได้รับความยินยอม
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PLASTIC ENCAPSULATED SMALL-SIGNAL TRANSISTORS (continued)

Devices for Hi-Rel Applications

Motorola offers over 650 devices listed in CPL-19500, and is certified to supply small-signal bipolar devices to ALL FOUR quality levels of MIL-S-19500: JAN, JANTX, JANTXV, and JANS.

The following tables list the Motorola discrete devices and dash-sheet number as they appear on the Qualified Products List.

Switching and High-Frequency Transistors

MIL-S-19500	
2N703 JAN	153
2N706 JAN	120
2N708 JAN, JTX	312
2N718A JAN, JTX, JTXV	181
2N869A JAN, JTX	283
2N914 JAN, JTX	373
2N916 JAN	271
2N918 JAN, JTX, JTXV, JANS	301
2N929 JAN, JTX	253
2N930 JAN, JTX	253
2N1132 JAN	177
2N11613 JAN, JTX, JTXV	181
2N2218 JAN, JTX, JTXV	251
2N2218A JAN, JTX, JTXV	251
2N2219 JAN, JTX, JTXV	251
2N2219A JAN, JTX, JTXV	251
2N2219AL JANS	255
2N2221 JAN, JTX, JTXV	255
2N2221A JAN, JTX, JTXV	255
2N2222 JAN, JTX, JTXV	255
2N2222A JAN, JTX, JTXV, JANS	225
2N2369A JAN, JTX, JTXV, JANS	317
2N2481 JAN, JTX	268
2N2904 JAN, JTX, JTXV	290
2N2905 JAN, JTX, JTXV	290
2N2905A JAN, JTX, JTXV	290
2N2905AL JANS	291
2N2906 JAN, JTX, JTXV	291
2N2906A JAN, JTX, JTXV	291
2N2907 JAN, JTX, JTXV	291
2N2907A JAN, JTX, JTXV, JANS	291
2N2944A JAN, JTX, JTXV	291
2N2945A JAN, JTX, JTXV	291
2N2946A JAN, JTX, JTXV	291
2N3013 JAN, JTX	287
2N3019, S JAN, JTX, JTXV	391
2N3250A JAN, JTX, JTXV	323
2N3251A JAN, JTX, JTXV	323
2N3253 JAN	347
2N3444 JAN	347
2N3467 JAN, JTX, JTXV	346
2N3468 JAN, JTX, JTXV	346
2N3485A JAN, JTX	392
2N3486A JAN, JTX	392
2N3498 JAN, JTX, JTXV	366
2N3499 JAN, JTX, JTXV	366
2N3500 JAN, JTX, JTXV	366
2N3501 JAN, JTX, JTXV	366
2N3506 JAN, JTX, JTXV	349
2N3507 JAN, JTX, JTXV	349
2N3634 JAN, JTX, JTXV	357
2N3635 JAN, JTX, JTXV	357
2N3636 JAN, JTX, JTXV	357
2N3637 JAN, JTX, JTXV	357
2N3700 JAN, JTX, JTXV	391
2N3735 JAN, JTX, JTXV	395
2N3737 JAN, JTX, JTXV	395
2N3743 JAN, JTX, JTXV	397
2N3762 JAN, JTX, JTXV	396
2N3763 JAN, JTX, JTXV	396
2N3764 JAN, JTX, JTXV	396
2N3765 JAN, JTX, JTXV	396
2N4033 JAN, JTX, JTXV	511
2N4261 JAN, JTX	511
2N4405 JAN, JTX	488
2N4449 JAN, JTX, JTXV	317
2N4453 JAN, JTX	281
2N4930 JAN, JTX, JTXV	397
2N4931 JAN, JTX, JTXV	397
2N5581 JAN, JTX	423
2N5582 JAN, JTX	423

RF Transistors

MIL-S-19500	
2N918 JAN, JTX, JTXV, JANS	301
2N2857 JAN, JTX, JTXV	343
2N3375 JAN, JTX, JTXV	341
2N3553 JAN, JTX, JTXV	241
2N3855 JAN, JTX, JTXV	398
2N3866A JAN, JTX, JTXV	398
2N3959 JAN, JTX, JTXV	399
2N3960 JAN, JTX, JTXV	399
2N4957 JAN, JTX, JTXV	426
2N5109 JAN, JTX, JTXV	453
2N6603 JAN, JTXV	522
2N6604 JAN, JTXV	522

Multiple Devices

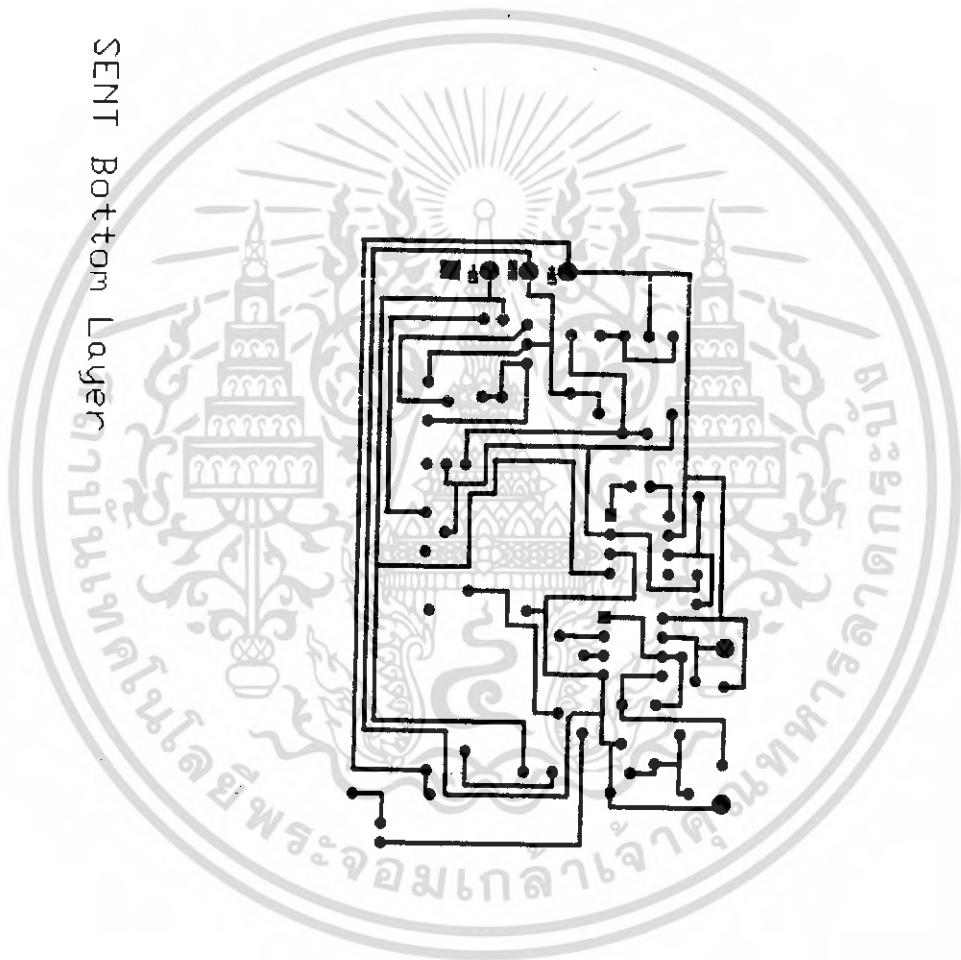
MIL-S-19500	
2N2060 JAN, JTX, JTXV	270
2N2919 JAN, JTX, JTXV	355
2N2920 JAN, JTX, JTXV	355
2N3810 JAN, JTX, JTXV	336
2N3811 JAN, JTX, JTXV	336
2N4454 JAN, JTX, JTXV	421
2N5793 JAN, JTX, JTXV	495
2N5794 JAN, JTX, JTXV	495
2N5795 JAN, JTX, JTXV	496
2N5796 JAN, JTX, JTXV	496

Field-Effect Transistors

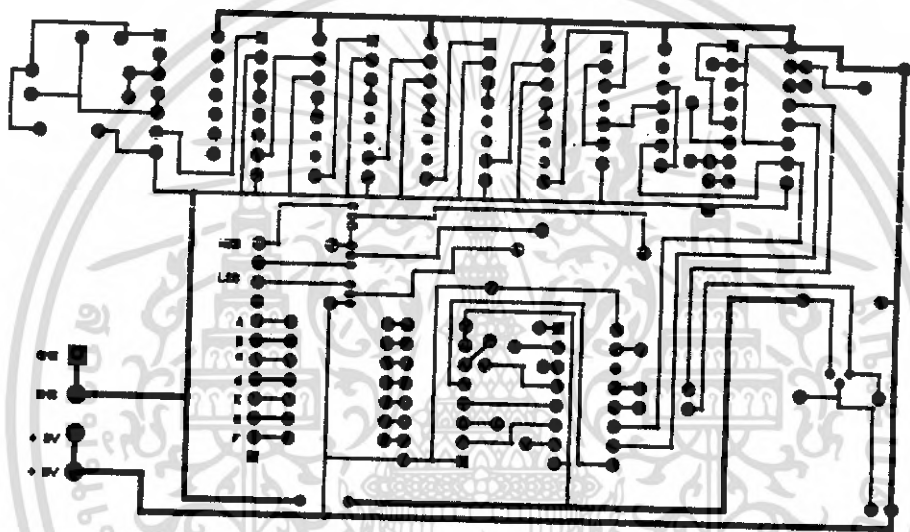
MIL-S-19500	
2N2608 JAN	295
2N2609 JAN	296
2N3330 JAN, JTX	378
2N3821 JAN, JTX, JTXV	375
2N3823 JAN, JTX, JTXV	375
2N3823 JAN, JTX, JTXV	375
2N4856 JAN, JTX, JTXV	385
2N4857 JAN, JTX, JTXV	385
2N4858 JAN, JTX, JTXV	385
2N4859 JAN, JTX, JTXV	385
2N4860 JAN, JTX, JTXV	385
2N4861 JAN, JTX, JTXV	385
2N4091 JAN, JTX, JTXV	431
2N4092 JAN, JTX, JTXV	431
2N4093 JAN, JTX, JTXV	431

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่... ไม่ควรถูกใช้ใหม่โดยไม่ได้รับอนุญาต...
 ไม่ควรแก้ไขใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SENT Bottom Layer

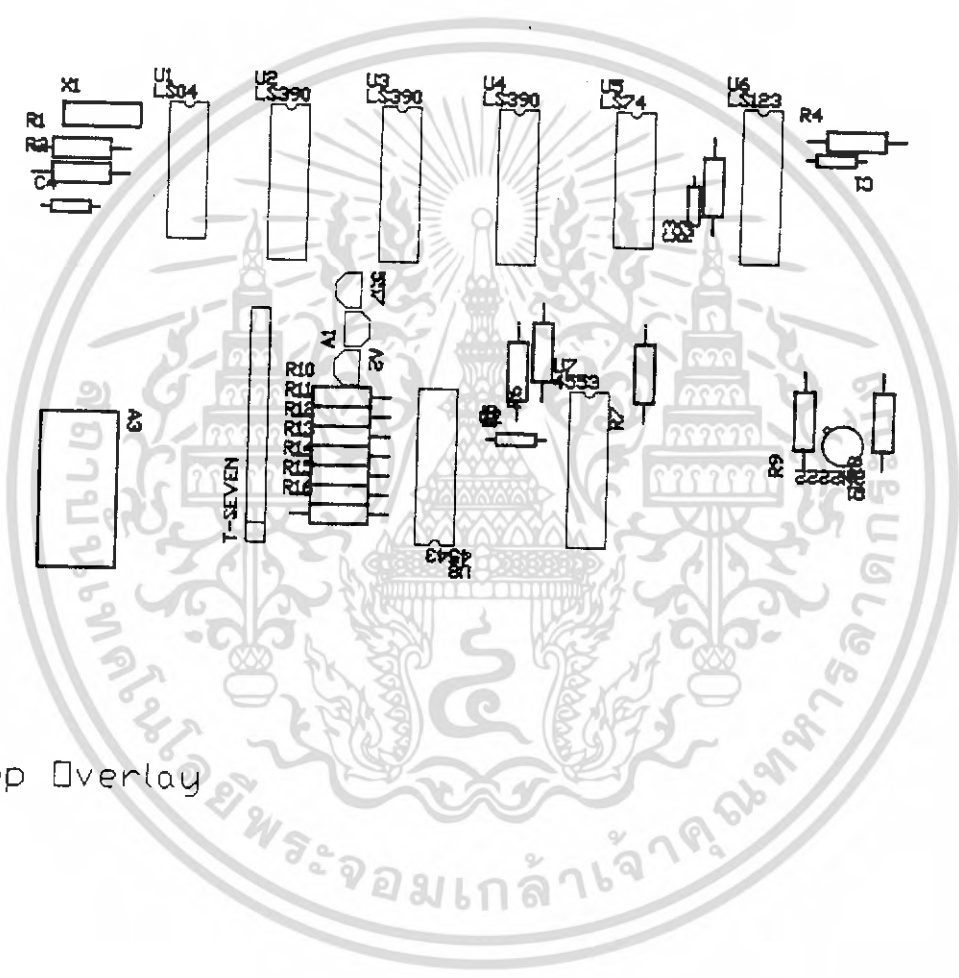


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TER1 Bottom Layer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TER1 Top Overlay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DISIS Bottom Layer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

