

OPTIC FIBER COMMUNICATION

โดย

นาย ชัยหาญ วิเศษสุขประเสริฐ 33100084

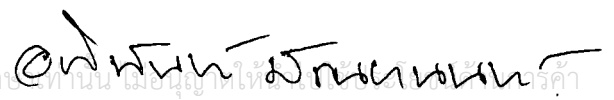
นาย ฐิติพันธุ์ วรกุลลิฎราณี 33100100

ภาควิชาโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษาพุทธศักราช 2536

อาจารย์ที่ปรึกษา



อาจารย์ อภินันท์ มัชฌานนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

033343

การสื่อสารเส้นใยนำแสง

optical fiber communication

โดย นายชัยหาญ เลิศสุขประเสริฐ 33100084

นายรัฐดิพันธุ์ วรกุลฉัตรานีย์ 33100100

อาจารย์ที่ปรึกษา อ. อภิวัฒน์ มัชฌานนท์

บทคัดย่อ

การสื่อสารมีความจำเป็นต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมากไม่ว่าจะเป็นทางด้านธุรกิจ ทางด้านอำนวยความสะดวก หรือทางด้านการบันเทิง การแข่งขันทางด้านเทคโนโลยีเพื่อให้เกิด ประสิทธิภาพที่ดี จึงเกิดขึ้น ระบบการสื่อสารโดยผ่านเส้นใยนำแสงเป็นระบบที่น่าจะเข้ามาแทนที่ การสื่อสารอื่น ๆ ในอนาคต ทั้งนี้ก็เพราะข้อดีของเส้นใยนำแสงซึ่งจะต้องเป็นตัวกลางของระบบการสื่อสารทุกรูปแบบ. . . ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้ผู้เขียนศึกษา และ ประดิษฐ์ อุปกรณ์การสื่อสารที่ใช้เส้นใยนำแสงเป็นตัวกลาง รวมถึงการวัดหาระยะทางของเส้นใยนำแสงเพื่อใช้ในการวางอุปกรณ์ทวนสัญญาณ ลงในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ABSTRACT

In the present , Communication is necessary for people's life very much , Such as business , convenience , enjoyment. The best communication is happened because of candidation of communucation technology. The optical communication exactly will be substituted for mental communication in the future because the optical fiber's advantage is medium of all communication. This project , Editors invent some

equipment of the optical communication and study measurement of optical fiber's length for installation of repeater equipment.

สารบัญ

บทที่ 1	บทนำ	หน้า 1 - 4
บทที่ 2	ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง	หน้า 5 - 16
บทที่ 3	ลักษณะการทำงาน	หน้า 17 - 23
	3.1 ลักษณะการทำงานด้านส่ง	
	3.2 ลักษณะตัวกลาง	
	3.3 ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ทวนสัญญาณ	
	3.4 ลักษณะการทำงานด้านรับ	
บทที่ 4	ผลการทดลอง	หน้า 24 - 35
	4.1 อุปกรณ์การทดลอง	
	4.2 ขั้นตอนการทดลอง	
	บันทึกผลการทดลอง	
บทที่ 5	สรุป	หน้า 36
	เอกสารอ้างอิง	หน้า 37
	กิตติกรรมประกาศ	หน้า 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงกำลังเข้ามามีบทบาทอย่างสูงในโครงข่ายเทคโนโลยีการสื่อสารสมัยใหม่ ดังเราจะเห็นได้จากโครงการการเดินเคเบิลใยนำแสงใต้น้ำ การเดินเคเบิลใยนำแสงเพื่อใช้ในการสื่อสารของการรถไฟแห่งประเทศไทย และการเดินเคเบิลใยนำแสงในย่านธุรกิจงานกรุงเทพฯ เพื่อที่จะก้าวไปสู่ระบบการสื่อสาร ISDN ในขณะนี้

สำหรับระบบการสื่อสารที่ใช้เส้นใยนำแสงเป็นตัวกลางนั้น จะเป็นศูนย์รวมของการสื่อสารทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็น

- การสื่อสารทางด้านเสียง
- การสื่อสารทางด้านข้อมูล
- การส่งสัญญาณภาพและวีดีโอ เป็นต้น

การสื่อสารในระบบแสงนี้ มีมาตั้งแต่ในสมัยโบราณ เริ่มตั้งแต่มนุษย์เราได้คิดค้นหาวิธีการต่าง ๆ ที่จะส่งข่าวสารเพื่อให้ผู้ที่อยู่ทางไกลสามารถรับรู้ได้ แสงเป็นตัวกลางหนึ่งที่ยอมรับมาไว้เป็นต้นว่าการใช้สัญญาณไฟกระพริบ การใช้กระจกเงาสสะท้อนแสง เป็นต้น การใช้วิธีการเหล่านี้เพื่อจุดประสงค์ให้การส่งไปได้ไกลนั่นเอง ซึ่งกระทำโดยการเปลี่ยนเนื้อหาของข่าวสารที่ต้องการส่งออกไปให้เป็นลักษณะของการกระพริบของไฟ หรือว่าเป็นจำนวนครั้งของการสะท้อนแสงของกระจกเงาแล้วส่งออกไป ส่วนทางด้านรับก็จะใช้วิธีแปลความหมายให้กลับเป็นข่าวสารตามเดิมโดยอาศัยข้อตกลงต่าง ๆ ที่ได้ตกลงกันไว้ล่วงหน้า ซึ่งการส่งลักษณะเช่นนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศ และเวลาในการส่ง

มนุษย์จึงมีแนวความคิดที่จะทำการส่งแสงโดยผ่านตัวกลางซึ่งสภาพแวดล้อมและเวลาในการส่งไม่ส่งผลกระทบต่อสื่อสาร ซึ่งในปี 1970 คิดค้นผลิตแสงเลเซอร์ออกมาได้สำเร็จ

และใช้ในการสื่อสารได้เป็นครั้งแรก แต่กระนั้นก็ดี คุณสมบัติที่มีในตอนนั้นทำให้การสื่อสารด้วยแสงไม่เหมาะสมที่จะใช้งานได้จริง จนมีการปรับปรุงคุณสมบัติของอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ใช้งานได้ดีขึ้นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งทำมันให้ตัดแปลงเนื้อหาจะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ทำให้การสื่อสารด้วยแสงได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน

อุปกรณ์สื่อสารในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นในสำนักงานหรือโรงงานก็จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ ส่วนส่งสัญญาณ ส่วนรับสัญญาณ และตัวกลางที่ใช้ในการเชื่อมต่อ

อุปกรณ์ส่งสัญญาณซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของแสง แสงที่ได้นั้นได้จากหลอดแอล อี ดี หรือ แอล ดี

อุปกรณ์รับสัญญาณซึ่งรับสัญญาณแสงจากทางด้านส่งแล้ว เปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยใช้อุปกรณ์โฟโตไดโอด หรือ อวาแลนซ์โฟโตไดโอด

ตัวกลางในการเชื่อมต่อซึ่งก็คือเส้นใยนำแสง ทาหน้าที่เป็นตัวกลางให้แสงผ่าน มีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับสายโลหะในระบบส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่าน

หลักการของระบบการสื่อสารด้วยแสงนี้ แหล่งกำเนิดแสงจะทาหน้าทีเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นแสง แล้วส่งสัญญาณแสงนี้ไปยังเครื่องรับโดยผ่านตัวกลางคือเส้นใยนำแสง จากนั้นเครื่องรับก็จะแปลงสัญญาณแสงที่รับได้ให้กลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าอีกครั้งหนึ่ง สำหรับรูปแบบการมอดูเลชั่นกับคลื่นแสงนั้น สามารถทำได้ 2 วิธี คือ การมอดูเลชั่นแบบอนาล็อก กับ แบบดิจิตอล สำหรับการทดลองนี้ เราใช้แบบอนาล็อก ซึ่งการมอดูเลชั่นแบบนี้จะทำให้ความเข้มของแสงที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสง เปลี่ยนแปลงไปอย่างต่อเนื่องตามข้อมูล ซึ่งรายละเอียดจะถูกนำเสนอในบทต่อไป

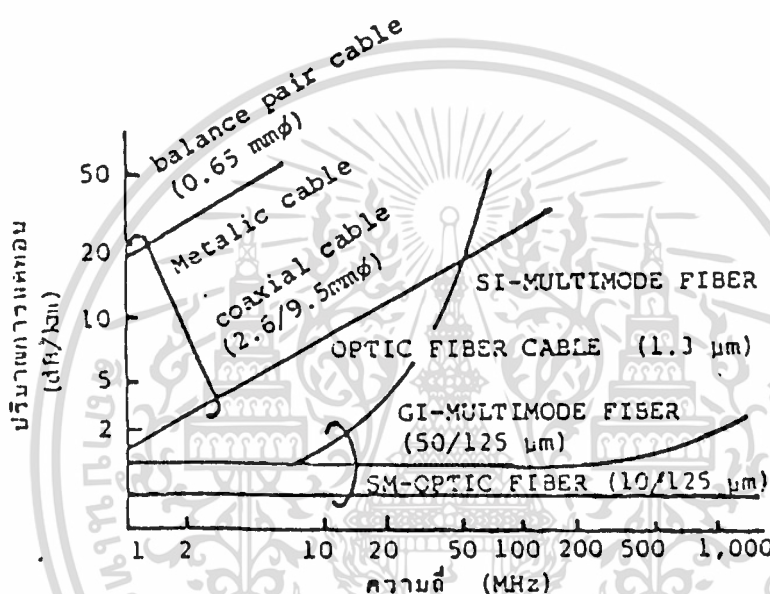
ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงนี้ มีผลดีมากมาย เช่น มีช่วงความถี่ที่กว้างมากคือประมาณ 10,000 เฮิรท์ หรือสูงกว่า นั่นคือ ปริมาณข้อมูลสามารถส่งได้มากกว่าในพวกเคเบิลทองแดง มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ทำให้มีความสะดวกทางด้านารติดตั้ง อีกทั้งมีการสูญเสียที่ต่ำและปราศจากการเกิดคอสมทอร์ค จึงทำให้ระบบการสื่อสารมีประสิทธิภาพสูง สามารถนำมาใช้งานได้อย่างกว้างขวางและเป็นที่ยอมรับ

นอกจากข้อดีที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ระบบการสื่อสารโดยใช้แสงนี้ยังมีคุณสมบัติอื่น ๆ ที่เป็นลักษณะพิเศษ และเป็นผลดีที่สำคัญที่จะจําแนกออกเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติพิเศษของเส้นใยนำแสง

1 การสูญเสียของแสงต่ำ : เส้นใยนำแสงเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเคเบิลโลหะที่ท้าวด้วยทองแดง เคเบิลแกนร่วม (COAXIAL CABLE) อย่างใดอย่างหนึ่งแล้วปรากฏว่าการสูญเสียต่ำกว่า ดังแสดงในรูป 1.1



รูปที่ 1.1

แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติการส่งของสายส่งชนิดต่าง ๆ

2 نطاقความถี่กว้าง : เส้นใยนำแสงมีแถบความถี่ (BANDWIDTH) กว้าง ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยนำแสงด้วย แต่จากรูป 1.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเคเบิลแกนร่วมแล้วสามารถส่งสัญญาณที่มีความถี่สูงมากกว่า

3 ขนาดเล็กและน้ำหนักเบา : เส้นใยนำแสงเมื่อเทียบกับตัวกลางที่ใช้ส่งอย่างอื่นแล้ว มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา เช่น เคเบิลเส้นใยนำแสงขนาด 18 เส้นเมื่อนำไปเทียบกับเคเบิลแกนร่วมขนาดเดียวกันแล้ว ปรากฏว่ามีพื้นที่หน้าตัดประมาณ 1 : 30 และมีน้ำหนักเป็น 1 : 20 ดังนั้น หากเส้นใยนำแสงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกเท่ากับเคเบิลโลหะแล้ว นอก

จากจะสามารถบรรจุเส้นใยนาแสงได้จำนวนมากแล้วยังให้ความสะดวกในการวางสายเคเบิลด้วย เพราะมีน้ำหนักเบา

4 ไม่มีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า (NONINDUCTION) : แก้ว พลาสติก และพลาสติกจะไม่ยอมให้ไฟฟ้าผ่าน ดังนั้นจึงไม่มีการเหนี่ยวนำจากภายนอก เช่น สายไฟแรงสูง คลื่นของโทรทัศน์ คลื่นของวิทยุ เป็นต้น จึงมีข้อดีในการนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ ที่ต้องการความปลอดภัยจากการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า

5 ช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติ : ซิลิกาซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของเส้นใยนาแสงเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งทรัพยากรทองแดงแล้ว มีจำนวนมากกว่า รวมทั้งสามารถผลิตเส้นใยนาแสงได้ยาวมากโดยที่ใช้วัตถุดิบน้อย

6 ปราศจากการเกิดครอสทอล์ค (CROSSTALK) : ในการวางสายส่ง ถ้าเราวางเคเบิลขนานกันไปจะทำให้เกิดครอสทอล์คขึ้น แต่ถ้าใช้เส้นใยนาแสงแล้วจะตัดปัญหาการเกิดครอสทอล์คได้

7 มีความปลอดภัยมากกว่าพวกเคเบิลโลหะ : ในการส่งนี้จะส่งเป็นแสงไม่มีกระแสไฟฟ้า นอกจากที่เครื่องส่งและเครื่องรับ ดังนั้นจึงไม่มีการลัดวงจร หรือไม่มีกระแสสปาร์ค

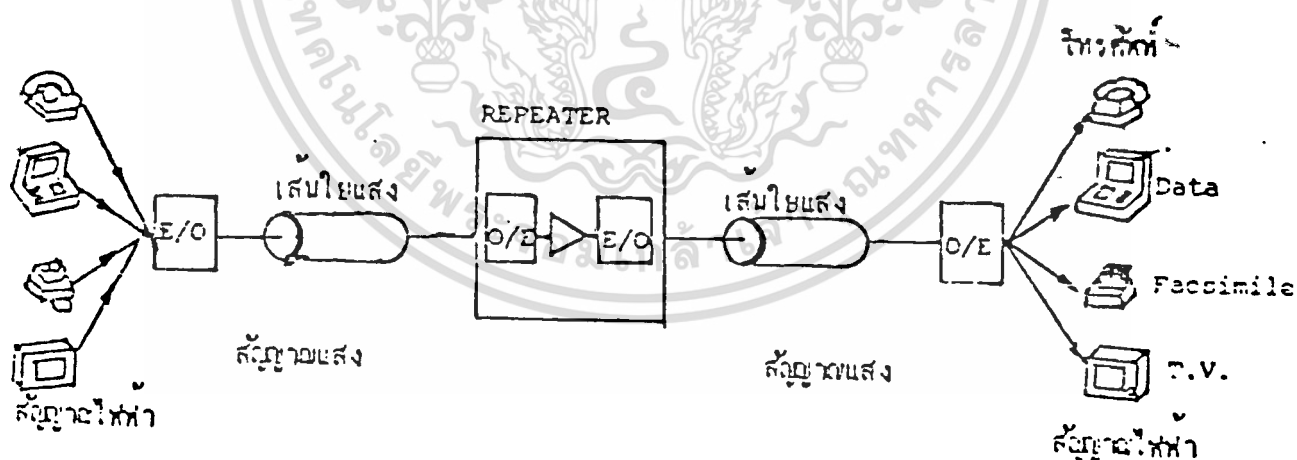
8 มีอายุการใช้งานนาน : เส้นใยนาแสงจะมีอายุการใช้งานนานกว่าเคเบิลอื่น ๆ ประมาณ 20 - 30 ปี

บทที่ 2

ระบบการสื่อสารเส้นใยแสง

การสื่อสารโดยเส้นใยนำแสงนับว่าเป็นวิทยาการทางด้านการสื่อสารที่ใหม่ล่าสุด และจากคุณสมบัติพิเศษหลายประการของระบบนี้ ทำให้การสื่อสารนี้มีบทบาทในขยายสื่อสารโทรคมนาคมในขนาดท้องถิ่น

ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารเส้นใยนำแสง แสดงดังรูป 2.1 โดยทั่วไปแล้ว สัญญาณไฟฟ้าที่ส่งจากอุปกรณ์ปลายทาง เช่น โทรศัพท์ โทรสาร เป็นต้น จะถูกอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสง และส่งเข้าไปในเส้นใยนำแสง สัญญาณแสงที่เดินทางในเส้นใยนำแสงนั้นกำลังของมันจะอ่อนลงเมื่อเดินทางในระยะทางที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าระยะทางไกลมาก จะต้องนำเอาอุปกรณ์ทวนสัญญาณมาใส่ และส่งสัญญาณแสงไปยังอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าทางด้านรับเพื่อเปลี่ยนกลับคืนให้เป็นสัญญาณโทรศัพท์ โทรสาร และอื่น ๆ ตามเดิม



รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

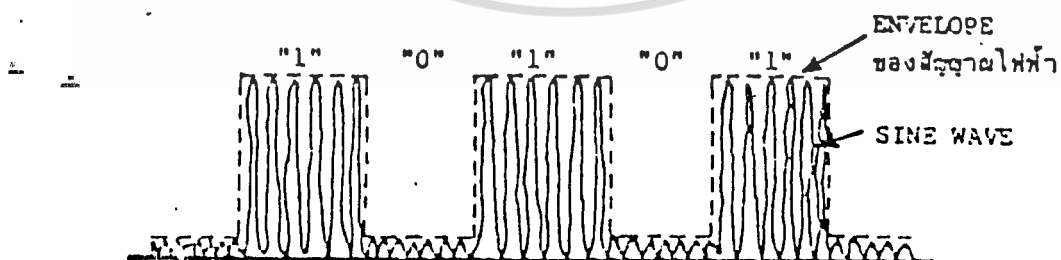
ระบบการสื่อสารด้วยแสง ประกอบไปด้วย

1. แหล่งกำเนิดแสง
2. เส้นใยนำแสง
3. อุปกรณ์ทวนสัญญาณ
4. อุปกรณ์รับแสง

แหล่งกำเนิดแสง

ระบบการสื่อสารทางด้านส่งสัญญาณมีส่วนประกอบต่าง ๆ เพื่อที่จะเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสง โดยสัญญาณอินพุทจะผ่านภาคขยายเบื้องต้น เนื่องจากสัญญาณอินพุทที่เข้ามามีกำลังน้อยจึงต้องทำการขยายด้วยอัตราที่เหมาะสมก่อน ถึงจะส่งผ่านไปยังภาคมอดูเลท

ซึ่งในที่นี้เราจะใช้การมอดูเลทแบบผสมโดยตรงกับความเข้มแสง (INTENSITY MODULATION) ยกตัวอย่างเช่น ในการส่งสัญญาณดิจิตอล รูปสัญญาณเอาต์พุท (output wave form) ที่ได้จะเป็น ดังรูป 2-2 กล่าวคือแสงจะเกิดการกระพริบสว่าง,ดับ ตามสัญญาณไฟฟ้าที่เป็น "0", "1"



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 2.2 แสดง output wave form ของแสงและการมอดูเลทในสัญญาณดิจิตอล

คุณภาพในการส่งสัญญาณนั้น แหล่งกำเนิดแสง นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยเราจะแบ่งแหล่งกำเนิดออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันคือ

1. แอล อี ดี (LIGHT EMITTING DIODE)
2. แอล ดี (LASER DIODE)

แหล่งกำเนิดแสงในระบบการสื่อสารโดยใช้แสงจะทำหน้าที่เหมือนเครื่องกำเนิดสัญญาณคลื่นพาหะในระบบการสื่อสารทั่ว ๆ ไป และเนื่องจากวิธีการส่งที่เชื่อถือได้ที่สุด คือ การส่งแบบผ่านสายใยนำแสง ฉะนั้นเงื่อนไขที่จำเป็นของแหล่งกำเนิดแสงส่วนหนึ่งจึงถูกกำหนดจากคุณสมบัติของสายส่งด้วย เงื่อนไขที่จำเป็นเหล่านี้ คือ

- ความยาวของคลื่นแสง : แสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงจะต้องมีความยาวคลื่นที่สามารถส่งผ่านใยนำแสงได้ดี กล่าวคือ มีอัตราการบิดเทอตา และการตอบสนองต่อความยาวคลื่นที่บริเวณใกล้เคียงไม่แตกต่างกันมากนัก สำหรับในการทดลองนี้ เราจะศึกษาเฉพาะแสงสีแดงที่ได้จากหลอด แอล อี ดี ซึ่งมีความยาวคลื่นศูนย์กลาง 660 นาโนเมตร

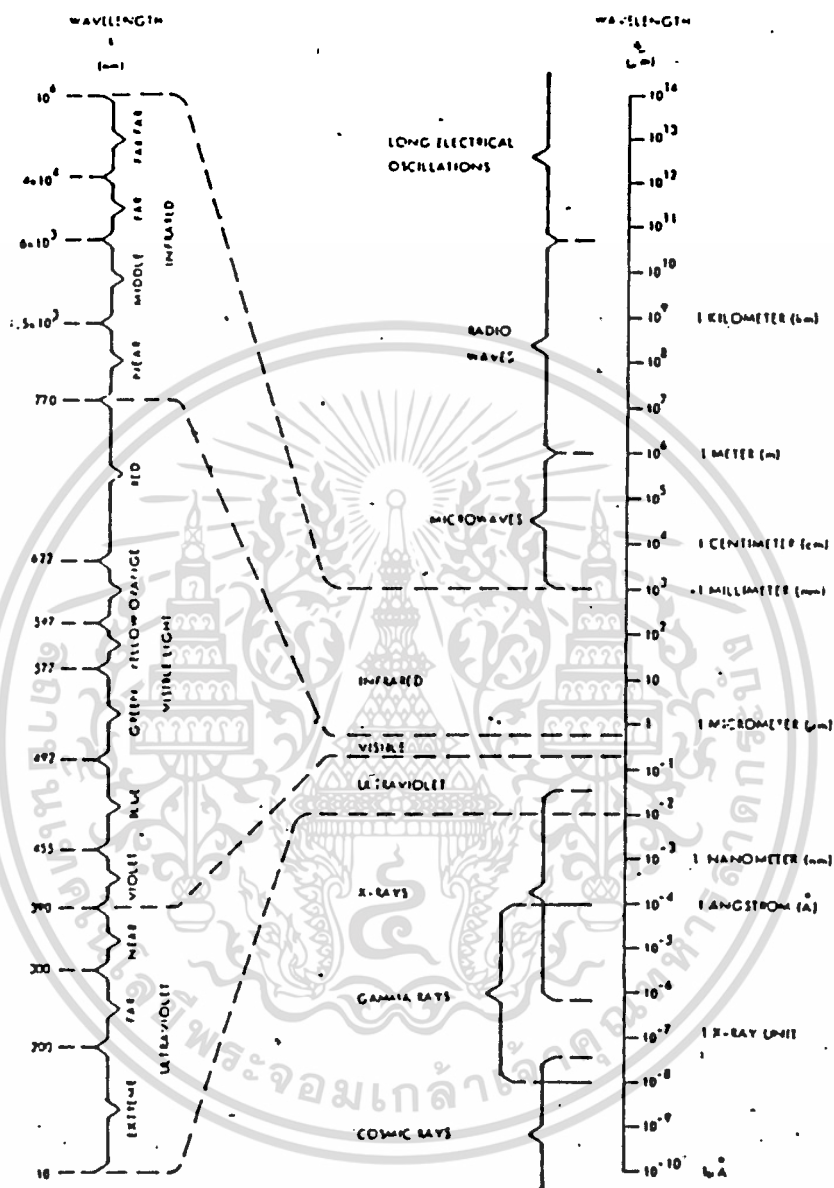
สำหรับความยาวคลื่นของแสงในช่วงต่าง ๆ จะแสดงดังรูปที่ 2.3

- ความเชื่อถือได้สูง : กล่าวคือมีอายุการใช้งานที่ยาวนานโดยเฉพาะเมื่อคำนึงถึงการเข้าถึงระบบโทรศัพท์ แหล่งกำเนิดแสงควรจะมีอายุการใช้งานเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 1 ล้านชั่วโมงหรือมากกว่า 100 ปี

- กำลังแสง (Optical Output) : เมื่อคำนึงถึงการออกแบบระบบซึ่งกำลังแสงจะต้องสูญเสียไปในใยนำแสง และความไวของอุปกรณ์รับแสงมีจำกัด กำลังแสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงจะต้องมีขนาดสูงเพียงพอ โดยทั่วไปมักจะต้องมีการกำลังแสงที่สูงกว่า 1 มิลลิวัตต์ขึ้นไป

- ประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดแสง : คืออัตราร้อยละของกำลังแสงที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ใส่เข้า ค่าประสิทธิภาพนี้ยิ่งสูงยิ่งดี ถ้าประสิทธิภาพต่ำจะมีปัญหาในการป้อนกำลังไฟฟ้าให้แก่ระบบ ปัจจุบันประสิทธิภาพที่ทำได้มีค่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในข้อมูลทั้งหมดนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงช่วงความถี่ต่าง ๆ ในระบบการสื่อสาร

การทำงานของหลอด แอล ซี ดี นอกจากจะทำหน้าที่เรกติไฟเออร์ (Rectifier)

แบบไดโอดธรรมดาแล้ว มันสามารถเปล่งแสงออกมาได้อีกเมื่อป้อนแรงดันไบอัสข้างหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รวบรวมไว้เพื่อให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

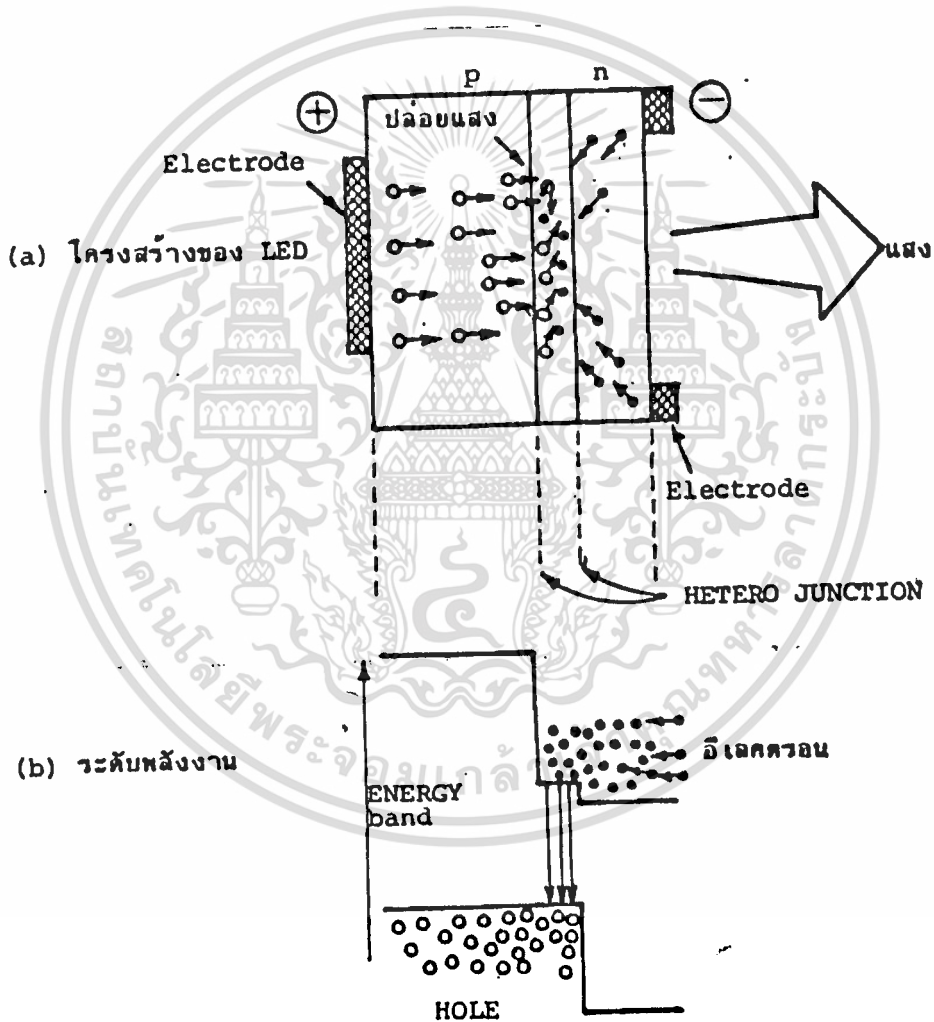
(Forward Bias) ให้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โครงสร้างของหลอด แอล อี ดี (LED)

โครงสร้างพื้นฐานของแอล อี ดี เป็นดับเบิลเฮเทอโรจังก์ชัน (Double Hetero Junction) อิเล็กตรอนที่ไหลผ่าน พี เอ็น จังก์ชัน จะไปรวมกับโฮลภายในแอกทีฟเลเยอร์ และ จะเกิดการปล่อยแสงขึ้นภายในชั้นแอกทีฟเลเยอร์ เนื่องจากถูกกักด้วยกำแพงของเฮเทอโรจังก์ชัน แสงที่ปล่อยออกมาข้างนอกจะออกจากด้านหน้าต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้า ดังรูป 2.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างและระดับพลังงานของ แอล อี ดี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทดลองนี้ เรานำเอาหลอด แอล อี ดี ซึ่งปล่อยแสงสีแดงมาเป็นแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งข้อแตกต่างที่เห็นได้ชัดระหว่าง แอล อี ดี และ แอล ดี คือ แอล ดี การปล่อยแสงจะเกิดปรากฏการณ์ ออสซิลเลชัน ทำให้เกิดการขยายแสงเพื่อให้ได้แสงที่มีความยาวคลื่นเดียวออกมา แต่ถึงอย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันก็ยังไม่สามารถทำให้เกิดแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวโดยสมบูรณ์ได้ ซึ่งจะยังคงปรากฏความยาวคลื่นข้างเคียงเล็กน้อย

ชนิด	LED	LD
หัวข้อ		
OPTICAL OUTPUT	2.5 mW	10 mW
SPECTRUM WIDTH	กว้าง	แคบ
FREQUENCY RESPONSE SPEED	หลายร้อย MHz	หลายร้อย GHz
อายุการใช้งาน	$< 10^6$ ชม.	$< 10^6$ ชม.
ราคา	ถูก	แพง

*หมายเหตุ ในที่นี้เราใช้ LED

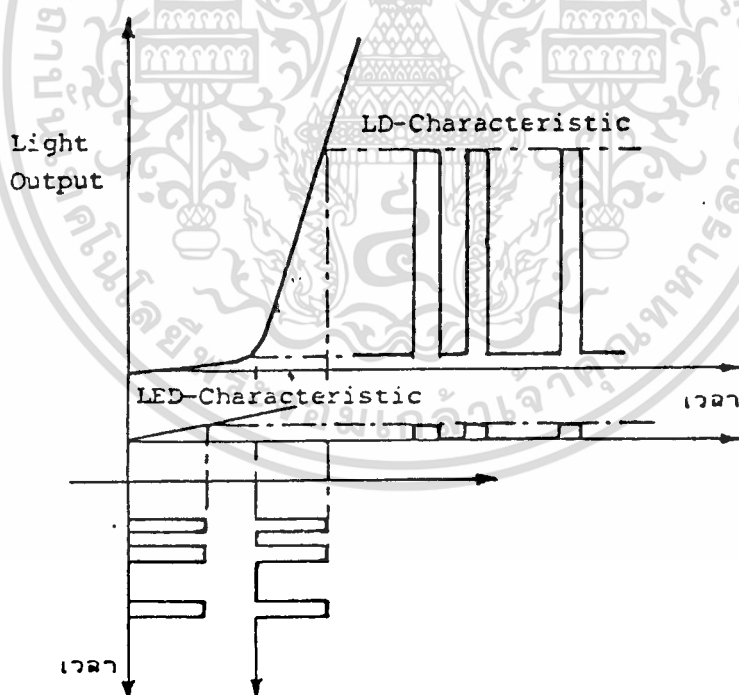
ตาราง 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของอุปกรณ์ปล่อยแสง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการมอดดูเลชันในวงจรทางด้านส่ง เราใช้การมอดดูเลชันความเข้ม (Intensity Modulation) ซึ่งใช้กระแสเป็นตัวขับหลอด แอล อี ดี เพื่อให้เปล่งแสงออกมามีความเข้มเกี่ยวเนื่องกับระดับสัญญาณที่ป้อนเข้า เราจะใช้การมอดดูเลชันแบบความถี่ หรือ แบบเฟสไม่ได้ เนื่องจากแสงเป็นคลื่นพาหะที่ไม่เหมาะสม เพราะแสงประกอบด้วยช่วงความถี่ (มีความยาวคลื่นแสงบนอยู่ หรือ ไม่เป็นยูนิตี้ เวฟเลนซ์)

ในอนาคต ถ้าระบบการสื่อสารโดยใช้แสงนี้สามารถพัฒนาให้แหล่งกำเนิดแสงเปล่งแสงออกมาเป็นความยาวคลื่นเดียว (Unity Wavelength) แล้ว การมอดดูเลชันแบบความถี่และแบบเฟสก็จะสามารถนำมาใช้กับระบบนี้ได้ และการมอดดูเลชันแบบนี้จะนำมาซึ่งประสิทธิภาพที่ดีกว่าเดิมสำหรับการส่งข้อมูล

คุณสมบัติการมอดดูเลชันความเข้ม จะถูกแสดงดังรูป 2.5 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างหลอด แอล อี ดี และ แอล ดี



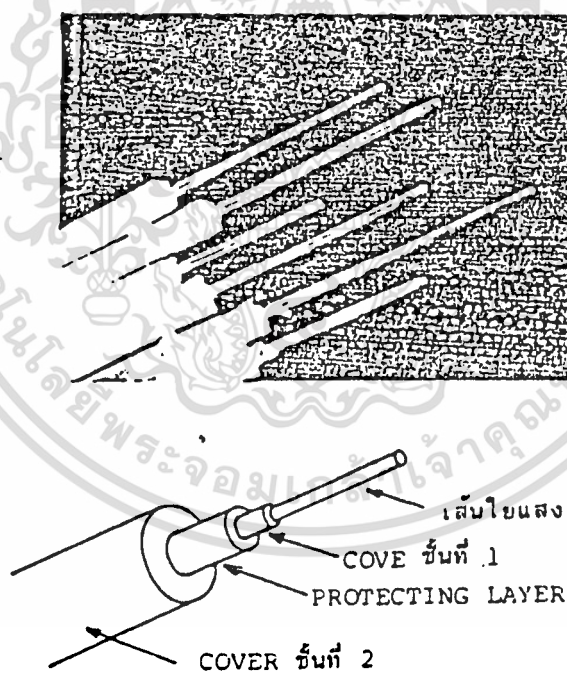
รูปที่ 2.5 แสดงการผสมแบบ Light Intensity Modulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยนาแสง

เส้นใยนาแสงถูกนำมาใช้เป็นตัวกลางระหว่างอุปกรณ์ส่งสัญญาณและอุปกรณ์รับสัญญาณ มีหน้าที่เป็นทางเดินของสัญญาณแสง ซึ่งมีโครงสร้างหลัก ดังต่อไปนี้

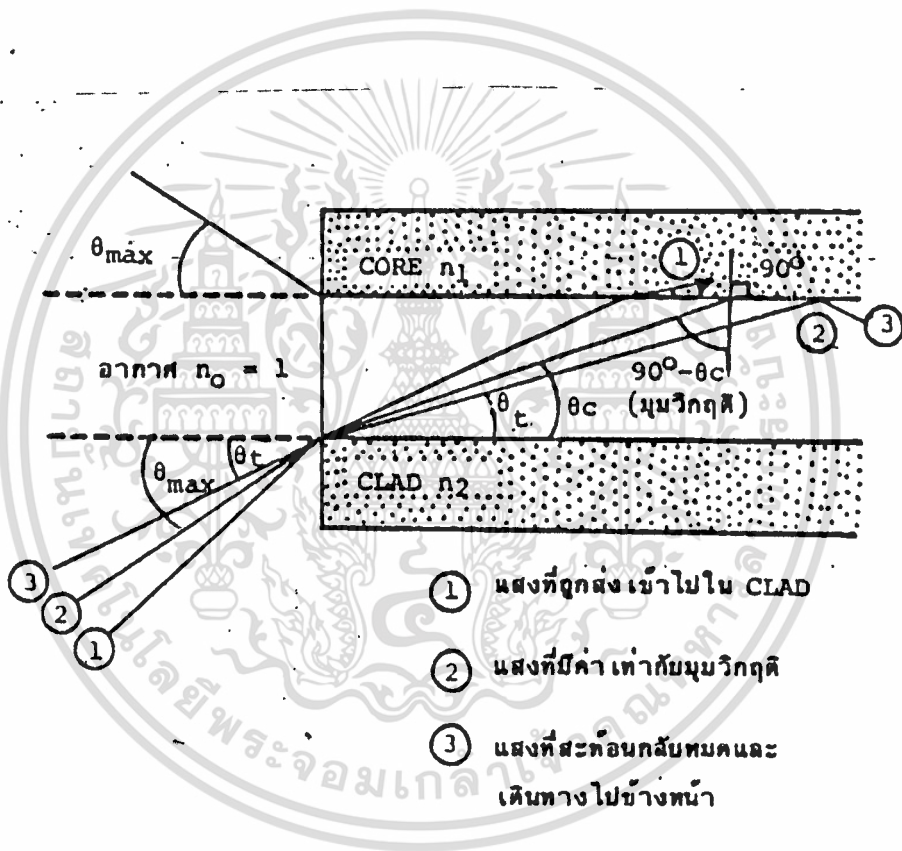
1. ส่วนของคอร์ และ แคลดดิ้ง
2. ฉนวนหุ้มชั้นที่หนึ่ง (Primary Cover)
3. ส่วนของชั้นป้องกัน (Protecting layer)
4. ฉนวนหุ้มชั้นที่สอง (Secondary Cover)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของเส้นใยนาแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่แสงเดินทางเข้าไปในเส้นใยนำแสงได้นั้น เป็นเพราะว่า เส้นใยนำแสงประกอบด้วย ส่วนที่แสงเดินทางผ่าน เรียกว่า CORE และส่วนที่หุ้ม CORE อยู่เรียกว่า CLAD ทั้ง CORE และ CLAD เป็นสารที่ไม่นำไฟฟ้า วัสดุ 2 ชนิด โดยการทำให้ค่าดัชนีการหักเหของ CLAD มีค่าน้อยกว่าค่าดัชนีการหักเหของ CORE เล็กน้อยประมาณ 0.2 - 3 % และอาศัยปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสง ทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปใน CORE เดินทางไปได้ ดังแสดงใน รูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงมุมที่แสงเดินทางได้ในเส้นใยนำแสง

การแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสงมีหลายวิธี คือ แบ่งตามชนิดของสารที่ไม่นำไฟฟ้าที่ใช้ , แบ่งตามจำนวน PROPAGATION MODE , แบ่งตามลักษณะของดัชนีการหักเหของ CORE ดังคำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ แสดง เป็นหัวข้อได้ดังนี้

1 การแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสงตามชนิดของสารที่นำมาไฟฟ้าที่ใช้ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

- Silica glass optic fiber ซึ่งใช้สารที่นำมาไฟฟ้าเป็น Silica glass
- Multi component glass optic fiber ซึ่งใช้สารที่นำมาไฟฟ้าเป็นแก้วหลายชนิดปนกัน
- Plastic optic fiber ซึ่งใช้สารที่นำมาไฟฟ้าเป็นพลาสติก

อนึ่ง สำหรับเคเบิลเส้นใยนำแสงที่ใช้ในข่ายการสื่อสารโทรคมนาคม นิยมใช้ Silica glass optic fiber เพราะมีข้อดีคือ การสูญเสียต่ำและคุณสมบัติคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

แต่สำหรับงานที่ต้องการคุณสมบัติการส่งต่อยลงมา , ใช้งานง่าย (ต่อจ่าย ทักยากแม้จะงอเส้นใยนำแสงมาก ๆ) และใช้กับการสื่อสารระยะใกล้ นิยมใช้เส้นใยนำแสงที่เป็น Plastic optic fiber

2 การแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสงตามจำนวน PROPAGATION MODE

- Single mode optic fiber (SM fiber)
- Multi mode optic fiber

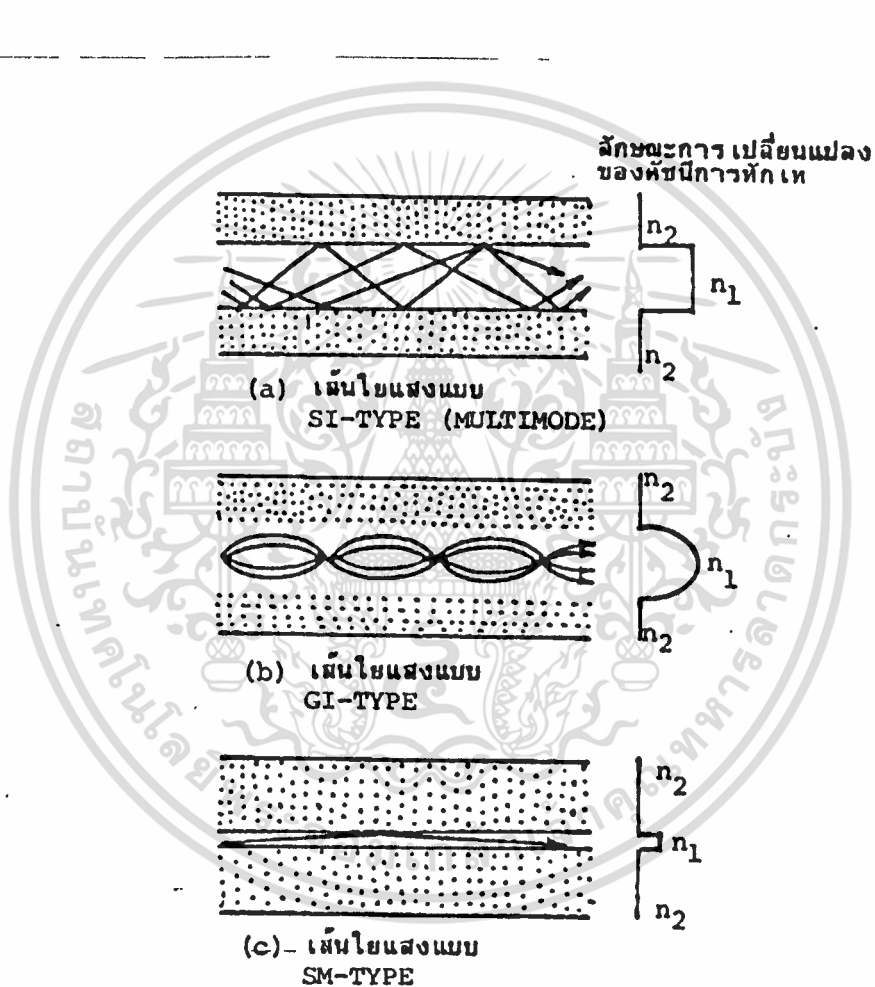
3 การแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสงตามลักษณะของดัชนีการหักเห

- Step index optic fiber (SI fiber) เป็นเส้นใยนำแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่าง CORE กับ CLAD เป็นลักษณะขั้นบันได (STEP) จึงเรียกว่า Step index optic fiber

- Graded index optic fiber (GI fiber) เป็นเส้นใยนำแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่าง CORE กับ CLAD ค่อย ๆ ลดลงทีละน้อย จึงเรียกว่า Graded index optic fiber

SM fiber จัดอยู่ในพวกของ SI fiber เหมือนกัน แต่ทว่าจุดประสงค์ต้องการให้เป็น Single mode จึงทำให้อัตราส่วนผลต่างของค่าดัชนีการหักเหมีค่าน้อยมาก จึงแบ่งชนิดแยกออกมาต่างหาก

ลักษณะการเดินทางของแสงภายใน CORE ของเส้นใยนำแสงแต่ละชนิดแสดงดังรูป 2.8



รูปที่ 2.8

แสดงลักษณะการเดินทางของแสงใน CORE ของเส้นใยนำแสงแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ทวนสัญญาณ

เนื่องจากระบบการสื่อสารผ่านทางเส้นใยนำแสงนี้ จะมีการสูญเสียที่เกิดจากเส้นใยนำแสง ถึงแม้ว่าการสูญเสียทางเส้นใยนำแสงจะมีค่าต่ำก็ตาม แต่ถ้าระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับอุปกรณ์รับแสงมีระยะทางมาก ๆ ย่อมทำให้การสื่อสารนั้นมีประสิทธิภาพต่ำลง ดังนั้นอุปกรณ์ทวนสัญญาณจึงมีบทบาทขึ้นมาเพื่อทำให้การติดต่อสื่อสารในระยะทางไกล ๆ มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

หน้าที่ของอุปกรณ์ทวนสัญญาณคือ การขยายระดับสัญญาณที่ส่งมาจากแหล่งกำเนิดแสงซึ่งจะมีค่าลดลงตามระยะทางของเส้นใยนำแสงให้มีระดับสัญญาณสูงขึ้นและจึงส่งสัญญาณที่ขยายแล้วนั้นไปยังอุปกรณ์รับแสง ในปัจจุบันการขยายสัญญาณแสงโดยตรงนั้นยังไม่สามารถที่จะทำได้ ดังนั้นอุปกรณ์ทวนสัญญาณจึงต้องมีส่วนที่แปลงสัญญาณแสงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าก่อน แล้วจึงทำการขยายเพื่อให้ระดับสัญญาณสูงขึ้น และต้องมีส่วนที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณกลับเป็นสัญญาณแสงอีกครั้ง เพื่อส่งต่อไปยังอุปกรณ์ทางด้านรับผ่านทางเส้นใยนำแสง

อุปกรณ์รับแสง

สำหรับส่วนประกอบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ อุปกรณ์ตัวรับแสง ซึ่งก็คืออุปกรณ์ที่สามารถแปลงแสงให้กลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าได้ เดิม โดยตัวอุปกรณ์จะต้องประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำมาต่อเชื่อมทำให้เกิดรอยต่อ หรือเป็นเนื้อสารตัวนำอย่างเดียวกันก็ได้ ตัวอย่างของอุปกรณ์เหล่านี้พอแยกได้เป็น LDR PHOTO DIODE PHOTO TRANSISTOR

สำหรับการทดลองนี้ เราใช้ MFOD 73 มาใช้เป็นตัวดีเทคเตอร์ ซึ่งใช้ควบคู่กับ MFOE 76 ซึ่งตัว MFOE 76 นี้ เป็นตัวกำเนิดแสงชนิดหลอด แอล อี ดี (Visible Red L E D) ซึ่งจะเปล่งแสงสีแดง โดยมีความยาวคลื่นศูนย์กลางเท่ากับ 660 นาโนเมตร สำหรับตัวกลางในระบบการสื่อสารโดยแสงนี้ เราใช้เส้นใยนำแสงที่เป็นพลาสติก นั่นก็คือ SH 4001

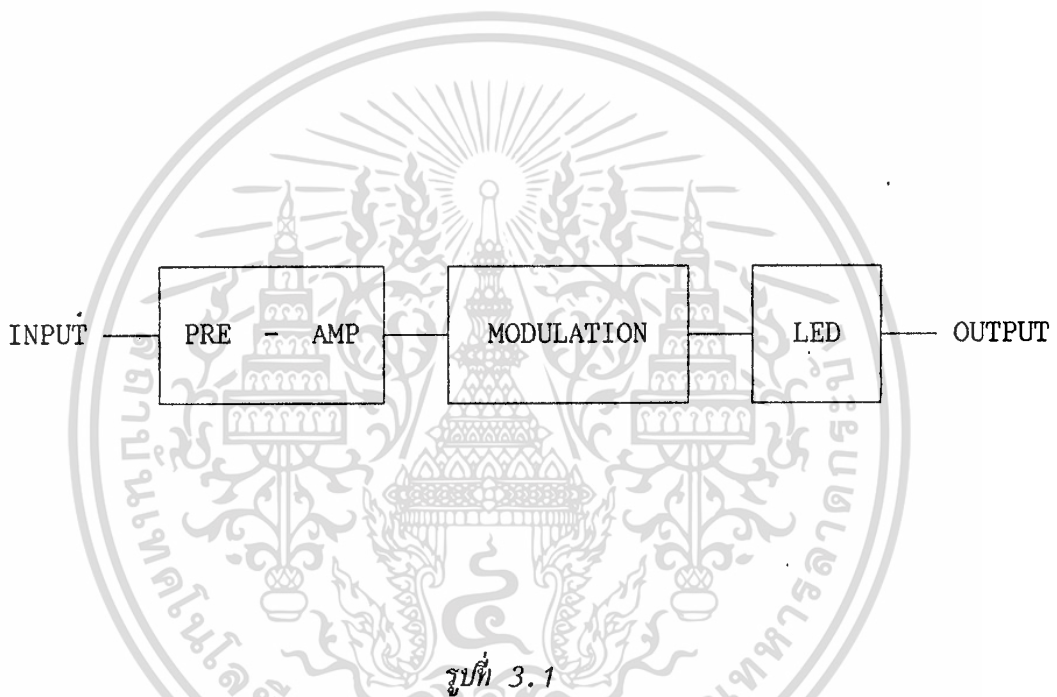
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เนื่องจากว่าการทดลองนี้ไม่ได้ใช้ในระยะเวลาไกล จึงไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงค่าการสูญเสียมาก ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ลักษณะการทำงาน

3.1 ลักษณะการทำงานด้านส่ง

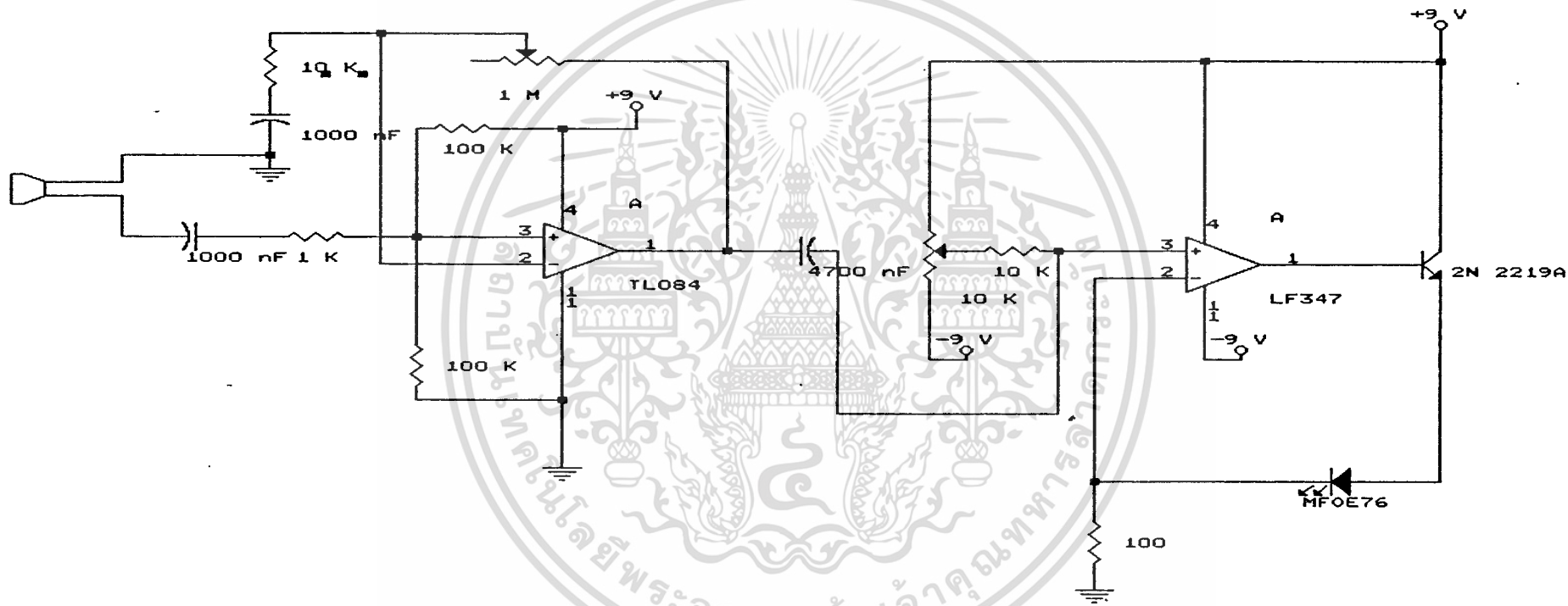
ด้านส่งประกอบด้วยบล็อกไดอะแกรมดังรูป 3.1



ในการสื่อสารด้วยแสงนั้น ทางด้านส่งจะประกอบด้วยตัวกำเนิดสัญญาณ ซึ่งอาจจะเป็นตัวไมโครโฟน ที่จะเปลี่ยนจากสัญญาณเสียงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า (หรืออาจจะเป็นสัญญาณภาพก็ได้) , ตัวแอล อี ดี (MFOE 76) . เป็นตัวเปลี่ยนจากสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณแสง แต่สัญญาณไฟฟ้าที่ส่งมาจากตัวไมโครโฟนนั้นมีขนาดเล็กเกินกว่าที่จะขับแสงได้ งานกรรมนี้ เราจึงต้องอาศัยตัวขยายสัญญาณ (AMPLIFIER) เพื่อเพิ่มขนาดของสัญญาณ

ในการทดลองนี้ เราได้นำตัว TL 084 มาใช้เป็นตัวขยายสัญญาณ ซึ่งจะมีเกนในการขยายได้สูงสุดประมาณ 100 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



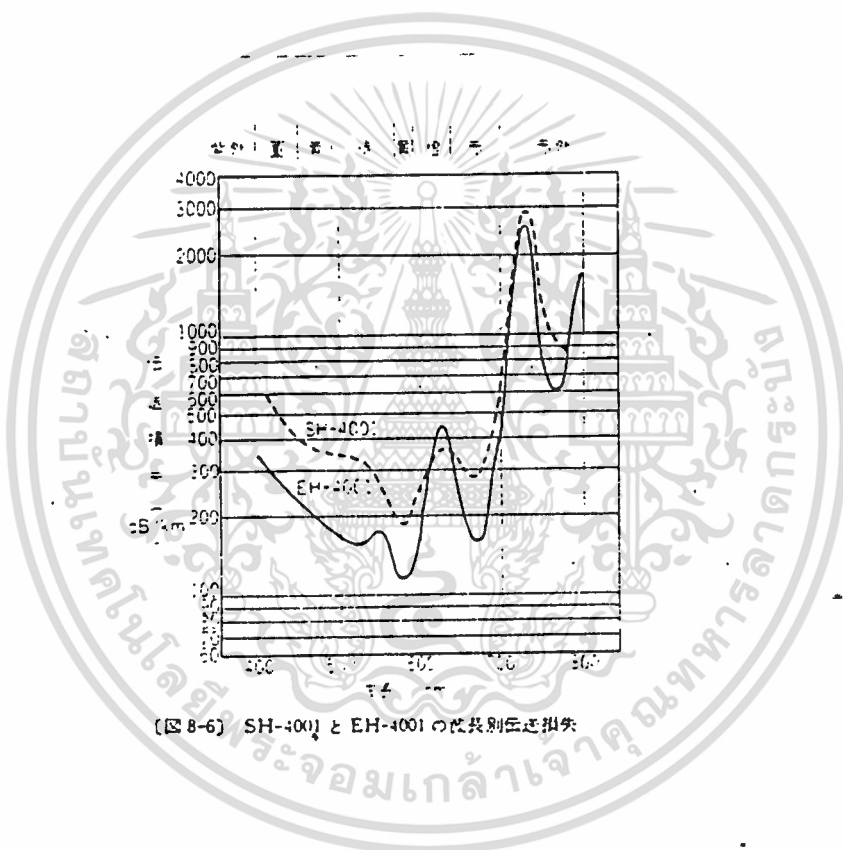
TRANSMITTER CIRCUIT

Size	Document Number	REV
A		
Date:	October 18, 1993	Sheet of

รูปที่ 3.2
วงจรทางด้านส่ง

3.2 ลักษณะของตัวกลาง

สำหรับตัวกลางที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารโดยใช้แสง เราใช้ Plastic optical fiber ชนิด คอร์ขนาด 1000 ไมครอน ESKA SH 4001 เพราะเส้นใยนาแสงประเภทนี้ เหมาะกับงานที่ไม่ต้องการคุณสมบัติในการส่งสูงมาก สามารถหักงอได้มาก และมีราคาถูก เส้นใยนาแสงชนิดนี้มีการสูญเสียประมาณ 300 dB / km



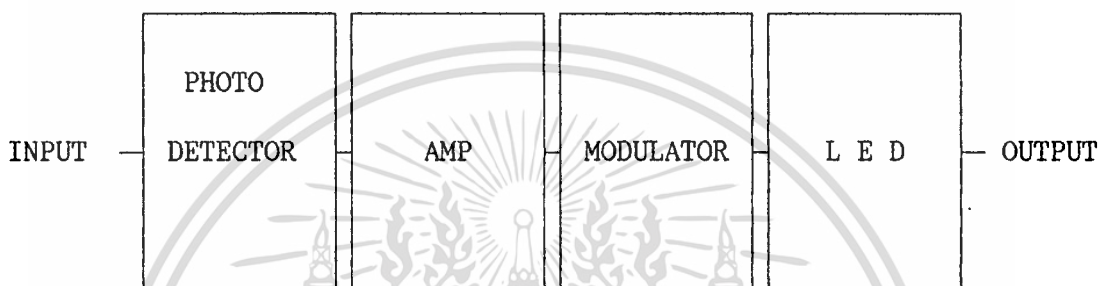
รูปที่ 3.3

แสดงถึงการสูญเสียของแสงที่เกิดขึ้นในเส้นใยนาแสง ณ ความยาวคลื่นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ทวนสัญญาณ

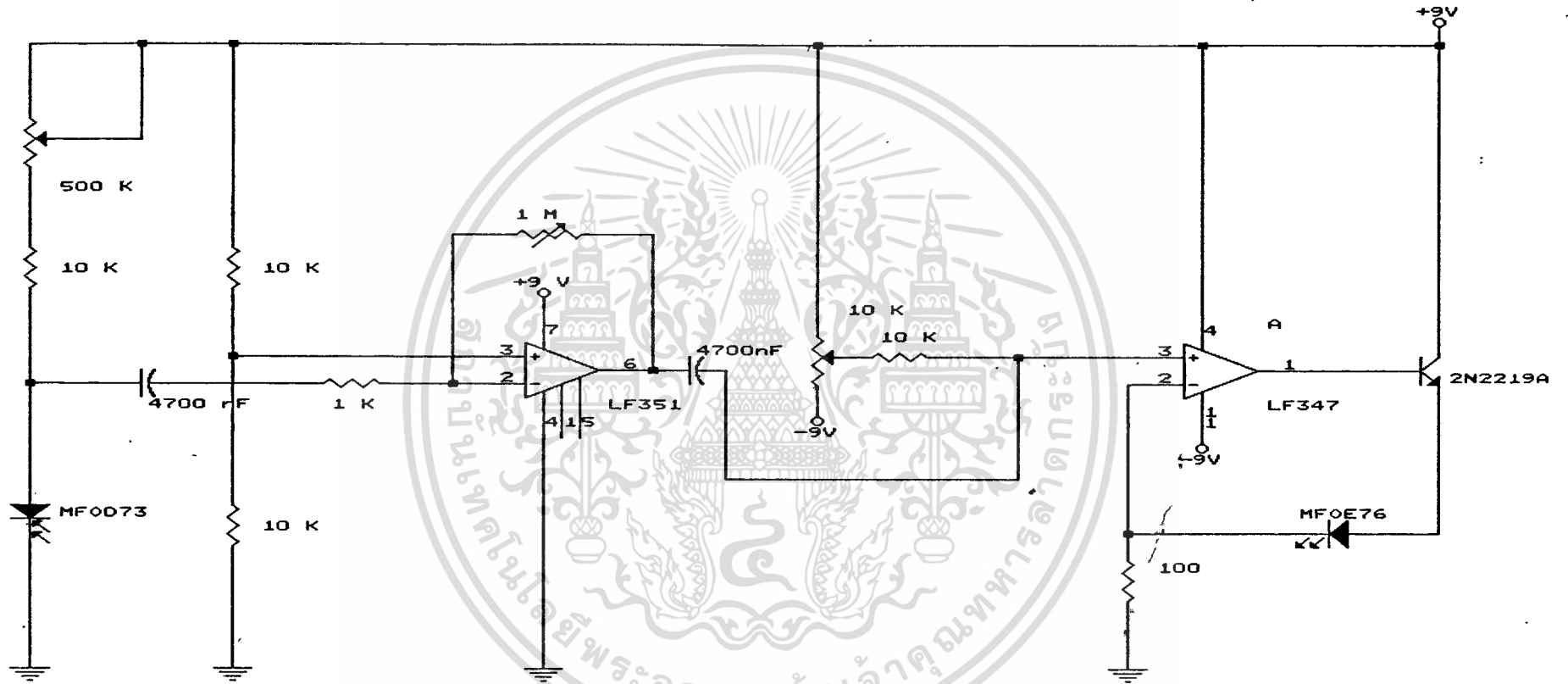
อุปกรณ์ทวนสัญญาณประกอบด้วยบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4

ในระบบการสื่อสารด้วยแสงนั้น จะต้องอาศัยอุปกรณ์ทวนสัญญาณเพื่อทำหน้าที่ในการขยายระดับของสัญญาณ อุปกรณ์ทวนสัญญาณจะประกอบด้วยโฟโตดีเทคเตอร์ (MFOD 73) เราใช้ LF351 เป็นตัวขยายสัญญาณซึ่งจะมีเกณฑ์ในการขยายสัญญาณมากกว่า 100 เท่า จากนั้นก็จะไปยังภาคขับแสงซึ่งจะเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงโดยมีหลอด แอล อี ดี (MF0E 76) เป็นตัวกำเนิดแสง และส่งผ่านเส้นใยนำแสงไปยังอุปกรณ์รับแสงอีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



REPEATER CIRCUIT

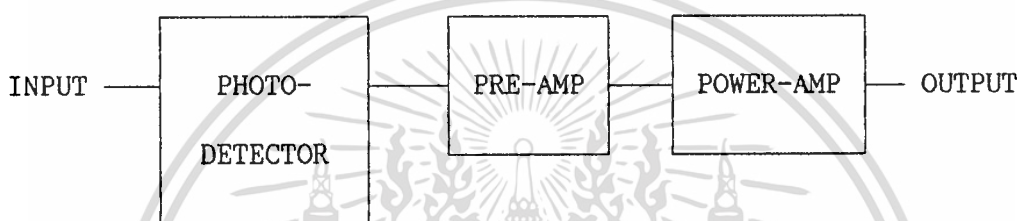
Size	Document Number	REV
A		
Date:	January 1, 1980	Sheet of

รูปที่ 3.5

วงจรอุปกรณ์ทวนสัญญาณ

3.4 ลักษณะการทำงานทางด้านรับ

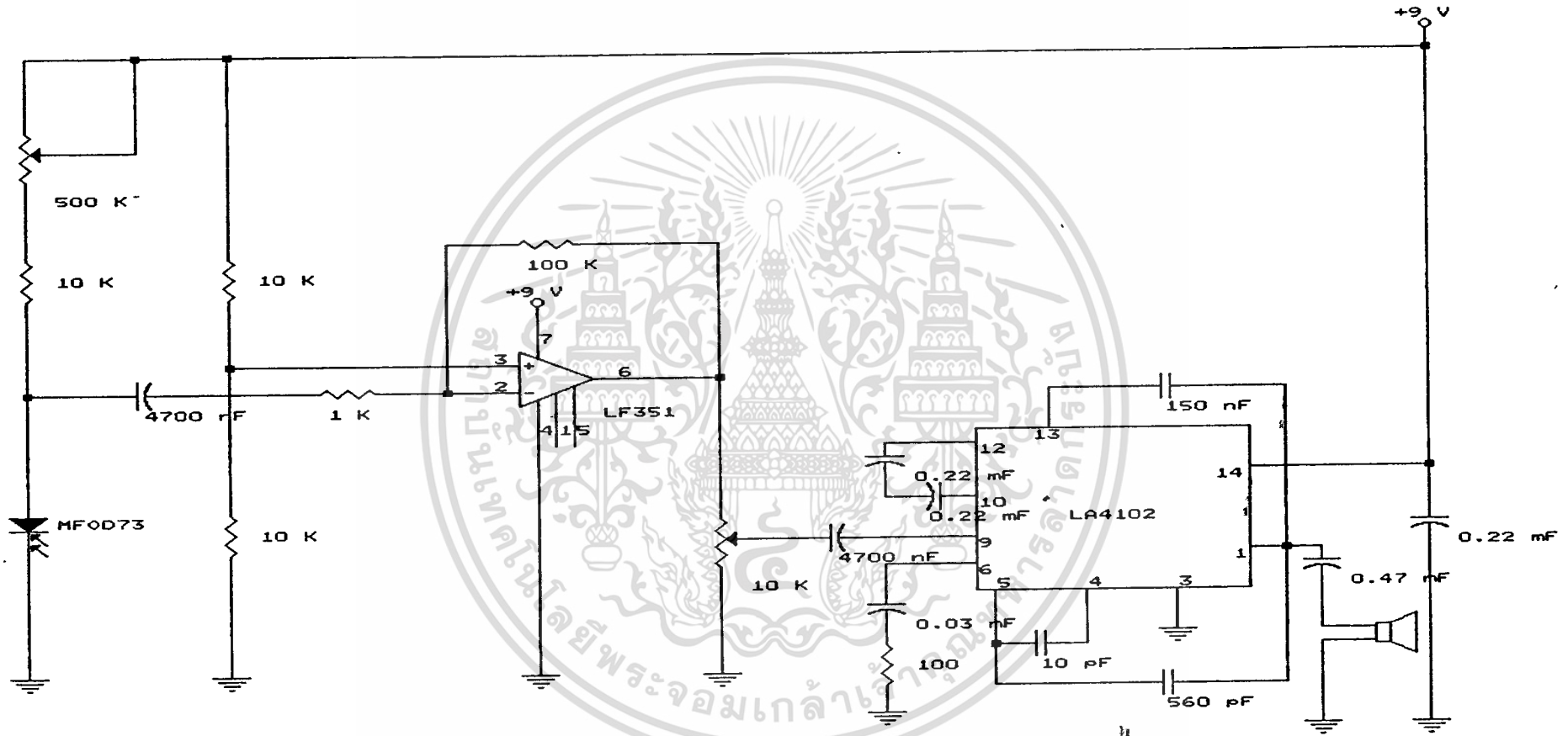
ด้านรับประกอบด้วยบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6

สำหรับทางด้านรับจะประกอบด้วยโฟโตดีเทคเตอร์ (MFOD73) เราใช้ LF351 เป็นตัวขยายสัญญาณซึ่งจะมีเกนในการขยายสัญญาณประมาณ 100 เท่า สัญญาณเอาต์พุตจะถูกขยายอีกครั้งโดย LA4102 (ไอซีขยายกำลัง) ก่อนที่จะเข้าไปยังลำโพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



RECEIVER CIRCUIT

Size	Document Number	REV
A		
Date:	October 18, 1993	Sheet of

รูปที่ 3.7

วงจรรีทางด้ำนรับ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 อุปกรณ์การทดลอง

- ออสซิลโลสโคป
- ตัวกำเนิดสัญญาณ
- เครื่องออปติคอล พาวเวอร์ มิเตอร์
- เครื่องออปติคอล สเปกตรัมอานาไลเซอร์
- แหล่งกำเนิดโพตรง
- สายไฟ
- อุปกรณ์ตามวงจรถ่านส่ง
- เส้นใยนำแสงชนิด SH-4001
- อุปกรณ์ทวนสัญญาณ
- อุปกรณ์ตามวงจรถ่านรับ

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลอง เราจะสามารถแบ่งแยกออกเป็นการทดลองย่อย ๆ ได้ดังนี้

4.2.1 การทดสอบคุณสมบัติของหลอด แอล อี ซี MFOE 76 รวมถึงการวัดสเปกตรัมของหลอด แอล อี ซี

4.2.2 การวัดกำลังของแสงทางด้านส่ง และคำนวณหาระยะทางมากที่สุดที่สามารถสื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

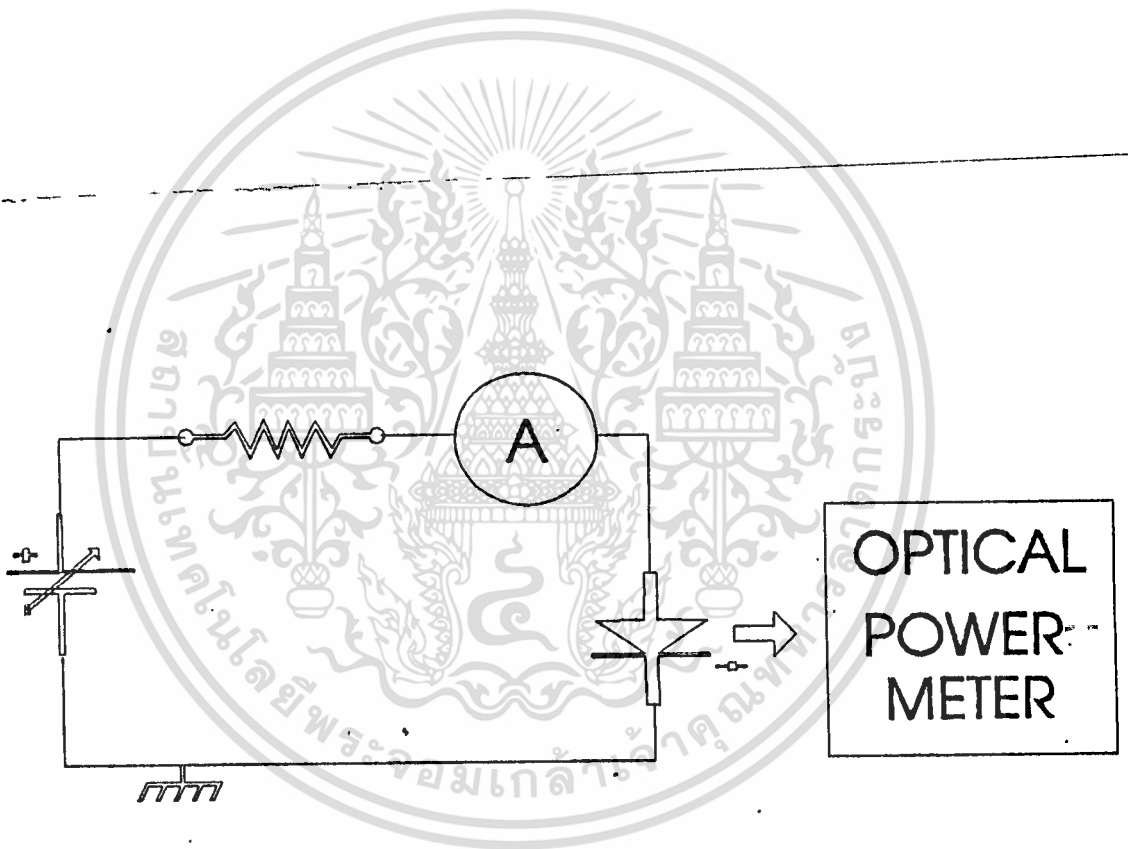
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ที่ปรากฏในเอกสารนี้

4.2.3 การวัดลักษณะรูปคลื่นตามวงจรถ่านส่ง อุปกรณ์ทวนสัญญาณ และทางด้านรับ

4.2.1.1 การทดสอบคุณสมบัติของหลอด แอล อี ดี MFOE 76

การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของ MFOE 76 ว่า ถ้าเราให้กระแสโวลต์ค่าต่าง ๆ กับ MFOE 76 แล้ว กำลังของแสงที่ส่งออกไปจะมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะใดและมีค่าเท่าไร

- ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 4.1 เพื่อทำการทดสอบ



รูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ท้าการต่อเครื่องออบติคอล พาวเวอร์ มิเตอร์ เข้ากับ MFOE 76 เพื่อท้าการวัดกำลังของแสง
- ในการทดลอง เราจะปรับค่าโวลที่เตจของแหล่งกำเนิดไฟกระแสตรงเพื่อปรับค่ากระแสไบอัสให้มีค่าต่าง ๆ โดยดูจากแอมป์มิเตอร์
- ท้าการอ่านค่าจากเครื่องออบติคอล พาวเวอร์ มิเตอร์ ที่กระแสไบอัสต่าง ๆ
- บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.1

CURRENT (mA)	LIGHT OUTPUT	
	(dBm)	(MICROWATT)
120	-15.60	27.1
115	-15.76	26.5
110	-15.88	25.8
105	-15.98	25.2
100	-16.10	24.7
95	-16.16	24.2
90	-16.27	23.6
85	-16.49	22.4
80	-16.99	20.0
75	-17.07	19.6
70	-17.32	18.5
65	-17.52	17.7
60	-17.75	16.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CURRENT (mA)	LIGHT OUTPUT	
	(dBm)	(MICROWATT)
55	-18.00	15.9
50	-18.18	15.2
45	-18.69	13.5
40	-19.14	12.2
35	-19.47	11.3
30	-20.00	10.1
25	-20.66	8.6
20	-21.30	7.4
15	-23.98	4.0
10	-25.37	2.9
5	-28.86	1.3

ตาราง 4.1

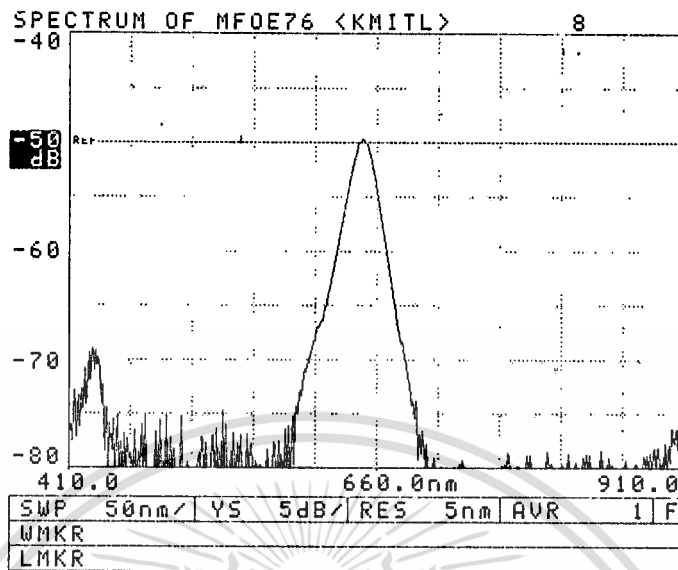
4.2.1.2 การวัดสเปกตรัมของหลอด แอล อี ดี MFOE 76

การทดลองนี้จุดประสงค์เพื่อศึกษาถึงความยาวคลื่นศูนย์กลางของแสงที่ MFOE 76

ปล่อยออกมา และดูลักษณะของสเปกตรัมจากเครื่องออปติคอล สเปกตรัมอนุโลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ขั้นต่อมาในการทดลอง คือ ทำการต่อวงจรเพื่อให้ MFOE 76 ทำงาน แล้วทำการต่อไปยัง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 เครื่องออปติคอล สเปกตรัมอนุโลเซอร์ จะได้ลักษณะของสเปกตรัมดังรูปที่ 4.2

DATE 03.15.94
TIME 13:24



รูปที่ 4.2 แสดงถึงสเปกตรัมของ MFOE 76

สรุปการทดลองที่ 4.2.1 จะแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติโดยทั่วไป ของ MFOE 76 ว่า กำลังของแสงที่ส่งออกไปจะมีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มกระแสไบอัส โดยมีค่าดังตารางที่ 4.1 นอกจากนี้ ยังแสดงให้เห็นถึงความยาวคลื่นศูนย์กลางซึ่งมีค่าประมาณ 660 นาโนเมตร (แสงสีแดง) และลักษณะของสเปกตรัมของหลอด แอล อี ดี ตัวนี้ด้วยในรูปที่ 4.2

4.2.2 การวัดกำลังของแสงทางด้านส่ง และคำนวณหาระยะทางมากที่สุดที่สามารถสื่อสารได้

การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาถึงกำลังของแสงในวงจรทางด้านส่งว่า มีค่ามากน้อยเท่าใด เพื่อสามารถที่จะหาระยะทางมากที่สุดที่สื่อสารได้ หรือ หาระยะทางที่จะต้องวางอุปกรณ์ทวนสัญญาณนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทว่าการต่อวงจรตามแบบวงจรด้านส่ง และวงจรด้านรับให้ถูกต้อง

- ให้อ่อนไฟกระแสตรง +9 และ -9 โวลต์
- ทำการทดสอบวงจรทางด้านส่งและด้านรับ และปรับค่าต่าง ๆ ให้เหมาะสม คือ ให้อัตราการขยายที่มาก แต่ไม่ทำให้เกิดการคลิบ (CLIP)
- นำเครื่องออปติคอล พาวเวอร์ มิเตอร์ มาวัดที่โหลดแอล อี ดี MFOE 76 เพื่อหาค่ากำลังของแสงที่ส่งออกมา
- คำนวณหาระยะทางที่จะวางอุปกรณ์ทวนสัญญาณ

ผลการทดลองนี้ เมื่อเรานำวงจรทางด้านส่งไปวัดหาค่ากำลังของแสงที่ส่งจากเครื่องออปติคอล พาวเวอร์ มิเตอร์ จะได้ค่า Power Output ออกมาเท่ากับ 7.8 ไมโครวัตต์ หรือประมาณ - 21 dBm และมีค่ากระแสไบอัสประมาณ 22 มิลลิแอมป์

สูตรการคำนวณหาค่าระยะทางที่ด้านส่งส่งไปได้ไกลสุด คือ

$$L = \frac{P_S - P_R - P_C}{L_S}$$

- L : ระยะห่างของอุปกรณ์ทวนสัญญาณ (m)
- P_S : กำลังของแสงทางด้านส่ง (dBm)
- P_R : กำลังต่ำสุดของแสงที่อุปกรณ์รับแสงรับได้ (dBm)
- P_C : การลดทอนที่เกิดขึ้นที่จุดต่อ (dB)
- L_S : การลดทอนในเส้นใยนำแสง (dB / m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณหาระยะทางที่จะวางอุปกรณ์ทวนสัญญาณ จะได้

L : ระยะห่างของอุปกรณ์ทวนสัญญาณที่ต้องการหา

P_S : มีค่าเท่ากับ - 21 dBm (ได้จากการวัด)

P_R : มีค่าเท่ากับ 1 ไมโครวัตต์ หรือ - 30 dBm
(ในที่นี้ เราใช้ MFOD 73 หาได้จากดาต้าชีท)

P_C : มีค่าประมาณ 0.2 dB

L_S : มีค่าประมาณ 0.3 dB / m

(ในที่นี้ เราใช้ PLASTIC OPTIC ชนิด ESKA SH 4001)

$$L = \frac{- 21 - (- 30) - 0.2}{0.3}$$

ซึ่งจะได้ว่า ระยะทางที่อุปกรณ์ทางด้านส่งสามารถส่งสัญญาณแสงไปโดยที่อุปกรณ์ทางด้านรับ
รับได้มีค่าเท่ากับ 29.33 เมตร หรืออีกแง่หนึ่งคือ ต้องวางอุปกรณ์ทวนสัญญาณในทุกระยะความ
ยาวเส้นใยนำแสง 29.33 เมตร

4.2.3 การวัดลักษณะรูปคลื่นของวงจรด้านส่ง อุปกรณ์ทวนสัญญาณ และวงจรด้านรับ

การทดลองนี้ มีจุดประสงค์เพื่อคู่อัตราการขยายที่เหมาะสมของแต่ละจุดในวงจรด้านส่ง
อุปกรณ์ทวนสัญญาณ และวงจรด้านรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ท้าการต่อวงจรตามแบบวงจรด้านส่ง อุปกรณ์ทวนสัญญาณและ วงจรด้านรับ 1 ให้ถูกต้อง

- ำให้ป้อนไฟกระแสตรง +9 และ -9 Volt
- ทำการทดสอบวงจรด้านส่ง โดยส่งสัญญาณเสียงผ่านไมโครโฟน ดูผลการเปลี่ยนแปลงที่หลอด แอล อี ดี
- ทำการทดสอบอุปกรณ์ทวนสัญญาณ โดยส่งแสงให้โฟโตไดโอด ดูผลการเปลี่ยนแปลงที่หลอด แอล อี ดี
- ทำการทดสอบวงจรด้านรับ โดยส่งแสงให้โฟโตไดโอด ดูผลการเปลี่ยนแปลงที่เป็นเสียงออกทางลำโพง
- ทำการต่อวงจรทั้ง 3 โดยใช้เส้นใยนำแสงพลาสติกเชื่อม
- ทำการส่งสัญญาณชายน์เวฟ 1 KHz เข้าเป็นอินพุตแทนสัญญาณจากไมโครโฟน
- ำใช้ออสซิลโลสโคปจับเวฟฟอร์ม์ ทุก ๆ ภาคของวงจรภาคขยาย และทำการปรับค่าความต้านทาน เพื่อไม่ให้สัญญาณเกิดการคลิบปิ่งที่เอาต์พุตของภาคขยาย ทำให้ได้สัญญาณชายน์เวฟที่ดีที่สุดออกมา
- ทำการปรับทางอุปกรณ์ทวนสัญญาณ และด้านรับ เช่นเดียวกับทางด้านส่ง
- บันทึกลักษณะของรูปคลื่น

ทางด้านส่ง

1. สัญญาณขาออกของ TL 084
2. MFOE 76

อุปกรณ์ทวนสัญญาณ

1. MFOD 73
2. สัญญาณขาออกของ LF 351
3. MFOE 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางด้านรับ

1. MFOD 73
2. สัญญาณขาออกของ LF 351
3. ลาโพง

ในการทดลองนี้ ระหว่างทางด้านส่ง กับ อุปกรณ์ทวนสัญญาณ จะใช้ เส้นใยนำแสงพลาสติก ยาว 11.3 เมตร ระหว่างอุปกรณ์ทวนสัญญาณ กับ ทางด้านรับ ก็จะใช้ เส้นใยนำแสง ยาว 11.3 เมตรเช่นกัน

ผลการทดลอง

สัญญาณอินพุตทางด้านส่งถูกขยายโดย

$$\begin{aligned} V_{ot} / V_{it} &= 1.4 \text{ volts} / 20 \text{ mvolts} \\ &= 70 \text{ เท่า} \end{aligned}$$

สัญญาณอินพุตของอุปกรณ์ทวนสัญญาณถูกขยายโดย

$$\begin{aligned} V_{ore.} / V_{ire.} &= 1.2 \text{ volts} / 8 \text{ mvolts} \\ &= 150 \text{ เท่า} \end{aligned}$$

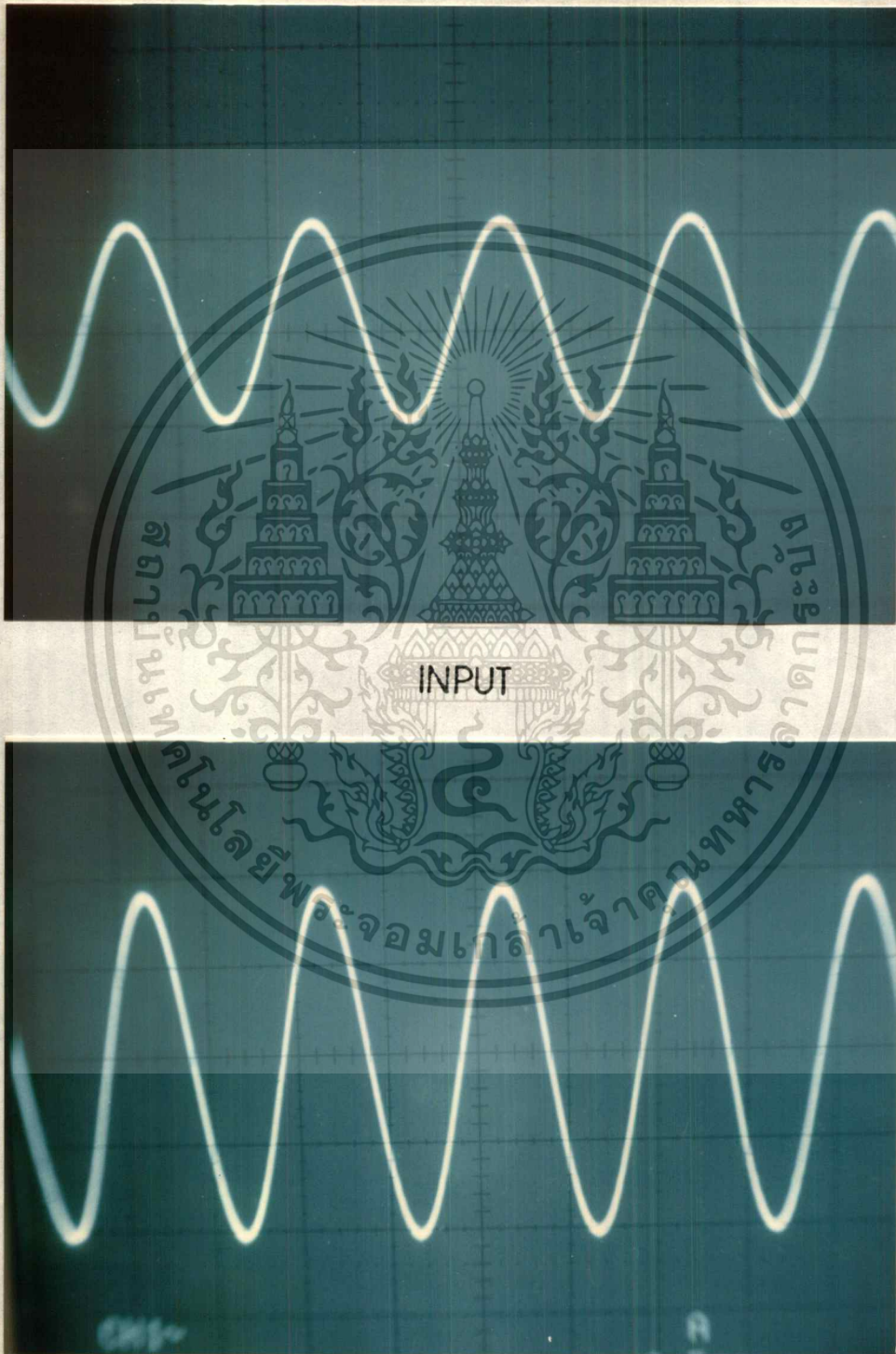
สัญญาณอินพุตทางด้านรับถูกขยายโดย

$$V_{or} / V_{ir} = 2 \text{ volts} / 7 \text{ mvolts}$$

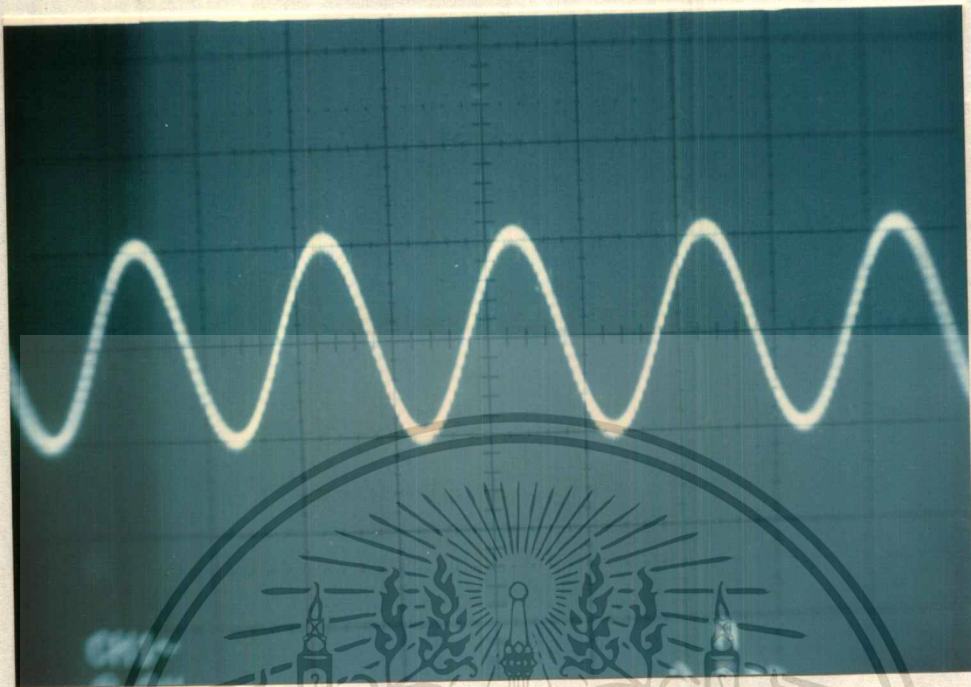
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 285 \text{ เท่า}$$

TRANSMITTER

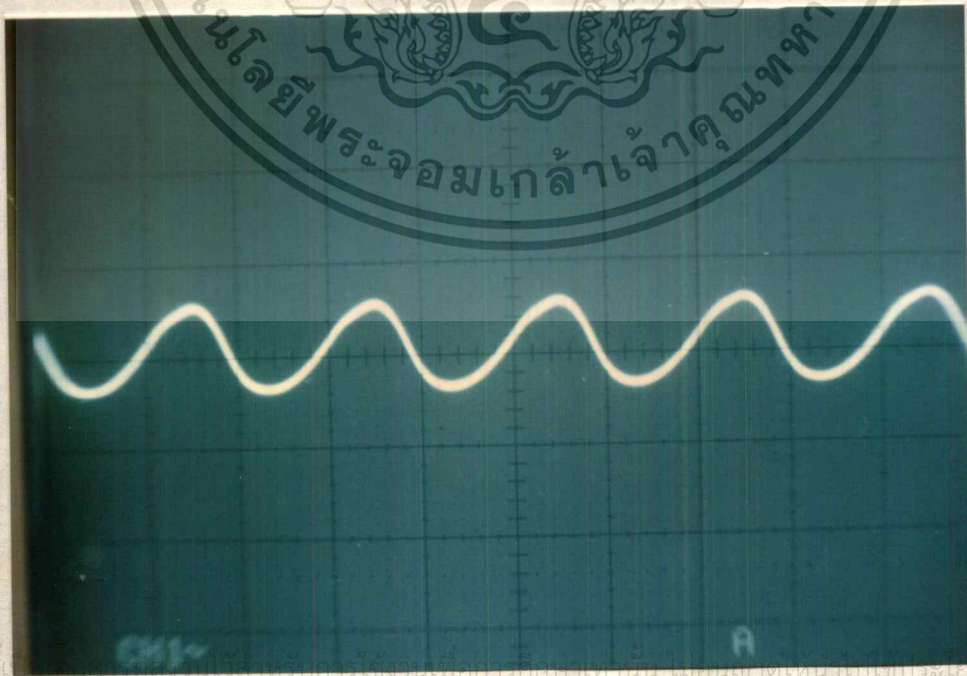


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน PRE-AMP เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา TL 084 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MFOE76

RECEIVER



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่สามารถใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาใดๆ อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MFOD73



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาหรือข้อมูลข้างต้นของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OUTPUT

บทที่ 5

สรุป

จากวิทยานิพนธ์นี้ ทางผู้จัดทำได้ประดิษฐ์อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการสื่อสารทางด้านเส้นใยนำแสง ซึ่งประกอบไปด้วย อุปกรณ์ทางด้านส่ง (ใย MFOE 76 เป็นตัวกำเนิดแสง) อุปกรณ์ทางด้านรับ (ใย MFOD 73 เป็นตัวรับแสง) และอุปกรณ์ทวนสัญญาณ สำหรับเส้นใยนำแสงที่ ใยคือ เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก ESKA SH 4001 พร้อมกับทำการศึกษาคูสมบัติของหลอด แอลอี ดี MFOE 76 คุณลักษณะของรูปคลื่นที่จุดต่าง ๆ เมื่อบ่อนสัญญาณชายน์เวทแทนสัญญาณไมโครโฟน วัดกำลังที่ส่งของตัวส่ง และนำมาคำนวณหาระยะทางในการวางอุปกรณ์ทวนสัญญาณ

จากการทดลองในบทที่ 4 ทำให้เราสามารถสรุปได้ว่า ตัวกำเนิดแสงที่เรานำมาใช้มีคุณสมบัติในการส่งแสงสีแดง คือ มีความยาวคลื่นศูนย์กลาง 660 นาโนเมตร และมีค่ากำลังของแสงมากขึ้นเมื่อเพิ่มค่ากระแสไบอัสตั้งตาราง นอกจากนี้ กำลังของแสงในอุปกรณ์ทางด้านส่งที่เราประดิษฐ์ขึ้นจะมีค่า -21 dBm (ได้จากการวัด) ทำให้สามารถนำมาคำนวณได้ว่าอุปกรณ์เครื่องนี้สามารถส่งไปได้ประมาณ 29 เมตร หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ ต้องมีการวางอุปกรณ์ทวนสัญญาณในระยะทาง 29 เมตรนั่นเอง

สำหรับการสื่อสารที่ทำขึ้น เป็นการมอดดูเลชั่นแบบอนาล็อกโดยทำการมอดดูเลชั่นแบบความเข้ม ซึ่งวิธีการแบบนี้จะมีข้อเสีย เพราะ สัญญาณที่เพี้ยนก็จะมีค่ามากขึ้นเมื่อผ่านการขยายสัญญาณ ทำให้สัญญาณที่ได้มีคุณภาพด้อยกว่าทางด้านดิจิทัล

เอกสารอ้างอิง

- 1 อภินันท์ มัชฌานนท์ "การสื่อสารเส้นใยแสง" ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 2 Roger L. Tokheim "Electronic and Microcomputer Circuit" : Mc Graw - Hill Book Company , 1986
- 3 Edward A. Lacy "Fiber Optic" : Englewood cliffs Inc 1982
- 4 Kenichi. N. and Shirakawa. H. "Optic Fiber Communication made easy" : Tokyo Ohm company.1985
- 5 Hewelt-Packard "Optic Electronic and Fiber-Optic Application
- 6 ไบรชณีย์โทรเลข "กรม 97 ปี กรมไบรชณีย์โทรเลข" กรุงเทพฯ 2523
- 7 Motorola Data Book "Optoelectronic Device"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ



อาจารย์ อภินันท์ มีถยานนท์ ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือ
ตลอดการทำงานเป็นอย่างสูง

นาย ชาญนันทน์ โบราณินทร์ ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ และ โปรแกรม
คอมพิวเตอร์

นาย ชาญวุฒิ จิรายุวัฒน์ ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ และ โปรแกรม
คอมพิวเตอร์

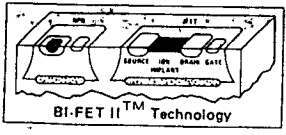
อาจารย์ และ ที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำทำให้
เพื่อนนักศึกษาทุกท่าน วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF147/LF347



LF147/LF347 Wide Bandwidth Quad JFET Input Operational Amplifiers



General Description

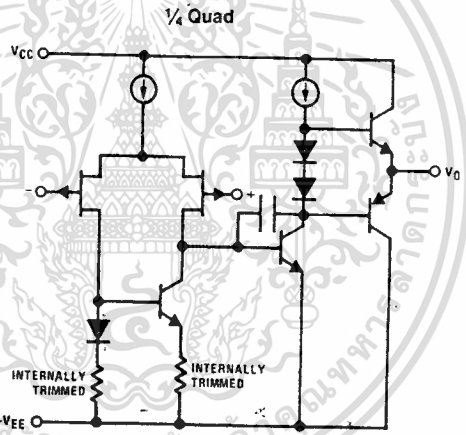
The LF147 is a low cost, high speed quad JFET input operational amplifier with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET II™ technology). The device requires a low supply current and yet maintains a large gain bandwidth product and a fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The LF147 is pin compatible with the standard LM148. This feature allows designers to immediately upgrade the overall performance of existing LF148 and LM124 designs.

The LF147 may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample-and-hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The device has low noise and offset voltage drift.

Features

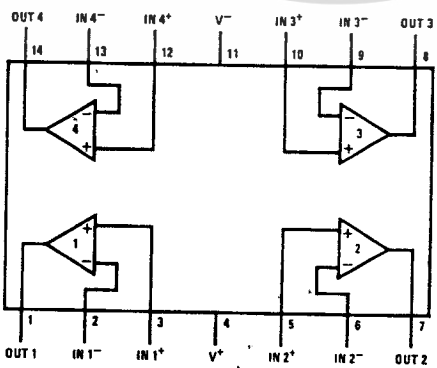
- Internally trimmed offset voltage 2 mV
- Low input bias current 50 pA
- Low input noise current 0.01 pA/√Hz
- Wide gain bandwidth 4 MHz
- High slew rate 13 V/μs
- Low supply current 7.2 mA
- High input impedance 10¹²Ω
- Low total harmonic distortion $A_V = 10$, $R_L 10k$, $V_O = 20$ Vp-p, $BW = 20$ Hz - 20 kHz < 0.02%
- Low 1/f noise corner 50 Hz
- Fast settling time to 0.01% 2 μs

Simplified Schematic



Connection Diagram

Dual-In-Line Package



TOP VIEW

Order Number LF147D or LF347D
See NS Package D14E

Order Number LF347BN or LF347N
See NS Package N14A

TL/H/5647-1

Absolute Maximum Ratings

	LF147	LF347B/LF347		LF147	LF347B/LF347
Supply Voltage	±22V	±18V	T _J max	150°C	115°C
Differential Input Voltage	±38V	±30V	θ _{JA}	100°C/W	150°C/W
Input Voltage Range (Note 1)	±18V	±15V	Operating Temperature Range	(Note 4)	(Note 4)
Output Short Circuit Duration (Note 2)	Continuous	Continuous	Storage Temperature Range	-65°C ≤ T _A ≤ 150°C	
Power Dissipation (Note 3)	900 mW	500 mW	Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C	300°C

DC Electrical Characteristics (Note 5)

Symbol	Parameter	Conditions	LF147			LF347B			LF347			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V _{OS}	Input Offset Voltage	R _S = 10 kΩ, T _A = 25°C Over Temperature		1	5 8		3	5 7		5	10 13	mV mV
ΔV _{OS} /ΔT	Average TC of Input Offset Voltage	R _S = 10 kΩ		10			10			10		μV/°C
I _{OS}	Input Offset Current	T _J = 25°C, (Notes 5, 6) Over Temperature		25	100 25		25	100 4		25	100 4	pA nA
I _B	Input Bias Current	T _J = 25°C, (Notes 5, 6) Over Temperature		50	200 50		50	200 8		50	200 8	pA nA
R _{IN}	Input Resistance	T _J = 25°C		10 ¹²			10 ¹²			10 ¹²		Ω
A _{VOL}	Large Signal Voltage Gain	V _S = ±15V, T _A = 25°C V _O = ±10V, R _L = 2 kΩ Over Temperature	50	100		50	100		25	100		V/mV V/mV
V _O	Output Voltage Swing	V _S = ±15V, R _L = 10 kΩ	±12	±13.5		±12	±13.5		±12	±13.5		V
V _{CM}	Input Common-Mode Voltage Range	V _S = ±15V	±11	+15 -12		±11	+15 -12		±11	+15 -12		V V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	R _S ≤ 10 kΩ	80	100		80	100		70	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 7)	80	100		80	100		70	100		dB
I _S	Supply Current			7.2	11		7.2	11		7.2	11	mA

AC Electrical Characteristics (Note 5)

Symbol	Parameter	Conditions	LF147			LF347B			LF347			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
	Amplifier to Amplifier Coupling	T _A = 25°C, f = 1 Hz - 20 kHz (Input Referred)		-120			-120			-120		dB
SR	Slew Rate	V _S = ±15V, T _A = 25°C		13			13			13		V/μs
GBW	Gain-Bandwidth Product	V _S = ±15V, T _A = 25°C		4			4			4		MHz
e _n	Equivalent Input Noise Voltage	T _A = 25°C, R _S = 100Ω, f = 1000 Hz		20			20			20		nV/√Hz
i _n	Equivalent Input Noise Current	T _J = 25°C, f = 1000 Hz		0.01			0.01			0.01		pA/√Hz

Note 1: Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

Note 2: Any of the amplifier outputs can be shorted to ground indefinitely, however, more than one should not be simultaneously shorted as the maximum junction temperature will be exceeded.

Note 3: For operating at elevated temperature, these devices must be derated based on a thermal resistance of θ_{JA}.

Note 4: The LF147 is available in the military temperature range -55°C ≤ T_A ≤ 125°C, while the LF347B and the LF347 are available in the commercial temperature range 0°C ≤ T_A ≤ 70°C.

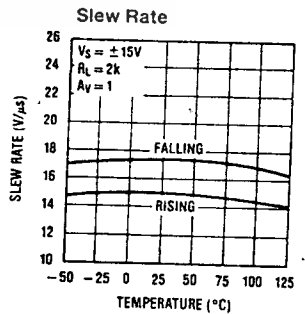
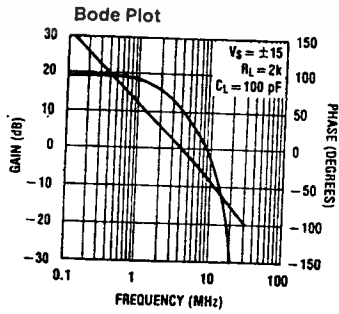
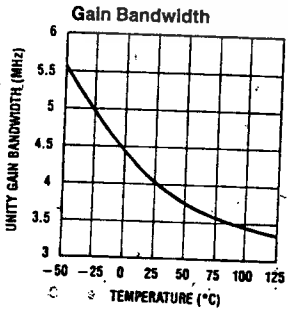
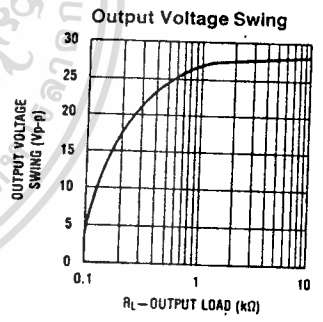
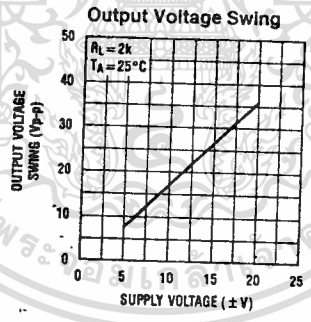
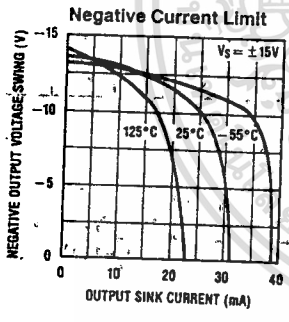
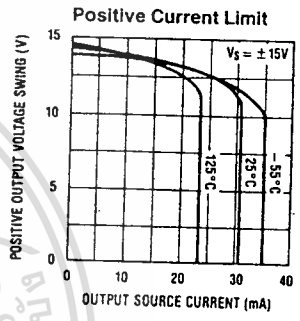
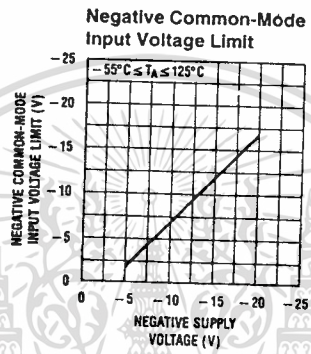
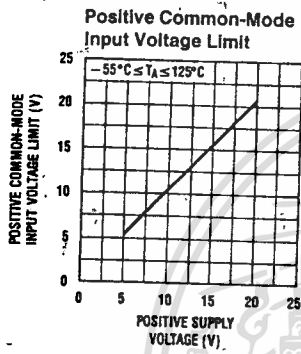
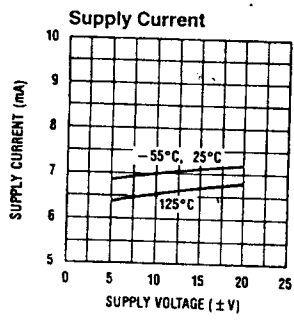
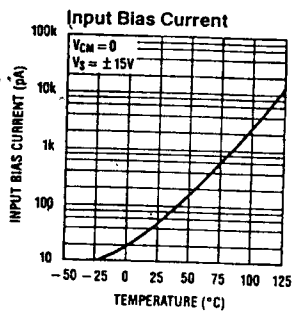
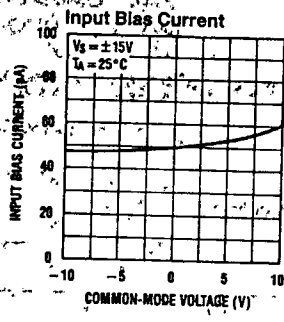
Note 5: Unless otherwise specified the specifications apply over the full temperature range and for V_S = ±20V for the LF147 and for V_S = ±15V for the LF347B/LF347. V_{OS}, I_B, and I_{OS} are measured at V_{CM} = 0.

Note 6: The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature, T_J. Due to limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation, P_D. T_J = T_A + θ_{JA} P_D where θ_{JA} is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.

Note 7: Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously in accordance with common practice.

LF147/EF347

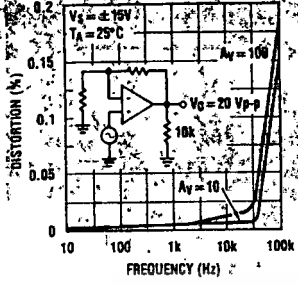
Typical Performance Characteristics



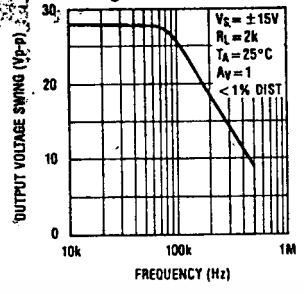
TL/H/5647-2

Typical Performance Characteristics (Continued)

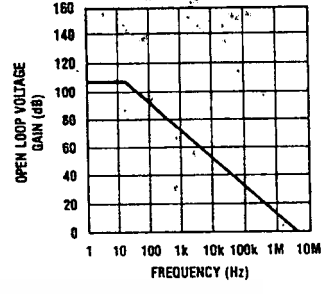
Distortion vs Frequency



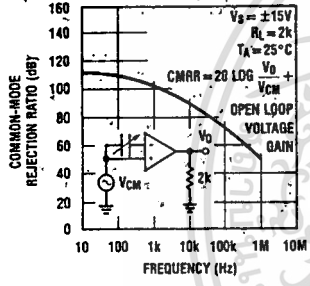
Undistorted Output Voltage Swing



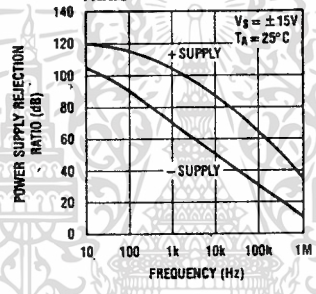
Open Loop Frequency Response



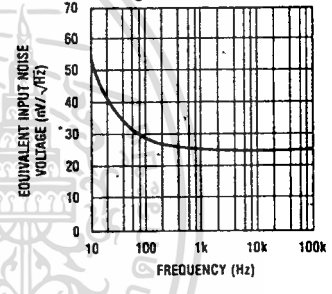
Common-Mode Rejection Ratio



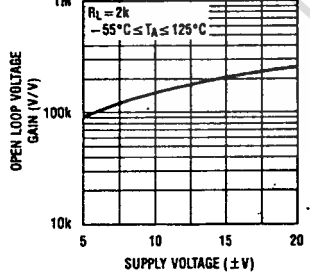
Power Supply Rejection Ratio



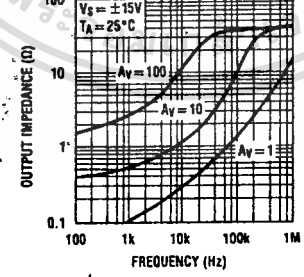
Equivalent Input Noise Voltage



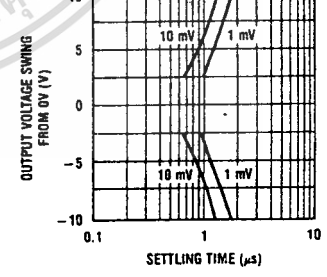
Open Loop Voltage Gain



Output Impedance



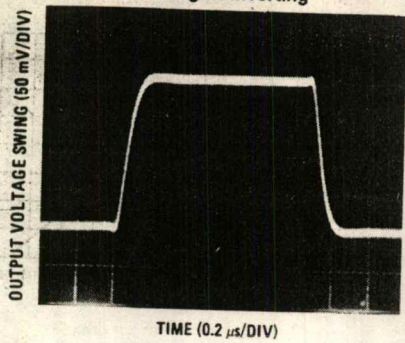
Inverter Settling Time



TL/H/5647-3

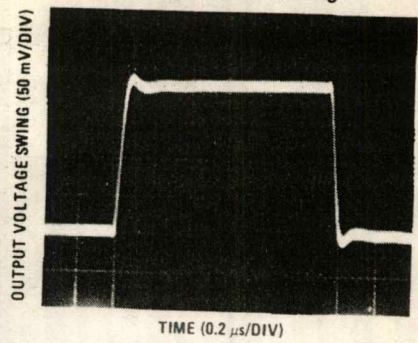
Pulse Response $R_L = 2\text{ k}\Omega$, $C_L = 10\text{ pF}$

Small Signal Inverting



TL/H/5647-4

Small Signal Non-Inverting



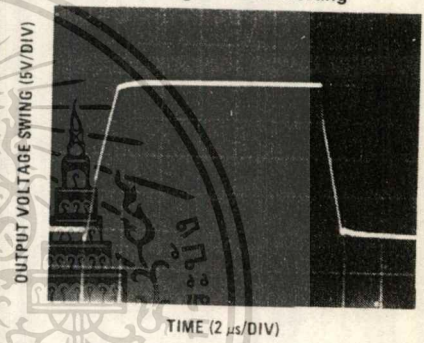
TL/H/5647-5

Large Signal Inverting



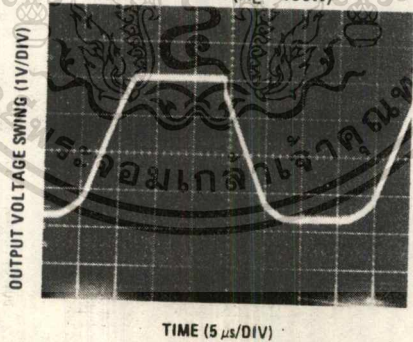
TL/H/5647-6

Large Signal Non-Inverting



TL/H/5647-7

Current Limit ($R_L = 100\Omega$)



TL/H/5647-8

Application Hints

The LF147 is an op amp with an internally trimmed input offset voltage and JFET input devices (BI-FET II™). These JFETs have large reverse breakdown voltages from gate to source and drain eliminating the need for clamps across the inputs. Therefore, large differential input voltages can easily be accommodated without a large increase in input current. The maximum differential input voltage is independent of the supply voltages. However, neither of the input voltages

should be allowed to exceed the negative supply as this will cause large currents to flow which can result in a destroyed unit.

Exceeding the negative common-mode limit on either input will cause a reversal of the phase to the output and force the amplifier output to the corresponding high or low state. Exceeding the negative common-mode limit on both inputs will force the amplifier output to a

Application Hints (Continued)

high state. In neither case does a latch occur since raising the input back within the common-mode range again puts the input stage and thus the amplifier in a normal operating mode.

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

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

Each amplifier is individually biased by a zener reference which allows normal circuit operation on $\pm 4.5V$ power supplies. Supply voltages less than these may result in lower gain bandwidth and slew rate.

The LF147 will drive a 2 k Ω load resistance to $\pm 10V$ over the full temperature range. If the amplifier is forced to drive heavier load currents, however, an increase in input offset voltage may occur on the negative voltage swing and finally reach an active current limit on both positive and negative swings.

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

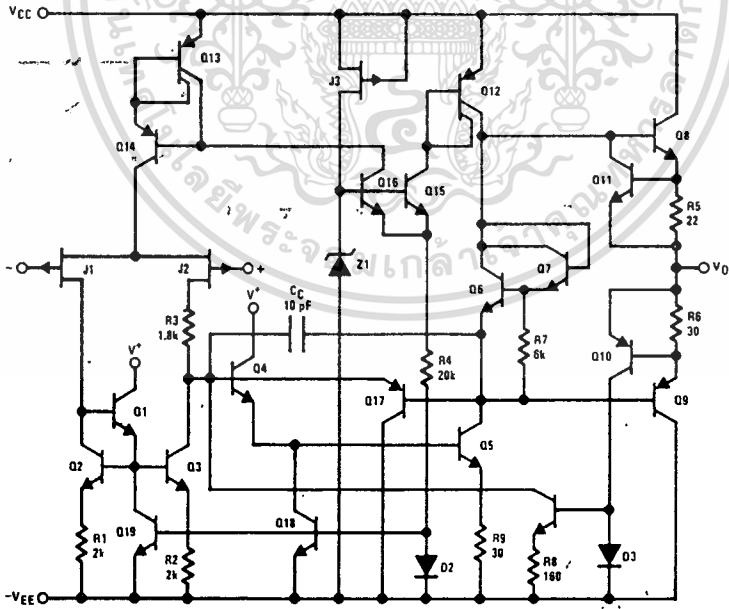
wards in a socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

Because these amplifiers are JFET rather than MOSFET input op amps they do not require special handling.

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

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

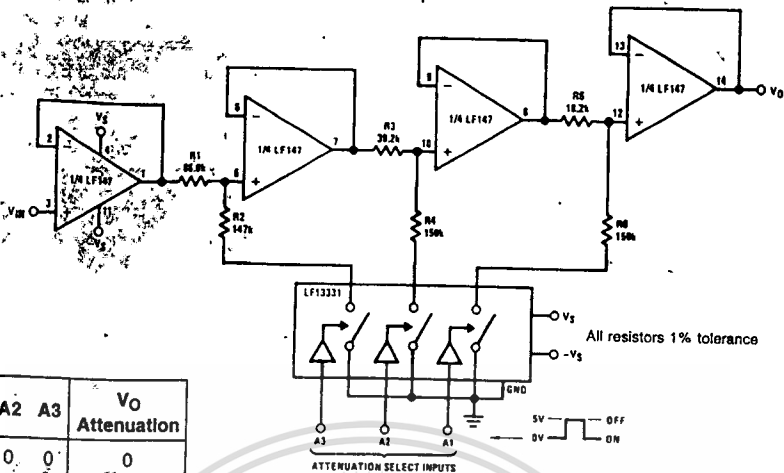
Detailed Schematic



TL/H/5647-9

Typical Applications

Digitally Selectable Precision Attenuator

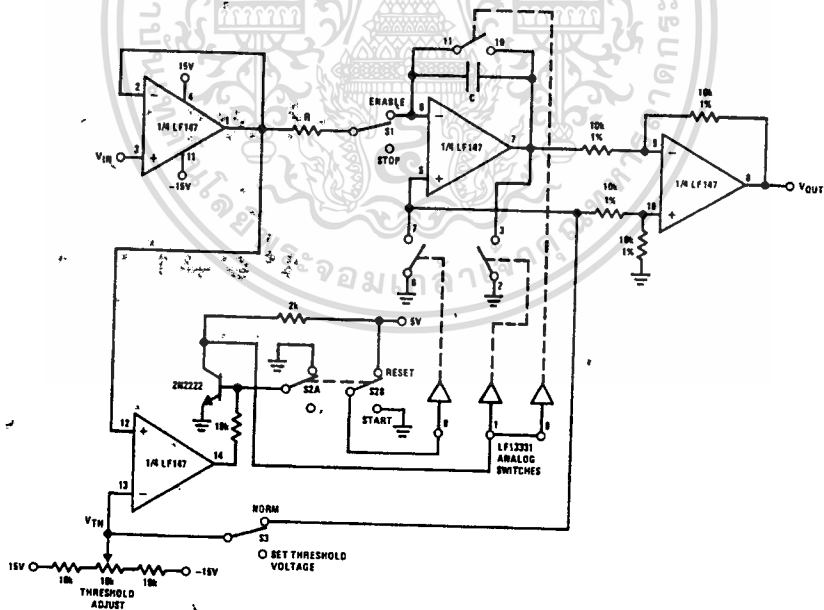


A1	A2	A3	V _O Attenuation
0	0	0	0
0	0	1	-1 dB
0	1	0	-2 dB
0	1	1	-3 dB
1	0	0	-4 dB
1	0	1	-5 dB
1	1	0	-6 dB
1	1	1	-7 dB

- Accuracy of better than 0.4% with standard 1% value resistors
- No offset adjustment necessary
- Expandable to any number of stages
- Very high input impedance

TL/H/5847-

Long Time Integrator with Reset, Hold and Starting Threshold Adjustment



- V_{OUT} starts from zero and is equal to the integral of the input voltage with respect to the threshold voltage:

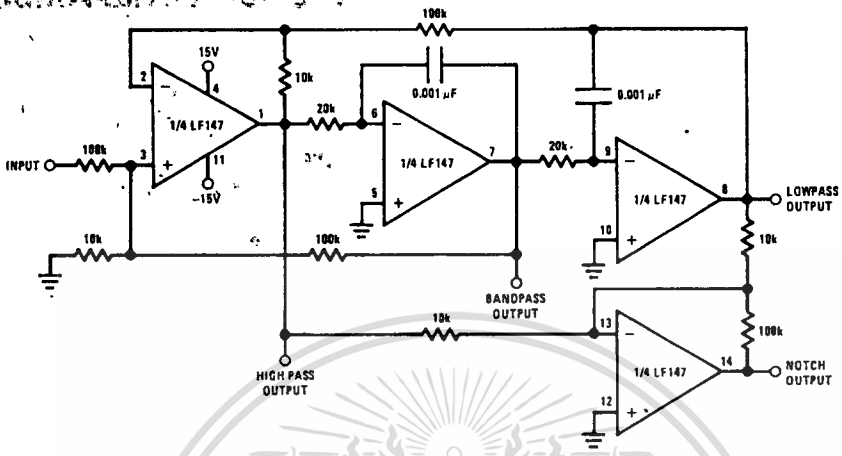
$$V_{OUT} = \frac{1}{RC} \int_0^{(V_{IN} - V_{TH})dt}$$

- Output starts when V_{IN} > V_{TH}
- Switch S1 permits stopping and holding any output value
- Switch S2 resets system to zero

TL/H/5847-

Typical Applications (Continued)

Universal State Variable Filter



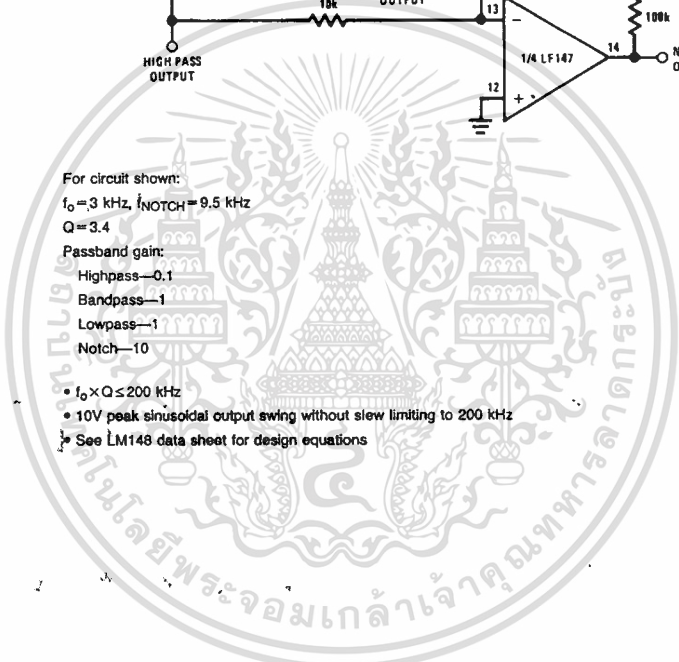
TL/H/5847-12

For circuit shown:
 $f_o = 3 \text{ kHz}$, $f_{\text{NOTCH}} = 9.5 \text{ kHz}$
 $Q = 3.4$

Passband gain:

- Highpass—0.1
- Bandpass—1
- Lowpass—1
- Notch—10

- $f_o \times Q \leq 200 \text{ kHz}$
- 10V peak sinusoidal output swing without slew limiting to 200 kHz
- See LM148 data sheet for design equations



LF351 Wide Bandwidth JFET Input Operational Amplifier

General Description

The LF351 is a low cost high speed JFET input operational amplifier with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET™ technology). The device requires a low supply current and yet maintains a large gain bandwidth product and a fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The LF351 is pin compatible with the standard LM741 and uses the same offset voltage adjustment circuitry. This feature allows designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM741 designs.

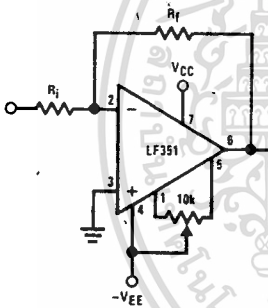
The LF351 may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample-and-hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The device has low noise and offset voltage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

current is important, however, the LF351 is the better choice.

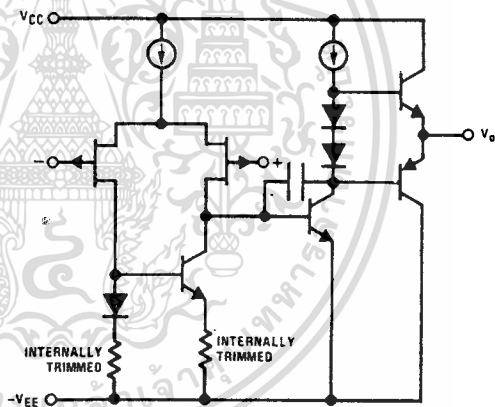
Features

- Internally trimmed offset voltage 10 mV
- Low input bias current 50 pA
- Low input noise voltage 16 nV/√Hz
- Low input noise current 0.01 pA/√Hz
- Wide gain bandwidth 4 MHz
- High slew rate 13 V/μs
- Low supply current 1.8 mA
- High input impedance 10¹² Ω
- Low total harmonic distortion $A_V = 10$, $R_L = 10k$, $V_O = 20$ Vp-p, BW = 20 Hz-20 kHz <0.02%
- Low 1/f noise corner 50 Hz
- Fast settling time to 0.01% 2 μs

Typical Connection

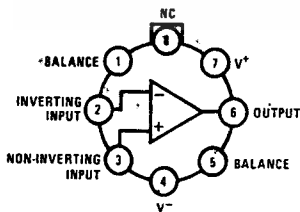


Simplified Schematic



Connection Diagrams (Top Views)

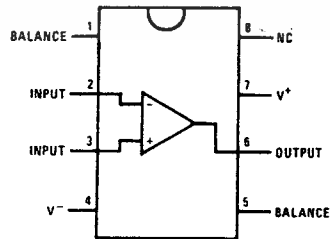
Metal Can Package



Note. Pin 4 connected to case.

Order Number LF351H
See NS Package H08C

Dual-In-Line Package



TOP VIEW

Order Number LF351N
See NS Package N08A

TL/H/5648-1

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage	±18V	Input Voltage Range (Note 2)	±15V
Power Dissipation (Note 1)	500 mW	Output Short Circuit Duration	Continuous
Operating Temperature Range	0°C to +70°C	Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
$I_{(MAX)}$	115°C	Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	300°C
Differential Input Voltage	±30V		

DC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF351			Units
			Min	Typ	Max	
V_{OS}	Input Offset Voltage	$R_S = 10\text{ k}\Omega, T_A = 25^\circ\text{C}$ Over Temperature		5	10 13	mV mV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Average TC of Input Offset Voltage	$R_S = 10\text{ k}\Omega$		10		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
I_{OS}	Input Offset Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$, (Notes 3, 4) $T_J \leq 70^\circ\text{C}$		25	100 4	pA nA
I_B	Input Bias Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$, (Notes 3, 4) $T_J \leq \pm 70^\circ\text{C}$		50	200 8	pA nA
R_{IN}	Input Resistance	$T_J = 25^\circ\text{C}$		10^{12}		Ω
A_{VOL}	Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15\text{V}, T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_O = \pm 10\text{V}, R_L = 2\text{ k}\Omega$ Over Temperature	25 15	100		V/mV V/mV
V_O	Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15\text{V}, R_L = 10\text{ k}\Omega$	±12	±13.5		V
V_{CM}	Input Common-Mode Voltage Range	$V_S = \pm 15\text{V}$	±11	+15 -12		V V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	70	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 5)	70	100		dB
I_S	Supply Current			1.8	3.4	mA

AC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF351			Units
			Min	Typ	Max	
SR	Slew Rate	$V_S = \pm 15\text{V}, T_A = 25^\circ\text{C}$		13		V/ μs
GBW	Gain Bandwidth Product	$V_S = \pm 15\text{V}, T_A = 25^\circ\text{C}$		4		MHz
e_n	Equivalent Input Noise Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}, R_S = 100\Omega,$ $f = 1000\text{ Hz}$		16		nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
i_n	Equivalent Input Noise Current	$T_J = 25^\circ\text{C}, f = 1000\text{ Hz}$		0.01		pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$

Note 1: For operating at elevated temperature, the device must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W junction to ambient or 45°C/W junction to case.

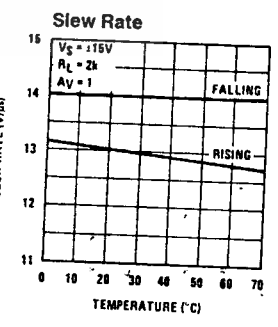
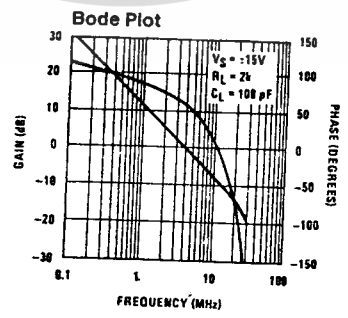
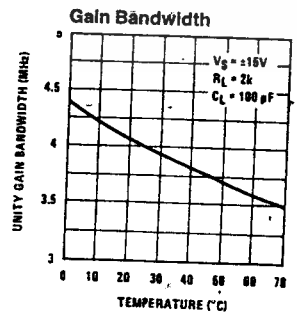
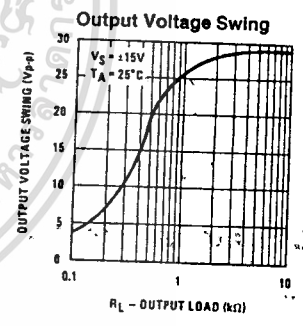
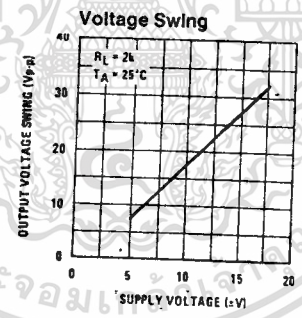
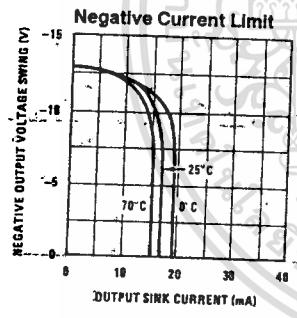
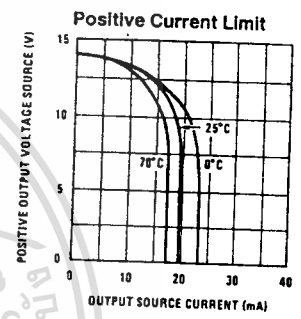
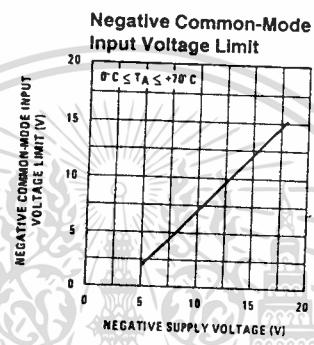
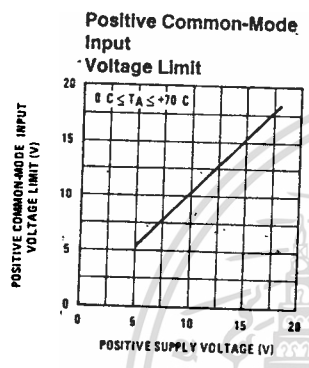
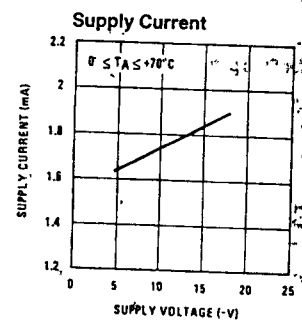
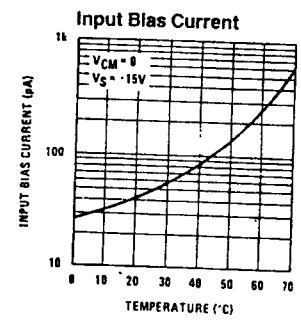
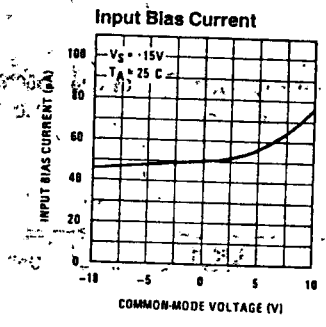
Note 2: Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

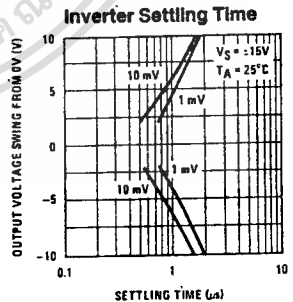
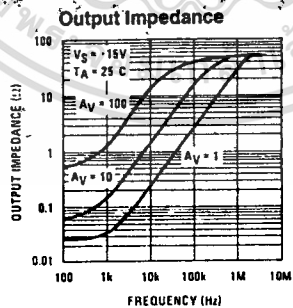
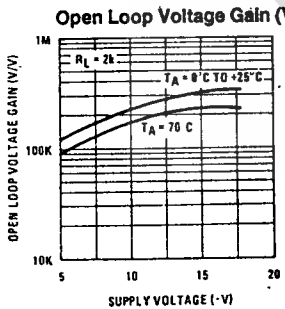
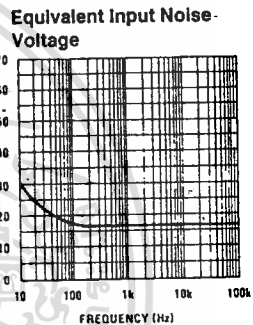
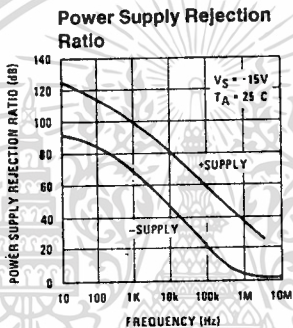
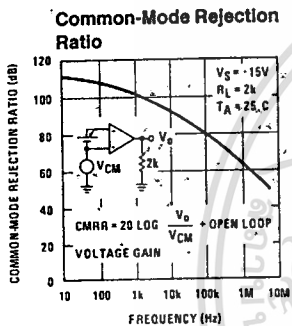
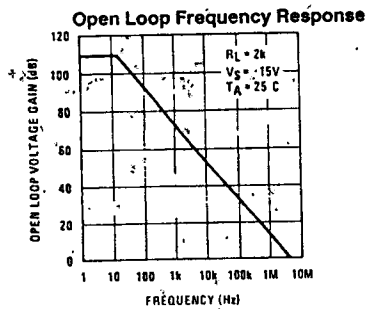
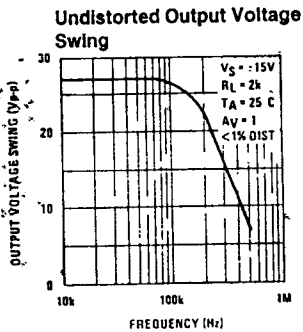
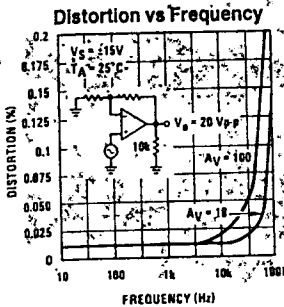
Note 3: These specifications apply for $V_S = \pm 15\text{V}$ and $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$. V_{OS} , I_B and I_{OS} are measured at $V_{CM} = 0$.

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

Note 5: Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously in accordance with common practice.

Typical Performance Characteristics

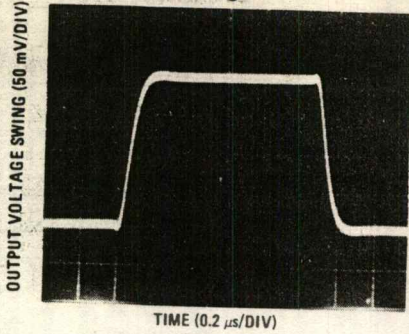




TL/H/5648-3

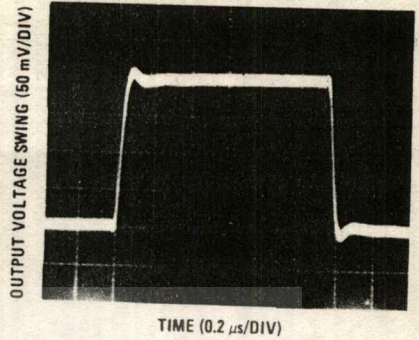
Pulse Response

Small Signal Inverting



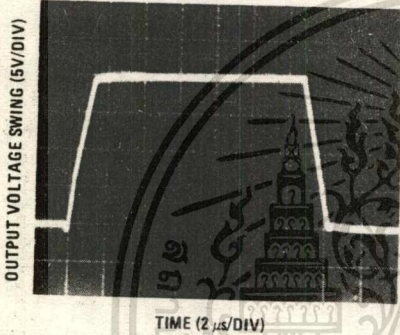
TL/H/5648-4

Small Signal Non-Inverting



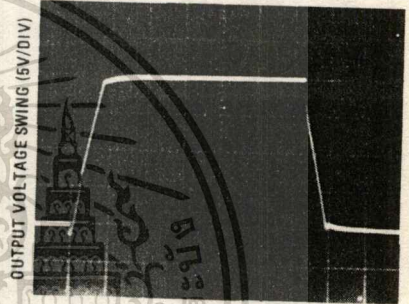
TL/H/5648-5

Large Signal Inverting

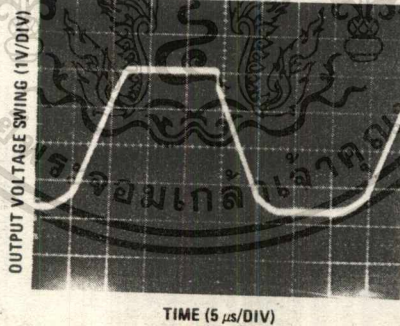


TL/H/5648-6

Large Signal Non-Inverting



TL/H/5648-7

Current Limit ($R_L = 100\Omega$)

TL/H/5648-8

Application Hints

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

should be allowed to exceed the negative supply as this will cause large currents to flow which can result in a destroyed unit.

Exceeding the negative common-mode limit on either input will cause a reversal of the phase to the output and force the amplifier output to the corresponding high or low state. Exceeding the negative common-mode limit on both inputs will force the amplifier output to a high state. In neither case

Application Hints (Continued)

does a latch occur since raising the input back within the common-mode range again puts the input stage and thus the amplifier in a normal operating mode.

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

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

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

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

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

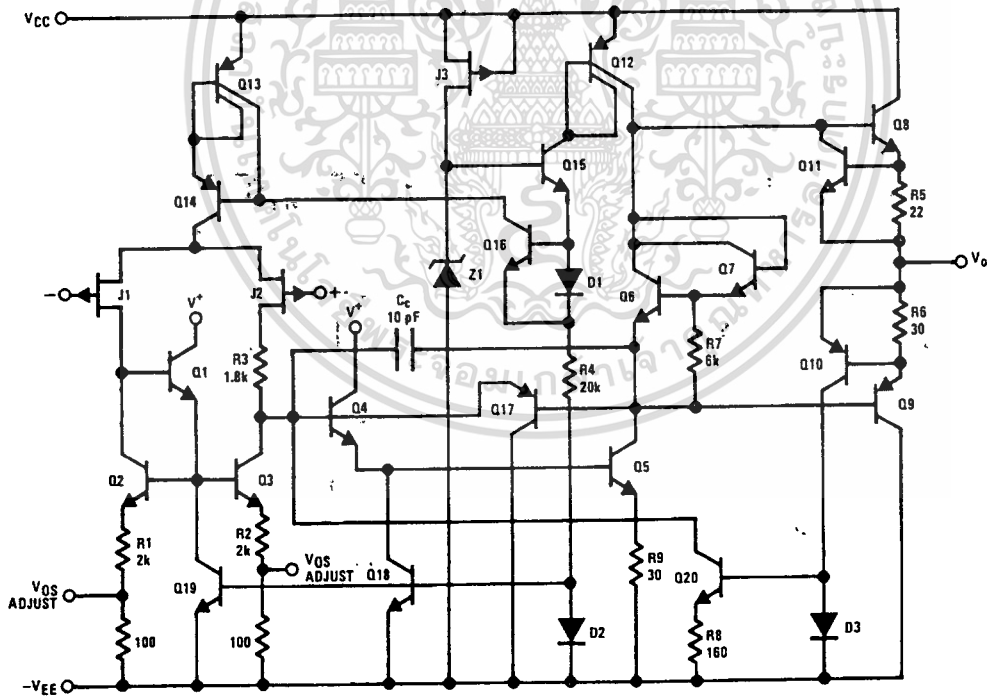
wards in a socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

Because these amplifiers are JFET rather than MOSFET input op amps they do not require special handling.

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

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

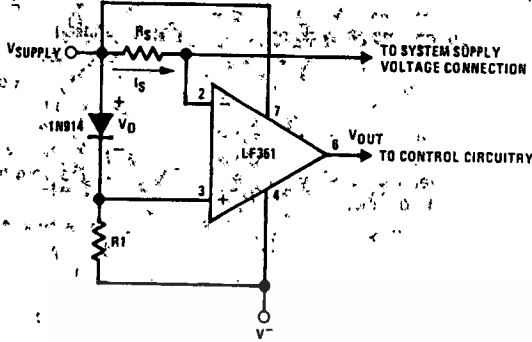
Detailed Schematic



TL/H/5648-9

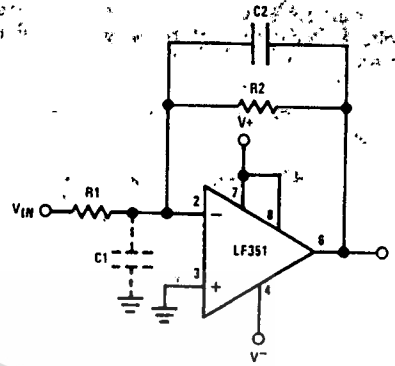
Typical Applications

Supply Current Indicator/Limiter



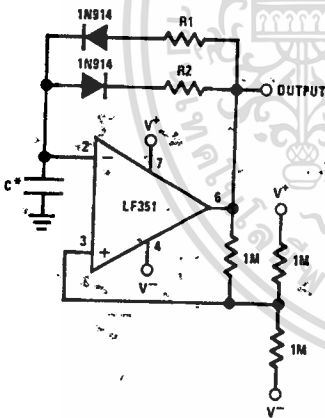
* VOUT switches high when $R_{SIS} > V_D$

Hi-Z_{IN} Inverting Amplifier



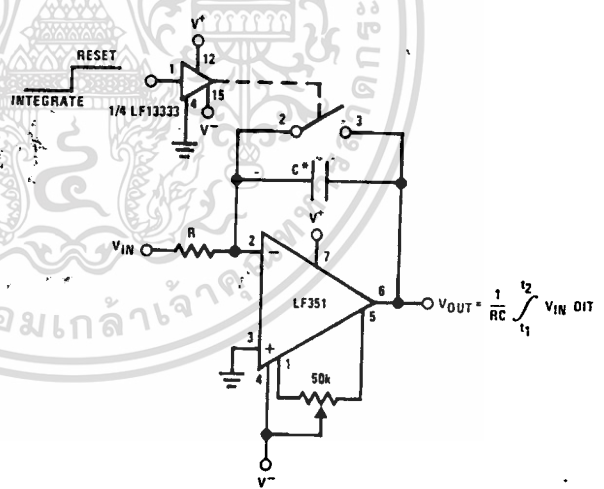
Parasitic input capacitance $C1 \approx (3 \text{ pF for LF351 plus any additional layout capacitance})$ interacts with feedback elements and creates undesirable high frequency pole. To compensate, add $C2$ such that $R2C2 \approx R1C1$.

Ultra-Low (or High) Duty Cycle Pulse Generator



- * t_{OUTPUT HIGH} $\approx R1C \ln \frac{4.8 - 2V_S}{4.8 - V_S}$
 - * t_{OUTPUT LOW} $\approx R2C \ln \frac{2V_S - 7.8}{V_S - 7.8}$
- where $V_S = V^+ + |V^-|$
 *low leakage capacitor

Long Time Integrator



- *Low leakage capacitor
- * 50k pot used for less sensitive V_{OS} adjust

TL/H/5648-10

MAXIMUM RATINGS

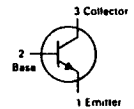
Rating	Symbol	2N2219 2N2222	2N2218A 2N2219A 2N2222A	Unit
Collector-Emitter Voltage	V _{CEO}	30	40	Vdc
Collector-Base Voltage	V _{CBO}	60	75	Vdc
Emitter-Base Voltage	V _{EBO}	5.0	6.0	Vdc
Collector Current — Continuous	I _C	800	800	mAdc
		2N2218A 2N2219,A	2N2222,A	
Total Device Dissipation @ T _A = 25°C Derate above 25°C	P _D	0.8 4.57	0.4 2.28	Watt mW/°C
Total Device Dissipation @ T _C = 25°C Derate above 25°C	P _D	3.0 17.1	1.2 6.85	Watts mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T _J , T _{stg}	-65 to +200		°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	2N2218A 2N2219,A	2N2222,A	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	R _{θJA}	219	145.8	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Case	R _{θJC}	58	437.5	°C/W

2N2218A, 2N2219, A* 2N2222, A*

2N2218, A/2N2219, A
CASE 79-04
TO-39 (TO-205AD)
STYLE 1



A/2N2222, A
CASE 22-03
TO-18 (TO-206AA)
STYLE 1

**GENERAL PURPOSE
TRANSISTORS**
NPN SILICON

*2N2219A and 2N2222A
are Motorola designated
preferred devices.

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

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS				
Collector-Emitter Breakdown Voltage (I _C = 10 mAdc, I _B = 0)	V _{(BR)CEO}	30 40	—	Vdc
Collector-Base Breakdown Voltage (I _C = 10 μAdc, I _E = 0)	V _{(BR)CBO}	60 75	—	Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage (I _E = 10 μAdc, I _C = 0)	V _{(BR)EBO}	5.0 6.0	—	Vdc
Collector Cutoff Current (V _{CE} = 60 Vdc, V _{EB(off)} = 3.0 Vdc)	I _{CEX}	—	10	nAdc
Collector Cutoff Current (V _{CB} = 50 Vdc, I _E = 0)	I _{CBO}	—	0.01	μAdc
(V _{CB} = 60 Vdc, I _E = 0)		—	0.01	
(V _{CB} = 50 Vdc, I _E = 0, T _A = 150°C)		—	10	
(V _{CB} = 60 Vdc, I _E = 0, T _A = 150°C)		—	10	
Emitter Cutoff Current (V _{EB} = 3.0 Vdc, I _C = 0)	I _{EBO}	—	10	nAdc
Base Cutoff Current (V _{CE} = 60 Vdc, V _{EB(off)} = 3.0 Vdc)	I _{BL}	—	20	nAdc
ON CHARACTERISTICS				
DC Current Gain (I _C = 0.1 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc)	h _{FE}	20 35	—	—
(I _C = 1.0 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc)		25 50	—	
(I _C = 10 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc)(1)		35 75	—	
(I _C = 10 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, T _A = -55°C)(1)		15 35	—	
(I _C = 150 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc)(1)		40 100	120 300	

2N2218A/19/19A/22/22A

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

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
(I _C = 150 mA, V _{CE} = 1.0 Vdc)(1)	2N2218A 2N2219A, 2N2222A	20 50	— —	
(I _C = 500 mA, V _{CE} = 10 Vdc)(1)	2N2219, 2N2222 2N2218A 2N2219A, 2N2222A	30 25 40	— — —	
Collector-Emitter Saturation Voltage(1) (I _C = 150 mA, I _B = 15 mA)	Non-A Suffix A-Suffix	— —	0.4 0.3	Vdc
(I _C = 500 mA, I _B = 50 mA)	Non-A Suffix A-Suffix	— —	1.6 1.0	
Base-Emitter Saturation Voltage(1) (I _C = 150 mA, I _B = 15 mA)	Non-A Suffix A-Suffix	0.6 0.6	1.3 1.2	Vdc
(I _C = 500 mA, I _B = 50 mA)	Non-A Suffix A-Suffix	— —	2.6 2.0	

SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

Current Gain — Bandwidth Product(2) (I _C = 20 mA, V _{CE} = 20 Vdc, f = 100 MHz)	All Types, Except 2N2219A, 2N2222A	f _T	250 300	— —	MHz
Output Capacitance(3) (V _{CB} = 10 Vdc, I _E = 0, f = 1.0 MHz)		C _{ob0}	—	8.0	pF
Input Capacitance(3) (V _{EB} = 0.5 Vdc, I _C = 0, f = 1.0 MHz)	Non-A Suffix A-Suffix	C _{ib0}	— —	30 25	pF
Input Impedance (I _C = 1.0 mA, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	2N2218A 2N2219A, 2N2222A	h _{ie}	1.0 2.0	3.5 8.0	kohms
(I _C = 10 mA, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	2N2218A 2N2219A, 2N2222A		0.2 0.25	1.0 1.25	
Voltage Feedback Ratio (I _C = 1.0 mA, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	2N2218A 2N2219A, 2N2222A	h _{re}	— —	5.0 8.0	X 10 ⁻⁴
(I _C = 10 mA, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	2N2218A 2N2219A, 2N2222A		— —	2.5 4.0	
Small-Signal Current Gain (I _C = 1.0 mA, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	2N2218A 2N2219A, 2N2222A	h _{fe}	30 50	150 300	—
(I _C = 10 mA, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	2N2218A 2N2219A, 2N2222A		50 75	300 375	
Output Admittance (I _C = 1.0 mA, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	2N2218A 2N2219A, 2N2222A	h _{oe}	3.0 5.0	15 35	μmhos
(I _C = 10 mA, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	2N2218A 2N2219A, 2N2222A		10 15	100 200	
Collector Base Time Constant (I _E = 20 mA, V _{CB} = 20Vdc, f = 31.8 MHz)	A-Suffix	r _b 'C _C	—	150	ps
Noise Figure (I _C = 100 μA, V _{CE} = 10 Vdc, R _S = 1.0 kohm, f = 1.0 kHz)	2N2222A	NF	—	4.0	dB
Real Part of Common-Emitter High Frequency Input Impedance (I _C = 20 mA, V _{CE} = 20 Vdc, f = 300 MHz)	2N2218A, 2N2219A 2N2222A	Re(h _{ie})	—	60	Ohms

(1) Pulse Test: Pulse Width ≤ 300 μs, Duty Cycle ≤ 2.0%.

(2) f_T is defined as the frequency at which |h_{fe}| extrapolates to unity.

(3) 2N5581 and 2N5582 are Listed C_{cb} and C_{cb} for these conditions and values.

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

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
SWITCHING CHARACTERISTICS				
Delay Time	(V _{CC} = 30 Vdc, V _{BE(off)} = -0.5 Vdc, I _C = 150 mAdc, I _{B1} = 15 mAdc) (Figure 12)	t _d	—	10 ns
Rise Time		t _r	—	25 ns
Storage Time	(V _{CC} = 30 Vdc, I _C = 150 mAdc, I _{B1} = I _{B2} = 15 mAdc) (Figure 13)	t _s	—	225 ns
Fall Time		t _f	—	60 ns
Active Region Time Constant (I _C = 150 mAdc, V _{CE} = 30 Vdc) (See Figure 11 for 2N2218A, 2N2219A, 2N2221A, 2N2222A)	T _A	—	2.5	ns

FIGURE 1 — NORMALIZED DC CURRENT GAIN

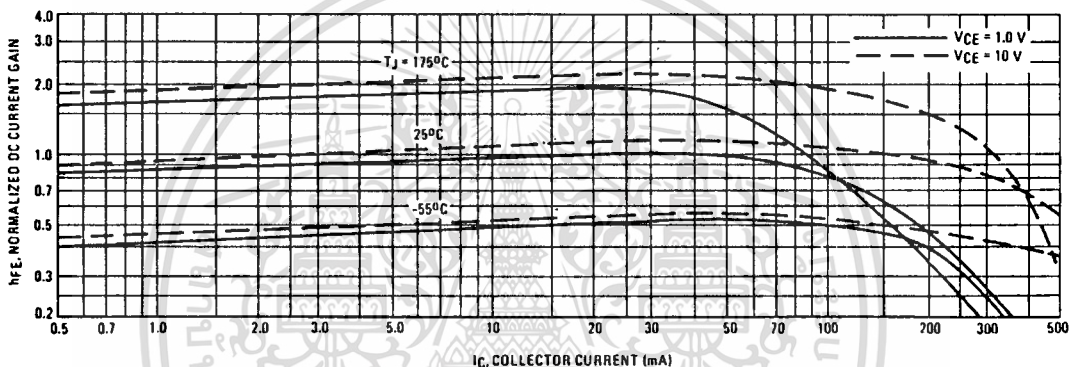
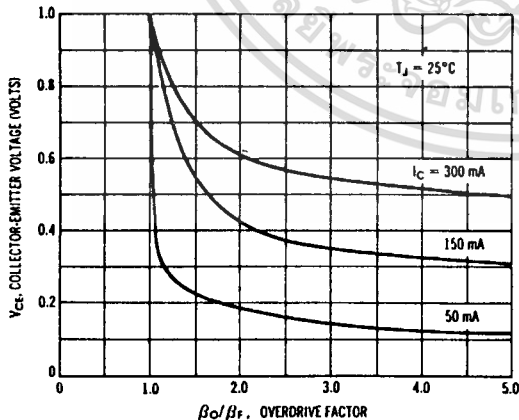


FIGURE 2 — COLLECTOR CHARACTERISTICS IN SATURATION REGION



This graph shows the effect of base current on collector current. β_o (current gain at the edge of saturation) is the current gain of the transistor at 1 volt, and β_r (forced gain) is the ratio of I_C/I_B in a circuit.

EXAMPLE: For type 2N2219, estimate a base current (I_B) to insure saturation at a temperature of 25°C and a collector current of 150 mA.

Observe that at I_C = 150 mA an overdrive factor of at least 2.5 is required to drive the transistor well into the saturation region. From Figure 1, it is seen that h_{FE} @ 1 volt is approximately 0.62 of h_{FE} @ 10 volts. Using the guaranteed minimum gain of 100 @ 150 mA and 10 V, β_o = 62 and substituting values in the overdrive equation, we find:

$$\frac{\beta_o}{\beta_r} = \frac{h_{FE} @ 1.0V}{I_C/I_B} \quad 2.5 = \frac{62}{150/I_B} \quad I_B \approx 6.0 \text{ mA}$$

FIGURE 3 - "ON" VOLTAGES

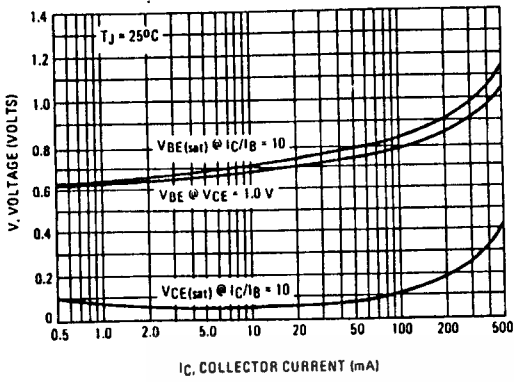
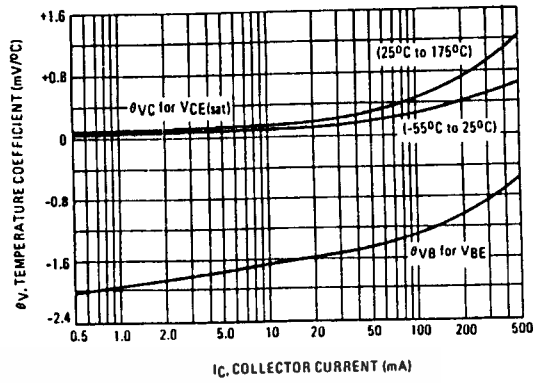


FIGURE 4 - TEMPERATURE COEFFICIENTS



h PARAMETERS

$V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

This group of graphs illustrates the relationship between h_{fe} and other "h" parameters for this series of transistors. To obtain these curves, a high-gain and a low-gain unit were selected and the same units were used to develop the correspondingly numbered curves on each graph.

FIGURE 5 - INPUT IMPEDANCE

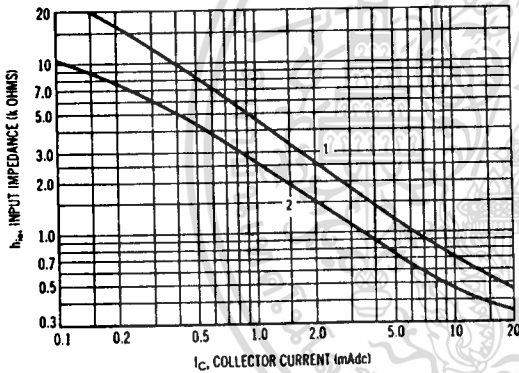


FIGURE 6 - VOLTAGE FEEDBACK RATIO

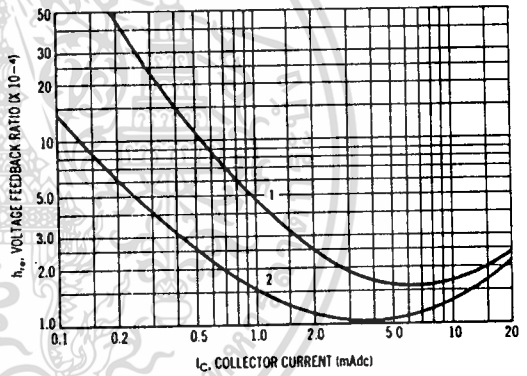


FIGURE 7 - CURRENT GAIN

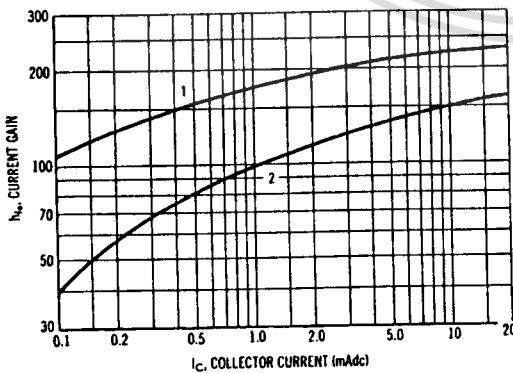
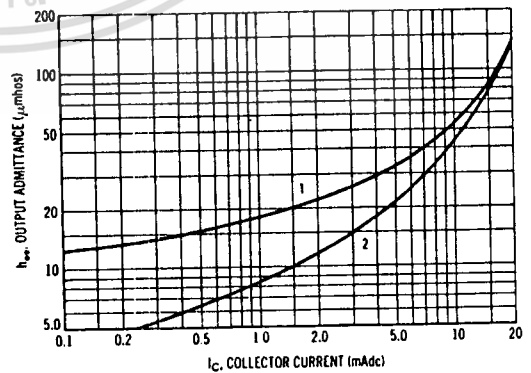


FIGURE 8 - OUTPUT ADMITTANCE



SWITCHING TIME CHARACTERISTICS

FIGURE 9 — TURN-ON TIME

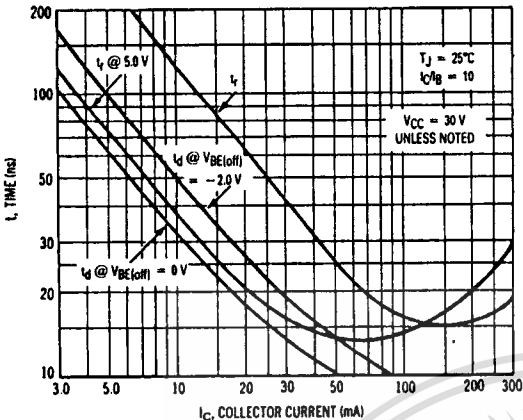


FIGURE 10 — CHARGE DATA

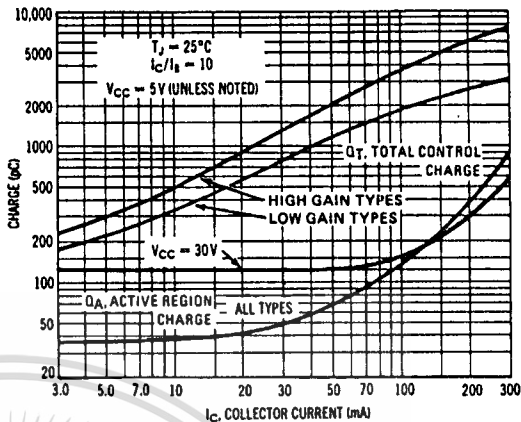


FIGURE 11 — TURN-OFF BEHAVIOR

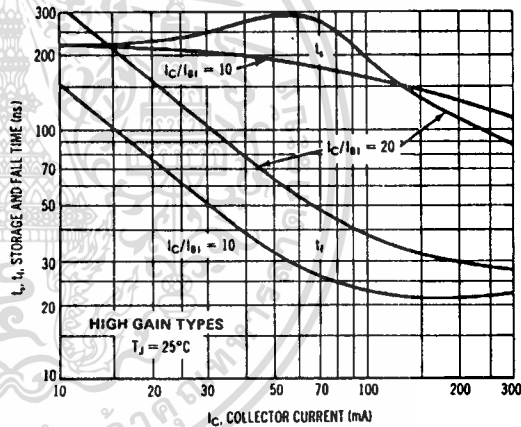
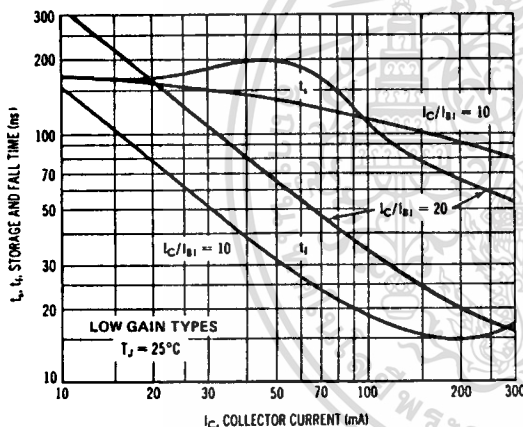
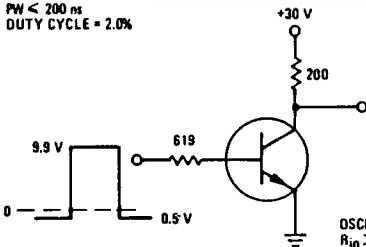


FIGURE 12 — DELAY AND RISE TIME EQUIVALENT TEST CIRCUIT

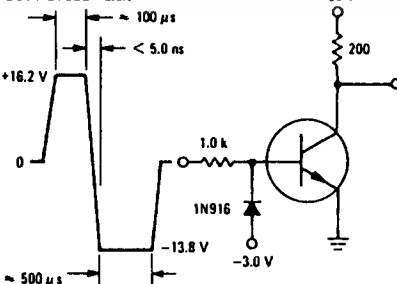
GENERATOR RISE TIME < 2.0 ns
PW < 200 ns
DUTY CYCLE = 2.0%



OSCILLOSCOPE
R_{in} > 100 k ohms
C_{in} < 12 pF
RISE TIME < 5.0 ns

FIGURE 13 — STORAGE TIME AND FALL TIME EQUIVALENT TEST CIRCUIT

DUTY CYCLE = 2.0%



SCOPE
R_{in} > 100 k ohms
C_{in} < 12 pF
RISE TIME < 5.0 ns

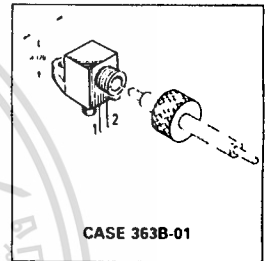
Fiber Optics — FLCS Family Visible Red LED

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 MFOD70 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

MFOE76

**FLCS FAMILY
 FIBER OPTICS
 VISIBLE RED
 LED
 660 nm**



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

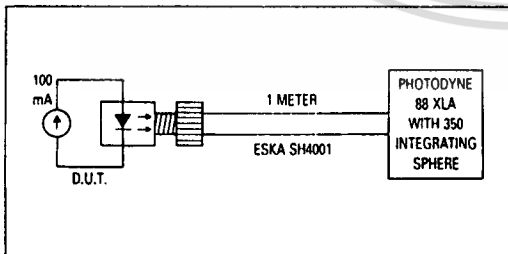


Figure 1. Power Launched Test Setup

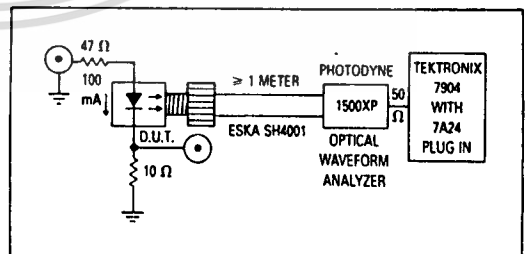


Figure 2. Optical Turn-On and Turn-Off Test Setup

MFOE76

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)	PL	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	—	6	—	MHz

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

TYPICAL CHARACTERISTICS

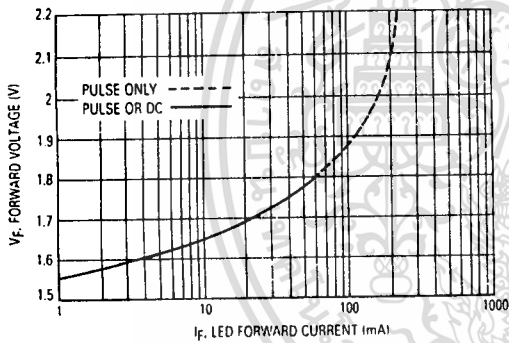


Figure 3. Forward Voltage versus Forward Current

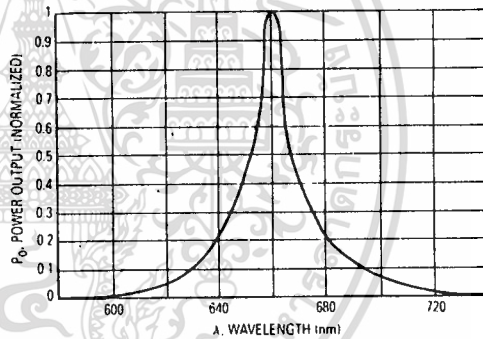


Figure 4. Relative Spectral Output

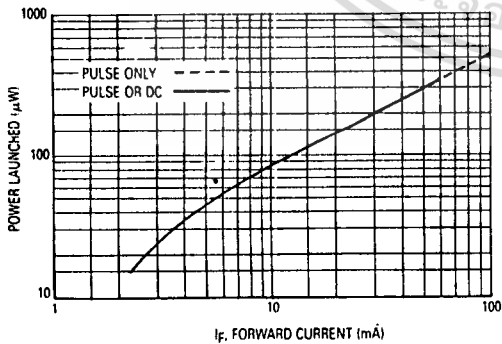


Figure 5. Power Launched versus LED Forward Current

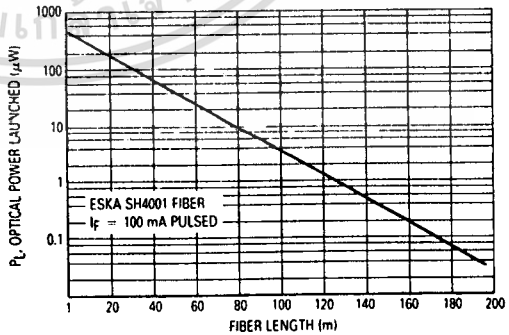


Figure 6. Power Launched versus Fiber Length

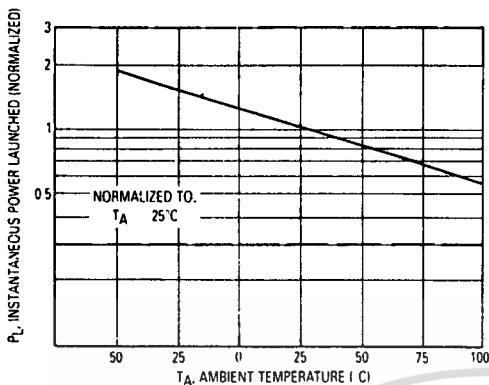


Figure 7. Instantaneous Power Output versus Ambient Temperature

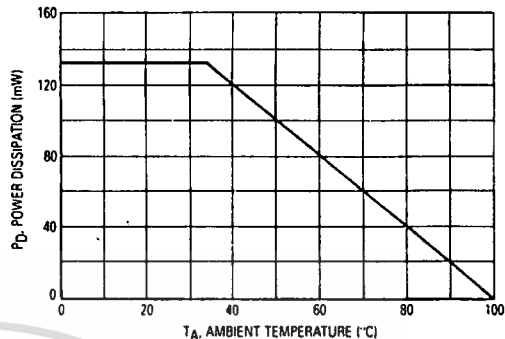


Figure 8. Power Dissipation

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.

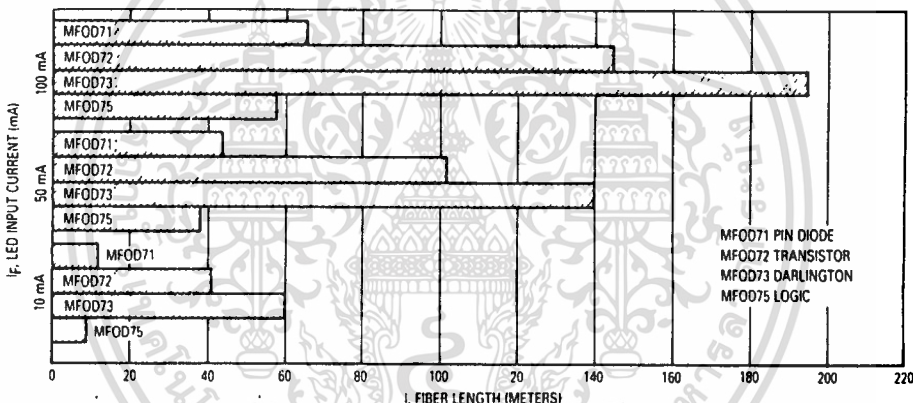


Figure 9. MFOE76 Working Distances

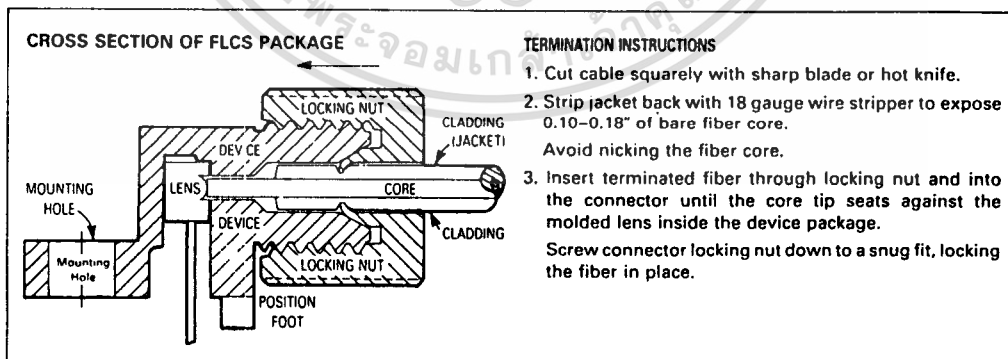
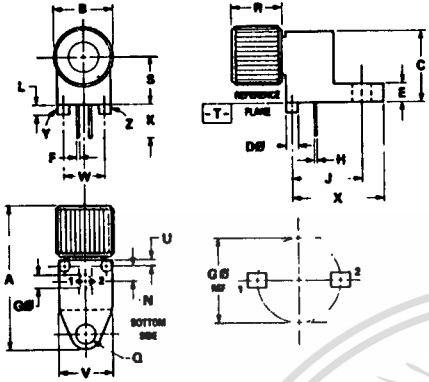


Figure 10. FO Cable Termination and Assembly

MFOE76

OUTLINE DIMENSIONS

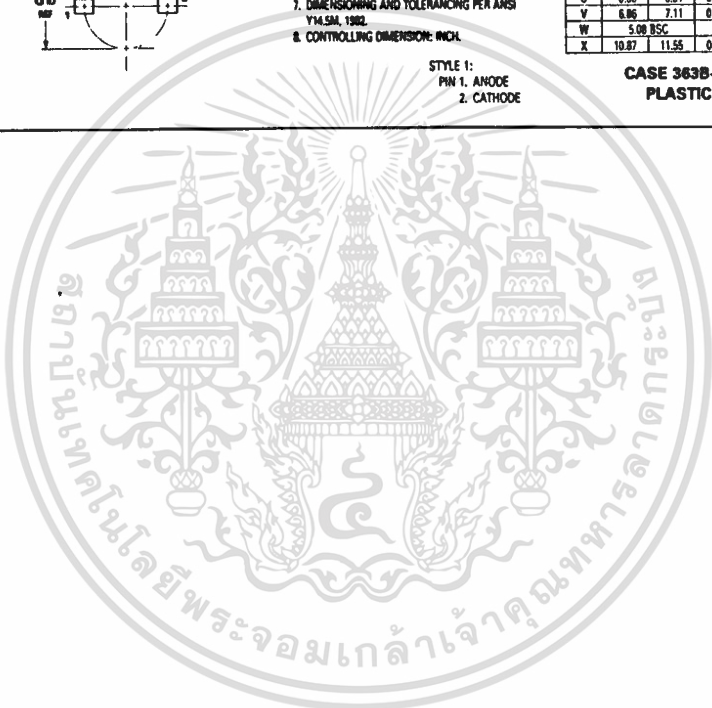


- NOTES:
1. Y AND Z ARE DATUM DIMENSIONS AND T IS A DATUM SURFACE.
 2. POSITIONAL TOLERANCE FOR D Ø (2 PL):
 $\text{Ø} \pm 0.25 \text{ (M.010)} \text{ (T) (Y) (Z) (M)}$
 3. POSITIONAL TOLERANCE FOR F DIMENSION (2 PL):
 $\text{F} \pm 0.25 \text{ (M.010)} \text{ (T) (Y) (Z) (M)}$
 4. POSITIONAL TOLERANCE FOR H DIMENSION (2 PL):
 $\text{H} \pm 0.25 \text{ (M.010)} \text{ (T) (Y) (Z) (M)}$
 5. POSITIONAL TOLERANCE FOR O Ø:
 $\text{Ø} \pm 0.25 \text{ (M.010)} \text{ (T) (Y) (Z) (M)}$
 6. POSITIONAL TOLERANCE FOR B:
 $\text{B} \pm 0.25 \text{ (M.010)} \text{ (T)}$
 7. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1992.
 8. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	19.30	21.33	0.760	0.840
B	9.14	9.39	0.360	0.370
C	7.62	8.12	0.300	0.320
D	1.55	1.62	0.061	0.064
E	2.41	2.66	0.095	0.105
F	0.43	0.58	0.017	0.023
G	2.54 BSC		0.100 BSC	
H	0.33	0.45	0.013	0.018
J	7.62 BSC		0.300 BSC	
K	9.51	11.43	0.390	0.450
L	1.14	1.65	0.045	0.065
M	2.54 BSC		0.100 BSC	
O	3.05	3.30	0.120	0.130
R	7.62	8.12	0.300	0.320
S	5.08 BSC		0.200 BSC	
U	0.66	0.91	0.026	0.036
V	6.86	7.11	0.270	0.280
W	5.08 BSC		0.200 BSC	
X	10.87	11.55	0.428	0.455

STYLE 1:
 PIN 1. ANODE
 2. CATHODE

CASE 363B-01
PLASTIC



Fiber Optics — FLCS Family Photo Detector Darlington Output

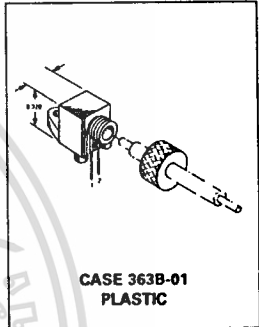
MFOD73

**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)



5

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

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	60	Volts
Total Power Dissipation ($\theta = T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C)	PD	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 ($I_C = 10\text{ mA}$)	$V_{(BR)CEO}$	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 ($\lambda = 850\text{ nm}$, $V_{CC} = 5\text{ V}$ ($P_{in} = 1\ \mu\text{W}$, $I_C = 2\text{ mA}$)	$V_{CE(sat)}$	—	0.75	1	Volts
Turn-On Time	$R_L = 100\ \Omega$, $P_{in} = 1\ \mu\text{W}$, $\lambda = 850\text{ nm}$, $V_{CC} = 5\text{ V}$	t_{on}	—	125	μs
Turn-Off Time		t_{off}	—	150	μs

MFOD73

TYPICAL COUPLED CHARACTERISTICS

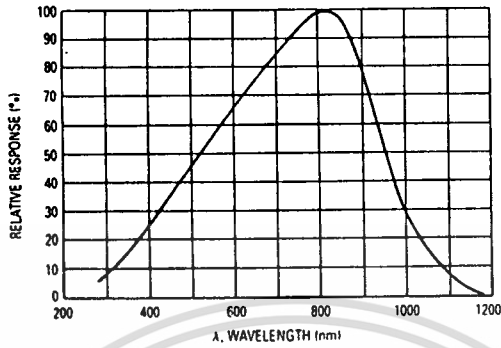


Figure 1. Relative Spectral Response

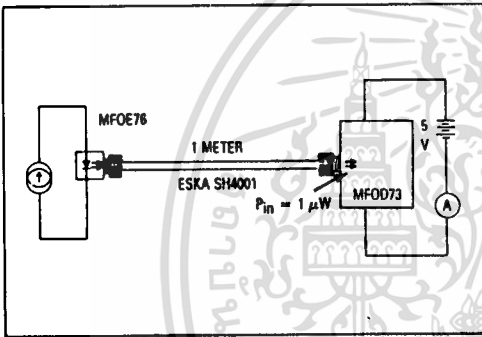


Figure 2. Responsivity Test Configuration

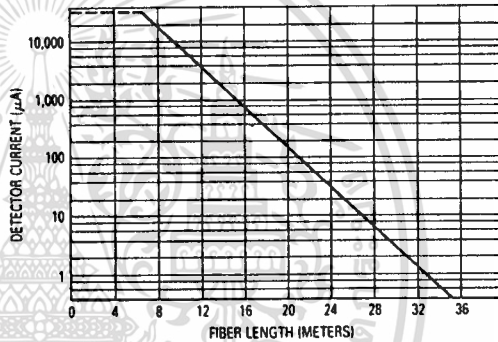


Figure 3. Detector Current versus Fiber Length

The system length achieved with a MFOE76 emitter and various detectors, using 1000 micron core plastic fiber (Eskas 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.

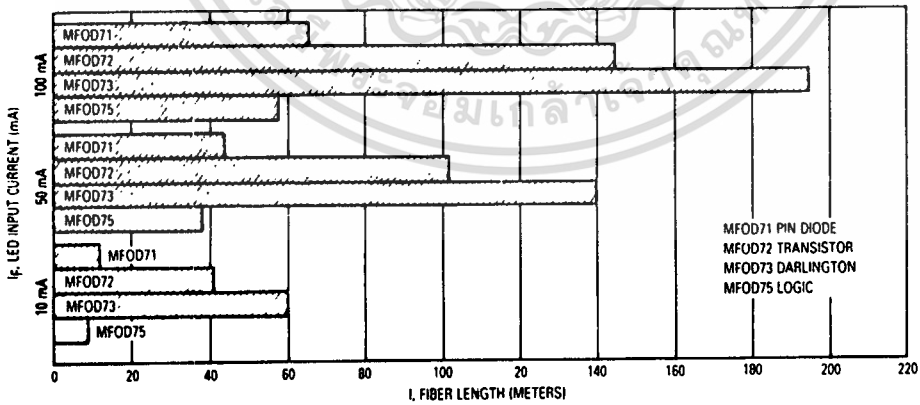


Figure 4. MFOE76 Working Distances

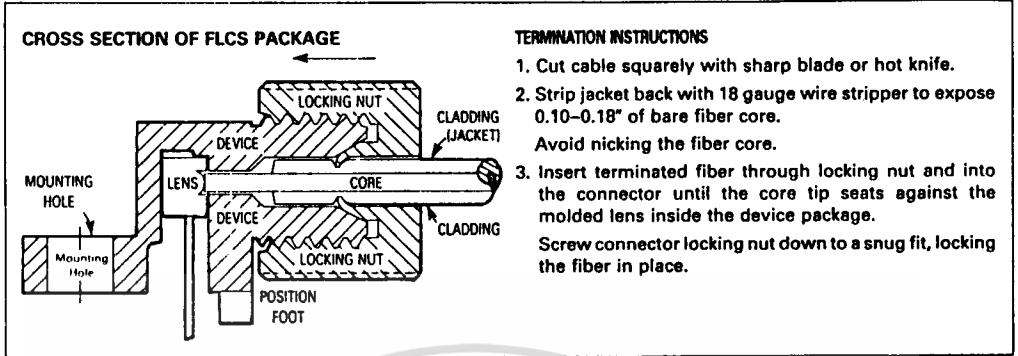


Figure 5. FO Cable Termination and Assembly

INPUT SIGNAL CONDITIONING

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

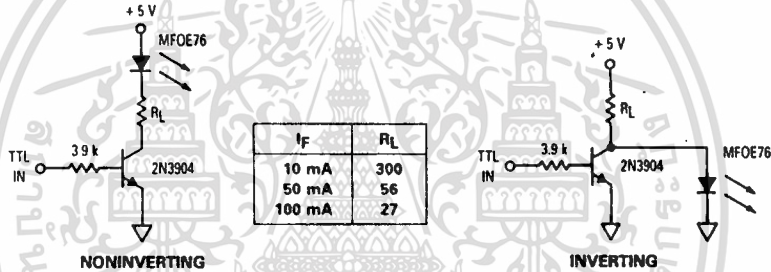


Figure 6. TTL Transmitters

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.

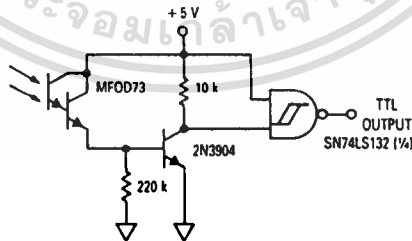


Figure 7. 1 kHz Darlington Receiver

