



การส่งและกระจายสัญญาณโทรทัศน์ผ่านเส้นใยนำแสง  
TELEVISION SIGNAL DISTRIBUTION VIA OPTICAL FIBER CABLE



วัน เดือน ปี... 11 ต.ค. 2560  
เลขทะเบียน... 037220  
เลขเรียกหนังสือ... T38313.9 555 ก.

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2538

การส่งและกระจายสัญญาณโทรทัศน์ผ่านเส้นใยนำแสง  
TELEVISION SIGNAL DISTRIBUTION VIA OPTICAL FIBER CABLE



ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์ 2538

ภาควิชากรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การส่งและกระจายสัญญาณโทรทัศน์ผ่านเส้นใยนำแสง

TELEVISION SIGNAL DISTRIBUTION VIA OPTICAL FIBER CABLE

ผู้จัดทำ

1. นายจิรบูรณ์ นิจสุชาติ 35104071
2. นายภาณุวิชญ์ ภิญญไญวรพจน์ 35104348
3. นางสาวสุภาวดี ไสแสง 35104494

อาจารย์ที่ปรึกษา



(รศ. ดร. กอบชัย เดชหาญ)



การส่งและกระจายสัญญาณโทรทัศน์ผ่านเส้นใยนำแสง  
TELEVISION SIGNAL DISTRIBUTION VIA OPTICAL FIBER CABLE

โดย นาย จีรบูรณ์ นิจุซัด 35104071

นาย ภาณุวิชญ์ ภิญญาวรพจน์ 35104348

นางสาว สุภาวดี ไสแสง 35104494

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ดร. กอบชัย เดชหาญ

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการส่งและกระจายสัญญาณโทรทัศน์ผ่านเส้นใยนำแสง ซึ่งการส่งและกระจายสัญญาณโทรทัศน์ตามสายเริ่มเป็นที่นิยม โดยสามารถส่งภาพไปได้และมีคุณภาพดีเนื่องจากความกว้างของแถบความถี่ในเส้นใยนำแสง ในการนี้ จะสร้างจุดส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านเส้นใยนำแสง การส่งและการรับจะเป็นระบบอนาล็อก โดยจะนำสัญญาณโทรทัศน์ไปเปลี่ยนเป็นสัญญาณแสงแล้วส่งออกไปทางด้านรับซึ่งจะเปลี่ยนสัญญาณแสงกลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า และกระจายออกไปตามจุดต่างๆ

Abstract

This thesis presents the television signal distribution via optical fiber cable that will be used wide spread. The video signal can be sent via optical fiber cable with a good quality because the bandwidth of optical fiber cable is very wide. The objective of this thesis is to build video and sound signal distribution and distribute the signal in analog system. The television signal will be transformed to light wave and send to the receiving point. The television signal can be recovered by transforming the light wave to electrical signal. And then be distributed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

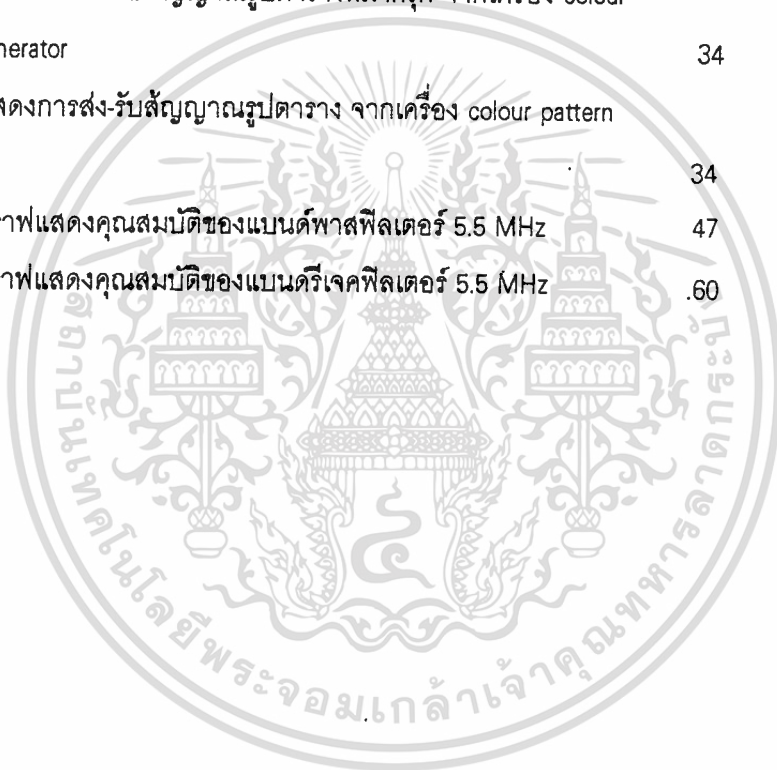
## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
1. บทที่ 1 บทนำ	1
2. บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ระบบกระจายสัญญาณโทรทัศน์ผ่านเส้นใยนำแสง	2
2.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบการสื่อสารเส้นใยนำแสง	2
2.3 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารเส้นใยนำแสง	3
2.4 คุณสมบัติพิเศษต่างๆของการสื่อสารเส้นใยนำแสง	4
2.5 เส้นใยนำแสง	5
2.6 ชนิดของเส้นใยนำแสง	5
2.7 คุณสมบัติสำคัญของเส้นใยนำแสง	13
2.8 อุปกรณ์ปล่อยแสง	19
2.9 อุปกรณ์รับแสง	20
3. บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	21
3.1 วงจรภาคส่ง	21
3.2 วงจรภาครับ	24
4. บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	28
5. บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	61

## สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ	หน้า
1. รูป 2.1 แสดงระบบการกระจายสัญญาณโทรทัศนผ่านเส้นใยนำแสง	2
2. รูป 2.2 แสดงระบบ bank - bone ของเส้นใยนำแสง	3
3. รูป 2.3 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานในระบบการสื่อสารเส้นใยแสง	4
4. รูป 2.4 แสดงโครงสร้างทั่วไปแบบ multimode step index	6
5. รูป 2.5 แสดงถึงสเปคตรัมของการลดทอนของเส้นใยนำแสง	7
6. รูป 2.6 แสดงโครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงแบบ glass multimode graded index	8
7. รูป 2.7 แสดงโครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงแบบ silica single mode step index	10
8. รูป 2.8 แสดงโครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงแบบ PCS fiber	11
9. รูป 2.9 แสดงโครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงแบบ All - Plastic fiber	12
10. รูป 2.10 แสดงลำแสงตกกระทบจากรอยต่อที่มีค่าดัชนีการหักเหสูงไปสู่ดัชนีการหักเหต่ำ	13
11. รูป 2.11 แสดงการส่งผ่านของลำแสงในเส้นใยนำแสงแบบสมบูร์ก	14
12. รูป 2.12 แสดงมุมรับ $\theta_a$ เมื่อปล่อยแสงเข้าในเส้นใยนำแสง	15
13. รูป 2.13 แสดงการตกกระทบของลำแสงบนเส้นใยนำแสงด้วยมุม $\theta_1$	16
14. รูป 2.14 แสดง LED ที่ปล่อยแสงจากผิวด้านหน้าและด้านข้าง	19
15. รูป 2.15 แสดง PIN โฟโตไดโอด	20
16. รูป 3.1 แสดงวงจรรวมสัญญาณ Audio และ Video	21
17. รูป 3.2 แสดงวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง	22
18. รูป 3.3 แสดงวงจรรวมทางด้านเครื่องส่ง	23
19. รูป 3.4 แสดงวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า	24
20. รูป 3.5 แสดงวงจรแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียง	25
21. รูป 3.6 แสดงวงจรรวมทางด้านเครื่องรับ	27
22. รูป 4.1 แสดงสัญญาณภาพจากช่อง Video Out	28
23. รูป 4.2 แสดงสัญญาณเสียงจากช่อง Audio Out	29
24. รูป 4.3 แสดงสัญญาณรวมภาพและเสียง	29
25. รูป 4.4 แสดงสัญญาณรวมภาพและเสียงก่อนส่งออก LED	30
26. รูป 4.5 แสดงสัญญาณที่ขา 2 ของอุปกรณ์รับแสง	31
27. รูป 4.6 แสดงสัญญาณภาพที่รับได้ที่จุดเอาต์พุตสัญญาณภาพ	31

27. รูป 4.6 แสดงสัญญาณภาพที่รับได้ที่จุดเอาต์พุตสัญญาณภาพ	31
28. รูป 4.7 แสดงสัญญาณเสียงที่รับได้ที่จุดเอาต์พุตสัญญาณเสียง	32
29. รูป 4.8 แสดงอุปกรณ์รวมทั้งภาคส่งและภาครับ	32
30. รูป 4.9 แสดงการส่ง-รับสัญญาณโทรทัศน์จากเครื่องเล่นวีดีโอเทป	33
31. รูป 4.10 แสดงการส่ง-รับสัญญาณแถบสี จากเครื่อง colour pattern generator	33
32. รูป 4.11 แสดงการส่ง-รับสัญญาณรูปตารางหมากรุก จากเครื่อง colour pattern generator	34
33. รูป 4.12 แสดงการส่ง-รับสัญญาณรูปตาราง จากเครื่อง colour pattern generator	34
34. รูป 4.13 กราฟแสดงคุณสมบัติของแบนด์พาสฟิลเตอร์ 5.5 MHz	47
35. รูป 4.14 กราฟแสดงคุณสมบัติของแบนด์รีเจคฟิลเตอร์ 5.5 MHz	60



## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1. ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4	35
2.. ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 5	48



## บทที่ 1

### บทนำ

ความเจริญก้าวหน้าทางธุรกิจและการขยายตัวของสังคมในปัจจุบัน ทำให้มีความต้องการในการแลกเปลี่ยนข่าวสารและข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ระบบการส่งสัญญาณและภาพเสียงได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วเช่นกัน เพื่อเป็นการตอบสนองความต้องการทั้งในปัจจุบันและอนาคต การส่งสัญญาณโทรทัศน์โดยผ่านเส้นใยนำแสงนั้นถือว่าการพัฒนาระบบการสื่อสารในรูปแบบใหม่ ซึ่งสามารถส่งได้ทั้งข้อมูลและข่าวสารเป็นจำนวนมากในเวลาเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับสายเคเบิลทั่วไป

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอระบบการส่งและกระจายสัญญาณโทรทัศน์ผ่านเส้นใยนำแสง โดยระบบนี้ จะทำการเปลี่ยนไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณแสงทางด้านส่ง และทำการส่งไปในเส้นใยนำแสง เมื่อถึงด้านรับ ก็จะทำให้การเปลี่ยนจากสัญญาณแสงกลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม

## บทที่ 2

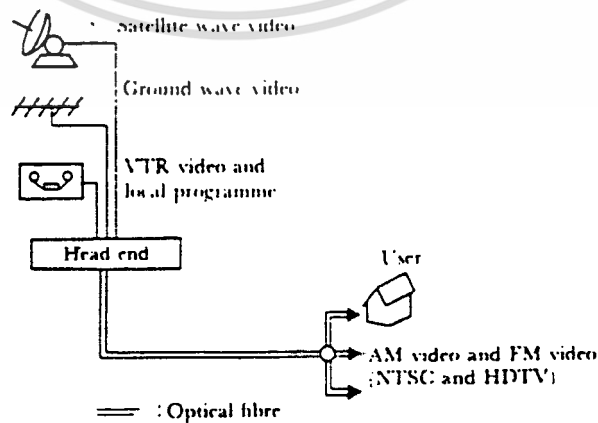
### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 ระบบกระจายสัญญาณโทรทัศน์ผ่านทางเส้นใยนำแสง

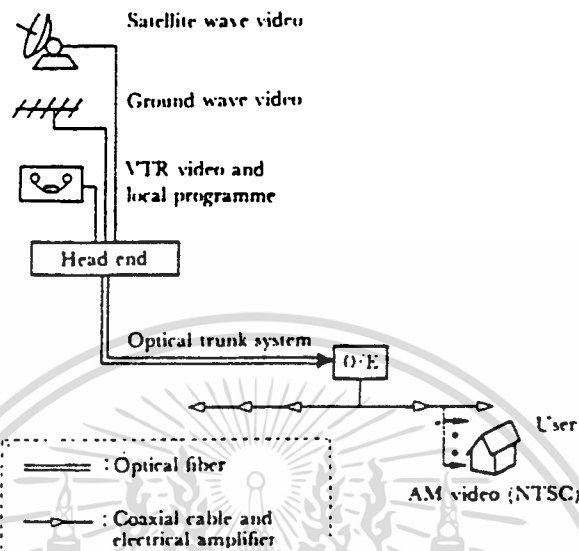
เคเบิลทีวี หรือ CATV เป็นการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ไปยังบ้านผู้เช่าโดยเคเบิล แทนการกระจายเสียงออกอากาศ จุดศูนย์กลางการกระจายเรียก hub ซึ่งจะรับสัญญาณจากสถานีส่งโดยตรง หรือจากทาง headend ซึ่ง headend นี้จะรับสัญญาณจากสายอากาศหรือจากดาวเทียม การส่งสัญญาณระหว่าง headend กับ hub และระหว่าง hub กับ hub เรียกว่า trunking ซึ่งอาจใช้ coaxial cable แต่ต้องมีตัวทวนสัญญาณ ( repeater ) ทุกๆ ระยะ 1 km และจำนวนตัวทวนสัญญาณจะถูกจำกัดโดยสัญญาณรบกวนและการบิดเบือนของสัญญาณ ( noise and distortion )

การทำ trunking ในระยะทางไกลๆ อาจใช้เส้นใยนำแสงซึ่งมีข้อดีมากกว่า สายโคแอกเชียล คือ ไม่จำเป็นต้องมีตัวทวนสัญญาณซึ่งสามารถทำ trunking ได้ในระยะทางไกลๆ ตามความเป็นจริงแล้ว ในการใช้งานกับความยาวคลื่นยาวๆนั้นสามารถทำ trunking ได้ในระยะทางไกลถึง 30 km โดยไม่ต้องมีตัวทวนสัญญาณเลย

#### 2.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ผ่านเส้นใยนำแสง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้พระราชบัญญัติการกระจายสัญญาณวิทยุและโทรทัศน์การกระจายเสียงและโทรคมนาคม พ.ศ. ๒๕๖๒ โดยขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดง ระบบ back - bone ของเส้นใยนำแสง

รูปที่ 2.1 แสดงระบบการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ผ่านเส้นใยนำแสง ซึ่งการกระจายสัญญาณไปสู่ผู้ใช้นั้น จะทำการกระจายโดยใช้ star coupler โครงข่ายที่แสดงอยู่ในรูปเป็นโครงข่าย tree และ branch ข้อเสียของรูปแบบนี้ก็คือน optical loss เป็นการสูญเสียของแสงที่เกิดจากการทำ branch ซึ่งระบบนี้ค่อนข้างจะยุ่งยากในทางปฏิบัติ

ดังนั้น ระบบ CATV อีกระบบหนึ่ง จะใช้เส้นใยนำแสงเฉพาะในระบบ trunk เท่านั้น และจะทำการกระจายสัญญาณไปยังผู้เช่าโดยใช้สายโคแอกเซียล ซึ่งไม่ต้องทำการแยกแสงออกไปหลายทิศทาง โดยระบบที่ใช้เส้นใยนำแสงเป็น trunk นี้ เรียกว่า ระบบ back - bone ดังแสดงในรูปที่ 2.2

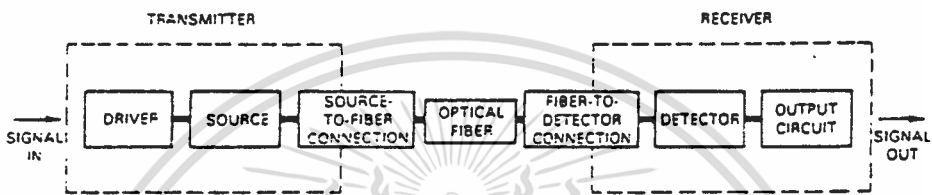
### 2.3 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารเส้นใยนำแสง

สามารถแบ่งออกได้เป็น

1. เครื่องส่ง ( Transmitter ) จะทำการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณแสงมีแหล่งกำเนิดแสงเป็น LED หรืออาจเป็น LASER DIODE ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เส้นใยนำแสง ( Optical fiber cable ) เป็นตัวกลางสำหรับนำพาแสง
3. เครื่องรับ ( Receiver ) จะรับแสงและเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้า มีองค์ประกอบพื้นฐานคือ ตัวดีเทค ( Detector ) ซึ่งจะทำการเปลี่ยนจากสัญญาณแสงกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้า และวงจรทางเอาท์พุทซึ่งจะเป็นตัวขยาย(ถ้ามีความจำเป็น) และจะทำการปรับปรุงสัญญาณไฟฟ้าก่อนที่จะส่งผ่านไป
4. คอนเนคเตอร์ ( Connector ) เป็นตัวเชื่อมต่อ เส้นใยนำแสง , แหล่งกำเนิด , ตัวดีเทคหรือเสียบนำแสงอื่นๆ



รูปที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานในระบบการสื่อสารเส้นใยแสง

#### 2.4 คุณสมบัติพิเศษต่างๆของการสื่อสารเส้นใยแสง

ระบบการสื่อสารเส้นใยแสง เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารที่ใช้สายเคเบิลที่ทำด้วยโลหะแล้ว มีข้อดีต่างๆที่เกิดจากคุณสมบัติพิเศษของเส้นใยนำแสง ดังนี้

1. การสูญเสียของแสงต่ำ ( low loss )

เส้นใยนำแสง เมื่อไปเปรียบเทียบกับสายเคเบิลที่เป็นโลหะที่ทำด้วย ทองแดง หรือ สายเคเบิลแกนร่วม ( coaxial cable ) หรือ อย่างใดอย่างหนึ่ง ปรากฏว่า มีการสูญเสีย ( loss ) ต่ำ

2. มีแบนด์วิธกว้าง ( wide bandwidth )

ความจุในการส่งข่าวสาร จะเพิ่มขึ้นตามแบนด์วิธของตัวกลางในการส่ง และตามความถี่ของพาหะเส้นใยแสง

3. มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา

เส้นใยแสงมีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบากว่าสายเคเบิลทองแดงมาก

4. ไม่มีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า ( Electromagnetic immunity )

แก้วพวก Silica หรือ Dielectric อื่นๆ จะไม่ยอมให้ไฟฟ้าผ่าน ดังนั้นจึงไม่มีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็ก

ไฟฟ้าจากภายนอก เหมือนกับ สายไฟแรงสูง หรือคลื่นวิทยุ เป็นต้น

5. มีความปลอดภัย ( Security )

เนื่องมาจากเส้นใยนำแสงไม่สามารถกระจายสัญญาณออกมาแบบสายอากาศได้

6. มีความต้านทานต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิ

7. มีความยืดหยุ่น

8. ช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติ

เนื่องจากมี Silica เป็นส่วนประกอบสำคัญของเส้นใยนำแสง และยังมีข้อดีคือ สามารถผลิตเส้นใยนำแสงได้โดยใช้วัตถุดิบน้อย

## 2.5 เส้นใยนำแสง ( Optical fiber cable )

โครงสร้างของเส้นใยนำแสง ประกอบด้วย 2 ชั้น ที่มีจุดศูนย์กลางเดียวกันเรียกว่า Core และ Cladding โดย Core เป็นส่วนที่ใช้เป็นทางผ่านของแสง ทั้ง Core และ Cladding ทำจากสารไดอิเล็กตริก โดยที่ Clad มีค่าดัชนีการหักเหต่ำกว่า ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างเช่น core มีค่าดัชนีการหักเห 1.47 ค่าดัชนีการหักเหของ cladding มีค่า 1.46 ซึ่งเราจะต้องมีความระมัดระวังความแตกต่างของดัชนีการหักเหนี้

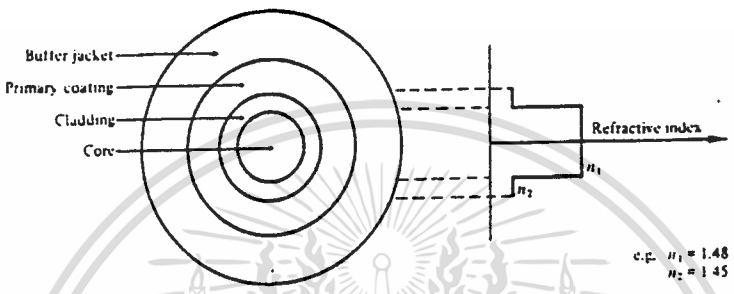
เส้นใยแก้วนำแสง จะมีการเพิ่มสิ่งห่อหุ้มอีกรอบๆ Cladding โดยปกติมีหนึ่งชั้นหรือมากกว่า จะเป็นสารพวก Polymer จะเป็นตัวป้องกัน core- และ cladding จากการกระทบหรือกระแทกหรือจากคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ซึ่งสิ่งที่ห่ออยู่นี้จะไม่มีปฏิกิริยากับการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสง

## 2.6 ชนิดของเส้นใยนำแสง

### 1. Multimode Step Index Fiber

เป็นเส้นใยนำแสงที่ผลิตจากสารประกอบแก้วหลายชนิด หรือ silica ที่ผ่านการเจือสาร ( doped silica) เส้นใยนำแสงชนิดนี้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ และมีค่า numerical aperture ขนาดกว้างมาก ซึ่งจะช่วยทำให้สามารถทำการ เชื่อมต่อ ( coupling ) เข้ากับอุปกรณ์กำเนิดแสงเช่น LED คุณลักษณะในการปฏิบัติของเส้นใยนำแสงประเภทนี้ ขึ้นกับวัสดุและวิธีการทำ เส้นใยนำแสงแบบ doped silica นั้นจะมีคุณสมบัติดีกว่า แบบ ที่ผลิตจากสารประกอบแก้วหลายชนิด

ในบางครั้งจะเรียกรวมทั้ง 2 ชนิดว่า glass - clad glass โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงแบบ glass multimode step index แสดงดังรูป



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างทั่วไปแบบ multimode step index

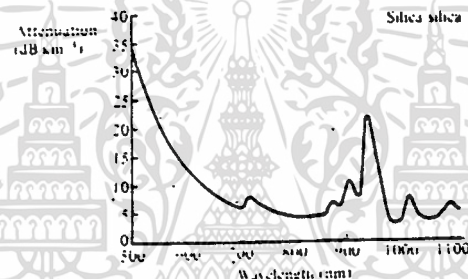
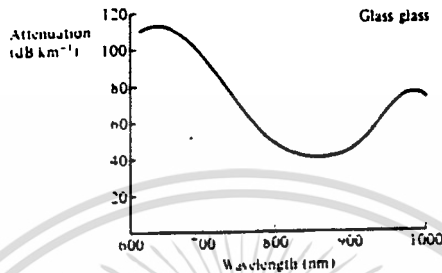
### โครงสร้าง

เส้นผ่าศูนย์กลางกลาง	core	50 - 400 $\mu\text{m}$
เส้นผ่าศูนย์กลางกลาง	cladding	125 - 500 $\mu\text{m}$
เส้นผ่าศูนย์กลางกลาง	buffer jacket	250 - 1000 $\mu\text{m}$
Numerical Aperture		0.16 - 0.5

### คุณลักษณะในทางปฏิบัติ

การลดทอน ( Attenuation ) 4-5 dB ต่อ km จำกัดโดยค่า absorbtion หรือ scattering การเปลี่ยนแปลงของการลดทอนนี้เกิดขึ้น เนื่องจากความแตกต่างอย่างมากทั้งภายใน และระหว่าง 2 วิธี ในการเตรียมการ ( จากการผลิตและการรวมตัว ) การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงถึงสเปกตรัมของการลดทอนของเส้นใยนำแสง

( a ) แบบ glass - clad glass

( b ) แบบ doped - silica

จะสังเกตว่า เส้นใยนำแสงแบบ multicomponent glass มีการลดทอนประมาณ 40 dB ต่อ km ที่ความยาวคลื่น 0.85  $\mu\text{m}$  ในขณะที่เส้นใยนำแสงแบบ doped - silica มีการลดทอนน้อยกว่า 5 dB ต่อ km เมื่อความยาวคลื่นเดียวกัน

ความกว้างของแถบความถี่ 6-25 Mhz / km

การใช้งาน เส้นใยนำแสงชนิดนี้เหมาะกับการใช้งานในระยะสั้นๆ เนื่องจากมีแบนด์วิธของแถบความถี่ที่จำกัดและมีราคาถูก

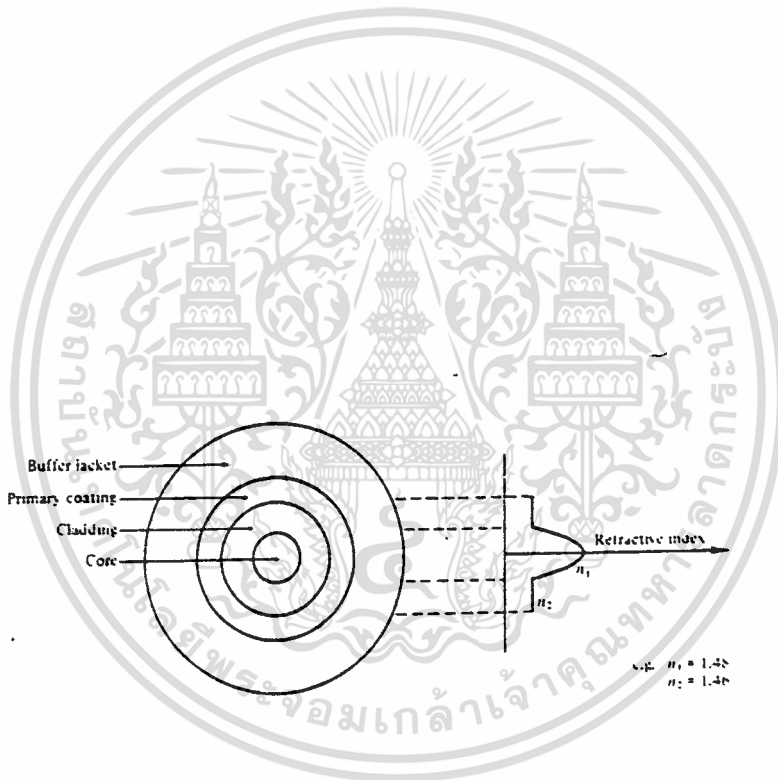
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. Multimode Graded Index Fiber

เส้นใยนำแสงชนิดนี้ผลิตจาก multicomponent glass หรือ doped - silica แต่จะใช้วัสดุที่มีความบริสุทธิ์กว่าแบบ multimode step index เนื่องจากสามารถลด loss ของเส้นใยนำแสงได้

คุณลักษณะทั่วไปในทางปฏิบัติ

โดยทั่วไปแล้วจะดีกว่าแบบ multimode step index เนื่องจาก graded index และมีค่าการลดทอนน้อยกว่ามาก เส้นใยนำแสงแบบนี้จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางของ core เล็กกว่าแบบ multimode step index ถึงแม้ว่าเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเมื่อรวม buffer jacket แล้วจะมีขนาดเท่ากันก็ตาม ซึ่งจะทำให้เส้นใยนำแสงนั้น มีความคงทนแข็งแรงแต่สามารถโค้งงอได้



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงแบบ glass multimode graded index

## โครงสร้างโดยทั่วไป

เส้นผ่าศูนย์กลางกลาง core	30 - 60 $\mu\text{m}$
( ถ้าใช้ในงานด้านโทรคมนาคม จะใช้ขนาดมาตรฐาน 50 $\mu\text{m}$ )	
เส้นผ่าศูนย์กลางกลาง cladding	100 - 150 $\mu\text{m}$
( ถ้าใช้ในงานด้านโทรคมนาคม จะใช้ขนาดมาตรฐาน 125 $\mu\text{m}$ )	
Buffer jacket	250 - 1000 $\mu\text{m}$
Numerical Aperture	0.2 - 0.3

## คุณลักษณะในทางปฏิบัติ

การลดทอน 2 - 10 dB ต่อ km

ความกว้างของแถบความถี่ 150 Mhz/km ถึง 2 Ghz/km

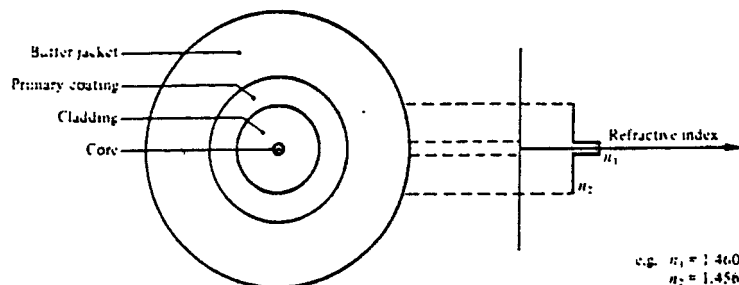
## การใช้งาน

เส้นใยนำแสงชนิดนี้เหมาะสำหรับ การใช้งานในระยะทางปานกลาง ที่มีความกว้างของแถบความถี่ปานกลางถึงสูง โดยใช้อุปกรณ์กำเนิดแสงแบบ incoherent และ coherent เช่นพวก LED หรือ injection laser

## 3. Single Mode Fiber

เส้นใยนำแสงแบบนี้ อาจมีรูปแบบได้ทั้งแบบ step index หรือ graded index แต่อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบัน ส่วนมากจะเป็นแบบ step index แบบ single mode นี้เหมาะในการส่งสัญญาณแบบแถบความถี่กว้าง ( wide band ) และระยะทางไกลๆ โดยทั่วไปแล้วผลิตจาก doped silica เพื่อที่จะลดการลดทอน

ถึงแม้ว่าเส้นใยนำแสงแบบ single mode นี้ จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ core เล็ก เพื่อให้สัญญาณมีการเดินทางแบบ single mode เส้นผ่าศูนย์กลางของ cladding จะต้องมีขนาดเป็น 10 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง core เป็นอย่างน้อย เพื่อหลีกเลี่ยงการ loss จากสนามการจางหาย ( evanescent field ) ดังนั้นจึงมีการเพิ่ม buffer jacket เพื่อการป้องกัน และความแข็งแรงของเส้นใยนำแสงแบบ single mode จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากับแบบ multimode โครงสร้างตัวอย่างของเส้นใยนำแสงแบบ single mode แบบ step index ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยนำแสงแบบ silica single mode step index

### โครงสร้าง

เส้นผ่าศูนย์กลาง core	3 - 10 $\mu\text{m}$
เส้นผ่าศูนย์กลาง cladding	50 - 125 $\mu\text{m}$
เส้นผ่าศูนย์กลาง buffer jacket	250 - 1000 $\mu\text{m}$
Numerical Aperture	0.08 - 0.15 โดยปกติประมาณ 0.10

### คุณลักษณะในทางปฏิบัติ

การลดทอน 2 - 5 dB ต่อ km และประมาณ 1 dB ต่อ km เมื่อรวมข้อ

จำกัดทาง scattering ที่ความยาวคลื่น 0.85  $\mu\text{m}$

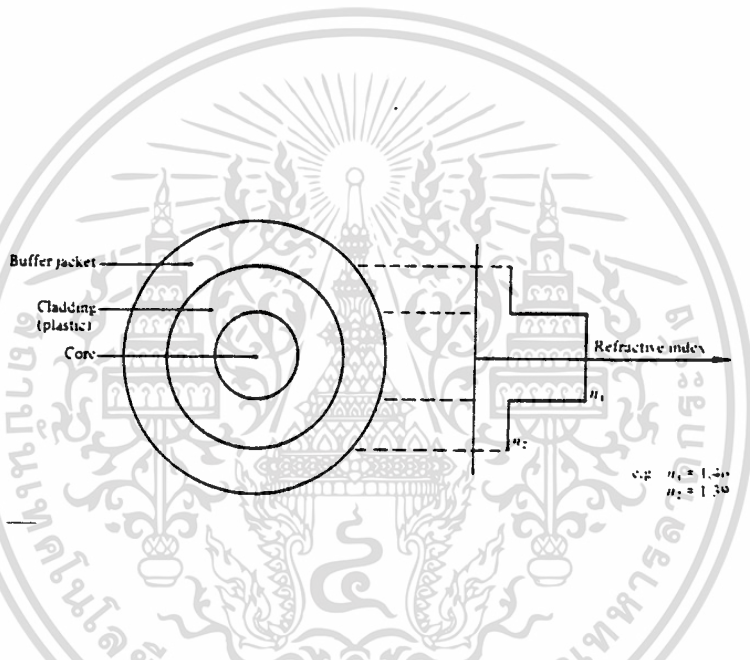
ความกว้างของแถบความถี่ มากกว่า 500 MHz/km

การใช้งาน

เส้นใยนำแสงชนิดนี้เหมาะสำหรับการใช้งานในระยะทางไกลมากๆ และความกว้างของแถบความถี่สูงๆ โดยอุปกรณ์ปล่อยแสงเป็นแบบ injection laser ที่ใช้กับ single mode

4. Plastic - Clad Fiber

เป็นเส้นใยนำแสงที่มี Clad ทำจาก พลาสติก จะเป็นแบบ multimode มีรูปแบบเป็นได้ทั้ง step index หรือ graded index ชนิดนี้ cladding จะทำด้วยพลาสติก (ยางซิลิโคน) และ core ทำจากแก้วซึ่งโดยปกติเป็น silica อาจเรียกว่า plastic clad silica หรือ PCS fiber จะเกิด loss ที่เกิดจาก การเหนี่ยวนำการแพร่กระจาย (radiation-induced losses) จะน้อยกว่า silica clad silica fiber ดังนั้น จึงทำให้มีประสิทธิภาพการทำงานดีขึ้น มีราคาถูกกว่าเพียงเล็กน้อยแต่มีคุณลักษณะในทางปฏิบัติมีข้อจำกัดมากกว่า



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างทั่วไปของเส้นใยนำแสงแบบ PCS fiber

โครงสร้าง

เส้นผ่าศูนย์กลาง Core	step index	100 - 500	$\mu\text{m}$
	graded index	50 - 100	$\mu\text{m}$
เส้นผ่าศูนย์กลาง cladding	step index	300 - 800	$\mu\text{m}$
	graded index	125 - 150	$\mu\text{m}$
เส้นผ่าศูนย์กลาง buffer jacket	step index	500 - 1000	$\mu\text{m}$
	graded index	250 - 1000	$\mu\text{m}$
Numerical apertuer	step index	0.2-0.5	
	graded index	0.2-0.3	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะในทางปฏิบัติ

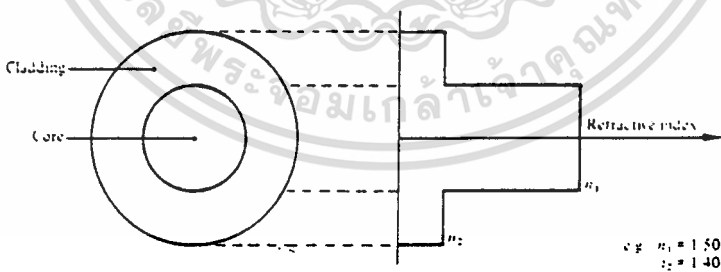
การลดทอน	step index	5-50 dB/km
	graded index	4-15 dB/km
ความกว้างของแถบความถี่	step index	5-25 MHz/km
	graded index	200-400 MHz/km

การใช้งาน

เส้นใยนำแสงชนิดนี้ใช้ในงานที่มีแถบความถี่ต่ำ ๆ ระยะทางสั้น ๆ มีข้อดีคือ สามารถต่อเข้ากับ glass-clad multimode fiber ได้

5. All - Plastic Fiber

ส่วนมากจะเป็นประเภท multimode step index ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง core และ cladding ขนาดใหญ่ จึงจำเป็นต้องลด buffer jacket ลง เส้นใยนำแสงชนิดนี้จะมีราคาถูกกว่าและเคลื่อนย้ายง่ายกว่าที่ทำจากแก้ว แต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติจะมีข้อจำกัดในการใช้งาน เส้นใยนำแสงที่ทำจากพลาสติกนั้นโดยทั่วไปจะมีค่า NA หรือ Numerical Aperture ที่กว้างขวาง ซึ่งง่ายต่อการเชื่อมต่อ (coupling) กับแหล่งกำเนิดแสงแบบมัลติโหมด



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างโดยทั่วไปของ All - plastic fiber

โครงสร้าง

เส้นผ่าศูนย์กลาง core	200 - 600 $\mu$ m
เส้นผ่าศูนย์กลาง cladding	450 - 1000 $\mu$ m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Numerical Aperture 0.5-0.6

คุณลักษณะในทางปฏิบัติ

การลดทอน

350-100 dB/km ที่ความยาวคลื่น 0.65  $\mu\text{m}$

ความกว้างของแถบความถี่

ปกติไม่ระบุแน่ชัด

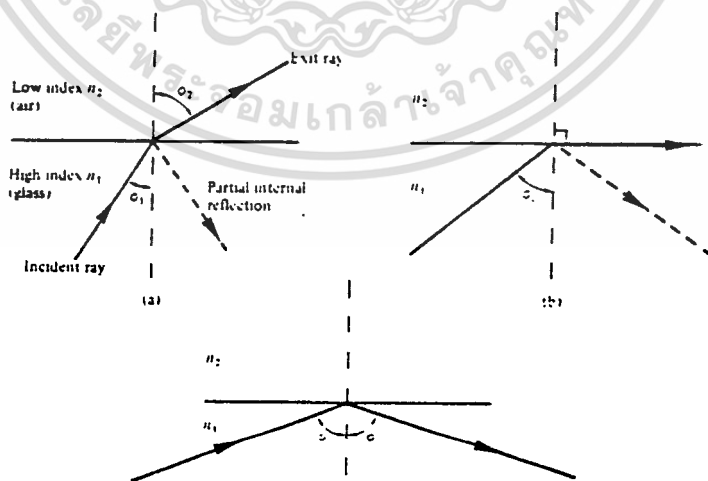
การใช้งาน

จะใช้งานในระยะใกล้ ๆ เช่น ในบ้าน และมีค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ถูก การเชื่อมต่อ (coupling) ง่ายมาก ไม่จำเป็นต้องใช้เทคนิคยุ่งยาก

2.7 คุณสมบัติสำคัญของเส้นใยนำแสง

2.7.1 การสะท้อนกลับหมดภายใน

ในการแพร่กระจายของแสงภายในเส้นใยนำแสงนั้น อาศัยแบบจำลองทฤษฎีแสง จึงจำเป็นต้องกล่าวถึง ค่าดัชนีการหักเหของตัวกลางไดอิเล็กตริก ซึ่งมีนิยามคือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วแสงในสุญญากาศกับความเร็วแสงในตัวกลาง ลำแสงจะเดินทางในตัวกลางที่บแสงช้ากว่าในตัวกลางที่มีความทึบแสงน้อยกว่าและค่าดัชนีการหักเหก็วัดจากสิ่งนี้ เมื่อลำแสงตกกระทบบนแนวเชื่อมต่อระหว่างไดอิเล็กตริกที่มีดัชนีการหักเหต่างกัน 2 ชนิด การหักเหจะเกิดดังแสดงในรูปต่อไปนี้



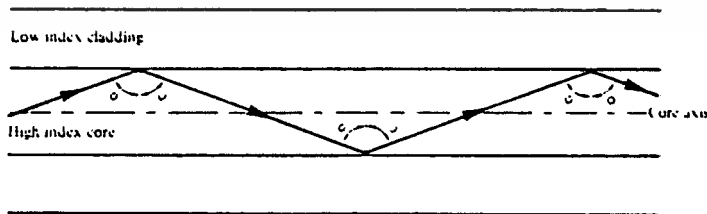
จะเห็นว่า ลำแสงเดินทางเข้าหาแนวเชื่อมต่อนั้น เดินทางในไดอิเล็กตริกที่มีค่าดัชนีการหักเหเป็น  $n_1$  และทำมุม  $\phi_1$  กับเส้นตั้งฉากของแนวเชื่อมต่อ ถ้าอีกด้านหนึ่งของแนวเชื่อมต่อนี้ เป็นไดอิเล็กตริกที่มีค่าดัชนีการหักเห  $n_2$  ซึ่งน้อยกว่า  $n_1$  การหักเหของแสงที่เดินทางผ่านตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหที่น้อยกว่านั้น จะทำมุม  $\phi_2$  กับเส้นตั้งฉาก เมื่อ  $\phi_2$  มีค่ามากกว่า  $\phi_1$  นั้น มุมตกกระทบ  $\phi_1$  และมุมหักเห  $\phi_2$  จะมีค่าสัมพันธ์กันและสัมพันธ์กับค่าดัชนีการหักเห จากกฎการหักเหของ Snell

$$n_1 \sin \phi_1 = n_2 \sin \phi_2$$

จะเห็นได้ว่า จากรูป 2.10 a) มีแสงที่สะท้อนกลับภายในตัวกลางไดอิเล็กตริกแรก ( การสะท้อนกลับบางส่วน ) เมื่อ  $n_1$  มากกว่า  $n_2$  มุมหักเหจะมากกว่ามุมตกกระทบ ดังนั้นเมื่อมุมลำแสงหักเหเป็น 90 องศา และลำแสงที่หักเหจะขนานกับแนวรอยต่อระหว่างไดอิเล็กตริก และมุมลำแสงตกกระทบจะน้อยกว่า 90 องศา ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการหักเห และมุมตกกระทบนี้จะเรียกว่า มุมวิกฤติ  $c$  ดังแสดงในรูป 2.10 b) ซึ่งหาได้จาก

$$\sin \phi_c = n_2 / n_1$$

เมื่อมุมของลำแสงตกกระทบมีค่ามากกว่ามุมวิกฤติ ลำแสงจะสะท้อนกลับภายในตัวกลางไดอิเล็กตริกแรก ( การสะท้อนกลับหมด ) และมีประสิทธิภาพดี ( ประมาณ 99.9 เปอร์เซ็นต์ ) โดยการสะท้อนกลับหมดนี้เกิดที่รอยต่อระหว่างไดอิเล็กตริก 2 ชนิดที่มีดัชนีการหักเหต่างกัน เมื่อแสงเดินทางจากไดอิเล็กตริกที่มีค่าดัชนีการหักเหสูงกว่าไปกระทบบนไดอิเล็กตริกที่มีค่าดัชนีการหักเหต่ำกว่าและมุมของแสงตกกระทบมีค่ามากกว่ามุมวิกฤติคือกลไก ซึ่ง แสงที่มีค่ามุมน้อยกว่า 90 องศา  $\phi_c$  จะแพร่กระจายในเส้นใยนำแสงที่มีค่า loss ต่ำ



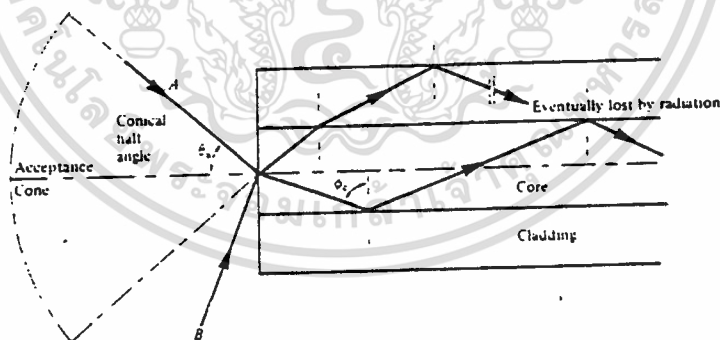
รูปที่ 2.11 แสดงการส่งผ่านของลำแสงในเส้นใยนำแสงแบบสมบูรณ

จากรูป แสดงการส่งลำแสงในเส้นใยนำแสงที่มีการสะท้อนกลับหมดภายในแนวรอยต่อของ silica core และ silica cladding ที่มีค่าดัชนีการหักเหต่ำกว่าเล็กน้อย ลำแสงจะมีมุมตกกระทบ  $\phi$  ที่แนวรอยต่อซึ่งมาจากมุมวิกฤตและสะท้อนด้วยมุมเดียวกันกับเส้นตั้งฉาก

ลำแสงในรูปเรียกว่า ลำแสง meridian เพราะว่ามันจะเดินทางผ่านแกนของ core การเดินทางของแสงนั้น สมมติว่า เป็นเส้นใยนำแสงที่สมบูรณ์ และจะมีความไม่ต่อเนื่องหรือความไม่สมบูรณ์ของแนวรอยต่อ core - cladding จะมีผลต่อการหักเหมากกว่าการสะท้อนกลับหมดภายใน กับ loss ของลำแสงภายใน cladding

### 2.7.2 มุมรับ ( Acceptance Angle )

ลำแสงที่เดินทางผ่านเส้นใยนำแสง จะต้องทำมุมค่าหนึ่งของแนวรอยต่อของ core - cladding ( โดยปกติจะทำมุมมากกว่า  $\phi_c$  เมื่อเทียบกับเส้นตั้งฉากของผิวรอยต่อ จึงจะสามารถส่งไปในสายด้วยการสะท้อนกลับหมดได้ จะเห็นว่าลำแสงที่ผ่านนั้น จะสามารถแพร่กระจายอย่างต่อเนื่องตลอดความยาวได้เพียงบางส่วน ไม่ใช่ทั้งหมด



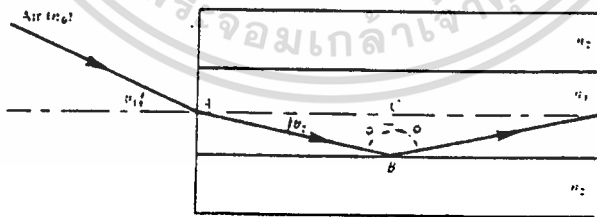
รูปที่ 2.12 แสดงมุมรับ  $\theta_a$  เมื่อปล่อยแสงเข้าเส้นใยนำแสง

รูปแสดงการปล่อยแสงเข้าสู่เส้นใยนำแสงนั้น แสดงลำแสง meridian A ที่มีมุมวิกฤต  $\phi_c$  ภายในเส้นใยนำแสงที่ผิวรอยต่อของ core - cladding จะเห็นได้ว่า ลำแสงที่เข้าสู่เส้นใยนำแสงที่มีมุม  $\theta_a$  ซึ่งทำมุมกับแกนของเส้นใยนำแสง และจะสะท้อนที่รอยต่อ ระหว่างอากาศกับ core ส่วนหนึ่ง ก่อนที่จะเข้าสู่แนวรอยต่อ core กับ

cladding ด้วยมุมวิกฤติ ดังนั้นลำแสงใดๆที่ตกกระทบเข้าไปใน core ด้วยมุมที่มากกว่า  $\theta_a$  จะถูกส่งผ่านเข้าแนวรอยต่อ core กับ cladding ด้วยมุมที่น้อยกว่า  $\phi_c$  ซึ่งจะไม่เกิดการสะท้อนกลับหมด ดังรูป เมื่อลำแสงตกกระทบ B ตกกระทบด้วยมุมที่มากกว่า  $\theta_a$  จะหักเหเข้าสู่ cladding และในที่สุดจะสูญหายไปด้วยการ radiation ดังนั้น สำหรับลำแสงที่ถูกส่งด้วยการสะท้อนกลับหมดภายใน core ของเส้นใยนำแสง นั้น จะต้องกระทบเข้า core ด้วยมุมกรวยการรับ ซึ่งกำหนดโดย ครึ่งมุมกรวย  $\theta_a$  ดังนั้น  $\theta_a$  จะเป็นมุมสูงสุดเมื่อทำมุมกับแกนกลาง ซึ่งลำแสงสามารถผ่านเข้าเส้นใยนำแสงและสามารถกระจายไปได้ เรียกว่า มุมการรับ ( Acceptance Angle ) ของเส้นใยนำแสง ถ้าเส้นใยนำแสงมีหน้าตัดสม่ำเสมอตลอดความยาว และลำแสง meridian ที่ตกกระทบแนวรอยต่อด้วยมุมที่มีค่ามากกว่ามุมวิกฤติ จะสามารถสะท้อนอย่างต่อเนื่องและจะถูกส่งผ่านเส้นใยนำแสงได้ เมื่อพิจารณา ความสมมาตร จะเห็นว่า มุมที่เอทัพท ทำกับแนวแกน จะเท่ากับมุมที่อินพุท โดยสมมติว่ามีลำแสงผ่านเข้าตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหเท่ากับที่อินพุท

### 2.7.3 Numerical Aperture

พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างมุมการรับและค่าดัชนีการหักเหของตัวกลางทั้ง 3 คือ core, cladding, และอากาศ ด้วยทฤษฎีแสงซึ่งนิยามด้วยคำว่า Numerical Aperture ( NA ) ของเส้นใยนำแสง



รูปที่ 2.13 แสดงการตกกระทบของลำแสงบนเส้นใยนำแสงด้วยมุม  $\theta_i$

จากรูป มุม  $\theta_1$  เป็นมุมที่ทำกับแนวแกนของเส้นใยนำแสง ซึ่งน้อยกว่ามุมการรับของเส้นใยนำแสง  $\theta_a$  ลำแสงจะเดินทางจากอากาศที่มีค่าดัชนีการหักเห  $n_0$  เข้าสู่ core ที่มีค่าดัชนีการหักเห  $n_1$  ซึ่งมีค่ามากกว่า ค่าดัชนีการหักเหของ cladding  $n_2$  เล็กน้อย สมมติว่า หน้าตัดของเส้นใยนำแสงตรงทางเข้านั้น ตั้งฉากกับแนวแกนของเส้นใยนำแสง พิจารณาการหักเหที่แนวรอยต่อระหว่างอากาศกับ core โดยใช้กฎของ Snell

$$n_0 \sin \theta_1 = n_1 \sin \theta_2$$

พิจารณา มุมสามเหลี่ยม ABC ที่แสดงในรูปที่ 2.13 ดังนี้

$$\phi = \pi/2 - \theta_2$$

เมื่อ  $\theta_1$  มากกว่ามุมวิกฤติ ที่แนวรอยต่อของ core - cladding ดังนั้นจากกฎของ Snell จะกลายเป็น

$$n_0 \sin \theta_1 = n_1 \cos \phi$$

โดยใช้ความสัมพันธ์ ทางตรีโกณมิติ  $\sin^2 \phi + \cos^2 \phi = 1$  ได้

$$n_0 \sin \theta_1 = n_1 (1 - \sin^2 \phi)^{1/2}$$

กรณีสะท้อนกลับหมดภายใน พิจารณาให้  $\phi_c$  เท่ากับมุมวิกฤติ  $\phi_c$  สำหรับแนวรอยต่อ core และ cladding และ  $\theta_1$  จะเป็นมุมการรับ ของเส้นใยนำแสง แทนค่า  $\theta_a$  ลงในสมการข้างต้นได้

$$n_0 \sin \theta_a = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

จากสมการดังกล่าว เป็นนิยามของค่า Numerical Aperture ( NA ) ดังนั้น NA จะนิยามเป็น

$$NA = n_0 \sin \theta_a = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

เพราะว่าค่า NA มักจะใช้กับเส้นใยนำแสงกับอากาศ ดังนั้น  $n_0$  มีค่าเท่ากับ 1 จะได้ค่า  $NA = \sin \theta_a$  สังเกตได้ว่า ลำแสงmeridion ที่ตกกระทบมีมุมอยู่ในช่วง  $0 < \theta_1 < \theta_a$  แพร่กระจายภายในเส้นใยนำแสง

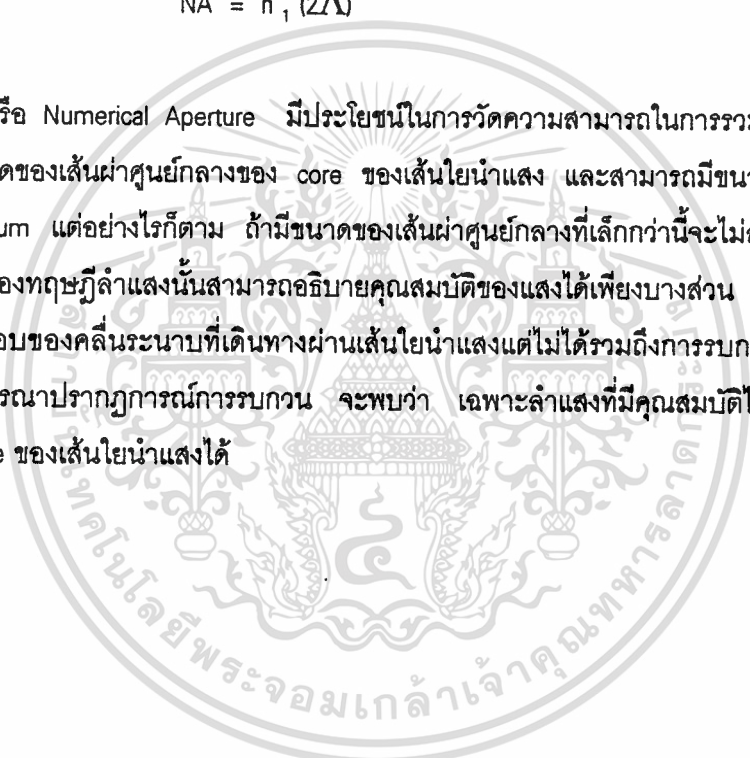
ค่า Numerical Aperture สามารถแสดงได้ด้วยเทอมของความสัมพันธ์ของความแตกต่างของค่าดัชนีการหักเห  $\Lambda$  ระหว่าง core กับ cladding มีนิยามคือ

$$\Lambda = (n_1^2 - n_2^2) / 2n_1^2 = (n_1 - n_2) / n_1 \quad \text{สำหรับ } \Lambda \ll 1$$

ดังนั้นสามารถรวมสมการได้

$$NA = n_1 (2\Lambda)^{1/2}$$

ค่า NA หรือ Numerical Aperture มีประโยชน์ในการวัดความสามารถในการรวมแสงของเส้นใยนำแสงซึ่งไม่ขึ้นกับขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของ core ของเส้นใยนำแสง และสามารถมีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางได้เล็กถึง 8 um แต่อย่างไรก็ตาม ถ้ามีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กกว่านี้จะไม่สามารถคำนวณได้ เพราะแบบจำลองทฤษฎีลำแสงนั้นสามารถอธิบายคุณสมบัติของแสงได้เพียงบางส่วน ซึ่งจะอธิบายถึงทิศทางของส่วนประกอบของคลื่นระนาบที่เดินทางผ่านเส้นใยนำแสงแต่ไม่ได้รวมถึงการรบกวนกันระหว่างองค์ประกอบ เมื่อพิจารณาปรากฏการณ์การรบกวน จะพบว่า เฉพาะลำแสงที่มีคุณสมบัติไม่ต่อเนื่องเท่านั้นที่สามารถแพร่ใน core ของเส้นใยนำแสงได้

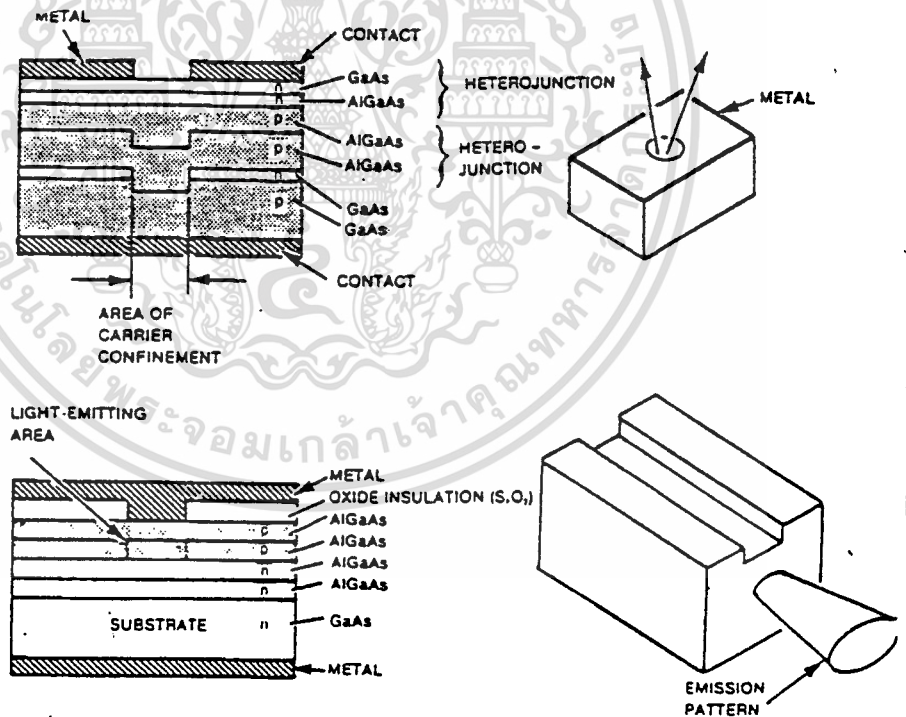




### 2.8 อุปกรณ์เปล่งแสง LED (Light Emitting diode)

LED เป็นอุปกรณ์ PN เซมิคอนดักเตอร์ ที่จะเปล่งแสงเมื่อได้รับแรงดันฟอร์เวิร์ดไบอัส โดยอิเล็กตรอน จะถูกฉีดจาก p type ไป n type แรงดันฟอร์เวิร์ดไบอัส ทำให้อิเล็กตรอนและโฮลเคลื่อนที่ไปด้านตรงข้าม โดยข้ามชว่ Depletion Layer อิเล็กตรอนและโฮลจะรวมตัวกัน กำเนิดแสงขึ้นมา ในการที่จะรักษาการรวมตัวกันของพาหะส่วนเกินจะต้องจ่ายกระแสอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เมื่อใดที่ไม่มีกระแสไหล การรวมตัวกันของพาหะรอบ ๆ รอยต่อ จะสร้าง Depletion layer ขึ้นมาใหม่ LED ก็จะหยุดการเปล่งแสง

LED ที่ใช้ในการสื่อสารเส้นใยแสง จะใช้โครงสร้างแบบ Heterojunction ซึ่งเป็น PN Junction ที่ทำจากอุปกรณ์ที่มีโครงสร้างเหมือนกัน แต่มีระดับพลังงานและดัชนีการหักเหที่แตกต่างกัน ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดพาหะ และเอ๊าท์พุทแสง ความแตกต่างของดัชนีการหักเห จะเป็นตัวจำกัดและกำหนดทิศทางของแสง เป็นผลให้มีการแพร่กระจายของเอ๊าท์พุทที่สูง



รูปที่ 2.14 แสดง LED ที่เปล่งแสงจากด้านหน้าและด้านหลัง

LED ที่ใช้ในการสื่อสารเส้นใยนำแสง มีการเปล่งแสง 2 แบบ คือ LED ที่เปล่งแสงที่พื้นผิวด้านหน้า (Surface-emitting diode) และ LED ที่เปล่งแสงออกทางด้านข้าง (Edge-Emitting Diode) แสดงดังรูปที่ 2.14

วัสดุที่ใช้ผลิต LED จะเป็นตัวกำหนดความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมา LED ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 820 ถึง 850 nm ปกติจะผลิตด้วยแกเลียม อลูมิเนียม อาร์เซไนด์ (GaAlAs) ส่วนอุปกรณ์เปล่งแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 1300 nm ทำมาจากแกเลียม อินเดียม อาร์เซไนด์ ฟอสเฟส (GaInAsP) การนำไปใช้

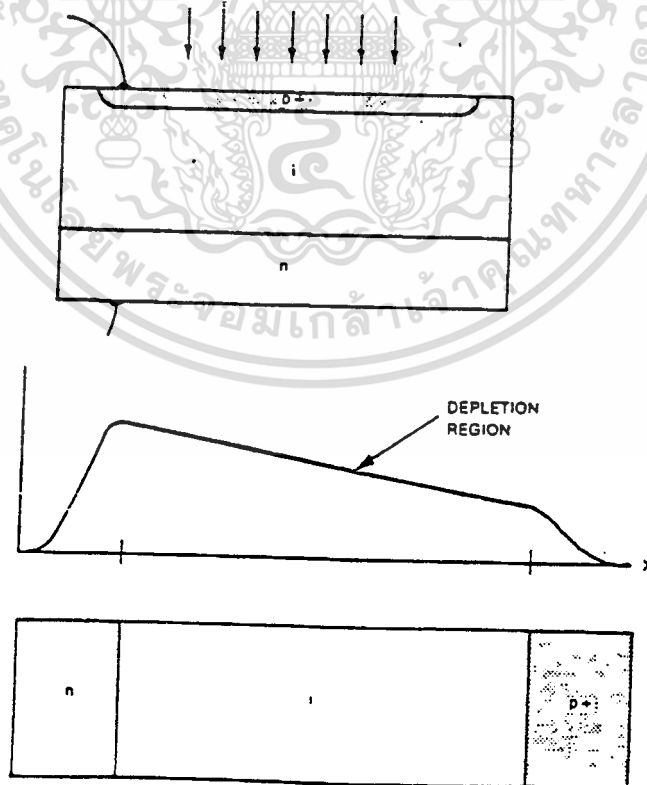
## 2.9 อุปกรณ์รับแสง Photodiode

แสงที่ตกกระทบไดโอดจะถูกเปลี่ยนเป็นกระแสโดยการที่ โฟตอนที่ได้รับมานั้นจะไปกระตุ้นอิเล็กตรอนจาก วาเลนซ์แบนด์ ไปยัง คอนดักชันแบนด์ ทำให้เกิดการสร้างคู่อิเล็กตรอน โฮลขึ้น พาหะเหล่านี้จะเคลื่อนตัวผ่านไปและเหนี่ยวนำทำให้เกิดกระแสขึ้น

เมื่อ PN โฟโต้ไดโอด ได้รับริเวิร์สไบอัส จะมีกระแสไหลน้อยมาก สนามไฟฟ้าจะสร้าง Depletion Region ในด้านใดด้านหนึ่งของรอยต่อ PN พาหะจะเดินทางออกจากพื้นที่รอยต่อกล่าวคือ อิเล็กตรอนจะเดินทางผ่านไปยังขั้วลบและโฮลเดินทางไปยังขั้วบวก เนื่องจาก Depletion Region ไม่มีพาหะ จึงมีความต้านทานสูงมาก และแรงดันทั้งหมดจะตกคร่อมที่รอยต่อ

โฟตอนที่ตกกระทบที่ไดโอดทำให้เกิด พันธะอิเล็กตรอนที่มีพลังงานมากพอที่จะเคลื่อนที่จาก วาเลนซ์แบนด์ไปยังคอนดักชันแบนด์ทำให้เกิดอิเล็กตรอนและโฮลอิสระขึ้น ถ้ามีการสร้างพาหะเกิดขึ้นใน Depletion Region พาหะจะแยกตัวออกจากกัน และเคลื่อนตัวออกไปในทันที ไปยังขั้วขั้วติดไป อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นนี้ ทำให้เกิดกระแสไหลในวงจรได้ เมื่อพาหะเคลื่อนที่ไปถึงขอบของ Depletion Region แรงทางไฟฟ้าจะมีค่าน้อยมาก กระแสจึงหยุดไหล

PIN โฟโต้ไดโอด มีโครงสร้างตามรูป 2.15 PIN โฟโต้ไดโอด จะแตกต่างจาก PN โฟโต้ไดโอดตรงที่มี Depletion Region ที่กว้างมากกว่าทำให้ Intrinsic Layer ไม่มีพาหะอิสระ ความต้านทานจึงมีค่าสูงมาก โฟตอนที่ถูกดูดกลืนภายใน Depletion Region นี้ จะทำให้เกิดกระแสภายนอกที่มีความเร็วมาก



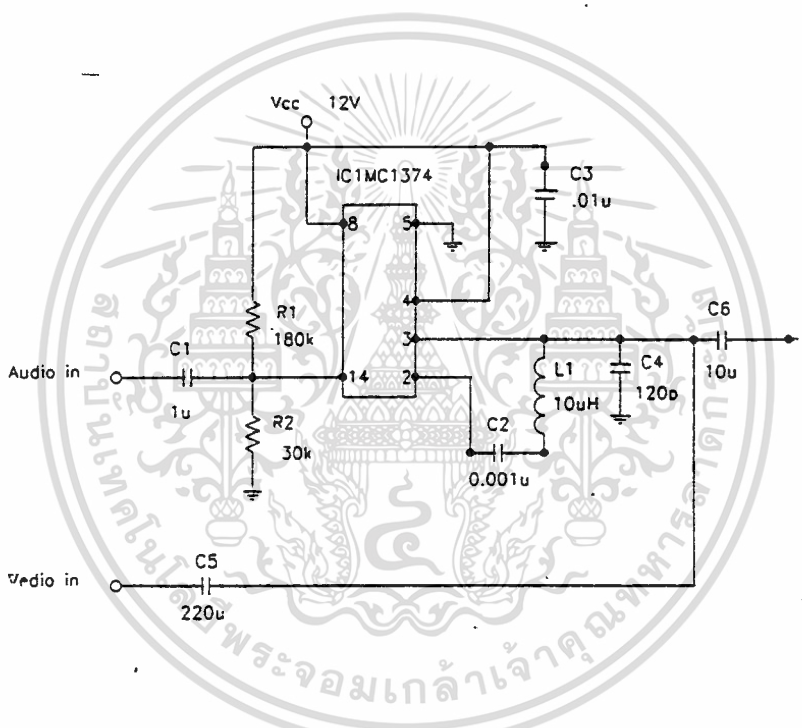
รูปที่ 2.15 แสดง PIN โฟโต้ไดโอด

## บทที่ 3

## การคำนวณและการสร้าง

## 3.1 วงจรภาคส่ง

## 3.1.1 วงจรรวมสัญญาณภาพและเสียง



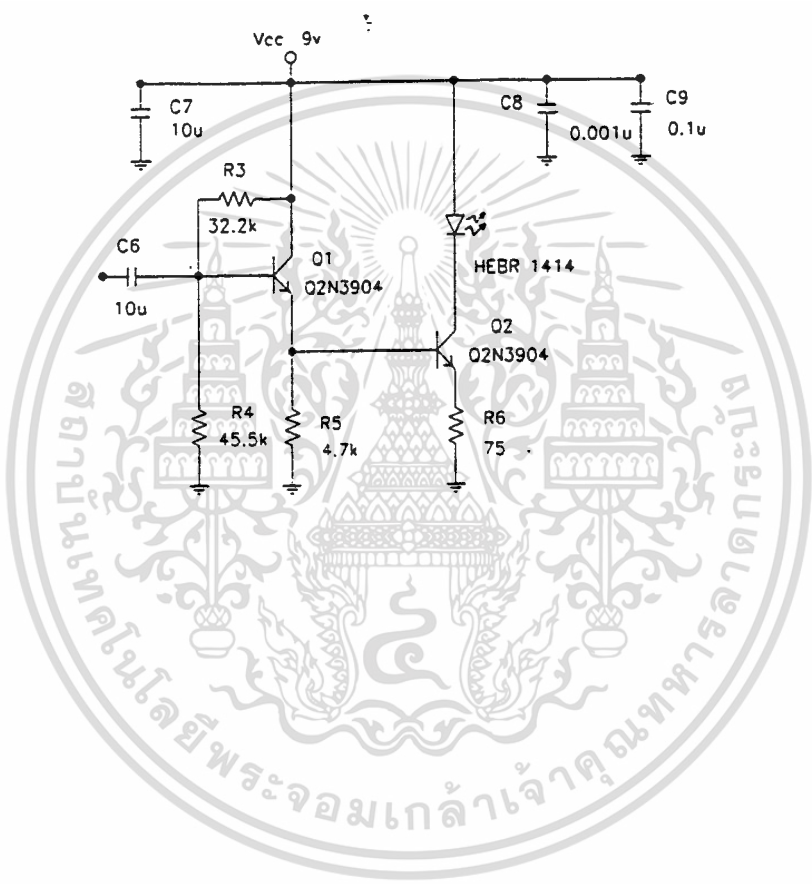
รูปที่ 3.1 แสดงวงจรรวมสัญญาณ Audio และ Video

ในการส่งสัญญาณเสียงรวมไปกับสัญญาณภาพนั้น จำเป็นต้องเลื่อนความถี่เสียงให้อยู่ในช่วงความถี่คลื่นพาห์ของเสียง 5.5 MHz ตามระบบ CCIR ซึ่งจะใช้ ไอซี MC 1374 ที่วี มอดูเลเตอร์ แต่จะใช้เฉพาะส่วนของ FM มอดูเลเตอร์เท่านั้น โดยค่า ความถี่ออสซิลเลเตอร์ (oscillating frequency) ประมาณได้จากค่าความถี่เรโซแนนซ์ ระหว่างตัวเหนี่ยวนำ L2 ที่คร่อมขา 2 และขา 3 และตัวเก็บประจุ C3 ที่คร่อมขา 3 กับกราวด์

สัญญาณเบสแบนด์เสียงจะป้อนเข้าสู่ส่วนมอดูเลเตอร์เสียง (Audio Modulator) ที่ขา 14 โดยสัญญาณเสียงจะถูกมอดูเลเตอร์โดยตรงเข้ากับความถี่ออสซิลเลเตอร์ของคลื่นพาห์ สัญญาณเอชทีพูทที่ขา 3 จะนำไปรวมกับสัญญาณภาพซึ่งสัญญาณที่ได้จะประกอบด้วยสัญญาณภาพและเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

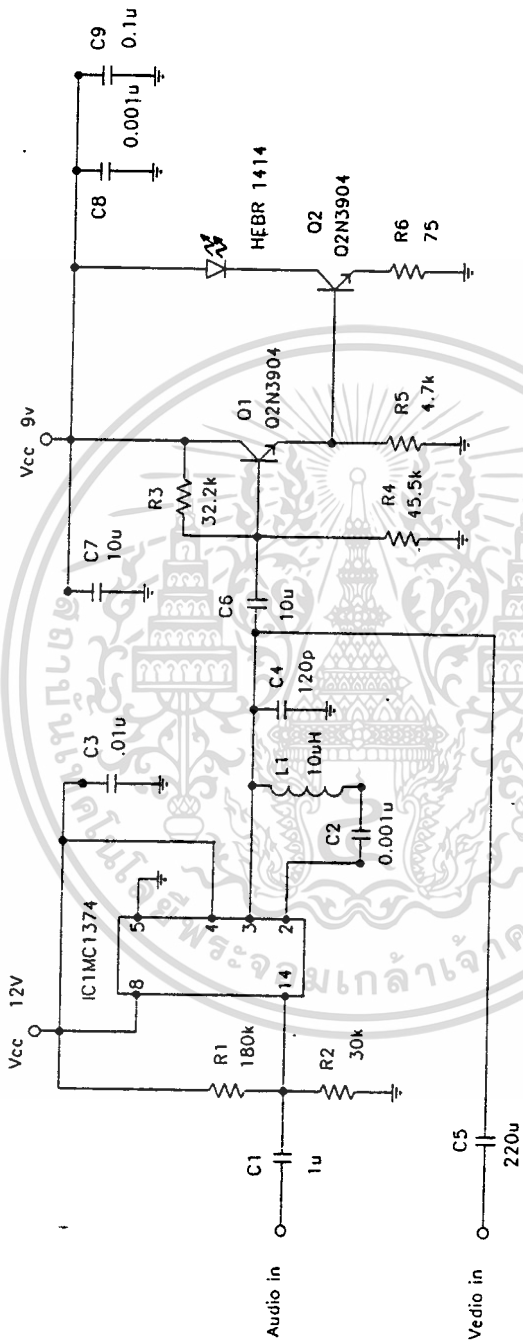
### 3.1.2 วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสง



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสง

เมื่อมีสัญญาณมาไบอัสทรานซิสเตอร์ตัวแรกที่ขาเบส ทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแส ก็จะเกิดกระแส Ib ที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ตัวที่ 2 เมื่อมีค่าสูงพอ ก็จะทำให้ทรานซิสเตอร์ตัวที่ 2 นำกระแส ก็จะมีกระแส คอลเลคเตอร์ไหลผ่านไปยังขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ตัวที่ 2 ซึ่งที่ขาคอลเลคเตอร์จะมี LED ต่ออยู่ใน ลักษณะฟอร์เวิร์ดไบอัส (Forward Bias) ดังนั้นเมื่อทรานซิสเตอร์ตัวที่ 2 นำกระแส จะมีกระแสคอลเลคเตอร์ไหล ผ่าน LED ทำให้มีแสงเปล่งไปยังเส้นใยแสง ส่วนกระแสคอลเลคเตอร์จะสามารถกำหนดโดยค่าความต้านทานที่ต่อกับขาอิมิตเตอร์ที่ต่อลงกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

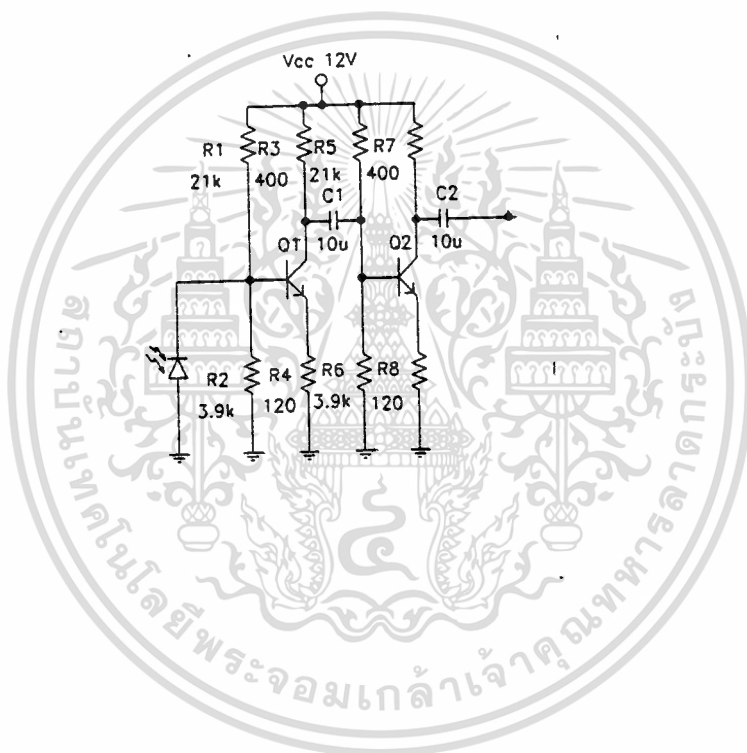


รูปที่ 3.3 แสดงวงจรรวมทางด้านเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 วงจรภาครับ

### 3.2.1 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นไฟฟ้า



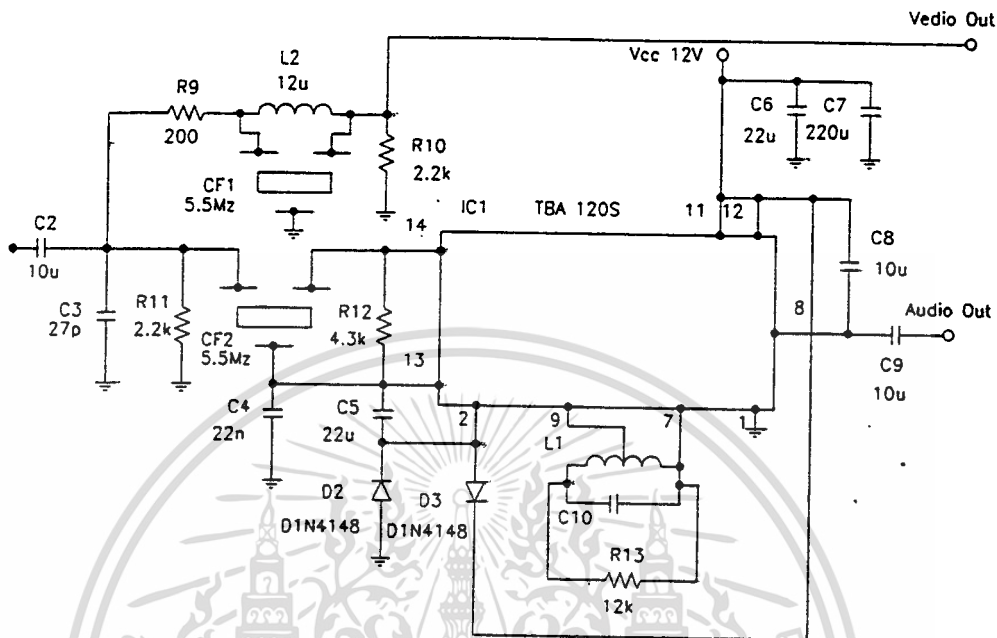
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นไฟฟ้า

#### การทำงานของวงจร

เมื่อด้านส่ง ส่งสัญญาณแสงเข้ามาในเส้นใยนำแสง โดย LED ทางด้านรับก็จะรับสัญญาณแสงที่ส่งเข้ามาโดยใช้ โฟโตไดโอด ( Photo Diode ) คือ เมื่อมีแสงมายังโฟโตไดโอดก็จะทำให้ค่าความต้านทานภายในของโฟโตไดโอดลดลงซึ่งทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวมันได้ ดังนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลมา

ไบอัสแก่ทรานซิสเตอร์ตามสภาวะของแสงที่เข้ามา เมื่อมีกระแสมาไบอัสแก่ทรานซิสเตอร์ตามความถี่ของแสงที่ส่งมานั้น จะทำให้สัญญาณขาออกที่ขาคอลเลคเตอร์นั้น มีคุณสมบัติเหมือนกับด้านส่งทุกประการ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียง

### 3.2.2 ภาคแยกสัญญาณเสียง

สัญญาณไอเอฟเสียงที่ได้ จะปรากฏที่ขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์แล้วผ่านคาปาซิเตอร์,  $10\ \mu\text{F}$  มาผ่านยังเซรามิคฟิลเตอร์ CF2 มายังขา 14 ของไอซี TBA 120S ตัวเซรามิคฟิลเตอร์ซึ่งได้จูนไว้ที่ความถี่ปานกลางของเสียง ( Sound Intermediate Frequency ) คือ 5.5 MHz เท่านั้นผ่านไปได้ สัญญาณจะป้อนเข้าขา 14 มายังภาคขยายภายใน เมื่อสัญญาณได้ถูกขยายแล้วจะป้อนไปยังหน่วยบาลานซ์มอดูเลเตอร์ โดยสัญญาณอ้างอิงจะได้จาก คอยล์ L เข้ามายังขา 7 และขา 9 ของ ไอซี TBA 120S นี้ โดยค่า L จะจูนให้ตรงกับ ความถี่ปานกลางของเสียง ( IF Sound ) หลังจากหน่วยติมอดูเลเตอร์ หรือการดีเทคสัญญาณไอเอฟเสียงแล้ว จะได้สัญญาณเสียงออกมา

### 3.2.3 ภาคแยกสัญญาณภาพ

ทางด้านรับ จะทำการรับสัญญาณที่จะมาปรากฏที่ขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ และผ่านค่าคาปาซิเตอร์  $10 \mu\text{F}$  จะประกอบด้วยสัญญาณภาพ, สัญญาณเสียง, และซิงค์ผ่านความต้านทาน R และ L และผ่านเซรามิฟิลเตอร์ CF, จะทำหน้าที่กำจัดสัญญาณไอเอฟเสียงออกไป หลังจากนั้น จะเหลือเพียงสัญญาณและซิงค์เท่านั้น ที่จะส่งออกไป





## บทที่ 4

## การทดลองและผลการทดลอง

## การทดลองที่ 1 วงจรทางด้านภาคส่ง

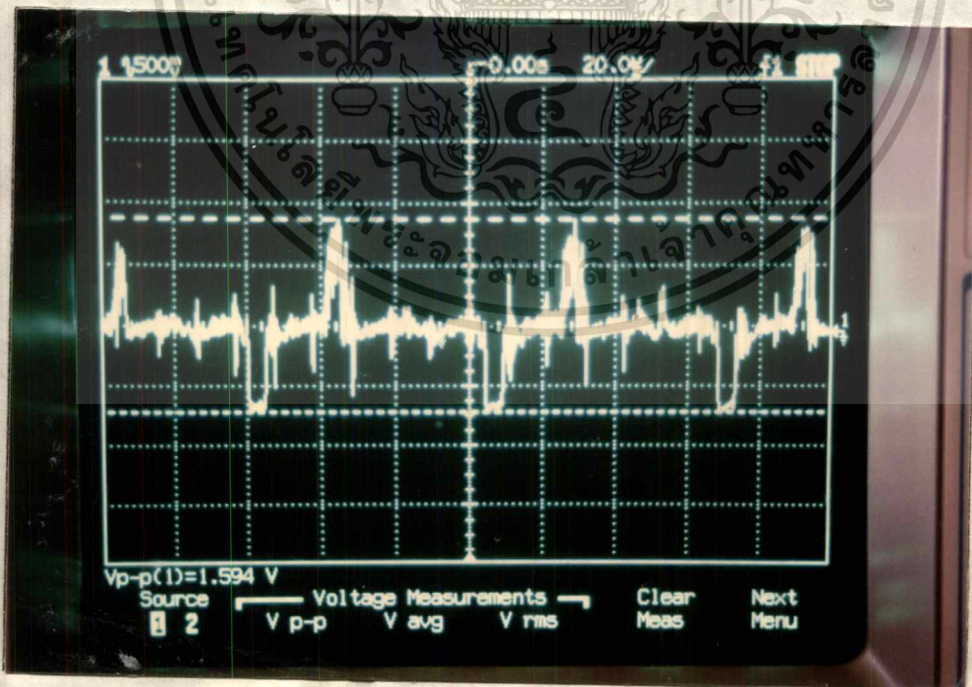
## ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อยังจรภาคส่งตามรูปวงจรรวมของภาคส่ง
2. นำสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงจากโทรทัศน์หรือเครื่องเล่นวีดีโอเทป ป้อนที่จุดป้อนสัญญาณ

## อินพุท

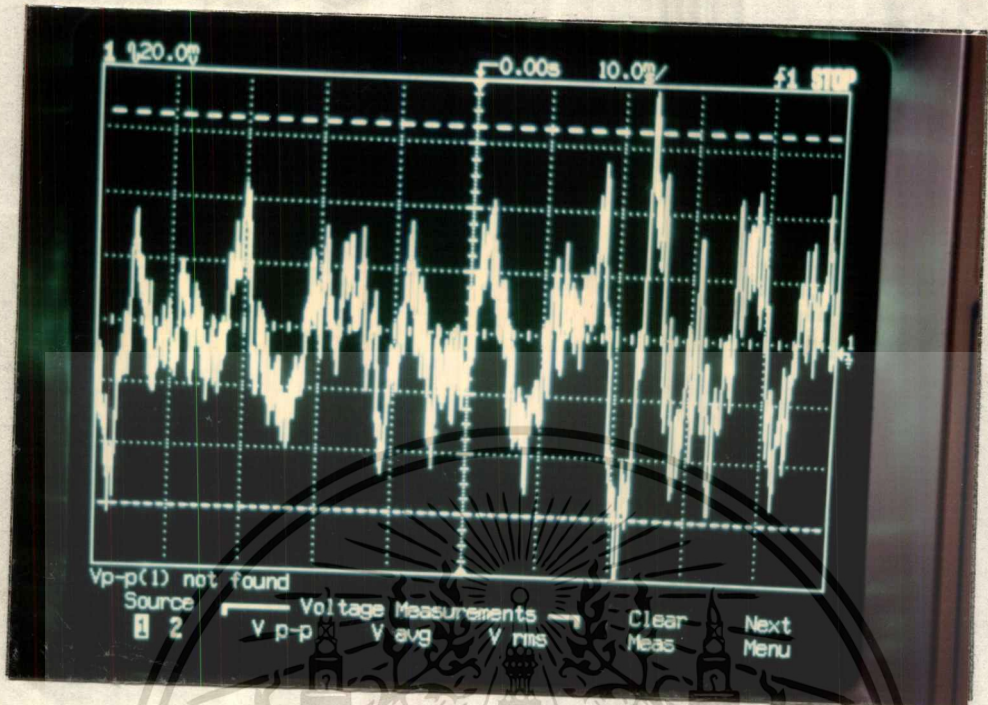
3. วัดสัญญาณเอาต์พุทที่ขา 3 ของ ไอซี MC1374
4. วัดสัญญาณเอาต์พุทที่ขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q2

## ผลการทดลอง

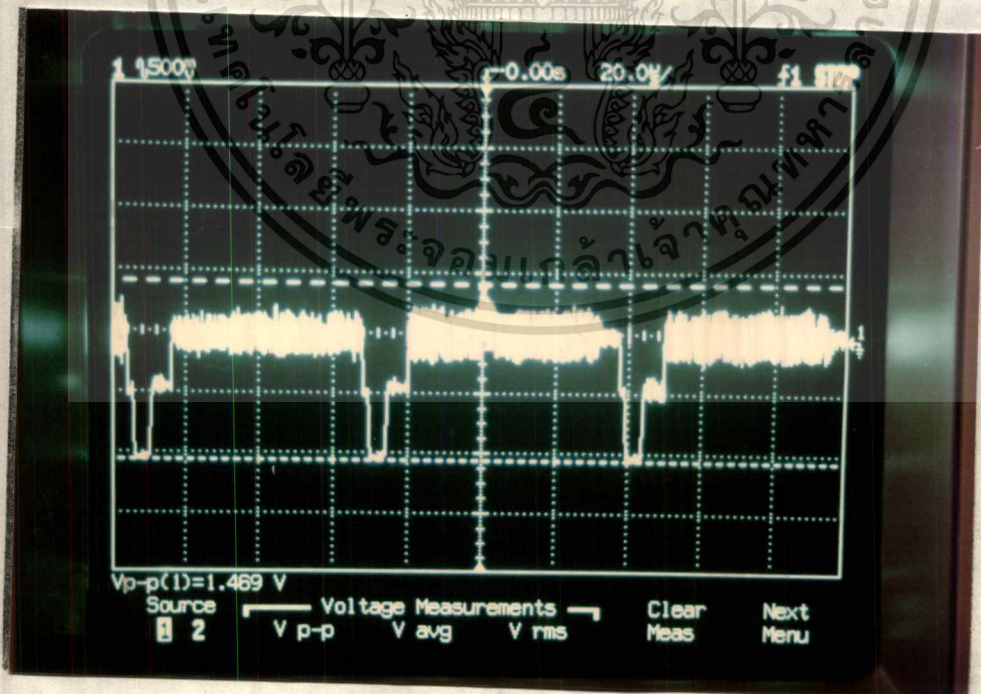


รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณภาพจากช่อง Video out

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

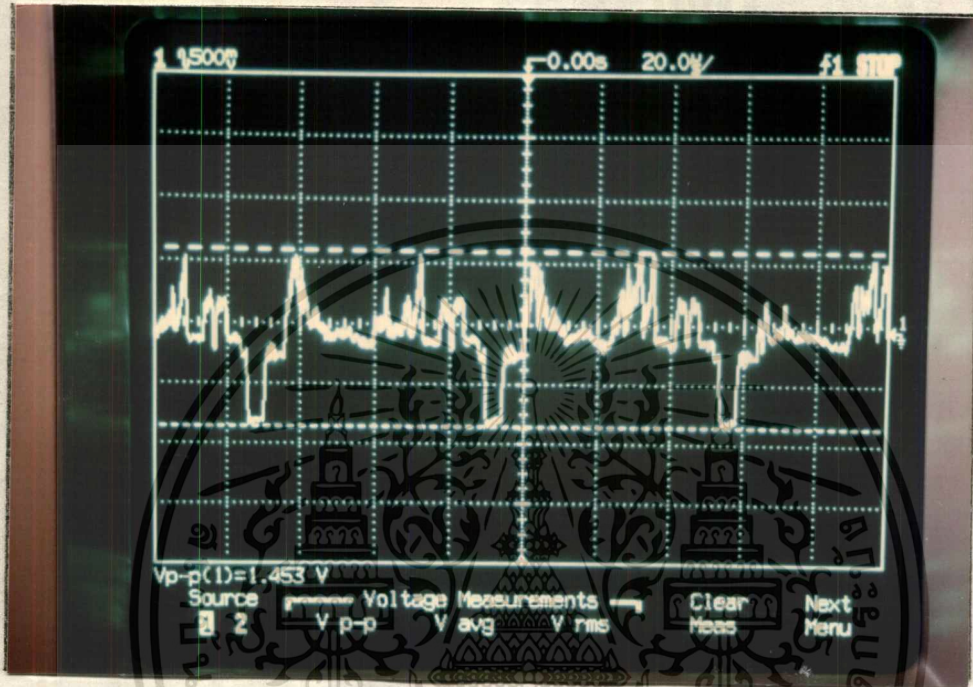


รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณเสียงที่ได้จากช่อง Audio out



รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณรวมภาพและเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



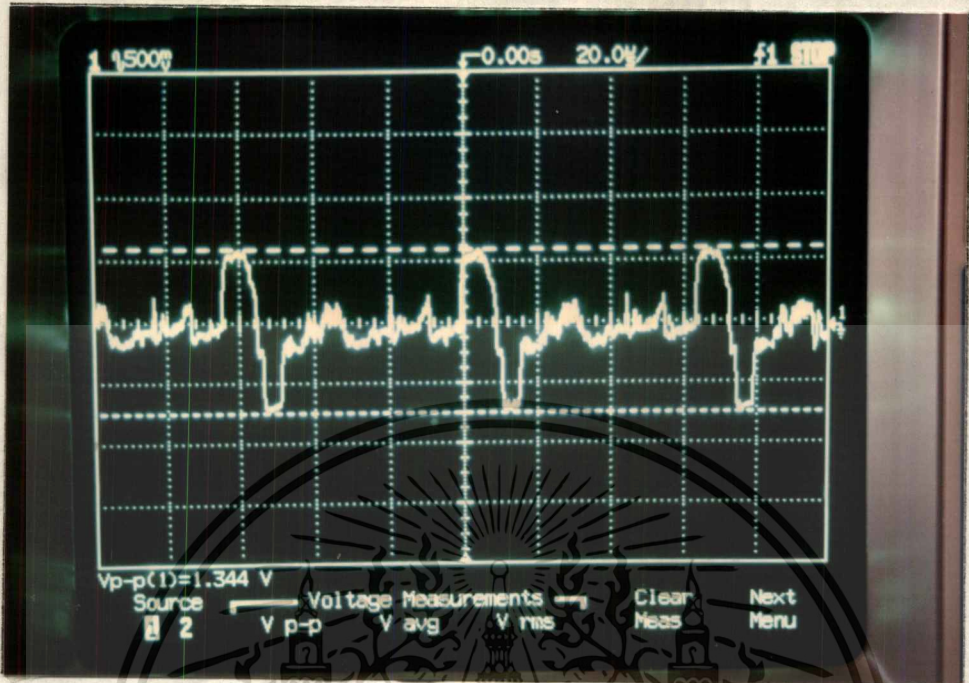
รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณรวมภาพและเสียงก่อนส่งออก LED

การทดลองที่ 2 วงจรทางด้านภาครับ

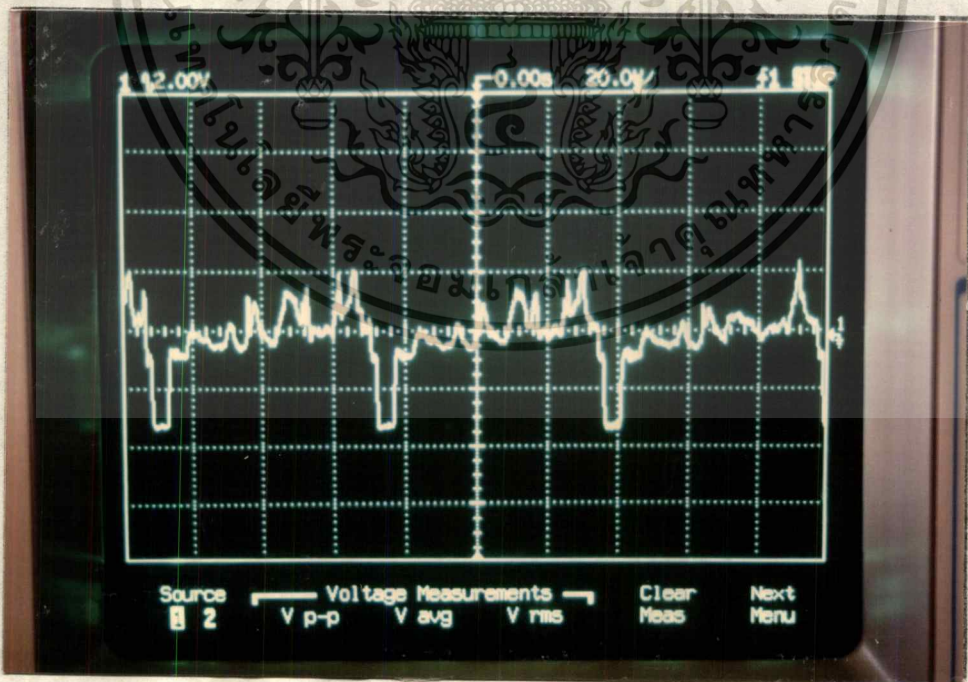
ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อยังวงจรทางด้านภาครับตามรูปวงจรรวมภาครับ
2. ป้อนสัญญาณรวมภาพและเสียงที่ภาคส่ง
3. วัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 2 ของอุปกรณ์รับแสง บันทึกผล
4. วัดสัญญาณเอาต์พุตที่จุด เอาต์พุตของสัญญาณภาพ บันทึก ผล
5. วัดสัญญาณเอาต์พุตที่จุด เอาต์พุตของสัญญาณเสียง บันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

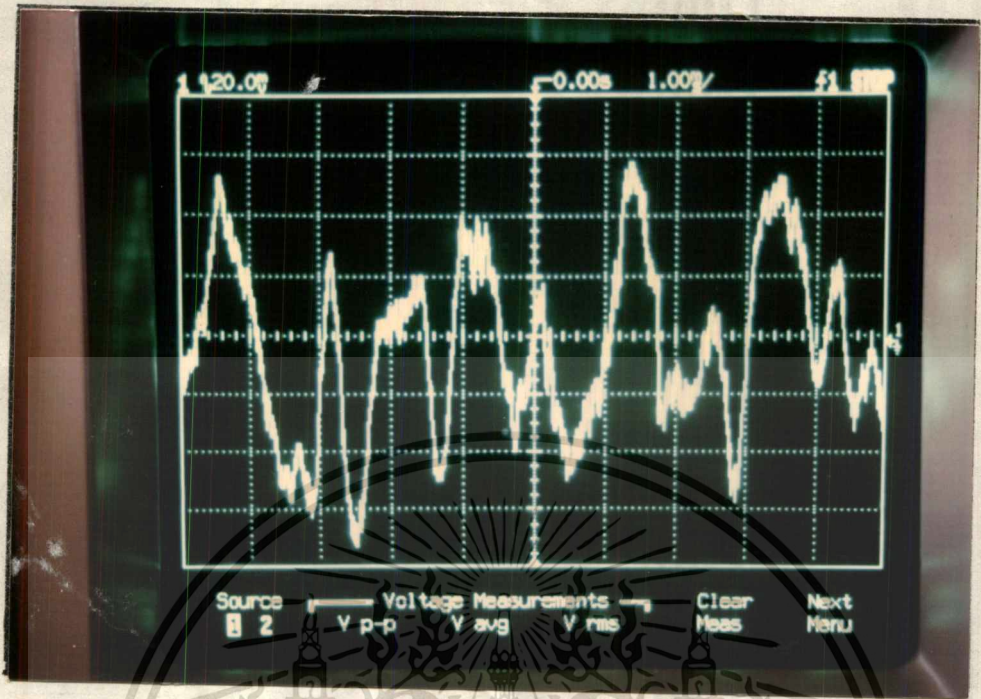


รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณที่ขา 2 ของอุปกรณ์

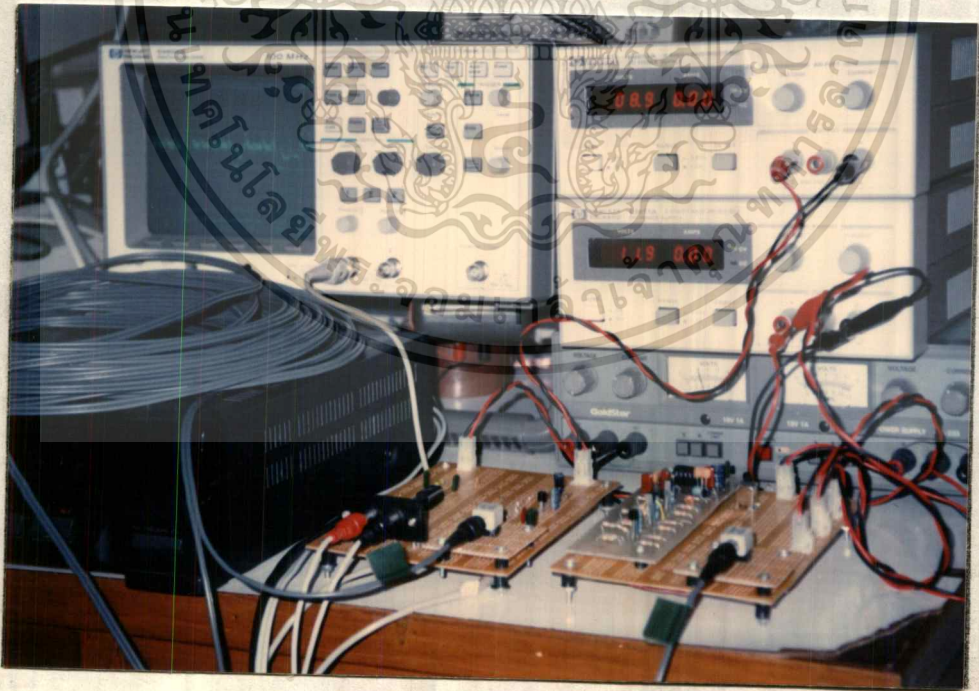


รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณภาพที่รับได้ที่จุดเอาต์พุตสัญญาณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณเสียงที่รับได้ที่จุดเอาต์พุตสัญญาณเสียง



รูปที่ 4.8 แสดงอุปกรณ์รวมทั้งภาคส่งและภาครับ

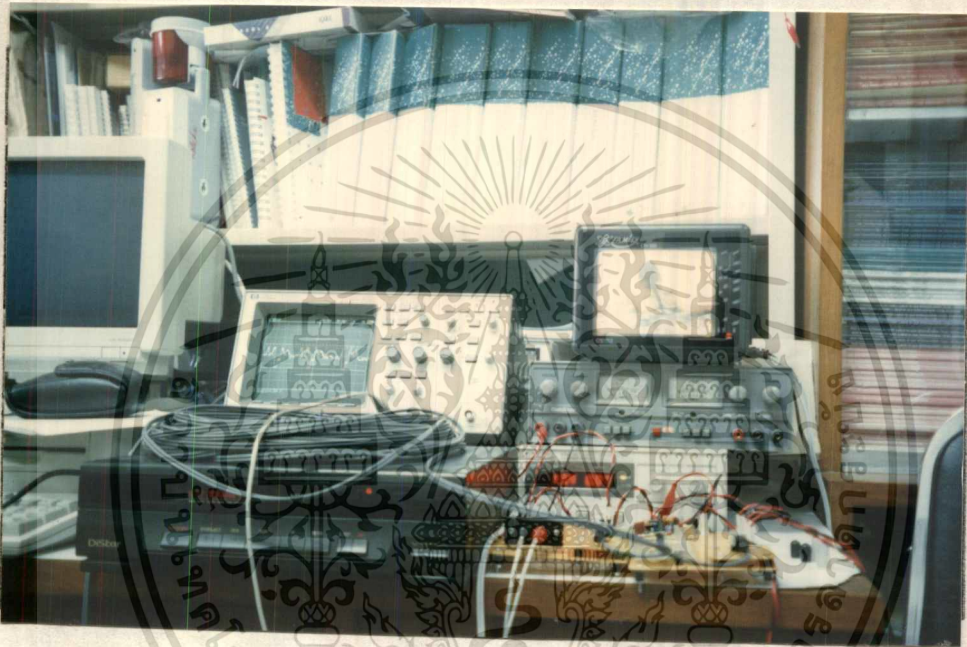
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การทดลองที่ 3 การทดลองส่ง-รับสัญญาณ

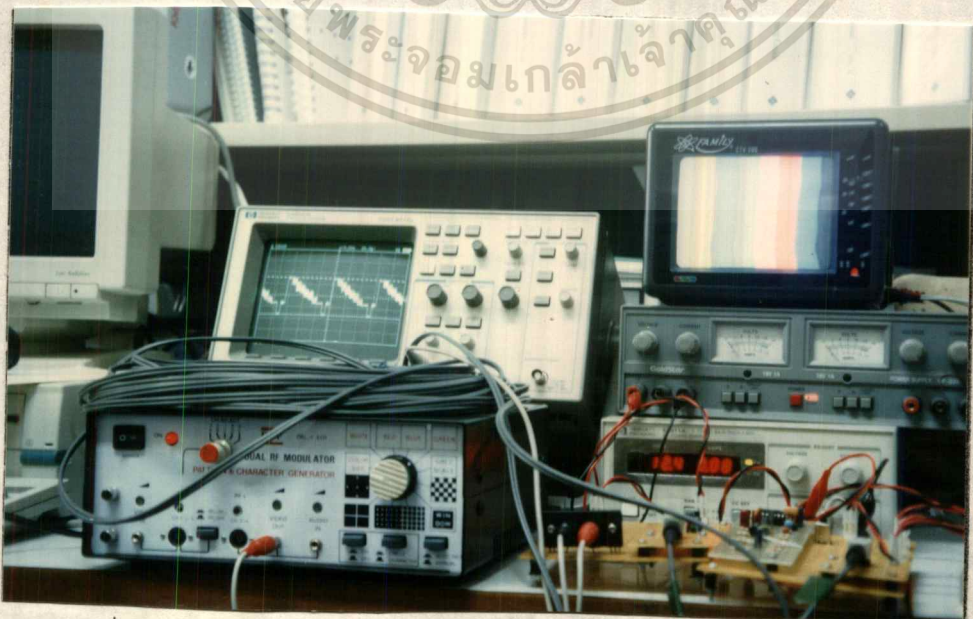
#### ขั้นตอนการทดลอง

1. ป้อนสัญญาณจากเครื่องเล่นวีดีโอเทปเข้าที่เครื่องส่ง
2. วัดสัญญาณเอาท์พุท และป้อนสัญญาณเอาท์พุทเข้าเครื่องรับโทรทัศน์
3. ป้อนสัญญาณจากเครื่อง colour pattern generator เข้าที่เครื่องส่ง
4. วัดสัญญาณเอาท์พุทและป้อนสัญญาณเอาท์พุทเข้าเครื่องรับโทรทัศน์

#### ผลการทดลอง

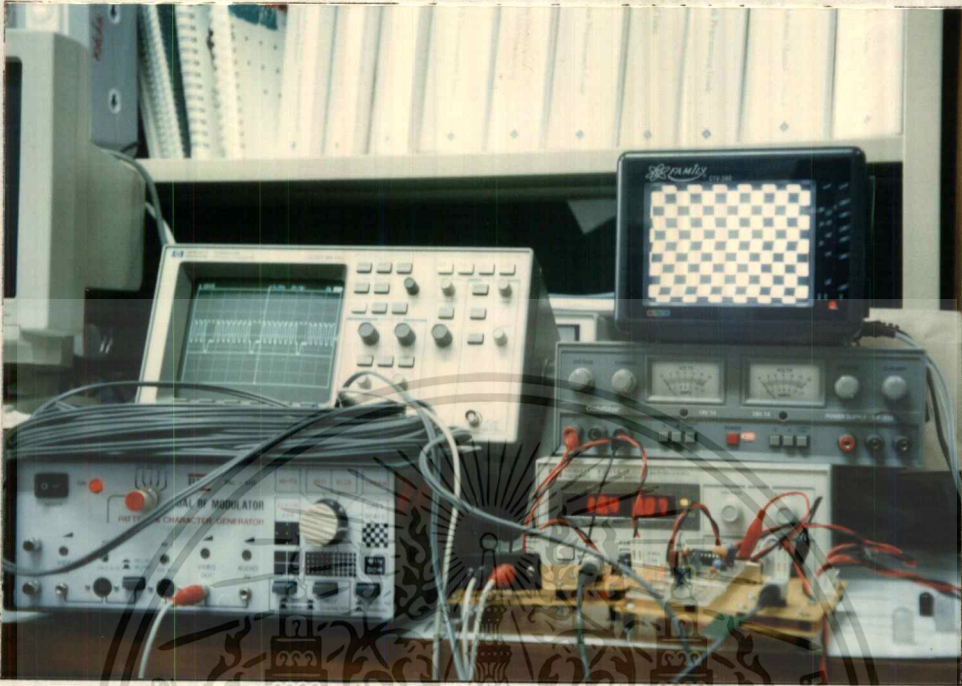


รูปที่ 4.9 แสดงการส่ง-รับสัญญาณโทรทัศน์จากเครื่องเล่นวีดีโอเทป

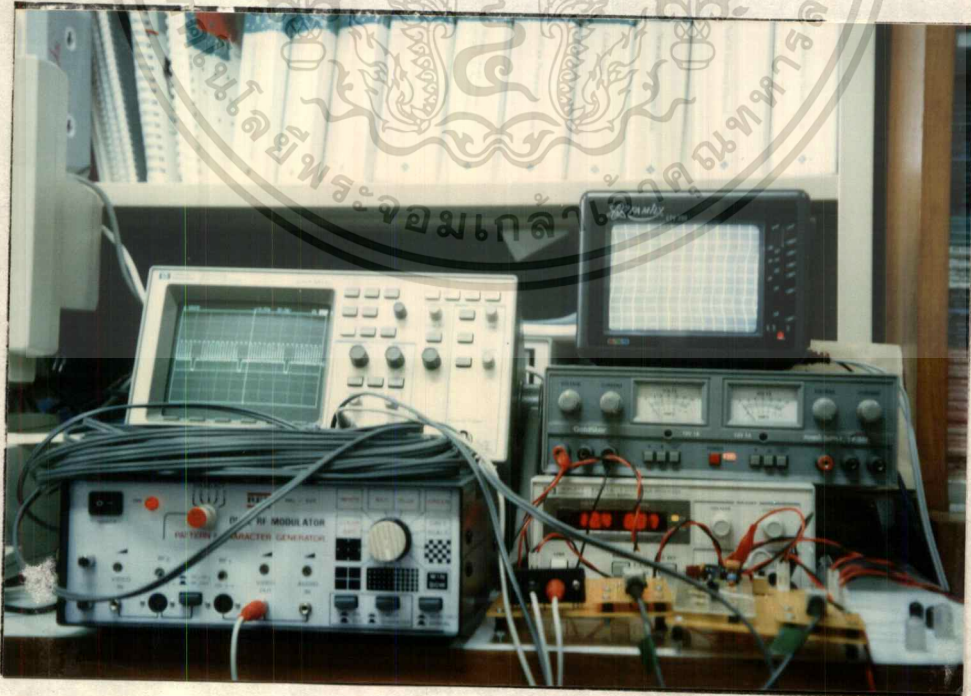


เอกสารนี้เป็น รูปที่ 4.10 แสดงการส่ง-รับสัญญาณแถบสีจากเครื่อง colour pattern generator ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงการส่ง-รับสัญญาณรูปตารางหมากรุกจากเครื่อง colour pattern generator



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 4.12 แสดงการส่ง-รับสัญญาณรูปตารางหมากรุกจากเครื่อง colour pattern generator ระยะเวลาในการค้า  
ไม่ว่าการณ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4 การทดสอบคุณสมบัติของแบนด์พาสฟิลเตอร์ 5.5 MHz

ขั้นตอนการทดลอง

1. บ้อนสัญญาณรูปไซน์ ขนาด 5 โวลต์พีคทูพีค ความถี่ 1kHz เข้าที่อินพุทภาคแยกสัญญาณเสียง
2. วัดสัญญาณเอาต์พุทพร้อมความต้านทาน R12 บันทึกผลลงในตาราง
3. เพิ่มความถี่ของสัญญาณทีละ 10 kHz จนถึง 10 MHz
4. วัดสัญญาณเอาต์พุทพร้อมความต้านทาน R12 ทุก ๆ ค่าความถี่ บันทึกผลลงในตาราง
5. พล็อตกราฟจากตารางบันทึกผล

ผลการทดลอง

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุท(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุท(โวลต์)
0.001	0.0125	0.01	0.0125
0.02	0.0125	0.03	0.0125
0.04	0.0156	0.05	0.0156
0.06	0.0218	0.07	0.0218
0.08	0.0250	0.09	0.0250
0.1	0.0281	0.11	0.0281
0.12	0.030	0.13	0.0325
0.14	0.0350	0.15	0.0350
0.16	0.0350	0.17	0.0250
0.18	0.0600	0.19	0.0718
0.20	0.0625	0.21	0.0625
0.22	0.0718	0.23	0.0718
0.24	0.0781	0.25	0.0781
0.26	0.0781	0.27	0.0781
0.28	0.0781	0.29	0.0781
0.30	0.0562	0.31	0.0562
0.32	0.0343	0.33	0.0967
0.34	0.1219	0.35	0.2156
0.36	0.1938	0.37	0.1406
0.38	0.1594	0.39	0.2187
0.40	0.1156	0.41	0.3000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับทำใบงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เผยแพร่ในช่องทางอื่น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)
0.42	0.1560	0.43	0.0656
0.44	0.0750	0.45	0.2344
0.46	0.1562	0.47	0.1000
0.48	0.4063	0.49	0.6875
0.50	0.1000	0.51	0.0812
0.52	0.0687	0.53	0.0343
0.54	0.0500	0.55	0.1094
0.56	0.2031	0.57	0.2031
0.58	0.2312	0.59	0.1469
0.60	0.2719	0.61	0.1625
0.62	0.1187	0.63	0.2375
0.64	0.3030	0.65	0.3710
0.66	0.3120	0.67	0.3120
0.68	0.2375	0.69	0.1156
0.70	0.1625	0.71	0.1625
0.72	0.0906	0.73	0.0906
0.74	0.1343	0.75	0.2031
0.76	0.2031	0.77	0.2031
0.78	0.1594	0.79	0.2500
0.80	0.2530	0.81	0.2810
0.82	0.2625	0.83	0.2625
0.84	0.3000	0.85	0.3062
0.86	0.3062	0.87	0.3062
0.88	0.3125	0.89	0.3438
0.90	0.3625	0.91	0.2813
0.92	0.2437	0.93	0.1812
0.94	0.0968	0.95	0.0500
0.96	0.0500	0.97	0.1313
0.98	0.2000	0.99	0.2000
1.00	0.1906	1.01	0.1906

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)
1.02	0.2187	1.03	0.2187
1.04	0.2187	1.05	0.2187
1.06	0.2187	1.07	0.2187
1.08	0.2187	1.09	0.2187
1.10	0.2187	1.11	0.2187
1.12	0.2187	1.13	0.1125
1.14	0.0875	1.15	0.0875
1.16	0.0875	1.17	0.0437
1.18	0.0750	1.19	0.1094
1.20	0.1406	1.21	0.1406
1.22	0.1406	1.23	0.1406
1.24	0.1406	1.25	0.1406
1.26	0.1406	1.27	0.1406
1.28	0.1406	1.29	0.1406
1.30	0.1625	1.31	0.1500
1.32	0.1500	1.33	0.1500
1.34	0.1500	1.35	0.1375
1.36	0.1500	1.37	0.1500
1.38	0.1500	1.39	0.1500
1.40	0.1687	1.41	0.1840
1.42	0.1840	1.43	0.1840
1.44	0.1840	1.45	0.1406
1.46	0.1406	1.47	0.1406
1.48	0.1406	1.49	0.1094
1.50	0.1094	1.51	0.1125
1.52	0.1125	1.53	0.1125
1.54	0.1125	1.55	0.1750
1.56	0.2000	1.57	0.2000
1.58	0.2000	1.59	0.2375
1.60	0.2500	1.61	0.2500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)
1.62	0.2500	1.63	0.2500
1.64	0.1812	1.65	0.1812
1.66	0.1406	16.7	0.1094
1.68	0.1000	1.69	0.1000
1.70	0.1000	1.71	0.1000
1.72	0.1281	1.73	0.1281
1.74	0.1281	1.75	0.1281
1.76	0.1281	1.77	0.1281
1.78	0.1281	1.79	0.1281
1.80	0.1094	1.81	0.1094
1.82	0.1094	1.83	0.1094
1.84	0.1094	1.85	0.1094
1.86	0.1094	1.87	0.1406
1.88	0.1406	1.89	0.1406
1.90	0.1406	1.91	0.1469
1.92	0.1469	1.93	0.1469
1.94	0.1125	1.95	0.1125
1.96	0.1125	1.97	0.1125
1.98	0.1125	1.99	0.1219
2.00	0.1219	2.01	0.1594
2.02	0.1594	2.03	0.1594
2.04	0.1594	2.05	0.1687
2.06	0.1687	2.07	0.1687
2.08	0.1687	2.09	0.1375
2.10	0.1375	2.11	0.1375
2.12	0.1375	2.13	0.1375
2.14	0.1375	2.15	0.1375
2.16	0.1375	2.17	0.1375
2.18	0.1375	2.19	0.1375
2.20	0.1375	2.21	0.1750

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)
2.22	0.1750	2.23	0.1750
2.24	0.1750	2.25	0.2187
2.26	0.2187	2.27	0.2187
2.28	0.2187	2.29	0.2469
2.30	0.3094	2.31	0.4000
2.32	0.5312	2.33	0.6625
2.34	0.6062	2.35	0.4375
2.36	0.2875	2.37	0.1875
2.38	0.1500	2.39	0.1250
2.40	0.1250	2.41	0.1250
2.42	0.1250	2.43	0.1500
2.44	0.1500	2.45	0.1500
2.46	0.1500	2.47	0.1500
2.48	0.1500	2.49	0.1375
2.50	0.1375	2.51	0.1375
2.52	0.1000	2.53	0.1000
2.54	0.1000	2.55	0.0625
2.56	0.0625	2.57	0.0687
2.58	0.0687	2.59	0.0687
2.60	0.0687	2.61	0.0937
2.62	0.0937	2.63	0.0937
2.64	0.0937	2.65	0.0937
2.66	0.1125	2.67	0.1125
2.68	0.1125	2.69	0.1125
2.70	0.1000	2.71	0.1000
2.72	0.1000	2.73	0.1000
2.74	0.0750	2.75	0.0687
2.76	0.0687	2.77	0.0687
2.78	0.0687	2.79	0.1187
2.80	0.1313	2.81	0.1313

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)
2.82	0.1313	2.83	0.1313
2.84	0.1313	2.85	0.1375
2.86	0.1375	2.87	0.1375
2.88	0.1375	2.89	0.1375
2.90	0.1375	2.91	0.1375
2.92	0.1375	2.93	0.1375
2.94	0.1375	2.95	0.1375
2.96	0.1125	2.97	0.1125
2.98	0.1125	2.99	0.1125
3.00	0.1125	3.01	0.1313
3.02	0.1313	3.03	0.1313
3.04	0.1313	3.05	0.1438
3.06	0.1438	3.07	0.1438
3.08	0.1500	3.09	0.1500
3.10	0.1500	3.11	0.1500
3.12	0.1500	3.13	0.1500
3.14	0.1500	3.15	0.1125
3.16	0.1125	3.17	0.1000
3.18	0.1000	3.19	0.1000
3.20	0.1000	3.21	0.1250
3.22	0.1250	3.23	0.125
3.24	0.1250	3.25	0.1250
3.26	0.1250	3.27	0.1187
3.28	0.1187	3.29	0.1187
3.30	0.1187	3.31	0.1500
3.32	0.1500	3.33	0.1500
3.34	0.1812	3.35	0.1812
3.36	0.1812	3.37	0.1812
3.38	0.1812	3.39	0.1812
3.40	0.1812	3.41	0.1500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)
3.42	0.1500	3.43	0.1500
3.44	0.1500	3.45	0.1375
3.46	0.1375	3.47	0.1375
3.48	0.1313	3.49	0.1313
3.50	0.1000	3.51	0.1000
3.52	0.1375	3.53	0.1375
3.54	0.1375	3.55	0.1375
3.56	0.1375	3.57	0.1375
3.58	0.1063	3.59	0.1063
3.60	0.1063	3.61	0.1063
3.62	0.1063	3.63	0.1063
3.64	0.1063	3.65	0.1063
3.66	0.1063	3.67	0.1063
3.68	0.1063	3.69	0.1063
3.70	0.1063	3.71	0.1500
3.72	0.1500	3.73	0.1500
3.74	0.1500	3.75	0.1500
3.76	0.1500	3.77	0.1500
3.78	0.1500	3.79	0.1500
3.80	0.1125	3.81	0.1125
3.82	0.1125	3.83	0.1125
3.84	0.1125	3.85	0.1125
3.86	0.1125	3.87	0.1125
3.88	0.1125	3.89	0.1125
3.90	0.1125	3.91	0.1125
3.92	0.1125	3.93	0.1125
3.94	0.1125	3.95	0.1125
3.96	0.1125	3.97	0.1125
3.98	0.1125	3.99	0.1250
4.00	0.1250	4.01	0.1250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)
4.02	0.1250	4.03	0.1250
4.04	0.1125	4.05	0.1125
4.06	0.1125	4.07	0.1125
4.08	0.1125	4.09	0.1125
4.10	0.1125	4.11	0.1125
4.12	0.1125	4.13	0.0937
4.14	0.0937	4.15	0.0937
4.16	0.1000	4.17	0.1000
4.18	0.1000	4.19	0.1063
4.20	0.1063	4.21	0.1063
4.22	0.1125	4.23	0.1125
4.24	0.1125	4.25	0.1125
4.26	0.1125	4.27	0.1125
4.28	0.1125	4.29	0.1125
4.30	0.1125	4.31	0.1125
4.32	0.1125	4.33	0.1125
4.34	0.1125	4.35	0.1125
4.36	0.1125	4.37	0.1125
4.38	0.1000	4.39	0.1000
4.40	0.1000	4.41	0.1125
4.42	0.1125	4.43	0.1125
4.44	0.1125	4.45	0.1125
4.46	0.1125	4.47	0.1125
4.48	0.1125	4.49	0.1125
4.50	0.1125	4.51	0.1125
4.52	0.1125	4.53	0.1125
4.54	0.1125	4.55	0.1125
4.56	0.1125	4.57	0.1125
4.58	0.1125	4.59	0.0875
4.60	0.0875	4.61	0.0875

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)
4.62	0.0875	4.63	0.0875
4.64	0.0875	4.65	0.0875
4.66	0.0750	4.67	0.0750
4.68	0.0750	4.69	0.0750
4.70	0.0937	4.71	0.0937
4.72	0.0937	4.73	0.0937
4.74	0.0937	4.75	0.0937
4.76	0.0937	4.77	0.0937
4.78	0.0937	4.79	0.0937
4.80	0.0937	4.81	0.0937
4.82	0.0937	4.83	0.0937
4.84	0.0937	4.85	0.0937
4.86	0.0875	4.87	0.0875
4.88	0.0875	4.89	0.0875
4.90	0.0875	4.91	0.0875
4.92	0.0875	4.93	0.0875
4.94	0.0875	4.95	0.0875
4.96	0.0750	4.97	0.0750
4.98	0.0750	4.99	0.0750
5.00	0.0750	5.01	0.0750
5.02	0.0750	5.03	0.0750
5.04	0.0750	5.05	0.0750
5.06	0.0750	5.07	0.0750
5.08	0.0750	5.09	0.0750
5.10	0.0750	5.11	0.0750
5.12	0.0750	5.13	0.0750
5.14	0.0750	5.15	0.0750
5.16	0.0750	5.17	0.0875
5.18	0.0875	5.19	0.0875
5.20	0.0875	5.21	0.1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)
5.22	0.1000	5.23	0.1000
5.24	0.1375	5.25	0.1375
5.26	0.1375	5.27	0.1938
5.28	0.2312	5.29	0.2750
5.30	0.3312	5.31	0.4063
5.32	0.5062	5.33	0.6562
5.34	0.8594	5.35	1.203
5.36	1.703	5.37	2.516
5.38	3.625	5.39	4.250
5.40	4.156	5.41	3.875
5.42	3.750	5.43	3.750
5.44	3.938	5.45	4.344
4.46	5.187	5.47	6.125
5.48	7.375	5.49	8.253
4.50	8.438	5.51	7.875
5.52	6.875	5.53	5.875
5.54	5.125	5.55	4.625
5.56	4.250	5.57	4.000
5.58	3.875	5.59	3.813
5.60	3.875	5.61	3.875
5.62	4.000	5.63	4.062
5.64	4.620	5.65	3.875
5.66	3.500	5.67	3.125
5.68	2.625	5.69	2.250
5.70	1.875	5.71	1.525
5.72	1.312	5.73	1.000
5.74	0.8750	5.75	0.6250
5.76	0.5000	5.77	0.3750
5.78	0.3125	5.79	0.2500
5.80	0.2500	5.81	0.2500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

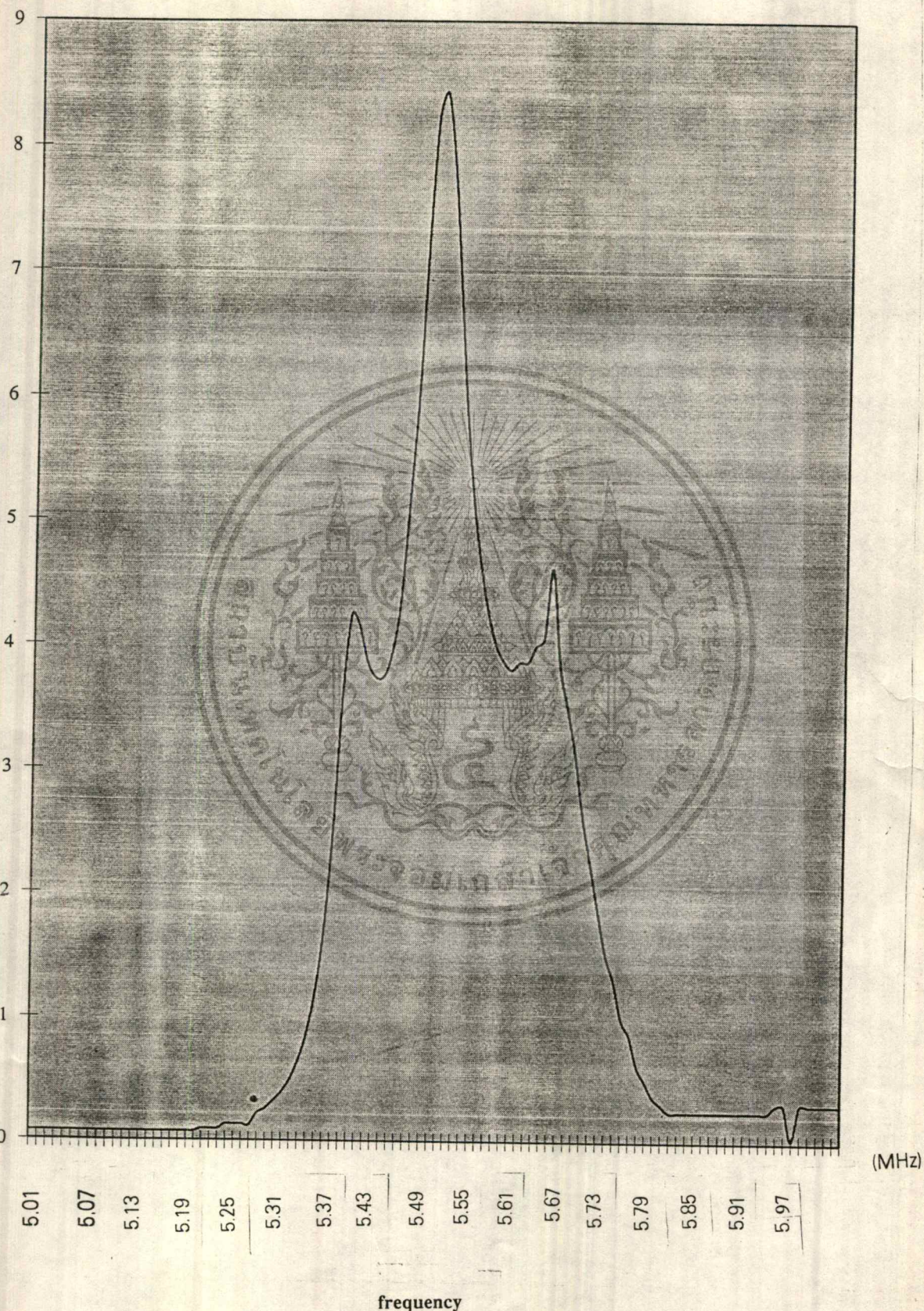
ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)
5.82	0.2500	5.83	0.2500
5.84	0.2500	5.85	0.2500
5.86	0.2500	5.87	0.2500
5.88	0.2500	5.89	0.2500
5.90	0.2500	5.91	0.2500
5.92	0.3125	5.93	0.3125
5.94	0.3125	5.95	0.3125
5.96	0.3125	5.97	0.1325
5.98	0.3125	5.99	0.3125
6.00	0.3125	6.01	0.3125
6.02	0.3125	6.03	0.3125
6.04	0.3125	6.05	0.3125
6.06	0.3125	6.07	0.3125
6.08	0.3125	6.09	0.3125
6.10	0.3125	6.11	0.3125
6.12	0.3125	6.13	0.3125
6.14	0.3125	6.15	0.3125
6.16	0.3125	6.17	0.3125
6.18	0.3125	6.19	0.3125
6.20	0.3125	6.21	0.3125
6.22	0.3125	6.23	0.3125
6.24	0.3125	6.25	0.3125
6.26	0.3125	6.27	0.3125
6.28	0.3125	6.29	0.3125
6.30	0.3125	6.31	0.3125
6.32	0.3125	6.33	0.3125
6.34	0.3125	6.35	0.3125
6.36	0.3125	6.37	0.3125
6.38	0.3125	6.39	0.3125
6.40	0.3125	6.41	0.3125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)
6.42	0.3125	6.43	0.3125
6.44	0.3125	6.45	0.3125
6.46	0.3125	6.47	0.3125
6.48	0.3125	6.49	0.3125
6.50	0.3125	6.51	0.3125
6.52	0.3125	6.53	0.3125
6.54	0.3125	6.55	0.3125
6.56	0.3125	6.57	0.3125
6.58	0.3125	6.59	0.3125
6.60	0.3125	6.61	0.3125
6.62	0.3125	6.63	0.2500
6.64	0.2500	6.65	0.2500
6.66	0.2500	6.67	0.3750
6.68	0.3750	6.69	0.3750
6.70	0.3750	6.71	0.3750
6.72	0.3750	6.73	0.3750
6.74	0.3750	6.75	0.3750
6.76	0.3750	6.77	0.2500
6.78	0.2500	6.79	0.2500
6.80	0.2500	6.81	0.2500
6.82	0.2500	6.83	0.2500
6.84	0.2500	6.85	0.2500
6.86	0.2500	6.87	0.2500
6.88	0.2500	6.89	0.2500
6.90	0.2500	6.91	0.2500
6.92	0.2500	6.93	0.2500
6.94	0.2500	6.95	0.2500
6.96	0.2500	6.97	0.2500
6.98	0.2500	6.99	0.2500
7.00	0.2500		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(โวลต์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 4.15 กราฟแสดงคุณสมบัติของแบนด์พาสฟิลเตอร์ 5.5 MHz  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทดลองที่ 5 การทดสอบคุณสมบัติของแบนด์วีจเซฟเตอร์ 5.5 MHz

## ขั้นตอนการทดลอง

1. ป้อนสัญญาณรูปไซน์ ขนาด 5 โวลต์พีคทูพีค ความถี่ 1kHz เข้าที่อินพุทภาคแยกสัญญาณภาพ
2. วัดสัญญาณเอาต์พุทคร่อมความต้านทาน R10 บันทึกผลลงในตาราง
3. เพิ่มความถี่ของสัญญาณทีละ 10 kHz จนถึง 10 MHz
4. วัดสัญญาณเอาต์พุทคร่อมความต้านทาน R10 ทุก ๆ ค่าความถี่ บันทึกผลลงในตาราง
5. พล็อตกราฟจากตารางบันทึกผล

## ผลการทดลอง

## ตารางบันทึกผลการทดลอง

ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุท(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุท(โวลต์)
0.001	4.533	0.01	4.533
0.02	4.533	0.03	4.533
0.04	4.562	0.05	4.562
0.06	4.562	0.07	4.562
0.08	4.594	0.09	4.594
0.1	4.625	0.11	4.625
0.12	4.625	0.13	4.625
0.14	4.625	0.15	4.625
0.16	4.625	0.17	4.625
0.18	4.625	0.19	4.625
0.20	4.625	0.21	4.625
0.22	4.625	0.23	4.625
0.24	4.625	0.25	4.925
0.26	4.625	0.27	4.625
0.28	4.625	0.29	4.625
0.30	4.625	0.31	4.625
0.32	4.625	0.33	4.625
0.34	4.562	0.35	4.594
0.36	4.594	0.37	4.594
0.38	4.594	0.39	4.594
0.40	4.594	0.41	4.594
0.42	4.594	0.43	4.594

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)
0.44	4.594	0.45	4.594
0.46	4.594	0.47	4.594
0.48	4.594	0.49	4.594
0.50	4.594	0.51	4.594
0.52	4.594	0.53	4.562
0.54	4.562	0.55	4.562
0.56	4.562	0.57	4.531
0.58	4.531	0.59	4.531
0.60	4.531	0.61	4.594
0.62	4.594	0.63	4.531
0.64	4.531	0.65	4.531
0.66	4.562	0.67	4.562
0.68	4.562	0.69	4.562
0.70	4.562	0.71	4.531
0.72	4.531	0.73	4.531
0.74	4.531	0.75	4.531
0.76	4.531	0.77	4.500
0.78	4.500	0.79	4.500
0.80	4.469	0.81	4.469
0.82	4.469	0.83	4.469
0.84	4.469	0.85	4.469
0.86	4.469	0.87	4.469
0.88	4.500	0.89	4.500
0.90	4.500	0.91	4.500
0.92	4.500	0.93	4.500
0.94	4.500	0.95	4.500
0.96	4.469	0.97	4.469
0.98	4.469	0.99	4.469
1.00	4.469	1.01	4.469
1.02	4.469	1.03	4.469

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)
1.04	4.469	1.05	4.469
1.06	4.469	1.07	4.469
1.08	4.500	1.09	4.500
1.10	4.469	1.11	4.469
1.12	4.469	1.13	4.469
1.14	4.469	1.15	4.469
1.16	4.437	1.17	4.437
1.18	4.437	1.19	4.406
1.20	4.406	1.21	4.406
1.22	4.406	1.23	4.406
1.24	4.406	1.25	4.406
1.26	4.406	1.27	4.406
1.28	4.406	1.29	4.406
1.30	4.406	1.31	4.406
1.32	4.406	1.33	4.406
1.34	4.406	1.35	4.406
1.36	4.406	1.37	4.406
1.38	4.406	1.39	4.406
1.40	4.375	1.41	4.375
1.42	4.375	1.43	4.375
1.44	4.375	1.45	4.375
1.46	4.375	1.47	4.375
1.48	4.375	1.49	4.375
1.50	4.375	1.51	4.344
1.52	4.344	1.53	4.344
1.54	4.344	1.55	4.312
1.56	4.312	1.57	4.312
1.58	4.312	1.59	4.312
1.60	4.312	1.61	4.312
1.62	4.312	1.63	4.312

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)
1.64	4.312	1.65	4.312
1.66	4.312	1.67	4.312
1.68	4.312	1.69	4.312
1.70	4.312	1.71	4.312
1.72	4.312	1.73	4.312
1.74	4.312	1.75	4.312
1.76	4.312	1.77	4.312
1.78	4.312	1.79	4.312
1.80	4.281	1.81	4.250
1.82	4.250	1.83	4.187
1.84	4.187	1.85	4.187
1.86	4.187	1.87	4.187
1.88	4.187	1.89	4.219
1.90	4.219	1.91	4.219
1.92	4.219	1.93	4.219
1.94	4.219	1.95	4.219
1.96	4.219	1.97	4.219
1.98	4.219	1.99	4.219
2.00	4.219	2.01	4.219
2.02	4.219	2.03	4.219
2.04	4.219	2.05	4.219
2.06	4.219	2.07	4.187
2.08	4.187	2.09	4.187
2.10	4.156	2.11	4.156
2.12	4.156	2.13	4.156
2.14	4.156	2.15	4.125
2.16	4.094	2.17	4.094
2.18	4.094	2.19	4.094
2.20	4.094	2.21	4.062
2.22	4.062	2.23	4.031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)
2.24	4.031	2.25	3.969
2.26	3.906	2.27	3.906
2.28	3.844	2.29	3.844
2.30	3.688	2.31	3.688
2.32	3.500	2.33	3.500
2.34	3.500	2.35	3.625
2.36	3.750	2.37	3.813
2.38	3.875	2.39	3.875
2.40	3.813	2.41	3.750
2.42	3.813	2.43	3.875
2.44	3.938	2.45	4.000
2.46	4.000	2.47	4.000
2.48	4.000	2.49	4.000
2.50	4.000	2.51	4.000
2.52	4.000	2.53	3.906
2.54	3.906	2.55	3.906
2.56	3.906	2.57	3.906
2.58	3.906	2.59	3.906
2.60	3.906	2.61	3.875
2.62	3.875	2.63	3.875
2.64	3.875	2.65	3.875
2.66	3.875	2.67	3.875
2.68	3.875	2.69	3.750
2.70	3.750	2.71	3.750
2.72	3.750	2.73	3.781
2.74	3.781	2.75	3.781
2.76	3.781	2.77	3.750
2.78	3.750	2.79	3.750
2.80	3.750	2.81	3.750
2.82	3.750	2.83	3.750

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)
2.84	3.750	2.85	3.813
2.86	3.844	2.87	3.906
2.88	3.906	2.89	3.938
2.90	3.938	2.91	3.938
2.92	3.938	2.93	3.938
2.94	3.938	2.95	3.938
2.96	3.938	2.97	3.938
2.98	3.938	2.99	3.938
3.00	3.938	3.01	3.938
3.02	3.938	3.03	3.938
3.04	3.938	3.05	3.938
3.06	3.938	3.07	3.938
3.08	3.938	3.09	3.938
3.10	3.938	3.11	3.938
3.12	3.969	3.13	3.969
3.14	3.969	3.15	3.969
3.16	3.969	3.17	3.969
3.18	3.969	3.19	3.969
3.20	3.969	3.21	3.969
3.22	3.969	3.23	3.969
3.24	3.906	3.25	3.906
3.26	3.906	3.27	3.906
3.28	3.906	3.29	3.906
3.30	3.906	3.31	3.906
3.32	3.906	3.33	3.906
3.34	3.906	3.35	3.906
3.36	3.906	3.37	3.906
3.38	3.906	3.39	3.906
3.40	3.906	3.41	3.906
3.42	3.906	3.43	3.906

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)
3.44	3.096	3.45	3.906
3.46	3.906	3.47	3.906
3.48	3.906	3.49	3.906
3.50	3.906	3.51	3.906
3.52	3.906	3.53	3.906
3.54	3.906	3.55	3.906
3.56	3.906	3.57	3.906
3.58	3.906	3.59	3.906
3.60	3.906	3.61	3.906
3.62	3.906	3.63	3.906
3.64	3.906	3.65	3.906
3.66	3.906	3.67	3.906
3.68	3.906	3.69	3.906
3.70	3.906	3.71	3.906
3.72	3.906	3.73	3.906
3.74	3.906	3.75	3.906
3.76	3.906	3.77	3.906
3.78	3.906	3.79	3.906
3.80	3.906	3.81	3.906
3.82	3.906	3.83	3.906
3.84	3.906	3.85	3.906
3.86	3.906	3.87	3.906
3.88	3.906	3.89	3.906
3.90	3.906	3.91	3.906
3.92	3.906	3.93	3.906
3.94	3.906	3.95	3.906
3.96	3.906	3.97	3.906
3.98	3.906	3.99	3.906
4.00	3.906	4.01	3.906
4.02	3.906	4.03	3.906

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)
4.04	3.906	4.05	3.906
4.06	3.906	4.07	3.875
4.08	3.875	4.09	3.875
4.10	3.875	4.11	3.844
4.12	3.844	4.13	3.844
4.14	3.844	4.15	3.844
4.16	3.844	4.17	3.844
4.18	3.844	4.19	3.813
4.20	3.813	4.21	3.813
4.22	3.813	4.23	3.813
4.24	3.813	4.25	3.813
4.26	3.813	4.27	3.813
4.28	3.813	4.29	3.813
4.30	3.813	4.31	3.813
4.32	3.813	4.33	3.813
4.34	3.813	4.35	3.781
4.36	3.781	4.37	3.781
4.38	3.781	4.39	3.750
4.40	3.750	4.41	3.750
4.42	3.750	4.43	3.750
4.24	3.750	4.45	3.750
4.46	3.750	4.47	3.750
4.48	3.750	4.49	3.750
4.50	3.750	4.51	3.750
4.52	3.750	4.53	3.750
4.54	3.750	4.55	3.750
4.56	3.719	4.57	3.719
4.58	3.719	4.59	3.719
4.60	3.656	4.61	3.656
4.62	3.656	4.63	3.656

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)
4.64	3.656	4.65	3.656
4.66	3.594	4.67	3.594
4.68	3.594	4.69	3.594
4.70	3.594	4.71	3.594
4.72	3.594	4.73	3.594
4.74	3.594	4.75	3.594
4.76	3.594	4.77	3.594
4.78	3.594	4.79	3.594
4.80	3.594	4.81	3.594
4.82	3.594	4.83	3.594
4.84	3.594	4.85	3.594
4.86	3.594	4.87	3.594
4.88	3.594	4.89	3.531
4.90	3.531	4.91	3.531
4.92	3.500	4.93	3.500
4.94	3.500	4.95	3.469
4.96	3.438	4.97	3.438
4.98	3.406	4.99	3.406
5.00	3.375	5.01	3.375
5.02	3.375	5.03	3.313
5.04	3.313	5.05	3.313
5.06	3.281	5.07	3.250
5.08	3.250	5.09	3.250
5.10	3.188	5.11	3.188
5.12	3.125	5.13	3.125
5.14	3.125	5.15	3.125
5.16	3.063	5.17	3.063
5.18	3.063	5.19	3.063
5.20	3.063	5.21	3.063
5.22	3.063	5.23	3.063

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)
5.24	3.063	5.25	3.063
5.26	3.063	5.27	3.00
5.28	3.00	5.29	2.938
5.30	2.906	5.31	2.875
5.32	2.844	5.33	2.781
5.34	2.750	5.35	2.719
5.36	2.656	5.37	2.594
5.38	2.531	5.39	2.438
5.40	2.344	5.41	2.250
5.42	2.156	5.43	2.031
5.44	1.878	5.45	1.687
5.46	1.500	5.47	1.281
5.48	1.000	5.49	0.906
5.50	0.875	5.51	0.718
5.52	0.750	5.53	0.875
5.54	1.062	5.55	1.437
5.56	1.812	5.57	2.156
5.58	2.438	5.59	2.656
5.60	2.813	5.61	2.969
5.62	3.219	5.63	3.438
5.64	3.625	5.65	3.781
5.66	3.875	5.67	3.906
5.68	3.688	5.69	3.563
5.70	3.469	5.71	3.469
5.72	3.500	5.73	3.625
5.74	3.719	5.75	3.781
5.76	3.844	5.77	3.875
5.78	3.875	5.79	3.906
5.80	3.906	5.81	3.906
5.82	3.906	5.83	3.906

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

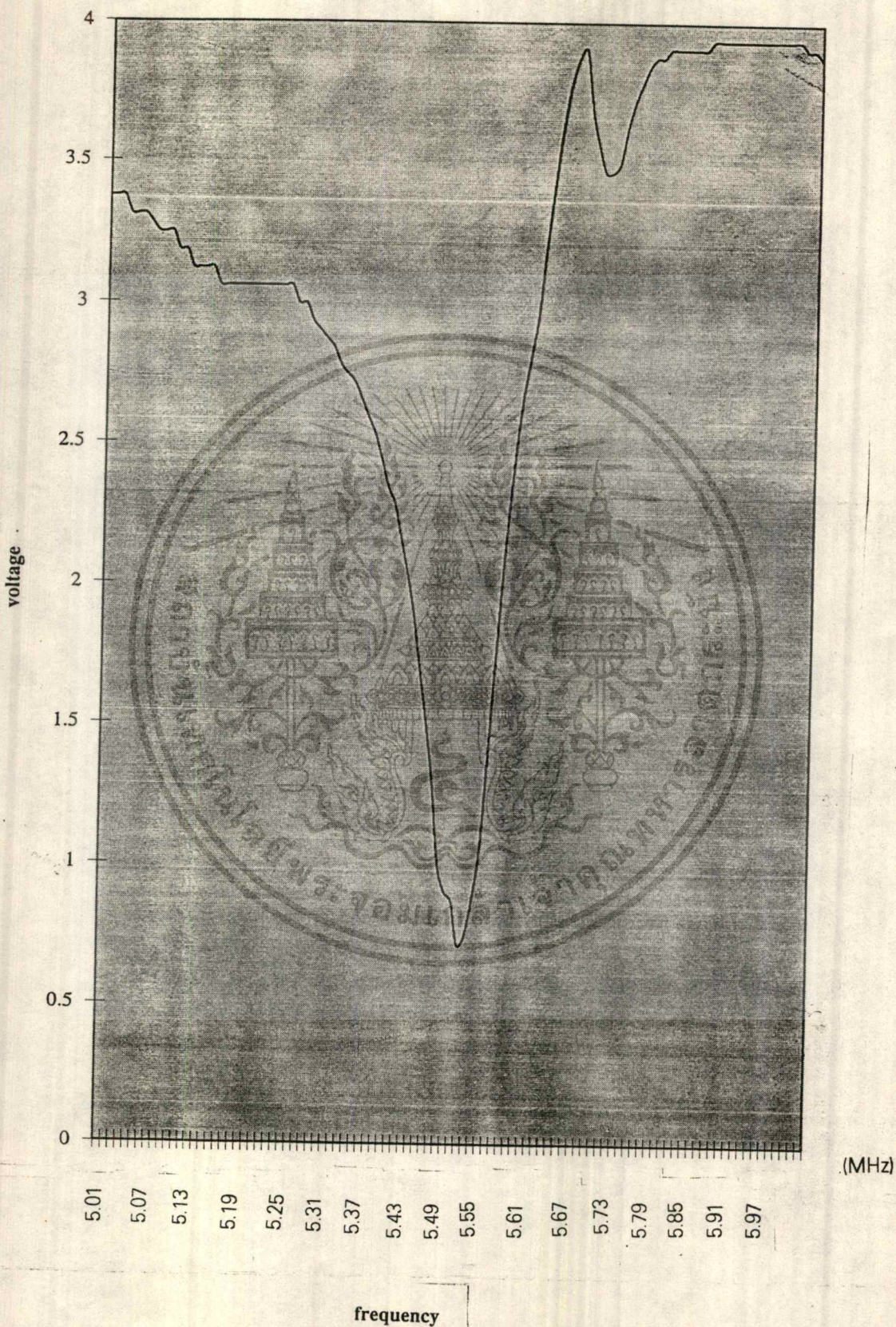
ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)
5.84	3.906	5.85	3.938
5.86	3.938	5.87	3.938
5.88	3.938	5.89	3.938
5.90	3.938	5.91	3.938
5.92	3.938	5.93	3.938
5.94	3.938	5.95	3.938
5.96	3.938	5.97	3.938
5.98	3.906	5.99	3.906
6.00	3.875	6.01	3.875
6.02	3.875	6.03	3.875
6.04	3.875	6.05	3.875
6.06	3.875	6.07	3.875
6.08	3.875	6.09	3.875
6.10	3.875	6.11	3.875
6.12	3.875	6.13	3.813
6.14	3.813	6.15	3.813
6.16	3.813	6.17	3.813
6.18	3.813	6.19	3.813
6.20	3.813	6.21	3.813
6.22	3.813	6.23	3.813
6.24	3.813	6.25	3.813
6.26	3.813	6.27	3.813
6.28	3.813	6.29	3.813
6.30	3.813	6.31	3.750
6.32	3.750	6.33	3.750
6.34	3.750	6.35	3.750
6.36	3.750	6.37	3.688
6.38	3.688	6.39	3.688
6.40	3.688	6.41	3.688
6.42	3.688	6.43	3.688

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)	ความถี่(MHz)	แรงดันเอาต์พุต(โวลต์)
6.44	3.625	6.45	3.625
6.46	3.625	6.47	3.625
6.48	3.625	6.49	3.625
6.50	3.625	6.51	3.625
6.52	3.625	6.53	3.625
6.54	3.653	6.55	3.653
6.56	3.653	6.57	3.653
6.58	3.500	6.59	3.500
6.60	3.500	6.61	3.500
6.62	3.500	6.63	3.500
6.64	3.438	6.65	3.406
6.66	3.375	6.67	3.313
6.68	3.281	6.69	3.219
6.70	3.031	6.71	2.875
6.72	3.000	6.73	2.969
6.74	2.781	6.75	3.156
6.76	3.156	6.77	3.063
6.78	3.031	6.79	3.031
6.80	3.031	6.81	3.031
6.82	3.031	6.83	3.031
6.84	3.031	6.85	3.156
6.86	3.219	6.87	3.281
6.88	3.250	6.89	3.250
6.90	3.250	6.91	3.250
6.92	3.281	6.93	3.281
6.94	3.281	6.95	3.219
6.96	3.188	6.97	3.156
6.98	3.094	6.99	3.063
7.00	3.063		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(โวลต์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.15 ที่ภาพแสดงคุณสมบัติของแบนด์พาสฟิลเตอร์ 5.5 MHz ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทวิจารณ์และบทสรุป

#### 5.1 สรุปผลการทดลองตอนที่ 1

สัญญาณเสียงและสัญญาณภาพไม่สามารถส่งรวมกันไปได้โดยตรงได้ เพราะจะเกิดการรบกวนกันจึงต้องทำการเลื่อนความถี่ของสัญญาณเสียงให้อยู่ช่วงความถี่ที่ใกล้กับสัญญาณภาพ กล่าวคือ จะทำการมอดูเลตแบบ FM ให้อยู่ในช่วงความถี่ 5.5 Mhz ตามมาตรฐาน CCIR แล้วจึงทำการรวมสัญญาณภาพกับเสียงซึ่งได้เอาท์พุทมาเป็นที่น่าพอใจ และเมื่อสัญญาณเอาท์พุทดังกล่าวผ่านวงจรแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสงก็ยังสามารถเอาท์พุทที่ใกล้เคียงกับของเดิม

#### 5.2 สรุปผลการทดลองตอนที่ 2

สัญญาณที่รับได้จะเหมือนกับทางด้านส่ง ที่จุดรับสัญญาณ ส่วนที่จุดเอาท์พุทของสัญญาณภาพก็ได้สัญญาณเอาท์พุทออกมาเหมือนกับสัญญาณอินพุท แต่มีสัญญาณรบกวนมากขึ้น ส่วนสัญญาณเสียงที่จุดเอาท์พุทของสัญญาณเสียงก็ได้สัญญาณเป็นรูปคลื่นเสียงออกมาแต่ก็มี สัญญาณรบกวนมากขึ้น โดยสัญญาณรบกวนที่มีผลต่อสัญญาณเสียงมากก็คือ สัญญาณภาพนั่นเอง ก็เนื่องมาจากตัวดีเทคสัญญาณเสียงซึ่งยังไม่ค่อยดีนัก ทำให้มีสัญญาณภาพเข้ามารบกวนได้

#### 5.3 สรุปผลการทดลองตอนที่ 3

สามารถทำการส่ง-รับสัญญาณโทรทัศน์ได้ เมื่อต่อสัญญาณเข้าเครื่องรับโทรทัศน์สามารถรับชมภาพได้ชัดเจนค่อนข้างดี

#### 5.4 สรุปผลการทดลองตอนที่ 4

ในภาคแยกสัญญาณเสียง นั้นเรามาใช้ฟิลเตอร์ 5.5 MHz จะต่อร่วมกับวงจรเพื่อทำหน้าที่เป็นแบนด์พาสฟิลเตอร์ โดยจะกรองความถี่ผ่านเฉพาะที่ย่าน ใกล้เคียง 5.5 MHz เท่านั้น จากผลการทดสอบ คุณสมบัติของแบนด์พาสฟิลเตอร์นี้ใกล้เคียงกับคุณสมบัติที่ต้องการ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.5 สรุปผลการทดลองตอนที่ 5

ในภาคแยกสัญญาณภาพนั้นเซรามิคฟิลเตอร์ 5.5 MHz จะต่อร่วมกับวงจรเพื่อทำหน้าที่เป็นแบนรีเจคฟิลเตอร์ 5.5 MHz โดยจะกรองความถี่เอาเฉพาะในช่วงสัญญาณภาพคือ 0 ถึง 5 MHz โดยจะกันไม่ให้ความถี่ในช่วงความถี่สัญญาณไอเอฟเสียง 5.5 MHz จากผลการทดสอบคุณสมบัติของแบนรีเจคฟิลเตอร์นใกล้เคียงกับคุณสมบัติที่ต้องการ



### 5.3 ปัญหาในการทำงาน

1. ปัญหาของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นซึ่งมีผลต่อรูปร่างของสัญญาณเป็นอย่างมาก
2. อุปกรณ์บางชนิด เช่น ไอซีบางตัว หาซื้อยาก
3. เครื่องจ่ายไฟที่ใช้ต้องมีเสถียรภาพในการจ่ายกระแสสูง เนื่องจากความถี่ที่ใช้นั้นสูง
4. ความคงทนของหัวส่ง หรือ LED โดยจะขึ้นกับกระแสที่ไหลผ่านตัวมัน
5. ข้อมูลของหัวส่งและหัวรับหาได้ยาก

### 5.4 แนวทางการพัฒนา

1. ปรับปรุงคุณภาพของตัวดีเทคสัญญาณเสียงให้ดีขึ้น
2. พยายามลดสัญญาณรบกวนในวงจรให้น้อยลง



## หนังสืออ้างอิง

1. S.Shimada and H. Ishio, Optical Amplifier and their Applications, John Wiley & Son Ltd. England, 1991.
2. C.K. Kao, Optical Fiber System. Technology, Design and Applications. McGraw - Hill.
3. R.J. Hess, E.A. Lacy, Fiber Optics, Prentice - Hall International, Inc. 1993.
4. J.M. Senior, Optical Fiber Communication Principles and Practice, Prentice - Hall International, Inc. London, 1985.
5. D.J. Sterling Jr., Technician's Guideb To Fiber Optics., Delmar Publishers Inc., New York, 1987.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# High Speed Low Cost Fiber Optic Transmitter

## Technical Data

### HFBR-14X2 and HFBR-14X4 Series

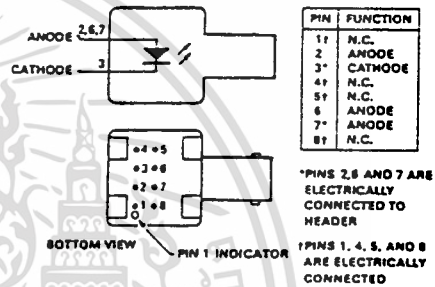
#### Description

The HFBR-14XX fiber optic transmitter contains an 820 nm GaAlAs emitter capable of efficiently launching optical power into four different optical fiber sizes: 50/125  $\mu\text{m}$ , 62.5/125  $\mu\text{m}$ , 100/140  $\mu\text{m}$ , and 200  $\mu\text{m}$  PCS. This allows the designer flexibility in choosing the fiber size. The HFBR-14XX is designed to operate with the Hewlett-Packard HFBR-24XX fiber optic receivers.

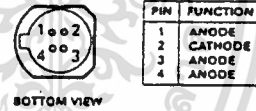
The HFBR-14XX transmitter's high coupling efficiency allows the emitter to be driven at low current levels resulting in low power consumption and

increased reliability of the transmitter. The HFBR-14X4 high power transmitter is optimized for small size fiber and typically can launch -15.8 dBm optical power @ 60 mA into 50/125  $\mu\text{m}$  fiber and -12 dBm into 62.5/125  $\mu\text{m}$  fiber. The HFBR-14X2 standard transmitter typically can couple -11.5 dBm of optical power @ 60 mA into 100/140  $\mu\text{m}$  fiber cable. It is ideal for large size fiber such as 100/140  $\mu\text{m}$ . The high power level is useful for systems where star couplers, taps, or inline connectors create large fixed losses.

#### Housed Product



#### Unhoused Product



#### Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Units	Reference
Storage Temperature	$T_s$	-55	+85	$^{\circ}\text{C}$	
Operating Temperature	$T_A$	-40	+85	$^{\circ}\text{C}$	
Lead Soldering Cycle	Temp.		+260	$^{\circ}\text{C}$	
	Time		10	sec	
Forward Input Current	Peak	$I_{FPK}$	200	mA	Note 1
	DC	$I_{FDC}$	100	mA	
Reverse Input Voltage	$V_{BR}$		1.8	V	

Consistent coupling efficiency is assured by the double-lens optical system (Figure 1). Power coupled into any of the three fiber types varies less than 5 dB from part to part at a given drive current and temperature. The benefit of this is reduced dynamic range requirements on the receiver.

**CAUTION:** The small junction sizes inherent to the design of this component increases the component's susceptibility to damage from electrostatic discharge (ESD). It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of this component to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.

**Electrical / Optical Specifications** -40°C to +85°C unless otherwise specified.

Parameter	Symbol	Min.	Typ. <sup>(1)</sup>	Max.	Units	Conditions	Reference
Forward Voltage	$V_f$	1.48	1.70	2.09	V	$I_f = 60$ mA	Figure 9
			1.84			$I_f = 100$ mA	
Forward Voltage Temperature Coefficient	$V_f/T$		-0.22		mV/°C	$I_f = 60$ mA	Figure 9
			-0.18			$I_f = 100$ mA	
Reverse Input Voltage	$V_{BR}$	1.8	3.8		V	$I_R = 100$ $\mu$ A	
Center Emission Wavelength	$\lambda_p$	792	820	865	nm		
Diode Capacitance	$C_T$		55		pF	$V = 0$ , $f = 1$ MHz	
Optical Power Temperature Coefficient	$P_T/T$		-0.006		dB/°C	$I = 60$ mA	
			-0.010			$I = 100$ mA	
Thermal Resistance	$\theta_{JA}$		260		°C/W		Notes 3, 8
Numerical Aperture (HFBR - 14X4)	$NA_{14x4}$		0.31				
Numerical Aperture (HFBR - 14X2)	$NA_{14x2}$		0.49				
Optical Port Diameter (HFBR - 14X4)	$D_{14x4}$		150		$\mu$ m		Note 4
Optical Port Diameter (HFBR - 14X2)	$D_{14x2}$		290		$\mu$ m		Note 4

**Electrical / Optical Specifications -40°C to +85°C unless otherwise specified**  
**HFBR-14X4 Peak Output Power Measured Out of 1m of Cable**

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions	Reference
50/125 $\mu$ m Fiber Cable NA = 0.20	$P_{T_{max}}$	-18.8	-15.8	-13.8	dBm	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_F = 60$ mA	Notes 5, 6, 9
		-19.8		-12.8			
		-17.3	-13.8	-11.4		$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_F = 100$ mA	
		-18.9		-10.8			
62.5/125 $\mu$ m Fiber Cable NA = 0.275	$P_{T_{max}}$	-15.0	-12.0	-10.0	dBm	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_F = 60$ mA	
		-16.0		-9.0			
		-13.5	-10.0	-7.6		$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_F = 100$ mA	
		-15.1		-7.0			
100/140 $\mu$ m Fiber Cable NA = 0.30	$P_{T_{max}}$	-9.5	-6.5	-4.5	dBm	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_F = 60$ mA	
		-10.5		-3.5			
		-8.0	-4.5	-2.1		$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_F = 100$ mA	
		-9.6		-1.5			
200 $\mu$ m PCS Fiber Cable NA = 0.40	$P_{T_{max}}$	-4.5	-3.0	+1.5	dBm	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_F = 60$ mA	
		-5.5		+2.5			
		-3.0	-1.0	+3.9		$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_F = 100$ mA	
		-4.6		+4.5			

**HFBR-14X2 Peak Output Power Measured Out of 1m of Cable**

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions	Reference
50/125 $\mu$ m Fiber Cable NA = 0.20	$P_{T_{max}}$	-21.8	-18.8	-16.8	dBm	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_F = 60$ mA	Notes 5, 6, 9
		-22.8		-15.8			
		-20.3	-16.8	-14.4		$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_F = 100$ mA	
		-21.9		-13.8			
62.5/125 $\mu$ m Fiber Cable NA = 0.275	$P_{T_{max}}$	-19.0	-16.0	-14.0	dBm	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_F = 60$ mA	
		-20.0		-13.0			
		-17.5	-14.0	-11.6		$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_F = 100$ mA	
		-19.1		-11.0			
100/140 $\mu$ m Fiber Cable NA = 0.30	$P_{T_{max}}$	-15.0	-12.0	-10.0	dBm	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_F = 60$ mA	
		-16.0		-9.0			
		-13.5	-10.0	-7.6		$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_F = 100$ mA	
		-15.1		-7.0			
200 $\mu$ m PCS Fiber Cable NA = 0.40	$P_{T_{max}}$	-10.0	-6.5	-4.0	dBm	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_F = 60$ mA	
		-11.0		-3.0			
		-8.5	-4.5	-1.6		$T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_F = 100$ mA	
		-10.1		-1.0			

**WARNING: Observing the transmitter output power under magnification may cause injury to the eye. When viewed with the unaided eye, the infrared output is radiologically safe. However, when viewed under magnification, precaution should be taken to avoid exceeding the limits recommended in ANSI Z136.1-1981.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Dynamic Characteristics

Parameter	Symbol	Min.	Typ. <sup>(1)</sup>	Max.	Units	Conditions	Reference
Rise Time, Fall Time (10% to 90%)	$t_r, t_f$		4.0	6.5	nsec	$I_p = 60$ mA No Pre-bias	Note 7, Figure 12
Rise Time, Fall Time (10% to 90%)	$t_r, t_f$		3.0		nsec	$I_p = 10$ to 100 mA	Note 7, Figure 11
Pulse Width Distortion	PWD		0.5		nsec		Figure 11

### Notes:

- For  $I_{ppk} > 100$  mA, the time duration should not exceed 2 ns.
- Typical data at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .
- Thermal resistance is measured with the transmitter coupled to a connector assembly and mounted on a printed circuit board.
- $D_r$  is measured at the plane of the fiber face and defines a diameter where the optical power density is within 10 dB of the maximum.
- $P_m$  is measured with a large area detector at the end of 1 metre of mode stripped cable, with an ST<sup>®</sup> precision ceramic ferrule (MIL-STD-83522/13) for HFBR-1412/1414, and with an SMA 905 precision ceramic ferrule for HFBR-1402/1404. This approximates a standard test connector.
- When changing  $\mu\text{W}$  to dBm, the optical power is referenced to 1 mW (1000  $\mu\text{W}$ ). Optical Power P (dBm) =  $10 \log P (\mu\text{W}) / 1000 \mu\text{W}$ .
- Pre-bias is recommended if signal rate  $> 10$  MBd, see recommended drive circuit in Figure 11.
- Pins 2, 6 and 7 are welded to the anode header connection to minimize the thermal resistance from junction to ambient. To further reduce the thermal resistance, the anode trace should be made as large as is consistent with good RF circuit design.
- Fiber NA is measured at the end of 2 metres of mode stripped fiber, using the far-field pattern. NA is defined as the sine of the half angle, determined at 5% of the peak intensity point. When using other manufacturer's fiber cable, results will vary due to differing NA values and specification methods.

## Recommended Drive Circuits

The circuit used to supply current to the LED transmitter can significantly influence the optical switching characteristics of the LED. The optical rise/fall times and propagation delays can be improved by using certain circuit techniques.

The LED drive circuit shown in Figure 11 uses current-peaking

to reduce the typical rise/fall times of the LED and a small pre-bias voltage to minimize propagation delay differences that cause pulse-width distortion. The circuit will typically produce rise/fall times of 3 ns, and a total jitter including pulse-width distortion of less than 2 ns. This circuit is recommended for applications requiring low edge jitter or high-speed data transmission at

signal rates of up to 125 MBd. Component values for this circuit can be calculated for different LED drive currents using the equations shown below.

For additional details about LED drive circuits, the reader is encouraged to read Hewlett-Packard Application Bulletin 78 and Application Note 1038.

$$R_y() = \frac{(V_{CC} - V_f) + 3.97(V_{CC} - V_f - 1.6 \text{ V})}{I_{R_{ON}}(\text{A})}$$

$$R_y = \frac{(5 - 1.84) + 3.97(5 - 1.84 - 1.6)}{0.100}$$

$$R_{x1}() = \frac{1}{2} \left( \frac{R_y}{3.97} \right)$$

$$R_y = \frac{3.16 + 6.19}{0.100} = 93.5 \Omega$$

$$R_{EQ}() = R_{x1} - 1$$

$$R_{x1} = \frac{1}{2} \left( \frac{R_y}{3.97} \right) = 11.8 \Omega$$

$$R_{x2} = R_{x1} = R_{x3} = 3(R_{EQ})$$

$$R_{EQ} = 11.8 - 1 = 10.8 \Omega$$

$$C(\text{pF}) = \frac{2000(\text{ps})}{R_{x1}()}$$

$$R_{x2} = R_{x3} = R_{x1} = 3(10.8) = 32.4 \Omega$$

Example for  $I_{R_{ON}} = 100$  mA:  $V_f$  can be obtained from Figure 9 ( $= 1.84$  V)

$$C = \frac{2,000 \text{ pS}}{11.8 \Omega} = 169 \text{ pF}$$

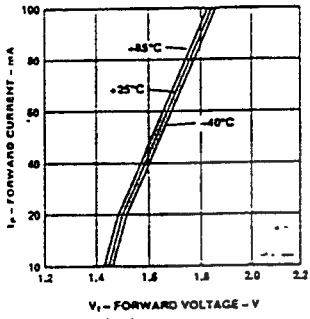


Figure 9. Forward Voltage and Current Characteristics.

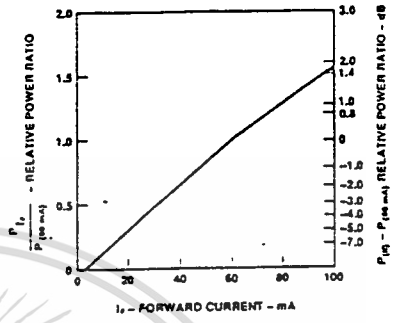


Figure 10. Normalized Transmitter Output vs. Forward Current.

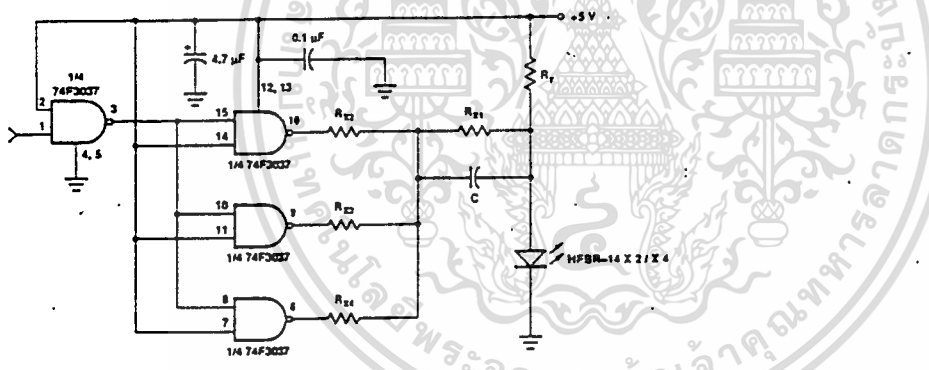


Figure 11. Recommended Drive Circuit.

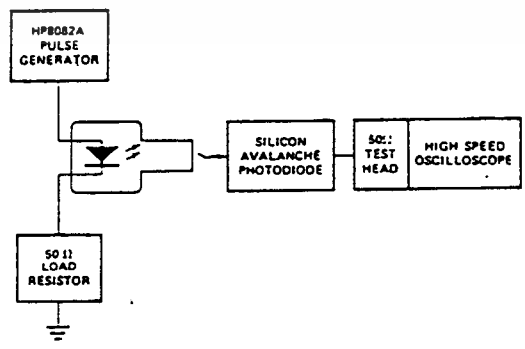


Figure 12. Test Circuit for Measuring  $t_r$ ,  $t_f$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 125 MHz Low Cost Fiber Optic Receiver

## Technical Data

### HFBR-24X6 Series

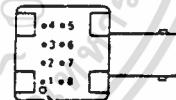
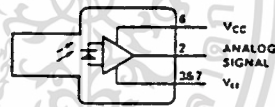
#### Description

The HFBR-24X6 fiber optic receiver is designed to operate with the Hewlett-Packard HFBR-14XX fiber optic transmitters and 50/125  $\mu\text{m}$ , 62.5/125  $\mu\text{m}$ , and 100/140  $\mu\text{m}$  fiber optic cable. Consistent coupling into the receiver is assured by the lensed optical system (Figure 1). Response does not vary with fiber size for core diameters of 100  $\mu\text{m}$  or less.

The receiver output is an analog signal which allows follow-on circuitry to be optimized for a variety of distance/data rate requirements. Low-cost external components can be used to convert the analog output to logic compatible signal levels for various data formats and data rates up to 155 MBd. This distance/data rate tradeoff results in increased optical power budget at lower data rates which can be used for additional distance or splices.

The HFBR-24X6 receiver contains a PIN photodiode and low noise transimpedance pre-amplifier integrated circuit. The HFBR-24X6 receives an optical signal and converts it to an analog voltage. The output is a buffered emitter-follower. Because the signal amplitude from the HFBR-24X6 receiver is much larger than from a simple PIN photodiode, it is less susceptible to EMI, especially at high signal rates. For very noisy environments, the conductive port option is recommended. A receiver dynamic range of 23 dB over temperature is achievable (assuming  $10^{-4}$  BER). Because the maximum receiver input power is 6 dB larger and the noise is 2 dB lower over temperature than HP's HFBR-24X4 25 MHz receiver, the HFBR-24X6 is well suited for more demanding link designs that require wide receiver dynamic range.

#### Housed Product



BOTTOM VIEW PIN 1 INDICATOR

PIN	FUNCTION
1†	N.C.
2	SIGNAL
3*	V <sub>EE</sub>
4†	N.C.
5†	N.C.
6	V <sub>CC</sub>
7	V <sub>EE</sub>
8†	N.C.

\*PINS 3 AND 7 ARE ELECTRICALLY CONNECTED TO HEADER  
†PINS 1, 4, 5 AND 8 ARE ELECTRICALLY CONNECTED.

#### Unhoused Product



BOTTOM VIEW

PIN	FUNCTION
1	SIGNAL
2*	V <sub>EE</sub>
3	V <sub>CC</sub>
4*	V <sub>EE</sub>

**CAUTION:** The small junction sizes inherent to the design of this component increases the component's susceptibility to damage from electrostatic discharge (ESD). It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of this component to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.

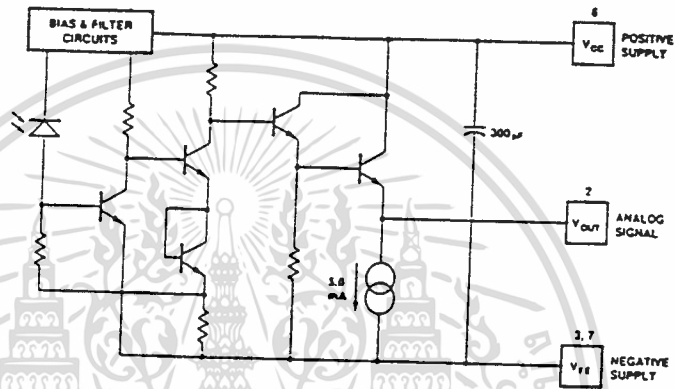
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The frequency response is typically dc to 125 MHz. Although the HFBR-24X6 is an analog receiver, it is easily made compatible with digital systems. Please refer to Application Bulletin 78 for simple and inexpensive circuits that operate up to 155 MBd.

The recommended ac coupled receiver circuit is shown in Figure 17. It is essential that a 10 ohm resistor be connected between  $V_{EE}$  and the power supply, and a 0.1  $\mu\text{F}$  ceramic bypass capacitor be connected between the power supply and ground.

Simplified Schematic Diagram



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Units	Reference
Storage Temperature	$T_s$	-55	+85	$^{\circ}\text{C}$	
Operating Temperature	$T_A$	-40	+85	$^{\circ}\text{C}$	
Lead Soldering Cycle	Temp.		+260	$^{\circ}\text{C}$	Note 1
	Time		10	sec	
Signal Pin Voltage	$V_{\text{SIGNAL}}$	-0.5	$V_{\text{CC}}$	V	
Supply Voltage	$V_{\text{CC}} - V_{\text{EE}}$	-0.5	6.0	V	
Output Current	$I_o$		25	mA	

Electrical / Optical Characteristics -40°C to +85°C; -5.45 V ≤ Supply Voltage ≤ -4.75 V,  
 $R_{LOAD} = 511 \Omega$ , Fiber sizes with core diameter ≤ 100  $\mu\text{m}$ , and N.A. ≤ 0.35 unless otherwise specified.

Parameter	Symbol	Min.	Typ. <sup>(1)</sup>	Max.	Units	Conditions	Reference
Responsivity	$R_p$	5.3	7	9.6	mV/ $\mu\text{W}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$ @ 820 nm, 50 MHz	Note 3, 4 Figure 21
		4.5		11.5	mV/ $\mu\text{W}$	@ 820 nm, 50 MHz	
RMS Output Noise Voltage	$V_{no}$		0.40	0.59	mV	Bandwidth Filtered @ 75 MHz $P_x = 0 \mu\text{W}$	Note 5
				0.70	mV	Unfiltered Bandwidth $P_x = 0 \mu\text{W}$	Figure 18
Equivalent Optical Noise Input Power (RMS)	$P_e$		-43.0	-41.4	dBm	Bandwidth Filtered @ 75 MHz	
			0.050	0.065	$\mu\text{W}$		
Peak Input Power	$P_x$			-7.6	dBm	$T_A = 25^\circ\text{C}$	Figure 19 Note 6
				175	$\mu\text{W}$		
				-8.2	dBm		
				150	$\mu\text{W}$		
Output Impedance	$Z_o$		30		$\Omega$	Test Frequency = 50 MHz	
DC Output Voltage	$V_{dc}$	-4.2	-3.1	-2.4	V	$P_x = 0 \mu\text{W}$	
Power Supply Current	$I_{cc}$		9	15	mA	$R_{LOAD} =$	
Equivalent N.A.	NA		0.35				
Equivalent Diameter	$D_x$		324		$\mu\text{m}$		Note 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้