

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

พัฒนาการส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านเส้นใยแก้วนำแสง
Development of Optical Voice and Video Transmissions



โดย
น.ส. ชัยนันท์ หมาหนานะ
นาย ทวี น้อยหา
นาย วิทยา แดงงาม

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 86756
วัน,เดือน,ปี 14 ส.ค. 2552

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีเล็กรทรอนิกส์
ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ พัฒนาการส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

Development of Optical Voice and Video Transmissions

ชื่อนักศึกษา น.ส. ชัยนันท์ หมานมานะ
นาย ทวีน้อยหา
นาย วิทยา แดงงาม

อาจารย์ที่ปรึกษา อ. สถาพร พรหมวงศ์
อ. มยุรี เลิศเวชกุล

ภาควิชา เทคนิคอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2540

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
รับปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(.....)

.....กรรมการ
(.....)

.....กรรมการ
(.....)

.....กรรมการ
(.....)

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัฒนาการส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

โดย น.ศ. ชัยหนับ หมานมานะ
 นาย ทวี น้อยหา
 นาย วิทยา แดงงาม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์
 อาจารย์ มยุรี เลิศเวชกุล

ปีการศึกษา 2540

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้เสนอ การส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งเส้นใยแก้วนำแสงนั้น มีแบนด์วิดท์กว้าง และมีสัญญาณรบกวนต่ำ จึงมีความเหมาะสมยิ่งที่จะใช้เป็นสายนำสัญญาณที่มี ประสิทธิภาพสูง และเป็นข้อได้เปรียบที่ดีมากกว่าสายนำสัญญาณแบบ โคแอกเซียล ซึ่งโครงการนี้เป็นโครงการที่ได้พัฒนาต่อมาจากของเดิม โดยได้ทำการออกแบบวงจรใหม่ให้มี ประสิทธิภาพ และเสถียรภาพดีมากขึ้น จากการทดสอบวงจรที่สร้างขึ้นจริงและผลของการส่งสัญญาณ เมื่อเปรียบเทียบกับโครงการเดิมที่ผ่านมา จะสังเกตได้ว่ารูปแบบของสัญญาณดีขึ้น และสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสงภาพที่รับได้มีความคมชัดมากขึ้น ดังได้แสดงให้เห็นผลการทดสอบ และรูปแบบของสัญญาณไว้ในบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development of Optical Voice and Video Transmissions

BY MISS. Chainuap Manmana
 MR. Thawee Noiha
 MR. Virtaya Dangngam

ADVISOR MR. Sathaporn Promwong
 MIS. Mayouree Lersvadchagul

YEAR 1997

ABSTRACT

This project presents the transmission of video and audio via optical fiber which has high bandwidth and low noise suitable in using for high efficiency conductor and has more conductor and more advantage than coaxial cable. The project is developed from previous project by changing in circuit design to provide high efficiency and more reliable. The test results from new circuit compare with the pattern is better and signal has more density which is show in chapter 4, test results and signal pattern.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ ก็เนื่องจากได้รับคำแนะนำและการช่วยเหลือด้านข้อมูลต่างๆเป็นอย่างดีจากอาจารย์ที่ปรึกษาคือ อาจารย์ สถาพร พรหมวงษ์ และ อาจารย์ นยุรี เกศเวชกุล จึงขอขอบ คุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ช่วยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในด้านทุนทรัพย์ ขอขอบคุณเพื่อนๆที่ให้อภัยให้กำลังใจ และคำแนะนำช่วยเหลือในการทำโครงการนี้จนสำเร็จลุล่วงไป ด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้าบทคัด
ช่อกาษาไทย	ก
บทคัดช่อกาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญภาพ	ช
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ประวัติการสื่อสารทางแสง	3
2.1 ประวัติการสื่อสารทางแสง	3
2.2 ข้อดี-ข้อเสียของการเคลื่อนที่ของแสง	4
2.3 กฎของแสง	5
2.3.1 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแสง	8
2.3.2 คุณสมบัติที่สำคัญของแสง	9
2.4 ชนิดของเส้นใยนำแสง	11
2.4.1 ชนิดหน้าตัดข้างคั่นนี้หักเห (Refractive Index Profile)	10
2.4.2 ชนิดตามการเดินทางในเส้นใยแสง (Propagation Mode)	12
2.5 จำนวน (Propagation Mode)	13
2.6 ความยาวคลื่นแสง	16
2.7 ลักษณะการเดินทางของแสงในเส้นใย	20
2.8 คุณสมบัติในการส่งของเส้นใยแสง	20
2.9 การสูญเสียแสง	20
2.9.1 การสูญเสียของเส้นใยแสง	20
2.9.2 การสูญเสียของการเชื่อมต่อเส้นใยแสง	23
2.10 การแผ่กว้างของพัลส์	28
2.10.1 Modal Dispersion	29
2.10.2 Chromatic Dispersion	29
2.11 ระบบสื่อสารทางแสง	32
2.12 โครงสร้างและการทำงานของการปล่อยแสง	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13	แถบพลังงาน	33
2.14	การเปล่งแสงและการดูดกลืน	37
2.15	ตัวกำเนิดแสง	39
2.16	ไดโอดเปล่งแสง (LED)	40
2.17	เลเซอร์ไดโอด (LD)	41
2.18	ข้อเปรียบเทียบระหว่าง LD กับ LED	43
2.19	คุณสมบัติที่ดีของตัวกำเนิดแสง	44
2.20	Photo Detectors	45
2.21	คุณสมบัติที่ดีของตัวรับแสง	49
2.22	ข้อเปรียบเทียบระหว่าง PEN กับ APD	50
บทที่ 3	การออกแบบและการสร้าง	51
3.1	ผังการทำงานของโครงการ	51
3.3.1	ผังการทำงานของเครื่องส่ง	51
3.3.2	ผังการทำงานของเครื่องรับ	52
3.2	วงจรค้ำส่ง	52
3.2.1	ภาควงจรออสซิลิโอ - วีดีโอ - มอดูเลเตอร์	52
3.2.2	หน้าที่การทำงานแต่ละขาของจูนเนอร์ UV 711	54
3.2.3	การทำงานของอิเล็กทรอนิกส์ จูนเนอร์	55
3.2.4	ภาคขยายสัญญาณ ไอเอฟและดีมอดูเลเตอร์	57
3.2.5	วงจรขยายไอเอฟ	58
3.2.6	วงจรมอดูเลตทางแสง	59
3.3	วงจรทางด้านรับ	60
3.3.1	วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า	60
3.3.2	วงจรเปลี่ยนสัญญาณเป็นไฟฟ้าของสัญญาณ	60
3.3.3	ภาคแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงของช่องสัญญาณที่ 1	61
3.3.4	ภาคแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงของช่องสัญญาณที่ 2	62
3.4	วงจรไฟ	63
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง	67
4.1	ลำดับขั้นการทดลอง	72
4.2	บทวิเคราะห์ปัญหาและแนวทางแก้ไข	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะในการพัฒนา	79
5.1 บทสรุป	79
5.2 แนวทางในการพัฒนา	79

บรรณานุกรม

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงชนิดและชื่อของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	6
รูปที่ 2.2 แสดงแสงชนิดต่าง ๆ	7
รูปที่ 2.3 แสดงสีและความยาวคลื่นของ VISIBLE LIGHT	8
รูปที่ 2.4 แสดงแสงที่ทะลุผ่านและแสงที่สะท้อนกลับที่รอยต่อของตัวกลาง 2 ชนิด	10
รูปที่ 2.5 แสดงการเกิด INTERFERENCE ของคลื่น	11
รูปที่ 2.6 แสดงชนิดของเส้นใยแสง	18
รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะหน้าตัดของเส้นใยแสงและการเดินทางของแสง	19
รูปที่ 2.8 แสดงคุณสมบัติการสูญเสียแสงจากการดูดแสงของเส้นใยแก้วที่ทำด้วยแก้ว	22
รูปที่ 2.9 แสดงสาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการสูญเสียแสง	27
รูปที่ 2.10 การมิดเฟียซของรูปสัญญาณปลายทาง	28
รูปที่ 2.11 แผนผังของแถบพลังงาน	34
รูปที่ 2.12 แถบพลังงานผู้ให้	36
รูปที่ 2.13 แถบพลังงานผู้รับ	36
รูปที่ 2.14 การดูดกลืนแสง	37
รูปที่ 2.15 การเปล่งแสงโดยตนเอง	38
รูปที่ 2.16 การเปล่งแสงโดยการกระตุ้น	39
รูปที่ 2.17 Surface Emitting LED	40
รูปที่ 2.18 Edge Emitting LED	41
รูปที่ 2.19 โครงสร้างของตัวกำเนิดแสงแบบเลเซอร์	42
รูปที่ 2.20 Index- Guided Buride Heterostructure (BH) LASER	42
รูปที่ 2.21 PIN - Receiver	46
รูปที่ 2.22 In GAAS Nesa - type PIN - Diode	47
รูปที่ 2.23 Planar Silicon PIN -Diode	47
รูปที่ 2.24 แสดงปรากฏการณ์ Avalanche Effect	47
รูปที่ 2.25 Short Wave lenght Silicon	48
รูปที่ 2.26 Long - Wave lenght In GaAs APD	49
รูปที่ 3.1 ผังการทำงานทางด้านเครื่องส่ง	51

รูปที่ 3.2	ผังการทำงานทางด้านเครื่องรับ	52
รูปที่ 3.3	วงจรออติโอ วีดีโอ มอดูเลเตอร์	53
รูปที่ 3.4	แสดงตำแหน่งขาจูนเนอร์	54
รูปที่ 3.5	แสดงวงจรภายในจูนเนอร์ระบบ UHF และ VHF	55
รูปที่ 3.6	วงจรขยายสัญญาณไอเอฟและดีมอดูเลต	57
รูปที่ 3.7	วงจรขยายไอเอฟ	58
รูปที่ 3.8	วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง	59
รูปที่ 3.9	วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า	60
รูปที่ 3.10	วงจรแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงของช่องสัญญาณที่ 1	61
รูปที่ 3.11	วงจรแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงของช่องสัญญาณที่ 2	62
รูปที่ 3.12	วงจรภาคจ่ายไฟของเครื่องรับและเครื่องส่ง	63
รูปที่ 3.13	แสดงรูปปลายวงจรภาคส่ง	65
รูปที่ 3.14	แสดงรูปปลายวงจรภาครับ	66
รูปที่ 4.1	แสดงส่วนประกอบในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านเส้นใยแสง	67
รูปที่ 4.2.1	แสดงจุดทดสอบ TP1, TP2	68
รูปที่ 4.2.2	แสดงจุดทดสอบ TP3	69
รูปที่ 4.2.3	แสดงจุดทดสอบ TP4, TP5	69
รูปที่ 4.2.4	แสดงจุดทดสอบ TP6, TP7	70
รูปที่ 4.3	แสดงสัญญาณเอาร์ทพุทจากเครื่องเล่นวีดีโอเทป	71
รูปที่ 4.4	แสดงสัญญาณความถี่ไอเอฟที่จุด TP 1	72
รูปที่ 4.5	แสดงสัญญาณที่เอาร์ทพุทที่ออกจาก ไอซ์ TDA 8305 ที่จุด TP2	72
รูปที่ 4.6	แสดงสัญญาณที่วัดคกร้อม LED ที่จุด TP3	73
รูปที่ 4.7	แสดงสัญญาณที่วัดคกร้อม PHOTO DTODE ที่จุด TP4	73
รูปที่ 4.8	แสดงสัญญาณที่วัดได้ที่จุด TP4 เมื่อ INVERT	74
รูปที่ 4.9	แสดงสัญญาณที่วีดีโอเมื่อผ่านภาคขยายที่จุด TP5	74
รูปที่ 4.10	แสดงสัญญาณเสียงที่จุด TP6	75
รูปที่ 4.11	แสดงสัญญาณวีดีโอเอาร์ทพุทที่จุด TP 7	75
รูปที่ 4.12	แสดงสัญญาณเปรียบเทียบระหว่างเอาร์ทพุทที่จุด TP7	76
รูปที่ 4.13	แสดงการค่อทดสอบเครื่องส่งและเครื่องรับ	76
รูปที่ 4.14	แสดงเครื่องต้นแบบของเครื่องส่ง	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ที่ 1 การเปรียบเทียบระหว่าง LD กับ LDE	44
ที่ 2 การเปรียบเทียบระหว่าง PEN กับ APD	50
ที่ 3 การเลือกย่านความถี่	56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันโลกการสื่อสารมีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว ระบบการสื่อสารต่างๆ ได้พัฒนาเทคโนโลยีที่ทันสมัยขึ้นมากกว่าก่อนมาก ระบบการส่งสัญญาณภาพและเสียงได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเห็นได้ในรูปแบบต่างๆ เช่น การส่งสัญญาณโทรทัศน์จากสถานีทวนสัญญาณที่ตั้งอยู่ตามพื้นดิน ที่ได้มีการพัฒนาคำเนินธุรกิจทางโทรทัศน์ในชื่อของ “เคเบิลทีวี” ซึ่งใช้สายนำสัญญาณแกนร่วม (Coaxial) ในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ โดยมีขอบเขตเฉพาะในชุมชนโคชุมชนหนึ่งเท่านั้น และเมื่อไม่นานมานี้ได้มีการส่งสัญญาณโทรทัศน์ไปยังบ้านผู้รับโดยตรง ซึ่งใช้การส่งผ่านดาวเทียม โดยดาวเทียมทำหน้าที่เสมือนสถานีทวนสัญญาณที่ลอยอยู่ในอวกาศ และส่งสัญญาณโทรทัศน์นั้นมายังบ้านหรือที่อยู่อาศัย ซึ่งเรียกระบบนี้ว่า “ระบบ DTH (Direct To Home)” ระบบนี้กำลังเป็นที่นิยมมากในปัจจุบัน ซึ่งสังเกตได้จากการตื่นตัวกับระบบนี้มากขึ้น ทั้งบริษัทผู้ส่งและผู้ให้บริการ โดยระบบต่างๆ ที่ได้พัฒนา ขึ้นมานี้จะสามารถจะส่งสัญญาณโทรทัศน์ไปได้ อย่างมีประสิทธิภาพมาก และสำหรับปริญญาโทฉบับนี้ จะนำแบบหนึ่งนอกเหนือไปจากการสื่อสารผ่านดาวเทียม โดยในระบบนี้จะเปลี่ยนจากการส่งสัญญาณไฟฟ้า เป็นการส่งสัญญาณแสงไปในสายนำสัญญาณที่มี ลักษณะเป็นแท่งแก้วขนาดเล็กที่มีดัชนีการหักเหของแสง คล้ายกับกระจกเงา (จะกล่าวรายละเอียดในบทต่อไป) แท่งแก้วนี้เรียกว่าเส้นใยแสงซึ่งมีขนาดเล็กมาก ประมาณ 125µm ซึ่งคาดว่าระบบการสื่อสารผ่านเส้นใยแสง จะเข้ามามีบทบาทกับชีวิตประจำวันของคนเรามากขึ้นในอนาคตอันใกล้นี้ เพราะระบบ นี้สามารถที่จะให้ความชัดเจนของภาพมากที่สุด หรือในระบบการส่งข้อมูลนั้นระบบนี้ก็จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดและมีการผิดพลาดน้อยมาก

ซึ่งในปริญญาโทฉบับนี้อาจจะมีประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจได้บ้าง และทางคณะผู้จัดทำขออภัยหากมีข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในปริญญาโทฉบับนี้

จุดประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาการทำงานของระบบการสื่อสารโดยใช้แสง
2. เพื่อศึกษาการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง และอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า
3. เพื่อศึกษาการออกแบบวงจรส่งและรับสัญญาณ โทรทัศน์ในระบบการสื่อสาร โดยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เพื่อสร้างเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศนในระบบการสื่อสารด้วยแสง
5. เพื่อวัดสัญญาณและเปรียบเทียบสัญญาณตรงจุดต่างๆ ของเครื่องส่งและรับ
6. เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ เป็นสื่อในการศึกษาระบบการสื่อสารโดยแสงได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อสามารถนำไปศึกษาหลักการทำงานของระบบการสื่อโดยแสง
2. เพื่อสามารถนำไปใช้ศึกษา หลักการทำงานของอุปกรณ์ เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้า เป็นสัญญาณแสงและอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณ ไฟฟ้า
3. เพื่อสามารถ ใช้การเรียนรู้ การออกแบบวงจรส่ง และ วงจรรับ สัญญาณ โทรทัศน์ ในระบบ การสื่อสาร โดยแสง
4. เพื่อสามารถเรียนรู้และ ได้ประสบการณ์จาก การสร้างเครื่องส่ง และ รับสัญญาณ โทรทัศน์ในระบบการสื่อสารโดยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

แนวความคิดในการที่จะนำแสงมาใช้ในการสื่อสารนั้นได้เกิดขึ้นมาตั้งแต่ สมัยที่มนุษย์รู้จัก บังคับแสงซึ่งได้จากไฟและอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ตัวอย่างเช่น การจุดพลุสัญญาณ สัญญาณไฟและการใช้กระจกสะท้อนแสงอาทิตย์ แต่จะใช้ระยะจำกัด จึงต้องจัดคนเป็นช่วงๆ เพื่อทำหน้าที่ถ่ายทอดข่าวสาร เพื่อเป็นการเพิ่มระยะในการสื่อสารให้มากขึ้น ต่อมาก็ได้มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบ โดยใช้การสว่างและดับของแสงเป็นตัวกำหนดข้อมูลข่าวสารทำให้สามารถเพิ่มปริมาณข่าวสารมากยิ่งขึ้น

ในปี ค.ศ. 1880 ชาวอเมริกันชื่อ Alexander Graham Bell ได้ประดิษฐ์เครื่อง โทรศัพท์ ที่ทำงานโดยอาศัย หลักการของแสงขึ้นเป็นครั้งแรกโดยใช้แสงอาทิตย์เป็นตัวกำเนิดแสง และทางด้านรับใช้ Selenium Cell เป็นอุปกรณ์รับแสงสามารถใช้งานได้หลายร้อยเมตรทีเดียว

การสื่อสารทางแสงเกิดขึ้นได้ด้วยผลสำเร็จของการประดิษฐ์อุปกรณ์ รับมิลเลเซอร์ (Ruby Laser) (LASER : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) หมายถึง แสงที่ปล่อยออกมาจากการขยายแสงโดยการกระตุ้นให้เกิดขึ้น ซึ่งเป็นแสงที่มีความถี่ (ความยาวคลื่น) และเฟส สม่ำเสมอเป็นระเบียบ เช่นเดียวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำแสงไปใช้งานได้เช่นเดียวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นคือ แสงมีความถี่ประมาณ 10^{14} Hz ซึ่งสูงกว่าคลื่นไมโครเวฟ (10^{10} Hz) ต่อมาได้มีการพัฒนาเป็นโซลิดเซอร์ (Solid Laser) และพัฒนาจนเป็น เซมิคอนดักเตอร์ (Semiconductor Laser) ซึ่งเป็นแบบ จังก์ชัน (Junction Laser) ที่สามารถทำงานอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้องปกติได้ เมื่อสามารถประดิษฐ์ตัวกำเนิดแสงที่ดีได้ การสื่อสารทางแสงจึงได้บังเกิดขึ้นอย่างจริงจัง ด้วยการส่งแสงผ่านตัวกลางนำแสงที่ผลิตมาจากแก้ว แสงสามารถเดินทางอยู่ภายในตัวกลางหรือเส้นใยแสงได้ เนื่องจากค่าดัชนีหักเหของวัสดุตัวกลางด้านนอกและด้านในมีความแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามในระยะเริ่มแรกเส้นใยแสงที่ผลิตได้มีการลดทอนสูงมาก เนื่องจากไม่สามารถทำให้แก้วบริสุทธิ์เพียงพอแต่ได้มีการพัฒนาเทคนิคในการผลิตมาโดยตลอด จนปัจจุบันนี้เส้นใยแสงที่ผลิตได้มีการลดทอนที่ต่ำมาก

2.2 ข้อดี-ข้อเสียของการสื่อสารทางแสง

การสื่อสารทางแสงเป็นที่ได้รับความนิยมมากขึ้นตามลำดับปัจจัยหนึ่ง ที่สนับสนุนก็คือข้อดีต่างๆ ของระบบนี้เมื่อเทียบการสื่อสารทางไฟฟ้าดังพอสรุปข้อดีและข้อเสียของระบบนี้ได้ดังนี้

2.2.1 ข้อดีของการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

- ขนาดเล็กและเบา

เคเบิลใยแสงมีขนาดเล็กและเบากว่ามากเมื่อเทียบกับ เคเบิลตัวนำทองแดงดังนั้น การสร้างข่ายสายจึงทำได้ สะดวกกว่าและนอกจากนี้ยังสามารถใช้ท่อร้อยสายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- มี Band Width กว้างมาก

เคเบิลใยแสงมี Band Width ที่กว้างมาก(ประมาณ 10 GHz) ทำให้ระบบสามารถมีความจุช่องสัญญาณสูงขึ้น

- การลดทอนของสัญญาณต่ำมาก

เคเบิลใยแสงมีการลดทอนของสัญญาณที่ต่ำมาก (ประมาณ 0.2 dB/Km) จึงทำให้สามารถลดจำนวนอุปกรณ์ทวนสัญญาณ (Regenerator) ลงได้

- ปราศจากการรบกวนจากสนามแม่เหล็ก

เนื่องจากแก้วไม่ใช่ตัวนำไฟฟ้า สนามแม่เหล็กไฟฟ้า จึงไม่มีการรบกวน ดังนั้นเคเบิลใยแสงจึงสามารถวางร่วมกับแนวสายส่งไฟฟ้ากำลัง หรือระบบไฟฟ้า ได้โดยไม่ต้องมีชิลด์ (Shield)

- ปราศจาก Cross talk

เนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไม่มีผลต่อระบบนี้และ ระบบนี้ยังไม่สร้าง สนามแม่เหล็กรบกวน ระบบอื่นๆ ดังนั้นเส้นใยแสงที่ใช้งานด้วยกันจึงไม่รบกวนซึ่งกันและกัน

- ประหยัด

แม้ว่าปัจจุบันราคาของเคเบิลใยแสง จะสูงกว่าเคเบิลตัวนำทองแดงก็ตามแต่ในอนาคตมีแนวโน้ม จะลดลงเนื่องจากวัสดุหลักที่นำมาผลิตเส้นใยแสงคือสารจำพวกแก้ว ซึ่งต่างจากเคเบิลตัวนำทองแดง ซึ่งมี แนวโน้มจะสูง ขึ้นเรื่อยๆและเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการใช้งานและข้อดีต่างๆ การสื่อสารทางแสง โดยผ่านเส้นใยจะเป็นการลงทุนที่คุ้มค่าและประหยัดกว่า

- ทนความร้อนได้สูง

เส้นใยแสงได้ถูกผลิตขึ้นมา จากสารจำพวกแก้วซึ่ง มีจุดหลอมเหลวสูงมากถึง 1500 °C ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้งานในบริเวณที่มีความร้อนสูงได้

2.2.2 ข้อเสียของการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

- ปรากฏ

เนื่องจากเส้นใยแสงผลิตมาจากแก้วดังนั้นจึงมีความปรากฏมากดังนั้นจะต้องมีการระมัดระวังเป็นพิเศษผลิตและการใช้งาน

- ต้องไม่ว่าจะในขณะขบวนการใช้อุปกรณ์พิเศษในการติดตั้ง

เนื่องจากการวางเคเบิล การต่อเชื่อมสาย ตลอดจนการติดตั้งต่างๆจะต้องใช้ความปราณีตและความสะอาดเป็นพิเศษ และนอกจากนี้ยังต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะอย่าง ซึ่งมีราคาค่อนข้างแพงอยู่ในปัจจุบันนี้ในการดำเนินการต่างๆ

- มีการสูญเสียเมื่อมีการโค้งงอ (Bending Loss)

ไม่สามารถที่จะโค้งงอเคเบิลเส้นใยแสงได้มากกว่าที่กำหนดไว้ เนื่องจากจะทำให้แสงสามารถทะลุผ่านออกไปได้

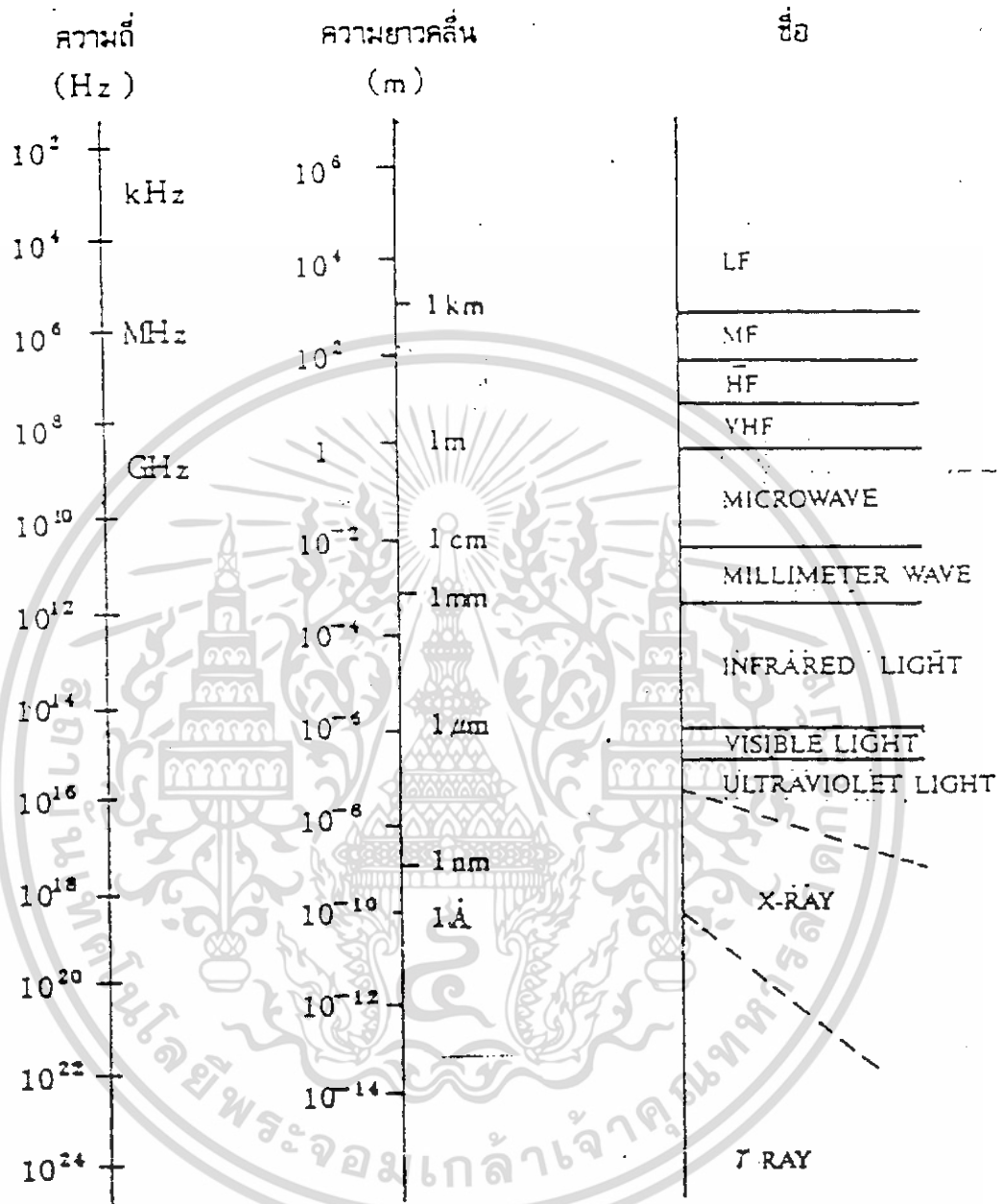
ข้อเสียต่างๆที่กล่าวมาแล้วสามารถแก้ไขทางเทคนิคได้ และเครื่องมือต่างๆก็ได้รับการพัฒนาจนมีประสิทธิภาพสูงมาก และราคาขงถูกลงอีกด้วย ดังนั้นสรุปแล้วข้อเสียดังกล่าวจึงไม่เป็นอุปสรรคมากนักในทางปฏิบัติ

2.3 กฎของแสง (Principle of Light)

แสงคืออะไร?

ในทางฟิสิกส์ถือว่า แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง คลื่นที่ใช้กับการส่งทีวี, วิทยุ และการสื่อสารวิทยุ, แสง X-RAY ที่ใช้ในการแพทย์สำหรับตรวจภายในร่างกาย, แสง GAMMA-RAY ที่ใช้ในการรักษาโรคมะเร็งอย่างต่างก็เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งนั้น หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือเป็นคลื่นพวกเดียวกับแสงเหมือนกัน

สำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้น มีความถี่หรือความยาวคลื่นต่างๆกันดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงชนิดและชื่อของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีช่วงความยาวคลื่นจากหลายร้อย ไมโครมิเตอร์ (MICROMETER) ($\mu\text{m} : 10^{-6}\text{m}$) ไปจนถึงหลายสิบนานาโนมิเตอร์ (NANOMETER) ($\text{nm} : 10^{-9}$) นั้น เรียกว่าแสง (LIGHT , OPTIC) ส่วนคลื่นวิทยุเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

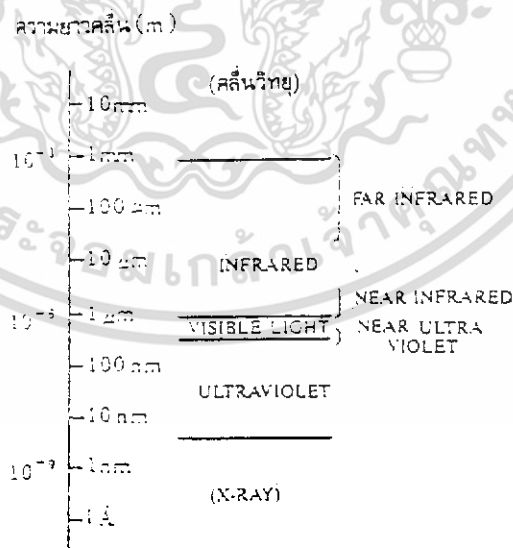
(ความถี่ต่ำกว่า)แสงและลำแสง X - RAY . R - RAY เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าแสง

สำหรับแสงนั้นยังแบ่งชนิดตามความยาวคลื่นได้เป็น

- แสง FAR INFRARED
- แสง INFRARED
- แสง NEAR INFRARED
- แสง VISIBLE LIGHT
- แสง NEAR ULTRAVIOLET
- แสง ULTRAVIOET

ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.2 แต่มีข้อสังเกตคือไม่มีการแบ่งช่วงของแสงต่าง ๆ อย่างชัดเจน แสงที่ตามมนุษย์เรามองเห็นได้นั้นจะอยู่ในช่วง 380 - 400 nm ไปจนถึง 760 - 800 nm แสงที่อยู่ในช่วงนี้เรียกว่า VISIBLE LIGHT

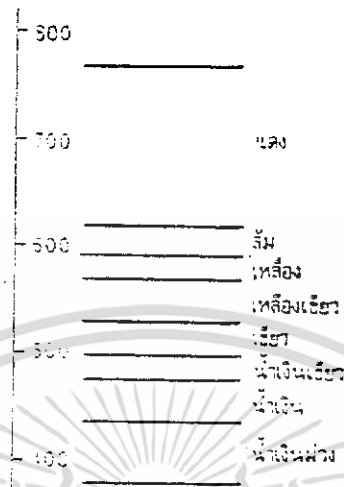
อนึ่งแสง VISIBLE LIGHT ที่มีความยาวคลื่นต่างกับนั้นจะมีสีต่างกันออกไป กล่าวคือแสงที่มีความยาวคลื่นยาว จะมีสีแดงส่วนแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นจะมีสี ออกไปทางสีน้ำเงินดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 แสดงแสงชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวคลื่น (nm)



รูปที่ 2.3 แสดงสีและความยาวคลื่นของ VISIBLE LIGHT

2.3.1 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแสง

ความเร็วการเคลื่อนที่ ของแสงจะขึ้นอยู่กับชนิดตัวกลางที่แสงเดินทางผ่านแสง จะมีความเร็วสูงสุดเมื่อเคลื่อนที่ใน สุญญากาศ ความเร็วของแสงใน สุญญากาศ จะกำหนดโดยตัวอักษร C และมีดังต่อไปนี้

$$C = 300,000 \text{ กม./วินาที } (3 \cdot 10^8 \text{ ม./วินาที})$$

ตามกฎของไอส์ไลน์ ความเร็วนี้เป็นความเร็วสูงสุดที่สามารถสังเกตได้ในการวัดทางกายภาพ เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางอื่น จะมีความเร็วลดลงความเร็วของแสงในการเดินทางผ่านตัวกลางอื่นนี้จะกำหนดด้วยตัวอักษร V และมีความสัมพันธ์กับ C ดังนี้

$$V = C/n$$

n คือค่าดัชนีหักเหของแสง (Refractive Index) ของวัสดุตัวกลางที่แสงผ่านตามปกติแล้ว แก้วที่ใช้ในการทำเส้นใยแสงจะมีค่าดัชนีการหักเหประมาณ 1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$n_{\text{glass}} = 1.5$$

หากนำค่าที่กำหนดแทน ที่ในสูตร ความเร็วของแสงในแก้วจะเป็น

$$v_{\text{glass}} = \frac{300,000}{1.5} = 200,000 \text{ กม./วินาที}$$

2.3.2 คุณสมบัติที่สำคัญของแสง

คุณสมบัติที่สำคัญของแสงมี 3 ชนิดคือ

1. แสงเดินทางเป็นเส้นตรง กล่าวคือ ในตัวกลางชนิดเดียวกันนั้นแสงจะเดินทางเป็นเส้นตรง
2. การสะท้อนกลับ กล่าวคือ ครงรอยต่อของตัวกลางต่างชนิดกันนั้นส่วนหนึ่ง ของแสงตกกระทบจะเกิดการสะท้อนกลับ
3. การหักเห กล่าวคือ ครงรอยต่อ ตัวกลางต่างชนิดกันนั้นหลังจากที่ แสงตกกระทบ แล้ว ส่วนที่ไม่สะท้อนกลับ จะเดินทางไปในตัวกลางอีกชนิดหนึ่งแต่ทิศทางของมันจะเปลี่ยนไป

คุณสมบัติข้อ 1 ตัวอย่างที่เราคุ้นเคยในชีวิตประจำวันได้แก่ เงา , การฉายหนังตะลุง เป็นต้น

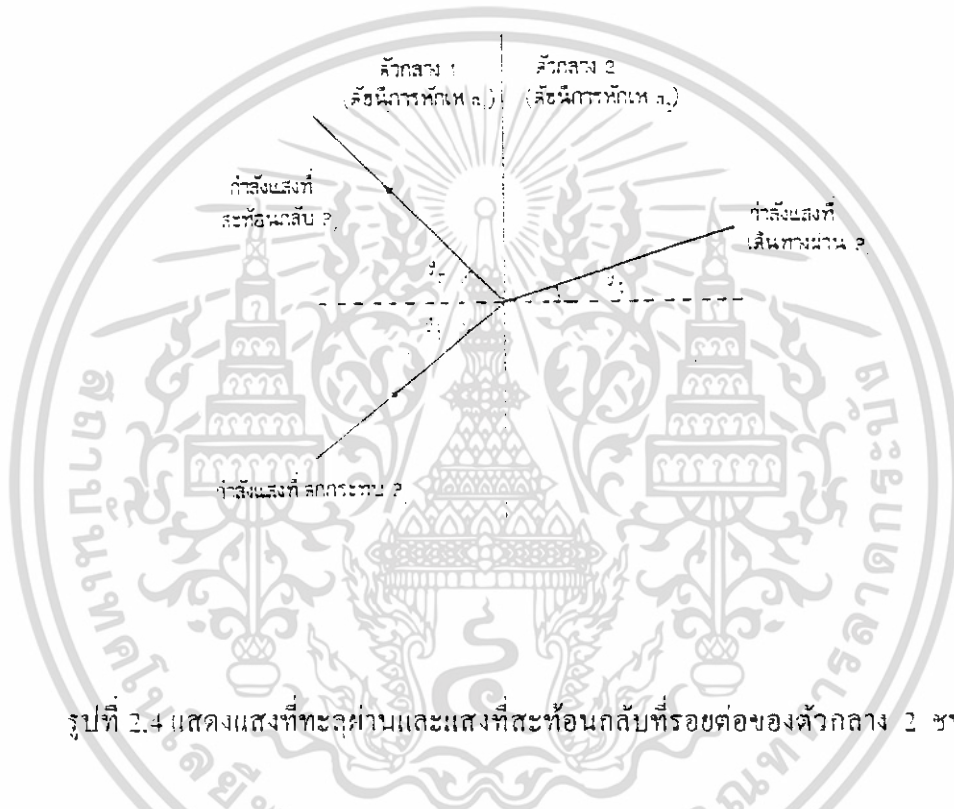
คุณสมบัติข้อ 2 ว่า อย่างที่เราคุ้นเคยในชีวิตประจำวันได้แก่ เงาของต้นไม้และทิวทัศน์ที่ทอดลงในสระน้ำ , ทะเลสาบ เป็นต้น เกี่ยวกับการสะท้อนกลับที่มีกฎของการสะท้อนกลับกล่าวว่า แสงตกกระทบกับกับมุมสะท้อนกลับเสมอ

คุณสมบัติข้อ 3 ตัวอย่างที่เราคุ้นเคยในชีวิตประจำวันได้แก่ ปรากฏการณ์การที่เราเห็น ส่วนล่างของซอสนาที่จุ่มอยู่ในแก้วบรรจุน้ำบิงอ เกี่ยวกับการหักเหของแสงนี้มีกฎที่สำคัญอยู่อันหนึ่งคือ SNELL S LAW จากรูปข้อ 2.4 สมมุติว่ามีตัวกลาง 2 อัน ตัวกลางอันที่ 1 มีค่าดัชนีการหักเหของแสงเป็น n_1 และตัวกลางอันที่ 2 มีค่าดัชนีการหักเหของแสงเป็น n_2 ถ้ามีแสงตกกระทบที่ตัวกลางอันที่ 1 ด้วยมุมนี้จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างมุม $\theta_1, \theta_2, n_1, n_2$ ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

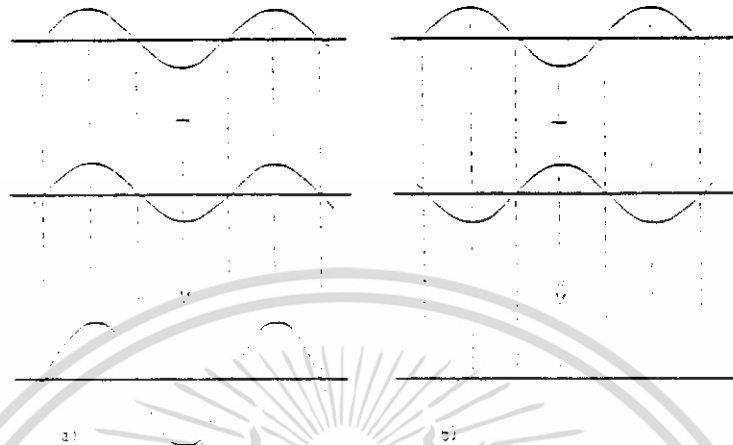
สมการนี้เรียกว่า SNELL LAW จากสมการนี้จะเห็นได้ว่า เมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหต่ำไป ยังตัวกลางที่มีค่า ดัชนีการหักเหสูงนั้นมันจะเบนออกจากรอยต่อของตัวกลางทั้ง 2 (โปรดดูรูปที่ 2.4 ประกอบ) ในทางตรงกันข้ามถ้าหากแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหสูงไปยังตัวกลางที่มีค่าการหักเหต่ำ มันจะเบนเข้าหารอยต่อของตัวกลางทั้งสอง



รูปที่ 2.4 แสดงแสงที่ทะลุผ่านและแสงที่สะท้อนกลับที่รอยต่อของตัวกลาง 2 ชนิด

นอกจากนั้นเนื่องจากว่า แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง เหมือนกันดังนั้นจึงมีคุณสมบัติพิเศษของคลื่นอยู่ด้วย นั่นคือมี INTERFERENCE ระหว่างคลื่น 2 อัน คำว่า INTERFERENCE นั้นหมายความว่า ณ.บริเวณอันหนึ่ง ถ้ามีคลื่น 2 อันมาถึงในเวลาเดียวกันแล้ว ความแรงของคลื่น ณ. บริเวณนั้น จะเกิดจากปรากฏการณ์ที่ความแรงของคลื่นทั้งสองรวมกันหรือหักล้างกัน ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่าเวฟ (wave) INTERFERENCE ยกตัวอย่างเช่นรูปที่ 2.5 (a) คลื่นทั้งสองมีเฟสตรงกันพอดี ผลคือ คลื่นทั้งสองจะเสริมกันทำให้แรงมากขึ้นกว่าเดิม

ส่วนในรูปที่ 2.5 (b) นั้นคลื่นทั้งสอง ต่างมีเฟสตรงกันข้ามกัน ผลก็คือ คลื่นทั้งสองจะหักล้างกัน ปรากฏการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นกับแสงเหมือนกัน



รูปที่ 2.3 แสดงการเกิด INTERFERENCE ของคลื่น

2.4 ชนิดของเส้นใยนำแสง (Optical Fiber Types)

เส้นใยแสงสามารถที่จะแบ่งออกได้ตาม ชนิดหน้าตัดข้างต้นหักเห (Refractive Index Profile) และ ชนิดของเส้นใยแสงตามจำนวน โหมด (Propagation Mode)

2.4.1 ชนิดหน้าตัดข้างต้นหักเห (Refractive Index Profile)

การแบ่งตาม Refractive Index Profile สามารถแบ่งเส้นใยออกได้ 2 ชนิด คือ Step Index และ Graded Index

1. เส้นใยแสงแบบดัชนีลาด (SI : Step Index)

เส้นใยแสงชนิดนี้จะมีค่าดัชนีหักเหของแสงของแกน (Core) และเคลดดิ้ง (Cladding) ที่แตกต่างกัน โดยที่บริเวณแกน (Core) จะมีค่าดัชนีหักเหของแสงสูงกว่าเคลดดิ้ง (Cladding) เล็กน้อย และเมื่อพิจารณา Index Profile ของเส้นใยแสงชนิดนี้ การเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีหักเหของแสง

จากแกน (Core) จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดคล้ายขั้นบันได ดังนั้นจึงเรียกเส้นใยแสงชนิดนี้ว่า Step Index Fiber

Step Index Fiber เมื่อนำมาใช้งาน จะเป็นได้ทั้ง Single mode และ Multi mode โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางของแกน (Core) ที่แตกต่างกัน หากใช้เป็น Single mode จะต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางของแกน (Core) ประมาณ 10 μm แต่หากใช้เป็น Multi mode เส้นผ่าศูนย์กลางของแกน (Core) อาจจะเป็น 50 μm อย่างไรก็ตามหากใช้เป็น Multi mode ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ Modal Dispersion เนื่องจากแสงมีการเคลื่อนที่หลายเส้นทาง แต่ละเส้นทางระยอทางไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงทำให้สัญญาณไปถึงปลายทางไม่พร้อมกัน การผิดเพี้ยน (Distortion) ของสัญญาณจึงเกิดขึ้น ดังนั้น Graded Index Fiber จึงเกิดขึ้น เพื่อลดปัญหาดังกล่าวดังจะได้อีกกล่าวต่อไป

2. เส้นใยแสงแบบค้ำนี้ลวด (GI : Graded Index)

เส้นใยแสงชนิดนี้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อลดปัญหา Modal Dispersion โดยทำให้ค่าดัชนีหักเหของแสงตรงบริเวณแกน (Core) สูงกว่าเคลดดิ้ง (Cladding) เล็กน้อย ค่าดัชนีหักเหของแสงจะค่อย ๆ ลดลงจาก แกน (Core) ไปทางเคลดดิ้ง (Cladding) เมื่อแสงเดินทางไปในเส้นใยแสงชนิดนี้ แสงจะมีการหักเหและการสะท้อนลึกลงล่างอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของแสงที่เล็กน้อยนั้น จึงทำให้ดูเหมือนว่าแสงเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง

เส้นใยแสงชนิดนี้ใช้เป็น Multi mode เท่านั้น การเคลื่อนที่ของแสงแต่ละเส้นทางจะใช้ระยะเวลาพอ ๆ กัน ถึงแม้ว่าระยะทางจะแตกต่างกันก็ตาม เนื่องจากแสงที่เดินทางสั้นที่สุดผ่านแกนกลางของแกน (Core) จะเคลื่อนที่ได้ช้าที่สุด และทำนองกลับกันแสงที่เดินทางไกลที่สุดซึ่งมีการสะท้อนบริเวณเคลดดิ้ง (Cladding) จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่าง ๆ กัน ปัญหาเกี่ยวกับ Modal Dispersion จึงลดลง

2.4.2 ชนิดตามการเดินทางในเส้นใยแสง (Propagation Mode)

การแบ่งตาม Propagation mode สามารถแบ่งเส้นใยแสงออกได้ 2 ชนิดคือ Single mode และ Multi mode

1. แบบโหมคเดี่ยว (SM : Single mode)

เส้นใยแสงชนิดนี้ แสงสามารถเคลื่อนที่ไปในเส้นใยได้เพียง Mode เดียว ดังนั้นจึงต้องผลิตเส้นใยแสงชนิดนี้ซึ่งเป็นแบบ Step Index ให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแกน (Core) และ แคลดดิ้ง (Cladding) แตกต่างกันประมาณ 0.3 % เส้นใยแบบ Single mode จะเหมาะสำหรับการสื่อสารระยะไกลหรือมีระบบที่มี Transmission Speed สูง ๆ เนื่องจากมีการลดทอนของสัญญาณที่ต่ำมาก และยังมี Dispersion น้อยมาก

2. แบบหลายโหมค (MM : Multi mode)

เส้นใยแสงชนิดนี้ แสงสามารถเคลื่อนที่ไปในเส้นใยได้หลาย Mode เนื่องจากแกน (Core) มีขนาดโตกว่า มีใช้ทั้งแบบ Step Index และ Graded Index แต่แบบ Graded Index จะได้รับความนิยมมากกว่าเนื่องจากสามารถลดปัญหาเกี่ยวกับ Modal Dispersion ลงได้

เส้นใยแสงแบบ Multi mode จะเหมาะสมสำหรับการสื่อสารระยะไม่ไกลมากนักหรือกับระบบที่มี Transmission Speed ต่ำ ๆ เนื่องจากค่าใช้จ่ายถูกกว่า

2.5 จำนวน Propagation Mode

จำนวน Mode ของแสงที่เคลื่อนที่ในเส้นใยเป็นเครื่องบ่งชี้ชนิดของเส้นใยแสงอย่างหนึ่ง ดังได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิดคือ

1. Single mode
2. Multi mode

องค์ประกอบที่ทำให้จำนวน Mode ของแสงที่เคลื่อนที่ไปในเส้นใยมีมากน้อยเพียงใด จะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ แกน (Core) ความแตกต่างระหว่างค่าดัชนีหักเหของแสงบริเวณแกน (Core) และ แคลดดิ้ง (Cladding) และความยาวคลื่นแสงเราสามารถที่จะคำนวณจำนวน Mode ของแสงที่เคลื่อนที่ไปในเส้นใยโดยพิจารณาจากค่า Normalized Frequency (v) ดังนี้

โดย a = รัศมีของ แกน (Core)

λ = ความยาวคลื่นแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

n_1 = ดัชนีหักเหของแสงที่ แกน (Core)

n_2 = ดัชนีหักเหของแสงที่ แคลดดิ้ง (Cladding)

ดังนั้นจำนวน mode ของแสงที่สามารถเคลื่อนที่ไปในเส้นใยแสงได้ เป็นดังนี้

$$N = V^2/2 \quad (\text{สำหรับ SI Fiber})$$

$$N = V^2/4 \quad (\text{สำหรับ GI Fiber})$$

ตัวอย่าง เส้นใยแสงเส้นหนึ่งแบบ Graded Index Fiber มีเส้นผ่าศูนย์กลางของแกน (Core) เท่ากับ 50 μm มีค่าดัชนีหักเหของแสงที่ แกน (Core) เท่ากับ 1.5 และที่ cladding เท่ากับ 1.485 จงหาจำนวน Mode ของแสงเมื่อความยาวคลื่นแสงที่ใช้ เท่ากับ 850 nm

$$V = \frac{2\pi a \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{\lambda}$$

$$V = \frac{2\pi(25)\sqrt{(1.5)^2 - (1.485)^2}}{0.85}$$

$$= 39.1$$

$$N = V^2/4 \quad (\text{สำหรับ GI Fiber})$$

$$= 382$$

นั่นคือจำนวน Mode สูงสุดในกรณีข้างต้นเท่ากับ 382

จะเห็นว่าจำนวน Mode สูงสุดในกรณีข้างต้นเท่ากับ 382 แต่ในความจริงแล้วจะพบว่าใน ส่วนที่ต่อกับแหล่งกำเนิดแสงจะมีจำนวน Mode มากกว่าที่คำนวณได้จากสูตร จำนวน Mode ที่เกิน อยู่นี้ เรียกว่า Leaky mode ซึ่งจะมีจำนวนลดน้อยลงไปมาก เนื่องจากการหักเหกลับกันเองเมื่อเดินทาง ไปได้ระยะทางหนึ่ง Leaky mode เหล่านี้จะหายไป เหลือจำนวน Mode ตามที่คำนวณได้ จากสูตร นั้น

การเคลื่อนที่ของแสงหลาย ๆ Mode ในเส้นใย จะทำให้เกิดการสูญเสียและผิดเพี้ยนของ สัญญาณขึ้นเนื่องจาก Modal Dispersion จึงต้องแก้ไขด้วยการทำให้จำนวน Mode ของแสงลดลง

โดยลดขนาดของแกน(Core)และค่าความแตกต่างของดัชนีการหักเหระหว่างแกน(Core)และแคลดดิ้ง (Cladding)ลง

ตัวอย่าง เส้นผ่าศูนย์กลางของแกน (Core) เท่ากับ 9 μm มีค่าดัชนีหักเหของแสงที่ แกน (Core) เท่ากับ 1.462 และแคลดดิ้ง (Cladding) เท่ากับ 1.458 จงคำนวณหา mode ของแสง เมื่อความยาวคลื่นแสงที่ใช้ เท่ากับ 1.55 μm

$$V = \frac{2\pi a \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{\lambda}$$

$$V = \frac{2\pi(4.5) \sqrt{(1.462)^2 - (1.458)^2}}{1.55}$$

$$= 1.97$$

$$N = \sqrt{V^2} \quad (\text{สำหรับ SI Fiber})$$

$$= 1.94$$

นั่นคือจำนวน Mode สูงสุดสำหรับกรณีนี้คือ 1 Mode

หากแสงสามารถเดินทางไปในเส้นใยได้เพียง Mode เดียวเท่านั้น เราเรียกเส้นใยแสงชนิดนี้ว่า Single mode fiber เส้นใยแสงชนิดนี้สามารถแก้ปัญหา Modal Dispersion ได้อย่างดี

2.6 ความยาวคลื่นแสง (λ_c : Cutoff Wavelength)

สำหรับเส้นใยแสงแบบ Single mode ปัจจัยที่ทำให้เส้นใยแสงมีสภาพเป็น Single mode Fiber ได้ นอกจากโครงสร้างและคุณภาพสมบัติของเส้นใยแสงยังมีปัจจัยอื่นอีก เช่น ความยาวคลื่นแสงที่ใช้ ความยาวคลื่นแสงน้อยสุดซึ่งยังทำให้เส้นใยแสงคงสภาพเป็น Single mode เราเรียกความยาวคลื่นแสงนี้ว่า Cutoff Wavelength (λ_c)

$$\lambda_c = 3.7 a n_1 \sqrt{\Delta}$$

โดยที่ a = รัศมีของ แกน (Core)

n_1 = ดัชนีหักเหของแสงที่ แกน (Core)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \text{ (ความแตกต่างระหว่างดัชนีหักเหของแสงที่ แกน (core) และ cladding)}$$

ตัวอย่าง เส้นใยแสงมีเส้นผ่าศูนย์กลางของแกน (core) เท่ากับ 9 μm มีค่าดัชนีหักเหของแสงที่ แกน (core) เท่ากับ 1.468 และ แคลดดิ้ง (Cladding) เท่ากับ 1.4636 จงหาค่า Cut-off Wavelength (λ_c) ของเส้นใยแสงเส้นนี้

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

$$\Delta = \frac{1.468 - 1.4636}{1.468}$$

$$= 0.003$$

$$\lambda_c = 3.7 a n_1 \sqrt{\Delta}$$

$$= 3.7 * 4.5 * 1.468 \sqrt{0.003}$$

2.7 ลักษณะการเดินทางของแสงในเส้นใย (Propagation In The Fiber)

2.7.1 แบบดัชนีขั้นบันได (Step Index)

แสงที่เดินทางอยู่ใน แกน (Core) ของเส้นใยแสงแบบ Step Index จะสะท้อนที่รอยต่อระหว่างแกน (core) และแคลดดิ้ง (Cladding) และทำมุมมากกว่ามุมวิกฤตจึงทำให้แสงสามารถเดินทางอยู่ภายในแกน (Core) ได้

เนื่องจากจำนวน Mode ของแสงที่เดินทางมีเป็นจำนวนมาก ระยะทางที่แต่ละ Mode เดินทางไม่เท่ากันดังนั้นจึงถึงปลายทางอีกด้านหนึ่งไม่พร้อมกันปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Modal Dispersion อันส่งผลให้รูปสัญญาณที่ปลายทางบิดเบี้ยวไป และมีขนาดลดลง

แต่ข้อดีของเส้นใยแสงแบบนี้คือมีค่า NA มาก นั่นหมายถึงสามารถที่จะส่งแสงเข้าไปในเส้นใยได้ง่าย จึงสามารถเลือกใช้ตัวส่งแสงราคาถูกลงได้

2.7.2 แบบดัชนีลาด (Graded Index Type)

ค่าดัชนีหักเหของแสงใน แกน (Core) ของเส้นใยแสงชนิดนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงทีละน้อย ดังนั้นแสงที่เดินทางใน แกน (Core) จะมีการหักเหทีละน้อยตามค่าดัชนีหักเหของแสงที่เปลี่ยนแปลงไปและจะสะท้อนที่ แคลดดิ้ง (Cladding) ทำให้ดูเหมือนว่าการเคลื่อนที่ของแสงในเส้นใยชนิดนี้เป็นเส้นโค้งจำนวนมากเท่ากับจำนวน mode ของแสงนั้นและเดินทางไปจนถึงปลายทาง

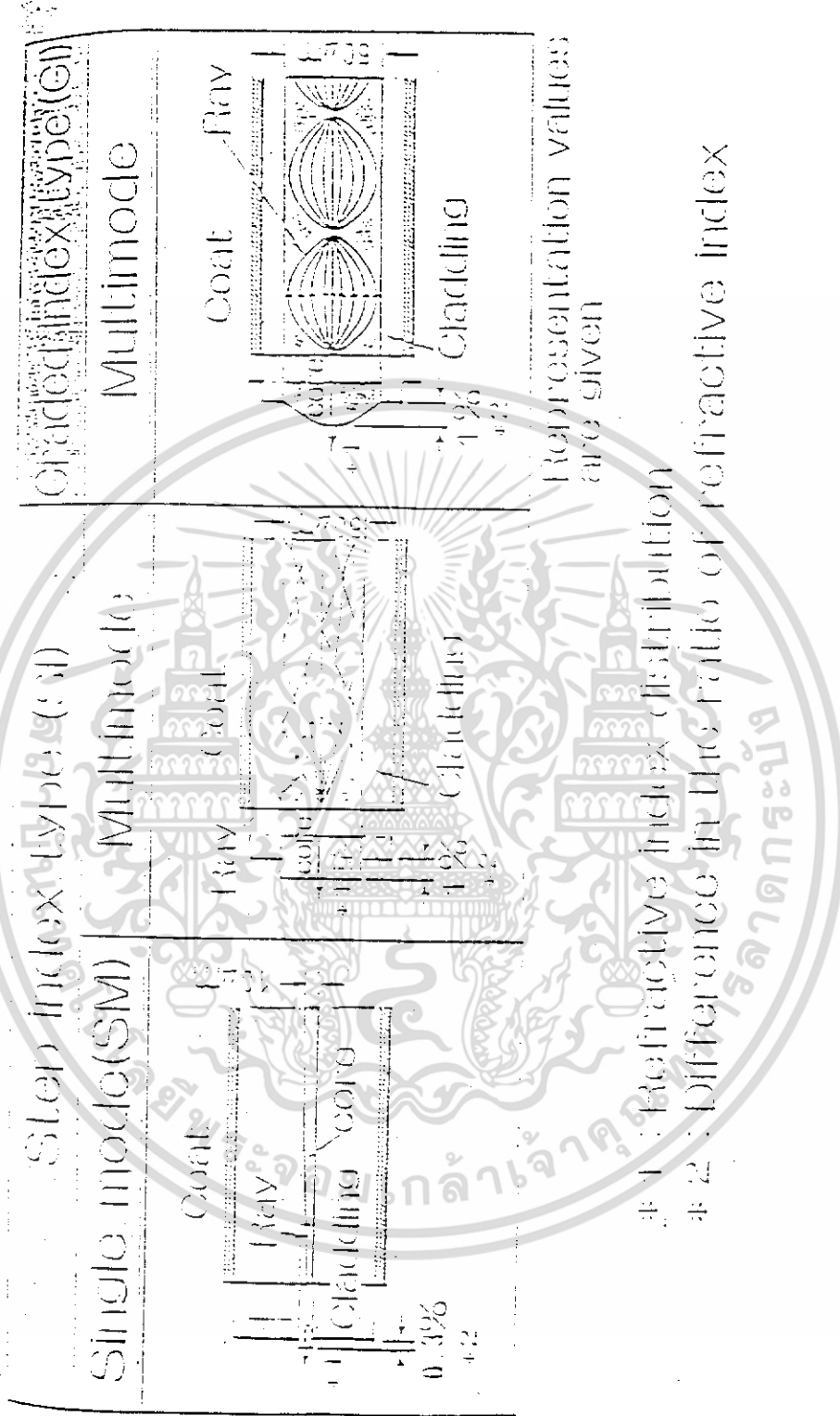
เนื่องจากความเร็วในการเดินทางของแสงในแกน (Core) จะเป็นอัตราส่วนผกผันกับค่าดัชนีการหักเห ดังนั้น จึงทำให้แสงสามารถเคลื่อนที่ไปได้เร็วในเส้นทางที่ไกลกว่าและเคลื่อนที่ได้ช้าในเส้นทางที่สั้น แสงจึงถึงปลายทางในเวลาทีพอ ๆ กัน modal dispersion จะลดลงอันส่งผลให้รูปสัญญาณที่ผิดเพี้ยนน้อยลง เมื่อเทียบกับ step index

2.7.3 แบบโหมดเดียว (Single mode Type)

จาก step index และ graded index จะมี mode ของแสงจำนวนมากที่เดินทางอยู่ในแกน (Core) หากจำกัดปริมาณ more ให้เหลือเพียง more เดียวโดยลดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ แกน (Core) และค่าความแตกต่างของดัชนีการหักเหของแกน (Core) และ แคลดดิ้ง (Cladding) ลง เราเรียกเส้นใยแสงแบบนี้ว่า Single mode type ส่วนการกระจายตัวของดัชนีการหักเหของเส้นใย จะเหมือนกับแบบ Step Index เนื่องจากมีแสงเพียง Mode อื่น จึงทำให้สัญญาณที่ปลายทางไม่ผิดเพี้ยนมาก และได้ระยะทางการส่งสัญญาณมากกว่า

86756

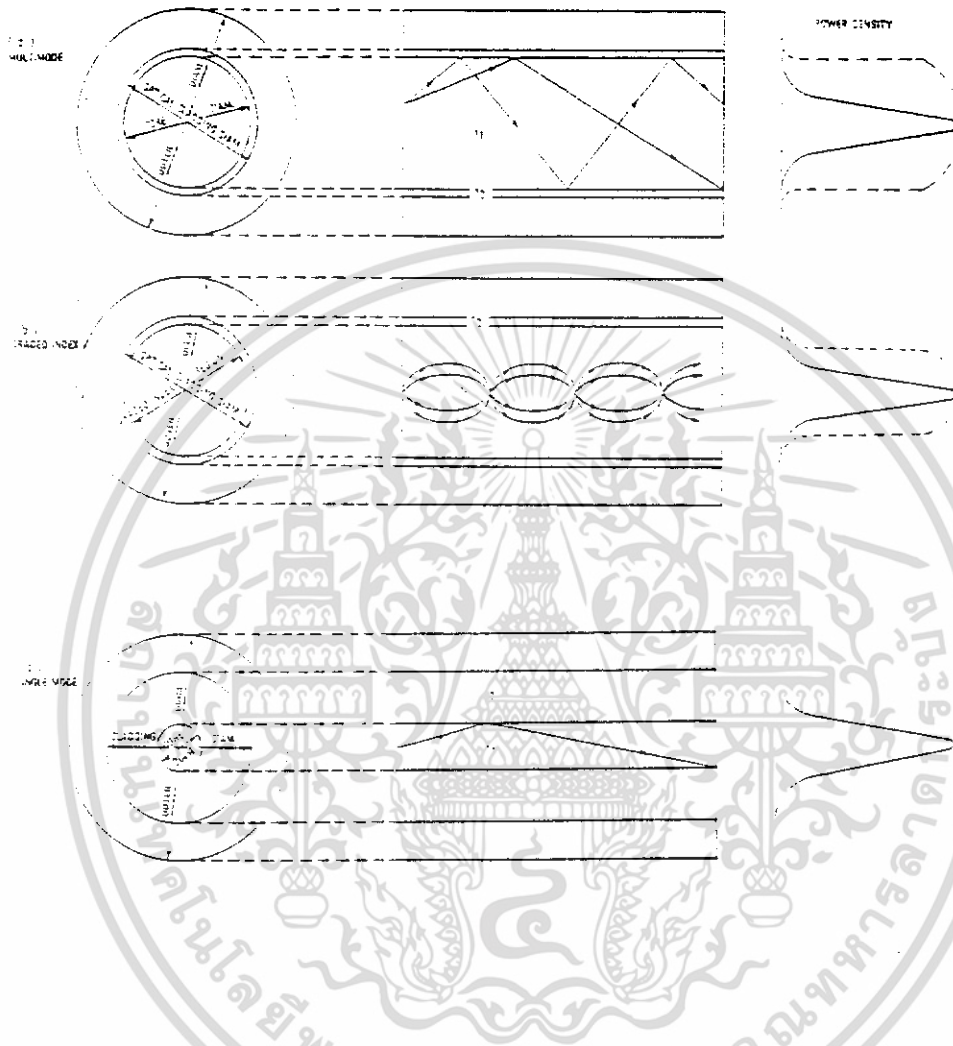
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1 : Refractive index distribution
 # 2 : Difference in the ratio of refractive index

รูปที่ 2.6 แสดงชนิดของใยแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะหน้าตัดของเส้นใยแสงและการเดินทางของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 คุณสมบัติในการส่งของเส้นใยแก้ว (TRANSMISSION CHARACTERISTICS OF THE OPTICAL FIBER)

สัญญาณที่ส่งไปในเส้นใยแสง จะเป็นสัญญาณแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มไปตามสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งเรียกรูปแบบนี้ว่า Intensity Modulation สัญญาณแสงนี้เมื่อถูกส่งไปในระยะทางไกล ๆ จะเกิดการลดทอน (Attenuation Loss) และการผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณ (Distortion) ที่ปลายทาง ดังนั้นการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแสงนี้ จึงยังมีความจำเป็นที่จะต้องมียุทโธปกรณ์ทวนสัญญาณ (Repeater) เช่นเดียวกับสายเคเบิลทองแดงเพียงแต่ระยะทางระหว่าง Repeater จะยาวกว่า

เนื่องจากการสื่อสารทางแสงมีลักษณะที่แตกต่างจากการสื่อสารทางไฟฟ้ามก ดังนั้นคุณสมบัติบางประการของการส่งสัญญาณจึงแตกต่างกัน คุณสมบัติที่ทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณและการผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณในเส้นใยแสงพอจะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. การสูญเสียแสง (Optical Loss)
2. การขยายกว้างออก (Dispersion)

คุณสมบัติของเส้นใยแสง ที่สัมพันธ์โดยตรงกับ Bit Rate ของสัญญาณส่ง และจะมีผลต่อระยะ Repeater ในกรณีส่งสัญญาณด้วย Bit Rate สูง ๆ สิ่งเหล่านี้คือค่า Bandwidth Limitation ซึ่งจะกล่าวต่อไป

2.9 การสูญเสียแสง (Optical Loss)

สัญญาณแสงที่เดินทางผ่านเส้นใยแสง จากต้นทางไปจนถึงปลายทางจะถูกลดทอนลง การลดทอนสัญญาณนี้อาจสามารถแบ่งแยกออกได้เป็น

1. การสูญเสียของเส้นใยแสง (Optical Fiber Loss)
2. การสูญเสียของการเชื่อมต่อเส้นใยแสง (Link Loss)

2.9.1 การสูญเสียของเส้นใยแสง (Optical Fiber Loss)

Optical Fiber Loss เป็นการลดทอนของสัญญาณแสง ตามปกติจะคิดต่อหนึ่งหน่วยความยาวเช่นที่ระยะทางสาย 1 กม. การลดทอนของสัญญาณนี้จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของขบวนการผสม

เส้นใยแสงในทางปฏิบัติค่า Optical Fiber Loss จะอยู่ระหว่าง 0.2-0.5 dB/km สำหรับ Single mode Fiber

องค์ประกอบพื้นฐานที่เป็นสาเหตุของ Optical Fiber Loss คือ

1. การสูญเสีย ที่เกิดจากการดูดแสง (Absorption Loss)
2. การสูญเสียที่เกิดจากการกระจัดกระจายของ แสง (Scattering Loss)
3. การสูญเสีย ที่เกิดจากการ โค้งงอ (Micro bending Loss)

1. การสูญเสียที่เกิดจากการดูดแสง (Absorption Loss)

การดูดกลืนแสงในเส้นใยนั้นเกิดจากการดูดกลืนแสงของ ซิลิกา (Silica) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักและสารเจือปนเบื้อน (Impurities) อื่น ๆ ที่ปนอยู่ในเนื้อ ซิลิกา (Silica) การดูดกลืนแสงของ ซิลิกา (Silica) จะมีมากต่อแสงในช่วงอินฟราเรด (Infrared) และ อุลตราไวโอเลต (Ultra Violet)

ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงความยาวคลื่นแสงที่ใช้จะอยู่ในย่าน อินฟราเรด (Infrared) คือประมาณ 0.8-1.7 μm ดังนั้นการดูดกลืนแสงของ Silica จึงมีผลต่อการลดทอนสัญญาณสารเจือปนเบื้อน (Impurities) อื่น ๆ ที่มีผลอย่างมากในการดูดกลืนแสงคือ อีออนของน้ำ (OH^-) ซึ่งอนุภาคนี้อาจรวมตัวเข้ากับซิลิกา (Silica) ขณะอยู่ในขบวนการผลิตได้มีการแก้ไขปัญหานี้ โดยการปรับปรุงขบวนการผลิตแบบ Vapor Phase Oxidation ซึ่งส่งผลให้ OH^- ที่รวมตัวกับซิลิกา (Silica) ลดลง

2. การสูญเสียที่เกิดจากการกระจัดกระจายของ แสง (Scattering Loss)

Scattering loss ในเส้นใยแก้ว เกิดจากสาเหตุที่ค่าหน้าตัดข้างดัชนีหักเห (Refractive Index) ของแกน(Core) ไม่สม่ำเสมออาจเนื่องมาจากมีสารอื่นแทรกอยู่ ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นในขบวนการผลิต เมื่อแสงเดินทางกระทบกับสารเจือปนเบื้อนเหล่านี้จะเกิดการกระจาย สัวในทุกทิศทาง การกระจายของแสง จะเกิดขึ้นจากความไม่สม่ำเสมอเหล่านี้ เมื่อเทียบกับความยาวคลื่นของแสงที่ขนาดต่างๆ ดังนั้นแสงที่มีความยาวคลื่นจะเกิด การกระจัดกระจายของ แสง (Scattering) มากกว่าแสงที่มีความยาวคลื่นยาวกว่า

3. การสูญเสีย ที่เกิดจากการโค้งงอ (Micro bending Loss)

สาเหตุของ Micro bending Loss เกิดจากการที่ แกน(Core) ของเส้นใยโค้งงอเล็กน้อย อันเกิดขึ้นในขบวนการผลิต หรืออาจเกิดจากแรงภายนอกมากระทำต่อเส้นใยนั้น

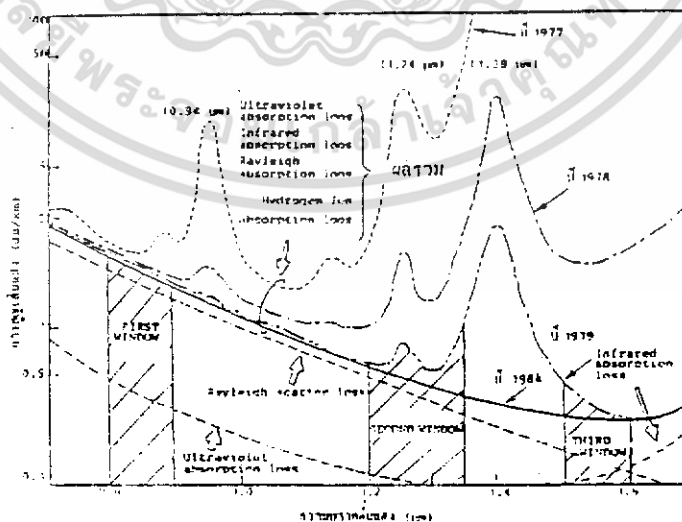
ในขบวนการผลิตความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างวัสดุที่ทำแกน(Core) และวัสดุที่ทำ แคลด ลิ่ง (Cladding) จะมีเล็กน้อย ดังนั้นในขณะที่ ปล่อยให้เส้นใยแสง เย็นตัวลง การหดตัวที่ไม่เท่ากันจะเป็นสาเหตุที่ทำให้แกน (Core) โค้งงอเล็กน้อยได้

ในขณะที่เตรียมเส้นใย เพื่อจัดทำเป็นเคเบิลหรือขณะมีวนเคเบิลลงในระวิงก่อนการขนส่ง อาจมีแรงภายนอกมากระทำต่อเส้นใย ทำให้เส้นใยแก้วเกิดการ โค้งงอเล็กน้อย ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิด Micro bending Loss ขึ้นได้

จากการลดทอนของสัญญาณที่กล่าวมาทั้งหมดจะพบว่า Optical Fiber Loss เป็นการลดทอนที่เกิดจากขบวนการผลิต จึงเป็นการยากที่ผู้ใช้อจะควบคุมได้ การลดทอนเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะลดลง เนื่องจากการพัฒนาขบวนการผลิตให้ทันสมัยยิ่งขึ้น ดังนั้นในอนาคต Optical Fiber Loss อาจมีค่าน้อยกว่า 0.2 dB/Km

การสูญเสียรวมของเส้นใยแสงที่ทำด้วยแก้ว (Total Loss of Fiber)

จากการลดทอนของสัญญาณแสง ที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด หากนำมาเขียนเป็นกราฟ แสดง ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและการลดทอน จะได้รูปดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงคุณสมบัติการสูญเสียแสงจากการดูดแสงของเส้นใยแก้วที่ทำด้วยแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Total Losses ของเส้นใยแสง จะเป็นผลรวมของ การสูญเสียที่เกิดจากการดูดแสง (Absorption Loss) และการสูญเสียที่เกิดจากการกระจัดกระจายของ แสง (Scattering Loss) ค่า Total Losses จะเป็นองค์ประกอบหลักที่จำกัดระยะทางในการเดินทางของแสง

จากรูปที่ 2.8 จะพบว่า ช่วงความยาวคลื่นที่ทำให้ Total Losses มีค่าต่ำสุด ซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการสื่อสารทางแสงมีอยู่ 3 ช่วง ซึ่งเรียกช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ว่า Optical Window โดยเริ่มจาก First Window Second Window และ Third Window

ในระยะแรกของการใช้เส้นใยแสง เพื่อการสื่อสารเราใช้ Optical Window ช่วง First Window เนื่องจากในขณะนั้น เส้นใยแสงได้รับการพัฒนาให้ Total Losses ต่ำสุด ณ จุดนี้ ความยาวคลื่นของย่าน First Window จะมีค่าประมาณ 850 nm และจะใช้กับเส้นใยแสงแบบ Multi mode

ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตเส้นใยแสงมีการพัฒนาอย่างมากจนสามารถผลิตเส้นใยแสงแบบ Single mode อีกทั้งยังพัฒนาตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสงให้ดีขึ้น ดังนั้นช่วงความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมในปัจจุบันจึงใช้ Second Window และ Third Window ซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 1300 และ 1550 nm

2.9.2 การสูญเสียของการเชื่อมต่อเส้นใยแสง (Link Loss)

หากจะพิจารณาข่ายสายใยแก้วตลอดทั้งเส้นทาง แล้วจะพบว่า การลดทอนของ สัญญาณที่เกิดขึ้นมิใช่จะมีเฉพาะ Optical Fiber Loss เพียงอย่างเดียว ยังมีการลดทอนอื่น ๆ ประกอบอยู่ด้วย หากจะแยก Link Loss ออกเป็นส่วนประกอบย่อย ๆ จะได้ดังนี้

1. การสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยแสงกับอุปกรณ์กำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสง (Coupling Loss)
2. การสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยแสง (Splicing Loss)
3. การสูญเสียจากการกระจายแสงอันเนื่องมาจากการงอโค้งของเส้นใยแสง (Bending Loss)

1. การสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยแสงกับอุปกรณ์กำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสง (Coupling Loss)

Coupling Loss คือ การสูญเสียของแสงที่ปลายทั้งสองของเส้นใยแสงที่ต่อเข้ากับอุปกรณ์กำเนิดแสง (Light Source) และอุปกรณ์รับแสง (Photo Detector) หากจะพิจารณาที่ อุปกรณ์

กำเนิดแสง (Light Source) และจะพบว่าปริมาณแสงที่ออกจะมีจำนวนมากมายแต่สามารถส่งผ่านเข้าไปในเส้นใยแสงได้เพียงจำนวนหนึ่ง ดังนั้นจึงเกิดการสูญเสียขึ้นและในทำนองเดียวกัน ที่ด้านปลายของเส้นใยแสงที่ต่อกับอุปกรณ์รับแสง (Photo Detector) นั้น ก็จะมีการสูญเสีย

Parameter ที่สำคัญในการ Coupling แสงนี้เราเรียกว่า Coupling Efficiency (η)

$$\eta = \frac{P_t}{P_s}$$

P_t = Power ของแสงที่สามารถผ่านเข้าไปในเส้นใยแสงได้

P_s = Power ที่ส่งออกจากตัวกำเนิดแสง

การออกแบบ Connector ที่จุดต่อนี้จึงมีความจำเป็นจะต้องให้ค่า η สูงสุดโดยการนำเลนส์มาร่วมในการ Coupling ด้วย

2. การสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยแสง (Splicing Loss)

เนื่องจากแต่ละเส้นทางเคเบิลใยแก้วจะถูกวางเป็นช่วง ๆ ทั้งนี้เพราะยากต่อการวางสายช่วงเดียวเท่ากับความยาวของเส้นทางนั้น ๆ ได้หากมีระยะทางมาก ๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการตัดต่อสายแต่ละช่วงเข้าด้วยกัน

การตัดต่อสาย เส้นใยแสง (Optical Fiber) ที่นิยมใช้กันอยู่มี 2 รูปแบบ คือ

- 1 Fusion Splices
- 2 Mechanical Splices

การต่อโดยใช้เครื่อง Fusion Splices

ในขบวนการ Fusion Splicing นี้ องค์ประกอบที่ทำให้เกิด Loss ขึ้น คือ

1. Eccentric Error
2. Core offset
3. Core Diameter Difference

4. Flaw or Dirt Section

องค์ประกอบเหล่านี้บางส่วนเกิดจากขบวนการผลิตเส้นใยแสง บางส่วนเกิดจากการทำงานขณะตัดต่อ ในปัจจุบันเครื่อง Fusion Splices สามารถตัดต่อโดยทำให้ Splicing Loss มีค่าประมาณ 0.02 -0.05 dB

หลักการการทำงานของเครื่อง Fusion Splices

การต่อเคเบิลใยแก้ววิธีนี้จะหลอมแก้วที่นำมาทำเส้นใยแสงด้วยความร้อนให้เชื่อมเป็นเนื้อเดียวกัน ค่าดัชนีการหักเห ของแสงที่บริเวณจุดต่อจะไม่มีเปลี่ยนแปลงมากนัก จึง ทำให้แสงสามารถเครื่องที่ผ่านจุดต่อได้ดีโดยไม่มี การสะท้อนกลับและ มีการการสูญเสียที่จุดตัดต่อ ค่อนข้างต่ำโดยเฉลี่ยจะมีค่า Splicing loss ประมาณ 0.03 dB มีการป้องกันการหักเหที่จุดต่อโดยใช้ Reinforcement Sleeve

เครื่อง Fusion Splices เป็นเครื่องมือหลักอย่างหนึ่งที่ใช้ในการตัดต่อ เครื่องจะเป็นระบบอัตโนมัติ กล่าวคือเครื่องจะดำเนินการ Alignment เส้นใยแสงที่ต้องการต่อเองโดยทำให้ค่า Splicing Loss ต่ำสุดและจะฟิวส์ (Fuse) เองอัตโนมัติโดยใช้ไฟฟ้าแรงสูง อาร์ค(Arc) ผ่าน อิเล็กโทรด (Electrode) แล้วแผ่ความร้อนมาสู่เส้นใยทำให้หลอมติดกัน การใช้เครื่องมือยุ่งยาก งานส่วนใหญ่เครื่องจะดำเนินการเอง ดังนั้นการฝึกอบรมบุคลากรจึงใช้เวลาไม่มากนัก

การตัดต่อแบบ Mechanical Splices

หลักการทำงาน

การตัดต่อเคเบิลใยแก้ววิธีนี้ จะไม่หลอมแก้วด้วยความร้อนแต่ จะใช้วิธีจับยึดเส้นใยแสง ทั้งสองด้านให้อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกัน และหน้าตัดใกล้กันที่สุดโดยมี Matching Gel อยู่ที่ช่องว่างระหว่าง พื้นทีหน้าตัด ของเส้นใยทั้งสองเพื่อให้ค่าดัชนีหักเหของแสงใกล้เคียงกับแกน (Core) ของเส้นใยแสงจึงสามารถเดินทางผ่านจุดต่อนี้ได้

ในทางปฏิบัติการทำให้ดัชนีการหักเหของแสงที่ช่องว่างเท่ากับแกน (Core) อย่างสมบูรณ์ นั้นไม่สามารถทำได้จึงเกิดการสะท้อนกลับของสัญญาณ (Return loss) ขึ้น ณ จุดต่อ การตัดต่อด้วยวิธีนี้ค่า การสูญเสียที่จุดต่อยิ่งสูงโดยจะมี ค่าประมาณ 0.2 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mechanical Splicing เหมาะสมที่จะใช้กับการใช้งานที่มีระยะทางสายไม่ยาวมากนัก เนื่องจากความสูญเสีย (Attenuation) รวมไม่สูงมากอุปกรณ์ปลายทางยังคงทำงานปกติ

ในรูปแบบการติดต่อแบบ Mechanical Splices นี้ องค์ประกอบทำให้เกิด Loss จะใกล้เคียงกับ Fusion Splices โดยมีส่วนอื่นเพิ่มเติมอีกคือ Slanting Angle และ Separating Section

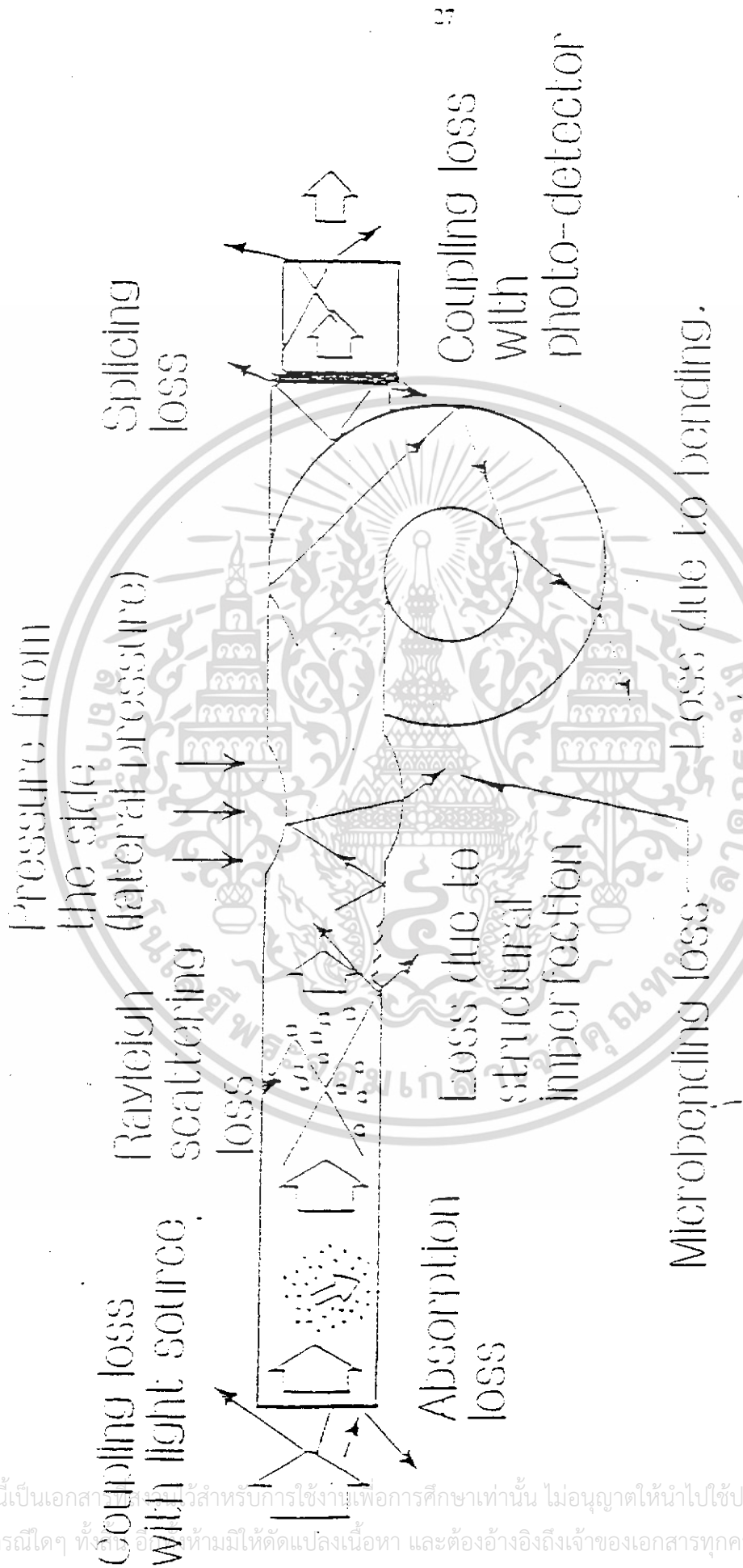
ในปัจจุบัน Mechanical Splices มีค่า Splicing Loss ประมาณน้อยกว่า 0.2 dB

3. การสูญเสียจากการกระชาย แสงอันเนื่องมาจากการงอโค้งของเส้นใยแสง (Bending Loss)

การสูญเสียนี้ จะเกิดจากการติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วที่โค้งงอมากเกินไปข้อกำหนด จากโรงงาน ผู้ผลิตซึ่งจะกำหนดครีสมี่ การโค้งงอเป็นจำนวนเท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเคเบิล

แสงที่เดินทางอยู่ในเส้นใย เมื่อเดินทางจากส่วนที่เป็นเส้นตรง มากระทบกับส่วนโค้งที่อยู่ จะส่งผลให้มุมตกกระทบน้อยกว่ามุมวิกฤต แสงจะหักเหออกจาก แกน(Core) ของเส้นใยแสง จึงทำให้เกิดการสูญเสีย

ดังนั้นในการติดตั้งสายเคเบิลใยแก้ว จึงควรระมัดระวังการโค้งงอ เช่น การม้วนสายเพื่อในบ่อพัก การดึงสายเข่นเกินไป ในเคเบิลอากาศทำให้เคเบิลที่ถูกยึดที่อุปกรณ์ยึดสายที่เสาโค้งงอ มุมตกที่โค้งงอเคเบิลตาม เป็นต้น

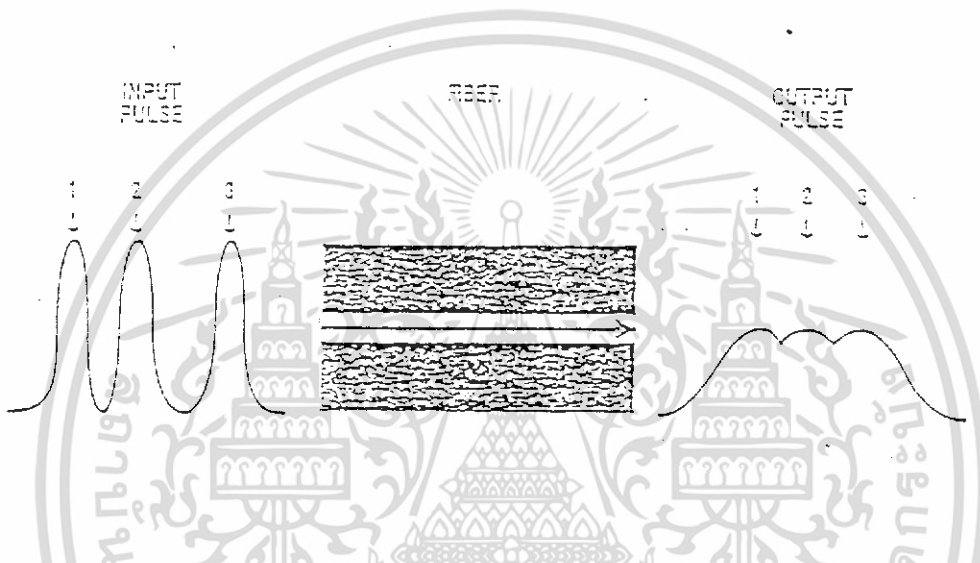


รูปที่ 29 แสดงสาเหตุต่างๆที่ทำให้เกิดการสูญเสียแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

2.10 การแผ่กว้างของพัลส์ (Dispersion)

ปรากฏการณ์หนึ่งที่เราพบได้ในการเดินทางของแสงภายในแกน(Core)ของเส้นใยแสงคือ รูปของสัญญาณที่ปลายทางเกิดการผิดเพี้ยนจากสัญญาณที่ต้นทาง โดยจะมีลักษณะกว้างออก



รูปที่ 2.10 การผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณปลายทาง

การผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณปลายทางเกิดจากการขยาย (Dispersion) ในกรณีที่ใช้สัญญาณที่ใช้ส่งมี Bit Rate สูงๆจะส่งผลให้ไดโอดเปล่งแสง(Photo detector) ไม่สามารถแยกแยะสัญญาณได้ จึงเกิดการผิดพลาดในการรับ-ส่ง

การแผ่กว้างของพัลส์ (Dispersion) ที่เกิดในเส้นใยแสง นี้จะเป็นองค์ประกอบที่กำหนด Bit Rate ในการรับ - ส่งสัญญาณและระยะทางของอุปกรณ์ทวนสัญญาณ (Repeater Span) หาก Bit Rate สูง ๆ

การแผ่กว้างของพัลส์ (Dispersion) ที่เกิดกับเส้นใยแสงมีอยู่ 2 ชนิดคือ

1. Modal Dispersion
2. Chromatic Dispersion

2.10.1 Modal Dispersion

ใน Multi mode Fiber แสงที่เดินทางอยู่ภายใน แกน(Core) จะมีจำนวนมาแสงเหล่านี้จะมีระยะเวลาในการเดินทางไม่เท่ากัน ดังนั้นเมื่อแสงเดินทางไปถึงปลายทางไม่พร้อมกัน จะส่งผลให้รูปสัญญาณที่ปลายทาง แผล่กว้างออก

สำหรับเส้นใยแสงที่มีความยาว 1 กม.ความแตกต่างระหว่างเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของแสงที่มีทางที่สุดกับสั้นที่สุด เวลานี้เราเรียกว่า Propagation Time Dispersion ค่าของระยะเวลาที่สามารถคำนวณได้ และ Modal Dispersion นี้จะไม่ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นมีหน่วยเป็น ns/km

กรณีเส้นใยแสง Step Index Fiber (Multi mode) Modal Dispersion จะเกิดขึ้นมากเนื่องจากแสงในแต่ละ Mode ไปถึงปลายทางไม่พร้อมกันอันเนื่องจากระยะทางในการเคลื่อนที่ของแต่ละ Mode แตกต่างกัน หากเป็นเส้นใยแสงแบบ Graded Index Fider แสงจะถึงปลายทางด้วยเวลาที่ใกล้เคียงกันถึงแม้ว่าระยะทางในการส่งคลื่นของแสงในแต่ละ Mode จะแตกต่างกันก็ตาม ด้วยสาเหตุที่แสงใน Mode ที่เคลื่อนในเส้นทางที่ไกลกว่าจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่า สำหรับ Single mode Fiber แสงที่เดินทางอยู่ในเส้นใยมีเพียง Mode เดียว ดังนั้นจึงไม่มีปัญหาเกี่ยวกับ Modal Dispersion

2.10.2 Chromatic Dispersion

เนื่องจากแสงที่เกิดจากตัวกำเนิดแสงไม่ว่าจะเป็น LED (Light Emitting Diode) หรือ LD(Laser Diode) ต่างก็ไม่ใช่ Coherent Light ที่แท้จริง กล่าวคือ สเปกตรัม (Spectrum) ของแสงซึ่งมีความยาวคลื่นของแสงอื่นประกอบอยู่แต่มีกำลังน้อยกว่า แต่สเปกตรัม (Spectrum) ของแสงของ LD(Laser Diode) จะมี Spectral Width ที่แคบกว่า LED(Light Emitting Diode) มาก

Chromatic Dispersion สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. Material Dispersion
2. Wave guide Dispersion
3. Profile Dispersion

1 Material Dispersion

เนื่องจากค่าดัชนีหักเหของเส้นใยแสงที่แกน(Core) จะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสง ดังนั้นแสงแต่ละความยาวคลื่นจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน ดังนั้นหากแสงที่ส่งเข้าไปในเส้นใยมีหลายความยาวคลื่น จะทำให้แสงดังกล่าวไปถึงปลายทางไม่พร้อมกัน โดยคลื่นสั้นจะถึงปลายทางช้ากว่า

2 Wave guide Dispersion

ในย่านความยาวคลื่น 1300 และ 1550 nm เป็นย่านที่ Material Dispersion มีค่าเป็นศูนย์ (Zero Dispersion) ดังนั้นในย่านนี้ Material Dispersion จะไม่นำมาพิจารณาสำหรับ Single Mode Fiber แต่จะพบว่ามี Dispersion อีกประเภทหนึ่งที่เกิดขึ้นและไม่เป็นศูนย์ในย่านนี้ เราเรียกว่า Dispersion นี้ว่า Wave guide Dispersion

ลักษณะการเกิด Wave guide Dispersion จะเกิดจากแหล่งกำเนิดแสงที่มีใช้ Monochromatic Source ที่แท้จริงเช่น LED Source ทำให้แสงไม่เดินทางอยู่ภายใน แกน(Core) เพียงอย่างเดียวแต่จะมีแสงส่วนหนึ่งเดินทางไปในบริเวณรอยต่อระหว่างแกน(Core) และเคลด ดิ่ง (Cladding) หรือบริเวณ แคลด ดิ่ง (Cladding) จะถึงปลายทางไม่พร้อมกัน โดยแสงที่เดินทางในแคลด ดิ่ง (Cladding) จะถึงปลายทางก่อน เพราะมีค่าดัชนีหักเหของแสงต่ำกว่า จึงทำให้รูปสัญญาณที่ปลายทางขยายกว้างออกในทางปฏิบัติค่า Wave guide Dispersion ของ Single mode Fiber จะประมาณ 6.6 ps/nm.km

3 Profile Dispersion

Profile Dispersion เป็นส่วนหนึ่งของ Chromatic Dispersion สาเหตุที่เกิดเนื่องมาจาก ดัชนีการหักเหของแสงในแกน (Core) และเคลด ดิ่ง (Cladding) ซึ่งทำให้เกิด Index Profile จะมีผลต่อความเร็วกลุ่ม (Group Velocity) ของแสงหรืออาจกล่าวได้ว่าความแตกต่างของความยาวคลื่นจะมีแสงส่วนหนึ่งเดินทางไปในบริเวณรอยต่อระหว่าง แกน(Core) และเคลด ดิ่ง (Cladding) ขึ้นอยู่กับค่า Refractive Index ของแกน (Core) และ เคลด ดิ่ง (Cladding) ซึ่งค่า Refractive Index เหล่านี้อาจไม่สม่ำเสมอได้ อันเนื่องมาจากขบวนการผลิต จึงส่งผลให้การเดินทางของแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน ไปถึงปลายทางไม่พร้อมกันทำให้เกิด Dispersion ขึ้น

ใน Graded Index Fiber Profile Dispersion เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบเนื่อง จาก Profile จะออกแบบมาใช้กับความยาวคลื่นเดียวเช่น 850 nm หรือ 1300 nm หากความยาว คลื่นแสงมีการเปลี่ยนแปลงจะทำให้เกิด Profile Dispersion ขึ้น ใน Single mode Fiber Profile Dispersion จะคิดเป็นส่วนหนึ่งของ Wave guide Dispersion

ในปัจจุบันมีการพัฒนา เส้นใยแสงที่ทำให้ Zero Dispersion สามารถเกิดได้กับความยาว คลื่น 1,500 nm ดังนั้นในการสื่อสารด้วย เส้นใยแสงในปัจจุบันจึงนิยมใช้ ความยาวคลื่น 1,300 และ 1,500 nm

จากค่า Dispersion ที่กล่าวมาแล้ว หากนำ Modal Dispersion Material Dispersion และ Wave guide Dispersion มารวมกันตามสูตร

$$\Delta t(\text{total}) = \sqrt{\Delta t^2(\text{md}) + \Delta t^2(\text{mat}) + \Delta t^2(\text{wgd})}$$

$\Delta t(\text{total})$ คือค่า Total Dispersion

ค่า Total Dispersion จะเป็นตัวกำหนดการผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณที่ปลายทางหาก Total Dispersion มีค่ามาก การผิดเพี้ยนจะมากตามไปด้วย หมายถึง จำนวน Bit Rate ที่ใช้รับ-ส่งลดลง

แสงที่เดินทางในเส้นใยแสงและได้รับผลจาก Dispersion จะทำให้กำลังแสงถูกลดทอนลง หากจะพิจารณาในรูปของสัญญาณไฟฟ้าแล้วจะพบว่าเมื่อความถี่ Input เพิ่มขึ้น การลดทอนที่ Output จะสูงขึ้นความถี่ที่ทำให้กำลังที่ Output ลดลงครึ่งหนึ่ง (Power Ratio 3Db/Voltage Ratio 6 dB) เรียกว่า Bandwidth ของเส้นใยแสง

2.11 ระบบสื่อสารทางแสง (Optical Communication System)

ระบบสื่อสารทางแสงโดยผ่านเส้นใย มีลักษณะพื้นฐานซึ่งจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ 3 ส่วนด้วยกันคือ

1. การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง (E/O : Electro-Optical Converter)
2. เส้นใยแสง (Optical Fiber)
3. การเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า (O/E : Opto -Electrical Converter)

ทางด้านต้นทางสัญญาณไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณแสงโดยอุปกรณ์ที่เรียกว่า E/O และส่งผ่านไปบนเส้นใยแสงซึ่งเป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณแสง สัญญาณแสงที่ปลายทางจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าดั้งเดิมโดยอุปกรณ์ที่เรียกว่า O/E

1. การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง (E/O : Electro-Optical Converter)

E/O จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสง ซึ่งโดยปกติในระบบการสื่อสารทางแสง เราจะใช้ LED หรือ LD เป็นตัวกำเนิดแสงโดยความเข้มของแสงจะเปลี่ยนแปลงตามกระแสไฟฟ้าที่จ่ายไป

2. เส้นใยแสง (Optical Fiber)

ในการสื่อสารทางแสง เราจะใช้ optical fiber เป็นตัวกลางในการนำสัญญาณแสงสู่ปลายทางโดยส่วนใหญ่จะผลิตจากแก้วซึ่งนำแสงได้ดี ดังจะกล่าวรายละเอียดต่อไป

3. การเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า (O/E : Opto -Electrical Converter)

O/E จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแสงที่ส่งผ่านมาจาก optical fiber ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าเหมือนเดิม ในระบบการสื่อสารทางแสงเราจะใช้ PD และ APD เป็นตัวรับแสงซึ่งอุปกรณ์ทั้งสองสามารถที่เน็ดสัญญาณไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มของแสงที่ได้รับ

ปัจจุบันนี้การสื่อสารทางแสงสามารถใช้งานได้ในระยะทางที่ไกลมาก (100 km) เนื่องจากมีการลดทอนของสัญญาณที่ต่ำมาก (0.2 dB/km @ 1550 nm) อย่างไรก็ตามระยะไกลมาก ๆ เกินกว่าที่ระบบจะทำงานได้ ก็จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ทวนสัญญาณ (Repeater) เพื่อทวนสัญญาณให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีระดับสัญญาณสูงขึ้นสามารถส่งต่อไปได้อีก ตามปกติอุปกรณ์ทวนสัญญาณจะมี E/O และ O/E เพื่อแปลงสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้าก่อน แล้วขยายสัญญาณหรือทวนสัญญาณก่อนที่จะแปลงเป็น แสงแล้วส่งออกไป เนื่องจากระยะทางระหว่างอุปกรณ์ทวนสัญญาณที่ห่างกันมากดังนั้นในการสื่อสารระบบนี้ โดยส่วนใหญ่อุปกรณ์ทวนสัญญาณจะอยู่ภายในอาคาร

จากการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านแสงปัจจุบันนี้สามารถที่สื่อสารผ่านเส้นใยแสงได้ใน ระยะทางที่ไกลมากยิ่งขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ทวนสัญญาณเช่น ในปี พ.ศ. 2533 ได้มีการ ใช้งานระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแสงที่มีระยะทางถึง 2,500 กม. โดยไม่มีอุปกรณ์ทวนสัญญาณเลย แต่จะใช้ Optical Amplifier แทน จึงเป็นที่นิยมใช้กับเคเบิลใต้น้ำซึ่งมีระยะทางไกลมาก ๆ

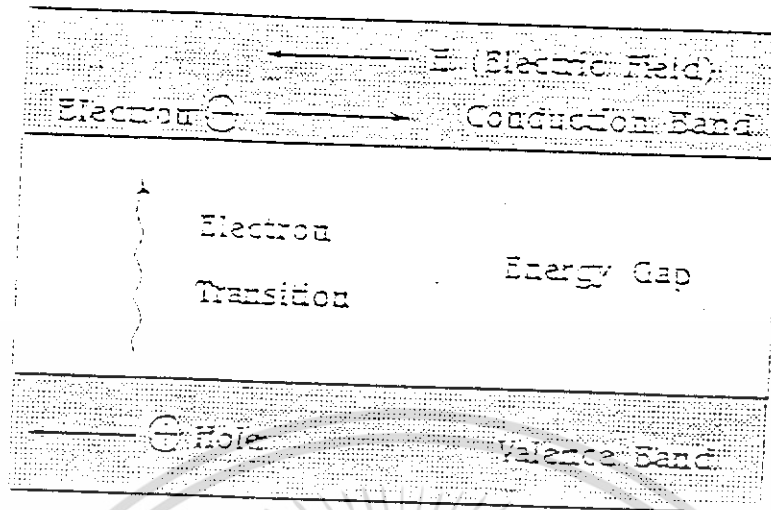
2.12 โครงสร้างและการทำงานของ การปล่อยแสง (Principle of Light Emission)

สารกึ่งตัวนำจะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าอยู่ระหว่างตัวนำและฉนวน ในที่นี้เราจะกล่าวถึงสาร กึ่งตัวนำซิลิกอน(Si)ซึ่งเป็นธาตุกลุ่มที่4ในตารางธาตุ อะตอมของซิลิกอนจะมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน จำนวน 4 ตัว ซึ่งอยู่รอบนอกสุด ซึ่งสามารถที่จะสร้าง Covalent Bond (การยึดเหนี่ยวของอะตอม โดยใช้วาเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน) กับอะตอมข้างเคียงในรูปผลึก (Crystal) ได้

จากนี้เราจะกล่าวถึงคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งจะ เป็นพื้นฐานที่ทำให้เข้าใจตัวส่งแสง และตัวรับแสงซึ่งกล่าวต่อไปได้ดียิ่งขึ้น

2.13 แถบพลังงาน (Energy Band)

คุณสมบัติการนำไฟฟ้าของสสารสามารถที่จะอธิบายได้โดยแผนผังของแถบพลังงาน (Energy Band) ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แผนผังของแถบพลังงาน (Energy Band)

จากแผนผังจะเห็นว่าแถบพลังงานของสารจะประกอบด้วย แถบพลังงานวาเลนซ์ (Valence Band) แถบพลังงานนำกระแส (Conduction Band) และแถบพลังงานช่องว่าง (Energy Gap) โดยที่ระดับพลังงานวาเลนซ์ (Valence Energy) เป็นพลังงานของอิเล็กตรอนที่จะต้องใช้ในการยึดเกาะเพื่อให้อะตอมยึดติดกันได้ ส่วนพลังงานนำกระแส (Conduction Energy) เป็นพลังงานของอิเล็กตรอนที่จะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนหลุดออกนอกวงโคจรได้ ในกรณีที่ให้พลังงานแก่อิเล็กตรอนไม่ว่าจะเป็นการให้ความร้อน แสง แรงดันไฟฟ้า รังสีหรือวิธีอื่นใดก็ตามพลังงานจะเข้าไปถึงวาเลนซ์อิเล็กตรอนได้ก่อนสิ่งอื่นใด และหากพลังงานที่มีค่ามากกว่าแถบพลังงานช่องว่างหรือขึ้นไปอยู่ในระดับพลังงานนำกระแส จะทำให้สารนั้นนำกระแสไฟฟ้าได้

ในผลึกที่บริสุทธิ์จะไม่มีอิเล็กตรอนอิสระดังนั้นจึงไม่มีพลังงานหลงเหลืออยู่แต่เมื่ออิเล็กตรอนถูกกระตุ้น (โดยพลังงานความร้อนหรือแสง เป็นต้น) โดยการให้พลังงาน จะทำให้ระดับพลังงานจากแถบพลังงานวาเลนซ์ขึ้นไปอยู่ในแถบพลังงานนำกระแส วาเลนซ์อิเล็กตรอนของอะตอมผลึกสามารถที่จะเคลื่อนที่หลุดออกไปนอกวงโคจรได้ทำให้มีอิเล็กตรอนอิสระเกิดขึ้น และสามารถเคลื่อนที่ไปได้กลายเป็นกระแสไฟฟ้า ดังนั้นจึงเกิดสนามไฟฟ้าขึ้น อย่างไรก็ตามอิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นมีจำนวนไม่มากนักจึงนำ กระแสได้น้อยกว่าอิเล็กตรอนในสารพวกตัวนำแต่มีมากกว่าสารพวกฉนวน ดังนั้นเราจึงเรียกสารพวกนี้ว่าสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor)

สำหรับซิลิกอนพลังงานที่จะต้องกระตุ้นต้องมากกว่า 1.1 eV ซึ่งเป็นค่าพลังงานของแถบพลังงานช่องว่างที่จะทำให้อิเล็กตรอนแต่ละตัวถูกกระตุ้นให้ไปอยู่ในแถบพลังงานนำกระแสจึงทำ

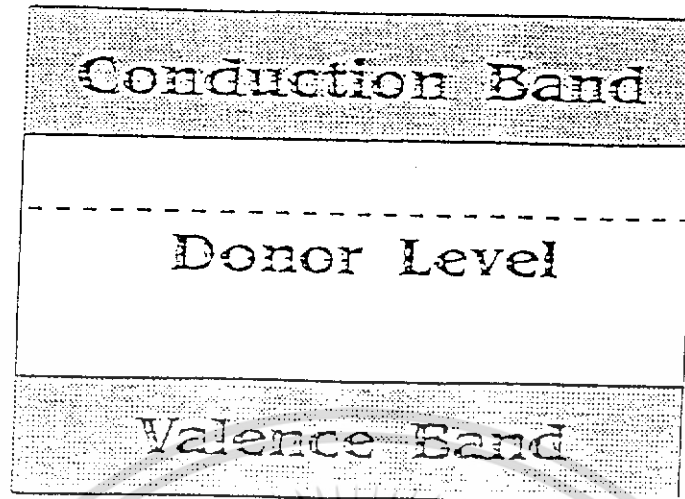
ให้เกิดช่องว่างขึ้นในแถบพลังงานวาเลนซ์จากการที่อิเล็กตรอนหลุดขึ้นไปช่องว่างนี้ถูกเรียกว่าโฮล (Hole) โดยปกติเมื่ออิเล็กตรอนอิสระหลุดจากวงโคจร 1 ตัว ก็จะทำให้เกิดโฮลขึ้น 1 ที่ ดังนั้นจำนวนอิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์จึงมีค่าเท่ากัน เมื่อเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าในเนื้อสาร การไหลของโฮลและอิเล็กตรอนอิสระจึงมีจำนวนเท่ากัน แต่มีทิศทางการไหลตรงข้ามกัน

เนื่องจากจำนวนโฮลและอิเล็กตรอนอิสระของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์มีจำนวนน้อยเกินกว่าจะนำมาใช้ประโยชน์อย่างจริงจังได้ เรามีวิธีการทำให้จำนวนอิเล็กตรอนอิสระและโฮลเพิ่มขึ้นอย่างมากโดยใช้ขบวนการที่เรียกว่า การโด๊ป (Doping)

การโด๊ป หมายถึงการเติมอะตอมของสารเจือปน (impurity) ลงในผลึกของสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำที่โด๊ปแล้วเรียกว่า สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ (Extrinsic Semiconductor) ส่วนสารกึ่งตัวนำที่ยังไม่ถูกโด๊ปเรียกว่า สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (Intrinsic Semiconductor) การโด๊ปทำได้โดยการหลอมสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ให้ละลาย แล้วเติมสารเจือปนลงไปให้เป็นเนื้อเดียวกัน สารเจือปนที่เติมจะเป็นธาตุกลุ่ม 3 หรือ 5 ในตารางธาตุซึ่งมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 หรือ 5 ตัว

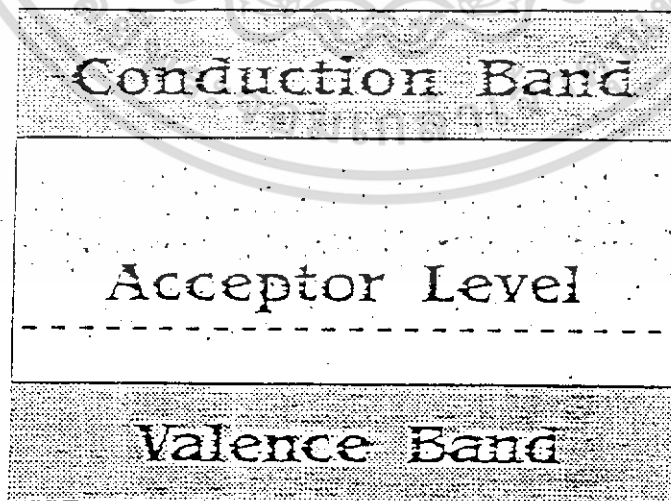
การเติมสารเจือปนที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว อะตอมของสารเจือปนหนึ่งตัวจะยึดเกาะกับอะตอมของสารกึ่งตัวนำ 4 ตัว ด้วยโควาเลนต์พันธะ ทำให้ขาดอิเล็กตรอนไปหนึ่งตัวจึงเกิดเป็นช่องว่างที่เรียกว่า โฮล ลักษณะของสารกึ่งตัวนำที่ได้นี้จึงสามารถรับอิเล็กตรอนจากภายนอกได้อีก เพื่อให้จำนวนอิเล็กตรอนในบอนด์มีครบจำนวนสารเจือปนที่เติมให้นี้จึงมีชื่อเรียกว่า สารเจือปนผู้รับ (Acceptor Impurity)

เมื่อเติมธาตุที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัว เช่น สารหนู (Arsenic) พลวง (Antimony) ฟอสฟอรัส (Phosphorus) ลงในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระขึ้นในเนื้อสาร อิเล็กตรอนเหล่านี้จะมีค่าพลังงานในตัวมันเองสูงและไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานในการยึดเกาะ ค่าระดับพลังงานของอิเล็กตรอนอิสระนี้จะอยู่ใกล้เคียงกับระดับพลังงานแถบนำกระแสมาก ถ้าอิเล็กตรอนเหล่านี้ ได้รับพลังงานอีกเพียงเล็กน้อยก็จะนำไฟฟ้าได้ทันทีระดับพลังงานของ อิเล็กตรอนนี้เรียกว่า ระดับพลังงานผู้ให้ (Donor Level) สารกึ่งตัวนำที่ได้เรียกว่า สารกึ่งตัวนำชนิด N (N-Type Semiconductor) ซึ่ง N มาจากคำว่า Negative หมายถึงอิเล็กตรอนอิสระ



รูปที่ 2.12 แถบพลังงานผู้ให้

เมื่อเติมธาตุที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว เช่น โบรอน อลูมิเนียม แกลเลียมเป็นต้น ลงในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ จะทำให้เกิดโฮลขึ้นในเนื้อสาร ถ้าอิเล็กตรอนที่อยู่ข้างเคียงกับโฮลได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ก็สามารถเข้ามาแทนที่โฮลเพื่อให้สถานะของอะตอมอยู่ในสภาวะที่สมดุล เราสมมติให้โฮลมีระดับพลังงานอยู่ในแถบวาเลนซ์สามารถกระโดดเข้ามาที่ระดับพลังงานโฮล เพื่อเข้าแทนที่โฮลในบอนด์ได้ง่ายเราเรียกค่าระดับพลังงานของโฮลนี้ว่า ระดับพลังงานผู้รับ (Acceptor Level) สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปแบบนี้จึงเรียกว่า สารกึ่งตัวนำชนิด P (P-Type Semiconductor) ซึ่ง P มาจากคำว่า Positive หมายถึง โฮล



รูปที่ 2.13 แถบพลังงานผู้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 การเปล่งแสงและการดูดกลืน (Emission & Absorption)

เมื่อพิจารณาตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสง ที่ใช้สำหรับการสื่อสารผ่านเส้นใยแสงปัจจุบันนี้ จะถูกผลิตขึ้นมาจากสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำตามที่ได้กล่าวมาแล้วสามารถที่จะสร้างกระแสไฟฟ้าขึ้นมาได้หากมีพลังงานภายนอกเข้ามากระตุ้น ดังนั้นหากพลังงานภายนอกนั้นเป็นพลังงานแสง สารกึ่งตัวนำนั้นก็จะเป็นตัวรับแสงได้และทำนองกลับกันหาก เรากระตุ้นให้สารกึ่งตัวนำเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจากระดับหนึ่งไป สู่อีกระดับหนึ่งก็จะทำให้สารกึ่งตัวนำนั้นปลดปล่อยโฟตอนออกมาได้ทำให้เกิดการเปล่งแสงขึ้น สารกึ่งตัวนำนี้ก็จะเป็นตัวกำเนิดแสงได้ เช่นเดียวกัน การเปล่งแสงและการดูดกลืนแสง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำซึ่งมีอยู่ 3 ลักษณะ ดังนี้คือ

1. การดูดกลืนแสง (Photon Absorption)
2. การเปล่งแสงโดยตนเอง (Spontaneous Emission)
3. การเปล่งแสงโดยการกระตุ้น (Stimulated Emission)

1. การดูดกลืนแสง (Photon Absorption)



รูปที่ 2.14 การดูดกลืนแสง (Photon Absorption)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแสงตกกระทบ สารกึ่งตัวนำพลังงานแสงที่เรียกว่าพลังงานโฟตอนจะไปกระตุ้นอิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบพลังงานวาเลนซ์ ทำให้อิเล็กตรอนตัวนั้นเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานขึ้นไปอยู่ในแถบพลังงานนำกระแส นั่นคือ พลังงานโฟตอนจะทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นสารกึ่งตัวนำชนิดนี้จึงมีคุณสมบัติเป็นตัวรับแสงได้

พลังงานโฟตอนที่มากกระตุ้นจะต้องมีพลังงานอย่างน้อยเท่ากับพลังงานช่องว่าง (Energy Gap) แต่ขณะเดียวกันพลังงานโฟตอนจะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสง ดังนั้นสารกึ่งตัวนำนั้นจะรับแสงได้เฉพาะความยาวคลื่นแสงที่แน่นอนเท่านั้น

2. การเปล่งแสงโดยตนเอง (Spontaneous Emission)

เมื่ออิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบพลังงานนำกระแสและโฮลที่อยู่ในแถบพลังงานวาเลนซ์มีจำนวนมากเกินไป ทำให้อิเล็กตรอนจำนวนหนึ่งลดระดับพลังงานจากแถบพลังงานนำกระแสรวมกับโฮลในแถบพลังงานวาเลนซ์ จึงคายพลังงานส่วนหนึ่งออกมาเท่ากับพลังงานช่องว่าง โดยเป็นพลังงานแสงที่เรียกว่า Photo Energy

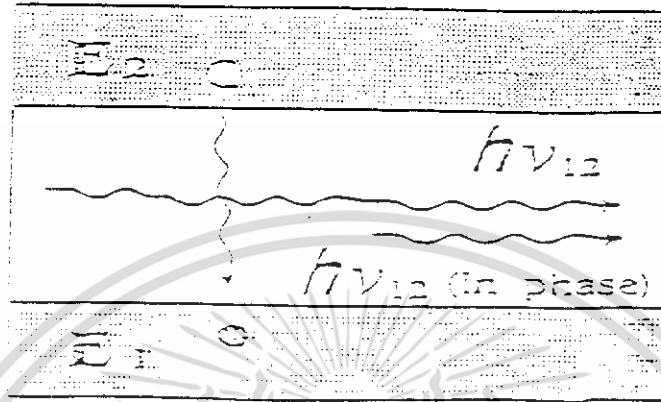


รูปที่ 2.15 การเปล่งแสงโดยตนเอง (Spontaneous Emission)

เนื่องจากอิเล็กตรอนและโฮล จะรวมตัวกันได้โดยธรรมชาติเป็นไปอย่างอิสระ ดังนั้นแสงที่เกิดขึ้นจึงเป็นแบบ Monochrome การเปล่งแสงโดยตัวเองแบบนี้จะพบได้ในตัวกำเนิดแสงแบบ LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเปล่งแสงโดยการกระตุ้น (Stimulated Emission)



รูปที่ 2.16 การเปล่งแสงโดยการกระตุ้น (Stimulated Emission)

การเปล่งแสงแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนและโฮต ถูกกระตุ้นให้รวมตัวกันโดยพลังงานโฟตอน พลังงานที่คายออกมาจากอิเล็กตรอนจะกลายเป็นโฟตอนตัวใหม่ที่มีความยาวคลื่นและเฟสตรงกันกับโฟตอนที่ใช้ในการกระตุ้น โฟตอนตัวใหม่นี้จะรวมตัวกับโฟตอนตัวเก่า ทำให้กำลังแสงที่เปล่งออกมามีพลังงานเพิ่มขึ้นแสงที่ได้จะเป็นแบบ Coherent ซึ่งการเปล่งแสงโดยตัวเองจะพบได้ในตัวกำเนิดแสงแบบ LASER

2.15 ตัวกำเนิดแสง (Light Sources)

ตัวกำเนิดแสง เป็นอุปกรณ์ส่วนหนึ่งในการสื่อสารทางแสงซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ให้กำเนิดพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในแถบความยาวคลื่นที่ตามองเห็นและแถบ Infrared ซึ่งพลังงานที่กำเนิดออกมาจะเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นหรือความถี่เดียว และมีเฟสสม่ำเสมอ เราเรียกแหล่งกำเนิดแสงนี้ว่า Coherent Source แต่หากแหล่งกำเนิดแสงมีหลายความยาวคลื่นแตกต่างกัน และมีเฟสไม่สม่ำเสมอตัวกำเนิดแสงแบบนี้เรียกว่า Incoherent Source

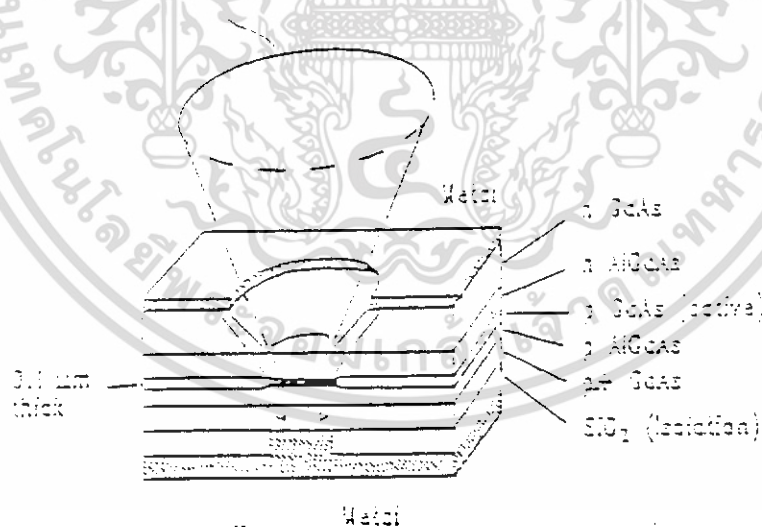
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวกำเนิดแสงที่ใช้ในระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแสงได้แก่ Laser Diodes (LD) และ Light Emitting Diodes (LED) บริเวณที่มีการเปล่งแสงของทั้ง LED และ LD (Laser Diodes) เกิดขึ้นบริเวณ p-n Junction ที่เกิดจากสารกึ่งตัวนำ กลุ่ม 3 และ 4 ในตารางธาตุ ซึ่งอาจจะเกิดในลักษณะ Radiative Recombination คือ คายโฟตอนออกมา หรือคายพลังงานออกมาในรูปอื่นที่เรียกว่า Nonradiative Recombination

2.16 ไดโอดเปล่งแสง (LED : Light Emitting Diode)

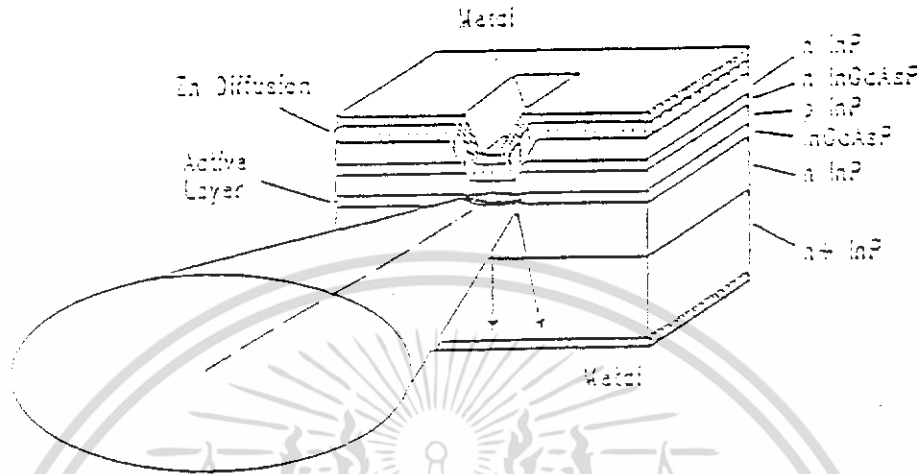
โครงสร้างที่ทำให้เกิดการเปล่งแสงใช้ p-n Junction โดยใช้การ Bias แบบ Forward Bias การเปล่งแสงใน LED เป็นแบบการเปล่งแสงโดยตนเองแสงที่เปล่งออกมาจะมี Radiation Pattern กว้างมากทำให้ประสิทธิภาพการส่งพลังงานแสงต่ำ ซึ่งถูกจำกัดโดย NA (Numerical Aperture) เกิด Coupling Loss สูง ดังนั้นเพื่อให้ LED มีประสิทธิภาพสูง จึงได้มีการปรับปรุงโครงสร้างของ LED โดยที่นิยมใช้มี 2 แบบ คือ

1. Surface Emitting LED แสดงในรูปที่ 2.17
2. Edge Emitting LED แสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.17 Surface Emitting LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 Edge Emitting LED

โครงสร้างทั้งสองแบบถูกออกแบบให้สามารถ Coupling เข้ากับเส้นใยแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

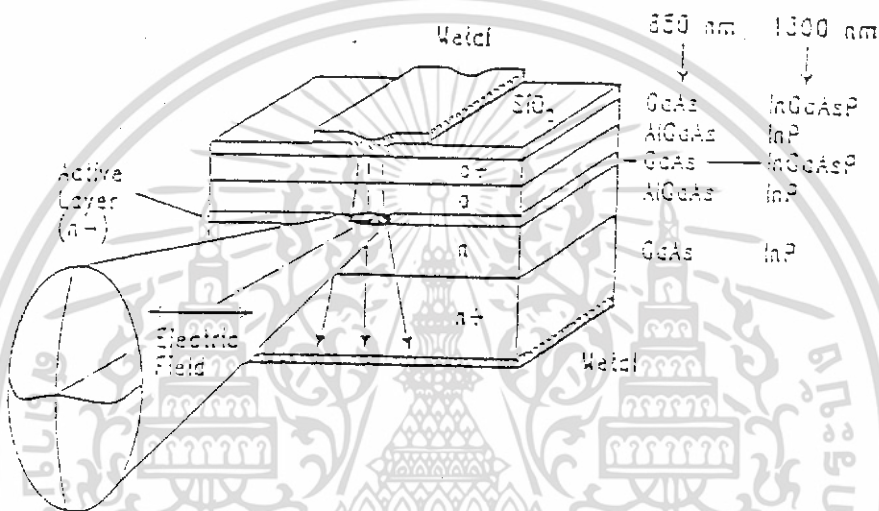
2.17 Laser Diode (LD)

Laser เป็นตัวกำเนิดแสงที่ให้แสงแบบ Coherent ซึ่งเกิดขึ้นจากการเปล่งแสงโดยการกระตุ้น ภายใต้สภาวะสมดุลจะมีการเปล่งแสงโดยตัวเองเกิดขึ้นในอัตราที่สูงกว่าการเปล่งแสง โดยการกระตุ้น ถ้าตัวกำเนิดแสงทำงานที่อุณหภูมิค่าและความถี่สูงอัตราการเกิดการเปล่งแสงโดยการกระตุ้นก็จะยิ่งน้อยมาก

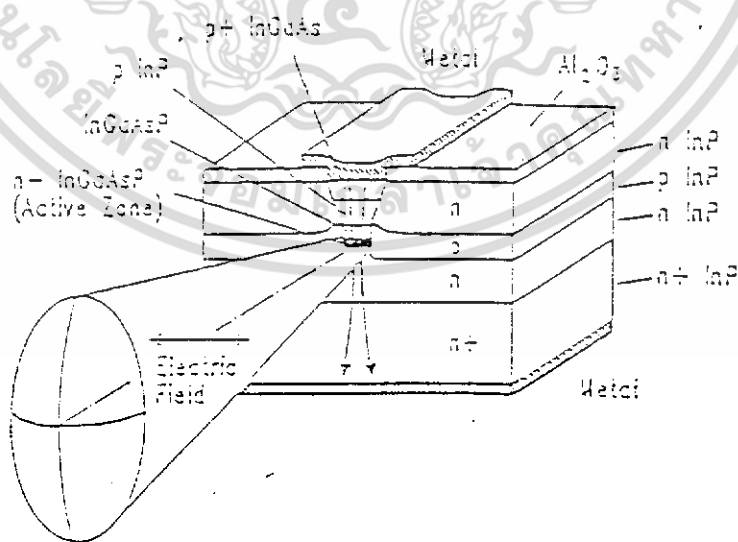
จะเห็นว่าขบวนการเปล่งแสงโดยการกระตุ้นจะล้าชงหาขบวนการเปล่งแสง โดยตนเองและการดูดกลืนแสง ดังนั้นหากเราต้องการให้เกิดการขยายแสงด้วยการเปล่งแสงโดยการกระตุ้นเราต้องเพิ่มอัตราการเปล่งแสงโดยการกระตุ้นให้สูงกว่าอีกสองขบวนการ

การขยายแสงในเลเซอร์ เกิดขึ้นเมื่อโฟตอนตัวหนึ่ง ไปชนกับอะตอมที่ถูกกระตุ้น แล้วกระตุ้นให้ปล่อยโฟตอนตัวที่สองออกมา โฟตอนทั้งสองตัวนี้จะไปกระตุ้นให้มีการปล่อย

โฟตอนตัวอื่นอีกสองตัว ขบวนการนี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง และทำให้เกิด Avalanche Multiplication และเมื่อ Electromagnetic Wave ที่สัมพันธ์กับโฟตอนเหล่านี้มี Phase ตรงกัน เราจะได้ Coherent Emission ที่ถูกขยายแล้วออกมา เลเซอร์ผลิตขึ้นจากสารกึ่งตัวนำที่ไม่แตกต่างจาก LED มากนัก คือ เป็น p-n Junction ในการเปล่งแสงโดยการกระตุ้นจะต้องมีบริเวณที่มีอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นและโฮล อยู่ร่วมกันซึ่งทำได้โดยใช้ Forward Bias แก่ Junction ที่มีการโต้ปอย่างหนัก โครงสร้างของตัวกำเนิดแสงแบบเลเซอร์แสดงให้เห็นในรูปที่ 19 และ รูปที่ 20



รูปที่ 2.19 โครงสร้างของตัวกำเนิดแสงแบบเลเซอร์



รูปที่ 2.20 Index-Guided Buride Heterostructure (BH) LASER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.18 ข้อเปรียบเทียบระหว่าง LD กับ LED

ทั้ง LD และ LED เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมสำหรับระบบการสื่อสารทางแสงเพราะมีขนาดเหมาะสมกับเส้นใย เปล่งแสงในช่วงความยาวคลื่น 0.8-0.9um และ 1.3-1.6 um ซึ่งเป็นบริเวณที่เส้นใยแสงมีการสูญเสียต่ำ

Output ของทั้ง LD และ LED สามารถควบคุมได้โดยการเปลี่ยนค่า Bias Current ทำให้ง่ายต่อการ Modulate ความเชื่อถือได้สูง อายุการใช้งานยาวนาน

ส่วนข้อแตกต่างของ LD กับ LED คือ พลังงานแสงที่เปล่งออกมาจาก LD จะเป็นแบบ Coherent ส่วน LED พลังงานแสงจะเป็นแบบ Incoherent ดังนั้นการใช้งานก็จะแตกต่างกันไป LD จะเปล่งแสงที่มี Spectral Width แคบกว่า LED ซึ่งมีผลต่อปริมาณของแสงที่สามารถ Coupling เข้าไปในเส้นใยแสงและ Chromatic Dispersion ในเส้นใยแสง ข้อแตกต่างอีกประการคือ LD จะมี Speed เร็วกว่า LED

ในการเลือกตัวกำเนิดแสงที่เหมาะสมกับเส้นใยแสง เราต้องคำนึงถึงการลดทอน Bandwidth , Power , Spectral width , Radiation Pattern และ Modulation Capacity ของตัวกำเนิดแสงด้วย

จากคุณสมบัติของตัวกำเนิดแสงที่ใช้ LD จะเห็นว่าเหมาะสมที่จะใช้กับเส้นใยแสงชนิด Singlemode ซึ่งมี core เล็กมากเพราะตัวกำเนิดแสงแบบ LD นี้จะมีลำแสงที่ส่งออกมามีทิศทางเฉพาะคือมีลำแสงแคบ ส่วนตัวกำเนิดแสงแบบ LED นั้นจะเหมาะสมกับเส้นใยแสงแบบ Multimode เพราะมีลำแสงกว้างจะไม่สามารถ Coupling ได้อย่างมีประสิทธิภาพหากนำไปใช้กับเส้นใยแสงแบบ Singlemode

	LED Light Emitting Diodes	LD Laser Diode
Optical bandwidth	20-50 nm	1-2 nm
Power in fiber	-10 dBm	5 dBm
Modulation frequency	300 MHz	5 GHz
Lifetime	10-10 hrs	10-10 hrs
Temperature dependence	low	high
Construction	simple	complicated
Costs	relatively low	relatively high
Application	multimode fibers	monomode fibers

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบระหว่าง LD กับ LED

2.19 คุณสมบัติที่ดีของตัวกำเนิดแสง

1. Output Power ตัวกำเนิดแสงที่ดีควรสามารถให้กำเนิดแสงที่มีกำลังงานระหว่าง 10-100mw
2. Operations Wavelength ตัวกำเนิดแสงที่ดีควรเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 1.0-1.5um ซึ่งเส้นใยแสงจะมีการสูญเสียของแสงต่ำที่ความยาวคลื่นช่วงนี้
3. Spectral Width ตัวกำเนิดแสงที่ดีต้องมี Spectral Width แคบ เพราะจะมีผลต่อ Transmission bandwidth ตามปกติเราต้องการ bandwidth กว้างเพื่อจะได้สามารถส่งข้อมูลได้มาก จึงต้องพยายามลด Spectral width ลง
4. Modulation ตัวกำเนิดแสงที่ดีต้องกำเนิดแสงที่สามารถ Modulation กับสัญญาณไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Reliability ความเชื่อถือได้ของตัวกำเนิดแสงที่ดีขึ้นอยู่กับอายุการใช้งานซึ่งต้องมีอายุการใช้งานได้ยาวนานถึง 10^5 - 10^7 ชั่วโมง
6. รูปร่างและน้ำหนักตัวกำเนิดแสงที่ดีต้องมีรูปร่างและน้ำหนักที่เหมาะสม
7. ราคา ต้องมีราคาต่ำเมื่อเทียบกับอุปกรณ์อื่นๆ

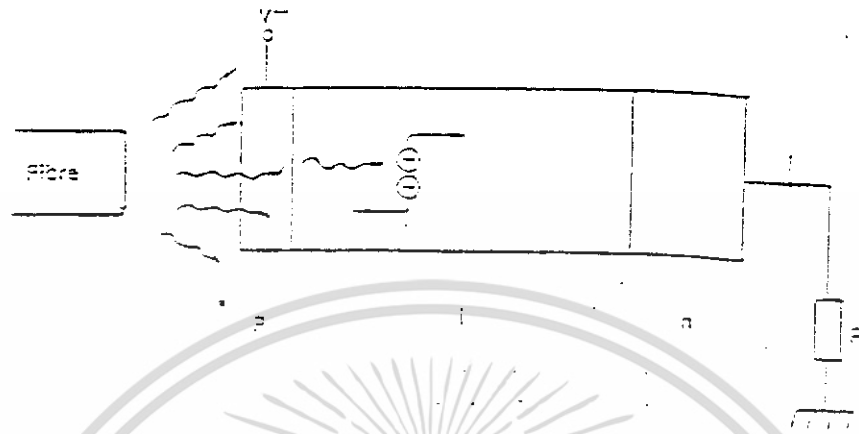
2.20 Photo Detectors

ตัวรับแสงเป็นอุปกรณ์ที่ปลายด้าน Output ของเส้นใยแสงเพื่อแปลงข้อมูลข่าวสารที่อยู่ในรูปของแสงให้อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์ตัวรับแสงมีหลายชนิดเช่น Photomultipliers , Phototransistors , Semiconductor based photoconductors และ Photo diodes แต่อุปกรณ์ที่กล่าวมาไม่สามารถนำไปใช้งานได้ทั้งหมด จึงไม่เหมาะสมกับระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแสง ตัวรับแสงที่เหมาะสมกับระบบนี้คือ Photodiode เพราะมีขนาดเล็กและวัสดุที่ใช้เหมาะสมมีความไวสูงและการตอบสนองเร็ว

Photodiodes ที่ใช้งานมี 2 ชนิด คือ

1. PIN diode
2. APD (Avalanche Photodiode)

1. PIN diode

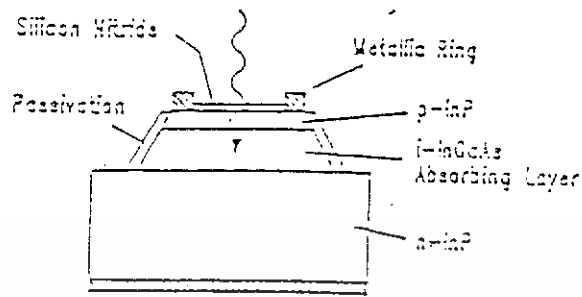


รูปที่ 2.21 PIN-Receiver

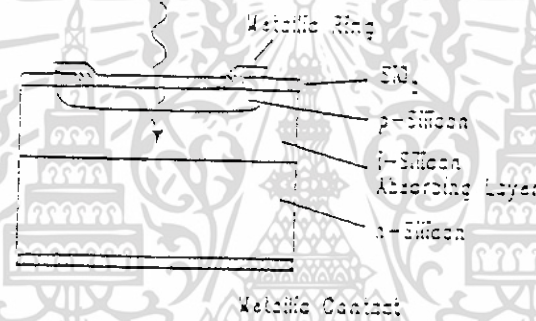
โครงสร้างของ PIN diode ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด p และ n ที่ถูกแยกออกจากกันโดยการได้ปเพียงเล็กน้อยด้วย Intrinsic Region (I) ในการทำงานตามปกติต้องป้อนแรงดัน Reverse Bias ให้กับเนื้อสาร p และ n ใน Intrinsic Region ไม่มี Carriers เหลืออยู่เลย เมื่อโฟตอนที่มีพลังงานมีพลังงานมากกว่าหรือเท่ากับแถบของ Energy Gap ของสารกึ่งตัวนำโฟตอนจะถ่ายเทพลังงานและกระตุ้นให้อิเล็กตรอนจากแถบพลังงานวาเลนซ์ ขึ้นไปอยู่ในแถบพลังงานนำกระแส ขบวนการนี้ทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลอิสระขึ้น ซึ่งเราเรียกว่า Photo Carriers

PIN Diode ที่มี Intrinsic Region ที่ทำมาจาก Si จะมีความไวแสงต่อความยาวคลื่น 300-1000nm ส่วน PIN Diode ที่มี Intrinsic Region ที่ทำจาก InGaAs จะมีความไวต่อแสงความยาวคลื่น 1300 nm

ส่วนความถี่สูงสุดของการ Modulation ที่ตรวจจับได้จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลที่เคลื่อนที่ผ่านบริเวณ Intrinsic Region ความถี่ที่ทำให้ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงานแสงลดลงไป 3 dB เราเรียกว่า Cut-off Frequency ซึ่ง PIN diode สามารถทำได้หลาย GHz รูปที่ 2.21 และ 2.22 เป็นตัวอย่างโครงสร้างของ PIN diode

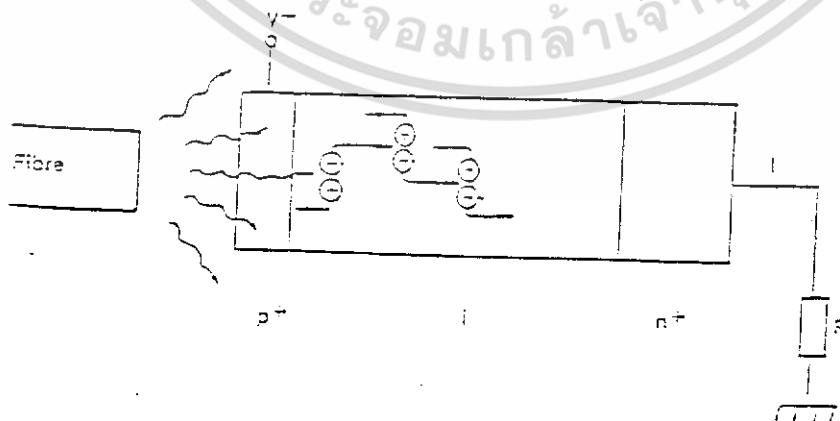


รูปที่ 2-22 InGaAs Nesa-type PIN Diode



รูปที่ 2-23 Planar Silicon PIN-Diode

2. Avalanche Photodiodes



รูปที่ 2.24 แสดงปรากฏการณ์ Avalanche Effect

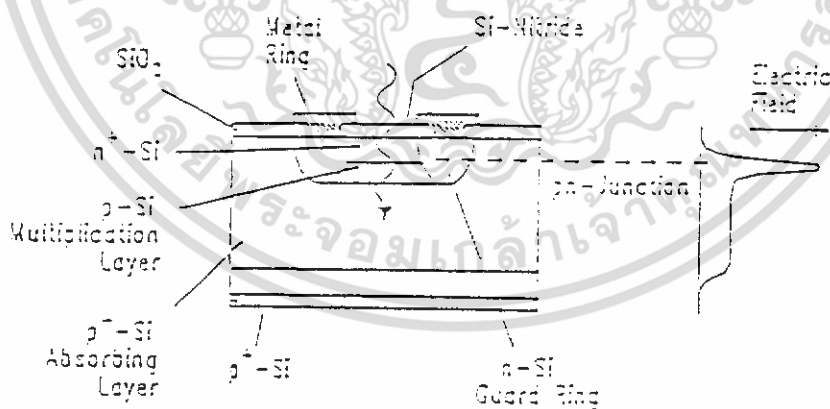
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นฐานเบื้องต้น APD ก็คือ PIN Diode แต่ถ้าหากเราให้แรงดันเป็น Reverse bias ที่เพิ่มขึ้นจนถึงจุด Threshold จะทำให้ความเข้มของสนามไฟฟ้าภายในสูงขึ้นพอเพียงที่จะทำให้อิเล็กตรอนและโฮล มีความเร็วสูงขึ้นและวิ่งไปชนอิเล็กตรอนตัวอื่น ทำให้มีคู่อิเล็กตรอน-โฮลเกิดขึ้นใหม่ซึ่งจะถูกเร่งให้มีความเร็วสูงขึ้นไปอีกแลไปชนกับ อิเล็กตรอนตัวอื่นๆอีกเราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Avalanche Effect จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเป็นจำนวนมากเราอาจจะกล่าวได้ว่า APD Photodiode กระแสที่เกิดจากที่มีแสงมากระทบจะได้รับการขยายภายใน APD เองก่อนที่จะออกไปสู่วงจรขยายภายนอกทำให้ความไวในการรับแสงมากขึ้น

โครงสร้างของ APD ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ p-n และแยกด้วย Intrinsic Region แต่จะเพิ่ม P-Layer โดยการได้ที่ Intrinsic Region ทางด้านที่ติดกับสารกึ่งตัวนำ n ซึ่งบริเวณช่วงนี้จะเป็นช่วงที่ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าสูงขึ้น

APD จะมี Sensitivity สูงมากถ้าให้แรงดัน Reverse Bias มีค่าใกล้เคียงกับ Break Down Voltage แต่ในช่วงการทำงานนี้ APD จะมี Noise มากด้วย

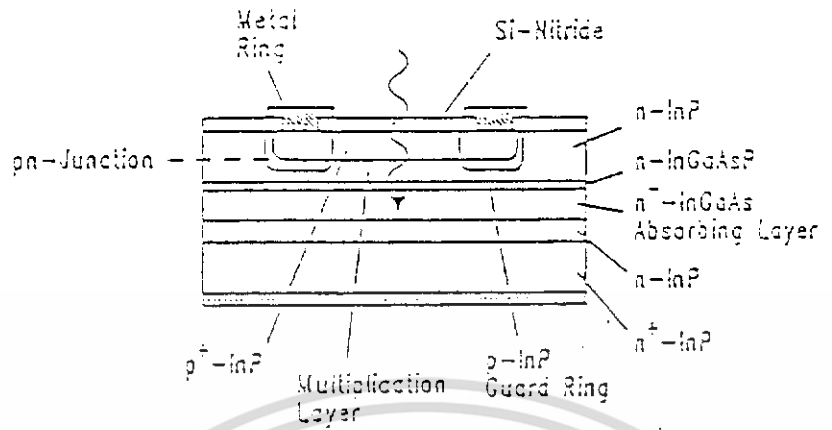
APD ที่ทำด้วย ซิลิกอน จะตอบสนองกับแสงที่มีความยาวคลื่นจาก 0.6-1.2 μm หากทำด้วย Germanium หรือ InGaAs จะตอบสนองกับแสงที่มีความยาวคลื่น 0.1-1.4 μm รูปที่ 2.25 และ 2.26 เป็นตัวอย่างโครงสร้างของ APD



SHORT-WAVELENGTH SILICON APD

รูปที่ 2.25 Short Wavelength Silicon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LONG - WAVELENGTH InGaAs APD

รูปที่ 2.26 Long - Wavelength InGaAs APD

2.21 คุณสมบัติที่ดีของตัวรับแสง

Photodetector ซึ่งใช้งานในระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแสง จะต้องมีความสามารถในการทำงานสูง โดยต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. มีการตอบสนอง (Response) หรือการรับรู้ (Sensitivity) สูงต่อแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ใช้งาน
2. มี Noise ต่ำ
3. มี Bandwidth เพียงพอสำหรับ Bit Rate สูง ๆ
4. อุณหภูมิต้องไม่ผลต่อการใช้งาน
5. มีขนาดที่เหมาะสมกับเส้นใยแสง
6. อายุการใช้งานยาวนาน
7. มีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์อื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.22 ข้อเปรียบเทียบระหว่าง PIN กับ APD

จากคุณสมบัติของทั้ง PIN และ APD เราจะเห็นว่า PIN จะใช้แรงดัน Bias ต่ำกว่า APD มากทำให้ APD เปรียบเสมือนมี Gain การขยายส่วน PIN ไม่ส่วนทางด้าน Sensitivity นั้น APD จะมีความไวในการรับแสงมากกว่า PIN ประมาณ 80 เท่าในระดับพลังงานที่ได้รับเท่ากัน

	PIN		APD	
Voltage	10-15v		100-400 v	
Gain	no gain		10-19 dB	
Circuit	simple		complex	
Wave length (nm)	material	gain	material	gain
400-1000	Si	-	Si	10-100
1300	Ge	-	Ge	10
1500-1600	InGaAs	-	InGaAs	10-50
Reliability	good		good	
Power dissipation	low		high	

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบระหว่าง PIN กับ APD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

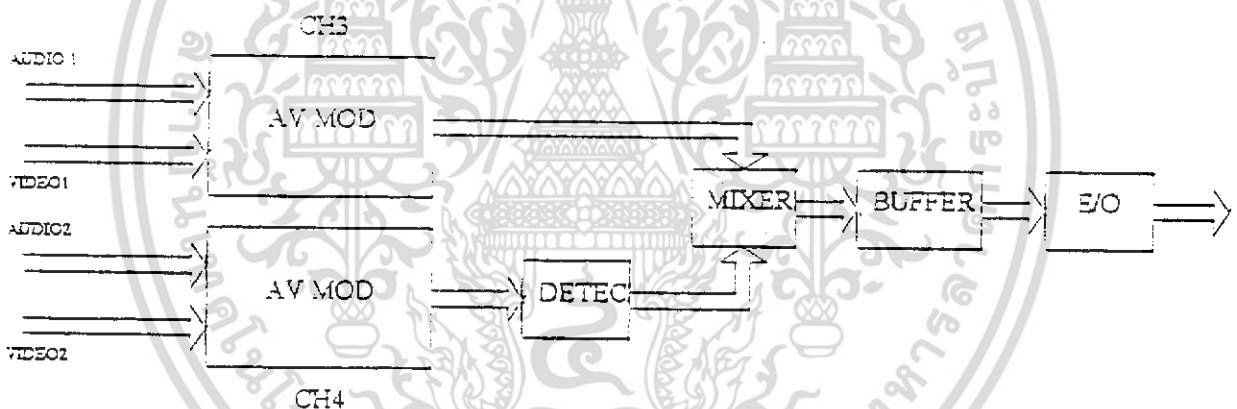
บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายถึงการออกแบบระบบและการสร้างวงจรส่วนต่าง ๆ ของโครงการนี้ ในโครงการนี้สามารถแยกวงจรออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ วงจรทางด้านส่งประกอบด้วย วงจรเปลี่ยนสัญญาณภาพและเสียงเป็นสัญญาณแสง อีกส่วนหนึ่งคือวงจรทางด้านรับ จะประกอบไปด้วย วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้า วงจรแยกสัญญาณภาพ วงจรแยกสัญญาณเสียง

3.1 ผังการทำงานของโครงการ

3.1.1 ผังการทำงานของเครื่องส่ง

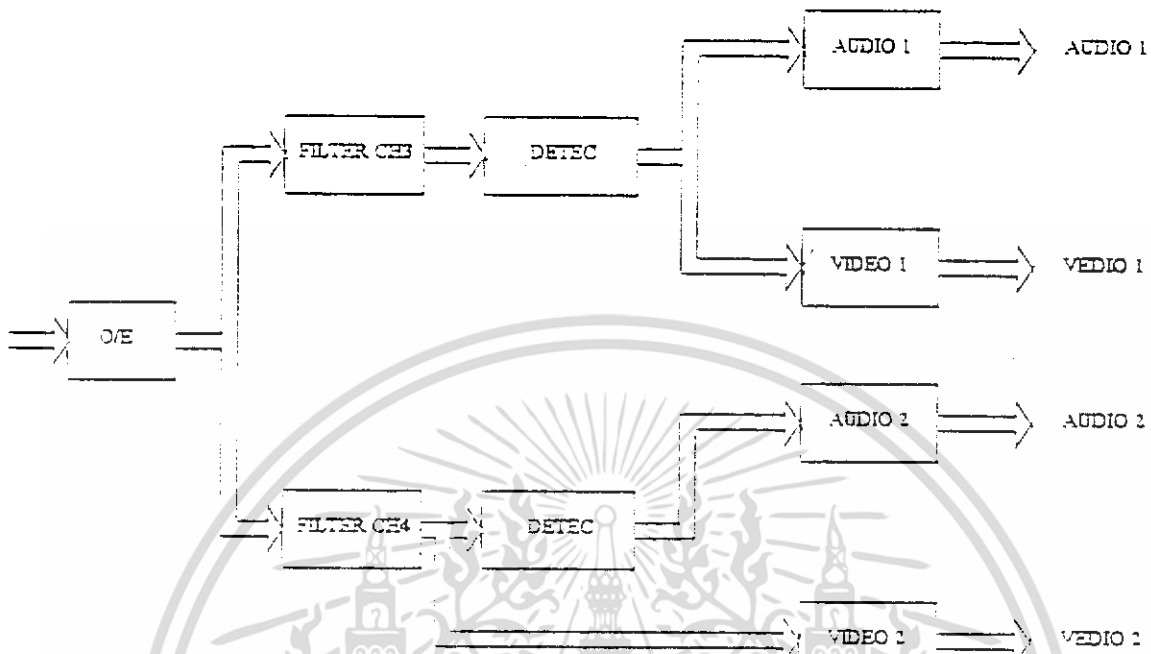


รูปที่ 3.1 ผังการทำงานทางด้านเครื่องส่ง

ทางด้านเครื่องส่งสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณ Audio และ Video ที่ได้จากเครื่องเล่นวีดีโอหรือจากกล้องก็ได้ จากนั้นนำมาผ่านวงจร Audio-Video Modulator (AV MOD) โดยให้ CH.1 มีความถี่คลื่นพาหะเท่ากับ 5 MHz และใน CH.2 ให้มีความถี่คลื่นเท่ากับ 38.9 MHz จากนั้นนำมารวมกันในส่วนของ Mixer เนื่องจากสัญญาณที่ได้ยังมีมาน้อยจึงได้ทำการขยาย (Driver) ให้มีความแรงของสัญญาณให้มากขึ้นพร้อมกับผ่านวงจรกันชน (Buffer) เพื่อให้สัญญาณที่ได้คมชัดขึ้น จากนั้นจึงนำไปผ่านวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงเพื่อส่งเข้าไปในสายใยแก้วนำแสงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ฟังก์ชันการทำงานของเครื่องรับ



รูปที่ 3.2 ฟังก์ชันทำงานด้านเครื่องรับ

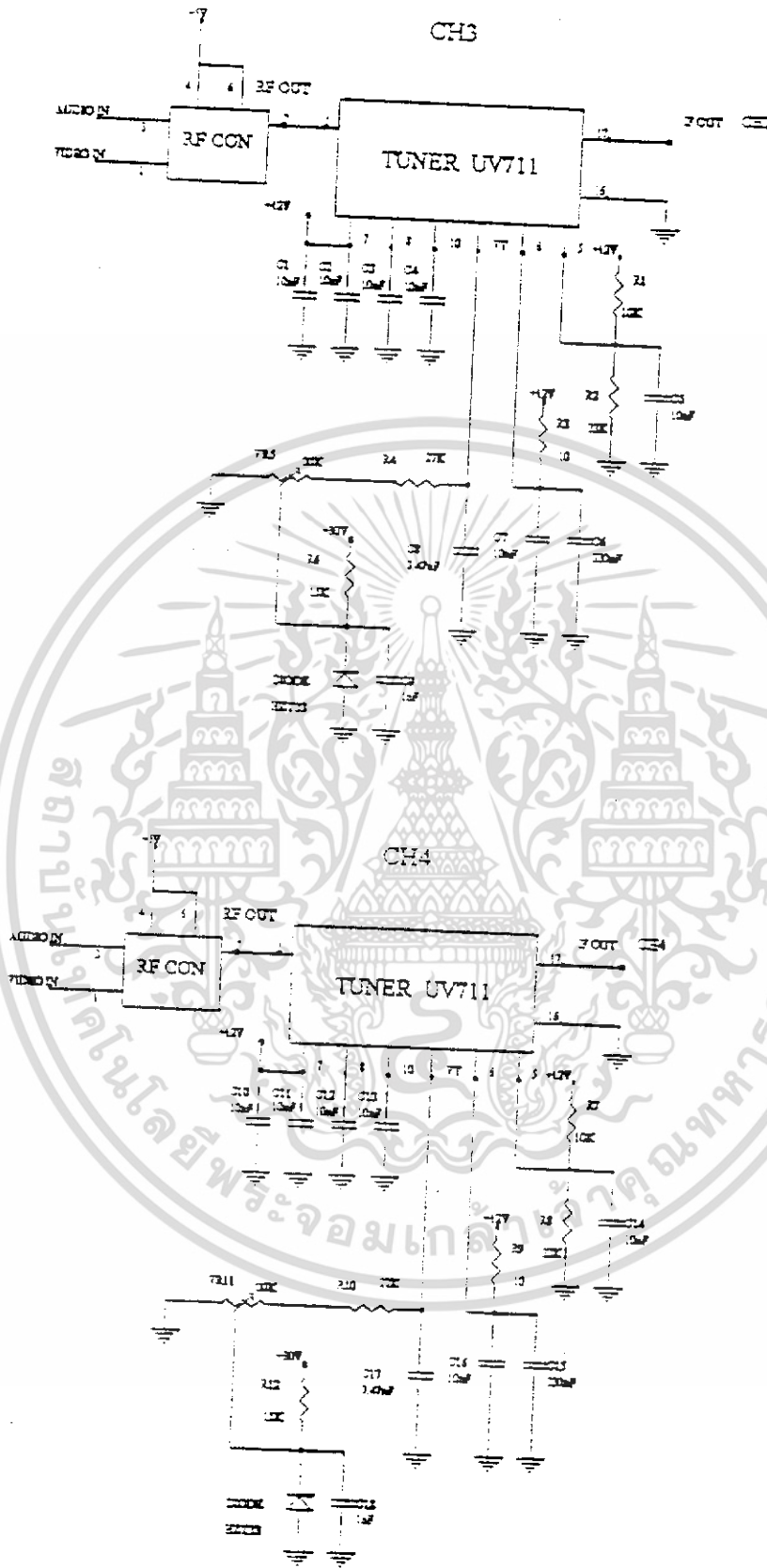
ด้านเครื่องรับ เมื่อรับสัญญาณที่ผ่านทางเส้นใยแก้วนำแสงแล้วทำการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าจากนั้นนำมาทำการขยายเพื่อเพิ่มความแรงของสัญญาณให้มากขึ้นแล้วทำการกรองเอาสัญญาณที่ต้องการคือสัญญาณของ CH.1 และ CH.2 ที่ส่งมา นำมาทำการดีเทคเพื่อแยกสัญญาณ Audio และ Video เพื่อนำไปใช้งานต่อไป

3.2 วงจรด้านส่ง

3.2.1 ภาควงจรออดิโอ-วิดีโอ มอดูเลเตอร์ (Audio-Video Modulator)

ในวงจรรูปที่ 3.3 ใช้กระเบื้องอาร์เอชคอนเวอร์เตอร์ ทำการเปลี่ยนสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงให้อยู่ในย่านความถี่วิทยุของช่อง 3 ในช่องสัญญาณที่ 1 และช่อง 4 ในช่องสัญญาณที่ 2 จากนั้นนำมาผ่านจูนเนอร์ซึ่งทำหน้าที่ในการรับสัญญาณจากกระเบื้องอาร์เอชคอนเวอร์เตอร์แล้วเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณ ไอเอชเพื่อนำไปทำการแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงต่อไป

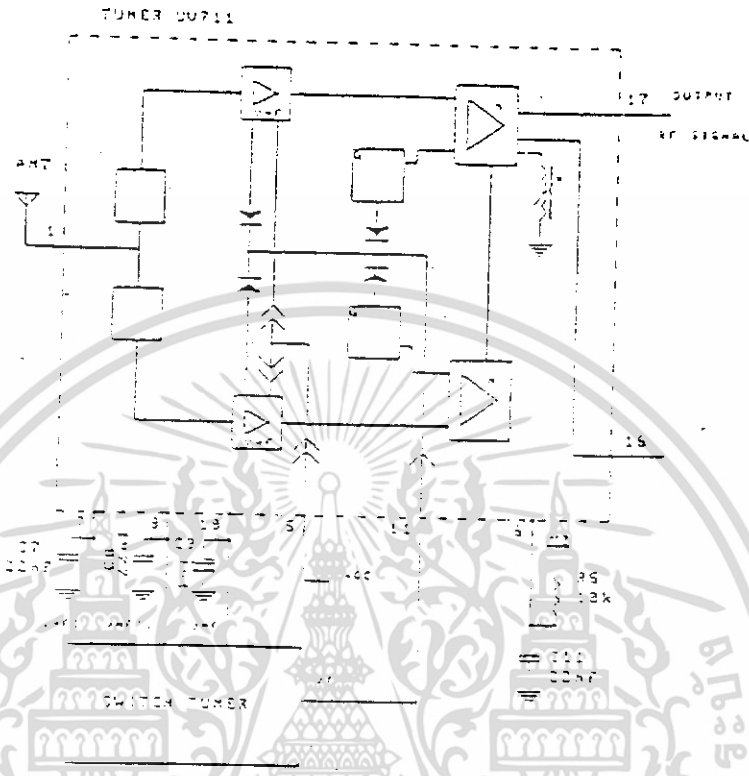
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 วงจรออดีโอ วีดีโอ มอดูเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การทำงานของอิเล็กทรอนิกส์จูนเนอร์



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรภายในจูนเนอร์ระบบ UHF และ VHF

จากรูปที่ 3.5 แสดงวงจรภายในจูนเนอร์ UV711 และวงจรประกอบสัญญาณอาร์เอฟจากสายอากาศจะถูกวางรีเลย์แยกออกเป็น 2 ทางคือ ทางVHF และUHF โดยที่ VHFจะแยกผ่านทางวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน(Low Pass Filter) และUHF จะแยกผ่านวงจรกรองความถี่สูงผ่าน(High Pass Filter) สัญญาณอาร์เอฟจะถูกขยายให้แรงขึ้นและป้อนเข้าไปผสมกับคลื่นออสซิลเลเตอร์ ในวงจรผสมคลื่นหรือมิกเซอร์เพื่อให้ได้ความถี่ไอเอฟออกมาที่ขา 17 เพื่อจ่ายให้กับภาคไอเอฟ หลักการทำงานของจูนเนอร์นี้ใช้หลักการทำงานแบบ ซูเปอร์ เฮตเซอร์โรไลยน์นั่นเอง

หน่วยขยายสัญญาณอาร์เอฟบล็อก A และบล็อก B จะถูกควบคุมด้วยสัญญาณ เอจีซี แบ่งหน่วยเวลา(Delayed AGC) โดยถูกป้อนมาจากขา 5 ของภาคไอเอฟ มาที่ขา 5 ของจูนเนอร์ การควบคุมจะเป็นไปในทางลบ เหมาะสมว่าถ้าสัญญาณจากสายอากาศมีความแรงมาก(เกินจากระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ลิ่งไว้) สักย์แรงไฟที่ขา 5 ของจูนเนอร์จะลดลงทำให้อัตราขยายของจูนเนอร์ลดลง โดยอัตราการขยายนี้สามารถตั้งให้ด้วย R_2 ที่ขาของไอซี TDA 8305 ในภาคไอเอฟ

ส่วนการจูนเพื่อรับสถานีนั้นจะใช้ควบคุมความถี่ด้วยวารีแคป โดยการป้อนสักย์ไฟตรงที่มีความถี่คงที่ สักย์ไฟตรงนี้เรียกว่า จูนนิ่งโวลเตจ (V-TUNE หรือ V-VARI) สักย์ไฟนี้มีค่าประมาณ 0-2.5 โวลต์ ป้อนมาที่ขา 11 ของจูนเนอร์ สักย์ไฟนี้ได้มาจาก จูนเนอร์สวิทช์ผ่าน R_3 เพื่อใช้ค้นหาสถานีหลังจากจูน หาสถานีพบแล้ว แรงไฟที่ได้นี้ต้องคงที่ตลอดเวลา หากแรงดันเปลี่ยนแปลงจะทำให้สถานีที่รับได้คลาดเคลื่อน ฉะนั้นเมื่อรับสถานีได้ชัดแล้ว ที่ภาคไอเอฟ ของเครื่องรับจะมีหน่วยผลิตสักย์ไฟจูนนิ่งโวลเตจ ให้สร้างสักย์ไฟชดเชยการเปลี่ยนแปลงนี้

สำหรับการเลือกย่านความถี่หรือแบนด์ต่างๆของระบบโทรทัศน์ ทำการเลือกแถบความถี่โดยป้อนไฟตรงประมาณ 12 โวลต์ เข้าที่ขา 7,8 หรือขา 10 ของจูนเนอร์เพื่อเลือกแถบความถี่ VHF, VHF, หรือ UHF ตามลำดับ โดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3

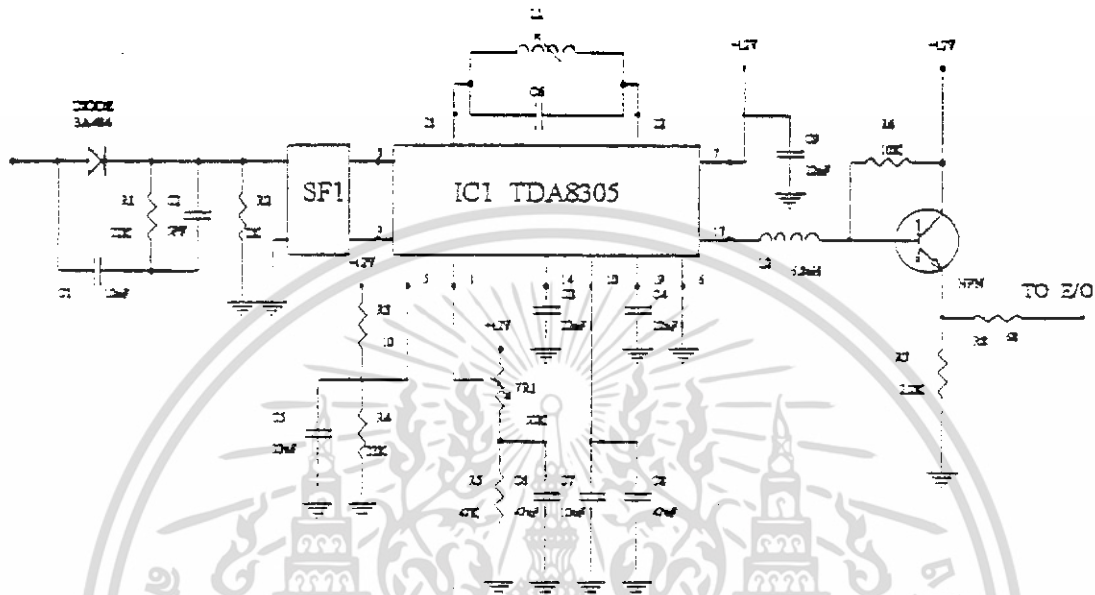
สักย์ไฟจ่ายออกที่			จูนเนอร์เบอร์ CV711	
ตำแหน่ง ของ สวิทช์เลือก			X	แถบความถี่ที่เลือกรับ
a	b	c		
12 V	0 V	0 V	7	VHF แบนด์ I หรือ a (ช่อง 2-4)
0 V	12 V	0 V	8	VHF แบนด์ III หรือ b (ช่อง 5-12)
0 V	0 V	12 V	10	UHF แบนด์ IV หรือ c (ช่อง 21-69)

X หมายถึง ตำแหน่งขาของจูนเนอร์

ตารางที่ 3 การเลือกย่านความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

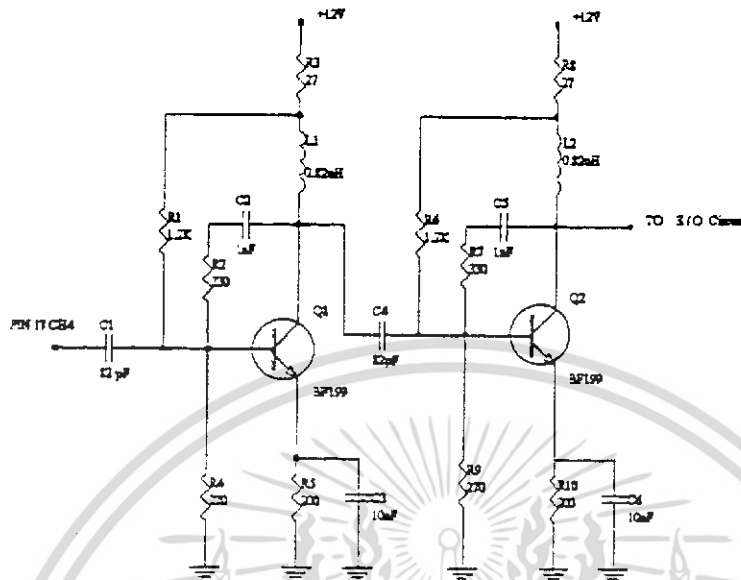
3.2.4 ภาคขยายสัญญาณไอเอฟและดีมอดูเลเตอร์ (IF Amplifier And Demodulator)



รูปที่ 3.6 วงจรขยายสัญญาณ ไอเอฟ และ ดีมอดูเลต

ในรูปที่ 3.6 สัญญาณไอเอฟจาก 17 ของตัวจูนเนอร์ UV711 ผ่านวงจรซอร์ฟิลเตอร์ SF1 ซึ่งจะกรองสัญญาณให้ผ่านได้เฉพาะสัญญาณไอเอฟเท่านั้น เพื่อเข้าขา 3 และ 9 ของไอซี TDA 3305 สัญญาณที่จะออกทางขา 15 ซึ่งมีสัญญาณภาพ สัญญาณเสียงและสัญญาณซิงค์ สัญญาณไอเอฟที่เข้ามาที่ไอซี TDA 33.5 นี้ จะถูกขยายและแยกคลื่นพาห้ของภาพออกซึ่งมีความถี่ที่ถูกทำให้เป็นความถี่กลางที่คงที่ 38.9 เมกะเฮิร์ตซ์ออก โดยสามารถปรับได้โดย L1 สัญญาณที่ออกมาจะถูกทำการขยาย ซึ่งเป็นวงจรขยายแบบเข้าหนึ่งออกหนึ่งซึ่งก็คือ ภาคบัฟเฟอร์ (Buffer) ทำให้ขอบของสัญญาณมีความคมขึ้น

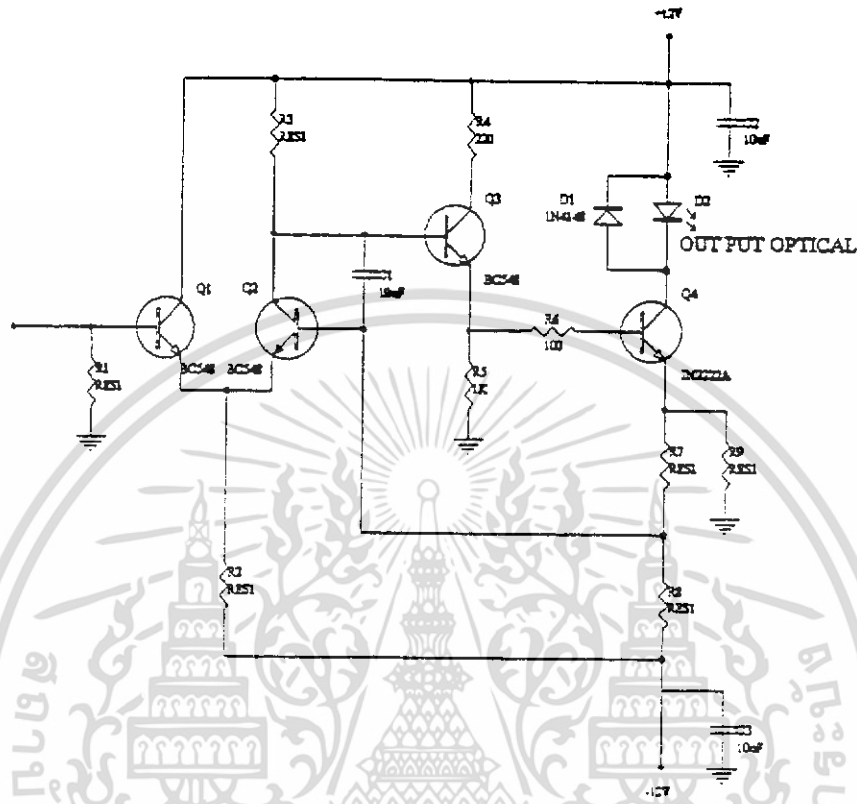
3.2.5 วงจรขยายไอเอฟ (IF Amplifier)



รูปที่ 3.7 วงจรขยายไอเอฟ

จากรูป 3.7 ใน CH.2 ซึ่งเราจะทำการส่งโดยใช้สัญญาณ IF Signal จากขา 17 มาทำการขยาย เพื่อให้สัญญาณมีความแรงขึ้นแล้วนำไปเข้าวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง หลักการทำงานของวงจรขยายแบบคอมมอนอีมีตเตอร์ มี R3, R4 เป็นตัวให้ไบอัสแก่ทรานซิสเตอร์ โดยมี L1, C2 เป็นตัวชดเชยด้านความถี่ด้วย

3.2.6 วงจรมอดูเลตทางแสง



รูปที่ 3.8 วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

การทำงานของวงจร

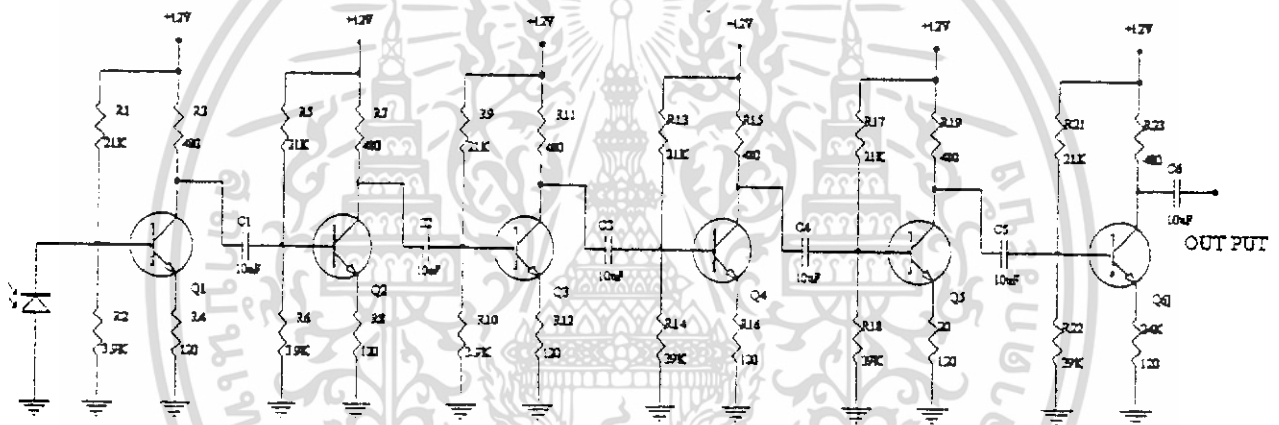
จากรูปที่ 3.8 เป็นวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง จากวงจรจะประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 4 ตัว ซึ่งทำหน้าที่ต่าง ๆ ดังนี้ จากรูปทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 จะต่ออยู่ในลักษณะวงจรดิฟเฟอเรนเชียล (Differential) จะทำการเปรียบเทียบระดับสัญญาณอินพุตที่เข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 กับสัญญาณที่ถูกป้อนกลับเข้ามาจากขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q4 มายังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q2 ถ้าสัญญาณอินพุตที่เข้ามาทางขาเบส Q1 มีขนาดเท่ากับสัญญาณที่เข้าขาเบสของ Q2 จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 นำกระแสที่จากคอลเลกเตอร์ของ Q2 จะแยกไปไบอัส (Bias) ยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q3 ก็จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q3 นำกระแส เมื่อทรานซิสเตอร์ Q3 นำกระแส เมื่อทรานซิสเตอร์ Q3 นำกระแสก็จะเกิดกระแส I_b ที่ขาของทรานซิสเตอร์ Q4 เมื่อกระแสเบสมีค่าสูงพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q4 ซึ่งขาคอลเลกเตอร์จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LED ปล่อยอยู่ในลักษณะฟอร์เวิร์ดไบอัส (Forward Bias) ดังนั้นเมื่อทรานซิสเตอร์ Q4 นำกระแสก็จะ มีกระแสคอลเลกเตอร์ไหลผ่าน LED ทำให้มีแสงถูกปล่อยออกมาไปยังเส้นใยแสง ส่วนกระแสคอลเลกเตอร์จะสามารถกำหนดได้ โดยขึ้นอยู่กับค่าของความต้านทานที่ต่อกับขาอีมิเตอร์ของ Q4 ลงกราวด์

3.3 วงจรทางด้านรับ

3.3.1 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า (O/E Converter)



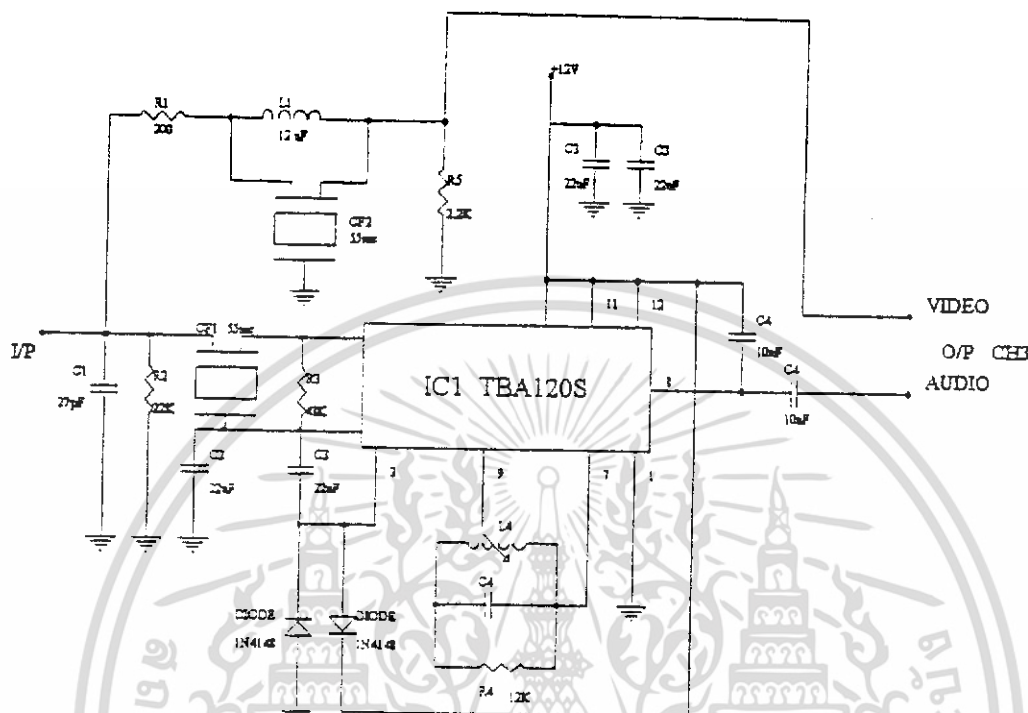
รูปที่ 3.9 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณ ไฟฟ้า

3.3.2 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นไฟฟ้าของสัญญาณช่องที่ 2

ในการเปลี่ยนสัญญาณ ไฟฟ้าในช่องที่ 2 นี้ได้ใช้วงจรในรูปที่ 3.3 ของวงจรทางด้านเครื่อง ส่งมาทำการขยายสัญญาณ ที่ได้จากโฟโอดีไดโอด โดยมีหลักการทำงานเหมือนกันแต่เราจะเพิ่มวงจร ขยายอีกหนึ่งสเตจเนื่องจากสัญญาณ ที่ได้มีค่าต่ำจึงต้องขยายเพื่อให้สัญญาณมีความแรงขึ้นและ สามารถทำการดีเทคเตอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

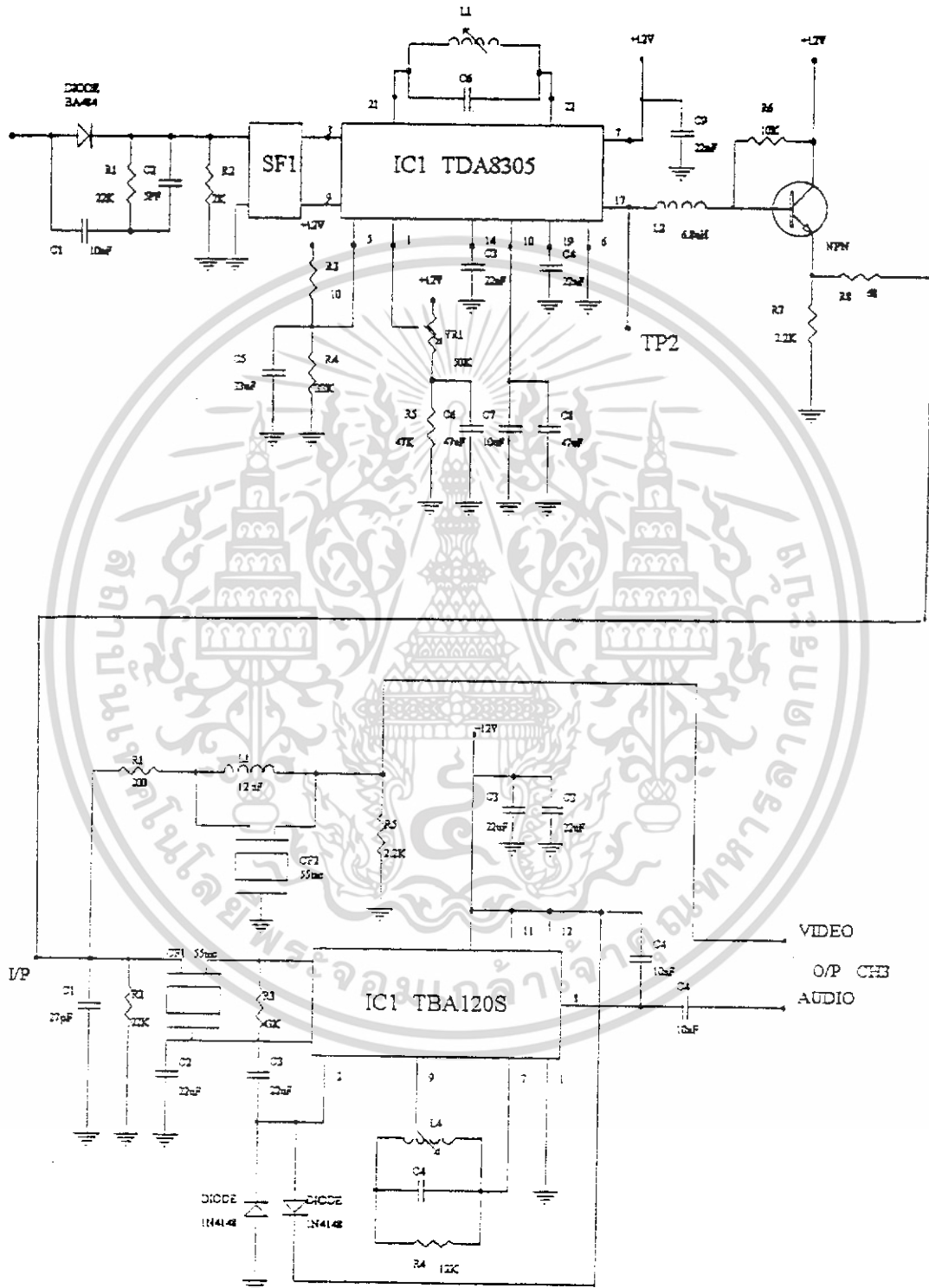
3.3.3 ภาคแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงของช่องสัญญาณที่ 1 (Detector Video & Audio Signal of Channel)



รูปที่ 3.10 วงจรแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงของช่องสัญญาณที่ 1

ในรูปที่ 3.10 สัญญาณในช่องที่ 1 ได้จาก สัญญาณภาพและเสียงที่ออกมาทางวงจรขยายผ่านเซรามิกฟิลเตอร์ CF2 มายังขา 14 ของไอซี TBA 120S (IC1) ซึ่งเซรามิกฟิลเตอร์จะยอมให้สัญญาณ 5.5 MHz ผ่านได้เท่านั้น สัญญาณจะป้อนเข้ามายังภาคขยายภายในที่ขา 14 และสัญญาณนี้จะถูกจำกัดหรือขลิบยอดทั้งบนและล่างสัญญาณออกเท่า ๆ กัน สัญญาณเอเอ็มที่แปลกลบอมจะถูกจำกัดทิ้ง เมื่อได้สัญญาณแล้วจะถูกขยายแล้วป้อนไปยังบาลานซ์ดีมอดูเลเตอร์เซรามิกฟิลเตอร์ ซึ่งสามารถดูได้ที่ L2 จะได้สัญญาณเสียงออกมาที่ขา 8 ส่วนสัญญาณจะผ่าน R1, R2 และเซรามิกฟิลเตอร์ CF1 จะทำหน้าที่จำกัดสัญญาณพาหะของเสียงออกไป ซึ่งสัญญาณที่ได้จะเหลือเพียงสัญญาณภาพและสัญญาณซิงค์เท่านั้น

3.3.4 ภาคแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงของช่องสัญญาณที่ 2 (Detector Video And Audio Signal of Channel)

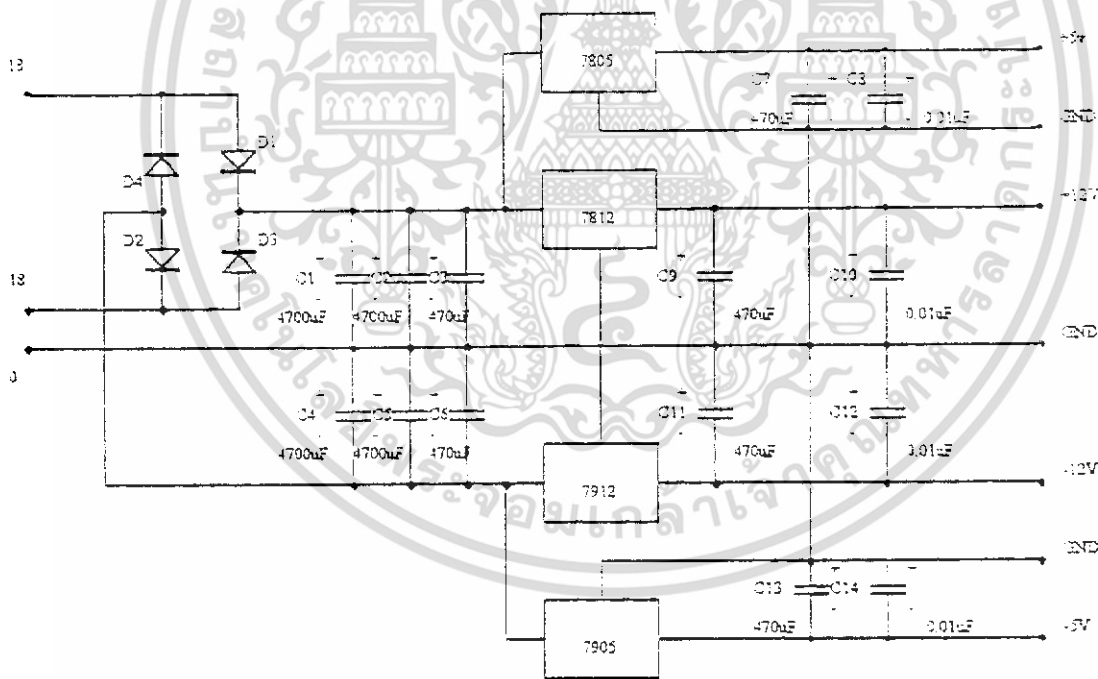


รูปที่ 3.11 วงจรแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงของช่องสัญญาณที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.11 สัญญาณไอเอฟจะผ่านซอร์ฟิลเตอร์ SF1 ซึ่งจะกรองให้สัญญาณไอเอฟผ่านได้เท่านั้น ส่งเข้าขา 8 และขา 9 ของไอซี IDA 8305 ซึ่งเป็นไอซีดีมอดูเลเตอร์ ทำหน้าที่กำจัดสัญญาณไอเอฟ มีความถี่ 38.9 เมกกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งกำหนดค่าความถี่นี้ได้โดยการปรับ L1 สัญญาณที่จากขา 17 จะมีสัญญาณภาพ สัญญาณเสียง สัญญาณซิงค์ สัญญาณทั้งหมดจะผ่านวงจรขยายแบบเข้าหนึ่งออกหนึ่งซึ่งเป็นวงจรกันชน (Buffer) เพื่อให้ขอบของสัญญาณมีความคมชัดขึ้น จากนั้นสัญญาณภาพ สัญญาณเสียง และสัญญาณซิงค์จะผ่านวงจรแยกสัญญาณภาพ สัญญาณเสียง และสัญญาณซิงค์ ออกโดยใช้ไอซีเบอร์ TBA 120S โดยสัญญาณรวมจะผ่านเซรามิกฟิลเตอร์ CF2 มายังขา 14 ของไอซี ซึ่งเราจะได้สัญญาณเสียงออกทางขา 8 โดยสามารถกำหนดสัญญาณอ้างอิงได้โดยขกการปรับ L4 เพื่อให้ได้สัญญาณเสียงที่ชัดเจน ส่วนสัญญาณภาพจะผ่านทาง R11 , L3 โดยมีเซรามิกฟิลเตอร์ CF1 ทำหน้าที่กำจัดสัญญาณ ไอเอฟเสียงออกไปเหลือเพียงสัญญาณภาพและสัญญาณซิงค์

3.4 วงจรจ่ายไฟ (Power Supply)



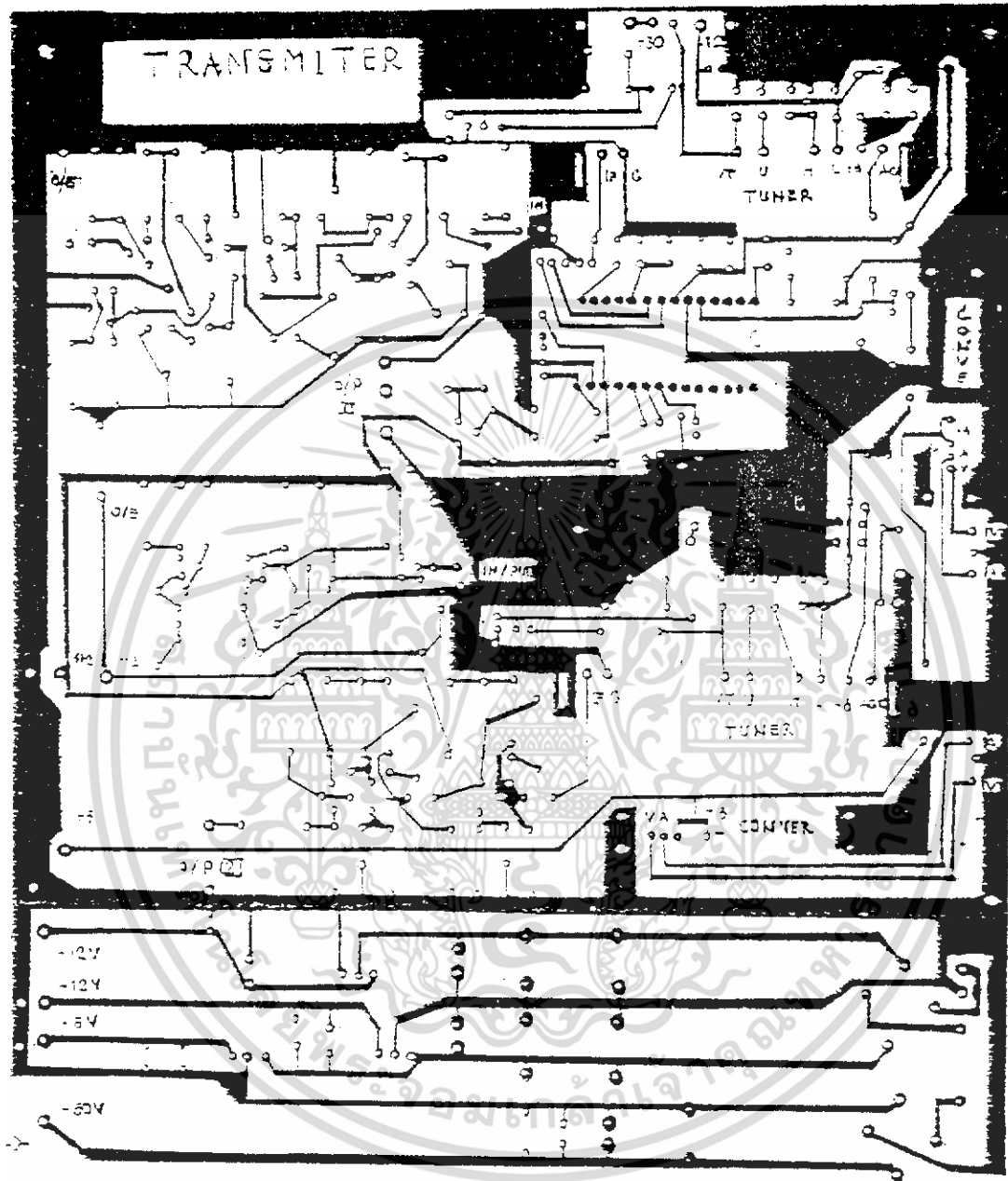
รูปที่ 3.12 วงจรภาคจ่ายไฟของเครื่องรับและเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจร

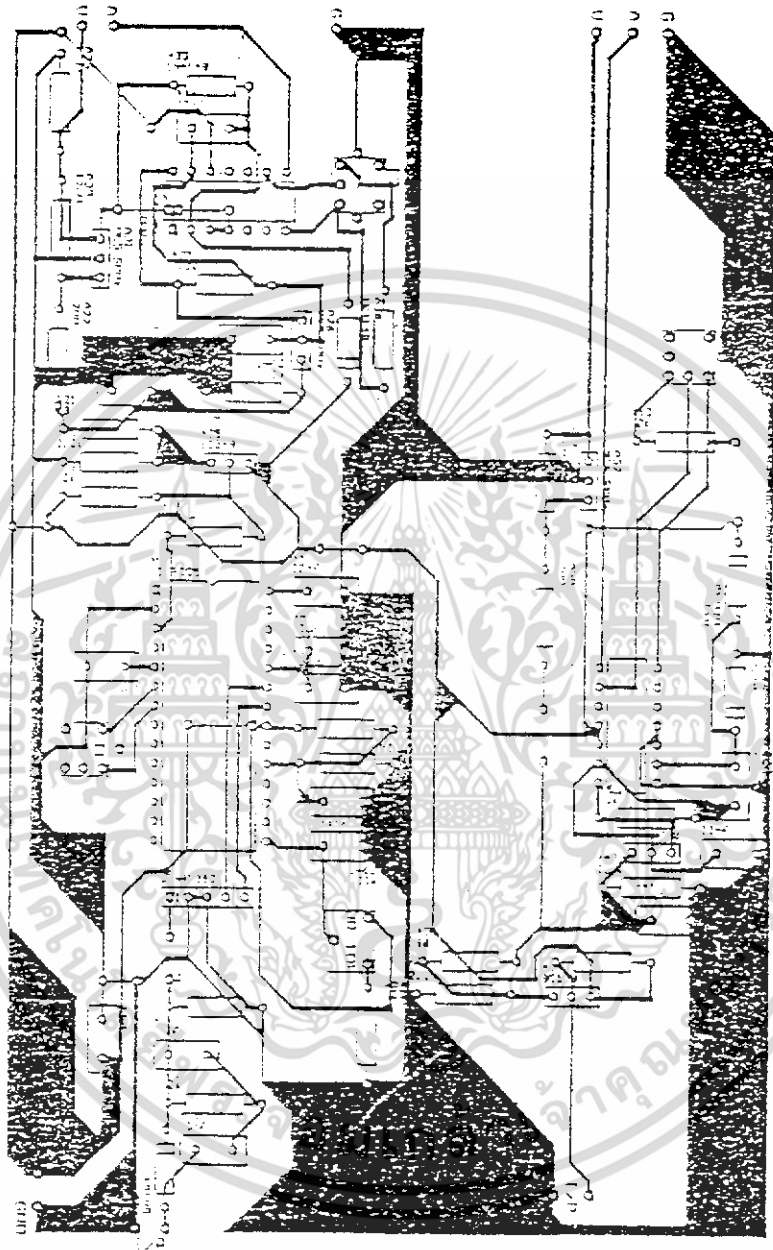
จากรูปแสดงวงจรจ่ายไฟซึ่งสามารถแยกออกเป็น 2 ส่วนที่จ่ายให้กับสวิทช์จูน (Switch Tune) จะมีระดับแรงดันเท่ากับ +50 โวลต์ ส่วนที่สองจะใช้ในการจ่ายให้กับจุดต่าง ๆ ของวงจรทั้งหมด จะมีทั้งหมด 2 ระดับคือ 12 โวลต์(บวก,ลบ) และ 5 โวลต์ (บวก,ลบ) จากวงจรในส่วนที่หนึ่งจะนำเอาระดับแรงไฟจากหม้อแปลงขนาด 30 โวลต์ ป้อนให้กับไดโอดเรกติไฟเออร์ (Diode Rectifier) ก็จะได้สัญญาณไฟประมาณ 50 โวลต์ ผ่านคาปาซิเตอร์ฟิเตอร์ให้เกิดไฟดีซี 50 โวลต์ เรียบขึ้นและนำไปใช้งานต่อไป

ส่วนที่สองเป็นวงจรจ่ายไฟ -5 โวลต์, -5 โวลต์, -12 โวลต์, -12 โวลต์ตามลำดับวงจรจะนำแรงดันไฟเอซี 12-0-12 จากหม้อแปลงป้อนให้กับไดโอดเรกติไฟเออร์ แล้วผ่านคาปาซิเตอร์ จากนั้นจะนำเอาไอซีเรกูเลเตอร์ (IC Regulator) เบอร์ LM7805 LM7905 LM7312 LM7912 เพื่อที่จะจัดแรงไฟให้ได้แรงดันไฟดีซี -5 โวลต์, -5 โวลต์ ตามลำดับ และนำเอาไปจ่ายยังจุดต่าง ๆ ของวงจรต่อไป



รูปที่ 3.13 แสดงรูปฉายวงจรภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงรูปหลายวงจรการรับ

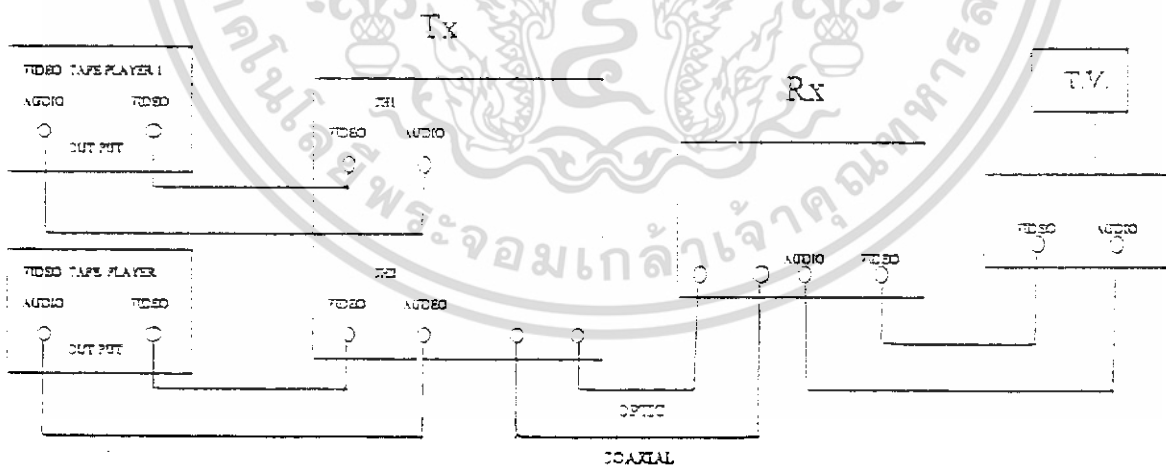
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

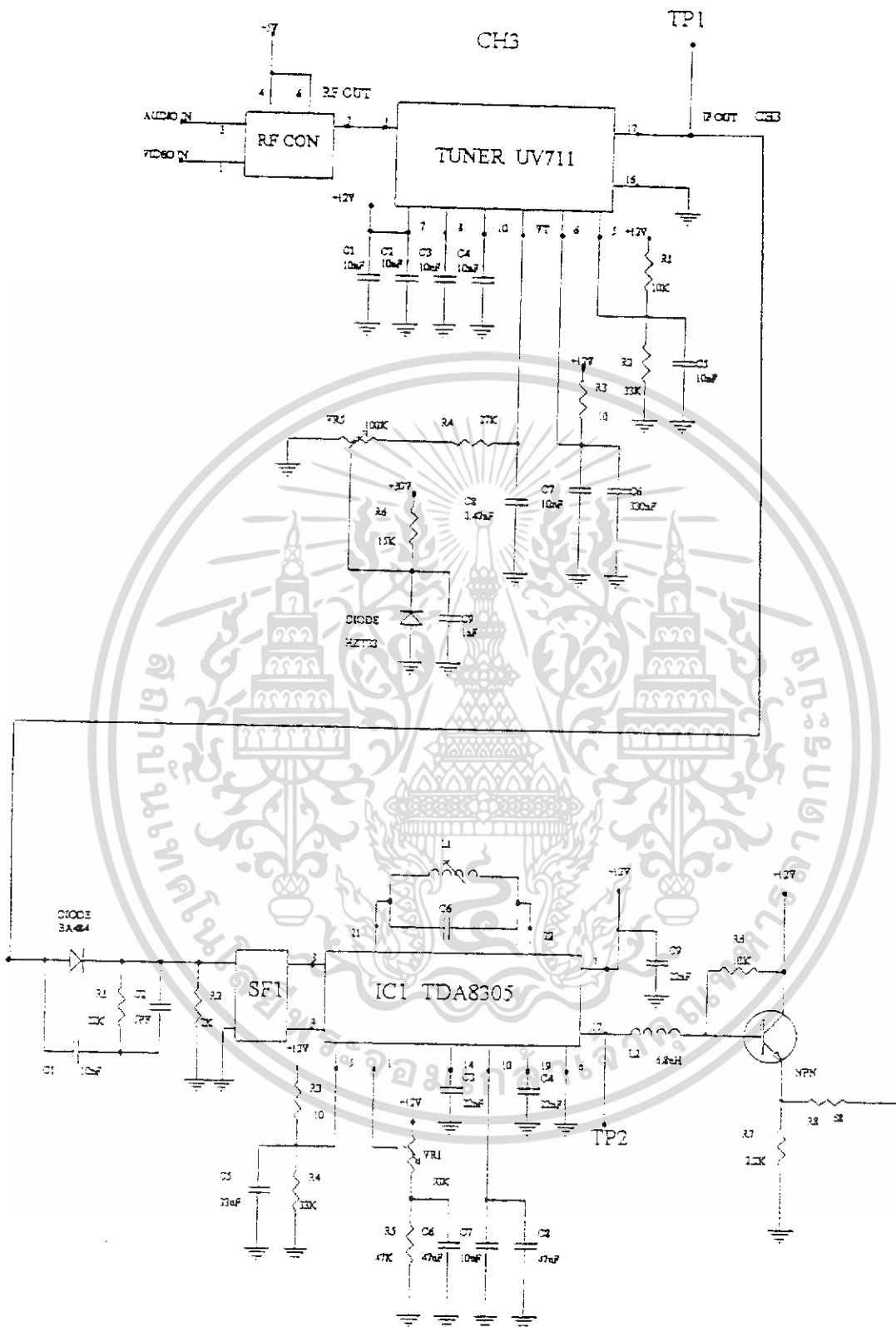
ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านเส้นใยแสง โดยมีแหล่งกำเนิดเป็นสัญญาณโทรทัศน์ ซึ่งอาจเป็นเครื่องเล่นวีดีโอเทปหรือจากกล้องโทรทัศน์ก็ได้ ในการทดลองนี้ ใช้การรับสัญญาณจากสายอากาศ หรือใช้เครื่องเล่นวีดีโอเทปก็ได้ โดยใช้สัญญาณวีดีโอเอาต์พุท(VIDEO OUTPUT) และออดิโอเอาต์พุท(AUDIO OUTPUT) จากเครื่องเล่นวีดีโอเทปเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณ ในการทดลองนี้จะแบ่งออกเป็น ส่วนคือ ส่วนที่เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณโทรทัศน์ ส่วนที่เป็นเครื่องส่ง ส่วนที่เป็นสายนำสัญญาณและส่วนที่เป็นเครื่องรับ

ส่วนที่เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณโทรทัศน์ประกอบด้วยสายอากาศ หรือ เครื่องเล่นวีดีโอเทปและเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านใยแก้วนำแสง ส่วนที่เป็นสายนำสัญญาณประกอบด้วยสายนำสัญญาณแบบโคแอกเซียล(COAXIAL CABLE) และสายนำสัญญาณแสง(OPTICAL FIBER CABLE) ส่วนที่เป็นเครื่องรับประกอบด้วย เครื่องรับสัญญาณ โทรทัศน์ผ่านเส้นใยแสงและเครื่องรับโทรทัศน์แบบมีช่องสัญญาณ A.V INPUT ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



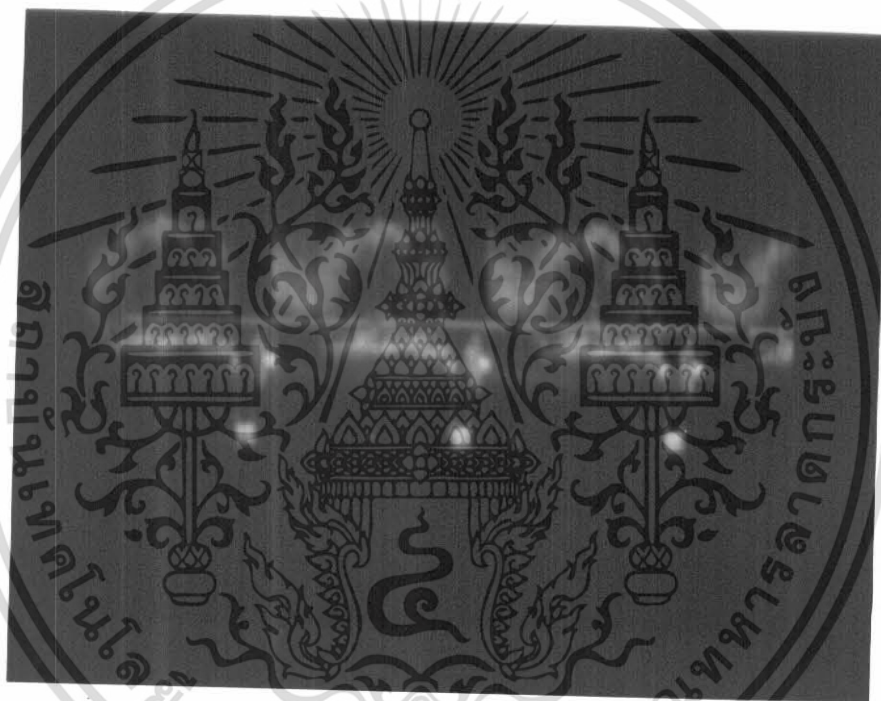
รูปที่ 4.2.1 แสดงจุดทดสอบ TP1,TP2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ลำดับขั้นการทดลอง

จ่ายไฟให้กับชุดรับส่งสัญญาณ โทรทัศน์ผ่านเส้นใยแสงเพื่อพร้อมที่ทำงาน เครื่องเล่นวีดีโอให้อยู่ในโหมด STANDBY เปิดทีวี

ใส่ไม้นวนเทปเข้าเครื่องเล่นวีดีโอแล้วให้เครื่องทำงาน จากนั้นนำ สโคปวัดสัญญาณที่ออกจากเครื่องเล่นวีดีโอเทป ซึ่งเป็นสัญญาณวีดีโอมีความถี่ไอเอฟของภาพที่ 4.43 MHz ความถี่ไอเอฟของเสียงที่ 5.5 MHz สัญญาณที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.3



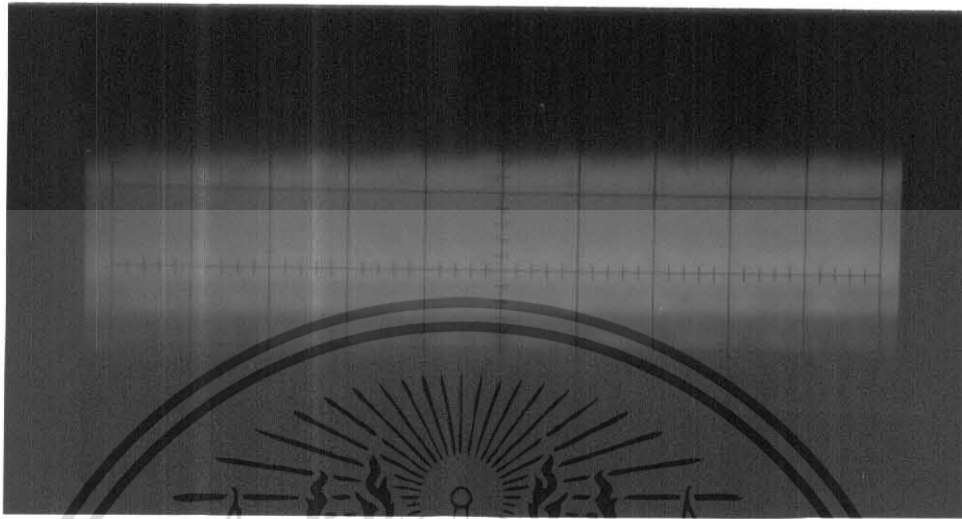
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณเอาท์พุทจากเครื่องเล่นวีดีโอเทป

นำสโคปมาวัดที่จุด TP1 ซึ่งเป็นสัญญาณความถี่ไอเอฟประกอบด้วยสัญญาณของช่อง 3 ดังนี้

ความถี่ไอเอฟของภาพ	$94.15 - 55.25 = 38.9$ MHz
ความถี่ไอเอฟของสี	$94.15 - 59.68 = 34.47$ MHz
ความถี่ไอเอฟของเสียง	$94.15 - 60.75 = 33.4$ MHz
แบนด์วิดท์	$38.9 - 33.4 = 5.5$ Mhz

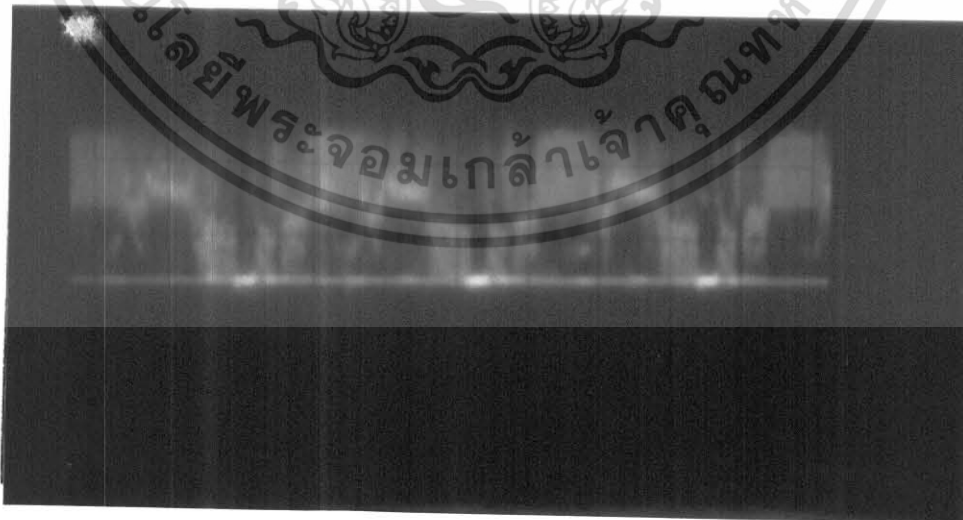
จะได้สัญญาณความถี่ไอเอฟที่ออกจากขา 17 ของ TUNER แสดงดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณความถี่ไอเอฟ ที่จุด TP1

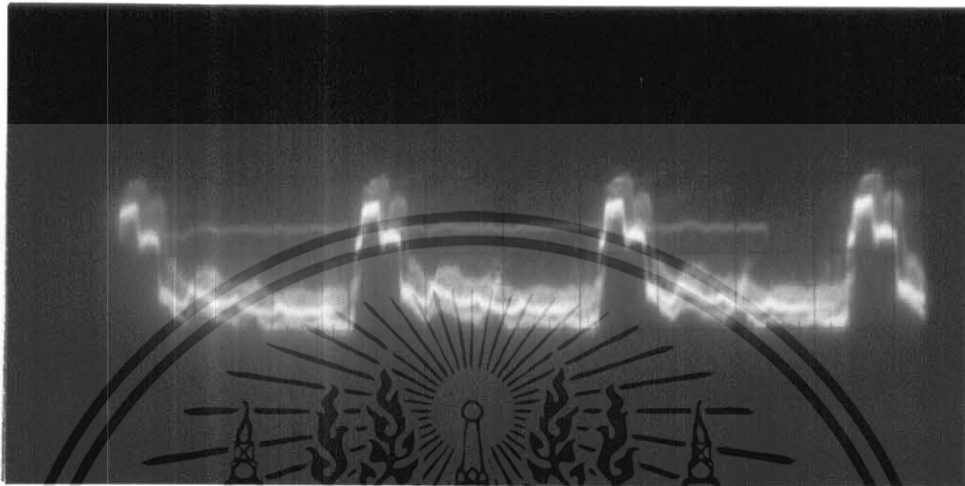
นำสโคปไปวัดที่จุด TP2 ซึ่งเป็นสัญญาณวีดีโอเอาต์พุตที่ออกจากขา 17 ของไอซี TDA-8305 ประกอบด้วยสัญญาณความถี่ไอเอฟของภาพ 4.43 MHz และความถี่ไอเอฟของสัญญาณเสียง 5.5 MHz สัญญาณที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณที่เอาต์พุตที่ออกจาก ไอซี TDA 8305 ที่จุด TP2

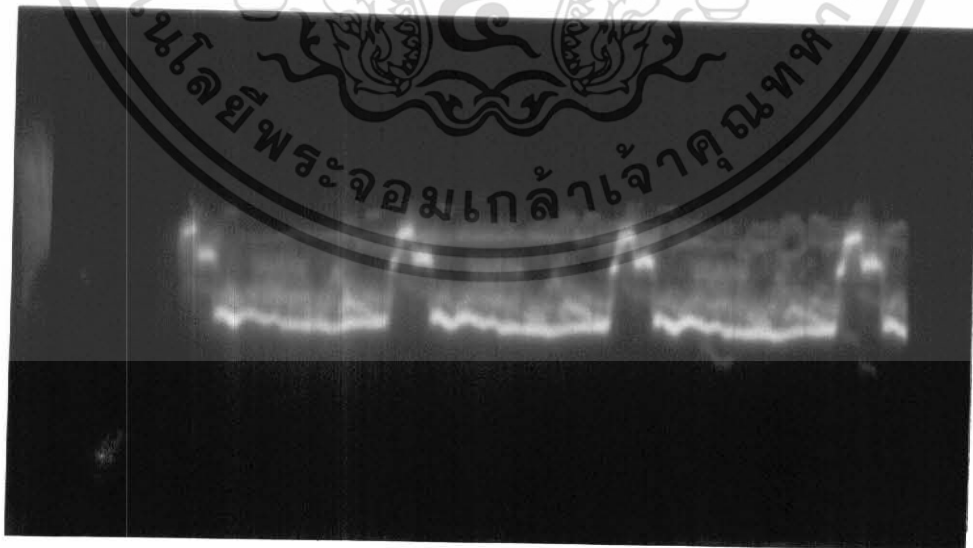
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นนำสโคปไปวัดคร่อม LED ในวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง โดยวัดที่จุด TP3 สัญญาณที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.6



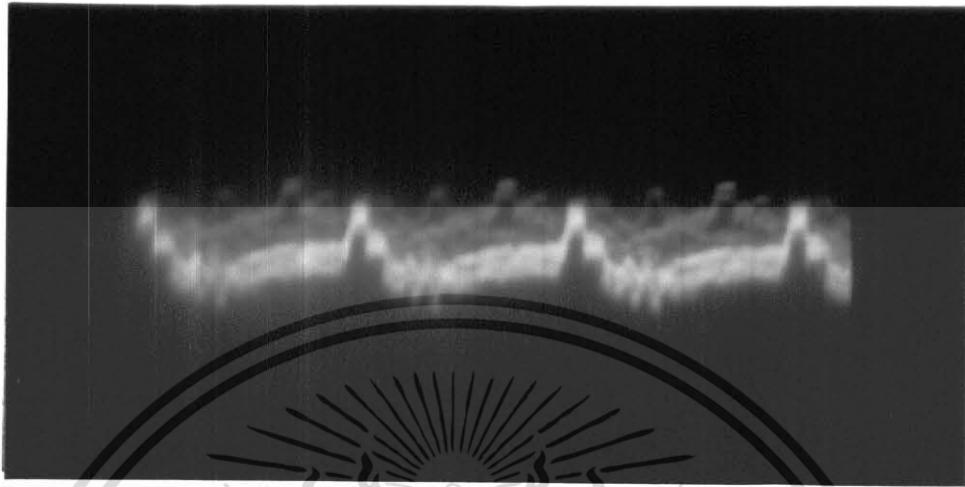
รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณที่วัดคร่อม LED ที่จุด TP3

ต่อจากนั้นทำการตรวจสอบสัญญาณทางด้านเครื่องรับโดยการนำสโคปวัดสัญญาณที่จุด TP4 ซึ่งเป็นจุดที่วัดคร่อม PHOTO DIODE สัญญาณที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณที่วัดคร่อม PHOTO DIODE ที่จุด TP4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณที่วัดได้ที่จุด TP4 เมื่อ INVERT

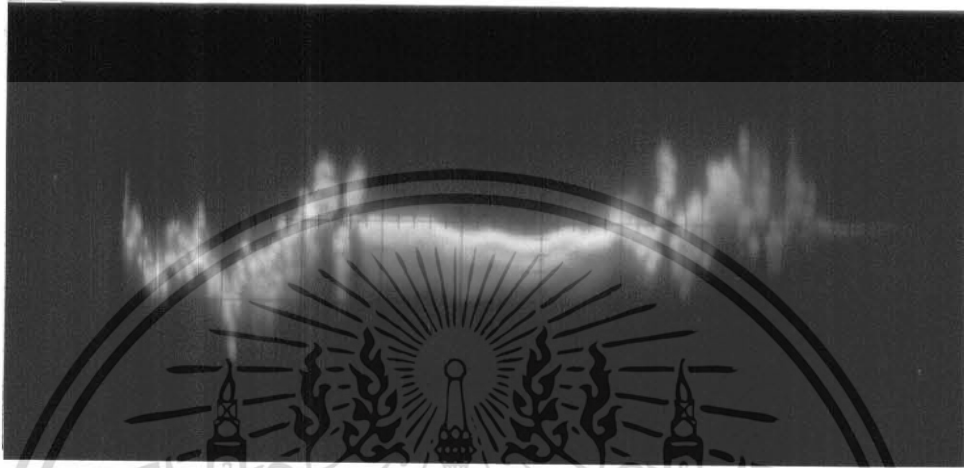
นำสโคปไปวัดสัญญาณที่ได้อีกจากภายนอกขยายสัญญาณวีดีโอภาคสุดท้าย โดยวัดที่จุด TP 5 สัญญาณที่ได้มีขนาดเพิ่มขึ้น ลวดจะเป็นสัญญาณเหมือนสัญญาณที่อินพุตดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณวีดีโอเมื่อผ่านภาคขยายที่จุด TP5

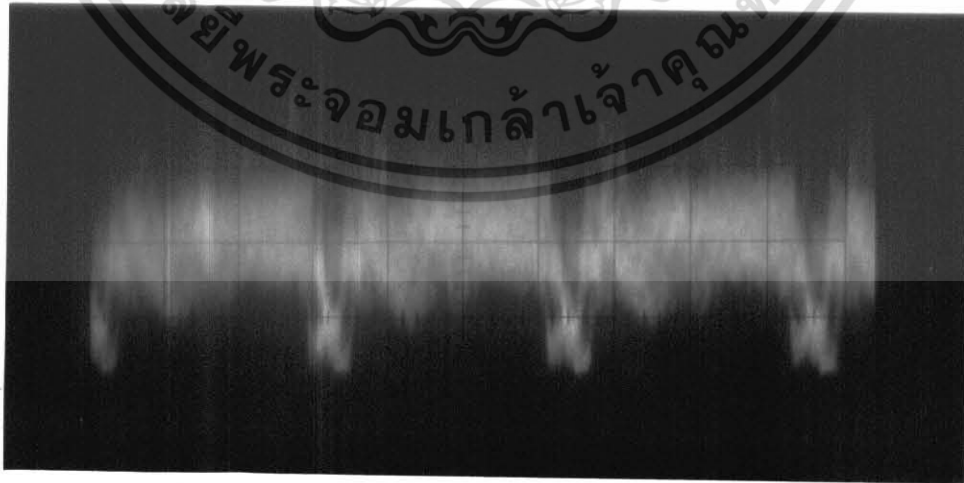
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการตรวจสอบสัญญาณเสียง โดยการนำสโคปมาวัดที่ TP6 ซึ่งเป็นจุดที่สัญญาณเสียง ผ่านการดีเทคแล้วโดยไอซี TBA 120SA จะได้สัญญาณดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณเสียงที่จุด TP6

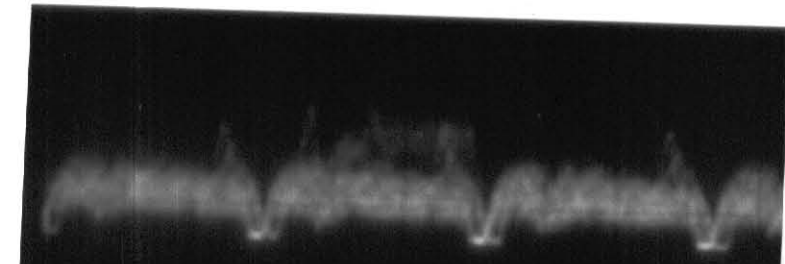
และนำสโคปวัดสัญญาณที่จุด TP 7 เป็นจุดที่ได้สัญญาณวีดีโอเพียงอย่างเดียว โดยมีการ กรองความถี่ไอเอฟของเสียงออกไปแล้ว สัญญาณที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.11 ถ้าป้อนให้ทีวีอินเตอร์ ตรงจุด V/IN ก็จะได้สัญญาณภาพบนทีวีอินเตอร์



รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณวีดีโอเอาท์พุท ที่จุด TP7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

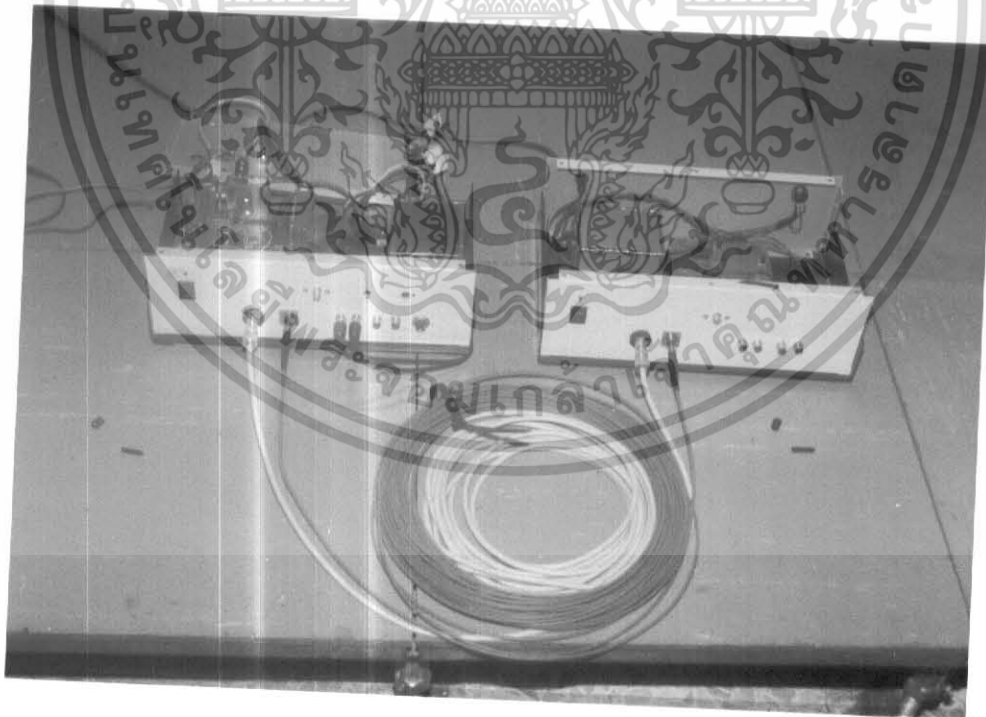
a) สัญญาณ INPUT



b) สัญญาณ OUTPUT

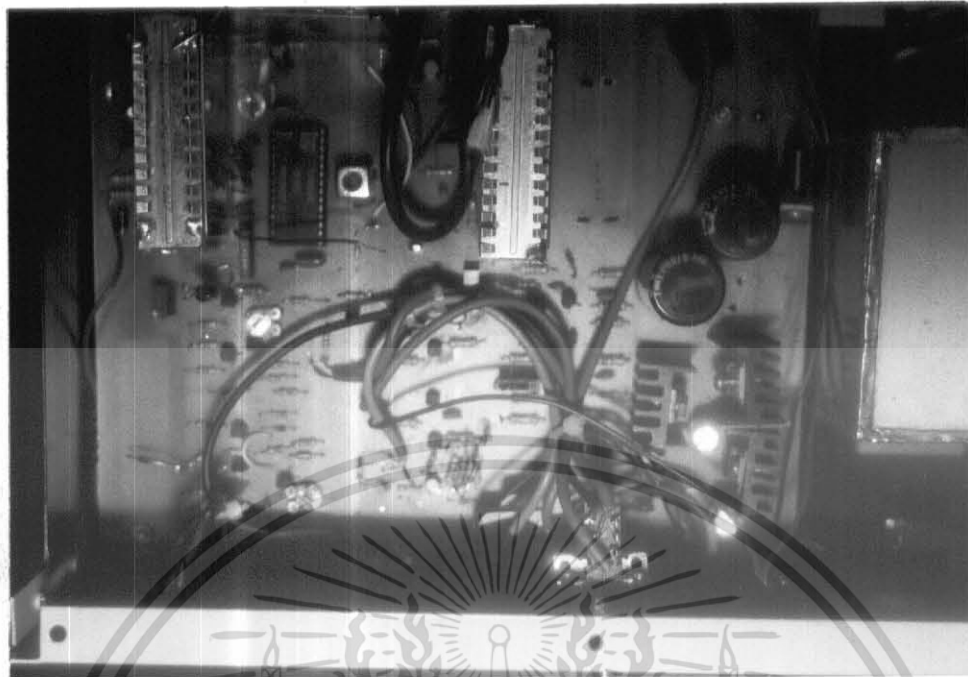


รูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณเปรียบเทียบระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต



รูปที่ 4.13 แสดงการต่อทดสอบเครื่องส่งและเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงเครื่องต้นแบบของเครื่องส่ง



รูปที่ 4.15 แสดงเครื่องต้นแบบของเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 บทวิเคราะห์ปัญหาและแนวทางแก้ไข

4.2.1 การหาข้อมูลของหัวส่ง และรับสัญญาณแสง มีข้อมูล น้อยมากจึงมีปัญหาใน การประยุกต์ใช้งาน

แนวทางแก้ไข ศึกษาหาข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ โดยเฉพาะวงจรการประยุกต์ใช้งาน ซึ่งสามารถหาข้อมูลได้จาก ห้องสมุด และ Waveside ที่เกี่ยวข้องกับบนอินเทอร์เน็ต

4.2.2 ปัญหาส่วนของวงจรถ่ายเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้า ไปเป็นสัญญาณแสงและวงจรถ่ายเปลี่ยน เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า หางจรมาใช้งานได้ยาก เพราะวงจะต้องมีการตอบสนอง ต่อความถี่สูงได้ดี และเป็นวงจรถ่ายสัญญาณขนาดเล็กที่ไม่มีสัญญาณรบกวน

แนวทางแก้ไข ต้องเลือกวงจรที่ทำงานกระแสต่ำๆเป็นวงจรถ่ายสัญญาณขนาดเล็กและมี สัญญาณรบกวนต่ำ ซึ่งสามารถหาได้จากแหล่งเดียวกันและจากรวมวงจร โทรศัพท์ของบริษัทต่างๆ

4.2.3 ปัญหาเนื่องจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากกระเบื้องอาร์เอฟคอนเวอร์เตอร์จะเกิด ขึ้นมากในการส่ง 2 ช่องสัญญาณเนื่องจากไม่มีวงจรลดความถี่ที่ไม่ต้องการทิ้ง(Verstigal Sideband Filter)

แนวทางการแก้ไข จะต้องหาวงจรถ่าย (VLF) มาต่อก่อน ที่จะส่งไปให้จูนเนอร์และถ้าทำการส่ง 2 ช่องจะต้องมี วงจรคอมบายเนอร์มารวมสัญญาณก่อนที่จะส่งไปให้วงจรถ่ายสัญญาณไฟฟ้า เป็นสัญญาณแสง และใช้กระเบื้อง RF ที่มีคุณภาพ เสถียรภาพมากกว่านี้

4.2.4 ปัญหาความไม่เสถียรภาพของภาคจ่ายไฟ ในการจ่ายกระแสทำให้มีปัญหาการ จูน และล็อกช่องสัญญาณ

แนวทางการแก้ไข ปัญหาเกี่ยวกับภาคจ่ายไฟต้องออกแบบให้มีเสถียรภาพมากกว่า นี้อาจ ใช้เป็นแบบสวิทซ์ซึ่งแต่ต้องมีการป้องกันสัญญาณรบกวนอย่างดี

4.2.5 ปัญหาที่เกิดจากการรบกวนกันของสัญญาณ IF กับสัญญาณภาพ

แนวทางการแก้ไข ทำการ ชีลด์ ระหว่างกระเบื้อง RF และจูนเนอร์ และทำการ ชีลด์ IC ดี เทคเตอร์

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

ปริญญานิพนธ์นี้ได้กล่าวถึงการส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงและผลการทดสอบการรับ-ส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง เครื่องส่งและเครื่องรับที่ได้สร้างขึ้นนี้สามารถส่งและรับสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสงได้ สำหรับการออกแบบวงจรนั้นได้ศึกษาวิเคราะห์จากโครงการที่ได้ทำผ่านมา แล้วจึงได้ออกแบบวงจรใหม่โดยหลักการที่ถูกต้องเพื่อให้มีประสิทธิภาพและเสถียรภาพของวงจรดีขึ้น จากผลที่ได้จากการทดสอบของวงจรมานั้นจะเห็นว่าดีขึ้นกว่าของเดิม และการรับสัญญาณภาพผ่านเส้นใยแก้วนำแสงมีความชัดเจนมากขึ้น ดังนั้นเครื่องรับ-ส่งที่ได้สาธิตนี้ เชื่อว่าจะถูกนำไปใช้ในการรับ-ส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสงได้หลายช่องสัญญาณมากขึ้น, มีขนาดที่เล็กลง และส่งด้วยความเร็วสูง

5.2 แนวทางในการพัฒนา

1. พัฒนาให้มีการส่งและรับสัญญาณ โทรทัศน์ โดยใช้ระบบดิจิทัล
2. เพิ่มจำนวนช่องสัญญาณ ให้เพิ่มขึ้นอีก
3. พัฒนาให้มีการคอมเพรส (Compress) สัญญาณก่อนส่ง
4. พัฒนาให้เส้นใยแก้วนำแสงสามารถรับส่งสัญญาณเพียงเส้นเดียว
5. พัฒนาให้สามารถรับสัญญาณได้จากสาขาอากาศโดยตรงเพิ่มขึ้นอีก

บรรณานุกรม

- 1) อภินันท์ มัชฌานนท์, การสื่อสารใยแก้ว, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2528
- 2) ฝ่ายบริการ, ทฤษฎีการทำงานและคู่มือซ่อมโทรศัพท์สี่แท่นเครื่อง GRI-AX, บริษัทไฟฟ้าฟิลิปส์แห่งประเทศไทย จำกัด
- 3) ฝ่ายบริการ, ทฤษฎีการทำงานและคู่มือซ่อมโทรศัพท์สี่แท่นเครื่อง NCF-CR, บริษัทไฟฟ้าฟิลิปส์แห่งประเทศไทย จำกัด
- 4) กองฝึกอบรม, ระบบสื่อสารด้วยไฟเบอร์อปติก, องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย
- 5) อธิคม ฤกษ์บุตร, ระบบการสื่อสารด้วยไฟเบอร์อปติก ตอน 1, เซมิกอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 118, 2523
- 6) อธิคม ฤกษ์บุตร, ระบบการสื่อสารด้วยไฟเบอร์อปติก ตอน 2, เซมิกอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 119, 2523
- 7) อธิคม ฤกษ์บุตร, ระบบการสื่อสารด้วยไฟเบอร์อปติก ตอนจบ, เซมิกอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 120, 2535
- 8) ไชยันต์ สุวรรณชีวะศิริ, ปฐมบทของไฟเบอร์อปติก, เซมิกอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 115, 2535
- 9) HANDBOOK, "TTL DATABOOK", Texas Instrument Inc., U.S.A., 1981
- 10) KENICHI, N. and SHIRAKAWA, H. OPTIC FIBER COMMUNICATION MADE EASY (YAMASHII HIKARI FAIBA TSUUSHIN). Tokyo. OHM company, 1995
- 11) Morris Tischler, Optoelectronics : Fiber optics and lasers, A Text-lab Manual (second edition), McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITION, 1992
- 12) Telecommunication Device Data, Motorola Inc., 1989.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ภาคส่ง

1. อุปกรณ์ภาค อดดีโอ วีดีโอ มอดูเลเตอร์

Part	Model	Description	Quantity
RF converter	MCB9-VG3403014576		2
Tuner	UV711		2
D1,D2	Silicon	HZ133	2
VR1,VR2	Potentiometer	100 k ohm	2
C2,C3,C4	เซรามิก	22nf	3
C11,C12,C13	"	22nf	4
C1,C5,C7	"	10nf	3
C10,C14,C16	"	10nf	3
C6,C15	"	330nf	2
C8,C17	"	470nf	2
C9,C18	"	1nf	2
R2,R8	คาร์บอน	33k ohm	2
R3,R9	"	10 ohm	2
R4,R10	"	10k ohm	2
R6,R12	"	15k ohm	2
R1,R7	"	10k ohm	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.รายการอุปกรณ์ภาคขยายสัญญาณ ไอเอฟ และ ดีมอดูเลเตอร์

Part	Model	Description	Quantity
R1	คาร์บอน	22k ohm	1
R2	“	2k ohm	1
R3,R6	“	10k ohm	2
R4	“	33k ohm	1
R5	“	47k ohm	1
R7	“	22k ohm	1
R8	“	68 ohm	1
C1	เซรามิค	10nf	1
C2	“	5pf	1
C3,C4,C5	“	22nf	3
C6,C8	“	47nf	2
C5	อิเล็กโทรไลต์	33uf	1
C7	“	10uf	1
L1	Inductor	5008191147	1
L2	“	12uh	1
SF1	Sawe fillter	OFWB 1950	1
IC1	TDA8305	-	1
D1	BA484	BA484	1
TR1	BC458	BC458	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ภาวขยายไอเฟรयरการอุปกรณั

Part	Model	Description	Quantity
Q1,Q2	High Fre. Amp	BF 199	2
R1,R6	การ็บอน	1.2k ohm	2
R2,R7	“	300 ohm	2
R4,R9	“	270 ohm	2
R5,R10	“	200 ohm	2
R3,R8	“	27 ohm	2
C1,C4	เซรามิก	82 pf	2
C2,C5	“	1 nf	2
C3,C6	“	10 nf	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. รายการอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

Part	Model	Description	Quantity
R1,R8	คาร์บอน	10k ohm	2
R2	“	1.5k ohm	1
R3	“	3.9k ohm	1
R4	“	220 ohm	1
R5	“	1k ohm	1
R6,R9	“	100 ohm	2
R7	“	2k ohm	1
C1	เซรามิก	100nf	1
C2,C3	อิเล็กโทรไลต์	10uf	2
D1	Silicon	HFE 4070	1
Q1,Q2,Q3	NPN	BC 548	3
Q4	NPN	2N2222A	1
LED	GaAIAs		

5. รายการอุปกรณ์ภาคจ่ายไฟ

Part	Model	Description	Quantity
Bridge		6A/600V	3
C1,C2,C4,C5	อิเล็กโทรไลต์	470uf/50V	4
C11,C13,C3,C6,C7,C9	“	470uf/25V	6
C8,C10,C12,C14	ไมลาร์	0.01uf/50V	4
IC1		LM7805	1
IC2		LM7812	1
IC3		LM7905	1
IC4		LM7912	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ภาครับ

Part	Model	Description	Quantity
R1,R5,R9	คาร์บอน	21k ohm	3
R2,R6,R13	."	3.9k ohm	3
R3,R6,R10	"	480 ohm	3
R4,R8,R12	"	120 ohm	3
C1,C2,C3	อิเล็กโทรไลต์	100uf	3
D3	PIN Diode		1
Q1,Q2,Q3	High Fre. Amp	BC 548	3
R13	คาร์บอน	200 ohm	1
R14,R15	"	2.2k ohm	5
R16	"	4.3 k ohm	3
R17	"	12k ohm	5
C4	เซรามิค	27pf	3
C5,C6,C7	"	22nf	2
C8	อิเล็กโทรไลต์	220uf	2
C9,C10	ไมลาร์	10nf	3
L1	กระป๋องจูน		2
D1,D2	Silicon	1N4148	3
IC2,IC3	Balance mod	TBA120S	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fibre Optics

- Connectors
- Cables and Fibre
- Termination Tools
- Cable Assemblies
- Active Devices

Fibre optics can provide solutions to many of the problems normally associated with transmission system design. The most significant advantages being:

- freedom from electro-magnetic interference
- freedom from crosstalk
- complete electrical isolation
- elimination of sparking and fire hazards
- absence of ground loops
- security of transmission
- increased bandwidth and lower transmission losses than in coaxial cables at high frequency
- low weight compared to electrical copper cable

50/125 μm Terminated Optical Leads

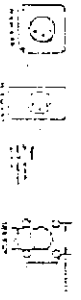


Lengths of LSOH polyethylene coated fibre optic cable having 50 μm core diameter, 125 μm cladding diameter and an overall cable diameter of 3.2 mm. Terminated at each end with 9 mm SMA connectors. Numerical aperture 0.2. Attenuation (820 nm) 3 dB/km typ, 4 dB/km max. Bandwidth 400 Mhz/km. Minimum bend radius 30mm, maximum tensile load 100 N. Operating temperature range -15°C to +60°C.

Note: This cable is NOT suitable for use with RS in line connectors.

Caution : Do not exceed the minimum bend radius.

SMA/ST Emitters/Transmitters



Supplied to 4 by Honeywell Optoelectronics

A range of GaAlAs surface emitting LEDs, optically aligned in either SMA or ST housings offering PCB or bulkhead mounting options. The devices are designed to provide direct connection to the RS range of terminated fibre optic leads or any other compatible SMA or ST connector. The active device is an HFE4020 and is selected for output power.

Technical Specification

Absolute max. ratings

Forward current, I_F 100 mA

Reverse voltage V_R (at 10 μ A) 1 V

Operating temperature range -40°C to +100°C

Optoelectronic characteristics at 25°C.

	min	typ.	max.
V_F at $I_F=100$ mA		1.6 V	1.8 V

Peak emission wavelength ($I_F=100$ mA)	850 nm
---	--------

Spectral bandwidth	50 nm
--------------------	-------

Response time	t_r 4 ns	t_f 8 ns
---------------	------------	------------

($I_{pk}=100$ mA, 1 V Pre-bias)	t_f 6 ns	10 ns
----------------------------------	------------	-------

Launch power*

Low power emitter

(a) 50/125 μ m glass 3 μ W min. (-25 dBm)

(b) 200 μ m P.C.S. 50 μ W min. (-13 dBm)

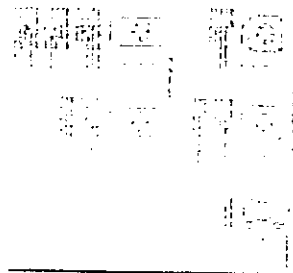
High power emitter

(a) 50/125 μ m glass 10 μ W min. (-20 dBm)

(b) 200 μ m P.C.S. 160 μ W min. (-8 dBm)

* Measured at the end of a 10 m length of fibre optic cable.

Fibre Optic SMA/ST Detectors/Receivers



Supplied to / by Honeywell Optoelectronics

A wide range of analogue and digital receivers designed to match the low and high power emitters

200Kb/s Schmitt Receiver

An optical receiver with integral photodiode, pre-amp, Schmitt threshold and output buffer compatible with TTL and C-MOS logic. Internal regulation allows a wide operating supply voltage range. Receivers are optically aligned in SMA/ST style housings, either bulkhead or PCB mounting. The active device is an HFD 3029-002.

Technical Specification

Supply voltage	4.5V to 13.2V
Supply current (typ)	6mA
Input sensitivity (typ)	1µW
Optical input power	1.5µW to 100µW
Rise time (typ)	12ns
Fall time (typ)	3ns
Output impedance (typ)	20Ω
Operating temperature	0°C to +100°C

1 = 1

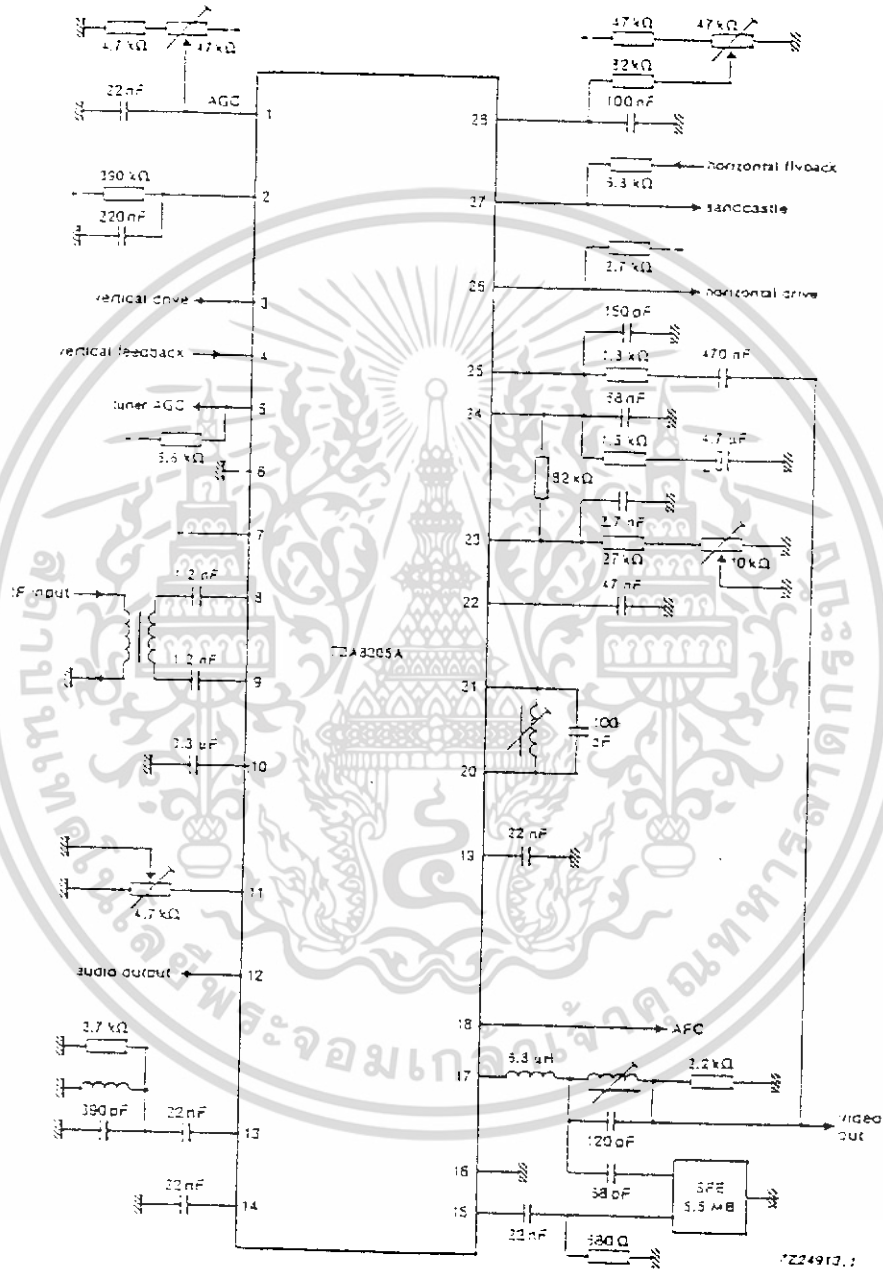
type	stock no.
200Kb/s Schmitt Rx	
bulkhead SMA	633-335
PCB mount SMA	633-341
PCB mount ST	194-442

200Kb/s Schmitt Receiver



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

parameter	conditions	symbol	min.	typ.	max.	unit
<i>Coincidence detector</i>						
Voltage for:						
synchronized condition		V ₂₂	—	9.8	—	V
no signal condition		V ₂₂	—	1.5	—	V
Switching level to switch the phase detector from fast to slow		V ₂₂	6.2	6.7	7.2	V
Hysteresis slow to fast		V ₂₂	—	0.6	—	V
Switching level to activate the mute function (transmitter identification)		V ₂₂	2.5	2.8	3.1	V
Hysteresis mute function		V ₂₂	—	2	—	V
Delay time of mute release after transmitter insertion					300	μs
Allowable load on pin 22					10	μA
External video mode		V ₂₂	—	—	0.7	V
Current at pin 22	V ₂₂ = 0 V	I ₂₂	—	—	0.8	mA
Vertical circuit	note 25					
<i>Vertical ramp generator</i>						
Input current during scan		I ₂	—	—	2	μA
Discharge current during retrace		I ₂	—	0.8	—	mA
Sawtooth amplitude (peak-to-peak value)		V _{2(p-p)}	—	1.9	—	V
Interlace timing of the internal pulses			30	32	34	μs
<i>Vertical output</i>						
Available output current	V ₃ = 4 V	I ₃	—	—	3	mA
Maximum output voltage	I ₃ = 0.1 mA	V ₃	4.4	5	—	V
<i>Vertical feedback input</i>						
Input voltage						
DC component		V ₄	2.9	3.3	3.7	V
AC component (peak-to-peak value)		V _{4(p-p)}	—	1	—	V
Inout current		I ₄	—	—	12	μA
Internal precorrection to sawtooth		Δt _p	—	3	—	%
Deviation amplitude	50/60 Hz		—	—	2	%
Temperature dependence of the amplitude	T _{amb} = 20 °C to 65 °C		—	—	2	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

parameter	conditions	symbol	min.	typ.	max.	unit
Temperature dependence of the output signal amplitude	$T_{amb} = 20^{\circ}\text{C}$ to 65°C ; -30 dB volume control and voltage of pin 11 fixed; note 27	V_{12}	-	2.5	-	dB
Volume control	note 17; see Fig.8					
External control resistor	note 17	R_{11}	-	4.7	-	$k\Omega$
Suppression output signal during mute condition		OSS	60	66	-	dB
Horizontal synchronization circuit	see Fig.9					
<i>Sync separator</i>						
Required sync pulse amplitude	note 20	V_{25}	200	750	-	mV
Input current pin 25	$V_{25} > 5\text{ V}$ $V_{25} = 0\text{ V}$	I_{25} I_{25}	-	8 -10	-	μA mA
<i>First control loop</i>						
Holding range PLL		$\pm \Delta f$	-	1500	2000	Hz
Catching range PLL		$\pm \Delta f$	600	1500	-	Hz
Control sensitivity to oscillator	note 21					see Fig.10
IF input signal at which the time constant is switched (RMS value)	strong to weak	V_{8-9}	-	2.2	-	mV
<i>Second control loop</i>						
Control sensitivity	note 22	$\Delta t_d / \Delta t_0$	-	100	-	-
Control range		t_d	-	25	-	μs
Controlled edge						positive
<i>Phase adjustment (via second control loop)</i>						
Control sensitivity			-	25	-	$\mu\text{A}/\mu\text{s}$
Maximum allowed phase shift		α	-	=2	-	μs
<i>Horizontal oscillator (pin 23)</i>						
Free running frequency	$R = 34.3\text{ k}\Omega$; $C = 2.7\text{ nF}$	f_{fr}	-	15625	-	Hz
Spread with fixed external components		Δf	-	-	4	%
Frequency variation	$\Delta V_p = 9.5$ to 13.2 V	Δf_{fr}	-	-	2	%
Frequency variation with temperature	note 27	TC	-	-1.6	-	Hz/ $^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHARACTERISTICS (continued)

parameter	conditions	symbol	min.	typ.	max.	unit
<i>Horizontal oscillator (pin 23) (continued)</i>						
Maximum frequency deviation at start of horizontal output		Δf_{fr}	—	—	10	%
Frequency variation when only noise is received	note 27	Δf_{fr}	—	—	500	Hz
<i>Horizontal output</i>						
Output limiting voltage		V_{26}	—	—	16.5	V
Output voltage LOW	$I_{sink} = 10 \text{ mA}$	V_{26}	—	0.2	0.5	V
Maximum sink current		I_{26}	10	—	—	mA
Duty cycle output signal			—	46	—	%
Rise time of output pulse		t_r	—	260	—	ns
Fall time of output pulse		t_f	—	100	—	ns
<i>Flyback input and sandcastle output</i> note 23						
Input current required during flyback pulse		I_{27}	0.1	—	2	mA
Output voltage:						
during burst key pulse		V_{27}	8	—	—	V
during horizontal blanking		V_{27}	4	4.4	5	V
during vertical blanking		V_{27}	2.1	2.5	2.9	V
Pulse width:						
burst key pulse	60 Hz	t_w	2.9	3.3	3.7	μs
burst key pulse	50 Hz	t_w	3.2	3.6	4.0	μs
horizontal blanking pulse						flyback pulse width
Vertical blanking pulse:						
50 Hz divider in search window			—	21	—	lines
60 Hz divider in search window			—	17	—	lines
50 Hz divider in narrow window			—	25	—	lines
60 Hz divider in narrow window			—	21	—	lines
Delay between start of sync pulse at the video output and the burst key pulse						
trailing edge	60 Hz		—	—	9.3	μs
rising edge			4.7	5.4	6.1	μs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

parameter	conditions	symbol	min.	typ.	max.	unit
Maximum source current		I_{17}	10	—	—	mA
Bandwidth of demodulated output signal		B	5	7	—	MHz
Differential gain	note 8	G_{17}	—	4	8	%
Differential phase	note 8	φ	—	2	5	deg.
Video non-linearity	note 9	NL	—	2	5	%
Intermodulation	note 10					
$f = 1.1$ MHz (blue)			50	60	—	dB
$f = 1.1$ MHz (yellow)			50	60	—	dB
$f = 3.3$ MHz (blue)			55	65	—	dB
$f = 3.3$ MHz (yellow)			55	65	—	dB
Signal-to-noise ratio	note 11					
$V_i = 10$ mV		S/N	50	57	—	dB
end of gain control range		S/N	50	62	—	dB
Residual carrier signal		V_{17}	—	2	10	mV
Residual 2nd harmonic of carrier signal		V_{17}	—	2	10	mV
Tuner AGC						
Minimum starting point tuner take-over (RMS value)		$V_{8-9(rms)}$	—	—	0.2	mV
Maximum starting point tuner take-over (RMS value)		$V_{8-9(rms)}$	100	150	—	mV
Maximum tuner AGC output swing	$V_5 = 3$ V	$I_5(max)$	4	—	—	mA
Output saturation voltage	$I_5 = 2$ mA	$V_5(sat)$	—	—	300	mV
Leakage current (pin 5)		I_L	—	—	1	μ A
Input signal variation complete tuner control		ΔV_i	0.5	2	4	dB
Minimum voltage tuner take-over		V_1	—	—	1	V
Voltage to switch on the X-ray protection	horizontal output high resistance	V_1	—	—	0.8	V
AFC circuit						
AFC sample-and-hold/switch						
AFC switch-off current		I_{19}	0.1	—	—	mA
Output current	$V_{19} = 0$ V	I_{19}	—	0.1	0.3	mA
Leakage current at pin 19		I_{LO}	—	—	2	μ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHARACTERISTICS (continued)

parameter	conditions	symbol	min.	typ.	max.	unit
AFC circuit (continued)						
AFC output						
AFC output voltage swing	notes 18, 19	V ₁₈	10.5	—	11.5	V
Available output current		I ₁₈	0.2	—	—	mA
Control steepness			—	100	—	mV/kHz
AFC output voltage with AFC off		V ₁₈	5.5	6	6.5	V
AFC output resistance		R ₁₈	—	40	—	kΩ
Measured with an input signal amplitude = 150 μV (RMS value)						
Output voltage swing	note 27	V ₁₈	—	11	—	V
Control steepness	note 27		—	80	—	mV/kHz
Output voltage shift with respect to V _i = 10 mV (RMS value)	note 27		—	-2	—	V
Sound circuit						
Input limiting voltage	note 12					
Input resistance	V _{o(max)} = -3 dB	V ₁₅	—	400	800	μV
Input capacitance		R ₁₅	—	2.6	—	kΩ
AM suppression	note 13	C ₁₅	—	6	—	pF
AF output signal (RMS value)	note 14	AMS	53	58	—	dB
AF output signal when pin 11 is used as a starting pin or connected to V _p (RMS value)	Δf = 50 kHz	V _{12(rms)}	400	600	800	mV
AF output impedance		V _{12(rms)}	500	900	1500	mV
Total harmonic distortion	note 15	Z ₁₂	—	25	100	Ω
Ripple rejection	volume control 20 dB; f _x = 100 Hz	THD	—	0.5	2	%
Output voltage when muted		RR	—	35	—	dB
Output level shift due to muting	volume control -20 dB	V ₁₂	—	2.5	—	V
Signal-to-noise ratio	note 16	V ₁₂	—	—	0.5	V
Voltage with pin 11 disconnected		S/N	—	47	—	dB
Current with pin 11 short circuited to ground		V ₁₁	—	6.0	—	V
		I ₁₁	—	1	—	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHARACTERISTICS (continued)

parameter	conditions	symbol	min.	typ.	max.	unit
Vertical circuit (continued)						
Vertical guard	note 25					
Active switching level at a deviation with respect to the DC feedback level	$V_{27} = 2.5 \text{ V}$					
guard level LOW		ΔV_4	—	2.1	—	V
guard level HIGH		ΔV_4	—	2	—	V

Notes to the characteristics

- Pin 11 has a double function. When during switch-on a current of 9.0 mA is supplied to this pin, it is used to start the horizontal oscillator. The main supply can then be obtained from the horizontal deflection stage. When no current is supplied to this pin it can be used as a volume control.
- On set AGC.
- The input impedance has been chosen such that a SAW-filter can be applied.
- Measured with 0 dB = 450 μV .
- Measured at 10 mV (RMS value) top sync input signal.
- So-called projected zero point; i.e. with switched demodulator.
- White 10% of the top sync amplitude.
- Measured according to the test line illustrated by Fig.2:
 - The differential gain is expressed as a percentage of the difference in peak amplitudes between the largest and smallest value relative to the subcarrier amplitude at blanking level.
 - The differential phase is defined as the difference in degrees between the largest and smallest phase angle. The differential gain and phase are measured with a DSB signal.
- This figure is valid for the complete video signal amplitude (peak white-to-black); see Fig.3. The non-linearity is expressed as a percentage of the maximum deviation of a luminance step from the mean step, with respect to the mean step.
- The test set-up and input conditions are illustrated by Fig.4. The figures are measured at an input signal of 10 mV (RMS value).
- Measured with a source impedance of 75 Ω .

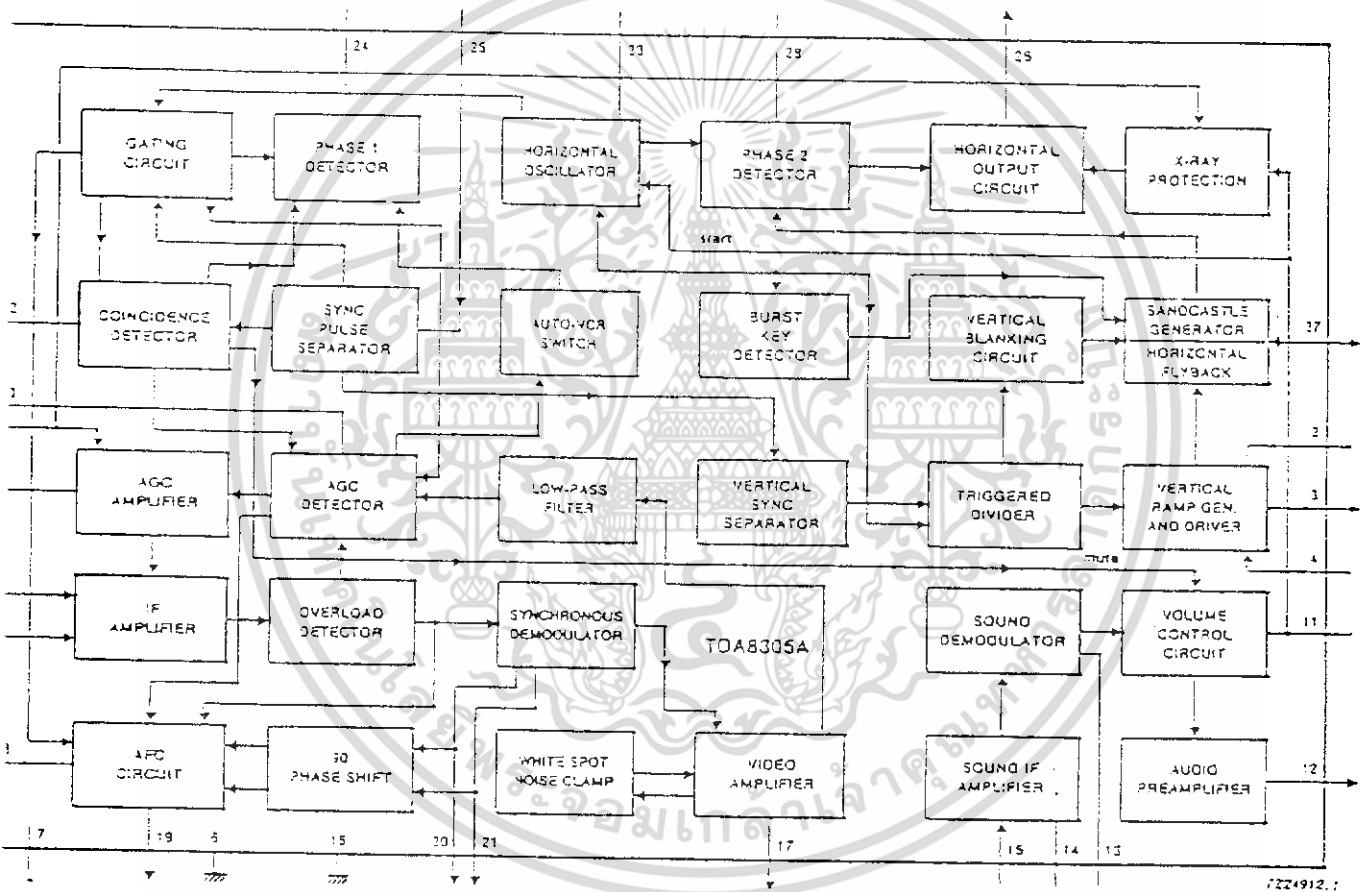
$$\text{Signal-to-noise ratio} = 20 \log \frac{V_{\text{out black-to-white}}}{V_{\text{n(rms)}} \text{ at } f = 5 \text{ MHz}}$$
- The sound circuit is measured (unless otherwise specified) with an input signal of V_{15} of 50 mV (RMS value), a carrier frequency of 5.5 MHz at a Δf of 27.5 kHz and an AF frequency of 1 kHz. The QL of the demodulator tuned circuit is 16 and the volume control is connected to the supply. The reference circuit must be tuned in such a way that the output is symmetrical clipping at maximum volume.
- The test set-up is illustrated by Fig.5. The AM rejection curve (typical) is illustrated by Fig.7.
- The output signal is measured at $\pm \Delta f = 7.5 \text{ kHz}$ and maximum volume control.
- The demodulator tuned circuit must be tuned at minimum distortion.
- Weighted noise, measured according to: CCIR 468.
- See also note 1. The volume can be controlled by using a potentiometer connected to ground (value 10 k Ω) or by means of a variable direct voltage. In the latter case the relatively low input impedance (pin 11) must be taken into account.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18. The AFC control voltage is obtained by multiplying the IF output signal (which is also used to drive the synchronous demodulator) with a reference carrier. This reference carrier is obtained from the demodulator tuned circuit via a 90 degree phase shift network. The IF output signal has an asymmetrical frequency spectrum with respect to the carrier frequency. To avoid problems due to this asymmetrical signal the AFC circuit is followed by a sample-and-hold circuit which samples during the sync level. As a result the AFC output voltage contains no video information. The specified control steepness is without using an external load resistor. The control steepness decreases when the AFC output is loaded with two resistors between the voltage supply and ground.
19. At very weak input signals the drive signal for the AFC circuit will have a high noise content. This noise input has an asymmetrical frequency spectrum which will cause an offset of the AFC output voltage. To avoid problems due to this effect a notch filter can be built in to the demodulator tuned circuit. The characteristics given for weak input signals are measured without a notch circuit, with a SAW filter connected in front of the IC (input signal such that the input signal of the IC is 150 μ V (RMS value).
20. The minimum value is obtained with a 1.8 k Ω series resistor connected between pin 17 and pin 25. The slicing level can be varied by changing the value of this resistor (a higher resistance results in a larger value of the minimum sync pulse amplitude). The slicing level is independent of the video information.
21. Frequency control is obtained by supplying a correction current to the oscillator RC-network. This is achieved via a resistor connected between the phase 1 detector output and the oscillator network. The oscillator can be adjusted to the correct frequency by:
 - short-circuit the sync separator bias network (pin 25) to the voltage supply.

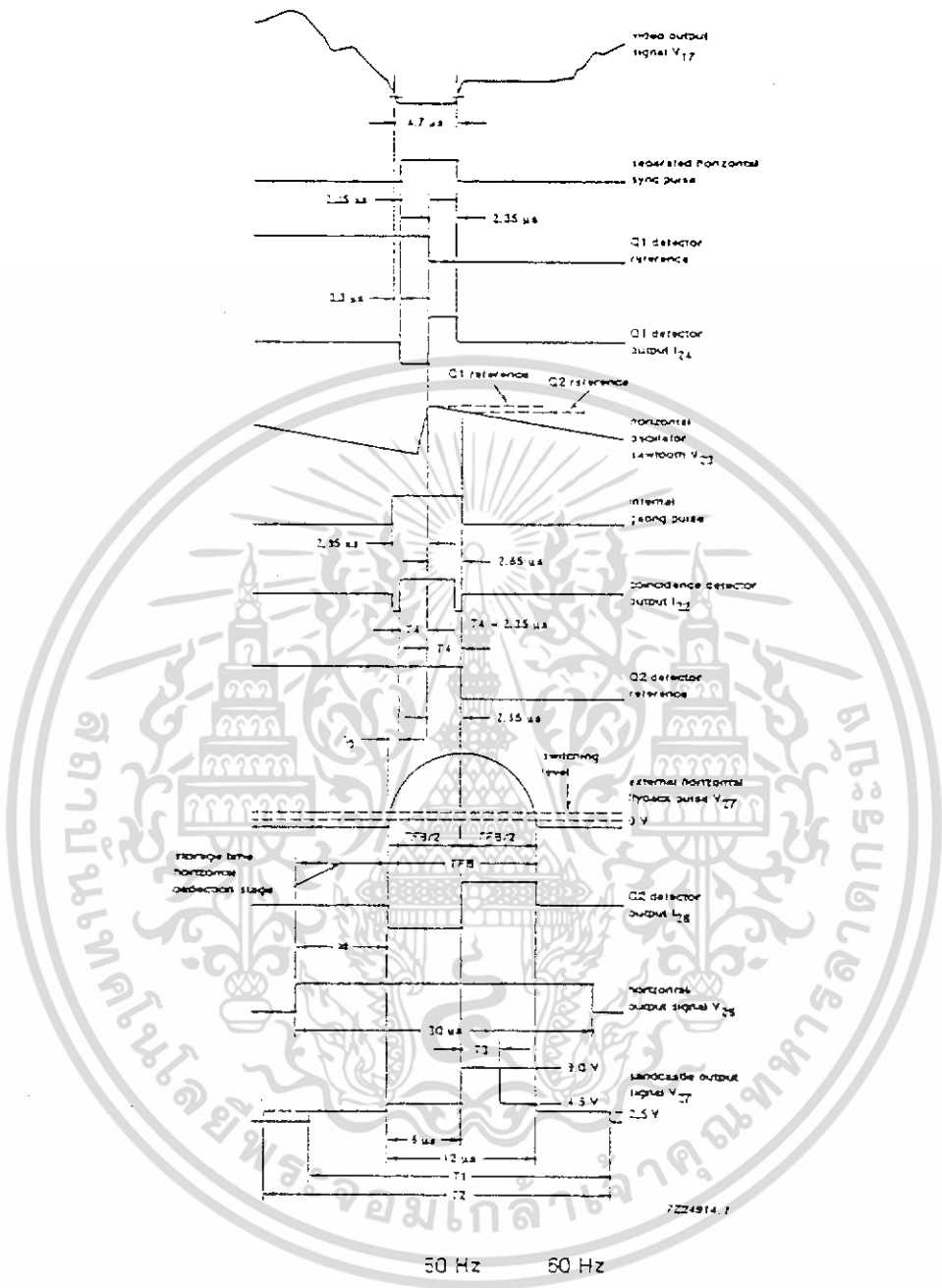
To avoid the necessity of a VCR switch, the time constant of the phase detector at strong input signals is sufficiently short to obtain a stable picture during VCR playback. During the vertical retrace period the time constant is even shorter so that VCR head errors are compensated for at the beginning of the scan. During weak signal conditions (information derived from the AGC circuit) the time constant is increased to obtain a good noise immunity.
22. This figure is valid for an external load impedance of 82 k Ω connected between pin 28 and the shift adjustment potentiometer.
23. The horizontal flyback input and the sandcastle output have been combined on pin 27. The flyback pulse is clamped to a level of 4.5 V. The minimum current to drive the second control loop is 0.1 mA.
24. The functions in-sync/out-of-sync and transmitter identification have been combined on pin 22. The capacitor is charged during the sync pulse and discharged during the time difference between gating and sync pulse.
25. The vertical scan is synchronized by means of a divider system, therefore no adjustment is required for the ramp generator. The divider detects whether the incoming signal has a vertical frequency of 50 or 60 Hz and corrects the vertical amplitude.
26. To avoid screenburn due to a collapse of the vertical deflection, a continuous blanking level is inserted into the sandcastle pulse when the feedback voltage of the vertical deflection is not within the specified limits.
27. These figures are based on sampled tests.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Block diagram.

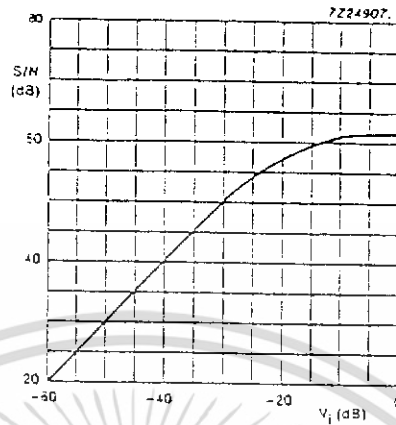
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



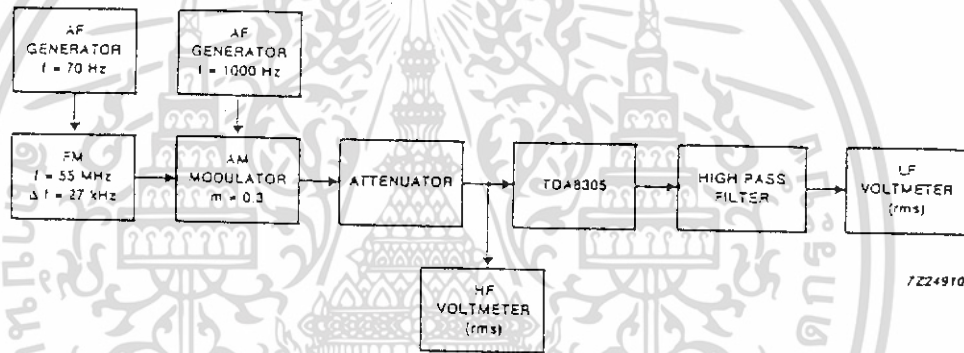
	50 Hz	60 Hz	
T1 - search window -	42P	34P	$p = \frac{1}{2F_H}$
T2 - narrow window -	50P	42P	
T3	3.6 μs	3.3 μs	

Timing diagram.

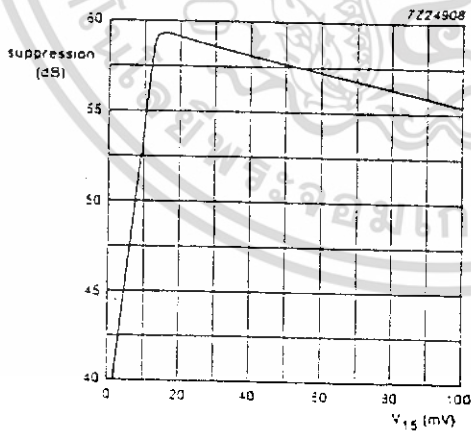
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



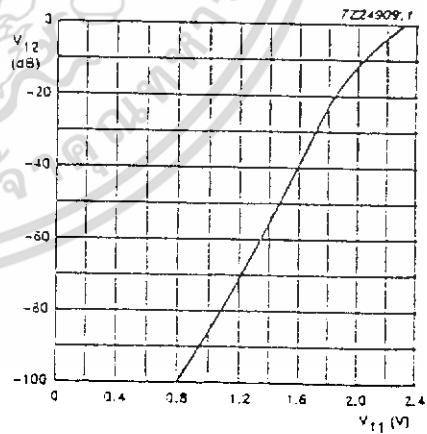
Signal-to-noise ratio as a function of input voltage; 0 dB = 100 mV.



Test set-up AM suppression.

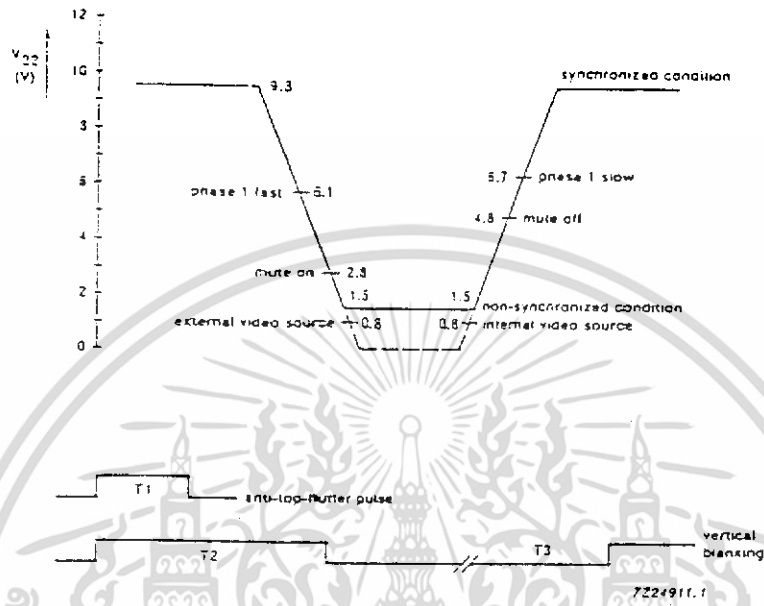


AM suppression.



Volume control characteristics.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



condition	control sensitivity horizontal oscillator		vertical sync separation pulse after
	T2 - T1	T3 = scan	
$V_{22} > 6.7$ V strong signal weak signal	11.3 kHz/ μ s 1.3 kHz/ μ s	7.6 kHz/ μ s 1.3 kHz/ μ s	16 μ s 15 μ s
$1 < V_{22} < 5.7$ V strong signal weak signal	11.3 kHz/ μ s 11.3 kHz/ μ s	7.6 kHz/ μ s 7.6 kHz/ μ s	16 μ s 16 μ s
$V_{22} < 0.7$ V	11.3 kHz/ μ s	7.5 kHz/ μ s	16 μ s

Switching levels coincidence detector.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reverse breakdown voltage (type)	250 V
Rise/Fall time (5V)	17ns
(90 V)	1 ns
Operating temperature	-40 °C to + 100 ° C

Fiber Optic Cable

50/125 μm Teminalted Optical Leads



ลักษณะของเส้นใยแสง

Lengths of LSOH polyethyleng coated fiber optic cable having 50 μm core diameter , 125 μm cladding diameter and an overall cable diameter of 3.2 mm Terminated at each end with 9 mm SMA connectors. Numerical aperturee 0.2. Attenuation (820nm) 3 dB/km typ., 4 dB/km max. Bandwidth 400 Mhz/km. minimum bend radius 3. mm , maximum tensile load 100N. Operating temperature rang -15 °C to + 60 °C

Note : This caber is not suitable for use with RS in line connectors.

Caution : Do not exceed the minimum bend radius.

S.S.M.=1

length (m) stock no.

20 361-260

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 361-276
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High power emitter

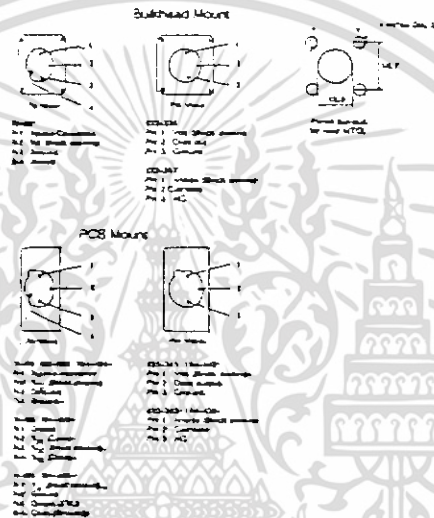
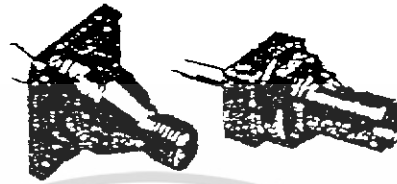
(a) 50/125 μm glass

10 μW min (-20dBm)

(b) 200 μm P.C.S.

160 μW min (-8dBm)

SMA/ST Detectors/Receivers



Supplied to RS by Honeywell optoelectronics

A wide range of analogue and digital receivers designed to match the low and high power emitter

50 MHz PIN Diode

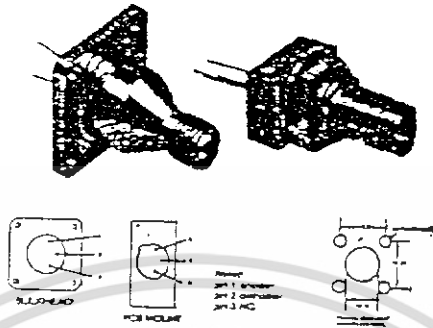
A planar silicon PIN diode optically aligned in SMA/ST housing, either bulkhead or PCB mounting. The device features low junction capacitance fast response and can be used at upto 50 MHz. The active device is an HFD5022-002

Technical specification

Peak spectral response (typ.)	850nm
Peak responsivity 850nm (50 μm)	0.35A/W
Dark current (max)	2nA
Capacitance	2.1pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SMA/ ST Emitters/ Transmitters



supplied to RS by Honeywell optoelectronics

A range of GaAlAs surface emitting LED, optically aligned in either SMA or ST housings offering PCB or bulkhead mounting options. The devices are designed to provide direct connection to the RS range of terminated fiber optic leads or any other compatible SMA or ST connector. The active device is an HFE4070 and is selected for output power.

Technical specification

Absolute max ratings			
Forward current I_F		100mA	
Reverse voltage V_R (at 10 μ A)		1V	
Operating temperature range		-40°C to $+100^\circ\text{C}$	
Optoelectronic characteristics at 25°C			
	min	typ.	max
V_F , at $I_F = 100\text{mA}$		1.6V	1.8V
Peak emission wavelength		850nm	
($I_F = 100\text{mA}$)			
Spectral bandwidth		50nm	
Response time	τ_r	4ns	3ns
($I_{PK} = 100\text{mA}$)	τ_f	6ns	10ns
Launch power*			
low power emitter			
(a) 50/125 μm glass		1 μW min (-25dBm)	
(b) 200 μm C.S.		10 μW min (-10dBm)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพียง 10 μW min (-10dBm) ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N2218, A, 2N2219, A 2N2221, A (SILICON)
 2N2222, A, 2N5581, 2N5582

NPN SILICON ANNULAR HERMETIC TRANSISTORS

... widely used "Industry Standard" transistors for applications as medium-speed switches and as amplifiers from audio to VHF frequencies.

- DC Current Gain Specified - 1.0 to 500 mAdc
- Low Collector-Emitter Saturation Voltage -
 $V_{CE(sat)}$ @ $I_C = 500$ mAdc
 = 1.6 Vdc (Max) - Non-A Suffix
 = 1.0 Vdc (Max) - A-Suffix
- High Current-Gain-Bandwidth Product -
 $f_T = 250$ MHz (Min) @ $I_C = 20$ mAdc - All Types Except
 = 300 MHz (Min) @ $I_C = 20$ mAdc - 2N2219A, 2N2222A, 2N5582
- Complements to PNP 2N2904, A thru 2N2907, A
- JAN/JANTX Available for all devices

NPN SILICON SWITCHING AND AMPLIFIER TRANSISTORS

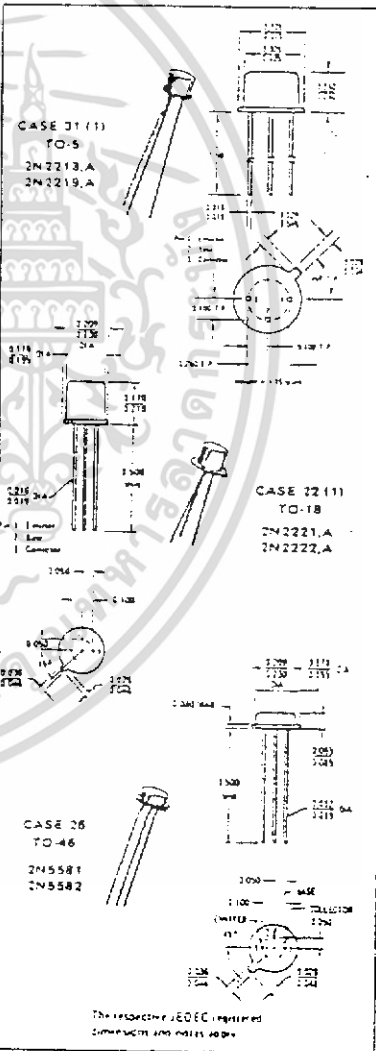
SELECTION GUIDE

Device Type	Characteristic			Package
	V_{CE0} $I_C = 10$ mAdc Volts	$I_C = 150$ mAdc Min/Max	h_{FE} $I_C = 500$ mAdc Min	
2N2218 2N2219	30	40/120 100/300	20 30	TO-5
2N2221 2N2222	30	40/120 100/300	20 30	TO-18
2N5581 2N5582	40	40/120 100/300	25 40	TO-46
2N2218A 2N2219A	40	40/120 100/300	25 40	TO-5
2N2221A 2N2222A	40	40/120 100/300	25 40	TO-18

*MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	2N2218 2N2219 2N2221 2N2222	2N2218A 2N2219A 2N2221A 2N2222A	2N5581 2N5582	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	30	40	40	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CB}	50	75	75	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	5.0	5.0	5.0	Vdc
Collector Current - Continuous	I_C	300	300	300**	mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	0.8 5.33	0.5 3.33	0.5 3.33	Watt mW/°C
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	3.0 20	1.8 12	2.0 11.43	Watt mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +200			°C

* Indicates JEDEC Registered Data.
 ** Motorola Guaranteed Data in Addition to JEDEC Registered Data.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N2218,A, 2N2219,A, 2N2221,A, 2N2222,A, 2N5581, 2N5582 (continued)

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

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit	
OFF CHARACTERISTICS					
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 10\text{ mA dc}, I_B = 0$)	Non-A Suffix A-Suffix, 2N5581, 2N5582	BV_{CEO}	30 40	— —	Vdc
Collector-Base Breakdown Voltage ($I_C = 10\text{ } \mu\text{A dc}, I_E = 0$)	Non-A Suffix A-Suffix, 2N5581, 2N5582	BV_{CBO}	50 75	— —	Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage ($I_E = 10\text{ } \mu\text{A dc}, I_C = 0$)	Non-A Suffix A-Suffix, 2N5581, 2N5582	BV_{EBO}	5.0 6.0	— —	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 50\text{ Vdc}, V_{E3}(\text{off}) = 3.0\text{ Vdc}$)	A-Suffix, 2N5581, 2N5582	I_{CEX}	—	10	$\mu\text{A dc}$
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 50\text{ Vdc}, I_B = 0$)	Non-A Suffix	I_{CBO}	—	0.01	$\mu\text{A dc}$
($V_{CB} = 60\text{ Vdc}, I_E = 0$)	A-Suffix, 2N5581, 2N5582		—	0.01	
($V_{CB} = 50\text{ Vdc}, I_E = 0, T_A = 150^\circ\text{C}$)	Non-A Suffix		—	10	
($V_{CB} = 50\text{ Vdc}, I_E = 0, T_A = 150^\circ\text{C}$)	A-Suffix, 2N5581, 2N5582		—	10	
Emitter Cutoff Current ($V_{E3} = 3.0\text{ Vdc}, I_C = 0$)	A-Suffix, 2N5581, 2N5582	I_{EBO}	—	10	$\mu\text{A dc}$
Base Cutoff Current ($V_{CE} = 50\text{ Vdc}, V_{E3}(\text{off}) = 3.0\text{ Vdc}$)	A-Suffix	I_{BL}	—	20	$\mu\text{A dc}$
ON CHARACTERISTICS					
DC Current Gain					
($I_C = 0.1\text{ mA dc}, V_{CE} = 10\text{ Vdc}$)	2N2218 A, 2N2221 A, 2N5581(1) 2N2219 A, 2N2222 A, 2N5582(1)	β_{FE}	20 35	— —	—
($I_C = 1.0\text{ mA dc}, V_{CE} = 10\text{ Vdc}$)	2N2218 A, 2N2221 A, 2N5581 2N2219 A, 2N2222 A, 2N5582		25 50	— —	
($I_C = 10\text{ mA dc}, V_{CE} = 10\text{ Vdc}$)	2N2218 A, 2N2221 A, 2N5581(1) 2N2219 A, 2N2222 A, 2N5582(1)		35 75	— —	
($I_C = 10\text{ mA dc}, V_{CE} = 10\text{ Vdc}, T_A = -55^\circ\text{C}$)	2N2218 A, 2N2221 A, 2N5581 2N2219 A, 2N2222 A, 2N5582		15 35	— —	
($I_C = 150\text{ mA dc}, V_{CE} = 10\text{ Vdc}$)(1)	2N2218 A, 2N2221 A, 2N5581 2N2219 A, 2N2222 A, 2N5582		40 100	120 300	
($I_C = 150\text{ mA dc}, V_{CE} = 1.0\text{ Vdc}$)(1)	2N2218 A, 2N2221 A, 2N5581 2N2219 A, 2N2222 A, 2N5582		20 50	— —	
($I_C = 500\text{ mA dc}, V_{CE} = 10\text{ Vdc}$)(1)	2N2218, 2N2221 2N2219, 2N2222 2N2218 A, 2N2221 A, 2N5581 2N2219 A, 2N2222 A, 2N5582		20 30 25 40	— — — —	
Collector-Emitter Saturation Voltage(1) ($I_C = 150\text{ mA dc}, I_B = 15\text{ mA dc}$)	Non-A Suffix A-Suffix, 2N5581, 2N5582	$V_{CE(\text{sat})}$	—	0.4 0.3	Vdc
($I_C = 500\text{ mA dc}, I_B = 50\text{ mA dc}$)	Non-A Suffix A-Suffix, 2N5581, 2N5582		—	1.6 1.0	
Base-Emitter Saturation Voltage(1) ($I_C = 150\text{ mA dc}, I_B = 15\text{ mA dc}$)	Non-A Suffix A-Suffix, 2N5581, 2N5582	$V_{BE(\text{sat})}$	0.6 0.6	2.0 1.2	Vdc
($I_C = 500\text{ mA dc}, I_B = 50\text{ mA dc}$)	Non-A Suffix A-Suffix, 2N5581, 2N5582		— —	2.6 2.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N2218,A, 2N2219,A, 2N2221,A, 2N2222,A, 2N5581, 2N5582 (continued)

*ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Continued)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit	
SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS					
Current-Gain-Bandwidth Product ⁽²⁾ ($I_C = 20 \text{ mA dc}$, $V_{CE} = 20 \text{ V dc}$, $f = 100 \text{ MHz}$)	All Types, Except 2N2219A, 2N2222A, 2N5582	f_T	250 300	— —	MHz
Output Capacitance ⁽³⁾ ($V_{CE} = 10 \text{ V dc}$, $I_E = 0$, $f = 100 \text{ kHz}$)		C_{ob}	—	3.0	pF
Input Capacitance ⁽³⁾ ($V_{CE} = 0.5 \text{ V dc}$, $I_C = 0$, $f = 100 \text{ kHz}$)	Non-A Suffix A-Suffix, 2N5581, 2N5582	C_{ib}	—	20 25	pF
Input Impedance ($I_C = 1.0 \text{ mA dc}$, $V_{CE} = 10 \text{ V dc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582	Z_{ie}	1.0 2.0	3.5 8.0	k ohms
($I_C = 10 \text{ mA dc}$, $V_{CE} = 10 \text{ V dc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582		0.2 0.25	1.0 1.25	
Voltage Feedback Ratio ($I_C = 1.0 \text{ mA dc}$, $V_{CE} = 10 \text{ V dc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582	μ_{re}	—	5.0 9.0	$\times 10^{-3}$
($I_C = 10 \text{ mA dc}$, $V_{CE} = 10 \text{ V dc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582		—	2.5 4.0	
Small-Signal Current Gain ($I_C = 1.0 \text{ mA dc}$, $V_{CE} = 10 \text{ V dc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582	β_{ie}	30 50	150 300	—
($I_C = 10 \text{ mA dc}$, $V_{CE} = 10 \text{ V dc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582		50 75	300 375	
Output Admittance ($I_C = 1.0 \text{ mA dc}$, $V_{CE} = 10 \text{ V dc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582	Y_{oe}	3.0 5.0	15 35	μmhos
($I_C = 10 \text{ mA dc}$, $V_{CE} = 10 \text{ V dc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582		10 25	100 300	
Collector-Base Time Constant ($I_E = 20 \text{ mA dc}$, $V_{CE} = 20 \text{ V dc}$, $f = 31.8 \text{ MHz}$)	A-Suffix, 2N5581, 2N5582	τ_{cb}	—	150	ps
Noise Figure ($I_C = 100 \mu\text{A dc}$, $V_{CE} = 10 \text{ V dc}$, $R_S = 1.0 \text{ k ohm}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	2N2219A, 2N2222A	NF	—	4.0	dB
SWITCHING CHARACTERISTICS (A-Suffix, 2N5581 and 2N5582)					
Delay Time	($V_{CC} = 30 \text{ V dc}$, $V_{BE(\text{off})} = 0.5 \text{ V dc}$, $I_C = 150 \text{ mA dc}$, $I_{B1} = 15 \text{ mA dc}$) (Figure 14)	t_d	—	10	ns
Rise Time		t_r	—	25	ns
Storage Time	($V_{CC} = 30 \text{ V dc}$, $I_C = 150 \text{ mA dc}$, $I_{B1} = I_{B2} = 15 \text{ mA dc}$) (Figure 15)	t_s	—	225	ns
Fall Time		t_f	—	50	ns
Active Region Time Constant** ($I_C = 150 \text{ mA dc}$, $V_{CE} = 30 \text{ V dc}$)		T_A	—	2.5	ns

* Indicates JEDEC Registered Data.

** Motorola Guarantees this Data in Addition to JEDEC Registered Data.

(1) Pulse Test: Pulse Width $\leq 300 \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

(2) f_T is defined as the frequency at which $|A_{v\text{e}}|$ extrapolates to unity.

(3) 2N5581 and 2N5582 are listed C_{ob} and C_{ib} for these conditions and values.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N2218,A, 2N2219,A, 2N2221,A, 2N2222,A, 2N5581, 2N5582 (continued)

FIGURE 1 - NORMALIZED DC CURRENT GAIN

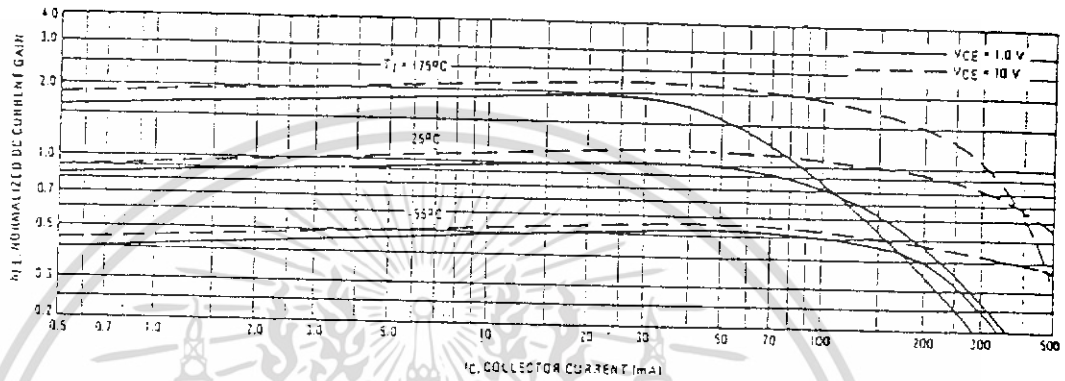
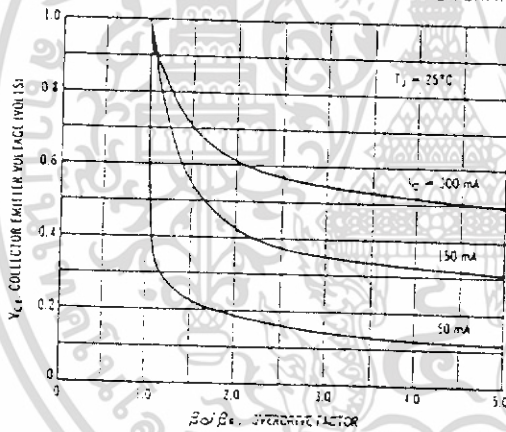


FIGURE 2 - COLLECTOR CHARACTERISTICS IN SATURATION REGION



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_f (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, $\beta_o = 62$ and substituting values in the overdrive equation, we find:

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

FIGURE 3 - "ON" VOLTAGES

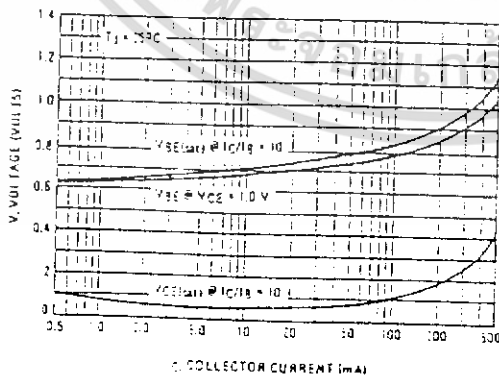
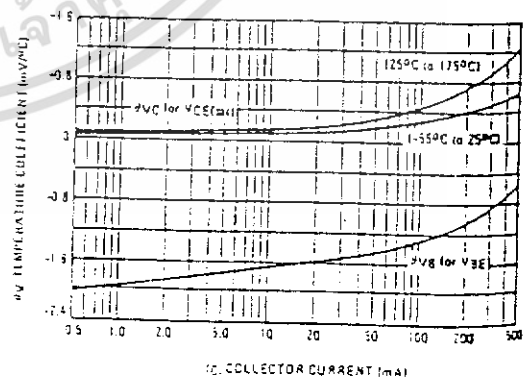


FIGURE 4 - TEMPERATURE COEFFICIENTS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N2218,A, 2N2219,A, 2N2221,A, 2N2222,A, 2N5581, 2N5582 (continued)

NOISE FIGURE
VCE = 10 V, TA = 25°C

FIGURE 5 - FREQUENCY EFFECTS

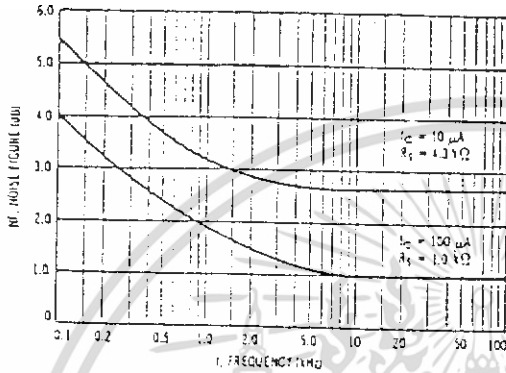
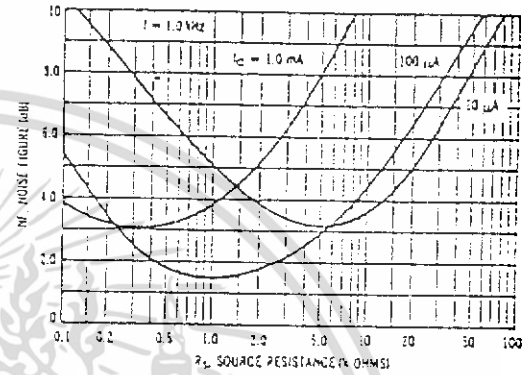


FIGURE 6 - SOURCE RESISTANCE EFFECTS



h PARAMETERS
VCE = 10 Vdc, f = 1.0 kHz, TA = 25°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 7 - INPUT IMPEDANCE

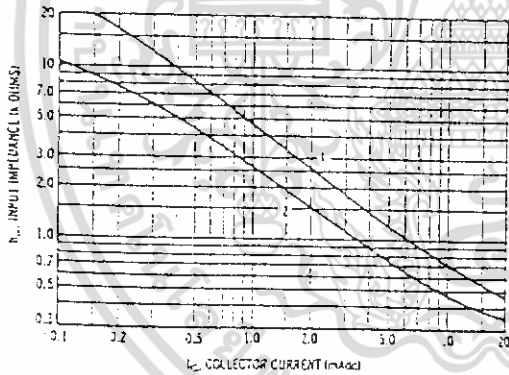


FIGURE 8 - VOLTAGE FEEDBACK RATIO

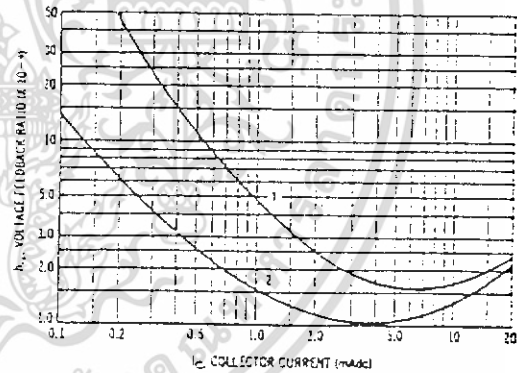


FIGURE 9 - CURRENT GAIN

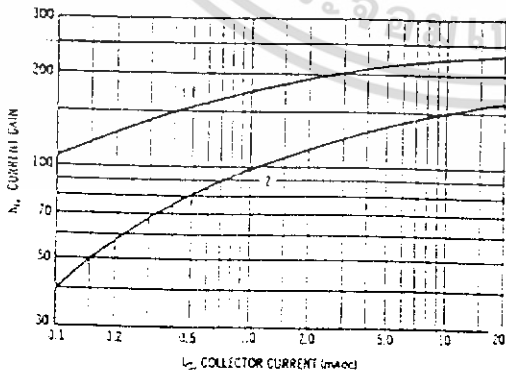
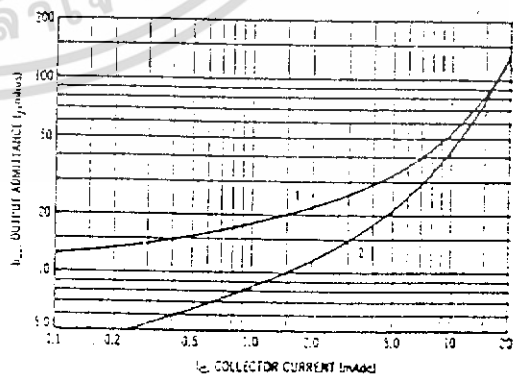
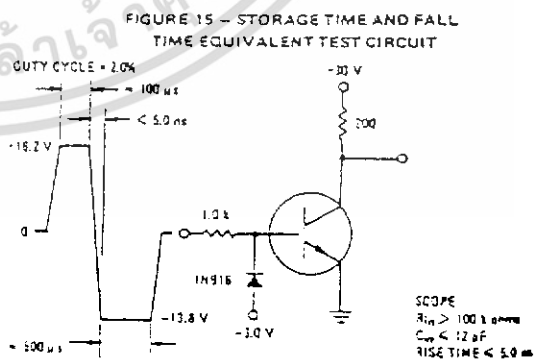
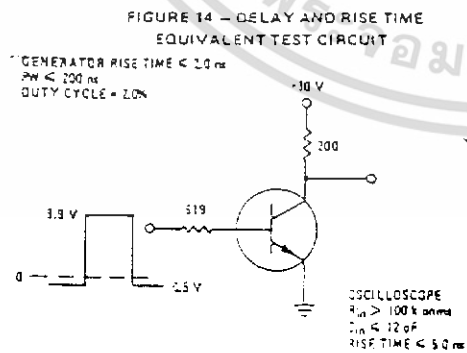
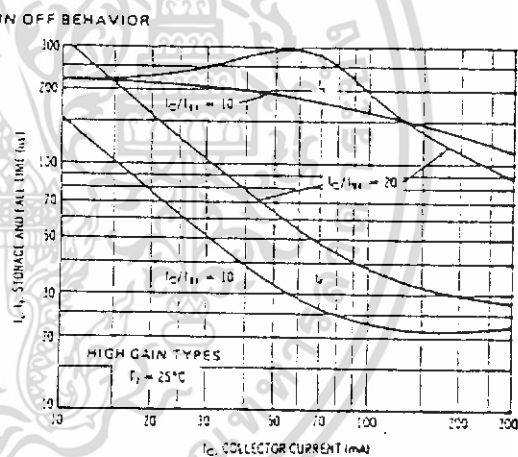
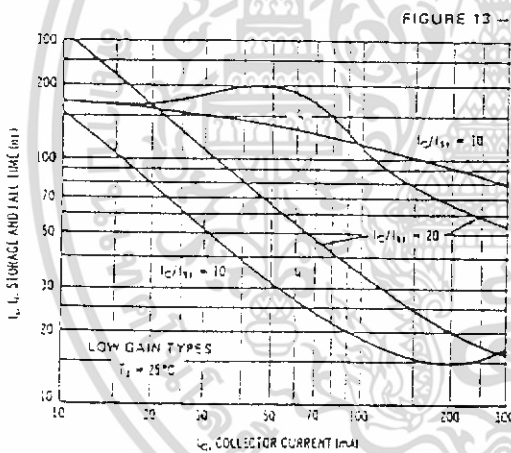
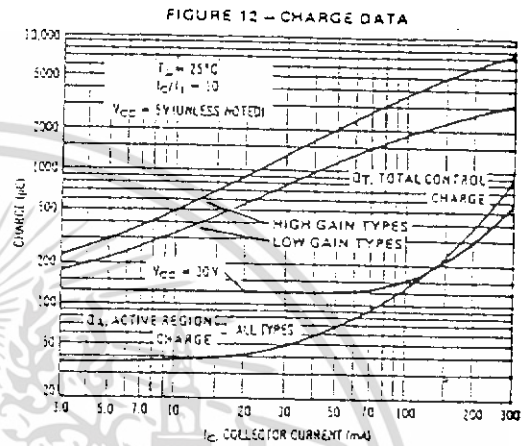
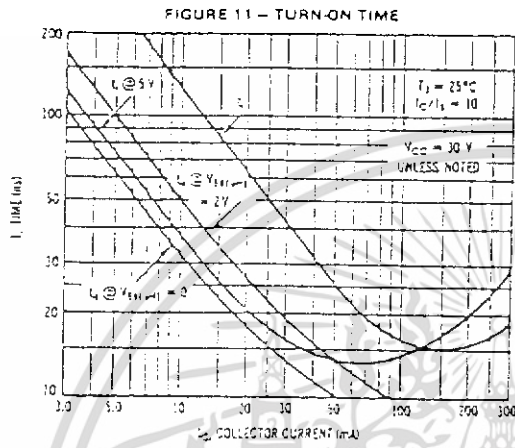


FIGURE 10 - OUTPUT ADMITTANCE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SWITCHING TIME CHARACTERISTICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N2218,A, 2N2219,A, 2N2221,A, 2N2222,A, 2N5581, 2N5582 (continued)

FIGURE 16 - CURRENT-GAIN-BANDWIDTH PRODUCT AND COLLECTOR-BASE TIME CONSTANT DATA

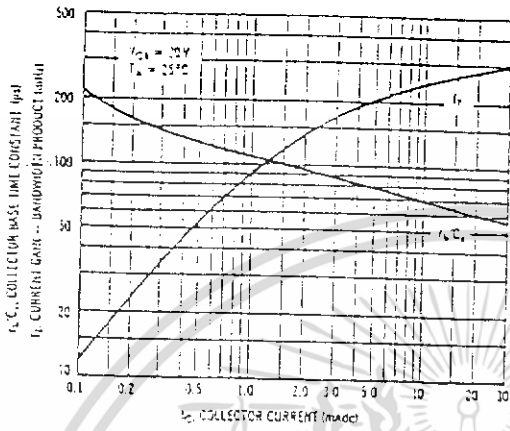


FIGURE 17 - CAPACITANCES

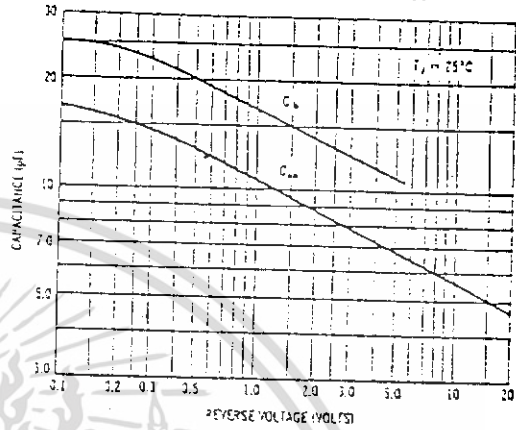
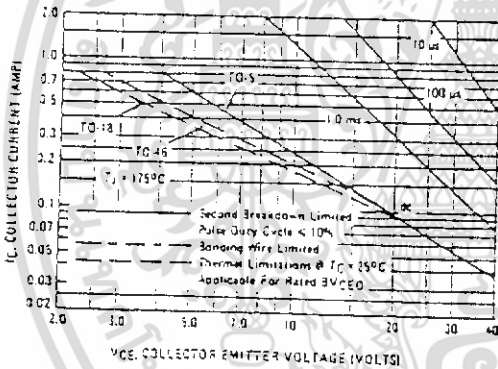


FIGURE 18 - ACTIVE-REGION SAFE OPERATING AREAS

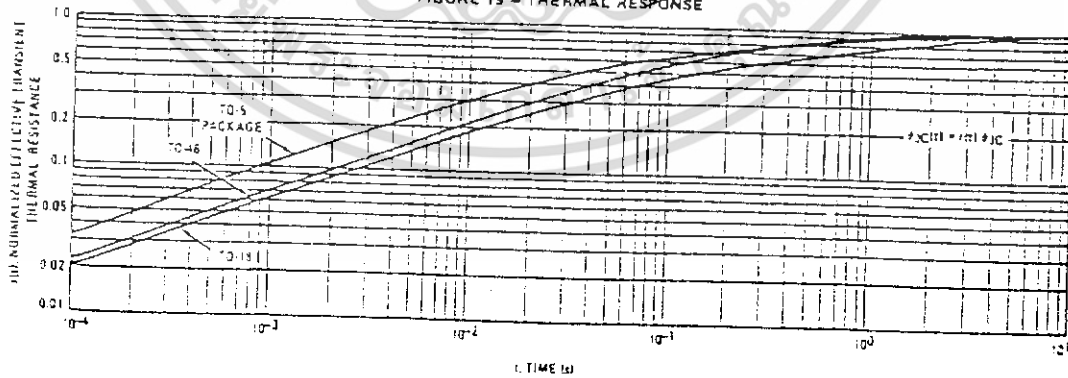


This graph shows the maximum I_C - V_{CE} limits of the device both from the standpoint of thermal dissipation (at 25°C case temperature), and secondary breakdown. For case temperatures other than 25°C, the thermal dissipation curve must be modified in accordance with the derating factor in the Maximum Ratings table.

To avoid possible device failure, the collector load line must fall below the limits indicated by the applicable curve. Thus, for certain operating conditions the device is thermally limited, and for others it is limited by secondary breakdown.

For pulse applications, the maximum I_C - V_{CE} product indicated by the dc thermal limits can be exceeded. Pulse thermal limits may be calculated by using the transient thermal resistance curve of Figure 19.

FIGURE 19 - THERMAL RESPONSE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้