ปริญญานิพนธ์

การส่งสัญญาณภาพโทรทัศน์ผ่านเส้นใยแสง

VIDEO SIGNAL TRANSMITTER

BY OPTICAL FIBER

นาย ณัฐพงศ์ ขวัญวิเชียร

นาย เสกสรร พรหมศร

วัน เดือน ปี.....

เลขทะเบียน.....

เลขเรียกหนังสือ T 38351 ณ 3395

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตร์ บัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม

ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การส่งสัญญาณภาพโทรทัศน์ผ่านเส้นใยแสง
	VIDEO SIGNAL TRANSMITTER BY OPTICAL FIBER
ชื่อนักศึกษา	นาย ณัฐพงศ์ ขวัญวิเชียร 37012050
	นาย เสกสรร พรหมศร 37012079
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ. อุทัย ศรีธีระวิโรจน์
ภาควิชา	เทคนิคอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2538

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(.....)

..... กรรมการ
(.....)

..... กรรมการ
(.....)

..... กรรมการ
(.....)

..... กรรมการ
(.....)

..... กรรมการ
(.....)

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง การส่งสัญญาณภาพโทรทัศน์ผ่านเส้นใยแสง
VIDEO SIGNAL TRANSMITTER BY OPTICAL FIBER

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของระบบการสื่อสารโดยแสง
2. เพื่อศึกษาการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง และอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า
3. เพื่อศึกษาการออกแบบวงจรส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ในระบบการสื่อสารโดยแสง
4. เพื่อสร้างเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ในระบบการสื่อสารโดยแสง
5. เพื่อวัดและเปรียบเทียบสัญญาณจากจุดต่างๆ ของเครื่องรับและเครื่องส่ง
6. เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นสื่อในการศึกษาระบบการสื่อสารโดยแสงได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อสามารถนำไปใช้ศึกษาหลักการทำงานของระบบการสื่อสารโดยแสง
2. เพื่อสามารถนำไปใช้ศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง และอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า
3. เพื่อสามารถใช้ในการเรียนรู้การออกแบบวงจรส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ในระบบการสื่อสารโดยแสง
4. เพื่อสามารถเรียนรู้และได้ประสบการณ์จากการสร้างเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ในระบบการสื่อสารโดยแสง
5. เพื่อสามารถใช้ศึกษาและวัดเปรียบเทียบสัญญาณจากจุดต่างๆ ของเครื่องรับและเครื่องส่ง
6. เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นสื่อในการศึกษาระบบการสื่อสารโดยแสงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งสัญญาณภาพโทรทัศน์ผ่านเส้นใยแสง

VIDEO SIGNAL TRANSMITTER BY OPTICAL FIBER

นาย ณัฐพงศ์ ขวัญวิเชียร
นาย เสกสรร พรหมศร

อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์ อุทัย ศรีธีระวิโรจน์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ปัจจุบันระบบการสื่อสารได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะการสื่อสารทางด้านไฟเบอร์ออปติกกำลังมีบทบาทอย่างมากในการสื่อสารทุกชนิด ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นการนำเสนอเรูปแบบการสื่อสารสัญญาณภาพ โดยครื่องส่งและรับสัญญาณภาพโทรทัศน์โดยใช้เส้นใยแสง เป็นการนำเอาสัญญาณภาพโทรทัศน์ทั้งภาพและเสียงเข้าไปในเส้นใยแสง สัญญาณภาพโทรทัศน์ขาเข้าสามารถนำมาจากสายอากาศ หรือจากเครื่องกำเนิดสัญญาณภาพโทรทัศน์ การส่งและรับจะเป็นแบบอนาล็อก โดยนำสัญญาณโทรทัศน์เปลี่ยนเป็นสัญญาณแสงและส่งออกไปด้านรับแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณภาพโทรทัศน์ให้เหมือนเดิมทุกประการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VIDEO SIGNAL TRANSMITTER BY OPTICAL FIBER

MR. NATTAPONG KWANWICHIAN
MR. SAKSAL PROMSORN

ADVISOR
MR. AUTAI SRETEERAVIROT

ABSTRACT

Nowadays communication systems are growing up rapidly. Especially fiber optic have roling in all telecommunication. In thesis presents about the television signal transmitter and receiver by an optical fiber. It send a TV signal that includes or video and audio into fiber. TV signal input, it can take from antenna or TV signal generator. Transmission and reception are analog system. A TV signal is converted to an optical signal and transmitted to the receiver. The receiver converted an optical signal to the TV signal as the input signal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องมาจากการให้ความช่วยเหลือจากท่านอาจารย์ อุทัย ศรีธีระวิโรจน์,อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์ ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะพร้อมทั้งแนวทางในการแก้ไขปัญหาในการดำเนินงาน รวมถึง นาย กวิน พูนสนอง,นาย มนรัชต์ เสนีวงศ์ ณ อยุธยา เพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจตลอดมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 สัญญาณภาพ	2
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการของเส้นใยแสง	
3.1 การแนะนำเรื่องของการสื่อสารทางแสง	8
3.2 การสื่อสารด้วยเส้นใยแสง	13
3.3 อุปกรณ์การเชื่อมโยงการส่งผ่านเส้นใยแสง	15
3.4 ระบบเส้นใยแสง	19
3.5 แสงและอุปกรณ์ทางแสง	20
3.6 โครงสร้างและการทำงานของการปล่อยแสงของสารกึ่งตัวนำ	21
3.7 โครงสร้างอุปกรณ์ปล่อยแสง	27
3.8 โครงสร้างของ LED (Light Emitting Diode)	32
3.9 คุณสมบัติต่างๆของอุปกรณ์ปล่อยแสง	35
3.10 การเชื่อมอุปกรณ์ปล่อยแสงกับเส้นใยแสง	37
3.11 โครงสร้างและการทำงานของการรับแสง	39
3.12 สารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง	40
3.13 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง	44
3.14 การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์รับแสงกับเส้นใยแสง	46
3.15 สวิทช์แสง	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง		หน้า
3.16	เส้นใยแสง	49
3.17	โครงสร้างของเส้นใยแสง	53
3.18	ระบบสื่อสารเส้นใยแสง	57
3.19	วงจรภาคส่ง	58
3.20	วงจรไดรเวอร์	59
3.21	วงจรสำหรับ LED	59
3.22	วงจรเลเซอร์ไดโอด	61
3.23	วงจรดีเทคเตอร์	62
บทที่ 4	การออกแบบ	
4.1	บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งและรับสัญญาณภาพโทรทัศน์โดยเส้นใยแสง	65
4.2	วงจรภาคส่ง	65
4.3	หน้าที่การทำงานแต่ละขาของจูนเนอร์ UV 711	67
4.4	การทำงานของอิเล็กทรอนิกส์จูนเนอร์	68
4.5	ภาคขยายสัญญาณไอเอฟและดีมอดูเลเตอร์	70
4.6	วงจรขยาย	71
4.7	วงจรมอดูเลตทางแสง E/O Converter	72
4.8	วงจรรวมด้านเครื่องส่ง	74
4.9	วงจรภาครับ	80
4.10	วงจรขยาย	81
4.11	ภาคแยกสัญญาณเสียง	83
4.12	ภาคแยกสัญญาณภาพ	84
4.13	วงจรทางด้านเครื่องรับ	85
4.14	วงจรจ่ายไฟฟ้า	89
บทที่ 5	การทดลองและผลการทดลอง	
5.1	ลักษณะการต่อใช้งาน	93
5.2	การทดสอบ	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	หน้า
5.3 วิธีการใช้เครื่องส่งและรับสัญญาณภาพโทรทัศน์โดยเส้นใยแสง	99
บทที่ 6 บทวิจารณ์ สรุป และแนวทางการแก้ไข	
6.1 บทสรุป	100
6.2 ปัญหาในการทำงาน	100
6.3 แนวทางการพัฒนา	100
บรรณานุกรม	101
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ปัจจุบันโลกการสื่อสารมีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วระบบการสื่อสารต่างๆได้พัฒนาเทคโนโลยีที่ทันสมัยและในการสื่อสารกันมีการสื่อสารที่รวดเร็วขึ้นมากกว่าก่อนมาก ระบบการส่งสัญญาณภาพและเสียงได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเห็นได้ในรูปแบบต่างๆ เช่น การส่งสัญญาณโทรทัศน์จากสถานีทวนสัญญาณที่ตั้งอยู่ตามพื้นดิน จะมีให้เห็นในรูปของ สถานีโทรทัศน์ซึ่งได้มีการพัฒนาดำเนินธุรกิจทางโทรทัศน์ในชื่อของ "เคเบิลทีวี" ซึ่งใช้สายนำสัญญาณแกนร่วม (Coaxial) ในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ โดยมีขอบเขตเฉพาะในชุมชนใดชุมชนหนึ่งเท่านั้น และเมื่อไม่นานมานี้ได้มีการส่งสัญญาณโทรทัศน์ไปยังที่อยู่อาศัยโดยตรง ซึ่งใช้หลักการของการผ่านดาวเทียม โดยที่ดาวเทียมเปรียบเสมือนเป็นสถานีทวนสัญญาณที่อยู่ในอวกาศและ ส่งสัญญาณโทรทัศน์นั้นมายังบ้านหรือที่อยู่อาศัย เราเรียกระบบนี้ว่า "ระบบ DTH (Direct To Home)" ระบบนี้กำลังเป็นที่นิยมมากในปัจจุบันซึ่งจะสังเกตได้จากมีการตื่นตัวเกี่ยวกับระบบนี้มากขึ้น ทั้งบริษัทผู้ส่งและฝ่ายผู้รับ โดยที่ระบบต่างๆที่พัฒนาขึ้นมานี้จะสามารถที่จะส่งระบบทั้งหมดไปได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดและสำหรับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอระบบการส่งและรับสัญญาณภาพโทรทัศน์โดยใช้เส้นใยแสง ซึ่งเป็นการสื่อสารในรูปแบบใหม่อีกแบบหนึ่งนอกเหนือไปจากการสื่อสารผ่านดาวเทียม โดยในระบบนี้จะเปลี่ยนจากการส่งสัญญาณไฟฟ้าเป็นการส่งสัญญาณแสงไปในสายนำสัญญาณที่มี ลักษณะเป็นแท่งแก้วที่มีดัชนีการหักเหแสงคล้ายกับกระจกเงา (ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในบทต่อไป) แท่งแก้วนี้เรียกว่าเส้นใยแสงซึ่งมีขนาดเล็กมากประมาณเท่ากับเส้นผมของคนเราทั่วไป ($\approx 125\mu m$) ซึ่งคาดว่าระบบการสื่อสารเส้นใยแสงจะเข้ามามีบทบาทกับชีวิตประจำวันของคนเรามากขึ้นในอนาคตอันใกล้นี้ เพราะระบบนี้สามารถที่จะให้ความคมชัดของภาพมากที่สุด หรือในระบบการส่งข้อมูลนั้นระบบนี้ก็จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดและมีการผิดพลาดน้อยมาก ซึ่งในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้อาจจะมีประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจได้บ้าง และผู้จัดทำขออภัยหากมีข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

สัญญาณภาพ

VIDEO SIGNAL

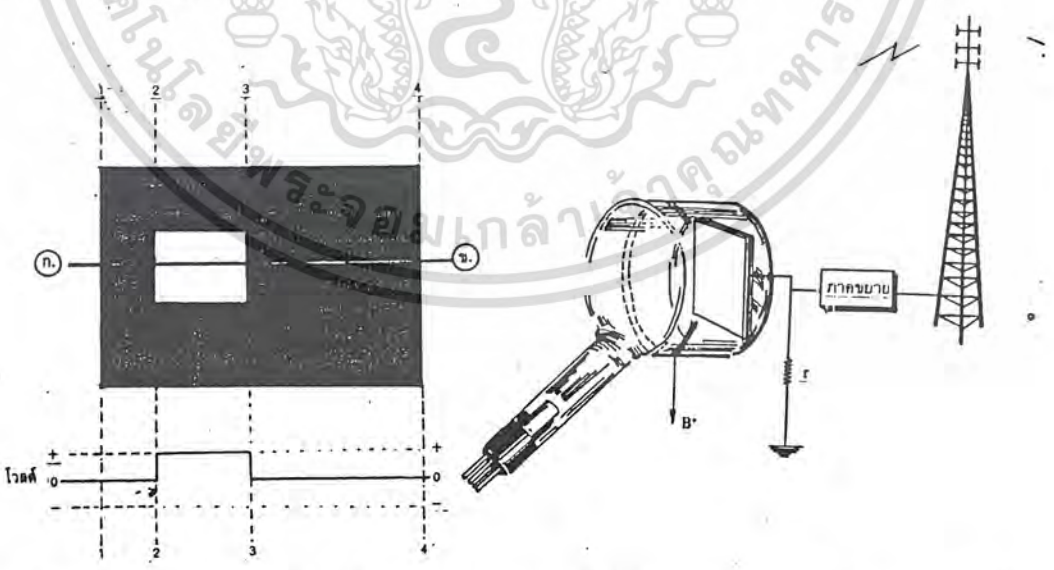
สัญญาณภาพ VIDEO SIGNAL คืออะไร ชื่อของมันบอกตรงตัวอยู่แล้ว ภาพ คือ วีดีโอ(video)สัญญาณก็คือ ซิกแนล (signal)

ถ้าจะให้เข้าใจดีเราจะต้องหาภาพต่างๆ มา แล้วลองเปลี่ยนภาพนั้นไปเปฝันสัญญาณด้วยกล้องถ่ายโทรทัศน์ดู

ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในบทนี้จะกล่าวเฉพาะไอโคโนสโคป (Iconosscope) แม้จะล้าสมัยแล้วแต่ก็ช่วยให้เข้าใจได้ดีมาก

ตัวอย่างที่ 1

ต่อไปนี้สมมุติว่าเรานำภาพหนึ่งมาเพื่อออกอากาศ เป็นภาพเขียนของศิลปินผู้มีชื่อผู้หนึ่ง ชื่อแบ๊ลก แอนด์ ไวท์ หรือ “ดำกับขาว” ภาพนี้กล้องได้ถ่ายเข้าไปไว้ในโมเซอิค (Mosaic) แล้ว ส่วนที่เป็นสีดำบนแผ่นโมเซอิคจะไม่มีอิเลคตรอนกระจายออกไปเลย เพราะไม่มีแสงมาตกต้อง ส่วนที่เป็นสีขาว อิเล็กตรอนจะกระจายออกไปมากที่สุด เพราะมีแสงตกลงมาก ซึ่งจะทำให้บริเวณนั้นเป็นบวกมากที่สุด



รูปที่ 2.1 แสดงภาพของศิลปินผู้หนึ่ง จะออกอากาศไปให้ผู้ชมทางบ้าน “ แบ๊ลกแอนด์ไวท์” ตามเส้น ก-ข จะเป็นเส้นที่ลำอิเล็กตรอนกวาด จงสังเกตว่าบริเวณภาพ ในแนวเส้น ก-ข จะเปลี่ยนกระแสไฟฟ้ามีรูปลักษณะเช่นใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในเรื่องหลอดไอโคโนสโคป ทางแผ่นสัญญาณ (Signal Plate) ก็จะเกิดภาพเหมือนกัน แต่กลับกันทางแผ่นโมเซอิค กล่าวคือทางแผ่นสัญญาณเฉพาะส่าวที่ตรงกับสี่เหลี่ยมขาวจะมีอิเล็กตรอนมาอยู่มากที่สุด

ถ้าปืนอิเล็กตรอนกวาดมาตามแนว ก-ข จะได้ดังนี้

ก ระยะ1 ถึง 2 จะไม่มีกระแสไหลผ่าน R เลย เพราะทางแผ่นสัญญาณเป็นกลาง ไม่มีอิเล็คตรอนจะหลุดไหลผ่าน R ได้

ข ระยะ 2 ถึง 3 จะมีอิเล็กตรอนไหลผ่านมากที่สุด เพราะทางแผ่นสัญญาณมีอิเล็กตรอนมาคั่งอยู่มากที่สุด ทำให้กระแสไหลผ่าน R มากที่สุด ฉะนั้น โวลท์ ที่เกิดระหว่างขั้ว R ทั้ง 2ก็มากที่สุดด้วย

ค ระยะ 3 ถึง 4 เหมือนข้อ ก. คือ ไม่มีอิเล็กตจรอนไหลเลย

ตามที่กล่าวมาแล้วนี้จะเห็นว่าสัญญาณตามแนว ก-ข นั้น สามารถเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าได้ดังปรากฏเป็นรูปกราฟข่างล่างนั้น

ในข้อนี้ นับว่าสมความปรารถนาที่เราสามารถเปลี่ยนภาพ หรือ แสงสว่าง เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้แล้ว

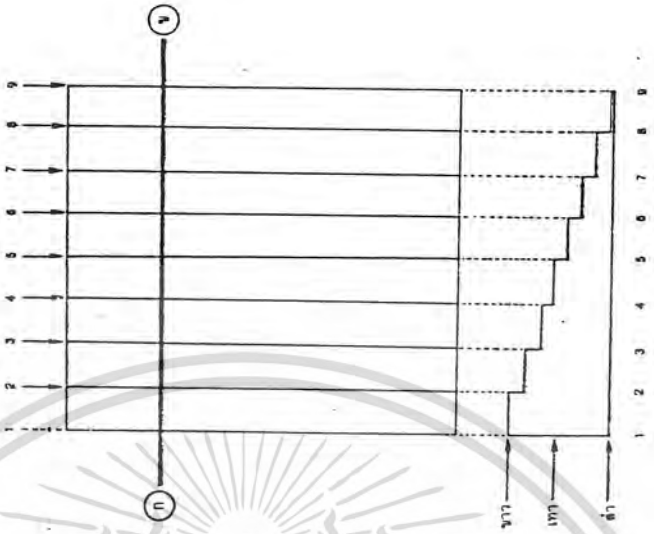
ปืนอิเล็กตรอนไม่ได้กวาดเพียงเส้นเดียว มันจะกวาดเป็นเส้นๆ ตั้งแต่บน ของภาพลงมาตลอดภาพเสร็จสิ้นภายใน 1/25 วินาที ฉะนั้นภาพ “แบล็กแอนด์ไวท์” จะถูกเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าผ่าน R ออกไปตามลำดับ เสร็จสิ้นภายใน 1/25 วินาที ถ้าเรามีเครื่องดักกระแสไฟที่ผ่าน R ออกไปนั้น เราก็จะเห็นภาพของ แบล็กแอนด์ไวท์ได้ทันทีบนจอภาพของเครื่องรับ

<u>ตัวอย่างที่ 2</u>

ภาพต่อไปนี้ เป็นภาพของศิลปินคนหนึ่ง เขาให้ชื่อว่า “แปดริ้ว” ริ้วแต่ละอันมีความเข้มที่แตกต่างกันไปตามลำดับ คือริ้วแรกขาวแล้วค่อยเข้มขึ้น จนริ้วสุดท้ายดำสนิท ตามที่ได้แสดงต่อไปนี้ จะเห็นได้ทันทีว่า ริ้วแรกมีอิเล็กตรอนวิ่งผ่าน R มากที่สุดเพราะเป็นสีขาว ทำให้โวลท์ระหว่างขั้วทั้งสองของ R สูงสุด ริ้วที่ 2-3-4 ค่อยๆ ลดลงตามลำดับจนริ้วสุดท้าย คือริ้วที่ 8 อิเล็กตรอนไหลผ่าน R เลยกระแสระหว่างขั้ว R ทั้งสองเป็นศูนย์

จงสังเกตสัญญาณภาพเมื่อเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าแล้ว ริ้วขาวมีโวลท์สูงสุด ส่วนริ้วดำมีโวลท์ต่ำสุด

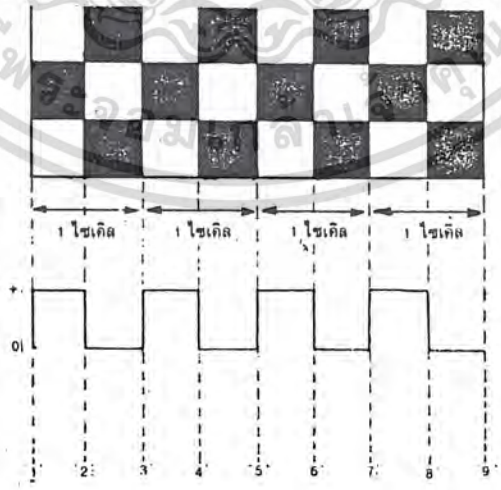
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงภาพของศิลปินผู้หนึ่งคือ "แปดริ้ว" ริ้วแรกขาวสุดแล้วค่อยเข้มขึ้นจนริ้วสุดทายดำสุด เราเราจะส่งออกเฉพาะแนว ก-ข จงสังเกตว่าจะเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้ามีรูปอย่างใด สีดำให้โวลท์ต่ำสุด คือ เป็น 0 V ส่วนสีขาวให้โวลท์สูงสุดและเป็นบวก

<u>ตัวอย่างที่ 3</u>

หากจะให้ทวีความเข้าใจยิ่งขึ้นนั้น คราวนี้เราลองมาเปลี่ยนภาพเป็นกระดานหมากรุกฝรั่ง หรือกระดานหมากฮอส ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าบ้างจะบังเกิดผลเช่นใดรูปนี้เราออกอากาศเฉพาะแนว ก-ข เช่นกัน คราวนี้คงไม่ต้องอธิบาย ก็คงพอจะเข้าใจ จะอย่างไรก็ตามขอให้ลองพิจารณาภาพนั้นให้ละเอียดอีกครั้ง ข้อพิเศษที่ควรจะเป็นและมีความสำคัญมาก ได้แก่ ไซเคิล



รูปที่ 2.3 แสดงการเปลี่ยนภาพกระดานหมากรุกฝรั่งให้เป็นกระดานไฟฟ้า ตามแนว ก-ข ข้อที่น่าจะสังเกตไว้ว่าสัญญาณไฟฟ้าคราวนี้มีถึง 4 ไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนมาจากกระดานหมากรุกนี้ นับได้ 4 ไซเคิล ไซเคิลเกิดขึ้นได้อย่างใด จากรูปกระดานหมากรุกนั้นเมื่อเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าแล้ว เราเห็นว่ามี 4 ไซเคิล ไซเคิลนั้นเกิดจากการกระ เพื่อมของกระแสหรือแรงดันไฟฟ้า

1. ถ้าจะถามต่อไปว่า อะไรเป็นเหตุให้กระแสไฟฟ้ากระเพื่อม เราจะเห็นว่าคำตอบอยู่ที่ ตาขาว ตาดำ ซึ่งอยู่เคียงข้างกัน เมื่อปืนอิเล็กตรอนกวาดหรือสแกน (Scan) มาทำให้เกิดกระแสไฟฟ้ากระเพื่อมคร่อมขั้วทั้งสองของ R ทำให้เกิดเป็นคลื่น

2. ถ้าจะถามอีกครั้งว่า เหตุใดภาพกระดานหมากรุกเมื่อเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าแล้ว จึงได้เพียง 4 ไซเคิลเท่านั้น คำตอบก็จะได้ว่า เพราะกระดานหมากรุกนี้มีคู่ขาวดำ ที่อยู่ชิดกันเพียง 4 ไซเคิลเท่านั้น

3. จากนั้นถ้าสร้างจินตนาการต่อไปถ้าเรานำกระดานหมากรุกนั้นมาลบเสีย แล้วตีตารางระบายสีอย่างตารางหมากรุกเดิม แต่ว่าให้มีจำนวนช่องขาวดำมากขึ้นถึง 10,000 ช่อง และถ้าเราเปลี่ยนภาพของตารางนั้นอีก เราจะได้สัญญาณนั้นกี่ไซเคิล คำตอบก็คือ 5 พัน ไซเคิล (เพราะมีจุดขาวดำเคียงคู่กันถึง 5 พันคู่

<u>ตัวอย่างที่ 4</u>

หากจะให้เข้าใจได้ดี เราลองนำรูปจริงมาพิจารณา อาจจะทำให้เราเข้าใจได้ดีในเรื่องของการเปลี่ยนภาพเป็นสัญญาณได้ดีขึ้น

ขอให้มาพิจารณารูปโลกซึ่งถ่ายมาจากยานอวกาศการประกอบภาพขึ้นเป็นโลกนี้ ต้องประกอบด้วยจุด 3 จุด

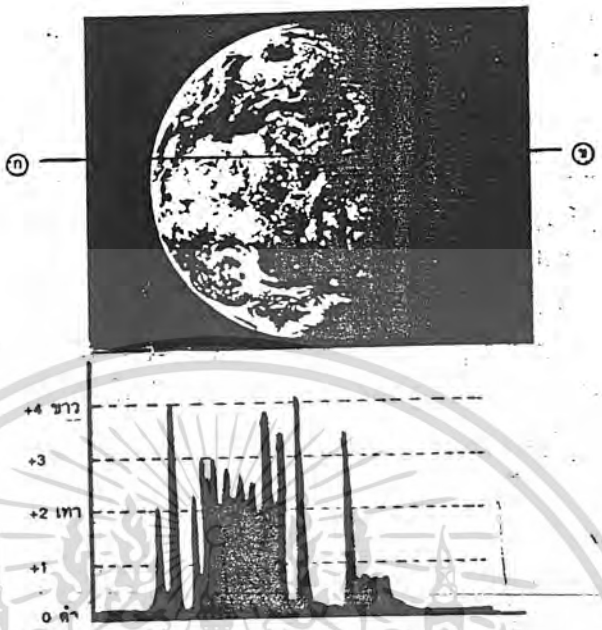
1. จุดดำ
2. จุดเทา
3. จุดขาว

จุดเหล่านี้เรียงกันชิดมาก จนทำให้ภาพของโลกดูไม่เห็นเป็นจุดเลย

คราวนี้เราสมมุติว่า เราให้ปืนอิเล็กตรอนกวาดหรือสแกนตามแนวตัวอักษร ก-ข เช่น จะเกิดอะไรขึ้น

ส่วนที่เป็นจุดดำจะมีกระแสไฟฟ้าน้อย มากกว่าศูนย์เพียงเล็กน้อย ส่วนที่เป็นสีเทาในภาพโลกนั้น กระแสไฟฟ้าไหลมากประมาณ +2 ส่วนที่เป็นสีขาวของภาพ กระแสไฟฟ้าไหลมากประมาณ +4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงภาพของโลกที่เราจะเปลี่ยนตามแนวอักษร ก-ข เป็นสัญญาณภาพที่ได้เปรียบเทียบกับรูป จะทำให้นักศึกษาเข้าใจดียิ่งขึ้น

ภาพสัญญาณที่แสดงนั้นคงไม่เหมือนภาพจริงที่ควรจะเป็น เพราะเขียนด้วยมือ แต่ภาพนี้ถ้านักศึกษาพิจารณาให้ดีก็จะเข้าใจได้ดี

ตามที่กล่าวมาแล้ว นักศึกษาคงจะเข้าใจได้ดีแล้วว่าภาพนั้น เปลี่ยนเป็นสัญญาณภาพหรือกระแสไฟฟ้าได้อย่างใด

หากจะถามต่อไปอีกคำถามหนึ่งว่า สัญญาณนี้มีกี่ไซเคิล คำตอบก็ได้ว่าไม่ทราบ ที่ไม่ทราบไม่ใช้เพราะไม่มีความรู้ เรามีความรู้ แต่ที่เราไม่ทราบนั้น เพราะเรานับไม่ได้ต่างหาก

จะอย่างไรก็ตาม ถ้าจะตอบก็คงบอกได้ว่ามีไซเคิลมากมายเหลือเกิน ทั้งนี้เพราะจุดขาวเคียงจุดดำนั้นมีมาก

ตามที่กล่าวมานั้น เป็นการกล่าวยกตัวอย่างแต่เพียงส่วนของภาพ บนเส้นตรง ก-ข. ของรูปโลกเท่านั้น ฉะนั้นสัญญาณภาพหรือ วีดีโอ ซิกแนล (Video signal) จึงเป็นส่วนของสัญญาณในบริเวณนั้นเท่านั้น

ถ้าเราต้องการเปลี่ยนภาพรูปโลกทั้งภาพให้เป็นสัญญาณภาพทั้งหมด เราก็ต้องให้ปืนอิเล็กตรอนกวาดตั้งแต่บรรทัดแรกของภาพ ลดลงมาทีละบรรทัดจนกระทั่งบรรทัดสุดท้ายของภาพ สมมติว่ากวาดมาได้ตลอดภาพรวมทั้งสิ้นได้ 500 บรรทัด แต่ละบรรทัดก็ได้สัญญาณภาพรูปยึก ๆ ยัก ๆ ออกไปตามลักษณะการเรียงจุดขาว จุดเทา จุดดำ ของภาพบนเส้นตรงนั้นๆ

สมมติว่าสัญญาณภาพแต่ละบรรทัดที่เรา “เฉือน” เอามาได้ และคิดจะส่งออกอากาศหรือปล่อยไปตามสายเลยก็ตามขอให้เราลองสร้างจินตนาการดู สัญญาณบรรทัดเรกเมื่อถูกเฉือน แล้วจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช

ถูกส่งออกไปก่อน ต่อไปจะเป็นบรรทัดที่ 2-3-4 จนกระทั่งถึงบรรทัดสุดท้าย คือบรรทัดที่ 500 ตามที่สมมติ

ดังได้กล่าวมาแล้วอย่างคร่าว ๆ เรื่องการส่งโทรทัศน์ในบทที่ 4 นั้น ว่าการส่งภาพของเครื่องส่งนั้นส่งเป็นจุด

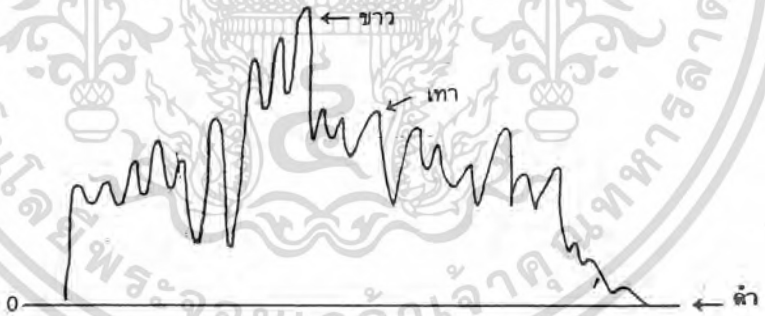
ตามที่กล่าวมาในตอนนี้ นักศึกษาจะเห็นได้ทันที่ว่า การส่งเป็นจุดนั้น คือ จุดขาว จุดเทา และจุดดำที่เรียงกันเป็นแถวอยู่บนเส้นตรงนั้นเอง

ก่อนที่จะจบบทนี้ อยากจะให้นักศึกษาสังเกตรูปของสัญญาณภาพไว้อีกครั้ง เพื่อประโยชน์ต่อการเข้าใจเรื่องราวได้รวดเร็ว คือ

1. ภาพของสัญญาณภาพในทางทั่วไปจะเป็นรูป "ยึก-ยัก" อย่างของรูปโลกที่แสดงมาแล้ว

2. ในเบื้องต้นนี้ ให้นักศึกษาจำไว้ว่า ยอดสูงสุดของคลื่น-ขาว ยอดต่ำสุดคือดำ และกลางๆคือเทา

เพราะฉะนั้น ถ้านักศึกษาเห็นรูปต่อไปนี้ต้องบอกได้ทันทีว่า คือสัญญาณภาพ



รูปที่ 2.5 แสดงรูปของสัญญาณภาพ เป็นการสรุปเรื่องที่นักศึกษาเรียนมาแล้ว ตอบได้ไหมว่าเป็นสัญญาณวัตถุอันใด

ถ้ามีใครถามต่อไปว่า สัญญาณภาพนี้เป็นสัญญาณภาพของวัตถุใด คำตอบคือไม่ทราบ เราทราบแต่ว่าเป็นเพียงสัญญาณภาพของสิ่งหนึ่งที่ตัดมาเพียง "เส้น" เดียวเท่านั้น

ไซเคิล (Cycle) และเฮิรตซ์ (Hertz) ในบางครั้งเรามีความสับสนเรื่องไซเคิล และเฮิรตซ์ อยู่พอสมควรความสับสนทำให้สมองเราไม่แจ่มใส ใช้เหตุผลต่อไปไม่ถูกต้อง ฉะนั้น ณ ที่นี้ ใคร่ขอย้ำเรื่องเฮริตซ์และไซเคิลให้ชัดเจนอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไซเคิล แปลว่า รอบ หรือ วง วงนั้นไม่จำเป็นต้องกลม คลื่นนั้นมีรอบหรือไซเคิล ถ้าเราตัดยอดบนและยอดล่างของคลื่นมาต่อกัน ก็จะได้หนึ่งรอบ รูปที่ 5.1 มีรอบเดียว หรือไซเคิลเดียว ตรงสีขาวเป็นยอดบน ตรงสีดำเป็นยอดล่าง ส่วนรูปที่ 2.3 นั้น เห็นชัดเจนว่า มี 4 ไซเคิล ยอดขาว 1 ซีก ยอดดำ 1 ซีก รวมเรียกว่า 1 ไซเคิล ขอให้พลิกกลับไปนับดู ทำนองเดียวกัน รูปที่ 6.2 ดำ-ขาว แตกต่างลดหลั่นกันได้ 4 คู่ฉะนั้นก็นับได้ 4 ไซเคิลเช่นเดียวกัน ส่วนรูปที่ 2.4 เป็นภาพจริงประกอบด้วยจุดขาว-ดำ (ไม่ใช่เป็นเหลี่ยม)มากมายเรานับไม่ไหว สมมติว่ามันเป็นคู่ ๆ ได้ ล้านคู่เราเรียกได้ว่า ล้านไซเคิล

จากรูปที่ 2.1, 2.2, 2.3 และ 2.4 นั้น มีขนาดความกว้างเท่ากัน ถ้าเราใช้เป็นอิเล็กตรอนของกล้องโทรทัศน์สะแกนไปตามแนวกลาง ดังแสดงในรูปนั้น ๆ เวลาที่กล้องสะแกนไปนั้น ต่างกินเวลา 1 วินาทีเท่ากัน

ฉะนั้น รูปที่ 2.1 ได้ 1 ไซเคิลต่อวินาที
รูปที่ 2.2 ได้ 4 ไซเคิลต่อวินาที
รูปที่ 2.3 ได้ 4 ไซเคิลต่อวินาที
รูปที่ 2.4 ได้ 1,000,000 ไซเคิลต่อวินาที

ไซเคิลต่อวินาทีนั้น เรียกว่า เฮริตซ์ Hz ฉะนั้นรูปที่ 2.1 = 1 Hz
รูปที่ 2.2 = 4 Hz
รูปที่ 2.3 = 4 Hz
รูปที่ 2.4 = 1,000,000 Hz หรือ 1 MHz

Hz นั้นเป็นหน่วยวัด ส่วนไซเคิลนั้นเป็นชื่อเรียกลักษณะของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ทฤษฎีและหลักการของเส้นใยแสง

3.1 การแนะนำเรื่องการสื่อสารทางแสง

3.1.1 รูปแบบของการสื่อสารทางแสง

ทุกคนคงจะเคยใช้การส่งข่าวในรูปแบบของ "ไฟฟ้า" โดยผ่านทางโทรศัพท์, ดาวเทียม, คลื่นวิทยุไมโครเวฟ และอื่นๆ อย่างไรก็ดียังมีระบบการสื่อสารชนิดใหม่รวมทั้งคลื่นแสงที่ได้รับการพัฒนาจากห้องปฏิบัติการ และได้มีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง แต่การสื่อสารทางแสงคืออะไร?

การพยายามตอบคำถามสำหรับบุคคลที่ยังไม่เคยมีความรู้เกี่ยวกับเรื่องนี้มาก่อนจะต้องกระทำดังต่อไปนี้ในรอบหลายปีที่ผ่านมา การพัฒนาการสื่อสารทางไฟฟ้าได้ดำเนินรุดหน้าไปอย่างรวดเร็ว ปัจจุบันเป็นสิ่งธรรมดาที่พบเห็นกันได้ทั่วไป เช่น การแข่งขันกีฬาโอลิมปิคที่ทำการถ่ายทอดทางโทรทัศน์ โดยการส่งผ่านดาวเทียม นั่นคือมันจะปรากฏภาพทันที แม้ว่าเหตุการณ์นั้นจะได้จัดขึ้นที่อีกซีก หนึ่งของโลกก็ตาม

ในอนาคตชีวิตประจำวันของครอบครัวจะขึ้นอยู่กับโทรทัศน์มากขึ้น เช่น บริการทางการแพทย์และข่าวสารการศึกษา โทรสารสำหรับการส่งจดหมายและหนังสือพิมพ์ ผลที่ได้รับคือ การประหยัดเวลาและทรัพยากรธรรมชาติเป็นอันมากถึงแม้ว่าการส่งข่าวสารและโทรศัพท์ ภาพอาจจะจัดหาได้ง่ายเพื่อที่จะให้มีบริการในสิ่งเหล่านี้ การส่งจะต้องมีประสิทธิภาพหลายร้อยเท่าของระบบที่มีอยู่ในปัจจุบันสำหรับการส่งข่าวสารที่มีจำนวนมากๆ มันเป็นผลสืบเนื่องมาจากหลักการสื่อสารอย่างง่ายๆ คือ คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นคลื่นพาหะนั้นจำเป็นต้องใช้ความถี่สูงมาก การพัฒนาซึ่งเป็นเป้าหมายของวิศวกรการสื่อสารและนักวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี พ.ศ. 2503 ได้มีการประดิษฐ์เลเซอร์ (แหล่งกำเนิดแสง) ที่สามารถให้กำเนิดแสงธรรมชาติขึ้น (เช่นมีสีเดียว) แหล่งกำเนิดแสงจะมีความถี่สูงกว่า 10^4 - 10^5 เท่าของแหล่งกำเนิดความถี่ไมโครเวฟ (ความถี่ $10^{10}H_2$) ที่มีอยู่เดิมตั้งแต่ได้มีการปรากฏตัวของเลเซอร์ได้มีความพยายามอยู่หลายครั้งที่จะใช้เลเซอร์สำหรับการสื่อสาร เพราะว่ามันมีข้อดีอยู่หลายประการ ถ้านำมันมาใช้เป็นคลื่นพาหะของระบบการสื่อสารได้ เช่น มันจะให้กำเนิดแสงสีเดียวได้ดีที่สุด และลำแสงที่ปรับให้แคบที่สุดได้ ตามหลักการแล้วจะมีแบนด์วิดธ์กว้างมาก

เริ่มแรกการทำงานของระบบการสื่อสารที่ความถี่แสง ถึงแม้ว่าจะเพิ่มประสิทธิภาพการส่งข่าวสารได้มากถึง 100,000 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มีใช้อยู่ อย่างไรก็ตามก่อนที่จะนำมาใช้งานในทางปฏิบัติยังมีปัญหาอีกหลายอย่างที่จะต้องนำไปแก้ไขเช่น เลเซอร์ต้องมีประสิทธิภาพและขนาดต้องเล็กซึ่งสามารถรักษาคุณภาพให้อยู่ในระดับสูงตลอดไป, ต้องมีการควบคุมทางเอาท์พุท, อุปกรณ์มอดูเลชั่นและดีมอดูเลชั่นที่ความเร็วสูงยังไม่ได้ผลตามที่ต้องการ ทั้งหมดนี้มีความสำคัญมากที่สุด สิ่งที่ต้องการสำหรับสายรับ-ส่งชนิดใหม่ คือ ต้องมีการสูญเสียต่ำ และที่ยืดหยุ่นได้, ประหยัด, และมีแบนด์วิทธ์กว้างปรากฏว่าในตอนแรกนั้นปัญหาเหล่านี้เอาชนะได้ยากมาก

ประมาณปี พ.ศ. 2509 ได้มีการพิจารณาถึงความเหมาะสมที่จะนำเส้นใยแก้วนำแสงมาใช้เป็นสายรับ-ส่งอย่างจริงจัง แต่ในเวลานั้นการสูญเสียยังสูงอยู่ จึงยังไม่ได้นำมันมาใช้

ในปี พ.ศ. 2513 ได้พบวิธีการที่จะลดการสูญเสียลงได้เป็นจำนวนมากและการทำงานของเลเซอร์สารกึ่งตัวนำสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากอายุการใช้งานของเลเซอร์สามารถเพิ่มได้มากขึ้น และสามารถผลิตเส้นใยแสง ให้มีการสูญเสียต่ำได้ทำให้การสื่อสารด้วยเส้นใยแสงได้รับการยอมรับในทางปฏิบัติ

เรายังคงเพิ่งเริ่มต้นในยุคของการสื่อสารทางแสง แต่ขณะนี้มีความเป็นไปได้อย่างมากว่าหน่อเล็กๆ นี้จะเติบโตเป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ในอนาคตอันใกล้นี้ อีกประการหนึ่งความถี่ของแสงอุลตราไวโอเล็ทและรังสีเอ็กซ์-เรย์ สูงกว่าออปติคอล-เรย์ (Optical Ray) และมีความเหมือนกันคือ การรวมตัวของโปตรอน ทำให้พลังงานเพิ่มขึ้นผลที่ตามมาก็คือ ควอนตัม-นอยซ์ (Quantum Noise) สูงมาก และการเชื่อมติดกับสายรับ-ส่งและรีเฟลคเตอร์ทำได้ยากมากในหลักการแล้ว ความถี่เหล่านี้ไม่เหมาะที่จะใช้ส่งข้อมูล เพราะฉะนั้นคลื่นแสงที่มองเห็นได้ อาจเป็นประเภทสุดท้ายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่จะนำมาใช้กับระบบโทรคมนาคมได้

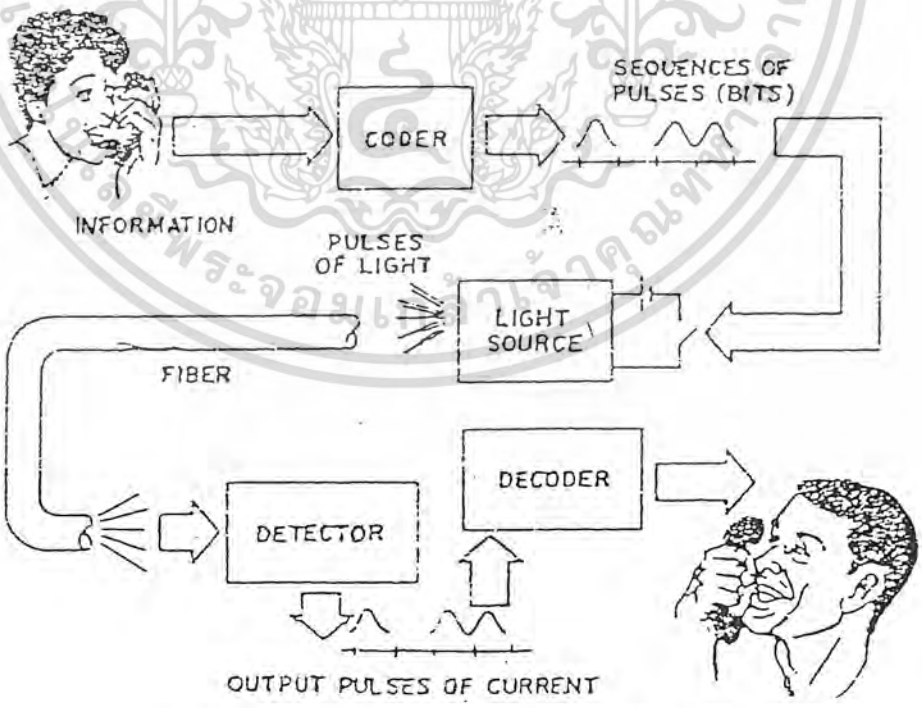
ระบบการสื่อสารทางแสงส่วนใหญ่จะใช้เส้นใยแสงและใช้สารกึ่งตัวนำเป็นแหล่งกำเนิดแสง ในรูปที่ 3.1 ที่จะกล่าวถึงเป็นระบบทั่วๆ ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปแบบของการสื่อสารทางแสงนั้น ในขั้นแรกสัญญาณ (คลื่นเสียง) ที่ผู้ใช้ต้องการจะส่งจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าในเครื่องส่ง ซึ่งมันจะถูกมอดูเลทกับความเข้มของแสงที่แหล่งกำเนิดแสง ซึ่งอาจจะเป็นเลเซอร์หรือไดโอดเปล่งแสง (วิธีการนี้เรียกว่ามอดูเลชั่น)

สัญญาณแสงถูกส่งผ่านเข้าไปในทางเดินของแสงในเส้นใยแสง และถูกตรวจรับที่ปลายทางด้านรับด้วยโฟโต้ดีเท็คเตอร์ซึ่งสัญญาณแสงจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม(เรียกว่าดีมอดูเลชั่น)

สุดท้ายสัญญาณไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณเดิมที่ผู้ใช้สามารถเข้าใจได้ เช่น เสียงคำพูด (คลื่นเสียง) หลายศตวรรษมาแล้วที่มนุษย์รู้จักการใช้การสื่อสารด้วยแสง เช่น คบเพลิง, สัญญาณไฟ และโดยการสะท้อนแสงด้วยกระจก จนกระทั่งปัจจุบันสัญญาณแสงก็ยังคงมีใช้อยู่ เช่น การสื่อสารระหว่างเรือโดยใช้สัญญาณแสงด้วยรหัสมอส การพัฒนาอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ให้ทำงานเป็นแหล่งกำเนิดแสงโดยอาศัยข้อมูลการวิจัยในยุโรปและอเมริกา เป้าหมายของการพัฒนาของหลอดคายประจุ และหลอดไฟฟ้า หรือปรากฏการณ์ของแสงที่เปล่งออกมาจากแท่งเรืองแสง โดยเฉพาะการเปล่งแสงที่ได้โดยการให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจุดเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำ ในผลึกเชิงเดี่ยวของสารกึ่งตัวนำเช่น ซิลิคอน หรือ เยอรมันเนียม การเปล่งแสงอ่อนมาก แต่ในสารประกอบผลึกกึ่งตัวนำ เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) การเปล่งแสงสูงกว่ามาก เพราะฉะนั้นจึงได้มีการพัฒนาวิธีการผลิตสารกึ่งตัวนำให้เหมาะสมที่จะจัดให้ เป็นแหล่งกำเนิดแสง



รูปที่ 3.1 รูปแบบพื้นฐานของการสื่อสารระบบแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในอดีตแนวความคิดของการส่งสัญญาณแสง ในสมัยกรีกโบราณ ซึ่งเทคโนโลยีของการผลิตแก้วได้เริ่มขึ้น ได้สังเกตเห็นว่าแสงสามารถผ่านแท่งแก้วได้ ในทำนองเดียวกันในประเทศอังกฤษ ซึ่งมีความรู้เกี่ยวกับแสงรุ่งเรืองมาก ในศตวรรษที่ 19 ได้สังเกตแสงที่ส่งผ่านท่อน้ำที่มีรูแคบมาก การทดลองเรื่องการส่งแสงผ่านเส้นใยแก้วได้กระทำเป็นครั้งแรกที่ประเทศเยอรมันนีในปี พ.ศ. 2473

ในปี พ.ศ. 2501 ประเทศอังกฤษได้เสนอแนะรูปร่างของเส้นใยแสง ซึ่งประกอบด้วยส่วนในสุดเป็นแก้วแล้วหุ้มด้วยส่วนประกอบของแก้วที่คล้ายกัน ในตอนต้นปี พ.ศ. 2503 ที่ประเทศญี่ปุ่นได้ผลิตเส้น ใยแก้วขึ้นมา เพื่อวัตถุประสงค์ของการส่งภาพโดยเส้นใยแสง (Optical Pictures) แต่การส่งมีการสูญเสียของแสงสูงมาก เพราะว่าความเข้มของแสงที่ส่งผ่านเส้นใยที่มีความยาวไม่ถึง 1 เมตร ได้ลดลงเป็นจำนวน มากเพราะฉะนั้นการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแสงก็ถูกทิ้งไว้

ประมาณปี พ.ศ. 2503 ประเทศสหรัฐอเมริกาได้กระทำการทดลองเกี่ยวกับสายส่งประเภทต่างๆ โดยการใช้รูปแบบของท่อนำสัญญาณแสง (Optical Waveguide) ที่ต่างกัน และประกอบด้วยเลนส์ที่รวมแสงเข้าหากันตรงจุดที่แสงอ่อนลงเป็นช่วงๆ เรียงกันไปตามลำดับรูปแบบหนึ่งของระบบนำแสงประกอบด้วยเลนส์ 10 ชุด แต่จุดรวมแสงยาว 50 เมตร และระยะห่างเป็นช่วงๆ ละ 100 เมตร ภายในท่อขยายให้ยาวได้ถึง 1 กิโลเมตร แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในตอนแรกก็คือ หลอดซีนอน

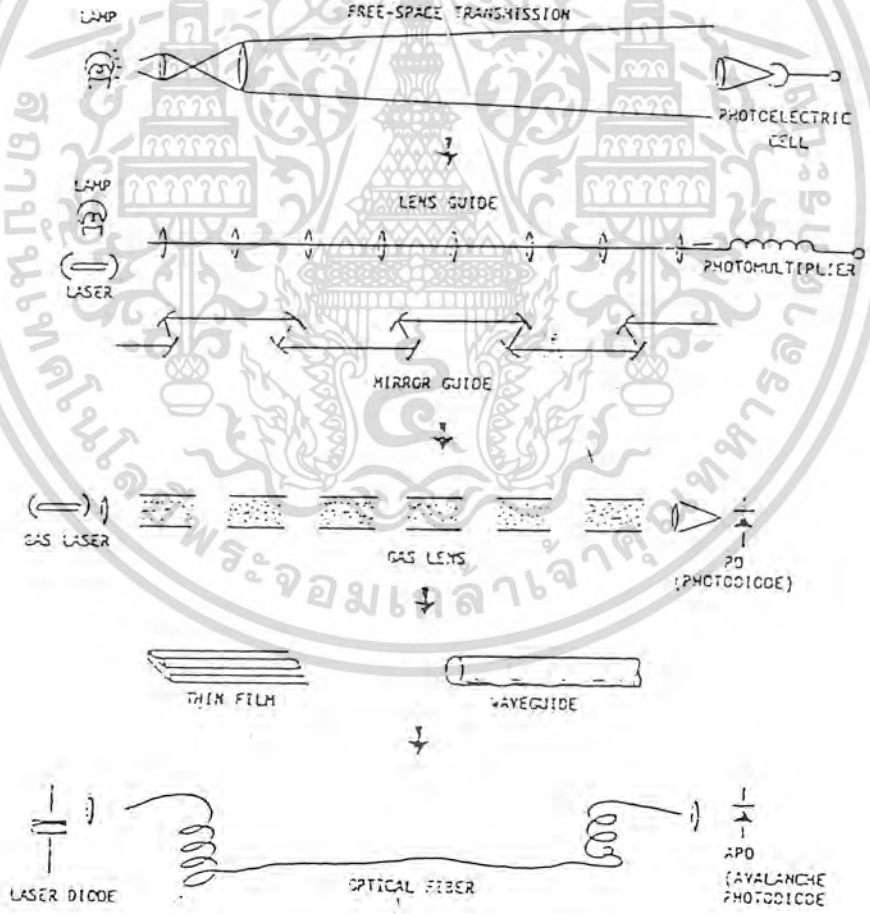
ในปี พ.ศ. 2503 เป็นช่วงเวลาเดียวกันที่สหรัฐได้ทำการวิจัยอย่างคร่ำเคร่ง ผลที่ได้รับเป็นความสำเร็จครั้งแรกคือ การทำงานของโซลิด-เสตทรูบี้เลเซอร์, ฮีเลียม/นีออนก๊าซเลเซอร์ในปี พ.ศ. 2504 และสารกึ่งตัวนำเลเซอร์แกลเลียมอาร์เซไนด์ ในปี พ.ศ. 2505 โดยทั่วไปเข้าใจว่าสิ่งที่ปรากฏขึ้นของสิ่งใหม่ๆ เหล่านี้ และแหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นสีเดียว ถือว่าเป็นนิมิตที่ดีของการสื่อสารทางแสงที่จะให้ระบบของการสื่อสารที่มีคุณภาพสูง หลังจากที่ได้มีการวิจัยกันอย่างต่อเนื่องคุณสมบัติที่เป็นไปได้ของแหล่งกำเนิดแสงเฟบี้-พีรอท (Fabry perot Resonator) ซึ่งคลื่นแสงถูกจำกัดอยู่ระหว่างกระจก 2 แผ่น ผลที่ รับคือหลักฐานทางทฤษฎีได้เป็นที่ยอมรับกันในหลักการของการส่งลำแสงที่คงที่จากแหล่งกำเนิดเลเซอร์ ผ่านอวกาศ

ในปี พ.ศ. 2507-2508 ได้มีการเสนอให้ก๊าซเลนส์เป็นตัวนำแสงและในเวลาเดียวกันก็ได้ มีการนำมาทดสอบ อุปกรณ์นี้คือก๊าซเลนส์ ที่มีการสูญเสียต่ำเนื่องจากดัชนีหักเหของแสงลดลงจากแกนกลางของเส้นใยแสง ดังนั้นลำแสงของแสงจะถูกกำจัดให้อยู่ใกล้กับแกนกลางในเวลาเดียวกัน หลักการทางคณิตศาสตร์ของทางเดินของแสงที่เคลื่อนที่ไปเรียกว่า เลนส์ไลค์-มิเดียม (Lenslike-Medium) ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันทั่วไป เนื่องจากเป็นระบบที่ต้องการเพาเวอร์เป็นจำนวนมากที่จะทำให้เกิด Refractive-index Profile ในปริมาณของก๊าซจำนวนมากและเหตุผลอย่างอื่นๆ อีก ความคิดที่จะใช้ก๊าซเลนส์มาเป็นทางเดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแสงก็หยุดชะงักลง ถึงแม้จะได้รับผลประโยชน์หลายอย่างในเวลานั้นก็ตามรวมทั้งความเชื่อว่า แสงถูกจำกัดให้อยู่ใกล้กับแกนกลางข้อคิดเห็นที่ว่าดัชนีที่แพร่กระจายในรูปของพาราโบลิคในเส้นใยแสงจะ ชดเชยกลุ่มความเร็วของโหมดที่เคลื่อนที่ในชั้นต่างๆ และวิธีที่จะใช้คำนวณเกี่ยวกับการเดินทางของแสง

อีกประการหนึ่งในปี พ.ศ. 2509 ได้มีการประยุกต์ใช้เลเซอร์กับการสื่อสารทางแสงทำให้เกิดความสนใจทั้งในอเมริกาและญี่ปุ่นและทราบว่าการมอดูเลชั่นที่ความถี่สูงมากนั้นมีความเป็นไปได้ เช่นเดียวกับความคิดที่จะนำเส้นใยแสงนำแสงมาเป็นสายรับ-ส่งได้เริ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่งทั้งในประเทศอังกฤษและญี่ปุ่น และความพยายามที่จะลดการสูญเสียจากการส่งให้ต่ำลง และการวิจัยที่เกี่ยวกับแบนด์วิดธ์ก็ได้เริ่มขึ้น



รูปที่ 3.2 การพัฒนาของการสื่อสารทางแสง

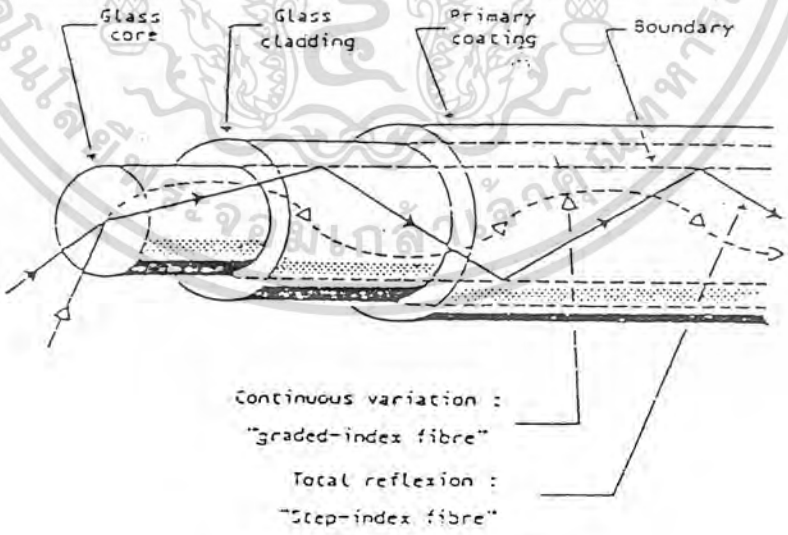
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณปี พ.ศ. 2513 ผลจากการวิจัยทั้งสองอย่างมีความสำคัญอย่างมากต่อการสื่อสารทางแสง อย่างแรกก็คือการทำงานอย่างต่อเนื่องของเลเซอร์ที่อุณหภูมิห้องในอเมริกา ต่อไปก็คือ การปรับปรุงเรื่อง อายุการใช้งานทั้งในอเมริกาและญี่ปุ่น อีกอย่างก็คือการลดลงอย่างมากของการสูญเสียจากการส่งจากที่อังกฤษได้ทำไว้ระหว่าง 150 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ได้ลดลงเหลือประมาณ 20 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ทั้งในอเมริกาและญี่ปุ่น เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการพัฒนาเกี่ยวกับอุปกรณ์ทางแสงและสายรับ-ส่งเส้นใยแสงเป็นหลัก ปัจจุบันนี้ในทางปฏิบัติได้พิสูจน์ให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้อย่างมากที่จะนำการสื่อสารทางแสงมาใช้กันอย่างกว้างขวางขึ้น สายรับ-ส่งเส้นใยแสงได้มีการปรับปรุงกันอย่างรวดเร็ว บางส่วนได้นำวิธีการผลิตสารกึ่งตัวนำมาใช้ ซึ่งได้มีการพัฒนามาอย่างดีแล้ว ซึ่งให้ทั้งการสูญเสียต่ำและมีแบนด์วิดธ์กว้างกว่าสายรับ-ส่งอย่างอื่น

ได้มีข้อเสนอแนะที่แตกต่างกันหลายประการที่ใช้กับการส่งสำหรับการสื่อสารทางแสง เพราะว่าบางวิธีอาจจะใช้บางโอกาสในอนาคต ซึ่งเราจะได้ศึกษากันอย่างย่อๆ และเปรียบเทียบวิธีเหล่านั้นกับเส้นใยแสง รูปที่ 3.2 ข้างล่างนี้ แสดงให้เห็นถึงวิธีการพัฒนาของการสื่อสารทางแสง เริ่มต้นด้วยการเดิน ทางของลำแสงจากหลอดไฟแสงสว่างผ่านไปในอวกาศ การนำทางของแสงจากเลเซอร์ไดโอดไปตามเส้นใยแสง

3.2การสื่อสารด้วนเส้นใยแสง

3.13.1 สายรับ-เส้นใยแสง

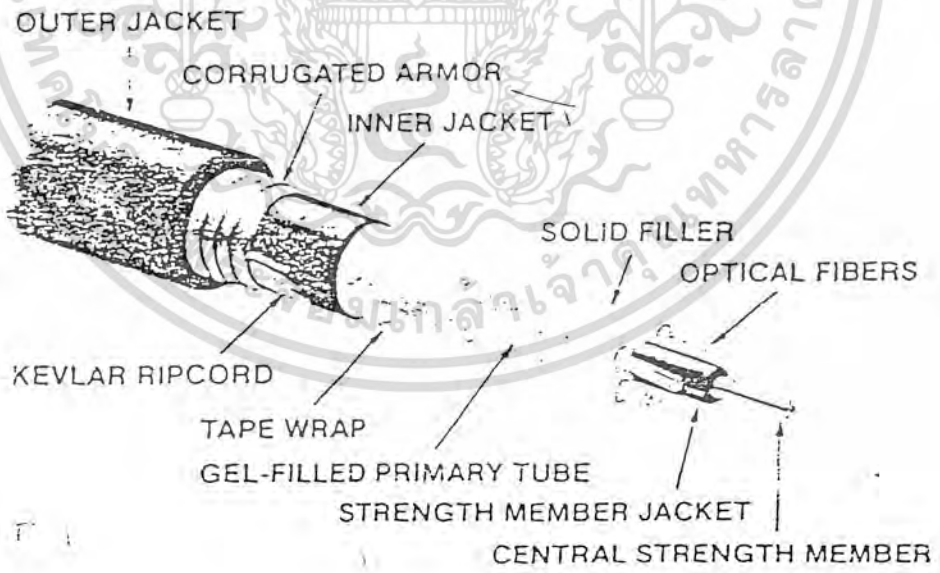


รูปที่3.3 เส้นใยแสงชนิดมัลติโหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของสายรับ-ส่งเส้นใยแสง ประกอบด้วยส่วนตรงกลางที่เรียกว่า คอร์ (Core) มีดัชนีหักเหของแสง n_1, วัสดุที่หุ้มรอบๆ เรียกว่าแคลดดิ้ง (Cladding) มีดัชนีหักเหของแสง n_2, ต่ำกว่า n_2 ดังนั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกจำกัดอยู่ในส่วนของคอร์ และถูกส่งต่อโดยหลักการสะท้อนกลับตรงเขตแดนระหว่างคอร์กับแคลดดิ้งที่อยู่ภายในทั้งหมด เส้นใยแสงเป็นรูปแบบของไดอิเล็กทริก-เวฟไกด์ (Dielectric Waveguide) ซึ่งเป็นชนิดซิลิก้ากลาสและมัลติคอมโพเนนท์กลาส ปกติใช้เป็นส่วนประกอบของฉนวนไฟฟ้า ในบางกรณีอาจใช้สารพลาสติก หรือของเหลวก็สามารถนำมาเป็นส่วนประกอบอย่างหนึ่งของสารประกอบเหล่านี้ได้ ในวงจรแสงที่เคลือบด้วยแผ่นฟิล์มบางๆ ซึ่งมีความหนาเพียง 2-3 มิลลิเมตร วัสดุอื่นที่ สามารถนำมาใช้ได้ เช่น แก้ว, พลาสติก, วัสดุที่มีองค์ประกอบอย่างเดียวกันหรือสารกึ่งตัวนำ

เส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์ ของเส้นใยแสงปกติจะอยู่ในย่าน 2-3 ไมโครเมตร ถึง 20-30 ไมโครเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางรอบนอกของแคลดดิ้งอยู่ระหว่าง 100-200 ไมโครเมตร อย่างไรก็ตาม เส้นใยแสงที่ยังไม่ได้หุ้มมีความเปราะมาก และเป็นเหตุเริ่มต้นให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีจากความชื้น ดังนั้น เส้นใยแสงจึงถูกกำหนดให้มีการหุ้มครั้งแรกเสียชั้นหนึ่งก่อนด้วยพลาสติก ต่อไปหุ้มด้วยไนล่อนอีกชั้นหนึ่งยิ่งกว่านั้นจัดเป็นกลุ่มเข้าด้วยกันในรูปเคเบิลเส้นใยแสง ซึ่งทำเคเบิลมีเส้นใยแสงเป็นร้อยเส้นได้



รูปที่ 3.4 เคเบิลเส้นใยแสงชนิด 24 เส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันซิลิก้ากลาสเป็นส่วนประกอบที่ทำให้การสูญเสียต่ำมากโดยการทำให้ซิลิก้ากลาสมีความบริสุทธิ์มากขึ้น ทำให้สามารถผลิตเส้นใยแสงที่มีการลดทอนประมาณ 0.2 เดซิเบลต่อกิโลเมตรที่ความยาวคลื่น 1.55 ไมโครเมตรได้ ประกอบมีแบนด์วิดธ์กว้างและการสูญเสียต่ำจึงเชื่อได้ว่าเส้นใยแสงจะเป็นสายรับ-ส่งที่เหมาะที่สุด

ในตอนนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดที่เกี่ยวกับความยาวคลื่น 0.85 ไมโครเมตร ที่ให้การสูญเสียต่ำ ซึ่งเป็นข้อกำหนดอย่างหนึ่งที่เรียกว่า ออปติคอล-ไฟเบอร์-วินโดว์ (Optical Fiber Window) บังเอิญสารกึ่งตัวนำเลเซอร์ที่ประกอบด้วยแกลเลี่ยม อะลูมิเนียม อาร์เซไนด์(GaAlAs) และซิลิกอน(Si) โฟโต้ดีเท็คเตอร์ มีความไวสูง ที่ความยาวคลื่นนี้ ในทางตรงกันข้ามเส้นใยมีความสูญเสียต่ำมากจะอยู่ย่านความยาวคลื่น 1.0-1.6 ไมโครเมตร การวิจัยที่เกี่ยวกับเลเซอร์และตัวรับแสงความไวสูงที่กำลังทำกันในปัจจุบันและอนาคตถือเป็นกุญแจสำคัญที่ต้องพัฒนาต่อไปในการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

3.3 อุปกรณ์การเชื่อมโยงการส่งผ่านเส้นใยแสง

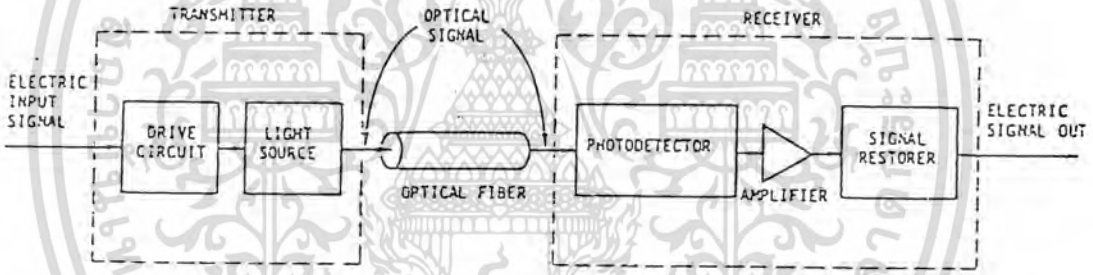
ในการเชื่อมโยงการส่งผ่านเส้นใยแสงส่วนสำคัญต่างๆ คือ เครื่องส่งที่ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสงและร่วมกับวงจรกระตุ้น (Drive Circuit), เคเบิลเส้นใยแสง, และเครื่องรับที่ประกอบด้วย โฟโต้ดีเท็คเตอร์ รวมกับวงจรขยายสัญญาณและวงจรที่ทำให้สัญญาณกลับคืนสู่สภาพเดิม

เคเบิลใยแสงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในการเชื่อมต่อเส้นใยแสง นอกจากจะได้มีการป้องกันเส้นใยแสงระหว่างการติดตั้ง และการให้บริการ ภายในเคเบิลอาจจะบรรจุสายทองแดง สำหรับเพาเวอร์ที่จะจ่ายให้กับส่วนทวนสัญญาณ ซึ่งต้องการสำหรับการขยายสัญญาณและการสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่เป็นช่วงๆ เมื่อต้องการขยายระยะทางให้ไกลออกไปอีก เคเบิลโดยทั่วไปแล้วประกอบด้วยเส้นใยแสงรูปทรงกระบอกที่มีขนาดเท่าเส้นผมเป็นจำนวนมาก แต่ละเส้นไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนวงจรของการสื่อสาร

การติดตั้งเคเบิลใยแสงสามารถติดตั้งได้ทั้งในอวกาศ, ในท่อร้อยสาย, ใต้ทะเลหรือฝังดินโดยตรง ทำนองเดียวกันกับเคเบิลทองแดง ความยาวของเคเบิลแต่ละเส้นจะมีความยาวตั้งแต่หลายร้อยเมตร จนถึงหลายกิโลเมตรสำหรับการใช้งานทางไกลขึ้นอยู่กับการติดตั้ง และหรือข้อจำกัดของการผลิต ความยาวจริงๆ ของเคเบิลในช่วงหนึ่งๆ กำหนดจากการพิจารณาในการใช้งานเช่น ขนาดของระวิงและน้ำหนักของเคเบิล ถ้าการวางเคเบิลผ่านท่อร้อยสายมักจะใช้เคเบิลที่มีความยาวสั้นกว่า ส่วนเคเบิลที่มีความยาวมากๆ มักจะใช้แขวนในอากาศหรือฝังดินโดยตรง ถ้าจะให้ได้ความยาวที่จะใช้งานกับทางไกลจริงๆ ต้องนำเคเบิลแต่ละช่วงความยาวมาต่อเข้าด้วยกัน ถึงจะได้ความยาวที่สมบูรณ์ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติอันดับแรกของเส้นใยแสงคือ การลดทอน ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น เทคโนโลยีใน ตอนต้นๆ นั้นใช้ความยาวคลื่นแถบ 800-900 นาโนเมตรอย่างเดียว เนื่องจากในแถบความยาวคลื่นนี้เส้น ใยแสงที่ผลิตได้ในเวลานั้นแสดงค่าการลดทอนต่ำสุดและแหล่งกำเนิดแสงและโฟโต้ดีเท็คเตอร์ที่ทำงานในย่านความยาวคลื่นนี้จัดหาได้ง่าย โดยการลดความเข้มข้นประจุของไฮดรอซีล (Hhydroxyl ions) และประจุของโลหะ (Metalic ions) ที่เจือปนอยู่ในส่วนประกอบของเส้นใยแก้ว ทำให้ผู้ผลิตสามารถผลิตเส้นใยที่มีการสูญเสียต่ำมากในย่านความยาวคลื่น 1100-1600 นาโนเมตรได้ ปกติความกว้างของแบนด์วิดธ์ (Spectrum bandwidth) จะอ้างถึงในย่าน ลองเวฟเล้งธ์ (long-wavelength) ลักษณะสำคัญเพิ่มขึ้นหลังจากได้พัฒนาที่ความยาว 1300 นาโนเมตรแล้ว เนื่องจากในย่านนี้เส้นใยซิลิก้าบริสุทธิ์มีความเพี้ยนต่ำมาก

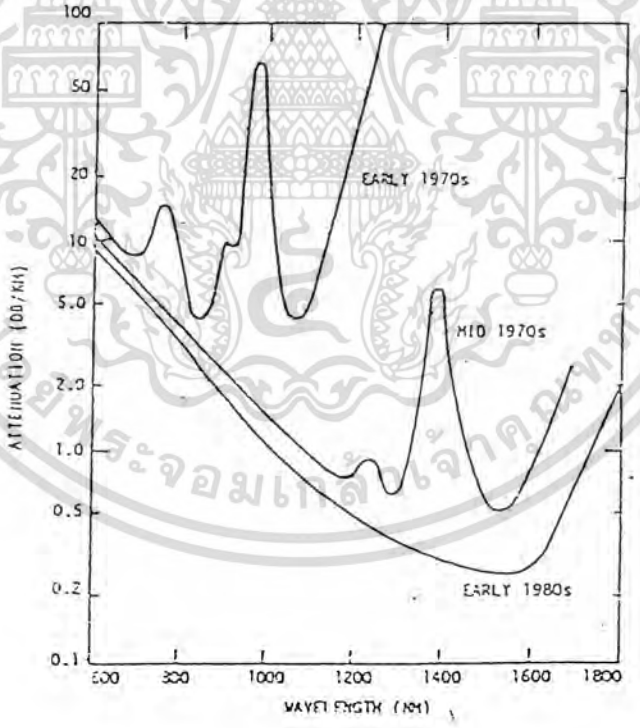


รูปที่ 3.5 อุปกรณ์หลักการเชื่อมโยงส่งผ่านเส้นใยแสง

ได้มีการเริ่มต้นวิจัยส่วนประกอบของเส้นใยชนิดใหม่ๆ สำหรับใช้ในย่านความยาวคลื่น 3-5 ไมโครเมตร เริ่มต้นจากจุดสำคัญที่น่าสนใจเกี่ยวกับโลหะฮาไลด์ ที่มีผลึกมากกว่าหลายผลึก เช่น ซิงค์คลอไรด์ (SnC12), ธอลเลี่ยมไบรไมด์ (TIBr), และธอลเลี่ยมโบรไมไอโอได (KPS-5) การพยากรณ์เป็นเพียงสมมุติฐานคาดว่า เส้นใยเหล่านี้มีการลดทอนน้อยกว่า 0.01 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ความสำเร็จจากการผลิตเส้นใยที่มีการสูญเสียต่ำเหล่านี้จะก่อให้เกิดผลต่อการสื่อสารทางไกลอย่างมาก เมื่อเคเบิลได้ติดตั้งไปแล้วแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นส่วนสำคัญที่จะใช้ส่งถ่ายพลังงานของแสงเข้าไปในเส้นใยจะต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับคอร์ของเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารกึ่งตัวนำไดโอดเปล่งแสง (LED) และเลเซอร์ไดโอดเหมาะสมที่จะใช้เป็นแหล่งกำเนิดเครื่อง ส่งเพื่อจุดประสงค์นี้ เนื่องจากเอาท์พุทของแสงสามารถมอดูเลทโดยตรงกับกระแสไฟไบอัสที่แปรค่าได้ อย่างรวดเร็ว สัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเครื่องส่งอาจเป็นอนาล็อก หรือดิจิตอลอย่างหนึ่งอย่างใดก็ได้ ที่เครื่องส่งจะมีวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเหล่านี้ให้เป็นสัญญาณแสงจากการแปรค่ากระแสไฟที่ไหลผ่านแหล่งกำเนิดแสง แหล่งกำเนิดแสงเป็นสแควว-ลอว์-ดีไวซ์ (Square law device) ซึ่งหมายความว่าการแปรผันเป็นเส้นตรง (linear) ในวงจรขับกระแสจะมีผลตรงกันกับการเปลี่ยนแปลงเป็นเส้นตรงในวงจรออพติคอล เอาท์พุท เพาเวอร์ ในย่านความยาวคลื่น 800-900 นาโนเมตร โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดแสงเป็นโลหะผสมของอินเดียม-แกลเลียม-อาเซไนซ์-ฟอสฟอรัส (InGaAsp) หลังจากสัญญาณถูกส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วแล้ว การลดทอนและความเพี้ยนจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางไปตามลำดับเนื่องจากการกระจาย, การดูดซึม, และโครงสร้างที่ทำให้แสงกระจายในทางเดินของแสง ทางด้านรับการลดทอนและความเพี้ยนของออพติคอลเพาเวอร์เอาท์พุทจะถูกตรวจจับโดยโฟโต้ดีเท็คเตอร์



รูปที่ 3.6 การลดทอนของเส้นใยแสงขึ้นอยู่กับความยามคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทำนองเดียวกันกับแหล่งกำเนิดแสง โฟโต้ดีเท็คเตอร์ก็เป็นสแควว-ลอว์-ดีไวซ์ ด้วยเหมือนกัน เนื่องจากมันเปลี่ยนพลังงานแสงที่ได้รับเป็นกระแสไฟฟ้าทางเอาท์พุท (Photo-current) สารกึ่งตัวนำ PIN และ APD โฟโต้ดีเท็คเตอร์ทั้งสองตัวนี้ส่วนใหญ่ใช้ในการเชื่อมโยงการสื่อสารทางแสง อุปกรณ์ทั้งสองชนิดนี้ให้ประสิทธิภาพและการตอบสนองต่อความเร็วสูงมาก สำหรับการใช้งานปกติ APD โฟโต้ดีเท็คเตอร์จะใช้กับสัญญาณแสงที่รับได้ที่มีเพาเวอร์ระดับต่ำ เนื่องจากมีความไวสูง และโครงสร้างภายในมีการขยายซึ่งเป็นคุณสมบัติประจำตัวของมัน ซิลิคอนโฟโต้ดีเท็คเตอร์ใช้ในย่านความยาวคลื่น 800-900 นาโนเมตร ออพติคอลดีเท็คเตอร์ชนิดต่างๆ สามารถหามาใช้กับความยาวคลื่นที่ยาวกว่าได้ ส่วนประกอบที่ถูกเลือกใช้ในตอนแรกในย่านความยาวคลื่น 1100-1600 นาโนเมตร ก็คือโลหะผสมอินเดียม-แกลเลียม-อาเซไนซ์ (InGaAs)

การออกแบบเครื่องรับมีความยุ่งยากมากกว่าของเครื่องส่ง เนื่องจากมันต้องมีการขยายสัญญาณและมีการสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่จากสัญญาณที่ได้รับจากโฟโต้ดีเท็คเตอร์ ที่มีระดับสัญญาณต่ำที่มีอยู่ประจำ คุณภาพของเครื่องรับที่ต้องการเป็นอันดับแรกก็คือ ค่าออพติคอลเพาเวอร์ (Optical power) ต่ำสุดที่จำเป็นต้องใช้ในการคงค่าเออเรอร์พรอบบาบิลิตี้ Erro probability สำหรับระบบดิจิตอล (Digital) หรือ S/N สำหรับระบบอนาล็อกให้ได้ตามกำหนด สำหรับแต่ละดาต้า-เรท (Data rate) ที่ต้องการ เราจะเห็นได้ว่าความสามารถของเครื่องรับที่จะบรรลุผลในระดับที่ต้องการนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของโฟโต้ดีเท็คเตอร์, สิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบ, และคุณสมบัติของภาคขยายในเครื่องรับ

เมื่อสัญญาณแสงเดินทางไปในเส้นใยในระยะทางพอสมควร สัญญาณจะถูกลดทอนเกิดความเพี้ยนจนถึงองศา (Degree of distortion เป็น %) ที่จะต้องการทวนสัญญาณในสายรับ-ส่ง เพื่อที่จะทำการขยายสัญญาณ, สร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่ สถานีทวนสัญญาณแสงประกอบด้วยเครื่องรับและเครื่องส่ง ติดตั้งแบบหลังชนกัน ภาคเครื่องรับตรวจรับสัญญาณแสงและเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งต้องทำการขยายสัญญาณสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่ และส่งสัญญาณไฟฟ้าให้กับภาคเครื่องส่ง ภาคเครื่องส่งเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้ากลับเป็นสัญญาณใหม่ และส่งเข้าไปในเส้นใยแสง เงื่อนไขที่จะเป็นตัวกำหนดรายละเอียดว่าเมื่อไรจึงจะต้องการสถานีทวนสัญญาณแสงในระบบเชื่อมโยงทางแสงจะได้กล่าวพร้อมกันกับระบบเวฟเล้งธ์-ดีวิชชั่น-มัลติเพล็กซิ่ง (Wavelength division multiplexing) และระบบการจัดการเรื่องไลน์-โคดดิ้ง (Line-coding)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4ระบบเส้นใยแสง

แรกเริ่มการนำเทคโนโลยีของเส้นใยแสงมาใช้มีจุดประสงค์ เพื่อการเชื่อมโยงระบบโทรคมนาคมแบบดิจิตอลระหว่างจุดต่อจุด การเชื่อมโยงที่กำเนิดขึ้นครั้งแรก ส่วนใหญ่ได้ออกแบบสำหรับขนาดบิทจาก 2-50 Mb/s อุปกรณ์ไฟฟ้า-แสงที่ใช้ในระบบเหล่านี้ทำงานในย่านความยาวคลื่น 810-890 นาโนเมตร ซึ่งการสูญเสียจากการส่งผ่านเคเบิลใยแสงมีค่าที่กำหนดให้ 4-6 เดซิเบลต่อกิโลเมตร หลังจากการวางและต่อเคเบิลเข้าด้วยกันแล้ว ทำให้ได้ระยะทางระหว่างเทอร์มินอล 5-10 กิโลเมตร โดยไม่ต้องมีสถานีทวนสัญญาณ ซึ่งทำให้ไม่ต้องใช้บ่อพักสำหรับสถานีทวนสัญญาณในพื้นที่ที่มีชุมชนหนาแน่น และทำให้ลดสถานีทวนสัญญาณในโครงข่ายโทรคมนาคมในนครหลวงให้ไกลออกไปได้อีก ในยุคที่สองของระบบทำงานที่ความยาวคลื่น 1.3 ไมโครเมตร ซึ่งการสูญเสียจากการส่งผ่านเคเบิลใยแสง ประมาณ 0.5 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ซึ่งสามารถขยายการส่งสัญญาณให้ไกลออกไปอีก โดยไม่ต้องใช้สถานีทวนสัญญาณ

นอกจากการใช้งานด้านโทรคมนาคมแล้วก็ได้มีการติดตั้งเชื่อมโยงเส้นใยแสงในโรงไฟฟ้ากำลัง การเชื่อมโยงเหล่านี้ใช้ในการส่งข่าวสารสำหรับการป้องกัน, การอำนวยการ, และการควบคุม ซึ่งมีความสำคัญที่สุดในโรงไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่และประกอบด้วยเครื่องมือทันสมัย ข่าวสารดังกล่าวนี้จะถูกส่งโดยระบบการสื่อสารไมโครเวฟธรรมดาร่วมกันกับสายส่งกำลังต่างๆ และกับระบบการสื่อสาร อย่างไรก็ตามในเมืองใหญ่ๆ สิ่งรบกวนที่เกิดจากการวางโครงข่ายสายไฟฟ้าแรงสูงขนาด 275 กิโลโวลท์ ระบบการสื่อสารด้วยไมโครเวฟที่มีคุณภาพสูง ไม่สามารถที่จะดำเนินการด้วยความมั่นใจได้ อาคารสูงๆ ก็เป็นอุปสรรคสำคัญสำหรับการส่งสัญญาณไมโครเวฟด้วย เส้นใยแสงมีภูมิคุ้มกันต่อการเหนี่ยวนำสิ่งรบกวน ทำให้มีการส่งข้อมูลที่มีความจุสูงๆ ได้ ด้วยเหตุนี้จึงเป็นอีกระบบหนึ่งของการสื่อสารที่ดีมาก

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเส้นใยแสงขยายเข้าไปในวงจรชุมสายผู้เช่านี้ เป็นส่วนหนึ่งของโครงข่ายโทรคมนาคมที่เชื่อมต่อกับเครื่องปลายทางของผู้เช่าที่ตั้งอยู่ใกล้กับชุมสายกลาง สื่อการนำส่งที่ใช้กันมานานในโครงข่ายนี้คือ สายคู่ไขว้ทองแดง สายคู่ไขว้ทองแดงเหล่านี้ได้มีการปรับปรุงเป็นอย่างดี, อายุการใช้งานนาน, และการลงทุนสำหรับการใช้งานอย่างคุ้มค่าเป็นเวลาหลายสิบปีเพื่อใช้ส่งสัญญาณเสียงคำพูด อย่างไรก็ตามยังไม่เพียงพอสำหรับความต้องการที่เพิ่มขึ้น สำหรับการให้บริการหลายอย่างที่กว้างขึ้นอยู่กับที่อยู่อาศัยหรือสำนักงาน เช่น การชำระเงิน หรือการศึกษาทางโทรทัศน์, ห้องสมุด และการค้นหาข่าวสาร การประมวลผลทางวีดีโอ, อิเล็กทรอนิกส์เมล, การธนาคาร, และการซื้อของ

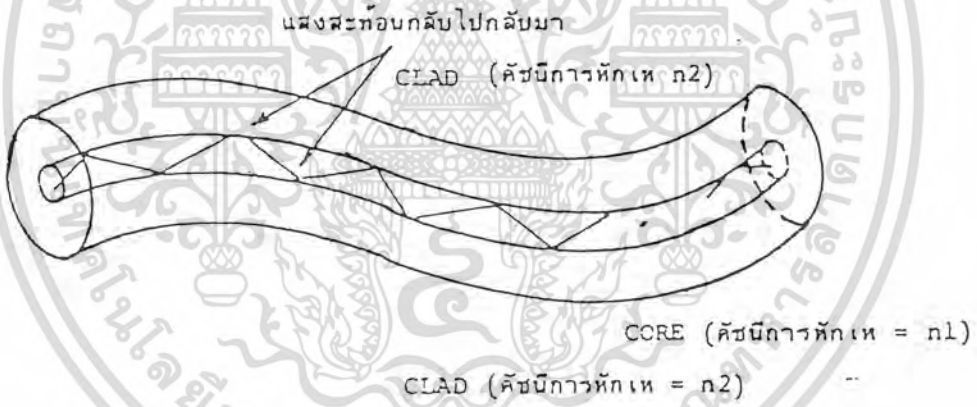
นี่คือสิ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างมากที่จะนำไปสู่การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเส้นใยแสงกับวงจรผู้เช่าจากชุมสายท้องถิ่นกับที่อยู่อาศัยหรือสำนักงาน ในทางตรงกันข้ามกับสายคู่ไขว้ทองแดง เส้นใยแสงจะให้การลดทอนต่ำ, ส่งข้อมูลได้จำนวนมาก, มีภูมิคุ้มกันต่อฟ้าผ่าและการรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า, ไม่มีการรบกวนระหว่างเส้นใย, และไม่ขึ้นกับสัญญาณความถี่จริงๆ ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีวงจรอิควอลไลซ์ ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรงกันข้ามกับสายคู่ไขว้ทองแดง โดยการนำลักษณะเด่นๆ เหล่านี้มาใช้เส้นใยแสงสำหรับวงจรผู้เช่าจะต้องออกแบบไว้ล่วงหน้าทั้งปัจจุบันและอนาคต สำหรับความต้องการการบริการหลายๆ อย่างที่เพิ่มมากขึ้น

3.5 แสงและอุปกรณ์ทางแสง

เส้นใยแสง (Fiber) มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 3.7 ประกอบด้วยส่วนในเรียกว่า แกน (Core) ทำด้วยสารที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า (Dielectric) และส่วนนอกที่หุ้มแกนอยู่นั้นเรียกว่า แคลด (Clad) ทำด้วยสารที่มีดัชนีการหักเหของแสงต่ำกว่าแกนเล็กน้อย สำหรับการสื่อสารใยแสงนั้นใช้ปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสงที่กล่าวข้างต้น โดยให้แสงเดินทางในแกนด้วยการสะท้อนกลับไปมาภายในแกนดังรูป



รูปที่ 3.7 การเดินทางของแสงภายในแกนของเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 โครงสร้างและการทำงานของการปล่อยแสงของสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor)

จากข้างต้นเป็นหลักการพื้นฐานของการปล่อยแสง ครานี้เรามาพิจารณาดูโครงสร้างการปล่อยแสงของสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor : ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติต่างกับโลหะ เช่น ทองแดง และอื่นๆ กล่าวคือ มันเป็นสารที่ไม่ค่อยจะยอมให้กระแสไหลผ่านตัวมันได้มากนัก) ที่ใช้ในการสื่อสารทั่วไป

(a) กรณีของอะตอมอันเดียว (b) กรณีรวมกับอะตอมอื่นๆ

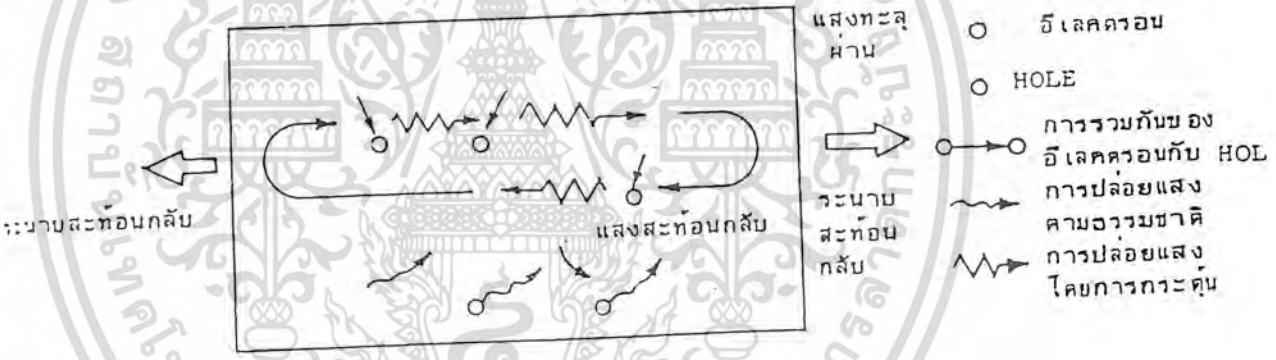
รูปที่ 3.8 ระดับพลังงานในสารกึ่งตัวนำ

สำหรับสารกึ่งตัวนำนั้น จะมีอะตอมจำนวนมากจัดเรียงกันอย่างมีระเบียบดังรูปที่ 3.8 ด้วยเหตุนี้อิเล็กตรอนของแต่ละอะตอมจะทำหน้าที่เชื่อมโยงกับอะตอมข้างเคียง และมีตำแหน่งอยู่ระหว่างอะตอมทั้งสองนั่นคือมันจะรับผลการดึงดูดจากอะตอมข้างเคียง สภาพพลังงานที่อะตอมได้รับนั้นถ้าหากจะกล่าวในทางควอนตัม-ไดนามิค (Quantum Dynamic) แล้วจะแตกต่างกับกรณีที่มีอะตอมเพียงอันเดียว ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในรูปที่ 3.8 กล่าวคือ ในกรณีนี้มันจะแบ่งออกเป็น 2 สภาพ สภาพหนึ่งเป็นระดับพลังงานสูงเรียกว่าคอนดัคชั่น-แบนด์ (Conduction Band) และอีกสภาพหนึ่งเป็นระดับพลังงานต่ำเรียกว่าวาเลียนซ์-แบนด์ (Valence Band) และสภาพทั้งสองนี้ต่างก็มีความกว้างของพลังงานอยู่

โดยปกติแล้วอิเล็กตรอนจำนวนมากจะรวมตัวกันอยู่ที่วาเลียนซ์-แบนด์ ซึ่งมีระดับพลังงานต่ำ และจะมีอิเล็กตรอนจำนวนเล็กน้อยอยู่ในคอนดัคชั่น-แบนด์ ซึ่งเป็นระดับพลังงานสูง ในขั้นแรกจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของเลเซอร์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Laser Diode เรียกชื่อย่อว่า LD) ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีพลังงานตามที่กล่าวมาแล้ว และใช้วิธีการกระตุ้นให้ปล่อยแสงออกมา สมมุติว่าจำนวนอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำมีค่าเป็น N และในจำนวน N นี้แบ่งไปอยู่ในวาเลียนซ์-แบนด์เสีย n_1 ตัว และไปอยู่ในคอนดัคชั่น-แบนด์ n_2 ตัว ในสภาพปกตินั้น n_1 จะมากกว่า n_2 และในสภาพเช่นนี้ ถ้าหากเราให้แสงจากภายนอกแก่มัน จะทำให้เกิดการกระตุ้นให้ปล่อยแสง และการดูดพลังงาน (Absorption) ซึ่งขนาดของมันจะเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนของ n_2 และ n_1 แต่โดยทั่วไปแล้ว การดูดพลังงานจะมีขนาดมากกว่าทำให้แสงที่ป้อนเข้ามามีขนาดลดลงไป แต่ทว่าหากมีวิธีการอย่างใดอย่างหนึ่งที่ทำให้ $n_2 > n_1$ (เรียกว่าเกิด Inversion Distribution) ได้แล้วละก็ จะทำให้การกระตุ้นให้ปล่อยแสงออกมามีค่ามากกว่าการดูดพลังงาน ในกรณีนี้จะทำให้ความเข้มข้นของแสงที่ป้อนเข้ามาเพิ่มขึ้น และเกิดปฏิกริยาการขยายแสง (Light Amplification Action)



รูปที่ 3.9 หลักการของการออสซิเลชั่นของแสง

เราอาจจะไม่ค่อยคุ้นกับคำว่าอินเวอร์ชั่น-ดิสทริบิวชั่น (Inversion Distribution) แต่ทว่ามันสามารถถูกทำให้เกิดขึ้นมาได้จริงๆ ด้วยการให้พลังงานจากภายนอก จากที่ได้ยกตัวอย่างการกระตุ้นอิเล็กตรอนด้วยการดูดพลังงานมาแล้ว แต่สำหรับสารกึ่งตัวนำนั้นปกติจะใช้วิธีการที่เรียกว่า ฉีด (Injection) อิเล็กตรอนโดยทำให้กระแสไหล ก็จะเกิดปฏิกริยาการขยายทางกระแสได้ ดังนั้นในกรณีของสารกึ่งตัวนำพลังงานจากภายนอกที่เป็นตัวทำให้เกิดการกระตุ้นให้ปล่อยแสง เพื่อปล่อยแสงออกมานั้นก็คืออิเล็กตรอนที่ฉีดเข้าไปนั่นเอง เมื่อสามารถทำให้เกิดการขยายดังกล่าวข้างต้นได้ และเช่นเดียวกันกับกรณีของวงจรไฟฟ้า กล่าวคือโดยการทำให้ขยายกลับไปมา จะสามารถทำให้แสงเกิดการออสซิลเลชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Oscillation) ได้ การขยายกลับไปมานั้นเป็นการกระทำให้เกิดคุณสมบัติพิเศษของแสงขึ้น หลักการขยายกลับไปมาทำได้โดยใช้ระนาบสะท้อนกลับ (Reflecting Plane) 2 อันวางหันหน้าเข้าหา นั่นคือแสงที่เกิดจากการกระตุ้นให้ปล่อยแสง (stimulated emission) นี้จะถูก ขยายไปพร้อมกับเคลื่อนที่ไปด้วย และเมื่อไปกระทบกับระนาบสะท้อนกลับแล้ว ส่วนหนึ่งของมันจะ ทะ ลุออกไปข้างนอก และส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับไปในทิศทางตรงกันข้ามกับครั้งแรก และเมื่อแสงที่ สะท้อนกลับนี้เมื่อไปถึงระนาบสะท้อนกลับอีกด้านหนึ่งก็จะเกิดผลเช่นเดียวกับในตอนแรกที่กล่าวมา แล้วคือ ส่วนหนึ่งจะทะลุออกไปข้างนอกและส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับไปในทิศทางตรงกันข้ามอีก ในระหว่างที่ทำให้เกิด การป้อนกลับ (Feedback ซึ่งเป็นการนำเอาส่วนหนึ่งของ Out Put ของการขยายกลับ ไปป้อนเข้าทาง Input อีก) ซ้ำกลับไปมาอยู่อย่างนี้ จะถึงจุดหนึ่งที่พลังงานที่ถูกขยายโดยการกระตุ้นให้ ปล่อยแสงมีค่ามากกว่าพลังงานที่สูญเสียไป เนื่องจากการดูดของอิเล็กตรอนที่อยู่ในวาเลียนซ์แบนด์ และที่จะทะลุออกไปจากระนาบการสะท้อนกลับ ณ จุดนี้การออสซิลเลชั่นจะเริ่มขึ้นการทำให้เกิดแสงเช่นนี้ เรียกว่า เลเซอร์ (Laser : Light Amplification By Stimulated Emission Of Radiation)

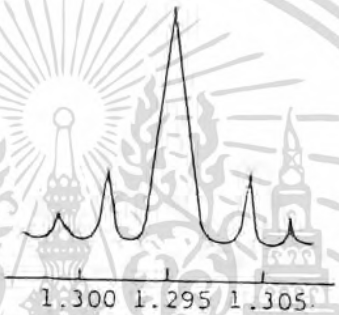
รูปที่ 3.9 การเกิดสแตนดิ้ง-เวฟของแสง

ในการที่ทำให้การออสซิเลชั่นเริ่มขึ้นได้นั้นต้องใช้พลังงานจากภายนอก (การฉีดกระแสเข้าไป) ที่มีจำนวนมากกว่าค่าหนึ่งขึ้นไป และจำนวนกระแสที่ฉีดเข้าไปตอนทำให้เกิดการออสซิเลชั่น เริ่มขึ้นนั้นเรียกว่า เทรสโฮลด์-วาลู-คอเร้นท์ (Threshold Value Current) ต่อไปเรามาพิจารณาถึงความยาวคลื่นแสงของ LD จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ความยาวคลื่นแสงนั้นกำหนดจากผลต่างของพลังงานในคอนดัคชั่น-แบนด์และในวาเลียนซ์-แบนด์ แต่เนื่องจากว่าในระดับพลังงานทั้งสองต่างก็มีความกว้างของพลังงานอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช

ทำให้ความยาวคลื่นแสงก็มีค่าอยู่ในช่วงหนึ่งด้วยเช่นกัน แต่เนื่องจากขั้นตอนของการปล่อยแสงตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าทำให้เกิดการสะท้อนกลับไปมา (Resonance) ระหว่างระนาบสะท้อนกลับ นั่นคือสามารถทำให้เกิดความยาวคลื่นแสงของสแตนด์ดิ้ง-เวฟ เท่านั้นภายในรีโซเนเตอร์ (Resonator)

และเงื่อนไขที่ทำให้เกิดการรีโซแนนซ์นี้ก็คือ ความยาวของรีโซเนเตอร์ (ระยะห่างของระนาบสะท้อนกลับ) จะต้องมีค่าเป็นจำนวนเท่าที่เป็นเลขเต็มหน่วยของครึ่งหนึ่งของความยาวแสง นั่นคือ = n* ($\lambda/2$) โดยปกติแล้วความยาวของรีโซเนเตอร์จะมากกว่าความยาวแสงมาก ดังนั้นแสงที่ได้จาก LD จะมีความยาวแสงกระจายออกเป็นจำนวนมาก

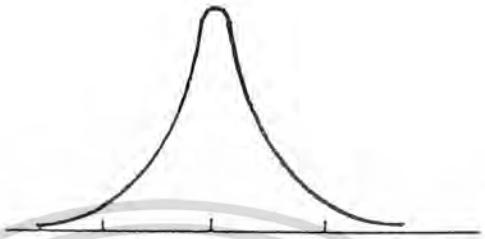


รูปที่ 3.10 ความยาวคลื่นต่างๆ ของ LASER

อนึ่งเกี่ยวกับคุณสมบัติของ LD นั้นต้องการให้มีการขยายกว้างออกของความยาวคลื่น (Wave Length Dispersion) น้อย ต้องทำให้จำนวนของความยาวคลื่นแสงมีน้อยมากเท่าไรยิ่งดี ด้วยเหตุนี้ได้มีการ พัฒนาทำให้ความยาวคลื่นแสงมีค่าเดียวโดยการสร้าง Distributed Feed Back Semiconductor Laser เรียก ย่อว่า DFB Laser ขึ้นมา จะเห็นได้ว่า Laser Oscillation นั้นจะเกิดขึ้นได้จะต้องมีครบ 3 อย่างคือ Inversion Distribution, Stimulated Emission และ Resonance

ส่วนทางด้านไดโอดปล่อยแสง (LED : Light Emitting Diode) นั้นต่างกับ LD คือ แทนที่จะใช้ปรากฏการณ์กระตุ้นให้ปล่อยแสง แต่จะใช้ปรากฏการณ์ของการปล่อยแสงตามธรรมชาติแทน ดังนั้นแสงที่ได้ออกมาจะมีช่วงความยาวคลื่นแสงกว้างมากทั้งนี้ เพราะกำหนดจากความสัมพันธ์ของพลังงาน ของคอนดัคชั่น-แบนด์กับวาเลียนซ์-แบนด์ ที่มีความกว้างของพลังงานอยู่ในตัว และช่วงความยาวคลื่นแสง (Spectrum Width) และกำลังขาออก (output power) ของ LED เมื่อเทียบกับ LD แล้วมีค่าน้อยกว่า แต่มีข้อดีคือ โครงสร้างของ LED ไม่ยุ่งยากทำให้สร้างได้ง่าย และมีราคาถูกกว่ามาก ช่วงความยาวคลื่นแสงของ LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ช่วงความยาวคลื่นแสงของ LED

3.6 สารที่ใช้ในการสร้างและโครงสร้างของอุปกรณ์ปล่อยแสง

สารที่ใช้ในการสร้างอุปกรณ์ปล่อยแสง

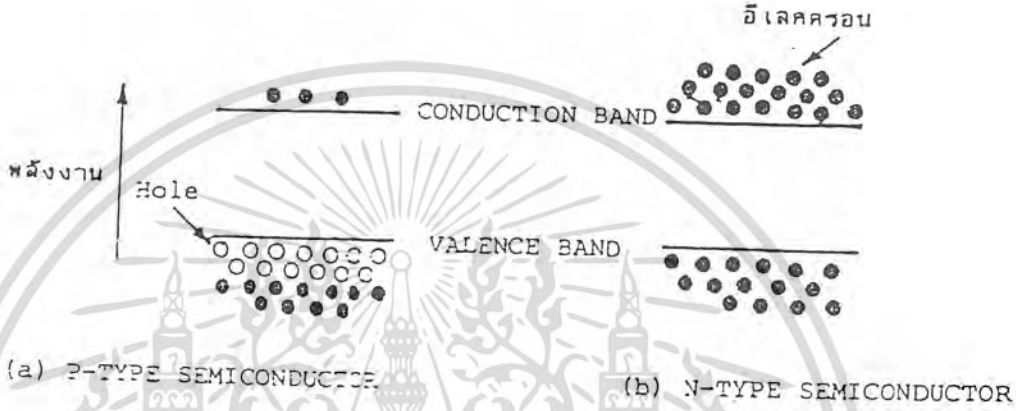
จากที่กล่าวมาแล้วนั้นว่าปรากฏการณ์ปล่อยแสงนั้นไม่ได้เกิดขึ้นกับสารกึ่งตัวนำทุกชนิด ทั้งนี้ก็เพราะว่ามีสารพวกที่เกิดปรากฏการณ์ปล่อยแสงง่ายกับสารพวกที่เกิดการปล่อยแสงยาก เนื่องจากการปล่อยแสงนั้นเกิดจากการที่อิเล็กตรอนถ่ายเทจากคอนดัคชั่น-แบนด์ไปยังวาเลียนซ์-แบนด์ จึงแบ่งสารออกเป็นพวกที่อิเล็กตรอนถ่ายเทได้ง่ายกับพวกที่อิเล็กตรอนถ่ายเทได้ยาก พวกที่อิเล็กตรอนถ่ายเทได้ง่ายเรียกว่าไดเร็กท์-ทรานเฟอร์-เซมิคอนดัคเตอร์ (Direct Transfer Semiconductor) พวกที่อิเล็กตรอนถ่ายเทยากเรียกว่าอินไดเร็กท์-ทรานเฟอร์-เซมิคอนดัคเตอร์ (Indirect Transfer Semiconductor) ตัวอย่างของสารพวกไดเร็กท์-ทรานเฟอร์-เซมิคอนดัคเตอร์ ได้แก่ สารประกอบของ Indium (In), Gallium (Ga), Asenide (As) และฟอสฟอรัส (P) คือ InGaAsP, สารประกอบของ Gallium, Aluminum, Asenide คือ GaAlAs เป็นต้น อนึ่งสารพวก Silicon (Si) Germanium (Ga) ที่ใช้ทำทรานซิสเตอร์, IC ส่วนใหญ่เป็นอินไดเร็กท์-ทรานเฟอร์-เซมิคอนดัคเตอร์ ซึ่งปล่อยแสงออกมายาก เนื่องจากความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมานั้นเป็นสัดส่วนกับผลต่างของพลังงานของคอนดัคชั่น-แบนด์กับวาเลียนซ์-แบนด์ แต่ทว่าผลต่างของพลังงานนี้จะมีค่าแตกต่างกันตามส่วนประกอบสารกึ่งตัวนำ จึงทำให้มีความยาวคลื่นแสงค่าต่างๆ ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับสารประกอบของอุปกรณ์ปล่อยแสง และจากการ พิจารณาถึงคุณสมบัติต่างๆ ของสารในทางปฏิบัตินั้นสำหรับย่านความยาวคลื่นสั้น 0.85 μm นิยมใช้ GaAlAs และผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวคลื่นยาว 1.3 μm นิยมใช้ InGaAsP ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง การเลือกใช้ความยาวคลื่นแสงถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากจึงมีผลจำกัดต่อการเลือกใช้สารประกอบ

รูปที่ 3.12 ความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาของสารประกอบกึ่งตัวนำแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) P-TYPE SEMICONDUCTOR **(b) N-TYPE SEMICONDUCTOR**

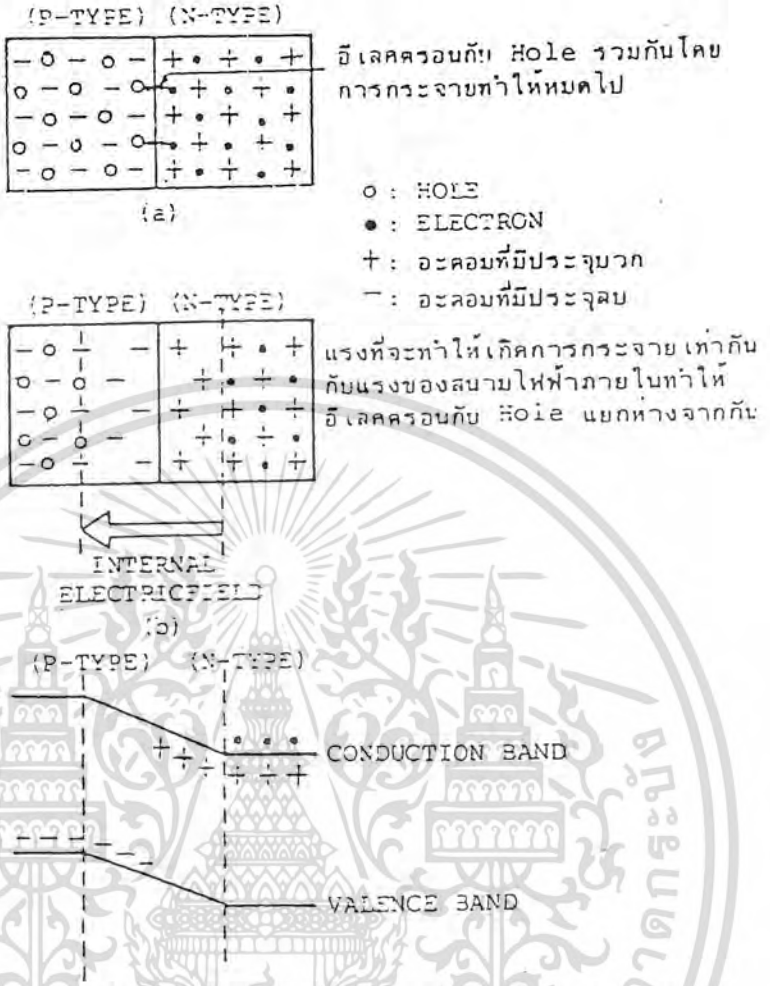
รูปที่ 3.18 ระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำแบบ P-type และ N-type

3.7 โครงสร้างของอุปกรณ์ปล่อยแสง

a) P-N JUNCTION

เกี่ยวกับโครงสร้างของอุปกรณ์ปล่อยแสง จากทางด้านการใช้งานเพื่อให้ได้กำลังการปล่อยแสงที่มีประสิทธิภาพสูงนั้น การนำสารกึ่งตัวนำ P และ N มาเชื่อมต่อกัน (Junction) นั้นเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง ดังนั้นเพื่อให้เข้าใจการขั้นตอนปล่อยแสง อันเนื่องมาจากโครงสร้างของอุปกรณ์ปล่อยแสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำนั้นในที่นี้จะกล่าวถึง คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำแบบ P-type และแบบ N-type ก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 สนามไฟฟ้าภายในและระดับพลังงานของ P-N JUNCTION

สำหรับสารกึ่งตัวนำนั้นปกติจำนวนของอิเล็กตรอน (หรือจำนวนโฮล) ที่มีอยู่นั้นจะมีค่าคงที่ตามชนิดของอะตอม และอิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะรวมตัวกันอยู่ในวาเลียนซ์-แบนซ์ สารกึ่งตัวนำที่มีสภาพอย่างนี้เรียกว่า จีเนียน์-เซมิคอนดัคเตอร์ (Genuine Semiconductor) แต่สารที่เรียกว่า พี-ไทป์-เซมิคอนดัคเตอร์ (P-type Semiconductor) นั้นมีสภาพที่มีจำนวนโฮล (อนุภาคที่มีประจุบวกในตัว) และมีอิเล็คตรอน (มีประจุลบในตัว) น้อย ส่วนสารที่เรียกว่า เอ็น-ไทป์-เซมิคอนดัคเตอร์ (N-type Semiconductor) นั้นจะมีสภาพตรงกันข้ามกับ พี-ไทป์-เซมิคอนดัคเตอร์ กล่าวคือ มีอิเล็ก ตรอนมากกว่าโฮลและจำนวนอิเล็กตรอนที่มากเกินนี้จะรวมตัวกันอยู่ในคอนดัคชั่นแบนด์

คราวนี้สมมติว่า เรานำสารกึ่งตัวนำทั้งสองแบบมาเชื่อมต่อกัน และบริเวณที่เชื่อมต่อกันนั้น อิเล็คตรอนที่มีจำนวนมากใน N-type จะรวมตัวกับโฮลที่มีจำนวนมากใน P-type และจากบริเวณปริมาณการรวมตัวที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ นั้น ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าลบใน P-type และเกิดประจุไฟฟ้า บวกขึ้นใน N-type (เพราะว่าอิเล็กตรอนลดลงเหลือแต่โฮล) จากผลอันนี้ทำให้เกิดสภาพดีพลีชั่น-โซน (Depletion Zone) ขึ้นตรงบริเวณใกล้ๆ รอยเชื่อมต่อและได้โครงสร้างของระดับพลังงาน เกี่ยวกับโครงสร้างของระดับพลังงานนี้มีความหมายสำคัญอย่างยิ่งยวดในการนำไปใช้ พิจารณาโครงสร้างของอุปกรณ์ปล่อยแสง

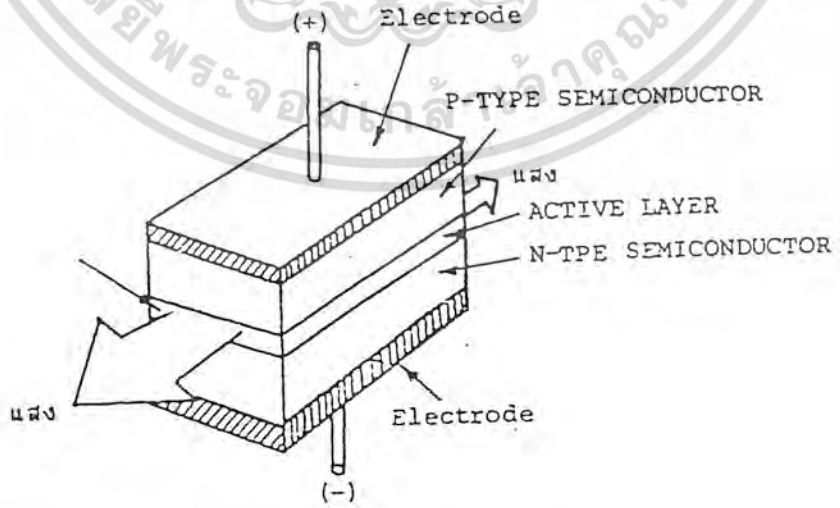
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 โครงสร้างของ LD

โดยทั่วไปแล้ว LD จะมีโครงสร้างเป็น 3 ชั้น (Three Layers) ในการทำให้ เกิดเลเซอร์-ออสซิลเลชั่น (Laser Oscillation) นั้นคือส่วนที่ทำหน้าที่เป็น รีโซเนเตอร์ ซึ่งเรียกว่า แอคตีฟ-เลเยอร์ (Active Layer) ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ระหว่าง พี-ไทป์-เซมิคอนดัคเตอร์กับ เอ็น-ไทป์-เซมิคอนดัคเตอร์

ถ้าหากทำให้กระแสไหลจากขั้วบวก ไปยังขั้วลบ (ทำการฉีดกระแส : Current Injection) จะเกิดแสงเลเซอร์ออกมาในทิศทางที่แสดงด้วยลูกศร เกี่ยวกับวิธีการเกิด ออสซิลเลชั่น ของ LD นั้นอธิบายโดยเน้นตรงบริเวณชั้นทั้ง 3 ของ P-type, N-type และแอคตีฟ-เลเยอร์นี้สำหรับโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำอย่างนี้เรียกว่าดับเบิล-ฮีทีโร-จังชั่น (Double Hetero Junction) คำว่า "ดับเบิล-ฮีทีโร-จังชั่น" นั้นหมายความว่า Junction ของชั้นสารที่มีส่วนประกอบต่างกันนั้นมี 2 ด้าน โครงสร้าง, ระดับพลังงานและลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหการหักเหของ LD

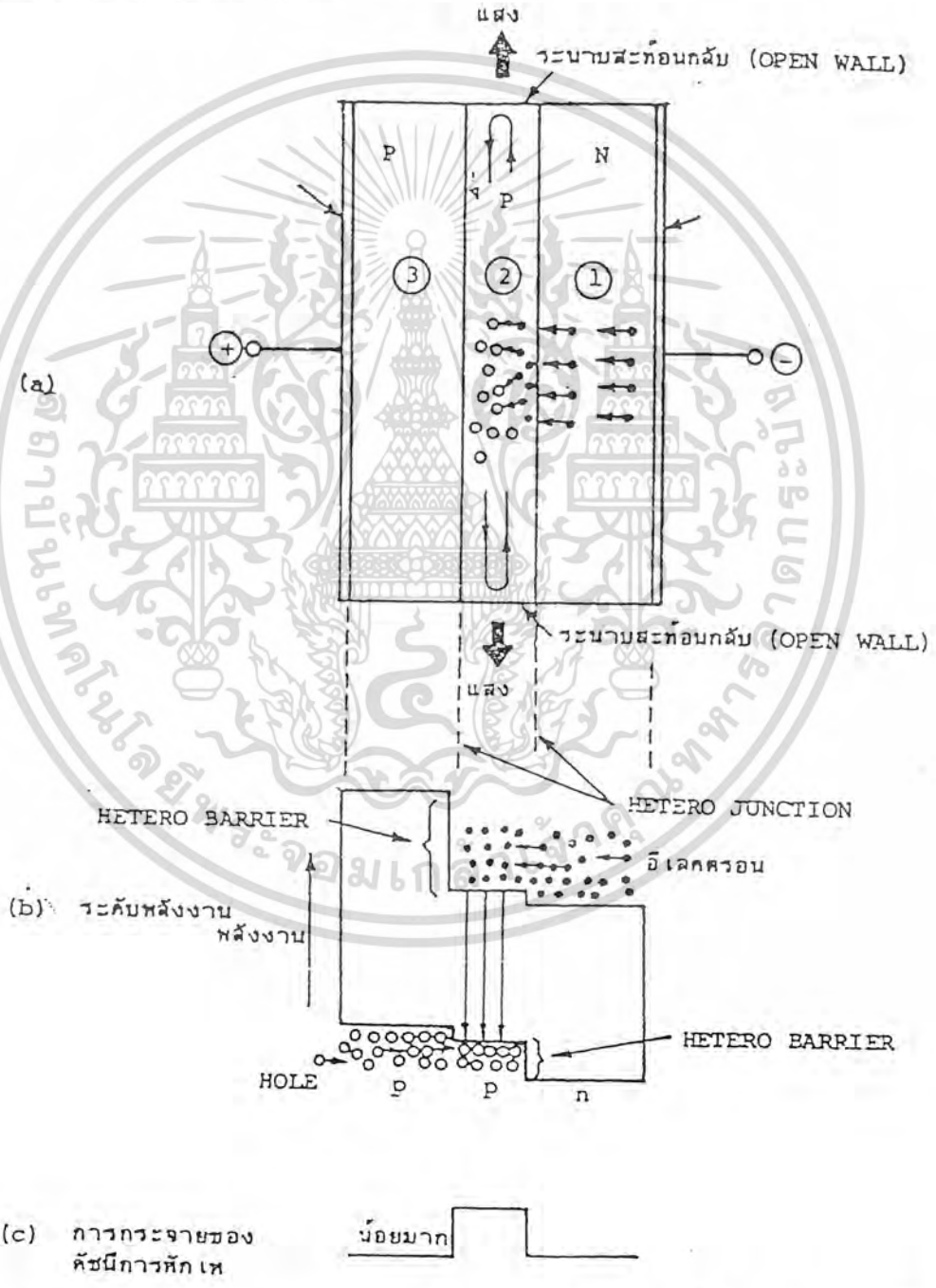
ในการทำให้เกิดเลเซอร์-ออสซิลเลชั่นนั้น จะต้องทำให้ผลต่างระหว่างระดับพลังงาน คอนดัคชั่น-แบนด์ ของพี-ไทป์-เซมิคอนดัคเตอร์ และคอนดัคชั่น-แบนด์ ของแอคตีฟ-เลเยอร์ มีค่ามาก พร้อมทั้งทำให้ผลต่างระหว่าง พลังงานของคอนดัคชั่นแบนด์ กับวาเลียนซ์แบนด์ ของ พี-ไทป์-เซมิคอนดัคเตอร์ มีค่ามากด้วย นอกจากนั้นยังจะต้องทำให้ระดับพลังงานของ วาเลียนซ์-แบนด์ ของเอ็น-ไทป์-เซมิคอนดัคเตอร์ มีค่าต่ำกว่าระดับพลังงานของแอคตีฟ-เลเยอร์ ด้วย จากนั้นจึงนำมาเชื่อมต่อกันจะได้ระดับ พลังงานดังเมื่อทำให้กระแสไหลในเซมิคอนดัคเตอร์ ที่มีการเชื่อมต่อกันในลักษณะที่กล่าวข้างต้นโดยมีให้มีทิศทางไหลจาก P-type ไปหา N-type จะเป็นผลให้อิเล็กตรอนส่วนเกินที่อยู่ใน N-type เคลื่อนที่ไปยัง P-type และโฮลส่วนเกินที่ มีอยู่ใน P-type



รูปที่ 3.14 โครงสร้างทั่วไปของ LD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนที่ไปยัง N-type ผลของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลเหล่านี้ ทำให้เกิดมีอิเล็กตรอนและโฮล อยู่ภายในแอคตีฟ-เลเยอร์ (แสดงด้วย (2) ในรูป และโดยทั่วไปแอคตีฟ-เลเยอร์นี้จะใช้สาร P-type) เมื่อมาถึงจุดนี้ให้สังเกตระดับพลังงานของเลเยอร์ทั้ง 3 ที่แสดงในรูปที่ 2.34 (b) จะเห็นว่าเกิดมีกำแพงของพลังงาน (เรียกว่า Hetero Barrier) ขึ้น ทำให้เกิดอิเล็กตรอนและโฮลที่เคลื่อนที่ไปนั้นถูกขังอยู่ในแอคตีฟ-เลเยอร์ เป็นผลให้เกิดสภาพ อินเวอร์ชั่น-ดิสทริบิวชั่น (Inversion Distribution) ได้อย่างดีทำให้มีผลการ ขยายความเข้มของการปล่อยแสง

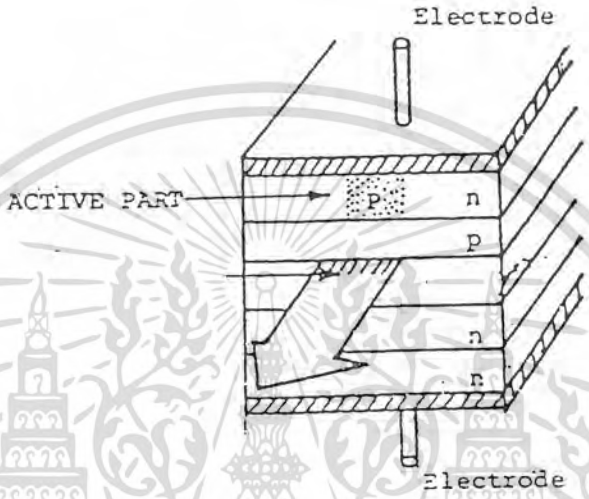


รูปที่ 3.14 โครงสร้าง, ระดับพลังงานและลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของ LD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนึ่ง โดยการทำให้ดัชนีการหักเหของแอคตีฟ-เลเยอร์ มีค่ามากกว่าเลเยอร์ข้างเคียง แสงที่ปล่อยออกมาจะถูกกัก และเดินทางอยู่ในแอคตีฟ-เลเยอร์

จากผลการกักอิเล็กตรอนและโฮลเอาไว้ในแอคตีฟ-เลเยอร์และผลการกักแสงไว้ในแอคตีฟ-เลเยอร์ ทำให้ได้การปล่อยแสงที่มีประสิทธิภาพที่ดีได้



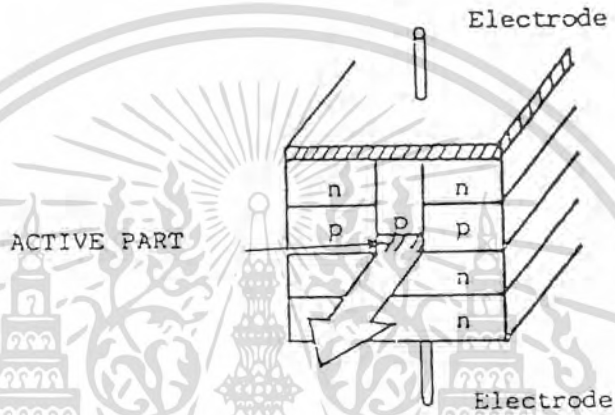
รูปที่ 3.14 โครงสร้างแบบพลานาร์-สตริฟ

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าแสงจะออกมาจากระนาบสะท้อนกลับ โดยที่ระนาบสะท้อนกลับนี้ทำจากการใช้สิ่งที่คมมากๆ คล้ายใบมีดโกนไปตัดสารกึ่งตัวนำที่ประกอบกันเป็น LD ให้มีช่องเปิด เรียกว่า โอเพ็น-วอลล์ (Open Wall) โดยการทำเช่นนี้แสงเลเซอร์จะถูกกักขังอยู่ในแอคตีฟ-เลเยอร์ได้ ดีแต่ทว่าเมื่อมันเดินทางมาถึง โอเพ็น-วอลล์ มันจะหลุดออกมาข้างนอกตลอดแนวของ โอเพ็น-วอลล์ นี้ทำให้ประสิทธิ ภาพการเชื่อมแสงเข้ากับเส้นใยแสงไม่ดีด้วยเหตุนี้เพื่อเป็นการทำให้ประสิทธิภาพดีจำเป็นต้องมีการปรับ ปรุงต่างเพื่อให้มีปฏิกิริยาการนำคลื่นแสงในทิศทางแนวนอน (Horizontal) ด้วยตัวอย่างอันหนึ่งของวิธีการปรับปรุงก็คือ สิ่งที่เรียกว่า พลานาร์-สตริฟ-สตรัคเจอร์ (Planar Strip Structure)

เพื่อให้การผลิต LD ทำได้ง่าย (การสร้างผลึกและการสร้างขั้วไฟฟ้า) จะทำให้มีโครงสร้างเป็น 5 ชั้น และทำให้บริเวณที่มีกระแสไหลมีขนาดแคบ ส่วนเลเซอร์-ออกซิลเลเตอร์ เป็นการใช้หลักการที่ทำให้ออสซิเลชั่นเกิดขึ้นเฉพาะตรงส่วนที่กระแสไหลนั่นคือ ตรงส่วนที่มีการกระตุ้น (Stimulation) เท่านั้นจากรูป 2.35 จะเห็นว่าชั้นบนสุดมีขั้วไฟฟ้าบวก ติดอยู่เป็น N-type เกือบทั้งหมด แต่จะมีเฉพาะส่วนหนึ่งเท่านั้นซึ่งแคบมากเป็น P-type เมื่อทำดังนี้จะไม่มีกระแสไหลตรงส่วนเชื่อมต่อของ P-type, แอคตีฟ-เลเยอร์ และ N-type (ทั้งนี้เพราะว่าจากคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำกระแสจะไม่ไหลจาก N-type ไปยัง P-type)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ในทางตรงกันข้ามกระแสจะไหลเฉพาะตรงส่วนเชื่อมต่อของ P-type, N-type แอคตีฟ-เลเยอร์ นั่นคือ ส่วน P-type ของชั้นที่ 1 จะทำหน้าที่เป็นทางไหลเข้าของกระแสกลายเป็นแถบ (Stripe) ส่วนหนึ่งของแอคตีฟ-เลเยอร์ จึงเรียกว่า พลานาร์-สตริฟ-ไทป์ โครงสร้างแบบอื่นที่มีคุณสมบัติดีกว่าแบบ พลานาร์-สตริฟ-ไทป์ และนิยมใช้กันมากคือ แบบเอ็มเบ็ดดิ้ง-สตริฟ-ไทป์ (Embedding Stripe Type)



รูปที่ 3.15 โครงสร้างของเอ็มเบ็ดดิ้ง-สตริฟ-ไทป์

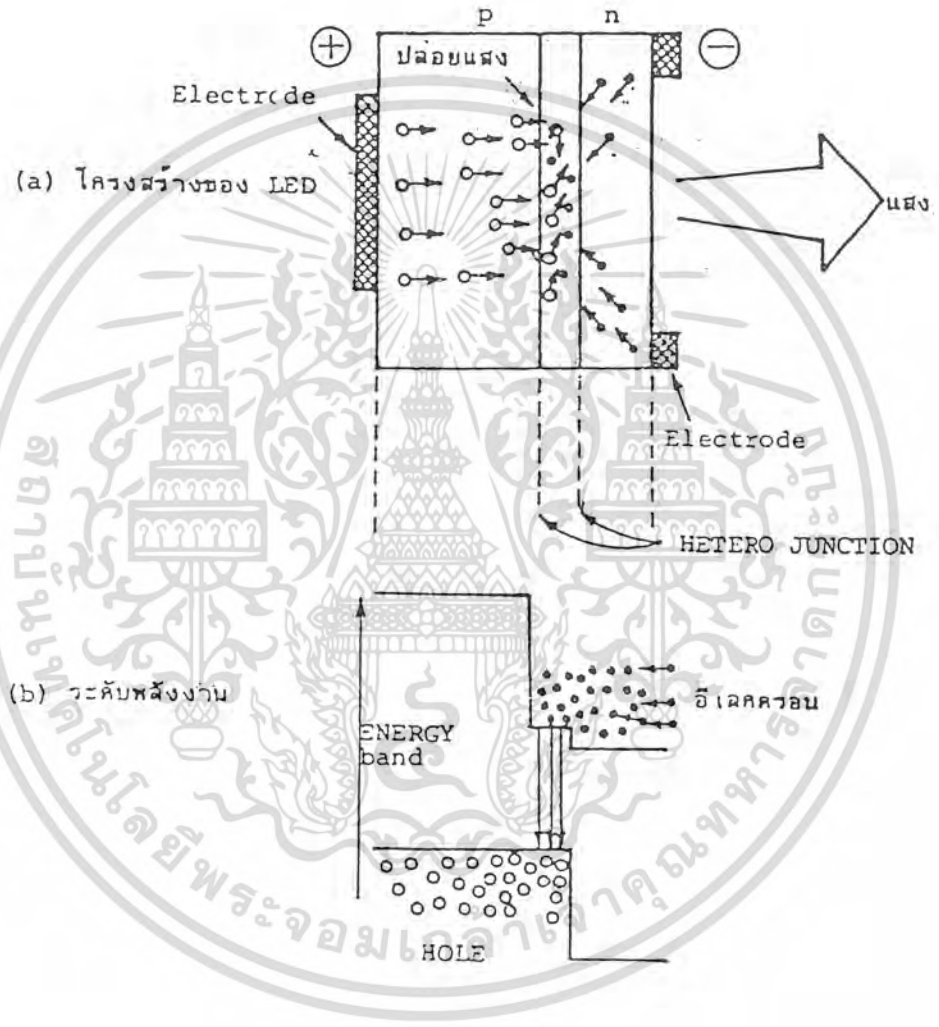
โครงสร้างนี้มีลักษณะพิเศษตรงที่ทำให้ค่าดัชนีการหักเหของแอคตีฟ-เลเยอร์มีค่าสูงทั้งส่วนบน, ล่าง, ซ้าย, ขวา นั่นคือส่วนบนของแอคตีฟ-เลเยอร์ของ P-type อยู่ซึ่งจะเหมือนกับ พลานาร์-สตริฟ-ไทป์ และกระแสจะไหลเฉพาะในส่วนนี้เท่านั้นจากข้างบนไปข้างล่างนอกจากจะสามารถทำให้เกิดเลเซอร์-ออสซิลเลชั่น ด้วยกระแสที่มีค่าน้อยแล้ว ยังทำให้ค่าดัชนีการหักเหของแอคตีฟ-เลเยอร์มีค่าสูงมากขึ้นอีก จึงเป็นผลให้ประสิทธิภาพของการกักแสงเพิ่มขึ้น สามารถให้แสงที่ปล่อยออกมาเป็นลำแสงที่คม (Sharp) มาก

3.8 โครงสร้างของ LED (Light Emitting Diode)

โครงสร้างพื้นฐานของ LED เหมือนกันกับของ LD กล่าวคือเป็น ดับเบิล-ฮีทีโร-จังชั่น อิเล็กตรอนที่ไหลผ่าน P-N Junction จะไปรวมกับโฮลภายในแอคตีฟ-เลเยอร์ เช่นเดียวกันกับกรณีของ LD และจะเกิดการปล่อยแสงขึ้นภายในแอคตีฟ-เลเยอร์ เนื่องจากถูกกักด้วยกำแพง ของฮีทีโร-จังชั่น แต่สำหรับกรณีของ LED นั้น โครงสร้างของมันไม่มีการขยายออสซิลเลชั่นของแสง เหมือนอย่าง LD (ไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระนาบสะท้อนแสง) แสงที่ปล่อยออกมาตรงส่วนที่อยู่ห่างจากด้านข้างนั้น จึงออกจากด้านข้างได้ยาก ด้วยเหตุนี้ LED ทั่วไปจึงให้แสงปล่อยออกมาข้างนอกจากด้านหน้าที่ต่อกับขั้วไฟฟ้า

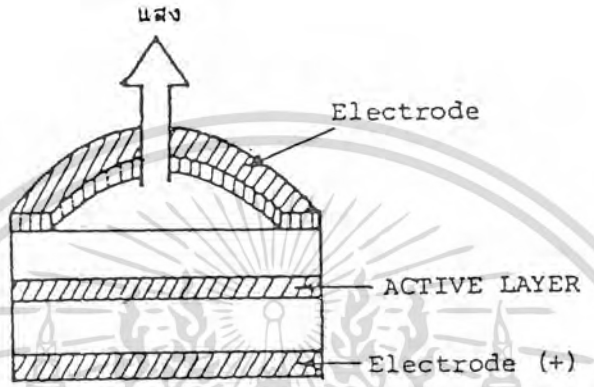


รูปที่ 3.16 โครงสร้างและระดับพลังงานของ LED

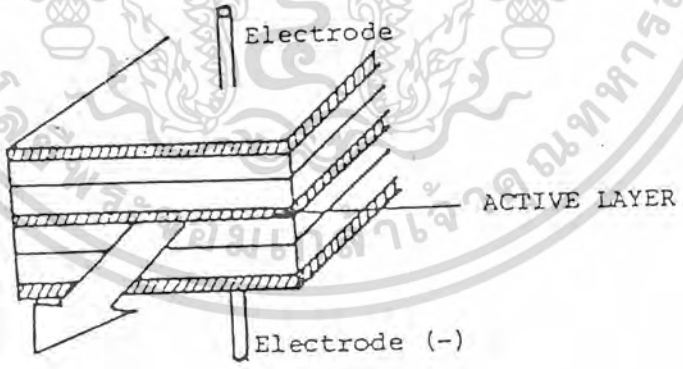
ตัวอย่างโครงสร้างของ LED แบบที่ปล่อยแสงออกมาทางด้านหน้า (Face Emission Type Led) จากรูปจะเห็นได้ว่าเพื่อเป็นการทำให้แสงปล่อยออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ขั้วไฟฟ้าทางด้านที่ปล่อยแสงออกมาจะต้องมีรูปร่างเป็นรูปวงแหวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ในปัจจุบันได้มีการผลิต LED อีกแบบหนึ่งขึ้นมา โดยการทำให้ค่าดัชนีการหักเหของ แอคตีฟ-เลเยอร์มีค่าสูง และทำให้เกิดปฏิกิริยาการนำแสงขึ้นในแอคตีฟ-เลเยอร์และให้ปล่อยแสงออกมา จากทางด้านข้างของ แอคตีฟ-เลเยอร์เหมือนกันกับ LD



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างโครงสร้างของ LED แบบปล่อยแสงทางด้านหน้า



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างโครงสร้างของLED แบบปล่อยแสงออกทางด้านข้าง

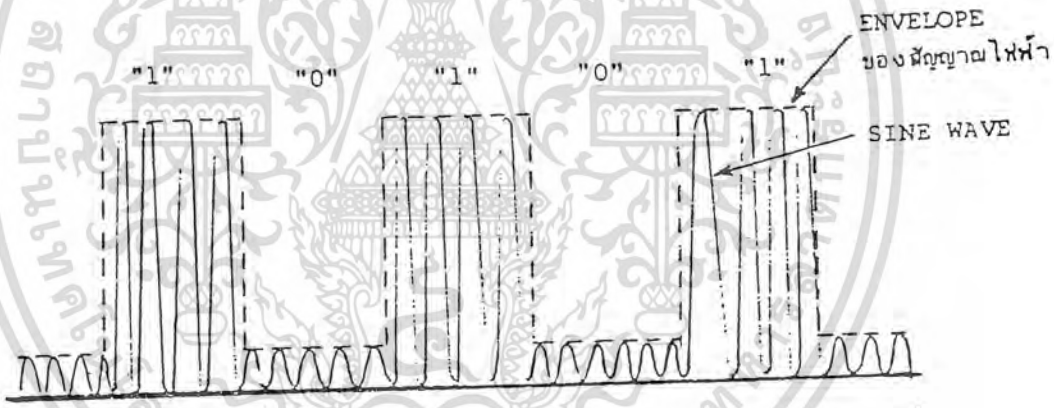
LED แบบนี้เรียกว่า LED แบบปล่อยแสงออกทางด้านข้าง (Side Emission Type Led) และเมื่อเปรียบเทียบกับแบบปล่อยแสงออกทางด้านหน้า แล้วปรากฏว่า โดยการให้กระแสผ่านเท่ากันทำให้แสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกมามีกำลังน้อยกว่าแบบปล่อยแสงออกมาทางด้านหน้า แต่เนื่องจากบริเวณการปล่อยแสงมีขนาด แคบมากกว่าจึงมีข้อดีที่ว่าประสิทธิภาพการเชื่อมแสงกับเส้นใยแสงสูงกว่า

3.9 คุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์ปล่อยแสง

คุณสมบัติต่างๆ ที่ต้องการจากอุปกรณ์ปล่อยแสงก็คือ คุณสมบัติการผสมของแสงกับไฟฟ้า (นั่นคือ output power ของแสง, ความเป็นเส้นตรงหรือ Linearity), ความกว้างของสเปกตรัมของแสง, ความเร็วในการตอบสนองต่อความถี่ (Frequency Response Speed) เป็นต้น ยกตัวอย่าง เช่น ในการส่งสัญญาณ Digital, output wave form ที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 2.40 กล่าวคือแสงจะเกิดการกระพริบสว่าง, ดับ ตามสัญญาณไฟฟ้าที่เป็น "1" "2" ตามความเป็นจริงแล้วความยาวคลื่นของแสงจะมีค่าสั้นกว่าความยาวคลื่น ของสัญญาณไฟฟ้ามาก ดังนั้นใน Envelope "1" ของสัญญาณไฟฟ้าจะมีแสงที่มีความยาวคลื่นหลายค่าอยู่ ข้างใน ส่วนคุณสมบัติการผสมของอุปกรณ์ปล่อยแสง

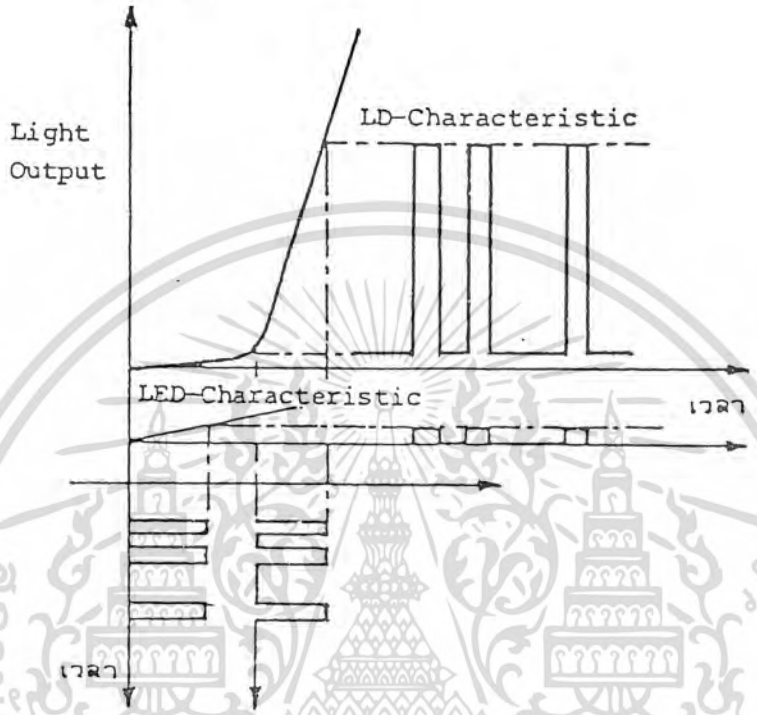


รูปที่ 3.19 รูปคลื่นทางด้านเอาท์พุทของแสงและการมอดูเลชั่นในการส่งสัญญาณดิจิตอล

จะเห็นได้ว่าเนื่องจาก LED ใช้ปรากฏการณ์ปล่อยแสงตามธรรมชาติ ดังนั้นปริมาณของแสงที่ปล่อยออกมาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสที่ป้อนเข้าไป (กระตุ้น) แต่สำหรับ LD นั้นใช้ปฏิกิริยาการออสซิลเลชั่น โดยการกระตุ้นให้ปล่อยแสง ดังนั้นปริมาณของแสงที่ปล่อยออกมานั้นมีลักษณะที่มีการเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเลยค่าของกระแสค่าหนึ่ง (Threshold Value Current) ไปแล้ว ตัวอย่างคุณสมบัติต่างๆ ของ LED และ LD ที่กล่าวมาแล้วในตาราง 3.1 จากการพิจารณาคุณสมบัติต่างๆ ในตารางนี้จะเห็นว่าเกี่ยวกับกำลังเอาท์พุทของแสงนั้น LD จะมีค่ามากกว่า เพราะมีการออสซิเลชั่นและการ

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขยายของแสงและเกี่ยวกับกำลังทางด้านอินพุทที่ป้อนเข้าไปในเส้นใยแสง เนื่องจาก LD มีคุณสมบัติของทิศทางของแสง (Directivity) ดีกว่า เป็นผลให้มีการสูญเสียการเชื่อมแสงกับเส้นใยแสงต่ำ ทำให้กำลังของแสงป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงได้มาก



รูปที่ 3.20 การมอดูเลชั่นแบบ LIGHT INTENSITY MODULATION

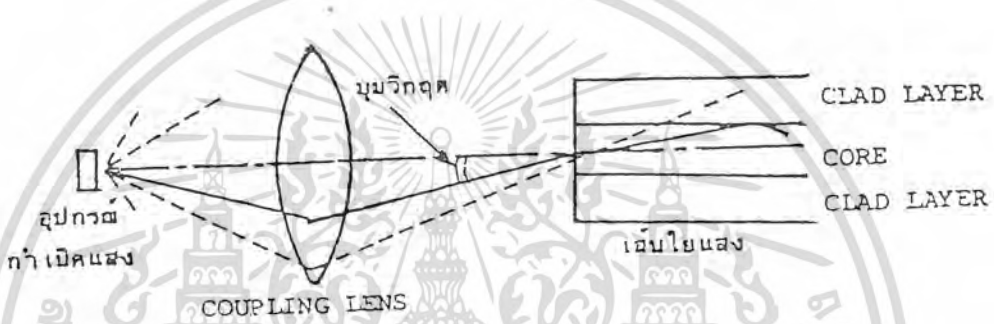
อุปกรณ์ที่ปล่อยแสง หัวข้อ	LED	LD
OUT POWER	2.5 mW	10 mW
INPUT POWER	$\leq$ 0.05 mW	$\leq$ 3 mW
ความกว้างของ SPECTRUM ที่จุด POWER ตกลงครึ่งหนึ่ง	100 nm	3 nm
FREQUENCY RESPONSE SPEED	$\leq$ หลายร้อย MHz	$\leq$ หลาย GHz
อายุการใช้งาน	$\leq 10^6$ ชั่วโมง	$\leq 10^6$ ชั่วโมง

ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์ปล่อยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 การเชื่อมอุปกรณ์ปล่อยแสงกับเส้นใยแสง

โดยทั่วไปแล้วแสงที่ปล่อยออกจากอุปกรณ์ปล่อยแสงจะกว้างออก เนื่องด้วยปรากฏการณ์การเบี่ยงเบนของแสง (Diffraction) การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสงที่มีขนาดเล็กประมาณ 10 หลายสิบ μm จึงเป็นการยาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการใช้วิธีการต่างๆ เช่น ใช้เลนส์มาทำการบีบแสงให้เล็กลง ในการเชื่อมแสงระหว่างอุปกรณ์ปล่อยแสง กับเส้นใยแสง

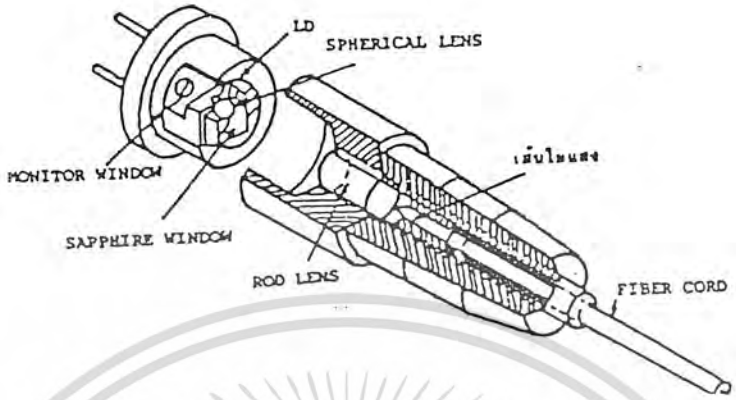


รูปที่ 3.21 การเชื่อมแสงระหว่างอุปกรณ์ปล่อยแสงกับเส้นใยแสง

ในการป้อนแสงเข้าไปในคอร์ของเส้นใยแสง จำเป็นต้องปล่อยแสงเข้าไปด้วยค่าของมุมตกกระทบที่อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า มุมรับแสงสูงสุดของเส้นใยแสง ตัวอย่างเช่น สมมุติว่าป้อนแสงเข้าไปด้วยมุมตกกระทบที่มีค่ามากกว่ามุมรับแสงสูงสุดของเส้นใยแสง จะเห็นว่าแสงที่ป้อนเข้าไปนี้จะทะลุออกไปยังแคล็ดหมด ด้วยเหตุนี้จึงต้องใช้เลนส์นำไปวางใกล้ๆ อุปกรณ์ปล่อยแสงเพื่อบีบแสงให้แคบลง ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากวางตำแหน่งของเลนส์ใกล้กับอุปกรณ์ปล่อยแสงมากเกินไปจะทำให้ลำแสงถูกขยายกว้างมากกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์ของเส้นใยแสง ทำให้ประสิทธิ ภาพการเชื่อมแสงต่ำลงไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับแต่งเลนส์ที่ใช้และปรับแต่งตำแหน่งของเลนส์ ระหว่างอุปกรณ์ปล่อยแสงกับเส้นใยแสงให้เหมาะสมถูกต้อง ซึ่งเป็นการปรับแต่งที่ละเอียดมาก

ตัวอย่างโครงสร้างของ LD-Module ที่เชื่อมต่อแสงกับเส้นใยแสงแบบ SM-type และตัวอย่างด้านนอกของ LD-Module, LED-Module โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับ SM-type, LD-Module เพื่อให้ประสิทธิภาพการบีบแสงเข้าไปในเส้นใยแสงดีนั้น นิยมใช้เลนส์ 2 ลักษณะคือ ทรงกลม กับทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) ตัวอย่างของ SEMICON DUCTOR LASER MODULE ที่ใช้กับเส้นใยแสงแบบ SM-type

(b) ตัวอย่างลักษณะภายนอกของ LD และ LED

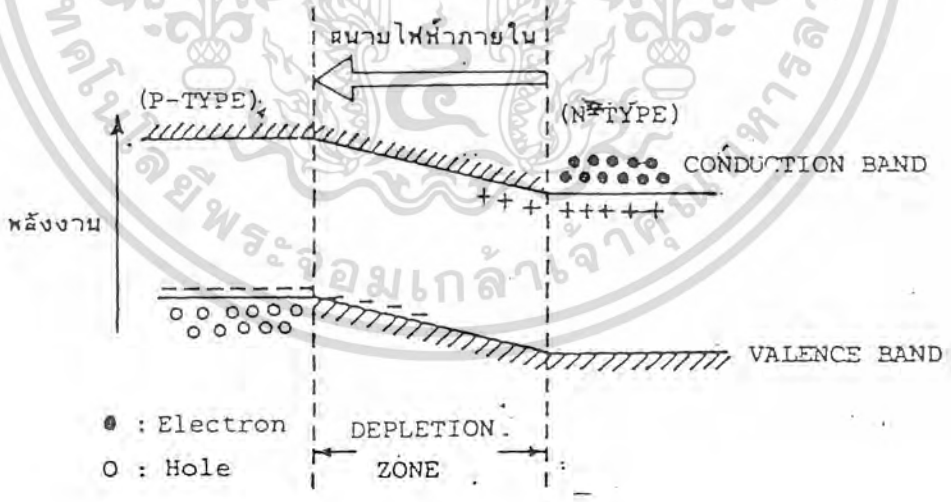
รูปที่ 3.22 ตัวอย่าง LD-Module และ LED-Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11 โครงสร้างและการทำงานของการรับแสง

การรับแสงหมายถึง การเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้าในการทำงานแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือวิธีที่หนึ่งเป็นการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้าโดยตรง วิธีที่สอง ทำได้โดยการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานความร้อนก่อนแล้วจึงเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าวิธีที่หนึ่งนั้นเรียกว่า photo electric effect ส่วนวิธีที่ สองเรียกว่า Sensitivitive Heat Effect Sentivitive Heat Effect นั้น โดยทั่วไปจะมีการตอบสนองช้ามาก และความไวไม่ดีจึงใช้กับ Termocouple, borometer และอื่นๆ แต่ไม่นำมาใช้กับการสื่อสารด้วยแสง ดังนั้นสำหรับการสื่อสารด้วยแสงจึงควรทำความเข้าใจโครงสร้าง และการทำงานของการรับแสงโดย photo electric effect สำหรับสารกึ่งตัวนำต่อไปนี้จะกล่าวถึง photo electric effect

หลักการของ photo electric effect ใช้ขบวนการดูดพลังงานตามที่ได้กล่าวมาแล้ว นั่นคือเมื่อมีแสงมากระทบสารกึ่งตัวนำอิเล็กตรอนที่อยู่ใน Valence Band จะเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่ conduction Band แต่การเลื่อนขึ้นไปนี้เป็นแต่เพียงอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปเท่านั้น และในที่สุดมันจะไปรวมกันใหม่กับ Hole ใน Valence band อีก ทำให้ไม่ได้รับ photo electric effect ด้วยเหตุนี้เพื่อที่จะเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้าจะต้องใช้สภาพการแยกกันของอิเล็กตรอนกับ Hole ก่อนที่มันจะรวมกัน



รูปที่ 3.23 Depletion Zone

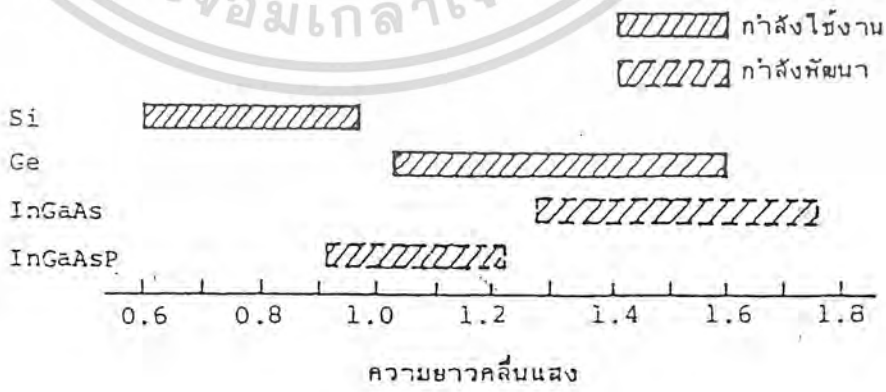
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับอุปกรณ์รับแสงสารกึ่งตัวนำก็เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสง นั่นคือเพื่อที่จะแยกอิเล็กตรอนกับ Hole นั้นโดยทั่วไปใช้ PN-junction จากที่กล่าวมาแล้วว่า ที่รอยต่อของ P-N นั้น จะเกิดสนามไฟฟ้าที่ว่าง (Space Electric Field) ขึ้น มันจะถูกดึงด้วยอิเล็กตรอนของ N-type และ Hole ของ P-type ซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นลบและบวก เป็นผลให้เกิดบริเวณที่ไม่มีอิเล็กตรอนและ Hole ขึ้นตรงบริเวณรอยต่อนี้เรียกว่า Depletion Zone

ในสภาพอย่างนี้เมื่อมีแสงมากระทบจากทางด้านบริเวณ P-Type แสงนั้นจะถูกดูด พร้อมทั้งเคลื่อนที่ไปทางบริเวณ N-Type แต่ที่ Depletion Zone อิเล็กตรอนและ Hole ที่เกิดจากการดูดพลังงานจากแสงจะถูก Space Electric Field แยกไปในทิศทางตรงกันข้ามกล่าวคือ อิเล็กตรอนไปทางด้าน N และโฮล ไปทางด้าน P อนึ่งที่บริเวณซึ่งอยู่ห่างจาก Depletion Zone นั้น เนื่องจากไม่มีสนามไฟฟ้าอิเล็กตรอนและโฮล ซึ่งเกิดจาก photo electric effect จะรวมตัวกันใหม่ในระหว่างเคลื่อนที่ แต่สำหรับอิเล็กตรอนและ โฮลที่เคลื่อนที่เข้าไปใน Space Electric Field แล้วนั้นจะสามารถเข้าไปยังบริเวณตรงกันข้ามได้ ผลที่ได้ก็คือ จะเกิดแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับปริมาณของอิเล็กตรอน และโฮลที่ถูกแยกขึ้นระหว่างปลายทั้งสองของ P-Type และ N-Type ถ้าหากนำวงจรภายนอกมาต่อกับปลายทั้งสองนี้จะทำให้อิเล็กตรอนและ HOLE สามารถรวมตัวกันได้โดยผ่านวงจรภายนอก นั่นคือจะมีกระแสไหลนั่นเอง กระแสที่เกิดที่ Depletion Zone เรียกว่า Drift Current ส่วนกระแสที่เกิดตรงบริเวณที่อยู่ห่างจาก Depletion Zone เรียกว่า Diffusion Current และกระแสนี้เป็นหลักการของการเปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า

3.12 สารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง

(1) สารของอุปกรณ์รับแสง



รูปที่ 3.24 ความยาวคลื่นในการรับแสงของอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับอุปกรณ์รับแสงก็เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสงนั่นคือ มีสารหลายชนิด นอกจากนั้น ผลต่างของพลังงานของ Conduction Band และ Valence Band ของอุปกรณ์รับแสงมีค่าแตกต่างกันทำให้ มีย่านความยาวคลื่นต่างกันที่ดูดสัญญาณแสงที่เข้ามาได้ง่าย (ความไวในการรับแสงดี) คุณสมบัติความไวในการรับแสงของสารแต่ละชนิด

ในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงนั้นจะต้องเลือกอุปกรณ์รับแสงที่เหมาะสม กับความยาวคลื่นที่ใช้เช่นเดียวกับอุปกรณ์กำเนิดแสง สำหรับย่านความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า 1μm จะใช้ Si (Silicon) สำหรับย่านความยาวคลื่นจาก 1~1.7 μm ใช้ Ge (Germanium) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นในปัจจุบันสำหรับความยาวคลื่นในช่วง 1.55μm เป็นความยาวคลื่นที่มีการสูญเสียในเส้นใยแสงน้อยมาก และเป็นความยาวคลื่นที่อยู่ใน Third Window การใช้งานอุปกรณ์รับแสงชนิดใหม่ที่ทำจากสารที่เป็นสารประกอบของสารกึ่งตัวนำ InGaAs และอื่นๆ ซึ่งมีความไวในการรับแสงดีมากนั้น กำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

<u>โครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง</u>

จากที่กล่าวมาแล้วว่า Space Electric Field ตรงรอยต่อ PN-JUNCTION ที่ทำให้อิเล็กตรอนและโฮลเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้าม แต่ถ้าแรงดันไฟฟ้ากลับทิศทางจากภายนอกกล่าวคือทางด้าน P ให้ไฟลบ และทางด้าน N ให้ไฟบวก จะทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลตรงรอยต่อมีอัตราเร่งเพิ่มขึ้น

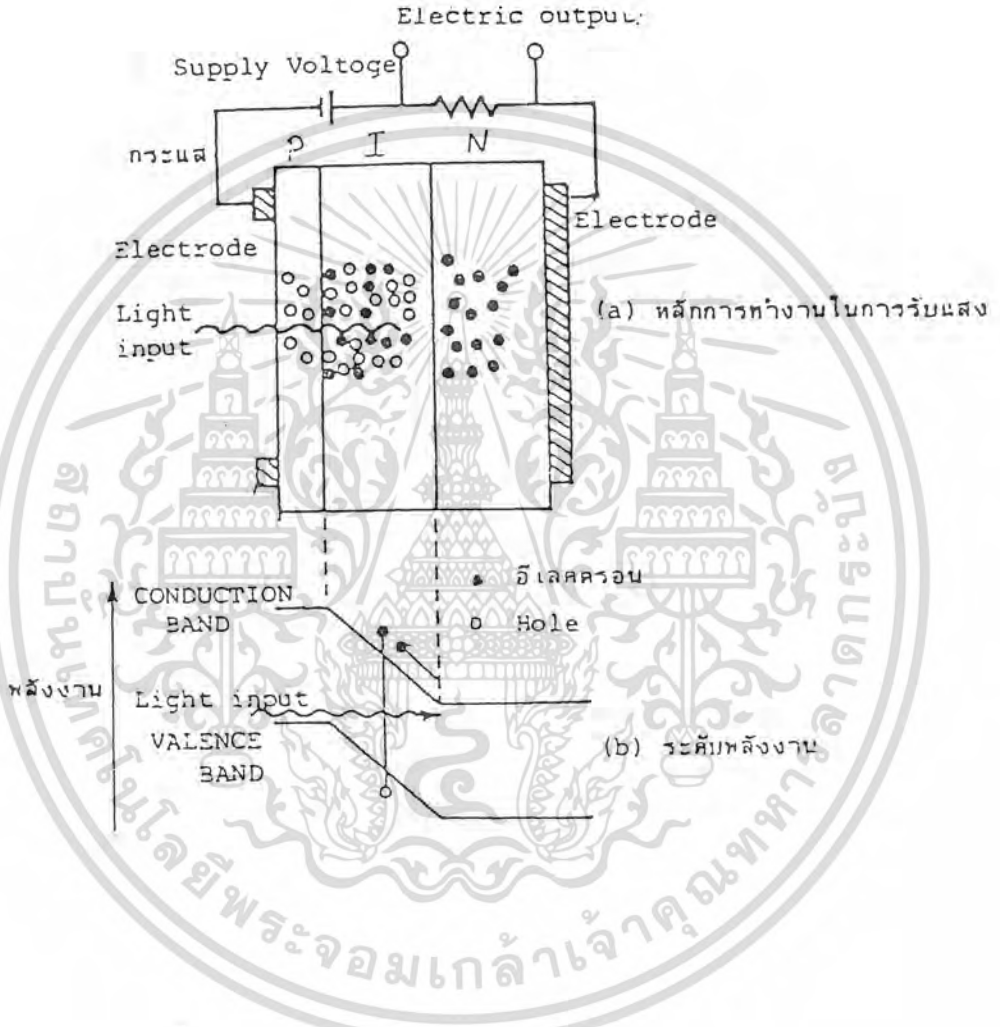
อุปกรณ์รับแสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำนี้แบ่งออกเป็นพวกใหญ่ๆ ได้ 2 พวก ตามปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้จากภายนอกคือ

Photo Diode : PD กับ Avalanche Photo Diode : APD พวก PD นั้นเป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรง ดันไฟฟ้าปริมาณน้อย ส่วนพวก APD เป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณมาก

ตัวอย่างของ PD คือ PIN-PD PIN หมายถึง ว่าในระหว่างสารกึ่งตัวนำ P-Type และ N-Type มีสารกึ่งตัวนำแบบที่เรียกว่า Intrinsic : I คั่นอยู่ จากที่ว่า Drift Current นั้นเกิดขึ้นใน Depletion Zone และผลของสนามไฟฟ้าทำให้มีการตอบสนองเร็ว แต่ในทางตรงกันข้าม Diffusion Current ที่เกิดขึ้นภายนอก Depletion Zone นั้น มีการตอบสนองช้า ดังนั้นถ้าความกว้างของ Depletion Zone ยิ่งกว้างมากเท่าใด Quantum Efficiency และความเร็วของการตอบสนองความถี่ยิ่งดีขึ้น ความกว้างของ Depletion Zone นี้ถ้าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนและโฮล ของ P-Type และ N-Type ยิ่งต่ำจะยิ่งกว้าง ดังนั้นสารกึ่งตัวนำแบบ I ที่คั่นกลางระหว่าง P-Type กับ N-Type จึงมีหน้าที่เพื่อทำให้ความกว้างของ Depletion Zone

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว้างขึ้นนั่นเอง เนื่องจาก PD ที่ใช้ในระบบการสื่อสารนั้น โดยทั่วไปต้องการ ความเร็วในการตอบสนองสูง ดังนั้นส่วนใหญ่จะใช้ PIN-PD

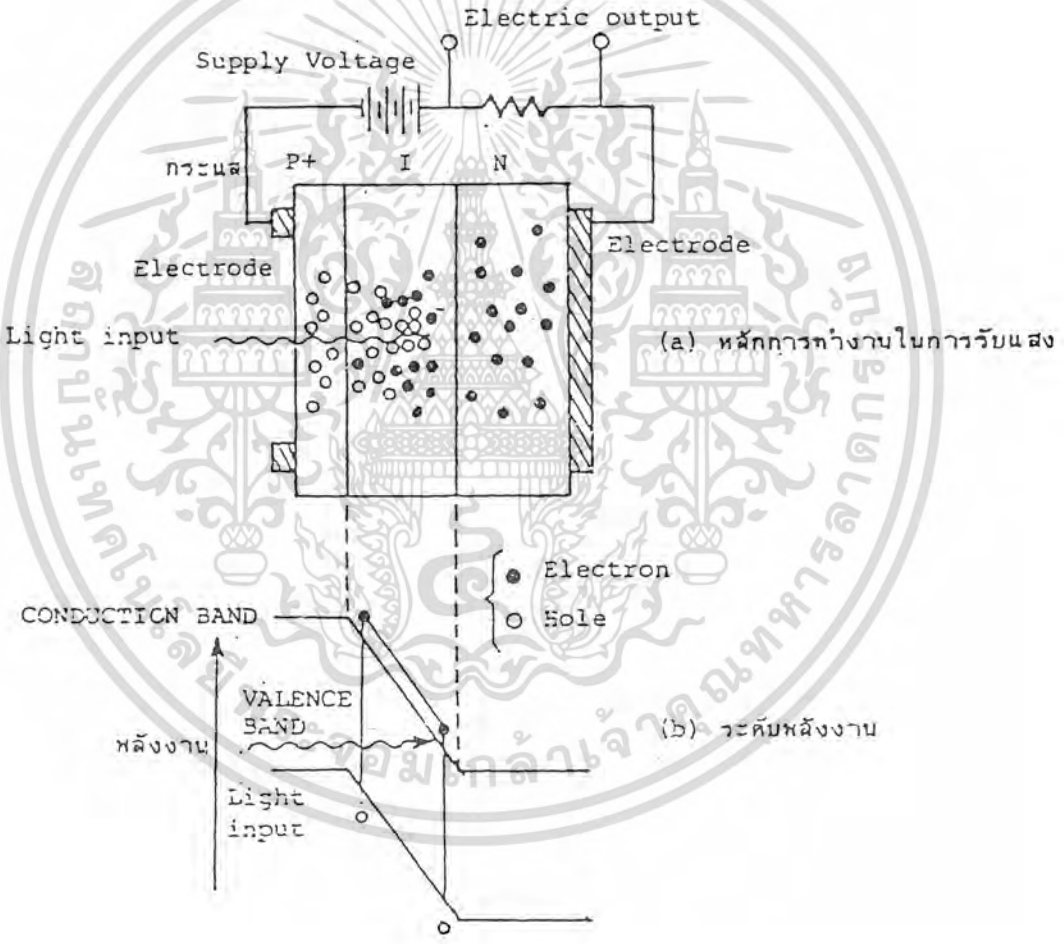


รูปที่ 3.24 หลักการทำงานการรับแสง และระดับพลังงานของ PIN-PD

อนึ่ง APD นั้นใช้ปฏิกิริยาการขยาย Avalanche ของอิเล็กตรอนและโฮล ในสารกึ่งตัวนำ เมื่อเปรียบเทียบกับ PD แล้ว เป็นอุปกรณ์ที่ให้แสงจำนวนมาก หลักการทำงานของ APD สำหรับโครงสร้างนั้นส่วนใหญ่ทางด้าน P ของ PN-Junciton จะมีสารกึ่งตัวนำแบบ P-Type ที่มีความหนาแน่นของโฮลสูงติดอยู่ (ส่วนที่แสดงด้วย P+ ในรูป) โดยการทำเช่นนี้จะทำให้สนามไฟฟ้าภายในของบริเวณใกล้ๆ รอยต่อที่มี P-Layer เป็นศูนย์กลางมีค่ามาก อิเล็กตรอนที่ดูดแสงที่มาตกกระทบจากด้าน P+ และถูกกระตุ้นจาก Valence Band ไปยัง Conduction Band ในระหว่างที่มันได้รับอัตราเร่งและผ่าน P-Layer นั้นมันจะได้รับพลังงานจำนวนมากกว่า ผลต่างของพลังงานของ Conduction Band กับ Valence Band จากผลนี้ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้สามารถกระตุ้นอิเล็กตรอนที่อยู่ใน Valence Band และทำให้เกิดอิเล็กตรอนกับโฮล ใหม่ได้ และอิเล็กตรอนกับโฮลใหม่นี้ยังถูกสนามไฟฟ้าเร่งอัตราเร่งให้อีก ทำให้เกิดอิเล็กตรอนกับโฮล ใหม่ออกมาอีก เมื่อขบวนการนี้เกิดอย่างต่อเนื่องกัน จำนวนของอิเล็กตรอนกับโฮลจะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวน มากมาย (Avalanche) เป็นผลให้เกิดการขยายที่เรียกว่า Avalanche Multiplication ผลนี้ทำให้กระแสถูกขยายนั่นเอง



รูปที่ 3.25 หลักการทำงานการรับแสง และระดับพลังงานของ APD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.13 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์รับแสงประเมินจากคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ Quantum Efficiency ซึ่งแสดงว่า แสงที่รับมานั้นถูกเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าได้มากน้อยเพียงใด ความไวการรับแสง (ระดับรับแสงต่ำสุดที่ต้องการสำหรับการส่งที่มีคุณภาพ) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ในการออกแบบและระยะการถ่ายทอดของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง, สัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดขึ้นและความเร็วของการตอบสนองการทำงาน สำหรับ Quantum Efficiency กำหนดจากสารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง แต่สำหรับความไวการรับแสงนั้นจะเกี่ยวข้องกับขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้

เนื่องจาก APD ใช้ปรากฏการณ์การขยาย Avalanche ดังนั้นจึงมีความไวสูงประมาณ 10~20 dB (10~100 เท่า) เมื่อเทียบกับ PD สัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดในอุปกรณ์รับแสงมีสิ่งที่เรียกว่า Shot Noise ซึ่งเป็น Noise อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของ Photo Current ที่เกิดจากการกระตุ้นอิเล็กตรอนอย่างไม่เป็นระเบียบทางเวลาหรือทาง Space คุณสมบัติของ Shot Noise เป็นดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$\text{Shot Noise Current} = \propto I_0 M^{2+F}$$

ในที่นี้ M เป็นอัตราการขยายกระแสของอุปกรณ์รับแสง

I_0 เป็น Photo Current เมื่อ M = 1 (กรณีของ PD)

F เป็น Excess Noise Figure มีค่ามากเมื่อเทียบกับ M

นั่นคือ จากสมการจะเห็นว่าที่ระดับการรับแสงเท่ากัน ถ้าหากทำให้แรงดันไฟฟ้าในทิศทางกลับที่ป้อนให้มีค่าสูง และทำให้อัตราการขยายกระแสเพิ่มมากขึ้นนั้น สัญญาณออก (out put signal $I_0 M^2$) จะเพิ่มมากขึ้นด้วยแต่ Shot noise ก็เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน

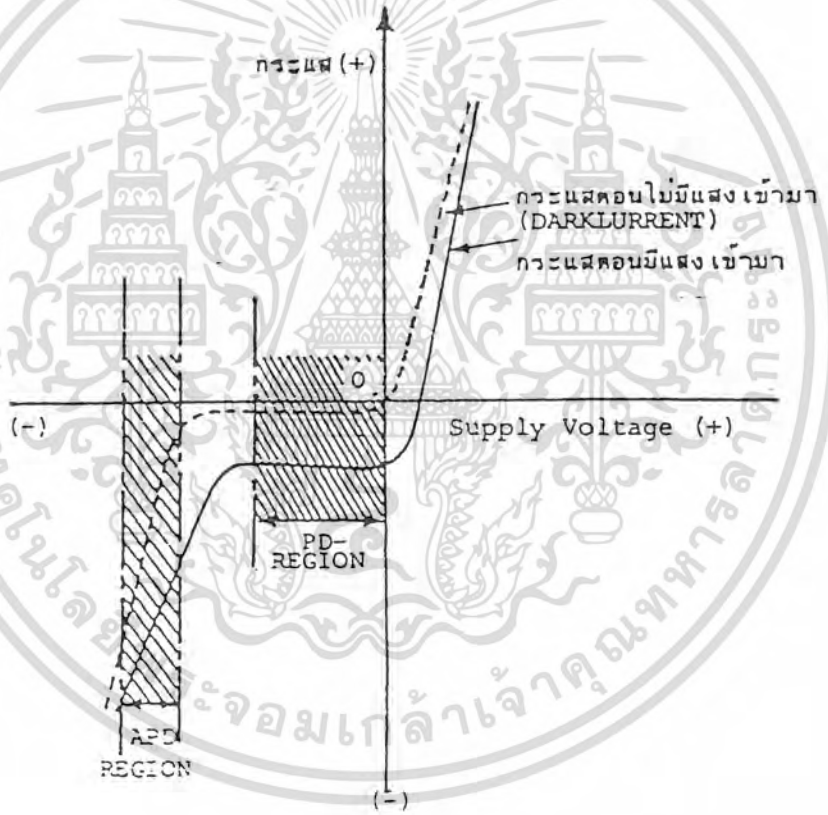
คุณสมบัติของอุปกรณ์รบแสงทั่วไป จากรูปจะช่วยให้เข้าใจความแตกต่างของ บริเวณการทำงานของ APD และ PD ได้แสดงการไหลของกระแสที่เรียกว่า Dark Current ที่เกิดในสภาพที่มีแรงดันไฟฟ้าในทิศทางป้อนกลับให้แต่ไม่มีแสงเข้ามาด้วย

กระแส Dark Current นี้มีลักษณะพิเศษคือมันจะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการเพิ่มขึ้นของสัญญาณออก (out put signal) Shot Noise เป็นสิ่งที่เกิดจาก Dark Current และอื่นๆ ที่เป็นแหล่งต้นกำเนิด กรณีของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PD เนื่องจาก M = 1 ดังนั้น Shot Noise จึงไม่มีค่ามาก สำหรับกรณีของ APD จำเป็นต้องระวังเกี่ยวกับค่าของ M

ในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง นอกจากจะต้องคำนึงถึง Shot Noise นี้แล้ว ยังมี Thermal Noise ที่เกิดในวงจรไฟฟ้าซึ่งไม่เกี่ยวกับสัญญาณที่เข้ามา ดังนั้นในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง จำเป็นต้องเลือกค่า M ที่เหมาะสมที่ทำให้ผลรวมของ Thermal Noise กับ Shot Noise มีค่าต่ำมาก เมื่อเทียบกับระดับของสัญญาณ



รูปที่ 3.26 แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และโฟโต้เดอร์เร้นท์

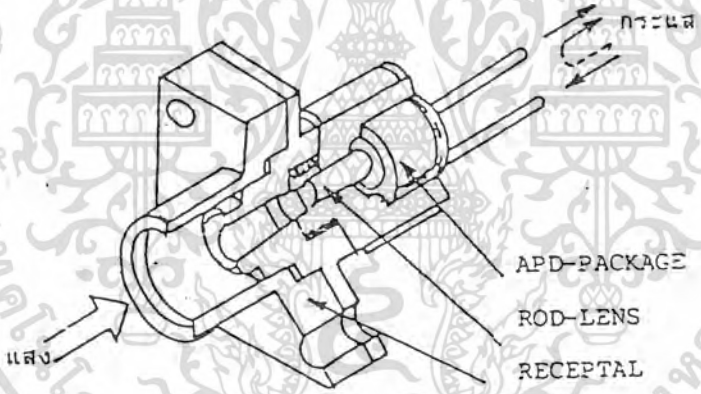
ความเร็วการตอบสนองต่อความถี่ เป็นสิ่งที่กำหนดจากเวลาที่มีสัญญาณแสงเข้ามา จนกระทั่งเกิดปรากฏการณ์ดูดแสง แต่ในปัจจุบันเนื่องจากทั้ง PD และ APD สามารถตอบสนองความเร็วได้ถึงหลาย GH_z จึงไม่มีปัญหาในการใช้งาน การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของ PD กับ APD แสดงดังตาราง 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ปล่อยแสง หัวข้อ	LED	LD
QUANTUM EFFICIENCY	~ 80%	~ 80%
ความไวการรับแสง (1)	-15 ~ 20 dBm 0	-30 ~ 40 dBm 0
ความเร็วการตอบสนองความถี่	~ หลาย GHz	~ หลาย GHz
อัตราการขยาย	1	~ 500
ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทำงาน	0 ~ 20 V	30 ~ 200 V

ตารางที่ 3.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

3.14 การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์รับแสงกับเส้นใยแสง

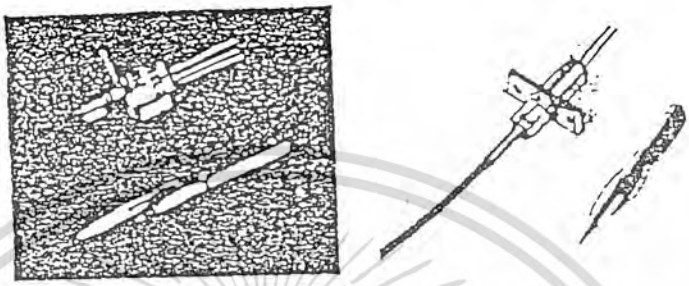


รูปที่ 3.27 ตัวอย่างโครงสร้างภายในของ APD MODULE

สำหรับอุปกรณ์รับแสงก็เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสง นั่นคือการเชื่อมต่อกับเส้นใยแสง เป็นองค์ประกอบสำคัญอันหนึ่งในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง แสงที่เดินทางมาในเส้นใยแสง ในกรณีที่ถูกปล่อยไปในอากาศจากปลายของเส้นใยแสงนั้นมันจะถูกปล่อยออกไปจากปลาย เส้นใยแสงในลักษณะที่มีความกว้างใกล้เคียงกับค่า NA (Numerical Aperture) ของเส้นใยแสง ด้วยเหตุนี้ เพื่อที่จะทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์รับแสงเข้ากับเส้นใยแสง จะต้องทำให้อุปกรณ์รับแสงอยู่ใกล้กับปลายของเส้นใยแสงให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ หรือ ต้องทำอุปกรณ์รับแสงให้มีพื้นที่รับแสงกว้างมาก เส้นผ่าศูนย์กลางการรับแสงของอุปกรณ์รับแสงที่ทำงานด้วยความเร็วสูงนั้น โดยทั่วไปต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 100 μm ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการรวมแสงให้แก่ด้านรับแสงโดยใช้ ROD Lens (เลนส์ที่มีลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นแท่งกลมยาว) ไปวางไว้ข้างหน้าอุปกรณ์รับแสง เพื่อทำหน้าที่รวมแสงที่ปล่อยออกมาจากเส้นใยแสงให้แก่ด้านรับแสงของอุปกรณ์รับแสง ROD lens และอุปกรณ์รับแสงที่ประกอบเป็นชิ้นเดียวกันนี้เรียกว่า โมดูล อุปกรณ์รับแสง (module) ตัวอย่างโครงสร้างภายในของ Module และตัวอย่าง ของ PIN-PD Module และ APD Module



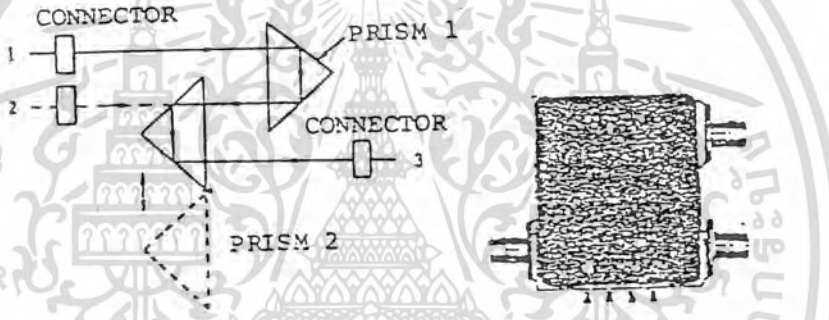
รูปที่ 3.27 PIN-PD MODULE และ APD MODULE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.15 สวิทซ์แสง (Optical Switch)

Optical Switch เป็นอุปกรณ์ที่ใส่อยู่ในสายส่งสัญญาณแสง เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนเส้นทางเดินของแสงใช้กับระบบที่ต้องการความเชื่อถือ (Reliability) สูง ซึ่งไม่ต้องการให้เกิดการขัดข้องขึ้นเลย

Optical Switch แบ่งออกเป็นพวกใหญ่ๆ ได้เป็น 2 พวกคือ Mechanic Optical Switch ซึ่งทำการเปลี่ยนแปลงเส้นทางเดินของแสง โดยการขับเคลื่อนอุปกรณ์แสงของเส้นใยแสง แท่งแก้ว ปริซึม และอื่นๆ ทางเมคานิค และ Non-Mechanic Optical Switch ซึ่งทำการเปลี่ยนแปลงเส้นทางเดินของแสงโดยใช้ Electreoptical effect หรือ Acoustic Optical effect หลักการและลักษณะภายนอกของ Mechnaic Optical Switch ซึ่งเป็นสวิทซ์พื้นฐานเบื้องต้น

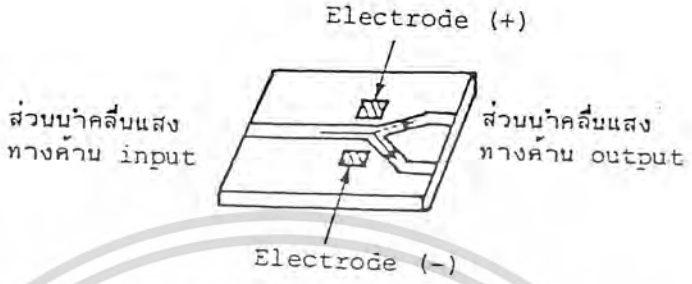


(a) หลักการ (b) ลักษณะภายนอก

รูปที่ 3.28 Optical Switch

การทำงานของมันเมื่อแท่งแก้วปริซึม 2 อยู่ที่ตำแหน่งเส้นทึบ connector1 และ 3 จะต่อกัน เมื่อแท่งแก้วปริซึม 2 อยู่ที่ตำแหน่งเส้นประ connector 1 และ 2 จะต่อกัน Mechanic Optical Switch นี้เมื่อเปรียบเทียบกับ Non-Mechanic Optical Switch แล้วปรากฏว่ามีความเร็วในการสับเปลี่ยนช้า และมีการสูญเสียต่ำและมีการรั่วของสัญญาณต่ำ จึงเหมาะแก่การใช้งานในทางปฏิบัติ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาสร้าง Optical Switch ที่ทำหน้าที่สับเปลี่ยนระหว่าง input 1 อัน กับ output 2 อัน (หรือระหว่าง input 2 อัน กับ output 1 อัน) ซึ่งเรียกว่า 1*2 Optical Switch, 2*2 Optical Switch, 8*8 Optical Switch และอื่นๆ สำหรับ Non-Mechanic Optical Switch นั้นไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ได้เลย แต่ทำงานได้โดยอาศัยสนามไฟฟ้า หรือ Acoustic Wave ไปทำให้ดัชนีการหักเหของตัวกลางเปลี่ยน จะทำให้การเปลี่ยนเส้นทางเดินของแสงได้ แต่สวิทซ์แบบนี้มีการสูญเสียของแสงมาก และมีปัญหาเกิดการรั่วของสัญญาณแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสงอื่น ปัจจุบันยังไม่ค่อยใช้กันมากนัก แต่ในอนาคตข้างหน้าอาจมีการนำมาใช้กัน มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.29 หลักการทำงานของ Non-Mechanic Optical Switch

3.16 เส้นใยแสง (Optical)

เส้นใยแสง คือ เส้นใยขนาดเล็กที่ทำหน้าเป็นตัวนำแสง โครงสร้างของเส้นใยแสงประกอบด้วยส่วนที่แสงเดินทางผ่านเรียกว่า คอร์ และส่วนที่หุ้มคอร์ เรียกว่า แคลด ทั้งคอร์และแคลด เป็น Dielectric ใส 2 ชนิด (Dielectric หมายถึงสารที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า เช่น แก้ว พลาสติก) โดยทำให้ค่าดัชนีการหักเหของ แคลด มีค่าน้อยกว่าค่าดัชนีการหักเหประมาณ 0.2~3% และอาศัยปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสง สามารถทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปใน คอร์ เดินทางไปได้ นอกจากนั้นเนื่องจากกล่าวกันว่า เส้นใยแสงมีขนาดเล็กมากเท่าเส้นผมนั้น หมายถึง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกของ Clad ซึ่งมีขนาดประมาณ 0.1 ม.ม. ส่วน คอร์ ที่แสงเดินผ่านนั้นมีขนาดเล็กลงไปอีกคือประมาณหลาย μm ($1\mu m = 10^{-3}$ mm) ซึ่งมีค่าหลายสิบเท่าของความยาวคลื่นแสงที่ใช้งาน ค่าต่างๆ เหล่านี้เป็นค่าที่กำหนดขึ้นจากคุณสมบัติการส่งและคุณสมบัติทางเมคานิกส์ที่ต้องการ เส้นใยแสงนอกจากมีคุณสมบัติการส่งดีเยี่ยมแล้วยังมีลักษณะเด่นอย่างอื่นอีก เช่น ขนาดเล็ก น้ำหนักเบาอีกด้วย

ลักษณะการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง

การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง

เนื่องจากว่าแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้น จะกระจายกว้างออกเนื่องจากปรากฏการณ์การเบี่ยงเบนของแสง ในการที่จะป้อนแสงเข้าไปในคอร์ที่มีขนาดเล็กมากนั้นต้องใช้เลนส์ทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมแสง แต่ว่าแสงที่รวมนั้นไม่ใช่ว่าจะถูกป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงได้ทั้งหมด แสงที่มีมุมตกกระทบที่เหมาะสมเท่านั้นจึงจะสามารถเข้าไปในเส้นใยแสงได้ แสดงมุมรับแสงของเส้นใยแสง จากรูปจะเห็นว่าที่จุดป้อนแสงของเส้นใยนั้นจะมีจุดต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงต่างกัน 3 ชนิด

รูปที่ 3.30 มุมรับแสงของเส้นใยแสง

ตัวกลางทั้ง 3 ชนิดนี้ คือ อากาศ คอร์ ของเส้นใยแสง และ แคลดของเส้นใยแสง ถ้าให้ค่าดัชนีการหักเหของแสงของตัวกลางทั้ง 3 ชนิด เป็น N_0 ($N_0 = 1$), N_1 และ N_2 ตามลำดับ จะเกิดการหักเห, การสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของอากาศกับ คอร์ และคอร์กับแคลด ในที่นี้มุมรับแสงของเส้นใยแสงที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ามากที่สุดเป็น θ max จากรูปที่ 2.60 จะเห็นว่า อย่างเช่น ลำแสง 2 นั้น มุมรับแสงตรงรอยต่อของ คอร์กับ แคลด นั้นมีค่าเป็นมุมวิกฤต (Critical Angle) ตรงรอยต่อของอากาศกับ คอร์และของคอร์กับ แคลดนั้น จากกฎของ Snell จะได้ว่า

$$\sin \theta \text{ max} = n1 \sin \theta \quad \text{.....(1)}$$

$$\sin (90^\circ - \theta c) = \cos \theta c = n2/n1 \quad \text{.....(2)}$$

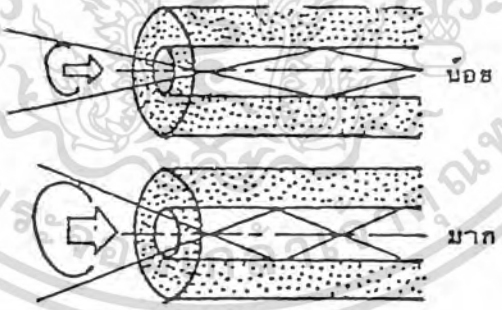
ดังนั้นกรณีที่มุมรับแสง θ max มีค่าสูงสุดได้นั้น n1/n2 จากสมการ (1) และ (2) จะได้ว่า

$$\sin \theta \text{ max} = \frac{\sqrt{n1^2 - n2^2}}{n1} = n1\sqrt{2\Delta} \quad \text{.....(3)}$$

ในที่นี้

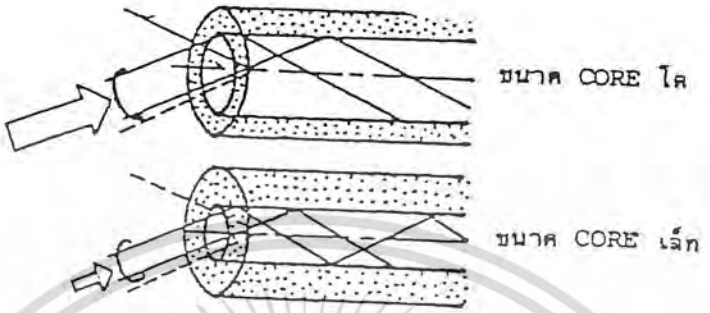
$$\Delta = \frac{(n1 - n2)}{n1}$$

เรียกว่า อัตราส่วนของผลต่างของดัชนีการหักเหของแสง



(a) กรณีขนาด CORE โตเท่ากันแต่ค่า NA ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) กรณีค่า NA เท่ากันแต่ขนาด CORE ต่างกัน

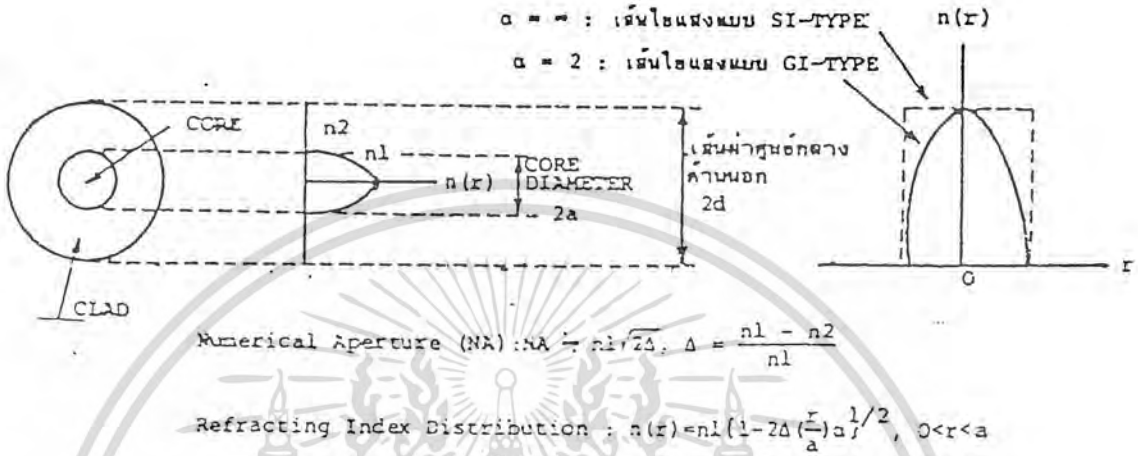
รูปที่ 3.31 ผลของ NA และขนาดของ Core ที่มีต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสง

สำหรับ $\sin\theta_{max}$ นี้ ตามศัพท์เทคนิคของวิชาแสงเรียกว่า Numerical Aperture เขียนย่อว่า "NA" หมายถึงการเปิดรับให้แสงผ่าน และใช้เป็นตัวแสดงเงื่อนไขการป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง นอกจากนั้นยังถือเป็นตัวประกอบพื้นฐานอันหนึ่งที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสงด้วย ยกตัวอย่างเช่น สมมติว่า เส้นใยแสงมี $n_1 = 1.475$ และ $n_2 = 1.46$ (ค่าอัตราส่วนผลต่างของดัชนีการหักเหของแสง = 1%) ในกรณีนี้มีค่า NA = 0.21 แสดงความหมายของ NA และขนาดของ Core ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสง

จากรูปจะเห็นว่าถ้าหากขนาดของ Core และ NA มีค่าคงที่แล้วจะกำหนดปริมาณของแสงที่ป้อนเข้าไปใน Core ได้ทันที เส้นใยแสงที่มีขนาดใหญ่และมีค่า NA มากจะมีประสิทธิภาพาการเชื่อมต่อระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสงสูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

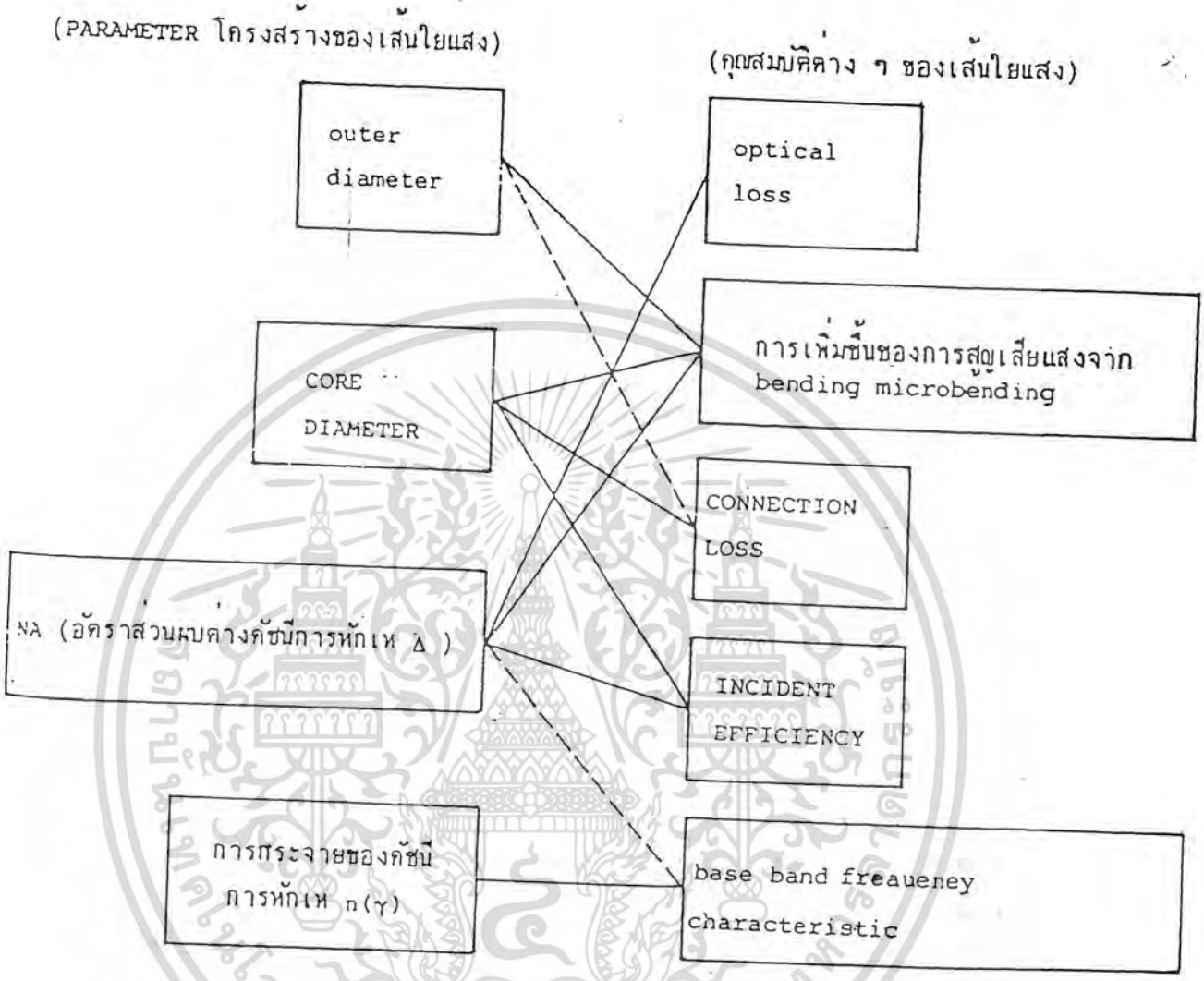
3.17 โครงสร้างของเส้นใยแสง



รูปที่ 3.32 Parameter ทางโครงสร้างของ Tmulimode Optic Fiber

องค์ประกอบพื้นฐานที่กำหนดโครงสร้างของเส้นใยแสงคือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ Core, เส้นผ่าศูนย์กลางนอก (เส้นผ่าศูนย์กลางของ Clad), Numerical Aperture (NA) และอื่นๆ องค์ประกอบเหล่านี้เรียกว่าเป็น parameter ทางโครงสร้างเหล่านี้นอกจากมีผลต่อการสูญเสีย, transmission band with, ความแข็งแรงทางเมคานิก และคุณสมบัติอื่นๆ ของเส้นใยแสงแล้ว ยังเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับการเชื่อมต่อของเส้นใยแสง หรือการต่อของเส้นใยแสงกับอุปกรณ์แสง (optic device) อีกด้วย นอกจากนี้ยังมี parameter ประกอบทางโครงสร้างเพิ่มเติมอีกได้แก่ เปอร์เซ็นต์การคลาดเคลื่อนของศูนย์กลาง (ด้าน Eccentricity), อัตราความเพี้ยนของวงกลม (Non-Circular Rate) สำหรับ Parameter ประกอบนี้จะไม่มีผลอะไรทางคุณสมบัติการส่ง (Transmission Characteristic) แต่ว่ามันจะมีผลอย่างมากต่อการศูนย์เสียของการต่อ (Connection Loss) ของเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.33 แผนผังคุณสมบัติต่างๆ ของ Parameter ทางโครงสร้างของเส้นใยแสง

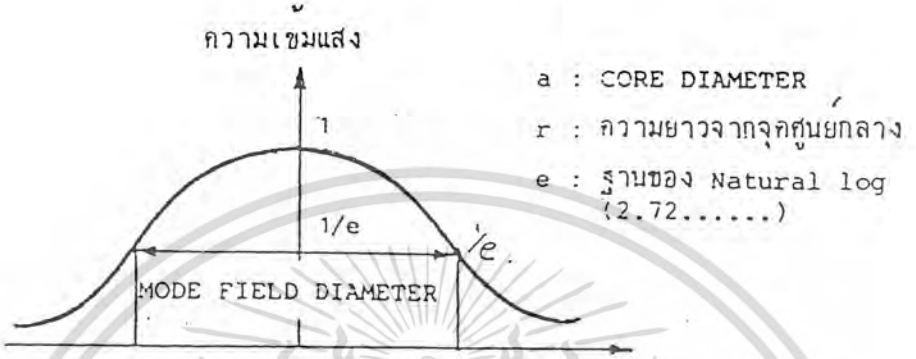
ตัวอย่างเช่น ในการกำหนดโครงสร้างของเส้นใยแสงชนิด Multimode Optic Fiber จะต้องอาศัย Parameter 4 อย่างคือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ Core, เส้นผ่าศูนย์กลางนอก, Numerical Aperture (NA) และลักษณะของค่าดัชนีการหักเห

ในการกำหนดค่าต่างๆ ของ Parameter ทางโครงสร้างทั้ง 4 เหล่านี้ จำเป็นต้องคำนึงถึงผล Parameter ทางโครงสร้างแต่ละอย่างที่มีต่อคุณสมบัติต่างๆ ของเส้นใยแสง การสร้างได้ง่ายและความประหยัด

สำหรับโครงสร้างของ Single Mode Optic Fiber จะกำหนดจาก Parameter 3 อย่าง คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ Mode Field, เส้นผ่าศูนย์กลางนอก และ Cut Off Wave Length ซึ่งต่างกับกรณีของ Multi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mode Optic Fiber สาเหตุที่ใช้เส้นผ่าศูนย์กลางของ Mode Field เป็น Parameter ทางโครงสร้างของ Single Mode Optic Fiber แทนการใช้เส้นผ่าศูนย์กลางของCore นั่นก็คือว่า เส้นผ่าศูนย์กลางของ Mode Field มีค่ามาก



รูปที่ 3.34 เส้นผ่าศูนย์กลาง Mode Field

กล่าวคือเป็นค่าเส้นผ่าศูนย์กลางตรงจุดที่ความเข้มของแสงลดลงเป็น 1/e (e ในที่นี้มีค่า 2.71828) ของค่าสูงสุด (คือค่าตรงจุดศูนย์กลางของ Core) และค่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของ Core ของ Single Mode Optic Fiber มีค่าน้อยยิ่งกว่านั้น อัตราส่วนของผลต่างของค่าดัชนีการหักเหก็มีค่าน้อยด้วย ทำให้เป็นการ ยากที่จะบ่งบอกส่วนที่เป็นรอยต่อของ Core กับ Clad ได้ชัดเจน ด้วยเหตุนี้เพื่อความสะดวกจึงใช้ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของ Mode Field แทนค่ามาตรฐานของ Parameter ทางโครงสร้างของเส้นใยแสงที่ CCITT (International Telegraph And Consultative Committee)

ชนิด หัวข้อ	Graded Index Optic Fiber	Single Mode Optic Fiber
ความยาวคลื่นที่ใช้	(a) 0.85 μm (b) 1.30 μm	(a) 1.30 μm (b) 1.55 μm
เส้นผ่าศูนย์กลางของ Core	50 μm ± 6%	-
เส้นผ่าศูนย์กลางของ Mode Field	-	9~10μm ± 10% (1.30μm)

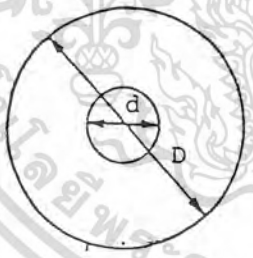
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

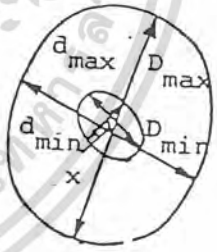
Cut Off Wave Length	-	1.10~1.28μm (I)
เส้นผ่าศูนย์กลางนอก	125μm ± 2.4%	1.25 μm ± 2.4%
เปอร์เซนต์การคลาดเคลื่อนของศูนย์กลาง	< 6%	0.5 ~ 3.0 μm
อัตราความเพี้ยนของวงกลมของ Core	< 6%	-
อัตราความเพี้ยนของวงกลมของ Clad	< 2%	< 2%
Numeral Aperture (NA)	(a) 0.18 ~ 0.24 ± 0.02 (0.85 μm) (b) 0.15 ~ 0.30 ± 0.02 (1.3μm)	(2)

ตารางที่ 3.4 ค่ามาตรฐาน ทางโครงสร้างของเส้นใยแสงที่ CCITT แนะนำ

หมายเหตุ : (1) CCITT กำลังพิจารณาอยู่

(2) ถ้าบอกค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของ Mode Field และ Cut Off Wave Hlengt แล้วไม่จำเป็นต้องบอกค่า NA





(a) เส้นใยแสงที่ดีเลิศ CORE DIAMETER : d **(b) เส้นใยแสงในทางปฏิบัติ**

OUTER DIAMETER : D

Corediameter : $d = \frac{dmax + dmin}{2}$

Router Diamete : $D = \frac{Dmax + Dmin}{2}$

อัตราการไม่เป็นวงกลมของ Core : $e = \frac{dmax-dmin}{d} \times 100\ (\%)$

อัตราไม่เป็นวงกลมของ Clad : $E = \frac{Dmax-Dmin}{} \times 100\ (\%)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.18 ระบบสื่อสารเส้นใยแสง

ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงมีโครงสร้างคล้ายกับระบบการสื่อสารด้วยสายเคเบิล เพียงแต่ใช้ตัวกลางนำข้อมูลที่แตกต่างกัน กล่าวคือ เมื่อต้องการส่งข้อมูลที่อาจอยู่ในรูปของ สัญญาณเสียง สัญญาณภาพ หรือข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ วงจรภาคส่งจะทำหน้าที่จัดรูปสัญญาณให้เหมาะสมด้วยวิธีการเข้ารหัสและมอดูเลต โดยลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่มักจัดให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิตอลเพราะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า จากนั้นวงจรในส่วนที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงหรือไดรเวอร์ขับสัญญาณ จะแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้ให้เป็นสัญญาณแสงส่งไปยังสถานีรับ โดยมีเส้นใยแสงเป็นท่อนำสัญญาณ ที่สถานีรับจะมีโฟโต้ทรานซิสเตอร์คอยเปลี่ยนสัญญาณแสงที่รับได้ ให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า แล้วส่งไปยังวงจรภาครับ เพื่อถอดรหัสและดีมอดูเลตสัญญาณ ทำให้ได้สัญญาณที่มีลักษณะเดียวกับสัญญาณเดิมเป็นข้อมูลขาออกที่นำไปใช้งานต่อไป

รูปที่ 3.35 ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

ในช่วงระหว่างสถานีส่งสัญญาณและสถานีรับสัญญาณที่เชื่อมด้วยเส้นใยแสง จะต้องมีสถานีทวนสัญญาณ (Repeater) ทำหน้าที่ขยายและจัดรูปสัญญาณที่เกิดการผิดเพี้ยนไปในระหว่างการเดินทาง ในการใช้งานจริงระยะห่างระหว่างสถานีทวนสัญญาณมีค่าประมาณ 10 กิโลเมตรขึ้นไป โดยจะขึ้นกับขนาดหรือปริมาณของข้อมูลที่ใช้รับส่งสำหรับระบบที่มีประสิทธิภาพสามารถรับส่งสัญญาณข้อมูลที่มีขนาด 2 Gb/s (สองพันล้านบิตในหนึ่งวินาที) ไปเป็นระยะทาง 2200 กิโลเมตร โดยมีสถานีทวนสัญญาณเพียง 25 สถานี ในทุกๆ ระยะ 80 กิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.19 วงจรภาคส่ง

เนื่องจากเส้นใยแสงมีขนาดของแบนด์วิดธ์กว้างมาก เมื่อเทียบกับสายเคเบิลทำให้สามารถส่งข้อมูลจำนวนมากจากหลายๆ แหล่งได้ภายในช่วงเวลาเดียวกัน ยกตัวอย่าง หากระบบถูกออกแบบให้ใช้คลื่นแสงที่มีขนาดความยาวคลื่น 0.63 ไมครอน หรือมีค่าความถี่ $4.7 * 10^{14}$ เฮิรตซ์ เป็นตัวส่งสัญญาณข้อมูล โดยกำหนดให้ช่วงแบนด์วิดธ์ของการส่งข้อมูลมีเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ ของค่าความถี่แสงที่ใช้ จะได้แบนด์วิดธ์ที่มีความกว้างถึง 4700 จิกะเฮิรตซ์ นั่นหมายความว่า เราสามารถส่งสัญญาณโทรทัศน์ได้เกือบ 1 ล้านช่อง ในช่วงเวลาเดียวกัน หลักการสำคัญที่จะส่งสัญญาณจำนวนมากพร้อมกันให้มีประสิทธิภาพขึ้นกับวิธีการเข้ารหัส การมอดูเลตและการมัลติเพล็กซ์สัญญาณในวงจรภาคส่ง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.20 วงจรไดรเวอร์

วงจรไดร์เวอร์หรือวงจรขับสัญญาณเป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยให้แหล่งกำเนิดแสงที่เป็น LED หรือ เลเซอร์ไดโอดทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลักษณะวงจรไดเวอร์สำหรับ LED ค่อนข้างแตกต่างจากวงจรของเลเซอร์ไดโอด ทั้งนี้เนื่องจาก LED มีคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นในการเปล่งแสงตามค่ากระแสไบอัสโดยตรงทำให้เหมาะสำหรับระบบสื่อสารที่ใช้ข้อมูลแบบอนาล็อก ในขณะที่พลังงานแสงที่เปล่งออกมาจากเลเซอร์ไดโอด มักมีการเปลี่ยนแปลงสูงมากอย่างรวดเร็ว ทั้งๆ ที่กระแสไบอัสมีมากกว่ากระแสเทรสโฮลด์ (I_{th}) มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จึงนิยมใช้เลเซอร์ไดโอดกับวงจรขับสัญญาณที่มีข้อมูลเป็นแบบดิจิตอล

3.21 วงจรสำหรับ LED

แม้ว่า LED จะเหมาะสำหรับการส่งสัญญาณแบบอนาล็อก แต่ในระบบสื่อสารระยะใกล้อาจสามารถใช้ส่งข้อมูลที่เป็นดิจิตอลได้ ดังเช่น วงจรในรูป ซึ่งเป็นวงจรใช้งานแบบง่าย ซึ่งวงจรในรูป ใช้สำหรับส่งข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 ทางดิจิตอล โดยค่าของกระแสที่ไหลผ่าน LED (I_F) ถูกกำหนดโดยกระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) ของทรานซิสเตอร์ Q_1 และคำนวณได้ด้วย

$$I_F = I_C = (V_{CC}-V_F) /R_1$$

เมื่อ VF เป็นแรงดันตกคร่อม LED ขณะไบอัสมีค่าตามสเปคที่กำหนด กระแสเบส I_E เป็นตัวควบคุมกระแส I_C อีกทีหนึ่งตามสูตรของ $I_B = I_C/\beta$ เมื่อ β คือกำลังขยายของทรานซิสเตอร์และ I_B คำนวณได้จาก

$$I_B = (Vi_{(MAX)} - V_{BE} - V_F) / R_B$$

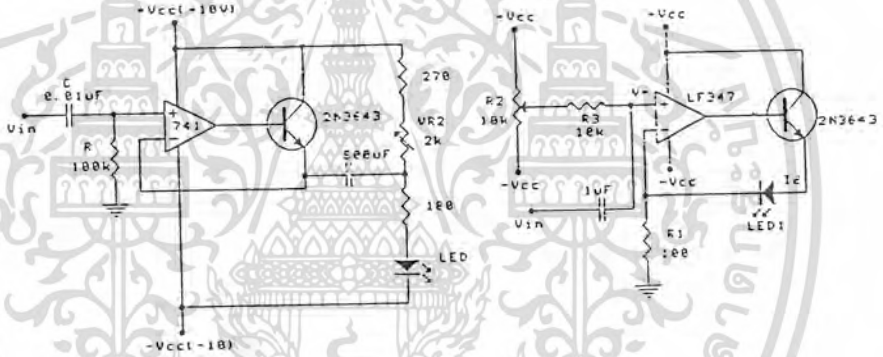
เมื่อ $Vi_{(MAX)}$ คือ ค่าแรงดันสูงสุดของสัญญาณเข้า หรือก็คือ ระดับแรงดันขณะข้อมูลทางดิจิตอลเป็น "1"

วงจรในรูป เป็นอีกลักษณะหนึ่งของการส่งข้อมูลดิจิตอล ที่มีเสถียรภาพมากกว่าวงจรในรูป โดยใช้ IC เบอร์ 75451 หรือ 75450 เพียงบางส่วน ที่ขาหนึ่งของแอนด์เกต ถูกกำหนด สภาวะทางลอจิกเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"1" (+5V) ขาที่เหลือใช้สำหรับส่งข้อมูล โดยขณะข้อมูลเป็น "1" LED จะไม่ทำงานและเมื่อข้อมูลเป็น "0" LED จะส่งสัญญาณแสงออกมา ส่วนตัวเก็บประจุ (C) ใช้สำหรับลดผลของการเกิดแรงดันกระชาก ซึ่งปกติจะใช้ค่าประมาณ 1 μ F และค่าของตัวต้านทาน R1 สามารถคำนวณได้จากกระแสไบอัสตรง IF ของ LED ที่กำหนดตามสเปกของมัน โดยใช้สูตรการคำนวณ

$$R1 = (V_{CC} - V_F) / I_F$$

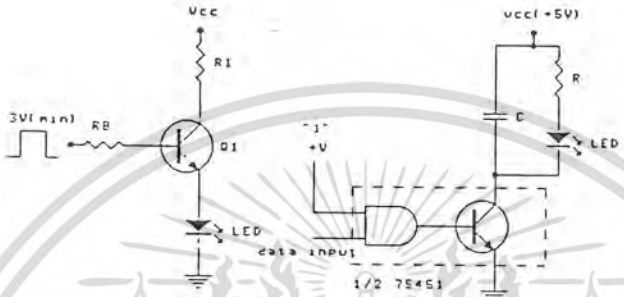


รูปที่ 3.36 วงจรไดรเวอร์ LED แบบดิจิตอล

วงจรไดรเวอร์ LED สำหรับสัญญาณอนาล็อก เป็นตัวอย่างวงจรที่ถูกออกแบบให้มีค่ากระแสไบอัส LED อยู่ระหว่าง 7.5-40 มิลลิแอมป์ ขึ้นกับค่าของตัวต้าน ทาน VR1 ขนาดของสัญญาณอินพุทมีค่าอยู่ระหว่าง +2 โวลท์ ซึ่งจะถูกแปลงเป็นกระแสไหลผ่าน LED ที่มีค่าระหว่าง $\pm$ 10 มิลลิแอมป์

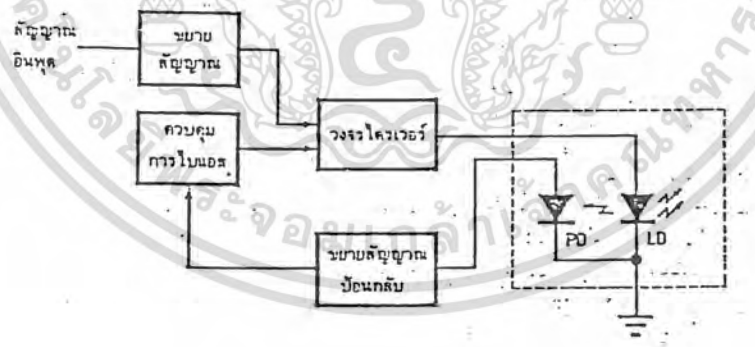
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้กระแสขับ LED เป็นสัญญาณที่ป้อนกลับในวงจร ทำให้มีวงจรมีเสถียรภาพมากขึ้น ตัวต้านทานปรับค่าได้ VR_2 ใช้กำหนดขนาดกระแสไบอัสให้กับวงจร



รูปที่ 3.37วงจรไดรเวอร์ LED แบบอนาล็อก

3.22 วงจรเลเซอร์ไดโอด



รูปที่ 3.38 บล็อกการทำงานของวงจรเลเซอร์ไดโอด

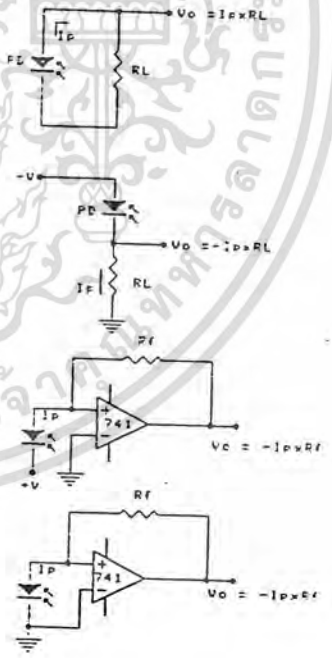
การใช้งานเลเซอร์ไดโอดในระบบสื่อสาร ค่อนข้างจะยุ่งยากในการออกแบบวงจร เพราะวงจรต้องมีประสิทธิภาพและความเที่ยงตรงสูง บล็อกไดอะแกรมของวงจรใช้งานเลเซอร์ไดโอดี่ ซึ่งมีหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไม่ซ้ำซ้อนเมื่อเทียบกับวงจร LED เพียงแต่เพิ่มส่วนป้อนกลับหรือฟีดแบ็คสัญญาณ เพื่อทำหน้าที่ควบคุมวงจรไดรเวอร์ให้เกิดความแน่นอน

สัญญาณป้อนกลับอาจได้จากการใช้โฟโต้ดีเทคเตอร์ที่มักประกอบอยู่ภายในตัวถังเดียวกัน กับเลเซอร์ไดโอดในระบบสื่อสารเป็นตัวดีเทคเตอร์แสงที่ส่งออกไป หากพลังงานแสงมีมากเกินไปสัญญาณป้อนกลับจะควบคุมให้วงจรไดรเวอร์ลดกระแสขับเลเซอร์ไดโอดลง ในทางกลับกันหากความเข้มแสงที่ส่งออกมามีค่าน้อย วงจรไดรเวอร์จะช่วยเพิ่มกระแสไบอัสเลเซอร์ไดโอดทำให้ระดับพลังงานแสงของระบบที่ส่งออกไปมีความเที่ยงตรงแน่นอน

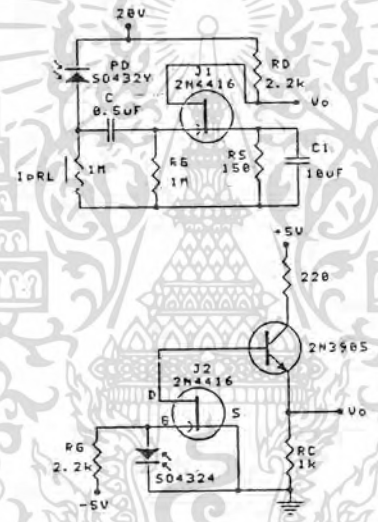
3.23 วงจรดีเทคเตอร์



รูปที่ 3.38 วงจรทำงานของโฟโตไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะวงจรทำงานในแบบของโหมดโฟโตวอลตาอิก โดยการต่อโฟโตไดโอดอนุกรมกับตัวต้านทานโหลด R_L เมื่อมีแสงตกกระทบจะเกิดกระแสไหลทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมโหลด R_L มีค่าเท่ากับ $I_P * R_L$ เมื่อ I_P คือ กระแสที่ไหลในวงจรอนุกรมซึ่งมีค่าไม่มาก หากต้องการให้กระแส I_P มีค่ามากขึ้น ต้องเพิ่มแรงดันไบอัสให้กับโฟโตไดโอด เพื่อให้เกิดการทำงานในโหมดโฟโตคอนดักทีฟ



รูปที่ 3.39 วงจรโฟโตดีเทคเตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์

ในทางปฏิบัติมักจะใช้วงจรที่ทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมโฟโตไดโอดมีค่าคงที่ตลอดเวลา เพื่อช่วยให้สามารถสร้างกระแส I_P ได้อย่างมีเสถียรภาพดังเช่น ที่ทำงานในโหมดต่างกัน แต่ค่าของแรงดันเอาต์พุท V_{OUT} ที่ต้องการมีค่าเป็นไปตามสมการเดียวกันคือ

$$_{OUT} = -I_P * R_F$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีโหมดการทำงานแบบโฟโตคอนดักทีฟ จะทำงานได้เร็วกว่า ซึ่งเป็นชนิดโหมดโฟโตวอลตาอิก ค่าของกระแส I_p เป็นผลอันเนื่องมาจากผลของแสงตกกระทบ และคำนวณได้จาก

$$I_p = R * Pin$$

เมื่อ R เป็นค่าของกระแสต่อพลังงาน (แอมป์/วัตต์) กำหนดด้วยสเปกของมัน และ Pin เป็นพลังงานแสงหรือ ขนาดความเข้มแสงที่ตกกระทบโฟโตไดโอด ในการออกแบบวงจรต้องคำนึงถึงค่าของกระแสที่เกิดจากโฟโตไดโอด ขณะมีการไบอัสกลับรวมเข้าไปกับ I_p ด้วย จึงจะได้ค่าจริงออกมา

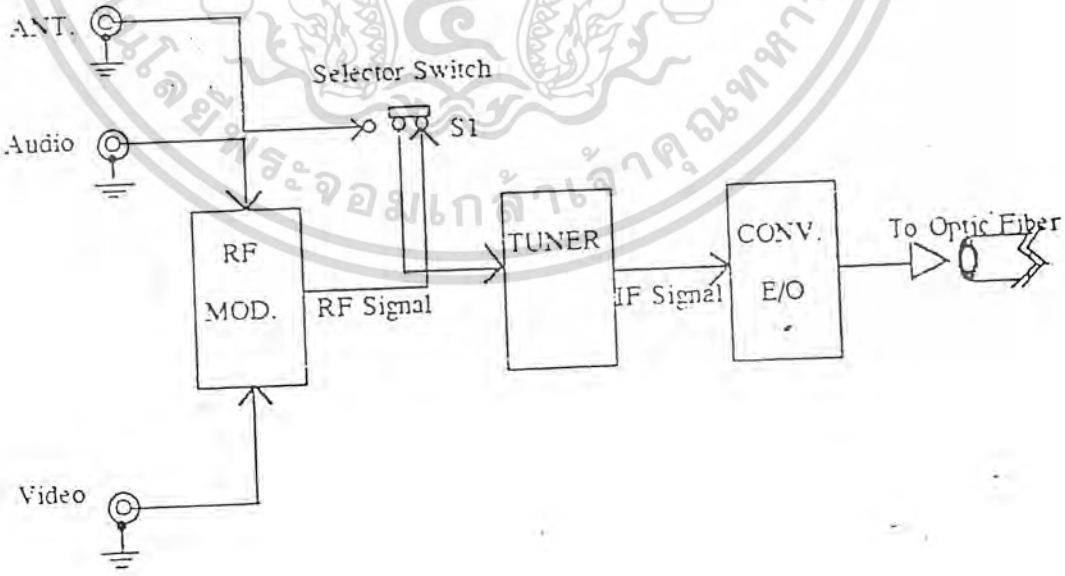
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบ

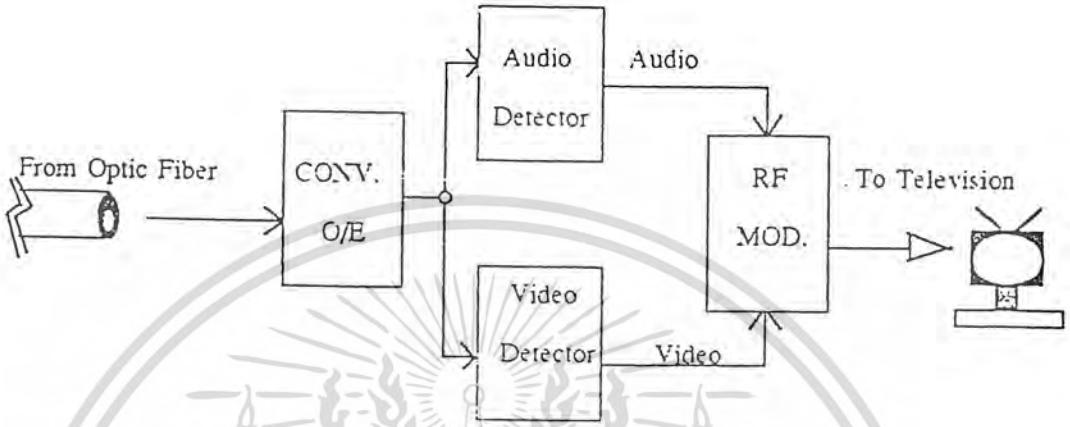
ในบทนี้ จะกล่าวถึงเรื่องของการออกแบบระบบและการสร้างวงจรส่วนต่างๆ ของโครงงานนี้ ซึ่งองค์ประกอบของโครงงาน จะสามารถแยกออกได้เป็นสองส่วนใหญ่ๆ คือ วงจรทางด้านส่ง เช่น วงจรสร้างสัญญาณภาพโทรทัศน์ วงจรขยาย และวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง และวงจรทางด้านรับ เช่น วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้า วงจรแยกสัญญาณภาพ (video detector) วงจรแยกสัญญาณเสียง (audio detector)เป็นต้น จะกล่าวรายละเอียดต่อไป โดยทั่วไปแล้วระบบอนาล็อกสามารถจะนำเอา LED มาเป็นตัวเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสงได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้ LD ในการส่ง และในทำนองเดียวกันทางด้านรับก็จะใช้ PD เป็นตัวรับแสงแล้วทำการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้า จากข้อสรุปคุณสมบัติของอุปกรณ์ทั้งสอง คือ จะใช้ LED ทางด้านส่ง และ PD ทางด้านรับ สามารถจะตอบสนองความถี่ที่จะใช้ในโครงงานนี้ได้ดี และมีประสิทธิภาพสูงพอสมควร และประหยัด

4.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสง



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 บล็อกไดอะแกรมของภาครับ

4.2 วงจรภาคส่ง

จูนเนอร์และภาคขยายไอเอฟ

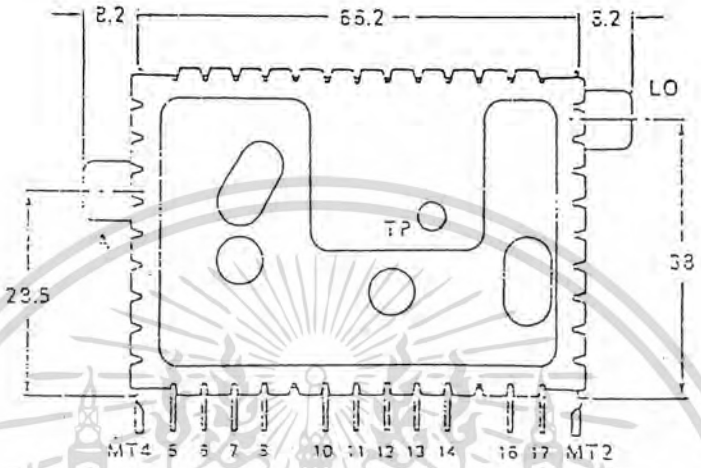
จูนเนอร์คือ การรับสัญญาณจากสถานีโทรทัศน์แล้วแปรเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณภาพ และเสียงขึ้นที่เครื่องรับโทรทัศน์ หน้าที่การทำงานของจูนเนอร์พอสรุปได้ดังนี้คือ

1. เปลี่ยนสัญญาณจากสายอากาศ (ซึ่งจะมีขนาดตั้งแต่ 50 MHz-1GHz) เป็นความถี่ไอเอฟค่าคงที่
2. ทำการขยายสัญญาณที่รับมาให้แรงขึ้นซึ่งขึ้นอยู่กับความแรงของสัญญาณที่เข้ามา
3. ขจัดสัญญาณที่อยู่นอกย่านความถี่สัญญาณโทรทัศน์และสัญญาณรบกวนต่างๆ

สำหรับจูนเนอร์ที่ใช้นี้คือ UV 711 จูนเนอร์แบบนี้รับความถี่ได้ทั้งย่าน UHF และ VHF ในระบบ โทรทัศน์ CCIR สำหรับตำแหน่งขาและหน้าที่การทำงานของขาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 หน้าที่การทำงานแต่ละขาของจูนเนอร์ UV 711



รูปที่ 4.3 ตำแหน่งขา TUNER

ขา 1 เป็นขาสำหรับป้อนสัญญาณอาร์เอฟจากเสาอากาศเข้าที่ขา 1 โดยตรง

ขา 5 เป็นขาสำหรับสัญญาณ เอจีซี ที่ป้อนกลับมาจากภาคไอเอฟ

ขา 6 เป็นขาสำหรับป้อนไฟ + 12 โวลท์ มาเลี้ยงที่ขานี้

ขา 7 เป็นขาสำหรับเลือกความถี่ทางแบนด์ I หรือแบนด์ a หรือแบนด์ VHF_a ถ้ามีไฟ + 11 ถึง + 12 โวลท์ มาป้อนที่ขานี้

ขา 8 เป็นขาสำหรับเลือกย่านความถี่ทางแบนด์ II หรือแบนด์ b หรือแบนด์ VHF_b ถ้ามีไฟ + 11 ถึง + 12 โวลท์ มาป้อนที่ขานี้

ขา 10 เป็นขาสำหรับเลือกย่านความถี่ทางแบนด์ IV หรือแบนด์ c หรือแบนด์ UHF ถ้ามีไฟ + 11 ถึง + 12 โวลท์ มาป้อนที่ขานี้

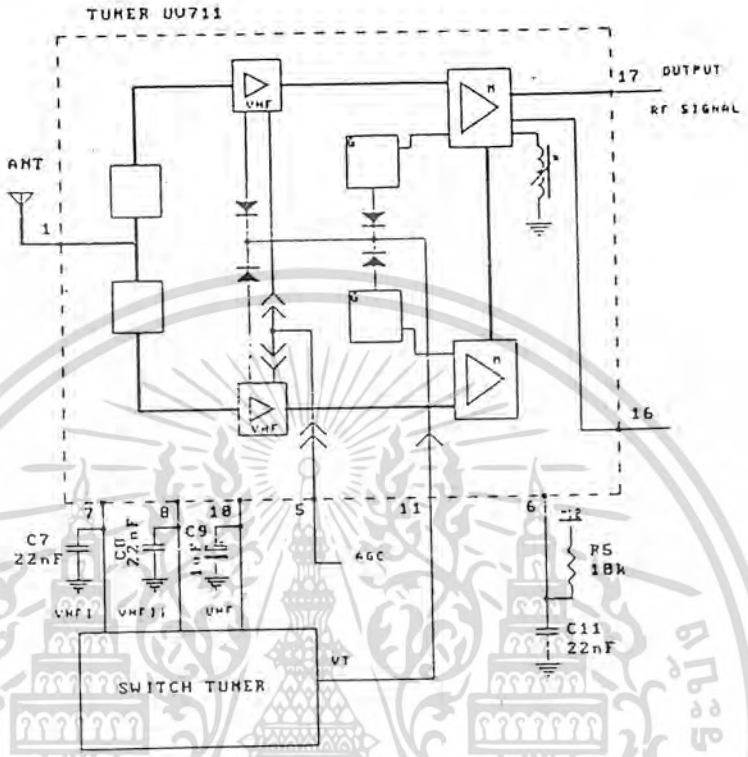
ขา 11 เป็นขาป้อนศักย์ไฟจูนนิ่งโวลท์เตจ หรือวีจูน หรือวีแวรี่ ซึ่งเป็นศักย์ไฟดีซีมีค่าตั้งแต่ 0 โวลท์ ถึง 24.5 โวลท์ ขณะที่กำลังค้นหาสถานีอยู่ศักย์ไฟจะเปลี่ยนแปลงจากต่ำไปสูง กลับไปมาตลอดเวลาที่กำลังค้นหาสถานีอยู่ หากพบสถานีที่ต้องการแล้ว ศักย์ไฟที่ขา 11 นี้จะต้องนิ่งไม่เปลี่ยนแปลงเลย หากศักย์ไฟเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจะทำให้สถานีเคลื่อนด้วย

ขา 15 เป็นขากราวด์ของจูนเนอร์

ขา 17 เป็นขาเอาท์พุทของจูนเนอร์ ป้อนยังภาคไอเอฟต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทำงานของอิเล็กทรอนิกส์จูนเนอร์



รูปที่ 4.4 วงจรภายในจูนเนอร์ระบบ UHF และ VHF

จากรูปที่ 4.4 แสดงวงจรภายในจูนเนอร์ UV 711 และวงจรประกอบสัญญาณอาร์เอฟจากสายอากาศจะถูกวงจรฟิลเตอร์แยกออกเป็น 2 ทาง คือ ทาง VHF และทาง UHF โดยที่ VHF จะแยกผ่านทางวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) และ UHF จะแยกผ่านทางวงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter) สัญญาณอาร์เอฟจะถูกขยายให้แรงขึ้นและป้อนเข้าไปผสมกับความถี่ออสซิลเลเตอร์ ในวงจรผสมคลื่นหรือมิกเซอร์ เพื่อให้ได้ความถี่ไอเอฟออกมาที่ขา 17 เพื่อจ่ายให้กับภาคไอเอฟ หลักการ ทำงานของจูนเนอร์นี้ก็ใช้หลักการทำงานแบบซุปเปอร์เฮดเซอร์โรดายน์นั่นเอง

หน่วยขยายสัญญาณอาร์เอฟบล็อก A และ B จะถูกควบคุมด้วยสัญญาณ เอจีซี แบ่งหน่วยเวลา (Delayed AGC) โดยถูกป้อนมาจากขา 5 ของภาคไอเอฟ มาที่ขา 5 ของจูนเนอร์ การควบคุมจะเป็นไปในทางลบ หมายความว่า ถ้าสัญญาณจากสายอากาศมีความแรงมาก (เกิดจากระดับที่ตั้งไว้) ศักย์แรงไฟที่ขา 5 ของจูนเนอร์จะลดลงทำให้อัตราการขยายของจูนเนอร์ลดลง โดยอัตราการขยายนี้สามารถตั้งได้ด้วย R_3 ที่ขา 1 ไอซี TDA 8305 ในภาคไอเอฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการจูนเพื่อรับสถานีนั้น จะใช้ควบคุมความจุของตัววาริแคป โดยการป้อนศักย์แรงไฟตรงที่มีความเที่ยงตรงสูง ศักย์แรงไฟนี้เรียกว่า "จูนนิ่งโวลท์เตจ" (V-TUNE หรือ V-VARI) ศักย์แรงไฟนี้มีค่าประมาณ 0 ถึง 24.5 โวลท์ ป้อนมาที่ขา 11 ของจูนเนอร์ ศักย์แรงไฟนี้ได้มาจากชุด Switch Tuner หรือ PRE SET ผ่าน R_7 เพื่อใช้ค้นหาสถานีหลังจากจูนหาสถานีพบแล้ว แรงไฟที่ได้นี้ต้องคงที่ตลอดเวลา หากแรงดันเปลี่ยนจะทำให้สถานีที่รับได้คลาดเคลื่อน ฉะนั้นเมื่อรับสถานีได้ชัดแล้ว ที่ภาคไอเอฟของเครื่องรับจะมีหน่วยผลิตศักย์ไฟจูนนิ่งโวลท์เตจให้สร้างศักย์ไฟชดเชยการเปลี่ยนแปลงนี้

สำหรับการเลือกย่านความถี่หรือแบนด์ต่างๆ ของระบบโทรทัศน์ ทำการเลือกแถบความถี่โดยป้อนไฟตรงประมาณ 12 โวลท์ เข้าที่ขา 7,8 หรือ 10 ของจูนเนอร์เพื่อเลือกแถบความถี่ VHF_a, VHF_b หรือ UHF ตามลำดับ โดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1

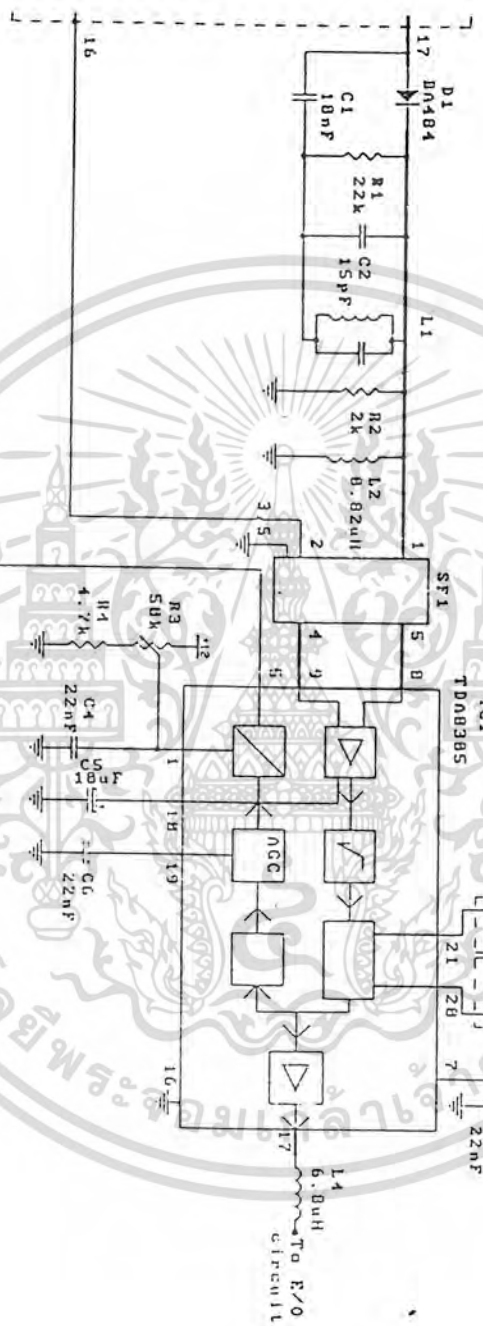
ศักย์ไฟจ่ายออกที่			จูนเนอร์เบอร์ UV711	
ตำแหน่งของสวิทช์เลือก			X	แถบความถี่ที่เลือกรับ
a	b	c	-	-
12 V	0 V	0 V	7	VHF แบนด์ I หรือ a หรือรับช่อง 2 ถึง 4
0 V	12 V	0 V	8	VHF แบนด์ III หรือ b หรือรับช่อง 5 ถึง 12
0 V	0 V	12 V	10	UHF แบนด์ IV หรือ c หรือรับช่อง 21 ถึง 69

X หมายถึง ตำแหน่งขาของจูนเนอร์

ตารางที่ 4.1 การเลือกแถบความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ภาคขยายสัญญาณไอเอฟและดีมอดูเลเตอร์ (IF Amplifier and Demodulator)



รูปที่ 4.5 วงจรขยายสัญญาณไอเอฟและดีมอดูเลเตอร์

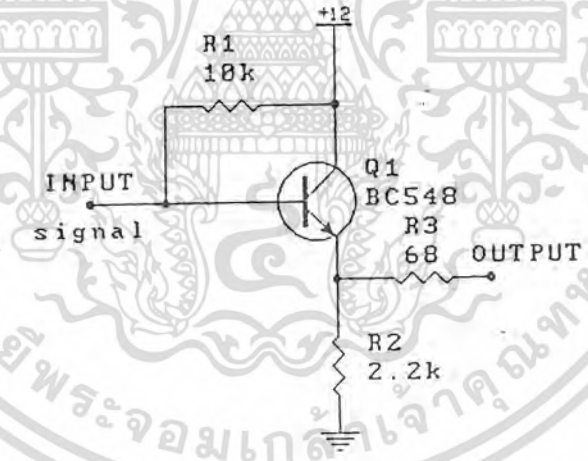
สัญญาณไอเอฟที่ออกจากขา 17 ของตัวจูนเนอร์จะผ่านวงจรซอร์ฟิลเตอร์ SF_1 ซึ่งทำหน้าที่กรองสัญญาณให้ผ่านได้เฉพาะสัญญาณไอเอฟเท่านั้น เพื่อส่งเข้าขา 8 และขา 9 ของไอซี TDA 8305 (IC_1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสัญญาณที่ออกจากไอซีตัวนี้ จะมีสัญญาณภาพ, เสียง และซิงค์ โดยสัญญาณทั้งหมดจะออกมาทางขา 17 ของไอซีตัวนี้

จากรูปที่ 4.5 สัญญาณไอเอฟที่ผ่านเข้ามาทางขา 8 และขา 9 ของ IC_1 นี้จะถูกขยายด้วยหน่วยขยายสัญญาณและหน่วยกำจัดความแรงของสัญญาณ สัญญาณไอเอฟที่ผ่านเข้ามานี้จะถูกแยกคลื่นพาห์ของภาพ (Picture Carrier) ความถี่ 38.9 เมกกะเฮิรซ์ ออกโดยความถี่นี้ถูกกำหนดด้วย L_3 ที่ภาคดีมอดูเลเตอร์ สัญญาณด้านออกของหน่วยดีมอดูเลเตอร์จะประกอบด้วยสัญญาณภาพ, สัญญาณเสียง, และซิงค์ ซึ่งจะถูกขยายและส่งออกมาทางขา 17 ของ IC_1 และในขณะเดียวกันสัญญาณนี้จะถูกส่งกลับผ่านหน่วยกรองความถี่ ที่ให้ผ่านเฉพาะความถี่ต่ำมายังหน่วยควบคุมอัตราการขยายโดยอัตโนมัติ (Automatic Gain Control) หน่วยนี้จะได้แรงดันไฟตรงซึ่งขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยของสัญญาณภาพ มาควบคุมอัตราการขยายของหน่วยขยายภาพ ไอเอฟภายใน IC_1 และอัตราขยายของหน่วยขยายสัญญาณอาร์เอฟภายในจูนเนอร์ด้วย

4.6 วงจรขยาย (Amplifier)



รูปที่ 4.6 วงจรขยาย

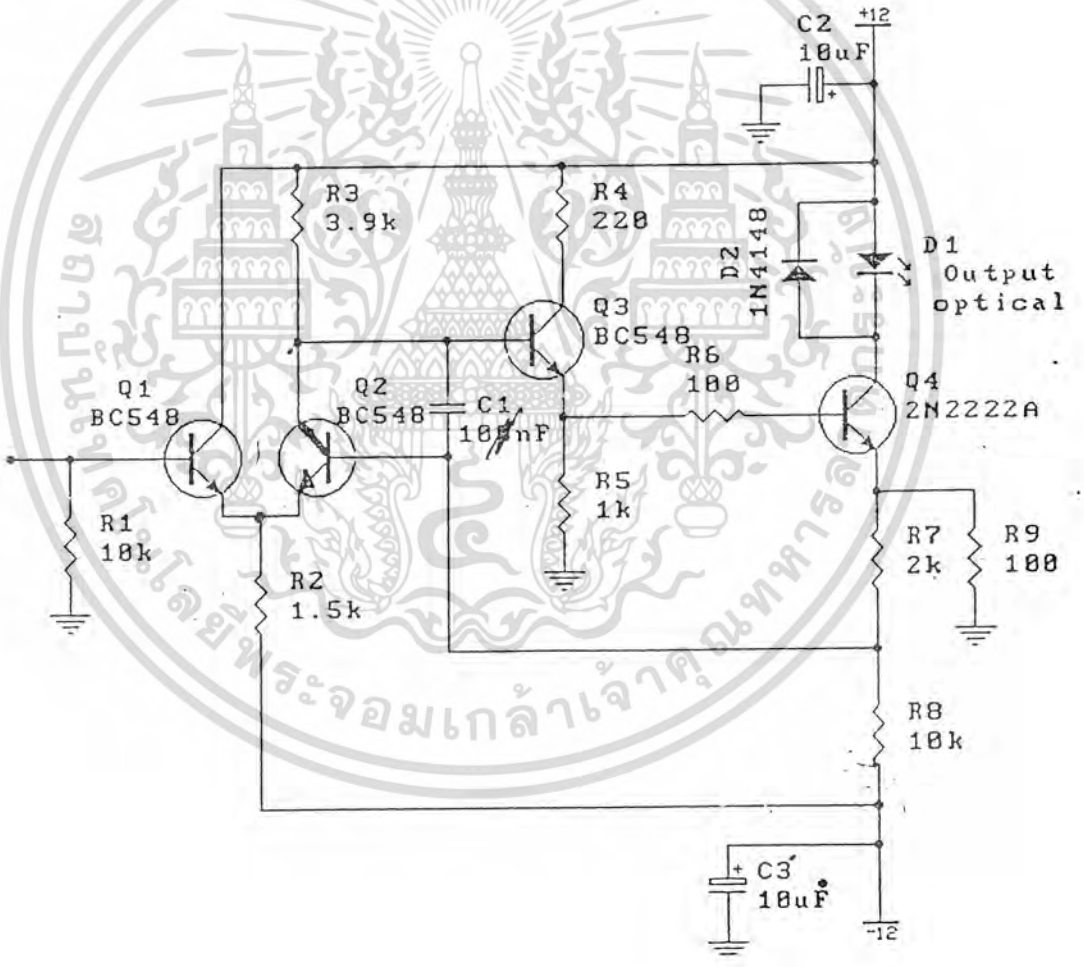
การทำงานของวงจร

จากวงจรในรูปที่ 4.6 เป็นวงจรขยายแบบเข้าหนึ่งออกหนึ่งหรือเรียกว่าวงจรบัฟเฟอร์ (Buffer) ซึ่งจะขยายสัญญาณในอัตราขยาย (Gain) เท่ากับ 1 (G=1) ซึ่งจะทำการขยายสัญญาณภาพจากขา 17 ของ TDA 8305 ผ่านคาปาซิเตอร์อินพุทเข้าขาเบส (Base) ของทรานซิสเตอร์ BC548 ซึ่งมีความถี่กว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Bandwidth Frequency) 300 เม็กกะเฮริซ์ เพราะฉะนั้นจะสามารถขยายสัญญาณภาพที่ถูกกำจัดคลื่นพาหะ (Carrier) ออกแล้ว โดย TDA 8305 เหลือเพียง 5.5 เม็กกะเฮริซ์ และจะได้สัญญาณขาออกที่ขาอีมิตเตอร์ (Emitter) ของทรานซิสเตอร์ BC 548 สัญญาณที่ได้จะมีความชัดคือขอบของสัญญาณจะคมขึ้น สัญญาณขาออกที่ได้จะป้อนเข้าสู่วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสง (E/O Converter) ต่อไป

4.7 วงจรมอดูเลตทางแสง (E/O Converter)



รูปที่ 4.7 วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

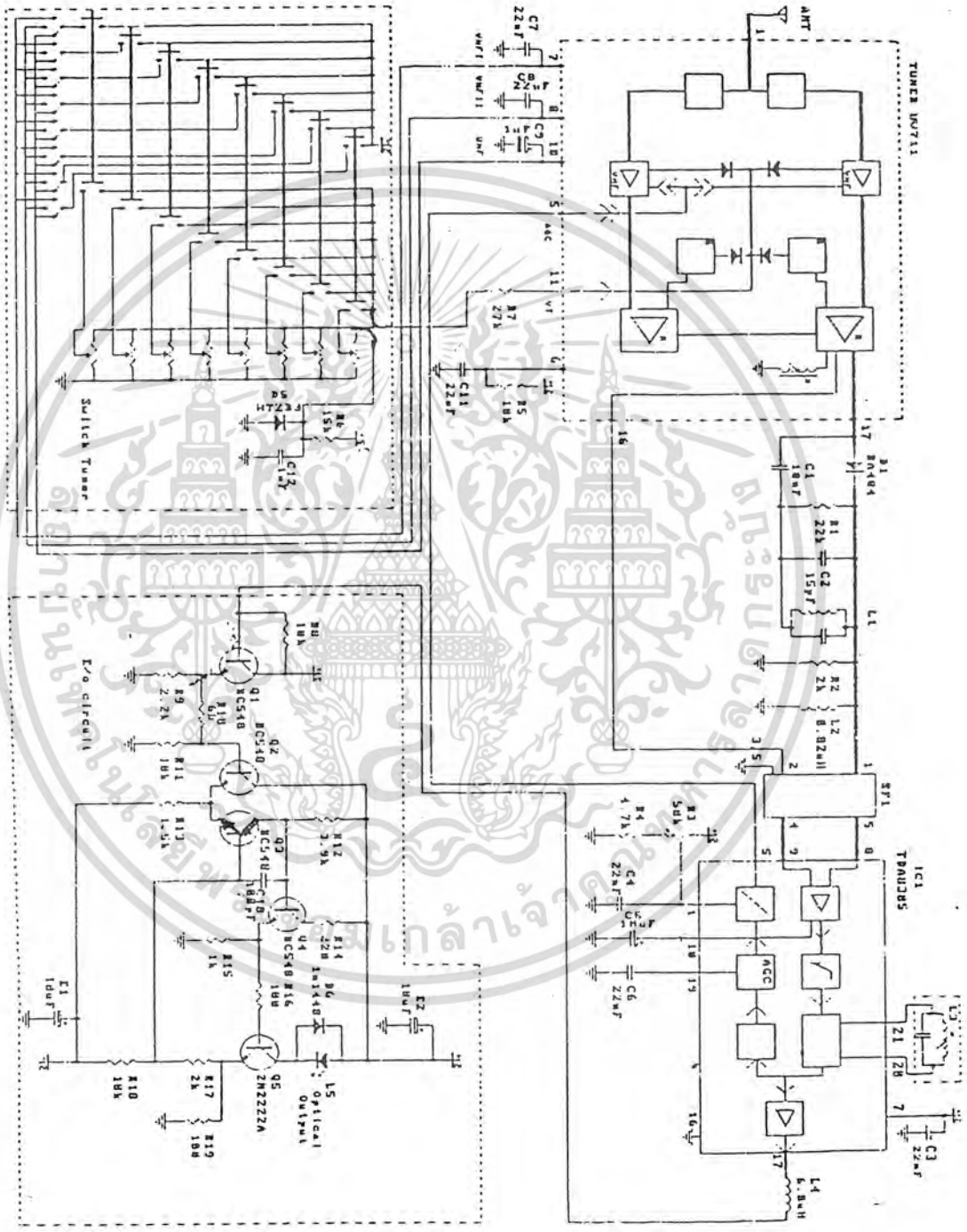
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจร

จากรูปที่ 4.7 เป็นวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง จากวงจรจะประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 4 ตัว ซึ่งทำหน้าที่ต่างๆ ดังนี้ จากรูป ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 จะต่ออยู่ในลักษณะวงจร ดิฟเฟอเรนเชียน (Differential) จะทำการเปรียบเทียบระดับสัญญาณอินพุทที่เข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 กับสัญญาณที่ถูกป้อนกลับเข้ามาจากขาอีมิเตอร์ ของทรานซิสเตอร์ Q4 มายังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q2 ถ้าสัญญาณอินพุทที่เข้ามาทางขาเบส Q1 มีขนาดเท่ากับสัญญาณที่เข้าขาเบสของ Q2 จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 นำกระแส กระแสที่ขาคอลเลคเตอร์ของ Q2 จะแยกไปไบอัส (Bias) ยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q3 ก็จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q3 นำกระแส เมื่อทรานซิสเตอร์ Q3 นำกระแสก็จะเกิด กระแส Ib ที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q4 เมื่อกระแสเบสมีค่าสูงพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q4 นำกระแสก็จะเกิดมีกระแสคอลเลคเตอร์ไหลผ่านไปยังขาอีมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q4 ซึ่งที่ขาคอลเลค เตอร์จะมี LED ต่ออยู่ในลักษณะฟอร์เวอร์ดไบอัส (Forward Bias) ดังนั้นเมื่อทรานซิสเตอร์ Q4 นำกระแสก็จะมีกระแสคอลเลคเตอร์ไหลผ่าน LED ทำให้มีแสงถูกปล่อยออกไปยังเส้นใยแสง ส่วนกระแสคอลเลคเตอร์จะสามารถกำหนดได้ โดยขึ้นอยู่กับค่าของความต้านทานที่ต่อกับขาอีมิตเตอร์ของ Q4 ลงกราวด์

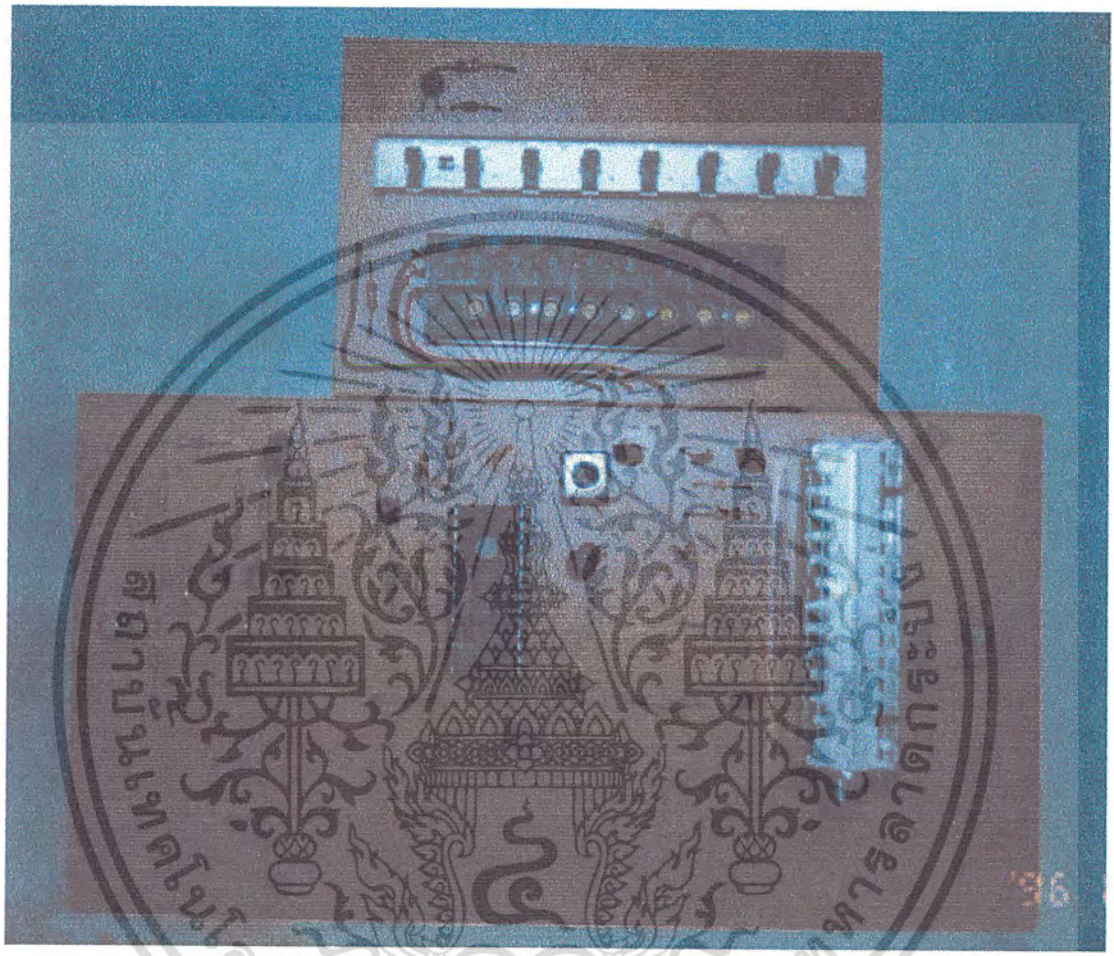
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 วงจรรวมด้านเครื่องส่ง



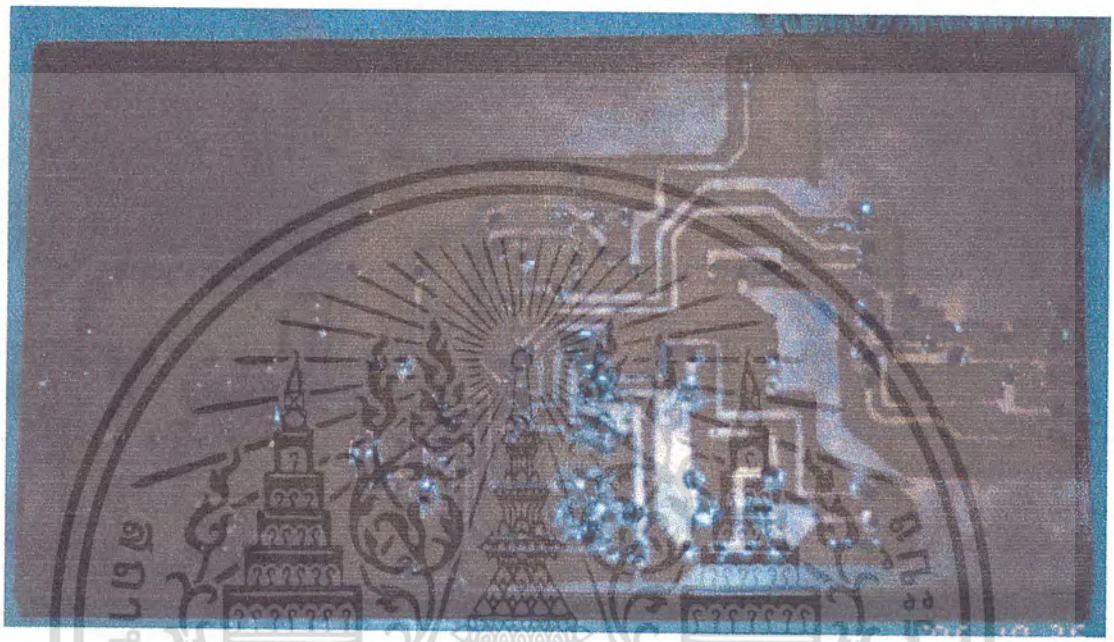
รูปที่ 4.8 วงจรของภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



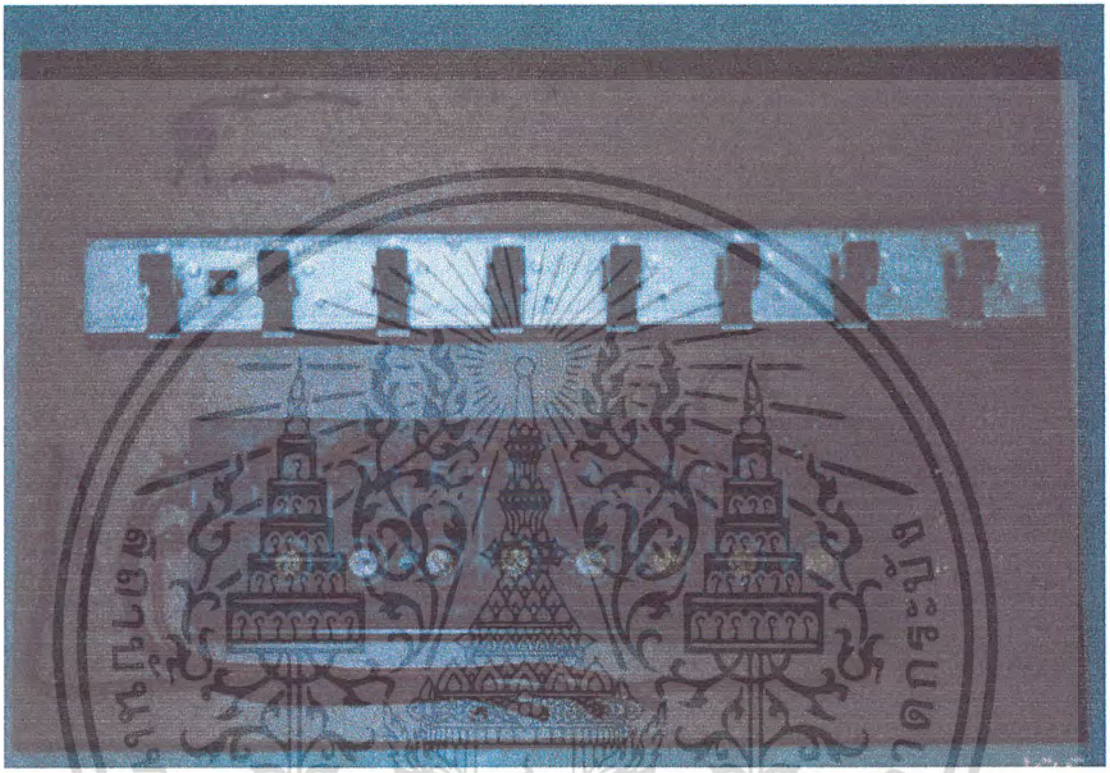
รูปที่ 4.9 แสดงการวางอุปกรณ์รวมทางด้านภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงลายวงจรทางด้านภาคส่ง

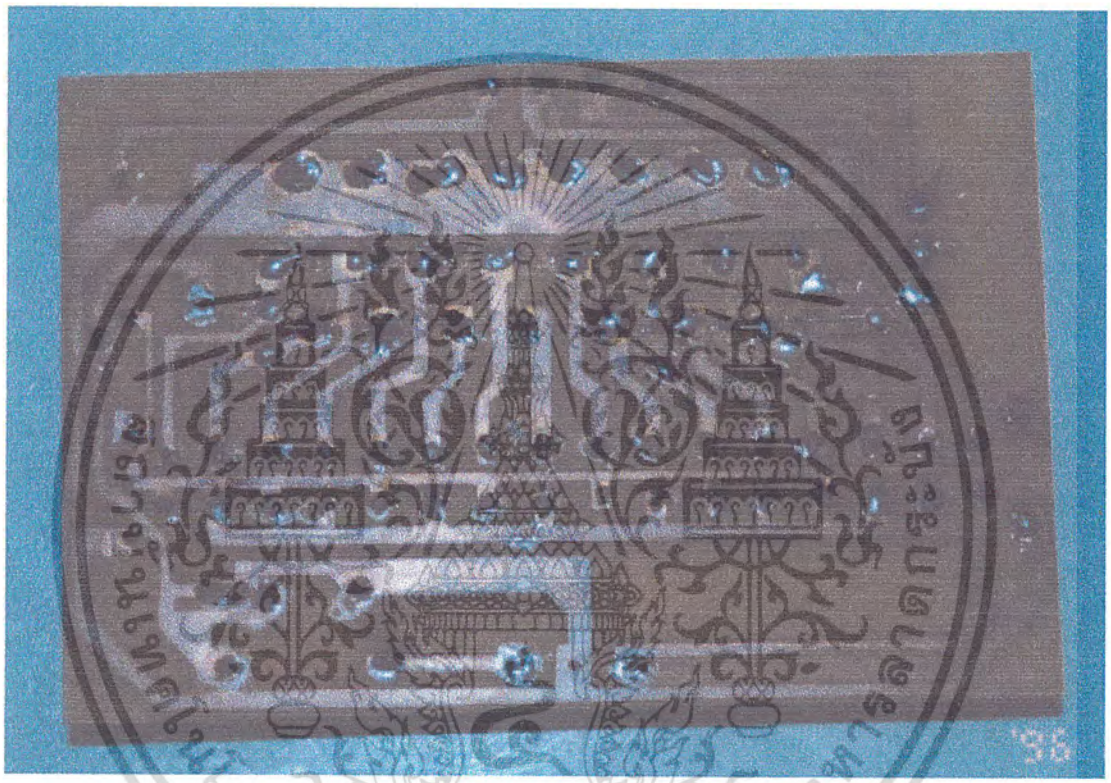
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) แสดงการวางอุปกรณ์ของสวิทช์จูนเนอร์

รูปที่ 4.11 แสดงภาพของสวิทช์จูนเนอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข) แสดงลายวงจรของสวิทช์จูนเนอร์

รูปที่ 4.11 แสดงภาพของสวิทช์จูนเนอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ภาคส่ง

PART	MODEL	DESCRIPTION	QUANTITY
R_1	Carbon	22 k ohm	1
R_2, R_{17}	"	2 k ohm	2
R_3	Potentionmeter	50 k ohm	1
R_4	Carbon	4.7 k ohm	1
R_5, R_8, R_{11}, R_{18}	"	10 k ohm	4
R_7	"	27 k ohm	1
R_9	"	2.2 k ohm	1
R_{10}	Carbon	68 ohm	1
R_{12}	"	3.9 k ohm	1
R_{13}	"	1.5 k ohm	1
R_{14}	"	220 ohm	1
R_{15}	"	1 k ohm	1
R_{16}, R_{19}	"	100 ohm	2
L_1	Inductor	0.32 uH	1
L_2	"	0.02 uH	1
L_3	Inductor Variable		1
L_4	Inductor	6.8 uH	1
C_1	Milar	10 nF	1
C_2	Ceramic	15 pF	1
C_3, C_4, C_6, C_7, C_8, C_{11}	Milar	22 nF	6
C_5	Electrolitics	10 uF	1
C_9	Ceramic	100 pF	1
C_{13}, C_{14}	Electrolitics	10 uF	2
D_1	Silicon	BA 484	1
D_3	"	lN 4148	1
D_4	LED	HFE 4070	1
Q_1, Q_2, Q_3, Q_4	NPN	BC 548	4
Q_5	NPN	2N 2222 A	1
TUNER		UV 711	1
IC_1		TDA 8305	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

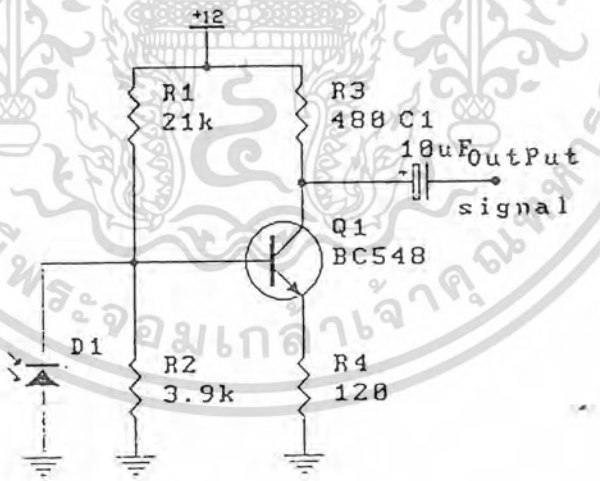
IC_2	Ceramic Filter	OFWB 1950	1

Switch Tuner

	Sector band switch		1
	Preset		1
	Switch Channal		1
R_6	Carbon	15 k ohm	1
C_{12}	Ceramic	1 nF	1
D_2		HTZ 33	1

4.9 วงจรภาครับ

วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นไฟฟ้า (O/E Conventer)



รูปที่ 4.12 วงจรเปลี่ยนแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$\therefore R_{B2} \approx 3.9$ กิโลโอห์ม

6. คำนวณหาค่าความต้านทาน R_{B1}

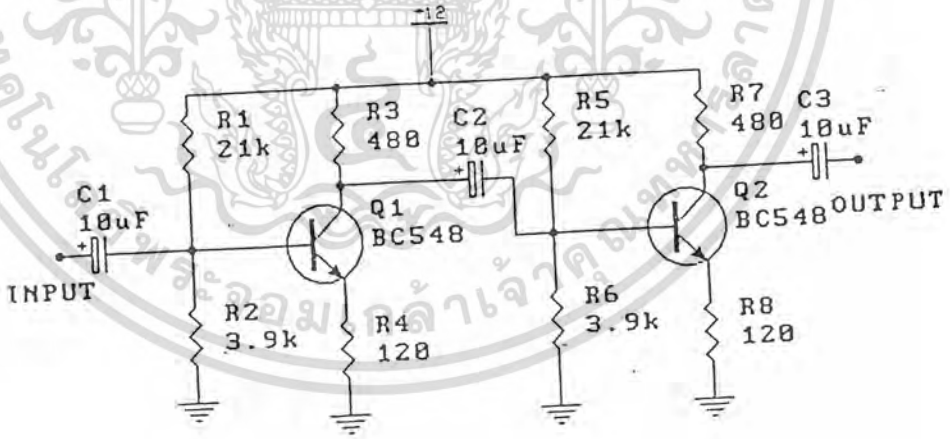
เมื่อ $V_{B1} = V_E + V_{BE} =$ 1.9 V

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

$\therefore R_{B1} =$ 21 กิโลโอห์ม

นำค่าความต้านทานค่าต่างๆ ที่คำนวณได้ไปแทนลงในวงจรรูปที่ 3.11

4.10 วงจรขยาย



รูปที่ 4.13 วงจรขยาย 2 สเตท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจร

จากรูปเป็นวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า เมื่อด้านส่งๆ สัญญาณแสงเข้ามาในเส้นใยแสง โดย LED ทางด้านรับก็จะรับสัญญาณแสงที่ส่งเข้ามาโดยใช้โฟโตไดโอด (Photo Diode) จากรูป เมื่อมีแสงเข้ามายังโฟโตไดโอดก็จะทำให้ค่าความต้านภายในของโฟโตไดโอดลดลง ซึ่งสามารถทำให้กระแสไหลผ่านตัวโฟโตไดโอดได้ ดังนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลมาไบอัสแก่ทรานซิสเตอร์ตามสภาวะของแสงที่เข้ามา เมื่อกระแสที่ไบอัสให้แก่ทรานซิสเตอร์ตามความถี่ของแสงที่ส่งมาจะทำให้สัญญาณขาออกที่ขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ จะมีลักษณะเหมือนทางด้านส่งทุกประการ สัญญาณขาออกจะผ่านคาปาซิเตอร์ไปยังวงจรขยาย 2 สเตท (State) ต่อไป

การออกแบบ

1. กำหนดเบอร์ทรานซิสเตอร์ที่เหมาะสมและเลือกจุดการทำงานของทรานซิสเตอร์ จากกราฟคุณสมบัติ

จากความถี่ของสัญญาณภาพมีค่า แบนด์วิดช์ 5.5 Mhz กำหนดใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC 548 ซึ่งมี Bandwidth Frequency 300 Mhz, hfe = 333, V_{CE} = 60 V, Ic_{max} = 600 mA พิจารณาจากกราฟคุณสมบัติจะเลือกใช้จุดการทำงานของทรานซิสเตอร์ BC 548 ที่ Vcc = 12 V จะได้

$$Ic = 10mA\ (Ic = I_E),\ I_B = 30\ uA,\ V_{CE} = Vcc/2 = 6V$$

2. โดย V_E กำหนดให้มีค่า 1/10 Vcc

$$V_E = 1.2\ V$$

3. เพราะฉะนั้นคำนวณหาค่าความต้านทาน RE

$$R_E = V_E/I_E = 120 \text{ โอห์ม}$$

4. คำนวณหาค่าความต้านทาน R_C

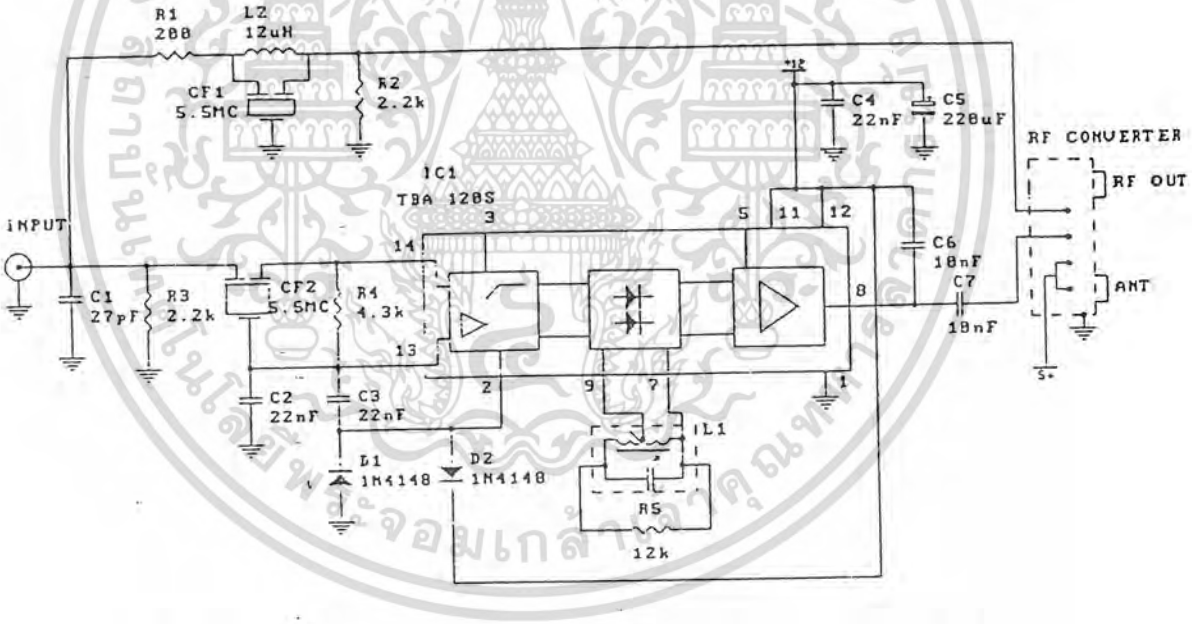
$$Rc = (Vcc - V_{CE} - V_E) / I_C = 480 \text{ โอห์ม}$$

5. คำนวณหาค่าความต้านทาน R_{B2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจร

จากรูปเป็นวงจรขยาย 2 สเตท สัญญาณที่ได้จากวงจรเปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า ก็จะได้สัญญาณภาพแล้วทำการขยายโดยวงจรขยายที่ได้ออกแบบให้มีการทำงานที่ถูกต้อง เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้ามีค่าน้อยมากๆ แม้จะผ่านวงจรทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ในลักษณะขยายครั้งหนึ่งแล้วก็ตาม ดังรูปที่ 4.13 ดังนั้นจึงต้องนำเอาสัญญาณนี้ มาขยายให้สูงขึ้นเพื่อให้เพียงพอที่จะนำไปดีเท็คเตอร์ (Detector) ต่อไปได้ จากรูปเมื่อสัญญาณไฟฟ้าเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานตามที่ออกแบบไว้ สัญญาณก็จะถูกขยายขึ้น ต่อจากนั้นก็จะนำเอาสัญญาณที่ได้จากขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q1 ไปขยายอีกครั้งหนึ่งเพราะยังมีขนาดต่ำอยู่ ดังนั้นจึงนำเอาสัญญาณขาออกที่ขาคอลเลคเตอร์ไปป้อนให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q2 เพื่อทำการขยายอีกครั้งหนึ่ง เมื่อสัญญาณขาออกที่ได้จากการขยายสเตทที่ 2 มีค่าสูงพอความต้องการแล้วก็จะนำไปป้อนให้กับวงจรดีเท็คเตอร์ และอาร์เอฟคอนเวอร์เตอร์ต่อไป



รูปที่ 4.14 วงจรแยกสัญญาณภาพและเสียงและวงจรผสมสัญญาณภาพและเสียง

4.11 ภาคแยกสัญญาณเสียง (Detector Audio Signal)

สัญญาณไอเอฟเสียงที่ได้จากหน่วยดีมอดูเลเตอร์สัญญาณภาพปรากฏที่ขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ (Q3) แล้วผ่านคาปาซิเตอร์ (C) ค่า 10 μ F ของภาคขยายสัญญาณรวมที่ได้จากวงจรแปลงแสงเป็นไฟฟ้ามาผ่านเซรามิคฟิลเตอร์ CF_2 มายังขา 14 ของไอซี TBA 120S (IC_1) ตัวเซรามิคฟิลเตอร์ซึ่งได้จูนไว้ที่ความถี่ปานกลางของเสียง (Sound Intermediate Frequency) คือ 5.5 MHz เท่านั้นผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

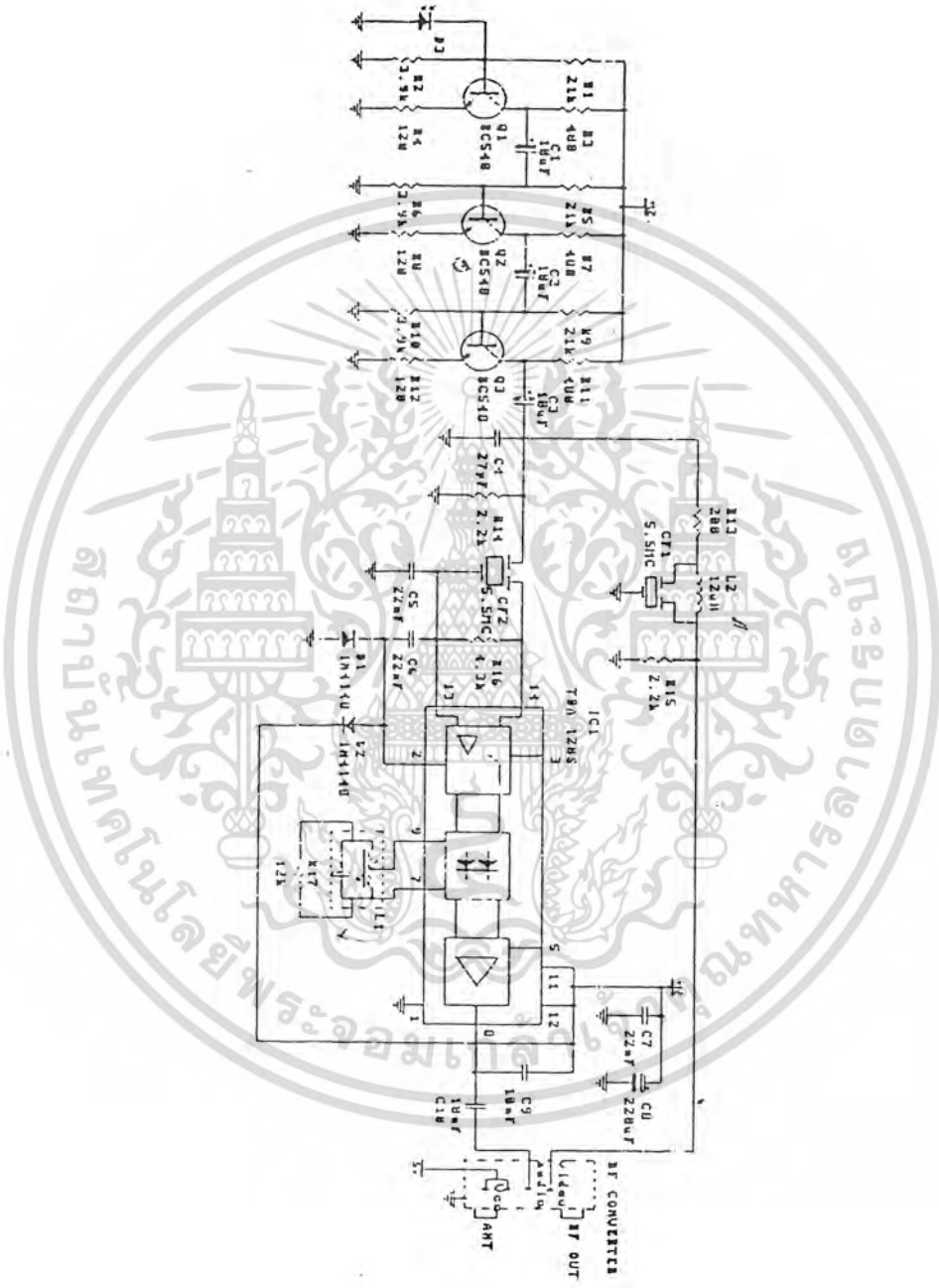
ไปได้ สัญญาณจะป้อนเข้าขา 14 มายังภาคขยายภายใน และสัญญาณนี้ก็จะผ่านหน่วยลิมิตเตอร์แบบสมมาตร คือ จะจำกัดหรือขลิบยอดทั้งบนและล่างของสัญญาณออกเท่าๆ กัน สัญญาณเอเอ็มที่แปลกปลอมเข้ามาก็จะถูกขจัดทิ้งไป เมื่อสัญญาณได้ถูกขยายแล้วจะป้อนไปยังหน่วยบาลานซ์ดีมอดูเลเตอร์ สัญญาณอ้างอิงดีมอดูเลเตอร์นี้ได้จาก คอยล์ L_1 เข้ามายังขา 7 และขา 9 ของไอซี (IC_1) TBA 120S L_1 นี้จะจูนให้ตรงกับความถี่ปานกลางของเสียง (IF Sound) หลังจากหน่วยดีมอดูเลเตอร์ หรือการดีเทคสัญญาณไอเอฟเสียงแล้วจะได้สัญญาณเสียงออกมาส่งไปยังขา 2 ของ RF Converter เพื่อนำไปผสมรวมกับสัญญาณภาพโดยใช้ความถี่คลื่นพาห์ของช่อง 3

4.12 ภาคแยกสัญญาณภาพ (Detector Video Signal)

สัญญาณไอเอฟที่ผ่านขา 17 ของไอซี TDA 8305 (ทางด้านส่ง) จะถูกส่งมายังด้านรับปรากฏที่ขา คอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ (Q_3) และผ่านคาปาซิเตอร์ค่า 10 μF จะประกอบด้วยสัญญาณภาพ, สัญญาณเสียง และซิงค์ ผ่านความต้านทาน R_1 ผ่าน L_2 และเซรามิคฟิลเตอร์ CF_1 จะทำหน้าที่กำจัดสัญญาณไอเอฟเสียงออกไป หลังจากนั้นจะเหลือเพียงสัญญาณภาพและซิงค์เท่านั้นแล้วส่งไปยังขา 1 ของ RF Converter เพื่อผสมกับสัญญาณไอเอฟเสียงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

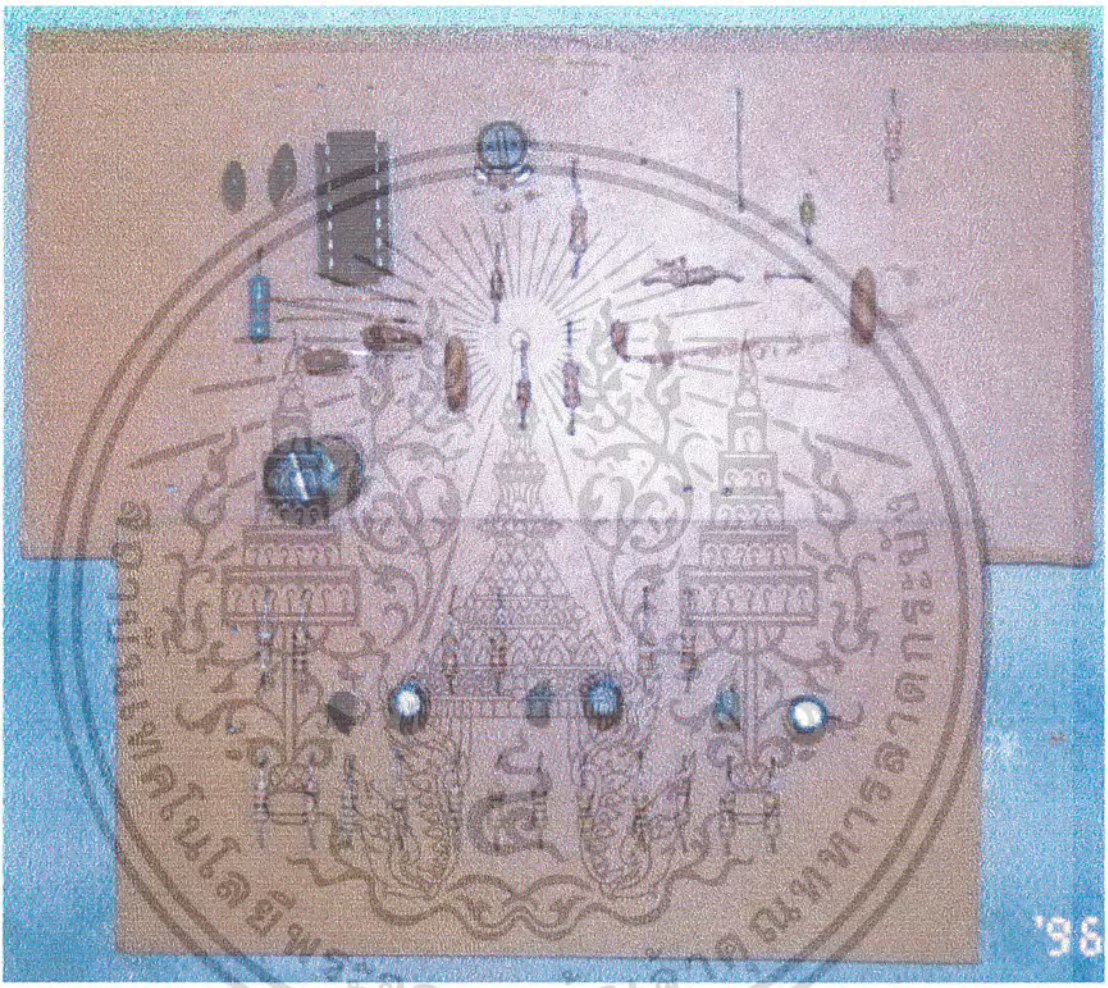
4.13 วงจรรวมทางด้านเครื่องรับ



รูปที่ 4.15 วงจรรวมของภาครับ

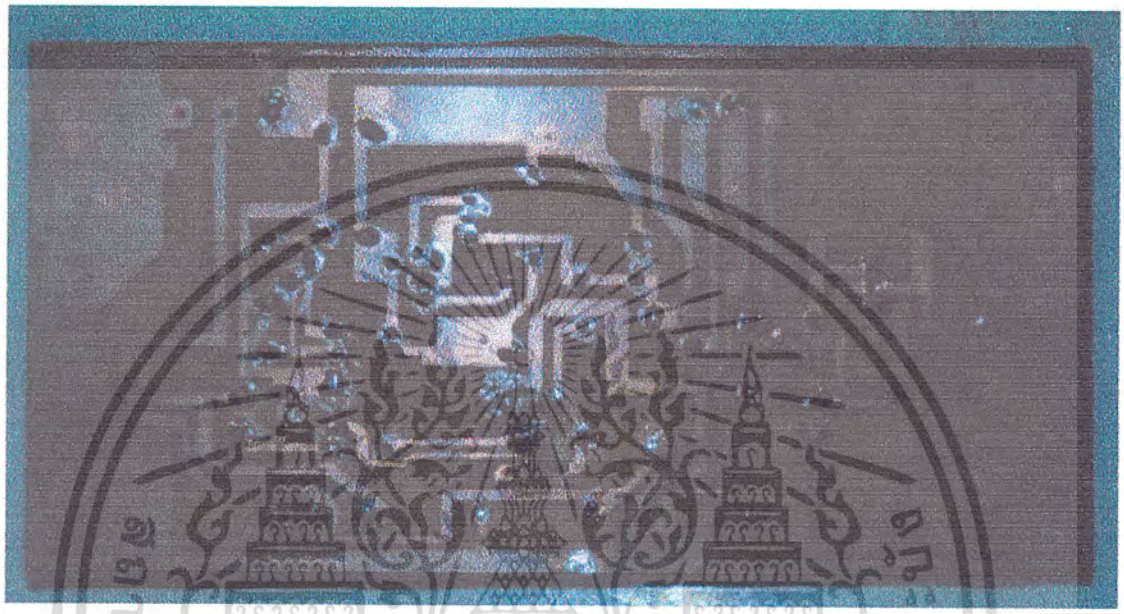
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรรวมทางด้านภาครับ



รูปที่4.16 การวางอุปกรณ์ทางด้านภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ลายวงจรทางด้านภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ภาครับ

วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

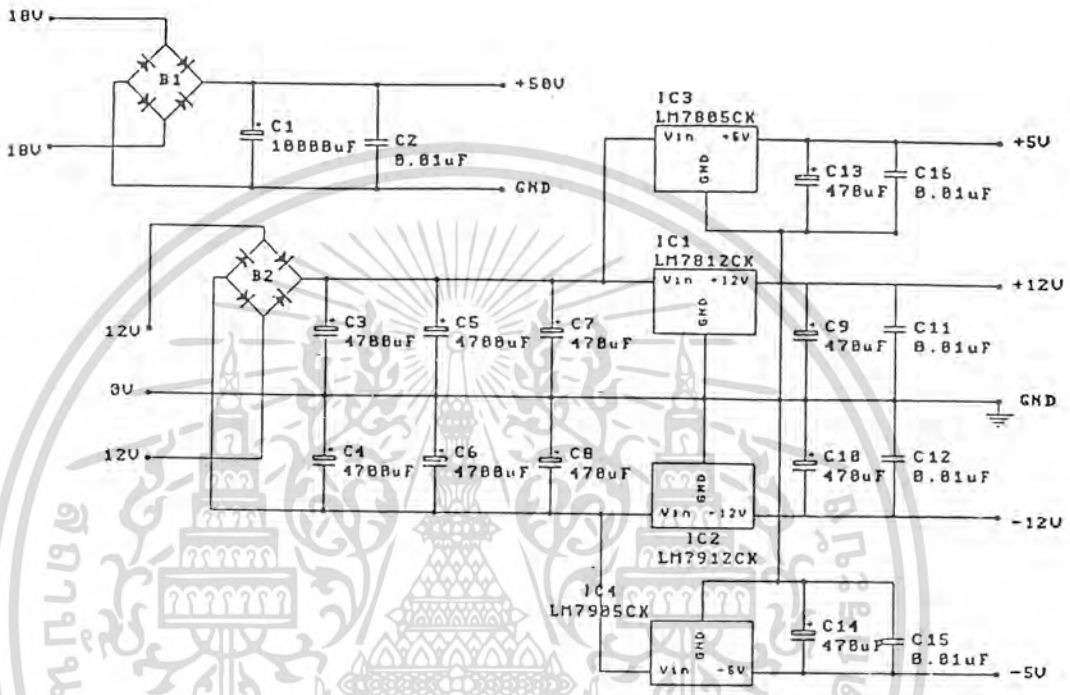
PART	MODEL	DESCRIPTION	QUVATITY
R_1, R_5, R_9	Carbon	21 k ohm	3
R_2, R_6, R_{10}	"	3.9 k ohm	3
R_3, R_7, R_{11}	"	480 k ohm	3
R_4, R_8, R_{12}	"	120 k ohm	3
C_1, C_2, C_3	Electrolitics	100 uF	3
D_3	Poto Diode		1
Q_1, Q_2, Q_3,	High Fre. Amp	BC 548	3

วงจรแยกสัญญาณโทรทัศน์

R_{13}	Carbon	200 ohm	1
R_{14}, R_{15}	"	2.2 k ohm	2
R_{16}	"	4.3 k ohm	1
R_{17}	"	12 k ohm	1
C_4	Ceramic	27 pF	1
C_5, C_6, C_7	Milar	22 nF	3
C_8	Electrolitics	220 uF	1
C_9, C_{10}	Milar	10 nF	2
L_1	กระป๋องจูน		1
D_1, D_2	Silicon	lN 4148	2
IC	Balance mod.	TBA 1203	1
RF Converter			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.14 วงจรจ่ายไฟฟ้า (Power Supply)



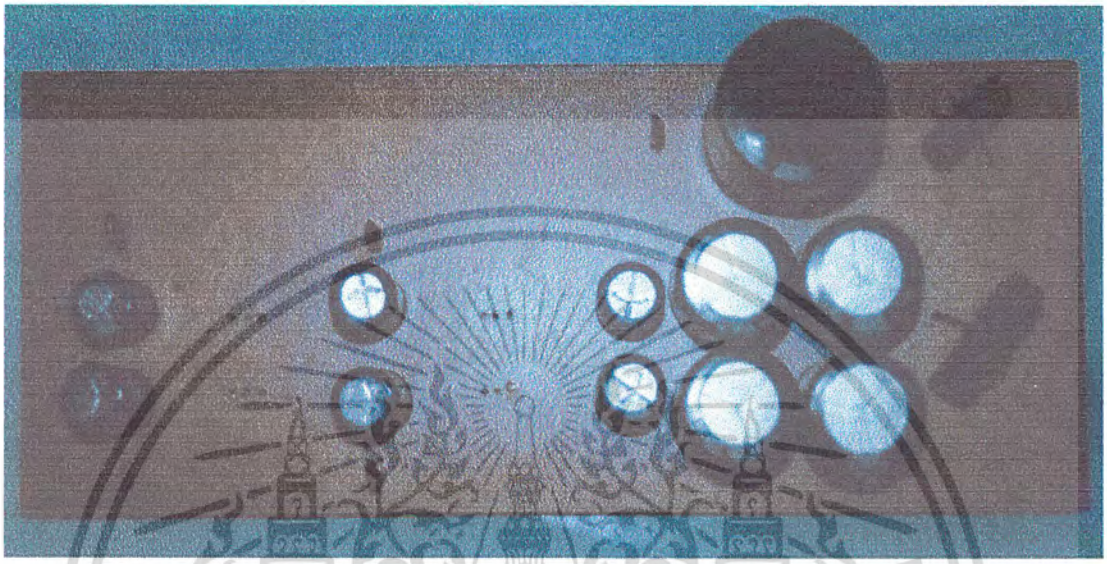
รูปที่ 4.18 วงจรจ่ายไฟ

การทำงานของวงจร

จากรูปแสดงวงจรจ่ายไฟซึ่งสามารถแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่จ่ายให้กับสวิทช์จูน (Switch Tune) จะมีระดับแรงดันเท่ากับ + 50 โวลท์ ส่วนที่สองจะใช้ในการจ่ายให้กับที่จุดต่างๆ ของวงจรทั้งหมด จะมีทั้งหมด 2 ระดับคือ 12 โวลท์ (บวก, ลบ) และ 5 โวลท์ (บวก, ลบ) จากวงจรในส่วนที่หนึ่งจะนำเอา ระดับแรงไฟจากหม้อแปลงขนาด 36 โวลท์ ป้อนให้กับไดโอด เร็คติไฟร์ (Rectifier) ก็จะได้สัญญาณเป็นประมาณ 50 โวลท์ ผ่านคาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์ให้เกิดระดับไฟดีซี 50 โวลท์ เรียบขึ้นและนำไปใช้งานต่อไป

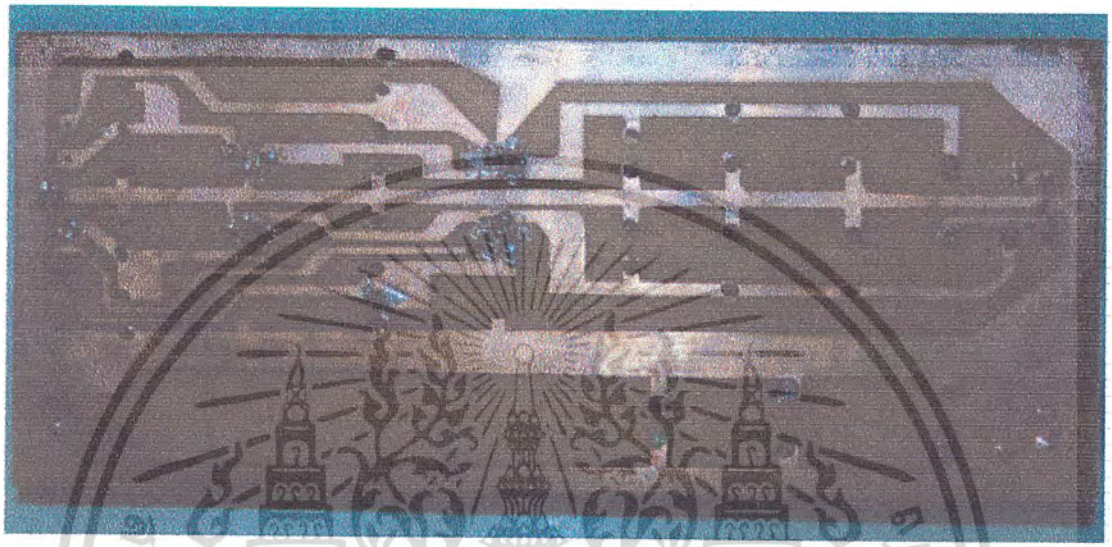
ส่วนที่สองเป็นวงจรจ่ายไฟ + 5 โวลท์, -5 โวลท์, +12 โวลท์, -12 โวลท์ ตามลำดับ จากวงจรจะนำเอาแรงดันไฟเอซี 12-0-12 จากหม้อแปลงป้อนให้กับไดโอดเร็คติไฟร์ แล้วผ่านคาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์ จากนั้นก็จะนำเอาไอซีเร็คคูเรเตอร์ (IC Recgulater) เบอร์ LM 7805, LM 7905, LM 7812 และ LM 7912 เพื่อที่จะจัดระดับแรงไฟให้ได้แรงดันไฟดีซี +5, โวลท์, -5 โวลท์, + 12 โวลท์, -12 โวลท์ ตามลำดับ และจะสามารถนำเอาไปจ่ายยังจุดต่างๆ ของวงจรต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 การวางอุปกรณ์ทางด้านภาคจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.20 ลายวงจรทางด้านภาคจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ภาคจ่ายไฟ

PART	MODEL	DESCRIPTION	QUVATITY
D_2	Bridg	6A	1
C_3, C_4, C_5, C_6	Electrolitcs	47000 uF	4
C_7, C_8, C_9, C_{10}, C_{13}, C_{14}	"	470 uF	6
C_{11}, C_{12}, C_{15}, C_{16}	Milar	0.01 uF	4
IC_1	Recgulatop	LM 7812 CK	1
IC_2	Recgulatop	LM 7912 CK	1
IC_3	Recgulatop	LM 7805 CK	1
IC_4	Recgulatop	LM 7905 CK	1

แรงไฟที่ใช้ในการจูน

D_1	bridg	6 A	1
C_1	Electrolitcs	10,000 uF	1
C_2	Milar	0.01 uF	

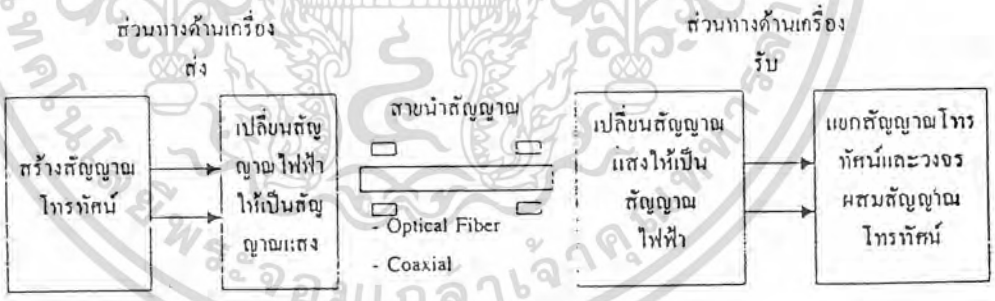
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

5.1 ลักษณะการต่อใช้งาน

ระบบที่ใช้ในการส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสงนี้จะแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเครื่องส่ง, ส่วนที่เป็นสายนำสัญญาณ และส่วนที่เป็นเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ ซึ่งส่วนด้านเครื่องส่งจะประกอบด้วย ส่วนที่เป็นภาคสร้างสัญญาณโทรทัศน์ และภาคการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง ส่วนทางด้านเครื่องรับประกอบด้วย ส่วนที่เป็นวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และส่วนที่แยกสัญญาณโทรทัศน์กับวงจรผสมสัญญาณโทรทัศน์ และส่วนที่ สามจะเป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ ซึ่งในโครงงานนี้จะใช้ได้ทั้งสายนำ สัญญาณแกนร่วมและเส้นใยแสง



รูปที่ 5.1 ส่วนประกอบในการส่งสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

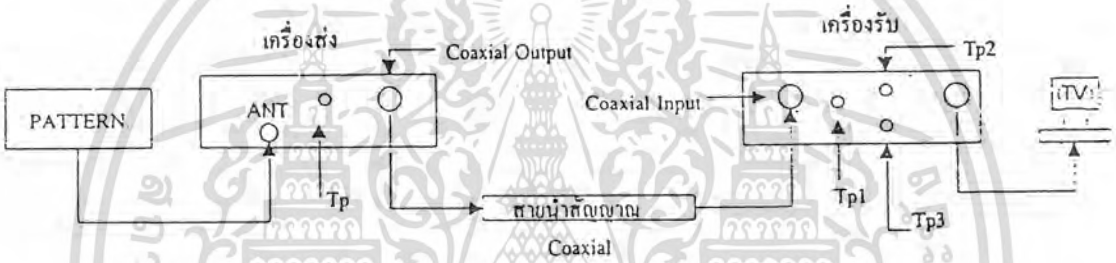
เครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสงนี้ จะสามารถต่อใช้งานดังรูปที่ 5.1 ซึ่งจะนำเอาสัญญาณภายนอกมาป้อนให้กับทางเครื่องส่ง เช่น สัญญาณจากสายอากาศโทรทัศน์ และจากเครื่องเล่นวิดีโอเทปโดยตรง แล้ววงจรสร้างสัญญาณโทรทัศน์ในเครื่องส่งก็จะทำกระบวนการกำจัดสัญญาณพาหะ ซึ่งมีความถี่เท่ากับ 38.9 เม็กกะเฮริซ์ จากนั้นก็จะนำเอาสัญญาณภาพ, เสียง ซึ่งมีแบนด์วิดธ์ 5.5 เม็กกะเฮริซ์ แล้วนำสัญญาณภาพและเสียงที่ได้นั้นไปเปลี่ยนเป็นแสง กล่าวคือ การนำเอาสัญญาณภาพและเสียงไปผสมกับความถี่ของแสงเพราะฉะนั้นอาจกล่าวได้ว่า ความถี่ของแสงเปลี่ยนเป็นคลื่นพาหะนั่นเอง เมื่อได้แสงที่ผลิตมาจาก LED แล้วทำการส่งไปในเส้นใยแสง ส่วนทางด้านรับก็จะรับแสงที่เดินทางมา ทางเส้นใยแสงเข้าโฟโตไดโอด เพื่อเป็นตัวเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า โดยจะใช้ร่วมกับวงจรทรานซิสเตอร์ จะได้สัญญาณภาพและเสียงออกมาเหมือนกับด้านส่ง และนำสัญญาณที่ได้นั้นไปเข้าสู่ภาคแยกสัญญาณ ภาพและเสียงออกจากกัน จากนั้นก็ทำการรวมสัญญาณภาพและเสียงเข้าด้วยกันโดยใช้วงจรอาร์เอฟคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ได้สัญญาณโทรทัศน์ที่มีคลื่นพาหะผสมออกมาด้วยเหมือนสัญญาณที่เข้าทางด้านเครื่อง ส่งทุกประการ จากนั้นจะสามารถนำไปต่อกับเครื่องรับโทรทัศน์ได้โดยตรงและอีกระบบหนึ่ง เครื่องส่งและรับสามารถใช้สายแกนร่วมกันได้ โดยไม่ต้องทำการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสง โดยส่งเข้าไปยัง ภาคดีเท็คเตอร์ทางด้านเครื่องรับโดยสายแกนร่วมโดยตรง ซึ่งจะให้ผลเหมือนกับใช้เส้นใยแสงในการเชื่อมต่อ ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดของการเชื่อมต่อทั้งสองแบบต่อไปในผลการทดลอง การใช้งานเครื่องส่ง และรับสัญญาณโทรทัศน์ จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ในการส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ของโครงงานนี้สามารถจะใช้สายนำสัญญาณเชื่อมต่อได้ทั้ง สายนำสัญญาณแกนร่วมและเส้นใยแสง ในการทดสอบจะทำการเปรียบเทียบการส่งโดยใช้สายนำสัญญาณทั้งสองชนิด ซึ่งจะสามารถทำได้ตามขั้นตอนดังนี้

การทดสอบโดยใช้สายนำสัญญาณแกนร่วม

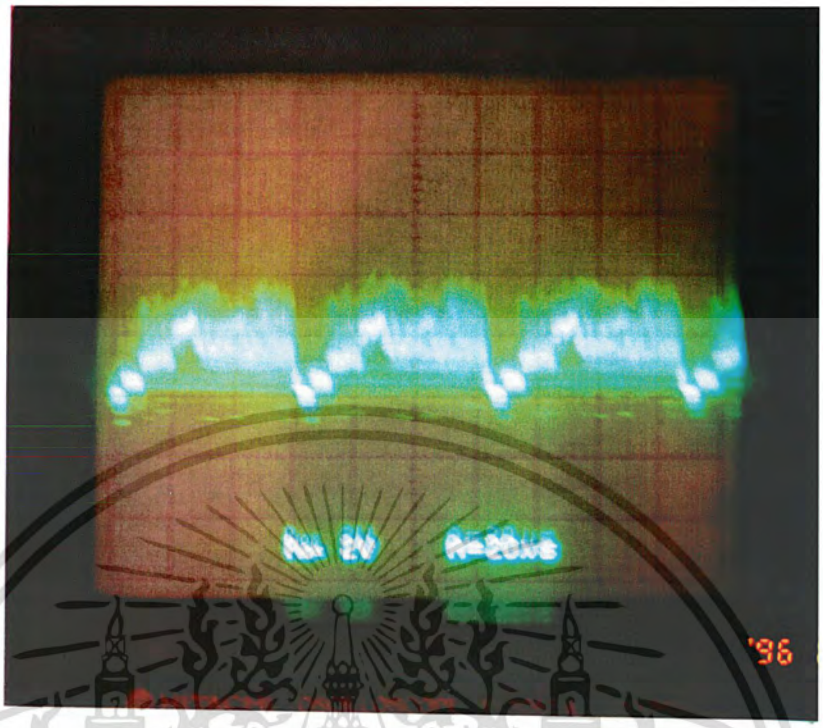
ทดสอบโดยป้อนสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณภาพ



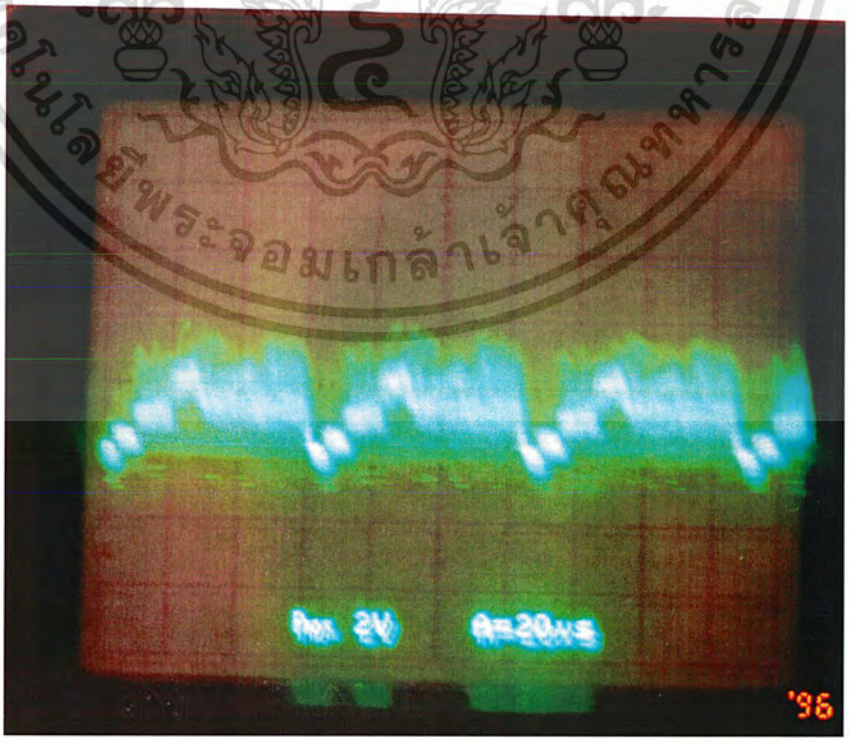
รูปที่ 5.2 การต่อเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยใช้สายนำสัญญาณแกนร่วม

ทำการต่อเครื่องส่งที่จะใช้ทดสอบเข้ากับเครื่องรับโดยใช้สายนำสัญญาณแกนร่วมเป็นตัวเชื่อมระหว่างเครื่องทั้งสอง (หรือใช้สายนำสัญญาณแกนร่วมเป็นสายนำสัญญาณโทรทัศน์) ดังรูปที่ 5.3 เมื่อต่อตามรูปแล้วทำการจ่ายสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณโทรทัศน์เข้าไป จึงเปิดเครื่องทั้งด้านส่งและรับสังเกตสัญญาณที่ได้จากจอโทรทัศน์ ถ้าไม่ชัดเจนให้ทำการเลือกคลื่น จากสวิทช์จูน เพื่อให้สัญญาณชัดเจน เมื่อสัญญาณชัดเจนแล้วให้นำสายสโคปวัดสัญญาณที่จุดตรวจสอบ (test point) ที่เครื่องส่งจะได้สัญญาณภาพที่ถูกขจัดสัญญาณพาหะออกแล้ว

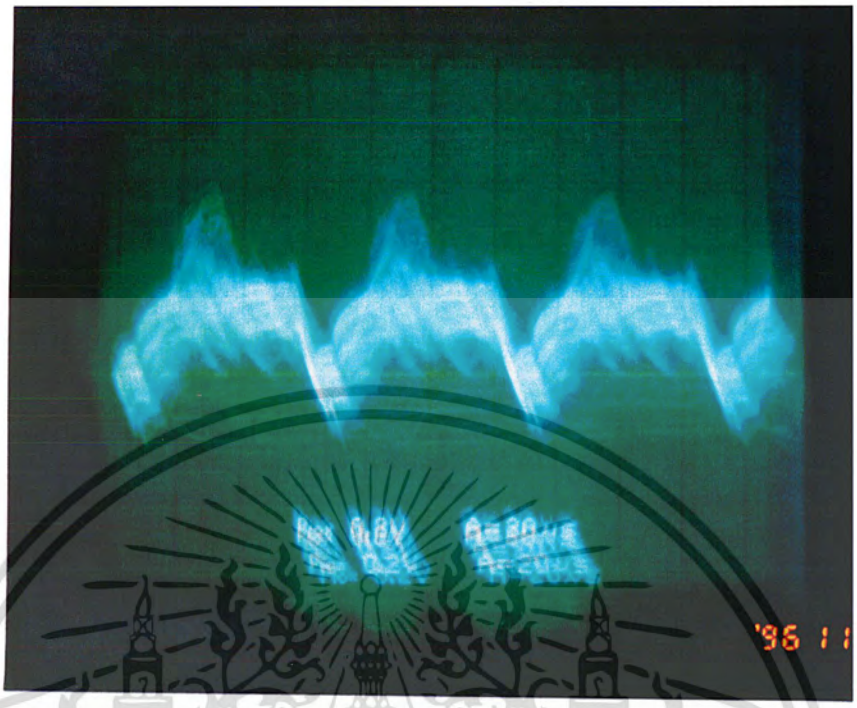
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



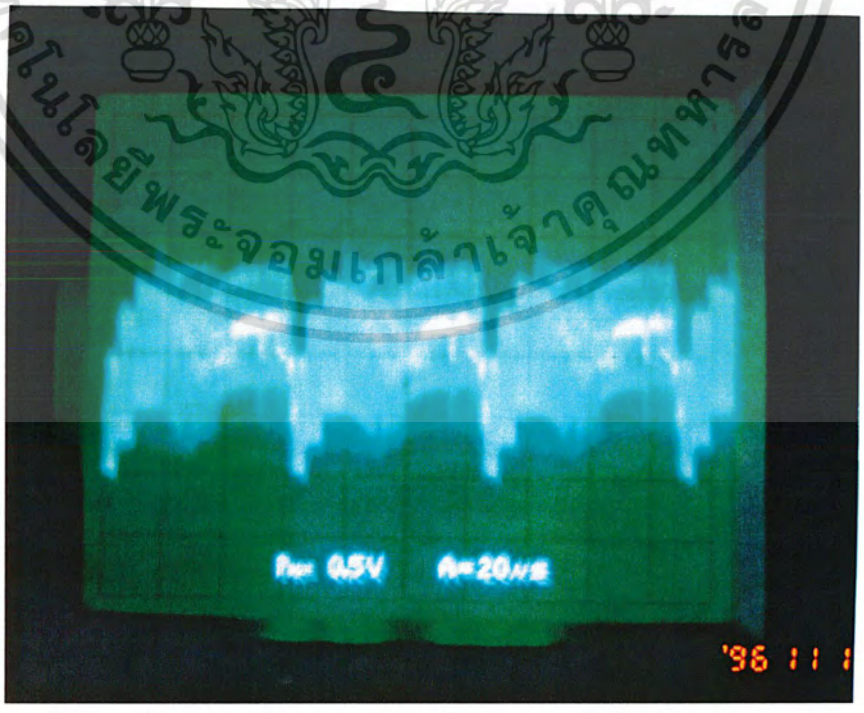
รูปที่ 5.3 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ออสซิโลสโคป ที่จุดทางด้านเครื่องรับโดยใช้สาย Coaxial



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

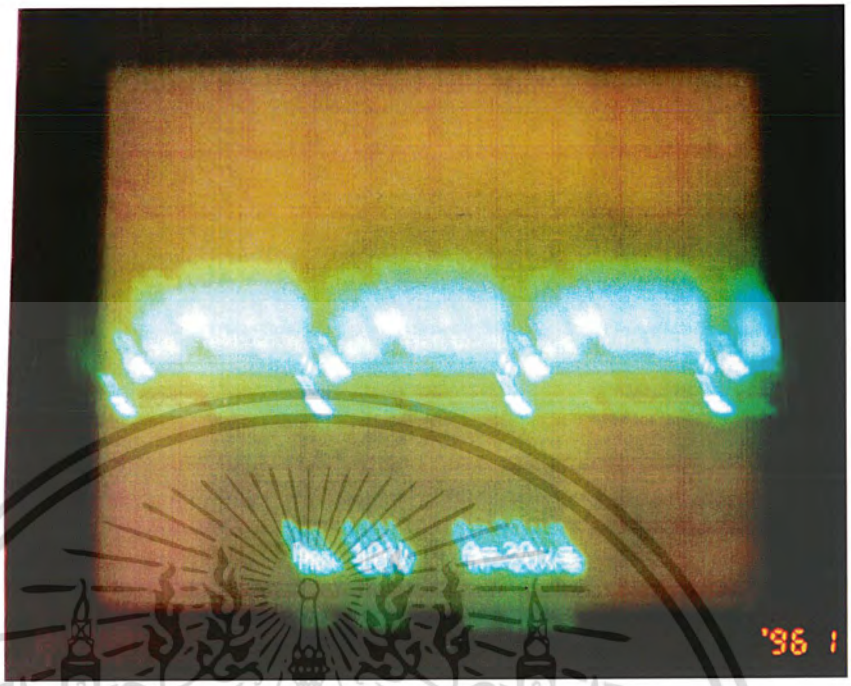


รูปที่ 5.5 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ออสซิโลสโคป ที่จุดทางด้านเครื่องรับโดยใช้สาย Optical Fiber



รูปที่ 5.6 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ออสซิโลสโคป ที่จุดทางด้านเครื่องส่งโดยใช้สาย Optical Fiber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 สัญญาณที่วัดได้โดยใช้ออสซิโลสโคป ที่จุดสัญญาณก่อนเข้าภาค E/O Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 วิธีการใช้เครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสง

1. เตรียมเครื่องเล่นวีดีโอเทป หรือกล้องวีดีโอเทป เครื่องกำเนิดสัญญาณทดสอบ (Pattern Generator) และเครื่องรับโทรทัศน์
2. เตรียมเครื่องส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสง
3. ต่อเครื่องเล่นวีดีโอเทปหรือเครื่องกำเนิดสัญญาณทดสอบ หรือสายอากาศต่อเข้ายังจุดอินพุทของเครื่องส่งที่จุด ANT. Input และ Video Audio input
4. ต่อเส้นใยแสงเข้าที่หัวส่งและหัวรับที่เป็น LED และ PD ตามลำดับ
5. ต่อสายนำสัญญาณแกนร่วมด้านขาออกของเครื่องรับเข้ากับเครื่องรับโทรทัศน์
6. เปิดสวิทช์เพาเวอร์ ของเครื่องส่งและเครื่องรับ
7. ทดสอบสัญญาณตามจุดตรวจสอบต่างๆ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
บทวิจารณ์ สรุป และแนวทางในการพัฒนา

6.1 บทสรุป

จากการทดลองส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยเส้นใยแสง ผลที่ได้มีความชัดเจนของสัญญาณที่สังเกตได้จากเครื่องรับโทรทัศน์เมื่อเทียบกับการต่อสายอากาศโดยตรงเข้าเครื่องรับโทรทัศน์ สามารถสรุปได้ว่าแทบจะไม่มีข้อแตกต่างกันระหว่าง 2 เงื่อนไขนี้เลย และนอกเหนือจากนี้ยังส่งสัญญาณจากสายอากาศและสามารถจะนำเอาสัญญาณโทรทัศน์จากจุดอื่นๆ มาส่งเข้าไปในการทดลองหรือใช้งานจริงๆด้ เช่น สัญญาณจากเครื่องเล่นภาพเคลื่อนไหว หรือสัญญาณจากเครื่องทดสอบสัญญาณภาพ

6.2 ปัญหาในการทำงาน

1. การหาข้อมูลของหัวส่งและรับสัญญาณแสงมีข้อมูลน้อยจึงเป็นไปได้ยากในการเลือกใช้อุปกรณ์เหล่านี้ มาใช้อย่างถูกวัตถุประสงค์หรือความต้องการที่ได้กำหนดไว้
2. ความคงทนของหัวส่งหรือ LED ขาดความคงทนกับกระแสที่ไหลผ่านตัวมัน
3. เครื่องจ่ายไฟจะต้องมีเสถียรภาพในการจ่ายกระแสสูงเพราะใช้ร่วมกับความถี่ที่สูง
4. สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบเช่นสัญญาณที่เกิดจากกระป๋องอาร์เอฟคอนเวอร์เตอร์และจากอุปกรณ์ข้างเคียงที่ต่อเข้ามาเช่น หม้อแปลง

6.3 แนวทางการพัฒนา

1. พัฒนาให้สามารถส่งสัญญาณได้หลายช่องสัญญาณในเวลาเดียวกัน โดยการทำมัลติเพล็กซ์ก่อนส่งเข้าไปในเส้นใยแสง
2. พัฒนาให้มีการคอมเพลิสส์ (Compress) สัญญาณก่อนทำการส่งออก
3. พัฒนาให้มีการส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์โดยใช้ระบบดิจิตอล
4. พัฒนาให้มีการสร้างเครื่องรับและส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบภาพ (Telephone Picture)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1) ไชยันต์ สุวรรณชีวะศิริ, ปฐมบทของไฟเบอร์ออปติก, เซมิคอนดัคเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 115, 2535

2) ฝ่ายบริการ, ทฤษฎีการทำงานและคู่มือซ่อมโทรทัศน์สีแท่นเครื่อง GR1-AX, บริษัทไฟฟ้าฟิลิปส์แห่งประเทศไทย จำกัด

3) ฝ่ายบริการ, ทฤษฎีการทำงานและคู่มือซ่อมโทรทัศน์สีแท่นเครื่อง NCF-CR, บริษัทไฟฟ้าฟิลิปส์แห่งประเทศไทย จำกัด

4) อธิคม ฤกษบุตร, ระบบสื่อสารด้วยไฟเบอร์ออปติก ตอน 1, เซมิคอนดัคเตอร์อิเลคทรอนิกส์ ฉบับที่ 118, 2535

5) อธิคม ฤกษบุตร, ระบบสื่อสารด้วยไฟเบอร์ออปติก ตอน 1, เซมิคอนดัคเตอร์อิเลคทรอนิกส์ ฉบับที่ 119, 2535

6) อธิคม ฤกษบุตร, ระบบสื่อสารด้วยไฟเบอร์ออปติก ตอนจบ, เซมิคอนดัคเตอร์อิเลคทรอนิกส์ ฉบับที่ 120, 2535

7) อภินันท์ มัณยานนท์, การสื่อสารเส้นใยแสง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2528

8) อภินันท์ มัณยานนท์, การสื่อสารเส้นใยแสง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2528

9) HANDBOOK, "TTL Databook", Texas Instruments Inc., U.S.A., 1981.

10) KENICHI, N. and SHIRAKAWA, H. OPTIC FIBER COMUNICATION MADE EASY (YASASHII HIKARI FAIBA TSUUSHIN). Tokyo. OHM company. 1995.

11) Morris Tischler, Optoelectronics : Fiber optics and Lasers, A Text-Lab Manual (second edition), McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS, 1992.

12) Telecommunication Device Data, Motorola Inc., 1987.

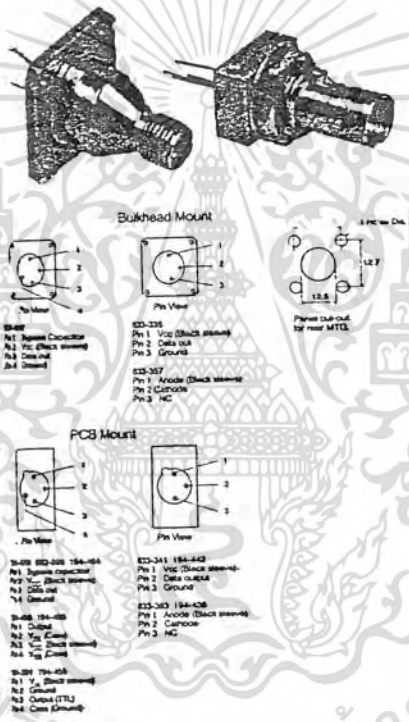
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

low power emitter	
(a) 50/125 μm glass	3 μW min (-25dBm)
(b) 200 μ P.C.S.	50μ W min (-13dBm)
High power emitter	
(a) 50/125 μm glass.	10 μ W min (-20dBm)
(b) 200 μm P.C.S.	160 μW min (-8dBm)

SMA/ST Detectors/ Receivers



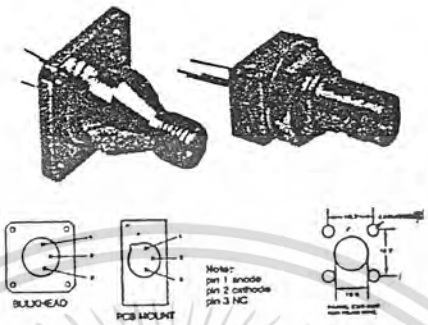
Supplied to RS by Honeywell optoelectronics

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

50 MHZ PIN Diode

A planner silicon PIN diode optically aligned in SMA/ST housing, eiter bulkhead or PCB mounting. The device features low juntion capacitance fast response and can be used at upto 50 MHz. The active device is an HFD3022-002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



supplied to RS by Honeywell optolectronicd

A range of GaAlAs surface emitting LED, optically alined in eitherr 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 HFE 4070 and is selected for output power.

Technical specification			
Absolute max. raings			
Forward current I_F	100mA		
Reverse voltage V_R (at 10 μA)	1V		
Operating temperature range	-40°C to + 100°C		
Optoelectronic characteristics at 25°C			
	min	typ.	Max
V_F, at I_F = 100mA		1.6V	1.8V
Peak emission wavelength		850 nm	
(I_F = 100mA)			
Spectral bandwidth	50nm		
Response time	t_r	4ns	8ns
(I_{PK} = 100mA	t_r	6ns	10ns
Launch power*			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N2218, A, 2N2219, A 2N2221, A(SILICON)

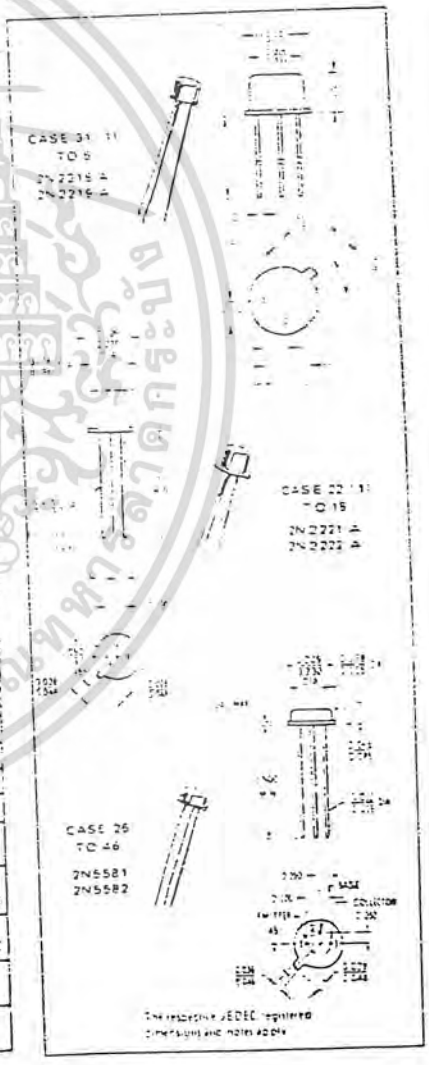
2N2222, A, 2N5581, 2N5582

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 BV_{CEO} @ I_C = 10 mAdc Volts	h_{FE} @ I_C = 150 mAdc Min/Max	h_{FE} @ I_C = 500 mAdc Min	Package
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_{CEO}	30	40	40	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CB}	60	75	75	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	5.0	6.0	6.0	Vdc
Collector Current – Continuous	I_C	800	800	800**	mAdc
		2N2218,A 2N2219,A	2N2221,A 2N2222,A	2N5581 2N5582	
Total Device Dissipation @ T_A = 25°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°C Derate above 25°C	P_D	3.0 20	1.8 12	2.0 11.43	Watts mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	——— -65 to +200 ———			°C

*Indicates JEDEC Registered Data.
**Motorola Guarantee this Data in Addition to JEDEC Registered Data.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

technical specification	106
Peak spectral response (tpy.)	850nm
Peak responsivity 850nm (50 μ m)	0.85A/W
Dark current (max)	2nA
Capacitance	2.1pF
Reverse breakdown voltage (typ)	250V
Rise/Fall time (5V)	17ns
(90v)	1ns
Operating temperture	-40°C to + 100°C

Fiber Optic Cable

50/125 μ m Terminalted Optical Leads

ลักษณะของเส้นใยแสง

Lengths of LSOH polyethylene 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 connecters. Numerrical aperture 0.2 . Attenuation (820mm) 3dB/km typ., 4 dB/km max. Bandwith 400 Mhz/km. Minimum bend radius 3. mm, maximum tensile load 100 N. Operating temperature rang -15°C to +60°C

Note : This cable is not suitable for us with RS in line connectors.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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 mAdc, V_{CE} = 20 Vdc, f = 100 MHz)	All Types Except 2N2219A, 2N2222A, 2N5582	f_T	250 300	– –	MHz
Output Capacitance(3) (V_{CB} = 10 Vdc, I_E = 0, f = 100 kHz)		C_{ob}	–	8.0	pF
Input Capacitance(3) (V_{EB} = 0.5 Vdc, I_C = 0, f = 100 kHz)	Non-A Suffix A Suffix, 2N5581, 2N5582	C_{ib}	– –	30 25	pF
Input Impedance (I_C = 1.0 mAdc, V_{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582	h_{ie}	1.0 2.0	3.5 8.0	k ohms
(I_C = 10 mAdc, V_{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582		0.2 0.25	1.0 1.25	
Voltage Feedback Ratio (I_C = 1.0 mAdc, V_{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582	h_{re}	– –	5.0 8.0	X 10^{-4}
(I_C = 10 mAdc, V_{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582		– –	3.5 4.0	
Small-Signal Current Gain (I_C = 1.0 mAdc, V_{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582	h_{fe}	20 50	150 300	–
(I_C = 10 mAdc, V_{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582		50 75	300 375	
Output Admittance (I_C = 1.0 mAdc, V_{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582	h_{oe}	3.0 5.0	15 35	μmhos
(I_C = 10 mAdc, V_{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	2N2218A, 2N2221A, 2N5581 2N2219A, 2N2222A, 2N5582		10 25	100 200	
Collector-Base Time Constant (I_E = 20 mAdc, V_{CB} = 20 Vdc, f = 31.8 MHz)	A-Suffix, 2N5581, 2N5582	$r_b C_c$	–	150	ps
Noise Figure (I_C = 100 μAdc, V_{CE} = 10 Vdc, R_S = 1.0 kohm, f = 1.0 kHz)	2N2219A, 2N2222A	NF	–	4.0	dB
SWITCHING CHARACTERISTICS (A-Suffix, 2N5581 and 2N5582)					
Delay Time	(V_{CC} = 30 Vdc, $V_{BE(off)}$ = 0.5 Vdc, I_C = 150 mAdc, I_{B1} = 15 mAdc) (Figure 14)	t_d	–	10	ns
Rise Time		t_r	–	25	ns
Storage Time	(V_{CC} = 30 Vdc, I_C = 150 mAdc, I_{B1} = I_{B2} = 15 mAdc) (Figure 15)	t_s	–	225	ns
Fall Time		t_f	–	60	ns
Active Region Time Constant** (I_C = 150 mAdc, V_{CE} = 30 Vdc)		T_A	–	25	ns

*Indicates JEDEC Registered Data.

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

FIGURE 1 – NORMALIZED DC CURRENT GAIN

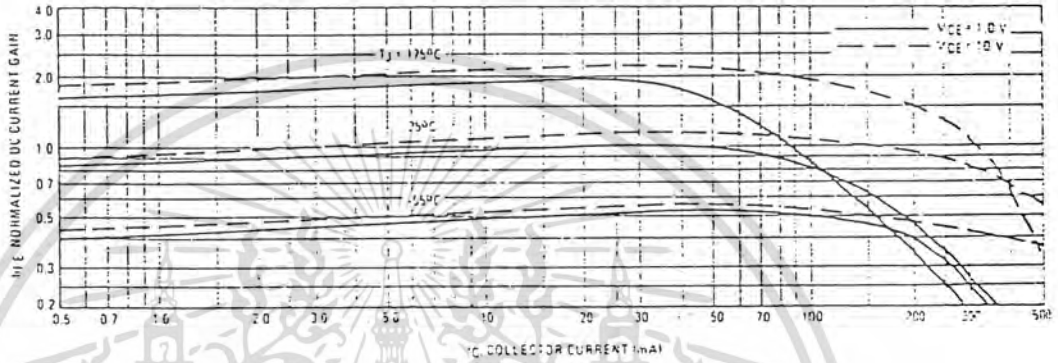
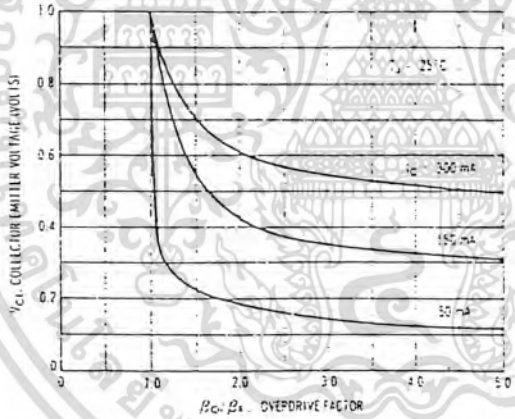


FIGURE 2 – COLLECTOR CHARACTERISTICS IN SATURATION REGION



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

EXAMPLE: For type 2N2219, estimate a base current (I_{B_1}) 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, h_{FE} = 62 and substituting values in the overdrive equation we find:

$$\frac{\beta_{forced}}{\beta_{sat}} = \frac{h_{FE}\ @\ 1.0\ V}{h_{FE}/I_B} \qquad 2.5 = \frac{62}{150/I_B} \qquad I_B \geq 6.0\ mA$$

FIGURE 3 – "ON" VOLTAGES

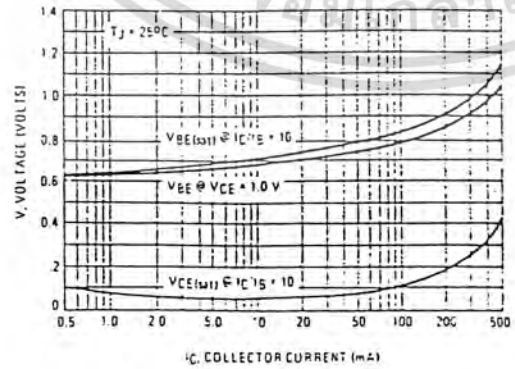
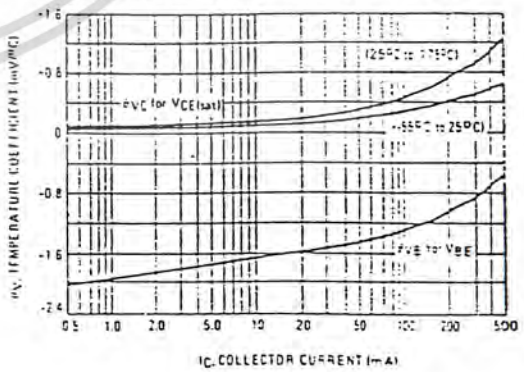


FIGURE 4 – TEMPERATURE COEFFICIENTS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

NOISE FIGURE

V_{CE} = 10 V, T_A = 25°C

FIGURE 5 – FREQUENCY EFFECTS

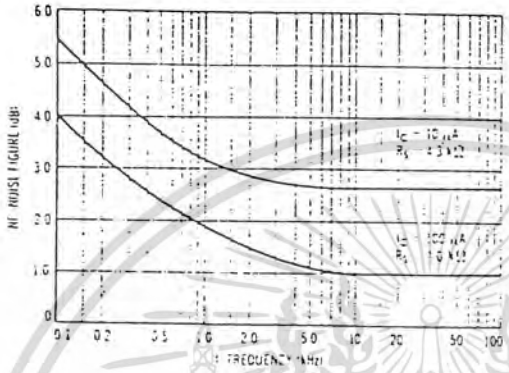
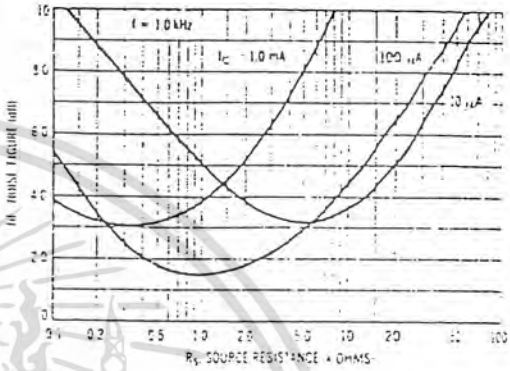


FIGURE 6 – SOURCE RESISTANCE EFFECTS



h PARAMETERS

V_{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz, T_A = 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 draw all the correspondingly numbered curves on each graph.

FIGURE 7 – INPUT IMPEDANCE

FIGURE 8 – VOLTAGE FEEDBACK RATIO

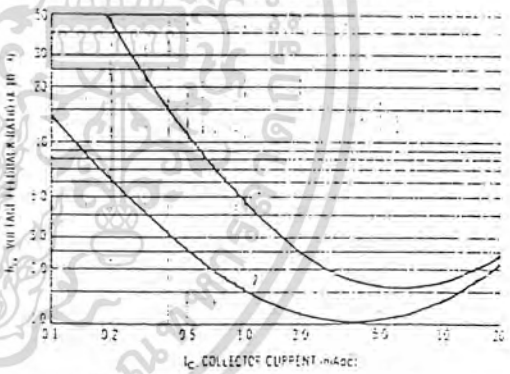


FIGURE 9 – CURRENT GAIN

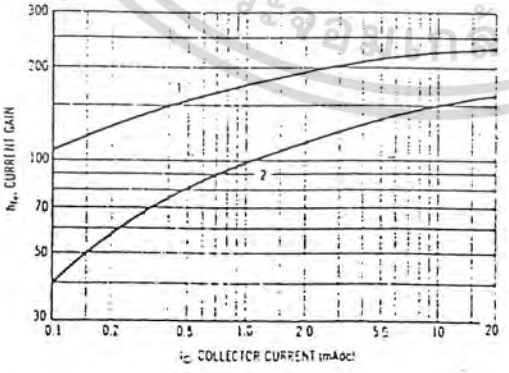
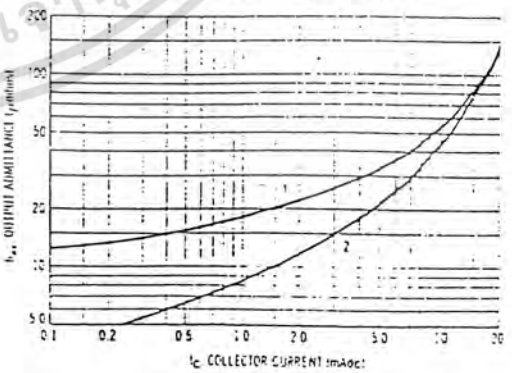


FIGURE 10 – OUTPUT ADMITTANCE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้