

# การเชื่อมต่อสัญญาณโทรศัพท์แบบ 2 ทางผ่านเส้นใยนำแสง



นายเฉลิมพล วัชรพฤกษ์

นายวราห์ เกตุศิริ

โครงการพิเศษที่เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 38547

วัน, เดือน, ปี..... 5 ส.ค. 2544

ปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Two-Way Fiber Optic Telephone



Mr.Charleamphon Watcharaphreak

Mr.Wara Katsiri

**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement**

**for the Degree of Bachelor of Science**

**Department of Applied Physics**

**Faculty of Science**

**King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**

**1999**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ      การเชื่อมต่อสัญญาณโทรศัพท์แบบ 2 ทางผ่านเส้นใยแก้วนำแสง  
Two-Way Fiber Optic Telephone

โดย                                      นายเฉลิมพล วิชาพฤกษ์ รหัส 39054411

นายวราห์ เกตุศิริ รหัส 39054440

ภาควิชา                                      ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา                      ผศ. ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล

ผศ. วิชิต ศิริโชติ

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้รับโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์  
( รศ. สุรพล รักวิชัย )

คณะกรรมการโครงการพิเศษ

..... ประธานกรรมการ

( ผศ.ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล )

..... กรรมการ

( ผศ. วิชิต ศิริโชติ )

..... กรรมการ

( อ. ชีร์วัฒน์ ประกอบผล )

..... กรรมการ

( อ. สุน อ่างประยูร )

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การเชื่อมต่อสัญญาณโทรศัพท์แบบ 2 ทางผ่านเส้นใยนำแสง

นักศึกษา นายเฉลิมพล วัชรพฤษชัย  
นายวราห์ เกตุศิริ

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร. ศิริศักดิ์ เศษะทวีกุล  
ผศ. วิชิต ศิริโชค

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

ปีการศึกษา 2542

## บทคัดย่อ

ในการเชื่อมต่อสัญญาณโทรศัพท์ผ่านเส้นใยนำแสงแบบ FULL DUPLEX โดยการใช้เทคนิค PFM ซึ่งโครงงานนี้ประกอบด้วยส่วนหลักใหญ่ๆ 5 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนของโทรศัพท์, ส่วนของวงจร PFM, ส่วนวงจรภาคส่ง, ส่วนวงจรภาครับ และส่วนของสายส่ง(เส้นใยนำแสง) โดยสัญญาณไฟฟ้าจากโทรศัพท์จะมอดูเลตกับสัญญาณพาหะที่กำเนิดจากไอซี LM566 แล้วถูกเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณแสงซึ่งถูกส่งผ่านไปบนเส้นใยนำแสงไปยังภาครับ โดยที่ภาครับสัญญาณแสงจะเปลี่ยนสัญญาณแสงกลับมาเป็นสัญญาณ PFM อีกครั้ง แล้วผ่านการดีมอดูเลตโดยไอซี LM565 ซึ่งจะได้อสัญญาณไฟฟ้าที่เหมือนกับสัญญาณที่ส่งมาจากภาคส่งเพื่อนำไปต่อกับโทรศัพท์ภาครับแล้วแปลงสัญญาณเป็นสัญญาณเสียงต่อไป ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะเกิดทั้งสองฝั่งของตัวโทรศัพท์โดยทำให้สามารถสื่อสาร-ไปกลับแบบสองทางได้ จากการทดสอบพบว่าระบบสามารถใช้งานได้

<b>Special Project Title</b>	<b>Two-Way Fiber Optic Telephone</b>
<b>Name</b>	<b>Mr. Charleamphon Watcharaphreak</b> <b>Mr. Wara Katsiri</b>
<b>Special Project Adviso</b>	<b>Asst. Prof. Dr. Sirisak TECHATHAWIEKUL</b> <b>Asst. Prof. Wichit SIRICHOTE</b>
<b>Department</b>	<b>Applied Physics</b>
<b>Academic Year</b>	<b>1999</b>

## Abstract

The Purpose of this project is to develop a simplex telephone system for a full duplex system in order to send and receive voice between telephones at the same time by using pulse frequency modulation (PFM) technique via fiber optic link. The system consists of 2 parts, each part has the same circuits which is composed of 5 main sections, namely telephone sets, PFM circuits, optical transmitter, optical receiver and two optical transmission lines. IC Modulator LM566 is used for modulating voice signal over carrier signal at a telephone set and then digital signal is obtained. This digital signal is converted into optical signal at an LED with driver circuit and then this optical signal is transmitted via a single optical fiber to a photodiode that converts the optical signal into the original digital signal. This digital signal will be demodulated by using LM565 and then the voice signal will be obtained at another telephone set. With the same manner, the second telephone can send voice signal to the first telephone over another single optical fiber. It has been found that the system works properly.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้จะไม่สามารถสำเร็จลงไปได้ด้วยดีถ้าขาดผู้มีพระคุณเหล่านี้

- บิดา มารดาผู้ให้กำเนิด และผู้ที่เป็นเหมือนทุกสิ่งทุกอย่าง
- ผศ.ดร.ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล ผศ.วิจิต ศิริโชติ อ.สุน อ่างประยูร สำหรับคำแนะนำ และอุปการณ์การทดลอง
- คุณธวัชชัย สำหรับห้องทำ Project และแอร์เย็นฉ่ำ
- คุณสังข์จะ โชคบุญส่งสวัสดิ์ คุณเรวัต วัชรพฤษภ์ สำหรับน้ำใจในการเอื้อเฟื้อการทำรายงาน
- เพื่อนภาคพิลึกส์ทุกท่าน สำหรับแรงผลักดัน คำชี้แนะ ตักเตือน กำลังใจ และมีรูปภาพจนทำให้เรามีวันนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

เรื่อง	หน้า	
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาไทย	ก	
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาอังกฤษ	ข	
กิตติกรรมประกาศ	ค	
สารบัญ	ง	
สารบัญรูป	ฉ	
บทนำ	1	
บทที่ 1	คุณสมบัติพื้นฐานทางแสง	
	1.1คุณสมบัติทางแสง	2
บทที่ 2	คุณสมบัติพื้นฐานของเส้นใยแก้วนำแสง	
	2.1ประวัติความเป็นมาของเส้นใยแก้วนำแสง	17
	2.2โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง	17
	2.3การผลิตเส้นใยแก้วนำแสง	18
	2.4ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง	21
	2.5สายเคเบิลใยแก้วนำแสง	24
	2.6การสื่อสารด้วยแสง	25
	2.7สรุป	31
บทที่ 3	ความรู้เบื้องต้นของโทรศัพท์	
	3.1ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับโทรศัพท์	32
	3.2สัญญาณพื้นฐาน	36
	3.3ระบบการติดต่อกันระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับโทรศัพท์	37
บทที่ 4	หลักการและแนวคิดในโครงการ	
	4.1โทรศัพท์ภาคส่ง	39
	4.2ส่วนมอดูเลชัน (PFM)	39
	4.3ส่วนส่งสัญญาณ	40
	4.4ส่วนรับสัญญาณ	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	หน้า
4.5 ส่วนขยายสัญญา	41
4.6 ส่วนเติมอู่เลขัน	41
4.7 โทรศัพท์ภาครับ	41
บทที่ 5 การออกแบบวงจรที่ใช้ในโรงงาน	
5.1 วงจรภาคส่ง	42
5.2 วงจรภาครับ	47
บทที่ 6 ผลการทดลองและสรุปผล	
6.1 การทดลองและผลการทดลอง	53
6.2 สรุปผลการทดลอง	59
บทที่ 7 วิจารณ์ผลการทดลองและขอบเขตในการทำโครงการ	
7.1 วิจารณ์ผลการทดลอง	60
7.2 ขอบเขตในการทำผลการทดลอง	61
บรรณานุกรม	62
ภาคผนวก	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงความถี่และความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่างๆ	3
รูปที่ 1.2 แสดงสเปกตรัมความไวต่อแสงของสายตามนุษย์	4
รูปที่ 1.3 แสดงการทดลองที่พิสูจน์ว่าแสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่น	4
รูปที่ 1.4 แสดงการทดลองการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก	5
รูปที่ 1.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความถี่ของแสง	5
รูปที่ 1.6 แสดงหลักการวัดปรากฏการณ์คอมป์ตันและสเปกตรัมการกระเจิงรังสีเอกซ์	7
รูปที่ 1.7 แสดงการชนกันระหว่างรังสีเอกซ์และอิเล็กตรอนแบบอิลาสติก	8
รูปที่ 1.8 แสดงสภาพระดับพลังงานที่มีค่าไม่เท่ากัน	9
รูปที่ 1.9 แสดงชนิดของคลื่นตามยาวและคลื่นตามขวาง	10
รูปที่ 1.10 แสดงคุณสมบัติทางแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	11
รูปที่ 1.11 แสดงคุณสมบัติของคลื่นแสง	12
รูปที่ 1.12 แสดงการหักเหและการสะท้อนของแสง	13
รูปที่ 1.13 แสดงการหักเหของแสง	14
รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของเส้นใยแก้วนำแสง	18
รูปที่ 2.2 แสดงเครื่องดัดเส้นใยแก้วนำแสงและขั้นตอนต่างๆ	19
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงในเส้นใยแก้วนำแสง	21
รูปที่ 2.4 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดียว	22
รูปที่ 2.5 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมด	22
รูปที่ 2.6 แสดงชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง	23
รูปที่ 2.7 แสดงโหมดของโพลาริซสองโหมดที่ตั้งฉากกันและมีความเร็วต่างกัน	23
รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างของเส้นใยแก้วนำแสง	24
รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างของเคเบิลใยแก้ว	25
รูปที่ 2.10 แสดงผังระบบการสื่อสาร	27
รูปที่ 2.11 แสดงการผสมสัญญาณและการส่ง	28
รูปที่ 2.12 แสดงการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งระยะทาง	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 2.13 แสดงการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่	29
รูปที่ 2.14 แสดงการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา	30
รูปที่ 2.15 แสดงการมัลติเพล็กซ์แบบความยาวคลื่น	30
รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องโทรศัพท์	33
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรเครื่องโทรศัพท์	34
รูปที่ 3.3 แสดงตำแหน่งความถี่ของเลขหมาย	35
รูปที่ 3.4 แสดงระบบการติดต่อ	38
รูปที่ 4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรม	39
รูปที่ 4.2 แสดงการมอดูเลชันแบบ PFM	40
รูปที่ 5.1 แสดงวงจรสัญญาณโทรศัพท์	42
รูปที่ 5.2 แสดงวงจร PFM	43
รูปที่ 5.3 แสดงวงจรขับ LED	44
รูปที่ 5.4 แสดงวงจรสมบรูณ์ภาคส่ง	46
รูปที่ 5.5 แสดงวงจรภาคก่อนขยาย	47
รูปที่ 5.6 แสดงวงจรขยายสัญญาณ	48
รูปที่ 5.7 แสดงบล็อกไดอะแกรม	49
รูปที่ 5.8 แสดงวงจรดีมอดูเลต	50
รูปที่ 5.9 แสดงวงจรภาคขยายและยกระดับสัญญาณ	51
รูปที่ 5.10 แสดงวงจรสมบรูณ์ภาครับ	52
รูปที่ 6.1 แสดงอุปกรณ์รวมในโครงการ	53
รูปที่ 6.2 แสดงสัญญาณไซน์	54
รูปที่ 6.3 แสดงสัญญาณพาหะ	54
รูปที่ 6.4 แสดงสัญญาณ PFM	55
รูปที่ 6.5 แสดงสัญญาณ PFM ที่ภาครับ	55
รูปที่ 6.6 แสดงสัญญาณเอาท์พุทของภาครับ	56
รูปที่ 6.7 แสดงสัญญาณโทรศัพท์	57
รูปที่ 6.8 แสดงสัญญาณ PFM	57
รูปที่ 6.9 แสดงสัญญาณ PFM ที่ภาครับ	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.10 แสดงสัญญาณโทรศัพท์เอาท์พูท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทนำ

ในปัจจุบันการสื่อสารถือได้ว่าเป็นปัจจัยหนึ่งในการดำรงชีวิต คงไม่มีใครปฏิเสธได้ว่าในชีวิตประจำวันไม่จำเป็นที่จะต้องพึ่งพาเทคโนโลยีการสื่อสาร เพราะฉะนั้นเทคโนโลยีการสื่อสารจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นการพัฒนาให้การสื่อสารที่สมบูรณ์มากขึ้นจึงมีบทบาทมากขึ้นในด้านการแข่งขันทางการค้า การพัฒนาให้การสื่อสารมีประสิทธิภาพประกอบกับการลงทุนที่เหมาะสมการสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสงจึงเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ทำให้ความสนใจเนื่องจากการสื่อสารทางแสงจะมีการรบกวนสัญญาณที่ต่ำมากๆ รวมทั้งเส้นใยนำแสงเหมาะสำหรับการขนย้ายเนื่องมาจากเส้นใยนำแสงมีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับสายเคเบิลธรรมดาทั่วไป

ในโครงการพิเศษนี้จะกล่าวถึงการเชื่อมต่อสัญญาณโทรศัพท์ผ่านเส้นใยนำแสงโดยอาศัยหลักการมอดูเลชั่นก่อนการส่งสัญญาณออกไปเป็นสัญญาณแสงแล้วรับสัญญาณทางแสงโดยโฟโตไดโอด ซึ่งหลักการในโครงการนี้เป็นเพียงหลักการเบื้องต้นที่จะนำไปพัฒนาในการสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสงต่อไป

## ทำไมจึงต้องมีการมอดูเลชั่น

1. ทำให้สัญญาณมีกำลังสูงทำให้สามารถเดินทางหรือโฟพาเกทไปที่ไกลๆ ได้
2. ทำให้สัญญาณมีความถี่สูงขึ้น ซึ่งเหมาะกับการรับส่งสัญญาณมากขึ้นเพราะใช้เสาอากาศที่สั้นลงได้
3. สามารถแบ่งความถี่ได้หลายๆ สัญญาณส่งพร้อมกันภายใต้ตัวพาเดียวกันได้ที่เราเรียกว่า มัลติเพล็กซ์ซิง
4. ทำให้สัญญาณมีภูมิคุ้มกันทานการรบกวนของเสียงรบกวน (noise) หรือของสัญญาณรบกวน (interfering signal) ได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## คุณสมบัติพื้นฐานทางแสง

### 1.1 คุณสมบัติทางแสง

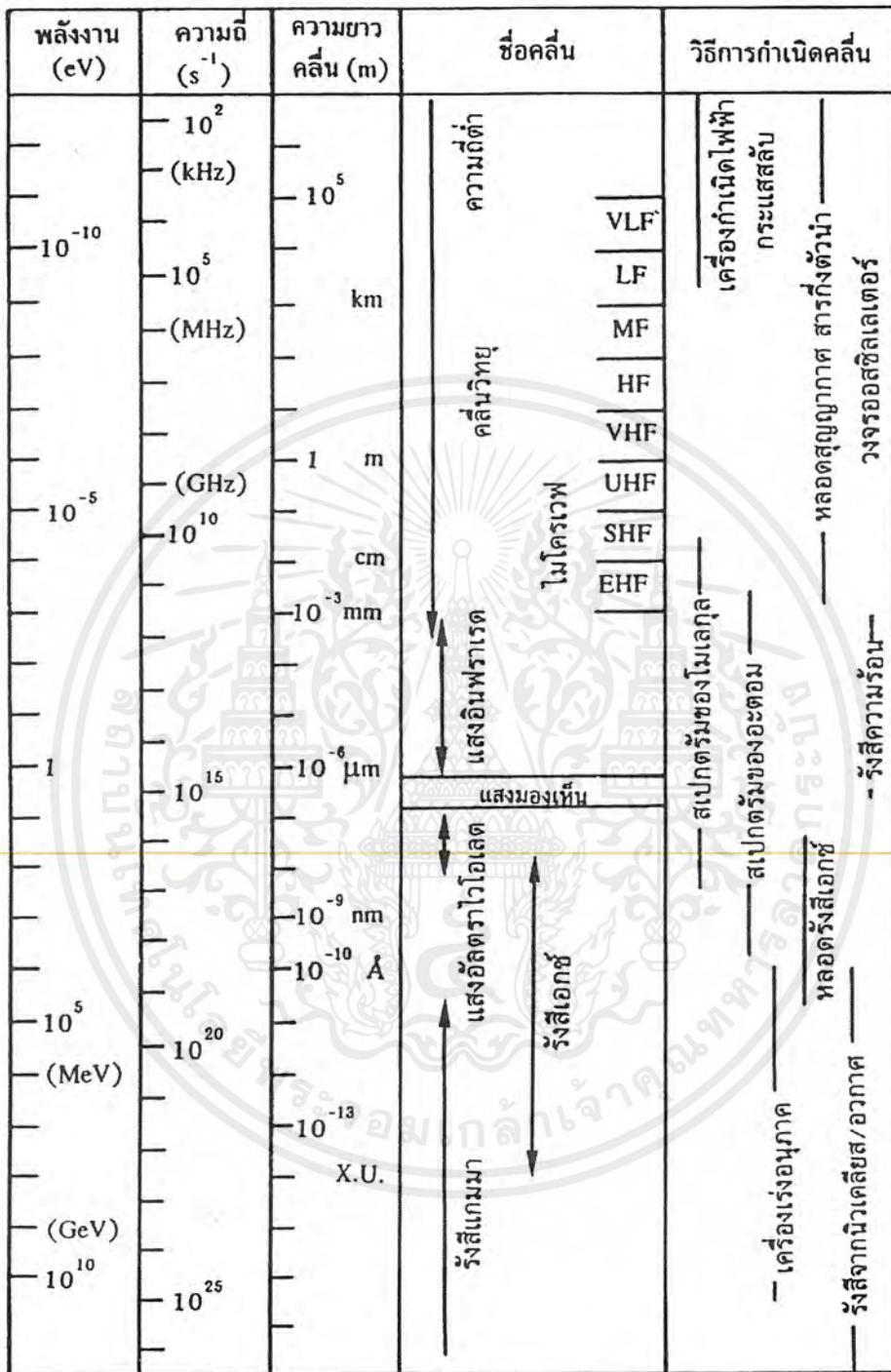
แสงมีคุณสมบัติเป็นทั้ง"คลื่น"(wave) และ "อนุภาค"(particle) ปรากฏการณ์ที่เราพบเห็นในชีวิตประจำวันเช่น การสะท้อนแสง (reflection) การแทรกสอดแสง(interference) และการหักเหแสง (refraction) แสดงให้เห็นว่าแสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่น ส่วนปรากฏการณ์ที่แสดงให้เห็นหรืออธิบายได้ว่าแสงเป็นอนุภาคได้แก่ การส่องแสงเข้าสู่ผิวโลหะแล้วทำให้อิเล็กตรอนกระเด็นหลุดสู่สุญญากาศ ซึ่งเรียกว่า ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก(external photoelectric effect) หรือการเพิ่มขึ้นของค่าสภาพนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำเมื่อถูกแสงหรือการเปล่งแสงของไดโอดเปล่งแสง เป็นต้น

#### 1.1.1 การเป็นคลื่นของแสง

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ถ้าให้  $\lambda$  คือความยาวคลื่นแสง  $\nu$  คือความถี่ และ  $c_0$  คือความเร็วของแสงที่เดินทางในสุญญากาศ ( $c_0 = 2.99792458 \times 10^8$  m/s) จะมีความสัมพันธ์ดังนี้

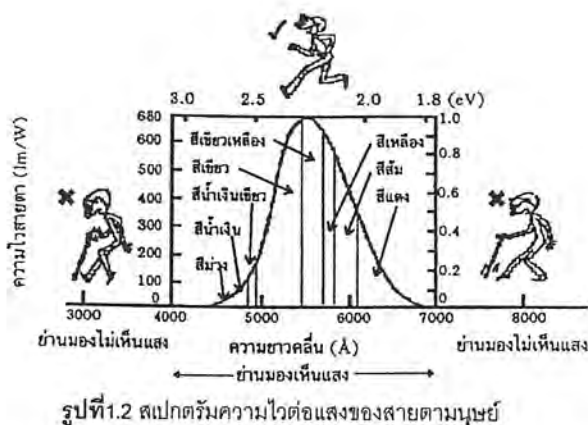
$$\lambda = \frac{c_0}{\nu} \quad (1.1)$$

แสงที่ตามนุษย์มองเห็นเรียกว่า แสงมองเห็น(visible light)ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ 400-700nm แสงมองเห็นนี้ในสเปกตรัมแสงมีการแบ่งเป็นแสงสีต่างๆ ได้แก่สีม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม และแดง ในจำนวนแสงสีต่างๆ เหล่านี้สีที่ตามนุษย์มีความไว(sensitivity) มากที่สุดคือแสงสีเขียว รูปที่1.1แสดงตารางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่างๆ และรูปที่1.2แสดงกราฟความไวของสายตาของมนุษย์ที่มีต่อแสงความยาวคลื่นต่างๆ (eye-sensitive curve)



รูปที่ 1.1 ความถี่และความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่1.2 สเปกตรัมความไวต่อแสงของสายตามนุษย์

ถ้าแสงเดินทางในวัสดุที่มีเนื้อราบเรียบตลอดและเป็นวัสดุไอโซทรอปี (isotropy) แสงจะเดินทางเป็นเส้นตรง แต่ถ้าแสงเดินทางจากวัสดุหนึ่งไปสู่วัสดุอีกชนิดหนึ่ง ที่พรมแดนของวัสดุทั้งสองนั้น แสงจะหักเหหรือสะท้อนกลับได้ การเดินทางของแสงในวัสดุที่มีค่าดัชนีหักเหแสงเท่ากับ  $n$  จะทำให้ความเร็วของแสงช้ากว่าในสุญญากาศ กล่าวคือความเร็วแสง  $c$  ในวัสดุจะเท่ากับ

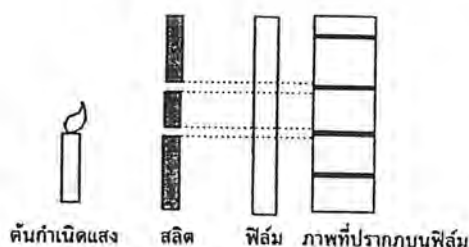
$$c = \frac{c_0}{n} \quad (1.2)$$

ค่าดัชนีหักเหแสง  $n$  ของวัสดุใดๆ จะขึ้นกับความยาวคลื่นหรือความถี่ของแสงด้วย และค่า  $n$  นี้มีความสัมพันธ์กับค่าคงตัวไดอิเล็กทริก  $\epsilon$  ของวัสดุ (dielectric constant) ดังนี้

$$n = \sqrt{\frac{\epsilon}{\epsilon_0}} \quad (1.3)$$

โดยที่  $\epsilon_0$  คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของสุญญากาศ  $= 8.85418782 \times 10^{-12} \text{ F/m}$

ตัวอย่างที่แสดงว่าแสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่น เช่น การทดลองของยัง (Young) ดังแสดงในรูปที่ 1.3 มีต้นกำเนิดแสงไฟส่องแสงผ่านสลิต (slit) ซึ่งมีรูเจาะไว้ 2 รู ด้านหลังสลิตมีแผ่นไวแสงเป็นตัวบันทึกภาพ เมื่อดูภาพบนแผ่นไวแสงจะพบว่ามีการแทรกสอดแบบสว่างและมืดแบบลายม้าลายกำหนดอยู่ เราเรียกรูปร่างเช่นนี้ว่า ภาพแทรกสอด (interference fringe) ในสาขาวิชาทัศนศาสตร์คลื่น (wave optics) สามารถอธิบายได้ว่าปรากฏการณ์เช่นนี้เกิดจากการเป็นคลื่นของแสง



รูปที่1.3 การทดลองพิสูจน์ว่าแสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.1.2 การเป็นอนุภาคของแสง

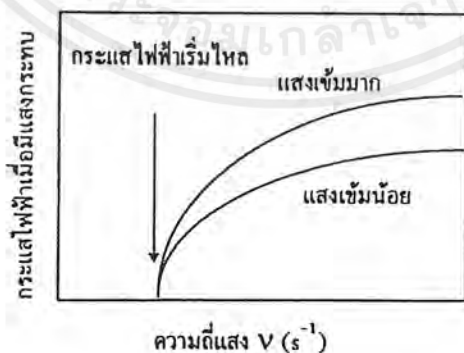
แสงนอกจากมีคุณสมบัติเป็นคลื่นแล้วยังมีคุณสมบัติเป็นอนุภาคด้วย เราเรียกอนุภาคแสงว่า โฟตอน(photon) อนุภาคแสงมีพลังงานอยู่ใน และถ้าแสงมีความถี่เท่ากับ  $\nu$  อนุภาคแสงหนึ่งตัว จะมีพลังงานเท่ากับ  $h\nu$  (หน่วย electron volt : ย่อว่า eV) โดยที่  $h$  คือค่าคงตัวของพลังค์ (Planck's constant)  $= 6.626176 \times 10^{-34}$  (Js)

ตัวอย่างปรากฏการณ์หนึ่งที่แสดงว่าแสงเป็นอนุภาคได้แก่ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (photoelectric effect) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการส่องแสงลงบนผิวของโลหะที่วางอยู่ในสุญญากาศแล้วทำให้อิเล็กตรอนที่ผิวโลหะกระเด็นหลุดออกจากผิวโลหะนั้นแสดงวิธีทดลองในรูปที่ 1.4

ในรูปที่ 1.4 ในหลอดสุญญากาศมีแผ่นขั้วไฟฟ้าบวกและลบบรรจุอยู่ และแผ่นขั้วไฟฟ้าเหล่านี้ถูกต่อออกไปสู่วงจรภายนอกซึ่งมีแบตเตอรี่ไบแอสอยู่ เมื่อส่องแสงลงบนขั้วไฟฟ้าลบจะพบว่า ถ้าแสงมีความถี่สูงกว่าค่าๆ หนึ่งจะทำให้มีกระแสไหลในวงจร แต่ถ้าแสงมีความถี่ต่ำเกินไปก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจрдังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.4 การทดลองการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก



รูปที่ 1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความถี่ของแสงในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก กระแสไฟฟ้าจะเริ่มไหลเมื่อความถี่ของแสงสูงกว่าค่าๆ หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏการณ์นี้ ไอน์สไตน์(Einstein) ได้อธิบายไว้ว่าเมื่อแสงที่มีความถี่ $\nu$ เดินทางไปในปริภูมิ(space) แสงนั้นไม่ได้มีพลังงานที่มีค่าต่อเนื่อง แต่แสงจะเป็น "อนุภาค" ที่มีพลังงานเท่ากับ  $h\nu$  ที่วิ่งไปในปริภูมินั้นไอน์สไตน์ได้ตั้งชื่ออนุภาคไว้ว่า "light quantum" ต่อในปัจจุบันเราเรียกอนุภาคแสงว่า "โฟตอน" (photon) นอกจากนี้ไอน์สไตน์ยังได้อธิบายรายละเอียดของปรากฏการณ์ในรูปที่ 1.5 ไว้ดังนี้

พลังงานสูงสุดของอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากโลหะ E มีค่าเท่ากับพลังงานของแสงที่ฉายลงบนผิวของโลหะ  $h\nu$  ลบด้วยงานที่จำเป็นในการดึงอิเล็กตรอนในโลหะให้หลุดออกมาข้างนอก  $q\phi$  และเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$E = h\nu - q\phi \quad (1.4)$$

โดยที่  $\phi$  เรียกว่า เวิร์กฟังก์ชัน(work function)และ  $q\phi$  มีหน่วยเป็น eV

สูตรนี้บอกให้เราทราบว่า ค่าความถี่ต่ำสุดของแสงที่จะทำให้เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเช่นนี้ได้สามารถคำนวณได้โดยการให้ E ในสมการที่(1.4) มีค่าเท่ากับศูนย์ จึงได้ว่า  $h\nu = q\phi$  ซึ่ง  $\phi$  คือ เวิร์กฟังก์ชันของโลหะชนิดนั้นๆ และจากสูตรนี้พลังงานของอิเล็กตรอน E ที่กระเด็นหลุดออกจากโลหะมีค่าแปรผันตรงกับความถี่ $\nu$

ในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกดังกล่าวบางข้อไม่สามารถให้เหตุผลอธิบายได้ด้วยทฤษฎีการเป็นคลื่นของแสง แต่สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีการเป็นอนุภาคของแสงซึ่งตั้งชื่อโดยไอน์สไตน์

ปรากฏการณ์หนึ่งที่สำคัญมากอีกอย่างหนึ่งที่แสดงให้เห็นชัดว่าแสงนั้นมีคุณสมบัติเป็นอนุภาคคือ ปรากฏการณ์คอมป์ตัน (Compton effect) ซึ่งค้นพบโดย Compton ใน ค.ศ.1923 ดังจะได้อธิบายต่อไป

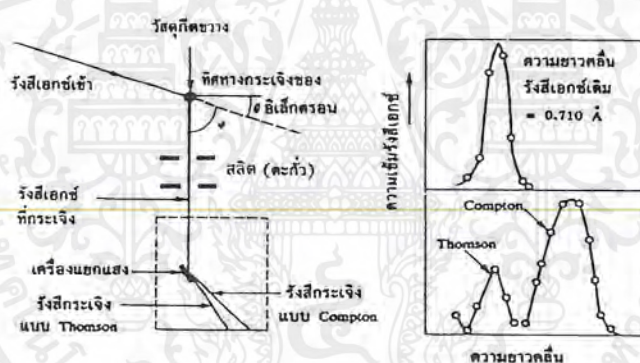
ปรากฏการณ์คอมป์ตันเป็นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับการกระเจิงรังสีเอกซ์ (X-ray scattering) เมื่อเรายิงรังสีเอกซ์เข้าสู่วัตถุ รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมากและสามารถวิ่งผ่านทะลุวัตถุได้ง่าย แม้กระนั้นก็ตามในขณะที่รังสีเอกซ์กำลังเคลื่อนผ่านภายในวัตถุจะถูกวัสดุดูดกลืนบ้างและถูกกระเจิงบ้าง ถ้าเราฉายรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นค่าหนึ่งลงบนวัตถุ รังสีเอกซ์จะถูกกระเจิงไปทั่วทุกทิศ รังสีเอกซ์ที่ถูกกระเจิงนั้นประกอบด้วยรังสีที่มีความยาวคลื่นเท่าเดิมและรังสีที่มีความยาวคลื่นที่ยาวกว่าเดิม รูปที่ 1.6 แสดงหลักการของอุปกรณ์การวัดสเปกตรัมของรังสีเอกซ์ที่ถูกกระเจิงและแสดงเปรียบเทียบความเข้ม(intensity) ของรังสีเอกซ์ที่ถูกกระเจิงที่ความยาวคลื่นต่างๆ

การกระเจิงของรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นเท่าเดิมนั้นถูกศึกษาโดย(Thomson) เรียกว่า การกระเจิงชนิดทอมสัน (Thomson scattering) เขาสามารถอธิบายปรากฏการณ์นี้ได้ด้วยทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าแผนเดิม แต่เขาไม่สามารถอธิบายการกระเจิงของรังสีเอกซ์ในกรณีที่ทำให้เกิดรังสีที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวคลื่นที่ยาวกว่าเดิมได้ ต่อมาคอมป์ตัน (Compton) เป็นคนแรกที่สามารถอธิบายเหตุผลของการกระเจิงที่ทำให้เกิดรังสีเอกซ์มีความยาวคลื่นที่ยาวกว่าเดิมได้สำเร็จและเรียกว่า ปรากฏการณ์คอมป์ตัน (Compton effect)

ปรากฏการณ์คอมป์ตันสามารถอธิบายได้ดังนี้ เริ่มแรกเราจะพิจารณาว่าอนุภาครังสีเอกซ์ที่ยิงเข้าวัตถุนั้นจะวิ่งไปชนกับอิเล็กตรอนที่อยู่ภายในวัตถุ ทำให้อิเล็กตรอนถูกชนและอิเล็กตรอนกระเด็นไปในทิศทางที่ต่างจากทิศทางที่รังสีเอกซ์ตกกระทบวัตถุ ดังนั้นทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาครังสีเอกซ์จึงเปลี่ยนไปด้วยและโมเมนตัมของอนุภาครังสีเอกซ์ก็เปลี่ยนไปด้วย จากกฎการอนุรักษ์โมเมนตัมของระบบ โมเมนตัมของอิเล็กตรอนจึงเปลี่ยนไปด้วย แต่ในขณะเดียวกันจะต้องรักษากฎการอนุรักษ์พลังงานด้วย ดังนั้นพลังงานส่วนที่ลดลงของอนุภาครังสีเอกซ์จะเท่ากับพลังงานส่วนที่เพิ่มขึ้นของอิเล็กตรอน นั่นคือ ถ้าให้  $h\nu$  เป็นพลังงานของอนุภาครังสีเอกซ์ ความถี่  $\nu$  ของรังสีเอกซ์นั้นจะลดลง ดังนั้นความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์จึงยาวขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 1.6 หลักการวัดปรากฏการณ์คอมป์ตัน(ซ้าย)และสเปกตรัมการกระเจิงรังสีเอกซ์(ขวา)

ต่อไปจะแสดงการคำนวณปรากฏการณ์คอมป์ตัน จากรูปที่ 1.7 รังสีเอกซ์มีความถี่  $\nu$  วิ่งชนอิเล็กตรอนซึ่งมีมวล  $m$  ให้  $h\nu$  คือพลังงานของรังสีเอกซ์ และ  $h\nu/c$  เป็นโมเมนตัมของรังสีเอกซ์ที่ยิงเข้า หลังจากรังสีเอกซ์วิ่งชนอิเล็กตรอน รังสีเอกซ์ถูกกระเจิงเบี่ยงเบนจากทิศทางเดิมเป็นมุม  $\theta$  และมีความถี่  $\nu'$  ส่วนอิเล็กตรอนถูกชนและกระเด็นไปในทิศทาง  $\theta$  ด้วยความเร็ว  $v$  ในตอนแรกก่อนการชนเดิมอิเล็กตรอนอยู่นิ่งกับที่ และมีพลังงาน  $mc^2$  หลังการชนทำให้อิเล็กตรอนได้พลังงานเพิ่มขึ้นเป็น  $mc^2 / \sqrt{1 - \beta^2}$  โดยที่  $\beta = v/c$  ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{กฎการอนุรักษ์พลังงาน} \quad hv + mc^2 = hv_\phi + mc^2 / \sqrt{1 - \beta^2} \quad (1.5)$$

$$\text{กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม} \quad \frac{hv}{c} = \frac{hv_\phi}{c} \cos \phi + \frac{mc\beta}{\sqrt{1 - \beta^2}} \cos \theta$$

$$\frac{hv}{c} \sin \phi = \frac{mc\beta}{\sqrt{1 - \beta^2}} \sin \theta \quad (1.6)$$

จากสมการทั้งสองจึงได้ว่า

$$v_\phi = \frac{v}{1 + \frac{hv}{mc^2} (1 - \cos \phi)} \quad (1.7)$$

$$\text{หรือ} \quad \lambda_\phi - \lambda = \Delta\lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos \phi) \quad (1.8)$$



รูปที่ 1.7 การชนกันระหว่างรังสีเอกซ์และอิเล็กตรอนแบบอิลาสติก โดยพิจารณากฎการอนุรักษ์โมเมนตัม

สมการที่(1.8)แสดงให้เห็นว่า ถ้ามุมการกระเจิง  $\phi$  มีค่ามาก การเปลี่ยนแปลงของความยาวคลื่น  $\Delta\lambda$  ของรังสีเอกซ์จะยิ่งมีค่ามากขึ้น และค่า  $\Delta\lambda$  นี้ไม่ขึ้นกับความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ อนึ่งปริมาณของ  $h/mc$  มีค่าเท่ากับ  $2.42 \times 10^{-12} \text{ cm} = 2.42 \times 10^{-12} \text{ m}$  และเรียกว่าความยาวคลื่นคอมป์ตันของอิเล็กตรอน

ถ้าคำนวณพลังงานของอิเล็กตรอนหลังจากถูกชนกระเด็นไป จะได้ว่า

$$E_{kin} = h(v - v_\phi) = hv \frac{\frac{hv}{mc^2} (1 - \cos \phi)}{1 + \frac{hv}{mc^2} (1 - \cos \phi)} \quad (1.9)$$

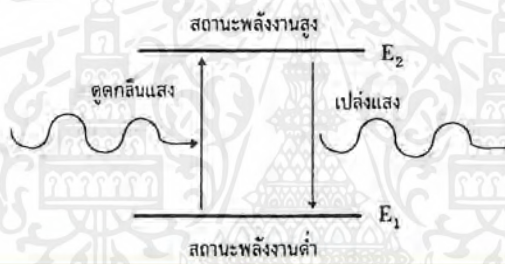
และมุมกระเด็น  $\theta$  ของอิเล็กตรอนหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\cot \theta = 1 \left( + \frac{hv}{mc^2} \right) \tan \frac{\phi}{2} \quad 1.10$$

ทฤษฎีของคอมป์ตันที่กล่าวมานี้ สามารถอธิบายสาเหตุของการเปลี่ยนของความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์แต่ไม่ได้มีการพิสูจน์ว่าอิเล็กตรอนถูกชนกระเด็นไปจริง หลังจากทฤษฎีของคอมป์ตันได้ประกาศไปสองสามเดือนต่อมา Wilson และ Bethe ได้พิสูจน์ว่าอิเล็กตรอนถูกชนกระเด็นจริง ทำให้ทฤษฎีของคอมป์ตันได้รับความเชื่อถือเพิ่มขึ้น

จากทฤษฎีและผลการทดลองที่กล่าวมาหลายเรื่องข้างต้นนี้ ทำให้เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าแสงนั้นมีคุณสมบัติไม่เพียงแต่เป็นคลื่นแต่เป็นอนุภาคชนิดหนึ่งด้วย การดูดกลืนแสงก็ดีหรือการเปล่งแสงก็ดี เกิดจากการที่ระบบที่เกี่ยวข้องมีการเปลี่ยนสถานะระหว่างสภาวะพลังงานสูงและสภาวะพลังงานต่ำ รูปที่ 1.8 แสดงภาพระดับพลังงานที่มีค่าไม่เท่ากันคือมีระดับพลังงานสูงอยู่ที่  $E_2$  และระดับพลังงานต่ำอยู่ที่  $E_1$ , สมมติให้ว่าระบบ



รูปที่ 1.8 สภาวะระดับพลังงานที่มีค่าไม่เท่ากันคือมีระดับพลังงานสูงอยู่ที่  $E_2$  และระดับพลังงานต่ำอยู่ที่  $E_1$ , ถ้าอิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะจาก  $E_2$  ไปสู่  $E_1$  จะทำให้การเปล่งแสงที่มีพลังงานโฟตอนเท่ากับ  $E_2 - E_1$ , เท่ากับ  $h\nu_2$ , ออกมา หรือถ้าอิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะจาก  $E_1$  ไปสู่  $E_2$  ก็ต้องมีการดูดกลืนพลังงานโฟตอนเท่ากับ  $E_2 - E_1$ ,

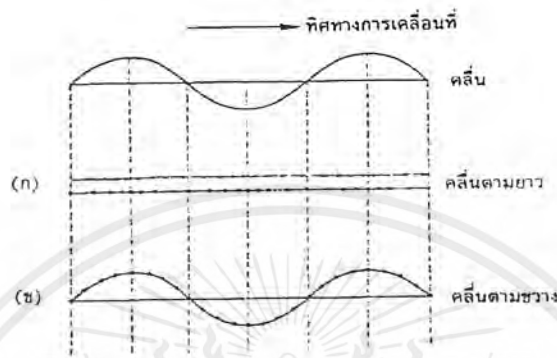
ที่กำลังพัฒนาเป็นระบบของอิเล็กตรอน ถ้าอิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะจาก  $E_2$  ไปสู่  $E_1$  จะทำให้การเปล่งแสงที่มีพลังงานโฟตอนเท่ากับ  $E_2 - E_1 = h\nu_2$ , ออกมา หรือการเปลี่ยนสถานะอิเล็กตรอนจาก  $E_1$  ไปสู่  $E_2$  ก็ต้องมีการดูดกลืนพลังงานโฟตอนเท่ากับ  $E_2 - E_1$ , เช่นกัน

### 1.1.3 การเป็นคลื่นแม่เหล็กของแสง

ในหัวข้อนี้เราจะพิจารณาคูณสมบัติของการเป็นคลื่นของแสง เมื่อกล่าวถึง "คลื่น" เราคงนึกถึงคลื่นเสียง คลื่นบนผิวน้ำ เราสามารถแบ่งคลื่นออกเป็น 2 ชนิด คือ คลื่นตามยาว (longitudinal wave) และคลื่นตามขวาง (transverse wave) ดังแสดงในรูปที่ 1.9 ตัวอย่างเช่น เสียงเป็นคลื่นตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยาว เพราะทิศทางของการเดินทางของเสียงและทิศทางของการสั่นของตัวกลาง (อากาศ) อยู่ในทิศทางเดียวกัน ส่วนคลื่นตามขวางคือคลื่นซึ่งทิศทางของการเดินทางของคลื่นและทิศทางของการสั่นของตัวกลางนั้นตั้งฉากกัน



รูปที่ 1.9 ชนิดของคลื่นตามยาวและคลื่นตามขวาง

แสง (light) เป็นคลื่นตามขวางและเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง (electro-magnetic wave) ที่กล่าวว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพราะว่าแสงเป็นคลื่นที่ประกอบด้วยทั้งสนามไฟฟ้า  $\vec{E}$  และ  $\vec{H}$  มีรูปดังนี้

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \exp \left[ -i \left( \omega t - \vec{k} \cdot \vec{r} + \delta \right) \right] \quad (1.11)$$

$$\vec{H} = \vec{H}_0 \exp \left[ -i \left( \omega t - \vec{k} \cdot \vec{r} + \delta \right) \right] \quad (1.12)$$

โดยที่  $\vec{E}_0$  : แอมพลิจูดของ  $\vec{E}$

$\vec{H}_0$  : แอมพลิจูดของ  $\vec{H}$

$\omega$  : ความถี่เชิงมุม =  $2\pi f$

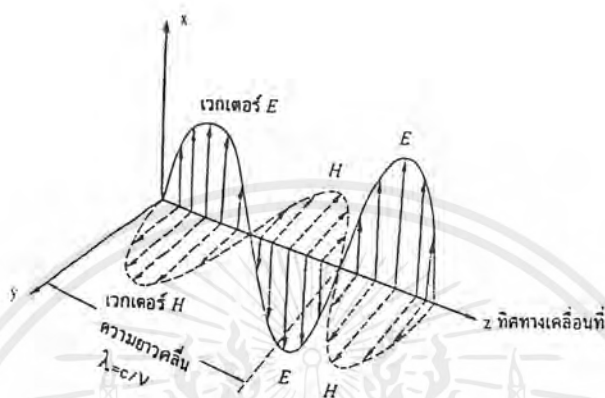
$\vec{r}$  : เวกเตอร์ระยะทาง

$\vec{k}$  : เวกเตอร์เลขคลื่น (wave number) =  $2\pi / \lambda$

$\delta$  : เฟส(phase)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้คุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของแสงคือ เวกเตอร์  $\vec{E}$  ตั้งฉากกับเวกเตอร์  $\vec{H}$  ดังแสดงในรูปที่ 1.10 เราเรียกคลื่นเช่นนี้ว่า คลื่นระนาบ (plane wave)



รูปที่ 1.10 คุณสมบัติของแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และการพิจารณาเวกเตอร์สนามไฟฟ้าและเวกเตอร์สนามแม่เหล็กของคลื่นแสง

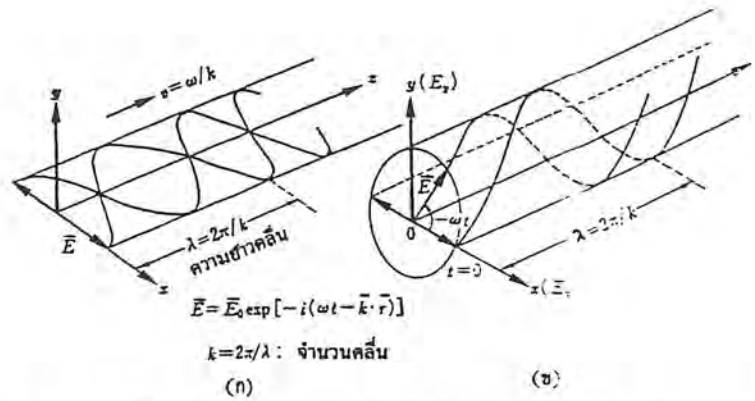
ถ้าแสงวิ่งเข้าสู่วัตถุ จะมีแรง  $\vec{F}$  (Lorentz force) ที่เกิดจากอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างแสงและประจุไฟฟ้า  $e$  ในวัตถุที่เป็นจุด และแรงนี้มีค่าดังนี้

$$\vec{F} = e\vec{E} + \frac{e}{c}\vec{v} \times \vec{H} \quad (1.13)$$

โดยที่  $\vec{v}$  : ความเร็วของประจุไฟฟ้าในวัตถุ

เนื่องจากโดยทั่วไป แอมพลิจูดของ  $|\vec{E}| = |\vec{H}|$  ดังนั้นจากสมการนี้ทำให้เราทราบว่าแรงกระทำที่เกิดจากสนามแม่เหล็กของแสงจึงมีค่าเพียงประมาณ  $v/c$  เท่าของแรงกระทำที่เกิดจากสนามไฟฟ้าของแสง และนอกจากนี้ความเร็ว  $v$  ของประจุไฟฟ้าในวัตถุมีค่าประมาณ  $1/100$  ของ  $c$  ดังนั้น  $v/c$  จึงมีค่าน้อยมาก ดังนั้นในการพิจารณาผลกระทบของแสงที่มีต่อวัตถุ เราจึงอาจอนุโลมพิจารณาเฉพาะผลของเทอมของสนามไฟฟ้าเป็นหลักก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.11 คุณสมบัติของคลื่นแสง (ก) แสงโพลาไรซ์เชิงเส้นตรง (ข) แสงโพลาไรซ์เชิงวงกลม

ขอให้พิจารณาจากรูปที่ 1.11 ซึ่งแสดงลักษณะการสั่นของคลื่น  $\vec{E}$  ในลักษณะต่างๆ ถ้าให้  $z$  เป็นทิศทางของการเดินทางของแสง ในรูป (ก) เวกเตอร์  $\vec{E}$  สั่นในทิศทางที่ตั้งฉากกับระนาบ  $xy$  เสมอ กล่าวคือ ถ้ามองในทิศทาง  $z$  จะเห็นเวกเตอร์  $\vec{E}$  เป็นเส้นตรงเท่านั้น เราเรียกแสงที่มีคุณสมบัติเช่นนี้ว่า แสงโพลาไรซ์เชิงเส้นตรง (linearly polarized light) แต่บางครั้งในวัตถุดบางชนิด คลื่น  $\vec{E}$  อาจวิ่งไปทิศทาง  $z$  และหมุนตัวเองแบบเกลียวไปด้วยทำให้ลักษณะเวกเตอร์  $\vec{E}$  ที่ดูในทิศทาง  $z$  กำลังหมุนตลอดเวลา ถ้าการหมุนของเวกเตอร์  $\vec{E}$  เป็นวงกลมเราเรียกแสงเช่นนี้ว่า แสงโพลาไรซ์เชิงวงกลม (circularly polarized light) หรือถ้าการหมุนของเวกเตอร์  $\vec{E}$  เป็นวงรี เราเรียกแสงเช่นนี้ว่า แสงโพลาไรซ์เชิงวงรี (elliptic polarised light) อนึ่งการหมุนของเวกเตอร์อาจมีทิศทางตามเข็มนาฬิกาก็ได้หรือทวนเข็มนาฬิกาก็ได้

ปกติแสงที่กำลังเดินทางอยู่ในอวกาศหรือสุญญากาศหรืออากาศจะเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นตรง แต่เมื่อแสงวิ่งเข้าสู่วัตถุ แสงนั้นอาจเปลี่ยนสภาพกลายเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงกลมหรือเชิงวงรีหรืออาจยังคงเป็นเชิงเส้นตรงเหมือนเดิมก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของวัตถุ ดังจะได้กล่าวในบทต่อไป

ขณะที่แสงกำลังเดินทางนั้น แสงจะทำหน้าที่ส่งพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปด้วย พลังงานของแสงในพื้นที่หน้าตัดหนึ่งหน่วยและในเวลาหนึ่งหน่วย  $I$  มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยด้วยเวลาของพอยนทิ้งเวกเตอร์  $\vec{S}$  (poynting vector) ดังนี้

$$I = \langle \vec{S} \rangle = \frac{1}{T} \int \vec{S} dt \quad (1.14)$$

$$= \frac{\vec{E} \parallel \vec{H}}{2} \propto |\vec{E}|^2 \quad (1.15)$$

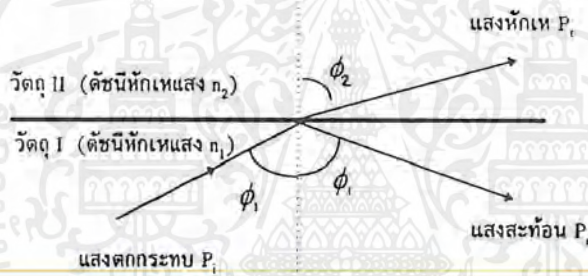
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และโดยทั่วไป

$$I = \left| \vec{E} \right|^2 = \vec{E} \cdot \vec{E}^* \quad (2.16)$$

#### 1.14 การหักเหและการสะท้อนของแสง

เมื่อแสงเดินทางจากวัตถุหนึ่งไปสู่วัตถุอีกชนิดหนึ่ง ที่บริเวณพรมแดนของวัตถุทั้งสอง แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับ (reflect) และบางส่วนจะหักเห (refract) และแสงบางส่วนจะวิ่งเข้าสู่วัตถุที่สอง ในรูปที่ 1.12 ถ้าให้  $\phi_1$  คือมุมแสงตกกระทบ  $\phi_2$  คือ มุมหักเห  $n_1$  คือดัชนีหักเหของวัตถุที่หนึ่ง และ  $n_2$  คือ ดัชนี



รูปที่ 1.12 การหักเหและการสะท้อนของแสงที่พรมแดนระหว่างวัตถุ 2 ชนิด ในรูปนี้  $n_1 > n_2$

หักเหแสงของวัตถุที่สอง เราจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\sin \phi_2 / \sin \phi_1 = n_1 / n_2 \quad (1.17)$$

ความสัมพันธ์นี้เรียกว่า กฎของเฟรสเนล (Fresnel's law)

ต่อไปเราจะพิจารณาเกี่ยวกับพลังงานของแสง ถ้าให้  $P_t$  คือ กำลังของแสงวิ่งทะลุ (power of transmitted light) ให้  $P_r$  คือ กำลังของแสงสะท้อนกลับ (power of reflected light) และ  $P_i$  คือ กำลังของแสงตกกระทบ (power of incident light) จะได้ว่า

$$P_i = P_t + P_r \quad (1.18)$$

นิยามของสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสง คือ  $T = P_t / P_i$  (1.19)

นิยามของสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง คือ  $R = P_r / P_i$  (1.20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{และ } T + R = 1 \quad (2.21)$$

จากการคำนวณโดยละเอียด พบว่าถ้าวัตถุทั้งสองชนิดมีเงื่อนไขดัชนีหักเหแสงว่า  $n_1 < n_2$  และมุมแสงตกกระทบมีค่า  $0 < \phi_1 < 90$  องศา จะไม่สามารถทำให้  $T$  มีค่าเป็นศูนย์ นั่นคือไม่สามารถทำให้  $R$  มีค่าเป็นหนึ่ง นั่นคือจะไม่เกิดการสะท้อนกลับอย่างสมบูรณ์

แต่ถ้าวัตถุทั้งสองชนิดมีเงื่อนไขดัชนีหักเหแสงว่า  $n_1 > n_2$  และมุมแสงตกกระทบมีค่า  $\phi_1 > \phi_c$  จะสามารถทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมดอย่างสมบูรณ์ได้ โดยที่  $\phi_c$  มีนิยามดังนี้

$$\sin \phi_c = n_2 / n_1 \quad (1.22)$$

นอกจากนี้จากกฎของ Goose-Hunchen Shift เฟสของแสงสะท้อนอาจเปลี่ยนแปลงไปจากเฟสของแสงตกกระทบ ถ้าให้  $\Phi$  คือปริมาณของเฟสที่เปลี่ยนแปลง จะได้ว่า

$$\text{ถ้า } \phi_1 \cong \phi_2 \quad \text{จะได้} \quad \Phi \cong 0 \quad (1.23)$$

$$\text{ถ้า } \phi_1 \cong 90 \text{ องศา} \quad \text{จะได้} \quad \Phi \cong \pi \text{ (rad)} \quad (1.24)$$

ต่อไป เราจะลองพิสูจน์ที่มาของกฎของเฟรเนลดังต่อไปนี้ ขอให้พิจารณารูปที่ 1.13 ให้แสงเดินทางจากจุด A ไปสู่จุด B ให้  $c_1$  และ  $c_2$  คือความเร็วแสงของวัตถุ I และ II ตามลำดับ ดังนั้นเวลาที่แสงใช้ในการเดินทางจาก A ไป B คือ

$$t = \sqrt{a^2 + x^2} / c_1 + \sqrt{b^2 + (b' - x)^2} / c_2 \quad (1.25)$$

แสงโดยธรรมชาติควรจะใช้เวลาในการเดินทางน้อยที่สุด ดังนั้น  $x$  ที่ทำให้  $t$  มีค่าน้อยที่สุด ได้จากการคำนวณดังนี้

$$\frac{dx}{dt} = 0 \quad (1.26)$$

ดังนั้นจึงได้

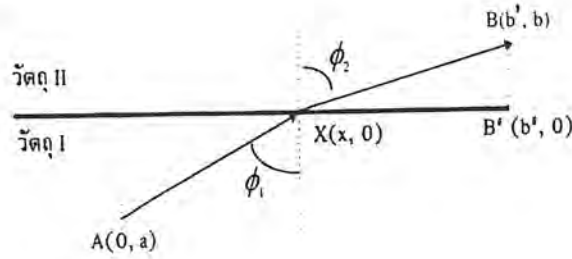
$$\frac{1}{c_1} \frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}} = \frac{1}{c_2} \frac{(b' - x)}{\sqrt{b^2 + (b' - x)^2}} \quad (1.27)$$

และเนื่องจาก

$$\frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}} = \sin \phi_1, \quad \frac{b' - x}{\sqrt{b^2 + (b' - x)^2}} = \sin \phi_2 \quad (1.28)$$

ดังนั้นจึงได้ว่า

$$\frac{\sin \phi_2}{\sin \phi_1} = \frac{c_2}{c_1} = \left( \frac{c}{n_2} \right) / \left( \frac{c}{n_1} \right) = \frac{n_1}{n_2} \quad (1.29)$$



รูปที่ 1.13 การหักเหของแสง

### 1.1.5 การแทรกสอดของแสง (Interference of light)

เป็นที่ทราบกันดีว่า สมการของแมกซ์เวลล์ (Maxwell's equations) สามารถใช้แสดงพฤติกรรมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งรวมทั้งแสงได้เป็นอย่างดี สมการของแมกซ์เวลล์มีคุณสมบัติเป็นสมการเชิงเส้น ดังนั้นถ้านำผลเฉลยของสมการนี้มาบวกกัน ก็ย่อมได้คำตอบเป็นค่าเชิงเส้นเช่นเดิม เราทราบกันดีว่าสมการที่ (1.11) นั้นเป็นผลเฉลยของสมการแมกซ์เวลล์ ดังนั้นถ้ามีแสงวิ่งออกมาจากจุด A และ B และไปรวมกันที่ C เราสามารถพิจารณาได้ว่าผลรวมของสนามไฟฟ้าของคลื่นแสงทั้งสองที่จุด C นั้นก็ย่อมเป็นผลเฉลยของสมการของแมกซ์เวลล์ด้วยเช่นกัน

ถ้าให้  $\vec{E}_A$  และ  $\vec{E}_B$  คือสนามไฟฟ้าของคลื่นแสงที่วิ่งออกมาจากจุด A และ B ตามลำดับ และมีความถี่  $\omega$  เท่ากัน และให้ [4]

$$\vec{E}_A = \vec{E}_{0A} \exp \left[ -i \left( \omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}_A + \delta_A \right) \right] \quad (1.30)$$

$$\vec{E}_B = \vec{E}_{0B} \exp \left[ -i \left( \omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}_B + \delta_B \right) \right] \quad (1.31)$$

ดังนั้นคลื่น  $\vec{E}_C$  ที่เกิดจากผลรวมของ  $\vec{E}_A + \vec{E}_B$  คือ

$$\vec{E}_C = \vec{E}_A + \vec{E}_B \quad (1.32)$$

$$= \left\{ E_{0A} \exp \left[ i \left( \vec{k} \cdot \vec{r}_A - \delta_A \right) \right] + E_{0B} \exp \left[ i \left( \vec{k} \cdot \vec{r}_B - \delta_B \right) \right] \right\} \times \exp(-i\omega t) \quad (1.33)$$

$$= \vec{C} \exp(-i\omega t) \quad (1.34)$$

ดังนั้นความเข้ม(intensity)ของแสงที่จุด C คือ

$$I = |E_c|^2 \quad (1.35)$$

$$= E_{OA}^2 + E_{OB}^2 + E_{OA}E_{OB} \left\{ \exp i(\vec{k} \cdot \vec{r}_A - \vec{k} \cdot \vec{r}_B - \delta_A + \delta_B) + \exp i(\vec{k} \cdot \vec{r}_B - \vec{k} \cdot \vec{r}_A - \delta_B + \delta_A) \right\} \quad (1.36)$$

$$= E_{OA}^2 + E_{OB}^2 + 2E_{OA}E_{OB} \cos \theta \quad (1.37)$$

โดยที่

$$\theta = \vec{k}[\vec{r}_A - \vec{r}_B + (\delta_B - \delta_A)/\vec{k}] \quad (1.38)$$

จากสมการที่(1.37)ความเข้มของแสงที่จุด C จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นกับค่า  $\cos \theta$  นั่นคือ

$$1) \text{ ถ้า } \theta = 2m\pi \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (1.39)$$

$$\text{จะได้ } I \text{ สว่างที่สุด กล่าวคือ } I_{\max} = (E_{OA} + E_{OB})^2 \quad (1.40)$$

$$2) \text{ ถ้า } \theta = (2m+1)\pi \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (1.41)$$

$$\text{จะได้ } I \text{ มืดที่สุด กล่าวคือ } I_{\min} = (E_{OA} - E_{OB})^2 \quad (1.42)$$

เนื่องจากมุม  $\theta$  เป็นฟังก์ชันของ  $(\vec{r}_A - \vec{r}_B)$  กล่าวคือเป็นฟังก์ชันของความแตกต่างของระยะทางที่แสงเดินทาง และเป็นฟังก์ชันของ  $(\delta_B - \delta_A)$  กล่าวคือ เป็นฟังก์ชันของความแตกต่างของเฟสของแสงทั้ง 2 เส้นที่เดินทางมาถึงจุด C ดังนั้นถ้าความแตกต่างของเฟสมีค่าคงที่ตลอด จะทำให้ความเข้มของแสงที่จุด C ขึ้นกับความแตกต่างของระยะทางเท่านั้น ดังนั้นถ้าเราสังเกตความเข้มของแสงที่หลายๆ ตำแหน่งก็จะพบว่าเกิดเป็นแถบสว่างและแถบมืดสลับกันคล้ายลายม้าลาย ซึ่งเรียกว่า "ริ้วแทรกสอด"(interference fringe)

แต่ในทางปฏิบัติ แสงธรรมชาติที่ใช้กันทั่วไปจะมีเฟสคงที่ในเวลาทีสั้นมากเพียงไม่ถึง  $10^{-8}$  วินาที จึงทำให้  $(\delta_B - \delta_A)$  มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีกฎเกณฑ์ จึงทำให้ในกรณีแสงทั่วไปนั้น  $\cos \theta$  มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ จึงไม่ทำให้เกิดริ้วแทรกสอด กล่าวคือ แสงธรรมชาติจะทำให้เป็นริ้วแทรกสอดได้ยากมาก แต่ถ้าเราใช้แสงเลเซอร์จะเห็นริ้วแทรกสอดของแสงได้ชัดเจน

## บทที่ 2

# คุณสมบัติพื้นฐานของเส้นใยแก้วนำแสง

### 2.1 ประวัติความเป็นมาของเส้นใยแก้วนำแสง

การใช้แสงเป็นสื่อในการนำสัญญาณแล้วส่งไปในตัวกลางต่างๆ นั้น ได้เริ่มขึ้นจากที่นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษชื่อ จอห์น ไทนด์ล (John Tyndall) ได้พบว่าแสงสามารถส่งผ่านไปตามลำน้ำได้ตั้งแตปี พ.ศ. 2413 จากจุดเริ่มต้นนี้ก็มีความพยายามกันเป็นเวลานานที่จะทำให้ปรากฏการณ์นี้มีประโยชน์ในทางปฏิบัติได้ จนกระทั่งในปี พ.ศ.2503 ก้าวสำคัญของการเปลี่ยนแปลงก็มาถึงเมื่อมีการทดลองใช้เลเซอร์เป็นครั้งแรก ต่อมาในปีพ.ศ.2509 ก็มีนักวิทยาศาสตร์สองคนของสหราชอาณาจักรชื่อ ฮอคแคม (G.A. Hockham) และเกา (C.C.Kao) ได้ทำการศึกษาวิจัยว่าตัวกลางที่ทำด้วยใยแก้วนำแสงสามารถส่งผ่านได้ 1% ของแสงอินพุตด้วยระยะทาง 1 กิโลเมตร และตัวกลางนี้จะเป็นคู่แข่งสำคัญกับสายทองแดงหรือสายหุ้มฉนวน (Coaxial Cable) จากนั้นด้วยความก้าวหน้าทางวัสดุศาสตร์เรื่อยมา จนปัจจุบันทำให้สามารถมีใยแก้วนำแสงที่มีการส่งผ่านแสงที่มีประสิทธิภาพ หรือมีการสูญเสียต่ำได้ ใยแก้วนำแสงบางชนิดซึ่งอาจมีการสูญเสียต่ำมากคือมีการสูญเสียเพียง 0.1 เดซิเบลต่อกิโลเมตร (dB/km) เท่านั้น

### 2.2 โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง

ส่วนประกอบของใยแก้วนำแสงประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือส่วนที่เป็นแกนอยู่ตรงกลางหรือชั้นในแล้วหุ้มด้วยส่วนที่เป็นเคลด แล้วถูกหุ้มด้วยส่วนป้องกัน (Coating) โดยที่แต่ละส่วนนั้นทำด้วยวัสดุที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงที่มีค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้ก็เพราะต้องคำนึงถึงหลักการหักเหและสะท้อนกลับหมดของแสงดังที่ได้กล่าวไปแล้ว

แกน : เป็นส่วนตรงกลางของเส้นใยแก้วนำแสง โดยดัชนีหักเหของแสงส่วนนี้ต้องมากกว่าของส่วนเคลดแล้วละแสงที่ผ่านไปแกนจะถูกขังหรือเคลื่อนที่ไปตามเส้นใยแก้วนำแสงด้วยขบวนการสะท้อนกลับหมดภายใน (ดูรูปที่ 2.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนป้องกัน : เป็นชั้นที่ต่อจากแคลดเป็นที่กันแสงจากภายนอกเข้าเส้นใยแก้วนำแสง และกันแสงจากเส้นใยนำแสงออกข้างนอก และยังใช้ประโยชน์เมื่อมีการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง โครงสร้างอาจจะประกอบไปด้วยชั้นของพลาสติกหลายๆชั้น นอกจากนั้นส่วนป้องกันยังทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันการกระทำจากแรงภายนอกอีกด้วย ตัวอย่างของค่าดัชนีหักเหเช่น แกนมีค่าดัชนีหักเหประมาณ 1.48 ส่วนของแคลดและส่วนป้องกันซึ่งทำหน้าที่ป้องกันแสงจากแกนภายนอก และป้องกันแสงภายนอกรบกวนจะมีค่าดัชนีหักเหเป็น 1.46 และ 1.52 ตามลำดับ



รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของเส้นใยแก้วนำแสง

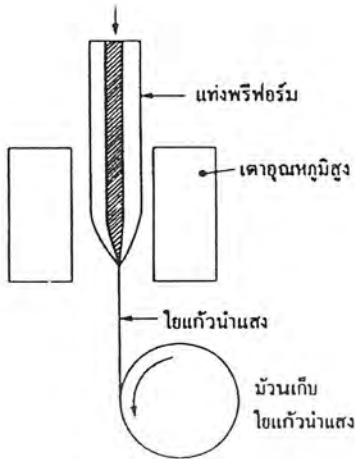
## 2.3 การผลิตเส้นใยแก้วนำแสง

วิธีการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงสามารถที่จะแบ่งออกได้เป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภทคือ วิธีการโดยตรง หรือ ดี เอ็ม เอ็ม (Direct Melt Method, DMM) และวิธีการระเหยสาร วิ พีโอ พี (Vapour Phase Oxidation Process, VPOP) โดยวิธีการทั้งสองแบบนี้มีลักษณะการทำเส้นใยแก้วนำแสงที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง และยังสามารถแบ่งเป็นวิธีย่อยๆ ที่แตกต่างกันในกระบวนการทางเคมีด้วย ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดดังต่อไปนี้คือ

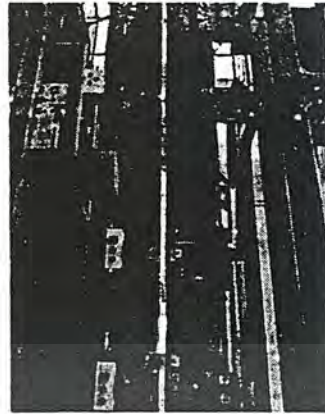
### 2.3.1 วิธีการ ดี เอ็ม เอ็ม

ในการทำแก้วพรีฟอร์ม (Perform) จะทำเป็นสองชั้น (Double Crucible) โดยวิธีการอัดซิลิกา (Silica) เข้าไปในท่อ โดยให้ส่วนที่จะทำแกนเป็นส่วนใน (Inner Crucible) ส่วนแคลดไว้ส่วนนอก (Outside Crucible) ในการทำเส้นใยนำแสง จะทำได้โดยการให้ความร้อนกับแท่ง พรีฟอร์ม แล้วดึงด้วยเครื่อง ดังรูป 2.2 ที่มีขั้นตอนต่างกัันดังรายละเอียด โดยเริ่มจากากรนำแท่งพรีฟอร์มมาให้ความร้อนแล้วดึง และใส่ส่วนป้องกันตามลำดับ ซึ่งวิธีนี้จะสะดวกดี แต่เส้นใยนำแสงที่ทำด้วยวิธีนี้จะไม่บริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) โดอะแกรมของการดึงใยแก้วนำแสง



(ข) ทาวเวอร์ดึงใยแก้วนำแสง

	วิธีปกติ (Usual Vad)	วิธีสังเคราะห์ (Synthetic Vad)
1st Deposition	<p> <math>\text{SiCl}_4</math>  <math>\text{GeCl}_4</math>  <math>\text{H}_2</math>  <math>\text{O}_2</math> </p> <p>Deposition Rate : 2 g/min</p>	<p> <math>\text{SiCl}_4</math>  <math>\text{GeCl}_4</math>  <math>\text{H}_2</math>  <math>\text{O}_2</math> </p> <p>Deposition Rate : 2 g/min</p>
Dehydration Consolidation	<p><math>\text{Cl}_2, \text{He}</math></p>	<p><math>\text{Cl}_2, \text{He}</math></p>
Elongation	<p><math>\text{H}_2, \text{O}_2</math></p>	<p><math>\text{H}_2, \text{O}_2</math></p>
Jacketing	<p> <math>\text{H}_2, \text{O}_2</math>                      Collapse                      (Core + Silica Tube)                 </p>	<p> <math>\text{SiCl}_4</math>  <math>\text{GeCl}_4</math>  <math>\text{H}_2, \text{O}_2</math> </p> <p>2nd Deposition Deposition Rate : 10 g/min</p>
Length of Fiber /Preform	30 km	100 km

(ค) วิธีการทำแท่งพรีฟอร์ม

รูปที่ 2.2 แสดงเครื่องดึงเส้นใยแก้วนำแสงและขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 วิธีการ วิ พี ไอ พี

การผลิตใยแก้วนำแสงด้วยวิธีนี้เป็นการผลิตที่มีขั้นตอน 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการทำแท่งแก้วพรีฟอร์ม และอีกขั้นตอนเป็นการดึงแท่งพรีฟอร์ม เพื่อทำเป็นเส้นใยนำแสง ในการทำแท่งแก้วพรีฟอร์มนั้นต้องมีการผสมโลหะ (Metal Halide) ซึ่งเป็นเคมีภัณฑ์เหลวที่ต้องควบคุมอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเป็นไอ จากการทำปฏิกิริยากับก๊าซพาหะ (Carrier Gas) ไปเกาะเกิดเป็นเนื้อสารที่มีดัชนีหักเหต่าง ๆ กัน ซึ่งมีวิธีการต่าง ๆ ดังนี้คือ

1.Modified Chemical Vapour Deposition (MCVD) วิธีทำ คือ ใส่โลหะผสมชนิด  $\text{SiCl}_4$  เข้าไปในท่อซิลิกาที่หมุนอยู่ตลอดเวลา แล้วให้ความร้อนด้วยหัวเผา ที่เคลื่อนที่ตลอดแนวยาวของท่อซิลิกา เมื่อโลหะทำปฏิกิริยากับก๊าซพาหะ ก็จะเกาะอยู่ที่ผนังของท่อซิลิกาเกิดเป็นส่วนของแคลด์ และถ้าการเคลื่อนที่ของหัวเผามีอัตราเร็วขึ้นก็จะเป็นส่วนของแกน แล้วจึงนำไปยวบตัวเพื่อทำการดึงต่อไป

2.Plasma Activated Chemical Vapour Deposition (PCVD) จะคล้ายกับ MCVD แต่จะเปลี่ยนการให้ความร้อนด้วยหัวเผา เป็นการใส่ไว้ในเตาอบแทน ซึ่งจะดีกว่า MCVD ตรงที่ท่อซิลิกอนจะไม่เสียรูปทรง

3.Outside Vapour Phase Oxidation (OVPO) วิธีการนี้ทำให้เกิดการเกาะตัวที่ผนังด้านนอกของแท่งแกรไฟต์ทำให้เนื้อสารมีค่าดัชนีหักเหต่าง ๆ ตามที่เราต้องการแล้วนำไปแยกออกจากแท่งแกรไฟต์ จะได้แท่งแก้วใส แล้วจึงนำไปทำการยวบตัวต่อไป

4.Vapour Phase Axial Deposition (VPAD) เป็นวิธีที่คล้ายกับ OVPO แต่ทำในแกนตั้ง โดยการพ่น  $\text{SiCl}_4 + \text{BO}_3$  และ  $\text{SiCl}_4 + \text{GeCl}_4$  สำหรับแคลด์และแกนตามลำดับให้กับแท่งแก้วซิลิกา พอเริ่มเกิดแท่งแก้วที่ปลายของแท่งซิลิกา ก็จะถูกดึงขึ้นไปสู่แท่งคาร์บอนร้อน แล้วได้แท่งพรีฟอร์มออกมาโดยไม่ต้องทำการยวบตัวอีก

### 2.3.3 การดึง

การดึง (Drawing) เป็นการนำแท่งแก้วพรีฟอร์มออกมาเพื่อทำเป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่สามารถกำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางได้นั้นคือนำแท่งแก้วพรีฟอร์มซึ่งได้มาจากกระบวนการดัดที่กล่าวมาแล้วมาให้ความร้อนที่ปลายพอเริ่มเหลวก็จะถูกดึงลงข้างล่างไปสู่บริเวณที่จำกัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยแก้วนำแสง แล้วจึงจะถูกหุ้มด้วยส่วนป้องกันเพื่อเสริมความแข็งแรง แล้วจะถูกนำไปทดสอบแรงดึงและคุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสงอื่นๆเช่น คุณสมบัติการกระจาย (Dispersion) คุณสมบัติการส่งผ่านและการสูญเสียหรือการลดทอน (Transmission and Loss) หรือ (Attenuation) และทางโครงสร้างต่อไป เป็นต้น

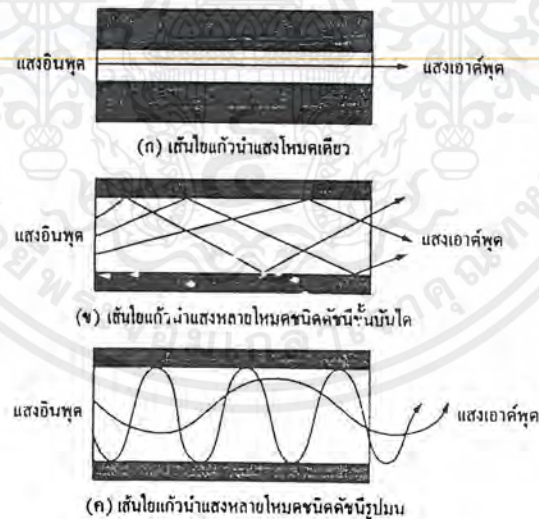
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ชนิดของใยแก้วนำแสง

ภายในเส้นใยแก้วนำแสงนั้นจำนวนลำแสงที่เดินทางหรือเกิดขึ้นจะเป็นตัวบอกโหมดของแสงที่เดินทางภายในเส้นใยแก้วนำแสงนั้น กล่าวคือถ้ามีแนวลำแสงอยู่แนวเดียวเรียกว่าเส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียว (Single Mode Fiber) แต่ถ้าภายในเส้นใยแก้วนำแสงนั้นมีแนวลำแสงอยู่เป็นจำนวนมาก เรียกว่าเส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมด (Multimode Fiber) จากรูปที่ 2.3 นอกจากการแบ่งชนิดใยแก้วนำแสงตามลักษณะของโหมดแล้วยังมีวิธีอื่นที่แบ่งโดยดูจากวัสดุที่ทำเช่น เส้นใยที่ทำจากแก้ว พลาสติกหรือโพลิเมอร์และก็ยังสามารถแบ่งได้ตามลักษณะของรูปร่าง ลักษณะของดัชนีหักเห เช่น ใยแก้วชนิดดัชนีชั้นบันได (Step Index) หรือดัชนีรูปมน (Graded Index) เป็นต้น

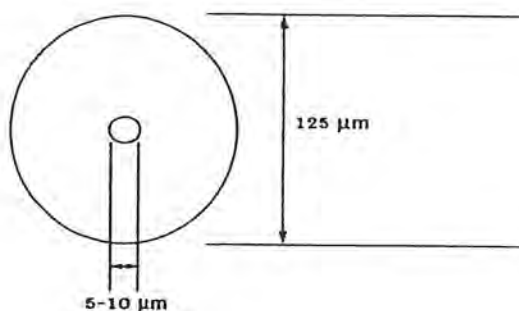
### 2.4.1 เส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียว

เส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแกนและแคลดประมาณ 5-10 และ 125 ไมครอนตามลำดับ ซึ่งส่วนของแกนมีขนาดเล็กกว่าเส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมดมาก และให้แสงออกมาเพียงโหมดเดียว ลักษณะหน้าตัดของเส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียวแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของแสงที่เดินทางภายในของเส้นใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

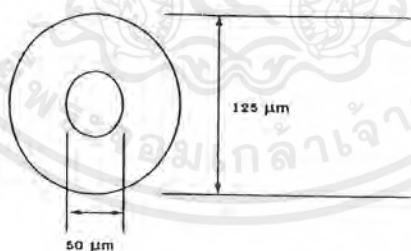


รูปที่ 2.4 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียว

พิจารณาจากรูปจะเห็นว่าขนาดของแกนที่ใช้ส่งสัญญาณนั้นเล็กมากซึ่งทำให้การนำแสงเข้าสู่เส้นใยแก้วยากกว่าใยแก้วหลายโหมดแสง เนื่องจากข้อดีของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดียวคือ การแตกกระจายของสัญญาณเกิดขึ้นน้อยกว่าใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมดทำให้มีแบนด์วิดท์ที่ใช้ประโยชน์ได้กว้างขวาง

#### 2.4.2 เส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมด

โครงสร้างภายในของเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งประกอบด้วยแกนและแคลดดิ้งได้กล่าวมาแล้วข้างต้นสำหรับเส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมดส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนและแคลดโดยประมาณ 50 ไมครอนและ 125 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะหน้าตัดดังรูปที่ 2.5

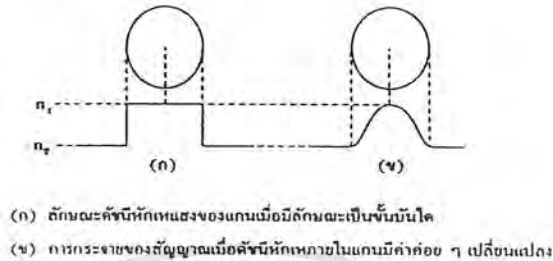


รูปที่ 2.5 แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมด

เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนของเส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมดนั้นมีขนาดใหญ่ ดังนั้นแสงที่ตกกระทบที่ปลายอินพุตของเส้นใยแก้วนำแสงมีมุมตกกระทบที่แตกต่างกันหลายค่า จากหลักการสะท้อนกลับหมดของแสงที่เกิดขึ้นภายในส่วนของแกนทำให้มีแนวลำแสงเกิดขึ้นหลายโหมด และแสงแต่ละโหมดเดินทางโดยใช้ระยะเวลาที่แตกต่างกันอันเป็นสาเหตุให้เกิดการแตกกระจายของโหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

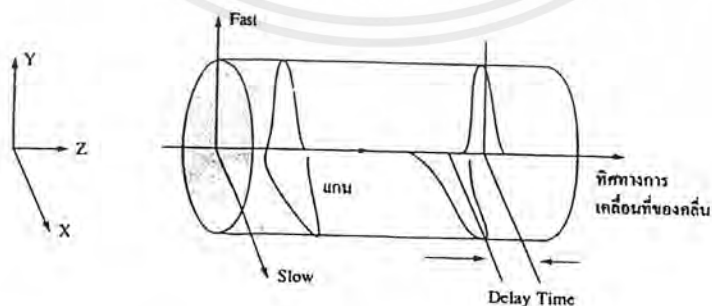
แสง (Mode Dispersion) หรือของสัญญาณที่ได้รับเนื่องจากการแตกต่างของเวลา จึงได้มีการพัฒนาที่จะลดการแตกกระจายของสัญญาณซึ่งเกิดขึ้นจากเส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมดด้วยการปรับปรุงลักษณะดัชนีหักเหของแกน ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงตามลักษณะของดัชนีหักเหของแกน

### 2.4.3 ใยแก้วนำแสงชนิดอนุรักษสภาวะทางโพลาริเซชัน

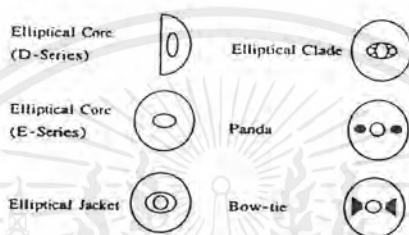
สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียวแบบธรรมดาในทางทฤษฎีกล่าวว่า องค์ประกอบของความเร็วแสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงจะเท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติเส้นใยแก้วนำแสงจะไม่สมมาตรสมบูรณ์ซึ่งการมีรูปร่างและดัชนีหักเหที่ไม่สมมาตรจะทำให้โหมดทั้งสองของแสงมีความเร็วที่แตกต่างกันเล็กน้อยองค์ประกอบของความเร็วจะประกอบด้วยองค์ประกอบตามแกนที่เร็วกว่า (Fast Axis) และอีกแกนหนึ่งที่ตั้งฉากกันที่มีความเร็วช้ากว่า (Slow Axis) จากความแตกต่างของความเร็วนี้เองทำให้เกิดการหักเหสองแนว ปรัชญาการนี้้อาจเกิดจากรายละเอียดที่กล่าวมาแล้วข้างต้นที่เกิดจากคุณสมบัติภายในของเส้นใยแก้วนำแสงเอง หรือในกระบวนการผลิตที่มีโครงสร้างของส่วนแกนภายในซึ่งอาจทำให้เกิดความเค้นบริเวณรอบๆแกน (Geometrical Effect, GE) หรือเกิดการรบกวนเนื่องจากผลของการให้ความเค้นภายนอก (Stress Effect, SE) ดังรูปที่ 2.6 และ 2.7 ประกอบ



รูปที่ 2.7 แสดงโหมดของเส้นใยโพลาริซสองโหมดที่ตั้งฉากกันและมีความเร็วต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

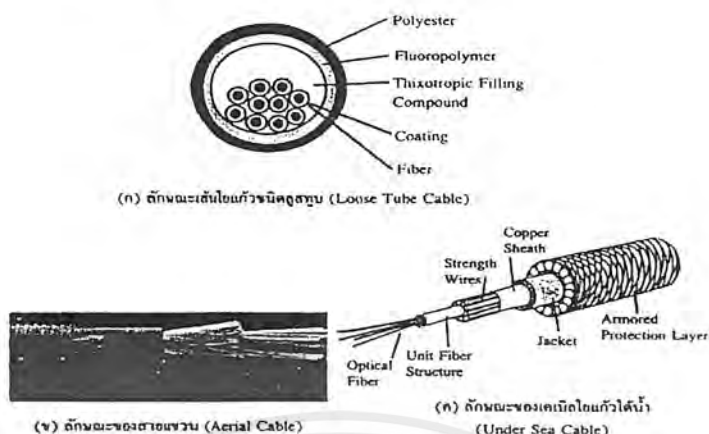
เส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียวที่มีคุณสมบัติดังกล่าวนี้ มีความสามารถในการอนุรักษ์สถานะโพลาไรเซชัน (Polarization Maintaining, PM) ซึ่งจะแบ่งเป็นชนิดไฮสปีไบร์พริเนเจนซ์ (Highly Birefringence, HB) และชนิดโลว์ไบร์พริเนเจนซ์ (Low Birefringence, LB) โดยพิจารณาจากผลต่างของค่าดัชนีหักเหแสงหรือ ไบร์พริเนเจนซ์ กล่าวคือถ้าค่าไบร์พริเนเจนซ์  $B > 10^{-5}$  จัดเป็นไฮสปีไบร์พริเนเจนซ์ แต่ถ้าไบร์พริเนเจนซ์  $B < 10^{-5}$  จัดเป็นโลว์ไบร์พริเนเจนซ์ เส้นใยแก้วนำแสงไฮสปีไบร์พริเนเจนซ์ยังแยกพิจารณาเป็นแบบโพลาไรเซชันโหมดเดียว (Single Polarization Mode, SP) และสองโหมด (Two Polarization Modes, TP) เป็นต้น



รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างของเส้นใยแก้วนำแสงไฮสปีไบร์พริเนเจนซ์บางชนิด

## 2.5 สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง

ใยแก้วนำแสงนั้นมีการบวนการผลิตหลายวิธีดังที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งจะแตกต่างกันที่วิธีการทำแท่งพรีฟอร์มหลังจากได้แท่งพรีฟอร์มแล้วก็นำมาดึงทำแสงขนาดและประเภทต่างๆ พร้อมทั้งทำการป้องกันเพื่อทำเป็นเคเบิลตามลักษณะของการใช้งานต่างๆเช่น สายเคเบิลกับงานเดินสายใต้ดิน สายอากาศ สายใต้น้ำ สายในอาคาร และงานระหว่างอาคาร เป็นต้น ดังรูปที่ 2.8 จะเป็นตัวอย่างเคเบิลใยแก้วนำแสง ซึ่งเป็นลักษณะต่างๆไปเท่านั้น สำหรับในการใช้งานในปัจจุบันนั้นก็มีเคเบิลมากมายหลายชนิดแล้วแต่ความต้องการใช้งานเป็นสำคัญ



รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างของเคเบิลใยแก้ว

## 2.6 การสื่อสารด้วยแสง

จากความเจริญก้าวหน้าทางเศรษฐกิจและสังคม ทำให้มีความต้องการในการแลกเปลี่ยนข่าวสารและข้อมูลเพิ่มขึ้น เพื่อเป็นการตอบสนองความต้องการได้ทั้งปัจจุบันและอนาคต ระบบสื่อสารด้วยแสง (Optical Communication System) ซึ่งสามารถส่งข่าวสารและข้อมูลต่างๆ ได้เป็นจำนวนมากในเวลาเดียวกันจึงได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย

ระบบสื่อสารด้วยใยแก้วนำแสงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารที่ใช้เคเบิลที่ทำด้วยโลหะแล้วมีข้อดีต่างๆ ที่เกิดจากคุณสมบัติของใยแก้วนำแสงดังนี้คือ

1. **ให้แบนด์วิดท์ที่กว้าง** กล่าวคือ การใช้คลื่นพาหะที่มีความถี่สูงในระบบสื่อสารทำให้แบนด์วิดท์ของสัญญาณกว้างมากขึ้น การสื่อสารด้วยใยแก้วนำแสงนั้นขึ้นกับคลื่นพาหะที่มีความถี่อยู่ในช่วง  $10^{13} - 10^{14}$  เฮิร์ตซ์ เมื่อเปรียบเทียบกับความถี่ของคลื่นวิทยุซึ่งมีความถี่  $10^6 - 10^9$  เฮิร์ตซ์ แล้วจะเห็นว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณกว้างขึ้นถึงประมาณ  $10^6$  หรือ 1 ล้านเท่า

2. **ขนาดเล็กและน้ำหนักเบา** ใยแก้วนำแสงเพียงเส้นเดียวสามารถแทนคู่สายทองแดงขนาดใหญ่แต่ละคู่ได้ เช่น สายเคเบิลทางโทรศัพท์ที่มี 1,000 คู่สาย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7-10 เซนติเมตร จะสามารถใช้เคเบิลใยแก้วนำแสงเพียงเส้นเดียวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตรแทนได้ในการส่งช่องสัญญาณจำนวนที่เท่ากัน

3. **การสูญเสียต่ำ** ใยแก้วนำแสงมีค่าการสูญเสียเนื่องจากการลดทอนน้อยกว่าสายเกลียวคู่ (Twisted Pair) หรือ หุ้มฉนวน (Coaxial Cable)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ไม่ถูกรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสงไม่ได้สร้างจากเส้นลวดโลหะเหมือนสายเคเบิลโลหะแต่สร้างจากแก้ว (Glass) หรือซิลิกอน (Silicon) ดังนั้นจึงไม่ถูกรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และไม่ต้องใช้เทคนิคป้องกันด้วยวิธีการชิลด์ (Shield) ที่มีราคาแพงและยุ่งยากเพื่อป้องกันการรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

5. คงทนและไม่ถูกรบกวนโดยสภาพดินฟ้าอากาศ แก้วหรือซิลิกอนมีความแข็งแรงกว่าโลหะถึง 20 เท่า โดยที่ซิลิกอนหรือแก้วก็เป็นธาตุเฉื่อย ดังนั้นสภาพแวดล้อมจึงมีผลน้อยกว่าการใช้งานสายที่ทำด้วยโลหะ

6. มีความปลอดภัย ในระบบสายโลหะจำเป็นต้องป้องกันอันตรายให้กับอุปกรณ์หรือมนุษย์จากไฟฟ้าลัดวงจรระหว่างสาย หรือระหว่างสายกับสายดิน ซึ่งเมื่อใช้เส้นใยแก้วนำแสงแล้วจะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับสิ่งเหล่านี้

7. ราคาถูก ราคาของเส้นใยแก้วนำแสงในปัจจุบันมีราคาต่ำลงเรื่อยๆ ในขณะที่ราคาของสายโลหะมีราคาเพิ่มขึ้น ในทางปฏิบัติทุกวันนี้ราคาของการออกแบบระบบที่ใช้ใยแก้วนำแสงมีราคาต่ำกว่าระบบแบบใช้โลหะ

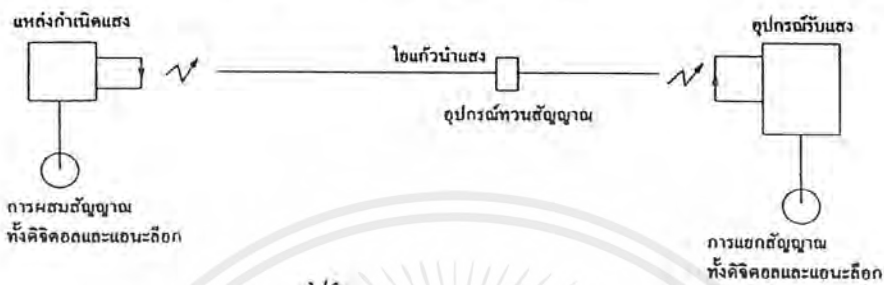
### 2.6.1 การสื่อสารเชิงแสง

แนวความคิดของการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงเกิดขึ้นเมื่อนักวิทยาศาสตร์พยายามที่จะค้นคว้าเกี่ยวกับการส่งผ่านแสงในชั้นบรรยากาศมาก่อนแต่ไม่ค่อยประสบผลสำเร็จมากนัก เนื่องจากแสงจะถูกลดกำลัง หรือลดทอนในชั้นบรรยากาศอย่างมาก การส่งผ่านแสงชั้นบรรยากาศจึงถูกจำกัดเฉพาะการสื่อสารในระยะทางสั้นๆ ต่อมาจึงหันมาวิจัยการสื่อสารโดยการใช้ใยแก้วนำแสง แต่ในระยะแรกเกิดปัญหาเนื่องจากสูญเสียมากถึงประมาณ 1,000 เดซิเบล/กิโลเมตร ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้กับการสื่อสารได้ ต่อมานักวิทยาศาสตร์ได้ทำการวิจัยและพัฒนาจนอัตราการสูญเสียของเส้นใยแก้วนำแสงเหลือเพียง 0.2 เดซิเบล/กิโลเมตร ตัวอย่างเช่น แสงเดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงที่ยาว 15 กิโลเมตร ปริมาณของแสงจึงจะลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง ดังนั้นจึงสามารถนำแสงไปได้ไกลมาก จากการนำแสงเลเซอร์และใยแก้วนำแสงมาใช้ร่วมกันจึงทำให้เกิดการส่งข่าวสารยุคใหม่ขึ้นเรียกว่า "การสื่อสารใยแก้วนำแสง"

ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารด้วยใยแก้วนำแสง แสดงได้ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งจะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง (Electrical Optical Converter, E/O) ที่ทำงานโดยรับสัญญาณไฟฟ้ามาจากอุปกรณ์แหล่งกำเนิดแสง หรือ เลเซอร์ และส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงโดยความแรงของสัญญาณไฟฟ้าที่รับได้จากอุปกรณ์รับสัญญาณปลายทางจะถูกเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นความเข้มแสง หรือระดับของสัญญาณ “1” และ “0” ด้วยวิธีหลังนี้สัญญาณไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นแสงที่สว่างและมีด หรือเปิด-ปิดสัญญาณที่เดินทางในใยแก้วนำแสงนั้นกำลังจะอ่อนลงเมื่อเดินทางใน ระยะทางที่เพิ่มขึ้นพร้อมทั้งรูปคลื่นที่ขยายกว้างออกด้วย ดังนั้น เมื่อถึงอุปกรณ์เปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า (O/E) ทางด้านรับสัญญาณแล้วก่อนที่แสงจะส่งไปก็จะถูกทวนสัญญาณและส่งต่อไปยังปลายทาง



รูปที่ 2.10 ผังแสดงระบบสื่อสารใยแก้วนำแสง

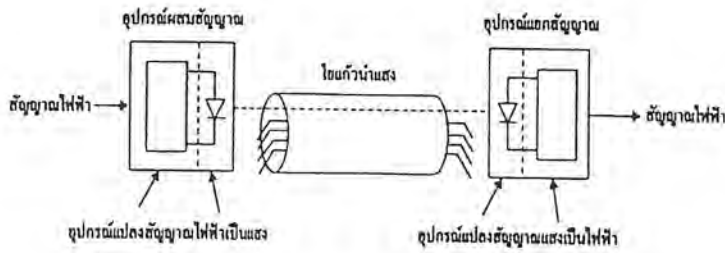
## 2.6.2 ระบบสื่อสารใยแก้วนำแสง

ระบบอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสงนั้นทำได้โดยใช้อุปกรณ์ทางแสงได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง (Light Source) ซึ่งปกติใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิด ไดโอดเปล่งแสง (LED) หรือไดโอดเลเซอร์ (LD) ส่วนอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้านั้นทำได้โดยใช้ไดโอดแสง (Photodiode) หรือทรานซิสเตอร์แสง (Photo Transistor) นอกจากกรณีนี้ที่ระยะทางของสายส่งยาวมากอาจต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ทวนสัญญาณ (Repeater) ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า แล้วเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณแสงอีกครั้งและส่งกลับไปยังเส้นใยแก้วนำแสง

### การผสมและแยกสัญญาณ

การผสมสัญญาณ (Modulation) ของการสื่อสารนั้น หมายถึงการทำให้ความถี่ของการสั่นในการส่งเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณข่าวสาร สำหรับการสื่อสารใยแก้วนำแสงนั้นความถี่ (หรือความยาวคลื่น) ของแสงที่ปล่อยออกมาจากอุปกรณ์กำเนิดแสงมีค่าไม่คงที่ ดังนั้นความหมายของการผสมสัญญาณจึงแตกต่างกับการสื่อสารทางไฟฟ้า ถ้าหากสามารถทำให้แสงเป็นแสงอาพันธ์ (Coherence Light) ที่สมบูรณ์นั้นคือมีความถี่คงที่ และสามารถเปลี่ยนความถี่แสงให้อยู่ในย่านความถี่ไมโครเวฟได้ก็จะทำให้การสื่อสารใยแก้วนำแสงมีการผสมคลื่นชนิดต่างๆ เหมือนกับการสื่อสารทางไฟฟ้า ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการผสมคลื่นแสงนั้นเป็นเพียงการผสมความเข้มแสง (Intensity Modulation) เท่านั้น (ดูรูปที่ 2.11 ประกอบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงการผสมสัญญาณและการส่ง

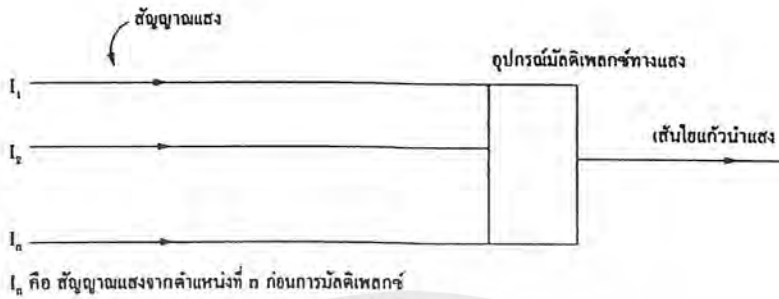
ปกติสัญญาณแสงทางด้านรับของระบบสื่อสารนั้นสัญญาณจะอ่อนกำลังลง และบางครั้งอาจเกิดความผิดพลาดเนื่องจากการส่งผ่านไปใยแก้วนำแสง เมื่ออุปกรณ์รับแสงทำการแปลงสัญญาณให้ได้สัญญาณไฟฟ้าที่ออกมาเป็นรูปร่างของสัญญาณเดิมที่เป็นสัญญาณพื้นฐาน (Baseband) และเป็นไปตามรูปร่างของกรอปกคลื่น (Envelope) ของสัญญาณที่เกิดจากการรวมกับคลื่นพาหะทางแสง สัญญาณนี้จะผ่านขั้นตอนทางไฟฟ้าเพื่อทำการขยายสัญญาณ และได้สัญญาณที่เครื่องรับปลายทางเหมือนกับต้นกำเนิดข้างสารทุกประการ ในอนาคตถ้าสามารถทำให้แสงที่เป็นแสงอาพันธ์อย่างสมบูรณ์ก็จะสามารถใช้วิธีการผสมคลื่นที่ทำให้ความถี่ของต้นกำเนิดแสงเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณนั้น คือใช้วิธีผสมคลื่นที่มีประสิทธิภาพดีได้และทำนองเดียวกันกับทางด้านรับแสงก็สามารถใช้การแยกสัญญาณที่เรียกว่าเทคนิคทางด้านความถี่ (Heterodyne Detection) เป็นส่วนการรับสัญญาณปลายทาง

#### การส่งสัญญาณแบบดิจิตอลและอนาล็อก

การส่งสัญญาณโดยทั่วไปนั้นมีสองแบบคือ การส่งสัญญาณแบบดิจิตอล (Digital) และอนาล็อก (Analog) การสื่อสารด้วยแสงนั้นมีการส่งสัญญาณอยู่สองชนิดนี้เช่นกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับสัญญาณไฟฟ้าที่มาผสมกับแสงว่าจะเป็นสัญญาณดิจิตอลหรือสัญญาณอนาล็อกเท่านั้น การส่งสัญญาณแบบดิจิตอลโดยทั่วไปแล้วจะนำมาเปลี่ยนเป็นรหัส (Code) ที่เหมาะแก่การส่งแล้วจึงส่งออกไปเช่นเดียวกับการส่งสัญญาณแบบอนาล็อก นั่นคือก่อนที่จะทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณแสงนั้น จะทำการผสมสัญญาณขึ้นแรกกับแหล่งกำเนิดแสงก่อน ทั้งนี้ก็เพราะว่าแสงเอาต์พุตของอุปกรณ์กำเนิดแสงนั้นไม่เป็นสัดส่วนกับระดับสัญญาณไฟฟ้า อินพุตเสมอไป ซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากในการรักษาคุณสมบัติของการส่งเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงต้องทำการผสมสัญญาณเบื้องต้นก่อน การเลือกระบบการส่งสัญญาณทั้ง 2 ชนิดนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน การเลือกระบบแบบอนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลือกมักใช้กับการส่งสัญญาณภาพในข่ายสาย (Networks) หรือเคเบิลทีวี แต่ในขนาดระบบการส่งแบบดิจิทัลที่มีคุณภาพดีกว่าจะเข้ามามีบทบาทสำคัญในทุกๆด้าน



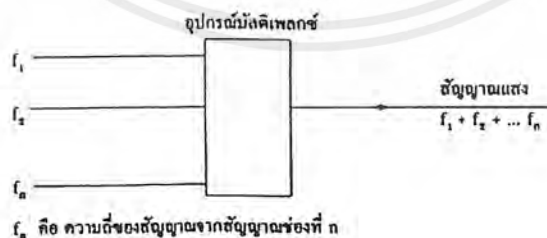
รูปที่ 2.12 การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งระยะทาง

### การทำมัลติเพล็กซ์

การสื่อสารนั้นถ้าสามารถส่งข่าวสารได้มากเท่าใดก็จะเป็นการประหยัด ระบบสื่อสารใยแก้วนำแสงก็เช่นเดียวกันต้องมีการทำมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) เหมือนกับระบบการสื่อสารใช้สายที่เป็นโลหะเช่นกันการมัลติเพล็กซ์ทางแสงสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

1.การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งระยะทาง (Space Division Multiplexing) หมายถึง ในสายเคเบิลหนึ่งเส้นจะมีเส้นใยแก้วนำแสงเป็นจำนวนมากซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้ส่งสัญญาณได้จำนวนมากต่อสายเคเบิลหนึ่งเส้น (ดูรูปที่ 2.11)

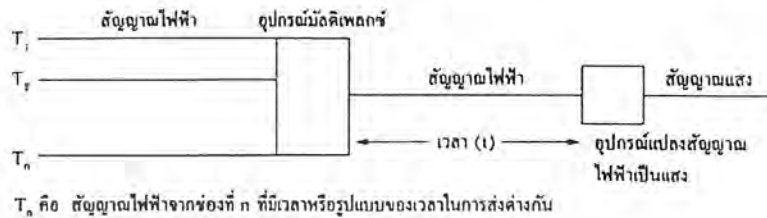
2.การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiplexing) เป็นระบบที่ใช้กับการสื่อสารใยแก้วนำแสงที่มีการส่งสัญญาณจำนวนมาก โดยก่อนส่งไปนั้นจะถูกทำการมัลติเพล็กซ์ในขั้นตอนของการแปลงเป็นสัญญาณแสงเป็นไฟฟ้าก่อนการส่งสัญญาณ (ดูรูปที่ 2.12)



รูปที่ 2.13 การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่

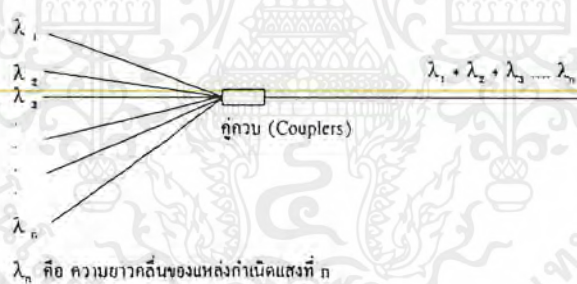
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (Time Division Multiplexing) มีหลักการเช่นเดียวกันกับการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาความถี่ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สำหรับการส่งสัญญาณแบบดิจิทัล (ดูรูปที่ 2.14)



รูปที่ 2.14 การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

4.การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น (Wavelength Division Multiplexing) เป็นวิธีการส่งสัญญาณแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันจำนวนมากในใยแก้วนำแสงหนึ่งเส้น ข้อดีคือสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งไปกับความยาวคลื่นแต่ละความยาวคลื่นไม่ว่าจะเป็นแบบอนาล็อกหรือดิจิทัลสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยง่าย (ดูรูปที่ 2.15)



รูปที่ 2.15 การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น

### 2.6.3 อุปกรณ์แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือไดโอดเปล่งแสงชนิดสารกึ่งตัวนำและไดโอดเลเซอร์ เพราะไดโอดเหล่านี้เปล่งแสงที่มีความยาวคลื่นย่าน 0.8-0.9 และ 1.3-1.6 ไมครอน ซึ่งตรงกับย่านที่ใยแก้วนำแสงมีค่าสูญเสียต่ำและสามารถควบคุมกำลังขาออกได้อย่างรวดเร็วโดยการปรับค่ากระแสไบแอส (Bias Current) จึงง่ายต่อการผสมสัญญาณ อีกทั้งอายุการใช้งานมากกว่าหนึ่งล้านชั่วโมง ความแตกต่างที่สำคัญระหว่าง LED และ LD คือ LD มีมุมการเปล่งแสงที่แคบกว่าแต่มีความกว้างของสเปกตรัมมากกว่า (Spectrum Width) จึงนิยมใช้กับการส่งสัญญาณแบบโคฮีเรนต์ (Coherent

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transmission) นอกจากนี้ยังเปล่งแสงเมื่อมีการต่อกระแสขับเคลื่อน (Drive Current) ได้เร็วกว่า แต่เนื่องจาก LD เป็นอุปกรณ์เทอร์ชอลด์โฮลด์ (Threshold Device) การเปล่งแสงจึงไม่คงที่และเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแส จึงต้องมีวงจรควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback) เพื่อทำให้กำลังขาออกของเลเซอร์คงที่

#### 2.6.4 อุปกรณ์รับแสง

อุปกรณ์รับแสงที่นิยมใช้เป็นสารประเภทสารกึ่งตัวนำซึ่งแบ่งออกเป็นพวกใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภทตามปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้จากภายนอกคือ

1. โฟโตไดโอด (Photodiode, PD) เป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณน้อย ตัวอย่างเช่น PIN-PD เป็นต้น

2. ะวาลานซ์โฟโตไดโอด (Avalanche Photodiode, APD) เป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณมาก การเลือกใช้อุปกรณ์รับแสงแบบ PIN หรือ APD นั้น ตามปกติจะขึ้นอยู่กับราคาและความไวของเครื่องรับที่ต้องการ (Receiver Sensitivity) กระบวนการอะวาลานซ์ใน APD มีเทอร์ชอลด์ซึ่งทำให้มีราคาแพงกว่า PIN เนื่องจาก APD มีการขยายกำลังได้สูงจึงจะทำให้ความไวของเครื่องรับได้ถึงประมาณ  $-15$  dB ซึ่งมากกว่าของ PIN ไดโอด นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงระดับสัญญาณรับต่ำสุดที่จะรับได้ด้วย

## 2.7 สรุป

จากการเรียนรู้ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบสื่อสารเชิงแสงแล้ว ถ้านำมาประกอบกันเป็นระบบก็สามารถทำให้เป็นระบบสื่อสารที่ใช้ติดต่อสื่อสารกันได้ การติดต่อสื่อสารทั่วไปนั้นมีการเชื่อมโยงกันได้ด้วยวิธีต่างๆ กันไม่ว่าจะเป็นแบบจุดต่อจุด (Point-to-Point) แบบหลายจุด (Multipoint) หรือแบบเครือข่าย (Networks) โดยผ่านตัวกลางสื่อสารด้วยวิธีการต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นแบบซิมเพลกซ์ (Simplex) ครึ่งดูเพลกซ์ (Half Duplex) หรือ ดูเพลกซ์เต็ม (Full Duplex) เป็นต้น การใช้งานของระบบสื่อสารนั้นจำเป็นต้องใช้ข้อตกลงต่างๆ ร่วมกัน ทางด้านระบบการส่งข้อมูลให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน หรือเรียกว่าโปรโตคอล (Protocol) จึงจะทำให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ทั่วโลก เช่น การใช้ระบบ ISDN (Integrated Service Digital Networks) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# ความรู้เบื้องต้นของโทรศัพท์

### 3.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับโทรศัพท์

#### 3.1.1 ระบบโทรศัพท์

ระบบโทรศัพท์คือ ระบบสื่อสารที่มีโครงข่ายชุมสายบริการระหว่างสมาชิก และผู้รู้เลขหมายสมาชิกสามารถเรียกคู่สนทนาเลขหมายต่างๆ โดยลดการเดินทางที่ไม่จำเป็นได้

การเรียกทางโทรศัพท์คือ การเรียกผ่านระบบโทรศัพท์ระหว่างผู้เรียก และผู้รับ

ผู้เรียกคือ ผู้เริ่มต้นการเรียก จะด้วยการแจ้งให้พนักงานช่วยต่อกับผู้รับ หมุน หรือกดเลขหมายของผู้รับเมื่อโทรศัพท์นั้นเป็นคู่สายของชุมสายอัตโนมัติ

ผู้รับคือ ผู้ที่ตอบรับการเรียกทางโทรศัพท์ เมื่อได้ยินเสียงกริ่งเรียก

คู่สายสมาชิกคือ คู่ตัวนำกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนมาจากเสียงพูด แจกจ่ายออกมาจากสถานีที่ติดตั้งเครื่องชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่นไปยังบ้านของผู้เช่าหรือสมาชิกแต่ละรายอย่างอิสระ

เครื่องชุมสายโทรศัพท์อัตโนมัติคือ เครื่องที่ทำหน้าที่ต่อสลัปลำดับระหว่างสมาชิกผู้เรียกและสมาชิกผู้รับโดยอัตโนมัติ

เครื่องโทรศัพท์คือ อุปกรณ์สำหรับสมาชิก ใช้พูดและฟังในการสนทนาผ่านโครงข่ายโทรศัพท์

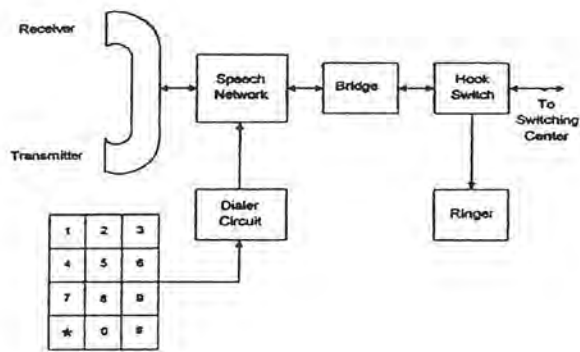
#### 3.1.2 เครื่องโทรศัพท์

เครื่องโทรศัพท์จะประกอบด้วยองค์ประกอบหลักใหญ่ๆ 7 อย่างด้วยกัน

1. ส่วนรับ (Receiver)
2. ส่วนส่ง (Transmitter)
3. กระดิ่ง (Ringer)
4. สปีชเน็ตเวิร์ค (Speech Network)
5. ฮุคสวิตช์ (Hook Switch)
6. ไดอัลเลอร์ (Dialer)
7. วงจรแปลงสัญญาณไฟตรง (Bridge Rectifier)

แสดงได้ดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกโคอะแกรมของเครื่องโทรศัพท์

ตำแหน่งของส่วนส่งและส่วนรับ ปกติจะติดอยู่ที่ตัวพูด-หูฟัง (handset) ของเครื่องโทรศัพท์ซึ่งในส่วนส่งมีหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า (Electrical signal) ซึ่งสัญญาณนี้จะถูกส่งไป สวิตชิงเซ็นเตอร์ (Switching Center) แต่ส่วนรับสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณเสียง สัญญาณที่ส่วนรับนั้นจะประกอบด้วยสัญญาณแถบความถี่เสียง (Voiceband Signal) จากสวิตชิงเซ็นเตอร์ และจะคอยลดทอนการป้อนกลับจากส่วนส่ง

สำหรับ Speech Network จะมีหน้าที่แยกสัญญาณส่งและรับในเครื่องโทรศัพท์ ดังนั้นสัญญาณทั้งหมดระหว่างสวิตชิงเซ็นเตอร์และ เครื่องรับโทรศัพท์อาจจะส่งไปในคู่สายเดียวกันได้

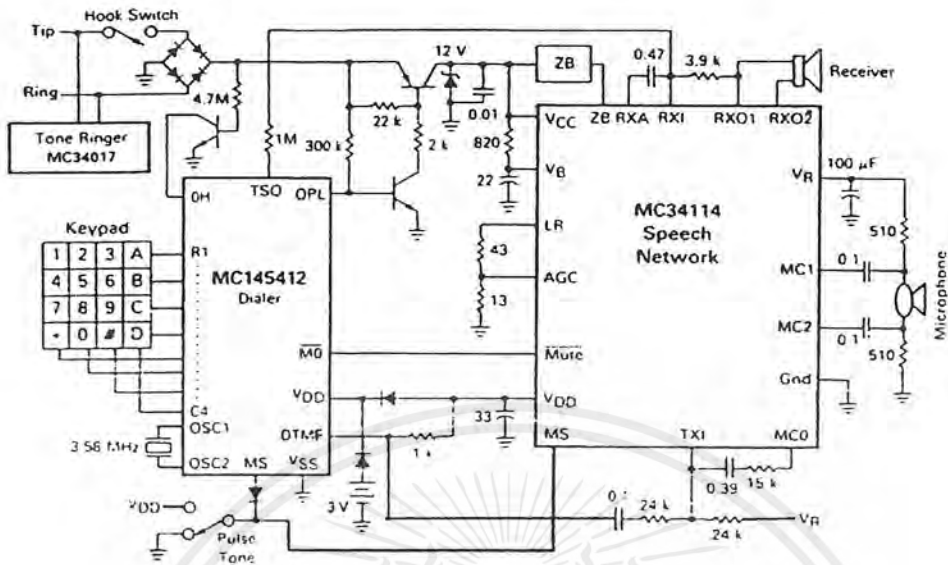
ชุดสวิตช์มีอยู่ 2 สถานะคือ ออน-ฮุค และ ออฟ-ฮุค ทั้ง 2 สถานะนี้ขึ้นอยู่กับว่า สัญญาณว่าง (Idle) หรือใช้งาน (Busy) ตามลำดับ ในสถานะออฟ-ฮุค ปกติจะทำงานก็ต่อเมื่อเรายกหู เมื่อยกหู กระแสที่ส่งจะบอกให้อุปกรณ์สวิตชิงเซ็นเตอร์รู้ว่าอยู่ในสถานะ ออฟ-ฮุค สวิตชิงเซ็นเตอร์จะปิดกั้นสัญญาณกระดิ่ง (Ringing Signal) และเตรียมรับสัญญาณ Dial Tone ชุดสวิตช์จะต่อสายโทรศัพท์เข้ากับกระดิ่งเมื่ออยู่ในสถานะออน-ฮุค และต่อสายโทรศัพท์กับสปีชเนทเวิร์ค ในสถานะออฟ-ฮุค

ในสถานะออฟ-ฮุค วงจรโทรศัพท์จะรับ DC Bias จาก Power Supply ที่สวิตชิงเซ็นเตอร์ส่วนสถานะออน-ฮุค จะปรากฏสัญญาณกระดิ่ง เมื่อมีผู้เรียกมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งถูกสร้างขึ้นที่สวิตชิงเซ็นเตอร์และถูกส่งมาทำให้กระดิ่งในโทรศัพท์ทำงาน

วงจรแปลงสัญญาณไฟตรงทำหน้าที่ผ่านกระแสไฟตรงจากคู่สายโทรศัพท์ไปเลี้ยงวงจรโทรศัพท์เมื่อชุดสวิตช์อยู่ในสภาวะยกและทำหน้าที่ให้สัญญาณทั้งด้านบวกและด้านลบผ่านในวงจรโทรศัพท์ได้

การส่งหมายเลขโทรศัพท์สามารถส่งได้ 2 วิธี วิธีแรกเป็นการส่งสัญญาณพัลส์ ที่แสดงถึงหมายเลขต่างๆ กัน โดยค่าตัวเลขจะถูกแทนค่าด้วยควมถี่ 2 ค่าที่มอดูเลตกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 วงจรเครื่องโทรศัพท์

#### 4.1.3 เครื่องโทรศัพท์หน้าปัดแบบกดปุ่ม (Push-Button Dial Telephone Set)

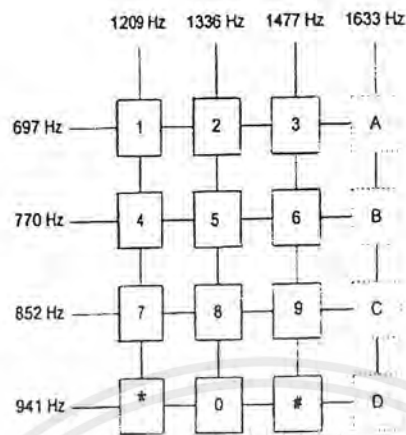
##### 1. ระบบหน้าปัดแบบกดปุ่ม

ในระบบสวิตช์ สัญญาณเรียกของผู้เข้า เป็นสัญญาณจังหวะไฟตรงที่เท่ากับจำนวนครั้งของการหมุนของหน้าปัดเพื่อให้แผงสวิตช์ทำงาน จากการพัฒนาแผงสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ จึงมีระบบสัญญาณหลายความถี่ซึ่งมีลักษณะดังนี้

1. เวลาของการหมุนของหมายเลขได้ลดลงมาก
2. การหมุนหมายเลขง่ายกว่า
3. สามารถเพิ่มปุ่มกดอื่นนอกจากปุ่มกดหมายเลข เพื่อส่งสัญญาณบริการประเภทอื่น
4. เราใช้สัญญาณความถี่ของเสียง ซึ่งสามารถส่งระหว่างสถานีได้และนำไปใช้ประโยชน์อื่นได้

#### 4.1.4 ระบบสัญญาณของโทรศัพท์แบบกดปุ่ม

เครื่องโทรศัพท์ที่มีหน้าปัดแบบกดปุ่ม และใช้กรรมวิธีของ Dual Tone Multi Frequency (DTMF) ในการส่งหมายเลขโทรศัพท์นั้น โดยทั่วไปจะมี 12 ปุ่ม แบ่งเป็น 4 แถว และ 3 คอลัมน์ ในโทรศัพท์บางรุ่นอาจมี 16 ปุ่ม โดยเพิ่มคอลัมน์ที่ 4 เข้ามา ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงตำแหน่งความถี่ของหมายเลขโทรศัพท์

ความถี่ที่ใช้ในแต่ละแถวและคอลัมน์นั้น จะมีความถี่ที่ต่างกัน ความถี่ทั้ง 4 แถวเรียกว่าเป็นกลุ่มความถี่ต่ำ และความถี่ทั้ง 4 คอลัมน์เรียกว่าเป็นกลุ่มความถี่สูง การที่กดปุ่มหมายเลขใดๆ จะทำให้วงจรภายในผลิตความถี่ออกมา 2 ความถี่

ข้อดีของการใช้โทรศัพท์แบบกดปุ่ม

1. สามารถลดเวลาในการหมุนหมายเลขโทรศัพท์ลงได้ ทำให้มีผลคือเวลาเฉลี่ยที่ใช้โทรศัพท์ลดลง ซึ่งทำให้ชุมสายโทรศัพท์สามารถรองรับ Traffic ได้มากขึ้น
2. สามารถใช้วงจรทาง Solid state electronics แทนอุปกรณ์ทางด้าน Mechanics ทำให้มีความรวดเร็วและแม่นยำในการส่งหมายเลข
3. สามารถเพิ่มปุ่มกดเพิ่มได้ เพื่อใช้ในการส่งสัญญาณบริการประเภทอื่นๆ
4. มีความเหมาะสมที่จะใช้กับชุมสายระบบ Stored Program Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 สัญญาณพื้นฐาน

สัญญาณคือ ขาวสารที่ใช้ติดต่อระหว่างเครื่องโทรศัพท์ กับชุมสายหรือขาวสารที่ติดต่อกันระหว่างชุมสายกับชุมสาย

หน้าที่ทั่วไปของสัญญาณที่ใช้กับโทรศัพท์

1. การเตรียมพร้อม (Alerting)
2. การส่งที่อยู่ขาวสาร (Transmitting address information)
3. การตรวจตรา (Supervising)
4. การส่งสัญญาณขาวสาร (Transmitting information Signaling)

### 1. สัญญาณระหว่างผู้เข้ากับชุมสาย (Subscriber Signaling)

#### 1. สัญญาณที่ส่งจากผู้เข้ากับชุมสาย

1. ออฟ ฮุค คือ สภาพผู้เข้ายกหูโทรศัพท์สายจะมีสภาพ Close Loop (Low Impedance)
2. ออน ฮุค คือ สภาพผู้เข้าวางหูโทรศัพท์สายจะมีสภาพ Open Loop (High Impedance)
3. Dilling คือ สภาพที่ผู้เข้าหมุนหมายเลขเข้าเครื่องเป็น Rotary dial สัญญาณจะเป็น Pulsing ค่า Impedance จะสูงขึ้น สลับกันไปตามที่หมุนหมายเลข ถ้าเครื่องเป็นแบบกดปุ่มสัญญาณออกจะเป็นความถี่ DTMF ไปยังชุมสาย

#### 2. สัญญาณที่ส่งมาจากชุมสาย

1. Dialing Tone คือสัญญาณที่บอกถึงสภาพการว่างของอุปกรณ์ชุมสาย และชุมสายพร้อมจะรับ code ที่ทำการหมุนเข้ามา สัญญาณ Dialing Tone นี้เป็นสัญญาณต่อเนื่องความถี่ 425 Hz modulate ด้วยความถี่ 50 Hz ผู้เข้าจะได้ยินเมื่อทำการยกหูโทรศัพท์

2. Busy Tone คือสัญญาณที่บอกให้ทราบว่า อุปกรณ์ชุมสายไม่ว่าง ถ้ายกหูแล้วได้ยินสัญญาณนี้แสดงว่า อุปกรณ์ชุมสายไม่ว่าง และถ้าได้ยินเสียงนี้หลังจากหมุนหมายเลขไปแล้วแสดงว่าผู้เข้าฝ่ายถูกเรียกไม่ว่าง สัญญาณ Busy Tone เป็นสัญญาณความถี่ 425 Hz ดัง 0.5 วินาที หยุด 0.5 วินาทีสลับกัน

3. Ring Back Tone เป็นสัญญาณที่ผู้เรียกได้ยินหลังจากหมุนหมายเลขเสร็จแล้วที่ชุมสายโทรศัพท์แจ้งให้ทราบว่า การต่อได้เสร็จแล้ว เป็นสัญญาณความถี่ 425 Hz ดัง 1 วินาที หยุด 4 วินาที

4. Ringing Tone เป็นสัญญาณความถี่ 25 Hz ค่าแรงดัน 70-100 V<sub>pp</sub> โดยส่ง 1 วินาทีหยุด 4 วินาที เป็นสัญญาณที่ส่งไปให้ผู้ถูกเรียกทราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สัญญาณ tone อื่นๆ เช่น Nu Tone เป็นสัญญาณที่บอกให้ทราบว่าเลขหมายที่หมุนยังไม่มีการใช้งาน

### 3.3 ระบบการติดต่อกันระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับโทรศัพท์

แสดงระบบการติดต่อกันระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ ดังรูปที่ 3.4 อธิบายได้ดังนี้

#### เครื่องส่ง

- ขณะที่ไม่ได้มีการยกหูโทรศัพท์ จะมีคิกดาตกรวมสายโทรศัพท์เป็นสัญญาณกระแสตรง 48 โวลท์

- เมื่อผู้เรียกยกหูโทรศัพท์คิกดาตจะลดลงเหลือประมาณ 8 โวลท์ พร้อมทั้งมีสัญญาณ Dial tone เมื่อกดเลขหมายสัญญาณ Dial tone ก็ จะหายไป

- กดรหัสสัญญาณหมายเลขโทรศัพท์ รหัสสัญญาณโทรศัพท์จะเป็นสัญญาณ DTMF

- ขณะที่รอการรับสายจะมีสัญญาณ 2 แบบเพื่อบอกว่าสายว่าง หรือสายไม่ว่างคือ Busy tone และ Ring Back tone

- เมื่อผู้ถูกเรียกรับสายแล้ว สัญญาณจะอยู่ที่ระดับสัญญาณกระแสตรง 8 โวลท์ และมีการกระเพื่อมตามความถี่เสียงพูด

- เมื่อผู้เรียกวางหูโทรศัพท์ ขนาดคิกดาตกรวมจะกลับมาเป็น 48 โวลท์เท่าเดิม

#### เครื่องรับ

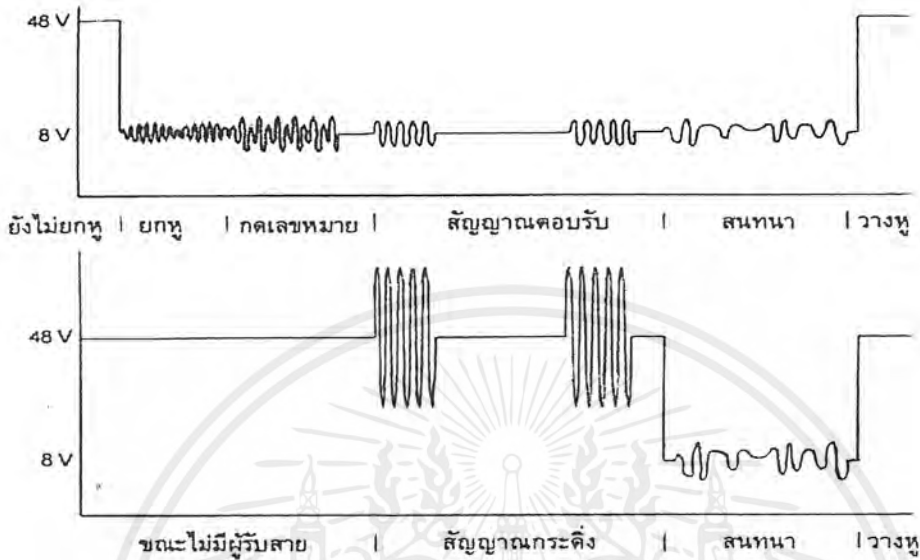
- ขณะที่ไม่ได้มีการยกหู จะมีคิกดาตกรวม 48 โวลท์

- เมื่อผู้เรียก เรียกเข้ามาจะมีสัญญาณ Ringing tone เข้ามา ซึ่งจะตรงกับสัญญาณ Busy tone ของผู้เรียก

- เมื่อผู้ถูกเรียกยกหูโทรศัพท์ขนาดของคิกดาตกรวมจะลดลงเหลือ 8 โวลท์ และมีการกระเพื่อมตามสัญญาณเสียงพูด

- เมื่อผู้ถูกเรียกวางหูโทรศัพท์ขนาดตัดขาดพร้อมสายโทรศัพท์ จะกลับมาเป็น 48 โวลต์ดัง

เดิม



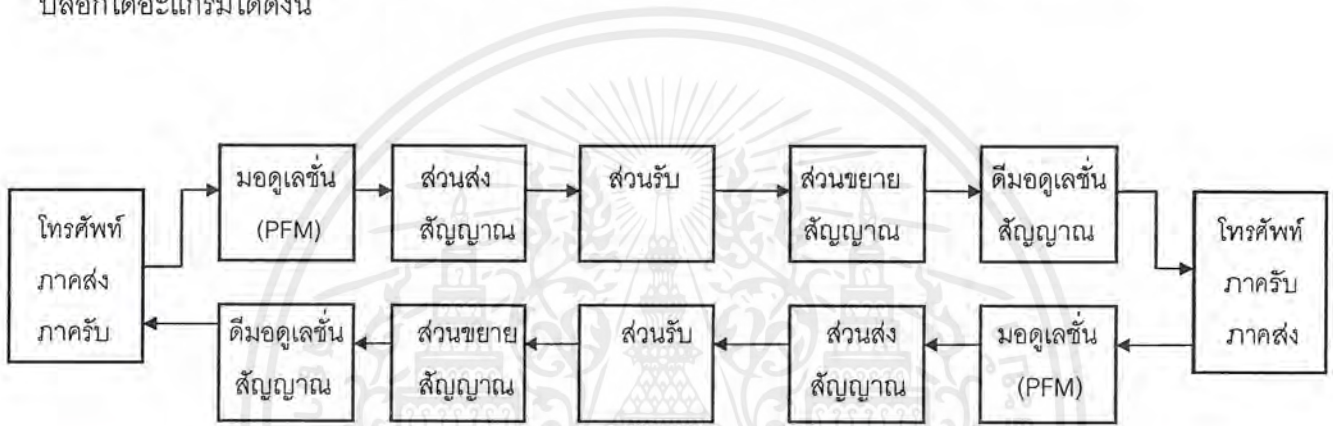
รูปที่ 3.4 แสดงระบบการติดต่อกันระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### หลักการและแนวคิดในโครงการ

หลักการและแนวคิดของการเชื่อมต่อสัญญาณโทรศัพท์ผ่านทางเส้นใยนำแสง (Fiber Optic) ซึ่งในโครงการนี้เราทำการเชื่อมต่อแบบ Full duplex คือติดต่อได้สองทางโดยการใช้การเชื่อมต่อแบบ Simplex 2 ชุดสลับกันทำหน้าที่รับ-ส่งสัญญาณโดยหลักการและแนวคิดโครงการนี้ สามารถแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรม

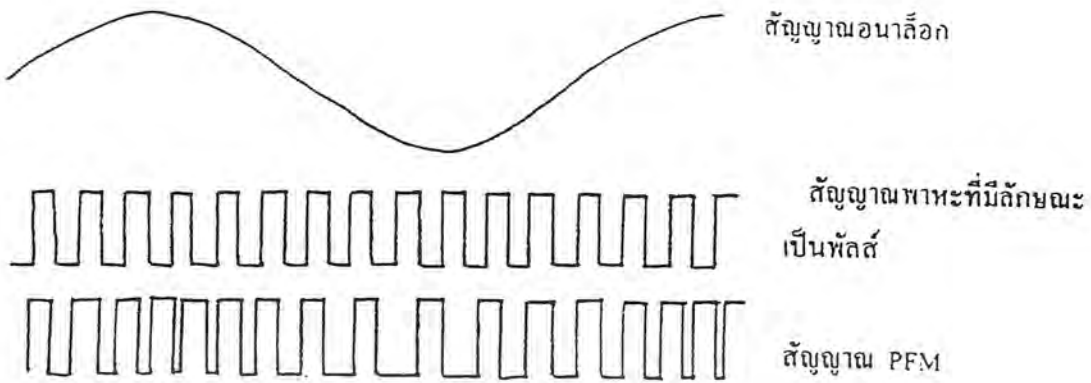
#### 4.1 ทรานส์ภาคส่ง

ส่วนนี้เป็นส่วนที่แปลงสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าโดยสัญญาณทางไฟฟ้าที่กำเนิดจากโทรศัพท์จะมีความถี่ซึ่งสัญญาณอยู่ในช่วง 600Hz-3,400Hz ซึ่งในช่วงดังกล่าวคือช่วงที่มนุษย์สามารถได้ยินได้

#### 4.2 มอดูเลชัน (PFM)

ส่วนนี้จะนำสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากโทรศัพท์มาทำการมอดูเลชันสัญญาณ โดยจะมอดูเลชันแบบ PFM (Plus Frequency Modulation) ลักษณะของ PFM จะแสดงได้ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 แสดงการมอดูเลชันสัญญาณแบบ PFM

ลักษณะของสัญญาณ PFM นั้นความถี่ของพัลส์จะเปลี่ยนแปลงตามแอมพลิจูด หรือโวลต์ของสัญญาณอะนาล็อกซึ่งเราเรียกว่า VCO (Voltage Controlled Oscillator) ซึ่งที่ค่าโวลต์มาก ๆ ความถี่ของสัญญาณของพัลส์จะมากตามไปด้วย

#### 4.3 ส่วนส่งสัญญาณ

ส่วนส่งสัญญาณจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณทางแสงเพื่อส่งผ่านไปตามเส้นใยนำแสง

#### 4.4 ส่วนรับสัญญาณ

ส่วนนี้จะรับสัญญาณทางแสงที่ส่งผ่านมาทางเส้นใยนำแสงแล้วเปลี่ยนมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อส่งสัญญาณแก่ภาคถัดไป

#### 4.5 ส่วนขยายสัญญาณ

ส่วนนี้จะนำสัญญาณที่ได้จากภาครับมาขยายให้สัญญาณมีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อชดเชยสัญญาณที่สูญเสีย (loss) ไประหว่างการส่งผ่าน และทำให้ส่วนของดีมอดูเลชันสามารถดีมอดูเลตสัญญาณได้

#### 4.6 ส่วนดีมอดูเลชัน

สัญญาณผ่านมาถึงส่วนนี้จะเป็สัญญาณ PFM (Puls Frequency Modulation) โดยส่วนของดีมอดูเลชันนี้จะเป็เฟลลือกูบโดยสัญญาณที่ได้ออกมาจะเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งมีลักษณะเหมือนตอนก่อนมอดูเลชัน

#### 4.7 ไตรศัพทภาครับ

สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากส่วนดีมอดูเลตจะเข้าไปในไตรศัพทภาครับ แล้วเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณเสียงต่อไป

## บทที่ 5

### การออกแบบวงจรที่ใช้ในโครงการ

ส่วนของวงจรที่ใช้ในโครงการนี้ สามารถแบ่งเป็นส่วนสำคัญได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

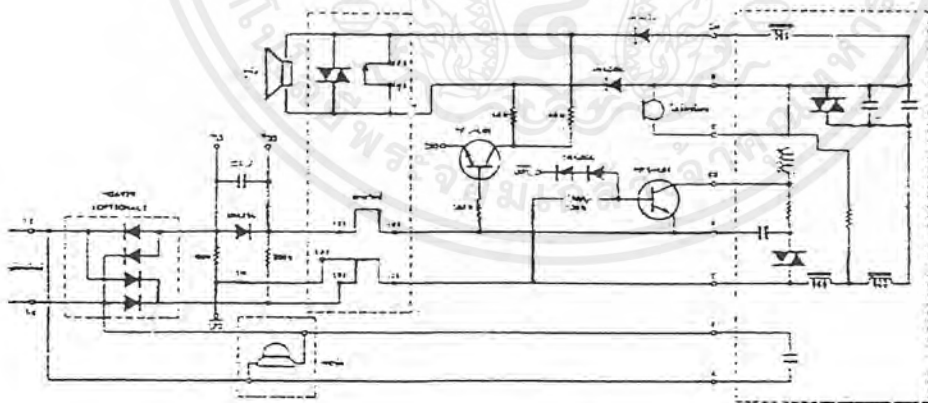
- 1 วงจรทางภาคส่ง (Transmitter Circuit) 2 ชุด
- 2 วงจรทางภาครับ (Receiver Circuit) 2 ชุด

โดยวงจรและหลักการทำงานของวงจรทั้งสองส่วนนี้สามารถอธิบายได้ดังนี้

#### 5.1 วงจรภาคส่ง

##### 5.1.1 วงจรโทรศัพท์ภาคส่ง

วงจรโทรศัพท์ที่ใช้ในการส่งสัญญาณไฟฟ้านี้จะแปลงเสียงพูดให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงความถี่ประมาณ  $600\text{ Hz} - 3400\text{ Hz}$  โดยวงจรโทรศัพท์ นั้นต้องมีไฟเลี้ยง 48 โวลต์ในขณะที่วางสายแต่เมื่อยกหูวงจรโทรศัพท์ต้องการไฟเลี้ยงประมาณ 10 โวลต์ที่ใช้ในการแปลงสัญญาณโดยเรานำสัญญาณจากโทรศัพท์มาเชื่อมต่อกับวงจรรวมซึ่งในโครงการนี้เราให้โทรศัพท์ยกหูตลอดเวลาเพื่อป้องกันมิให้วงจรภาคต่างเสียหาย



รูปที่ 5.1 แสดงวงจรสัญญาณทางโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.1.2 วงจรพัลส์ฟริควเอนซีมอดูเลชัน ( pulse frequency modulation )

ในส่วนของวงจรมีจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณ PFM ออกมาโดยจะใช้แอมพลิฟายเออร์หรือค่าศักย์ของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ที่เข้ามาทางอินพุตไปควบคุมความถี่พาหะในที่นี้เราใช้ LM 566 ซึ่งเป็น IC Voltage Controlled Oscillator (vco ) ลักษณะของวงจรแสดงดังรูปที่ 4-2 ที่ขา 5 ของ LM 566 จะต้องไบอัสไว้ให้มีค่า  $V_c$  เพื่อให้ ไอซีสามารถทำงานได้โดย  $V_c$  มีค่าเท่ากับ  $\frac{1}{4}V_{cc} < V_c < V_{cc}$  จากวงจรจะได้ว่า  $R_5 = 2((R_4 + R_5) (V_{cc} > 3.24(V_{cc}$  เลือกค่า  $R_4 = 6.8 K$  ,  $R_5 = 47K$

$$f_0 = 2 \times \frac{(V_{cc} - V_c)}{(R_1 \times C_1 \times V_{cc})}$$

ดังนั้นขา 5 จะถูกไบอัส  $V_c = 10.48 v$

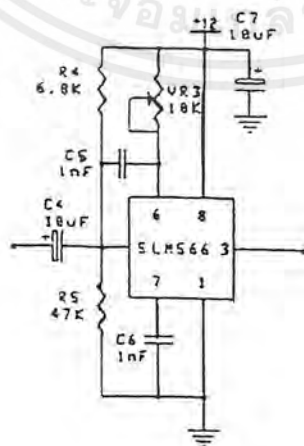
ค่าความถี่กลางจะถูกกำหนดโดย  $f_0$  ( frequency center ) จะถูกกำหนดโดยสมการที่ 5.1

เมื่อ  $V_c$  คือศักย์ที่เกิดขึ้นที่ขา 5

$C_1$  คือตัวเก็บประจุที่ต่อระหว่างขา 7 กับ กราวนด์

$R_1$  คือตัวต้านทานที่ต่อระหว่างขา 6 กับไฟเลี้ยง เลือกค่าความถี่กลาง ที่ 300 Hz และเลือก  $C_1 = 1nF$  จะได้  $R_1 = 844$  โอห์ม

แต่เราจะเลือกใช้ตัวต้านทานปรับค่าซึ่งสามารถปรับความถี่ได้ตามต้องการแต่ไม่เกิน 1 MHz ตามที่ระบุไว้ใน data sheet  $C_5 = 1nF$  ที่ต่อระหว่างขา 5 และ 6 ของ LM 566 จะต่อไว้เพื่อป้องกันการออสซิลเลตที่อาจเกิดขึ้นได้ระหว่างที่ VCO สวิตซ์ซึ่งสัญญาณเอาต์พุตที่ถูกมอดูเลตแล้วจะเป็นลักษณะพัลส์ซึ่งมีดาร์เปลี่ยนแปลงความถี่กลางตามระดับสัญญาณออสซิลเลตจากนั้นจะถูกเปลี่ยนไปยังวงจรขับเพื่อนำไปขับ LED ต่อไป

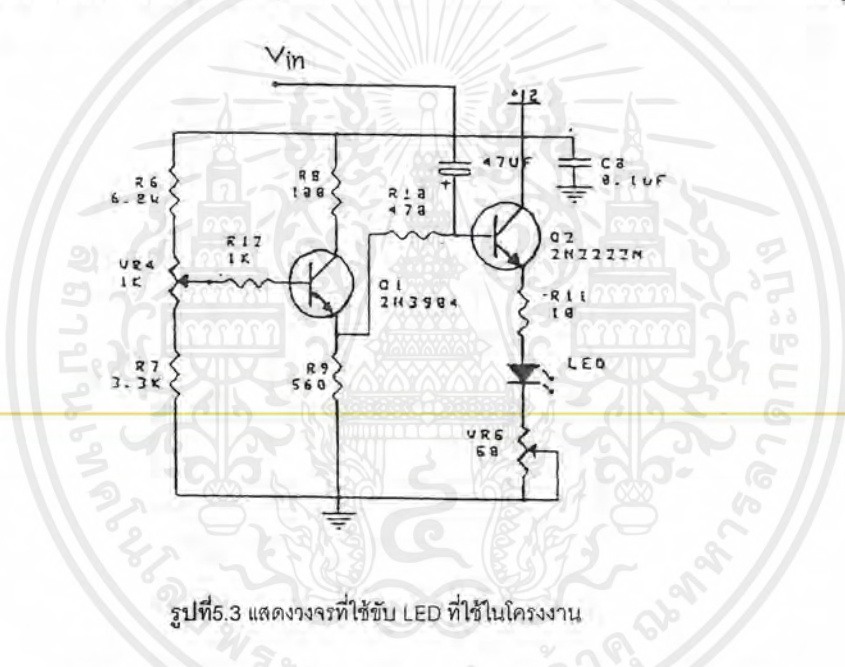


รูปที่ 5.2 แสดงวงจร Pulse Frequency Modulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.1.3 วงจรขับ

วงจรขับในส่วนนี้จะทำหน้าที่รับสัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบอินเทนซิติตี (Intensity Modulation) คือเปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณทางแสง ที่มีความเข้มของแสงเปลี่ยนไปตามแอมพลิจูดและความถี่ของสัญญาณทางไฟฟ้าในวงจรนี้ใช้ infrared LED ที่ใช้เบอร์ IF-E91 B เป็นตัวส่งให้ความยาวคลื่นพีค (Peak Wavelebgth) อยู่ในช่วง 880 นาโนเมตร และสามารถให้กำลังทางแสงได้ถึง 100(W ความต่างศักย์ที่ใช้ Forward ให้ LED ทำงานมีค่าประมาณ 1.7 โวลต์ซึ่งรายละเอียดต่างๆได้จาก data sheet พิจารณาวงจรขับสัญญาณ อะนาล็อกเราจะประมาณกระแสในวงจรที่ต้องใช้ขับตัว LED ให้อยู่ในช่วง 30-50 mA เพราะในช่วงนี้ความสัมพันธ์ TN ระหว่างกระแสที่ขับ LED กับกำลังแสงที่ออกมาจะเป็นเชิงเส้น (Linear) และให้กำลังทางแสงออกมาได้วงจรที่ใช้แสดงดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 แสดงวงจรที่ใช้ขับ LED ที่ใช้ในโครงการ

วงจรภาคสุดท้ายที่เราเลือกใช้ขับกระแสแบบ Common Collector เนื่องจากไม่คำนึงถึงอัตราขยายแรงดันเอาท์พุทเพียงแต่ต้องการอัตราการขยายกระแสที่ขับ LED เลือกใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N2222A เพราะสามารถตอบสนองความถี่ได้ถึง 400MHz ให้กระแส  $I_c$  สูงสุด ถึง 400 mA ส่วนวงจรภาคแรกคือวงจรขยายที่ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนกระแสไบแอสเบสได้จากตัวต้นทวนปรับค่าได้  $V_{R4}$  ทำให้กระแสอิมิตเตอร์  $I_{E1}$  ที่ควบคุมกระแสเบส  $I_{B2}$  เปลี่ยนซึ่งมีผลทำให้ระดับกระแส  $I_{DC}$  ซึ่งมีค่าประมาณ 40mA โวลเตจที่ตกคร่อม LED ไม่ให้มีค่ามากเกินไปซึ่งอาจทำให้ LED เกิดความเสียหายได้ส่วนตัวเก็บประจุ  $47 \mu F$  จะทำหน้าที่คัปปลิงสัญญาณ PFM ที่ถูกส่งมาจากวงจรมอดูเลตจากวงจรสามารถคำนวณหากระแสที่ผ่าน LED ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_m = \frac{3.3 + 1}{3.3 + 1 + 6.6} \times 12$$

ให้  $V_{R4} = 1K$  หา  $V_{TH}$

$$= 4.56 V$$

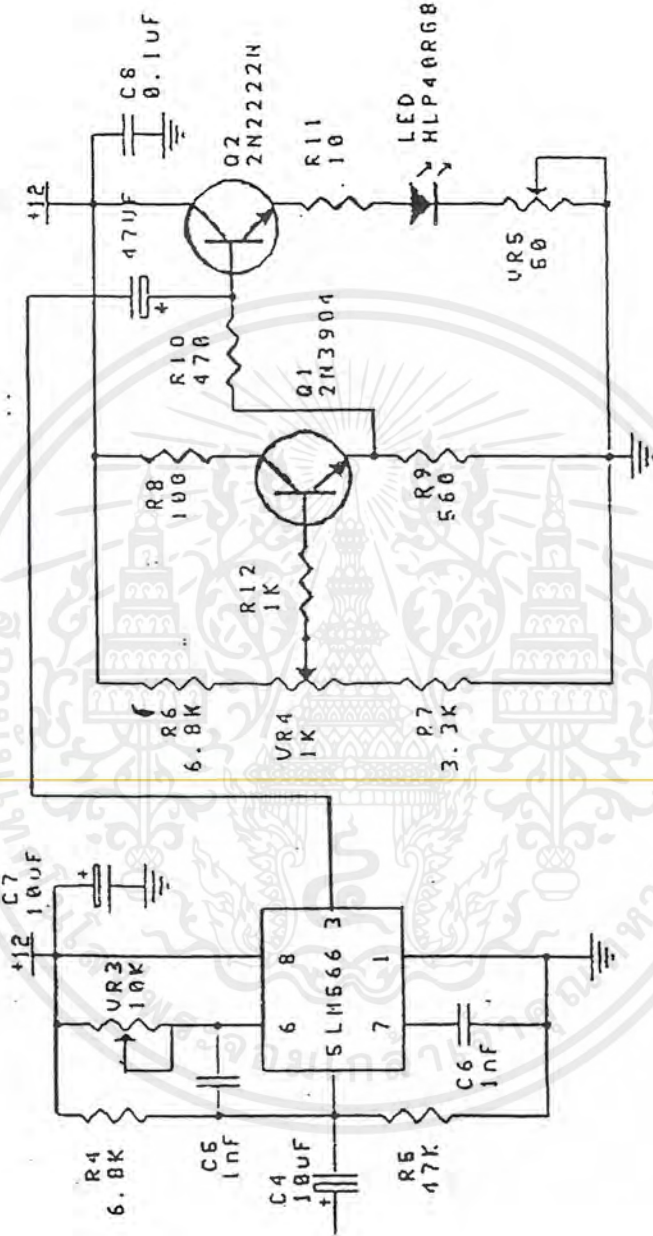
หา  $V_{E1}$  โดยสมมติให้  $I_{B1}$  มีค่าน้อยมากสามารถตัดทิ้งได้

$$\begin{aligned} V_{E1} &= V_{TH} - V_{BE} \\ &= 4.65 - 0.7 \\ &= 3.95 \end{aligned}$$

หา  $I_{DC}$  ที่ไบแอสตัว LED และให้ค่าน้อยมาก  $V_R = 30\text{ohm}$

$$\begin{aligned} I_{DC} &= \frac{V_{E1} - V_{BE1} - V_{LED}}{R} \\ &= \frac{4.95 - 0.7 - 1.5}{40} \\ &= 43.75 \text{ mA} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



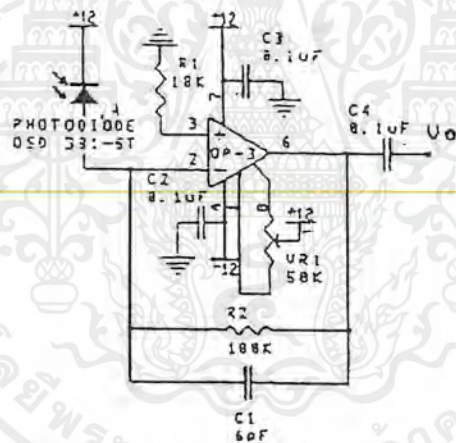
รูปที่ 5.4 วงจรสมมุติภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 วงจรทางภาครับ

### 5.2.1 ภาคก่อนขยายแบบทรานอิมพีแดนซ์ ( Transimpedance )

ในการพิจารณาการออกแบบภาครับสิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงคือระดับพลังงานต่ำสุดที่ภาครับสามารถรับได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่นคุณสมบัติของโฟโตไดโอดแบนด์วิธของระบบระดับ Signal – to – noise Ratio ของระบบในการออกแบบวงจรที่ใช้ในโครงการนี้จะใช้พีเอ็นไดโอดทำงานอยู่ในโหมดโฟโตคอนดักทีฟ ( Photoconductive ) คือให้รีเวิร์สไบเอสโวลเตจแก่ไดโอดและทำการต่อแบบทรานอิมพีแดนซ์ หรือวงจรแปลงกระแสเป็นคัลย์ ( Current to Voltage ) ข้อดีของวงจรของวงจรแบบนี้คือมีสัญญาณรบกวนต่ำเนื่องจากการป้อนกลับโดยใช้ความต้านทาน มีการใช้ความต้านทานที่ความถี่สูงกว่าแบบอื่นมีความต้านทานเอาต์พุตน้อยทำให้ภาคขยายต่อมาไม่ต้องดึงกระแสจากภาคก่อนขยายมากซึ่งทำให้จะลดสัญญาณรบกวนไปได้มากและไม่จำเป็นต้องมีวงจร อีควอไรเซอร์เพื่อปรับแต่งสัญญาณซึ่งลักษณะของวงจรแสดงดังรูป



รูปที่ 5.5 แสดงวงจรภาคก่อนขยาย

โฟโตไดโอดที่ใช้เบอร์ IF- D91 โดยโฟโตไดโอดจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณความเข้มของแสงที่รับได้ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งอยู่ในรูปของกระแสไมก็ไมโครแอมป์ที่ขาเอาต์พุตของโฟโตไดโอดจะต่อเข้ากับ IC เบอร์ OP –37 ซึ่งเป็นออปแอม Low Noise Precision High – Spread มีแกน แบนด์ วิธโปรดักท์ 63 MHz มีค่า CMRR 114 dB เราสามารถคำนวณหาโวลต์เทจเอาต์พุตของภาคก่อนขยายได้ดังสมการ

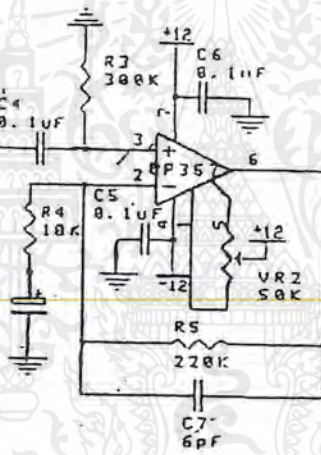
$$V_o = I_p \times R_f$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวต้านทาน  $10\text{ K}$  ที่ต่อกับขานอนอินเวอร์ที่ติดต่อกไว้เพื่อช่วยกระแสอินพุทไบอัสของวงจรมีความสมดุล ตัวเก็บประจุ  $6\ \mu\text{F}$  ที่ต่อขนานกับ  $R_1$  เพื่อให้วงจรมีเสถียรภาพจากการเกิดออสซิลเลชัน ส่วนตัวเก็บประจุ  $0.1\ \mu\text{F}$  ที่ทำการคัปปลิงระหว่างไฟเลี้ยงของวงจรช่วยบายพาสสัญญาณรบกวนที่มาจากไฟเลี้ยงลงกราวนด์

### 5.2.2 วงจรขยายสัญญาณ

ในวงจรภาคก่อนขยายนั่นเราไม่สามารถทำให้เกนของวงจรสูงมากเนื่องจากต้องคำนึงถึงสัญญาณรบกวนเพราะกระแสที่รับจากโฟโตไดโอดธรรมดาแล้วมีค่าต่ำจึงต้องออกแบบวงจรขยายภาคหลังให้มีเกนขยายสูงอยู่ในระดับที่ต้องการคือให้วงจรในภาคถัดไปสามารถลือคความถี่หรือโวลต์ที่เข้ามาทางอินพุทได้ในการออกแบบวงจรขยายส่วนหลังดังแสดงในรูปที่ 5.6



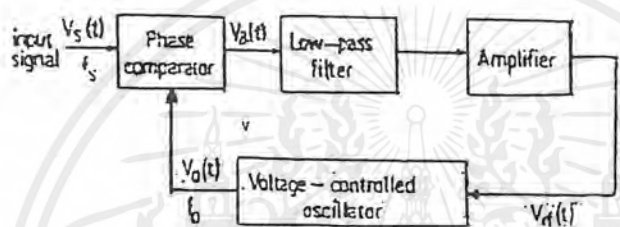
รูปที่ 5.6 แสดงวงจรขยายสัญญาณ

ภาคขยายใช้ออปแอมป์เบอร์ LF 357 ซึ่งทำงานในย่านความถี่สูงใช้ขยายได้ในช่วงกว้างลักษณะของวงจรต่อเป็นแบบนอนอินเวอร์ที่มีอัตราขยายประมาณ 23 เท่ามี Cut Off Low Frequency ที่ความถี่ประมาณ  $16\text{ Hz}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.3 วงจรตีมอดูเลต

ในภาคนี้จะทำหน้าที่ตีมอดูเลตสัญญาณ Pulse Frequency Modulation ที่ถูกขยายมาแล้ว จากภาคขยายสัญญาณที่ผ่านการตีมอดูเลตแล้วจะได้สัญญาณออกมาในรูปสัญญาณอะนาล็อกที่มีความถี่รูปร่างเหมือนสัญญาณอะนาล็อกในภาคส่งของวงจรนี้ใช้ไอซีเฟสล็อกครูป NE 565เป็นตัวตีมอดูเลตซึ่งอธิบายหลักการทำงานเบื้องต้นได้ดังนี้เฟสล็อกครูป( Phaselock Loop : PLL) คือรับที่มีการป้อนกลับความถี่กลับประกอบด้วย Phase Detector , Low pass Filter , Error Amplifier และ Voltage Control Oscillator แผนภาพของระบบเฟสล็อกครูปอย่างง่ายดังในรูปที่5.7 หลักการทำงานเบื้องต้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

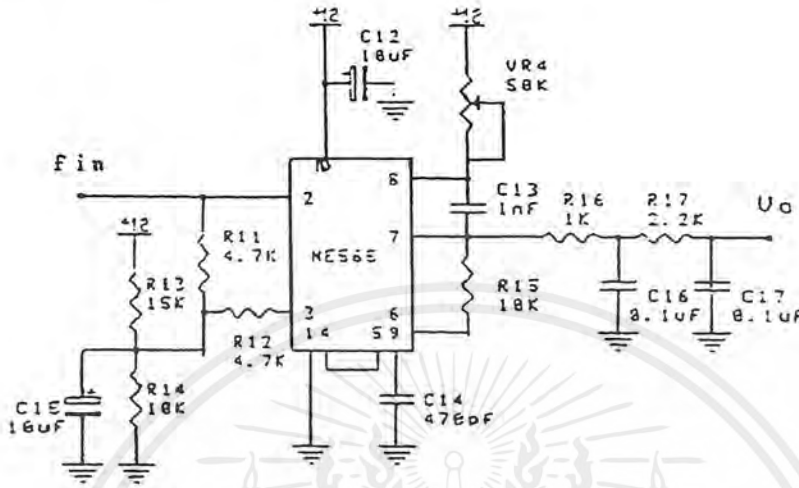


รูปที่5.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเฟสล็อกครูป

ขณะที่ที่ไม่มีสัญญาณเข้าไปในระบบแรงดันควบคุม  $V_o(t)$  จะเท่ากับศูนย์ VCO จะทำงานโดยตั้งความถี่ไว้ที่  $f_0$  ซึ่งเรียกว่า Free Running Frequency ถ้าสัญญาณเข้าไปในระบบ phase comparator จะทำการเปรียบเทียบเฟสและความถี่ของสัญญาณอินพุทกับ VCO และผลิตแรงดันคลาดเคลื่อน  $V_d(t)$  ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความต่างเฟสและความถี่ของสัญญาณทั้งสองแรงดันคลาดเคลื่อนนี้ก็จะถูกกรองและขยายส่งไปควบคุม VCO ในกรณีที่แรงดันควบคุม  $V_o(t)$  จะไปบังคับความถี่  $V_c$  ให้เปลี่ยนในทิศทางที่จะลดความถี่ที่แตกต่างระหว่าง  $f_0$  และสัญญาณที่เข้ามาถ้าความถี่ที่เข้ามาใกล้เคียงกับ  $f_0$  จากการป้อนกลับของ PLL จึงโครไนซ์หรือล็อกสัญญาณที่เข้ามาขณะที่ทำการล็อกนั้นความถี่ VCO จะเท่ากับสัญญาณอินพุทแต่เฟสยังต่างกันอยู่ซึ่งความแตกต่างของเฟสมีความจำเป็นต่อการผลิตแรงดันคลาดเคลื่อนที่จะคอยไปปรับความถี่ VCO จากค่า Free Running ให้เท่ากับความถี่ที่เข้ามา ดังนั้น PLL จะยังคงรักษาสภาพการล็อกการที่ระบบสามารถที่จะปรับตัวเองทำให้ PLL สามารถติดตามความถี่ที่เปลี่ยนไปของสัญญาณที่เข้าไปให้อยู่ในสภาพล็อกเช่นเดิมช่วงความถี่ซึ่ง PLL สามารถติดต่อกับสัญญาณที่เข้ามาเรียกว่า Lock Range ค่าของมินจะอยู่ที่แรงดันคลาดเคลื่อนโดยจะไม่ขึ้นกับ Band Edge ของฟิลเตอร์และ Close loop Gain ( $K_v$ ) ของระบบทั้งหมด โดยมีผลเกี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้องกับ Selectivity ของ วงจร PLL และช่วยเพิ่มความปลอดภัยเกี่ยวกับสัญญาณทางด้าน Outband Signal ที่มารบกวนได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 5.8 แสดงวงจรดีมอดูเลตสัญญาณ PFM

รูปที่ 5.8 เป็นวงจรดีมอดูเลตที่ใช้ในโครงงานนี้สัญญาณที่ดีมอดูเลตแล้วจะออกมาทางขา 7 ผ่านวงจร Low Pass Filter 2 ชุดที่มีความถี่คัตออฟ  $f_0$  gmjky[ 10 KHz และ 4.5 KHz สัญญาณที่ได้มาจะเป็นสัญญาณออกดิโอ และจะนำไปขยายในภาคถัดไป

$$f_0 = \frac{1}{(3.7 \times R_0 \times C_0)}$$

วงจรเฟสล็อกคูปที่ใช้เราสามารถกำหนดความถี่กลาง ( Center Frequency ) ที่ใช้ในวงจร ซึ่งได้จากสมการที่กำกับมาในแผ่นรายละเอียดข้อมูล

เมื่อ  $f_0$  คือความถี่ของ VCO โดยไม่มีสัญญาณเข้ามา

$R_0$  คือ ตัวเก็บประจุที่ต่อกับขา 9 และ กราวนด์

$C_0$  คือ ตัวต้านทานที่ต่อระหว่างขา 8 กับไฟเลี้ยง

เลือกใช้  $C_0 = 470$  pF และ  $R_0$  เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ 50 K(ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนความถี่กลางที่สอดคล้องกับความถี่ที่เข้ามาได้

ค่าล็อกเรนจ์ ( Lock Range ) หรือค่าช่วงที่จะล็อกความถี่อยู่ที่จะคำนวณได้จาก

$$f_L = \pm \frac{8f_0}{V_{cc}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

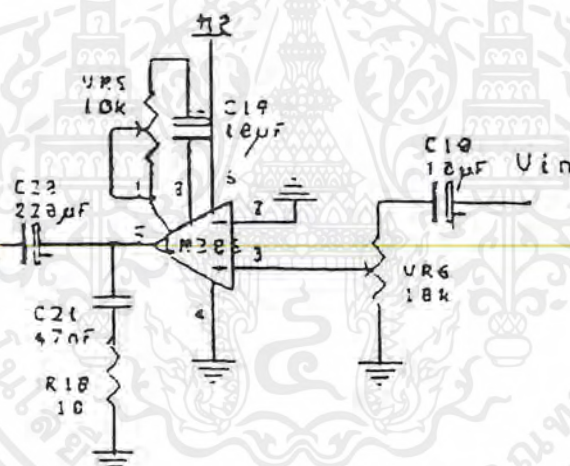
□ และช่วงความถี่ที่เริ่มจะเริ่มเข้าลอคหรือแคปเจอร์ ( Capture Range ) โดยก่อนหน้านั้นยังไม่เกิดการลอคจะคำนวณโดย

$$f_e = (\pm 1/2\pi) \times \sqrt{(2\pi f_L)} / T$$

โดยค่า T คือค่าคงที่ทางเวลาขา 7

#### 5.2.4 วงจรภาคยกระดับสัญญาณและขยายสัญญาณ

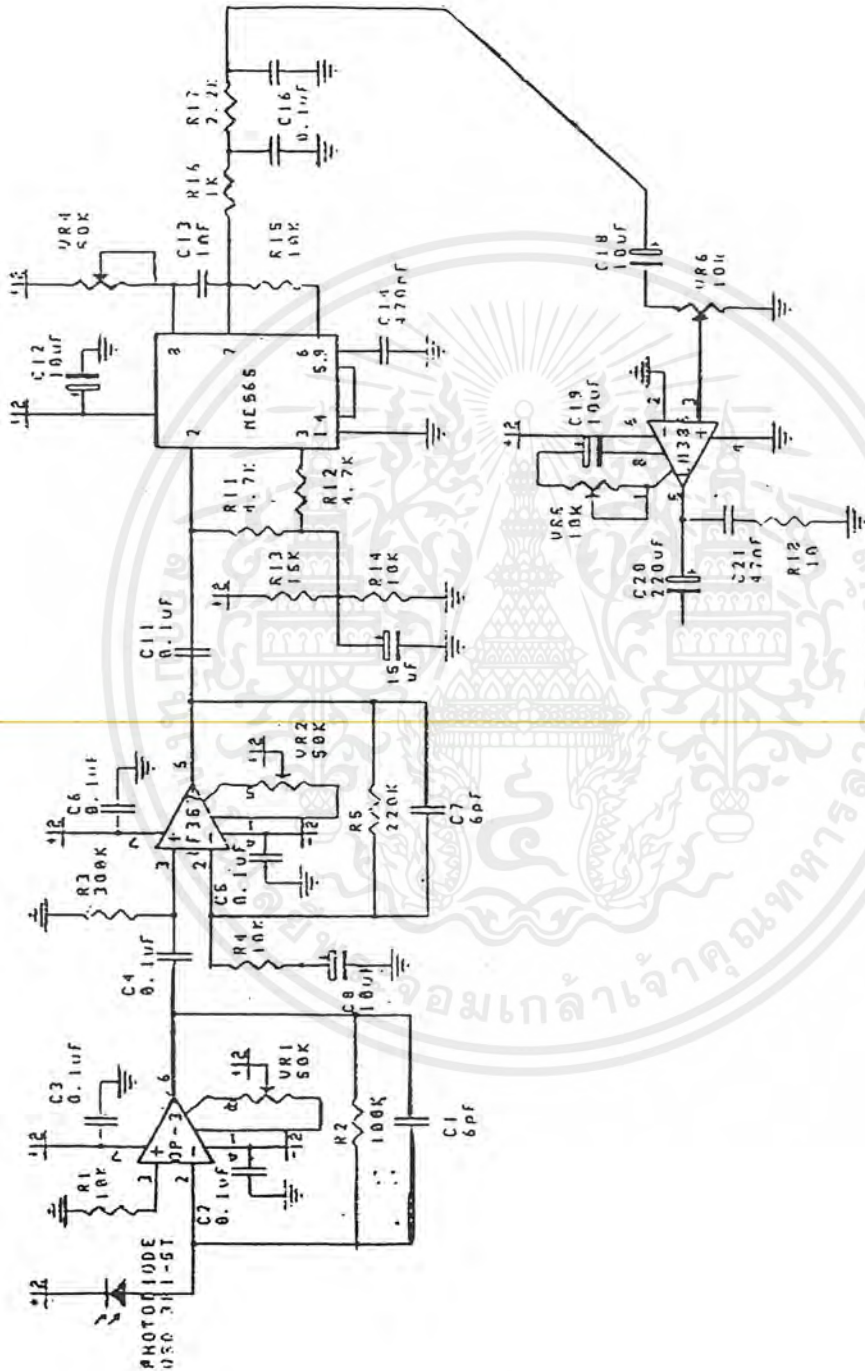
ในที่นี้ใช้ไอซีเบอร์ LM 368 ลักษณะการต่อวงจรแสดงดังรูป ที่ 5.9 วงจรขยายเสียงนี้สามารถปรับอัตราการขยายได้ตั้งแต่ 20-200 เท่า วงจรภาคนี้มิใช่ไว้เพื่อยกระดับสัญญาณจากการติมอดูเลชั่นให้สูงขึ้นเพื่อนำไปต่อกับโทรศัพท์ภาครับ วงจรภาคขยายและยกระดับสัญญาณจะแสดงในรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 แสดงวงจรภาคขยายและยกระดับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2.5 วงจรโทรศัพท์ภาครับ



รูปที่ 5.10 แสดงวงจรสมมุติภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### ผลการทดลองและสรุปผล

จากในบทข้างต้นได้กล่าวถึงหลักการทำงานของโครงงานพิเศษนี้โดยละเอียดแล้ว ในบทนี้จะนำเอาวงจรที่ได้มาทดลอง เพื่อดูประสิทธิภาพในการทำงานโดยทำการต่ออุปกรณ์ สื่อสารแบบสองทางโดยเส้นใยนำแสง



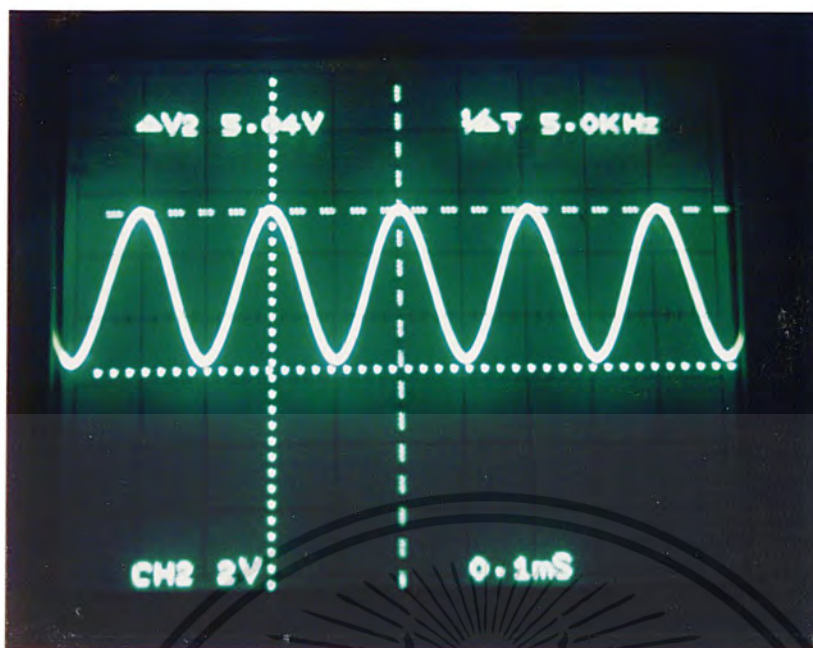
รูปที่ 6.1 แสดงชุดอุปกรณ์รวมที่ใช้ในการทดลอง

#### 6.1 การทดลองและผลการทดลอง

ตอนที่ 1 ใช้สัญญาณจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์เป็นตัวส่งสัญญาณ

1) สัญญาณอินพุตจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

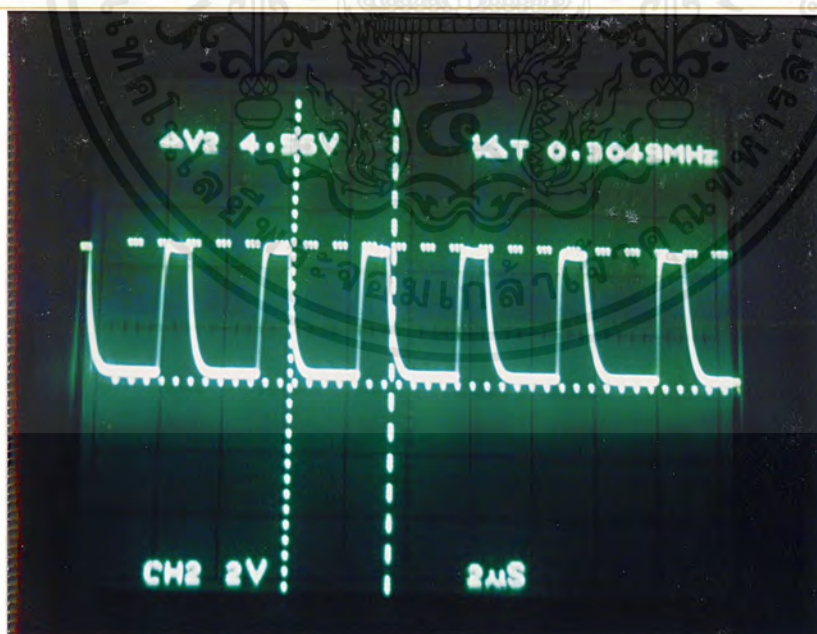
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 แสดงสัญญาณอินพุตจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

จากรูปที่ 6.2 แสดงสัญญาณอินพุตจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์รูปไซน์ความถี่ที่ 4.5 Hz

## 2) สัญญาณพาหะ

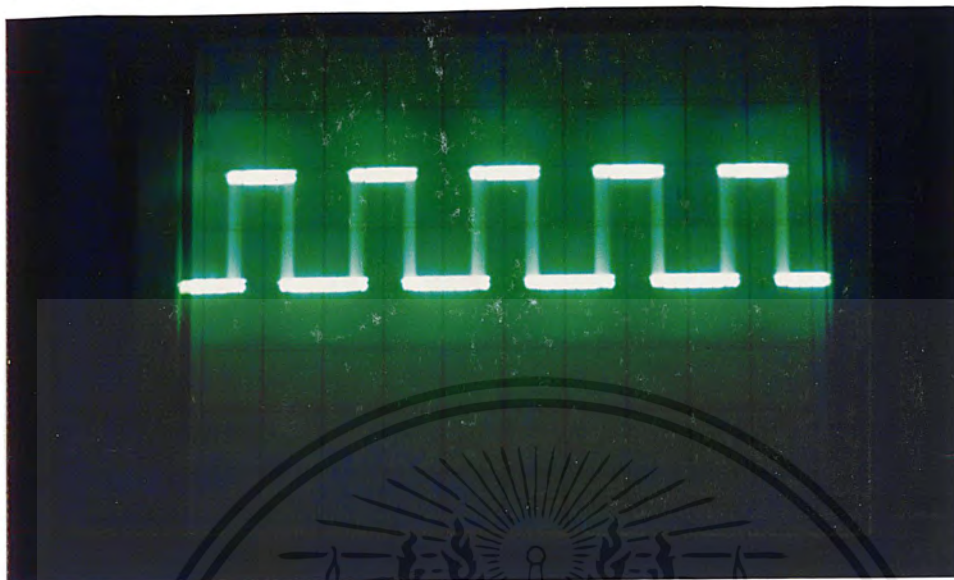


รูปที่ 6.3 แสดงสัญญาณพาหะ

สัญญาณพาหะได้มาจากการปรับค่าความต้านทาน  $VR_3$  โดยปรับค่าความถี่พาหะไว้ที่ 300 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

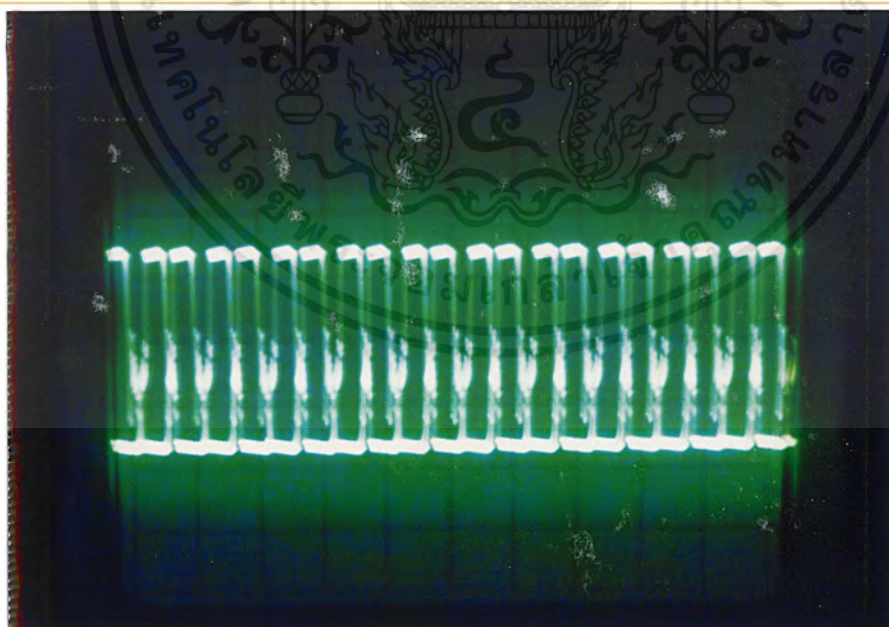
### 3) สัญญาณ PFM



รูปที่6.4 แสดงสัญญาณ PFM

สัญญาณ PFM เป็นสัญญาณที่ได้จากวงจรมอดูเลชัน ในที่นี้สัญญาณ PFM เกิดจากการมอดูเลตกันระหว่าง สัญญาณพาหะและสัญญาณไซน์จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

### 4) สัญญาณจากวงจรรับสัญญาณ

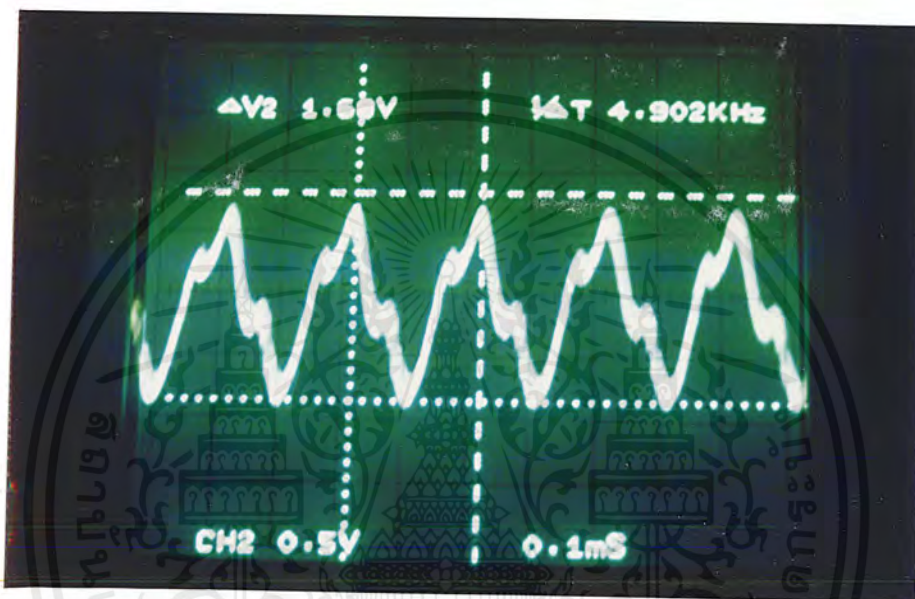


รูปที่6.5 แสดงสัญญาณจากวงจรรับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นว่าสัญญาณที่ได้จากภาครับมีลักษณะที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการส่งผ่านเส้นใยนำแสง ส่วนขนาดของสัญญาณ PFM ที่ใหญ่ขึ้นเกิดจากการขยายสัญญาณก่อนทำการตีมอดูเลต

#### 5) สัญญาณเอาท์พุทจากการตีมอดูเลต



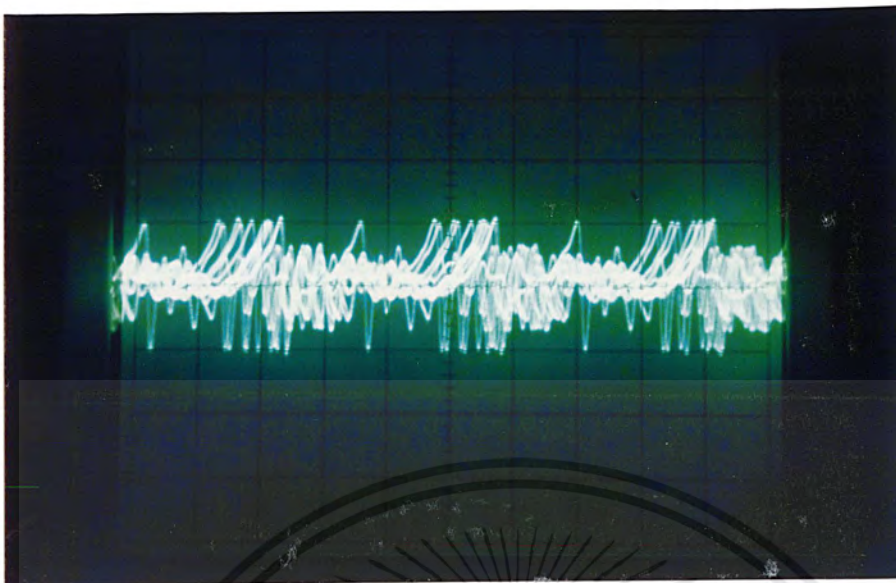
รูปที่ 6.6 แสดงสัญญาณเอาท์พุทจากการตีมอดูเลต

เมื่อสัญญาณ PFM เข้าไปในวงจรตีมอดูเลตสัญญาณ โดยเราสามารถปรับค่าเฟสลอคคูลูป ให้ลอคสัญญาณมอดูเลตทางความถี่ที่เข้ามา จะเห็นว่าสัญญาณที่ได้มีความผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณอินพุทในตอนแรก

ตอนที่ 2 ใช้สัญญาณเสียงพูดจากโทรศัพท์ส่งสัญญาณ

#### 1) สัญญาณอินพุทที่มาจากโทรศัพท์ส่ง

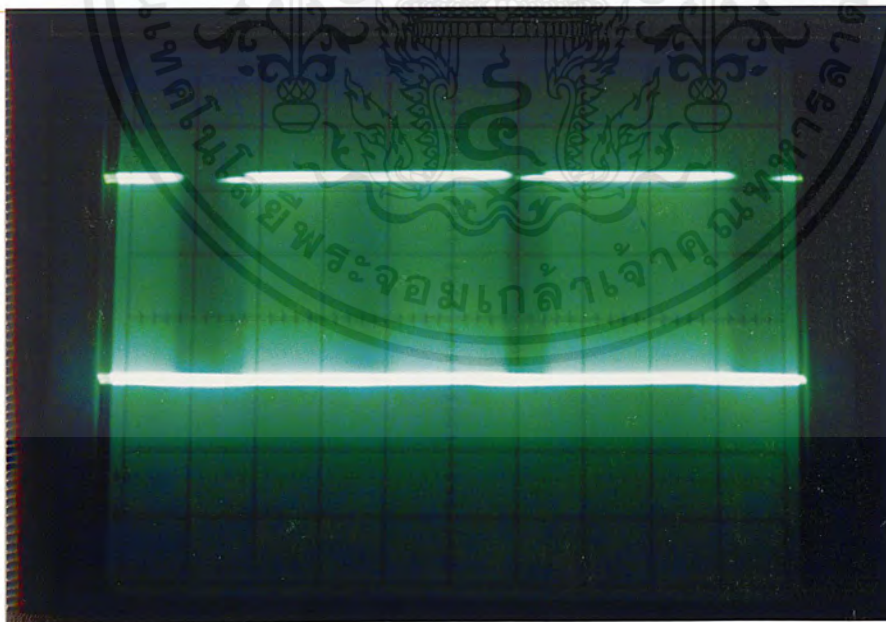
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.7 แสดงสัญญาณอินพุตที่มาจากโทรศัพท์

จากรูปสัญญาณเป็นสัญญาณจากเสียงพูดที่สัญญาณเอาต์พุตของเครื่องโทรศัพท์ ซึ่งมีความถี่อยู่ระหว่าง 300Hz-6400Hz

## 2) สัญญาณ PFM

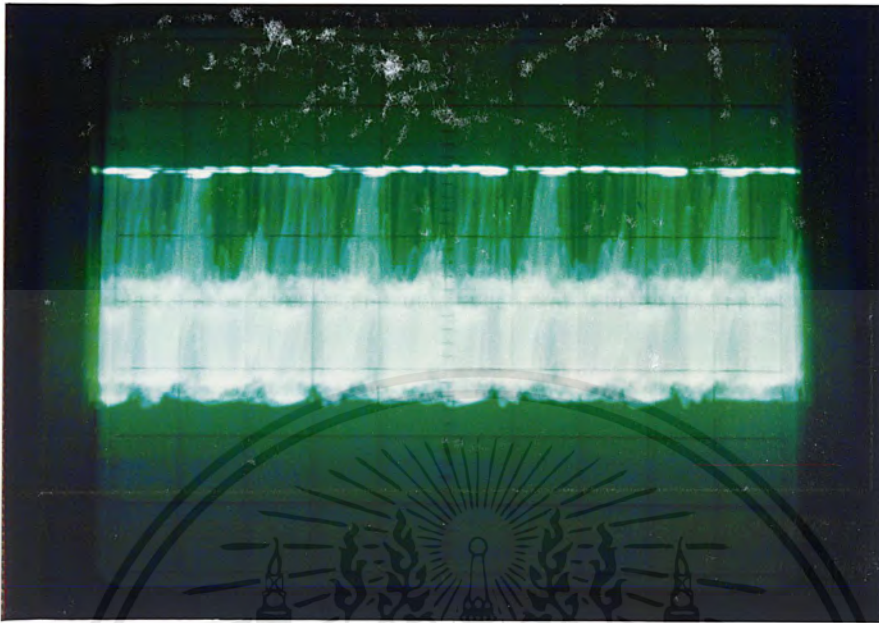


รูปที่ 6.8 แสดงสัญญาณ PFM

เป็นสัญญาณ PFM จากการมอดูเลตสัญญาณพาหะกับสัญญาณพาหะ

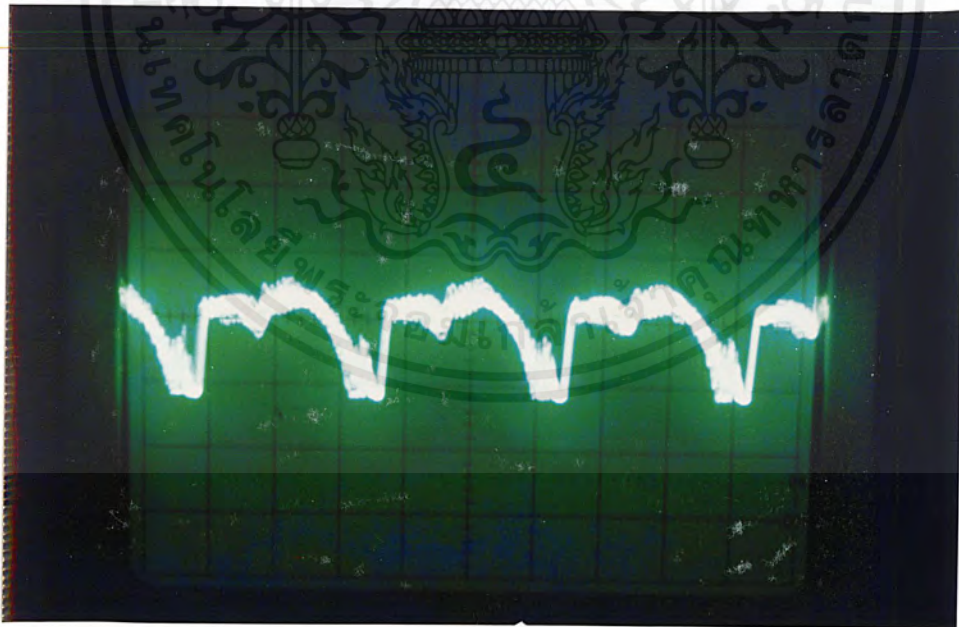
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3) สัญญาณ PFM จากวงจรถ่าย



รูปที่ 6.9 แสดงสัญญาณ PFM จากวงจรถ่าย

### 4) สัญญาณเอาต์พุตที่เข้ามายังโทรศัพท์รับ



รูปที่ 6.10 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่เข้ามายังโทรศัพท์รับ

จะเห็นว่าสัญญาณที่ได้ออกมา มีความผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณอินพุตมากพอสมควร แต่สามารถใช้ในการสื่อสารได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.2สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่นำเสนอเป็นการนำเสนอสัญญาณต่างๆ ในทางเดียว เนื่องจากโครงงานพิเศษนี้เป็นการสื่อสารแบบสองทางโดยอาศัยหลักการของการสื่อสารแบบทางเดียว โดยทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์การสื่อสารทางเดียวสองชุดสลับกันเพื่อทำหน้าที่รับและส่งสัญญาณทำให้สามารถติดต่อได้แบบสองทาง ผลการทดลองที่ได้ สัญญาณเอาร์ทพุทที่ได้มีความผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณอินพุทมากพอสมควรทำให้เสียงที่รับได้มีเสียงรบกวนอยู่มาก ซึ่งเป็นผลมาจากวงจรที่ให้ในการส่ง ประกอบกับขั้นตอนในการเชื่อมต่อ และอุปกรณ์ที่ใช้มีคุณภาพและประสิทธิภาพที่ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นผลที่ได้จากโครงงานพิเศษนี้จึงเป็นเพียงจุดเริ่มต้นเพื่อมีการพัฒนาสืบต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

# วิจารณ์ผลการทดลองและขอบเขตในการทำโครงการ

### 7.1 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่าที่การทดลองตอนที่ 1 เมื่อใช้สัญญาณจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์รูปไซน์ได้สัญญาณเอาต์พุตที่ภาครับเป็นสัญญาณที่คล้ายกับสัญญาณอินพุตที่ภาคส่งมาก มีการเพี้ยนไปเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเราทดลองโดยการส่งสัญญาณโทรศัพทแทนสัญญาณรูปไซน์จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ จะได้ว่ารูปสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจะมีรูปแบบที่เปลี่ยนไปจากสัญญาณอินพุตมาก ทั้งรูปร่างและขนาด ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะในการทดลองตอนที่ 1 เราส่งสัญญาณจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์มาเพียงความถี่เดียว โดยที่ที่ภาครับสามารถปรับค่าความถี่กลางในการล็อกความถี่เพื่อทำการดีมอดูเลตได้ ดังนั้นเมื่อมีความถี่ที่ส่งมาเป็นเพียงความถี่ค่าเดียว จึงทำให้การล็อกค่าความถี่และการดีมอดูเลตมีประสิทธิภาพดี ในทางกลับกันที่การทดลองในตอนที่ 2 ที่ส่งสัญญาณจากโทรศัพทมาเป็นช่วงของค่าความถี่ทำให้การล็อกค่าความถี่ต้องตั้งเอาไว้เป็นช่วงของค่าความถี่ ในการทดลองนี้เราจะตั้งไว้ที่ประมาณ  $\pm 3.4kHz$  Hz เพราะเป็นช่วงของสัญญาณเสียงที่ใช้ สาเหตุจากการตั้งค่าล็อกความถี่ที่เป็นช่วงทำให้ประสิทธิภาพที่ได้ออกมา มีความผิดเพี้ยนไปดังผลการทดลอง

การผิดเพี้ยนของสัญญาณที่เกิดขึ้นในโครงการพิเศษนี้เป็นไปได้ที่จะมีสาเหตุมาจากหลายสาเหตุ เช่น การออกแบบและการเลือกใช้อุปกรณ์ไม่ดีและไม่มีความเหมาะสมมากเพียงพอที่จะให้คุณภาพในการสื่อสารเป็นที่น่าพอใจ, การต่อวงจรเกิดการผิดพลาดประกอบกับค่าความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์เองทำให้สัญญาณจากวงจรเกิดความผิดเพี้ยนไป, การสูญเสียของสัญญาณ (Loss) ภายในเส้นใยนำแสงก็เป็นสาเหตุหนึ่งของการเพี้ยนไปของสัญญาณ อย่างไรก็ตามในโครงการพิเศษฉบับนี้ถือได้ว่าเป็นการเริ่มต้นที่จะพัฒนาระบบการสื่อสารในด้านการนำเอาเส้นใยนำแสงมาเป็นตัวกลางการส่งผ่านโดยการเปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้ามาเป็นสัญญาณทางแสง จากผลที่ได้ในการทดลองในโครงการพิเศษนี้ทำให้ทราบว่า การสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสงสามารถพัฒนาให้ดีขึ้นโดยการพยายามลดสัญญาณการรบกวนที่เกิดขึ้นจากวงจรภาคต่างๆ เนื่องจากกำลังส่งที่ส่งจากภาคส่งมายังภาครับมีเพียงพอสามารถได้ยินสัญญาณเสียงที่ส่งมาได้ที่ระดับความดังชัดเจน ถ้าสามารถลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นได้จะทำให้การสื่อสารที่ได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.2 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

ในโครงการพิเศษนี้เป็นการสื่อสารโทรศัพท์ผ่านเส้นใยนำแสงแบบ 2 ทางซึ่งพัฒนามาจากการสื่อสารแบบทางเดียว ในขณะที่โครงการพิเศษได้ทำการทดลองการสื่อสารออกมาเป็นที่น่าพอใจในระดับหนึ่ง (สามารถใช้สื่อสารได้แต่มีสัญญาณรบกวนสูง) ในการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นสามารถทำได้โดยการพัฒนาที่สายส่งโดยทำให้สามารถส่งสัญญาณไปกลับได้ภายในเส้นเดียวกัน โดยใช้อุปกรณ์ทางแสงในการแยกลำแสงเข้า ออกเพื่อไม่ให้สัญญาณรบกวนกัน รวมทั้งสามารถพัฒนาทางด้านวงจรให้มีกำลังส่งที่สูงมากขึ้น และลดสัญญาณรบกวนให้น้อยลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. Henry Zanger, and Cynnthi Zanger, *Fiber Optic Communication and Other Application*, 1 st, Maxwell Macmillan
2. Joseph C. palaif, *Fiber Optic Communication*, 2 nd, ed, Pacici-hall, Inc, 1988
3. ปรีชา ยูพาพิน, *เครือข่ายใยแก้วนำแสง พิมพ์ครั้งที่ 1*, สยามคอมสงเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพมหานคร(1998)
4. ดุสิต เครื่องาม, *สิ่งประดิษฐ์รูปโอดิเล็กทรอนิกส์ พิมพ์ครั้งที่ 1*, ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพมหานคร(1992)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

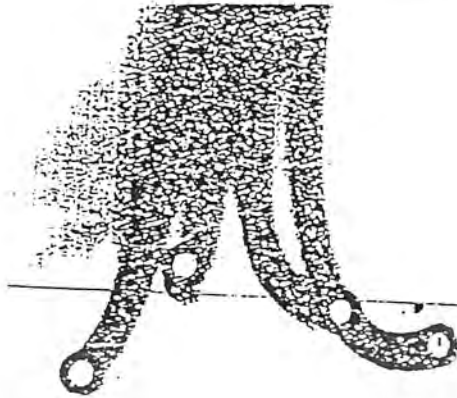


## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ESKA<sup>TM</sup> Cables

ไฟเบอร์ออปติกสายนำแสงจาก **MITSUBISHI RAYON**



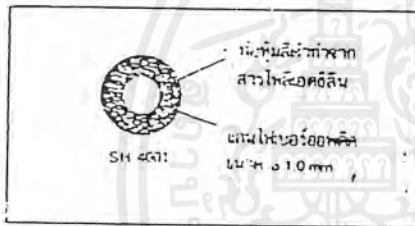
SH 4001 ไฟเบอร์ออปติกท่อเดี่ยวใช้กับอุปกรณ์  
OPTOELECTRONICS ของ MOTOROLA

สายไฟเบอร์ออปติก SH 4001 ใช้สำหรับเป็นท่อนำแสงเพื่อการ  
รับ-ส่งสัญญาณด้วยแสง โดยที่มีการสูญเสียน้อยที่สุด จึงเหมาะเป็น  
อย่างยิ่งสำหรับงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ งานควบคุมเครื่องเสียง  
และอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถใช้กับอุปกรณ์ประเภทออปโต  
ออดิโอไดรฟ์ได้ทันที

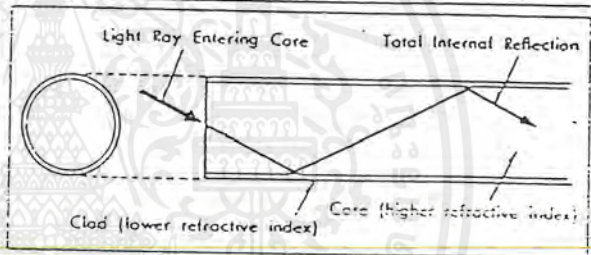
ชนิด	รหัส	จำนวนแกน	ขนาด $\phi$ ของแกน	ขนาด $\phi$ ของท่อค้ำ	เกรด
Single Fiber Type	SH 4001	1	1.0 mm	2.2 mm $\pm 0.7$	Super ESK4

แกนนำแสงของ SH 4001 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.0 mm และหุ้มด้วยท่อค้ำซึ่งทำจากสารโพลีเอทิลีน จึงสามารถทนทานต่อสารเคมีและ  
แรงดึงต่างๆ ได้เป็นอย่างดี และยังป้องกันแสงภายนอกเข้าไประบกวนสัญญาณภายในแกนได้อีกด้วย

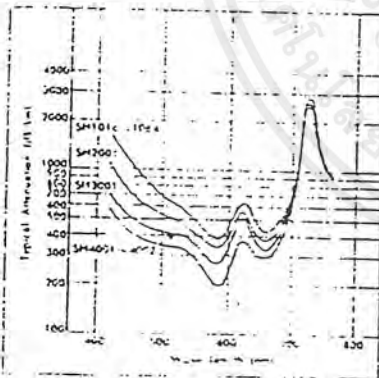
ภาพตัดขวาง



การเดินทางของแสงภายในแกนไฟเบอร์ออปติก

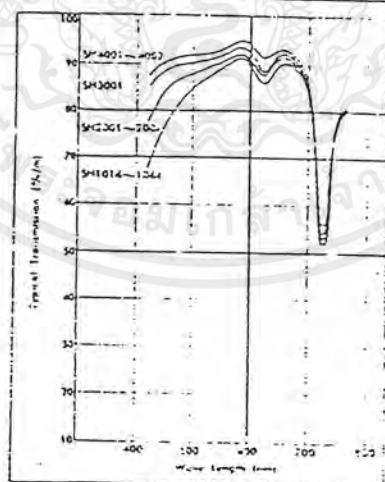


ปริมาณลดทอนของสัญญาณตามความยาวคลื่น

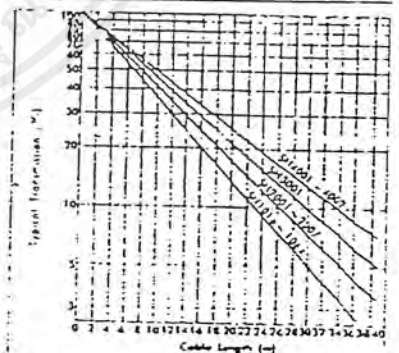


ข้อแนะนำ: เพื่อการส่งผ่านสัญญาณที่ดี  
นิวเคลียสแกนไฟเบอร์ออปติกเมื่อจุดนิ้ว  
กดจะทำให้เสียหาย

อัตราการลดทอนตามความยาวคลื่น



อัตราการลดทอนตามความยาวสาย



ผู้แทนจำหน่าย **ฉันทิพัฒน์** 176 ถนนบ้านหม้อ กรุงเทพฯ 10200 โทร. 222-9295, 224-0726

ทางห้างบริดจกิ้นค้าจำหน่ายที่เพิ่งเปิดหรือขอธุรกิจการค้าด้านอิเล็กทรอนิกส์โดยขาดเอมเฮนและเป็นกันเอง รับส่งทวง พ.ก.จ. ด้วยความรวดเร็ว

ฉบับที่ 85 เม.ย. พ.ศ. 253

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Eska<sup>®</sup> Optical Cables

ESKA Optical Cables are made of a single or plural number of ESKA fibers jacketed with polyethylene or polyvinylchloride to protect fibers from physical and chemical damages.

Super Eska<sup>®</sup> Grade Cables (Product Code: SH)

Attenuation:  $\leq 400\text{dB/Km}$  at 660nm collimated light

Heat Resistance:  $75^{\circ}\text{C}$

Cable Type: simplex or duplex

Main Applications:   
 ◦ lamp monitors and instrument panel illumination.   
 ◦ data transmission   
 ◦ sensor heads for photoelectric switches

Eska Extra<sup>®</sup> Grade Cables (Product Code: EH)

Attenuation:  $\leq 200\text{dB/Km}$  at 650nm collimated light

Heat Resistance:  $85^{\circ}\text{C}$

Cable Type: simplex or duplex

Main Application: ◦ data transmission

Heat Resistant DH Type Eska<sup>®</sup> Cables (Product Code: DH)

Attenuation:  $\sim 300\text{dB/Km}$  at 650nm collimated light (1m/m $\phi$  fiber)

Heat Resistance:  $115^{\circ}\text{C}$  (dry)

Cable Type: simplex

Main Applications:   
 ◦ short-distance data transmission in automobiles   
 ◦ sensor heads for photoelectric switches in higher ambient temperature

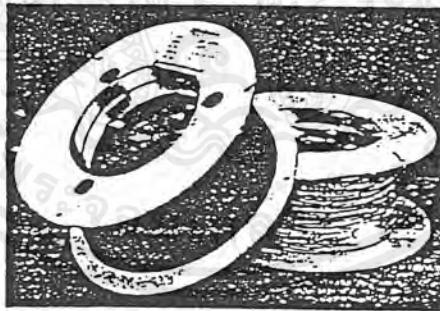
Heat Resistant FH Type Eska<sup>®</sup> Cables (Product Code: FH)

Attenuation:  $\sim 1,000\text{dB/Km}$  at 650nm and 770nm collimated light

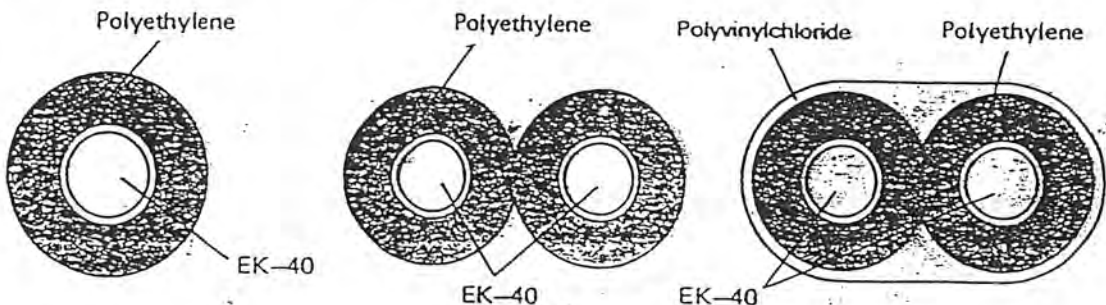
Heat Resistance:  $125^{\circ}\text{C}$  (dry)

Cable Type: simplex

Main Applications:   
 ◦ short-distance data transmission in automobiles   
 ◦ sensor heads for photoelectric switches in higher ambient temperature



Typical Structure of Optical Cable



เอกสารนี้ ESKA-4000 ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน ESKA-4002 ศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้ EHEV-4002 ใช้นับขณด้านการค้า  
 ไม่วกรณใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

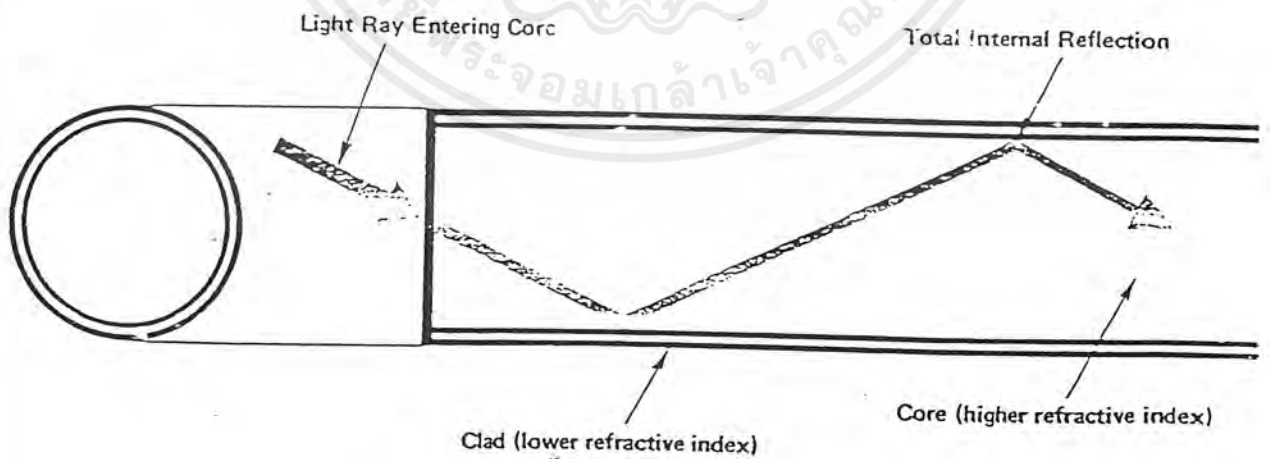
ESKA is the tradename for high-performance plastic optical fibers developed by Mitsubishi Rayon Co., Ltd., based on its integrated technologies and wide experience in the field of polymer and fiber production.

### Structure of ESKA

ESKA fibers are plastic optical fibers (so called step Index type), having a concentric double-layer structure consisting of a core of highly transparent polymethyl methacrylate polymer and a thin layer of special fluorine polymer cladding.

As the clad has a lower refractive index than the core, the light ray entering at one end of a fiber progresses through the core, repeating the total internal reflection at the core/clad interface to be discharged from the other end.

Structure of Optical Fiber and Diagram of Light Transmission



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารไว้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Item No.	Fiber Diameter X Number of Fibers	Cable Outer Diameter (m/m)	Cable Length on Spool (M)	Net Weight on Spool (kg)	Carton Size (m/m)	A Carton Gross Weight (kg)	Jacket	
SH-2001	0.5 mm X 1	1.0±0.05	1,000	0.85	360×360×165	2.2	PE	
SH-2002	0.5 mm X 2	1.0×2.2±0.07	500	0.85		2.2		
SH-3001	0.75mm X 1	2.2±0.07		1.9		3.3		
SH-3002	0.75mm X 2	2.2×4.6±0.1		3.9		5.3		
SH-4001	1.0 mm X 1	2.2±0.07		1.9		3.3		
SH-4002	1.0 mm X 2	2.2×4.6±0.1		3.9		5.3		
SH-1016	0.25mm X 16	2.2±0.1		1.9		3.3		
SH-1016	0.25mm X 16	2.2±0.1		7,620		28.2		800×800×300
SH-1032	0.25mm X 32	2.8±0.1		500	5	360×360×165		4.4
SH-1032	0.25mm X 32	2.8±0.1	3,810	22.5	800×800×300	27.0		
SH-1048	0.25mm X 48	3.0±0.1	500	3.5	360×360×165	4.9		
SH-1048	0.25mm X 48	3.0±0.1	3,658	25.3	800×800×300	29.8		
SH-1064	0.25mm X 64	3.3±0.1	500	4.4	360×360×165	6.3		
SH-1064	0.25mm X 64	3.3±0.1	3,500	29.6	800×800×300	34.5		
VSH4001	1.0 mm X 1	3.0±0.1	500	8.6	360×360×165	10.0		PVC ON PE
VSH4002	1.0 mm X 2	4.0×6.5±0.1		11.5	460×460×160	13.5	PVC ON PE	
SHV4001	1.0 mm X 1	2.2±0.07		1.9	360×360×165	3.3	PVC	
SHV4002	1.0 mm X 2	2.2×4.6±0.1		3.9	360×360×165	5.3	PVC	
VST4001	1.0 mm X 1	5.0±0.2	100 (for 500)	2.8(14.0)	360×360×165 (460×460×160)	4.2(16.5)	PVC ON PE REINFORCED WITH KEVLAR	
VST4002	1.0 mm X 2	6.0±0.2	100 (for 500)	4.0(19.5)	360×360×165 (460×460×160)	5.5(22.0)		

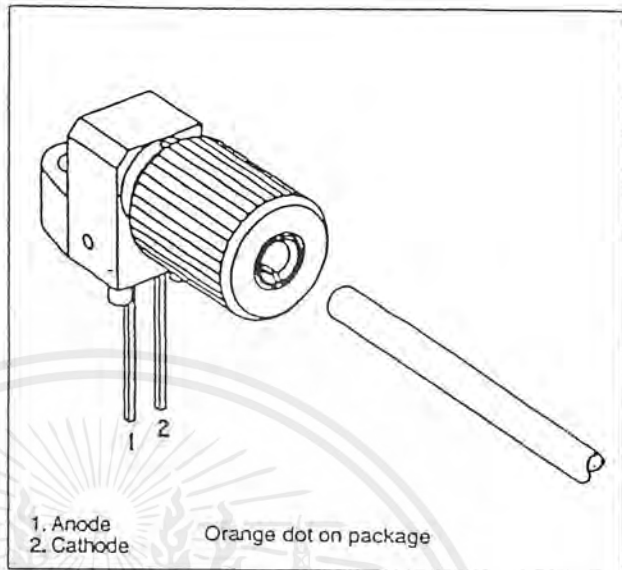
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## FEATURES

- Mates with Standard, 1000  $\mu\text{m}$  Core, Plastic Fiber Cable
- Internal Micro-lens for Efficient Coupling
- Inexpensive Plastic Connector Housing
- Connector-less Interface
- Interference-free Transmission from Light-tight Housing
- Simple Fiber Termination and Connection
- Excellent Linearity

## APPLICATIONS

Household Appliances  
Power Electronics  
Optical Networks  
Medical Instruments  
Automotive Electronics  
Audio Systems  
Electronic Games



## DESCRIPTION

The IF-D91 is the active photodiode device in Industrial Fiber Optics' family of low-cost, medium-frequency, short-distance fiber optic emitters and detectors. Each emitter and detector consists of a PVC housing, an internal active element such as an LED or photodetector, and a cinch nut to hold the fiber in place. The PVC housing retains the active element and the cinch nut while optimizing coupling between the active element and the jacketed 1000  $\mu\text{m}$  plastic fiber.

Working with this family of fiber optics is simple: No special tools or training required. Only a sharp knife or razor blade is needed to terminate the plastic fiber. When the fiber is inserted in the emitter or detector, tighten the cinch nut. Thereafter, the fiber can be removed simply by loosening the nut.

Maximum Ratings ( $T_A=25^\circ\text{C}$ )

Operating and Storage Temperature Range ( $T_{OP}, T_{STG}$ )	-40° to 85°C
Junction Temperature ( $T_J$ )	85°C
Soldering Temperature (2mm from case bottom) ( $T_S$ ) $t \leq 5s$	240°C
Power Dissipation ( $P_{TOT}$ ) $T_A=25^\circ\text{C}$	100 mW
De-rate Above 25°C	1.33 mW/°C

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

Parameter	Symbol	Value	Unit
Maximum Photosensitivity	$\lambda_{PEAK}$	850	nm
Spectral Bandwidth (S=10% of S <sub>MAX</sub> )	$\Delta\lambda$	400-1100	nm
Rise and Fall Times (10% to 90% and 90% to 10%) ( $R_L=50\Omega, V_R=20\text{V}, \lambda=850\text{nm}$ )	$t_r, t_f$	5	ns
Total Capacitance	$C_T$	4	pF
Responsivity @ 860 nm	R	0.4	$\mu\text{A}/\mu\text{W}$
@ 632 nm		0.2	$\mu\text{A}/\mu\text{W}$
Dark Current ( $V_R=30\text{volts}, E_E=0$ )	$I_D$	<60	nA
Reverse Breakdown Voltage	$V_{(BR)R}$	60	V
Forward Voltage	$V_f$	1.2	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

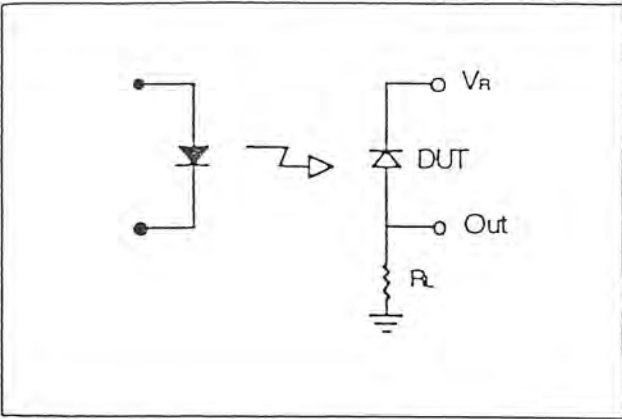


Figure 1. Circuit diagram for measuring rise and fall times.

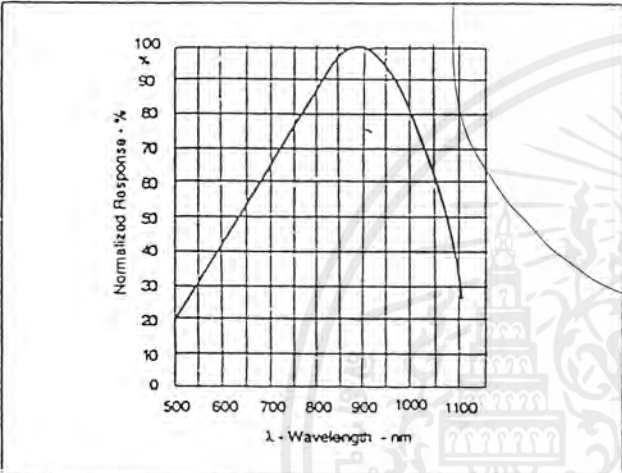
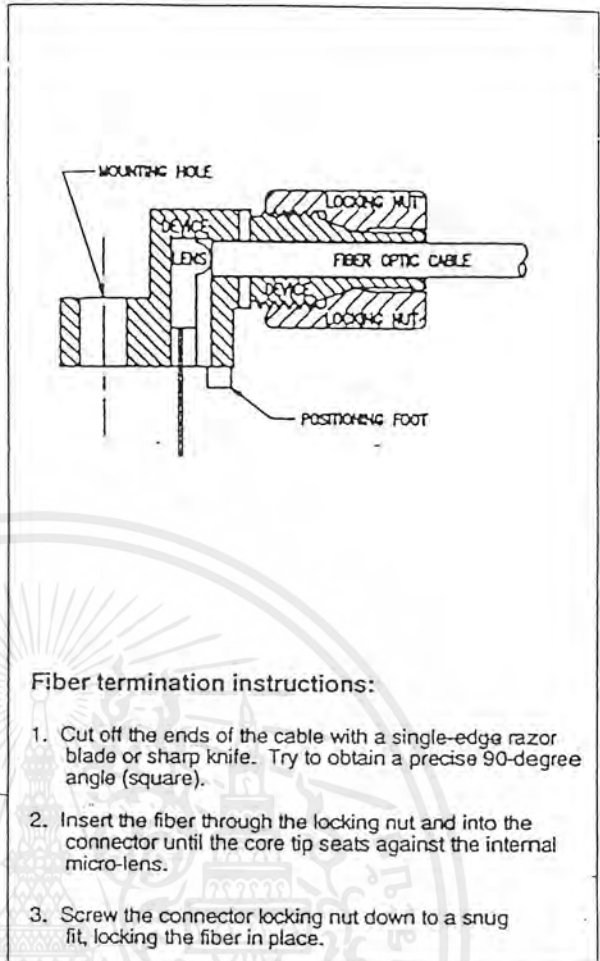


Figure 2. Typical detector response versus wavelength.



Fiber termination instructions:

1. Cut off the ends of the cable with a single-edge razor blade or sharp knife. Try to obtain a precise 90-degree angle (square).
2. Insert the fiber through the locking nut and into the connector until the core tip seats against the internal micro-lens.
3. Screw the connector locking nut down to a snug fit, locking the fiber in place.

Figure 3. Cross-section of fiber optic device.

NOTES:

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

STYLE 1:  
PIN 1. ANODE  
PIN 2. CATHODE

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	23.24	25.27	.915	.995
B	8.64	9.14	.340	.360
C	9.91	10.41	.390	.410
D	1.52	1.63	.060	.064
E	4.19	4.70	.165	.185
F	0.43	0.58	.017	.023
G	2.54 BSC		.100 BSC	
H	0.43	0.58	.017	.023
J	7.62 BSC		.300 BSC	
K	10.35	11.57	.408	.468
L	1.14	1.65	.045	.065
M	2.54 BSC		.100 BSC	
Q	.305	3.30	.120	.130
R	10.48	10.99	.413	.433
S	6.98 BSC		.275 BSC	
U	0.83	1.06	.032	.042
Y	6.86	7.11	.270	.280
W	5.08 BSC		.200 BSC	
X	10.10	10.68	.397	.427

Figure 4. Case outline.

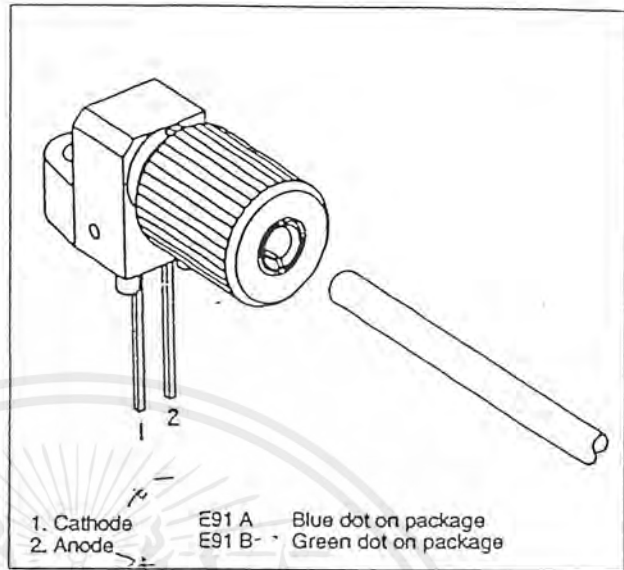
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FEATURES**

- Mates with Standard, 1000  $\mu\text{m}$  Core, Plastic Fiber Cable
- Internal Micro-lens for Efficient Coupling
- Inexpensive Plastic Connector Housing
- Connector-less Interface
- Interference-free Transmission from Light-tight Housing
- Simple Fiber Termination and Connection
- Excellent Linearity

**APPLICATIONS**

- Household Appliances
- Power Electronics
- Optical Networks
- Medical Instruments
- Automotive Electronics
- Audio Systems
- Electronic Games



**DESCRIPTION**

The IF-E91A and IF-E91B are the infrared LEDs in Industrial Fiber Optics' family of low-cost, medium-frequency, short-distance fiber optic emitters and detectors. Each emitter and detector consists of a PVC housing, an internal active element such as an LED or photodetector and a cinch nut to hold the fiber in place. The PVC housing retains the active element and the cinch nut while optimizing coupling between the active element and the jacketed 1000  $\mu\text{m}$  plastic fiber.

Working with this family of fiber optics is simple: No special tools or training required. Only a sharp knife or razor blade is needed to terminate the plastic fiber. When the fiber is inserted in the emitter or detector, tighten the cinch nut. Thereafter, the fiber can be removed simply by loosening the nut.

**Maximum Ratings ( $T_A=25^\circ\text{C}$ )**

Operating and Storage Temperature Range ( $T_{OP}, T_{STG}$ )	-40° to 85° C
Junction Temperature ( $T_J$ )	85° C
Soldering Temperature (2mm from case bottom) ( $T_S$ ) $\leq 5\text{s}$	240° C
Reverse Voltage ( $V_R$ )	3 V
Power Dissipation ( $P_{TOT}$ ) $T_A=25^\circ\text{C}$	100 mW
De-rate Above 25° C	1.33 mW/°C

	IF-E91A	IF-E91B
Forward Current, DC ( $I_F$ )	50 mA	100 mA
Surge Current ( $I_{FSM}$ ) $\leq 10 \mu\text{sec}$	2 A	2 A

**Characteristics ( $T_A=25^\circ\text{C}$ )**

Parameter	Symbol	IF-E91A	IF-E91B	Unit
Peak Wavelength	$\lambda_{PEAK}$	950	880	nm
Spectral Bandwidth, 50% $I_{MAX}$	$\Delta\lambda$	40	80	nm
Output Power Coupled into Plastic Fiber (1 mm core diameter). Distance lens to fiber $\leq 0.1$ mm, 10 cm polished fiber, $I_F=100$ mA	$\Phi_{min}$	50	100	$\mu\text{W}$
Switching Times (10% to 90% and 90% to 10%) ( $R_L=47 \Omega$ , $I_F=10$ mA)	$t_r, t_f$	1.0	0.5	$\mu\text{s}$
Capacitance	$C_0$	25	25	pF
Forward Voltage ( $I_F=50$ mA)	$V_f$	1.5 max	1.7 max	V
Temperature Coefficient, $\lambda_{PEAK}$	$TC_\lambda$	0.3	0.3	nm/K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

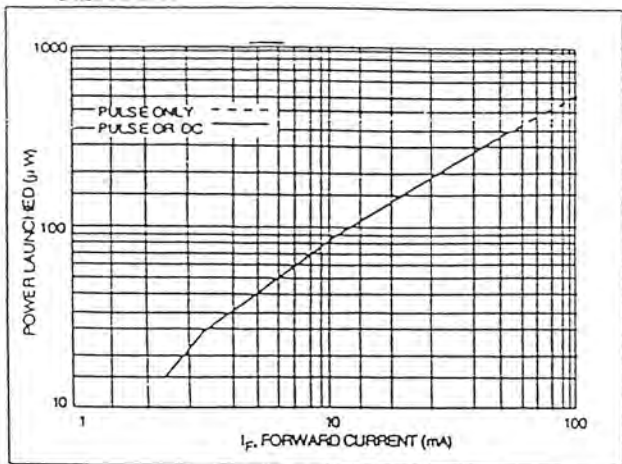


Figure 1. Normalized power launched versus forward current.

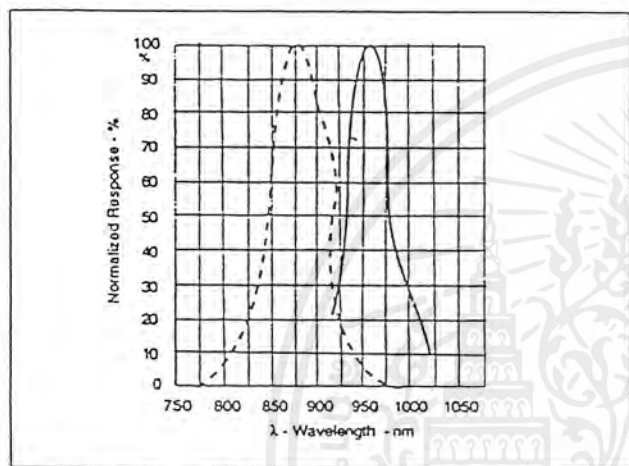
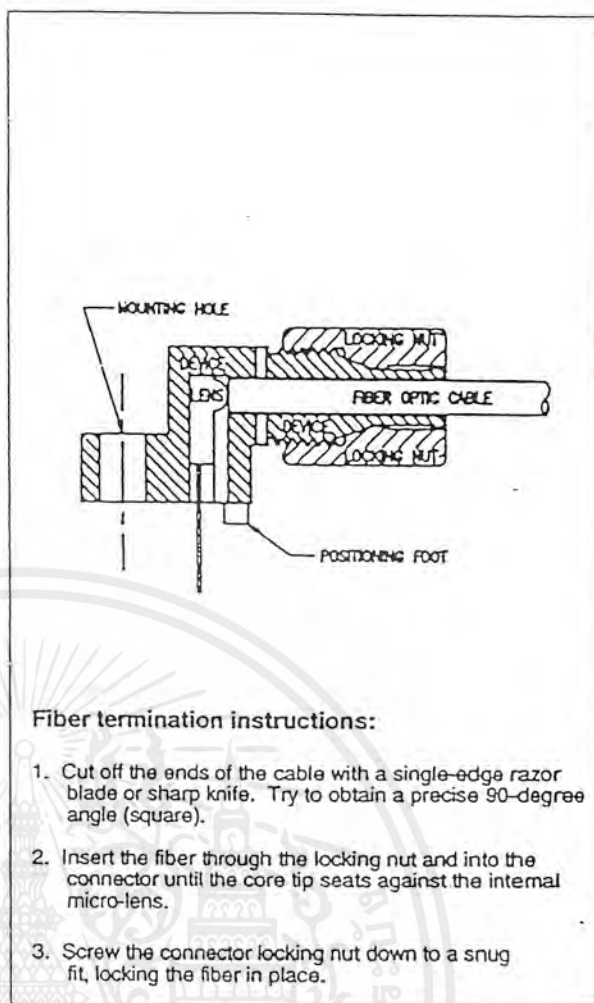


Figure 2. Typical spectral output versus wavelength.



**Fiber termination instructions:**

1. Cut off the ends of the cable with a single-edge razor blade or sharp knife. Try to obtain a precise 90-degree angle (square).
2. Insert the fiber through the locking nut and into the connector until the core tip seats against the internal micro-lens.
3. Screw the connector locking nut down to a snug fit, locking the fiber in place.

Figure 3. Cross-section of fiber optic device.

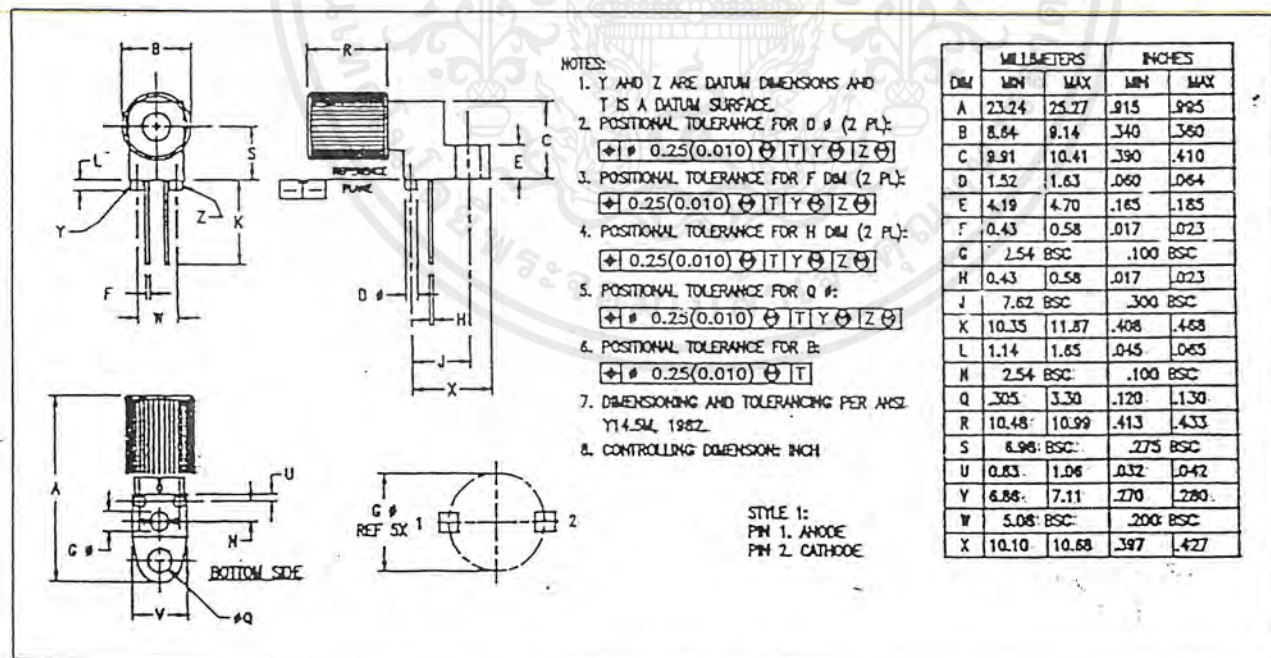


Figure 4. Case outline.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LM566C Voltage Controlled Oscillator

### General Description

The LM566CN is a general purpose voltage controlled oscillator which may be used to generate square and triangular waves, the frequency of which is a very linear function of a control voltage. The frequency is also a function of an external resistor and capacitor.

The LM566CN is specified for operation over the 0°C to +70°C temperature range.

### Features

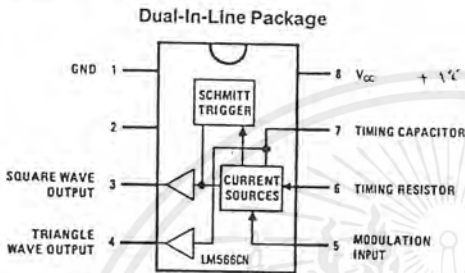
- Wide supply voltage range: 10V to 24V
- Very linear modulation characteristics

- High temperature stability
- Excellent supply voltage rejection
- 10 to 1 frequency range with fixed capacitor
- Frequency programmable by means of current, voltage, resistor or capacitor

### Applications

- FM modulation
- Signal generation
- Function generation
- Frequency shift keying
- Tone generation

### Connection Diagram

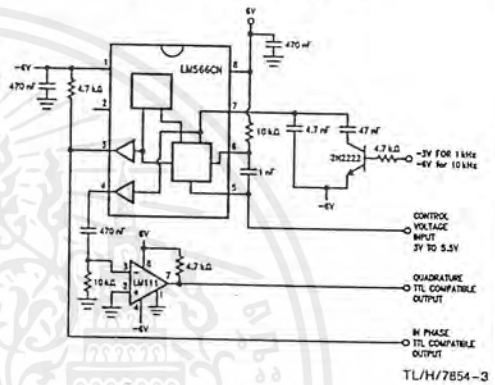


Order Number LM566CN  
See NS Package Number N08E

TL/H/7854-2

### Typical Application

#### 1 kHz and 10 kHz TTL Compatible Voltage Controlled Oscillator



## Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Power Supply Voltage	26V
Power Dissipation (Note 1)	1000 mW
Operating Temperature Range, LM566CN	0°C to +70°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	+260°C

## Electrical Characteristics $V_{CC} = 12V, T_A = 25^\circ C$ , AC Test Circuit

Parameter	Conditions	LM566C			Units
		Min	Typ	Max	
Maximum Operating Frequency	$R_O = 2k$ $C_O = 2.7 pF$	0.5	1		MHz
VCO Free-Running Frequency	$C_O = 1.5 nF$ $R_O = 20k$ $f_O = 10 kHz$	-30	0	+30	%
Input Voltage Range Pin 5		$\frac{3}{4} V_{CC}$		$V_{CC}$	
Average Temperature Coefficient of Operating Frequency			200		ppm/°C
Supply Voltage Rejection	10-20V		0.1	2	%/V
Input Impedance Pin 5		0.5	1		MΩ
VCO Sensitivity	For Pin 5, From 8-10V, $f_O = 10 kHz$	6.0	6.6	7.2	kHz/V
FM Distortion	±10% Deviation		0.2	1.5	%
Maximum Sweep Rate			1		MHz
Sweep Range			10:1		
Output Impedance Pin 3			50		Ω
Pin 4			50		Ω
Square Wave Output Level	$R_{L1} = 10k$	5.0	5.4		Vp-p
Triangle Wave Output Level	$R_{L2} = 10k$	2.0	2.4		Vp-p
Square Wave Duty Cycle		40	50	60	%
Square Wave Rise Time			20		ns
Square Wave Fall Time			50		ns
Triangle Wave Linearity	+1V Segment at $\frac{1}{2} V_{CC}$		0.5		%

Note 1: The maximum junction temperature of the LM566CN is 150°C. For operation at elevated junction temperatures, maximum power dissipation must be derated based on a thermal resistance of 115°C/W, junction to ambient.

## Applications Information

The LM566CN may be operated from either a single supply as shown in this test circuit, or from a split (±) power supply. When operating from a split supply the square wave output (pin 3) is TTL compatible (2 mA current sink) with the addition of a 4.7 kΩ resistor from pin 3 to ground.

A 0.001 μF capacitor is connected between pins 5 and 6 to prevent parasitic oscillations that may occur during VCO switching.

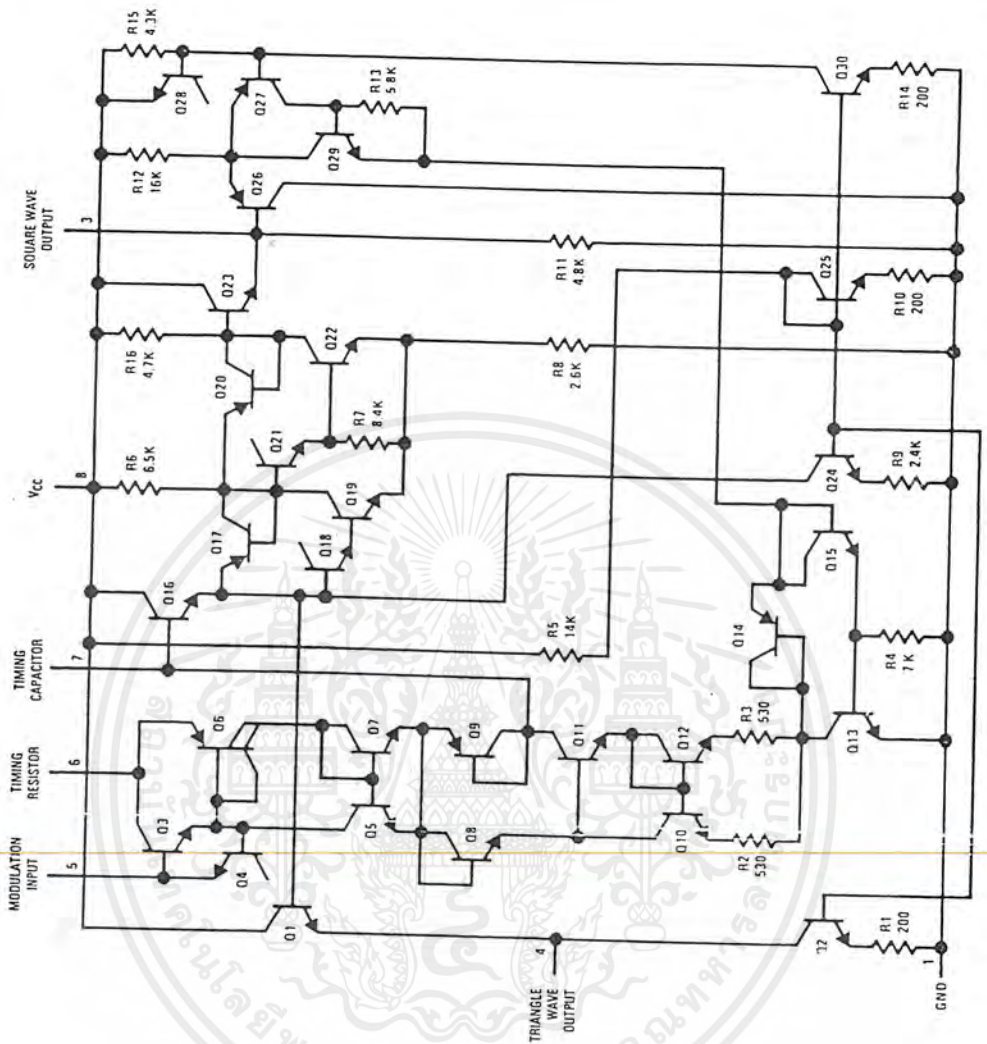
$$f_O = \frac{2.4(V^+ - V_5)}{R_O C_O V^+}$$

where

$$2K < R_O < 20K$$

and  $V_5$  is voltage between pin 5 and pin 1.

# Schematic Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





## LM565/LM565C Phase Locked Loop

### General Description

The LM565 and LM565C are general purpose phase locked loops containing a stable, highly linear voltage controlled oscillator for low distortion FM demodulation, and a double balanced phase detector with good carrier suppression. The VCO frequency is set with an external resistor and capacitor, and a tuning range of 10:1 can be obtained with the same capacitor. The characteristics of the closed loop system—bandwidth, response speed, capture and pull in range—may be adjusted over a wide range with an external resistor and capacitor. The loop may be broken between the VCO and the phase detector for insertion of a digital frequency divider to obtain frequency multiplication.

The LM565H is specified for operation over the  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$  military temperature range. The LM565CH and LM565CN are specified for operation over the  $0^{\circ}\text{C}$  to  $+70^{\circ}\text{C}$  temperature range.

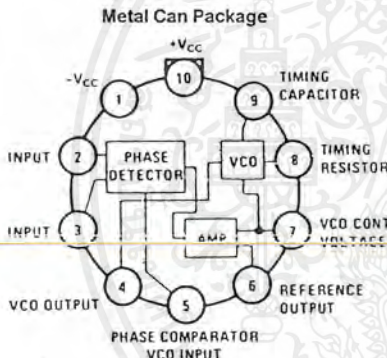
### Features

- 200 ppm/ $^{\circ}\text{C}$  frequency stability of the VCO
- Power supply range of  $\pm 5$  to  $\pm 12$  volts with 100 ppm/% typical
- 0.2% linearity of demodulated output
- Linear triangle wave with in phase zero crossings available
- TTL and DTL compatible phase detector input and square wave output
- Adjustable hold in range from  $\pm 1\%$  to  $> \pm 60\%$

### Applications

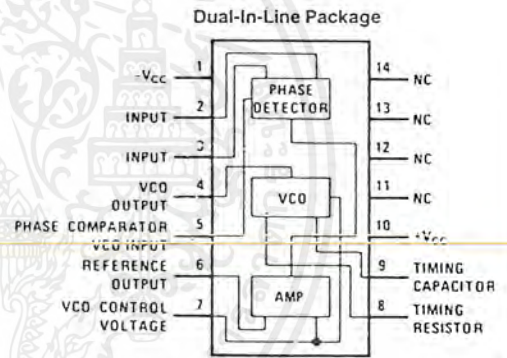
- Data and tape synchronization
- Modems
- FSK demodulation
- FM demodulation
- Frequency synthesizer
- Tone decoding
- Frequency multiplication and division
- SCA demodulators
- Telemetry receivers
- Signal regeneration
- Coherent demodulators

### Connection Diagrams



Order Number LM565H or LM565CH  
See NS Package Number H10C

TL/H/7853-2



Order Number LM565CN  
See NS Package Number N14A

TL/H/7853-3

## Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	$\pm 12V$
Power Dissipation (Note 1)	1400 mW
Differential Input Voltage	$\pm 1V$

Operating Temperature Range  
LM565H

$-55^{\circ}C$  to  $+125^{\circ}C$   
 $0^{\circ}C$  to  $+70^{\circ}C$

LM565CH, LM565CN

Storage Temperature Range

$-65^{\circ}C$  to  $+150^{\circ}C$

Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)

$260^{\circ}C$

## Electrical Characteristics

AC Test Circuit,  $T_A = 25^{\circ}C$ ,  $V_{CC} = \pm 6V$

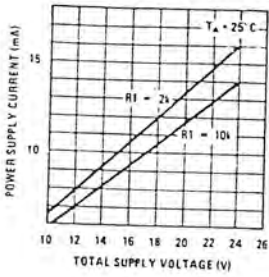
Parameter	Conditions	LM565			LM565C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Power Supply Current			8.0	12.5		8.0	12.5	mA
Input Impedance (Pins 2, 3)	$-4V < V_2, V_3 < 0V$	7	10			5		k $\Omega$
VCO Maximum Operating Frequency	$C_o = 2.7$ pF	300	500		250	500		kHz
VCO Free-Running Frequency	$C_o = 1.5$ nF $R_o = 20$ k $\Omega$ $f_o = 10$ kHz	-10	0	+10	-30	0	+30	%
Operating Frequency Temperature Coefficient			-100			-200		ppm/ $^{\circ}C$
Frequency Drift with Supply Voltage			0.1	1.0		0.2	1.5	%/V
Triangle Wave Output Voltage		2	2.4	3	2	2.4	3	$V_{p-p}$
Triangle Wave Output Linearity			0.2			0.5		%
Square Wave Output Level		4.7	5.4		4.7	5.4		$V_{p-p}$
Output Impedance (Pin 4)			5			5		k $\Omega$
Square Wave Duty Cycle		45	50	55	40	50	60	%
Square Wave Rise Time			20			20		ns
Square Wave Fall Time			50			50		ns
Output Current Sink (Pin 4)		0.6	1		0.6	1		mA
VCO Sensitivity	$f_o = 10$ kHz		6600			6600		Hz/V
Demodulated Output Voltage (Pin 7)	$\pm 10\%$ Frequency Deviation	250	300	400	200	300	450	$mV_{p-p}$
Total Harmonic Distortion	$\pm 10\%$ Frequency Deviation		0.2	0.75		0.2	1.5	%
Output Impedance (Pin 7)			3.5			3.5		k $\Omega$
DC Level (Pin 7)		4.25	4.5	4.75	4.0	4.5	5.0	V
Output Offset Voltage $ V_7 - V_6 $			30	100		50	200	mV
Temperature Drift of $ V_7 - V_6 $			500			500		$\mu V/^{\circ}C$
AM Rejection		30	40			40		dB
Phase Detector Sensitivity $K_D$			.68			.68		V/radian

Note 1: The maximum junction temperature of the LM565 and LM565C is  $+150^{\circ}C$ . For operation at elevated temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of  $+150^{\circ}C/W$  junction to ambient or  $+45^{\circ}C/W$  junction to case. Thermal resistance of the dual-in-line package is  $+85^{\circ}C/W$ .

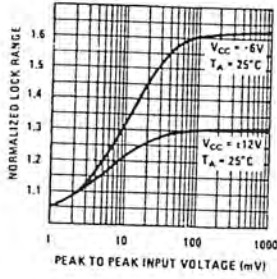
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Typical Performance Characteristics

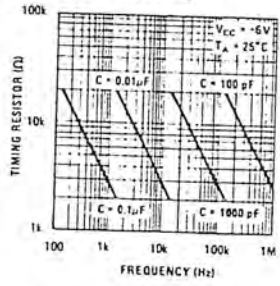
Power Supply Current as a Function of Supply Voltage



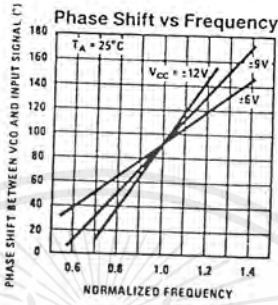
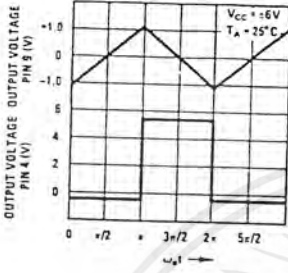
Lock Range as a Function of Input Voltage



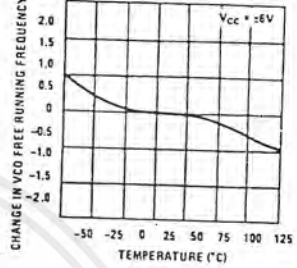
VCO Frequency



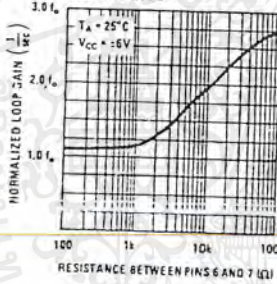
Oscillator Output Waveforms



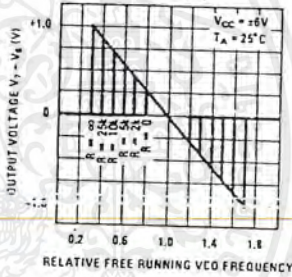
VCO Frequency as a Function of Temperature



Loop Gain vs Load Resistance



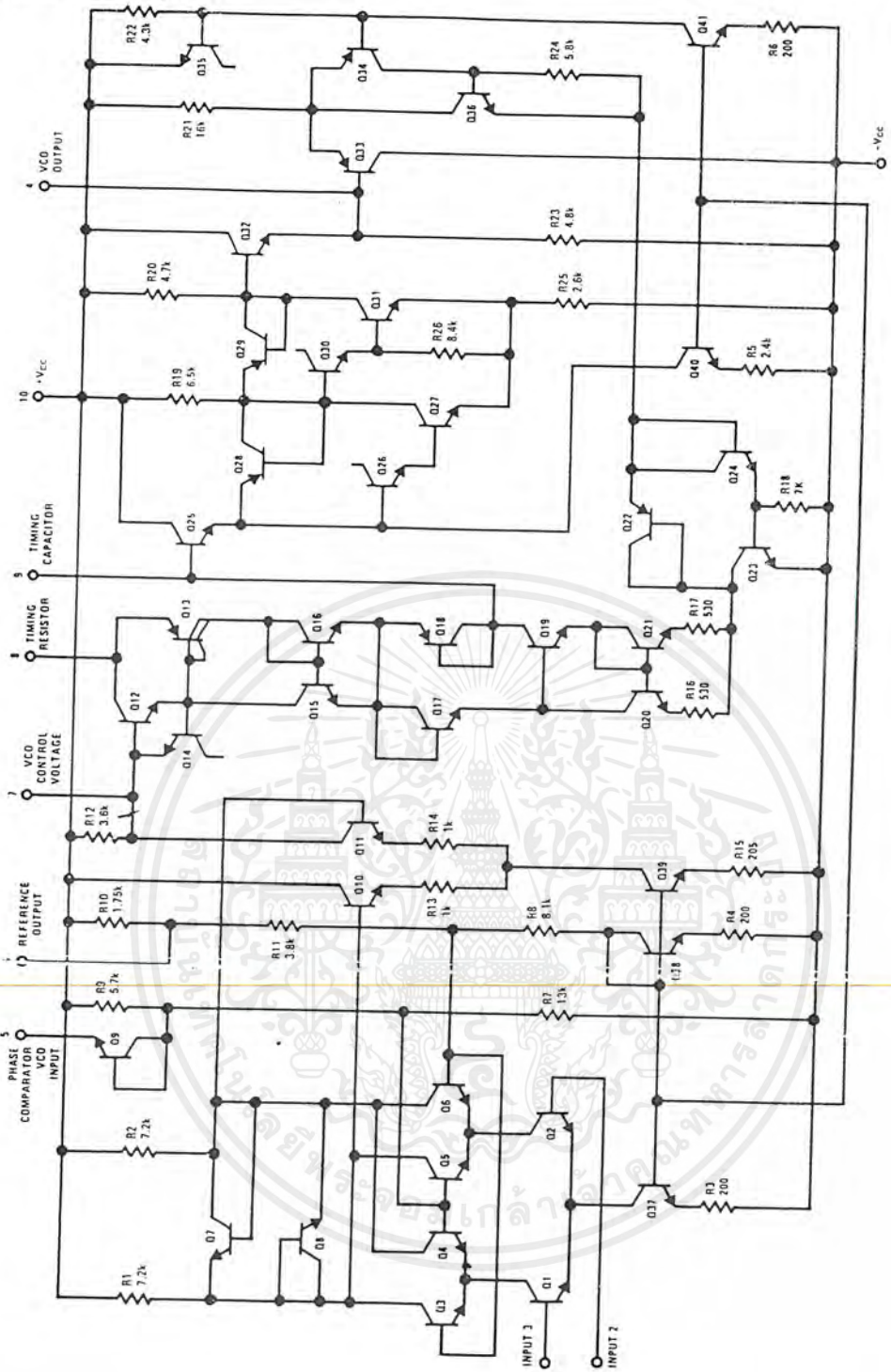
Hold in Range as a Function of R6-7



TL/H/7853-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Schematic Diagram



TL/H/7853-1

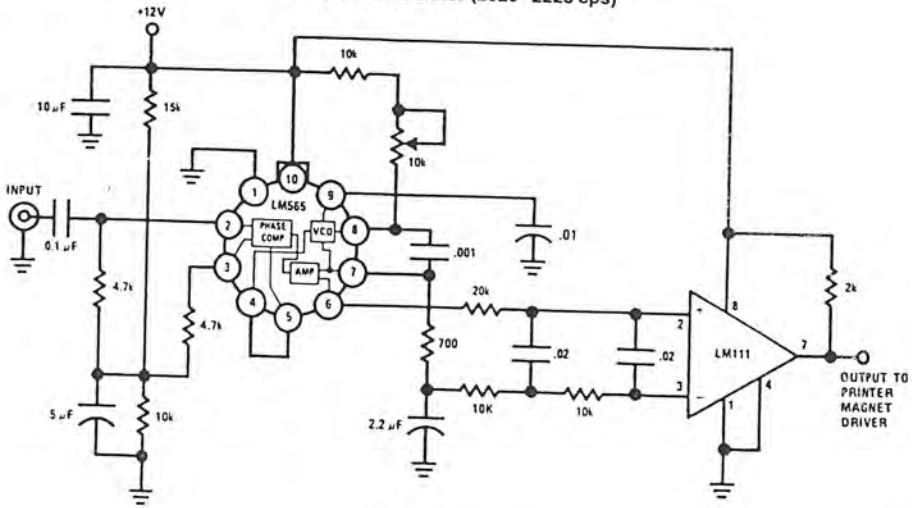
LM555/LM565C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



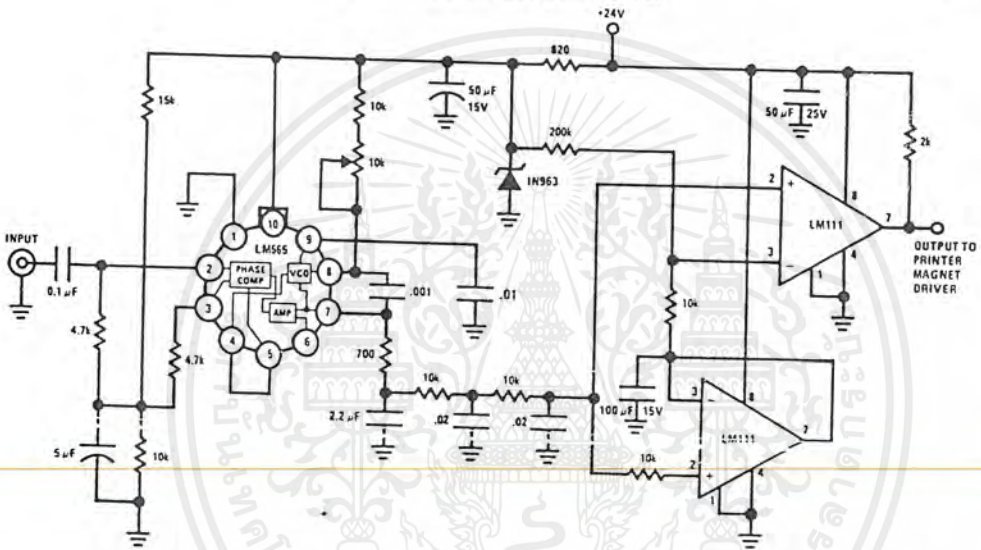
Typical Applications (Continued)

FSK Demodulator (2025-2225 cps)



TL/H/7853-7

FSK Demodulator with DC Restoration

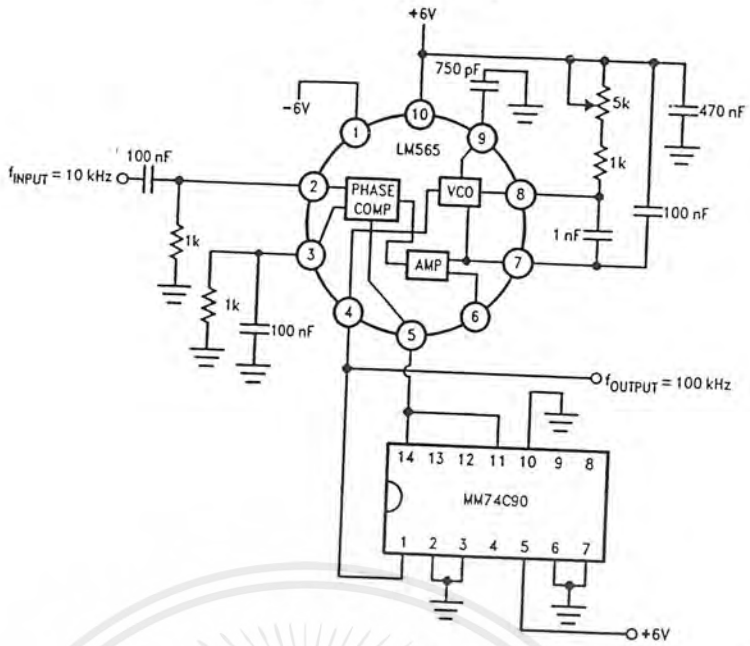


TL/H/7853-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

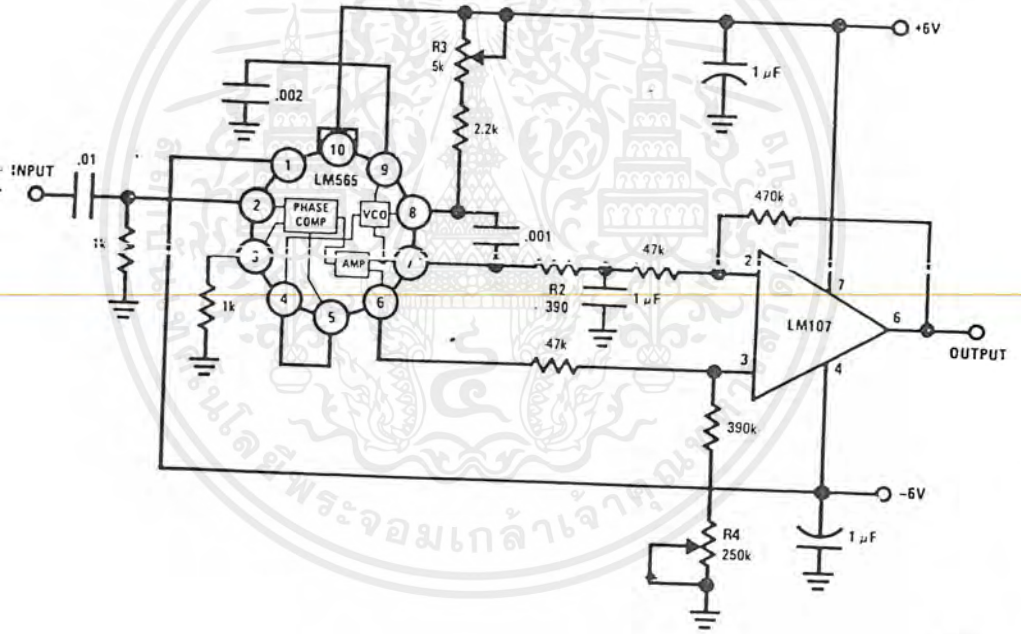
Typical Applications (Continued)

Frequency Multiplier ( $\times 10$ )



TL/H/7853-9

IRIG Channel 13 Demodulator



TL/H/7853-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Applications Information

In designing with phase locked loops such as the LM565, the important parameters of interest are:

### FREE RUNNING FREQUENCY

$$f_o \approx \frac{0.3}{R_o C_o}$$

**LOOP GAIN:** relates the amount of phase change between the input signal and the VCO signal for a shift in input signal frequency (assuming the loop remains in lock). In servo theory, this is called the "velocity error coefficient."

$$\text{Loop gain} = K_o K_D \left( \frac{1}{\text{sec}} \right)$$

$$K_o = \text{oscillator sensitivity} \left( \frac{\text{radians/sec}}{\text{volt}} \right)$$

$$K_D = \text{phase detector sensitivity} \left( \frac{\text{volts}}{\text{radian}} \right)$$

The loop gain of the LM565 is dependent on supply voltage, and may be found from:

$$K_o K_D = \frac{33.6 f_o}{V_c}$$

$f_o$  = VCO frequency in Hz

$V_c$  = total supply voltage to circuit

Loop gain may be reduced by connecting a resistor between pins 6 and 7; this reduces the load impedance on the output amplifier and hence the loop gain.

**HOLD IN RANGE:** the range of frequencies that the loop will remain in lock after initially being locked.

$$f_H = \pm \frac{8 f_o}{V_c}$$

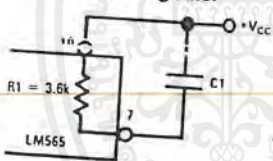
$f_o$  = free running frequency of VCO

$V_c$  = total supply voltage to the circuit

### THE LOOP FILTER

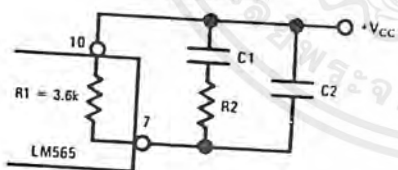
In almost all applications, it will be desirable to filter the signal at the output of the phase detector (pin 7); this filter may take one of two forms:

#### Simple Lag Filter



TL/H/7853-11

#### Lag-Lead Filter



TL/H/7853-12

A simple lag filter may be used for wide closed loop bandwidth applications such as modulation following where the frequency deviation of the carrier is fairly high (greater than 10%), or where wideband modulating signals must be followed.

The natural bandwidth of the closed loop response may be found from:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_o K_D}{R_1 C_1}}$$

Associated with this is a damping factor:

$$\delta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{R_1 C_1 K_o K_D}}$$

For narrow band applications where a narrow noise bandwidth is desired, such as applications involving tracking a slowly varying carrier, a lead lag filter should be used. In general, if  $1/R_1 C_1 < K_o K_D$ , the damping factor for the loop becomes quite small resulting in large overshoot and possible instability in the transient response of the loop. In this case, the natural frequency of the loop may be found from

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_o K_D}{\tau_1 + \tau_2}}$$

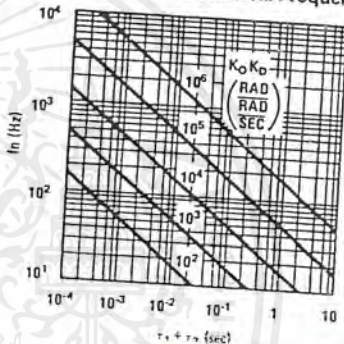
$$\tau_1 + \tau_2 = (R_1 + R_2) C_1$$

$R_2$  is selected to produce a desired damping factor  $\delta$ , usually between 0.5 and 1.0. The damping factor is found from the approximation:

$$\delta \approx \pi \tau_2 f_n$$

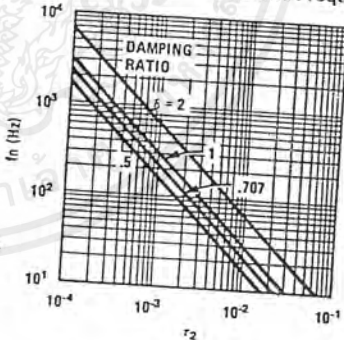
These two equations are plotted for convenience.

Filter Time Constant vs Natural Frequency



TL/H/7853-13

Damping Time Constant vs Natural Frequency



TL/H/7853-14

Capacitor  $C_2$  should be much smaller than  $C_1$  since its function is to provide filtering of carrier. In general  $C_2 \leq 0.1 C_1$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีคุณนำไปใช้