

การนำสัญญาณหลายความยาวคลื่นผ่านเส้นใยแก้วนำแสง
MULTI-WAVELENGTH OPTICAL SIGNALS TRANSMISSION
THROUGH OPTICAL FIBERS

นายศาสตราจารย์กวีวงศ์ สุขภานี
นายศกนิตต์ ฤทธาประพันธ์

โครงการพิเศษประเภทส่งเสริมงานของมหาวิทยาลัยสุรนารี วิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การส่งสัญญาณแสงหลายความยาวคลื่นผ่านเส้นใยแก้วนำแสง
MULTI-WAVELENGTH OPTICAL SIGNALS TRANSMISSION
THROUGH OPTICAL FIBERS

นางสาวพิชญ์กนิษฐ์
นายอภิสิทธิ์

สุขภาณี
กลางประพันธ์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

**MULTI-WAVELENGTH OPTICAL SIGNALS TRANSMISSION
THROUGH OPTICAL FIBERS**

**Miss.PICHKANIT SUKPASEI
Mr.APISIT KLANGPRAPUN**

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN APPLIED PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2556**

หัวข้อโครงการพิเศษ การส่งสัญญาณแสงหลายความยาวคลื่นผ่านเส้นใยแก้วนำแสง
 MULTI-WAVELENGTH OPTICAL SIGNALS TRANSMISSION
 THROUGH OPTICAL FIBERS





ชื่อนักศึกษา น.ส.พิชญ์กนิษฐ์ สุขภายี
 นายอภิสิทธิ์ กลางประพันธ์

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.เกียรติ ศรีนวลจันทร์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
 ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.ประธาน บุรณศิริ	
ดร.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง	
อ.สุรชาติ กมลฉิลก	
ดร.เกียรติ ศรีนวลจันทร์	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การส่งสัญญาณแสงหลายความยาวคลื่นผ่านเส้นใยแก้วนำแสง	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวพิชญ์กนิษฐ์	สุภาภี
	นายอภิสิทธิ์	กลางประพันธ์
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	ฟิสิกส์	
ปีการศึกษา	2555	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. กिरยุทธ์ ศรีนวลจันทร์	

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการสื่อสารถือว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากในการติดต่อสื่อสารทั่วไปหรือในราชการ ซึ่งการสื่อสารมีส่วนเกี่ยวข้องในชีวิตประจำวันของทุกคน และในปัจจุบันการสื่อสารได้รับการพัฒนามากขึ้น โดยการนำเอาเส้นใยแก้วนำแสงหรือไฟเบอร์ออปติกที่มีคุณสมบัติพิเศษมาเป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณ โดยคุณสมบัติพิเศษของเส้นใยแก้วนำแสงที่ทำให้เป็นที่นิยมในการนำมาใช้ในการสื่อสารโดยการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงเป็นการใช้แสงผสมกับข้อมูลที่ต้องการส่งในรูปแบบดิจิทัล แล้วจึงส่งผ่านตัวกลางนั้นคือเส้นใยแก้วนำแสง เทคนิคในการผสมสัญญาณหรือที่เรียกว่าการมัลติเพล็กซ์สัญญาณของเส้นใยแก้วนำแสงมีหลายวิธีแต่วิธีที่นิยมใช้กันคือ WDM (Wavelength Divison Multiplexing) ซึ่งเป็นการผสมสัญญาณแต่ละช่องสัญญาณด้วยความยาวคลื่นที่ต่างกัน ทำให้สามารถเพิ่มการส่งข้อมูลได้มากกว่าเดิม

ผู้จัดทำโครงการพิเศษจึงต้องการศึกษาหลักการมัลติเพล็กซ์โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรับ-ส่งสัญญาณผ่านไฟเบอร์ที่ทำการคลัปเปอร์แล้วกับเส้นไฟเบอร์ออปติกธรรมดาโดยการส่งสัญญาณผ่านเข้าไปและแสดงผลออกมาเป็นเสียงเพลง ซึ่งถือว่าการส่งเป็นเสียงเพลงนั้นเป็นการประยุกต์ใช้วิธีการมัลติเพล็กซ์ ที่มีอยู่เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ : การมัลติเพล็กซ์ , คู่ควมเชิงแสง

Title	MULTI-WAVELENGTH OPTICAL SIGNALS TRANSMISSION THROUGH OPTICAL FIBERS
Student	Ms.Pichkanit Sukpasri Mr.Apisit Klangrapun
Degree	Bachelor of science
Program	Physics
Academic Year	2012
Advisor	Dr. KeerayootSrinuanjan

ABSTRACT

In the present day, the communications are the one of important assortment for ordinary communicate or governmental communications which is associated with a daily life and also has been developing. As the characteristics of optical guided, the fiber optics is used for a long-range signal transmission. Due to its special attributed, the fiber optics has been implemented for a communication by the combination between digital and optical signal. Meanwhile, the signals were pulsed into a waveguide. The multiplexing is used for the signal modulation. Although this technique has many processes, the Wavelength Division Multiplexing (WDM) had usually selected as an interested procedure in which combined the multiple wavelength result to a high rate transmission.

For these reasons, we had studied the multiplexing principle by comparing the efficiency of the sources and receive signal in single and coupler fiber. The pulses that pass through the cable are transfigured which alternating the travelling beam and transformed to music. According to the results, it appeared that the applications of multiplexing can be occurred in the near future.

Keyword: Multiplexing, Coupler

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากดร.กฤษฎ์ ศรีนวลจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆมาโดยตลอด จนโครงการพิเศษเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้ศึกษาจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และผู้ปกครอง ที่ได้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆ รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ขอบคุณรุ่นพี่ทุกๆท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำและแนวคิดต่างๆ ตลอดจนคำปรึกษาต่างๆ สำหรับโครงการชิ้นนี้

สุดท้ายขอขอบขอบคุณเพื่อนๆที่ช่วยให้คำแนะนำใดๆเกี่ยวกับโครงการชิ้นนี้ตลอดจนความช่วยเหลืออื่นๆ จนทำให้โครงการสำเร็จลุล่วงไปได้

นางสาวพิชญ์กนิษฐ์ สุขภาณี

นายอภิสิทธิ์ กลางประพันธ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญรูป	VI
คำย่อและสัญลักษณ์	VII

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนในการวิจัยและวิธีดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญของเส้นใยแก้วนำแสง	4
2.2 ข้อดีและข้อด้อยของเส้นใยแก้วนำแสง	6
2.3 ตัวส่งแสงและรับแสง	8
2.4 การสื่อสารใยแก้วนำแสง	9
2.5 หลักการรับส่งสัญญาณเส้นใยแก้วนำแสง	10
2.6 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบสื่อสาร	11
2.7 ชนิดของการสื่อสารข้อมูล	13
2.8 รูปแบบการสื่อสารข้อมูล	14
2.9 การวิเคราะห์ระบบการสื่อสารข้อมูล	14
2.10 Multiplexing หรือ การรวมสัญญาณ	18
2.11 คู่ควม	21

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 จุดประสงค์ในการดำเนินงานและวิจัย	28
3.2 อุปกรณ์ในการทดลอง	28
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	29
3.4 วิธีการทดลอง	32
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	
4.1 ศึกษาผลการทำงานของ LED จากการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต	36
4.2 ศึกษาการทำงานของ LED เมื่อป้อนแรงดันที่ 5 V	37
4.3 ศึกษาผลการทำงานของวงจรที่ออกแบบโดยป้อนสัญญาณอินพุตด้วย Sine Wave ของตัวส่งสัญญาณ กำหนดให้ป้อนแรงดันที่ 5 V และ กระแส 5 A	38
4.4 ศึกษาผลการทำงานของวงจรที่ออกแบบโดยป้อนสัญญาณอินพุตด้วย Sine Wave ของตัวรับสัญญาณ โดยเปรียบเทียบกับ LED สีแดง และสีเขียว เมื่อส่งผ่านอากาศระยะ 10 cm	42
4.5 ทำงานของวงจรที่ออกแบบโดย ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์ที่ทำการคลัปเปอร์	52
4.6 ทำงานของวงจรที่ออกแบบส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์เปรียบเทียบกับสายไฟเบอร์ที่ทำการคลัปเปอร์	64
4.7 เปรียบเทียบอัตราการแบ่งแสงและค่าการสูญเสียของไฟเบอร์ที่ทำการคลัปเปอร์กับไฟเบอร์ออปติก	76
4.8 ศึกษาค่าโวลต์ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้ฟิลเตอร์ในการกรองแสง	83
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทำงานของ LED จากการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต	84
5.2 สรุปผลการทำงานของ LED เมื่อป้อนแรงดันที่ 5 V และปรับค่าความต้านทาน	84
5.3 สรุปผลการทำงานของวงจรที่ออกแบบโดยป้อนสัญญาณอินพุตด้วย Sine Wave ของตัวส่งสัญญาณ กำหนดให้ ป้อนแรงดันที่ 5 V กระแส 5A	85

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.4	สรุปผลการทำงานของวงจรที่ออกแบบโดยป้อนสัญญาณอินพุตด้วย Sine Wave ของตัวรับสัญญาณ โดยเปรียบเทียบจาก LED สีแดง และสีเขียว เมื่อ ส่งผ่านอากาศ ระยะห่าง 10 cm	86
5.5	สรุปผลการทำงานของวงจรที่ออกแบบโดย ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์ ที่ทำการคลีปเปอร์	86
5.6	สรุปผลการทำงานของวงจรที่ออกแบบส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์ เปรียบเทียบกับสายไฟเบอร์ที่ทำการคลีปเปอร์	86
5.7	เปรียบเทียบอัตราการแบ่งแสงและค่าการสูญเสียของไฟเบอร์ที่ทำการคลีปเปอร์ กับไฟเบอร์ออปติก	87
5.8	ศึกษาค่าโวลต์ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้ฟิลเตอร์ในการกรองแสง	88
5.9	วิจารณ์ผลการทดลอง	88

เอกสารอ้างอิง

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการทำงานของ LED จากการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุท	36
4.2 ศึกษาการทำงานของ LED เมื่อป้อนแรงดันที่ 5 V และปรับค่าความต้านทาน	37
4.3 ศึกษาการทำงานของวงจรส่งสัญญาณเมื่อเปลี่ยนค่าความถี่	38
4.4 ศึกษาการทำงานของวงจรส่งสัญญาณเมื่อเปลี่ยนค่าแอมพลิจูด	40
4.5 ศึกษาการทำงานของวงจรรับสัญญาณ LED สีแดง เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่	42
4.6 ศึกษาการทำงานของวงจรรับสัญญาณ LED สีแดง เมื่อเปลี่ยนค่าแอมพลิจูด	45
4.7 ศึกษาการทำงานของวงจรรับสัญญาณ LED สีเขียว เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่	47
4.8 ศึกษาการทำงานของวงจรรับสัญญาณ LED สีเขียว เมื่อเปลี่ยนค่าแอมพลิจูด	50
4.9 ศึกษาการทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์โดยใช้ LED สีแดง เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่ (เข้าขา2-ออกขา4)	52
4.10 ศึกษาการทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์โดยใช้ LED สีแดง เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่ (เข้าขา2-ออกขา3)	55
4.11 ศึกษาการทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์โดยใช้ LED สีเขียว เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่ (เข้าขา1-ออกขา3)	58
4.12 ศึกษาการทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์โดยใช้ LED สีเขียว เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่ (เข้าขา1-ออกขา4)	61
4.13 ทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งแสงผ่านไฟเบอร์ออปติกด้วย LED สีแดง	64

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.14 ทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งแสงผ่านไฟเบอร์ออปติกด้วย LED สีเขียว	67
4.15 ทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งแสงผ่านไฟเบอร์ออปติกที่ทำการคลัปเปอร์ ด้วย LED สีแดง	70
4.16 ทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งแสงผ่านไฟเบอร์ออปติกที่ทำการคลัปเปอร์ ด้วย LED สีเขียว	73
4.17 ค่าการสูญเสียแสงของไฟเบอร์ออปติกด้วย LED สีแดง	77
4.18 ค่าการสูญเสียแสงของไฟเบอร์ออปติกด้วย LED สีเขียว	78
4.19 ค่าการสูญเสียแสงและเปรียบเทียบอัตราการแบ่งแสงของไฟเบอร์ออปติก ที่ทำการคลัปเปอร์ ด้วย LED สีแดง (กำหนดอินพุทคือ Port 1)	78
4.20 ค่าการสูญเสียแสงและเปรียบเทียบอัตราการแบ่งแสงของไฟเบอร์ ออปติกที่ทำการคลัปเปอร์ ด้วย LED สีแดง (กำหนดอินพุทคือ Port 2)	79
4.21 ค่าการสูญเสียแสงและเปรียบเทียบอัตราการแบ่งแสงของไฟเบอร์ออปติก ที่ทำการคลัปเปอร์ ด้วย LED สีเขียว (กำหนดอินพุทคือ Port 1)	80
4.22 ค่าการสูญเสียแสงและเปรียบเทียบอัตราการแบ่งแสงของไฟเบอร์ ออปติกที่ทำการคลัปเปอร์ ด้วย LED สีเขียว (กำหนดอินพุทคือ Port 2)	81
4.23 ค่าโวลต์ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้ฟิลเตอร์ในการกรองแสงด้วย LED สีแดง	83
4.24 ค่าโวลต์ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้ฟิลเตอร์ในการกรองแสงด้วย LED สีเขียว	83

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.1 เปรียบเทียบแรงดัน output ก่อนออกลำโพงของสายไฟเบอร์ที่ทำการ คลັปเปอร์เมื่อป้อนความถี่ 400 Hz	86
5.2 เปรียบเทียบการสูญเสียกำลังแสงของ LED สีแดงและสีเขียว เมื่อป้อน ความถี่ 400 Hz	87

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงส่วนประกอบของเส้นใยแก้วนำแสง	4
2.2	แสดงส่วนประกอบของเส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 2 ชนิด	5
2.3	เส้นใยแก้วนำแสงแบบซิงเกิลโหมด	5
2.4	เส้นใยแก้วนำแสงแบบมัลติโหมด	6
2.5	โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง	9
2.6	ไดอะแกรมแสดงการสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง	10
2.7	แสดงลักษณะโครงสร้างของการรับ-ส่ง สัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง	10
2.8	แสดงลักษณะของการรับสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง	11
2.9	แสดงลักษณะโฟโตดีเทกเตอร์(Photodetector : PD) ที่ใช้รับสัญญาณแสง	11
2.10	องค์ประกอบพื้นฐานของการสื่อสาร	12
2.11	การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม	13
2.12	การสื่อสารข้อมูลแบบขนาน	14
2.13	สายเกลียวคู่	15
2.14	สายไฟเบอร์ออปติก	16
2.15	แบบเช่าสาย	17
2.16	แบบหมุนหมายเลข	17
2.17	ระบบไมโครเวฟ	18
2.18	Multiplexing	18
2.19	Multiplexing และ No Multiplexing	19
2.20	Frequency - Division Multiplexing (FDM)	20
2.21	Wave - Division Multiplexing(WDM)	20
2.22	Time - Division Multiplexing	21
2.23	แสดงลักษณะของกลุ่มควมแบบต่างๆ	21
2.24	แสดงลักษณะคู่ควมแบบ 2x2	22
2.25	แสดงลักษณะการเชื่อมติดกันของกลุ่มควมแบบ 2x2 (แบบ Cross coupling)	22
2.26	ลักษณะของ Throughput loss	23

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.27	ลักษณะของ Tap loss	23
2.28	ลักษณะของ Directionality	24
2.29	ลักษณะของ Excess loss	24
2.30	ลักษณะของ Ideal coupler	25
2.31	แสดงวิธีสร้างคู่ควบด้วยวิธีการหลอมรวม	26
2.32	แสดงคู่ควบสร้างด้วยวิธีแกนร่วม	27
2.33	แสดงคู่ควบที่สร้างโดยวิธีการขัดและเชื่อมติด	27
3.1	วงจรการมอดูเลตสัญญาณด้วย IF- E96	31
3.2	วงจรการดีมอดูเลตสัญญาณด้วย IF-D93	32
4.1	ใช้อ้างอิงในการทำการทดลองตอนที่ 2	37
4.2	ใช้อ้างอิงในการทำการทดลองตอนที่ 7	76
5.1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (A) และแรงดันอินพุท (V)	84
5.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (A) และค่าความต้านทาน	85

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อและสัญลักษณ์	ความหมาย
P_1	กำลังเข้าที่พู่ทขาหนึ่งของสายไฟเบอร์ออปติก
P_2	กำลังของเข้าที่พู่ทขาสามของสายไฟเบอร์ที่ทำ การคัลปีเปอร์
P_3	กำลังของเข้าที่พู่ทขาสี่ของสายไฟเบอร์ที่ทำ การคัลปีเปอร์
P_4	กำลังเข้าที่พู่ทขาสองของสายไฟเบอร์ออปติก
L_{THP}	Throughput loss
L_{TAP}	Tap loss
L_{D}	Directionality loss

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันการสื่อสารถือว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากในการติดต่อสื่อสารทั่วไปหรือในราชการ ซึ่งการสื่อสารมีส่วนเกี่ยวข้องในชีวิตประจำวันของทุกคน และในปัจจุบันการสื่อสารได้รับการพัฒนามากขึ้น โดยการนำเอาเส้นใยแก้วนำแสงหรือไฟเบอร์ออปติกที่มีคุณสมบัติพิเศษมาเป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณ โดยคุณสมบัติพิเศษของเส้นใยแก้วนำแสงที่ทำให้เป็นที่นิยมในการนำมาใช้ในการสื่อสารเช่น เส้นใยแก้วนำแสงมีการลดทอนสัญญาณต่ำ, บรรจุข้อมูลได้เป็นจำนวนมาก, ไม่มีสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า, ข้อมูลที่ส่งมีความปลอดภัยสูง เป็นต้น โดยการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงเป็นการใช้แสงผสมกับข้อมูลที่ต้องการส่งในรูปแบบดิจิทัล แล้วจึงส่งผ่านตัวกลางนั้นคือเส้นใยแก้วนำแสง เทคนิคในการผสมสัญญาณหรือที่เรียกว่าการมัลติเพล็กซ์สัญญาณของเส้นใยแก้วนำแสงมีหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้กันคือ WDM (Wavelength Division Multiplexing) ซึ่งเป็นการผสมสัญญาณแต่ละช่องสัญญาณด้วยความยาวคลื่นที่ต่างกัน ทำให้สามารถเพิ่มการส่งข้อมูลได้มากกว่าเดิมเมื่อเทียบกับการส่งข้อมูลผ่านสายทองแดงแบบเดิม เทคโนโลยีนี้ถือเป็นการเพิ่มขนาดแบนด์วิธในการส่งข้อมูลบนเครือข่ายใยแก้วนำแสง และเพราะการเพิ่มแบนด์วิธนี้ทำให้สามารถใช้งานแอปพลิเคชันใหม่ๆได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังสามารถติดตั้งเข้ากับโครงสร้างพื้นฐานของระบบเดิมได้ และเพราะการเพิ่มฟังก์ชันการทำงานที่เพิ่มขึ้นร่วมกับคุณสมบัติพิเศษของไฟเบอร์ออปติกจึงทำให้การสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงได้รับความนิยมและเป็นที่ยอมรับมากขึ้น

โครงการวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะทดลองมัลติเพล็กซ์สัญญาณที่มีความยาวคลื่นสองสัญญาณคลื่นโดยใช้วิธี WDM ซึ่งมีตัวตรวจจับเพียงตัวเดียวแต่ใช้ฟิลเตอร์ในการกรองแสงเพื่อเลือกรับข้อมูล โดยมุ่งเน้นนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบตัวต้นแบบสำหรับการสื่อสารส่งข้อมูลสำหรับหลายความยาวคลื่น และสามารถประยุกต์เป็นเครื่องมือต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น

2. เพื่อทดลองและศึกษาวิธีการรับ-ส่งข้อมูลที่มีความยาวคลื่นที่ต่างกันสองความยาวคลื่น และการแปลงข้อมูลจากแสงออกมาเป็นเสียงเพลง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ในการวิจัยนี้จะทำการสร้างระบบ ที่มีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่นเพื่อทำการมัลติเพล็กซ์สัญญาณที่มีสองความยาวคลื่นที่ต่างกันและนำเสนอข้อมูลที่ส่งมาได้ตามต้องการ โดยมีขอบเขตวิจัยดังนี้

1. สร้างวงจรรับ-ส่งสัญญาณ
2. สร้างระบบการแปลงข้อมูล

1.4 ขั้นตอนในการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

1. การดำเนินงานสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

- | | |
|--------------|--|
| ขั้นตอนที่ 1 | ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและหลักการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบมัลติเพล็กซ์สัญญาณ |
| ขั้นตอนที่ 2 | ศึกษาการรับ-ส่งสัญญาณ และการแปลงให้เป็นข้อมูลที่ต้องการ |
| ขั้นตอนที่ 3 | สร้างวงจรตัวส่งสัญญาณ |
| ขั้นตอนที่ 4 | สร้างวงจรตัวรับสัญญาณ |
| ขั้นตอนที่ 5 | สร้างระบบการแปลงข้อมูล |
| ขั้นตอนที่ 6 | ทดลองการรับ-ส่งสัญญาณ และการแปลงข้อมูล |
| ขั้นตอนที่ 7 | วิเคราะห์และสรุปผล |
| ขั้นตอนที่ 8 | จัดทำรูปเล่มและเผยแพร่ |

เดือนที่	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ขั้นตอนที่ 1										
ขั้นตอนที่ 2										
ขั้นตอนที่ 3										
ขั้นตอนที่ 4										
ขั้นตอนที่ 5										
ขั้นตอนที่ 6										
ขั้นตอนที่ 7										
ขั้นตอนที่ 8										

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงหลักการทำงานของกรมัตติเพ็ล็กซ์สัญญาณ
2. ทำให้ทราบถึงวิธีการรับ-ส่งสัญญาณและการแปลงข้อมูล
3. สามารถนำความรู้เพื่อไปพัฒนาระบบการมัตติเพ็ล็กซ์สัญญาณต่อไปในอนาคต
4. ได้เรียนรู้การทำงานเป็นกลุ่ม

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

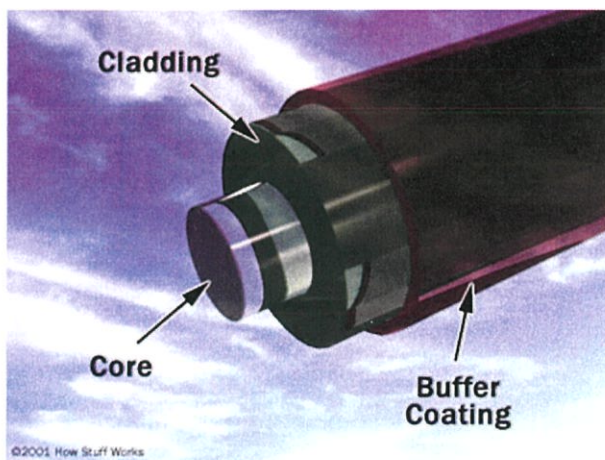
2.1 ความสำคัญของ เส้นใยแก้วนำแสง

เส้นใยแก้วนำแสง คือเส้นใยขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำแสง โดยสามารถแบ่งส่วนประกอบของเส้นใยแก้วนำแสงแบ่งได้เป็น 3 ส่วนคือ

cladding

core

bufferCoating



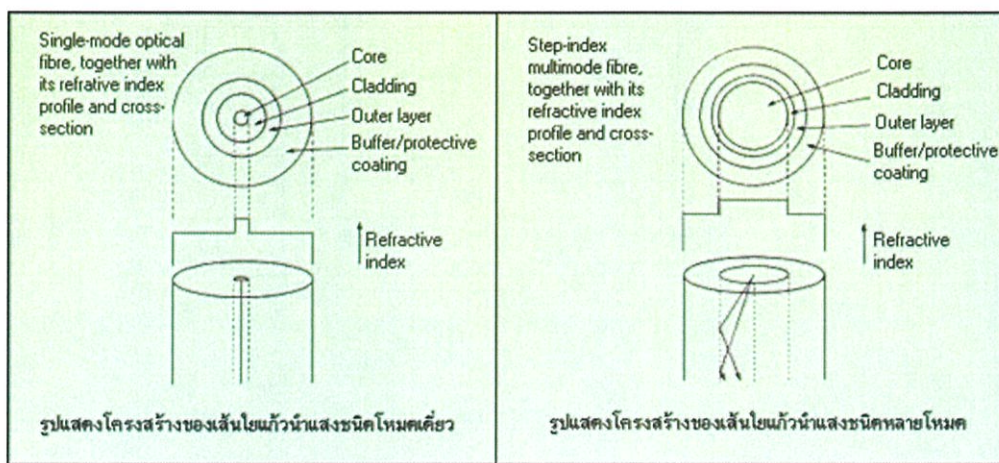
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของเส้นใยแก้วนำแสง

เส้นใยแก้วนำแสงหรือไฟเบอร์ออปติก เป็นตัวกลางของสัญญาณแสงชนิดหนึ่ง ที่ทำมาจากแก้วซึ่งมีความบริสุทธิ์สูงมาก เส้นใยแก้วนำแสงมีลักษณะเป็นเส้นยาวขนาดเล็ก มีขนาดประมาณเส้นผมของมนุษย์ เส้นใยแก้วนำแสงที่ดีต้องสามารถนำสัญญาณแสงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ โดยมีการสูญเสียของสัญญาณแสงน้อยมาก

การที่เส้นใยแก้วนำแสงนำสัญญาณได้ดีนั้น ไม่เพียงเพราะว่าตัวมันเองมีคุณสมบัติโปร่งแสงเท่านั้น แต่ยังเกิดจากโครงสร้างของเส้นใยแก้วที่มักกำหนดให้เส้นใยแก้วมีดัชนีหักเหของคอร์มากกว่าดัชนีหักเหของคลัดดิ้งเล็กน้อย ทำให้เกิดปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมด (TIR : Total Internal Reflection) ของแสงที่เดินอยู่ภายในส่วนคอร์ ส่งผลให้แสงทั้งหมดสามารถเดินทางอยู่ภายในเส้นใยแก้วโดยไม่สะท้อนออกไปนอกเส้นทาง และเมื่อแก้วที่ใช้เป็นแก้วบริสุทธิ์ มีผลทำให้แสงส่วนใหญ่เดินทางผ่านไปได้อย่างดีและเดินทางได้ไกล ซึ่งถือเป็นคุณสมบัติที่ดีของเส้นใยแก้ว การที่เส้นใยแก้วแสดงพฤติกรรมของการเป็นท่อนำแสงได้ดีมากเนื่องจากการลดทอนสัญญาณแสงต่ำ (Low Attenuation) ในปัจจุบันสามารถผลิตเส้นใยแก้วที่มีค่าการลดทอนสัญญาณแสงต่ำๆ โดย

มีค่าน้อยกว่า 0.01 dB/km (0.01 ดีบีต่อกิโลเมตร หมายความว่า เมื่อแสงเดินทางไปในเส้นใยแก้วนำแสงที่มีระยะทาง 1 กิโลเมตร จะสูญเสียกำลังงานไปประมาณ 0.23%) ค่าของการลดทอนสัญญาณจะมีค่าขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสงหรือสีของแสงที่เดินทางผ่านเนื้อแก้วนั้น โดยค่าความยาวคลื่นที่ 1.3 และ 1.55 ไมครอน จะเกิดการสูญเสียสัญญาณน้อย ทำให้แสงเดินทางไปได้ไกล ดังนั้นระบบสื่อสารจึงนิยมใช้ความยาวคลื่นแสงเหล่านั้น

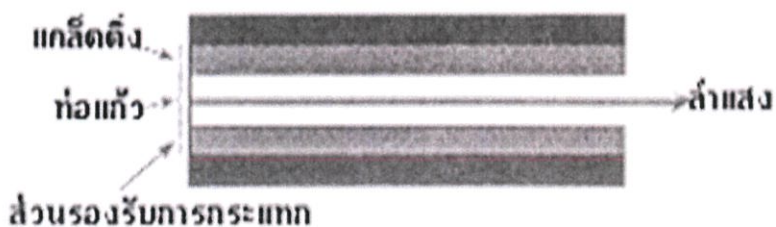
เส้นใยแก้วนำแสงสามารถแบ่งตามความสามารถในการนำแสงออกได้เป็น 2 ชนิด คือ เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดียว (Singlemode Optical Fibers, SM) และชนิดหลายโหมด (Multimode Optical Fibers, MM)



รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของเส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 2 ชนิด

2.1.1 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดียว (Singlemode Optical Fibers, SM)

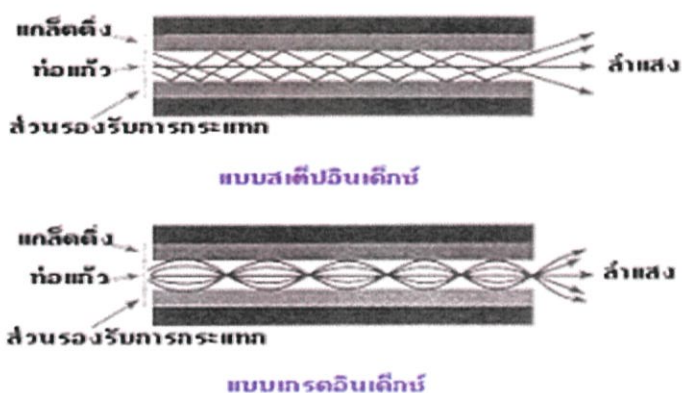
เป็นการใช้ตัวนำแสงที่บีบลำแสงให้พุ่งตรงไปตามท่อแก้ว โดยมีการกระจายแสงออกทางด้านข้างน้อยที่สุด ซึ่งเกิดโหมดจึงเป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่มีกำลังสูญเสียทางแสงน้อยที่สุดเหมาะสำหรับในการใช้กับระยะทางไกล ๆ การเดินสายใยแก้วนำแสงกับระยะทางไกลมาก เช่น เดินทางระหว่างประเทศ ระหว่างเมือง มักใช้แบบซิงเกิลโหมด



รูปที่ 2.3 เส้นใยแก้วนำแสงแบบซิงเกิลโหมด

2.1.2 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมด (Multimode Optical Fibers, MM)

เป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่มีลักษณะการกระจายแสงออกด้านข้างได้ ดังนั้นจึงต้องสร้างให้มีดัชนีหักเหของแสงกับอุปกรณ์ฉาบผิวที่สัมผัสกับเคลือบดิ่งให้สะท้อนกลับหมด หากการให้ดัชนีหักเหของแสงมีลักษณะทำให้แสงเลี้ยวเบนทีละน้อยเราเรียกว่าแบบเกรดอินเด็กซ์ หากให้แสงสะท้อนโดยไม่ปรับคุณสมบัติของแท่งแก้วให้แสงค่อยๆเลี้ยวเบนก็เรียกว่าแบบสเต็ปอินเด็กซ์ เส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้ในเครือข่ายแลน ส่วนใหญ่ใช้แบบมัลติโหมด โดยเป็นขนาด 62.5/125 ไมโครเมตรหมายถึงเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อแก้ว 62.5 ไมโครเมตรและของเคลือบดิ่งรวมท่อแก้ว 125 ไมโครเมตร



รูปที่ 2.4 เส้นใยแก้วนำแสงแบบมัลติโหมด

2.2 ข้อดีและข้อด้อยของเส้นใยแก้วนำแสง

ส่วนใหญ่แล้ว การกล่าวถึงข้อดีของเส้นใยแก้วนำแสงนั้น มักเป็นไปในทำนองของการเปรียบเทียบกับสายเคเบิลทองแดงที่ใช้ส่งสัญญาณไฟฟ้า เนื่องจากคุณสมบัติการนำข้อมูลรวมไปกับสัญญาณแสงของเส้นใยนั่นเอง

2.2.1 ข้อดีของการใช้เส้นใยแก้วนำแสง

- 2.2.1.1 มีค่าการลดทอนสัญญาณต่ำ (Low Attenuation) แม้ว่าค่าการลดทอนสัญญาณของเส้นใยแก้วนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าความยาวคลื่นที่ใช้ แต่ถือว่ามีค่าน้อยมากเมื่อเลือกใช้แสงที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสม เส้นใยแก้วนำแสงธรรมดาประกอบด้วยเนื้อแก้วบริสุทธิ์ จะมีค่าการลดทอนสัญญาณต่ำที่ค่าความยาวคลื่นในช่วง 1.3 และ 1.55 ไมครอน (น้อยกว่า 2 dB/km) ทำให้ในระบบสื่อสารใช้การทวนสัญญาณ (Repeater) เป็นจำนวนน้อย โดยปกติระบบสื่อสารด้วยเคเบิลทองแดง (เช่นระบบ

โทรศัพท์) จะมีการทวนสัญญาณทุกๆ 2-5 กิโลเมตร ในขณะที่การใช้เส้นใยแก้วจะ ทำให้ระยะห่างระหว่างสถานีทวนสัญญาณไกลกว่า 50 กิโลเมตร

- 2.2.1.3 บรรจุข้อมูลได้เป็นจำนวนมาก เส้นใยแก้วนำแสงมีค่าแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ในการส่งข้อมูลสูงมาก เนื่องจากแสงที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความถี่ในเทอมของ 10^{15} เฮิร์ตซ์ เป็นสัญญาณพาห้ เมื่อเปรียบเทียบแบบอย่างง่าย จะเห็นว่าค่าความถี่แสง นั้นมีค่าสูงกว่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ (10^9 เฮิร์ตซ์) ถึงกว่าล้านเท่า เมื่อนำเส้นใยแก้วมาใช้สื่อสารข้อมูลในระบบดิจิทัล จะทำให้อัตราในการส่งข้อมูลหรือบิตเรต (bit rate) สูงมาก
- 2.2.1.4 โครงสร้างสายเคเบิลที่มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา เมื่อพิจารณาขนาดของเส้นใยแก้ว เปลือย จะเห็นได้ว่ามีขนาดเล็กและเบามาก อีกทั้งเส้นใยแก้วเพียงเส้นเดียวยังสามารถส่งข้อมูลจำนวนมากๆ ได้
- 2.2.1.5 ราคาถูก เนื่องจากเส้นใยแก้วทำมาจากวัตถุดิบที่เป็นทราย ซึ่งหาได้ง่ายกว่าทองแดงในธรรมชาติ ทำให้ต้นทุนในการผลิตเส้นใยแก้วถูกกว่าสายไฟทองแดง แต่ในความเป็นจริง เราไม่สามารถหาซื้อเส้นใยแก้วได้ง่ายตามท้องตลาดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้ราคาขายปลีกมีราคาแพงมาก นอกจากนั้นราคาของเส้นใยแก้วยังขึ้นอยู่กับต้นทุนในการผลิตสายเคเบิล อีกทั้งขึ้นกับกระบวนการสร้างเครือข่ายสายส่ง ทำให้ราคาของเส้นใยแก้วและระบบในอดีตมีราคาสูง อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันเส้นใยแก้วเริ่มเป็นที่ต้องการในตลาดมากขึ้น ทำให้ราคาเฉลี่ยเฉพาะของสายเคเบิลใยแก้วมีราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับสายเคเบิลทองแดง จึงมีแนวโน้มว่าราคาของเส้นใยแก้วจะต้องถูกลงอย่างมาก นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่านวนราคาใช้จ่ายต่อหน่วยข้อมูลที่ใช้สื่อสาร จะพบว่าราคาต่ำมาก
- 2.2.1.6 เป็นอิสระทางไฟฟ้า (Electrical Isolation) เนื่องจากเส้นใยแก้วมีคุณสมบัติเป็นฉนวน จึงไม่นำไฟฟ้าแม้ว่าจะมีสายไฟฟ้่าเปลือยมาสัมผัส
- 2.2.1.7 ปราศจากสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า ระบบสื่อสารด้วยไฟฟ้่าผ่านตัวนำมักมีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electro-Magnetic Interference : EMI) ตามกฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) เช่น การเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบตัวเมื่อมีกระแสไหล และการเกิดกระแสไหลเมื่อตัวนำอยู่ในสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงเหล่านี้ อาจทำให้เกิดสัญญาณรบกวน (noise) ที่ไม่ต้องการ หรืออาจเกิดครอสทอล์ค (crosstalk) ที่ทำ

ให้สัญญาณจากช่องหนึ่งไปปรากฏเพิ่มในช่องสัญญาณอื่นจากคุณสมบัติการเป็น
ฉนวนของเส้นใยแก้ว ทำให้ไม่มีการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า (No EMI) ส่งผลให้ไม่มี
สัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า

2.2.1.8 ข้อมูลมีความปลอดภัยสูง เนื่องจากในระบบสื่อสารทางไฟฟ้า สัญญาณข้อมูลจะถูก
ส่งผ่านสายตัวนำทองแดง ซึ่งหากมีกานำสายตัวนำอื่นมาสัมผัส หรืออาจไม่มีการ
สัมผัสแต่จะใช้หลักการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า ก็จะสามารถรับรู้สัญญาณนั้นได้
โดยง่าย แต่ถ้าเป็นส่งข้อมูลผ่านเส้นใยแก้ว การรับรู้ข้อมูลไม่สามารถทำได้โดยง่าย
เพราะต้องใช้การตัดเส้นใยแก้วเพื่อส่งสัญญาณเข้ากับเครื่องรับ โดยตรงหรืออุปกรณ์
พิเศษเช่น ออปติคคอลลัปเปอร์ (Optical coupler)

2.2.1.9 มีความทนทานสูง เส้นใยแก้วนำแสงมีอายุการใช้งานที่ยาวนานมาก หากไม่มีแรง
กระทำจากภายนอกมาสร้างความเสียหายแตกหักเสียก่อน เส้นใยแก้วที่ติดตั้งใน
ระบบสื่อสาร สามารถใช้งานได้เป็นร้อยปี เพราะไม่ต้องคำนึงถึงการเสื่อมจาก
สภาพแวดล้อมทางธรรมชาติมากนักเหมือนสายทองแดง ที่ต้องพบปัญหา ทางปฏิกิริยา
เคมี เช่น สนิม ผุกร่อน ทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาโดยรวมไม่มากนัก ทำให้ระ
มีความน่าเชื่อถือสูง

2.2.2 ข้อดีของการใช้เส้นใยแก้วนำแสง

2.2.2.1 เส้นใยแก้วมีความเปราะบางมาก แตกหักได้ง่ายเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ แม้ว่าเส้น
ใยแก้วจะถูกป้องกัน และ โครงสร้างของสายเคเบิล แต่ในการติดตั้งจำเป็นต้องมีการทำงาน
กับเส้นใยแก้วเปลือยอยู่บ้าง จึงต้องใช้ความชำนาญและความระมัดระวังพอสมควร

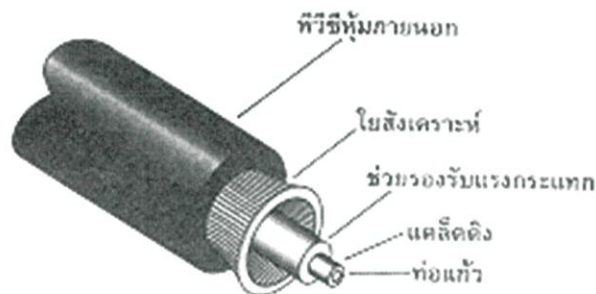
2.2.2.2 เคเบิลเส้นใยแก้วไม่สามารถจัดวางให้มีรัศมีการโค้งงอน้อยๆได้ เหมือนสายไฟ เพราะ
จะทำให้เส้นใยแก้วแตกหักได้

2.2.2.3 ในการติดตั้งระบบสายส่งเคเบิลใยแก้ว ต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์เฉพาะทาง รวมทั้ง
ต้องอาศัยทักษะ ความประณีต และความสะอาด ในการทำงานพอสมควร

2.3 ตัวส่งแสงและรับแสง

การใช้เส้นใยแก้วนำแสงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งสัญญาณแสง อุปกรณ์ที่
ทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณแสงหรือเป็นแหล่งกำเนิดแสงคือ LED หรือเลเซอร์ไดโอด อุปกรณ์ส่ง
แสงนี้ทำหน้าที่เปลี่ยนคลื่นไฟฟ้าให้เป็นคลื่นแสง ส่วนอุปกรณ์รับแสงและเปลี่ยนกลับมาเป็น

สัญญาณไฟฟ้าคือโฟโตรีโอด อุปกรณ์ส่งแสงหรือ LED ใช้พลังงานเพียง 45 ไมโครวัตต์ สำหรับใช้กับเส้นใยแก้วนำแสงแบบ 62.5/125 การพิจารณาอุปกรณ์นี้ต้องดูที่แถบคลื่นแสง โดยปกติใช้คลื่นแสงย่านความยาวคลื่นประมาณ 830 ถึง 850 นาโนเมตร หรือมีแถบกว้างประมาณ 25-40 นาโนเมตร ดังนั้นข้อกำหนดเชิงพิคคของเส้นใยแก้วนำแสงจึงกล่าวถึงความยาวคลื่นแสงที่ใช้ในย่าน 850 นาโนเมตร ตัวรับแสงหรือโฟโตรีโอดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้รับสัญญาณแสงและมีความไวต่อความเข้มแสง คลื่นแสงที่ส่งมา มีการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลเข้าไปร่วมด้วย อุปกรณ์ตัวรับและตัวส่งแสงนี้ มักทำมาสำเร็จเป็น โมดูล โดยเฉพาะเชื่อมต่อเข้ากับสัญญาณข้อมูลที่เป็น ไฟฟ้าได้โดยตรง และทำให้สะดวกต่อการใช้งาน



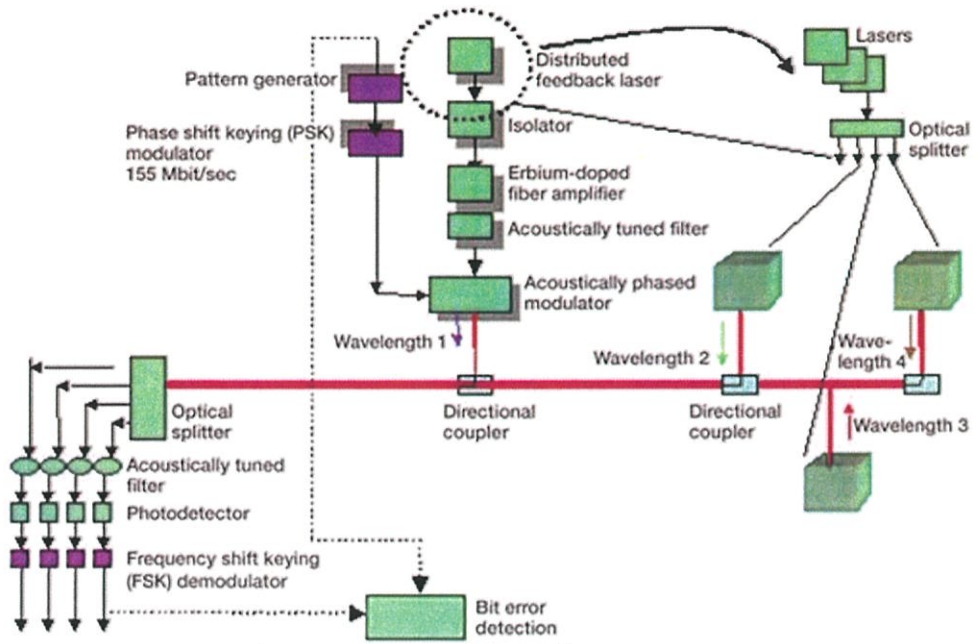
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง

2.4 การสื่อสารใยแก้วนำแสง

การสื่อสารใยแก้วนำแสงเป็นวิธีการส่งข้อมูลจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยการส่งสัญญาณพัลส์ของแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นคลื่นพาหะที่จะดำเนินการสื่อสารข้อมูล ได้มีการพัฒนาครั้งแรกในปี 1970 เส้นใยแก้วนำแสงเป็นระบบการสื่อสารที่เข้ามาปฏิบัติภารกิจสื่อสารโทรคมนาคมของระบบอุตสาหกรรมและมีบทบาทสำคัญในการกำเนิดยุคของข้อมูลข่าวสาร เพราะการใช้แสงในการสื่อสารนั้นมีข้อดีมากกว่าการใช้ทองแดงหรือการส่งข้อมูลผ่านกระแสไฟฟ้า และอย่างแน่นอน

การสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง เป็นระบบการสื่อสารที่ใช้แสงผสมกับข้อมูลที่ต้องการส่งในรูปแบบดิจิทัล แล้วจึงส่งผ่านตัวกลางคือใยแก้วเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 250 ไมครอน ซึ่งมีขนาดเล็กมากทำให้สายเคเบิล 1 เส้น สามารถรวมเอาสายสัญญาณหลายเส้น แสงจะถูกส่งผ่านไปยังตัวรับคือโฟโตรีโอดเพื่อแปลผลค่าสัญญาณจากแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์เป็นผลเป็นข้อมูลอีกครั้งหนึ่ง

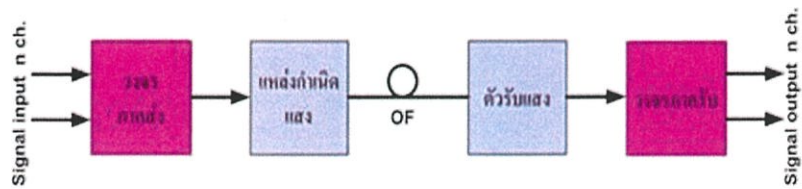
การสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสงมีจุดเด่นคือสามารถส่งสัญญาณหลาย ๆ ช่องไปได้พร้อมๆ กัน โดยใช้เทคนิคการผสมสัญญาณ (multiplexing) ที่นิยมใช้คือการทำ WDM (wavelength division multiplexing) เป็นการส่งสัญญาณแต่ละช่องด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน ทำให้สามารถส่งข้อมูลได้มากกว่ามหาศาลเมื่อเทียบกับการสื่อสารผ่านสายทองแดงแบบเดิม



รูปที่ 2.6 ไดอะแกรมแสดงการสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง

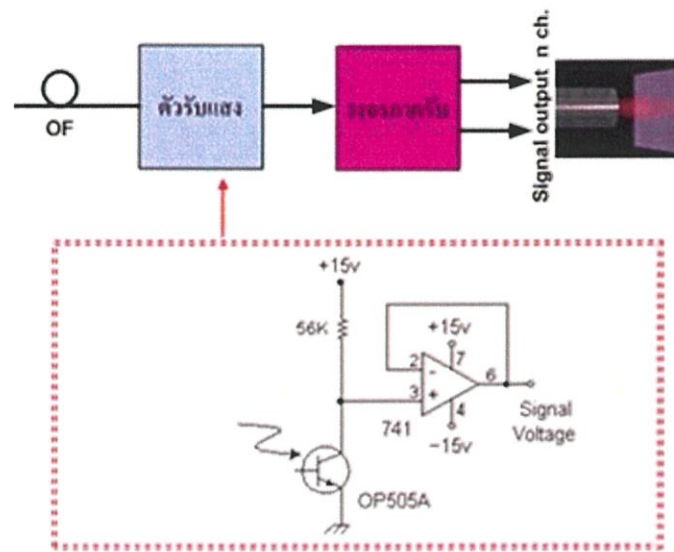
2.5 หลักการรับ-ส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

2.5.1 ภาคส่งสัญญาณ

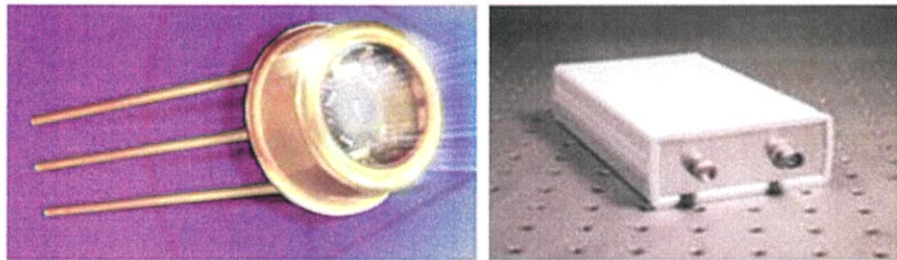


รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะ โครงสร้างของการรับ-ส่ง สัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

2.5.2 ภาครับสัญญาณแสง



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของการรับสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะ โฟโตดีเทกเตอร์ (Photodetector : PD) ที่ใช้รับสัญญาณแสง

ถ้าจะกล่าวถึงภาครับสัญญาณแสง ก็คงจะต้องกล่าวถึงอุปกรณ์รับสัญญาณคือโฟโตดีเทกเตอร์ (Photodetector : PD) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยจะมีโฟโตไดโอด (Photodiode) และ โฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) รวมด้วย

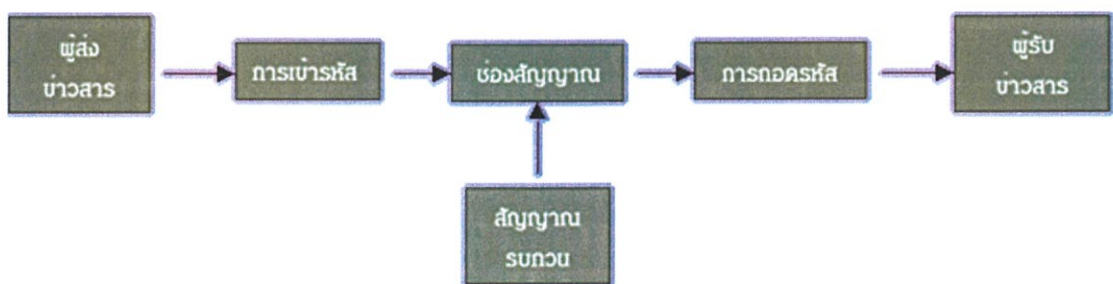
2.6 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบสื่อสาร

องค์ประกอบขั้นพื้นฐานของระบบสื่อสารโทรคมนาคม สามารถจำแนกออกเป็นส่วนประกอบได้ดังต่อไปนี้

- 2.6.1 ผู้ส่งข่าวสารหรือแหล่งกำเนิดข่าวสาร (source) อาจจะเป็นสัญญาณต่าง ๆ เช่น สัญญาณภาพ ข้อมูล และเสียง เป็นต้น ในการติดต่อสื่อสารสมัยก่อน

อาจจะใช้แสงไฟ คิวไฟ หรือท่าทางต่าง ๆ ก็นับว่าเป็นแหล่งกำเนิดข่าวสาร จัดอยู่ในหมวดหมู่นี้เช่นกัน

- 2.6.2 ผู้รับข่าวสารหรือจุดหมายปลายทางของข่าวสาร (sink) ซึ่งจะรับรู้จากสิ่งที่ผู้ส่งข่าวสาร หรือแหล่งกำเนิดข่าวสารส่งผ่านมาให้ทราบใดที่ การติดต่อสื่อสารบรรลุวัตถุประสงค์ ผู้รับสารหรือจุดหมายปลายทางของข่าวสาร ก็จะได้รับข่าวสารนั้น ๆ ถ้าผู้รับสารหรือจุดหมาย ปลายทางไม่ได้รับข่าวสาร ก็แสดงว่าการสื่อสารนั้นไม่ประสบความสำเร็จ
- 2.6.3 ช่องสัญญาณ (channel) หมายถึงสื่อกลางหรือตัวกลางที่ข่าวสารเดินทางผ่าน อาจจะเป็นอากาศ สายนำสัญญาณต่าง ๆ หรือแม้กระทั่งของเหลว เช่น น้ำ น้ำมัน เป็นต้น
- 2.6.4 การเข้ารหัส (encoding) เป็นการช่วยให้ผู้ส่งข่าวสารและผู้รับข่าวสารมีความเข้าใจตรงกันในการสื่อความหมาย จึงมีความจำเป็นต้องแปลงความหมายนี้ การเข้ารหัสจึงหมายถึงการแปลงข่าวสารให้อยู่ในรูป พลังงาน ที่พร้อมจะส่งไปในสื่อกลาง ทางผู้ส่งมีความเข้าใจต้องตรงกันระหว่างผู้ส่งและผู้รับ หรือมีรหัสเดียวกัน การสื่อสารจึงเกิดขึ้นได้
- 2.6.5 การถอดรหัส (decoding) หมายถึง การที่ผู้รับข่าวสารแปลงพลังงานจากสื่อกลาง ให้กลับไปอยู่ในรูปข่าวสารที่ส่งมาจากผู้ส่งข่าวสาร โดยมีความเข้าใจในหรือรหัสตรงกัน
- 2.6.6 สัญญาณรบกวน (noise) เป็นสิ่งที่มีอยู่ในธรรมชาติ มักจะลดทอนหรือรบกวนระบบ อาจเกิดขึ้นได้ทั้งทางด้านผู้ส่งข่าวสาร ผู้รับข่าวสาร และช่องสัญญาณ



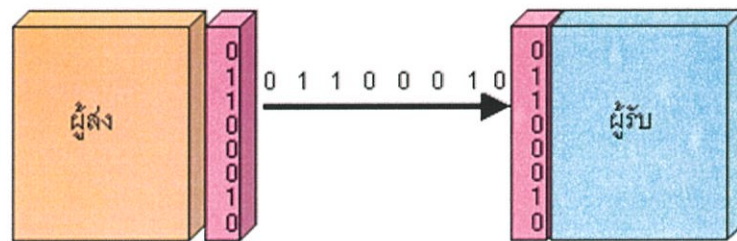
รูปที่ 2.10 องค์ประกอบพื้นฐานของการสื่อสาร

2.7 ชนิดของการสื่อสารข้อมูล

วิธีการสื่อสารข้อมูล (DATA TRANSMISSION) ลักษณะของการสื่อสารข้อมูล มี 2 รูปแบบคือ การสื่อสารแบบอนุกรม (serial data transmission) และการสื่อสารแบบขนาน (parallel data transmission) การสื่อสารแต่ละรูปแบบมีรายละเอียดดังนี้

2.7.1 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม (serial data transmission)

เป็นการส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต ไปบนสัญญาณจนครบจำนวนข้อมูลที่มีอยู่ สามารถนำไปใช้กับสื่อที่มีเพียง 1 ช่องสัญญาณได้ สื่อที่มี 1 ช่องสัญญาณนี้จะมีราคาถูกกว่าสื่อที่มีหลายช่องสัญญาณ และเนื่องจากการสื่อสารแบบอนุกรมนี้อาจมีการส่งข้อมูลได้ครั้งละ 1 บิตเท่านั้น การส่งข้อมูลประเภทนี้จึงช้ากว่าการส่งข้อมูลครั้งละหลายบิต



รูปที่ 2.11 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

2.7.2 การสื่อสารข้อมูลแบบขนาน (parallel data transmission)

เป็นการส่งข้อมูลครั้งละหลายบิตขนานกัน ไปบนสื่อที่มีหลายช่องสัญญาณ วิธีนี้จะเป็นวิธีการส่งข้อมูลที่เร็วกว่าการส่งข้อมูลแบบอนุกรมจากการแสดงการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ 2 ตัว ที่มีการส่งข้อมูลแบบขนาน โดยส่งข้อมูลครั้งละ 8 บิตพร้อมกัน



รูปที่ 2.12 การสื่อสารข้อมูลแบบขนาน

2.8 รูปแบบการสื่อสารข้อมูล

รูปแบบการสื่อสารข้อมูล แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.8.1 การส่งข้อมูลแบบไม่ประสานจังหวะ (asynchronous transmission)

เป็นวิธีการส่งข้อมูลไปบนสื่อนำข้อมูล โดยข้อมูลที่ส่งไปนั้นไม่มีจังหวะการส่งข้อมูล แต่จะส่งเป็นชุดๆ มีช่องว่าง (gap) อยู่ระหว่างข้อมูล แต่ละชุดเพื่อใช้แบ่งข้อมูลออกเป็นชุดๆ เมื่อเริ่มต้นส่งข้อมูลแต่ละชุดจะมีสัญญาณบอกจุดเริ่มต้นของข้อมูลขนาด 1 บิต (start bit) และมีสัญญาณบอกจุดสิ้นสุดของข้อมูลขนาด 1 บิต (stop bit) ตัวอย่างเช่น ถ้าขนาดข้อมูลแต่ละชุดมีขนาด 8 บิต ลักษณะของการส่งข้อมูลจะมีลำดับ ดังนี้คือ สัญญาณบอกจุดเริ่มต้นขนาด 1 บิต ข้อมูล 8 บิต และสัญญาณบอกจุดสิ้นสุด 1 บิต ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบไม่ประสานจังหวะ เช่น การส่งข้อมูล ของเป็นพิมพ์ และ โมเด็ม เป็นต้น

2.8.2 การส่งข้อมูลแบบประสานจังหวะ (synchronous transmission)

เป็นการส่งข้อมูลไปบนสื่อนำข้อมูลที่มีลักษณะเป็นกลุ่มของข้อมูลที่ต่อเนื่องกันอย่างเป็นจังหวะ โดยใช้สัญญาณนาฬิกาเป็นตัวบอกจังหวะ เหล่านี้การส่งข้อมูลวิธีนี้จะไม่มีช่องว่าง (gap) ระหว่างข้อมูลแต่ละชุดและไม่มีสัญญาณบอกจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการส่งข้อมูลแบบประสานจังหวะนิยมใช้กับการส่งข้อมูล ของระบบคอมพิวเตอร์ ที่มีการส่งข้อมูล ปริมาณมากๆ ด้วยความเร็วสูง

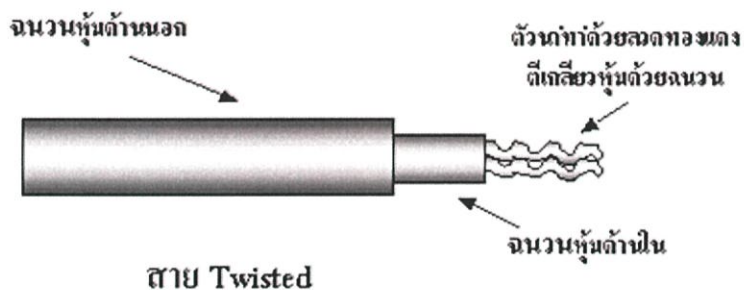
2.9 การวิเคราะห์ระบบการสื่อสารข้อมูล

ระบบการสื่อสารข้อมูลมีหลายชนิด ซึ่งอาจจำแนกได้เป็น 2 ประเภทคือประเภทมีสาย ได้แก่ สายคู่ไขว้ (Wire pair หรือ Twisted pair หรือสายโทรศัพท์, สายตัวนำร่วมแกน(Coaxial Cables), เส้นใยนำแสง หรือ ไฟเบอร์ออฟติกส์ (Fiber optics) ประเภทไม่มีสาย ได้แก่ ไมโครเวฟ (Microwave) และดาวเทียม, การสื่อสารดาวเทียม (Stellite Transmission) ประเภทของการสื่อสารสามารถแบ่งออกได้เป็นดังนี้

2.9.1 ประเภทมีสาย

2.9.1.1 สายเกลียวคู่ (Twisted pair Cable)

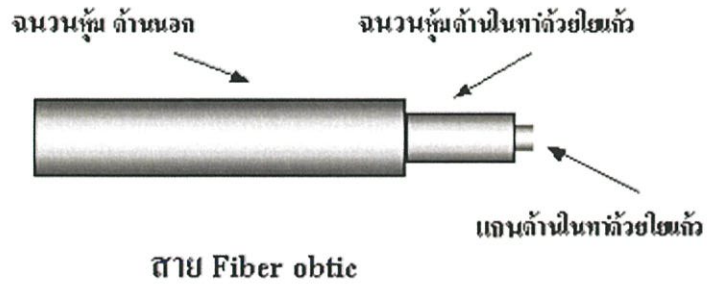
สายเกลียวคู่ เป็นสายที่มีราคาถูกที่สุด ประกอบด้วยสายทองแดง 2 เส้น แต่ละเส้นมีฉนวนหุ้มพันกันเป็นเกลียว สามารถลดการรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ แต่ไม่สามารถป้องกันการสูญเสียพลังงานจากการแผ่รังสีความร้อน ในขณะที่มีสัญญาณส่งผ่านสาย สายเกลียวคู่ 1 คู่ จะแทนการสื่อสารได้ 1 ช่องทางสื่อสาร (Channel) ในการใช้งานจริงเช่นสายโทรศัพท์จะเป็นสายรวมที่ประกอบด้วยสายเกลียวคู่อยู่ภายในเป็นร้อยๆ คู่ สายเกลียวคู่ 1 คู่ จะมีขนาดประมาณ 0.016-0.036 นิ้ว



รูปที่ 2.13 สายเกลียวคู่

2.9.1.2 สายไฟเบอร์ออปติก

สายเกลียวคู่สามารถใช้ได้ทั้งการส่งสัญญาณข้อมูลแบบอนาล็อก และแบบดิจิทัล เนื่องจากสายเกลียวคู่จะมี การสูญเสียสัญญาณขณะส่งสัญญาณ จึงจำเป็นต้องมี "เครื่องขยาย" (Amplifier) สัญญาณ สำหรับการส่งสัญญาณข้อมูลแบบอนาล็อก ในระยะทางไกลๆหรือทุก 5-6 กม. ส่วนการส่งสัญญาณข้อมูลแบบดิจิทัลต้องมี "เครื่องทบทวน" (Repeater) สัญญาณทุกๆ ระยะ 2-3 กม. เพราะว่าแต่ละคู่ของสายเกลียวคู่จะแทนการทำงาน 1 ช่องทาง และสามารถมีแบนด์วิดท์ได้กว้างถึง 250 กิโลเฮิร์ตซ์ ดังนั้นในการส่งข้อมูลไปพร้อมกันหลายๆช่องทางจำเป็นต้องอาศัยหลักการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ เพื่อให้สัญญาณทั้งหมดสามารถส่งผ่านสายสื่อสารไปได้พร้อมๆกันในการมัลติเพล็กซ์แบบ FDM จะสามารถส่งสัญญาณข้อมูลได้ถึง 24 ช่องทางๆละ 74 กิโลเฮิร์ตซ์ส่วนของอัตราเร็วสูงสุดในการส่งข้อมูลดิจิทัลผ่านของสายเกลียวคู่สามารถมีได้ถึง 4 เมกะบิตต่อวินาที แต่ถ้เป็นการส่งข้อมูลผ่านโมเด็ม จะส่งได้ด้วยอัตราเร็วสูงสุด 9,600 บิตต่อวินาทีสายไฟเบอร์ออปติก



รูปที่ 2.14 สายไฟเบอร์อปติก

หลักการทั่วไปของการสื่อสารในสายไฟเบอร์อปติก คือการเปลี่ยนสัญญาณ (ข้อมูล) ไฟฟ้า ให้เป็นคลื่นแสงก่อน จากนั้นจึงส่งออกไปเป็นพัลส์ของแสง ผ่านสายไฟเบอร์อปติก สายไฟเบอร์อปติกทำจากแก้วหรือพลาสติกสามารถส่งลำแสง ผ่านสายได้ที่ละ หลากๆลำแสงด้วยมุมที่ต่างกัน ลำแสงที่ส่งออกไปเป็นพัลส์นั้นจะสะท้อนกลับ ไปมาที่ผิวของสายชั้นในจนถึงปลายทางจาก สัญญาณข้อมูลซึ่งอาจจะเป็นสัญญาณอนาล็อก หรือดิจิทัล จะผ่านอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่มอดูเลต สัญญาณเสียก่อน จากนั้นจะส่งสัญญาณมอดูเลตผ่านตัวไดโอดซึ่งมี 2 ชนิดคือ LED ไดโอด (light Emitting Diode) และเลเซอร์ไดโอด หรือ ILD ไดโอด (Injection Laser Diode) ไดโอดจะมีหน้าที่ เปลี่ยนสัญญาณมอดูเลตให้เป็นลำแสงเลเซอร์ซึ่งเป็นคลื่นแสงในย่านที่มองเห็นได้ หรือเป็นลำแสง ในย่านอินฟราเรดซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ ความถี่ย่านอินฟราเรดที่ใช้จะอยู่ในช่วง 1014-1015 เฮิร์ตซ์ ลำแสงจะถูกส่งออกไปตามสายไฟเบอร์อปติก เมื่อถึงปลายทางก็จะมีตัว โฟโตไดโอด (Photo Diode) ที่ทำหน้าที่รับลำแสงที่ถูกส่งมาเพื่อเปลี่ยนสัญญาณแสงให้กลับไปเป็นสัญญาณมอดูเลต ตามเดิมจากนั้นก็ส่งสัญญาณผ่านเข้าอุปกรณ์ดีมอดูเลต เพื่อทำการดีมอดูเลตสัญญาณมอดูเลตให้เหลือแต่สัญญาณข้อมูลที่ต้องการ

สายไฟเบอร์อปติก สามารถมีแบนด์วิดท์(BW)ได้กว้างถึง 3 จิกะเฮิร์ตซ์ (1 จิกะ = 10⁹)และมีอัตราเร็วในการส่งข้อมูลได้ถึง 1 จิกะบิต ต่อวินาที ภายในระยะทาง 100 กม. โดยไม่ต้องการเครื่องทบทวนสัญญาณเลย สายไฟเบอร์อปติก สามารถมีช่องทางสื่อสารได้มากถึง 20,000-60,000 ช่องทาง สำหรับการส่งข้อมูลในระยะทางไกลๆไม่เกิน 10 กม. จะสามารถมีช่องทาง ได้มากถึง 100,000 ช่องทางที่เดียวความผิดพลาดในการส่งข้อมูลผ่านสายไฟเบอร์อปติกนั้นมีน้อยมาก คือประมาณ 1 ใน 10 ล้านบิตต่อการส่ง 1,000 ครั้งเท่านั้น ทั้งยังป้องกันการรบกวนจาก สัญญาณภายนอกได้โดยสิ้นเชิง แม้ว่าการส่งข้อมูลผ่านทางสายไฟเบอร์อปติก จะทำได้อย่างมีประสิทธิภาพยอดเยี่ยม และจำนวนมหาศาลดังกล่าวมาแล้วก็ตามแต่เราต้องคำนึงถึงปัญหาและความเหมาะสมบางประการอีกด้วย

ราคา ทั้งสายไฟเบอร์อปติก และอุปกรณ์ประกอบการทั้งหลาย มีราคาสูงกว่าการส่งสัญญาณผ่าน

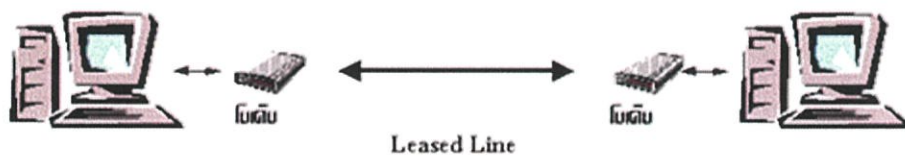
สายเคเบิลธรรมดา

อุปกรณ์พิเศษสำหรับการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นคลื่นแสง และจากคลื่นแสงกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า และยังมีเครื่องทบทวนสัญญาณอีก อุปกรณ์ดังกล่าวเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ซึ่งมีความซับซ้อน และราคาแพงมาก

เทคนิคในการติดตั้งระบบ เนื่องจากสายไฟเบอร์ออปติกมีความแข็งแรงแต่เปราะจึงยากต่อการเดินสายไฟตามที่ต่างๆ ได้ตามที่ต้องการ อีกทั้งการเชื่อมต่อระหว่างสายก็ทำได้ยากมาก เพราะต้องระวังไม่ให้เกิดการหักเห

2.9.1.3 สายโทรศัพท์ที่ใช้ในระบบการสื่อสารข้อมูล ผู้ขอใช้สายโทรศัพท์อาจทำได้ 2 วิธี คือ แบบเช่าสาย และแบบหมุนหมายเลข

2.9.1.4 แบบเช่าสาย (Leased Line) เป็นการต่อเชื่อมระหว่างผู้รับและผู้ส่งโดยตรง โดยผ่านการเช่าสายจากองค์การโทรศัพท์



รูปที่ 2.15 แบบเช่าสาย

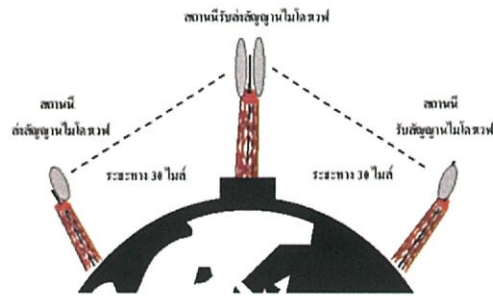
2.9.1.5 แบบหมุนหมายเลข (Dial Access) เป็นการขอใช้สายโทรศัพท์ธรรมดา เมื่อใดที่ต้องการใช้สายโทรศัพท์ ก็ใช้วิธีขอต่อสายโทรศัพท์แบบเดียวกับการใช้โทรศัพท์



รูปที่ 2.16 แบบหมุนหมายเลข

2.9.2 ประเภทไม่มีสาย

2.9.2.1 ระบบไมโครเวฟ (Microwave System)

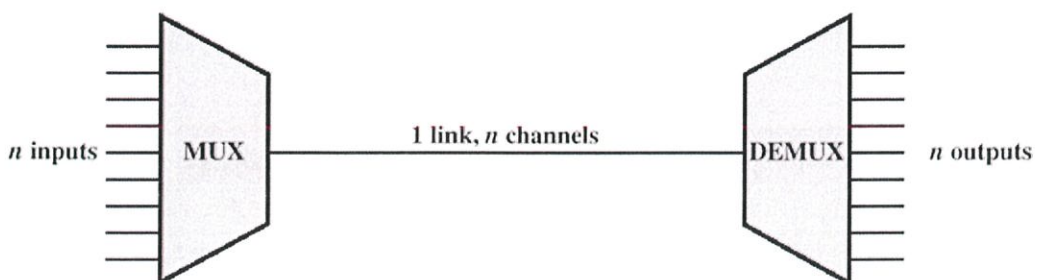


รูปที่ 2.17 ระบบไมโครเวฟ

การส่งสัญญาณข้อมูลไปกลับคลื่นไมโครเวฟเป็นการส่งสัญญาณข้อมูลแบบรับช่วงต่อๆ กัน จากหอ(สถานี) ส่ง-รับสัญญาณหนึ่งไปยังอีกหอหนึ่ง การส่งสัญญาณข้อมูลไมโครเวฟ มักใช้กันในกรณีที่ต้องการติดตั้งสายเคเบิลทำได้ไม่สะดวก เช่น ในเขตเมืองใหญ่ๆหรือในเขตที่ป่าเขาแต่ละสถานีไมโครเวฟจะติดตั้งงานส่ง-รับสัญญาณข้อมูล ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 ฟุต สัญญาณไมโครเวฟเป็นคลื่นย่านความถี่สูง (2-10 จิกะเฮิรตซ์) เพื่อป้องกันการแทรกหรือรบกวนจากสัญญาณอื่น ๆ แต่สัญญาณอาจจะอ่อนลง หรือหักเหได้ในที่มีอากาศร้อนจัด พายุหรือฝน ดังนั้นการติดตั้งงาน ส่ง-รับสัญญาณจึงต้องให้หันหน้าของจานตรงกัน และหอยิ่งสูงยิ่งส่งสัญญาณได้ไกล ปัจจุบันมีการใช้การส่งสัญญาณข้อมูลทางไมโครเวฟกันอย่างแพร่หลาย สำหรับการสื่อสารข้อมูลในระยะทางไกลๆหรือระหว่างอาคาร โดยเฉพาะในกรณีที่ไม่สะดวกที่จะใช้สายไฟเบอร์ออปติกหรือการสื่อสารดาวเทียม อีกทั้งไมโครเวฟยังมีราคาถูกกว่า และติดตั้งได้ง่ายกว่า และสามารถส่งข้อมูลได้คราวละมากๆด้วย อย่างไรก็ตามปัจจัยสำคัญที่ทำให้สื่อกลางไมโครเวฟเป็นที่นิยม คือราคาที่ถูกกว่า

2.10 Multiplexing หรือการรวมสัญญาณ

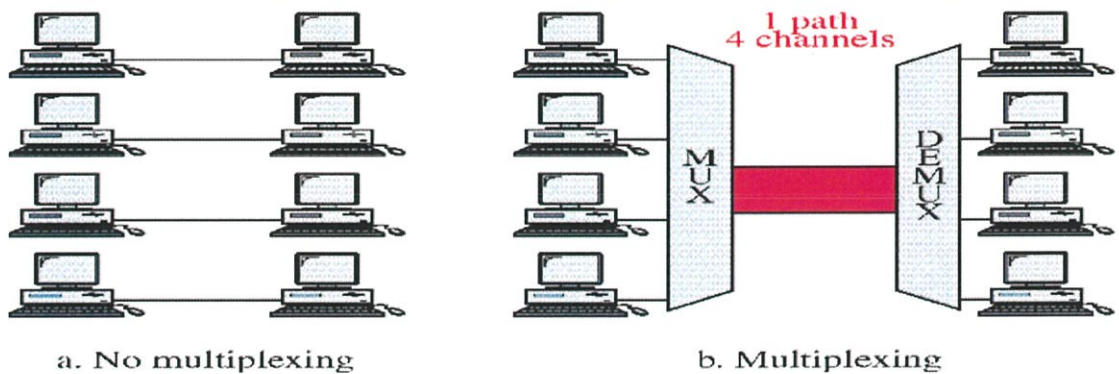
Multiplexing คือกระบวนการทางเทคนิคที่สร้างขึ้นเพื่อนำมาใช้ในการส่งข้อมูล (Transmission) หลายตัวไปพร้อมกัน (สามารถส่งข้อมูลหลาย ๆ ตัวไปในสายเดียวกัน)



รูปที่ 2.18 Multiplexing

Multiplexing เกิดขึ้นเมื่อใด

เมื่อใดก็ตามที่ความจุของสายสื่อสารมีการส่งมากกว่า 1 อุปกรณ์มีการส่งออกไปยังผู้รับที่มากกว่า 1 เครื่อง เมื่อนั้น link สามารถที่จะ share สายสื่อสารให้สามารถส่งออกไปพร้อมกันได้โดยแยกไปส่งผู้รับแต่ละคน Multiplexing จะยอมให้ผู้ส่งหลายคนสามารถที่จะ share ความจุของสายสื่อสารร่วมกัน ปัญหาเกี่ยวกับการติดขัด เมื่อผู้ใช้มากก็ทำให้ติดขัดมากขึ้น จะแก้ปัญหาโดยการ ใช้ link ที่กว้าง เช่น coaxial cable , optical fiber , terrestrial หรือ sateline microwave



รูปที่ 2.19 Multiplexing และ No Multiplexing

2.10.1 ประเภทของ Multiplexing

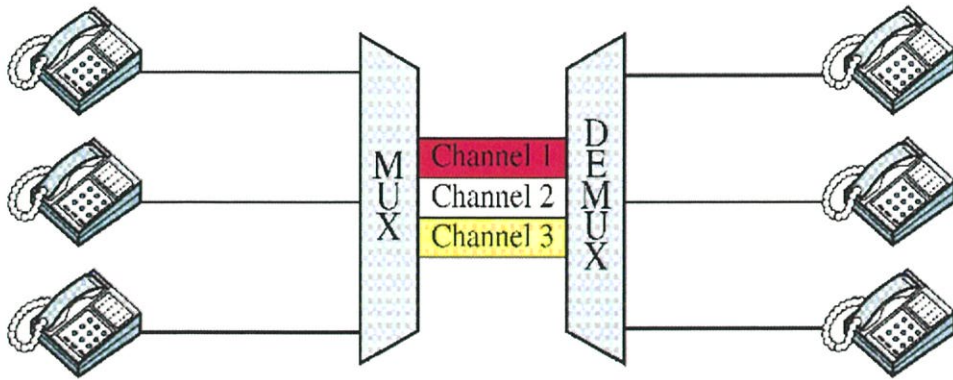
2.10.1.1 Frequency - Division Multiplexing (FDM)

2.10.1.1.1 Frequency - Division Multiplexing (FDM) ใช้เกี่ยวกับสัญญาณ Analog ใช้ต่อเมื่อสายส่งสัญญาณกว้างพอที่จะรองรับหลาย ๆ สัญญาณได้

2.10.1.1.2 ประโยชน์คือความกว้างของสัญญาณมาก

2.10.1.1.3 ในแต่ละสัญญาณถูกเปลี่ยน โดยใช้ carrier frequency

2.10.1.1.4 หลังจากส่งแต่ละสัญญาณจะไม่กวนกัน เช่น broadcast radio ช่องสัญญาณถูกยกให้แม้ไม่มีข้อมูลที่จะส่ง



รูปที่ 2.20 Frequency - Division Multiplexing (FDM)

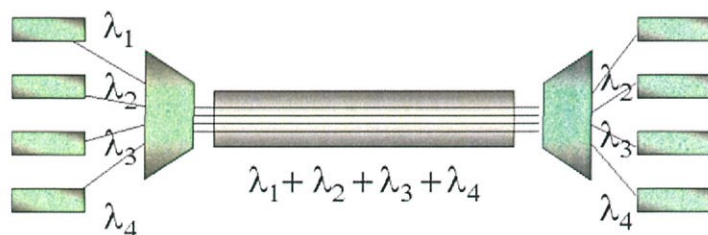
2.10.1.2 Wave - Division Multiplexing(WDM)

2.10.1.2.1 มี concept ให้ FDM ยกเว้น DeMultiplexing ที่รวมและส่งในสาย fiber optic

2.10.1.2.2 รวมเอาคลื่นที่มีความถี่แตกต่างกันที่มีความถี่สูงออกไปพร้อม ๆ กัน

2.10.1.2.3 หลักการง่าย ๆ แต่เทคโนโลยีซับซ้อน

2.10.1.2.4 แยกคลื่นแสงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า หลักการเหมือน FDM เพราะใช้ความถี่ในการทำแต่เทคโนโลยีซับซ้อนเพราะมีการหักเหของแสง

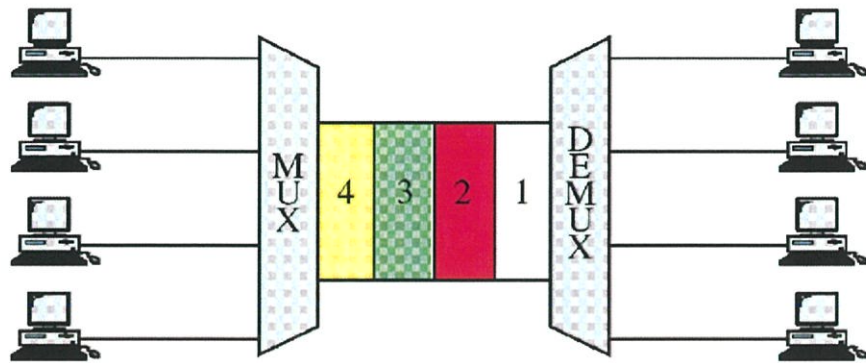


รูปที่ 2.21 Wave - Division Multiplexing(WDM)

2.10.1.3 Time - Division Multiplexing (TDM)

2.10.1.3.1 Time - division multiplexing (TDM) คือการประมวลผล digital ความจุของ link

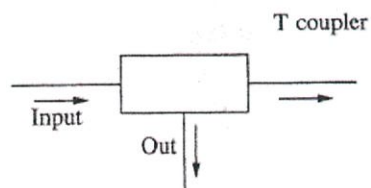
2.10.1.3.2 จะต้องใหญ่กว่าข้อมูลที่ต้องการส่งหรือรับ



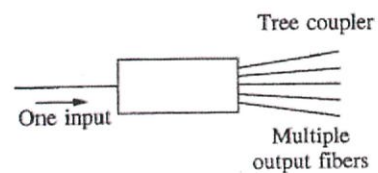
รูปที่ 2.22 Time - Division Multiplexing

2.11 คู่ควบ (couplers)

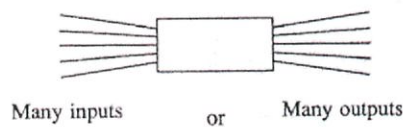
คู่ควบเป็นอุปกรณ์ที่ทำจากใยแก้วนำแสงซึ่งใช้สำหรับการแยกหรือรวมสัญญาณแสง โดยอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ ชนิด $1 \times N$ และ $M \times N$ คู่ควบที่มีทางเข้าของแสง 1 ทาง และมีทางออกของแสง N ทาง จะเรียกว่า อุปกรณ์แยกแสง (splitter) แต่ถ้ามีทางเข้าของแสง N ทาง และมีทางออกของแสง 1 ทาง จะเรียกว่า อุปกรณ์รวมแสง (combiner) และถ้ามีทางเข้าของแสง M ทาง และมีทางออกของแสง N ทาง อาจเรียกว่า อุปกรณ์คู่ควบแบบดาว (star couplers) ลักษณะของคู่ควบแบบต่างๆสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.37



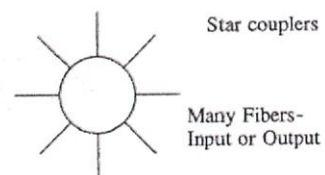
(ก)



(ข)



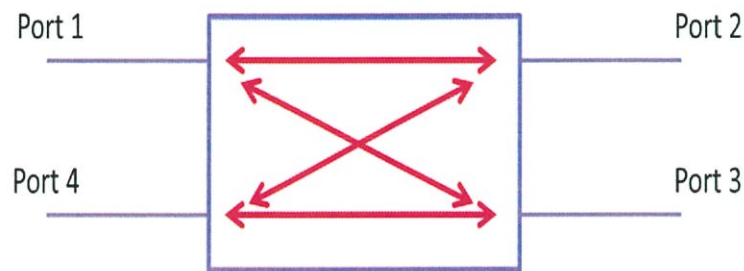
(ค)



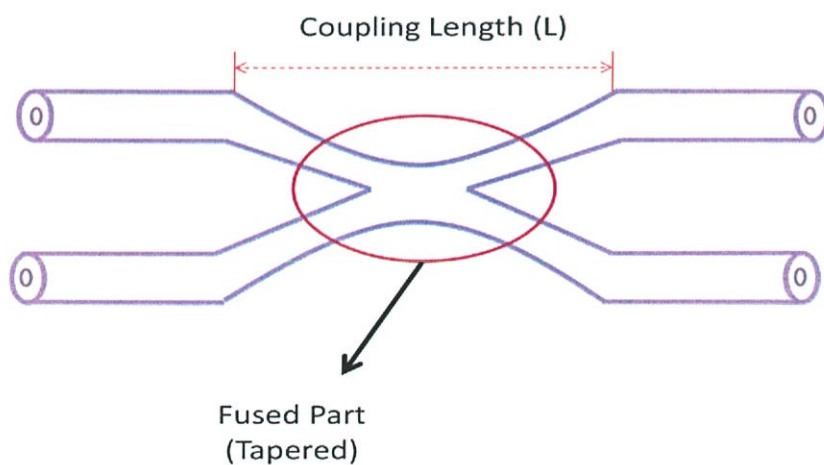
(ง)

รูปที่ 2.23 แสดงลักษณะของคู่ควบแบบต่างๆ

พิจารณาตู้ควมแบบ 2x2 ซึ่งมีพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตอย่างละ 2 พอร์ต ดังแสดงในรูปที่ 2.38 การทำอุปกรณ์นี้ต้องอาศัยเทคโนโลยีขั้นสูงทางทัศนศาสตร์จุลภาค (Micro-Optic) ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อทำให้การสื่อสารเครือข่ายใยแก้วนำแสงสามารถใช้อุปกรณ์ทางแสงทั้งหมดได้ (All Optical Networks) ซึ่งการเชื่อมต่อตู้ควมแบบ 2x2 นี้สร้างขึ้นด้วยวิธีการหลอมรวมใยแก้วเข้าด้วยกัน โดยมีส่วนที่สัมผัสหรือเชื่อมติดกัน (Coupling length, L) ซึ่งจะเป็นตู้ควมเชิงแสงชนิด Cross coupling ดังแสดงในรูปที่ 2.39 โดยแต่ละอินพุตและเอาต์พุตมีส่วนที่สัมผัสหรือ Coupling ที่ทำให้เกิดการส่งผ่านสัญญาณระหว่างเส้นใยแก้วทั้งสองได้โดยสามารถกำหนดค่าการ Coupling และ พอร์ตของสัญญาณได้



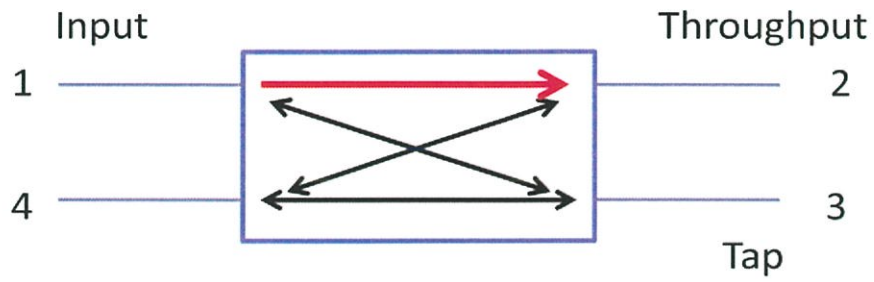
รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะตู้ควมแบบ 2x2



รูปที่ 2.25 แสดงลักษณะการเชื่อมติดกันของตู้ควมแบบ 2x2 (แบบ Cross coupling)

2.11.1 การสูญเสียของตู้ควม (Loss)

2.11.1.1 Throughput loss

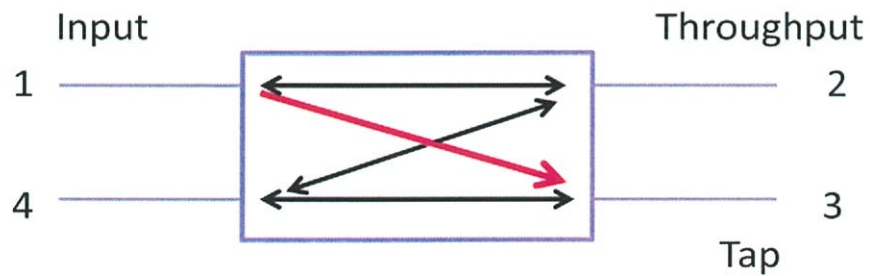


รูปที่ 2.26 ลักษณะของ Throughput loss

$$L_{\text{THP}} = -10 \log \frac{P_2}{P_1} \quad (1)$$

Throughput loss จะเกิดขึ้นระหว่างที่แสงถูกส่งผ่านจากอินพุตพอร์ต 1 ไปยังพอร์ต 2

2.11.1.2 Tap loss

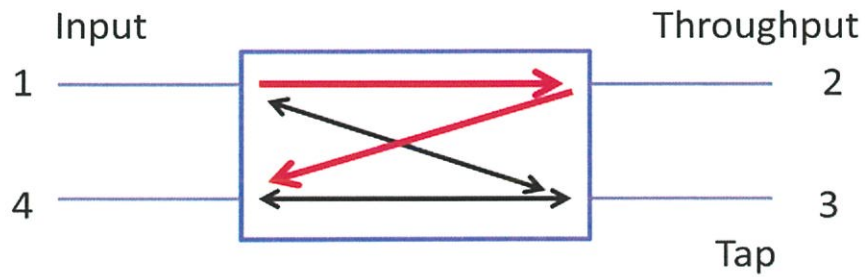


รูปที่ 2.27 ลักษณะของ Tap loss

$$L_{\text{TAP}} = -10 \log \frac{P_3}{P_1} \quad (2)$$

Tap loss จะเกิดขึ้นระหว่างที่แสงถูกส่งผ่านจากอินพุตพอร์ต 1 ไปยังพอร์ต 3

2.11.1.3 Directionality loss

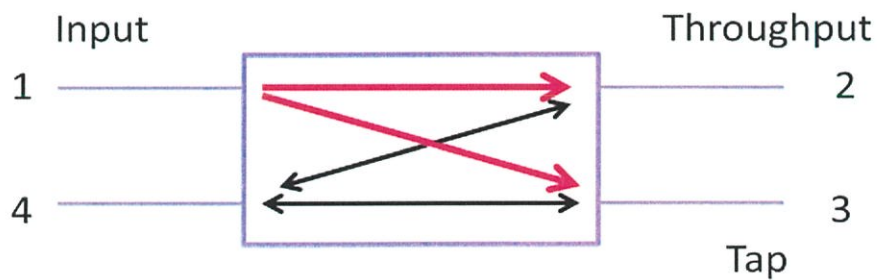


รูปที่ 2.28 ลักษณะของ Directionality

$$L_D = -10 \log \frac{P_4}{P_1} \quad (3)$$

Directionality จะเกิดขึ้นระหว่างที่แสงถูกส่งผ่านจากอินพุตพอร์ต 1 ไปยังพอร์ต 2 และเกิดการสะท้อนจากพอร์ต 2 ไปยังพอร์ต 4 โดยที่พอร์ต 4 จะต้องไม่มีแสงผ่านออกมาเลยซึ่งจะทำให้มีการสูญเสียภายในพอร์ตน้อยมาก ๆ หรือไม่มีเลย

2.11.1.4 Excess loss

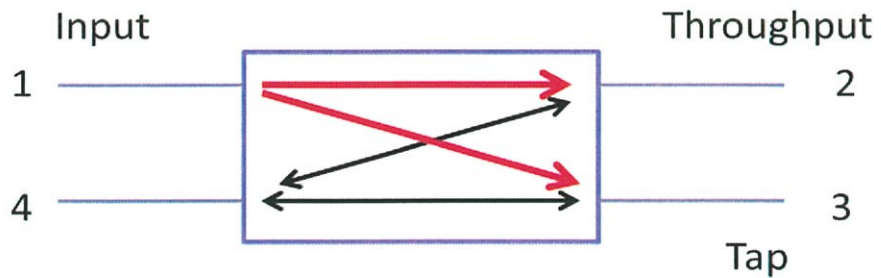


รูปที่ 2.29 ลักษณะของ Excess loss

$$L_E = -10 \log \frac{P_2 + P_3}{P_1} \quad (4)$$

Excess loss จะเกิดขึ้นระหว่างที่แสงถูกส่งผ่านจากอินพุตพอร์ต 1 ไปยังพอร์ต 2 และ พอร์ต 1 ไปยังพอร์ต 3

2.11.1.5 Ideal coupler



รูปที่ 2.30 ลักษณะของ Ideal coupler

เมื่อพอร์ต 4 ไม่มีการสูญเสียเกิดขึ้น ($L_D = \infty$)

$$L_D = -10 \log \frac{P_4}{P_1} ; (P_4 = 0) \quad (5)$$

**ซึ่งจะต้องไม่มีการสูญเสียภายในเกิดขึ้น ($P_2 + P_3 = P_1$)

$$L_E = -10 \log \frac{P_2 + P_3}{P_1}$$

$$\text{และ } P_2 + P_3 = P_1$$

$$L_E = -10 \log \frac{P_1}{P_1} = 0$$

**ดังนั้น Ideal coupler จะต้องมี Excess loss เป็น 0

2.11.1.6 Directional coupler

Directional coupler ที่ดีควรมี Excess loss น้อยกว่า 1 dB และ Directionality จะต้องมากกว่า 40 dB

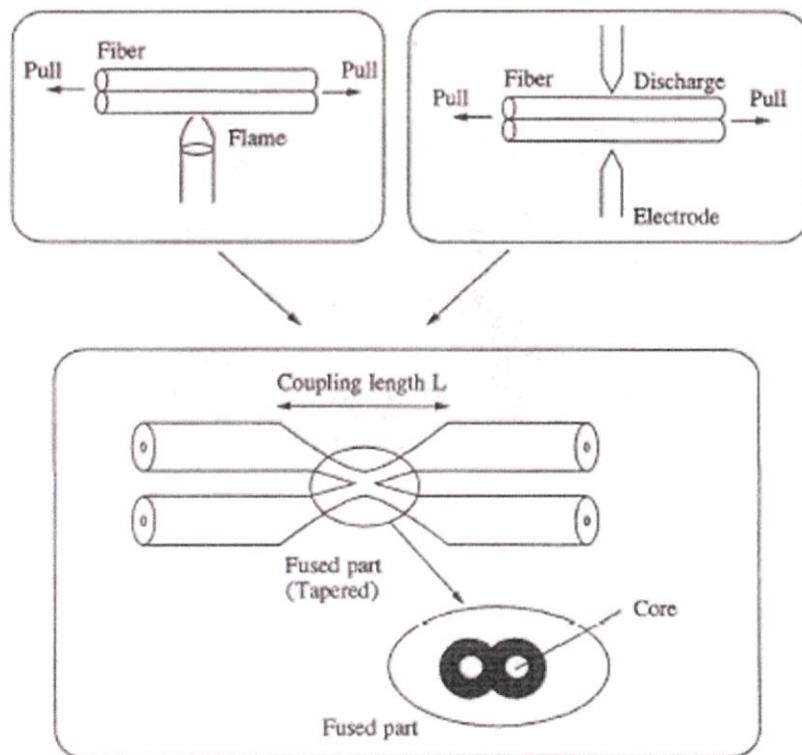
$$\text{Splitting ratio คือ } P_2/P_3 \quad (6)$$

2.11.2 กระบวนการผลิตคู่ควบ

คู่ควบสามารถที่จะผลิตได้หลากหลายวิธีการได้แก่

2.11.2.1 วิธีหลอมรวม (Fusion-Drawing Technique)

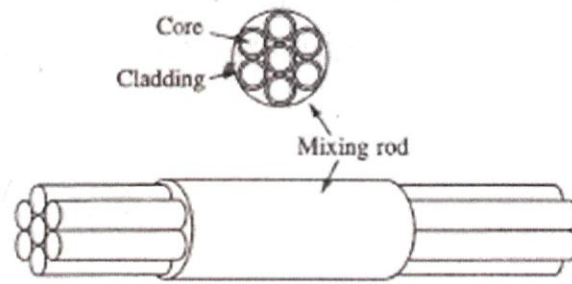
วิธีการสร้างคู่ควบโดยนำเส้นใยแก้วนำแสงมาประกบรวมกันบิดเส้นใยนำแสง หลังจากนั้นให้ความร้อนบริเวณตรงกลางที่เส้นใยแก้วนำแสงบิดรวมกัน พร้อมทั้งกันนั้นให้ดึงเส้นใยแก้วนำแสงออกจากกัน บริเวณนี้จะกลายเป็นบริเวณรวมแสง (Coupling region) ดังรูปที่ 2.45 ที่บริเวณนี้สัญญาณแสงที่เข้าทางอินพุตจะกระจายแสงไปยังเส้นใยแก้วนำแสงอื่นๆ ค่าความสูญเสียแบบ แอ็กเซส (excess loss) จะมีค่าอยู่ในช่วง 1 dB-2.5dB



รูปที่ 2.31 แสดงวิธีสร้างคู่ควบด้วยวิธีการหลอมรวม

2.11.2.2 วิธีแกนร่วม (Mixing Rod Technique)

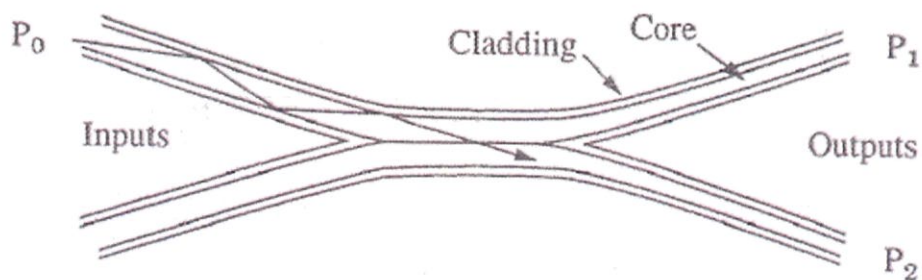
วิธีการสร้างคู่ควบโดยนำเส้นใยแก้วนำแสงมารวมกันด้วยแกนร่วมในการเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง ส่วนของแกนร่วมทำหน้าที่เป็นบริเวณรวมแสงดังรูปที่ 2.46



รูปที่ 2.32 แสดงคู่ควบสร้างด้วยวิธีแกนร่วม

2.11.2.3 วิธีการขัดและเชื่อมติด (Polishing And Joining Technique)

วิธีการสร้างคู่ควบ โดยนำเส้นใยแก้วนำแสง 2 เส้น ขัดที่ผิวข้างและเชื่อมติดเส้นใยแก้วทั้งสองด้วยกาว สร้างเป็นคู่ควบแบบ 2x2 บริเวณที่เส้นใยแก้วนำแสงเชื่อมต่อกันด้วยกาวทำหน้าที่เป็นบริเวณรวมแสง วิธีการเช่นนี้ยังสามารถทำเป็นคู่ควบแบบพาสซีฟ MxM ได้เช่นกัน



รูปที่ 2.33 แสดงคู่ควบที่สร้างโดยวิธีการขัดและเชื่อมติด

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาทฤษฎีในบทที่ 2 พบว่าหลักการที่เกี่ยวข้องกับระบบการรับ-ส่งสัญญาณ โดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงเป็นตัวกลางในการส่งข้อมูล ซึ่งเป็นส่วนช่วยในการตัดสินใจถึงวิธีการขั้นตอนการดำเนินงานและวิจัย รวมถึงอุปกรณ์ที่จะกล่าวในหัวข้อถัดไป

ในส่วนของขั้นตอนการดำเนินงานและวิจัยในการศึกษาได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนซึ่งในส่วนที่หนึ่งจะกล่าวถึงจุดประสงค์ในการดำเนินงานและวิจัย ในส่วนที่สองจะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินและวิจัย และในส่วนที่สามจะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานและวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 จุดประสงค์ในการดำเนินงานและวิจัย

- 3.1.1 เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้เส้นใยแก้วนำแสง แบบ มัลติโหมดเพื่อใช้ในการรับ-ส่งสัญญาณ
- 3.1.2 เพื่อศึกษาการออกแบบวงจรภาคส่งและ ภาครับสัญญาณ โดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงเป็นตัวกลาง
- 3.1.3 เพื่อศึกษากระบวนการมัลติเพล็กซ์ และออกแบบวงจรที่มีการทำมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น
- 3.1.4 ศึกษาการประยุกต์ใช้เส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้งานในปัจจุบัน

3.2 อุปกรณ์ในการทดลอง

1. มัลติมิเตอร์	1	เครื่อง
2. Oscilloscope	1	เครื่อง
3. Generator	1	เครื่อง
4. Power Supply	1	เครื่อง
5. ตัวต้านทาน ขนาด 1/4 w 5%		
- 10K Ω	5	ตัว
- 12K Ω	2	ตัว
- 1K Ω	6	ตัว
- 330 Ω	2	ตัว
- 50K Ω	2	ตัว

3.2 อุปกรณ์ในการทดลอง (ต่อ)

- 68 Ω	1	ตัว
- 1M Ω	1	ตัว
- 3.9K Ω Koa trims pot (104)	1	ตัว
- 15 Ω	1	ตัว
- 47 Ω	1	ตัว
6. Capacitors		
- 10 uF	4	ตัว
-0.05 uF	4	ตัว
-Bypass	2	ตัว
-270 uF mylar	2	ตัว
-0.01 uF	1	ตัว
-22000 uF	1	ตัว
-170 uF	1	ตัว
7. แผงทดลอง	3	แผง
8. Fiber optic cable	1	4ft
9. LM358 IC	1	ตัว
10. LM386 IC	2	ตัว
11.2N2222	2	ตัว
12.LED สีแดง	1	ตัว
13.LED สีเขียว	1	ตัว
14.Photo Diode	1	ตัว
15.FERRITIE BEAD	1	ตัว
16.ลำโพง	1	ตัว

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.3.1 ศึกษาผลการทำงานของวงจร LED จากการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต

3.3.2 ศึกษาการทำงานของ LED เมื่อป้อนแรงดันที่ 5 V และปรับค่าความต้านทาน

3.3.3 ออกแบบวงจรส่งสัญญาณและศึกษาการทำงานของวงจรที่ออกแบบโดยผ่านตัวกลาง

เส้นใยแก้วนำแสงพร้อมศึกษาผลการทำงานของวงจรที่ออกแบบโดยป้อนสัญญาณ
อินพุตด้วย Sine Wave

3.3.4 ออกแบบวงจรรับสัญญาณและศึกษาการทำงานของวงจรที่ออกแบบโดยผ่านตัวกลาง

เส้นใยแก้วนำแสง พร้อมศึกษาผลการทำงานของวงจรที่ออกแบบโดยป้อนสัญญาณ
อินพุตด้วย Sine Wave โดยเปรียบเทียบจาก LED สีแดงและสีเขียว เมื่อส่งผ่านอากาศ
ระยะห่าง 10 cm

3.3.5 ศึกษาและสรุปผลการทำงานของวงจรที่ออกแบบโดย ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์ที่
ทำการคลีปเปอร์

3.3.6 ศึกษาและสรุปผลการทำงานของวงจรที่ออกแบบส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์
เปรียบเทียบ กับสายไฟเบอร์ที่ทำการคลีปเปอร์

3.3.7 เปรียบเทียบอัตราการแบ่งแสงและค่าการสูญเสียของไฟเบอร์ที่ทำการคลีปเปอร์กับ
ไฟเบอร์ออปติก

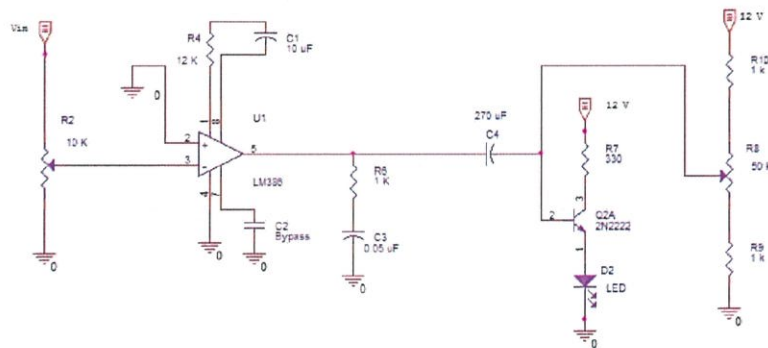
3.3.8 ศึกษาค่าโวลต์ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้ฟิลเตอร์ในการกรองแสง

หลักการการทำงานของระบบสื่อสารด้วย เส้นใยแก้วนี้มีโครงสร้างคล้ายกับระบบสื่อสารด้วย
สายเคเบิลทั่วไป เพียงแต่ใช้ตัวกลางนำข้อมูลที่ต่างกัน กล่าวคือ เมื่อต้องการส่งข้อมูลที่อยู่ในรูป
ของสัญญาณเสียงสัญญาณภาพหรือข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ วงจรภาคส่งจะทำหน้าที่จัดรูปสัญญาณ
ที่เหมาะสม ด้วยวิธีการเข้ารหัสและมอดูเลต โดยลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในขั้นตอนนี้ ส่วนใหญ่มัก
จัดให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัลเพราะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า จากนั้นส่วนของวงจรที่เป็น
แหล่งกำเนิดแสงหรือไดรเวอร์ขับสัญญาณ (driver) จะแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้ให้เป็นสัญญาณ
แสงส่งไปยังสถานีรับ (เรียกว่า Electrical to Optical Converter หรือ E/O-Converter) โดยมีเส้นใย
แก้วทำหน้าที่เป็นท่อนำหรือสายส่งสัญญาณที่สถานีรับจะมีโฟโตดีเทกเตอร์ (PD : Photodetector)
เช่น โฟโตไดโอด (photodiode) และโฟโตทรานซิสเตอร์ (phototransistor) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่
เปลี่ยนสัญญาณแสงที่รับได้ให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า (เรียกว่า Optical to Electrical Converter
หรือ O/E-Converter) แล้วส่งไปยังวงจรภาครับเพื่อถอดรหัสตีมอดูเลตสัญญาณ ทำให้ได้สัญญาณที่
มีลักษณะเดียวกับสัญญาณเดิม และใช้เป็นข้อมูลขาออกเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

ในช่วงระหว่างสถานีส่งสัญญาณและสถานีรับสัญญาณที่เชื่อมด้วยเส้นใยแก้วจะต้องมีสถานีทวนสัญญาณ (repeater) ทำหน้าที่ขยายและจัดรูปสัญญาณที่เกิดจากการผิดเพี้ยนไปในระหว่างการเดินทาง ในการใช้งานจริง ระยะระหว่างสถานีทวนสัญญาณ (repeater spacing) จะมีค่าประมาณ 30-50 กิโลเมตร โดยจะขึ้นกับขนาดและปริมาณของข้อมูลที่ใช้รับส่ง

ภาคส่งสัญญาณแสง

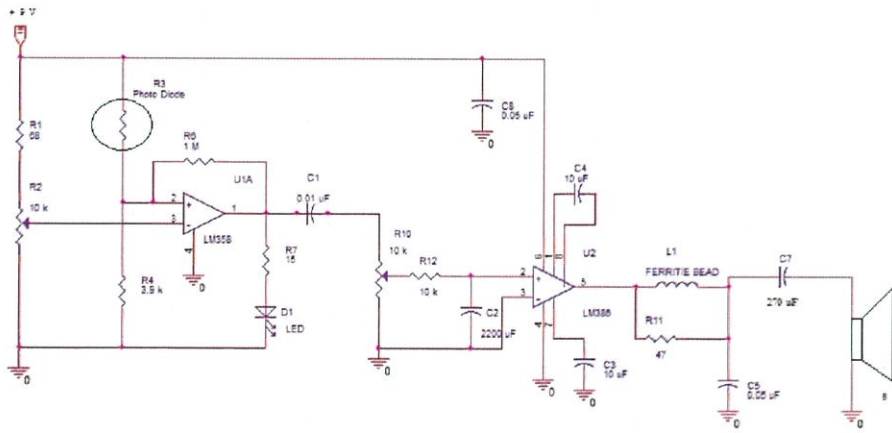
อุปกรณ์ที่เป็นหัวใจสำคัญ ที่ทำให้ระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงต่างจากระบบสื่อสารทั่วไป คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณแสงที่ให้นำข้อมูลไปในเส้นใยแก้ว โดยมีแหล่งกำเนิดแสงเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง (E/O Converter) ซึ่งตัวอย่างของแหล่งกำเนิดแสงที่เราคุ้นเคยก็คือหลอดไฟนั่นเอง อย่างไรก็ตาม แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแก้ว จำเป็นต้องมีคุณสมบัติบางประการ เพื่อให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานร่วมกับเส้นใยแก้วซึ่งมีขนาดเล็ก โดยแหล่งกำเนิดแสง Transmitter ที่ใช้กันอยู่มี 2 ประเภท คือ LED (Light Emitting Diode) กับ Laser Diode (LD)



รูปที่ 3.1 วงจรส่ง

ภาครับสัญญาณแสง

อุปกรณ์รับสัญญาณแสงหรือโฟโตดีเทคเตอร์ (photodetector: PD) เป็นอุปกรณ์ ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณข้อมูลทางไฟฟ้า (O/E Converter) โฟโตดีเทคเตอร์ที่สำคัญคือ โฟโตไดโอด (photodiode) และ โฟโตทรานซิสเตอร์ (phototransistor) คุณสมบัติที่สำคัญของโฟโตดีเทคเตอร์ในระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง



รูปที่ 3.2 วงจรรับ

นอกจากนี้ อุปกรณ์ทวนสัญญาณ (Repeater) หรือสถานีทวนสัญญาณก็เป็นสิ่งที่มีความจำเป็นต่อการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง เพราะจะเกิดการสูญเสียสัญญาณไปกับระยะทางหรือความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง เมื่อถึงระยะหนึ่งสัญญาณแสงจะอ่อนกำลังลงต่ำจนไม่สามารถนำมาใช้งานได้ สถานีทวนสัญญาณจะไปชดเชยการสูญเสียของพลังงานแสง สัญญาณแสงจะถูกขยายโดย EDFA

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 ศึกษาการทำงานของ LED จากการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุต

ทำการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของ LED เพื่อศึกษาโวลต์เตจที่ป้อนเข้าไปให้กับ LED เพื่อปรับให้ LED ทำงานโดยการเปล่งแสงสว่างออกมา

3.4.1.1 ให้อินพุตที่ขาไฟบวกของ LED ปรับระดับโวลต์เตจจาก 0 V, 0.5V, ... 5V.

ทำการวัดแรงดันตกคร่อม LED สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับ

หลอด LED พร้อมบันทึกผลการทดลอง

3.4.1.2 บันทึกค่าโวลต์เตจเมื่อหลอด LED เริ่มสว่าง

3.4.2 ศึกษาการทำงานของ LED เมื่อป้อนแรงดันที่ 5 v และปรับค่าความต้านทาน

ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของหลอด LED เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตด้วยค่าโวลต์เตจคงที่ ที่ 5.0 V และปรับค่าความต้านทาน

3.4.2.1 ให้อินพุตที่ขาไฟบวกของ LED คงที่ ที่ 5.0 V

3.4.2.2 ปรับค่าความต้านทาน 15,50,10K,30K,47K,100K,1.5M Ω

3.4.2.3 ทำการวัดแรงดันตกคร่อม LED

3.4.2.4 บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับหลอด LED

3.4.3 ออกแบบวงจรส่งสัญญาณและศึกษาการทำงานของวงจรที่ออกแบบโดยผ่านตัวกลางไฟเบอร์ออปติก พร้อมศึกษาผลการทำงานของวงจรที่ออกแบบโดยป้อนสัญญาณอินพุตด้วย Sine Wave

ทำการออกแบบวงจรเพื่อใช้ในการรับ-ส่งสัญญาณแสง โดยวงจรทำการมอดูเลต ให้ LED เป็นตัวส่งสัญญาณและใช้ไฟเบอร์ออปติกเป็นตัวกลางในการสื่อสาร

3.4.3.1 ทำการทดลองต่อวงจรดังรูปที่ 3.3 ที่ออกแบบมา โดยให้อินพุตโวลต์เตจที่ 12 V เพื่อทดสอบกำลังแสงที่ส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

3.4.3.2 ทำการทดลองต่อวงจรดังรูปที่ 3.1 และ 3.2 ที่ออกแบบมา โดยให้อินพุตโวลต์เตจที่ 12 V เพื่อทดสอบการส่งเสียงผ่านสัญญาณแสง

3.4.3.3 เปรียบเทียบการทำงานของหลอด LED เมื่อให้ความถี่ 10,20,30,...,90,100,200,400,800,1K Hz. ตามลำดับ

3.4.3.4 เปรียบเทียบการทำงานของหลอด LED เมื่อให้แอมพลิจูด 5,4.5,4,...2,1.5,1 ตามลำดับ

3.4.4 ออกแบบวงจรรับสัญญาณและศึกษาการทำงานของวงจรที่ออกแบบโดยผ่านตัวกลางไฟเบอร์ออปติก พร้อมศึกษาผลการทำงานของวงจรที่ออกแบบโดยป้อนสัญญาณอินพุตด้วย Sine Wave โดยเปรียบเทียบจาก LED สีแดงและสีเขียว เมื่อส่งผ่านอากาศระยะห่าง 10 cm

ทำการออกแบบวงจรเพื่อใช้ในการรับสัญญาณแสง โดยวงจรทำการมอดูเลต ให้ LED เป็นตัวส่งสัญญาณและใช้ไฟเบอร์ออปติกเป็นตัวกลางในการสื่อสาร

3.4.4.1 ทำการทดลองต่อวงจรดังรูปที่ 3.3 ที่ออกแบบมา โดยให้อินพุตโวลต์เตจที่ 9 V เพื่อทดสอบกำลังแสงที่ส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

3.4.4.2 ทำการทดลองต่อวงจรดังรูปที่ 3.1 และ 3.2 ที่ออกแบบมา โดยให้อินพุต

โวลต์แดงที่ 9 V เพื่อทดสอบการส่งเสียงผ่านสัญญาณแสง

3.4.4.3 เปรียบเทียบการทำงานของหลอด LED เมื่อให้ความถี่

10,20,30,...,90,100,200,400,800,1K Hz. ตามลำดับ

3.4.4.4 เปรียบเทียบการทำงานของหลอด LED เมื่อให้แอมพลิจูด

5,4.5,4,...2,1.5,1 ตามลำดับ

3.4.5 ศึกษาและสรุปผลการทำงานของวงจรที่ออกแบบโดย ส่งสัญญาณผ่านไฟเบอร์

ออปติกที่ทำการคลีปเปอร์

ประยุกต์การใช้งานของวงจรเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานของวงจรให้เกิดความหลากหลายมากขึ้นเพื่อสะดวกต่อการใช้งานในรูปแบบต่างๆ

3.4.5.1 ทดลองส่งสัญญาณ 2 สัญญาณผ่านไฟเบอร์ออปติก 2 สี เขียว และ แดง

ทำการมัลติเพล็กซ์สัญญาณด้วยวิธีการ คลีปเปอร์ และเลือกรับสัญญาณจากปลายทางไฟเบอร์ออปติก

3.4.5.2 บันทึกผลการทดลองและแก้ไขหากเกิดข้อผิดพลาด

3.4.6 ศึกษาและสรุปผลการทำงานของวงจรที่ออกแบบส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์เปรียบเทียบกับสายไฟเบอร์ที่ทำการคลีปเปอร์

ทำการศึกษาประสิทธิภาพการรับ-ส่งสัญญาณแสงผ่านไฟเบอร์ออปติกเปรียบเทียบกับสายไฟเบอร์ที่ทำการคลีปเปอร์ โดยเปรียบเทียบจาก LED สีแดงและ LED สีเขียว

3.4.6.1 ทดลองส่งสัญญาณ 2 สัญญาณผ่านไฟเบอร์ออปติก 2 สี เขียว และ แดง

ผ่านไฟเบอร์ออปติกและบันทึกผลการทดลอง

3.4.6.2 ทดลองส่งสัญญาณ 2 สัญญาณผ่านไฟเบอร์ออปติกที่ทำการคลีปเปอร์ 2

สี เขียว และ แดงผ่านไฟเบอร์ออปติกและบันทึกผลการทดลอง

3.4.7 เปรียบเทียบอัตราการแบ่งแสงและค่าการสูญเสียของไฟเบอร์ที่ทำการคลีปเปอร์กับไฟเบอร์ออปติก

ทำการศึกษาผลการทดลองจากการส่งสัญญาณเพื่อเปรียบเทียบค่าอัตราแบ่งแสงและค่าการสูญเสียของไฟเบอร์ออปติกที่ทำการคลีปเปอร์กับไฟเบอร์ออปติก

3.4.7.1 ทดลองส่งสัญญาณ 2 สัญญาณผ่านไฟเบอร์ออปติก 2 สี เขียว และ แดง

ผ่านไฟเบอร์ออปติก วัดค่าโวลต์ของอินพุตและเอาท์พุตนำมาคำนวณหา

ค่าการสูญเสีย

3.4.7.2 ทดลองส่งสัญญาณ 2 สัญญาณผ่านไฟเบอร์ออปติก 2 สี เขียว และ แดง

ผ่านไฟเบอร์ออปติกที่คลีปเปอร์ วัดค่าโวลต์ของทั้ง 4 พอร์ตนำมา

คำนวณหาค่าการสูญเสียและอัตราการแบ่งแสง

3.4.8 ศึกษาค่าโวลต์ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้ฟิลเตอร์ในการกรองแสง

ทำการศึกษาค่าโวลต์ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้ฟิลเตอร์กรองแสง 2 สี คือสีเขียวและแดงก่อนจะผ่านดีเทคเตอร์

3.4.8.1 ทดลองส่งสัญญาณ 2 สัญญาณผ่านไฟเบอร์ออปติก 2 สี เขียว และ แดง

ผ่านไฟเบอร์ออปติกที่คลีปเปอร์ วัดค่าโวลต์ขณะที่ไม่มีฟิลเตอร์และ

บันทึกผลการทดลอง

3.4.8.2 ทดลองส่งสัญญาณ 2 สัญญาณผ่านไฟเบอร์ออปติก 2 สี เขียว และ แดง

ผ่านไฟเบอร์ออปติกที่คลีปเปอร์ วัดค่าโวลต์ขณะที่มีฟิลเตอร์และ

บันทึกผลการทดลอง

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

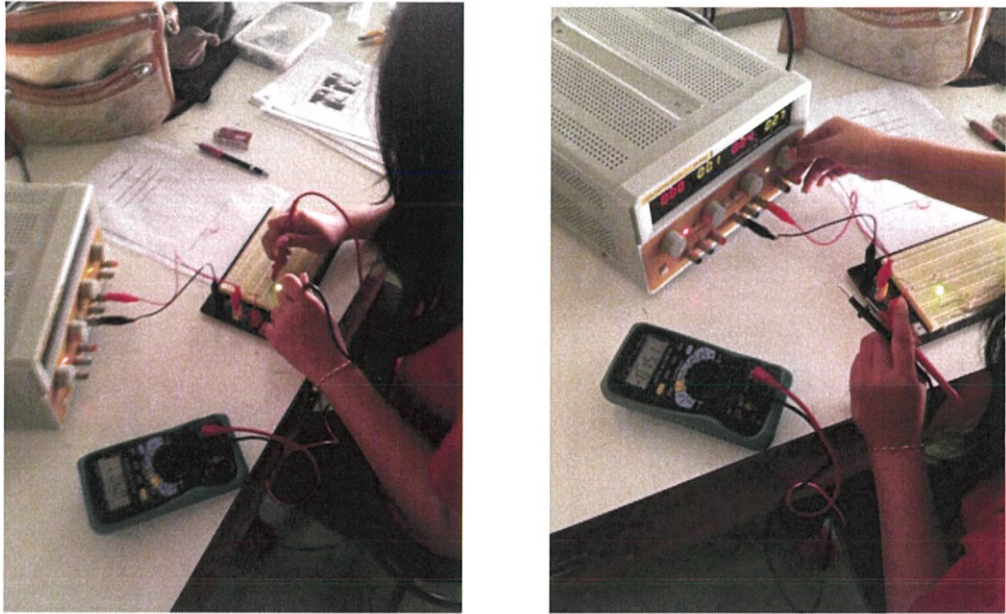
4.1 ศึกษาผลการทำงานของ LED จากการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุท

ตารางที่ 4.1 ผลการทำงานของ LED จากการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุท

แรงดัน Input : V_{in} (V)	แรงดันตกคร่อม LED : V_{out} (V)	I_{LED} (A)
0	0	0
0.5	0.52	0.05
1.0	0.99	0.1
1.5	1.53	0.15
2.0	2.01	0.2
2.5	2.42	0.25
3.0	2.87	0.3
3.5	3.30	0.35
4.0	3.72	0.4
4.5	4.25	0.45
5.0	4.66	0.5

หมายเหตุ : LED เริ่มทำงาน (สว่าง) ที่ความดัน 1.8 V แรงดันตกคร่อมที่วัดได้ 1.84 V

4.2 ศึกษาการทำงานของ LED เมื่อป้อนแรงดันที่ 5 V



รูปที่ 4.1 ใช้อ้างอิงในการทำการทดลองตอนที่ 2

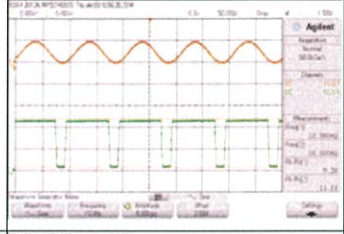
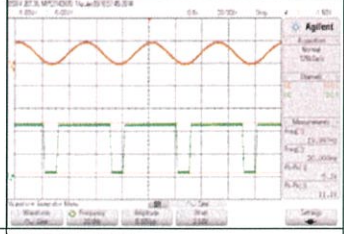
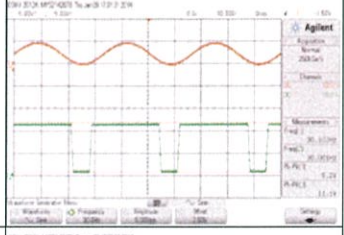
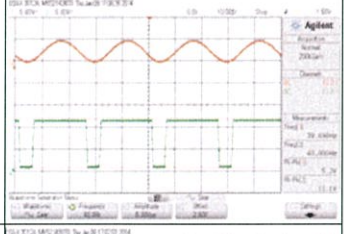
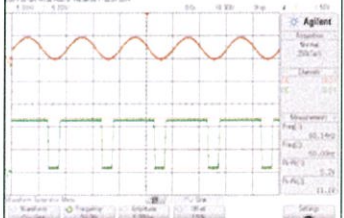
ตารางที่ 4.2 ศึกษาการทำงานของ LED เมื่อป้อนแรงดันที่ 5 V และปรับค่าความต้านทาน

ค่าความต้านทาน (Ohm)	แรงดันตกคร่อม LED (V)	I_{LED} (A)
15	4.53	0.33
50	2.58	0.1
10 K	1.75	50 m
30 K	1.72	16.67 m
47 K	1.71	10 m
100 K	1.68	500 m
1.5 M	1.56	3.33

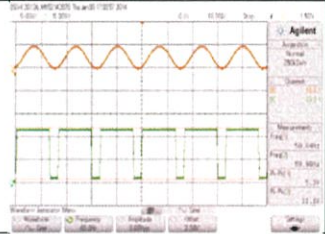
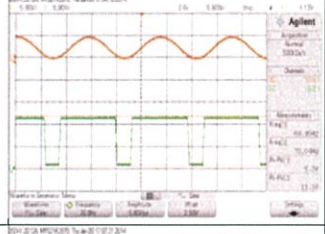
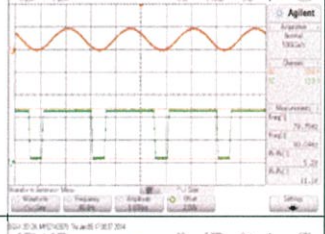
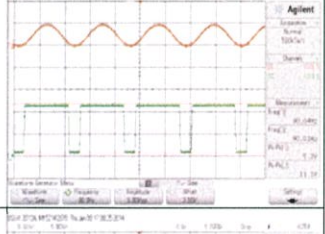
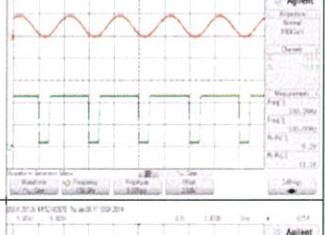
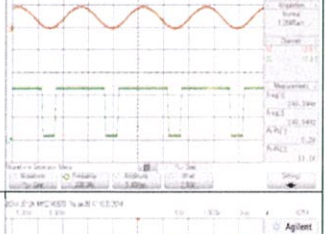
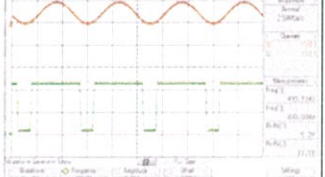
4.3 ศึกษาผลการทำงานของวงจรที่ออกแบบโดยป้อนสัญญาณอินพุตด้วย Sine Wave ของตัวส่งสัญญาณ กำหนดให้ป้อนแรงดันที่ 5 V และ กระแส 5 A

4.3.1 ศึกษาการทำงานของวงจรส่งสัญญาณเมื่อเปลี่ยนความถี่

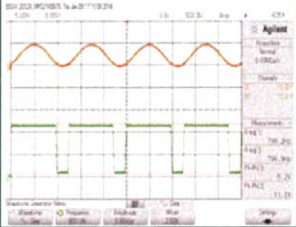
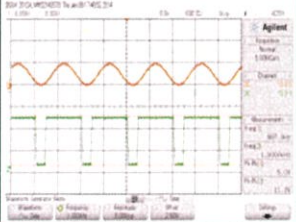
ตารางที่ 4.3 ศึกษาการทำงานของวงจรส่งสัญญาณเมื่อเปลี่ยนค่าความถี่

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
10	10.06	10.00	5.2	11.1	
20	19.99	20.00	5.2	11.1	
30	30.10	30.00	5.2	11.1	
40	39.89	40.00	5.2	11.1	
50	50.14	50.00	5.2	11.1	

ตารางที่ 4.3 ศึกษาการทำงานของวงจรส่งสัญญาณเมื่อเปลี่ยนค่าความถี่(ต่อ)

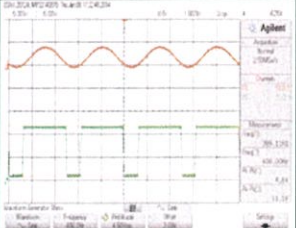
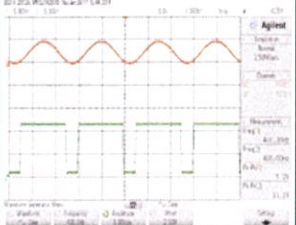
ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
60	59.84	59.98	5.2	11.1	
70	69.95	70.04	5.2	11.1	
80	79.75	80.04	5.2	11.1	
90	90.04	90.01	5.2	11.1	
100	100.26	100.00	5.2	11.1	
200	199.39	199.94	5.2	11.1	
400	400.71	400.00	5.2	11.1	

ตารางที่ 4.3 ศึกษาการทำงานของวงจรส่งสัญญาณเมื่อเปลี่ยนค่าความถี่(ต่อ)

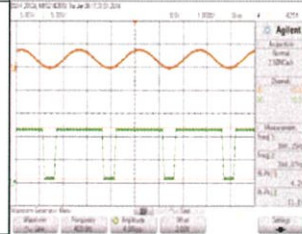
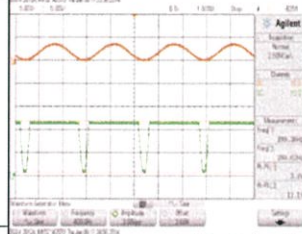
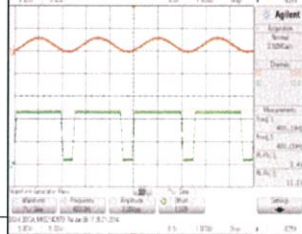
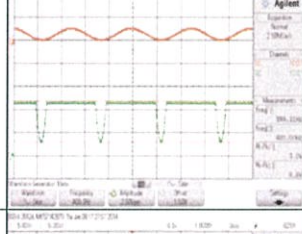
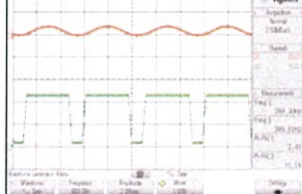
ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
800	799.20	799.90	5.2	11.1	
1000	997.00	1000	5.0	11.1	

4.3.2 ศึกษาการทำงานของวงจรส่งสัญญาณเมื่อเปลี่ยนแอมพลิจูด

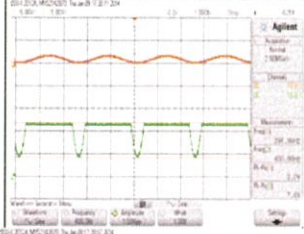
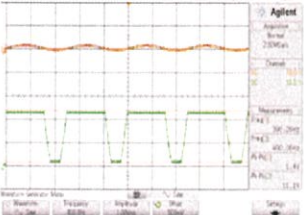
ตารางที่ 4.4 ศึกษาการทำงานของวงจรส่งสัญญาณเมื่อเปลี่ยนค่าแอมพลิจูด

แอมพลิจูด (Amp)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
5	400.38	400.00	5.2	11.1	
4.5	399.11	400.00	4.6	11.1	

ตารางที่ 4.4 ศึกษาการทำงานของวงจรส่งสัญญาณเมื่อเปลี่ยนค่าแอมพลิจูด(ต่อ)

แอมพลิจูด (Amp)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
4	398.15	299.87	4.2	11.1	
3.5	399.36	298.62	3.8	11.1	
3	400.19	400.00	3.4	11.1	
2.5	399.11	400.00	3.0	8.8	
2	399.30	399.81	2.4	11.1	

ตารางที่ 4.4 ศึกษาการทำงานของวงจรส่งสัญญาณเมื่อเปลี่ยนค่าแอมพลิจูด(ต่อ)

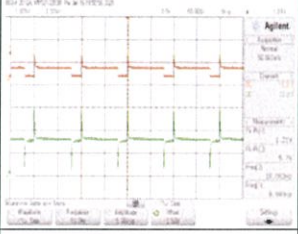
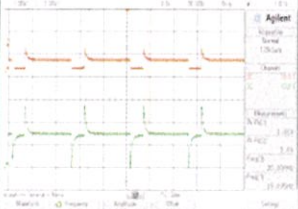
แอมพลิจูด (Amp)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
1.5	398.98	400.06	2.0	7.6	
1	396.26	400.06	2.4	11.1	

4.4 ศึกษาผลการทำงานของวงจรที่ออกแบบโดยป้อนสัญญาณอินพุตด้วย Sine Wave ของตัวรับสัญญาณ โดยเปรียบเทียบจาก LED สีแดงและสีเขียว เมื่อส่งผ่านอากาศระยะ 10 cm

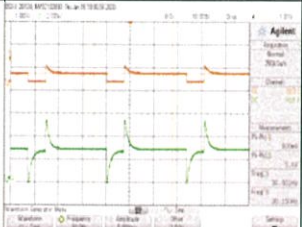
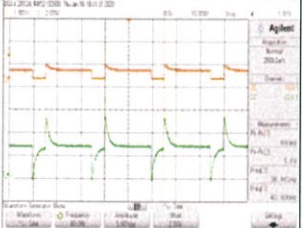
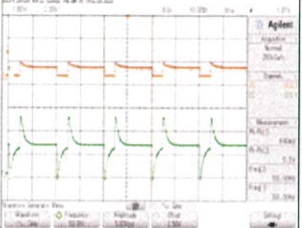
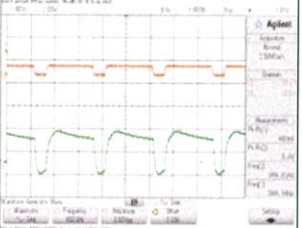
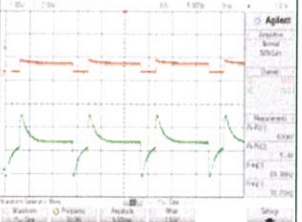
4.1 LED สีแดง

4.1.1 ศึกษาการทำงานของวงจรรับสัญญาณ LED สีแดง เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่

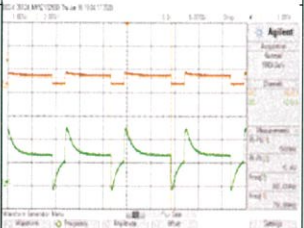
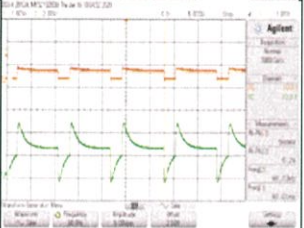
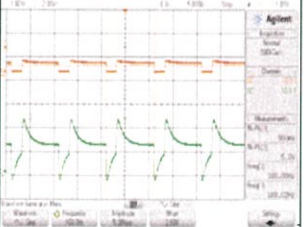
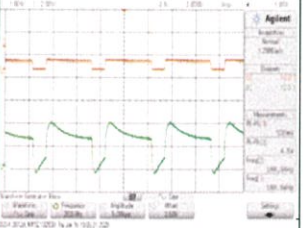
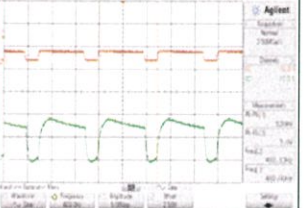
ตารางที่ 4.5 ศึกษาการทำงานของวงจรรับสัญญาณ LED สีแดง เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่

ความถี่(Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
10	9.998	10.002	1.21	5.7	
20	19.895	20.006	1.01	5.6	

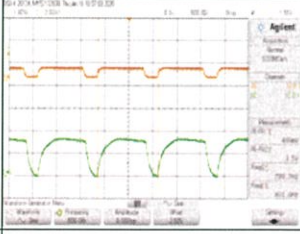
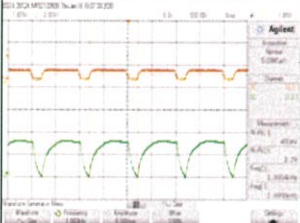
ตารางที่ 4.5 ศึกษาการทำงานของวงจรรับสัญญาณ LED สีแดง เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่(ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
30	30.150	30.001	0.800	5.6	
40	40.006	39.981	0.680	5.6	
50	50.00	50.00	0.640	5.5	
60	60.00	60.00	0.600	5.5	
70	70.01	69.98	0.600	5.4	

ตารางที่ 4.5 ศึกษาการทำงานของวงจรรับสัญญาณ LED สีแดง เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่(ต่อ)

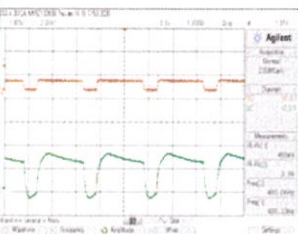
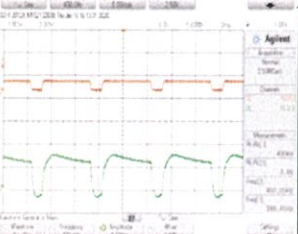
ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
80	79.99	81.00	0.560	5.4	
90	90.01	90.03	0.560	5.2	
100	100.02	100.00	0.560	5.2	
200	199.94	199.94	0.520	4.5	
400	400.00	400.13	0.520	3.9	

ตารางที่ 4.5 ศึกษาการทำงานของวงจรรับสัญญาณ LED สีแดง เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่(ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
800	801.00	799.70	0.480	3.5	
1000	1000.4	1000.4	0.480	3.3	

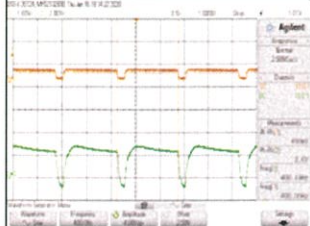
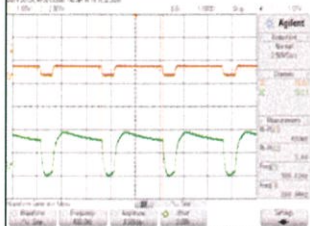
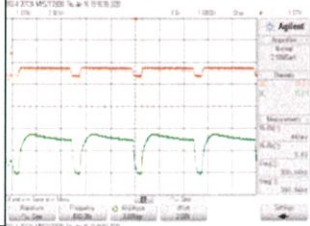
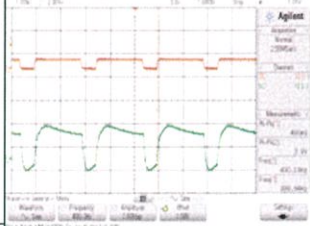
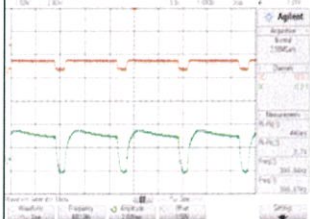
4.1.2 ศึกษาการทำงานของวงจรรับสัญญาณ LED สีแดง เมื่อเปลี่ยนค่าแอมพลิจูด

ตารางที่ 4.6 ศึกษาการทำงานของวงจรรับสัญญาณ LED สีแดง เมื่อเปลี่ยนค่าแอมพลิจูด

แอมพลิจูด (Amp)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
5	400.13	400.06	0.480	3.9	
4.5	399.81	400.00	0.480	3.9	

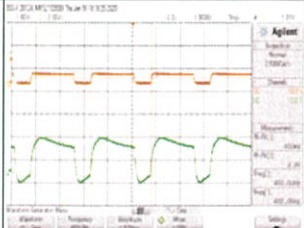
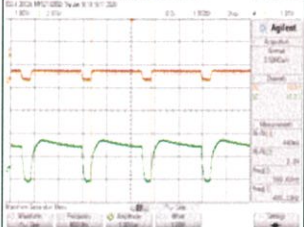
ตารางที่ 4.6 ศึกษาการทำงานของวงจรรับสัญญาณ LED สีแดง เมื่อเปลี่ยน

ค่าแอมพลิจูด(ต่อ)

แอมพลิจูด (Amp)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
4	400.00	400.19	0.480	3.6	
3.5	399.94	399.81	0.480	3.8	
3	399.94	399.94	0.440	3.6	
2.5	399.94	400.19	0.480	3.9	
2	399.81	399.94	0.440	3.7	

ตารางที่ 4.6 ศึกษาการทำงานของวงจรรับสัญญาณ LED สีแดง เมื่อเปลี่ยน

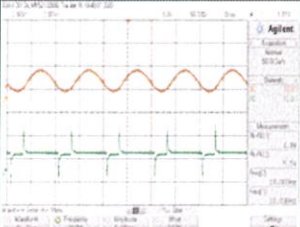
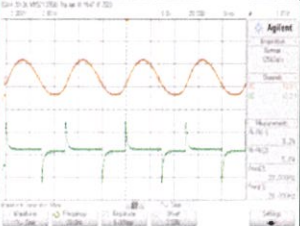
ค่าแอมพลิจูด(ต่อ)

แอมพลิจูด (Amp)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
1.5	400.06	400.00	0.480	3.9	
1	400.13	399.68	0.440	3.8	

4.2 LED สีเขียว

4.2.1 ศึกษาการทำงานของวงจรรับสัญญาณ LED สีเขียว เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่

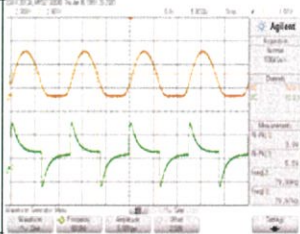
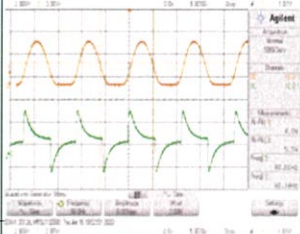
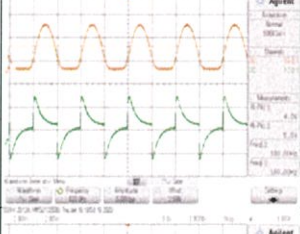
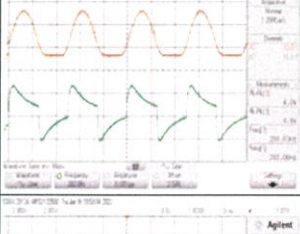
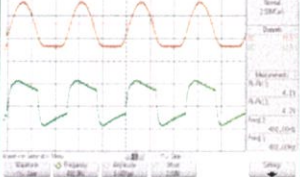
ตารางที่ 4.7 ศึกษาการทำงานของวงจรรับสัญญาณ LED สีเขียว เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
10	10.00	10.00	1.9	5.5	
20	20.00	20.00	3.2	5.6	

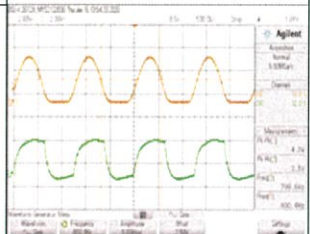
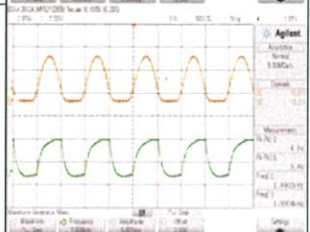
ตารางที่ 4.7 ศึกษาการทำงานของวงจรรับสัญญาณ LED สีเขียว เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่(ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
30	29.99	29.99	3.6	5.5	
40	39.98	40.00	3.8	5.5	
50	50.04	50.0	3.9	5.5	
60	60.0	60.0	3.9	5.5	
70	70.03	70.00	3.9	5.5	

ตารางที่ 4.7 ศึกษาการทำงานของวงจรรับสัญญาณ LED สีเขียว เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่(ต่อ)

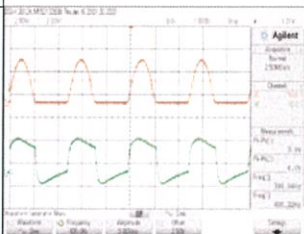
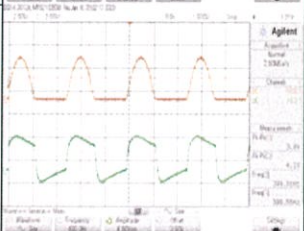
ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
80	79.97	79.99	3.9	5.5	
90	90.14	90.01	4.0	5.5	
100	100.00	100.00	4.0	5.5	
200	200.06	200.03	4.0	4.9	
400	400.00	400.06	4.1	4.2	

ตารางที่ 4.7 ศึกษาการทำงานของวงจรรับสัญญาณ LED สีเขียว เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่(ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
800	800.40	799.60	4.0	3.5	
1000	1000.4	1000.2	4.0	3.4	

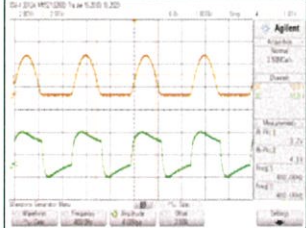
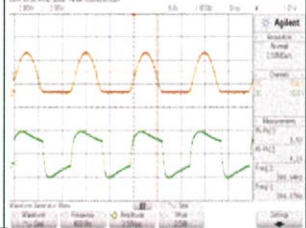
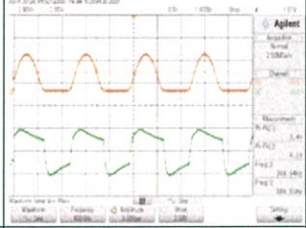
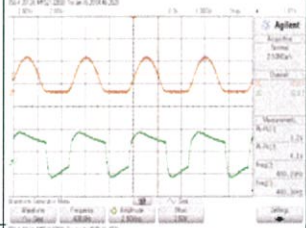
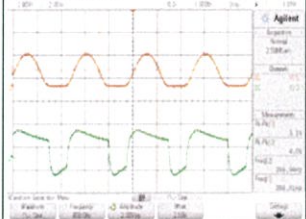
4.2.1 ศึกษาการทำงานของวงจรรับสัญญาณ LED สีเขียว เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่

ตารางที่ 4.8 ศึกษาการทำงานของวงจรรับสัญญาณ LED สีเขียว เมื่อเปลี่ยนค่าแอมพลิจูด

แอมพลิจูด (Amp)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
5	400.32	399.94	3.9	4.0	
4.5	399.81	399.55	3.8	4.1	

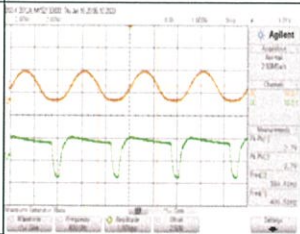
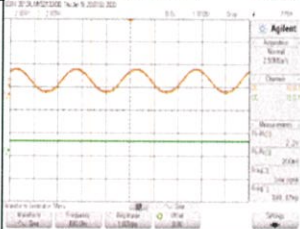
ตารางที่ 4.8 ศึกษาการทำงานของวงจรรับสัญญาณ LED สีเขียว เมื่อเปลี่ยน

ค่าแอมพลิจูด(ต่อ)

แอมพลิจูด (Amp)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
4	400.06	400.06	3.7	4.1	
3.5	399.84	399.94	3.5	4.1	
3	399.81	399.94	3.4	4.1	
2.5	400.38	400.19	3.2	4.1	
2	399.94	399.81	3.1	4.0	

ตารางที่ 4.8 ศึกษาการทำงานของวงจรรับสัญญาณ LED สีเขียว เมื่อเปลี่ยน

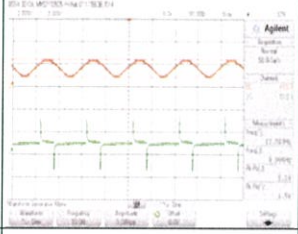
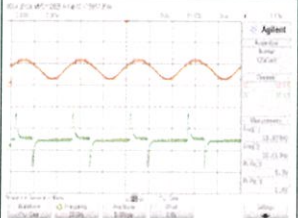
ค่าแอมพลิจูด(ต่อ)

แอมพลิจูด (Amp)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
1.5	400.51	399.81	2.7	3.7	
1	399.87	-	2.2	0.2	

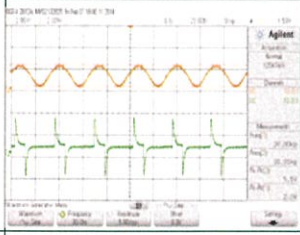
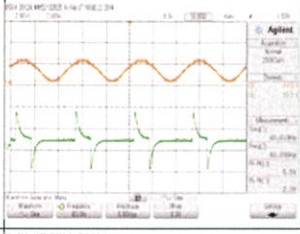
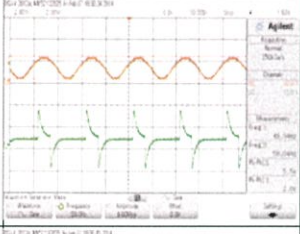
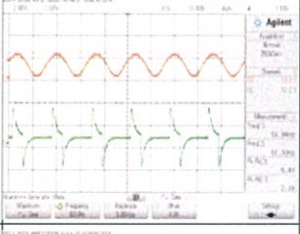
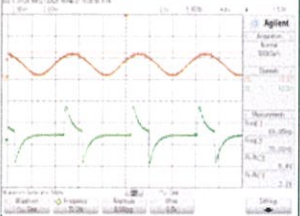
4.5 ทำงานของวงจรที่ออกแบบโดย ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์ที่ทำการกลับเปอร์

4.5.1 LED สีแดง

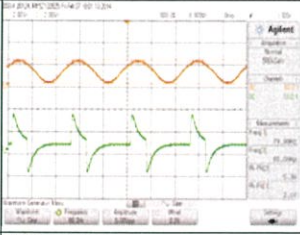
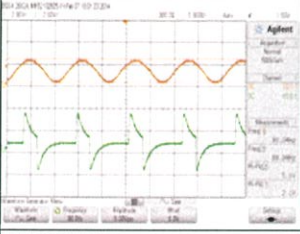
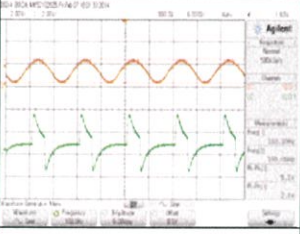
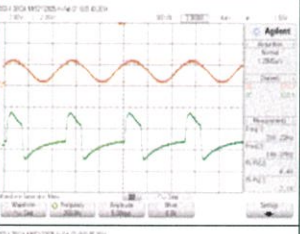
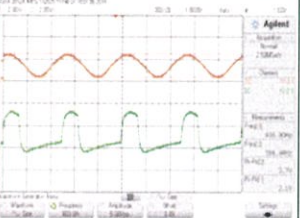
ตารางที่ 4.9 ศึกษาการทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์โดยใช้ LED สีแดง เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่ (เข้าขา2-ออกขา4)

ความถี่(Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
10	10.01	9.996	1.5	5.1	
20	19.97	20.01	1.8	5.3	

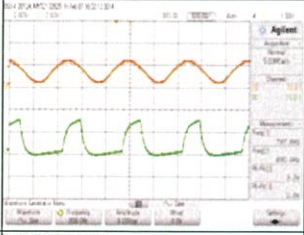
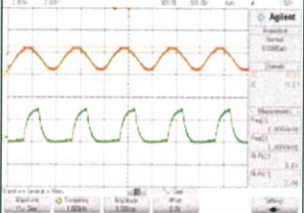
ตารางที่ 4.9 ศึกษาการทำงานของวงจรมัลติเพิล็กซ์ที่ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์โดยใช้ LED สีแดง เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่ (เข้าขา2-ออกขา4) (ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
30	30.00	30.01	2.0	5.5	
40	40.01	40.00	2.0	5.5	
50	49.94	50.04	2.0	5.5	
60	59.94	60.00	2.1	5.4	
70	69.85	70.01	2.1	5.4	

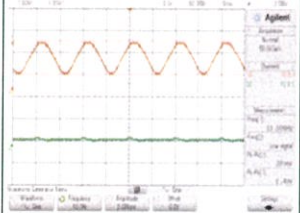
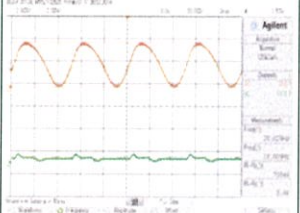
ตารางที่ 4.9 ศึกษาการทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์โดยใช้ LED สีแดง เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่ (เข้าขา2-ออกขา4)(ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
80	79.99	80.08	2.1	5.3	
90	90.04	89.94	2.1	5.1	
100	100.1	100.08	2.1	5.1	
200	200.22	199.97	2.1	4.4	
400	400.90	399.94	2.1	3.7	

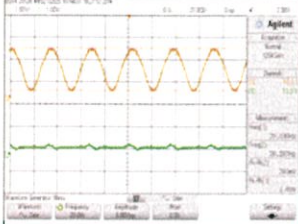
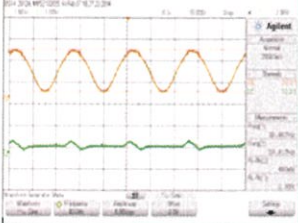
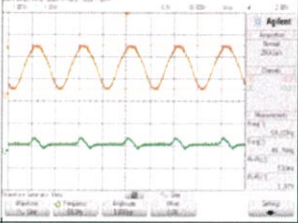
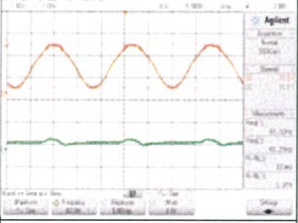
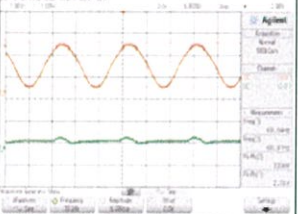
ตารางที่ 4.9 ศึกษาการทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์โดยใช้ LED สีแดง เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่ (เข้าขา2-ออกขา4)(ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
800	400.90	399.94	2.1	3.7	
1000	1000.8	1000.0	2.0	3.1	

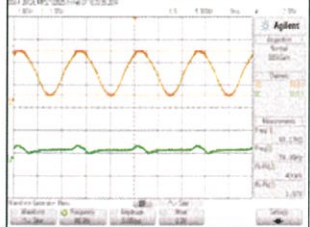
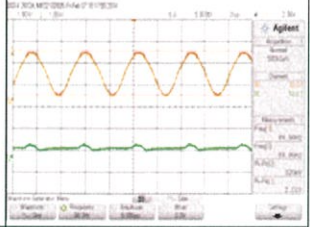
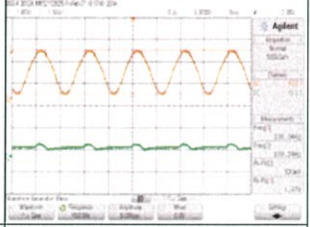
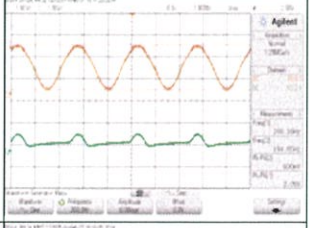
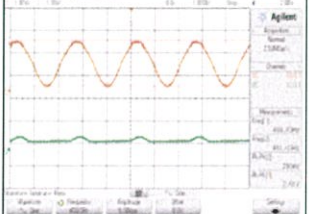
ตารางที่ 4.10 ศึกษาการทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์โดยใช้ LED สีแดง เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่ (เข้าขา2-ออกขา3)

ความถี่(Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
10	10.00	-	1.49	0.2	
20	20.00	22.88	1.81	0.4	

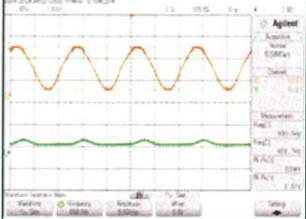
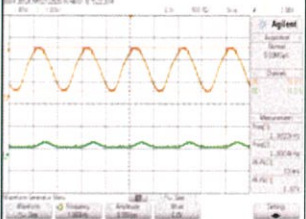
ตารางที่ 4.10 ศึกษาการทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์โดยใช้ LED สีแดง เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่ (เข้าขา2-ออกขา3) (ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
30	29.03	28.28	1.89	0.28	
40	39.98	39.91	1.93	0.48	
50	50.02	49.76	1.97	0.52	
60	60.02	60.28	1.97	0.32	
70	69.84	68.97	2.01	0.32	

ตารางที่ 4.10 ศึกษาการทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์โดยใช้ LED สีแดง เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่ (เข้าขา2-ออกขา3)(ต่อ)

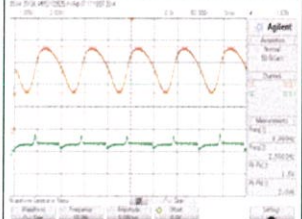
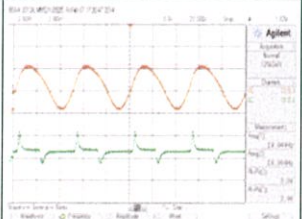
ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
80	80.17	79.99	1.97	0.40	
90	89.98	89.86	2.01	0.32	
100	100.04	100.28	1.97	0.32	
200	200.16	199.65	2.05	0.60	
400	400.83	401.03	2.01	0.28	

ตารางที่ 4.10 ศึกษาการทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์โดยใช้ LED สีแดง เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่ (เข้าขา2-ออกขา3)(ต่อ)

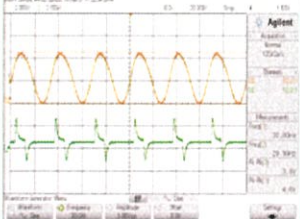
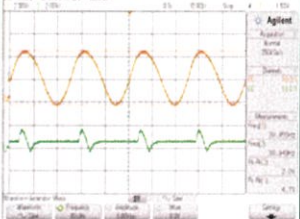
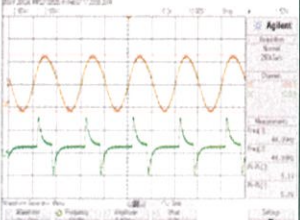
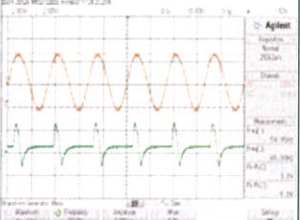
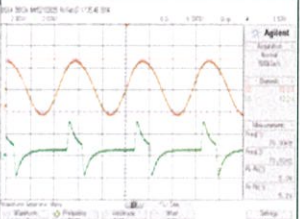
ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
800	800.00	801.00	1.97	0.32	
1000	1000.2	1000.4	1.97	0.32	

4.5.2 LED สีเขียว

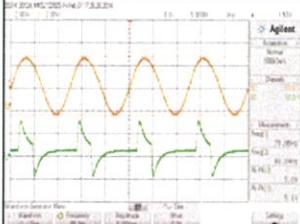
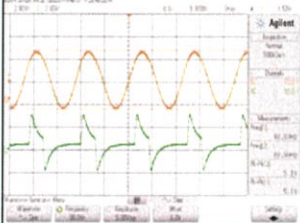
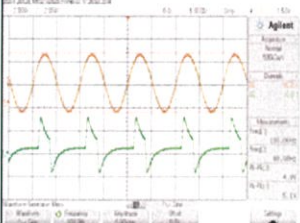
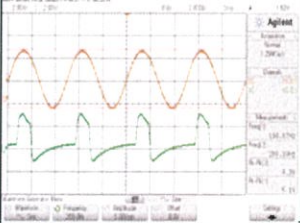
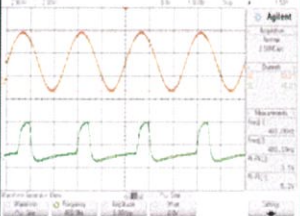
ตารางที่ 4.11 ศึกษาการทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์โดยใช้ LED สีเขียว เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่ (เข้าขา1-ออกขา3)

ความถี่(Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
10	9.99	2.50	2.09	1.5	
20	19.94	19.99	3.9	3.0	

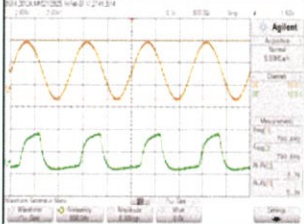
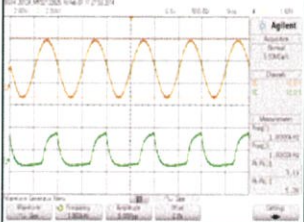
ตารางที่ 4.11 ศึกษาการทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์โดยใช้ LED สีเขียว เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่ (เข้าขา1-ออกขา3) (ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
30	30.00	29.99	4.6	3.9	
40	39.95	39.94	4.7	2.0	
50	49.99	49.98	5.0	5.1	
60	59.95	60.00	5.0	3.8	
70	70.00	70.01	5.1	5.0	

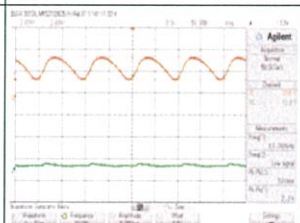
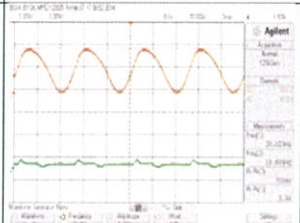
ตารางที่ 4.11 ศึกษาการทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์โดยใช้ LED สีเขียว เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่ (เข้าขา1-ออกขา3)(ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
80	79.95	80.04	5.0	5.1	
90	90.03	89.99	5.1	5.1	
100	100.06	99.98	5.1	4.9	
200	199.87	200.10	5.1	4.3	
400	400.06	400.19	5.2	3.5	

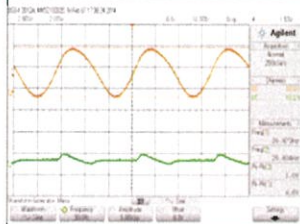
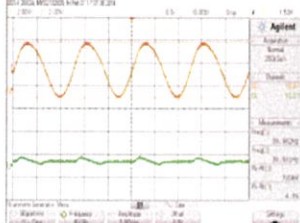
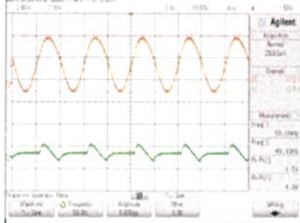
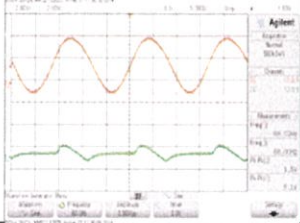
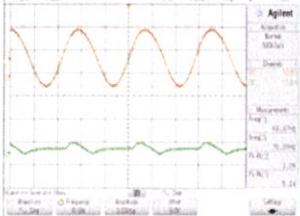
ตารางที่ 4.11 ศึกษาการทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์โดยใช้ LED สีเขียว เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่ (เข้าขา1-ออกขา3)(ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
800	799.60	799.60	5.3	3.3	
1000	1000.0	1000.2	5.3	3.1	

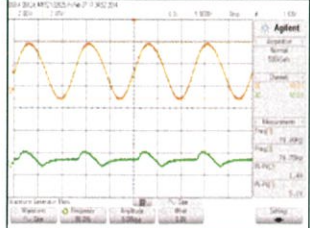
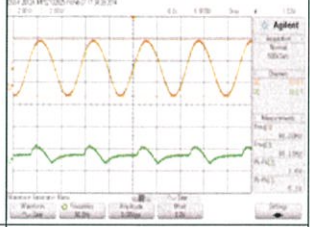
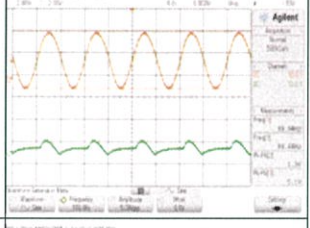
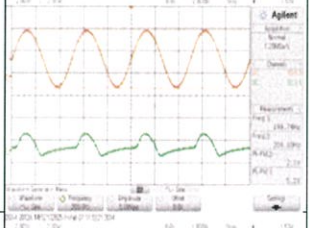
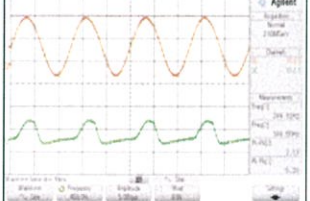
ตารางที่ 4.12 ศึกษาการทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์โดยใช้ LED สีเขียว เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่ (เข้าขา1-ออกขา4)

ความถี่(Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
10	10.00	-	2.1	0.5	
20	20.02	18.60	3.9	0.7	

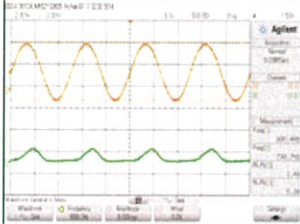
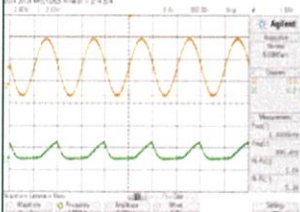
ตารางที่ 4.12 ศึกษาการทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์โดยใช้ LED สีเขียว เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่ (เข้าขา1-ออกขา4) (ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
30	29.97	29.80	4.6	1.0	
40	39.96	39.98	4.8	0.7	
50	50.09	49.93	4.9	1.5	
60	60.02	60.00	5.1	1.5	
70	69.97	70.08	5.1	1.0	

ตารางที่ 4.12 ศึกษาการทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์โดยใช้ LED สีเขียว เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่ (เข้าขา1-ออกขา4)(ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
80	79.99	79.75	5.1	1.4	
90	90.03	90.11	5.1	1.6	
100	99.94	99.44	5.1	1.3	
200	199.74	200.10	5.2	2.1	
400	399.81	399.55	5.2	2.1	

ตารางที่ 4.12 ศึกษาการทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์โดยใช้ LED สีเขียว เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่ (เข้าขา1-ออกขา4)(ต่อ)

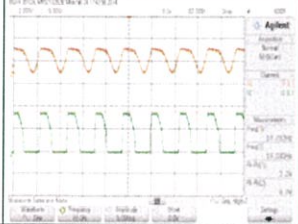
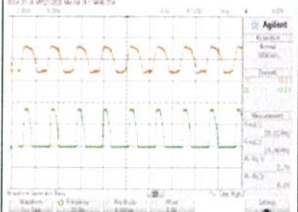
ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
800	800.4	798.7	5.3	1.4	
1000	1000.6	996.4	5.3	1.6	

4.6 ทำงานของวงจรที่ออกแบบส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์เปรียบเทียบกับสายไฟเบอร์ที่ทำการคัลป์เปอร์

4.6.1 ไฟเบอร์ออปติก

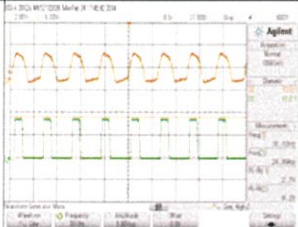
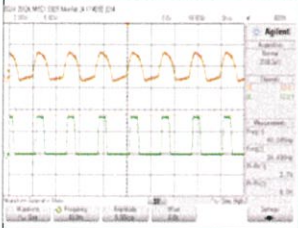
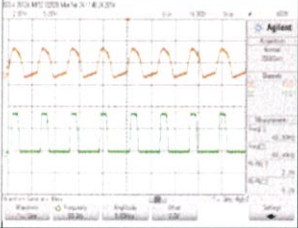
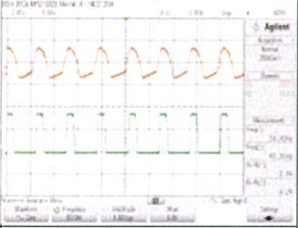
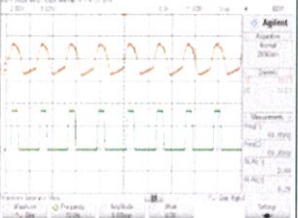
4.6.1.1 LED สีแดง

ตารางที่ 4.13 ทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งแสงผ่านไฟเบอร์ออปติกด้วย LED สีแดง

ความถี่(Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
10	10.012	10.032	2.2	9.0	
20	20.024	19.964	2.7	9.0	

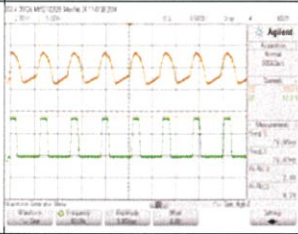
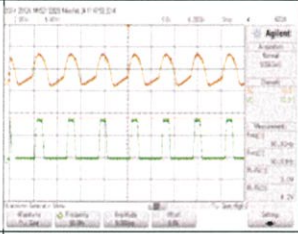
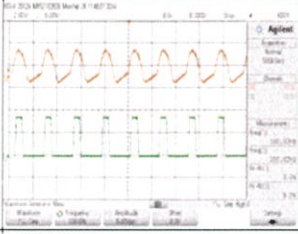
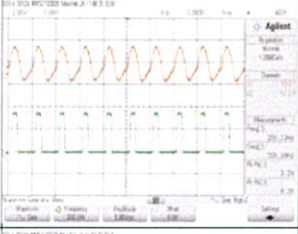
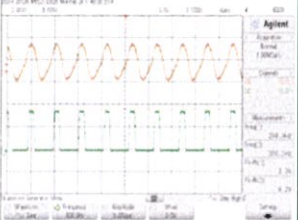
ตารางที่ 4.13 ทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งแสงผ่านไฟเบอร์ออปติกด้วย LED

สีแดง(ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
30	30.02	29.99	2.700	9.200	
40	40.045	39.936	2.700	9.000	
50	49.990	49.990	2.800	9.000	
60	59.920	60.310	2.900	9.200	
70	59.850	69.950	2.900	9.200	

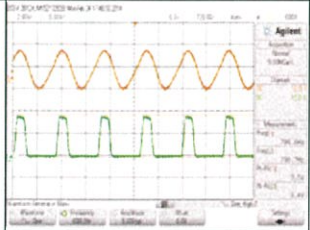
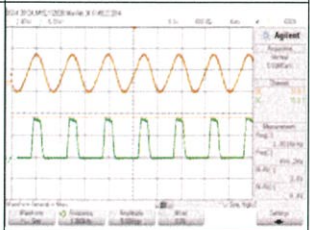
ตารางที่ 4.13 ทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งแสงผ่านไฟเบอร์ออปติกด้วย LED

สีแดง (ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
80	79.950	79.970	2.900	9.200	
90	90.010	90.030	3.000	9.200	
100	100.020	100.020	3.000	9.000	
200	200.120	200.160	3.200	9.200	
400	399.900	400.100	3.300	9.200	

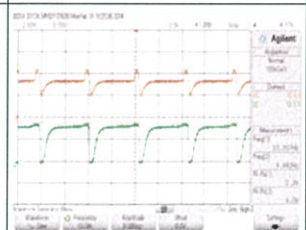
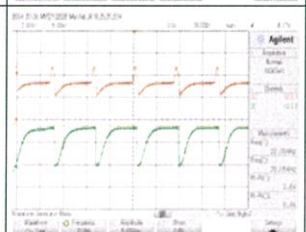
ตารางที่ 4.13 ทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งแสงผ่านไฟเบอร์ออปติกด้วย LED

สีแดง (ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
800	798.600	798.700	3.500	9.400	
1000	1001.600	999.200	3.600	9.400	

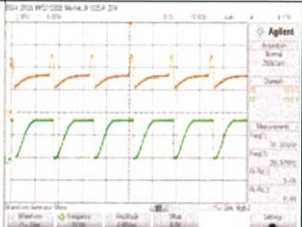
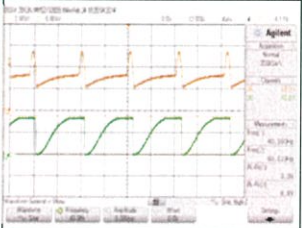
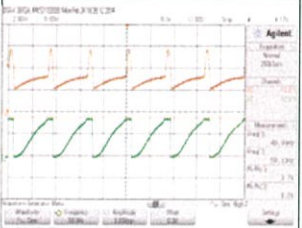
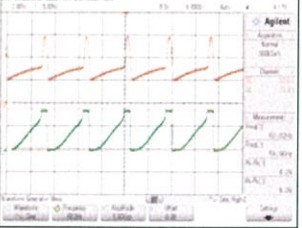
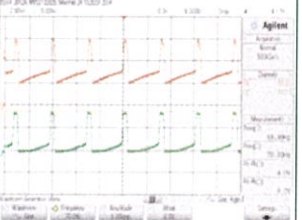
4.6.1.2 LED สีเขียว

ตารางที่ 4.14 ทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งแสงผ่านไฟเบอร์ออปติกด้วย LED สีเขียว

ความถี่(Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
10	10.007	9.992	2.300	9.000	
20	20.004	20.056	2.600	8.800	

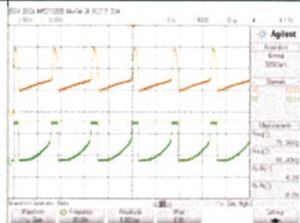
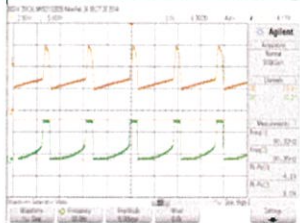
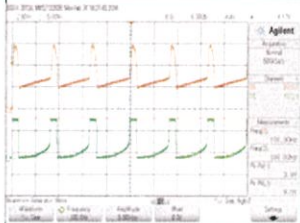
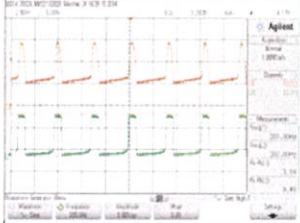
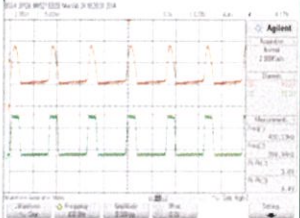
ตารางที่ 4.14 ทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งแสงผ่านไฟเบอร์ออปติกด้วย LED

สี่เขียว (ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
30	30.001	29.976	3.000	8.800	
40	40.000	40.019	3.300	8.800	
50	49.990	50.130	3.700	9.000	
60	59.96	59.960	4.000	9.000	
70	69.990	70.030	4.000	9.000	

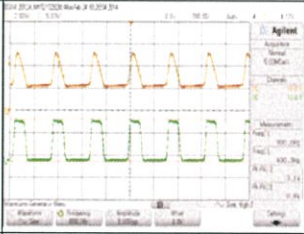
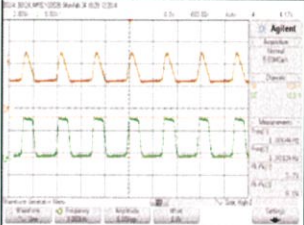
ตารางที่ 4.14 ทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งแสงผ่านไฟเบอร์ออปติกด้วย LED

สี่เขียว (ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
80	79.960	80.000	4.000	9.000	
90	90.320	90.350	4.100	9.000	
100	100.000	100.020	3.900	9.000	
200	200.000	200.000	3.800	9.400	
400	400.130	399.94	3.600	9.400	

ตารางที่ 4.14 ทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งแสงผ่านไฟเบอร์ออปติกด้วย LED

สีเขียว (ต่อ)

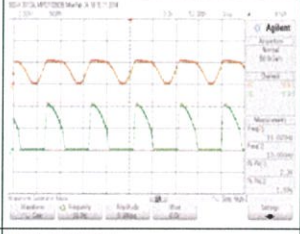
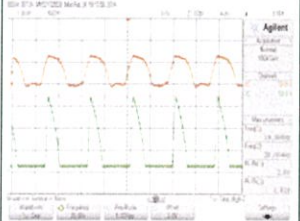
ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
800	800.000	800.300	3.100	9.400	
1000	1000.400	1001.200	2.700	9.000	

4.6.2 ภูเก็ตแสง

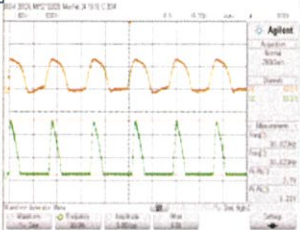
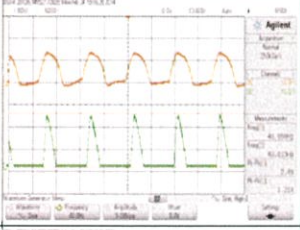
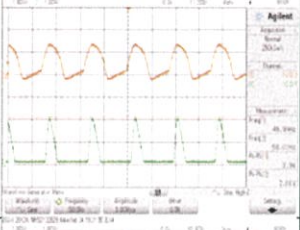
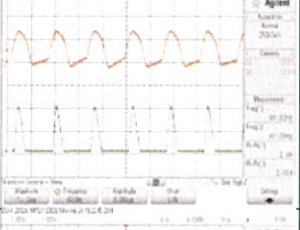
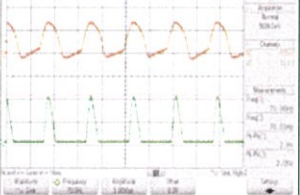
4.6.2.1 LED สีแดง

ตารางที่ 4.15 ทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งแสงผ่านไฟเบอร์ออปติกที่ทำการคลิปปเปอร์

ด้วย LED สีแดง

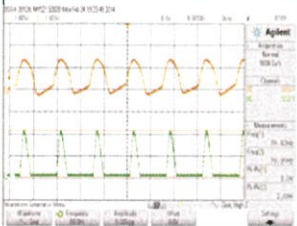
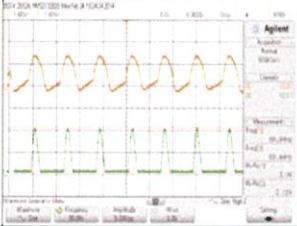
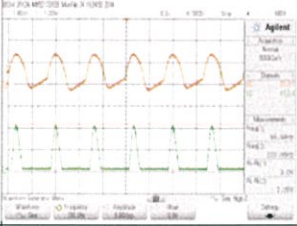
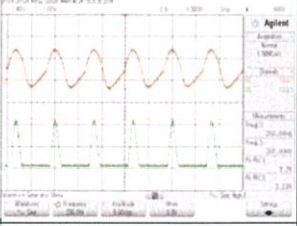
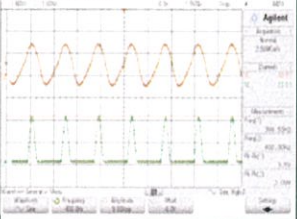
ความถี่(Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
10	10.020	10.000	2.300	1.090	
20	19.996	20.004	2.600	1.610	

ตารางที่ 4.15 ทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งแสงผ่านไฟเบอร์ออปติกที่ทำการคลิ๊ปเปอร์
ด้วย LED สีแดง (ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
30	30.023	30.023	2.700	1.210	
40	40.058	40.013	2.800	1.210	
50	49.990	50.010	2.900	2.900	
60	60.020	60.080	2.900	2.010	
70	70.060	70.010	2.900	2.050	

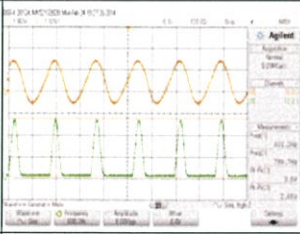
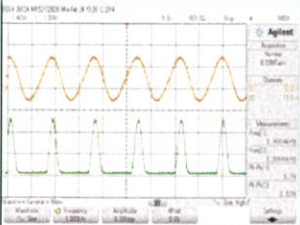
ตารางที่ 4.15 ทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งแสงผ่านไฟเบอร์ออปติกที่ทำการกลับเปอร์

ด้วย LED สีแดง (ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
80	79.920	79.950	3.000	2.090	
90	89.940	89.940	3.000	2.010	
100	99.940	100.060	3.000	2.050	
200	200.040	200.000	3.300	2.130	
400	399.55	400.00	3.500	2.090	

ตารางที่ 4.15 ทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งแสงผ่าน ไฟเบอร์ออปติกที่ทำการคลิ๊ปเปอร์

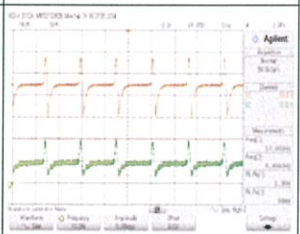
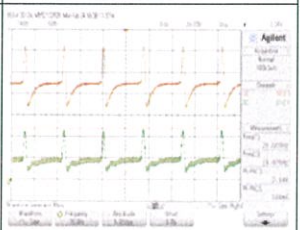
ด้วย LED สีแดง (ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
800	801.000	799.700	3.600	2.650	
1000	1000.400	1000.600	3.700	2.530	

4.6.2.2 LED สีเขียว

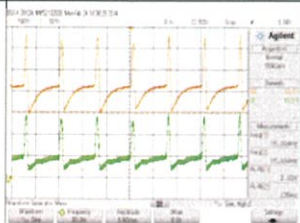
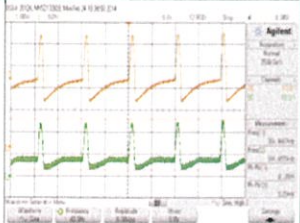
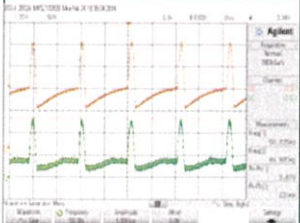
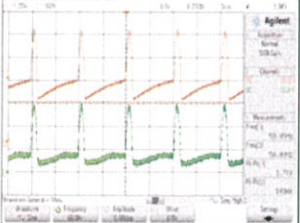
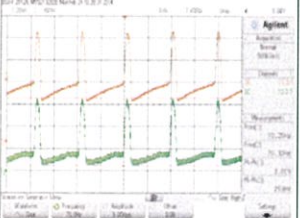
ตารางที่ 4.16 ทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งแสงผ่าน ไฟเบอร์ออปติกที่ทำการคลิ๊ปเปอร์

ด้วย LED สีเขียว

ความถี่(Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
10	10.000	4.994	1.990	0.860	
20	20.008	19.976	2.140	0.101	

ตารางที่ 4.16 ทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งแสงผ่านไฟเบอร์ออปติกที่ทำการคลิ๊ปเปอร์

ด้วย LED สีเขียว (ต่อ)

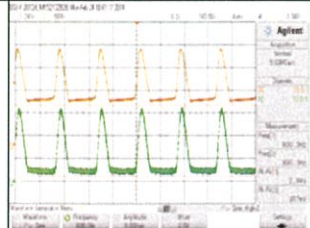
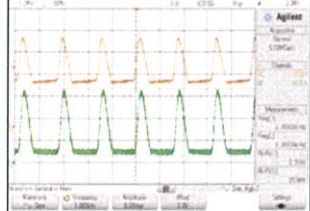
ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
30	15.004	15.004	2.920	0.135	
40	39.987	39.955	3.390	0.115	
50	50.025	49.985	3.670	0.121	
60	59.950	59.900	3.710	0.143	
70	70.250	70.320	3.810	0.153	

ตารางที่ 4.16 ทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งแสงผ่านไฟเบอร์ออปติกที่ทำการคลีปเปอร์

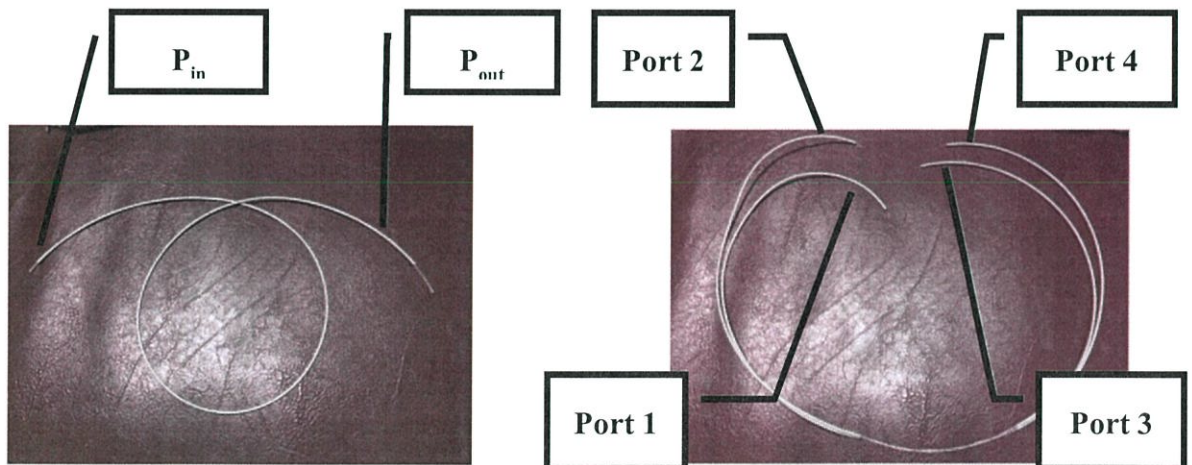
ด้วย LED สีเขียว (ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
80	80.2300	79.950	3.810	0.137	
90	90.010	89.940	3.760	0.137	
100	99.970	99.970	3.840	0.137	
200	199.920	200.160	3.690	0.115	
400	400.060	399.170	3.490	0.129	

ตารางที่ 4.16 ทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งแสงผ่านไฟเบอร์อปติกที่ทำการคัปเปอ์
ด้วย LED สีเขียว (ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Freq1(Hz)	Freq2(Hz)	Pk-Pk1(V)	Pk-Pk2(V)	รูปสัญญาณ
800	800.300	800.300	2.940	0.157	
1000	1000.800	1000.800	2.590	0.153	

4.7 เปรียบเทียบอัตราการแบ่งแสงและค่าการสูญเสียของไฟเบอร์ที่ทำการคัปเปอ์กับไฟเบอร์ อปติก



รูปที่ 4.2 ใช้อ้างอิงในการทำการทดลองตอนที่ 7

- Throughput loss

$$L_{\text{THP}} = -10 \log \frac{P_2}{P_1} \quad (1)$$

- **Tap loss**

$$L_{\text{TAP}} = -10 \log \frac{P_3}{P_1} \quad (2)$$

- **Directionality**

$$L_D = -10 \log \frac{P_4}{P_1} \quad (3)$$

- **Directional coupler**

$$\text{Splitting ratio } P_2/P_3 \quad (4)$$

4.7.1 ค่าการสูญเสียแสงของไฟเบอร์ออปติก

4.7.1.1 LED สีแดง

ตารางที่ 4.17 ค่าการสูญเสียแสงของไฟเบอร์ออปติกด้วย LED สีแดง

ความถี่(Hz)	P_{out} (V)	P_{in} (V)	Loss(dB)
10	9.000	1.090	-9.168
20	9.000	1.610	-7.474
30	9.200	1.210	-8.810
40	9.000	1.210	-8.714
50	9.000	2.900	-4.918
60	9.200	2.010	-6.605
70	9.200	2.050	-6.520
80	9.200	2.090	-6.436
90	9.200	2.010	-6.605
100	9.000	2.050	-6.424
200	9.200	2.130	-6.354
400	9.200	2.090	-6.436
800	9.400	2.650	-5.498
1000	9.400	2.530	-5.700

4.7.1.1 LED สีเขียว

ตารางที่ 4.18 ค่าการสูญเสียแสงของไฟเบอร์ออปติกด้วย LED สีเขียว

ความถี่(Hz)	$P_{out}(V)$	$P_{in}(V)$	Loss(dB)
10	9.000	2.300	-5.925
20	8.800	2.600	-5.295
30	8.800	3.000	-4.673
40	8.800	3.300	-4.259
50	9.000	3.700	-3.860
60	9.000	4.000	-3.521
70	9.000	4.000	-3.521
80	9.000	4.000	-3.521
90	9.000	4.100	-3.414
100	9.000	3.900	-3.631
200	9.400	3.800	-3.933
400	9.400	3.600	-4.168
800	9.400	3.100	-4.817
1000	9.000	2.700	-5.228

4.7.2 ค่าการสูญเสียแสงของไฟเบอร์ออปติกที่ทำการคลัปเปอร์

4.7.2.1 LED สีแดง

ตารางที่ 4.19 ค่าการสูญเสียแสงและเปรียบเทียบอัตราการแบ่งแสงของไฟเบอร์ออปติกที่ทำการคลัปเปอร์ ด้วย LED สีแดง (กำหนดอินพุทคือ Port 1)

ความถี่ (Hz)	Port 1 : $P_1(V)$	Port 3 : $P_2(V)$	Port 4 : $P_3(V)$	Port 2 : $P_4(V)$	L_{THP} (dB)	L_{TAP} (dB)	L_D (dB)	Splitting ratio
10	2.000	0.088	0.044	0.030	13.565	16.575	18.239	2.000:1
20	2.600	0.230	0.030	0.030	10.565	19.378	19.378	7.666:1
30	2.700	0.260	0.030	0.030	10.163	19.542	19.542	8.666:1

ตารางที่ 4.19 ค่าการสูญเสียแสงและเปรียบเทียบอัตราการแบ่งแสงของไฟเบอร์

ออพติกที่ทำการคลีปเปอร์ ด้วย LED สีแดง (กำหนดอินพุตคือ Port 1)(ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Port 1 :P ₁ (V)	Port 3 :P ₂ (V)	Port 4 :P ₃ (V)	Port 2 :P ₄ (V)	L _{THP} (dB)	L _{TAP} (dB)	L _D (dB)	Splitting ratio
40	2.700	0.300	0.030	0.030	9.542	19.542	19.542	10.000:1
50	2.700	0.200	0.030	0.030	11.303	19.542	19.542	6.666:1
60	2.900	0.230	0.050	0.030	11.006	17.634	19.852	4.600:1
70	2.900	0.230	0.030	0.030	11.006	19.852	19.852	7.666:1
80	2.900	0.230	0.030	0.030	11.006	19.852	19.852	7.666:1
90	2.900	0.220	0.030	0.030	11.199	19.852	19.852	7.333:1
100	3.000	0.220	0.030	0.030	11.346	20.000	20.000	7.333:1
200	3.200	0.240	0.030	0.030	11.249	11.249	20.280	8.000:1
400	3.300	0.250	0.030	0.030	11.205	20.413	20.413	8.333:1
800	3.500	0.270	0.030	0.030	11.127	20.669	20.669	9.000:1
1000	3.500	0.260	0.030	0.030	11.290	20.669	20.669	8.666:1

ตารางที่ 4.20 ค่าการสูญเสียแสงและเปรียบเทียบอัตราการแบ่งแสงของไฟเบอร์

ออพติกที่ทำการคลีปเปอร์ ด้วย LED สีแดง (กำหนดอินพุตคือ Port 2)

ความถี่ (Hz)	Port 2 :P ₁ (V)	Port 4 :P ₂ (V)	Port 3 :P ₃ (V)	Port 1 :P ₄ (V)	L _{THP} (dB)	L _{TAP} (dB)	L _D (dB)	Splitting ratio
10	2.100	0.680	0.120	0.120	4.897	12.430	12.430	5.666:1
20	2.700	1.01	0.120	0.120	4.270	13.521	13.521	8.416:1
30	2.900	1.01	0.120	0.120	4.580	13.832	13.832	8.416:1

ตารางที่ 4.20 ค่าการสูญเสียแสงและเปรียบเทียบอัตราการแบ่งแสงของไฟเบอร์

ออปติกที่ทำการคลีปเปอร์ ด้วย LED สีแดง (กำหนดอินพุตคือ Port 2)(ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Port 2 :P ₁ (V)	Port 4 :P ₂ (V)	Port 3 :P ₃ (V)	Port 1 :P ₄ (V)	L _{THP} (dB)	L _{TAP} (dB)	L _D (dB)	Splitting ratio
40	2.900	1.090	0.120	0.120	4.249	13.832	13.832	9.083:1
50	3.000	1.210	0.120	0.120	3.943	13.379	13.379	10.083:1
60	3.000	1.250	0.120	0.120	3.802	13.379	13.379	10.416:1
70	3.000	1.210	0.120	0.120	3.943	13.379	13.379	10.083:1
80	3.100	1.290	0.120	0.120	4.804	14.121	14.121	10.750:1
90	3.100	1.290	0.120	0.120	4.804	14.121	14.121	10.750:1
100	3.100	1.290	0.120	0.120	4.804	14.121	14.121	10.750:1
200	3.300	1.270	0.120	0.120	4.147	14.393	14.393	10.583:1
400	3.400	1.290	0.120	0.120	4.208	14.522	14.522	10.750:1
800	3.600	1.330	0.120	0.120	4.324	14.771	14.771	11.083:1
1000	3.600	1.330	0.120	0.120	4.324	14.771	14.771	11.083:1

4.7.2.1 LED สีเขียว

ตารางที่ 4.21 ค่าการสูญเสียแสงและเปรียบเทียบอัตราการแบ่งแสงของไฟเบอร์
ออปติกที่ทำการคลีปเปอร์ ด้วย LED สีเขียว (กำหนดอินพุตคือ Port 1)

ความถี่ (Hz)	Port 1 :P ₁ (V)	Port 3 :P ₂ (V)	Port 4 :P ₃ (V)	Port 2 :P ₄ (V)	L _{THP} (dB)	L _{TAP} (dB)	L _D (dB)	Splitting ratio
10	2.050	0.129	0.028	0.028	12.011	18.645	18.645	4.607:1
20	2.37	0.137	0.028	0.028	12.380	13.275	13.275	4.892:1
30	3.060	0.157	0.028	0.028	12.898	20.385	20.385	5.607:1

ตารางที่ 4.21 ค่าการสูญเสียแสงและเปรียบเทียบอัตราการแบ่งแสงของไฟเบอร์

ออพติกที่ทำการคลัปเปอร์ ด้วย LED สีเขียว (กำหนดอินพุตคือ Port 1)(ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Port 1 :P ₁ (V)	Port 3 :P ₂ (V)	Port 4 :P ₃ (V)	Port 2 :P ₄ (V)	L _{THP} (dB)	L _{TAP} (dB)	L _D (dB)	Splitting ratio
40	4.10	0.173	0.028	0.028	13.747	21.656	21.656	6.178:1
50	4.310	0.205	0.028	0.028	13.227	21.873	21.873	7.321:1
60	4.250	0.213	0.029	0.028	12.000	21.659	21.659	7.344:1
70	4.180	0.241	0.028	0.028	12.391	21.740	21.740	8.607:1
80	4.120	0.250	0.030	0.028	12.169	21.377	21.677	8.333:1
90	4.050	0.270	0.030	0.028	11.760	21.303	21.602	9.000:1
100	3.990	0.270	0.030	0.030	11.969	21.238	21.238	9.000:1
200	3.730	0.230	0.030	0.030	12.099	20.345	20.345	7.666:1
400	3.670	0.220	0.030	0.030	12.222	20.875	20.875	7.333:1
800	3.410	0.220	0.030	0.030	11.903	20.556	20.556	7.333:1
1000	3.220	0.220	0.030	0.030	11.654	20.303	20.307	7.333:1

ตารางที่ 4.22 ค่าการสูญเสียแสงและเปรียบเทียบอัตราการแบ่งแสงของไฟเบอร์

ออพติกที่ทำการคลัปเปอร์ ด้วย LED สีเขียว (กำหนดอินพุตคือ Port 2)

ความถี่ (Hz)	Port 2 :P ₁ (V)	Port 4 :P ₂ (V)	Port 3 :P ₃ (V)	Port 1 :P ₄ (V)	L _{THP} (dB)	L _{TAP} (dB)	L _D (dB)	Splitting ratio
10	2.050	0.570	0.030	0.030	5.558	18.346	18.346	19.000:1
20	2.21	0.570	0.030	0.030	5.885	18.672	18.672	19.000:1
2.73	0.620	0.030	0.030	0.030	6.437	19.590	19.590	20.666:1

ตารางที่ 4.22 ค่าการสูญเสียแสงและเปรียบเทียบอัตราการแบ่งแสงของไฟเบอร์

ออปติกที่ทำการคลีปเปอร์ ด้วย LED สีเขียว (กำหนดอินพุตคือ Port 2)(ต่อ)

ความถี่ (Hz)	Port 2 :P ₁ (V)	Port 4 :P ₂ (V)	Port 3 :P ₃ (V)	Port 1 :P ₄ (V)	L _{THP} (dB)	L _{TAP} (dB)	L _D (dB)	Splitting ratio
40	4.080	0.940	0.032	0.030	6.375	21.055	21.335	29.375:1
50	4.200	1.130	0.032	0.030	5.701	21.180	21.461	35.312:1
60	4.180	1.050	0.032	0.030	5.999	21.160	21.440	32.812:1
70	4.140	1.170	0.032	0.030	5.488	21.118	21.398	36.562:1
80	4.070	1.110	0.032	0.030	5.642	21.044	21.324	34.687:1
90	3.980	1.070	0.032	0.030	5.704	20.947	21.227	33.437:1
100	3.870	1.150	0.032	0.030	5.270	20.825	21.105	35.937:1
200	3.660	1.110	0.036	0.030	5.181	20.071	20.863	30.833:1
400	3.560	1.010	0.036	0.030	5.471	19.051	20.743	28.055:1
800	3.340	1.090	0.032	0.030	4.863	20.185	20.466	34.062:1
1000	3.130	1.030	0.028	0.030	4.827	20.483	20.184	36.785:1

4.8 ศึกษาค่าโวลต์ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้ฟิลเตอร์ในการกรองแสง

4.8.1 LED สีแดง

ตารางที่ 4.23 ค่าโวลต์ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้ฟิลเตอร์ในการกรองแสง

ด้วยLEDสีแดง

ความถี่ (Hz)	Pk-Pk1 (V)	Pk-Pk2 (V)	ฟิลเตอร์ สีแดง	ฟิลเตอร์ สีเขียว
100	2.100	1.490	1.330	0.360
200	2.200	1.650	1.410	0.440
400	2.100	1.450	1.410	0.360
800	2.100	1.650	1.450	0.440
1000	2.100	1.650	1.330	0.480

4.8.1 LED สีเขียว

ตารางที่ 4.24 ค่าโวลต์ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้ฟิลเตอร์ในการกรองแสง

ด้วยLEDสีเขียว

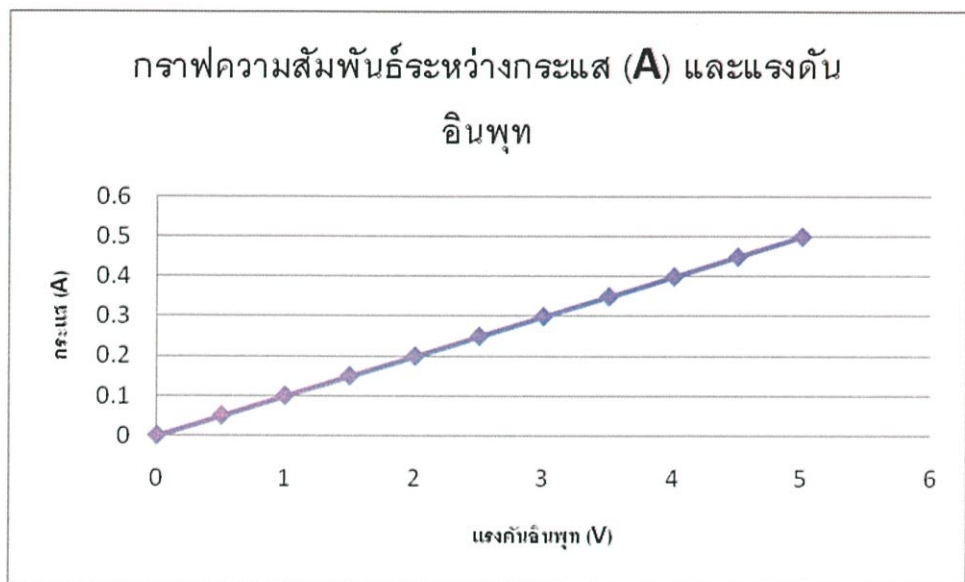
ความถี่ (Hz)	Pk-Pk1 (V)	Pk-Pk2 (V)	ฟิลเตอร์ สีแดง	ฟิลเตอร์ สีเขียว
100	1.900	0.400	0.040	0.310
200	1.900	0.390	0.032	0.360
400	2.000	0.400	0.032	0.350
800	2.000	0.430	0.040	0.370
1000	2.000	0.450	0.036	0.370

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทำงานของ LED จากการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุท

จากการศึกษาการทำงานของ LED จากการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุทพบว่า เมื่อวัดแรงดันตกคร่อม LED จะมีแรงดันตกคร่อมที่ใกล้เคียงกับแรงดันอินพุทที่ป้อนให้กับ LED โดยที่ไฟ LED จะเริ่มติดที่ 1.8 V หลอด LED จะค่อยๆสว่างขึ้น เมื่อปรับให้แรงดันสูงขึ้น



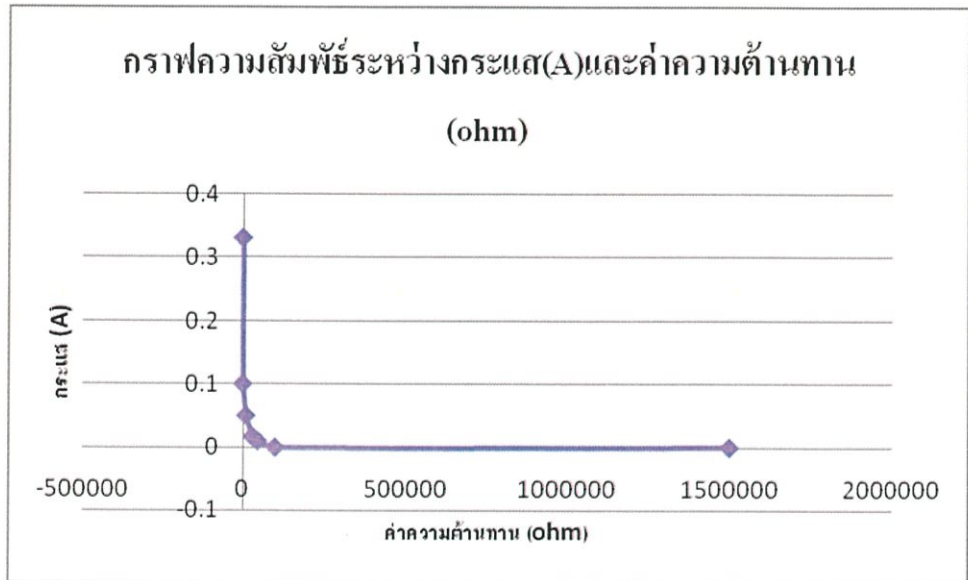
รูปที่ 5.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (A) และแรงดันอินพุท (V)

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าความสว่างของ LED จะแปรผันตรงกับแรงดันอินพุทที่ป้อนให้กับวงจร

5.2 สรุปผลการทำงานของ LED เมื่อป้อนแรงดันที่ 5 V และปรับค่าความต้านทาน

จากการศึกษาการทำงานของ LED เมื่อป้อนแรงดันที่ 5 V และปรับความต้านทานจาก 15Ω , 50Ω , $10k\Omega$, $30k\Omega$, $47k\Omega$, $100k\Omega$, $1.5M\Omega$ พบว่าแรงดันตกคร่อม LED จะมีค่าลดลงเมื่อ

ค่าความต้านทานมากขึ้น และ ไฟ LED จะค่อยๆหรี่ลงจนดับเมื่อค่าความต้านทานมีค่าเท่ากับ $10\text{ k}\Omega$



รูปที่ 5.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (A) และค่าความต้านทาน

จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ความสว่างของ LED แปรผกผันกับค่าความต้านทาน

5.3 สรุปผลการทำงานของวงจรที่ออกแบบโดยป้อนสัญญาณอินพุตด้วย Sine Wave ของตัวส่งสัญญาณกำหนดให้ ป้อนแรงดันที่ 5 V กระแส 5A ที่ภาคส่ง วัดแรงดันหลังจากขยายสัญญาณที่ภาครับสัญญาณ

ภาครับที่ออกแบบมา สามารถจับสัญญาณได้ดี เมื่อปรับค่าความต้านทานให้น้อยที่สุด วงจรภาครับจะมีการขยายสัญญาณสูงจนรูปสัญญาณมีลักษณะถูกขลิบที่บริเวณสันคลื่นและท้องคลื่น ซึ่งแสดงว่าขยายสัญญาณมากจนสูงเกิน Gain ขยายของ IC

5.4 สรุปผลการทำงานของวงจรที่ออกแบบโดยป้อนสัญญาณอินพุตด้วย Sine Wave ของตัวรับสัญญาณ โดยเปรียบเทียบจาก LED สีแดงและสีเขียวเมื่อส่งผ่านอากาศ ระยะห่าง 10 cm

วงจรภาครับที่ออกแบบมาสามารถจับสัญญาณได้ดีในระยะทางไม่เกิน 10 cm เมื่อส่งผ่านอากาศ และจับสัญญาณแสงสีเขียวได้ดีกว่าแสงสีแดง

5.5 สรุปผลการทำงานของวงจรที่ออกแบบโดยส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์ที่ทำการคลีปเปอร์

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบแรงดัน output ก่อนออกลำโพงของสายไฟเบอร์ที่ทำการคลีปเปอร์ เมื่อป้อนความถี่ 400 Hz

ความถี่ 400 Hz	แรงดัน output ก่อนออกลำโพง (V)	
	Port 3	Port 4
แดง (เข้า port 2)	0.28	3.70
เขียว (เข้า port 1)	3.50	2.1

เมื่อส่งแสง ผ่านสายเส้นที่ 1 (port 1)เกิดการแบ่งแสงหรือกระจายได้มากกว่า ส่งแสงผ่านสายไฟเบอร์เส้นที่ 2 (port 2)

5.6 สรุปผลการทำงานของวงจรที่ออกแบบส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์เปรียบเทียบกับสายไฟเบอร์ที่ทำการคลีปเปอร์

เมื่อส่งสัญญาณแสงผ่านสายไฟเบอร์ที่ทำการคัลป์เปอร์ จับสัญญาณ ได้แรงดัน ที่ที่ out put เมื่อเปรียบเทียบกับสายไฟเบอร์ที่ไม่ได้ทำการคัลป์เปอร์พบว่ามีค่าลดลงประมาณ 50-300 เท่า แสดงให้เห็นว่า สายที่ทำการคัลป์เปอร์นั้นมีการสูญเสียสัญญาณที่สูงมาก

5.7 เปรียบเทียบอัตราการแบ่งแสงและค่าการสูญเสียของไฟเบอร์ที่ทำการคัลป์เปอร์กับไฟเบอร์ออฟติก

อัตราการแบ่งแสงที่คืนนั้น ควรมีค่าสัดส่วน 1:1 แต่ในการทดลองพบว่า อัตราการแบ่งแสงมีสัดส่วนต่างกันมาก จึงสรุปได้ว่าสายที่ทำการคัลป์เปอร์ในการทดลองนี้มีประสิทธิภาพที่ต่ำ ไม่สามารถ เกิดกระบวนการ MULTIPLEX ได้

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบการสูญเสียกำลังแสงของ LED สีแดงและสีเขียว เมื่อป้อนความถี่ 400 Hz

ความถี่ 400 Hz	แรงดัน input : P ₁ (V)	แรงดัน output			L _{THP} (dB)	L _{TAP} (dB)	L _D (dB)	L _E (dB)	Splitting ratio
		Port 3 : P ₂ (V)	Port 4: P ₃ (V)	P ₄ (V)					
แดง (Port 2)	3.3	2.090	3.500	0.12 0 (Port 1)	4.208	14.522	14.522	-2.288	10.750
เขียว (Port 1)	3.6	3.490	0.129	0.03 0 (Port 2)	12.222	20.875	20.875	-0.023	7.333

5.8 ศึกษาค่าโวลต์ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้ฟิลเตอร์ในการกรองแสง

ฟิลเตอร์กรองแสงที่มีสีต่างจากสีของแหล่งกำเนิดแสงนั้น เมื่อนำมาใช้กรองแสง จะทำให้สัญญาณที่ส่งมามีค่าลดลง จึงนำมาใช้ตัดแสงในกระบวนการ DEMULTIPLEX ได้

5.9 วิจัยารณ์ผลการทดลอง

1. เนื่องจากอุปกรณ์ในการทดลองมีการตอบสนองที่ไวต่อแสง ดังนั้นห้องที่ทำการทดลองควรจะเป็นห้องที่มีดสนิท แต่ห้องที่ใช้ในการทดลองนี้ไม่ใช่ห้องที่มีดสนิทจึงทำให้เกิดความผิดพลาดในการทดลอง
2. ตรงบริเวณที่ใช้ทำคั่วบ ควรจะชุบ Cladding ที่หุ้มเส้นใยนำแสงออกเพื่อที่แสงจะได้ Splitting ไปยังอีกเส้น ได้ดีกว่า
3. เนื่องจากตรงบริเวณจุดต่อจาก LED กับเส้นใยแก้วและจากเส้นใยแก้วกับ Photodiode มีประสิทธิภาพต่ำ จึงทำให้แสงเกิดการกระเจิงออก เพราะฉะนั้นประสิทธิภาพในการรับ-ส่งสัญญาณแสงไม่เต็มที่เกิดการสูญเสียแสงมาก
4. ในการทดลองส่งสัญญาณแสงในแบบต่าง ๆ นั้น ได้ทำการทดลองหลายครั้ง มีการเคลื่อนย้ายและมีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ในบางส่วนทำให้ผลการทดลองที่ได้ยังไม่เสถียร
5. ในการทดลองส่งเสียงผ่านแสง LED พบว่า ที่ภาครับมีเสียงเพลงดังออกมาแต่อาจไม่ชัดเจนเนื่องจาก มีสัญญาณรบกวน
6. ในการส่งสัญญาณแสง LED ควรใช้ LED ชนิด Super Bright เพราะให้ความเข้มแสงมาก
7. เมื่อส่งแสงผ่านสายไฟเบอร์ ที่ปลายสายแสงมีการบานออกมากจึงควรใช้เลนส์นูนมารวมแสงก่อนจะเข้า Photodiode

เอกสารอ้างอิง

[Online].Available : <http://www.school.net.th/library/snet1/network/ask1.htm>

[Online].Available : <http://th.wikipedia.org/wiki>

[Online].Available : <http://vcharkarn.com/varticle/38579>

[Online].Available : <http://krusomchart.wordpress.com/>