สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเชื่อมต่อสัญญาณด้วยใยแก้วนำแสงโพรงสั่นพร้องแบบวงแหวน

นางสาวเกศินี เกียรติสมภพ
นางสาวอธิศรี ประยูรทอง

ปพ.
ภาคที่ 1
2548

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62302
วัน,เดือน,ปี 8 ส.ค. 2549

b 11620079
i.....

โครงงานพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Optical Cross-Connect via Fiber Optic Ring Resonator

Ms. Kesinee Kiatsomphop

Ms. Athisri Prayoonthong

A Speccial Project Submitted in partial Fulfillment of the Requitement for

the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Lardkrabang

Academic Year 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การเชื่อมต่อสัญญาณด้วยใยแก้วนำแสงโพรงสั่นพ้องแบบวงแหวน

นักศึกษา นางสาว เกศินี เกียรติสมภพ

นางสาว อธิศรี ประยูรทอง

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ปรีชา ยุพาพิน

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.กีรยุทธ์ ศรีนวลจันทร์

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	อ.ภารุจ บัณฑิธาดาวิทย์	
กรรมการ	อ.กาจปัญญา สุวรรณสุโข	
กรรมการ	อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ปรีชา ยุพาพิน	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ.กีรยุทธ์ ศรีนวลจันทร์	

.....

(รองศาสตราจารย์วิชาญ เตชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การเชื่อมต่อสัญญาณด้วยใยแก้วนำแสงโพรงสั่นพ้องแบบวงแหวน

นักศึกษา นางสาว เกศินี เกียรติสมภพ
นางสาว อธิศรี ประยูรทอง
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์-โซลิดสเตทอิเล็กทรอนิก
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ปรีชา ยุพาพิน
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.กีรยุทธ์ ศรีนวลจันทร์

บทคัดย่อ

การศึกษาการทดลองนี้เป็นพื้นฐานของการศึกษาโพรงสั่นพ้องแบบวงแหวน หลักการในการศึกษานี้เราใช้เลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตรทำการนำแสงเข้าสู่ใยแก้วนำแสงโมดเดียว รูปแบบการใช้ใยแก้วโพรงสั่นพ้องอาศัยคัปเปลอร์ขนาด 2×2 การทดลองนี้มีตัวแปรที่สำคัญคือค่าความถี่จากเจนเนอเรเตอร์เราปรับค่าความถี่แล้วสังเกตดูการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณเอาท์พุททางออสซิโลสโคปเพื่อหาค่าความถี่สั่นพ้องที่ทำให้เกิดค่าแอมพลิจูดสูงที่สุด เพื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานทางด้านสื่อสารต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	**Optical Cross-connect via Fiber Optic Ring Resonator**
Name	**Ms. Kesinee Kiatsomphop**
	Ms. Athisri Prayoonthong
Department	**Applied Physics**
Program	**Applied Physics**
Academic Year	**Dr. Preecha Yupapin**
Special Project co-dvisor	**Mr. Keerayoot Srinuanjan**

ABSTRACT

This experiment as a basic of fiber optic ring resonetor .The principle of this study that a laser-diode pulse with wavelength 1550 nm. is launched in to a single mode fiber coupler (50% fiber coupler). An optical resonetor is formed by using 2×2 coupler.The vital variable in this experiment is frequency from generator. We used the length of ring resonator 2 kilometers and 4 kilometers.We should observed change of amplitude from osilloscope.The result for develop comunication.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. ปรีชา ยุพาพิน ที่ให้โอกาสในการศึกษาโครงงานพิเศษชิ้นนี้ ขอขอบพระคุณอาจารย์กีรยุทธ์ ศรีนวลจันทร์ ที่ให้ความรู้ในการทำโครงงานชิ้นนี้ตลอดมา ขอขอบคุณพี่ๆที่ห้องแลบไฟเบอร์ออปติคทุกท่านที่คอยช่วยเหลือดูแลในทุกเรื่อง ขอขอบคุณพ่อ แม่ พี่ และน้องที่ให้กำลังใจให้กำลังทรัพย์ และให้ในทุกสิ่ง สุดท้ายนี้ขอบคุณเพื่อนๆฟิสิกส์ประยุกต์-โซลิดสเตทอิเลกทรอนิกส์ทุกคนที่รักกันตลอดมา

นางสาวเกศินี เกียรติสมภพ

นางสาวอธิศรี ประยูรทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1. ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2. วัตถุประสงค์	1
1.3. ขอบเขตในการศึกษา	1
1.3.1 ทฤษฎี	1
1.3.2 การทดลอง	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 โครงสร้างของใยแก้วนำแสง	4
2.2 ชนิดของใยแก้วนำแสง	5
2.2.1 เส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียว (Single Mode Fiber Optic)	5
2.2.2 เส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมด (Multi-Mode Fiber Optic -MMF)	6
2.3 จุดเด่นของสายใยแก้วนำแสง	7
2.4 คลื่นแสงในใยแก้วนำแสง	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5 การเชื่อมต่อใยแก้วนำแสง	10
2.5.1 การเชื่อมต่อด้วยวิธีการเชื่อมต่อเชิงกล (Mechanics)	10
2.5.2 การเชื่อมต่อโดยวิธีการหลอมรวม (Fusion Splicing)	11
2.5.3 การเชื่อมต่อด้วยหัวต่อ(Connector)	13
2.6 การสูญเสียของสัญญาณแสงในเส้นใยแก้วนำแสง	16
2.6.1 การสูญเสียเนื่องจากการดูดซับแสงของผลึกแก้ว	16
2.6.2 การสูญเสียเนื่องจากการกระเจิงในใยแก้ว	16
2.6.3 ปัญหาการโค้งงอของสาย Bending Loss	17
2.6.4 การสูญเสียเนื่องจากการเข้าหัว Connector และทำเชื่อมต่อ ไม่ดี	17
2.6.4.1 การสูญเสียเชิงกลMechanical Loss	17
2.6.4.2 การสูญเสียจากการหลอมรวม Fusion Splice	17
2.7การดูแลรักษาทั่วไป	18
2.8 การทดสอบสายไฟเบอร์	18
2.8.1 การทดสอบสายไฟเบอร์	18
2.8.2 การทดสอบการรับส่งข้อมูล	19
2.9 ตัวกำทอนแบบวงแหวน(Ring Reonators)	19
2.10 โครงสร้างของออปติคอลคับเปลอร์	20
2.11 ออปติกคอลคอสคอนเนก(Optical cross connect ,OXC)	22
2.12 โพรงสั่นพร้องแบบวงแหวน	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.13 การคำนวณค่าการลดทอนของสัญญาณ	24
2.14 มัลติเพลกซ์เซอร์ (Multiplexer)	25
2.14.1 การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลาTDM	26
2.14.2 การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความถี่ FDM	27
2.14.3 การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่นWDM	27
2.14.4 STDM (Statistical Time Division Multiplexing)	28
บทที่ 3 ขอบเขตและวิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1ขั้นตอนการศึกษาทฤษฎีของโพรงสั่นพ้องแบบวงแหวน	30
3.2 การทดลองสร้างโพรงสั่นพ้องแบบวงแหวน	31
3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลอง	31
3.2.2 ขั้นตอนการสร้างชุดอุปกรณ์	34
3.3ขั้นตอนการเก็บค่าสัญญาณ	35
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 ผลการตรวจสอบลักษณะการแบ่งความเข้มแสงของคัปเปลอร์ชนิด2×2	36
4.2 ผลการศึกษาโดยการคำนวณค่าความถี่ที่เหมาะสม	36
4.3 ผลการศึกษาโดยการทดลองสร้างโพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสง	37
4.3.1 การหาค่าสัญญาณเอาท์พุทที่ผ่านและไม่ผ่านคัปเปลอร์	38
4.3.2 การหาค่าสัญญาณเอาท์พุทที่ผ่านคัปเปลอร์และวงแหวน ระยะทาง 2 กิโลเมตร	38
4.3.3 การหาค่าสัญญาณเอาท์พุทที่ผ่านคัปเปลอร์และวงแหวน ระยะทาง 4 กิโลเมตร	41
4.3.4 การหาค่าสัญญาณเอาท์พุทที่ผ่านคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนก และวงแหวนระยะทาง 2 กิโลเมตร	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญต่อ

หน้า

4.3.5 การหาค่าสัญญาณเอาท์พุทที่ผ่านคัปเปลอร์คอสคอนเนก และวงแหวนระยะทาง 4 กิโลเมตร 69

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

5.1 การใช้เป็นอุปกาณ์เชื่อมโยงเครือข่าย (cross-connect) 84

5.2 สามารถใช้เป็นหน่วยความจำแสงและใช้เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแสง (optical memory and optical clock source) 84

5.3 สามารถใช้เป็นอุปกรณ์รวมและแยกสัญญาณ (add/drop multiplexer) 85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่4.1 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวน ที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่1 38

ตารางที่4.2 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวน ที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่2 40

ตารางที่4.3 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวน ที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่1 41

ตารางที่4.4 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวน ที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่2 42

ตารางที่4.5 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวน ที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่3 44

ตารางที่4.6 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวน ที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่4 45

ตารางที่4.7 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวน ที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่5 47

ตารางที่4.8 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวน ที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่6 48

ตารางที่4.9 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวน ที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่7 50

ตารางที่4.10 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์คอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง 2 กิโลเมตรครั้งที่1 51

ตารางที่4.11 แสดงข้อมูลการคำนวณอัตราการสูญเสียของคัปเปลอร์คอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง 2 กิโลเมตรครั้งที่1 53

ตารางที่4.12แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท1ของคัปเปลอร์คอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง2 กิโลเมตรครั้งที่2 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่4.13 แสดงข้อมูลการคำนวณอัตราการสูญเสียของคัปเปลอร์คอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง 2 กิโลเมตรครั้งที่2 56

ตารางที่4.14 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์คอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง2 กิโลเมตรครั้งที่3 58

ตารางที่4.15 แสดงข้อมูลการคำนวณอัตราการสูญเสียของคัปเปลอร์คอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง 2 กิโลเมตรครั้งที่3 59

ตารางที่4.16แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์คอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง2 กิโลเมตรครั้งที่4 62

ตารางที่4.17 แสดงข้อมูลการคำนวณอัตราการสูญเสียของคัปเปลอร์คอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง 2 กิโลเมตรครั้งที่4 63

ตารางที่4.18แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์คอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง2 กิโลเมตรครั้งที่5 65

ตารางที่4.19 แสดงข้อมูลการคำนวณอัตราการสูญเสียของคัปเปลอร์คอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง 2 กิโลเมตรครั้งที่5 66

ตารางที่4.20 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์คอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง 4 กิโลเมตรครั้งที่1 69

ตารางที่4.21แสดงข้อมูลการคำนวณอัตราการสูญเสียของคัปเปลอร์คอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง 4 กิโลเมตรครั้งที่1 70

ตารางที่4.22 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์คอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง4 กิโลเมตรครั้งที่2 72

ตารางที่4.23แสดงข้อมูลการคำนวณอัตราการสูญเสียของคัปเปลอร์คอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง 4 กิโลเมตรครั้งที่2 73

ตารางที่4.24แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์คอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง 4 กิโลเมตรครั้งที่3 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่4.25แสดงข้อมูลการคำนวณอัตราการสูญเสียของคัปเปลอร์คอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง 4 กิโลเมตรครั้งที่2 76

ตารางที่4.26แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์คอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง4 กิโลเมตรครั้งที่ 4 78

ตารางที่4.27แสดงข้อมูลการคำนวณอัตราการสูญเสียของคัปเปลอร์คอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง 4 กิโลเมตรครั้งที่4 79

ตารางที่4.28 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์คอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง4 กิโลเมตรครั้งที่5 81

ตารางที่4.29แสดงข้อมูลการคำนวณอัตราการสูญเสียของคัปเปลอร์คอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง 4 กิโลเมตรครั้งที่5 82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

บทที่2ทฤษฎีและหลักการ

รูปที่2.1 แสดงโครงสร้างภายในของใยแก้วนำแสง 4

รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการทำงานภายในของเส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียว 5

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างของเส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมดแบบดัชนีขั้นบันได 6

รูปที่2.4 แสดงตัวอย่างการทำงานภายในของ เส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมดแบบ 6
ดัชนีรูปมนที่นิยมใช้ในระบบเครือข่ายทั่วไป

รูปที่2.5 แสดงการเดินทางของแสงในใยแก้ว 9

รูปที่2.6 แสดงอุปกรณ์การทำ การเชื่อมต่อด้วยวิธีการเชื่อมต่อเชิงกล Mechanics Splicing 11
(บน) และลักษณะของ การเชื่อมต่อด้วยวิธีการเชื่อมต่อเชิงกลMechanical Splicing
(ล่าง)ประสิทธิภาพของ Mechanical Splicing

รูปที่ 2.7 แสดลักษณะของการเชื่อมต่อสายใยแก้วนำแสง 2 เส้นด้วยวิธีการ Arc ไฟฟ้า 12

รูปที่ 2.8 แสดงอุปกรณ์การทำการเชื่อมต่อโดยวิธีการหลอมรวม Fusion Splicing 13

รูปที่2.9 แสดงลักษณะของ หัวต่อเอฟซี 13

รูปที่2.10 แสดงหัวต่อเอสซี SC Connector 14

รูปที่2.11 แสดงหัวต่อเอสซี FDDI Connector 14

รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะหัวต่อแบบ เอสเอมเอ SMA Connector 15

รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของ หัวต่อเอสทีและอุปกรณ์ตัวแปลงสาย LAN ที่ใช้ หัวต่อเอสที 15
Jack(ขวา)

รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างตัวกำทอนแบบวงแหวน 19

รูปที่2.15 ก. โครงสร้าง ข. ภาคตัดขวาง ค. สัญลักษณ์ของ2×2ออปติคอลคับเปลอร์ชนิด FBT 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่2.16 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของ ออปติคอลกอสคอนเนกแบบหนึ่ง 22

รูปที่ 2.17 แสดงโพรงสั่นพ้องสร้างขึ้นโดยการใช้กระจกไม่สมบูรณ์วางขนานกัน 23

รูปที่2.18 แสดงโครงสร้างการทำงานมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา 26

รูปที่2.19 โครงสร้างการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความถี่ 27

รูปที่2.20 โครงสร้างการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่นWDM 28

รูปที่2.21 โครงสร้างการมัลติเพลกซ์แบบ STDM (Statistical Time Division Multiplexing) 29

บทที่ 3ขอบเขตและวิธีการดำเนินงานวิจัย

รูปที่3.1 เส้นใยแก้วนำแสงที่เราใช้ในการทดลอง 31

รูปที่ 3.2 แสดงคัปเปลอร์ชนิด2×2ที่ใช้ในการทดลอง 32

รูปที่ 3.3 ชุดอุปกรณ์วัดออสซิโลสโคป 32

รูปที่3.4 แสดงเครื่องเชื่อมต่อใยแก้วแบบหลอมรวม 33

รูปที่ 3.5 ภาพจำลองคัปเปลอร์ที่ใช้ในการทดลอง 34

รูปที่ 3.6 แสดงแบบจำลองโพรงสั่นพ้องแบบวงแหวน 34

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล

รูปที่ 4.1 แสดงชุดการทดลอง 38

รูปที่4.2 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มี ระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่1 39

รูปที่4.3 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มี ระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่2 41

รูปที่4.4 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มี ระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่1 42

รูปที่4.5 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มี ระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่2 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่4.6 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่3 45

รูปที่4.7 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่4 46

รูปที่4.8 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่5 48

รูปที่4.9 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่6 49

รูปที่4.10 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่7 51

รูปที่4.11 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท1ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่1 54

รูปที่4.12 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท2ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่1 54

รูปที่4.13 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท1ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่2 57

รูปที่4.14 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท2ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่2 58

รูปที่4.15 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท1ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่3 61

รูปที่4.16 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท2ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่3 61

รูปที่4.17 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท1ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่4 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่4.18 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท2ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่4 65

รูปที่4.19 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท1ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่5 68

รูปที่4.20 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท2ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่5 68

รูปที่4.21แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท1ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่1 71

รูปที่4.22แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท2ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่1 71

รูปที่4.23แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท1ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่2 74

รูปที่4.24แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท2ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่2 74

รูปที่4.25แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท1ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่3 77

รูปที่4.26แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท2ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่3 77

รูปที่4.27แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท1ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่4 80

รูปที่4.28แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท2ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่4 80

รูปที่4.29แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท1ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่5 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่4.30แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท2ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนก และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่5 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1. ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

จากความเจริญก้าวหน้าของโลก ทั้งทางด้านเทคโนโลยี เศรษฐกิจและสังคมในปัจจุบันนี้ ทำให้มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลและข่าวสารมากขึ้นอีกทั้งวิธีการส่งข้อมูลข่าวสารก็มีหลากหลายรูปแบบ เพื่อเป็นการตอบสนองต่อความต้องการในการส่งข้อมูลทั้งในปัจจุบันและอนาคต ระบบสื่อสารด้วยแสง (Optical Communication System) ที่สามารถส่งข่าวสารและข้อมูลต่างๆได้เป็นจำนวนมากในเวลาเดียวกันได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยที่โครงงานพิเศษนี้เราจะเลือกศึกษาเกี่ยวกับการเชื่อมต่อสัญญาณด้วยใยแก้วนำแสงโดยวิธี Cross Connect ซึ่งวิธีนี้จะทำให้เกิดความรวดเร็วในการส่งสัญญาณและส่งข้อมูลได้พร้อมกันในจำนวนที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่อุปกรณ์ที่ใช้มีขนาดเล็กลงและสะดวกต่อการนำไปใช้งาน

1.2. วัตถุประสงค์

1.2.1เพื่อศึกษาหลักการของโพรงสั่นพรองแบบวงแหวนและการเชื่อมต่อสัญญาณด้วยใยแก้วนำแสงโดยวิธี Cross Connect

1.2.2 ศึกษาหลักการซ้อนทับของคลื่นแสง

1.2.3 สามารถนำความรู้ที่ได้มาไปประยุกต์ใช้ในการส่งสัญญาณของระบบสื่อสารด้วยแสงได้

1.3. ขอบเขตในการศึกษา

โครงงานพิเศษนี้เราจะแบ่งขอบเขตในการศึกษาได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1.3.1 ทฤษฎี

ส่วนของทฤษฎีนี้เราจะทำการศึกษาหลักการของ Optical Cross Connect และศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีของโพรงสั่นพร้องแบบวงแหวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.2 การทดลอง

ส่วนของการทดลองนี้เราจะทำการติดตั้งและทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อทำการทดลองศึกษาความเข้มแสงทะลุผ่านโดยเราจะใช้หัววัดความเข้มแสงสำหรับวัดความเข้มแสงทะลุผ่านและรวบรวมผลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดเพื่อนำไปเป็นข้อมูลสำหรับนำไปพัฒนาระบบสื่อสารต่อไป

1.4. ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

กิจกรรม	มิย.-สค.48	กย.-ตค.48	พย.-ธค.48	มค.-กพ.49	มีค.-เมย.49
1. ศึกษาทฤษฎี	← →				
2. ติดตั้งเครื่องมือ	←	→			
3. ทดสอบเครื่องมือ ในห้องวิจัยและทดลอง			←	→	
4. สรุปผลการทดลอง และเขียนรายงาน				←	→

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ความรู้เกี่ยวกับการเชื่อมต่อสัญญาณด้วยวิธี Cross Connect

1.5.2 ได้ชุดทดลองการเชื่อมต่อสัญญาณทางแสงที่เหมาะสม

1.5.3 สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้กับงานด้านสื่อสารทางแสงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.2 การทดลอง

ส่วนของการทดลองนี้เราจะทำการติดตั้งและทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อทำการทดลองศึกษาความเข้มแสงทะลุผ่านโดยเราจะใช้หัววัดความเข้มแสงสำหรับวัดความเข้มแสงทะลุผ่านและรวบรวมผลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดเพื่อนำไปเป็นข้อมูลสำหรับนำไปพัฒนาระบบสื่อสารต่อไป

1.4. ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

กิจกรรม	มิย.-สค.48	กย.-ตค.48	พย.-ธค.48	มค.-กพ.49	มีค.-เมย.49
1. ศึกษาทฤษฎี	←				
2. ติดตั้งเครื่องมือ	←	→			
3. ทดสอบเครื่องมือ ในห้องวิจัยและทดลอง			←	→	
4. สรุปผลการทดลอง และเขียนรายงาน				←	→

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ความรู้เกี่ยวกับการเชื่อมต่อสัญญาณด้วยวิธี Cross Connect

1.5.2 ได้ชุดทดลองการเชื่อมต่อสัญญาณทางแสงที่เหมาะสม

1.5.3 สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้กับงานด้านสื่อสารทางแสงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
ทฤษฎีและหลักการ

ในปัจจุบัน ระบบการสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง ได้เข้ามามีบทบาท ในการสื่อสารคมนาคมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นระบบการสื่อสาร ที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถรองรับปริมาณข้อมูลข่าวสารได้เป็นจำนวนมาก หัวใจของระบบการสื่อสารนี้ก็คือ ใยแก้วนำแสง (Fiber optic) ซึ่งเป็นตัวกลางในการส่งผ่านข้อมูลในรูปของลำแสงนั่นเอง ใยแก้วนำแสงผลิตโดยการดึงแก้วที่กำลังหลอมออกมาเป็นเส้นใยขนาดเล็ก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณเส้นผมของคนเราเท่านั้น ใยแก้วนำแสงประกอบไปด้วยส่วนหลักๆ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแกน (core) และเปลือก (cladding) ส่วนแกนจะเป็นเนื้อแก้วที่มีดัชนีหักเหสูงกว่าชั้นเปลือกเล็กน้อย ดังนั้น หากให้ลำแสงสัญญาณ ที่มีมุมตกกระทบพอเหมาะไปบนใยแก้ว จะเกิดการสะท้อนกลับหมด ที่รอยต่อระหว่างชั้นทั้งสอง ไม่เกิดการหักเหออกไปสู่ภายนอก ลำแสงจึงสามารถเดินทางผ่านไป ตามใยแก้วนำแสงเป็นระยะทางไกลๆ โดยมีการสูญเสียพลังงานน้อยมาก เปรียบเทียบกันแล้ว ระบบสื่อสารผ่านลวดทองแดง จะต้องติดตั้ง อุปกรณ์ทวนสัญญาณ (repeater) ทุกๆ 1 ไมล์ ขณะที่ระบบใยแก้วนำแสงใช้เพียง 1 จุดต่อระยะทางถึง 20 ไมล์ รวมทั้งยังสามารถร้อยใยแก้วจำนวนมาก ไว้ในท่อเดียวกันได้ โดยที่สัญญาณไม่แผ่ออกมารบกวนซึ่งกันและกัน นอกจากนั้น สัญญาณในรูปลำแสงที่เคลื่อนที่ ไปตามใยแก้วซึ่งเป็นระบบปิดยังช่วยให้ ปลอดภัยจากสิ่งรบกวนภายนอก เช่น สภาพอากาศแปรปรวน หรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่แผ่ออกมาจากอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง คุณภาพของสัญญาณที่ได้จึงมีความคมชัดสูง ไม่ประสบปัญหาคลื่นแทรก เนื่องจากสิ่งรบกวน เหมือนกับการสื่อสารผ่านดาวเทียม ในด้านการบำรุงรักษานั้น ใยแก้วนำแสงทนความร้อนสูงและไม่นำไฟฟ้า จึงมีความปลอดภัย ในการใช้งานสูง รวมทั้งทนต่อการกัดกร่อนได้ดี มีอายุใช้งานยาวนาน สาเหตุหลักที่ทำให้ใยแก้วนำแสง หมดอายุใช้งานคือ การแตกหัก หรือการดูดซับโมเลกุล ของไฮโดรเจนเข้าไปในเนื้อแก้ว ซึ่งทำให้คุณภาพการนำสัญญาณเสียไปใยแก้วนำแสงนอกจากใช้ ในด้านการสื่อสารคมนาคมแล้ว ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ ได้อีก เช่น เป็นส่วนประกอบของ อุปกรณ์ในการควบคุมการทำงาน ของเครื่องจักรภายในโรงงานอุตสาหกรรม อุปกรณ์ตรวจจับสิ่งแปลกปลอม เพื่อป้องกันการบุกรุก ตรวจวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และยังมีความพยายามที่จะนำมาใช้ในทางการแพทย์ โดยผลิตเป็นอุปกรณ์ตรวจภายในร่างกาย ที่สามารถสอดเข้าไปยังจุดที่ต้องการ และส่งสัญญาณภาพออกมา เพื่อช่วยในการตรวจวินิจฉัยโรค เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

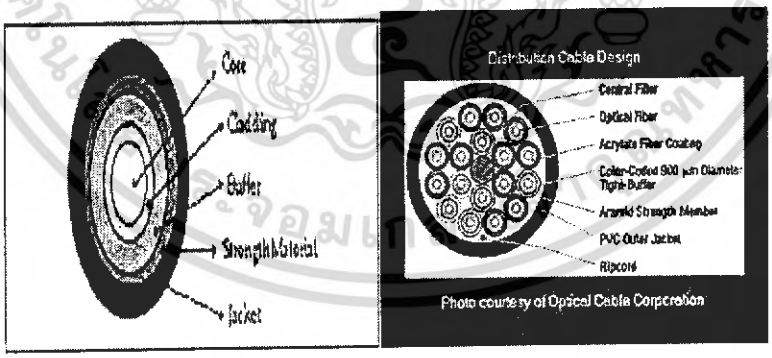
2.1 โครงสร้างของใยแก้วนำแสง (Fiber Optic)

ส่วนประกอบของใยแก้วนำแสงประกอบด้วยส่วนสำคัญหลัก 2 ประการ ได้แก่

2.1.1 ส่วนที่เป็นแกนอยู่ตรงกลางหรือชั้นในแล้วหุ้มด้วยส่วนที่เรียกว่า " แคลดดิง" (Cladding) จากนั้นก็จะถูกหุ้มด้วยส่วนที่ป้องกัน (Coating) โดยที่แต่ละส่วนนั้นทำด้วยวัสดุที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงที่มีค่าแตกต่างกัน

2.1.2 แกน เป็นส่วนตรงกลางของใยแก้วนำแสงและเป็นส่วนที่ใช้นำแสงอีกด้วย โดยมีค่าดัชนีของการหักเหของแสงส่วนนี้ จะต้องมากกว่าส่วนของแคลดดิงแล้วลำแสง ที่ผ่านไปในแกนจะถูกขังหรือเคลื่อนที่ ไปตามใยแก้วนำแสงด้วยขบวนการสะท้อนกลับหมดภายใน

2.1.3 ส่วนของการป้องกัน เป็นชั้นที่ต่อจากแคลดดิงเป็นที่ใช้ป้องกันแสงจากภายนอกไม่ให้เข้ามาที่เส้นใยแก้วนำแสงอีกทั้งยังใช้ป้องกันมิให้แสงจากท่อนำแสงใยแก้วนำแสงภายในให้ออกไปสู่ภายนอกได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์ เมื่อมีการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงโครงสร้างภายในอาจประกอบด้วย ชั้นของพลาสติก(Plastic) หลายๆชั้นนอกจากนี้ส่วนป้องกันยังทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันการกระทำจากแรงภายนอกได้อีกด้วย ตัวอย่างของค่า ดัชนีหักเห เช่น แกนมีค่าดัชนีหักเหประมาณ 1.48 ส่วนของแคลดดิงและส่วนป้องกันซึ่งทำหน้าที่ป้องกัน แสงจากแกนออกไปที่ภายนอก และป้องกันแสงจากภายนอกรบกวนจะมีค่า ดัชนีหักเหเป็น 1.46 และ 1.52 ตามลำดับ



รูปที่2.1 แสดงโครงสร้างภายในของใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

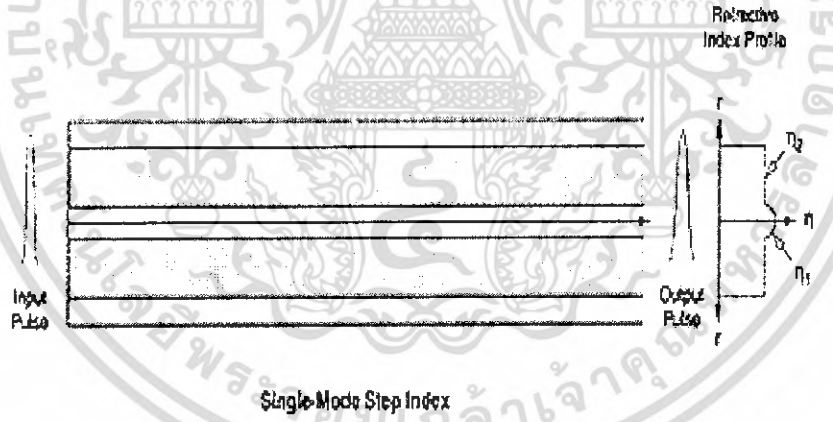
2.2 ชนิดของใยแก้วนำแสง

ภายในใยแก้วนำแสงนั้นจำนวนของลำแสงที่เดินทางหรือเกิดขึ้นจะเป็นตัวบอก "โหมด" (Mode) ของแสงที่เดินทางภายในใยแก้วนำแสงนั้นๆ กล่าวคือ ถ้ามีแนวของลำแสงอยู่ในแนวเดียว เรียกว่า "เส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียว" (Single Mode Fiber Optic -SMF) แต่ถ้าหากภายในใยแก้วนำแสง นั้นมีแนวของลำแสงอยู่เป็นจำนวนมาก เราเรียกว่า "เส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมด" (Multi-Mode Fiber Optic -MMF)

นอกจากการแบ่งชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง ตามโหมดของการทำงานแล้ว ยังสามารถแบ่งตามวัสดุที่ทำเช่น เส้นใยที่ทำจากแก้วพลาสติกหรือ " พอลิเมอร์" (Polymer) และยังสามารถแบ่งได้ตามลักษณะของรูปร่าง ตามลักษณะของดัชนีหักเห เช่น ใยแก้วชนิด "ดัชนีขั้นบันได" (Step Index) หรือ "ดัชนีรูปมน" (Graded Index) เป็นต้น

2.2.1 เส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียว (Single Mode Fiber Optic)

เส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนและแคลดดิงประมาณ 5-10 และ 125 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งส่วนของแกนมีขนาดเล็กกว่าใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมด มาก และให้แสงออกมาเพียงโหมดเดียว ลักษณะหน้าตัดของเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดียวมีดังนี้



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการทำงานภายในของเส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียว

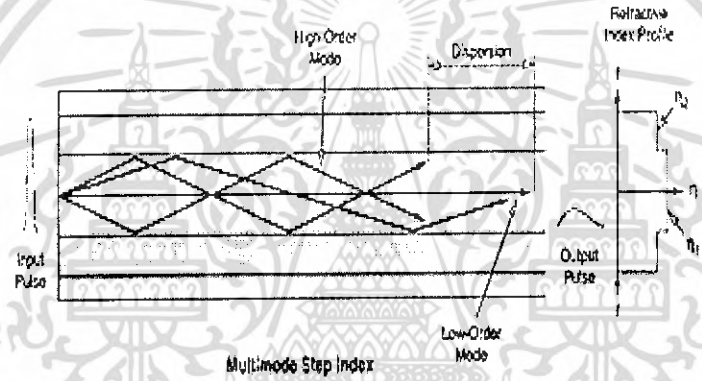
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 เส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมด (Multi-Mode Fiber Optic -MMF)

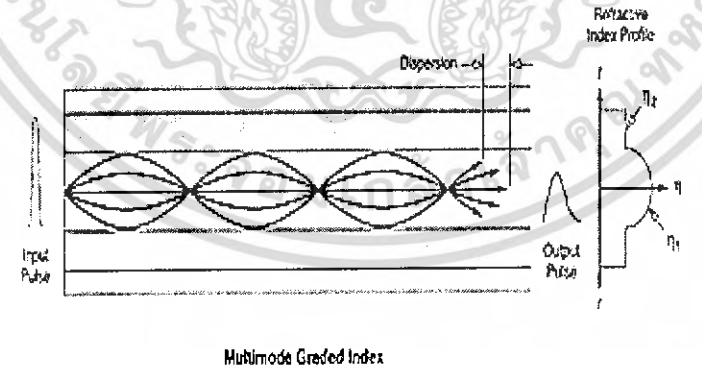
เส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมดส่วนใหญ่มีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางของแกนและแคลดดิง โดยประมาณ 50 ไมครอน - 62.5 ไมครอน โดยมีแคลดดิงขนาด 125 ไมครอน

เนื่องจาก ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนมีขนาดใหญ่ ดังนั้นแสงที่ตกกระทบที่ด้านปลายอินพุทของสายใยแก้วนำแสงจะมีมุมตกกระทบที่แตกต่างกันหลายค่า และจากหลักการสะท้อนแสงกลับหมดของแสงที่เกิดขึ้น ภายในส่วนของแกนทำให้มีแนวของลำแสงเกิดขึ้นหลายโหมดโดยแต่ละโหมดใช้ระยะเวลาในการเดินทางที่แตกต่างกัน อันเป็นสาเหตุที่ทำให้ เกิดการแตกกระจายของแสง (Mode Dispersion)

เส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมดมี 2 แบบได้แก่ "ดัชนีขั้นบันได" (Step Index) หรือ "ดัชนีรูปมน" (Graded Index)



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างของเส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมดแบบดัชนีขั้นบันได



รูปที่2.4 แสดงตัวอย่างการทำงานภายในของ เส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมดแบบดัชนีรูปมนที่นิยมใช้ในระบบเครือข่ายทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 จุดเด่นของสายใยแก้วนำแสง

จุดเด่นของเส้นใยแก้วนำแสงมีหลายประการ โดยเฉพาะจุดที่ได้เปรียบสายตัวนำทองแดง ที่จะนำมาใช้แทนตัวนำทองแดง จุดเด่นเหล่านี้ มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง และดีขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งประกอบด้วย

2.5.1 ความสามารถในการรับส่งข้อมูลข่าวสาร

เส้นใยแก้วนำแสงที่เป็นแท่งแก้ว ขนาดเล็กมีการโค้งงอได้ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใช้กันมาก คือ 62.5/125 ไมโครเมตร เส้นใยแก้วนำแสงขนาดนี้ เป็นสายที่นำมาใช้ภายในอาคารทั่วไป เมื่อใช้กับคลื่นแสงความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร จะส่งสัญญาณได้มากกว่า 160 เมกะเฮิรตซ์ ที่ความยาว 1 กิโลเมตร และถ้าใช้ความยาวคลื่น 1,300 นาโนเมตร จะส่งสัญญาณได้กว่า 500 เมกะเฮิรตซ์ ที่ความยาว 1 กิโลเมตร และถ้าลดความยาวลงเหลือ 100 เมตร จะใช้กับความถี่ของสัญญาณมากกว่า 1 กิกะเฮิรตซ์ได้ ดังนั้นจึงดีกว่าสายยูทีพีแบบแคต 5 ที่ใช้กับสัญญาณได้ 100 เมกะเฮิรตซ์

2.5.2 กำลังสูญเสียต่ำ

เส้นใยแก้วนำแสงมีคุณสมบัติในเชิงการให้แสงวิ่งผ่านได้ การบันทอนแสงมีค่าค่อนข้างต่ำ ตามมาตรฐานของเส้นใยแก้วนำแสง การใช้เส้นสัญญาณนำแสงนี้ใช้ได้ยาวถึง 2,000 เมตร หากระยะทางเกินกว่า 2,000 เมตร ต้องใช้ รีพีตเตอร์ทุกๆ 2,000 เมตร การสูญเสียในเรื่องสัญญาณจึงต่ำกว่าสายตัวนำทองแดงมาก ที่สายตัวนำทองแดงมีข้อกำหนดระยะทางเพียง 100 เมตร หากพิจารณาในแง่ความถี่ที่ใช้ ผลตอบสนองทางความถี่มีผลต่อกำลังสูญเสีย โดยเฉพาะในลวดตัวนำทองแดง เมื่อใช้เป็นสายสัญญาณ คุณสมบัติ ของสายตัวนำทองแดงจะเปลี่ยนแปลง เมื่อใช้ความถี่ต่างกัน โดยเฉพาะเมื่อใช้ความถี่ของสัญญาณที่ส่งในตัวนำทองแดง สูงขึ้น อัตราการสูญเสียก็จะมากตามแต่กรณีของเส้นใยแก้วนำแสง เราใช้สัญญาณความถี่มอดูเลตไปกับแสง การเปลี่ยน สัญญาณรับส่งข้อมูลจึงไม่มีผลกับกำลังสูญเสียทางแสง

2.5.3 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไม่สามารถรบกวนได้

ปัญหาที่สำคัญของสายสัญญาณ แบบทองแดง คือ การเหนี่ยวนำโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ปัญหานี้มีมาก ตั้งแต่เรื่องการรบกวนระหว่างตัวนำหรือเรียกว่า Crosstalk การไม่แมตช์พอดีทางอิมพีแดนซ์ ทำให้มีคลื่นสะท้อนกลับ การรบกวนจากปัจจัย ภายนอกที่เรียกว่า EMI ปัญหาเหล่านี้สร้างให้ผู้ใช้ต้องหมั่นดูแล แต่สำหรับเส้นใยแก้วนำแสง แล้ว ปัญหาเรื่องเหล่านี้จะไม่มี เพราะแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นพลังงานที่มีพลังงานเฉพาะ และไม่ถูกรบกวนโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การเดินทาง ในเส้นแก้วก็ปราศจากการรบกวนของแสงจากภายนอก

2.5.4 น้ำหนักเบา

เส้นใยแก้วนำแสงมีน้ำหนักเบากว่าเส้นลวดตัวนำทองแดง น้ำหนัก ของเส้นใยแก้วนำแสงขนาด 2 แกนที่ใช้ทั่วไป มีน้ำหนักเพียงประมาณ 20 ถึง 50 เปอร์เซนต์ของสาย UTP แบบ CAT 5

2.5.5 ขนาดเล็ก

เส้นใยแก้วนำแสงมีขนาดทางภาคตัดขวางแล้ว เล็กกว่าลวดทองแดง มาก ขนาดของเส้นใยแก้วนำแสง เมื่อรวบวัสดุหุ้มแล้วมีขนาดเล็กกว่าสายยูทีพี โดยขนาดของสายใยแก้วนี้ใช้พื้นที่ประมาณ 15 เปอร์เซนต์ ของเส้นลวดยูทีพีแบบ CAT 5

2.5.6 มีความปลอดภัยในเรื่องข้อมูลสูงกว่า

การใช้เส้นใยแก้วนำแสงมีลักษณะใช้ แสงเดินทางในช่าย จึงยากที่จะทำการแท็ปหรือทำการดักฟังข้อมูล

2.5.7 มีความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน

การที่เส้นใยแก้วเป็นฉนวนทั้งหมด จึงไม่นำกระแสไฟฟ้า การลัดลงจร การเกิดอันตรายจากกระแสไฟฟ้าจึงไม่เกิดขึ้น

2.6 คลื่นแสงในใยแก้วนำแสง

เส้นใยแก้วขนาดเล็กซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ แกน หรือคอร์ (core) และถูกห่อหุ้มด้วยแคลดดิง (Cladding) แสงที่เป็นตัวนำสัญญาณจะถูกส่องเข้าไปในคอร์ เนื่องจากส่วนคอร์และแคลดดิงมีค่าดัชนีหักเหไม่เท่ากัน ทำให้แสง กระทบผิวของแคลดดิงแล้ว สะท้อนกลับหมด (Total Reflection) ทำให้แสงเดินทางเฉพาะส่วนที่เป็นคอร์ไปจนถึงปลายทาง การเดินทางของแสงไปตามกฎการส่งสัญญาณของแสง(Principla of the transmission) ซึ่งสรุปคร่าวๆ

ความเร็วของแสง (Velocity)ที่เดินทางในใยแก้วนั้นจะถูกกำหนดโดยค่าดัชนีหักเหแสง (Refractive Index) ของคอร์ใยแก้ว ค่าดัชนีหักเหแสง (n) เป็นค่าที่ไม่มีหน่วยและเป็นอัตราส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างความเร็วของแสงในสุญญากาศต่อความเร็วของแสงในวัตถุนั้น

$$n = n/c \quad \ldots(1)$$

โดย n:ค่าดัชนีหักเหแสงของวัตถุ (Refractive Index)

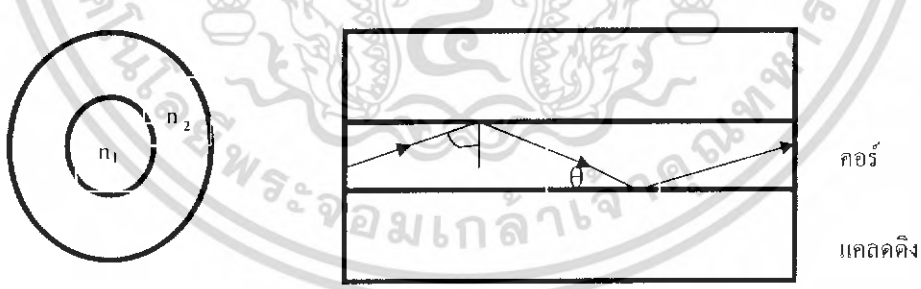
c:ความเร็วแสงในสุญญากาศ(3x108m/s)

v : ความเร็วของแสงในวัตถุ

โดยทั่วไปค่าของ n จะอยู่ที่ประมาณ 1.45-1.55 แสงที่ถูกส่องเข้าไปในใยแก้วด้วยมุมตกกระทบที่ต่างกันจะไม่เดินทางแนวเดียวกัน แสงที่ส่องตรงไปยังศูนย์กลางของใยแก้ว จะเดินทางเกือบจะเป็นเส้นตรง ส่วนแสงที่ส่องด้วยมุมตกกระทบที่ใหญ่ หรือส่องไปยังเปลือกนอกของคอร์จะเดินทางตามแนวที่ยาวกว่าจากต้นสายไปปลายสาย ดังนั้นจึงเดินทางก่อนข้างช้าแนวที่แสงเดินทางในใยแก้วจะเรียกว่า 'โหมด (mode)' เมื่อแสงเดินทางในไฟเบอร์จะเกิดการสูญเสียพลังงาน (Attenuation)

ลักษณะของทางเดินแสงในเส้นใยนำแสงนั้น แสงจะเดินทางในส่วนแกนของเส้นใยนำแสงเท่านั้น แสงจะเดินทางสะท้อนไปมากายในแกน โดยที่ค่าดัชนีหักเหเป็นไปตาม เงื่อนไขคือ $n1 < n2$ เมื่อn1และn2 คือดัชนีหักเหของแกนและแคลดดิงตามลำดับ

ใยแก้วนำแสงมีลักษณะเป็นทรงกระบอก แกนกลางเป็นทรงกระบอกสารไดอิเล็กตริกมีค่าดัชนีหักเหn1 ล้อมรอบด้วยชั้นแคลดดิงสารไดอิเลกตริกที่มีค่าดัชนีหักเหn2 แสงที่เดินทางเข้าสู่ใยแก้วนำแสงจะเกิดการสะท้อนกลับหมดอยู่ภายในแกนกลาง



รูปที่2.5 แสดงการเดินทางของแสงในใยแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมของแสงที่สามารถเคลื่อนที่อยู่ภายในแกนกลางได้ ต้องทำมุม $\theta_c < \theta < 90^\circ$ ตามความสัมพันธ์

$$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

แต่ในความเป็นจริง แสงเดินทางอยู่ในใยแก้วเฉพาะบางมุมเท่านั้น มุมที่แสงเคลื่อนที่คือโหมดของแสง แสงมีการเคลื่อนที่เป็นโหมดเนื่องจากขอบเขตรอยต่อของตัวกลางที่หุ้มคอร์อยู่ประพฤติตัวเปรียบเสมือนโพรงสั่นพ้อง หน้าคลื่นของแสงเดินทางขึ้นตกกระทบรอยต่อด้านบนของชั้นแกนกลางด้วยมุมตกกระทบ θ เกิดการสะท้อนกลับหมดที่ผิวรอยต่อ แสงสะท้อนเดินทางลงด้วยมุม θ เช่นเดียวกัน การเคลื่อนที่ของคลื่นทำให้เกิดการแทรกสอดระหว่างคลื่นเคลื่อนที่ขึ้นกับคลื่นเคลื่อนที่ลง ดังนั้นจึงมีเฉพาะบางมุม ตกกระทบที่ทำให้เส้นทางการเคลื่อนที่มีความถี่สั่นพ้องตรงกับความถี่ของแสงความยาวคลื่นนั้นพอดี ดังนั้นแสงที่เดินทางในใยแก้วจึงเดินทางเป็นโหมดๆไป

2.7การเชื่อมต่อใยแก้วนำแสง

การส่งสัญญาณแสงไปในสายใยแก้วนำแสงจะต้องทำการแปลงสัญญาณไฟฟ้าจากอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณให้เป็นสัญญาณแสงก่อนจึงจะสามารถส่งสัญญาณผ่านไปในสายใยแก้วนำแสงได้ ระบบสื่อสารใยแก้วนำแสงโดยทั่วไปจะต้องมีการเชื่อมต่อในส่วนของใยแก้วนำแสงเสมอโดยการเชื่อมต่อสายใยแก้วนำแสงนี้อาจมีการคลาดเคลื่อนซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียสัญญาณได้จากลักษณะต่างๆของใยแก้วเช่นจากการที่ตำแหน่งของแกนวางไม่ตรงกันหรือการมีระยะห่างระหว่างแกน เป็นต้น จึงได้มีการคิดค้นวิธีการต่างๆ ที่นำมาใช้เชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงเพื่อให้มีการสูญเสียที่น้อยที่สุด

การเชื่อมต่อใยแก้วนำแสงมีหลายวิธีซึ่งการที่จะเลือกใช้วิธีใดก็แล้วแต่ความเหมาะสมกับงานต่างๆที่ต้องการติดตั้งในระบบสื่อสารหรือเครือข่ายสื่อสารดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.7.1 การเชื่อมต่อด้วยวิธีการเชื่อมต่อเชิงกล (Mechanics)

การเชื่อมต่อเชิงกล คือการวางเส้นใยแก้วนำแสงให้อยู่ในแนวแกนเดียวกันโดยใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสม และพยายามทำให้ปลายทั้งสองของใยแก้วนำแสงอยู่ชิดกันมากที่สุด การเชื่อมต่อนี้จะช่วยลดการสูญเสียแสงเนื่องจาก การติดตั้งจากการเบี่ยงเบนในแนวต่างๆ ลง เช่น การที่จะส่งสัญญาณแสงจากใยแก้วนำแสงไปยังอีกเส้นหนึ่งให้มีการสูญเสียน้อยที่สุด ตรงรอยต่อระหว่างใยแก้วนำแสงทั้งสอง อาจต้องมีเจลเชื่อมต่อด้วย (Index Matching Gel) ซึ่งเป็นของเหลวใสที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าดัชนีหักเหใกล้เคียงกับค่าดัชนีหักเหของใยแก้วนำแสงการเชื่อมต่อด้วยวิธีนี้ อาจทำให้เกิดการสูญเสียของสัญญาณอยู่ในช่วง 0.1-0.5 dB

รูปที่2.6 แสดงอุปกรณ์การทำ การเชื่อมต่อด้วยวิธีการเชื่อมต่อเชิงกล Mechanics Splicing (บน) และลักษณะของ การเชื่อมต่อด้วยวิธีการเชื่อมต่อเชิงกล Mechanical Splicing (ล่าง)

ประสิทธิภาพของ Mechanical Splicing

- Loss ถ้าหากเป็นสาย Single Mode Fiber จะมีการสูญเสียประมาณ 0.2 dB โดยมีการ Loss สูงสุดอยู่ที่ 0.5 dB จากการทดสอบสาย Single Mode จากผู้ผลิตต่างๆ จะพบว่ามีความแตกต่างกันเล็กน้อย จะอยู่ที่ 0.15 dB สำหรับการสูญเสียบน Multi-Mode Fiber Optic จะอยู่ที่ 0.08 - 0.2 dB และการสูญเสียทั้งหมด จะอยู่ที่ 0.3 - 0.6 dB

- ผลกระทบจากอุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่อยู่ในช่วง -55 องศาเซนติเกรด ไปจนถึง +35 องศาเซนติเกรด จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ประมาณ 0.05 dB สำหรับสาย Single Mode อุณหภูมิประมาณ 25 องศา และ 80 องศา

2.7.2 การเชื่อมต่อโดยวิธีการหลอมรวม (Fusion Splicing)

การเชื่อมต่อแบบหลอมรวมเป็นการเชื่อมต่อใยแก้วนำแสงสองเส้นเข้าด้วยกันโดยการให้ความร้อนที่ปลายของเส้นใยแก้วนำแสงจากนั้นปลายเส้นใยแก้วนำแสงจะถูกดันออกมาเชื่อมต่อกันการเชื่อมต่อกันในลักษณะนี้ เป็นการเชื่อมต่อโดยถาวร จนทำให้ดูเหมือนรวมเป็นเส้นเดียวกัน

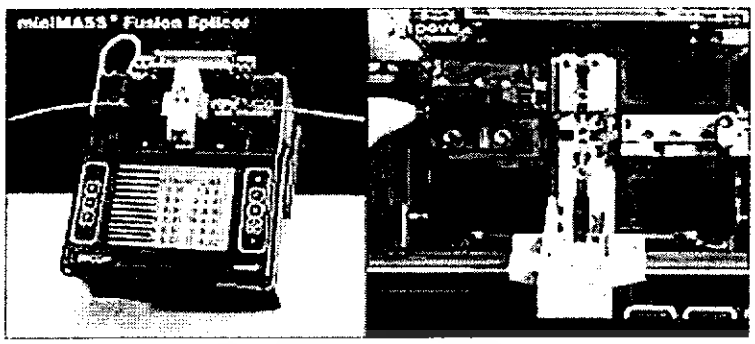
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสูญเสียจากการเชื่อมต่อในลักษณะนี้ จะทำให้มีความสูญเสีย ประมาณ 0.01 - 0.2 dB ในขั้นตอนการเชื่อมต่อนี้ ความร้อนที่ทำให้ปลายเส้นใยแก้วนำแสงอ่อนตัวลงด้วยประกายไฟที่เกิดจากการ Arc ระหว่างขั้วอิเลกโทด (Electrode) ขณะทำการหลอมรวมซึ่งจะยังผลให้การเชื่อมต่อของใยแก้วนำแสงเป็นเนื้อเดียวกัน

รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะของการเชื่อมต่อสายใยแก้วนำแสง 2 เส้นด้วยวิธีการ Arc ไฟฟ้า

สำหรับการเชื่อมต่อแบบหลอมรวมแบบเดิมนั้น การปรับตำแหน่งการวางตัวของเส้นใยแก้วนำแสง 2 เส้น อาศัยวิธีการปรับฐานรองด้วยการสังเกตผ่านกล้องขยาย แต่ในปัจจุบันมีการใช้วิธีการทางแสงมาช่วยในการจัดวางดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อให้การดำเนินการเป็นไปอย่างอัตโนมัติ วิธีการนี้มีชื่อว่า "แอลไอดี (Light Injection and Detection, LID)" โดยอาศัยหลักการตรวจวัดปริมาณแสงที่ได้จากเส้นใยแก้วนำแสงเส้นที่สองซึ่งส่งผ่านมาจากเส้นใยแก้วเส้นที่ 1 ถ้าพบว่าการวางตัวของเส้นใยแก้วทั้งสองอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมปริมาณแสงที่ตรวจวัดได้จะให้ค่ามากที่สุดพร้อมที่จะทำการหลอมรวมแสงที่ใช้ในการตรวจสอบมาจากการส่งผ่านแสงของแอลอีดี เข้าไปในบริเวณที่เส้นใยแก้วถูกทำให้โค้ง โดยท่อทรงกระบอกซึ่งมีรัศมีเล็ก (ประมาณ 2-3 มิลลิเมตร)และการตรวจวัดแสงก็อาศัยอุปกรณ์รับแสง ซึ่งวางชิดกับบริเวณที่ถูกทำให้โค้งของเส้นใยแก้วนำแสง วิธีการตรวจวัดแสงดังกล่าว อาศัยคุณสมบัติของใยแก้วนำแสงเกี่ยวกับการโค้งงอของเส้นใยแก้าที่ทำให้เกิดการสูญเสียขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงอุปกรณ์การทำการเชื่อมต่อโดยวิธีการหลอมรวม Fusion Splicing

2.7.3 การเชื่อมต่อด้วยหัวต่อ(Connector)

การเชื่อมต่อใยแก้วนำแสงยังสามารถทำได้โดยการใช้หัวต่ออีกด้วย ทำให้มีความสะดวกในการถอดได้ตามความจำเป็น หัวต่อสำหรับใยแก้วนำแสงมีหลายแบบ ดังนี้

2.7.3.1 หัวต่อแบบเอฟซี (FC Connector)

หัวต่อเอฟซีได้รับการออกแบบโดย NTT ของญี่ปุ่น ที่ได้รับความนิยมมากในญี่ปุ่น รวมทั้งสหรัฐและยุโรป ส่วนมาก Connector แบบนี้ จะถูกนำไปใช้งานทางด้านเครือข่ายโทรศัพท์ เนื่องจาก หัวต่อ แบบนี้ อาศัยการขันเกลียว เพื่อยึดติดกับหัวปรับ ข้อดีของหัวต่อประเภทนี้ ได้แก่ การเชื่อมต่อที่แน่นหนา แต่ข้อเสียคือการเชื่อมต่ออาจต้องเสียเวลามาก

รูปที่2.9 แสดงลักษณะของ หัวต่อเอฟซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3.2 หัวต่อแบบเอสซี (SC Connector)

ออกแบบโดย AT&T สำหรับการเชื่อมต่อใยแก้วนำแสงภายในอาคารสำนักงาน ซึ่งเครือข่าย LAN ชนิดนี้ เหมาะสำหรับ งานที่ต้องการถอดเปลี่ยนหัวต่ออย่างรวดเร็ว โดยไม่สนใจความแน่นหนาของหัวต่อ

รูปที่2.10 แสดงหัวต่อเอสซี SC Connector

2.7.3.3 หัวต่อแบบเอฟดีดีไอ (FDDI Connector)

ออกแบบโดย American National Standards Institute, (ANSI) สำหรับใช้งานบนเครือข่าย หัวต่อเอสซี โดยเฉพาะ

รูปที่2.11 แสดงหัวต่อเอสซี FDDI Connector

2.7.3.4 หัวต่อแบบ เอสเอมเอ Connector แบบ SMA

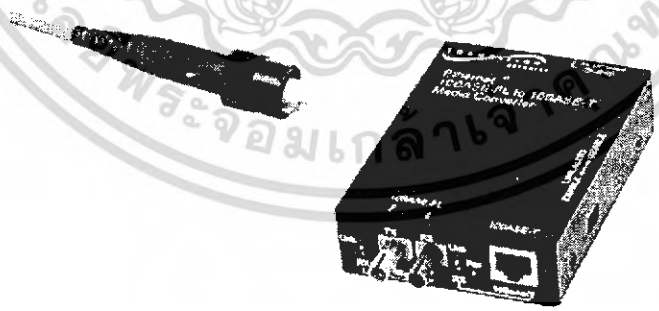
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น Connector อีกแบบหนึ่งที่ได้รับความนิยมมาก โดยเฉพาะในงานของ NATO และในกิจการทางทหารของสหรัฐ ออกแบบโดย Amphenol Corp.

รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะหัวต่อแบบ เอสเอมเอ SMA Connector

2.7.3.5 หัวต่อเอสที ST-Connector

เป็นหัวต่อ ที่ถูกนำมาใช้งานสำหรับสายใยแก้วนำแสง เส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียว" (Single Mode Fiber Optic -SMF) และ "เส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมด" (Multi-Mode Fiber Optic -MMF) มากที่สุด โดยที่หัวต่อประเภทนี้ มีอัตราการสูญเสียกำลังแสงเพียงแค่ไม่เกิน 0.5 dB เท่านั้น วิธีการเชื่อมต่อก็เพียงสอดเข้าไปที่รูหัวต่อแล้วบิดตัวเพื่อให้เกิดการล็อคตัวขึ้น เพิ่มความทนทาน ทำให้ไม่เกิดปัญหาเนื่องจากการสั่นสะเทือน ถูกนำมาใช้กับระบบ LAN Hub หรือ Switches



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของ หัวต่อเอสทีและอุปกรณ์ตัวแปลงสาย LAN ที่ใช้ หัวต่อเอสที Jack**(ขวา)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การสูญเสียของสัญญาณแสงในเส้นใยแก้วนำแสง

เนื่องจากใยแก้วจะมีเส้นทางเดินของแสงเส้นทางเดียวซึ่งเป็นเส้นตรงผ่านแกนกลางของใยแก้วไปตลอดจนสุดปลายใยแก้ว ทำให้มีข้อดีคือการผิดเพี้ยนของรูปร่างสัญญาฯต่ำ สามารถส่งสัญญาณไปได้ด้วยความถี่สูง การลดทอนสัญญาณแสงเป็นปัจจัยหลักที่จำเป็นต้องพิจารณาเมื่อมีการใช้งานใยแก้วนำแสง แม้ใยแก้วนำแสงจะมีความโปร่งใสมาก แต่ยังมีปัจจัยหลายๆประการที่ทำให้เกิดการสูญเสียสัญญาณ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.8.1 การสูญเสียเนื่องจากการดูดซับแสงของผลึกแก้ว

การสูญเสียเนื่องจากการดูดซับแสงของผลึกแก้ว เป็นการสูญเสียเนื่องจากมีแสงบางความยาวคลื่นที่สั่นด้วยความถี่ซึ่งตรงกับความถี่สั่นพ้องสำหรับการเปลี่ยนแปลงสถานะภายในอะตอมหรือภายในโมเลกุล ของพาหะอิสระ ทำให้เกิดการไดโพลขึ้น เกิดการเปลี่ยนแปลงดัชนีหักเห

2.8.2 การสูญเสียเนื่องจากการกระเจิงในใยแก้ว

การสูญเสียเนื่องจากการกระเจิงเกิดขึ้นในกรณีที่คลื่นแสงปะทะกับจุดกระเจิงซึ่งมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นแสง จุดกระเจิงเหล่านี้อาจเกิดมาจากความบริสุทธิ์ของเนื้อสาร หรือความไม่สม่ำเสมอของเนื้อสารไดอิเลกตริก เมื่อมีแสงตกกระทบจุดเหล่านี้ แสงนั้นจะถูกกระเจิงออกไปจากแกนกลางใยแก้ว

กลไกการเกิดการกระเจิงในใยแก้ว เกิดขึ้นมีสองกระบวนการ กระบวนการหนึ่งเรียกว่า การกระเจิงแบบเรย์ลีย์ ซึ่งเป็นผลจากความไม่สม่ำเสมอของดัชนีหักเหในใยแก้วนำแสง และอีกกระบวนการหนึ่งเกิดจากความขรุขระของผิวใยแก้ว

เนื่องจากใยแก้วนำแสงส่วนใหญ่แล้วไม่สามารถผลิตให้มีผลึกเดี่ยวได้อย่างสมบูรณ์แบบ ทำให้มีกลุ่มผลึกบางกลุ่มที่มีความแตกต่างจากใยแก้วโดยปกติ การเกิดกลุ่มประจุเหล่านี้มักจะเกิดในขนาดที่เล็กกว่าความยาวคลื่นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มประจุเหล่านี้เองทำหน้าที่เป็นจุดศูนย์กลางให้แสงกระเจิงออกในทุกทิศทาง การกระเจิงแบบนี้เรียกว่า การกระเจิงแบบเรย์ลีย์

เนื่องจากการกระเจิงแบบเรย์รีย์ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มความยาวคลื่น ดังนั้นขอบเขตที่อธิบายได้โดยใช้หลักการของเรย์ลีย์ต้องมีความยาวคลื่นน้อยกว่า 1.5μm ยกเว้นบางความยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

คลื่น 0.95 , 1.24 และ 1.39 nm ความยาวคลื่นเหล่านี้ถูกดูดซับโดย ไฮดรอกไซด์ไอออนทำให้การลดทอนมีมากกว่าการลดทอนจากการกระเจิงแบบเรย์ลีย์

สำหรับการกระเจิงเนื่องจากความขรุขระของผิวรอยต่อระหว่างแกนกลางกับแคลดดิงของใยแก้วมักเกิดในกรณีที่สร้างทางเดินแสงบนแผ่นวัสดุหรือวงจรรวม เนื่องจากขั้นตอนการทำแกนกลางต้องอาศัยกระบวนการเอทชิง (etching process) ซึ่งง่ายต่อการเกิดความขรุขระของผิวรอยต่อ

2.8.3 ปัญหาการโค้งงอของสาย (Bending Loss)

Bending Loss เกิดจากปัญหาการโค้งงอของสาย เกินค่ารัศมี ความโค้งงอของสายตามปกติ (Minimum Bend Radius) อย่างไรก็ดี Bending Loss ยังสามารถเกิดขึ้นได้จากการองค์ประกอบย่อยๆ ดังนี้

- ความโค้งที่มีความแหลมบริเวณแกนของสาย
- ความไม่สมบูรณ์ของ Buffer และ Jacket โดยมีความคลาดเคลื่อนของการวางตำแหน่งระหว่างกัน ที่ห่างประมาณ 2-3 มิลลิเมตร
- การติดตั้งสายไม่ถูกวิธีหรือไม่เรียบร้อย

ปัจจัยต่างๆเหล่านี้ เรียกว่า Microbending สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อความยาวของสายเพิ่มมากขึ้น

2.8.4 การสูญเสียเนื่องจากการเข้าหัว Connector และทำเชื่อมต่อ ไม่ดี

การสูญเสียเนื่องจากการเข้าหัว Connector และทำเชื่อมต่อ ไม่ดี สามารถเกิดขึ้น ณ ที่ใดก็ได้ที่มีการตัดต่อและเชื่อมสายเข้าด้วยกัน โดย ประกอบด้วย การสูญเสีย 2 แบบ ได้แก่การสูญเสียเชิงกล Mechanical Loss และการสูญเสียจากการหลอมรวม Fusion Splicing Loss

2.8.4.1 การสูญเสียเชิงกลMechanical Loss จะมีอัตราสูงที่สุด เมื่อเทียบกับ Fusion Splicing โดยมีอัตราการ Loss ตั้งแต่ 0.2 ไปจนถึง 1.0 dB ขึ้นไป

2.8.4.2 การสูญเสียจากการหลอมรวม Fusion Splice มีอัตราการสูญเสียต่ำสุด โดยมีอัตราการสูญเสียต่ำกว่า 0.1 dB และอัตราการสูญเสียที่ต่ำกว่า 0.05 เป็นเรื่องที่เป็นไปได้ หากใช้เครื่องมือและอุปกรณ์เชื่อมต่อ ที่มีคุณภาพดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

62302

2.9 การดูแลรักษาทั่วไป

- อย่าบิดงอสาย หากจะเก็บสาย จะต้องใช้ Cable Reel หากเป็นสายขนาดสั้น ให้วางสายบนพื้นราบในรูปตัวเลข 8 และต้องให้แน่ใจว่า ความโค้งของมุมเลข 8 จะต้องไม่มีปัญหา Minimum Bending อีกด้วย ในกรณีที่สายมีความยาวมาก และจัดเก็บในรูปเลข 8 ให้กำหนดวางตัว Support ไว้ที่บริเวณจุดตัดของเลข 8 ด้วย

- สาย Cable จะต้องได้รับการจัดวางใน Cable Tray พื้นราบและปราศจากเศษวัสดุแหลมคมมาทิ่มต่ำ และให้หลีกเลี่ยงการวางวัตถุที่มีน้ำหนักกดทับบนสาย Fiber ที่ไม่มี Armor ป้องกัน เช่นกัน ที่การจัดวางสาย จะต้องเป็นไปตาม มาตรฐานของ Minimum Bend Radius

2.10 การทดสอบสายไฟเบอร์

เมื่อติดตั้งสายไฟเบอร์เสร็จเรียบร้อยแล้วก่อนที่จะใช้งานสายไฟเบอร์นั้นจำเป็นที่ต้องทำการทดสอบสายก่อน เพื่อให้แน่ใจได้ว่าสายไฟเบอร์นั้นใช้รับส่งข้อมูลได้ตามต้องการ ซึ่งการทดสอบด้านต่างๆ มีดังนี้

- **การทดสอบด้านเมคานิก (Mechanical Tests)**
- **การทดสอบด้านกายภาพ (Geometrical Tests)**
- **การทดสอบเกี่ยวกับคุณสมบัติของสาย (Optical Tests)**
- **การทดสอบเกี่ยวกับการรับส่งสัญญาณ (Transmission Tests)**

สำหรับการทดสอบ 3 ประเภทแรก จะทดสอบแค่ครั้งเดียว เพราะค่าพารามิเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในระหว่างการใช้งานก่อนที่จะมีการใช้งานสายไฟเบอร์นั้นต้องมีการตรวจวัดค่าคุณสมบัติต่างๆ ของสายก่อน ซึ่งการวัดค่าต่างๆ นี้จะถูกอธิบายใน FOTP (Fiber Optic Test Procedure) ซึ่งเป็นขั้นตอนการทดสอบที่เสนอโดยสมาคม EIA (Electronic Industries Association) และได้ถูกกำหนดใน ITU-T G650 หรือในเอกสาร EN 188 000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1 การทดสอบสายไฟเบอร์

Mechanical	**Geometrical**	**Optical**	**Transmission**
Traction	Concentricity	Index Profile	Bandwidth
Torsion	Cylindricity	Numerical	
Aperture Optical	Power		
Bending	Core Diameter	Spot Size	Optical Loss
Temperature	Cladding Diameter	-	Reflectometry

2.10.2 การทดสอบการรับส่งข้อมูล

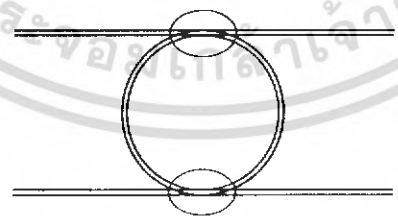
การทดสอบหลักๆ ของสายไฟเบอร์ที่ติดตั้งแล้ว เพื่อให้แน่ใจได้ว่าสายไฟเบอร์สามารถรับส่งข้อมูลได้ตามที่ต้องการมีดังนี้

- **การทดสอบการสูญเสียของสัญญาณของลิงค์ (End-to-End Optical Link Loss)**
- **อัตราการสูญเสียต่อหน่วยความยาว (Attenuation)**
- **การสูญเสียเนื่องจากการเชื่อมต่อแบบต่างๆ (Splice, Connectors)**
- **ความยาวของสายไฟเบอร์**

การทดสอบแบบอื่นๆ เช่น แบนด์วิธ หรือการสูญเสียเนื่องจากการแตกกระจายของแสง (Modal Dispersion) การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับของแสง

2.11 ตัวกำทอนแบบวงแหวน(Ring Reonators)

ตัวกำทอนแบบวงแหวนจะประกอบด้วยท่อนำคลื่นสองอันต่ออยู่กับไดเรคชันนอลคัปเปลอร์ 2 อัน ซึ่งมีอัตรการคัปปลิงต่ำมากๆ



รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างตัวกำทอนแบบวงแหวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

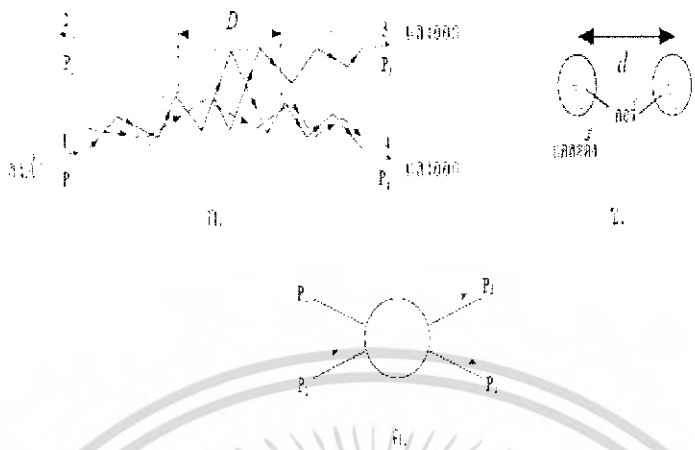
ตัวกำหอนวงแหวนมีความสามารถในการแยกความถี่ต่างกันที่แคบมาก ถ้าต้องการแยกความถี่ที่มีความต่างความถีมากๆจะต้องออกแบบให้มี L ที่แคบมากๆซึ่งทำให้มีการสูญเสียของสัญญาณมาก

2.12 โครงสร้างของออปติกอลคับเปลอร์

ออปติคอลคับเปลอร์ คือ ตัวเชื่อมต่อของเส้นใยแก้วนำแสงเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แยกสัญญาณแสง จากเส้นใยแก้วเส้นหนึ่งออกไปเป็นหลายทางในเส้นใยแก้วเส้นอื่นหรือทำหน้าที่รวมสัญญาณแสงจากเส้นใย แก้วหลายเส้น ให้เดินทางรวมกันไปในเส้นใยแก้วที่กำหนดทางด้านขาออก วิธีการที่นิยมในการสร้างออปติคอล คับเปลอร์ คือ การเชื่อมต่อแกน(core) 2 คอร์ติดกันตามยาว หรือเรียกวิธีการนี้ว่า "Fused biconical taper" ซึ่งบางครั้งจะเรียกออปติคอลคับเปลอร์ชนิดนี้ว่าFBT ซึ่งโครงสร้างพื้นฐานและสัญลักษณ์ ดังแสดงในรูปที่2.21

โดยทั่วไปออปติคอลคับเปลอร์จะอาศัยเทคนิคการกระจายพลังงานของสนามอีแวนเนสเซนต์ (Evenescent field) ในโหมดพื้นฐาน (Fundamental mode) ของแสงที่เดินทางภายในเส้นใยแก้วควบคู่กับการส่งผ่านพลังงานในลักษณะของการสะท้อนของโหมดที่สูงกว่า (High order mode) เมื่อเส้นใยแก้วเปลือยอย่างน้อยสองเส้นถูกจัดโครงสร้างให้ระยะห่างของคอร์อยู่ใกล้กันและส่วนของแคลดดิ้งเป็นเนื้อเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่2.21 (ก) สมมติให้แสงเดินทางเข้าไปยังพอร์ต 1 ในรูป แสงส่วนหนึ่งจะถูก คับปลิ้ง (Coupling) หรือการส่งผ่านพลังงานความเข้มแสงไปยังเส้นใยแก้วอีกเส้นหนึ่งที่พอร์ต 4 โดยที่ พลังงานส่วนที่เหลือจะคงไว้ที่เส้นใยแก้วเส้นเดิมออกไปยังพอร์ต 3 ในขณะเดียวกันจะมีแสงส่วนน้อยส่งออกไปยังพอร์ต2 เนื่องมาจากการกระเจิงและสะท้อนกลับของแสง (Back scattering) ค่าการคับปลิ้งหรือการส่งผ่านพลังงานความเข้มแสงจะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างคอร์ d และความยาวในช่วงที่คอร์ขนานใกล้กัน D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.15 ก. โครงสร้าง ข. ภาคตัดขวาง ค. สัญลักษณ์ของ2×2ออปติกอลคับเปลอร์ชนิด FBT

ออปติคอลคับเปลอร์จัดเป็นอุปกรณ์ประเภทพาสซีฟ (passive device) ที่เคลื่อนย้ายกำลังงานแสงจากเส้นใยแก้เส้นหนึ่งไปสู่เส้นใยแก้วอีกเส้นหนึ่งจะต้องมีการสูญเสียของสัญญาณเกิดขึ้นภายในตัวมันเอง

ดังนั้นค่าความสูญเสียทั้งหมด(Excess loss) สามารถที่จะอธิบายในรูปของอัตราส่วนกำลังงานของอินพุทพอร์ตต่อกำลังงานของเอาท์พุทพอร์ต ซึ่งมีค่าดังนี้

$$\text{Excess loss (2x2 คับเปลอร์)} = 10\log_{10}\frac{P_1}{(P_3 - P_4)} \quad (dB)$$

...(2.1)

ค่าความสูญเสียที่แทรกเข้ามา(Insertion loss) โดยทั่วไปจะอธิบายเป็นการสูญเสียในลักษณะของพอร์ตต่อพอร์ตซึ่งมีค่าดังนี้

$$\text{Insertion loss (พอร์ต 1 ไปยังพอร์ต 3)} = 10\log_{10}\frac{P_1}{P_3} \quad (dB)$$

...(2.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความสูญเสียที่เกิดจากการไขว้แทรก(Crosstalk) จะเป็นการวัดจากอัตราส่วนกำลังงานของการกระเจิงและการสะท้อนกลับของแสง (Back scattering) ที่พอร์ท2 ต่อ กำลังงานของอินพุทพอร์ต 1 ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$\text{Crosstalk (2x2 คัปเปลอร์)} = 10\log_{10}\frac{P_2}{P_1} \quad (dB)$$

...(2.3)

และอัตราส่วนของการแยกกำลังงานแสงที่เอาท์พุทพอร์ต (Splitting ratio) จะวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการหารกำลังงานของแสงที่เอาท์พุทพอร์ตซึ่งมีค่าดังนี้

$$\text{Splitting ratio} = \left[\frac{P_3}{P_3 + P_4}\right] x100\%$$

$$= 1 - \left[\frac{P_3}{P_3 + P_4}\right] x100\%$$

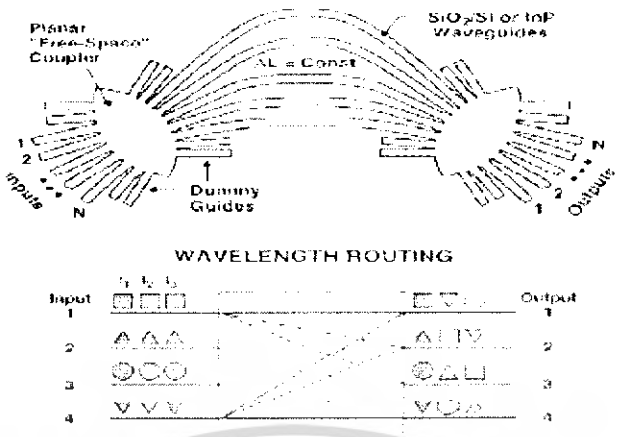
...(2.4)

จากพารามิเตอร์การสูญเสียของออพติคอลคับเปลอร์นั้นจะเห็นว่า ออปติคอลคับเปลอร์จะมีการสูญเสียของสัญญาณแสงที่เดินทางผ่านตัวมันเองอยู่ซึ่งเมื่อนำไปใช้งานในระบบโครงข่ายจะต้องคำนึงถึงค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ด้วย

2.13 ออปติกคอลคอสคอนเนก(Optical cross connect ,OXC)

ออปติคอลคอสคอนเนกเปรียบเสมือนกับสถานีรถโดยสารต่างจังหวัดตามหัวเมืองใหญ่ (เมื่อถนนเปรียบเสมือนเส้นทางใยแก้ว) ซึ่งเป็นจุดที่ผู้โดยสารสามารถเลือกเปลี่ยนเส้นทางรถโดยสารเพื่อเดินทางไปยังปลายทางที่ต้องการได้โครงสร้างของ ออปติคอลคอสคอนเนก ค่อนข้างซับซ้อนเพราะมักเกี่ยวข้องกับโครงข่ายสื่อสารขนาดใหญ่ ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.16 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของ ออปติคอลคอสคอนเนกแบบหนึ่ง

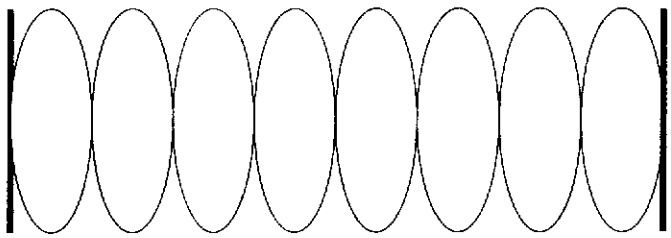
ในลักษณะของท่อนำแสงแบบระนาบ (optical plarna waveguide) ที่มีทางเดินแสงขาเข้า (ด้านซ้าย) หลายช่องสัญญาณ เมื่อแสงเดินทางผ่านไปในช่วงกลางที่โค้ง และมีลักษณะขนานกัน แสงจะเกิดการคัปปิ้ง (Coupling) ระหว่างท่อหนึ่งไปสู่อีกท่อหนึ่ง ที่ต้องการแล้วออกไปยังปลายทางได้ ทั้งนี้คุณสมบัติการคัปปลิ้ง แสงจะขึ้นกับความยาวของท่อนำแสง ลักษณะความโค้ง ระยะที่ท่อนำแสงห่างกัน ไปจนถึงค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่เป็นท่อนำแสงและฐาน (substrste) เป็นต้น ซึ่งการออกแบบ ออปติคอลคอสคอนเนก แบบนี้ให้ทำงานตามที่กำหนด ต้องใช้ความรู้และทักษะอย่างมาก เรียกได้ว่าการออกแบบ ออปติคอลคอสคอนเนก หนึ่งตัวคุ้มค่า เพราะอุปกรณ์เมื่อทำเสร็จแล้วจะมีโครงสร้างที่ดูง่ายไม่ซับซ้อน แถมยังมีขนาดเล็ก

2.14 โพรงสั่นพร้องแสง

โพรงสั่นพร้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสง มีหลักการคล้าย อินเตอร์เฟียร์โรมิเตอร์ชนิดแฟบรี-เพอโรต์ การสั่นพร้องเกิดจากการสั่นที่ตรงกับความถี่ธรรมชาติของวัตถุ สำหรับโพรงสั่นพร้องทางแสงสร้างขึ้นได้โดยใช้กระจกไม่สมบูรณ์ ทำให้สะท้อนแสงไม่หมดทั้ง100% วางขนานกันสองด้าน แสงที่ถูกส่งเข้าไปยังโพรงสั่นพ้องเดินทางสะท้อนไปกลับ ภายในโพรง เกิดการแทรกสอดกันขึ้น

Mirror 1 < 100% Mirror2 < 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงโพรงสั่นพ้องสร้างขึ้นโดยการใช้กระจกไม่สมบูรณ์วางขนานกัน

คลื่นเดินทางผ่านเข้าสู่โพรงสั่นพ้อง คลื่นตกกระทบและสะท้อนเป็นการสั่นที่เวลาต่างกัน แอมพลิจูดมีการสั่นด้วยความเร็วคงที่ มีการเปลี่ยนเฟสของคลื่นตามระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ดังรูปที่ 2. เมื่อคลื่นเดินทางกระทบกระจกไปมา เกิดการแทรกสอดกันเกิดขึ้น มีการเสริมและหักล้างแอมพลิจูดของคลื่นกัน คลื่นนิ่งจะเกิดขึ้นทุกครั้งถ้ามีการขยับระยะกระจกเพิ่มขึ้นทุกๆความยาว $\lambda/2$ เขียนเป็นสมการโดยให้ m = 1,2,3,.. ได้ดังนี้

$$L = \frac{m\ \lambda}{2} \qquad \ldots(2.5)$$

ดังนั้นหากให้ระยะกระจกคงที่ ความยาวคลื่นที่อยู่ภายในโพรงสั่นพ้องได้ต้องมีความยาวคลื่นเป็นไปตามความสัมพันธ์

$$\lambda = \frac{2L}{m} \qquad \ldots(2.6)$$

ดังนั้นความถี่สั่นพ้องของโพรงสั่นพ้องหาได้ด้วยการแทนความสัมพันธ์ $f = c/\lambda$ และ $v=c/n$ลงในสมการ(2.1.)

$$f = \frac{mc}{2Ln} \qquad \ldots(2.7)$$

ดังนั้นสเปกตรัมความถี่ที่วัดได้จากโพรงสั่นพ้องต้องอยู่ห่างกัน

$$\Delta f_c = \frac{c}{2Ln} \qquad \ldots(2.8)$$

คือความถี่สั่นพ้องซึ่งเป็นค่าความถี่ต่ำสุดที่สามารถเกิดการสั่นพ้องภายในโพรงสั่นพ้องได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพรงสั่นพ้องถือเป็นโครงสร้างที่มีความสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีใยแก้วนำแสงเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะงานด้านการออกแบบสร้างแหล่งกำเนิดแสง เช่นในการออกแบบเลเซอร์แบบเก๊าซ ต้องคำนึงถึงการสั่นพ้องภายในโพรงเพื่อเลือกค่าความยาวคลื่นเอาท์พุทของเลเซอร์ การหาความยาวคลื่นเอาท์พุทจากโพรงสั่นพ้องสามารถทำได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ $\Delta f_c / f = \Delta\lambda_c / \lambda_0$ ซึ่งจะได้ความยาวคลื่นที่ห่างกัน

$$\Delta\lambda_c = \frac{\lambda_0^2}{c}\Delta f_c \qquad \ldots(2.9)$$

2.15 การคำนวณค่าการลดทอนของสัญญาณ

การเดินทางของแสงภายในใยแก้วมีการลดทอนของสัญญาณ หากแสงเดินทางผ่านตัวกลางยาว L จะวัดแสงเอาท์พุทได้เป็น

$$I_L = I_0 \bullet e^{-\omega t} \qquad \ldots(2.10)$$

เมื่อ IL เป็นความเข้มแสงที่วัดได้ตรงตำแหน่งเอาท์พุทซึ่งมีความยาว L และ I0 เป็นความเข้มแสงอินพุทที่ใส่เข้าสู่ใยแก้ว โดยปกติแล้วสัมประสิทธิการลดทอน α จะกำหนดให้อยู่ในรูปของ เดซิเบล/กิโลเมตร (dB/km.) ดังนั้นจะเขียนใหม่ได้เป็น

$$I_L = I_0 \bullet 10^{\frac{-\alpha' L}{10dB}} \qquad \ldots(2.11)$$

$$dB = -10\log(\frac{I_L}{I_0}) \qquad \ldots(2.12)$$

จะเห็นว่าค่า dB เป็นค่าที่แสดงการสูญเสียสัญญาณเมื่อเทียบกับสัญญาณอินพุทโดยที่ความสัมพันธ์ระหว่าง α และ α' มีค่า

$$\alpha' = 4.35\alpha \qquad \ldots(2.13)$$

สมการนี้ใช้สำหรับแปลงค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนความเข้มแสงในหน่วย dB/km. เป็นสัมประสิทธิ์การลดทอนสนามไฟฟ้า

สำหรับกำลังแสง สามารถอธิบายในรูปสัดส่วนได้เช่นเดียวกัน โดยจะแทนด้วย dBm ซึ่งหมายถึงกำลังแสงที่เปรียบเทียบกับสัญญาณ 1 mW เขียนได้สมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$dBm = -10\log(\frac{P_{out}}{1mW}) \quad \text{...(2.14)}$$

2.16 มัลติเพลกซ์เซอร์ (Multiplexer)

วิธีที่ง่ายที่สุดในการเชื่อมโยงการสื่อสารกันระหว่างผู้รับและผู้ส่งคือ การเชื่อมโยงแบบจุด ต่อจุด การเชื่อมโยงที่ยุ่งยากกว่าแต่ให้ประโยชน์และประหยัดกว่าก็คือ การเชื่อมโยงแบบหลายจุด ซึ่งผู้ส่งคนเดียวสามารถส่งข้อมูลไปยังผู้รับได้หลายๆคน โดยใช้สายสื่อสารเดียวกันรวมกัน และหลักการในการรวมใช้สายสื่อสารเดียวกันนี่เองคือ จุดประสงค์หลักของการใช้ อุปกรณ์มัลติ- เพลกซ์เซอร์ (Multiplexer หรือเรียกสั้นๆ ว่า MUX)

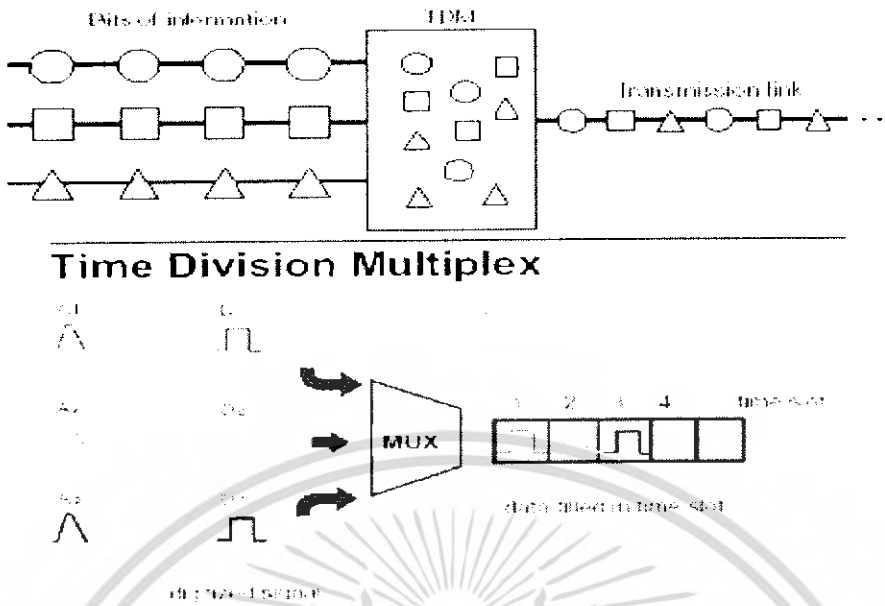
ลักษณะการทำงานของมัลติเพลกซ์เซอร์ มัลติเพลกซ์เซอร์จะรับสัญญาณข้อมูลจากผู้ส่งข้อมูลจากแหล่งต้นทางต่างๆกัน n ต้นทางซึ่ง ต้องการจะส่งข้อมูลไปยังปลายทางในที่ต่างๆกัน n ปลายทาง แต่ละ คู่ การสื่อ สารข้อมูลคือ 1 ช่องทางสื่อสาร (Channel) ดังนั้นสัญญาณข้อมูลทั้ง n ช่องทางเมื่อผ่านมัลติเพลกซ์ เซอร์ๆ ก็จะเรียงราม (มัลติเพลกซ์เซอร์) กันอยู่ในสายส่งข้อมูลเพียงสายเดียว

เมื่อสัญญาณข้อมูลทั้ง n ช่องทางไหลมาถึงอุปกรณ์มัลติเพลกเซอร์อีกเครื่องหนึ่งซึ่งอยู่ปลายทางซึ่งเรียกว่า "อุปกรณ์ดิมัลติเพลกซเซอร์" สัญญาณ n ช่องทางก็จะถูกแยกออกจากกัน(ดิมัลติเพลกซ์หรือ DeMUX) ส่งไปตามเครื่องรับปลายทางของแต่ละช่องทาง สายส่งข้อมูลที่ใช้ใน การส่งข้อมูลจะต้องมีความจุสูงจึงจะสามารถรองรับปริมาณข้อมูลจำนวนมากที่ถูกส่งผ่านมา พร้อมๆกันได้ สายส่งข้อมูลดังกล่าวได้แก่สายโคแอกเชียล สายใยแก้วนำแสง คลื่นไมโครเวฟและ คลื่นดาวเทียม

2.15.1 การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลาTDM (Time Division Multiplex)

เป็นระบบที่ใช้การสื่อสารที่มีการแบ่งช่วงเวลาเป็นช่วงๆ โดยในแต่ละช่วงจะใช้สำหรับการบรรจุข้อมูลที่มาจากแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ต่างๆ เรียงกันไป การทำงานของวิธีการมัลติเพล็กแบบแบ่งเวลา สัญญาณทางภาคส่งแต่ละช่องจะถูกอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่คล้ายสวิตช์ ทำการเปิดปิดข้อมูลและส่งไปในสื่อสัญญาณเพื่อเชื่อมระหว่างภาคส่งและภาครับ โดยมีสัญญาณซิงโครไนซ์ (Synchronize) คอยควบคุมระยะเวลาที่ใช้สำหรับรับและส่งข้อมูล ในแต่ละช่องทางด้านภาครับก็จะใช้สัญญาณซิงโครไนซ์นี้ในการเปิดปิดสวิตช์ ทำให้ข้อมูลถูกส่งไปยังช่องสัญญาณที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

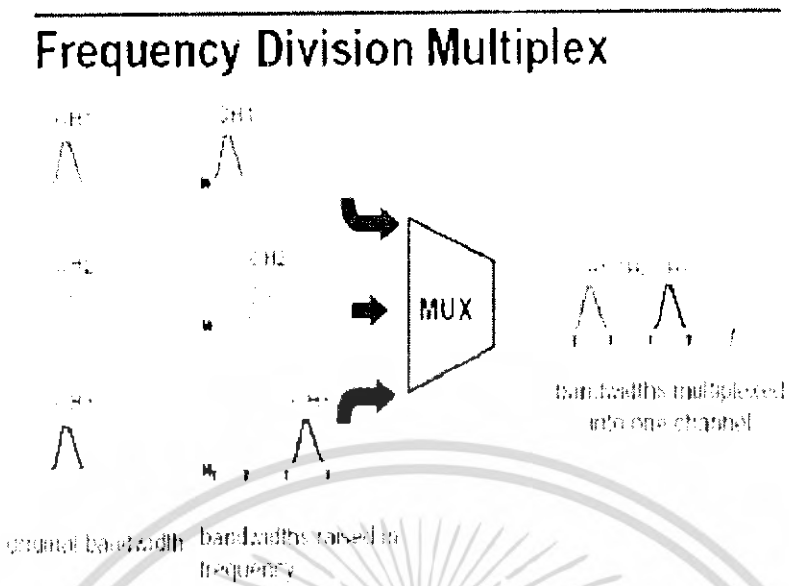


รูปที่2.18 แสดงโครงสร้างการทำงานมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา

2.15.2 การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความถี่ FDM (Frequency Division Multiplex)

เป็นระบบมัลติเพลกซ์ที่แบ่งช่วงความถี่ของสัญญาณส่งออกเป็นช่วงความถี่ย่อย เพื่อทำหน้าที่เป็นพาหะย่อยของข้อมูลในแต่ละช่องสัญญาณ ระยะระหว่างแต่ละความถี่ย่อยใน แต่ละช่วงจะถูกกันด้วยช่วงความถี่ป้องกันหรือการ์ดแบนด์(GuardBand) เพื่อมิให้สัญญาณ มีการปะปนกัน สัญญาณที่ถูกมอดูเลตแล้วทั้งหมดจะถูกจัดเรียงเป็นระเบียบและถูกส่ง รวมกันไป ในระบบการแบ่งความถี่นั้นสัญญาณอินพุตอาจต้องทำการผสมสัญญาณหรือมอ ดูเลต(Modulated)ถึง 3 ขั้นตอน กล่าว คือ ขั้นตอนแรกเป็นการเข้ารหัสสัญญาณอินพุทที่เป็นอนาลอก(Analog)ให้เป็นดิจิตอล (Digital) จากนั้นสัญญาณที่เข้ารหัสแล้วถูกมอดูเลตกับคลื่นพาห์ย่อยแบบเอเอ็มหรือเอฟ เอ็ม ในขั้นตอนที่สองและขั้นตอนสุดท้ายเป็นการรวมสัญญาณทั้งหมดที่ถูกมอดูเลตในแต่ ละช่องสัญญาณเข้าด้วยกัน เพื่อให้แหล่งกำเนิดแสงใช้ส่งเป็นข้อมูลได้ที่ภาครับของระบบ การแบ่งความถี่

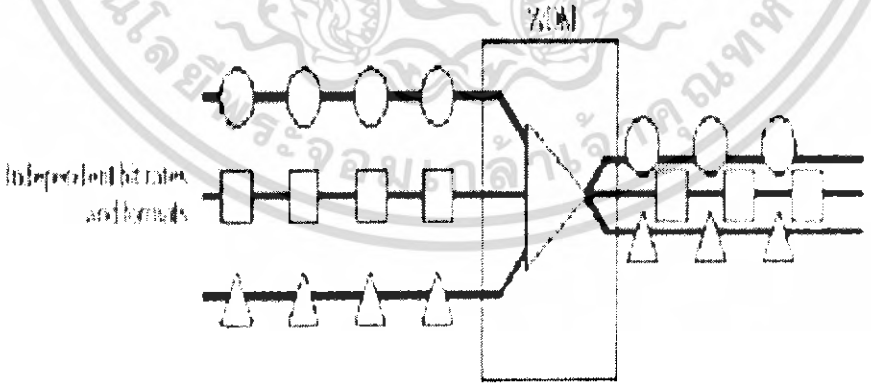
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.19 โครงสร้างการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความถี่

2.15.3 การมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่นWDM (Wavelength Division Multiplexing)

เป็นเทคนิคสำคัญของการสื่อสารทางแสงเพราะมีความสะดวกและมีประสิทธิภาพในการใช้งานเป็นอย่างมากเทคโนโลยีการมัลติเพล็กซ์ทางแสงแบบแบ่งความยาวคลื่นจะใช้วิธีการคือใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันที่นำสัญญาณต่างๆมารวมกันและทำการส่งเข้าไปในตัวกลางเดียวกันเพื่อประหยัดตัวกลางในการส่งข่าวสาร



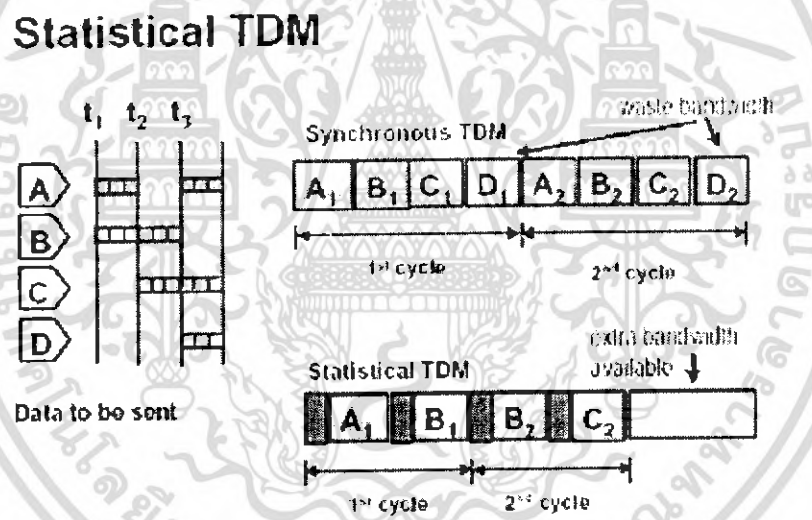
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่2.20โครงสร้างการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่นWDM

2.15.4 STDM (Statistical Time Division Multiplexing)

ซึ่งมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อะซิงโครนัส TDM (Asynchronous TDM) หรืออินเทลลิเจนท์ TDM(Intelligent TDM) ในที่นี้เราจะใช้ชื่อเรียกสั้นๆว่า STDMสำหรับ STDM เป็นวิธีการมัลติเพล็กซ์ที่ปรับปรุงการทำงานมาจากวิธีซิงโครนัส TDMให้มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้นเพื่อรองรับจำนวนช่องทางให้ได้มากขึ้น

ปัจจุบันผู้ให้บริการระบบสื่อสัญญาณต้องเผชิญหน้ากับปัญหาหลายๆ ด้าน เช่น ความต้องการความเร็วของบริการที่เพิ่มสูงขึ้น จำนวนผู้ใช้บริการที่เพิ่มมากขึ้น จำนวนจำกัดของเครือข่ายใยแก้วนำแสงที่วางไว้ อีกทั้งเส้นใยแก้วนำแสงนั้นยังผลิตยากและมีราคาสูง ดังนั้นการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น จึงได้รับความนิยมในการใช้งาน เนื่องจากจะช่วยให้สามารถใช้งานเส้นใยแก้วได้อย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ



รูปที่2.21โครงสร้างการมัลติเพลกซ์แบบ STDM (Statistical Time Division Multiplexing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขอบเขตและวิธีการดำเนินงานวิจัย

ในโครงงานพิเศษนี้เราจะศึกษาเกี่ยวกับใยแก้วนำแสง(fiber optic)ที่เป็นโพรงสั่นพร้องแบบวงแหวน(Fiber-Optics Ring resonators) โดยใช้การคัปเปลอร์(coupler)แบบ Cross-connect 2×2มาสร้างเป็นโพรงสั่นพร้องแบบวงแหวนแล้วทำให้แสงผ่านเข้าสู่ใยแก้วแบบมีอัตราการแบ่งกำลังแสง 0.5 ดังนั้นเราจะแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น2ส่วน คือ ส่วนแรกศึกษาหลักการของโพรงสั่นพร้องแบบวงแหวน(Ring resonators) ส่วนที่สองส่วนของการทดลองสร้างโพรงสั่นพร้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสง โดยมีรายละเอียดขั้นตอนดำเนินการเป็นดังนี้

3.1ขั้นตอนการศึกษาทฤษฎีของโพรงสั่นพร้องแบบวงแหวน

วัตถุประสงค์ในการศึกษาขั้นตอนนี้ เป็นการศึกษาการเก็บสัญญาณของโพรงสั่นพร้องเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสงเกิดจากการนำใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดียว ประกอบรวมกับคัปเปลอร์แสง ให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถเก็บสัญญาณแสงได้ โพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสงแบบที่เราศึกษานี้ประกอบด้วยคัปเปลอร์และตัวจับสัญญาณเพื่อความเหมาะสมของการนำไปใช้งาน การเก็บสัญญาณแสงไว้ในโพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกส่งเข้าไปทางปลายใยแก้วด้านหนึ่งของโพรงสั่นพ้องผ่านบริเวณคัปปลิงของคัปเปลอร์แสง คลื่นแสงถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนตามอัตราการแบ่งกำลังแสงของคัปเปลอร์ แสงส่วนแรกถูกส่งผ่านไปยังปลายอีกด้านของใยแก้วเป็นสัญญาณเอาท์พุทแสง แสงส่วนที่สองถูกเข้าสู่วงแหวนซึ่งมีความยาว แล้วแสงจึงเดินทางผ่านเข้าสู่บริเวณคัปปลิงของคัปเปลอร์อีกครั้ง แสงนั้นจะถูกส่งหมุนวนต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถูกลดทอนภายในใยแก้วจนหมด

การศึกษาในขั้นตอนนี้ พิจารณาลำแสงอินพุทที่ทำให้เกิดการซ้อนทับกันของสัญญาณภายในโพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสงซึ่งศึกษาโดยพิจารณาความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ใช้ใยแก้วนำแสงส่วนที่เป็นวงแหวนยาว2และ4กิโลเมตร ใช้คัปเปลอร์ที่มีอัตราการแบ่งความเข้มแสงเป็น0.5และทำการเก็บสัญญาณเมื่อใช้ความถี่ของสัญญาณอินพุทต่างกันตามหลักการคำนวณหาค่าความถี่ที่ทำให้เกิดการสั่นพ้องจากสมการ

$$n = \frac{c}{v} \qquad \ldots(3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v = \frac{s}{t}$$

และ ...(3.2)

โดยมีพารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรสำคัญคือความยาวของโพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนที่กำหนดไว้2และ 4กิโลเมตร

3.2 การทดลองสร้างโพรงสั่นพ้องแบบวงแหวน

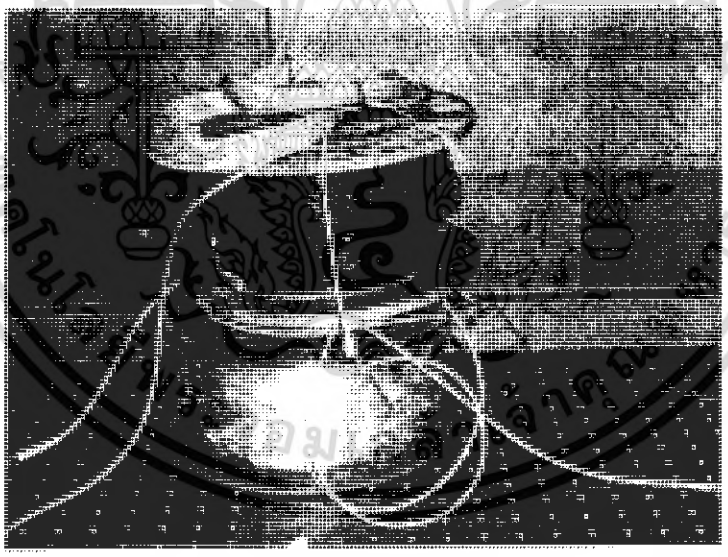
การศึกษาส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาโดยการทดลองสร้างอุปกรณ์โพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสงขึ้นมาเพื่อใช้ในการหาช่วงความถี่จริงจากการทดลองที่ทำให้เกิดการสั่นพ้องโดยการใช้ฟังก์ชั่นเจนเนอเรเตอร์เป็นตัวกำเนิดสัญญาณ

การทดลองเน้นการศึกษาเกี่ยวกับการสื่อสารจึงใช้ความยาวคลื่น... นาโนเมตร สำหรับการสื่อสาร

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลอง

1. ใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดียว

การศึกษาโดยการทดลองใช้วงแหวนใยแก้วความยาว2และ4กิโลเมตร ขดเป็นม้วนกับ...

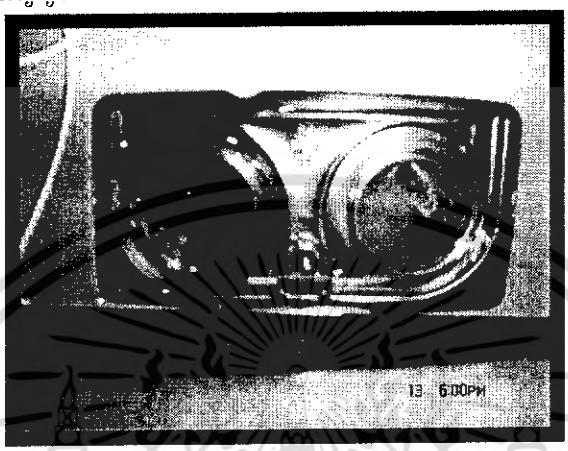


รูปที่3.1 เส้นใยแก้วนำแสงที่เราใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คัปเปลอร์ชนิด 2×2

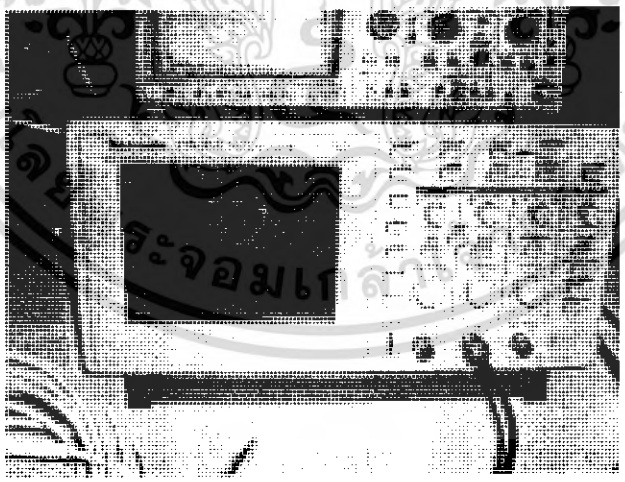
การสร้างโพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนในครั้งนี้ใช้คัปเปลอร์ชนิด2×2 ซึ่งมีอัตราการแบ่งความเข้มแสงเป็น0.5 สำหรับความยาวคลื่น ... นาโนเมตร สัญญาณอินพุทจะถูกจ่ายเข้าสู่ช่องทางที่1 ของคัปเปลอร์ โดยช่อง2และช่อง3 ของคัปเปลอร์จะเชื่อมต่อเข้ากับวงแหวนใยแก้วดังที่กล่าวมาแล้ว และช่องทาง 4 จะเป็นช่องสัญญาณขาออกของโพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสง



รูปที่ 3.2 แสดงคัปเปลอร์ชนิด2×2ที่ใช้ในการทดลอง

3. ชุดอุปกรณ์วัด

ในที่นี้เราใช้ออสซิโลสโคปวัดค่าความสูงของแอมพลิจูดของคลื่นและวัดค่าความถี่ของสัญญาณ



รูปที่ 3.3 ชุดอุปกรณ์วัดออสซิโลสโคป

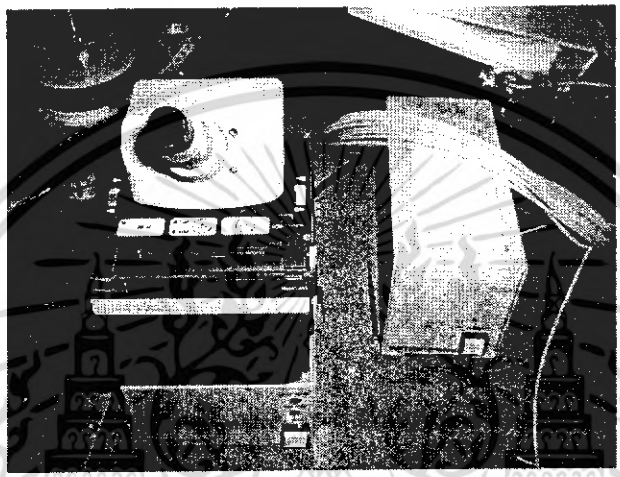
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อุปกรณ์กำเนิดสัญญาณ

ในที่นี้เราใช้ฟังก์ชั่นเจนเนอเรเตอร์เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณ

5. **ชุดเชื่อมต่อใยแก้วแบบหลอมรวม**

การเชื่อมต่อใยแก้วทั้งหมดในการทดลองนี้ใช้การเชื่อมต่อแบบหลอมรวม ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อโดยใช้ความร้อนหลอมใยแก้วสองส่วนให้ติดกัน ทำให้สามารถลดการสูญเสียจากการเชื่อมต่อได้ เครื่องเชื่อมต่อใยแก้วแบบหลอมรวมแสดงดังรูปที่3.



รูปที่3.4 แสดงเครื่องเชื่อมต่อใยแก้วแบบหลอมรวม

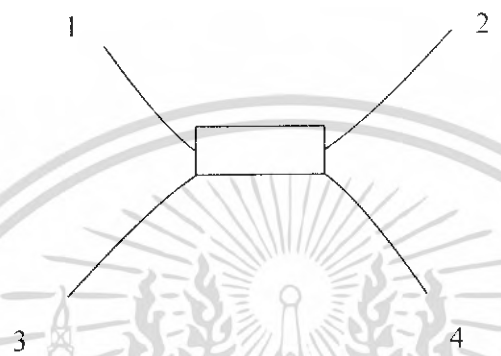
การหลอมรวมเส้นใยแก้วให้เชื่อมต่อกัน นำปลายเส้นใยแก้วที่เตรียมปลายแล้วมาจับยึดวางไว้ใกล้กันให้ห่างกันประมาณ 2-5 มิลลิเมตร โดยจะต้องให้อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน หากไม่อยู่แนวเดียวกันต้องทำการปรับตำแหน่งให้ตรงกันเพื่อป้องกันการเกิดออฟเซ็ต(Offset)จากนั้นก็ทำการให้ความร้อน โดยทั่วไปเครื่องสไปลเซอร์ (splicer)มักใช้เข็มโลหะขนาดเล็กสองอันจัดวางในลักษณะตั้งฉากกับแนวเส้นใยแก้ว โดยห่างกันประมาณ 3-5 มิลลิเมตร เข็มโละนี้จะทำหน้าที่เป็นอิเล็กโตรด เมื่อป้อนสัญญาณไฟฟ้าให้กับอิเล็กโตรด จะเกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วอิเล็กโตรดทั้งสองทำให้เกิดประจุไฟฟ้ากระโดดจากขั้วหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่งในลักษณะการเกิดสปาร์ก(spark) ทำให้เกิดความร้อนสูงในบริเวณนี้ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ต้องการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วพอดีจากนั้นทำการตรวจสอบและจัดปลายเส้นใยแก้วทั้งสองอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้แน่ใจว่าเส้นใยแก้วอยู่ในแนวกลางกันพอดี เมื่อหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจะทำการห่อหุ้มเส้นใยแก้วในบริเวณเชื่อมต่อซึ่งเป็นเส้นใยแก้วเปลือยด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า สลีฟ (Sleeve)ซึ่งมีลักษณะคล้ายท่อโลหะหรือวัสดุแข็ง เพื่อทำให้จุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วมีความแข็งแรงสามารถทนแรงจับและแรงกระแทกเบาๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ขั้นตอนการสร้างชุดอุปกรณ์

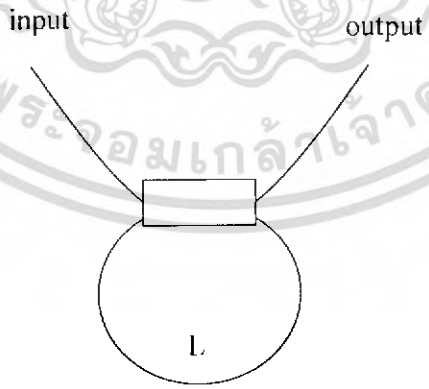
รายละเอียดขั้นตอนการสร้างชุดอุปกรณ์เราอาศัยอุปกรณ์ทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นดังนี้ รายละเอียดดังต่อไปนี้

นำคัปเปลอร์ชนิดที่มีอัตราการแบ่งความเข้มแสง 0.5 มาเชื่อมต่อเข้าด้วยกันโดยวิธีการเชื่อมต่อแบบหลอมรวมหรือแบบใช้หัวต่อ



รูปที่ 3.5 ภาพจำลองคัปเปลอร์ที่ใช้ในการทดลอง

โดยเราจะใช้ปลายของคัปเปลอร์ด้านที่ 1 เป็นอินพุท และด้านที่ 2 เป็นเอาท์พุท ส่วนปลายด้านที่ 3 และ 4 เราจะนำไปเชื่อมต่อกับสายไฟเบอร์ที่มีความยาวที่เรากำหนดไว้ ในที่นี้เราจะใช้ความยาวสายไฟเบอร์ 2 และ 4 กิโลเมตร เมื่อเราทำการเชื่อมต่อกันแล้วจะทำให้ได้อุปกรณ์สำหรับทำการทดลองดังรูป



รูปที่ 3.6 แสดงแบบจำลองโพรงสั่นพ้องแบบวงแหวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการต่อชุดอุปกรณ์ที่อินพุทเข้ากับแหล่งกำเนิดสัญญาณคือฟังก์ชั่นเจนเนอเรเตอร์และเอาท์พุทต่อเข้ากับ เพื่อต่อเข้าไปที่ออสซิโลสโคป

3.3ขั้นตอนการเก็บค่าสัญญาณ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาขั้นตอนนี้ คือการศึกษาดูผลที่ได้จากเอาท์พุทและดูช่วงที่เกิดแอมพลิจูดสูงที่สุดของคลื่น

การศึกษาในขั้นตอนนี้ พิจารณาลำแสงอินพุท สัญญาณอินพุทถูกปล่อยเข้าสู่โพรงสั่นพ้องตลอดเวลา โดยคลื่นที่เข้าสู่วงแหวน จะเดินทางวนอยู่ภายในวงแหวนหลายรอบ ก่อนจะเกิดการลดทอนจนกระทั่งหมดไปในที่สุด คลื่นที่เดินทางวนอยู่ภายในวงแหวนเกิดการซ้อนทับกับคลื่นที่เดินทางเข้ามาใหม่อยู่ตลอดเวลา ทำให้ความเข้มแสงของสัญญาณเอาท์พุทจะมีการเปลี่ยนแปลง แต่การเปลี่ยนแปลงจะลดลง จนคงที่ในที่สุดเมื่อเวลาผ่านไปช่วงหนึ่ง การศึกษาขั้นตอนนี้ใช้การปรับพารามิเตอร์ในที่นี้เราใช้การปรับค่าของความถี่ที่สัญญาณอินพุท

สำหรับการศึกษาความถี่ เป็นการศึกษาการตอบสนองของโพรงสั่นพ้องต่อแสงอินพุทต่างความถี่ เราใช้ค่าความถี่ตั้งแต่20-150กิโลเฮริต์ส่งเข้าทางอินพุทจากเจนเนอเรเตอร์ที่เป็นเครื่องกำเนิดสัญญาณและสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของเอาท์พุทจากออสซิโลสโคป

หลังจากเก็บค่าสัญญาณแล้วเราจะทำการคำนวณ

ค่าอัตราสูญเสียขาเข้าต่อขาออกจากสมการ $20\log(\frac{V_{input}}{V_{output1}+V_{output2}})$ (dB) ...(3.3)

อัตราสูญเสียจากการเชื่อมต่อ $20\log(\frac{V_{input}}{V_{output1}})$ (dB) ...(3.4)

$$\text{Splitting ratio} = \left[\frac{P_3}{P_3+P_4}\right]\times 100\% = \left[1-\frac{P_3}{P_3+P_4}\right]\times 100\% \quad \text{...(3.5)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการตรวจสอบลักษณะการแบ่งความเข้มแสงของคัปเปลอร์ชนิด2×2

เมื่อแสงอินพุทเดินทางเข้าสู่โพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสง แสงอินพุทจะถูกแบ่งโดยคัปเปลอร์ออกเป็นสองส่วน ส่วนที่1 ส่งออกสู่ขา3 ของคัปเปลอร์ซึ่งเป็นพอร์ตเอาท์พุทของโพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสง และแสงอีกส่วนหนึ่งถูกแบ่งออกสู่ขา 4 ของคัปเปลอร์ซึ่งทำหน้าที่ส่งสัญญาณแสงเข้าไปหน่วงไว้ภายในวงแหวนใยแก้ว แล้วเดินทางกลับสู่ขา 2 ของคัปเปลอร์ซึ่งทำหน้าที่ป้อนสัญญาณกลับอีกครั้ง สัญญาณที่ถูกป้อนกลับก็จะถูกแบ่งด้วยคัปเปลอร์อีกส่งผลให้วัดสัญญาณเอาท์พุทได้อีก

4.2 ผลการศึกษาโดยการคำนวณค่าความถี่ที่เหมาะสม

ในการศึกษาหัวข้อนี้เราได้กำหนดความยาวของวงแหวนไว้ที่ 2 กิโลเมตรและ 4 กิโลเมตร ในที่นี้เราจะคำนวณหาช่วงความถี่ที่เหมาะสมในการส่งสัญญาณเพื่อให้ได้ค่าPeak-to-peakของกราฟที่แสดงผลทางออสซิโลสโคปมีค่ามากที่สุดหรือความถี่ที่ทำให้การซ้อนทับของคลื่นมีค่ามากที่สุด โดยมีรายละเอียดการคำนวนดังต่อไปนี้

จาก
$$n = \frac{c}{v} \qquad \ldots(4.1)$$

และ
$$v = \frac{s}{t} \qquad \ldots(4.2)$$

แทนค่าสมการ(4.1)ในสมการ(4.2)จะได้ว่า
$$t = \frac{sn}{c} \qquad \ldots(4.3)$$

$$s = \frac{cn}{f} \qquad \ldots(4.4)$$

ในที่นี้เรากำหนดค่าต่างๆไว้ดังนี้ $S = 2\times10^{3}$ m และ $S = 4\times10^{3}$ m

$N = 1.45$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$C = 3\times10^{8}$ m/s

แทนค่าลงในสมการ(4.3)

ที่ ระยะทาง 2 กิโลเมตร $t = \dfrac{(2\times10^{3})(1.45)}{(3\times10^{8})}$

$= 9.67\times10^{-6}\,s$

ดังนั้น $f = \dfrac{1}{T}$ ...(4.5)

แทนค่าจะได้ $= \dfrac{1}{9.67\times10^{-6}}$

$f = 103.41$ kHz

ที่ระยะทาง 4 กิโลเมตร $t = \dfrac{(4\times10^{3})(1.45)}{3\times10^{8}}$

$= 1.93\times10^{-5}$

$f = \dfrac{1}{1.93\times10^{-5}}$

$F = 51.813$ kHz

จากการศึกษาขั้นตอนนี้เราสามารถสรุปได้ว่าถ้าเรากำหนดค่าความยาวของวงแหวนที่2 กิโลเมตรช่วงความถี่ที่แอมพลิจูดของกราฟจะมีค่าสูงที่สุดคือช่วงความถี่ประมาณ103กิโลเฮริต์ทำให้เราตั้งค่าช่วงการดูกราฟได้ง่ายขึ้น ส่วนที่ความยาววงแหวน 4 กิโลเมตรช่วงความถี่ที่แอมพลิจูดของกราฟจะมีค่าสูงที่สุดคือช่วงความถี่ประมาณ51กิโลเฮิร์ต จากขั้นตอนนี้เราทำการกำหนดช่วงให้สัญญาณความถี่ไว้ที่ 20 กิโลเฮิร์ต- 150 กิโลเฮิร์ต

4.3 ผลการศึกษาโดยการทดลองสร้างโพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสง

ในหัวข้อนี้นำเสนอผลการศึกษาโดยการทดลองสร้างโพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสง การทดลองเริ่มต้นด้วยการหาอัตราการแบ่งความเข้มแสงของคัปเปลอร์ แล้วจึงใช้เลเซอร์ไดโอดเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณที่สร้างจากพัลส์เจนเนอร์เรเตอร์(pulse generator) ส่งเข้าสู่โพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสง ที่ปลายเอาท์พุทมีอุปกรณ์วัดค่าสัญญาณ(photo detector)เพื่อส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณไปยังออสซิโลสโคปที่ติดตั้งอยู่ ในที่นี้เราจะใช้เลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น1550nm. กระบวนการทดลองทำตามขั้นตอนการทดลองบทที่ 3 ผลการทดสอบมีดังนี้

รูปที่ 4.1 แสดงชุดการทดลอง

4.3.1 การหาค่าสัญญาณเอาท์พุทที่ผ่านและไม่ผ่านคัปเปลอร์

ค่าสัญญาณไม่ผ่านคัปเปลอร์ ความถี่ = 149.4 กิโลเฮิร์ต ค่าแอมพลิจูด = 66.8 มิลลิโวลต์

ค่าสัญญาณผ่านคัปเปลอร์แต่ไม่ผ่านวงแหวน ความถี่ = 149.4 กิโลเฮิร์ต ค่าแอมพลิจูด = 66.8 มิลลิโวลต์

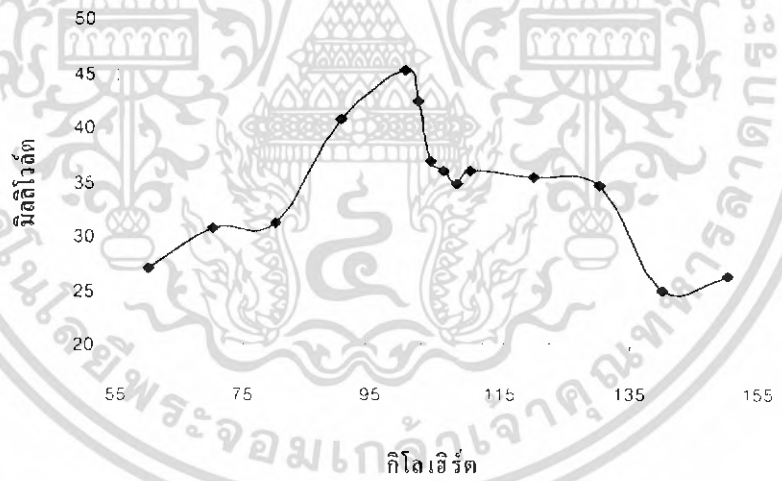
4.3.2 การหาค่าสัญญาณเอาท์พุทที่ผ่านคัปเปลอร์แบบไม่มีการครอสคอนเนกและวงแหวน ระยะทาง 2 กิโลเมตร

ตารางที่4.1 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่1

ค่าความถี่สัญญาณที่ส่งเข้า (กิโลเฮิร์ต์)	ค่าความถี่ที่วัดได้ (กิโลเฮิร์ต์)	ค่าแอมพลิจูด (มิลลิโวลต์)
150	149.3	26.2
140	138.9	25
130	129.9	34.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความถี่สัญญาณที่ส่งเข้า (กิโลเฮิร์ต์)	ค่าความถี่ที่วัดได้ (กิโลเฮิร์ต์)	ค่าแอมพลิจูด (มิลลิโวลต์)
120	119	35.4
110	109.9	36
108	106.4	34.8
106	105.3	36
104	103.1	36.8
102	101	42.4
100	99.01	45.2
90	89.29	40.8
80	79.37	31.2
70	69.44	30.8
60	59.52	27



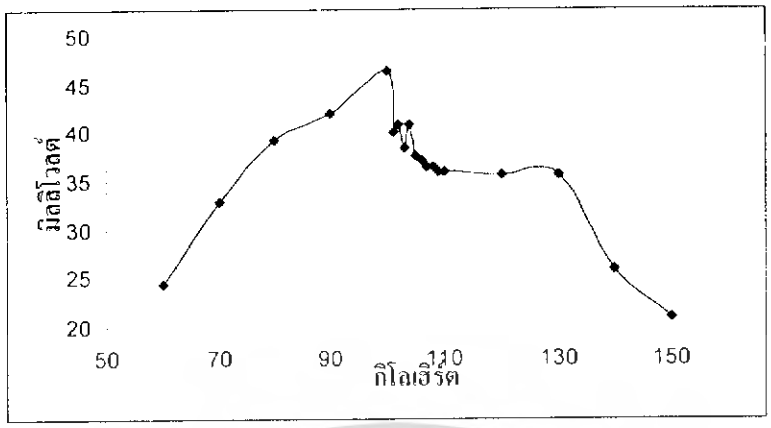
รูปที่4.2 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตร ครั้งที่1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.2 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่2

ค่าความถี่สัญญาณที่ส่งเข้า (กิโลเฮิร์ต)	ค่าความถี่ที่วัดได้ (กิโลเฮิร์ต)	ค่าแอมพลิจูด (มิลลิโวลต์)
150	149.3	21
140	138.9	25.8
130	129.9	35.6
120	119	35.6
110	109.9	36
109	108.7	36
108	107.5	36.4
107	106.4	36.4
106	105.3	37.2
105	104.2	37.6
104	103.1	40.8
103	102	38.4
102	101	40.8
101	101	40
100	100	46.4
90	89.29	42
80	80	39.2
70	70.42	32.8
60	60.24	24.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.3 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตร ครั้งที่2

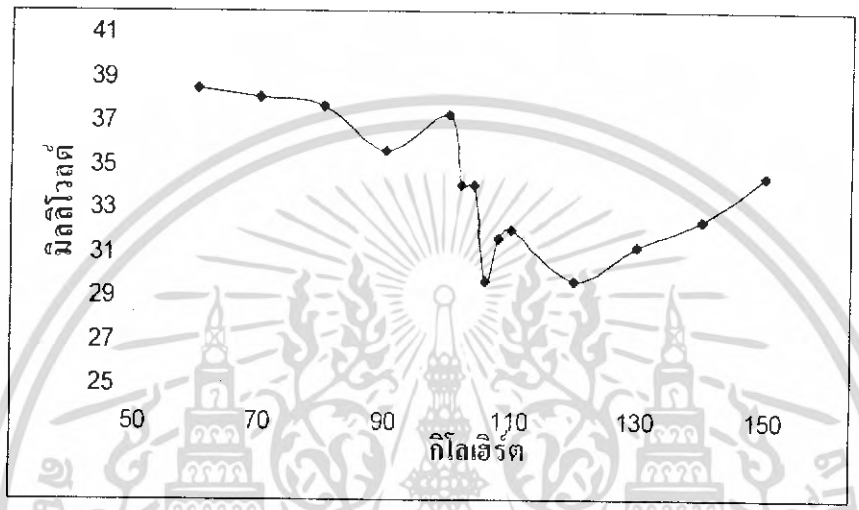
4.3.3 การหาค่าสัญญาณเอาท์พุทที่ผ่านคัปเปลอร์แบบไม่มีการครอสถอนเนกและวงแหวนระยะทาง 4 กิโลเมตร

ตารางที่4.3 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่1

ค่าความถี่สัญญาณที่ส่งเข้า (กิโลเฮิร์ต์)	ค่าความถี่ที่วัดได้ (กิโลเฮิร์ต์)	ค่าแอมพลิจูด(มิลลิโวลต์)
150	50	34.4
140	47.17	32.4
130	64.1	31.2
120	58.82	29.6
110	54.35	32
108	53.76	31.6
106	104.2	29.6
104	102	34
102	102	34
100	100	37.2
90	89.29	35.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความถี่สัญญาณที่ส่งเข้า (กิโลเฮิร์ต์)	ค่าความถี่ที่วัดได้ (กิโลเฮิร์ต์)	ค่าแอมพลิจูด(มิลลิโวลต์)
80	79.37	37.6
70	69.44	38
60	59.52	38.4



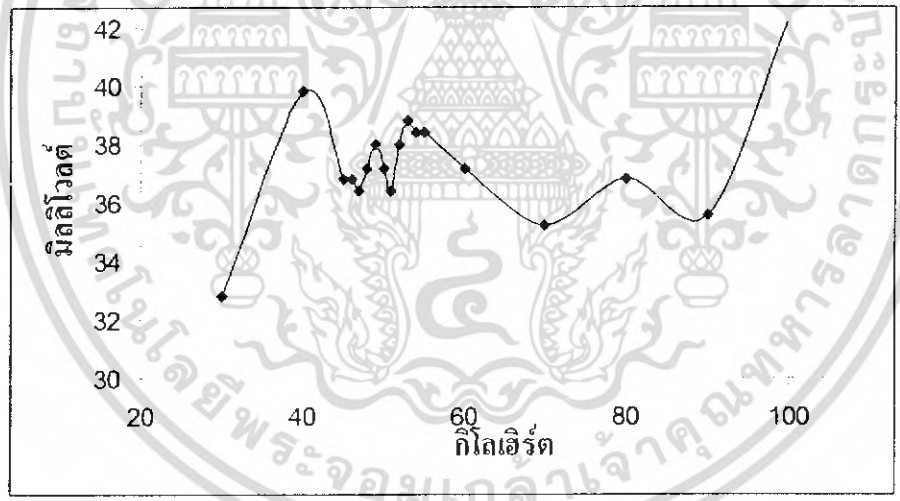
รูปที่4.4 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตร ครั้งที่1

ตารางที่4.4 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่2

ค่าความถี่สัญญาณที่ส่งเข้า (กิโลเฮิร์ต์)	ค่าความถี่ที่วัดได้ (กิโลเฮิร์ต์)	ค่าแอมพลิจูด (มิลลิโวลต์)
100	100	42.4
90	89.29	35.6
80	79.37	36.8
70	69.44	35.25
60	59.52	37.2
55	54.95	38.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความถี่สัญญาณที่ส่งเข้า (กิโลเฮิร์ต์)	ค่าความถี่ที่วัดได้ (กิโลเฮิร์ต์)	ค่าแอมพลิจูด (มิลลิโวลต์)
54	53.76	38.4
53	53.23	38.8
52	51.55	38
51	50.51	36.4
50	49.5	37.2
49	48.54	38
48	48.08	37.2
47	46.3	36.4
46	45.45	36.8
45	44.64	36.8
40	34.4	39.8
30	29.76	32.8



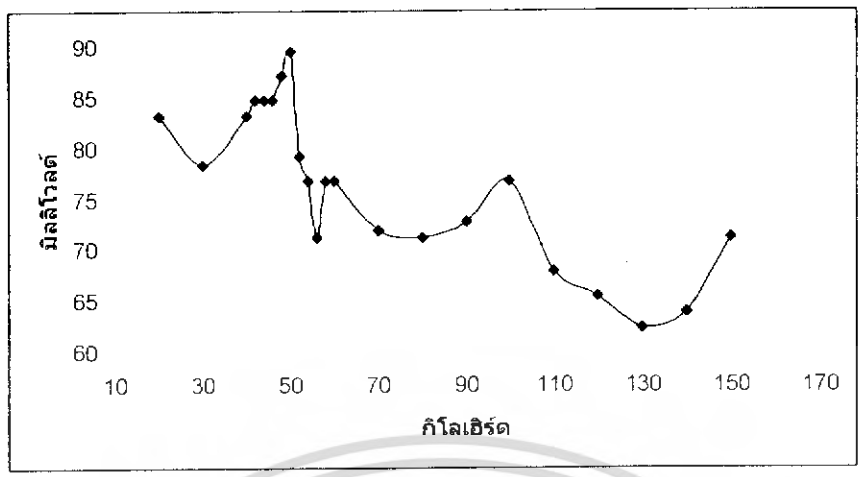
รูปที่4.5 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตร ครั้งที่2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.5 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่3

ค่าความถี่สัญญาณที่ส่งเข้า (กิโลเฮิร์ต์)	ค่าความถี่ที่วัดได้ (กิโลเฮิร์ต์)	ค่าแอมพลิจูด(มิลลิโวลต์)
150	149.3	71.2
140	138.9	64
130	129.9	62.4
120	119	65.6
110	109.9	68
100	100	76.8
90	89.29	72.8
80	80	71.2
70	69.44	72
60	59.29	76.8
58	57.47	76.8
56	56.18	71.2
54	53.76	76.8
52	52.08	79.2
50	50	89.6
48	48.08	87.2
46	46.3	84.8
44	43.86	84.8
42	41.76	84.8
40	39.68	83.2
30	30.12	78.4
20	20	83.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



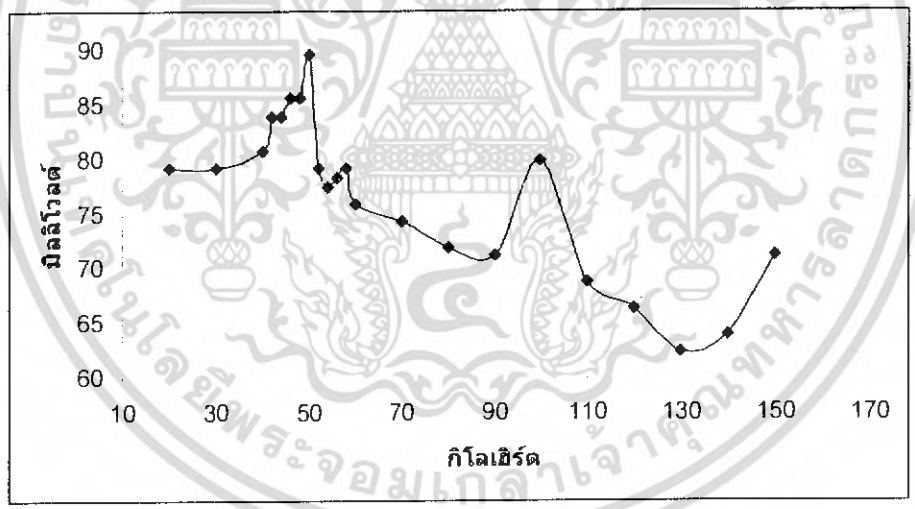
รูปที่4.6 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และ วงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตร ครั้งที่3

ตารางที่4.6 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่4

ค่าความถี่สัญญาณที่ส่งเข้า (กิโลเฮิร์ต์)	ค่าความถี่ที่วัดได้ (กิโลเฮิร์ต์)	ค่าแอมพลิจูด (มิลลิโวลต์)
150	147.1	71.2
140	138.9	64
130	128.2	62.4
120	119	66.4
110	108.7	68.8
100	100	80
90	89.29	71.2
80	80.65	72
70	69.44	74.4
60	59.52	76
58	58.14	79.2
56	55.64	78.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความถี่สัญญาณที่ส่งเข้า (กิโลเฮิร์ต์)	ค่าความถี่ที่วัดได้ (กิโลเฮิร์ต์)	ค่าแอมพลิจูด (มิลลิโวลต์)
54	53.19	77.6
52	52.08	79.2
50	50	89.6
48	48.08	85.6
46	45.45	85.6
44	43.86	84
42	41.76	84
40	39.68	80.8
30	29.4	79.2
20	20	79.2



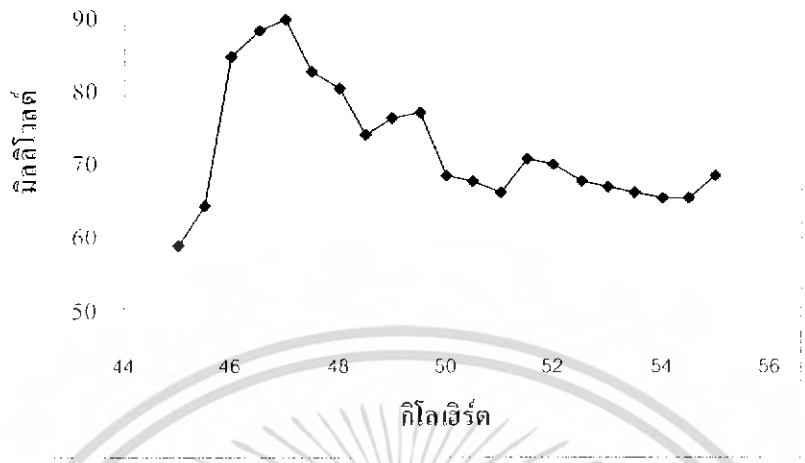
รูปที่4.7 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตร ครั้งที่4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.7 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่5

ค่าความถี่สัญญาณที่ส่งเข้า (กิโลเฮิร์ต)	ค่าความถี่ที่วัดได้ (กิโลเฮิร์ต)	ค่าแอมพลิจูด (มิลลิโวลต์)
45	45.45	58.4
45.5	45.45	64
46	46.3	84.4
46.5	46.3	88
47	47.17	89.6
47.5	47.17	82.4
48	48.08	80
48.5	48.28	73.6
49	49.02	76
49.5	49.02	76.8
50	50	68
50.5	50	67.2
51	51.02	65.6
51.5	51.02	70.4
52	52.08	69.6
52.5	52.08	67.2
53	52.08	66.4
53.5	53.19	65.6
54	53.19	64.8
54.5	54.35	64.8
55	55.56	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



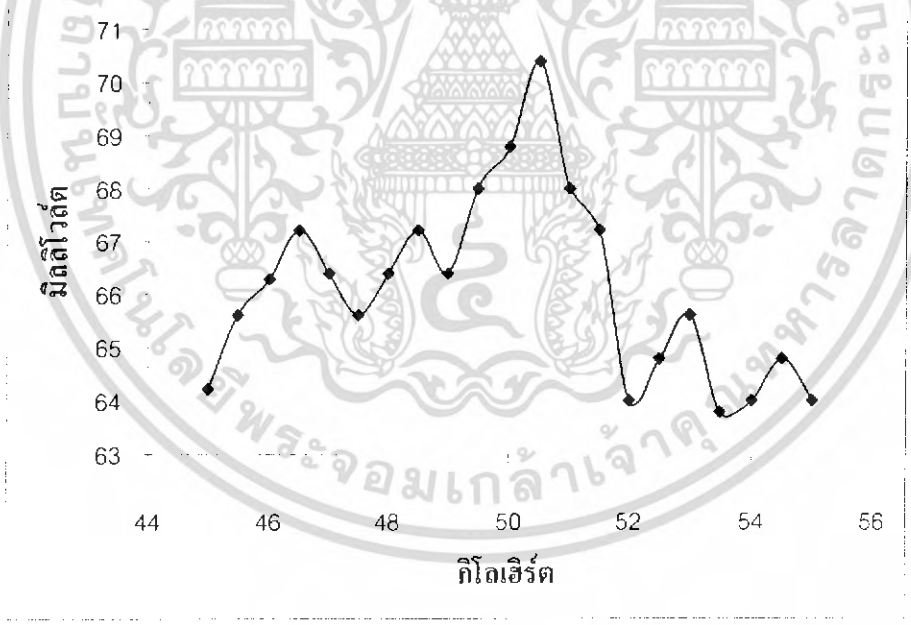
รูปที่4.8 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตร ครั้งที่5

ตารางที่4.9 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่6

ค่าความถี่สัญญาณที่ส่งเข้า (กิโลเฮิร์ต์)	ค่าความถี่ที่วัดได้ (กิโลเฮิร์ต์)	ค่าแอมพลิจูด (มิลลิโวลต์)
45	44.64	64.2
45.5	45.45	65.6
46	46.3	66.3
46.5	46.3	67.2
47	47.17	66.4
47.5	47.17	65.6
48	48.08	66.4
48.5	48.28	67.2
49	49.02	66.4
49.5	50	68
50	50	68.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความถี่สัญญาณที่ส่งเข้า (กิโลเฮิร์ต)	ค่าความถี่ที่วัดได้ (กิโลเฮิร์ต)	ค่าแอมพลิจูด (มิลลิโวลต์)
50.5	51.02	70.4
51	51.02	68
51.5	51.02	67.2
52	52.08	64
52.5	52.08	64.8
53	53.19	65.6
53.5	53.19	63.8
54	54.35	64
54.5	54.35	64.8
55	54.35	64



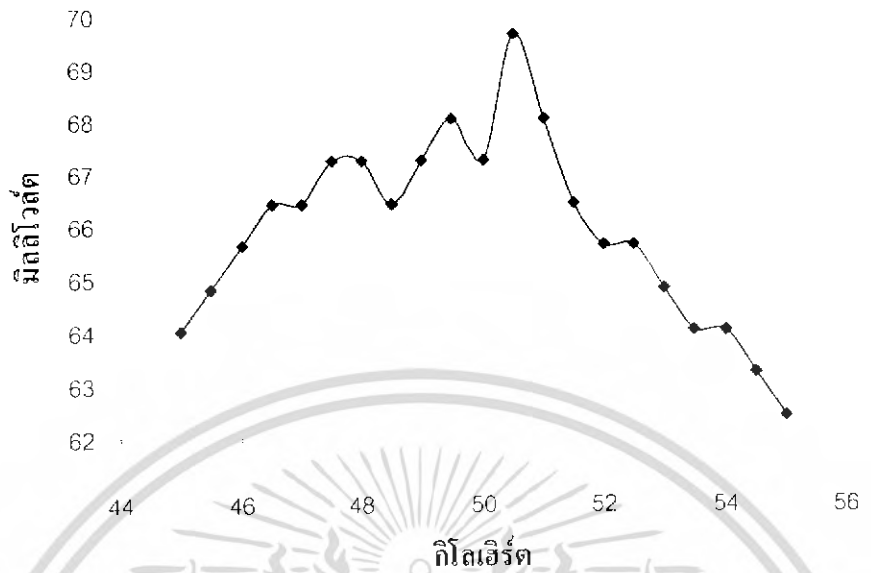
รูปที่4.9 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตร ครั้งที่6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.9 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่7

ค่าความถี่สัญญาณที่ส่งเข้า (กิโลเฮิร์ต)	ค่าความถี่ที่วัดได้ (กิโลเฮิร์ต)	ค่าแอมพลิจูด (มิลลิโวลต์)
45	44.64	64
45.5	45.45	64.8
46	45.45	65.6
46.5	46.3	66.4
47	47.17	66.4
47.5	47.17	67.2
48	48.08	67.2
48.5	48.28	66.4
49	49.02	67.2
49.5	49.02	68
50	50	67.2
50.5	50	69.6
51	51.02	68
51.5	51.02	66.4
52	52.08	65.6
52.5	52.08	65.6
53	53.19	64.8
53.5	53.19	64
54	54.35	64
54.5	54.35	63.2
55	54.35	62.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.10 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์และวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตร ครั้งที่7

4.3.4 การหาค่าสัญญาณเอาท์พุทที่ผ่านคัปเปลอร์แบบครอสคอนเนกและวงแหวนระยะทาง 2 กิโลเมตร

ตารางที่4.11 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์ครอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง 2 กิโลเมตรครั้งที่1

ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท1 (มิลลิโวลต์)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท2 (มิลลิโวลต์)	ความถี่เอาท์พุท (กิโลเฮิร์ต)
150	36.8	17.53	149.56
145	37.6	17.93	144.48
140	36.8	17.53	139.4
135	35.3	16.78	134.32
130	35.3	16.78	129.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท1 (มิลลิโวลต์)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท2 (มิลลิโวลต์)	ความถี่เอาท์พุท (กิโลเฮิร์ต)
125	36	17.13	124.16
120	37.6	17.93	119.08
115	38.2	18.23	114
110	39.2	18.73	109.9
108	40.8	19.53	107.5
106	41.6	19.93	105.3
104	41.6	19.93	103.1
102	42.4	20.33	102
100	43.2	20.73	100
95	41.6	19.93	94.33
90	40.8	19.53	89.29
85	40	19.13	84.21
80	39.2	18.73	79.13
75	38.4	18.33	74.05
70	37.6	17.93	68.97
65	36.8	17.53	63.89
60	37.6	17.93	58.81
55	36.8	17.53	53.73
50	35.3	16.78	48.65
45	35.3	16.78	43.57
40	36	17.13	38.49
35	37.6	17.93	33.41

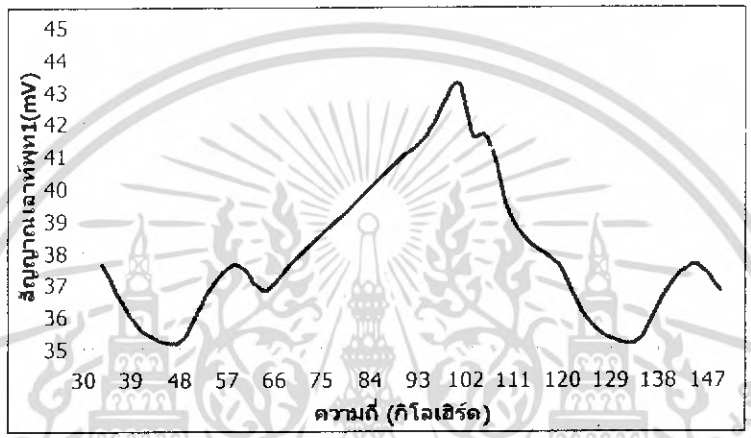
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.12 แสดงข้อมูลการคำนวณอัตราการสูญเสียของคัปเปลอร์คอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง 2 กิโลเมตรครั้งที่1

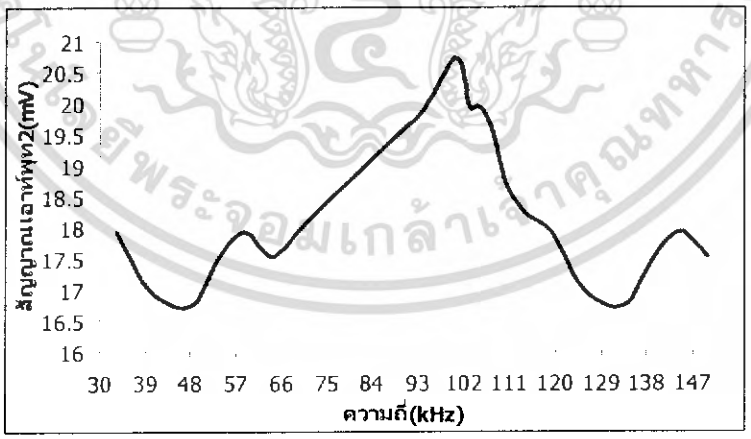
ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	อัตราสูญเสียขาเข้าต่อขาออก(dB)	อัตราสูญเสียจากการเชื่อมต่อ(dB)	Splitting ratio
150	1.79	5.18	32.27
145	1.60	4.99	32.29
140	1.79	5.18	32.27
135	2.16	5.54	32.22
130	2.16	5.54	32.22
125	1.99	5.37	32.24
120	1.60	4.99	32.29
115	1.47	4.85	32.31
110	1.24	4.63	32.33
108	0.88	4.28	32.37
106	0.71	4.11	32.39
104	0.71	4.11	32.39
102	0.55	3.95	32.41
100	0.38	3.79	32.43
95	0.71	4.11	32.39
90	0.88	4.28	32.37
85	1.06	4.45	32.35
80	1.24	4.63	32.33
75	1.42	4.81	32.31
70	1.60	4.99	32.29
65	1.79	5.18	32.27
60	1.60	4.99	32.29
55	1.79	5.18	32.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	อัตราสูญเสีย ขาเข้าต่อขาออก(dB)	อัตราสูญเสียจาก การเชื่อมต่อ(dB)	Splitting ratio
50	2.16	5.54	32.22
45	2.16	5.54	32.22
40	1.99	5.37	32.24
35	1.60	4.99	32.29



รูปที่4.11 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท1ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่1



รูปที่4.12 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท2ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.13 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท1ของคัปเปลอร์คอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง 2 กิโลเมตรครั้งที่2

ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท1 (มิลลิโวลต์)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท2 (มิลลิโวลต์)	ความถี่เอาท์พุท (กิโลเฮิร์ต)
150	35.4	16.2	149.56
145	33.7	15.4	144.48
140	34.3	15.7	139.4
135	35.4	16	134.32
130	34.3	16	129.24
125	33.4	15.4	124.16
120	34.3	15.7	119.08
115	35.4	16.2	114
110	34.3	15.7	109.9
108	35.4	16.2	107.5
106	35.4	16.2	105.3
104	36.2	16.6	103.1
102	36.2	16.6	102
100	37.8	17.5	100
95	36.2	16.5	94.33
90	36.2	16.2	89.29
85	35.2	16.1	84.21
80	36.2	16.1	79.13
75	35.2	16.5	74.05
70	36.2	16.5	68.97
65	35.6	16.5	63.89
60	35.4	16.2	58.81
55	33.7	15.4	53.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

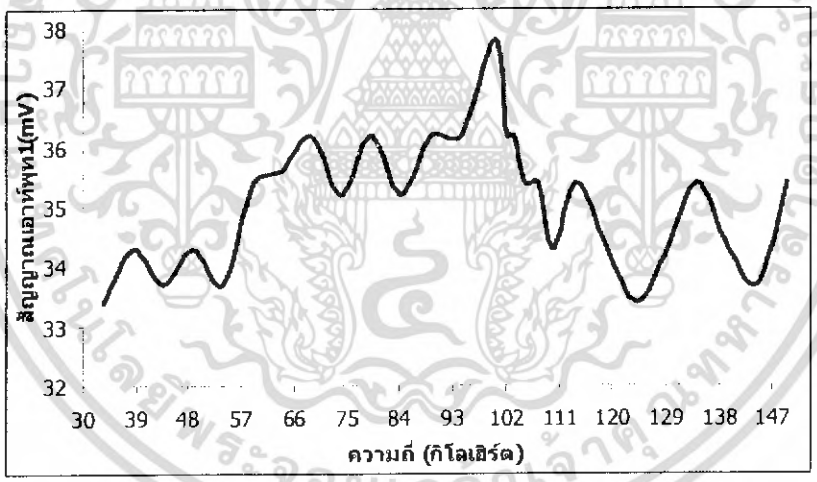
ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท1 (มิลลิโวลต์)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท2 (มิลลิโวลต์)	ความถี่เอาท์พุท (กิโลเฮิร์ต)
50	34.3	15.2	48.65
45	33.7	15.4	43.57
40	34.3	15.2	38.49
35	33.4	15.2	33.41

ตารางที่4.14 แสดงข้อมูลการคำนวณอัตราการสูญเสียของคัปเปลอร์คอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง 2 กิโลเมตรครั้งที่2

ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	อัตราสูญเสีย ขาเข้าต่อขาออก(dB)	อัตราสูญเสียจาก การเชื่อมต่อ(dB)	Splitting ratio
150	2.24	5.52	31.40
145	2.67	5.94	31.36
140	2.52	5.79	31.40
135	2.28	5.52	31.13
130	2.46	5.79	31.81
125	2.73	6.02	31.56
120	2.52	5.79	31.40
115	2.24	5.52	31.40
110	2.52	5.79	31.40
108	2.24	5.52	31.40
106	2.24	5.52	31.40
104	2.04	5.32	31.44
102	2.04	5.32	31.44
100	1.64	4.95	31.65
95	2.06	5.32	31.31
90	2.11	5.32	30.92

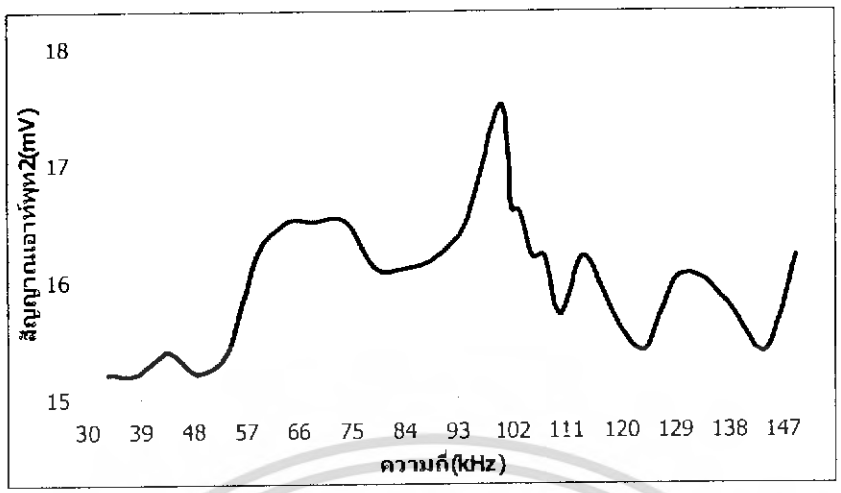
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	อัตราสูญเสียขาเข้าต่อขาออก(dB)	อัตราสูญเสียจากการเชื่อมต่อ(dB)	Splitting ratio
85	2.29	5.56	31.38
80	2.13	5.32	30.78
75	2.23	5.56	31.91
70	2.06	5.32	31.31
65	2.16	5.47	31.67
60	2.24	5.52	31.40
55	2.67	5.94	31.36
50	2.60	5.79	30.71
45	2.67	5.94	31.36
40	2.60	5.79	30.71
35	2.76	6.02	31.28



รูปที่4.13 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.14 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท2ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่2

ตารางที่4.15 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์คอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง 2 กิโลเมตรครั้งที่3

ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท1 (มิลลิโวลต์)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท2 (มิลลิโวลต์)	ความถี่เอาท์พุท (กิโลเฮิร์ต)
150	32.2	16	149.56
145	33.3	15.2	144.48
140	32.5	14.8	139.4
135	32.5	14.8	134.32
130	31.6	14	129.24
125	31.3	14.2	124.16
120	31.3	14.2	119.08
115	32.5	14.8	114
110	32.1	14.6	109.9
108	32.1	14.6	107.5
106	33.4	14.2	105.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท1 (มิลลิโวลต์)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท2 (มิลลิโวลต์)	ความถี่เอาท์พุท (กิโลเฮิร์ต)
104	33.4	14.4	103.1
102	34.2	14.4	102
100	33.3	15.2	100
95	32.2	14	94.33
90	32.5	14.8	89.29
85	31.6	14	84.21
80	31.3	14.2	79.13
75	31.3	14.2	74.05
70	32.5	14.8	68.97
65	32.1	14.6	63.89
60	32.1	14.6	58.81
55	31.3	14.2	53.73
50	31.7	14.4	48.65
45	29.3	13.2	43.57
40	29.3	13.2	38.49
35	28.9	13	33.41

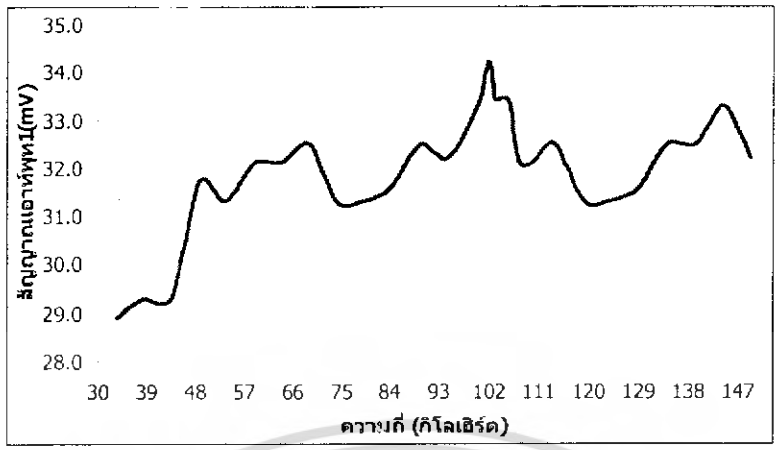
ตารางที่4.16 แสดงข้อมูลการคำนวณอัตราการสูญเสียของคัปเปลอร์คอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง 2 กิโลเมตรครั้งที่3

ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	อัตราสูญเสีย ขาเข้าต่อขาออก(dB)	อัตราสูญเสียจาก การเชื่อมต่อ(dB)	Splitting ratio
150	2.83	6.34	33.20
145	2.78	6.05	31.35
140	3.00	6.26	31.30
135	3.00	6.26	31.30

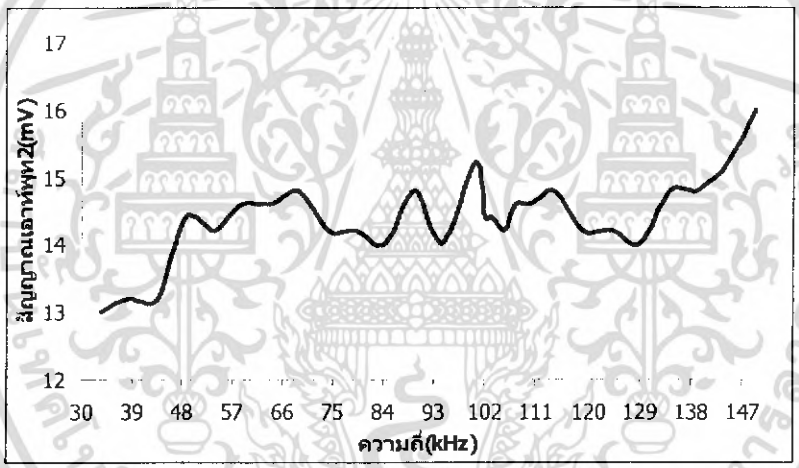
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	อัตราสูญเสีย ขาเข้าต่อขาออก(dB)	อัตราสูญเสียจาก การเชื่อมต่อ(dB)	Splitting ratio
130	3.32	6.50	30.70
125	3.34	6.59	31.22
120	3.34	6.59	31.22
115	3.00	6.26	31.30
110	3.11	6.37	31.27
108	3.11	6.37	31.27
106	2.94	6.02	29.83
104	2.91	6.02	30.13
102	2.76	5.82	29.63
100	2.78	6.05	31.35
95	3.20	6.34	30.30
90	3.00	6.26	31.30
85	3.32	6.50	30.70
80	3.34	6.59	31.22
75	3.34	6.59	31.22
70	3.00	6.26	31.30
65	3.11	6.37	31.27
60	3.11	6.37	31.27
55	3.34	6.59	31.22
50	3.22	6.48	31.24
45	3.93	7.16	31.07
40	3.93	7.16	31.07
35	4.05	7.28	31.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.15 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท1ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่3



รูปที่4.16 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท2ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.17 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์คอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง 2 กิโลเมตรครั้งที่4

ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท1 (มิลลิโวลต์)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท2 (มิลลิโวลต์)	ความถี่เอาท์พุท (กิโลเฮิร์ต)
150	32.5	15.2	149.56
145	32.1	15	144.48
140	31.7	14.8	139.4
135	30.9	14.4	134.32
130	31.2	14.2	129.24
125	31.6	14.2	124.16
120	32.4	15	119.08
115	32.8	15.6	114
110	33.7	15.8	109.9
108	34.9	16.4	107.5
106	35.7	16.8	105.3
104	35.3	16.6	103.1
102	36.1	17	102
100	36.5	17.2	100
95	36.1	17	94.33
90	35.2	16	89.29
85	35.4	16.4	84.21
80	34.5	16.2	79.13
75	33.3	15.6	74.05
70	32.6	14	68.97
65	32.3	14	63.89
60	31.7	14.2	58.81
55	31.7	14.8	53.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

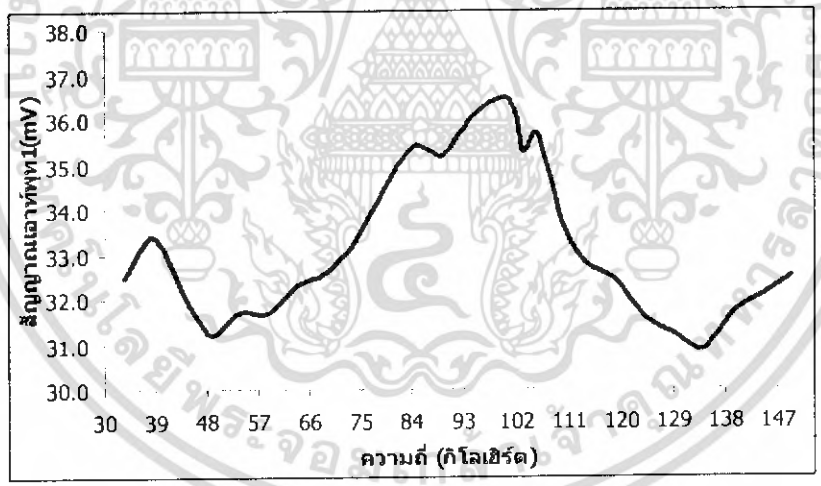
ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์1 (มิลลิโวลต์)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท2 (มิลลิโวลต์)	ความถี่เอาท์พุท (กิโลเฮิร์ต)
50	31.2	15.6	48.65
45	32.2	16	43.57
40	33.4	16	38.49
35	32.5	15.2	33.41

ตารางที่4.18 แสดงข้อมูลการคำนวณอัตราการสูญเสียของคัปเปลอร์คอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง 2 กิโลเมตรครั้งที่4

ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	อัตราสูญเสีย ขาเข้าต่อขาออก(dB)	อัตราสูญเสียจาก การเชื่อมต่อ(dB)	Splitting ratio
150	2.93	6.26	31.88
145	3.04	6.37	31.86
140	3.15	6.48	31.84
135	3.38	6.70	31.80
130	3.35	6.61	31.28
125	3.28	6.50	31.00
120	2.98	6.28	31.65
115	2.80	6.18	32.23
110	2.61	5.95	31.93
108	2.30	5.64	31.98
106	2.10	5.45	32.01
104	2.20	5.54	32.00
102	2.00	5.35	32.03
100	1.90	5.25	32.04
95	2.00	5.35	32.03
90	2.31	5.56	31.25

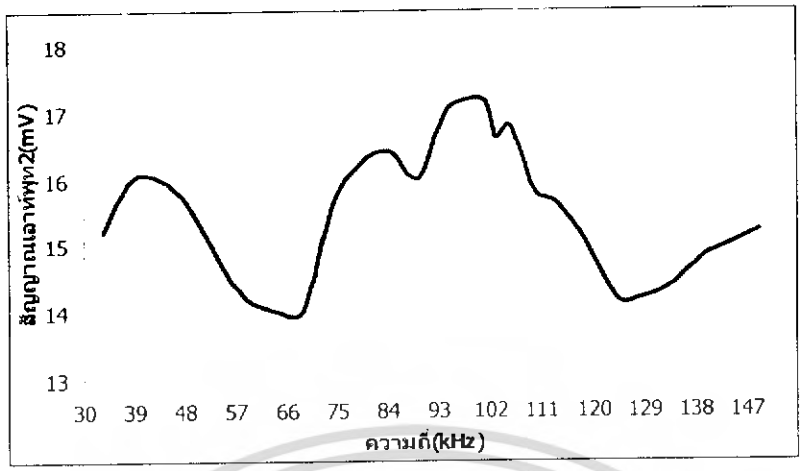
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	อัตราสูญเสียขาเข้าต่อขาออก(dB)	อัตราสูญเสียจากการเชื่อมต่อ(dB)	Splitting ratio
85	2.21	5.52	31.66
80	2.40	5.74	31.97
75	2.71	6.05	31.91
70	3.13	6.23	30.04
65	3.18	6.31	30.24
60	3.26	6.47	30.94
55	3.15	6.48	31.84
50	3.09	6.61	33.33
45	2.83	6.34	33.20
40	2.62	6.02	32.39
35	2.93	6.26	31.88



รูปที่4.17 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท1ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.18 :แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท2ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่4

ตารางที่4.19 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์คอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง 2 กิโลเมตรครั้งที่5

ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท1 (มิลลิโวลต์)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท2 (มิลลิโวลต์)	ความถี่เอาท์พุท (กิโลเฮิร์ต)
150	31.3	14	149.56
145	31.7	14.2	144.48
140	31.7	14.2	139.4
135	32.9	14.8	134.32
130	33.4	15.6	129.24
125	34.2	16	124.16
120	35.1	16	119.08
115	35.1	16.8	114
110	34.2	14.4	109.9
108	34.2	14.8	107.5
106	34.6	14.8	105.3
104	34.5	15.6	103.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท1 (มิลลิโวลต์)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท2 (มิลลิโวลต์)	ความถี่เอาท์พุท (กิโลเฮิร์ต)
102	35.3	16	102
100	37.3	17	100
95	36.2	14.4	94.33
90	34.8	14	89.29
85	33.5	13.6	84.21
80	33.4	13.8	79.13
75	34.5	15.6	74.05
70	33.9	15.3	68.97
65	33.4	14.2	63.89
60	32.9	14.8	58.81
55	34.5	15.6	53.73
50	35.3	16	48.65
45	35.3	16	43.57
40	33.7	15.2	38.49
35	32.9	14.8	33.41

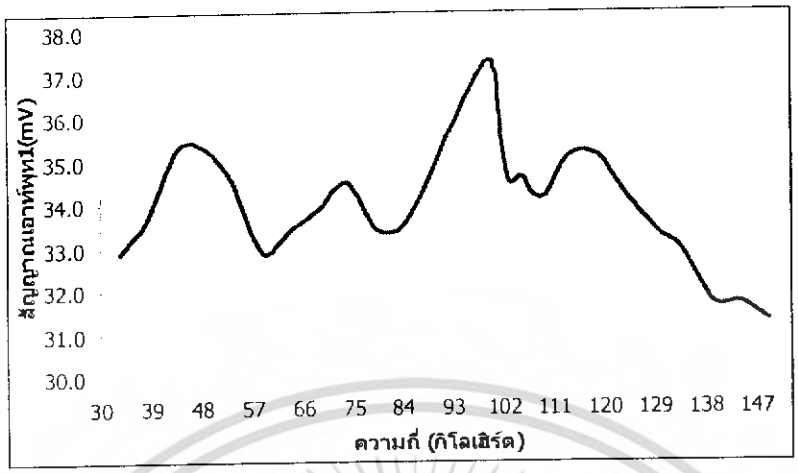
ตารางที่4.20 แสดงข้อมูลการคำนวณอัตราการสูญเสียของคัปเปลอร์คอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง 2 กิโลเมตรครั้งที่5

ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	อัตราสูญเสีย ขาเข้าต่อขาออก(dB)	อัตราสูญเสียจาก การเชื่อมต่อ(dB)	Splitting ratio
150	3.38	6.59	30.92
145	3.26	6.48	30.95
140	3.26	6.48	30.95
135	2.93	6.16	31.04
130	2.69	6.02	31.84

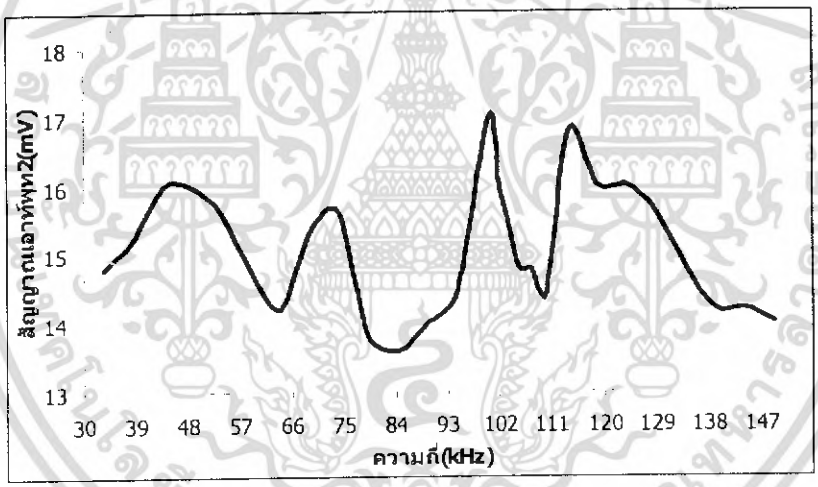
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	อัตราสูญเสียขาเข้าต่อขาออก(dB)	อัตราสูญเสียจากการเชื่อมต่อ(dB)	Splitting ratio
125	2.48	5.82	31.87
120	2.33	5.59	31.31
115	2.19	5.59	32.37
110	2.76	5.82	29.63
108	2.69	5.82	30.20
106	2.62	5.71	29.96
104	2.50	5.74	31.15
102	2.30	5.54	31.20
100	1.80	5.07	31.32
95	2.41	5.32	28.46
90	2.73	5.66	28.69
85	3.04	5.99	28.87
80	3.02	6.02	29.24
75	2.50	5.74	31.15
70	2.66	5.90	31.11
65	2.94	6.02	29.83
60	2.93	6.16	31.04
55	2.50	5.74	31.15
50	2.30	5.54	31.20
45	2.30	5.54	31.20
40	2.71	5.95	31.10
35	2.93	6.16	31.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.19 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท1ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่5



รูปที่4.20 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท2ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง2กิโลเมตรครั้งที่5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.21 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์คอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง 4 กิโลเมตรครั้งที่1

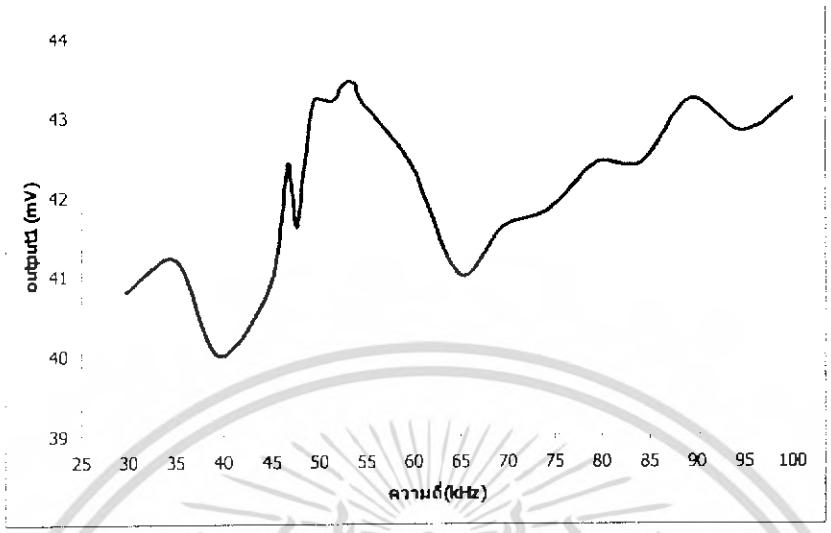
ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท1 (มิลลิโวลต์)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท2 (มิลลิโวลต์)	ความถี่เอาท์พุท (กิโลเฮิร์ต)
100	43.2	16.2	100
95	42.8	16.4	94.76
90	43.2	16.8	89.29
85	42.4	16.4	84.21
80	42.4	16.2	79.37
75	41.8	16.8	74.31
70	41.6	16	69.44
65	41	16.2	64.8
60	42.4	15.6	59.52
55	43.2	16	54.35
54	43.4	16.4	53.76
53	43.4	15.2	52.63
52	43.2	14.8	51.55
51	43.2	15.6	50.5
50	43.2	16	49.5
49	42.4	15.6	48.54
48	41.6	14.8	47.62
47	42.4	15.4	46.73
46	41.6	15.2	45.87
45	40.8	14.8	44.64
40	40	15.2	39.4
35	41.2	15.2	35
30	40.8	15.8	29.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

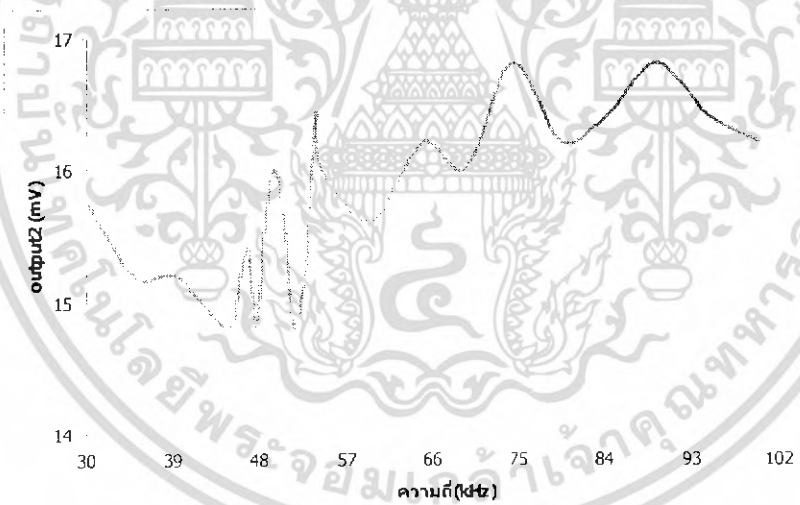
ตารางที่4.22แสดงข้อมูลการคำนวณอัตราการสูญเสียของคัปเปลอร์คอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง 4 กิโลเมตรครั้งที่1

ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	อัตราสูญเสีย ขาเข้าต่อขาออก(dB)	อัตราสูญเสียจาก การเชื่อมต่อ(dB)	Splitting ratio
100	2.14	4.99	27.97
95	2.08	4.81	27.00
90	2.41	5.08	26.48
85	2.52	5.27	27.20
80	2.94	5.56	26.05
75	2.76	5.42	26.34
70	2.62	5.27	26.32
65	2.52	5.23	26.80
60	2.31	4.99	26.56
55	2.76	5.27	25.10
54	2.52	5.18	26.40
53	2.41	5.08	26.48
52	2.31	4.99	26.56
51	2.11	4.81	26.72
50	2.21	4.90	26.64
49	2.41	5.08	26.48
48	2.52	5.18	26.40
47	2.31	4.99	26.56
46	2.52	5.18	26.40
45	2.83	5.47	26.14
40	2.41	5.08	26.48
35	2.31	4.99	26.56
30	2.91	5.32	24.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.21แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท1ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่1



รูปที่4.22 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท2ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.23 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์คอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง 4 กิโลเมตรครั้งที่2

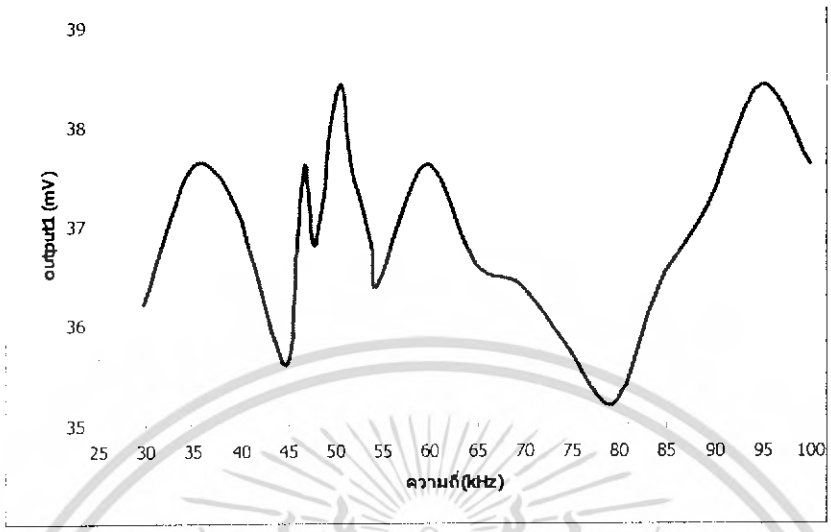
ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท1 (มิลลิโวลต์)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท2 (มิลลิโวลต์)	ความถี่เอาท์พุท (กิโลเฮิร์ต)
100	37.6	14.6	100
95	38.4	14.2	94.76
90	37.2	13.4	89.29
85	36.4	13.6	84.21
80	35.2	12.4	79.37
75	35.8	12.8	74.31
70	36.4	13	69.44
65	36.6	13.4	64.8
60	37.6	13.6	59.52
55	36.4	12.2	54.35
54	36.8	13.2	53.76
53	37.2	13.4	52.63
52	37.6	13.6	51.55
51	38.4	14	50.5
50	38	13.8	49.5
49	37.2	13.4	48.54
48	36.8	13.2	47.62
47	37.6	13.6	46.73
46	36.8	13.2	45.87
45	35.6	12.6	44.64
40	37.2	13.4	39.4
35	37.6	13.6	35
30	36.2	11.6	29.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

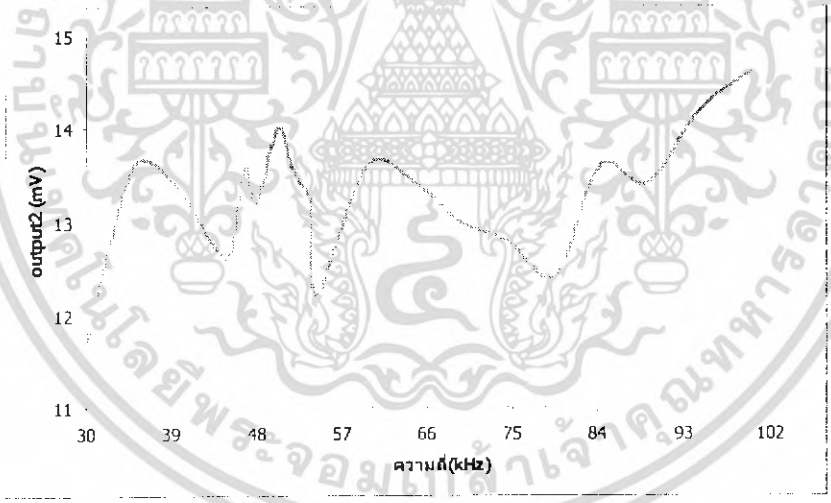
ตารางที่4.24แสดงข้อมูลการคำนวณอัตราการสูญเสียของคัปเปลอร์คอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง 4 กิโลเมตรครั้งที่2

ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	อัตราสูญเสีย ขาเข้าต่อขาออก(dB)	อัตราสูญเสียจาก การเชื่อมต่อ(dB)	Splitting ratio
100	2.14	4.99	27.97
95	2.08	4.81	27.00
90	2.41	5.08	26.48
85	2.52	5.27	27.20
80	2.94	5.56	26.05
75	2.76	5.42	26.34
70	2.62	5.27	26.32
65	2.52	5.23	26.80
60	2.31	4.99	26.56
55	2.76	5.27	25.10
54	2.52	5.18	26.40
53	2.41	5.08	26.48
52	2.31	4.99	26.56
51	2.11	4.81	26.72
50	2.21	4.90	26.64
49	2.41	5.08	26.48
48	2.52	5.18	26.40
47	2.31	4.99	26.56
46	2.52	5.18	26.40
45	2.83	5.47	26.14
40	2.41	5.08	26.48
35	2.31	4.99	26.56
30	2.91	5.32	24.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.23แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท1ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่2



รูปที่4.24 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท2ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.25 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์คอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง 4 กิโลเมตรครั้งที่3

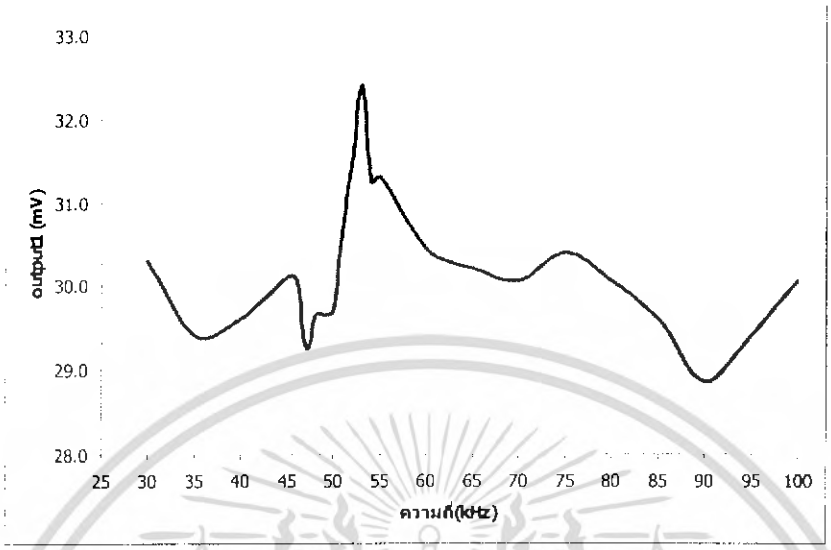
ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท1 (มิลลิโวลต์)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท2 (มิลลิโวลต์)	ความถี่เอาท์พุท (กิโลเฮิร์ต)
100	30.1	11.8	100
95	29.4	11.6	94.76
90	28.9	11.2	89.29
85	29.6	11.6	84.21
80	30.1	11.8	79.37
75	30.4	11.6	74.31
70	30.1	11.8	69.44
65	30.2	11.8	64.8
60	30.5	12	59.52
55	31.3	12.2	54.35
54	31.3	12.4	53.76
53	32.4	12.2	52.63
52	31.5	12	51.55
51	30.7	11.8	50.5
50	29.7	11.4	49.5
49	29.7	11.6	48.54
48	29.7	11.6	47.62
47	29.3	11.4	46.73
46	30.1	11.8	45.87
45	30.1	11.4	44.64
40	29.6	11.2	39.4
35	29.4	11	35
30	30.3	11.6	29.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.24แสดงข้อมูลการคำนวณอัตราการสูญเสียของคัปเปลอร์คอสคอนเนกและวงแหวนที่มี ระยะทาง 4 กิโลเมตรครั้งที่2

ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	อัตราสูญเสีย ขาเข้าต่อขาออก(dB)	อัตราสูญเสียจาก การเชื่อมต่อ(dB)	Splitting ratio
100	4.06	6.94	28.20
95	4.24	7.13	28.29
90	4.44	7.29	27.97
85	4.20	7.07	28.16
80	4.06	6.94	28.20
75	4.03	6.84	27.62
70	4.06	6.94	28.20
65	4.03	6.90	28.10
60	3.94	6.82	28.27
55	3.73	6.58	28.05
54	3.70	6.60	28.41
53	3.51	6.28	27.35
52	3.73	6.53	27.59
51	3.93	6.75	27.76
50	4.22	7.04	27.74
49	4.19	7.06	28.12
48	4.19	7.06	28.12
47	4.31	7.17	28.04
46	4.06	6.94	28.20
45	4.13	6.92	27.47
40	4.28	7.07	27.45
35	4.37	7.13	27.23
30	4.05	6.87	27.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.25 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท1ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่3

รูปที่4.26 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท2ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.27 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของคัปเปลอร์คอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง 4 กิโลเมตรครั้งที่4

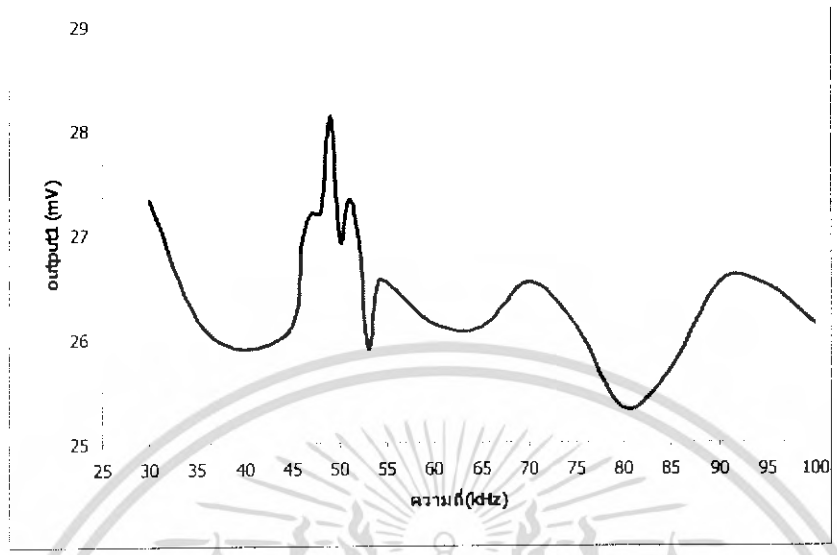
ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์1 (มิลลิโวลต์)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท2 (มิลลิโวลต์)	ความถี่เอาท์พุท (กิโลเฮิร์ต)
100	26.1	11.4	100
95	26.5	11.4	94.76
90	26.5	11.6	89.29
85	25.7	11.4	84.21
80	25.3	11	79.37
75	26.1	11.4	74.31
70	26.5	11.6	69.44
65	26.1	11.2	64.8
60	26.1	11.4	59.52
55	26.5	11.6	54.35
54	26.5	11.6	53.76
53	25.9	10.8	52.63
52	26.9	11.8	51.55
51	27.3	12	50.5
50	26.9	11.8	49.5
49	28.1	12.4	48.54
48	27.2	11.8	47.62
47	27.2	11.2	46.73
46	26.9	12	45.87
45	26.1	11.4	44.64
40	25.9	11	39.4
35	26.2	10.8	35
30	27.3	12	29.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.28แสดงข้อมูลการคำนวณอัตราการสูญเสียของคัปเปลอร์คอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง 4 กิโลเมตรครั้งที่4

ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	อัตราสูญเสีย ขาเข้าต่อขาออก(dB)	อัตราสูญเสียจาก การเชื่อมต่อ(dB)	Splitting ratio
100	5.01	8.15	30.38
95	4.92	8.03	30.08
90	4.87	8.02	30.42
85	5.11	8.30	30.73
80	5.29	8.42	30.28
75	5.01	8.16	30.40
70	4.87	8.02	30.42
65	5.06	8.16	30.03
60	5.01	8.15	30.38
55	4.87	8.02	30.42
54	4.87	8.02	30.42
53	5.20	8.23	29.43
52	4.73	7.89	30.47
51	4.60	7.76	30.51
50	4.73	7.89	30.47
49	4.34	7.51	30.59
48	4.67	7.80	30.26
47	4.81	7.80	29.17
46	4.69	7.89	30.82
45	5.01	8.15	30.38
40	5.16	8.23	29.81
35	5.13	8.13	29.19
30	4.60	7.76	30.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.27แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท1ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่4

รูปที่4.28 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท2ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.29 แสดงข้อมูลสัญญาณเอาท์พุทของดับเปลอร์คอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง 4 กิโลเมตรครั้งที่5

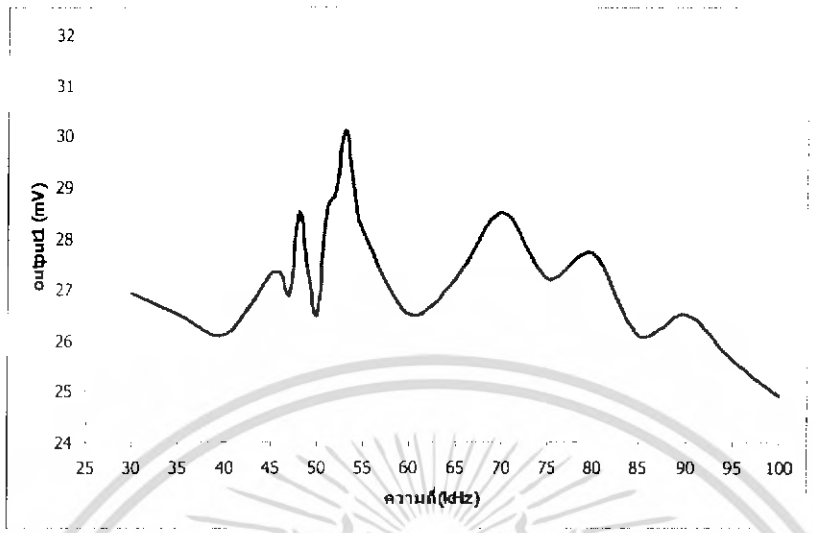
ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท1 (มิลลิโวลต์)	สัญญาณเอาท์พุทพอร์ท2 (มิลลิโวลต์)	ความถี่เอาท์พุท (กิโลเฮิร์ต)
100	24.9	11.4	100
95	25.6	11.8	94.76
90	26.5	12.2	89.29
85	26.1	12.4	84.21
80	27.7	12.8	79.37
75	27.2	13.2	74.31
70	28.5	13.2	69.44
65	27.2	12.8	64.8
60	26.5	12.2	59.52
55	28.1	13	54.35
54	28.9	13.4	53.76
53	30.1	14	52.63
52	28.9	13.4	51.55
51	28.5	13.2	50.5
50	26.5	12.2	49.5
49	27.3	12.6	48.54
48	28.5	13.2	47.62
47	26.9	12.4	46.73
46	27.3	12.6	45.87
45	27.3	12.6	44.64
40	26.1	12	39.4
35	26.5	12.2	35
30	26.9	12.4	29.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

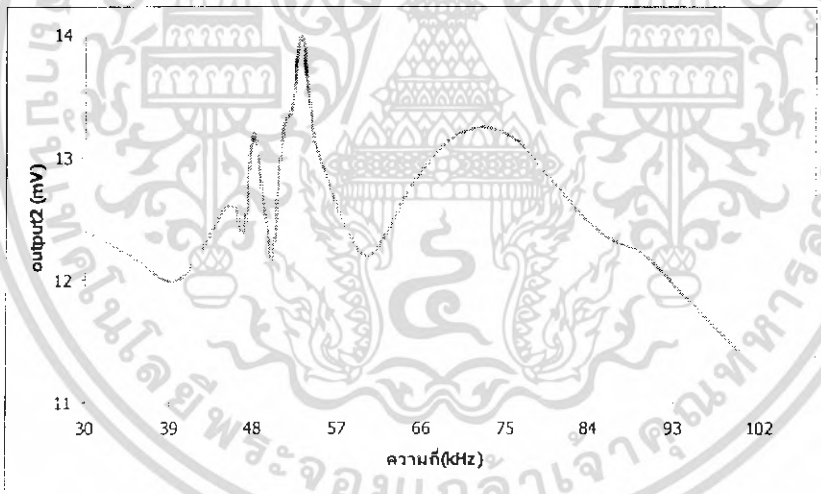
ตารางที่4.30แสดงข้อมูลการคำนวณอัตราการสูญเสียของคัปเปลอร์คอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง 4 กิโลเมตรครั้งที่5

ความถี่อินพุท (กิโลเฮิร์ต)	อัตราสูญเสีย ขาเข้าต่อขาออก(dB)	อัตราสูญเสียจาก การเชื่อมต่อ(dB)	Splitting ratio
100	5.29	8.57	31.39
95	5.04	8.33	31.55
90	4.74	8.03	31.51
85	4.79	8.16	32.21
80	4.34	7.64	31.59
75	4.37	7.80	32.67
70	4.09	7.39	31.64
65	4.45	7.80	32.00
60	4.74	8.03	31.51
55	4.22	7.52	31.62
54	3.97	7.27	31.67
53	3.60	6.92	31.74
52	3.97	7.27	31.67
51	4.09	7.39	31.64
50	4.74	8.03	31.51
49	4.47	7.77	31.57
48	4.09	7.39	31.64
47	4.60	7.90	31.54
46	4.47	7.77	31.57
45	4.47	7.77	31.57
40	4.87	8.16	31.48
35	4.74	8.03	31.51
30	4.60	7.90	31.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.29แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท1ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่5



รูปที่4.30 แสดงกราฟข้อมูลสัญญาณเอาท์พุท2ของคัปเปลอร์แบบคอสคอนเนกและวงแหวนที่มีระยะทาง4กิโลเมตรครั้งที่5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5
สรุป

ในโครงงานนี้เราทำการศึกษาเกี่ยวกับโพรงสั่นพ้องแบบวงแหวน โดยในที่นี้เราจะทำการศึกษาโดยการปรับความถี่ของสัญญาณอินพุท โดยที่สัญญาณอินพุทที่เราใช้นั้นจะมาจากเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่นเท่ากับ 1550 nm.ซึ่งความยาวคลื่นนี้เป็นความยาวคลื่นที่ใช้ในการสื่อสารทางด้านแสง

จากการทดลองเราจะเห็นได้ว่าเมื่อเราทำการปรับความถี่ของสัญญาณอินพุทนั้นจะทำให้เราเห็นว่าเกิดการซ้อนทับของคลื่นขึ้นที่ความถี่ต่างๆ และที่ความถี่ต่างๆนั้นแอมพลิจูดของคลื่นจะสูงไม่เท่ากันนั่นเป็นเพราะว่าที่บางความถี่ก็จะเกิดการแทรกสอด บางความถี่ก็จะเกิดการหักล้างของคลื่น และเราจะเห็นได้ว่าจุดที่เกิดการสั่นพ้องสูงสุดไม่ได้เกิดขึ้นเพียงจุดเดียวเท่านั้น ที่เป็นแบบนี้เนื่องมาจากการวนลูปของสัญญาณ ดังนั้นเวลาที่เรานำไปใช้งานนั้นเราจะสามารถใช้ได้ที่หลายความถี่

จากการที่เราทำการศึกษาอุปกรณ์โพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสงนั้นเราจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์โพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสงนั้นมีลักษณะเด่นคือ สามารถป้อนสัญญาณกลับให้อยู่ภายในวงแหวนได้ ซึ่งทำให้เกิดข้อดีดังนี้

1. เกิดการหน่วงสัญญาณแสง
2. เกิดการซ้นทับของคลื่นภายในวงแหวนทำให้เกิดการกรองสัญญาณ

จากลักษณะดังกล่าวอุปกรณ์โพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสงสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับการสื่อสารใยแก้วนำแสงได้ดังนี้

5.1 การใช้เป็นอุปกรณ์เชื่อมโยงเครือข่าย (cross-connect)

อุปกรณ์เชื่อมโยงเครือข่ายทำหน้าที่เปลี่ยนเส้นทางของข้อมูลจากเส้นทางหนึ่งไปยังเส้นทางอื่นโดยไม่ขึ้นกับความยาวคลื่น

การใช้โพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสงเป็นอุปกรณ์เชื่อมโยงเครือข่าย จะต้องหลีกเลี่ยงการเกิดการกรอง โดยเป็นการใช้โพรงสั่นพ้องที่มีค่า FSR น้อยมากซึ่งทำให้ไม่เห็นผลของการกรองสัญญาณ

อุปกรณ์เชื่อมโยงสัญญาณอาจมีอินพุทและเอาท์พุทพอร์ทหลายๆพอร์ทก็ได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 สามารถใช้เป็นหน่วยความจำแสงและใช้เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแสง (optical memory and optical clock source)

การใช้โพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสงเป็นอุปกรณ์หน่วยความจำแสงนั้นเราต้องอาศัยหลักการวนกลับของโพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสง สัญญาณแสงที่ปล่อยออกมาจากอุปกรณ์หน่วยความจำจะมีค่าคงที่ โดยที่คาบของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับความยาวของวงแหวน

การใช้หน่วยความจำแสงมักใช้สำหรับการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งเวลา เนื่องจากข้อดีคือสัญญาณที่ผ่านอุปกรณ์จะมีการส่งออกมาจากหน่วยความจำอีกครั้ง ดังนั้นหากมีการผิดพลาดเนื่องจากการทำสวิตชิ่ง ข้อมูลส่วนที่พลาดก็ยังไม่สูญหายไป

หากมีการขยายสัญญาณแสงภายในวงแหวนใยแก้วนำแสงเพื่อชดเชยการสูญเสียสัญญาณหน่วยความจำแสงนี้จะสามารถกลายเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแสงได้ หมายความว่าหน่วยความจำเก็บสามารถสัญญาณไว้ได้ตลอดเวลา หากมีการขยายสัญญาณในวงแหวนอยู่ตลอด

นอกจากนี้โพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสงยังสามารถนำไปทำเป็นอุปกรณ์ปรับอัตราการส่งพัลส์สัญญาณได้อีกด้วย เช่นการใช้เป็นตัวปรับอัตราเข้าช้า-ออกเร็ว เข้าเร็ว-ออกช้า เป็นต้น

การใช้โพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสงเป็นอุปกรณ์ต่างๆที่กล่าวมาแล้วนั้นจำเป็นต้องพิจารณาพารามิเตอร์ต่างๆของโพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสง ดังนี้

1. การปรับเวลาในการหน่วงสัญญาณแต่ละรอบเราจะปรับโดยใช้การปรับความยาวของวงแหวนใยแก้วนำแสง

2. การปรับกำลังแสงเอาท์พุทเราจะปรับโดยการปรับการลดทอน ความยาว และอัตราการแบ่งความเข้มแสงของคัปเปลอร์

3. การปรับจำนวนรอบที่โพรงสั่นพ้องส่งสัญญาณได้เราจะปรับโดยการปรับอัตราการแบ่งความเข้มแสง

5.3 สามารถใช้เป็นอุปกรณ์รวมและแยกสัญญาณ (add/drop multiplexer)

อุปกรณ์รวมและแยกสัญญาณประเภท add/drop ทำหน้าที่เป็นตัวดึงสัญญาณบางความยาวคลื่นออกจากเส้นทางหลักของข้อมูล และส่งสัญญาณความยาวคลื่นนั้นกลับสู่ช่องทางหลักของข้อมูลอีกครั้ง

ดังนั้นอุปกรณ์ add/drop ทำหน้าที่เป็นตัวกรองสัญญาณที่ยอมให้ความยาวคลื่นบางค่าเท่านั้นที่จะสามารถผ่านได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้โพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสงเป็นอุปกรณ์กรองสัญญาณ เราจะอาศัยหลักการซ้อนทับของแสง ดังนั้นเราจะต้องใช้ความยาวของวงแหวนให้สั้นกว่าระยะทางที่พัลส์สัญญาณ 1 ลูกเคลื่อนที่ได้ เนื่องจากการกรองสัญญาณจะทำงานอย่างเต็มที่เมื่อมีการซ้อนทับกันของสัญญาณที่วนอยู่ในวงแหวน

โพรงสั่นพร้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสงที่เหมาะสมกับการใช้เป็นอุปกรณ์กรองสัญญาณในการสื่อสารใยแก้วนำแสงในปัจจุบันควรมีขนาดอยู่ในระดับไมโครเมตร ซึ่งจำเป็นต้องใช้กระบวนการการผลิตชิ้นงานเช่นเดียวกับการผลิตวงจรรวมทางอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นการสูญเสียสัญญาณจึงมีค่ามาก

ท้ายที่สุดนี้เราจะถือได้ว่าอุปกรณ์โพรงสั่นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสงเป็นอุปกรณ์แพสซิฟชนิดหนึ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่ง เนื่องจากมีข้อดีคือ เป็นตัวกรองที่ดี ทำให้แนวโน้มในการใช้อุปกรณ์โพรงสั้นพ้องแบบวงแหวนใยแก้วนำแสงสำหรับเป็นอุปกรณ์ประเภทกรองความถี่เช่น add/drop มีมากขึ้น และยังสามารถนำไปใช้สำหรับการหน่วงสัญญาณแสงหรือหน่วยความจำแสงได้ด้วย ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการพัฒนาเพื่อนำไปเพิ่มศักยภาพของระบบสื่อสารใยแก้วนำแสงให้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้