# การศึกษาการมัลติเพลกซ์เชิงแสงและการประยุกต์

# A STUDY OF LIGHTWAVE MULTIPLEXING AND APPLICATIONS

T031521

นายปรเมษฐ์ จันทร์เพ็ง

MR.PORAMATE CHUNPANG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2541

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 31521
วัน, เดือน, ปี 11 พ.ย. 2541

ISBN 974-622-290-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# A STUDY OF LIGHTWAVE MULTIPLEXING AND APPLICATIONS

PORAMATE CHUNPANG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE

MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1998

ISBN 974-622-290-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การศึกษาการมัลติเพลกซ์เชิงแสงและการประยุกต์ |
| นักศึกษา | นายปรเมษฐ์ จันทร์เพ็ง |
| อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ | ผศ.ดร.ปรีชา ยุพาพิน |
| อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม | รศ.สุวรรณ คูสำราญ<br>และ ดร.รัชภาคย์ จิตต์อารี |
| ระดับการศึกษา | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ |
| ภาควิชา | ฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า<br>เจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| ปีการศึกษา | 2541 |

# บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาทฤษฎี หลักการ และการประยุกต์ใช้เทคนิคการมัลติเพลกซ์เชิงแสง เพื่อนำไปสร้างระบบส่งและรับสัญญาณด้วยการใช้แสงเป็นตัวกลาง วิธีการนี้ใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันสองความยาวคลื่น แหล่งกำเนิดแสงทั้งสองจะถูกมอดูเลตเข้ากับสัญญาณที่ต้องการจะส่งแล้วสัญญาณจากแหล่งกำเนิดแสงทั้งสองจะถูกรวมกันโดยการใช้ผลึกรวมแสง จากนั้นสัญญาณที่ถูกมอดูเลตจะรวมกันเพื่อส่งไปยังอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งสัญญาณเดิมจะถูกแยกออกเป็นสองช่องสัญญาณด้วยวิธีการกรองสัญญาณหรือแยกสัญญาณเชิงแสงโดยใช้อุปกรณ์ผลึกแยกแสงแบบโพลาไรซ์ หรือแผ่นโพลาลอยด์ สัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์ดีมัลติเพลกซ์ทั้งสองส่วนจะเป็นสัญญาณที่ผ่านการกรองสัญญาณในแต่ละความยาวคลื่นที่ต้องการได้ การศึกษานี้จะทำการเปรียบเทียบการกรองสัญญาณด้วยอุปกรณ์กรองสัญญาณทางแสงที่ต่างกันสองชนิดเพื่อศึกษาคุณภาพของการรับส่งสัญญาณ เสียง ภาพ ศึกษาการรบกวนของสัญญาณ และการนำเทคนิคนี้ไปใช้งานในการรับส่งข้อมูลอื่น ๆ ทั้งแบบแอนะลอกและดิจิตอล เป็นต้น จากผลของการทดลองพบว่า ผลการรบกวนข้ามช่องสัญญาณทางแสงจะมีค่าเป็น 9.58 dB ในช่องสัญญาณแสงที่ 1 ซึ่งมีความยาวคลื่น 670 นาโนเมตร และมีค่าเป็น 12.2 dB ในช่องสัญญาณแสงที่ 2 ที่ความยาวคลื่น 785 นาโนเมตร โดยมีแบนด์วิดท์สำหรับส่งข้อมูลเท่ากับ 70 กิโลเฮิร์ตซ์ ในการส่งสัญญาณเสียงซึ่งมีแบนด์วิดท์ 10 กิโลเฮิร์ตซ์ ได้อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของอุปกรณ์รับแสงมีค่าประมาณ 20 dB สำหรับการส่งข้อมูลแบบดูเพลกซ์เต็มได้ความเร็วสูงสุดที่ 19,200 บิตต่อวินาทีโดยไม่มีข้อผิดพลาดของการส่งผ่านข้อมูล และผลของการศึกษาการส่งสัญญาณผ่านใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติกได้สัญญาณรบกวนจากสัญญาณเสียงไปรบกวนสัญญาณภาพมีค่าเป็น 23 dB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| Thesis Title | A Study of Lightwave Multiplexing and Applications |
| Student | Mr. Poramate Chunpang |
| Thesis Advisor | Asst. Prof. Dr. Preecha Yupapin |
| Thesis Co-advisors | Assoc.Prof. Suwan Kusamran |
| | Dr. Ratchapak Chitaree |
| Level of Study | Master of Science in Applied Physics |
| Department | Applied Physics, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| Acadimic Year | 1998 |

## Abstract

This research is a study of the principle and application of lightwave multiplexing technique, using two different modulated light sources. The modulated signals were polarizing multiplexed then entered into the optical system. The multiplexed signals were demodulated and detected by using the optical filtering devices and detectors, respectively. The optical filtering schemes using either polarizer or polarizing beamsplitter were investigated. The received signals were wavelength division demultiplexed by using the polarizing filters. Results have been taken to make consideration for noise problems such as transmission signal levels, S/N and interchannel crosstalk effects. The use of such a system for video and audio signal transmission systems were also investigated. The optical crosstalk of 9.58 and 12.2 dB were observed, using two different wavelengths, 670 and 785 nm respectively. The bandwidth of data and voice transmission signals of 70 kHz and 10 kHz were achieved. The S/N of the optical output of 20 dB was noted. The data transmission rate of 19.2 kbit/s was recorded via full duplex system. Plastc fiber link was also employed incorporating with the transmission system where the signal to noise level of 23 dB was observed.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีโดยได้รับความเมตตากรุณาเป็นอย่างดีจากคณาจารย์ภายในภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกท่านโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผศ. ดร. ปรีชา ยุพาพิน รศ. สุวรรณ คูสำราญ และ ดร. รัชภาคย์ จิตต์อารี ที่คอยให้คำปรึกษาและแนะนำเนื้อหาทางด้านหลักการและทฤษฎีทางแสงด้วยดีเสมอมาตลอดจนคอยดูแลในเรื่องการเขียนวิทยานิพนธ์ การใช้ภาษา โดยได้รับความเอาใจใส่ตลอดมา ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. ปรีชา เทียนสมประสงค์ และ ดร. ปราโมท วาดเขียน ซึ่งเป็นผู้ตรวจทานเนื้อหาและให้คำเสนอแนะตลอดจนชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ พันโททวีศักดิ์ บุญรักษา พี่นิศาพร เกียรติไพศาลโสภณ พี่รังสิยา วงษ์สุดิน พี่ภัทรพงษ์ รักน้อย ร้อยเอกชำนาญ สำเภาพ่อค้า อาจารย์มยุรี หาญสุภานุสรณ์ พี่ปารมี จันทร์เพ็ง ที่กรุณาให้คำแนะนำและชี้แนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดจนให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ อาจารย์บุญนิ่ม ยุทธหาร น้องทรงสุดา จันทร์เพ็ง ซึ่งเป็นน้องสาวของผู้วิจัย ตลอดจนเพื่อน ๆ ที่ได้ช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำวิจัยต่อผู้วิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน

ปรเมษฐ์ จันทร์เพ็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II
กิตติกรรมประกาศ..... III
สารบัญ..... IV
สารบัญตาราง..... VIII
สารบัญภาพ..... IX

บทที่

1. บทนำ..... 1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 2
1.3 การดำเนินงานวิจัย..... 2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย..... 3

2. หลักการพื้นฐานและอุปกรณ์ทางแสง..... 4
2.1 ธรรมชาติของแสง..... 4
2.1.1 โพลาไรเซชันเชิงเส้น..... 6
2.1.2 โพลาไรเซชันแบบวงกลมและวงรี..... 8
2.2 อุปกรณ์ทางแสง..... 12
2.2.1 ไดโอดเลเซอร์..... 12
2.2.1.1 การมอดูเลตไดโอดเลเซอร์..... 15
2.2.2 พินโฟโต้ไดโอด..... 19
2.2.2.1 สัญญาณรบกวนในโฟโต้ดีเทคเตอร์..... 21
2.2.2.2 เวลาในการตอบสนองของอุปกรณ์รับแสง..... 23
2.2.3 ผลึกโพลาไรซ์..... 24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


2.3 สรุป.....24

3. การมัลติเพลกซ์ทางแสง.....25

3.1 หลักการสื่อสารทางแสง.....25

3.1.1 ข้อดีของการสื่อสารทางแสง.....27

3.2 การมัลติเพลกซ์ทางแสง.....27

3.2.1 การมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งเวลา.....27

3.2.2 การมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งความยาวคลื่น.....29

3.2.3 รูปแบบโดยทั่วไปของระบบการสื่อสารทางแสง.....29

3.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์ทางแสง.....31

3.2.4.1 อุปกรณ์กระจายแสงเชิงมุม.....32

3.2.4.2 อุปกรณ์มัลติเพลกซ์โดยใช้การกรองแสงแบบฟิล์มบาง..... 33

3.2.4.3 อุปกรณ์มัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์แบบผสม.....34

3.2.4.4 อุปกรณ์ WDM ชนิดแอกทีฟ.....35

3.2.4.5 อุปกรณ์ที่ไม่คำนึงถึงความยาวคลื่น.....35

3.3 การรบกวนของสัญญาณ.....37

3.4 สรุป.....38

4. การสร้างสัญญาณภาพและข้อมูล.....39

4.1 การเกิดสัญญาณภาพ.....39

4.1.1 สัญญาณภาพ..... 39

4.1.2 ความคมชัดและแบนด์วิดท์ของสัญญาณภาพ..... 41

4.2 การรับส่งข้อมูล.....42

4.2.1 ลักษณะของข้อมูล.....42

4.2.2 การรับส่งข้อมูลแบบขนานและอนุกรม.....43

4.2.2.1 การรับส่งข้อมูลแบบขนาน.....43

4.2.2.2 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม.....44




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


4.2.3 ค่ากำหนดแรงดันของการรับส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณ RS232C..... 46

4.2.4 ลักษณะในการรับส่งข้อมูล.....48

4.3 การมอดูเลตสัญญาณดิจิตอล.....51

4.4 สรุป..... 53

5. ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย.....54

5.1 การวิเคราะห์มุมโพลาไรซ์.....54

5.2 การดีมัลติเพลกซ์โดยใช้ผลึกโพลาไรซ์.....56

5.3 การส่งสัญญาณภาพ เสียง และข้อมูลดิจิตอลแบบทางเดียว.....57

5.4 การส่งสัญญาณภาพ เสียง และข้อมูลดิจิตอลแบบดูเพลกซ์เต็ม.....60

5.5 การส่งสัญญาณภาพและเสียงโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสง
ชนิดพลาสติก..... 66

5.6 สรุป..... 70

6. ผลของงานวิจัย.....71

6.1 ผลการทดลองวิเคราะห์มุมโพลาไรซ์..... 71

6.2 ผลการทดลองการดีมัลติเพลกซ์โดยใช้ผลึกโพลาไรซ์.....72

6.3 ผลการทดลองการส่งสัญญาณภาพ เสียง ข้อมูลดิจิตอลแบบทางเดียว..... 73

6.4 ผลการทดลองส่งสัญญาณภาพ เสียง และข้อมูลดิจิตอลแบบดูเพลกซ์เต็ม..... 86

6.5 ผลการทดลองการส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านเส้นใยแก้วนำแสง
แบบทางเดียว..... 87

6.6 สรุป..... 90

7. บทสรุปและแนวทางในการพัฒนาต่อไป.....93

7.1 บทสรุป..... 93

7.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น..... 95

7.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป..... 96




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


หน้า

เอกสารอ้างอิง..... 99

ภาคผนวก..... 101

ภาคผนวก ก. แหล่งกำเนิดแสงไดโอดเลเซอร์..... 102

ภาคผนวก ข. อุปกรณ์รับแสง พินโฟโต้ไดโอด IPL 1620BW..... 104

ภาคผนวก ค. วงจรขับไดโอดเลเซอร์..... 106

ภาคผนวก ง. วงจรรับแสง..... 107

ภาคผนวก จ. วงจรมัลติเพลกซ์ทางไฟฟ้า..... 108

ภาคผนวก ฉ. รายชื่องานวิจัยและงานวิจัยหลัก..... 112

ภาคผนวก ช. ผลการทดลองการทำพลาสติกเทเปอร์..... 131

ประวัติผู้เขียน..... 133




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

4-1 รายละเอียดการต่อคอนเน็กเตอร์ DB9 มาตรฐาน RS-232.....47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

หน้า

2-1 แสดงหน้าคลื่นของแสงแบบวงกลมและแบบระนาบ..... 6
2-2 แสดงการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า
ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เวลาใด ๆ..... 7
2-3 แสดงสนามไฟฟ้าของคลื่นโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น..... 8
2-4 แสดงการเกิดโพลาไรซ์แบบวงรี..... 10
2-5 แสดงการเกิดโพลาไรซ์แบบวงกลม..... 10
2-6 แสดงการสะท้อนและหักเหของแสงที่เดินทางผ่านตัวกลาง
ที่มีความหนาแน่นต่างกัน..... 11
2-7 แสดงการหักเหและการสะท้อนกลับหมดของแสงในตัวกลางที่เป็นแก้ว
กับอากาศ..... 12
2-8 แสดงการเกิดการปลดปล่อยแสงของเลเซอร์..... 13
2-9 แสดงโครงสร้างของแหล่งกำเนิดแสงไดโอดเลเซอร์..... 15
2-10 แสดงตำแหน่งของการมอดูเลตสัญญาณให้กับไดโอดเลเซอร์ได้สูงสุด..... 17
2-11 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ใช้มอดูเลตสัญญาณให้กับแอลอีดีและไดโอดเลเซอร์..... 18
2-12 แสดงการไบอัสให้พินโฟโต้ไดโอด..... 19
2-13 แสดงการไหลของอิเล็กตรอนในรอยต่อของพินโฟโต้ไดโอด..... 21
2-14 แสดงรูปแบบของการใช้งานพินโฟโต้ไดโอด..... 22
2-15 แสดงการแพร่ของอิเล็กตรอนเมื่อมีแสงมาตกกระทบในพินโฟโต้ไดโอด..... 23
3-1 แสดงสเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า..... 26
3-2 แสดงการมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งเวลา..... 28
3-3 แสดงการสื่อสารแบบทางเดียวด้วยวิธีการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น..... 30
3-4 แสดงการสื่อสารแบบสองทางด้วยวิธีการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น..... 31
3-5 แสดงรูปแบบการมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งความยาวคลื่น..... 32
3-6 แสดงการดีมัลติเพลกซ์โดยใช้อุปกรณ์กระจายแสงเชิงมุมด้วยเลนส์รวมแสง..... 33
3-7 แสดงการดีมัลติเพลกซ์โดยใช้อุปกรณ์กระจายแสงเชิงมุมด้วยกรินเลนส์..... 33
3-8 แสดงการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่นโดยใช้ฟิล์มบาง..... 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

3-9 แสดงการมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งความยาวคลื่นด้วยวิธีการแบบผสม..... 34
4-1 แสดงสัญญาณภาพที่ประกอบไปด้วยแบลงกิงพัลส์และสัญญาณสัมพัทธ์..... 40
4-2 แสดงลักษณะการกวาดของลำอิเล็กตรอนที่ถูกควบคุมโดย
สัญญาณการกวาดที่มีลักษณะเป็นรูปฟันเลื่อย..... 41
4-3 แสดงสัญญาณไฟฟ้าแทนสภาวะ 0 และ 1 ในเครื่องคอมพิวเตอร์..... 43
4-4 แสดงการส่งข้อมูลแบบขนาน..... 44
4-5 แสดงการส่งข้อมูลแบบอนุกรม..... 44
4-6 แสดงบิตเริ่มต้นและบิตหยุดเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถ
แยกข้อมูลได้อย่างถูกต้อง..... 45
4-7 แสดงการต่อสายสลับของ RS-232C โดยไม่ใช้โมเด็ม..... 48
4-8 แสดงการส่งข้อมูลแบบทางเดียว..... 49
4-9 แสดงการสื่อสารสองทางแบบผลัดกันส่ง..... 49
4-10 แสดงการรับส่งข้อมูลแบบสวนทางได้พร้อมกัน..... 50
4-11 แสดงสัญญาณเบสแบนด์ดิจิตอล..... 51
4-12 แสดงการเข้ารหัสแบบ แอมพลิจูดชิพคีร์อิงค์..... 52
4-13 แสดงการเข้ารหัสแบบ ฟรีเควนซีชิพคีร์อิงค์..... 52
4-14 แสดงการเข้ารหัสแบบ เฟสชิพคีร์อิงค์..... 53
5-1 แสดงระบบที่ใช้ในการวิเคราะห์แสงโพลาไรซ์..... 56
5-2 แสดงระบบมัลติเพลกซ์ทางแสงโดยใช้ผลึกโพลาไรซ์ในการดีมัลติเพลกซ์..... 57
5-3 แสดงระบบการสื่อสารทางเดียว..... 59
5-4 แสดงชุดอุปกรณ์ของระบบที่จัดสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการสื่อสารทางเดียว..... 60
5-5 แสดงชุดโครงสร้างที่ใช้ในงานวิจัย..... 65
5-6 แสดงระบบที่ได้จัดสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการสื่อสารสองทางแบบดูเพลกซ์เต็ม..... 66
5-7 แสดงรูปแบบของการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงที่ได้ออกแบบไว้..... 68
5-8 แสดงชุดทดลองที่ได้ทำการทดลองการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง..... 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

6-1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับมุม
ของการโพลาไรซ์ที่เปลี่ยนไป..... 72

6-2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของความเข้มแสงเมื่อใช้ผลึกโพลาไรซ์
เป็นอุปกรณ์ดีมัลติเพลกซ์ทางแสง..... 73

6-3 แสดงรูปของสัญญาณของสัญญาณภาพก่อนทำการมอดูเลต
เข้ากับแหล่งกำเนิดแสงและสัญญาณที่รับได้จากอุปกรณ์รับแสง..... 75

6-4 แสดงความคมชัดของสัญญาณภาพที่รับได้จากอุปกรณ์รับแสง..... 75

6-5 แสดงสัญญาณของข้อมูลที่มัลติเพลกซ์เข้ากับคลื่นพาห์
ความถี่ 15 เมกะเฮิร์ตซ์ ก่อนทำการมอดูเลตเข้ากับคลื่นแสง..... 76

6-6 แสดงสัญญาณที่รับได้จากอุปกรณ์รับแสงและข้อมูลที่ได้จากการ
ดีมอดูเลตสัญญาณที่ความถี่สัญญาณพัลส์ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์..... 76

6-7 แสดงรูปของสัญญาณข้อมูลก่อนทำการมอดูเลตเข้ากับคลื่นแสงสัญญาณที่
รับได้จากอุปกรณ์รับแสง และข้อมูลที่ดีมอดูเลตออกจากคลื่นพาห์ที่ความถี่
ของสัญญาณพัลส์ 70 กิโลเฮิร์ตซ์..... 77

6-8 แสดงสัญญาณที่ได้จากการมัลติเพลกซ์สัญญาณภาพและข้อมูลดิจิตอลก่อนนำ
ไปทำการมอดูเลตเข้ากับแหล่งกำเนิดแสง สัญญาณที่รับได้จากอุปกรณ์รับแสง
และข้อมูลที่ได้จากการดีมอดูเลตทางไฟฟ้า..... 78

6-9 แสดงสัญญาณที่ได้จากการดีมัลติเพลกซ์สัญญาณภาพและข้อมูลดิจิตอล..... 79

6-10 แสดงความคมชัดของภาพที่ได้จากการดีมัลติเพลกซ์สัญญาณทางไฟฟ้า..... 79

6-11 แสดงสัญญาณที่มอดูเลตให้กับแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 สัญญาณที่รับได้จาก
อุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 และสัญญาณที่ได้จากการดีมัลติเพลกซ์ซึ่งมอดูเลต
สัญญาณพัลส์ที่ความถี่ 70 กิโลเฮิร์ตซ์ เข้ากับคลื่นพาห์..... 80

6-12 แสดงความคมชัดของสัญญาณภาพเมื่อทำการดีมัลติเพลกซ์สัญญาณออกจาก
คลื่นพาห์ที่มอดูเลตสัญญาณพัลส์ด้วยความถี่ 70 กิโลเฮิร์ตซ์..... 81

6-13 แสดงหน้าจอของการส่งข้อมูลดิจิตอลด้วยความเร็ว 19,200 บิตต่อวินาที..... 82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

6-14 แสดงหน้าจอของข้อมูลที่รับได้ด้วยความเร็ว 19,200 บิตต่อวินาที..... 82
6-15 แสดงสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตและดีมอดูเลตสัญญาณเสียง
ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์..... 83
6-16 แสดงสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตและดีมอดูเลตสัญญาณเสียง
ที่ความถี่ 10 กิโลเฮิร์ตซ์..... 84
6-17 แสดงสัญญาณที่ได้จากการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์สัญญาณ
เสียงและข้อมูลดิจิตอลที่ความเร็ว 19,200 บิตต่อวินาที..... 85
6-18 แสดงสัญญาณที่รับได้จากอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 และตัวที่ 2..... 89
6-19 แสดงผลของการรบกวนของสัญญาณเสียงเข้าไปในสัญญาณภาพ..... 90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาของการดำเนินงานงานวิจัย วัตถุประสงค์ของงานวิจัย วิธีการและขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนประโยชน์ที่ได้รับจากวานวิจัย ซึ่งจะกล่าวเรียงตามลำดับเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

## 1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

ปัจจุบันนี้ได้มีการนำเทคโนโลยีทางแสงมาใช้งานในด้านต่าง ๆ กันเป็นที่แพร่หลายมากขึ้น ทั้งทางด้านอุปกรณ์ตรวจวัด การแพทย์ การสื่อสาร และอุตสาหกรรมต่าง ๆ เป็นต้น โดยใช้คุณสมบัติของคลื่นแสงและการใช้งานมาช่วยในการออกแบบและจัดสร้างเป็นเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาแล้วขึ้นเพื่อใช้งาน สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำคลื่นแสงมาใช้ทำการศึกษาหลักการทำงานของระบบและอุปกรณ์เชิงแสงเพื่อใช้ในการสื่อสาร ระบบที่ได้ทำการศึกษานี้จะเป็นระบบที่ใช้แสงเป็นคลื่นพาห์และใช้อากาศเป็นตัวกลาง ระบบที่ศึกษาเป็นระบบง่าย ๆ ที่สามารถจะนำไปใช้เป็นต้นแบบ เพื่อการศึกษาและวิจัยที่มีราคาถูกสำหรับเป็นแนวทางในการผลิตเป็นระบบขึ้นใช้เองได้ภายในประเทศต่อไป อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้เป็นประโยชน์ทางด้านการศึกษาและงานด้านการประมวลสัญญาณด้วยแสงได้

สมัยโบราณมนุษย์เราได้ค้นคิดหาวิธีการต่าง ๆ ที่จะส่งข่าวสารเพื่อให้ผู้ที่อยู่ห่างไกลได้ แสงนับว่าเป็นตัวกลางหนึ่งที่มนุษย์นำมาใช้งานด้านการสื่อสาร ตัวอย่างเช่นการให้สัญญาณไฟและการใช้สัญญาณธง ซึ่งต้องอาศัยแสงเป็นตัวกลาง เป็นต้น วิธีการเหล่านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อส่งข่าวสารให้สามารถไปได้ไกล ๆ นั่นเอง โดยหลักการแล้วการส่งข่าวสารสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนเนื้อหาข่าวสารที่ต้องการจะส่งออกไปให้อยู่ในรูปของสัญญาณที่ได้ตกลงกันไว้ไปยังผู้รับ ในขณะที่ทางด้านรับนั้นก็จะใช้วิธีการแปลความหมายให้กลับเป็นข่าวสารดังเดิมโดยอาศัยข้อตกลงต่าง ๆ ตามที่ได้ตกลงกันไว้ล่วงหน้าแล้ว ต่อมาในปี ค.ศ. 1880 เบลล์ (Bell) นักประดิษฐ์โทรศัพท์ที่มีชื่อเสียงของอเมริกาได้ประดิษฐ์โทรศัพท์ที่ใช้แสงเป็นคลื่นพาห์ที่เรียกว่าโฟโต้โฟน (Photo Phone)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งมีหลักการคือ เสียงที่พูดออกไปจะถูกเปลี่ยนเป็นแสงแล้วส่งออกไปในอากาศ ทางด้านรับก็จะเปลี่ยนแสงให้กลับมาเป็นเสียงดังเดิมโดยใช้หลอดโฟโต้อิเล็กตริก (Photoelectric Tube) ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า ซึ่งนับว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาระบบการสื่อสารทางแสงขึ้นมาใช้งานกันนั่นเอง

ระบบการสื่อสารทางแสงจนถึงปัจจุบันก็ยังต้องมีการพัฒนาอีกต่อไปเพื่อที่จะสามารถใช้ส่งข่าวสารได้เป็นจำนวนมากและรวดเร็วตลอดจนทำให้ต้นทุนการผลิตที่ต่ำสามารถบำรุงรักษาได้ง่ายและสะดวกต่อการนำไปใช้งาน นอกจากนั้นก็ยังสามารถที่จะปรับปรุงระบบสำหรับการส่งข่าวสารให้มีคุณภาพดียิ่ง ๆ ขึ้นต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

การศึกษาและการวิจัยนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาต้นแบบของอุปกรณ์และระบบการมัลติเพลกซ์เชิงแสงที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์และใช้งานทางด้านการสื่อสารทางแสงรวมไปถึงการดีมัลติเพลกซ์ทางแสง วิธีการนี้จะใช้อุปกรณ์ทางแสงมาทำเป็นอุปกรณ์ดีมัลติเพลกซ์สัญญาณแทนอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์และรวมไปถึงทำการศึกษาผลของสัญญาณที่ได้จากการดีมัลติเพลกซ์ทางแสง เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ทางด้านการสื่อสารทางแสงต่อไปได้

## 1.3 การดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยในเรื่องของการศึกษาการมัลติเพลกซ์เชิงแสงและการประยุกต์นี้ เริ่มจากการศึกษาค้นคว้าทฤษฎีของการมัลติเพลกซ์เชิงแสง โดยการใช้คุณสมบัติของโพลาไรเซชันของแสงมาทำการสร้างเป็นชุดมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านการออกแบบระบบและอุปกรณ์การสื่อสารทางแสง แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้จะมีความยาวคลื่นต่างกันสองความยาวคลื่นที่ถูกทำให้มีคุณสมบัติเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้น แสงโพลาไรซ์จากแหล่งกำเนิดแสงทั้งสองจะถูกกำหนดให้มีทิศทางโพลาไรซ์เพียงระนาบเดียวและจะตั้งฉากซึ่งกันและกันมารวมกันโดยใช้อุปกรณ์ผลึกรวมและแยกแสง (Beamsplitter) ภายหลังจากแสงทั้งสองซึ่งมีความเป็นโพลาไรซ์เชิงเส้นที่ทำมุมในแนวระนาบและแนวตั้งฉากรวมกันแล้วก็จะถูกส่งผ่านไปยังตัวกลางเดียวกันซึ่งเป็นอากาศ เมื่อถึงปลายทางก็จะทำการดีมัลติเพลกซ์สัญญาณแสงให้แยกออกจากกันโดยใช้คุณสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางโพลาไรเซชันมาทำการแยกแสงทั้งสอง แสงที่ได้จากการแยกแสงแบบโพลาไรซ์นี้ก็จะตกลงบนอุปกรณ์รับแสง (Photodetector) เพื่อทำการตรวจจับความเข้มของแสง ชุดมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์ที่ได้ออกแบบนี้จะถูกนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านการสื่อสารทางแสงโดยจะทำการมอดูเลตข่าวสารเข้ากับแหล่งกำเนิดแสงทั้งสองนี้แล้วส่งเข้าไปในระบบการมัลติเพลกซ์ ซึ่งในการมอดูเลตแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นไดโอดเลเซอร์จะใช้วิธีการมอดูเลตโดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงด้วยการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับไดโอดเลเซอร์ ดังนั้นสัญญาณที่มอดูเลตกับแหล่งกำเนิดแสงทั้งสองจึงสามารถที่จะแยกสัญญาณออกจากกันได้โดยใช้คุณสมบัติทางแสง โดยสามารถที่จะนำไปประมวลสัญญาณทางแสงแทนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้

**1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย**

เพื่อเป็นแนวทางในการส่งเสริมและพัฒนาเทคโนโลยีในการใช้งานอุปกรณ์การสื่อสารทางแสง และเป็นการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์และระบบการมัลติเพลกซ์เชิงแสงที่เกี่ยวกับการประยุกต์ซึ่งสามารถนำไปใช้งานในด้านการสื่อสารทางแสงและจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาระบบการสื่อสารความเร็วสูง ตลอดจนการดีมัลติเพลกซ์ทางแสงนี้สามารถนำไปใช้ในการประมวลสัญญาณทางแสงที่สามารถใช้อุปกรณ์ทางแสงแทนอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ อีกทั้งยังเป็นการสร้างต้นแบบของระบบมัลติเพลกซ์เชิงแสงตลอดจนยังเป็นการเสริมทักษะการปฏิบัติการทางด้านออปโต้อิเล็กทรอนิกส์ที่จะเป็นพื้นฐานสำหรับงานวิจัยและพัฒนาในระดับสูงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# หลักการพื้นฐานและอุปกรณ์ทางแสง

งานวิจัยเรื่องการมัลติเพลกซ์เชิงแสงและการประยุกต์นี้สิ่งแรกที่ควรทำการศึกษาคือปรากฏการณ์พื้นฐานทางแสงและอุปกรณ์ทางแสง ภายในบทนี้จะประกอบไปด้วยหัวข้อต่าง ๆ คือ หลักการของแสง ธรรมชาติของแสง โพลาไรเซชันของแสง นิยามและหลักการพื้นฐานทางแสง ตลอดจนอุปกรณ์ทางแสงซึ่งประกอบไปด้วย แหล่งกำเนิดแสง และอุปกรณ์รับแสง หัวข้อต่าง ๆ เหล่านี้จะมีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ซึ่งจะเสนอรายละเอียดเรียงตามลำดับต่อไป

## 2.1 ธรรมชาติของแสง

ในอดีตแนวความคิดเกี่ยวกับธรรมชาติของแสงได้มีผู้กล่าวอ้างไปต่าง ๆ ซึ่งทำให้เกิดแนวความคิดมากมาย จนกระทั่งในศตวรรษที่ 16-17 ได้มีผู้ที่เชื่อว่าแสงโดยทั่วไปประกอบขึ้นด้วยการไหลของอนุภาคเล็ก ๆ ที่ถูกปลดปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดแสง โดยอนุภาคเหล่านี้จะเดินทางอยู่ในแนวของเส้นตรง และสามารถที่จะทะลุผ่านวัตถุที่โปร่งแสงไปได้ แต่จะสะท้อนแสงเมื่อไปตกกระทบกับวัตถุที่ทึบแสง จากทฤษฎีนี้ก็เพียงพอที่จะอธิบายลักษณะโดยกว้าง ๆ ของปรากฏการณ์ทางแสงได้อย่างถูกต้อง เช่นการสะท้อน และการหักเหของแสง แต่ยังไม่สามารถที่จะอธิบายปรากฏการณ์อื่นที่เกิดขึ้นของแสงได้เช่น การแทรกสอดและการเลี้ยวเบน เป็นต้น

ต่อมาในปี ค.ศ. 1815 เฟรสเนล (Fresnel) ได้อธิบายถึงปรากฏการณ์ของการเลี้ยวเบนของแสงได้อย่างถูกต้อง โดยได้แสดงให้เห็นว่า การเคลื่อนที่ของคลื่นแสงแบบเส้นตรงมิติเดียวเป็นไปได้เฉพาะเมื่อแสงมีความยาวคลื่นสั้นมากเท่านั้น [6] ภายหลังในปี ค.ศ. 1864 แมกซ์เวลล์ (Maxwell) นักวิทยาศาสตร์ชาวสก๊อต ได้แสดงให้เห็นว่าวัตถุที่สามารถสั่นได้ (Oscillate) จะต้องแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นสามารถคำนวณได้ประมาณ $3 \times 10^8$ เมตรต่อวินาที ซึ่งมีค่าเท่ากับความเร็วของคลื่นแสงที่วัดได้ ภายหลังจากการทดลองของแมกซ์เวลล์แล้ว เฮิร์ตซ์ (Hertz) ได้ทำการทดลองโดยใช้วงจรกำเนิดความถี่สร้างคลื่นที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก เรียกว่า ไมโครเวฟ เขาได้ทำการทดลองให้เห็นว่า คลื่นไมโครเวฟนี้มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับคลื่น

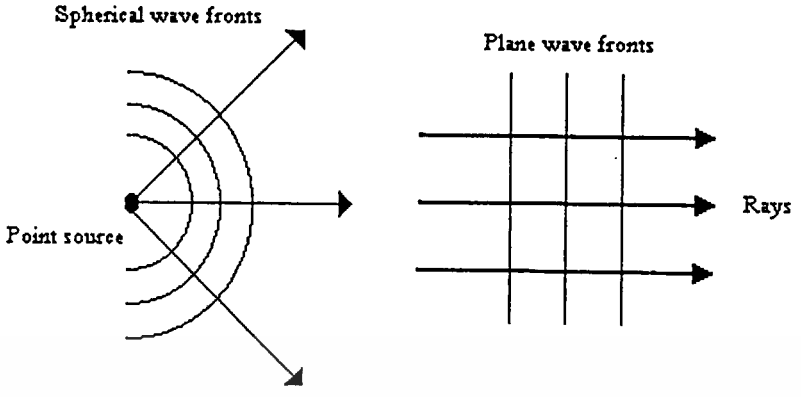
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงทุกประการ คือ จะมีการสะท้อน หักเห และโฟกัสไปรวมกันที่จุดหนึ่งได้โดยใช้เลนส์ และถูกโพลาไรซ์ได้เช่นเดียวกับคลื่นแสง ดังนั้นทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์และการทดลองของเฮิร์ตซ์ จึงเป็นที่ยอมรับในแนวความคิดที่ว่าแสงประกอบไปด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในราวศตวรรษที่ 19 ผู้คนส่วนใหญ่จึงเชื่อกันว่าแสงเป็นคลื่นชนิดหนึ่ง แต่ทฤษฎีนี้ก็ยังไม่สามารถที่จะอธิบายถึงปรากฏการณ์การปลดปล่อยอิเล็กตรอนจากผิวของวัตถุนำคลื่นแสงเมื่อมีคลื่นมากระทบผิวของตัวนำนั้นได้

ต่อมาในปี ค.ศ. 1905 ไอสไตน์ (Einstein) ได้ตั้งสมมติฐานไว้ว่าพลังงานของแสงแทนที่จะถูกปลดปล่อยออกมาผ่านบรรยากาศในรูปของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า แต่กลับรวมกันอยู่ในลักษณะที่เป็นกลุ่มก้อน เรียกว่าโฟตอน (Photon) โดยแต่ละกลุ่มจะมีความถี่เฉพาะของกลุ่มนั้น ๆ และพลังงานของโฟตอนจะแปรผันตามความถี่ของกลุ่มนั้น ดังนั้นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับการปลดปล่อยอิเล็กตรอนจากผิวของตัวนำเมื่อมีคลื่นแสงมาตกกระทบนั้นขึ้นอยู่กับการถ่ายเทพลังงานจากโฟตอนไปสู่อิเล็กตรอน ภายหลังต่อมา มิลลิแกน (Millikan) ก็ได้ทำการทดลองซึ่งผลสรุปที่ได้จากการทดลองปรากฏว่า พลังงานจลน์ของโฟตอนนั้นเป็นไปตามทฤษฎีของไอสไตน์ทุกประการ

เมื่อคลื่นแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าดังนั้นเพื่อความสะดวกจึงพิจารณาคลื่นแสงด้วยการพิจารณาหน้าคลื่น โดยมีแหล่งกำเนิดของคลื่นแสงเล็ก ๆ เป็นจุดศูนย์กลางรวมอยู่ที่ต้นกำเนิด ตามรูปที่ 2-1 ซึ่งแสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาด้วยหน้าคลื่นทรงกลม (Spherical Wave Fronts) และจุดที่อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดแสงมาก ๆ รัศมีของหน้าคลื่นทรงกลมก็จะใหญ่มาก ดังนั้นจึงสามารถที่จะมองหน้าคลื่นที่อยู่ห่างจากจุดกำเนิดมาก ๆ นี้เป็นหน้าคลื่นระนาบ (Plane Wave Fronts) จากแนวความคิดนี้จึงทำให้มีความสะดวกมากในการมองรังสีของแสง เพราะรังสีจะแสดงการไหลของพลังงานในลำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2-1 แสดงหน้าคลื่นของแสงแบบวงกลมและแบบระนาบ

2.1.1 โพลาไรเซชันเชิงเส้น เมื่อพิจารณาแนวของระนาบของคลื่นหรือคลื่นโพลาไรเซชันเชิงเส้น ซึ่งเดินทางในทิศทางของเวกเตอร์คลื่นที่เป็นแนวของการแพร่คลื่น (k) สามารถที่จะแสดงอยู่ในรูปของรูปแบบทั่วไปได้ดังนี้

$$A(x,t) = e_i A_0 \exp[j(\omega t - k \cdot x)] \qquad (2.1)$$

เมื่อ x คือตำแหน่งของเวกเตอร์ หรือ $x = xe_x + ye_y + ze_z$ และค่า k คือ เวกเตอร์ของการแพร่ของคลื่น หรือ $k = k_x e_x + k_y e_y + k_z e_z$

เมื่อ $A_0$ เป็นแอมพลิจูดของคลื่น และ $\omega = 2\pi\nu$ ซึ่ง $\nu$ เป็นความถี่ของแสง ขนาดของเวกเตอร์คลื่น k เป็น $k = 2\pi/\lambda$ โดย $\lambda$ เป็นความยาวคลื่นแสง และ $e_i$ เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยซึ่งมีทิศขนานแกน i

พิจารณาองค์ประกอบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแสดงในสมการที่ (2.1) ในส่วนของจำนวนจริง ดังนั้นค่าที่คำนวณได้ของสนามไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงฮาร์โมนิกในแนวแกน x คือ

$$E_x(z,t) = e_x E_{0x} \cos(\omega t - kz) \qquad (2.2)$$

การแพร่กระจายของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในแนวของระนาบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการกำหนดที่เวลาใด ๆ ซึ่งแสดงในรูปที่ 2-2 โดยที่สนามไฟฟ้า (E) และสนามแม่เหล็ก (H) จะตั้งฉากกับแนวการแพร่ของคลื่น นอกจากนั้นทั้งสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กยังตั้งฉากซึ่งกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

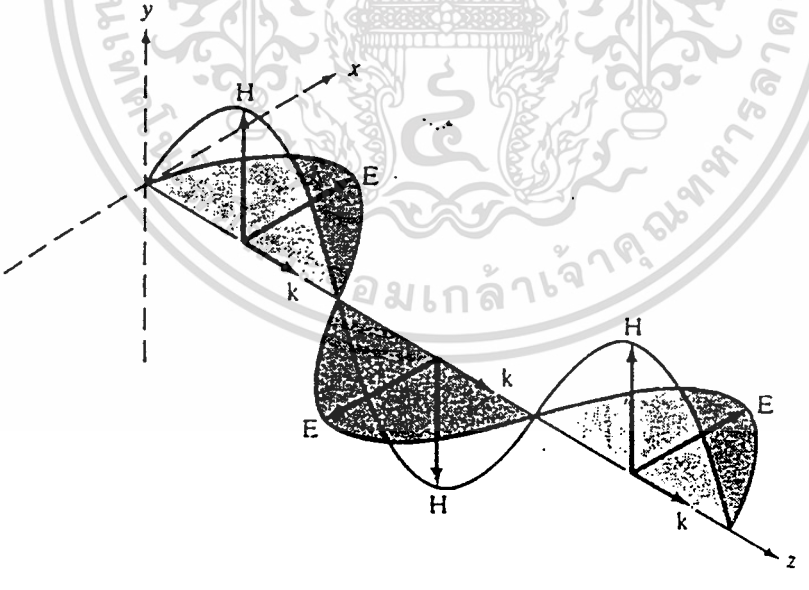
และกันด้วย ดังนั้นการเคลื่อนที่ของสนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก และแนวการแพร่ของคลื่นนี้จะอยู่ในรูปของเวกเตอร์ตั้งฉาก

จากสมการที่ (2.2) เวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าทุก ๆ จุดในแนวแกน x เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของสนามไฟฟ้าในแนวแกน z ซึ่งตั้งฉากกับแนวแกน x (แกน y) ดังนั้นสนามไฟฟ้าในแนวแกน y เป็น

$$E_y(z,t) = e_y E_{0y} \cos(\omega t - kz + \delta) \qquad (2.3)$$

ซึ่ง $\delta$ เป็นผลต่างของความสัมพันธ์ของเฟส เพื่อให้สมการคลื่นนี้ง่ายเข้าดังนั้นเขียนได้เป็นความสัมพันธ์ใหม่คือ

$$E(z,t) = E_x(z,t) + E_y(z,t) \qquad (2.4)$$




รูปที่ 2-2 แสดงการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เวลาใด ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า δ มีค่าเป็น 0 หรือผลคูณมีค่าเป็น 2π คลื่นนี้จะมีเฟสตรงกัน จากสมการที่ (2.4) เป็นคลื่นโพลาไรเซชันที่มีการกำหนดเวกเตอร์โพลาไรเซชันซึ่งทำมุมเป็น (เทียบกับ $e_x$) ไปตามสมการ

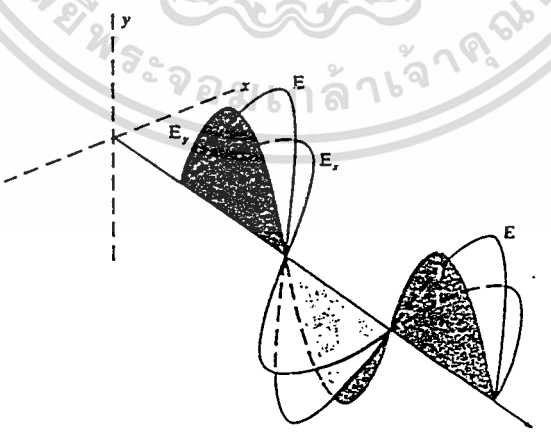
$$\theta = \arctan\frac{E_{0y}}{E_{0x}} \tag{2.5}$$

และมีขนาดเป็น

$$E = \left(E_{0x}^2 + E_{0y}^2\right)^{1/2} \tag{2.6}$$

2.1.2 **โพลาไรเซชันแบบวงกลมและวงรี** จากค่าโดยทั่วไปของ δ จากสมการที่ (2.4) เมื่อเป็นโพลาไรเซชันแบบวงรี ผลของเวกเตอร์สนามไฟฟ้า (E) จะหมุนและเปลี่ยนขนาดและฟังก์ชันของความถี่เชิงมุม (ω) ดังนั้นจากสมการที่ (2.2) และ (2.3) จะได้ค่าโดยทั่วไปของ δ มีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 - 2\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)\left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)\cos\delta = \sin^2\delta \tag{2.7}$$




รูปที่ 2-3 แสดงสนามไฟฟ้าของคลื่นโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเป็นสมการโดยทั่วไปของวงรี จากรูปที่ 2-4 จะแสดงจุดตัดขวางของสนามไฟฟ้าของวงรีซึ่งมีจุดกำเนิดและจุดปลายตรงกัน แกนของวงรีจะทำมุม $\alpha$ ซึ่งสัมพันธ์กับแกน x ดังสมการที่ (2.8)

$$\tan 2\alpha = \frac{2E_{0x}E_{0y}\cos\delta}{E_{0x}^2 - E_{0y}^2} \tag{2.8}$$

จากสมการที่ (2.7) ถ้า $\alpha = 0$ หรือ $\delta = \pm\pi/2, \pm 3\pi/2, \ldots$ ดังนั้นจะได้

$$\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 = 1 \tag{2.9}$$

ซึ่งเป็นสมการของวงรีที่มีจุดกำเนิดอยู่ตรงกลาง เมื่อพิจารณาที่ $E_{0x} = E_{0y} = E_0$ และความสัมพันธ์ของผลต่างเฟสเป็น $\delta = \pm\pi/2 + 2m\pi$ ซึ่ง $m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$ โดยจะเป็นโพลาไรเซชันแบบวงกลม ดังนั้นจากสมการที่ (2.9) จะได้เป็น

$$E_x^2 + E_y^2 = E_0^2 \tag{2.10}$$

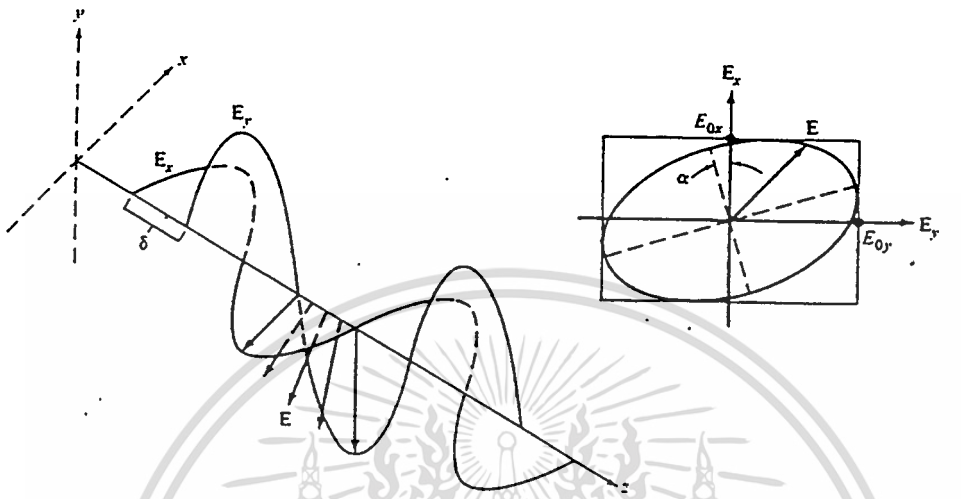
ซึ่งเป็นสมการของวงกลม ถ้าค่า $\delta$ มีค่าเป็นบวก ผลรวมของเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้า (E) จะหมุนตามเข็มนาฬิกาด้วยความถี่เชิงมุม ($\omega$) ในทางตรงกันข้ามถ้า $\delta$ มีค่าเป็นลบแล้ว เวกเตอร์ของสนามไฟฟ้า (E) จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา

เมื่อพิจารณานิยามและหลักการพื้นฐานของแสงที่ใช้ในการสื่อสารทางแสง จะพิจารณาองค์ประกอบของแสงที่เกิดการหักเห แสงที่เดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศมีความเร็วแสงในการเดินทางคือ $C = 3 \times 10^8$ เมตรต่อวินาที ซึ่งความเร็วแสงนี้จะมีความสัมพันธ์กับความถี่ ($\nu$) และความยาวคลื่น ($\lambda$) โดย $C = \nu\lambda$ เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลาง ความเร็วของคลื่นแสงที่ผ่านในตัวกลางจะมีความเร็วเป็น $\upsilon$ ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์ของความเร็วแสงที่เดินทางผ่านตัวกลาง และจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับความเร็วแสง ดังนั้นอัตราส่วนของความเร็วแสงที่เดินทางผ่านสุญญากาศ ซึ่งมีหน่วยเป็นเมตรจะมีดัชนีของการหักเหของตัวกลางเป็น n ซึ่งกำหนดโดย

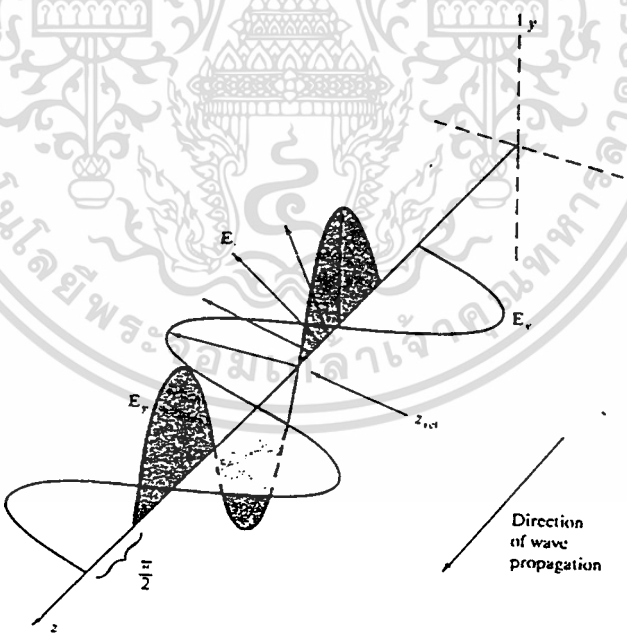
$$n = \frac{c}{\upsilon} \tag{2.11}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งค่า n จะมีค่าเป็น 1 ก็ต่อเมื่อเดินทางผ่านในอากาศ มีค่าเป็น 1.33 เมื่อเดินทางผ่านน้ำ มีค่าเป็น 1.50 เมื่อเดินทางผ่านแก้ว และมีค่าเป็น 2.42 เมื่อเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นเพชร เป็นต้น

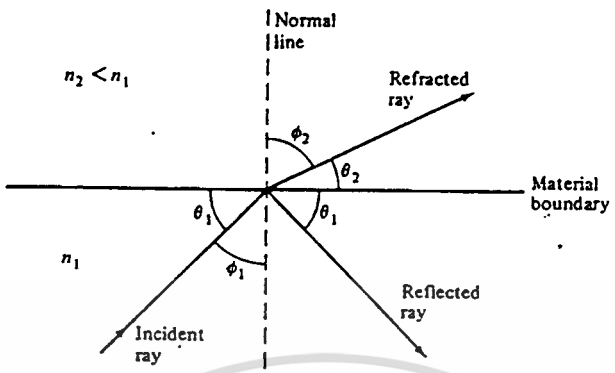



รูปที่ 2-4 แสดงการเกิดโพลาไรซ์แบบวงรี




รูปที่ 2-5 แสดงการเกิดโพลาไรซ์แบบวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2-6 แสดงการสะท้อนและหักเหของแสงที่เดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน

แนวความคิดของการสะท้อนและการหักเหของแสง เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นจะพิจารณาคุณสมบัติของรังสีของแสง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเดินทางของแสงผ่านตัวกลาง เมื่อรังสีของแสงเดินทางไปตกกระทบตัวกลางที่ต่างกันสองชนิด แสงส่วนหนึ่งจะเกิดการสะท้อนกลับเข้าไปในตัวกลางแรกและจะมีแสงอีกส่วนหนึ่งที่เหลืออยู่จะเกิดการเลี้ยวเบน (หักเห) เข้าไปในตัวกลางที่สอง ดังแสดงในรูปที่ 2-6 ซึ่ง $n_2<n_1$ การเลี้ยวเบนหรือการหักเหของแสงที่มีการเชื่อมต่อระหว่างสองตัวกลางนี้เกิดขึ้นเนื่องจากผลต่างของความเร็วแสงในตัวกลางทั้งสองโดยจะเป็นผลต่างของดัชนีการหักเห ความสัมพันธ์จากรอยต่อของตัวกลางทั้งสองเป็นที่ทราบจากกฎของสเนลล์ (Snell's law) และกำหนดจาก

$$n_1 \sin\phi_1 = n_2 \sin\phi_2 \qquad (2.12)$$

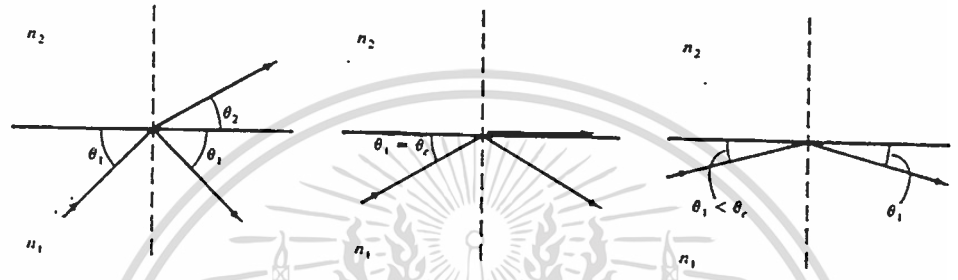
หรือเท่ากับ

$$n_1 \cos\theta_1 = n_2 \cos\theta_2 \qquad (2.13)$$

ซึ่งกำหนดมุมดังรูปที่ 2-6 ดังนั้นแสงที่เดินทางไปตกกระทบกับรอยต่อของตัวกลางทั้งสองซึ่งทำมุม $\theta_1$ จะต้องเท่ากับมุมของแสงที่สะท้อนออกจากตัวกลางทั้งสองนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาในกรณีที่แสงเดินทางผ่านตัวกลางที่ทึบกว่า (มีดัชนีหักเหสูง) โดยทำมุมเป็น $\theta_1$ เมื่อตกกระทบกับตัวกลางก็จะเกิดการหักเหเป็นมุม $\theta_2$ เมื่อแสงทำมุมเป็นมุมเท่ากับมุมวิกฤต แสงส่วนหนึ่งจะเดินทางเป็นมุมหักเหขนานกับผิวของตัวกลาง ถ้ามุมของแสงที่ตกกระทบยิ่งโตขึ้นก็จะเกิดการสะท้อนกลับหมด (Total Internal Reflection) ของแสงภายในตัวกลางนั้นดังแสดงในรูปที่ 2-7




รูปที่ 2-7 แสดงการหักเหและการสะท้อนกลับหมดของแสงในตัวกลางที่เป็นแก้วกับอากาศ

พิจารณาตัวกลางที่เป็นแก้วกับอากาศดังรูปที่ 2-7 เมื่อแสงผ่านพื้นผิวของแก้วไปตกกระทบกับตัวกลางซึ่งเป็นอากาศ ถ้า $\theta_2 = 0$ ดังนั้น $\cos\theta_2 = 1$ มุมวิกฤตในตัวกลางที่เป็นแก้วจะมีค่าเป็น

$$\theta_c = \arccos\frac{n_2}{n_1} \qquad (2.14)$$

## 2.2 อุปกรณ์ทางแสง

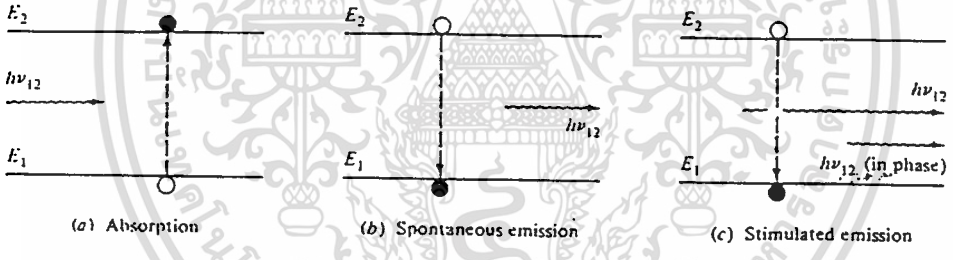
ในส่วนของอุปกรณ์ทางแสงที่ใช้ในการทำวิจัยนี้อุปกรณ์ที่สำคัญสำคัญได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง อุปกรณ์รับแสง ผลึกโพลาไรซ์ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.2.1 ไดโอดเลเซอร์

ปกติทั่วไปเลเซอร์ที่ผลิตขึ้นมาใช้งานมีอยู่ด้วยกันหลายประเภทตามแต่ชนิดของการใช้งาน เลเซอร์ที่ผลิตขึ้นมาใช้งานมีหลายชนิดด้วยกันซึ่งได้แก่ เลเซอร์ที่ใช้ก๊าซ ของเหลว และของแข็ง ในระบบการสื่อสารทางแสงเลเซอร์ที่นิยมนำมาใช้งานนั้นโดยมากจะเป็นเลเซอร์ชนิดสารกึ่งตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือไดโอดเลเซอร์ [4] ซึ่งจะมีคุณสมบัติความเป็นแสงสีเดียวและเดินทางเป็นเส้นตรงเช่นเดียวกับเลเซอร์ชนิดอื่น ๆ โดยไดโอดเลเซอร์นี้จะมีคุณสมบัติการทำงานคล้ายกับเลเซอร์ทั่วไป ซึ่งจังหวะการทำงานของเลเซอร์จะประกอบไปด้วยสามกระบวนการด้วยกันคือกระบวนการดูดกลืนโฟตอน การปลดปล่อยพลังงานโดยธรรมชาติ [11, 19] และกระบวนรการการเร่งการปลดปล่อยพลังงาน ซึ่งกระบวนการทั้งสามนี้แสดงในรูปที่ 2-8 โดยจะแสดงระดับพลังงานสองระดับโดย $E_1$ เป็นระดับพลังงานต่ำ และ $E_2$ เป็นระดับพลังงานสูง การส่งผ่านพลังงานระหว่างสองสถานะนี้จะนำไปสู่การดูดกลืนและการปลดปล่อยพลังงานของโฟตอน โดย $h\nu_{12} = E_2-E_1$ โดยทั่วไปอิเล็กตรอนในระบบจะอยู่ที่สถานะระดับพลังงานต่ำ เมื่อมีพลังงานของโฟตอน $h\nu_{12}$ เข้าไปในระบบ อิเล็กตรอนในสถานะ $E_1$ จะดูดกลืนพลังงานของโฟตอนทำให้เปลี่ยนสถานะจากระดับพลังงานต่ำไปสู่ระดับพลังงานสูง และจะถูกกระตุ้นจากสถานะ $E_2$ ดังแสดงในรูปที่ 2-8 ซึ่งในสภาพนี้จะไม่เสถียรโดยอิเล็กตรอนจะกระโดดสู่ระดับพลังงานต่ำอย่างรวดเร็วด้วยเหตุนี้พลังงานของโฟตอนจึงถูกปลดปล่อยออกมา ลักษณะของการทำงานเมื่อไม่มีการกระตุ้นจากภายนอกจะเรียกว่าการปลดปล่อยพลังงานตามธรรมชาติ




รูปที่ 2-8 แสดงการเกิดการปลดปล่อยแสงของเลเซอร์

เมื่อมีพลังงานของโฟตอน $h\nu_{12}$ ผ่านเข้าไปในระบบขณะที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่อยู่ในสถานะระดับพลังงานสูงลงมาสู่สถานะระดับพลังงานต่ำก็จะดูดกลืนพลังงานของโฟตอนและกลับลงมาสู่ระดับพลังงานต่ำโดยเป็นไปในลักษณะที่ถูกควบคุมให้ลงมาเร็วกว่าปกติและจะปลดปล่อยพลังงานออกมา ซึ่งพลังงานที่ปลดปล่อยออกมานี้จะมีค่ามากกว่าการปลดปล่อยพลังงานตามปกติ ซึ่งหลักการนี้เป็นหลักการของการเกิดเลเซอร์

ในระบบการสื่อสารทางแสงนั้นแบนด์วิดท์ที่ใช้ในการสื่อสารจะต้องมีแบนด์วิดท์ที่กว้างเพื่อที่จะสามารถส่งข้อมูลข่าวสารได้เป็นจำนวนมาก โดยปกติแล้วเลเซอร์สารกึ่งตัวนำหรือไดโอดเลเซอร์จะมีแบนด์วิดท์ตั้งแต่ 200 เมกะเฮิร์ตซ์ขึ้นไป นอกจากนี้ไดโอดเลเซอร์เองยังมีคุณสมบัติ

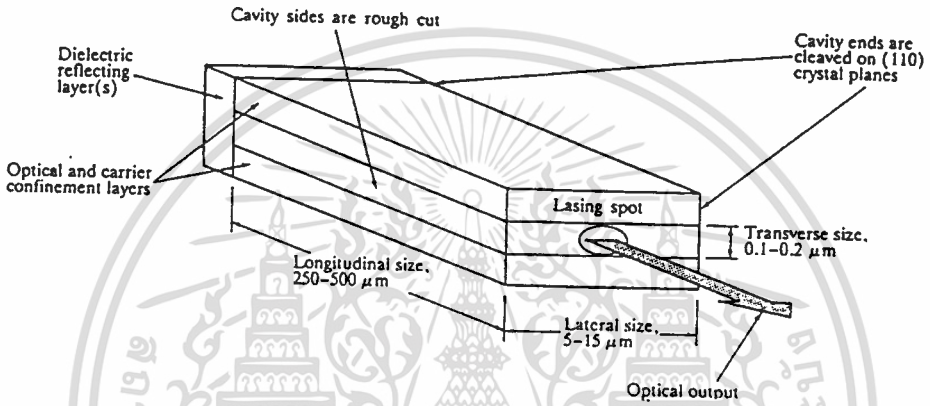
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิเศษอีกอย่างหนึ่งคือมีค่าจุดโฟกัสของแสงน้อยมาก ภายในโครงสร้างของไดโอดเลเซอร์เองจะมีส่วนประกอบที่แบ่งออกเป็นสองสภาพคือ สถานะที่เป็นระดับพลังงานสูง (Conduction Band) และสถานะที่เป็นระดับพลังงานต่ำ (Valence Band) โดยสภาพทั้งสองนี้จะเกิดการรวมตัวกันของกลุ่มอะตอม ในการสร้างไดโอดเลเซอร์จะต้องจัดโครงสร้างให้มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับไดโอดทั่วไปคือจะต้องมีการเจือสารเพื่อให้มีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำ โดยทำให้อิเล็กตรอนจำนวนมากรวมตัวกันอยู่ที่ระดับพลังงานต่ำและจะมีอิเล็กตรอนจำนวนหนึ่งอยู่ที่ระดับพลังงานสูง เมื่อยิงอิเล็กตรอนเข้าไปในระบบเพื่อไปกระตุ้นให้เลเซอร์ปล่อยแสงออกมาโดยให้จำนวนอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำนี้มีค่าเป็น N โดยในจำนวน N นี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วน คือส่วนที่อยู่ในระดับพลังงานต่ำเป็นจำนวน $n_1$ และอีกส่วนหนึ่งจะอยู่ในระดับพลังงานสูงเป็นจำนวน $n_2$ ถ้าให้พลังงานของโฟตอนเข้าไปในระบบจะเกิดการกระตุ้นการปลดปล่อยพลังงานและการดูดกลืนพลังงาน โดยการดูดกลืนพลังงานจะมีขนาดมากกว่าการปลดปล่อยพลังงานทำให้พลังงานของโฟตอนมีขนาดลดลง ดังนั้นจึงใช้วิธีการฉีดอิเล็กตรอนโดยการไบอัสให้กระแสไหลก็จะเกิดปฏิกิริยาทำให้เกิดการขยายกระแสเป็นผลให้จำนวนอิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานสูงมีมากกว่าจำนวนอิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานต่ำ ดังนั้น $n_2 > n_1$ ซึ่งจะทำให้การกระตุ้นการปลดปล่อยพลังงานมีมากกว่าการดูดกลืนพลังงาน (Inversion Distribution) ในการทำงานนี้จะทำให้พลังงานของโฟตอนเพิ่มมากขึ้นและเกิดปฏิกิริยาการขยายแสง ดังนั้นไดโอดเลเซอร์จะทำงานได้ พลังงานภายนอกที่มาเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานคืออิเล็กตรอนที่ฉีดเข้าไปในระบบ พลังงานของโฟตอนที่ปล่อยออกมาจะถูกขยายกำลังขึ้นไปอีกโดยใช้ระนาบสะท้อนแสงติดตั้งอยู่ที่หัวท้ายของระบบ เมื่อพลังงานของโฟตอนเคลื่อนที่ไปกระทบกับระนาบสะท้อนกลับ พลังงานส่วนหนึ่งจะทะลุผ่านออกไปจากระนาบสะท้อนกลับ และพลังงานอีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนเข้าไปในระบบอีกครั้งทำให้เกิดการป้อนกลับเป็นผลให้เกิดการสั่นของโฟตอนขึ้น

โดยทั่วไปแล้วไดโอดเลเซอร์จะมีโครงสร้างแบ่งเป็น 3 ชั้น ซึ่งจะประกอบไปด้วยชั้นที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด N ชั้นของการกึ่งตัวนำชนิด P และชั้นที่ทำให้เกิดแสงเลเซอร์ (Active Layer) ดังแสดงในรูปที่ 2-9 การทำให้เกิดเลเซอร์กึ่งตัวนำจะต้องทำให้ระดับพลังงานสูงของสารกึ่งตัวนำชนิด P และส่วนที่เกิดแสงเลเซอร์มีพลังงานสูง พร้อมทั้งทำให้ผลต่างของระดับพลังงานสูงกับระดับพลังงานต่ำของสารกึ่งตัวนำชนิด P มีค่ามากด้วย นอกจากนี้จะต้องทำให้ระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำชนิด N มีค่าระดับพลังงานต่ำ ต่ำกว่าระดับพลังงานต่ำของชั้นที่เกิดเลเซอร์ เมื่อให้กระแสไหลจากสารกึ่งตัวนำชนิด P ไปสารกึ่งตัวนำชนิด N จะทำให้อิเล็กตรอนส่วนเกินที่อยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิด N เคลื่อนที่ไปยังสารกึ่งตัวนำชนิด P และโฮลส่วนเกินในสารกึ่งตัวนำชนิด P จะเคลื่อนที่ไปยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารกึ่งตัวนำชนิด N การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลจะทำให้มีอิเล็กตรอนและโฮลอยู่ภายในชั้นที่เกิดเลเซอร์ ภายในชั้นที่เกิดเลเซอร์เองก็จะมีกำแพงพลังงานทำให้อิเล็กตรอนและโฮลที่เคลื่อนที่ถูกกักอยู่ภายในชั้นที่เกิดเลเซอร์ทำให้เกิดสภาพที่อิเล็กตรอนและโฮลถูกกักอยู่ภายในเป็นผลให้เกิดการขยายความเข้มของการปล่อยแสง




รูปที่ 2-9 แสดงโครงสร้างของแหล่งกำเนิดแสงไดโอดเลเซอร์

2.2.1.1 การมอดูเลตไดโอดเลเซอร์

การมอดูเลตไดโอดเลเซอร์โดยการเปลี่ยนความเข้มของแสงจะใช้การมอดูเลตสองวิธีด้วยกันคือ พัลส์มอดูเลชั่น เพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลดิจิตอล และแอมพลิจูดมอดูเลชั่นเพื่อใช้ในการส่งข่าวสาร อัตราการมอดูเลตไดโอดเลเซอร์จะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของช่วงชีวิตพาหะ (Carrier Lifetime) และช่วงชีวิตของโฟตอน (Photon Lifetime) ในการทำงานของไดโอดเลเซอร์ช่วงชีวิตโดยธรรมชาติ (Spontanious Lifetime, $\tau_{sp}$) จะเป็นฟังก์ชั่นโครงสร้างสารกึ่งตัวนำ ที่อุณหภูมิห้อง ถ้าไดโอดเลเซอร์ผลิตจากแกลเลียมอาเซไนด์ (GaAs) จะมีช่วงชีวิตของรังสี (Radiation Lifetime, $\tau_r$) ประมาณ 1 นาโนวินาที โดยช่วงชีวิตของพาหะที่ถูกกระตุ้น (Stimulated Carrier Lifetime, $\tau_{st}$) จะขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงในช่องว่างพลังงาน และช่วงชีวิตของโฟตอน (Photon Lifetime, $\tau_{ph}$).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเวลาเฉลี่ยของโฟตอนในแคว้ติ้ (Cavity) ของเลเซอร์โดยจะมีการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการดูดกลืนพลังงานและการทะลุผ่านผิวหน้าของเลเซอร์ โดยช่วงชีวิตของโฟตอน ($\tau^{-1}_{ph}$) จะมีค่าเป็น

$$\tau_{ph}^{-1} = \frac{c}{n}\left(\bar{\alpha} + \frac{1}{2L}\ln\frac{1}{R_1R_2}\right) = \frac{c}{n}g_{th} \qquad (2.15)$$

โดย $R_1R_2$ เป็นดัชนีการสะท้อนของกระจก

L คือความยาวของแคว้ติ้

$\bar{\alpha}$ คือสัมประสิทธิ์ของปรากฏการณ์การดูดกลืนพลังงาน

n คือกลุ่มอิเล็กตรอนอิสระในสถานะระดับพลังงานสูง

C คือความเร็วแสงในสุญญากาศ

$g_{th}$ คือเกณฑ์สัมประสิทธิ์ของเทรสโฮล (Threshold)

พิจารณาในการมอดูเลตไดโอดเลเซอร์ด้วยสัญญาณพัลส์ เมื่อช่วงชีวิตของโฟตอนมีค่าน้อยกว่าช่วงชีวิตของพาหะ ถ้าเลเซอร์มีการเปิดปิดแสงอย่างสมบูรณ์ตามสัญญาณพัลส์ที่เข้ามาช่วงชีวิตของพาหะที่ถูกกระตุ้นจะเป็นตัวกำหนดอัตราการมอดูเลชั่น เมื่อสัญญาณพัลส์ที่เข้ามามีค่าเป็น 1 กระแสพัลส์จะมีแอมพลิจูดเป็น $I_p$ และคาบเวลา ($t_d$) กำหนดโดย

$$t_d = \tau \ln\frac{I_p}{I_p\left(I_B - I_{th}\right)} \qquad (2.16)$$

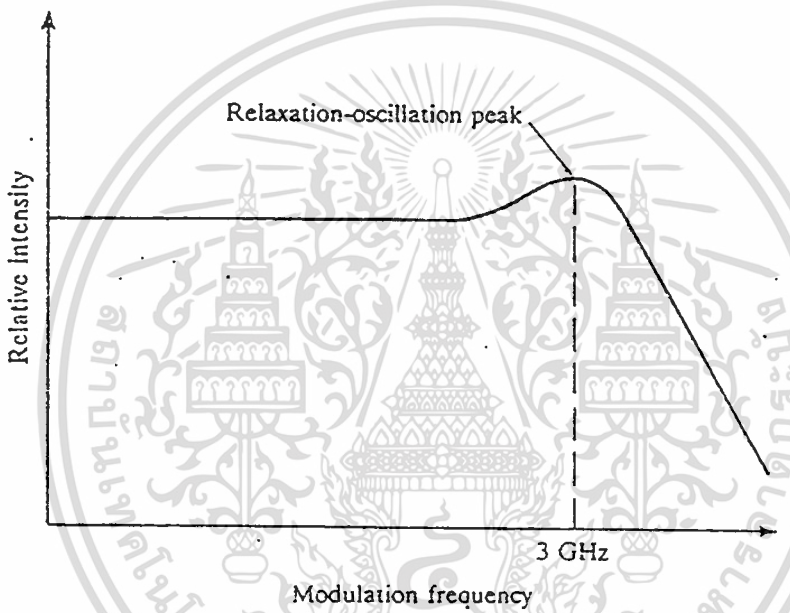
โดย $I_B$ เป็นกระแสไบอัส

$\tau$ เป็นช่วงชีวิตเฉลี่ยของพาหะในบริเวณที่กลับมารวมกันใหม่ (Average Lifetime of the Carriers in the Recombination Region)

เมื่อใช้ไดโอดเลเซอร์เพื่อใช้ในการสื่อสารความเร็วสูง ความถี่ในการมอดูเลตจะต้องไม่มากกว่าช่วงเวลาก่อนการออสซิลเลต (Relaxation Oscillation) ของเลเซอร์ที่แสดงในรูปที่ 2-10 ซึ่งจะขึ้นอยู่กับช่วงชีวิตโดยธรรมชาติ และช่วงชีวิตของโฟตอน สมมติให้อัตราส่วนของแสงบนความหนาแน่นของตัวพาห์ลีแล็คเซชั่นออสซิลเลชั่นจะมีค่าเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f = \frac{1}{2\pi}\frac{1}{\left(\tau_{sp}\tau_{ph}\right)^{1/2}}\left(\frac{I}{I_{th}}-1\right)^{1/2} \qquad (2.17)$$




รูปที่ 2-10 แสดงตำแหน่งของการมอดูเลตสัญญาณให้กับไดโอดเลเซอร์ได้สูงสุด

การมอดูเลตไดโอดเลเซอร์นั้นความถี่ในการมอดูเลตจะต้องมีค่าน้อยกว่าลีแล็คเซชั่นออสซิลเลชั่น ยกตัวอย่างเช่น ไดโอดเลเซอร์มีลีแล็คเซชั่นออสซิลเลชั่นที่ 3 จิกะเฮิร์ตซ์ ดังแสดงในรูปที่ 2-10 ถ้ามอดูเลตสัญญาณเกินจากตำแหน่งของลีแล็คเซชั่นออสซิลเลชั่น จะทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณ ความเป็นเชิงเส้นของไดโอดเลเซอร์จะมีความเหมาะสมในการใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงเนื่องจากมีแบนด์วิดท์กว้าง ในระบบการสื่อสารแอนะลอก เวลาในการเปลี่ยนแปลงสัญญาณแอนะลอก (S(t)) ที่ใช้ในการมอดูเลตแหล่งกำเนิดแสงโดยมีกระแสในการไบอัส ($I_B$) ดังแสดงในรูปที่ 2-11 เมื่อไม่มีสัญญาณที่มอดูเลตเข้ามากำลังของแสงจะมีค่าเป็น $P_t$ เมื่อมีสัญญาณเข้ามาเป็น (S(t)) กำลังของแสง ($P_{(t)}$) จะมีค่าเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

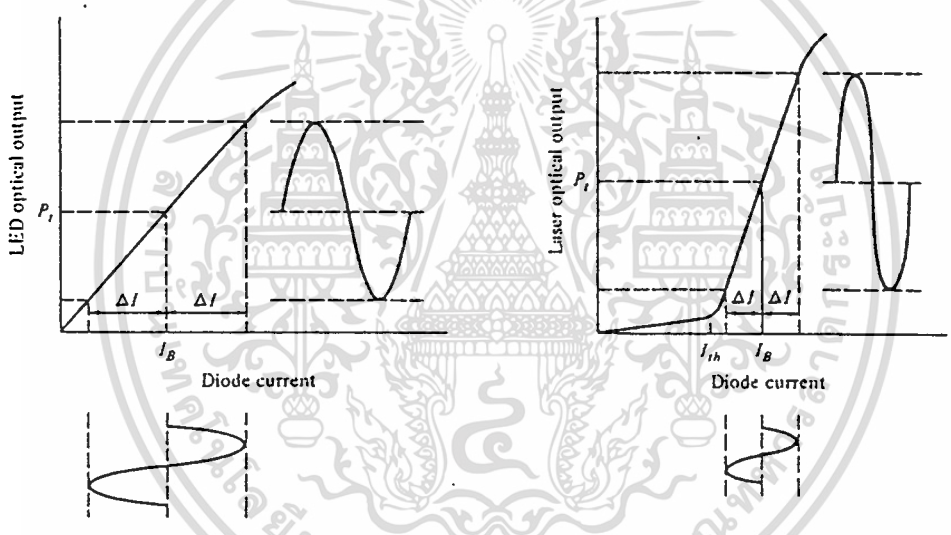
$$P(t) = P_t[1 + ms(t)] \tag{2.18}$$

โดย m เป็นดัชนีของการมอดูเลต ซึ่งกำหนดโดย

$$m = \frac{\Delta I}{I'_B} \tag{2.19}$$

โดย $I'_B = I_B - I_{th}$

$\Delta I$ = ช่วงของการเปลี่ยนแปลงกระแสจากตำแหน่งไบอัส




รูปที่ 2-11 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ใช้มอดูเลตสัญญาณให้กับแอลอีดีและไดโอดเลเซอร์

ในการป้องกันการเกิดการลดทอนในสัญญาณขาออกที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสง การมอดูเลตจะต้องมอดูเลตในช่วงบริเวณที่เป็นเชิงเส้นของกำลังของแสงกับกระแสที่ป้อนให้กับไดโอดเลเซอร์ ถ้า $\Delta I$ มีค่ามากกว่า $I'_B$ จะเป็นผลให้ตำแหน่งที่อยู่ด้านล่างของสัญญาณเกิดการคัทออฟ ปกติค่าของ m จะมีค่าจาก 0.25 - 0.50

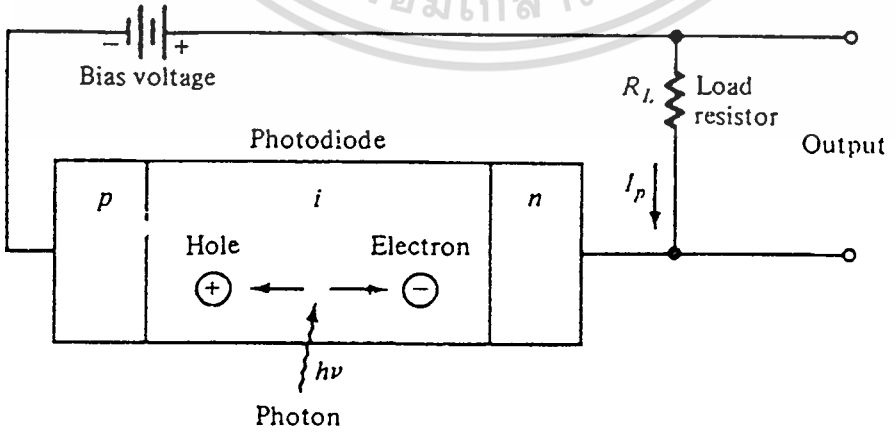
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.2 พินโฟโต้ไดโอด

รูปแบบโครงสร้างของพินโฟโต้ไดโอด (PIN-Photodiode) แสดงในรูปที่ 2-12 ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่เป็น P และ N ของสารกึ่งตัวนำ นอกจากนี้ยังมีบริเวณที่เป็นอินทรินซิก (Intrinsic) คั่นอยู่ระหว่างสาร P และ N โดยจะมีการเจือสาร N เข้าไปในเนื้อแท้ของสารนี้ด้วย [22] ในการทำงานปกติจะต้องไบอัสกลับให้กับพินโฟโต้ไดโอด เมื่อมีโฟตอนมาตกกระทบโดยมีพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าพลังงานของช่องว่าง (Band Gap) ของสารกึ่งตัวนำ โฟตอนจะปลดปล่อยพลังงานทำให้อิเล็กตรอนจากระดับพลังงานต่ำเคลื่อนที่ไปสู่ระดับพลังงานสูง การทำงานของโฟตอนที่ประจุให้กับตัวกลางแสดงในรูปที่ 2-12 อุปกรณ์ตรวจรับแสงปกติจะออกแบบให้ตัวกลางการทำงานหลักอยู่ที่บริเวณรอยต่อ (บริเวณรอยต่อคือบริเวณอินทรินซิก) ซึ่งเป็นบริเวณที่แสงตกกระทบและใช้ในการดูดกลืนพลังงานของโฟตอน เมื่อป้อนกระแสให้กับโฟโต้ไดโอด อิเล็กตรอนจะไหลทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง เมื่ออิเล็กตรอนและโฮลมีการเคลื่อนที่เข้าไปในตัวกลางซึ่งมีระยะทางเป็น $L_n$ หรือ $L_p$ ของอิเล็กตรอนและโฮล เวลาที่อิเล็กตรอนหรือโฮลกลับมารวมกันใหม่นี้เรียกว่าช่วงชีวิตของพาหะ (Carrier Lifetime) แสดงโดย $\tau_n$ และ $\tau_p$ ความสัมพันธ์ของความยาวในการแพร่คือ

$$L_n = (D_n \tau_n)^{1/2} \quad \text{และ} \quad L_p = (D_p \tau_p)^{1/2} \tag{2.20}$$

ซึ่ง $D_n$ และ $D_p$ เป็นสัมประสิทธิ์ของการแพร่อิเล็กตรอนและโฮล




รูปที่ 2-12 แสดงการไบอัสให้พินโฟโต้ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงที่ถูกดูดกลืนในสารกึ่งตัวนำนี้จะมีค่าเป็น

$$P(x) = P_0\left(1 - e^{-\alpha_s(\lambda)x}\right) \tag{2.21}$$

เมื่อ $\alpha_s(\lambda)$ เป็นสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนของแสงที่ความยาวคลื่น $\lambda$ และ $P_0$ คือกำลังของแสงที่ตกกระทบ และ $P_{(x)}$ เป็นกำลังของแสงที่ถูกดูดกลืนในระยะทาง x

สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นแสงของสารที่ใช้ทำโฟโต้ไดโอดแสดงในรูปที่ 2-13. โดยอนุภาคของแสงที่ใช้ทำจะเป็นตัวกำหนดสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ โดยความยาวคลื่นคัทออฟ ($\lambda_c$) จะถูกกำหนดโดยพลังงานช่องว่าง ($E_g$) ของวัตถุนั้น ถ้า $E_g$ มีหน่วยเป็นอิเล็กตรอนโวลต์ (eV) ดังนั้น $\lambda_c$ จะมีหน่วยเป็นไมโครเมตร ($\mu m$) โดย

$$\lambda_c(\mu m) = \frac{hc}{E_g} = \frac{1.24}{E_g(eV)} \tag{2.22}$$

ความยาวคลื่นคัทออฟ จะมีค่า 1.06 ไมโครเมตร สำหรับซิลิกอน (Si) และ 1.6 ไมโครเมตร สำหรับเจอร์มาเนียม (Ge)

ถ้าที่บริเวณแพร่ของอิเล็กตรอนมีความกว้าง W ดังนั้นจากสมการผลรวมกำลังในการดูดกลืนแสงที่มีความกว้าง W เป็น

$$P(w) = P_0\left(1 - e^{-\alpha_s w}\right) \tag{2.23}$$

ถ้าให้การสะท้อน $R_x$ ที่ตกบนผิวหน้าของโฟโต้ไดโอด มีกระแสโฟโต้ $I_p$ จากสมการที่กำลังของการดูดกลืน กำหนดโดย

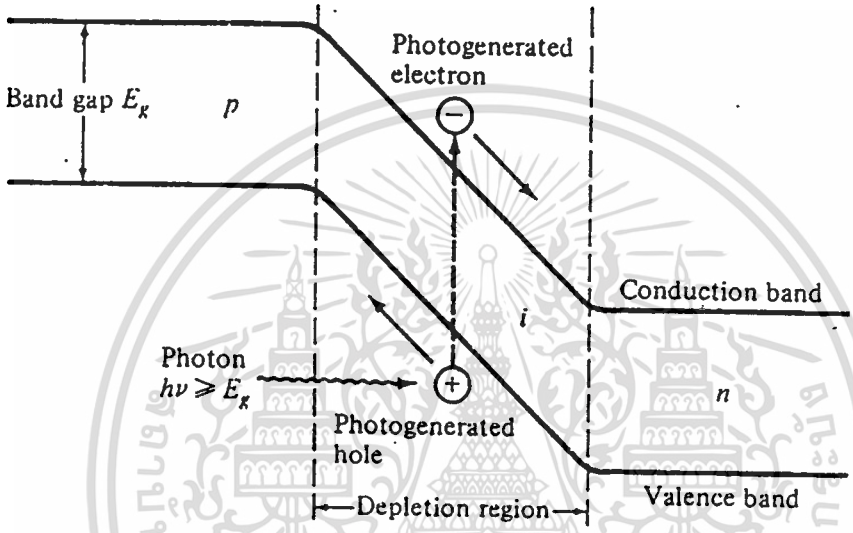
$$I_p = \frac{q}{h\nu} P_0\left(1 - e^{-\alpha_s w}\right)\left(1 - R_f\right) \tag{2.24}$$

ซึ่ง $P_0$ เป็นกำลังของที่ตกกระทบบนโฟโต้ดีเทคเตอร์ q คือ ประจุอิเล็คตรอน และ hν เป็นพลังงานโฟตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธิ์ในการทำงานของ โฟโต้ไดโอด จะแสดงในรูปของการตอบสนองต่อแสง $\Re$ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ควันตัม ($\eta$) โดย

$$\Re = \frac{I_p}{I_0} = \frac{\eta q}{h\nu} \tag{2.25}$$




รูปที่ 2-13 แสดงการไหลของอิเล็กตรอนในรอยต่อของพินโฟโต้ไดโอด

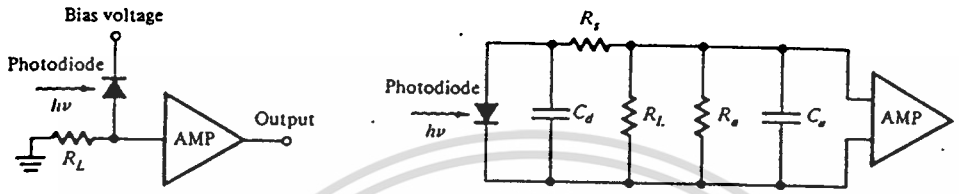
2.2.2.1 สัญญาณรวบกวนในโฟโต้ดีเทคเตอร์

ในระบบการสื่อสารทางแสงนั้น โฟโต้ไดโอด จะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณแสง แต่เนื่องจากสัญญาณที่รับได้โดยโฟโต้ไดโอดจะมีสัญญาณรบกวนอยู่ นอกจากนี้สัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้ก็จะต้องนำไปขยายสัญญาณซึ่งจะมีสัญญาณรวบกวนภายในภาคขยายด้วย ดังนั้นในการแสดงสัญญาณรบกวนที่จะอยู่ในรูปของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน หรือ S/N ที่สัญญาณขาออกของอุปกรณ์รับแสง กำหนดโดย

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{กำลังของสัญญาณจากกระแสโฟโต้}}{\text{สัญญาณรบกวนของโฟโต้ : สัญญาณรบกวนจากการขยายสัญญาณ}} \tag{2.26}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนจะมีค่าสูงได้จะต้องมีสภาพดังนี้คือโฟโต้ดีเทคเตอร์ จะต้องมีกำลังของสัญญาณที่รับได้สูง สัญญาณรบกวนของโฟโต้ดีเทคเตอร์ และสัญญาณรบกวนของการขยายสัญญาณจะต้องมีค่าต่ำ




รูปที่ 2-14 แสดงรูปแบบของการใช้งานของพินโฟโต้ไดโอด

โดยทั่วไปกระแสรบกวนจะตรวจรับได้จากระดับการตรวจรับแสงต่ำสุด ความไวของอุปกรณ์รับแสงในระบบการสื่อสารทางแสงจะแสดงในเทอมของแสงและกำลังของแสงที่ตรวจรับได้ต่ำสุด

จากรูปที่ 2-14 แสดงรูปแบบและการใช้งานโฟโต้ไดโอด และองค์ประกอบภายในโฟโต้ไดโอด ภายในตัวโฟโต้ไดโอดจะมีค่าความต้านทาน $R_s$ ต่ออนุกรมอยู่ นอกจากนี้ยังมีตัวเก็บประจุ Cd ซึ่งเกิดขึ้นจากรอยต่อของสาร และความต้านทานไบอัส $R_L$ นอกจากนี้การขยายสัญญาณตามโฟโต้ไดโอด จะมีตัวเก็บประจุอินพุท $C_a$ และค่าความต้านทาน $R_a$ โดย $R_s$ จะต้องต่ำกว่าค่าความต้านทานโหลด $R_L$ มากๆ ดังนั้นจึงสามารถละเลยได้

ถ้าสัญญาณที่มอดูเลตแสง P (t) ตกลงบนตัวรับแสง กระแสโฟโต้ $i_{ph}$ (t) จะมีค่าเป็น

$$i_{ph}(t) = \frac{\eta q}{h\nu} P(t) \qquad (2.27)$$

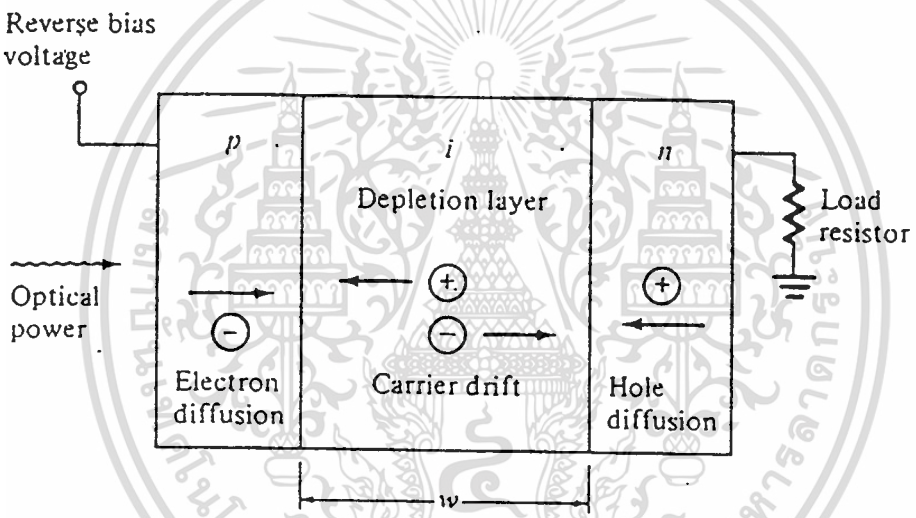
กระแสโฟโต้ $I_p$ นี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสัญญาณแสงที่เข้ามาตกกระทบ และองค์ประกอบของสัญญาณ $i_p$ (t) กระแสของสัญญาณกำลังสองเฉลี่ย $< i_s^2 >$มีค่าเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left\langle i_s^2 \right\rangle = \left\langle i_p^2(t) \right\rangle \qquad (2.28)$$

**2.2.2.2 เวลาในการตอบสนองของอุปกรณ์รับแสง**

เพื่อความเข้าใจถึงการตอบสนองต่อความถี่ของโฟโต้ไดโอด จะพิจารณาโครงสร้างและการไบอัสกลับของพินโฟโต้ไดโอด [21] แสดงในรูปที่ 2-15 แสงที่เดินทางผ่านชั้น P จะเกิดขบวนการคู่อิเล็กตรอนโฮลดูดกลืนพลังงานในสารกึ่งตัวนำ คู่อิเล็กตรอนโฮลจะทำงานในบริเวณดีพลีทชั่น หรือในช่วงความยาวของการแพร่ของชั้น I โดยไบอัสกลับแรงดันในสนามไฟฟ้า




รูปที่ 2-15 แสดงการแพร่ของอิเล็กตรอนเมื่อมีแสงมาตกกระทบในพินโฟโต้ไดโอด

ภายใต้สภาพเสถียรความหนาแน่นของกระแส $J_{tot}$ สำหรับการไบอัสกลับในชั้นที่เป็นตัวกลางเป็น

$$J_{tot} = J_{dr} + J_{diff} \qquad (2.29)$$

ซึ่ง $J_{dr}$ เป็นความหนาแน่นกระแสไหลจากตัวกลางในบริเวณแพร่ และ $J_{diff}$ ความหนาแน่นกระแสที่แพร่จากตัวกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 ผลึกโพลาไรซ์

ในการทำให้แสงมีคุณสมบัติเป็นโพลาไรซ์เชิงเส้น จะมีวิธการทำ ให้ กิ ด็ป แสง โพลา ไรซ์ อยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยมนำมาใช้งานคือ การใช้ผลึกโพลาไรซ์ ผลึกไดโครอิกเป็นผลึกที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงที่มีเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าด้านหนึ่งมากกว่าอีกด้านหนึ่งซึ่งตั้งฉากกัน ผลึกไดโครอิกนี้จะแบ่งออกเป็น 2 จำพวกด้วยกันคือ ผลึกไดโครอิกที่เป็นแร่ และผลึกไดโครอิกที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ ประเภทที่เป็นแร่ ได้แก่ ทัวมาลีน (Tourmaline) แสงที่ผ่านแร่นี้จะทำให้มีเวกเตอร์อยู่ในแนวทางเดียว หรือเป็นแสงโพลาไรซ์ เนื่องจากผลึกทัวมาลีนมีสีจึงไม่ค่อยนิยมนำมาใช้งาน จะกระทั้งในปี ค.ศ. 1852 ได้มีผู้ค้นคว้าและประดิษฐ์ผลึกของสารประกอบอินทรีย์ไอโอโดซัลเฟต ซึ่งปัจจุบันเรียกว่าเฮอร์ราพาไธต์ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนผลึกทัวมาลีนทุกประการ แต่ใสและมีขนาดเล็กกว่า แผ่นโพลารอยด์ในปัจจุบันทำจากผลึกชนิดนี้ ในปี ค.ศ. 1932 ก็ได้มีการผลิตแผ่นโพลารอยด์โดยการจัดให้ผลึกเฮอร์ราพาไธต์ หรือผลึกไดโครอิก เรียงกันอยู่ในแนวเดียวกัน และหล่อไว้ด้วยพลาสติกใสทำเป็นแผ่นเพื่อป้องกันการขีดข่วน จากวิธีการนี้ทำให้สามารถที่จะสร้างแผ่นโพลารอยด์ที่มีขนาดใหญ่ได้ จึงเป็นที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย

## 2.3 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงปรากฏการณ์พื้นฐานทางแสงที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เช่นการเกิดโพลาไรเซชัน อุปกรณ์ส่งสัญญาณแสงและรับแสงรวมไปถึงการเกิดสัญญาณรบกวนในอุปกรณ์รับแสง ตลอดจนอธิบายถึงรูปแบบโครงสร้างของผลึกโพลาไรซ์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับรวมและแยกแสงที่นำมาใช้0ในงานวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# การมัลติเพลกซ์ทางแสง

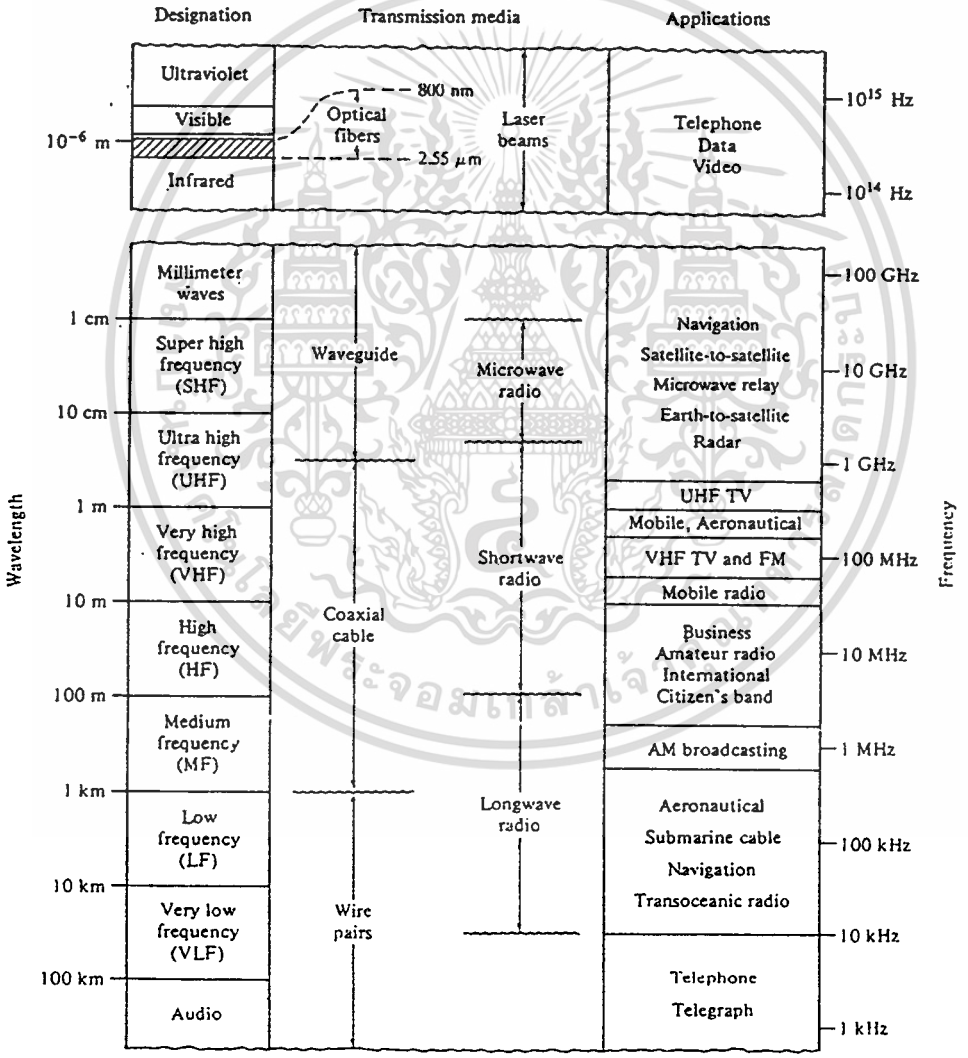
เนื้อหาภายในบทนี้จะล่าวถึงหลักการของการสื่อสารทางแสงและการมัลติเพลกซ์ทางแสง โดยจะกล่าวถึงข้อดีของการสื่อสารทางแสง ในส่วนของการมัลติเพลกซ์ทางแสงก็จะกล่าวถึงวิธีการในการมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในระบบการสื่อสารทางแสง ซึ่งจะกล่าวเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

## 3.1 หลักการสื่อสารทางแสง

ในอดีตมนุษย์ได้ค้นคว้าหาวิธีการที่จะทำให้ผู้ที่อยู่ห่างไกลได้รับข่าวสารได้ในรูปแบบ ต่าง ๆ เช่น การใช้สัญญาณไฟ สัญญาณควัน หรือเสียงแตร เป็นต้น เพื่อจุดประสงค์ให้ผู้ที่อยู่ห่างไกลสามารถทราบข่าวสารได้ จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1838 มอส (Samuel F.B. Morse) ได้เสนอทฤษฎีในการสื่อสารทางไฟฟ้าขึ้น จากจุดนี้เองทำให้เกิดการวิจัยเพื่อที่จะทำการส่งข่าวสารให้ได้ระยะไกลยิ่งขึ้น ในปี ค.ศ. 1844 ก็ได้จัดให้บริการรับส่งทางโทรเลข ต่อมาในปี ค.ศ. 1878 ก็ได้ติดตั้งระบบโทรศัพท์ขึ้นใช้เป็นครั้งแรก หลังจากนั้นได้มีการค้นพบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ในปี ค.ศ. 1887 โดย เฮิร์ตซ์ (Hertz) จากจุดนี้เองก็ได้พัฒนาระบบการสื่อสารขึ้นเป็นอย่างมาก ได้มีการนำเอาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้ไปใช้ในการสื่อสารอย่างกว้างขวาง ทำให้เทคโนโลยีทางด้านการสื่อสารเติบโตขึ้นอย่างเร็ว เป็นผลให้ช่วงสเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ถูกใช้งานมากขึ้น เนื่องจากการสื่อสารข่าวสารในระบบไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านช่องสัญญาณสื่อสารของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยจะฝากข่าวสารไปกับตัวกลางเมื่อถึงปลายทางก็จะดึงข่าวสารออกมาเพื่อนำไปประมวลผลต่อไป แต่เนื่องจากปริมาณข้อมูลที่ส่งผ่านไปในตัวกลางนั้นจะสัมพันธ์กับความถี่ของคลื่นพาห์ที่ใช้งาน ถ้าคลื่นพาห์มีความถี่สูงขึ้น แบนด์วิดท์ของการสื่อสารก็จะสูงตามไปด้วย ทำให้ความจุของช่องสัญญาณมากขึ้น ดังนั้นแนวโน้มในการพัฒนาระบบการสื่อสารทางไฟฟ้านี้ก็จะมีการใช้ความถี่ที่สูงขึ้น แต่เนื่องจากปัจจุบันมีความต้องการช่องสัญญาณเพิ่มมากขึ้น ทำให้ช่องสัญญาณที่มีอยู่ไม่เพียงพอ จึงได้หันไปพิจารณาช่วงสเปคตรัมของคลื่นแสง เนื่องจากสเปคตรัมของคลื่นแสงอยู่ในย่านความถี่ประมาณ $10^{14}$ - $10^{15}$ เฮิร์ตซ์ ดังแสดงในรูปที่ 3-1 โดยคลื่นแสงนี้จะนำไปใช้งานในด้านโทรศัพท์ ข้อมูล และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณภาพ ซึ่งจะทำให้ข่าวสารที่ส่งไปนั้นมีความจุของข่าวสารจำนวนมาก เลเซอร์เป็นสิ่งประดิษฐ์หนึ่งที่ได้ถูกนำมาใช้ในการสื่อสาร โดยเลเซอร์นี้ได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นในปี ค.ศ. 1960 ในการส่งสัญญาณด้วยแสงในระยะแรกจะนำไปใช้ในการสื่อสารระยะทางสั้น ๆ ต่อมาจึงได้นำไปใช้กับระยะทางไกล ๆ จนถึงการสื่อสารระยะไกลระหว่างโลกและอวกาศและการส่งสัญญาณระหว่างดาวเทียม เป็นต้น




รูปที่ 3-1 แสดงสเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.1.1 ข้อดีของการสื่อสารทางแสง** สำหรับข้อดีของการสื่อสารทางแสงจะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ

- มีแบนด์วิดท์กว้าง และมีอัตราการสูญเสียของแสงต่ำ ทำให้ประหยัดช่องสัญญาณ นอกจากนี้ยังทำให้ประหยัดอุปกรณ์ในการทวนสัญญาณ
- มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานและติดตั้งได้ง่าย
- ปราศจากสัญญาณรบกวนทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องจากเป็นแสงจึงไม่มีผลของการรบกวนเนื่องจากผลของการเหนี่ยวนำไฟฟ้าเกิดขึ้น
- สามารถแยกสัญญาณทางไฟฟ้าได้ด้วยแสง โดยปกติการส่งสัญญาณทางไฟฟ้าจะต้องมีสายดินร่วมกัน แต่ในระบบการสื่อสารทางแสงนี้ไม่ต้องต่อสายดิน เนื่องจากอาศัยหลักการเปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นสัญญาณทางแสง
- มีความเชื่อถือได้ของสัญญาณสูง ข่าวสารที่ส่งไปกับแสงจะมีความเที่ยงตรงและถูกต้อง
- องค์ประกอบที่ใช้ในการส่งสัญญาณทางแสงจะมีขนาดเล็ก และราคาถูกเมื่อเทียบกับจำนวนช่องสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสาร

## 3.2 การมัลติเพลกซ์ทางแสง

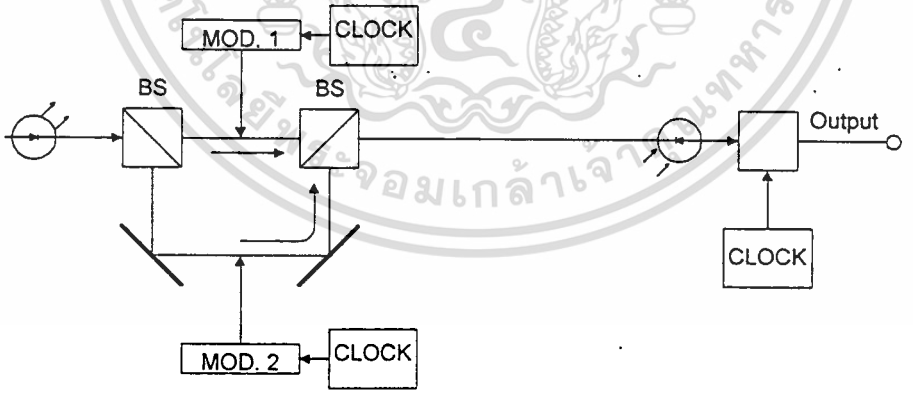
การมัลติเพลกซ์ทางแสงนับว่ามีประโยชน์อย่างยิ่งในการสื่อสารทางแสง ระบบการมัลติเพลกซ์จะช่วยให้ประหยัดช่องสัญญาณในการรับส่งข่าวสาร คือ สามารถที่จะส่งสัญญาณได้มาก ในการมัลติเพลกซ์ทางแสงนี้จะแบ่งออกเป็น 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ การมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งเวลา [14] และการมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งความยาวคลื่นซึ่งจะแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 3.2.1 การมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งเวลา

ในระบบการสื่อสารทางแสงโดยวิธีการมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งเวลานี้ จะใช้วิธีการโดยให้ตัวกลางของแสงที่มีความยาวต่างกันเป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการสุ่มข้อมูลโดยจะมีหลักการทำงานคือ จะใช้แหล่งกำเนิดแสงเพียงตัวเดียวมาป้อนให้กับตัวกลางที่มีความยาวต่างกันโดยที่ตัวกลางแต่ละความยาวจะถูกมอดูเลตสัญญาณแบบมอดูเลตภายนอก เมื่อมีการมอดูเลตสัญญาณจากภายนอกเข้ามาพร้อม ๆ กันก็จะทำให้ความเข้มของแสงเปลี่ยนไปในแต่ละตัวกลาง เมื่อนำแสงจากแต่ละตัวกลางนี้มาทำการมัลติเพลกซ์ก็จะเกิดการหน่วงของเวลาจากความยาวของตัวกลางแต่ละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นทาง โดยข้อมูลที่อยู่ในตัวกลางที่มีความยาวน้อยกว่าจะเดินทางมาถึงก่อนส่วนข้อมูลที่มาจากตัวกลางที่มีความยาวกว่าจะมาถึงภายหลัง ดังนั้นข้อมูลที่ถูกมอดูเลตเข้ามาพร้อม ๆ กันก็จะถูกส่งเรียงกันไปภายในตัวกลางเดียว เมื่อถึงปลายทางก็จะใช้วิธีการทางด้านอิเล็กทรอนิกส์มาทำการดีมัลติเพลกซ์สัญญาณ ซึ่งจะต้องใช้สัญญาณนาฬิกาเป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการแยกข้อมูล ดังนั้นระบบการมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งเวลานี้จึงไม่นำมาใช้งานมากนัก รูปแบบของการมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งเวลาแสดงในรูปที่ 3-2 ซึ่งจะมีการทำงานดังนี้คือ เมื่อทำการป้อนแสงเข้าไปในระบบแสงก็จะเดินทางผ่านผลึกรวมและแยกแสง (BS) เพื่อทำหน้าที่ในการแบ่งสัญญาณแสง แสงที่แบ่งออกเป็นสองส่วนนี้ก็จะถูกกำหนดให้มีระยะทางในการเดินทางของแสงต่างกันหลังจากนั้นแสงทั้งสองส่วนจะถูกมอดูเลตแบบภายนอก สัญญาณที่จะนำมามอดูเลตนี้ก็จะถูกควบคุมด้วยสัญญาณนาฬิกา (Clock) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการมอดูเลตให้ทำการเว้นช่วงในการส่ง หลังจากนั้นแสงทั้งสองส่วนก็จะกลับมารวมกันอีกด้วยอุปกรณ์ผลึกรวมและแยกแสง แสงที่กลับมารวมกันใหม่นี้จะมีการเรียงกันของข้อมูลที่มอดูเลตเข้ามา จึงทำให้สามารถแยกสัญญาณที่มอดูเลตเข้ามาแต่ละช่องได้เมื่อถึงปลายทางก็จะใช้อุปกรณ์รับแสงทำการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า หลังจากนั้นสัญญาณทางไฟฟ้านี้ก็จะถูกนำไปเข้าวงจรถอดรหัสเพื่อทำการแยกข่าวสารต่อไป




รูปที่ 3-2 แสดงการมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งเวลา

BS คือผลึกรวมและแยกแสง

MOD. 1, MOD.2 คืออุปกรณ์มอดูเลตภายนอก

Clock คือสัญญาณนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 การมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งความยาวคลื่น

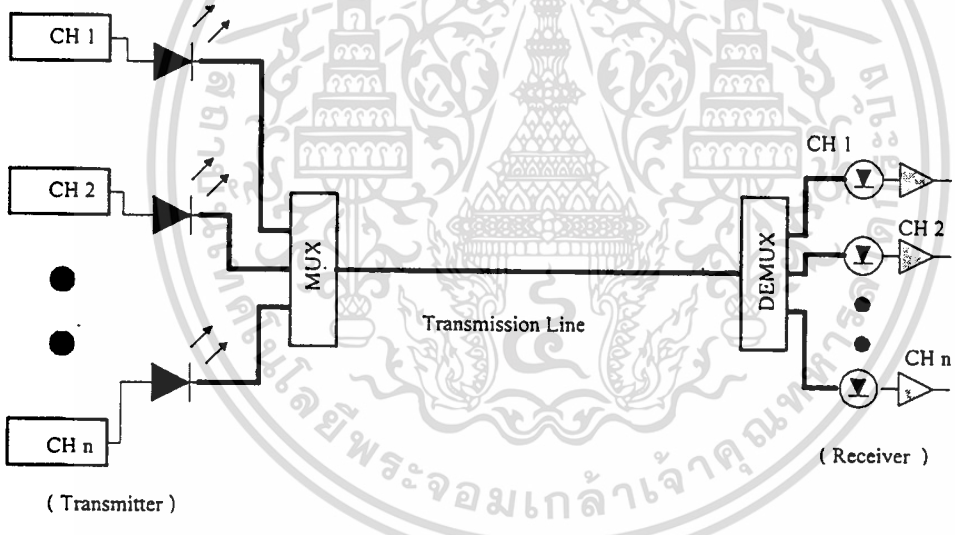
เทคโนโลยีการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่นนี้ นับว่าเป็นเทคนิคสำคัญของการสื่อสารทางแสง เพราะมีความสะดวกและมีประสิทธิภาพในการใช้งานเป็นอย่างมาก เทคโนโลยีการมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งความยาวคลื่นจะใช้วิธีการคือ ใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันที่นำสัญญาณต่าง ๆ มารวมกัน และทำการส่งเข้าไปในตัวกลางเดียวกันเพื่อประหยัดตัวกลางในการส่งข่าวสาร [2, 10] แนวความคิดในการมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งเวลาได้เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1970 แต่อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีทางด้านการมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งความยาวคลื่นได้เข้ามามีบทบาทประมาณกลางปี ค.ศ. 1977 เพื่อใช้ในระบบการสื่อสาร และจากเทคโนโลยีทางด้านแหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสงมีความก้าวหน้ามากขึ้น ทำให้มีการสื่อสารทางแสงเริ่มแพร่หลายมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์ทางแสง ซึ่งในปัจจุบันนี้ได้มีการค้นคว้าและทดลองอย่างกว้างขวาง แต่อย่างไรก็ดีก็ยังต้องมีการพัฒนาขึ้นเรื่อย ๆ โดยหวังว่าการมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งความยาวคลื่นนี้จะมีหน้าที่หลักในระบบการสื่อสารต่อไป [1, 13]

### 3.2.3 รูปแบบโดยทั่วไปของระบบการสื่อสารทางแสง

รูปแบบของการสื่อสารทางแสงโดยวิธีการมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งความยาวคลื่น จะแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ด้วยกันคือ ระบบการสื่อสารทางเดียว และระบบการสื่อสาร 2 ทาง ดังแสดงในรูปที่ 3-3 และ 3-4 โดยจะใช้เพียงตัวกลางเดียวในการผสมคลื่นแสง และใช้แหล่งกำเนิดแสงหลายความยาวคลื่น ตลอดจนอุปกรณ์รับแสงหลายย่านความยาวคลื่นหรือแบนด์วิดท์มาทำการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์ ในระบบการสื่อสารทางเดียวซึ่งแสดงในรูปที่ 3-3 จะมีการมัลติเพลกซ์ที่ด้านส่ง ส่วนทางด้านรับจะทำการดีมัลติเพลกซ์สัญญาณแสงเพียงอย่างเดียว ในการส่งสัญญาณแบบ 2 ทางซึ่งแสดงในรูปที่ 3-4 ในแต่ละด้านจะมีการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์ทั้งทางด้านส่งและด้านรับ ประโยชน์ของการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่นก็คือจะทำให้ความจุของช่องสัญญาณเพิ่มขึ้นคือ ภายในตัวกลางเดียวสามารถส่งข่าวสารได้เป็นจำนวนมากขึ้น [3, 8] เป็นผลให้ราคาถูกลง และยังสามารถส่งข่าวสารได้หลายประเภทภายในตัวกลางเดียวกัน คือจะไม่ขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลตสัญญาณที่เข้ามา ในการออกแบบการทำงานของระบบ WDM (Wavelength Division Multiplexing) จะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของแหล่งกำเนิดของแสงและอุปกรณ์รับแสง เมื่อพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงปัจจุบันนี้เทคโนโลยีการผลิตแหล่งกำเนิดแสงมีความเจริญก้าวหน้าเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างมากจนทำให้แหล่งกำเนิดแสงที่สร้างขึ้นมาสามารถที่จะกำหนดความยาวคลื่น (Tune) ได้ นอกจากนี้ยังมีอายุการใช้งานนานถึง $10^5$-$10^6$ ชั่วโมง เมื่อนำแหล่งกำเนิดแสงนี้มาใช้ในระบบ WDM องค์ประกอบที่มีความสำคัญอย่างหนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณาคือ ความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสงตลอดจนความกว้างสเปคตรัมของแหล่งกำเนิดแสง [17, 20] เนื่องจากปัจจัยภายนอกอย่างอื่นที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับแหล่งกำเนิดแสง เช่น ผลทางด้านอุณหภูมิจะทำให้แหล่งกำเนิดแสงผลิตความถี่คลาดเคลื่อนไป จึงต้องมีการออกแบบวงจรหรือหาวิธีการเพื่อที่จะชดเชยอุณหภูมิทำให้แหล่งกำเนิดแสงกำเนิดความถี่ที่มีความยาวคลื่นคงที่ สำหรับในส่วนของอุปกรณ์รับแสงก็จะต้องพิจารณาถึงช่วงที่ทำให้อุปกรณ์รับแสงนี้มีประสิทธิภาพในการทำงานย่านความยาวคลื่นที่กำหนด [18] ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารกึ่งตัวนำที่นำมาสร้างเป็นอุปกรณ์รับแสง




รูปที่ 3-3 แสดงการสื่อสารทางแสงแบบทางเดียวด้วยวิธีการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น

CH 1, CH 2, CH n คือช่องสัญญาณ

MUX คืออุปกรณ์มัลติเพลกซ์สัญญาณทางแสง

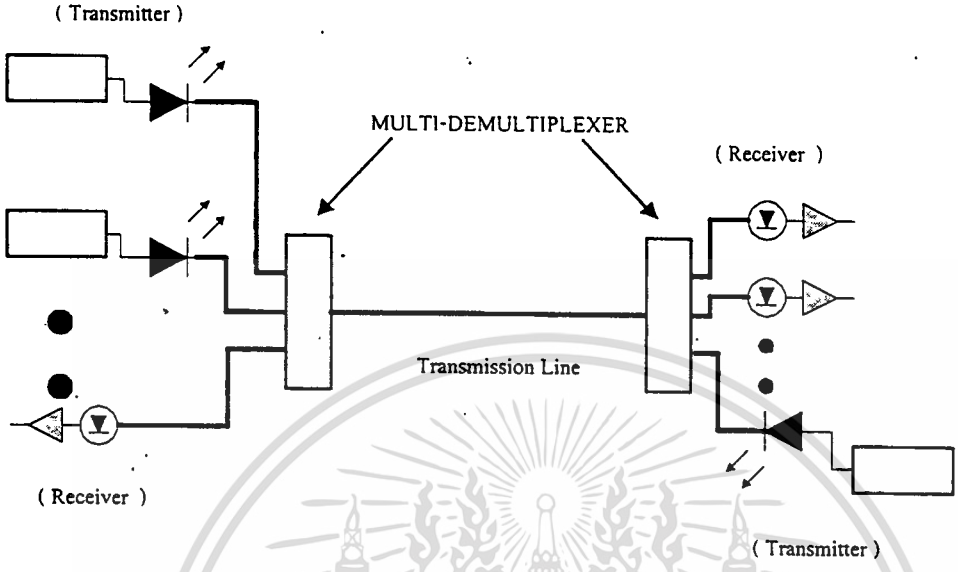
DEMUX คืออุปกรณ์ดีมัลติเพลกซ์สัญญาณทางแสง

Transmitter คือภาคส่งสัญญาณ

Receiver คือภาครับสัญญาณ

Transmission Line คือสายส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3-4 แสดงการสื่อสารทางแสงแบบสองทางด้วยวิธีการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น

MULTI-DEMULTIPLEXER คืออุปกรณ์มัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์สัญญาณทางแสง

Transmitter คือภาคส่งสัญญาณ

Receiver คือภาครับสัญญาณ

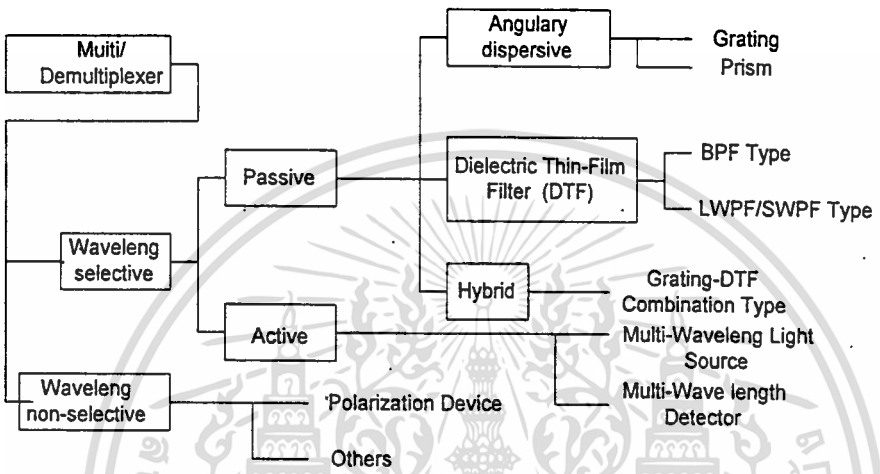
Transmission Line คือสายส่งสัญญาณ

### 3.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์ทางแสง

ในระบบการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์ทางแสงได้มีการแบ่งประเภทของอุปกรณ์มัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์ออกเป็นสองประเภทด้วยกันคือ แบบที่ใช้วิธีการแยกความยาวคลื่น (Wavelength Selective) และแบบที่ใช้วิธีการไม่คำนึงถึงความยาวคลื่น (Wavelength Nonselective) ดังแสดงในรูปที่ 3-5 แบบของการใช้วิธีการแยกความยาวคลื่นก็จะแบ่งออกเป็นสองประเภท คือ ประเภทที่เป็นแอคทีฟ (Active) และพาสซีฟ (Passive) ในส่วนของอุปกรณ์ทางด้านพาสซีฟ ก็จะแบ่งออกเป็นสามประเภทคือ การกระจายของแสง (Angulary Dispersive) การใช้อุปกรณ์กรองแสงที่เป็นฟิล์มบาง (Dielectric Thin-film Filter) แบบผสม (Hybrid) ในส่วนของประเภทแอคทีฟก็จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ แหล่งกำเนิดแสง (Multi-wavelength Light Source) และอุปกรณ์รับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

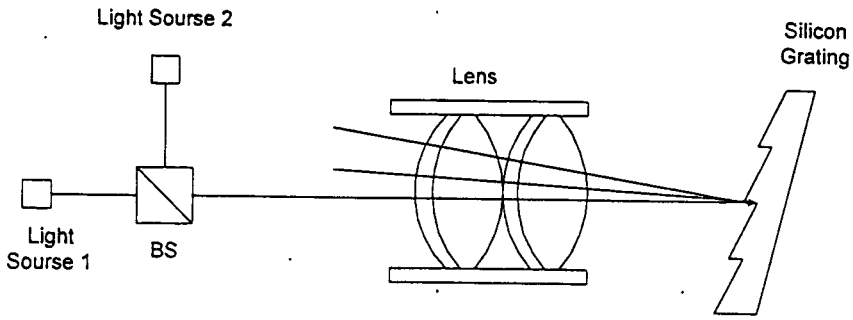
(Multi-wavelength Detector) การคัดเลือกความยาวคลื่นที่นำมาใช้งานนี้เป็นพื้นฐานสำคัญในระบบการสื่อสารแบบ WDM ส่วนในแบบไม่ใช้วิธีการแยกความยาวคลื่นก็จะแบ่งออกเป็นอุปกรณ์รวมแสงและวิธีการทางโพลาไรซ์เซชัน (Polarization Device) พิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ที่เป็นชนิดแยกความยาวคลื่น




รูปที่ 3-5 แสดงวิธีการมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งความยาวคลื่น

3.2.4.1 **อุปกรณ์กระจายแสงเชิงมุม** เป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กกระทัดรัด นอกจากนี้ยังสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการแยกหรือรวมสัญญาณแสงได้ อุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่ ปริซึม และเกรตติ้ง อุปกรณ์ชนิดนี้จะมีความยุ่งยากในการแยกและรวมแสง เนื่องจากแสงที่กระจายออกมามีมุมกว้าง ดังนั้นจะต้องหาวิธีการที่จะทำให้มุมของแสงที่กระจายออกมามีมุมแคบลง จึงได้มีการประดิษฐ์รูปแบบของอุปกรณ์เกรตติ้งชนิดนี้ออกเป็นสามรูปแบบใหญ่ๆ คือ จะใช้วิธีการของผลต่างของเลนส์ที่ใช้ในการรวมหรือแยกแสงจึงไม่เป็นที่นิยมนัก ในแบบที่สองคือแบบเลทเทอโล (Littrow) จะใช้เลนส์ในการรวมแสงเพื่อให้มุมของแสงแคบลงโดยใช้วิธีการอยู่สองวิธี คือ ใช้เลนส์ธรรมดากับใช้กรินเลนส์ (Grin Lens) ดังแสดงในรูปที่ 3-6 และ 3-7 สำหรับในแบบที่สามคือแบบที่ไม่ใช้เลนส์แต่จะใช้ความโค้งของเกรตติ้งเพื่อทำหน้าที่ในการกระจายแสงให้ได้มุมแคบตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



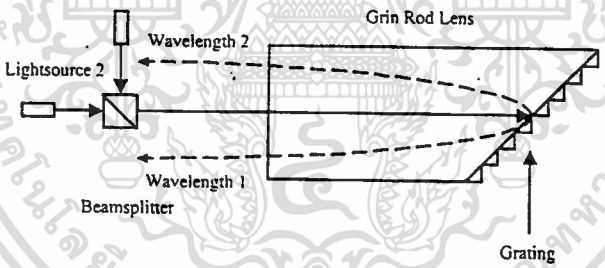

รูปที่ 3-6 แสดงการดีมัลติเพลกซ์โดยใช้อุปกรณ์กระจายแสงเชิงมุมด้วยเลนส์รวมแสง

Light Sourse 1, 2 คือแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 และตัวที่ 2

BS คือผลึกรวมและแยกแสง

Lens คือเลนส์รวมแสง

Silicon Grating คือเกรตติ้ง




รูปที่ 3-7 แสดงการดีมัลติเพลกซ์โดยใช้อุปกรณ์กระจายแสงเชิงมุมด้วยกรินเลนส์

Light Source 1, 2 คือแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 และตัวที่ 2

Wavelength 1, 2 คือความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 และตัวที่ 2

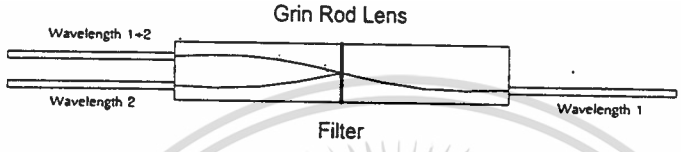
Grating คือเกรตติ้ง

Grin Rod Lens คือกรินเลนส์

**3.2.4.2 อุปกรณ์มัลติเพลกซ์โดยใช้การกรองแสงแบบฟิล์มบาง** อุปกรณ์มัลติเพลกซ์ชนิดนี้จะใช้สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นในอุปกรณ์กรองแสงแบบฟิล์มบาง (Dielectric Thin-film Filter, DTF) [7] อุปกรณ์ชนิดนี้จะมีฟิล์มที่มีดัชนีหักเหสูงและต่ำในการเปลี่ยนแปลงแต่ละชั้นโดยแต่ชั้นจะมีความหนาประมาณ 1 ใน 4 หรือครึ่งความยาวคลื่นแสง ปัจจัยสำคัญในการออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบการทำงานของ DTF จะออกแบบให้มีอุปกรณ์กรองแสงอยู่ในสองลักษณะคือ ให้ความถี่เฉพาะผ่าน (Band Pass Filter, BPF) และให้ความถี่อื่นผ่านโดยจะแบ่งให้ความถี่สูงผ่าน (Hi Pass Filter, HPF) และให้ความถี่ต่ำผ่าน (Lo Pass Filter, LPF) ดังแสดงในรูปที่ 3-8



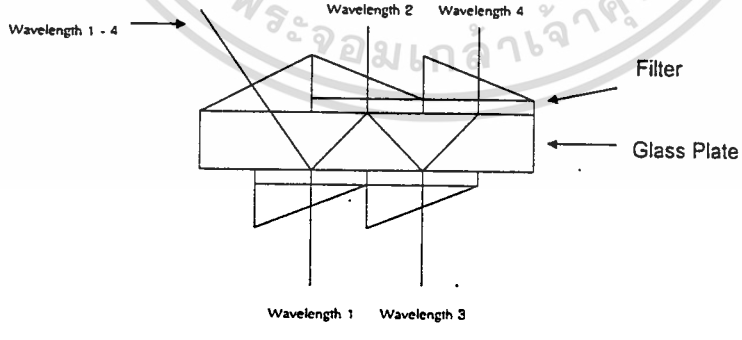

รูปที่ 3-8 แสดงการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่นโดยใช้ฟิล์มบาง

Wavelength 1, 2 คือความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 และตัวที่ 2

Grin Rod Lens คือกรินเลนส์

Filter คือฟิลเตอร์

**3.2.4.3 อุปกรณ์มัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพลกซ์แบบผสม** อุปกรณ์มัลติเพล็กและดีมัลติเพล็กซ์ แบบผสมจะเป็นอุปกรณ์รวมกันระหว่างเกรตติ้งและ DTF ดังแสดงในรูปที่ 3-9 วิธีการนี้จะทำให้ได้ช่องสัญญาณมากขึ้นกว่า DTF เหมาะสำหรับใช้ในการส่งข่าวสาร 2 ทาง




รูปที่ 3-9 แสดงการมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งความยาวคลื่นด้วยวิธีการแบบผสม

Wavelength 1, 2, 3, 4 คือความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1, 2, 3 และตัวที่ 4

Filter คือฟิลเตอร์

Glass Plate คือแท่งแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.2.4.4 อุปกรณ์ WDM ชนิดแอคทีฟ** อุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสง โดยแหล่งกำเนิดแสงเองจะมีหลายความยาวคลื่นด้วยกัน ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน ส่วนอุปกรณ์รับแสงก็จะมีการตอบสนองต่อความยาวคลื่นแตกต่างกันออกไปตามชนิดของสารกึ่งตัวนำ

**3.2.4.5 อุปกรณ์ที่ไม่คำนึงถึงความยาวคลื่น** อุปกรณ์ชนิดนี้จะทำการรวมและแยกแสงโดยไม่คำนึงถึงความยาวคลื่นที่เข้ามา การทำงานในลักษณะนี้จะมีความสะดวกในการรวมสัญญาณ แต่จะซับซ้อนในการดีมัลติเพลกซ์สัญญาณ ในการมัลติเพลกซ์วิธีนี้จะใช้อุปกรณ์รวมแสงเพื่อให้แสงผ่านเข้าไปในตัวกลางโดยไม่คำนึงถึงความยาวคลื่น อุปกรณ์ประเภทนี้ก็ได้แก่ ผลึกรวมแสงและผลึกรวมแสงแบบโพลาไรซ์ [12, 16] ผลึกรวมแสงแบบโพลาไรซ์นี้จะมีคุณสมบัติที่สามารถที่จะรวมและแยกสัญญาณเป็นโพลาไรซ์ได้ [9] ซึ่งผลึกโพลาไรซ์นี้จะมีการทำงานโดยยอมให้แสงโพลาไรซ์ที่อยู่ในแนวระนาบเดินทางผ่านทะลุผ่านตัวผลึกไปได้ และแสงที่อยู่ในแนวตั้งฉากจะเกิดการสะท้อนของแสงโพลาไรซ์จากผลึกโพลาไรซ์นี้ จึงได้นำหลักการนี้มาใช้ในการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพล็กซ์ ในการออกระบบมัลติเพลกซ์ทางแสงจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบดังต่อไปนี้คือ [15] การรบกวนข้ามช่องสัญญาณแสง ค่าความกว้างของตำแหน่งครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นแสง (Full Width Half Maxium, FWHM) อัตราการสูญเสียของการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์ของแสง

การมัลติเพลกซ์เชิงแสงสำหรับกรณีทั่ว ๆ ไปนั้นเมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกลงบนอุปกรณ์รับแสง (Detector) นั้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$P(t) = (1/2)P_{o} (+ \mathrm{Cos}4\pi\upsilon_{o}t) \qquad (3.1)$$

เมื่อกำหนดให้ t คือ เวลามีหน่วยเป็นวินาที

$P_{o}$ และ P(t) คือ กำลังส่องสว่างที่ขณะเริ่มต้นและเวลาใด ๆ มีหน่วยเป็นวัตต์

$\upsilon_{o}$ คือความถี่ของแหล่งกำเนิดแสงมีหน่วยเป็น เฮิร์ตซ์

เพื่อให้สัญญาณเดินทางไปได้ระยะไกล และทั้งยังสะดวกในเรื่องของการประมวลสัญญาณ ซึ่งจะต้องทำการมอดูเลตสัญญาณ การมอดูเลตทำได้สองแบบคือ ประการแรกทำการมอดูเลตโดยวิธีการไบอัสกระแสที่จ่ายให้แหล่งกำเนิดแสง อีกประการหนึ่งคือทำการมอดูเลตจากภายนอกด้วยการมอดูเลตไปยังลำแสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง สัญญาณที่มอดูเลตนี้จะถูกกำจัดออกได้โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกรองสัญญาณหรือทำการดีมัลติเพลกซ์สัญญาณเอาท์พุท ซึ่งความสัมพันธ์ของการกรองสัญญาณนั้นเขียนได้เป็น

$$I(t) \propto f(t) P_o \qquad (3.2)$$

เมื่อกำหนดให้ I(t) คือกระแสที่รับได้ด้วยอุปกรณ์รับสัญญาณมีหน่วยเป็นแอมแปร์ และ f(t) คือ ฟังก์ชั่นของการกรองสัญญาณ

การศึกษานี้จะเป็นการศึกษาวิธีการรวมกันของสัญญาณแสงโดยเริ่มจากการผสมสัญญาณแสงสองความยาวคลื่นหรือความถี่ เมื่อพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงสองความถี่ $\upsilon_1$ และ $\upsilon_2$ แล้วกำหนดความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$E_1(t) = E_{o1} \cos(2\pi\upsilon_1 t) \qquad (3.3)$$

$$E_2(t) = E_{o2} \cos(2\pi\upsilon_2 t) \qquad (3.4)$$

สัญญาณที่เกิดจากการรวมกันจากสมการ (3.3) และ (3.4) ที่รับได้บนอุปกรณ์รับสัญญาณ เขียนได้เป็น

$$I(t) \propto E_{o1} E_{o2} \mathrm{Cos}(2\pi(\upsilon_1-\upsilon_2)t) \qquad (3.5)$$

เมื่อกำหนดให้ $E_1(t)$ และ $E_2(t)$ คือ สนามไฟฟ้าของแสงที่ความถี่ที่ 1 และ 2 ขณะเวลาใด ๆ

$E_{o1}$ และ $E_{o2}$ คือ แอมปลิจูดที่ความถี่ที่ 1 และ 2

$\upsilon_1$ และ $\upsilon_2$ คือ ความถี่ของสนามไฟฟ้าที่ 1 และ 2

$\upsilon_1-\upsilon_2$ คือ ความถี่ของสัญญาณบีต

สำหรับกรณีที่มีการมอดูเลตสัญญาณ โดย m(t) เป็นฟังก์ชั่นของการมอดูเลตแล้วความสัมพันธ์ของการมอดูเลตเชิงความเข้มเขียนได้เป็น

$$E_1(t) = m_1(t) E_{o1} \mathrm{Cos}(2\pi\upsilon_1 t) \qquad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E2(t) = E_{o2} \text{ Cos } (2\pi \upsilon_2 t) \qquad (3.7)$$

สัญญาณที่รวมกันแล้วคือ

$$I_{(Mod)}(t) \alpha E_{o1} E_{o2} \, m(t) \text{ Cos } [(2\pi(\upsilon_1 - \upsilon_2)t)] \qquad (3.8)$$

สมการ (3.8) เป็นผลลัพท์ของการรวมกันของสมการ (3.6) และ (3.7) โดยมี m(t) เป็นฟังก์ชั่นของการมอดูเลต

ในกรณีทั่วไปของการรวมสัญญาณจะมีแหล่งกำเนิดสัญญาณเป็น n ที่มีความถี่ $\upsilon_1$, $\upsilon_2$,..., $\upsilon_n$ ถ้ากำหนดให้สนามไฟฟ้าที่ $i_{th}$ ณ เวลาใด ๆ คือ

$$E_i(t) = m_i(t) \, E_{0i} \text{ Cos } (2\pi \upsilon_i t) \qquad (3.9)$$

แล้วความเข้มของสัญญาณแสงที่รับได้ด้วยอุปกรณ์รับแสงคือ

$$I(t) \propto E_i(t) \, E_i^*(t) \qquad (3.10)$$

เมื่อ $E_i^*(t)$ คือค่าสนามไฟฟ้าเชิงซ้อน ซึ่งความเข้มนี้สามารถรับได้โดยใช้อุปกรณ์รับสัญญาณที่สามารถนำไปประมวลผล และขยายสัญญาณต่อไปได้

### 3.3 การรบกวนของสัญญาณ

ในการมัลติเพลกซ์เชิงแสงแล้วส่งไปตามตัวกลาง สัญญาณจะเกิดการสูญเสียกำลังทางแสงที่ความยาวคลื่น $\lambda_j$ ซึ่งสามารถแทนได้ด้วยสมการ

$$P_j = 10 \log (\phi_j / \phi_o) \qquad (3.11)$$

ซึ่ง $\phi_j$ คือ กำลังของแสงหลังผ่านตัวกลาง

$\phi_o$ คือ กำลังของแสงก่อนเข้าไปในตัวกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$P_j$ คือ กำลังของแสงที่เกิดจากการลดทอนมีหน่วยเป็น เดซิเบล

สัญญาณมัลติเพลกซ์ที่รับได้จะมีการรบกวนกันอันเนื่องมาจากผลต่างของความยาวคลื่น หรือการรบกวนของสัญญาณทางแสงที่ความยาวคลื่นที่เรียกว่าครอสทอร์ค (Crosstalk) [3] โดยที่แต่ละช่องสัญญาณ $D_{ij}$ จะเกิดการรบกวนของช่องสัญญาณ i บนช่องสัญญาณ j เป็น

$$D_{ij} = 10 \log (\phi_{ij} / \phi_{jj}) \qquad (3.12)$$

ซึ่ง $\phi_{ij}$ คือกำลังแสงรบกวนจากช่องสัญญาณ i ที่ความยาวคลื่น $\lambda_i$ ในช่องสัญญาณ j

$\phi_{jj}$ คือกำลังแสงของช่องสัญญาณ j ที่ความยาวคลื่น $\lambda_j$

ผลรวมของการรบกวนของสัญญาณในช่องสัญญาณ j เป็น

$$D_j = 10 \log \left( \sum_{i \neq j} \phi_{ij} / \phi_{jj} \right) \qquad (3.13)$$

## 3.4 สรุป

ภายในบทนี้ได้กล่าวถึงหลักการสื่อสารทางแสง ข้อดีของการสื่อสารทางแสงรวมไปถึงวิธีการในการมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วยวิธีการในการมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งเวลา การมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งความยาวคลื่นด้วยวิธีการต่าง ๆ ตลอดจนผลของสัญญาณรบกวนข้ามช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นในการสื่อสารทางแสงแบบแบ่งความยาวคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# การสร้างสัญญาณภาพและข้อมูล

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการของสัญญาณภาพซึ่งเกี่ยวกับรายละเอียดของกล้องรับสัญญาณภาพ และสัญญาณภาพ ในส่วนของการส่งและรับข้อมูลก็จะกล่าวถึงหลักในการส่งและรับข้อมูลผ่านทางสายสัญญาณอนุกรม (RS232)

## 4.1 การเกิดสัญญาณภาพ

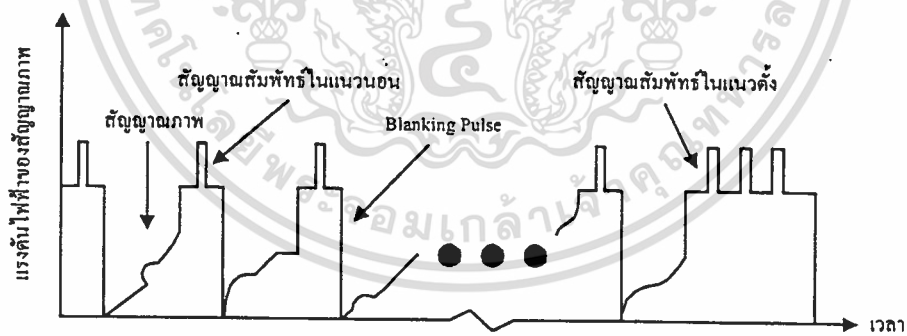
ในการส่งและรับสัญญาณภาพจะต้องทำความเข้าใจในหลักการทำงานของการเกิดสัญญาณภาพ การส่งและรับสัญญาณภาพตลอดจนความคมชัดและแบนด์วิดท์ของสัญญาณภาพดังนี้คือ

**4.1.1 การเกิดสัญญาณภาพ** สัญญาณภาพเกิดจากกล้องรับสัญญาณภาพซึ่งมีอุปกรณ์ที่มีชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความไวต่อแสงอยู่ภายใน ภายในอุปกรณ์รับภาพนี้จะมีการควบคุมลำอิเล็กตรอนให้กวาดผ่านไปบนสารไวแสงซึ่งฉาบอยู่ กระแสที่เกิดจากลำอิเล็กตรอนจะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับปริมาณของแสงบนอุปกรณ์รับภาพเนื่องจากเมื่อมีแสงมากระทบสารไวแสงที่ฉาบอยู่ด้านหลังของอุปกรณ์รับภาพซึ่งจะทำให้มีอิเล็กตรอนหลุดออกไปจากบริเวณที่แสงตกกระทบซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของแสง เมื่อมีการควบคุมให้ลำอิเล็กตรอนกวาดผ่านจอของอุปกรณ์รับภาพจากซ้ายไปขวาในแนวนอน พร้อมกับการกวาดเลื่อนลงด้านล่างอย่างช้า ๆ ถ้าลำอิเล็กตรอนกวาดไปกระทบส่วนของสารไวแสงที่ไม่มีอิเล็กตรอนหลุดออกมา ปริมาณของอิเล็กตรอนในลำอิเล็กตรอนจะสะท้อนกลับออกสู่ส่วนที่ใช้เป็นที่ตรวจจับสัญญาณได้หมด แต่ถ้าลำอิเล็กตรอนกวาดไปกระทบส่วนของสารไวแสงซึ่งมีอิเล็กตรอนหลุดออกไปบางส่วน ก็จะทำให้ปริมาณของอิเล็กตรอนในลำอิเล็กตรอนมีการสะท้อนออกไปยังส่วนที่ใช้ตรวจจับสัญญาณได้น้อยลง ปริมาณของกระแสอิเล็กตรอนที่ตรวจจับได้นี้จะถูกนำไปใช้เป็นสัญญาณภาพต่อไป กระแสซึ่งตรวจจับออกมาได้จะถูกนำมาแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้เป็นเอาต์พุตของอุปกรณ์รับภาพต่อไป ในการกวาดของลำอิเล็กตรอนนั้น จะกวาดจากส่วนซ้ายสุดของขอบจอไปยังส่วนขวาสุดของขอบจอด้วยความเร็วที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คงที่ค่าหนึ่ง เมื่อถึงส่วนขวาสุดของขอบจอ ลำอิเล็กตรอนจะกวาดสะบัดกลับไปยังส่วนซ้ายสุดของขอบจออย่างรวดเร็ว (เมื่อเทียบกับความเร็วในการกวาดจากซ้ายไปขวา) ช่วงของการสะบัดกลับเรียกว่า "ฟลายแบค" (Fly Back) หลังจากช่วงฟลายแบคแล้ว ลำอิเล็กตรอนก็จะเริ่มกวาดจากส่วนซ้ายสุดของขอบจอไปยังส่วนขวาสุดของขอบจออีก แต่จะกวาดในแนวที่ต่ำลงมากว่าแนวในการกวาดครั้งก่อน จนถึงส่วนที่เป็นขอบล่างของจอ ก็จะได้สัญญาณภาพออกมาหนึ่งชุด หลังจากนั้นก็จะมีการสะบัดกลับของลำอิเล็กตรอนจากขอบล่างขึ้นไปเริ่มที่ขอบบนของอุปกรณ์รับภาพใหม่ เพื่อทำการเริ่มเก็บสัญญาณภาพชุดใหม่อีก

ในช่วงเวลาของการฟลายแบคจากขอบซ้ายไปยังขอบขวาของจอ (การฟลายแบคในแนวนอน) และจากขอบล่างของหลอดจอไปยังขอบบน (การฟลายแบคในแนวตั้ง) จะมีการงดเว้นที่จะทำการดักจับเอาสัญญาณภาพออกมา และจะมีการควบคุมบังคับทำให้ค่าเอาต์พุตของสัญญาณในช่วงเวลานี้มีค่าสูงสุดเพราะต้องการที่จะใช้สัญญาณในช่วงเวลานี้ เป็นส่วนอ้างอิงเพื่อจะได้ทราบว่าการกวาดเก็บภาพในแนวตั้งและแนวนอนได้สิ้นสุดแล้วนอกจากนี้ยังใช้ระดับเอาต์พุตที่สูงสุดที่มีอยู่นี้เพื่อเป็นระดับเปรียบเทียบว่าส่วนที่มืดที่สุดของภาพนั้นอยู่ในระดับใด สัญญาณส่วนนี้เรียกว่าสัญญาแบลงกิงหรือแบลงกิงพัลส์ (Blanking Pulse) ซึ่งหมายถึงพัลส์ที่ทำให้สัญญาณภาพว่างไป

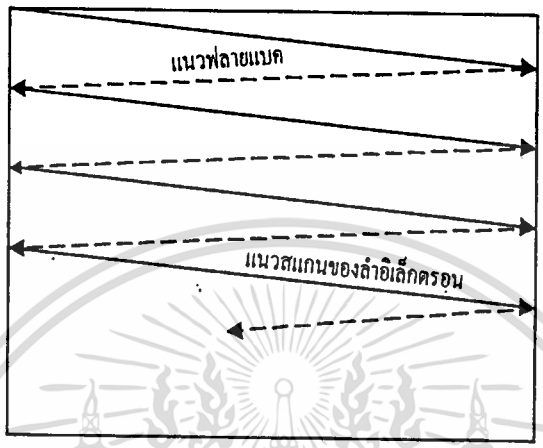



รูปที่ 4-1 แสดงสัญญาณภาพที่ประกอบไปด้วยแบลงกิงพัลส์และสัญญาณสัมพัทธ์

ในการที่จะให้เครื่องรับสัญญาณภาพสร้างภาพจากสัญญาณภาพได้อย่างถูกต้องนั้น ต้องมีส่วนของสัญญาณในสัญญาณภาพที่จะใช้เป็นส่วนอ้างอิงคอยกระตุ้นให้เครื่องรับจัดภาพได้อย่างถูกต้อง ซึ่งจะทำหน้าที่อ้างอิงให้เครื่องรับสัญญาณภาพทำการจัดภาพได้สอดคล้องหรือสัมพันธ์ (Synchronize) กับด้านส่งสัญญาณภาพ สัญญาณนี้มีชื่อว่า "สัญญาณสัมพัทธ์" (Synchronization Signal) สัญญาณสัมพัทธ์นี้มีลักษณะเป็นพัลส์ใส่เพิ่มเข้าไปบนสัญญาณภาพในช่วงเวลาฟลายแบค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างของสัญญาณภาพชุดหนึ่งที่สมบูรณ์แบบจะมีลักษณะคล้ายดังแสดงในรูปที่ 4-1 ในทางปฏิบัติแนวการกวาดของลำอิเล็กตรอนจะมีลักษณะกวาดทะแยงขนานกันลงมา ดังแสดงในรูปที่ 4-2 เพื่อความสะดวกในการสร้างสัญญาณควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอน




รูปที่ 4-2 แสดงลักษณะการกวาดของลำอิเล็กตรอนที่ถูกควบคุมโดยสัญญาณการกวาดที่มีลักษณะเป็นรูปฟันเลื่อย

**4.1.2 ความคมชัดและแบนด์วิดท์ของสัญญาณภาพ** ความละเอียด (Resolution) ของภาพจะเป็นตัวกำหนดแบนด์วิดท์ของสัญญาณภาพ เพราะภาพที่มีความละเอียดหรือคมชัดมาก ๆ จะให้รายละเอียดของภาพได้สูง พิจารณาการเกิดสัญญาณภาพ ถ้าภาพที่กล้องรับภาพรับได้มีแถบขาว-ดำ อยู่อย่างละครึ่งในแนวตั้ง สัญญาณภาพจะมีการเปลี่ยนแปลง 1 รอบต่อหนึ่งครั้งของการกวาดของลำอิเล็กตรอนจากขอบซ้ายไปยังขอบขวาของภาพ ถ้าภาพที่กล้องรับภาพรับได้มีแถบขาว-ดำ เพิ่มขึ้นเป็น n คู่ การกวาดของลำอิเล็กตรอนหนึ่งครั้งจะมีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณภาพเกิดขึ้น n รอบ เมื่อภาพมีรายละเอียดเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณภาพก็จะมีมากขึ้น ถ้าสัญญาณนี้ถูกจำกัดโดยให้มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุดได้เพียง "m" รอบต่อการกวาดของลำอิเล็กตรอน 1 ครั้ง หมายความว่า ความคมชัดของสัญญาณภาพมีค่าเท่ากับมีแถบขาว-ดำอยู่ "m" คู่ หรือ "2m" แถบ ดังนั้นถ้าภาพจริงมีรายละเอียดมากกว่า "2m" แถบ กล้องรับสัญญาณภาพก็จะไม่สามารถแยกรายละเอียดได้มากกว่านี้ ดังนั้นความคมชัดของสัญญาณภาพมีค่าเท่ากับ "2m" Pels (Picture Elements) ต่อหนึ่งเส้นสแกน (Scanning Line) ของลำอิเล็กตรอน หรือหมายถึง ส่วนประกอบของภาพที่เล็กที่สุดที่สัญญาณภาพสามารถแยกรายละเอียดออกได้ ปกติอัตราส่วนของความกว้างต่อความสูงของจอรับภาพจะมีค่าเท่ากับ 4:3 (Aspect Ratio) ดังนั้นถ้าความคมชัดของสัญญาณภาพในแนวนอนมีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"2m" Pels จำนวนเส้นสแกนของลำอิเล็กตรอนทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ 2mx3/4 = 3m/2 เส้น ซึ่งจะทำให้เกิดความคมชัด หรือรายละเอียดของภาพทั้งหมดเท่ากับ 2mx3m/2 = $3m^2$ Pels

การส่งสัญญาณภาพโดยทั่วไปจะมีอัตราการส่งภาพ 25 ภาพต่อวินาที และสำหรับเครื่องรับสัญญาณภาพระบบ PAL (Phase Alternating Line) จะใช้จำนวนเส้นสแกน 625 เส้นต่อหนึ่งภาพ หมายความว่า ความคมชัดหรือความละเอียดของภาพในแนวตั้งอาจจะมีค่าถึง 620 Pels แต่ในทางปฏิบัติแล้วเส้นสแกนจะมีลักษณะเฉียงลงจึงทำให้รายละเอียดของภาพลดลงไปเหลืออยู่ประมาณ 450 Pels ในแนวตั้ง ซึ่งหมายความว่า ความคมชัดในแนวนอนจะมีค่าประมาณ 600 pels (450x4/3) ซึ่งก็คือการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณภาพจะเกิดขึ้นได้มากที่สุด 300 รอบใน 1 เส้นสแกน ดังนั้นใน 1 วินาทีนั้น ส่วนประกอบของสัญญาณภาพที่ละเอียดที่สุดจะมีการเปลี่ยนแปลงได้เท่ากับ 300x625x25 = 4,687,500 รอบ หรือความถี่สูงสุดที่มาประกอบเป็นสัญญาณภาพจะมีค่าเท่ากับ 4.6875 เมกะเฮิร์ตซ์ นั่นคือแบนด์วิดท์ของสัญญาณภาพจะมีค่าประมาณ 4.7 เมกะเฮิร์ตซ์

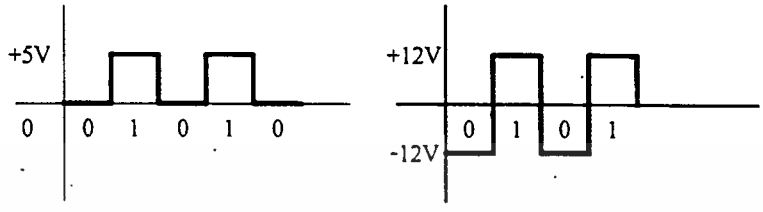
**4.2. การรับส่งข้อมูล**

ในการรับส่งข้อมูลระหว่างข้อมูลคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่งกับคอมพิวเตอร์อีกเครื่องหนึ่งจะมีการทำงานโดยเก็บข้อมูลอยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้า แล้วนำสัญญาณทางไฟฟ้านั้นมาทำการประมวลผลในแบบต่าง ๆ ข้อมูลของคอมพิวเตอร์ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลอะไรก็จะถูกเก็บอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า โดยลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าที่จะเก็บจะมีอยู่สองสภาวะ คือ สภาวะ "0" และสภาวะ "1" โดยเรียกสภาวะของข้อมูลนี้ว่าหนึ่งบิต (Bit)

**4.2.1 ลักษณะของข้อมูล** ข้อมูลคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานจะใช้สัญญาณไฟฟ้าในการทำงานโดยส่วนมากใช้แรงดันไฟฟ้า 0 โวลต์ แทนสภาวะ "0" ของข้อมูล และใช้แรงดันไฟฟ้า +5 โวลต์ แทนสภาวะ "1" ของข้อมูล เมื่อนำข้อมูลหนึ่งบิตมาเรียงต่อเข้าด้วยกันหลาย ๆ บิตก็จะกลายเป็นข้อมูลคอมพิวเตอร์ ตามมาตรฐานนั้นข้อมูลคอมพิวเตอร์ 8 บิตที่นำมาเรียงต่อกันจะเรียกว่า 1 ไบต์ (Byte) ซึ่งคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทั่วไปจะใช้ข้อมูลหนึ่งไบต์นี้เก็บอักษรได้ 1 ตัว โดยมีการกำหนดรหัสเอาไว้ว่าตัวอักษรจะมีค่าเรียงกันอย่างไรใน 8 บิตนี้ รหัสมาตรฐานดังกล่าวนี้เรียกว่ารหัส แอสกี้ (ASCII) ซึ่งย่อมาจากคำเต็มภาษาอังกฤษว่า American Standard Code for Information Interchange ข้อมูลคอมพิวเตอร์จะทำการเก็บข้อมูลโดยใช้ 8 บิตหรือหนึ่งไบต์แทนตัวอักษรหนึ่งตัวเสมอ เมื่อคอมพิวเตอร์ทำการรับส่งข้อมูลคือ การรับส่งสัญญาณไฟฟ้าทีละหนึ่งตัวอักษรติดต่อกัน จนกลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นข้อมูลที่เครื่องคอมพิวเตอร์นำไปใช้งานได้ ในการรับส่งข้อมูลคอมพิวเตอร์เครื่องคอมพิวเตอร์จะต้องมีรหัสที่เป็นมาตรฐานเดียวกันระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์

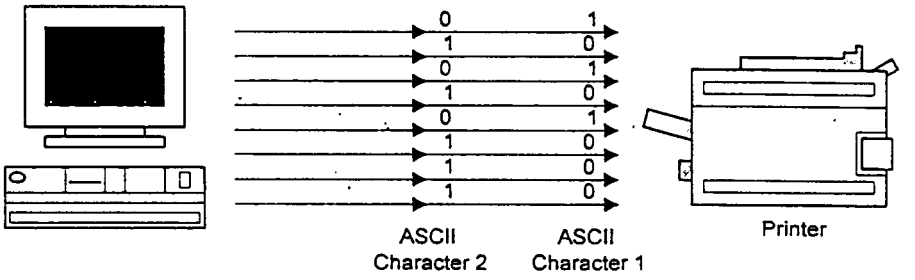



รูปที่ 4-3 แสดงสัญญาณไฟฟ้าแทนสภาวะ 0 และ 1 ในเครื่องคอมพิวเตอร์

**4.2.2 การรับส่งข้อมูลแบบขนานและอนุกรม** การกำหนดมาตรฐานการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์จะมีเพียงการกำหนดรหัสให้ตรงกันเท่านั้นไม่ได้ ถ้ากำหนดให้สัญญาณทางไฟฟ้าแทนสถานะ "0" หรือ "1" ไม่เท่ากัน คอมพิวเตอร์จะไม่สามารถแยกออกได้ว่าสัญญาณที่ได้รับมีค่าเป็น "0" หรือ "1" เนื่องจากใช้ระดับสัญญาณทางไฟฟ้าไม่ตรงกัน โดยทั่วไปเครื่องคอมพิวเตอร์มีมาตรฐานการรับส่งสัญญาณทางไฟฟ้าแบ่งออกเป็นสองแบบคือ การรับส่งข้อมูลแบบขนานกับการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

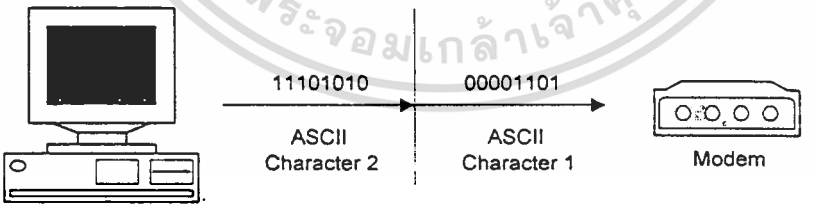
**4.2.2.1 การรับส่งข้อมูลแบบขนาน** เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าพาลาเร็ลอินเตอร์เฟส (Parallel Interface) ปกติจะใช้สำหรับส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปให้เครื่องพิมพ์ การรับส่งข้อมูลแบบขนานนี้ คอมพิวเตอร์จะส่งข้อมูลออกไปครั้งละ 8 บิตหรือหนึ่งไบต์พร้อมกันทีเดียว ดังนั้นสายเคเบิลที่ใช้ส่งข้อมูลจึงมีจำนวนเส้นค่อนข้างมาก คือต้องใช้ 8 เส้นของข้อมูลแต่ละบิต พร้อมกับมีสายเคเบิลใช้เป็นสายสัญญาณควบคุมอีกหลายเส้น ข้อดีของการส่งข้อมูลแบบขนานก็คือสามารถที่จะส่งข้อมูลได้รวดเร็ว เพราะส่งครั้งหนึ่งเท่ากับข้อมูล 8 บิต นอกจากนี้วงจรทางด้านฮาร์ดแวร์ของตัวรับและตัวส่งยังมีขนาดเล็กและราคาถูก ข้อจำกัดของการส่งข้อมูลแบบขนานก็คือไม่สามารถส่งได้ในระยะไกล เนื่องจากสัญญาณทางไฟฟ้าที่ใช้ในการส่งมีค่าเพียง 0 ถึง +5 โวลต์ เมื่อต่อสายยาวมาก ๆ ความต้านทานภายในสายส่งจะทำให้สัญญาณอ่อนลงจนรับสัญญาณไม่ได้ในที่สุด ระยะทางในการส่งข้อมูลจึงไม่ควรเกิน 3 เมตร ในกรณีที่สายส่งข้อมูลมีคุณภาพดีมากอาจจะส่งได้ไกลถึง 5 เมตร ในการรับส่งข้อมูลแบบขนานถึงแม้ว่าจะมีวิธีการในการส่งให้ไปได้ระยะไกลแต่ก็ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากจะต้องใช้สายส่งข้อมูลจำนวน 18 ถึง 20 เส้นในการส่งข้อมูลทำให้ค่าใช้จ่ายในการส่งข้อมูลมีราคาสูง จึงไม่เหมาะที่จะใช้ส่งข้อมูลในระยะไกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4-4 แสดงการส่งข้อมูลแบบขนาน

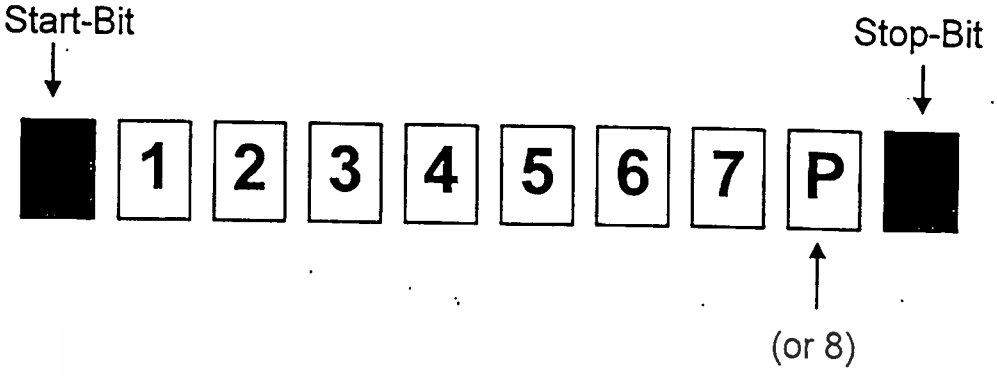
**4.2.2.2 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม** มีชื่อเรียกว่า Serial Interface หรือ RS 232C วิธีการส่งข้อมูลจะนำข้อมูลหนึ่งไบต์มาส่งออกไปครั้งละหนึ่งบิตจนครบ 8 บิต จากการส่งข้อมูลเรียงกันจะทำให้จำนวนสายที่ใช้ส่งข้อมูลลดลงเหลือเพียง 3 ถึง 5 เส้น ในการส่งข้อมูลจะต้องมีการเพิ่มเติมส่วนเริ่มต้นของข้อมูลและส่วนปิดท้ายของข้อมูลเข้าไปด้วยเรียกว่า บิตเริ่มต้น (Start Bit) และ บิตหยุด (Stop Bit) ดังนั้นด้านที่รับข้อมูลก็สามารถที่จะแยกสัญญาณออกมาได้อย่างถูกต้อง ข้อดีของการส่งข้อมูลแบบอนุกรมก็คือสามารถที่จะส่งข้อมูลได้ในระยะไกลกว่าการส่งข้อมูลแบบขนาน นอกจากนั้นยังใช้จำนวนของสายส่งน้อยกว่าและระดับของแรงดันทางไฟฟ้าที่ใช้ในการส่งมีค่า +12โวลต์ กับ -12 โวลต์ ทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ไกลถึง 35 เมตร โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติมเข้าช่วย ข้อเสียของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมก็คือ ความเร็วในการส่งข้อมูลจะถูกจำกัดอยู่ที่ 19,200 บิตต่อวินาที นอกจากนี้อุปกรณ์ทางด้าน ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมยังมีราคาสูง




รูปที่ 4-5 แสดงการส่งข้อมูลแบบอนุกรม

การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมนี้ จะต้องคำนึงถึงรายละเอียดในการส่งข้อมูลมากกว่าการส่งแบบขนานหลายอย่างเช่น ความเร็วในการรับส่งข้อมูล การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล จำนวนบิตของข้อมูล ถ้ามีส่วนใดไม่ตรงกันระหว่างผู้รับและผู้ส่ง การรับส่งข้อมูลก็จะเกิดการผิดพลาดหรือรับส่งไม่ได้ ซึ่งในการรับส่งข้อมูลนี้สิ่งที่ต้องคำนึงถึงมีดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4-6 แสดงบิตเริ่มต้นและบิตหยุดเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถแยกข้อมูลได้อย่างถูกต้อง

อัตราเร็ว (Speed) คือ อัตราการรับส่งข้อมูลเป็นจำนวนบิตต่อวินาที โดยต้องใช้อัตราเร็วเดียวกันตลอดเส้นทางการรับส่งข้อมูล ในการส่งข้อมูลออกไปทางด้านรับจะต้องมีอัตราเร็วในการรับข้อมูลเท่ากันกับอัตราเร็วที่ใช้ในการส่งข้อมูล ความเร็วที่ใช้กันโดยทั่วไปมีตั้งแต่ 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, ไปจนถึง 19,200 บิตต่อวินาที

จำนวนบิตข้อมูล (Data Bit) คือ ในหนึ่งตัวอักษรจะใช้จำนวนข้อมูลกี่บิตในการส่ง ปกติจะเลือกใช้ได้สองแบบคือ 7 บิต และ 8 บิตต่อหนึ่งตัวอักษร ในการรับส่งข้อมูลภาษาไทยจำเป็นต้องใช้แบบ 8 บิต เนื่องจากรหัสภาษาไทยใช้รหัสครบทั้ง 8 บิต

จำนวนบิตเริ่มต้นและบิตจบ จะเป็นตัวกำหนดไว้ให้ตัวรับและตัวส่งแยกออกได้ว่าข้อมูลจะเริ่มต้นเมื่อใดและจบลงเมื่อใด โดยบิตเริ่มต้นมักจะใช้หนึ่งบิตเสมอ ส่วนบิตจบข้อมูลจะมีสองแบบคือ แบบหนึ่งบิตและสองบิต

การตรวจสอบพาริตี้ (Parity Bit) เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ส่งมามีจำนวนข้อมูลที่เป็น "1" เป็นจำนวนคู่ (Even) หรือจำนวนคี่ (Odd) หรือไม่ต้องตรวจสอบ (None)

ในการส่งข้อมูลผ่านช่องอนุกรมจะมีวิธีการในการรับส่งข้อมูลอยู่ด้วยกันสองแบบคือ แบบอซิงโครนัส (Asynchronous) เป็นการรับส่งข้อมูลอนุกรมที่การส่งข้อมูลไม่มีการกำหนดเวลาที่แน่นอน คือแต่ละชุดข้อมูลจะอยู่ห่างกันหรือจะส่งติดกันไปตลอด ดังนั้นเพื่อให้ทางด้านรับข้อมูลสามารถที่จะแยกออกได้ว่าข้อมูลแต่ละชุดเริ่มต้นเมื่อใดและจบลงเมื่อใดก็จะมีบิตข้อมูลที่ใช้บอกคือบิตเริ่มต้นและบิตหยุดเป็นตัวกำหนด ส่วนอีกแบบหนึ่งคือแบบ ซิงโครนัส (Synchronous) คือการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับส่งข้อมูลแบบอนุกรมชนิดที่มีการรับส่งข้อมูลโดยมีการกำหนดเวลาในการส่งข้อมูลแต่ละบิตที่แน่นอนว่าแต่ละบิตห่างกันนานเท่าใด และจะไม่ใช้บิตเริ่มต้นและบิตสิ้นสุดในการส่งข้อมูลเพราะทางด้านรับสามารถแยกได้ว่าข้อมูลเริ่มต้นที่ใดและจบลงที่ใด โดยดูจากช่วงเวลาที่กำหนด ส่วนมากการรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสนี้จะใช้ข้อตกลงระหว่างกันเพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูลว่าจะส่งแบบใด ส่งข้อมูลครั้งละกี่บิต และมีการตรวจสอบความผิดพลาดอย่างไร

**4.2.3 ค่ากำหนดแรงดันของการรับส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณ RS232C** ในการสื่อสารข้อมูลผ่านช่อง RS232 C จะต้องมีการกำหนดแรงดันเพื่อให้ด้านรับมีความสามารถในการแยกข้อมูลออกได้ว่ามีค่าเป็น 0 หรือเป็น 1 ดังนั้นในระหว่างการส่งข้อมูล สภาวะมีข้อมูล (Mark Condition) บ่งชี้ด้วยสถานะ "1" ในระบบเลขฐานสอง และสภาวะช่องว่าง (Space Condition) บ่งชี้ด้วยสถานะ "0" ในระบบเลขฐานสองสำหรับวงจรกำหนดจังหวะเวลาและควบคุมการแลกเปลี่ยนข้อมูลแล้ว การทำงานจะเป็น "on" เมื่อแรงดันไฟฟ้าเป็นบวกมากกว่า $\pm 3$ โวลต์ และจะเป็น "off" เมื่อแรงดันไฟฟ้าเป็นลบมากกว่า -3 โวลต์ เมื่อเทียบกับกราวด์ การทำงานนี้จะไม่สามารถกำหนดได้ถ้าแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงของการเปลี่ยนแปลงระหว่าง -3 ถึง +3 โวลต์ เมื่อเทียบกับสายดิน

การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมของคอมพิวเตอร์หรือ RS-232C นิยมใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์กับโมเด็ม (Modem) คอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ต่อพ่วงแบบต่าง ๆ เช่น เมาส์ (Mouse) เครื่องวาดภาพ (Plotter) รวมทั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณต่าง ๆ มาตรฐานของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมนี้ ได้มีการกำหนดขึ้นมาเพื่อให้อุปกรณ์ต่อพ่วงแต่ละชนิดสามารถรับส่งข้อมูลกันได้ เมื่อปฏิบัติตามมาตรฐานนี้ ขาคอนเนกเตอร์ (Connector) ของการรับส่งข้อมูลอนุกรมนี้จะมีมาตรฐานอยู่ด้วยกันสองแบบคือ แบบ DB-25 และแบบ DB-9 ปกติแล้วในการรับส่งข้อมูลจะใช้สายสัญญาณเพียง 8 หรือ 9 เส้นจากข้อต่อ 25 ขา ซึ่งประกอบไปด้วย

| | |
|---|---|
| ขาที่ 1 (Protective Ground) | สายดินของอุปกรณ์ |
| ขาที่ 2 (Transmitted Data) | ส่งข้อมูล |
| ขาที่ 3 (Received Data) | รับข้อมูล |
| ขาที่ 4 (Request to Send) | ขอทำการส่งข้อมูล |
| ขาที่ 5 (Clear to Send) | ตอบรับให้ส่งข้อมูลได้ |
| ขาที่ 6 (Data Set Ready) | ด้านรับพร้อมจะรับข้อมูล |
| ขาที่ 7 (Signal Ground) | สายกราวด์สัญญาณรับส่ง |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| ขาที่ 8 (Data Carrier Detect) | สายแสดงสถานะด้านรับและด้านส่งเชื่อมต่อถึงกันแล้วโดยมีสัญญาณพาห์ส่งถึงกัน |
| ขาที่ 20 (Data Terminal Ready) | สัญญาณแสดงด้านส่งพร้อมที่จะส่งข้อมูล |
| ขาที่ 22 (Ring Indicator) | ขาแสดงแทนกริ่งโทรศัพท์เรียกเข้ามา |

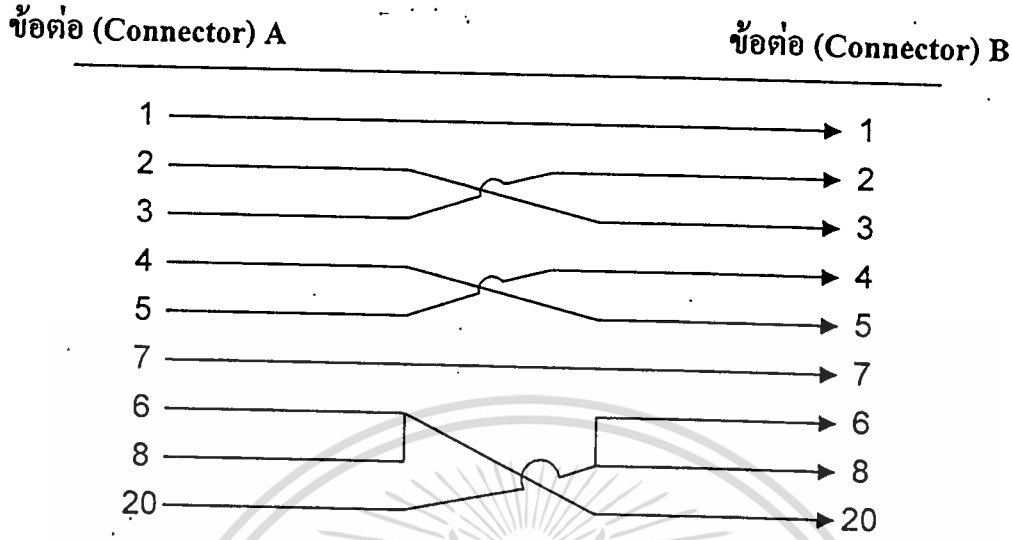
สำหรับขั้วคอนเนกเตอร์แบบ DB-9 แสดงในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 รายละเอียดการต่อคอนเน็กเตอร์แบบ DB9 ตามมาตรฐาน RS-232

| หมายเลขขาสัญญาณ | ชื่อของสายสัญญาณ |
|---|---|
| 1 | Data Carrier Detect |
| 2 | Received Data |
| 3 | Transmitted Data |
| 4 | Data Terminal Ready |
| 5 | Signal Common |
| 6 | Data Set Ready |
| 7 | Request To Send |
| 8 | Clear To Send |
| 9 | Ring Indicator |

สายเคเบิลที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลอนุกรมแบ่งออกเป็นสองแบบคือ แบบสายตรงและแบบสายสลับเนื่องจากการเชื่อมต่อข้อมูลมีสองกรณีคือ คอมพิวเตอร์กับคอมพิวเตอร์ และคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ในกรณีของคอมพิวเตอร์กับคอมพิวเตอร์จะต้องมีการสลับสายส่งและรับข้อมูลเพื่อให้สัญญาณส่งของด้านส่งไปเข้ากับด้านรับของอุปกรณ์รับขอมูล ส่วนการต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์อื่นจะใช้สายเคเบิลแบบสายตรงเนื่องจากภายในของอุปกรณ์ต่อพ่วงได้มีการสลับสายไว้แล้ว รูปแบบของการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์สองเครื่องโดยไม่ใช้โมเด็มแสดงในรูปที่ 4-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

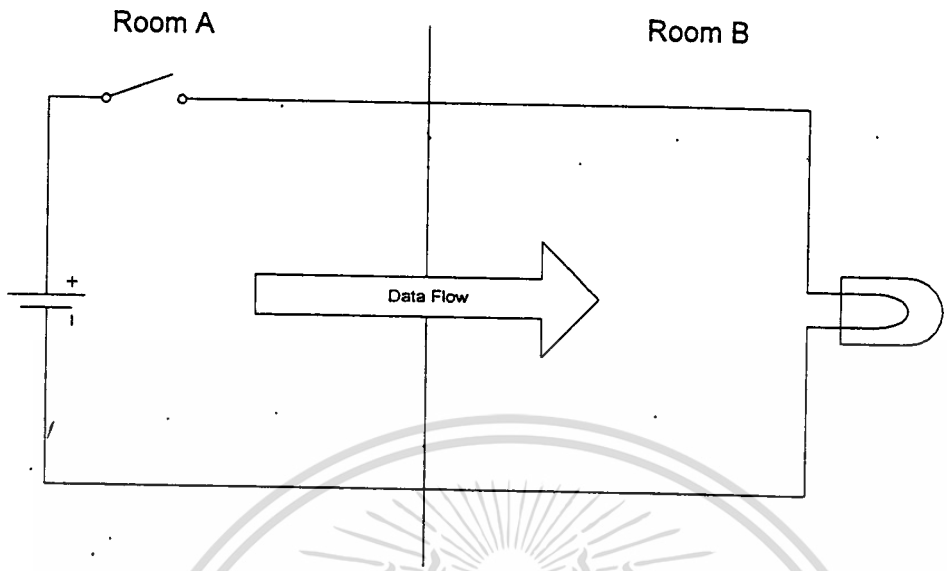



รูปที่ 4-7 แสดงการต่อสายสลับของ RS-232C โดยไม่ใช้โมเด็ม

4.2.4 **ลักษณะในการรับส่งข้อมูล** ลักษณะในการรับส่งข้อมูลระหว่างชุดรับส่งข้อมูลจะมีลักษณะในการรับส่งข้อมูลได้เป็น 3 วิธีใหญ่ ๆ คือ การรับส่งข้อมูลทางเดียว การรับส่งข้อมูลแบบผลัดกันส่ง การรับส่งข้อมูลแบบสวนทางได้พร้อมกัน

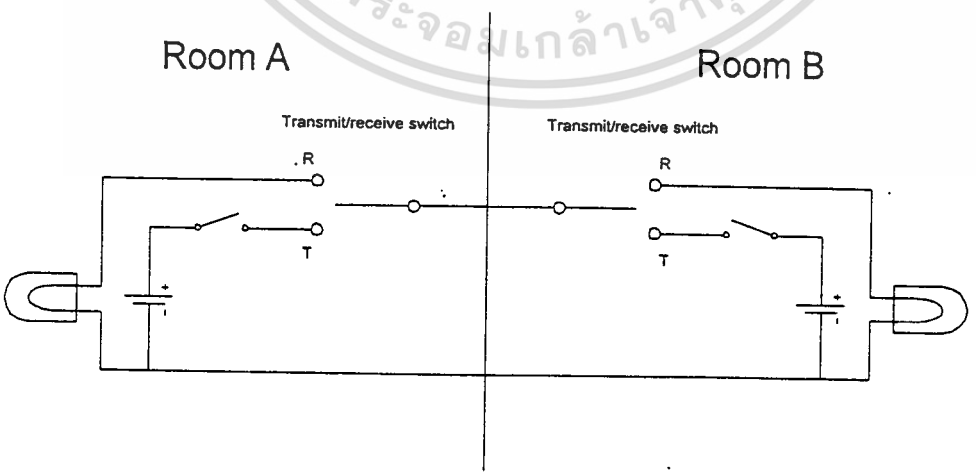
การรับส่งข้อมูลทางเดียวหรือซิมเพลกซ์ (Simplex) เป็นการสื่อสารที่ใช้งานในลักษณะของการส่งและรับโดยทางด้านส่งข้อมูลจะส่งข้อมูลเพียงอย่างเดียว และทางด้านรับก็จะทำการรับข้อมูลที่ส่งมาจากด้านส่งข้อมูล ในการสื่อสารแบบทางเดียวนี้มักไม่เป็นที่นิยมในการนำมาใช้ในการสื่อสารข้อมูลเนื่องจากในระบบการสื่อสารข้อมูลจะต้องมีการโต้ตอบระหว่างกัน ดังรูปที่ 4-8 จากรูปนี้ได้กำหนดให้มีการแบ่งห้องออกเป็น 2 ห้องโดยห้อง A จะทำหน้าที่ในการเปิดสวิตซ์ไฟฟ้าซึ่งเปรียบเสมือนเป็นการส่งข้อมูล สำหรับทางด้านรับหรือห้อง B เองหลอดไฟฟ้าก็จะสว่างขึ้นซึ่งเปรียบเสมือนทำหน้าที่ในการรับข้อมูลที่มาจากห้อง A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4-8 แสดงการส่งข้อมูลแบบทางเดียว

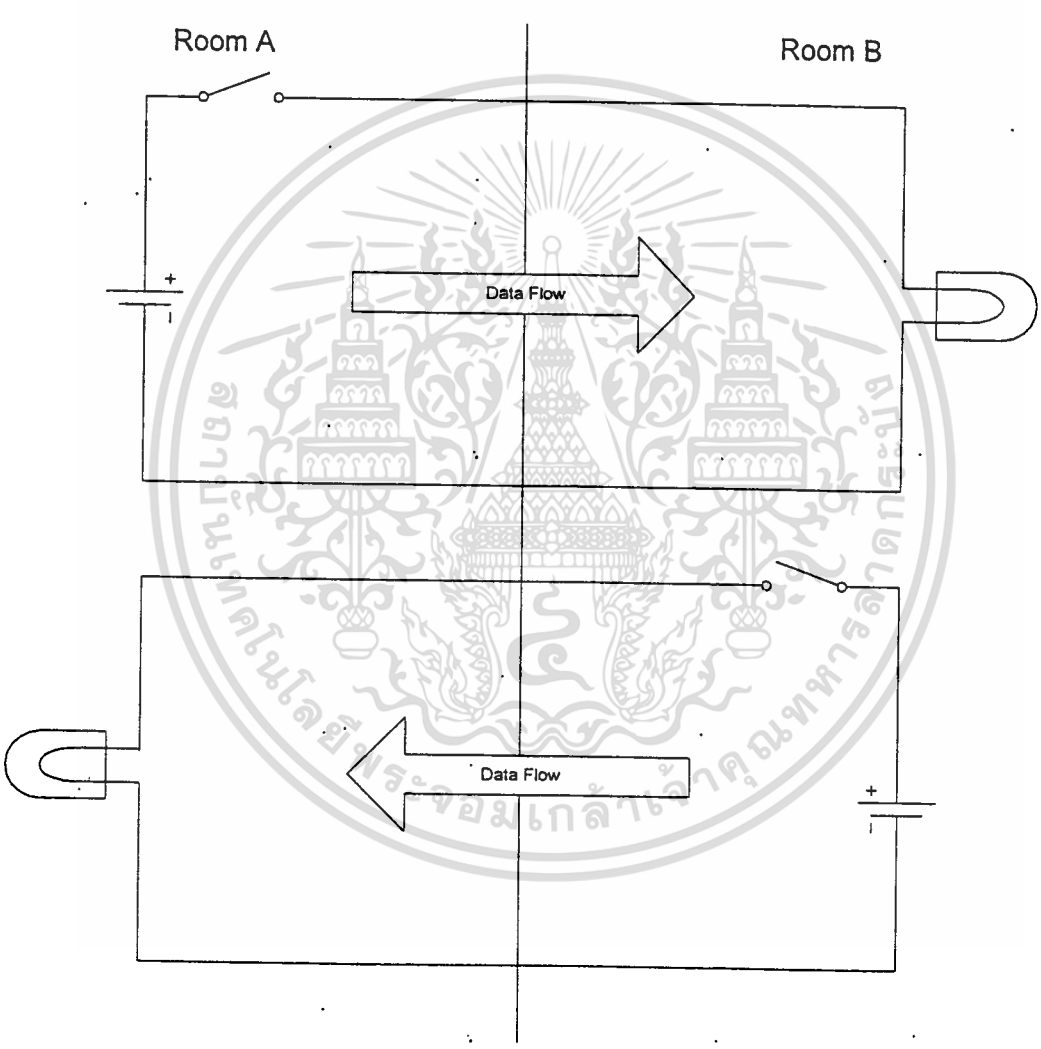
การรับส่งข้อมูลแบบผลัดกันส่งหรือฮาฟดูเพลกซ์ (Half Duplex) ระบบการสื่อสารข้อมูลแบบนี้จะมีการสื่อสารที่สามารถรับส่งข้อมูลระหว่างกันได้ ด้วยการสลับกันส่งโดยถ้าฝ่ายหนึ่งส่งข้อมูลอีกฝ่ายจะต้องรอรับข้อมูลเพียงอย่างเดียวจะไม่สามารถที่จะทำการส่งข้อมูลได้พร้อม ๆ กันดังรูปที่ 4-9 ซึ่งจะมีหลักการทำงานคือทั้งห้อง A และห้อง B จะมีสวิตซ์ซึ่งทำหน้าที่ในการที่จะเลือกรับหรือส่งข้อมูลถ้าห้อง A ทำการส่งข้อมูลห้อง B ก็จะทำการรับข้อมูลเพียงอย่างเดียวเท่านั้นในทางกลับกันถ้าทางด้าน B ทำการส่งข้อมูลทางด้านห้อง A ก็จะต้องรับข้อมูลเพียงอย่างเดียว




รูปที่ 4-9 แสดงการสื่อสารสองทางแบบผลัดกันส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรับส่งข้อมูลแบบสวนทางได้พร้อมกัน (Full Duplex) การรับส่งข้อมูลแบบนี้จะมีความซับซ้อนในการรับส่งข้อมูลมากที่สุดโดยทางด้านรับและด้านส่งสามารถที่จะส่งและรับข้อมูลได้พร้อม ๆ กันระบบนี้จึงเป็นระบบที่สะดวกและคล่องตัวในการสื่อสารข้อมูลเป็นอย่างมากดังรูปที่ 4-10 ซึ่งจะมีการทำงานดังนี้คือทั้งทางด้านห้อง A และห้อง B สามารถที่จะทำการรับและส่งข้อมูลได้พร้อม ๆ กันโดยไม่ต้องรอให้ฝ่ายใดส่งก่อน




รูปที่ 4-10 แสดงการรับส่งข้อมูลแบบสวนทางได้พร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**4.3 การมอดูเลตสัญญาณดิจิตอล**

ในการส่งสัญญาณดิจิตอลไปเป็นสัญญาณในย่านความถี่วิทยุเพื่อใช้ประโยชน์จากการมัลติเพลกซ์ซึ่งจะทำให้สามารถส่งกลุ่มข้อมูลดิจิตอลได้จำนวนมาก เทคนิคในการมอดูเลตสัญญาณดิจิตอลมี 3 แบบด้วยกันคือ การเข้ารหัสทางแอมพลิจูด (Amplitude Shift Keying, ASK) การเข้ารหัสทางความถี่ (Frequency Shift Keying, FSK) การเข้ารหัสทางเฟส (Phase Shift Keying, PSK)

ในการมอดูเลตสัญญาณกับคลื่นพาห์เพื่อทำการย้ายสเปคตรัมให้สัญญาณเบสแบนด์ (Base Band) ย้ายความถี่ไปอยู่ความถี่ที่สูงขึ้นโดยความถี่ของคลื่นพาห์ ($C_t$) เป็น

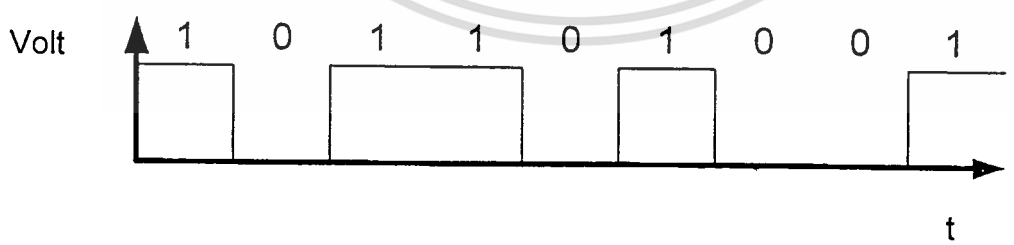
$$C_t = A \cos (2\pi f_c t + \sigma) \qquad (4.1)$$

โดย A : แอมพลิจูดของคลื่นพาห์

$f_c$ : ความถี่ของคลื่นพาห์

$\sigma$ : เฟสเริ่มต้น

สัญญาณดิจิตอลเบสแบนด์เป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยมแสดงรหัสไบนารี 0 และ 1 ในการมอดูเลตสัญญาณดิจิตอลนี้จะประกอบไปด้วยการมอดูเลตอยู่ด้วยกันสามแบบคือ แอมพลิจูด ความถี่ และเฟส ของคลื่นพาห์จะเปลี่ยนไปตามสถานะ 0 หรือ 1 ของสัญญาณเบสแบนด์

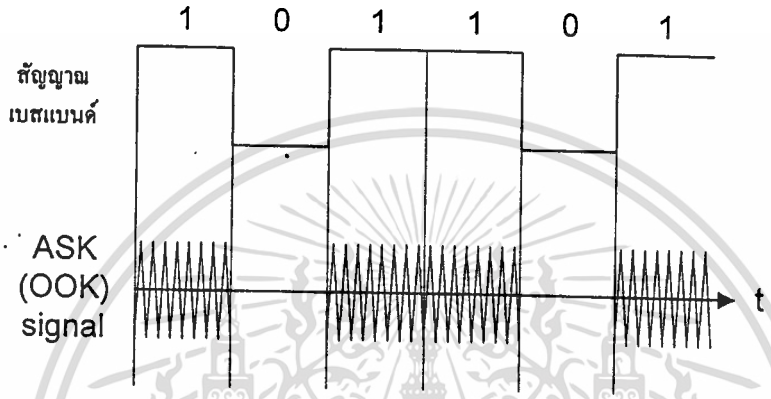



รูปที่ 4-11 แสดงสัญญาณเบสแบนด์ดิจิตอล

การเข้ารหัสทางแอมพลิจูดหรือ ออนออฟคีร์อิงค์ (OOK, On-Off Keying) คลื่นพาห์จะถูกสวิตซ์เปิดปิดตามสัญญาณที่เป็น 0 หรือ 1 ถ้าคลื่นพาห์กำหนดโดยสมการ $A \cos 2\pi f_c t$ ดังนั้นสัญญาณ ASK จะกำหนดได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

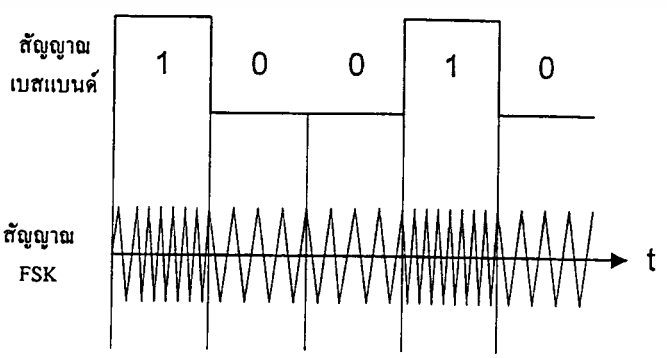
$$S(t) = \begin{cases} A\cos 2\pi f_c t & \text{เมื่อสัญญาณเป็น 1} \\ 0 & \text{เมื่อสัญญาณเป็น 0} \end{cases} \quad (4.2)$$




รูปที่ 4-12 แสดงการเข้ารหัสแบบแอมพลิจูดชิพคีร์อิงค์

การเข้ารหัสทางความถี่ วิธีการนี้จะทำให้เกิดความถี่ของคลื่นพาห์ออกเป็นสองความถี่ตามไบนารีของข้อมูลที่เข้ามา เช่น ความถี่ $f_1$ สำหรับสัญญาณที่เป็น 1 และความถี่ $f_2$ สำหรับสัญญาณที่เป็น 0

$$S(t) = \begin{cases} A\cos 2\pi f_1 t & \text{สำหรับสัญญาณเป็น 1} \\ A\cos 2\pi f_2 t & \text{สำหรับสัญญาณเป็น 0} \end{cases} \quad (4.3)$$

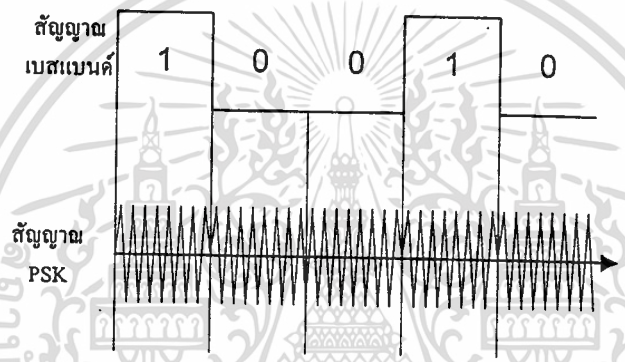



รูปที่ 4-13 แสดงการเข้ารหัสแบบ ฟรีเควนซีชิพคีร์อิงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเข้ารหัสทางด้านเฟส ในส่วนของการมอดูเลตแบบ PSK แอมพลิจูดและความถี่จะมีค่าคงที่แต่เฟสเริ่มต้น (Initial Phase) จะต่างกันสำหรับสัญญาณที่เป็น 1 หรือ 0 คือเฟสของคลื่นพาห์ A cos ($2\pi f_c t + \sigma$) จะเปลี่ยนไปตามสถานะของสัญญาณ เช่น เฟส $\sigma$ เป็น 0 กรณีสัญญาณมีสถานะเป็น 1 และเฟส $\sigma$ เป็น $\pi$ กรณีสัญญาณมีสถานะเป็น 0

$$S(t) = \begin{cases} A\cos 2\pi f_c t & \text{กรณีสัญญาณเป็น 1} \\ A\cos(2\pi f_c t + \pi) & \text{กรณีสัญญาณเป็น 0} \end{cases} \qquad (4.4)$$




รูปที่ 4-14 แสดงการเข้ารหัสแบบ เฟสชิพคีร์อิงค์

## 4.4 สรุป

เนื้อหาวิทยานิพนธ์บทนี้ได้กล่าวถึงหลักการของการเกิดสัญญาณภาพ แบนด์วิดท์ของสัญญาณภาพ หลักการของการสื่อสารข้อมูลดิจิตอล ตลอดจนวิธีการในการเชื่อมต่อเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลดิจิตอลแบบต่าง ๆ และวิธีการในการเข้ารหัสของข้อมูลดิจิตอลกับคลื่นพาห์ด้วยวิธีการต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วยวิธีการเข้ารหัสทางแอมพลิจูด การเข้ารหัสทางความถี่ และการเข้ารหัสทางด้านเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยซึ่งประกอบไปด้วย การวิเคราะห์มุมโพลาไรซ์ การดีมัลติเพลกซ์สัญญาณโดยใช้ผลึกโพลาไรซ์ การส่งสัญญาณภาพ เสียง และข้อมูลดิจิตอลทั้งแบบทางเดียวและสองทางในอากาศ ส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบทางเดียวโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติก ซึ่งจะอธิบายเป็นขั้นตอนในการวิจัยต่อไป

## 5.1 การวิเคราะห์มุมโพลาไรซ์

ในการวิเคราะห์มุมโพลาไรซ์ของแสงเป็นเชิงเส้นนี้ได้ทำการศึกษาจากการมัลติเพลกซ์เชิงแสงด้วยวิธีการศึกษาปรากฏการณ์โพลาไรเซชันของแสง กล่าวคือถ้าแสงโพลาไรซ์ตกกระทบทำมุม $\theta$ กับแผ่นโพลารอยด์ แล้วให้สนามไฟฟ้าที่ขนานกับแผ่นโพลารอยด์ คือ $E \cos \theta$ เป็นองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าที่สามารถผ่านแผ่นโพลารอยด์ออกมาได้โดยมีความเข้ม (I) คือ

$$I = I_0 \text{Cos}^2 \theta \qquad (5.1)$$

โดย $I_0$ คือ ความเข้มของแสงสูงสุดที่ตกกระทบบนแผ่นโพลารอยด์

เมื่อหมุนแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 2 ที่ทำหน้าที่เป็นตัววิเคราะห์ (Analyser) ไปเป็นมุมต่าง ๆ ทำการวิเคราะห์มุมโพลาไรซ์เพื่อหาความเข้มแสงสูงสุดและต่ำสุด แล้วนำมาพิจารณาหาอัตราส่วนระหว่างความเข้มแสงสูงสุดและต่ำสุดที่ผ่านออกมาซึ่งเป็นการวัดคุณภาพของแสงโพลาไรซ์ที่แทนด้วยความสัมพันธ์ดังสมการ

$$ER = 10 \log (I_{max}/I_{min}) \qquad (5.2)$$

เมื่อ ER คือ Extinction Ratio หรือคุณภาพของแสงโพลาไรซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

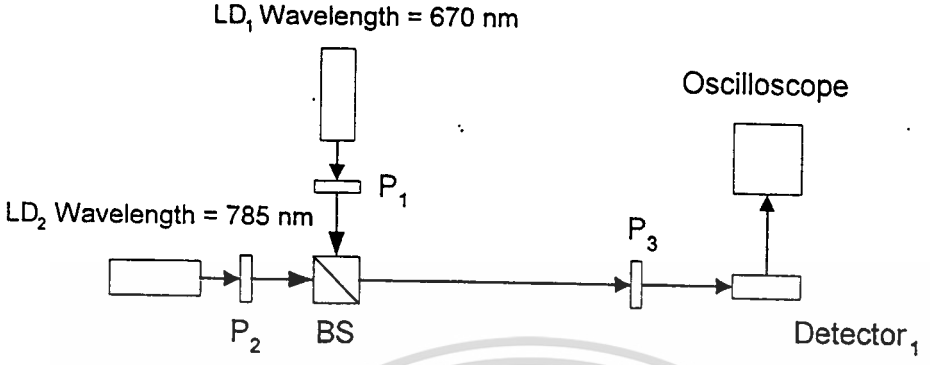
$I_{max}$ คือ ความเข้มของแสงสูงสุดที่วัดได้หรือขณะที่ลำแสงโพลาไรซ์แบบขนาน

$I_{min}$ คือ ความเข้มของแสงต่ำสุดที่วัดได้หรือขณะที่แสงโพลาไรซ์แบบตั้งฉาก

ถ้าความแตกต่างระหว่างความเข้มของแสงสูงสุดที่วัดได้ กับความเข้มต่ำที่วัดได้มีค่ามากก็จะทำให้ค่า ER มีค่ามาก ซึ่งก็หมายถึงแสงโพลาไรซ์ที่ได้นี้จะเป็นแสงโพลาไรซ์ที่มีคุณภาพความเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นที่มีคุณภาพ

จากหลักการข้างต้นเมื่อนำมาพิจารณาการทดลองด้วยการจัดเตรียมอุปกรณ์ดังรูปที่ 5-1 โดยใช้แผ่นโพลารอยด์เป็นตัวกำหนดมุมโพลาไรซ์ของแสงตกกระทบจากแหล่งกำเนิดแสงทั้งสองให้ทำมุมโพลาไรซ์จากลำแสงทั้งสองตั้งฉากกัน (90°) แสงโพลาไรซ์ทั้งสองแนวนี้ก็จะถูกนำมาทำการมัลติเพลกซ์กันโดยใช้อุปกรณ์รวมแสง หรือผลึกรวมแสง (Beamsplitter) ซึ่งทำการรวมสัญญาณทั้งสองเข้าด้วยกัน เมื่อแสงทั้งสองทำการมัลติเพลกซ์กันแล้วก็จะถูกส่งผ่านไปยังแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 3 ($P_3$) ซึ่งจะทำหน้าที่ในการเลือกช่องสัญญาณทางแสงหรือเป็นตัวดีมัลติเพลกซ์ทางแสง โดยสัญญาณแสงที่ได้นี้จะทำการวิเคราะห์จากการปรับมุมโพลาไรซ์ของแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 3 สัญญาณแสงโพลาไรซ์ที่ผ่านออกจากแผ่นโพลารอยด์จะถูกตรวจวัดโดยอุปกรณ์ตรวจวัดทางแสงหรืออุปกรณ์รับแสง เมื่อแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 3 ($P_3$) หมุนทำมุมขนานกับแสงโพลาไรซ์ที่มาจากแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 ($LD_2$) ก็จะได้สัญญาณที่ส่งมาจากแหล่งกำเนิดแสงตัวที่สอง ในลักษณะเดียวกันเมื่อหมุนแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 3 ให้ทำมุมโลาไรซ์ตั้งฉากกับแสงโพลาไรซ์ของแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 ($LD_2$) ก็จะได้สัญญาณแสงก็จะได้สัญญาณแสงของแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 ($LD_1$) จากปฏิบัติการนี้ก็จะสามารถบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงจากการเปลี่ยนมุมโพลาไรซ์ของแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 3 กับสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณแสงซึ่งแสดงผลโดยออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 5-1 แสดงระบบที่ใช้ในการวิเคราะห์แสงโพลาไรซ์

$LD_1$ คือแหล่งกำเนิดแสงไดโอดเลเซอร์ตัวที่ 1

$LD_2$ คือแหล่งกำเนิดแสงไดโอดเลเซอร์ตัวที่ 2

$P_1$ คือแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 1

$P_2$ คือแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 2

$P_3$ คือแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 3

BS คือผลึกรวมและแยกแสง

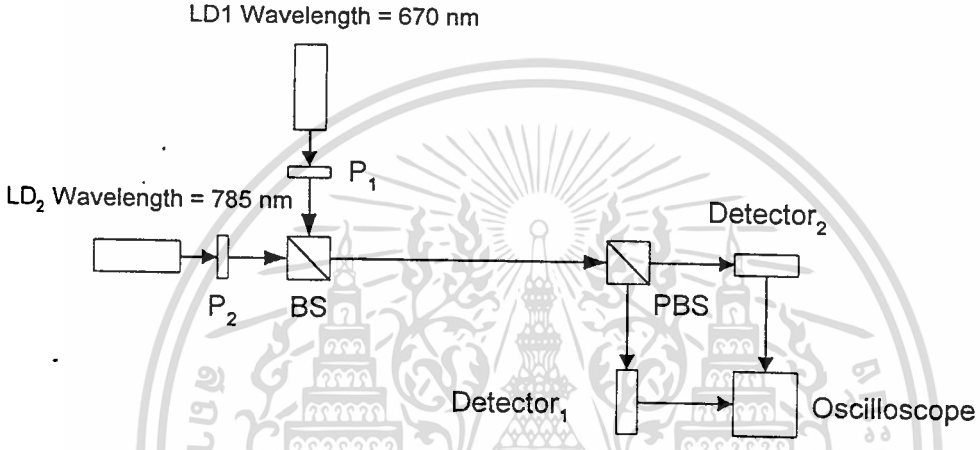
$Detector_1$ คืออุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1

**5.2 การดีมัลติเพลกซ์โดยใช้ผลึกโพลาไรซ์**

เมื่อได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางแสงโพลาไรซ์โดยใช้แผ่นโพลารอยด์ทำให้แสงมีคุณสมบัติความเป็นโพลาไรซ์เชิงเส้นเพื่อนำไปใช้วิธีการดีมัลติเพลกซ์ทางแสงด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่าผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์ (Polarizing Beamsplitter, PBS) มาทำการแยกสัญญาณแสงโดยจะใช้แผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 1 ($P_1$) และแผ่นที่ 2 ($P_2$) มาทำการปรับเปลี่ยนมุมโพลาไรซ์ (ดังรูปที่ 5-2) ในการดีมัลติเพลกซ์โดยใช้ผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์นี้จะทำการวิเคราะห์มุมโพลาไรซ์โดยแยกวิเคราะห์แสงที่มาจากแต่ละแหล่งกำเนิดแสงทีละส่วนเพื่อที่จะสามารถทราบได้ว่าเมื่อทำการหมุนมุมโพลาไรซ์ของแสงที่ตกกระทบแต่ละส่วนไปแล้วผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์จะสามารถที่จะทำการแยกแสงโพลาไรซ์ได้อย่างมีคุณภาพเพียงใดนอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์ได้ว่าผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์นี้มีอัตราการรบกวนข้ามช่องสัญญาณมากน้อยเพียงใด งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบแสงจากแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 ($LD_1$) โดยทำการเปลี่ยนมุมโพลาไรซ์ของแสงด้วยการปรับแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 1 ($P_1$) ทำการบันทึกผลของกำลังแสงที่รับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 (Detector$_1$) และตัวที่ 2 (Detector$_2$) โดยในการปรับมุมของแสงโพลาไรซ์นี้จะปรับมุมของแสงโพลาไรซ์ไปทุก ๆ 2 องศาเพื่อหากำลังแสงสูงสุดและต่ำสุดที่อุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 และตัวที่ 2 รับกำลังแสงได้ หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์แหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 (LD$_2$) โดยทำการเปลี่ยนมุมโพลาไรซ์ของแสงเช่นเดียวกันกับกรณีแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 ทำการบันทึกผลที่ได้จากการเปลี่ยนมุมโพลาไรซ์ของแสงที่รับได้จากอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ตามลำดับ




รูปที่ 5-2 แสดงระบบมัลติเพลกซ์ทางแสงโดยใช้ผลึกโพลาไรซ์ในการดีมัลติเพลกซ์

$LD_1$ คือแหล่งกำเนิดแสงไดโอดเลเซอร์ตัวที่ 1

$LD_2$ คือแหล่งกำเนิดแสงไดโอดเลเซอร์ตัวที่ 2

$P_1$ คือแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 1

$P_2$ คือแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 2

$P_3$ คือแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 3

BS คือผลึกรวมและแยกแสง

PBS คือผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์

Detector$_1$ คืออุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1

Detector$_2$ คืออุปกรณ์รับแสงตัวที่ 2

## 5.3 การส่งสัญญาณภาพ เสียง และข้อมูลดิจิตอลแบบทางเดียว

เมื่อนำผลของสัญญาณที่ได้จากการดีมัลติเพลกซ์ทางโพลาไรซ์มาพิจารณาการรบกวนข้ามช่องสัญญาณทางแสงแล้วก็จะทำการประยุกต์นำผลของสัญญาณนี้ไปใช้ในการสื่อสารข่าวสารทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

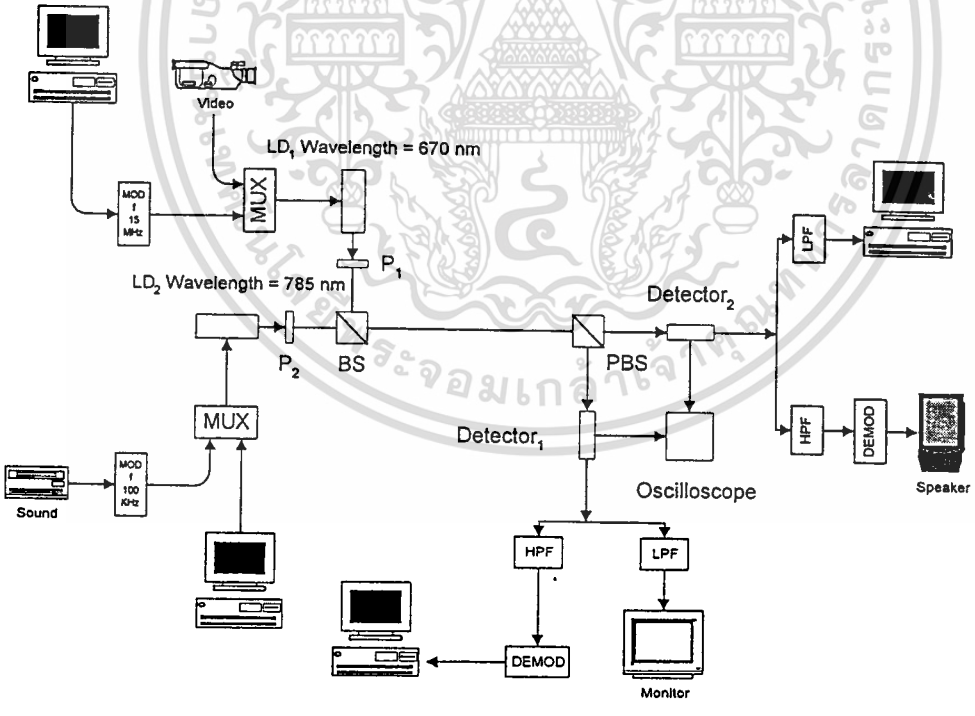
เดียวโดยจะทำการส่งสัญญาณภาพ เสียง และข้อมูลดิจิตอลซึ่งได้จาก 2 ช่องสัญญาณไปกับคลื่นแสง การส่งสัญญาณนี้จะทำการมอดูเลตสัญญาณภาพและข้อมูลดิจิตอลด้วยช่องที่ 1 เข้ากับแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 (670 นาโนเมตร) โดยจะย้ายสเปคตรัมของข้อมูลดิจิตอลให้อยู่เหนือสัญญาณภาพ สัญญาณภาพนี้มีความถี่ประมาณ 4.7 เมกะเฮิร์ตซ์ สัญญาณดิจิตอลช่องที่ 1 ก็จะถูกมอดูเลตเข้ากับคลื่นพาห์ที่มีความถี่ 15 เมกะเฮิร์ตซ์ ด้วยวิธีการแอมพลิจูดชิพคีร์อิงค์

หลังจากนั้นสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตนี้ก็จะนำไปมัลติเพลกซ์เข้ากับสัญญาณเบสแบนด์ (Baseband) ของสัญญาณภาพ เมื่อได้สัญญาณจากการมัลติเพลกซ์สัญญาณทั้งสองนี้ก็จะถูกนำไปมอดูเลตทางด้านกระแสให้กับไดโอดเลเซอร์ตัวที่ 1 ต่อไป สำหรับในส่วนของแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 (785 นาโนเมตร) ก็จะถูกมอดูเลตสัญญาณเสียงและข้อมูลดิจิตอลด้วยช่องที่ 2 เข้ากับแหล่งกำเนิดแสง โดยสัญญาณเสียงจะถูกนำไปมอดูเลตเข้ากับคลื่นพาห์ที่มีความถี่ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ สัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตนี้จะถูกนำไปมัลติเพลกซ์เข้ากับสัญญาณเบสแบนด์ของข้อมูลดิจิตอล สัญญาณที่รวมกันก็จะนำไปมอดูเลตทางด้านกระแสให้กับแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 ต่อไป

แสงจากแหล่งกำเนิดแสงทั้งสองก็จะถูกส่งผ่านเข้าไปยังแผ่นโพลารอยด์เพื่อใช้ในการกำหนดมุมโพลาไรซ์เชิงเส้นให้แหล่งกำเนิดแสงทั้งสองมีมุมโพลาไรซ์ตั้งฉากกัน โดยให้แหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 มีมุมโพลาไรซ์ในแนวตั้งฉากกับแนวระนาบ ส่วนแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 ก็จะกำหนดให้มีมุมโพลาไรซ์ในแนวระนาบ หลังจากนั้นแสงทั้งสองก็จะถูกมัลติเพลกซ์โดยใช้ผลึกรวมและแยกแสง (BS) เพื่อทำการรวมสัญญาณแสงทั้งสองนี้เข้าด้วยกัน เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงทั้งสองรวมกันแล้วก็จะเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศไปยังผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์ แสงโพลาไรซ์ในแนวระนาบซึ่งเป็นแสงจากแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 จะทะลุผ่านผลึกโพลาไรซ์แล้วไปตกยังอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 2 สำหรับแสงโพลาไรซ์ในแนวตั้งฉากจากแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 ก็จะเดินทางสะท้อนผลึกโพลาไรซ์ไปตกลงบนอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 สัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์รับแสงทั้งสองจะถูกนำไปแสดงผลบนออสซิลโลสโคป ส่วนสัญญาณอีกส่วนหนึ่งจะถูกนำไปทำการประมวลผลทางไฟฟ้าโดยสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 ซึ่งจะนำไปผ่านวงจรขยายสัญญาณจากนั้นทำการแยกสัญญาณออกเป็นสองส่วน ส่วนที่ 1 จะนำไปผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำเพื่อแยกสัญญาณภาพซึ่งมีความถี่ต่ำกว่าคลื่นพาห์ของข้อมูลดิจิตอล หลังจากนั้นก็จะนำไปเข้าวงจรขยายสัญญาณแล้วนำสัญญาณที่ได้ไปแสดงผลด้วยจอมอนิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสัญญาณส่วนที่ 2- ก็จะนำไปผ่านวงจรกรองความถี่สูงเพื่อแยกคลื่นพาห์ของสัญญาณดิจิตอลออกจากสัญญาณภาพ หลังจากนั้นนำไปผ่านวงจรดีมอดูเลตสัญญาณเพื่อแยกข้อมูลดิจิตอลออกจากคลื่นพาห์ ข้อมูลดิจิตอลที่ได้ก็จะถูกนำไปเข้าวงจรเปลี่ยนสัญญาณให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า ± 12 โวลต์เพื่อใช้ในการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์ต่อไป ในส่วนของอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 2 ซึ่งรับสัญญาณแสงจากแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 ก็จะนำสัญญาณที่มอดูเลตมากับแสงมาเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าและนำสัญญาณไปแสดงผลด้วยออสซิลโลสโคปหลังจากนั้นก็จะนำสัญญาณนี้ไปทำการขยายสัญญาณแล้วนำไปผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำก็จะได้ข้อมูลดิจิตอลที่มากับคลื่นแสง ข้อมูลดิจิตอลนี้ก็จะนำไปผ่านวงจรเปลี่ยนแรงดันเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลผ่านช่องสื่อสารอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์ต่อไป สำหรับคลื่นพาห์ที่มอดูเลตสัญญาณเสียงก็จะถูกนำไปทำการดีมอดูเลตสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้ได้สัญญาณเสียงจากนั้นก็จะนำสัญญาณนี้ไปทำการขยายสัญญาณด้วยวงจรขยายสัญญาณเสียงแล้วนำไปเข้าลำโพงเพื่อแสดงสัญญาณเสียง




รูปที่ 5-3 แสดงระบบการสื่อสารทางเดียว

$LD_1$ คือแหล่งกำเนิดแสงไดโอดเลเซอร์ตัวที่ 1

$LD_2$ คือแหล่งกำเนิดแสงไดโอดเลเซอร์ตัวที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$P_1$ คือแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 1

$P_2$ คือแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 2

$P_3$ คือแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 3

BS คือผลึกรวมและแยกแสง

PBS คือผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์

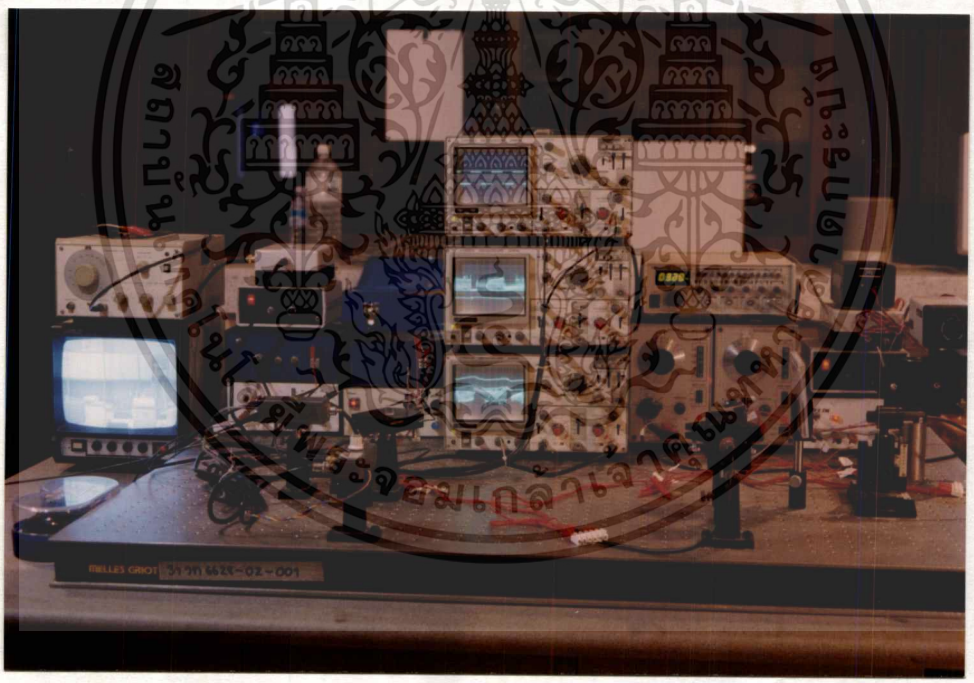
$Detector_1$ คืออุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1

$Detector_2$ คืออุปกรณ์รับแสงตัวที่ 2

MUX คือวงจรมัลติเพลกซ์ทางไฟฟ้า

HPF คือวงจรกรองความถี่สูงผ่าน

LPF คือวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน



รูปที่ 5-4 แสดงชุดอุปกรณ์ของระบบที่จัดสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการสื่อสารทางเดียว

**5.4 การส่งสัญญาณภาพเสียง และข้อมูลดิจิตอลแบบดูเพลกซ์เต็ม**

ในระบบการส่งสัญญาณภาพ เสียง และข้อมูลดิจิตอลจะต้องคำนึงถึงการแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง และผลของการรบกวนข้ามช่องสัญญาณของระบบสื่อสารที่ได้จัดสร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การมอดูเลตสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงนั้นปัจจุบันที่นิยมใช้กันอยู่คือ การมอดูเลตด้วยการเปลี่ยนความเข้มของแสงซึ่งมีอยู่ด้วยกันสองวิธีคือด้วยการเปลี่ยนความเข้มของแสงโดยการมอดูเลตกระแสอินพุตที่ป้อนให้กับแหล่งกำเนิดแสงและอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้คือการเปลี่ยนความเข้มของแสงโดยใช้หลักการเชิงกลหรือการมอดูเลตภายนอกซึ่งเป็นวิธีการที่มีหลักการที่ว่าใช้แหล่งกำเนิดแสงที่ให้ความเข้มของแสงคงที่ ภายหลังจากนั้นจะใช้อุปกรณ์ทางแสงมาทำการเปลี่ยนความเข้มของแสงซึ่งเป็นการมอดูเลตนั่นเอง งานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการมอดูเลตทางกระแสให้กับแหล่งกำเนิดแสงด้วยการมอดูเลตทางความเข้มของแสงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้ในการมอดูเลต ถ้าทำการมอดูเลตโดยการขับกระแสให้กับแหล่งกำเนิดแสงด้วยความถี่เชิงมุม ω แล้วความเข้มของแสง (I) จะเปลี่ยนแปลงตามความถี่ดังสมการ

$$I(\omega) = I_0[1+(\omega\tau_{eff})^2]^{-1/2} \qquad (5.3)$$

เมื่อ $I_0$ เป็นความเข้มแสงที่ยังไม่มีการมอดูเลต และ $\tau_{eff}$ คือประสิทธิผลของช่วงชีวิตพาหะ (Effective Carrier Lifetime)

ในการมอดูเลตของแหล่งกำเนิดแสงนั้นแบนด์วิดท์จะกำหนดจากเทอมของสัญญาณไฟฟ้าที่มีการมอดูเลตเข้ากับแหล่งกำเนิดแสงโดยที่ความเข้มของแสงที่ตรวจจับได้มีค่าความเข้มแสงลดลงจนเหลือความเข้มแสงเป็นครึ่งหนึ่งของกำลังแสงก่อนการมอดูเลตสัญญาณหรือ ที่ 3 เดซิเบล เมื่อตรวจจับกำลังของสัญญาณไฟฟ้า (P) ที่เป็นสัดส่วนกับความเข้มแสง ($I^2$) แบนด์วิดท์ของการมอดูเลชั่นจะกำหนดเป็นช่วงความถี่ โดยพิจารณาที่ $P(0)/2 = P(\omega)$ ดังนั้น $I^2(\omega) = I^2(0)/2$ จากสมการที่ (5.3) ดังนั้นแบนด์วิดท์ของการมอดูเลชั่นที่ 3 เดซิเบล หรือ $\Delta\omega$ จะกำหนดโดย

$$\Delta\omega = 1/\tau_{eff} \qquad (5.4)$$

แหล่งกำเนิดแสงที่ยังไม่ได้มีการมอดูเลตสัญญาณโดยทำงานที่ความยาวคลื่น $\lambda_0$ จะมีความยาวโคฮีเรนซ์เป็น

$$L = \lambda_0^2 / \Delta\lambda \qquad (5.5)$$

เมื่อ $\Delta\lambda$ คือความกว้างของสเปคตรัม (Spectral Width)

กำลังของสัญญาณแสงที่ได้จากอุปกรณ์รับแสงหาได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I = \int_{\delta 1}^{\delta 2} \frac{1}{2} P(\delta).\{1.+\cos(2\pi\delta D_1)\}d\delta \qquad (5.6)$$

ซึ่ง P(δ) คือสเปคตรัมของกำลังแสง โดยที่ δ = 1/λ และ $D_1$ คือการประวิงทางแสง (Optical Delay)

เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 ($LD_1$) (ดูรูปที่ 5-4) เดินทางผ่านไปยังอุปกรณ์รับแสงที่ 2 ($PD_2$) โดยการผ่านผลึกแยกแสงแบบโพลาไรซ์ที่ 1 ($PBS_1$) กำลังของแสงจะลดลงเหลือประมาณ 97 % โดยใช้เครื่องมือวัดกำลังแสง (Optical Power Meter) ดังนั้นกำลังแสงที่เดินทางผ่านไปในตัวกลางซึ่งเป็นอากาศหาได้จาก

$$I = 0.97\int_{\delta 1}^{\delta 2} \frac{1}{2} P(\delta)d\delta + \frac{1}{2}\int_{\delta 1}^{\delta 2} P(\delta)\cos(2\pi\delta D_1)d\delta \qquad (5.7)$$

เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 ($LD_1$) เดินทางผ่านไปยังผลึกแยกแสงที่ 2 ($PBS_2$) จะทำให้ความเข้มแสงลดลงเนื่องจากคุณสมบัติของผลึกแยกแสงเองซึ่งจะทำให้เกิดการรบกวนข้ามช่องสัญญาณโดยมีค่าลดลงอีกประมาณ 3% ดังนั้นกำลังของแสงที่ตกกระทบบนอุปกรณ์รับแสง ($I_1$) จะมีค่าเป็น

$$I_1 = 0.97 \times 0.97[\frac{1}{2}\int_{\delta 1}^{\delta 2} \frac{1}{2} P(\delta)\{1+\cos(2\pi\delta D_1)\} \cdot\{1+\cos(2\pi\delta D)\}d\delta] \qquad (5.8)$$

ซึ่ง D คือออฟเซตการประวิงของแสง (Offset Optical Delay)

ดังนั้นกำลังของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 ($LD_1$)ที่ตกลงบนอุปกรณ์รับแสงที่ 2 ($PD_2$) สามารถตรวจจับได้เป็น

$$I_1 = 0.9409[\frac{1}{4} P_0\{1+\frac{1}{2}\cos(2\pi\delta_0 KV_1)\}] \qquad (5.9)$$

เมื่อ $K = \lambda_0 / 2V_{\lambda_0/2}$ (μm/V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$KV_1$ คือการเปลี่ยนแปลงเวลาในการประวิงของแสง (Time - Varying Optical Delay) ของแหล่งกำเนิดแสงที่ 1

กรณีที่เป็นการมอดูเลตสัญญาณทางแอนะลอกที่เป็นสัญญาณรูปไซน์โดยสัญญาณที่ได้รับจากอุปกรณ์รับแสงจะมีความเข้มแสงเป็น

$$I_1 \approx 0.9409\left[\frac{1}{2}P_0\left\{1-\frac{1}{2}\frac{\pi}{V_{\lambda_0/2}}V_1\right\}\right] \qquad (5.10)$$

พิจารณาสัญญาณที่ย้อนกลับมาหรือสัญญาณที่ส่งมาจากแหล่งกำเนิดแสงที่ 2 ($LD_2$) ไปตกลงบนอุปกรณ์รับแสงที่ 1 ($PD_1$) สัญญาณแสงจะมีความเข้มลดลงเนื่องจากมีการลดทอนสัญญาณแสงในตัวกลาง

สัญญาณแสงที่ตรวจรับได้จากอุปกรณ์รับแสงที่ 1 ($PD_1$) จะสามารถแทนได้ด้วยสมการ

$$I_2 \approx 0.9409\left[\frac{1}{2}P_0\{1+\cos(2\pi\delta_0 KV_2\}\right] \qquad (5.11)$$

เมื่อ $KV_2$ คือการเปลี่ยนแปลงเวลาในการประวิงของแสง (Time - Varying Optical Deray) ของแหล่งกำเนิดแสงที่ 2

กรณีที่มีการมอดูเลตสัญญาณแอนะลอกนั้นความเข้มของแสงที่ตกลงบนอุปกรณ์รับแสงที่ 1 ($PD_1$) แทนได้ด้วยสมการ

$$I_2 \approx 0.9409\left[\frac{1}{2}P_0\left\{1-\frac{1}{2}\frac{\pi}{V_{\lambda_0/2}}V_2\right\}\right] \qquad (5.12)$$

การดีมัลติเพลกซ์ทั้งทางด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และทางด้านแสงนั้นมักจะเกิดการรบกวนข้ามช่องสัญญาณเกิดขึ้น โดยผลของการรบกวนข้ามช่องสัญญาณนี้จะเป็นที่แสดงถึงคุณภาพของการดีมัลติเพลกซ์สัญญาณว่าดีเพียงใดซึ่งหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X = 10\log\left(\frac{P_x}{P_d}\right) = 10\log\left(\frac{V_x}{V_d}\right) \qquad (5.13)$$

โดย $P_x$ และ $P_d$ เป็นกำลังของแสงที่เกิดการรบกวนและกำลังของแสงที่ต้องการ

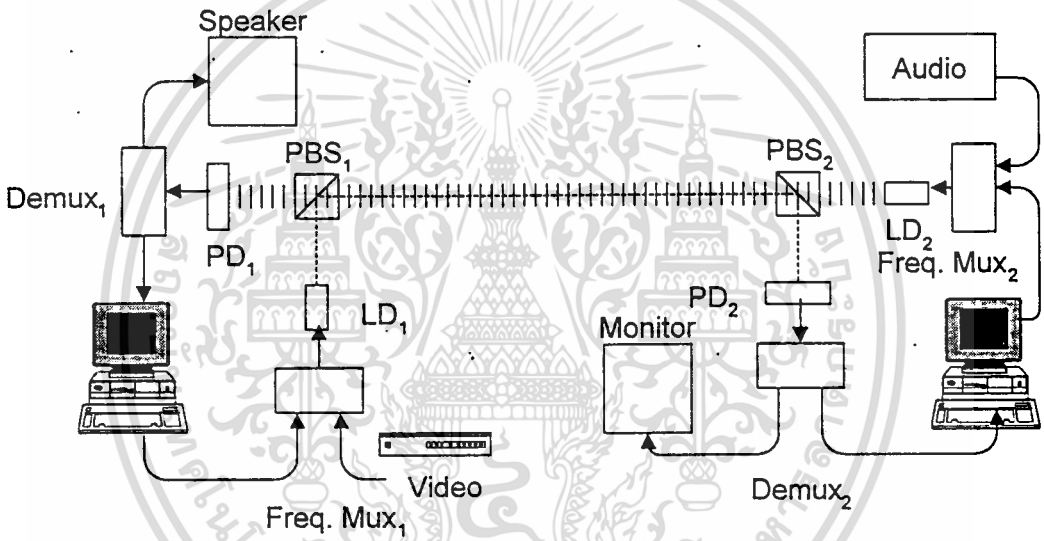
$V_x$ และ $V_d$ เป็นสัญญาณที่รับได้จากอุปกรณ์รับแสงเมื่อมีการมอดูเลตสัญญาณเข้ากับแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งก็คือสัญญาณที่มารบกวนข้ามช่องสัญญาณที่อยู่ในรูปเต็มคลื่น (Peak to Peak, p-p) กับสัญญาณไฟฟ้าที่ต้องการแบบเต็มคลื่น (p-p)

สำหรับงานวิจัยส่วนนี้ได้ใช้ไดโอดเลเซอร์ความยาวคลื่น 670 นาโนเมตรเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 ($LD_1$) และ 785 นาโนเมตรเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ 2 ($LD_2$) (ดูรูปที่ 5-4) แสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 ($LD_1$) จะถูกมอดูเลตทางด้านกระแสอินพุตที่ป้อนให้ไดโอดเลเซอร์กระแสที่นำมามอดูเลตแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 ($LD_1$) จะประกอบไปด้วยสัญญาณภาพและสัญญาณดิจิตอลจากช่องสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยสัญญาณดิจิตอลจะถูกมอดูเลตกับคลื่นพาห์ที่ความถี่ 15 เมกะเฮิร์ตซ์เพื่อทำการย้ายสเปคตรัมให้อยู่สูงกว่าสัญญาณภาพ ด้วยวิธีการมอดูเลตทางด้านแอมพลิจูด สัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตจะถูกนำไปมัลติเพลกซ์กับสัญญาณภาพ จากนั้นสัญญาณที่ได้จากการมัลติเพลกซ์ของสัญญาณทั้งสองนี้จะถูกนำไปมอดูเลตทางด้านกระแสอินพุตให้กับไดโอดเลเซอร์เพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงตามกระแสที่มอดูเลตเข้าไป สำหรับในส่วนของแหล่งกำเนิดแสงที่ 2 จะเป็นการมัลติเพลกซ์สัญญาณเสียงกับข้อมูลดิจิตอล โดยสัญญาณเสียงนี้จะใช้การมอดูเลตทางด้านแอมพลิจูดเข้ากับความถี่ของคลื่นพาห์ที่มีความถี่ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ เพื่อให้ง่ายต่อการดีมัลติเพลกซ์สัญญาณที่ได้จะถูกนำไปมัลติเพลกซ์เข้ากับข้อมูลดิจิตอล จากนั้นสัญญาณที่ได้จากการรวมสัญญาณทั้งสองนี้ก็จะนำไปมัลติเพลกซ์เข้ากับไดโอดเลเซอร์ต่อไป

การส่งสัญญาณทางแสงได้ใช้อุปกรณ์ทางแสงที่เรียกว่า ผลึกแยกและรวมแสงแบบโพลาไรซ์มาทำการรวมและแยกสัญญาณแสง ผลึกแยกและรวมแสงแบบโพลาไรซ์นี้จะมีคุณสมบัติให้แสงโพลาไรซ์ที่อยู่ในแนวระนาบสามารถทะลุผ่านได้แต่แสงที่อยู่ในแนวตั้งฉากจะสะท้อนออกมาทางด้านข้างของผลึกซึ่งเป็นผลมาจากคุณสมบัติของผลึกจึงได้นำมาใช้ในระบบส่งสัญญาณทางแสงแบบดูเพลกซ์เต็ม ในการทำการรวมและแยกสัญญาณแสงนั้นแหล่งกำเนิดแสงที่หนึ่ง (670 nm) จะถูกกำหนดให้มีคุณสมบัติเป็นแสงโพลาไรซ์ในแนวตั้งฉากกับแนวระนาบ หลังจากนั้นแสงโพลาไรซ์ที่อยู่ในแนวตั้งฉากกับแนวระนาบนี้จะเดินทางผ่านตัวกลางซึ่งเป็นอากาศไปยังผลึกแยกแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแสงโพลาไรซ์ที่อยู่ในแนวระนาบจะสะท้อนกับผลึกแยกแสงแล้วผ่านไปยังตัวกลางซึ่งเป็นอากาศต่อไป ส่วนแหล่งกำเนิดแสงที่สอง (785 nm) จะถูกกำหนดให้มีคุณสมบัติเป็นแสงโพลาไรซ์ซึ่งอยู่ในแนวระนาบโดยแสงจะเดินทางผ่านอากาศไปยังผลึกแยกแสงแบบโพลาไรซ์ซึ่งวางอยู่ตรงข้ามกับผลึกแยกแสงแรกซึ่งแสงโพลาไรซ์ในแนวระนาบจะสามารถทะลุผ่านผลึกแยกแสงได้ ดังนั้นแสงทั้งสองจะเดินทางผ่านมามัลติเพลกซ์กันที่ตัวกลางซึ่งเป็นอากาศและจะเดินทางสวนทางกันไปตกกระทบบนผลึกแยกแสงที่อยู่ผั่งตรงข้าม ผลึกแยกแสงแบบโพลาไรซ์ที่อยู่ฝั่งตรงข้ามของแต่ละชุดนอกจากจะทำหน้าที่ในการรวมสัญญาณแสงแล้วยังทำหน้าที่ในการแยกสัญญาณแสงด้วย ดังนั้นจึงสามารถแยกสัญญาณออกได้จากแสงที่มีการส่งสัญญาณสวนทางกัน




รูปที่ 5-5 ชุดโครงสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

$LD_1$ คือแหล่งกำเนิดแสงไดโอดเลเซอร์ตัวที่ 1

$LD_2$ คือแหล่งกำเนิดแสงไดโอดเลเซอร์ตัวที่ 2

$PBS_1$ คือผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์ตัวที่ 1

$PBS_2$ คือผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์ตัวที่ 2

$PD_1$ คืออุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1

$PD_2$ คืออุปกรณ์รับแสงตัวที่ 2

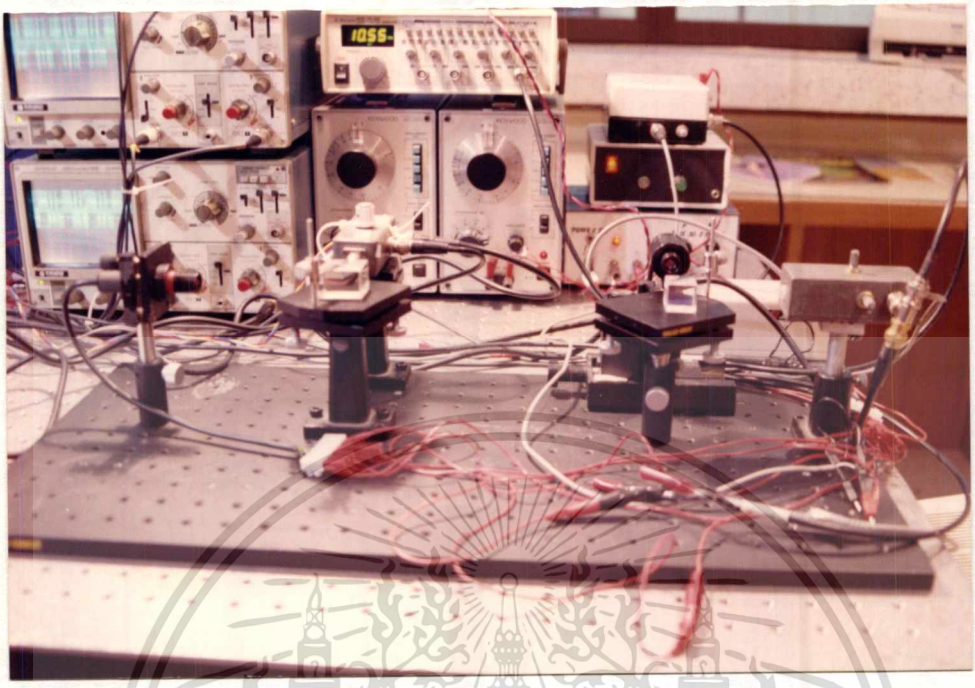
Freq. $Mux_1$ คือวงจรมัลติเพลกซ์ทางไฟฟ้าตัวที่ 1

Freq. $Mux_2$ คือวงจรมัลติเพลกซ์ทางไฟฟ้าตัวที่ 2

$Demux_1$ คือวงจรดีมัลติเพลกซ์ทางไฟฟ้าตัวที่ 1

$Demux_2$ คือวงจรดีมัลติเพลกซ์ทางไฟฟ้าตัวที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-6 แสดงระบบที่ได้จัดสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการสื่อสารสองทางแบบดูเพลกซ์เต็ม

**5.5 การส่งสัญญาณภาพและเสียงโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติก**

สำหรับงานวิจัยในส่วนของการส่งสัญญาณภาพและเสียงโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติก ก็ได้นำเส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติกมาจัดสร้างเป็นอุปกรณ์คัปเปลอร์หรือเทเปอร์ (tapered) ชนิด 2 x 2 ซึ่งในด้านการทำงานของคัปเปลอร์นั้นจะต้องคำนึงถึงข้อกำหนดดังต่อไปนี้คือ

การส่งสัญญาณแสงผ่านคัปเปลอร์นั้นจะต้องพิจารณาสัมประสิทธิ์ของการส่งผ่าน ($\eta$) ที่ได้จากความสัมพันธ์ของกำลังแสงขาเข้า ($I_i$) และกำลังแสงขาออก ($I_j$) ซึ่งเขียนได้เป็น

$$\eta = \frac{\sum_i I_i}{\sum_j I_j} \qquad (5.14)$$

เมื่อ i , j คือจำนวนพอร์ตของคัปเปลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานหรือกำลังของแสงที่ส่งผ่านจะมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันก็จะขึ้นอยู่กับการสูญเสียกำลังของแสงที่ผ่านคัปเปลอร์ ซึ่งกำหนดได้ด้วยสมการ

$$\Lambda = \frac{\Delta P}{\sum_i I_i} = 1 - \eta \qquad (5.15)$$

เมื่อความแตกต่างของพลังงาน ($\Delta P$) กำหนดโดยความสัมพันธ์

$$\Delta P = \sum_i I_i - \sum_j O_j \qquad (5.16)$$

ดังนั้นการสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะที่แสงออกจากคัปเปลอร์คือ

$$L = 10 \log \eta \qquad (5.17)$$

กำลังของแสงที่ผ่านออกมา ($O_j$) เขียนได้เป็น

$$O_j = \sum_i A_{ji} I_i \qquad (5.18)$$

เมื่อ $A_{ji}$ คือพลังงานที่คัปปลิ้งเข้าไปในพอร์ต $i_{th}$ และออกที่พอร์ต $j_{th}$ โดยการสูญเสียเขียนได้เป็น

$$L_{ji} = -10 \log A_{ji} \qquad (5.19)$$

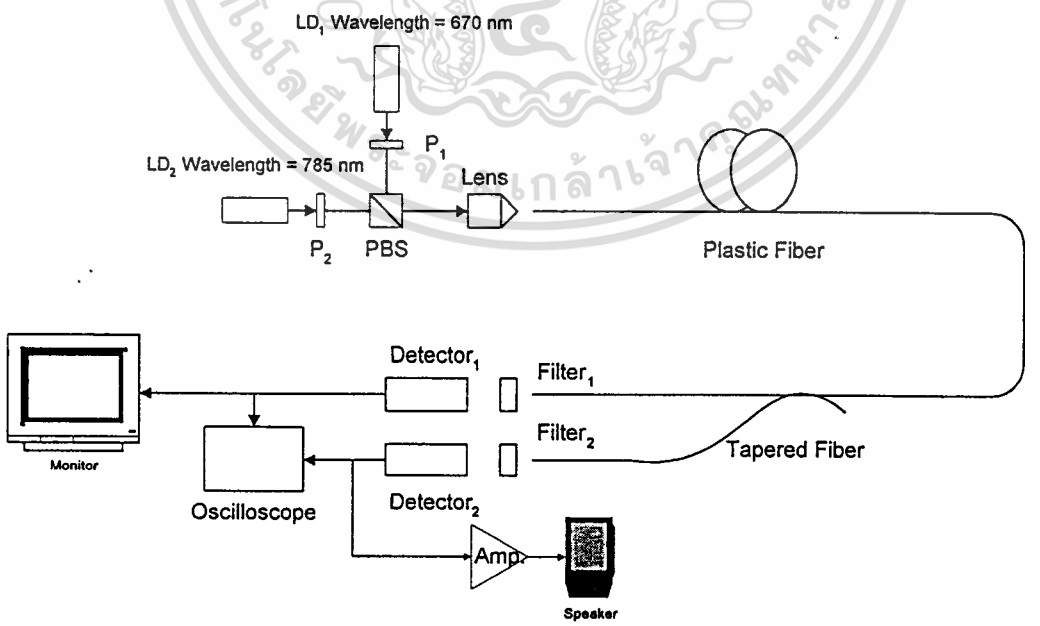
ซึ่งเป็นการสูญเสียจากการรวมแสงในหน่วยdBตลอดความยาวจาก $i_{th}$ ถึง $j_{th}$

งานวิจัยนี้ได้ใช้แหล่งกำเนิดแสงที่เป็นไดโอดเลเซอร์ซึ่งมีความยาวคลื่น 670 นาโนเมตร เป็นแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 และใช้แหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 มีความยาวคลื่น 785 นาโนเมตร ซึ่งเป็นแสงอยู่ในย่านอินฟราเรด แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 จะถูกมอดูเลตทางด้านกระแสที่ป้อนให้กับไดโอดเลเซอร์โดยกระแสนี้ก็จะถูกควบคุมจากกระแสของสัญญาณภาพเพื่อให้ความเข้มของแสงเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณภาพที่เข้ามา ส่วนแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 ก็จะทำการมอดูเลตสัญญาณเสียง ภายหลังจากนั้นสัญญาณแสงทั้งสองจะถูกนำมามัลติเพลกซ์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การมัลติเพลกซ์สัญญาณแสงนี้จะใช้อุปกรณ์ทางแสงที่เรียกว่าผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์ซึ่งมีคุณสมบัติในการทำให้แสงที่อยู่ในแนวระนาบทลุผ่านผลึกชนิดนี้ได้ ส่วนแสงโพลาไรซ์ที่อยู่ในแนวตั้งจะสะท้อนจากแนวแกนกลางของผลึกชนิดนี้ จากคุณสมบัติของผลึกนี้เองจึงได้นำมาทำการมัลติเพลกซ์สัญญาณแสงทั้งสองความยาวคลื่นโดยทำการวิเคราะห์มุมโพลาไรซ์ของแหล่งกำเนิดแสงทั้งสองให้ทำมุมโพลาไรซ์ตั้งฉากกัน เมื่อแหล่งกำเนิดแสงทั้งสองเดินทางผ่านผลึกโพลาไรซ์ก็จะเกิดการมัลติเพลกซ์ทางแสงหลังจากนั้นก็จะใช้เลนส์รวมแสงเพื่อป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงโดยอีกด้านหนึ่งของเส้นใยแก้วนำแสงนี้ได้จัดสร้างให้เป็นอุปกรณ์แยกแสงหรือคัปเปอร์แบบ 2 x 2

การจัดสร้างคัปเปอร์นี้ได้ใช้แผ่นขัดเส้นใยแก้วนำแสงขัดส่วนที่เป็นแคลดของเส้นใยแก้วนำแสงออกเพื่อให้แสงสามารถทะลุผ่านส่วนที่เป็นคอร์ได้ จากนั้นทำการขัดเส้นใยแก้วนำแสงอีกเส้นโดยขัดแคลดออกเช่นเดียวกันด้วยความยาวของตำแหน่งที่ขัดเอาส่วนที่เป็นแคลดมีความยาวเท่ากัน จากนั้นนำเส้นใยแก้วนำแสงทั้งสองมาประกบกันเพื่อให้แสงสามารถเดินทางผ่านเส้นใยแก้วทั้งสองนี้ได้ เมื่อแสงเดินทางผ่านคัปเปลอร์ที่ได้จัดสร้างขึ้นก็จะนำไปทำการกรองความยาวคลื่นแสงผ่านเพื่อแยกสัญญาณแสง




**รูปที่ 5-7 แสดงรูปแบบของการสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสงที่ได้ออกแบบไว้**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$LD_1$ คือแหล่งกำเนิดแสงไดโอดเลเซอร์ตัวที่ 1

$LD_2$ คือแหล่งกำเนิดแสงไดโอดเลเซอร์ตัวที่ 2

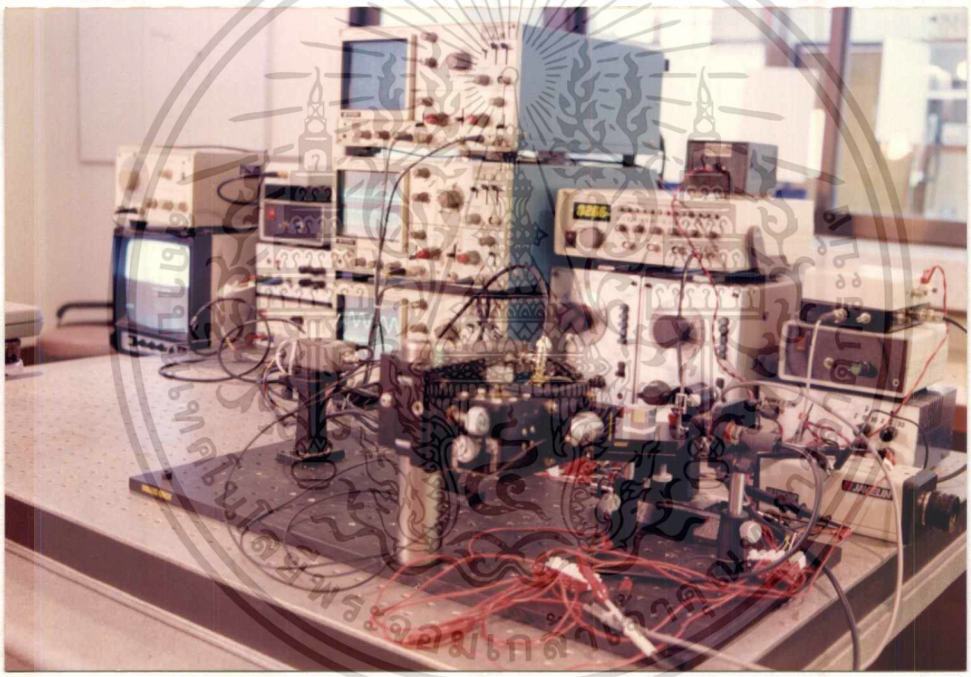
PBS คือผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์

$Detector_1$ คืออุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1

$Detector_2$ คืออุปกรณ์รับแสงตัวที่ 2

$Filter_1$ คืออุปกรณ์กรองแสงความยาวคลื่น 670 นาโนเมตร ผ่าน

$Filter_2$ คืออุปกรณ์กรองแสงความยาวคลื่น 785 นาโนเมตร ผ่าน



รูปที่ 5-8 แสดงการจัดชุดทดลองที่ได้ทำการทดลองการสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.6 สรุป

ในบทนี้ได้อธิบายถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการนำเอาอุปกรณ์เชิงแสงมาทำการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์ทางแสงตลอดจนการนำไปใช้ในการสื่อสารทางแสง โดยได้กล่าวถึงการทำการศึกษาคุณสมบัติทางโพลาไรซ์ของแสงรวมไปถึงการนำเอาคุณสมบัติทางโพลาไรซ์มาใช้ในการสื่อสารทางแสง ซึ่งก็จะประกอบไปด้วยการสื่อสารแบบทางเดียว การสื่อสารข่าวสารสองทางแบบดูเพลกซ์เต็มและการสื่อสารทางเดียวโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติก นอกจากนี้ยังได้อธิบายถึงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยตลอดจนขั้นตอนในการจัดสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6
## ผลของงานวิจัย

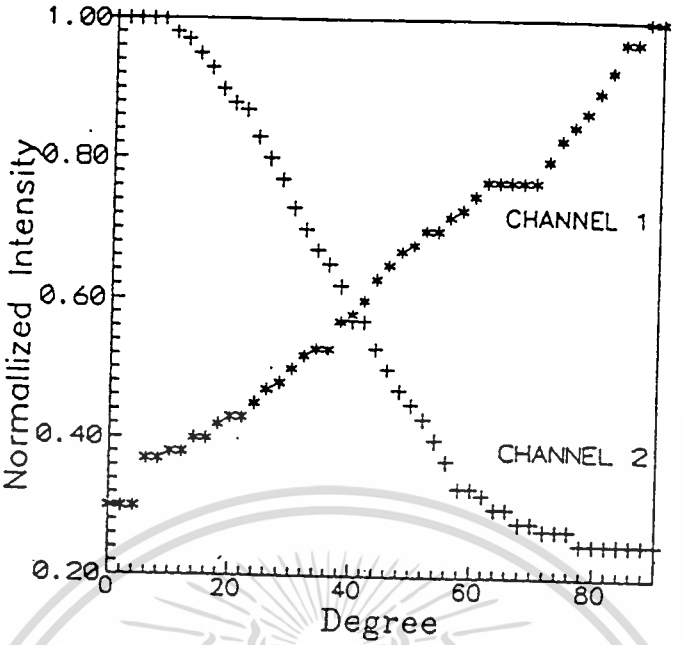
บทนี้จะเสนอรายละเอียดและขั้นตอนในการทดลอง ผลที่ได้จากการทดลอง ตลอดจนการอภิปรายและสรุปผลจากการทดลองตามที่เสนอไว้ในบทที่ 5

### 6.1 ผลการทดลองการวิเคราะห์มุมโพลาไรซ์

การทดลองนี้เป็นการทดลองที่ศึกษาคุณภาพของแสงโพลาไรซ์ที่ได้ใช้ในระบบแสง โดยจะทำการศึกษาการแยกสัญญาณโพลาไรซ์ของแสงเมื่อองค์ประกอบทั้งสองของแสงโพลาไรซ์ทำมุมตั้งฉากกัน ในการวิเคราะห์สัญญาณนี้ก็จะใช้แผ่นโพลารอยด์ทำหน้าที่ในการวิเคราะห์ โดยจะหมุนแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 3 ไปทุก ๆ 2 องศา โดยเริ่มจากมุมโพลาไรซ์ที่ 0 องศาไปจนกระทั่งครบ 90 องศา และจะใช้อุปกรณ์รับแสงซึ่งอยู่ด้านหลังของแผ่นโพลารอยด์ซึ่งเป็นตัววิเคราะห์แสงโพลาไรซ์ อุปกรณ์รตรวจจับกำลังของแสงก็จะเปลี่ยนกำลังของแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ดังนั้นก็จะได้ผลของกำลังของแสงอยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้า เพราะฉะนั้นเมื่อหมุนแผ่นโพลารอยด์ไปทำมุมขนานกับแสงโพลาไรซ์ในแนวใดแสงโพลาไรซ์ในแนวนั้นก็จะได้กำลังของแสงสูงสุด

ดังนั้นเมื่อจัดอุปกรณ์ทดลองดังรูปที่ 5-1 และทำการปรับมุมโพลาไรซ์ของแผ่นโพลารอยด์ไปทุก ๆ 2 องศาก็จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงกับมุมของการโพลาไรซ์ที่เปลี่ยนไปและเมื่อนำผลของสัญญาณที่ได้มาทำการเขียนกราฟที่อยู่ในรูปของความเข้มแสงกับมุมโพลาไรซ์ดังแสดงในรูปที่ 6-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 6-1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับมุมของการโพลาไรซ์ที่เปลี่ยนไป

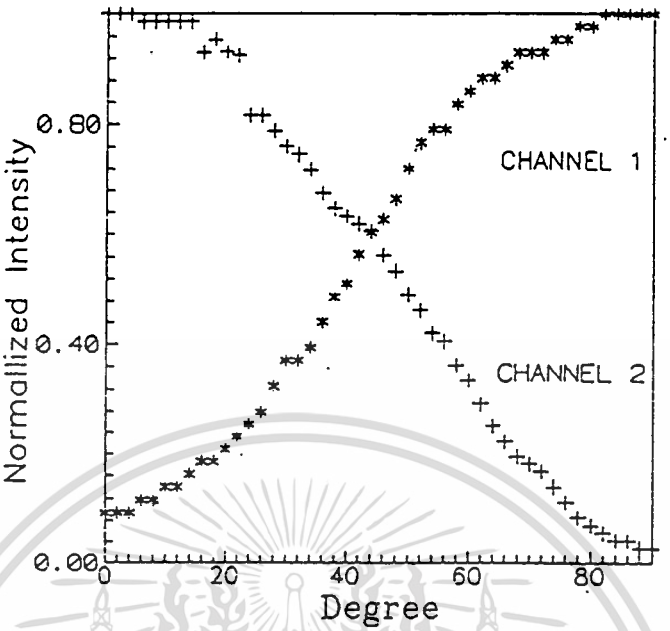
**6.2 ผลการทดลองการดีมัลติเพลกซ์โดยใช้ผลึกโพลาไรซ์**

ผลของการทดลองในส่วนนี้ได้แสดงถึงคุณสมบัติของการดีมัลติเพลกซ์ทางแสงโดยใช้ผลึกโพลาไรซ์ การทดลองนี้เมื่อทำการปรับมุมโพลาไรซ์ให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงเป็นโพลาไรซ์เชิงเส้น โดยแสงนี้เดินทางไปตกลงบนผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์ก็จะทำให้เกิดการทะลุผ่านไปโดยมีองค์ประกอบของการโพลาไรซ์ตั้งฉากกัน โดยกำลังแสงสูงสุดที่ผ่านผลึกโพลาไรซ์นี้จะมีค่าเป็น 9.58 dB ของแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 และมีค่าเป็น 12.2 dB เมื่อเป็นแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 ซึ่งค่านี้หาได้จากสมการที่ 3.12

ผลของความเข้มของแสงเมื่อทำการเปลี่ยนมุมโพลาไรซ์ของแสงไปเป็นมุมต่าง ๆ ทุก 2 องศา โดยเริ่มที่มุม 0 องศาไปจนกระทั่งถึงมุม 90 องศา เมื่อนำผลที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มของแสงกับมุมโพลาไรซ์ที่เปลี่ยนไปดังแสดงในรูปที่ 6-2

จากผลการทดลองการวิเคราะห์มุมโพลาไรซ์ และการดีมัลติเพลกซ์โดยใช้ผลึกโพลาไรซ์ปรากฏว่าเมื่อพิจารณาตามรูปที่ 6-1 และ 6-2 จะพบว่าผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์มีคุณสมบัติในการแยกแสงโพลาไรซ์ได้ดีกว่าผลึกโพลารอยด์โดยพิจารณาจากความเข้มแสงที่วัดได้เทียบกับความเข้มแสงต่ำสุดที่วัดได้ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 6-2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของความเข้มแสงเมื่อใช้ผลึกโพลาไรซ์เป็นอุปกรณ์ดีมัลติเพลกซ์ทางแสง

**6.3 ผลการทดลองการส่งสัญญาณภาพ เสียง ข้อมูลดิจิตอลแบบทางเดียว**

หลังจากได้ทำการศึกษาปรากฏการณ์ทางโพลาไรซ์ของแสงแล้วก็ได้ทำการประยุกต์นำไปใช้ในการสื่อสาร โดยจะทำการส่งสัญญาณภาพ เสียง และข้อมูลดิจิตอล โดยในการส่งสัญญาณภาพ เสียง และข้อมูลดิจิตอลแบบทางเดียวนี้ได้ทำการทดลองส่งสัญญาณภาพซึ่งมีแอมพลิจูดอยู่ที่ 1 $V_{p-p}$ แล้วนำไปทำการมัลติเพลกซ์กับคลื่นพาห์ของข้อมูลดิจิตอลที่มีความถี่ 15 เมกะเฮิร์ตซ์ที่แอมพลิจูดที่ 1 $V_{p-p}$ โดยจะทำการส่งผ่านแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 ($PD_1$) การทดลองนี้ได้ทำการทดลองส่งสัญญาณภาพเพียงอย่างเดียวเข้าไปในระบบที่ได้จัดสร้างขึ้นก่อนเพื่อดูผลของสัญญาณภาพที่ผ่านเข้าไปในระบบ เมื่ออุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 รับสัญญาณภาพได้ก็จะนำสัญญาณภาพที่รับได้ไปทำการขยายสัญญาณเพื่อแสดงผลของสัญญาณภาพบนจอมอนิเตอร์ต่อไป สัญญาณจากอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 นี้มีสัญญาณรบกวนอยู่ที่ 5 มิลลิโวลต์ รูปสัญญาณของสัญญาณภาพก่อนทำการส่งผ่านเข้าไปในระบบและที่รับได้จากอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 แสดงในรูปที่ 6-3 ความคมชัดของภาพแสดงในรูปที่ 6-4 ต่อมาได้ทำการทดลองส่งข้อมูลดิจิตอลเพียงอย่างเดียว การทดลองนี้ได้ทดลองหาแบนด์วิดท์ของชุดเครื่องมือในการดีมอดูเลตที่ได้จัดสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการแปลงระบบสื่อสารข้อมูลดิจิตอล โดยทำการป้อนสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ เข้ากับคลื่นพาห์ที่มีความถี่ 15 เมกะเฮิร์ตซ์ ก็จะได้รูปของสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 6-5 เมื่อนำสัญญาณนี้ไปทำการมอดูเลตเข้ากับแสง และผ่านระบบ

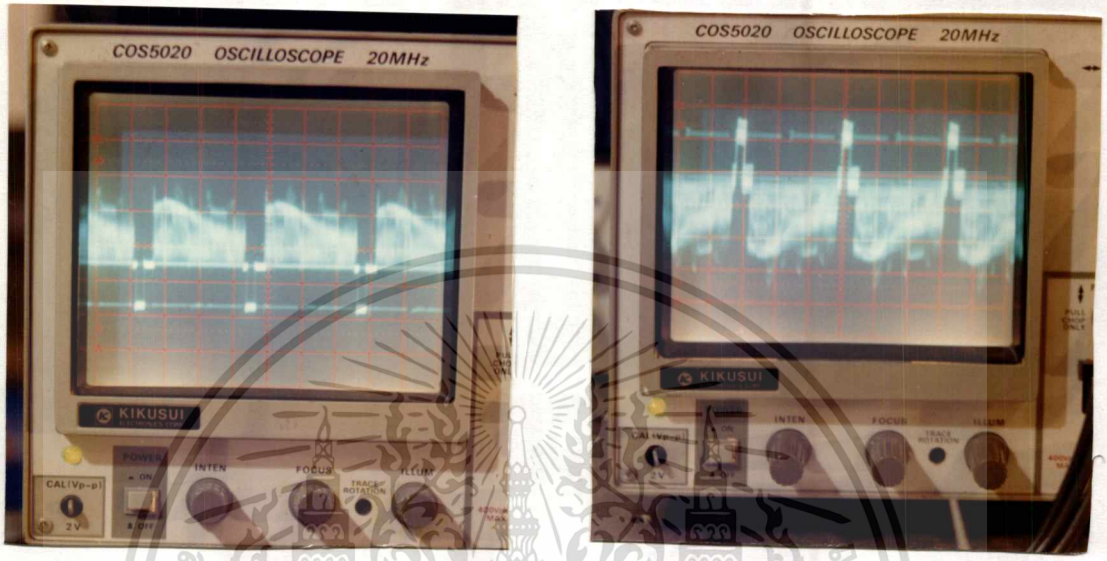
เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ได้จัดสร้างขึ้นก็จะได้รูปของสัญญาณที่รับได้จากอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 6-6 หลังจากนั้นได้เพิ่มความถี่ในการมอดูเลตขึ้นไปจนกระทั่งไม่สามารถดีมอดูเลตสัญญาณได้อย่างถูกต้อง จากการทดลองปรากฏว่าที่ความถี่ของสัญญาณพัลส์ที่ 70 กิโลเฮิร์ตซ์ นั้นระบบดีมอดูเลตสัญญาณไม่สามารถที่จะทำการดีมอดูเลตสัญญาณได้อย่างถูกต้องได้ ผลการทดลองการดีมอดูเลตสัญญาณที่ความถี่ 70 กิโลเฮิร์ตซ์แสดงในรูปที่ 6-7 ซึ่งเป็นผลเนื่องจากวงจรทางไฟฟ้าที่ทำการดีมอดูเลตสัญญาณมีแบนด์วิดท์อยู่ในช่วงประมาณ 70 กิโลเฮิร์ตซ์ ต่อมาได้ทำการส่งสัญญาณภาพและข้อมูลดิจิตอลพร้อมกัน โดยทำการมอดูเลตสัญญาณพัลส์ที่ความถี่ 3 กิโลเฮิร์ตซ์ เข้ากับคลื่นพาห์ หลังจากนั้นทำการมัลติเพลกซ์เข้ากับสัญญาณภาพจากนั้นได้ทำการส่งผ่านเข้าไปในระบบที่ได้จัดสร้างขึ้น โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 ไปตกลงบนอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 ($PD_1$) ก็จะได้สัญญาณดังรูปที่ 6-8 สัญญาณนี้ก็จะนำไปผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเพื่อแยกสัญญาณภาพออกจากคลื่นพาห์ของข้อมูลดิจิตอลโดยมีสัญญาณรบกวนจากการรบกวนข้ามช่องสัญญาณ 17 มิลลิโวลต์โดยสัญญาณอีกส่วนก็จะนำไปผ่านวงจรกรองความถี่สูงผ่านและวงจรดีมอดูเลตสัญญาณ จากนั้นนำไปผ่านวงจรทวีแรงดันก็จะได้สัญญาณดังรูปที่ 6-9

ในส่วนของสัญญาณภาพนั้นความคมชัดของสัญญาณภาพแสดงดังรูปที่ 6-10 จากนั้นได้ทำการมอดูเลตสัญญาณพัลส์ความถี่ 70 กิโลเฮิร์ตซ์เข้ากับคลื่นพาห์ของสัญญาณดิจิตอลก็จะได้ผลของสัญญาณดังรูปที่ 6-11 และได้ความคมชัดของสัญญาณภาพดังแสดงในรูปที่ 6-12 ต่อมาได้ใช้โปรแกรมโปรคอม (Procomm) ทำการส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วสูงสุดของของโปรแกรมคือ 19,200 บิตต่อวินาที เมื่อนำไปทำการส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ 2 เครื่องเพื่อตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล เมื่อทำการส่งผ่านเข้าไปในระบบที่สร้างขึ้นจะได้ผลของการส่งข้อมูลดังรูปที่ 6-13 และ 6-14 เมื่อพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 ซึ่งจะทำการส่งสัญญาณเสียงและข้อมูลดิจิตอลโดยใช้ช่องสัญญาณที่ 2 ในส่วนของสัญญาณเสียงก็จะทำการมอดูเลตสัญญาณทางด้านแอมพลิจูดเข้ากับคลื่นพาห์ความถี่ 100 กิโสเฮิร์ตซ์ โดยจะทำการมอดูเลตสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งแสดงในรูปที่ 6-15 หลังจากนั้นได้เพิ่มความถี่สูงให้ขึ้นจะพบว่าเมื่อทำการดีมอดูเลตสัญญาณแล้วขนาดของสัญญาณลดลงเป็นครึ่งหนึ่งของสัญญาณที่มอดูเลตที่ความถี่ 10 กิโลเฮิร์ตซ์ ดังแสดงในรูปที่ 6-16 ดังนั้นในชุดส่งสัญญาณเสียงนี้จะมีแบนด์วิดท์อยู่ที่ 10 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นผลมาจากวงจรทางไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ในการมอดูเลตและดีมอดูเลตสัญญาณทางไฟฟ้า ต่อมาได้ทำการส่งข้อมูลดิจิตอลด้วยความเร็ว 19,200 บิตต่อวินาที เข้าไปในระบบพร้อมทั้งทำการส่งสัญญาณเสียงด้วย ปรากฏว่าเมื่อทำการดีมัลติเพลกซ์สัญญาณแล้วจะมีค่าของการรบกวนข้ามช่องสัญญาณสูงถึง 3dB ซึ่งหาได้จากสมการ CT = 10log s/n โดย s คือ สัญญาณที่ต้องการซึ่งมีค่าประมาณ 0.5 V และ n คือสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

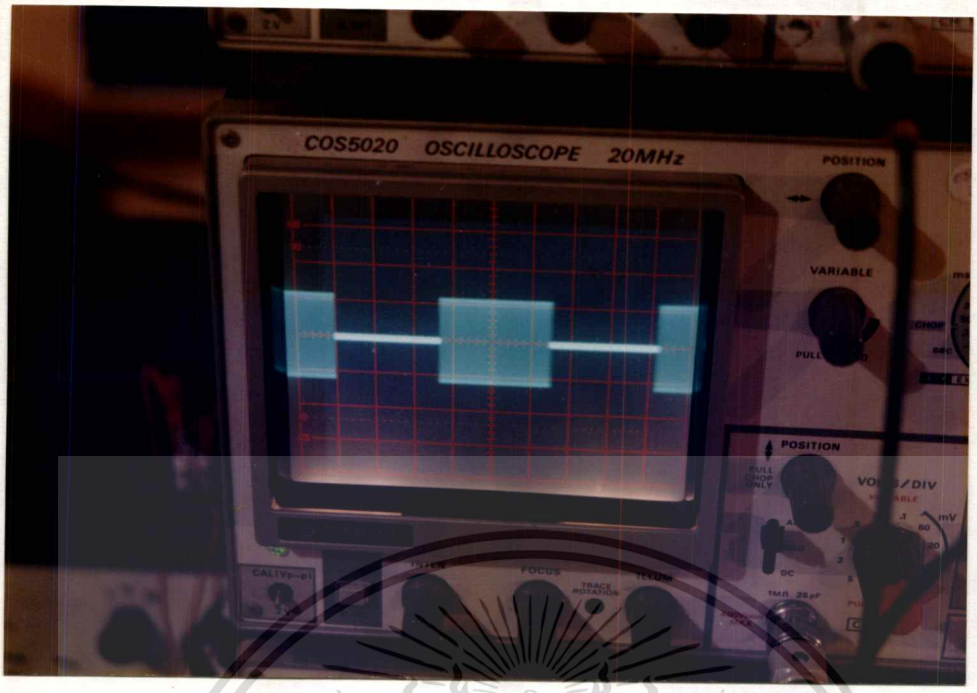
รบกวนซึ่งมีค่าประมาณ 1 V ซึ่งแสดงในรูปที่ 6-17 ผลของการรบกวนข้ามช่องสัญญาณจำนวนมากนี้เกิดเนื่องจากวงจรทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ไม่สามารถที่จะทำการกรองสัญญาณที่อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิตอลได้หมดไป



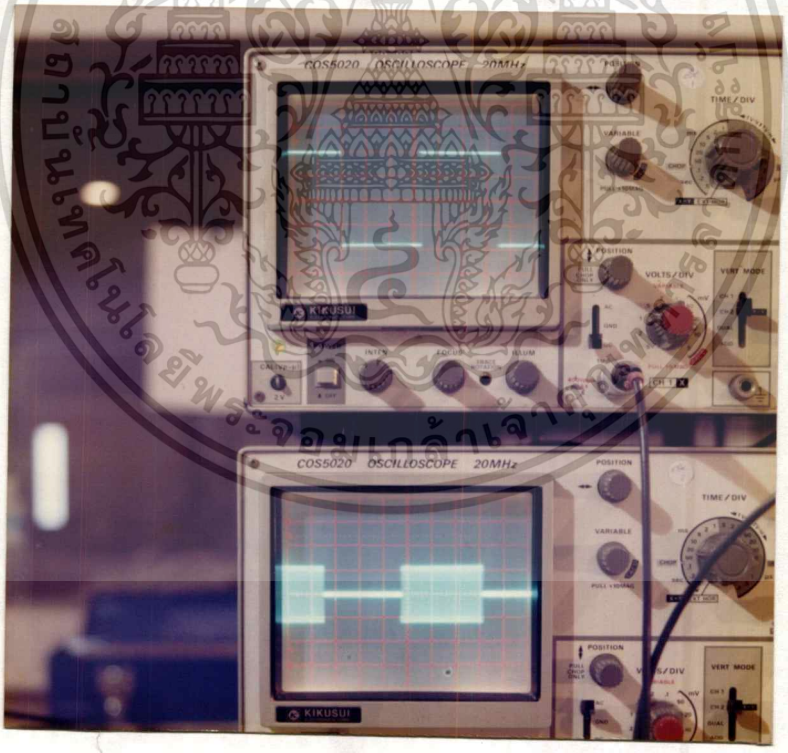

รูปที่ 6-3 แสดงรูปสัญญาณของสัญญาณภาพก่อนทำการมอดูเลตเข้ากับแหล่งกำเนิดแสงและสัญญาณที่รับได้จากอุปกรณ์รับแสง

รูปที่ 6-4 แสดงความคมชัดของสัญญาณภาพที่รับได้จากอุปกรณ์รับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

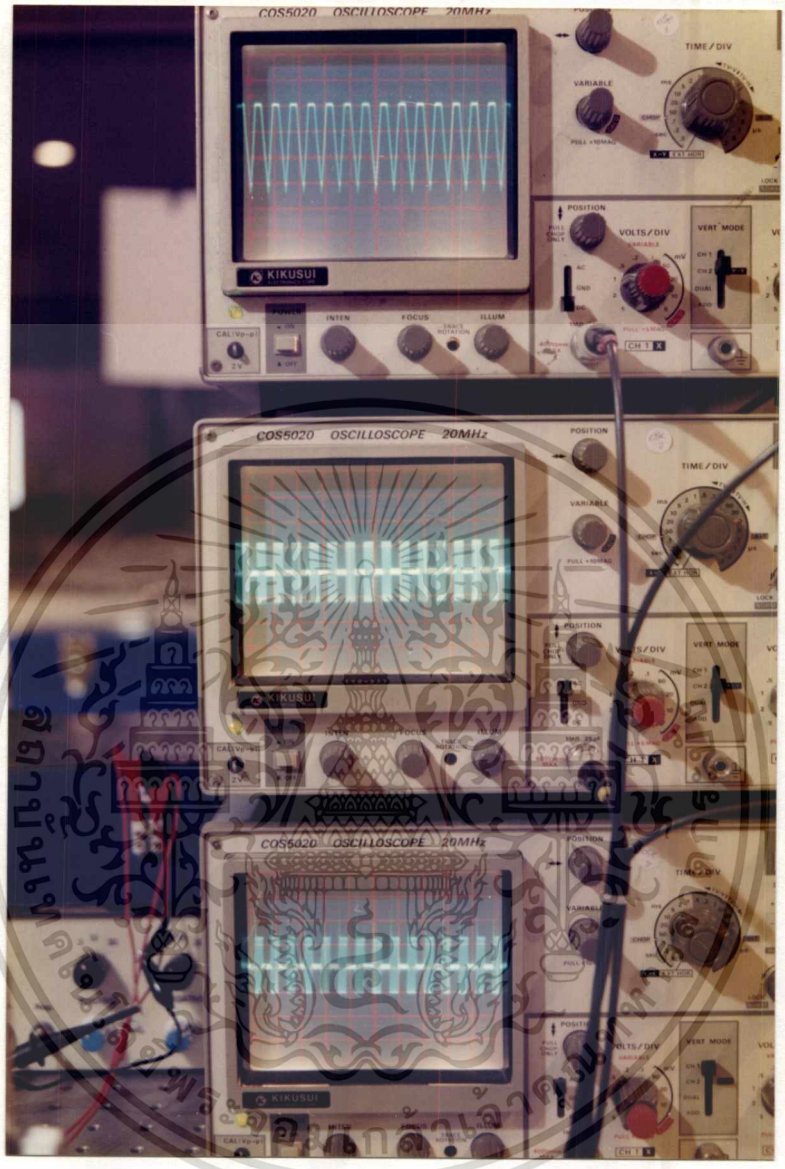



รูปที่ 6-5 แสดงสัญญาณของข้อมูลที่มัลติเพลกซ์เข้ากับคลื่นพาห์ความถี่ 15 เมกะเฮิร์ตซ์ ก่อนทำการมอดูเลตเข้ากับคลื่นแสง



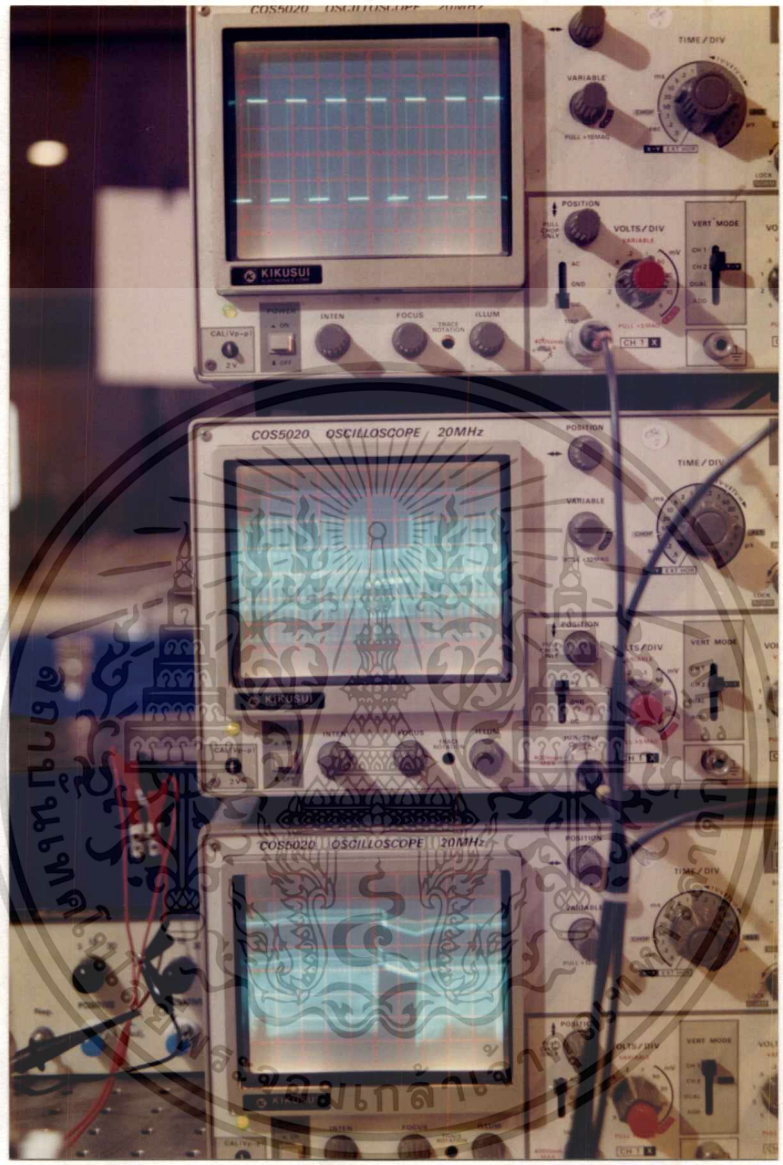

รูปที่ 6-6 แสดงสัญญาณที่รับได้จากอุปกรณ์รับแสงและข้อมูลที่ได้จากการดีมอดูเลตสัญญาณที่ความถี่สัญญาณพัลส์ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



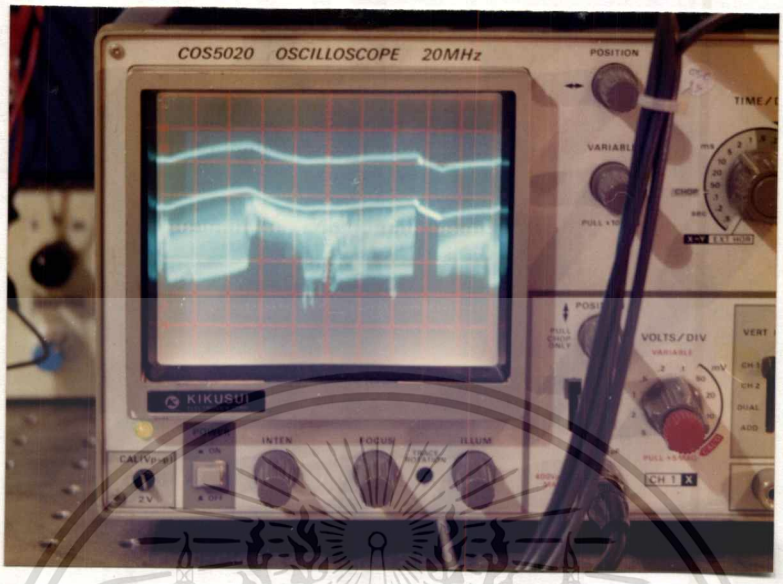

รูปที่ 6-7 แสดงรูปของสัญญาณข้อมูลก่อนทำการมอดูเลตเข้ากับคลื่นแสง (กลาง) สัญญาณที่รับได้จากอุปกรณ์รับแสง (ล่าง) และข้อมูลที่ทำการดีมอดูเลตออกจากคลื่นพาห์ (บน) ที่ความถี่สัญญาณพัลส์ 70 กิโลเฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

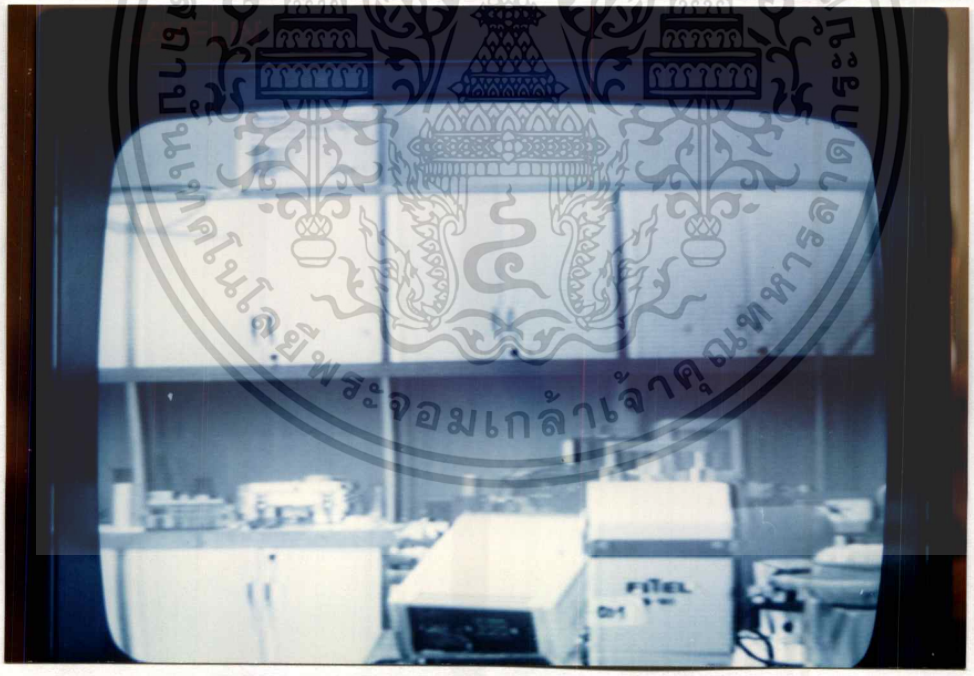



รูปที่ 6-8 แสดงสัญญาณที่ได้จากการมัลติเพลกซ์สัญญาณภาพและข้อมูลดิจิตอลก่อนนำไปทำการมอดูเลตเข้ากับแหล่งกำเนิดแสง (กลาง) สัญญาณที่รับได้จากอุปกรณ์รับแสง (ล่าง) และข้อมูลที่ได้จากการดีมอดูเลตทางไฟฟ้า (บน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

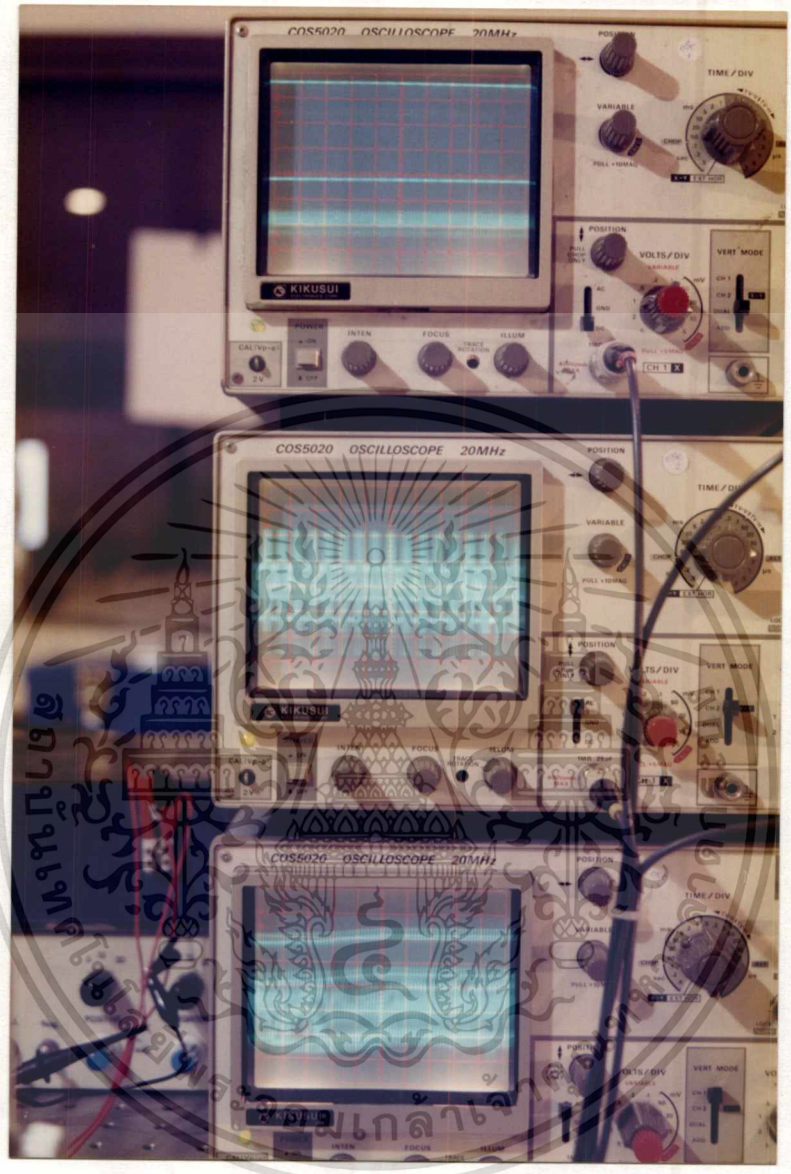



รูปที่ 6-9 แสดงสัญญาณที่ได้จากการดีมัลติเพลกซ์สัญญาณภาพและข้อมูลดิจิตอล



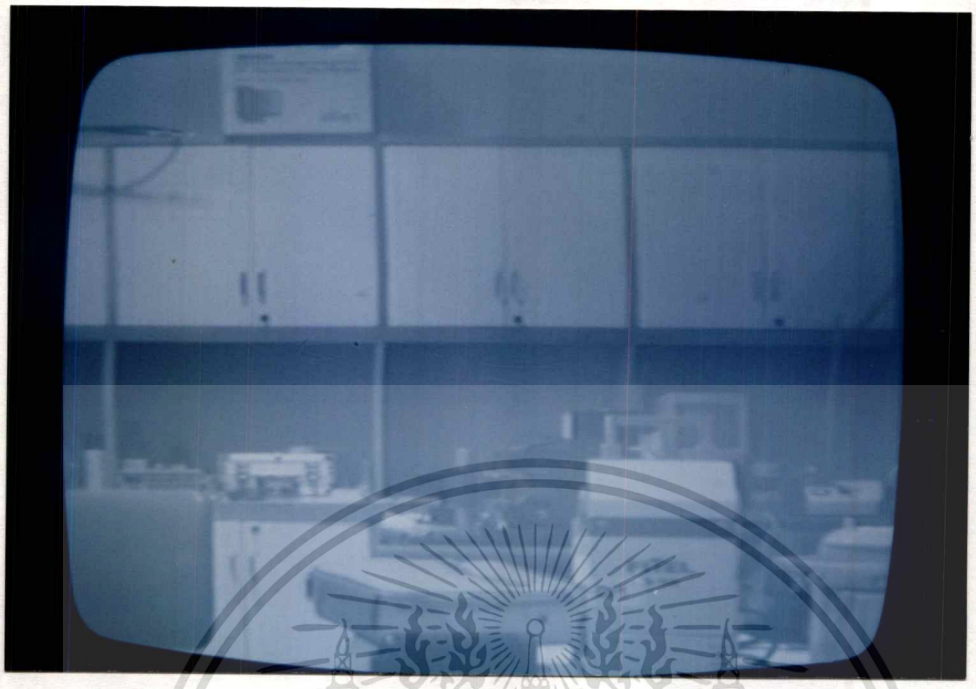
รูปที่ 6-10 แสดงความคมชัดของภาพที่ได้จากการดีมัลติเพลกซ์สัญญาณทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



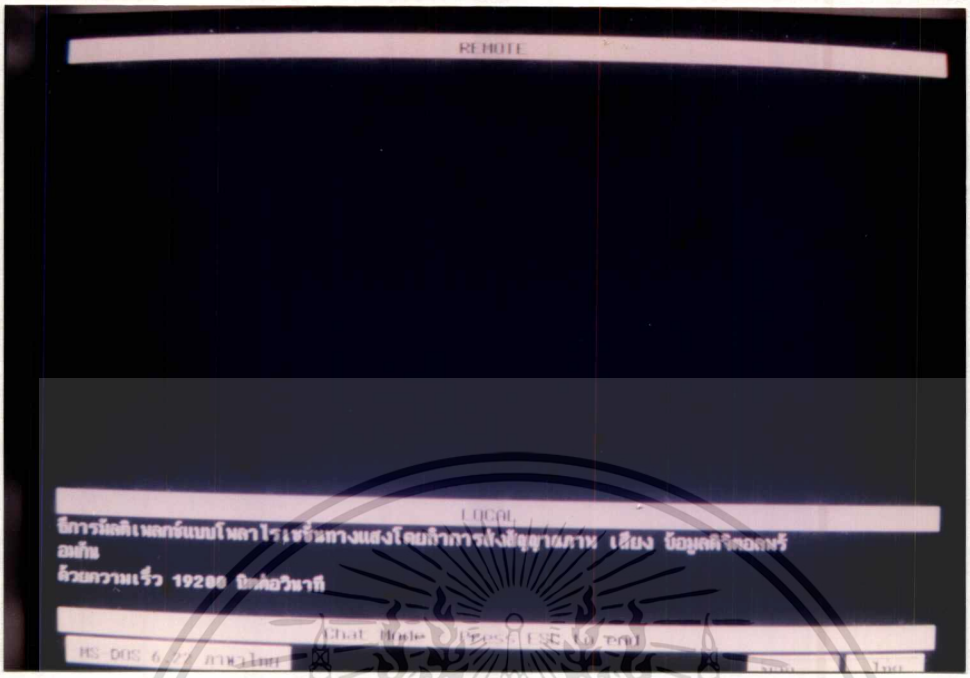

รูปที่ 6-11 แสดงสัญญาณที่มอดูเลตให้กับแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 (กลาง) สัญญาณที่รับได้จากอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 (ล่าง) และสัญญาณที่ได้จากการดีมัลติเพลกซ์ (บน) ซึ่งมอดูเลตสัญญาณพัลส์ที่ความถี่ 70 กิโลเฮิร์ตซ์ เข้ากับคลื่นพาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

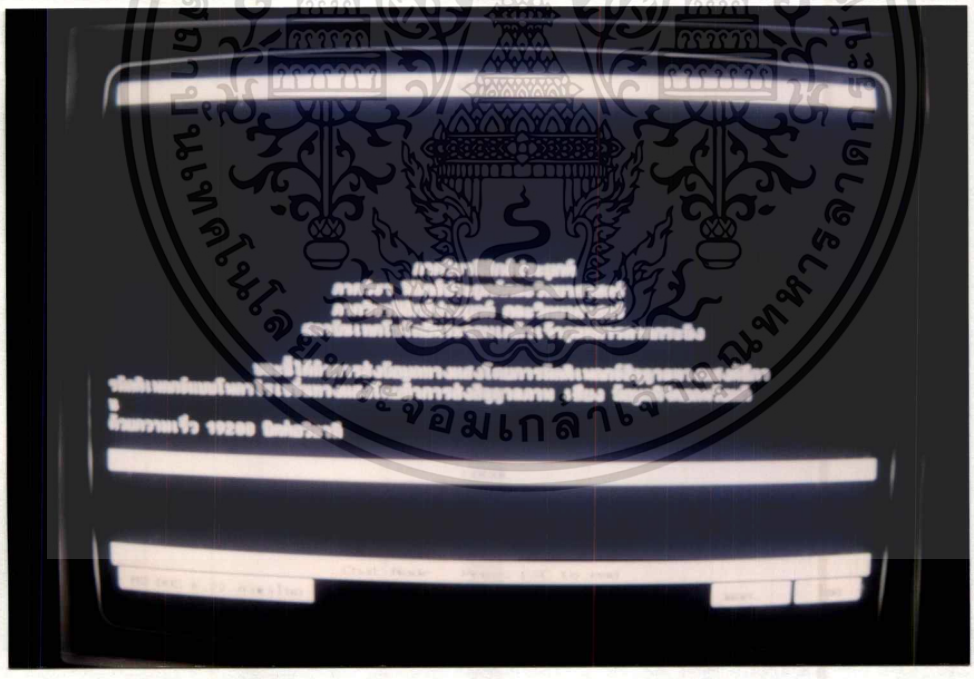


รูปที่ 6-12 แสดงความคมชัดของสัญญาณภาพเมื่อทำการดีมัลติเพลกซ์สัญญาณออกจากคลื่นพาห์ที่มอดูเลตสัญญาณพัลส์ด้วยความถี่ 70 กิโลเฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

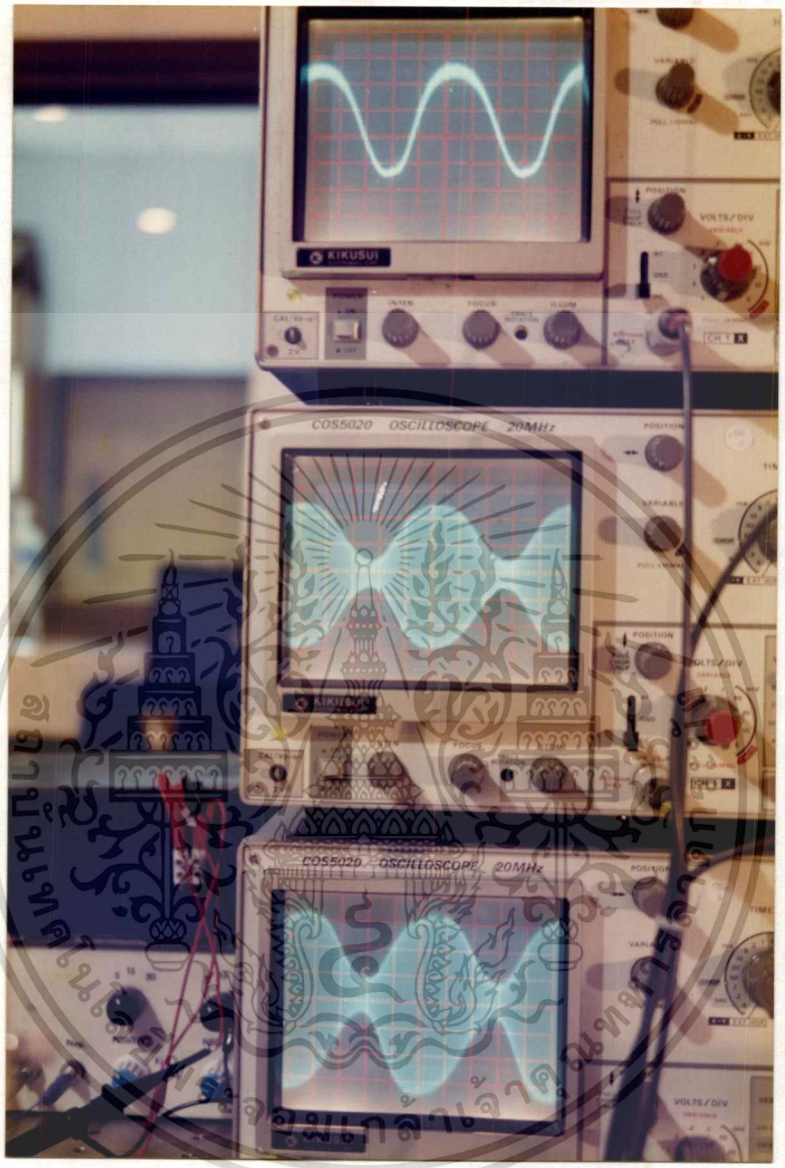



รูปที่ 6-13 แสดงหน้าจอของการส่งข้อมูลดิจิตอลด้วยความเร็ว 19,200 บิตต่อวินาที



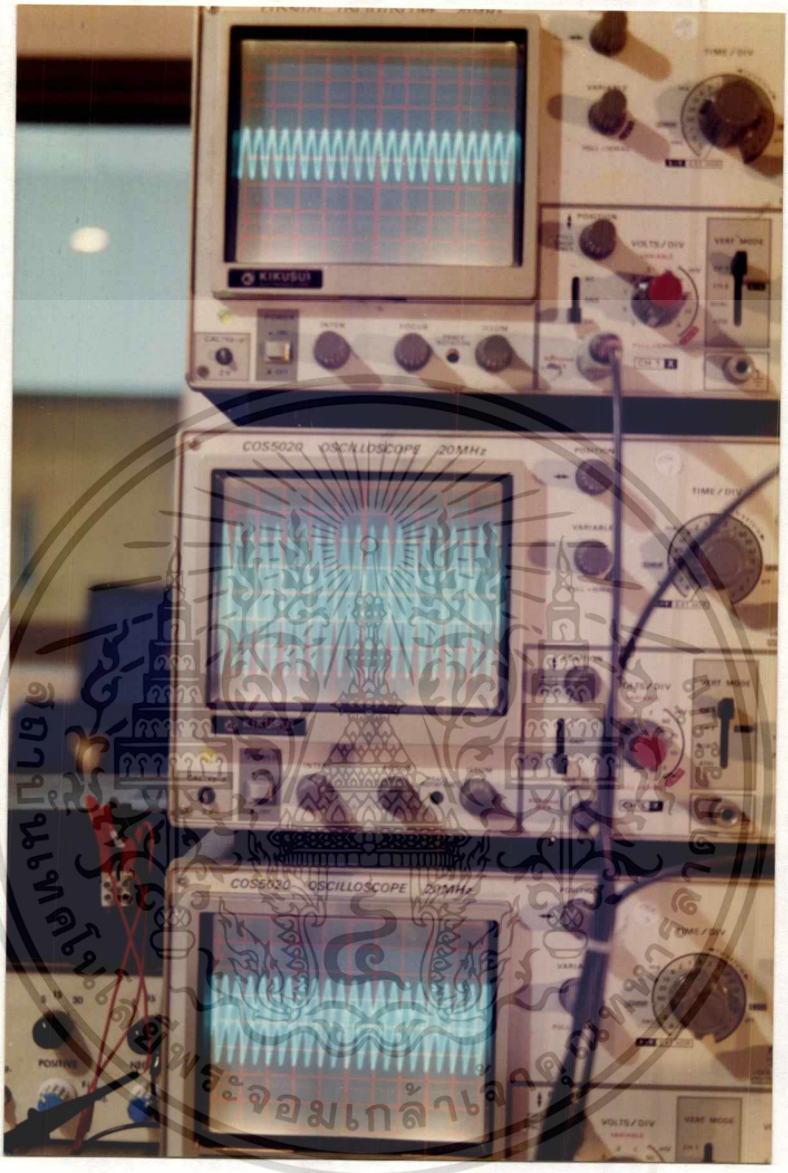
รูปที่ 6-14 แสดงหน้าจอของข้อมูลที่รับได้ด้วยความเร็ว 19,200 บิตต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



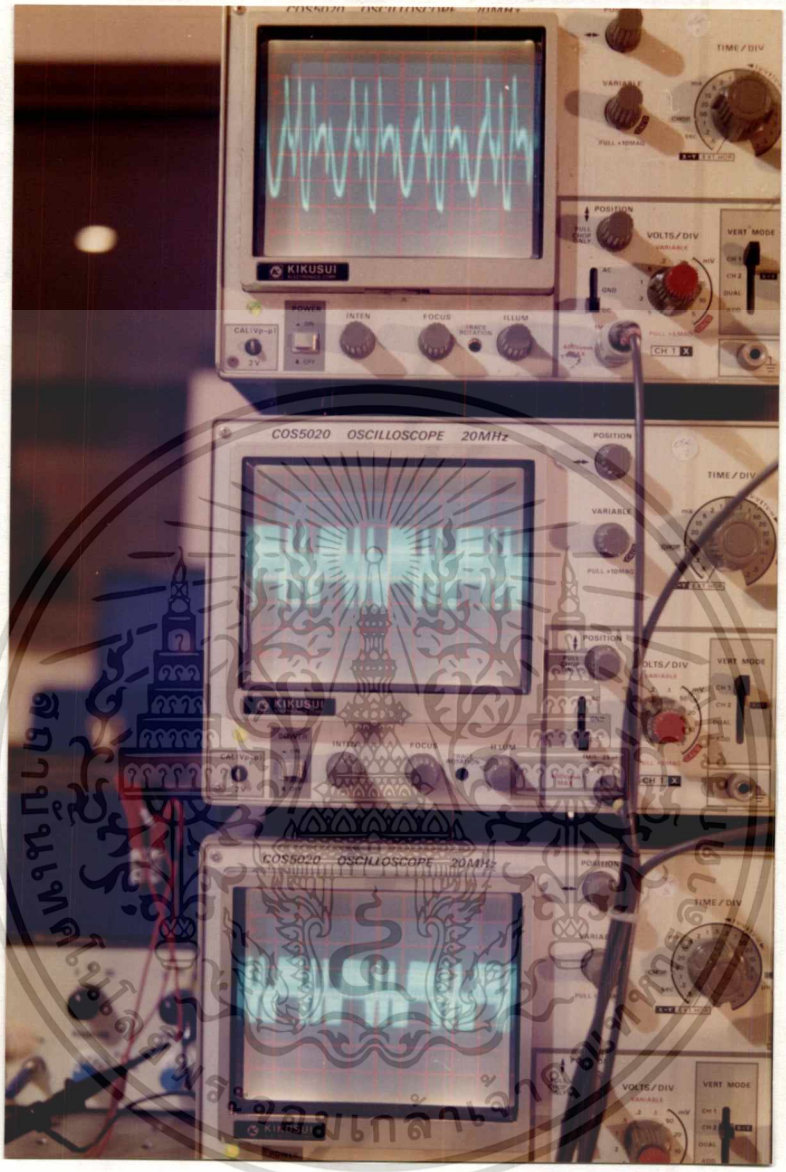

รูปที่ 6-15 แสดงสัญญาณที่มอดูเลตให้กับแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 (กลาง) สัญญาณที่รับได้จาก
อุปกรณ์รับแสงตัวที่ 2 (ล่าง) สัญญาณที่ได้จากการดีมอดูเลต
สัญญาณเสียงที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ (บน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 6-16 แสดงสัญญาณที่มอดูเลตให้กับแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 (กลาง) สัญญาณที่รับได้จาก
อุปกรณ์รับแสงตัวที่ 2 (ล่าง) สัญญาณที่ได้จากการดีมอดูเลต
สัญญาณเสียงที่ความถี่ 10 กิโลเฮิร์ตซ์ (บน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 6-17 แสดงสัญญาณที่มอดูเลตให้กับแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 (กลาง) สัญญาณที่รับได้จากอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 2 (ล่าง) สัญญาณที่ได้จากการดีมัลติเพลกซ์สัญญาณเสียงและข้อมูลดิจิตอลที่ความเร็ว 19,200 บิตต่อวินาที (บน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**6.4 ผลการทดลองส่ง สัญญาณภาพ เสียง และข้อมูลดิจิตอลแบบดูเพลกซ์เต็ม**

ในการทดลองนี้ได้ทำการมอดูเลตสัญญาณภาพ และสัญญาณดิจิตอลเข้ากับแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 ($LD_1$) (ดูรูปที่ 5-6 )โดยสัญญาณภาพที่ส่งอยู่ในช่วงแบนด์วิดท์ประมาณ 4.7 เมกะเฮิร์ตซ์ และเป็นสัญญาณดิจิตอล ซึ่งส่งข้อมูลด้วยวิธีการแอมพลิจูดชิพคีย์อิงค์ (ASK) หรือออนออฟคีย์อิงค์ (OOK) ซึ่งใช้ความถี่คลื่นพาห์ในการมอดูเลตเพื่อทำการย้ายสเปคตรัมให้ข้อมูลดิจิตอลอยู่สูงกว่าสัญญาณภาพ หลังจากนั้นได้ทำการมัลติเพลกซ์สัญญาณทั้งสองเข้าด้วยกันและนำสัญญาณไฟฟ้านี้ไปมอดูเลตกับแหล่งกำเนิดแสงซึ่งเป็นไดโอดเลเซอร์เพื่อเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณแสง จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งผ่านระบบไปยังอุปกรณ์รับแสงซึ่งมีแบนด์วิดท์ 20 เมกะเฮิร์ตซ์ที่สัญญาณเอาต์พุตลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของสัญญาณที่มอดูเลตมากับแสงหรือที่ -3dB ระบบที่ศึกษานี้สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นภายในอุปกรณ์รับแสง ซึ่งสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์รับแสงนั้นมีค่าประมาณ 5 มิลลิโวลท์ ซึ่งวัดได้จากออสซิลโลสโคป

สำหรับการส่งสัญญาณดิจิตอลได้ทำการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยอัตราเร็วต่าง ๆ กัน ซึ่งประกอบไปด้วย 300, 1,200, 2,400, 4,800, 9,600, 19,200 บิตต่อวินาที โดยใช้โปรแกรมที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลผ่านเครื่องเข้าและถอดรหัส (Modem) โดยผลของการส่งข้อมูลที่ยังไม่ได้มีการมัลติเพลกซ์สัญญาณภาพซึ่งได้ทำการส่งกลุ่มข้อมูลชื่อ QBASIC.HLP ซึ่งมีขนาด 130,881 ไบต์ จากการทดลองเมื่อทำการส่งผ่านเข้าไปในระบบที่ได้จัดสร้างขึ้นปรากฏว่าไม่พบบิตผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูลด้วยความเร็วต่าง ๆ โดยทำการตรวจสอบด้วยโปรแกรมทางด้านรับข้อมูล

ในส่วนของการส่งสัญญาณภาพนั้นเมื่อทำการส่งข้อมูลดิจิตอลด้วยซึ่งจะเกิดการรบกวนข้ามช่องสัญญาณทางไฟฟ้าขึ้นอันเป็นผลมาจากคุณสมบัติในการออกแบบวงจรในการกรองความถี่ผ่านไม่สามารถที่จะตัดความถี่ของสัญญาณที่มัลติเพลกซ์กันด้วยวิธี ASK ให้หมดไปได้ จึงมีการรบกวนข้ามช่องสัญญาณขึ้นซึ่งมีค่าประมาณ -7 dB ทำให้สัญญาณภาพในตอนที่มีการส่งข้อมูลเกิดเป็นลายเส้นเกิดขึ้น

สำหรับในส่วนของแสงที่เดินทางในตัวกลางที่เป็นอากาศ ผลของการรบกวนข้ามช่องสัญญาณทางแสงจะมีค่า -24 dB ซึ่งจะพบว่ามีค่าน้อยมากหาได้โดยใช้อุปกรณ์วัดกำลังทางแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งกำเนิดแสงที่ 2 ($LD_2$) ได้ทำการมอดูเลตสัญญาณเสียงกับสัญญาณดิจิตอลเข้ากับแหล่งกำเนิดแสง โดยทำการมัลติเพลกซ์สัญญาณเสียงกับสัญญาณดิจิตอล สัญญาณเสียงจะถูกมอดูเลตเข้ากับความถี่ของคลื่นพาห์ที่มีความถี่ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ ด้วยวิธีการมอดูเลตทางแอมพลิจูด ส่วนสัญญาณดิจิตอลจะถูกนำมาลดขนาดของสัญญาณลงหลังจากนั้นจะทำการมัลติเพลกซ์สัญญาณไฟฟ้านำไปมอดูเลตแสงต่อไป

ในส่วนของสัญญาณเสียงเมื่อทำการดีมัลติเพลกซ์และดีมอดูเลตสัญญาณแล้วปรากฏว่าสัญญาณดิจิตอลไปรบกวนข้ามช่องสัญญาณ ในส่วนของอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีขนาดประมาณ -5 dB เป็นผลให้เกิดเสียงรบกวนเกิดขึ้นตามอัตราเร็วที่ใช้ในการส่งข้อมูลดิจิตอล

สำหรับส่วนของการแยกสัญญาณทางแสงจะมีสัญญาณรบกวนข้ามช่องสัญญาณจากแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 ($LD_1$) ซึ่งมีค่าประมาณ -19 dB จึงทำให้เข้าไปมีผลกับระบบที่ได้จัดสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการรับแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 มีค่าน้อย

**6.5 การส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงแบบทางเดียว**

ในการทดลองนี้ได้ทำการมอดูเลตสัญญาณภาพเข้ากับแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 และมอดูเลตสัญญาณเสียงเข้ากับแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 เพื่อทำการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงเมื่อนำสัญญาณแสงมาทำการมัลติเพลกซ์กันแล้วก็จะถูกส่งเข้าไปในระบบที่ได้จัดสร้างขึ้นไปยังอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 และตัวที่ 2 โดยอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 มีแบนด์วิดท์ประมาณ 20 เมกะเฮิร์ตซ์ และอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 2 มีแบนด์วิดท์ประมาณ 1.5 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยพิจารณาที่สัญญาณขาออกลดลงครึ่งหนึ่งของสัญญาณที่มอดูเลตมากับแสง หรือที่ -3 dB โดยอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 จะมีสัญญาณรบกวนอยู่ที่ประมาณ 5 มิลลิโวลต์ และอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 2 มีสัญญาณรบกวนอยู่ที่ประมาณ 12 มิลลิโวลต์ อุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 รับกำลังแสงสูงสุดได้ 4.8 โวลต์ และอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 2 รับกำลังแสงสูงสุดได้ 10.7 โวลต์ ดังนั้นจะได้อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 มีค่าเป็น 19.8 dB และอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 2 มีค่าเป็น 19.5 dB

พิจารณาผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์ที่นำมาใช้ในการมัลติเพลกซ์นี้เป็นผลึกโพลาไรซ์ชนิด 97 % คือเมื่อป้อนแสงโพลาไรซ์ซึ่งทำมุมตามแนวที่กำหนดจะมีการเปลี่ยนมุมโพลาไรซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปเป็นมุมตั้งฉากของแสงโพลาไรซ์ที่กำหนดมุมไว้นี้ประมาณ 3 % โดยถ้ากำหนดมุมของแสงโพลาไรซ์ในแนวระนาบเมื่อเดินทางผ่านผลึกชนิดนี้ แสงโพลาไรซ์ที่เดินทางผ่านผลึกนี้จะมีค่าเป็น 97 % ของความเข้มแสงที่ทะลุผ่าน และความเข้มของแสงจะสะท้อนออกจากผลึกชนิดนี้ เมื่อให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 ซึ่งมีกำลังแสง 4.72 dBm โดยวัดได้จาก เครื่องมือวัดกำลังแสง เดินทางผ่านผลึกนี้ โดยกำหนดให้มีมุมโพลาไรซ์ในแนวระนาบทำการวัดกำลังแสงที่ออกจากผลึกโพลาไรซ์ได้ 4.54 dBm และแสงที่สะท้อนออกจากผลึกโพลาไรซ์มีค่าเป็น -10.5 dBm ในส่วนของแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 ที่ผ่านผลึกโพลาไรซ์ แหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 มีกำลังแสงประมาณ 4.62 dBm เมื่อสะท้อนจากผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์ความเข้มของแสงที่สะท้อนออกมามีค่าเป็น 4.39 dBm และแสงที่ทะลุผ่านออกมามีค่าเป็น -10.67 dBm

ในส่วนของเส้นใยแก้วนำแสงจะพิจารณาการลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งในการทดลองได้ใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติกซึ่งมีความยาว 120 เซนติเมตร เมื่อให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 เข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงเพื่อหาอัตราการลดทอนของแสงต่อเส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติก โดยวัดกำลังแสงที่ออกจากเส้นใยแก้วนำแสงมีค่าเป็น 4.41 dBm หลังจากนั้นได้ทำการทดลองป้อนสัญญาณแสงจากแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 เพื่อทำการหาอัตราส่วนของการลดทอนสัญญาณแสงย่านอินฟราเรดจากเส้นใยแก้วนำแสงโดยกำลังแสงที่วัดได้มีค่าเป็น 4.21 dBm ดังนั้นจะสามารถทราบกำลังของแสงที่ลดทอนต่อความยาวได้ โดยแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 มีค่าความลดทอนของแสงประมาณ $-2.77 \times 10^{2}$ dB ต่อกิโลเมตร และแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 มีค่าความลดทอนประมาณ $-1.47 \times 10^{2}$ dB ต่อกิโลเมตร ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนของกำลังแสงหลังผ่านตัวกลางกับกำลังของแสงก่อนเข้าไปในตัวกลางดังสมการที่ 3.11

เมื่อทำการขัดเส้นใยแก้วนำแสงที่ตำแหน่งความยาวประมาณ 100 เซนติเมตร ปรากฏว่ากำลังของแสงมีค่าลดลงเหลือประมาณ 2.19 dBm แต่จากการพิจารณาที่อัตราการลดทอนต่อความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งมีค่าเป็น $-1.16 \times 10^{-3}$ dB ต่อเซนติเมตร ดังนั้นที่ตำแหน่งที่ขัดเอาส่วนที่เป็นส่วนห่อหุ้ม (Cladding) ออกจะมีค่าของแสงที่ทะลุออกไปภายนอกประมาณ 0.34 dBm ที่ตำแหน่งที่ทำการขัดเอาส่วนห่อหุ้มออกนี้ก็จะนำเส้นใยแก้วนำแสงอีกเส้นหนึ่งที่มีความยาว 20 เซนติเมตรมาประกบเข้าด้วยกัน โดยขัดเอาส่วนห่อหุ้มออกเช่นเดียวกันซึ่งจะขัดที่ตำแหน่ง 16 เซนติเมตร ก็จะได้สัญญาณแสงส่วนที่ทะลุผ่านจากคอร์ของเส้นใยแก้วนำแสงเส้นแรกผ่านเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงเส้นที่ 2 ซึ่งวัดความเข้มของแสงได้เป็น $-8.8 \times 10^{-3}$ dBm สัญญาณแสงที่ผ่านออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

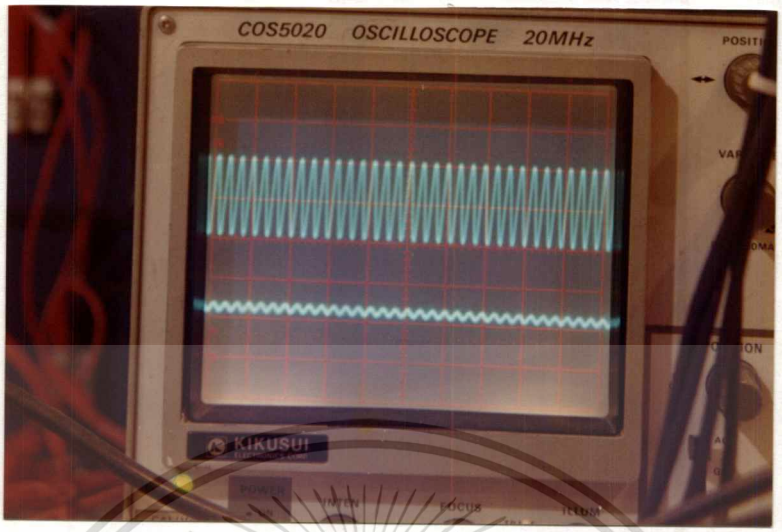
จากเส้นใยแก้วนำแสงทั้งสองช่องนี้ก็จะถูกนำไปใช้โดยผ่านอุปกรณ์กรองความยาวคลื่นผ่านเพื่อนำสัญญาณที่ได้นี้ไปเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าต่อไป

ส่วนของอุปกรณ์รับแสงก็จะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณภาพโดยมีอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าเป็น 18.75 dB สำหรับอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 2 ก็จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณเสียงซึ่งมีอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าเป็น 23 dB

ผลของสัญญาณภาพและเสียงแสดงในรูปที่ 6-18 และผลของสัญญาณเสียงที่ไปรบกวนข้ามช่องสัญญาณภาพแสดงในรูปที่ 6-19

รูปที่ 6-18 แสดงสัญญาณที่รับได้จากอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 และตัวที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 6-19 แสดงผลของการรบกวนของสัญญาณเสียงเข้าไปในสัญญาณภาพ

## 6.6 สรุป

ในบทนี้ได้แสดงถึงขั้นตอนในการศึกษาคุณสมบัติของการโพลาไรซ์และนำเทคนิคการโพลาไรซ์มาทำการมัลติเพลกซ์สัญญาณ นอกจากนี้ยังได้แสดงถึงผลการทดลองในการนำเทคนิคทางโพลาไรซ์ไปประยุกต์ใช้ในการสื่อสารทางแสงซึ่งประกอบไปด้วย การส่งสัญญาณภาพ เสียง และข้อมูลดิจิตอลทั้งแบบทางเดียวและสองทาง การส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านใยแก้วนำแสง โดยจะใช้คุณสมบัติของแสงมาทำการประมวลสัญญาณด้วยการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์ทางแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะสังเกตได้จากค่าของการรบกวนข้ามช่องสัญญาณที่มีค่าน้อยมาก นั่นคือด้วยวิธีการทางแสงจะมีข้อได้เปรียบในด้านของแบนด์วิดท์และสัญญาณรบกวนเหนืออิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นจึงสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้แทนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้

สำหรับในส่วนของการวิเคราะห์มุมของการโพลาไรซ์นั้นได้แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่ใช้แผ่นโพลารอยด์มาทำการวิเคราะห์มุมโพลาไรซ์และส่วนของการใช้ผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์ จากผลการทดลองปรากฏว่าเมื่อใช้ผลึกโพลาไรซ์มาทำการแยกสัญญาณแสงที่มาจากการมัลติเพลกซ์ทางโพลาไรซ์ทั้งสองช่องสัญญาณจะมีความสามารถในการแยกสัญญาณแสงโพลาไรซ์ได้ดีกว่าการใช้แผ่นโพลารอยด์ดังนั้นจึงใช้ผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์มาทำการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์สัญญาณแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ของมุมโพลาไรซ์ที่เปลี่ยนไปของแหล่งกำเนิดแสงทั้งสอง ก็ได้นำไปทำการประยุกต์ใช้ในการสื่อสารข่าวสารแบบทางเดียวโดยได้ทำการส่งสัญญาณภาพ เสียง และข้อมูลดิจิตอล การทดลองนี้ได้ทำการส่งสัญญาณทีละส่วนเพื่อวิเคราห์สัญญาณที่ผ่านเข้าไปในระบบที่สร้างขึ้น โดยจะทำการส่งสัญญาณภาพเข้าไปในระบบก่อนเพื่อเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงแล้วผ่านเข้าไปในระบบแสง เมื่อถึงปลายทางก็จะทำการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ปรากฏว่าระบบที่ได้จัดสร้างขึ้นทั้งทางด้านไฟฟ้าและทางด้านแสงสามารถที่จะรองรับการส่งสัญญาณภาพได้อย่างถูกต้อง ต่อมาได้ทำการมอดูเลตข้อมูลดิจิตอลเข้ากับคลื่นพาห์แล้วผ่านเข้าไปในระบบแสงเมื่อถึงปลายทางก็จะใช้อุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วทำการดีมอดูเลตสัญญาณ ผลปรากฏว่าเมื่อทำการส่งข้อมูลดิจิตอลที่ความเร็วสูงสุดคือที่ 19,200 บิตต่อวินาที สามารถที่จะส่งข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ต่อมาได้ทำการส่งสัญญาณเสียงและข้อมูลดิจิตอลเข้ากับแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 โดยในการส่งสัญญาณเสียงจะทำการมอดูเลตสัญญาณเสียงเข้ากับคลื่นพาห์ด้วยวิธีแอมพลิจูดมอดูเลชั่น เมื่อผ่านเข้าไปในระบบและทำการดีมอดูเลตสัญญาณแล้วสัญญาณเสียงที่ทำการดีมอดูเลตสัญญาณได้ประมาณ 10 กิโลเฮิร์ตซ์ สำหรับข้อมูลดิจิตอลที่มอดูเลตเข้ากับแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 ได้ทำการส่งข้อมูลที่ความเร็วต่าง ๆ จนถึงความเร็วสูงสุดปรากฏว่าไม่พบข้อผิดพลาดในการส่งข้อมูล เมื่อทำการมัลติเพลกซ์สัญญาณเสียงและข้อมูลดิจิตอลเข้าด้วยกันแล้วส่งเข้าไปในระบบแล้วทำการดีมัลติเพลกซ์สัญญาณปรากฏว่าชุดดีมัลติเพลกซ์สัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้จัดสร้างขึ้นไม่สามารถที่จะทำการแยกข้อมูลดิจิตอลออกจากสัญญาณเสียงได้ดีเพียงพอทำให้เกิดสัญญาณรบกวนสูงถึง 3 dB

ในการส่งสัญญาณภาพ เสียง และข้อมูลดิจิตอลแบบสองทางชนิดดูเพลกซ์เต็ม ผลของสัญญาณทางด้านแสงของระบบที่ได้จัดสร้างขึ้นนี้มีความสามารถที่จะทำการส่งข่าวสารสองทางชนิดดูเพลกซ์เต็มได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยมีการรบกวนข้ามช่องสัญญาณทางแสงต่ำ จากผลการทดลองส่งข้อมูลดิจิตอลชนิดดูเพลกซ์เต็มโดยการส่งกลุ่มข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 19,200 บิตต่อวินาที ปรากฏว่าไม่เกิดบิตผิดพลาดในการส่งข้อมูล สำหรับสัญญาณภาพเมื่อทำการส่งสัญญาณภาพเข้าไปในระบบด้วยปรากฏว่าสัญญาณภาพที่รับได้มีความสมบูรณ์ของสัญญาณโดยภาพที่รับได้มีความคมชัดปกติ ในส่วนของสัญญาณเสียงก็จะเกิดการรบกวนข้ามช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูลดิจิตอลเข้าไปในระบบพร้อม ๆ กันทำให้มีการรบกวนข้ามช่องสัญญาณสูงถึง -3 dB ซึ่งเป็นผลมาจากการออกแบบวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการประยุกต์นำไปใช้ในการสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติกนี้ก็ได้ทำการจัดสร้างอุปกรณ์คัปเปลอร์ชนิด 2 x 2 เพื่อทำการแบ่งสัญญาณแสงออกเป็น 2 ส่วนหลังจากนั้นนำไปผ่านอุปกรณ์แยกสัญญาณทางแสงหรืออุปกรณ์กรองความยาวคลื่นผ่านเพื่อกรองเฉพาะความยาวคลื่นที่ต้องการ จากการทดลองนี้ได้ทำการส่งสัญญาณภาพและเสียงโดยการมอดูเลตสัญญาณภาพเข้ากับแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 และมอดูเลตสัญญาณเสียงเข้ากับแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 จากผลการทดลองปรากฏว่าสัญญาณภาพที่รับได้นั้นมีสัญญาณเสียงเข้ามารบกวนอยู่ที่ประมาณ 18.75 dB โดยการทดลองนี้ได้ใช้คุณสมบัติทางโพลาไรซ์มาทำการมัลติเพลกซ์เนื่องจากมีความสามารถในการรวมแสงโพลาไรซ์ที่ดีจึงได้นำคุณสมบัตินี้มาทำการมัลติเพลกซ์ เมื่อพิจารณาส่วนของการดีมัลติเพลกซ์จะไม่สามารถใช้อุปกรณ์ทางด้านโพลาไรซ์มาทำการดีมัลติเพลกซ์ได้เนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติกจะไม่รักษาสภาวะการเป็นแสงโพลาไรซ์ดังนั้นในการดีมัลติเพลกซ์จึงใช้อุปกรณ์กรองความยาวคลื่นแสงผ่านมาทำการดีมัลติเพลกซ์สัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

# บทที่ 7
# บทสรุปและแนวทางในการพัฒนาต่อไป

## 7.1 บทสรุป

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านการสื่อสารทางแสงขึ้นมามากมาย เพื่อตอบสนองกับความต้องการในด้านการสื่อสารความเร็วสูง ทั้งนี้เพื่อให้สามารถส่งข่าวสารได้เป็นจำนวนมาก แสงนับเป็นตัวกลางหนึ่งที่มีความจุของสัญญาณสูงและสามารถที่จะส่งสัญญาณได้เป็นระยะทางไกล ด้วยการส่งไปตามเส้นใยแก้วนำแสงตลอดจนมีความปลอดภัยและมีความเชื่อถือได้ของการส่งข่าวสารสูง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอรายละเอียดในการศึกษาการมัลติเพลกซ์เชิงแสงและการนำเอาคุณสมบัติของการมัลติเพลกซ์ทางแสงไปประยุกต์ใช้ในงานการสื่อสาร โดยการพิจารณาข้อได้เปรียบของอุปกรณ์ทางแสงดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น รวมไปถึงการพิจารณาข้อดีของการสื่อสารทางแสงที่ไม่เกิดการรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า นอกจากนี้ยังสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ร่วมในเครือข่ายข่าวสารความเร็วสูงได้

ระบบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาการมัลติเพลกซ์ทางแสง และการประยุกต์ในการทำวิจัยนี้จะประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้คือ

- แหล่งกำเนิดแสงไดโอดเลเซอร์ งานวิจัยนี้นอกจากจะใช้คุณสมบัติทางโพลาไรเซชันมาทำการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์แล้ว ยังสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับการมัลติเพลกซ์และมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่นได้ เพื่อความสะดวกในการประยุกต์ไปใช้งานจึงได้ใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันมาทำการศึกษาการมัลติเพลกซ์ของแสง

- อุปกรณ์ที่ใช้ในการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์ทางแสง ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ทางแสงคือ แผ่นโพลารอยด์ซึ่งใช้สำหรับการวิเคราะห์มุมโพลาไรซ์ของแสง และผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์ซึ่งใช้ในการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์ทางแสง นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังได้ใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติกมาจัดสร้างเป็นอุปกรณ์และสายสัญญาณในการส่งผ่านสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสง และแบ่งแสงเพื่อนำไปผ่านอุปกรณ์กรองช่วงความยาวคลื่นแสงเพื่อจะทำหน้าที่ในการแยกความยาวคลื่นแสงที่มอดูเลตแบบแบ่งความยาวคลื่นต่อไป

- ส่วนของการประมวลสัญญาณแสง ได้ใช้อุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าหรือโฟโต้ไดโอดเพื่อทำการตรวจรับสัญญาณแสง โดยสัญญาณที่รับได้จะมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงที่มาตกกระทบลงบนโฟโต้ไดโอด สัญญาณที่ได้นี้ก็จะถูกนำไปประมวลผลทางไฟฟ้าเพื่อแสดงผลของสัญญาณที่ได้

ปัจจัยที่เป็นผลต่อการศึกษาการมัลติเพลกซ์เชิงแสงและการประยุกต์เพื่อนำไปใช้ในการสื่อสารทางแสงได้เป็นผลสำเร็จคือ

1) การเลือกใช้อุปกรณ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง อุปกรณ์มัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์ทางแสง อุปกรณ์รับสัญญาณแสง และชุดวงจรทางไฟฟ้าที่ได้ออกแบบขึ้นต้องมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน โดยมีคุณสมบัติด้านการตอบสนองความถี่และช่วงความถี่ที่เหมาะสม

2) การจัดชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองอย่างเหมาะสมเพื่อให้สามารถที่จะทำการส่งสัญญาณแสงเข้าไปในระบบที่ได้จัดสร้างขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนการจัดเรียงอุปกรณ์จะต้องได้ระดับเดียวกันเพื่อให้อุปกรณ์รับสัญญาณแสงสามารถรับกำลังแสงได้อย่างเต็มที่

3) การประมวลสัญญาณแสงซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้โดยใช้ออสซิลโลสโคปทำหน้าที่ในการแสดงผลของสัญญาณทางไฟฟ้าจากสัญญาณแสงที่รับได้เพื่อแสดงสัญญาณในรูปความเข้มของแสงที่เปลี่ยนไปในรูปของแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากการปรับมุมโพลารอยด์ จากนั้นนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงที่รับได้กับมุมโพลาไรซ์ที่เปลี่ยนไป ภายหลังจากทำการวิเคราะห์มุมโพลาไรซ์แล้วก็ได้ทำการมอดูเลตทางด้านกระแสให้กับแหล่งกำเนิดแสงเพื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงตามสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตแล้วส่งผ่านเข้าไปในระบบ หลังจากนั้นแสงจะเดินทางไปตกลงบนโฟโต้ดีเทคเตอร์ โฟโต้ดีเทคเตอร์นี้จะต้องมีความสามารถในการแสดงผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงได้ดีเพียงพอ ในส่วนของการประมวลผลสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งเป็นสัญญาณที่รับได้จากโฟโต้ดีเทคเตอร์จะต้องมีแบนด์วิดท์ที่กว้างเพื่อรองรับสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตความเข้มของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการพิจารณาข้อมูลจากผลการทดลองที่ใช้ในการศึกษาการมัลติเพลกซ์เชิงแสงและการประยุกต์ ในส่วนของการมัลติเพลกซ์เชิงแสงได้ใช้อุปกรณ์ที่เป็นแผ่นโพลารอยด์และผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์ สรุปได้ว่าผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์ที่ใช้ในการทดลองมีคุณสมบัติในการแยกสัญญาณแสงที่มัลติเพลกซ์แบบโพลาไรซ์ได้ดีกว่าแผ่นโพลารอยด์ จึงได้ใช้ผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์มาทำการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์ทางแสง สำหรับส่วนของการประยุกต์นำไปใช้งานในด้านการสื่อสารทางแสงนั้นได้ทำการศึกษาการส่งข่าวสารแบบทางเดียวในอากาศ แบบสองทางชนิดดูเพลกซ์เต็ม และการส่งข่าวสารแบบทางเดียวโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติก งานวิจัยนี้ผลปรากฏว่าเมื่อใช้เทคโนโลยีทางด้านการมัลติเพลกซ์และดีมัลติ-เพลกซ์ทางแสงแล้วสมารถที่จะทำการส่งข่าวสารได้อย่างถูกต้อง โดยมีการรบกวนข้ามช่องสัญญาณทางแสงต่ำ ซึ่งในส่วนของการประยุกต์นี้สามารถนำไปใช้กับงานที่ต้องการการส่งข่าวสารความเร็วสูงได้ โดยจะต้องทำการออกแบบระบบทางด้านไฟฟ้าให้มีแบนด์วิดท์มากขึ้น ซึ่งจะทำให้สามารถรับจำนวนช่องข่าวสารได้มากขึ้น ถ้าหากทำการแก้ไขปรับปรุงรูปแบบของการรับและส่งสัญญาณให้ดีขึ้นก็จะทำให้ความเร็วของการรับสัญญาณมากขึ้นได้

**7.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น**

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการสื่อสารทางแสงซึ่งต้องนำอุปกรณ์ทางแสงที่สามารถจัดหาได้มาทำการประกอบขึ้นเป็นชุดทดลองการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์ทางแสง ปัญหาที่พบในส่วนนี้คือราคาของอุปกรณ์ทางแสงเองมีราคาค่อนข้างสูง ตลอดจนเทคโนโลยีทางด้านการสื่อสารทางแสงเองเป็นเทคโนโลยีที่ยังมีกลุ่มในการศึกษาน้อยในประเทศไทยและไม่ค่อยเป็นที่รู้จักในหมู่คนทั่วไป อีกทั้งอุปกรณ์หลายชนิดไม่ได้ผลิตขึ้นภายในประเทศจึงต้องมีการนำเข้ามาจากต่างประเทศเป็นผลให้ราคาของอุปกรณ์บางอย่างสูงกว่าปกติ นอกจากนี้ยังประสบปัญหาในเรื่องการจัดเรียงระบบให้มีความสัมพันธ์กันเพื่อให้แสงที่ใช้ในการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์มีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นชุดที่ใช้ในการทดลองจะต้องมีความสามารถในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งได้อย่างละเอียดและต้องมีความมั่นคงแข็งแรง สำหรับในส่วนของการประยุกต์ปัญหาที่เกิดขึ้นคืออุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถตอบสนองความถี่สูงเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพงและหาได้ยาก รวมไปถึงวงจรทางไฟฟ้าที่ได้ทำการออกแบบไว้ยังไม่มีความสมบูรณ์อย่างเพียงพอ ซึ่งจะพบจากการดีมัลติเพลกซ์ทางไฟฟ้าจะพบว่าสัญญาณที่ได้มีการรบกวนข้ามช่องสัญญาณสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากปัญหาเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองแล้ว ปัญหาทางด้านการตรวจวัดกำลังของแสงก็เป็นปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้น คือกำลังของแสงที่วัดได้ในแต่ละครั้งมักจะเกิดความคลาดเคลื่อนอยู่เสมอ โดยในการทดลองแต่ละครั้งได้ผลของความเข้มของแสงไม่เท่ากัน ดังนั้นวิธีการในการแก้ปัญหาส่วนนี้คือจะต้องทำการทดลองซ้ำหลาย ๆ ครั้งแล้วนำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของกำลังแสงที่รับได้ นอกจากนี้ก็จะเป็นความผิดพลาดของเครื่องมือเช่นเครื่องมือที่ใช้งานในการตรวจวัดมีความละเอียดไม่เพียงพอ เป็นต้น และปัญหาอีกประการหนึ่งก็คือเกิดจากผู้วิจัยเองอาจจะอ่านข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดได้คลาดเคลื่อนจากที่เครื่องมือวัดได้

**7.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป**

ผลของงานวิจัยเรื่องการมัลติเพลกซ์เชิงแสงและการประยุกต์ไปใช้ในการสื่อสารทางแสงที่เสนอไปนี้มีข้อเสนอแนะแนวทางเพื่อนำไปปรับปรุงและพัฒนาดังต่อไปนี้คือ

ประการแรกจะต้องปรับปรุงชุดของวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการมอดูเลตทางด้านกระแสให้กับแหล่งกำเนิดแสง เพื่อให้มีขีดความสามารถในการส่งสัญญาณด้วยความถี่สูงหรือมีแบนด์วิดท์กว้าง ซึ่งจะทำให้สามารถส่งข่าวสารได้เป็นจำนวนมากขึ้น โดยในส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และการออกแบบวงจรทางไฟฟ้า สำหรับการมัลติเพลกซ์ทางแสงที่มีจำนวนช่องสัญญาณมากกว่า 2 ช่องสัญญาณขึ้นไปควรจะใช้วิธีการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น และตัวกลางที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณแสงควรจะเป็นเส้นใยแก้วนำแสงชนิดที่ทำมาจากแก้ว (Silica) ซึ่งมีการสูญเสียของสัญญาณต่ำ ตลอดจนสามารถที่จะตอบสนองต่อช่วงความยาวคลื่นแสงกว้างทั้งนี้เพื่อไม่ทำให้เกิดการสูญเสียของช่องสัญญาณในสายส่งที่ช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ มีค่าสูง ในการดีมัลติเพลกซ์สัญญาณควรจะใช้เกรตติ้งใยแก้วทำหน้าที่ในการแยกความยาวคลื่นแสงเพราะมีการสูญเสียกำลังแสงต่ำกว่าการใช้อุปกรณ์กรองความยาวคลื่นแสงผ่าน ส่วนของอุปกรณ์รับแสงที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าก็จะต้องมีแบนด์วิดท์ที่กว้างและมีอัตราการตอบสนองต่อความถี่สูง ทั้งนี้เพื่อที่จะทำการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องและไม่เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณ ส่วนของการประมวลผลทางไฟฟ้าจะต้องรองรับสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างแนวทางในการพัฒนาการมัลติเพลกซ์เชิงแสงและการประยุกต์มีแนวทางพัฒนาดังต่อไปนี้คือ

- นำหลักการของการมัลติเพลกซ์เชิงแสงนี้ไปใช้ในการทำเป็นเครือข่ายของอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ เช่น วัดความดัน อุณหภูมิ และแรง เป็นต้น ซึ่งเมื่อใช้เทคนิคในการมัลติเพลกซ์ทางแสงก็จะสามารถวัดค่าต่าง ๆ ได้พร้อม ๆ กันโดยใช้สายส่งสัญญาณเพียงเส้นเดียวซึ่งสามารถที่จะประยุกต์ไปใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดที่ควบคุมระยะไกลได้

- การส่งข่าวสารผ่านบริเวณที่ไม่มีความสะดวกในการเดินสายสัญญาณ เช่นการส่งข่าวสารข้ามบริเวณหน้าผา แม่น้ำ และสถานีจ่ายน้ำมัน เป็นต้น หรือใช้ในการส่งข่าวสารแบบชั่วคราว ซึ่งในการเดินสายเคเบิลจะมีความลำบาก ในการวางและการจัดเก็บสายเคเบิลเมื่อเลิกใช้งานอีกทั้งข่าวสารที่ได้จากการส่งแบบนี้จะมีความแน่นอนของสัญญาณกว่าการส่งโดยใช้สายโคแอกซ์หรือคลื่นวิทยุ

- พัฒนานำไปจัดสร้างเป็นเครือข่ายท้องถิ่นที่มีขีดความสามารถในการสื่อสารความเร็วสูงโดยลูกข่ายที่อยู่ในเครือข่ายสามารถที่จะทำการรับส่งข่าวสารแบบดูเพลกซ์เต็มอีกทั้งยังสามารถที่จะเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายท้องถิ่นอื่นเพื่อกระจายขอบเขตของเครือข่ายให้กว้างยิ่งขึ้น

- ประยุกต์ใช้ในการเป็นอุปกรณ์สวิทชิ่งทางแสงได้ คือสามารถที่จะทำการเลือกช่องสัญญาณทางแสงที่ต้องการได้

นอกจากนี้แล้วยังสามารถที่จะประยุกต์รวมระบบการสื่อสารความเร็วสูงเข้ากับระบบเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ เข้าไว้ด้วยกันได้ซึ่งทำให้เกิดความคล่องตัวในการใช้งาน และจากเทคนิคการมัลติเพลกซ์ทางด้านโพลาไรเซชันนี้ก็ยังสามารถที่จะนำไปใช้ในระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมด้วยแสงในอวกาศได้

เนื่องจากแสงเองมีความสามารถในการส่งข่าวสารได้ด้วยความเร็วสูง แต่เมื่อนำไปใช้งานจะต้องนำมาใช้ร่วมกับอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีขีดจำกัดทางด้านแบนด์วิดท์ของอุปกรณ์ ดังนั้นจึงต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีของการประมวลผลสัญญาณทางแสงแทนอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้สามารถที่จะทำการรับส่งข่าวสารได้จำนวนมากขึ้น และสามารถรองรับข่าวสารที่เพิ่มขึ้นในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยีทางแสงนับวันจะเข้ามามีบทบาทมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการพัฒนาและค้นคว้าต่อไป เพื่อเป็นการเผยแพร่ความรู้และเทคโนโลยีนี้ให้เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายและสามารถนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งต้องมีการส่งเสริมให้มีการวิจัยและพัฒนาเพื่อผลิตขึ้นใช้เองได้ภายในประเทศต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง


1) N.J. Frigo, P.P. Iannone and others. "**A Wavelength -Division Multiplexed Passive Optical Network with-Shared Components**", IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 6, no.(11), pp. 1365-1367, 1994.

2) L. Eskildsen, E.L. Goldstein and others. " **Self-Regulating WDM Amplifier Module for Scalable Lightwave Networks** ", IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 6, no. 11, pp. 1321-1323, 1994.

3) C. L. Lu, D.J.M. Sabido IX and others. " **CORD-A WDMA Optical Network: Subcarrier-Based Signaling and Control Scheme**", IEEE., Photon., Technol., Lett., vol. 7, no. 5, pp.555-557, 1995.

4) R.A. Nordin, W.R. Holland and M.A. Shahid. "**Advanced Optical Interconnection Technology in Switching Equipment**", J. Lightwave Technol., vol.13, no.6, pp. 987-997, 1995.

5) R.A. Nordin, F.F.J. Levi and others. "**A System Perspective on Digital Interconnection Technology**", J. Lightwave Technol., vol.10, no.6, pp. 811-827, 1992.

6) J.P. Laude. " **Wavelength Division Multiplexing**", Prentice Hall, New York, 1993.

7) K. Sasayama, M. Okuno and K. Habara. "**Photonic FDM Multichannel Selector Using Coherent Optical Transversal Filter**", J. Lightwave Technol., vol. 12, no. 4, pp. 664-669, 1994.

8) E. Bodtker and J.E. Bowers. "**Techniques for Optical Demultiplexing in High Bit Rate Communication Systems**", J. Lightwave Technol., vol. 13, no. 9, pp. 1809-1814, 1995.

9) H. Heidrich, D. Hoffmann and R.I. MacDonald. **"Polarization and Wavelength Multiplexed Bidirectional Single Fiber Subscriber Loop"**, Opt., Comm., vol. 4, pp. 136-138, 1986.

10) Y. Fuji and Minowa. " **Four Channel Wavelength Multiplexing Composed of Phase Plates and Polarizing Beamsplitters**", Appl. Opt., vol. 28, no. 7, pp. 1305-1308, April 1989.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11) M. Tischler. "**Fiber Optics and Lasers**", Ohio, Glencoe, 1992.

12) J.J. Pan and Y. Shi. "**Polarizing Beamsplitter Trims Noise in EDFAs**", Laser Focus World, pp. 93-99, January 1996.

13) Peter J. Chidgey. "**Multi-Wavelength Transport Networks**", IEEE comm., Magazine, pp. 28-35, December 1994.

14) Dave M. Spirit, Andrew D. Ellis and Pete E. Barnsley. "**Optical Time Division Multiplexing System and Networks**", IEEE Comm., Magazine, pp. 56-61, December 1994.

15) R.M.A. Azzam. "**Polarization Michelson Interferometer (POLAMINT) : it use for Polarization modulation and Temporal Pulse Shearing**" Optic Comm., vol. 98, no. 1-3, pp. 19-23, April 1993.

16) Koji Kikushima, Ko-ichi Suto and otherss. "**Plarization Dependent Distortion in AM-SCM Video Transmission Systems**", J. of Lightwave techol., vol. 12, no. 4, pp. 650-657, April 1994.

17) J.J. Pan and Frank Liang. " **Optoelectronic Components Make WDM Networks Practical**",
Laser Focus World, pp. 111-115, January 1994.

18) Kirk Lewis. "**Integrated Optics Building Better Products**", Photonic Spectra, pp. 119-124, June 1995.

19) Thomas H. Ebben, David L. Begley, Robert G. Marshalek. "**High-Data-Rate Laser Diode Transmitter**", Optical Engineering, vol. 34, no. 3, pp. 853-859, March 1995.

20) F. Forghieri, R.W. Tkach and A.R. Chraplyvy. "**WDM System with Unequally Spaced Channels**", Journal of Lightwave Tech., vol. 3, no. 5, pp. 889-897, May 1995.

21) Gerd Keiser. "**Optical Communications**" Singapore, McGraw-Hill, 1991.

22) Paul E. Green, Jr. "**Fiber Optic Networks**", New York, Prentice Hall, 1993.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก.
# แหล่งกำเนิดแสงไดโอดเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดหาแหล่งกำเนิดแสงไดโอดเลเซอร์เพื่อใช้ในการทำวิจัยนี้สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ กำลังของแสงจะต้องมีกำลังที่เหมาะสมเพื่อที่จะสามารถส่งไปได้เป็นระยะทางไกล ช่วงความยาวคลื่นแสงของแหล่งกำเนิดแสงจะต้องห่างกันพอสมควรเพื่อทำการแยกความยาวคลื่นได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการรบกวนข้ามช่องสัญญาณทางแสงน้อย อายุการใช้งานของแหล่งกำเนิดแสงเองจะต้องมีอายุการใช้งานนาน และช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานจะต้องมีช่วงที่กว้างเพื่อที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานในภาคสนามได้ดังตัวอย่างของข้อกำหนดทางเทคนิคของแหล่งกำเนิดแสงดูได้จากข้อมูลข้างล่าง ส่วนวงจรขับนั้นจะแสดงไว้ในส่วนของภาคผนวก ค.

Technical Specification

| | Visible | Infrared |
|---|---|---|
| | 670 nm | 785 nm |
| output power (max.) | 3 mW | 3mW |
| wavelength range (min. to max.) | 660-680 nm | 775-795 nm |
| (typ.) | 670 nm | 785 nm |
| supply voltage | -8 to -12 V | -8 to -12 V |
| supply current | 25-50 mA | 25-50 mA |
| divergence (full angle) | <0.5 m rad. | <0.5 m rad. |
| spot size (standard types) | 100 mm | 100 mm |
| case (front cell) | 5 m rad. (typ.) | 5 m rad. (typ.) |
| MTTF@ 30°C | 20,000 hrs | 32,000 hrs |
| operation temperratur range | -10 to +40°C | -10 to +50°C |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข.

## อุปกรณ์รับแสง พินโฟโต้ไดโอด IPL 1620BW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกใช้พินโฟโต้ไดโอดสำหรับงานวิจัยนี้ประการแรกที่จะต้องคำนึงถึงก็คือช่วงความยาวคลื่นที่ตอบสนองจะต้องมีความสัมพันธ์กับแหล่งกำเนิดแสงที่นำมาใช้งาน กระแสมืดจะต้องมีค่าน้อยเพื่อไม่ทำให้เกิดการรบกวนขึ้นกับเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้ามีค่าสูง ผลของการเปลี่ยนแปลงกระแสเนื่องจากอุณหภูมิจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงน้อยเพื่อไม่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนเนื่องจากอุณหภูมิมีค่าสูง ความไวในการตอบสนองสัญญาณทางแสงจะต้องมีการตอบสนองต่อสัญญาณแสงที่เข้ามาได้อย่างรวดเร็ว และช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานจะต้องอยู่ในช่วงที่กว้างเพื่อที่จะสามารถนำไปใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิกว้าง ตัวอย่างของข้อกำหนดทางเทคนิคดูได้จากข้อมูลข้างล่างและวงจรที่ใช้ในการตรวจจับกำลังแสงดูได้จากภาคผนวก ง.

Technical specification

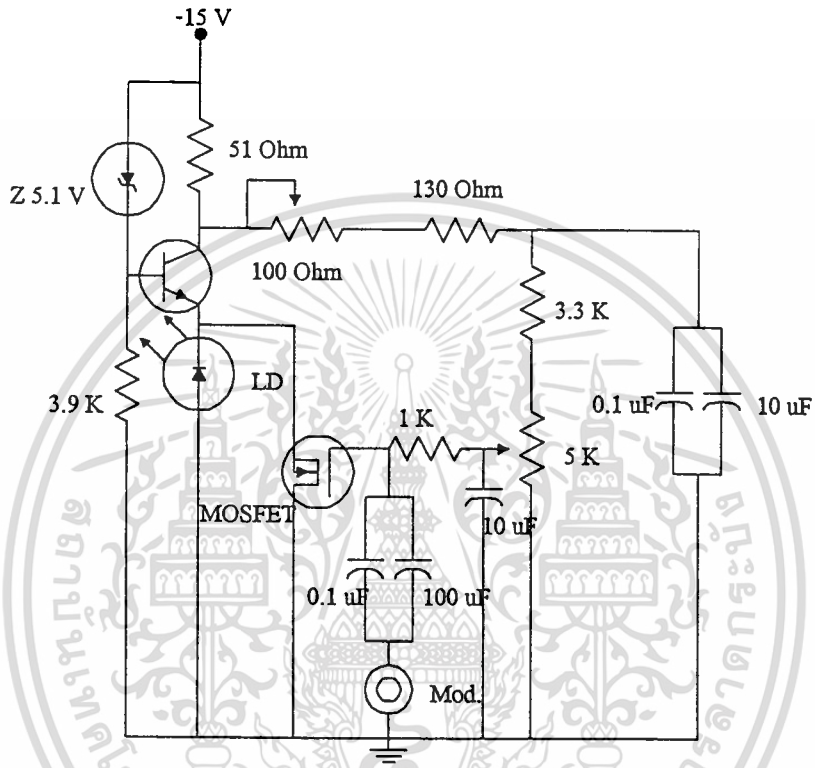
| | |
|---|---|
| Peak spectral response | 750 nm |
| Wavelength range | 350-1100 nm |
| Responsivity | 0.7 mA / mW / $cm^2$ (typ.) |
| Dark current (at -20 V) | 1.4 nA (typ.) |
| Temp. coeff. of dark current | x 2 for 10°C temp. |
| Reverse breakdown voltage | -80 V at 10 mA |
| temp. coeff. of change in leakage current with illumination | 0.35 % / °C |
| Max. forward current | 100 mA |
| Max. dissipation | 200 mW at 25°C |
| Capacitance (-10 V bias) | 12 pF |
| Response time | 4 ns typ. |
| Operating temp. | -40°C to +70°C |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ค.
# วงจรขับไดโอดเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปในภาคผนวก ค. จะแสดงผังวงจรของชุดขับไดโอดเลเซอร์ซึ่งใช้กับงานวิจัยนี้ โดยได้มีการพัฒนารูปแบบของวงจรมาโดยตลอดตามความเหมาะสมกับการใช้งาน




วงจรขับไดโอดเลเซอร์

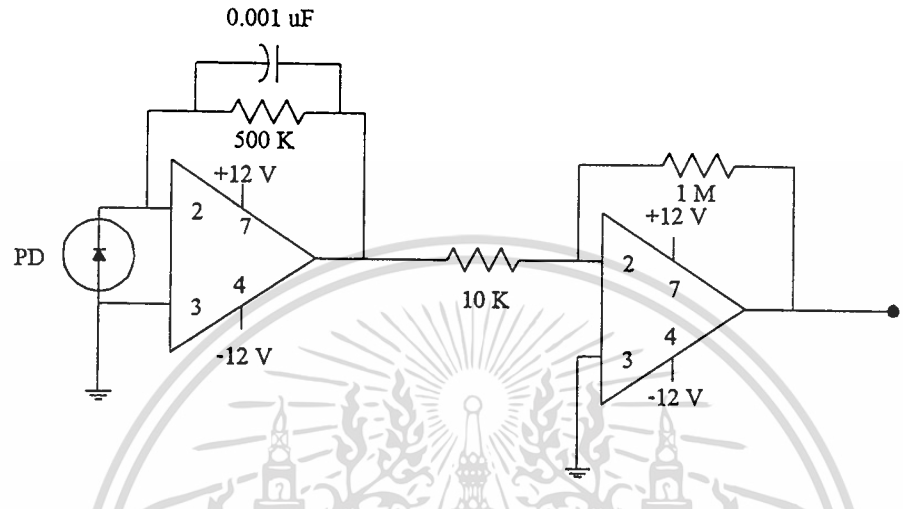
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ง.

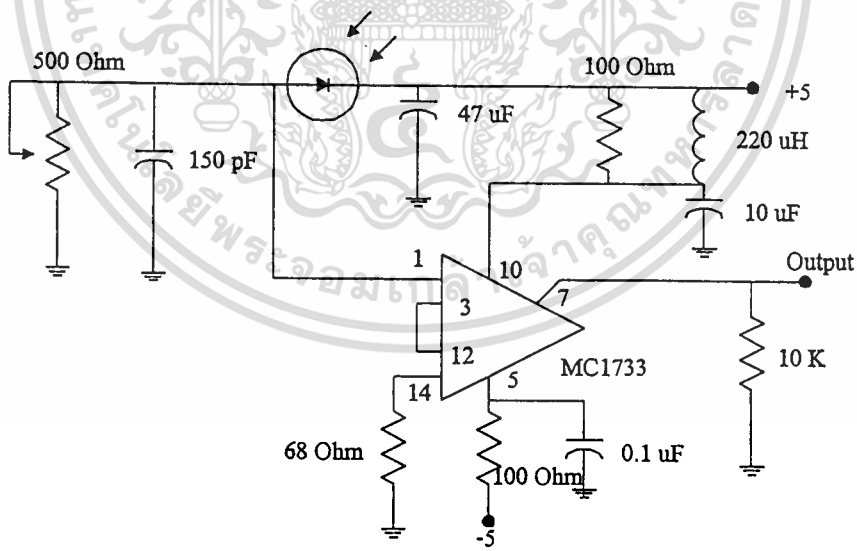
## วงจรรับสัญญาณแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปในภาคผนวก ง. จะแสดงผังวงจรของชุดรับสัญญาณแสงซึ่งใช้กับงานวิจัยนี้ โดยได้มีการพัฒนารูปแบบของวงจรมาโดยตลอดตามความเหมาะสมกับการใช้งาน




วงจรรับสัญญาณแสงความถี่ต่ำ



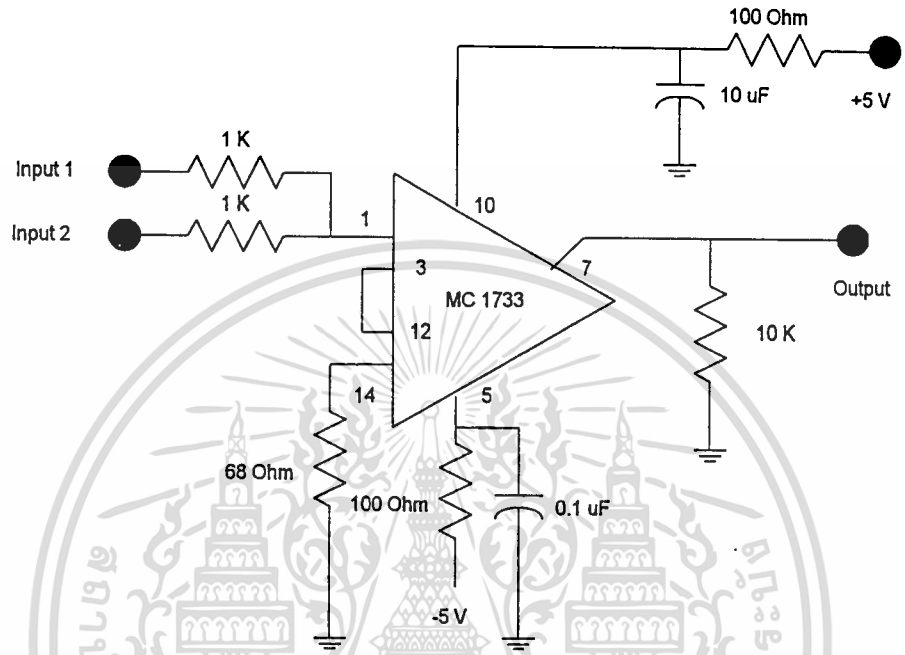

วงจรรับสัญญาณแสงความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก จ.
# วงจรมัลติเพลกซ์ทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปในภาคผนวก จ. จะแสดงผังวงจรของชุดมัลติเพลกซ์ทางไฟฟ้าซึ่งใช้กับงานวิจัยนี้ โดยทำการออกแบบวงจรให้สามารถที่จะมัลติเพลกซ์สัญญาณความถี่สูงได้




วงจรมัลติเพลกซ์ทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ฉ.

## รายชื่องานวิจัยและงานวิจัยหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# รายชื่องานวิจัยหลัก


1. P. Chunpang, P. Sukrong and P.P. Yupapin, **Fiber Optic Respiration Sensor**, *J. KMITL*, **vol.3**, no. 1, 1995, pp. 37-39.
2. P.P. Yupapin and P. Chunpang, **Video Signal Transmission Using an Optical Demultiplexer**, *J. KMITL*, **vol. 4**, no. 2, 1996, pp. 22-25.
3. P. Chunpang and P.P. Yupapin, **A Study of Lightwave Multiplexing and Applications**, *J. Science*, Kasetsat University, **vol. 2**, 1996, pp. 1-11.
4. P.P. Yupapin, P. Chunpang, R. Chitaree and S. Kusamran, **Lightwave Multiplexer Using an Optical Filtering Scheme**, *1st Optoelectronics and Communications*, Chiba, Japan, 1995.
5. P.P. Yupapin, P. Chunpang, R. Chitaree and S. Kusamran, **Video Signal Transmission Based Optical Demultiplexer**, *Proc. RESTEC' 96*, Bangkok, 1996, pp. T62-66.
6. P.P. Yupapin, P. Chunpang, R. Chitaree and S. Kusamran, **A Lightwave Demultiplexer Using an Optical Signal Processing Scheme**, *Paper presented in The International Seminar of Advanced Opto-Electronics-Thammasat University*, Bangkok, 1997.
7. P.P. Yupapin, P. Chunpang, R. Chitaree and S. Kusamran, **Multimedia Communications Based Polarisation Modulation Technique**, *ECON-21*, Bangkok, 1997, pp. 592-597.
8. P.P. Yupapin andP. Chunpang, **Lightwave Multiplexing via Plastic Fiber Couplers**, *ECON-22*, 1998. (submitted)


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# งานวิจัยหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การสื่อสารมัลติมีเดียด้วยเทคนิคทางโพลาไรเซชัน

# Multimedia Communication Based on Polarization Technique

ปรีชา อุพาพิน, สุวรรณ คูสำราญ, รัชภาคย์ จิตต์อารี และ ปรเมษฐ์ จันทร์เพ็ง
ห้องปฏิบัติการวิจัยออปโตอิเล็กทรอนิกส์, ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์, คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทร. 3269982 ต่อ 285, โทรสาร 3269981

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการสื่อสารข่าวสารสองทางแบบดูเพล็กซ์เต็ม (Full Duplex) โดยใช้แสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันเป็นคลื่นพาห์ และใช้วิธีการสื่อสารทางแสงแบบโพลาไรเซชัน แหล่งกำเนิดแสงทั้งสองจะถูกมอดูเลตทางด้านกระแสอินพุตเพื่อเปลี่ยนข่าวสารที่ต้องการซึ่งส่งให้อยู่ในรูปของแสง ข่าวสารที่จะนำไปเปลี่ยนเป็นแสงประกอบไปด้วยสัญญาณภาพ เสียง และข้อมูลดิจิตอล ในการสื่อสารทางแสงแบบโพลาไรเซชันนี้จะใช้ผลึกแยกและรวมแสงแบบโพลาไรซ์มาใช้เป็นอุปกรณ์ในการรวมและแยกแสงสำหรับใช้ในการสื่อสารสัญญาณ ผลของการสื่อสารด้วยวิธีการทางแสงที่ได้จะให้สัญญาณเอาต์พุตที่เกิดการรบกวนข้ามช่องสัญญาณทางแสงเพียง -24 เดซิเบล

## Abstract

This research studies the optical full duplex based on polarization technique. Two different light sources were applied and modulated, then coupled into the optical system. The signals to be multiplexed consisted of voice, image and data. The demultiplexed signals were obtained by using the optical signal processing scheme. Results have shown that the coupling crosstalk of -24dB may be observed.

## บทนำ

ปัจจุบันนี้ได้มีการนำเทคโนโลยีทางแสงมาใช้งานกันอย่างกว้างขวางมาก [1] โดยเฉพาะทางด้านการสื่อสารความเร็วสูงซึ่งได้นำข้อดีต่าง ๆ ของคลื่นแสงมาทำการศึกษาและใช้งาน ในส่วนของงานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์โดยการนำคุณสมบัติของแสงมาทำการศึกษาร่วมกับการทำงานของอุปกรณ์เชิงแสงเพื่อใช้ในการสื่อสารผสมทั้งสัญญาณภาพ เสียง และข้อมูลดิจิตอล ระบบดังกล่าวใช้แสงเป็นคลื่นพาห์และใช้อากาศเป็นตัวกลาง นอกจากนั้นยังสามารถที่จะนำเทคนิคนี้ไปประยุกต์ใช้กับระบบที่ใช้เส้นใยแสงชนิดอนุรักษ์สภาวะทางโพลาไรเซชันเป็นตัวกลางได้ ระบบที่สร้างขึ้นสามารถนำไปปรับปรุงสร้างเป็นต้นแบบที่มีราคาถูกเพื่อเป็นแนวทางในการผลิตขึ้นใช้ได้ภายในประเทศต่อไป อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ทางด้านการศึกษาและประยุกต์นำไปใช้งานในด้านการประมวลสัญญาณด้วยแสงได้

## หลักการและทฤษฎี

ในส่วนของหลักการและทฤษฎีจะกล่าวถึงการมอดูเลตสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง และผลของการรบกวนข้ามช่องสัญญาณของระบบที่ได้จัดสร้างขึ้น การมอดูเลตสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงนั้นปัจจุบันที่นิยมใช้กันอยู่คือ การมอดูเลตด้วยการเปลี่ยนความเข้มของแสงซึ่งการมอดูเลตนี้มีอยู่ด้วยกันสองวิธีคือด้วยการเปลี่ยนความเข้มของแสงโดยการมอดูเลตกระแสอินพุตที่ป้อนให้กับแหล่งกำเนิดแสง [2] และอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้คือการเปลี่ยนความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มของแสงโดยใช้หลักการเชิงกลหรือการมอดูเลตภายนอก ซึ่งเป็นวิธีการที่มีหลักการที่ว่าใช้แหล่งกำเนิดแสงที่ให้ความเข้มของแสงคงที่ ภายหลังจากนั้นจะใช้อุปกรณ์ทางแสงมาทำการเปลี่ยนความเข้มของแสงซึ่งเป็นการมอดูเลตนั่นเอง งานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการมอดูเลตทางกระแสให้กับแหล่งกำเนิดแสงด้วยการมอดูเลตทางความเข้มของแสงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้ในการมอดูเลต [3] ถ้าทำการมอดูเลตโดยการขับกระแสให้กับแหล่งกำเนิดแสงด้วยความถี่ $\omega$ แล้วความเข้มของแสงจะเปลี่ยนแปลงตามความถี่ดังสมการ

$$I(\omega) = I_0[1+(\omega\tau_{eff})^2]^{-1/2} \qquad (1)$$

เมื่อ $I_0$ เป็นความเข้มแสงที่ยังไม่มีการมอดูเลต

$\tau_{eff}$ คือ Effective Carrier Lifetime

แบนวิดธ์ในการมอดูเลตของแหล่งกำเนิดแสง จะกำหนดจากเทอมของสัญญาณไฟฟ้าที่มีการมอดูเลตเข้ากับแหล่งกำเนิดแสงโดยที่ความเข้มของแสงที่ตรวจจับได้มีค่าความเข้มแสงลดลงจนเหลือความเข้มแสงเป็นครึ่งหนึ่งของกำลังแสงก่อนการมอดูเลตสัญญาณหรือที่ 3 เดซิเบล เมื่อตรวจจับกำลังของสัญญาณไฟฟ้า $P(\omega)$ ที่เป็นสัดส่วนกับ $I^2(\omega)$ แบนวิดธ์ของการมอดูเลชันจะกำหนดจากช่วงความถี่โดย $P(0)/2 = P(\omega)$ ดังนั้น $I^2(\omega) = I^2(0)/2$ จากสมการที่ 1 ดังนั้นแบนวิดธ์ของการมอดูเลชันที่ 3 เดซิเบล หรือ $\Delta\omega$ จะกำหนดโดย

$$\Delta\omega = 1/\tau_{eff} \qquad (2)$$

แหล่งกำเนิดแสงที่ยังไม่ได้มีการมอดูเลตสัญญาณโดยทำงานที่ความยาวคลื่น $\lambda_0$ และมีความยาวโคฮีเรนต์เป็น

$$L = \lambda_0^2 / \Delta\lambda \qquad (3)$$

$\Delta\lambda$ คือ Spectral Width

กำลังของสัญญาณแสงที่ได้จากอุปกรณ์รับแสงหาได้จาก [ 5, 6 ]

$$I = \int_{\delta 1}^{\delta 2} \frac{1}{2} P(\delta).\{1+\cos(2\pi\delta D_1)\}d\delta \qquad (4)$$

ซึ่ง $P(\delta)$ คือสเปคตรัมของกำลังแสง โดย $\delta = 1/\lambda$

$D_1$ คือ Optical Delay

เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 (LD 1) (ดูรูปที่ 1) เดินทางผ่านไปยังอุปกรณ์รับแสงที่ 2 (PD 2) โดยการผ่านผลึกแยกแสงแบบโพลาไรซ์ที่ 1 (PBS 1) กำลังของแสงจะลดลงเหลือประมาณ 97 % โดยใช้เครื่องมือวัดกำลังแสง (Optical Power Meter) ดังนั้นกำลังแสงที่เดินทางผ่านไปในตัวกลางซึ่งเป็นอากาศหาได้จาก

$$I = 0.97\int_{\delta 1}^{\delta 2}\frac{1}{2}P(\delta)d\delta + \frac{1}{2}\int_{\delta 1}^{\delta 2}P(\delta)\cos(2\pi\delta D_1)d\delta \qquad (5)$$

เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 (LD 1) เดินทางผ่านไปยังผลึกแยกแสงที่ 2 (PBS 2) จะทำให้ความเข้มแสงลดลงเนื่องจากคุณสมบัติของผลึกแยกแสงเองซึ่งจะทำให้เกิดการรบกวนข้ามช่องสัญญาณโดยมีค่าลดลงอีกประมาณ 3% โดยใช้เครื่องมือวัดกำลังแสง ดังนั้นกำลังของแสงที่ตกกระทบบนอุปกรณ์รับแสงจะมีค่าเป็น

$$I_1 = 0.97\times 0.97[\frac{1}{2}\int_{\delta 1}^{\delta 2}\frac{1}{2}P(\delta)\{1+\cos(2\pi\delta D_1)\}\cdot\{1+\cos(2\pi\delta D\}d\delta] \qquad (6)$$

ซึ่ง D คือ Offset Optical Delay

ดังนั้นกำลังของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 (LD 1)ที่ตกลงบนอุปกรณ์รับแสงที่ 2 (PD 2) สามารถตรวจจับได้เป็น

$$I_1 = 0.9409[\frac{1}{4}P_0\{1+\frac{1}{2}\cos(2\pi\delta_0 K V_1^-)\}] \qquad (7)$$

เมื่อ $K = \lambda_0 / 2V_{\lambda_0/2}$ ($\mu$m/V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$KV_1$ คือ Time - Varying Optical Delay ของแหล่งกำเนิดแสงที่ 1

ในกรณีที่เป็นการมอดูเลตสัญญาณทางแอนะลอกที่เป็นสัญญาณรูปไซน์โดยสัญญาณที่ได้รับจากอุปกรณ์รับแสงจะมีความเข้มแสงเป็น

$$I_1 \approx 0.9409\left[\frac{1}{2}P_0\left\{1-\frac{1}{2}\frac{\pi}{V_{\lambda_0/2}}V_1\right\}\right] \qquad (8)$$

พิจารณาสัญญาณที่ย้อนกลับมาหรือสัญญาณที่ส่งมาจากแหล่งกำเนิดแสงที่ 2 (LD 2) ไปตกลงบนอุปกรณ์รับแสงที่ 1 (PD 1) สัญญาณแสงจะมีความเข้มลดลงเนื่องจากมีการลดทอนสัญญาณแสงในตัวกลาง

สัญญาณแสงที่ตรวจรับได้จากอุปกรณ์รับแสงที่ 1 (PD 1) จะสามารถแทนได้ด้วยสมการ

$$I_2 \approx 0.9409\left[\frac{1}{2}P_0\{1+\cos(2\pi\delta_0 KV_2\}\right] \qquad (9)$$

เมื่อ $KV_2$ คือ Time - Varying Optical Deray ของแหล่งกำเนิดแสงที่ 2

ในกรณีที่มีการมอดูเลตสัญญาณแอนะลอกนั้น ความเข้มของแสงที่ตกลงบนอุปกรณ์รับแสงที่ 1 (PD 1)แทนได้ด้วยสมการ

$$I_2 \approx 0.9409\left[\frac{1}{2}P_0\left\{1-\frac{1}{2}\frac{\pi}{V_{\lambda_0/2}}V_2\right\}\right] \qquad (10)$$

ในการดีมัลติเพลกซ์ทั้งทางด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และทางด้านแสงนั้นมักจะเกิดการรบกวนข้ามช่องสัญญาณ (Crosstalk) [4] เกิดขึ้น โดยผลของการรบกวนข้ามช่องสัญญาณนี้จะเป็นที่แสดงถึงคุณภาพของการดีมัลติ เพลกซ์สัญญาณว่าดีเพียงใดซึ่งหาได้จาก

$$X = 10\log\left(\frac{P_x}{P_d}\right) = 10\log\left(\frac{V_x}{V_d}\right) \qquad (11)$$

โดย $P_x$ และ $P_d$ เป็นกำลังของแสงที่เกิดการรบกวนและกำลังของแสงที่ต้องการ

$V_x$ และ $V_d$ เป็นสัญญาณที่รับได้จากอุปกรณ์รับแสงเมื่อมีการมอดูเลตสัญญาณเข้ากับแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งก็คือสัญญาณที่มารบกวนข้ามช่องสัญญาณที่อยู่ในรูปเต็มคลื่น (p-p) กับสัญญาณไฟฟ้าที่ต้องการแบบเต็มคลื่น (p-p)

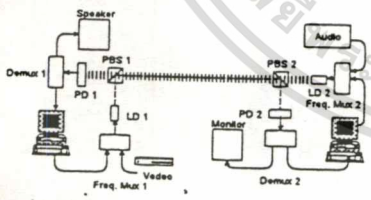
## การทดลอง

งานวิจัยนี้ใช้เลเซอร์ไดโอดความยาวคลื่น 670 นาโนเมตรเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 (LD 1) และ 850 นาโนเมตรเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ 2 (LD 2) (ดูรูปที่ 1 )แสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 (LD 1) จะถูกมอดูเลตทางด้านกระแสอินพุตที่ป้อนให้เลเซอร์ไดโอดกระแสที่นำมามอดูเลตแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 (LD 1) จะประกอบไปด้วยสัญญาณภาพและสัญญาณดิจิตอลจากช่องสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยสัญญาณดิจิตอลจะถูกมอดูเลตกับคลื่นพาห์ที่ความถี่ 15 เมกะเฮิร์ตซ์เพื่อทำการย้ายสเปคตรัมให้อยู่สูงกว่าสัญญาณภาพ ด้วยวิธีการมอดูเลตทางด้านแอมปลิจูด สัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตจะถูกนำไป มัลติ-เพลกซ์กับสัญญาณภาพ จากนั้นสัญญาณที่ได้จากการมัลติ-เพลกซ์ของสัญญาณทั้งสองนี้จะถูกนำไปมอดูเลตทางด้านกระแสอินพุตให้กับเลเซอร์ไดโอดเพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงตามกระแสที่มอดูเลตเข้าไป สำหรับในส่วนของแหล่งกำเนิดแสงที่สองจะเป็นการมัลติเพลกซ์สัญญาณเสียงกับข้อมูลดิจิตอล โดยสัญญาณเสียงนี้จะใช้การมอดูเลตทางด้านแอมปลิจูดเข้ากับความถี่ของคลื่นพาห์ที่มีความถี่ 100 กิโลเฮิร์ตซ์เพื่อให้ง่ายต่อการดีมัลติเพลกซ์ สัญญาณที่ได้จะถูกนำไปมัลติเพลกซ์เข้ากับข้อมูลดิจิตอล จากนั้นสัญญาณที่ได้จากการรวมสัญญาณทั้งสองนี้ก็จะนำไปมัลติเพล็กซ์เข้ากับเลเซอร์ไดโอดต่อไป

ในส่วนของการส่งสัญญาณทางแสงได้ใช้อุปกรณ์ทางแสงที่เรียกว่า ผลึกแยกและรวมแสงแบบโพลาไรซ์ มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการรวมและแยกสัญญาณแสง ซึ่งผลึกแยกและรวมแสงแบบโพลาไรซ์นี้จะมีคุณสมบัติให้แสงโพลาไรซ์ที่อยู่ในแนวระนาบสามารถทะลุผ่านได้ แต่แสงที่อยู่ในแนวตั้งฉากจะสะท้อนออกมาทางด้านข้างของผลึก จากคุณสมบัติของผลึกจึงได้นำมาใช้ในระบบส่งสัญญาณทางแสงแบบดูเพล็กซ์เต็ม ในการทำการรวมและแยกสัญญาณแสงนั้น แหล่งกำเนิดแสงที่หนึ่ง (670 nm) จะถูกกำหนดให้มีคุณสมบัติเป็นแสงโพลาไรซ์ในแนวตั้งฉากกับแนวระนาบหลังจากนั้นแสงโพลาไรซ์ที่อยู่ในแนวตั้งฉากกับแนวระนาบนี้จะเดินทางผ่านตัวกลางซึ่งเป็นอากาศไปยังผลึกแยกแสง โดยแสงโพลาไรซ์ที่อยู่ในแนวระนาบจะสะท้อนกับผลึกแยกแสงแล้วผ่านไปยังตัวกลางซึ่งเป็นอากาศต่อไป ส่วนแหล่งกำเนิดแสงที่สอง (850nm) จะถูกกำหนดให้มีคุณสมบัติเป็นแสงโพลาไรซ์ซึ่งอยู่ในแนวระนาบโดยแสงจะเดินทางผ่านอากาศไปยังผลึกแยกแสงแบบโพลาไรซ์ซึ่งวางอยู่ตรงข้ามกับผลึกแยกแสงแรกซึ่งแสงโพลาไรซ์ในแนวระนาบจะสามารถทะลุผ่านผลึกแยกแสงได้ ดังนั้นแสงทั้งสองจะเดินทางผ่านมามัลติเพล็กซ์กันที่ตัวกลางซึ่งเป็นอากาศและจะเดินทางสวนทางกันไปตกกระทบบนผลึกแยกแสงที่อยู่ตรงข้าม ผลึกแยกแสงแบบโพลาไรซ์ที่อยู่ฝั่งตรงข้ามของแต่ละชุดนอกจากจะทำหน้าที่ในการรวมสัญญาณแสงแล้วยังทำหน้าที่ในการแยกสัญญาณแสงด้วย ดังนั้นจึงสามารถแยกสัญญาณออกได้จากแสงที่มีการส่งสัญญาณสวนทางกัน

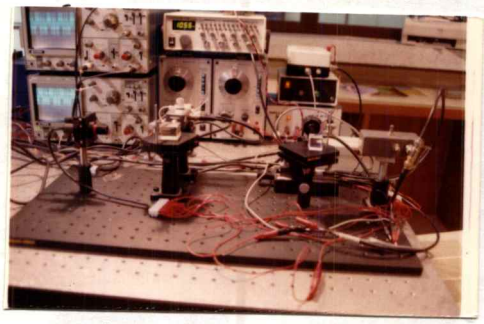



รูปที่ 1 ชุดโครงสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

PBS 1, PBS 2 :ผลึกแยกแสงแบบโพลาไรซ์

PD 1, PD 2 :อุปกรณ์รับแสงที่ 1 และ 2

LD 1, LD 2 :แหล่งกำเนิดแสงที่ 1 และ 2



รูปที่ 2 ชุดทดลองที่ได้จัดสร้างขึ้น

## ผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้ทำการมอดูเลตสัญญาณภาพและสัญญาณดิจิตอลเข้ากับแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 (LD 1) (ดูรูปที่ 2)โดยสัญญาณภาพที่ส่งอยู่ในช่วงแบนวิดธ์ประมาณ 4.7 เมกะเฮิร์ตซ์ และเป็นสัญญาณดิจิตอลซึ่งส่งข้อมูลด้วยวิธีการแอมพลิจูดชิพต์คีย์อิง (ASK) หรือออนออฟคีย์อิง (OOK) ซึ่งใช้ความถี่คลื่นพาห์ในการมอดูเลตเพื่อทำการย้ายสเปคตรัมให้ข้อมูลดิจิตอลอยู่สูงกว่าสัญญาณภาพ ภายหลังจากนั้นได้ทำการมัลติเพล็กซ์สัญญาณทั้งสองเข้าด้วยกันและนำสัญญาณไฟฟ้านี้ไปมอดูเลตกับแหล่งกำเนิดแสงซึ่งเป็นเลเซอร์ไดโอดเพื่อเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณแสง หลังจากนั้นจะถูกส่งผ่านระบบไปยังอุปกรณ์รับแสงซึ่งมีแบนด์วิดท์ 20 เมกะเฮิร์ตซ์ที่สัญญาณเอาต์พุตลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของสัญญาณที่มอดูเลตมากับแสงหรือที่ -3dB ในระบบที่ศึกษานี้สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นภายในอุปกรณ์รับแสงสามารถหาได้จาก

S/N = signal power from photocurrent /

(photodetector noise power + amplifier noise power) (12)

ซึ่งสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์รับแสงนั้นมีค่าประมาณ 5 มิลลิโวลท์ ซึ่งวัดได้จากออสซิลโลสโคป

สำหรับการส่งสัญญาณดิจิตอลได้ทำการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์ ด้วยอัตราเร็วต่าง ๆ กัน ซึ่งประกอบไปด้วย อัตรา 300, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200 บิตต่อวินาที โดยส่งด้วยบิตข้อมูล 8 บิต และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิตหยุด 2 บิต โดยใช้โปรแกรมที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลผ่านโมเด็ม โดยผลของการส่งข้อมูลที่ยังไม่ได้มีการมัลติเพลกซ์สัญญาณภาพซึ่งได้ทำการส่งไฟล์ข้อมูลชื่อ COMMAND.COM ซึ่งมีขนาด 54,619 ไบต์ ความผิดพลาดในการส่งข้อมูลแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราเร็วในการส่งข้อมูลกับความผิดพลาดในการส่งข้อมูลเมื่อยังไม่ได้มัลติเพลกซ์สัญญาณภาพ

| อัตราเร็วในการส่งข้อมูล (BPS) | BER |
|---|---|
| 300 | 0 |
| 1200 | 0 |
| 2400 | 0 |
| 4800 | 0 |
| 9600 | 0 |
| 19200 | 0.000156 |

เมื่อทำการส่งข้อมูลโดยการมัลติเพลกซ์สัญญาณภาพด้วยปรากฏว่ามีความผิดพลาดของสัญญาณเพิ่มขึ้นที่อัตราเร็วในการส่งข้อมูลสูง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2

ในส่วนของการส่งสัญญาณภาพนั้นเมื่อทำการส่งข้อมูลดิจิตอลด้วยจะเกิดการรบกวนข้ามช่องสัญญาณทางไฟฟ้าขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากคุณสมบัติในการออกแบบวงจรในการกรองความถี่ผ่านไม่สามารถที่จะตัดความถี่ของสัญญาณที่มัลติเพลกซ์กันด้วยวิธี ASK ให้หมดไปได้จึงมีการรบกวนข้ามช่องสัญญาณขึ้นซึ่งมีค่าประมาณ -7 เดซิเบล ซึ่งหาได้จากออสซิลโลสโคป ทำให้สัญญาณภาพในตอนที่มีการส่งข้อมูลเกิดเป็นลายเส้นเกิดขึ้น

สำหรับในส่วนของแสงที่เดินทางในตัวกลางที่เป็นอากาศ ผลของการรบกวนข้ามช่องสัญญาณทางแสงจะมีค่า -24 เดซิเบล ซึ่งจะพบว่ามีค่าน้อยมากหาได้โดยใช้อุปกรณ์วัดกำลังทางแสง

ตารางที่ 2 การส่งข้อมูลดิจิตอลกับค่าความผิดพลาดในการส่งข้อมูลเมื่อมีการมัลติเพลกซ์สัญญาณภาพ

| อัตราเร็วในการส่งข้อมูล(BPS) | BER |
|---|---|
| 300 | 0 |
| 1200 | 0 |
| 2400 | 0 |
| 4800 | 0.000208 |
| 9600 | 0.00083 |
| 19200 | 0.00115 |

แหล่งกำเนิดแสงที่ 2 (LD 2) ได้ทำการมอดูเลตสัญญาณเสียงกับสัญญาณดิจิตอลเข้ากับแหล่งกำเนิดแสง โดยทำการมัลติเพลกซ์สัญญาณเสียงกับสัญญาณดิจิตอล สัญญาณเสียงจะถูกมอดูเลตเข้ากับความถี่ของคลื่นพาห์ที่มีความถี่ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ ด้วยวิธีการมอดูเลตทางแอมปลิจูด ส่วนสัญญาณดิจิตอลจะถูกนำมาลดขนาดของสัญญาณลง หลังจากนั้นจะทำการมัลติเพลกซ์สัญญาณไฟฟ้านำไปมอดูเลตแสงต่อไป

ในการส่งข้อมูลดิจิตอลผ่านแสงนี้เมื่อยังไม่ได้มีการมัลติเพลกซ์สัญญาณเสียงเข้ามาจะมีความผิดพลาดในการส่งข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 3

เมื่อทำการมัลติเพลกซ์สัญญาณเสียงปรากฏว่าที่อัตราเร็วในการส่งข้อมูลที่ความเร็วสูงมีความผิดพลาดของข้อมูลเพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ความผิดพลาดในการส่งข้อมูลของแหล่งกำเนิดแสงที่สองเมื่อไม่มีการมัลติเพลกซ์สัญญาณเสียง

| อัตราเร็วในการส่งข้อมูล (BPS) | BER |
|---|---|
| 300 | 0 |
| 1200 | 0 |
| 2400 | 0 |
| 4800 | 0 |
| 9600 | 0 |
| 19200 | 0.000052 |

ตารางที่ 4 ความผิดพลาดในการส่งข้อมูลดิจิตอลเมื่อมีการมัลติเพลกซ์สัญญาณเสียง

| อัตราเร็วในการส่งข้อมูล (BPS) | BER |
|---|---|
| 300 | 0 |
| 1200 | 0 |
| 2400 | 0 |
| 4800 | 0.000208 |
| 9600 | 0.000104 |
| 19200 | 0.000104 |

ในส่วนของสัญญาณเสียงเมื่อทำการดีมัลติเพลกซ์และดีมอดูเลตสัญญาณแล้วปรากฏว่าสัญญาณดิจิตอลไปรบกวนข้ามช่องสัญญาณ ในส่วนของอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีขนาดประมาณ -5 เดซิเบล เป็นผลให้เกิดเสียงรบกวนเกิดขึ้นตามอัตราเร็วที่ใช้ในการส่งข้อมูลดิจิตอล

ในส่วนของการแยกสัญญาณทางแสงจะมีสัญญาณรบกวนข้ามช่องสัญญาณจากแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 (LD 1) ซึ่งมีค่าประมาณ -24 เดซิเบล จึงทำให้เข้าไปมีผลกับระบบที่ได้จัดสร้างขึ้นน้อยมาก

## สรุป

งานวิจัยนี้นับได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นของงานวิจัยเพื่อพัฒนาระบบการสื่อสารมัลติมีเดียด้วยแสง โดยใช้คุณสมบัติทางแสงมาทำการประมวลสัญญาณตลอดจนสามารถที่จะมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์ทางแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพที่เชื่อถือได้สูงจะสังเกตได้จากค่าของการรบกวนข้ามช่องสัญญาณมีค่าน้อยมากคือ -24 dB นั่นคือด้วยวิธีการทางแสงจะมีข้อได้เปรียบในด้านของแบนด์วิดธ์และสัญญาณรบกวนเหนืออิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นจึงสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้แทนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้

## เอกสารอ้างอิง


[1] J.M. Senior, Optical Fiber Communications, Prentice Hall International (UK) Ltd., UK., 1992.

[2] ปรเมษฐ์ จันทร์เพ็ง, ปรีชา ยุพาพิน, สนิท หมอกมืด "การผสมสัญญาณแสงสองช่อง", การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21, 2538, หน้า 632-633.

[3] G. Keiser, Optical Fiber Communications, McGRAW-HILL International, New York, 1991.

[4] L.A. Buckman, L.P. Chen, K.Y. Lau, "Crosstalk Penalty in All-Optical Distributed Switching Networks", IEEE Photonics Technology Letters, Vol.9, No.2, February 1997,pp. 250-252.

[5] J.P. Goedgebuer, H. Porte, and A. Hamel, "Electrooptic modulation of multilongitudinal mode Laser Diodes: Demonstration at 850 nm with simultaneous data transmission by coherence multiplexing," IEEE J. Quantum Electron., vol. QE-23, July 1987,pp. 1135 - 1144.

[6] J.P. Goedgebuer, and A. Hamel, "Coherence multiplexing using a parallel array of electro-optic modulators and multimode semiconductor lasers," IEEE J. Quantum Electron., vol. QE-23, Dec. 1987,pp. 2224 - 2237.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# A Lightwave Demultiplexer using an Optical Signal Processing Scheme

P.P. Yupapin, P. Chunpeng, R. Chitaree and S. Kusamran

Optoelectronics Research Laboratory, Department of Applied Physics

Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

Tel: (662)-3269982, Fax: (662)-3269981

Email:pvpy@crsc.kmitl.ac.th

## Abstract

A lightwave demultiplexer using an optical filtering device is studied and demonstrated. Two wavelength multiplexed signals are combined and then filtered or demultiplexed before entering the optical receivers. S/N ratio of the optical output signal of 32 dB is observed, and an optimum extinction ratio of light signal of 95 % is achieved. The range of applied frequency of 60 kHz is employed where the modulation index of 95 % is observed. The minimum interchannel crosstalk of the optical output of -16 dB, using a polarizing plate as an optical filter, is obtained. Results have shown that the demultiplexing system using optical technique which requires less optical components showing the potential of application such a system as a demultiplexing device.

## 1. Introduction

Optical multiplexing schemes have attached increasing research interest in recent years [1, 2, 3], as they provide an inexpensive, simple, compact and widely use for both optical communication and sensor applications. Optical signal processing techniques have shown their feasibility at high density and bandwidth, coupled with stringent cost constraints of advanced wide bandwidth communication, where electronic demultiplexing techniques so far has not been possible. The strategic insertion of optical connection technology into system not only meets projected requirements, but potentially offers it at a competitive cost and applications [4, 5]. An opportunity exists for the development of new optical interconnection technology which can be incorporated into system design beginning at this interconnection level and beyond [6, 7].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

There are several techniques of optical demultiplexing, concerning number of required couplers, total loss in the signal path, number of required strobe signal sources, susceptibility to thermal and environmental influence, optical isolation, have been studied by E. Bodtker and J.E. Bowers [8]. A required key technique is how to obtain the complete demultiplexing, in terms of component usage, S/N ratio, crosstalk and optical losses. Generally, wavelength demultiplexing scheme can be carried out to obtain the packet destination, using polarizing devices, where several variants of the use of such devices exist [9, 10]. A particularly interesting principle has been proposed by Sasayama et al [5], for optical filter using polarizing beamsplitter cubes and retarding plates.

This paper describes an inexpensive, bulky optical demultiplexing/filtering scheme which requires fewer optical components and at the same time facility of an option demultiplexing. Furthermore, it offers useful application prospect in future optical device design and fabrication, e.g. multiplexer, demultiplexer, switching, filter etc. The application of this system may range from optical data links to implementation of optical sensors and networks. The work reported in this paper presented a comparison of the demultiplexer, using polarizing plates and polarizing beamsplitter, where results obtained have shown that the one using polarizing plates has better output characteristics than the other.

## 2. Operating System

The proposed scheme requires at least two light sources available to the wavelength multiplexing system. The wavelength of the light source must be very stable and accurate. Figure 1 shows the schematic diagram of the free-space wavelength division multiplexing (WDM) and demultiplexing arrangement employed in the system.

A demultiplexing technique of light signals using the coherent optical filter known as "Mach Zehnder Interferometer" has been applied using as a demultiplexing device. Each selector of optical output can select the arbitrary frequency channel out of the multiplexed frequency, utilizing the device ability of selection arbitrary frequency. The relationship between the modulating frequency of WDM and the optical power characteristics were investigated by sweeping the optical carrier frequency.

The basic requirement of the system is that, the multiplexer must combine the multiplexed signals with minimum losses. Those losses, $D_j$, are expressed in decibels (dB) at each wavelength $\lambda_j$ by:

$$D_j = 10 \log(P_j/P_o) \qquad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

where $P_j$ is the optical power injected into the transmission line and $P_o$ is the incident power to the receiver at $\lambda_j$ [4]. At the other end of the system, the signals at the different wavelengths are separated by a demultiplexer which, likes the multiplexer, where it must have the minimum losses. The required output signal is that the signals having minimum optical crosstalk due to the interchannel interference. The optical crosstalk, $C_{ij}$, of a channel i on a channel j is given by

$$C_{ij} = 10 \log(P_{ij}/P_{jj}) \qquad (2)$$

where $P_{ij}$ is the residual optical power of channel i at wavelength $\lambda_i$ in channel j and $P_{jj}$ the exist optical power in channel j at wavelength $\lambda_j$. Generally, the total optical crosstalk in channel j can be expressed as

$$C_j = 10 \log(\sum_{i \neq j} P_{ij}/P_{jj}) \qquad (3)$$

This approach may in principle be extended to large multiplexed system. In the case of short distance communication, the loss terms are very small and negligible. However, care must be taken to avoid the interchannel crosstalk by minimizing the effect of the error from polarization orientation and optical system arrangement.

## 3. Results and Discussion

In this report, two channel transmission signals were employed to measure the interchannel crosstalk and S/N ratio performance of the system. Figure 1 shows that two orthogonally polarized light are emitted from two light sources with different wavelengths. Subsequently, the two light beams (wavelength $\lambda_1$ and $\lambda_2$), are combined using a beamsplitter then filtered by a polarizing beamsplitter or polarizing plates. Two light sources were used to carry input signal into the multiplexed system, each stabilized laser diode stabilized with intensity modulator was employed as the transmitter. The multiplexing signal was introduced at the combiner. The optimum extinction ratio was achieved by adjusting the polarization orientation of the light beam into the system. Two different output signals are demultiplexed or separated and then received by the detectors.

In this scheme as shown, two light sources employed were laser diodes at wavelength of 810 nm (channel-1) and 780 nm (channel-2) respectively. Each linearly polarized light signal was modulated by $f_1$ at 60 kHz and $f_2$ at 20 kHz, collimated and passed through a polarizer to improve the beam degree of polarization and initiate the beam orientation. . First, one mode of linearly polarized light was launched whereby the $f_1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

combiner then filtered before entering the receivers. Two light beams were then mixed by a beamsplitter, and entered into the second beamsplitter or polarizing beamsplitter. The different channel of the output signals were obtained by adjusting the polarization controlled devices. The output signals were detected by the detectors. In this study, the splitting ratios of the polarizing plates and polarizing beamsplitter are 95 % and 87 %, respectively.

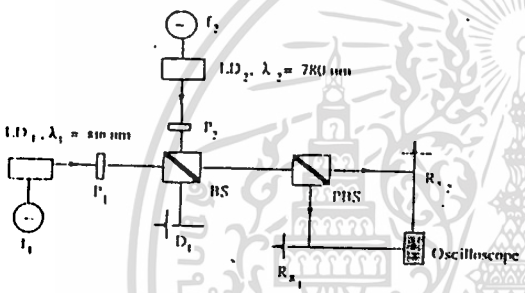
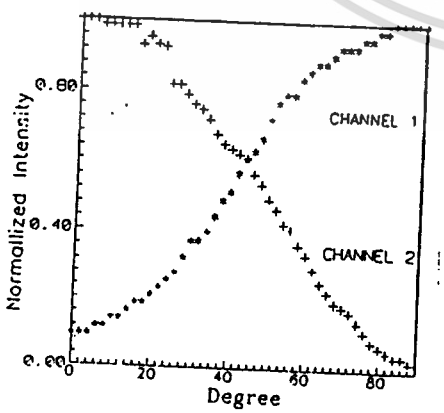
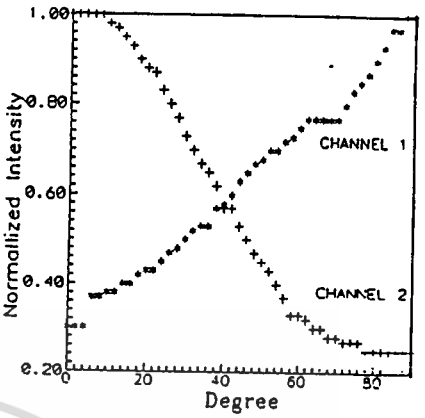



Fig. 1 Illustration of a basic photonic WDM system : LD : Laser diode, P : Polarizing plate, f : Modulation frequency, BS : Beamsplitter, PBS : Polarizing beamsplitter, $D_i$ Detector, $R_x$ : Receivers.




(a)




(b)

Fig. 2 The measured optical signals of two channel demultiplexer:
(a) using polarizing plates
(b) using polarizing beamsplitter

The multiplexed light beams was filtered by using the polarizing controlled devices, i.e. a polarizing beamsplitter or polarizing plates. As shown in Figure 1, the other case using PBS, was replaced by the polarizing plate to filter the required optical signals. The output signal interchannel crosstalk and the optimum S/N ratio as a function of the optical receivers power were investigated

Figure 2 shows the results obtained from two-channel WDM after filtering with respect to the polarization orientation of the output light signals. Results have shown that the defect is merely due to the demultiplexer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

characteristics when sources with spectral widths difference from multiplexer spectral passbands were used. A receiver sensitivity of -27 dB was observed for WDM transmission, and - 25 dB for $f_1$ -channel and -30 dB for $f_2$-channel, respectively while that the minimum interchannel crosstalk is -16 dB as shown in Figure 3. It becomes necessary to take into account the multiplexer crosstalk. In other cases, the electrical crosstalk is also introduced which depends on the receivers, where the electrical crosstalk of a system also depends on the relative power and spectral width of the transmitters. It is possible to improve the system performance by employing higher splitting ratio of the polarizing beamsplitter so that the power at the payload receiver is increased; this can reduce the power loss for the payload channel at the receiver.

## 4. Conclusion

In conclusion, it has demonstrated that the optical demultiplexer may be simply used as the optical terminal equipment. It provides an optimum S/N ratio of the optical output power, and hence it is suitable for using such a device as an optical demultiplexer. Generally, an optical fiber can be applied to the system as a light signal transmission line, where it can be delivered signals for long distance transmission. The optical demultiplexing device offers higher performance and lower cost packaging technology in order to implement new product capability and advanced services. Optical interconnection strategy offer advantage at higher levels comparing to the electronic system. It is also an enabling technology that will allow industry such as communication, computer and cable television to evolve their hardware platform and expedite the introduction of higher bandwidth service. Therefore, this proposed system architecture offers a simple system design, low cost, and easy implementation for using as optical signal processing devices. A comparison between the use of polarizing plates and polarizing beamsplitter is made. It is found that in general this polarizing plate filter has better output characteristics than the other.

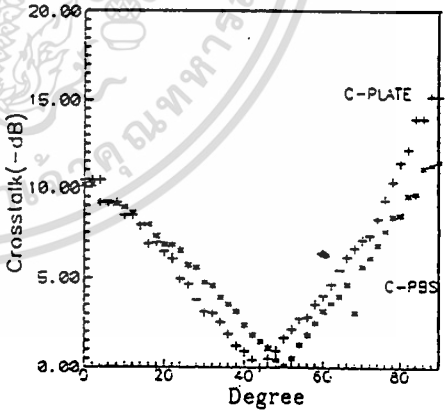



Fig. 3 Comparison of the interchannel crosstalk: using polarizing plates (C-PLATE, +) and polarizing beamsplitter (C-PBS,*)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. References

[1]N.J. Frigo, P.P. Iannone, P.D. Magill, T.E. Darcie, M.M. Downs, B.N. Desai, U. Koren, T.L. Koch, C. Dragone, H.M. Presly, and G.E. Bodeep, " A Wavelength - Division Multiplexed Passive Optical Network with Shared Components", IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 6, no.11, pp. 1365-1367, 1994.

[2]L. Eskildsen, E.L. Goldstein, G.K. Chang, M.Z. Iqbal, and C. Lin, " Self-Regulating WDM Amplifier Module for Scalable Lightwave Networks ", IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 6, no. 11, pp. 1321-1323, 1994.

[3]C. L. Lu, D.J.M. Sabido IX, P. Poggiolini, R.T. Holfmeister, and L. G. Kazovsky, " CORD-A WDMA Optical Network: Subcarrier-Based Signaling and Control Scheme", IEEE Photon., Technol., Lett., vol. 7, no. 5, pp. 555-557, 1995.

[4]J.P. Laude, "Wavelength Division Multiplexing", Prentice Hall, New York, 1993.

[5]K. Sasayama, M. Okuno, and K. Habara, "Photonic FDM Multichannel Selector Using Coherent Optical Transversal Filter", J. Lightwave Technol., vol.12, no.4, pp. 664-669, 1994.

[6]R.A. Nordin, W.R. Holland, and M.A. Shahid, "Advanced Optical Interconnection Technology in Switching Equipment", J. Lightwave Technol., vol.13, no.6, pp. 987-997, 1995.

[7]R.A. Nordin, F.F.J. Levi, R.N. Nottenbury, J.O'Gorman, T. Tanbun-Ek, and R.A. Logan, "A System Perspective on Digital Interconnection Technology", J. Lightwave Technol., vol.10 , no. 6, pp. 811-827, 1992.

[8] E. Bodtker and J.E. Bowers, " Techniques for Optical Demultiplexing in High Bit Rate Communication Systems", J. Lightwave Technol. vol. 13, no. 9, pp. 1809-1814, 1995.

[9]H. Heidrich, D. Hoffmann and R.I. MacDonald : "Polarization and Wavelength Multiplexed Bidirectional Single Fiber Subscriber Loop", Opt . Comm., vol. 4, pp. 136-138, 1986.

[10]Y.Fujii and J. Minowa: "Four Channel Wavelength Multiplexing Composed of Phase Plates and Polarizing Beamsplitters", Appl. Opt., vol. 28, no. 7, pp. 1305-1308, 1989.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การศึกษาการส่งผ่านสัญญาณแสงโดยใช้คัปเปลอร์พลาสติก

## A study of Lightwave Transmission Signal by a Plastic Fiber Coupler

ปรเมษฐ์ จันทร์เพ็ง และปรีชา ยุพาพิน
ห้องปฏิบัติการวิจัยออปโต้อิเล็กทรอนิกส์, ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์, คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทร. 7372500-45 ต่อ 6213, E-mail: Yupapin Preecha @ kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเทคโนโลยีการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์เชิงแสงโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงสองความยาวคลื่นมาทำการมัลติเพลกซ์ด้วยอุปกรณ์รวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์ แสงที่ได้จากการมัลติเพลกซ์กันแล้วนี้จะถูกส่งผ่านเข้าไปยังเส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติก โดยเส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติกนี้ได้นำมาจัดเป็นอุปกรณ์แยกแสงหรือคัปเปลอร์ชนิดสัญญาณขาเข้า 1 ช่องสัญญาณ สัญญาณขาออก 3 ช่องสัญญาณ สัญญาณแสงที่ออกจากคัปเปลอร์นี้จะนำไปผ่านอุปกรณ์กรองความยาวคลื่นเพื่อแยกความยาวคลื่นทั้งสองออกจากกัน ในส่วนของแหล่งกำเนิดแสงเองก็จะทำการมอดูเลตสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงโดยให้แหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 ถูกมอดูเลตกับสัญญาณภาพ และแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 จะถูกมอดูเลตกับสัญญาณเสียง เมื่อถึงปลายทางก็ใช้อุปกรณ์รับแสงทำการรับสัญญาณแสงที่แยกออกมาจากคัปเปลอร์เพื่อทำการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า สัญญาณที่ได้จะถูกนำไปประมวลผลด้วยออสซิลโลสโคปและเครื่องขยายเสียงตามลำดับ ผลของการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์นี้จะมีอัตราการรบกวนข้ามช่องสัญญาณน้อยมากอีกทั้งสัญญาณที่รับได้จะมีคุณภาพสูง

Abstract

This research presents the study of lightwave multiplexing and transmission system, using plastic fiber. The constructed plastic fiber coupler consists of asingle input port and 3 output ports. Thelinearly polarized light from two different sources were modulated then multiplexed via a polarezing beamsplitter before entering into the input port. The signals such as audio and video signals were transmitted then fiber by electronic filltering technique and displayed on monitor. Results have shown that the simple technique can be use to achieved the high bandwidth transmission signal with interchannel crosstalk.

## บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารทางแสงได้เข้ามามีบทบาทในการสื่อสารภายในประเทศอย่างกว้างขวาง เนื่องจากความต้องการความเร็วตลอดจนปริมาณข่าวสารและคุณภาพของข่าวสารที่มีความเชื่อถือได้ของสัญญาณสูง แสงนับเป็นตัวกลางหนึ่งที่สามารถส่งข่าวสารได้เป็นจำนวนมาก แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความถี่สูง จากเหตุผลนี้จึงทำให้แบนด์วิดท์ของแสงมีความกว้างของช่องสัญญาณมาก จึงทำให้สามารถที่จะส่งข่าวสารได้เป็นจำนวนมาก โดยสัญญาณภาพ เสียง และข้อมูลสามารถที่จะทำการส่งเข้าไปในตัวกลางที่เป็นเส้นใยแก้วนำแสงได้พร้อม ๆ กัน โดยวิธีการมัลติเพลกซ์ทางแสงแบบแบ่งความยาวคลื่นนี้ นอกจากนี้คลื่นแสงเองยังมีการสูญเสียสัญญาณทางแสงต่ำตลอดจนไม่เกิดสัญญาณรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงได้มีการนำข้อดีของคลื่นแสงมาทำการศึกษาและใช้งาน ในส่วนของงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์ทางแสงตลอดจนการลดทอนภายในเส้นใยแก้วนำแสงและการทำคัปเปลอร์ทางแสงรวมไปถึงคุณภาพของสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์ทางแสงที่ได้จัดสร้างขึ้นนี้ โดยระบบที่ได้จัดสร้างขึ้นจะเป็นประโยชน์ในด้านการศึกษาและพัฒนาเพื่อผลิตขึ้นใช้งานได้ภายในประเทศตลอดจนสามารถที่จะประมวลผลสัญญาณด้วยแสงได้

## หลักการและทฤษฎี

ในส่วนของหลักการและทฤษฎีจะกล่าวถึงการลดทอนของสัญญาณ (การสูญเสียในเส้นใยแก้วนำแสง) จะเป็นตัวกำหนดว่าแสงมีการลดกำลังของแสงไปเนื่องจากความไม่บริสุทธิ์ของตัวกลางซึ่งจะกำหนดจากอัตราส่วนของกำลังแสงที่ป้อนให้กับเส้นใยแก้วนำแสง $P_{in}$ ที่มีความยาว L และกำลังของแสงที่ออกจากเส้นใยแก้วนำแสง $P_{out}$ โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนของกำลังแสงนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่มาทำเป็นเส้นใยแก้วนำแสงเอง การลดทอนของสัญญาณในเส้นใยแก้วนำแสงหาได้จาก

$$\alpha = \frac{10}{L}\log\left(\frac{P_{in}}{P_{out}}\right) \qquad (1)$$

ในการส่งสัญญาณแสงผ่านคัปเปลอร์จะมีสัมประสิทธิ์ของการส่งผ่าน ($\eta$) ที่ได้จากความสัมพันธ์ของ กำลังแสงขาเข้า ($I_i$) และกำลังแสงขาออก ($O_j$) ซึ่งเขียนได้เป็น

$$\eta = \frac{\sum_i I_i}{\sum_j I_j} \qquad (2)$$

เมื่อ i , j คือจำนวนพอร์ตของคัปเปลอร์

พลังงานหรือกำลังของแสงที่ส่งผ่านจะมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันก็จะขึ้นอยู่กับการสูญเสียกำลังของแสงที่ผ่านคัปเปลอร์ ซึ่งกำหนดได้ด้วยสมการ

$$\Lambda = \frac{\Delta P}{\sum_i I_i} = 1 - \eta \qquad (3)$$

เมื่อความแตกต่างของพลังงาน ($\Delta P$) กำหนดโดยความสัมพันธ์

$$\Delta P = \sum_i I_i - \sum_j O_j \qquad (4)$$

ดังนั้นการสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะที่แสงออกจากคัปเปลอร์คือ

$$L = 10\log\eta \qquad (5)$$

กำลังของแสงที่ผ่านออกมา ($O_j$) เขียนได้เป็น

$$O_j = \sum_i A_{ji} I_i \qquad (6)$$

เมื่อ $A_{ji}$ คือพลังงานที่คัปปลิ้งเข้าไปในพอร์ต $i_{th}$ และออกที่พอร์ต $j_{th}$ โดยการสูญเสียเขียนได้เป็น

$$L_{ji} = -10\log A_{ji} \qquad (7)$$

ซึ่งเป็นการสูญเสียจากการรวมแสงในหน่วยเดซิเบล ตลอดความยาวจาก $i_{th}$ ถึง $j_{th}$

## การทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ใช้แหล่งกำเนิดแสงที่เป็นเลเซอร์ไดโอดซึ่งมีความยาวคลื่น 670 นาโนเมตร เป็นแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 และใช้แหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 มีความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร ซึ่งเป็นแสงอยู่ในย่านอินฟราเรด แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 จะถูกมอดูเลตทางด้านกระแสที่ป้อนให้กับเลเซอร์ไดโอด โดยกระแสนี้ก็จะถูกควบคุมจากกระแสของสัญญาณภาพเพื่อให้ความเข้มของแสงเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณภาพที่เข้ามา ส่วนแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 ก็จะทำการมอดูเลตสัญญาณเสียง ภายหลังจากนั้นสัญญาณแสงทั้งสองจะถูกนำมามัลติเพลกซ์ต่อไป

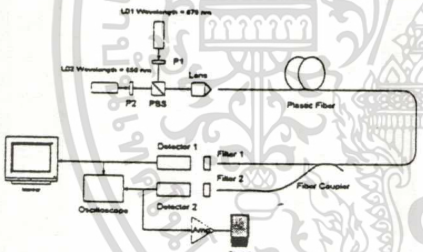
ในส่วนของการมัลติเพลกซ์สัญญาณแสงนี้จะใช้อุปกรณ์ทางแสงที่เรียกว่าผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์ซึ่งมีคุณสมบัติในการทำให้แสงที่อยู่ในแนวระนาบทลุผ่านผลึกชนิดนี้ได้ส่วนแสงโพลาไรซ์ที่อยู่ในแนวตั้งจะสะท้อนจากแนวแกนกลางของผลึกชนิดนี้ จากคุณสมบัติของผลึกชนิดนี้เองจึงได้นำมาทำการมัลติเพลกซ์ สัญญาณแสงทั้งสองความยาวคลื่นนี้โดยทำการวิเคราะห์มุมโพลาไรซ์ของแหล่งกำเนิดแสงทั้งสองให้ทำมุมโพลาไรซ์ตั้งฉากกัน เมื่อแหล่งกำเนิดแสงทั้งสองเดินทางผ่านผลึกโพลาไรซ์ก็จะเกิดการมัลติเพลกซ์ทางแสง หลังจากนั้นก็จะใช้เลนส์ควบแสงเพื่อป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงโดยอีกด้านหนึ่งของเส้นใยแก้วนำแสงนี้ได้จัดสร้างให้เป็นอุปกรณ์แยกแสงหรือคัปเปลอร์ แบบสัญญาณขาเข้า 1 ช่องสัญญาณ สัญญาณขาออก 3 ช่องสัญญาณ.

การจัดสร้างคัปเปลอร์นี้ได้ใช้แผ่นขัดเส้นใยแก้วนำแสงขัดส่วนที่เป็นแคลดของเส้นใยแก้วนำแสงออกเพื่อให้แสงสามารถทะลุผ่านส่วนที่เป็นคอร์ได้ จากนั้นทำการขัดเส้นใยแก้วนำแสงอีกเส้นโดยขัดแคลดออกเช่นเดียวกัน ด้วยความยาวของตำแหน่งที่ขัดเอาส่วนที่เป็นแคลดมีความยาวเท่ากันจากนั้นนำเส้นใยแก้วนำแสงทั้งสองมาประกบกันเพื่อให้แสงสามารถเดินทางผ่านเส้นใยแก้วทั้งสองนี้ได้ เมื่อแสงเดินทางผ่านคัปเปลอร์ที่ได้จัดสร้างขึ้นก็จะนำไปทำการกรองความยาวคลื่นแสงผ่านเพื่อแยกสัญญาณแสงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้ทำการมอดูเลตสัญญาณภาพเข้ากับแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 และมอดูเลตสัญญาณเสียงเข้ากับแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 เพื่อทำการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง เมื่อนำสัญญาณแสงมาทำการมัลติเพลกซ์กันแล้วก็จะถูกส่งเข้าไปในระบบที่ได้จัดสร้างขึ้นไปยังอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 และตัวที่ 2 โดยอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 มีแบนด์วิดท์ประมาณ 20 เมกะเฮิร์ตซ์และอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 2 มีแบนด์วิดท์ประมาณ 1.5 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยพิจารณาที่สัญญาณขาออกลดลงครึ่งหนึ่งของสัญญาณที่มอดูเลตมากับแสง หรือที่ 3 dB โดยอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 จะมีสัญญาณรบกวนอยู่ที่ประมาณ 12 มิลลิโวลต์ และอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 2 มีสัญญาณรบกวนอยู่ที่ประมาณ 20 มิลลิโวลต์ อุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 รับกำลังแสงสูงสุดได้ 4.8 โวลต์ และอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 2 รับกำลังแสงสูงสุดได้ 10.7 โวลต์ ดังนั้นจะได้อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 มีค่าเป็น 26 dB และอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 2 มีค่าเป็น 27.2 dB




รูปที่ 1 รูปแบบของการสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง

| | |
|---|---|
| $LD_1$ | แหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 |
| $LD_2$ | แหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 |
| PBS | ผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์ |
| $Detector_1$ | อุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 |
| $Detector_2$ | อุปกรณ์รับแสงตัวที่ 2 |
| $Filter_1$ | อุปกรณ์กรองความยาวคลื่น 670 นาโนเมตรผ่าน |
| $Filter_2$ | อุปกรณ์กรองความยาวคลื่น 785 นาโนเมตรผ่าน |

พิจารณาผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์ที่นำมาใช้ในการมัลติเพลกซ์นี้เป็นผลึกโพลาไรซ์ชนิด 97 % คือเมื่อป้อนแสงโพลาไรซ์ซึ่งทำมุมตามแนวที่กำหนดจะมีการสูญเสียของแสงโพลาไรซ์ที่กำหนดมุมไว้นี้ไปประมาณ 3 % โดยถ้ากำหนดมุมของแสงโพลาไรซ์ในแนวระนาบเมื่อเดินทางผ่านผลึกชนิดนี้ แสงโพลาไรซ์ที่เดินทางผ่านผลึกนี้จะมีค่าเป็น 97 % ของความเข้มแสงที่ทะลุผ่าน และความเข้มของแสงจะสะท้อนออกจากผลึกชนิดนี้ เมื่อให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 ซึ่งมีกำลังแสง 6.23 dBm โดยวัดได้จากเครื่องมือวัดกำลังแสงเดินทางผ่านผลึกนี้ โดยกำหนดให้มีมุมโพลาไรซ์ในแนวระนาบทำการวัดกำลังแสงที่ออกจากผลึกโพลาไรซ์ได้ 5.96 dBm และแสงที่สะท้อนออกจากผลึกโพลาไรซ์มีค่าเป็น –8.7 dBm ในส่วนของแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 ที่ผ่านผลึกโพลาไรซ์ แหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 มีกำลังแสงประมาณ 5.8 dBm เมื่อสะท้อนจากผลึกรวมและแยกแสงแบบโพลาไรซ์ความเข้มของแสงที่สะท้อนออกมามีค่าเป็น 5.67 dBm และแสงที่ทะลุผ่านออกมามีค่าเป็น –9.5 dBm

รูปที่ 2 การจัดชุดทดลองสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง

ในส่วนของเส้นใยนำแสงจะพิจารณาการลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งในการทดลองได้ใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติกซึ่งมีความยาว 120 เซนติเมตร เมื่อให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 เข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงเพื่อหาอัตราการลดทอนของแสงต่อเส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติก โดยวัดกำลังแสงที่ออกจากเส้นใยแก้วนำแสงมีค่าเป็น 6.17 dBm หลังจากนั้นได้ทำการทดลองป้อนสัญญาณแสงจากแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 เพื่อทำการหาอัตราส่วนของการลดทอนสัญญาณแสงย่านอินฟราเรดจากเส้นใยแก้วนำแสงโดยกำลังแสงที่วัดได้มีค่าเป็น 5.19 dBm ดังนั้นจะสามารถทราบกำลังของแสงที่ลดทอนต่อความยาวได้ โดยแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 1 มีค่าความลดทอนของแสงประมาณ $-5.2 \times 10^{-1}$ dB ต่อเซนติเมตร และแหล่งกำเนิดแสงตัวที่ 2 มีค่าความลดทอนประมาณ $-5.1 \times 10^{-1}$ dB ต่อเซนติเมตร

เมื่อทำการขัดเส้นใยแก้วนำแสงที่ตำแหน่งความยาวประมาณ 100 เซนติเมตร ปรากฏว่ากำลังของแสงมีค่าลดลงเหลือประมาณ 3.32 dBm แต่จากการพิจารณาที่อัตราการลดทอนต่อความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งมีค่าเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$-5.2 \times 10^{-4}$ dB ต่อเซนติเมตร ดังนั้นที่ตำแหน่งที่ขัดเอาส่วนที่เป็นแคลดออกจะมีค่าของแสงที่ทะลุออกไปภายนอกประมาณ 2.77 dBm ที่ตำแหน่งที่ทำการขัดเอาส่วนที่เป็นแคลดออกนี้ก็จะนำเส้นใยแก้วนำแสงอีกเส้นหนึ่งที่มีความยาว 20 เซนติเมตรมาประกบเข้าด้วยกันโดยขัดเอาส่วนที่เป็นแคลดดิ้งออกเช่นเดียวกันซึ่งจะขัดที่ตำแหน่ง 16 เซนติเมตร ก็จะได้สัญญาณแสงส่วนที่ทะลุผ่านจากคอร์ของเส้นใยแก้วนำแสงเส้นแรกผ่านเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงเส้นที่ 2 ซึ่งวัดความเข้มของแสงได้เป็น 1.74 dBm สัญญาณแสงที่ผ่านออกจากเส้นใยแก้วนำแสงทั้งสามช่องนี้ก็จะถูกนำไปใช้อุปกรณ์กรองความยาวคลื่นผ่านเพื่อนำสัญญาณที่ได้นี้ไปเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าต่อไป

ส่วนของอุปกรณ์รับแสงก็จะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 1 จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณภาพโดยมีอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าเป็น 18.75 dB สำหรับอุปกรณ์รับแสงตัวที่ 2 ก็จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณเสียงซึ่งมีอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าเป็น 23 dB

## สรุป

งานวิจัยนี้นับว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการสื่อสารทางแสงด้วยการจัดสร้างอุปกรณ์คัปเปลอร์เพื่อทำการแบ่งสัญญาณแสงด้วยเส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติก เพื่อสามารถที่จะประยุกต์นำไปใช้งานเป็นระบบเรือข่ายท้องถิ่นระยะใกล้ได้ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองนี้มีอัตราการลดทอนของสัญญาณแสงที่สามารถจะนำไปใช้งานได้จริงตลอดจนสัญญาณของข่าวสารที่รับได้มีคุณภาพของสัญญาณที่เชื่อถือได้พอสมควร

## เอกสารอ้างอิง


[1] Peter J. Chidgey. "Multi-Wavelength Transport Networks", IEEE comm., Magazine, pp. 28-35, December 1994.

[2] Dave M. Spirit, Andrew D. Ellis and Pete E. Barnsley. "Optical Time Division Multiplexing System and Networks", IEEE Comm., Magazine, pp. 56-61, December 1994.

[3] R.M.A. Azzam. "Polarization Michelson Interferometer (POLAMINT) : it use for Polarization Modulation and Temporal Pulse Shearing", Optic Comm., vol. 98, no. 1-3, pp. 19-23, April 1993.

[4] Koji Kikushima, Ko-ichi Suto and others. "Plarization Dependent Distortion in AM-SCM Video Transmission Systems", J. of Lightwave Technol., vol. 12, no. 4, pp. 650-657, April 1994.

[5] J.J. Pan and Frank Liang. " Optoelectronic Components Make WDM Networks Practical" Laser Focus World, pp. 111-115, January 1994.

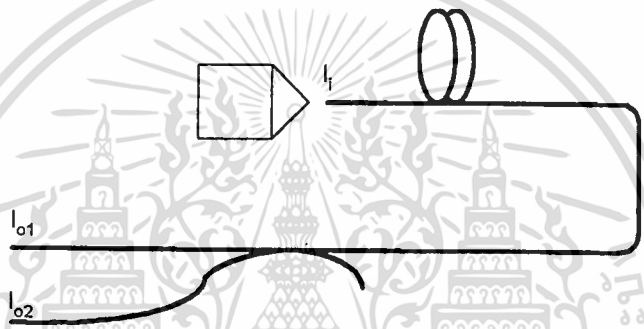

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ช.

## ผลการทดลองการทำพลาสติกเทเปอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในภาคผนวก ช. จะแสดงผลการทดลองการจัดสร้างพลาสติกเทเปอร์เพื่อทำการแบ่งสัญญาณแสงออกเป็นสองส่วนโดยพิจารณาที่กำลังแสงขาเข้า ($I_i$) กำลังของแสงทางด้านขาออกช่องที่ 1 ($I_{o1}$) กำลังของแสงขาออกช่องที่ 2 ($I_{o2}$) ซึ่งจะต้องคำนึงถึงกำลังของแสงขาออกทั้งสองช่องสัญญาณจะต้องมีค่าสูงเพื่อนำไปพิจารณาเลือกเทเปอร์ที่เหมาะสมกับงานวิจัย โดยในงานวิจัยนี้ได้จัดสร้างเทเปอร์ขึ้นมา 7 ชุด ได้ผลการทดลองดังแสดงในตาราง ซึ่งจะพบว่าพลาสติกเทเปอร์ชุดที่ 7 ให้กำลังแสงขาออกมากเพียงพอที่จะนำไปประมวลสัญญาณแสงได้จึงได้ใช้พลาสติกเทเปอร์นี้ในการทดลองการส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านเส้นใยแก้วนำแสง




รูปแสดงสัญญาณแสงที่เข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติกและสัญญาณขาออกจากพลาสติกเทเปอร์

| เทเปอร์ | กำลังแสงขาเข้า ($I_i$) | กำลังแสงขาออกช่องที่ 1 ($I_{o1}$) | กำลังแสงขาออกช่องที่ 2 ($I_{o2}$) |
|---|---|---|---|
| 1 | 4.50 dBm | 1.09 dBm | $-3.6 \times 10^{-4}$ dBm |
| 2 | 4.62 dBm | 2.13 dBm | $-4.2 \times 10^{-4}$ dBm |
| 3 | 4.53 dBm | 1.15 dBm | $-3.7 \times 10^{-4}$ dBm |
| 4 | 4.52 dBm | 1.96 dBm | $-5.5 \times 10^{-4}$ dBm |
| 5 | 4.56 dBm | 2.11 dBm | $-2.6 \times 10^{-4}$ dBm |
| 6 | 4.41 dBm | 1.78 dBm | $-2.6 \times 10^{-4}$ dBm |
| 7 | 4.54 dBm | 2.19 dBm | $-8.8 \times 10^{-3}$ dBm |

**ตารางแสดงผลการทดลองพลาสติกเทเปอร์ที่ได้จัดสร้างขึ้น**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้เขียน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำโดย นายปรเมษฐ์ จันทร์เพ็ง เกิดเมื่อวันที่ 5 ตุลาคม 2512 ที่แขวงพรานนก เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสารคามพิทยาคม จังหวัดมหาสารคาม การศึกษาขั้นปริญญาตรีจากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒวิทยาเขตมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม สาขาการศึกษาวิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ เมื่อปีการศึกษา 2534 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2536 ประวัติการทำงานหัวหน้าฝ่ายเทคนิคบริษัทไทยอคิลิกไฟเบอร์ตั้งอยู่ที่ อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ในปี 2535 เป็นอาจารย์พิเศษในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ 1 คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี 2538 และเป็นอาจารย์พิเศษในห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ในปี 2541 สำหรับผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์นั้นเป็นบทความวิจัยจำนวน 2 เรื่อง ในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21 และ ครั้งที่ 22 และมีบทความวิชาการที่ลงตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์ของมหาวิทยาลัยต่าง ๆ จำนวนมากกว่า 10 เรื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้