บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันความต้องการในการรับส่งข้อมูลมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีที่สิ้นสุด ดังนั้นในการสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสง (Optical Fiber Communication) จึงได้พัฒนาเทคนิคการรับส่งแสงหลายความยาวคลื่นแบบหนาแน่นขึ้น (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM) อย่างไรก็ตามการเพิ่มความจุในการส่งข้อมูลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานเส้นใยนำแสงมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธี [1] คือ (1) การขยายแถบความยาวคลื่นแสงที่ใช้, (2) การเพิ่มอัตราเร็ว (Bit Rate) ในแต่ละช่องสัญญาณ และ (3) การลดระยะห่างช่องสัญญาณ

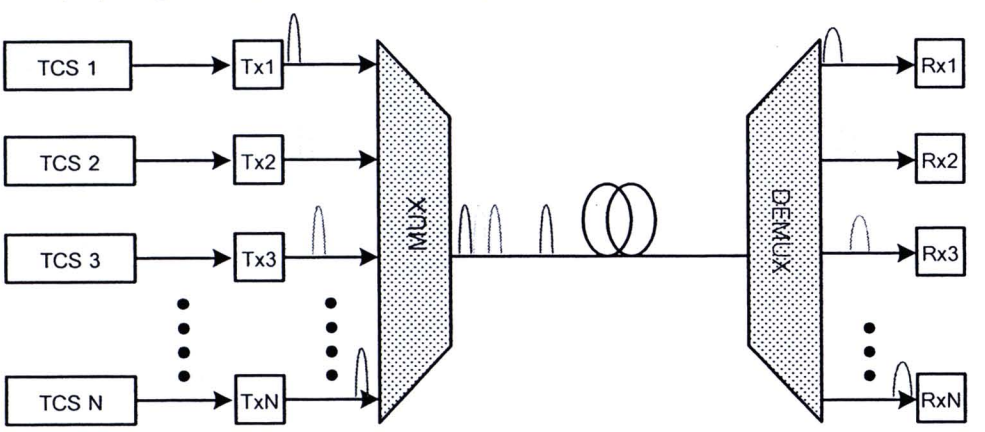
วิธีแรกเป็นการเพิ่มความจุของข้อมูลโดยการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณ ด้วยการขยายช่วงการใช้งานความยาวคลื่นให้กว้างมากขึ้นแต่คงระยะห่างช่องสัญญาณเท่าเดิม ยกตัวอย่างเช่น จากเดิมที่มีการใช้แสงในย่านความยาวคลื่นแถบกลาง (Conventional band, C-band) ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่น 1530 nm ถึง 1565 nm เปลี่ยนมาใช้งานให้ครอบคลุมย่านความยาวคลื่นแถบสั้น (Short band, S-band) ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่น 1460 nm ถึง 1530 nm จนถึงย่านความยาวคลื่นแถบยาว (Long band, L-band) ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่น 1565 nm ถึง 1625 nm ดังนั้นการขยายแสงให้ครอบคลุมความยาวคลื่นทั้ง 3 แถบซึ่งกว้างถึง 165 nm ได้นั้น จึงต้องการตัวขยายแสงแบบเส้นใยนำแสงโดปด้วยธาตุหายาก (Rare-Earth-Doped-Fiber Amplifier) ในปัจจุบันได้มีการวิจัยใช้ตัวขยายแสงชนิดรามัน (Raman Amplifier) ในการขยายแสงให้ครอบคลุมได้มากถึง 132 nm โดยใช้ตัวขยายแสงเพียงตัวเดียวต่อหนึ่งช่วงการขยายแสง [2] ซึ่งครอบคลุมความยาวคลื่นในแถบ S, C และ L ดังนั้นระบบ WDM ที่ใช้ระยะห่างช่องสัญญาณ 100 GHz (หรือ 0.8 nm ที่ความยาวคลื่น 1550 nm) ซึ่งรับส่งข้อมูลในช่วงความยาวคลื่นแถบ C ได้ประมาณ 35 ช่องสัญญาณ ถ้าเปลี่ยนมาส่งแสงในช่วงแถบความยาวคลื่นทั้งสามร่วมกับตัวขยายแสงชนิดรามัน จะสามารถเพิ่มปริมาณช่องสัญญาณได้มากถึง 4 เท่า หรือ 140 ช่องสัญญาณ ดังนั้นวิธีนี้จึงเหมาะอย่างยิ่งในการรับส่งข้อมูลระยะทางไกล (Long-Haul System)

วิธีที่สองเป็นการเพิ่มอัตราข้อมูลของแต่ละช่องสัญญาณ ในระบบ WDM สามารถเพิ่มได้มากถึง 40 Gb/s โดยการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ความเร็วสูงและเทคโนโลยีการรวมสัญญาณแบบแบ่งเวลา (Time-Division Multiplexing) อย่างไรก็ตามเมื่ออัตราบิตเพิ่มมากขึ้นปัญหาที่ตามมาคือ ปัญหาดิสเพอร์ชัน ซึ่งได้แก่ โครมาติกดิสเพอร์ชัน (Chromatic Dispersion, CD) และโพราไลซ์โหมดดิสเพอร์ชัน (Polarization Mode Dispersion, PMD) ซึ่งมีงานวิจัยมากมายในการพัฒนา

เทคนิคในการชดเชยดิสเพอร์ชัน [3-5] เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลให้มากขึ้น ดังนั้นวิธีนี้จึงเหมาะกับการใช้งานเฉพาะโครงข่ายในเมือง (Metro Core Network) ซึ่งมีระยะทางสั้น (Short-hual) เท่านั้น เนื่องจากความยุ่งยากในการวางหน่วยชดเชยดิสเพอร์ชันระหว่างเส้นทางการรับส่งข้อมูลและการใช้เส้นใยนำแสงที่มีการควบคุมโพลาไรซ์ Polarization Maintaining Fiber (PMF) ระหว่างตัวมอดูเลตกับเลเซอร์ของทุกช่องสัญญาณ ซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนของระบบให้สูงขึ้นไปอีก

วิธีสุดท้าย คือ การลดระยะห่างช่องสัญญาณ (Channel Spacing) ให้แคบลงเพื่อเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณได้ โดยวิธีนี้ต้องใช้แหล่งกำเนิดแสงที่ให้ความยาวคลื่นที่มีความนิ่งสูงมาก เพราะเนื่องจากระยะห่างที่แคบมากขึ้นทำให้มีโอกาสที่ช่องสัญญาณข้างเคียงมารบกวนกันมากขึ้น โดยตัวแปรสำคัญที่มีผลโดยตรงต่อความนิ่งของแสง คือ อุณหภูมิของแหล่งกำเนิดแสงนั้นๆ ดังนั้นถ้าหากมีการควบคุมอุณหภูมิของแหล่งกำเนิดแสงได้อย่างมีเสถียรภาพ วิธีนี้จะเป็นการรวมข้อดีของทั้งสองวิธีแรกไว้ด้วยกัน คือ (1) สามารถเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณ และ (2) สามารถลดปัญหาดิสเพอร์ชันได้จากการลดอัตราข้อมูลของแต่ละช่องสัญญาณให้ต่ำลงได้ อีกทั้งยังสามารถนำมาใช้งานได้ทุกระบบไม่ว่าจะเป็นการรับส่งทางใกล้หรือไกล โดยเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสง, ตัวรวมแสง (Optical Multiplexer, MUX) และ ตัวแยกแสง (Optical De-Multiplexer, DEMUX) โดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มการใช้งานเส้นใยนำแสงชนิด PMF เช่นเดียวกับวิธีที่สอง

สำหรับระบบ DWDM ที่มีการใช้งานในปัจจุบันส่วนใหญ่มีระยะห่างช่องสัญญาณ 100 GHz และ 50 GHz โดยแต่ละช่องสัญญาณทำงานที่อัตราข้อมูล 10 Gb/s ในยุคถัดไประบบ DWDM ที่มีระยะห่างช่องสัญญาณ 25 GHz จะเข้ามาแทนที่สองระบบที่ได้กล่าวไป [6-7] โดยที่ ITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunication Sector) ได้กำหนดช่องสัญญาณและระยะห่างที่ใช้ไว้ในมาตรฐาน ITU-T G.694.1(Spectral grids for WDM application: DWDM frequency grid) [8] ดังนั้นเพื่อให้แต่ละช่องสัญญาณมีสเปกตรัมตรงตามมาตรฐาน และไม่มีการทับกันระหว่างช่องสัญญาณ ดังนั้นตัวส่งสัญญาณทางแสงทุกตัวต้องมีระบบควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control System, TCS) ให้กับเลเซอร์ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 การเชื่อมต่อระบบควบคุมอุณหภูมิกับตัวส่งสัญญาณทางแสง (TX)

ในปัจจุบันจึงได้มีงานวิจัยมากมายเพื่อหาแนวทางในการควบคุมและรักษาเสถียรภาพของความยาวคลื่นซึ่งมี 2 วิธีหลัก คือ (1) การควบคุมความยาวคลื่นแบบติดตามสเปกตรัมของเลเซอร์ และ (2) การควบคุมความยาวคลื่นแบบติดตามอุณหภูมิ โดยทั้งสองวิธีจะเป็นการควบคุมความยาวคลื่นจากอุณหภูมิของเลเซอร์ แต่ใช้การติดตามคนละแบบโดยวิธีแรกจะให้ความแม่นยำสูงกว่า เพราะเป็นการติดตามสเปกตรัมโดยตรง โดยแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

วิธีแรกเป็นการควบคุมความยาวคลื่น โดยการติดตามความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสงซึ่งส่วนมากใช้เป็นเลเซอร์ชนิดป้อนกลับแบบกระจายตัว (Distributed Feedback Laser, DFB) เปรียบเทียบกับแหล่งกำเนิดแสงอ้างอิงซึ่งผลิตมาจากเทคนิค absorption lines [9-10], arrayed-waveguide grating [11-12] เป็นต้น ซึ่งให้แสงที่มีสเปกตรัมและความยาวคลื่นคงที่ ทำงานร่วมกับวงจรควบคุมอุณหภูมิแบบป้อนกลับ โดยระบบควบคุมอุณหภูมิของวิธีนี้จะใช้ตัวระบายความร้อน (Thermo Electric Cooler, TEC) จำนวน 2 ตัวซึ่งทั้งสองตัวจะรวมอยู่ในโมดูลเดียวกันกับแหล่งกำเนิดแสง โดย TEC ทั้งสองจะทำหน้าที่ชดเชยอุณหภูมิส่วนต่างระหว่างกันจนทำให้ได้อุณหภูมิที่เลเซอร์ให้แสงตรงกับแหล่งกำเนิดแสงอ้างอิง[13] อย่างไรก็ตามการผลิตแหล่งกำเนิดแสงอ้างอิง หรือการผลิตTEC จำนวน 2 ตัวลงบนโมดูลเดียวกับแหล่งกำเนิดแสงนั้นมีความยุ่งยากซับซ้อนเป็นอย่างมาก

วิธีที่สองเป็นการควบคุมความยาวคลื่นจากการติดตามอุณหภูมิ (Temperature Monitoring) วิธีนี้ใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิซึ่งประกอบไปด้วย เทอร์มิสเตอร์ (thermistor) ทำหน้าที่ติดตามค่าอุณหภูมิของเลเซอร์, TEC ทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อน, ตัวจ่ายกระแสสองขั้ว (Bi-polar Current Driver) ทำหน้าที่จ่ายกระแสให้กับ TEC และวงจรควบคุมการจ่ายกระแสจากตัวจ่ายกระแสสองขั้ว ซึ่งมีการใช้งานทั้งไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) และวงจรพีไอดี (Proportional Integral Derivative circuit, PID circuit) หลักการควบคุมอุณหภูมิของวิธีนี้ คือ เทอร์มิสเตอร์จะทำหน้าที่วัดอุณหภูมิจากเลเซอร์โมดูล จากนั้นค่าอุณหภูมิที่วัดได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบเทียบอุณหภูมิตั้งค่าได้เป็นผลต่างแรงดัน จากนั้นค่าดังกล่าวจะถูกส่งไปยังวงจรควบคุมเพื่อกำหนดการจ่ายกระแสจากตัวจ่ายกระสองขั้วให้กับ TEC เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้กับเลเซอร์ เนื่องจากอุณหภูมิกับความยาวคลื่นของเลเซอร์แปรผันตรงกันจึงสามารถกำหนดความยาวคลื่นจากอุณหภูมิได้โดยตรง [14] ดังนั้นสิ่งที่จะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของระบบควบคุมอุณหภูมินี้ คือ การออกแบบวงจรควบคุมพีไอดีให้สามารถตอบสนองต่ออุณหภูมิของเลเซอร์ และควบคุมความยาวคลื่นได้อย่างมีเสถียรภาพ

วิทยานิพนธ์นี้จึงเน้นการออกแบบตัวส่งสัญญาณทางแสงต้นแบบอัตรา 10 Gb/s พร้อมระบบควบคุมอุณหภูมิซึ่งใช้วงจรควบคุมพีไอดีเป็นวงจรควบคุมหลักในระบบควบคุมอุณหภูมิให้กับเลเซอร์ภายในตัวส่งสัญญาณทางแสงตามการควบคุมความยาวคลื่นวิธีที่ 2 ในท้ายที่สุดแล้ว

ระบบควบคุมอุณหภูมิที่ออกแบบจะต้องนำมาทดสอบเสถียรภาพของความยาวคลื่นให้ได้ตามมาตรฐาน ITU-T G.692 (Frequency Deviation, REV5) ซึ่งกำหนดให้ตัวส่งสัญญาณทางแสงต้องมีความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่นไม่เกิน ± 10 pm [15] สำหรับการส่งข้อมูลแบบ DWDM ระยะห่างช่องสัญญาณ 25 GHz อัตราข้อมูล 10 Gb/s ตามมาตรฐาน SONET / SDH (Synchronous Optical Network/Synchronous Digital Hierarchy) OC-192/STM-64 (Optical Carrier-192/Synchronous Transport Module-64) [16] ได้อย่างมีเสถียรภาพตลอดการทำงานของตัวส่งสัญญาณทางแสง

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอการพัฒนาตัวส่งสัญญาณทางแสงต้นแบบ อัตราข้อมูล 10 Gb/s พร้อมระบบควบคุมอุณหภูมิ โดยนำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบและเลือกใช้อุปกรณ์สำหรับตัวส่งสัญญาณทางแสงพร้อมระบบควบคุมอุณหภูมิ รวมทั้งการทดสอบประสิทธิภาพของของตัวส่งสัญญาณทางแสงนี้ เพื่อเป็นแนวทางต่อยอดให้กับผู้ที่สนใจในการออกแบบทางด้านนี้ มีความเข้าใจและทราบถึงกระบวนการคิดวิเคราะห์มากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. ออกแบบและวิเคราะห์ระบบควบคุมอุณหภูมิที่ใช้วงจรควบคุมพีไอดี ร่วมกับ TEC และเทอร์มิสเตอร์ เพื่อใช้ปรับจูนและรักษาเสถียรภาพของความยาวคลื่นในตัวส่งสัญญาณทางแสงต้นแบบ
2. ออกแบบลายวงจรความเร็วสูง และประกอบตัวส่งสัญญาณทางแสงต้นแบบ พร้อมระบบควบคุมอุณหภูมิ เพื่อส่งข้อมูลอัตรา 10 Gb/s
3. วัดและทดสอบเสถียรภาพของความยาวคลื่น ของตัวส่งสัญญาณทางแสงต้นแบบอัตราข้อมูล 10 Gb/s ในการส่งแบบ DWDM 3 ช่องสัญญาณระยะห่าง 25 GHz

1.3 เป้าหมายและขอบเขตงานวิจัย

1. ออกแบบและวิเคราะห์ระบบควบคุมอุณหภูมิด้วยวงจรควบคุมพีไอดี
2. ออกแบบและประกอบตัวส่งสัญญาณทางแสงต้นแบบอัตรา 10 Gb/s
3. วัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบควบคุมอุณหภูมิ และทดสอบเสถียรภาพของความยาวคลื่นให้ผ่านมาตรฐาน ITU-T G.692 ได้ไม่เกิน ± 10 pm
4. วัดและวิเคราะห์การส่งข้อมูลแบบ DWDM 3 ช่องสัญญาณ ระยะห่างช่องสัญญาณ 25 GHz และทดสอบแผนภาพรูปตาให้ผ่านมาตรฐาน SONET (OC-192)/SDH (STM-64)

โดยไม่พิจารณาผลของ Attenuation และ Chromatic Dispersion อันเนื่องมาจากสายต่อเส้นใยนำแสงสั้นๆ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาองค์ประกอบพื้นฐานของตัวส่งสัญญาณทางแสง
2. ศึกษาและออกแบบ ระบบควบคุมอุณหภูมิของเลเซอร์
3. ศึกษาและออกแบบ ลายวงจรความถี่สูงสำหรับส่งข้อมูลอัตรา 10 Gb/s
4. ศึกษาและเรียนรู้การใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ภายในห้องปฏิบัติการ
5. จัดซื้อและประกอบ องค์ประกอบที่ใช้ในตัวส่งสัญญาณทางแสงต้นแบบ
6. ทดสอบและปรับปรุง ประสิทธิภาพของตัวส่งสัญญาณทางแสงต้นแบบ
7. ทดสอบและปรับปรุงประสิทธิภาพ ของระบบควบคุมอุณหภูมิให้มีเสถียรภาพตามมาตรฐาน ITU-T G.692 (Frequency Deviation)
8. ทดสอบการรับส่งสัญญาณทางแสงแบบ DWDM
9. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
10. เขียนวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

มีความรู้ความเข้าใจในการออกแบบ ประกอบ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวส่งสัญญาณทางแสงอัตราข้อมูล 10 Gb/s พร้อมระบบควบคุมอุณหภูมิได้

1.6 ประมวลวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 บทนำ : เนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ เป้าหมายและขอบเขตของการวิจัย รวมถึงขั้นตอนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง : เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับตัวส่งสัญญาณทางแสงพร้อมระบบควบคุมอุณหภูมิ โดยอธิบายรายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบ, การควบคุมความยาวคลื่นและเสถียรภาพของอุณหภูมิ และการรับส่งข้อมูลแบบ DWDM

บทที่ 3 การออกแบบตัวส่งสัญญาณทางแสงพร้อมระบบควบคุมอุณหภูมิ : เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการเลือกอุปกรณ์ที่นำมาประกอบเป็นตัวส่งสัญญาณทางแสงต้นแบบ พร้อมหน้าที่ของแต่ละองค์ประกอบที่เลือกใช้, การออกแบบลายเส้นสัญญาณอัตราเร็วสูง 10 Gb/s ซึ่งอธิบายรายละเอียดในการคำนวณตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบ พร้อมทั้งกล่าวถึงการออกแบบลายวงจรเพื่อเชื่อมต่อแต่ละองค์ประกอบของตัวส่งสัญญาณทางแสง และสุดท้ายอธิบายถึงการออกแบบวงจรควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ภายในตัวส่งสัญญาณทางแสงต้นแบบในวิทยานิพนธ์นี้

บทที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพของตัวส่งสัญญาณทางแสงต้นแบบ : เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการวัดทดสอบประสิทธิภาพของตัวส่งสัญญาณทางแสงพร้อมระบบควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งแบ่งออกเป็น การทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมอุณหภูมิ และการทดสอบการรับส่งข้อมูลแบบ DWDM 3 ช่องสัญญาณระยะห่างช่องสัญญาณ 25 GHz

บทที่ 5 ผลการทดสอบ : เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวัดทดสอบประสิทธิภาพของตัวส่งสัญญาณทางแสงพร้อมระบบควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งแบ่งออกเป็น ผลการทดสอบแต่ละองค์ประกอบที่ใช้, ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมอุณหภูมิ และผลการทดสอบการรับส่งข้อมูลแบบ DWDM ตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4

บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ : เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะสำหรับใช้เป็นแนวทางในการทำวิจัยต่อไป