บทที่ 6
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอรายละเอียดการออกแบบและประกอบต้นแบบตัวส่งสัญญาณทางแสงพร้อมระบบควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้เลเซอร์ที่มีมอดูเลเตอร์ชนิดดูดกลืนคลื่นไฟฟ้าอยู่ภายในเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณทางแสง ซึ่งสามารถใช้งานได้ที่อัตราข้อมูล 10 Gb/s และมีวงจรควบคุมพีไอดีเป็นวงจรควบคุมอุณหภูมิ โดยมีการทดสอบประสิทธิภาพใน 2 ด้าน คือ (1) การรักษาเสถียรภาพของอุณหภูมิ เพื่อควบคุมให้ความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่นอยู่ในค่า ± 10 pm ตามมาตรฐาน ITU-T G.692 (Frequency Deviation) และ (2) ผลการทดสอบแผนภาพรูปตาของการส่งข้อมูลอัตรา 10 Gb/s ในการส่งแสงหลายความยาวคลื่นแบบหนาแน่น (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM) จำนวน 3 ช่องสัญญาณด้วยระยะห่างช่องสัญญาณ 25 GHz ได้ตามมาตรฐาน SONET (OC-192)/SDH (STM-64) โดยไม่พิจารณาผลการลดทอน (Attenuation) และการกระจายโครมาติก (Chromatic Dispersion) ของสายต่อเส้นใยนำแสงสั้นๆ

อัตราข้อมูลในการรับส่งเป็นตัวแปรสำคัญในการออกแบบ โดยระบบการรับส่งสัญญาณปัจจุบันมีการพัฒนาอัตราข้อมูลเพิ่มขึ้นจาก 155.52 Mb/s (OC-3) และ 622.08 Mb/s (OC-12) ไปเป็น 2.488 Gb/s (OC-48), 9.953 Gb/s (OC-192), และ 39.812 Gb/s (OC-768), ในงานวิจัยจึงเลือกที่จะออกแบบที่ 9.953 Gb/s (OC-192), ซึ่งเป็นอัตราข้อมูลที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ดังนั้นเมื่ออัตราข้อมูลในการรับส่งข้อมูลสูงขึ้น ขั้นตอนในการออกแบบลายวงจรจึงมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้น

ในการออกแบบแผ่นวงจรตัวส่งสัญญาณทางแสงใช้วัสดุชนิด FR4 ประกอบไปด้วย 4 ชั้น คือ Signal Layer (1), Ground Plane, Power Plane, และ Signal Layer (2) ซึ่งในการออกแบบวงจรความเร็วสูงจำเป็นต้องคำนึงถึงโมเดลของสายส่งชนิดต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น Microstrip Line, Stripline และ Coplanar Waveguide เพื่อคำนวณค่าอิมพิแดนซ์ให้เหมาะสม อีกทั้งการจำลองลายวงจรหาค่าอิมพิแดนซ์ด้วย ซอฟแวร์โปรแกรม PolarSi8000 และ ADS 2009 Update 1

เมื่อทดสอบการรับส่งสัญญาณข้อมูลอัตรา 10 Gb/s ด้วยลำดับบิต PRBS 2^{31}-1 polynomial และเปรียบเทียบแผนภาพรูปตาที่ตรวจวัดกับหน้ากากมาตรฐาน SONET (OC-192)/SDH (STM-64) พบว่าตัวส่งสัญญาณทางแสงต้นแบบให้แผนภาพรูปตาผ่านมาตรฐานดังกล่าว

จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้วงจรควบคุมพีไอดีที่ได้ออกแบบไว้พบว่า สามารถปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและความยาวคลื่นได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องตามสัญญาณตั้งค่า สุดท้ายได้ทดสอบความมีเสถียรภาพของวงจรพีไอดีที่ได้ออกแบบ จากความคลาดเคลื่อนทางความยาวคลื่นพบว่าสามารถควบคุมให้มีค่าอยู่ภายใน 0.44 pm ดังผลในตารางที่ 5.5 ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ITU-T G.692 (Frequency Deviation) ที่กำหนดไว้ที่ ± 10 pm สำหรับการส่งข้อมูลในระบบ DWDM ระยะห่างช่องสัญญาณ 25 GHz อัตรา 10 Gb/s

จากนั้นประยุกต์ใช้งานตัวส่งสัญญาณทางแสงต้นแบบพร้อมระบบควบคุมอุณหภูมิ ในระบบการรับส่งสัญญาณแสงหลายความยาวคลื่น จำนวน 3 ช่องสัญญาณ ที่มีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณเท่ากับ 25 GHz (0.2nm) ความยาวคลื่น 1551.52, 1551.72 และ 1551.92 nm โดยแยกช่องสัญญาณความยาวคลื่น 1551.72 nm ออกมา เพื่อศึกษาผลของสัญญาณ Interchannel Crosstalk ที่มีต่อค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของบิต 1 และบิต 0 ของแผนภาพรูปตา อีกทั้งทำการวัดหาอัตราความผิดพลาดบิตและ Power Penalty ของระบบการระบบการรับส่งสัญญาณแสง พบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณแคบลงจะมีทั้งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของบิตและ Power Penalty เพิ่มขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงและพัฒนาการออกแบบและประกอบตัวส่งสัญญาณทางแสงพร้อมระบบควบคุมอุณหภูมิเพื่อนำไปประยุกต์ต่อในอนาคตมีดังนี้

1) ในการประกอบแต่ละองค์ประกอบลงบนบอร์ดที่ทำการผลิตมาแล้ว ควรแยกบัดกรีประกอบทีละองค์ประกอบ และทดสอบว่าแต่ละองค์ประกอบนั้นใช้งานได้ปกติ ก่อนที่จะบัดกรีองค์ประกอบถัดไป

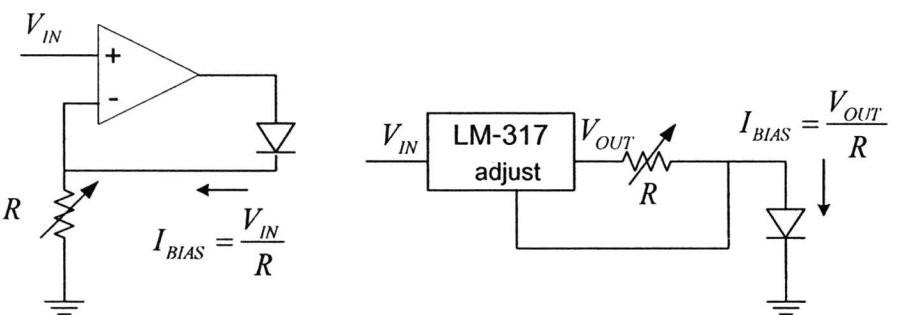
2) สามารถเพิ่มตัวรับสัญญาณทางแสงเข้ากับตัวส่งสัญญาณทางแสงไว้ภายในบอร์ดเดียวกัน หรือที่เรียกว่า Optical Transceiver ซึ่งเป็นที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

3) สามารถส่งสัญญาณข้อมูลผ่านเส้นใยนำแสงระยะทางระดับไกลมากขึ้นได้ โดยใช้ตัวขยายสัญญาณทางแสง เช่น Erbium-Doped Fiber Amplifier (EDFA) ร่วมกับ DCF (Dispersion Compensation Fiber) เพื่อลดผลการถ่างออกของสัญญาณ ทำให้รับส่งสัญญาณให้ได้ระยะทางไกลขึ้น

4) เครื่องกำเนิดข้อมูลทางไฟฟ้า (Pattern Generator) ควรมีมากกว่า 1 ตัว เพื่อการทดสอบการรับส่งข้อมูลแบบ DWDM จะมีความสมจริงกับระบบที่ใช้จริงมากที่สุด

5) เครื่อง OSA ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์สเปกตรัมทางแสงมีความละเอียด 0.06 nm ซึ่งออกแบบมาให้ใช้งานกับระบบ 50GHz DWDM ดังนั้นถ้ามี OSA ที่มีความละเอียดมากขึ้น จะทำให้การวัดสเปกตรัมมีความถูกต้องมากกว่า

6) วงจรจ่ายกระแสไบแอสให้กับเลเซอร์ (Bias Current Circuit) ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้วิธีการคงค่ากระแสด้วยวิธีการปรับค่าแรงดันคงที่ จากตัวคุมค่าแรงดัน (Voltage Regulator) ร่วมกับตัวต้านทานปรับค่าได้โดยมีเลเซอร์เป็นโหลดซึ่งมีรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.1.2 นั้นเป็นวิธีที่ไม่ถูกต้องนัก เพราะวงจรดังกล่าวควรจะทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดกระแส (Current Source) มิใช่เป็นแหล่งกำเนิดแรงดัน (Voltage Source) ตามที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เชียวชาญทางวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้แนะนำวงจรควบคุมกระแสอย่างง่าย 2 วงจร คือ (1) วงจรควบคุมกระแสที่ใช้ตัวคุมค่าแรงดันโมดูล LM-317 เป็นแหล่งกำเนิดกระแสได้ร่วมกับตัวต้านทานปรับค่าได้ดังวงจรในรูปที่ 6.1(ขวา) และ (2) วงจรที่ใช้ตัว Op-Amp ร่วมกับตัวต้านทานปรับค่าได้ดังวงจรในรูปที่ 6.1 (ซ้าย)



รูปที่ 6.1 วงจรที่เหมาะสมสำหรับวงจรควบคุมกระแสไบแอสให้กับเลเซอร์ (ซ้าย) วงจรที่ใช้ Op-Amp และ (ขวา) วงจรที่ใช้ตัวคุมค่าแรงดัน LM-317