

การวิเคราะห์และปรับปรุงคุณลักษณะการส่งผ่านสัญญาณแสงสำหรับ ตัวกรองสัญญาณแสงแบบดรอปปรับค่าได้

Analysis and Improvement of Transmission Characteristic for Tunable Optical Drop Filter

จิรภา เพลาวาน

บัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
Email: phelawan_1328@hotmail.com

และ สมมาตร แสงเงิน

Optical Communication Research Lab ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530
Email: sangngern@gmail.com

Manuscript received March 7, 2018,
Revised June 4, 2018.

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการปรับปรุงคุณลักษณะการส่งผ่านสัญญาณแสงของตัวกรองสัญญาณแสงแบบดรอปปรับค่าได้ จากผลการวิเคราะห์การส่งผ่านสัญญาณแสงทางด้านเอาต์พุต (E_{drop}) พบว่าเกิดโหมดด้านข้าง (side mode) ที่ไม่ต้องการปรากฏอยู่ค่อนข้างมาก ซึ่งส่งผลทำให้เกิดความผิดพลาดของการตรวจจับสัญญาณที่ภาครับเป็นอย่างมาก ดังนั้น จึงได้นำตัวขยายสัญญาณแสง (optical amplifier) มาต่อเข้าไปในส่วนของเราโซเนเตอร์ วงแหวนของตัวกรองสัญญาณแสงแบบดรอปปรับค่าได้ เนื่องจากตัวขยายสัญญาณแสง จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าฟิเนส (finesse) ของเรโซเนเตอร์วงแหวน เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราขยายแสงของตัวขยายสัญญาณแสง พบว่าเอาต์พุตของโหมดด้านข้างที่ไม่ต้องการเกิดขึ้นน้อยลงที่ค่าอัตราขยายแสง เท่ากับ 5 จะทำให้อาต์พุตของโหมดด้านข้างที่ไม่ต้องการมีค่าลดลง เท่ากับ 0 โดยผลการปรับปรุงคุณลักษณะการส่งผ่านสัญญาณของตัวกรองสัญญาณแสง สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในโครงข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟบนระบบการมัลติเพล็กซ์แบบ DWDM และลดความผิดพลาดในการตรวจจับน้อยลงได้

คำสำคัญ: ตัวกรองสัญญาณแสง ตัวขยายสัญญาณแสง อัตราขยายแสง ฟิเนส โครงข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ

ABSTRACT

This paper proposes improvement of transmission characteristic for tunable optical drop filter. The results of the transmission characteristic analysis to output port (E_{drop}) found that the side mode appears is rather which this causes more crash of the signal detection to the receiver bring the optical amplifier mix with optical ring resonator of tunable optical drop filter due to the optical amplifier affect to the finesse transfiguration of optical ring resonator and adjust the optical gain of the optical amplifier found that a side mode decreased. The optical gain is 5 and will be decreased of side mode is 0. The result of improvement the transmission characteristic of the optical filter can be applied to DWDM passive optical network and reduce error in the receiver.

Keywords: optical filter, optical amplifier, optical gain, finesse, passive optical network

1. บทนำ

ปัจจุบันความเติบโตทางการสื่อสารข้อมูลและความต้องการด้านการใช้งานระบบอินเทอร์เน็ตเพิ่มขึ้น โดยการพัฒนาและปรับปรุงระบบการสื่อสารเพื่อสามารถรองรับปริมาณและความเร็วในการสื่อสารข้อมูลที่มีค่าสูงมาก ๆ ได้ เช่น โครงข่ายการมัลติเพล็กซ์เชิงแสงแบบ DWDM [1] หรือโครงข่ายที่พัฒนาขึ้นมาใช้ได้ไม่นานมานี้ คือ โครงข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟที่อาศัยเทคนิค DWDM (DWDM-PON) [2] เนื่องจากการส่งสัญญาณแสงของระบบโครงข่ายเหล่านั้น จะมีการออกแบบค่าระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ (ความยาวคลื่นแสง) ระหว่าง 0.1 nm (12.5 GHz) ถึง 0.8 nm (100 GHz) ตามมาตรฐาน ITU-T G.694.1 [3] ดังนั้น การออกแบบอุปกรณ์แยกสัญญาณแสง (optical demultiplexer) หรือตัวกรองสัญญาณแสงที่นำมาใช้เพื่อแยกสัญญาณแสงให้มีความสามารถในการแยกสัญญาณแสงที่อยู่ใกล้กันมาก ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ผ่านมาการออกแบบอุปกรณ์แยกสัญญาณแสงได้มีการนำเสนอในลักษณะการนำอุปกรณ์ทางแสงต่าง ๆ ได้แก่ เรโซเนเตอร์วงแหวน (ring resonator), แมคเซนเดอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ (Mach-Zehnder Interferometer) และซอญักอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ (Sagnac Interferometer) เป็นต้น โดยปี 2003 S. Jirakitkul and A. Roeksabutr [4] ได้นำเสนอโครงสร้างอุปกรณ์เรโซเนเตอร์วงแหวนร่วมกับ MZI โดยนำเสนอการวิเคราะห์และกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมทำให้สามารถกรองสัญญาณแสงในช่วงความยาวคลื่น 1550 nm ที่มีค่า channel spacing เท่ากับ 0.2 nm (25 GHz) ต่อมาในปี 2007 C. Vazquez และคณะ [5] นำเสนอตัวกรองแสงแบบปรับค่าได้ที่สร้างขึ้นจากเรโซเนเตอร์วงแหวนกับซอญักอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ ถูกนำไปใช้ในการกรองสัญญาณแสงในระบบ DWDM ที่มีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ 0.8 nm (100 GHz) ปี 2011 Y. Ding และคณะ [6] นำเสนอตัวกรองสัญญาณแสงชนิดแถบผ่าน (optical bandpass filter) ที่ใช้ silicon microring ต่อร่วมกับ MZI ซึ่งสามารถปรับกรองสัญญาณแสงในช่วง 1550 nm ถึง 1554 nm และมีค่าการปรับ effective bandwidth ในช่วง 0.46 nm ถึง 0.88 nm และในปี 2018 ผู้วิจัยและคณะ [7] ได้นำเสนอตัวกรองสัญญาณแสงแบบปรับค่าได้สำหรับการสื่อสารบนโครงข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟด้วยเทคนิคการมัลติเพล็กซ์เชิงแสงแบบ DWDM ที่สามารถนำไปใช้ในการกรองสัญญาณแสงที่มีค่าระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ 0.2 nm และมีค่าแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณเท่ากับ 0.01 nm แต่สัญญาณแสงที่ได้รับยังเกิดโหมดด้านข้างที่ไม่ต้องการปรากฏอยู่ค่อนข้างมาก ซึ่งส่งผลทำให้การแยกสัญญาณแสงมีประสิทธิภาพต่ำ

บทความนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์และปรับปรุงคุณลักษณะการส่งผ่านสัญญาณแสงของตัวกรองสัญญาณแสงแบบปรับค่าได้โดยนำตัวขยายสัญญาณแสง (optical amplifier) ต่อเข้าไปใน

โครงสร้างตัวกรองสัญญาณแสงแบบปรับค่าได้ ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าค่าอัตราขยายแสง (O_g) ของตัวขยายสัญญาณแสงจะทำให้ค่าฟิเนส (finesse) [8]-[9] ของเรโซเนเตอร์วงแหวนเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งส่งผลทำให้เอาต์พุตโหมดด้านข้างที่ไม่ต้องการเกิดขึ้นมีค่าน้อยลง ซึ่งทำให้ตัวกรองสัญญาณแสงแบบปรับค่าได้ที่น่าเสนอสามารถแยกสัญญาณแสงออกมาได้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในโครงข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟที่อาศัยเทคนิค DWDM และโครงข่ายเชิงแสงแบบ DWDM ที่มีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณตามมาตรฐาน ITU-T.G.694.1 ที่ frequency grid 12.5 GHz ได้

2. ทฤษฎีของตัวกรองสัญญาณที่นำเสนอ

ตัวกรองสัญญาณแสง ดังรูปที่ 1 เป็นโครงสร้างของเรโซเนเตอร์วงแหวนต่อใช้งานร่วมกับแมคเซนเดอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ ที่เกิดจากการนำออปติคอลลับเปอร์มาต่อเป็นลักษณะลูป (loop) อนุกรมกัน 2 วงแหวน พร้อมกับต่อร่วมกับตัวขยายสัญญาณแสง โดยสนามไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดแสงถูกป้อนเข้าสู่ตัวกรองสัญญาณแสง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (1)

$$E_i(t) = E_0 \exp[-\alpha L + j\phi_0(t)] \quad (1)$$

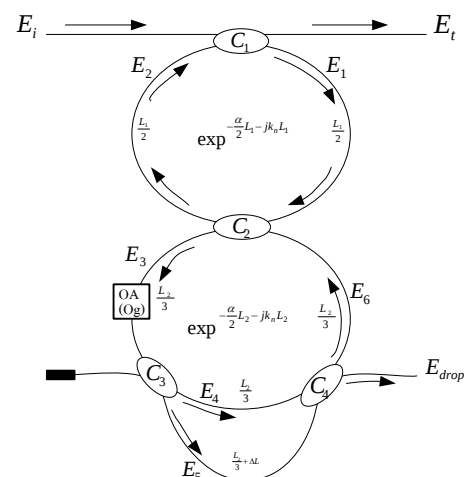
เมื่อ

E_0 คือ ค่าขนาดของสนามไฟฟ้า (Amplitude)

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน (Attenuation)

ϕ_0 คือ ค่าคงที่เฟส (Phase constant)

L คือ ค่าความยาวลูป (loop length)



รูปที่ 1 โครงสร้างตัวกรองสัญญาณแสงเรโซเนเตอร์วงแหวนใช้งานร่วมกับแมคเซนเดอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์และตัวขยายสัญญาณแสง

จากรูปที่ 1 เมื่อป้อนสัญญาณแสงที่อินพุตแทนด้วยสนามไฟฟ้า E_i เข้าไปในตัวกรองสัญญาณแสง สนามไฟฟ้านี้เดินทางมายังออปติคอลคัปเปอร์ตัวที่ 1 (C_1) สนามไฟฟ้าจะเกิดการคัปปลิง (coupling) ได้เป็นสนามไฟฟ้า E_t ซึ่งเป็นเอาต์พุตที่ 1 ของตัวกรองสัญญาณแสงและสนามไฟฟ้า E_1 โดยแสดงความสัมพันธ์ของสนามไฟฟ้าดังสมการที่ (2) และ (3)

$$E_t = E_i \sqrt{1-\kappa_1} + E_2 j \sqrt{\kappa_1} e^{-\frac{\alpha L_1}{2} - jk_n \frac{L_1}{2}} \quad (2)$$

$$E_1 = E_i j \sqrt{\kappa_1} + E_2 \sqrt{1-\kappa_1} e^{-\frac{\alpha L_1}{2} - jk_n \frac{L_1}{2}} \quad (3)$$

จากนั้น สนามไฟฟ้าเดินทางตามความยาวรูป $\frac{L_1}{2}$ มายังออปติคอลคัปเปอร์ตัวที่ 2 (C_2) และสนามไฟฟ้าเกิดการคัปปลิงได้เป็นสนามไฟฟ้า E_2 และสนามไฟฟ้า E_3 ดังสมการที่ (4) และ (5)

$$E_2 = E_1 \sqrt{1-\kappa_2} e^{-\frac{\alpha L_1}{2} - jk_n \frac{L_1}{2}} + E_6 j \sqrt{\kappa_2} e^{-\frac{\alpha L_2}{2} - jk_n \frac{L_2}{2}} \quad (4)$$

$$E_3 = E_1 j \sqrt{\kappa_2} e^{-\frac{\alpha L_1}{2} - jk_n \frac{L_1}{2}} + E_6 \sqrt{1-\kappa_2} e^{-\frac{\alpha L_2}{2} - jk_n \frac{L_2}{2}} \quad (5)$$

โดยที่ สนามไฟฟ้า E_3 จะเดินทางต่อไปตามความยาวรูปที่ระยะ $\frac{L_2}{3}$ มายังออปติคอลคัปเปอร์ตัวที่ 3 (C_3) โดยผ่านตัวขยายสัญญาณแสง (OA) ที่มีอัตราขยายแสง O_g ได้เป็นสนามไฟฟ้า E_4 และสนามไฟฟ้า E_5 ดังแสดงความสัมพันธ์ในสมการที่ (6) และ (7)

$$E_4 = E_3 O_g \sqrt{1-\kappa_3} e^{-\frac{\alpha L_2}{2} - jk_n \frac{L_2}{2}} \quad (6)$$

$$E_5 = E_3 j O_g \sqrt{\kappa_3} e^{-\frac{\alpha L_2}{2} - jk_n \frac{L_2}{2}} \quad (7)$$

จากนั้น สนามไฟฟ้า E_4 เดินทางต่อไปตามความยาวรูปที่ระยะความยาวรูปเป็น $\frac{L_2}{3}$ และสนามไฟฟ้า E_5 เดินทางต่อไปตามความยาวรูปที่ระยะ $\frac{L_2}{3} + \Delta L$ มายังออปติคอลคัปเปอร์ตัวที่ 4 (C_4) โดยสนามจะเกิดการคัปปลิง ได้เป็นสนามไฟฟ้า E_6 และสนามไฟฟ้า E_{drop} ซึ่งเป็นเอาต์พุตที่ 2 ของตัวกรองสัญญาณแสง สามารถแสดง

ความสัมพันธ์ของสนามไฟฟ้าได้ดังสมการที่ (8) และ (9)

$$E_6 = E_4 \sqrt{1-\kappa_4} e^{-\frac{\alpha L_2}{2} - jk_n \frac{L_2}{2}} + E_5 j \sqrt{\kappa_4} e^{-\frac{\alpha}{2} \left(\frac{L_2 + \Delta L}{3} \right) - jk_n \left(\frac{L_2 + \Delta L}{3} \right)} \quad (8)$$

$$E_{drop} = E_4 j \sqrt{\kappa_4} e^{-\frac{\alpha L_2}{2} - jk_n \frac{L_2}{2}} + E_5 \sqrt{1-\kappa_4} e^{-\frac{\alpha}{2} \left(\frac{L_2 + \Delta L}{3} \right) - jk_n \left(\frac{L_2 + \Delta L}{3} \right)} \quad (9)$$

จากความสัมพันธ์ของสนามไฟฟ้าในสมการที่ (2) ถึงสมการที่ (9) สามารถนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสนามไฟฟ้าที่เอาต์พุต E_{drop} ของตัวกรองสัญญาณแสงได้ดังสมการที่ (10) โดยกำหนดค่าตัวแปร ดังต่อไปนี้

k_n คือ ค่าคงที่ของการแพร่กระจายคลื่น

(propagation constant) : $k_n = 2\pi.n / \lambda$

n คือ ค่าดัชนีหักเหของคอร์ (refractive index)

κ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การคัปปลิง (coupling coefficient)

λ คือ ความยาวคลื่นแสง (wavelength)

L_1 คือ ความยาวรูปของวงแหวนที่ 1

L_2 คือ ความยาวรูปของวงแหวนที่ 2

ΔL คือ ค่าความยาวรูปที่เปลี่ยนแปลง

O_g คือ อัตราขยายแสง (optical gain)

โดยที่

$$A_1 = \sqrt{\kappa_1} \sqrt{1-\kappa_2} e^{-\frac{\alpha L_1}{2} - jk_n \frac{L_1}{2}}$$

$$A_2 = \sqrt{\kappa_1} \sqrt{1-\kappa_3} \sqrt{1-\kappa_4} e^{-\frac{\alpha L_2}{2} - jk_n \frac{L_2}{2}} e^{-\frac{\alpha L_1}{2} - jk_n \frac{L_1}{2}}$$

$$A_3 = \sqrt{\kappa_1} \sqrt{\kappa_3} \sqrt{\kappa_4} e^{-\frac{\alpha L_1}{2} - jk_n \frac{L_1}{2}} e^{-\frac{\alpha 2L_2}{2} - jk_n \frac{2L_2}{2}} e^{-\frac{\alpha}{2} \left(\frac{L_2 + \Delta L}{3} \right) - jk_n \left(\frac{L_2 + \Delta L}{3} \right)}$$

$$A_4 = \sqrt{1-\kappa_2} \sqrt{1-\kappa_3} \sqrt{1-\kappa_4} e^{-\frac{\alpha L_2}{2} - jk_n \frac{L_2}{2}}$$

$$A_5 = \sqrt{\kappa_3} \sqrt{\kappa_4} \sqrt{1-\kappa_2} e^{-\frac{\alpha 2L_2}{2} - jk_n \frac{2L_2}{2}} e^{-\frac{\alpha}{2} \left(\frac{L_2 + \Delta L}{3} \right) - jk_n \left(\frac{L_2 + \Delta L}{3} \right)}$$

$$A_6 = \sqrt{1-\kappa_1} \sqrt{1-\kappa_2} e^{-\frac{\alpha L_1}{2} - jk_n \frac{L_1}{2}}$$

$$A_7 = \sqrt{1-\kappa_1} \sqrt{1-\kappa_3} \sqrt{1-\kappa_4} e^{-\frac{\alpha L_2}{2} - jk_n \frac{L_2}{2}} e^{-\frac{\alpha L_1}{2} - jk_n \frac{L_1}{2}}$$

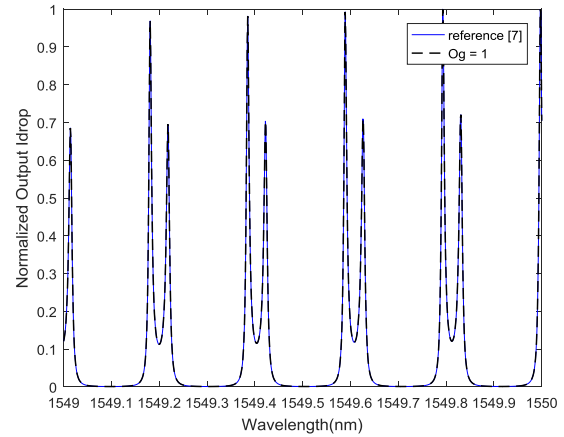
$$A_8 = \sqrt{\kappa_3} \sqrt{\kappa_4} \sqrt{1-\kappa_1} e^{-\frac{\alpha L_1}{2} - jk_n \frac{L_1}{2}} e^{-\frac{\alpha 2L_2}{2} - jk_n \frac{2L_2}{2}} e^{-\frac{\alpha}{2} \left(\frac{L_2 + \Delta L}{3} \right) - jk_n \left(\frac{L_2 + \Delta L}{3} \right)}$$

$$E_{drop} = \frac{-E_i j O_g \sqrt{\kappa_1} \sqrt{\kappa_2} \sqrt{\kappa_3} \sqrt{1-\kappa_4} e^{\frac{\alpha L_1}{2} - j k_n \frac{L_1}{2}} e^{\frac{\alpha 2L_2}{2} - j k_n \frac{2L_2}{2}} (1 - O_g A_4 + O_g A_5)}{(1 - O_g A_4 + O_g A_5 - A_6 + O_g A_7 - O_g A_8)(1 - O_g A_4 + O_g A_5)} \quad (10)$$

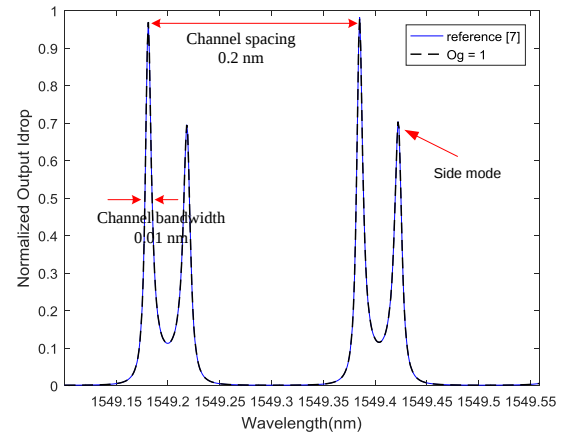
3. การวิเคราะห์ผลการจำลอง

การวิเคราะห์ตัวกรองสัญญาณแสง จะอาศัยโปรแกรม MATLAB เพื่อทำการจำลองวิเคราะห์คุณลักษณะการส่งผ่านสัญญาณแสงของตัวกรองสัญญาณแสงแบบดรอปปริบค่าได้ ในเทอมความเข้มแสงของสมการที่ (10) สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ได้ดังสมการ $I_{drop} = E_{drop} \cdot E_{drop}^* = |E_{drop}|^2$ โดยกำหนดค่า ของพารามิเตอร์ของตัวกรองสัญญาณแสงที่เหมาะสม ดังนี้ ค่าสัมประสิทธิ์การคัปปลิง ($\kappa_1 = \kappa_2 = \kappa_3 = \kappa_4$) ของออปติคอลลับเปอร์ เท่ากับ 0.3 อินพุตของสนามไฟฟ้า E_i เท่ากับ 1 ค่าดัชนีหักเหของคอร์ (n) เท่ากับ 1.47 ค่าการสูญเสียของเส้นใยนำแสง (α) เท่ากับ 0.01 ระยะความยาวลูป ($L_1 = L_2$) เท่ากับ 16 mm ค่า ΔL เท่ากับ 1.5 mm ความยาวคลื่น (λ) เท่ากับ 1549 nm ถึง 1550 nm และค่าอัตราขยายแสง (O_g) เป็น 1, 3 และ 5 ตามลำดับ โดยผลการวิเคราะห์คุณลักษณะการส่งผ่านสัญญาณแสงของตัวกรองสัญญาณแสงแบบดรอปปริบค่าได้ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2

จากรูปที่ 2 แสดงคุณลักษณะการส่งผ่านสัญญาณแสงของ ตัวกรองสัญญาณแสงแบบดรอปปริบค่าได้ เมื่อทำการปรับค่าอัตราขยายแสง เท่ากับ 1 จะพบว่าคุณลักษณะการส่งผ่านสัญญาณแสงจะมีค่าเท่าเดิม เมื่อเปรียบเทียบกับคุณลักษณะการส่งผ่านสัญญาณแสงของตัวกรองสัญญาณแสงแบบดรอปปริบค่าได้ตัวเดิม [7] จากนั้นทำการเปลี่ยนค่าอัตราขยายแสงมีค่าเท่ากับ 3 และ 5 สามารถแสดงคุณลักษณะการส่งผ่านสัญญาณแสงได้ดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4

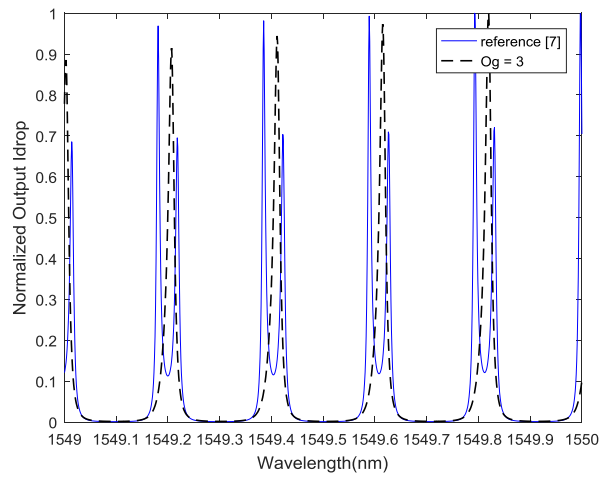


(ก) อัตราขยายแสง เท่ากับ 1

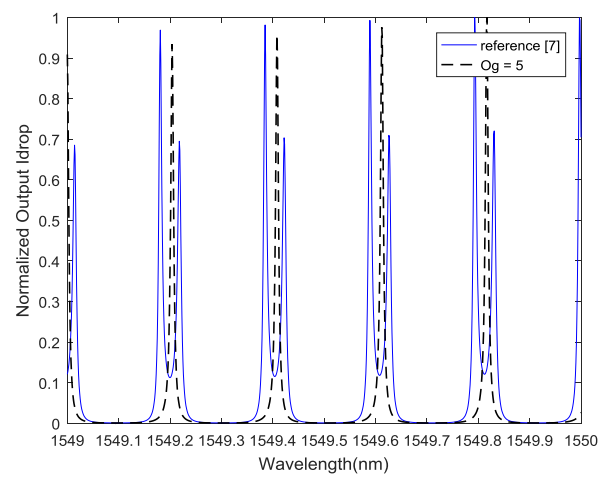


(ข) เปรียบเทียบคุณลักษณะการส่งผ่านสัญญาณแสง

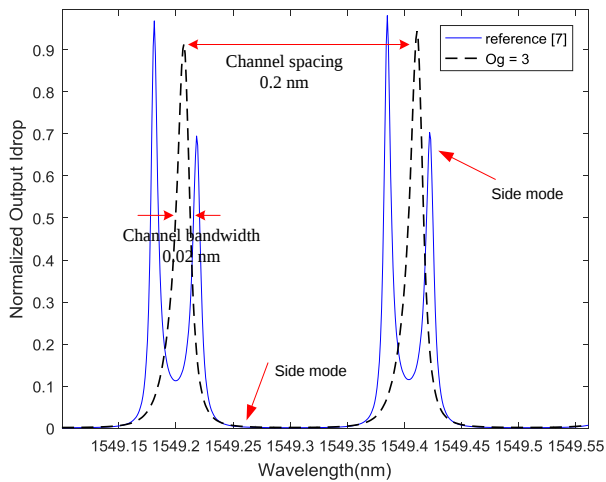
รูปที่ 2 คุณลักษณะการส่งผ่านสัญญาณแสง เมื่อทำการปรับค่าอัตราขยายแสงเท่ากับ 1



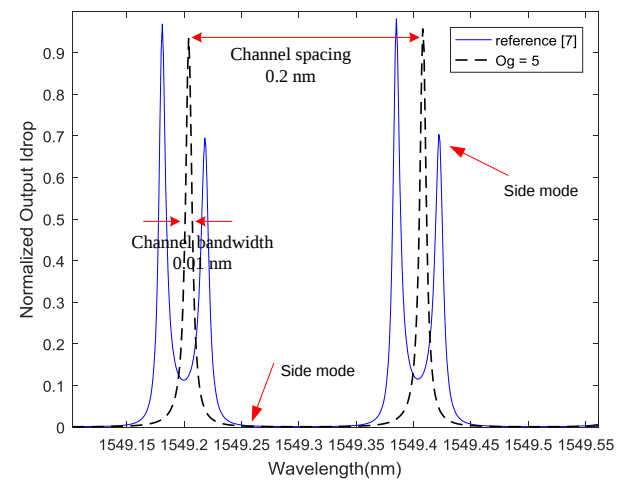
(ก) อัตราขยายแสง เท่ากับ 3



(ก) อัตราขยายแสง เท่ากับ 5



(ข) เปรียบเทียบคุณลักษณะการส่งผ่านสัญญาณแสง

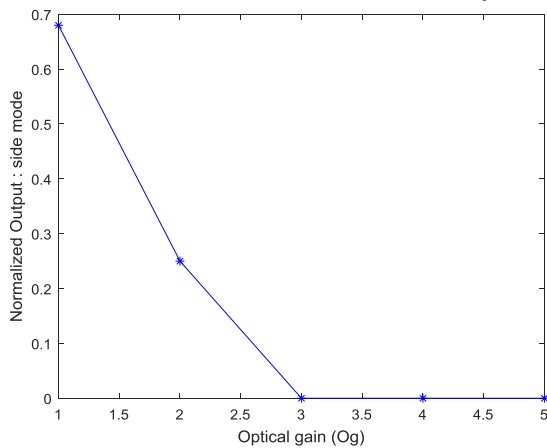


(ข) เปรียบเทียบคุณลักษณะการส่งผ่านสัญญาณแสง

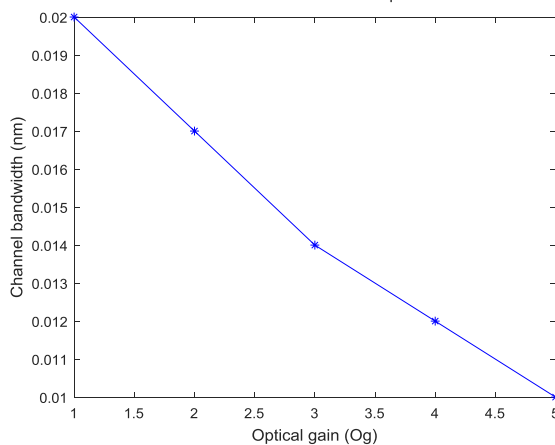
รูปที่ 3 คุณลักษณะการส่งผ่านสัญญาณแสง เมื่อทำการปรับค่าอัตราขยายแสงเท่ากับ 3

รูปที่ 4 คุณลักษณะการส่งผ่านสัญญาณแสง เมื่อทำการปรับค่าอัตราขยายแสงเท่ากับ 5

จากรูปที่ 3 แสดงคุณลักษณะการส่งผ่านสัญญาณแสงของตัวกรองสัญญาณแสงแบบดรอปรับค่าได้ เมื่อทำการปรับค่าอัตราขยายแสงมีค่าเท่ากับ 3 และการปรับค่าอัตราขยายแสงเท่ากับ 5 ดังรูปที่ 4 จากการวิเคราะห์คุณลักษณะการส่งผ่านสัญญาณแสงพบว่า ค่าอัตราขยายแสงของตัวขยายสัญญาณแสงจะทำให้ค่าพินเนสของเรโซเนเตอร์วงแหวนเกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งส่งผลทำให้เอาต์พุตของโหมดยอดด้านข้างที่ไม่ต้องการปรากฏอยู่เท่ากับ 0.68 นั้นมีค่าลดลงเท่ากับ 0 ได้ พร้อมทั้งได้ค่าระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณเท่ากับ 0.2 nm และค่าแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณเท่ากับ 0.01 nm จากผลการวิเคราะห์ที่ได้ สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราขยายแสงกับค่าเอาต์พุตของโหมดยอดด้านข้างได้ดังรูปที่ 5 (ก) และความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราขยายแสงกับค่าแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ ดังรูปที่ 5 (ข)



(ก) การปรับค่าอัตราขยายแสงกับค่าเอาต์พุตของโหมดยอดด้านข้าง



(ข) การปรับค่าอัตราขยายแสงกับค่าแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ

รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของการปรับค่าอัตราขยายแสงที่มีผลต่อค่าเอาต์พุตโหมดยอดด้านข้าง (ก) และค่าแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ (ข)

จากรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของการปรับค่าอัตราขยายแสงที่มีผลต่อค่าเอาต์พุตของโหมดยอดด้านข้างและค่าแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ โดยเมื่อทำการปรับค่าอัตราขยายแสงให้มีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าเอาต์พุตของโหมดยอดด้านข้าง และค่าแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณมีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5 (ก) และรูปที่ 5 (ข) ตามลำดับ จากผลที่ได้รับดังกล่าวสามารถนำตัวกรองสัญญาณแสงแบบดรอปรับค่าได้มาประยุกต์ใช้งานในโครงข่ายเชิงแสงบนระบบ DWDM-PON ได้

4. สรุป

จากการวิเคราะห์และปรับปรุงคุณลักษณะการส่งผ่านสัญญาณแสงของตัวกรองสัญญาณแสงแบบดรอปรับค่าได้โดยรวมกับตัวขยายสัญญาณแสง พบว่าตัวกรองสัญญาณแสงแบบดรอปรับค่าได้สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่มีค่าความยาวลูก ($L_1 = L_2$) เท่ากับ 8 mm ค่าสัมประสิทธิ์การคัปปลิงของออปติคอลลับเปอร์ ($\kappa_1 = \kappa_2 = \kappa_3 = \kappa_4$) เท่ากับ 0.3 และค่าอัตราขยายแสง เท่ากับ 5 ส่งผลให้ค่าระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณเท่ากับ 0.2 nm ค่าแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณเท่ากับ 0.01 nm และค่าเอาต์พุตของโหมดยอดด้านข้างมีค่าลดลงเท่ากับ 0 ดังนั้น จากผลการวิเคราะห์ที่ได้สามารถนำโครงสร้างนี้ไปประยุกต์เป็นตัวกรองสัญญาณแสงแบบดรอที่ปรับค่าได้ สำหรับการใช้งานบนระบบ DWDM-PON ตามมาตรฐาน ITU-T.G.694.1 ที่ Frequency Grid 12.5 GHz ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาและคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมที่ได้เสนอแนะให้คำปรึกษา และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] L. Jean-Pierre, "DWDM Fundamentals Components and Applications, Artech House", 2002.
- [2] S. Weinstein, Y.Luo, T.Wang, "Passive Optical Network", IEEE PRESS, 2012.
- [3] International Telecommunication Union, Telecommunication Standardization Sector, ITU-T G. 694.1, February 2012.
- [4] S. Jirakitkul and A. Roeksabutr, "25 GHz DWDM Demultiplexer Using Ring Resonator with MZI in the Loop", IEEE-ISCIT 2003, pp 889-892, 2003.
- [5] C. Vazquez, J. Montalvo, P. C. Lallana, "Ring Resonators with Sagnac Loops for Phonic Processing in DWDM Backbone Networks", WISP 2007, October 2007.
- [6] Y. Ding, M. Pu, L. Liu, J. Xu, C. Peucheret, X. Zhang, D. Huang, and H. Ou, "Bandwidth and wavelength-tunable optical bandpass filter based on silicon microring-MZI structure", OPTICS EXPRESS, vol. 19, No. 7, March 2011.

- [7] จีรภา เฟลาวัน และ สมมาตร แสงเงิน, “ตัวกรองสัญญาณแสงแบบดรอปรูปปรับค่าได้สำหรับการสื่อสารบนโครงข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟด้วยเทคนิคการมัลติเพล็กซ์เชิงแบบ DWDM”, งานประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ครั้งที่ 10 (ECTI-CARD 2018), มิถุนายน 2561.
- [8] H. Okamura and K. Iwatsuki, “A Finesse-Enhanced Er-Doped-Fiber Ring Resonator”, *Journal of Lightwave Technology*, vol. 9, No. 11, November 1991.
- [9] Li. Jun Qing, A. Bananej, Li. Qiang Hua, C. Qiang, Li. Chun Fei, “An all-optical switch of Mach-Zehnder interferometer type using an active fiber ring resonator”, *J of Chin. Phys.*, vol. 13, No. 7, pp. 1046-1051, July 2004.



จีรภา เฟลาวัน จบการศึกษาดุษฎีบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปัจจุบันกำลังศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (วิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร มีความสนใจงานวิจัยทางด้าน optical fiber communications



สมมาตร แสงเงิน จบการศึกษาวិทยาสมาคมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (D.Eng.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (วิศวกรรมโทรคมนาคม) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ผู้อำนวยการบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร มีความสนใจงานวิจัยทางด้าน Optical Fiber Communications, Passive Optical Network, DWDM และ Fiber Optic Instrumentation