

เทคนิคการจัดระยะห่างช่องสัญญาณแบบ RS-URAUS ในระบบส่งสัญญาณ DWDM

A Technique of RS-URAUS for Spaced Channel Allocation in DWDM Transmission Systems

ชลธิ ศรีนวล อชิระ จำปาเทศ สุทธิชัย นพนาถพิงษ์

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอเทคนิคแบบใหม่ในการปรับปรุงการจัดช่องสัญญาณ เพื่อลดการสูญเสียของสัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบสายส่ง ในกรณีที่มีย่านช่องสัญญาณจำนวนมากที่อยู่ใกล้เคียงกัน ซึ่งพบได้ในกรณีของ DWDM ที่เป็นสาเหตุของการสูญเสียด้านการส่งที่เรียกว่า Four Wave Mixing (FWM) ซึ่งเกิดจากความไม่เป็นเชิงเส้นของเส้นใยแก้วนำแสงนั่นเอง การจัดสรรช่องสัญญาณสามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ได้ มีการจัดช่องสัญญาณแบบ ES [1] RAUS [2] และ ERAUS [3] บทความนี้ได้นำเสนอเทคนิคแบบใหม่ในการจัดสรรช่องสัญญาณที่เรียกว่า “Revert Step Unequally Spaced RAUS (RS-URAUS)” เพื่อหลีกเลี่ยง FWM จากผลการจำลองเทคนิคใหม่นี้ สามารถลดผลกระทบจาก FWM จาก -22.50 dBm [3] เป็น -30.95 dBm เมื่อพิจารณาอัตราบิดเบือนที่ 10^{-6} จะได้กำลังที่ภาครับสามารถรับได้จาก -14.50 dBm [3] เป็น -23.00 dBm นอกจากนี้ได้เพิ่มจำนวนช่องสัญญาณจากเดิม 42 ช่องสัญญาณเป็น 43 ช่องสัญญาณ สำหรับระบบ DWDM จากผลลัพธ์ที่ได้สามารถสรุปว่าเทคนิคการจัดช่องสัญญาณแบบ RS-URAUS สามารถลดผลกระทบของ FWM ได้ดีกว่าเทคนิค ERAUS และเทคนิคอื่นๆที่ได้นำเสนอก่อนหน้านี้

คำสำคัญ : การจัดระยะห่างช่องสัญญาณ การผสมกันสี่คลื่น การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งแยกเชิงความยาวคลื่นที่หนาแน่น

Abstract

This paper proposed the new technique to improve the conventional techniques in the channel allocations, in order to reduce transmission loss, in case of there are a large number of channels and each of the channels is nearby. We have found this case in DWDM that is the cause of transmission loss called Four-Wave Mixing due to the fiber nonlinear. The channel allocations that used to resolve this problem are ES [1], RAUS [2] and ERAUS [3]. This paper presents the new technique to arrange the channel allocation in called “Revert Step Unequally Spaced RAUS (RS-URAUS)” to avoid the Four-Wave Mixing. From the simulation results, the new proposed technique can decrease an average of FWM efficiency from -22.50 dBm [3] to -30.95 dBm and reduced in BER at 10^{-6} power at receiver from -14.50 dBm [3] to -23.00 dBm furthermore, increased in number of channels from 42 channels to 43 channels in

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ผ่านการตีพิมพ์ ทั่วทั้งฉบับ ห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันฯ

DWDM transmission system. These results indicate that RS-URAUS have a lower FWM efficiency than ERAUS and other above mentioned technique.

Keywords : Spaced channel allocation, Four-Wave Mixing, Dense Wavelength Division Multiplexing

1. บทนำ

ปัจจุบันนี้มีการใช้เทคนิคต่างๆเพื่อลดผลกระทบของการเกิด Four-wave mixing (FWM) เช่น การมัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์แสงร่วมกันของสายหน่วง [4] เทคนิคการผสมผสานกันของ wavelength/time division multiplexing [5] การจัดช่องสัญญาณแบบ Equally spaced (ES) [1] การจัดช่องสัญญาณแบบ Unequally spaced (US) [6] การจัดระยะห่างช่องสัญญาณแบบ RAUS [2] และการจัดระยะห่างช่องสัญญาณแบบ Equally Spaced RAUS (ERAUS) [3]

บทความนี้ได้เน้นไปที่ความสัมพันธ์ของเทคนิคการจัดระยะห่างช่องสัญญาณในรูปแบบใหม่เรียกว่า Revert Step Unequally Spaced RAUS (RS-URAUS) ซึ่งได้พัฒนาต่อมาจากรูปแบบการจัดช่องสัญญาณแบบ ERAUS [3] ซึ่งรูปแบบ ERAUS นี้มีค่ากำลังที่เกิดจาก FWM -22.50 dBm และค่ากำลังแสงค่านรับ -14.50 dBm และมีช่องสัญญาณ 42 ช่องสัญญาณ เมื่อมีความต้องการแบนด์วิธที่เพิ่มขึ้น จึงมีความพยายามที่จะเพิ่มช่องสัญญาณ การเพิ่มช่องสัญญาณให้มากขึ้นในช่วงที่จำกัด ทำให้ช่องสัญญาณอยู่ใกล้กันมากขึ้น เกิดการแทรกสอดกันได้ง่าย เราจึงได้มีการพัฒนาเทคนิคการจัดช่องสัญญาณแบบ RS-URAUS ขึ้น เพื่อลดผลกระทบจาก FWM และสามารถเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เทคนิคการจัดช่องสัญญาณใหม่แบบ RS-URAUS นี้สามารถลดผลกระทบที่เกิดจากปรากฏการณ์ FWM ได้ดีกว่า ES [1] RAUS [2] และ ERAUS [3] เราจะพิจารณาระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณที่มากกว่า 50 GHz ซึ่งเป็นข้อจำกัดของตัวอุปกรณ์ multiplexer และอุปกรณ์ demultiplexer [7] และค่าที่ใช้ในการคำนวณในการจัดช่องสัญญาณแบบ RS-URAUS มีดังนี้ สายใยแก้วนำแสงแบบ DSF (Dispersion Shift Fiber) ที่สามารถรองรับความยาว 80 กิโลเมตร กำลังของสัญญาณด้าน

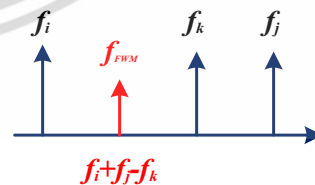
อินพุทของเส้นใยแก้ว 10 dBm ค่าดัชนีหักเหของแสงในเส้นใยแก้วนำแสง $n = 1.45$ ความเร็วแสง $c = 3 \times 10^8$ m/s ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียในเส้นใยแก้ว $\alpha = 0.2$ dB/km ค่าความไม่เป็นเชิงเส้นอันดับสาม $\chi^3 = 4 \times 10^{-15}$ ค่าดีสเพอร์ชันสโลป ($dD / d\lambda$) 0.06 ps/km/nm² สัมประสิทธิ์การรวมกันของ FWM (η) 80% [8] และความยาวคลื่นของ EDFA 1529.55 nm - 1560.61 nm (C-band) ตามมาตรฐานของ ITU-T G.694.1 สำหรับสัญญาณ DWDM (ระหว่าง 192.1-196.0 THz) จาก [5]

2. ทฤษฎีการวิเคราะห์

2.1 Four-Wave Mixing (FWM)

ระบบส่งสัญญาณแบบ DWDM ช่องสัญญาณจะได้รับผลกระทบจาก FWM ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่มีความถี่แตกต่างกันและเป็นสาเหตุให้เกิดความถี่ของสัญญาณเป็นรูปแบบการกระจายตัวของความถี่แสง [8] เมื่อ f_i , f_j และ f_k คือค่าความถี่สัญญาณแสงและ f_{FWM} คือความถี่ของแสงที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสัญญาณทั้งสามความถี่เนื่องจากผลกระทบของ FWM ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1 และสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (1)

$$f_{FWM} = f_{ijk} = f_i + f_j - f_k \quad (i, j \neq k) \quad (1)$$



รูปที่ 1 รูปการกระจายตัวความถี่แสงจากผล FWM (ในบทความนี้พิจารณาผลกระทบของ FWM เป็นสิ่งสำคัญ โดยไม่พิจารณาผลกระทบของ self-phase modulation, cross-phase modulation และการเชื่อมลงของรูปคลื่น เนื่องจากมีแบนด์วิดท์ที่จำกัด [9]) จำนวนของความถี่ FWM (M) ที่ถูกสร้างในระบบ DWDM จากจำนวนช่องสัญญาณ (N_c) สามารถหาโดยสมการที่ (2)

$$M = \frac{1}{2}(N_c^3 - N_c^2) \quad (2)$$

เมื่อพิจารณาการจัดช่องสัญญาณแบบ ES จำนวน 3 ช่องสัญญาณ หลังจากเกิดการแทรกสอด จะเกิดความถี่ใหม่ขึ้นอีก 9 ความถี่ ซึ่งจะไปทำให้สัญญาณในช่องสัญญาณเดิมเกิดการเสื่อมคุณภาพของสัญญาณลง

การคำนวณสำหรับหาค่าผลกระทบจาก FWM ในระบบสื่อสารสัญญาณ DWDM กำลังของสัญญาณที่ความถี่ f_{FWM} เป็นผลรวมของกำลังสัญญาณของ FWM ที่เกิดจากการรวมกันของความถี่ที่เป็นไปได้ เมื่อมีช่องสัญญาณใช้งานจำนวน N_c ช่อง ซึ่งสามารถหาได้จากสมการดังนี้ [10]

$$P_{total}(f_m) = \sum_{f_k=f_i+f_j-f_m} \sum_{f_j} \sum_{f_i} P_{FWM}(f_{ijk}) \quad (3)$$

เมื่อกำลังของ P_{FWM} ที่ได้จากการเกิด FWM สามารถหาได้จาก [10]

$$P_{FWM}(f_{ijk}) = \frac{1024\pi^6}{n^4\lambda^2c^2} \left(\frac{d_{ijk}\chi^{(3)}L_{eff}}{A_{eff}} \right)^2 P_i P_j P_k e^{-\alpha L} \eta_{ijk} \quad (4)$$

เมื่อ P_i , P_j และ P_k เป็นกำลังของสัญญาณอินพุตที่ความถี่ f_i , f_j และ f_k ตามลำดับ P_{FWM} คือกำลังของคลื่นแสงจาก FWM ที่ความถี่ f_{FWM} n คือดัชนีหักเหของคอร์ λ คือความยาวคลื่นแสง c คือความเร็วแสง A_{eff} คือพื้นที่ประสิทธิภาพ α คือสัมประสิทธิ์การลดทอนของสาย L คือความยาวของสาย d_{ijk} คือองค์ประกอบที่แสดงสถานะความถี่ $(d_{ijk} = 3$ สำหรับ $i = j$, $d_{ijk} = 6$ สำหรับ $i \neq j$) [7] และ $\chi^{(3)}$ คือค่าความไม่เป็นเชิงเส้นอันดับที่ 3 η_{ijk} คือประสิทธิภาพ FWM ซึ่งหาจาก [10]

$$\eta_{ijk} = \frac{\alpha^2}{\alpha^2 + (\Delta\beta)^2} \left\{ 1 + \frac{4e^{-\alpha L} \sin^2(\Delta\beta L/2)}{(1 - e^{-\alpha L})^2} \right\} \quad (5)$$

เมื่อ $\Delta\beta$ คือความต่างกันของค่าคงที่ในการแพร่กระจายของคลื่นในเส้นใยแก้วนำแสงหาได้จาก [10]

$$\Delta\beta = \frac{2\pi\lambda^2}{c} |f_i - f_k| |f_j - f_k| \left[D + \frac{\lambda^2}{2c} \frac{dD}{d\lambda} (|f_i - f_0| + |f_j - f_0|) \right] \quad (6)$$

เมื่อ f_i , f_j และ f_k คือค่าความถี่ใดๆในระบบ f_0 คือความถี่อ้างอิง D คือค่าโครมาติกดิสเพอร์ชัน $dD/d\lambda$ คือความชันของดิสเพอร์ชัน

เมื่อใช้การประมาณค่าแบบเกาส์เซียน ความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะได้รับผลกระทบจาก FWM ในระบบส่งสัญญาณ DWDM ที่ใช้การมอดูเลตแบบ On-Off Keying สามารถหาได้จาก [10]

$$P_e = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \quad (7)$$

เมื่อ t คือเวลา และ Q คือค่า Quality Factor ซึ่งหาได้จาก [10]

$$Q = \frac{bP_s}{\sqrt{N_{th} + N_{sh} + N_{FWM} + \sqrt{N_{th}}}} \quad (8)$$

เมื่อ P_s คือกำลังของสัญญาณแสงที่เครื่องรับรับได้ N_{th} คือค่า Thermal Noise Power N_{sh} คือค่า Shot Noise Power N_{FWM} คือค่า Four-Wave Mixing Noise Power ซึ่งหาได้จาก [10]

$$N_{FWM} = 2b^2 P_s \frac{P_{FWM}}{8} \quad (9)$$

เมื่อ b คือเรสปอนซิวิตี หาค่าได้จาก [7]

$$b = \frac{\eta e}{hf} = \frac{\eta e \lambda}{hc} \quad (10)$$

เมื่อ h คือค่าคงที่ของพลังค์ (6.626×10^{-34} J.s) η คือประสิทธิภาพควอนตัมและ e คือประจุอิเล็กตรอน และเนื่องจากค่าการสูญเสียของ N_{th} และ N_{sh} มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับ N_{FWM} ดังนั้นค่า SNR ที่เกิดจากผลกระทบของ FWM สามารถแสดงให้เห็นได้ดังนี้ [10]

$$Q = \frac{bP_s}{\sqrt{N_{FWM}}} = \frac{2bP_s}{\sqrt{b^2 P_s P_{FWM}}} = \frac{2\sqrt{P_s}}{\sqrt{P_{FWM}}} = \frac{2\sqrt{P_0 e^{-\alpha L}}}{\sqrt{P_{FWM}}} \quad (11)$$

เมื่อค่ากำลังของสัญญาณแสงที่ภากรับรับได้ P_s หาได้จาก [7]

$$P_s = N_c P_0 e^{-\alpha L} L_r \quad (12)$$

เมื่อ L_r คือค่าสูญเสียในระบบสื่อสารก่อนถึงภากรับ L คือค่าความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง P_0 คือค่ากำลังของสัญญาณแสงด้านอินพุต N_c คือจำนวนช่องสัญญาณ อัตราลดทอน (α) เท่ากับ 0.2 dB/km [7]

2.2 การจัดระยะห่างช่องสัญญาณ

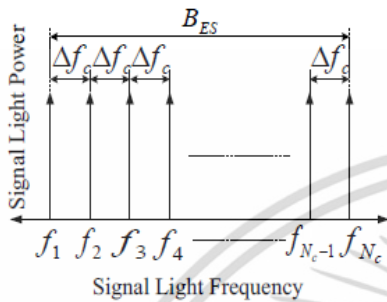
2.2.1 การจัดระยะห่างช่องสัญญาณแบบ ES [1]

จะมีระยะห่างของช่องสัญญาณ (Δf_c) ที่เท่ากันทุกๆช่องสัญญาณ แสดงดังรูปที่ 2 เมื่อ B_{ES} คือผลรวม

ของแบนด์วิดท์จากการจัดช่องสัญญาณแบบ ES หาได้จาก

$$B_{ES} = (N_c - 1)\Delta f_c \quad (13)$$

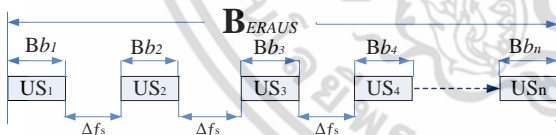
เมื่อ N_c คือจำนวนของช่องสัญญาณและ Δf_c คือค่าคงที่สำหรับแต่ละช่องสัญญาณ ซึ่งตามมาตรฐาน ITU-T จะใช้เป็นค่า $\Delta f_c = 100$ GHz



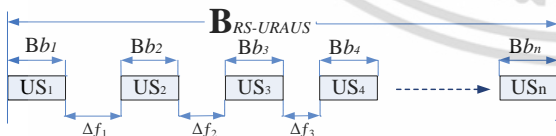
รูปที่ 2 การจัดช่องสัญญาณแบบ ES

2.2.2 การจัดช่องสัญญาณแบบ ERAUS [3]

ใช้เทคนิคแบบ US โดยระยะห่างของความถี่ที่อยู่ใน base unit (US_n) จะนำมาสลับที่กันแบบไม่ซ้ำกันในแต่ละ base unit ที่เกิดขึ้นใหม่และเว้นให้มีระยะห่างระหว่าง base unit (Δf_s) ที่เท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยใช้ค่า Δf_s ให้เล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้โดย $\Delta f_s \neq \Delta f_i$ ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า $\Delta f_s = 62.5$ GHz (เมื่อ Δf_s ให้มากกว่าค่าที่น้อยที่สุดของ $\Delta f_i = 50$ GHz และน้อยกว่าค่าที่น้อยที่สุดถัดมา $\Delta f_i = 75$ GHz)



รูปที่ 3 การจัดช่องสัญญาณแบบ ERAUS



รูปที่ 4 การจัดช่องสัญญาณแบบ RS-URAUS

เมื่อ B_{ERAUS} คือแบนด์วิดท์ของการจัดช่องสัญญาณแบบ ERAUS และ B_{bn} คือแบนด์วิดท์ของแต่ละ base unit วิธีการเลือกระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณข้างเคียงภายใน base unit มีลำดับขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1) กำหนดให้ระยะห่างความถี่ของช่องสัญญาณภายใน base unit (Δf_i) เท่ากับ 50 GHz, 75 GHz, 100 GHz, 125 GHz และ 150 GHz (สาเหตุที่กำหนดระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณต่ำสุดที่ 50 GHz

เนื่องจากขีดจำกัดของอุปกรณ์มัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์แสง [11])

ขั้นตอนที่ 2) ทำการหาค่าความน่าจะเป็นที่ Δf_i เกิดขึ้นแบบไม่ซ้ำกันภายใน base unit โดยเลือกไม่ให้ระยะห่างช่องสัญญาณ 50 GHz อยู่ใกล้กับ 75 GHz และไม่ให้ระยะห่างช่องสัญญาณ 125 GHz อยู่ใกล้กับระยะห่าง 150 GHz เช่น {50, 75, 150, 125, 100} หรือ {75, 150, 125, 50, 100} ให้คัดออก เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 3) เลือกไม่ให้ระยะห่างช่องสัญญาณ 50 GHz, 75 GHz และ 100 GHz อยู่ทางด้านความถี่ต่ำและด้านความถี่สูงของ base unit พร้อมกันเช่น {75, 150, 50, 125, 100} หรือ {50, 150, 100, 125, 75} ให้คัดออก เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 4) เลือกระยะห่างของช่องสัญญาณ base unit แรก และ base unit สุดท้าย ให้ระยะห่างช่องสัญญาณเริ่มต้นด้วย 50 GHz ใน base unit แรก และลงท้ายด้วย 50 GHz ใน base unit สุดท้าย เช่น {50, 150, 75, 100, 125} หรือ {125, 75, 100, 150, 50} เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 5) ให้เลือกระยะห่างช่องสัญญาณภายใน base unit ที่เริ่มต้นด้วย 75 GHz และลงท้ายด้วย 75 GHz ออก และเลือกไม่ให้ระยะห่างช่องสัญญาณ 50 GHz อยู่ติดกับระยะห่างช่องสัญญาณ 100 GHz เช่น {75, 125, 50, 150, 100} หรือ {125, 75, 100, 50, 150} ให้คัดออก เป็นต้น

2.2.3 การจัดช่องสัญญาณแบบ RS-URAUS

RS-URAUS ได้ปรับปรุงมาจากวิธี ERAUS ซึ่งจะใช้หลักการจัดความถี่ที่อยู่ใน base unit ลักษณะเดียวกันกับ ERAUS แต่จะมีการจัดระยะห่างระหว่าง base unit (Δf_s) ที่ไม่เท่ากัน โดยใช้ค่า Δf_s จำนวน 7 ค่า ให้เล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้โดย $\Delta f_s \neq \Delta f_i$ ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า Δf_s ให้มากกว่าค่าที่น้อยที่สุดของ $\Delta f_i = 50$ GHz และน้อยกว่าค่าที่น้อยที่สุดถัดมา $\Delta f_i = 75$ GHz (ระยะ 25 GHz) จึงทำการแบ่งระยะดังกล่าวออกเป็น 16 ช่วงที่เท่ากัน และจัด 16 ช่วงดังกล่าวออกเป็น 2 กลุ่มเป็นกลุ่มบนและกลุ่มล่าง โดยมี 62.5 GHz เป็นความถี่กลาง สำหรับบทความนี้เราได้นำกลุ่มล่างมาใช้เป็นระยะห่าง Δf_s เนื่องจากจะทำให้ได้แบนด์วิดท์มากกว่าการใช้กลุ่มบน ซึ่งจะได้ $\Delta f_{s1} = 60.9375$ GHz, $\Delta f_{s2} =$

ตารางที่ 1 การจัดช่องสัญญาณแบบ RS-URAUS ในช่วงแบนด์วิดท์ของ EDFA ตามมาตรฐาน ITU-T G.694.1

Channel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta f_c(\text{GHz})$	50	150	75	100	125	<u>60.9375</u>	125	50	150	75
$f_i(\text{THz})$	192.1	192.15	192.3	192.375	192.475	192.6	192.6609	192.7859	192.8359	192.9859
Channel	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\Delta f_c(\text{GHz})$	100	<u>59.375</u>	150	50	125	75	100	<u>57.8125</u>	125	50
$f_i(\text{THz})$	193.0609	193.1609	193.2203	193.3703	193.4203	193.5453	193.6203	193.7203	193.7781	193.9031
Channel	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$\Delta f_c(\text{GHz})$	100	75	150	<u>56.25</u>	100	75	125	50	150	<u>54.6875</u>
$f_i(\text{THz})$	193.9531	194.0531	194.1281	194.2781	194.3344	194.4344	194.5094	194.6344	194.6844	194.8344
Channel	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
$\Delta f_c(\text{GHz})$	100	75	150	50	125	<u>53.125</u>	125	75	100	150
$f_i(\text{THz})$	194.8891	194.9891	195.0641	195.2141	195.2641	195.3891	195.4422	195.5672	195.6422	195.7422
Channel	41	42	43							
$\Delta f_c(\text{GHz})$	50	<u>51.5625</u>								
$f_i(\text{THz})$	195.8922	195.9422	195.9938							

59.375 GHz, $\Delta f_{s3} = 57.8125$ GHz, $\Delta f_{s4} = 56.25$ GHz, $\Delta f_{s5} = 54.6875$ GHz, $\Delta f_{s6} = 53.125$ GHz, $\Delta f_{s7} = 51.5625$ GHz ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 (เมื่อ Δf_s ให้มากกว่าค่าที่น้อยที่สุดของ $\Delta f_i = 50$ GHz และน้อยกว่าค่าที่น้อยที่สุดถัดมา $\Delta f_i = 75$ GHz)

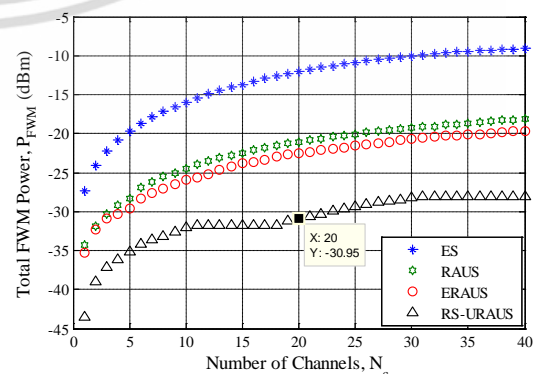
3. ผลลัพธ์จากการทดลอง

การคำนวณค่าผลกระทบของ FWM ในระบบส่งสัญญาณ DWDM สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ (3)-(12) โดยระบบที่ได้ทำการวิเคราะห์นี้จะไม่ได้รับรวมถึงค่าสูญเสียอื่น ผลการจำลองที่ได้แสดงในรูปที่ 5 และ 6 สำหรับรูปที่ 5 เป็นการเปรียบเทียบกำลังของ FWM สำหรับการจัดช่องสัญญาณแบบ ES, RAUS, ERAUS และ RS-URAUS ส่วนในรูปที่ 6 เป็นการเปรียบเทียบ BER ของ FWM ที่ $P_c = 10^{-6}$ สำหรับการจัดช่องสัญญาณแต่ละแบบ โดยสัญลักษณ์รูปจุดจะแทนกำลัง FWM ที่เกิดจากเทคนิคการจัดช่องสัญญาณแบบ ES สัญลักษณ์รูปดาวจะแทนกำลัง FWM ที่เกิดจากเทคนิคการจัดช่องสัญญาณแบบ RAUS สัญลักษณ์รูปวงกลมจะแทนกำลัง FWM ที่เกิดจากเทคนิคการจัดช่องสัญญาณแบบ ERAUS และ สัญลักษณ์รูปสามเหลี่ยม จะแทนกำลัง FWM ที่เกิดจากการจัดช่องสัญญาณแบบ RS-URAUS จากผลการทดลอง เราหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณที่จำนวน

20 ช่องสัญญาณ ค่าของกำลังประสิทธิภาพ FWM จากเทคนิคแต่ละแบบนั้นจะมีค่า -12.03 dBm, -21.08 dBm,

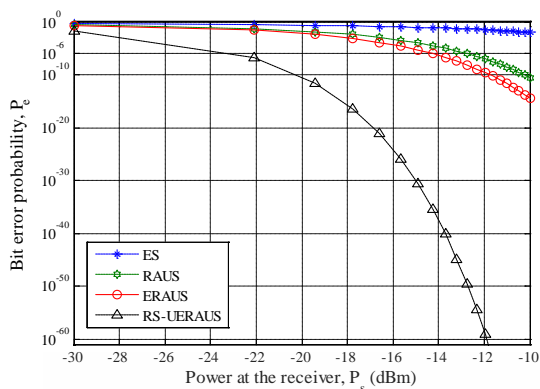
-22.55 dBm และ -30.95 dBm ตามลำดับ จากผลดังกล่าว แสดงว่าเทคนิคการจัดช่องสัญญาณแบบ RS-URAUS สามารถลดการเกิด FWM ได้ดีกว่า การจัดช่องสัญญาณแบบ ES, RAUS และ ERAUS

ในส่วนสุดท้ายจะเป็นการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพ FWM โดยให้ $f_{FWM} = f_i$ จากรูปที่ 6 พิจารณาค่า bit error rate (BER) ที่ $P_c = 10^{-6}$ ที่แกน y หาผลลัพธ์ในแกน x ได้จากการตัดกันของเส้นกราฟแต่ละแบบของการจัดช่องสัญญาณ โดย ES = -5 dBm, RAUS = -13.50 dBm, ERAUS = -14.50 dBm และ RS-URAUS = -23.00 dBm นั้นแสดงว่า การจัดช่องสัญญาณแบบ RS-URAUS มีความน่าจะเป็นของการผิดพลาดจากบิตที่น้อยกว่า ES, RAUS และ ERAUS



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบกำลังประสิทธิภาพของ FWM

สำหรับการจัดช่องสัญญาณแบบ ES, RAUS, ERAUS และ RS-URAUS



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบ BER ของ FWM สำหรับการจัดช่องสัญญาณ ES, RAUS, ERAUS และ RS-URAUS

4. สรุป

ในบทความนี้ได้นำเสนอและวิเคราะห์เทคนิคการจัดช่องสัญญาณแบบ RS-URAUS เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากปรากฏการณ์ของ FWM ด้วยการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น base unit (5 ช่องสัญญาณ) จากนั้นจัดระยะห่างระหว่างแต่ละ base unit ด้วยค่าที่ไม่เท่ากัน

จากผลการทดลองรูปที่ 5 และรูปที่ 6 พบว่าการจัดระยะห่างช่องสัญญาณแบบ RS-URAUS สามารถลดผลกระทบจาก FWM จาก -22.50 dBm เป็น -30.95 dBm และเมื่อพิจารณาค่าอัตราบิดผิผลผลิตที่ 10^{-6} จะได้กำลังการรับจาก -14.50 dBm เป็น -23.00 dBm และยังสามารถเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณซึ่งจากเดิม 42 ช่องสัญญาณเพิ่มเป็น 43 ช่องสัญญาณ จึงสามารถสรุปได้ว่า เทคนิคการจัดช่องสัญญาณแบบ RS-URAUS ดีกว่าการจัดระยะห่างช่องสัญญาณแบบใน ES, RAUS และ ERAUS

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] ITU-T Recommendation G.694.1, "Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid," ITU-T Study Group 15.
- [2] วิสววิท ราชณรงค์ และ สุทธิชัย นพนาคีพงษ์, "เทคนิคการจัดระยะห่างช่องสัญญาณแบบ RAUS ในระบบส่งสัญญาณ DWDM," วิศวกรรมฉบับวิจัย และพัฒนา, ปีที่ 21, ฉบับที่ 2, หน้า 118-124, 2553.

- [3] วิสววิท ราชณรงค์ และ สุทธิชัย นพนาคีพงษ์, "เทคนิคการจัดระยะห่างช่องสัญญาณแบบ ERAUS ในระบบส่งสัญญาณ DWDM," วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 21, ฉบับที่ 4, หน้า 19-25, ธันวาคม, 2552.
- [4] K. Inoue, "Suppression technique for fiber four-wave mixing using optical multi-/demultiplexers and a delay line," J. Lightw. Technol., vol. 11, no. 3, pp. 455-461, Mar, 1993.
- [5] A. Okada, V. Curri, S. M. Gemelos, and L. G. Kazovsky, "Reduction of four-wave mixing crosstalk using a novel hybrid WDM/TDM technique," in Proc. ECOC, pp. 289-290, 1998.
- [6] F. Forghieri, R. Tkach, A. Chrapltyvy, and D. Marcuse, "Reduction of four-wave mixing crosstalk in WDM systems using unequally spaced channels," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 6, no. 6, pp. 754-756, June, 1994.
- [7] G. P. Agawal, Fiber Optic Communication System, 3rd Ed., John Wiley & Sons, 2002.
- [8] S. Fujita, T. Suzaki, A. Matsuoka, S. Miyazaki, T. Torikai, T. Nakata, and M. Shikada, "High sensitivity 5 GB/s optical receiver module using Si IC and GaInAs APD," Electron. Lett., vol. 26, pp. 175-176, 1990.
- [9] T. Numai and O. Kubota, "Analysis of repeated unequally spaced channels for FDM lightwave systems," J. Lightw. Technol., vol. 18, no. 5, pp. 656-664, May, 2000.
- [10] T. S. Chin, F. M. Abbou and E. H. Tat, "Impact of four wave mixing (FWM) in routing and wavelength assignment," American Journal of Applied Sciences 5 (8): 1059 – 1063, 2008.
- [11] R. Ramaswami. and K. N. Sivarajan. (2002). "Optical Networks: A Practical Perspective," 2nd ed., Academic Press, 2002.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้