

บทที่ 4

การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ OCDMA-PON โดยการจำลองทาง คณิตศาสตร์

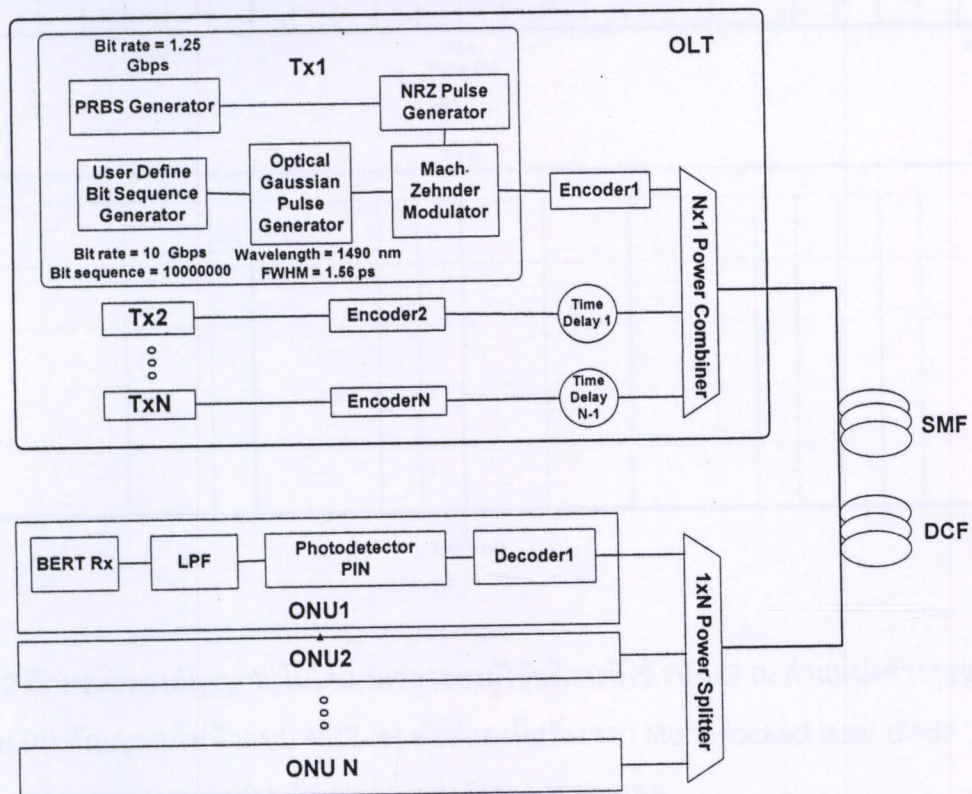
ในบทที่ 3 ได้แสดงให้เห็นถึงการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ OCDMA-PON ในทางทฤษฎี ข้อจำกัดของระบบเนื่องจากสัญญาณรบกวน และแนวทางการออกแบบระบบ ในบทนี้ ส่วนที่ 1-3 จะได้กล่าวถึงโครงสร้างของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทดสอบระบบ OCDMA-PON รวมไปถึงลักษณะของสัญญาณทางเวลา และ eye-diagram ของสัญญาณแสง ส่วนที่ 4-6 กล่าวถึงผลของแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำที่มีผลต่อค่า BER ของผู้ใช้บริการในระบบ ส่วนที่ 7-9 จะเป็นการหาระยะไกลสุด กำลังส่งสัญญาณต่ำสุด และแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำที่น้อยที่สุดที่สามารถใช้ได้ในระบบ OCDMA-PON ที่มีจำนวนผู้ใช้ในระบบต่าง ๆ กัน ตามลำดับ และในส่วนที่ 10 จะเป็นการพิจารณาว่าการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ในอัตราที่เท่ากัน พารามิเตอร์ใดจะส่งผลทำให้ค่า BER เปลี่ยนแปลงไปมากที่สุด

4.1 การส่งสัญญาณ OCDMA-PON สำหรับผู้ใช้บริการ 4 ราย

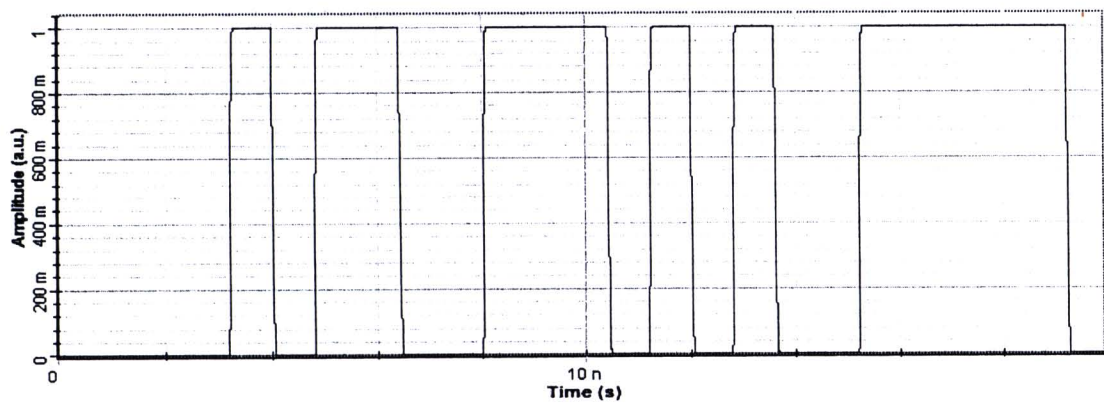
แบบจำลองการส่งสัญญาณ OCDMA-PON สำหรับผู้ใช้บริการ 4 รายที่อัตราบิตเท่ากับ 1.25 Gbps จำนวนบิตที่ส่งสัญญาณเท่ากับ 256 bit และอัตราการสุ่มสัญญาณในช่วงเวลา 1 บิต เท่ากับ 1024 sample/bit ใช้แบบจำลองเช่นเดียวกับที่แสดงในรูป 4.1 โดยใช้ค่า N เท่ากับ 4 ในที่นี้รหัสแต่ละชุด (#1, #3, #5 และ #6) จะถูกจัดสรรให้กับผู้ใช้แต่ละรายในระบบ ซึ่งลักษณะของสัญญาณในโดเมนเวลาของผู้ใช้บริการที่ใช้รหัส #3 ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ รูปที่ 4.2-4.3 แสดงลักษณะของสัญญาณทางเวลาในช่วงเวลา 20ns แรกที่มีลำดับบิตเท่ากับ "0000101100111010100111110" ดังแสดงในรูป 4.2(ก) เมื่อมอดูเลตสัญญาณไฟฟ้าเข้ากับพัลส์แสงจาก optical Gaussian pulse generator ในรูป 4.2(ข) จะได้ผลลัพธ์เป็นสัญญาณแสงที่มีลักษณะเป็นพัลส์แสง 1 ลูกในช่วงเวลา 1 คาบบิตสำหรับบิต "1" ดังแสดงในรูป 4.2(ค) จากนั้นสัญญาณแสงจะถูก encode ทำให้พัลส์ในรูป 4.2(ค) ถูกแผ่ออกทางเวลาดังแสดงในรูป 4.3(ก) เมื่อสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแสงเป็นระยะทาง 20 km และ splitter ที่มีอัตราการแบ่งพลังงานแสงเท่ากับ 1:4 แล้วสัญญาณแสงก็จะเข้าไปยัง decoder ที่มีรหัสที่สัมพันธ์กันกับรหัสของ encoder ดังรูปที่ 4.3(ข) ที่แสดงให้เห็นถึง ACP ของสัญญาณแสงที่ถูก decode อย่างถูกต้องด้วย decoder

ที่ใช้ รหัส#3 ซึ่งลักษณะของสัญญาณจะถูกแผ่กลับอย่างถูกต้องกลับมาเป็นพัลส์แสงแคบๆที่มีกำลังของสัญญาณที่สูงในช่วงเวลา 1 คาบปีตคล้ายกับสัญญาณก่อนถูก encode ในรูป 4.2(ค) อย่างไรก็ตามกำลังของสัญญาณแสงในแต่ละบิตมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากในแต่ละบิตอาจถูกรบกวนด้วยสัญญาณที่มาจากผู้ใช้บริการรายอื่นไม่เท่ากัน ในขณะที่รูปที่ 4.3(ค) แสดง CCP ของสัญญาณแสงที่ถูก decode อย่างไม่ถูกต้องด้วยรหัส #4 ทำให้สัญญาณแสงไม่สามารถกลับไปเป็นพัลส์แสงแคบๆที่มีกำลังของสัญญาณสูงเหมือนเดิมได้

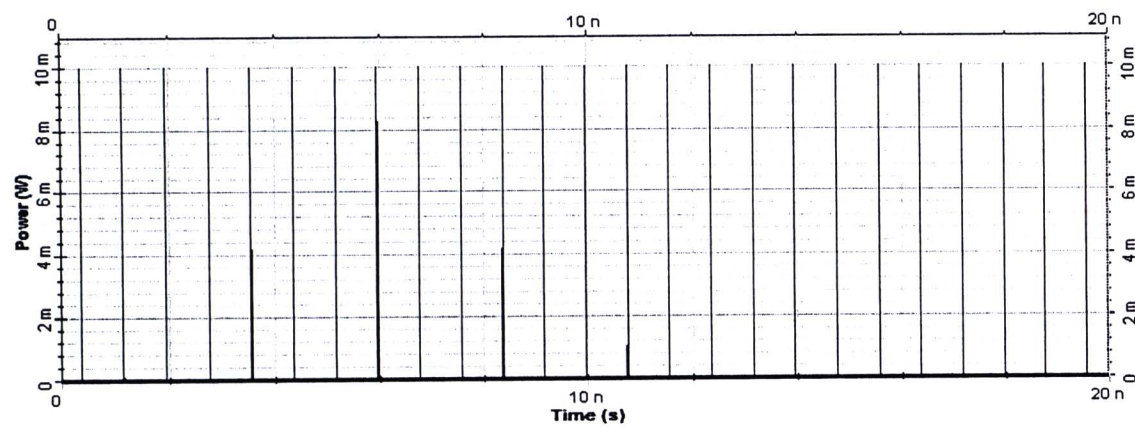
เมื่อพิจารณาลักษณะของสัญญาณในโดเมนเวลาก่อน encode และหลัง decode ของผู้ใช้บริการแต่ละรายจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ decoder ที่มีรหัสสัมพันธ์กับรหัสของ encoder ทำให้ผู้ใช้บริการแต่ละรายสามารถถอดรหัสและดึงข้อมูลของตัวเองกลับมาได้ ดังรูปที่ 4.4 แสดงลักษณะสัญญาณในทางเวลาของผู้ใช้บริการทั้ง 4 รายก่อนถูก encode ด้วย encoder ที่ใช้รหัส#1 #3 #5 และ #6 และหลังถูก decode ด้วย decoder ที่ใช้รหัส#1 #3 #5 และ #6 ตามลำดับจะเห็นได้ว่าผู้ใช้บริการแต่ละรายสามารถดึงข้อมูลของตัวเองกลับมาได้เท่ากันเนื่องจากสัญญาณถูกแผ่กลับอย่างถูกต้อง ทำให้ได้ ACP ที่มีกำลังของสัญญาณสูงและมีพัลส์ที่แคบคล้ายกับที่ตัวส่งสัญญาณ ในขณะที่ข้อมูลที่มาจากผู้ใช้บริการรายอื่นๆก็จะถูกแผ่ออกทางเวลาเช่นเดิม



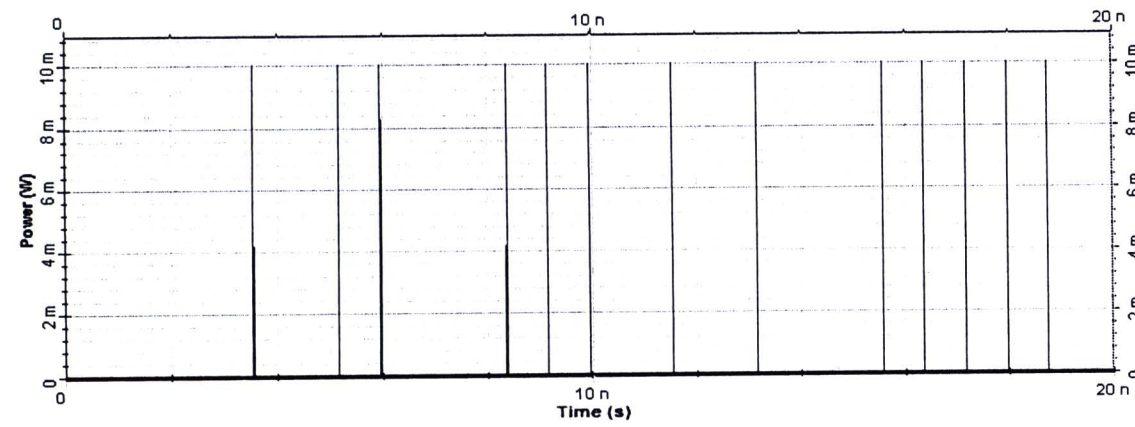
รูปที่ 4.1 แบบจำลองการส่งผ่านสัญญาณซีดีเอ็มเอแสงบนโครงข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟสำหรับผู้ใช้บริการจำนวน N ราย



(ก)

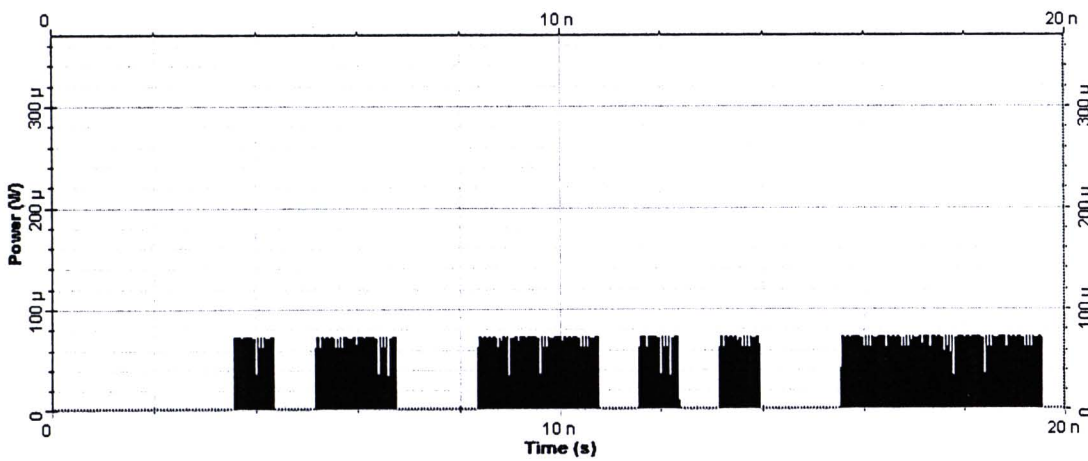


(ข)

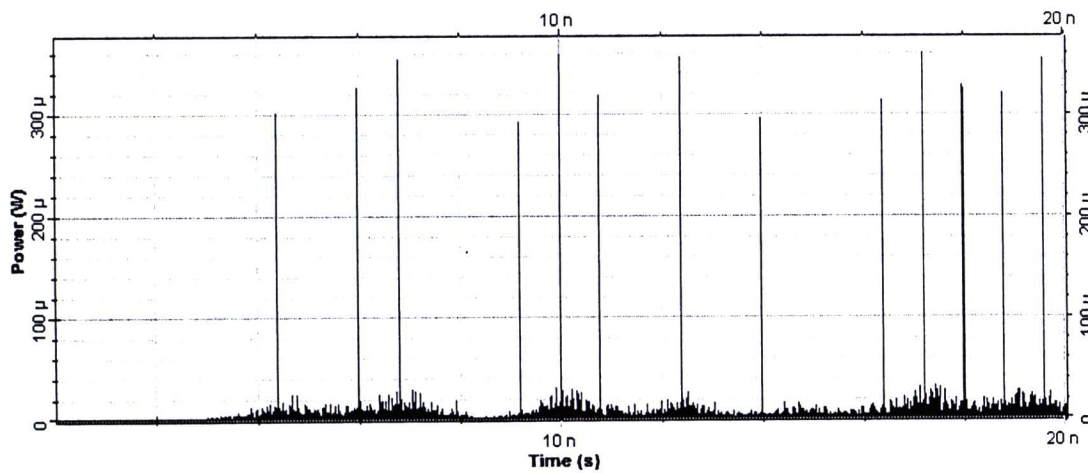


(ค)

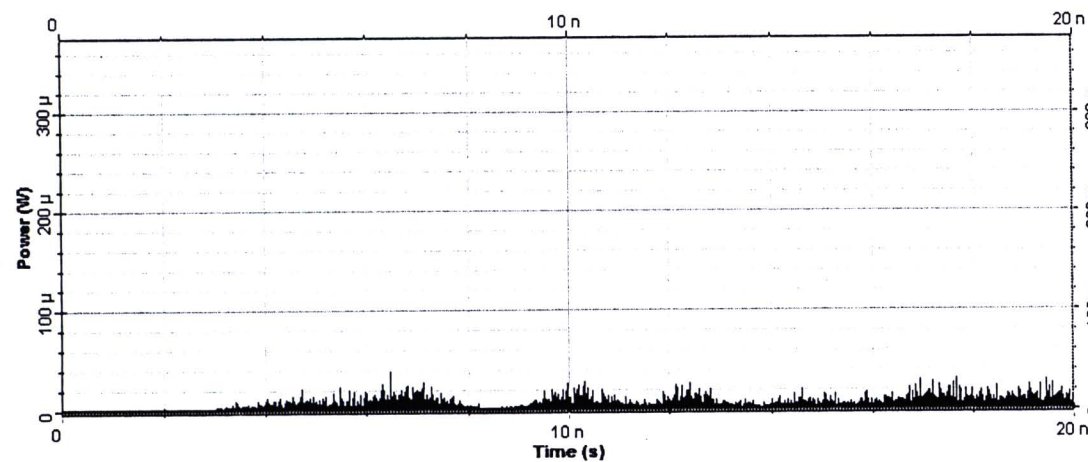
รูปที่ 4.2 ลักษณะของสัญญาณในโดเมนเวลาของผู้ให้บริการที่ใช้ รหัส#3 ณ ตำแหน่งต่างๆของระบบ (ก) สัญญาณไฟฟ้าแบบ NRZ (ข) พัลส์แสงที่สร้างจาก Mode-locked laser diode (ค) สัญญาณแสงหลังจากถูกมอดูเลต



(ก)

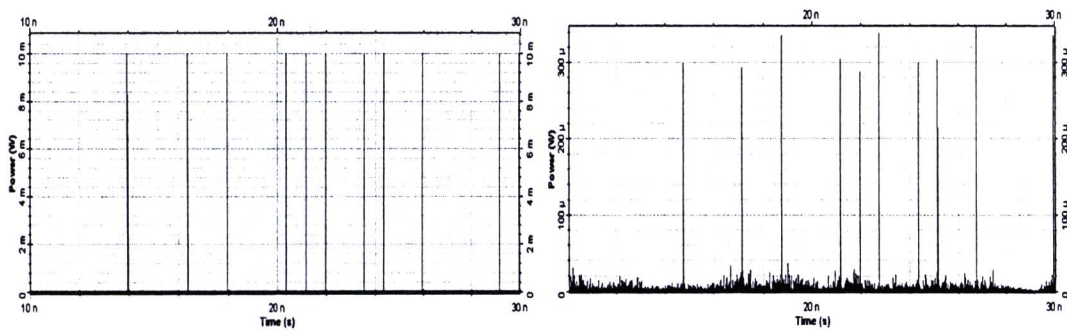


(ข)

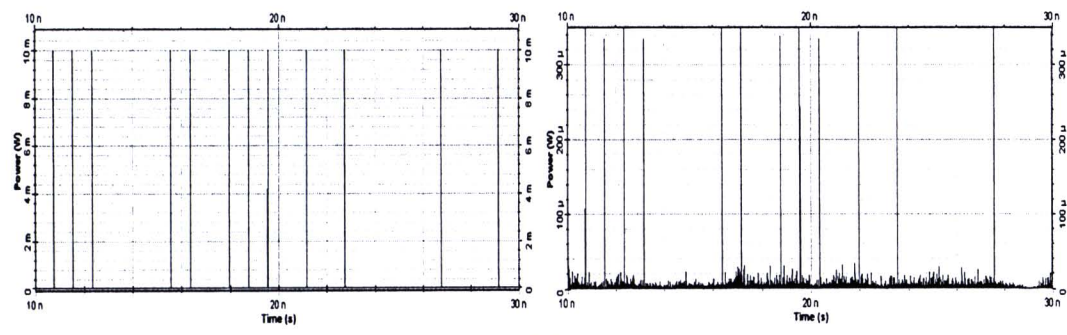


(ค)

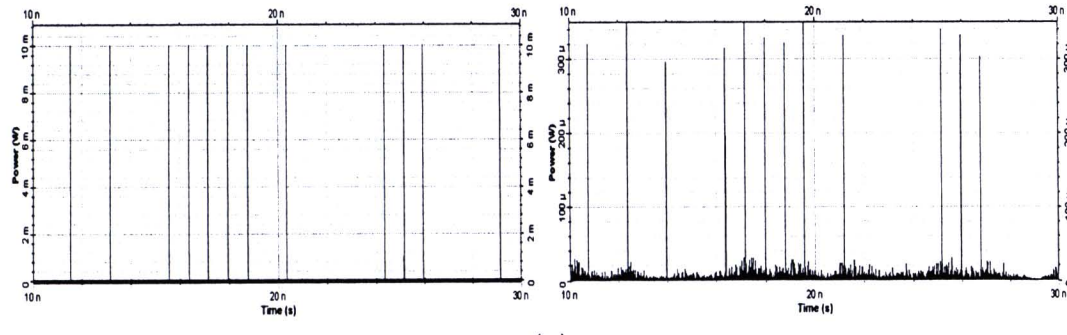
รูปที่ 4.3 ลักษณะของสัญญาณในโดเมนเวลาของผู้ให้บริการที่ใช้ รหัส#3 ณ ตำแหน่งต่างๆของระบบ (ก) หลังจากการ encode (ข) หลังจากการ decode ด้วย decoder ที่ใช้รหัส #3 (ค) หลังจากการ decode ด้วย decoder ที่ใช้รหัส #4



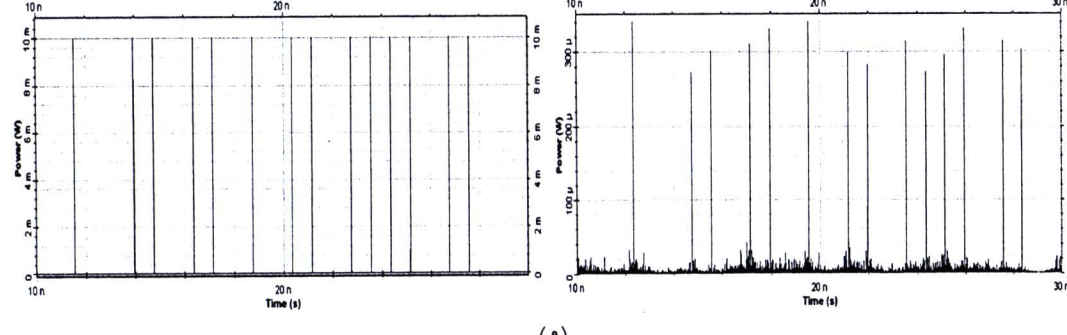
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.4 ลักษณะสัญญาณในทางเวลาของผู้ใช้บริการทั้ง 4 รายก่อนถูก encode และหลังถูก decode (ก) รหัส#1 (ข) รหัส#3 (ค) รหัส#5 (ง) รหัส#6

หลังจากสัญญาณแสงของผู้ใช้แต่ละรายถูก decode และดึงข้อมูลกลับมาเรียบร้อยแล้วก็จะถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วยตัวรับสัญญาณแสงชนิด PIN และวงจรกรองผ่านต่ำ รูปที่ 4.5 แสดง eye-diagram ของ ACP ของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 ที่ใช้กำลังส่งสัญญาณ peak power เท่ากับ 10 dBm หลังผ่านวงจรกรองผ่านต่ำที่มีค่าความถี่ตัด (cut-off frequency: f_c) หรือแบนด์วิดท์ต่างกัน โดยรูปที่ 4.5(ก) แสดง eye-diagram ของ ACP ที่ผ่านวงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ไม่จำกัด กล่าวคือ ทุกองค์ประกอบความถี่ของ ACP ดังกล่าวจะผ่านวงจรกรองไปได้ทั้งหมด ทำให้ ACP มีกำลังของสัญญาณที่สูงและมี FWHM ที่แคบใกล้เคียงกับพัลส์แสงที่ตัวส่งสัญญาณ และมีความต่างของบิต "1" และ "0" ณ ตำแหน่งกึ่งกลางบิตสูงที่สุด (eye-opening กว้างที่สุด) ทำให้ค่า BER น้อยที่สุดด้วย ซึ่งในกรณีนี้ค่า BER ของ ACP ดังกล่าวเท่ากับ 1.32×10^{-112} รูปที่ 4.5(ข) แสดง eye-diagram ของ ACP เมื่อลดแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำเหลือ 20 GHz ซึ่งองค์ประกอบความถี่ของสัญญาณที่สูงกว่า 20 GHz จะถูกกำจัดทิ้งไป ทำให้กำลังของสัญญาณลดลงเท่ากับ -14.09 dBm และพัลส์แสงกว้างขึ้นเล็กน้อยโดยมีค่า FWHM เท่ากับ 16.29 ps และ BER ของ ACP ดังกล่าวเท่ากับ 7.15×10^{-32} เมื่อลดแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำลงมาเหลือ 10 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.5(ค) องค์ประกอบความถี่สูงถูกกำจัดทิ้งไปมากกว่าเดิม ทำให้กำลังของสัญญาณลดลงเท่ากับ -16.78 dBm และพัลส์แสงกว้างขึ้นเล็กน้อยโดยมีค่า FWHM เท่ากับ 34.62 ps และ BER ของ ACP ดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 2.92×10^{-16} และเมื่อใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 1.25 GHz หรือเท่าอัตราบิตของข้อมูล จะเห็นได้ว่าความแตกต่างระหว่างบิต "1" กับบิต "0" มีน้อยมากดังแสดงในรูปที่ 4.5(ง) เนื่องจากองค์ประกอบความถี่สูงถูกกำจัดทิ้งไปหมด ส่งผลให้กำลังของสัญญาณต่ำที่สุด พัลส์แสงกว้างที่สุด และค่า BER ของ ACP ก็มีค่าสูงที่สุดดังแสดงในตารางที่ 4.1-4.3 โดยค่า BER มีค่าน้อยกว่า 10^{-9} เมื่อใช้ของวงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ไม่จำกัด 20 และ 10 GHz ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 1.25 GHz จะไม่สามารถให้บริการที่ค่า BER น้อยกว่า 10^{-9} ได้เลย

ตารางที่ 4.1 กำลังของสัญญาณแสง ACP ที่เครื่องรับของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 และกำลังส่งสัญญาณ peak power 10 dBm ที่ผ่านวงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ต่างกัน

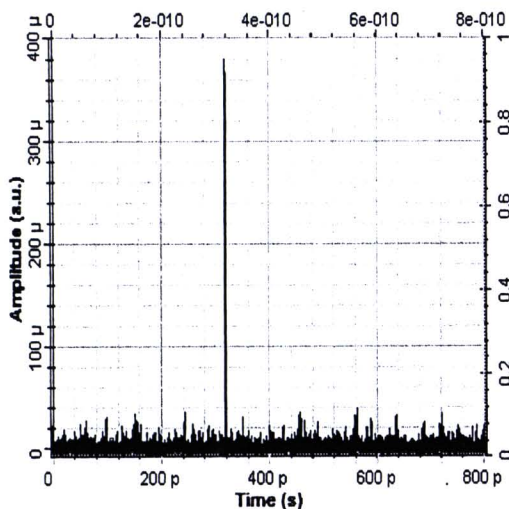
แบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำ (GHz)	กำลังของ ACP (dBm)
แบนด์วิดท์ไม่จำกัด	-5.85
20	-14.09
10	-16.78
1.25	-23.79

ตารางที่ 4.2 ความกว้างพัลส์ FWHM ของ ACP ที่ตรวจจับได้ของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 และกำลังส่งสัญญาณ peak power 10 dBm ที่ผ่านวงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ต่างกัน

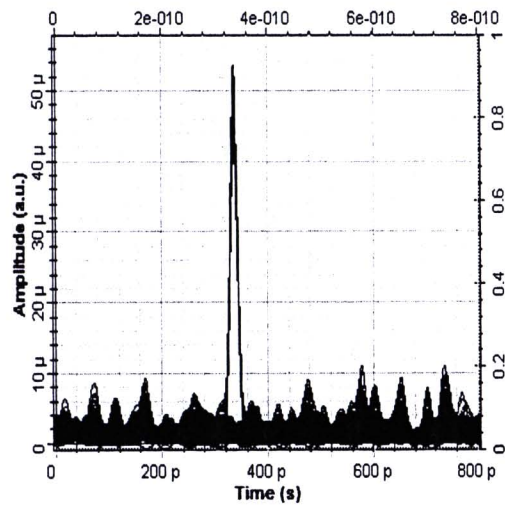
แบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำ (GHz)	ความกว้างพัลส์ FWHM (ps)
แบนด์วิดท์ไม่จำกัด	2.38
20	16.29
10	34.62
1.25	374.92

ตารางที่ 4.3 BER ของ ACP ที่ตรวจจับได้ของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 และกำลังส่งสัญญาณ peak power 10 dBm ที่ผ่านวงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ต่างกัน

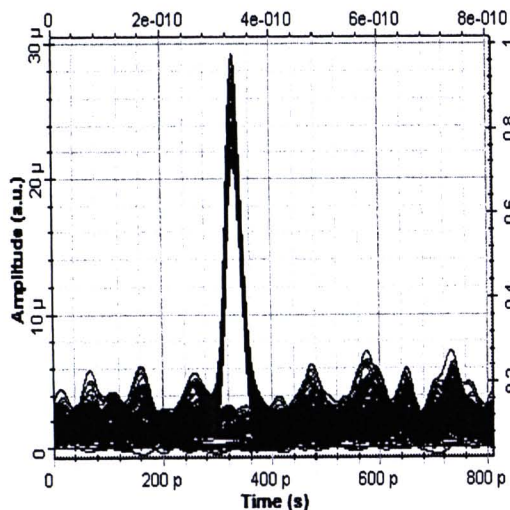
แบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำ (GHz)	BER
แบนด์วิดท์ไม่จำกัด	1.32×10^{-112}
20	7.15×10^{-32}
10	2.92×10^{-16}
1.25	1.24×10^{-2}



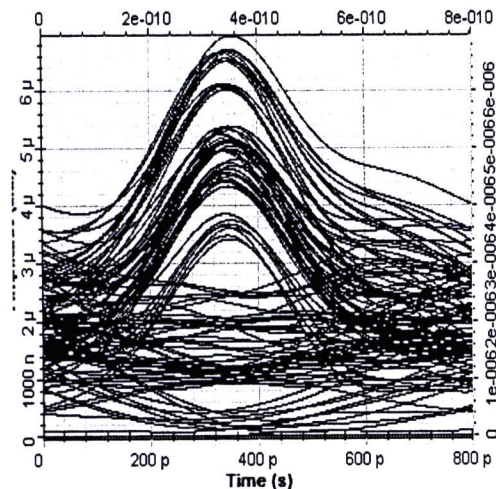
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.5 Eye-diagram ของ ACP ของผู้ให้บริการที่ใช้ รหัส#3 และกำลังส่งสัญญาณ peak power 10 dBm ในระบบ OCDMA-PON ที่มีผู้ให้บริการ 4 รายที่ผ่านวงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ต่างกัน (ก) แบนด์วิดท์ไม่จำกัด (ข) 20 GHz (ค) 10 GHz (ง) 1.25 GHz





4.2 การส่งสัญญาณ OCDMA-PON สำหรับผู้ใช้บริการ 8 ราย

แบบจำลองการส่งสัญญาณ OCDMA-PON สำหรับผู้ใช้บริการ 8 รายใช้แบบจำลองเช่นเดียวกับที่แสดงในรูป 4.1 โดยใช้ค่า N เท่ากับ 8 ในที่นี้ รหัส แต่ละชุด (#1-#8) จะถูกจัดสรรให้กับผู้ใช้แต่ละรายในระบบ เมื่อพิจารณา eye-diagram ของ ACP ของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 และกำลังส่งสัญญาณ peak power เท่ากับ 10 dBm ที่ผ่านวงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์สูงๆ ลักษณะของ ACP จะเป็นพัลส์ที่มีกำลังของสัญญาณที่สูง และกำลังของสัญญาณจะลดลงเมื่อลดแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำลง เนื่องจากองค์ประกอบความถี่สูงถูกกำจัดทิ้งไปดังแสดงในตารางที่ 4.4 ทั้งนี้กำลังของ ACP ที่วัดได้นั้นมีค่าน้อยกว่าที่วัดได้จากกรณีของผู้ใช้บริการ 4 รายเนื่องจากมีอัตราการแบ่งสัญญาณที่สูงกว่า (1:8) และได้รับผลกระทบของสัญญาณรบกวน σ_{MAI}^2 และ σ_{beat-1}^2 ที่มากกว่าด้วย ในขณะที่ความกว้าง FWHM ของ ACP ก็จะแคบมากเมื่อใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์สูงและพัลส์จะมีค่า FWHM ที่กว้างมากขึ้นเรื่อยๆเมื่อลดแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำลงดังแสดงในตารางที่ 4.5 และค่า BER มีค่าน้อยมากเมื่อใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์สูง เนื่องจากกำลังของ ACP มีค่าสูงส่งผลให้ความต่างของระดับความเข้มของสัญญาณที่บิต "1" และ "0" ต่างกันมาก ทำให้ค่า BER มีค่าน้อยมาก ซึ่งเมื่อลดแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำลง ทำให้กำลังของ ACP ลดลง และทำให้ค่า BER มีค่าเพิ่มมากขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.6 โดยค่า BER มีค่าน้อยกว่า 10^{-9} เมื่อใช้ของวงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ไม่จำกัดเท่านั้น ในขณะที่เมื่อใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 20 GHz และ 1.25 GHz จะไม่สามารถให้บริการที่ค่า BER น้อยกว่า 10^{-9} ได้เลย

ตารางที่ 4.4 กำลังของสัญญาณแสง ACP ที่เครื่องรับของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 และกำลังส่งสัญญาณ peak power เท่ากับ 10 dBm ที่ใช้แบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำต่างกัน

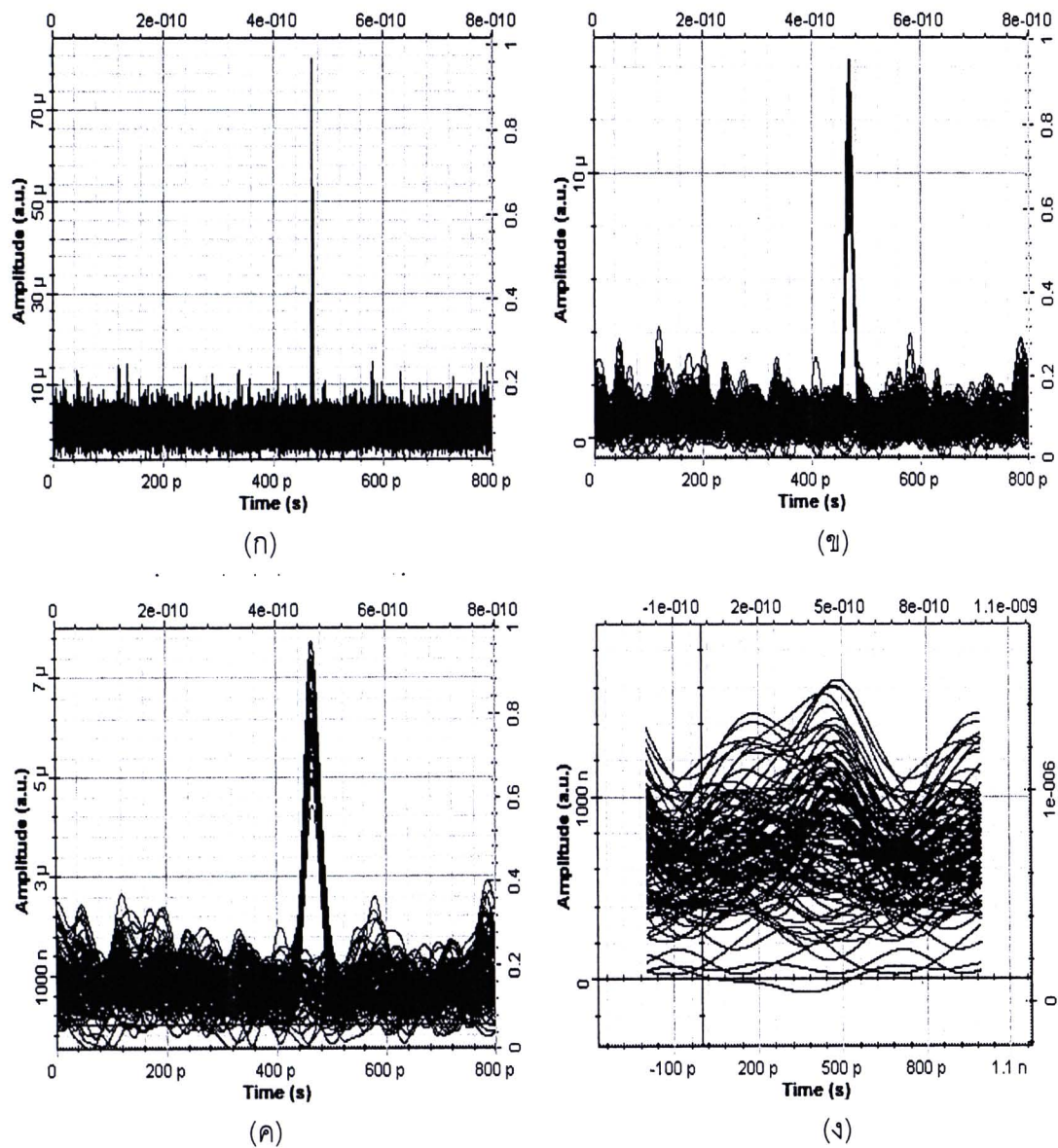
แบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำ (GHz)	กำลังของ ACP (dBm)
แบนด์วิดท์ไม่จำกัด	-11.55
20	-19.59
10	-22.37
1.25	-28.51

ตารางที่ 4.5 ความกว้างพัลส์ FWHM ของ ACP ของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 และกำลังส่งสัญญาณ peak power เท่ากับ 10 dBm ที่ใช้แบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำต่างกัน

แบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำ (GHz)	ความกว้างพัลส์ FWHM (ps)
แบนด์วิดท์ไม่จำกัด	2.49
20	16.45
10	35.77
1.25	700.61

ตารางที่ 4.6 BER ของ ACP ของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 และกำลังส่งสัญญาณ peak power เท่ากับ 10 dBm ที่ใช้แบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำต่างกัน

แบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำ (GHz)	BER
แบนด์วิดท์ไม่จำกัด	4.34×10^{-18}
20	2.32×10^{-9}
10	8.18×10^{-7}
1.25	4.43×10^{-2}



รูปที่ 4.6 Eye-diagram ของ ACP ของผู้ให้บริการที่ใช้ รหัส#3 ในระบบ OCDMA-PON ที่มี ผู้ให้บริการ 8 รายที่ผ่านวงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ต่างกัน (ก) แบนด์วิดท์ไม่จำกัด (ข) 20 GHz (ค) 10 GHz (ง) 1.25 GHz

4.3 การส่งสัญญาณ OCDMA-PON สำหรับผู้ใช้บริการ 16 ราย

แบบจำลองการส่งสัญญาณ OCDMA-PON สำหรับผู้ใช้บริการ 16 รายใช้แบบจำลองเช่นเดียวกับที่แสดงในรูป 4.1 โดยใช้ค่า N เท่ากับ 16 ในที่นี้ รหัส แต่ละชุด (#1-#16) จะถูกจัดสรรให้กับผู้ใช้แต่ละรายในระบบ เมื่อพิจารณา eye-diagram ของ ACP ของผู้ใช้บริการที่ใช้รหัส#3 และกำลังส่งสัญญาณ peak power เท่ากับ 10 dBm ที่ผ่านวงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์สูงๆ ลักษณะของ ACP จะเป็นพัลส์ที่มีกำลังของสัญญาณที่สูง และกำลังของสัญญาณจะลดลงเมื่อลดแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำลง เนื่องจากองค์ประกอบความถี่สูงถูกกำจัดทิ้งไปดังแสดงในตารางที่ 4.7 ทั้งนี้ค่ากำลังของ ACP ที่วัดได้นั้นมีค่าน้อยที่สุดเนื่องจากมีอัตราการแบ่งสัญญาณที่สูงที่สุด (1:16) และได้รับผลกระทบของสัญญาณรบกวน σ_{MAI}^2 และ σ_{beat-1}^2 ที่มากที่สุดด้วย ในขณะที่ความกว้าง FWHM ของ ACP ก็จะแคบมากเมื่อใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์สูงและพัลส์จะมีค่า FWHM ที่กว้างมากขึ้นเรื่อยๆเมื่อลดแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำลงดังแสดงในตารางที่ 4.8 และค่า BER มีค่าน้อยมากเมื่อใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์สูง ซึ่งเมื่อลดแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำลง ทำให้กำลังของ ACP ลดลง และทำให้ค่า BER มีค่าเพิ่มมากขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.9 ทั้งนี้ระบบ OCDMA-PON ที่มีจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 16 ราย ไม่สามารถให้บริการด้วยค่า BER ที่น้อยกว่า 10^{-9} สำหรับทุกค่าของแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำ

ตารางที่ 4.7 กำลังของสัญญาณแสง ACP ที่เครื่องรับของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 และกำลังส่งสัญญาณ peak power เท่ากับ 10 dBm ที่ใช้แบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำต่างกัน

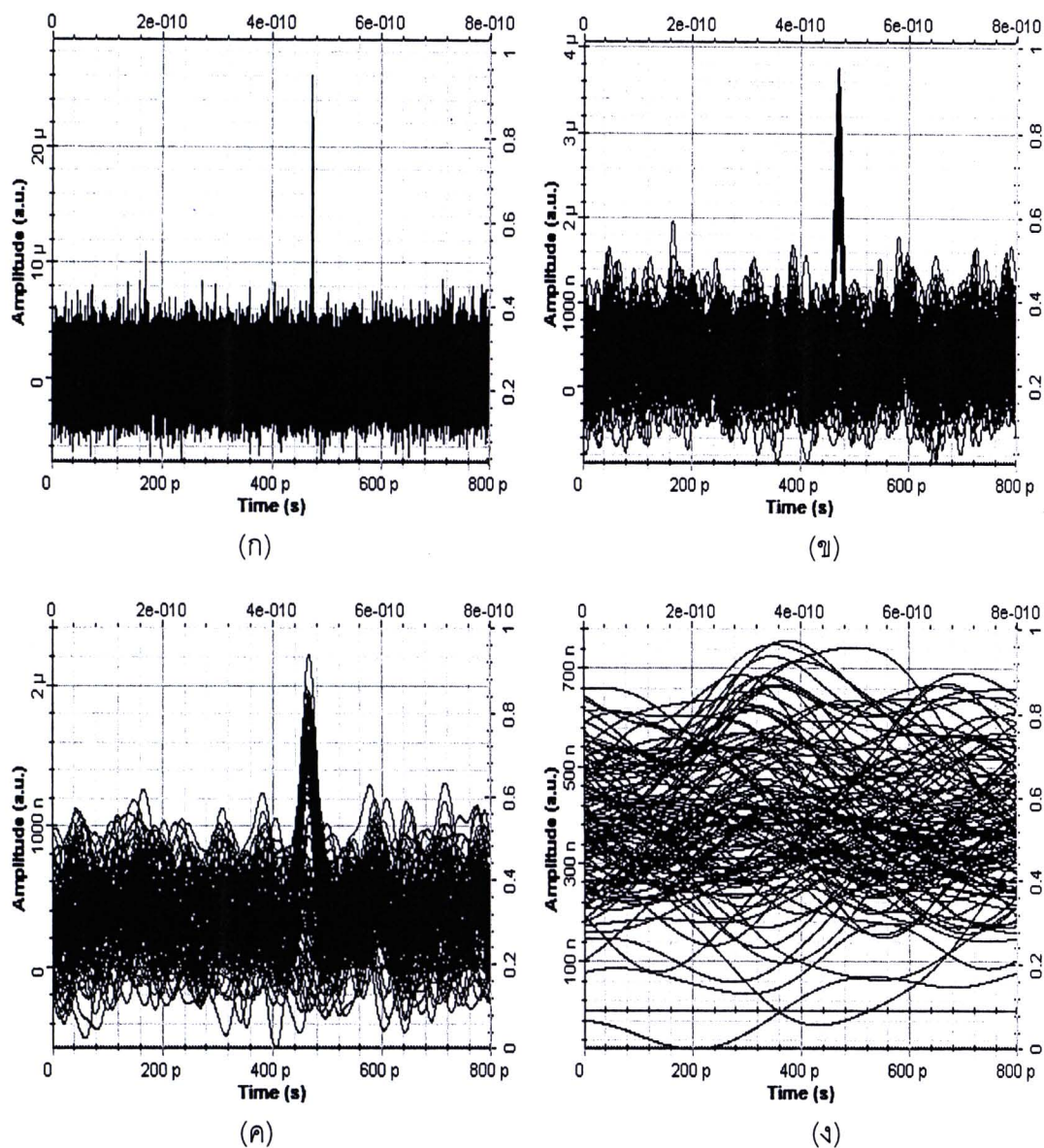
แบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำ (GHz)	กำลังของ ACP (dBm)
แบนด์วิดท์ไม่จำกัด	-16.99
20	-25.69
10	-28.24
1.25	-

ตารางที่ 4.8 ความกว้างพัลส์ FWHM ของ ACP ของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 และกำลังส่งสัญญาณ peak power เท่ากับ 10 dBm ที่ใช้แบนด์วิธของวงจรกรองผ่านต่ำต่างกัน

แบนด์วิธของวงจรกรองผ่านต่ำ (GHz)	ความกว้างพัลส์ FWHM (ps)
แบนด์วิธที่ไม่จำกัด	2.42
20	16.96
10	43.17
1.25	-

ตารางที่ 4.9 BER ของ ACP ของผู้ใช้บริการที่ใช้ รหัส#3 และกำลังส่งสัญญาณ peak power เท่ากับ 10 dBm ที่ใช้แบนด์วิธของวงจรกรองผ่านต่ำต่างกัน

แบนด์วิธของวงจรกรองผ่านต่ำ (GHz)	BER
แบนด์วิธที่ไม่จำกัด	1.20×10^{-4}
20	1.54×10^{-3}
10	1.08×10^{-2}
1.25	-



รูปที่ 4.7 Eye-diagram ของ ACP ของผู้ให้บริการที่ใช้ รหัส#3 ในระบบ OCDMA-PON ที่มี ผู้ให้บริการ 16 รายที่ผ่านวงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ต่างกัน (ก) แบนด์วิดท์ไม่จำกัด (ข) 20 GHz (ค) 10 GHz (ง) 1.25 GHz

จากผลการทดลองส่งสัญญาณ OCDMA-PON ในระบบที่มีผู้ให้บริการ 4 8 และ 16 ราย ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อกำลังของสัญญาณแสงที่ตัวรับลดน้อยลงทำให้ความต่างระหว่างบิต "1" และ "0" ลดน้อยลง ทำให้ค่า BER ที่คำนวณได้จากสมการที่ (3.1) เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ปัจจัยที่ทำให้กำลังของสัญญาณแสงที่ตัวรับลดน้อยลงนอกจากอัตราการแบ่งสัญญาณที่ต่างกันแล้ว ยังมีผลของแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำที่ใช้ด้วย ซึ่งจะได้อธิบายในหัวข้อที่ 4.4-4.6

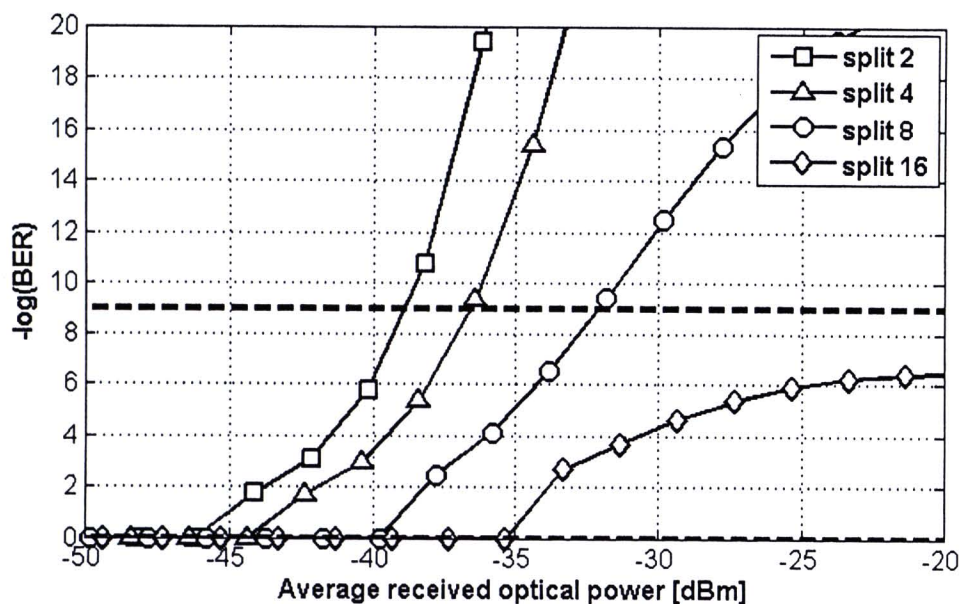
4.4 สมรรถนะของ OCDMA-PON สำหรับผู้ให้บริการ 2 4 8 และ 16 ราย โดยใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ไม่จำกัด

ในหัวข้อที่แล้วได้ทำการจำลองสัญญาณของระบบ OCDMA-PON โดยใช้กำลังส่งสัญญาณ peak power เท่ากับ 10 dBm/ผู้ให้บริการ 1 ราย มี split ratio และใช้แบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำต่างกัน เพื่อแสดงให้เห็นถึงลักษณะของสัญญาณทางเวลาของ ACP โดยเมื่อ split ratio ที่สูงและใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์แคบ จะทำให้กำลังของสัญญาณ ACP ต่ำลง และส่งผลให้ค่า BER สูงขึ้นตามทฤษฎี

สำหรับหัวข้อนี้จะพิจารณาค่ากำลังของสัญญาณแสงเฉลี่ยที่ตัวรับกับค่า BER เพื่อแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของค่า BER ของผู้ให้บริการในระบบที่มีจำนวนผู้ให้บริการต่างกัน ในที่นี่จะใช้แบบจำลองในรูปที่ 4.1 โดยที่ค่า N เท่ากับ 2 4 8 และ 16 รายตามลำดับ ใช้ตัวส่งสัญญาณส่งสัญญาณแสงที่มีความยาวคลื่นเท่ากับ 1,490 nm ที่อัตราบิตเท่ากับ 1.25 Gbps/ผู้ให้บริการ 1 ราย ส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแสงชนิดโหมดเดียวความยาว 20 km ค่าคงตัวของการลดทอนของเส้นใยแสงเท่ากับ 0.2 dB/km ค่าดิสเพอร์ชันที่ความยาวคลื่น 1,490 nm เท่ากับ 13.79 ps/nm·km ค่าความชันดิสเพอร์ชันที่ความยาวคลื่น 1,490 nm เท่ากับ 0.0642 ps/nm·km² และเส้นใยแสงชดเชยดิสเพอร์ชันที่ชดเชยความชันดิสเพอร์ชันความยาว 263.09 m ค่าดิสเพอร์ชันที่ความยาวคลื่น 1,490 nm เท่ากับ -1,048.56 ps/nm × km ค่าความชันดิสเพอร์ชันที่ความยาวคลื่น 1,490 nm เท่ากับ -4.8825 ps/nm × km² เมื่อสัญญาณของผู้ให้บริการแต่ละรายถูก decode อย่างถูกต้องแล้วก็จะแปลง ACP จากสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่ PIN โดยในกรณีนี้จะใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ไม่จำกัดในการกรองสัญญาณ

รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BER ที่วัดได้จาก ACP หลังผ่านวงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ไม่จำกัด โดยเลือกผู้ให้บริการรายที่มี BER แย่ที่สุดของระบบที่มีผู้ให้บริการ 2 4 8 และ 16 รายตามลำดับ กับค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณแสงในช่วงเวลา 1 คาบของบิตที่เครื่องรับ หลังจากผ่าน decoder จะเห็นได้ว่าเมื่อกำลังของสัญญาณแสงเฉลี่ยที่เครื่องรับมากขึ้นทำให้ค่า BER ดีขึ้น โดยผู้ให้บริการทุกรายมีค่า BER น้อยกว่า 10^{-9} ที่กำลังของสัญญาณแสงเฉลี่ยที่เครื่องรับเท่ากับ -38.9 dBm สำหรับระบบที่มีผู้ให้บริการ 2 ราย ค่า BER ของผู้ให้บริการทุกรายมีค่าน้อยกว่า 10^{-9} ที่กำลังของสัญญาณแสงเฉลี่ยที่เครื่องรับเท่ากับ -36.57 dBm สำหรับระบบที่มีผู้ให้บริการ 4 ราย ค่า BER ของผู้ให้บริการทุกรายมีค่าน้อยกว่า 10^{-9} ที่กำลังของสัญญาณแสงเฉลี่ยที่เครื่องรับเท่ากับ -32.1 dBm สำหรับระบบที่มีผู้ให้บริการ 8 ราย และค่า BER มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆเมื่อเพิ่มกำลังของสัญญาณแสงเฉลี่ยที่เครื่องรับให้มากขึ้น และสำหรับระบบที่มี

ผู้ให้บริการ 16 รายมีค่า BER มากกว่า 10^{-9} ที่ทุกค่าของกำลังของสัญญาณแสงเฉลี่ยที่เครื่องรับ โดยมีค่า BER ลดลงเข้าสู่ 10^{-7} เมื่อกำลังของสัญญาณแสงเฉลี่ยที่เครื่องรับมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ นอกจากนี้แล้วผลที่ได้จากการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.8 ซึ่งสามารถรองรับผู้ให้บริการได้ 8 ราย มีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากการคำนวณจากสมการดังแสดงในรูปที่ 3.15 ที่สามารถรองรับผู้ให้บริการได้ 9 ราย

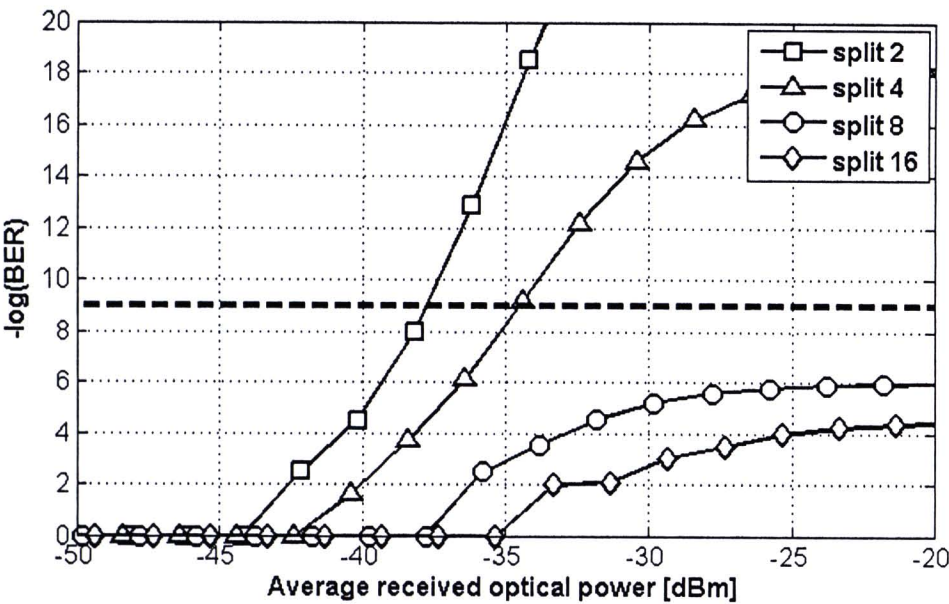


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของ BER ของ ACP ของผู้ให้บริการที่มีค่า BER แย่ที่สุดจากระบบที่มีผู้ให้บริการ 2 4 8 และ 16 รายตามลำดับ กับค่ากำลังของสัญญาณแสงเฉลี่ยที่เครื่องรับเมื่อใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ไม่จำกัด

4.5 สมรรถนะของ OCDMA-PON สำหรับผู้ให้บริการ 2 4 8 และ 16 ราย โดยใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 20 GHz

เมื่อลดแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำลง มีผลทำให้คุณภาพของสัญญาณลดลง เนื่องจากองค์ประกอบความถี่สูงของ ACP ถูกกำจัดทิ้งไปดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.1 เมื่อพิจารณาระบบที่มีผู้ให้บริการ 2 ราย ค่า BER ของผู้ให้บริการทุกรายมีค่าน้อยกว่า 10^{-9} ที่ค่ากำลังของสัญญาณแสงเฉลี่ยที่เครื่องรับเท่ากับ -37.79 dBm เพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.11 dB เมื่อเทียบกับกรณีแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำไม่จำกัด สำหรับระบบที่มีผู้ให้บริการ 4 ราย ค่า BER ของผู้ให้บริการทุกรายมีค่าน้อยกว่า 10^{-9} ที่ค่ากำลังของสัญญาณแสงเฉลี่ยที่เครื่องรับเท่ากับ -34.51

dBm เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.06 dB เมื่อเทียบกับกรณีแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำไม่จำกัด และค่า BER มีแนวโน้มน้อยลงเรื่อยๆเมื่อเพิ่มกำลังส่งสัญญาณให้มากขึ้น สำหรับระบบที่มีผู้ใช้บริการ 8 และ 16 ราย มีค่า BER มากกว่า 10^{-9} ที่ทุกค่าของกำลังของสัญญาณแสงตัวรับดังแสดงในรูปที่ 4.9

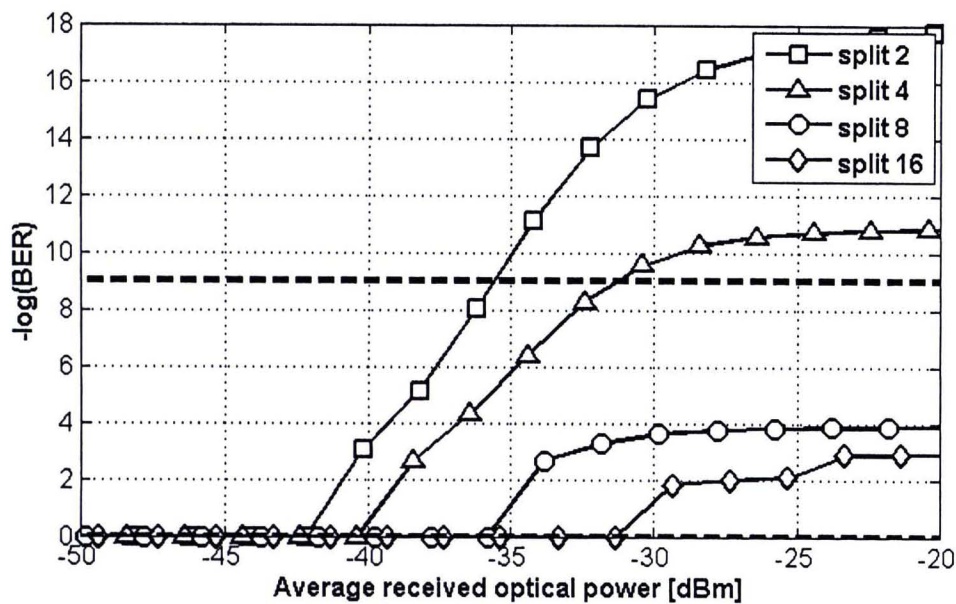


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของ BER ของ ACP ของผู้ใช้บริการที่มีค่า BER แยกที่สุดจากระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 4 8 และ 16 รายตามลำดับ กับค่ากำลังของสัญญาณแสงเฉลี่ยที่เครื่องรับเมื่อใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 20 GHz

4.6 สมรรถนะของ OCDMA-PON สำหรับผู้ใช้บริการ 2 4 8 และ 16 ราย โดยใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 10 GHz

เมื่อลดแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำลงมาอีกที่ 10 GHz ทำให้ ACP มีค่าน้อยลง ส่งผลให้ค่า BER ที่วัดได้ระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 4 8 และ 16 รายนั้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.10 อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 ราย ค่า BER ของผู้ใช้บริการทุกรายมีค่าน้อยกว่า 10^{-9} ที่ค่ากำลังของสัญญาณแสงเฉลี่ยที่เครื่องรับเท่ากับ -37.76 dBm เพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.14 dB เมื่อเทียบกับกรณีแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำไม่จำกัด สำหรับระบบที่มีผู้ใช้บริการ 4 ราย ค่า BER ของผู้ใช้บริการทุกรายมีค่าน้อยกว่า 10^{-9} ที่ค่ากำลังของสัญญาณแสงเฉลี่ยที่

เครื่องรับเท่ากับ -34.5 dBm เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.07 dB เมื่อเทียบกับกรณีแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำไม่จำกัด และค่า BER มีแนวโน้มน้อยลงเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มกำลังส่งสัญญาณให้มากขึ้น สำหรับระบบที่มีผู้ให้บริการ 8 และ 16 ราย มีค่า BER มากกว่า 10^{-9} ที่ทุกค่าของกำลังของสัญญาณแสงตัวรับดังแสดงในรูปที่ 4.10



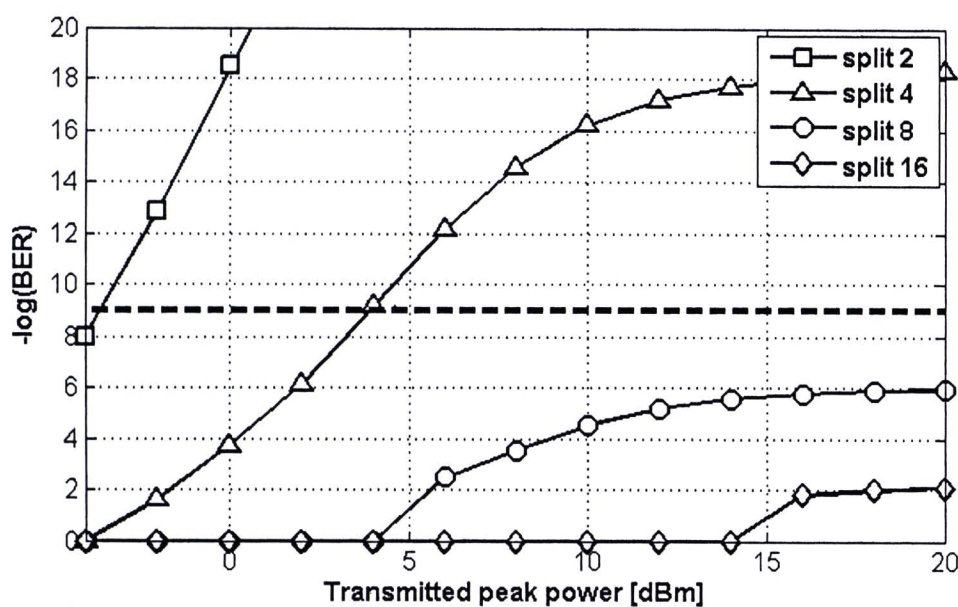
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของ BER ของ ACP ของผู้ให้บริการที่มีค่า BER แยกที่สุดจากระบบที่มีผู้ให้บริการ 2 4 8 และ 16 รายตามลำดับ กับค่ากำลังของสัญญาณแสงเฉลี่ยที่เครื่องรับเมื่อใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 10 GHz

ผลของการส่งสัญญาณ OCDMA-PON โดยใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์ต่างกันที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 4.4-4.6 แสดงให้เห็นว่า การใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์มากจะทำให้ได้ค่า BER ที่ดีกว่า เนื่องจากทุกองค์ประกอบความถี่ของ ACP ดังกล่าวจะผ่านวงจรกรองไปได้มากกว่า ทำให้ ACP มีกำลังของสัญญาณที่สูง และมีความต่างของบิต "1" และ "0" ณ ตำแหน่งกึ่งกลางบิตสูงที่สุด (eye-opening กว้างที่สุด) ทำให้ค่ามี BER น้อยที่สุดด้วย ดังแสดงในระบบที่มีผู้ให้บริการ 8 รายสามารถให้บริการที่ค่า BER น้อยกว่า 10^{-9} เมื่อใช้แบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำแบบไม่จำกัด แต่เมื่อลดแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำเหลือ 20 GHz และ 10 GHz ทำให้ไม่สามารถให้บริการได้ที่ค่า BER น้อยกว่า 10^{-9} ที่ทุกค่าของกำลังของสัญญาณแสงที่ตัวรับ

4.7 ระยะทางไกลที่สุดของระบบ OCDMA-PON ที่สามารถให้บริการได้

ในส่วนนี้จะทำการหาระยะทางที่ไกลที่สุดในการวางเส้นใยแสงเชื่อมต่อระหว่าง OLT กับ ONU สำหรับระบบ OCDMA-PON ที่มีจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 2, 4, 8 และ 16 รายตามลำดับที่อัตราบิตเท่ากับ 1.25 Gbps ต่อผู้ใช้บริการ 1 ราย โดยใช้กำลังส่งสัญญาณ peak power คงที่ที่ 10 dBm และใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 20 GHz โดยมีเงื่อนไขที่ว่าค่า BER ของผู้ใช้บริการทุกรายต้องมีค่ามากที่สุดไม่เกิน 10^{-9} ซึ่งระยะทางที่ไกลที่สุดของแต่ละระบบจะถูกจำกัดโดยค่า BER ของผู้ใช้บริการรายที่มีค่า BER มากที่สุด (แต่อย่างไรก็ตามต้องมีค่าไม่เกิน 10^{-9}) ทำให้สามารถรับประกันได้ว่าผู้ใช้บริการรายอื่นๆในระบบยังคงสามารถสื่อสารข้อมูลโดยมีค่า BER ไม่เกิน 10^{-9} โดยรูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางในการให้บริการของระบบ OCDMA-PON ที่มีจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 2 4 8 และ 16 รายกับค่า BER ที่ของผู้ใช้บริการในระบบที่แย่ที่สุด ซึ่งระยะทางที่ไกลสุดที่สามารถให้บริการได้สำหรับทุกระบบแสดงดังตารางที่ 4.10 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า BER มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆเมื่อเพิ่มระยะทางในการส่งสัญญาณ เนื่องมาจากการสูญเสียกำลังของสัญญาณที่เดินทางในเส้นใยแสงตามสมการ (2.3) ดังนั้นกำลังของสัญญาณ ACP ที่ได้นั้นมีค่าน้อยลงเรื่อยๆ ทำให้ความต่างของบิต "1" และ "0" ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของ ACP มีน้อยลง ทำให้ค่า BER ที่คำนวณได้มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้ระยะทางที่ไกลที่สุดที่สามารถให้บริการได้สำหรับระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 และ 4 รายเท่ากับ 89 และ 48.5 km ในขณะที่ระบบที่มีผู้ใช้บริการ 8 และ 16 ราย ไม่สามารถให้บริการได้เนื่องจากค่า BER ของผู้ใช้บริการทุกรายในระบบมีค่ามากกว่า 10^{-9}

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังส่งสัญญาณ peak power ของระบบ OCDMA-PON ที่มีจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 2, 4, 8 และ 16 รายกับค่า BER ที่ของผู้ใช้บริการในระบบที่แย่ที่สุด ซึ่งกำลังส่งสัญญาณ peak power ที่น้อยที่สุดที่สามารถให้บริการได้สำหรับทุกระบบแสดงดังตารางที่ 4.11 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า BER มีค่าลดน้อยลงเรื่อยๆเมื่อเพิ่มกำลังส่งสัญญาณมากขึ้น ดังนั้นกำลังของสัญญาณ ACP ที่ได้นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ความต่างของบิต "1" และ "0" ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของ ACP มีมากขึ้น ทำให้ค่า BER ที่คำนวณได้มีค่าน้อยลง ทั้งนี้กำลังส่งสัญญาณ peak power ที่น้อยที่สุดที่สามารถให้บริการได้สำหรับระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 และ 4 รายเท่ากับ -3.5 และ 4 dBm ในขณะที่ระบบที่มีผู้ใช้บริการ 8 และ 16 ราย ไม่สามารถให้บริการได้เนื่องจากค่า BER ของผู้ใช้บริการทุกรายในระบบมีค่ามากกว่า 10^{-9} สำหรับทุกค่าของกำลังส่งสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังส่งสัญญาณ peak power กับค่า BER ของผู้ใช้บริการรายที่มีค่า BER แย่ที่สุด

ตารางที่ 4.11 กำลังส่งสัญญาณ peak power ที่น้อยที่สุดที่สามารถให้บริการได้ของระบบ OCDMA-PON

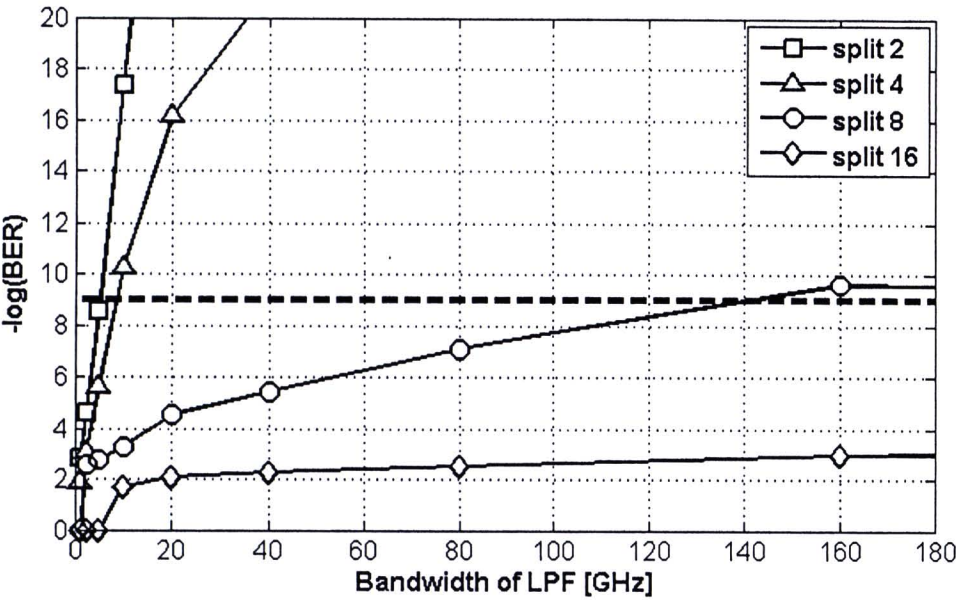
จำนวนผู้ใช้บริการในระบบ (คน)	กำลังส่งสัญญาณ peak power (dBm)
2	-3.5
4	4
8	-
16	-

4.9 แบนด์วิดท์ที่น้อยที่สุดของวงจรกรองผ่านต่ำในระบบ OCDMA-PON ที่สามารถให้บริการได้

ในส่วนนี้จะทำการหาแบนด์วิดท์ที่น้อยที่สุดของวงจรกรองผ่านต่ำที่ใช้ได้สำหรับ ผู้ใช้บริการแต่ละรายสำหรับระบบ OCDMA-PON ที่มีจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 2, 4, 8 และ 16 รายตามลำดับที่อัตราบิตเท่ากับ 1.25 Gbps ต่อผู้ใช้บริการ 1 รายเป็นระยะทาง 20 km และใช้ กำลังส่งสัญญาณ peak power เท่ากับ 10 dBm โดยมีเงื่อนไขเช่นเดียวกันกับในหัวข้อที่ 4.4 รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำของระบบ OCDMA-PON ที่มี จำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 2, 4, 8 และ 16 รายกับค่า BER ที่ของผู้ใช้บริการในระบบที่แย่งที่สุด ซึ่ง แบนด์วิดท์ที่น้อยที่สุดของวงจรกรองผ่านต่ำที่สามารถให้บริการได้สำหรับทุกระบบแสดงดังตาราง ที่ 4.12 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า BER มีค่าน้อยลงเรื่อยๆเมื่อเพิ่มแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำให้ มากขึ้นเนื่องจากองค์ประกอบความถี่สูงของสัญญาณถูกกรองออกไปน้อยลง ทำให้กำลังของ สัญญาณ ACP ที่ได้นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้ให้ความต่างของบิต "1" และ "0" ณ ตำแหน่ง กึ่งกลางของ ACP มีมากขึ้น ทำให้ค่า BER ที่คำนวณได้มีค่าน้อยลง ทั้งนี้แบนด์วิดท์ที่น้อยที่สุด ของวงจรกรองผ่านต่ำที่ให้บริการได้สำหรับระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2, 4 และ 8 รายเท่ากับ 5.27, 8.65 และ 141.1 GHz ในขณะที่ระบบที่มีผู้ใช้บริการ 16 ราย ไม่สามารถให้บริการได้เนื่องจากค่า BER ของผู้ใช้บริการทุกรายในระบบมีค่ามากกว่า 10^{-9} สำหรับทุกค่าของแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่าน ต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.13

การเพิ่มแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำให้สูงขึ้นถึง 141.1 GHz ทำให้สามารถรองรับ จำนวนผู้ใช้บริการได้ถึง 8 รายตามข้อจำกัดของ encoder/decoder ที่ใช้จำนวนชิปเท่ากับ 511

ชิป ดังแสดงในรูปที่ 3.14 และ 3.19 เนื่องจากพัลส์แสงจะมีขนาดแคบและมีกำลังของสัญญาณที่สูง องค์ประกอบความถี่สูงไม่ถูกกรองทิ้งออกไปมากนัก ค่าของ P_d ที่ใช้ในการคำนวณในสมการที่ (3.21) จึงมีค่ามากขึ้นและทำให้ค่า BER ลดน้อยลง สำหรับระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 16 รายไม่สามารถให้บริการด้วยค่า BER ที่น้อยกว่า 10^{-9} ถึงแม้ว่าจะเพิ่มแบนด์วิดท์ของวงจรผ่านต่ำมากขึ้นเรื่อยๆก็ตาม เนื่องมาจากข้อจำกัดของ σ_{beat-1}^2 และ σ_{MAI}^2 ที่เกิดจากการใช้ encoder/decoder ที่ใช้จำนวนชิปเท่ากับ 511 ชิปทำให้สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการมากที่สุดเท่ากับ 8 รายดังแสดงในรูปที่ 3.15 อย่างไรก็ตามการเพิ่มแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำให้สูงขึ้นเป็นการเพิ่มต้นทุนของระบบเนื่องจากความซับซ้อนในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ความเร็วสูง



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำที่ใช้ได้กับค่า BER ของผู้ใช้บริการรายที่มีค่า BER แย่ที่สุด

ตารางที่ 4.12 แบนด์วิดท์ที่น้อยที่สุดของวงจรกรองผ่านต่ำที่สามารถให้บริการได้ของระบบ OCDMA-PON

จำนวนผู้ใช้บริการในระบบ (คน)	แบนด์วิดท์ที่น้อยที่สุดของวงจรกรองผ่านต่ำ (GHz)
2	5.27
4	8.65
8	141.1
16	-

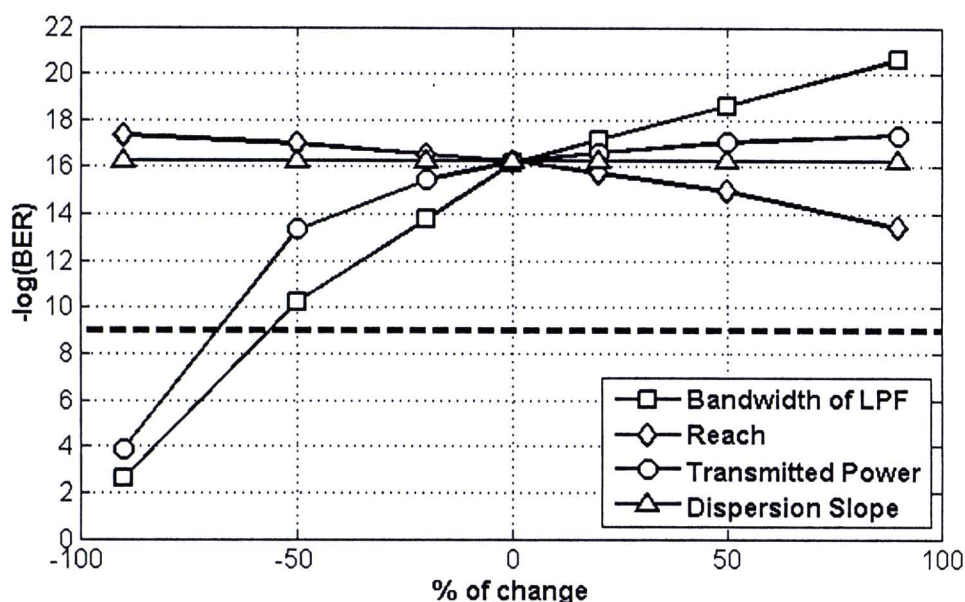
4.10 ความไวของสมรรถนะต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบ OCDMA-PON

ในหัวข้อที่ 4.4-4.6 ได้แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของ BER เมื่อเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในการส่งสัญญาณ ได้แก่ ระยะทางในการให้บริการ กำลังส่งสัญญาณ peak power และแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำ ซึ่ง BER จะมีค่าน้อยลงก็ต่อเมื่อลดระยะทางในการส่งสัญญาณให้สั้นลง, เพิ่มกำลังส่งสัญญาณให้มากขึ้น และเพิ่มแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำให้มากขึ้น แต่ทั้งนี้ไม่ได้มีการเปรียบเทียบระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆว่าค่าพารามิเตอร์ใดมีผลต่อค่า BER มากกว่ากัน โดยในหัวข้อนี้จะเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์แต่ละตัวที่ส่งผลต่อค่า BER สำหรับระบบ OCDMA-PON ที่มีจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 4 และ 8 ราย ตามลำดับ

4.10.1 ความไวของสมรรถนะต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบ OCDMA-PON ที่มีจำนวนผู้ใช้บริการ 4 ราย

ในเบื้องต้นทำการจำลองส่งสัญญาณโดยมีผู้ใช้บริการในระบบเท่ากับ 4 ราย กำลังส่งสัญญาณ peak power เท่ากับ 10 dBm ความยาวของเส้นใยแสงเท่ากับ 20 km และแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำเท่ากับ 20 GHz ตามลำดับ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงกับค่า BER แสดงดังในรูปที่ 4.14 โดยเมื่อลดแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำลง 90% ค่า BER เพิ่มขึ้นจาก 10^{-17} เหลือ 10^{-3} เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นประมาณ 10^{-14} เท่า ในขณะที่เมื่อเพิ่มแบนด์วิดท์สูงขึ้น 90% ค่า BER ลดลงจาก 10^{-17} เป็น 10^{-21} เปลี่ยนแปลงลดลงประมาณ 10^4 เท่า เป็น

ตัน ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างกับค่า BER ที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นจำนวนเท่าแสดงดังตารางที่ 4.13 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าเมื่อลดแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำ, กำลังส่งสัญญาณ, ค่าความชันดิสเพอร์ชันและการเพิ่มระยะทางการส่งสัญญาณให้ไกลขึ้นจะทำให้ค่า BER เพิ่มขึ้น โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า BER มากที่สุดก็คือแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำ ซึ่งเมื่อลดแบนด์วิดท์ลง 90% จะทำให้ค่า BER เพิ่มขึ้นถึง 3.45×10^{13} เท่า ในทำนองเดียวกันเมื่อเพิ่มแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำ, กำลังส่งสัญญาณ ค่าความชันดิสเพอร์ชันและการลดระยะทางการส่งสัญญาณให้สั้นลงจะทำให้ค่า BER ลดน้อยลง โดยปัจจัยที่มีผลต่อการลดลงของค่า BER มากที่สุดก็คือแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำ ซึ่งเมื่อเพิ่มแบนด์วิดท์ขึ้น 90% จะทำให้ค่า BER ลดลงถึง 2.98×10^4 เท่า



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆกับค่า BER ของระบบที่มีผู้ใช้บริการ 4 ราย

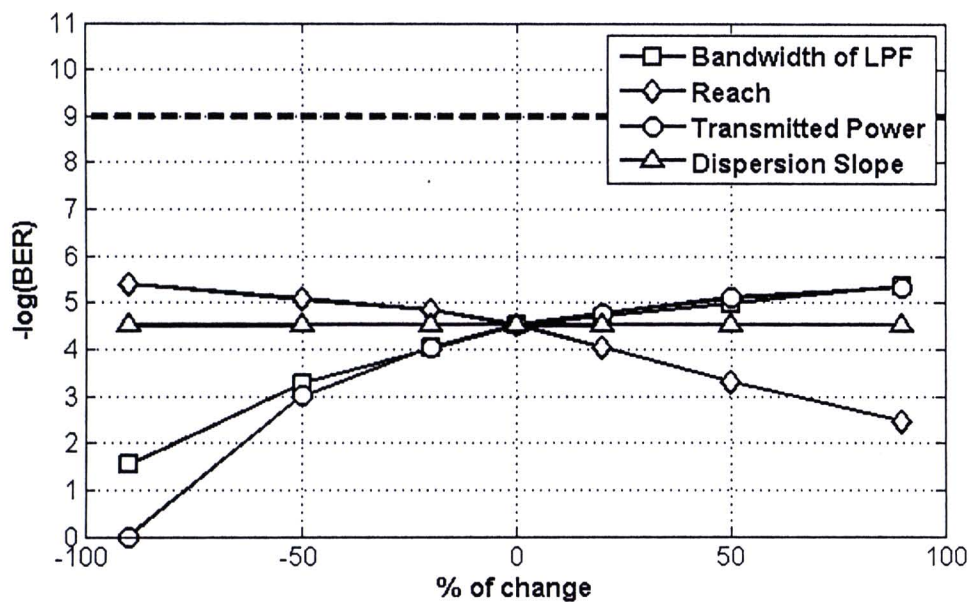
ตารางที่4.13 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างกับค่า BER ที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นจำนวนเท่าของระบบที่มีผู้ใช้บริการ 4 ราย

อัตราการเปลี่ยนแปลง (%)	ค่า BER ที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นจำนวนเท่า			
	แบนด์วิธของวงจรกรองผ่านต่ำ	ระยะทาง	กำลังส่งสัญญาณ peak power	ค่าความชันดิสเพอร์ชัน
-90	$+ 3.45 \times 10^{13}$	-12	$+ 2.33 \times 10^{12}$	+0.99
-50	$+ 8.04 \times 10^5$	-5.58	+715.23	+0.98
-20	+231.53	-1.99	+5.94	+0.98
0	0	0	0	0
20	-9.97	+3.23	-2.39	-1
50	-305	+19.15	-6.95	-1.01
90	$- 2.98 \times 10^4$	+669.59	-14.6	-1.01

4.10.2 ความไวของสมรรถนะต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบ OCDMA-PON ที่มีจำนวนผู้ใช้บริการ 8 ราย

ในหัวข้อนี้ทำการจำลองส่งสัญญาณโดยมีผู้ใช้บริการในระบบเท่ากับ 8 ราย กำลังส่งสัญญาณ peak power เท่ากับ 10 dBm ความยาวของเส้นใยแสงเท่ากับ 20 km และแบนด์วิธของวงจรกรองผ่านต่ำเท่ากับ 20 GHz ตามลำดับ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงกับค่า BER แสดงดังในรูปที่ 4.15 โดยเมื่อลดแบนด์วิธของวงจรกรองผ่านต่ำลง 90% ค่า BER เพิ่มขึ้นจาก 10^{-5} เป็น 10^{-2} เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 10^3 เท่า ในขณะที่เมื่อเพิ่มแบนด์วิธสูงขึ้น 90% ค่า BER ลดลงจาก 10^{-5} เป็น 10^{-6} เปลี่ยนแปลงลดลงประมาณ 10 เท่า เป็นต้น ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างกับค่า BER ที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นจำนวนเท่าแสดงดังตารางที่ 4.9 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าเมื่อลดแบนด์วิธของวงจรกรองผ่านต่ำ, กำลังส่งสัญญาณ, ค่าความชันดิสเพอร์ชันและการเพิ่มระยะทางการส่งสัญญาณให้ไกลขึ้นจะทำให้ค่า BER เพิ่มขึ้น โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า BER มากที่สุดก็คือกำลังในการส่งสัญญาณ ซึ่งเมื่อลดกำลังส่งสัญญาณลง 90% จะทำให้ค่า BER เพิ่มขึ้นถึง 3.24×10^4 เท่า ในขณะที่การลดแบนด์วิธของวงจรกรองผ่านต่ำและค่าความชันดิสเพอร์ชันให้น้อยลง 90% และการเพิ่มระยะทางการส่งสัญญาณให้ไกลขึ้น 90% จะทำให้ค่า BER

เพิ่มขึ้น 925.32, 0.98 และ 107.79 เท่าตามลำดับ ในทำนองเดียวกันเมื่อเพิ่มแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำ กำลังส่งสัญญาณ ค่าความชันดิสเพอร์ชันและการลดระยะทางการส่งสัญญาณให้สั้นลงจะทำให้ค่า BER ลดน้อยลง โดยปัจจัยที่มีผลต่อการลดลงของค่า BER มากที่สุดก็คือการลดระยะทางการส่งสัญญาณให้สั้นลง ซึ่งเมื่อลดระยะทางลง 90% จะทำให้ค่า BER ลดลงถึง 8.11 เท่า ในขณะที่การเพิ่มแบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำ กำลังส่งสัญญาณ และค่าความชันดิสเพอร์ชันมากขึ้น 90% จะทำให้ค่า BER ลดลง 7.06 6.75 และ 1 เท่าตามลำดับ



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆกับค่า BER ของระบบที่มีผู้ให้บริการ 8 ราย



ตารางที่ 4.14 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างกับค่า BER ที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นจำนวนเท่าของระบบที่มีผู้ใช้บริการ 8 ราย

อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ (%)	ค่า BER ที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นจำนวนเท่า			
	แบนด์วิดท์ของวงจรกรองผ่านต่ำ	ระยะทาง	กำลังส่งสัญญาณ peak power	ค่าความชันดิสเพอร์ชัน
-90	+925.32	-8.11	$+3.24 \times 10^4$	+0.98
-50	+17.24	-3.59	+31.23	+0.99
-20	+3.13	-2.18	+2.94	+0.99
0	0	0	0	0
20	-1.59	+2.92	-1.86	-1
50	-2.96	+15.94	-3.94	-1.01
90	-7.06	+107.92	-6.75	-1.01