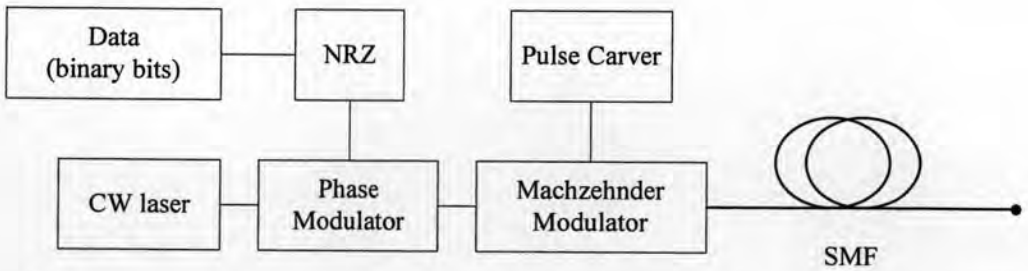
# บทที่ 5

# การวิเคราะห์ค่ากำลังสัญญาณสูงสุดเฉลี่ยตามระยะทางที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิต

ในบทที่ 3 ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์ค่ากำลังสัญญาณสูงสุดเฉลี่ยตามระยะทางที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่ส่งสัญญาณเพียงบิตเดียวเท่านั้น แต่ในการสื่อสัญญาณจริง ต้องใช้จำนวนบิตของข้อมูลเป็นจำนวนมากมายหลายบิต ดังนั้นในบทนี้จึงจะทำการวิเคราะห์ค่ากำลังสัญญาณสูงสุดเฉลี่ยตามระยะทางที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่ส่งสัญญาณหลายบิต เพื่อให้การวิเคราะห์ระบบการสื่อสัญญาณทางแสงมีประสิทธิภาพ ถูกต้อง และแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยจะทำการจำลองระบบโดยคอมพิวเตอร์เพื่อดูลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกำลังสัญญาณเมื่อทำการเพิ่มจำนวนบิตในการสื่อสัญญาณให้มากขึ้น จากนั้นจะทำการหาค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของแต่ละการสื่อสัญญาณ แล้วทำการหาความสัมพันธ์ทางเลขระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณเพียงหนึ่งบิตกับกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณแบบหลายบิต โดยจะวิเคราะห์ทั้งในระบบการสื่อสัญญาณที่ใช้การมอดูเลตทางความเข้มแสง และการสื่อสัญญาณที่ใช้การมอดูเลตแบบดีพีเอสเค แล้ววิเคราะห์หาค่ากำลังสัญญาณสูงสุดเฉลี่ยที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ระบบที่มีการสื่อสัญญาณแบบหลายบิตต่อไป

## 5.1 คุณสมบัติของแบบจำลองการสื่อสัญญาณผ่านเส้นใยแสงด้วยการมอดูเลตแบบดีพีเอสเคเพื่อใช้ในการวิเคราะห์กำลังสัญญาณเฉลี่ย




**รูปที่** 5.1 แผนภาพบล็อกของแบบจำลองระบบสื่อสัญญาณผ่านเส้นใยแสงด้วยการมอดูเลตแบบดีพีเอสเค

รูปที่ 5.1 แสดงถึงแบบจำลองระบบสื่อสัญญาณผ่านเส้นใยแสงด้วยการมอดูเลตแบบดีพีเอสเค เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยตามระยะทางที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่ส่งสัญญาณหลายบิต ซึ่งประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดแสงความถี่เดียวด้วยกำลังงานต่างกัน สัญญาณข้อมูล pseudo random จำนวนบิตต่างกัน ที่อัตราข้อมูล 40 Gbps อุปกรณ์มอดูเลตเฟส อุปกรณ์เกลาสัญญาณ เพื่อแปลงสัญญาณขาเข้า Non-Return-to-Zero (NRZ) ให้กลายเป็นสัญญาณ 66%-RZ เส้นใยแสง SMF ที่มีการลดทอนกำลังงานสัญญาณ ($\alpha$) 0.2 dB/km และค่าดิสเพอร์ชั่นที่เกิดจากความเร็วกลุ่ม ($\beta_2$) = -20.78 $ps^2$/km

## 5.2 ผลลัพธ์ของแบบจำลองการสื่อสัญญาณผ่านเส้นใยแสงด้วยการมอดูเลตแบบดีพีเอสเคและการวิเคราะห์ค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ย

เพื่อทำการวิเคราะห์หาความเปลี่ยนแปลงของกำลังสัญญาณของระบบที่ทำการมอดูเลตแบบดีพีเอสเค ในกรณีที่มีการเพิ่มจำนวนบิตที่ใช้ในการสื่อสัญญาณ เราจึงได้ทำการจำลองระบบตามหัวข้อที่ 5.1 จากนั้นจึงนำค่ากำลังสัญญาณที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย โดยมีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

1. นำค่ากำลังสัญญาณที่สูงที่สุดของแต่ละบิตมาเฉลี่ย ยกตัวอย่างเช่น กรณีใช้ 64 บิต ในการสื่อสัญญาณ เมื่อสัญญาณเดินทางมาได้ระยะทางหนึ่งที่สนใจ ก็จะทำการหาค่ากำลังสัญญาณสูงสุดของทั้ง 64 บิต แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อให้ได้ค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่แต่ละระยะการสื่อสัญญาณ โดยจะคิดทุกๆ ระยะการสื่อสัญญาณ 1 km

2. นำค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของแต่ละระยะทางที่หาได้มาทำการหาค่าเฉลี่ยอีกครั้ง เช่น ในการสื่อสัญญาณที่ระยะทาง 50 km ก็จะทำการหาผลรวมของค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยที่หาได้จากข้อ 1 จากนั้นก็นำมาหารด้วย 50 เนื่องจากเราแบ่งช่วงที่ใช้ในการคำนวณไว้ที่ทุกๆ 1 km ก็จะได้ค่ากำลังสัญญาณสูงสุดเฉลี่ยตามระยะทางที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับกำลังสัญญาณเฉลี่ยในกรณีที่ส่งสัญญาณเพียงบิตเดียว

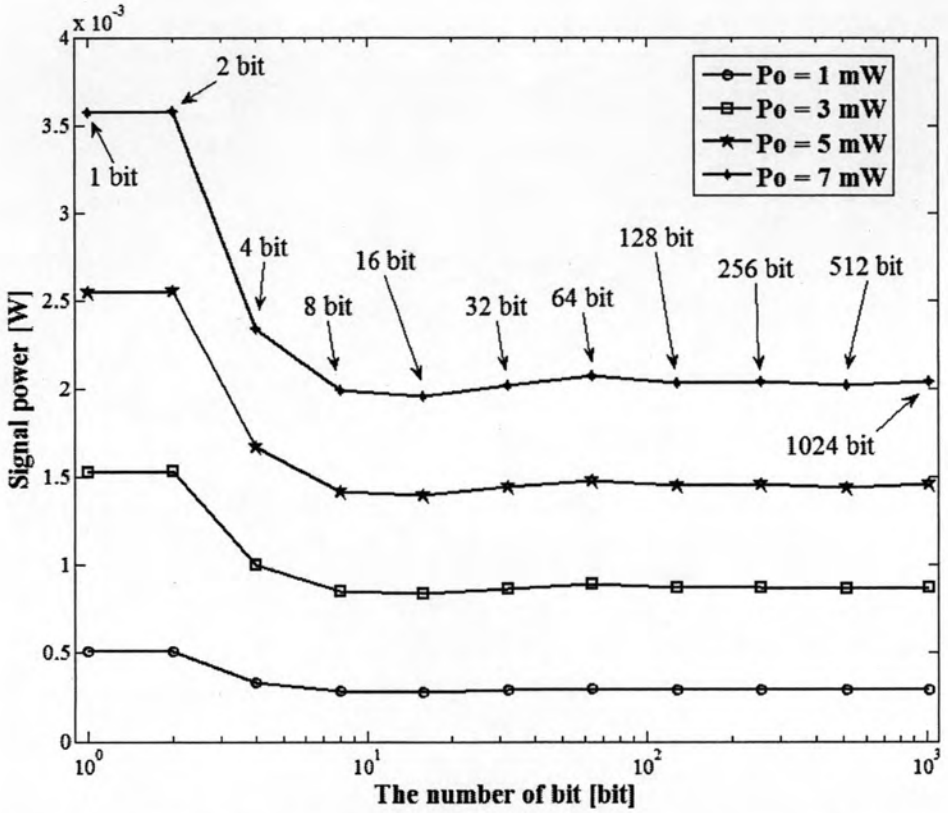
เมื่อได้ค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยจากขั้นตอนข้างต้นแล้ว ต่อมาจึงนำค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตที่หาได้ไปเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์กับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณ โดยจะทำการจำลองระบบที่มีจำนวนบิตเป็น 1 บิต, 2 บิต, 4 บิต, 8 บิต, 16 บิต, 32 บิต, 64 บิต, 128 บิต, 256 บิต, 512 บิต และ 1024 บิต ซึ่งแบ่งการจำลองระบบเป็น 2 ขั้น คือ ขั้นแรกจะทำการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังสัญญาณขาเข้าที่ระยะการสื่อสัญญาณ 50 km เพื่อวิเคราะห์ว่าค่ากำลังสัญญาณขาเข้ามีผลต่อลักษณะของกำลังสัญญาณเฉลี่ยและความสัมพันธ์ระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำ

การสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณอย่างไร โดยจะทำการวิเคราะห์ที่กำลังสัญญาณขาเข้าเป็น 1 mW, 3 mW, 5 mW และ 7 mW ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองระบบทำให้ได้ค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยและค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณ ดังตารางที่ 5.1

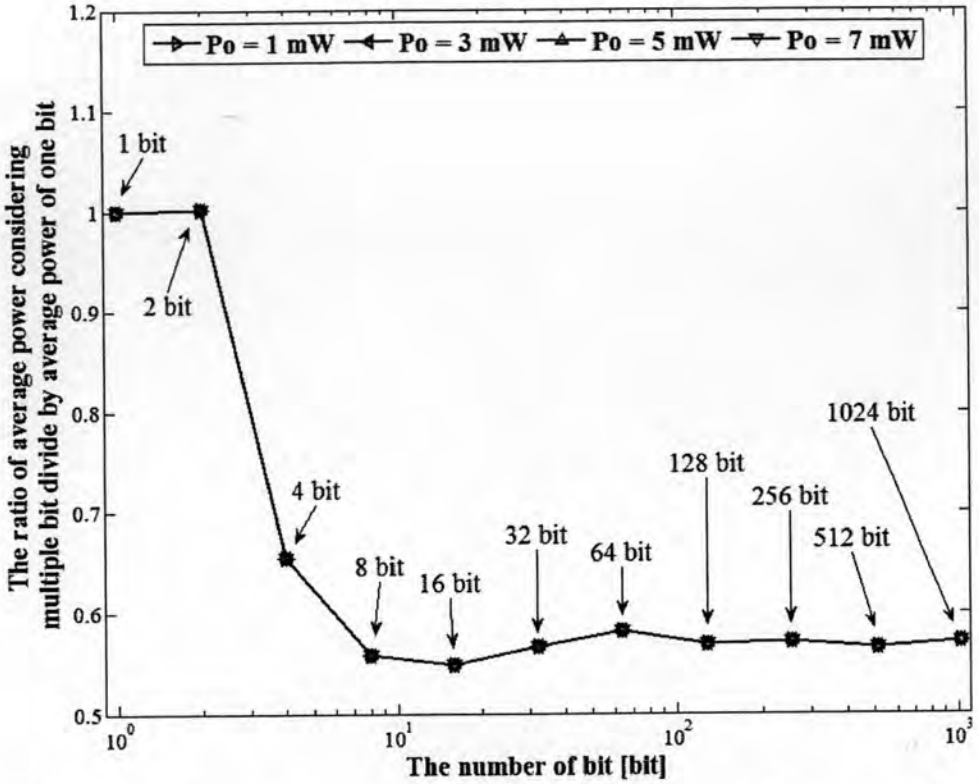
**ตารางที่** 5.1 ค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยและอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิต กับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณ ในระบบที่มีการมอดูเลตแบบดีพีเอสเค ที่กำลังสัญญาณขาเข้าเป็น 1 mW, 3 mW, 5 mW และ 7 mW ระยะการสื่อสัญญาณ คือ 50 km

| Input Power / The number of bit [bit] | 1 mW | | 3 mW | | 5 mW | | 7 mW | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{P}_{n\text{-bit}}$ [mW] | $\frac{\bar{P}_{n\text{-bit}}}{\bar{P}_{1\text{-bit}}}$ | $\bar{P}_{n\text{-bit}}$ [mW] | $\frac{\bar{P}_{n\text{-bit}}}{\bar{P}_{1\text{-bit}}}$ | $\bar{P}_{n\text{-bit}}$ [mW] | $\frac{\bar{P}_{n\text{-bit}}}{\bar{P}_{1\text{-bit}}}$ | $\bar{P}_{n\text{-bit}}$ [mW] | $\frac{\bar{P}_{n\text{-bit}}}{\bar{P}_{1\text{-bit}}}$ |
| 1 | 0.510071 | 1 | 1.530212 | 1 | 2.550353 | 1 | 3.570493 | 1 |
| 2 | 0.510898 | 1.001622843 | 1.532695 | 1.001622651 | 2.554493 | 1.001623205 | 3.576289 | 1.0016233 |
| 4 | 0.334262 | 0.6553259 | 1.002787 | 0.655325537 | 1.671312 | 0.655325884 | 2.339837 | 0.655326061 |
| 8 | 0.284428 | 0.557625382 | 0.853285 | 0.557625349 | 1.422142 | 0.557625464 | 1.990999 | 0.557625657 |
| 16 | 0.279956 | 0.548857233 | 0.839868 | 0.548857283 | 1.39978 | 0.548857266 | 1.959692 | 0.548857391 |
| 32 | 0.288626 | 0.565855208 | 0.865878 | 0.565854927 | 1.443131 | 0.565855341 | 2.020383 | 0.565855447 |
| 64 | 0.296717 | 0.581718061 | 0.890152 | 0.581718089 | 1.483587 | 0.581718135 | 2.077021 | 0.581718267 |
| 128 | 0.290132 | 0.568807064 | 0.870395 | 0.568806806 | 1.450659 | 0.568807094 | 2.030922 | 0.568807221 |
| 256 | 0.291546 | 0.57158033 | 0.874639 | 0.571580278 | 1.457732 | 0.571580408 | 2.040824 | 0.571580526 |
| 512 | 0.288318 | 0.565251085 | 0.864954 | 0.565251089 | 1.44159 | 0.565251133 | 2.018226 | 0.565251261 |
| 1024 | 0.291435 | 0.571362842 | 0.874306 | 0.571362661 | 1.457177 | 0.571362898 | 2.040048 | 0.571363026 |

เมื่อนำค่าที่ได้จากตารางที่ 5.1 มาวาดกราฟเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ จะได้ดังรูปที่ 5.2 และรูปที่ 5.3




**รูปที่** 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่เดินทางในระบบที่มีการมอดูเลตแบบดีพีเอสเคกับจำนวนบิตที่เปลี่ยนแปลง ที่กำลังสัญญาณขาเข้า 1 mW, 3 mW, 5 mW และ 7 mW ระยะในการสื่อสัญญาณ คือ 50 km




**รูปที่** 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณ กับจำนวนบิตที่เปลี่ยนแปลง ในระบบที่ทำการมอดูเลตแบบดีพีเอสเค ที่กำลังสัญญาณขาเข้า 1 mW, 3 mW, 5 mW และ 7 mW

จากรูปที่ 5.2 จะเห็นว่า ที่ทุกๆ กำลังสัญญาณขาเข้าที่สนใจ กำลังสัญญาณเฉลี่ยจะลดลงเมื่อจำนวนบิตที่ใช้ในการสื่อสัญญาณเพิ่มมากขึ้น และจะลู่เข้าค่าคงที่ค่าหนึ่ง เมื่อจำนวนบิตที่ใช้ในการสื่อสัญญาณมากกว่า 32 บิต และจากรูปที่ 5.3 จะเห็นว่าอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณจะใกล้เคียงกัน ในแต่ละจำนวนบิตในการสื่อสัญญาณที่เพิ่มมากขึ้นในทุกๆ ค่าของกำลังสัญญาณขาเข้าที่สนใจ ทั้งนี้เนื่องจาก ในการจำลองระบบในหัวข้อที่ 5.1 เพื่อหาค่ากำลังสัญญาณนั้น คำนึงถึงความผิดเพี้ยนของสัญญาณอันเนื่องมาจากการลดทอนของกำลังสัญญาณที่เดินทางในเส้นใยแสงและดิสเพอร์ชั่นของเส้นใยแสงเท่านั้น ไม่ได้คิดผลของความไม่เป็นเชิงเส้นของเส้นใยแสงด้วย ซึ่งทั้งค่าการลดทอนของกำลังสัญญาณที่เดินทางในเส้นใยแสงและค่าดิสเพอร์ชั่นของเส้นใยแสงนี้ไม่แปรผันตามค่ากำลังสัญญาณขาเข้า ไม่เหมือนกับความไม่เป็นเชิงเส้นของเส้นใยแสงซึ่งแปรผันโดยตรงกับกำลังสัญญาณขาเข้า ดังนั้นในการทดลองในหัวข้อ

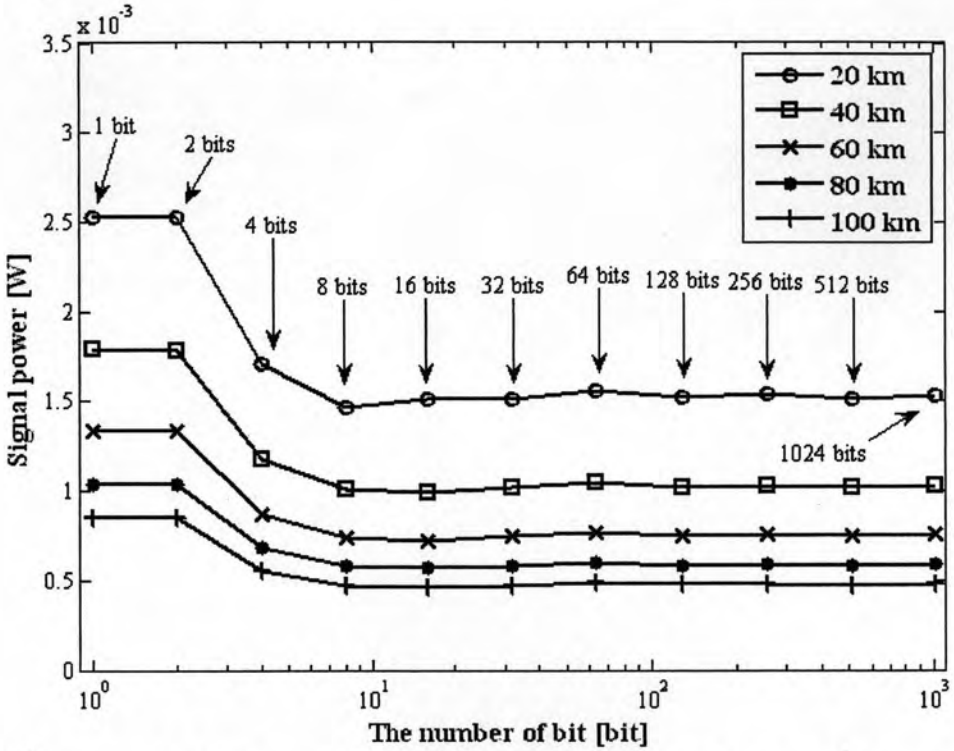
ที่ 5.1 ระบบที่มีค่ากำลังสัญญาณขาเข้าต่างกันจึงมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของกำลังสัญญาณที่คล้ายคลึงกัน และเมื่อนำค่ากำลังสัญญาณที่หาได้จากระบบที่มีค่ากำลังสัญญาณขาเข้าต่างกันมาใช้ในการหาค่าเฉลี่ยแล้วนำไปหาอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณ ค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณที่หาได้จึงมีค่าใกล้เคียงกัน นั่นทำให้สามารถสรุปได้ว่าค่ากำลังสัญญาณขาเข้าไม่มีผลต่อค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณ

เมื่อวิเคราะห์ได้แล้วว่าค่ากำลังสัญญาณขาเข้าไม่มีผลต่ออัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณ จากนั้นจึงทำการจำลองระบบใหม่อีกครั้ง ซึ่งในครั้งนี้จะทำการเปลี่ยนแปลงระยะทางที่ใช้ในการสื่อสัญญาณเป็น 20 km, 40 km, 60 km, 80 km และ 100 km ที่กำลังสัญญาณขาเข้าเป็น 3 mW ในขั้นตอนนี้ทำเพื่อวิเคราะห์ว่าระยะที่ใช้ในการสื่อสัญญาณมีผลต่ออัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณหรือไม่อย่างไร ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองระบบทำให้ได้ค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยและความสัมพันธ์ระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณ ดังตารางที่ 5.2

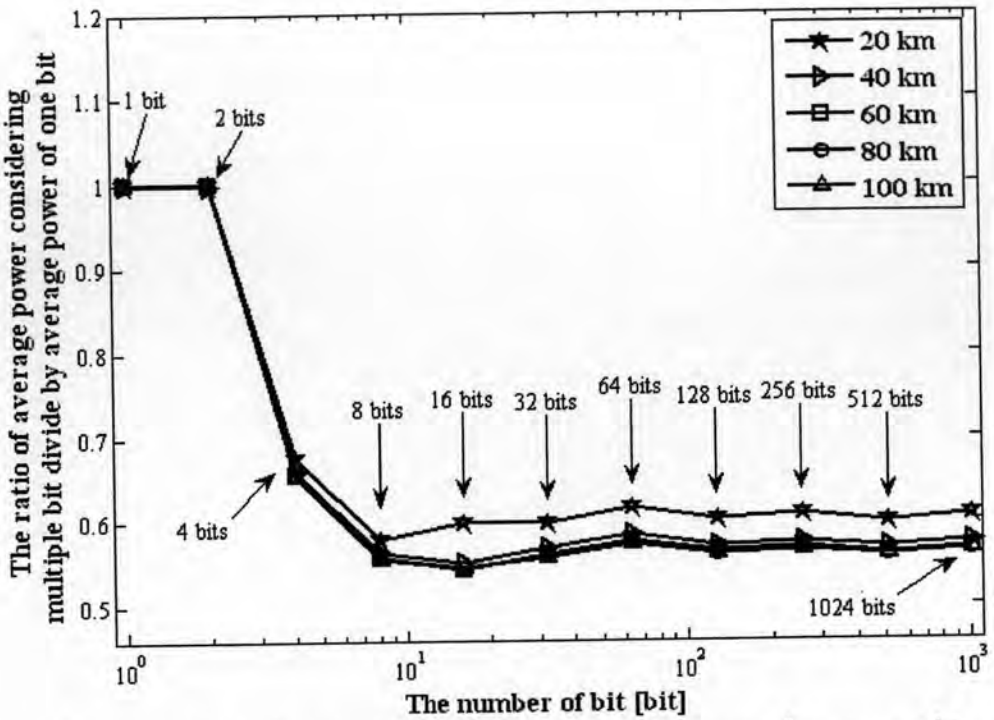
**ตารางที่** 5.2 ค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยและอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณ ในระบบที่มีการมอดูเลตแบบดีพีเอสเค ที่ระยะการสื่อสัญญาณเป็น 20 km, 40 km, 60 km, 80 km และ 100 km กำลังสัญญาณขาเข้า คือ 3 mW

| Distance / The number of bit [bit] | 20 km | | 40 km | | 60 km | | 80 km | | 100 km | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{P}_{n\text{-bit}}$ [mW] | $\frac{\bar{P}_{n\text{-bit}}}{\bar{P}_{1\text{-bit}}}$ | $\bar{P}_{n\text{-bit}}$ [mW] | $\frac{\bar{P}_{n\text{-bit}}}{\bar{P}_{1\text{-bit}}}$ | $\bar{P}_{n\text{-bit}}$ [mW] | $\frac{\bar{P}_{n\text{-bit}}}{\bar{P}_{1\text{-bit}}}$ | $\bar{P}_{n\text{-bit}}$ [mW] | $\frac{\bar{P}_{n\text{-bit}}}{\bar{P}_{1\text{-bit}}}$ | $\bar{P}_{n\text{-bit}}$ [mW] | $\frac{\bar{P}_{n\text{-bit}}}{\bar{P}_{1\text{-bit}}}$ |
| 1 | 2.528765 | 1 | 1.79008 | 1 | 1.331405 | 1 | 1.041033 | 1 | 0.847555 | 1 |
| 2 | 2.528504 | 0.999896788 | 1.786857 | 0.998199522 | 1.33191 | 1.000379299 | 1.041758 | 1.000696424 | 0.847727 | 1.000202937 |
| 4 | 1.709274 | 0.675932323 | 1.182 | 0.660305685 | 0.874154 | 0.656565057 | 0.682287 | 0.655394209 | 0.554771 | 0.654554572 |
| 8 | 1.464289 | 0.579053016 | 1.008885 | 0.563597716 | 0.74296 | 0.558027047 | 0.580029 | 0.557166776 | 0.471134 | 0.55587425 |
| 16 | 1.511669 | 0.597789435 | 0.988443 | 0.552178115 | 0.724749 | 0.544349015 | 0.568541 | 0.546131583 | 0.461918 | 0.545000619 |
| 32 | 1.514319 | 0.598837377 | 1.017343 | 0.568322645 | 0.747499 | 0.561436227 | 0.582526 | 0.559565355 | 0.473266 | 0.558389721 |
| 64 | 1.557818 | 0.616039055 | 1.046356 | 0.5845303 | 0.768381 | 0.57712041 | 0.598246 | 0.574665741 | 0.486125 | 0.573561598 |
| 128 | 1.524818 | 0.602989206 | 1.023747 | 0.571900139 | 0.752052 | 0.564855923 | 0.585316 | 0.562245385 | 0.475568 | 0.561105769 |
| 256 | 1.537873 | 0.608151805 | 1.028915 | 0.57478716 | 0.756987 | 0.568562534 | 0.589684 | 0.566441218 | 0.479099 | 0.56527187 |
| 512 | 1.513327 | 0.598445091 | 1.017281 | 0.568288009 | 0.748074 | 0.561868102 | 0.582852 | 0.559878505 | 0.473672 | 0.558868746 |
| 1024 | 1.533861 | 0.60656526 | 1.028598 | 0.574610073 | 0.756024 | 0.567839237 | 0.588779 | 0.565571889 | 0.478371 | 0.564412929 |

เมื่อนำค่าที่ได้จากตารางที่ 5.2 มาวาดกราฟเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ จะได้ดังรูปที่ 5.4 และรูปที่ 5.5




**รูปที่** 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่เดินทางในระบบที่มีการมอดูเลตแบบดีพีเอสเคกับจำนวนบิตที่เปลี่ยนแปลง ที่ระยะในการสื่อสัญญาณเป็น 20 km, 40 km, 60 km, 80 km และ 100 km กำลังสัญญาณขาเข้า คือ 3 mW




**รูปที่** 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณกับจำนวนบิตที่เปลี่ยนแปลง ในระบบที่ทำการมอดูเลตแบบดีพีเอสเค ที่ระยะในการสื่อสัญญาณเป็น 20 km, 40 km, 60 km, 80 km และ 100 km

จากรูปที่ 5.4 จะเห็นว่า ที่ทุกๆ ระยะในการสื่อสัญญาณที่สนใจ กำลังสัญญาณเฉลี่ยจะลดลงเมื่อจำนวนบิตที่ใช้ในการสื่อสัญญาณเพิ่มมากขึ้น และจะลู่เข้าค่าคงที่ค่าหนึ่ง และจากรูปที่ 5.5 จะเห็นว่าอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณจะค่อนข้างใกล้เคียงกันในแต่ละจำนวนบิตในการสื่อสัญญาณที่เพิ่มมากขึ้น และจะใกล้เคียงกันมากขึ้นเมื่อระยะในการสื่อสัญญาณเพิ่มขึ้น ทำให้สรุปได้ว่าระยะที่ใช้ในการสื่อสัญญาณมีผลต่อค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณ แต่อย่างไรก็ตามค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณที่วิเคราะห์ได้ที่ระยะในการสื่อสัญญาณเพิ่มขึ้นก็ค่อนข้างที่จะใกล้เคียงกัน และลู่เข้าสู่ค่าคงที่

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นทำให้สามารถประมาณค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยตามระยะทางที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่สื่อสัญญาณหลายบิตในระบบที่มีการมอดูเลตแบบดีพีเอสเค

โดยดูจากค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณที่ทุกระบบลู่เข้าหา ซึ่งคือค่า 0.57 ได้ดังสมการที่ (5.1)

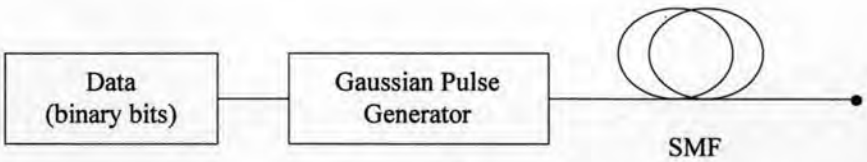
$$\overline{P}_{LD,n\text{-}bit} \approx 0.57\overline{P}_{LD} \tag{5.1}$$

จากสมการที่ (5.1) จะเห็นว่าค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยตามระยะทางที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่สื่อสัญญาณหลายบิตมีค่าน้อยกว่าค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยตามระยะทางที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่ใช้เพียงบิตเดียวในการสื่อสัญญาณ ทั้งนี้เนื่องจาก ในการวิเคราะห์กำลังสัญญาณแบบพัลส์เดียวนั้น จะทำการวิเคราะห์ในกรณีที่ขนาดของกำลังสัญญาณมีค่า เช่นในกรณีของการสื่อสัญญาณทางความเข้มแสง ก็จะทำการวิเคราะห์ในกรณีที่เป็นบิต '1' แต่เมื่อทำการสื่อสัญญาณแบบหลายบิต สัญญาณที่ส่งไปย่อมจะต้องมีทั้งบิต '0' และบิต '1' ดังนั้นเมื่อสัญญาณเดินทางไปในเส้นใยแสงที่มีทั้งการลดทอนของกำลังสัญญาณและดิสเพอร์ชั่นของเส้นใยแสง ก็จะทำให้สัญญาณมีขนาดเล็กลง และพัลส์ของสัญญาณก็จะเกิดการขยายออก ในการหาค่าเฉลี่ยนั้นต้องคิดรวมทั้งสัญญาณที่เป็นบิต '0' และบิต '1' ซึ่งสำหรับในกรณีของระบบที่ทำการมอดูเลตแบบดีพีเอสเค ข้อมูลจะถูกฝากไปในลักษณะการเปลี่ยนแปลงเฟสของสัญญาณคลื่นพาห์ ดังนั้นขนาดของกำลังสัญญาณจะเท่ากันในทุกๆ บิต เมื่อสัญญาณเดินทางในเส้นใยแสง พัลส์ของสัญญาณจะขยายออกด้วยผลของดิสเพอร์ชั่น ในกรณีที่พัลส์ที่ติดกันมีเฟสเดียวกัน ส่วนที่เหลื่อมล้ำกันจะเกิดการเสริมกันของกำลังสัญญาณ แต่ถ้าพัลส์ที่ติดกันมีเฟสต่างกัน 180 องศา เมื่อพัลส์ขยายออก ส่วนที่เหลื่อมล้ำกันก็จะเกิดการหักล้างกัน กำลังของสัญญาณจึงมีทั้งค่าที่เพิ่มขึ้นจากการเสริมกันของสัญญาณแต่ก็ลดลงเนื่องจากผลของการลดทอนของเส้นใยแสง และค่าที่ลดลงเนื่องจากการหักล้างกัน ดังนั้นเมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยจึงทำให้ค่าเฉลี่ยที่ได้มีค่าลดลงจากค่าเฉลี่ยที่เกิดจากการวิเคราะห์สัญญาณเพียงบิตเดียว

## 5.3 คุณสมบัติของแบบจำลองการสื่อสัญญาณผ่านเส้นใยแสงด้วยการมอดูเลตทางความเข้มแสงเพื่อใช้ในการวิเคราะห์กำลังสัญญาณเฉลี่ย

ในวิทยานิพนธ์นี้มุ่งความสนใจไปที่การมอดูเลตแบบดีพีเอสเค ดังนั้นในหัวข้อที่ 5.1 และหัวข้อที่ 5.2 จึงทำการหาค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่ทำการสื่อสัญญาณแบบหลายบิตในระบบที่ใช้การมอดูเลตแบบดีพีเอสเค แต่ในระบบการสื่อสัญญาณทางแสง มีวิธีการมอดูเลตสัญญาณหลายแบบ ดังที่ได้กล่าวมาบ้างแล้วในบทก่อนหน้า ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงจะทำการหาค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่ทำการสื่อสัญญาณแบบหลายบิตในระบบที่ใช้การมอดูเลตทางความเข้มแสง ซึ่งเป็นอีกวิธีของการมอดูเลตที่นิยมใช้

กัน เพื่อให้ค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่ทำการสื่อสัญญาณแบบหลายบิตที่หาได้ ใช้ประโยชน์ได้ในวงกว้างมากขึ้น




**รูปที่** 5.6 แผนภาพบล็อกของแบบจำลองระบบสื่อสัญญาณผ่านเส้นใยแสงด้วยการมอดูเลตทางความเข้มแสง

รูปที่ 5.6 แสดงถึงแบบจำลองระบบสื่อสัญญาณผ่านเส้นใยแสงด้วยการมอดูเลตทางความเข้มแสง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยตามระยะทางที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่ส่งสัญญาณหลายบิต ซึ่งประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดแสงความถี่เดียวแบบเกาส์เซี่ยนด้วยกำลังงานต่างๆ กัน สัญญาณข้อมูล pseudo random จำนวนบิตต่างกัน ที่อัตราข้อมูล 40 Gbps เส้นใยแสง SMF ที่มีการลดทอนกำลังงานสัญญาณ ($\alpha$) 0.2 dB/km และค่าดิสเพอร์ชั่นที่เกิดจากความเร็วกลุ่ม ($\beta_2$) = -20.78 $ps^2$/km

## 5.4 ผลลัพธ์ของแบบจำลองการสื่อสัญญาณผ่านเส้นใยแสงด้วยการมอดูเลตทางความเข้มแสงและการวิเคราะห์กำลังสัญญาณเฉลี่ย

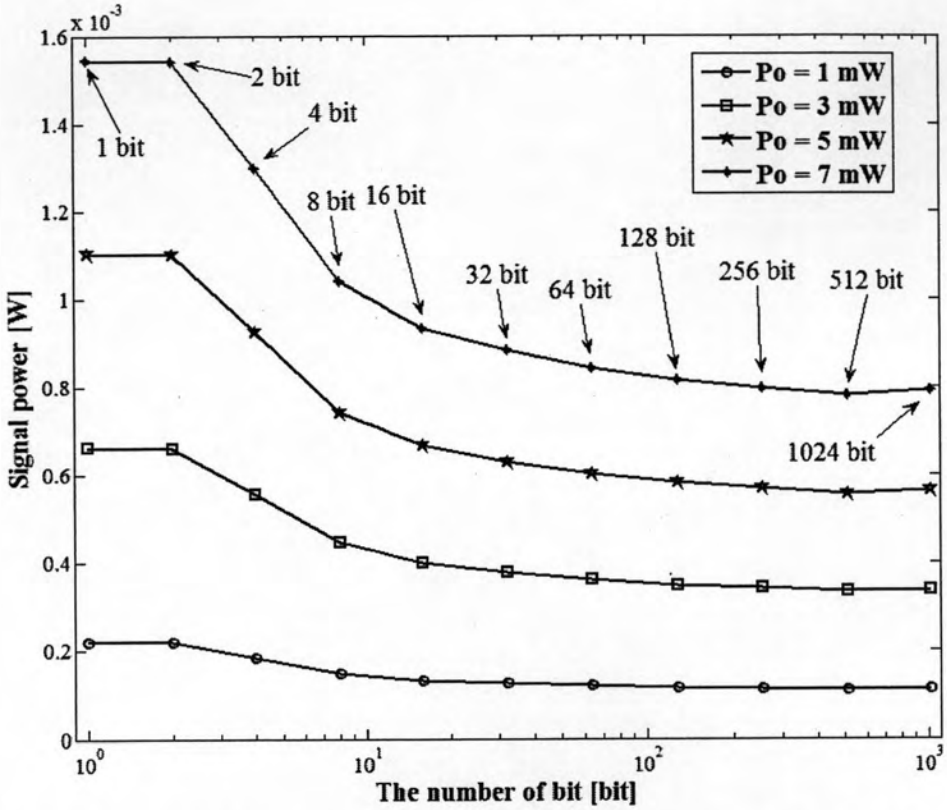
เพื่อทำการวิเคราะห์หาความเปลี่ยนแปลงของกำลังสัญญาณของระบบที่ทำการมอดูเลตทางความเข้มแสง ในกรณีที่มีการเพิ่มจำนวนบิตที่ใช้ในการสื่อสัญญาณ เราจึงได้ทำการจำลองระบบตามหัวข้อที่ 5.3 จากนั้นจึงนำค่ากำลังสัญญาณที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย โดยใช้หลักการเดียวกันกับที่ใช้ในการหาค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่ทำการสื่อสัญญาณแบบหลายบิตในระบบที่ใช้การมอดูเลตแบบดีพีเอสเคในหัวข้อที่ 5.2 แล้วนำไปเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณแบบหลายบิตที่สนใจกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณ โดยจะทำการจำลองในระบบที่มีจำนวนบิตเป็น 1 บิต, 2 บิต, 4 บิต, 8 บิต, 16 บิต, 32 บิต, 64 บิต, 128 บิต, 256 บิต, 512 บิต และ 1024 บิต และจะแบ่งการจำลองระบบเป็น 2 ขั้น เช่นเดียวกับการหาค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตในระบบที่ใช้การมอดูเลตแบบดีพีเอสเค คือ ขั้นแรกจะทำการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังสัญญาณขาเข้าที่ระยะการสื่อสัญญาณ 50 km เพื่อวิเคราะห์ว่าค่ากำลังสัญญาณขาเข้ามีผลต่อลักษณะของกำลัง

สัญญาณเฉลี่ยและความสัมพันธ์ระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณอย่างไร โดยจะทำการวิเคราะห์ที่กำลังสัญญาณขาเข้าเป็น 1 mW, 3 mW, 5 mW และ 7 mW ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองระบบทำให้ได้ค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยและค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณ ดังตารางที่ 5.3

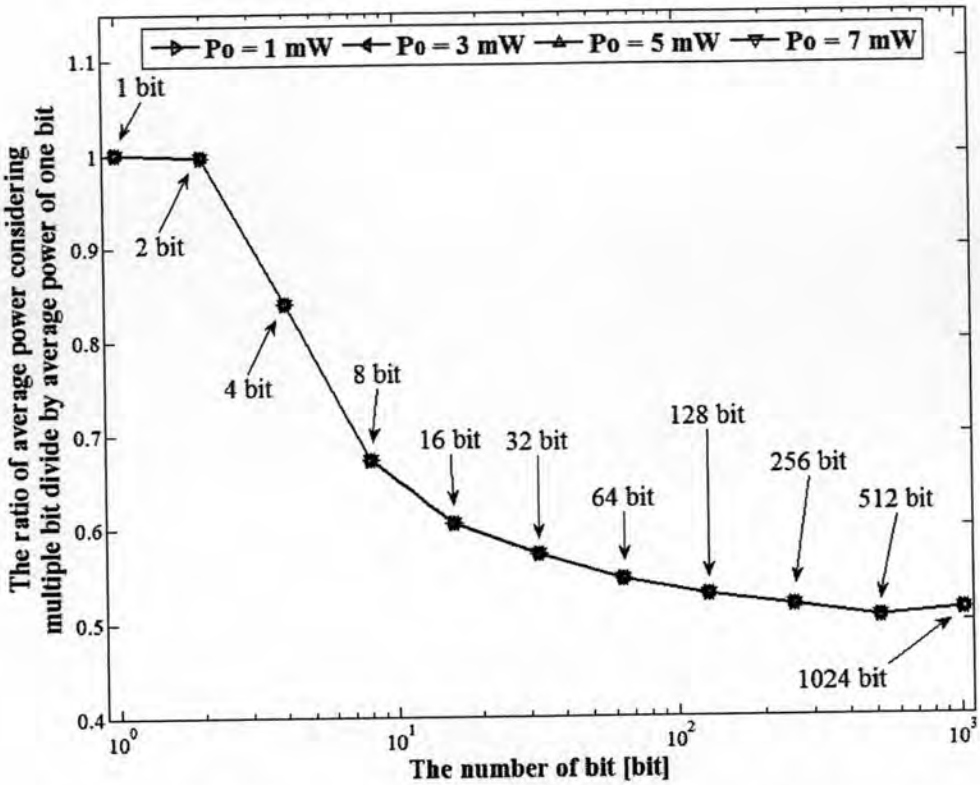
**ตารางที่** 5.3 ค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยและอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณ ในระบบที่ทำการมอดูเลตทางความเข้มแสง ที่กำลังสัญญาณขาเข้าเป็น 1 mW, 3 mW, 5 mW และ 7 mW ระยะการสื่อสัญญาณ คือ 50 km

| Input Power / The number of bit [bit] | 1 mW | | 3 mW | | 5 mW | | 7 mW | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{P}_{n\text{-bit}}$ [mW] | $\frac{\bar{P}_{n\text{-bit}}}{\bar{P}_{1\text{-bit}}}$ | $\bar{P}_{n\text{-bit}}$ [mW] | $\frac{\bar{P}_{n\text{-bit}}}{\bar{P}_{1\text{-bit}}}$ | $\bar{P}_{n\text{-bit}}$ [mW] | $\frac{\bar{P}_{n\text{-bit}}}{\bar{P}_{1\text{-bit}}}$ | $\bar{P}_{n\text{-bit}}$ [mW] | $\frac{\bar{P}_{n\text{-bit}}}{\bar{P}_{1\text{-bit}}}$ |
| 1 | 0.22069 | 1 | 0.662069 | 1 | 1.103448 | 1 | 1.544827 | 1 |
| 2 | 0.220031 | 0.997016856 | 0.660094 | 0.997016927 | 1.100155 | 0.997016071 | 1.540218 | 0.997016317 |
| 4 | 0.185426 | 0.840210458 | 0.556277 | 0.840210008 | 0.927128 | 0.840209765 | 1.297978 | 0.840209489 |
| 8 | 0.14866 | 0.67361691 | 0.44598 | 0.67361559 | 0.7433 | 0.673615861 | 1.040619 | 0.673615472 |
| 16 | 0.13362 | 0.605465187 | 0.400859 | 0.605464083 | 0.668098 | 0.605464091 | 0.935337 | 0.605463884 |
| 32 | 0.126324 | 0.572405397 | 0.378971 | 0.572404085 | 0.631618 | 0.57240441 | 0.884265 | 0.572404144 |
| 64 | 0.120411 | 0.545610047 | 0.361231 | 0.545609294 | 0.602051 | 0.545609168 | 0.842871 | 0.545608899 |
| 128 | 0.116572 | 0.52821811 | 0.349716 | 0.528216847 | 0.58286 | 0.528217244 | 0.816004 | 0.528216987 |
| 256 | 0.114067 | 0.51686364 | 0.342199 | 0.516863046 | 0.570331 | 0.516862783 | 0.798463 | 0.516862551 |
| 512 | 0.111364 | 0.504619802 | 0.334093 | 0.504619609 | 0.556821 | 0.50461896 | 0.779549 | 0.504618709 |
| 1024 | 0.11297 | 0.511895593 | 0.33891 | 0.511895286 | 0.564849 | 0.51189475 | 0.790789 | 0.511894505 |

เมื่อนำค่าที่ได้จากตารางที่ 5.3 มาวาดกราฟเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ จะได้ดังรูปที่ 5.7 และรูปที่ 5.8




**รูปที่** 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่เดินทางในระบบที่ทำการมอดูเลตทางความเข้มแสงกับจำนวนบิตที่เปลี่ยนแปลง ที่กำลังสัญญาณขาเข้า 1 mW, 3 mW, 5 mW และ 7 mW ระยะในการสื่อสัญญาณคือ 50 km




**รูปที่** 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณกับจำนวนบิตที่เปลี่ยนแปลง ในระบบที่ทำการมอดูเลตทางความเข้มแสงที่กำลังสัญญาณขาเข้า 1 mW, 3 mW, 5 mW และ 7 mW

จากรูปที่ 5.7 จะเห็นว่า ที่ทุกๆ กำลังสัญญาณขาเข้าที่สนใจ กำลังสัญญาณเฉลี่ยจะลดลงเมื่อจำนวนบิตที่ใช้ในการสื่อสัญญาณเพิ่มมากขึ้น และจะลู่เข้าค่าคงที่ค่าหนึ่ง เมื่อจำนวนบิตที่ใช้ในการสื่อสัญญาณมากกว่า 256 บิต และจากรูปที่ 5.8 จะเห็นว่าอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณจะใกล้เคียงกัน ในแต่ละจำนวนบิตในการสื่อสัญญาณที่เพิ่มมากขึ้นในทุกๆ ค่าของกำลังสัญญาณขาเข้าที่สนใจ เช่นเดียวกันกับระบบที่มีการมอดูเลตแบบดีพีเอสเค

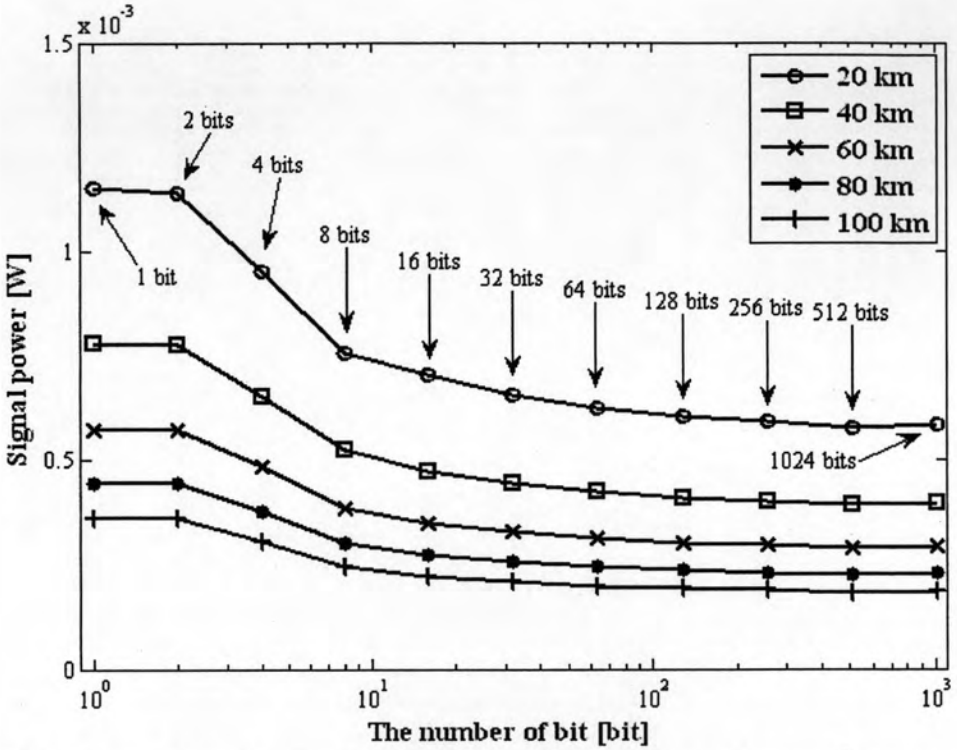
และเมื่อวิเคราะห์ได้แล้วว่าค่ากำลังสัญญาณขาเข้าไม่มีผลต่ออัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณเนื่องจากไม่ได้คิดผลของความไม่เป็นเชิงเส้นของเส้นใยแสง จากนั้นจึงทำการจำลองระบบใหม่อีกครั้ง ซึ่งในครั้งนี้จะทำการเปลี่ยนแปลงระยะทางที่ใช้ในการสื่อสัญญาณเป็น 20 km, 40 km, 60 km, 80 km และ 100 km ที่กำลังสัญญาณขาเข้าเป็น 3 mW

ในขั้นตอนนี้ทำเพื่อวิเคราะห์ว่าระยะที่ใช้ในการสื่อสัญญาณมีผลต่ออัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณหรือไม่อย่างไร ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองระบบทำให้ได้ค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยและความสัมพันธ์ระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณ ดังตารางที่ 5.4

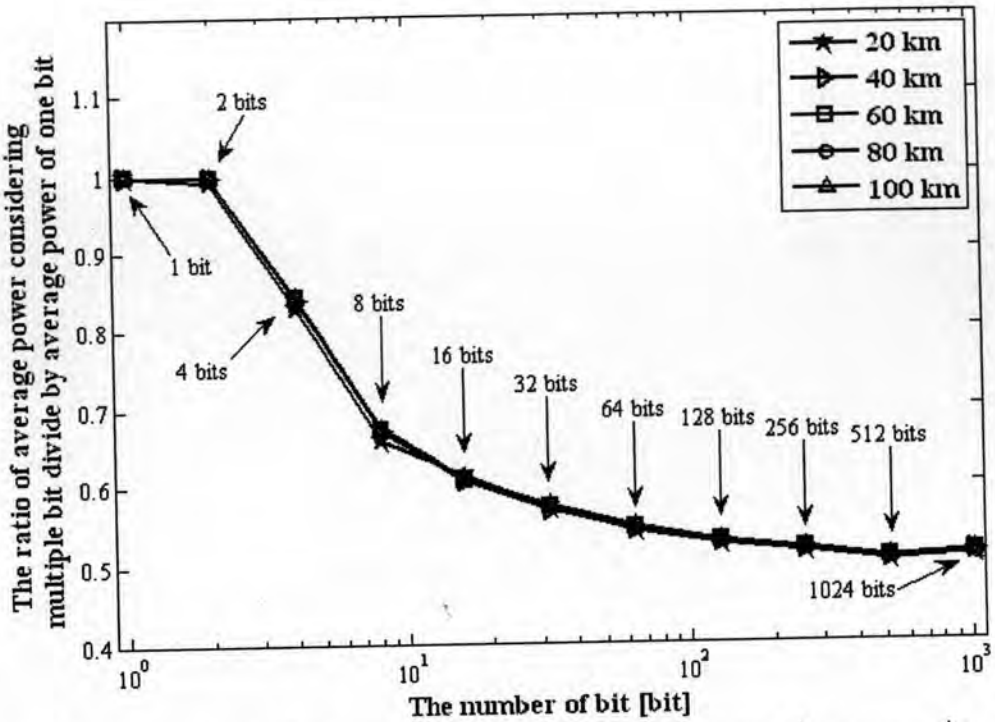
**ตารางที่** 5.4 ค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยและอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณ ในระบบที่มีการมอดูเลตทางความเข้มแสง ที่ระยะการสื่อสัญญาณเป็น 20 km, 40 km, 60 km, 80 km และ 100 km กำลังสัญญาณขาเข้า คือ 3 mW

| Distance / The number of bit [bit] | 20 km | | 40 km | | 60 km | | 80 km | | 100 km | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\overline{P}_{n\text{-bit}}$ [mW] | $\frac{\overline{P}_{n\text{-bit}}}{\overline{P}_{1\text{-bit}}}$ | $\overline{P}_{n\text{-bit}}$ [mW] | $\frac{\overline{P}_{n\text{-bit}}}{\overline{P}_{1\text{-bit}}}$ | $\overline{P}_{n\text{-bit}}$ [mW] | $\frac{\overline{P}_{n\text{-bit}}}{\overline{P}_{1\text{-bit}}}$ | $\overline{P}_{n\text{-bit}}$ [mW] | $\frac{\overline{P}_{n\text{-bit}}}{\overline{P}_{1\text{-bit}}}$ | $\overline{P}_{n\text{-bit}}$ [mW] | $\frac{\overline{P}_{n\text{-bit}}}{\overline{P}_{1\text{-bit}}}$ |
| 1 | 1.149422 | 1 | 0.778476 | 1 | 0.57249 | 1 | 0.446178 | 1 | 0.362681 | 1 |
| 2 | 1.139515 | 0.991380885 | 0.775465 | 0.996132186 | 0.571066 | 0.99751262 | 0.44507 | 0.997516686 | 0.361792 | 0.99754881 |
| 4 | 0.951392 | 0.827713407 | 0.653597 | 0.839585292 | 0.482858 | 0.84343482 | 0.376653 | 0.844176539 | 0.306251 | 0.844408723 |
| 8 | 0.757683 | 0.659186095 | 0.522667 | 0.671397705 | 0.385271 | 0.6729742 | 0.300978 | 0.674569342 | 0.24459 | 0.674394302 |
| 16 | 0.705724 | 0.613981636 | 0.472776 | 0.607309667 | 0.347188 | 0.606452514 | 0.271567 | 0.608651704 | 0.22084 | 0.608909758 |
| 32 | 0.65635 | 0.571026133 | 0.443401 | 0.569575684 | 0.328784 | 0.574305228 | 0.25647 | 0.574815432 | 0.208573 | 0.575086646 |
| 64 | 0.622402 | 0.541491289 | 0.423816 | 0.544417554 | 0.313035 | 0.546795577 | 0.244158 | 0.547221064 | 0.198448 | 0.547169551 |
| 128 | 0.603177 | 0.524765491 | 0.410426 | 0.527217281 | 0.302555 | 0.528489581 | 0.235782 | 0.528448287 | 0.191663 | 0.528461651 |
| 256 | 0.590934 | 0.51411405 | 0.401685 | 0.515988932 | 0.296276 | 0.517521703 | 0.230902 | 0.517510949 | 0.187696 | 0.517523664 |
| 512 | 0.576737 | 0.501762625 | 0.392091 | 0.503664853 | 0.289222 | 0.505200091 | 0.225497 | 0.505396949 | 0.183301 | 0.505405577 |
| 1024 | 0.584385 | 0.508416404 | 0.39776 | 0.51094703 | 0.293387 | 0.512475327 | 0.228723 | 0.512627247 | 0.185937 | 0.512673672 |

เมื่อนำค่าที่ได้จากตารางที่ 5.4 มาวาดกราฟเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ จะได้ดังรูปที่ 5.9 และรูปที่ 5.10




**รูปที่** 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่เดินทางในระบบที่มีการมอดูเลตทางความเข้มแสงกับจำนวนบิตที่เปลี่ยนแปลง ที่ระยะในการสื่อสัญญาณเป็น 20 km, 40 km, 60 km, 80 km และ 100 km กำลังสัญญาณขาเข้า คือ 3 mW




**รูปที่** 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณกับจำนวนบิตที่เปลี่ยนแปลง ในระบบที่ทำการมอดูเลตทางความเข้มแสงที่ระยะในการสื่อสัญญาณเป็น 20 km, 40 km, 60 km, 80 km และ 100 km

จากรูปที่ 5.9 จะเห็นว่า ที่ทุกๆ ระยะในการสื่อสัญญาณที่สนใจ กำลังสัญญาณเฉลี่ยจะลดลงเมื่อจำนวนบิตที่ใช้ในการสื่อสัญญาณเพิ่มมากขึ้น และจะลู่เข้าค่าคงที่ค่าหนึ่ง และจากรูปที่ 5.10 จะเห็นว่าอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณจะค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในแต่ละจำนวนบิตในการสื่อสัญญาณที่เพิ่มมากขึ้น และจะใกล้เคียงกันมากขึ้นเมื่อระยะในการสื่อสัญญาณเพิ่มขึ้น ทำให้สรุปได้ว่าระยะที่ใช้ในการสื่อสัญญาณมีผลต่อค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณ แต่อย่างไรก็ตามค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณที่วิเคราะห์ได้ที่ระยะในการสื่อสัญญาณเพิ่มขึ้นก็ค่อนข้างที่จะใกล้เคียงกัน และลู่เข้าสู่ค่าคงที่

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นทำให้สามารถประมาณค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยตามระยะทางที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่สื่อสัญญาณหลายบิตในระบบที่มีการมอดูเลตทางความเข้ม

แสง โดยดูจากค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิตกับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณที่ทุกระบบลู่เข้าหา ซึ่งคือค่า 0.51 ได้ดังสมการที่ (5.2)

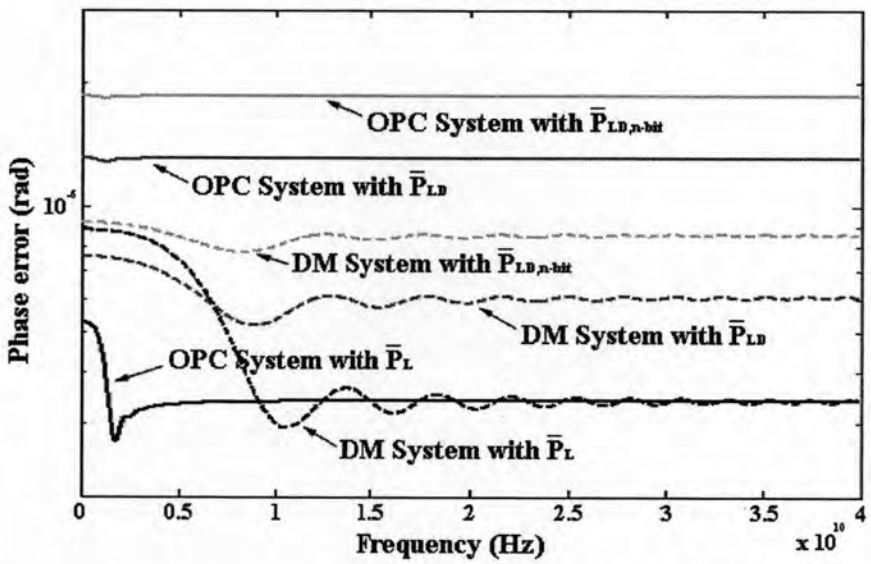
$$\overline{P}_{LD,n-bit} \approx 0.51\overline{P}_{LD} \tag{5.2}$$

จากสมการที่ (5.2) จะเห็นว่าค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยตามระยะทางที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่สื่อสัญญาณหลายบิตมีค่าน้อยกว่าค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยตามระยะทางที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่ใช้เพียงบิตเดียวในการสื่อสัญญาณเช่นเดียวกันกับกรณีที่ใช้การมอดูเลตแบบดีพีเอสเค และด้วยเหตุผลเดียวกันแต่แตกต่างกันที่ การมอดูเลตทางความเข้มแสงนั้นข้อมูลจะถูกฝากไปในลักษณะการเปลี่ยนแปลงของขนาดของคลื่นพาห์ โดยบิต '1' จะแทนด้วยพัลส์ที่มีค่ากำลังสัญญาณ และบิต '0' จะแทนด้วยพัลส์ที่มีกำลังสัญญาณเป็นศูนย์ เมื่อสัญญาณเดินทางไปในเส้นใยแสงพัลส์ของบิต '1' จะเกิดการขยายออก ถ้าพัลส์ที่อยู่ติดกันเป็นพัลส์ของบิต '1' ก็จะเกิดการซ้อนทับกันและเสริมกันแต่ก็ลดลงเนื่องจากผลของการลดทอนของเส้นใยแสง แต่ถ้าพัลส์ที่ติดกันเป็นพัลส์ของบิต '0' ก็จะเป็นเพียงการกระจายกำลังสัญญาณเข้าไปในพัลส์เท่านั้น ดังนั้นเมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยจึงทำให้ค่าเฉลี่ยที่ได้มีค่าลดลงจากค่าเฉลี่ยที่เกิดจากการวิเคราะห์สัญญาณเพียงบิตเดียว

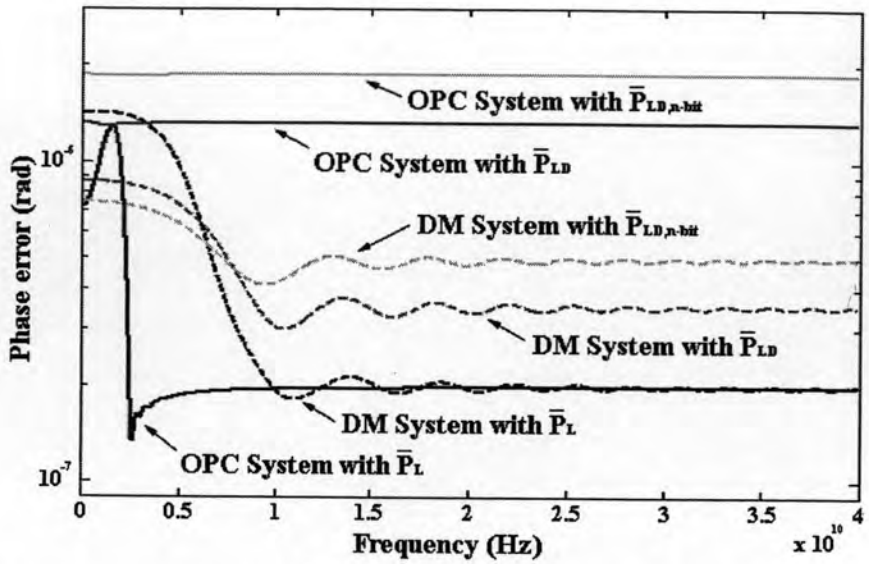
และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยตามระยะทางที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่สื่อสัญญาณหลายบิตในระบบที่มีการมอดูเลตแบบดีพีเอสเคจากสมการที่ (5.1) กับค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยตามระยะทางที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่สื่อสัญญาณหลายบิตในระบบที่มีการมอดูเลตทางความเข้มแสงจากสมการที่ (5.2) จะเห็นว่าค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยตามระยะทางที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่สื่อสัญญาณหลายบิตในระบบที่มีการมอดูเลตแบบดีพีเอสเคมีค่ามากกว่าค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยตามระยะทางที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่สื่อสัญญาณหลายบิตในระบบที่มีการมอดูเลตทางความเข้มแสง ทั้งนี้เนื่องจากการมอดูเลตแบบดีพีเอสเคนั้นทุกบิตของสัญญาณจะมีค่ากำลังสัญญาณเท่ากัน แต่การมอดูเลตทางความเข้มแสงนั้นจะมีกำลังสัญญาณเมื่อข้อมูลเป็น '1' เท่านั้น เมื่อสัญญาณเดินทางไปในเส้นใยแสง ถึงแม้สัญญาณที่ได้รับการมอดูเลตทั้งสองแบบจะได้รับผลจากการลดทอนของกำลังสัญญาณและผลจากดิสเพอร์ชั่นของเส้นใยแสงแบบเดียวกัน แต่เมื่อนำค่ากำลังสัญญาณของทุกบิตมาหาค่าเฉลี่ย สัญญาณที่มีการมอดูเลตทางความเข้มแสงซึ่งมีบางส่วนของสัญญาณที่มีกำลังสัญญาณเป็นศูนย์จึงมีค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยที่น้อยกว่าค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของระบบที่มีการมอดูเลตแบบดีพีเอสเคที่มีกำลังสัญญาณทุกพัลส์ของสัญญาณ

## 5.5 ผลตอบสนองทางความถี่ของความผิดพลาดทางเฟสที่คำนวณด้วยค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยตามระยะทางที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่ส่งสัญญาณหลายบิต

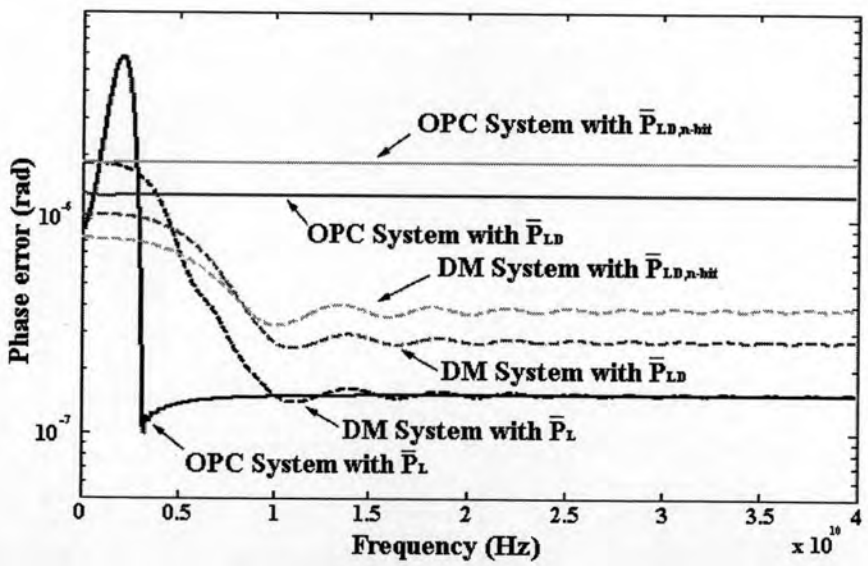
เมื่อได้ค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยตามระยะทางที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่สื่อสัญญาณหลายบิตมาแล้วจากหัวข้อที่ผ่านมา ในหัวข้อนี้จึงนำค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยที่หาได้มาใช้ในการวิเคราะห์ผลตอบสนองทางความถี่ของความผิดพลาดทางเฟส เพื่อทำการเปรียบเทียบกับผลตอบสนองทางความถี่ของความผิดพลาดทางเฟสที่ได้จากการคำนวณโดยค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยตามระยะทางที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่ใช้เพียงบิตเดียวในการสื่อสัญญาณ โดยมีพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณเช่นเดียวกับในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.4 ทำให้ได้ผลตอบสนองทางความถี่ของความผิดพลาดทางเฟสในกรณีต่างๆ ดังรูปที่ 5.11 - รูปที่ 5.14



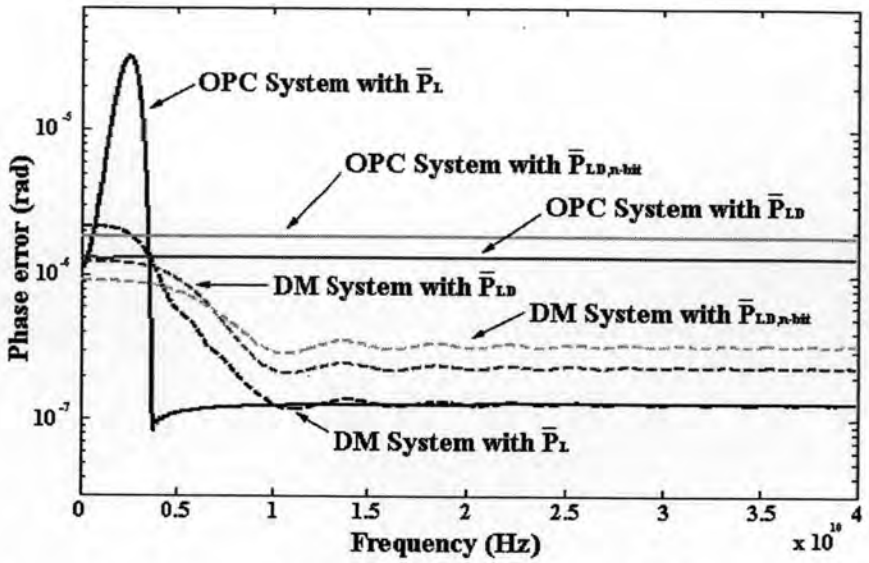

**รูปที่** 5.11 ผลตอบสนองทางความถี่ของค่าความผิดพลาดทางเฟสซึ่งแสดงโดยความถี่ที่เลื่อนไปจากความถี่คลื่นพาห์ในกรณีที่ $P_0$ = 1 mW ที่คำนวณด้วยค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยตามระยะทางที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิต




**รูปที่** 5.12 ผลตอบสนองทางความถี่ของค่าความผิดพลาดทางเฟสซึ่งแสดงโดยความถี่ที่เลื่อนไปจากความถี่คลื่นพาห์ในกรณีที่ $P_0$ = 3 mW ที่คำนวณด้วยค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยตามระยะทางที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิต




**รูปที่** 5.13 ผลตอบสนองทางความถี่ของค่าความผิดพลาดทางเฟสซึ่งแสดงโดยความถี่ที่เลื่อนไปจากความถี่คลื่นพาห์ในกรณีที่ $P_0$ = 5 mW ที่คำนวณด้วยค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยตามระยะทางที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิต




**รูปที่** 5.14 ผลตอบสนองทางความถี่ของค่าความผิดพลาดทางเฟสซึ่งแสดงโดยความถี่ที่เลื่อนไปจากความถี่คลื่นพาห์ในกรณีที่ $P_0$ = 7 mW ที่คำนวณด้วยค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยตามระยะทางที่คิดรวมผลของดิสเพอร์ชั่นในกรณีที่ทำการสื่อสัญญาณหลายบิต

จากรูปที่ 5.11 - รูปที่ 5.14 จะเห็นว่าผลตอบสนองทางความถี่ของความผิดพลาดทางเฟสที่ได้จากการคำนวณโดยค่ากำลังสัญญาณสูงสุดเฉลี่ยในกรณีที่ใช้เพียงหนึ่งบิตในการสื่อสัญญาณและค่ากำลังสัญญาณสูงสุดเฉลี่ยในกรณีที่เป็นการสื่อสัญญาณหลายบิตนั้น ให้ค่าความผิดพลาดทางเฟสที่แตกต่างกัน แต่ให้ผลในการวิเคราะห์ที่สอดคล้อง คล้ายคลึงกัน นั่นคือสามารถสรุปได้ว่าระบบที่ใช้วิธีการคอนจูเกตสัญญาณที่กึ่งกลางระบบให้สมรรถนะของระบบที่ดีกว่าระบบที่ใช้วิธีการชดเชยดิสเพอร์ชั่นเป็นรายคาบ ทั้งที่กำลังสัญญาณขาเข้าเป็น 1 mW, 3 mW, 5 mW และ 7 mW ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการจำลองระบบโดยคอมพิวเตอร์ที่จำนวนบิตที่ใช้ในการสื่อสัญญาณเป็น 1024 บิตในบทที่ 4 ดังนั้นค่ากำลังสัญญาณสูงสุดเฉลี่ยในกรณีที่เป็นการสื่อสัญญาณหลายบิตที่วิเคราะห์ได้จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ระบบการสื่อสัญญาณทางแสงในกรณีที่มีการสื่อสัญญาณหลายบิต เพื่อความถูกต้องและแม่นยำในการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีต่อไป