หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ QPSK-DS-CDMA บนช่องสัญญาณการจางหายแบบนาคากามิ
นักศึกษา	นายเกรียงวุฒิ จรภักดี
รหัสนักศึกษา	46064110
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการแสดงสมรรถนะของระบบที่ใช้เทคนิคคิวพีเอสเคโมดูเลชั่น (Quadrature Phase Shift Keying Modulation) ในการมอดูเลตกับลำดับรหัสโดยตรงกับสัญญาณคลื่นพาห์บนการสื่อสารระบบดีเอสซีดีเอ็มเอ เพื่อช่วยลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการกวนกันระหว่างสัญลักษณ์ (Inter-symbol interference) โดยทำการจำลองการทำงานของระบบผ่านช่องสัญญาณรบกวนของเกาส์เซียนแบบขาว (AWGN) และช่องสัญญาณการจางหายแบบนาคากามิทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ครอบคลุม โดยใช้เครื่องรับแบบเรค ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเครื่องรับไดเวอร์ซิตี้หลายวิถี เพื่อลดผลของการจางหายของสัญญาณซึ่งมีผลต่อสมรรถนะของระบบด้วยโปรแกรม MATLAB และแสดงสมรรถนะของระบบออกมาอยู่ในรูปของความน่าจะเป็นในการเกิดอัตราความผิดพลาดบิตของข้อมูลในแต่ละสภาวะเงื่อนไขต่างๆ

Thesis Title	Performance Analysis of QPSK-DS-CDMA on Nakagami Fading Channel
Student	Mr. Kriangwut Jornpagdi
Student ID.	46064110
Degree	Master of Engineering
Programme	Telecommunications Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr.Kobchai Dejhan

ABSTRACT

This thesis proposes to use the DS-QPSK (Direct Sequence-Quadrature Phase Shift Keying) modulation format in CDMA (Code Division Multiple Access) system to solve the Inter-Symbol interference. The performance comparison between DS-BPSK and DS-QPSK CDMA system are presented. The system simulations with Additive White Gaussian Noise (AWGN) channel and Nakagami fading channel are used at the Rake receiver model. All simulations have been carried out based on MATLAB program, the numerical results of performance analysis of systems are shown.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้แนวคิด และคำปรึกษาแนะนำในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนการแก้ปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณบริษัท ทีโอที จำกัดมหาชน ที่ได้ให้การสนับสนุนในเรื่องเงินทุนการศึกษา ระยะเวลา เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทำวิจัยแก่ข้าพเจ้า

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และคอยให้การช่วยเหลือสนับสนุนในทุกๆ เรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เกรียงวุฒิ จรภักดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย……..……..I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ…..…….……..II

กิตติกรรมประกาศ…...……...……..……..III

สารบัญ……...…….……...……..……..IV

สารบัญตาราง…….……VII

สารบัญรูป……..……VIII

บทที่ 1 บทนำ…….……1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา……..……..……1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา……..……...2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา……..……..……...2

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย……..……..……...3

1.5 ขอบเขตการวิจัย……..……..……...3

1.6 ขั้นตอนการศึกษา……..……...3

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานของการสื่อสารระบบดีเอสซีดีเอ็มเอ……5

2.1 หลักการของระบบซีดีเอ็มเอ……..……..……..…….....5

2.2 สเปรดสเปกตรัม……..……..…….....6

2.2.1 ฟรีเควนซีฮอปปิงสเปรดสเปกตรัม……..…….....9

2.2.2 ไดเรคซีเควนสเปรดสเปกตรัม……..……..…….....9

2.3 รหัสพีเอ็น……..……..……...14

2.3.1 รหัสเอ็มซีเคว็น .....……..…….....14

2.4 การจางหายบนช่องสัญญาณ……..……...17

2.4.1 คุณลักษณะของสัญญาณที่ผ่านช่องสัญญาณที่มีการจางหายหลายเส้นทาง…..18

2.4.2 แบบจำลองช่องสัญญาณ……..…….....19

2.4.2.1 ช่องสัญญาณรบกวนขาว……20

2.4.2.2 การจางหายบนช่องสัญญาณแบบเรย์ลิ……21

2.4.2.3 การจางหายบนช่องสัญญาณแบบไรซ์เซียน……...21

2.4.2.4 การจางหายบนช่องสัญญาณแบบนาคากามิ.....……...21

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การหาสมรรถนะของระบบดีเอส-คิวพีเอสเคซีดีเอ็มเอในช่องสัญญาณการจางหายแบบนาคากามิ……23

3.1 หลักการทำงานของระบบดีเอส-คิวพีเอสเค ซีดีเอ็มเอ……...23

3.1.1 เครื่องส่ง……..23

3.1.2 แบบจำลองช่องสัญญาณ.....……25

3.1.3 เครื่องรับ…….……..27

3.2 การหาสมรรถนะของระบบ……..…..33

3.2.1 กำลังงานของสัญญาณผู้ใช้งาน…….....34

3.2.2 กำลังงานของสัญญาณรบกวนเกาส์ขาวแบบบวก…….....34

3.2.3 กำลังงานของสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นระหว่างผู้ใช้งาน……35

3.2.4 กำลังงานของสัญญาณแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์…….....35

3.3 การวิเคราะห์การเกิดอัตราความผิดพลาดบิตของระบบ……..…..37

3.3.1 ความน่าจะเป็นในการเกิดความผิดพลาดบิตของกำลังสัญญาณ…….....37

3.3.2 ความน่าจะเป็นในการเกิดความผิดพลาดสัญลักษณ์ของกำลังสัญญาณ…....39

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์เชิงเลข…….....40

4.1 ตัวแปรเสริมเฟดดิงแบบนาคากามิเอ็มและจำนวนสาขาเครื่องรับเรค……40

4.1.1 สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดบิต…….....40

4.1.2 สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดสัญลักษณ์…….44

4.2 จำนวนผู้ใช้งานในระบบ…….....47

4.2.1 สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดบิต…….....47

4.2.2 สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดสัญลักษณ์…….50

4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบดีเอส-คิวพีเอสเคกับดีเอส-บีพีเอสเค ซีดีเอ็มเอ.52

4.3.1 ผลของการเพิ่มค่าตัวแปรเสริมเฟดดิงแบบนาคากามิ…….. .52

4.3.2 ผลของการเพิ่มจำนวนสาขาเครื่องรับเรค…….. .54

4.3.3 ผลของการเพิ่มด้านจำนวนผู้ใช้งาน…….……56

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ……..…….....59

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บรรณานุกรม……..61

ภาคผนวก.....63

ภาคผนวก ก สูตรทั่วไปของการแจกแจงความเข้มของสัญญาณ การแจกแจงแบบนาคากามิ.....64

ภาคผนวก ข โปรแกรม.....72

ภาคผนวก ค ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....78

ประวัติผู้เขียน…….....80

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ประเภทของการบริการในระบบการสื่อสารไร้สายยุคที่ 3……..……...…….6

2.2 ค่าอัตสหสัมพันธ์ที่มีคุณลักษณะของชุดรหัส……..…….....17

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การเปรียบเทียบลักษณะการส่งข้อมูลแบบต่างๆ……..…..……5

2.2 การนำความถี่กลับมาใช้งานใหม่…….…….……6

2.3 หลักการของการสื่อสารแบบสเปรดสปกตรัม…..…….……...7

2.4 การกำจัดสัญญาณแทรกสอดของการสื่อสารแบบสเปรดสเปกตรัม…….....8

2.5 วงจรระบบดีเอสซีดีเอ็มเอ……..…….……9

2.6 ความสัมพันธ์ของอัตราการชิปส์…..……..…..……11

2.7 ตัวอย่างการทำสเปรดสเปกตรัม…….…….…….....12

2.8 โครงสร้างพื้นฐานของวงจรสร้างรหัส m-sequence……...…..……14

2.9 ค่าอัตสหสัมพันธ์ของรหัสเอ็มซีเควนที่มีการเลื่อนไปของชิปที่ค่าต่างๆ…….……16

2.10 การจางหายของสัญญาณในหลายวิถี.....…….....17

2.11 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงทางเวลาของช่องสัญญาณหลายวิถีที่เกิดจากสัญญาณ
พัลส์ที่แคบมากๆ…….……19

2.12 คุณสมบัติของช่องสัญญาณรบกวนเกาส์ขาว……..…..20

3.1 วงจรภาคส่งของดีเอส-คิวพีเอสเค ซีดีเอ็มอ…..……...……23

3.2 เส้นทางเดินของช่องสัญญาณในจำนวน L เส้นทาง…….....……...…….26

3.3 สัญญาณที่รับได้ด้วยจำนวนผู้ใช้งาน K ราย…….26

3.4 เครื่องรับสัญญาณแบบเรคจำนวน M สาขา……..…….…….....27

3.5 ตัวรับแบบสหสัมพันธ์ของเครื่องรับเรค……..27

4.1 อัตราการเกิดความผิดพลาดบิตกับอัตราส่วนกำลังงานสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของ
ระบบ DS-QPSK CDMAในกรณีสาขาเครื่องรับเรค เท่ากับ 2 $(L=2)$ และตัวแปรเสริม
เฟดดิงแบบนาคากามิเอ็ม (m) ที่มีค่าเท่ากับ 0.5, 0.75, 1, 2 และ3……..…41

4.2 อัตราการเกิดความผิดพลาดบิตกับอัตราส่วนกำลังงานสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของ
ระบบ DS-QPSK CDMA ในกรณีสาขาเครื่องรับเรค เท่ากับ 4 $(L=4)$ และตัวแปรเสริม
เฟดดิงแบบนาคากามิเอ็ม (m) ที่มีค่าเท่ากับ 0.5, 0.75, 1, 2 และ 3……..41

4.3 อัตราการเกิดความผิดพลาดบิตกับอัตราส่วนกำลังงานสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของ
ระบบ DS-QPSK CDMA ในกรณีสาขาเครื่องรับเรค เท่ากับ 8 $(L=8)$ และตัวแปรเสริม
เฟดดิงแบบนาคากามิเอ็ม (m) ที่มีค่าเท่ากับ 0.5, 0.75, 1, 2 และ 3…….42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นการเกิดอัตราความผิดพลาดบิตกับกำลังงานสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของระบบ DS-QPSK CDMA เมื่อจำนวนสาขาของเครื่องรับแบบเรคมีค่าเท่ากับ 2, 4, 5, 6 และ 8 ในกรณีนี้กำหนดตัวแปรเสริมเฟดดิงแบบนาคากามิเอ็มให้มีค่าเท่ากับ 0.5 ($m = 0.5$) …….....42

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นการเกิดอัตราความผิดพลาดบิตกับกำลังงานสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของระบบ DS-QPSK CDMA เมื่อจำนวนสาขาของเครื่องรับแบบเรคมีค่าเท่ากับ 2, 4, 5, 6 และ 8 ในกรณีนี้กำหนดตัวแปรเสริมเฟดดิงแบบนาคากามิเอ็มให้มีค่าเท่ากับ 1 ($m = 1$) …….....43

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นการเกิดอัตราความผิดพลาดบิตกับกำลังงานสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของระบบ DS-QPSK CDMA เมื่อจำนวนสาขาของเครื่องรับแบบเรคมีค่าเท่ากับ 2, 4, 5, 6 และ 8 ในกรณีนี้กำหนดตัวแปรเสริมเฟดดิงแบบนาคากามิเอ็มให้มีค่าเท่ากับ 3 ($m = 3$) …….....43

4.7 อัตราการเกิดความผิดพลาดสัญลักษณ์กับอัตราส่วนกำลังงานสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของระบบดีเอส-คิวพีเอสเคซีดีเอ็มเอ ในกรณีสาขาเครื่องรับเรคเท่ากับ 2 ($L = 2$) และตัวแปรเสริมเฟดดิงแบบนาคากามิเอ็ม (m) ที่มีค่าเท่ากับ 0.5, 0.75, 1, 2 และ3……44

4.8 อัตราการเกิดความผิดพลาดสัญลักษณ์กับอัตราส่วนกำลังงานสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของระบบดีเอส-คิวพีเอสเคซีดีเอ็มเอ ในกรณีสาขาเครื่องรับเรคเท่ากับ 4 ($L = 4$) และตัวแปรเสริมเฟดดิงแบบนาคากามิเอ็ม (m) ที่มีค่าเท่ากับ 0.5, 0.75, 1, 2 และ3……45

4.9 อัตราการเกิดความผิดพลาดสัญลักษณ์กับอัตราส่วนกำลังงานสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของระบบดีเอส-คิวพีเอสเคซีดีเอ็มเอ ในกรณีสาขาเครื่องรับเรคเท่ากับ 8 ($L = 8$) และตัวแปรเสริมเฟดดิงแบบนาคากามิเอ็ม (m) ที่มีค่าเท่ากับ 0.5, 0.75, 1, 2 และ3……45

4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นการเกิดอัตราความผิดพลาดสัญลักษณ์กับกำลังงานสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของระบบดีเอส-คิวพีเอสเคซีดีเอ็มเอ เมื่อจำนวนสาขาของเครื่องรับแบบเรคมีค่าเท่ากับ 2, 4, 5, 6 และ 8 ในกรณีนี้กำหนดตัวแปรเสริมเฟดดิงแบบนาคากามิเอ็มให้มีค่าเท่ากับ 0.5 ($m = 0.5$) ……..46

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นการเกิดอัตราความผิดพลาดสัญลักษณ์กับกำลังงานสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของระบบดีเอส-คิวพีเอสเคซีดีเอ็มเอ เมื่อจำนวนสาขาของเครื่องรับแบบเรคมีค่าเท่ากับ 2, 4, 5, 6 และ 8 ในกรณีนี้กำหนดตัวแปรเสริมเฟดดิงแบบนาคากามิเอ็มให้มีค่าเท่ากับ 1 ($m = 1$) …….....46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นการเกิดอัตราความผิดพลาดสัญลักษณ์กับ กำลังงานสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของระบบดีเอส-คิวพีเอสเคซีดีเอ็มเอ เมื่อจำนวนสาขาของเครื่องรับแบบเรคมีค่าเท่ากับ 2, 4, 5, 6 และ 8 ในกรณีนี้กำหนดตัวแปรเสริมเฟดดิงแบบนาคากามิเอ็มให้มีค่าเท่ากับ 3 ($m = 3$) 47

4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดความผิดพลาดบิตของระบบ DS-QPSK CDMA กับจำนวนผู้ใช้งาน โดยจำนวนสาขาของเครื่องรับแบบเรคมีค่าเท่ากับ 2, 4, 6 และ 8 เมื่อกำหนดค่าตัวแปรเสริมเฟดดิงแบบนาคากามิเอ็มเท่ากับ 0.5 ($m = 0.5$) 48

4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดความผิดพลาดบิตของระบบ DS-QPSK CDMA กับจำนวนผู้ใช้งาน โดยจำนวนสาขาของเครื่องรับแบบเรคมีค่าเท่ากับ 2, 4, 6 และ 8 เมื่อกำหนดค่าตัวแปรเสริมเฟดดิงแบบนาคากามิเอ็มเท่ากับ 1 ($m = 1$) 48

4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดความผิดพลาดบิตของระบบ DS-QPSK CDMA กับจำนวนผู้ใช้งาน โดยจำนวนสาขาของเครื่องรับแบบเรคมีค่าเท่ากับ 2, 4, 6 และ 8 เมื่อกำหนดค่าตัวแปรเสริมเฟดดิงแบบนาคากามิเอ็มเท่ากับ 2 ($m = 2$) 49

4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดความผิดพลาดบิตของระบบ DS-QPSK CDMA กับจำนวนผู้ใช้งาน โดยกำหนดจำนวนสาขาของเครื่องรับแบบเรคมีค่าเท่ากับ 2 ($L = 2$) เมื่อค่าตัวแปรเสริมเฟดดิงแบบนาคากามิเอ็มมีค่าเท่ากับ 0.5, 1, 2 และ 3.....49

4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดความผิดพลาดบิตของระบบ DS-QPSK CDMA กับจำนวนผู้ใช้งาน โดยกำหนดจำนวนสาขาของเครื่องรับแบบเรคมีค่าเท่ากับ 6 ($L = 6$) เมื่อค่าตัวแปรเสริมเฟดดิงแบบนาคากามิเอ็มมีค่าเท่ากับ 0.5, 1, 2 และ 3.....50

4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดความผิดพลาดสัญลักษณ์ของระบบ DS-QPSK CDMA กับจำนวนผู้ใช้งาน โดยจำนวนสาขาของเครื่องรับแบบเรคมีค่าเท่ากับ 2, 4, 6 และ 8 เมื่อกำหนดค่าตัวแปรเสริมเฟดดิงแบบนาคากามิเอ็มเท่ากับ 0.5 ($m = 0.5$) 51

4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดความผิดพลาดสัญลักษณ์ของระบบ DS-QPSK CDMA กับ จำนวนผู้ใช้งาน โดยจำนวนสาขาของเครื่องรับแบบเรคมีค่าเท่ากับ 2, 4, 6 และ 8 เมื่อกำหนดค่าตัวแปรเสริมเฟดดิงแบบนาคากามิเอ็มเท่ากับ 1 ($m = 1$) 51

4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดความผิดพลาดสัญลักษณ์ของระบบ DS-QPSK CDMA กับจำนวนผู้ใช้งาน โดยจำนวนสาขาของเครื่องรับแบบเรคมีค่าเท่ากับ 2, 4, 6 และ 8 เมื่อกำหนดค่าตัวแปรเสริมเฟดดิงแบบนาคากามิเอ็มเท่ากับ 2 ($m = 2$) 52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.21 เปรียบเทียบอัตราการเกิดความผิดพลาดสัญลักษณ์ระหว่างระบบ DS-BPSK กับ DS-QPSK เมื่อกำลังงานสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของระบบเพิ่มขึ้นโดยกำหนดให้จำนวนสาขาเครื่องรับเรคเท่ากับ 2 ($L = 2$) ……53

4.22 เปรียบเทียบอัตราการเกิดความผิดพลาดสัญลักษณ์ระหว่างระบบ DS-BPSK กับ DS-QPSK เมื่อกำลังงานสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของระบบเพิ่มขึ้นโดยกำหนดให้จำนวนสาขาเครื่องรับเรคเท่ากับ 4 ($L = 4$) ……53

4.23 เปรียบเทียบอัตราการเกิดความผิดพลาดสัญลักษณ์ระหว่างระบบ DS-BPSK กับ DS-QPSK เมื่อกำลังงานสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของระบบเพิ่มขึ้นโดยกำหนดให้จำนวนสาขาเครื่องรับเรคเท่ากับ 6 ($L = 6$) ……54

4.24 เปรียบเทียบอัตราการเกิดความผิดพลาดสัญลักษณ์ระหว่างระบบ DS-BPSK กับ DS-QPSK เมื่อกำลังงานสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของระบบเพิ่มขึ้นโดยกำหนดให้ตัวแปรเสริมเฟดดิงเอ็มเท่ากับ 0.5 ($m = 0.5$) ……...55

4.25 เปรียบเทียบอัตราการเกิดความผิดพลาดสัญลักษณ์ระหว่างระบบ DS-BPSK กับ DS-QPSK เมื่อกำลังงานสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของระบบเพิ่มขึ้นโดยกำหนดให้ตัวแปรเสริมเฟดดิงเอ็มเท่ากับ 1 ($m = 1$) ……..55

4.26 เปรียบเทียบอัตราการเกิดความผิดพลาดสัญลักษณ์ระหว่างระบบ DS-BPSK กับ DS-QPSK เมื่อกำลังงานสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของระบบเพิ่มขึ้นโดยกำหนดให้ตัวแปรเสริมเฟดดิงเอ็มเท่ากับ 3 ($m = 3$) ……..56

4.27 เปรียบเทียบอัตราการเกิดความผิดพลาดสัญลักษณ์ระหว่างระบบ DS-BPSK กับ DS-QPSK เมื่อจำนวนผู้ใช้งานในระบบเพิ่มขึ้น โดยค่าตัวแปรเสริมเฟดดิงแบบนาคากามิเอ็มเท่ากับ 0.5 ($m = 0.5$) …… 57

4.28 เปรียบเทียบอัตราการเกิดความผิดพลาดสัญลักษณ์ระหว่างระบบ DS-BPSK กับ DS-QPSK เมื่อจำนวนผู้ใช้งานในระบบเพิ่มขึ้น โดยค่าตัวแปรเสริมเฟดดิงแบบนาคากามิเอ็มเท่ากับ 1 ($m = 1$) ……57

4.29 เปรียบเทียบอัตราการเกิดความผิดพลาดสัญลักษณ์ระหว่างระบบ DS-BPSK กับ DS-QPSK เมื่อจำนวนผู้ใช้งานในระบบเพิ่มขึ้น โดยค่าตัวแปรเสริมเฟดดิงแบบนาคากามิเอ็มเท่ากับ 3 ($m = 3$) ……58