บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชัน หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ฉบับปีการศึกษา พ.ศ. 2546

COMPUTER ASSISTED INSTRUCTION ON DIGITAL COMMUNICATION COURSE OF DIGITAL MODULATION FOR THE 2003 VOCATIONAL EDUCATION INSTITUTE

ภัทร ทองสามศรี

PHATTARA TONGSAMSRI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2547

ISBN 974-9709-79-9

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันอาชีวศึกษา พ.ศ. 2546

COMPUTER ASSISTED INSTRUCTION ON DIGITAL COMMUNICATION COURSE OF DIGITAL MODULATION FOR THE 2003 VOCATIONAL EDUCATION INSTITUTE

ภัทร ทองสามสี

PHATTARA TONGSAMSRI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

ISBN 974-9709-79-9

COMPUTER ASSISTED INSTRUCTION ON DIGITAL COMMUNICATION COURSE OF DIGITAL MODULATION FOR THE 2003 VOCATIONAL EDUCATION INSTITUTE

PHATTARA TONGSAMSRI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION
IN ELECTRICAL COMMUNICATIONS ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2004

ISBN 974-9709-79-9

COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันอาชีวศึกษา พ.ศ. 2546
นักศึกษา	นายภัทร ทองสามสี
รหัสประจำตัว	42064603
ปริญญา	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาตราจารย์ วิสุทธิ์ อธิพรธรรม

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันอาชีวศึกษา พ.ศ. 2546 และเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น โดยตั้งสมมติฐานไว้ว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด 80/80 และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างกลุ่มผู้เรียนจากสื่อการสอนด้วยคอมพิวเตอร์มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแตกต่างกันกับกลุ่มผู้เรียนตามการสอนปกติ

ผู้วิจัยได้พัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น จำนวน 3 บทเรียนโดยมีเนื้อหาตามหลักสูตร ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาแต่ละบทเรียน แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน และแบบทดสอบหลังเรียน โดยได้นำบทเรียนที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 สาขาวิช่างอิเล็กทรอนิกส์ ที่เรียนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล ของวิทยาลัยเทคนิคราชบุรี จำนวน 40 คน ซึ่งแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม กลุ่มละ 20 คน โดยกลุ่มทดลองเป็นกลุ่มที่เรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน และกลุ่มควบคุมเป็นกลุ่มที่เรียนด้วยวิธีการเรียนแบบปกติ

ผลการวิจัยพบว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ได้สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 80.50/81.25 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา กลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

Thesis title	Computer Assisted Instruction of Digital Communication System Course on Digital Modulation for the 2003 Vocational Diploma Curriculum of the Vocational Education Institute
Student	Mr.Phattara Tongsamsri
Student ID.	42064603
Degree	Master of Science in Industrial Education
Programme	Electrical Communications Engineering
Year	2004
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Surasit Ratree
Thesis Co- Advisor	Assistant Professor Wisuit Atipomtum

ABSTRACT

The purposes of this research were to build and determine the efficiency of the Computer Assisted Instruction of Digital Communication System Course on Digital Modulation for the 2003 Vocational Diploma Curriculum of the Vocational Education Institute, and to compare learning achievement of the sample who studied through the CAI was different from of those who studied through normal lessons. The hypotheses of the research were that the efficiency of the CAI of digital communication system course on digital modulation according to the required criteria was at 80/80

Three lessons of the CAI of digital communication system course on digital modulation were developed to cover the curriculum including content, lessons, exercises and tests. The sample of the study was 40 senior students of vocational diploma from electronics department. The sample was devided into two group; experiment and control groups.

The result obtained from the research was that the efficiency of the CAI built was at 80.50/81.25 which was higher than the standard level of 80/80, and the academic achievement of the experiment group was higher than of the control group with statistical significance at 0.05 level

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ ให้กำลังใจและช่วยตรวจสอบแก้ไขตลอดจนปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา, ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ และ ผศ.ว่าที่ร้อยโท พิชัย สดภิบาล ที่ให้คำแนะ แก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณท่านผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา ผศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์, อาจารย์มนตรี พรหมเพชร และ ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์ รวมทั้งผู้ทรงคุณวุฒิด้านเทคนิคการผลิตสื่อ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข, อาจารย์วีระ พูลชื่น และ อาจารย์ธีระวุฒิ ชมใจ ที่ให้คำปรึกษาด้านเนื้อหาและด้านสื่อ ตรวจหาข้อบกพร่อง ให้นำมาปรับปรุงแก้ไข จนสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งให้การประเมินเครื่องมือที่จะนำไปใช้ในการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ชนะ อาจารย์ลำพึง วุฒิอำพล อาจารย์พิพัฒน์ อาจารย์วาณีพร ธำรงเวียงผึ้ง และ ครู-อาจารย์แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี ที่ให้ความช่วยเหลือพร้อมเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา

ขอขอบคุณท่านอาจารย์มานพ ทองใบ ที่ให้คำปรึกษาในด้านการทำวิจัยตลอดจนการประมวลผลการวิจัย และท่านอาจารย์กรณิการ์ พุทธทิพย์ ที่เป็นกำลังใจและให้ความแนะนำด้านภาษาอังกฤษ และที่ขาดเสียไม่ได้คือคณะผู้บริหารทุกท่านที่ให้โอกาส ให้ความเมตตาและอำนวยความสะดวกในสิ่งต่างๆ ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณไพศาล ระงับพิศม์, คุณคมสัน ระงับพิศม์ และ คุณอมรชัย ปิ่นนพเกล้า ผู้มีความสามารถด้านการผลิตสื่อ ที่ทำให้สื่อเสร็จสมบูรณ์สวยงาม และมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ผู้ที่มีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จของวิทยานิพนธ์นี้คือ คุณเรไร ทองสามสี ที่ห่วงใย ดูแล ให้กำลังใจ อีกทั้งดช.ณัชพล และ ดช.ไชยวัฒน์ ทองสามสี ที่เป็นกำลังใจ ไม่ดื้อไม่ซน และที่ขาดเสียไม่ได้คือหลวงพ่อจตุพงค์ กตสาโร คุณแม่เล็ก ทองสามสี ผู้ให้กำเนิด ให้ความรัก ความเมตตา ทุนทรัพย์ ให้กำลังใจเป็นอย่างยิ่ง และขอบคุณกำลังใจทุกกำลังใจจากญาติพี่น้องทุกท่านที่คอยให้กำลังใจและรอคอยความสำเร็จ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ ก็เพราะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านทั้งหลายดังที่กล่าวมานี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างมาก คุณค่าและประโยชน์ใดๆ ที่อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์นี้ หากเป็นบุญกุศลขอให้บังเกิดแด่ คุณพ่อ คุณแม่ ครู-อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

ภัทร ทองสามสี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ III

กิตติกรรมประกาศ IV

สารบัญ V

สารบัญตาราง VIII

สารบัญรูป X

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย 3

1.4 กรอบแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย 3

1.5 ขอบเขตของการวิจัย 4

1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 หลักสูตรวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล รหัสวิชา 31052302 6

2.1.1 คำอธิบายรายวิชา 6

2.1.2 จุดประสงค์รายวิชา 6

2.1.3 หน่วยการสอน 7

2.1.4 แผนการสอนหน่วยที่ทำวิจัย 7

2.2 ทฤษฎีและความรู้เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น 8

2.3 คุณลักษณะและการออกแบบพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน 9

2.3.1 ลักษณะบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน 9

2.3.2 การออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนของ Robert Gagne 10

2.3.3 การออกแบบและพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน 11

2.3.4 การหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน 13

2.4 โปรแกรมที่ใช้สนับสนุนการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน 15

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 17

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 17

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 18

3.2.1 การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่อง ดิจิตอลมอดูเลชั่น 19

3.2.2 การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 22

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล 26

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล 27

3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล 27

3.5.1 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์หาคุณภาพแบบทดสอบ 27

3.5.2 สถิติที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน 29

3.5.3 สถิติที่ใช้ในการหาคุณภาพของของบทเรียนด้านเนื้อหา และ เทคนิคการผลิตสื่อของผู้ทรงคุณวุฒิ 29

3.5.4 สถิติที่ใช้เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 2 กลุ่ม 30

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 31

4.1 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านเนื้อหา 31

4.2 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านเทคนิคการผลิตสื่อ 32

4.3 ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน 32

4.4 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างวิธีเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนกับวิธีการเรียนแบบปกติ 33

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ 35

5.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 35

5.2 สมมุติฐานของการวิจัย 35

5.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 35

5.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 36

5.5 การดำเนินการทดลอง 36

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.6 การวิเคราะห์ข้อมูล 37

5.7 สรุปผลการวิจัย 37

5.8 อภิปรายผล 38

5.8.1 ด้านการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน 38

5.8.2 ด้านการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 38

5.9 ข้อเสนอแนะ 39

5.9.1 ข้อเสนอแนะเพื่อนำผลวิจัยไปใช้ 39

5.9.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป 40

บรรณานุกรม 41

ภาคผนวก 43

ภาคผนวก ก หนังสือราชการ 44

ภาคผนวก ข ทฤษฎีและความรู้เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น 50

ภาคผนวก ค ตัวอย่างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน 107

ภาคผนวก ง แบบทดสอบ 119

แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน 120

แบบทดสอบหลังเรียน 123

ภาคผนวก จ แบบประเมินสื่อการสอน 126

ภาคผนวก ช การคำนวณทางสถิติ 131

ประวัติผู้เขียน 148

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 หน่วยการสอนรายวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล 7

2.2 แผนการสอนหน่วยที่ทำวิจัยในวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล 7

3.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจุดประสงค์การเรียนรู้กับเนื้อหาสาระ 23

3.2 จำนวนข้อสอบตามความสำคัญของวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม 24

4.1 แสดงค่าสรุปในด้านเนื้อหาของค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับคุณภาพของ
บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน 31

4.2 แสดงค่าสรุปในด้านเทคนิคการผลิตสื่อของค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับ
คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน 32

4.3 แสดงผลการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล
เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น 33

ข1 แสดงความถี่และอัตราการส่งที่ใช้ในโมเด็ม FSK แบบมาตรฐาน.....85

ข2 โมเด็มแบบฟูลดูเพล็กซ์ 88

ข3 โมเด็มแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ 92

ข4 ตารางความจริงของมิกเซอร์แบบดิจิตอล 100

ฉ1 ผลการประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม 132

ฉ2 ผลการประเมินความสอดคล้องของแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม..133

ฉ3 แสดงค่าความยาก และค่าอำนาจจำแนก ของแบบทดสอบ 134

ฉ4 ค่าดัชนีความสอดคล้อง ค่าความยากง่าย และค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ 134

ฉ5 แสดงค่าความยาก และค่าอำนาจจำแนก ของแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน 135

ฉ6 ค่าดัชนีความสอดคล้อง ค่าความยากง่าย และค่าอำนาจจำแนกของแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน ..135

ฉ7 การหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ 136

ฉ8 การหาค่าความเชื่อมั่นของแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน 137

ฉ9 ผลการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ด้านเนื้อหา 138

ฉ10 แสดงค่าสรุปในด้านเนื้อหาของค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับคุณภาพของ
บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน 140

ฉ11 ผลการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ 141

ฉ12 แสดงค่าสรุปในด้านเทคนิคการผลิตสื่อของค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับ
คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน 143

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ฉ13 การหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์โดยนำไปทดลองใช้กับนักศึกษาที่ไม่ใช่กลุ่ม
ตัวอย่างจำนวน 3 คน 144
ฉ14 ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ใช้กับนักศึกษาจำนวน 3 คน 144
ฉ15 การหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์โดยนำไปทดลองใช้กับนักศึกษาที่ไม่ใช่กลุ่ม
ตัวอย่างจำนวน 6 คน 144
ฉ16 ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ใช้กับนักศึกษาจำนวน 6 คน 144
ฉ17 การหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ โดยการนำไปทดลองกันกลุ่มทดลอง 145
ฉ18 การเปรียบเทียบผลการทำแบบทดสอบก่อนเรียนระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม.....146
ฉ19 แสดงการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนโดยวิธีการเรียน
ด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนกับนักศึกษาที่เรียนด้วยการเรียนแบบปกติ 146
ฉ20 การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม 147
ฉ21 แสดงการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนโดยวิธีการเรียนด้วย
บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนกับนักศึกษาที่เรียนด้วยการเรียนแบบปกติ 147

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

3.1 แสดงขั้นตอนการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน 18
3.2 ผังงานการใช้โปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น 20
ข1 รูปแบบของสัญญาณ 51
ข2 ข้อมูลไบนารีแบบสุ่ม 52
ข3 สเปกตรัมของข้อมูลไบนารีแบบสุ่ม 53
ข4 ลำดับไบนารีแบบสุ่มเทียม 54
ข5 สเปกตรัมของสัญญาณ 56
ข6 สัญญาณรบกวน 57
ข7 ฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของสัญญาณรบกวน 57
ข8 ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการส่ง 58
ข9 ความน่าจะเป็นของความผิดพลาด 59
ข10 Bit Error Rate Indicator 59
ข11 การวัดอัตราผิดพลาด 60
ข12 ผลของข้อจำกัดทางแชนแนลที่มีต่อการส่งข้อมูล 61
ข13 การส่งข้อมูลผ่านโมเด็ม 62
ข14 รูปคลื่นใน ASK Generator 63
ข15 สัญญาณ ASK ซึ่งมีความไม่ต่อเนื่อง 64
ข16 สเปกตรัมของสัญญาณเบสแบนด์ 64
ข17 ผลที่เกิดจากความไม่ต่อเนื่อง 65
ข18 การดีมอดูเลทชั่น 66
ข19 ผลของสัญญาณรบกวนในการดีมอดูเลทแบบ ASK 67
ข20 ประสิทธิภาพทางทฤษฎีของ ASK ในสัญญาณรบกวน 68
ข21 สัญญาณ ASK และ FSK 71
ข22 ไบนารี FSK ในอุดมคติ 72
ข23 การสร้างสัญญาณ FSK 72
ข24 สเปกตรัมอย่างง่ายของ FSK 74
ข25 ผลของอัตราส่วน $\Delta f / Rb$ ที่มีผลต่อ FSK 74
ข26 สเปกตรัมของสัญญาณ FSK.....75

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

ข27 ดีมอดูเลเตอร์ FSK แบบนอนโคอีเรนท์ 76
ข28 ความผิดพลาดในการส่งสัญญาณ FSK 77
ข29 สัญญาณของ FSK และ PSK 78
ข30 ฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของความผิดพลาดสำหรับ FSK และ ASK 79
ข31 สเปกตรัมของสัญญาณ FSK แบบง่าย 82
ข32 แบนด์วิดธ์ของสายโทรศัพท์แบบมาตรฐาน 83
ข33 การสื่อสารแบบฟลูดูเพล็กบนสายโทรศัพท์ชนิดสองเส้น.....84
ข34 แชนแนลของการส่งแบบฮาร์ฟดูเพล็ก.....84
ข35 การส่งแบบฮาร์ฟดูเพล็ก 85
ข36 FSK Mode 86
ข37 การแบ่งแชนแนลสำหรับการส่งแบบฟลูดูเพล็ก 89
ข38 การส่งแบบฟลูดูเพล็ก.....89
ข39 แชนแนลสำหรับการส่งแบบฮาร์ฟดูเพล็ก.....92
ข40 การส่งแบบฮาร์ฟดูเพล็ก..... 93
ข41 การส่งแบบฟลูดูเพล็ก 93
ข42 Binary Phase Shift Keying 96
ข43 สเปกตรัมโดยทั่วไปของสัญญาณ BPSK 97
ข44 บล๊อกไดอะแกรมของดีมอดูเลเตอร์ BPSK แบบ Costas Loop อย่างง่าย 98
ข45 BPSK Demodulator 99
ข46 การดีมอดูเลทสัญญาณ BPSK 100
ข47 สัญญาณต่างๆ ในวงจร PLL..... 102
ข48 การทำงานของ Costas Loop..... 104
ข49 การเปรียบเทียบสัญญาณ NRZ แบบยูนิโพลาร์และไบโพลาร์ 105
ค1 กรอบนำเข้าสู่บทเรียน 108
ค2 กรอบเมนูหลัก 108
ค3 กรอบวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมเรื่อง ASK.....109
ค4 กรอบเนื้อหาเรื่อง ASK 109
ค5 กรอบยินดีต้อนรับเข้าสู่แบบฝึกหัดท้ายบทเรียนของเรื่อง ASK 110

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

ค6 กรอบแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนเรื่อง ASK 110
ค7 กรอบสรุปคะแนนแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน เรื่อง ASK 111
ค8 กรอบวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมเรื่อง FSK 111
ค9 กรอบเนื้อหาเรื่อง FSK 112
ค10 กรอบเนื้อหาเรื่อง FSK 112
ค11 กรอบยินดีต้อนรับเข้าสู่แบบฝึกหัดท้ายบทเรียนของเรื่อง FSK 113
ค12 กรอบแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนเรื่อง FSK 113
ค13 กรอบสรุปคะแนนแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน เรื่อง FSK 114
ค14 กรอบวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมเรื่อง PSK 114
ค15 กรอบเนื้อหาเรื่อง PSK 115
ค16 กรอบยินดีต้อนรับเข้าสู่แบบฝึกหัดท้ายบทเรียนของเรื่อง PSK 115
ค17 กรอบแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนเรื่อง PSK 116
ค18 กรอบสรุปคะแนนแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน เรื่อง PSK 116
ค19 กรอบยินดีต้อนรับเข้าสู่แบบทดสอบหลังเรียน 117
ค20 กรอบแบบทดสอบข้อที่ 1 117
ค21 กรอบสรุปคะแนนในการทดสอบ 118
ค22 กรอบจบออกจากโปรดแกรม 118

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีระบบสื่อสารมีการพัฒนารุดหน้าไปอย่างรวดเร็วและเข้ามามีบทบาทกับชีวิตประจำวันของเรามากขึ้นเรื่อยๆ ในหลายด้านเช่น การติดต่อสื่อสาร ธุรกิจ การศึกษาเป็นต้น และในหลักสูตรของกรมอาชีวศึกษาในวิชาระบบสื่อสารดิจิตอลมีเนื้อหาที่เกี่ยวกับการมอดูเลชั่น (Modulation) และดีมอดูเลชั่น (Demodulation) ในเชิงคณิตศาสตร์, Pulse Amplitude Modulation (PAM), Pulse Position Modulation (PPM), Pulse Width Modulation (PWM), Amplitude Shift Keying (ASK), Frequency Shift Keying (FSK), Phase Shift Keying (PSK), Time Division Multiplex (TDM) ระบบ Pulse Code Modulation (PCM) ซึ่งในเนื้อหาดังกล่าวเป็นเนื้อหาที่มีความสำคัญ เพราะเป็นความรู้พื้นฐานที่จะนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการศึกษาที่สูงขึ้นได้เป็นอย่างดี จากการเรียนการสอนในวิชาระบบสื่อสารระบบดิจิตอลนั้น ต้องเรียนรู้ทฤษฎีและใช้การปฏิบัติเพื่อเป็นการพิสูจน์ทฤษฎี โดยมีการจัดการเรียนการสอนที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจ มีทักษะ มีประสบการณ์ สามารถนำความรู้ไปใช้ประกอบอาชีพได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การจะทำให้ผู้เรียนมีทักษะความรู้ความเข้าใจที่ดีนั้น ต้องมีความเข้าใจในทฤษฎีของวิชานั้นๆ เสียก่อน จึงจะสามารถนำไปสู่การปฏิบัติที่ดีได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวิชาระบบสื่อสารดิจิตอลนั้นมีเนื้อหาที่ต้องทำความเข้าใจทฤษฎีเป็นอย่างยิ่ง แต่ในการเรียนการสอนกลับประสบกับปัญหาคือไม่มีสื่อการเรียนการสอนที่เหมาะสม ที่สามารถนำมาจำลองสถานการณ์ในการเรียนการสอนได้อย่างชัดเจน เพราะเอกสารหรือตำราที่ใช้ในการเรียนการสอนมีรูปสัญญาณแสดงเป็นภาพนิ่งไม่สามารถเห็นถึงการเปลี่ยนแปลงสถานะและรูปร่างสัญญาณต่างๆ ได้

การนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการเรียนการสอน โดยที่คอมพิวเตอร์จะทำการนำเสนอบทเรียนที่สามารถเรียนได้ด้วยตนเอง คอมพิวเตอร์ช่วยสอนในปัจจุบันจะพบว่ามีการนำสื่อประสมหรือมัลติมิเดีย เข้ามาช่วยในการเสนอเนื้อหา (สื่อประสมคือ การผสมผสานสื่อหลายๆ ชนิด เช่น ข้อความ เสียง ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว ฯลฯ เข้าด้วยกัน) ซึ่งเพิ่มประสิทธิภาพการนำเสนอเนื้อหาของ Computer – Assisted Instruction (CAI) ได้มากจึงทำให้ CAI ได้รับความนิยมแพร่หลายมากขึ้น (ถนอม ตันพิพัฒน์, 2539:3)

การใช้คอมพิวเตอร์เป็นสื่อการเรียนการสอน ร่วมกับบทเรียนที่ได้ผ่านกระบวนการสร้างและพิจารณาแล้วเป็นอย่างดี ซึ่งมักจะเรียกกันว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนโดยที่บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจะมีเนื้อหาหรือสารสนเทศ มีแบบฝึกหัดการทดสอบและการให้ข้อมูลป้อน

กลับให้ผู้เรียนได้ตอบสนองต่อบทเรียนเนื้อหาวิชาที่นำเสนอด้วยคอมพิวเตอร์อาจจะเป็นตัวอักษร รูปภาพ กราฟฟิก เสียง หรือทั้งภาพและเสียงประกอบกัน ตลอดจนอาจใช้สื่ออื่นร่วมกับคอมพิวเตอร์ช่วยสอนก็ได้ เช่น เครื่องเล่นวีดีทัศน์แบบแผ่น (Video Disc Player) เครื่องเล่นแผ่นซีดี (CD-ROM player) และหรือสื่อประสม (Multimedia System) เป็นต้น (วชิระ อินทร์อุดม, 2539:1)

ในปัจจุบันหลายๆ คนให้ความสนใจในการพัฒนาสื่อการเรียนการสอนด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยสอนโดยเฉพาะในการศึกษาด้านอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีการเรียนการสอนที่ต้องใช้ทฤษฎีและปฏิบัติ โดยมีการจัดการเรียนการสอน มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ มีทักษะ มีประสบการณ์นำไปประกอบงานในอาชีพได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การที่ผู้เรียนจะมีทักษะความรู้ความเข้าใจที่ดีได้ ต้องมีความรู้ความเข้าใจในทฤษฎีของวิชานั้นๆ เสียก่อนจึงจะนำไปสู่การปฏิบัติที่ดีได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล ซึ่งมีเนื้อหาที่ต้องทำความเข้าใจทฤษฎีเป็นอย่างยิ่ง เพราะมีเนื้อหาที่เป็นพื้นฐานสำคัญในการเรียนรู้ในวิชาอื่นๆ ที่สูงขึ้นต่อไป ดังนั้น การมีความรู้และความเข้าใจในหลักการและทฤษฎี จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง

จากปัญหาเหล่านี้ผู้วิจัยได้เห็นถึงความสำคัญของการเรียนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมาเป็นสื่อในการเรียนการสอน ซึ่งสามารถเสนอเนื้อหาสรุป ให้แก่ผู้เรียนในรูปข้อความที่เป็นตัวอักษรต่างๆ ภาพกราฟฟิก ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว เสียงประกอบ และยังให้ผู้เรียนตอบคำถามได้ นอกจากนี้ยังช่วยสร้างความเข้าใจให้ตรงกัน ขจัดความสับสนให้แก่ผู้เรียน และทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผู้เรียนสามารถเลือกเรียนได้ตามความต้องการของตนเอง ทำให้ผู้เรียนเกิดความสนใจ เกิดการเรียนรู้อย่างถูกต้องในเนื้อหาที่ซับซ้อน และทำให้ผู้เรียนทราบความก้าวหน้าของตนเองอย่างสม่ำเสมอได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอลเรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่นที่มีคุณภาพ

2. เพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น

3. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่นของนักศึกษาที่เรียนด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยสอนกับการสอนปกติ

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

1. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น ที่สร้างขึ้นมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีขึ้นไป

2. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด 80/80

3. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างกลุ่มผู้เรียนจากสื่อการสอนด้วยคอมพิวเตอร์ กับกลุ่มผู้เรียนตามการสอนปกติ มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแตกต่างกัน

1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยเรื่อง "บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น" ผู้วิจัยได้ใช้แนวคิดของ อมร สุขจำรัส (2533 : 25) และวิลาวรรณ์ ชาแท่น (2537 : 45) และสมจิต สวธนไพบูลย์ (2526 : 11-17) ที่กล่าวถึงบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมาสร้างเป็นกรอบแนวคิดเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้ โดยแบ่งเป็น 2 ด้านดังนี้

1. ด้านการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยได้ยึดแนวคิดของ อมร สุขจำรัส และวิลาวรรณ์ ชาแท่น ซึ่งมีกระบวนการเรียนการสอน 9 เหตุการณ์ของ Robert Gagne' (อ้างใน นงนุช เพ็ชร์รื่น. 2543 : 13-16) คือ

1.1 เร้าความสนใจ (Gain Attention)

1.2 การบอกวัตถุประสงค์ (Specify Objectives)

1.3 ทบทวนความรู้เดิม (Activate Prior Knowledge)

1.4 การเสนอเนื้อหาใหม่ (Present New Information)

1.5 ชี้แนวทางการเรียนรู้ (Guide Learning)

1.6 กระตุ้นการตอบสนอง (Elicit Response)

1.7 ให้ข้อมูลย้อนกลับ (Provide Feedback)

1.8 ทดสอบความรู้ (Assess Performance)

1.9 การจำแนกและการนำไปใช้ (Promote Retention And Transfer)

2. ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่นได้ยึดแนวคิดของ สมจิต สวธนไพบูลย์ (2526 : 11-17) ประด้วยส่วนเนื้อหาความรู้ และกระบวนการแสวงหาความรู้ ซึ่งมีลักษณะดังนี้

2.1 ความรู้ ความจำ

2.2 ความเข้าใจ

2.3 การนำไปใช้

2.4 วิเคราะห์

2.5 สังเคราะห์

2.6 ประเมินค่า

2.7 แก้ปัญหาได้

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1. เนื้อหาวิชาที่นำมาสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเป็นไปตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พุทธศักราช 2546 วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล รหัสวิชา 31052302 โดยเนื้อหาประกอบด้วย Amplitude Shift Keying, Frequency Shift Keying และPhase Shift Keying สำหรับนักศึกษาแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคในสถาบันอาชีวศึกษา

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

2.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักศึกษาแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล ในวิทยาลัยเทคนิค สถาบันการอาชีวศึกษา ภาคกลาง1 ภาคเรียนที่ 2/2546 จำนวน 40 คน

2.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง คือนักศึกษาแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล ในสถาบันการอาชีวศึกษาภาคกลาง1 วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี โดยการสุ่มเป็นกลุ่ม (Cluster Sampling) ด้วยวิธีการจับฉลากได้กลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มคือ

- กลุ่มทดลองที่เรียนด้วยโปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน จำนวน20 คน
- กลุ่มควบคุมที่เรียนด้วยการสอนแบบปกติจำนวน 20 คน

3. ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย

3.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ วิธีสอนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

3.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ดิจิตอลมอดูเลชั่น

1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

1. ดิจิตอลมอดูเลชั่น หมายถึง เนื้อหาที่ประกอบด้วยเรื่อง ASK, FSK และ PSK ที่อยู่ในรายวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล รหัสวิชา 31052302 ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546

2. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ข้อสอบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับประเมินผลหลังเรียนบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น

3. แบบประเมิน หมายถึง เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง ดิจิตอลมอดูเลชั่นจากผู้ทรงคุณวุฒิ 2 ด้าน คือแบบประเมินด้านเนื้อหา และแบบประเมินด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

4. นักศึกษา หมายถึง นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล

5. ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน หมายถึง ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่เรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยการวัดจากแบบฝึกหัดและแบบทดสอบได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด 80/80

5.1 80 ตัวแรก หมายถึง คะแนนเฉลี่ยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ผู้เรียนทำแบบฝึกหัดท้ายแต่ละเนื้อหาย่อย

5.2 80 ตัวหลัง หมายถึง คะแนนเฉลี่ยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่นักเรียนทำแบบทดสอบหลังการเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

6. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง คะแนนที่ได้จากการทดสอบด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น

7. แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน หมายถึง แบบทดสอบแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือกที่ใช้หลังการเรียนแต่ละบทของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

8. แบบทดสอบ คือ แบบทดสอบแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือกที่ใช้หลังการเรียนบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น ครบทั้ง 3 บทเรียนแล้ว

9. การเรียนตามการสอนปกติ หมายถึง การสอนที่ครูเป็นผู้ดำเนินการสอน โดยยึดแนวการสอนตามคู่มือครูวิชา ระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น โดยดำเนินการสอนตามวิธีที่เคยใช้ปกติคือ การบรรยาย การอภิปราย และใช้อุปกรณ์ตามที่กำหนดไว้ในแผนการสอน

10. กลุ่มทดลอง หมายถึง นักศึกษาที่เรียนด้วยโปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน จำนวน 20 คน

11. กลุ่มควบคุม หมายถึง นักศึกษาที่เรียนด้วยวิธีเรียนแบบปกติจำนวน 20 คน

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวกับการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง 2546 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ โดยนำเสนอตามลำดับดังนี้

2.1 หลักสูตรวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล รหัส 31052302

2.2 ทฤษฎีและความรู้เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น

2.3 ลักษณะและการออกแบบพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

2.4 โปรแกรมที่ใช้สนับสนุนในการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักสูตรวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล รหัสวิชา 31052302

จากหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง 2546 วิชาระบบสื่อสารดิจิตอลเป็นวิชาหมวดวิชาชีพเฉพาะสำหรับนักศึกษาที่เลือกเรียนในสาขางานเทคนิคโทรคมนาคม ระดับชั้นปีที่ 2 เป็นวิชาที่สอนทั้งทฤษฎีและปฏิบัติ ใช้เวลาสัปดาห์ละ 5 คาบ เรียนประมาณ 20 สัปดาห์ / ภาคเรียน คิดเป็น 3 หน่วยกิต ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาการมอดูเลชันและดีมอดูเลชันในเชิงคณิตศาสตร์ และวงจร PAM (Pulse Amplitude Modulation), PPM (Pulse Position Modulation), PWM (Pulse Width Modulation), ASK (Amplitude Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying), PSK (Phase Shift Keying), TDM (Time Division Multiplex) ระบบ PCM (Pulse Code Modulation)

ปฏิบัติ วัดและทดสอบวงจรมอดูเลชัน และดีมอดูเลชัน ในระบบสื่อสารดิจิตอลด้วยเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง

2.1.2 จุดประสงค์รายวิชา

เพื่อให้เข้าใจการทำงานของวงจรมอดูเลชัน และดีมอดูเลชันในระบบสื่อสารดิจิตอล มีกิจนิสัยในการค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

2.1.3 หน่วยการสอน

จากคำอธิบายรายวิชาสามารถแยกเป็นหน่วยการเรียนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอลได้ดังนี้

ตารางที่2.1 หน่วยการสอนรายวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล

สัปดาห์ที่	เนื้อหาที่สอน	ทฤษฎี/คาบ
1	หน่วยที่ 1 ความรู้เรื่องพัลส์ (pulse)	2
2-3	หน่วยที่ 2 Pulse Amplitude Modulation (PAM)	4
4-5	หน่วยที่ 3 Pulse Position (PPM)	4
6-7	หน่วยที่ 4 Pulse Width Modulation (PWM)	4
8-9	**หน่วยที่ 5 Amplitude Shift Keying (ASK)**	**4**
10-12	**หน่วยที่ 6 Frequency Shift Keying (FSK)**	**6**
13-14	**หน่วยที่ 7 Phase Shift Keying (PSK)**	**4**
15-16	หน่วยที่ 8 Time Division Multiplex (TDM)	4
16-19	หน่วยที่ 9 ระบบ Pulse Code Modulation (PCM)	6
20	สอบปลายภาค	2
-	รวม	40

สำหรับเนื้อหาที่ผู้วิจัยได้คัดมาเพื่อสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเป็นเนื้อหาที่อยู่ในหน่วยการเรียนที่ 5-7 มาจัดทำเป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

2.1.4 แผนการสอนหน่วยที่ทำวิจัย

ตารางที่ 2.2 แผนการสอนหน่วยที่ทำวิจัยในวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล

รายการสอนทฤษฎี	**จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม**
5. Amplitude Shift Keying 5.1 Base band Data Transmission 5.1.1 Pseudo-Random Binary Sequence 5.1.2 Detection ของ NRZ Signal in Noise 5.2 ASK Signal 5.2.1 Time และ Frequency Domain 5.2.2 Bit Error Rate (BER)	**หน่วยที่ 5** 1. อธิบายหลักการส่งผ่านข้อมูลเบสแบนด์และการDetection สัญญาณและการทำ NRZ ได้ 2. สามารถคำนวณหาค่าผิดพลาด Bit Error Rate ในสัญญาณได้ 3. อธิบายหลักการ ASK ได้ 3. อธิบายลักษณะสัญญาณ ASK ในเชิงความถี่และเชิงเวลา

ตารางที่ 2.2(ต่อ)

รายการสอนทฤษฎี	จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม
6. Frequency Shift keying 6.1 FSK Signal 6.1.1 Time และ Frequency Domain 6.1.2 Noise และ Error Rate FSK Modem 6.2 Half duplex Modem Transmission 6.2.2 Full duplex Modem Transmission 6.3 FSK Standard 6.3.1 CCITT V.21 และ Bell 103 6.3.2 CCITT V.23 Mode 2 Modemและ Bell 202	**หน่วยที่ 6** 1. สามารถอธิบายหลักการของ FSK ได้ 2. สามารถอธิบายสัญญาณ FSK ในเชิงคาบเวลาและความถี่ได้ 3. สามารถค่าผิดพลาดและ Noise ได้ 4. อธิบายหลักการของ FSK MODEM ได้ 6. บอกมาตรฐานของสัญญาณ FSK ที่นำไปใช้งานได้
7. Phase Shift Keying (PSK) 7.1 PSK Signal 7.1.1 Time และ Frequency Domain 7.1.2 Noise และ Error Rate 7.2 BPSK และ Multiphase PSK 7.2.1 BPSK และ Multiphase BPSK - Time และ Frequency Domain - Noise และ Error Rate	**หน่วยที่ 7** 1. อธิบายหลักการ PSK ได้ 2. อธิบายสัญญาณ PSK ในเชิงความถี่และคาบเวลาได้ 3. สามารถอธิบายค่าความผิดพลาดและ Noise ที่เกิดขึ้นใน PSK ได้ 4. อธิบายหลักการของ PSK MODEM BPSK MODEM

2.2 ทฤษฎีและความรู้เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น

ทฤษฎีและความรู้เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่นประกอบได้ด้วยเนื้อหา 3 เรื่องคือ

1. Amplitude Shift Keying (ASK)
2. Frequency Shift Keying (FSK)
3. Phase Shift Keying (PSK)

เป็นความรู้ที่เหมาะสมและตรงตามหลักสูตรของสถาบันการอาชีวศึกษา พุทธศักราช 2546 ซึ่งเนื้อหาเป็นการอธิบาย ไม่เน้นการคำนวณที่ซับซ้อน ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข

2.3 ลักษณะและการออกแบบพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

2.3.1 ลักษณะของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนโดยทั่วไปจะมีลักษณะการเรียนการสอนเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้ (วสันต์ อติศัพท์. 2530 ก 19 – 21 : วสันต์ อติศัพท์. 2530 ข : 77-80)

ก. ขั้นตอนนำเข้าสู่บทเรียน จะเริ่มตั้งแต่การทักทายผู้เรียน และบอกวัตถุประสงค์ของการเรียนเพื่อให้ผู้เรียนทราบ ซึ่งบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสามารถเสนอวิธีการได้ในรูปแบบที่น่าสนใจ ไม่ว่าจะเป็นภาพเคลื่อนไหว เสียง หรือผสมผสานหลายอย่างเข้าด้วยกันเพื่อเร้าความสนใจให้ผู้เรียนมุ่งความสนใจเข้าสู่บทเรียนต่อไป บางโปรแกรมอาจจะมีแบบทดสอบวัดความพร้อมของผู้เรียนก่อนก็ได้หรือมีรายการ (Menu) ให้ผู้เรียนเลือกเรียนตามความสนใจ โดยจัดลำดับการเรียนก่อนหลังด้วยตัวเอง

ข. ขั้นเสนอเนื้อหา บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนั้นจะเสนอเนื้อหาออกมาเป็นกรอบ โดยอาจจะเสนอในรูปแบบของตัวอักษร ภาพ เสียงต่างๆ ตลอดจนกราฟฟิก และภาพเคลื่อนไหว (Animation) เพื่อเร้าความสนใจในการเรียนการสอน และสร้างความเข้าใจในความคิดรวบยอดต่างๆ ได้ดี อาจจะเน้นด้วยสีสรรค์การโยงไปมาระหว่างกรอบต่างๆ แต่ละกรอบจะเสนอเนื้อหาที่ละประเด็นโดยเริ่มจากง่ายไปหายากเรียงลำดับไปเรื่อยๆ ผู้เรียนอาจจะควบคุมความเร็วในการเรียนรู้ด้วยตนเอง เพื่อให้ได้เรียนรู้มากที่สุดตามความสามารถของตนเอง และมีการชี้แนะ เพื่อจัดเนื้อหาสำหรับช่วยเหลือผู้เรียนไม้เกิดการเรียนรู้ที่ดี

ค. ขั้นคำถามและคำตอบ หลังจากเสนอเนื้อหาของบทเรียนแล้ว เพื่อจะวัดว่าผู้เรียนมีความเข้าใจในเนื้อหาเรื่องที่เรียนผ่านมาก็จะมีการทบทวน โดยให้ทำแบบฝึกหัดทบทวนและช่วยเพิ่มพูนความรู้ความชำนาญ เช่น คำถามแบบเลือกตอบ แบบเลือกผิด แบบถูกผิด แบบจับคู่เป็นต้น ซึ่งบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสามารถเสนอแบบฝึกหัดแก่ผู้เรียนได้น่าสนใจกว่าแบบทดสอบธรรมดา และผู้เรียนจะตอบคำถามของผู้เรียน

ง. ขั้นตอบคำถาม เมื่อได้รับคำตอบจากผู้เรียนคอมพิวเตอร์จะตรวจคำตอบ และแจ้งผลให้ผู้เรียนได้ทราบทันที อาจจะออกมาในรูปของข้อความ กราฟฟิกหรือเสียง ถ้าตอบผิดคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอาจบอกใบ้หรือเพิ่มส่วนซ่อมเสริมเนื้อหา แล้วให้ตอบคำตอบใหม่ และเมื่อตอบได้ถูกต้องจึงกล่าวไปสู่หัวเรื่องใหม่ต่อไปซึ่งจะหมุนเป็นวงจรอยู่จนกว่าจะหมดบทเรียนหน่วยนั้น

จ. ขั้นปิดบทเรียน เมื่อผู้เรียนเรียนจบบทเรียนแล้วคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจะประเมินผลการเรียนโดยให้ทำแบบทดสอบ ซึ่งมีจุดเด่นของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน สามารถจดคำตอบออกมาจากคลังที่สร้างไว้ และเสนอผู้เรียนแต่ละคนโดยไม่เหมือนกัน ทำให้ผู้เรียนไม่สามารถจดจำคำตอบจากการทำในครั้งแรก หรือแอบไปรู้คำตอบมาก่อนเอามาใช้ประโยชน์ได้ เมื่อทำแบบทดสอบแล้วผู้เรียนจะได้ทราบคะแนนผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้หรือไม่ รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการเรียนเป็นต้น

องค์ประกอบของคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีอยู่ 3 ระดับ (วัชระ อินทร์อุดม. 2539 : 2) คือ

1. บริบท เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดและกว้างที่สุด ซึ่งถือว่าเป็นองค์ประกอบระดับสูงสุดที่มีความเกี่ยวข้องกับตัวแปรต่างๆ ที่มีอยู่และเกี่ยวข้องกับการออกแบบการเรียนการสอนตัวแปรเหล่านี้ ได้แก่

1.1 สภาพแวดล้อมทางการเรียนการสอน

1.2 การจัดกลุ่มผู้เรียน

1.3 การผสมผสานการสอนในรูปแบบต่างๆ

1.4 ปรัชญาของผู้ออกแบบการสอน

1.5 ข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับการสอน

2. ยุทธศาสตร์ หมายถึง เทคนิคการสอนที่ใช้ในการสนับสนุนกิจกรรมการเรียนการสอน เช่น การสร้างความสนใจ การเลือกการรับรู้ การให้ข้อมูลป้อนกลับแบบต่างๆ การสอดแทรกคำถาม การให้ตัวอย่าง การสรุป การจัดลำดับความคิดก่อนเรียน การใช้สิ่งช่วยจัดมโนภาพ การอุปมา การเปรียบเทียบเป็นต้น สิ่งเหล่านี้ต่างก็เป็นยุทธศาสตร์ที่จะก่อให้เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนคอมพิวเตอร์การพิจารณายุทธศาสตร์เหล่านั้นอย่างละเอียดจะช่วยให้ผู้ออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสามารถกำหนดยุทธศาสตร์ที่เหมาะสมได้

3. ลักษณะที่สามารถเลือกได้เป็นองค์ประกอบสุดท้ายของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ที่รวมเอาความสามารถทางเทคนิคที่เหมาะสมของคอมพิวเตอร์มาใช้ในการเรียนการสอน ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะต้องใช้ความสามารถเพื่อเพิ่มและสนับสนุนยุทธศาสตร์ที่กล่าวมาแล้วได้เป็นอย่างดี เช่น การใช้เสียง การกระพริบ การกลับพื้นสีระหว่างตัวหนังสือและจอภาพ การใช้กราฟฟิก การใช้ภาพเคลื่อนไหว การควบคุมบทเรียนโดยผู้เรียนและการเปิดหน้าย้อนกลับ ซึ่งลักษณะเหล่านั้นสามารถใช้หลายๆ อย่างร่วมกันได้

2.3.2 การออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนของ Robert Gagne'

การออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนของ Robert Gagne' นั้นมีอยู่ทั้งหมด 9 ขั้นตอน (อ้างใน สุกรี รอดโพธิ์ทอง. 2535 : 42-48)

1. เร้าความสนใจ (Gain Attention) เป็นการสร้างบทเริ่มต้นของกิจกรรมที่เรียนนั้นเอง โดยผู้เรียนสนใจเนื้อหาบนจอภาพไม่ใช่พะวงอยู่ที่แป้นพิมพ์

2. บอกวัตถุประสงค์ (Specify Objectives) จะช่วยให้ผู้เรียนรู้ล่วงหน้าถึงประเด็นสำคัญของเนื้อหาและรู้เค้าโครงของเนื้อหาอีกด้วย เป็นประโยชน์ต่อผู้เรียนโดยผู้เรียนจะสามารถผสมผสานแนวคิดในรายละเอียดหรือส่วนย่อยของเนื้อหาให้สอดคล้องและสัมพันธ์กับเนื้อหาในส่วนใหญ่ได้ ซึ่งจะมีผลทำให้การรู้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

3. ทบทวนความรู้เดิม (Activate Prior knowledge) ไม่จำเป็นต้องทำแบบทดสอบเสมอไป แต่จะใช้วิธีการประเมินความรู้เดิมของผู้เรียนในรูปแบบต่างๆ ก็ได้ เช่นพูดคุย ซักถาม เป็นต้น

4. การเสนอเนื้อหาใหม่ (Present New Information) เป็นการเสนอภาพที่เกี่ยวกับเนื้อหาประกอบกับคำพูดสั้นๆ ง่ายๆ ได้ใจความชัดเจน จะเป็นหัวใจสำคัญของการเรียนการสอนด้วยคอมพิวเตอร์ การอาศัยภาพประกอบจะทำให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหางายขึ้น และมีความคงทนในการจดจำได้ดีกว่าการใช้คำพูดหรืออ่านเพียงอย่างเดียว

5. การชี้แนวทางในการเรียนรู้ (Guide Learning) หน้าที่ของผู้ออกแบบและสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจะพยายามใช้เทคนิคในการกระตุ้นให้ผู้เรียนนำความรู้เดิมมาใช้ในการศึกษาโดยเชื่อมโยงกับความรู้ใหม่

6. กระตุ้นการตอบสนอง (Elicit Response) หลายทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้ต่างก็มีความสอดคล้องในลักษณะสิ่งเร้ากับการตอบสนอง ในแง่ของการเรียน ผู้เรียนควรมีโอกาสร่วมคิดและร่วมกันฝึกปฏิบัติให้เกิดทักษะ

7. ให้ข้อมูลย้อนกลับ (Provide Feedback) เป็นการช่วยเร้าความสนใจและเป็นการบอกว่าขณะนั้นผู้เรียนอยู่จุดไหน ห่างจากเป้าหมายเพียงใด

8. มีการทดสอบความรู้ (Assess Performance) จะเห็นการทดสอบก่อนเรียน ระหว่างเรียน ช่วงท้ายบทเรียน เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อวัดค่าผู้เรียนผ่านเกณฑ์ต่ำสุดเท่าใด เพื่อจะได้เตรียมตัวในโอกาสต่อไป

9. การจำแนกและการนำไปใช้ (Promote Retention) เป็นขั้นตอนของการสรุปเฉพาะประเด็นสำคัญรวมทั้งข้อเสนอแนะต่างๆ เพื่อให้ผู้เรียนได้มีโอกาสทบทวนหรือซักถามปัญหาก่อนจบบทเรียน

2.3.3 การออกแบบและพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนั้นได้อาศัยแนวคิดจากทฤษฎีเชื่อมโยงระหว่างสิ่งเร้ากับการตอบสนอง โดยการออกแบบโปรแกรมจะเริ่มจากการให้สิ่งเร้าแก่ผู้เรียนประเมินการตอบสนองแก่ผู้เรียนให้ข้อมูลย้อนกลับเพื่อเสริมแรง และให้ผู้เรียนเลือกสิ่งเร้าลำดับต่อไป(กิดานันท์ มลิทอง. 2536 : 168)

ขั้นตอนในการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนดังนี้

1. ศึกษาหลักสูตรและผู้เรียนกลุ่มเป้าหมาย เพื่อที่จะทราบรายละเอียดของเนื้อหาวิชาที่จะนำมาสร้างบทเรียนทั้งหมดเป็นอย่างไร ใช้เวลาสอบปกตินานเท่าใด ผู้เรียนมีพื้นฐานความรู้มากขนาดไหน ความพร้อมทางด้านอื่นๆ ของผู้เรียนมีอะไรบ้าง นอกจากนี้ยังต้องมีการศึกษาประสบการณ์สอนของตนเองและของคนอื่นๆ เพื่อนำมาประกอบการใช้บทเรียนโปรแกรมและใช้ในการวางแผนต่อไป

2. กำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ผู้สร้างบทเรียนจะต้องเขียนขึ้นเองโดยการเขียนจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมนั้น จะต้องเขียนให้ถี่ถ้วนทุกๆ วัตถุประสงค์ที่ต้องการให้ผู้เรียนรู้วิชานั้นๆ

3. เรียบเรียงวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมและเขียนคำถามนำร่อง ตามวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่เขียนขึ้นมาเรียงลำดับ และมีการกำหนดคำถามเพื่อการนำร่องเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างบทเรียนที่สมบูรณ์ต่อไป

4. วิเคราะห์เนื้อหาจัดเป็นแผนภูมิข่ายงาน โดยอาศัยวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมและคำถามนำร่องที่จัดไว้มาประกอบการวิเคราะห์จัดเรียบเรียงเนื้อหาให้อยู่ในระบบความสัมพันธ์ต่อเนื่องกันและเสริมซึ่งกันและกัน โดยจัดการเขียนเนื้อหาให้อยู่ในรูปแผนภูมิข่ายงานที่สมบูรณ์แสดงลำดับก่อนหลังของหัวเรื่องต่างๆ อย่างสมบูรณ์

5. จัดแบ่งเนื้อหาเป็นส่วนย่อยๆ เนื่องจากการเรียนโดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นการเรียนรายบุคคลไม่มีครูสอน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแบ่งเนื้อหาออกเป็นหน่วยย่อย โดยที่แต่ละหน่วยผู้เรียนสามารถเข้าใช้ได้ง่าย ไม่ก่อให้เกิดความสับสนและผู้เรียนสามารถติดตามต่อไปอย่างต่อเนื่อง

6. การสร้างข้อความแต่ละกรอบตามเนื้อหาวิชาที่กำหนดไว้ ข้อความเหล่านี้ต้องกระทัดรัดเป็นประโยคที่ง่าย ต่อการเข้าใจข้อความในแต่ละกรอบต้องสอดคล้องกับหน้าที่ของแต่ละกรอบ โดยที่หน่วยย่อยหรือแต่ละมโนคติ ต้องประกอบด้วยกรอบที่จะให้ข้อมูลโดยผู้เรียนสามารถจะเรียนรู้ในเรื่องที่ไม่เคยเรียนรู้มาก่อน

- กรอบหลัก (Set Frame) เป็นกรอบที่จะให้ข้อมูลโดยผู้เรียนสามารที่จะเรียนรู้ในเรื่องที่ไม่เคยเรียนรู้มาก่อน

- กรอบฝึกหัด (Practice Frame) เป็นกรอบที่จะให้ข้อมูลโดยผู้เรียนสามารถที่จะเรียนรู้ในเรื่องที่ไม่เคยเรียนรู้มาก่อน

- กรอบรองส่งท้าย (Sub-Terminal Frame)เป็นกรอบที่เขียนก่อนถึงกรอบส่งท้ายเพื่อแก้ไขการเข้าใจผิดหรือที่ตอบผิดต่างๆ ก่อนจะไปสู่กรอบส่งท้ายเป็นกรอบที่จะเสริมกรอบส่งท้ายให้เข้าใจได้ดียิ่งขึ้น แต่บางครั้งอาจข้ามกรอบนี้ไปเลยก็ได้

- กรอบส่งท้าย (Terminal Frame) เป็นกรอบทดสอบโดยผู้เรียนจะต้องนำความรู้ความเข้าใจจากกรอบหลักมาตอบ

7. เข้ารหัสตามโปรแกรมที่กำหนดไว้ การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์นั้นเมื่อเขียนเสร็จและต้องบรรจุลงในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะต้องมีการแปลงรหัสเพื่อควบคุมการทำงานอีกทีหนึ่ง โดยเฉพาะที่เป็นบทเรียนแบบ Generative แต่ถ้าเป็นแบบ Authoring – System ผู้สร้างก็ไม่ต้องกังวลเรื่องการสร้างรหัสควบคุม เพราะในบทเรียนแบบนี้ได้สร้างโปรแกรมควบคุมไว้อย่างดีแล้ว

8. ป้อนบทเรียนเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ ในการป้อนบทเรียนนี้จะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของโปรแกรมนั้นๆ

9. ตรวจสอบความเรียบร้อยของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนหลังจากมีการป้อนบทเรียนโปรแกรมหรือข้อมูลต่างๆ เข้าไปในเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วจะต้องมีการตรวจสอบความเรียบร้อยของการทำงานของโปแกรม และแก้ไขปรับปรุงให้เรียบร้อย

10. ทำการทดสอบบทเรียน เมื่อสร้างบทเรียนเสร็จแล้วจะต้องมีการนำบทเรียนไปทดสอบกับผู้เรียนกลุ่มเป้าหมายตามที่ต้องการ

11. ทดสอบใช้ตามสถานการณ์จริง หลังจากที่มีการทดสอบหาประสิทธิภาพและมีการปรับปรุงแก้ไขแล้ว นำบทเรียนโปรแกรมที่สร้างไปใช้กับกลุ่มเป้าหมายที่ต้องการ

12. การติดตามผลการเรียน เมื่อมีการนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไปใช้แล้วจะต้องมีการติดตามผลเพื่อที่จะได้ทราบว่าบทเรียนที่สร้างขึ้นมานั้นใช้ได้คุมค่ามากน้อยเพียงใด และมีข้อบกพร่องอะไรหรือไม่ เพื่อจะได้นำข้อมูลเหล่านั้นมาใช้ในการปรับปรุงแก้ไขและเป็นแนวทางในการสร้างบทเรียนในเนื้อหาวิชาอื่นต่อไป

2.3.4 การหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจะกำหนดเป็นเกณฑ์ที่ผู้สอนคาดหมายว่าผู้เรียนจะเปลี่ยนพฤติกรรมเป็นที่พึงพอใจโดยกำหนดให้เป็นเปอร์เซนต์ผลเฉลี่ยของคะแนนการประกอบกิจกรรมทั้งหมดต่อเปอร์เซ็นต์ของผลการสอบหลังเรียนของผู้เรียนทั้งหมด นั่นคือE1/E2 หรือประสิทธิภาพของกระบวนการ/ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (อธิพร ศรียมก, 2532 : 245-253) ระดับประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่จะช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ และเป็นระดับที่ผู้สอน พอใจว่าหากบทเรียนมีประสิทธิภาพถึงระดับนั้นแล้ว บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนั้นก็มีคุณค่า น่าพอใจ เราเรียกระดับประสิทธิภาพที่น่าพอใจนั้นว่าเกณฑ์ประสิทธิภาพ

ตัวอย่าง 80 / 80 หมายความว่าเมื่อเรียนจากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแล้ว ผู้เรียนจะสามารถทำแบบฝึกหรืองานได้ผลเฉลี่ย 80% และทำแบบทดสอบหลังเรียนได้ผลเฉลี่ย 80%

การที่จะกำหนดเกณฑ์ E1/E2 ให้มีค่าเท่าใดนั้นให้ผู้สอนเป็นผู้พิจารณาตามความพอใจ โดยปกติเนื้อหาที่เป็นความรู้ความจำมักตั้งไว้ 80 / 80, 85 / 85 หรือ 90 / 90 ส่วนเนื้อหาที่เป็นทักษะหรือเจตคติอาจตั้งไว้ต่ำกว่านี้เช่น 75 / 75 เป็นต้น อย่างไรก็ตามไม่ควรตั้งเกณฑ์ไว้ต่ำเพราะตั้งเกณฑ์ไว้เท่าใด ก็มักได้ผลเท่านั้น (อธิพร ศรียมก, 2532 : 245-253)

จะเห็นว่าการกำหนดประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นนั้น มีเกณฑ์ไม่เหมือนกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเนื้อหาวิชาที่นำมาจัดสร้างเป็นบทเรียนว่าเป็นเนื้อหาประเภทใด การกำหนดประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในส่วนที่เป็นเสื้อหาเกี่ยวกับความรู้ความจำ จะตั้งค่าประสิทธิภาพไว้สูงกว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ที่เป็นเนื้อหาเกี่ยวกับทักษะหรือเจตคติ ดังนั้นการค้นคว้าครั้งนี้ผู้ทำการค้นคว้า จึงตั้งค่าประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไว้เป็น 80 / 80

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ดีนั้น เมื่อทำการสร้างเสร็จสมบูรณ์ต้องผ่านการทดลองใช้ (Try Out) ตามขั้นตอนและวิธีการที่กำหนด แล้วนำมาปรับปรุงแก้ไขให้ได้ตามเกณฑ์มากน้อยเพียงใด มีสิ่งใดที่ยังบกพร่องความแก้ไขอยู่บ้าง โดยนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่ม ที่ได้จากประชากรที่จะใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนี้จริง(สุโขทัยธรรมาธิราช, 2527) คือทดลองแบบหนึ่งต่อหนึ่ง ทดลองแบบกลุ่มเล็ก และทดลองภาคสนาม ข้อมูลที่นำมาใช้ในการหาประสิทธิภาพได้จาก การทดลองแบบกลุ่มเล็กและการทดลองภาคสนาม โดยใช้สูตร

$$E_1 = \frac{\frac{\sum X}{N}}{A} \times 100$$

E_1 แทน ประสิทธิภาพของกระบวนการ

$\sum X$ แทน คะแนนรวมของนักเรียนทุกคนที่ได้จากแบบฝึกหัด

N แทน จำนวนนักเรียน

A แทน คะแนนเต็มของแบบฝึกหัดทุกชุดรวมกัน

$$E_2 = \frac{\frac{\sum F}{N}}{B} \times 100$$

E_2 แทน ประสิทธิภาพของผลลัพธ์

$\sum F$ แทน คะแนนรวมของนักเรียนทุกคนที่ได้จากการทำแบบทดสอบหลังเรียน

N แทน จำนวนนักเรียน

B แทน คะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียน

หลังจากคำนวณหาค่า E1และ E2 แล้วผลลัพธ์ที่ได้มักจะใกล้เคียงกันและห่างกันไม่เกิน 5% ซึ่งเป็นตัวชี้ที่ยืนยันได้ว่า นักเรียนได้มีการเปลี่ยนพฤติกรรมต่อเนื่องตามลำดับขั้นหรือไม่ก่อนจะมีการเปลี่ยนพฤติกรรมขั้นสุดท้าย (อธิพร ศรียมก, 2532 : 245-253)

โดยปกติในการทดลองแบบกลุ่มเล็ก ค่าประสิทธิภาพที่ได้จะเกือบเท่าเกณฑ์ โดยเฉลี่ยจะห่างจากเกณฑ์ประมาณ 10% ส่วนค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการทดลองภาคสนาม ควรใกล้เคียงกับเกณฑ์ที่ตั้งไว้ หากต่ำจากเกณฑ์ไม่เกิน 2.5% ก็ให้ยอมรับ หากแตกต่างกันมากผู้สอนต้องกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพใหม่ โดยยึดสภาพความเป็นจริงเป็นเกณฑ์ เช่น ทดสอบหาประสิทธิภาพแล้วได้

83.5 / 84.5 แสดงว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเกณฑ์ 85 / 85 ที่ตั้งไว้ แต่ถ้าตั้งเกณฑ์ไว้ 75 / 75 เมื่อผลการทดลองเป็น 83.5 / 85.5 ก็อาจเลื่อนเกณฑ์ขึ้นมาเป็น 85 / 85

2.4 โปรแกรมที่ใช้สนับสนุนการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ผู้วิจัยใช้โปรแกรม Flash สร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนซึ่ง Flash เป็นโปรแกรมสำหรับงานแอนิเมชั่น และ มัลติมีเดียที่ได้รับความนิยมอยู่ขณะนี้ เรียกได้ว่าเป็นมาตรฐานใหม่สำหรับเว็บไซต์ และ งานอินเตอร์เอคทีฟต่างๆ เพราะรูปแบบการใช้งานง่าย มีศักยภาพสูง และ รองรับงานออนไลน์ต่างๆ เช่น งานพัฒนาเว็บไซต์ต่างๆ ทำให้คุณสามารถนำงานที่สร้างจาก Flash ไปแสดงบนเว็บไซต์ได้ทันที อีกทั้งในปัจจุบันมีผู้เล่นอินเตอร์เน็ตที่ติดตั้ง Flash Player แล้วกว่า 98% และเริ่มขยายไปยังสื่อระบบอื่นๆ เช่น Pocket PC , Palm PDA , Mobile Phone , Web TV เป็นต้น

Flash ได้ถูกนำไปพัฒนางานรูปแบบต่างๆ มากมาย เช่น งานวิดีโอ, งานมัลติมีเดีย, งานเว็บแอพพลิเคชั่น, ระบบ e-Learning และ ระบบแอพพลิเคชั่นขนาดใหญ่ เป็นการพัฒนาแอนิเมชั่นในเว็บไซต์หรือสร้างงานพรีเซ็นเทชั่นแนวใหม่ที่ไม่ซ้ำใครในรูปแบบของการโต้ตอบกับผู้ชม Interactive เสริมด้วยภาพวิดีโอ และ เสียงประกอบเพิ่มสีสันของงานของคุณให้ตื่นตาตื่นใจยิ่งขึ้น โดยมีโปรแกรมกราฟิกพื้นฐาน การวาดภาพใน Flash การวาดการ์ตูนด้วย Flash เทคนิกการใช้งานการสร้างแอนิเมชั่นรูปแบบต่างๆ การสร้างเอฟเฟ็กซ์ Motion Guide และ Masking ไปจนถึงการใช้งาน Action Scripts เบื้องต้นที่สามารถครอบคลุมการใช้งานอนิเมชั่น และ พรีเซ็นเทชั่นทั้งหมด

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

ภารดี ปองนาน (2544 :บทคัดย่อ) ได้วิจัยเพื่อสร้างและพัฒนา พร้อมทั้งหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องอุปกรณ์ในระบบเครือข่ายท้องถิ่น วิชาการสื่อสารและระบบเครือข่าย ผลการวิจัยพบว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ได้สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 80.00/81.90 ใกล้เคียงเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา กลุ่มทดลองที่ 2 (กลุ่มทดลอง) สูงกว่ากลุ่มทดลองที่ 3 (กลุ่มควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.5

สุธีร์ กิจฉวี (2543 : 68-69) ได้ทำการวิจัยเพื่อหาประสิทธิภพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง วงจรคอมบิเนชั่น วิชาปฏิบัติวงจรดิจิตอล 1 และเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างกลุ่มที่เรียนเสริมด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนกับกลุ่มที่เรียนตามวิธีปกติ ซึ่งกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักศึกษาระดับปวส. 1 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี จำนวน 60 คน ผลการวิจัยปรากฏว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพ

78.50/79.90 และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้จากการสอนเสริมจากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสูงกว่านักศึกษาที่ได้รับการสอนปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.5

ธวัชชัย จิตต์สนธิ์ (2545 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต วิชาไมโครโปรเซสเซอร์ 1 ทำการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นนักศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา จำนวน 30 คน ผลปรากฏว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต วิชาไมโครโปรเซสเซอร์ 1 ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 84.52/82.27 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดไว้

สุวงศ์ พินิจการ (2545 : บทคัดย่อ) ได้ทำการสร้างและหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องการป้อนโปรแกรมสำหรับโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ และเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบใช้บทเรียนคอมพวเตอร์ช่วยสอนกับการสอนแบบปกติ ผลการวิจัยปรากฏว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพ 83.40/81.00 สูงกว่าเกณฑ์มาตราฐาน 80/80 และมีผลสมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนด้วยวิธีการสอนด้วยการใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสูงกว่าที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.5

ชิงชัย วรรณรักษ์ (2544 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเพื่อสร้างและพัฒนารวมทั้งหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนปฏิบัติการไมโคณเวฟ ในกลุ่มวิชาโทรคมนาคม วิชาไมโครเวฟ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ปีพุทธศักราช 2540 ผลวิจัยสรุปได้ว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนปฏิบัติการไมโครเวฟ มีประสิทธิภาพ E1/E2 เท่ากับ 82.82/81.50 เป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ และมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

สมยศ กล้วยน้อย (2545 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเพื่อสร้างการเรียนการสอนผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ต เรื่อง การสื่อสารข้อมูล กับนักศึกษาแผนกเทคนิคคอมพิวเตอร์ ชั้นปีที่ 1 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ ผลวิจัยพบว่า การเรียนการสอนผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ต มีประสิทธิภาพเท่ากับ 83.57/80.82 เป็นค่าที่สอดคล้องกับเกณฑ์ 80/80 ที่ตั้งไว้ และมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

สุทธี ทับทองดี (2546 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเพื่อสร้างและหาคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องการวิเคราะห์คุณสมบัติของท่อนำคลื่นทรงสีเหลี่ยมในย่านความถี่สูง และหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่เรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ผลการวิจัยพบว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี (ค่าเฉลี่ย 4.17 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.57) และผลการเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ผู้เรียนมีผลคะแนนจากการทำแบบทดสอบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่นตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง โดยที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามหัวข้อดังต่อไปนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักศึกษาแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล ในวิทยาลัยเทคนิค สถาบันการอาชีวศึกษา ภาคกลาง1 ภาคเรียนที่ 2/2546 จำนวน 40 คน

2. กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง คือนักศึกษาแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล ในสถาบันการอาชีวศึกษาภาคกลาง1 วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี โดยการสุ่มเป็นกลุ่ม (Cluster Sampling)ด้วยวิธีการจับฉลากได้กลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มคือ

กลุ่มทดลอง คือ กลุ่มตัวอย่างที่เรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจำนวน 20 คน

กลุ่มควบคุม คือ กลุ่มตัวอย่างที่เรียนปกติ เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับกลุ่มทดลองจำนวน 20 คน

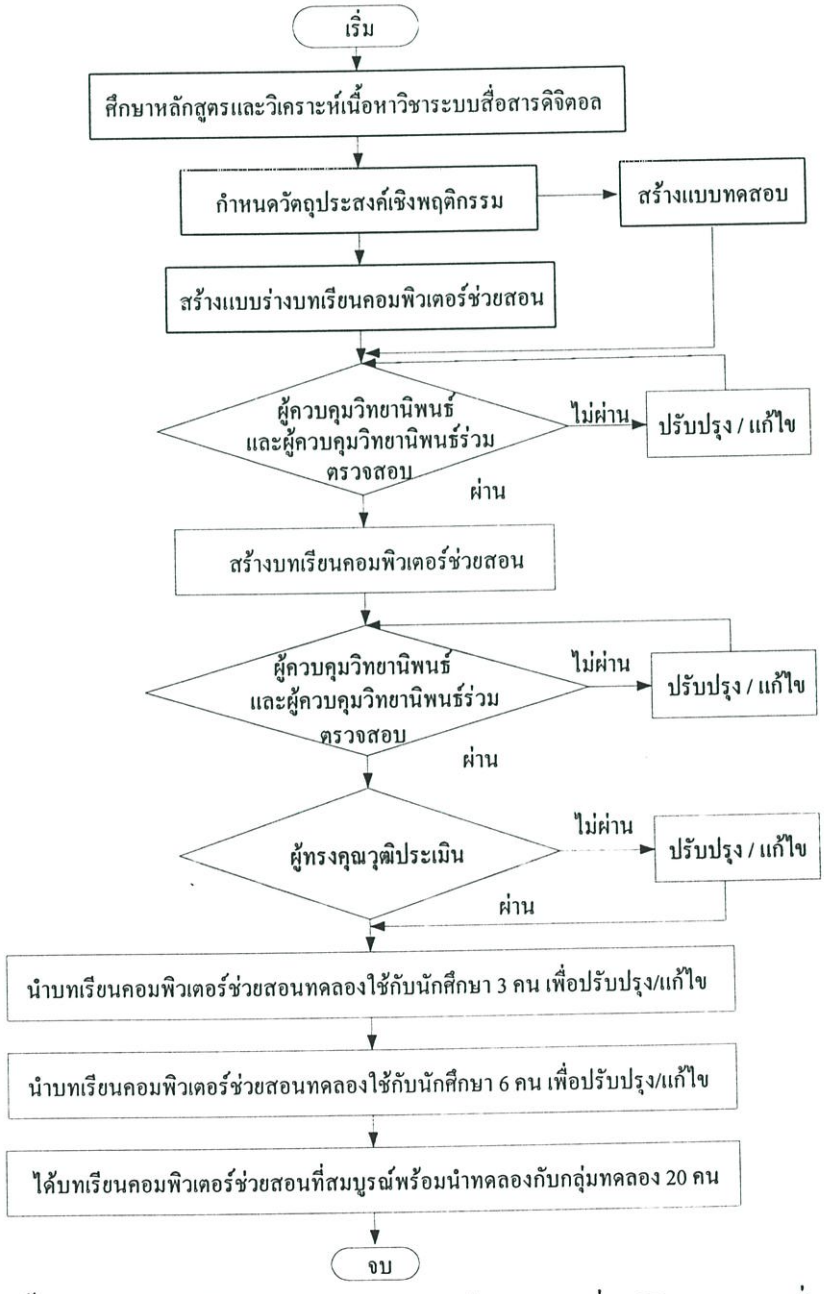
ผู้วิจัยได้ทดสอบความรู้ของนักศึกษาก่อนเรียนทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม พบว่านักศึกษากลุ่มทดลองมีค่าคะแนนเฉลี่ยผลการทดสอบเท่ากับ 3.35 ส่วนกลุ่มควบคุมมีค่าคะแนนเฉลี่ยผลการทดสอบก่อนเรียนเท่ากับ 3.45 และเมื่อนำค่าคะแนนเฉลี่ยไปทดสองเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้สถิติ t – test แบบ Independent Samples Test ผลปรากฏว่าคะแนนเฉลี่ยของการทดสอบก่อนเรียนของนักศึกษาทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างกันด้วยความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงในภาคผนวก ฉ

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 2 ส่วนคือ

1. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น
2. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างเรียนและหลังเรียน

3.2.1 การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น



รูปที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนในการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น

1. ศึกษาหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง รายวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล (รหัสวิชา 3105 2302) แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี และวิเคราะห์เนื้อหาเรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น

2. กำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม รายวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น

3. สร้างแบบร่างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เริ่มจากการจัดลำดับเนื้อหาที่วิเคราะห์ออกเป็นหน่วยย่อยแล้วจึงกำหนดกรอบที่เสนอเนื้อหาที่ละกรอบโดยคำนึงถึงหลักการจัดกิจกรรมขณะเรียน เพื่อดึงดูดความสนใจของผู้เรียน เช่น มีแบบฝึกหัดให้ทำ มีการเสริมแรงทุกครั้งที่ผู้เรียนตอบ หากตอบผิดก็จะให้โอกาสผู้เรียนได้ทบทวนบทเรียนเดิม ภายในบทเรียนมีภาพและเสียงประกอบเพื่อเร้าความสนใจอยู่เป็นช่วงๆ เมื่อผู้เรียนทำแบบฝึกหัดครบทุกข้อ จะมีการรวมคะแนนเพื่อให้ผู้เรียนสามารถประเมินตนเองได้

4.ให้อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ตรวจสอบแบบร่างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เพื่อหาข้อบกพร่องของบทเรียนซึ่งผู้วิจัยจะได้นำแก้ไขให้สมบูรณ์ต่อไป

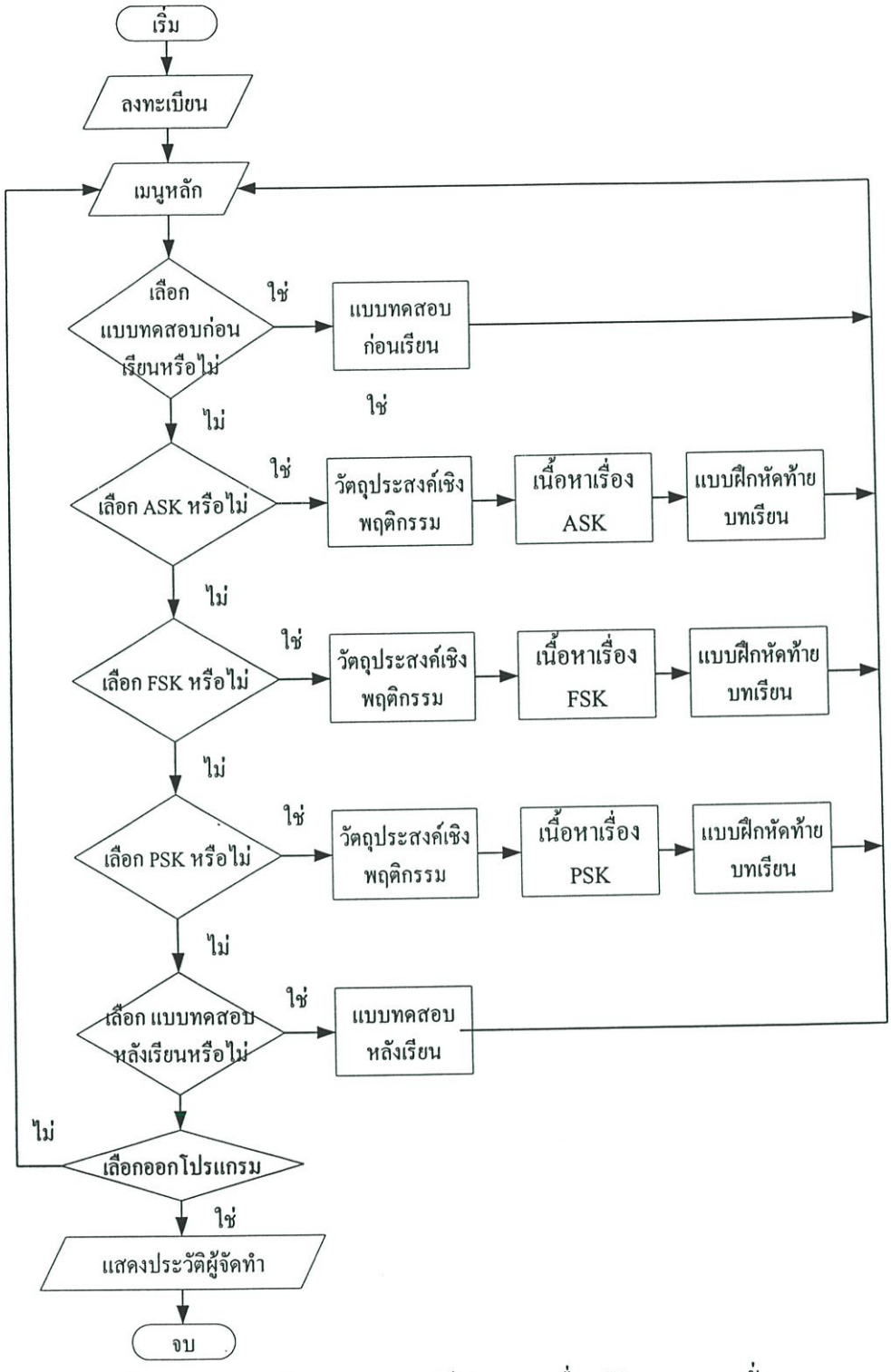
5. เมื่อแบบร่างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแก้ไขให้สมบูรณ์แล้ว ผู้วิจัยดำเนินการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนโดยใช้โปรแกรม Macromedia Flash MX สร้างรูปภาพเคลื่อนไหว และใช้โปรแกรมMacromedia Authorware 6.5 เป็นระบบปฏิบัติการ

การนำเข้าสู่บทเรียนประกอบด้วยชื่อเมนูต่างๆ ที่ผู้เรียนสามารถเลื่อนเมาส์ผ่านเข้าไปที่เมนูจะปรากฏข้อความที่เด่นชัดขึ้นมา เพื่อเป็นที่สนใจ เมื่อผู้เรียนเลือกเรียนรู้เมนูใดเมนูหนึ่งแล้ว สามารถย้อนกลับมาที่เมนูหลักนี้ได้ เพื่อให้ผู้เรียนเลือกเรียนรู้ได้ตามความต้องการ แสดงในภาคผนวก ค

ในส่วนของการใช้สีและกราฟฟิกนั้น ผู้วิจัยได้เน้นถึงความทันสมัยและบ่งบอกถึงความล้ำหน้าของเทคโนโลยี และเข้ากับเนื้อหาซึ่งเนื้อหาเป็นเรื่องเกี่ยวกับเทคโนโลยี สีที่ใช้ปรากฏในหน้าเมนูจึงเป็น สีขาว สีฟ้า สีส้ม ในส่วนของเนื้อหาจะเป็นพื้นสีขาว มีรูปเกี่ยวกับสัญญาณต่างๆ ในเนื้อหาของดิจิตอลมอดูเลชั่น วิ่งสลับกัน ส่วนตัวหนังสือใช้สีดำ เพื่อให้ดูเด่นชัด และกรอบเป็นสีส้มเหลือง เพื่อให้ดูกรอบที่ชัดเจน แสดงในภาคผนวก ค

การนำเสนอเนื้อหาต่างๆ ของบทเรียนนั้น ผู้เรียนสามารถเลือกเรียนในหัวข้อต่างๆ ที่ต้องการศึกษาได้ตามต้องการ ผู้เรียนต้องการเรียนซ้ำกี่ครั้งก็ได้ การนำเสนอเนื้อหาในแต่ละกรอบจะแบ่งจอภาพออกเป็นสามส่วน ส่วนบนซ้ายเป็นชื่อเรื่อง ส่วนกลางของกรอบเป็นส่วนนำเสนอเนื้อหา ส่วนล่างขวาเป็นปุ่มต่างๆ ในการเลื่อนไปยังหน้าอื่นๆ ย้อนกลับไปมาได้ในเรื่องเดียวกัน ปุ่มไปหน้าเมนู และปุ่มควบคุมเสียง แสดงในภาคผนวก ค

การนำเสนอของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนั้น ผู้วิจัยได้นำความสามารถของคอมพิวเตอร์แบบมัลติมีเดียออกมาใช้อย่างเต็มที่ เช่น การใช้เสียงในการบรรยาย ไฮเปอร์เท็กซ์ (Hypertext) เพื่ออธิบายข้อความการใช้ภาพไหว (Animation) แสดงการเคลื่อนที่ของรูปภาพ



รูปที่ 3.2 ผังงานการใช้โปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น

ในส่วนกรอบของการนำเสนอเนื้อหานี้ ได้ออกแบบให้อ่านง่าย มีสีพื้นที่สบายตาเมื่อเวลาที่ผู้เรียนต้องมองจอภาพนานๆ การทดสอบความเข้าใจสามารถทำได้ในขณะที่เรียนจบเนื้อหาแต่ละหัวข้อ ต่อไปจะเป็นแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน ซึ่งเป็นแบบทดสอบเลือกตอบชนิด 4 ตัวเลือก เป็นส่วนที่จำลองการทำแบบทดสอบบนกระดาษ

6. นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้น เสนอต่ออาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ตรวจสอบความถูกต้อง และให้ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการผลิตสื่อและผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา ตรวจสอบเพื่อประเมินคุณภาพและนำมาแก้ไขปรับปรุงจำนวนด้านละ 3 ท่าน ดังมีรายชื่อดังต่อไปนี้

6.1 ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

1. ดร.ปรัชญานันท์ นิลสุข อาจารย์ 2 ระดับ 7 หัวหน้าคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคนิคสมุทรสงคราม
2. อาจารย์วีระ พูลชื่น นักวิชาการ 5 สถาบันพัฒนาแรงงานฝีมือภาคตะวันตก จังหวัดราชบุรี
3. อาจารย์ธีระวุฒิ ชมใจ อาจารย์ 2 ระดับ 7 หัวหน้างานสื่อการสอน วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี

ผลการประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ด้านเทคนิคการผลิตสื่อทุกหน่วยการเรียนมีคุณภาพอยู่ในระดับดี โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.04 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.28 โดยหน่วยการเรียนเรื่อง Amplitude Shift Keying มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 4.08 ส่วนหน่วยการเรียนเรื่อง Frequency Shift Keying มีค่าเฉลี่ย 4.06 และ หน่วยการเรียนเรื่อง Phase Shift Keying มีค่าเฉลี่ย 3.97

6.2 ด้านเนื้อหา

1. ผศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. อาจารย์มนตรี พรหม ศึกษานิเทศก์ 8 ศูนย์ฝึกอบรมและพัฒนาอาชีวศึกษา กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ
3. ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลการประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ด้านเนื้อหาทุกหน่วยการเรียนมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.67 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.29 โดยหน่วยการเรียนเรื่อง Amplitude Shift Keying มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 4.70 ส่วนหน่วยการเรียนเรื่อง Frequency Shift Keying มีค่าเฉลี่ย 4.67 และ หน่วยการเรียนเรื่อง Phase Shift Keying มีค่าเฉลี่ย 4.63

แบบประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านเนื้อหา ซึ่งประกอบด้วย ด้านความสอดคล้อง ด้านความเหมาะสมของเนื้อหา ด้านการนำเสนอ ด้านภาพ ด้านตัวอักษร ด้านเวลา และแบบประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านเทคนิคการผลิตสื่อ ซึ่งประกอบด้วย

ด้านการออกแบบโปรแกรม ด้านการบันทึก ซึ่งกำหนดลักษณะของแบบประเมินคุณภาพแบบมาตรฐานประมาณค่า 5 ระดับ ซึ่งมีเกณฑ์ดังนี้

5 หมายถึง คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนดีมาก

4 หมายถึง คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนดี

3 หมายถึง คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนปานกลาง

2 หมายถึง คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนพอใช้

1 หมายถึง คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนควรปรับปรุง

การหาคุณภาพของสื่อด้านเนื้อหา และด้านเทคนิคการผลิตสื่อจากผู้ทรงคุณวุฒิ โดยหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) โดยกำหนดเกณฑ์ดังนี้ (ประคอง กรรณสูตร.2538:73)

คะแนนเฉลี่ยระหว่าง 4.50 – 5.00 หมายถึง มีคุณภาพของสื่อระดับดีมาก

คะแนนเฉลี่ยระหว่าง 3.50 – 4.49 หมายถึง มีคุณภาพของสื่อระดับดี

คะแนนเฉลี่ยระหว่าง 2.50 – 3.49 หมายถึง มีคุณภาพของสื่อระดับปานกลาง

คะแนนเฉลี่ยระหว่าง 1.50 – 2.49 หมายถึง มีคุณภาพของสื่อระดับพอใช้

คะแนนเฉลี่ยระหว่าง 1.00 – 1.49 หมายถึง มีคุณภาพของสื่อระดับควรปรับปรุง

ดังนั้นเกณฑ์คะแนนเฉลี่ยที่ยอมรับของการประเมินอยู่ระหว่าง 3.50-5.00

7. นำบทเรียนที่ผ่านการตรวจจากอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการผลิตสื่อและผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา ไปทดสอบกับนักศึกษาที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างจำนวน 3 คน (เกณฑ์ในการเรียนอ่อน, ปานกลาง, เก่ง) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ฉ

8. จากนั้นนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ปรับปรุงแล้ว ไปทดลองกับผู้เรียนที่เคยผ่านการเรียนในหัวข้อนี้มาแล้วอีกจำนวน 6 คน (เกณฑ์ในการเรียนอ่อน, ปานกลาง, เก่ง) ดังรายละเอียดในผนวก ฉ

9. นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น ที่ได้ไปทำการทดสอบแก้ไขปัญหาฉบับสมบูรณ์ ไปใช้วิจัยจริงกับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี ในปีการศึกษา 2546 จำนวน 20 คน ต่อไป

3.2.2 การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ผู้วิจัยได้สร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เพื่อนำไปใช้ในการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนประกอบด้วย

1. แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน ในแต่ละเรื่องคือส่วนหนึ่งของโปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เป็นแบบทดสอบแบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก อยู่ท้ายบทเรียนในแต่ละเนื้อหา รวมทุกเนื้อหาเป็นจำนวน 20 ข้อ เพื่อนำไปใช้ทดสอบกับกลุ่มทดลอง ในการหาค่าประสิทธิภาพ (E1) โดยออกให้ครอบคลุมวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

2. แบบทดสอบหลังเรียน เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เป็นแบบทดสอบแบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก อยู่ท้ายบทเรียนรวมทุกเนื้อหาเป็นจำนวน 20 ข้อ เพื่อนำไปใช้ทดลองกับกลุ่มทดลอง ในการหาค่าประสิทธิภาพ (E2) โดยออกให้ครอบคลุมวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

การสร้างแบบทดสอบมีขั้นตอนในการสร้างโดยลำดับขั้นตอนไว้ดังนี้

ขั้นที่ 1 วิเคราะห์หลักสูตร เนื้อหา และวัตถุประสงค์เพื่อนำไปสร้างแบบทดสอบ โดยสร้างให้ครอบคลุมเนื้อหาดังในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจุดประสงค์การเรียนรู้กับเนื้อหาสาระ

หัวข้อการสอน/วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	ความรู้เชิงพฤติกรรม						
	ความรู้จำ	รู้เข้าใจ	การนำไปใช้	วิเคราะห์	สังเคราะห์	ประเมินค่า	แก้ปัญหาได้
1. Amplitude - Shift Keying (ASK)							
- อธิบายหลักการของ ASK ได้	/						
- อธิบายหลักการในการ Detection สัญญาณและการทำ NRZ ได้	/	/	/				
- สามารถคำนวณหาค่าผิดเพี้ยน Bit Error Rate ในสัญญาณได้		/					
- วิเคราะห์สัญญาณ ASK ในเชิงความถี่และคาบเวลาได้				/			
2. Frequency - Shift Keying (FSK)							
- อธิบายหลักการของ FSK ได้		/					
- วิเคราะห์ FSK ในเชิงคาบเวลาและ ความถี่ได้				/			
- สามารถคำนวณหาค่าผิดพลาดและ Noise ได้		/					
- อธิบายหลักการของ FSK MODEM ได้		/					
- อธิบายการทำงานของ FSK ในแบบ ต่าง ๆ ได้	/	/	/				
- บอกมาตรฐานของสัญญาณ FSK ที่นำไปใช้งานได้	/	/	/				

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

หัวข้อการสอน/วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	ความรู้เชิงพฤติกรรม						
	ความรู้จำ	รู้เข้าใจ	การนำไปใช้	วิเคราะห์	สังเคราะห์	ประเมินค่า	แก้ปัญหาได้
3. Phase - Shift Keying (PSK)							
- อธิบายหลักการ PSK ได้		/					
- วิเคราะห์สัญญาณ PSK ในเชิงความถี่ และคาบเวลาได้			/				
- สามารถคำนวณค่าผิดพลาดและ Noise ที่เกิดขึ้นใน PSK ได้		/					
- อธิบายหลักการของ PSK MODEM และ BPSK MODEM		/					

ตารางที่ 3.2 จำนวนแบบทดสอบตามความสำคัญของวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

หัวข้อการสอน/วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	จำนวนข้อสอบที่ใช้วัด							รวม	ลำดับที่
	ความรู้จำ	รู้เข้าใจ	การนำไปใช้	วิเคราะห์	สังเคราะห์	ประเมิน	แก้ปัญหาได้		
1. Amplitude - Shift Keying (ASK)	2	2	1	1				6	2
2. Frequency - Shift Keying (FSK)	2	5	2	1				10	1
3. Phase - Shift Keying (PSK)		3		1				4	3
รวม	4	10	3	3	0	0	0	20	

ขั้นที่ 2 นำไปสร้างแบบทดสอบชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก โดยให้ครอบคลุมวัตถุประสงค์จำนวน 20 ข้อ แล้วนำไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาตรวจสอบ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการเดียวกันนี้สร้างแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนด้วย

ขั้นที่ 3 นำแบบทดสอบหลังเรียนและแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือกไปค่าหาความตรงตามเนื้อหา (Content Validity) ได้ค่าความตรงตามเนื้อหา (IOC) มีค่าเท่ากับ 1 ทุกข้อ ดังแสดงไว้ในภาพผนวก ฉ

หาความตรงตามเนื้อหา (Content Validity) โดยนำไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิ พิจารณาความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ โดยถ้าข้อสอบสอดคล้องกับวัตถุประสงค์กำหนดให้คะแนนเท่ากับ +1 ถ้าไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์กำหนดให้คะแนนเท่ากับ -1 และถ้าไม่แน่ใจจะได้คะแนนเท่ากับ 0 นำผลที่ได้ไปคำนวณหาค่าความสอดคล้อง (IOC) โดยพิจารณาคัดเลือกข้อคำถามโดยใช้เกณฑ์ต่อไปนี้ (ชาตรี เกิดธรรม. 2544:102)

ข้อคำถามที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.5 – 1.00 คัดเลือกไว้ใช้ได้

ข้อคำถามที่มีค่า IOC ต่ำกว่า 0.5 ควรพิจารณาปรับปรุงหรือตัดทิ้ง

ดังนั้นขอบเขตของค่าความตรงตามเนื้อหาที่ยอมรับคือ 0.5 – 1.00

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิที่หาค่า IOC 3 ท่าน คือ

1. ผศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. อาจารย์มนตรี พรหมเพชร ศึกษานิเทศก์ 8 ศูนย์ฝึกอบรมและพัฒนาอาชีวศึกษา กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ
3. ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรม โทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขั้นที่ 4 นำแบบทดสอบที่ผ่านการปรับปรุงแล้วไปทดลองใช้กับนักศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ที่เคยเรียนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอลแล้ว จำนวน 30 คน เพื่อวิเคราะห์หาค่าดัชนีความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบได้ผลดังนี้

1. ผลการหาค่าความยาก (P) ของข้อสอบแต่ละข้อ ค่าที่คำนวณได้อยู่ระหว่าง 0.47 – 0.77 และแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน ค่าที่คำนวณได้อยู่ระหว่าง 0.53 – 0.67 หมายความว่าในแบบทดสอบและแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน เป็นข้อสอบที่ยากง่ายพอเหมาะและค่อนข้างง่าย ดังรายละเอียดในภาคผนวก ฉ

ความยากง่าย (P) ขอบเขตความยากง่ายและการแปลความหมายดังนี้ (ล้วน สายยศและอังคณา สายยศ. 2538 : 210)

0.80 – 1.00	เป็นข้อสอบที่ง่ายมาก
0.60 - 0.79	เป็นข้อสอบที่ค่อนข้างง่าย (ใช้ได้)
0.40 – 0.59	เป็นข้อสอบที่ยาก – ง่ายพอเหมะ (ดี)
0.20 – 0.39	เป็นข้อสอบที่ค่อนข้างยาก (ใช้ได้)
0.00 – 0.19	เป็นข้อสอบที่ยากมาก

ดังนั้น ขอบเขตของค่าความยากง่ายของแบบทดสอบควรอยู่ประมาณ 0.20 – 0.80

2. ค่าอำนาจจำแนก (D) ของข้อสอบแต่ละข้อ ค่าที่คำนวณได้อยู่ระหว่าง 0.27 – 0.67 และแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน ค่าที่คำนวณได้อยู่ระหว่าง 0.27 – 0.53 หมายความว่าในแบบทดสอบ และแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนนี้มีค่าอำนาจจำแนกสูง คุณภาพข้อสอบอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ดังรายละเอียดในภาคผนวก ฉ

อำนาจจำแนก (D) ขอบเขตของค่าอำนาจจำแนกได้ดังนี้ (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. 2538: 211)

0.41 ขึ้นไป	ค่าอำนาจจำแนกสูง	คุณภาพของข้อสอบดีมาก
0.30- 0.40	ค่าอำนาจจำแนกปานกลาง	คุณภาพของข้อสอบดีพอสมควร
0.20 – 0.30	ค่าอำนาจจำแนกค่อนข้างต่ำ	คุณภาพของข้อสอบพอใช้
0.00 – 0.19	ค่าอำนาจจำแนกต่ำ	คุณภาพของข้อสอบใช้ไม่ได้

ดังนั้น ขอบเขตของค่าอำนาจของแบบทดสอบที่ยอมรับได้ 0.20 ขึ้นไป

3. ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ ค่าที่คำนวณได้เท่ากับ 0.97 และแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน ค่าที่คำนวณได้เท่ากับ 0.96 หมายความว่าในแบบทดสอบ และแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน ฉบับนี้มีค่าความเชื่อมั่นสูง ดังรายละเอียดในภาคผนวก ฉ

ความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ (R_{tt}) โดยให้ขอบเขตค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ และความหมายดังนี้ (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. 2538: 199)

ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบมีค่าตั้งแต่ –1.00 ถึง +1.00

ค่าความเชื่อมั่น +1.00 หรือเข้าใกล้ +1.00 แสดงว่า แบบทดสอบมีค่าความเชื่อมั่นสูงสุด

ค่าความเชื่อมั่น 0.00 หรือเข้าใกล้เคียงกับ 0.00 แสดงว่า แบบทดสอบไม่มีค่าความเชื่อมั่น

ค่าความเชื่อมั่น -1.00 แสดงว่า แบบทดสอบมีค่าความเชื่อมั่นต่ำ

ดังนั้น ขอบเขตของค่าความเชื่อมั่นที่ยอมรับคือ 0.75

ขั้นที่ 5 นำแบบทดสอบและแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ได้นำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างได้

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยขั้นตอน ต่อไปนี้

1. นำหนังสือขอความร่วมมือในการขอเก็บข้อมูลงานวิจัยจากบัณฑิตศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ส่งให้ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคราชบุรี เพื่อขออนุญาตและประสานงานในการทำวิจัยในวิทยาลัยเทคนิคราชบุรี

2. นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมาดำเนินการทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อหาประสิทธิภาพ (E1 / E2) โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1 ผู้วิจัยอธิบายวิธีการศึกษาด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยสอนให้ผู้เรียนเข้าใจ

2.2 ผู้เข้าเรียนเข้าสู่บทเรียน เมื่อเสร็จจากการเรียนแต่ละบทแล้วผู้เรียนต้องทำแบบทดสอบระหว่างเรียน ซึ่งจะนำคะแนนที่ได้ไปคำนวณหาค่า E1 จากการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นกลุ่มทดลองสามารถคำนวณหาค่า E1 ได้เท่ากับ 80.50 ดังแสดงในภาคผนวก ฉ

2.3 เมื่อนักศึกษากลุ่มทดลองเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน จบทุกเนื้อหาแล้วจึงให้ทำแบบทดสอบ โดยคะแนนที่ได้จะนำไปคำนวณหาค่า E2 จากการทดลองสามารถคำนวณหาค่า E2 ได้เท่ากับ 81.25 ดังแสดงในภาคผนวก ฉ

3. หาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากกลุ่มควบคุมด้วยการสอนตามแผนการสอน ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการสอนแบบปกติกับกลุ่มควบคุม เมื่อเรียนจบครบทุกเนื้อหาแล้ว ได้นำแบบทดสอบชุดเดียวกับที่ใช้กับกลุ่มทดลอง จำนวน 20 ข้อเท่ากัน มาใช้ทดสอบกับนักศึกษากลุ่มทดลองได้ผลคะแนนมีค่า 68.25 ดังแสดงในภาคผนวก ฉ

4. นำผลสัมฤทธิ์ที่ได้จากกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม เปรียบเทียบหาค่าความแตกต่างของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (t- test แบบ Independent)

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยจะวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ (ดังรายละเอียดในภาคผนวก ฉ)โดยแบ่งเป็นหัวข้อดังนี้

3.4.1 หาประสิทธิภาพของสื่อด้านเนื้อหาและเทคนิคการผลิตสื่อจากผู้ทรงคุณวุฒิ

3.4.2 หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

3.4.3 หาคุณภาพของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

3.4.4 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 2 กลุ่ม

3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์หาคุณภาพแบบทดสอบ

1. สถิติที่ใช้ในการหาความตรงตามเนื้อหา (ชาตรี เกิดธรรม. 2544:101)

$$IOC = \frac{\sum X}{N} \qquad (3.1)$$

เมื่อ IOC คือ ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์

$\sum X$ คือ ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ

N คือ จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิ

ขอบเขตของค่าความตรงตามเนื้อหาที่ยอมรับคือ 0.5 – 1.00

2. สถิติที่ใช้ในการหาความยากง่าย (Difficulty) (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. 2538:210)

$$P = \frac{R}{N} \tag{3.2}$$

เมื่อ P คือ ค่าความยากง่าย

R คือ จำนวนคนที่ทำข้อสอบถูก

N คือ จำนวนที่ทำข้อสอบทั้งหมด

ขอบเขตของค่าความยากง่าย หรือกำหนดค่า P = 0.20 – 0.80

3. สถิติที่ใช้ในการหาค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ (Discrimination) (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. 2538:211)

$$D = \frac{R_U - R_L}{\frac{N}{2}} \tag{3.3}$$

เมื่อ D คือ อำนาจในการจำแนก

R_U คือ จำนวนที่ทำข้อสอบถูกในกลุ่มเก่ง

R_L คือ จำนวนที่ทำข้อสอบถูกในกลุ่มอ่อน

N คือ จำนวนคนที่ทำข้อสอบทั้งหมดทั้งกลุ่มเก่งและกลุ่มอ่อน

กำหนดเกณฑ์อำนาจในการจำแนก หรือกำหนดค่า D = 0.20 ขึ้นไป

4. สถิติที่ใช้ในการหาค่าความเชื่อมั่น KR-20 ของ Kuder - Richardson (อ้างใน พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2540 : 123)

$$R_{tt} = \frac{n}{n-1}\left\{1 - \frac{\sum pq}{S_1^2}\right\} \tag{3.4}$$

เมื่อ R_{tt} คือ ความเชื่อมั่น

n คือ จำนวนข้อสอบ

p คือ สัดส่วนที่คนตอบข้อสอบถูกต้องในแต่ละข้อ (จำนวนคนทำถูก/จำนวนคนทำข้อสอบทั้งหมด)

q คือ สัดส่วนที่คนตอบข้อสอบผิดในแต่ละข้อ (1-p)

S_1^2 คือ ความแปรปรวนของคะแนนที่ได้จากแบบทดสอบของผู้เข้าสอบทั้งหมด

ดังนั้นขอบเขตของค่าความเชื่อมั่นที่ยอมรับคือ 0.75

3.5.2 สถิติที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

สถิติที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ชัยยงค์ พรหมวงศ์. 2520:136)

$$E_1 = \frac{\frac{\sum X}{N}}{A} \times 100 \qquad E_2 = \frac{\frac{\sum F}{N}}{B} \times 100 \qquad (3.5)$$

เมื่อ E1 คือ คะแนนเฉลี่ยของผู้เรียนที่ตอบถูกจากการทำแบบทดสอบระหว่างเรียนคิดเป็นร้อยละ (ประสิทธิภาพของขบวนการ)

E2 คือ คะแนนเฉลี่ยของผู้เรียนที่ตอบถูกจากการทำแบบทดสอบท้ายบทเรียนคิดเป็นร้อยละ (ประสิทธิภาพของผลลัพธ์)

$\sum X$ คือ คะแนนรวมที่ตอบถูกของแบบฝึกหัดระหว่างเรียน

$\sum F$ คือ คะแนนรวมที่ตอบถูกของแบบทดสอบหลังเรียน

A คือ คะแนนเต็มของแบบฝึกหัดระหว่างเรียน

B คือ คะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียน

N คือ จำนวนผู้เรียน

3.5.3 สถิติพื้นฐานใช้หาคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านเนื้อหา และเทคนิคการผลิตสื่อจากผู้ทรงคุณวุฒิ

1. การหาค่าเฉลี่ย (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. 2538:73)

$$\overline{X} = \frac{\sum X}{N} \qquad (3.6)$$

เมื่อ $\overline{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

$\sum X$ คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

N คือ จำนวนข้อมูล

ดังนั้นเกณฑ์คะแนนเฉลี่ยยอมรับของแบบประเมินอยู่ระหว่าง 3.50-5.00

2. การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. 2538:79)

$$S.D. = \sqrt{\frac{n\sum(fx)^2 - (\sum fx)^2}{n(n-1)}} \qquad (3.7)$$

เมื่อ S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\sum X$ คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

N คือ จำนวนข้อมูล

3.5.4 สถิติที่ใช้เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 2 กลุ่ม

หาค่า t-test แบบ Independent เพื่อพิสูจน์สมมติฐานการวิจัยจากสูตรต่อไปนี้ (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. 2538:101) โดยให้ความแปรปรวนของกลุ่มประชากรเท่ากัน

$$t = \frac{\overline{X_1} - \overline{X_2}}{\sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}\left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2}\right)}} \qquad (3.8)$$

เมื่อ $\overline{X}_1$ = คะแนนเฉลี่ยของกลุ่มทดลอง

$\overline{X}_2$ = คะแนนเฉลี่ยของกลุ่มควบคุม

S_1^2 = ขนาดความแปรปรวนของกลุ่มทดลอง

S_1^2 = ขนาดความแปรปรวนของกลุ่มควบคุม

n_1 = ขนาดของกลุ่มทดลอง

n_2 = ขนาดของกลุ่มควบคุม

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างกลุ่มที่เรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนกับวิธีการเรียนแบบปกติ วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น ซึ่งกลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 2 ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี จำนวน 40 คน แบ่งเป็นกลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุม กลุ่มละ 20 คน ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลตามขั้นตอนต่างๆ ดังรายละเอียดการนำเสนอผลการวิจัยดังต่อไปนี้

4.1 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านเนื้อหา

4.2 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

4.3 ประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

4.4 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างวิธีการเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนกับวิธีการเรียนแบบปกติ

4.1 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านเนื้อหา

การประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น ด้านเนื้อหาได้ทำการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ซึ่งประเมินเนื้อหาในแต่ละหน่วยย่อยจำนวน 3 หน่วย คือ เรื่อง Amplitude Shift Keying, เรื่อง Frequency Shift Keying และเรื่อง Phase Shift Keying โดยได้ผลการประเมินดังรายละเอียดดังในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าสรุปในด้านเนื้อหาของค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

หน่วยการเรียน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. เรื่อง Amplitude Shift Keying	4.70	0.28	ดีมาก
2. เรื่อง Frequency Shift Keying	4.67	0.29	ดีมาก
3. เรื่อง Phase Shift Keying	4.63	0.32	ดีมาก
รวมเฉลี่ย	4.67	0.29	ดีมาก

จากตารางที่ 4.1 ผลการประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ด้านเนื้อหาทุกหน่วยการเรียนมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.67 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.29 โดยหน่วยการเรียนเรื่อง Amplitude Shift Keying มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 4.70 ส่วนหน่วยการเรียนเรื่อง Frequency Shift Keying มีค่าเฉลี่ย 4.67 และ หน่วยการเรียนเรื่อง Phase Shift Keying มีค่าเฉลี่ย 4.63

4.2 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

การประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น ด้านเทคนิคการผลิตสื่อได้ทำการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ซึ่งประเมินการผลิตสื่อในแต่ละหน่วยย่อยจำนวน 3 หน่วย คือ เรื่อง Amplitude Shift Keying, เรื่อง Frequency Shift Keying และเรื่อง Phase Shift Keying โดยได้ผลการประเมินดังรายละเอียดดังในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสรุปในด้านเทคนิคการผลิตสื่อของค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

หน่วยการเรียน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. เรื่อง Amplitude Shift Keying	4.08	0.29	ดี
2. เรื่อง Frequency Shift Keying	4.06	0.35	ดี
3. เรื่อง Phase Shift Keying	3.97	0.19	ดี
รวมเฉลี่ย	4.04	0.28	ดี

จากตารางที่ 4.2 ผลการประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ด้านเทคนิคการผลิตสื่อทุกหน่วยการเรียนมีคุณภาพอยู่ในระดับดี โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.04 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.28 โดยหน่วยการเรียนเรื่อง Amplitude Shift Keying มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 4.08 ส่วนหน่วยการเรียนเรื่อง Frequency Shift Keying มีค่าเฉลี่ย 4.06 และ หน่วยการเรียนเรื่อง Phase Shift Keying มีค่าเฉลี่ย 3.97

4.3 ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (E1/E2)

ผู้วิจัยได้นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่นที่สร้างขึ้น และผ่านการปรับปรุงแก้ไขจากการทดลองภาคสนามเบื้องต้น และทดลองขั้นทดสอบ

กลุ่มย่อยแล้ว ได้นำไปทำการทดลองกับกลุ่มทดลองจำนวน 20 คน เพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ผลการหาประสิทธิภาพดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการหาค่าประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น

รายการ	จำนวนผู้เรียน	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ย	ร้อยละ	เกณฑ์ร้อยละ
คะแนนแบบฝึกหัด (E1)	20	20	16.1	80.50	80
คะแนนแบบทดสอบ (E2)	20	20	16.25	81.25	80

จากตารางที่ 4.3 ผลปรากฏว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่อง ดิจิตอลมอดูเลชั่น นักศึกษาทำแบบฝึกหัดได้คะแนนเฉลี่ย 16.1 คะแนน จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 80.50 และทำแบบทดสอบหลังเรียนได้คะแนนเฉลี่ย 16.25 จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 81.25 บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีประสิทธิภาพเท่ากับ 80.50/81.25 สูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ 80/80

4.4 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างวิธีการเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนกับวิธีการเรียนแบบปกติ

จากผลการทำแบบทดสอบหลังเรียนของกลุ่มทดลอง ที่เรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน กับกลุ่มควบคุมที่เรียนด้วยการเรียนแบบปกติ เมื่อนำคะแนนที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้สูตร t – test Independent Sample แบบ Pooled variances

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนโดยวิธีการเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนกับนักศึกษาที่เรียนด้วยการเรียนแบบปกติ

รายการ	N	$\bar{X}$	S.D.	S^2	t
กลุ่มทดลอง	20	16.25	1.25	1.56	6.87*
กลุ่มควบคุม	20	13.65	1.14	1.29	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($\alpha = .05$, df = 38, t = 1.68)

จากตาราที่ 4.4 พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนโดยวิธีการเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนและนักศึกษาที่เรียนด้วยวิธีการเรียนแบบปกติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยนักศึกษาที่เรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักศึกษาที่เรียนด้วยวิธีการเรียนแบบปกติ

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) โดยมุ่งศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีการศึกษา เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น สำหรับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่นที่มีคุณภาพ

2. เพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น

3. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่นของนักศึกษาที่เรียนด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยสอนกับการสอนปกติ

5.2 สมมติฐานของการวิจัย

1. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น ที่สร้างขึ้นมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีขึ้นไป

2. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด 80/80

3. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างกลุ่มผู้เรียนจากสื่อการสอนด้วยคอมพิวเตอร์ กับกลุ่มผู้เรียนตามการสอนปกติ มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแตกต่างกัน

5.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

5.3.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักศึกษาแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล ในวิทยาลัยเทคนิค สถาบันการอาชีวศึกษา ภาคกลาง1 ภาคเรียนที่ 2/2546 จำนวน 40 คน

5.3.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง คือนักศึกษาแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล ในสถาบันการ

อาชีวศึกษาภาคกลาง1 วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี โดยการสุ่มเป็นกลุ่ม (cluster sampling)ด้วยวิธีการจับฉลากได้กลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มคือ

- กลุ่มทดลองที่เรียนด้วยโปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน จำนวน20 คน
- กลุ่มควบคุมที่เรียนด้วยการสอนแบบปกติจำนวน 20 คน

5.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น ได้ผ่านการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิ ได้คุณภาพดังนี้

1.1 ด้านเนื้อหา มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ได้ค่าเฉลี่ย 4.67 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.29

1.2 ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ได้ค่าเฉลี่ย 4.04 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.28

2. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ โดยจำแนกได้ดังนี้

2.1 แบบทดสอบ มีค่าความยากง่าย (P) ตั้งแต่ 0.47 – 0.73 ค่าอำนาจจำแนก (D) ตั้งแต่ 0.27 – 0.67 และมีค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ (KR–20) เท่ากับ 0.97

2.2 แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน มีค่าความยากง่าย (P) ตั้งแต่ 0.53 – 0.67 ค่าอำนาจจำแนก (D) ตั้งแต่ 0.27 – 0.53 และมีค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ (KR–20) เท่ากับ 0.96

5.5 การดำเนินการทดลอง

5.5.1 กำหนดกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

5.5.2 ทดลองเพื่อเก็บข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 40 คน โดยมีวิธีการดำเนินการทดลองดังนี้

5.5.2.1 การทดลองหาค่าประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

(1) โดยทดลองใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน กับกลุ่มทดลอง โดยให้เรียนด้วยตนเองกับเครื่องคอมพิวเตอร์หนึ่งคนต่อหนึ่งเครื่อง หลังจากเรียนจบในแต่ละหน่วยแล้ว ผู้เรียนจะทำแบบฝึกหัด ในแต่ละหน่วยเรียน เพื่อหาคะแนนเฉลี่ยระหว่างหน่วยการเรียน (E1)

(2) ทดสอบท้ายบทเรียน เมื่อผู้เรียนจบทุกหน่วยแล้ว ผู้วิจัยได้ทดสอบผู้เรียนโดยใช้แบบทดสอบท้ายบทเรียน เพื่อหาคะแนนเฉลี่ยท้ายบทเรียน (E2)

5.5.2.2 การดำเนินการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

(1) นำคะแนนทดสอบท้ายบทเรียนของกลุ่มทดลอง จำนวน 20 คน ที่เรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน มาเพื่อวัดหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

(2) นำคะแนนของกลุ่มควบคุมที่เรียนโดยวิธีการเรียนแบบปกติ จำนวน 20 คน โดยผู้วิจัยให้ผู้เรียนดำเนินกิจกรรมการเรียนตามการเรียนแบบปกติ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการเรียนแล้ว ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

(3) นำคะแนนของกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม มาวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้สูตร t – test แบบ Independent

5.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่อง ดิจิตอลมอดูเลชั่น ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ดังนี้

1. คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านเนื้อหา
2. คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านเทคนิคการผลิตสื่อ
3. ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
4. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

5.7 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังกล่าว สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอลเรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่นด้านเนื้อหาที่สร้างขึ้นอยู่ในระดับดีมาก ได้ค่าเฉลี่ย 4.67 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ0.29

2. คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่นด้านเทคนิคการผลิตสื่อที่สร้างขึ้นอยู่ในระดับดี ได้ค่าเฉลี่ย 4.04 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ0.28

3. ประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น ผลของการวิเคราะห์ข้อมูลปรากฏว่า นักศึกษาทำแบบฝึกหัดได้คะแนนเฉลี่ย 16.1 คะแนน จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 80.50 และทำแบบทดสอบหลังเรียนได้คะแนนเฉลี่ย 16.25 จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 81.25 บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีประสิทธิภาพเท่ากับ 80.50/81.25 สอดคล้องกับเกณฑ์ที่ตั้งไว้ 80/80

4. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ของนักศึกษาที่เรียนโดยวิธีการเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น และนักศึกษาที่เรียนด้วยวิธีการเรียนแบบ

ปกติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยนักศึกษาที่เรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักศึกษาที่เรียนด้วยวิธีการเรียนแบบปกติ

5.8 อภิปรายผล

จากผลการวิจัย ผู้วิจัยได้อภิปรายผลดังนี้

5.8.1 ด้านการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

จากผลการวิจัยพบว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น ที่สร้างขึ้นสามารถให้ความรู้ความเข้าใจอย่างมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ 80/80 จากการทดลองกับกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม จำนวนนักศึกษากลุ่มละ 20 คน ได้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 80.50/81.25 แสดงว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนี้ สามารถให้ความรู้กับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ภารดี ปองนาน (2544 :บทคัดย่อ) ได้วิจัยเพื่อสร้างและพัฒนา พร้อมทั้งหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องอุปกรณ์ในระบบเครือข่ายท้องถิ่น วิชาการสื่อสารและระบบเครือข่าย ผลการวิจัยพบว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ที่ได้สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 80.00/81.90 สอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา กลุ่มทดลองที่ 2 (กลุ่มทดลอง) สูงกว่ากลุ่มทดลองที่ 3 (กลุ่มควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.5

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เนื่องมาจากมีการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับหลักการและวิธีการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิเคราะห์เนื้อหาที่จำนำมาสร้างโดยพิจารณาถึงระดับของผู้เรียน จัดแบ่งหัวข้อเนื้อหาตามแผนการสอน วิเคราะห์หัวข้อเนื้อหาเพื่อจัดแบ่งเป็นหัวข้อย่อยๆ เรียงลำดับการนำเสนอเนื้อหาจากง่ายไปหายาก วิเคราะห์จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม โดยกำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนให้สอดคล้องกบแผนการสอนเนื้อหาวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล และออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในการนำเสนอบทเรียนจะเริ่มต้นด้วยส่วนการนำเข้าสู่บทเรียนที่เร้าใจ เพื่อดึงดูดความสนใจนักศึกษาก่อนเรียน การออกแบบหน้าจอคำนึงถึงความสวยงาม ใช้สีและรูปแบบเหมาะสมกับเนื้อหา ใช้กราฟิกประกอบเนื้อหาบทเรียน ทำให้ผู้เรียนสนุกสนานกับการเรียนมากกว่ากลุ่มควบคุม ที่เรียนจากการสอนของครู ในบทเรียนมีการบอกวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมแก่ผู้เรียน ทำให้ผู้เรียนได้รู้ล่วงหน้าถึงประเด็นสำคัญของเนื้อหา แล้วยังเป็นการบอกนักศึกษาถึงเค้าโครงเนื้อหา รู้เป้าหมายของการเรียนจากการสังเกตของผู้วิจัยพบว่า นักศึกษามีความสนใจในการเรียน จากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เนื่องมาจากให้ผลย้อน

กลับด้วยคะแนนและในการเรียนกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนี้ จึงทำให้นักศึกษาเกิดการเรียนรู้เนื้อหาบทเรียนในหัวข้อนั้นเป็นอย่างดี ก่อนที่จะไปเรียนหัวข้อต่อไป

ผลการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ได้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 80.50/81.25 พบว่า ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการ (E1) มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าค่าประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E2) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผู้เรียนมีประสบการณ์ในการทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนมาก่อนอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้เกิดประสบการณ์การเรียนรู้จนสามารถทำแบบทดสอบภายหลังการเรียนได้มากขึ้น

5.8.2 ด้านการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างกลุ่มทดลองที่เรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนกับกลุ่มควบคุมที่เรียนจากการสอนปกติ ผลปรากฏว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม โดยมีค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งสอดคล้องกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้ เป็นเพราะบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น ที่สร้างขึ้นมีคุณภาพและประสิทธิภาพที่ดี และบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนช่วยให้เห็นภาพการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทำให้เข้าใจได้มากขึ้น และยังช่วยเร้าความสนใจของผู้เรียน ทำให้ผลการเรียนดีกว่ากลุ่มผู้ที่เรียนด้วยวิธีปกติ

5.9 ข้อเสนอแนะ

5.9.1 ข้อเสนอแนะเพื่อนำผลวิจัยไปใช้

1. ผู้สอนสามารถนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น ไปใช้ในการเรียนการสอนแทนการสอนปกติได้ เพื่อให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น

2. รูปที่ใช้ในบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ควรใช้นามสกุลกิป (.Gif) ไม่ควรใช้นามสกุลเจเพ็ก (.Jpeg) เพราะความละเอียดและคมชัดของรูป นามสกุลกิป (.Gif) ดีกว่า และขนาดของข้อมูลไม่แตกต่างกัน

3. ในการใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูปนั้นพบว่า โปรแกรม Macromedia Flash MX ไม่สามารถใช้งานร่วมกับโปรแกรม Macromedia Authorware 6.0 ได้ เพราะไม่รองรับการทำงานในด้านของรูปภาพที่ทำจาก Macromedia Flash MX ดังนั้นจึงต้องใช้ Macromedia Authorware 6.5 หรือสูงกว่าในการใช้งาน

4. ในเรื่องของเสียงบรรยายควรใช้การอัดเสียงจากโปรแกรม Jet-Audio Extension และใช้โปรแกรม Cool Edit Pro ในการตัดต่อเสียงจะทำให้ได้เสียงที่มีคุณภาพ

5. เสียงบรรยายควรจะเป็นเสียงของสุภาพสตรี เพราะสามารถเร้าความสนใจของผู้เรียนที่เป็นกลุ่มนักศึกษาอาชีวศึกษา

5.9.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

1.นำวิธีวิจัยนี้ไปสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ในเนื้อหาวิชาอื่นๆ ที่มีเนื้อหาด้านการสื่อสารโทรคมนาคม

2. ในการทำวิจัยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ควรมีการศึกษาเปรียบผลการทดสอบก่อนเรียนกับผลการทดสอบหลังเรียน

บรรณานุกรม

กรมอาชีวศึกษา. 2546.**หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546.** กรุงเทพฯ : กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ.

กิดานันท์ มลิทอง. 2536. **เทคโนโลยีการศึกษาร่วมสมัย.** กรุงเทพฯ : ภาควิชาโสตทัศนศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชาตรี เกิดธรรม. 2544. **อยากทำวิจัยในชั้นเรียนแต่เขียนไม่เป็น.** กรุงเทพฯ : เลี่ยงเชียง.

ชัยยงค์ พรหมวงศ์. 2534. **ชุดการสอนระดับประถม.** เอกสารการสอนชุดวิชาสื่อสารการสอนระดับประถมศึกษา. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ชิ่งชัย วรรณรักษ์. 2544. "คอมพิวเตอร์ช่วยสอนปฏิบัติการไมโครเวฟ." วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีการศึกษาทางอาชีวศึกษาและเทคนิคศึกษา. บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ดุสิต พันธุ์พฤกษ์. 2544. "การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาชีววิทยา ว 041 เรื่อง การย่อยอาหารของคน." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์. บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ถนอมพร ตันพิพัฒน์. 2539. **คอมพิวเตอร์เพื่อการศึกษา.** วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นงค์นุช เพ็ชรรื่น. 2543. "บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต เรื่องความปลอดภัยของโปรแกรม." วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการศึกษาทางการอาชีวศึกษาและเทคนิคศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ประคอง กรรณสูตร. 2539. **สถิติเพื่อการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์.** กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2540. **วิธีวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคม.** กรุงเทพฯ : สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร.

ภารดี ปองนาน. 2544. "บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องอุปกรณ์ในระบบเครือข่ายท้องถิ่น." วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีการศึกษาทางการอาชีวศึกษา. บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. 2538. **เทคนิคการวิจัยทางการศึกษา.** กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น.

ลิขสิทธิ์ ทองเพ็ง. 2544. “การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยฝึกความสามารถ เรื่องการติดตั้งระบบปฏิบัติการ Windows NT server.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์. บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วชิระ อินทร์อุดม. 2539. **เอกสารประกอบการบรรยายในการอบรมอาจารย์ระดับกลาง เรื่องความก้าวหน้าทางด้านการเรียนการสอน.** (วันที่ 26-28 กันยายน ณ ศูนย์การศึกษาต่อเนื่อง).

วิลาวรรณ ชาแท่น. 2537. “ผลการใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบทบทวน เรื่องกลไกมนุษย์ หน่วยการย่อยอาหารที่มีต่อสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3.” วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตร์มหาบัณฑิต (การศึกษาศาสตร์-การสอน). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วสันต์ อติศัพท์. กุมภาพันธ์-มีนาคม 2539. คอมพิวเตอร์ช่วยสอน. ว. ศึกษาศาสตร์ มอ มหาวิทยาลัยขอนแก่นและโรงแรมแกรนธานี อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย). เอกสารอัดสำเนา.

สุกรี รอดโพธิ์ทอง. 2535. **การออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน.** วารสารรามคำแหง. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

สุทธี ทับทองดี. 2546. **บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องการวิเคราะห์คุณสมบัติของท่อนำคลื่นทรงสี่เหลี่ยมในย่านความถี่สูง.** วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สุธีร์ กิจฉวี. 2543. “บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องวงจรคอมบิเนชั่น.” วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สมยศ กล้วยน้อย. 2545. “การเรียนการสอนผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ต เรื่องการสื่อสารข้อมูล.” วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการศึกษาทางการอาชีวศึกษาและเทคนิคศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สมจิต สวธนไพบูลย์. 2527. **สมรรถภาพการสอนของครู** : การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

หนังสือราชการ

1. หนังสือเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิประเมินเครื่องมือการวิจัย
2. รายนามผู้ทรงคุณวุฒิประเมินเครื่องมือการวิจัย

คำสั่งคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ที่ ๑๘ /2546

เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการควบคุมและคณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและ

เค้าโครงวิทยานิพนธ์ ของ นายภัทร ทองสามสี

เพื่อให้การเรียบเรียงวิทยานิพนธ์ นายภัทร ทองสามสี เป็นไปด้วยความเรียบร้อยและมีประสิทธิภาพจึงแต่งตั้งคณะกรรมการเพื่อควบคุมและพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ดังต่อไปนี้

1. คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

ดร.สุรสิทธิ์	ราตรี	ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์
ผศ.วิสุทธิ์	อธิพรธรรม	ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

2. คณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.ธีระพล	เทพหัสดิน ณ อยุธยา	ประธานกรรมการ
ดร.สุรสิทธิ์	ราตรี	กรรมการ
ผศ.วิสุทธิ์	อธิพรธรรม	กรรมการ
ดร.สมชาย	หมื่นสายญาติ	กรรมการ
ผศ.กิติพงค์	มะโน	กรรมการ

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ ๒๕ มิถุนายน พ.ศ. 2546

(รองศาสตราจารย์ รวีวรรณ ชินะตระกูล)

คณบดี

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม หน่วยบัณฑิตศึกษา งานทะเบียน โทร. 3692

ที่ ศธ 0524.04 / **0013** วันที่ 21 กรกฎาคม 2546

เรื่อง ส่งผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์

เรียน คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้พิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ ของนักศึกษาชื่อ นายภัทร ทองสามสี รหัสประจำตัว 42064602 หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร และได้รับอนุมัติหัวข้อเรื่องแล้ว เมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม 2546

เรื่อง (ภาษาไทย) บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอลเรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันอาชีวศึกษา พ.ศ. 2546

(ภาษาอังกฤษ) COMPUTER ASSISTED INSTRUCTION ON DIGITAL COMMUNICATION COURSE OF DIGITAL MODULATION OF VOCATIONAL EDUCATION INSTITUTE : 2003

โดยมีคณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์จำนวน 2 คน คือ

1. ดร.สุรสิทธิ์	ราตรี	ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์
2. ผศ.วิสุทธิ์	อธิพรธรรม	ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ ดำเนินการจัดทำประกาศผลต่อไป จักเป็นพระคุณยิ่ง

(นายณรงค์ พิมสาร)
รองคณบดีฝ่ายบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

ประกาศบัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย โดยความเห็นชอบของคณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ขอประกาศรายชื่อหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร ที่ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการดังนี้

นายภัทร ทองสามสี รหัสประจำตัว 42064602 ให้ทำวิทยานิพนธ์เรื่อง "บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอลเรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันอาชีวศึกษา พ.ศ. 2546 (COMPUTER ASSISTED INSTRUCTION ON DIGITAL COMMUNICATION COURSE OF DIGITAL MODULATION OF VOCATIONAL EDUCATION INSTITUTE:2003)" โดยมี ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

ซึ่งได้รับอนุมัติเมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม 2546

ทั้งนี้ให้นักศึกษาค้นคว้าและเขียนวิทยานิพนธ์ โดยปรึกษากับอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ให้เสร็จสิ้นภายในเวลาที่กำหนดในระเบียบของบัณฑิตวิทยาลัย

ประกาศ ณ วันที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2546

(รองศาสตราจารย์บุญวัฒน์ อัตชู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม หน่วยบัณฑิตศึกษา งานทะเบียน โทร. 3692

ที่ ศธ 0524.04/ 0592 **วันที่** 4 กันยายน 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัย

เรียน ผศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์

ด้วย นายภัทร ทองสามสี นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร จะทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันอาชีวศึกษา พ.ศ. 2546" คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัยว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้การเก็บรวบรวมข้อมูลของ นายภัทร ทองสามสี มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมกันนี้ได้แนบแบบสอบถามด้านเนื้อหา เพื่อการวิจัย จำนวน 1 ชุด

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์ด้วยดีและขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(นายณรงค์ พิมสาร)
รองคณบดีฝ่ายบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสื่อการสอน

ในการตรวจสื่อการสอน แบ่งการประเมินเป็น 2 ด้าน คือ ด้านเนื้อหาและด้านเทคนิคการผลิตสื่อ ดังมีรายนามผู้ทรงคุณวุฒิดังต่อไปนี้

ด้านเนื้อหา

1. ผศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. อาจารย์มนตรี พรหมเพชร ศึกษานิเทศก์ 9 ศูนย์ฝึกอบรมและพัฒนาอาชีวศึกษา กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ
3. ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

1. ดร.ปรัชญานันท์ นิลสุข อาจารย์ 2 ระดับ 7 หัวหน้าคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคนิคสมุทรสงคราม
2. อาจารย์วีระ พูลชื่น นักวิชาการ 5 สถาบันพัฒนาแรงงานฝีมือภาคตะวันตก จังหวัดราชบุรี
3. อาจารย์ธีระวุฒิ ชมใจ อาจารย์ 2 ระดับ 7 หัวหน้างานสื่อการสอน วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี

ภาคผนวก ข.

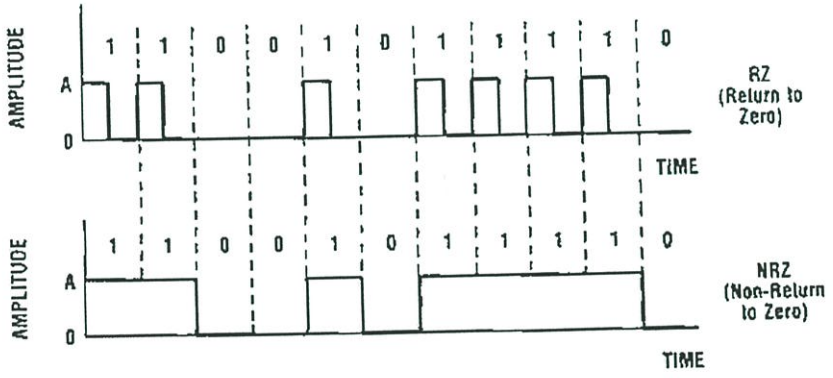
ความรู้เกี่ยวกับดิจิตอลมอดูเลชั่น

การส่งข้อมูลแบบเบสเบนด์

การสื่อสารข้อมูลเกี่ยวข้องกับการส่งข้อมูลจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง คำว่าข้อมูล หมายถึง กลุ่มของตัวอักษรซึ่งประกอบกันขึ้นเป็นข้อความหรือข่าวสารซึ่งโดยทั่วไปมาจากระบบคอมพิวเตอร์ แต่ละตัวอักษรประกอบรหัสไบนารี (1 และ 0) จำนวนหนึ่ง ซึ่งสามารถถูกส่งแบบพร้อม ๆ กัน (การส่งแบบขนาน) หรือส่งแบบตามลำดับ (การส่งแบบอนุกรม)

ในการส่งข้อมูลแบบอนุกรม ไบนารี 1 และ 0 ที่ถูกส่งถูกแทนด้วยระดับแรงดันที่ ต่างกันสองระดับ เช่น 1 อาจแทนด้วย 5 โวลท์ และ 0 แทนด้วย 0 โวลท์ สัญญาณชนิดนี้เรียกว่า ยูนิโพลาร์ (unipolar) เพราะว่ามีเพียงขั้วเดียวเท่านั้น กล่าวคือ สองระดับที่เป็นไปได้คือแอมปลิจูด A และ 0 V สัญญาณไบโพลาร์ (bipolar) มีได้สองค่าคือ +A และ –A

รูปแบบดิจิตอลเบื้องต้นที่ใช้ในระบบการส่งข้อมูลมีสองรูปแบบคือ RZ (Return to Zero) และ NRZ (Non-Return to Zero) ดังแสดงในรูปที่ ก1 ในแบบ RZ นั้น 1 ถูกแทนด้วยพัลซ์ซึ่งมีค่าคืนสู่ศูนย์โวลท์ ดังนั้น สตริง (string) ของ 1 จึงถูกส่งด้วยสตริงของพัลซ์ดิสครีต เพื่อให้แน่ใจว่าช่วงเวลาของพัลซ์สามารถดีเท็คได้โดยเครื่องรับ



รูปที่ ข1 รูปแบบของสัญญาณ

แต่ในแบบ NRZ แรงดันไม่กลับสู่ค่าศูนย์หลังจากแต่ละพัลซ์ เว้นแต่เมื่อ 0 ถูกส่งเท่านั้น ผลที่เกิดขึ้นคือสตริงขนาดยาวของ 1 จะถูกส่งเป็นแรงดันดีซีคงที่ ถ้าข้อมูล NRZ ถูกส่งโดยตรงในเบสแบนด์ (ไม่มีการมอดูเลทใดๆ) ระบบจะต้องสามารถส่งองค์ประกอบดีซีของสัญญาณได้ เนื่องจากช่วงเวลาของข้อมูล NRZ ไม่ปรากฏให้เห็นที่เครื่องรับ จึงจำเป็นต้องใช้สัญญาณนาฬิกาในการถอดรหัสข้อมูลนั้นในคู่มือนี้จะใช้รูปแบบ NRZ เท่านั้น

เพื่อที่จะทดสอบระบบการส่งข้อมูล จะใช้ลำดับไบนารี (binary sequence) ซึ่งคล้ายกับข้อมูลจริงเรียกว่าลำดับไบนารีแบบสุ่มเทียม (pseudo-random binary sequence) เครื่องกำเนิดลำดับไบนารีแบบสุ่มเทียมร่วมกับเครื่องวัดอัตราผิดพลาดบิท (bit error rate indicator) สามารถใช้ทดสอบ

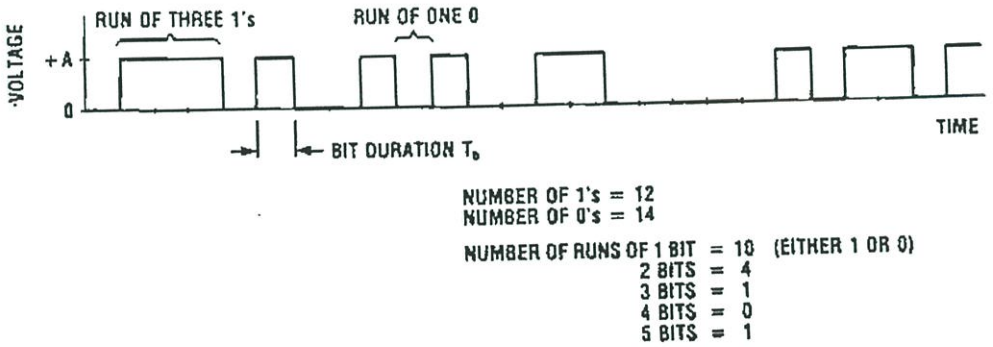
ประสิทธิภาพของระบบการส่งข้อมูลเมื่อมีสัญญาณรบกวน สัญญาณรบกวนทำให้ ประสิทธิภาพของการส่งข้อมูลลดลงโดยทำให้เกิดความผิดพลาดในการส่งขึ้น ความผิดพลาดเช่นนี้สามารถตรวจพบได้โดยภาขใต้การสภาวะการทดสอบโดยการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้รับกับข้อมูลที่ถูกส่งออกไป และนับความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการส่ง

ลำดับไบนารีแบบสุ่มเทียม

คุณลักษณะของการสุ่มข้อมูล

แม้ว่าอาจจะไม่เป็นการสุ่มที่แท้จริง ข้อมูลมักจะปรากฏให้เห็นเป็นการสุ่ม คือไม่มีรูปแบบของ 1 และ 0 ปรากฏให้เห็นในสัญญาณไบนารีแบบสุ่ม อาจเป็นไปไม่ได้ที่จะทำนายค่าของบิทใด ๆ เพราะว่า 1 และ 0 น่าจะเกิดขึ้นได้เท่า ๆ กัน อีกนัยหนึ่งคือ 1 และ 0 มีโอกาสที่จะเป็นไปได้เท่ากัน ซึ่งหมายความว่า ถ้า 1 และ 0 มีโอกาสที่จะเป็นไปได้เท่ากัน สัญญาณไบนารีแบบสุ่มจะมีจำนวนของ 1 และ 0 ประมาณเท่ากัน

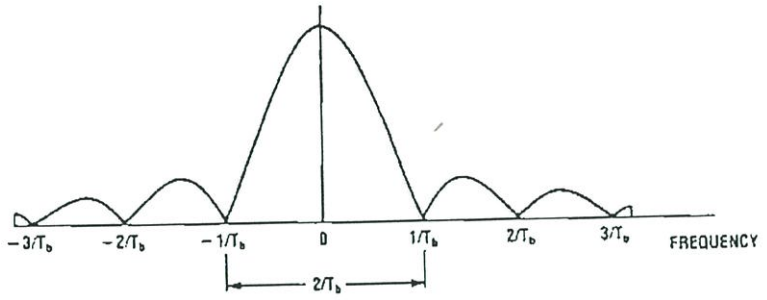
รูปที่ ข2 แสดงส่วนหนึ่งของสัญญาณข้อมูลไบนารีแบบสุ่ม สัญญาณนี้เป็นแบบยูนิโพลาร์ (unipolar) เพราะแรงดันเท่ากับ +A หรือ 0 โวลท์ค่าใดค่าหนึ่ง ช่วงกว้างของแต่ละบิท เท่ากับ T_b



รูปที่ ข2 ข้อมูลไบนารีแบบสุ่ม

ตัวอย่างนี้ประกอบด้วย 1 สิบสองตัวและ 0 สิบสี่ตัว ซึ่งประมาณได้ว่าเท่ากัน เนื่องจาก 1 และ 0 มีโอกาสที่จะเป็นไปได้เท่ากัน จึงไม่ค่อยพบ 1 หรือ 0 ต่อเนื่องกันยาว ๆ รูปที่ ข2 แสดงจำนวนความต่อเนื่อง (run) ที่มีค่า 1 หรือ 0 ซึ่งช่วงความยาวแตกต่างกัน

สเปกตรัมของสัญญาณไบนารีแบบสุ่มแสดงในรูปที่ ก3 เสปกตรัมนี้เป็นแบบต่อเนื่อง และมีเอนเวโลป (envelope) อยู่ในรูป (sin x)/x มีจุดที่เป็นศูนย์ในสเปกตรัมนี้ ณ ความถี่ที่เป็นจำนวนเท่าของ 1/ T_b เมื่อ T_b คือช่วงกว้างของบิท ($T_b = 1/R_b$ เมื่อ Rb คืออัตราบิท มีหน่วยเป็นบิทต่อวินาที (bits/s))



รูปที่ ข3 สเปกตรัมของข้อมูลไบนารีแบบสุ่ม

กำลังงานของสัญญาณไบนารีแบบสุ่มยูนิโพลาร์เหมือนกับกำลังงานของคลื่นรูปสี่เหลี่ยมยูนิโพลาร์ที่มีแอมปลิจูนเท่ากัน เนื่องจากทั้งสองสัญญาณมีจำนวนของ 1 และ 0 เท่ากัน ดังนั้น กำลังงานและแรงดัน rms ของสัญยาณไบนารีแบบสุ่มเท่ากับ

$$V = A/\sqrt{2}$$

$$P = V^2/Z$$

$$= A^2/(2Z)$$

เมื่อ V คือ ค่าแรงดัน rms

A คือ แอมปลิจูดพีค

P คือ กำลังงาน

Z คือ อิมพีแดนซ์

การสร้างวงจรสำหรับผลิตสัญญาณไบนารีแบบที่แท้จริงทำได้ยาก แต่ลำดับแบบควบ (periodic sequence) ซึ่งมีลักษณะคล้ายการสุ่มทำได้ง่ายโดยใช้ชิพท์รีจีสเตอร์ (shift register) จำนวนหนึ่งเพราะว่าลำดับเหล่านี้มีลักษณะคล้ายการสุ่มเท่านั้น จึงเรียนว่า pseudo-randorn binary sequences (PRBS)

คุณลักษณะของ PRBS

ลำดับไบนาแบบสุ่มเทียม (pseudo-random binatry sequence) มีคุณลักษณะบางประการของข้อมูลแบบสุ่ม ได้แก่

- จำนวนของ 1 และ 0 จำนวนของ 1 ในลำดับมากกว่าจำนวนของ 0 อยู่หนึ่งตัว แน่นอน

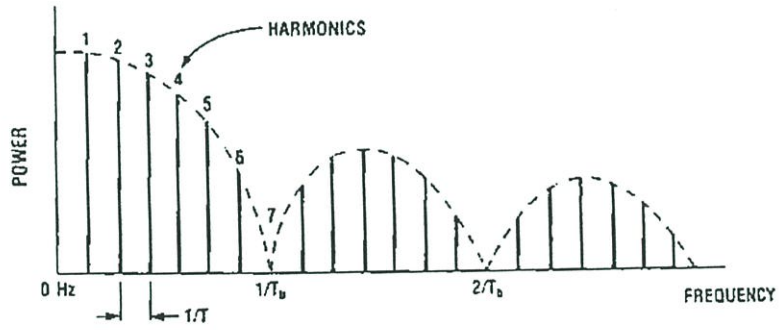
- การกระจายเชิงสถิติของความต่อเนื่อง (run) ที่ความยาวต่างกัน คล้ายกับการกระจายของข้อมูลแบบสุ่ม ครึ่งหนึ่งมีความยาวเท่ากับหนึ่ง หนึ่งในสี่มีความยาวเท่ากับสอง หนึ่งในแปดมีความยาวเท่ากับสาม และเช่นนี้ต่อไปเรื่อย ๆ

อย่างไรก็ตาม ลำดับไบนารีแบบสุ่มเทียม (PRBS) ยังต่างจากสัญญาณแบบสุ่มที่แท้จริงตรงที่ลำดับจะเกิดซ้ำหลังจาก 2^n-1 บิท เมื่อ n เท่ากับจำนวนของชิพท์รีจีสเตอร์ที่ใช้ ดังนั้น ความยาวของลำดับจึงเท่ากับ 2^n-1 บิท

รูปที่ ข4 แสดงลำดับไบนารีแบบสุ่มเทียมเมื่อ n เท่ากับ 3 ความยาว L = 2^3-1 = 7 บิท รูปข4 (a) แสดงลำดับนี้ในโดเมนเวลา

รูป ข4 (b) แสดงสเปกตรัมของลำดับนี้ สเปกตรัมของ PRBS มีเอนเวโลปเช่นเดียวกับลำดับแบบสุ่มที่แท้จริงและตำแหน่งของจุดที่เป็นศูนย์ขึ้นอยู่กับช่วงกว้างของบิท T_b เช่นเดียวกัน

a) Time Domain



b) Frequency Domain

รูปที่ ข4 ลำดับไบนารีแบบสุ่มเทียม (n = 3 , ความยาวของลำดับ L = 7)

แต่สเปกตรัมของ PRBS ประกอบด้วยเส้นแบบไม่ต่อเนื่อง (ฮาร์โมนิก) ในขณะที่สเปกตรัมของลำดับแบบสุ่มจริงนั้นต่อเนื่อง ยิ่งลำดับมีความยาวมากขึ้น จะยิ่งมีฮาร์โมนิกมากขึ้นในสเปกตรัม จำนวนของฮาร์โมนิกในแต่ละโลบ (lobe) ของสเปกตรัม รวมทั้งที่ตำแหน่งศูนย์ เท่ากับความยาวของลำดับนับเป็นบิท ในรูปที่ ข4 (b) มีเจ็ดฮาร์ดมนิกในแต่ละโลบ แม้ว่าฮาร์โมนิกที่เจ็ดเป็นศูนย์ ระยะห่างระหว่างฮาร์โมนิกขึ้นอยู่กับคาบ (period) ของลำดับ ระยะห่างนี้เท่ากับ 1/T เมื่อ T คือคาบของลำดับ

สังเกตได้ว่าเมื่อลำดับขาวขึ้น ฮาร์โมนิกค์ในสเปกตรัมจะเข้าใกล้กันมากขึ้น ถ้าลำดับมีความยาวไม่สิ้นสุด คือไม่ซ้ำกันเลยก็จะเหมือนกับลำดับแบบสุ่มที่จริง สเปกตรัมของมันจะกลายเป็นแบบต่อเนื่อง

การดีเท็คสัญญาณ NRZ ในสัญญาณรบกวน

คุณลักษณะของสัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวนแบ่งได้เป็นสองชนิด ได้แก่ แบบอิมพัลซ์ (impulse) และแบบความร้อน (thermal) สัญญาณรบกวนแบบอิมพัลซ์เกิดจากเชิร์จ (surge) ช่วงสั้น ๆ ของพลังงานซึ่งอาจมาจากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ เช่นฟ้าแลบ หรือจากแหล่งกำเนิดที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น วงจรสวิตซ์ชิงโทรศัพท์ เนื่องจากสัญญาณรบกวนนี้ไม่คงที่ ผลของมันในการส่งข้อมูลจึงยากต่อการทำนาย

สัญญาณรบกวนแบบความร้อน เกิดจากการเคลื่อนที่แบบสุ่มของอิเล็กตรอนอิสระ ดังนั้นจึงเป็นผลของแรงดันแบบสุ่มและอิสระจำนวนมากที่เพิ่มและหักล้างซึ่งกันและกัน แอมปลิจูดชั่วขณะของสัญญาณรบกวนชนิดนี้เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในแบบสุ่ม แต่คุณลักษณะบางอย่างอาจคงที่ตลอดเวลา ตัวอย่าง เช่น การกระจายกำลังงานที่ฟังก์ชันของความถี่ (สเปกตรัม), กำลังงานและแรงดัน rms, และการกระจายของสถิติของแอมปลิจูด สัญญาณรบกวนแบบความร้อนมีอยู่ในทุกระบบสื่อสารและเป็นชนิดเดียวเท่านั้นที่เราสนใจในคู่มือนี้

รูปที่ ข5 (a) แสดงสเปกตรัมของสัญญาณรบกวนสีขาว (white noise) ที่ปรากฏบนสเปกตรัมอนาไลเซอร์ สัญญาณรบกวนสีขาวมีการกระจายกำลังงานที่สม่ำเสมอ (ราบเรียบ) ตลอดย่านความถี่ที่สนใจ รูปที่ ข5 (b) แสดงสเปกตรัมของสัญญาณรบกวนสีขาวที่ถูกจำกัดแบนด์ การกระจายกำลังงานมีค่าสม่ำเสมอจาก 0 Hz ถึงประมาณ 100 kHz และตกลงอย่างรวดเร็วเมื่อความถี่สูงขึ้นไป

กำลังงานของสัญญาณรบกวนสีขาวที่ถูกจำกัดแบนด์เป็นสัดส่วนกับแบนด์วิดธ์ของมัน แบนด์วิดธ์ที่เป็นสองเท่าเป็นเหตุให้กำลังงานของสัญญาณรบกวนเป็นสองเท่า ซึ่งตรงกับการเพิ่มกำลังงานของสัญญาณรบกวนขนาด 3 dB กำลังงานของสัญญาณรบกวนในแบบด์วิดธ์ 1 Hz เรียกว่าความหนาแน่นเพาเวอร์สเปกตรัมของสัญญาณรบกวน (noise power spectral density) ตัวอย่างเช่น

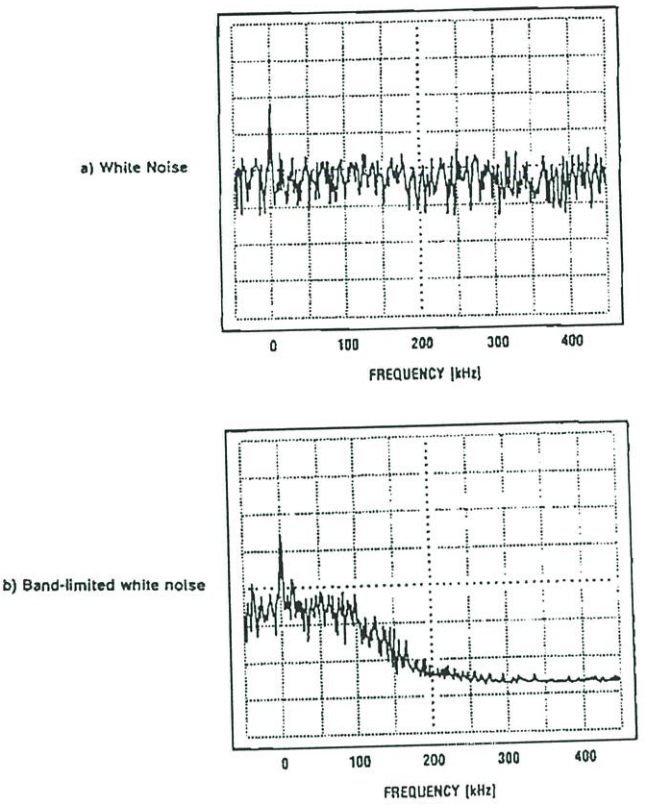
ถ้า $B_N = 2$ kHz และ $P_N = 1.0$ mW

แล้ว $N_0 = \dfrac{P_N}{B_N} = \dfrac{1.0\,\text{mW}}{2\,\text{kHz}} = 0.5$ mW/kHz หรือ 0.5 μW/Hz

เมื่อ N_0 คือ ความหนาแน่นเพาเวอร์สเปกตรัมของสัญญาณรบกวน

P_N คือ กำลังงานของสัญญาณรบกวน

B_N คือ แบนด์วิดธ์ของสัญญาณรบกวน

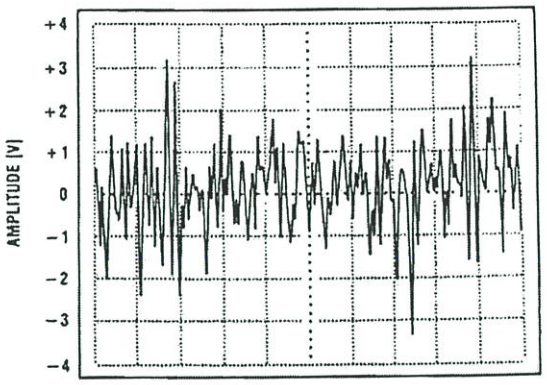


รูปที่ ข5 สเปกตรัมของสัญญาณรบกวนสีขาว

การคูณความหนาแน่นเพาเวอร์สเปกตรัมของสัญญาณรบกวนด้วยแบนด์วิดธ์สัญญาณรบกวนจะให้ผลเป็นกำลังงานของสัญญาณรบกวน

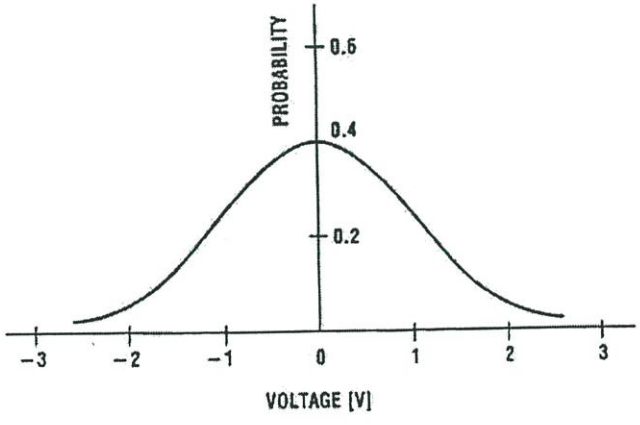
รูปที่ ข6 แสดงสัญญาณกวนขนาด 1 V rms ที่จอออสซิลโลสโคป เนื่องจากแรงดัน rms คือค่าเฉลี่ยทางเวลา มันจึงคงที่แม้ว่าแอมปลิจูดชั่วขณะของสัญญาณรบกวนเปลี่ยนแปลงแบบสุ่ม

แม้ว่าแอมปลิจูดของสัญญาณรบกวนในรูปที่ 1-15 เป็นแบบสุ่ม แต่การกระจายทางสถิติของแอมปลิจูดมีลักษณะที่แน่นอน ในรูปนี้ สัญญาณจอออสซิลโลสโคปลากผ่านจุด 0 V บ่อยครั้งกว่าแรงดันที่จุดอื่น ๆ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือแอมปลิจูดที่เกิดบ่อยที่สุดในสัญญาณรบกวนคือ 0 V แอมปลิจูดขนาด +1.0 V จะเกิดขึ้นน้อยครั้งกว่า และแอมปลิจูดขนา +3.0 V นาน ๆ จะมีสักครั้ง เราสามารถพูดได้ว่าสัญญาณรบกวนชนิดนี้ แอมปลิจูดที่มีขนาดเล็กมีความน่าจะเป็นสูงกว่าแอมปลิจูดขนาดใหญ่ ถ้าท่านวัดแอมปลิจูดของสัญญาณรบกวนที่ขณะใดขณะหนึ่ง อาจเป็นค่าใดระหว่าง +3 V ถึง –3 V แต่น่าจะได้ค่าใกล้เคียง 0 V มากกว่า +3.0 V



รูปที่ ข6 สัญญาณรบกวน (ดังที่เห็นบนจอออสซิลโลสโคป)

รูปที่ ข7 แสดงกราฟความน่าจะเป็นของแมปลิจูดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในสัญญาณรบกวน 1 V rms ที่ไม่มีองค์ประกอบดีซี แอมปลิจูดที่มีความน่าจะเป็นสูงสุดคือ 0 V แอมปลิจูดขนาดใหญ่ มีความน่าจะเป็นต่ำ สังเกตได้ว่ากราฟนี้มีลักษณะสมมาตร กล่าวคือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดแอม ปลิจูด +1.0 V กราฟชนิดนี้เรียกว่าฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (probability density function) ปรากฏการณ์ซึ่งฟังก์ชันนี้มีรูปร่างคล้ายระฆัง เรียกว่า เกาส์เซียน (Gaussian) โดยปกติสัญญาณรบกวนแบบความร้อนเป็นแบบเกาส์เซียน

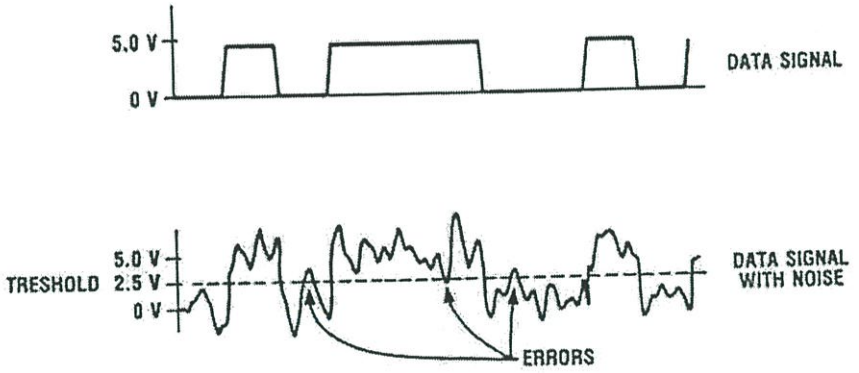


รูปที่ ข7 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน

การเกิดความผิดพลาดในการส่ง

ในระบบการส่งข้อมูล สัญญาณที่ส่งไปประกอบด้วยอนุกรมของบิทที่แทนไบนารี 1 และ 0 สัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารจะไปเพิ่มและลบกับสัญญาณที่ต้องการ รูปที่ ข8 แสดงสัญญาณข้อมูลที่ส่งไปโดยมีและไม่มีสัญญาณรบกวน สัญญาณรบกวนจะไปเพิ่มและลบกับสัญญาณในแชนแนลการส่ง

เครื่องรับส่วนมากที่ใช้ในระบบข้อมูลมีดีเท็คเตอร์ซึ่งเปรียบเทียบว่าสัญญาณที่รับเข้ามาสูงหรือต่ำกว่าเทรดโชลด์ (threshold) คำหนึ่งหรือไม่ โดยปกติเทรดโซลด์นี้จะเป็นครึ่งหนึ่งระหว่างแรงดันสองค่าที่ใช้แทนไบนารี 1 และ 0 ในรูปที่ ข8 ไบนารี แทนด้วย 5 V และ ไบนารี 0 แทนด้วย 0 V เทรดโชลด์จะถูกกำหนดตายตัวที่ 2.5 V



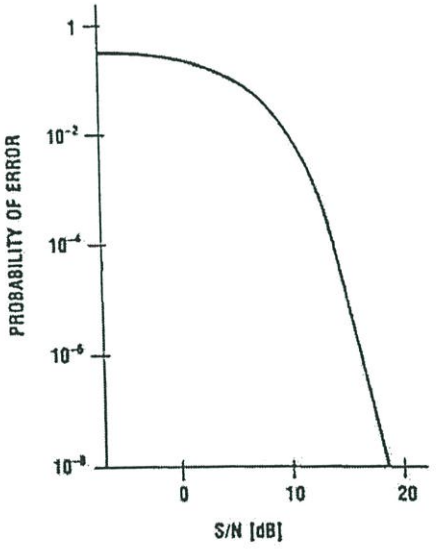
รูปที่ ข8 ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูล

ถ้าแรงดันที่เครื่องรับมากกว่าค่าแรงดันเทรดโชลด์ จะดีเท็คเป็น 1 ไม่เช่นนั้นจะเป็น 0 ความผิพลาดเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณและสัญญาณรบกวนรวมเข้าด้วยกันที่เครื่องรับทำให้เกิดผลลัพธ์ซึ่งต่างจากบิทที่ถูกส่งออกไป สิ่งนี้จะเกิดขึ้นเฉพาะเมื่อ

- แอมปลิจูดชั่วขณะของสัญญาณรบกวนมากพอ และ
- ขั้วชั่วขณะของสัญญาณรบกวนมีค่าที่ทำให้แอมปลิจูดสัญญาณรบกวนข้ามผ่าน เทรดโชล์ของเครื่องรับ

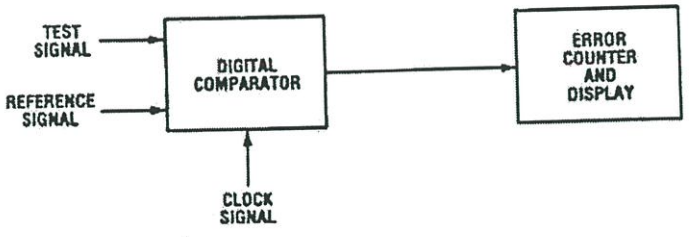
ดังนั้น ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดจึงขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นของสองสภาวะนี้ที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน ในรูปที่ ข8 มีความผิดพลาดสามตำแหน่ง

ประสิทธิภาพของระบบการส่งข้อมูลมักจะแสดงด้วยกราฟความน่าจะเป็นของความผิดพลาดเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (signal– to – noise ratio) ตัวอย่างหนึ่งของกราฟชนิดนี้แสดงในรูปที่ 1-18 ซึ่งแสดงความน่าจะเป็นของความผิดพลาดต่อบิท P_e เทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนในหน่วย dB สำหรับสัญญาณ NRZ แบบยูนิโพลาร์ ท่านสามารถเห็นจากรูปนี้ว่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนลดลงกราฟชนิดนี้ใช้หาว่าต้องใช้อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณ รบกวนเท่าไรเพื่อจะได้อัตราความผิดพลาดที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการอัตราความผิดพลาด 10^{-4} รูปที่ ข9 แสดงว่าจำเป็นต้องใช้อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนประมาณ 14 dB สำหรับ NRZ แบบยูนิโพลาร์ กราฟชนิดนี้สามารถใช้ทำนายอัตราความผิดพลาดสำหรับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่กำหนดให้



รูปที่ ข9 ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดเทียบกับ SNR ของ NRZ แบบยูนิโพลาร์

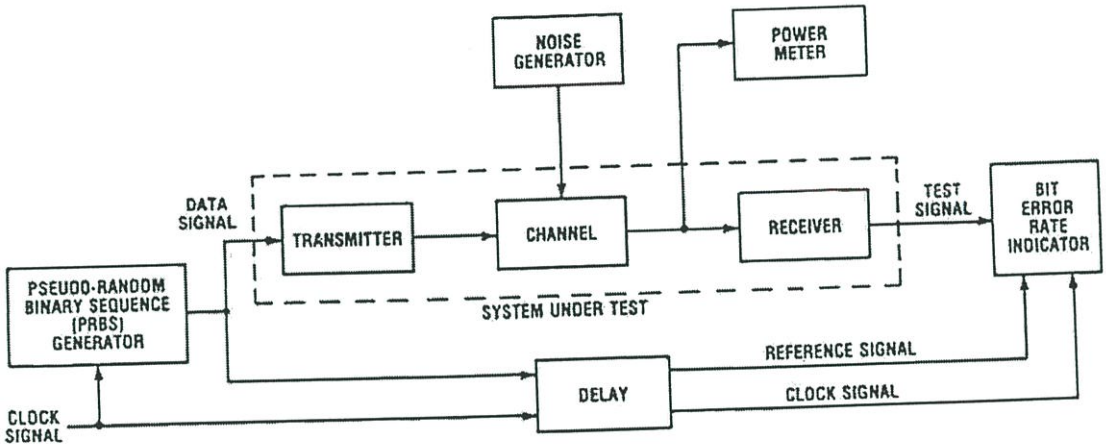
การดีเท็คสัญญาณ NRZ ในสัญญาณรบกวน



รูปที่ ข10 Bit Error Rate Indicator

อัตราของความผิดพลาดในการส่งวัดได้โดยการใช้เครื่องวัดอัตราผิดพลาดบิท (bit error rate indicator) ดังแสดงในรูปที่ ข10 เครื่องวัดอัตราผิดพลาดบิทประกอบด้วยตัวเปรียบเทียบดิจิตอล ซึ่งถูกทริกโดยสัญญาณนาฬิกา รูปที่ ข11 แสดงให้เห็นว่าเครื่องวัดอัตราผิดพลาดบิทใช้งานอย่างไร ข้อมูลถูกส่งเข้าไปในระบบและข้อมูลเอาท์พุทถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลอินพุทเพื่อหาความผิดพลาด กำลังงานของสัญญาณและสัญญาณรบกวนที่อินพุทของเครื่องรับถูกวัดเพื่อคำนวณหาอัตรา SNR

ในการวัดระบบจริง ข้อมูลเอาท์พุทที่สถานีปลายทางสามารถ NRZ แบบเบสแบนด์ ไม่ต้องใช้เครื่องส่งและเครื่องรับ สัญญาณ NRZ จาก Pseudo-Random Binary Sequence Generator ถูกส่งโดยตรงผ่านแชนแนลไปยัง Bit Error Rate Indecator



รูปที่ ข11 การวัดอัตราผิดพลาดบิท

Amplitude – Shift Keying (ASK)

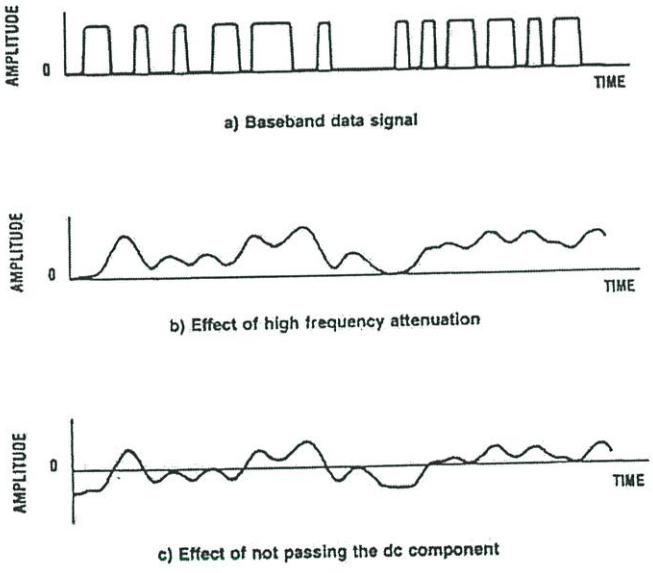
วิธีหนึ่งของการย้ายข้อมูลจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งในระยะทางที่สั้นมาก คือ การส่งสัญญาณข้อมูลผ่านสายโดยตรง ข้อมูลเบสแบนด์โดยปกติแล้วมีองค์ประกอบดีซี เช่นเดียวกับองค์ประกอบความถี่สูง ทั้งหมดต้องถูกส่งไปในลักษณะที่ให้เกิดการรับข้อมูลอย่างถูกต้อง การส่งสัญญาณข้อมูลโดยผ่านสายโดยตรงไปยังปลายทางประกันได้ว่าองค์ประกอบดีซีจะคง มีอยู่ ถ้ามีสายโทรศัพท์ส่วนบุคคลที่เชื่อมต่อเพื่อจุดมุ่งหมายนี้โดยเฉพาะ การส่งของข้อมูลเบสแบนด์โดยตรงในระยะทางที่จำกัดก็เป็นไปได้

แต่อินดัคแตนซ์และคาปาซิแตนซ์ของสายตัวนำทำให้เกิดการลดทอนองค์ประกอบความถี่สูงอย่างมากในสัญญาณข้อมูล ทำให้เกิดความผิดเพี้ยนซึ่งเป็นปัญหาต่อการรับของข้อมูลที่ถูกต้อง ดังนั้น การส่งผ่านสายลวดโดยตรงจึงทำไม่ได้สำหรับระยะทางไกล ๆ รูปที่ ข12 (a) แสดงสัญญาณ

ข้อมูลเบสแบนด์ที่ไม่ผิดเพี้ยน รูปที่ ข12 (b) แสดงผลของการลดทอนความถี่สูงในการส่งที่มีต่อสัญญาณข้อมูล

แทนที่จะใช้สายส่งส่วนบุคคล เป็นการสะดวและประหยัดมากในการใช้เครือข่ายโทรศัพท์สาธารณะสำหรับการส่งข้อมูล แต่เน็ตเวิร์คเหล่านี้ได้ถูกออกแบบสำหรับการส่งเสียงพูดภายในความถี่ออดิโอย่าน 300 ถึง 3400 Hz และไม่สามารถส่งองค์ประกอบดีซีในสัญญาณข้อมูลเบสแบนด์ได้ รูปที่ ข12 (c) แสดงผลของการไม่ส่งองค์ประกอบดีซีของสัญญาณข้อมูล ซึ่งจะเห็นว่าในรูปนี้การส่งที่ผิดพลาดหลายครั้งจะเกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขนี้

การส่งสัญญาณดิจิตอลผ่านแชนแนลอนาล็อกเหล่านี้ ในขั้นแรกจำเป็นต้องใช้บางรูปแบบของการมอดูเลท การมอดูเลท (modulation) เป็นขบวนการของการเปลี่ยนคุณลักษณะบางอย่างของพาหะ (carrier) ที่สอดคล้องกับสัญญาณข่าวสาร ซึ่งทำได้โดยการใช้โมเด็ม (Modem)

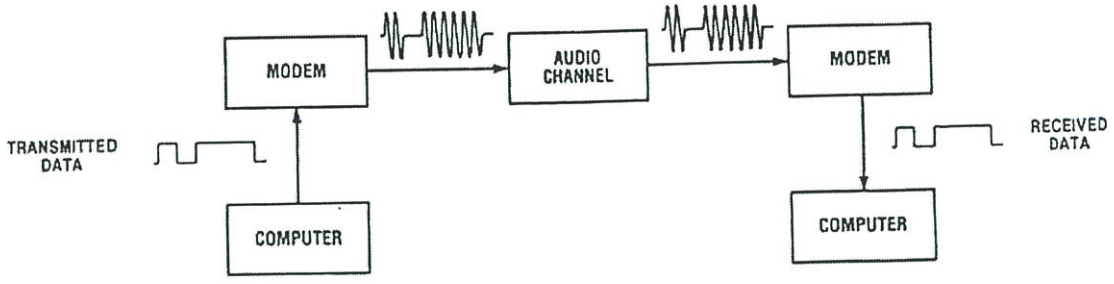


รูปที่ ข12 ผลของข้อจำกัดทางแชนแนลที่มีต่อการส่งข้อมูล

คำว่าโมเด็ม (modem) มาจาก Modulator/DEModulator โมเด็มใช้ข้อมูลที่ต้องการส่งเพื่อมอดูเลทสัญญาณพาหะความถี่ออดิโอ จากนั้นสัญญาณที่ถูกมอดูเลทจะถูกส่งผ่านสายโทรศัพท์ไปยังโมเด็มอีกตัวหนึ่งซึ่งดีมอดูเลทสัญญาณและกู้ข้อมูลเดิมกลับคืนมา ดังแสดงในรูปที่ ข13 การใช้โมเด็มทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ในระยะทางที่ไกลมาก ๆ

ในการมอดูเลทแบบดิจิตอล คุณลักษระของพาหะถูกทำให้เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งสิ่งนี้มีผลของการเลื่อนสเปกตรัมของสัญญาณข้อมูลขึ้นไปยังความถี่พาหะ พาหะถูกทำให้เกิดกาเรปลี่ยนแปลงทางแอมปลิจูด (Amplitude-Shift Keying-ASK) ทางความถี่ (Frequency-Shift

Keying-FSK) ทางเฟส (Phase-Shift Keying-PSK) หรือรวมกันทั้งเฟสและแอมปลิจูด ขึ้นอยู่กับชนิดของการมอดูเลทที่ใช้ใน ในบทนี้จะได้ศึกษา amplitude-shift keying



รูปที่ ข13 การส่งข้อมูลผ่านโมเด็ม

Amplitude-shift keying สร้างได้ง่ายและประหยัด แต่มีเนื่องจากมีการนำไปใช้น้อยกว่าการมอดูเลทแบบดิจิตอลชนิดอื่น การใช้งานจึงค่อนข้างจำกัด อย่างไรก็ตามการศึกษา ASK เป็นการนำสู่เรื่องของโมเด็มที่ดีมาก

สำหรับการมอดูเลทแบบดิจิตอลชนิดต่าง ๆ เกือบทั้งหมด มีการดีเท็ค (การดีมอดูเลท) อยู่สองชนิดที่เป็นไปได้ ได้แก่แบบโคฮีเรนท์ (coherent) และ นอนโคฮีเรนท์ (non-coherent) ในการดีเท็คแบบโคฮีเรนท์เครื่องรับทำการกู้สัญญาณพาหะเริ่มต้นที่ยังไม่ถูกมอดูเลทกลับคืนมา แล้วเปรียบเทียบสัญญาณที่รับเข้ามากับพาหะที่ยังไม่ถูกมอดูเลทนี้ เพื่อสร้างสัญญาณข้อมูลกลับคืนมา

ในการดีเท็คแบบนอนโคฮีเรนท์ เครื่องรับไม่ได้จำลองแบบของพาหะเริ่มต้น แต่สัญญาณที่ได้รับจะถูกวิเคราะห์ โดยปกติด้วยฟิวเตอร์ และถูกผ่านไปยังดีเท็คเตอร์

การตีเท็คแบบโคฮีเรนท์มีความซับซ้อนมากกว่า และจึงมีราคาแพงกว่า เมื่อเทียบกับการดีเท็คแบบนอนโคฮีเรนท์ แม้ว่าระบบโคซีเรนท์ทำงานได้ดีกว่าระบบนอนโคฮีเรนท์ ประสิทธิภาพที่ดีกว่าก็ยังไม่อาจชดเชยราคาที่เพิ่มขึ้น ระบบ ASK ที่ศึกษาในคู่มือนี้จะเป็นแบบนอนโคฮีเรนท์

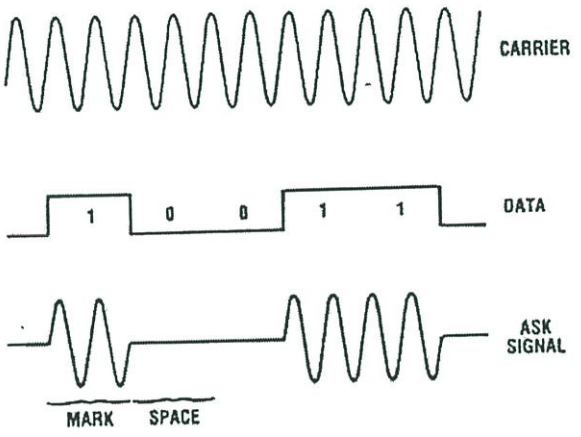
หน่วยของการวัดที่นิยมใช้แสดงอัตราของการส่งข้อมูล 2 หน่วย ได้แก่ อัตราบิท (bit rate) และ จำนวนของ baud หนึ่งบิทเป็นส่วนเล็กที่สุดของข้อมูล และมค่าไบนารี 1 และ 0 จำนวนของบิทที่ถูกสงต่อวินาทีคือ อัตราบิท (bit rate)

ในระบบจำนวนมาก ข้อมูลถูกนำมาทีละหนึ่งบิทเพื่อใช้มอดูเลทพาหะ ในกรณีนี้พาหะมีสองสถานะที่เป็นไปได้ (แมปลิจูด ความถี่ หรือเฟส) สอดคล้องกับค่าของบิทที่เป็นไปได้สองค่า เราเรียกว่าสัญญาณไบนารี (binary signaling) แต่ละสถานะของพาหะถูกพิจารณาว่าเป็นสัญลักษณ์หรือรหัสหนึ่งตัว เมื่อส่งทีละบิท จำนวนของ baud (จำนวนของสัญลักษณ์ หรือเหตุการณ์ของสัญญาณต่อวินาที) เท่ากับอัตราบิท

ในระบบที่ซับซ้อนกว่า บางครั้งข้อมูลถูกส่งเป็นกลุ่มทีละสองบิทหรือมากกว่า ตัวอย่างเช่น ถ้าบิทถูกส่งเป็นกลุ่มสองบิท จะมีสี่กลุ่มที่เป็นไปได้คือ 0 01 และ 11เราเรียกว่าสัญญาณควอ

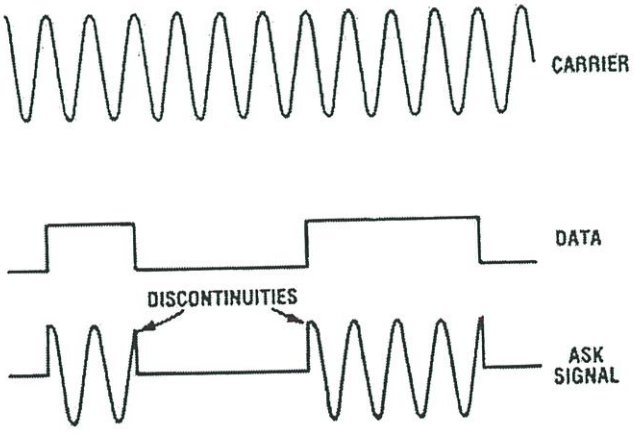
เตอร์นารี (quaternary signaling) ในระบบเช่นนี้พาหะสามารถมีได้หลายสถานะมากเท่ากับจำนวนกลุ่มที่แตกต่างกัน แต่ละกลุ่มถูกส่งเป็นสัญลักษณ์ที่อิสระต่อกันโดยการเปลี่ยนพาหะไปยังสถานะที่เหมาะสม ในกรณีนี้จำนวนของ baud ไม่เท่ากับอัตราบิท เพราะแต่ละสัญลักษณ์แทนมากกว่าหนึ่งบิท กล่าวคือ

$$\text{จำนวนของบอด} = \frac{\text{อัตราบิท}}{\text{จำนวนของบิทต่อสัญลักษณ์}}$$



รูปที่ ข14 รูปคลื่นใน ASK Generator

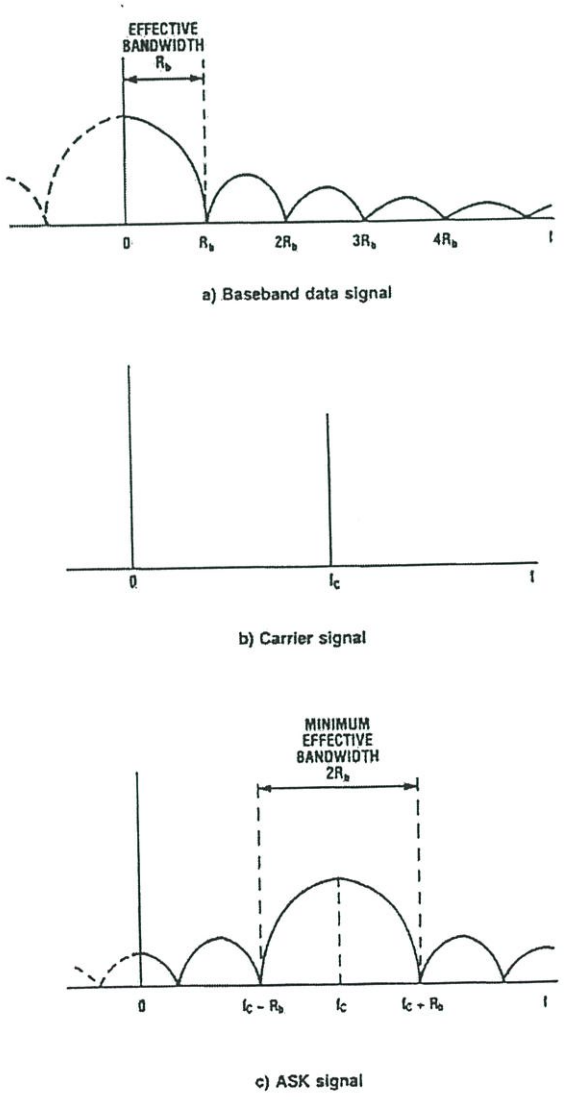
ในรูปที่ ข14 พาหะและข้อมูลถูกชิงโครไนซ์ ทำให้ได้สัญญาณ ASK ที่ราบเรียบซึ่งปราศจากความไม่ต่อเนื่อง แต่ในระบบสื่อสารพาหะและข้อมูลโดยปกติแล้วจะไม่ถูกชิงโครไนซ์ ทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องในสัญญาณ ASK ดังแสดงในรูปที่ ข15



รูปที่ ข15 สัญญาณ ASK ซึ่งมีความไม่ต่อเนื่อง

สเปกตรัมของสัญญาณ ASK คล้ายกับของสัญญาณเบสแบนด์ เว้นแต่มันถูกเลื่อนความถี่ รูปที่ ข16 (b) แสดงสเปกตรัมของสัญญาณพาหะคลื่นชายน์ ในรูปที่ ข16 (c) ท่านสามารถเห็นว่า สเปกตรัม ASK ที่เกิดขึ้นเหมือนกับของสัญญาณเบสแบนด์ แต่ขณะนี้มีจุดศูนย์กลางที่ความถี่พาหะ

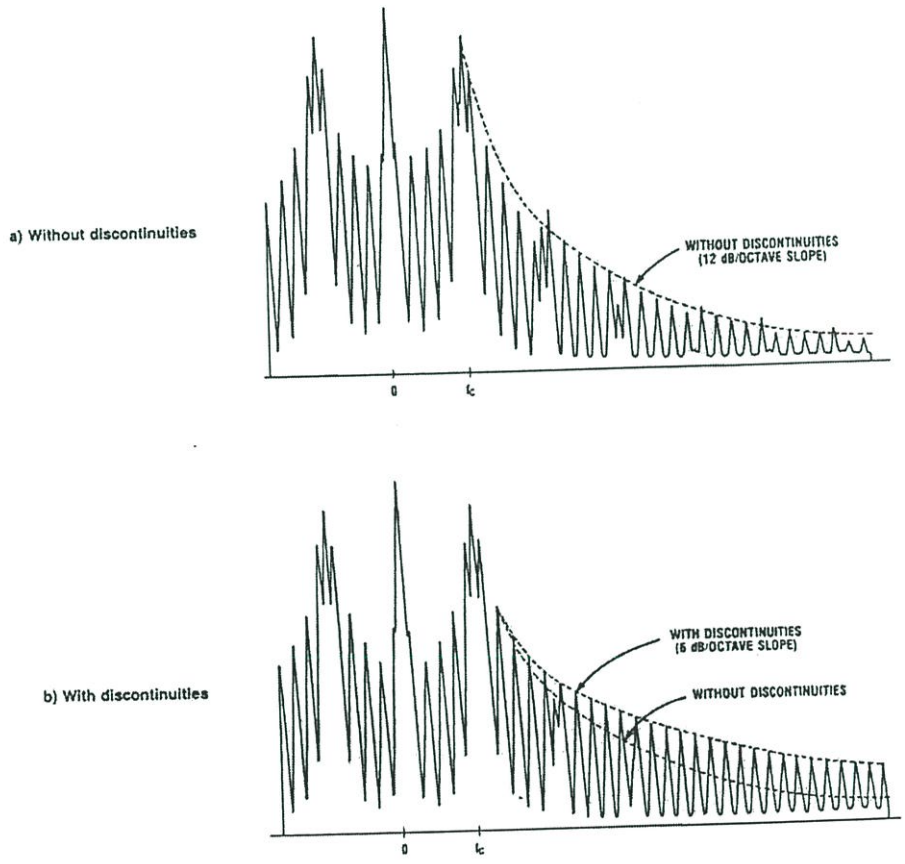
แบนด์วิดธ์ของสัญญาณดิจิตอลที่แท้จริงสามารถพิจารณาว่าประมาณเท่ากับความกว้างของโลบหลัก (main lobe) ของสเปกตรัมของสัญญาณ สำหรับสเปกตรัมของสัญญาณข้อมูลเบสแบนด์ โลบหลักเริ่มจาก 0 Hz จนถึงจุดศูนย์จุดแรก ในรูปที่ ข16 (a) ท่านสามารถเห็นว่าแบนด์วิดธ์ที่เป็นผล (effective bandwidth) เท่ากับอัตราบิท R_b โดยประมาณ หลังจากการมอดูเลทโลบหลักของสัญญาณ ASK (รูปที่ 16 (c)) เริ่มจาก $f_c - R_b$ ถึง $f_c + R_b$ ทำให้ได้แบนด์วิดธ์ที่เป็นผลเท่ากับ $2R_b$ โดยประมาณ



รูปที่ ข16 สเปกตรัมของสัญญาณเบสแบนด์ สัญญาณพาหะ และสัญญาณ ASK

เพื่อที่จะรับสัญญาณ ASK ได้ถูกต้อง อย่างน้อยโลบหลักของสเปกตรัม ASK ต้องถูกส่ง เพราะว่าจุดที่เป็นศูนย์ในสเปกตรัมเกิดขึ้นที่ช่วงเท่ากับอัตราบิท R_b แบนด์วิดธ์ที่ต้องการสำหรับการส่งจึงเท่ากับสองถึงสามเท่าของอัตราบิทโดยคราว ๆ การลดแบนด์วิดธ์ลงต่ำกว่า $2R_b$ ทำให้ความผิดพลาดในการส่งเพิ่มขึ้น

ความไม่ต่อเนื่องในสัญญาณ ASK ทำให้ระดับกำลังงานของฮาร์โมนิกความถี่สูงของสัญญาณเพิ่มขึ้นดังนั้นแบนด์วิดธ์ที่เป็นผลจึงเพิ่มขึ้น ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ ข17 การที่จะทำให้อัตราข้อมูลให้เร็วที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ในแบบด์วิดธ์เล็กที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ต้องการได้รูปคลื่นที่ราบเรียบปราศจากความไม่ต่อเนื่อง ซึ่งอาจทำได้โดยการกรองสัญญาณ ASK ก่อนการส่ง

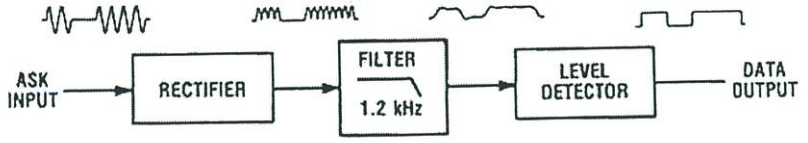


รูปที่ ข17 ผลที่เกิดจากความไม่ต่อเนื่องบนสเปกตรัมของสัญญาณ ASK

ประสิทธิภาพของ ASK ในสัญญาณรบกวน

การดีมอดูเลทสัญญาณ ASK โดยใช้เร็คติฟายเออร์ (rectifier) ฟิลเตอร์ (filter) และดีเท็คเตอร์ระดับ (level detector) แสดงในรูปที่ ข18 ในขั้นแรก เร็คติฟายเออร์แบบฟูลเวฟทำการเร็คติ

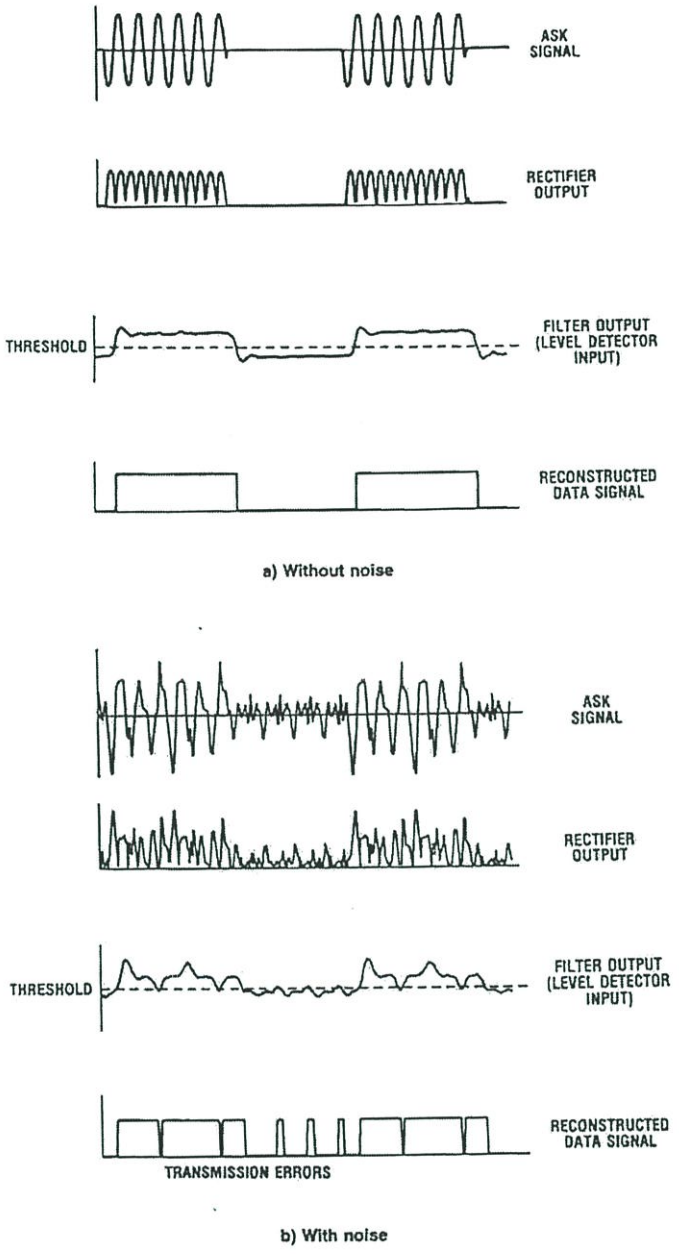
ฟายสัญญาณ ASK จากนั้นฟิลเตอร์แบบความถี่ต่ำผ่านจะทำให้สัญญาณเอาท์พุทของเร็คติฟายเออร์ราบเรียบ สุดท้ายดีเท็คเตอร์ระดับจะตัดสินว่าเป็น 0 หรือ 1 ที่ได้รับ



รูปที่ ข18 การดีมอดูเลทสัญญาณ ASK

รูปที่ ข19 (a) แสดงรูปคลื่นในเครื่องรับ ASK เมื่อไม่มีสัญญาณรบกวนที่อินพุทของเครื่องรับ ดีเท็คเตอร์ณะดับเปรียบเทียบแรงดันที่อนพุทกับแรงดันเทรดโชลด์ค่าหนึ่ง เมื่อแรงดันอินพุทของดีเท็คเตอร์ระดับสูงกว่าเทดโชลด์ เอาท์พุทของดีเท็คเตอร์จะเป็น high (ไบนารี 1) ไม่เช่นนั้นจะเป็น low (ไบนารี 0) ระดับเทรดโชลด์ในอุดมคติอยู่กึ่งกลางระหว่างระดับเอาท์พุทสูงสุดและต่ำสุดของฟิลเตอร์

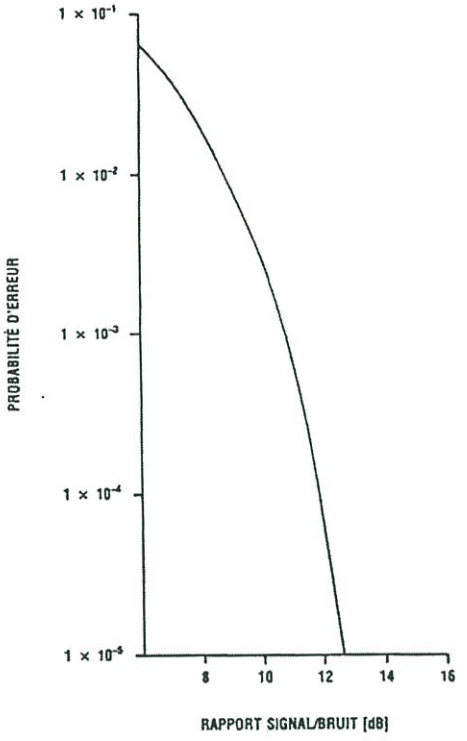
รูปที่ ข19(b) แสดงผลกระทบของสัญญาณรบกวนที่มีต่อรูปคลื่นในเครื่องรับ ASK สัญญาณรบกวนจะเพิ่มและลบกับสัญญาณ ASK เป็นเหตุให้เกิดความไม่สม่ำเสมอในแอมปลิจูดของสัญญาณที่ถูกเร็คติฟายและในสัญญาณที่ผ่านการฟิลเตอร์ ความไม่สม่ำเสมอที่อินพุทของดีเท็คเตอร์ระดับทำให้เกิดการข้ามเทรดโชลด์ที่ไม่ต้องการขึ้น ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดในสัญญาณข้อมูลที่สร้างกลับคืนมา



รูปที่ ข19 ผลของสัญญาณรบกวนในการดีมอดูเลทแบบ ASK

ประสิทธิภาพของ ASK ในสัญญาณรบกวน

รูปที่ ข20 แสดงกราฟประสิทธิภาพทางทฤษฎีของ ASK ในสัญญาณรบกวน กราฟนี้เรียกว่าฟังก์ชันความน่าจะเป็นของความผิดพลาด (error probability function) แสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (signal-to-noise ratio) ทางทฤษฎีที่ต้องการเพื่อให้ได้ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดที่กำหนด ประสิทธิภาพในสัญญาณรบกวนเกี่ยวข้องโดยตรงกับความต้องการกำลังงาน ถ้าเรารู้ระดับของสัญญาณรบกวนในระบบ กำลังงานของสัญญาณที่ต้องการเพื่อให้ได้ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดที่กำหนดไว้สามารถถูกคำนวณได้โดยง่ายจากฟังก์ชันความน่าจะเป็นของความผิดพลาด



รูปที่ ข20 ประสิทธิภาพทางทฤษฎีของ ASK ในสัญญาณรบกวน

กราฟเช่นในรูปที่ ข20 ซึ่งแสดงประสิทธิภาพทางทฤษฎีในสัญญาณรบกวนได้จากการคำนวณแทนที่จะได้จากการวัดค่าในระบบจริง อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่ใช้ในการคำรวณทางทฤษฎีโดยปกติแล้วเป็นค่าที่อินพุทของวงจรดีเท็คเตอร์ แทนที่จะเป็นที่อินพุทของเครื่องรับ ทั้งนี้เนื่องมาจากที่อินพุทของเครื่องรับมักจะจำกัดแบนด์วิทธ์ของสัญญาณอินพุท ดังนั้นจึงลดสัญญาณรบกวนที่ภายนอกของแบนด์วิดธ์ที่เป็นผล (effective bandwidth) ของเครื่องรับ ในเครื่องรับที่ถูกออกแบบอย่างดี นั้นอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่ดีเท็คเตอร์จะมากกว่าที่อินพุทของเครื่องรับ

เมื่อทำการวัดประสิทธิภาพของระบบในการทดลอง อัตราความผิดพลาดในระบบจะถูกวัดที่อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่แตกต่างกัน แต่มักจะเป็นไปได้ที่จะทำการวัดอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนโดยตรงที่วงจรดีเท็คเตอร์ อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนนั้นก็จะถูกวัดที่อินพุทของเครื่องรับเช่นเดียวกัน ในหลายกรณีที่ผลที่ได้นี้ให้ผลลัพธ์ซึ่งแตกต่างจากทางทฤษฎี

วิธีหนึ่งที่จะพิสูจน์ประสิทธิภาพของระบบในการทดลองโดยทางทฤษฎีคือ การหาค่าความหนาแน่นของเพาวเอร์สเปกตรัมในสัญญาณรบกวนที่อนพุทของเครื่องรับ และแบนด์วิดธ์ที่เป็นผลของเครื่องรับเมื่อเกี่ยวข้องกับสัญญาณรบกวน แบนด์วิดธ์ที่เป็นผลของเครื่องรับถูกเรียกว่าแบนด์

วิดธ์ของสัญญาณรบกวนของเครื่องรับ กำลังงานของสัญญาณรบกวนที่ดีเท็คเตอร์สามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร

$$P_N = N_O \times B_{Nrec}$$

เมื่อ P_N คือ กำลังงานของสัญญาณรบกวนที่ดีเท็คเตอร์

N_O คือ ความหนาแน่นของเพาเวอร์สเปกตรัมในสัญญาณรบกวนที่อนพุทของเครื่องรับ

B_{Nrec} คือ แบนด์วิดธ์ของสัญญาณรบกวนของเครื่องรับ

เมื่อวงจรสำหรับการดีเท็คของเครื่องรับประกอบด้วยฟิลเตอร์เพียงอย่างเดียว แบนด์วิดธ์ของสัญญาณรบกวนของเครื่องรับมีค่าใกล้เคียงกับแบนด์วิดธ์ 3 dB ของฟิลเตอร์ ในดีเท็คเตอร์ที่ซับซ้อนกว่านี้จะหาค่าแบนด์วิดธ์ของสัญญาณรบกวนยากยิ่งขึ้น เมื่อพยายามตรวจสอบกราฟ ประสิทธิภาพทางทฤษฎีนั้น ความผิดพลาดใดๆ ในการคาดคะเนแบนด์วิดธ์ของเครื่องรับอาจส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง

อีกวิธีหนึ่งที่ง่ายกว่าคือ จำกัดแบนด์ของสัญญาณรบกวนก่อนที่จะถูกอนเข้าในระบบให้มีแบนด์วิดธ์เท่ากับหรือน้อยกว่าแบนด์วิดธ์ของสัญญาณรบกวนของเครื่องรับ ซึ่งทำให้แน่ใจว่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่วัดได้ที่อินพุทของเครื่องรับเหมือนกับที่ดีเท็คเตอร์ วิธีการนี้เป็นวิธีใช้ในคู่มือนี้

เมื่อทำการวัดประสิทธิภาพในสัญญาณรบกวนปัจจัยอื่นๆ มากกมายสามารถทำให้ผลการทดลองแตกต่างจากกราฟประสิทธิภาพทางทฤษฎี กราฟประสิทธิภาพทางทฤษฎีถูกคำนวณขึ้นโดยสมมติว่าสัญญาณรบกวนในระบบเป็นเกาส์เซียนทั้งหมด ว่าวงจรทำงานได้อย่างสมบูรณ์แบบ และว่าแบนด์วิดธ์ของเครื่องรับนั้นมีค่าเหมาะสมที่สุด เนื่องจากเงื่อนไขในอุดมคติเหล่านี้นาน ๆ ครั้งจึงจะพบได้ในทางปฏิบัติ ทำให้ความผิดพลาดต่างๆ สามารถเกิดขึ้นได้

ก่อนทำการคำนวณกราฟประสิทธิภาพทางทฤษฎีสำหรับการมอดูเลทชนิดใดชนิดหนึ่ง หลายสมมติฐานเบื้องต้นได้ถูกสร้างขึ้น ด้วยเหตุที่มีหนทางที่แตกต่างกันในการมองปัญหา นักทฤษฎีทั้งหลายจึงตั้งสมมติฐานที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ไม่ทุกคนเห็นพ้องกันว่าอะไรคือแบนด์วิดธ์ของเครื่องรับที่ดีที่สุดสำหรับ ASK ซึ่งบางครั้งก่อให้เกิดความแตกต่างในกราฟประสิทธิภาพทางทฤษฎีอย่างมาก

มีหลายวิธีที่แตกต่างกันในการวัดกำลังงานของสัญญาณ ในรูปที่ ข20 อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนหาได้จากกำลังงานเฉลี่ยของสัญญาณ นักทฤษฎีบางท่านำคำนวณอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนโดยใช้กำลังงานสูงสุดของสัญญาณ ซึ่งเป็นกำลังงานของพาหะ เมื่

อปรากฏขึ้นมา เนื่องจากในระบบ ASK นั้นจะปรากฏเพียงพาหะเฉพาะระหว่าง mark และหายไประหว่าง space จึงทำให้กำลังงานเฉลี่ยจะมีค่าใกล้เคียงครึ่งหนึ่งของกำลังงานสูงสุด โดยสมมติความน่าจะเป็นเท่ากันสำหรับทั้ง 1 และ 0

เมื่อเปรียบเทียบบนพื้นฐานของกำลังงานเฉลี่ย โดยทางทฤษฎีแล้ว ASK สามารถทำงานได้ดีเหมือน FSK แต่ไม่ดีเท่า PSK แต่ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปประสิทธิภาพของ ASK ถูกพิจารณาว่าด้อยกว่า FSK และ PSK ในการที่ไบนารี 0 ถูกส่งโดยการเปลี่ยนแปลงความถี่หรือเฟสของสัญญาณพาหะ แทนที่เพียงการหยุดส่งพาหะ ถ้าคำนึงถึงความต้องการกำลังงานในระบบการสื่อสารเป็นหลักเกณฑ์ ASK เป็นระบบที่ไม่นิยมใช้

ASK มีความทนทานที่ต่ำต่อความไม่สมบูรณ์ของแชนแนล เช่น แอมปลิจูดไม่เป็นเชิงเส้นและเกิดการเลื่อน (fading) เนื่องจากการตั้งค่าเทรดโชลด์ของเครื่องรับให้ดีที่สุดนั้นขึ้นอยู่กับระดับสัญญาณที่ได้รับ ระบบ ASK จึงมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงในประสิทธิภาพที่ลดลงของสัญญาณที่ได้รับ ถ้าเกิดการเลื่อนในแอมปลิจูดจะทำให้ค่าเทรดโชลด์ของเครื่องรับจะไม่เป็นค่าดีที่สุดอีกต่อไป และอัตราของความผิดพลาดในการส่งจะเพิ่มขึ้น ในบางระบบค่าเทรดโชลด์จะถูกปรับใหม่อัตโนมัติเพื่อให้เข้ากันกับการเปลี่ยนแปลงในระดับสัญญาณ

เนื่องจากมีความแตกต่างเล็กน้อยในความซับซ้อนของเครื่องส่งสำหรับ ASK , FSK และ PSK โดยส่วนใหญ่เครื่องรับจะกำหนดความซับซ้อนของระบบ เครื่องรับ ASK แบบนอน โคฮีเรนท์ไม่ซับซ้อนและมีราคาถูก ความต้องการแบนด์วิดธ์ของ ASK นั้นคล้ายคลึงกับ PSK และค่อนข้างดีกว่า FSK

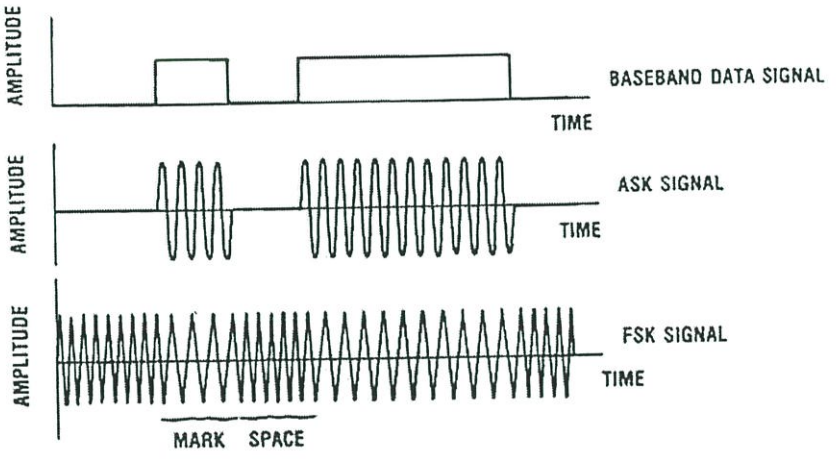
เนื่องจากประสิทธิภาพที่ต่ำ จึงไม่นิยมใช้ ASK สำหรับการส่งข้อมูลในระบบการสื่อสารสมัยใหม่ แต่จะถูกใช้สำหรับ back channel (แชนแนลย้อนกลับที่มีความจุต่ำ) ในโมเด็ม FSK บางชนิด

Frequency – Shift Keying (FSK)

ดิจิตอลมอดูเลชันเกี่ยวข้องกับการใช้สัญญาณข้อมูลเบสแบนด์นำมาดูเลทคุณลักษณะบางอย่างของสัญญาณพาหะ ใน Amplitude-Shift Keying (ASK) แอมปลิจูดของสัญญาณพาหะถูกสวิตซีระหว่างสองระดับตามสัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่ง ซึ่งเป็นรูปแบบพิเศษของการมอดูเลททางแอมปลิจูด

ดิจิตอลมอดูเลชันอีกชนิดหนึ่ง ได้แก่ Frequency-Shift Keying (FSK) ใน FSK แอมปลิจูดของสัญญาณพาหะคงที่ แต่ไบนารี 1 และ 0 ของสัญญาณข้อมูลถูกส่งโดยการสับเปลี่ยนความถี่ของพาหะระหว่างสองค่า

รูปที่ ข21 แสดงสัญญาณทั้ง ASK และ FSK รูปนี้แสดงให้เห็นว่าเฉพาะแอมปลิจูดของพาหะถูกมอดูเลทด้วยสัญญาณข้อมูลใน ASK ส่วนใน FSK เฉพาะความถี่ที่แปรตามกับสัญญาณข้อมูล



รูปที่ ข21 สัญญาณ ASK และ FSK

FSK มีส่วนที่เหมือนกันกับ ASK มากมาย ในทางทฤษฎี สัญญาณ FSK สามารถสร้างขึ้นได้จากการซ้อนทับกันของสองสัญญาณ ASK ที่มีความถี่พาหะแตกต่างกัน นอกจากนั้น สเปกตรัมของสัญญาณ FSK ยังคล้ายกับสเปกตรัมที่ซ้อนทับกันของสองสัญญาณ ASK ซึ่งมีความถี่พาหะแตกต่างกัน

FSK ใช้กันอย่างกว้างขวางในการใช้ส่งข้อมูลซึ่งต่างกัน ASK ทั้งนี้เนื่องจาก FSK มีข้อได้เปรียบหลายประการ FSK ไวต่อความไม่สมบูรณ์ของแชนแนลน้อยกว่า ASK ประสิทธิภาพในสัญญาณรบกวนโดยปกติแล้วจะดีกว่า ASK แม้ว่าจะต้องกว่า PSK เนื่องจากอุปกรณ์ที่ต้องการสำหรับ FSK มีความซับซ้อนกว่าสำหรับ ASK เพียงเล็กน้อย ระบบ FSK จึงมีราคาถูก นอกจากนี้ FSK ยังปรับใช้ได้ดีมากกับการรับส่งสัญญาณแบบสองทางในเวลาเดียวกันภายในสายสัญญาณสองสายเพียงชุดเดียว ซึ่งทำได้โดยการใช้แบนด์ความถี่ที่แตกต่างสำหรับการรับส่งสัญญาณในแต่ละทิศทาง ความต้องการแบนด์วิดธ์สำหรับ FSK จะมากกว่า ASK เพียงเล็กน้อย

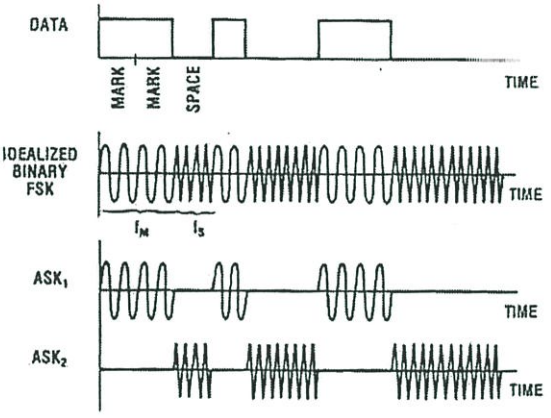
หลักการของ FSK

การมอดูเลท FSK

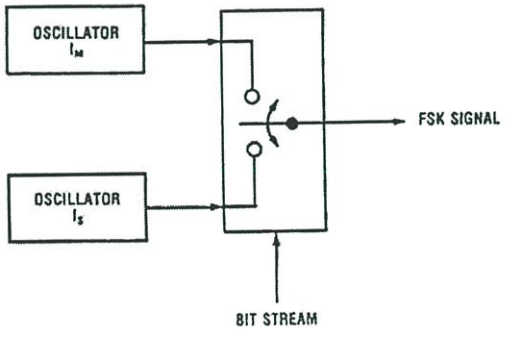
ใน frequency shift keying แบบไบนารี ความถี่ชั่วขณะของสัญญาณพาหะถูกเลื่อนไปมาระหว่างสองค่าขึ้นอยู่กับสัญญาณข้อมูลไบนารี 1 ในสัญญาณข้อมูลทำให้ความถี่ของพาหะเท่ากับ

ความถี่มาร์ค (mart) f_M ขณะที่ไบนารี 0 ในสัญญาณข้อมูลทำให้ความถี่ของพาหะเท่ากับความถี่ เสป ช (space) f_s เนื่องจากสัญญาณข้อมูลเปลี่ยนระหว่าง 1 และ 0 ความถี่ของสัญญาณอนาล็อกที่สร้างโดยโมเด็ม FSK จึงสวิตช์ระหว่าง f_M กับ f_s

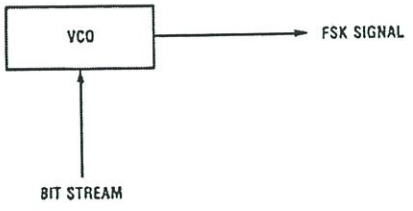
รูปที่ ข22 แสดงสัญญาณข้อมูลและสัญญาณ FSK แบบไบนารีในอุดมคติ ดังแสดงในรูปนี้ รูปคลื่น FSK สามารถพิจารณาได้ว่าประกอบด้วยสัญญาณ ASK ที่มีความถี่พาหะแตกต่างกันสองค่าซ้อนทับกัน เป็นการแนะนำว่าสัญญาณ FSK สามารถสร้างขึ้นโดยใช้บิทสตรีม (สัญญาณข้อมูล) เพื่อสวิตซ์



รูปที่ ข22 binary FSK ในอุดมคติ



a) Using two oscillators



b) Using a voltage-controlled oscillator

รูปที่ ข23 การสร้างสัญญาณ FSK

ระหว่างออสซิลเลเตอร์สองตัวที่ถูกปรับให้มีความถี่ต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ ข23 (a) อีกวิธีหนึ่งของการกำเนิดสัญญาณ FSK ควรใช้บิทสตรีมเพื่อมอดูเลทความถี่ของออสซิลเลเตอร์แบบควบคุมด้วยแรงดัน (VCO) ซึ่งแสดงในรูปที่ ข23 (b)

คุณลักษณะในโดเมนเวลาของสัญญาณ FSK

ในโดเมนเวลา สัญญาณ FSK ปรากฏเป็นคลื่นชายน์ที่แอมปลิจูดคงที่ ซึ่งความถี่เลื่อนระหว่างสองค่าตรงกันข้ามกับ ASK ซึ่งความถี่ของพาหะคงที่และแอมปลิจูดเลื่อนไปมาระหว่างสองค่า

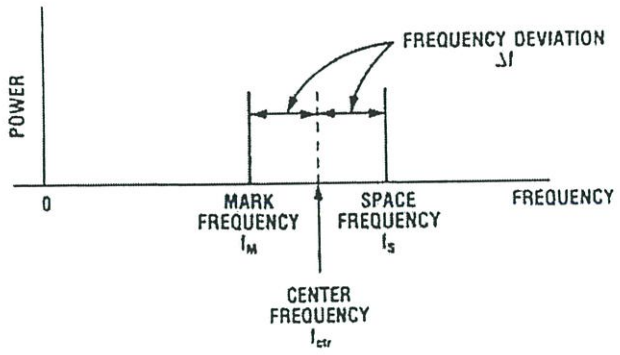
ถ้าสัญญาณ FSK ในอุดมคติเช่นในรูปที่ ข22 ถูกสร้างขึ้นด้วยการซ้อนทับของสัญญาณ ASK สองสัญญาณ หรือด้วยการใช้ VCO ดังในรูปที่ ข23 พาหะก็ควรต้องชิงโครไนซ์กับข้อมูล และความถี่ทั้งสองที่ใช้จะต้องเป็นจำนวนเท่ากัน มิเช่นนั้น อาจจะมีเฟสทรานเซียนท์ (phase transient) ที่ไม่ต้องการปรากฏในสัญญาณ FSK ซึ่งจะทำให้เกิดองค์ประกอบความถี่ที่ไม่ต้องการในสเปกตรัมของสัญญาณ

โมเด็ม FSK ส่วนใหญ่ประกอบด้วยวงจรกำจัดเฟสทรานเซียนท์ และดังนั้นจึงให้รูปคลื่นที่มีเฟสต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น ถ้าวิธี VCO ถูกใช้สร้างสัญญาณ FSK ดังในรูปที่ ข23 (b) อินพุทของ VCO สามารถถูกจำกัดแบนด์เพื่อประกันให้เกิดทรายเซียนท์ที่ราบเรียบจากความถี่หนึ่งไปยังอีกความถี่หนึ่งอีกวิธีหนึ่งโดยหน่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงความถี่แต่ละครั้งของสัญญาณ FSK เล็กน้อยเพื่อให้มันเกิดขึ้นเมื่อแมปลิจูดชั่วขณะของพาหะผ่านค่าศูนย์ นอกจากนี้ สัญญาณ FSK จะถูกผ่านไปยังแบนด์พาสฟิลเตอร์ก่อนที่จะส่งเพื่อลดทอนองค์ประกอบความถี่ที่ไม่ต้องการ

ใน FSK แบบไบนารี มี 2 สถานะสัญญาณที่ต่างกัน สอดคล้องกับไบนารี 1 และ 0 เพราะว่าหนึ่งบิทถูกส่งต่อสถานะสัญญาณ จำนวนของ baud (จำนวนของสถานะสัญญาณต่อวินาที) ของสัญญาณ FSK จึงเท่ากับอัตราบิท

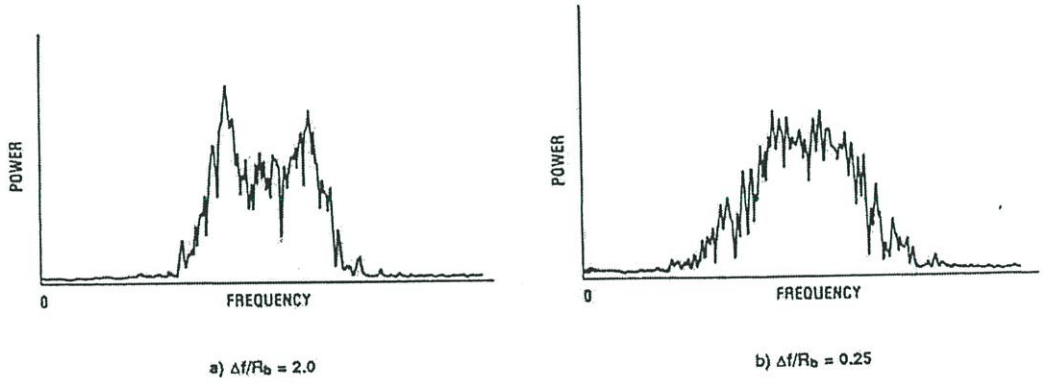
คุณลักษณะโดเมนทางความถี่ของสัญญาณ FSK

เพื่อช่วยให้ศึกษาคุณลักษระทางความถี่ของสัญญาณ FSK ได้ง่าย เราจะนิยามความถี่ กึ่งกลาง (center frequency) และความเบี่ยงเบนทางความถี่ (frequency deviation) ถ้าความถี่มาร์คและเสปชเท่ากับ f_M และ f_S ตามลำดับ ความถี่กึ่งกลาง F_{ctr} อยู่ครึ่งทางระหว่าง f_M และ F_S และความเบี่ยงเบนทางความถี่ Δf คือขนาดของผลต่างระหว่างความถี่กึ่งกลางและ f_M หรือ f_S ดังแสดงในรูปที่ ข24 สังเกตว่าขนาดของผลต่างระหว่างความถี่มาร์คและเสปชเท่ากับสองเท่าของความเบี่ยงเบนทางความถี่



รูปที่ ข24 สเปกตรัมอย่างง่ายของ FSK

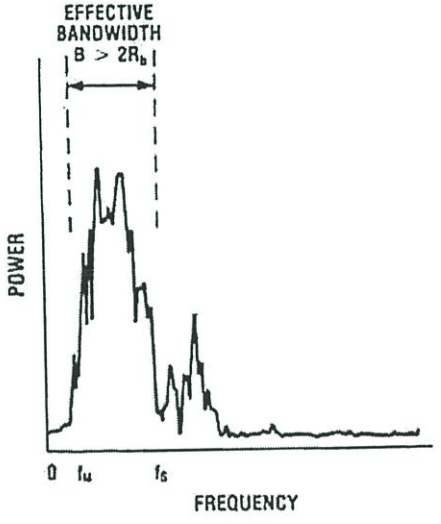
ขบวนการของการมอดูเลททำให้เกิดพลังงานคลอบคลุมสเปกตรัมย่านกว้าง ไม่เพียงที่ความถี่ f_M และ f_S เท่านั้น สเปกตรัมของสัญญาณ FSK ขึ้นอยู่กับความถี่และอัตราบิทที่ใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อัตราส่วน $\Delta f/R_b$ เมื่อ Δ คือความเบี่ยงเบนทางความถี่ และ R_b คืออัตราบิท เป็นตัวกำหนดรูปร่างของสเปกตรัม สำหรับ $\Delta f/R_b$ ค่าสูงๆ (มากกว่า 0.5) สเปกตรัมจะคล้ายกับสเปกตรัมของสัญญาณ ASK ที่มีกำลังงานต่ำระหว่างพีคทั้งสองซ้อนกับทกันสองสเปกตรัม ดังในรูปที่ ข25 (a) ส่วนเมื่อ $\Delta f/R_b$ มีค่าต่ำๆ กำลังงานระหว่าง f_M กับ f_S จะมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ ข25 (b)



รูปที่ ข25 ผลของอัตราส่วน $\Delta f/R_b$ ที่มีต่อสเปกตรัมของสัญญาณ FSK

รูปที่ ข25 แสดงให้เห็นถึงผลของอัตราส่วน $\Delta f/R_b$ ที่มีต่อสเปกตรัมของสัญญาณ FSK อย่างไรก็ตามสัญญาณที่ใช้สำหรับในรูปนี้ไม่ได้ถูกสร้างจากแบบจำลองจริง แต่โดยการใช้เทคนิค VCO ของรูปที่ ข25 (b) และความถี่ที่ใช้ไม่เหมือนกับความถี่ของโมเด็ม FSK ที่ใช้เชิงพาณิชย์ รูปที่ ข25 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณ FSK ที่ถูกสร้างด้วยโมเด็ม FSK แม้ว่าสเปกตรัมจะแคบ ท่านก็สามารถเห็นได้ว่ามีลักษณะบางอย่างคล้ายกับการทับซ้อนกันของสเปกตรัม ASK 2 สเปกตรัม

เพราะว่าดีมอดูเลเตอร์ FSK ตรวจจับเฉพาะความถี่ที่ใกล้ f_M และ f_S เท่านั้น กำลังงานในสเปกตรัมระหว่างสองความถี่นี้จึงสูญเสียโดยไม่มีประโยชน์และเป็นผลเสียต่อความเที่ยงตรงของการดีมอดูเลทเพราะฉะนั้น อัตราส่วน $\Delta f/R_b$ จะต้องไม่ต่ำเกินไป แต่ต้องมีการประนีประนอมเสมอในการตั้งค่านี้โดยปกติเราต้องการให้อัตราบิทมีค่าสูงเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งจะต้องเพิ่มความเบี่ยงเบนทางความถี่ แต่โดยปกติความเบี่ยงเบนทางความถี่ถูกจำกัดโดยแบนด์วิดธ์ของแชนแนลที่มีในโมเด็ม FSK จำนวนมาก อัตราส่วน $\Delta f/R_b$ มีค่าประมาณ 0.3



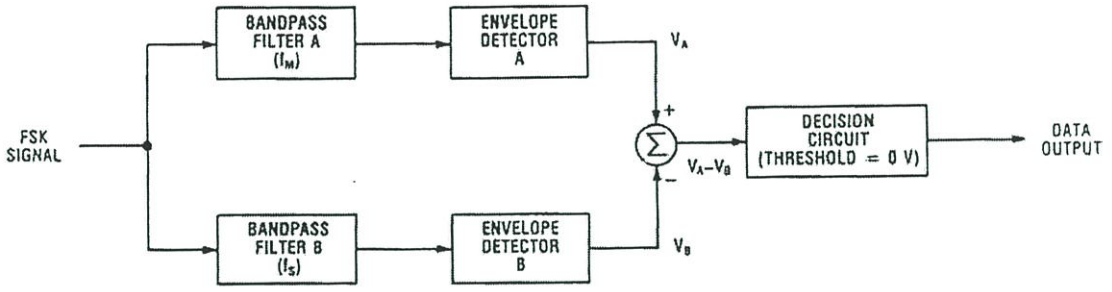
รูปที่ ข26 สเปกตรัมของสัญญาณ FSK (จากโมเด็ม FSK)

เพื่อประกันการดีมอดูเลทของสัญญาณ FSK อย่างถูกต้อง พีคสองค่าในสเปกตรัม รวมกับส่วนของสเปกตรัมบนแต่ละด้านของพีคทั้งสอง จะต้องถูกส่งไปยังเครื่องรับ แบนด์วิดธ์ที่เป็นผล (effective bandwidth) ของสัญยาณ FSK มากกว่าสองเท่าของอัตราบิทอยู่ขนาดหนึ่งดังแสดงในรูปที่ ข26 ค่านี้ยังมากกว่าสำหรับสัญญาณ ASK หรือ PSK ซึ่งแบนด์วิดธ์ที่เป็นผลมีค่าประมาณเท่ากับสองเท่าของอัตราบิท

FSK ดีมอดูเลชัน

การดีมอดูเลทแบบนอนโคฮีเรนท์ ของสัญญาณ FSK สามารถทำได้โดยใช้แบนด์พาสฟิลเตอร์สองตัวปรับค่าไว้ที่ความถี่ f_M และ f_S ดังแสดงในรูปที่ ข27 เอนเวโลปดีเท็คเตอร์ (envelope detector) ทำหน้าที่แปลงเอาท์พุทของแบนด์พาสฟิลเตอร์ให้เป็นแรงดันดีซี V_A และ V_B ซึ่งแต่ละค่าเป็นสัดส่วนกับระดับสัญยาณภายในแบนด์วิดธ์ของฟิลเตอร์ที่สอดคล้องกัน แรงดันดีซีทั้งสองนี้ถูกนำมาลบกันและผลต่าง $V_A - V_B$ จะถูกส่งไปยังวงจรการตัดสินใจ (decision circuit) เมื่อ $V_A - V_B$

เป็นบวก ข้อมูลเอาท์พุทเป็นค่าไบนารี 1 และเมื่อ V_A - V_B เป็นลบ ข้อมูลเอาท์พุทเป็นค่าไบนารี 0 โดยทั่วไปแบนด์วิดธ์ของฟิลเตอร์จะประมาณเท่ากับอัตราบิทของโมเด็มที่ได้ออกแบบมา



รูปที่ ข27 ดีมอดูเลเตอร์ FSK แบบนอนโคฮีเรนท์

ในเครื่องรับโมเด็มใดๆ เทรดโชล์ที่ปรับไว้ไม่ถูกต้องสามารถทำให้ลดประสิทธิภาพของโมเด็มลดลงอย่างมาก ในโมเด็ม FSK เทรดโชล์ดถูกกำหนดตายตัวไว้ที่ศูนย์ ไม่ขึ้นกับแอมปลิจูดของพาหะ ทำให้ FSK มีความไวต่อความไม่สมบูรณ์ของแชนแนลน้อยกว่า ASK เทรดโชลด์ต้องถูกปรับแบบคงที่ถ้าความแรงของสัญญาณที่ได้รับเปลี่ยนแปลงตามเวลาเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของแชนแนล

ในบรรดาดิจิตอลมอดูเลชันชนิดต่าง ๆ ที่นิยมใช้ FSK เป็นแบบที่ใช้สมรรถภาพทางแบนด์วิดธ์ต่ำสุดแต่สามารถสร้างได้ด้วยฮาร์ดแวร์ที่ง่าย ๆ และราคาไม่แพง FSK แบบนอนโคฮีเรนท์จึงถูกใช้อย่างกว้างขวางในทางปฏิบัติเพราะความไม่ซับซ้อน ราคาต่ำ และประสิทธิภาพเป็นที่ยอมรับได้ โมเด็มที่อัตราบิทต่ำส่วนใหญ่เป็นแบ FSK นอนโคฮีเรนท์

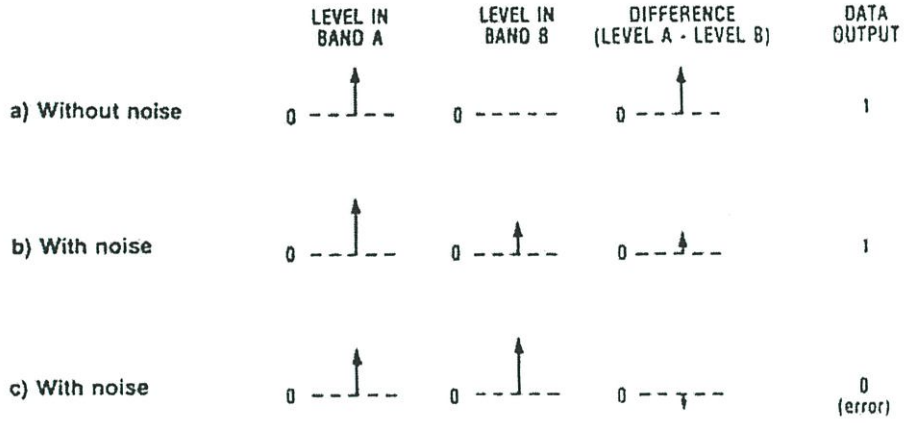
ประสิทธิภาพของ FSK ในสัญญาณรบกวน

การคดีมอดูเลทแบบนอนโคฮีเรนท์ของสัญญาณ FSK สามารถทำได้โดยใช้แบนต์พาสฟิลตอร์สองตัวที่ถูกปรับไว้ที่ความถี่ f_M และ f_S ดังรูปที่ ข27 เอนเวโลปตีเท็คเตอร์ทำหน้าที่แปลงเอาท์พุทของแบนด์พาสฟิลเตอร์ให้เป็นแรงดันดีซีเพื่อนำมาหักล้างกัน ผลต่างที่ได้จะถูกส่งไปยังวงจรการตัดสินใจ

ดังนั้น ดีมอดูเลเตอร์จึงทำงานโดยการเปรียบเทียบระดับสัญญาณในสองแบนด์ความถี่ ได้แก่ แบนด์ A และ แบนด์ B เมื่อระดับในแบนด์ A มากกว่าระดับในแบนด์ B ผลต่างเป็นบวกและเอาท์พุทของข้อมูลเป็นไบนารี 1 เมื่อผลต่างเป็นลบเอาท์พุทของข้อมูลเป็นไบนารี 0 เพื่อให้ความผิดพลาดของการส่งสัญญาณเกิดขึ้น ระดับสัญญาณรบกวนในแบนด์หนึ่งจะต้องสูงกว่าระดับของสัญญาณรวมกับสัญญาณรบกวนในอีกแบนด์หนึ่ง

การเกิดความผิดพลาดจากการส่งในระบบ FSK

รูปที่ ข28 อธิบายให้เห็นว่าสัญญาณรบกวนทำให้เกิดความผิดพลาดระหว่างการดีมอดูเลทสัญญาณ FSK ได้อย่างไร สมมติว่าส่งค่าไบนารี 1 ในสัญญาณข้อมูล ความถี่ของพาหะจะถูกเลื่อนไปที่ความถี่มาร์ค f_M ซึ่งเป็นความถี่ในแบนด์ A ถ้าไม่มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นรวมกับสัญญาณ FSK ระดับในแบนด์ A จะมีค่าเป็นบวกและระดับในแบนด์ B จะเป็นศูนย์ ดังในรูปที่ ข28 (a) ผลต่างของสองระดับนี้เป็นบวก ทำให้เอาท์พุทของข้อมูลมีค่าไบนารีเป็น 1



รูปที่ ข28 ความผิดพลาดในการส่งเกิดขึ้นกับ FSK ได้อย่างไร

ถ้าสัญญาณรบกวนรวมกับสัญญาณ FSK ระหว่างการส่ง จะมีเพียงองค์ประกอบความถี่ของสัญญาณรบกวนเท่านั้นที่อยู่ภายในพาสแบนด์ของฟิลเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งในดีมอดูเลเตอร์ซึ่งมีผลต่อสัญญาณสัญญาณรบกวนหรือส่วนประกอบของสัญญาณใด ๆ ที่อยู่นอกแบนด์ความถี่ ทั้งสองถูกสกัดด้วยฟิลเตอร์และไม่กระทบต่อการรับ สัญญาณรบกวนที่ผ่านฟิลเตอร์ไปรวมและ หักล้างกับสัญญาณ บางครั้งก็เพิ่มและบางครั้งก็ลดแอมปลิจูดของมัน

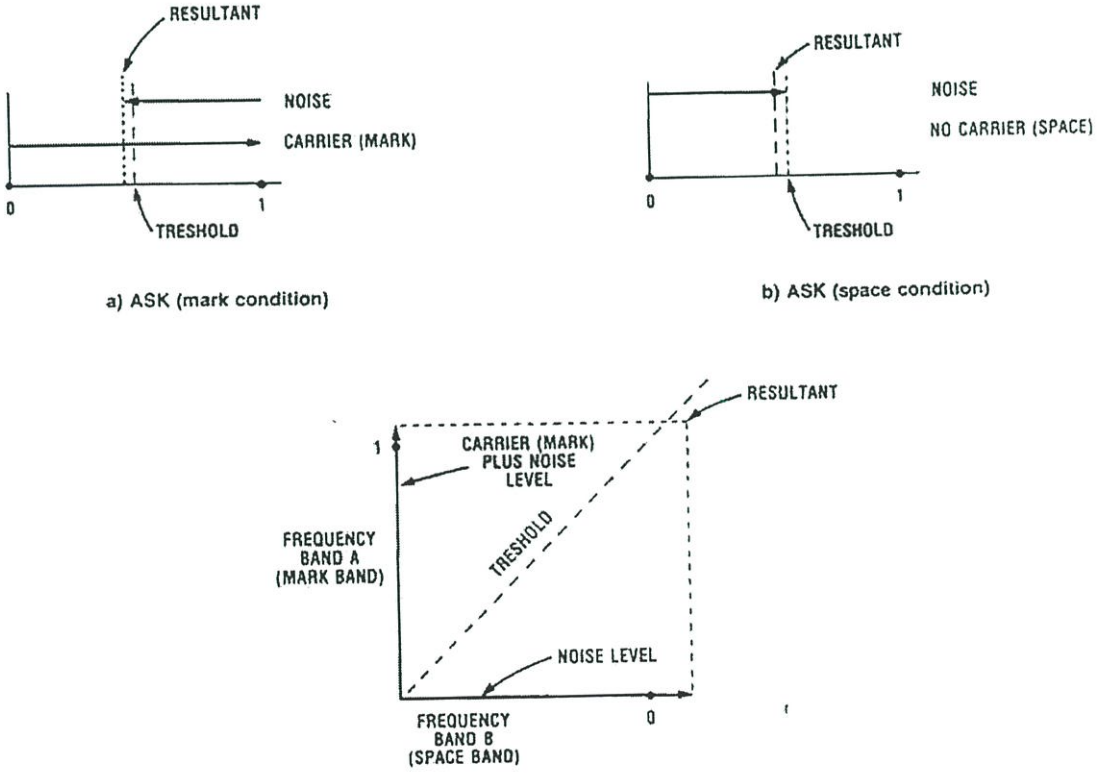
ถ้าหากสมมติว่าสัญญาณรบกวนที่รวมกับสัญญาณ FSK มีองค์ประกอบความถี่ภายในพาสแบนด์ของฟิลเตอร์ทั้งสิง และว่าองค์ประกอบเหล่านี้ทำให้ระดับในทั้งแบนด์ A และแบนด์ B เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ ข28 (b) ในกรณีนี้ ผลต่างยังคงเป็นบวก ทำให้ข้อมูลทางด้านเอาท์พุทมีค่าไบนารีเป็น 1

ถ้าองค์ประกอบความถี่ของสัญญาณรบกวนเป็นเช่นที่ทำให้ระดับของสัญญาณรบกวนในแบนด์ B มากกว่าระดับของสัญญาณรวมกับสัญญาณรบกวนในแบนด์ A ผลต่างจะเป็นลบ ดังในรูปที่ ข28 (c) และข้อมูลทางเอาท์พุทมีค่าไบนารีเป็น 0 ซึ่งเป็นความผิดพลาดในการส่งเพราะข้อมูลที่ส่งมาเป็น 1

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ ASK และ FSK

รูปที่ ข29 แสดงกลุ่มสัญญาณของทั้ง ASK และ FSK รูปประเภทนี้ใช้เวกเตอร์แสดงระดับของสัญญาณและสัญญาณรบกวน และให้ภาพอีกแบบหน่งที่แสดงว่าความผิดพลาดของการส่งสัญญาณเกิดขึ้นได้อย่างไร และยังแสดงว่าทำไม FSK จึงไวต่อสัญญาณรบกวนน้อยกว่า ASK เมื่อการเปรียบเทียบนี้พิจารณาในเทอมของพลังงานพาหะสูงสุด

ใน ASK ไบนารี 1 ถูกส่งออกไปในลักษณะที่มีพาหะปรากฏ (mark) และไบนารี 0 ไม่มีพาหะ (space) เครื่องรับมีเพียงแบนด์ความถี่เดียว ในรูปที่ ข29 (a) และ (b) ระดับสัญญาณและสัญญาณรบกวนในแบนด์ความถี่นี้ถูกแทนด้วยเวกเตอร์ตามแกนนอน ในรูป (a) มีสัญญาณพาหะ (mark) แต่สัญญาณรบกวนทำให้ระดับสัญญาณลดลงทำให้ผลลัพธ์เกิดในด้าน "0" ของเทรดโชลด์ ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดของการส่งสัญญาณ ในรูป (b) ไม่มีพาหะ (space) แต่สัญญาณรบกวนบังคับให้ระดับสัญญาณเพิ่มขึ้นเลยค่าเทรดโชลด์ ทำให้เกิดข้อผิดพลาดของการส่งสัญญาณ นี่แสดงว่าใน ASK ความผิดพลาดของการส่งสัญญาณเกิดได้จากองค์ประกอบสัญญาณรบกวนซึ่งมีระดับมากกว่าครึ่งของระดับสัญญาณสูงสุดเพียงเล็กน้อย



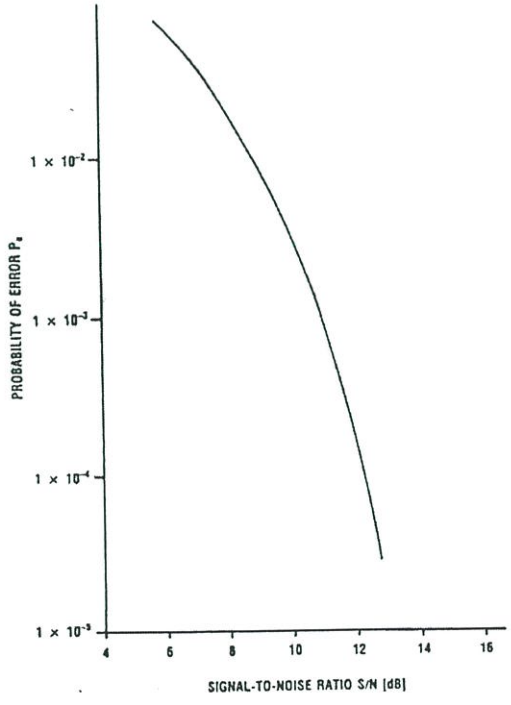
รูปที่ ข29 กลุ่มสัญญาณของ ASK และ FSK ที่แสดงความผิดพลาดจากการส่งสัญญาณ

ในFSK จะใช้สองแบนด์ความถี่ แบนด์แรกสำหรับมาร์คและอีกแบนด์สำหรับเสปช ระดับสัญญาณและสัญญาณรบกวนในสองแบนด์นี้ถูกแทนในรูปที ข29 (c) ด้วยเวกเตอร์ตามแกนนอน

และแกนตั้ง ในที่นี้ค่ามาร์คกำลังถูกส่ง ดังนั้น พาหะรวมกับสัญญาณรบกวนจะอยู่ในแบนด์ A (แบนด์ของมาร์ค) แต่สัญญาณรบกวนเท่านั้นที่อยู่ในแบนด์ B (แบนด์เสปช) ในรูปนี้ ระดับสัญญาณรบกวนในแบนด์ของเสปชจะมากกว่าระดับของพาหะรวมกับสัญญาณกวนในแบนด์ของมาร์คทำให้ผลลัพธ์ตกอยู่ในซีก "0" ของเทรดโชลด์ ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น ใน FSK ความผิดพลาดนี้สามารถเกิดได้จากองค์ประกอบของสัญญาณรบกวนในหนึ่งแวนแนลซึ่งระดับสูงสุดมากกว่าระดับสัญญาณรวมกับสัญญาณรบกวนสูงสุดในอีกแชนแนลหนึ่ง จึงมีค่าประมาณสองเท่าของระดับสัญญาณที่ต้องการเพื่อทำให้เกิดความผิดพลาดในการส่งในระบบ ระบบ ASK

รูปที่ ข30 แสดงฟังก์ชันความเป็นไปได้ของความผิดพลาดตามทฤษฎีสำหรับ FSK และ ASK คำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ยมากกว่าที่จะใช้กำลังงานสัญญาณสูงสูด บนพื้นฐานของกำลังงานเฉลี่ย ประสิทธิภาพในสัญญาณรบกวนทางทฤษฎีของ FSK และ ASK ใกล้เคียงกัน ขึ้นอยู่กับการสมมุติค่าสำหรับการคำนวณ

ในรูปที่มีกำลังงานของสัญญาณเฉลี่ยเหมือนกับสัญญาณ FSK แต่สัญญาณ ASK ต้องมีประมาณสองเท่าของพลังงานพาหะสูงสุด เพราะว่า ในส่วนของ ASK สัญญาณพาหะจะเป็นครึ่งหนึ่งของคาบเวลา ด้วยเหตุผลนี้บนหลักเกณฑ์ของพลังงานพาหะสูงสุด กับ FSK ซึ่งพิจารณาตามทฤษฎีมีค่าใกล้เคียง 3 dB มากกว่า ASK



รูปที่ ข30 ฟังก์ชันความน่าจะเป็นของความผิดพลาดสำหรับ FSK และ ASK

เส้นกราฟเหล่านี้มีความเป็นทฤษฎีสูง คำนวณได้โดยสมมุติว่าสัญญาณรบกวนในระบบเป็นแบบเกาส์เซียนอย่างสมบูรณ์ ว่าวงจรทำงานได้สมบูรณ์แบบ และว่าแบนด์วิดธ์ของเครื่องรับให้ผลดีที่สุด เนื่องจากสถานะอุดมคตินี้ไม่คอยได้พบในทางปฏิบัติ เราต้องคาดหวังผลต่างระหว่างเส้นกราฟที่ได้ตามทฤษฎีและผลลัพธ์จากในทางปฏิบัติ โดยปกติ FSK จะมีประสิทธิภาพในสัญญาณรบกวนดีกว่า ASK เมื่อเปรียบเทียบจากค่ากำลังงานของสัญญาณเฉลี่ย

การวัดประสิทธิภาพของ FSK ในสัญญาณรบกวน

อัตราส่วนสัญญาณรบกวนที่ใช้คำนวณตามทฤษฎีโดยปกติจะคิดที่อินพุทของวงจรดีเท็คเตอร์มากกว่าพุทของเครื่องรับหรือดีมอดูเลเตอร์ เพราะว่าภาคอินพุทของดีมอดูเลเตอร์มักจำกัดแบนด์วิดธ์ของสัญญาณอินพุท ดังนั้นจึงทดลองสัญญาณรบกวนภายนอกแบนด์วิดธ์ที่เป็นผลของดีมอดูเลเตอร์

ในโมเด็ม FSK วงจรดีเท็คชันประกอบด้วยดีเท็คเตอร์ระดับ (level detector) สองตัวกับวงจรการตัดสินใจ เพราะว่าวงจรทั้งหมดนี้ถูกออกแบบรวมอยู่ในวงจรรวมชิฟเดียว จึงเป็นไปไม่ได้ที่จะวัดอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนโดยตรงที่วงจรดีเท็คชัน ดังนั้นการวัดอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนจึงถูกวัดที่อินพุทของดีมอดูเลเตอร์ หลังจากนั้น อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่ดีเท็คเตอร์ค่อยหาได้โดยการคำนวณ

เพื่อที่จะคำนวณอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่ดีเท็คเตอร์ของโมเด็ม FSK เราต้องรู้ค่าทั้งความหนาแน่นเพาเวอร์สเปกตรัมของสัญญาณรบกวนและแบนด์วิดธ์ของดีมอดูเลเตอร์ กำลังงานของสัญญาณรบกวนที่ดีเท็คเตอร์สามารถคำนวณโดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$N_{det} = N_0 \times B_{dem}$$

เมื่อ N_{det} คือ กำลังงานของสัญญาณรบกวนที่ดีเท็คเตอร์

N_{det} คือ ความหนาแน่นเพาเวอร์สเปกตรัมของสัญญาณรบกวน

B_{dem} คือ แบนด์วิดธ์ของดีมอดูเลเตอร์

สำหรับสัญญาณรบกวนสีขาว (white noise) กำลังงานของสัญญาณรบกวนเท่ากับความหนาแน่นเพาเวอร์สเปกตรัมของสัญญาณรบกวนคูณด้วยแบนด์วิดธ์ของสัญญาณรบกวน ดังนั้นความหนาแน่นเพาเวอร์สเปกตรัมของสัญญาณรบกวน N_0 คือ

$$N_0 = N_{in} / B_{Nin}$$

เมื่อ N_{in} คือ กำกลังงานของสัญญาณรบกวนที่อินพุท

B_{Nin} คือ แบนด์วิดธ์ของสัญญาณรบกวนที่อินพุท

ในการทดลองนี้ แบนด์วิดธ์ของสัญญาณรบกวน B_{Nin} กำหนดให้เป็น 3000 Hz

ในโมเด็ม FSK ส่วนใหญ่ แบนด์วิดธ์ของแบนด์พาสฟิลเตอร์มีค่าประมาณเท่ากับอัตราบิทของโมเด็มที่ออกแบบมา โมเด็ม CCITT V.21 ถูกออกแบบสำหรับอัตราบิท 300 bits/s ด้วย เหตุนี้เราสามารถสมมุติว่าแบนด์วิดธ์ของดีมอดูเลเตอร์ B_{dem} มีค่าประมาณ 300 Hz แทนลงใน สมการ (1) จะได้

$$\begin{aligned} N_{det} &= N_0 \times B_{dem} \\ &= (N_{in} / B_{Nin}) \times B_{dem} \\ &= N_{in} \times B_{Nin} / B_{Nin} \\ &= N_{in} \times 300/3000 \\ &= N_{in} \times 0.1 \end{aligned}$$

จากสมการแสดงให้เห็นว่า ภายใต้เงื่อนไขเหล่านี้ มีเพียงหนึ่งในสิบของกำลังงานของสัญญาณรบกวนเท่านั้นที่มีผลต่อการดีมอดูเลท

เนื่องจากสเปกตรัมของสัญญาณ FSK ส่วนใหญ่อยู่ภายในแบนด์วิดธ์ของแบนด์พาสฟิลเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งในดีมอดูเลเตอร์ สัญญาณส่วนใหญ่จึงผ่านไปที่ดีเท็คเตอร์ ดังนั้น เราสามารถกล่าวได้ว่ากำลังงานของสัญญาณที่ดีเท็คเตอร์ประมาณเท่ากับกำลังงานของสัญญาณที่อินพุทของดีมอดูเลเตอร์ ดังนั้น

$$S_{det} = S_{in}$$

เมื่อ S_{det} คือ กำลังงานของสัญญาณที่อินพุทของดีเท็คเตอร์

S_{in} คือ กำลังงานของสัญญาณที่อินพุทของดีเท็คเตอร์

ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวน (ในหน่วย เดซิเบล) ที่ดีเท็คเตอร์ของดีมอดูเลเตอร์จึงเท่ากับ

$$\begin{aligned} S/N\ (dB) &= 10 \log \frac{S_{det}}{N_{det}} \\ &= 10 \log \frac{S_{in}}{0.1 \times N_{in}} \end{aligned}$$

$$= \quad 10 \log \left(\frac{S_{in}}{N_{in}} \times 10 \right)$$

$$= \quad 10 \log \frac{S_{in}}{N_{in}} + 10 \log 10$$

$$= \quad 10 \log \frac{S_{in}}{N_{in}} + 10$$

ถ้าแรงดันของสัญญาณและสัญญาณรบกวนซึ่งวัดที่อินพุทคือ V_s และ V_N ตามลำดับ แล้ว

$$S_{in} / N_{in} = (V_S/V_N)^2$$

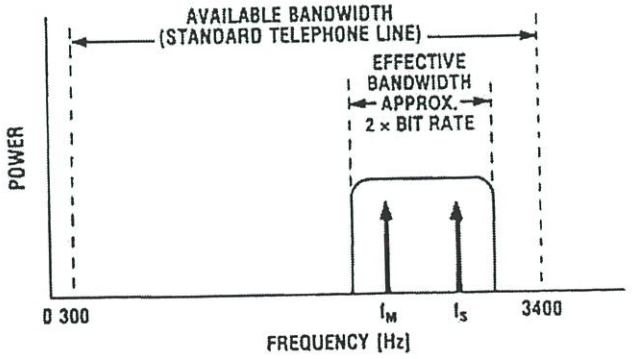
เพราะฉะนั้น

$$S/N \text{ (dB)} \quad = \quad 10 \log \left(\frac{V_S}{V_N} \right)^2 + 1$$

$$= \quad 20 \log \frac{V_S}{V_N} + 10$$

มาตรฐานการสื่อสารแบบ FSK

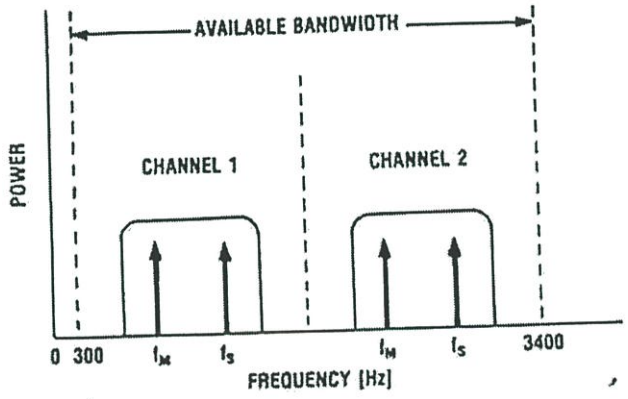
โมเด็ม (MODulator/DEModulator) ใช้บางรูปแบบบางอย่างของการมอดูเลทเพื่อส่งสัญญาณดิจิตอลบนแชนแนลสื่อสารแบบบอนาล็อก ด้วยวิธี frequency-shift keying (FSK) เลขไบนารี 1 และ 0 ของสัญญาณข้อมูลจะถูกส่งโดยการสับเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณพาหะรูปคลื่นชายน์ระหว่างสองค่าคือ f_M (ความถี่มาร์ค) และ f_S (ความถี่เสปช) กระบวนการในการมอดูเลทจะสร้างพลังงานในสเปกตรัมที่ล้อมรอบความถี่ทั้งสองนี้ ดังแสดงในรูปที่ ข31



รูปที่ ข31 สเปกตรัมของสัญญาณ FSK แบบง่าย

แบนด์วิดธ์ที่เป็นผล (effective bandwidth) ของสัญญาณ FSK จะมีขนาดใหญ่กว่า สองเท่าของอัตราบิทของสัญญาณข้อมูลที่ใช้ในการสร้างสัญญาณ FSK เล็กน้อย แบนด์วิดธ์ที่ใช้ได้ของสายโทรศัพท์ชนิดสองเส้น (two-wire telephone line) แบบมาตรฐานมีค่าประมาณ 3 kHz ถ้าอัตราบิทของสัญญาณ FSK นี้ต่ำพอจะทำให้แบนด์วิดธ์ของสัญญาณนี้แคบกว่าแบนด์วิดธ์ที่ใช้ได้อย่างมาก

ตัวอย่างเช่น ถ้าอัตราบิท R_b เท่ากับ 300 บิทต่อวินาที แบนด์วิดธ์ของสัญญาณ FSK จะใกล้เคียงกับ 600 Hz ในกรณีนี้ ทำให้สามารถส่ง FSK ความเร็ว 300 บิทต่อวินาทีสองสัญญาณพร้อมกันบนสายชนิดสองเส้นเพียงชุดเดียวได้ โดยให้ความถี่มาร์คและความถี่เสปชของทั้งสองสัญญาณถูกเลือกเพื่อป้องกันการซ้อนกันของสเปกตรัม แบนด์วิดธ์ที่ใช้ได้อาจจะถูกแบ่งออกเป็นสองแบนด์ความถี่หรือแชนแนลที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ ข32 เพื่อความสะดวกเราจะเรียกแชนแนลเหล่านี้ว่า CHANNEL 1 และ CHANNEL 2

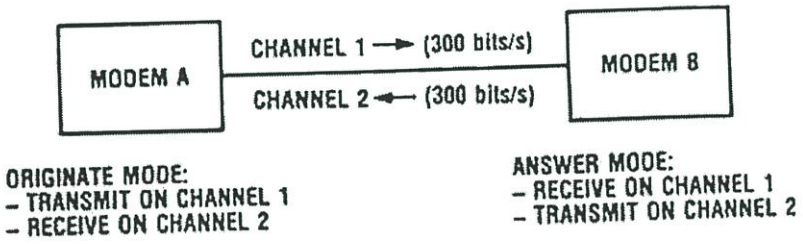


รูปที่ ข32 แบนด์วิดธ์ของสายโทรศัพท์มาตรฐานซึ่งถูกแบ่งเป็นสองแชนแนลเท่า ๆ กัน (การส่งแบบฟูลดูเพล็กซ์)

เนื่องจากสัญญาณ FSK ในทั้งสองแชนแนลแยกกันอย่างสิ้นเชิง จึงสามารถใช้ในการส่งข้อมูลในสองทิศทางในเวลาเดียวกัน ตัวอย่างเช่น โมเด็มเครื่องหนึ่งสามารถส่งข้อมูลในแชนแนล 1 ไปยังโมเด็มเครื่องที่ 2 ในขณะเดียวกันโมเด็มเครื่องที่ 2 ก็สามารถส่งข้อมูลในแชนแนล 2 ไปยังโมเด็มเครื่องแรก

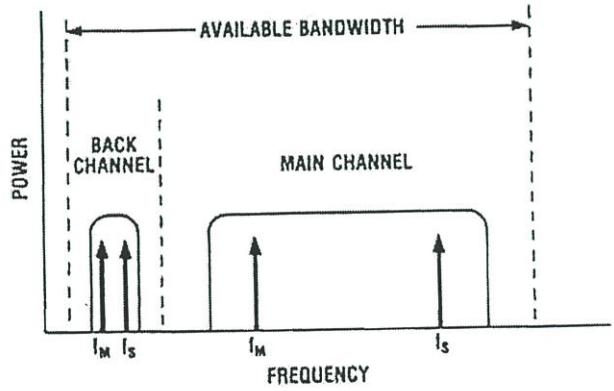
เมื่ออัตราของการส่งข้อมูล (อัตราบิท) ในทั้งสองทิศทางเท่ากัน การส่งแบบนี้ถูกเรียกว่าการส่งแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full-duplex transmission) สำหรับการส่งแบบฟูลดูเพล็กซ์บนสายชนิดสองเส้นนั้นแบนด์วิดธ์ที่ใช้ได้ต้องถูกแบ่งเป็นสองแชนแนลเท่าๆ กัน เนื่องจากแชนแนลเหล่านี้แคบมาก ทำให้มีอัตราบิทที่ต่ำ โมเด็มฟูลดูเพล็กซ์สำหรับสายชนิดสองเส้นแบบมาตรฐานใช้อัตราบิท 300 บิทต่อวินาทีในทั้งสองแชนแนล

โมเด็มฟูลดูเพล็กซ์สำหรับสายชนิดสองเส้นมีสองโหมดการทำงานได้แก่ โหมดนิเริ่ม (origrnate mode) และโหมดตอบรับ (answer mode) โหมดการทำงานกำหนดว่าโมเด็มส่งข้อมูลบนแบนด์ความถี่ (แชนแนล) ใด และรับข้อมูลบนแบนด์ใด เมื่อโมเด็มเป็นตัวเริ่มต้นทำการเรียก มันจะถูกปรับให้อยู่ในโหมดริเริ่ม ซึ่งทำให้มันทำการส่งบนแชนแนลหนึ่ง (เช่นแชนแนล 1) และรับบนอีกแชนแนลหนึ่ง (แชนแนล 2) โมเด็มที่ตอบรับการเรียกนั้นต้องรับข้อมูลบนแชนแนล 1 และส่งบนแชนแนล 2 ซึ่งทำให้ได้ปรับตัวเองให้ทำงานในโหมดตอบรับ



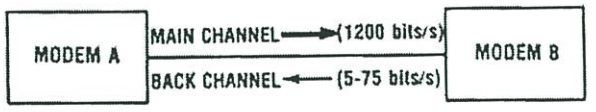
รูปที่ ข33 การสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์บนสายสัญญาณชนิดสองเส้น

บางครั้งแบนด์วิดธ์ที่ใช้ได้นี้ถูกแบ่งไม่เท่ากันออกเป็นแชนแนลหลัก (main channel) ที่มีความกว้างมาก ๆ กับแชนแนลที่สอง (secondary channel) ซึ่งแคบมาก ๆ ดังในรูปที่ 4-4 การส่งข้อมูลค่อนข้างความเร็วสูงจึงทำได้ในแชนแนลหลักในทิศทางเดียว (จากโมเด็มตัวส่งไปยังโมเด็มตัวรับ) การส่งข้อมูลความเร็วต่ำก็ยังทำได้ในแชนแนลที่แคบ เนื่องจากแชนแนลที่แคบนั้นถูกใช้เพื่อส่งข้อมูลหรือสัญญาณตอบรับจากโมเด็มตัวรับกลับไปยังโมเด็กตัวส่ง มันจึงถูกเรียกว่า back channel การส่งสัญญาณชนิดนี้เรียกว่าการส่งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (half-duplex transmission)

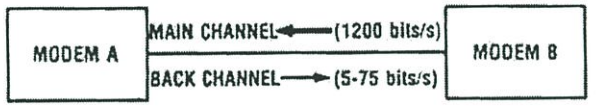


รูปที่ ข34 แชนแนลของการส่งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์

โดยปกติ โมเด็มฮาล์ฟดูเพล็กซ์แบบมาตรฐานส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 1200 บิทต่อวินาที ใน main channel และอัตราการส่งใน back channel จะต่ำกว่ามากเช่น 75 บิทต่อวินาทีหรือกระทั่ง 5 บิทต่อวินาที ในการส่งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ ทิศทางของการส่งด้วยความเร็วสูงสามารถกลับทิศทางได้กระบวนการของกรกลับทิศทางนี้เรียกว่า line turnaround ในระหว่างกระบวนการนี้ซึ่งจะใช้เวลาที่แน่นอนขนาดหนึ่งจะไม่สามารถส่งข้อมูลได้ การส่งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์แสดงใน รูปที่ ข35



a) Modem A transmitting to modem B



b) Modem B transmitting to modem A (after line turnaround)

รูปที่ ข35 การส่งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์

เพื่อบรรลุผลในการส่งแบบความเร็วสูงในสองทิศทางในเวลาเดียวกัน ต้องใช้สายชนิดสองเส้นจำนวนสองชุดที่แยกจากกัน ซึ่งหมายถึงการส่งแบบฟูลดูเพล็กซ์ "บนสายสัญญาณชนิดสี่เส้น" ในการส่งแบบนี้ไม่ต้องใช้การทำ line turnaround

ตารางที่ ข1 แสดงความถี่และอัตราการส่งที่ใช้ในโมเด็ม FSK แบบมาตรฐาน

MODEM TYPE	TRANSMISSION RATE	FRSQUENCIES	
		MARK	SPACE
	Bits/s	Hz	Hz
Full-Duplex Modems*			
CCITT V.21			
Channel 1	300	980	1180
Channel 2	300	1650	1850
BELL 103			
Channel 1	300	1270	1070
Channel 2	300	2225	2025

ตารางที่ ข1 (ต่อ)

Half-Duplex Modems			
CCITT V.23 MODE 2			
Main Channel	1200	1300	2100
Back Channel	75	390	450
BELL 202			
Main Channel	1200	1200	2200
Back Channel (ASK)	5	387	(carrier off)

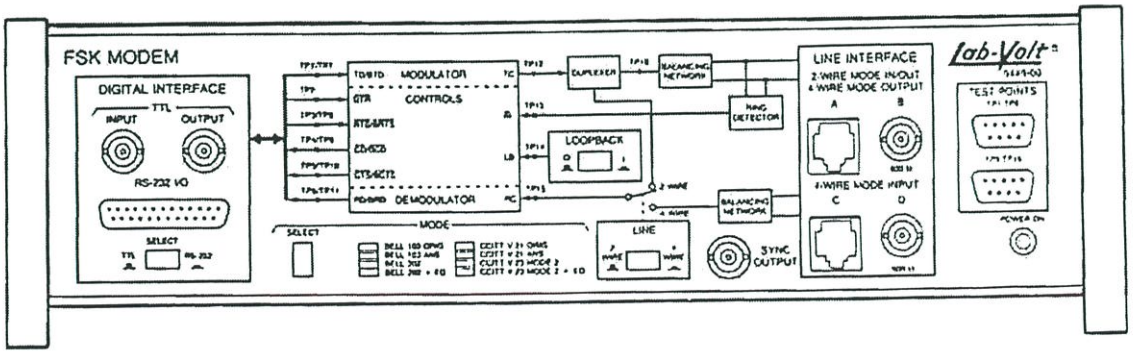
*Originate mode-transmit on channel 1, receive on channel 2

Answer mode-receive on channel 1, transmit on channel 2

เพื่อลดการผิดเพี้ยนที่สัญญาณได้รับระหว่างการส่ง โมเด็มบางชนิดจึงมีวงจร line equalizer ทำหน้าที่ชดเชยสำหรับการลดทอนความถี่สูงและการผิดเพี้ยนอื่นๆ ในสายโทรศัพท์ เพื่อลดอัตราของความผิดพลาดในการส่ง

โมเด็ม FSK

รูปที่ ข36 แสงภาพหน้าปัดของ FSK Modem ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ภาค ได้แก่ MODULATOR/DEMODULATOR (ใกล้กับส่วนกลางของรูป) ภาคดิจิตอล (อยู่ทางด้านซ้ายมือของ MODULATOR/DEMODULATOR) และภาคอนาล็อก (อยู่ทางด้านขวามือของ MODULATOR/DEMODULATOR) ปุ่ม MODE SELECT มีไว้สำหรับให้ผู้ใช้เลือกโมเด็มหรือโหมดที่ต้องการจากทั้งหมด 8 ชนิด



รูปที่ ข36 FSK Mode

หัวใจของโมเด็ม FSK คือ MODULATOR/DEMODULATOR ซึ่งในภาคนี้จะทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณพาหะ FSK สำหรับการส่งจากข้อมูลที่จะส่ง และในขณะเดียวกันก็ทำการดีมอดูเลทสัญญาณพาหะ FSK ที่รับเข้ามาเพื่อทำการกู้ข้อมูลกลับคืน การมอดูเลทและดีมอดูเลทแบบ FSK นอกเหนือจากสัญญาณข้อมูลและสัญญาณพาหะแล้ว ยังมีสัญญาณ CONTROLS (สัญญาณควบคุม) ซึ่งยอมให้ MODULATOR/DEMODULATOR ทำการสื่อสารกับเครื่องคอมพิวเตอร์หรือเทอร์มินอล (มักเรียกว่า Data Terminal Equipment หรือ DTE) ที่ควบคุมสัญญาณควบคุมต่าง ๆ นี้ จะได้อธิบายโดยละเอียดในการทดลองต่าง ๆ

ภาคดิจิตอลของ FSK Modem ประกอบด้วยส่วนของ DIGITAL INTERFACE ซึ่งมีไว้สำหรับเชื่อมต่อโมเด็มเข้ากับอุปกรณ์ดิจิตอล ส่วนของการเชื่อมต่อนี้ประกอบด้วยคอนเน็กเตอร์ BNC สำหรับ TTL INPUT และ OUTPUT, คอนเน็กเตอร์ RS-232 1/O แบบ 25 ขา และสวิตซ์ TTL/RS-232 SELECT ซึ่งสวิตช์นี้จะใช้ในการเลือกระหว่างคอนเน็กเตอร์ TTL และคอนเน็กเตอร์ RS-232

คอนเน็กเตอร์ RS-232 I/O ใช้สำหรับเชื่อมต่อโดยตรงจากโมเด็มไปยัง DTE ทั้งนี้เพื่อให้ DTE เข้าถึงสัญญาณข้อมูลและสัญญาณควบคุมทั้งหมด เพื่อให้เกิดการควบคุมโมเด็มโดยอัตโนมัติ คอนเน็กเตอร์ TTL INPUT และ OUTPUT ยอมให้เข้าถึงสัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งและรับ แต่ไม่รวมสัญญาณควบคุม เมื่อใช้คอนเน็กเตอร์ TTL สัญญาณควบคุมส่วนหนึ่งซึ่งโดยปกติจะถูกเซ็ทโดย DTE ผ่านทางคอนเน็กเตอร์ RS-232 I/O ต้องถูกปรับด้วยมือโดยใช้ดิปสวิตช์บนแผงวงจรของโมเด็ม

ภาคอนาล็อกของโมเด็มประกอบด้วย LINE INTERFACE และวงจรประกอบต่าง ๆ ปลั๊กแบบโทรศัพท์ A และ C มีไว้สำหรับเชื่อมต่อโมเด็มไปยังสายโทรศัพท์ คอนแนคเตอร์ B และ D ชนิด BNC ใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อนาล็อก

สวิตช์ LINE ใช้เลือกระหว่างการส่งแบบ 2-WIRE หรือ 4-WIRE และกำหนดหน้าที่ของคอนเน็กเตอร์ใน LINE INTERFACE ในโหมด 2-WIRE นั้นคอนเนคเตอร์ A หรือ B สามารถใช้เป็นอินพุทหรือเอาท์พุทสำหรับการส่งแบบฟูลดูเพล็กซ์หรือฮาล์ฟดูเพล็กซ์บนสายชนิดสองเส้น ในโหมด 4-WIRE คอนเน็กเตอร์ A และ B จะเป็นเอาท์พุท ขณะที่ C และ D เป็นอินพุท

เมื่อสวิตซ์ LINE อยู่ที่ตำแหน่ง 2-WIRE สัญญาณพาหะ FSK ที่ส่งและรับจะถูกรวมเข้าด้วยกันเป็นสัญญาณคอมโพสิท (composite signal) ในกรณีนี้ DUPLEXER จะแยกและกำหนดเส้นทางของพวกมันไปยังวงจรที่เหมาะสม BALANCING NETWORK ประกันว่าอินพุทและเอาท์พุทแมทช์กับสายโทรศัพท์ที่ถูกบาลานซ์ นั่นคืออินพุทและเอาท์พุทจะลอยเมื่อเทียบกับกราวด์ ดังนั้นอิมพิแดนซ์จากด้านหนึ่งของสายถึงกราวด์จึงเท่ากับของอีกด้านหนึ่งถึงกราวด์

สวิตช์ LOOPBACK ทำให้โมเด็มอยู่ในโหมด loopback โดยการให้มันส่งและรับสัญญาณบนความถี่เดียวกัน ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับการทดสอบตัวเอง (self-test) ของโมเด็ม RING DETECTOR ใช้ในการตอบรับการเรียกเข้ามาจากโมเด็มเครื่องอื่นโดยอัตโนมัติ

นอกจากอินพุทและเอาท์พุทมาตรฐานแล้ว ยังมี SYNC OUTPUT สัญญาณที่เอาท์พุทนี้เป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยมที่ชิงโครไนซ์กับสัญญาณพาหะ FSK ที่ถูกส่ง D-connector สองตัวมีไว้สำหรับการเข้าถึงจุดทดสอบ (TEST POINT) ทั้ง 16 จุด ซึ่งถูกแสดงบนหน้าปัดของโมเด็ม

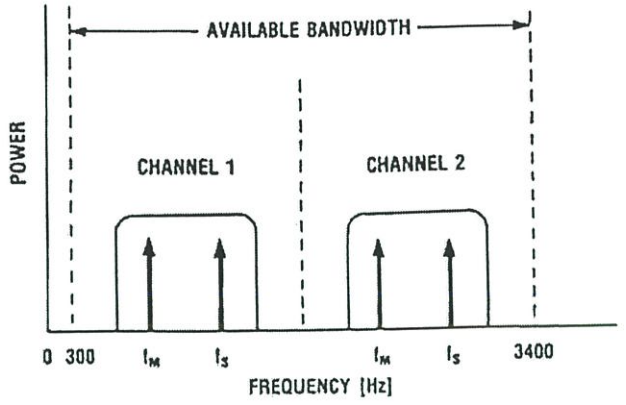
โมเด็ม CCITT V.21 และ Bell 103 (300 baud)

ทั้งโมเด็ม CCITT V.21 และ Bell 103 เป็นโมเด็ม FSK แบบฟูลดูเพล็กซ์ความเร็ว 300 baud (300 บิทต่อวินาที) ความถี่ในการส่งและรับในโหมดริเริ่ม (originate) และโหมดตอบรับ (answer) ของโมเด็มเหล่านี้แสดงในตารางที่ ข-2 โมเด็มทั้งสองชนิดนี้ใช้การเลื่อนความถี่ 200 Hz เพื่อแยกระหว่างมาร์คกับเสปช สังเกตได้ว่าสำหรับโมเด็ก Bell 103 นั้นความถี่ที่สูงคือความถี่มาร์ค ส่วนโมเด็ก CCITT V.21 ความถี่ที่สูงกว่าคือความถี่เสปช

ตารางที่ ข2 โมเด็มแบบฟูลดูเพล็กซ์

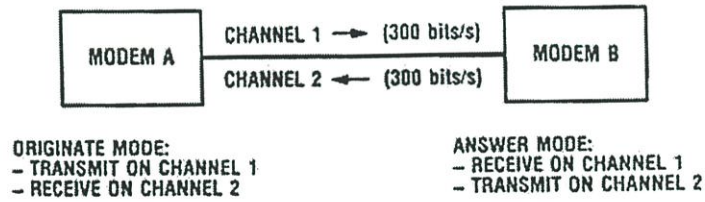
MODEM TYPE	TRANSMISSION RATE	TRANSMIT FRSQUENCIES		RECEIVE FRSQUENCIES	
		MARK	SPACE	MARK	SPACE
	bits/s	Hz	Hz	Hz	Hz
CCITT V.21					
ORIGinate MODE	300	980	1 180	1 650	1 850
ANSwer MODE	300	1 650	1 850	980	1 180
BELL 103					
ORIGinate MODE	300	1 270	1 070	2 225	2 025
ANSwer MODE	300	2 225	1 270	1 270	1 070

สำหรับการส่งแบบฟูลดูเพล็กซ์บนสายชนิดสองเส้น แบนด์วิดธ์ที่ใช้ได้ถูกแบ่งออกเป็นสองแบนด์หรือสองแชนแนลที่เท่ากัน การใช้ความถี่มาร์คและเสปชที่ต่างกันในแต่ละแชนแนลทำให้โมเด็มทั้งสองสามารถส่งข้อมูลที่อัตราเท่ากันในสองทิศทางในเวลาเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4-8



รูปที่ ข37 การแบ่งแชนแนลสำหรับการส่งแบบฟูลดูเพล็กซ์

ดังแสดงในรูปที่ ข38 เพื่อให้เกิดการสื่อสารขึ้น โมเด็มเครื่องหนึ่งต้องอยู่ในโหมดริเริ่มและอีกเครื่องหนึ่งต้องอยู่ในโหมดตอบรับ โมเด็มที่เริ่มทำการเรียกโดยปกติแล้วจะถูกปรับด้วยมือให้อยู่ในโหมดริเริ่มโดยโอเปอเรเตอร์ หรืออย่างอัตโนมัติโดย Data Terminal Equipment (DTE) แล้วโมเด็มตัวรับจะถูกปรับเป็นโหมดตอบรับ ด้วยมือโดยโอเปอเรเตอร์ หรือโดยอัตโนมัติถ้าโมเด็มนั้นมีวงจรตรวจจับสัญญาณกริ่ง (ring detector) บนโมเด็ม FSK ของ Lab-Volt โหมดริเริ่มหรือตอบรับสำหรับทั้งโมเด็ม Bell 103 และ CCITT V.21 ถูกเลือกได้โดยปุ่ม MODE SELECT บนแผง หน้าปัด



รูปที่ ข38 การส่งแบบฟูลดูเพล็กซ์

สัญญาณต่าง ๆ ในโมเด็ม FSK

โมเด็ม FSK ประกอบด้วยภาค MODULATOR/DEMODULATOR ภาคดิจิตอล และภาคอนาล็อกทั้งสามภาคนี้ทำงานร่วมกันในลักษณะดังนี้ ภาคดิจิตอล (DIGITAL INTERFACE) ส่งสัญญาณข้อมูลไบนารี ซึ่งปรากฏที่อินพุทไปยังมอดูเลเตอร์ สัญญาณข้อมูลนี้เรียกว่าสัญญาณ TD (TRANSMITTED DATA) แล้วมอดูเลเตอร์ใช้สัญญาณ TD ในการมอดูเลทพาหะ เพื่อสร้างสัญญาณ FSK ที่จะส่ง สัญญาณนี้เรียกว่าสัญญาณ TC (TRANSMITTED CARRIER) ซึ่งจะถูกส่งต่อไปยังภาคอนาล็อกของโมเด็ม และอาจจะถูกส่งผ่านทาง LINE INTERFACE ไปยังสายโทรศัพท์

DUPLEXER ซึ่งกำหนดเส้นทางของสัญญาณอนาล็อกที่ส่งและรับให้ไปยังวงจรที่ถูกต้อง ประกันว่าสัญญาณ TC ถูกส่งไปยัง LINE INTERFACE เท่านั้น และไม่ถูกส่งไปยังอินพุท RC

(RECEIVED CARRIER) ของดีมอดูเลเตอร์ BALANCING NETWORK ทำการแมทช์สัญญาณกับสายโทรศัพท์ที่ถูกบาลานซ์

ในเวลาเดียวกันขณะที่โมเด็มกำลังส่งสัญญาณ FSK ส่วน LINE INTERFACE ก็รับสัญญาณ FSK จากโมเด็มอื่น เมื่อสายชนิดสองเส้นถูกใช้ในการส่งแบบสองทิศทางในเวลาเดียวกัน สัญญาณ FSK ที่ส่งและรับถูกรวมเข้าด้วยกันเป็นสัญญาณคอมโพสิทสัญญาณเดียว ซึ่ง DUPLEXER จะเป็นตัวทำให้แน่ใจได้ว่ามีเพียงสัญญาณ FSK ที่รับเข้ามาเท่านั้นที่ถูกส่งไปยังดีมอดูเลเตอร์ สัญญาณนี้เรียกว่าสัญญาณ RC (RECEIVED CARRIER)

ดีมอดูเลเตอร์จะดีมอดูเลทสัญญาณ RC เพื่อกู้ข้อมูลที่ถูกส่งมาจากโมเด็มเครื่องอื่น ข้อมูลนี้เรียกว่าสัญญาณ RD (RECEIVED DATA) ถูกส่งไปยัง DIGITAL INTERFACE

การทดสอบแบบย้อนกลับ (loopback test) เป็นขบวนการทดสอบซึ่งสัญญาณต่าง ๆ ถูกส่งป้อนกลับไปยังจุดเริ่มต้นของมัน Analog loopback สามารถใช้ทดสอบโมเด็มตัวเดียว เพื่อการนี้โมเด็ม FSK ต้องทำงานในโหมด 4-WIRE LINE และ 4-WIRE MODE OUTPUT ของ LINE INTERFACE ต้องกับ 4-WIRE LINE MODE INPUT ในการที่จะทำให้ดีมอดูเลเตอร์ทำการดีมอดูเลทสัญญาณ FSK ของมันเอง ฟิลเตอร์ในดีมอดูเลเตอร์ต้องถูกปรับไปที่ความถี่ที่ใช้สำหรับการส่งของมอดูเลเตอร์ ซึ่งทำได้โดยการเลื่อนสวิตซ์ LOOPBACK ไปที่ตำแหน่ง I (on) สัญญาณ ข้อมูลที่เอาท์พุท DIGITAL INTERFACE ของโมเด็มควรจะเหมือนกับสัญญาณข้อมูลที่อินพุท DIGITAL INTERFACE ยกเว้นมีการหน่วงเวลาขนาดหนึ่ง

นอกจากสัญญาณข้อมูลและพาหะแล้ว ยังมีสัญญาณ CONTROLS (สัญญาณควบคุม) จำนวนหนึ่งสำหรับ MODULATOR/DEMODULATOR ใช้สื่อสารกับคอมพิวเตอร์หรือเทอร์มอนอลที่ควบคุม ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ที่มีสองสถานะคือ high และ low

สัญญาณ MODULATOR, CONTROLS และสัญญาณ DEMODULATOR ที่ใช้ในการทดลองนี้จะได้อธิบายข้างล่างนี้ รวมทั้ง คำย่อ ชื่อเต็ม และจุด TEST POINT ที่สอดคล้องบางชื่อและบางคำย่อจะมีขีดอยู่ด้านบน ซึ่งหมายความว่ากลไกการควบคุมที่เกี่ยวข้องจะแอกตีฟเมื่อสัญญาณควบคุมนี้อยู่ในสถานะ low และไม่แอกตีฟเมื่อสัญญาณควบคุมนี้มีสถานะเป็น high

ให้ดูตารางนี้ทุกครั้งที่ท่านต้องการทราบชื่อเต็มหรือหน้าที่ของสัญญาณควบคุมต่างๆ ถ้าเป็นไปได้ควรจำชื่อเต็มที่สอดคล้องกับแต่ละคำย่อ

สัญญาณ MODULATOR

TD TRANSMITTED DATA (TP1) ข้อมูลจาก DIGITAL INTERFACE ที่จะถูกส่งโดยโมเด็ม

TC TRANSMITTED CARRIER (TP12)อนาล็อกเอาท์พุทของมอดูเลเตอร์ (พาหะ FSK) ที่จะถูกส่ง

สัญญาณ CONTROLS

$\overline{\text{DTR}}$ $\overline{\text{DATA TERMINAL READY}}$ (TP2) สัญญาณควบคุมจาก DTE เมื่อ DTE พร้อมที่จะส่งข้อมูล และ/หรือ รับข้อมูล จะทำให้ $\overline{\text{DTR}}$ มีสถานะเป็น low ซึ่งจะเป็นการอีนาเบิลโมเด็ม ในทางกลับกันถ้ามีสถานะเป็น high จะเป็นการดิสเอเบิลโมเด็ม

$\overline{\text{RTS}}$ $\overline{\text{REQUEST TO SEND}}$ (TP3) สัญญาณจาก DTE ที่จะปรากฏขึ้นมาเมื่อพร้อมที่จะเริ่มส่งข้อมูล สัญญาณ $\overline{\text{RTS}}$ ที่ระดับ low จะสั่งการให้โมเด็มเริ่มทำการส่งสัญญาณ TC และให้ $\overline{\text{CTS}}$ มีสถานะเป็น low หลังจากการหน่วงเวลาช่วงสั้น ๆ $\overline{\text{RTS}}$ ต้องคงสถานะเป็น low อยู่ในระหว่างการส่งข้อมูล

$\overline{\text{CD}}$ $\overline{\text{CARRIER DETECT}}$ (TP4) เมื่อเอาท์พุทนี้มีสถานะเป็น low จะเป็นการแจ้งไปยัง DTE ว่าสัญญาณ พาหะที่ถูกต้อง (ที่ความถี่ใดความถี่หนึ่งระหว่างความถี่มาร์ค หรือความถี่เสปช) ถูกดีเท็คได้ที่อินพุท RC ของดีมอดูเลเตอร์

$\overline{\text{CTS}}$ $\overline{\text{CLEAR TO SEND}}$ (TP5) เอาท์พุทนี้จะมีสถานะเป็น low ในช่วงสั้น ๆ หลังจากที่ $\overline{\text{RTS}}$ มีสถานะเป็น low เพื่อแจ้งไปยัง DTE ว่าสัญญาณ TC นั้นคงที่ และโมเด็มพร้อมที่จะส่ง

$\overline{\text{RI}}$ $\overline{\text{RI}}$ (TP13) อินพุทนี้มีไว้เพื่อให้โมเด็มตอบรับการเรียกอย่างอัตโนมัติ โดยจะตอบสนองต่อสัญญาณจาก RING DETECTOR

LB LOOPBACK (TP14) เมื่ออินพุทนี้มีสถานะเป็น high จะทำให้โมเด็มอยู่ในโหมด LOOPBACK

สัญญาณ DEMODULATOR

RC RECFIVED CARRIER (TP15) อินพุทนี้คือสัญญาณอนาล็อก FSK ที่ได้รับจาก duplexer (2-wire line) หรือได้รับโดยตรงจากสายโทรศัพท์ (4-wire line)

RD RECEIVED DATA (TP6) การกู้ข้อมูลกลับคืนมาโดยการดีมอดูเลทสัญญาณ FSK ที่ถูกรับเข้ามา

โมเด็ม CCITT V.23 MODE 2(1 200 baud)

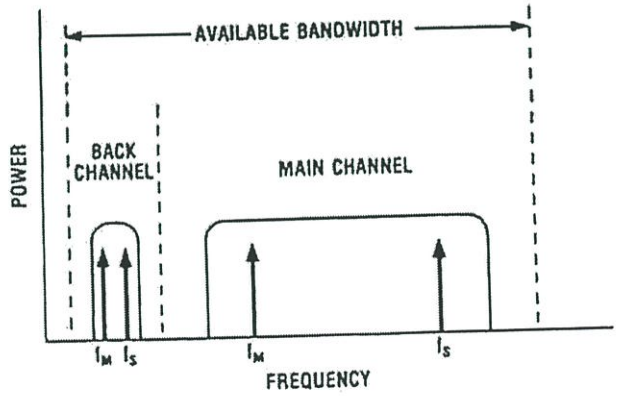
โมเด็มมาตรฐาน CCITT V.23 และ Bell 202 เป็นโมเด็ม FSK แบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ที่ 1200 baud (1200 บิทต่อวินาที) ความถี่มาร์คและความถี่เสปชที่ถูกใช้โดยโมเด็มเหล่านี้ได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ ข-3 สำหรับการส่งใน main-channel โมเด็ม V.23 ใช้การเลื่อนความถี่เท่ากับ 800 Hz เพื่อแยกความถี่มาร์คจากความถี่เสปช ในขณะที่โมเด็ม Bell 202 ใช้การเลื่อนความถี่เท่ากับ 1000 Hz สำหรับโมเด็มทั้งสองนี้ความถี่ที่สูงกว่าคือความถี่เสปช

ตารางที่ ข3 โมเด็มแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์

MODEM TYPE	TRANSMISSION RATE	FRSQUENCIES MARK	SPACE
	bits/s	Hz	Hz
CCITT V.23 MODE 2			
MAIN CHANNEL	1200	1300	2100
BACK CHANNEL	75	390	450
BELL 202			
MAIN CHANNEL	1200	1200	2200
BACK CHANNEL	5	387	(carrier off)
(ASK)			

โมเด็ม CCITT V.23 บางแบบมีอีกโหมดหนึ่ง เรียกว่า MODE 1 ใช้อัตราบิทที่ต่ำกว่า (600 บิทต่อวินาที) ซึ่งจะถูกนำมาใช้เมื่อสายสัญญาณไม่ดีเพียงพอสำหรับการสื่อสารที่ 1200 บิทต่อวินาที

สัญญาณ FSK ที่ 1200 บิทต่อวินาที ครอบครองแบนด์วิดธ์ที่ใช้ได้ของสายโทรศัพท์ชนิดสองเส้นแบบมาตรฐานเกือบทั้งหมด สเปกตรัมของสัญญาณนี้ถูกแสดงใน main-channel ในรูปที่ ข 39 แบนด์วิดธ์ที่เหลืออยู่จะถูกใช้เป็น back channel สำหรับส่งข้อมูลความเร็วต่ำในทิศทางกลับกัน

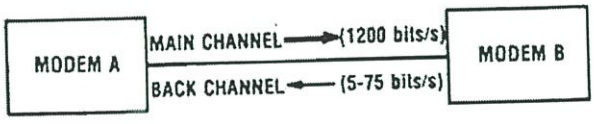


รูปที่ ข39 แชนแนลสำหรับการส่งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์

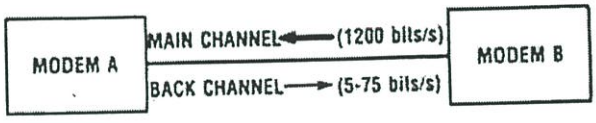
back channel ถูกใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูลหรือสัญญาณรับรองการได้รับจากโมเด็มตัวรับกลับไปยังโมเด็มตัวส่ง ในการส่งแบบ two-wire นั้นสัญญาณ main-channel และ back-channel

จะถูกรวมเข้าด้วยกันเป็นสัญญาณคอมโพสิทเหมือนกับในการส่งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์โดยที่ duplexer ของโมเด็มจะเป็นตัวที่ทำให้แน่ใจได้ว่าสัญญาณทั้งหลายจะถูกส่งไปยังวงจรที่ถูกต้อง

ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างโมเด็ม CCITT V.23 MODE 2 และ Bel 202 คือการส่ง back-channel จากตารางที่ ข3 โมเด็ม V.23 จะใช้การส่งแบบ FSK ที่อัตราบิทเท่ากับ 75 บิมต่อวินาที ในขณะที่โมเด็ม Bell 202 ใช้การส่งแบบ ASK ใน back-channel ที่อัตราบิทต่ำมากคือ 5 บิทต่อวินาที



a) Modem A transmitting to modem B

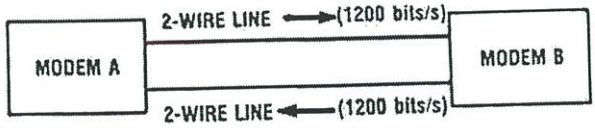


b) Model B transmitting to modem A (after line turnaround)

รูปที่ ข40 การส่งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์

รูปที่ ข40 แสดงให้เห็นว่าในการส่งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์นั้นมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้เป็นการส่งข้อมูลความเร็วสูงในสองทิศทางแต่ในเวลาที่แตกต่างกัน กระบวนการของการกลับทิศทางนั้นถูกเรียกว่า line turnaround ซึ่งจะใช้เวลาที่แน่นอนขนาดหนึ่ง และในระหว่างนั้นจะไม่มีการส่งข้อมูล

สำหรับการส่งแบบฟูลดูเพล็กซ์บนสายชนิดสี่เส้น ต้องใช้สายชนิดสองเส้นจำนวน 2 ชุด จึงจะทำให้โมเด็มสามารถส่งด้วยความเร็วเต็มพิกัดในทั้งสองทิศทางในเวลาเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ ข41เนื่องจากใช้สายที่แยกกันทำให้ความถี่ที่ใช้สำหรับสองทิศทางนั้นสามารถเป็นความถี่เดียวกันได้ ในการส่งชนิดนี้ไม่ต้องการ line turnaround



รูปที่ ข41 การส่งแบบฟูลดูเพล็กซ์บนสายชนิดสองเส้น

สัญญาณควบคุม back-channel

โมเด็มแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ต้องการสัญญาณควบคุมที่แยกกันในการควบคุมการส่งใน back-channel สัญญาณควบคุม back-channel เหล่านี้เหมือนกันกับสัญญาณควบคุมใน main channel ยกเว้นเพียงแต่นำมาใช้กับ back channel (สัญลักษณ์ขีดเส้นเหนือคำย่อของชื่อสัญญาณ เป็นเครื่องหมายที่แสดงว่ากระบวนการในการควบคุมจะถูกอีนาเบิลโดยสัญญาณระดับ low และจะถูกดิสเอเบิลโดยสัญญาณระดับ high)

ตัวอย่างเช่น $\overline{\text{RTS}}$ $\overline{\text{REQUEST TO SEND}}$ จะควบคุมากรส่งของสัญญาณ TC บน main channel ในขณะที่ $\overline{\text{BRTS}}$ $\overline{\text{BACK REQUEST TO SEND}}$ จะควบคุมการส่งของสัญญาณ TC บน back channel สำหรับโมเด็มตัวส่งเพื่อส่งใน main channel (และรับใน back channel) ทำให้ $\overline{\text{RTS}}$ ของโมเด็มเครื่องนี้ต้องมีสถานะเป็น low และ $\overline{\text{BRTS}}$ ต้องมีสถานะเป็น high และในกรณีที่โมเด็มตัวรับจะส่งใน back channel (และรับใน main channel) ทำให้ $\overline{\text{BRTS}}$ ของโมเด็กนี้ต้องมีสถานะเป็น low และ $\overline{\text{RTS}}$ ต้องมีสถานะเป็น high

เนื่องจากแต่ละโมเด็กมีมอดูเลทเตอร์เพียงตัวเดียว จึงไม่สามารถส่งบน main channel และ back channel ในเวลาเดียวกันได้ และจากสาเหตุนี้เองจึงต้องมีวงจรพิเศษที่ป้องกันไม่ให้ $\overline{\text{RTS}}$ และ $\overline{\text{BRTS}}$ มีสถานะเป็น low ในเวลาเดียวกัน

เมื่อจะเริ่มทำการส่งข้อมูลไปยังโมเด็ม สัญญาณควบคุม $\overline{\text{CTS}}$ $\overline{\text{CLEAR TO SEND}}$ และ $\overline{\text{BCTS}}$ $\overline{\text{BACK CLEAR TO SEND}}$ จะสั่งการ DTE เพื่อให้เลือกทำการส่งบน main channel หรือ back channel ซึ่งจะมีความสำคัญมากในการป้องกันการสูญหายของข้อมูลในระหว่างช่วง line turnaround

ตัวอย่างเช่น ถ้าโมเด็มกำลังส่งสัญญาณใน main channel ดังนั้น $\overline{\text{RTS}}$ จะมีสถานะเป็น low และ $\overline{\text{BRTS}}$ จะมีสถานะเป็น high ในการเริ่ม line turnaround นั้น DTE จะปรับ $\overline{\text{RTS}}$ ให้มีสถานะเป็น high และ ปรับ $\overline{\text{BRTS}}$ ให้มีสถานะเป็น low แต่ก่อนที่สัญญาณ TC จะคงที่ที่ความถี่ back-channel นั้นจะต้องใช้เวลาพอสมควร เพื่อหลีกเลี่ยงการส่งที่เร็วเกินไป DTE จะรอจนกว่า $\overline{\text{BRTS}}$ จะมีสถานะเป็น low ก่อนที่จะเริ่มทำการส่งข้อมูลของ back-channel ไปยังโมเด็ม

สัญญาณมอดูเลเตอร์ สัญญาณควบคุม และสัญญาณดีมอดูเลเตอร์ ที่ใช้กับโมเด็ก CCITT V.23 MODE 2 และ Bell 202 จะได้อธิบายข้างล่างนี้ รวมทั้งคำย่อ ชื่อเต็ม และจุด TEST POINT ที่สอดคล้อง สัญญาณควบคุม back-channel ทั้งหมดจะขึ้นต้นด้วยตัวอักษร B ให้ดูตางนี้ทุกครั้งที่ท่านต้องการทราบชื่อเต็มหรือหน้าที่ของสัญญาณควบคุมต่างๆ ถ้าเป็นไปได้ควรจำชื่อเต็มที่สอดคล้องกับแต่ละคำย่อ

สัญญาณ MODULATOR

TD TRANSMITTED DATA (TP1) ข้อมูลจาก DIGITAL INTERFACE ที่จะถูกส่งโดยโมเด็ม main channel

BTD BACK TRANSMITTED DATA (TP7) ข้อมูลจาก DIGITAL INTERFACE ที่จะถูกส่งใน back channel

TC TRANSMITTED CARRIER (TP12) เอาท์พุทของมอดูเลเตอร์แบบอนาล็อก (พาหะ FSK) ที่ถูกส่ง สัญญาณ TC นี้จะปรากฏขึ้นเมื่อ $\overline{\text{DTR}}$ และสัญญาณใดสัญญาณหนึ่งระหว่าง $\overline{\text{RTS}}$ และ $\overline{\text{BRTS}}$ มีสถานะเป็น low เท่านั้น

สัญญาณ CONTROLS

$\overline{\text{DTR}}$ DATA TERMINAL READY (TP2) สัญญาณควบคุมจาก DTE เมื่อ DTE พร้อมที่จะส่งข้อมูล และ/หรือ รับข้อมูล จะทำให้ $\overline{\text{DTR}}$ มีสถานะเป็น low ซึ่งจะเป็นการอีนาเบิลโมเด็ม ในทางกลับกันถ้ามีสถานะเป็น high จะเป็นการดิสเอเบิลโมเด็ม

$\overline{\text{RTS}}$ REQUEST TO SEND (TP3) สัญญาณจาก DTE ที่จะปรากฏขึ้นมาเมื่อพร้อมที่จะเริ่มส่งข้อมูล สัญญาณ $\overline{\text{RTS}}$ ที่ระดับ low จะสั่งการให้โมเด็มเริ่มทำการส่งสัญญาณ TC และทำให้ $\overline{\text{CTS}}$ มีสถานะเป็น low หลังจากการหน่วงเวลาช่วงสั้น ๆ $\overline{\text{RTS}}$ ต้องคงสถานะเป็น low อยู่ในระหว่างการส่งข้อมูล

$\overline{\text{BRTS}}$ BACK REQUEST TO SEND (TP8) สัญญาณจาก $\overline{\text{BRTS}}$ ระดับ low จะสั่งการให้โมเด็มเริ่มทำการส่งสัญญาณ TC บนความถี่ของ back-channel และทำให้ $\overline{\text{BCTS}}$ มีสถานะเป็น low ภายหลังจากการหน่วงเวลาช่วงสั้น ๆ $\overline{\text{BRTS}}$ จะต้องคงสถานะเป็น low อยู่ในระหว่างการส่งข้อมูล

$\overline{\text{CD}}$ CARRIER DETECT (TP4) เมื่อเอาท์พุทนี้มีสถานะเป็น low จะเป็นการแจ้งไปยัง DTE ว่าสัญญาณ พาหะที่ถูกต้อง (ที่ความถี่ใดความถี่หนึ่งระหว่างความถี่มาร์ค หรือความถี่เสปช) ถูกดีเท็คได้ที่อินพุท RC ของดีมอดูเลเตอร์

$\overline{\text{BCD}}$ BACK CARRIER DETECT (TP9) เมื่อเอาท์พุทนี้มีสถานะเป็น low จะเป็นการแจ้งไปยัง DTE ว่าสัญญาณพาหะของ back-channel ที่ถูกต้อง (ที่ความถี่ใดความถี่หนึ่งระหว่างความถี่มาร์ค หรือความถี่เสปช) ได้ถูกดีเท็คได้ที่อินพุท RC ของดีมอดูเลเตอร์

$\overline{\text{CTS}}$ CLEAR TO SEND (TP5) เอาท์พุทนี้จะมีสถานะเป็น low ในช่วงสั้น ๆ หลังจากที่ $\overline{\text{RTS}}$ มีสถานะเป็น low เพื่อแจ้งไปยัง DTE ว่าโมเด็มพร้อมที่จะส่ง main channel

$\overline{\text{BCTS}}$ BACK CLEAR TO SEND (TP10) เอาท์พุทนี้จะมีสถานะเป็น low ในช่วงสั้นๆ หลังจากที่ $\overline{\text{BRTS}}$ มีสถานะเป็น low เพื่อเป็นการแจ้งไปยัง DTE ว่าโมเด็มพร้อมที่จะส่งใน back channel

$\overline{RI}$ $\overline{RI}$ (TP13) อินพุทนี้มีไว้เพื่อให้โมเด็มตอบรับการเรียกอย่างอัตโนมัติ โดยจะตอบสนองต่อสัญญาณจาก RING DETECTOR

LB LOOPBACK (TP14) เมื่ออินพุทนี้มีสถานะเป็น high จะทำให้โมเด็มอยู่ในโหมด LOOPBACK

สัญญาณ DEMODULATOR

RC RECFIVED CARRIER (TP15) อินพุทนี้คือสัญญาณอนาล็อก FSK ที่ได้รับจาก duplexer (2-wire line) หรือได้รับโดยตรงจากสายโทรศัพท์ (4-wire line)

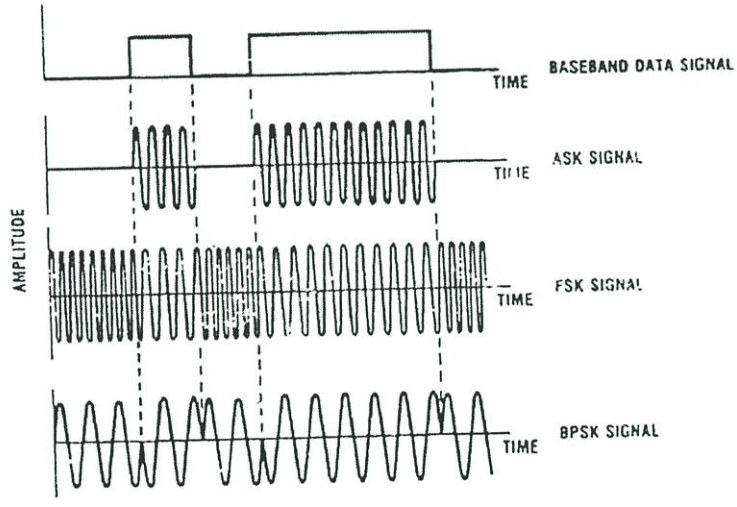
RD RECEIVED DATA (TP6) การกู้ข้อมูลกลับคืนมาโดยการดีมอดูเลทสัญญาณ FSK ที่ถูกรับใน main channel

BRD BACK RECEIVED DATA (TP6) การกู้ข้อมูลกลับมาโดยการดีมอดูเลทสัญญาณ FSK ที่ถูกรับใน back channel

Binary Phase-Shift Keying (BPSK)

ในการเปรียบเทียบการมอดูเลทแบบดิจิตอลชนิดต่าง ๆ ที่ได้ศึกษาในคู่มือนี้ BPSK ให้ประสิทธิภาพดีที่สุดในสัญญาณรบกวน แต่โมเด็ม BPSK มีความซับซ้อนมากกว่าโมเด็มที่ใช้การมอดูเลทแบบดิจิตอลชนิดอื่น ๆ

การสร้างและการดีมอดูเลทสัญญาณ BPSK

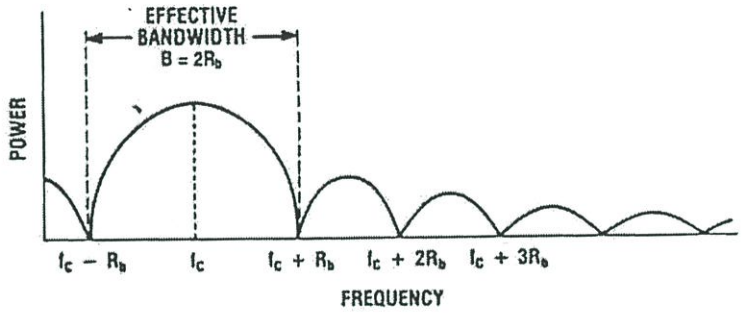


รูปที่ ข42 Binary Phase Shift Keying (BPSK)

Phase-shift keying (PSK) เป็นการมอดูเลททางดิจิตอลอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในการส่งข้อมูล ใน PSK สัญญาณข้อมูลที่จะส่งถูกใช้เพื่อมอดูเลทเฟสของสัญญาณพาหะคลื่นชายน์ PSK คล้ายกับการมอดูเลททางเฟสแบบอนาล็อก ยกเว้นนี้มีเฟสเอาท์พุทที่เป็นไปได้จำนวนตายตัว

PSK ที่ใช้เฟสเอาท์พุทที่เป็นไปได้สองเฟส เรียกว่า binary phase-shift keying (BPSK) รูปที่ ข42 แสดงสัญญาณข้อมูล สัญญาณพาหะคลื่นชายน์ และสัญญาณ BPSK ที่ได้รับ สังเกตได้ว่าสัญญาณ BPSK มีเฟสที่เหมือนกันหรือต่างกัน 180 องศาเมื่อเทียบกับสัญญาณพาหะ ซึ่งขึ้นอยู่กับสถานะของสัญญาณข้อมูลในขณะมอดูเลทแบบ BPSK จะเลื่อนสเปกตรัมของสัญญาณข้อมูล NRZ แบบเบสแบนด์ขึ้นไปที่ความถี่ซึ่งกึ่งกลางอยู่ที่ความถี่พาหะ f_c

สเปกตรัมนี้คล้ายกับของสัญญาณ ASK โดยมีความแตกต่างที่สำคัญหนึ่งอย่าง คือไม่มีองค์ประกอบความถี่ที่ความถี่พาหะในสเปกตรัมของสัญญาณ BPSK องค์ประกอบของความถี่พาหะหายไปในสัญญาณ BPSK เพราะการเลื่อนเฟส 180 องศา



รูปที่ ข43 สเปกตรัมโดยทั่วไปของสัญญาณ BPSK

ใน ASK แบนด์วิดธ์ที่เป็นผล (effective bandwidth) ของสัญญาณ BPSK มีค่าประมาณเท่ากับสองเท่าของอัตราบิท Rb ของสัญญาณข้อมูลเบสแบนด์ที่ใช้ผลิตมัน เมื่ออัตราบิทลดลง สเปกตรัมจะแคบลงและอาจมีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณคลื่นชายน์ เมื่อใช้อัตราบิทสูง บางครั้งสัญญาณ BPSK ถูกกรองความถี่ก่อนที่จะส่งเพื่อจำกัดความกว้างของสเปกตรัมที่ส่งออกไป

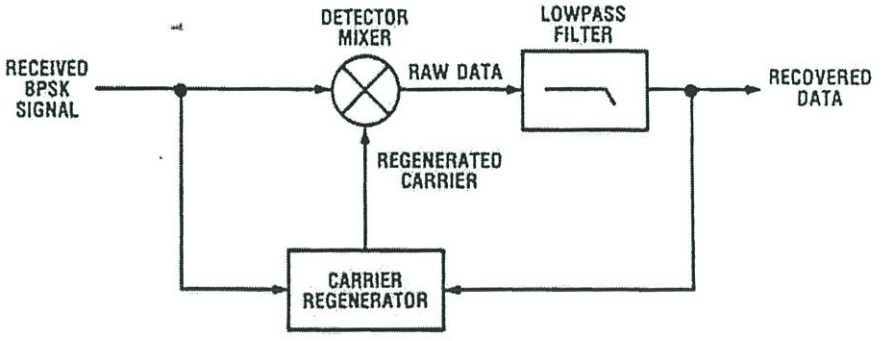
การดีมอดูเลทสัญญาณ BPSK

สัญญาณ BPSK ถูกมอดูเลทโดยใช้การดีเท็คแบบโคฮีเร็นซ์ ในการดีเท็คแบบนี้ ดีมอดูเลเตอร์จะกู้สำเนาของสัญญาณพาหะที่ยังไม่ได้มอดูเลทกลับคืนมา แล้วทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่ได้รับกับสัญญาณพาหะที่ยังไม่ได้มอดูเลทเพื่อกู้สัญญาณข้อมูลคืนมา

แต่ในสัญญาณ BPSK ไม่มีองค์ประกอบของความถี่พาหะ เพราะฉะนั้นจึงไม่สามารถดึงออกมาจากสัญญาณที่รับมาได้ สำเนาอันใหม่ของพาหะเริ่มต้นจะต้องถูกสร้างขึ้นใหม่ที่ดีมอดูเลเตอร์

วงจรหนึ่งที่นิยมใช้สำหรับการดีมอดูเลทสัญญาณ BPSK ได้แก่ Costas loop รูปที่ ข44 แสดงบล็อกไดอะแกรมของดีมอดูเลเตอร์ BPSK แบบ Costas loop อย่างง่าย ซึ่งประกอบด้วยสองส่วนใหญ่ ๆ คือ CARRIER REGENERATOR และ DETECTOR MIXER

CARRIER REGENERATOR สร้างสัญญาณพาหะขึ้นใหม่จากสัญญาณ BPSK ที่ได้รับ ดังแสดงในรูปที่ ข44 CARRIER REGENERATOR ต้องการสัญญาณ BPSK ที่ได้รับเป็นอินพุทของมัน และสัญญาณที่กู้คืนมาเป็นตัวป้อนกลับ



รูปที่ ข44 บล็อกไดอะแกรมของดีมอดูเลเตอร์ BPSK แบบ Costas loop อย่างง่าย

CARRIER REGENERATOR ทำงานโดยการล็อคกับสัญญาณ BPSK ที่ได้รับ แต่สัญญาณ BPSK มีการเปลี่ยนแปลงเฟสอย่างคงที่ โดยใช้สัญญาณที่กู้คืนมาเป็นตัวป้อนกลับทำให้ CARRIER REGENERATOR สามารถล็อคกับหนึ่งในสองเฟสของสัญญาณ BPSK ที่รับเข้ามา เอาท์พุทของ CARRIER REGENERATOR เป็นสัญญาณพาหะที่มีเฟสเถียรกับหนึ่งในสองเฟสของสัญญาณ BPSK

DETECTOR MIXER ดีมอดูเลทสัญญาณ BPSK โดยคูณมันกับสัญญาณพาหะที่ถูกสร้างขึ้นใหม่เอาท์พุทของ DETECTRO MIXER เป็นข้อมูลดิบ ประกอบด้วยทั้งองค์ประกอบของสัญญาณความถี่ต่ำและองค์ประกอบความถี่สูงที่ไม่ต้องการ

องค์ประกอบของความถี่สูงที่ไม่ต้องการถูกกำจัดออกไปโดย LOWPASS FILTER สัญญาณความถี่ต่ำที่เหลืออยู่สลับไปมาระหว่างระดับแรงดันสูงและต่ำ เมื่อสัญญาณ BPSK ที่รับเข้ามาและสัญญาณพาหะที่สร้างใหม่มีเฟสตรงกับแรงดันนี้มีค่าต่ำ เมื่อต่างเฟสกันแรงดันนี้มีค่าสูง ระดับแรงดันเหล่านี้ตรงกับไบนารี 0 และไบนารี 1 ในสัญญาณข้อมูลที่ถูกกู้คืนมาตามลำดับ

เนื่องจาก CARRIER REGENERATOR ไม่มีทางรู้ได้ว่าเฟสใดในสองเฟสของสัญญาณ BPSK ตรงกับเฟสใดของพาหะเริ่มต้น มันอาจล็อคกับเฟสใดเฟสหนึ่ง เมื่อล็อคได้แล้วมันจะยังล็อคต่อไปตลอดการส่ง (เว้นแต่สัญญาณรบกวนจำนวนมากทำให้มันกลายเป็นไม่ถูกล็อคชั่วคราว) ถ้ามันล็อคกับเฟสเดียวกันกับพาหะเริ่มต้น ข้อมูลที่ถูกกู้คืนได้จะตรงกับสัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งมา ถ้า

มันล็อคกับอีกเฟสหนึ่ง ข้อมูลที่กู้คืนได้จะกลับด้านเมื่อเทียบกับข้อมูลเริ่มต้น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ความกำกวมทางเฟส (phase ambiguity)

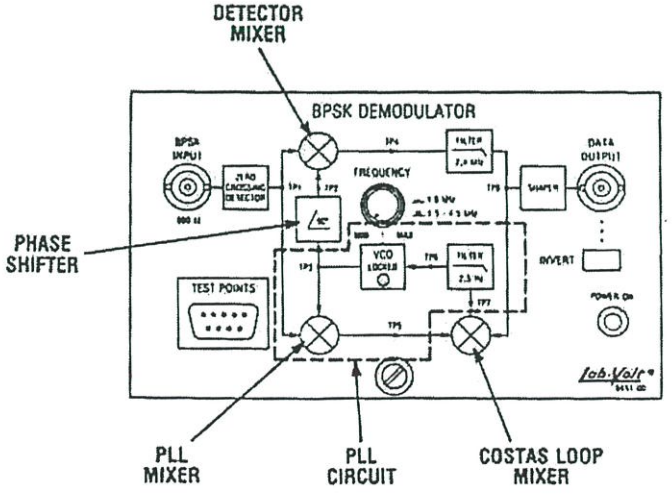
เพื่อแก้ไขความกำกวมทางเฟส มักใช้การส่งสัญญาณนำ (preamble) ที่รู้ค่าเมื่อเริ่มต้นการส่งแต่ละครั้ง ที่ดีมอดูเลเตอร์ สัญญาณนำที่ได้รับจะถูกเปรียบเทียบกับสัญญาณนำที่คาดเาเพื่อหาว่าดีมอดูเลเตอร์กลับด้านข้อมูลหรือไม่ ถ้าใช่ก็จะทำการกลับด้านอีกครั้ง

เทคนิคหนึ่งซึ่งมีพื้นฐานบนการเข้ารหัสผลต่างของข้อมูลอินพุทสามารถถูกใช้ในการกำจัดความกำกวมนี้ได้เช่นกัน ในการเข้ารหัสผลต่าง ระดับลอจิกของแต่ละบิทที่ถูกส่งขึ้นอยู่กับผลต่างระหว่างบิทปัจจุบันและบิทก่อนหน้าของข้อมูลเริ่มต้น

BPSK Demodulator

หน้าปัดของ BPSK Demodulator ของ Lab-Volt แสดงในรูปที่ ข45 วงจรนี้ใช้ Costas loop ทำหน้าที่ทั้งการสร้างพาหะขึ้นใหม่และการดีมอดูเลทสัญญาณ เพื่อประสิทธิภาพที่ดีกว่า สัญญาณ INPUT BPSK แบบอนาล็อกถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบดิจิตอล (TTL) โดย ZERO CROSSING DETECTOR ภาคอื่นทั้งหมดของดีมอดูเลเตอร์เป็นดิจิตอล

จุดทดสอบ	รายละเอียด		
TP1	TTL BPSK signal	TP2	Regenerated carrier
TP3	VCO output signal	TP4	Raw data
TP5	Phase error signal	TP6	VCO control signal
TP7	COSTAS LOOP MIXER output signal	TP8	Filtered data



รูปที่ ข45 BPSK Demodulator

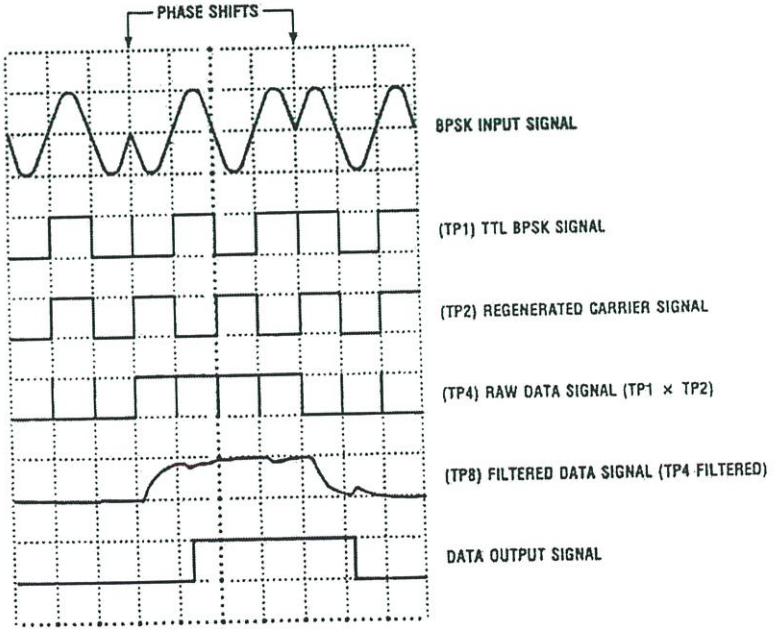
ดีมอดูเลเตอร์นี้ประกอบด้วยสามมิกเซอร์ ได้แก่ DETECTOR MIXER, PLL MIXER, และ COSTAS LOOP MIXER มิกเซอร์เหล่านี้เป็นแบบดิจิตอลเพราะสัญญาณต่าง ๆ ที่ใช้ภายในเป็นแบบดิจิตอลมากกว่าแบบอนาล็อก

ตารางที่ ข4 เป็นตารางความจริง (truth table) สำหรับมิกเซอร์แบบดิจิตอล แม้ว่าสองอินพุทของมิกเซอร์จะสมมูลกัน แต่เพื่อความสะดวกเราจะเรียกว่าอินพุท A และอินพุท B การทำงานของมิกเซอร์แบบดิจิตอลคล้ายกันของมิกเซอร์แบบอนาล็อกใน BPSK Modulator คือเมื่ออินพุท A เป็น low เอาพุทจะเหมือนกับอินพุท B แต่เมื่ออินพุท A เป็น high เอาพุทจะกลับด้าน (เลื่อนไป 180 องศา) เมื่อเทียบกับอินพุท B

ตารางที่ ข4 ตารางความจริงของมิกเซอร์แบบดิจิตอล

INPUT A	INPUT B	OUTPUT
Low	High	High
Low	Low	Low
High	Low	High
High	High	Low

อันที่จริง มิกเซอร์ชนิดนี้คือเกทดิจิตอลแบบ Exclusive-Or เพราะเอาท์พุทเป็น high เมื่อมีอินพุทหนึ่ง แต่ไม่ใช่ทั้งสองอินพุท เป็น high



รูปที่ ข46 การดีมอดูเลทสัญญาณ BPSK

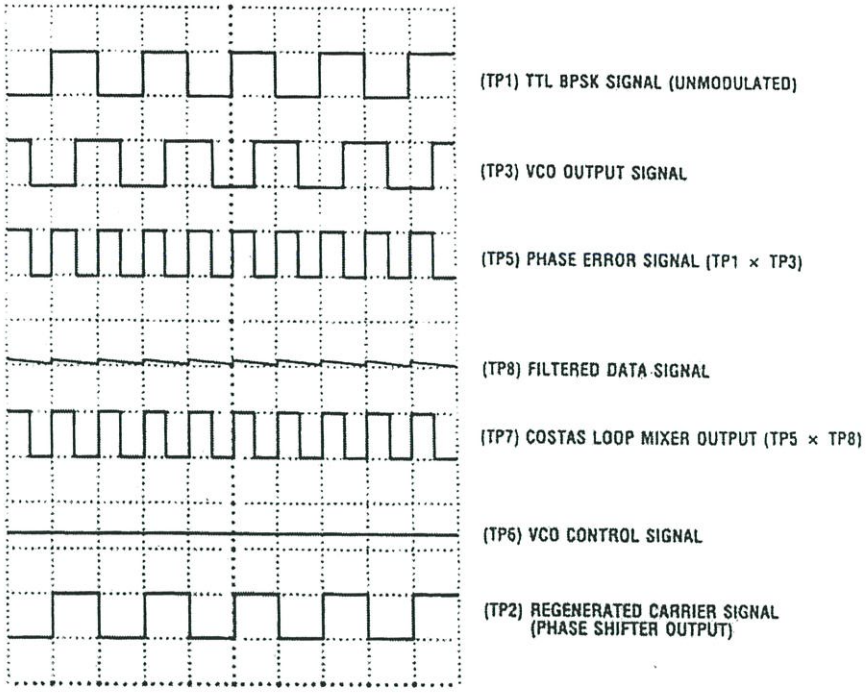
วงจร BPSK Demodulator มีฟังก์ชันตามนี้ (สำหรับรูปคลื่นสัญญาณที่ TEST POINT ต่าง ๆ ดูรูปที่ ข45 เพื่อหาตำแหน่งของวงจรสัญญาณและ TEST POINT ต่าง ๆ ของดีมอดูเลเตอร์)

- ZERO CROSSING DETECTOR แปลงสัญญาณ BPSK INPUT อนาล็อกให้เป็นสัญญาณ BPSK ดิจิตอล (TTL) ที่มีความถี่และเฟสเหมือนกัน (TP1)
- DETECTOR MIXER มิกซ์สัญยาณ BPSK แบบ TTL (TP1) กับสัญญาณพาหะแบบ TTL ที่สร้างขึ้นใหม่ (TP2) เพื่อผลิตข้อมูลดิบ (TP4)
- FILTER 2.4 kHz กำจัดองค์ประกองความถี่สูงที่ไม่ต้องการออกจากสัญญาณข้อมูลดิบเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ผ่านการกรองแล้ว (TP8)
- SHAPER ปรับรูปร่างข้อมูลที่ผ่านการกรองให้เป็นสัญญาณ TTL บริสุทธิ์ (DATA OUTPUT)
- สวิตซ์ INVERT ทำการกลับด้าน DATA OUTPT ถ้าจำเป็นเพื่อแก้ความกำกวมทางเฟส

นอกนากนี้ BPSK Demodulator ยังมีตัวสร้างสัญญาณพาหะใหม่ (carrier regenerator) ซึ่งประกอบด้วยวงจร PLL (phase-locked loop) PHASE SHIFTER และ COSTAS LOOP MIXER

The PLL (phase-locked loop)

วงจร PLL ประกอบด้วย VCO, PLL MIXER และ FILTER 2.5 Hz เพื่อให้เข้าใจการำงานของวงจร PLL ขั้นแรกให้สมมติว่าสัญญาณข้อมูลท่ผ่านการกรองแล้ว (TP8) มีค่าเป็น low และไม่มีการเปลี่ยนแปลงของเฟสเกิดขึ้นในสัญญาณ BPSK แบบ TTL (TP1) ซึ่งจะทำให้สัญญาณที่ TP5 และ TP7 เหมือนกัน และสามารถละเลยลูปมิกเซอร์แบบ Costas ได้ รูปที่ ข47 แสดงสัญญาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวงจร PLL (ดูรูปที่ ข45 ประกอบ)



รูปที่ ข47 สัญญาณต่าง ๆ ในวงจร PLL

VCO สร้างสัญญาณเอาท์พุท TTL รูปคลื่นสี่เหลี่ยม (TP3) เมื่อ VCO ถูกล็อค ความถี่ VCO จะเท่ากับความถี่พาหะ BPSK

มิกเซอร์ PLL ทำการคูณสัญญาณ BPSK (TP1) กับสัญญาณเอาท์พุท VCO (TP3) ความต่างเฟสระหว่างสัญญาณทั้งสองนี้กำหนดดิวตีไซเคิลของสัญญาณความผิดพลาดทางเฟส (TP5) องค์ประกอบดีซีของสัญญาณความผิดพลาดทางเฟสเป็นระดับแรงดันซึ่งเป็นสัดส่วนกับดิวตีไซเคิล

สัญญาณความผิดพลาดทางเฟส (TP5) ผ่านลูปมิกเซอร์แบบ Costas ไปยังอินพุทของ FILTE 2.5 Hz (TP7) เพราะสัญญาณที่ TP8 ขณะนี้มีค่าเป็น low ลูปมิกเซอร์แบบ Costas ไม่มีผลต่อสัญญาณความผิดพลาดทางเฟส

FILTER 2.5 Hz กำจัดองค์ประกองเอซีจากสัญญาณที่ TP7 ออกจากองค์ประกอบดีซี แงดันดีซีเป็นสัญญาณควบคุม VCO (TP6) ระดับของมันถูกกำหนดโดยความต่างเฟสระหว่างสัญญาณ BPSK และสัญญาณเอาท์พุท VCO และถูกนำมาใช้ป้อนกลับเพื่อรักษาค่าคงที่ความต่างเฟสนี้ เมื่อ VOC ถูกล๊อค สัญญาณควบคุม VCO มีค่าระดับคงที่

ตัวเลื่อนเฟส (phase shifter)

PLL MIXER และ FILTER 2.5 Hz ต่อกันเป็นลูปป้อนกลับเพื่อรักษาให้ VCO ล็อคกับสัญญาณ BPSK ภายใต้สภาวะการทำงานปกติ สัญญาณเอาท์พุท VCO (TP3) จะนำหน้าหรือล้าหลัง

สัญญาณ BPSK (TP1) ประมาณ 90 องศา แต่ DETECTOR MIXER ใน BPSK Demodulator ต้องการว่าพาหะที่ถูกสร้างขึ้นใหม่ (TP2) มีเฟสเดียวกัน หรือต่างเฟสกัน 180 องศา กับสัญญาณ BPSK PHASE SHIFTER เลื่อน สัญญาณเอาท์พุท VCO ไป 90 องศา เพื่อให้เข้ากับกรณีนี้

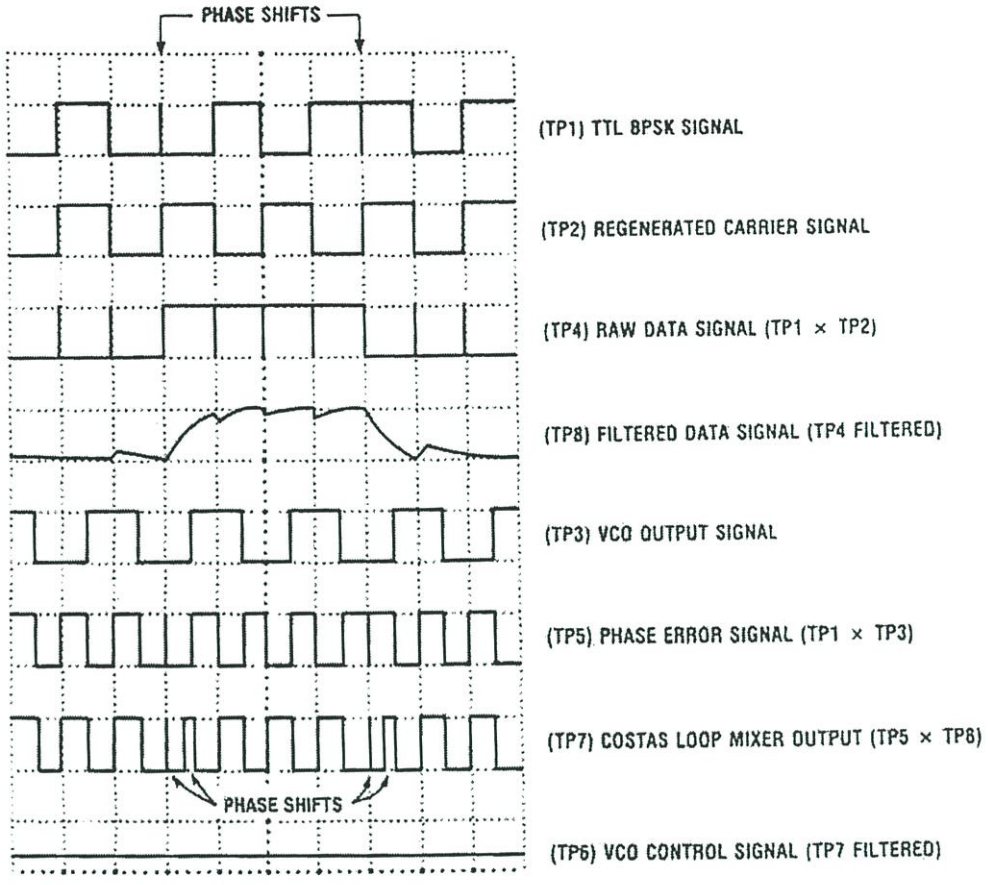
ลูปมิกเซอร์แบบ Costas

วงจร PLL มีหนึ่งลูปป้อนกลับซึ่งรักษาให้ VCO ล๊อคกับเฟสของสัญญาณอินพุท ใน Costas loop จะมีลูปป้อนกลับที่สองซึ่งยอมให้ VCO ยังคงถูกล็อคแม้ว่าสัญญาณอินพุทเปลี่ยนเฟสไป ลูปป้อนกลับที่สองนี้ประกอบด้วย DETECTOR MIXER , FILTER 2.4 kHz และ COSTAS LOOP MIXER การทำงานของ Costas loop แสดงในรูปที่ ข48 (ดูรูปที่ ข45 ประกอบ)

หลังจากสัญญาณ BPSK ถูกรับเข้ามาครั้งแรกโดยดีมอดูเลเตอร์ VCO ล็อคกับหนึ่งในสองเฟสของสัญญาณ BPSK (TP1) และเริ่มสร้างสัญญาณเอาท์พุท (TP3) สัญญาณความผิดพลาดทางเฟส (TP5) ถูกผลิตโดยการคูณสัญญาณ BPSK แบบ TTL กับสัญญาณเอาท์พุท VCO สัญญาณความผิดพลาดทางเฟสนี้ถูกส่งไปยังอินพุทของ FILTER 2.5 kHz (TP7) ผ่านลูปมิกเซอร์แบบ Costas แรงดันควบคุม VCO แบบดีซี (TP6) จากผิลเตอร์แก้ไข VCO เพื่อรักษาการล็อคไว้ที่ความถี่พาหะ BPSK

เมื่อสัญญาณข้อมูลที่ผ่านการกรองแล้ว (TP8) มีค่าเป็น low (ด้านซ้ายของรูปที่ ข48) ลูปมิกเซอร์แบบ Costas ไม่มีผลต่อสัญญาณความผิดพลาดทางเฟส และสัญญาณที่ TP7 จึงมีเหมือนกับที่ TP5

เมื่อการเลื่อนเฟส 180 องศาเกิดขึ้นในสัญญาณ BPSK (TP1) การเลื่อนเฟส 180 องศานี้จะปรากฏให้เห็นในสัญญาณความผิดพลาดทางเฟส (TP5) และในสัญญาณเอาท์พุทของ COSTAS LOOP MIXER (TP7) เช่นกัน "การกลับด้าน" ของสัญญาณที่ TP7 นี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระบบขององค์ประกอบดีซี แต่สัญญาณควบคุม VCO (TP6) เปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ เพราะว่าความถี่คัทออฟที่ต่ำของ FILTER 2.5 Hz ดังนั้น ต้องใช้ระยะเวลาหนึ่งก่อนที่สัญญาณพาหะที่ถูกสร้างขึ้น (TP2) จะเริ่มเปลี่ยนแปลง



รูปที่ ข48 การทำงานของ Costas loop

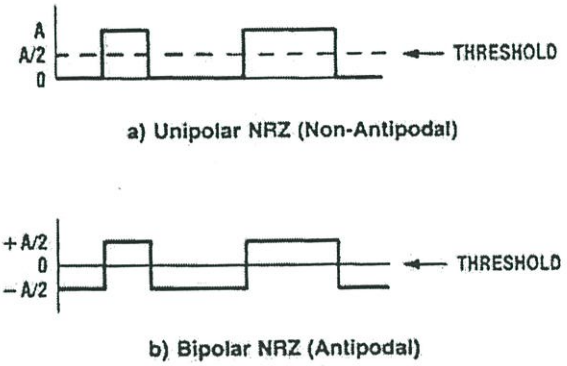
การเลื่อนเฟสในสัญญาณ BPSK เป็นเหตุให้สัญญาณข้อมูลดิบ (TP4) และสัญญาณ ข้อมูลที่ผ่านการกรองแล้ว (TP4) เปลี่ยนสถานะเป็น high เมื่อสัญญาณข้อมูลที่ผ่านการกรองแล้วมีค่าเป็น high COSTAS LOOP MIXER จะกลับด้านสัญญาณที่ TP7 การกลับด้านครั้งที่สองมีผลหักล้างการกลับด้านครั้งแรก และรักษา VCO ให้ล็อคกับเฟสเก่าของสัญญาณ BPSK ในความหมายหนึ่งก็คือ VCO คิดว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเฟสเกิดขึ้น เช่นนี้จะสามารถรักษาให้สัญญาณพาหะที่ถูกสร้างขึ้นใหม่เสถียรแม้ว่าเฟสของสัญญาณ BPSK จะเปลี่ยนแปลง

ประสิทธิภาพของ BPSK ในสัญญาณรบกวน

คำบรรยาย ใน BPSK สัญญาณคลื่นซายน์ที่มีแอมปลิจูดและความถี่คงที่ถูกใช้แทนทั้งสองสถานะของข้อมูล (ไปนารี 0 และ 1) เมื่อใดก็ตามที่สัญญาณข้อมูลเปลี่ยนสถานะเฟสของพาหะถูกเลื่อนไป 180 องศา ซึ่งก็เสมือนกับการกลับขั้วของพาหะ สัญญาณเหล่านี้ซึ่งแทนสถานะของข้อมูลที่ไปได้สองสถานะมีรูปร่างและแอมปลิจูดเหมือนกันทุกประการแต่มีขั้วตรงกันข้าม สัญญาณชนิดนี้เรียกว่า สัญญาณ antipodal

สัญญาณ antipodal ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ในสัญญาณรบกวน เพราะต้องการกำลังงานน้อยกว่าเมื่อเทียบกับชนิดอื่นๆ เพื่อให้ได้ความแตกต่างระหว่างสองสถานะของสัญญาณ ซึ่งสามารถเข้าใจได้โดยการเปรียบเทียบสัญญาณ NRZ สองชนิด ซึ่งมีเพียงชนิดเดียวที่เป็น antipodal

รูปที่ ข49 แสดงสัญญาณ NRZ แบบยูนิโพลาร์และสัญญาณข้อมูล NRZ แบบไพลาร์ที่สมดุลย์กันดังเห็นได้ในรูปที่ ข49 (a) แอมปลิจูดของสัญญาณยูนิโพลาร์ A และ O เพราะฉะนั้นสัญญาณนี้ไม่ใช่ antipodal



รูปที่ ข49 การเปรียบเทียบสัญญาณ NRZ แบบยูนิโพลาร์และไบโพลาร์

สัญญาณยูนิโพลาร์สามารถถูกดีเท็คโดยการเปรียบเทียบกับค่าเทรคโซลด์ตายตัวที่ครึ่งหนึ่งของแอมปลิจูดของมัน (A / 2) สัญญาณรบกวนในสัญญาณที่แอมปลิจูดชั่วขณะเท่ากับ A / 2 อาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการส่ง

รูปที่ ข49(b) แสดงสัญญาณ NRZ แบบไพลาร์ซึ่งมาแอมปลิจูดเป็น+A/2 หรือ A/2 สัญญาณนี้เป็น antipodal ความแตกต่างระหว่างสองแอมปลิจูดคือ A ซึ่งเหมือนกันสำหรับสัญญาณยูนิโพลาร์ ดังนั้นระดับสัญญาณรบกวนที่สามรถทำให้เกิดความผิดพลาดในการส่งจึงเหมือนสำหรับสัญญาณยูนิโพลาร์ ด้วยเหตุผลนี้ ความเป็นไปได้ของความผิดพลาดเมื่อสัญญาณ รบกวนจึงเหมือนกันกับสำหรับสัญญาณยูนิโพลาร์

อย่างไรก็ตาม สัญญาณไบโพลาร์ที่เป็น antipodal มีข้อดีอย่างหนึ่งที่เหนือสัญญาณ ยูนิโพลาร์ คือ มันต้องการกำลังงานน้อยกว่าในการส่ง แรงดัน ms และกำลังงานสำหรับสัญญาณทั้งสองมีค่าดังนี้

สัญญาณ NRZ แบบยูนิโพลาร์ : $V = A/\sqrt{2}$

$$P = A^2 / (2Z)$$

สัญญาณ NRZ แบบไบโพลาร์ : $V = A/\sqrt{2}$

$$P = A^2 / (4Z)$$

เมื่อ A คือ แอมปลิจูด

Z คือ อิมพีแดนซ์ของโหลด

V คือ แรงดัน

P คือ กำลังงาน

สังเกตว่าสัญญาณ antipodal ต้องการกำลังงานเป็นครึ่งหนึ่งของสัญญาณที่ไม่เป็น antipodal แม้ว่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดในสัญญาณรบกวนจะเท่ากัน ถ้าสัญญาณทั้งสองมีกำลังงานเท่ากันต้องใช้ระดับสัญญาณรบกวนเพื่อทำให้เกิดความผิดพลาดในการส่งสัญญาณ antipodal มากกว่าในสัญญาณที่ไม่เป็น antipodal

การเปรียบเทียบนี้ยังคงถูกต้องสำหรับสัญญาณ BPSK (antipodal) และสัญญาณ ASK (non-antipodal) ใน ASK ไบนารี 1 ถูกแทนโดยการส่งสัญญาณพาหะซายน์ที่มีปลิจูดคงที่เท่ากับ A ในช่วงเวลาของหนึ่งบิท ต้องเพียงสัญญาณรบกวนขนาดค่อนข้างต่ำเพื่อเปลี่ยนแปลงแอมปลิจูดของสัญญาณที่ถูกรับมาเพียงพอที่จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการส่ง

แต่ใน BPSK แอมปลิจูดของสัญญาณมีค่าคงที่ แต่ขั้วของมันเปลี่ยนไปเพื่อแทนไบนารี 1 และ 0 ความผิดพลาดในการส่งเกิดขึ้นถ้าระดับแอมปลิจูดชั่วขณะของสัญญาณรบกวนมีเพียงพอในการเปลี่ยนขั้วของสัญญาณ BPSK ที่รับมาชั่วขณะเท่านั้น จึงต้องการระดับสัญญาณรบกวนที่สูงกว่าเพื่อทำให้เกิดความผิดพลาดในการส่งด้วยสัญญาณ ASK

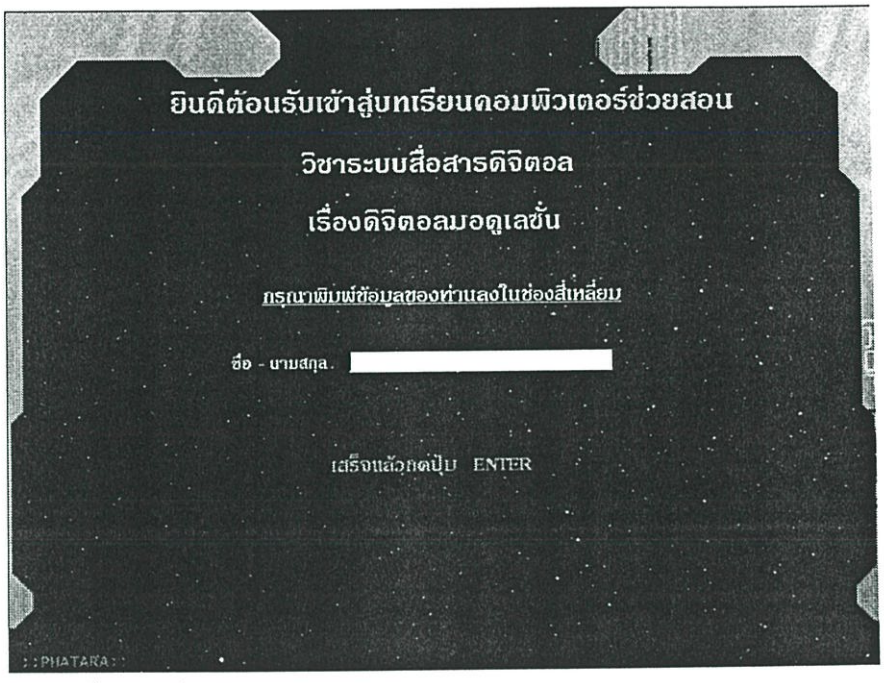
บนหลักเกณฑ์ของกำลังงานเฉลี่ย ประสิทธิภาพทางทฤษฎีของ FSK เทียบเท่ากับของ ASK ฉะนั้นประสิทธิภาพทางทฤษฎีของ BPSK จึงสูงกว่าของ FSK

โมเด็มแบบ ASK และ FSK ถูกใช้ในคู่มือนี้ซึ่งเป็นชนิดนอนโคฮีเรนท์ (non-coherent) ความแตกต่างในประสิทธิภาพระหว่าง BPSK แบบโคฮีเรนท์ กับ ASK และ FSK แบบนอนโคฮีเรนท์ มีค่าประมาณ 4 dB

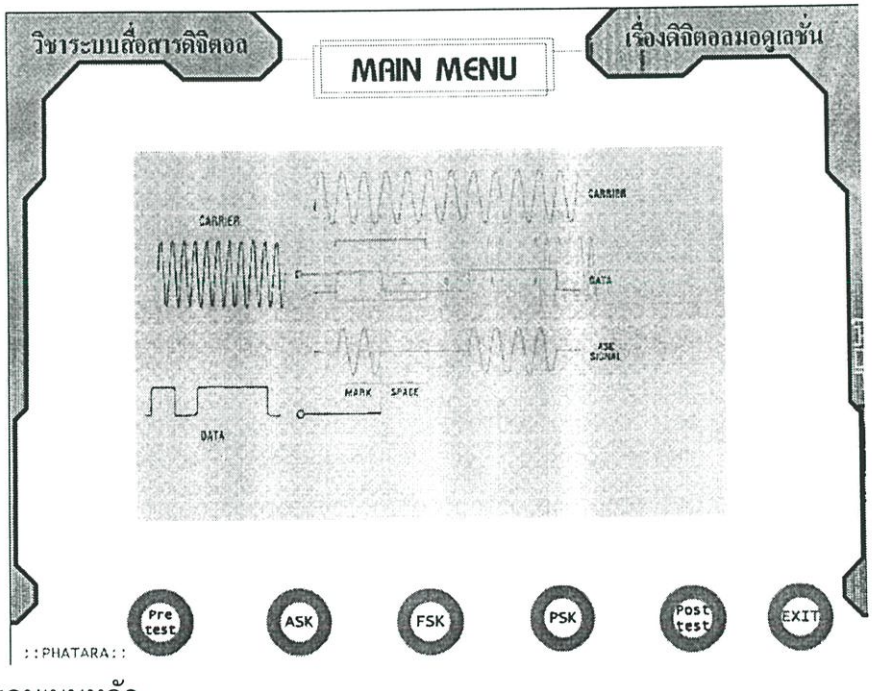
ภาคผนวก ค.

ตัวอย่างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

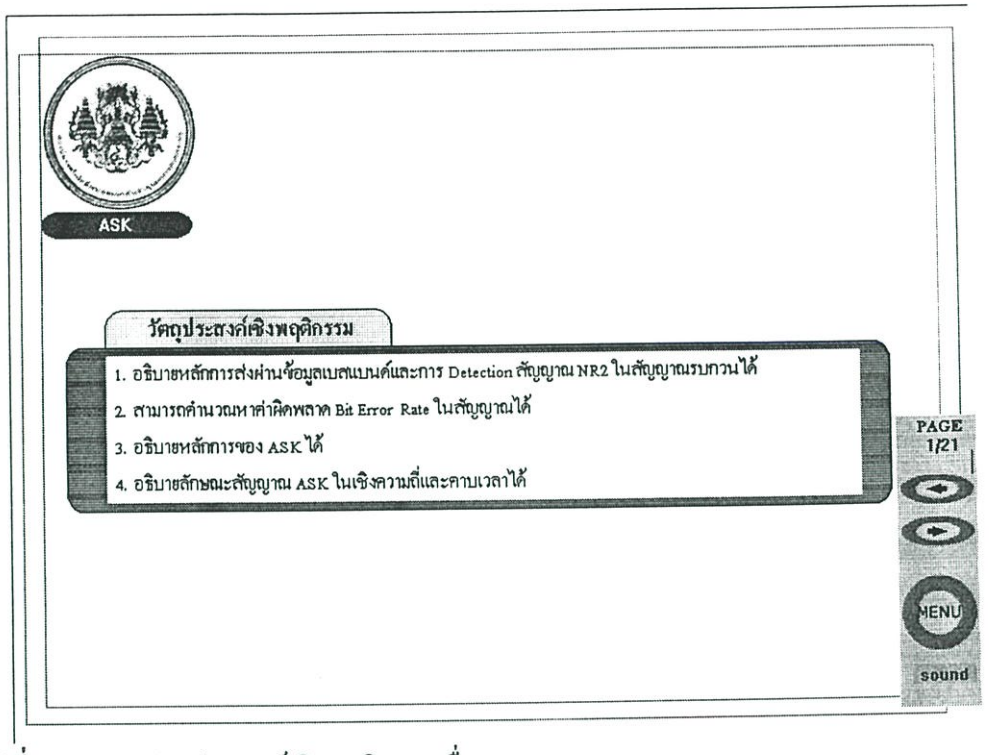
ตัวอย่างหน้าจอคอมพิวเตอร์ต่อไปนี้ เป็นหน้าจอขณะใช้โปรแกรม บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น



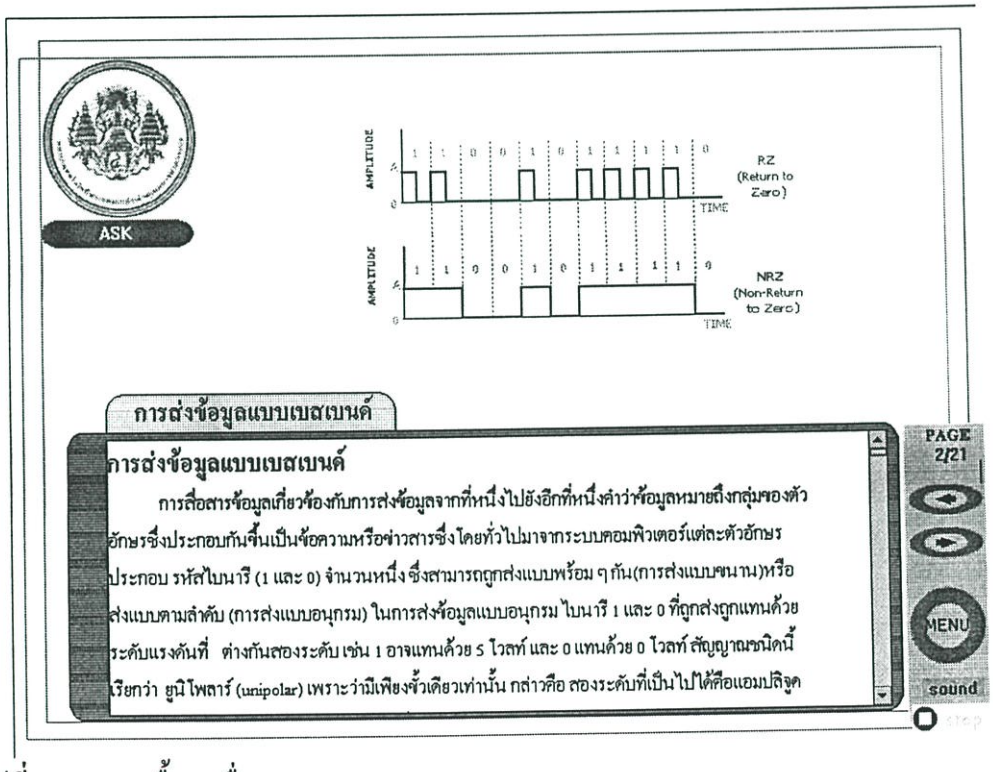
รูปที่ ค1 กรอบนำเข้าสู่บทเรียน



รูปที่ ค2 กรอบเมนูหลัก

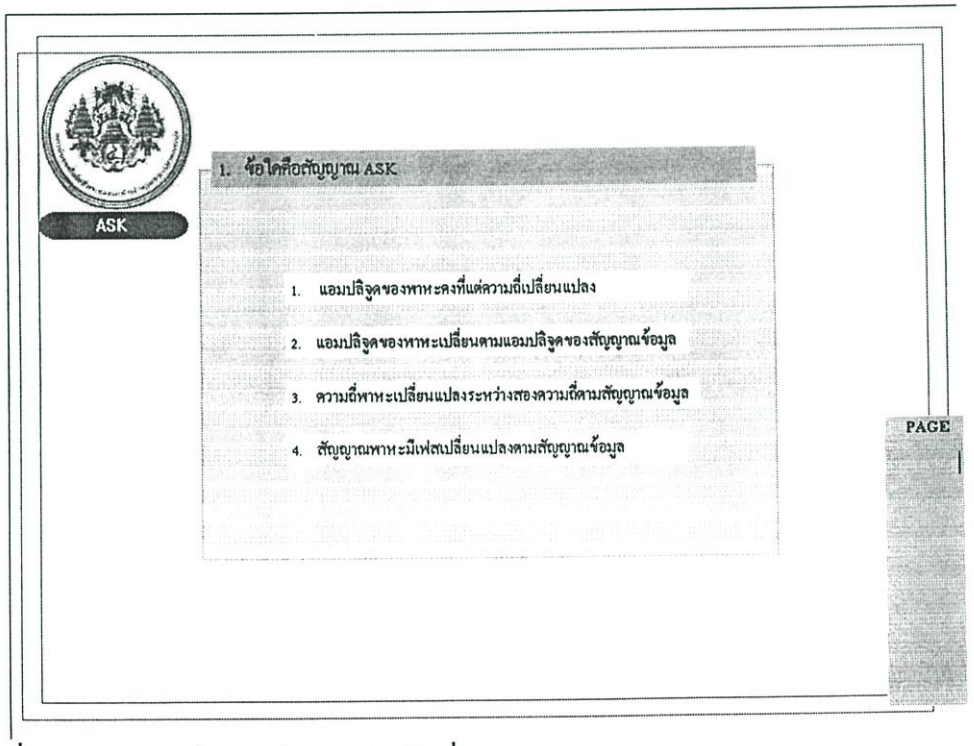


รูปที่ ค3 กรอบวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมเรื่อง ASK

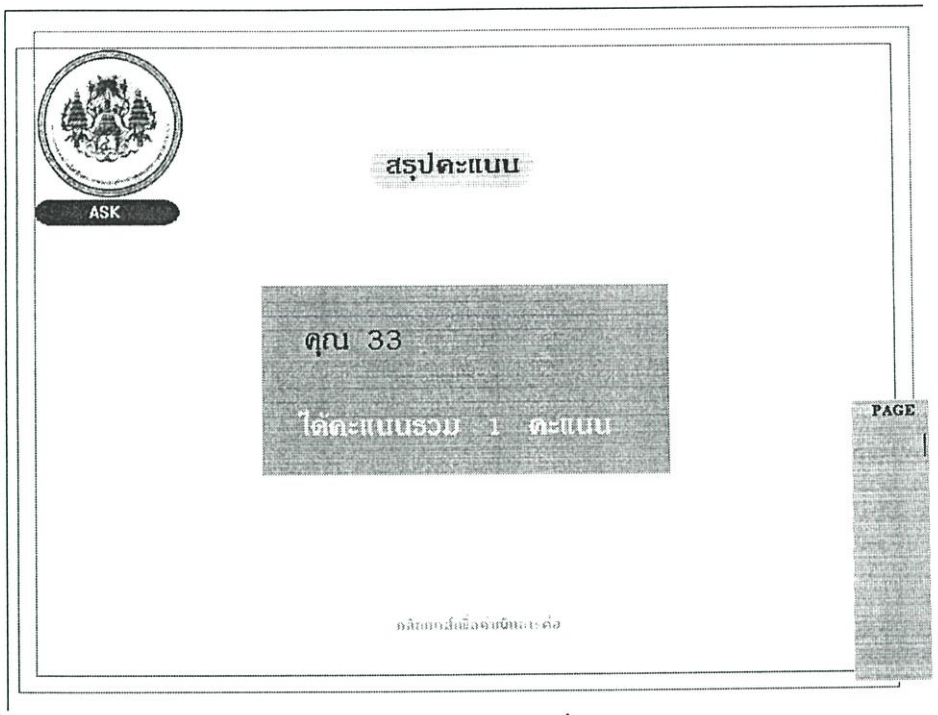


รูปที่ ค4 กรอบเนื้อหาเรื่อง ASK

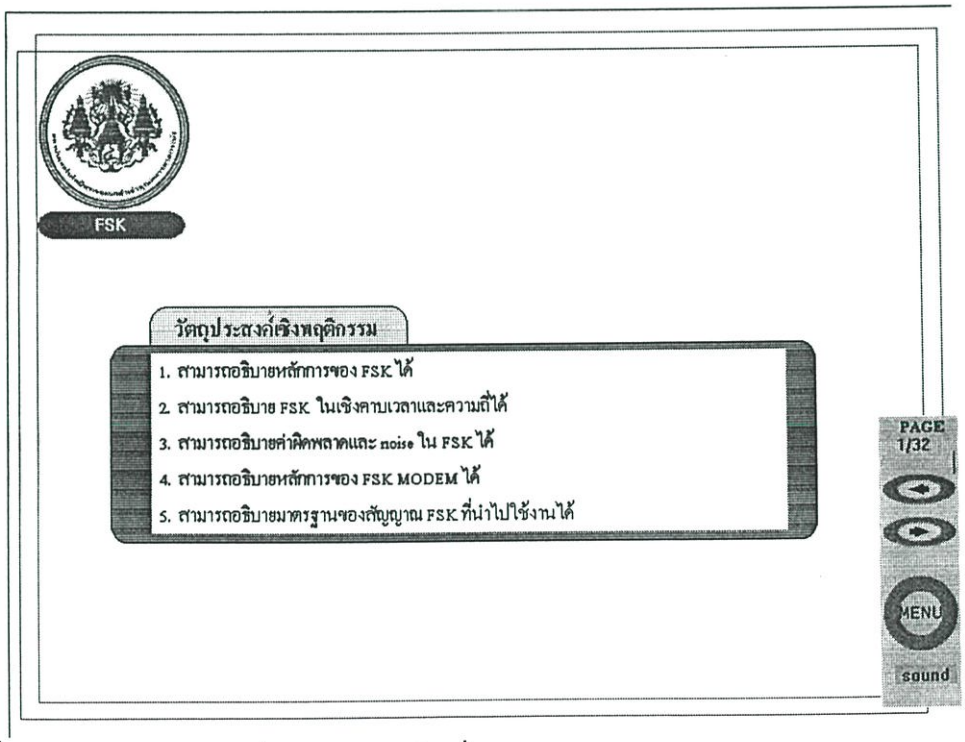
รูปที่ ค5 กรอบยินดีต้อนรับแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน ของเรื่อง ASK



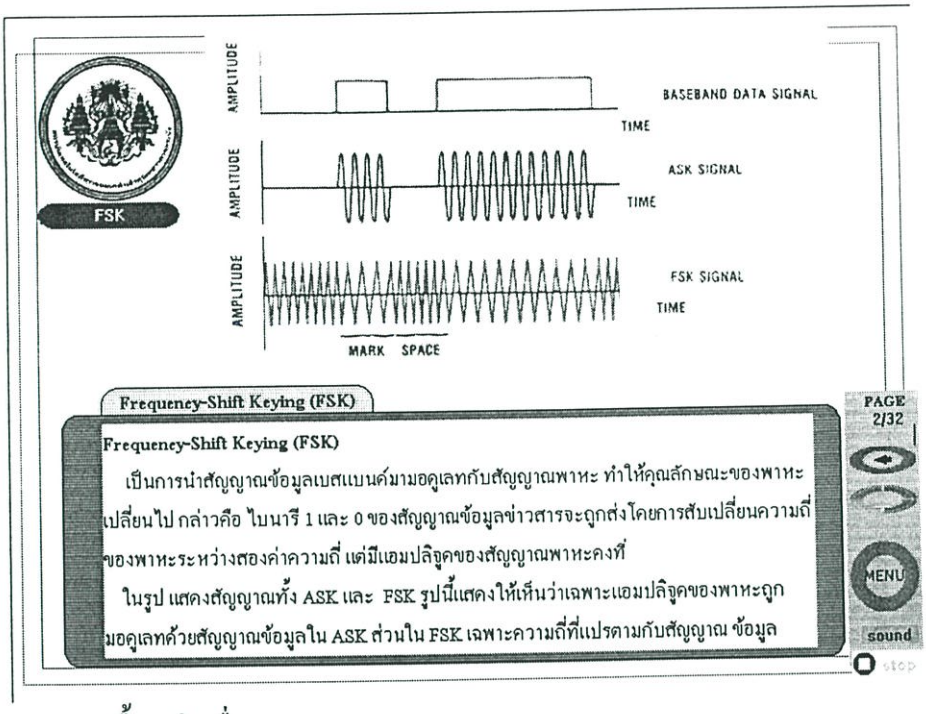
รูปที่ ค6 กรอบแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนในเรื่อง ASK



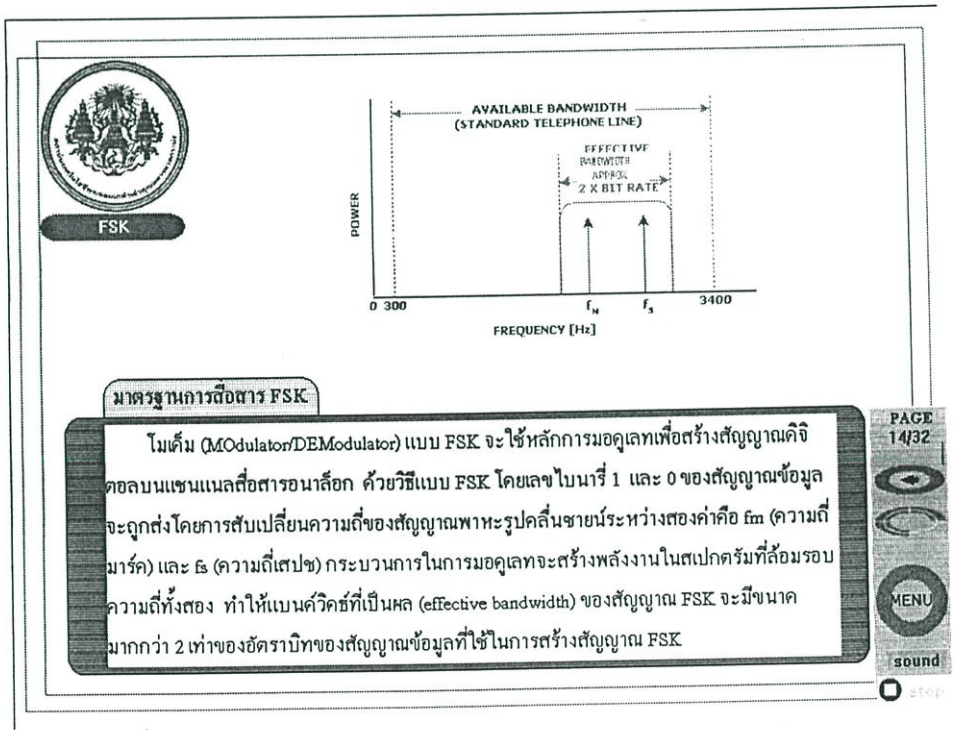
รูปที่ ค7 กรอบสรุปคะแนนแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน ในเรื่อง ASK



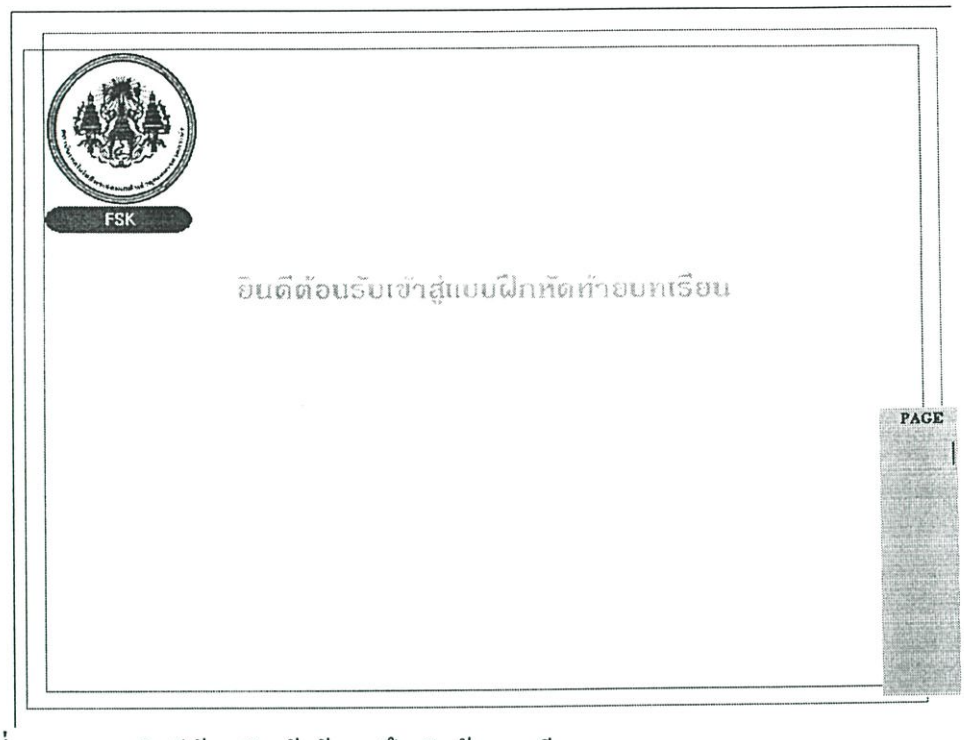
รูปที่ ค8 กรอบวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมในเรื่อง FSK



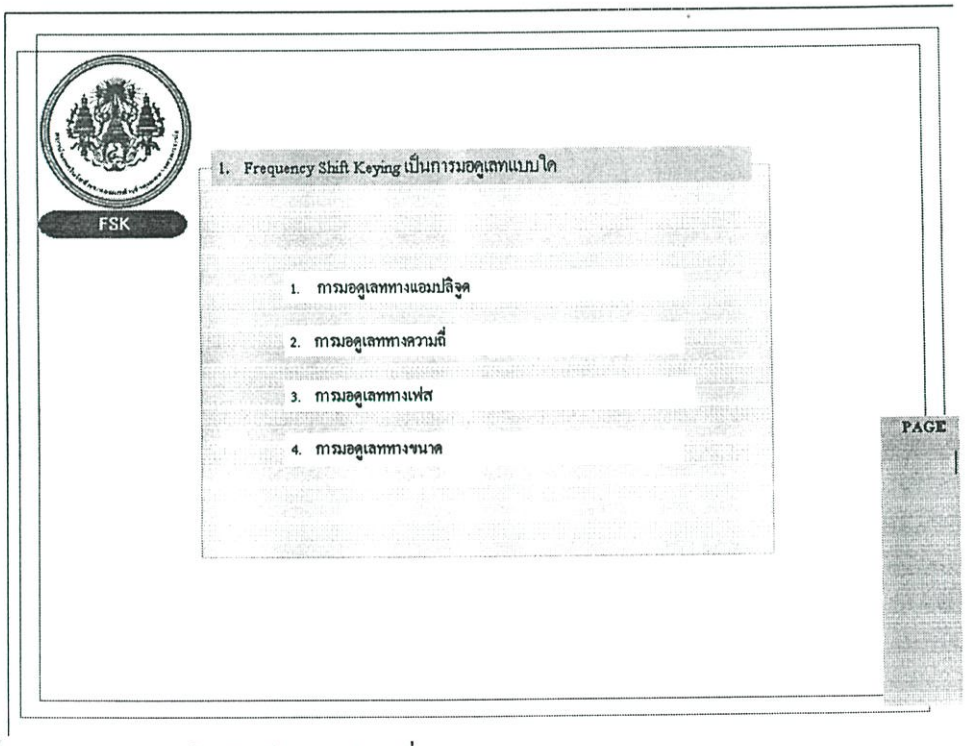
รูปที่ ค9 กรอบเนื้อหาในเรื่อง FSK



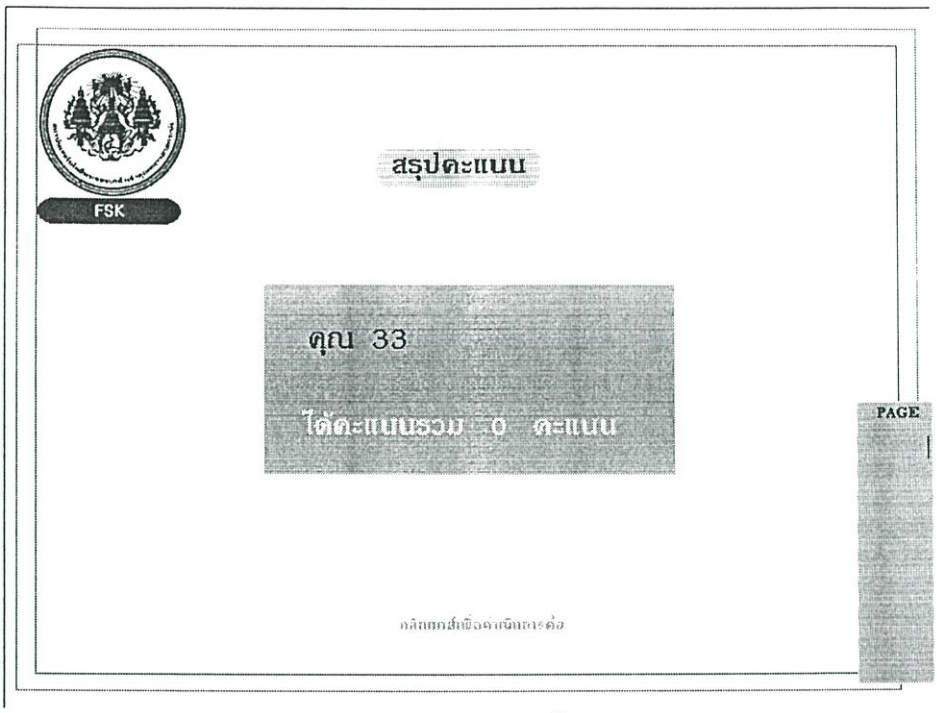
รูปที่ ค10 กรอบเนื้อหาในเรื่อง FSK



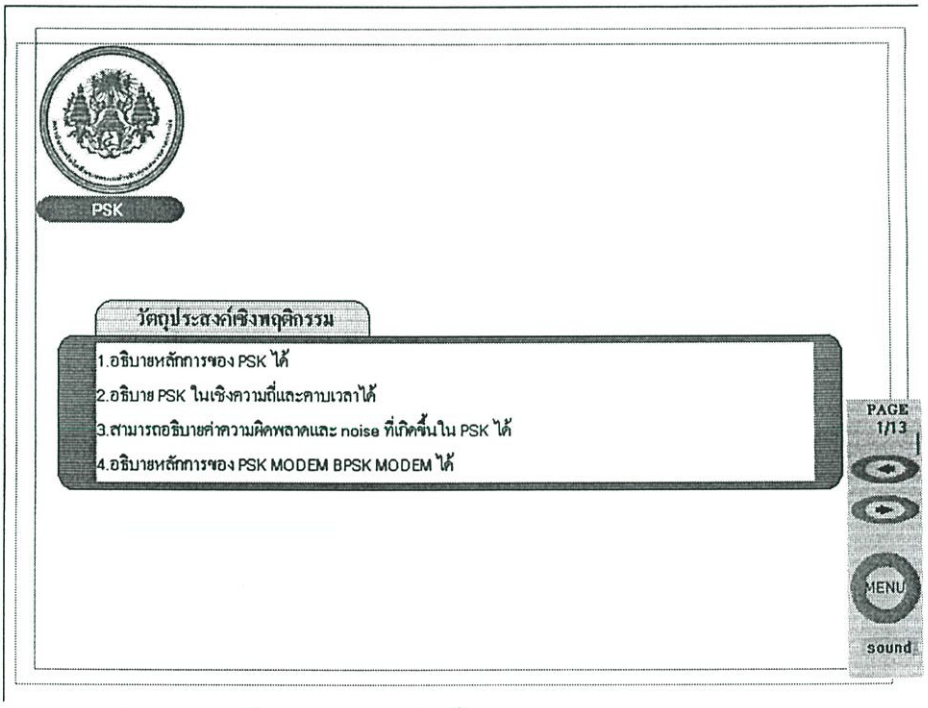
รูปที่ ค11 กรอบยินดีต้อนรับเข้าสู้แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน



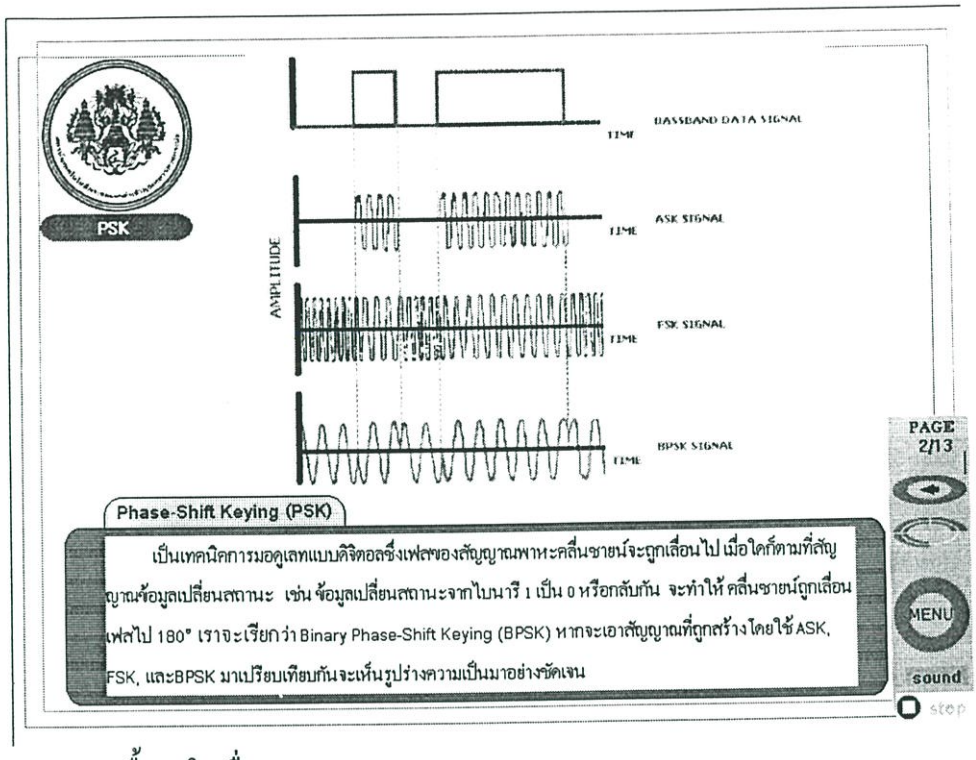
รูปที่ ค12 กรอบแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนเรื่อง FSK



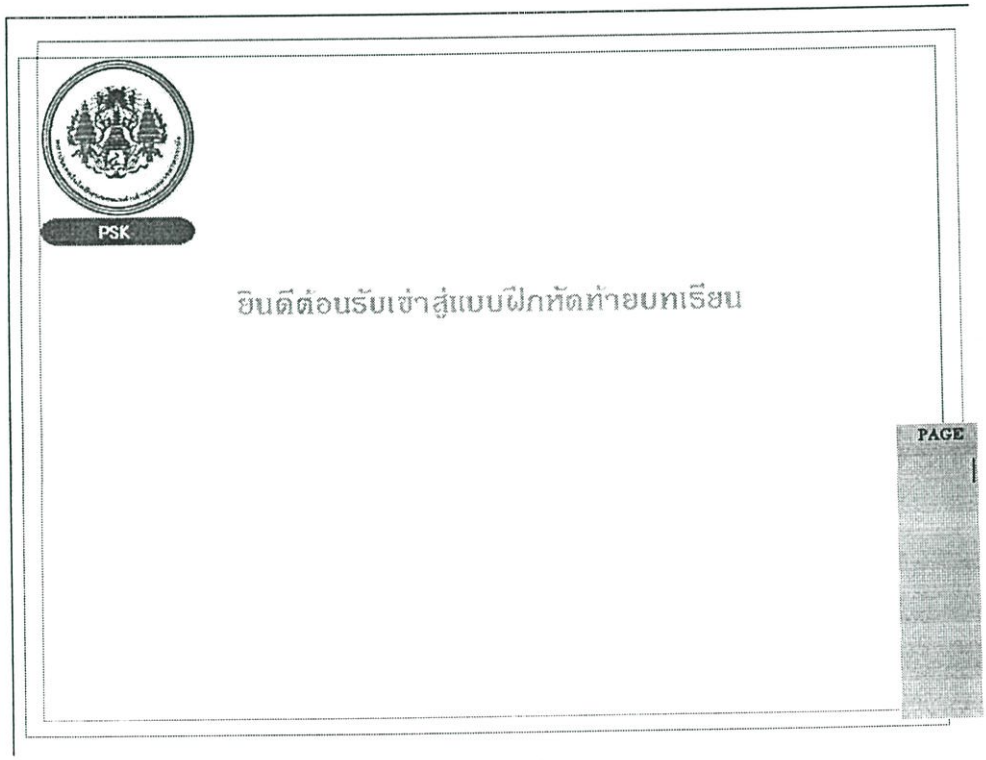
รูปที่ ค13 กรอบสรุปคะแนนแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนในเรื่อง FSK



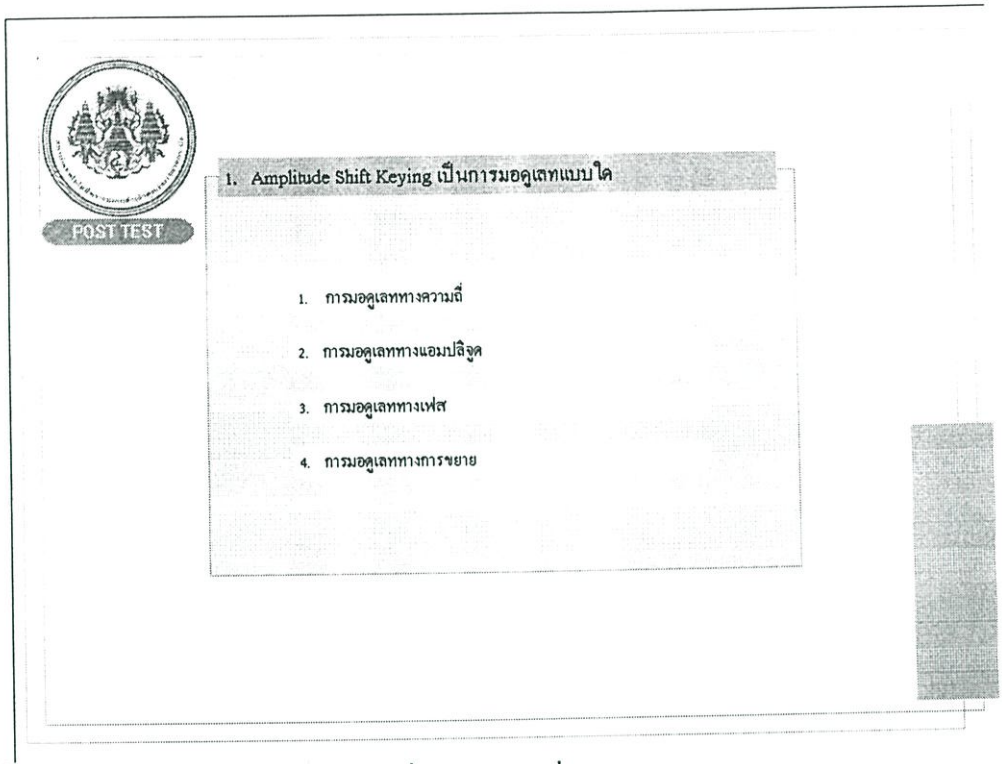
รูปที่ ค14 กรอบวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมในเรื่อง PSK



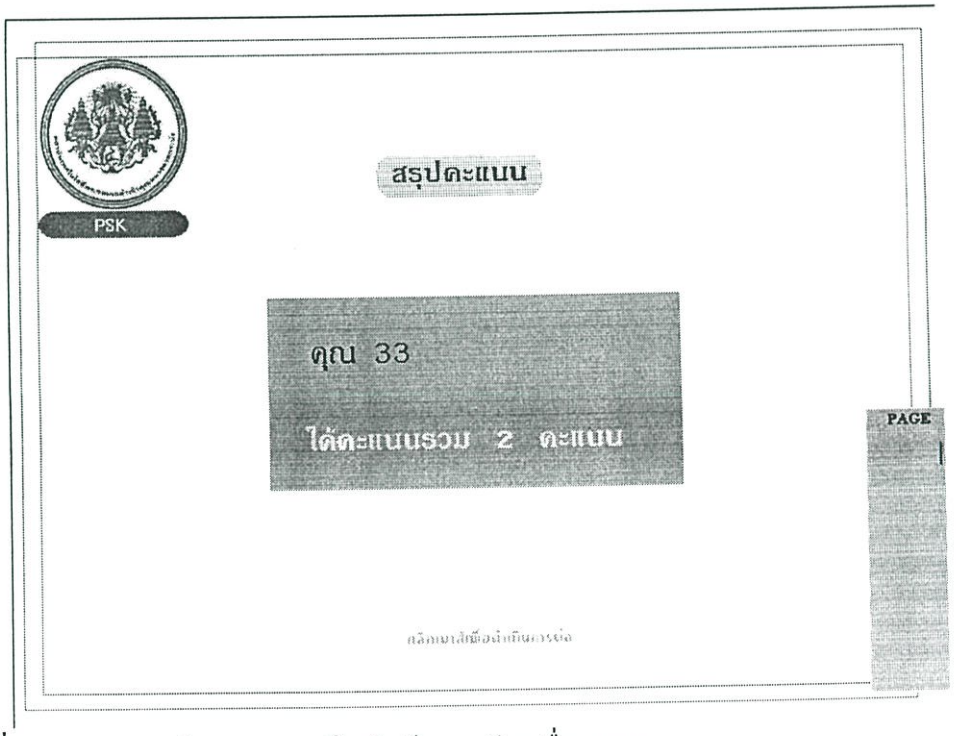
รูปที่ ค15 กรอบเนื้อหาในเรื่อง PSK



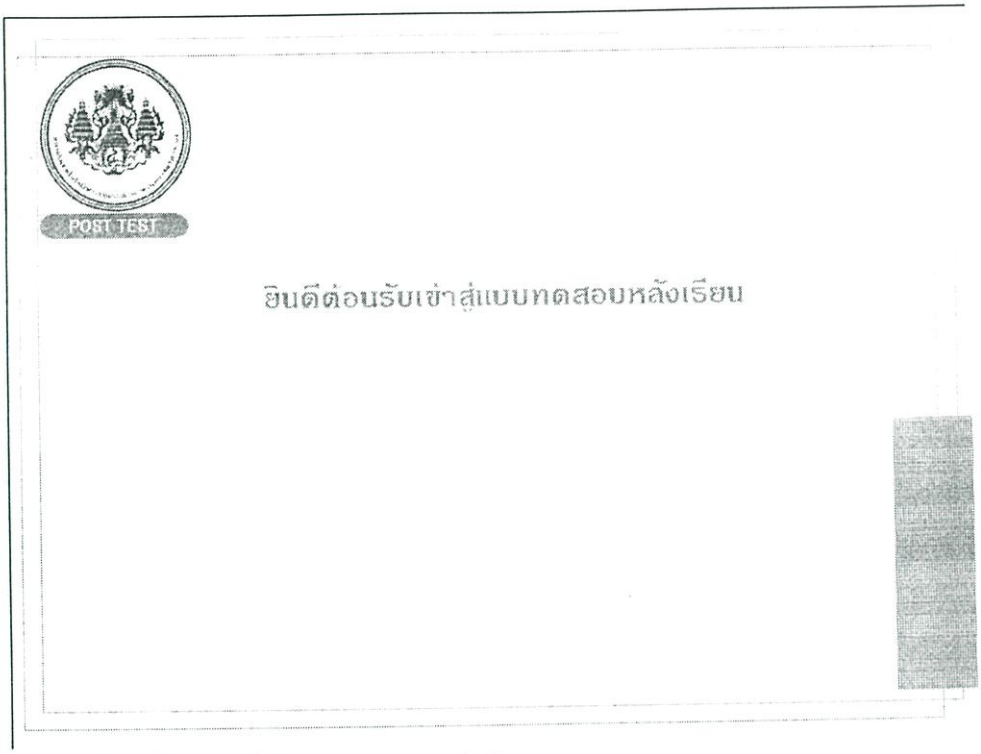
รูปที่ ค16 กรอบยินดีต้อนรับเข้าสู่แบบฝึกหัดระหว่างเรียน



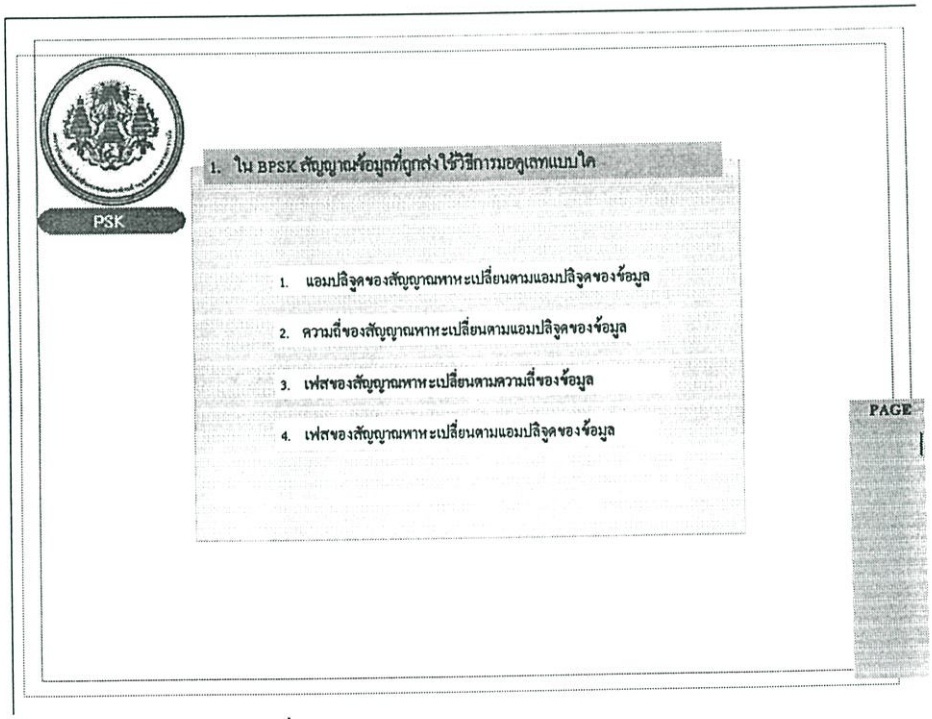
รูปที่ ค17 กรอบแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนเรื่อง PSK ข้อที่ 1



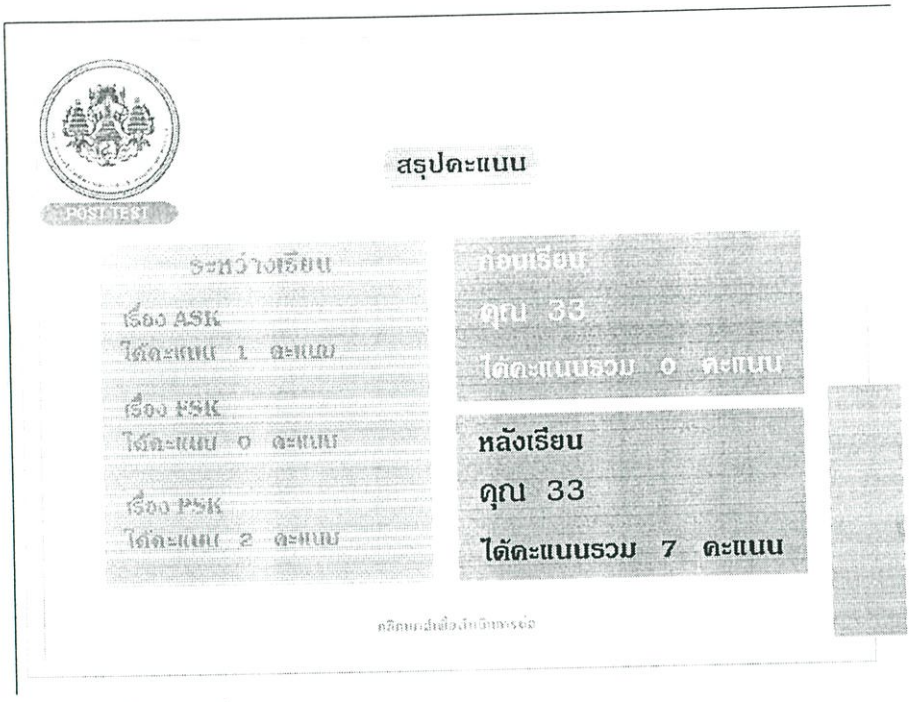
รูปที่ ค18 กรอบสรุปคะแนนแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนเรื่อง PSK



รูปที่ ค19 กรอบยินดีต้อนรับเข้าสู่แบบทดสอบหลังเรียน



รูปที่ ค20 กรอบแบบทดสอบข้อที่ 1



รูปที่ ค21 กรอบสรุปคะแนนในการทดสอบ

รูปที่ ค22 กรอบจบออกจากโปรแกรม

ภาคผนวก ง.

แบบทดสอบ

1. แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน
2. เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน
3. แบบทดสอบหลังเรียน
4. เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน

แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

ข้อสอบมีทั้งหมด 3 เรื่อง อยู่ท้ายบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแต่ละเรื่อง

เรื่องที่ 1 Amplitude Shift Keying

1. ข้อใดคือสัญญาณ ASK

ก. แอมปลิจูดของพาหะคงที่แต่ความถี่เปลี่ยนแปลง

ข. แอมปลิจูดของพาหะเปลี่ยนตามแอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูล

ค. ความถี่พาหะเปลี่ยนแปลงระหว่างสองความถี่ตามสัญญาณข้อมูล

ง. สัญญาณพาหะมีเฟสเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณข้อมูล

2. กำลังงานของสัญญาณรบกวนสีขาวเป็นอย่างไร

ก. เป็นสัดส่วนกับแบนด์วิดธ์ ข. ไม่ขึ้นอยู่กับแบนด์วิดธ์

ค. เป็นส่วนหนึ่งของแบนด์วิดธ์ ง. มีค่าไม่แน่นอน

3. เราใช้ลำดับไบนารีแบบสุ่มเทียมเพื่ออะไร

ก. ใช้สำหรับส่งข้อมูล ข. ใช้สำหรับผลิตสัญญาณข้อมูล

ค. ใช้จำลองสัญญาณข้อมูล ง. ใช้สำหรับทดสอบระบบส่งข้อมูล

4. เราใช้ลำดับไบนารีแบบสุ่มเทียมเพื่ออะไร

ก. ใช้สำหรับส่งข้อ ข. ใช้สำหรับผลิตสัญญาณข้อมูล

ค. ใช้จำลองสัญญาณข้อมูล ง. ใช้สำหรับทดสอบระบบส่งข้อมูล

5. ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดต่อบิทแสดงถึงสิ่งใด

ก. แสดงความผิดพลาดจริงๆ ว่าจะเกิดขึ้นเท่าใด

ข. แสดงถึงจำนวนความแน่นอนของความผิดพลาด

ค. แสดงว่าจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้น

ง. แสดงถึงประสิทธิภาพของการส่งข้อมูล

6. สเปกตรัมของสัญญาณ ASK ในโดเมนเวลามีลักษณะอย่างไร

ก. อยู่ในรูปของขนาดเปรียบเทียบกับแกนเวลา

ข. อยู่ในรูปของขนาดเปรียบเทียบกับแกนความถี่

ค. เหมือนกับในโดเมนความถี่

ง. มีรูปร่างไม่แน่นอน

เรื่องที่ 2 Frequency Shift Keying

7. Frequency Shift Keying เป็นการมอดูเลทแบบใด

ก. การมอดูเลททางแอมปลิจูด ข. การมอดูเลททางความถี่

ค. การมอดูเลททางเฟส ง. การมอดูเลททางขนาด

8. สิ่งใดที่ไม่ใช่ส่วนประกอบของสเปกตรัม FSK ในโดเมนความถี่

ก. ความถี่กึ่งกลาง ข. ความถี่เสปซ (f_s)

ค. ความถี่ของสัญญาณข้อมูล ง. ความถี่มาร์ค (f_m)

9. ข้อใดเป็นจุดเด่นของ FSK ในการตรวจสอบสัญญาณจากสัญญาณรบกวน

ก. ตรวจสอบเฉพาะสัญญาณความถี่มาร์คกับเทรดโชลด์

ข. ตรวจสอบเฉพาะสัญญาณความถี่เสปซกับเทรดโชลด์

ค. ตรวจสอบเทรดโชลด์กับสัญญาณข้อมูล

ง. ตรวจสอบทั้งสัญญาณมาร์คและเสปซกับเทรดโชลด์

10. สัญญาณควบคุมในโมเด็ม FSK คืออะไร

ก. อัตราส่วนของแรงดันต่อแรงดันรบกวน

ข. สัญญาณควบคุมการสื่อสารกับคอมพิวเตอร์หรือเทอร์มินอล

ค. สัญญาณที่ใช้ในการส่งจากโมเด็มเครื่องหนึ่งไปยังอีกเครื่องหนึ่ง

ง. สัญญาณที่ถูกปรับด้วยมือของโอเปอเรเตอร์

11. อัตราบิทในการส่งแบบ full duplex แบบสายสองเส้นเป็นอย่างไร

ก. อัตราบิทมีค่าต่ำและเท่ากันในสองทิศทาง

ข. อัตราบิทมีค่าสูงและเท่ากันในสองทิศทาง

ค. อัตราบิทมีค่าสูงในหนึ่งทิศทางและต่ำในอีกทิศทาง

ง. สามารถกำหนดได้เองตามใจชอบ

12. การส่งแบบใดที่ส่งได้สองทิศทางในเวลาเดียวกันด้วยอัตราบิท 1200 บิทต่อวินาที

ก. full duplex แบบสายสองเส้น ข. full duplex แบบสายสามเส้น

ค. full duplex แบบสายสี่เส้น ง. full duplex แบบสายแปดเส้น

13. ในการส่งแบบ half duplex แบนด์วิดธ์ที่ถูกใช้เป็นอย่างไร

ก. แบ่งออกเป็นสองแชนเนลไม่เท่ากัน ข. แบ่งออกเป็นสองแชนเนลเท่ากัน

ค. ใช้แชนเนลเดียวคือ main channel ง. ใช้แชนเนลเดียวคือ back channel

14. ในการส่ง back channel ในโมเด็ม CCITT V.23 ใช้การส่งแบบใด

ก. ASK ข. FSK

ค. PSK ง. ส่งแบบใดก็ได้

15. ในการส่ง back channel ในโมเด็ม Bell 202 ใช้การส่งแบบใด

ก. ASK ข. FSK

ค. PSK ง. ส่งแบบใดก็ได้

16. ในโมเด็มมาตรฐาน CCITTT V.23 ใช้อัตราการส่งข้อมูลเท่าใด

ก. ส่ง 1200 b/s รับ 300 b/s ข. ส่ง 300 b/s รับ 300 b/s

ค. ส่ง 1200 b/s รับ 75 b/s ง. ส่ง 1200 b/s รับ 5 b/s

เรื่องที่ 3 Phase Shift Keying

17. ใน BPSK สัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งใช้วิธีการมอดูเลทแบบใด

ก. แอมปลิจูดของสัญญาณพาหะเปลี่ยนตามแอมปลิจูดของข้อมูล

ข. ความถี่ของสัญญาณพาหะเปลี่ยนตามแอมปลิจูดของข้อมูล

ค. เฟสของสัญญาณพาหะเปลี่ยนตามความถี่ของข้อมูล

ง. เฟสของสัญญาณพาหะเปลี่ยนตามแอมปลิจูดของข้อมูล

18. ใน BPSK คลื่นพาหะถูกเลื่อนเฟสไปเท่าใด

ก. 90 องศา ข. 180 องศา

ค. 45 องศา ง. 22.5 องศา

19. สเปกตรัมของ BPSK คล้ายกับสเปกตรัมของ ASK แต่มีความแตกต่างที่สำคัญคืออะไร

ก. มีเฟสของสเปกตรัมเลื่อนไป 180 องศา ข. สเปกตรัมมีแบนด์วิดธ์กว้างกว่า

ค. องค์ประกอบของความถี่หายไป ง. องค์ประกอบของไฟ DC หายไป

20. สัญญาณ antipodal มีลักษณะอย่างไร

ก. มีความแตกต่างกันสองความถี่

ข. มีแอมปลิจูดที่แตกต่างกันสองค่า

ค. มีรูปร่างเหมือนกัน

ง. มีสองสถานะและมีรูปร่างเหมือนกันแต่มีขั้วตรงกันข้าม

เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

1. ข	6. ก	11. ก	16. ค
2. ก	7. ข	12. ค	17. ง
3. ง	8. ค	13. ก	18. ข
4. ง	9. ง	14. ข	19. ค
5. ง	10. ข	15. ก	20. ง

แบบทดสอบหลังเรียน

ข้อสอบมีทั้งหมด 3 เรื่อง อยู่ท้ายบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแต่ละเรื่อง

เรื่องที่ 1 Amplitude Shift Keying

1.Amplitude Shift Keying เป็นการมอดูเลทแบบใด

ก. การมอดูเลททางความถี่ ข. การมอดูเลททางแอมปลิจูด

ค. การมอดูเลททางเฟส ง. การมอดูเลททางการขยาย

2. การเกิดความผิดพลาดการส่งในระบบสื่อสารข้อมูลเกิดขึ้นเมื่อใด

ก. เมื่อแอมปลิจูดของสัญญาณรบกวนเกินครึ่งหนึ่งของแอมปลิจูดสัญญาณ

ข. เมื่อมีสัญญาณรบกวนในช่องสัญญาณ

ค. เมื่อสัญญาณรบกวนบวกหรือลบกับสัญญาณ

ง. เมื่อสัญญาณรบกวนเป็นบวกและสัญญาณเป็นลบ

3. ข้อใดไม่ใช่คุณลักษณะของ PRBS

ก. จำนวนไบนารี 1 และไบนารี 0 มีโอกาสเกิดขึ้นเท่ากัน

ข. การกระจายเชิงสถิติของความต่อเนื่องมีความยาวต่างกัน

ค. ไบนารี 1 น้อยกว่าไบนารี 0 อยู่ 1 บิท

ง. ความยาวของลำดับมีค่า 2^n-1 บิท

4. สัญญาณรบกวนใดมีอยู่ในทุกระบบสื่อสาร

ก. สัญญาณรบกวนแบบความร้อน

ข. สัญญาณรบกวนแบบอิมพัลซ์

ค. สัญญาณรบกวนจากเซิร์จช่วงสั้นๆ

ง. สัญญาณรบกวนจากแหล่งกำเนิดที่มนุษย์สร้างขึ้น

5. ข้อใดคือหน้าที่ของ Bit Error Rate Indicator

ก. ใช้แสดงอัตราบิทที่ไม่ถูกต้อง

ข. ใช้แสดงความน่าจะเป็นของความผิดพลาด

ค. ใช้วัดอัตราของความผิดพลาดในการส่ง

ง. ใช้แสดงการเปรียบเทียบของสัญญาณข้อมูล

6. สเปกตรัมของสัญญาณ ASK ในโดเมนความถี่มีลักษณะอย่างไร

ก. รูปร่างเหมือนกับสเปกตรัมของพาหะ

ข. รูปร่างเหมือนกับสเปกตรัมของสัญญาณข้อมูลเบสแบนด์

ค. อยู่กึ่งกลางความถี่พาหะ

ง. รูปร่างเหมือนกับสเปกตรัมของสัญญาณข้อมูลและอยู่กึ่งกลางความถี่พาหะ

เรื่องที่ 2 Frequency Shift Keying

7. Frequency Shift Keying ความถี่สัญญาณเป็นอย่างไร

ก. มีค่าความถี่คงที่

ข. แอมปลิจูดแปรผันตามค่ากำลังงานของสัญญาณพาหะ

ค. ความถี่เลื่อนอยู่ระหว่าง 2 ค่า ขึ้นอยู่กับสัญญาณข้อมูล

ง. แอมปลิจูดและความถี่เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณข้อมูล

8. สิ่งใดเป็นตัวกำหนดรูปร่างของสเปกตรัมในโดเมนความถี่ของ FSK

ก. ความถี่มาร์คและความถี่สเปซ ข. ความเบี่ยงเบนความถี่ และอัตราบิท

ค. แอมปลิจูดของพาหะ ง. แอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูล

9. ข้อใดเป็นสาเหตุของการดีมอดูเลทสัญญาณ FSK ผิดพลาด

ก. สัญญาณรบกวนมีระดับสูงกว่าสัญญาณข้อมูล

ข. ระดับสัญญาณแบนด์ A มีค่ามากกว่าแบนด์ B

ค. ผลรวมของสัญญาณมากกว่าสัญญาณรบกวน

ง. มีสัญญาณแต่ไม่มีสัญญาณรบกวน

10. ข้อใดไม่ใช่ส่วนประกอบหลักในโมเด็ม FSK

ก. Modulator / Demodulator ข. ภาคดิจิตอล

ค. ภาคอนาล็อก ง. สัญญาณควบคุม

11. โหมดการทำงานของโมเด็มขณะส่งแบบ Full Duplex เป็นอย่างไร

ก. โมเด็มตัวแรกอยู่ในโหมด originate และอีกตัวหนึ่งอยู่ในโหมด answer

ข. โมเด็มทั้งสองตัวต้องอยู่ในโหมด originate

ค. โมเด็มทั้งสองตัวต้องอยู่ในโหมด answer

ง. ควรอยู่ในโหมดใดโหมดหนึ่ง

12. การส่งข้อมูลในสองทิศทางในเวลาเดียวกันที่อัตราที่เท่ากันคือการส่งแบบใด

ก. การส่งแบบ half duplex ข. การส่งแบบ full duplex

ค. การส่งแบบ simplex duplex ง. การส่งแบบ super duplex

13. อัตราบิทในการส่งแบบ half duplex เป็นอย่างไร

ก. อัตราบิทเท่ากันในสองทิศทาง

ข. อัตราบิทต่ำมากในสองทิศทาง

ค. อัตราบิทสูงมากในสองทิศทาง

ง. อัตราบิทสูงมากในหนึ่งทิศทางและต่ำในหนึ่งทิศทาง

14. โมเด็มชนิดใดเป็นโมเด็มมาตรฐานแบบ full duplex

ก. CCITT V.21 ข. BELL 102

ค. CCITT V.23 ง. BELL 202

15. ในโมเด็มมาตรฐาน CCITT V.21 ใช้อัตราการส่งข้อมูลเท่าใด

ก. ส่ง 300 b/s รับ 300 b/s ข. 1200 b/s รับ 75 b/s

ค. ส่ง 1200 b/s รับ 5 b/s ง. 1200 b/s รับ 300 b/s

16. ในโมเด็มมาตรฐาน BELL 202 ใช้อัตราการส่งข้อมูลเท่าใด

ก. ส่ง 1200 b/s รับ 300 b/s ข. 300 b/s รับ 300 b/s

ค. ส่ง 1200 b/s รับ 75 b/s ง. 1200 b/s รับ 5 b/s

เรื่องที่ 2 Phase Shift Keying

17. สัญญาณ BPSK ถูกสร้างโดยใช้สิ่งใด

ก. ออดิโอมิกเซอร์ ข. บาลานซ์มอดเซอร์

ค. อันบาลานซ์มิกเซอร์ ง. การผลิตความถี่ของ VCO

18. ตัวสร้างพาหะขึ้นใหม่ในBPSK Demodulator ผลิตพาหะที่เสถียรภาพที่มีความถี่เหมือนพาหะเริ่มต้นได้อย่างไร.

ก. การฟิลเตอร์องค์ประกอบของพาหะจากสัญญาณ BPSK

ข. การประมาณค่าต่อเนื่องกันของความถี่พาหะ

ค. ล็อกเฟสใดเฟสหนึ่งที่เป็นไปได้ของสัญญาณ BPSK

ง. ใช้ PLL เป็นตัวสร้าง

19. จากคุณลักษณะทางเวลาและความถี่ของสัญญาณ BPSK แบนด์วิดธ์ที่เป็นผลมีค่าเท่าใด

ก. fc+Rb ข. Fc-Rb

ค. 2Rb ง. Rb

20. ประสิทธิภาพของสัญญาณ BPSK เป็นอย่างไร

ก. ประสิทธิภาพในสัญญาณรบกวนต่ำกว่าสัญญาณชนิดอื่นๆ

ข. ประสิทธิภาพในสัญญาณรบกวนสูงกว่าสัญญาณชนิดอื่นๆ

ค. ประสิทธิภาพในสัญญาณรบกวนเท่ากันสัญญาณชนิดอื่นๆ

ง. อัตราส่วนต่อสัญญาณรบกวนดีกว่าสัญญาณชนิดอื่นๆ

เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน

1. ข	6. ง	11. ก	16. ง
2. ง	7. ค	12. ข	17. ข
3. ค	8. ข	13. ง	18. ค
4. ก	9. ก	14. ก	19. ค
5. ค	10. ง	15. ก	20. ข

ภาคผนวก จ.

แบบประเมินสื่อการสอน

แบบประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันอาชีวศึกษา พ.ศ. 2546 (ด้านการผลิตสื่อ)

แบบประเมินชุดนี้เป็นแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิเกี่ยวกับทบเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันอาชีวศึกษา พ.ศ. 2546

คำชี้แจง

แบบประเมินชุดนี้ แบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 แบบประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันอาชีวศึกษา พ.ศ. 2546 ตามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ใน ด้านความเหมาะสม และความถูกต้องของสื่อการเรียนการสอน

ตอนที่ 2 แบบสอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็น และข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

การประเมิน

ตอนที่ 1 กรุณาใส่เครื่องหมาย □ ลงในช่องระดับการประเมินเพียงช่องเดียว โดยระดับคะแนนจะแสดงความหมายดังนี้

ระดับคะแนน 5 หมายถึง ดีมาก

ระดับคะแนน 4 หมายถึง ดี

ระดับคะแนน 3 หมายถึง ปานกลาง

ระดับคะแนน 2 หมายถึง พอใช้

ระดับคะแนน 1 หมายถึง ควรปรับปรุง

ตอนที่ 2 โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ โดยลำดับหัวข้อตามระดับความสำคัญ

ตอนที่1 แบบประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันอาชีวศึกษา พ.ศ. 2546 ตามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ในด้านความเหมาะสม และความถูกต้องของสื่อการเรียนการสอน

ระบบสื่อสารดิจิตอล					
บทเรียนที่..... เรื่อง					
รายการประเมิน	ระดับการประเมิน				
	5	4	3	2	1
1. ความเหมาะสมในการนำเข้าสู่เนื้อหา					
2. ความเหมาะสมของวิธีการนำเสนอ					
3. การวางรูปแบบของหน้าจอ					
4. ความถูกต้องและชัดเจนในการอธิบายเนื้อหา					
5. ความชัดเจนในการสรุปเนื้อหา					
6. ความเหมาะสมของรูปภาพในการสื่อความหมายของเนื้อหา					
7. การจัดวางตำแหน่งรูปภาพ					
8. ขนาดของรูปภาพและตัวอักษรที่นำมาใช้					
9. ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร และสีที่ใช้					
10. ความเหมาะสมของภาพกราฟิก					
11.บทเรียนมีลักษณะจูงใจน่าสนใจในการเรียน					
12. ภาพเคลื่อนไหวที่ใช้					

ตอนที่ 2 แบบสอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็น และข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

แบบประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล
เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันอาชีวศึกษา พ.ศ. 2546
(ด้านเนื้อหา)

แบบประเมินชุดนี้เป็นแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิเกี่ยวกับทบเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันอาชีวศึกษา พ.ศ. 2546

คำชี้แจง

แบบประเมินชุดนี้ แบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 แบบประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่องดิจิตอลมอดูเลชั่น หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันอาชีวศึกษา พ.ศ. 2546 ตามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ใน ด้านความเหมาะสม และความถูกต้องของสื่อการเรียนการสอน

ตอนที่ 2 แบบสอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็น และข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

การประเมิน

ตอนที่ 1 กรุณาใส่เครื่องหมาย □ ลงในช่องระดับการประเมินเพียงช่องเดียว โดยระดับคะแนนจะแสดงความ

หมายดังนี้

ระดับคะแนน 5 หมายถึง ดีมาก

ระดับคะแนน 4 หมายถึง ดี

ระดับคะแนน 3 หมายถึง ปานกลาง

ระดับคะแนน 2 หมายถึง พอใช้

ระดับคะแนน 1 หมายถึง ควรปรับปรุง

ตอนที่ 2 โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ โดยลำดับหัวข้อตามระดับความสำคัญ

ตอนที่ 1 แบบประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอล เรื่อง ดิจิตอลมอดูเลชั่น หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันอาชีวศึกษา พ.ศ. 2546 ตามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ในด้านความเหมาะสม และความถูกต้องของเนื้อหาวิชา

ระบบสื่อสารดิจิตอล					
บทเรียนที่..... เรื่อง					
รายการประเมิน	ระดับการประเมิน				
	5	4	3	2	1
1. เนื้อหามีความสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม					
2. เนื้อหามีความเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน					
3. การนำเข้าสู่บทเรียน					
4. ความถูกต้องของเนื้อหา					
5. ลำดับขั้นการนำเสนอเนื้อหา					
6. ความชัดเจนในการอธิบาย และสรุปเนื้อหา					
7. ผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจบทเรียนได้ง่าย แม้ไม่เคยศึกษาเนื้อหาวิชานี้มาก่อน					
8. บทเรียนมีลักษณะจูงใจ และน่าสนใจในการเรียน					
9. บทเรียนสามารถนำไปใช้งานในการเรียนการสอนทั่วๆ ไปได้					

ตอนที่ 2 แบบสอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็น และข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

ภาคผนวก ฉ.

ผลการคำนวณทางสถิติ

1. ค่าดัชนีความสอดคล้อง ค่าความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนก
2. การประเมินสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
3. การหาค่าประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
4. การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

- ความสอดคล้องของแบบทดสอบกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

ตารางที่ ฉ1 ผลการประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของผู้ทรงคุณวุฒิเกี่ยวกับข้อสอบของด้านเนื้อหา จำนวน 3 คน

บทที่	ข้อที่	คะแนนความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ			รวม	IOC	ความหมาย
		คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3			
1	1	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	2	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	3	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	4	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	5	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	6	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
2	7	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	8	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	9	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	10	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	11	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	12	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	13	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	14	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	15	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	16	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
3	17	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	18	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	19	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	20	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้

ตารางที่ ฉ2 ผลการประเมินความสอดคล้องของแบบฝึกหัดระหว่างเรียนกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของผู้ทรงคุณวุฒิเกี่ยวกับข้อสอบของด้านเนื้อหา จำนวน 3 คน

บทที่	ข้อที่	คะแนนความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ			รวม	IOC	ความหมาย
		คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3			
1	1	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	2	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	3	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	4	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	5	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	6	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
2	7	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	8	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	9	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	10	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	11	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	12	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	13	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	14	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	15	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	16	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
3	17	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	18	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	19	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้
	20	+1	+1	+1	3	1	สอดคล้อง/ใช้ได้

ตารางที่ ฉ3 แสดงค่าความยาก (P) และค่าอำนาจจำแนก (D) ของแบบทดสอบ จำนวน 20 ข้อ ของนักศึกษาระดับ ปวส.2 จำนวน 30 คน ที่เคยเรียนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอลมาแล้ว

ข้อที่	เก่ง(R_U)	อ่อน(R_L)	จำนวนตอบถูก	p	D = (R_U-R_L)/(N/2)
1	15	5	20	0.67	0.67
2	10	5	15	0.50	0.33
3	13	7	20	0.67	0.40
4	13	5	18	0.60	0.53
5	13	6	19	0.63	0.47
6	11	6	17	0.57	0.33
7	12	7	19	0.63	0.33
8	11	5	16	0.53	0.40
9	14	8	22	0.73	0.40
10	10	5	15	0.50	0.33
11	13	7	20	0.67	0.40
12	11	5	16	0.53	0.40
13	14	4	18	0.60	0.67
14	13	7	20	0.67	0.40
15	11	7	18	0.60	0.27
16	15	5	20	0.67	0.67
17	14	4	18	0.60	0.67
18	10	4	14	0.47	0.40
19	13	6	19	0.63	0.47
20	11	6	17	0.57	0.33
			ค่าเฉลี่ย	0.60	0.44

ตารางที่ ฉ4 ค่าดัชนีความสอดคล้องค่าความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ

	ค่าดัชนีความสอดคล้อง	ค่าความยากง่าย	ค่าอำนาจจำแนก
ค่าเฉลี่ย	**1.0**	**0.60**	**0.44**

ตารางที่ ฉ5 แสดงค่าความยาก (P) และค่าอำนาจจำแนก (D) ของแบบฝึกหัดระหว่างเรียน จำนวน 20 ข้อ ของนักศึกษาระดับ ปวส.2 จำนวน 30 คน ที่เคยเรียนวิชาระบบสื่อสารดิจิตอลมาแล้ว

ข้อที่	เก่ง(R_U)	อ่อน(R_L)	จำนวนตอบถูก	p	$D = (R_U-R_L)/(N/2)$
1	11	6	17	0.57	0.33
2	13	6	19	0.63	0.47
3	11	5	16	0.53	0.40
4	14	6	20	0.67	0.53
5	13	5	18	0.60	0.53
6	11	6	17	0.57	0.33
7	13	5	18	0.60	0.53
8	14	6	20	0.67	0.53
9	13	6	19	0.63	0.47
10	12	6	18	0.60	0.40
11	10	5	15	0.50	0.33
12	11	6	17	0.57	0.33
13	11	4	15	0.50	0.47
14	13	7	20	0.67	0.40
15	10	6	16	0.53	0.27
16	12	6	18	0.60	0.40
17	13	7	20	0.67	0.40
18	11	6	17	0.57	0.33
19	12	5	17	0.57	0.47
20	11	7	18	0.60	0.27
			ค่าเฉลี่ย	0.59	0.41

ตารางที่ ฉ6 ค่าดัชนีความสอดคล้องค่าความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนกของแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

	ค่าดัชนีความสอดคล้อง	ค่าความยากง่าย	ค่าอำนาจจำแนก
ค่าเฉลี่ย	**1.0**	**0.59**	**0.41**

ค่าความเชื่อมั่น

ตารางที่ ฉ7 การหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ

ข้อที่	X	X^2	p	q	p.q
1	20	400	0.67	0.33	0.22
2	15	225	0.50	0.50	0.25
3	20	400	0.67	0.33	0.22
4	18	324	0.60	0.40	0.24
5	19	361	0.63	0.37	0.23
6	17	289	0.57	0.43	0.25
7	19	361	0.63	0.37	0.23
8	16	256	0.53	0.47	0.25
9	22	484	0.73	0.27	0.20
10	15	225	0.50	0.50	0.25
11	20	400	0.67	0.33	0.22
12	16	256	0.53	0.47	0.25
13	18	324	0.60	0.40	0.24
14	20	400	0.67	0.33	0.22
15	18	324	0.60	0.40	0.24
16	20	400	0.67	0.33	0.22
17	18	324	0.60	0.40	0.24
18	14	196	0.47	0.53	0.25
19	19	361	0.63	0.37	0.23
20	17	289	0.57	0.43	0.25
รวม	361	6599	0.601667	รวม	4.70

จากการคำนวณหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบได้ 0.97

ตารางที่ ฉ8 การหาค่าความเชื่อมั่นของแบบฝึกหัดระหว่างเรียน

ข้อที่	x	X^2	p	q	p.q
1	17	289	0.57	0.43	0.25
2	19	361	0.63	0.37	0.23
3	16	256	0.53	0.47	0.25
4	20	400	0.67	0.33	0.22
5	18	324	0.60	0.40	0.24
6	17	289	0.57	0.43	0.25
7	18	324	0.60	0.40	0.24
8	20	400	0.67	0.33	0.22
9	19	361	0.63	0.37	0.23
10	18	324	0.60	0.40	0.24
11	15	225	0.50	0.50	0.25
12	17	289	0.57	0.43	0.25
13	15	225	0.50	0.50	0.25
14	20	400	0.67	0.33	0.22
15	16	256	0.53	0.47	0.25
16	18	324	0.60	0.40	0.24
17	20	400	0.67	0.33	0.22
18	17	289	0.57	0.43	0.25
19	17	289	0.57	0.43	0.25
20	18	324	0.60	0.40	0.24
รวม	355	6349	0.591667	รวม	4.78

จากการคำนวณหาค่าความเชื่อมั่นของแบบฝึกหัดระหว่างเรียนได้ค่า 0.96

ตารางที่ ฉ9 ผลการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ ด้านเนื้อหา จากผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน บทที่ 1 เรื่อง Amplitude Shift Keying

รายการ	ระดับความคิดเห็น			$\overline{X}$	S.D.	ความหมาย
	คนที่1	คนที่2	คนที่3			
1. เนื้อหามีความสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม	4	5	5	4.67	0.58	ดีมาก
2. เนื้อหามีความเหมาะสมกับระดับของนักศึกษา	5	5	5	5	0	ดีมาก
3. การนำเข้าสู่บทเรียน	4	5	5	4.67	0.58	ดีมาก
4. ความถูกต้องของเนื้อหา	5	5	5	5	0	ดีมาก
5. ลำดับขั้นการนำเสนอเนื้อหา	5	5	5	5	0	ดีมาก
6. ความชัดเจนในการอธิบายและสรุปเนื้อหา	4	5	4	4.33	0.58	ดี
7. นักศึกษาสามารถทำความเข้าใจบทเรียนได้ง่าย แม้ไม่เคยศึกษาเนื้อหาวิชานี้มาก่อน	4	5	4	4.33	0.58	ดี
8. บทเรียนมีลักษณะจูงใจ และน่าสนใจในการเรียน	5	5	4	4.67	0.58	ดีมาก
9. บทเรียนสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนทั่วๆไปได้	4	5	5	4.67	0.58	ดีมาก
รวม				42.3	2.52	
ค่าเฉลี่ย				4.7	0.28	ดีมาก

ผลการประเมินเฉลี่ยจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 3 ท่านอยู่ในระดับ 4.7 (ดีมาก) S.D. มีค่า 0.28

ตารางที่ ฉ9 (ต่อ) ผลการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ ด้านเนื้อหา จากผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน

บทที่ 2 เรื่อง Frequency Shift Keying

รายการ	ระดับความคิดเห็น			$\overline{X}$	S.D.	ความหมาย
	คนที่1	คนที่2	คนที่3			
1. เนื้อหามีความสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม	4	5	4	4.33	0.58	ดี
2. เนื้อหามีความเหมาะสมกับระดับของนักศึกษา	5	5	4	4.67	0.58	ดีมาก
3. การนำเข้าสู่บทเรียน	4	5	4	4.33	0.58	ดี
4. ความถูกต้องของเนื้อหา	5	5	5	5	0	ดีมาก
5. ลำดับขั้นการนำเสนอเนื้อหา	5	5	5	5	0	ดีมาก
6. ความชัดเจนในการอธิบายและสรุปเนื้อหา	4	5	5	4.67	0.58	ดีมาก
7. นักศึกษาสามารถทำความเข้าใจบทเรียนได้ง่าย แม้ไม่เคยศึกษาเนื้อหาวิชานี้มาก่อน	4	5	5	4.67	0.58	ดีมาก
8. บทเรียนมีลักษณะจูงใจ และน่าสนใจในการเรียน	5	5	4	4.67	0.58	ดีมาก
9. บทเรียนสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนทั่วๆไปได้	4	5	5	4.67	0.58	ดีมาก
รวม				42	2.65	
ค่าเฉลี่ย				4.67	0.29	ดีมาก

ผลการประเมินเฉลี่ยจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 3 ท่านอยู่ในระดับ 4.67 (ดีมาก) S.D. มีค่า 0.29

ตารางที่ ฉ9 (ต่อ) ผลการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ ด้านเนื้อหา จากผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน บทที่ 3 เรื่อง Phase Shift Keying

รายการ	ระดับความคิดเห็น			$\overline{X}$	S.D.	ความหมาย
	คนที่1	คนที่2	คนที่3			
1. เนื้อหามีความสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม	4	5	4	4.33	0.58	ดี
2. เนื้อหามีความเหมาะสมกับระดับของนักศึกษา	5	5	5	5	0	ดีมาก
3. การนำเข้าสู่บทเรียน	4	5	5	4.67	0.58	ดีมาก
4. ความถูกต้องของเนื้อหา	5	5	5	5	0	ดีมาก
5. ลำดับขั้นการนำเสนอเนื้อหา	5	5	5	5	0	ดีมาก
6. ความชัดเจนในการอธิบายและสรุปเนื้อหา	4	5	4	4.33	0.58	ดี
7. นักศึกษาสามารถทำความเข้าใจบทเรียนได้ง่าย แม้ไม่เคยศึกษาเนื้อหาวิชานี้มาก่อน	4	5	4	4.33	0.58	ดี
8. บทเรียนมีลักษณะจูงใจ และน่าสนใจในการเรียน	5	5	4	4.67	0.58	ดีมาก
9. บทเรียนสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนทั่วๆไปได้	4	5	4	4.33	0.58	ดี
รวม				41.7	2.89	
ค่าเฉลี่ย				4.63	0.32	ดีมาก

ผลการประเมินเฉลี่ยจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 3 ท่านอยู่ในระดับ 4.63 (ดีมาก) S.D. มีค่า 0.32

ตารางที่ ฉ10 แสดงค่าสรุปในด้านเนื้อหาของค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

หน่วยการเรียน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
เรื่อง Amplitude Shift Keying	4.70	0.28	ดีมาก
เรื่อง Frequency Shift Keying	4.67	0.29	ดีมาก
เรื่อง Phase Shift Keying	4.63	0.32	ดีมาก
รวมเฉลี่ย	4.67	0.296	ดีมาก

ตารางที่ ฉ11 ผลการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ จากผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน

บทที่ 1 เรื่อง Amplitude Shift Keying

รายการ	ระดับความคิดเห็น			$\overline{X}$	S.D.	ความหมาย
	คนที่1	คนที่2	คนที่3			
1. ความเหมาะสมในการนำเข้าสู่เนื้อหา	4	4	4	4	0	ดี
2. ความเหมาะสมของวิธีการนำเสนอ	4	4	4	4	0	ดี
3. การวางรูปแบบของหน้าจอ	4	4	5	4.33	0.58	ดี
4. ความถูกต้องและชัดเจนในการอธิบายเนื้อหา	4	3	5	4	1	ดี
5. ความชัดเจนในการสรุปเนื้อหา	4	4	5	4.33	0.58	ดี
6. ความเหมาะสมของรูปภาพในการสื่อความหมายของเนื้อหา	4	3	4	3.67	0.58	ดี
7. การจัดวางตำแหน่งรูปภาพ	5	3	4	4	1	ดี
8. ขนาดของรูปภาพและตัวอักษรที่นำมาใช้	4	4	3	3.67	0.58	ดี
9. ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร และสีที่ใช้	4	4	4	4	0	ดี
10. ความเหมาะสมของภาพกราฟิก	5	4	4	4.33	0.58	ดี
11.บทเรียนมีลักษณะจูงใจน่าสนใจในการเรียน	4	4	5	4.33	0.58	ดี
12. ภาพเคลื่อนไหวที่ใช้	5	4	4	4.33	0.58	ดี
รวม				49	3.46	
ค่าเฉลี่ย				4.08	0.29	ดี

ผลการประเมินเฉลี่ยจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 3 ท่านอยู่ในระดับ 4.08 (ดี) และ S.D. มีค่า 0.29

ตารางที่ ฉ11(ต่อ) ผลการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ จากผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน

บทที่ 2 เรื่อง Frequency Shift Keying

รายการ	ระดับความคิดเห็น			$\overline{X}$	S.D.	ความหมาย
	คนที่1	คนที่2	คนที่3			
1. ความเหมาะสมในการนำเข้าสู่เนื้อหา	4	4	4	4	0	ดี
2. ความเหมาะสมของวิธีการนำเสนอ	4	4	4	4	0	ดี
3. การวางรูปแบบของหน้าจอ	5	3	5	4.33	1.15	ดี
4. ความถูกต้องและชัดเจนในการอธิบายเนื้อหา	4	4	5	4.33	0.58	ดี
5. ความชัดเจนในการสรุปเนื้อหา	4	4	5	4.33	0.58	ดี
6. ความเหมาะสมของรูปภาพในการสื่อความหมายของเนื้อหา	4	4	3	3.67	0.58	ดี
7. การจัดวางตำแหน่งรูปภาพ	5	4	4	4.33	0.58	ดี
8. ขนาดของรูปภาพและตัวอักษรที่นำมาใช้	4	3	4	3.67	0.58	ดี
9. ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร และสีที่ใช้	4	4	3	3.67	0.58	ดี
10. ความเหมาะสมของภาพกราฟิก	5	3	4	4	1	ดี
11.บทเรียนมีลักษณะจูงใจน่าสนใจในการเรียน	4	3	5	4	1	ดี
12. ภาพเคลื่อนไหวที่ใช้	5	4	4	4.33	0.58	ดี
รวม				48.7	4.16	
ค่าเฉลี่ย				4.06	0.35	ดี

ผลการประเมินเฉลี่ยจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 3 ท่านอยู่ในระดับ 4.06 (ดี) และ S.D. มีค่า 0.35

ตารางที่ ฉ11 (ต่อ) ผลการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ จากผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน

บทที่ 3 เรื่อง Phase Shift Keying

รายการ	ระดับความคิดเห็น			$\overline{X}$	S.D.	ความหมาย
	คนที่1	คนที่2	คนที่3			
1. ความเหมาะสมในการนำเข้าสู่เนื้อหา	4	4	4	4	0	ดี
2. ความเหมาะสมของวิธีการนำเสนอ	4	4	4	4	0	ดี
3. การวางรูปแบบของหน้าจอ	4	3	5	4	1	ดี
4. ความถูกต้องและชัดเจนในการอธิบายเนื้อหา	4	4	5	4.33	0.58	ดี
5. ความชัดเจนในการสรุปเนื้อหา	3	4	5	4	1	ดี
6. ความเหมาะสมของรูปภาพในการสื่อความหมายของเนื้อหา	5	3	3	3.67	1.15	ดี
7. การจัดวางตำแหน่งรูปภาพ	5	4	4	4.33	0.58	ดี
8. ขนาดของรูปภาพและตัวอักษรที่นำมาใช้	4	4	3	3.67	0.58	ดี
9. ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร และสีที่ใช้	4	4	3	3.67	0.58	ดี
10. ความเหมาะสมของภาพกราฟิก	4	4	4	4	0	ดี
11.บทเรียนมีลักษณะจูงใจน่าสนใจในการเรียน	4	3	5	4	1	ดี
12. ภาพเคลื่อนไหวที่ใช้	4	4	4	4	0	ดี
รวม				47.7	2.31	
ค่าเฉลี่ย				3.97	0.19	ดี

ผลการประเมินเฉลี่ยจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 3 ท่านอยู่ในระดับ 3.97 (ดี) และ S.D. มีค่า 0.19

ตารางที่ ฉ12 แสดงค่าสรุปในด้านเทคนิคการผลิตสื่อของค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

หน่วยการเรียน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
เรื่อง Amplitude Shift Keying	4.08	0.29	ดี
เรื่อง Frequency Shift Keying	4.06	0.35	ดี
เรื่อง Phase Shift Keying	3.97	0.19	ดี
รวมเฉลี่ย	4.037	0.276	ดี

ตารางที่ ฉ13 การหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์โดยการนำแบบทดสอบไปใช้กับนักศึกษาที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 3 คน

คนที่	แบบฝึกหัดระหว่างเรียน	แบบทดสอบหลังเรียน
1 (อ่อน)	10	13
2 (ปานกลาง)	12	14
3 (เก่ง)	14	15
รวม	36	42

ตารางที่ ฉ14 ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ใช้กับนักศึกษาจำนวน 3 คน

รายการ	N	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ยที่ได้	ร้อยละ	เกณฑ์ร้อยละ
คะแนนแบบฝึกหัด	3	20	12	60	80
คะแนนทดสอบหลังเรียน	3	20	14	70	80

ตารางที่ ฉ15 การหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์โดยการนำแบบทดสอบไปใช้กับนักศึกษาที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 6 คน

คนที่	แบบฝึกหัดระหว่างเรียน	แบบทดสอบหลังเรียน
1 (อ่อน)	12	12
2 (อ่อน)	13	13
3 (ปานกลาง)	15	15
4 (ปานกลาง)	15	16
5 (เก่ง)	17	18
6 (เก่ง)	18	19
รวม	90	93

ตารางที่ ฉ16 ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ใช้กับนักศึกษาจำนวน 6 คน

รายการ	N	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ยที่ได้	ร้อยละ	เกณฑ์ร้อยละ
คะแนนแบบฝึกหัด	6	20	15	75	80
คะแนนทดสอบหลังเรียน	6	20	15.5	77.5	80

ตารางที่ ฉ17 การหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ โดยการนำแบบทดสอบไปใช้กับนักศึกษากลุ่มทดลอง จำนวน 20 คน

คนที่	แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน (E1)	แบบทดสอบหลังเรียน (E2)
1	16	15
2	15	16
3	17	15
4	14	15
5	18	16
6	14	14
7	17	17
8	15	16
9	15	15
10	16	16
11	17	17
12	18	19
13	16	17
14	14	15
15	17	17
16	16	16
17	16	17
18	18	18
19	18	18
20	15	16
รวม	322	325
ร้อยละ	80.5	81.25

จากผลการคำนวณหาค่า E1/E2 ได้ค่าประสิทธิภาพคือ 80.50/81.25 สูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่ตั้งไว้

ตารางที่ ฉ18 การเปรียบเทียบผลการทำแบบทดสอบก่อนเรียนระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

คนที่	คะแนนกลุ่มทดลอง	คะแนนกลุ่มควบคุม
1	4	3
2	3	3
3	3	3
4	5	3
5	3	4
6	5	4
7	3	5
8	4	5
9	3	5
10	2	3
11	3	3
12	3	2
13	3	5
14	2	3
15	3	2
16	2	4
17	4	2
18	4	3
19	3	3
20	5	4
รวม	67	69
ค่าเฉลี่ย	3.35	3.45

ตารางที่ ฉ19 แสดงการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนโดยวิธีการเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนกับนักศึกษาที่เรียนด้วยการเรียนแบบปกติ

รายการ	N	$\bar{X}$	S.D.	S^2	t
กลุ่มทดลอง	20	3.35	1.00	1	0.33
กลุ่มควบคุม	20	3.45	0.93	0.87	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($\alpha = .05$, df = 38, t = 1.68)

ตารางที่ ฉ20 การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

คนที่	คะแนนกลุ่มทดลอง	คะแนนกลุ่มควบคุม
1	15	14
2	16	14
3	15	13
4	15	15
5	16	13
6	14	14
7	17	12
8	16	13
9	15	15
10	16	15
11	17	13
12	19	15
13	17	15
14	15	14
15	17	14
16	16	14
17	17	14
18	18	13
19	18	11
20	16	12
รวม	325	273
ค่าเฉลี่ย	16.25	13.65

ตารางที่ ฉ21 แสดงการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนโดยวิธีการเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนกับนักศึกษาที่เรียนด้วยการเรียนแบบปกติ

รายการ	N	$\bar{X}$	S.D.	S^2	t
กลุ่มทดลอง	20	16.25	1.25	1.56	6.87*
กลุ่มควบคุม	20	13.65	1.14	1.29	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($\alpha = .05$, df = 38, t = 1.68)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล	นายภัทร ทองสามสี
วัน/เดือน/ปีเกิด	1 สิงหาคม 2515
สถานที่เกิด	อ.เมือง จ.ราชบุรี
ที่อยู่ปัจจุบัน	59 ม.10 ต.วัดเพลง อ.วัดเพลง จ.ราชบุรี 70170
ที่ทำงาน	วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี
ตำแหน่ง	อาจารย์ 1 ระดับ 5
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2539 สำเร็จการศึกษา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2546 สำเร็จการศึกษา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง