สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เทคนิคการมอดูเลตเชิงดิจิตอลแบบผู้ใช้หลายราย

Multi–User Digital Modulation Techniques



โดย

นางสาวกมลพรรณ เรืองรอง 41014005

นายกวีศิลป์ หิรัญยพิสุทธิกุล 41014017

นายเกริกฤทธิ์ มีชนะ 41014039

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 46448
วัน, เดือน, ปี 2 เม.ย. 2546

.b.....
.i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการมอดูเลตเชิงดิจิตอลแบบผู้ใช้หลายราย

Multi–User Digital Modulation Techniques

โดย

นางสาวกมลพรรณ เรืองรอง 41014005

นายกวีศิลป์ หิรัญยพิสุทธิกุล 41014017

นายเกริกฤทธิ์ มีชนะ 41014039

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. กอบชัย เดชหาญ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **เทคนิคการมอดูเลตเชิงดิจิตอลแบบผู้ใช้หลายราย**

Multi–User Digital Modulation Techniques

ผู้จัดทำ

1. นางสาว กมลพรรณ เรืองรอง 41014005

2. นาย กวีศิลป์ หิรัญยพิสุทธิกุล 41014017

3. นาย เกริกฤทธิ์ มีชนะ 41014039

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. กอบชัย เดชหาญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการมอดูเลตเชิงดิจิตอลแบบผู้ใช้หลายราย

Multi–User Digital Modulation Techniques

โดย นางสาวกมลพรรณ เรืองรอง 41014005
นายกวีศิลป์ หิรัญยพิสุทธิกุล 41014017
นายเกริกฤทธิ์ มีชนะ 41014039

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งานของการมอดูเลตเชิงดิจิตอลแบบผู้ใช้หลายราย เนื่องจากในปัจจุบันการสื่อสารนั้นเป็นสิ่งที่จำเป็นและสำคัญ จึงมีปริมาณผู้ใช้งานในระบบการสื่อสารเป็นจำนวนมาก ทำให้ระบบการสื่อสารที่มีอยู่เดิมไม่เพียงพอต่อความต้องการในการใช้งาน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความจุที่ต่ำ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาและนำระบบใหม่ซึ่งสามารถรองรับความต้องการในการสื่อสารได้อย่างเพียงพอเข้ามาใช้งาน ซึ่งจะมีการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ โดยโครงงานนี้จะศึกษาถึงเทคนิคการสื่อสารดังกล่าว อาทิเช่น ฟรีเควนซี่ดิวิชั่นมัลติเพิลแอคเซส (Frequency Division Multiple Access ; FDMA) ซึ่งผู้ใช้งานจะใช้งานในช่วงความถี่ที่ต่างกัน ไทม์ดิวิชั่นมัลติเพิลแอคเซส (Time Division Multiple Access ; TDMA) ซึ่งผู้ใช้งานจะใช้งานในช่วงเวลาที่ต่างกัน และโค้ดดิวิชั่นมัลติเพิลแอคเซส (Code Division Multiple Access ; CDMA) ซึ่งผู้ใช้งานมีรหัสที่ต่างกัน

ในตอนที่สองจะเป็นการออกแบบระบบต่างๆ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปแมทแล็บ (MATLAB) เพื่อดูประสิทธิภาพในกรณีต่างๆ

ABSTRACT

This project is a study the theory and application of multi–user digital modulation. Nowadays, communication is essential, there are many users in communication system which is not sufficient for them because of the low capacity. Consequently, new communication method has been developed to support the multiple users in order to be able to share a common resource in a worth and effective way. These communication techniques will be studied in this project such as Frequency Division Multiple Access (FDMA) which individual users are identified by different frequency slots, Time Division Multiple Access (TDMA) which users are given the different time slots, and Code Division Multiple Access (CDMA) which the users are identified by different codes.

In the second part, the systems will be designed by using MATLAB to consider their efficiencies.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ (FDMA)	3
2.1.1 บทนำ	3
2.1.2 การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย	5
2.1.3 ข้อแตกต่างของ FM-FDM-FDMA	5
2.1.4 การประยุกต์ใช้งานการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่	7
2.2 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (TDMA)	8
2.2.1 บทนำ	8
2.2.2 การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย	11
2.2.3 ประยุกต์ใช้การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา / การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา	13
2.3 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (CDMA)	16
2.3.1 บทนำ	16
2.3.2 การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่	20
2.3.2.1 การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่โดยใช้วิธีการจัดลำดับโดยตรง (Direct-sequence spread spectrum;DS-SS)	20
2.3.2.2 การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่โดยใช้วิธีการกระโดดของความถี่ (Frequency-hopping spread spectrum;FH-SS)	24
2.3.2.3 การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่โดยใช้วิธีการกระโดดของเวลา (Time-hopping spread spectrum;TH-SS)	29
2.3.2.4 การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่โดยใช้วิธีการไฮบริด (Hybrid)	32
2.4 การเปรียบเทียบเทคนิคการเข้าถึงหลายทาง	34
2.4.1 บทนำ	34
2.4.2 เทคนิคการเข้าถึงแบบ FDMA	35
2.4.3 เทคนิคการเข้าถึงแบบ TDMA	35
2.4.4 เทคนิคการเข้าถึงแบบ CDMA	36
บทที่ 3 การออกแบบและการประยุกต์ใช้งาน	39
3.1 การทำงานของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่	39
3.1.1 ภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่	39
3.1.2 ภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่	41
3.1.3 ภาครับ-ส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่	42
3.2 การทำงานของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 ภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา 45
3.2.2 ภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา 46
3.2.3 ภาครับ-ส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา 47
3.3 การทำงานของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 48
3.3.1 ภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 48
3.3.2 ภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 50
3.3.3 ภาครับ-ส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 53
3.4 การทำงานของเครื่องส่งไอเอส 95 เอ รีเวิร์สทราฟฟิกแชนแนล 55
(IS-95A Reverse Traffic Channel Transmitter)
3.5 การทำงานของโมเดลไอเอส 95 เอ ฟอร์เวิร์ดทราฟฟิกแชนแนลเอนทูเอน 57
(IS-95A Forward Traffic Channel End-to-End Model)
3.5.1 ส่วนประกอบและหน้าที่ของบล็อกต่างๆ ในโมเดล 58
ไอเอส 95 เอ ฟอร์เวิร์ดทราฟ ฟิกแชนแนลเอนทูเอน
3.5.2 บล็อกต่างๆ ที่ต่อเพิ่มเพื่อวัดผลการทดสอบ 64
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ 67
4.1 ระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ 67
4.1.1 ภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ 67
4.1.2 ภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ 68
4.1.3 การทำงานแต่ละขั้นตอนของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ 70
4.1.4 ภาครับ-ส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ 75
4.1.4.1 ระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ทั้งระบบ 75
4.1.4.2 การตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ 86
4.1.4.3 สัญญาณรบกวนที่มีผลต่อระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ 89
4.2 ระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา 91
4.2.1 ภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา 91
4.2.2 ภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา 92
4.2.3 การทำงานแต่ละขั้นตอนของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา 94
4.2.4 ภาครับ-ส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา 99
4.2.4.1 ระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลาทั้งระบบ 99
4.2.4.2 การตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา 110
4.2.4.3 สัญญาณรบกวนที่มีผลต่อของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา 113
4.3 ระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 115
4.3.1 ภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 115
4.3.1.1 ภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.2 ความสัมพันธ์ของสัญญาณพัลส์กับการทำงานของภาคส่ง 117
4.3.2 ภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 118
4.3.2.1 ภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 118
4.3.2.2 ความสัมพันธ์ของสัญญาณพัลส์กับการทำงานของภาครับ 120
4.3.3 การทำงานแต่ละขั้นตอนของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 121
4.3.4 ภาครับ-ส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 129
4.3.4.1 ระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสทั้งระบบ 129
4.3.4.2 การตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 136
4.3.4.3 สัญญาณรบกวนที่มีผลต่อของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 138
4.4 การประยุกต์การใช้งานตามมาตรฐาน IS-95A 140
4.4.1 เครื่องส่งไอเอส 95 เอ รีเวิร์สทราฟฟิกแชนแนล 140
4.4.2 โมเดลไอเอส 95 เอ ฟอร์เวิร์ดทราฟฟิกแชนแนลเอนทูเอน 142
4.4.2.1 ความสัมพันธ์ของสัญญาณในระบบ 142
4.4.2.2 ความถูกต้องของสัญญาณข้อมูล 145
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุปผล 146
กิตติกรรมประกาศ
หนังสืออ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 แสดงเทคนิคการแบ่งช่องสัญญาณของระบบ FDMA, TDMA และ CDMA 1

รูปที่ 1.2 แสดงแนวความคิดในการจัดช่องสัญญาณในระบบ FDMA, TDMA และ CDMA 2

รูปที่ 2.1 แสดงการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ 3

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน SPADE (FDMA) 4

รูปที่ 2.3 แสดงการมัลติเพล็กซ์แบบ FDM 6

รูปที่ 2.4 แสดงตำแหน่งช่องสัญญาณในระบบ SPADE 7

รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการจัดกรุ๊ปของสัญญาณโทรศัพท์ 8

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการใช้สัญญาณ FM หลาย ๆ คลื่นพาห์ในทรานสปอนเดอร์เดียวกัน 8

รูปที่ 2.7 การส่งสัญญาณแบบ TDMA 9

รูปที่ 2.8 การส่งสัญญาณคนละช่วงเวลาในระบบ TDMA 10

รูปที่ 2.9 การจัดเฟรม TDMA 10

รูปที่ 2.10 จุดทำงานของ TWT กรณีระบบ FDMA 11

รูปที่ 2.11 จุดทำงานของ TWT กรณีระบบ TDMA 12

รูปที่ 2.12 การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา 13

รูปที่ 2.13 โครงสร้าง TDMA 14

รูปที่ 2.14 TDM แบบกำหนดไว้ 14

รูปที่ 2.15 TDM แบบกำหนดไว้กับแพคเก็ตสวิตชิ่ง (packet switching) 15

รูปที่ 2.16 หลักการของการเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่ 17

รูปที่ 2.17 การกำจัดสัญญาณแทรกสอด 18

รูปที่ 2.18 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 19

รูปที่ 2.19 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง DS-CDMA 20

รูปที่ 2.20 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง DS-SS 21

รูปที่ 2.21 การสร้างสัญญาณสเปกตรัมแผ่โดยใช้วิธีการมอดูเลตรหัสแบบ BPSK โดยแกนตั้งเป็นขนาดของสัญญาณและแกนนอนเป็นเวลา 22

รูปที่ 2.22 เครื่องรับสัญญาณ DS-SS 22

รูปที่ 2.23 การครอบครองเวลา/ย่านความถี่ของสัญญาณ FH และสัญญาณ DS 25

รูปที่ 2.24 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งและเครื่องรับ FH-CDMA 26

รูปที่ 2.25 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งและเครื่องรับ TH-CDMA 30

รูปที่ 2.26 การพล็อตระหว่างเวลาและความถี่ของระบบ TH-CDMA 31

รูปที่ 2.27 เครื่องส่งไฮบริด DS-FH 33

รูปที่ 2.28 รูปแบบการจัดสรรช่องสื่อสารใช้งานโดยใช้เทคนิคการเข้าถึงแบบ FDMA 34

รูปที่ 2.29 รูปแบบการจัดสรรช่องสื่อสารใช้งานโดยใช้เทคนิคการเข้าถึงแบบ TDMA 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.30 รูปแบบการจัดสรรช่องสื่อสารใช้งานโดยใช้เทคนิคการเข้าถึงแบบ CDMA 36
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ 39
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของดีเอสบีเอสซีเอเอ็มมอดูเลเตอร์พาสแบนด์ 40
รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของคอนเวิร์ท 2-ดีทู 1-ดี 40
รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ 41
รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมของดีเอสบีเอสซีเอเอ็มดีมอดูเลเตอร์พาสแบนด์ 43
รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ 44
รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา 45
รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมของดิจิตอลทีดีเอ็มเอมัลติเพลกซ์ 45
รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา 46
รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมของดิจิตอลทีดีเอ็มเอดีมัลติเพลกซ์ 46
รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา 47
รูปที่ 3.12 บล็อกไดอะแกรมภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 48
รูปที่ 3.13 บล็อกไดอะแกรมของฟรีเควนซี่ดิวิชั่นทรีซิกแนลมัลติเพลกซ์ 49
รูปที่ 3.14 บล็อกไดอะแกรมของดีเอสบีเอสซีเอเอ็มมอดูเลเตอร์พาสแบนด์ 49
รูปที่ 3.15 บล็อกไดอะแกรมภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 50
รูปที่ 3.16 บล็อกไดอะแกรมของฟรีเควนซี่ดิวิชั่นทรีซิกแนลดีมัลติเพลกซ์ 50
รูปที่ 3.17 บล็อกไดอะแกรมของดีเอสบีเอสซีเอเอ็มดีมอดูเลเตอร์พาสแบนด์ 51
รูปที่ 3.18 บล็อกไดอะแกรมของไทม์ดีเลย์คอนโทรลพัลส์ 52
รูปที่ 3.19 บล็อกไดอะแกรมของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 54
รูปที่ 3.20 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งไอเอส 95 เอ รีเวิร์สทราฟฟิกแชนแนล 55
รูปที่ 3.21 บล็อกไดอะแกรมของโมเดลไอเอส 95 เอ ฟอร์เวิร์ดทราฟฟิกแชนแนลเอนทูเอน 57
รูปที่ 3.22 ส่วนประกอบของบล็อกแหล่งกำเนิดข้อมูล 58
รูปที่ 3.23 ส่วนประกอบของบล็อกคอมบายวิธซิงค์แอนด์เพจจิ้ง เอสเอสมอดูเลต 60
รูปที่ 3.24 บล็อกเรียล-อิมเมจทูคอมเพลกซ์ 61
รูปที่ 3.25 บล็อกเรย์ลี่มัลติพาธแอนด์เอดับเบิ้ลยูจีเอ็นแชนแนล 62
รูปที่ 3.26 บล็อกซีโรออเดอร์โฮลด์ 64
รูปที่ 3.27 บล็อกอันบัฟเฟอร์ 64
รูปที่ 3.28 บล็อกอันบัฟเฟอร์ไอและคิว 65
รูปที่ 3.29 บล็อกคอมเพลกซ์ทูเรียล-อิมเมจ 65
รูปที่ 4.1 แสดงการวัดผลการทดสอบภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ 67
รูปที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ 68
รูปที่ 4.3 แสดงการวัดผลการทดสอบภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ 69
รูปที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 แสดงการวัดผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ 71
รูปที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ ตอนที่ 1 72
รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ ตอนที่ 2 72
รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ ตอนที่ 3 73
รูปที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ ตอนที่ 4 74
รูปที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ ตอนที่ 5 74
รูปที่ 4.11 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ ตอนที่ 6 75
รูปที่ 4.12 แสดงการวัดผลการทดสอบของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ 76
รูปที่ 4.13 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 1 กิโลเฮิรตซ์ 77
รูปที่ 4.14 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 2 กิโลเฮิรตซ์ 77
รูปที่ 4.15 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 3 กิโลเฮิรตซ์ 78
รูปที่ 4.16 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 4 กิโลเฮิรตซ์ 78
รูปที่ 4.17 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 5 กิโลเฮิรตซ์ 79
รูปที่ 4.18 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 6 กิโลเฮิรตซ์ 79
รูปที่ 4.19 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 7 กิโลเฮิรตซ์ 80
รูปที่ 4.20 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 8 กิโลเฮิรตซ์ 80
รูปที่ 4.21 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 9 กิโลเฮิรตซ์ 81
รูปที่ 4.22 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 10 กิโลเฮิรตซ์ 81
รูปที่ 4.23 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 20 กิโลเฮิรตซ์ 82
รูปที่ 4.24 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 30 กิโลเฮิรตซ์ 82
รูปที่ 4.25 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 40 กิโลเฮิรตซ์ 83
รูปที่ 4.26 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 50 กิโลเฮิรตซ์ 83
รูปที่ 4.27 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 60 กิโลเฮิรตซ์ 84
รูปที่ 4.28 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 70 กิโลเฮิรตซ์ 84
รูปที่ 4.29 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 80 กิโลเฮิรตซ์ 85
รูปที่ 4.30 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 90 กิโลเฮิรตซ์ 85
รูปที่ 4.31 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 100 กิโลเฮิรตซ์ 86
รูปที่ 4.32 ผลการตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทาง แบบแบ่งความถี่ช่องสัญญาณที่ 1 88
รูปที่ 4.33 ผลการตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทาง แบบแบ่งความถี่ช่องสัญญาณที่ 2 88
รูปที่ 4.34 ผลการตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทาง แบบแบ่งความถี่ช่องสัญญาณที่ 3 89
รูปที่ 4.35 แสดงผลกระทบของสัญญาณรบกวนเมื่อกำหนดค่าแวเรียนซ์เท่ากับ1 90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.36 แสดงผลกระทบของสัญญาณรบกวนเมื่อกำหนดค่าแวเรียนซ์เท่ากับ 0.01 90
รูปที่ 4.37 แสดงผลกระทบของสัญญาณรบกวนเมื่อกำหนดค่าแวเรียนซ์เท่ากับ 0.0001 91
รูปที่ 4.38 แสดงการวัดผลการทดสอบภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา 91
รูปที่ 4.39 แสดงผลการทดสอบภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา 92
รูปที่ 4.40 แสดงการวัดผลการทดสอบภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา 93
รูปที่ 4.41 แสดงผลการทดสอบภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา 94
รูปที่ 4.42 แสดงการวัดผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา 95
รูปที่ 4.43 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา ตอนที่ 1 96
รูปที่ 4.44 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา ตอนที่ 2 96
รูปที่ 4.45 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา ตอนที่ 3 97
รูปที่ 4.46 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา ตอนที่ 4 97
รูปที่ 4.47 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา ตอนที่ 5 98
รูปที่ 4.48 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา ตอนที่ 6 98
รูปที่ 4.49 แสดงการวัดผลการทดสอบของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา 100
รูปที่ 4.50 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 1 กิโลเฮิรตซ์ 101
รูปที่ 4.51 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 2 กิโลเฮิรตซ์ 101
รูปที่ 4.52 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 3 กิโลเฮิรตซ์ 102
รูปที่ 4.53 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 4 กิโลเฮิรตซ์ 102
รูปที่ 4.54 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 5 กิโลเฮิรตซ์ 103
รูปที่ 4.55 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 6 กิโลเฮิรตซ์ 103
รูปที่ 4.56 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 7 กิโลเฮิรตซ์ 104
รูปที่ 4.57 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 8 กิโลเฮิรตซ์ 104
รูปที่ 4.58 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 9 กิโลเฮิรตซ์ 105
รูปที่ 4.59 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 10 กิโลเฮิรตซ์ 105
รูปที่ 4.60 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 20 กิโลเฮิรตซ์ 106
รูปที่ 4.61 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 30 กิโลเฮิรตซ์ 106
รูปที่ 4.62 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 40 กิโลเฮิรตซ์ 107
รูปที่ 4.63 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 50 กิโลเฮิรตซ์ 107
รูปที่ 4.64 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 60 กิโลเฮิรตซ์ 108
รูปที่ 4.65 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 70 กิโลเฮิรตซ์ 108
รูปที่ 4.66 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 80 กิโลเฮิรตซ์ 109
รูปที่ 4.67 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 90 กิโลเฮิรตซ์ 109
รูปที่ 4.68 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 100 กิโลเฮิรตซ์ 110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.69 ผลการตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทาง แบบแบ่งเวลาช่องสัญญาณที่ 1 112
รูปที่ 4.70 ผลการตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทาง แบบแบ่งเวลาช่องสัญญาณที่ 2 112
รูปที่ 4.71 ผลการตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทาง แบบแบ่งเวลาช่องสัญญาณที่ 3 113
รูปที่ 4.72 แสดงผลกระทบของสัญญาณรบกวนเมื่อกำหนดค่าแวเรียนซ์เท่ากับ 1 114
รูปที่ 4.73 แสดงผลกระทบของสัญญาณรบกวนเมื่อกำหนดค่าแวเรียนซ์เท่ากับ 0.01 114
รูปที่ 4.74 แสดงผลกระทบของสัญญาณรบกวนเมื่อกำหนดค่าแวเรียนซ์เท่ากับ 0.0001 115
รูปที่ 4.75 แสดงการวัดผลการทดสอบภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 116
รูปที่ 4.76 แสดงผลการทดสอบภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 117
รูปที่ 4.77 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณพัลส์กับการทำงานของภาคส่ง 118
รูปที่ 4.78 แสดงการวัดผลการทดสอบภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 119
รูปที่ 4.79 แสดงผลการทดสอบภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 120
รูปที่ 4.80 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณพัลส์กับการทำงานของภาครับ 121
รูปที่ 4.81 แสดงการวัดผลการทดสอบ ณ จุดต่างๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 122
รูปที่ 4.82 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่างๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ตอนที่ 1 123
รูปที่ 4.83 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่างๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ตอนที่ 2 124
รูปที่ 4.84 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่างๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ตอนที่ 3 124
รูปที่ 4.85 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่างๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ตอนที่ 4 125
รูปที่ 4.86 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่างๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ตอนที่ 5 126
รูปที่ 4.87 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่างๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ตอนที่ 6 126
รูปที่ 4.88 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่างๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ตอนที่ 7 127
รูปที่ 4.89 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่างๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ตอนที่ 8 128
รูปที่ 4.90 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่างๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ตอนที่ 9 128
รูปที่ 4.91 แสดงการวัดผลการทดสอบของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 130
รูปที่ 4. 92 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 50 เฮิรตซ์ 131
รูปที่ 4. 93 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 100 เฮิรตซ์ 131
รูปที่ 4. 94 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 150 เฮิรตซ์ 132
รูปที่ 4. 95 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 200 เฮิรตซ์ 132
รูปที่ 4. 96 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 250 เฮิรตซ์ 133
รูปที่ 4. 97 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 300 เฮิรตซ์ 133
รูปที่ 4. 98 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 350 เฮิรตซ์ 134
รูปที่ 4. 99 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 400 เฮิรตซ์ 134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4. 100 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 450 เฮิรตซ์ 135
รูปที่ 4. 101 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 500 เฮิรตซ์ 135
รูปที่ 4.102 กราฟผลการตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ช่องสัญญาณที่ 1 137
รูปที่ 4.103 กราฟผลการตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ช่องสัญญาณที่ 2 137
รูปที่ 4.104 กราฟผลการตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ช่องสัญญาณที่ 3 138
รูปที่ 4.105 แสดงผลกระทบของสัญญาณรบกวนเมื่อกำหนดค่าแวเรียนซ์เท่ากับ 1 139
รูปที่ 4.106 แสดงผลกระทบของสัญญาณรบกวนเมื่อกำหนดค่าแวเรียนซ์เท่ากับ 0.1 139
รูปที่ 4.107 แสดงผลกระทบของสัญญาณรบกวนเมื่อกำหนดค่าแวเรียนซ์เท่ากับ 0.0001 140
รูปที่ 4.108 สัญญาณ PN I จาก เครื่องกำเนิดรหัสสั้น (Short Code Generator) 140
รูปที่ 4.109 สัญญาณเอาท์พุต I ของเครื่องส่งไอเอส 95 เอ รีเวิร์สทราฟฟิกแชนแนล 141
รูปที่ 4.110 สัญญาณ PN Q จากเครื่องกำเนิดรหัสสั้น 141
รูปที่ 4.111 สัญญาณเอาท์พุต Q ของเครื่องส่งไอเอส 95 เอ รีเวิร์สทราฟฟิกแชนแนล 141
รูปที่4.112 แสดงการวัดผลการทดสอบการประยุกต์การใช้งานโมเดลไอเอส 95 เอ ฟอร์เวิร์ดทราฟฟิกแชนแนลเอนทูเอน 143
รูปที่ 4.113 แสดงสัญญาณก่อนทำการสเปรดสเปกตรัมในแกนความถี่ 144
รูปที่ 4.114 แสดงสัญญาณหลังทำการสเปรดสเปกตรัมในแกนความถี่ 144
รูปที่ 4.115 แสดงสัญญาณหลังทำการสเปรดสเปกตรัมและผ่านวงจรกรองความถี่ในแกนความถี่ 144
รูปที่ 4.116 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณ 145

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของเทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบต่างๆ 38

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงการทดสอบทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ 87

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงการทดสอบทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา 111

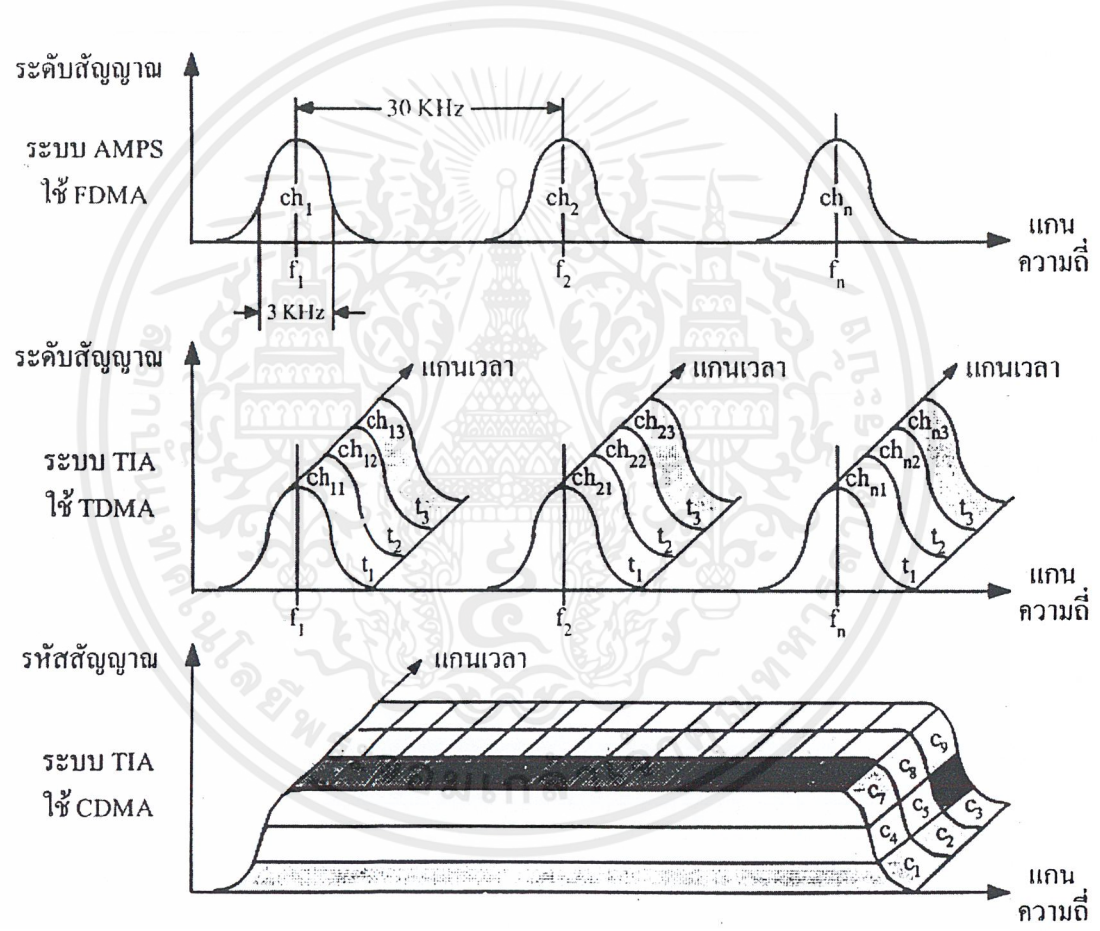
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงการทดสอบทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส 136

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงความถูกต้องของสัญญาณข้อมูลของโมเดลไอเอส 95 เอ 145
ฟอร์เวิร์ดทราฟฟิกแชนแนลเอนทูเอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

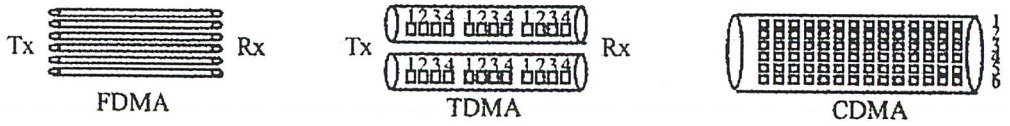
บทที่ 1
บทนำ

การบริการด้านการสื่อสารโทรคมนาคมเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อสภาพเศรษฐกิจในปัจจุบัน การที่สามารถพูดคุยหรือติดต่อธุรกิจโดยไม่จำเป็นจะต้องไปพบกันทำให้การติดต่อธุรกิจสามารถทำได้รวดเร็วทันต่อเหตุการณ์ การสื่อสารโทรคมนาคมจึงมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ดังจะเห็นได้จากความต้องการใช้โทรศัพท์และอุปกรณ์โทรคมนาคมต่างๆ ที่เพิ่มมากขึ้นมาเป็นลำดับ ทำให้ระบบการสื่อสารที่มีอยู่เดิมไม่เพียงพอต่อความต้องการในการใช้งาน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความจุที่ต่ำ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาระบบใหม่ซึ่งสามารถรองรับความต้องการในการสื่อสารได้อย่างเพียงพอเข้ามาใช้งาน ซึ่งจะมีการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 1.1 แสดงเทคนิคการแบ่งช่องสัญญาณของระบบ FDMA, TDMA และCDMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



FDMA : Frequency Division Multiple Access TDMA : Time Division Multiple Access

CDMA : Code Division Multiple Access Tx : Transmit Rx : Receive

รูปที่ 1.2 แสดงแนวความคิดในการจัดช่องสัญญาณในระบบ FDMA, TDMA และCDMA

จากรูปที่ 1.2 เริ่มจากนำเทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ FDMA มีชื่อเต็มว่าFrequency Division Multiple Access ซึ่งในระบบนี้มีการแบ่งช่องความถี่ออกเป็นช่องความถี่ย่อยๆ หลายช่อง แต่ละช่องก็จะสื่อสารกันได้ในผู้ใช้แต่ละรายดังรูปที่ 1.2 แต่ความต้องการช่องความถี่สัญญาณมากขึ้นเรื่อย ๆ จึงไม่เพียงพอต่อความต้องการระบบ การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งช่วงเวลา TDMA มีชื่อเต็มว่า Time Division Multiple Access จึงเกิดขึ้นโดยแบ่งแต่ละความให้เป็นช่องเวลาอีก ดังนั้น 1 ความถี่จึงใช้ได้หลายคน (ตามการแบ่งช่องเวลา) ดังรูปที่ 1.2 และโดยทั่วๆไป ระบบ TDMA จะมีความจุมากกว่า FDMA และในภายหลังTDMA ก็ยังมีจำนวนช่องสัญญาณไม่เพียงพอต่อความต้องการจึงนำเทคโนโลยีCDMA มาใช้ที่มีชื่อเต็มว่า Code Division Multiple Access ซึ่งเป็นเทคนิคการเข้าถึงหลายทางที่ถูกกำหนดขึ้นโดยสถาบัน TIA (Telecommunications Industry Association) มีชื่อรหัสว่า IS-95 เทคนิคการเข้าถึงหลายทางเป็นวิธีที่ระบบสื่อสารใช้ในการรองรับผู้ใช้บริการจำนวนหลาย ๆ รายพร้อมกันในเวลาเดียวกัน หรือกล่าวได้ว่าเป็นการอนุญาตให้ผู้ใช้บริการจำนวนหนึ่งร่วมใช้กลุ่มช่องสื่อสารวิทยุ โดยผู้ใช้แต่ละรายมีอิสระในการเลือกใช้ช่องสื่อสารแต่ละช่อง ซึ่งหมายความว่าผู้ใช้บริการไม่จำเป็นจะต้องใช้ช่องสื่อสารวิทยุเดิมทุกครั้งที่มีการขอใช้งาน

สำหรับเทคโนโลยี FDMA (Frequency Division Multiple Access) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีพื้นฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ชนิดอะนาลอก และเทคโนโลยี TDMA (Time Division Multiple Access) ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ชนิดดิจิตอล ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ชนิดอะนาลอก การกำหนดช่องสื่อสารให้กับผู้ใช้บริการเป็นไปในลักษณะของการเลือกช่องสื่อสารวิทยุที่ยังว่างและไม่ถูกใช้งานให้กับผู้ใช้บริการนั้นๆแต่สำหรับเทคโนโลยี CDMA จะใช้วิธีกำหนดรหัสซึ่งเป็นแบบดิจิตอลในการแยกช่องสื่อสารของผู้ใช้บริการแต่ละรายแทนที่จะแยกด้วยการแบ่งช่องสื่อสารวิทยุดังเทคโนโลยี FDMA และ TDMA

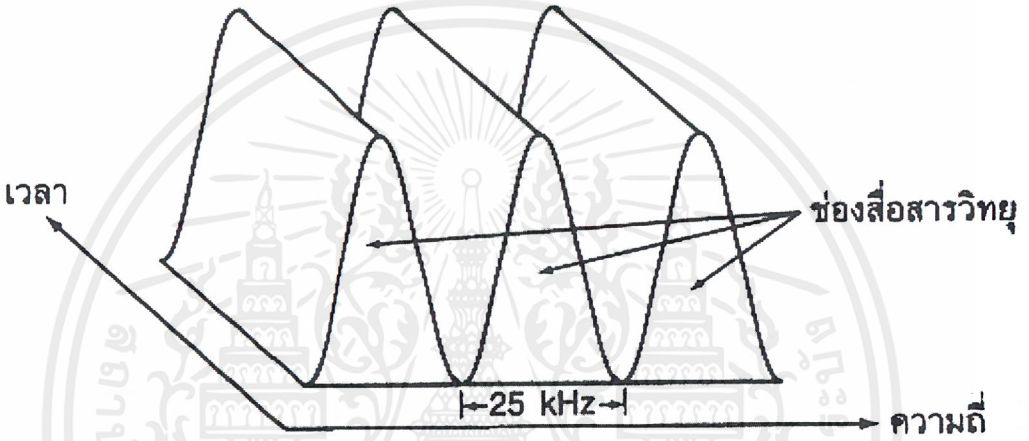
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access ; FDMA)

2.1.1 บทนำ

FDMA เป็นเทคนิคในการเข้าถึงข้อมูลหลายทางแบบแบ่งความถี่ โดยจะทำการใช้ความถี่เป็นช่วงในการส่งข้อมูลดังรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นการเข้าถึงตลอดเวลาโดยใช้ความถี่ช่วงนั้นโดยตลอด



รูปที่ 2.1 แสดงการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่

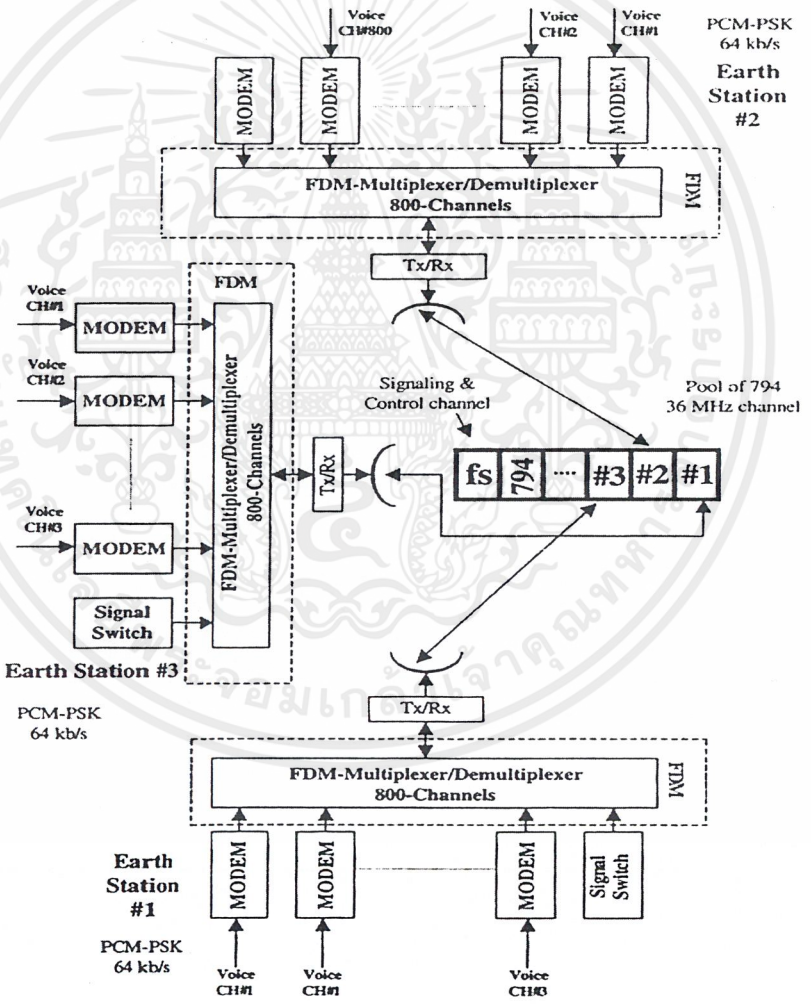
การใช้งาน FDMA มีตัวอย่างเช่น สายเคเบิ้ลมีความกว้างของช่องสัญญาณเป็น W เฮิร์ตซ์และผู้ใช้แต่ละรายมีความต้องการใช้สัญญาณที่ต้องมีความกว้างของช่องสัญญาณเป็น B เฮิรตซ์จึงจะเพียงพอต่อการส่งข้อมูล ดังนั้นสามารถให้บริการกับผู้ใช้จำนวน W/B รายในเวลาเดียวกัน โดยใช้กระบวนการมอดูเลตเป็นช่วงความถี่นั้นซึ่งจะถูกจำกัดด้วยความจุของช่องสัญญาณของตัวกลางที่ผู้ใช้บริการเลือกใช้และการกรองสัญญาณของผู้ใช้แต่ละราย

จะเห็นว่า FDMA เป็นวิธีซึ่งเข้าถึงข้อมูลได้หลายทางซึ่งจะมีการแบ่งความกว้างของช่องสัญญาณออกเป็นช่องเล็กๆ ย่อยๆ ที่เรียกว่าสับดิวิชั่น (Subdivision) โดยแต่ละช่องของมันจะมีความถี่ของคลื่นพาห์ของตัวมันเองและมีอุปกรณ์ที่ทำการควบคุมเพื่อไม่ให้มีการใช้ช่วงความถี่ที่ซ้ำกันในเวลาเดียวกัน ถ้าในแต่ละช่วงของคลื่นพาห์มีความกว้าง 4KHz ซึ่งเป็นช่วงของสัญญาณเสียงซึ่งเรียกว่าระบบหนึ่งช่องต่อหนึ่งคลื่นพาห์ (Single Channel Per Carrier ; SCPC) เมื่อหลายๆช่องสัญญาณเสียงมีการแบ่งทางความถี่ โดยมัลติเพลกซ์ทางความถี่หลายช่องเข้าด้วยกันซึ่งประกอบจากสัญญาณพื้นฐานรวมเข้าเป็นกลุ่มซึ่งเป็นกลุ่มที่ใหญ่ขึ้นและมีช่วงความกว้างของสัญญาณมากกว่าช่วงย่อยๆ เราเรียกว่าหลายช่องต่อหนึ่งคลื่นพาห์ (Multiple Channel Per Carrier ; MCPC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย SCPC นั้นอาจกำหนดให้เป็นโหมดของดาวเทียมซึ่งให้การขนถ่ายข้อมูลได้สูงเพราะว่าคลื่นพาห์ทุกคลื่นพาห์สามารถใช้ได้กับทุกทรานสปอนเดอร์ของการส่งข้อมูล และเพื่อให้สนองความต้องการในการยืดหยุ่นความถี่ และเพียงพอต่อความต้องการที่มากขึ้นจากจำนวนผู้ใช้ที่เพิ่มมากขึ้นจึงมีการพัฒนาโดยแบ่งความกว้างของช่องสัญญาณออกเป็นช่องเดี่ยวๆและในแต่ละช่วงก็ใช้สำหรับผู้ใช้บริการแต่ละราย (คือมีคลื่นพาห์สำหรับผู้ใช้แต่ละราย) โดยสามารถใช้ได้ทั้งในระบบอะนาลอกและดิจิตอลตัวอย่างดังรูปที่ 2.2

ใน MCPC ในโหมดนี้จำนวนของช่องความถี่จะมีการมัลติเพลกซ์ทางความถี่จากช่องความถี่พื้นฐานแต่ละช่องประกอบกันโดยสัญญาณหลังจากถูกมอดูเลตทางความถี่แล้วจะทำการขยายจากนั้นก็ส่งไปยังทรานสปอนเดอร์ของดาวเทียม ทางด้านรับก็จะทำกระบวนการกลับกันหลังจากขยายแล้วส่งกลับมาด้วยความถี่วิทยุซึ่งจะแปลงเป็นความถี่ข้อมูลและในวงจร discriminator ก็มีสัญญาณรบกวนอยู่ด้วย



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน SPADE (FDMA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FDMA ใช้อย่างแพร่หลายในการสื่อสารไร้สายเช่นวิทยุซึ่งมีข้อแตกต่างกับเทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบอื่นๆซึ่งสิ่งหนึ่งที่แตกต่างมากก็คือการเปลี่ยนแปลงของความแรงของสัญญาณในผู้ใช้แต่ละความถี่ ที่เรียกว่าผลกระทบจากความใกล้-ไกล (near-far effect) โดยถ้าผู้ใช้อยู่ใกล้กับสถานีผู้รับจะสามารถรับสัญญาณจากสถานีที่มีกำลังมากและมีความชัดเจนกว่าผู้ที่อยู่ในระยะไกล โดยสัญญาณที่รับได้จะมีกำลังต่ำสุดอยู่ที่ประมาณ 100 dB โดยสัญญาณที่มีความแรงกว่าจะสามารถที่จะรบกวนสัญญาณที่มีกำลังอ่อนกว่าได้และยังมีปัญหาของการเดินทางมาถึงเครื่องรับล่าช้าทำให้เกิดการเลื่อนเฟสของสัญญาณจนอาจทำให้ซ้อนทับกันของความถี่ซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูล

2.1.2 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย

สาเหตุที่ FDMA เป็นที่นิยมในการสื่อสารนั้นเป็นเพราะว่าง่ายในเชิงปฏิบัติ การเข้าถึงข้อมูลนั้นจะใช้ความถี่ในช่วงนั้นๆ อย่างต่อเนื่องโดยแต่ละย่านจะมีอิสระไม่ขึ้นต่อกัน แต่ละคลื่นพาห์ต้องการการควบคุมระดับกำลังของสัญญาณ ถึงแม้ว่าในระบบนี้อาจมีปัญหาการล่าช้าทำให้เกิดการเหลื่อมล้ำของสัญญาณในการเดินทางของสัญญาณหลายๆเส้นทางทำให้การแพร่กระจายออกไปมีการล่าช้าคือถึงจุดรับสัญญาณไม่พร้อมกันและสัญญาณมีการแทรกสอดของสัญญาณขึ้นซึ่งเป็นปัญหาแต่ว่าเราสามารถไม่สนใจได้ในหมวดความถี่สูงและสัญญาณมีช่วงแคบๆ โดยอาจแก้ไขได้โดยการทำการปรับแต่งสัญญาณ (Equalizer) และข้อดีอีกอย่างคือช่วงความถี่ที่ใช้รับ-ส่งข้อมูลนั้นเป็นช่วงแคบและการจัดการสัญญาณข้อมูลต่าง ๆ ได้ง่ายขึ้นทั้งยังสามารถสร้างและทำการถอดรหัสได้ง่ายไม่ซับซ้อนยุ่งยาก

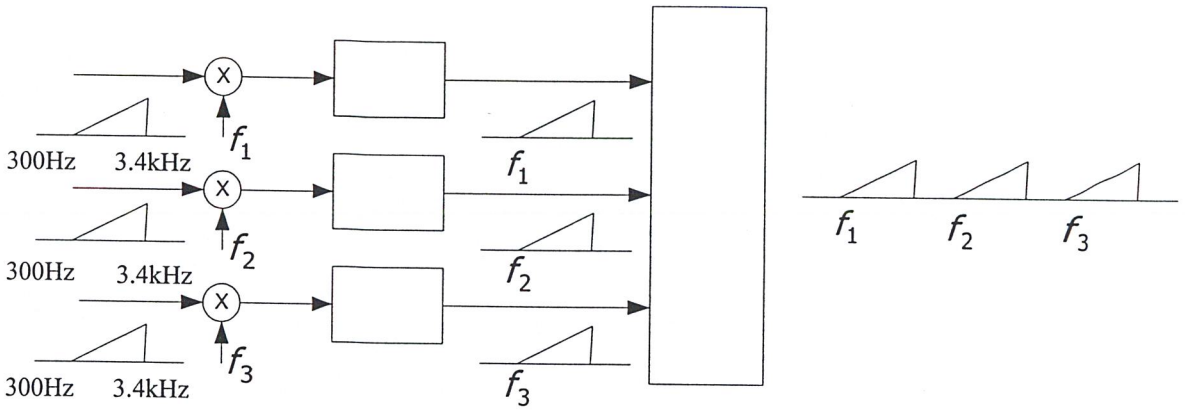
เนื่องจากว่าในระบบ FDMA ต้องการความแม่นยำในทางช่วงความถี่คือไม่สามารถยืดหยุ่นได้เนื่องจากว่าข้อจำกัดในการใช้ความกว้างของช่องสัญญาณที่ไม่สามารถเปลี่ยนได้และอัตราการส่งข้อมูลจะเพิ่มตามจำนวนสัญญาณข้อมูลที่ใช้และความกว้างของช่องสัญญาณจะแปรผันตามปริมาณอัตราข้อมูลจำนวนผู้ใช้จึงมีความต้องการให้เกิดความเสถียรภาพของข้อมูลจึงต้องการช่วงความถี่ที่ป้องกันการซ้อนทับของช่วงความถี่ของข้อมูลที่เรียกว่า การ์ดแบน (Guard Band) แต่ทั้งนี้การมีการ์ดแบนทำให้เกิดความฟุ่มเฟือยของความถี่คือไม่สามารถที่จะใช้งานได้เต็มที่และความจุของแต่ละทรานสปอนเดอร์ขึ้นอยู่กับจำนวนของคลื่นพาห์ต่อทรานสปอนเดอร์อีกทั้งค่าใช้จ่ายก็สูงด้วย

2.1.3 ข้อแตกต่างของ FM – FDM - FDMA

FM – FDM – FDMA ย่อมาจาก Frequency Modulation – Frequency Division Multiplex – Frequency Division Multiple Access ต่างเป็นระบบสื่อสารแบบอะนาลอกที่ใช้ในการสื่อสารดาวเทียม ระบบนี้ใช้การมอดูเลตทางความถี่ แบบ FM และให้สถานีภาคพื้นดินเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบจัดสรรความถี่ไว้ล่วงหน้าระบบนี้พัฒนาจากระบบสื่อสารไมโครเวฟบนภาคพื้นดินซึ่งแต่เดิมก็ใช้การมอดูเลตแบบ FM เช่นเดียวกัน

FDM แต่ละช่วงสัญญาณที่ถูกจัดสรรจะมีความถี่ชิพกันไปเรื่อยๆ โดยสเปกตรัมความถี่มีค่าต่อเนื่องกันตลอด ช่องสัญญาณเริ่มแรกอาจจะเอากลับมาใช้ใหม่โดยการดีมัลติเพล็กซ์ ซึ่งจะทำการกรองความถี่และแปลงเป็นความถี่ส่งกลับไปเป็นสัญญาณเบสแบนด์ ดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



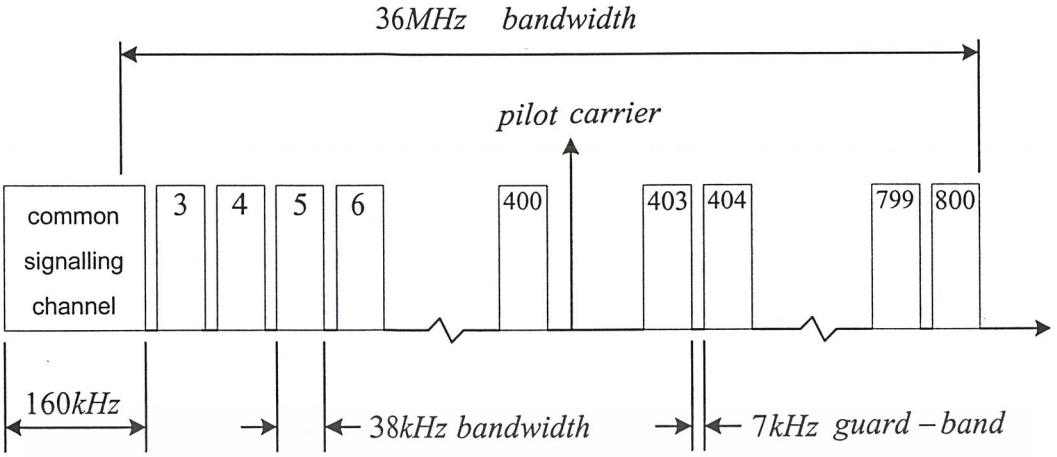
รูปที่ 2.3 แสดงการมัลติเพล็กซ์แบบ FDM

จากรูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างสัญญาณโทรศัพท์แบบอะนาลอกที่อาศัยเทคนิคการมัลติเพล็กซ์แบบนี้จะมีแถบความถี่กั้นอยู่ระหว่างแต่ละช่องสัญญาณ เพื่อป้องกันการซ้อนทับกันของความถี่ หรือเรียกอีกอย่างว่า aliasing สำหรับผู้ใช้บริการ N จะต้องใช้แถบความถี่ถึง NX โดยเป็นแบบ 1 ผู้ใช้บริการต่อ 1 ช่องสัญญาณ (โดยปกติใช้แถบความถี่ 4 KHz สำหรับโทรศัพท์ซึ่งรวมแถบความถี่กั้น (guard band) ด้วย)

ส่วนเทคนิคการเข้าถึงแบบ FDMA ในระบบอะนาลอกของ FDM จะมีแถบความถี่แบ่งกั้นระหว่างแถบความถี่ของแต่ละช่องสัญญาณเพื่อช่วยลดการแทรกของสัญญาณข้างเคียงการกำหนด FDMA แบบ FDM-FM-FDMA ทำงานได้ดีสำหรับการติดต่อของเส้นทางโทรศัพท์ที่มีความหนาแน่นข่าวสารมากๆ กับสถานีภาคพื้นดินขนาดใหญ่ สำหรับแบบ SCPC-FDMA จะเหมาะกับใช้ในเส้นทางสื่อสารโทรศัพท์น้อยมากหรือระบบ VSAT และ บริการสื่อสารเคลื่อนที่

สำหรับการออกแบบ FDMA ตามความต้องการนั้น ผู้ใช้บริการในแบบ SCPC ที่ต้องการใช้บริการอย่างต่อเนื่องไม่สามารถได้ในช่วงที่ภาระทางจราจรข่าวสารหนาแน่นและขณะที่ความต้องการใช้แถบความถี่อย่างมีประสิทธิภาพ ก็มีส่วนสำคัญดังนั้นจึงเกิดการออกแบบการทำงานแบบนี้ ตัวอย่างของการออกแบบในระบบนี้คือ SPADE ซึ่งเป็นการออกแบบเส้นทางการต่อให้ถูกต้องตามความต้องการเหนือเส้นทางสื่อสารโทรศัพท์ที่น้อยจนถึงขนาดเมืองใหญ่ๆโดยมีอัตราเฉลี่ยของความหนาแน่นปริมาณข่าวสารต่อช่องสัญญาณการใช้งานน้อยที่สุด ระบบ SPADE (single channel per carrier PCM multiple access demand assignment equipment) เป็นรูปแบบที่ใช้ในดาวเทียมที่ชื่อ INTELSAT ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เป็นการกำหนดการใช้ช่องสัญญาณความถี่ไทม์สลอต 800 โดยมีการรวมช่องสัญญาณ Common Signalling Channel (CSC) เอาไว้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



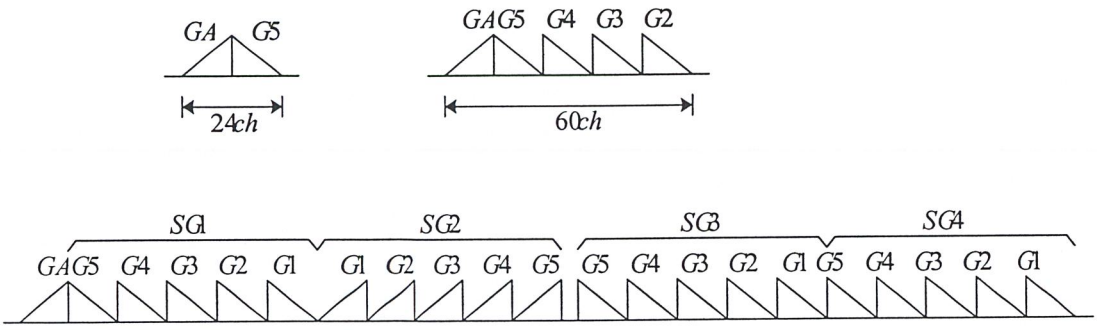
รูปที่ 2.4 แสดงตำแหน่งช่องสัญญาณในระบบ SPADE

ส่วนในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่อะนาลอก เทคนิค FDMA กำหนดให้ผู้ใช้บริการรายหนึ่งครอบครองช่องสื่อสารวิทยุหนึ่งช่องไปตลอดเวลาจนกว่าจะสิ้นสุดการโทร หากพิจารณาในแง่การใช้งานจะพบว่าผู้ใช้บริการแต่ละรายจะใช้ความถี่วิทยุหนึ่งความถี่ตลอดเวลาที่มีการใช้งาน รูปที่ 2.4 เป็นการแสดงรูปแบบการใช้งานช่องสื่อสารของผู้ใช้บริการ โดยอ้างตามมาตรฐานต่างๆ เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ TACS ระบบ AMPS และระบบ NAMPS เป็นต้น ผู้ใช้โทรศัพท์หนึ่งคนจะถูกกำหนดช่องสื่อสารดังกล่าวให้หนึ่งช่อง โดยเป็นไปตามหน้าที่ของสถานีฐานนั้นๆ

2.1.4 การประยุกต์การใช้งานการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่

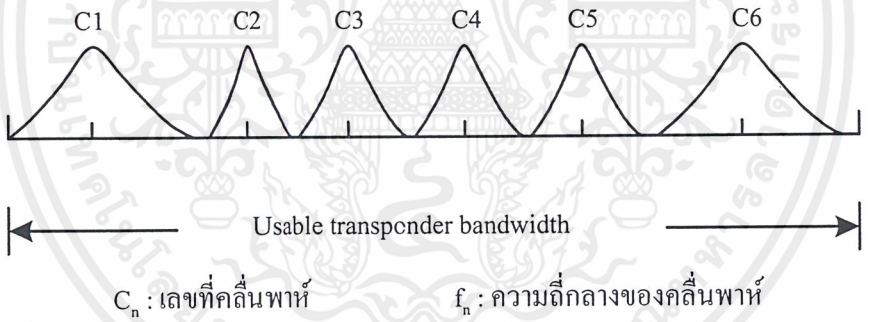
ตามข้อแนะนำของ CCITT G322 และ G432 (CCITT Recommendatation G322 and G432) สัญญาณโทรศัพท์จะถูกจำกัดแบนด์วิดท์เป็น 3.1 kHz (300-3,400 Hz) และถูกมัลติเพลกซ์โดยใช้ไซด์แบนด์ด้านเดียวให้เป็นกรุ๊ป โดยที่ขนาดของกรุ๊ปจะเป็น 12 ช่องสัญญาณ 24 ช่องสัญญาณ 48 ช่องสัญญาณหรือสูงกว่านี้ สัญญาณโทรศัพท์ที่ถูกมัลติเพลกซ์เรียบร้อยแล้วจะเป็นสัญญาณเบสแบนด์ที่จะไปมอดูเลตแบบ FM เข้ากับสัญญาณคลื่นพาห์ รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างการจัดกรุ๊ปของสัญญาณโทรศัพท์ดังกล่าวข้างต้น ในระบบสื่อสารดาวเทียมที่กล่าวถึงอยู่นี้ ช่องสัญญาณโทรศัพท์ที่ถูกมัลติเพลกซ์เข้าด้วยกันนี้ไม่จำเป็นต้องถูกส่งไปที่จุดหมายปลายทางเดียวกัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือสัญญาณคลื่นพาห์เดียวกันนั้นไม่จำเป็นต้องถูกส่งไปที่จุดหมายปลายทางเดียวกัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือสัญญาณคลื่นพาห์เดียวกันจะสามารถใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างหลาย ๆ สถานีภาคพื้นดินได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการจัดกรุ๊ปของสัญญาณโทรศัพท์

เนื่องจากในระบบสื่อสารดาวเทียมเรามักจะแบ่งหน่วยของช่องสัญญาณบนดาวเทียมเป็นทรานสปอนเดอร์ (transponder) โดยที่ 1 ทรานสปอนเดอร์จะมีแบนด์วิดท์ประมาณ 36 MHz และเป็น 72 MHz ในดาวเทียมดวงใหม่ ๆ ดังนั้นถ้าสัญญาณ FM คลื่นพาห์เดียวใช้แบนด์วิดท์ไม่หมด เราก็มีโอกาสเพิ่มสัญญาณ FM คลื่นพาห์อื่นเข้าไปใน ทรานสปอนเดอร์เดียวกันได้ และนับว่าเป็นเรื่องโชคดีอย่างหนึ่งที่สัญญาณ FM นั้นถึงแม้จะมีแบนด์วิดท์กว้างแต่การกระจายของ สเป็กตรัมรอบๆ คลื่นพาห์จะอยู่ใกล้กันได้ง่าย รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างของการใช้สัญญาณ FM หลายๆ คลื่นพาห์ในทรานสปอนเดอร์เดียวกัน



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการใช้สัญญาณ FM หลายๆคลื่นพาห์ในทรานสปอนเดอร์เดียวกัน

2.2 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access ; TDMA)

2.2.1 บทนำ

การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา มีการใช้คลื่นพาห์เดียวกันในการส่งผ่านโดยผลัดกันใช้คนละเวลากันนั่นคือจะมีการส่งของตนเองภายในแต่ละคาบเวลาของเฟรม TDMA ซึ่งสามารถใช้แบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณทั้งหมดในช่วงเวลาที่ส่งนั้น ๆ

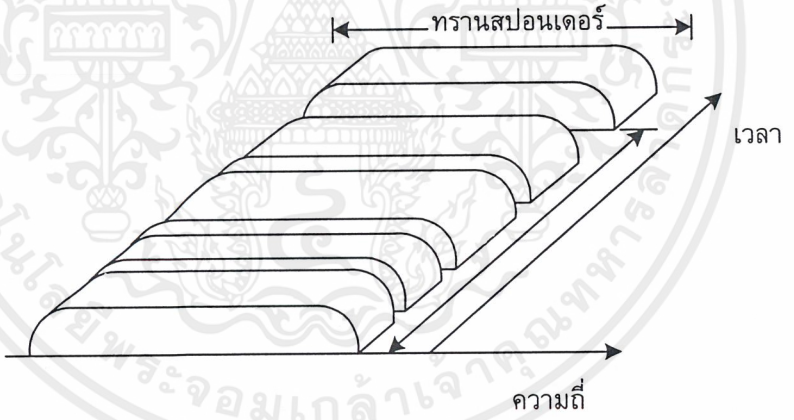
หลักการพื้นฐานของ TDMA คือ การส่งข้อมูลจะเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ที่สั้นกว่าเวลาที่ต้องส่งข้อมูลทั้งหมดและมีการแบ่งช่วงเวลาออกเป็นช่วงสั้นๆคล้ายเป็นช่องเวลา อัตราการส่งข้อมูลในแต่ละช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเป็น W บิตต่อวินาที ถ้าผู้ใช้แต่ละรายมีความต้องการส่งข้อมูล b บิตต่อวินาทีดังนั้นจะสามารถให้บริการผู้ใช้บริการได้ W/b คน ในเวลาเดียวกัน ทั้งนี้ผู้ใช้สามารถกำหนดช่วงเวลาเพื่อให้เพียงพอต่อช่วงเวลาที่ต้องการของตนเอง และเพื่อที่จะให้สามารถรองรับช่องสัญญาณได้มากและเพียงพอในการส่งข้อมูลจึงต้องมีการกำหนดให้มีการซ้ำช่องสัญญาณในช่วงเวลาหนึ่งๆ ด้วย

TDMA ในกรณี ของการสื่อสารไร้สาย อาจมีผลกระทบจากความใกล้-ไกล (near-far effect) เข้ามามีผลกระทบต่อสัญญาณโดยแปรผันตามระยะทางของผู้ใช้กับสถานีฐาน เพื่อแก้ไขปัญหาการซ้อนทับและการล่าช้าของสัญญาณจึงมีช่วงของเวลาระหว่างช่วงเวลาที่ทำการส่งสัญญาณ (Time slot) ที่เรียกว่า การ์ดไทม์ (Guard time) เพื่อว่าถ้าเกิดการล่าช้าแล้วก็จะไม่เกิดการซ้อนทับของสัญญาณระหว่างช่วงเวลาในระหว่างผู้ใช้แต่ละราย

ระบบ TDMA มักนิยมใช้ในระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม โดยสถานีภาคพื้นดินต่างๆ จะส่งสัญญาณผ่านทรานสปอนเดอร์ของดาวเทียมดวงหนึ่ง คนละช่วงของเวลาที่สั้นมาก แกนของเวลาจะถูกแบ่งออกเป็นช่วงเวลาที่กำหนดแน่นอนตายตัวช่วงหนึ่ง เรียกว่า เฟรม TDMA (TDMA frame) แต่ละเฟรมถูกแบ่งออกเป็นช่วงเวลาสั้นๆสำหรับจัดสรรให้กับสถานีภาคพื้นดินแต่ละแห่ง สถานีภาคพื้นดิน A, B, C และ D จะส่งสัญญาณของตัวเองเฉพาะภายในช่วงเวลาสั้นๆ ที่ถูกกำหนดให้สำหรับสถานีนั้น ๆ สัญญาณที่ส่งผ่านทรานสปอนเดอร์ของดาวเทียมจากแต่ละสถานีภาคพื้นดินแต่ละแห่งจะมีความถี่ของคลื่นพาหะความถี่เดียวกันคือ f_0 และจะใช้ย่านกว้างความถี่ตลอดย่านของทรานสปอนเดอร์นั้น



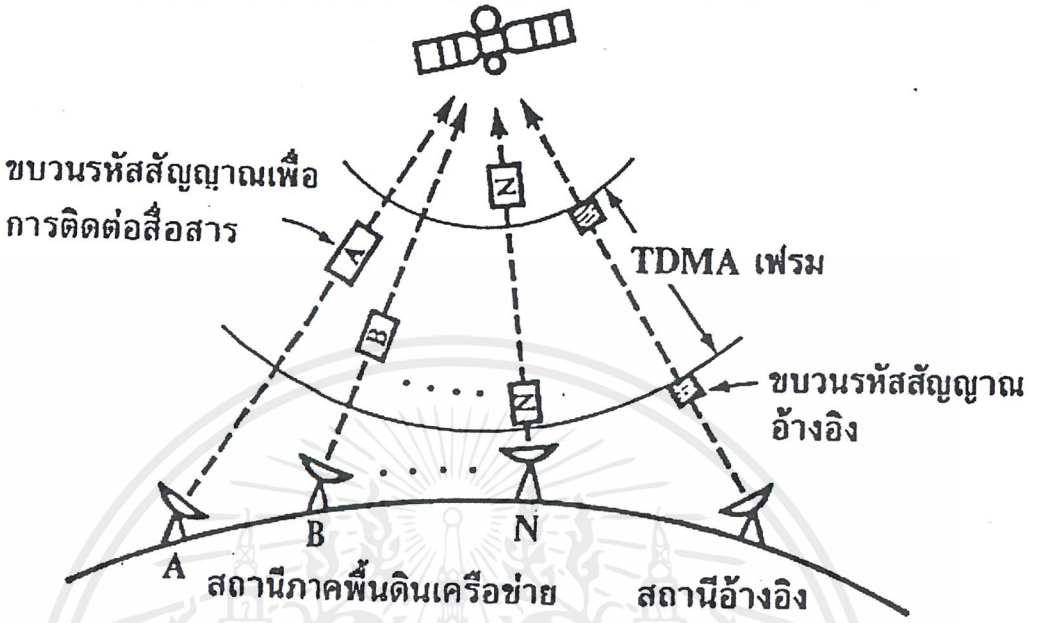
รูปที่ 2.7 การส่งสัญญาณแบบ TDMA

เนื่องจากแต่ละสถานีภาคพื้นดินถูกจัดสรรให้มีการส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมในช่วงเวลาสั้น ๆ ที่แตกต่างกัน ดังนั้นจะมีสัญญาณจากเพียงสถานีเดียวที่ถูกส่งผ่านทรานสปอนเดอร์ของดาวเทียมในช่วงเวลาหนึ่งๆ เท่านั้น ดังรูปที่ 2.7 การรบกวนซึ่งกันและกันระหว่างสัญญาณจึงไม่เกิดขึ้น

ความยาวช่วงเวลา (time slot) ที่จัดสรรให้สถานีภาคพื้นดินสถานีหนึ่ง ๆ กำหนดโดยความเหมาะกับความต้องการช่องสัญญาณของสถานีนั้น ๆ สถานีภาคพื้นดินแต่ละแห่งจะส่งสัญญาณของตัวเองในช่วงเวลาที่ถูกกำหนดให้ในทุกๆ เฟรม TDMA ดังนั้นสัญญาณที่ส่งไปจากสถานีภาคพื้นดินแต่ละแห่งจะอยู่ในรูปของขบวนรหัสสัญญาณความเร็วสูง (burst) ที่ส่งในช่วงเวลาสั้น ๆ มีช่วงระยะเท่าๆ กันเท่ากับ

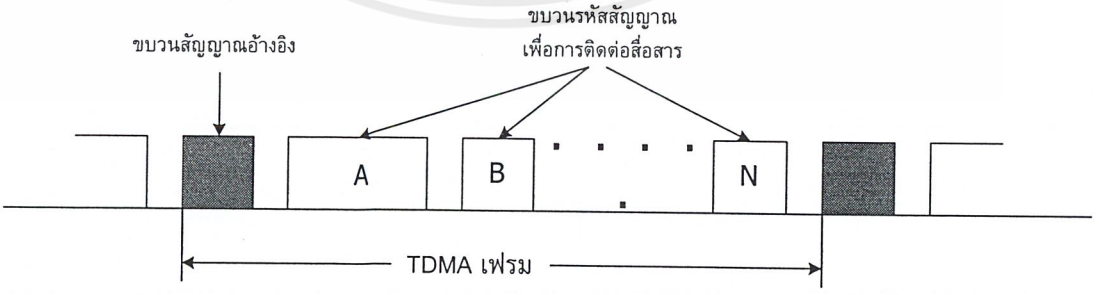
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งเฟรม TDMA ขบวนรหัสสัญญาณความเร็วสูงในหนึ่งเฟรมถูกจัดเรียงอยู่ในลักษณะที่ไม่มีการเหลื่อมซ้อนกัน รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างวิธีการส่งสัญญาณในระบบ TDMA



รูปที่ 2.8 การส่งสัญญาณคนละช่วงเวลาในระบบ TDMA

ข่ายของระบบ TDMA ประกอบด้วยสถานีเครือข่ายจำนวนหนึ่งและสถานีอ้างอิงอย่างน้อย 1 สถานี ขบวนรหัสสัญญาณความเร็วสูงที่ส่งจากสถานีเครือข่าย เรียกว่าทราฟฟิคเบิรสท์ (traffic burst) ข้อมูลข่าวสารจะถูกส่งโดยทราฟฟิคเบิรสท์นี้ ส่วนสถานีอ้างอิงจะส่งขบวนรหัสสัญญาณพิเศษเป็นช่วงเวลาที่แน่นอนผ่านดาวเทียมเป็นช่วงๆ เรียกว่า "ขบวนรหัสสัญญาณอ้างอิง" ขบวนรหัสสัญญาณอ้างอิงนี้มีไว้เพื่อกำหนดช่วงเวลามาตรฐานสำหรับเฟรม TDMA ช่วงหนึ่งๆ เท่ากับ 1 เฟรมของ TDMA สถานีเครือข่ายจะส่งขบวนรหัสสัญญาณของตัวเองโดยยึดถือขบวนรหัสสัญญาณอ้างอิงเป็นหลัก ดังรูปที่2.9



รูปที่ 2.9 การจัดเฟรม TDMA

สถานีภาคพื้นดินแต่ละแห่งจะส่งขบวนรหัสสัญญาณตามช่องเวลาที่กำหนดผ่านทรานสปอนเดอร์ดาวเทียมโดยยึดถือเวลาให้เหมาะสม มีระยะห่างจากขบวนรหัสสัญญาณอ้างอิงอย่างถูกต้อง ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ทรานสปอนเดอร์ดาวเทียม ขบวนรหัสสัญญาณอ้างอิงและขบวนรหัสสัญญาณติดต่อสื่อสารจะถูกจัดวางเรียงอย่างถูกต้องเหมาะสมไม่มีการซ้อนทับกันในแต่ละเฟรมของ TDMA สถานีภาคพื้นดินแต่ละแห่งจะรับขบวนรหัสสัญญาณเหล่านี้ และเลือกเอาออกมาเฉพาะขบวนรหัสสัญญาณที่ส่งมาให้สถานีนั้น ๆ ความยาวของเฟรมข้อมูล TDMA ขึ้นอยู่กับชนิดของปริมาณคลื่นพาห์ที่มีอยู่ การส่งในระบบนี้ข้อมูลจำเป็นต้องเก็บไว้ในหน่วยเก็บข้อมูลที่สถานีภาคพื้นดิน ระบบ TDMA จะเป็นสัญญาณดิจิตอลเท่านั้น เช่น เสียงพูดที่อยู่ในรูปเข้ารหัสแบบ PCM ที่มีการแซมปลิ้งที่ 8 กิโลเฮิรตซ์ด้วยบิท 7-8 บิท ต่อตัวอย่าง หรือ 56 กิโลบิทต่อวินาทีหรือ 64 กิโลบิทต่อวินาทีต่อช่องสัญญาณ

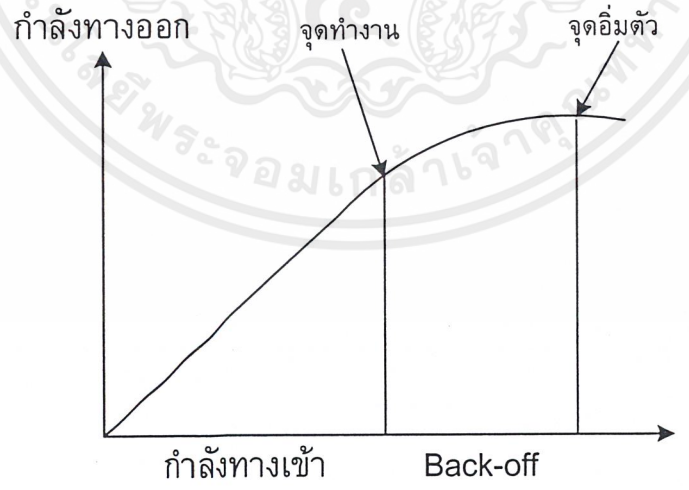
2.2.2 การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย

ข้อดีของระบบ TDMA

1) ปริมาณผู้ใช้จะส่งผลให้อัตราการรองรับข้อมูลเปลี่ยนไปแต่ว่าค่อนข้างยุ่งยากในทางปฏิบัติ

2) การส่งเป็นช่องเวลาในสถานีฐานสามารถให้ทุกผู้ใช้ได้ใช้ในเวลาต่างๆ และต้องการเพียงแค่ตัวขยายกำลังของสัญญาณจะได้สัญญาณที่ออกจากสายอากาศที่มีกำลังมากเพื่อรองรับเสริมต่อผู้ใช้โดยการขยายหลายๆสัญญาณ

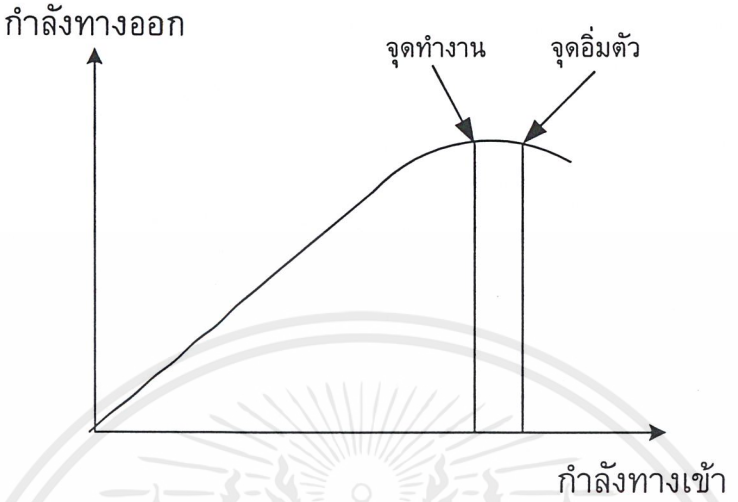
3) ข้อดีของระบบ TDMA เมื่อเปรียบเทียบกับระบบ FDMA ประการหนึ่งก็คือ สามารถใช้กำลังส่งของดาวเทียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้เพราะว่าในกรณีของ FDMA สถานีภาคพื้นดินหลาย ๆ สถานีส่งคลื่นพาห์ ซึ่งต่างความถี่กันผ่านทรานสปอนเดอร์ชุดใดชุดหนึ่งของดาวเทียมพร้อมๆ กัน จึงทำให้เกิดการรบกวนแบบอินเตอร์มอดูเลชั่น (intermodulation) ขึ้นเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinearity) ของการขยายสัญญาณของ TWT ในทรานสปอนเดอร์ของดาวเทียม เพื่อที่จะลดการรบกวนแบบนี้จำเป็นที่จะต้องให้หลอด TWT ทำงานที่ตำแหน่งที่เป็นเส้นตรงหรือถอยหลัง (backoff) จากจุดอิ่มตัว (saturation) ลงมาอย่างมาก ดังนั้นกำลังส่งของดาวเทียมจึงไม่สามารถใช้ได้อย่างเต็มที่ ดังรูปที่2.10



รูปที่ 2.10 จุดทำงานของ TWT กรณีระบบ FDMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ในกรณีของระบบ TDMA คลื่นพาห์จากสถานีภาคพื้นดินแต่ละแห่งจะถูกส่งผ่านทรานสปอนเดอร์ดาวเทียมคนละช่วงของเวลาทีละคลื่นพาห์ดังนั้นจึงสามารถให้หลอด TWT ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้จุดอิ่มตัว โดยปราศจากการรบกวนแบบอินเตอร์มอดูเลชั่น ระบบ TDMA จึงใช้กำลังส่งของดาวเทียมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบ FDMA ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 จุดทำงานของ TWT กรณีระบบ TDMA

4) ระบบ TDMA คือการทำงานของระบบมีความคล่องตัวมากหากมีการเปลี่ยนแปลงความต้องการช่องสัญญาณผ่านดาวเทียมของแต่ละสถานีภาคพื้นดิน ในระบบ FDMA ขนาดของคลื่นพาห์ และความถี่ของคลื่นพาห์ถูกกำหนดล่วงหน้าตามความต้องการของช่องสัญญาณของแต่ละสถานีภาคพื้นดิน ขนาดของคลื่นพาห์และความถี่ของคลื่นพาห์เป็นตัวหลักที่จะต้องเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความต้องการช่องสัญญาณ ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนหรือปรับปรุงอุปกรณ์สื่อสารของสถานีภาคพื้นดินแห่งนั้น หรือ พูดอีกนัยหนึ่งก็คือ จำเป็นต้องเปลี่ยนทางด้านอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ (hardware) ส่วนในระบบ TDMA ความยาว และตำแหน่งของขบวนรหัสสัญญาณถูกกำหนดให้สัมพันธ์กับความต้องการช่องสัญญาณของแต่ละสถานีภาคพื้นดิน เพราะว่าการเปลี่ยนแปลงช่องสัญญาณที่กำหนดทำได้โดยการเปลี่ยนความยาวและตำแหน่งของขบวนรหัสสัญญาณ ในกรณีนี้จึงไม่จำเป็นที่จะต้องเปลี่ยน หรือปรับปรุงแก้ไขอุปกรณ์สื่อสารของสถานีภาคพื้นดิน เพียงแต่ควบคุมโดยการใช้โปรแกรม ก็เพียงพอที่จะเปลี่ยนแปลงดังกล่าว

5) สามารถเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณในการส่งผ่านดาวเทียมได้เป็นจำนวนมาก โดยการใช้เทคนิคดิจิตอลสปีชอินเตอร์โพเลชั่น (Digital Speech Interpolation ; DSI) เข้าช่วยโดยเทคนิค DSI นี้ ช่องสัญญาณดาวเทียมจะถูกกำหนดเชื่อมต่อให้กับบุคคลที่พูดโทรศัพท์เฉพาะช่วงขณะเวลาเมื่อมีการเปล่งเสียงสัญญาณพูดเท่านั้น แทนการกำหนดช่องสัญญาณดาวเทียมแน่นอนตายตัวเหมือนวิธีการเดิม วิธีการแบบ DSI จึงสามารถทำให้ช่องสัญญาณดาวเทียมเชื่อมต่อกับช่องสัญญาณภายในประเทศได้ถึงสองเท่าตัว

6) TDMA มักถูกใช้เมื่อความต้องการของผู้ใช้แต่ละรายมีความต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่สูงกว่าอัตราข้อมูลของผู้ใช้ อีกทั้งยังต้องการความแรงของสัญญาณที่มีกำลังมากและกำลังขยายสูงในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประยุกต์การใช้ในระบบการสื่อสารไร้สาย(โดยเปรียบกับ FDMA นั้น TDMA จะมีช่วงเวลาที่สั้นกว่า FDMA และกำลังของสัญญาณมากกว่า FDMA)

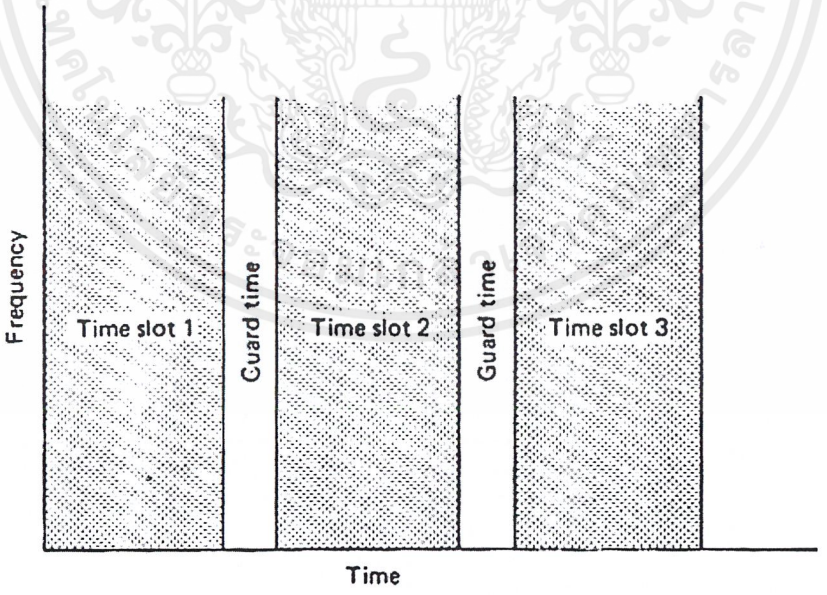
ข้อเสียของระบบ TDMA

1) ในระบบของเวลานั้นจะต้องมั่นใจได้ว่ามีความแม่นยำถูกต้องของตัว ไทม์สล็อตของสัญญาณที่เข้ามาและเฟรมของสัญญาณและจัดการกับสัญญาณล่าช้าในกรณีของการสื่อสารไร้สายดังนั้นจึงต้องระมัดระวังในการออกแบบ สำหรับผู้ใช้หลายรายปริมาณน้อย อาจนิยมใช้ FDMA

2) TDMA ทำงานโดยมีขั้นตอนที่ยุ่งยากกว่า FDMA และ จะต้องใช้เวลาในการอ้างอิงการทำงานตลอดเวลา การกำหนด TDMA แบบตายตัวแน่นอนจะมีข้อดีเมื่อปริมาณความหนาแน่นข่าวสารสูงมากๆ TDMA จะทำงานได้ดีเมื่อความหนาแน่นข่าวสารอยู่ในระดับกลางถึงสูง

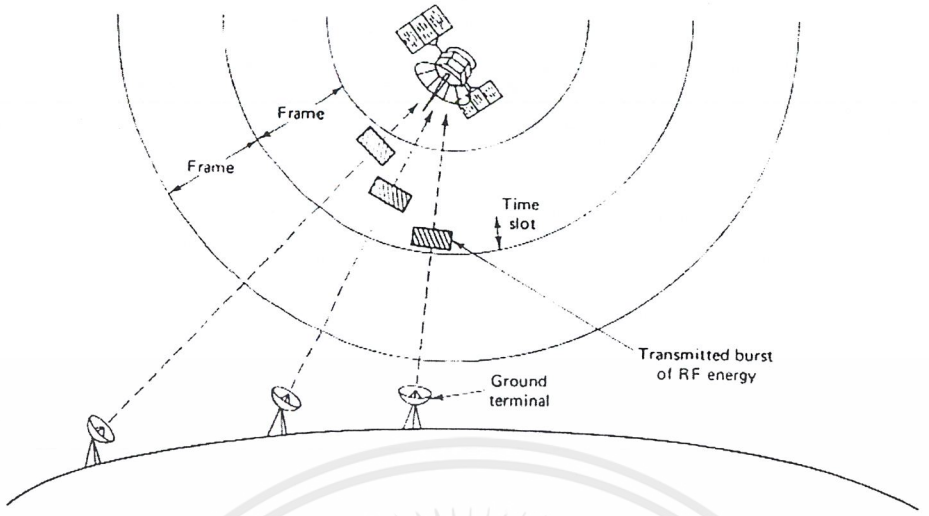
2.2.3 ประยุกต์ใช้การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา / การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา

ในรูปที่ 2.12 ช่องการสื่อสารถูกใช้ร่วมกันโดยผู้ใช้หรือสัญญาณ M สัญญาณ โดยแบ่งกันใช้ระบบในช่วงเวลาสั้นๆ ที่ เรียกว่า ไทม์สล็อต (time slot) ช่วงเวลาที่ไม่ได้ใช้ระหว่างไทม์สล็อตเรียกว่าการ์ดไทม์(guard time)ซึ่งมีเพื่อลดสัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากเวลาที่ไม่แน่นอนของสัญญาณในไทม์สล็อตข้างเคียง ในรูปที่ 2.13 เป็นภาพของการประยุกต์ใช้เป็นดาวเทียมแบบ TDMA โดยที่เวลาจะถูกแบ่งเป็นช่วงๆที่เรียกว่า เฟรม(frame)แต่ละเฟรมก็จะแบ่งเป็นไทม์สล็อตให้ผู้ใช้แต่ละคนใช้ โครงสร้างเฟรมจะเกิดซ้ำแล้วซ้ำอีกเพื่อให้ผู้ใช้ที่กำหนดไว้ได้ใช้ไทม์สล็อตเรื่อยๆในแต่ละเฟรม

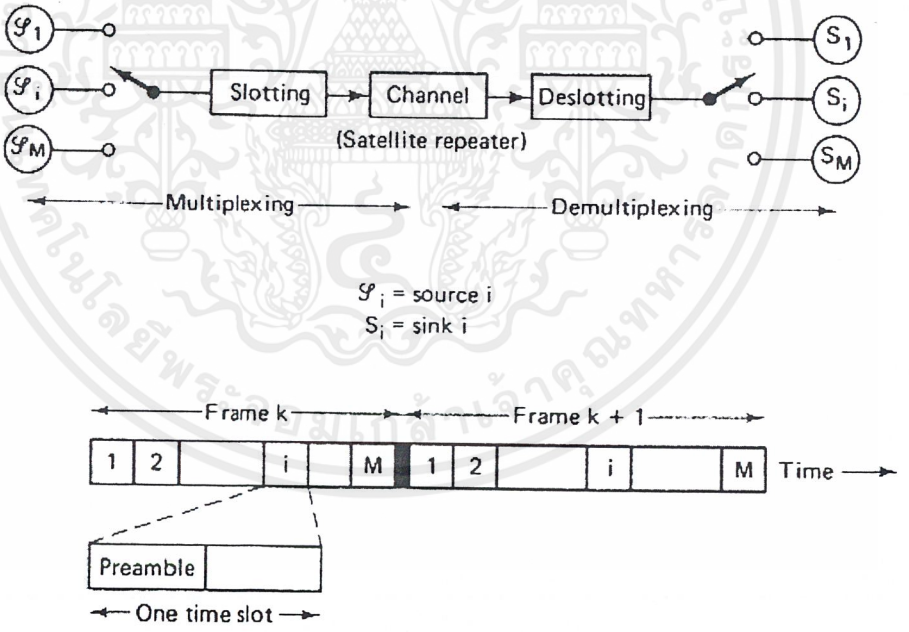


รูปที่ 2.12 การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 โครงสร้าง TDMA

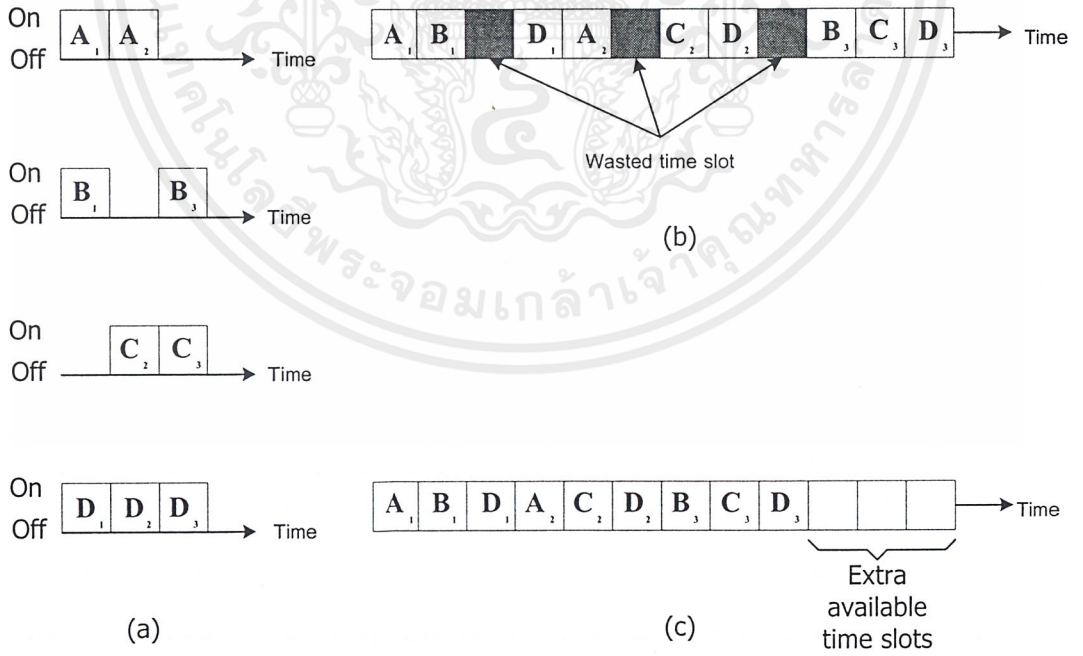


รูปที่ 2.14 TDM แบบกำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TDM/TDMA ที่ง่ายที่สุดคือ TDM/TDMA แบบกำหนดไว้ (Fixed-Assignment TDM/TDMA) สาเหตุที่มีชื่อนี้เป็นเพราะ ไทม์สล็อตจำนวน M ไทม์สล็อตที่ประกอบเป็นเฟรมนั้นถูกกำหนดผู้ใช้ไว้ล่วงหน้า ดังรูปที่ 2.14 ซึ่งเป็นบล็อคไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบ การมัลติเพล็กซ์ประกอบด้วยการหาโอกาสที่จะใช้ 1 ไทม์สล็อตหรือมากกว่าให้กับผู้ใช้ การดีมัลติเพล็กซ์ ประกอบด้วยการนำข้อมูลออกจากไทม์สล็อตไปสู่ผู้รับ สวิตช์ทั้งสองในรูปที่ 2.14 ต้องซิงโครไนซ์กันเพื่อให้ข้อความจากผู้ใช้ที่ 1 ออกไปที่เอาต์พุตช่องที่1 ข้อความจากผู้ใช้ที่ 2 ออกไปที่เอาต์พุตช่องที่2 เป็นอย่างนี้เรื่อยๆ ไป ส่วนข้อความนั้นโดยทั่วไปแล้วจะประกอบด้วยส่วนของพรีแอมเบิ้ล(preamble)และส่วนของข้อมูล ส่วนของพรีแอมเบิ้ลนั้นโดยปกติจะมีการซิงโครไนซ์ การบอกตำแหน่งและลำดับการควบคุมความผิดพลาดอยู่ด้วย

TDM /TDMA แบบกำหนดไว้นั้นมีประสิทธิภาพมากเมื่อค่าต่างๆที่แหล่งกำเนิดสัญญาณสามารถทำนายได้ และการสื่อสารหนาแน่น (ไทม์สล็อตถูกใช้มาก) อย่างไรก็ตามสำหรับการสื่อสารที่เบาบาง TDM/TDMA แบบกำหนดไว้นี้ก็สูญเปล่า พิจารณาตัวอย่างง่าย ๆ แสดงในรูปที่ 2.15 ซึ่งจะมี 4 ไทม์สล็อตต่อเฟรมแต่ละสล็อตมีการกำหนดผู้ใช้ไว้ล่วงหน้าโดยเรียงผู้ใช้จาก A, B, C และ D ตามลำดับ ในรูปที่ 2.15a เป็นการส่งข้อมูลของผู้ใช้ทั้งสี่ จะเห็นว่าระหว่างช่วงเวลาของเฟรมแรก ผู้ใช้ C ไม่มีข้อมูลที่จะส่ง ระหว่างช่วงเวลาของเฟรมที่สอง ผู้ใช้ B ไม่มีข้อมูล และระหว่างช่วงเวลาของเฟรมที่สาม ผู้ใช้ A ไม่มีข้อมูล ใน TDMA แบบกำหนดไว้ทุกสล็อตในเฟรมจะถูกกำหนดไว้ล่วงหน้า ถ้าผู้ใช้สล็อตไม่มีข้อมูลที่จะส่งในเฟรมใด สล็อตนั้นก็จะสูญเปล่า ข้อมูลที่แสดงในรูป 2.15b แสดงไทม์สล็อตที่สูญเปล่าในตัวอย่างนี้ เมื่อค่าต่างๆของแหล่งกำเนิดสัญญาณไม่สามารถทำนายได้เช่นในตัวอย่างนี้ควรใช้ TDM/TDMA แบบไดนามิก(Dynamic Assignment)จะดีกว่าแบบกำหนดไว้



รูปที่ 2.15 TDM แบบกำหนดไว้กับแพคเก็ตสวิตชิ่ง (packet switching)
(a) การส่งข้อมูลของผู้ใช้ (b) TDM แบบกำหนดไว้ (c) การแบ่งเวลาแบบแพคเก็ตสวิตชิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access ; CDMA)

2.3.1 บทนำ

การเข้าถึงข้อมูลหลายทางโดยใช้การแบ่งรหัสนั้น คุณสมบัติของการเข้าถึงหลายทางสามารถทำได้โดยการเข้ารหัสซึ่งผู้ใช้แต่ละคนจะถูกกำหนดลำดับรหัส (code sequence) ให้ เครื่องรับที่รู้ลำดับรหัสของผู้ใช้แต่ละคนเท่านั้นจึงจะสามารถรับสัญญาณและทำการถอดรหัสเพื่อให้ได้ข้อมูลเดิมกลับมา เนื่องจากแบนด์วิดท์ของสัญญาณรหัสดังกล่าวมีค่ามากกว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลมากทำให้กระบวนการเข้ารหัสนั้นมีผลทำให้เกิดการแผ่กว้างของสเปกตรัมของสัญญาณ ดังนั้นจึงเรียกกระบวนการนี้ว่าการมอดูเลตแบบแผ่กว้างทางสเปกตรัม (spread-spectrum (SS) modulation) นอกจากนี้ยังเรียกสัญญาณที่ถูกเข้ารหัสว่าสัญญาณสเปกตรัมแผ่ (spread-spectrum signal) และมักจะเรียกการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access ; CDMA) นี้ว่าการเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่ (Spread-Spectrum Multiple Access ; SSMA)

เทคนิคการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่นั้นได้เริ่มมีการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานในระบบเรดาร์ทางการทหารเนื่องจากเทคนิคการมอดูเลตแบบนี้สามารถป้องกันการส่งสัญญาณกวน (jamming signal) ได้ดีและมีความน่าจะเป็นในการถูกดักจับสัญญาณต่ำ ต่อมาจึงได้มีการพัฒนามาใช้ในระบบสื่อสารต่างๆ

การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่จะทำการเข้ารหัสสัญญาณข่าวสารด้วยสัญญาณรหัสที่มีความเป็นอิสระไม่ขึ้นกับสัญญาณข้อมูลและมีความกว้างของสเปกตรัมมากกว่าสัญญาณข้อมูลมาก การทำเช่นนี้จะเป็นผลทำให้กำลังของสัญญาณข้อมูลมีการแผ่กว้างออกไปตลอดช่วงของแบนด์วิดท์ของสัญญาณสเปกตรัมแผ่นั้น เป็นผลทำให้สัญญาณสเปกตรัมแผ่มีความหนาแน่น (density) ของกำลังงานลดลง อัตราส่วนของแบนด์วิดท์ของสัญญาณสเปกตรัมแผ่ต่อแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลจะถูกเรียกว่าอัตราขยายการประมวลผล (processing gain : G_p) ของระบบสเปกตรัมแผ่

$$G_p = \frac{B_t}{B_i} \qquad 2.1$$

เมื่อ B_t เป็นแบนด์วิดท์ของการส่งสัญญาณและ B_i เป็นแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูล

เครื่องรับจะทำการคอร์รีเลต (correlate) สัญญาณที่รับได้ด้วยสัญญาณรหัสที่เหมือนกับทางด้านส่งซึ่งถูกสร้างขึ้นอย่างซิงโครไนซ์ (synchronize) กับรหัสของสัญญาณที่รับได้เพื่อให้ได้สัญญาณข้อมูลเดิมกลับคืนมา นั่นแสดงว่าเครื่องรับจะต้องรู้สัญญาณรหัสที่ถูกใช้ในการมอดูเลตข้อมูลจากทางด้านส่ง

เนื่องจากการเข้ารหัสทำให้แบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลมีขนาดใหญ่ขึ้นมาก ดังนั้นสเปกตรัมแผ่จึงมีคุณสมบัติหลายประการที่แตกต่างจากคุณสมบัติของสัญญาณแบนด์แคบ (narrowband) คุณสมบัติที่สำคัญของการใช้เทคนิคสเปกตรัมแผ่มีดังนี้

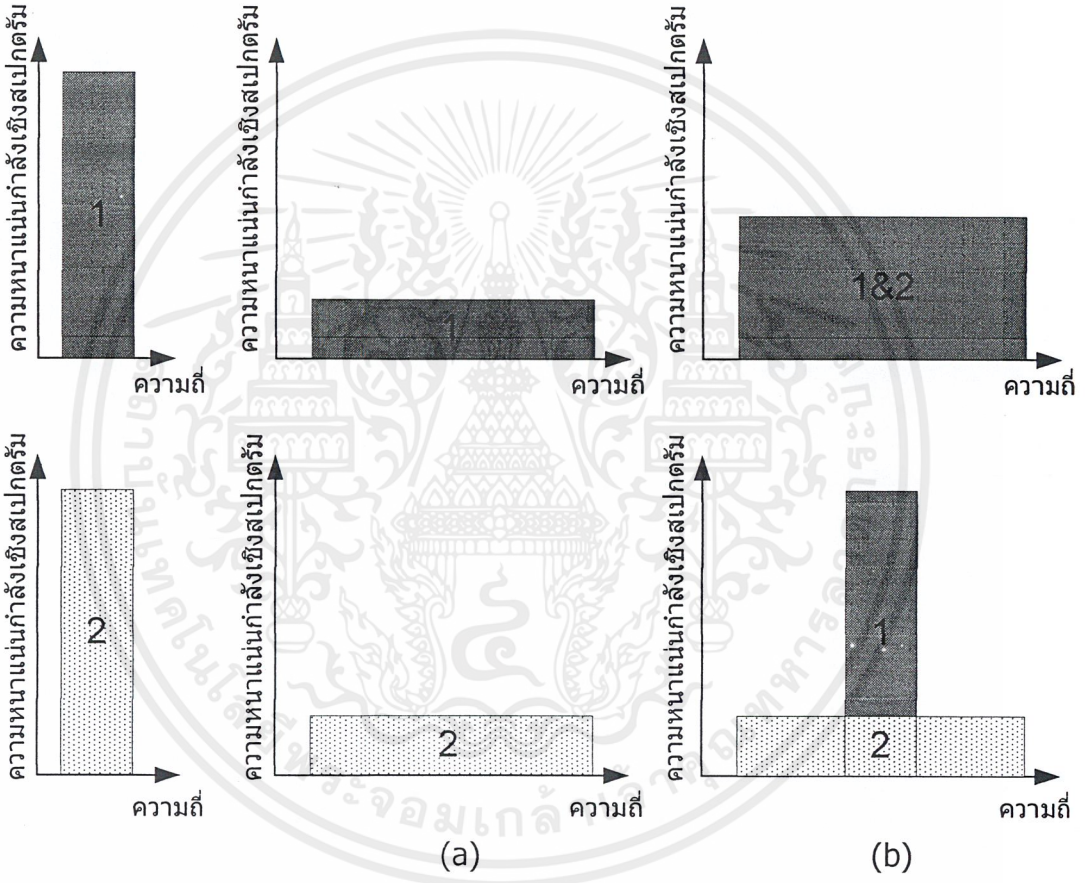
1) ความสามารถในการเข้าถึงหลายทาง (multiple access capability)

ถ้ามีผู้ใช้หลายๆคนทำการส่งสัญญาณสเปกตรัมแผ่ในเวลาเดียวกัน เครื่องรับจะยังคงสามารถแยกความแตกต่างระหว่างผู้ใช้แต่ละคนได้โดยการให้ผู้ใช้แต่ละคนใช้รหัสซึ่งมีค่าครอสคอร์รีเลชั่น(cross-correlation) ระหว่างรหัสของผู้ใช้ที่ต้องการกับรหัสของผู้ใช้อื่นๆที่ต่ำเพียงพอ ดังนั้นเมื่อทำคอร์รีเลชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

(correlation) สัญญาณที่รับได้ด้วยรหัสของผู้ใช้ที่ต้องการดีเทค (detect) ก็จะเป็นการดีสเปรด (despread) สัญญาณของผู้ใช้คนดังกล่าวกลับมาเท่านั้น ในขณะที่สัญญาณสเปกตรัมแผ่จากผู้ใช้อื่น ๆ จะยังคงมีลักษณะของสเปกตรัมที่แผ่กว้างดังเดิม ด้วยเหตุนี้ภายในแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลจะมีกำลังของสัญญาณจากผู้ใช้ที่ต้องการดีเทคมากกว่ากำลังของสัญญาณแทรกสอด (interfering power) จากผู้ใช้อื่น ๆ มาก ดังนั้นจึงสามารถทำการดีเทคสัญญาณที่ต้องการออกมาได้ ความสามารถในการเข้าถึงหลายทางนี้แสดงดังรูปที่ 2.16 ในรูปที่ 2.16a แสดงการสร้างสัญญาณสเปกตรัมแผ่ของผู้ใช้ 2 คนจากสัญญาณข้อมูลเดิมที่เป็นสัญญาณแบนด์แคบ ส่วนรูปที่ 2.16b แสดงการส่งสัญญาณสเปกตรัมแผ่ของผู้ใช้ทั้ง 2 คนในเวลาเดียวกัน ที่เครื่องรับจะมีเพียงสัญญาณของผู้ใช้คนที่ 1 เท่านั้นที่ถูกดีสเปรดและได้สัญญาณข้อมูลเดิมกลับคืนมา



รูปที่ 2.16 หลักการของการเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่

2) การป้องกันสัญญาณแทรกสอดแบบหลายเส้นทาง (multipath interference)

สำหรับช่องสัญญาณวิทยุนั้นเส้นทางเดินของสัญญาณระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับไม่ได้มีเพียงเส้นทางเดียวเนื่องมาจากการสะท้อน (และการหักเห) ทำให้สัญญาณที่รับได้ที่เครื่องรับจะมาจากเส้นทางต่างๆกันสัญญาณจากเส้นทางต่างๆนั้นจะเป็นสัญญาณที่ถูกส่งออกไปจากเครื่องส่งเหมือนกันแต่มีความแตกต่างกันทางแอมพลิจูดและเฟส การรวมสัญญาณเหล่านี้เข้าด้วยกันที่เครื่องรับนั้นอาจจะเป็นการรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
46448

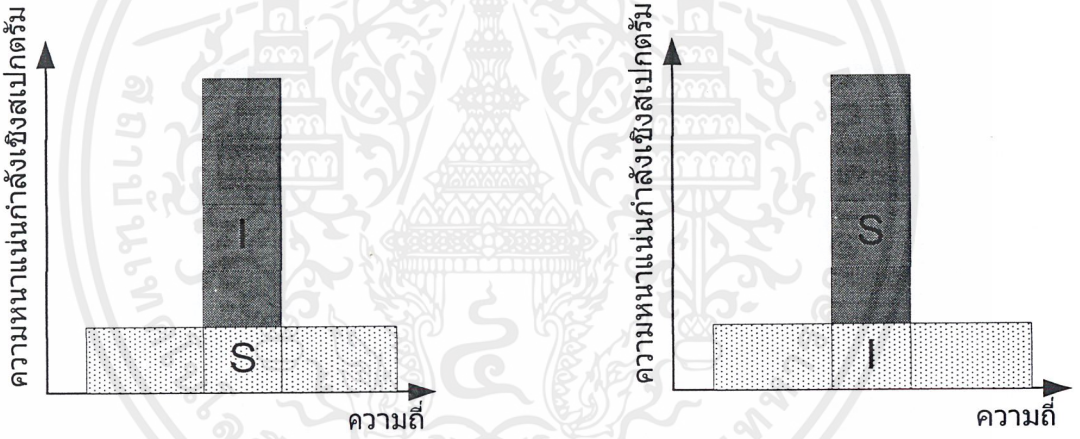
แบบเสริมกันที่บางความถี่และเป็นการรวมแบบหักล้างกันที่ความถี่อื่นๆ ในโดเมนของเวลา เหตุการณ์ดังกล่าวจะเป็นผลทำให้เกิดสัญญาณที่ถูกกระจายออก (dispersed signal) ทางเวลา ซึ่งการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่สามารถจะแก้ปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณแทรกสอดแบบหลายเส้นทางนี้ได้ แต่อย่างไรก็ดีวิธีในการแก้ปัญหาดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับชนิดของการมอดูเลตที่ใช้อย่างมากทีเดียว

3) ความเป็นส่วนตัว (privacy)

สัญญาณที่ถูกส่งออกไปสามารถจะถูกดีสเปรดและได้สัญญาณข้อมูลเดิมกลับคืนมาเมื่อเครื่องรับรู้รหัสเท่านั้น

4) การกำจัดสัญญาณแทรกสอด (interference rejection)

การทำครอสคอร์รีเลต (cross-correlate) สัญญาณรหัสด้วยสัญญาณแบนด์แคบจะทำให้กำลังของสัญญาณแบนด์แคบนั้นถูกแผ่ออก นั่นคือเป็นการลดกำลังงานของสัญญาณแทรกสอดที่อยู่ในแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลลง แสดงดังรูปที่ 2.17 สัญญาณสเปกตรัมแผ่ (s) ซึ่งถูกรบกวนจากสัญญาณแทรกสอดแบนด์แคบ (i) จะถูกดีสเปรดที่เครื่องรับในขณะที่สัญญาณแทรกสอดจะถูกแผ่กว้างทางสเปกตรัม ทำให้สัญญาณแทรกสอดดังกล่าวปรากฏเป็นสัญญาณรบกวนพื้นหลัง (background noise) เมื่อเทียบกับสัญญาณที่ถูกดีสเปรด



รูปที่ 2.17 การกำจัดสัญญาณแทรกสอด

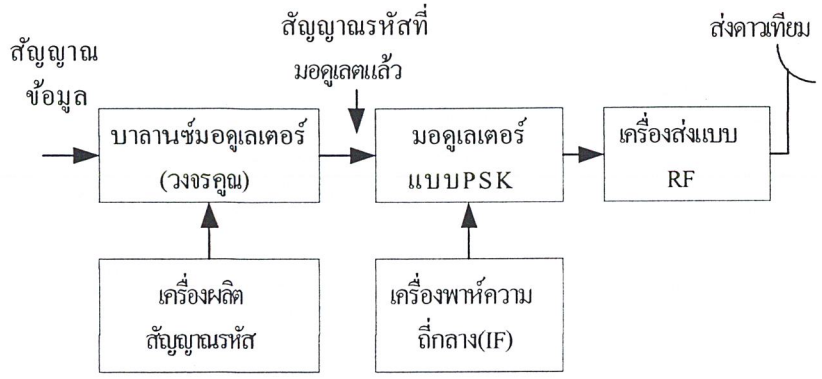
5) ความสามารถในการป้องกันการแทรกแซงจากผู้อื่น (anti-jamming capability)

โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแทรกแซงแบนด์แคบ (narrowband jamming) คุณสมบัตินี้คล้ายกับการกำจัดสัญญาณแทรกสอดเพียงแต่สัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นในกรณีนี้เป็นไปโดยเจตนาให้เกิดขึ้นแก่ระบบจากคุณสมบัติข้อนี้และข้อถัดไปทำให้การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่เป็นที่น่าสนใจสำหรับการประยุกต์ใช้งานทางด้านการทหาร

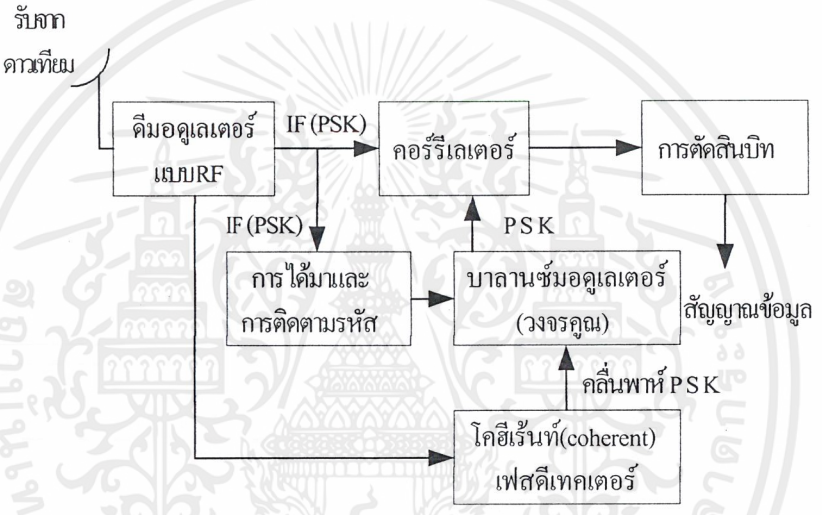
6) ความน่าจะเป็นในการถูกดักจับสัญญาณต่ำ (Low Probability of Intercept ; LPI)

เนื่องจากสัญญาณสเปกตรัมแผ่มีความหนาแน่นของกำลังงานที่ต่ำจึงทำให้เป็นการยากที่จะถูกดีเทค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

รูปที่ 2.18 การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (CDMA) ; (a) วงจรเข้ารหัส ; (b) วงจรถอดรหัส

รูปที่ 2.18 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรเข้ารหัสและถอดรหัสของ CDMA ในวงจรเข้ารหัส (รูปที่ 2.18a) สัญญาณข้อมูลอินพุ ตซึ่งอาจจะเป็นสัญญาณเสียงที่เข้ารหัสแบบ PCM (Pulse Code Modulation) หรือข้อมูลดิจิตอลดิบก็ได้ จะถูกคูณด้วยสัญญาณรหัส (chip code) ที่ไม่เหมือนกัน ผลคูณที่ได้จะมอดูเลตแบบ PSK (Phase Shift Keying) กับคลื่นพาห์ความถี่กลาง (Intermediate Frequency carrier ; IF carrier) ซึ่งจะทำให้มีความถี่สูงขึ้นเป็นความถี่วิทยุ (Radio Frequency ; RF) เพื่อการส่งสัญญาณ ที่เครื่องรับ (รูปที่ 2.18b) ความถี่วิทยุถูกแปลงลงเป็นความถี่กลาง จากความถี่กลางจะได้คลื่น พาห์ของสัญญาณ PSK และสัญญาณรหัสซึ่งใช้ซิงโครไนซ์กับเครื่องผลิตสัญญาณรหัสจากสถานีที่ได้รับ ซึ่งสถานีรับรู้สัญญาณรหัสแต่ต้องผลิตสัญญาณรหัสที่ซิงโครไนซ์ทางเวลากับสัญญาณรหัสที่ได้รับ สัญญาณรหัสที่ผลิตขึ้นมาที่ซิงโครไนซ์นี้จะนำไปคูณกับคลื่นพาห์ของสัญญาณ PSK ที่ได้ ทำให้ได้เป็นสัญญาณที่มอดู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

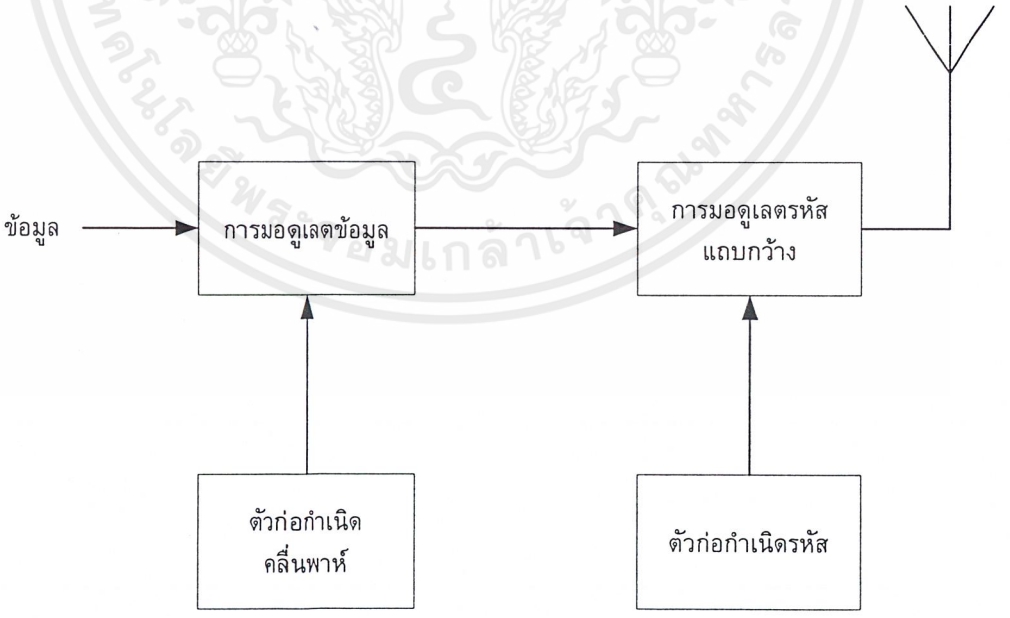
เลตแบบ PSK ซึ่งมีคลื่นพาห์ของสัญญาณ PSK และสัญญาณรหัสรวมอยู่ สัญญาณความถี่กลางที่รับได้ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณรหัส คลื่นพาห์ของสัญญาณ PSK และสัญญาณข้อมูลจะถูกเปรียบเทียบกับสัญญาณความถี่กลางที่รับได้ในคอร์รีเลเตอร์ (correlator) หน้าที่ของคอร์รีเลเตอร์คือเปรียบเทียบสัญญาณ 2 สัญญาณและเอาข้อมูลเดิมกลับคืนมา ดังนั้นคอร์รีเลเตอร์จะเอาคลื่นพาห์ของสัญญาณ PSK ที่ได้กับสัญญาณรหัสออกจากผลรวมระหว่างคลื่นพาห์ของสัญญาณ PSK สัญญาณรหัส และสัญญาณข้อมูล ซึ่งจะได้ผลลัพธ์คือสัญญาณข้อมูลนั่นเอง

2.3.2 การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่

การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่สามารถแบ่งตามวิธีการมอดูเลตได้เป็น วิธีการจัดลำดับโดยตรง (direct-sequence) วิธีการกระโดดของความถี่ (frequency hopping) วิธีการกระโดดของเวลา (time hopping) และวิธีการไฮบริด (hybrid) โดยมีรายละเอียดของแต่ละวิธีดังนี้

2.3.2.1 การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่โดยใช้วิธีการจัดลำดับโดยตรง (Direct-sequence spread spectrum ; DS-SS)

สำหรับการเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่โดยใช้วิธีการจัดลำดับโดยตรงนั้น สัญญาณข้อมูลที่ผ่านการมอดูเลตกับสัญญาณพาห์มาแล้วจะถูกมอดูเลตโดยตรงกับสัญญาณรหัสดิจิตอล โดยที่สัญญาณข้อมูลดังกล่าวอาจจะเป็นได้ทั้งสัญญาณอะนาลอกหรือสัญญาณดิจิตอลแต่โดยส่วนใหญ่จะเป็นสัญญาณดิจิตอลซึ่งกรณีที่สัญญาณข้อมูลเป็นแบบดิจิตอลนี้มักจะทำการคูณสัญญาณดิจิตอลนั้นด้วยสัญญาณรหัสโดยตรงแล้วจึงนำสัญญาณที่ได้ไปมอดูเลตกับสัญญาณพาห์แบนด์กว้าง ด้วยเหตุผลจากการคูณสัญญาณข้อมูลด้วยสัญญาณรหัสโดยตรงนี้เองจึงเรียกว่า การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสโดยใช้วิธีการจัดลำดับโดยตรง (Direct-sequence CDMA ; DS-CDMA)

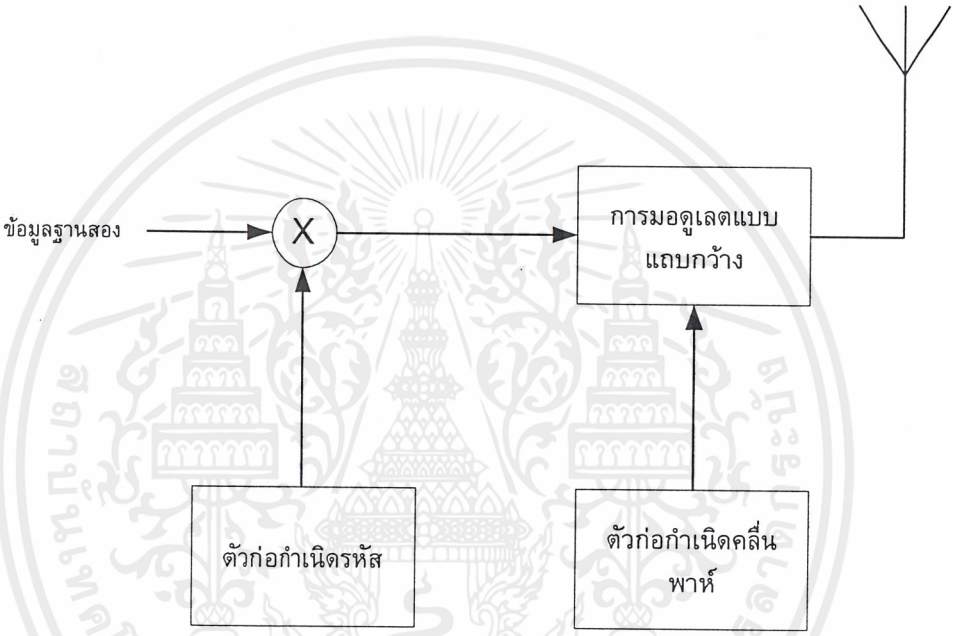


รูปที่ 2.19 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง DS-CDMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.19 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง DS-CDMA สัญญาณข้อมูลไบนารีจะถูกมอดูเลตกับสัญญาณพาห์ หลังจากนั้นสัญญาณที่ถูกมอดูเลตแล้วนี้จะถูกนำไปมอดูเลตด้วยสัญญาณรหัส สัญญาณรหัสนี้ประกอบด้วยบิตต่างๆของรหัสหรือเรียกว่าชิพ (chip) ซึ่งอาจจะมีค่าเป็น +1 หรือ –1 และเพื่อที่จะให้ได้การแผ่ของสัญญาณตามต้องการ อัตราชิพ (chip rate) ของสัญญาณรหัสจะต้องสูงกว่าอัตราชิพของสัญญาณข้อมูลมากๆ สำหรับวิธีการมอดูเลตรหัส (code modulation) นั้นสามารถใช้เทคนิคการมอดูเลตได้หลายวิธีแต่วิธีที่นิยมใช้กันคือ การมอดูเลตแบบ PSK (Phase shift keying) อย่างเช่น BPSK, DBPSK, QPSK หรือ MSK (Minimum shift keying)

ถ้าทำการคูณสัญญาณข้อมูลด้วยสัญญาณรหัสโดยตรงโดยไม่ได้ทำการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลนั้นก่อนและใช้วิธีการมอดูเลตรหัสแบบ BPSK จะสามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.20



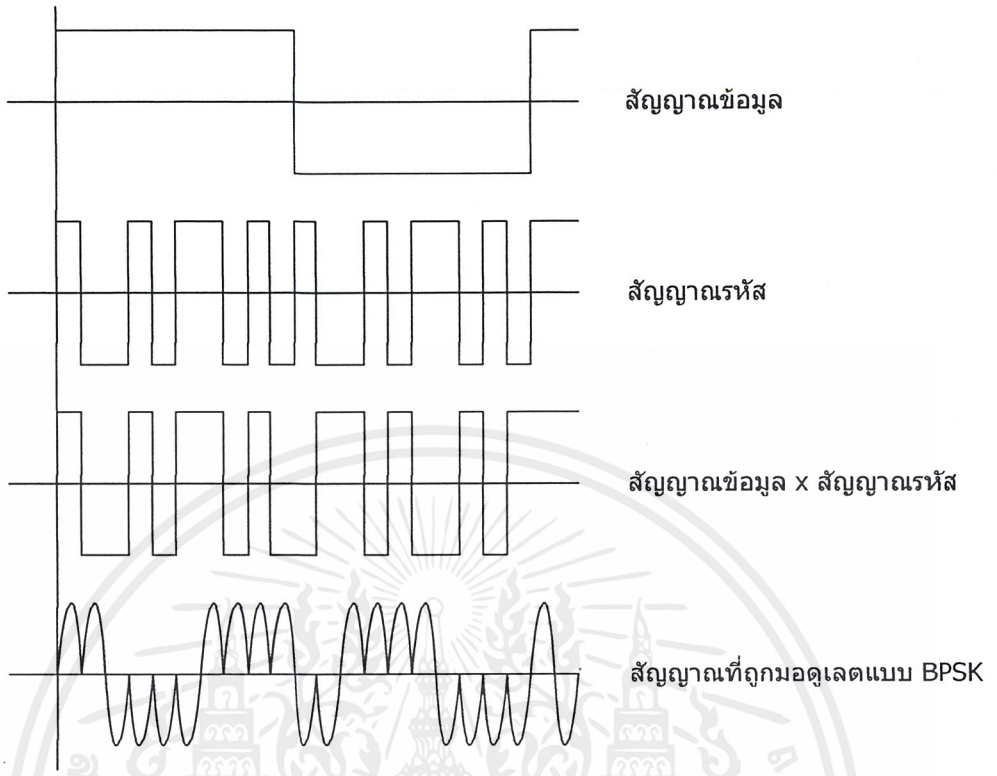
รูปที่ 2.20 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง DS-SS

สัญญาณ DS-SS ที่ได้จากเครื่องส่งนี้แสดงดังรูปที่ 2.21 จากรูปจะเห็นว่าเป็นการส่งสัญญาณรหัส 10 บิตต่อสัญญาณข้อมูล 1 บิต (อัตราชิพของรหัสเป็น 10 เท่าของอัตราชิพของข้อมูล) ดังนั้นจะได้อัตราขยายการประมวลผลเป็น 10 ในทางปฏิบัติอัตราขยายการประมวลผลจะมีค่ามากกว่านี้มาก (จะมีค่าเป็น 10^2 ถึง 10^3)

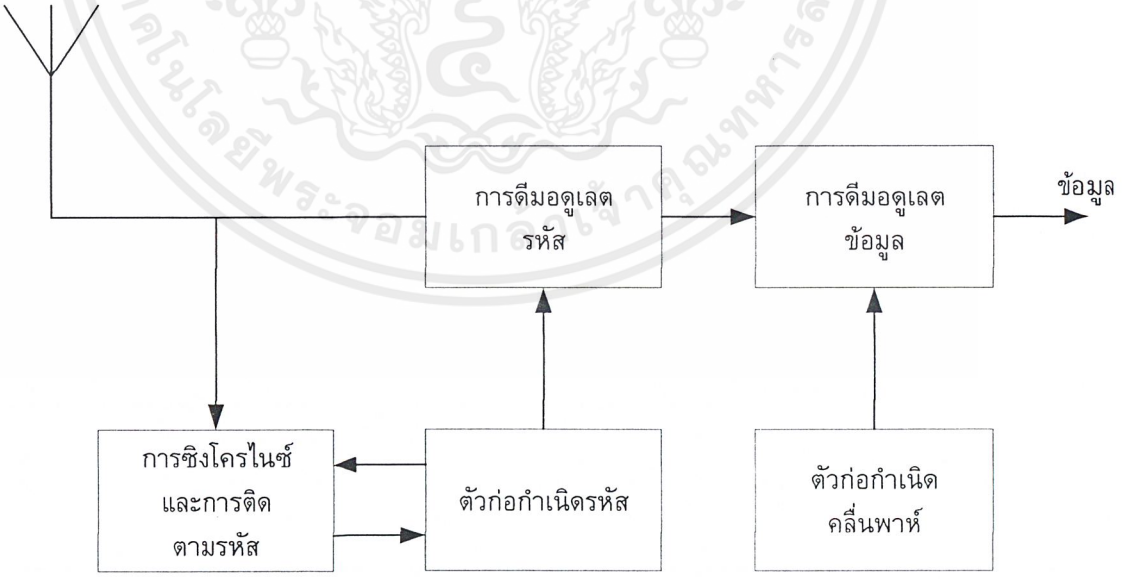
ที่เครื่องรับ (แสดงดังรูปที่ 2.22) จะใช้การดีมอดูเลตแบบร่วมนัยและใช้ลำดับรหัสที่สร้างขึ้นทางด้านรับในการดีสเปรดสัญญาณสเปกตรัมแผ่ การที่กระบวนการดีสเปรดจะทำได้สำเร็จนั้นไม่เพียงแต่เครื่องรับจะต้องรู้ลำดับรหัสที่ถูกใช้ในการสร้างสัญญาณสเปกตรัมแผ่ทางด้านส่งเท่านั้น แต่ยังต้องทำให้รหัสของสัญญาณที่รับได้ที่เครื่องรับมีการซิงโครไนซ์กันกับสัญญาณรหัสที่ถูกสร้างขึ้นที่เครื่องรับด้วย ซึ่งการซิงโครไนซ์นี้จะต้องทำได้สำเร็จตั้งแต่เริ่มต้นการรับสัญญาณและต้องรักษาการซิงโครไนซ์ไปจนกระทั่งรับสัญญาณได้ทั้งหมด จากรูปที่ 2.22ส่วนของการซิงโครไนซ์ดังกล่าวแสดงด้วยบล็อกไดอะแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการซิงโครไนซ์/การติดตาม (tracking) ภายหลังจากทำการดีสเปรดสัญญาณข้อมูลและทำการดีมอดูเลตก็จะได้สัญญาณข้อมูลเดิมกลับคืนมา



รูปที่ 2.21 การสร้างสัญญาณสเปกตรัมแผ่โดยใช้วิธีการมอดูเลตรหัสแบบ BPSK โดยแกนตั้งเป็นขนาดของสัญญาณและแกนนอนเป็นเวลา



รูปที่ 2.22 เครื่องรับสัญญาณ DS-SS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหัวข้อที่ผ่านมาได้กล่าวถึงคุณสมบัติอันเป็นประโยชน์ของสัญญาณสเปกตรัมแผ่ ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของระบบ CDMA คือความสามารถในการเข้าถึงหลายทาง ความสามารถในการกำจัดสัญญาณแทรกสอดแบบหลายเส้นทาง ความสามารถในการกำจัดสัญญาณแทรกสอดแบนด์แคบ และคุณสมบัติของการมีความน่าจะเป็นในการถูกดักจับสัญญาณที่ต่ำ ซึ่งจะทำให้ระบบการสื่อสารมีความปลอดภัยและมีความเป็นส่วนตัวมากขึ้น ต่อไปเป็นการอธิบายคุณสมบัติทั้ง 4 นี้ในกรณีของ DS-CDMA

1) การเข้าถึงหลายทาง

ถ้ามีผู้ใช้หลายๆคนใช้ช่องสัญญาณในขณะเวลาเดียวกันจะทำให้มีสัญญาณ DS หลายๆสัญญาณที่มีการเหลื่อมทับ (overlap) กันในทางเวลาและความถี่ ที่เครื่องรับจะใช้การดีมอดูเลตแบบร่วมนัยเพื่อกำจัดผลของการมอดูเลตและรหัสออกไป กระบวนการดังกล่าวจะเป็นการรวมกำลังของผู้ใช้ที่ต้องการดีเทคให้อยู่ในช่วงของแบนด์วิดท์ข้อมูล ถ้าค่าครอสคอร์รีเลชั่นระหว่างรหัสของผู้ใช้ที่ต้องการและรหัสของผู้ใช้อื่นๆที่เข้ามาแทรกสอดมีค่าน้อย การดีเทคแบบร่วมนัยจะทำให้มีส่วนของกำลังงานของสัญญาณแทรกสอดอยู่ในแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

2) สัญญาณแทรกสอดแบบหลายเส้นทาง

ถ้าขบวนรหัสมีฟังก์ชันคอร์รีเลชั่นตามอุดมคติแล้ว ฟังก์ชันคอร์รีเลชั่นที่อยู่ภายนอกช่วง $[-T_c, T_c]$ จะมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อ T_c เป็นช่วงกว้างของชิพ แสดงว่าถ้าทำการรับสัญญาณที่ต้องการดีเทคและสัญญาณเดียวกันนี้ที่ถูกหน่วงเวลาไปมากกว่า $2T_c$ เมื่อใช้การดีมอดูเลตแบบร่วมนัยจะทำให้ส่วนของสัญญาณที่ถูกหน่วงเวลาไปถูกมองว่าเป็นสัญญาณแทรกสอดและจะมีส่วนของกำลังงานของสัญญาณแทรกสอดนี้อยู่ในช่วงแบนด์วิดท์ของข้อมูลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

3) สัญญาณแทรกสอดแบนด์แคบ

การดีเทคแบบร่วมนัยที่เครื่องรับทำได้โดยการคูณสัญญาณที่รับได้ด้วยลำดับของรหัสที่ถูกสร้างขึ้นที่เครื่องรับ ผลของกระบวนการดังกล่าวก็จะเหมือนกับการคูณสัญญาณแบนด์แคบด้วยลำดับของรหัสแบนด์กว้างที่เครื่องส่ง นั่นคือจะทำให้สเปกตรัมของสัญญาณแบนด์แคบมีการแผ่กว้างออก ดังนั้นกำลังงานของสัญญาณแบนด์แคบซึ่งอยู่ในช่วงของแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลจะมีค่าลดลงด้วยค่าแฟคเตอร์ที่เท่ากับอัตราขยายการประมวลผล

4) ความน่าจะเป็นในการถูกดักจับสัญญาณต่ำ

เนื่องจากสัญญาณ DS นั้นจะใช้สเปกตรัมของสัญญาณทั้งหมดตลอดเวลา ทำให้มีกำลังส่งต่อเฮิร์ตซ์ที่ต่ำมาก จึงเป็นการยากที่จะทำการดีเทคสัญญาณ DS นี้

การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสีย

นอกจากคุณสมบัติข้างต้นแล้วระบบ DS-CDMA ยังมีคุณสมบัติเฉพาะอื่นๆอีก ซึ่งสามารถแยกเป็นทั้งข้อดีและข้อเสียดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของระบบ DS-CDMA

1) การสร้างสัญญาณที่ถูกเข้ารหัสสามารถทำได้ง่ายโดยใช้กระบวนการคูณธรรมดา
2) วงจรสังเคราะห์ความถี่จะเป็นวงจรง่ายๆ เนื่องจากใช้ความถี่พาห์เพียงความถี่เดียว
3) สามารถดีมอดูเลตสัญญาณสเปกตรัมแผ่โดยใช้การดีมอดูเลตแบบร่วมนัยได้
4) ไม่จำเป็นต้องมีการซิงโครไนซ์ระหว่างผู้ใช้

ข้อเสียของระบบ DS-CDMA

1) การเริ่มต้นและรักษาการซิงโครไนซ์ระหว่างรหัสของสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณรหัสที่สร้างขึ้นทางด้านรับทำได้ยาก ซึ่งกระบวนการซิงโครไนซ์นี้จะต้องเกิดขึ้นภายในช่วงเวลาของชิพ

2) การที่จะรับสัญญาณได้อย่างถูกต้อง ขบวนรหัสที่สร้างขึ้นจะต้องซิงโครไนซ์กับขบวนรหัสที่รับได้ภายในช่วงเวลาของชิพ ซึ่งส่งผลให้ขนาดของแบนด์วิดท์ในทางปฏิบัติถูกจำกัดอยู่ในช่วง 10 – 20 เมกกะเฮิรตซ์ กำลังงานของสัญญาณที่รับได้จากผู้ใช้ที่อยู่ใกล้กับสถานีฐานจะมีค่ามากกว่ากำลังของสัญญาณที่รับได้จากผู้ใช้ที่อยู่ไกลออกไปมาก เนื่องจากผู้ใช้แต่ละคนจะส่งสัญญาณโดยใช้แบนด์วิดท์ที่มีทั้งหมด ดังนั้นผู้ใช้ที่อยู่ใกล้กับสถานีฐานจะทำให้เกิดการแทรกสอดอย่างมากต่อผู้ใช้ที่อยู่ไกลจากสถานีฐาน ทำให้ไม่สามารถทำการรับสัญญาณจากผู้ใช้ที่อยู่ไกลจากสถานีฐานได้ ผลกระทบที่เกิดจากอิทธิพลของความใกล้-ไกลของสัญญาณ (near-far effect) นี้สามารถแก้ไขได้โดยการใช้กระบวนการควบคุมกำลังงาน (power control) ซึ่งทำให้สถานีฐานทำการรับสัญญาณจากผู้ใช้ทั้งหมดด้วยกำลังงานเฉลี่ยที่เท่ากัน แต่อย่างไรก็ดีกระบวนการควบคุมกำลังงานนั้นทำได้ยากในทางปฏิบัติ

2.3.2.2 การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่โดยใช้วิธีการกระโดดของความถี่ (Frequency-hopping spread spectrum ; FH-SS)

สำหรับระบบ CDMA ที่ใช้วิธีการกระโดดของความถี่นั้น ความถี่พาห์ของสัญญาณข้อมูลที่ถูกมอดูเลตจะมีค่าไม่คงที่แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นคาบเวลา นั่นคือในช่วงเวลา T ความถี่พาห์จะมีค่าคงที่แต่ในช่วงเวลา T ต่อมาความถี่พาห์จะกระโดดไปยังความถี่อื่น (หรืออาจจะเป็นความถี่เดิมก็ได้) รูปแบบ (pattern) ของการกระโดดจะเป็นไปตามการควบคุมจากสัญญาณรหัส กลุ่มของความถี่ พาห์ที่มีทั้งหมดเรียกว่าเซตของการกระโดด (hop set)

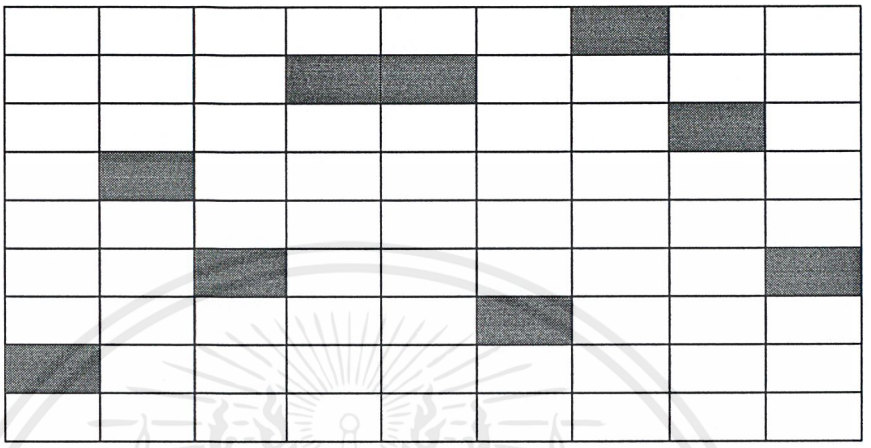
การใช้ย่านความถี่ของระบบ FH-SS จะแตกต่างจากระบบ DS-SS สำหรับระบบ DS นั้นเมื่อทำการส่งสัญญาณจะใช้ย่านความถี่ทั้งหมด ในขณะที่ระบบ FH จะใช้ย่านความถี่เพียงส่วนเล็กๆ ของแบนด์วิดท์เท่านั้นเมื่อมีการส่งสัญญาณแต่จะมีตำแหน่งของย่านความถี่ดังกล่าวแตกต่างกันในแต่ละเวลา

สมมติว่าระบบ FH ทำการส่งสัญญาณด้วยความถี่ในย่านความถี่แบนด์ที่ 2 ในคาบเวลาแรก (ดูรูปที่ 2.23) แต่ระบบ DS จะทำการส่งสัญญาณในคาบเวลาเดียวกันด้วยการแผ่กำลังของสัญญาณไปตลอดย่านความถี่ที่ใช้งานทั้งหมด ดังนั้นกำลังงานที่ถูกส่งออกไปในย่านความถี่แบนด์ที่ 1 จะมีค่าน้อยกว่าระบบ FH มาก แต่อย่างไรก็ดีระบบ DS นั้นจะทำการส่งสัญญาณในย่านความถี่แบนด์ที่ 1 ในช่วงเวลาทั้งหมดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาบเวลา ในขณะที่ระบบ FH จะใช้ย่านความถี่นี้เพียงช่วงหนึ่งของเวลาเท่านั้น ดังนั้นโดยเฉลี่ยแล้ว ทั้งสองระบบจะทำการส่งสัญญาณด้วยกำลังงานที่เท่ากันในย่านความถี่ที่ใช้งานทั้งหมด

ข้อแตกต่างระหว่างการครอบครองย่านความถี่ของระบบ FH-SS และระบบ DS-SS แสดงดังรูปที่ 2.23



(a)

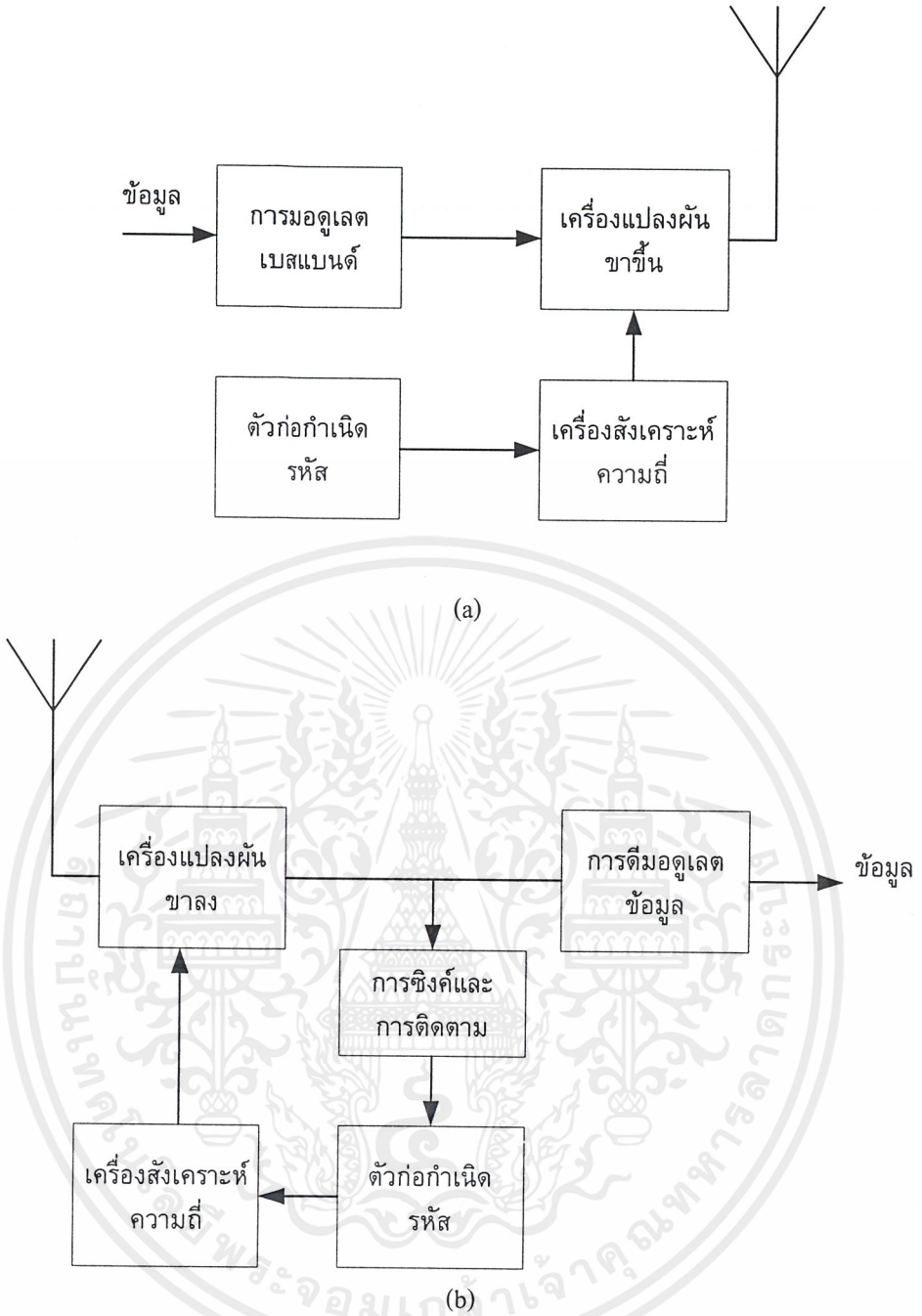


(b)

รูปที่ 2.23 การครอบครองเวลา/ย่านความถี่ของ (a) สัญญาณ FH (b) สัญญาณ DS

บล็อกไดอะแกรมของระบบ FH-CDMA แสดงดังรูปที่ 2.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 บล็อกไดอะแกรมของ (a) เครื่องส่ง FH-CDMA (b) เครื่องรับ FH-CDMA

สัญญาณข้อมูลจะเป็นสัญญาณเบสแบนด์ (baseband) ที่ถูกมอดูเลตกับสัญญาณพาห์โดยสามารถใช้เทคนิคการมอดูเลตได้หลายวิธี แต่ในการประยุกต์ใช้งานระบบ FH จริงๆไม่สามารถใช้ได้ทุกวิธี โดยมักจะใช้การมอดูเลตแบบ FM สำหรับสัญญาณอะนาลอกและใช้การมอดูเลตแบบ GSK สำหรับสัญญาณดิจิตอล จากรูปจะใช้วงจรสังเคราะห์ความถี่ที่สามารถเปลี่ยนความถี่ได้อย่างรวดเร็วโดยการควบคุมจากสัญญาณรหัส ดังนั้นความถี่พาห์จะถูกแปลงความถี่ให้สูงขึ้นเป็นความถี่ในการส่งสัญญาณ (transmission frequency)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เครื่องรับก็จะใช้วิธีกลับกับทางด้านส่ง โดยใช้วงจรกำเนิดขบวนรหัสเพื่อนำมาใช้ในการแปลงความถี่ของสัญญาณที่รับได้ให้ต่ำลงมาเป็นความถี่พาห์ซึ่งใช้ในการมอดูเลตสัญญาณเบสแบนด์ทางด้านส่ง หลังจากนั้นก็จะทำการดีมอดูเลตจึงได้สัญญาณข้อมูลเดิมกลับคืนมา วงจรซิงโครไนซ์/การติดตาม (synchronize/tracking) จะถูกนำมาใช้ในการทำให้การกระโดดของความถี่พาห์ที่สร้างขึ้นทางด้านรับเป็นไปอย่างซิงโครไนซ์กับรูปแบบการกระโดดของสัญญาณพาห์ที่รับได้ ดังนั้นจึงสามารถทำการดีสเปรดสัญญาณได้อย่างถูกต้อง

ระบบ FH-CDMA นี้สามารถจำแนกความแตกต่างโดยใช้อัตราการกระโดดของความถี่พาห์ได้ดังนี้ ถ้าจำนวนของการกระโดดมีค่ามากกว่าอัตราข้อมูลมากๆ จะเรียกว่าเป็นการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสโดยใช้วิธีการกระโดดของความถี่อย่างรวดเร็ว (Fast Frequency Hopping CDMA ; F-FH CDMA) สำหรับกรณีนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงความถี่พาห์หลายครั้งในช่วงเวลาของการส่งข้อมูล 1 บิท นั่นคือข้อมูล 1 บิทจะถูกส่งออกไปในหลายๆความถี่ แต่ถ้าจำนวนของการกระโดดมีค่าน้อยกว่าอัตราข้อมูลมากๆ จะเรียกว่าการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสโดยใช้วิธีการกระโดดของความถี่อย่างช้า (Slow Frequency Hopping CDMA ; S-FH CDMA) สำหรับกรณีนี้จะมีบิทข้อมูลหลายบิตถูกส่งที่ความถี่เดียวกัน

การครอบครองย่านความถี่ที่ความถี่ในการกระโดดใด ๆ ไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลเท่านั้น ยังขึ้นอยู่กับรูปร่างของสัญญาณที่มีการกระโดดและความถี่ในการกระโดดอีกด้วย ถ้าความถี่ในการกระโดดมีค่าน้อยกว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลมาก ๆ (กรณี S-FH) ปัจจัยสำคัญที่จะควบคุมการครอบครองย่านความถี่คือแบนด์วิดท์ของข้อมูล แต่ถ้าความถี่ในการกระโดดมีค่ามากกว่าแบนด์วิดท์ของข้อมูลมากๆ รูปร่างพัลส์ของสัญญาณที่มีการกระโดดจะเป็นปัจจัยในการควบคุมการครอบครองย่านความถี่ ที่ความถี่ในการกระโดดใด ๆ ถ้ารูปร่างพัลส์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด (เป็นผลให้มีการเปลี่ยนแปลงความถี่อย่างรวดเร็ว) ย่านความถี่ที่ครอบครองจะมีแบนด์วิดท์แผ่กว้างออกมาก เป็นผลทำให้จำกัดจำนวนความถี่ในการกระโดดถ้าทำให้การเปลี่ยนแปลงของความถี่เป็นไปอย่างราบเรียบ (smooth) แบนด์วิดท์ของสัญญาณที่แต่ละความถี่ในการกระโดดจะมีค่าประมาณ $1/T_h$ เท่าของแบนด์วิดท์ของความถี่ที่ใช้งานทั้งหมด เมื่อ T_h มีค่าเท่ากับความถี่ในการกระโดด การจะทำให้การเปลี่ยนแปลงความถี่เป็นไปอย่างสม่ำเสมอนั้นทำได้โดยการลดกำลังก่อนที่จะมีการกระโดดของความถี่แล้วเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อความถี่ในการกระโดดได้เปลี่ยนแปลงไปแล้ว

สำหรับระบบ FH-CDMA นั้นจะมีคุณสมบัติในเรื่องของความสามารถในการเข้าถึงหลายทาง การกำจัดสัญญาณแทรกสอดแบบหลายเส้นทาง การกำจัดสัญญาณแทรกสอดแบนด์แคบและการมีความน่าจะเป็นในการถูกดักจับสัญญาณต่ำ ดังนี้

1) การเข้าถึงหลายทาง

ในระบบ F-FH นั้น 1 บิทข้อมูลจะถูกส่งไปในย่านความถี่ต่าง ๆ กัน ถ้าผู้ใช้ที่ต้องการเป็นเพียงผู้ใช้เดียวที่จะทำการส่งสัญญาณไปในย่านความถี่ทั้งหมด กำลังงานที่รับได้ของสัญญาณที่ต้องการดีเทคจะมีค่ามากกว่ากำลังงานของสัญญาณแทรกสอดมาก ดังนั้นจึงสามารถรับสัญญาณได้อย่างถูกต้อง

สำหรับระบบ S-FH หลาย ๆ บิทจะถูกส่งไปโดยใช้ความถี่เดียวกัน ถ้าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้อื่นทำการส่งสัญญาณในย่านความถี่เดียวกันมีค่าต่ำเพียงพอ สัญญาณจากผู้ใช้ที่ต้องการจะถูกรับได้อย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกต้องตลอดช่วงเวลาที่ทำการส่ง ในช่วงเวลาดังกล่าวถ้ามีสัญญาณแทรกสอดที่ส่งมาจากผู้ใช้อื่นในย่านความถี่เดียวกัน จะใช้รหัสตรวจสอบความผิดพลาด (error correcting code) ในการนำสัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งมาในช่วงเวลานั้นกลับคืนมาได้

2) สัญญาณแทรกสอดแบบหลายเส้นทาง

ระบบ F-FH CDMA ความถี่พาห์จะมีการเปลี่ยนแปลงหลายครั้งในช่วงของการส่ง 1 บิทข้อมูล ความถี่ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตแล้วจะถูกนำมามอดูเลตและส่งออกไปด้วยความถี่พาห์ต่างๆกัน สัญญาณคลื่นพาห์ที่มีความถี่ต่างกันจะได้รับผลกระทบจากช่องสัญญาณหลายเส้นทาง (multipath) ต่างกัน เป็นผลทำให้ความถี่ของสัญญาณที่ถูก มอดูเลตข้างต้นอาจจะถูกขยายที่ความถี่พาห์ความถี่หนึ่งแต่จะถูกลดทอนที่ความถี่พาห์อีกความถี่หนึ่งหรือในทางกลับกัน ที่เครื่องรับผลตอบสนองที่ความถี่ในการกระโดดต่างๆกันจะถูกเฉลี่ยและทำให้ผลของการแทรกสอดแบบหลายเส้นทางลดลง

3) สัญญาณแทรกสอดแบนด์แคบ

สมมติว่ามีสัญญาณแบนด์แคบเข้ามาแทรกสอดที่ความถี่ในการกระโดด ถ้ามีความถี่ในการกระโดด G_p ความถี่ (เมื่อ G_p เป็นอัตราขยายการประมวลผล) ผู้ใช้ที่ต้องการ (โดยเฉลี่ย) จะใช้ความถี่ในการกระโดดซึ่งจะมีการแทรกสอดอยู่เพียง $1/G_p$ เปอร์เซนต์ของเวลา ดังนั้นสัญญาณแทรกสอดจะถูกทำให้ลดลงด้วยค่าแฟคเตอร์เป็น G_p

4) ความน่าจะเป็นในการถูกดักจับสัญญาณต่ำ

ความยากในการดักจับสัญญาณ FH ไม่ได้อยู่ที่การใช้กำลังส่งที่ต่ำ ในช่วงระหว่างการส่งสัญญาณระบบ FH-CDMA จะใช้กำลังส่งต่อเฮิร์ตซ์สูงพอ ๆ กับการส่งแบบต่อเนื่อง แต่ความถี่ที่สัญญาณจะถูกส่งออกไปนั้นไม่สามารถทราบได้จากระบบอื่น นอกจากนี้ช่วงเวลาของการส่งสัญญาณที่แต่ละความถี่ก็ยังสั้นมากอีกด้วย ดังนั้นแม้ว่าสัญญาณ FH จะถูกดักจับได้ง่ายกว่าสัญญาณ DS แต่ก็ยังคงต้องใช้กระบวนการที่ยุ่งยากมากที่จะทราบความหมายของสัญญาณ

การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสีย

นอกจากคุณสมบัติข้างต้น ระบบ FH-CDMA ยังมีคุณสมบัติเฉพาะอีกหลายประการซึ่งสามารถแยกเป็นได้ทั้งข้อดีและข้อเสียดังนี้

ข้อดีของระบบ FH-CDMA

1) การซิงโครไนซ์ของระบบ FH-CDMA สามารถทำได้ง่ายกว่าระบบ DS-CDMA มาก การซิงโครไนซ์ของระบบ FH-CDMA นั้นจะต้องทำภายในช่วงของเวลาในการกระโดด (hop time) เนื่องจากการแผ่ของสเปกตรัมไม่สามารถทำได้โดยการใช้การกระโดดของความถี่ด้วยความเร็วมากๆ แต่จะใช้การจัดให้มีเซตของการกระโดดขนาดใหญ่ ดังนั้นเวลาในการกระโดดจะมากกว่าเวลาของชิพของระบบ DS-CDMA มาก ทำให้ระบบ FH-CDMA อนุญาตให้มีค่าความผิดพลาดในการซิงโครไนซ์ที่มากกว่า

2) แบนด์วิดท์ที่ความถี่ในการกระโดดต่างๆ ที่สัญญาณ FH สามารถครอบครองใช้งานไม่จำเป็นต้องอยู่ติดกัน เนื่องจากสามารถสร้างวงจรสังเคราะห์ความถี่ให้สังเคราะห์ความถี่กระโดดข้ามส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสเปกตรัมทางความถี่ที่แน่นอนได้ เมื่อประกอบกับมีการซิงโครไนซ์ที่ง่าย ทำให้สามารถมีแบนด์วิดท์สเปกตรัมแผ่ที่กว้างขึ้นมาก

3) เนื่องจากระบบ FH-CDMA เป็นระบบสเปกตรัมแผ่แบบหลีกเลี่ยง (avoidance SS) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้หลายคนจะส่งสัญญาณในย่านความถี่เดียวกันในขณะเวลาเดียวกันจะมีค่าน้อย ถ้าผู้ใช้ที่อยู่ไกลจากสถานีฐานทำการส่งสัญญาณ สัญญาณดังกล่าวก็จะถูกรับได้ที่สถานีฐานแม้ว่าผู้ใช้ที่อยู่ใกล้กับสถานีฐานกำลังทำการส่งสัญญาณอยู่ก็ตาม เนื่องจากผู้ใช้เหล่านั้นอาจจะกำลังส่งสัญญาณที่ความถี่อื่นๆ อยู่ก็ได้ ด้วยเหตุนี้สมรรถนะในเรื่องของ near-far effect จะดีกว่าระบบ DS-CDMA มาก

4) ระบบ FH-CDMA มีความเป็นไปได้ที่จะลดผลของสัญญาณแทรกสอดแบนด์แคบได้ดีกว่าระบบ DS-CDMA เนื่องจากความเป็นไปได้ในการที่จะมีแบนด์วิดท์ที่มากกว่า

ข้อเสียของระบบ FH-CDMA

1) จำเป็นต้องใช้วงจรสังเคราะห์ความถี่ที่มีความสลับซับซ้อนมาก

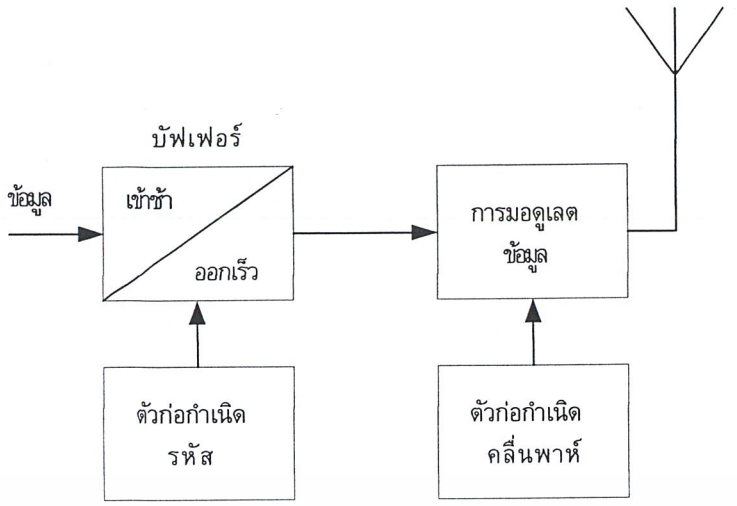
2) การเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดของสัญญาณในการเปลี่ยนแปลงย่านความถี่จะทำให้การครอบครองแบนด์วิดท์ที่ความถี่ในการกระโดดใดๆเพิ่มมากขึ้น เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงกรณีดังกล่าวสัญญาณจะต้องถูกปิดและเปิดใหม่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่

3) การโมดูเลตแบบร่วมนัยทำได้ยาก เนื่องจากปัญหาของการรักษาความสัมพันธ์ของเฟสในช่วงเวลาของการกระโดด

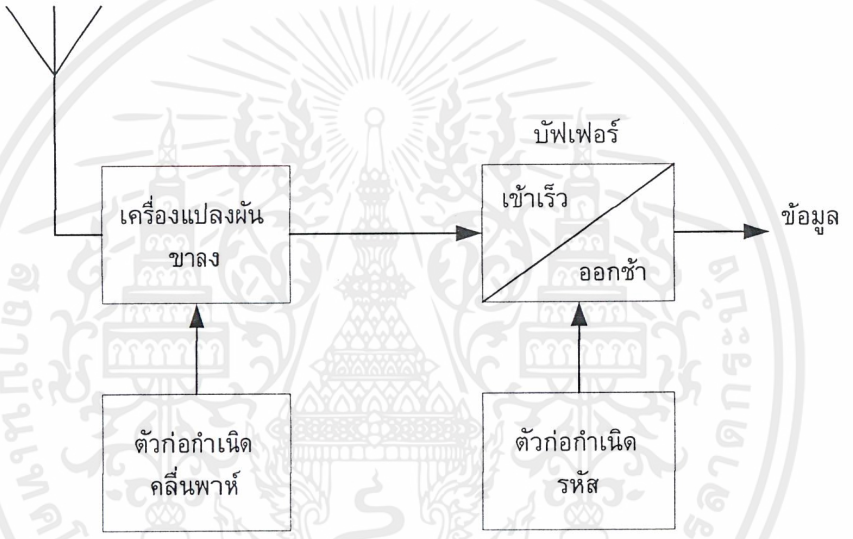
2.3.2.3 การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่โดยใช้วิธีการกระโดดของเวลา (Time-hopping spread spectrum ; TH-SS)

ในระบบที่มีการเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่โดยใช้วิธีการกระโดดของเวลา สัญญาณข้อมูลจะถูกส่งไปในเบิรสท์ (burst) ภายในช่วงเวลาที่กำหนดรหัสของผู้ใช้แต่ละคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

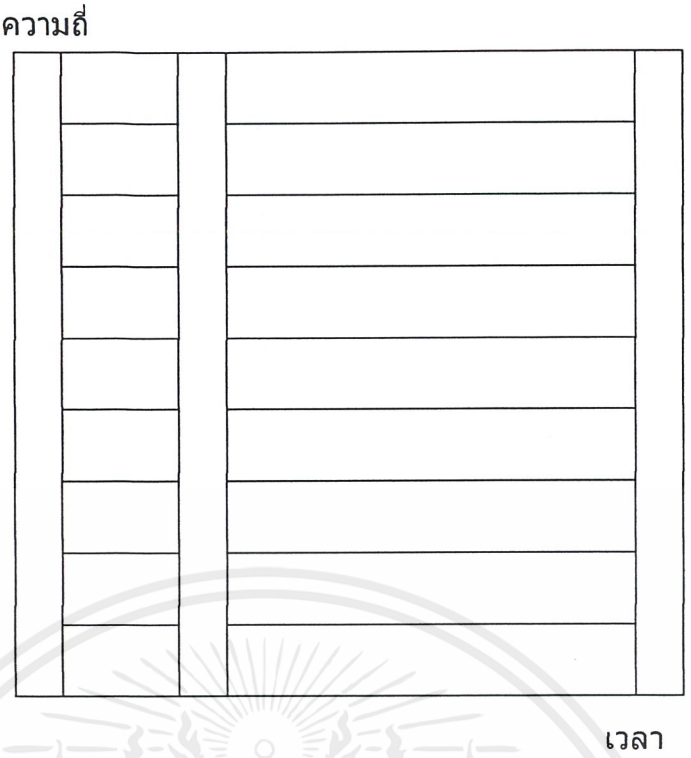


(b)

รูปที่ 2.25 บล็อกไดอะแกรมของ (a) เครื่องส่งTH-CDMA (b) เครื่องรับ TH-CDMA

ในแกนเวลาจะถูกแบ่งออกเป็นเฟรมและแต่ละเฟรมจะถูกแบ่งออกเป็นไทม์สล็อตจำนวน M ไทม์สล็อต ในช่วงเวลาของแต่ละเฟรมผู้ใช้ระบบสามารถจะส่งสัญญาณไปในไทม์สล็อตใดไทม์สล็อตหนึ่งจากทั้งหมด M ไทม์สล็อตและแต่ละไทม์สล็อตก็จะถูกส่งออกไปโดยขึ้นอยู่กับสัญญาณรหัสที่กำหนดให้แก่ผู้ใช้งานระบบแต่ละคน เนื่องจากผู้ใช้คนหนึ่งจะทำการส่งข้อมูลทั้งหมดภายใน 1 ไทม์สล็อตแทนที่จะทำการส่งข้อมูลไปในทั้งหมด M ไทม์สล็อตดังนั้นความถี่ที่ใช้ในการส่งจะเพิ่มขึ้นด้วยค่าแฟคเตอร์ เป็น M บล็อกไดอะแกรมของระบบ TH-CDMA แสดงดังรูปที่ 2.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 การพล็อตระหว่างเวลาและความถี่ของระบบ TH-CDMA

รูปที่ 2.26 แสดงการพล็อตระหว่างเวลาและความถี่ของระบบ TH-CDMA เมื่อทำการเปรียบเทียบรูปที่ 2.26 กับรูปที่ 2 .23จะเห็นว่าระบบ TH-CDMA นั้นใช้สเปกตรัมแบนด์กว้างทั้งหมดสำหรับในช่วงเวลาสั้น ๆ แทนที่จะใช้ส่วนหนึ่งของสเปกตรัมตลอดช่วงเวลาทั้งหมด และเช่นเดียวกับระบบ DS-CDMA และระบบ FH-CDMA จะได้กล่าวถึงคุณสมบัติเกี่ยวกับความสามารถในการเข้าถึงหลายทาง การกำจัดสัญญาณแทรกสอด การกำจัดสัญญาณแทรกสอดแบนด์แคบ และการมีความน่าจะเป็นในการถูกดักจับสัญญาณต่ำ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) การเข้าถึงหลายทาง

ความสามารถในการเข้าถึงหลายทางของสัญญาณ TH-SS สามารถทำได้ในทำนองเดียวกันกับสัญญาณ FH-SS คือการทำให้ความน่าจะเป็นที่จะมีการส่งสัญญาณ จากผู้ใช้หลายๆ คนที่ย่านความถี่เดียวกันและในขณะเวลาเดียวกันให้มีค่าน้อยเพียงพอ สำหรับกรณีการกระโดดของเวลา การส่งสัญญาณทั้งหมดจะส่งไปในย่านความถี่เดียวกัน ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นที่จะมีการส่งสัญญาณจากผู้ใช้มากกว่า 1 คน ในขณะเวลาเดียวกันจะต้องมีค่าน้อย ซึ่งสามารถทำได้โดยการกำหนดรหัสต่างๆกันให้กับผู้ใช้แต่ละคน ถ้ามีการส่งสัญญาณจากผู้ใช้หลายๆคนเกิดขึ้นจริง ก็สามารถมั่นใจได้ว่าสามารถรับสัญญาณจากผู้ใช้ที่ต้องการได้อย่างถูกต้องโดยการใช้รหัสตรวจสอบความผิดพลาด

ถ้ามีการซิงโครไนซ์ระหว่างผู้ใช้ทั้งหมดและรหัสที่กำหนดให้แก่ผู้ใช้แต่ละคนทำให้ไม่มีผู้ใช้ในระบบทำการส่งสัญญาณในไทม์สล็อตเดียวกันมากกว่า 1 คน ดังนั้นจะทำให้ระบบ TH-CDMA สามารถลดรูปเป็นระบบ TDMA ได้เมื่อไทม์สล็อตที่ผู้ใช้ทำการส่งไม่ได้ถูกกำหนดไว้ตายตัวแต่จะมีการเปลี่ยนแปลงแบบเฟรมต่อเฟรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) สัญญาณแทรกสอดแบนด์แคบ

สัญญาณ TH-CDMA จะถูกส่งออกไปในลักษณะถูกลดเวลา ส่วนที่ลดลงนี้คือ $1/G_p$ เมื่อ G_p เป็นอัตราการขยายการประมวลผล ที่เครื่องรับสัญญาณแทรกสอดจะถูกรับเข้ามาเพียงแค่ในช่วงเวลาที่ทำการรับสัญญาณที่ต้องการเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จะรับสัญญาณเข้ามาเพียง $1/G_p$ เปอร์เซ็นต์ของเวลาทั้งหมดเท่านั้น จึงเป็นการลดกำลังของการสัญญาณแทรกสอดลงด้วยค่าแฟคเตอร์เป็น G_p

3) ความน่าจะเป็นในการถูกดักจับสัญญาณต่ำ

สำหรับระบบ TH-CDMA ผู้ใช้แต่ละคนจะทำการส่งสัญญาณด้วยความถี่ที่คงที่ แต่เวลาที่ผู้ใช้แต่ละคนทำการส่งนั้นไม่สามารถทราบได้จากระบบอื่นและช่วงเวลาในการส่งยังสั้นมาก นอกจากนี้สัญญาณจากผู้ใช้แต่ละคนจะมีลักษณะเฉพาะในเรื่องของเวลาที่ทำการส่ง ดังนั้นแม้ว่าเครื่องรับจากระบบอื่นจะทำการดักจับสัญญาณได้ก็เป็นการยากที่จะแบ่งแยกจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของการส่งได้ นอกจากนั้นยังไม่สามารถทราบได้ว่าการส่งเป็นของผู้ใช้คนใด

นอกจากคุณสมบัติข้างต้นแล้ว ระบบ TH-CDMA ยังมีคุณสมบัติเฉพาะซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นทั้งข้อดีและข้อเสียดังนี้

ข้อดีของระบบ TH-CDMA

1) การนำไปใช้งานทำได้ง่ายกว่าระบบ FH-CDMA

2) เมื่อเครื่องส่งที่มีกำลังจำกัดสูงสุด (peak power) ไม่จำกัด ระบบ TH-CDMA จะมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน เนื่องจากข้อมูลได้ถูกส่งไปในเบิรสท์สั้นๆด้วยกำลังงานสูง

3) มีปัญหาจาก near-far effect น้อยมากเช่นเดียวกับระบบ FH-TDMA เนื่องจากเป็นระบบแบบมีการหลีกเลี่ยง ดังนั้นตลอดเวลาเครื่องส่งปลายทางที่อยู่ไกลจากสถานีฐานจะทำการส่งสัญญาณเพียงเครื่องเดียวโดยไม่ถูกรบกวนจากการส่งสัญญาณจากสถานีที่อยู่ใกล้เคียง

ข้อเสียของระบบ TH-CDMA

1) ต้องใช้เวลานานก่อนที่รหัสจะซิงโครไนซ์กัน แต่เครื่องรับต้องรักษาการซิงโครไนซ์ไว้เพียงช่วงเวลาสั้นๆเท่านั้น

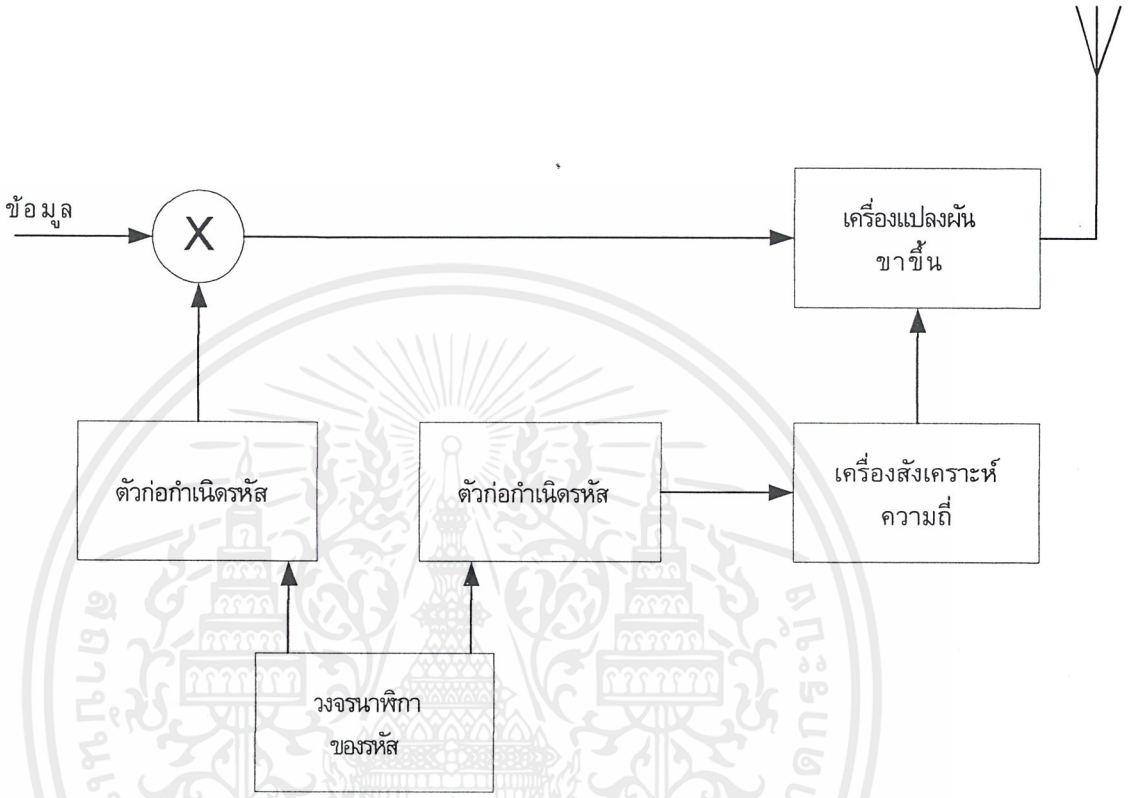
2) ถ้ามีการส่งสัญญาณจากผู้ใช้หลายๆคนเกิดขึ้น จะทำให้ข้อมูลจำนวนมากเกิดความเสียหาย ดังนั้นจะต้องใช้รหัสตรวจสอบความผิดพลาดที่ดีและจำเป็นต้องมีการวางสลับทางบิต (data interleaving)

2.3.2.4 การเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่โดยใช้วิธีการไฮบริด (hybrid)

ระบบการเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่โดยใช้วิธีการไฮบริดจะรวมถึงระบบ CDMA ทั้งหมดที่ใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ตั้งแต่ 2 วิธีขึ้นไปร่วมกัน จากเทคนิคการมอดูเลตแบบสเปคตรัมแผ่ทั้ง 3 วิธีที่อธิบายไว้ข้างต้นได้แก่ การมอดูเลตแบบ DS การมอดูเลตแบบ FH และการโมดูเลตแบบ TH ทำให้สามารถสร้างระบบไฮบริดที่อาจเป็นได้ดังนี้ DS/FH,DS/TH,FH/TH และ DS/FH/TH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวคิดของระบบไฮบริดคือเพื่อที่จะรวมข้อดีของเทคนิคการมอดูเลตแต่ละเทคนิคเข้าด้วยกัน ตัวอย่างเช่น ระบบ DS/FH จะได้ข้อดีในเรื่องของการต่อต้านผลกระทบจากสัญญาณหลายเส้นทางของระบบ DS รวมกับคุณสมบัติในเรื่องผลกระทบจากความใกล้-ไกล ของสัญญาณ (near-far effect) ของระบบ FH แต่ข้อเสียของระบบไฮบริดคือเรื่องของเครื่องส่งและเครื่องรับที่มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น ตัวอย่างบล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง DS/FH CDMA แสดงดังรูป 2.27



รูปที่ 2.27 เครื่องส่งไฮบริด DS-FH

จากรูปเบื้องต้นสัญญาณข้อมูลจะถูกทำให้เป็นสัญญาณสเปกตรัมแผ่โดยใช้สัญญาณรหัส DS หลังจากนั้นสัญญาณสเปกตรัมแผ่จะถูกนำไปมอดูเลตกับสัญญาณพาห์ที่มีการกระโดดของความถี่สอดคล้องกับลำดับรหัสอีกอันหนึ่งโดยใช้สัญญาณนาฬิกาควบคุมรหัส (code clock) เพื่อให้รหัสทั้งสองมีความสัมพันธ์ที่คงที่ต่อกัน

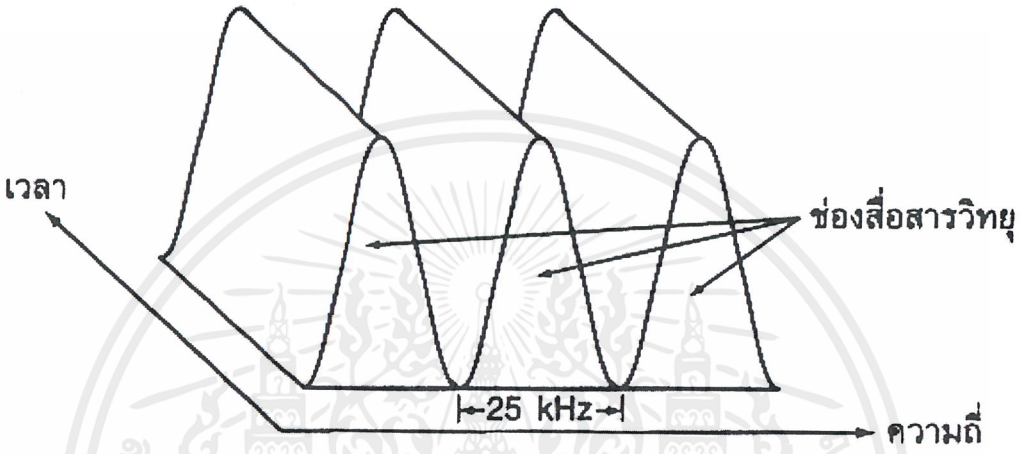
จะเห็นว่าเทคนิค CDMA มีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ สำหรับรูปแบบที่ถูกนำมาใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่คือการเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่โดยใช้วิธีการจัดลำดับโดยตรง (DS-SS) ซึ่งมีการกำหนดแบนด์วิดท์ของช่องสื่อสารวิทยุแต่ละช่องไว้กว้างมาก โดยมีขนาดถึง 1.25 เมกกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

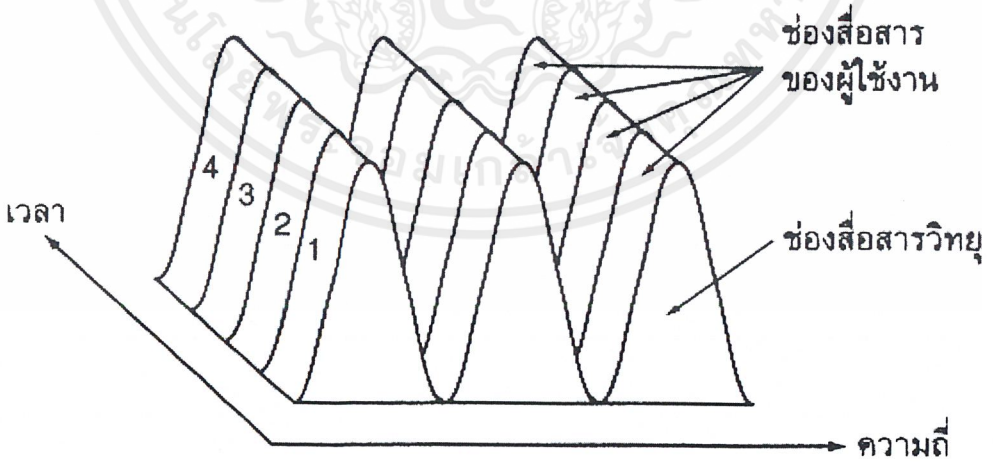
2.4 การเปรียบเทียบเทคนิคการเข้าถึงหลายทาง

2.4.1 บทนำ

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้จากเทคนิคการเข้าถึงหลายทางของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบต่างๆ รูปที่ 2.28 ถึงรูปที่ 2.30 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างพื้นฐานระหว่างระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ชนิดอะนาลอกซึ่งใช้เทคนิคการเข้าถึงแบบ FDMA TDMA และ CDMA ตามลำดับ



รูปที่ 2.28 รูปแบบการจัดสรรช่องสื่อสารใช้งานโดยใช้เทคนิคการเข้าถึงแบบ FDMA



รูปที่ 2.29 รูปแบบการจัดสรรช่องสื่อสารใช้งานโดยใช้เทคนิคการเข้าถึงแบบ TDMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 เทคนิคการเข้าถึงแบบ FDMA

เป็นเทคนิคการเข้าถึงหลายทางที่นับได้ว่าเป็นมาตรฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ชนิดอะนาลอก เทคนิค FDMA กำหนดให้ผู้ใช้บริการรายหนึ่งครอบครองช่องสื่อสารวิทยุหนึ่งช่องไปตลอดเวลาจนกว่าจะสิ้นสุดการโทร หากพิจารณาในแง่การใช้งานจะพบว่าผู้ใช้บริการแต่ละรายจะใช้ความถี่วิทยุหนึ่งความถี่ตลอดเวลาที่มีการใช้งาน รูปที่ 2.28 เป็นการแสดงรูปแบบการใช้งานช่องสื่อสารของผู้ใช้บริการโดยอ้างตามมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ TACS ซึ่งแต่ละช่องสื่อสารวิทยุมีแบนด์วิดธ์เท่ากับ 25 กิโลเฮิรตซ์ สำหรับระบบ AMPS และระบบ NAMPS จะมีแบนด์วิดธ์เท่ากับ 30 และ 10 กิโลเฮิรตซ์ตามลำดับ ผู้ใช้โทรศัพท์หนึ่งคนจะถูกกำหนดช่องสื่อสารดังกล่าวให้หนึ่งช่องโดยเป็นไปตามหน้าที่ของสถานีฐานนั้น

2.4.3 เทคนิคการเข้าถึงแบบ TDMA

สำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้เทคนิค TDMA ซึ่งนำมากล่าวถึง ณ ที่นี้เป็นระบบ IS-54 ของสหรัฐอเมริกา การแบ่งช่องสื่อสารวิทยุแต่ละช่องของเทคนิค TDMA ยังคงกำหนดให้มีแบนด์วิดท์ช่องละ 30 กิโลเฮิรตซ์ แต่จุดเด่นที่ระบบ IS-54 เหนือกว่าเทคนิคแบบ FDMA ก็คือในหนึ่งช่องสื่อสารวิทยุจะมีการแบ่งช่องเวลาในการใช้งานออกเป็น 3 ช่วงสลับกันไป ทำให้สามารถรองรับผู้ใช้บริการได้ถึง 3 รายต่อหนึ่งช่องความถี่ การใช้งานของผู้ใช้บริการแต่ละรายจะเป็นไปตามช่องเวลาที่ถูกกำหนดไว้ซึ่งเรียกว่า “ช่องเวลา” (time slot) หากพิจารณาให้ดีจะพบว่าระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งใช้เทคนิค TDMA ทุกระบบต่างก็ยังคงใช้เทคนิค FDMA เป็นพื้นฐานด้วยกันทั้งสิ้น เพราะยังมีการแบ่งช่องสื่อสารวิทยุออกเป็นช่อง ๆ ตามช่องความถี่ แล้วจึงนำแต่ละช่องมาแบ่งตามช่องเวลา สำหรับช่องสื่อสารวิทยุในระบบ TDMA จะถูกเรียกว่า “ คลื่นพาห์ ” (carrier) และเรียกช่องเวลาว่า “ช่องสัญญาณ” (channel)

ภายในช่องสื่อสารวิทยุแต่ละช่องของระบบ IS-54 ซึ่งประกอบไปด้วยช่องเวลา 3 ช่องจะมีการแบ่งแต่ละช่องเวลาให้ผู้ใช้บริการแต่ละรายที่ทำการโทรศัพท์ ซึ่งใช้แต่ละคนจะสามารถรับหรือส่งข้อความได้เฉพาะในช่องเวลาที่ตนได้รับสิทธิเท่านั้น ช่องเวลาอื่น ๆ จะถูกใช้งานโดยผู้ใช้บริการรายอื่น แต่เนื่องจากช่องเวลาแต่ละช่องกินระยะเวลาสั้นมากจนประสาทของมนุษย์ไม่สามารถแยกแยะได้ว่ามีการแบ่งเวลาออกเป็นช่วงให้ใช้งาน ทำให้ผู้ใช้โทรศัพท์รู้สึกว่าสามารถใช้โทรศัพท์พูดคุยได้ตลอดเวลาไม่มีการติดขัดแต่อย่างใด รูปที่ 2.29 แสดงให้เห็นรูปแบบการใช้ช่องสื่อสารของผู้ใช้บริการแต่ละราย จะเห็นได้ว่ามีการแบ่งแกนการแสดงผลออกเป็นแกนตามความถี่และแกนเวลา

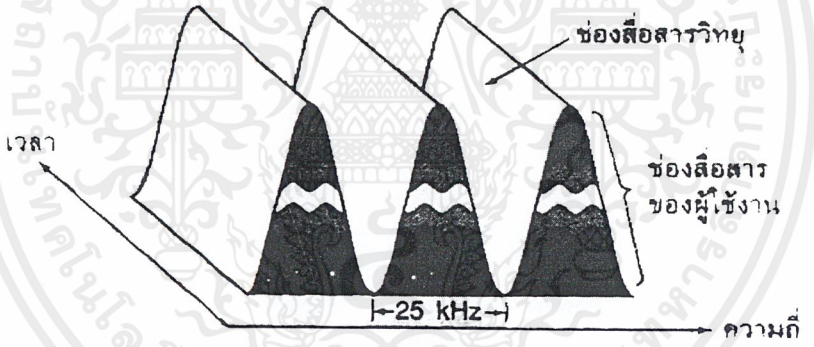
ระบบโทศัพท์เคลื่อนที่ GSM ก็เป็นอีกระบบหนึ่งที่ใช้เทคนิค TDMA เพียงแต่แบนด์วิดท์ของช่องสื่อสารวิทยุแต่ละช่องมีขนาดเป็น 200 กิโลเฮิรตซ์ และมีการแบ่งช่องสื่อสารวิทยุออกเป็น 8 ช่องเวลา เมื่อพิจารณาดูแล้วจะเห็นว่าระบบ GSM ก็มิได้เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ย่านความถี่ให้เหนือกว่าระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบอะนาลอกเช่นระบบ TACS แต่ประการใด ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ย่านความถี่กว้าง 200 กิโลเฮิรตซ์ สำหรับรองรับผู้ใช้บริการ 8 ราย ซึ่งก็เป็นตัวเลขเดียวกับระบบ AMPS ซึ่งผู้ใช้บริการแต่ละรายใช้ช่องสื่อสารวิทยุขนาด 25 กิโลเฮิรตซ์ รวม 8 รายก็ยังคงใช้แบนด์วิดท์ 200 เฮิรตซ์ อยู่เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 เทคนิคการเข้าถึงแบบ CDMA

เทคนิค CDMA มีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ สำหรับรูปแบบที่ถูกนำมาใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่มีชื่อเรียกว่าเทคนิค CDMA แบบ Direct Sequence หรือ DS-CDMA ซึ่งมีการกำหนดแบนด์วิดธ์ของช่องสื่อสารวิทยุแต่ละช่องไว้กว้างมาก โดยมีขนาดถึง 1.25 เมกะเฮิรตซ์ สำหรับช่องสื่อสารซึ่งใช้รองรับการสนทนาของผู้ใช้โทรศัพท์แต่ละช่องจะถูกแบ่งออกจากกันโดยการกำหนดรหัสดิจิตอล ผู้ใช้บริการทุกรายสามารถใช้ความถี่ได้ทั้งย่าน 1.25 เมกะเฮิรตซ์โดยตลอดเวลาไม่มีการใช้เทคนิค TDMA แต่อย่างใด รูปที่ 2.30 แสดงให้เห็นถึงรูปแบบการบริหารความถี่สำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA เมื่อสังเกตแต่ละช่องสื่อสารวิทยุจะพบว่ามีการแบ่งออกเป็นชั้น ๆ โดยแต่ละชั้นมีรูปแบบที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นการแทนถึงรหัสที่แตกต่างกัน ซึ่งกำหนดให้ผู้ใช้บริการแต่ละรายภายในช่องสื่อสารวิทยุนั้น ๆ

เพื่อที่จะทำให้เกิดความเข้าใจในแนวคิดการแบ่งช่องสื่อสารใช้งานของเทคนิค CDMA ได้ชัดเจนขึ้น จะสมมติว่าช่องสื่อสารวิทยุแต่ละช่องเป็นเสมือนห้องว่างห้องหนึ่ง ภายในห้องมีคนหลายคนอยู่กันเป็นคู่ แต่ละคนจะสนทนาได้เฉพาะกับคู่ของตนเองเท่านั้น ถ้าแต่ละคู่มีความรู้ในการใช้ภาษาเพียงภาษาเดียว และภาษาที่แต่ละคู่ใช้ในการสนทนาล้วนแตกต่างกัน ภาพเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นก็คือคู่สนทนาแต่ละคู่สายจะใช้อากาศภายในห้องเป็นตัวกลางในการส่งคำพูดของตน โดยแต่ละคู่จะได้ยินเสียงรบกวนอันเกิดจากภาษาอื่น ๆ เพียงเล็กน้อยเท่านั้น



รูปที่ 2.30 รูปแบบการจัดสรรช่องสื่อสารใช้งานโดยใช้เทคนิคการเข้าถึงแบบ CDMA

เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างข้างต้นกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA จะเห็นว่าห้องว่างก็คือช่องสื่อสารวิทยุแบนด์วิดท์กว้าง และภาษาที่แต่ละคู่สนทนาใช้ก็คือรหัสดิจิตอล หากคู่สนทนาแต่ละคู่มีเครื่องมือที่สามารถกรองเสียงพูดจากคู่สนทนาอื่น ๆ ซึ่งมิใช่ภาษาของตนได้ ผู้ที่ใช้ภาษาเยอรมันก็จะได้ยินเฉพาะเสียงสนทนาภาษาเยอรมันที่มาจากคู่สนทนาของตนเท่านั้น และจะเป็นลักษณะเดียวกันกับคู่สนทนาอื่น ๆ หากเพิ่มจำนวนคู่สนทนาเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แม้ว่าเสียงพูดจะเป็นภาษาต่างกันแต่ระดับความดังรวมของทุก ๆ เสียงจะเพิ่มขึ้นจนเริ่มเกิดเสียงรบกวนขึ้น ซึ่งในแง่ของการสื่อสารแบบ CDMA จะเรียกว่าระดับของสัญญาณรบกวนหลังฉาก (Background Noise) เพิ่มขึ้นมากจนไม่สามารถใช้ช่องสื่อสารวิทยุในการรับส่งสัญญาณได้อีกต่อไป ดังนั้นการควบคุมระดับสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารของผู้ใช้บริการแต่ละรายจะต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ให้มากจนเกินความจำเป็น พร้อม ๆ กับการรักษาคุณภาพของการสนทนา จะทำให้สามารถกำหนดช่องสื่อสารวิทยุให้กับผู้บริการได้เป็นจำนวนมาก ส่วนจำนวนผู้ใช้บริการสูงสุดต่อหนึ่งช่องสื่อสารวิทยุจะขึ้นอยู่กับการปรับชดเชยคุณภาพของการให้บริการและอัตราการใช้งานช่องสื่อสารวิทยุนั้น ๆ

ส่วนวิธีการจัดการกับกำลังส่งที่ใช้ส่งคลื่นออกไปของระบบ CDMA ก็มีวิธีการที่แตกต่างจากระบบ FDMA และ TDMA ตรงที่ เทคนิคของระบบ CDMA นั้นจะใช้กำลังส่งที่มีค่าต่ำมากๆ โดยกำหนดกำลังส่งนั้นให้มีความแรงของสัญญาณสูงกว่าระดับสัญญาณรบกวนและสัญญาณแทรกซ้อน เพียงแค่ 3 dB เท่านั้น ในขณะที่ระบบ FDMA และTDMA ถ้าสัญญาณส่งมีกำลังแรงสูงๆ ก็จะมีผลดีมากขึ้น ดังนั้นใน 2 ระบบนี้ จึงมักต้องการกำลังส่งสูงกว่าระดับสัญญาณรบกวนและสัญญาณแทรกซ้อนไม่น้อยกว่า 18 dB

ระบบ CDMA ในรูปแบบของโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์ จะมีประโยชน์หลายประการดังนี้ คือ ประการแรก ในการสนทนาของมนุษย์นั้น จะมีช่วงของเสียงพูดอยู่ประมาณ 35 % เท่านั้น ในขณะที่จะมีช่วงเงียบ (Pause) อยู่ประมาณ 65 % ซึ่งในช่วง 65 % นี้เมื่อไม่มีการส่งสัญญาณก็จะเป็นส่วนของสัญญาณเสียงรบกวน ในระบบ CDMA นั้นจะส่งสัญญาณอยู่เหนือสัญญาณรบกวน 3 dB ดังนั้นในช่วงที่ไม่มีสัญญาณเสียงของคู่สนทนาคู่แรก คู่สนทนาคู่ถัดๆ ไป ก็สามารถใช้ช่วงที่ว่าง 65 % นี้ในการสื่อสาร ดังนั้นจะเห็นว่า ในระบบ CDMA จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบ FDMA และ TDMA หลายเท่าตัว โดยที่ทั้งระบบ FDMA และ TDMA นั้นจะต้องทำงานตลอดเวลา แม้ว่าจะไม่มีสัญญาณเสียงก็ตาม ประการที่สอง เนื่องจากระบบ CDMA นั้นจะใช้รหัสดิจิตอลเป็นส่วนสำคัญในการติดต่อ อัตราส่วนความแรงของแคเรียร์ต่อการอินเตอร์เฟอร์เร้นท์ (C/I : Carrier to Interference) สามารถลดน้อยลง จนกระทั่งถึง 7 dB (ประมาณ 3-4 เท่า) ในขณะที่ระบบ FDMA และ TDMA ต้องการถึง 15 dB (ประมาณ 32 เท่า) ดังนั้นจึงเห็นว่าการสื่อสารในระยะทางและเงื่อนไขที่เท่ากัน ระบบ CDMA จะใช้กำลังส่งน้อยกว่าระบบ FDMA และ TDMA ถึง 4 เท่าตัว ประการที่สาม ในระบบ CDMA ไม่ต้องใช้การเว้นช่วงเวลา(guard time) สำหรับการแบ่งแยกช่องสัญญาณเหมือนในระบบ TDMA ซึ่งต้องเผื่อว่าช่วงเวลาเอาไว้ในกรณีของความล่าช้าของสัญญาณที่มีค่าไม่เท่ากัน เนื่องมาจากการสะท้อนจากตัวอาคารบ้านเรือนต่างๆ ดังนั้นในระบบ CDMA จึงมีความแน่นอนในการใช้งานสูงสุดเท่าที่มีในปัจจุบันนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของเทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบต่างๆ

เทคนิคการเข้าถึง	ข้อดี	ข้อเสีย
FDMA	- การใช้ช่องสัญญาณถูกกำหนดไว้ตายตัวแล้ว - ไม่ต้องใช้การควบคุมจากศูนย์กลาง - ผู้ใช้ที่ต้องการความจุ (capacity) หลายค่าสามารถใช้งานได้ง่าย - สถานีภาคพื้นดินไม่ซับซ้อน	- อินเตอร์มอดูเลชั่นจะมีการถอยหลัง (back-off) ทำให้ประสิทธิภาพของทรานสปอนด์เดอร์ลดลง - เป็นระบบที่ไม่มีความยืดหยุ่น กล่าวคือ เมื่อทราฟฟิค (traffic) เปลี่ยนแปลงก็เปลี่ยนการกำหนดค่าต่าง ๆ ได้ยาก
TDMA	- กำลังและแบนด์วิดท์ของทรานสปอนเดอร์ถูกใช้ทั้งหมด - การกำหนดความถี่ไม่ซับซ้อน - ผู้ใช้ที่ต้องการความจุหลายค่าสามารถใช้งานได้ง่าย - เป็นระบบที่ยืดหยุ่น กล่าวคือ การเปลี่ยนค่าต่าง ๆ ทำได้ง่าย	- การ์ดไทม์และส่วนหัว (header) ทำให้ประสิทธิภาพลดลง - ต้องใช้การควบคุมการซิงโครไนซ์และเวลาของศูนย์กลาง - สถานีภาคพื้นดินมีราคาแพง - ถึงแม้ว่าทราฟฟิคจะเบาบางแต่ต้องใช้ EIRP เต็มที่ และมี G/T สถานี
CDMA	- ไม่มีการควบคุมจากศูนย์กลางและกำหนดช่องสัญญาณตายตัว - สถานีภาคพื้นดินทั้งหมดเปลี่ยนแปลงกันได้ - มีความซับซ้อนที่สถานีภาคพื้นดินเฉพาะที่เบสแบนด์ (baseband) - ทนทานต่อการแทรกสอดจากภายนอก	- ทรานสปอนเดอร์ต้องถอยหลัง (back off) ทำให้ประสิทธิภาพลดลง - ใช้ได้เฉพาะรหัสตั้งฉาก (orthogonal) ที่จำกัดจำนวน - ทำงานมีประสิทธิภาพเมื่ออัตราการส่งผ่านข้อมูลถูกเลือกไว้ล่วงหน้า

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของเทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบต่างๆ

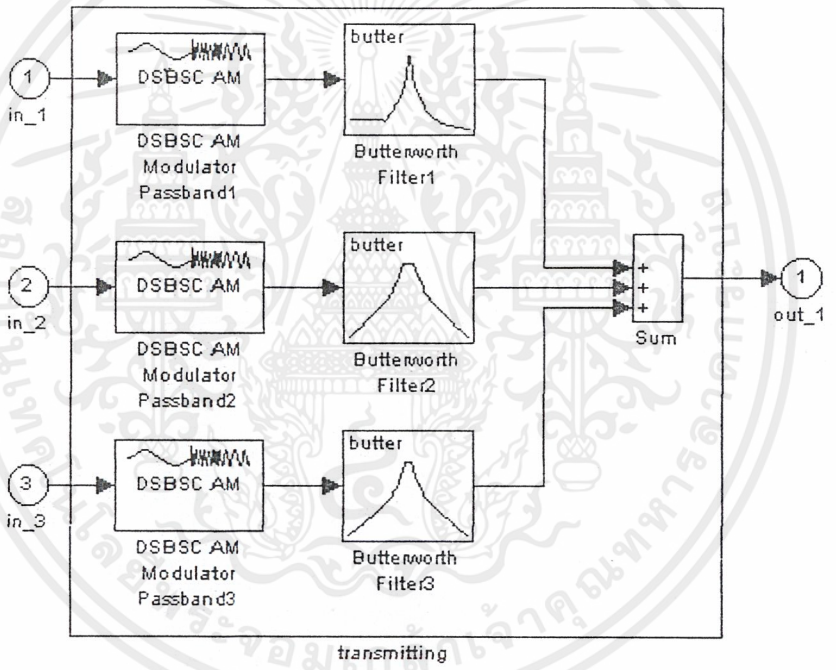
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและการประยุกต์ใช้งาน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำโปรแกรมแมทแล็บ (MATLAB) มาใช้ในการออกแบบ ศึกษาการประยุกต์ใช้งานและทดสอบระบบการเข้าถึงหลายทางแบบต่างๆ เพื่อแสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการทำงานและสัญญาณในกระบวนการต่างๆของระบบ

3.1 การทำงานของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่

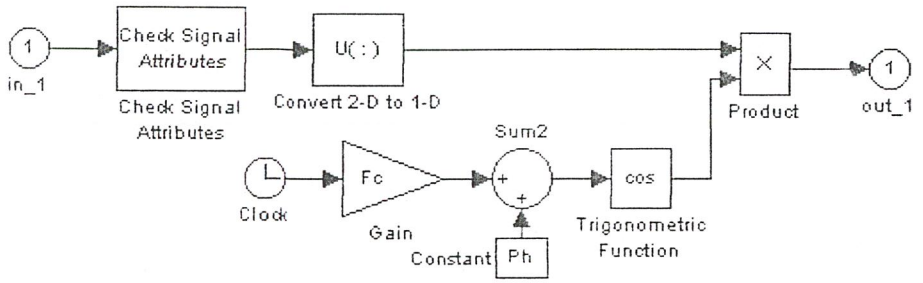
3.1.1 ภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่

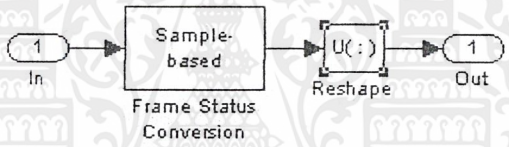
ทำการป้อนสัญญาณอินพุทแต่ละสัญญาณเข้าสู่บล็อกดีเอสบีเอสซีเอเอ็มมอดูเลเตอร์พาสแบนด์ (DSBSC AM Modulator Passband) ซึ่งบล็อกนี้จะมอดูเลตสัญญาณอินพุทโดยใช้วิธีดับเบิ้ลไซด์แบนด์ซับเพรสแคเรียร์แอมปลิจูดมอดูเลชั่น (double-sideband suppressed carrier amplitude modulation) โดยในที่นี้กำหนดความถี่คลื่นพาห์ (carrier frequency) เป็น 750, 650, 550 กิโลเฮิรตซ์ สำหรับมอดูเลเตอร์ที่ 1, 2, 3 ตามลำดับ เฟสเริ่มต้นเป็น 0 เรเดียน (radian) ซึ่งบล็อกนี้ประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ ดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของดีเอสบีเอสซีเอเอ็มมอดูเลเตอร์พาสแบนด์

เริ่มจากสัญญาณเข้าสู่บล็อกตรวจสอบคุณสมบัติของสัญญาณ (Check Signal Attributes) ซึ่งจะกำเนิดความผิดพลาดเมื่อสัญญาณอินพุทเหมาะสมหรือไม่เหมาะสมกับคุณสมบัติที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นสัญญาณจะเข้าสู่บล็อกคอนเวิร์ท 2-ดี ทู 1-ดี (Convert 2-D to 1-D) ซึ่งจะทำการแปลงสัญญาณ 2 มิติเป็น 1 มิติ ซึ่งภายในบล็อกนี้ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 3.3

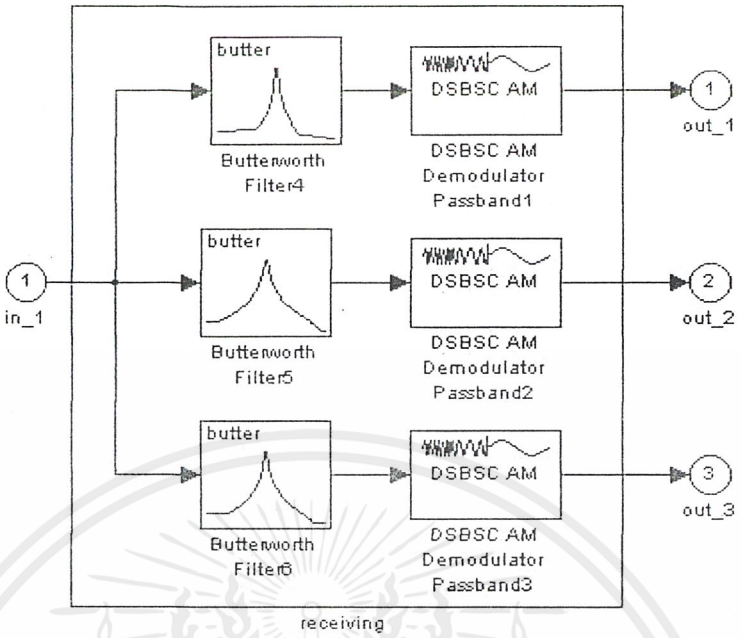


รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของคอนเวิร์ท 2-ดี ทู 1-ดี

เริ่มจากบล็อกการเปลี่ยนสถานะเฟรม (Frame Status Conversion) โดยจะระบุสถานะของเฟรมของสัญญาณเอาท์พุท ซึ่งในที่นี้กำหนดสัญญาณเอาท์พุทเป็นแซมเปิ้ลเบส (Sample-based) แล้วสัญญาณก็เข้าสู่บล็อกจัดรูปใหม่ (Reshape) ซึ่งในที่นี้กำหนดให้เปลี่ยนมิติของสัญญาณอินพุทเป็นแอเรย์ (Array) 1 มิติ สัญญาณที่ได้จะเข้าสู่บล็อกการคูณ (Product) เพื่อคูณกับสัญญาณที่เกิดจากส่วนต่างๆ เริ่มจากสัญญาณนาฬิกา (Clock) ที่มีเดซิเม ชั่น (Decimation) เป็น 10 ซึ่งจะกำเนิดเวลาการซีมูเลต (Simulation) ขณะนั้น หลังจากนั้นสัญญาณก็ผ่านเกน (Gain) ที่มีค่าเกนเป็น Fc สัญญาณที่ได้จะไปบวกกับสัญญาณจากบล็อกค่าคงที่ (Constant) ซึ่งมีค่าเป็นค่าคงที่ Ph สัญญาณที่ได้จากการบวกนี้จะเข้าสู่บล็อก คอส (cos) แล้วจึงเข้าสู่บล็อกการคูณซึ่งจะคูณกับสัญญาณข้างต้น ผลคูณที่ได้จะเข้าบล็อกวงจรกรองความถี่บัทเทอร์เวิร์ธ (Butterworth Filter) โดยในที่นี้กำหนดเป็นแบนด์พาส (Band Pass) ออเดอร์ (Order) 8 ขอบความถี่ต่ำเป็น 700, 600และ 500 กิโลเฮิรตซ์ ขอบความถี่สูงเป็น 800, 700และ 600 กิโลเฮิรตซ์ ของวงจรกรองความถี่ (Filter) ตัวที่ 1, 2, 3 ตามลำดับ แล้วนำสัญญาณทั้งสามมาบวกกันแล้วส่งออกไปในช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่

สัญญาณจะเข้าสู่บล็อกวงจรกรองความถี่บัทเทอร์เวิร์ธทั้งสาม ซึ่งล้วนเป็นแบนด์พาสออเดอร์ 8 ขอบความถี่ต่ำเป็น 700 กิโลเฮิรตซ์ 600 กิโลเฮิรตซ์ 500 กิโลเฮิรตซ์ และขอบความถี่สูงเป็น 800 กิโลเฮิรตซ์ 700 กิโลเฮิรตซ์ 600 กิโลเฮิรตซ์ของวงจรกรองความถี่ตัวที่ 1, 2, 3 ตามลำดับ แล้วสัญญาณที่ได้ก็เข้าสู่บล็อกดีเอสบีเอสซีเอเอ็มดีมอดูเลเตอร์พาสแบนด์ (DSBSC AM Demodulator Passband) ซึ่งจะดีมอดูเลตสัญญาณที่มอดูเลตแบบดับเบิ้ลไซด์แบนด์ซับเพรสแคเรียร์แอมปลิจูดมอดูเลชั่น (double-sideband suppressed carrier amplitude modulation) โดยในที่นี้กำหนดความถี่คลื่นพาห์เป็น 750, 650, 550 กิโลเฮิรตซ์ ของวงจรดีมอดูเลเตอร์ที่ 1, 2, 3 ตามลำดับ โดยดีมอดูเลเตอร์มีนูเมอเรเตอร์ (Numerator) ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็น [4.57 9.14 4.57]*.01 ดีนอมิเนเตอร์ (Denominator) เป็น [1 –1.3108 .4936] เฟสเริ่มต้นเป็น 0 เวลาแซมเปิ้ลเป็น 0.0000005 วินาทีซึ่งบล็อกภายในดีมอดูเลเตอร์นี้ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 3.5

จะเห็นว่าสัญญาณจะเข้าสู่บล็อกตรวจสอบคุณสมบัติของสัญญาณซึ่งจะกำเนิดความผิดพลาดเมื่อสัญญาณอินพุทเหมาะสมหรือไม่เหมาะสมกับคุณสมบัติที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นสัญญาณจะเข้าสู่บล็อกคอนเวิร์ท 2-ดี ทู 1-ดี ซึ่งจะทำการแปลงสัญญาณ 2 มิติเป็น 1 มิติ ซึ่งภายในบล็อกนี้ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 3.3 เริ่มจากบล็อกการเปลี่ยนสถานะเฟรม โดยจะระบุสถานะของเฟรมของสัญญาณเอาท์พุท ซึ่งในที่นี้กำหนดสัญญาณเอาท์พุทเป็นแซมเปิ้ลเบส แล้วสัญญาณก็เข้าสู่บล็อกจัดรูปใหม่ ซึ่งในที่นี้กำหนดให้เปลี่ยนมิติของสัญญาณอินพุทเป็นแอเรย์ 1 มิติ สัญญาณที่ได้จะเข้าสู่บล็อกการคูณ เพื่อคูณกับสัญญาณที่ย้อนกลับจากเอาท์พุทมา สัญญาณจากการคูณจะเข้าสู่บล็อกวงจรกรองความถี่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นวงจรกรอง

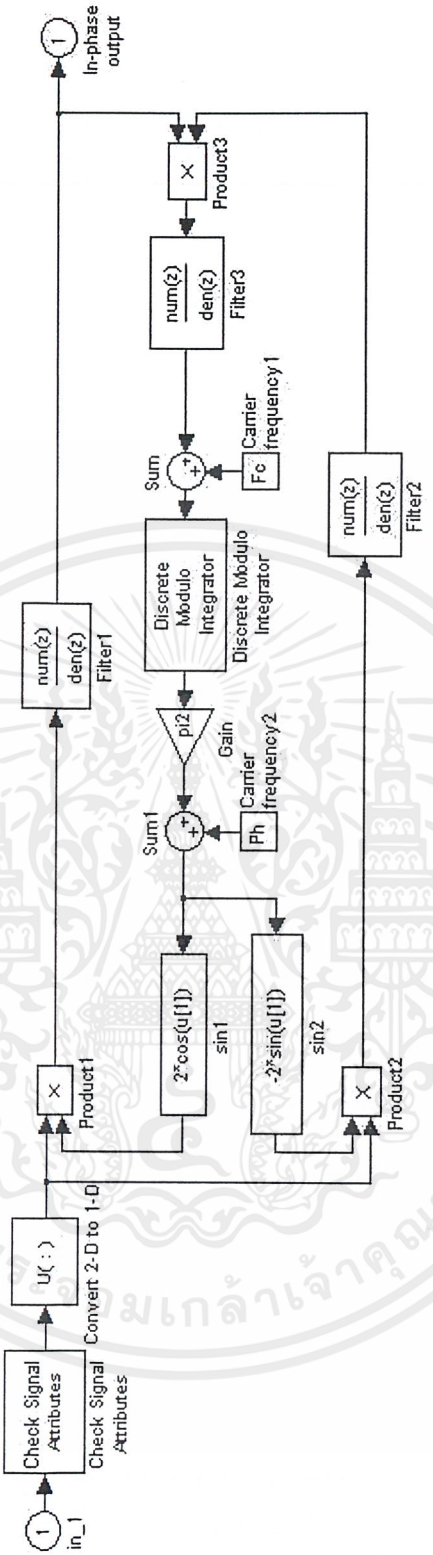
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete filter) โดยให้นูเมอเรเตอร์เป็น num ส่วนดีนอมิเนเตอร์เป็น den ซึ่งจะเป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่เรียงจาก 1/z กำลังน้อยไปมาก สัญญาณที่กรองแล้วนี้จะออกเป็นสัญญาณเอาท์พุทของบล็อกดีมอดูเลเตอร์ และสัญญาณนี้จะเป็นสัญญาณป้อนกลับด้วยโดยจะผ่านวงจรคูณ แล้วผ่านวงจรกรองความถี่ที่ 3 แล้วนำไปบวกกับค่าความถี่คลื่นพาห์ Fc ซึ่งเป็นค่าคงที่ จากนั้นก็เข้าสู่วงจรดีสครีตมอดูโลอินทิเกรเตอร์ (Discrete Modulo Integrator) ซึ่งบล็อกนี้จะอินทิเกรทสัญญาณอินพุทที่เวลาไม่ต่อเนื่อง แล้วใช้ค่า K ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่มีค่าจำกัดและเป็นค่าสัมบูรณ์ (Absolute value bound parameter) เพื่อกำเนิดเอาท์พุทระหว่าง –K และ K เท่านั้น โดยในที่นี้กำหนดวิธีการอินทิเกรทเป็นฟอร์เวิร์ดออยเลอร์ (Forward Euler) ส่วนค่าจำกัดที่เป็นค่าสัมบูรณ์เป็น 1 เงื่อนไขเริ่มต้น (Initial condition) เป็นศูนย์ เวลาแซมเปิ้ล (Sample time) เป็น ts หลังจากนั้นสัญญาณก็ผ่านเกน โดยในที่นี้กำหนดเกนเป็น pi2 แล้วสัญญาณที่ได้ก็นำมาบวกกับค่าความถี่คลื่นพาห์ซึ่งในที่นี้คือค่าคงที่ Ph จากนั้นสัญญาณจะเข้าสู่บล็อกซายน์ (sin)1และ 2 ซึ่ง u เป็นชื่อตัวแปรอินพุท แล้วสัญญาณที่ได้ก็นำกลับมาคูณกับสัญญาณจากบล็อกคอนเวิร์ท 2-ดี ทู 1-ดี แล้วผ่านบล็อกวงจรกรองความถี่ 1 เพื่อออกเป็นเอาท์พุทต่อไป สำหรับสัญญาณอีก 2 สัญญาณที่รับเข้ามาทางภาครับและผ่านวงจรกรองความถี่มา จะเข้าสู่บล็อกดีมอดูเลเตอร์เช่นเดียวกับสัญญาณแรก และเอาท์พุทที่ได้จะเป็นเอาท์พุทของระบบ

3.1.3 ภาครับ-ส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่

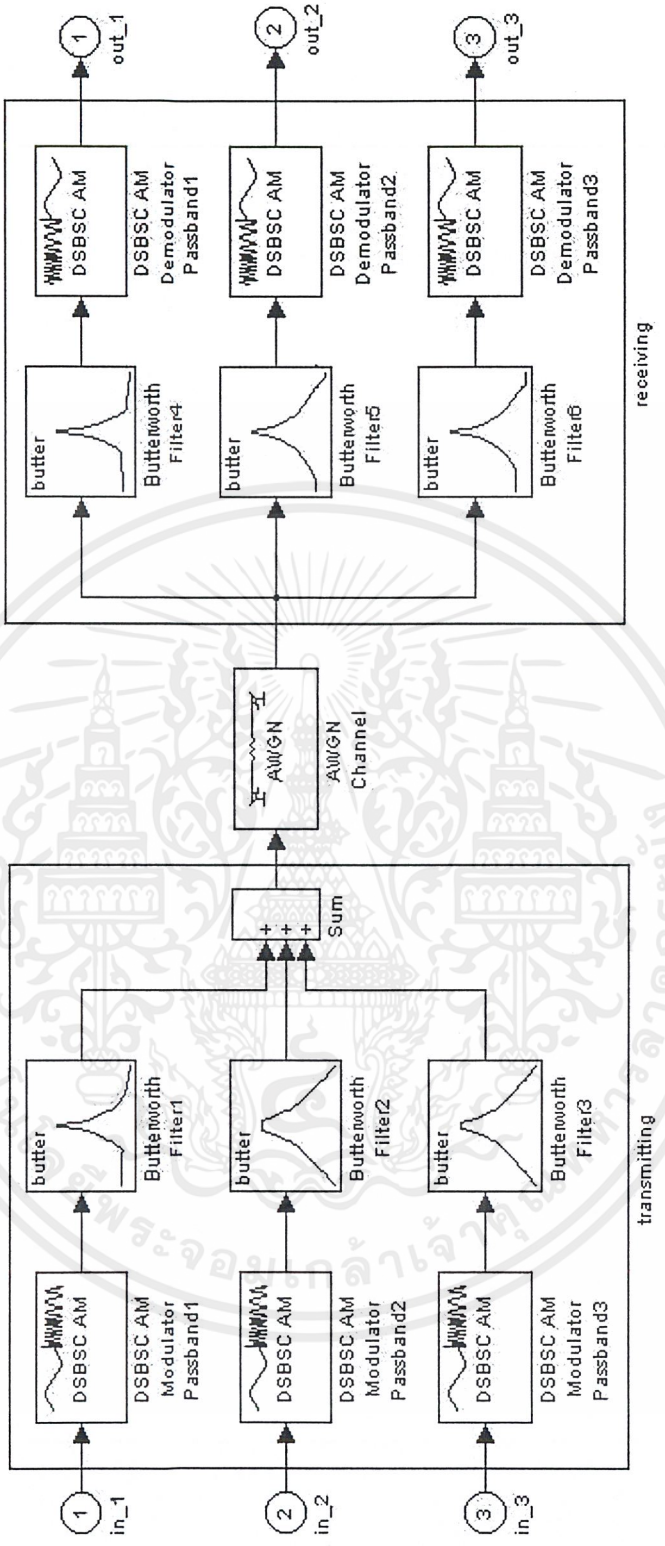
เมื่อนำภาคส่งและภาครับมาประกอบกัน ให้ภาคส่งส่งสัญญาณไปยังเครื่องรับซึ่งสัญญาณจะผ่านบล็อกช่องสัญญาณเอดับเบิ้ลยูจีเอ็น (AWGN channel) ซึ่งเป็นการใส่สัญญาณรบกวนแอดดิทีฟไวท์เกาส์เซียน (Additive white Gaussian noise) ให้กับสัญญาณอินพุท ซึ่งกำหนดซีดเริ่มต้น (Initial seed) เป็น 1237 กำหนดโหมดเป็นโหมดแวเรียนซ์ฟรอมมาสก์ (Variance from mask) โดยกำหนดค่าแวเรียนซ์เป็น 0.001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมของดีเอสบีเอสซีเอเอ็มดีมอดูเลเตอร์พาสแบนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

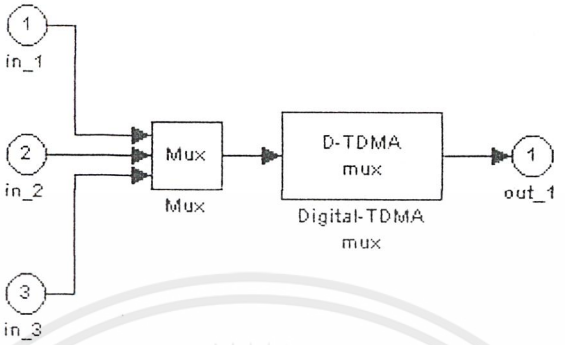


รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

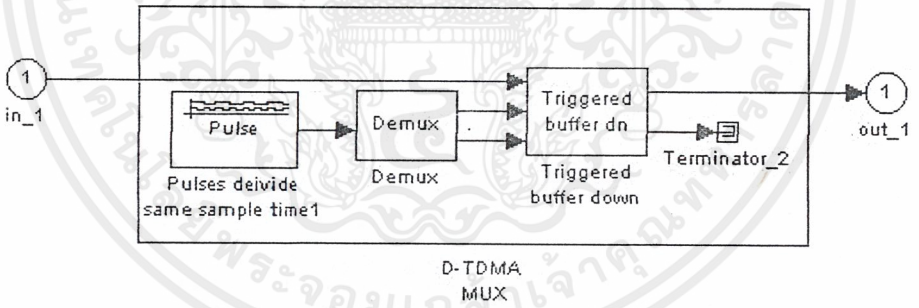
3.2 การทำงานของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา

3.2.1 ภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา



รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา

เมื่อป้อนสัญญาณอินพุททั้งสามผ่านบล็อกมัลติเพลกซ์ (Multiplex ; Mux) ซึ่งจะทำการรวมสัญญาณอินพุททั้งสามเข้าด้วยกันเป็นสัญญาณเอาท์พุทเดียว สัญญาณเอาท์พุทที่ได้จะเข้าสู่บล็อกดิจิตอลทีดีเอ็มเอมัลติเพลกซ์ (Digital-TDMA multiplex) ซึ่งภายในประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 3.8



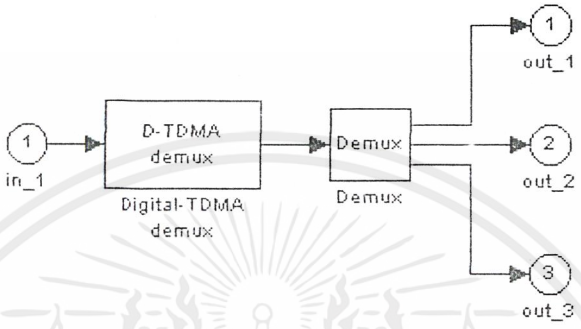
รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมของดิจิตอลทีดีเอ็มเอมัลติเพลกซ์

สัญญาณอินพุทของบล็อกนี้เป็นสัญญาณดิจิตอลแบบเวกเตอร์ และจะได้สัญญาณเอาท์พุทเป็นสัญญาณดิจิตอลที่อัพแซมเปิ้ล (up-sampled) แบบ สเกล่าร์ โดยในที่นี้กำหนดเวลาแซมเปิ้ลของสัญลักษณ์อินพุทเป็น 0.00001 วินาที ความยาวของ เวกเตอร์อินพุทเป็น 3 โดยบล็อกพัลส์ดีไวด์เซมแซมเปิ้ลไทม์ (Pulses deivide same sample time) เป็นเครื่องกำเนิดสัญญาณ พัลส์ ซึ่งจะได้สัญญาณพัลส์ที่มีอัตราการแซมเปิ้ลของแต่ละพัลส์เป็นเวลาแซมเปิ้ลหารด้วยดีไวเดอร์ (Divider) ในที่นี้กำหนดเวลาแซมเปิ้ลเป็น td วินาที ดีไวเดอร์เป็น [1 N] ออฟเซต (Offset) เป็น [0 0] หลังจากนั้นสัญญาณพัลส์นี้จะเข้าสู่บล็อกดีมัลติเพลกซ์ (Demultiplex ; Demux) เพื่อแยกสัญญาณอินพุทออกจากกัน แล้วสัญญาณทั้งสองที่ได้และสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

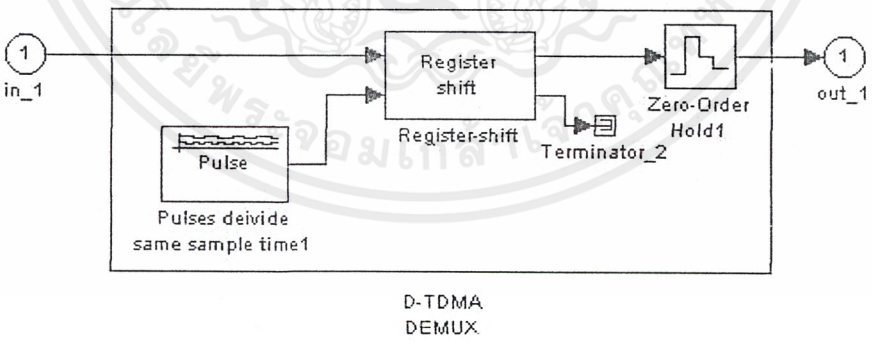
เอาท์พุทจากบล็อกดีมัลติเพลกซ์จะเข้าสู่บล็อกทริกเกอร์บัฟเฟอร์ดาวน์ (Triggered buffer down) ซึ่งในที่นี้กำหนดให้มีขนาดของเวกเตอร์สัญญาณอินพุทเป็น N อินเด็กซ์ (index) เริ่มต้นเป็นศูนย์ การเพิ่มขึ้นของแต่ละอินเด็กซ์เป็น 1 ค่าเริ่มต้นทริกเกอร์ (Trigger threshold) เป็น 0.1 เมื่ออินเด็กซ์มีค่ามากเกินขนาดรีจิสเตอร์จะกำหนดให้เอาท์พุทเป็นศูนย์ แล้วสัญญาณเอาท์พุทที่ได้ก็ส่งไปยังภาครับ

3.2.2 ภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา



รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา

ที่เครื่องรับสัญญาณจะเข้าสู่บล็อกดิจิตอลทีดีเอ็มเอดีมัลติเพลกซ์ (Digital-TDMA demultiplex) ซึ่งสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณดิจิตอลแบบสเกลาร์ สัญญาณเอาท์พุทเป็นเวกเตอร์ของสัญญาณดิจิตอลที่ดาวน์แซมเปิ้ล (down-sampled) ในที่นี้กำหนดค่าเวลาแซมเปิ้ลสัญลักษณ์เอาท์พุทเป็น 0.00001 วินาที ความยาวเวกเตอร์เอาท์พุทเป็น 3 บล็อกนี้มีส่วนประกอบภายในดังรูปที่ 3.10



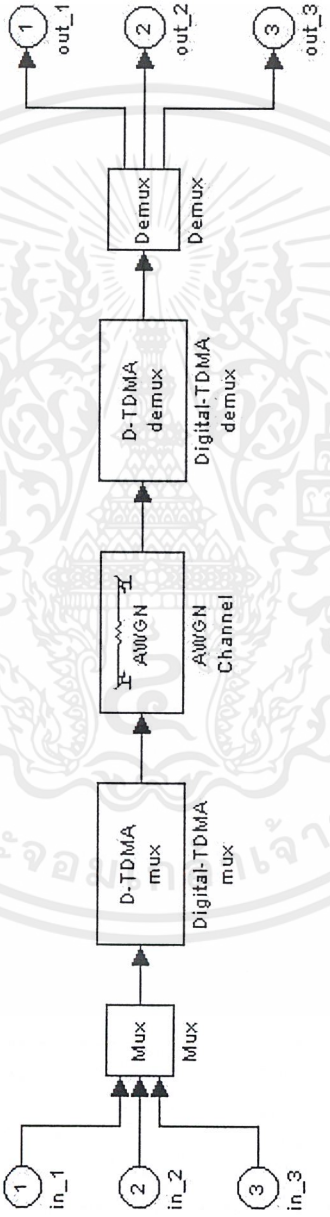
รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมของดิจิตอลทีดีเอ็มเอดีมัลติเพลกซ์

บล็อกพัลส์ดีไวด์เซมแซมเปิ้ลไทม์เป็นเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ซึ่งจะได้สัญญาณพัลส์ที่มีอัตราการแซมเปิ้ลของแต่ละพัลส์เป็นเวลาแซมเปิ้ลหารด้วยดีไวเดอร์ ในที่นี้กำหนดเวลาแซมเปิ้ลเป็น td วินาที ดีไวเดอร์เป็น N ออฟเซตเป็น 0 หลังจากนั้นสัญญาณจากบล็อกนี้และสัญญาณที่ส่งมาจากภาคส่งจะเข้าสู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บล็อกรีจิสเตอร์ชิพ (Register-shift) ซึ่งจะเก็บและชิพอินพุทจากพอร์ท (port) ที่ 1 โดยยกขอบของพัลส์ (pulse) จากพอร์ทที่ 2 ซึ่งบล็อกนี้มีค่าความยาวของการล่าช้าของเวกเตอร์ที่ระบุเอาท์พุท (Vector specify output delay length) เป็น [N : -1 : 1] ส่วนค่าเทรสโช (threshold) ของสัญญาณพัลส์จากพอร์ทที่ 2 เป็น 0.1 สัญญาณที่ได้จากบล็อกนี้จะเข้าสู่บล็อกซีโรออเดอร์โฮลด์ (Zero-Order Hold) ซึ่งจะทำการแซมเปิ้ลและโฮลด์ค่าไว้ สัญญาณที่ได้จะเข้าสู่บล็อกดีมัลติเพลกซ์ซึ่งจะแยกสัญญาณเป็น 3 เอาท์พุท ซึ่งสัญญาณทั้งสามเป็นสัญญาณสุดท้ายที่ได้จากการส่งและรับแบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา

3.2.3 ภาครับ-ส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา



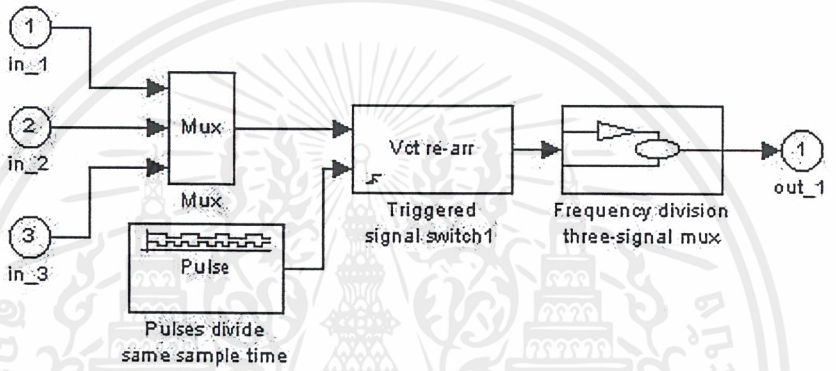
รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำภาคส่งและภาครับมาประกอบกัน ให้ภาคส่งส่งสัญญาณไปยังเครื่องรับซึ่งสัญญาณจะผ่านบล็อกช่องสัญญาณเอดับเบิ้ลยูจีเอ็น ซึ่งเป็นการใส่สัญญาณรบกวนแอดดิทีฟไวท์เกาส์เซียนให้กับสัญญาณอินพุท ซึ่งกำหนดซีดเริ่มต้นเป็น 1237 โหมดแวเรียนซ์ฟรอมมาสก์ โดยกำหนดค่าแวเรียนซ์เป็น 0.001 บล็อกช่องสัญญาณเอดับเบิ้ลยูจีเอ็นนี้ใช้แหล่งกำเนิดแบบสุ่ม (Random Source) ในการกำเนิดสัญญาณรบกวน ค่าซีดเริ่มต้นข้างต้นจึงเป็นค่าเริ่มต้นของเครื่องกำเนิดสัญญาณรบกวน โดยความยาวของค่าซีดเริ่มต้นนี้ต้องเหมาะสมกับจำนวนช่องสัญญาณของสัญญาณอินพุท

3.3 การทำงานของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

3.3.1 ภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

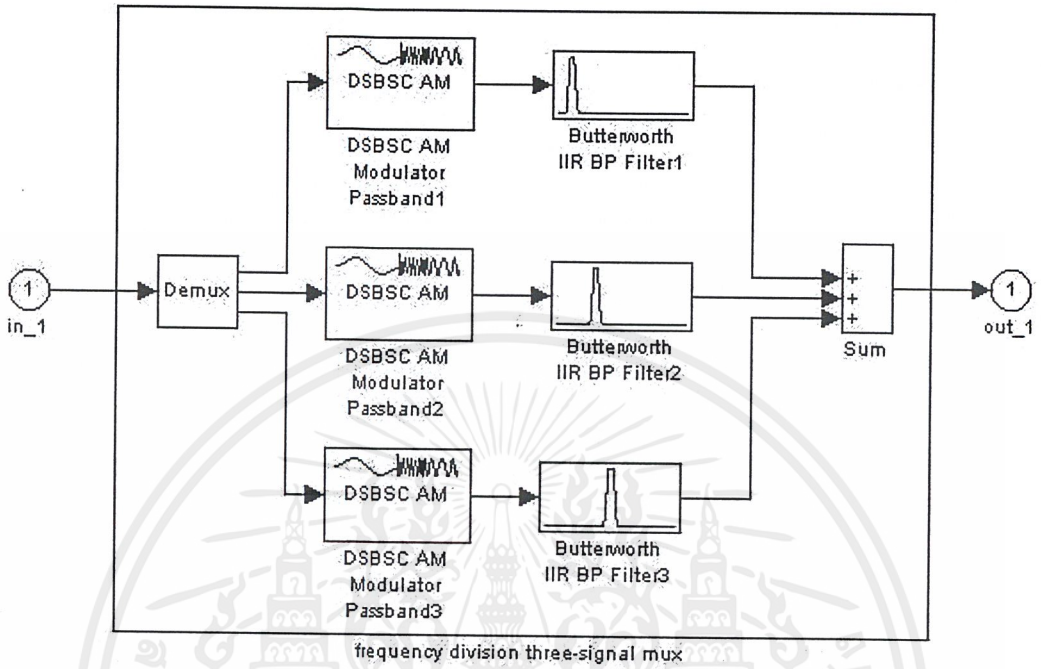


รูปที่ 3.12 บล็อกไดอะแกรมภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

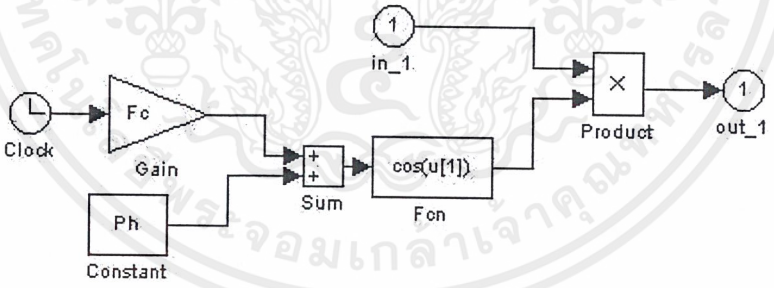
เริ่มจากสัญญาณอินพุททั้งสามเข้าสู่บล็อกมัลติเพลกซ์ เพื่อทำการรวมสัญญาณส่งต่อไปยังบล็อกทริกเกอร์ซิกแนลสวิตช์ 1 (Triggered signal switch 1) ซึ่งมีการทำงานเป็นเวกเตอร์ซิกแนลรีดิสตริบิวชั่น (Vector signal re-distribution) โดยจะใช้หลักการของการเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่โดยใช้วิธีการกระโดดของความถี่ ซึ่งทำงานโดยเมื่อแถวของสวิตช์บ็อกซ์ (switch box) ณ ขณะนี้เป็น [i, j] ค่าตัวที่ 1 และ 2 ให้เอาท์พุทเป็นค่าอินพุทที่ i และ j ตามลำดับ จำนวนหลักในสวิตช์บ็อกซ์ต้องยาวเท่ากับเอาท์พุท ซึ่งที่ขอบขาขึ้นของอินพุทตัวที่ 2 จะไปทริกเกอร์ (Trigger) บล็อกให้กำเนิดเอาท์พุทเป็นอินพุทตามดัชนีของแถวถัดไปของสวิตช์บ็อกซ์ ซึ่งในที่นี้กำหนดสวิตช์บ็อกซ์เป็น [1 2 3 ; 2 3 1 ; 3 1 2] ค่าที่เก็บไว้ (Keeping value) เป็น [-1 -1 -1] ค่าเริ่มต้นก่อนที่ทริกเกอร์อันแรกถูกดีเทค (detect) เป็น [0 0 0] ค่าทริกเกอร์เทรสโช (Trigger threshold) เป็น 0.1 แล้วสัญญาณก็เข้าต่อไปยังบล็อกฟรีเควนซี่ดิวิชั่นทรีซิกแนลมัลติเพลกซ์ ซึ่งประกอบด้วยบล็อกต่างๆ ดังรูปที่ 3.13 ซึ่งจะเข้าบล็อกดีมัลติเพลกซ์เพื่อแยกสัญญาณเป็น 3 สัญญาณเพื่อเข้าบล็อกดีเอสบีเอสซีเอเอ็มมอดูเลเตอร์พาสแบนด์ โดยจะทำการมอดูเลตสัญญาณอินพุทด้วยวิธีดับเบิ้ลไซด์แบนด์ซัปเพรสแคเรียร์แอมปลิจูดมอดูเลชั่น ซึ่งกำหนดให้มอดูเลเตอร์ตัวที่ 1, 2, 3 มีความถี่คลื่นพาห์เป็น 30, 20, 10 กิโลเฮิรตซ์ ตามลำดับ และมีเฟสเริ่มต้นเป็น 0 เรเดียน เวลาแซมเปิ้ลเป็น 0.00001 วินาที ซึ่งบล็อกภายในมอดูเลเตอร์เป็นดังรูปที่ 3.14 โดยเริ่มจากสัญญาณนาฬิกาให้เวลาการซีมูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(simulation time) ณ ขณะนั้น ซึ่งกำหนดให้เดซิเมชั่นเป็น 10 แล้วให้สัญญาณนี้ผ่านเข้าบล็อกเกน ซึ่งมีค่าเกนเป็น Fc เมื่ออินพุทคูณด้วยเกนแล้วก็นำไปบวกกับค่าคงที่ Ph ผลบวกจะเข้าสู่บล็อกเอฟซีเอ็น ซึ่ง u แทนอินพุท สัญญาณที่ได้จะนำไปคูณกับสัญญาณที่มาจากบล็อกดีมัลติเพลกซ์ (อินพุทของบล็อกมอดูเลเตอร์) เพื่อออกเป็นเอาท์พุทของบล็อกมอดูเลเตอร์



รูปที่ 3.13 บล็อกไดอะแกรมของฟรีเควนซี่ดิวิชั่นทรีซิกแนลมัลติเพลกซ์

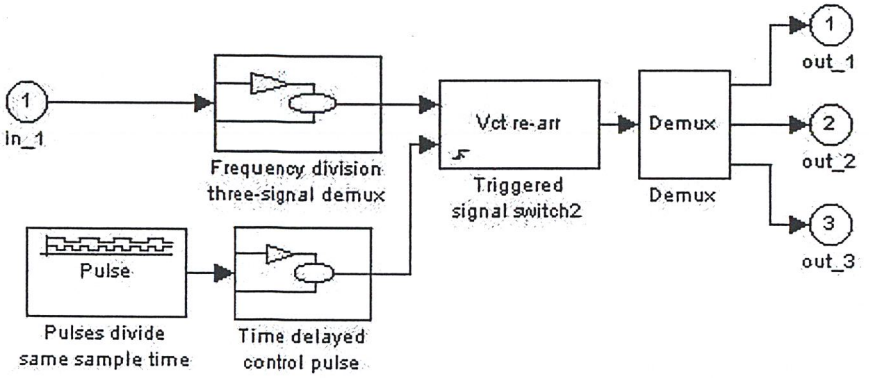


รูปที่ 3.14 บล็อกไดอะแกรมของดีเอสบีเอสซีเอเอ็มมอดูเลเตอร์พาสแบนด์

หลังจากนั้นสัญญาณก็เข้าสู่บล็อกบัทเทอร์เวิร์ธไอไออาร์บีพีฟิวเตอร์ (Butterworth IIR BP Filter ; Butterworth Infinite Impulse Response Band Pass Filter) ซึ่งกำหนดให้มีความถี่กลาง (Center frequency) (0 ถึง 1) เป็น 30000*0.00001*2, 20000*0.00001*2, 10000*0.00001*2 ของฟิลเตอร์ตัวที่ 1, 2, 3 ตามลำดับ และมีค่าแบนด์วิดท์ (Bandwidth)(0 ถึง 1) เป็น 0.075 ออเดอร์ 7 เวลาแซมเปิ้ล 0.00001 วินาทีแล้วนำสัญญาณเอาท์พุททั้งสามมาบวกกันได้เป็นเอาท์พุทของบล็อกฟรีเควนซี่ดิวิชั่นทรีซิกแนลมัลติเพลกซ์ ซึ่งจะส่งสัญญาณไปยังภาครับ

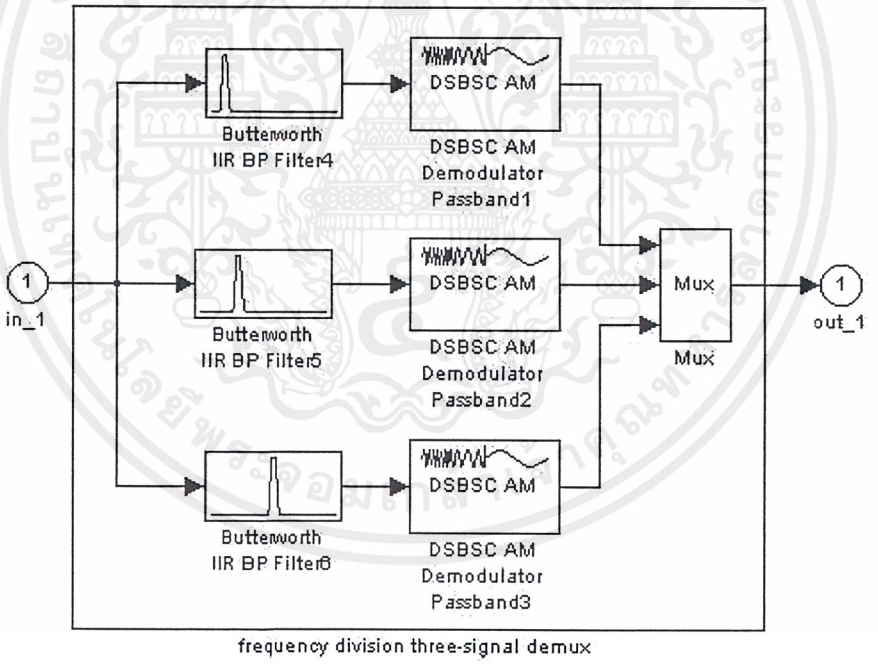
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส



รูปที่ 3.15 บล็อกไดอะแกรมภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

สัญญาณเข้าสู่บล็อกฟรีเควนซี่ดิวิชั่นทรีซิกแนลดีมัลติเพลกซ์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 3.16

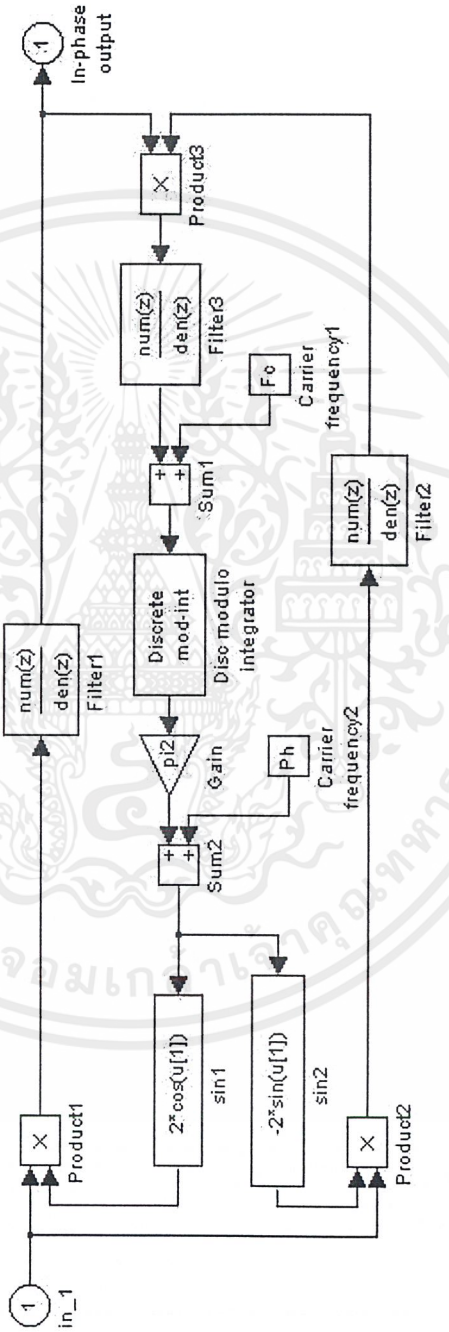


รูปที่ 3.16 บล็อกไดอะแกรมของฟรีเควนซี่ดิวิชั่นทรีซิกแนลดีมัลติเพลกซ์

จะเห็นว่าสัญญาณเข้าสู่บล็อกบัทเทอร์เวิร์ธไอไออาร์บีพีฟิวเตอร์ ซึ่งกำหนดความถี่กลาง (0 ถึง 1) เป็น 30000*0.00001*2, 20000*0.00001*2, 10000*0.00001*2 ของวงจรกรองความถี่ตัวที่ 4, 5, 6 ตามลำดับ และกำหนดค่าแบนด์วิดท์ (0 ถึง 1) เป็น 0.075 ออเดอร์ 7 เวลาแซมเปิ้ล 0.00001 วินาทีหลังจากนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

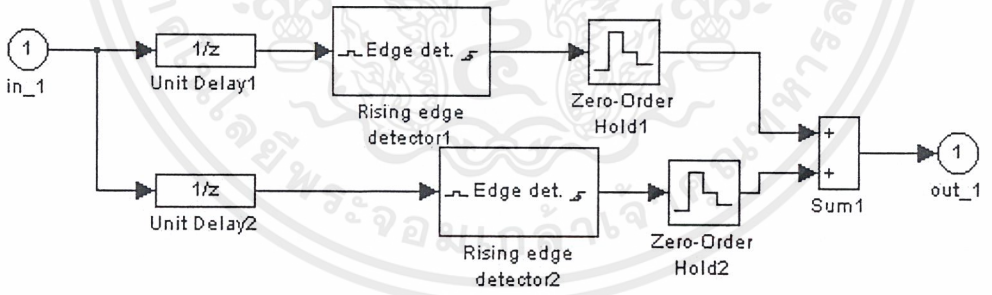
สัญญาณจะเข้าสู่บล็อกดีเอสบีเอสซีเอเอ็มดีมอดูเลเตอร์พาสแบนด์ (DSBSC AM Demodulator Passband) ซึ่งจะดีมอดูเลตสัญญาณที่มอดูเลตมาแบบดับเบิ้ลไซด์แบนด์ซับเพรสแคเรียร์แอมปลิจูดมอดูเลชั่น โดยกำหนดความถี่คลื่นพาห์เป็น 30, 20, 10 กิโลเฮิรตซ์ ของดีมอดูเลเตอร์ตัวที่ 1, 2, 3 ตามลำดับ ค่านูเมอเรเตอร์ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็น num0, num2, num4 และค่าดีนอมิเนเตอร์ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็น den0, den2, den4 ของดีมอดูเลเตอร์ตัวที่ 1, 2, 3 ตามลำดับ และกำหนดค่าเฟสเริ่มต้นเป็น 0 เรเดียน ค่าเวลาแซมเปิ้ลเป็น 0.00001 วินาที ซึ่งบล็อกนี้มีส่วนประกอบต่างๆ ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 บล็อกไดอะแกรมของดีเอสบีเอสซีเอเอ็มดีมอดูเลเตอร์พาสแบนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าสัญญาณอินพุทของบล็อกจะเข้ามาคูณกับสัญญาณป้อนกลับ สัญญาณจากการคูณจะเข้าสู่บล็อกวงจรกรองความถี่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นวงจรกรองความถี่ไม่ต่อเนื่อง โดยให้นูเมอเรเตอร์เป็น num ส่วนดีนอมิเนเตอร์เป็น den ซึ่งจะเป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่เรียงจาก 1/z กำลังน้อยไปมาก สัญญาณที่กรองแล้วนี้จะออกเป็นสัญญาณเอาท์พุทของบล็อกดีมอดูเลเตอร์ และสัญญาณนี้จะเป็นสัญญาณป้อนกลับด้วยโดยจะผ่านวงจรคูณ แล้วผ่านวงจรกรองความถี่ที่ 3 แล้วนำไปบวกกับค่าความถี่คลื่นพาห์ Fc ซึ่งเป็นค่าคงที่ จากนั้นก็เข้าสู่บล็อกดีสครีตไทม์มอดูโลอินทิเกรเตอร์ (Discrete-time modulo integrator) ซึ่งบล็อกนี้จะคำนวณผลการอินทิเกรทของสัญญาณอินพุท โดยค่าสัมบูรณ์ของการอินทิเกรทนี้จะไม่มากกว่าค่าจำกัดโมดูโล(Modulo bound) ที่ระบุ ถ้ามากกว่าค่าของสถานะ (state value) จะรีเซต (reset) ไปเป็นเศษของการหารค่าสถานะด้วยค่าจำกัดโมดูโล ซึ่งบล็อกนี้เป็นบล็อกการอินทิเกรทที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลา โดยในที่นี้กำหนดให้ค่าจำกัดโมดูโลเป็น 1 สถานะเริ่มต้น (Initial state) เป็น 0 เวลาแซมเปิ้ลเป็น ts วินาที หลังจากนั้นสัญญาณก็ผ่านเกน โดยในที่นี้กำหนดเกนเป็น pi2 แล้วสัญญาณที่ได้ก็นำมาบวกกับค่าความถี่คลื่นพาห์ ซึ่งในที่นี้คือค่าคงที่ Ph จากนั้นสัญญาณจะเข้าสู่บล็อกซายน์ 1 และ 2 ซึ่ง u เป็นชื่อตัวแปรอินพุท แล้วสัญญาณที่ได้ก็นำกลับมาคูณกับสัญญาณจากอินพุทแล้วผ่านบล็อกวงจรกรองความถี่ 1 เพื่อออกเป็นเอาท์พุทต่อไป สัญญาณเอาท์พุทที่ได้จะเข้าสู่วงจรทริกเกอร์ซิกแนลสวิตช์ 1 (Triggered signal switch 1) ซึ่งจะมีบล็อกพัลส์ดีไวด์เซมแซมเปิ้ลไทม์ (Pulses divide same sample time) เป็นเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ซึ่งพัลส์จะมีอัตราการแซมเปิ้ลของแต่ละพัลส์เป็น เวลาแซมเปิ้ล/ดีไวเดอร์ โดยกำหนดเวลาแซมเปิ้ลเป็น 5 วินาที ดีไวเดอร์เป็น 1 ออฟเซตเป็น 0 แล้วสัญญาณพัลส์ที่ได้ก็เข้าสู่บล็อกทริกเกอร์ซิกแนลสวิตช์ของภาคส่งและเข้าสู่บล็อกไทม์ดีเลย์คอนโทรลพัลส์ (Time delayed control pulse) ซึ่งบล็อกนี้ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 บล็อกไดอะแกรมของไทม์ดีเลย์คอนโทรลพัลส์

เริ่มจากสัญญาณเข้าสู่บล็อกยูนิตดีเลย์ (Unit Delay) ซึ่งจะแซมเปิ้ลและโฮลด์ให้ล่าช้า 1 คาบเวลาแซมเปิ้ล โดยกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นเป็น 0 เวลาแซมเปิ้ลเป็น 100*ts, [100*ts, 50*ts] ของยูนิตดีเลย์ตัวที่ 1 และ 2 ตามลำดับ หลังจากนั้นสัญญาณก็เข้าสู่บล็อกไรซิ่งเอจดีเทคเตอร์ (Rising edge detector) ซึ่งจะดีเทคขอบขาขึ้นของสัญญาณอินพุทและจะให้เอาท์พุทเป็น 1 เมื่อขอบขาขึ้นถูกดีเทค ในที่นี้กำหนดเทรสโชเป็น 0.5 แล้วสัญญาณก็เข้าสู่บล็อกซีโรออเดอร์โฮลด์ (Zero-order hold) ซึ่งจะแซมเปิ้ลและโฮลด์ค่าไว้ 1 คาบ

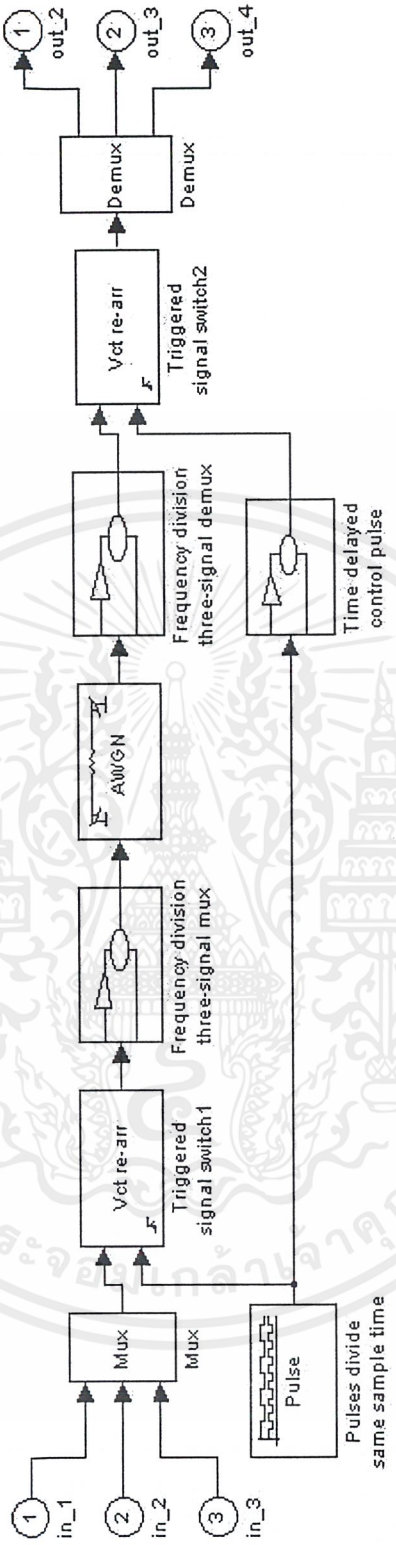
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาแซมเปิ้ล โดยในที่นี้กำหนดเวลาแซมเปิ้ลเป็น 20*ts และ [20*ts, 10*ts] สำหรับซีโรออเดอร์โฮลด์ ตัวที่ 1 และ 2 ตามลำดับ สัญญาณเอาท์พุททั้งสองที่ได้จะนำมาบวกกันเพื่อออกเป็นเอาท์พุทเข้าสู่บล็อกทริกเกอร์ซิกแนลสวิตช์ 2 ซึ่งจะทำงานลักษณะเดียวกับบล็อกทริกเกอร์ซิกแนลสวิตช์ 1 ในภาคส่ง โดยในที่นี้กำหนดสวิตช์บีอกซ์เป็น [0 0 0 ; 1 2 3 ; 0 0 0 ; 3 1 2 ; 0 0 0 ; 2 3 1] ค่าที่เก็บไว้เป็น [1 1 1] ค่าเริ่มต้นก่อนที่ทริกเกอร์อันแรกถูกดีเทคเป็น [0 0 0] ทริกเกอร์เทรสโชเป็น 0.1 แล้วสัญญาณก็เข้าสู่บล็อกดีมัลติเพลกซ์เพื่อแยกเป็น 3 สัญญาณเอาท์พุทของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

3.3.3 ภาครับ-ส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

บล็อกไดอะแกรมเป็นดังรูปที่ 3.19 ซึ่งจะเห็นว่าเอาท์พุทของบล็อกฟรีเควนซี่ดิวิชั่นทรีซิกแนลมัลติเพลกซ์จะส่งผ่านช่องสัญญาณที่มีแอดดิทีฟไวท์เกาส์เซียนน้อยส์ซึ่งกำหนดค่าเฉลี่ย (Mean) เป็น 0 แวเรียนซ์เป็น 0.001 ซีดเริ่มต้นเป็น 12345 ซึ่งเป็นการนำสัญญาณมาบวกด้วยสัญญาณรบกวนที่กำเนิดจากเครื่องกำเนิดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน ผลลัพธ์จากการบวกจะเป็นสัญญาณอินพุทให้กับภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

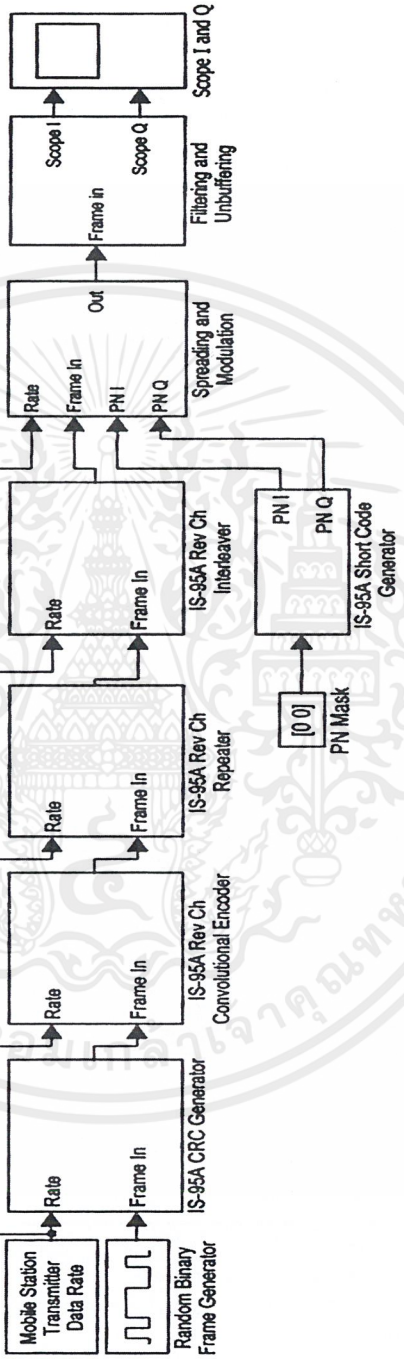


รูปที่ 3.19 บล็อกไดอะแกรมของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทำงานของเครื่องส่งไอเอส 95 เอ รีเวิร์สทราฟฟิกแชนแนล

(IS-95A Reverse Traffic Channel Transmitter)



รูปที่ 3.20 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งไอเอส 95 เอ รีเวิร์สทราฟฟิกแชนแนล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

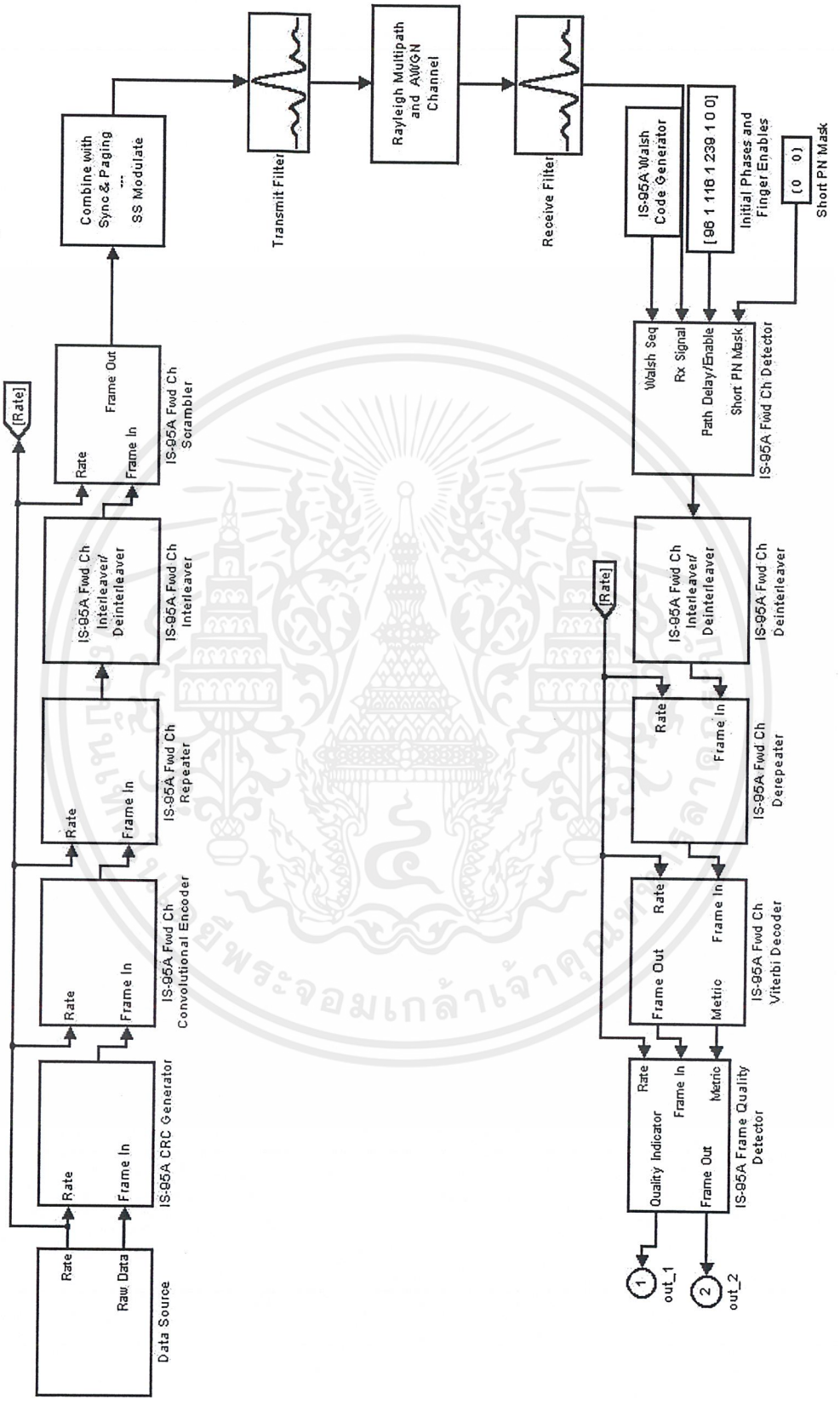
จากรูปที่ 3.20 อัตราการส่งผ่านข้อมูลหาได้จากอัตราการส่งผ่านข้อมูลของสถานีของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในขณะที่เครื่องกำเนิดเฟรมไบนารีแบบสุ่ม (Random Binary Frame Generator) กำเนิดบิทข้อมูลแบบสุ่มให้กับระบบเพื่อใช้ส่ง ข้อมูลดิบมีผลต่อเฟรมของเสียงพูด (speech frame) ที่ถูกผลิตโดยเครื่องเข้ารหัสสัญญาณเสียง บล็อกเครื่องกำเนิด CRC (IS-95A CRC Generator library block) จะกำเนิดบิท CRC (cyclic redundancy check) และใส่บิท CRC นี้ไปในเฟรมข้อมูลที่จะขึ้นอยู่กับอัตราการส่งผ่านข้อมูล ผลจากการใส่บิท CRC จะถูกเข้ารหัสคอนโวลูชั่น (convolution) ที่เครื่องเข้ารหัสคอนโวลูชั่นแบบช่องทางย้อนกลับของไอเอส 95 เอ (IS-95A Reverse Channel Convolutional Encoder library block) เพื่อป้องกันความผิดพลาด การที่อัตราการมอดูเลตสัญลักษณ์คงที่โดยไม่แปรผันตามอัตราการส่งผ่านข้อมูล ทำให้บล็อกรีพีทเตอร์/ดีรีพีทเตอร์ (IS-95A Reverse Channel Repeater/Derepeater library block) ซึ่งเขียนในตัวอย่างนี้ว่าบล็อกรีพีทเตอร์ (IS-95A Reverse Channel Repeater) ทำข้อมูลที่เข้ารหัสคอนโวลูชั่นซ้ำโดยแฟคเตอร์ (factor) ที่ขึ้นอยู่กับอัตราการส่งผ่านข้อมูลเพื่อที่จะทำให้สัญลักษณ์เอาต์พุต (output symbol) มีอัตราการส่งผ่านสัญลักษณ์คงที่ แล้วข้อมูลนี้ก็ถูกอินเทอร์ลีฟ (interleave) โดยเครื่องอินเทอร์ลีฟ/ดีอินเทอร์ลีฟ (IS-95A Reverse Channel Interleaver/Deinterleaver) ซึ่งในตัวอย่างนี้เขียนว่าบล็อกอินเทอร์ลีฟ(IS-95A Reverse Channel Interleaver) เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากเบิรสท์ (burst) ในขณะที่เครื่องกำเนิดรหัสสั้น (IS-95A Short Code Generator) ผลิตรหัสสัญญาณรบกวนสุ่มปลอม (pseudo-random noise ; PN) แบบสั้นซึ่งใช้เพื่อการแผ่กว้างออกของสเปกตรัมแบบควอเดรเจอร์ (quadrature spreading)

บล็อกการมอดูเลชั่นแบบวอล์ชและการแผ่กว้างออกของสเปกตรัม (IS-95A Reverse Channel Walsh Modulation and Spreading library block) ซึ่งอยู่ในระบบย่อยของการแผ่กว้างออกของสเปกตรัมและการมอดูเลชั่น จะทำการมอดูเลชั่นแบบวอล์ชและการแผ่กว้างออกของสเปกตรัมด้วยรหัสที่ยาว ระบบย่อยของการแผ่กว้างออกของสเปกตรัมและมอดูเลชั่นจะทำการแผ่กว้างออกของสเปกตรัมแบบ PN สั้นด้วย ระบบย่อยของวงจรกรองความถี่และอันบัฟเฟอร์ (unbuffering) จะทำการจัดรูปพัลส์เพื่อผลิตคลื่น I และ Q ที่จะถูกแสดงในจอของสโคป (scope) I และ Q

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การทำงานของโมเดลไอเอส 95 เอ ฟอร์เวิร์ดทราฟฟิกแชนแนลเอนทูเอน

(IS-95A Forward Traffic Channel End-to-End Model)



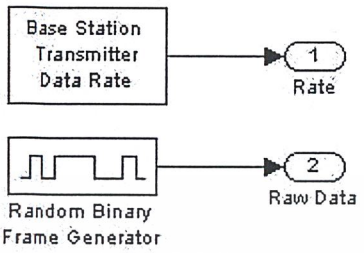
รูปที่ 3.21 บล็อกไดอะแกรมของโมเดลไอเอส 95 เอ ฟอร์เวิร์ดทราฟฟิกแชนแนลเอนทูเอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 ส่วนประกอบและหน้าที่ของบล็อกต่างๆ ในโมเดลไอเอส 95 เอ ฟอร์เวิร์ดทราฟฟิกแชนแนล เอนทูเอน

1) บล็อกแหล่งกำเนิดข้อมูล (Data Source)

บล็อกนี้ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 3.22 คือ



รูปที่ 3.22 ส่วนประกอบของบล็อกแหล่งกำเนิดข้อมูล

(ก) บล็อกอัตราการส่งผ่านข้อมูลของเครื่องส่งที่สถานีฐาน (Base Station Transmitter Data Rate)โดยในที่นี้กำหนดเป็นเต็ม ซึ่งคือ 9600 บิตต่อวินาที

(ข) บล็อกเครื่องกำเนิดเฟรมไบนารีแบบสุ่ม (Random Binary Frame Generator)
บล็อกนี้กำเนิดเฟรมไบนารีแบบสุ่ม โดยคาบของเฟรมเอาท์พุทคือผลคูณของเวลาแซมเปิ้ลและขนาดของเฟรมเอาท์พุท ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ซีดเริ่มต้นเป็น 1234 เวลาแซมเปิ้ลเป็น 1/(50*268) วินาที ขนาดของเฟรมเอาท์พุทเป็น 268

(ค) บล็อกอัตรา 1 (Rate 1)
เป็นพอร์ท (port) เอาท์พุทที่ 1 ซึ่งเป็นค่าของอัตรา

(ง) บล็อกข้อมูลดิบ 2 (Raw Data 2)
เป็นพอร์ทเอาท์พุทที่ 2 ซึ่งเป็นข้อมูลดิบ

2) บล็อกเครื่องกำเนิดซีอาร์ซีแบบไอเอส 95 เอ (IS-95A CRC Generator)

บล็อกนี้กำเนิดบิทไซคลิกรีดันแดนซีเชค (Cyclic Redundancy Check ; CRC) ตามมาตรฐานไอเอส 95 เอและทำการต่อบิทซีอาร์ซีและบิทที่ต่อท้าย (tail bits) ให้กับบิทข้อมูลที่เป็นอินพุทเพื่อกำเนิดเฟรมเอาท์พุท จำนวนบิทข้อมูลขึ้นอยู่กับชนิดของช่องสัญญาณและอัตราการส่งผ่านข้อมูล ส่วนจำนวนบิทที่ต่อขึ้นอยู่กับช่องสัญญาณ เรทเซต (Rate Set) และอัตราที่แสดงถึงอัตราการส่งผ่านข้อมูล บิทที่ต่อที่นอกเหนือจากบิทซีอาร์ซีนี้จะใช้ในการถอดรหัสข้อมูลที่เข้ารหัสแบบคอนโวลูชั่นที่เครื่องรับ ซึ่งบิทเหล่านี้เป็นศูนย์ทั้งหมด และจะถูกต่อเมื่อเป็นช่องสัญญาณชนิดทราฟฟิก (Traffic) หรือแอคเซส (Access) เท่านั้น โดยในที่นี้กำหนดเป็นช่องสัญญาณชนิดทราฟฟิก และกำหนดเป็นเรทเซต 1

3) บล็อกเครื่องเข้ารหัสแบบคอนโวลูชั่นไอเอส 95 เอ ฟอร์เวิร์ดแชนแนล (IS-95A Fwd Ch Convolutional Encoder)

บล็อกนี้ทำการเข้ารหัสแบบคอนโวลูชั่นของบิทของฟอร์เวิร์ดซิงค์ เพจจิ้งหรือทราฟฟิกแชนแนลเฟรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(forward Sync, Paging or Traffic channel frame) โดยในที่นี้กำหนดให้เป็นเรทเซต 1 และใช้ช่องสัญญาณชนิดทราฟฟิก และสถานะการเข้ารหัสเริ่มต้นเป็นศูนย์

4) บล็อกไอเอส 95 เอ ฟอร์เวิร์ดแชนแนลรีพีทเตอร์ (IS-95A Fwd Ch Repeater)

บล็อกนี้ทำการทวนและพังเจอร์ (puncture) สัญลักษณ์ของเฟรมที่เข้ารหัสแบบคอนโวลูชั่นสำหรับช่องสัญญาณฟอร์เวิร์ดซิงค์ เพจจิ้งหรือทราฟฟิก ซึ่งช่องสัญญาณเพจจิ้งและทราฟฟิกที่อัตราการส่งผ่านข้อมูลเป็นครึ่งหนึ่ง หนึ่งส่วนสี่ หนึ่งส่วนแปดของอัตราการส่งผ่านข้อมูล แต่ละสัญลักษณ์จะทวนสัญญาณหนึ่งครั้ง สามครั้งและเจ็ดครั้งตามลำดับ ส่วนช่องสัญญาณซิงค์แต่ละสัญลักษณ์จะทวนสัญญาณแค่ครั้งเดียว โดยในที่นี้กำหนดเป็นเรทเซต 1 และใช้ช่องสัญญาณชนิดทราฟฟิก

5) บล็อกไอเอส 95 เอ ฟอร์เวิร์ดแชนแนลอินเตอร์ลีฟเวอร์ (IS-95A Fwd Ch Interleaver)

บล็อกนี้ทำการอินเตอร์ลีฟ (interleave) สัญลักษณ์ของเฟรมที่เข้ามา ช่วงเวลาของการอินเตอร์ลีฟของช่องสัญญาณเพจจิ้งและทราฟฟิกคือ 20 มิลลิวินาที ซึ่งเท่ากับ 384 สัญลักษณ์ ส่วนของช่องสัญญาณซิงค์จะใช้ช่วงเวลา 26.67 มิลลิวินาที ซึ่งเท่ากับ 128 สัญลักษณ์ การอินเตอร์ลีฟนั้นจะเขียนสัญลักษณ์ของรหัสทุกสัญลักษณ์ข้อมูลที่เป็นอินพุทลงในเมตริกซ์และอ่านข้อมูลที่เก็บเอาไว้ลงในบัฟเฟอร์ (buffer) เอาท์พุทตามมาตรฐานไอเอส 95 เอ โดยในที่นี้ใช้ช่องสัญญาณชนิดทราฟฟิก

6) บล็อกไอเอส 95 เอ ฟอร์เวิร์ดแชนแนลสแครมเบลอร์ (IS-95A Fwd Ch Scrambler)

บล็อกนี้ทำการสแครมบลิ้ง (scrambling) ข้อมูลในฟอร์เวิร์ดทราฟฟิกแชนแนลด้วยรหัสยาว (Long Code) และทำการแทรกบิทกำลัง (power bits) ในข้อมูลโดยในที่นี้กำหนดเป็นเรทเซต 1 และใช้ช่องสัญญาณชนิดทราฟฟิก ซึ่งจะใส่บิทควบคุมกำลัง (power control bit) 2 บิทติดๆกันในทุกกรุ๊ปกำลัง (power group) ซึ่งมี 24 สัญลักษณ์ สำหรับ 4 บิทสุดท้ายของรหัสยาวในกรุ๊ปกำลังจะบอกถึงตำแหน่งที่บิทกำลังจะแทรกในกรุ๊ปกำลังถัดไป

7) บล็อกคอมบายวิธซิงค์แอนด์เพจจิ้ง เอสเอสมอดูเลต (Combine with Sync & Paging, SS Modulate)

บล็อกนี้ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 3.23

(ก) บล็อก [0.4472 0.2170 0.4338 0.306 0.6860]
บล็อกนี้เป็นค่าคงที่ที่ป้อนเป็นอินพุทให้กับระบบ

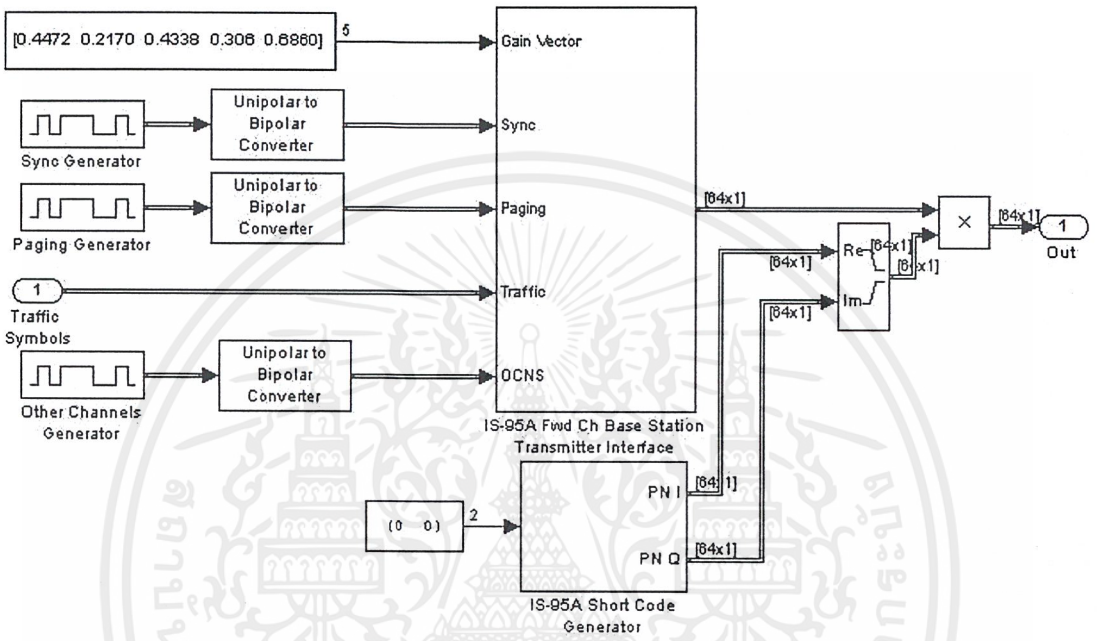
(ข) เครื่องกำเนิดซิงค์ (Sync Generator)
บล็อกนี้กำเนิดเฟรมแบบสุ่มของจำนวนเต็มไบนารี โดยคาบของเฟรมเอาท์พุทคือผลคูณระหว่างเวลาแซมเปิ้ลกับขนาดของเฟรมเอาท์พุท โดยในที่นี้กำหนดค่าซีดเริ่มต้นเป็น 465789 เวลาแซมเปิ้ล 4*1/(50*384) วินาที และขนาดของเฟรมเอาท์พุทเป็น 1

(ค) บล็อกเครื่องกำเนิดเพจจิ้ง (Paging Generator)
บล็อกนี้กำเนิดเฟรมแบบสุ่มของจำนวนเต็มไบนารี โดยคาบของเฟรมเอาท์พุทคือผลคูณระหว่างเวลาแซมเปิ้ลกับขนาดของเฟรมเอาท์พุท โดยในที่นี้กำหนดค่าซีดเริ่มต้นเป็น 76767 เวลาแซมเปิ้ล 1/(50*384) วินาที ขนาดของเฟรมเอาท์พุทเป็น 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ง) บล็อกยูนิโพลาร์ทูไบโพลาร์คอนเวิร์ทเตอร์ (Unipolar to Bipolar Converter)
บล็อกนี้ทำการเปลี่ยนสัญญาณยูนิโพลาร์ในช่วง [0,M-1] ที่ซึ่ง M เป็นจำนวนเอ็มอารี (M-ary) ไปเป็นสัญญาณไบโพลาร์ โดยในที่นี้กำหนดจำนวนเอ็มอารีเป็น 2 และเป็นขั้วทางลบ (Negative Polarity)

(จ) บล็อกสัญลักษณ์ทราฟฟิก (Traffic Symbols)
เป็นพอร์ทอินพุทที่ 1 โดยมีการกำหนดให้มิติของพอร์ทเป็น –1 ซึ่งเป็นขนาดไดนามิก กำหนดเวลาแซมเปิ้ลเป็น –1 ซึ่งเป็นอินเฮอริท (inherited) ชนิดของข้อมูลและสัญญาณเป็นอัตโนมัติ



รูปที่ 3.23 ส่วนประกอบของบล็อกคอมบายวิธซิงค์แอนด์เพจจิ้ง เอสเอสมอดูเลต

(ฉ) บล็อกเครื่องกำเนิดช่องสัญญาณชนิดอื่นๆ (Other Channels Generator)
บล็อกนี้กำเนิดเฟรมแบบสุ่มของจำนวนเต็มไบนารี โดยคาบของเฟรมเอาท์พุทคือผลคูณระหว่างเวลาแซมเปิ้ลกับขนาดของเฟรมเอาท์พุท โดยในที่นี้กำหนดค่าซีดเริ่มต้นเป็น 98767657 เวลาแซมเปิ้ล 1/(50*384) วินาที ขนาดของเฟรมเอาท์พุทเป็น 1

(ช) บล็อกไอเอส 95 เอ ฟอร์เวิร์ดแชนแนลเบสสเตชั่นทรานสมิทเตอร์อินเตอร์เฟส (IS-95A Fwd Ch Base station Transmitter Interface)
บล็อกนี้ทำการรวมสัญลักษณ์ไพรอท ซิงค์ เพจจิ้ง ทราฟฟิกและออธอกอแนลแชนแนลน้อยส์ซีมูเลเตอร์ (Pilot, Sync, Paging Traffic and Orthogonal Channel Noise Simulator) โดยใช้ลำดับรหัสวอล์ช (Walsh) ที่แตกต่างกัน โดยในที่นี้กำหนดอัตราช่องสัญญาณเพจจิ้งเป็นแบบเต็ม อันดับวอล์ช (Walsh order) เป็น 6 ไพรอท ซิงค์ เพจจิ้ง ทราฟฟิกและออธอกอแนล แชนแนลน้อยส์ซีมูเลเตอร์ ดัชนีวอล์ช(Walsh indice) เป็น [0 32 47 38 23] เวลาแซมเปิ้ล 1/(50*384) วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ซ) บล็อก (0 0)

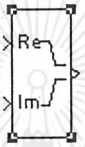
บล็อกนี้เป็นค่าคงที่ [0 0] โดยแปลงพารามิเตอร์ในเวกเตอร์เป็น 1 มิติ

(ฌ) เครื่องกำเนิดรหัสสั้นไอเอส 95 เอ (IS-95A Short Code Generator)

กำเนิดรหัสซูโดแรนดอมน้อยส์ (PN) แบบ I และ Q แบบสั้น ซึ่งจะใช้ในการแสดงการแผ่กว้างออกของสเปกตรัมแบบควอดราเจอร์ (Quadrature) ของเฟรมฟอร์เวิร์ดหรือรีเวิร์ส (reverse) ส่วนสัญญาณอินพุทเป็นมาส์ก (mask) ที่จะกำหนดสัญญาณเอาท์พุท โดยในที่นี้กำหนดขนาดของเฟรมเอาท์พุทเป็น 64 เวลาแซมเปิ้ลเป็น 1/(50*384) วินาที

(ญ) บล็อกเรียล-อิมเมจทูคอมเพลกซ์ (Real-Imag to Complex)

บล็อกนี้สร้างเอาท์พุทที่เป็นจำนวนเชิงซ้อนจากอินพุทที่เป็นจำนวนจริงและ/หรือจำนวนจินตภาพ โดยในที่นี้กำหนดอินพุทเป็นจำนวนจริงและจำนวนจินตภาพ บล็อกนี้มีลักษณะดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 บล็อกเรียล-อิมเมจทูคอมเพลกซ์

(ฎ) บล็อกการคูณ (Product)

บล็อกนี้จะทำการคูณอินพุท ซึ่งในที่นี้กำหนดจำนวนอินพุทเป็น 2 และเลือกการคูณเป็นแบบอิลิเมนท์-ไวส์ (Element-wise) และกำหนดให้อิ่มตัว (saturate) เมื่อจำนวนเต็มเกิดโอเวอร์โฟล (overflow)

(ฏ) บล็อกเอาท์ 1 (out)

เป็นพอร์ทเอาท์พุทพอร์ทที่ 1

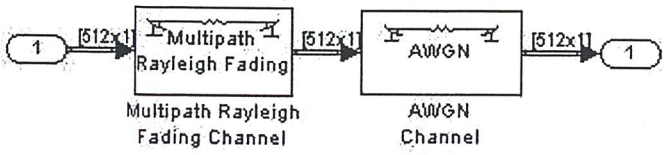
8) บล็อกวงจรกรองความถี่ภาคส่ง (Tramsmit Filter)

ใช้เป็นวงจรกรองความถี่เอฟไอาร์พัลส์เชพปิ้ง (FIR Pulse Shaping) โดยความยาวของวงจรกรองความถี่ชนิดเอฟไอาร์คือระยะของชิพลำดับซูโดแรนดอมน้อยส์ (PN) 12 ตัว ช่องว่างระหว่างสัมประสิทธิ์และเวลาแซมเปิ้ลของวงจรกรองความถี่นี้ คือ 1/8 ของระยะเวลา 1 ชิพลำดับซูโดแรนดอมน้อยส์ แสดงผลนี้ทั้ง 96 สัมประสิทธิ์ วงจรกรองความถี่มีการล่าช้า 48 แซมเปิ้ล โดยในที่นี้กำหนดอินเตอร์โพเลชั่นแฟคเตอร์ (Interpolation factor) เป็น 8

9) บล็อกเรย์ลี่มัลติพาธแอนด์เอดับเบิ้ลยูจีเอ็นแชนแนล (Rayleigh Multipath and AWGN Channel)

บล็อกนี้ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 3.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 บล็อกเรย์ลี่มัลติพาธแอนด์เอดับเบิ้ลยูจีเอ็นแชนแนล

(ก) บล็อก 1

เป็นพอร์ทอินพุทที่ 1 โดยมีการกำหนดให้มิติของพอร์ทเป็น –1 ซึ่งเป็นขนาดไดนามิก กำหนดเวลาแซมเปิ้ลเป็น –1 ซึ่งเป็นอินเฮอริท (inherited) ชนิดของข้อมูลและสัญญาณเป็นอัตโนมัติ

(ข) บล็อกมัลติพาธเรลี่เฟดดิ้งแชนแนล (Multipath Rayleigh Fading Channel)(สำหรับสัญญาณเบสแบนด์ (baseband) ที่ซับซ้อน)

บล็อกนี้ทำการคูณสัญญาณอินพุทด้วยแซมเปิ้ลของกระบวนการสุ่มที่ซับซ้อนของการกระจายแบบเรลี่ (Rayleigh) สเปกตรัมของกระบวนการเรย์ลี่ได้มาจากเจคส์พีเอสดี (Jakes PSD; Jakes power spectral density) ที่ซึ่งพารามิเตอร์ทางความถี่ดอปเปลอร์ (Doppler) กำหนดความถี่ดอปเปลอร์ที่มากที่สุด จำนวนของเส้นทางเท่ากับความยาวของพารามิเตอร์ของเวกเตอร์การล่าช้าหรือเวกเตอร์เกน (Gain vector) โดยในที่นี้กำหนดความถี่ดอปเปลอร์ 175.92 เฮิรตซ์ เวลาแซมเปิ้ล 1/(1228800*8) วินาที เวกเตอร์การล่าช้า (วินาที) [0 2e-6 14.5e-6] เวกเตอร์เกน (เดซิเบล) [0 0 –3] ซึ่งนอร์มอไลซ์ (Normalize) เวกเตอร์เกนเป็น 0 เดซิเบล ทุกเกน ส่วนซีดเริ่มต้นเป็น 1234

(ค) บล็อกเอดับเบิ้ลยูจีเอ็นแชนแนล

บล็อกนี้ทำการใส่สัญญาณรบกวนแอดดิทีฟไวท์เกาส์เซียนให้กับสัญญาณอินพุท โดยสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทสามารถเป็นได้ทั้งจำนวนจริงและจำนวนเชิงซ้อน บล็อกนี้สามารถรับสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทที่มีหลายช่องสัญญาณได้เช่นเดียวกับกระบวนการเฟรมเบส (frame-based processing) โดยในที่นี้กำหนดซีดเริ่มต้นเป็น 17583 เลือกโหมดอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (signal to noise ratio ; E_s/N_o) ซึ่งกำหนดให้มีค่า –3.0 กำหนดกำลังสัญญาณอินพุทเป็น 2 วัตต์ คาบของสัญลักษณ์ 1/1228800 วินาที

(ช) บล็อก 1

เป็นพอร์ทเอาท์พุทที่ 1

10) บล็อกวงจรกรองความถี่ภาครับ (Receive Filter)

ใช้เป็นวงจรกรองความถี่เอฟไออาร์พัลส์เชพปิ้ง (FIR Pulse Shaping) โดยความยาวของวงจรกรองความถี่ชนิดเอฟไออาร์คือระยะของชิพลำดับซูโดแรนดอมน้อยส์ (PN) 12 ตัว ช่องว่างระหว่างสัมประสิทธิ์และเวลาแซมเปิ้ลของวงจรกรองความถี่นี้ คือ 1/8 ของระยะเวลา 1 ชิพลำดับซูโดแรนดอมน้อยส์ แสดงผลนี้ทั้ง 96 สัมประสิทธิ์ วงจรกรองความถี่มีการล่าช้า 48 แซมเปิ้ล โดยในที่นี้กำหนดอินเตอร์โพเลชั่นแฟคเตอร์ (Interpolation factor) เป็น 1

11) บล็อกเครื่องกำเนิดรหัสวอล์ชไอเอส 95 เอ (IS-95A Walsh Code Generator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บล็อกนี้กำเนิดลำดับรหัสวอล์ชให้สัมพันธ์กับอันดับและดัชนีของวอล์ช โดยในที่นี้กำหนดอันดับวอล์ชเป็น 6 ดัชนีวอล์ชเป็น 38 เวลาแซมเปิ้ล 1/(50*384) วินาที

12) บล็อกเฟสเริ่มต้นและฟิงเกอร์อีนาเบิลส์ (Initial Phases and Finger Enables)
เป็นค่าคงที่โดยในที่นี้กำหนดให้เป็น [96 1 116 1 239 1 0 0]

13) บล็อกชอตพีเอ็นมาส์ก (Short PN Mask)
เป็นค่าคงที่โดยในที่นี้กำหนดให้เป็น [0 0]

14) บล็อกไอเอส 95 เอ ฟอร์เวิร์ดแชนแนลดีเทคเตอร์ (IS-95A Fwd Ch Detector)

บล็อกนี้ทำการดีสเปรด (Despread) ดีมอดูเลชั่น (Demodulation) และรวมแบบเรค (rake) สัญญาณที่รับมา โดยในที่นี้กำหนดเป็นเรทเซต 1 ขนาดของเฟรมอินพุทเป็น 1 สัญลักษณ์ อันดับวอล์ชเป็น 6 ขนาดบัฟเฟอร์แทรคกิ้ง (Tracking buffer size) เป็น 3 สัญลักษณ์ โอเวอร์แซมปลิ้งเรท (Oversampling rate) เป็น 8 เวลาแซมเปิ้ลเป็น 1/(50*384)

15) บล็อกไอเอส 95 เอ ฟอร์เวิร์ดแชนแนลดีอินเทอร์ลีฟเวอร์ (IS-95A Fwd Ch Deinterleaver)

บล็อกนี้ทำการดีอินเทอร์ลีฟสัญลักษณ์ของเฟรมช่องสัญญาณฟอร์เวิร์ดซิงค์ เพจจิ้งหรือทราฟฟิก โดยเปลี่ยนจากสัญลักษณ์ที่อินเทอร์ลีฟแล้วให้เป็นสัญลักษณ์ที่เรียงตามลำดับข้อมูลเดิม ในที่นี้ใช้ช่องสัญญาณชนิดทราฟฟิก

16) บล็อกไอเอส 95 เอ ฟอร์เวิร์ดแชนแนลดีรีพีทเตอร์ (IS-95A Fwd Ch Derepeater)

บล็อกนี้ทำการดีรีพีท (Derepeat) สัญลักษณ์ของเฟรมที่เข้ารหัสแบบคอนโวลูชั่นสำหรับช่องสัญญาณฟอร์เวิร์ดซิงค์ เพจจิ้งหรือทราฟฟิก โดยในที่นี้กำหนดเป็นเรทเซต 1 และใช้ช่องสัญญาณชนิดทราฟฟิก

17) บล็อกไอเอส 95 เอ ฟอร์เวิร์ดแชนแนลวิเตอร์บิดีโค้ดเดอร์ (IS-95A Fwd Ch Viterbi Decoder)

บล็อกนี้ทำการถอดรหัสอย่างเหมาะสมให้กับเฟรมช่องสัญญาณฟอร์เวิร์ดซิงค์ เพจจิ้งหรือทราฟฟิกที่เข้ารหัสแบบคอนโวลูชั่น โดยในที่นี้กำหนดเป็นเรทเซต 1 ใช้ช่องสัญญาณชนิดทราฟฟิก อัตราส่วนของความยาวเทรสแบค (trace-back) ต่อความยาวเฟรมเป็น 1 และอัตราส่วนของความยาวของการถอดรหัสต่อความยาวเฟรมเป็น 1

18) บล็อกไอเอส 95 เอ เฟรมควอลิตี้ดีเทคเตอร์ (IS-95A Frame Quality Detector)

กำหนดคุณภาพของเฟรมข้อมูลที่รับมาได้และเอาท์พุทของข้อมูลที่ถอดรหัสแล้วและตัวชี้คุณภาพของเฟรม โดยในที่นี้กำหนดเป็นเรทเซต 1 และใช้ช่องสัญญาณชนิดทราฟฟิก แมตริกเทรสโชฟอร์ควอเตอร์เรท (Matric threshold for quarter rate) เป็น 0.9*1.5 แมตริกเทรสโชฟอร์เอทเรท (Matric threshold for eight rate) เป็น 0.85*1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 บล็อกต่างๆ ที่ต่อเพิ่มเพื่อวัดผลการทดสอบ

จะได้ดังรูปบล็อกไดอะแกรมรวมดังรูปที่ 4.112

1) บล็อกซีโรออเดอร์โฮลด์ (Zero-Order Hold)

บล็อกนี้ทำการแซมเปิ้ลและโฮลด์ค่าเอาไว้ ณ อัตราการแซมปลิ้งที่กำหนด บล็อกนี้สามารถทำสัญญาณให้ไม่ต่อเนื่องทางเวลา (discrete) ได้หรือทำการรีแซมปลิ้ง (resampling) สัญญาณที่อัตราต่างๆ กันได้ ในที่นี้กำหนดค่าเวลาแซมเปิ้ลเป็น 1/50/384/64 วินาที ซึ่งบล็อกนี้มีลักษณะดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 บล็อกซีโรออเดอร์โฮลด์

2) บล็อกอันบัฟเฟอร์ (Unbuffer)

บล็อกนี้ทำการเปลี่ยนเฟรมเป็นเอาท์พุทแซมเปิ้ลแบบสเกล่าร์ (scalar) ที่อัตราการแซมเปิ้ลสูงขึ้น โดยในที่นี้กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นเป็นศูนย์ บล็อกนี้มีลักษณะดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 บล็อกอันบัฟเฟอร์

3) บล็อกบี-เอฟเอฟที (B-FFT)

ใช้สเปกตรัมสโคป (Spectrum Scope) ซึ่งจะคำนวณและแสดงฟาสฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม (fast Fourier transform ; FFT) ในเวลาสั้นของแต่ละสัญญาณอินพุท อินพุทที่เป็นนอนเฟรมเบส (Non-frame base) ควรใช้บัฟเฟอร์ โดยในที่นี้กำหนดให้ไม่มีการซ้อนทับของบัฟเฟอร์ จำนวนค่าเฉลี่ยของสเปกตรัมเป็น 10

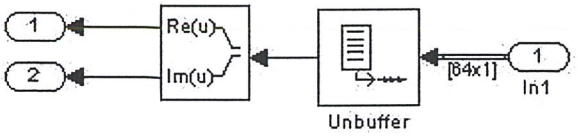
สำหรับบล็อกที่วัดสัญญาณก่อนการสเปรด (Signal before spreading) และบล็อกที่วัดสัญญาณสเปรดสเปกตรัม (Spread spectrum signal) กำหนดบัฟเฟอร์ให้มีขนาด 1024

ส่วนบล็อกที่วัดสัญญาณสเปรดสเปกตรัมที่ผ่านฟิลเตอร์แล้ว (Filtered spread spectrum signal) กำหนดบัฟเฟอร์ให้มีขนาด 8192

4) บล็อกอันบัฟเฟอร์ไอและคิว (Unbuffer I&Q)

บล็อกนี้ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 3.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 บล็อกอันบัฟเฟอร์ไอและคิว

(ก) บล็อกเข้า 1 (In 1)

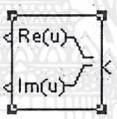
เป็นพอร์ทอินพุทที่ 1 โดยมีการกำหนดให้มิติของพอร์ทเป็น –1 ซึ่งเป็นขนาดไดนามิก กำหนดเวลาแซมเปิ้ลเป็น –1 ซึ่งเป็นอินเฮอริท (inherited) ชนิดของข้อมูลและสัญญาณเป็นอัตโนมัติ

(ข) บล็อกอันบัฟเฟอร์

บล็อกนี้ทำการเปลี่ยนเฟรมเป็นเอาท์พุทแซมเปิ้ลแบบสเกล่าร์ (scalar) ที่อัตราการแซมเปิ้ลสูงขึ้น โดยในที่นี้กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นเป็นศูนย์

(ค) บล็อกคอมเพลกซ์ทูเรียล-อิมเมจ (Complex to Real-Image)

จะได้เอาท์พุทเป็นส่วนจริงหรือส่วนจินตภาพของอินพุท โดยในที่นี้กำหนดเอาท์พุทเป็นทั้งส่วนจริงและส่วนจินตภาพ บล็อกนี้มีลักษณะดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 บล็อกคอมเพลกซ์ทูเรียล-อิมเมจ

(ง) บล็อก 1

เป็นพอร์ทเอาท์พุทที่ 1 ซึ่งเป็นค่าจำนวนจริง

(จ) บล็อก 2

เป็นพอร์ทเอาท์พุทที่ 2 ซึ่งเป็นค่าจำนวนจินตภาพ

5) บล็อก 0

เป็นค่าคงที่ 0

6) บล็อกการคำนวณอัตราความผิดพลาด 1 (Error Rate Calculation 1)

คำนวณอัตราความผิดพลาดของข้อมูลที่รับได้โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ส่งมาล่าช้า เอาท์พุทเป็นเวกเตอร์ที่มีข้อมูล 3 ตัว ซึ่งได้แก่ อัตราความผิดพลาด ตามมาด้วยจำนวนความผิดพลาดที่พบ และจำนวนสัญลักษณ์ทั้งหมดที่นำมาเปรียบเทียบ ความล่าช้าจะถูกระบุเป็นจำนวนแซมเปิ้ลไม่ว่าอินพุทจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสเกล่าร์หรือเวกเตอร์ โดยในที่นี้กำหนดค่าความล่าช้าที่รับได้เป็นศูนย์ ค่าความล่าช้าที่คำนวณได้เป็น 4 โหมดการคำนวณเป็นแบบทั้งเฟรม และให้ข้อมูลเอาท์พุทออกทางพอร์ท

7) บล็อกกำหนดดัชนีข้อมูล (Determine Data Index)

กำหนดดัชนีให้ข้อมูลที่ถูกต้องในเฟรม ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเรทเซตและเรทอินพุท โดยในที่นี้กำหนดให้เป็นเรทเซต 1

8) บล็อกการคำนวณอัตราความผิดพลาด (Error Rate Calculation)

คำนวณอัตราความผิดพลาดของข้อมูลที่รับได้โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ส่งมาล่าช้า เอาท์พุทเป็นเวกเตอร์ที่มีข้อมูล 3 ตัว ซึ่งได้แก่ อัตราความผิดพลาด ตามมาด้วยจำนวนความผิดพลาดที่พบ และจำนวนสัญลักษณ์ทั้งหมดที่นำมาเปรียบเทียบ ความล่าช้าจะถูกระบุเป็นจำนวนแซมเปิ้ลไม่ว่าอินพุทจะเป็นสเกล่าร์หรือเวกเตอร์ โดยในที่นี้กำหนดค่าความล่าช้าที่รับได้เป็น 2*268 ค่าความล่าช้าที่คำนวณได้เป็น 2*268 โหมดการคำนวณเป็นแบบเลือกแซมเปิ้ลจากพอร์ท และให้ข้อมูลเอาท์พุทออกทางพอร์ท

9) บล็อกอัตราบิทที่ผิดพลาด (Bit Error Rate)

เป็นการแสดงผลค่าอินพุทเป็นตัวเลข โดยในที่นี้กำหนดฟอร์แมท (Format) เป็นแบบสั้น (Decimation) เป็น 1 เวลาแซมเปิ้ลเป็น –1 ซึ่งเป็นอินเฮอริท

10) บล็อกอัตราเฟรมที่ผิดพลาด (Frame Error Rate)

เป็นการแสดงผลค่าอินพุทเป็นตัวเลข โดยในที่นี้กำหนดฟอร์แมท (Format) เป็นแบบสั้น เดซิเมชั่น (Decimation) เป็น 1 เวลาแซมเปิ้ลเป็น –1 ซึ่งเป็นอินเฮอริท

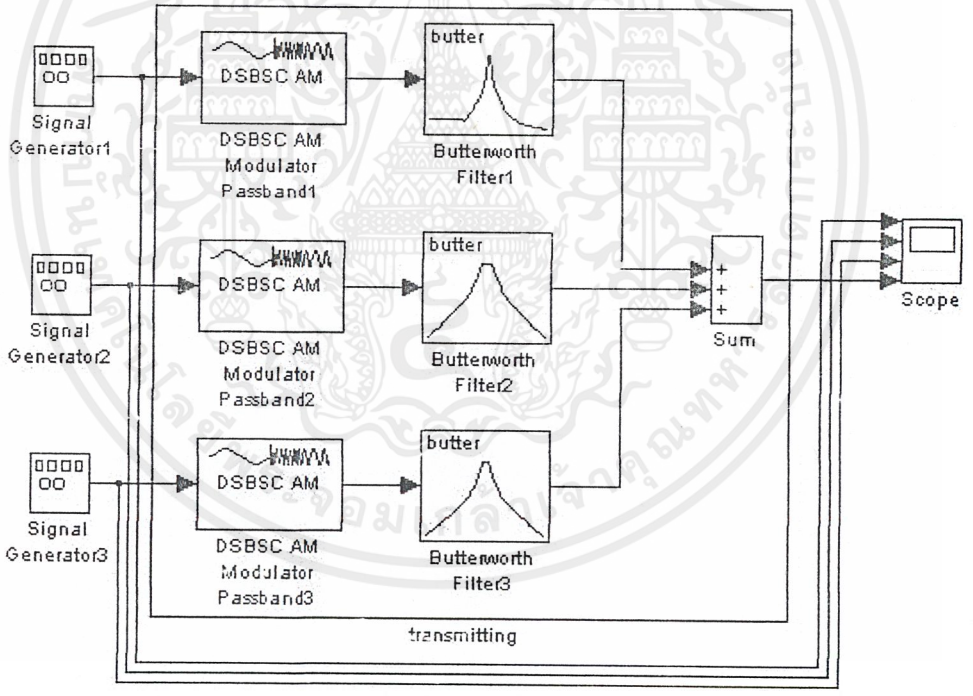
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 ระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่

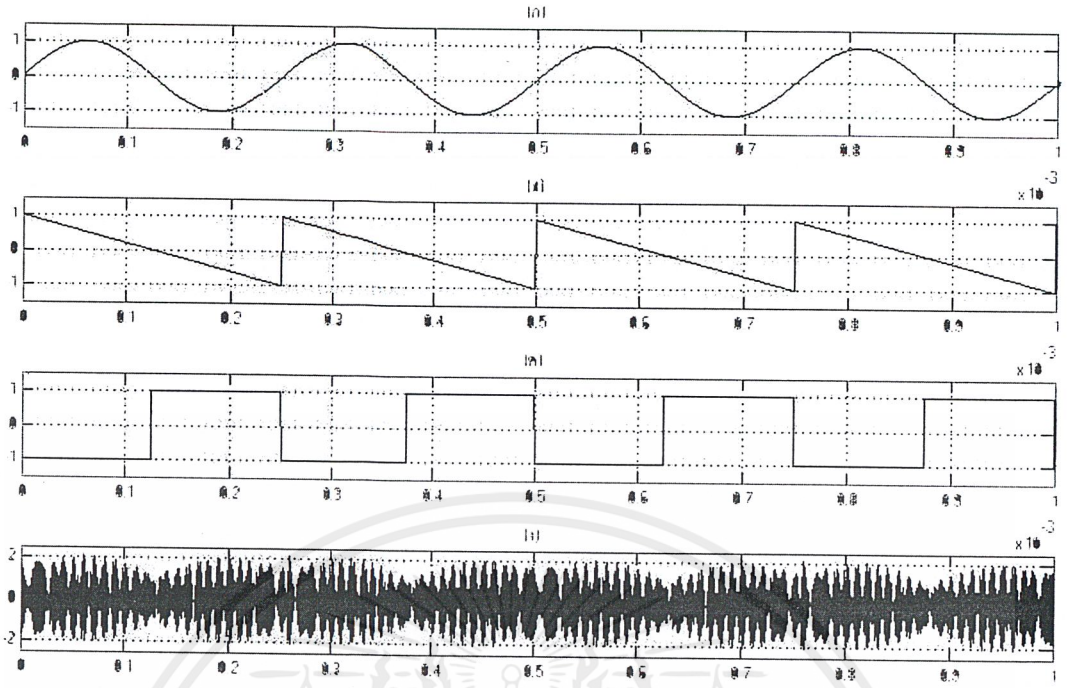
4.1.1 ภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่

ในภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ได้ทำการทดสอบโดยป้อนสัญญาณจากแบบจำลองเครื่องกำเนิดสัญญาณต่าง ๆ (Signal Generator) โดยมีการป้อนสัญญาณไซน์ (Sinusoidal) ที่มีแอมปลิจูด ขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 1 และ ป้อนสัญญาณฟันเลื่อย (Sawtooth) ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 2 และ ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square) ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 3 และทำการวัดเอาท์พุทของภาคส่งเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุทดังรูปที่ 4.1 เพื่อสังเกตรูปร่างของสัญญาณซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 แสดงการวัดผลการทดสอบภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

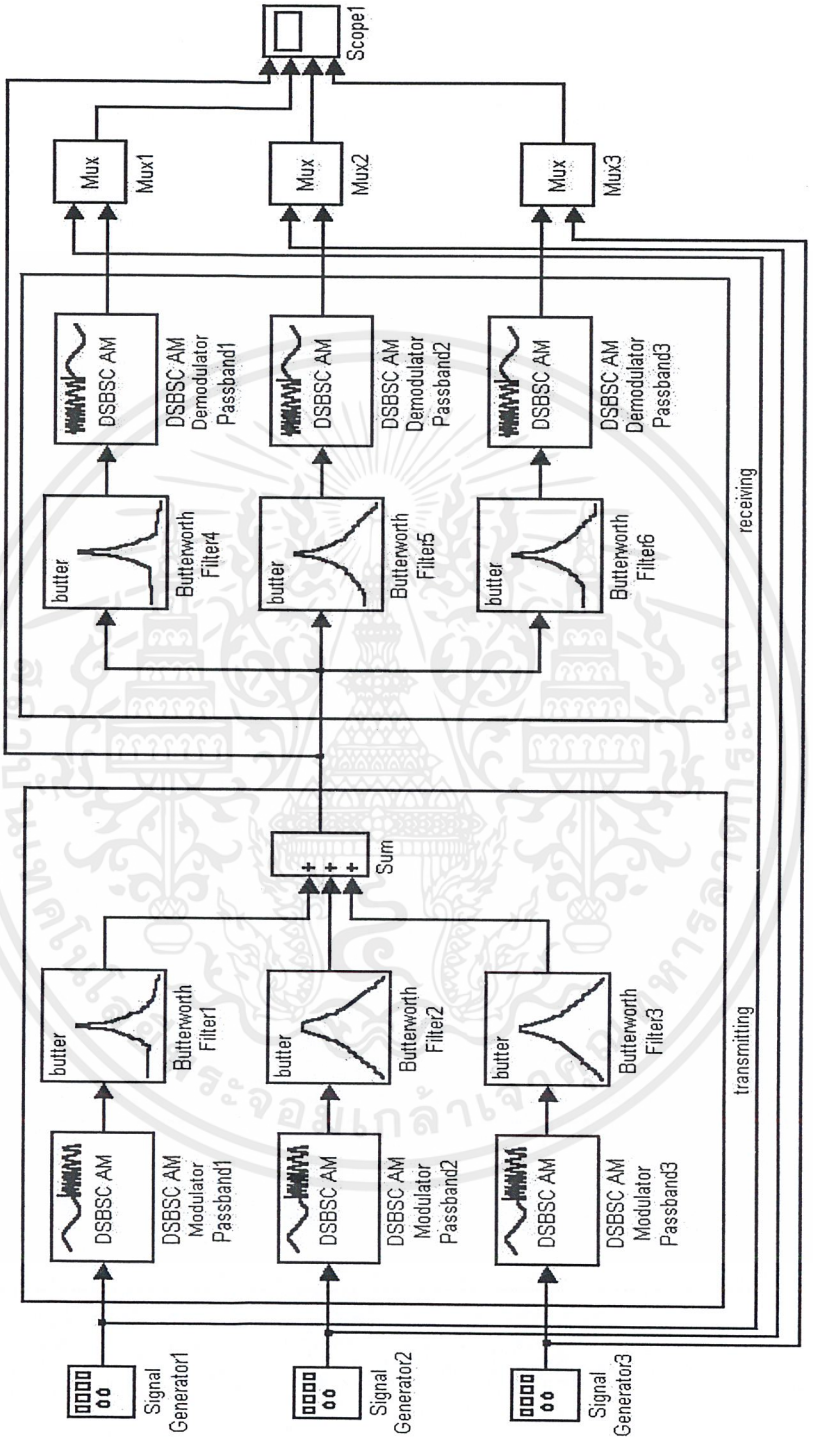


รูปที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทที่เป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทที่เป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทที่เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม
(ง) แสดงสัญญาณเอาพุทของภาคส่ง

4.1.2 ภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่

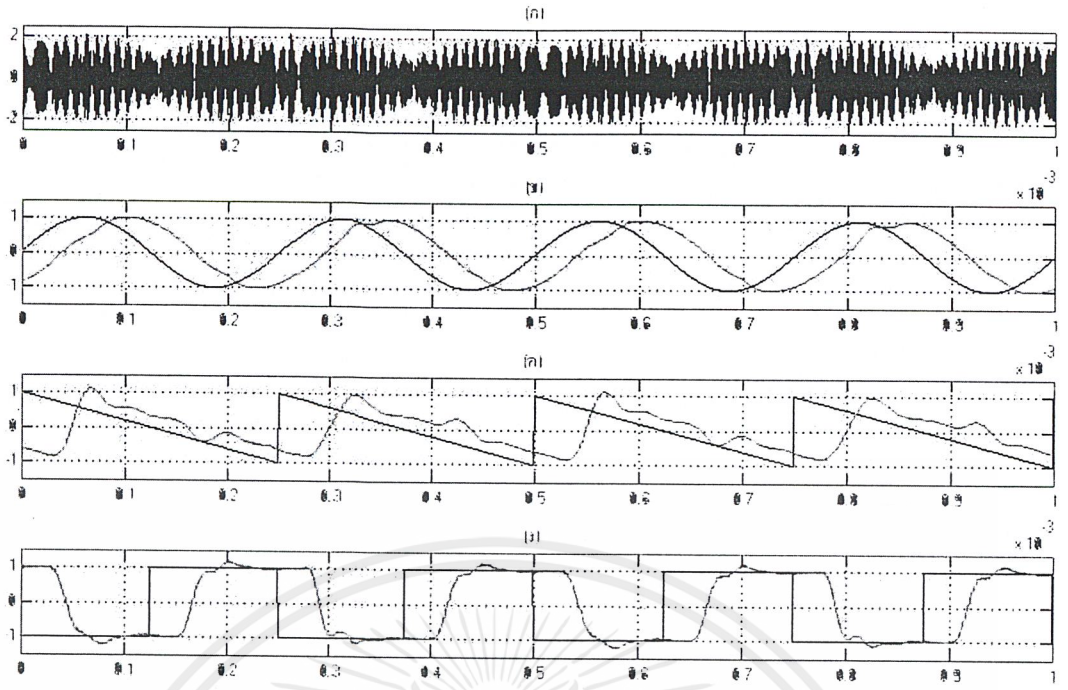
ในภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ได้ทดสอบโดยการป้อนอินพุทซึ่งเป็นสัญญาณที่ผ่านมาจากภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่จากส่วนแรก เข้ามาเป็นอินพุทของภาครับดังรูปที่ 4.3 โดยได้มีการวัดสัญญาณเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณอินพุทกับเอาท์พุทในแกนเวลาเดียวกัน เพื่อสังเกตุรูปร่างของสัญญาณ ความผิดเพี้ยนของสัญญาณและการเลื่อนเฟส (Phase Shift) ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงการวัดผลการทดสอบภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

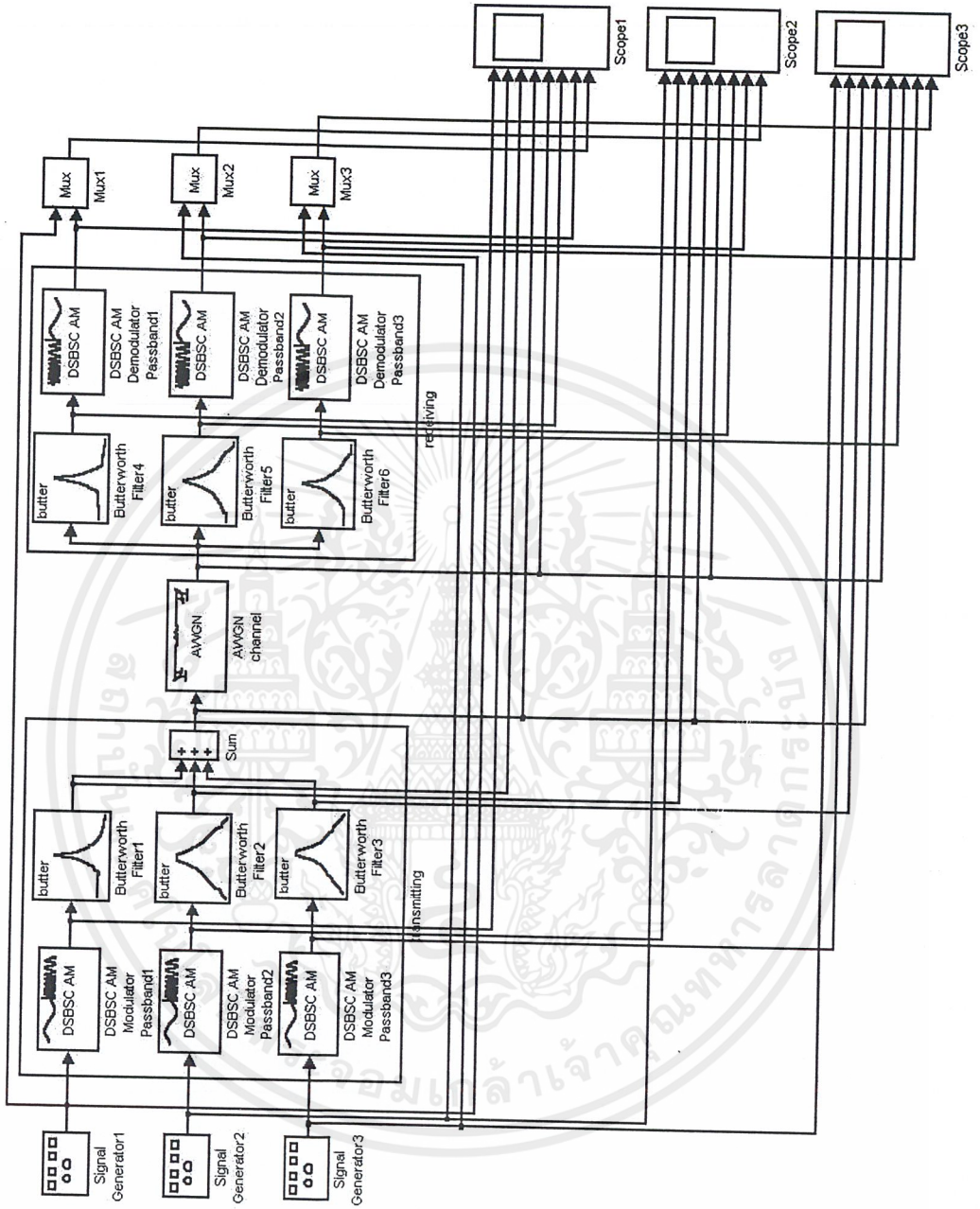


รูปที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทของภาครับ
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทของภาครับเมื่อป้อนสัญญาณไซน์เป็นอินพุท
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทของภาครับเมื่อป้อนสัญญาณฟันเลื่อยเป็นอินพุท
(ง) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทของภาครับเมื่อป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมเป็นอินพุท

4.1.3 การทำงานแต่ละขั้นตอนของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่

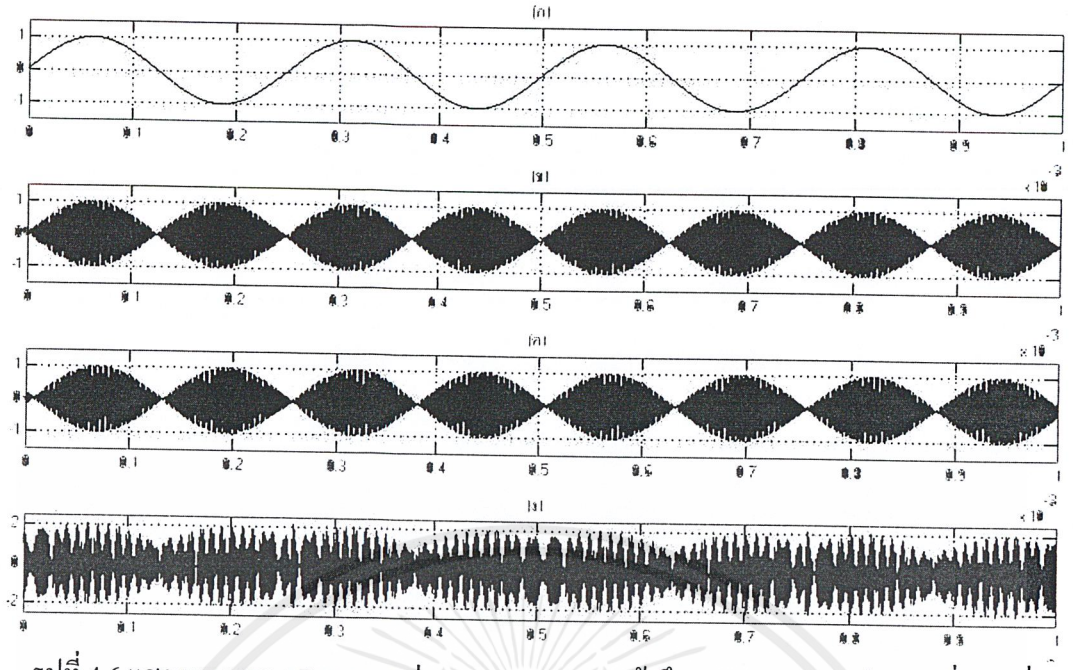
ทำการทดสอบโดยการป้อนสัญญาณอินพุทต่าง ๆ คือ โดยมีการป้อนสัญญาณไซน์ที่มีแอมปลิจูด ขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 1 และ ป้อนสัญญาณฟันเลื่อย ที่มีแอมปลิจูด ขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 2 และ ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยม ที่มีแอมปลิจูด ขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 3 และทำการวัดสัญญาณทุกขั้นตอนการทำงาน และวัดสัญญาณเอาท์พุทสุดท้ายของระบบเพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุทดังรูปที่ 4.5 เพื่อสังเกตถึงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในแต่ละขั้นตอนของระบบได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.6 ถึง 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงการวัดผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



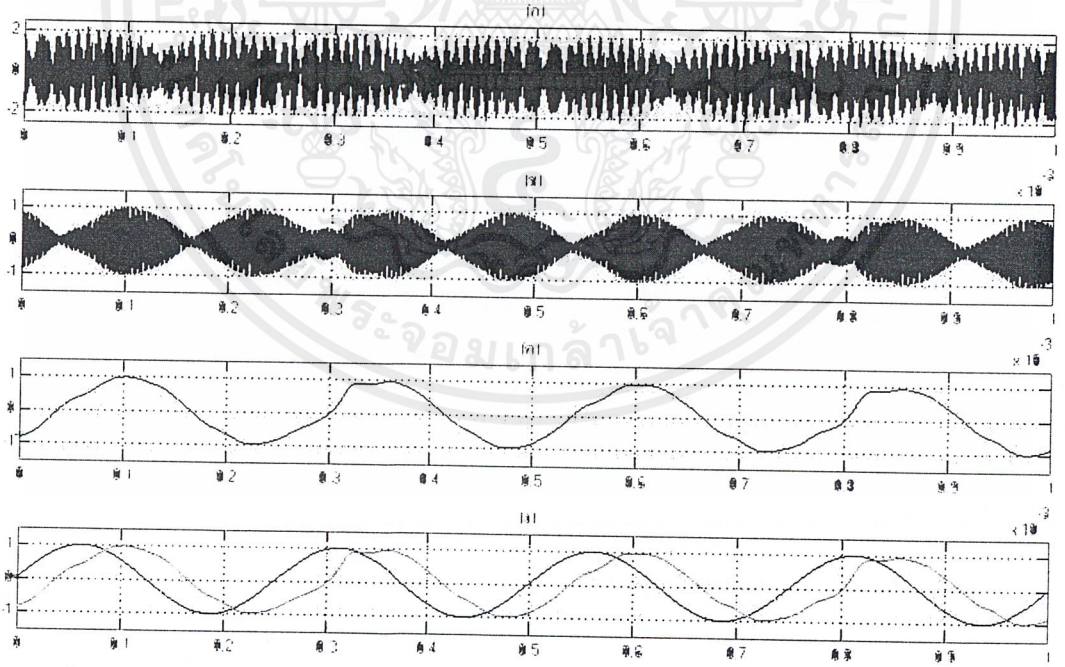
รูปที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ ตอนที่ 1

(ก) แสดงสัญญาณอินพุทที่เป็นสัญญาณไซน์

(ข) แสดงสัญญาณที่ผ่านดีเอสบีเอสซีเอเอ็มมอดูเลเตอร์พาสแบนด์

(ค) แสดงสัญญาณที่ผ่านบัตเตอร์เวิร์ธฟิวเตอร์

(ง) แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกการบวก



รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ ตอนที่ 2

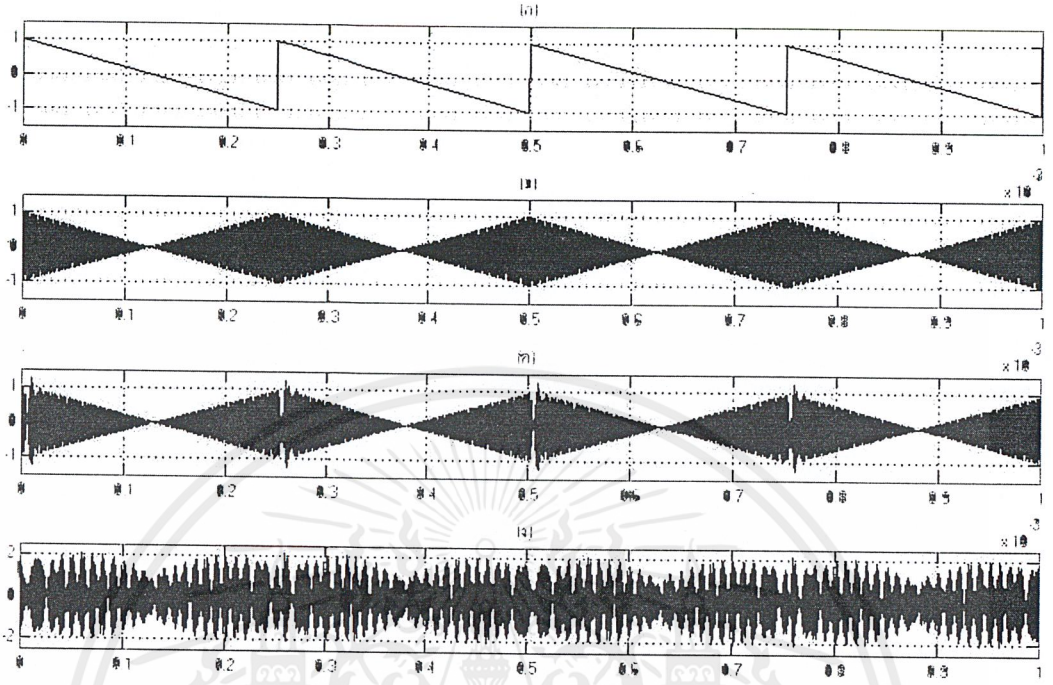
(ก) แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกช่องสัญญาณเอดับเบิลยูจีเอ็น

(ข) แสดงสัญญาณที่ผ่านบัตเตอร์เวิร์ธฟิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค) แสดงสัญญาณที่ผ่านดีเอสบีเอสซีเอเอ็มดีมอดูเลเตอร์พาสแบนด์

(ง)แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทบนแกนเดียวกัน



รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ ตอนที่ 3

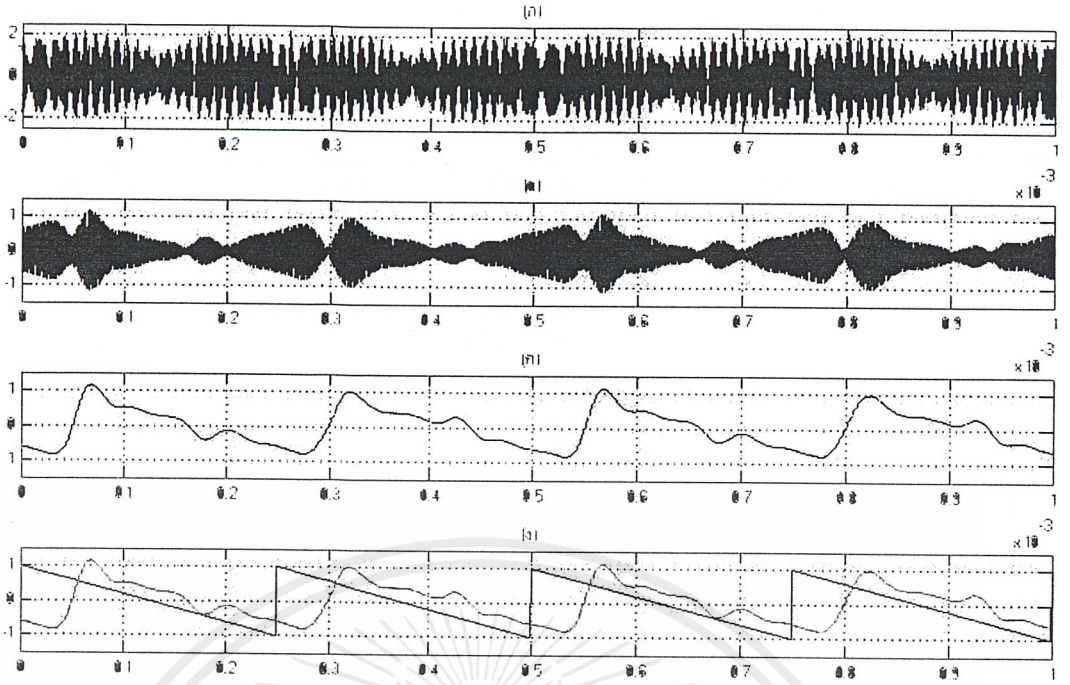
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทที่เป็นสัญญาณฟันเลื่อย

(ข) แสดงสัญญาณที่ผ่านดีเอสบีเอสซีเอเอ็มมอดูเลเตอร์พาสแบนด์

(ค) แสดงสัญญาณที่ผ่านบัตเตอร์เวิร์ธฟิวเตอร์

(ง) แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกการบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



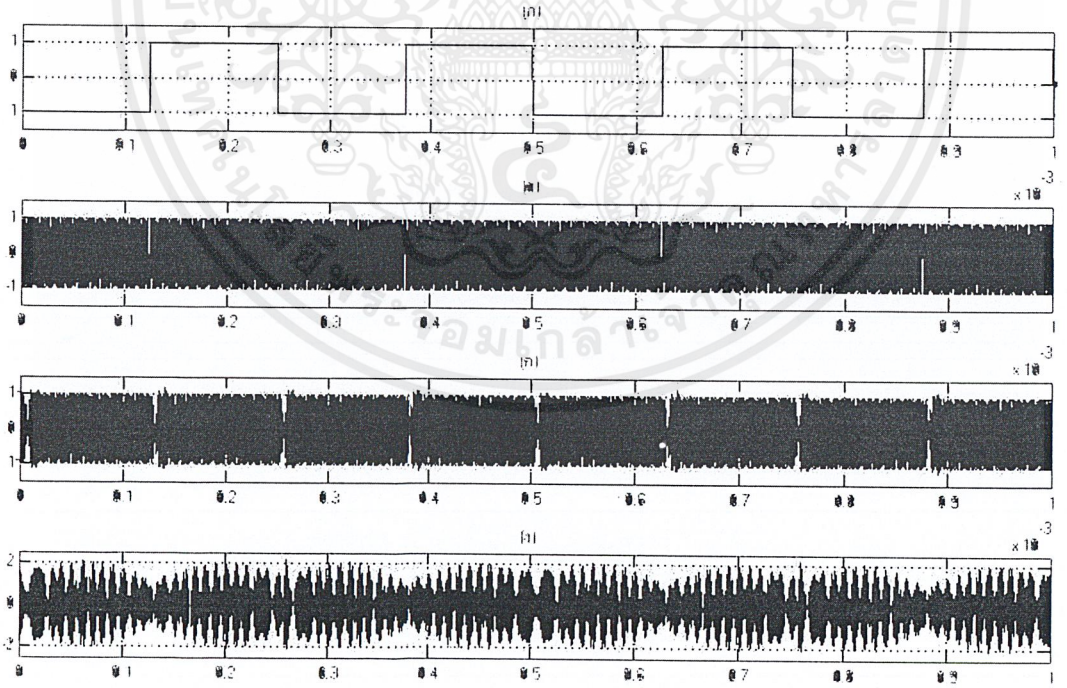
รูปที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ ตอนที่ 4

(ก) แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกช่องสัญญาณเอดับเบิลยูจีเอ็น

(ข) แสดงสัญญาณที่ผ่านบัตเตอร์เวิร์ธฟิวเตอร์

(ค) แสดงสัญญาณที่ผ่านดีเอสบีเอสซีเอเอ็มดีมอดูเลเตอร์พาสแบนด์

(ง)แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทบนแกนเดียวกัน



รูปที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ ตอนที่ 5

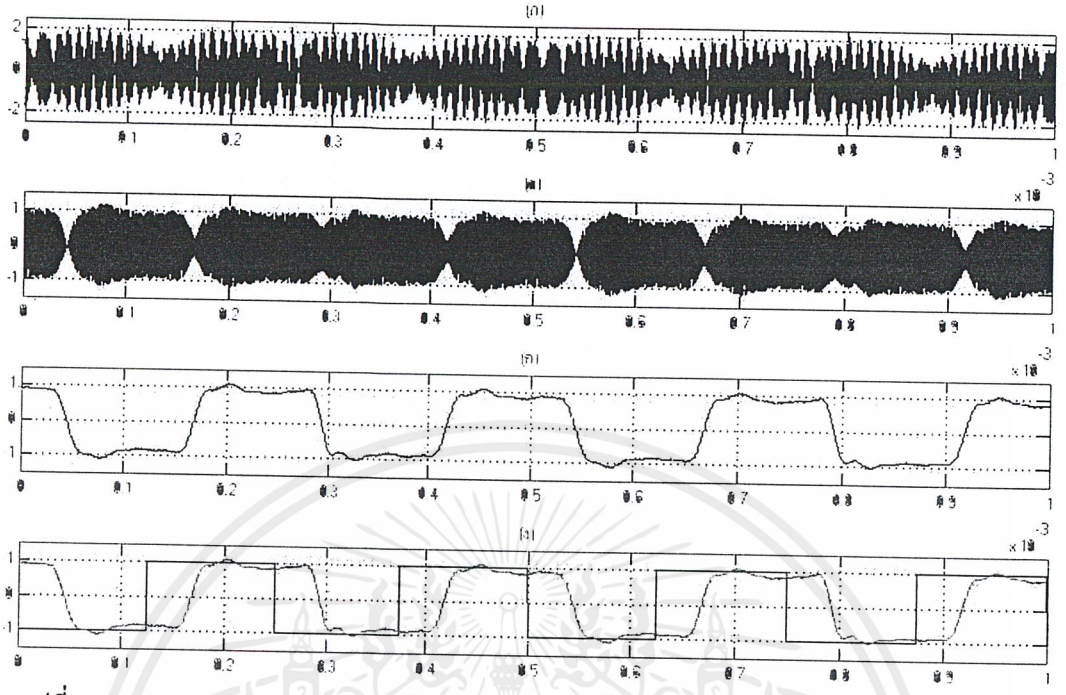
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทที่เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

(ข) แสดงสัญญาณที่ผ่านดีเอสบีเอสซีเอเอ็มมอดูเลเตอร์พาสแบนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค) แสดงสัญญาณที่ผ่านบัตเตอร์เวิร์ธฟิวเตอร์

(ง) แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกการบวก



รูปที่ 4.11 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ ตอนที่ 6

(ก)แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกช่องสัญญาณเอดับเบิลยูจีเอ็น

(ข) แสดงสัญญาณที่ผ่านบัตเตอร์เวิร์ธฟิวเตอร์

(ค) แสดงสัญญาณที่ผ่านดีเอสบีเอสซีเอเอ็มดีมอดูเลเตอร์พาสแบนด์

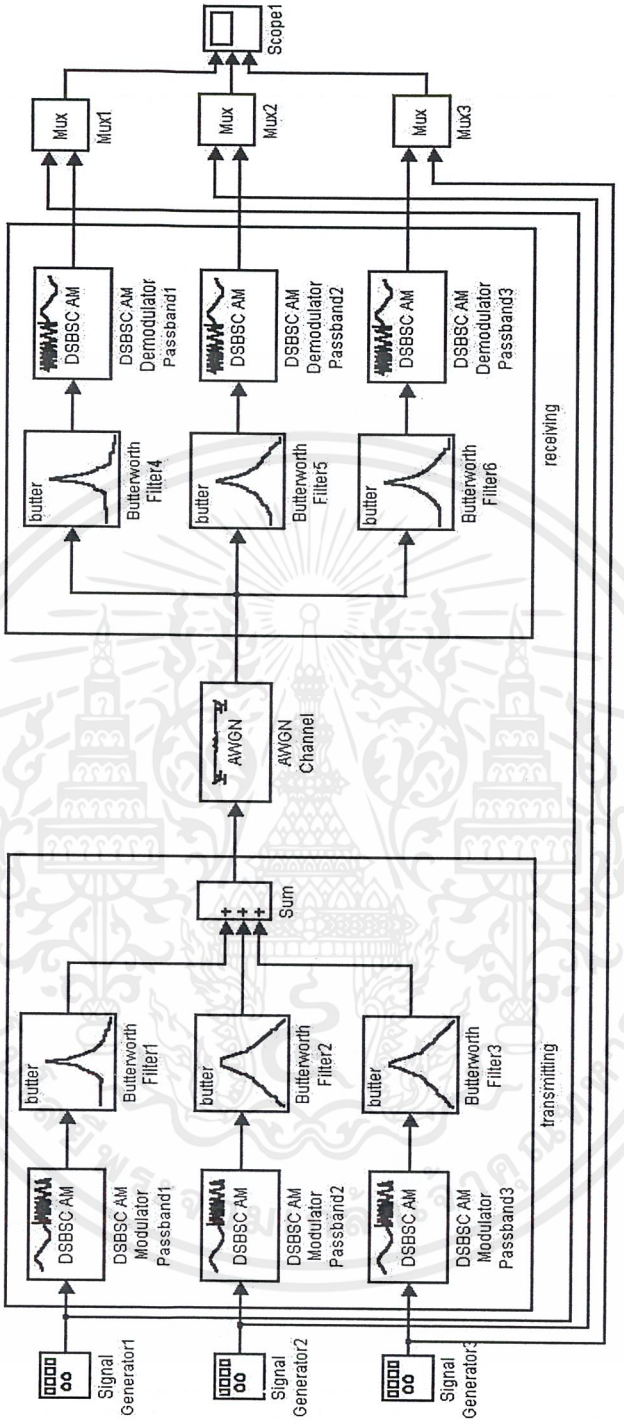
(ง)แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทบนแกนเดียวกัน

4.1.4 ภาครับ-ส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่

4.1.4.1 ระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ทั้งระบบ

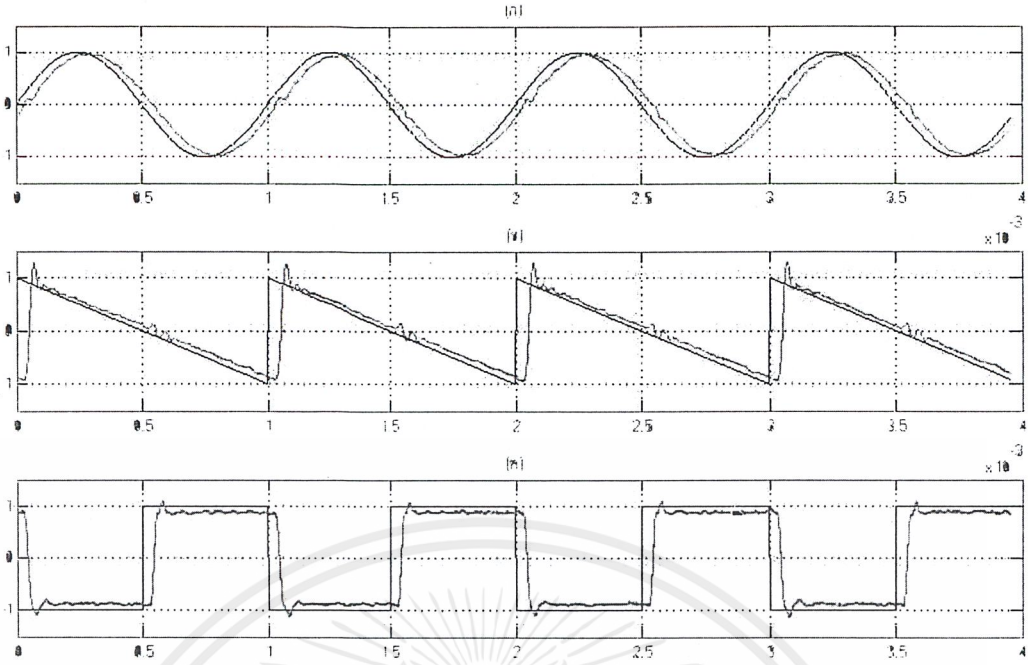
ทำการทดสอบระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ทั้งระบบ โดยในการทดสอบนี้กำหนดให้สัญญาณอินพุทมีค่าดังนี้ คือทำการป้อนสัญญาณไซน์ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 1 และ ป้อนสัญญาณฟันเลื่อย ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 2 และ ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยม ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 3 และทำการเปลี่ยนค่าความถี่ของสัญญาณในแต่ละช่องสัญญาณเป็นค่าต่างๆดังนี้ 1kHz, 2kHz, 3kHz, 4kHz, 5kHz, 6kHz, 7kHz 8kHz, 9kHz, 10kHz, 20kHz, 30kHz, 40kHz, 50kHz, 60kHz, 70kHz, 80kHz, 90kHz และ 100kHz จากนั้นทำการวัดค่าสัญญาณเอาท์พุทดังรูปที่ 4.12 โดยการวัดผลการทดสอบให้สัญญาณอินพุทเทียบกับสัญญาณเอาท์พุทบนแกนเดียวกัน เพื่อสามารถสังเกตุรูปร่างของสัญญาณและความผิดเพี้ยนของสัญญาณตลอดจนการเลื่อนเฟสและได้ผลการทดสอบที่ความถี่ต่างๆ ดังรูปที่ 4.13 ถึง 4.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

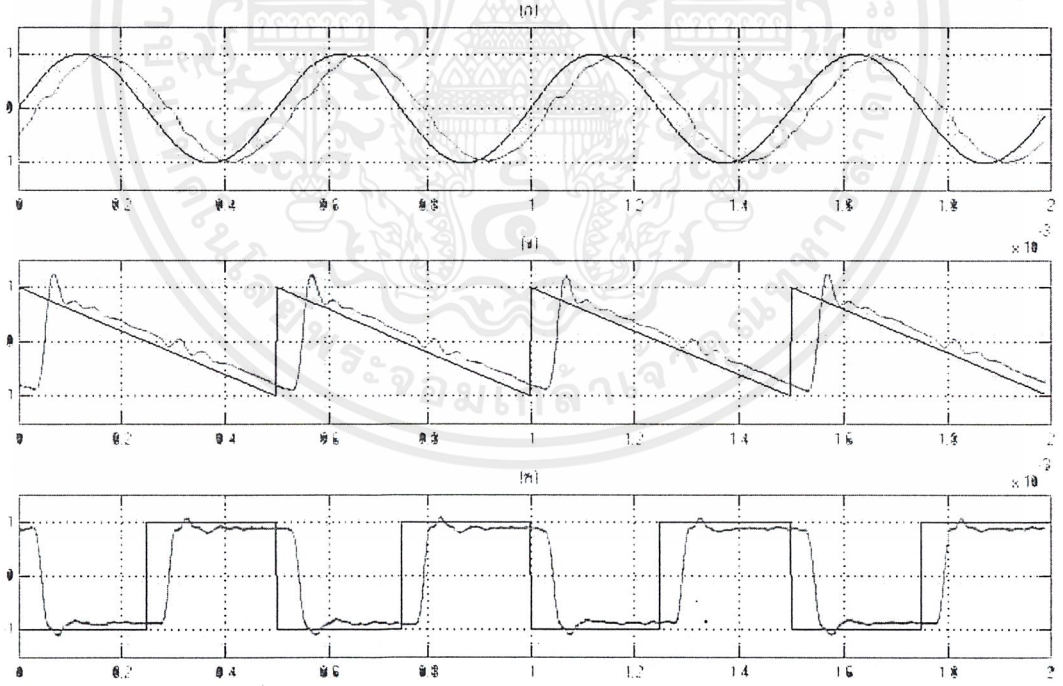


รูปที่ 4.12 แสดงการวัดผลการทดสอบของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

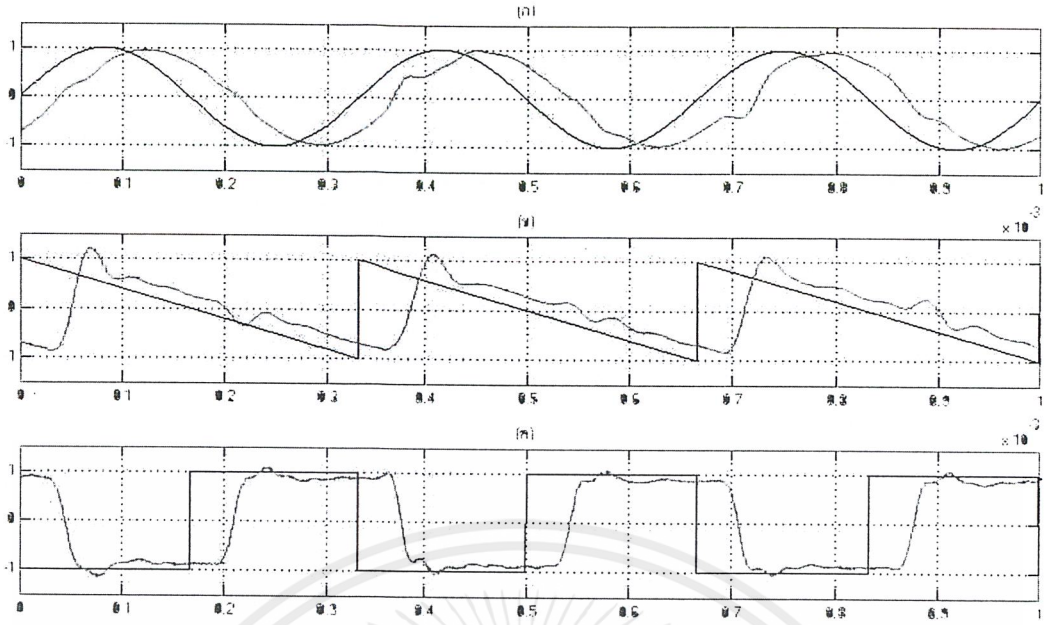


รูปที่ 4.13 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 1 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

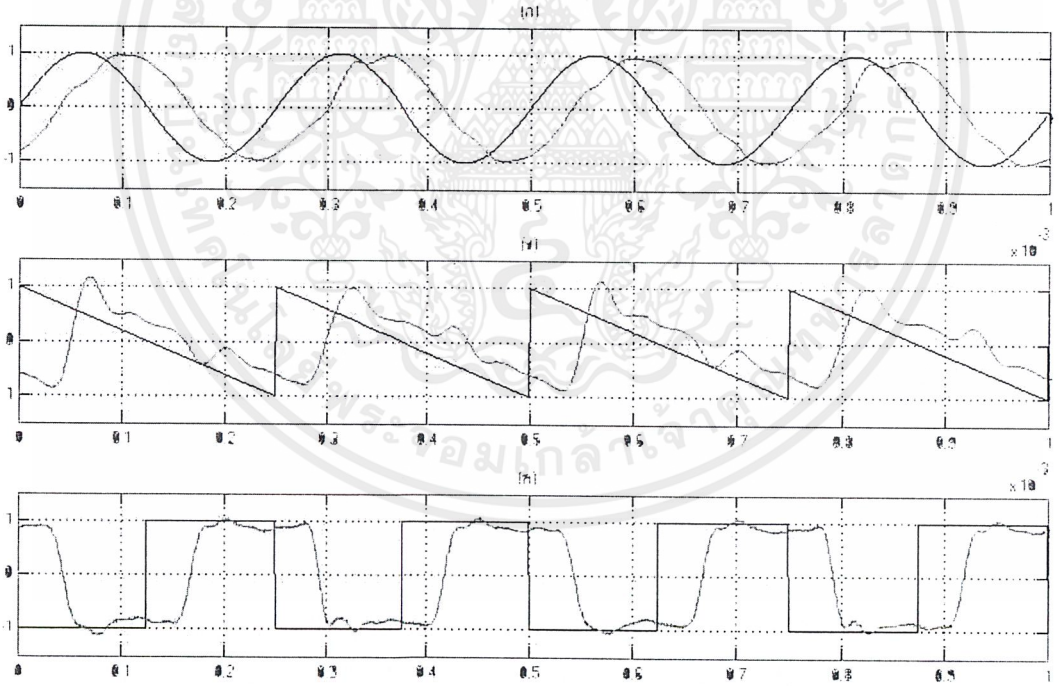


รูปที่ 4.14 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 2 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

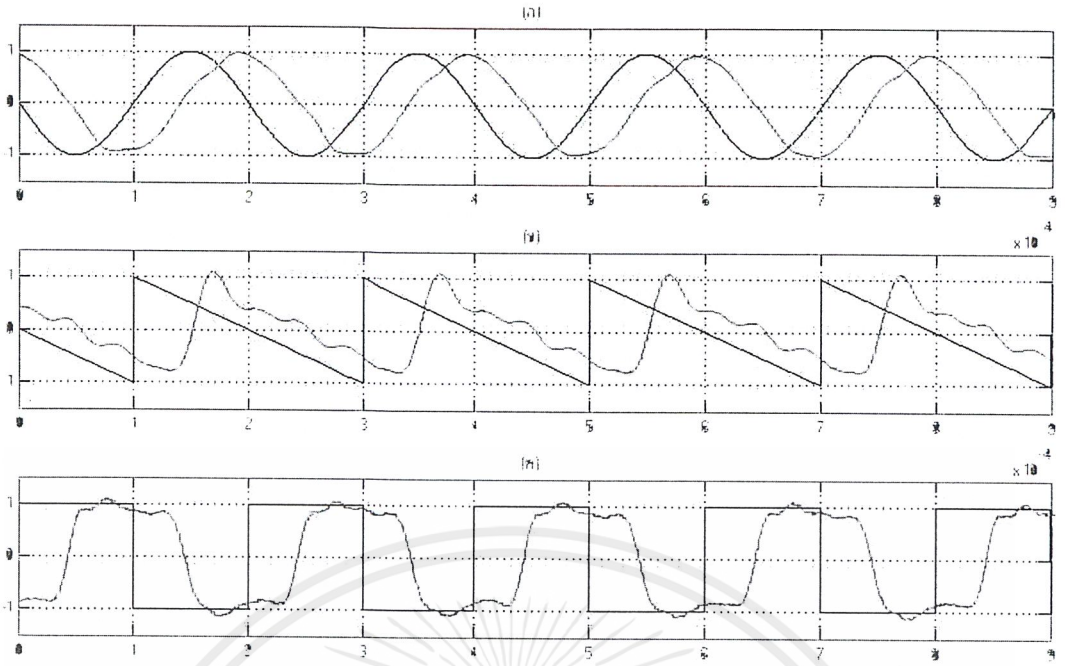


รูปที่ 4.15 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 3 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่ออินพุทสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

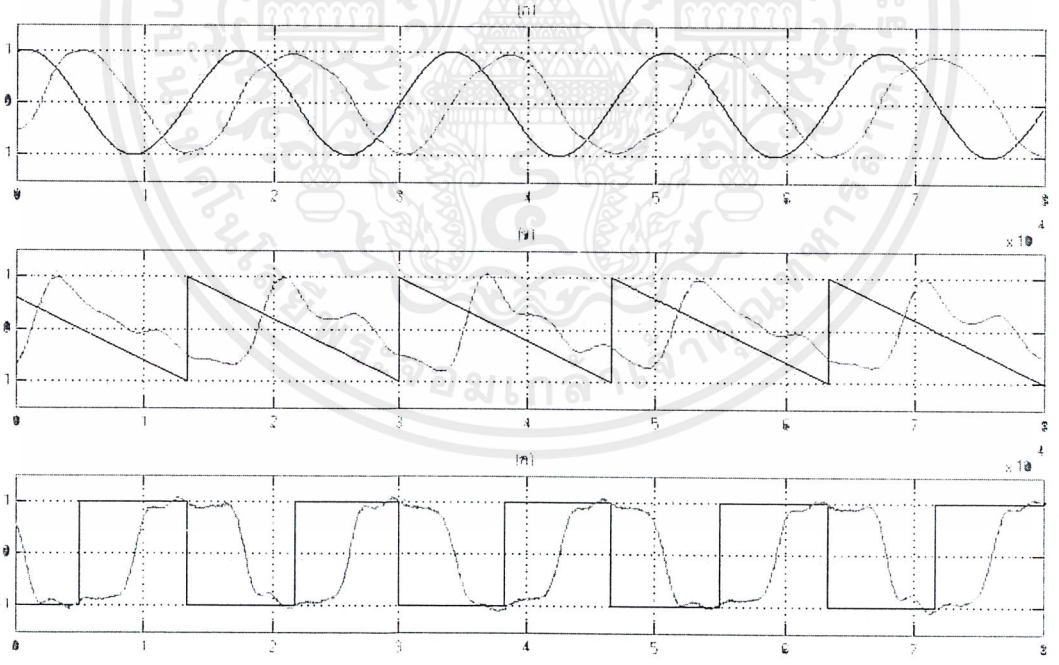


รูปที่ 4.16 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 4 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

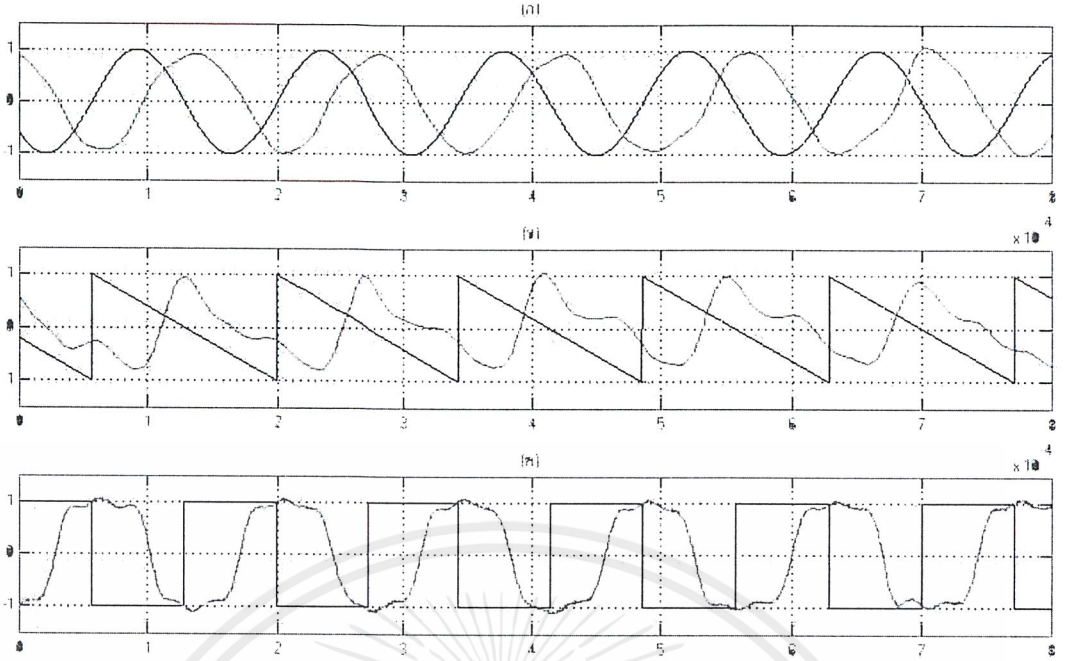


รูปที่ 4.17 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 5 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

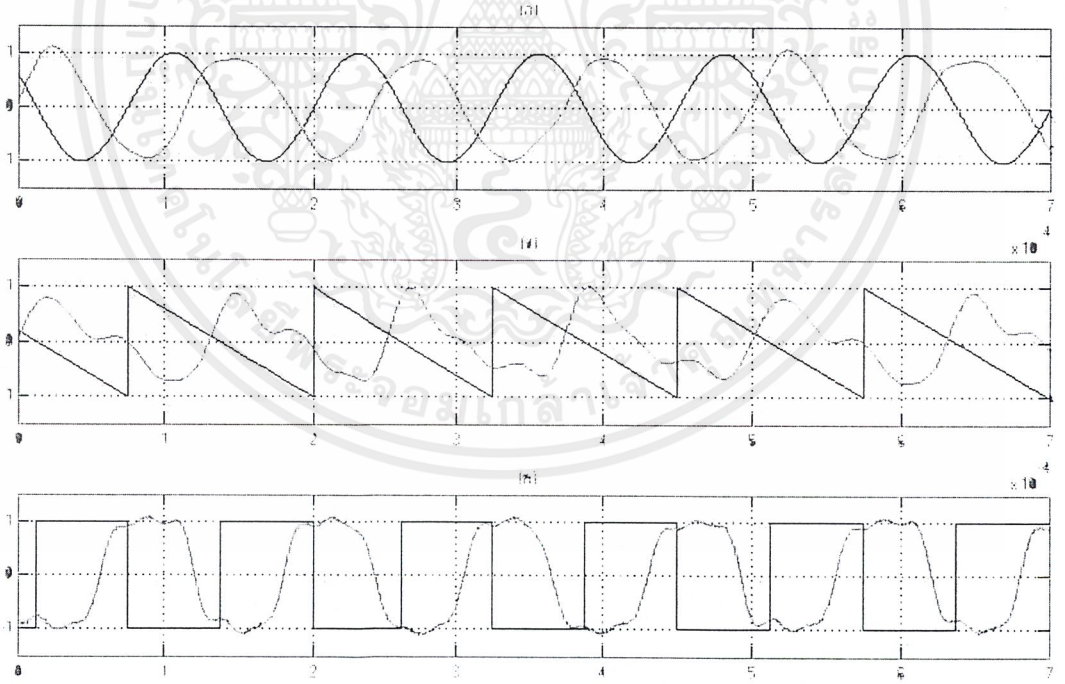


รูปที่ 4.18 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 6 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

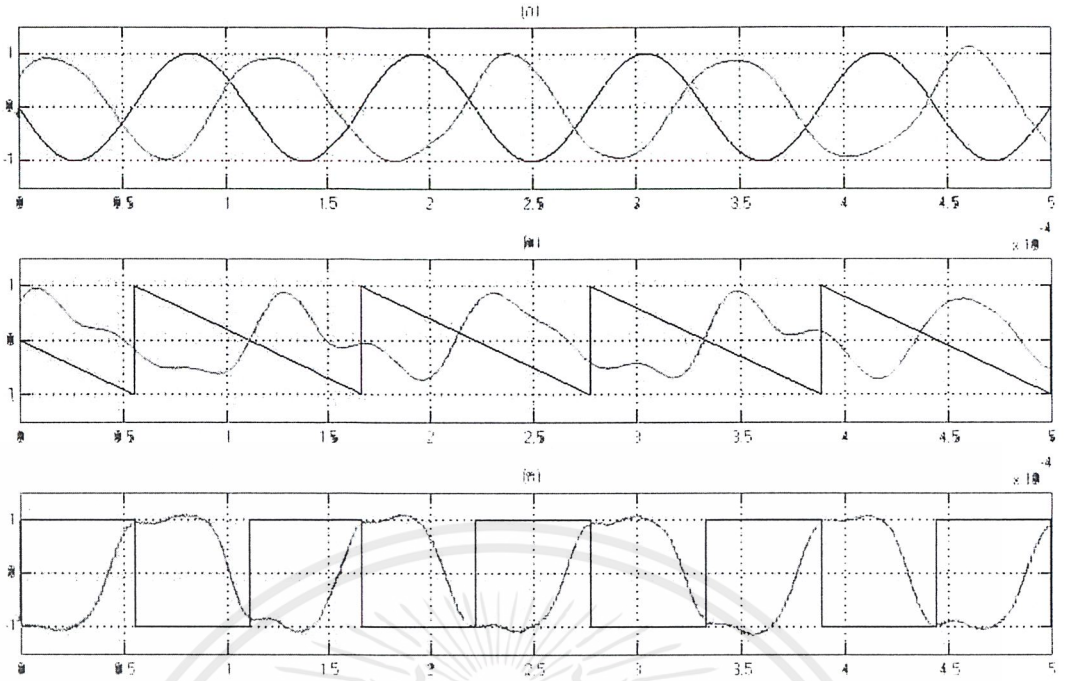


รูปที่ 4.19 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 7 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

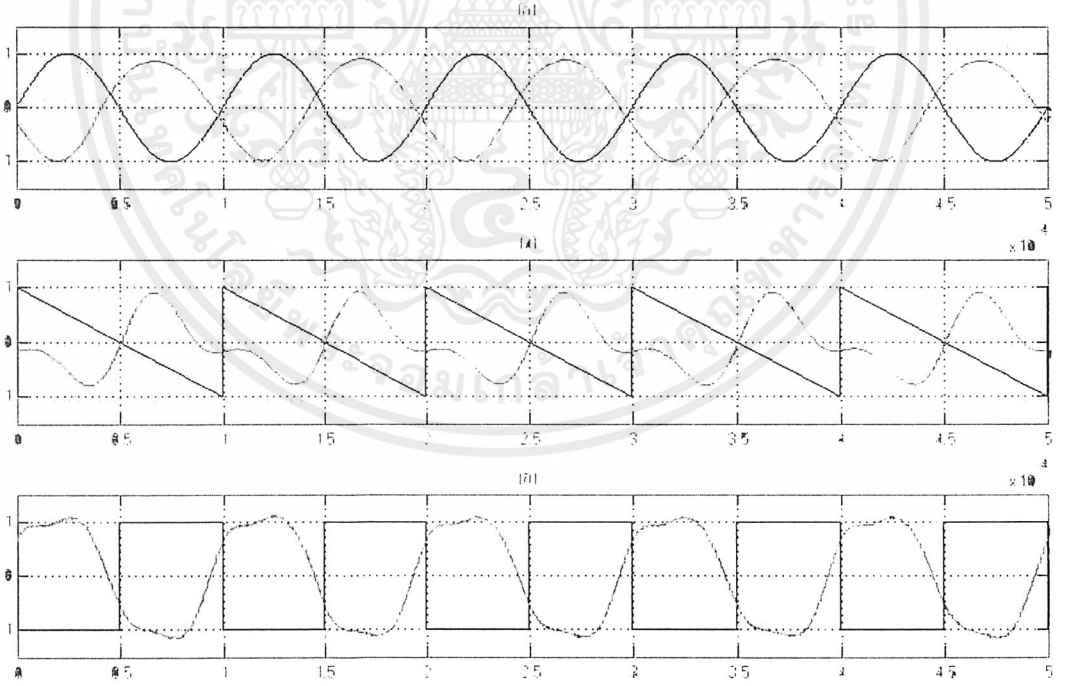


รูปที่ 4.20 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 8 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

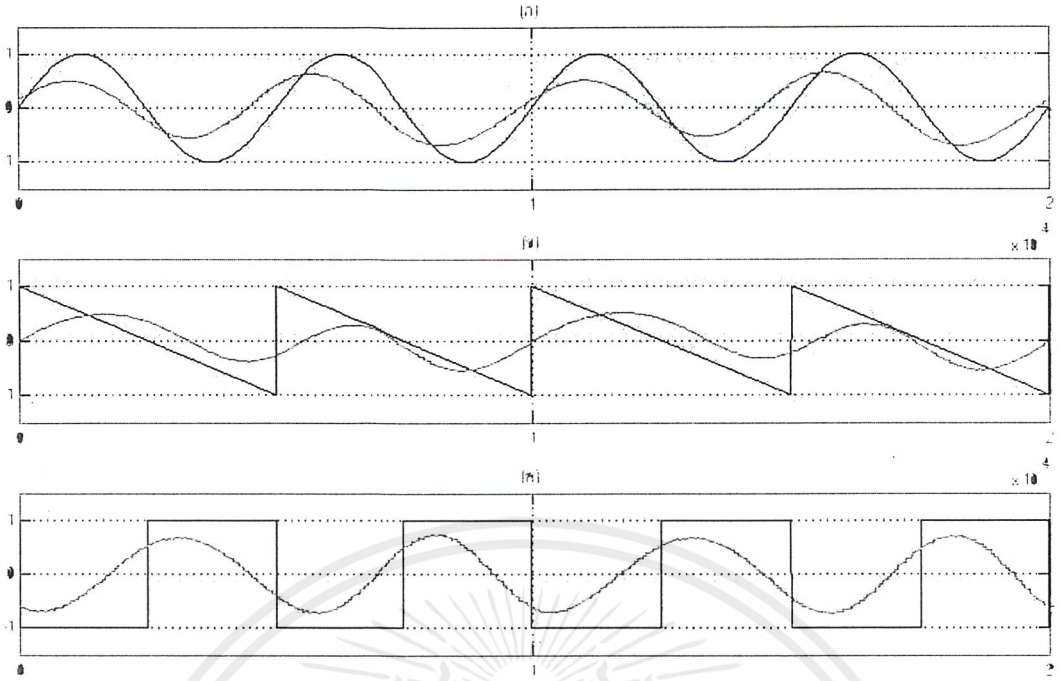


รูปที่ 4.21 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 9 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

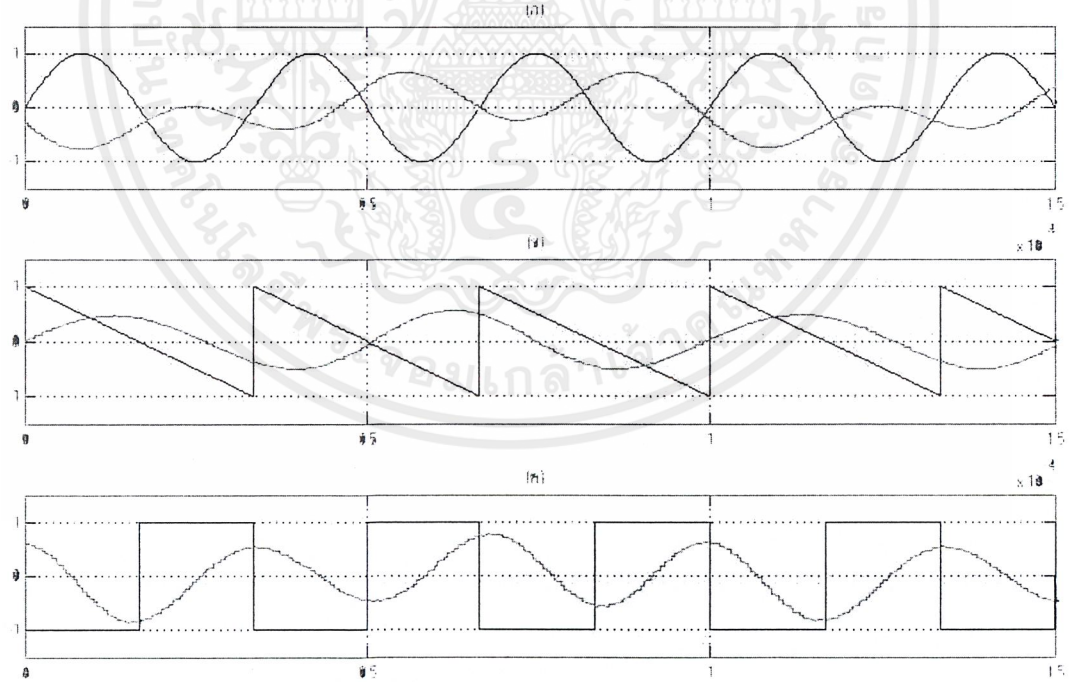


รูปที่ 4.22 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 10 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

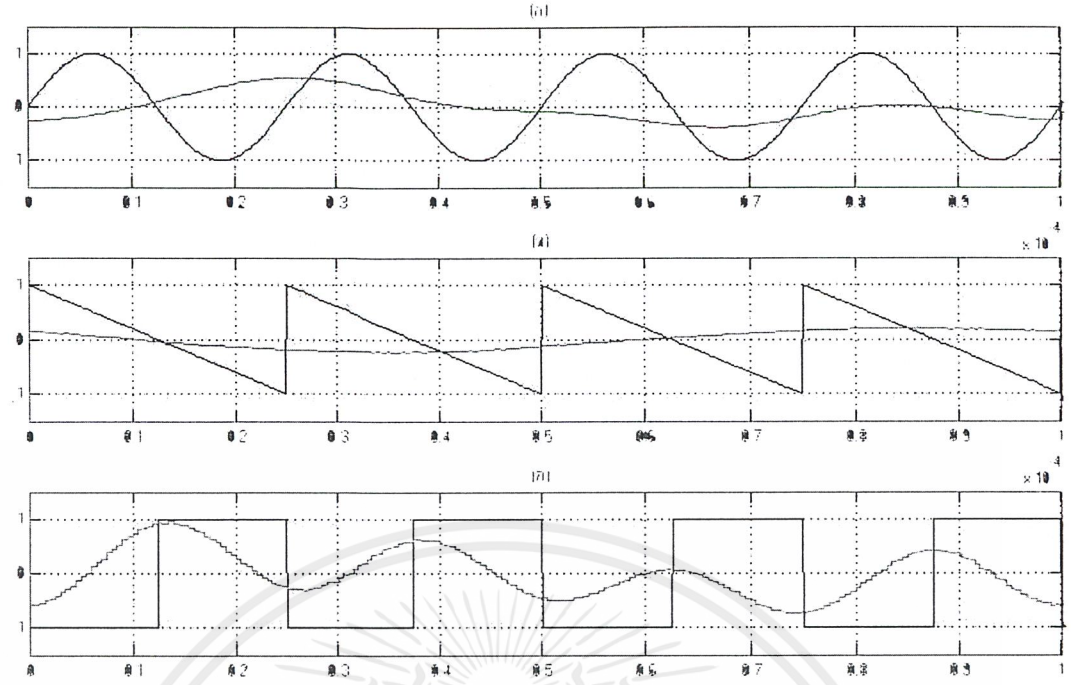


รูปที่ 4.23 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 20 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

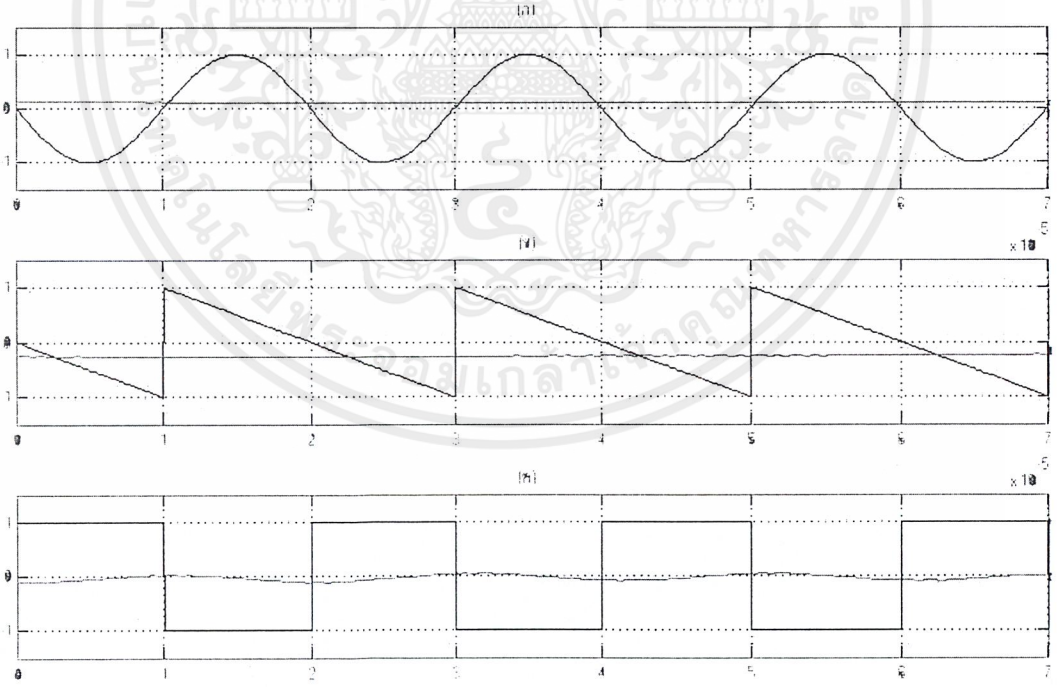


รูปที่ 4.24 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 30 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

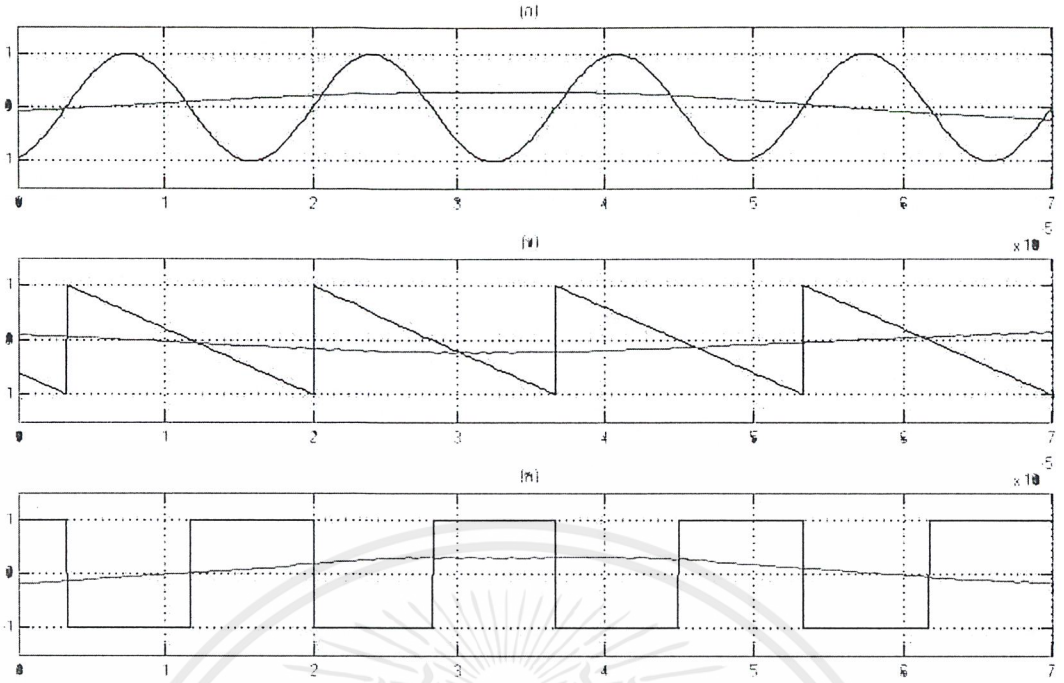


รูปที่ 4.25 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 40 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

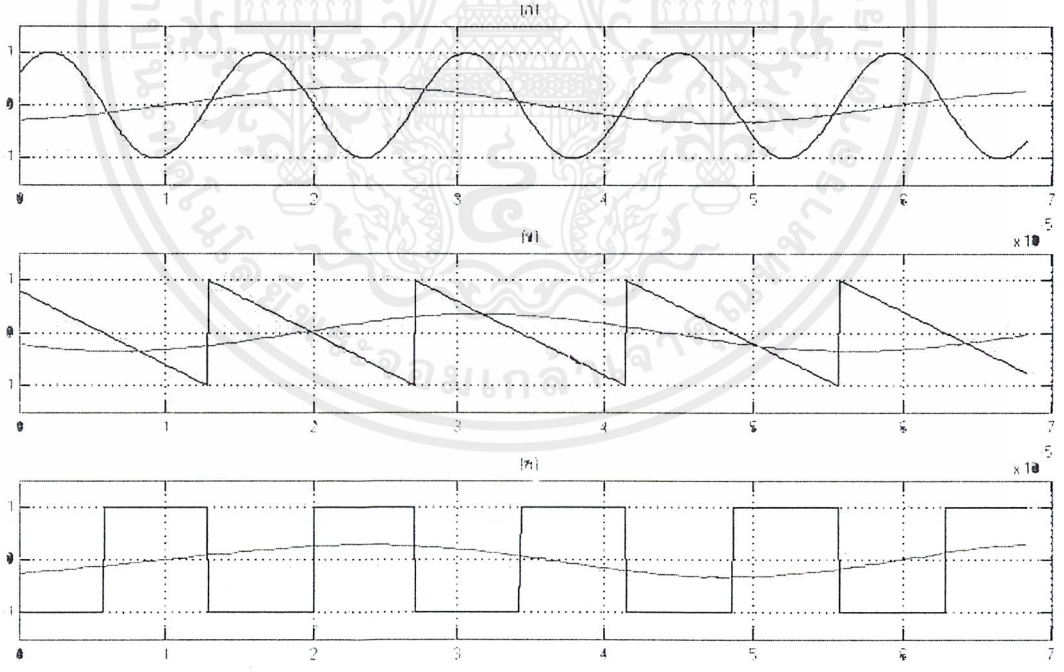


รูปที่ 4.26 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 50 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

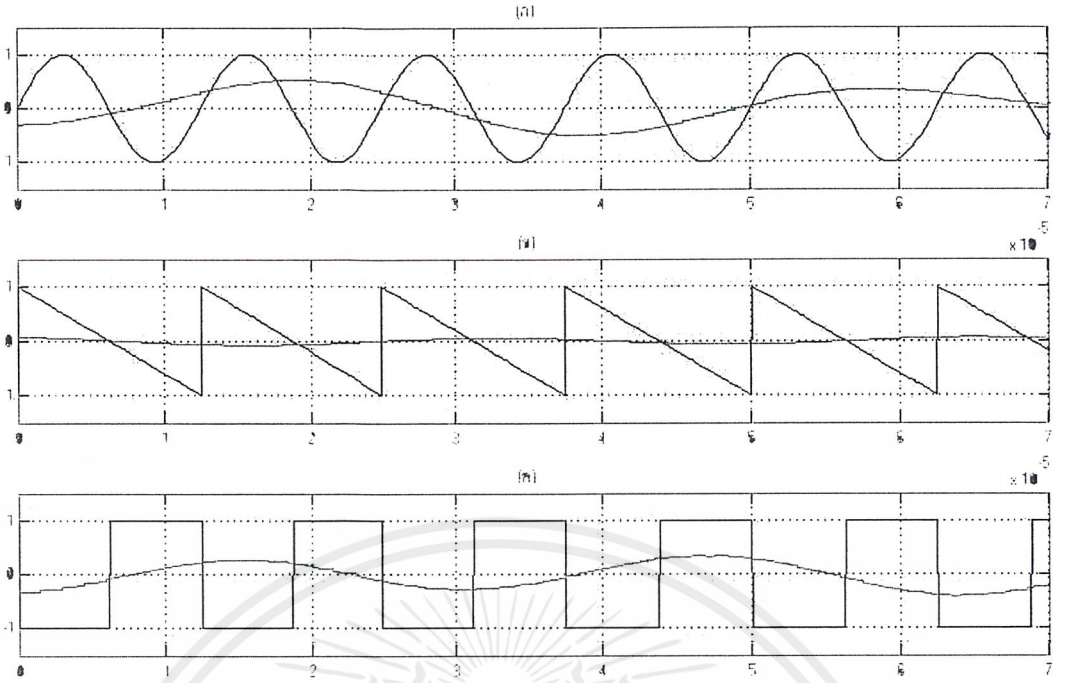


รูปที่ 4.27 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 60 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

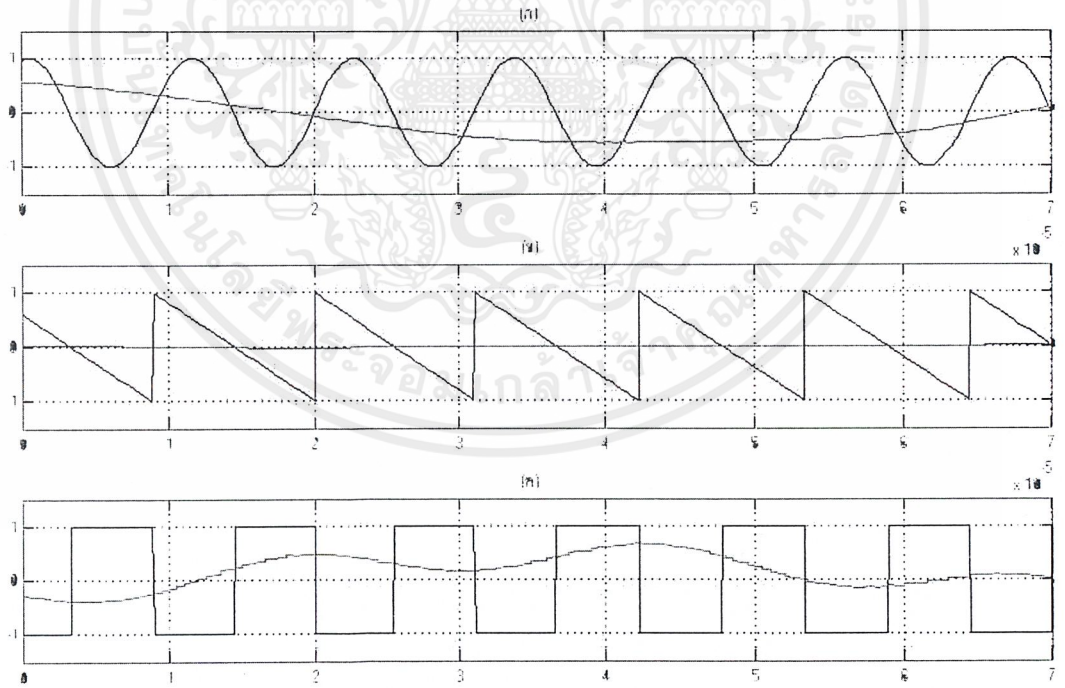


รูปที่ 4.28 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 70 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

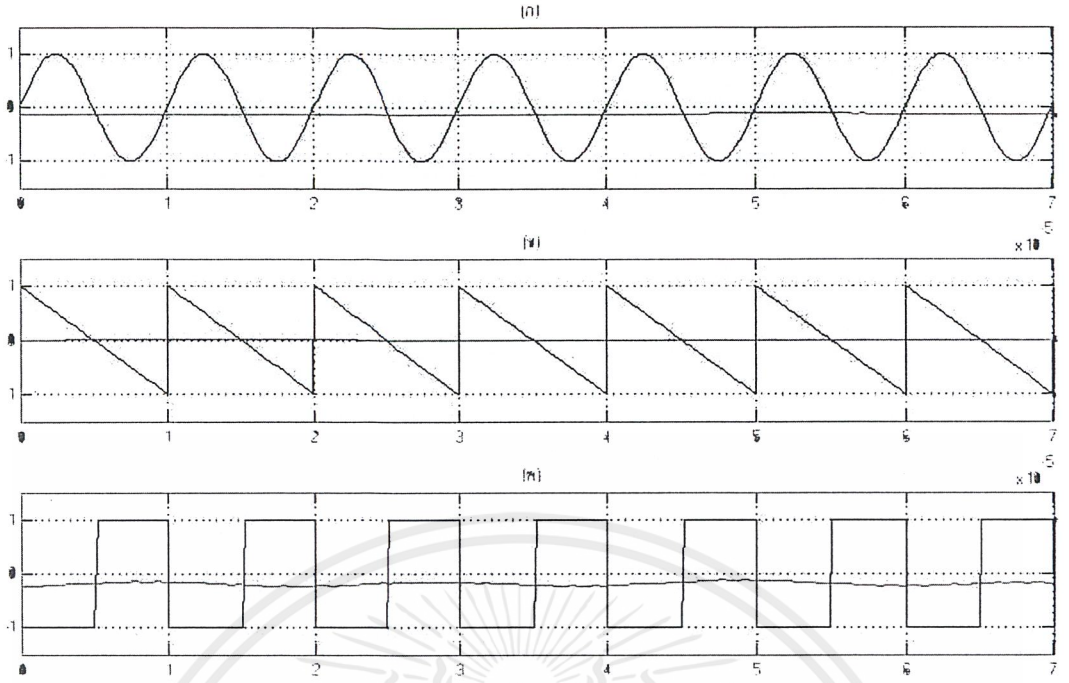


รูปที่ 4.29 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 80 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม



รูปที่ 4.30 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 90 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 100 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

4.1.4.2 การตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่

ทำการพิจารณาคุณสมบัติการตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ ในแต่ละช่องสัญญาณอินพุทโดยกำหนดให้สัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ทั้งสามช่องสัญญาณและทำการเปลี่ยนค่าความถี่ต่าง ๆ และนำผลการทดสอบที่ได้ดังตารางที่ 4.1 มาทำการสร้างเป็นกราฟเซมิล็อก (Semilog) ดังกราฟ รูปที่ 4.32 ถึง 4.34 เพื่อให้สังเกตถึงผลการตอบสนองทางความถี่ของแต่ละช่องสัญญาณในระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่

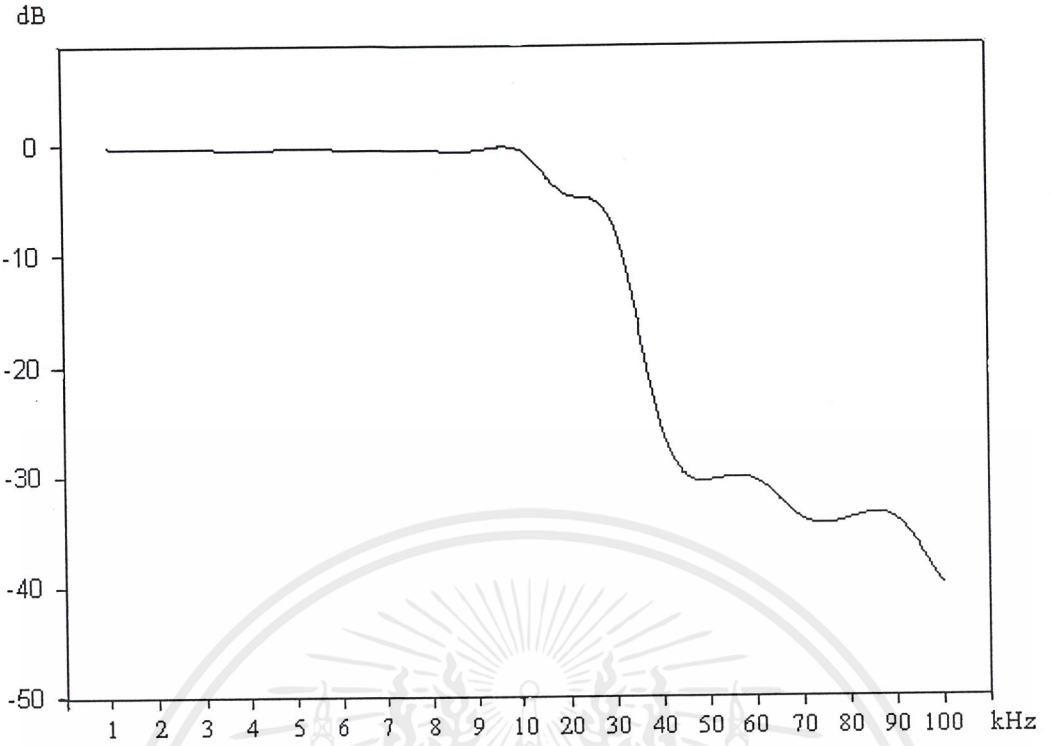
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการทดสอบทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่

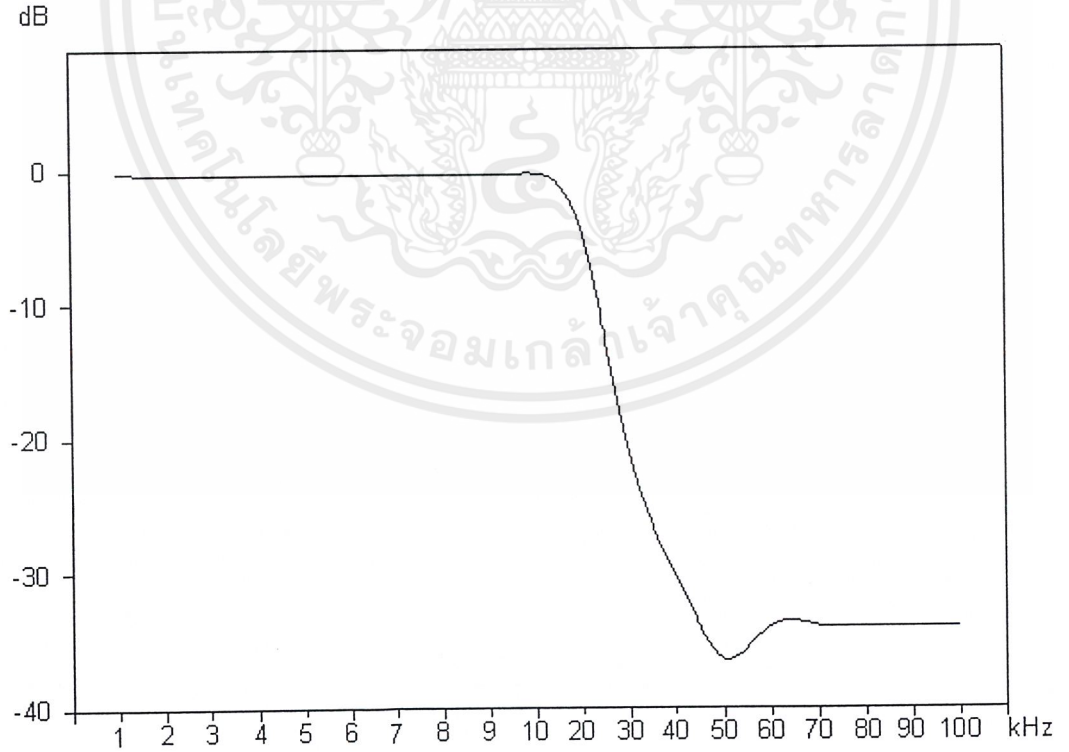
ความถี่	ช่องสัญญาณ 1	ช่องสัญญาณ 2	ช่องสัญญาณ 3
1 kHz	1.95	1.95	1.8
2 kHz	1.93	1.93	1.8
3 kHz	1.92	1.94	1.81
4 kHz	1.9	1.91	1.79
5 kHz	1.92	1.92	1.81
6 kHz	1.91	1.94	1.81
7 kHz	1.9	1.93	1.82
8 kHz	1.89	1.94	1.85
9 kHz	1.88	1.93	1.84
10 kHz	1.88	1.94	1.84
20 kHz	1.17	1.2	1.11
30 kHz	0.85	0.173	0.97
40 kHz	0.1	0.06	0.8
50 kHz	0.06	0.03	0.12
60 kHz	0.06	0.04	0.07
70 kHz	0.04	0.04	0.04
80 kHz	0.04	0.04	0.01
90 kHz	0.04	0.04	0.03
100 kHz	0.02	0.04	0.04

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงการทดสอบทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

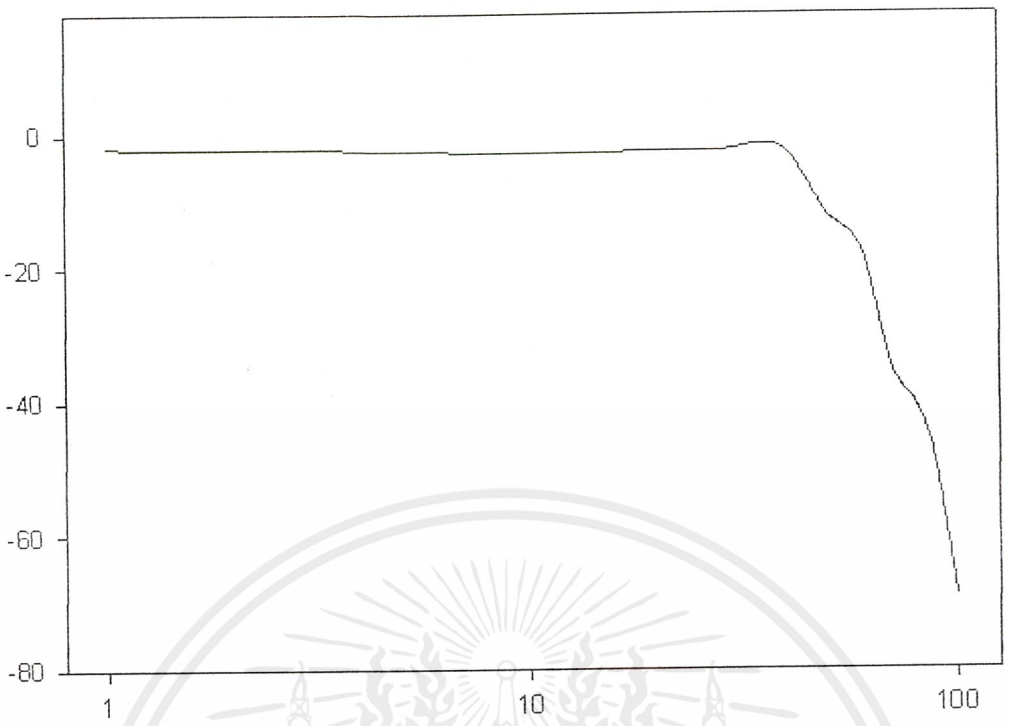


รูปที่ 4.32 ผลการตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ ช่องสัญญาณที่ 1



รูปที่ 4.33 ผลการตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ ช่องสัญญาณที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

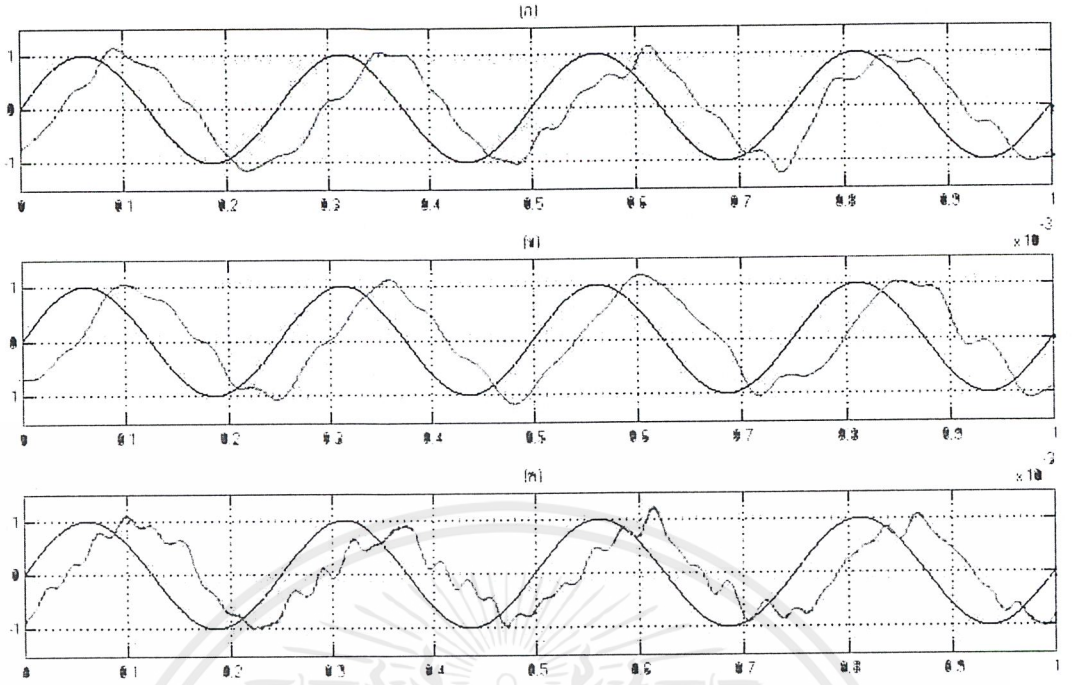


รูปที่ 4.34 ผลการตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ช่องสัญญาณที่ 3

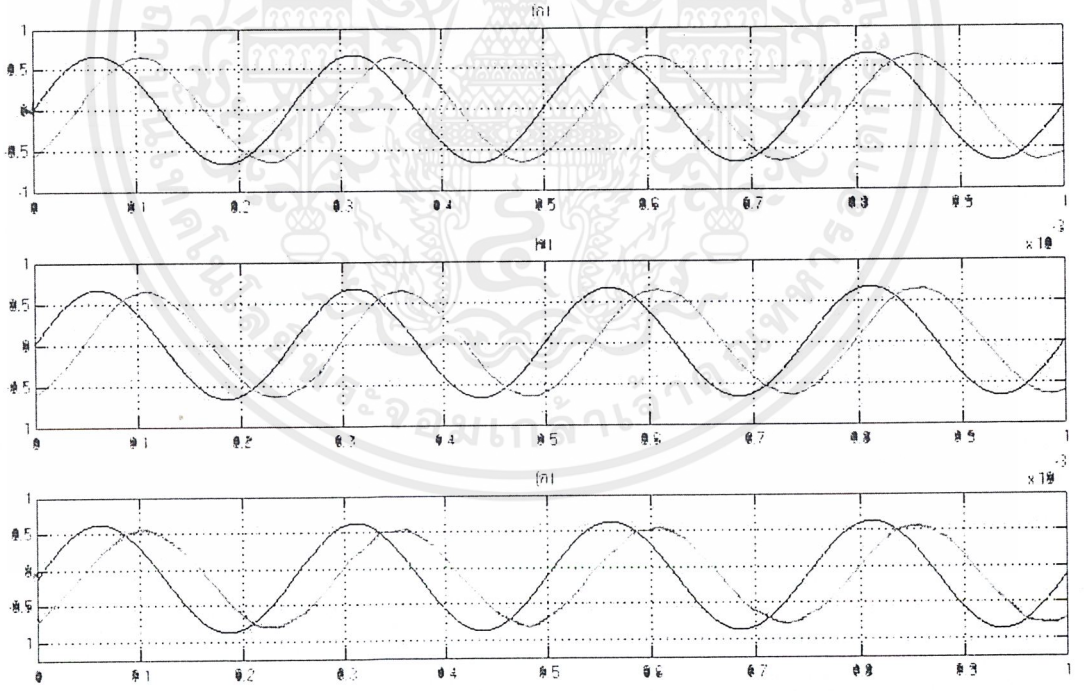
4.1.4.3 สัญญาณรบกวนที่มีผลต่อระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่

ทำการพิจารณาถึงสัญญาณรบกวนของระบบ ในที่นี้จะพิจารณาสัญญาณรบกวนประเภทแอดดิทีฟไวท์เกาส์เซี่ยนโดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าแวเรียนซ์ต่าง ๆ กันคือ 1, 0.01, 0.0001 ป้อนสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 1 และ ป้อนสัญญาณฟันเลื่อย ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 2 และป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยม ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 3 และทำการวัดเอาท์พุทรวมของระบบเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุทดังรูปที่ 4.12 เพื่อสังเกตรูปร่างของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไปที่เป็นผลจากการพิจาราณาสัญญาณรบกวนซึ่งได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.35 ถึง 4.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

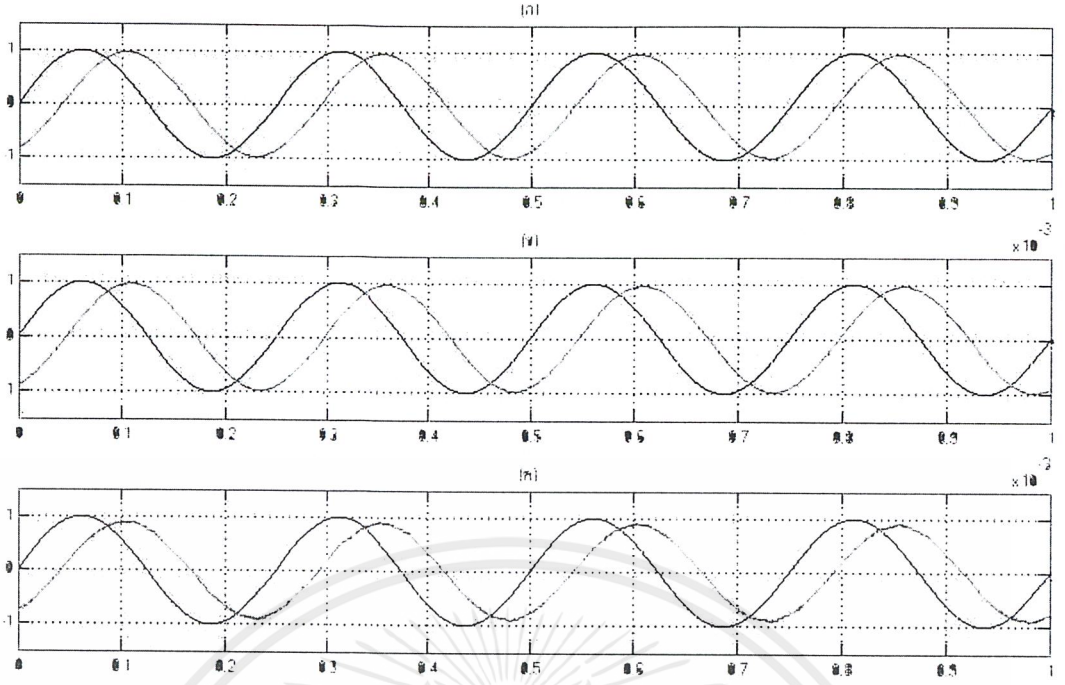


รูปที่ 4.35 แสดงผลกระทบของสัญญาณรบกวนเมื่อกำหนดค่าแวเรียนซ์เท่ากับ 1



รูปที่ 4.36 แสดงผลกระทบของสัญญาณรบกวนเมื่อกำหนดค่าแวเรียนซ์เท่ากับ 0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

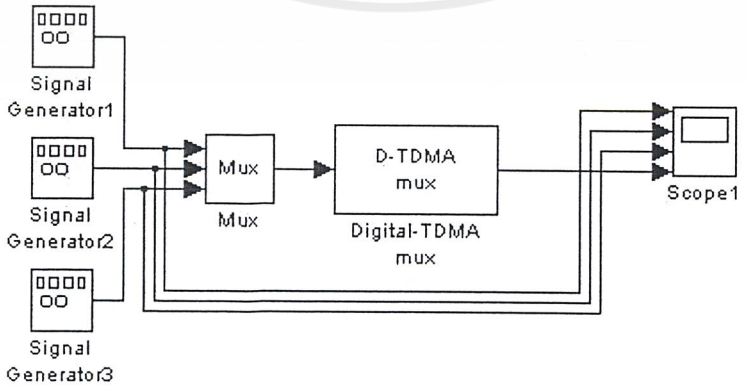


รูปที่ 4.37 แสดงผลกระทบของสัญญาณรบกวนเมื่อกำหนดค่าแวเรียนซ์เท่ากับ 0.0001

4.2 ระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา

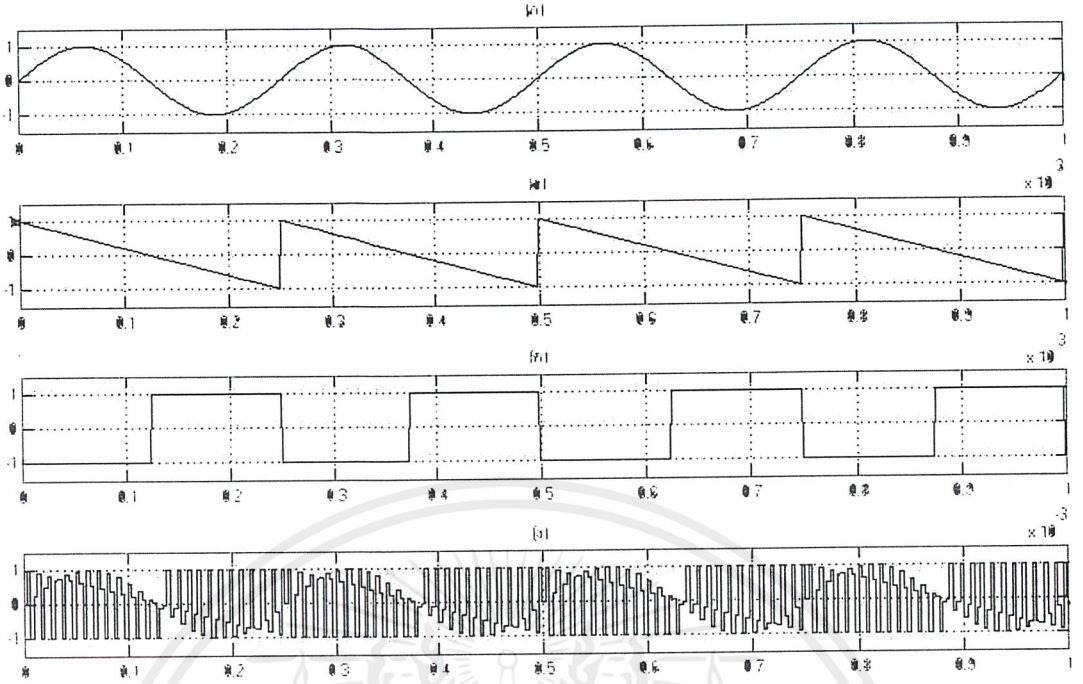
4.2.1 ภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา

ในภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลาได้ทำการทดสอบโดยป้อนสัญญาณจากแบบจำลองเครื่องกำเนิดสัญญาณต่าง ๆ โดยมีการป้อนสัญญาณไซน์ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 1 และ ป้อนสัญญาณฟันเลื่อย ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 2 และ ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยม ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 3 และทำการวัดเอาท์พุทของภาคส่งเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุทดังรูปที่ 4.38 เพื่อสังเกตรูปร่างของสัญญาณซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.38 แสดงการวัดผลการทดสอบภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.39 แสดงผลการทดสอบภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา

(ก) แสดงสัญญาณอินพุทที่เป็นสัญญาณไซน์

(ข) แสดงสัญญาณอินพุทที่เป็นสัญญาณฟันเลื่อย

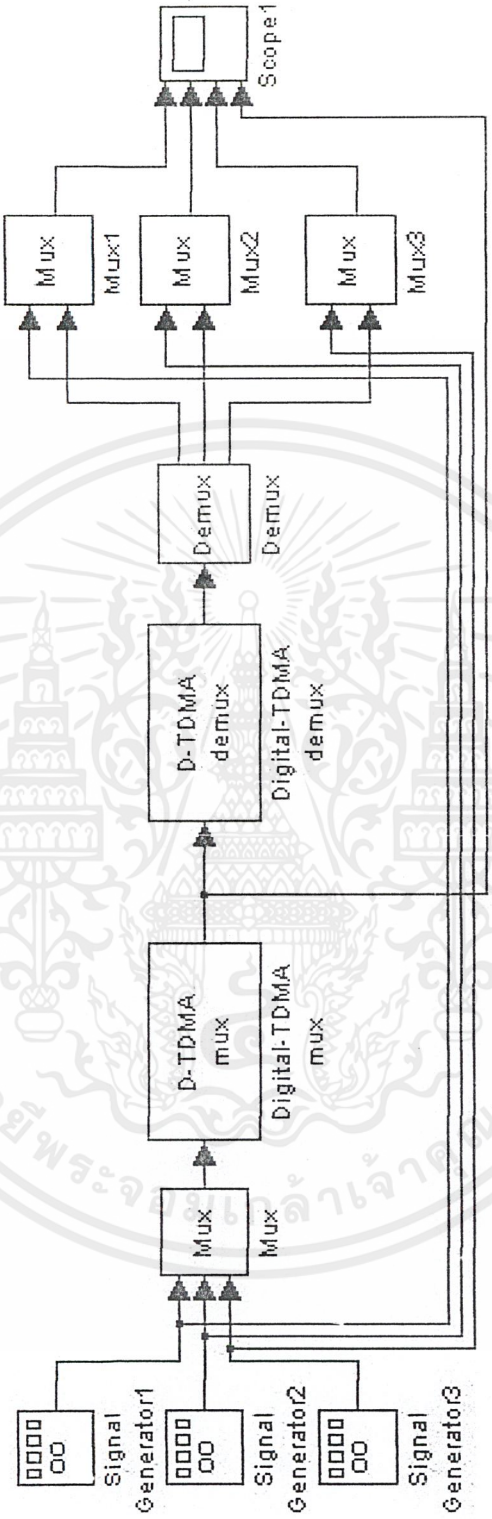
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทที่เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

(ง) แสดงสัญญาณเอาท์พุทของภาคส่ง

4.2.2 ภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา

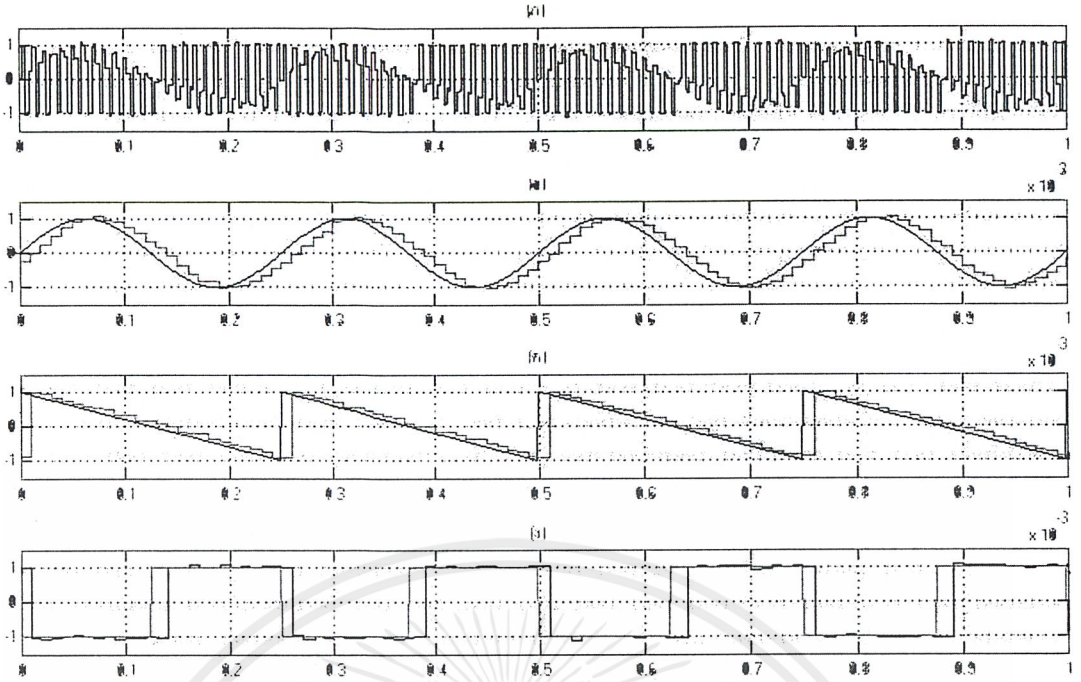
ในภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลาได้ทดสอบโดยการป้อนอินพุทซึ่งเป็นสัญญาณที่ผ่านมาจากภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลาจากส่วนแรก เข้ามาเป็นอินพุทของภาครับดังรูปที่ 4.40 โดยได้มีการวัดสัญญาณเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณอินพุทกับเอาท์พุทในแกนเวลาเดียวกัน เพื่อสังเกตรูปร่างของสัญญาณ ความผิดเพี้ยนของสัญญาณและการเลื่อนเฟส ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.40 แสดงการวัดผลการทดสอบภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

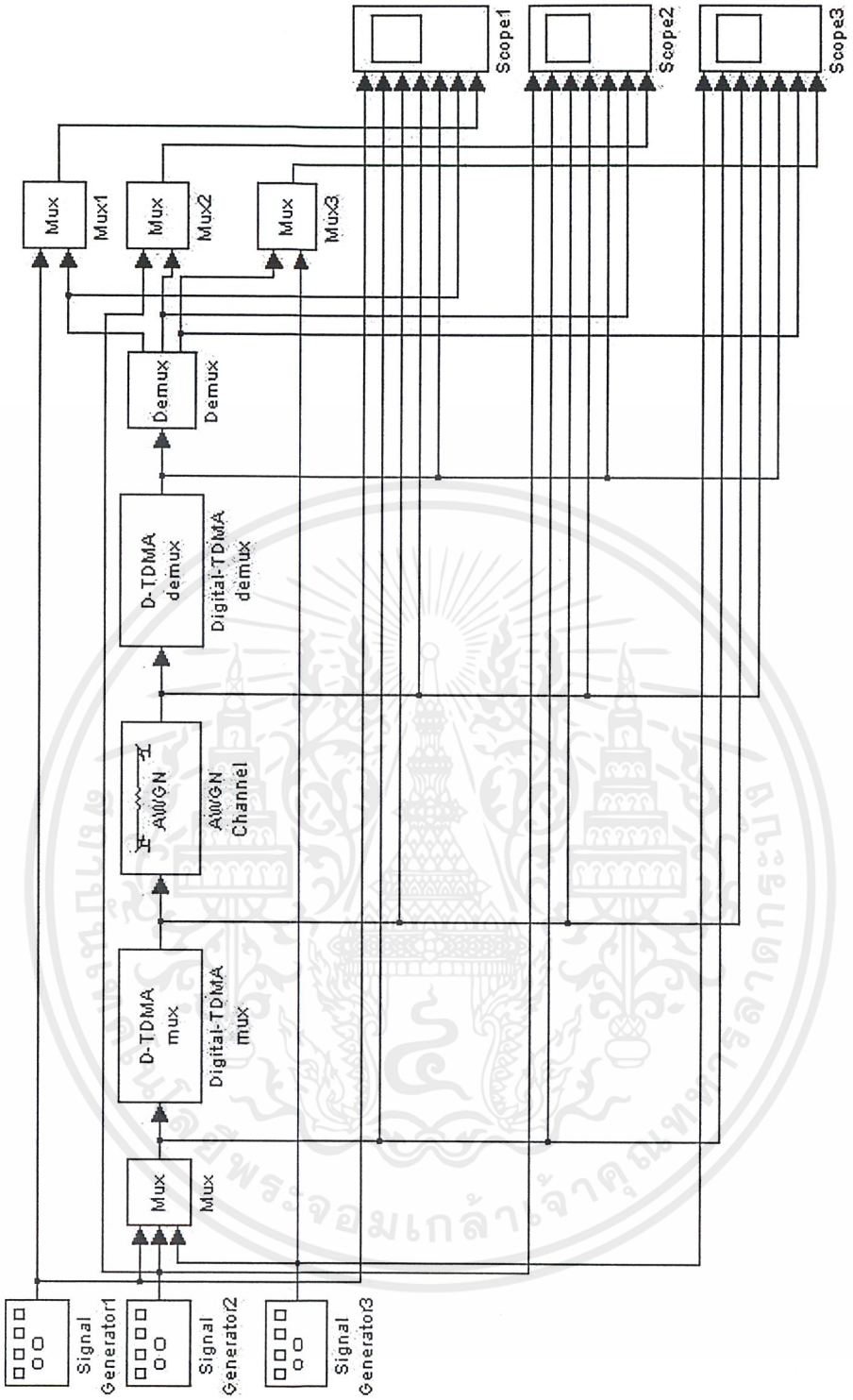


รูปที่ 4.41 แสดงผลการทดสอบภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทของภาครับ
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทของภาครับเมื่อป้อนสัญญาณไซน์เป็นอินพุท
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทของภาครับเมื่อป้อนสัญญาณฟันเลื่อยเป็นอินพุท
(ง) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทของภาครับเมื่อป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมเป็นอินพุท

4.2.3 การทำงานแต่ละขั้นตอนของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา

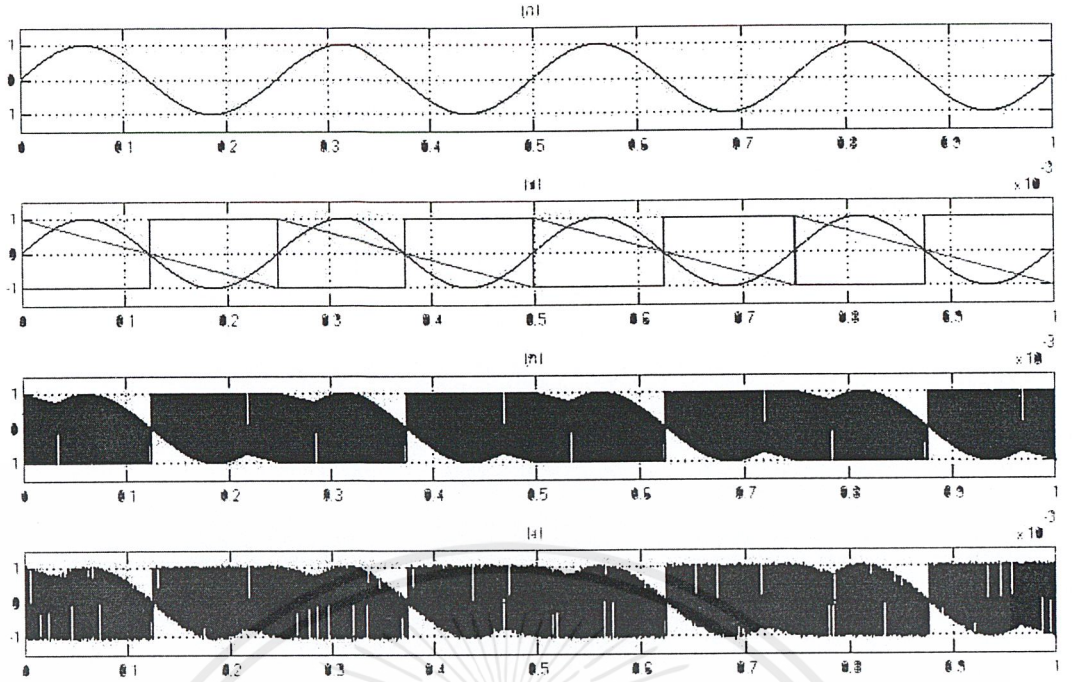
ทำการทดสอบโดยการป้อนสัญญาณอินพุทต่าง ๆ คือ โดยมีการป้อนสัญญาณไซน์ที่มีแอมปลิจูด ขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 1 และ ป้อนสัญญาณฟันเลื่อย ที่มีแอมปลิจูด ขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 2 และ ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยม ที่มีแอมปลิจูด ขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 3 และทำการวัดสัญญาณทุกขั้นตอนการทำงาน และวัดสัญญาณเอาท์พุทสุดท้ายของระบบเพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุทดังรูปที่ 4.42 เพื่อสังเกตถึงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในแต่ละขั้นตอนของระบบได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.43 ถึง 4.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.42 แสดงการวัดผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



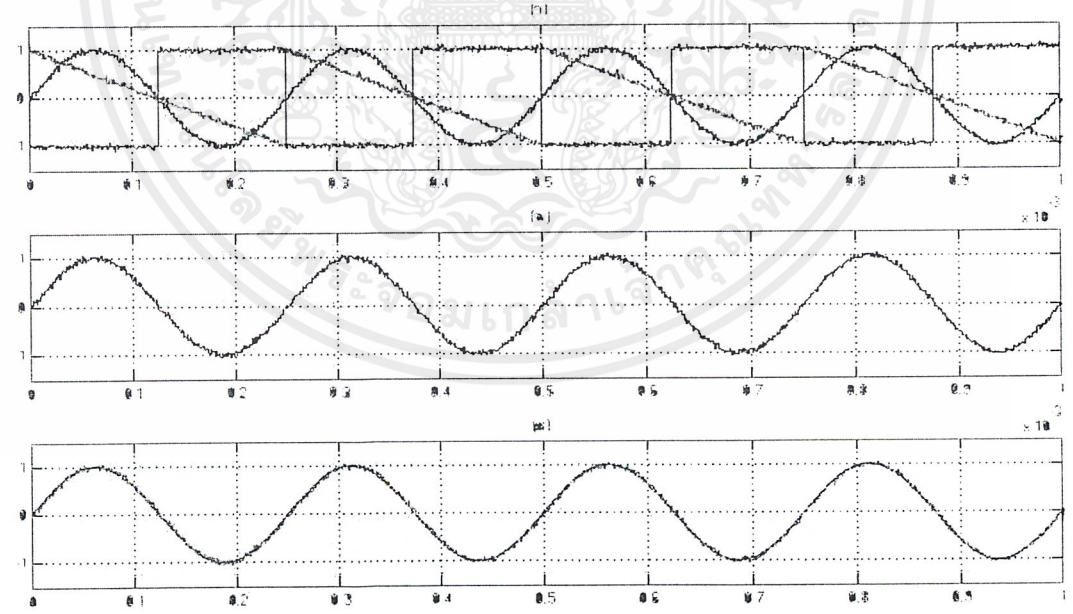
รูปที่ 4.43 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา ตอนที่ 1

(ก) แสดงสัญญาณอินพุทที่เป็นสัญญาณไซน์

(ข) แสดงสัญญาณที่ผ่านการมัลติเพล็กซ์

(ค) แสดงสัญญาณที่ผ่านดิจิตอลทีดีเอ็มมัลติเพล็กซ์เซอร์

(ง) แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกช่องสัญญาณเอดับเบิลยูจีเอ็น



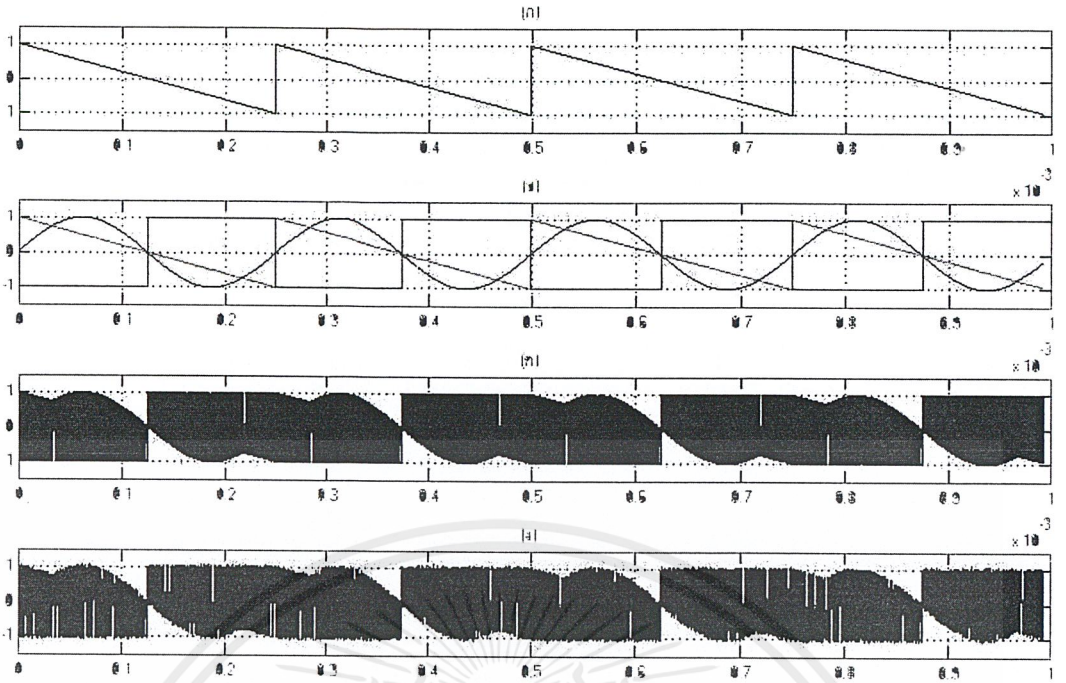
รูปที่ 4.44 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา ตอนที่ 2

(จ) แสดงสัญญาณที่ผ่านดิจิตอลทีดีเอ็มดีมัลติเพล็กซ์เซอร์

(ฉ) แสดงสัญญาณที่ผ่านการดีมัลติเพล็กซ์

(ช) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทบนแกนเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



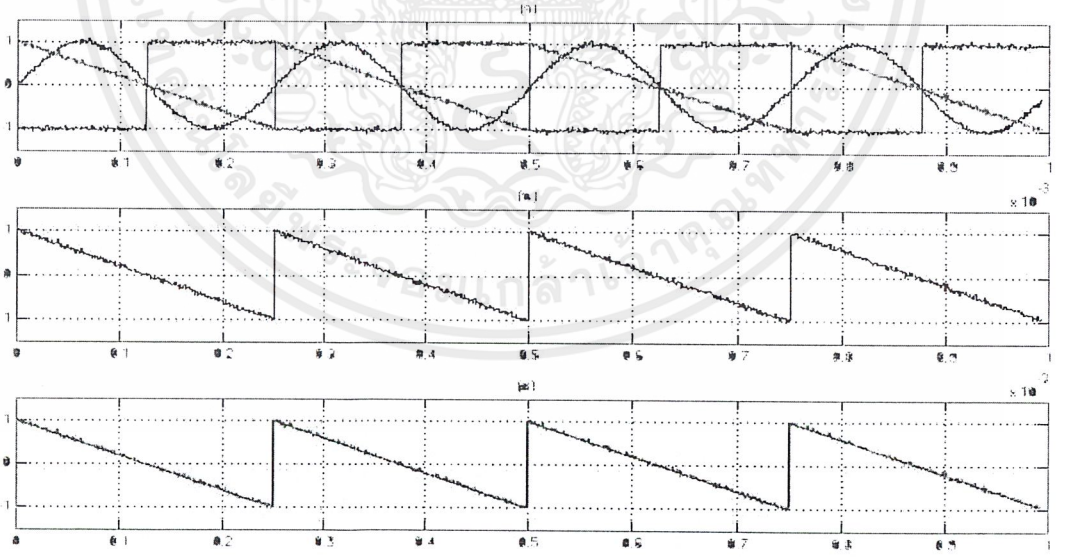
รูปที่ 4.45 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา ตอนที่ 3

(ก) แสดงสัญญาณอินพุทที่เป็นสัญญาณฟันเลื่อย

(ข) แสดงสัญญาณที่ผ่านการมัลติเพล็กซ์

(ค) แสดงสัญญาณที่ผ่านดิจิตอลทีดีเอ็มมัลติเพล็กซ์เซอร์

(ง) แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกช่องสัญญาณเอดับเบิลยูจีเอ็น



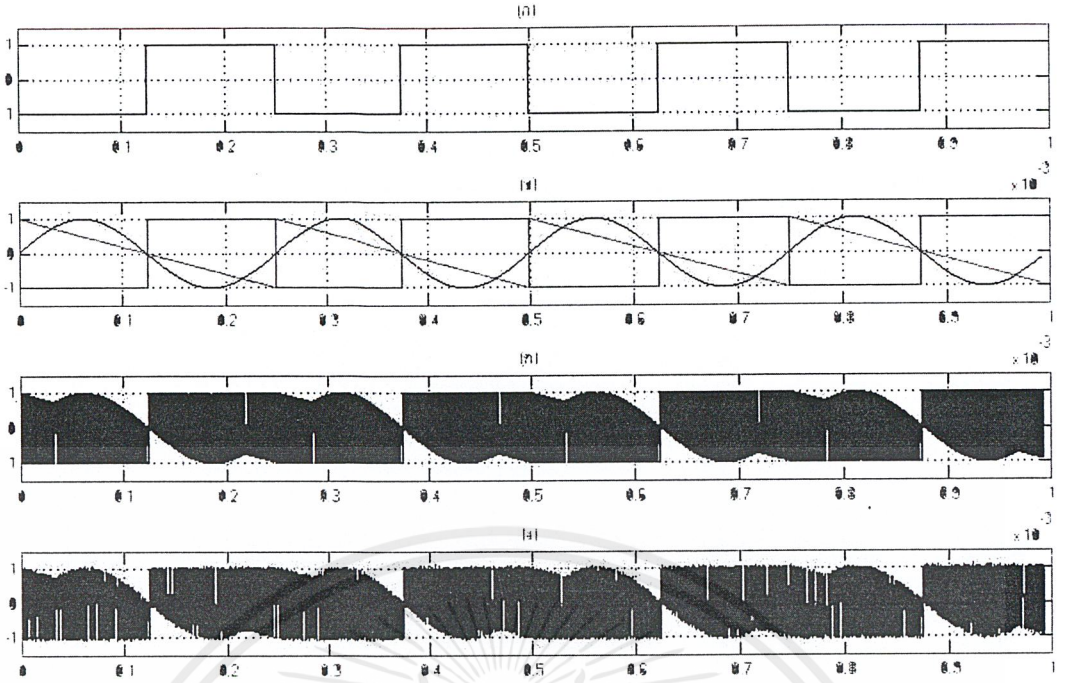
รูปที่ 4.46 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา ตอนที่ 4

(จ) แสดงสัญญาณที่ผ่านดิจิตอลทีดีเอ็มดีมัลติเพล็กซ์เซอร์

(ฉ) แสดงสัญญาณที่ผ่านการดีมัลติเพล็กซ์

(ช) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทบนแกนเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



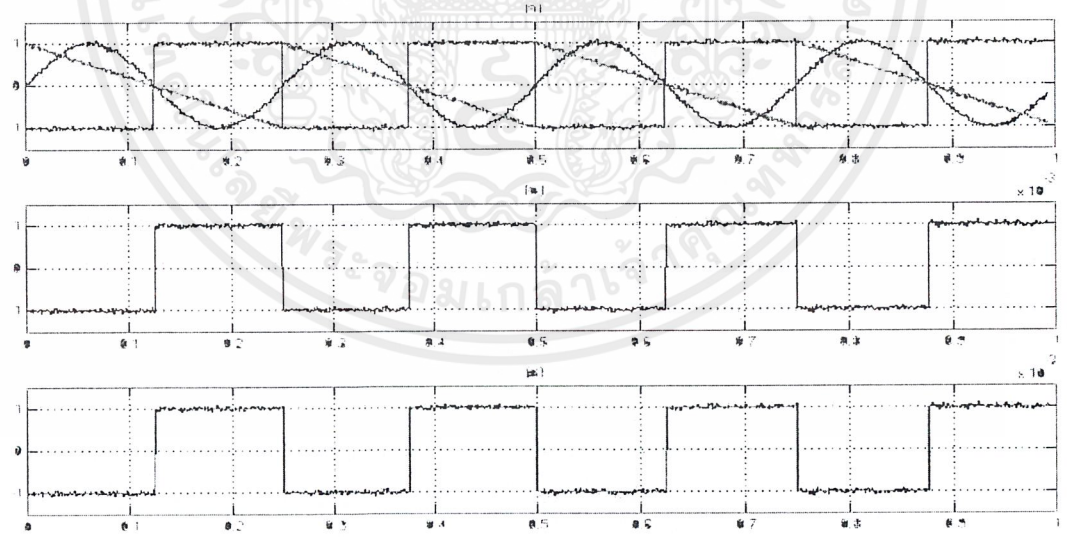
รูปที่ 4.47 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา ตอนที่ 5

(ก) แสดงสัญญาณอินพุทที่เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

(ข) แสดงสัญญาณที่ผ่านการมัลติเพล็กซ์

(ค) แสดงสัญญาณที่ผ่านดิจิตอลทีดีเอ็มมัลติเพล็กซ์เซอร์

(ง) แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกช่องสัญญาณเอดับเบิลยูจีเอ็น



รูปที่ 4.48 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่าง ๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา ตอนที่ 6

(จ) แสดงสัญญาณที่ผ่านดิจิตอลทีดีเอ็มดีมัลติเพล็กซ์เซอร์

(ฉ) แสดงสัญญาณที่ผ่านการดีมัลติเพล็กซ์

(ช) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทบนแกนเดียวกัน

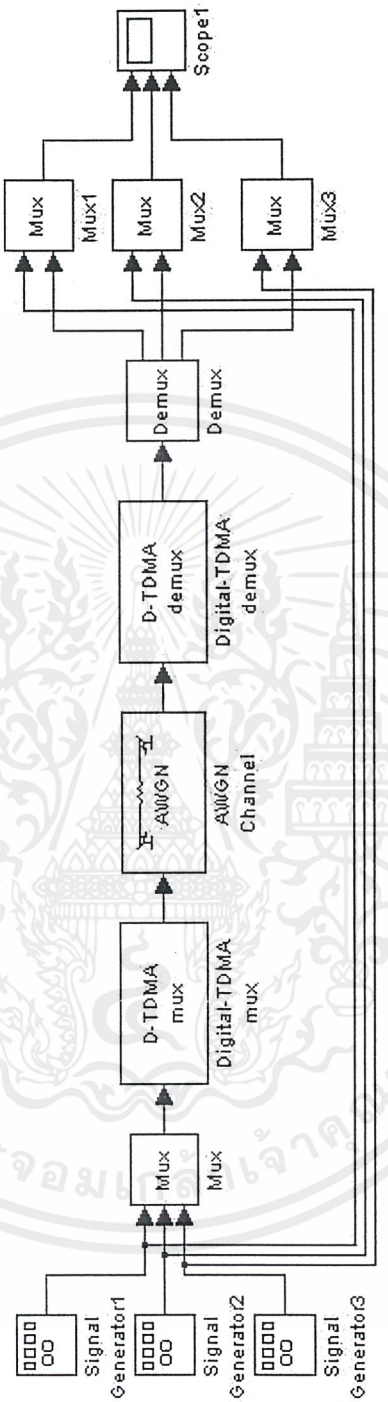
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ภาครับ-ส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา

4.2.4.1 ระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลาทั้งระบบ

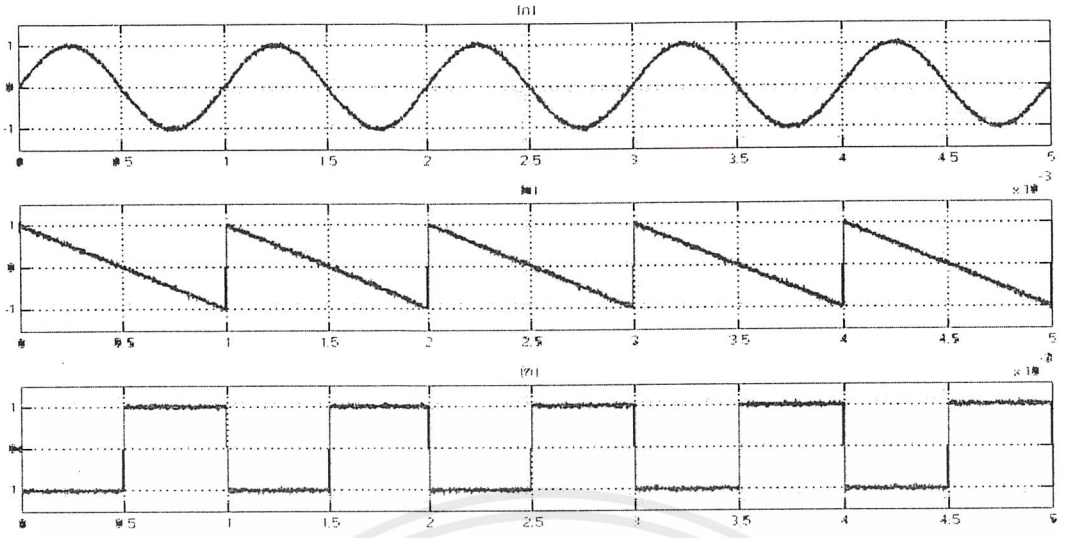
ทำการทดสอบระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลาทั้งระบบโดยในการทดลองนี้กำหนดให้สัญญาณอินพุตมีค่าดังนี้ คือทำการป้อนสัญญาณไซน์ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 1 และ ป้อนสัญญาณฟันเลื่อย ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 2 และ ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยม ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 3 และทำการเปลี่ยนค่าความถี่ของสัญญาณในแต่ละช่องสัญญาณเป็นค่าต่างๆดังนี้ 1kHz, 2kHz, 3kHz, 4kHz, 5kHz, 6kHz, 7kHz 8kHz, 9kHz, 10kHz, 20kHz, 30kHz, 40kHz, 50kHz, 60kHz, 70kHz, 80kHz, 90kHzและ100kHzจากนั้นทำการวัดค่าสัญญาณเอาท์พุทดังรูปที่ 4.49 โดยการวัดผลการทดสอบให้สัญญาณอินพุตเทียบกับสัญญาณเอาท์พุทบนแกนเดียวกัน เพื่อสามารถสังเกตรูปร่างของสัญญาณและความผิดเพี้ยนของสัญญาณตลอดจนการเลื่อนเฟสและได้ผลการทดสอบที่ความถี่ต่างๆ ดังรูปที่ 4.50 ถึง 4.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

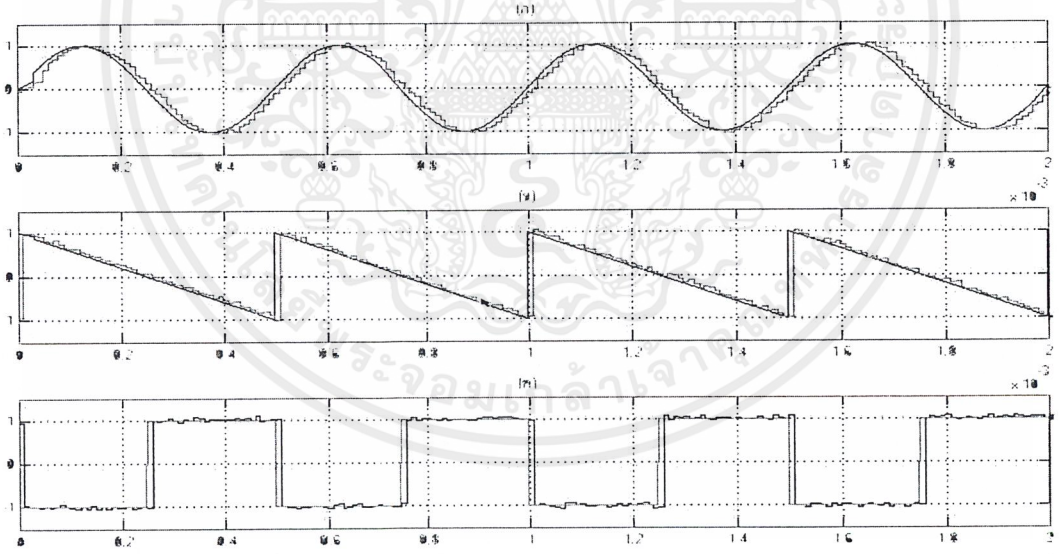


รูปที่ 4.49 แสดงการวัดผลการทดสอบของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

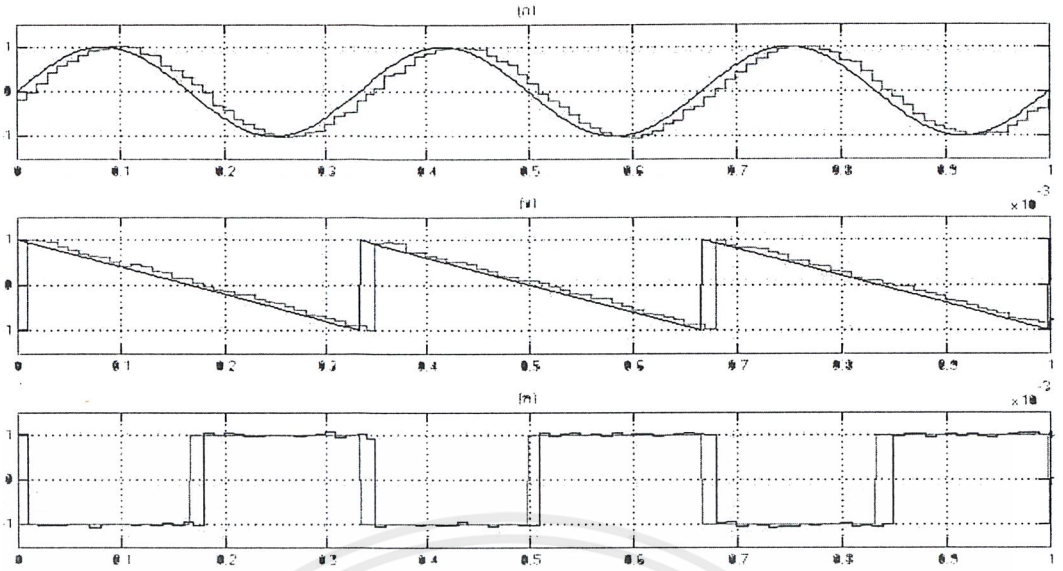


รูปที่ 4.50 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 1 กิโลเฮิรตซ์
(ก)แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

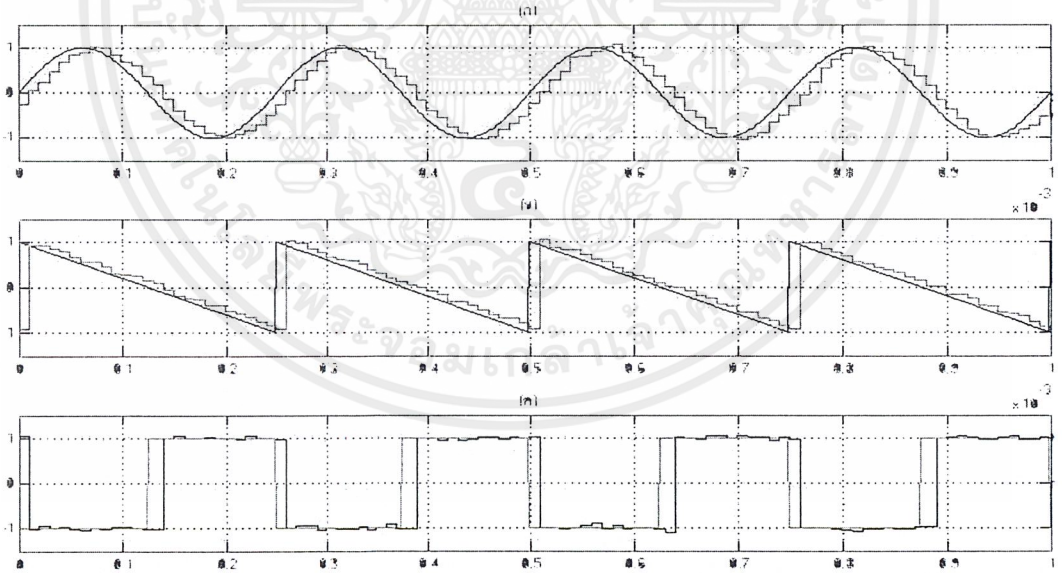


รูปที่ 4.51 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 2 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

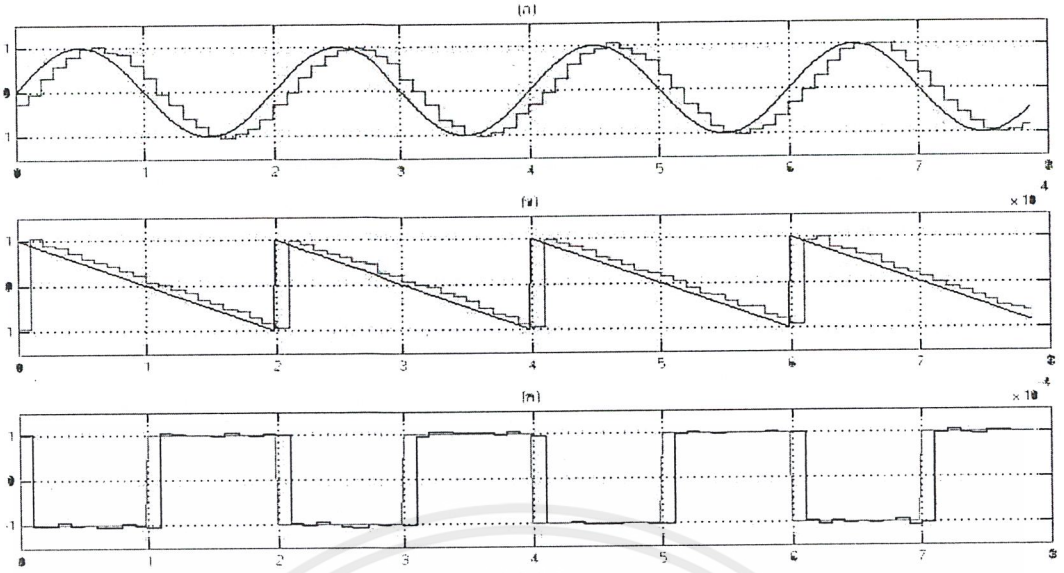


รูปที่ 4.52 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 3 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

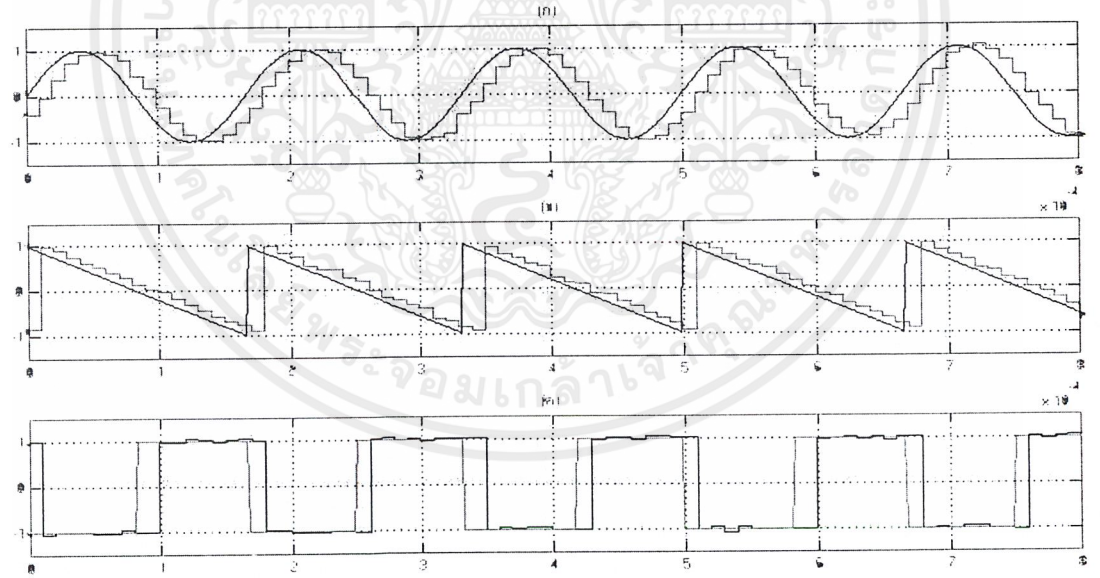


รูปที่ 4.53 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 4 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

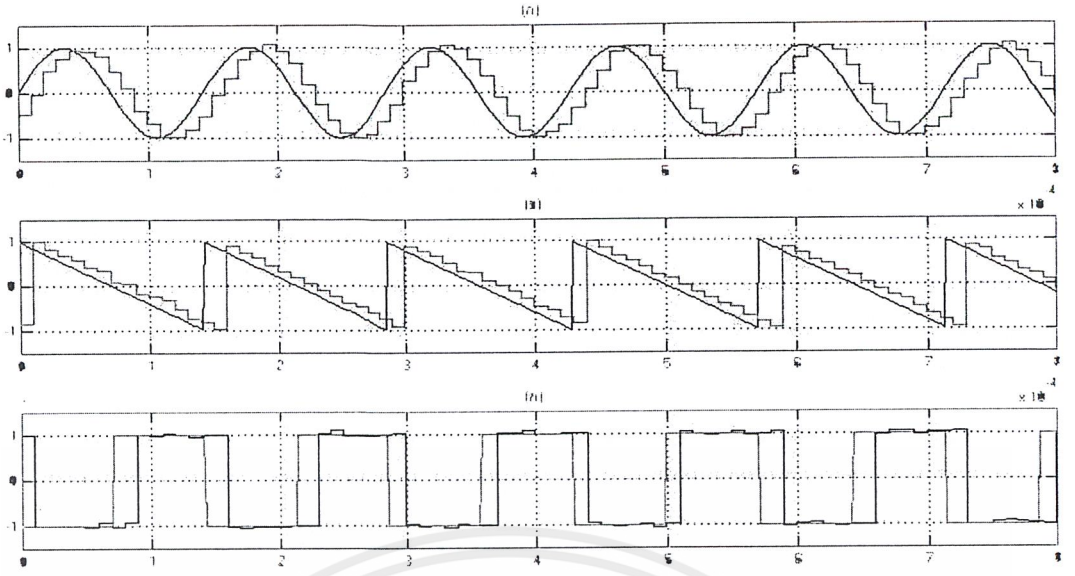


รูปที่ 4.54 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 5 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

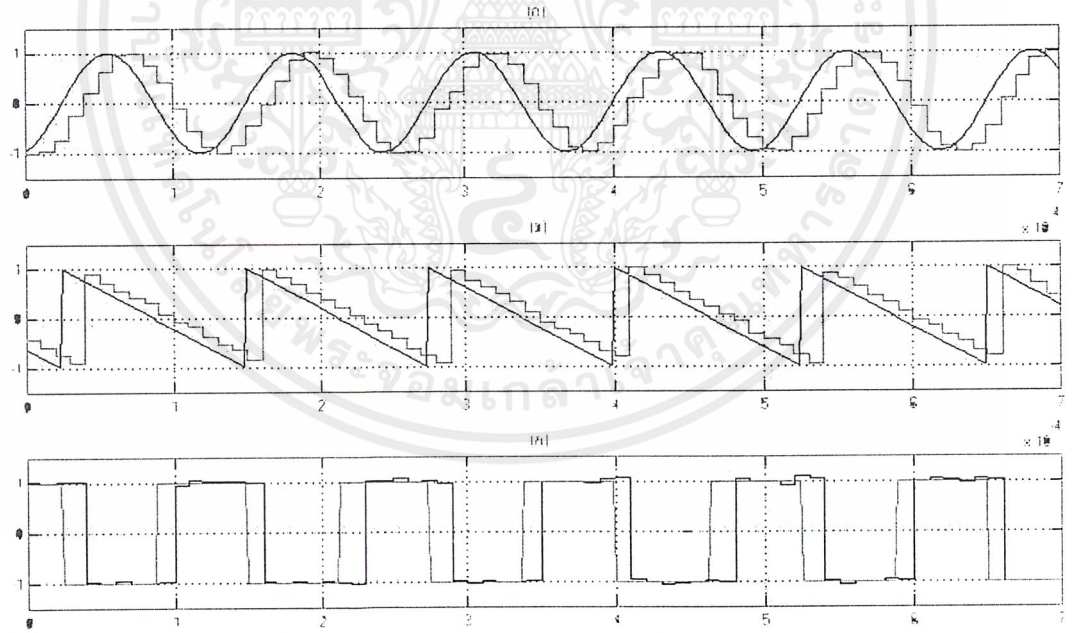


รูปที่ 4.55 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 6 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

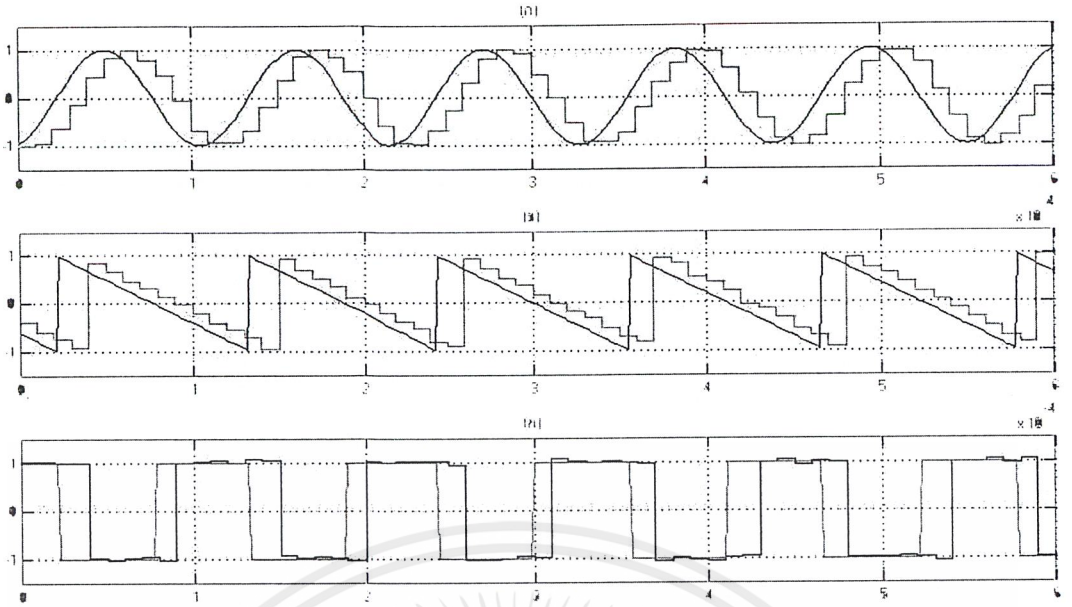


รูปที่ 4.56 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 7 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

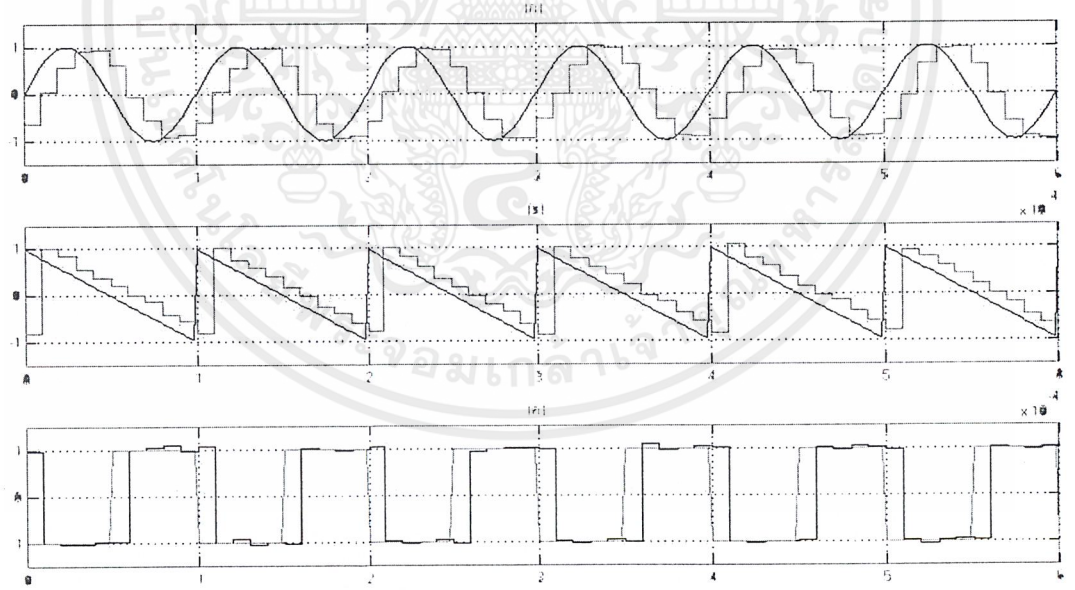


รูปที่ 4.57 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 8 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

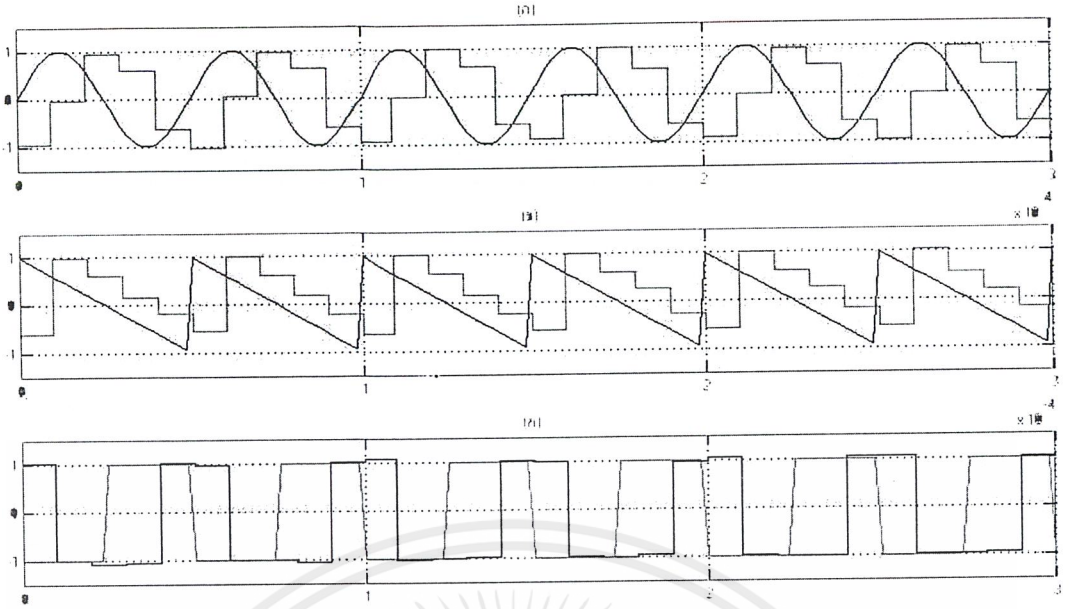


รูปที่ 4.58 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 9 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

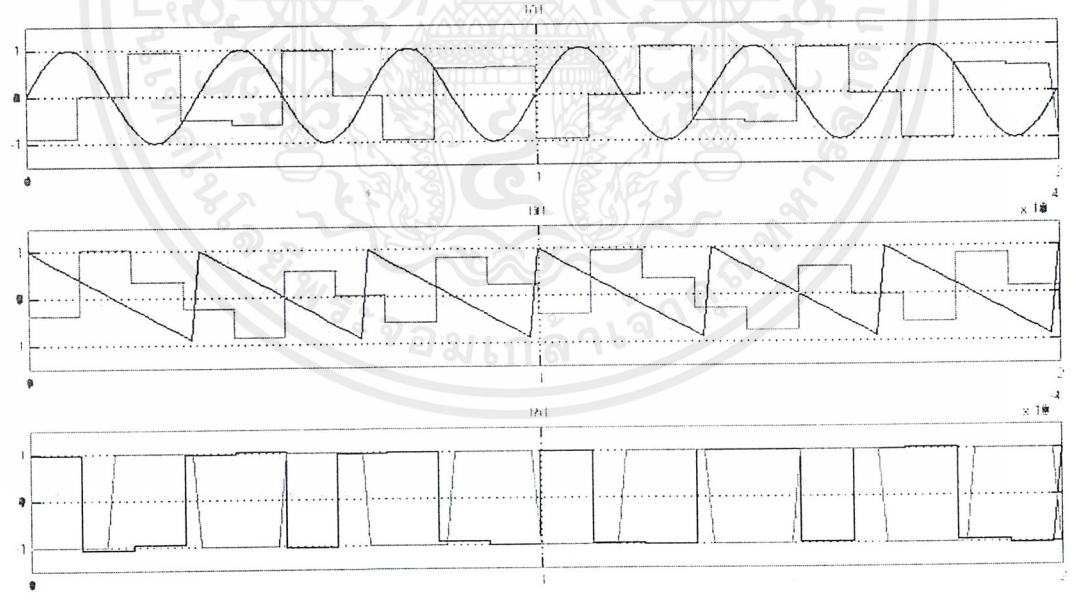


รูปที่ 4.59 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 10 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

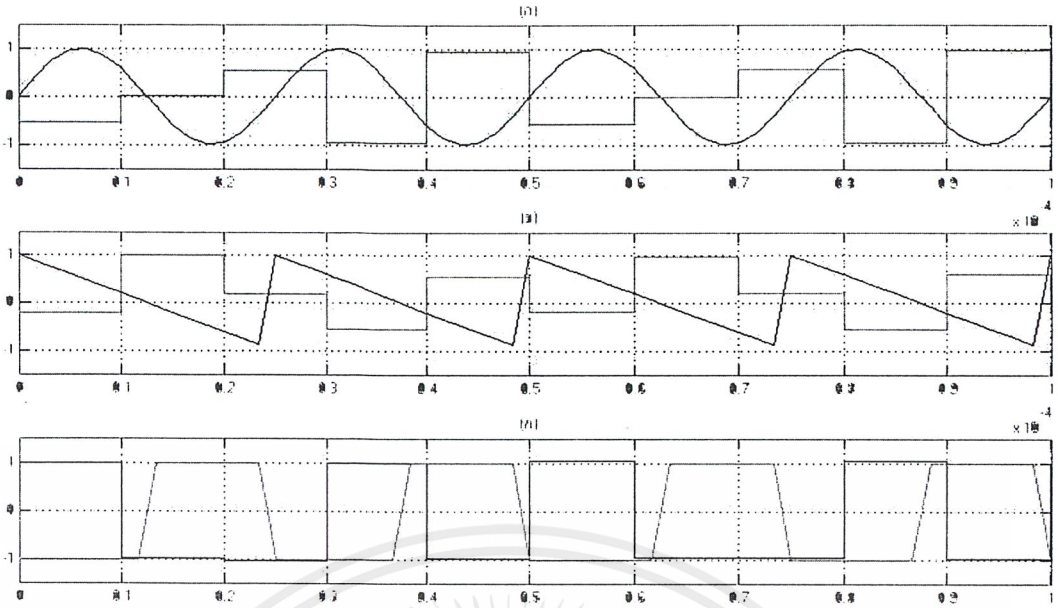


รูปที่ 4.60 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 20 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

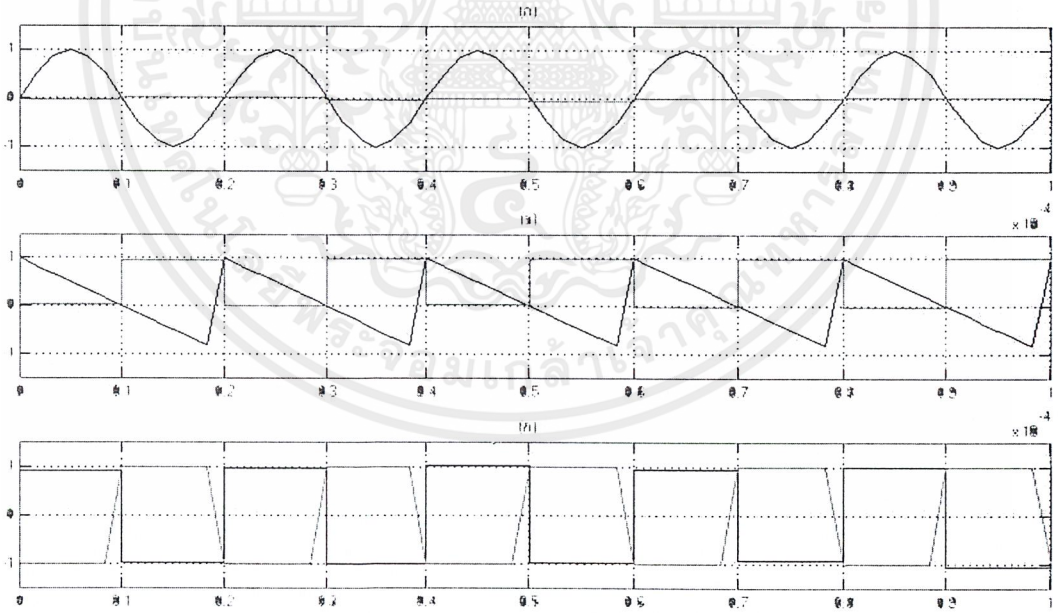


รูปที่ 4.61 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 30 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

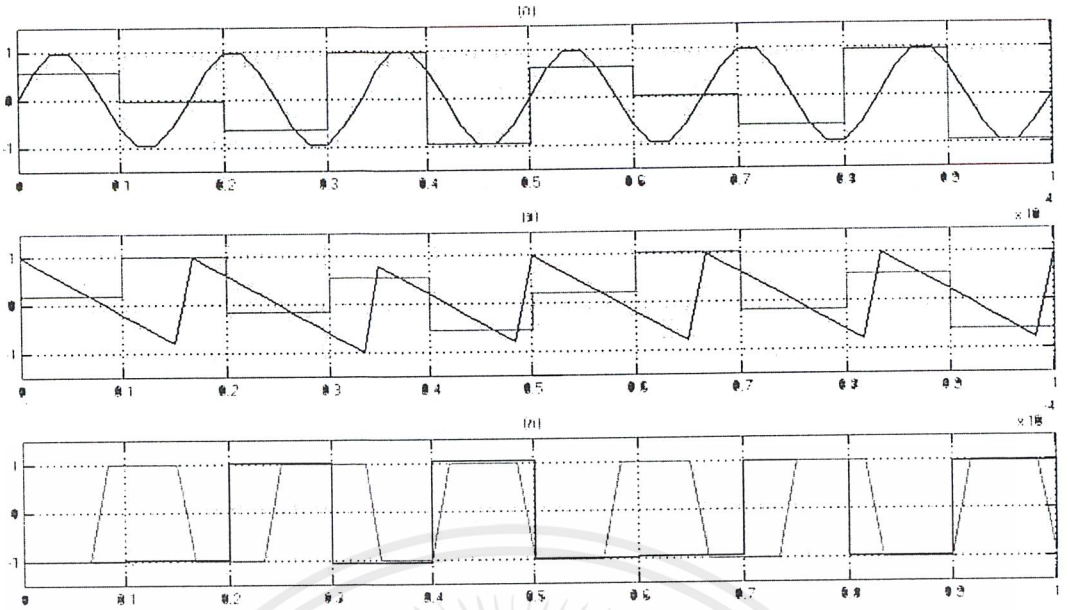


รูปที่ 4.62 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 40 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

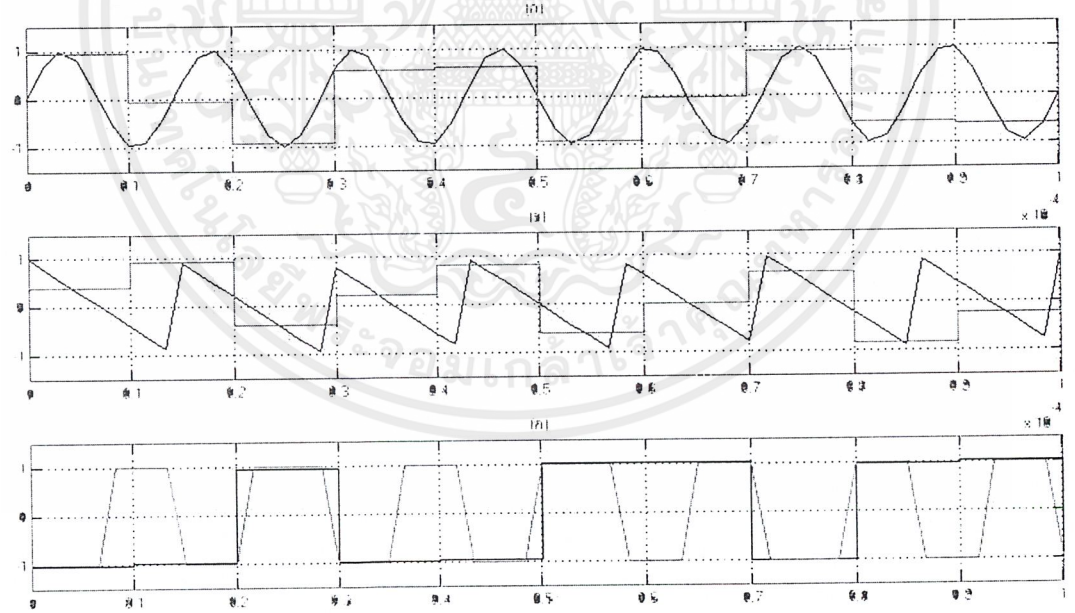


รูปที่ 4.63 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 50 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

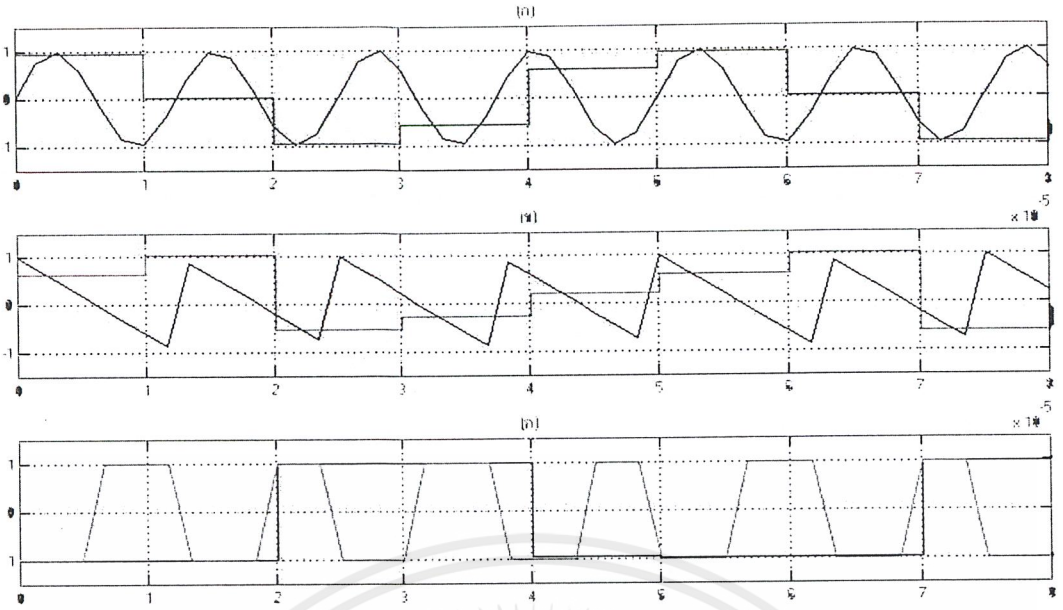


รูปที่ 4.64 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 60 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

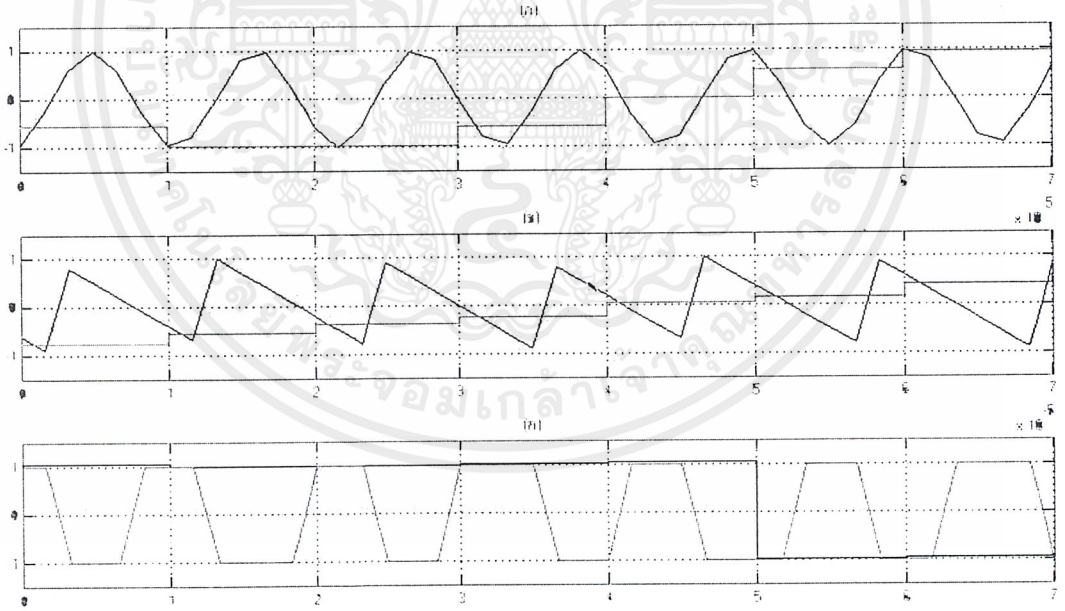


รูปที่ 4.65 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 70 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

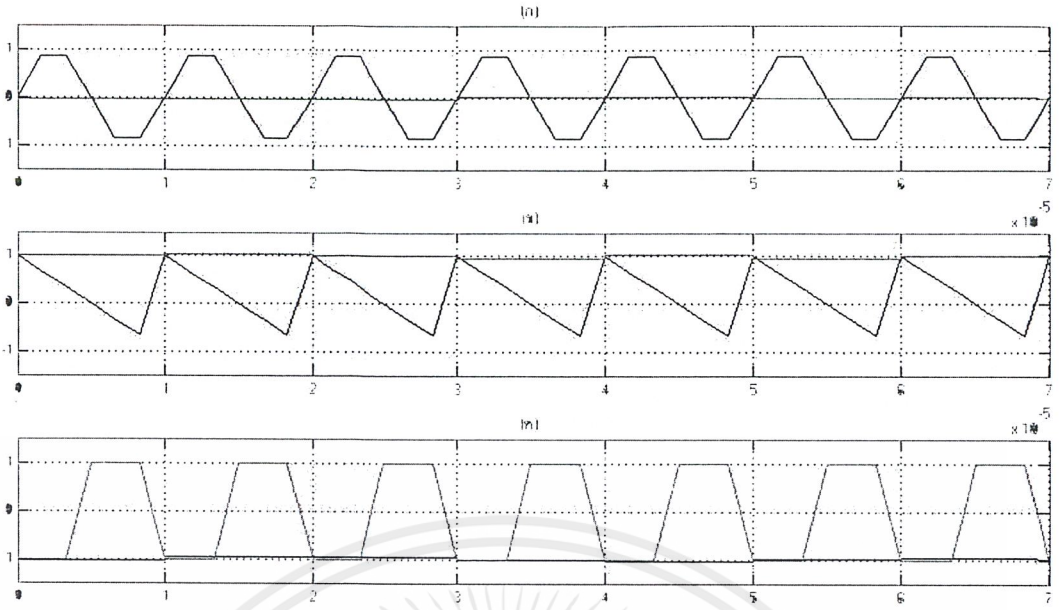


รูปที่ 4.66 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 80 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อป้อนสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม



รูปที่ 4.67 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 90 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.68 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 100 กิโลเฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

4.2.4.2 การตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา

ทำการพิจารณาคุณสมบัติการตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลาในแต่ละช่องสัญญาณอินพุทโดยกำหนดให้สัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ ทั้งสามช่องสัญญาณและทำการเปลี่ยนค่าความถี่ต่าง ๆ และนำผลการทดสอบที่ได้ดังตารางที่ 4.2 มาทำการสร้างเป็นกราฟเซมิล็อก ดังกราฟ รูปที่ 4.69 ถึง 4.71 เพื่อให้สังเกตุถึงผลการตอบสนองทางความถี่ของแต่ละช่องสัญญาณในระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา

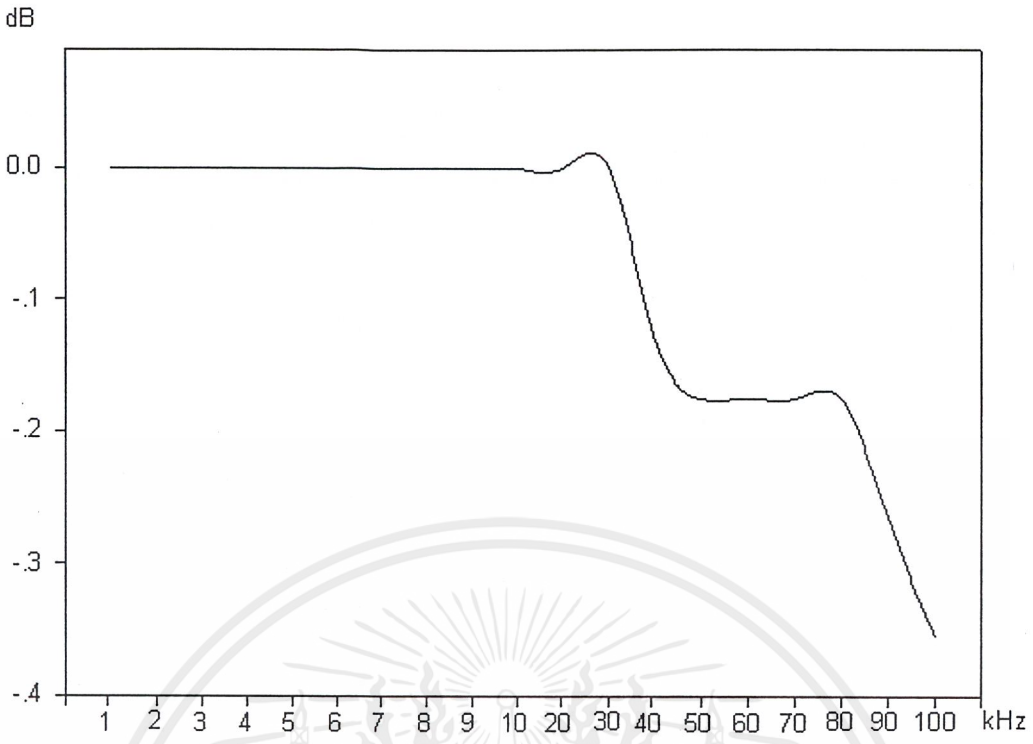
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการทดสอบทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา

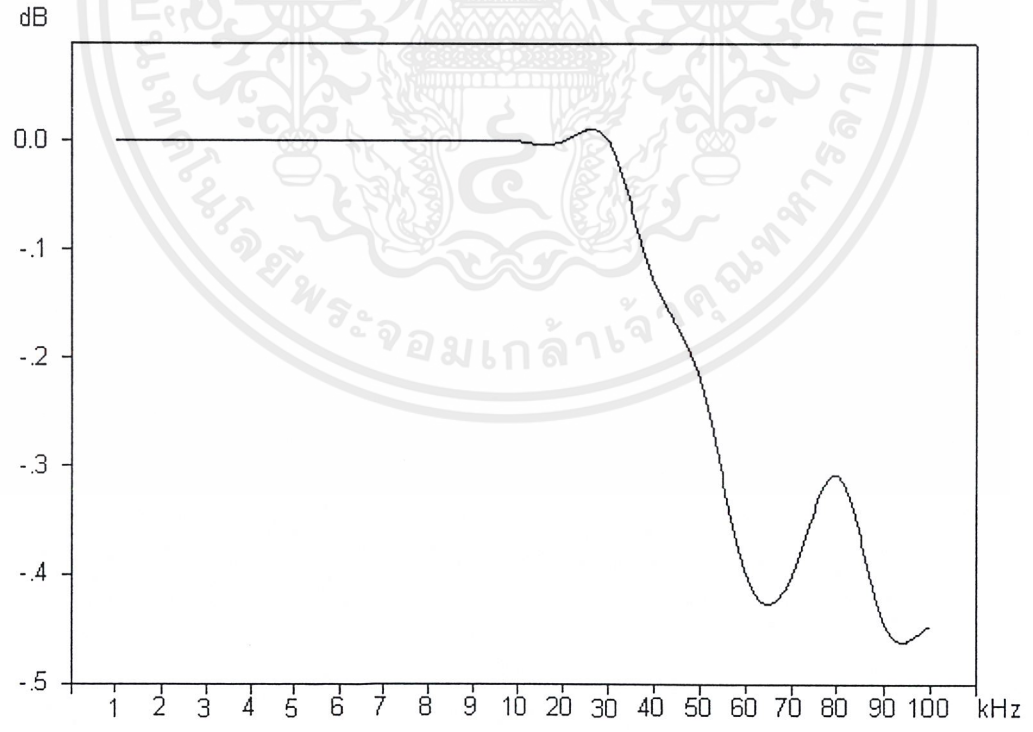
ความถี่	ช่องสัญญาณ 1	ช่องสัญญาณ 2	ช่องสัญญาณ 3
1kHz	2	2	2
2 kHz	2	2	2
3 kHz	2	2	2
4 kHz	2	2	2
5 kHz	2	2	2
6 kHz	2	2	2
7 kHz	2	2	2
8 kHz	2	2	2
9 kHz	2	2	2
10 kHz	2	2	2
20 kHz	2	2	2
30 kHz	2	2	2
40 kHz	1.97	1.97	1.97
50 kHz	1.96	1.95	1.94
60 kHz	1.96	1.91	1.91
70 kHz	1.96	1.91	1.89
80 kHz	1.96	1.93	1.88
90 kHz	1.94	1.90	1.88
100 kHz	1.92	1.90	1.87

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงการทดสอบทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

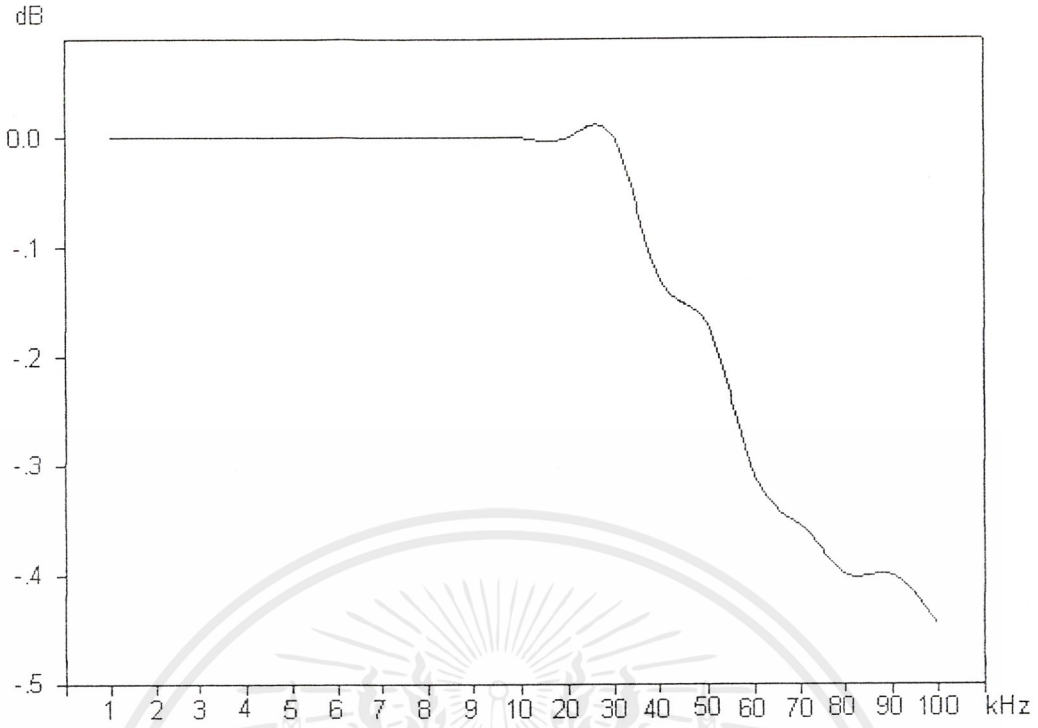


รูปที่ 4.69 ผลการตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา ช่องสัญญาณที่ 1



รูปที่ 4.70 ผลการตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา ช่องสัญญาณที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

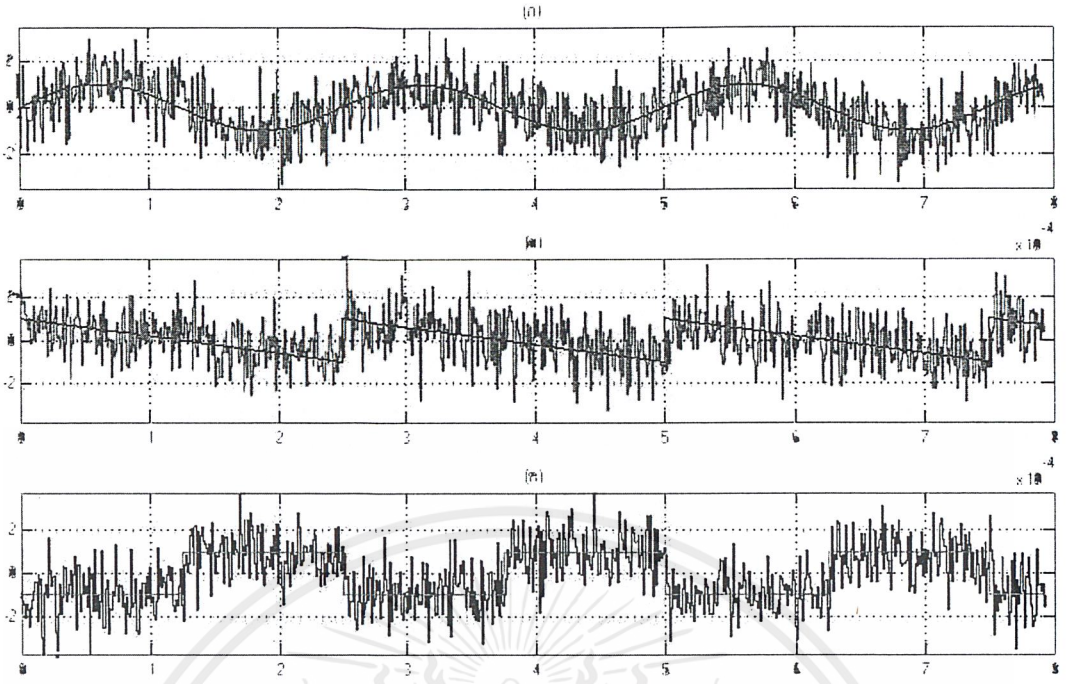


รูปที่ 4.71 ผลการตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลาช่องสัญญาณที่ 3

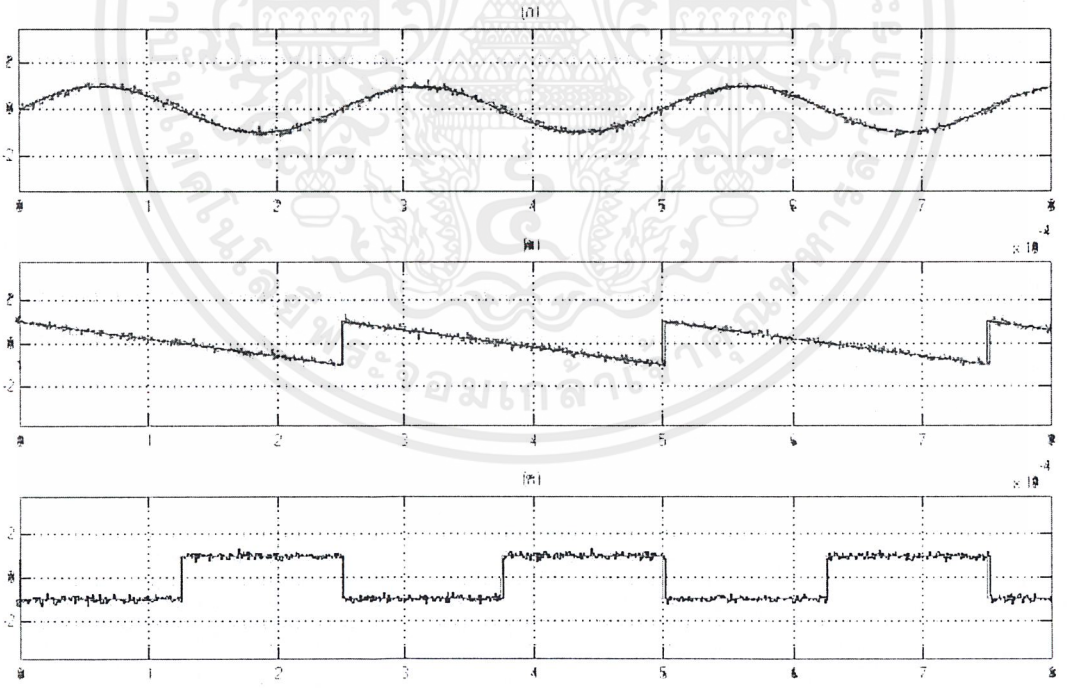
4.2.4.3 สัญญาณรบกวนที่มีผลต่อระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา

ทำการพิจารณาถึงสัญญาณรบกวนของระบบ ในที่นี้จะพิจารณาสัญญาณรบกวนประเภทแอดดิทีฟไวท์เกาส์เซี่ยนโดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าแวเรียนซ์ต่าง ๆ กันคือ 1, 0.01, 0.0001 ป้อนสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณ ไซน์ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 1 และป้อนสัญญาณฟันเลื่อย ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 2 และป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยม ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 3 และทำการวัดเอาท์พุทรวมของระบบเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุทดังรูปที่ 4.49 เพื่อสังเกตรูปร่างของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไปที่เป็นผลจากการพิจาราณาสัญญาณรบกวนซึ่งได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.72 ถึง 4.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

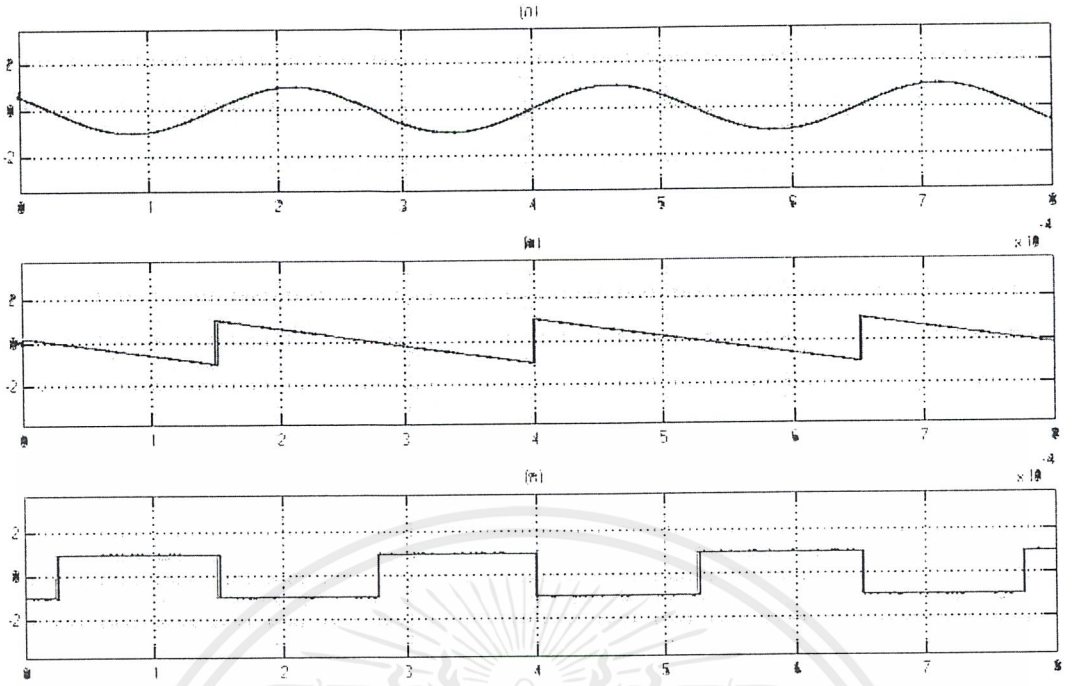


รูปที่ 4.72 แสดงผลกระทบของสัญญาณรบกวนเมื่อกำหนดค่าแวเรียนซ์เท่ากับ 1



รูปที่ 4.73 แสดงผลกระทบของสัญญาณรบกวนเมื่อกำหนดค่าแวเรียนซ์เท่ากับ 0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.74 แสดงผลกระทบของสัญญาณรบกวนเมื่อกำหนดค่าแวเรียนซ์เท่ากับ 0.0001

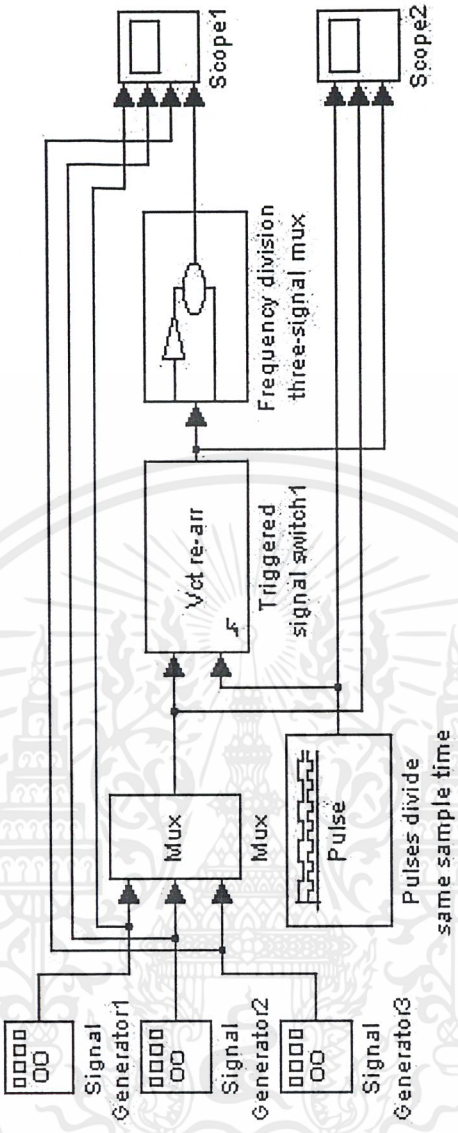
4.3 ระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

4.3.1 ภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

4.3.1.1 ภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

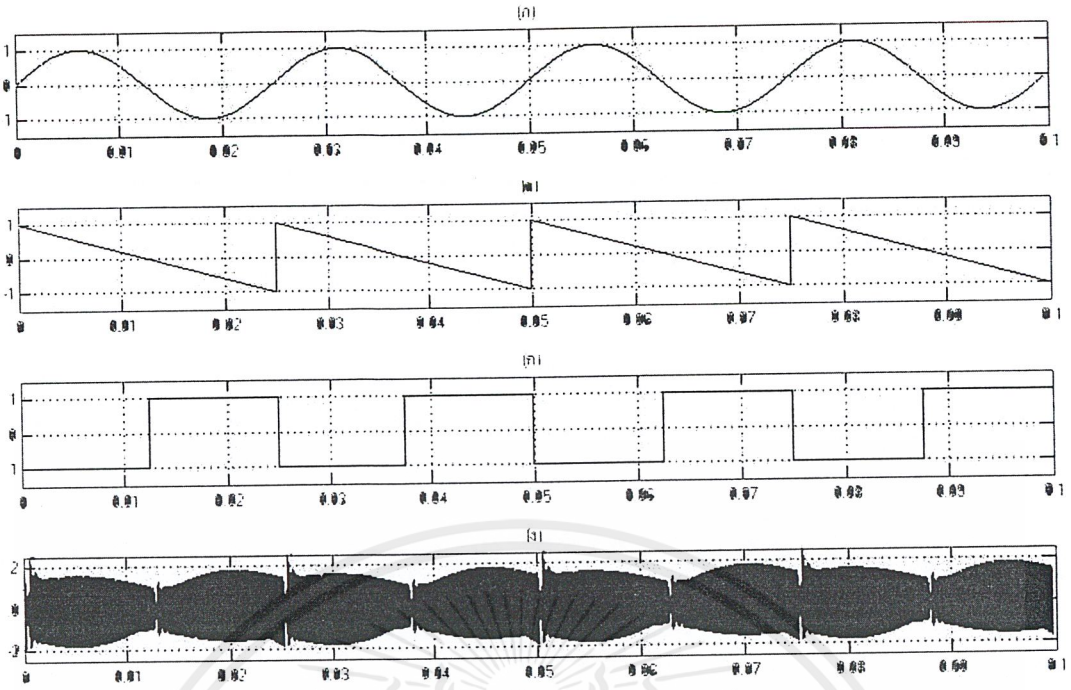
ในภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ได้ทำการทดสอบโดยป้อนสัญญาณจากแบบจำลองเครื่องกำเนิดสัญญาณต่าง ๆ โดยมีการป้อนสัญญาณไซน์ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 100 เฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 1 และป้อนสัญญาณฟันเลื่อย ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 100 เฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 2 และป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยม ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 100 เฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 3 และทำการวัดเอาท์พุทของภาคส่งเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุทดังรูปที่ 4.75 เพื่อสังเกตรูปร่างของสัญญาณที่ได้ในรูปที่ 4.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.75 แสดงการวัดผลการทดสอบภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.76 แสดงผลการทดสอบภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

(ก) แสดงสัญญาณอินพุทที่เป็นสัญญาณไซน์

(ข) แสดงสัญญาณอินพุทที่เป็นสัญญาณฟันเลื่อย

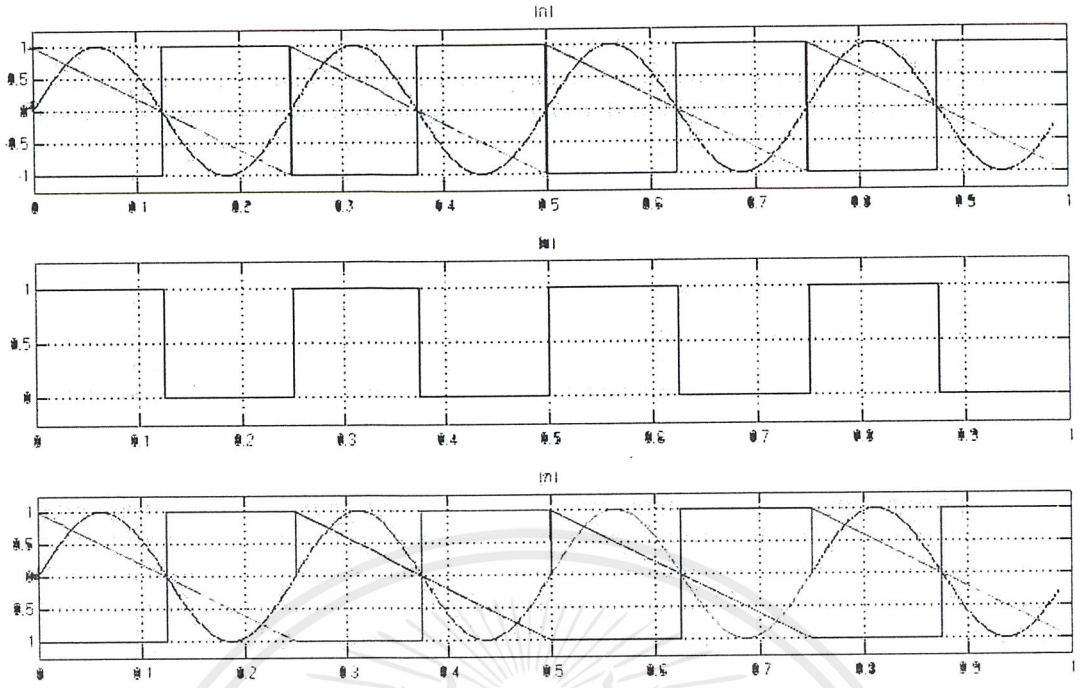
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทที่เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

(ง) แสดงสัญญาณเอาท์พุทของภาคส่ง

4.3.1.2 ความสัมพันธ์ของสัญญาณพัลส์กับการทำงานของภาคส่ง

ทำการพิจารณความสัมพันธ์ของสัญญาณพัลส์กับการทำงานของภาคส่ง ซึ่งทำการเปลี่ยนค่าแซมเปิ้ลไทม์เป็น 0.25 วินาที ความถี่ของสัญญาณอินพุทเป็น 4 เฮริตซ์ ได้จากการวัดค่าในสโคปที่ 2 จากรูปที่ 4.75 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ของพัลส์กับการทำงานของบล็อกทริกเกอร์ซิกแนลสวิทซ์ได้ในรูปที่ 4.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



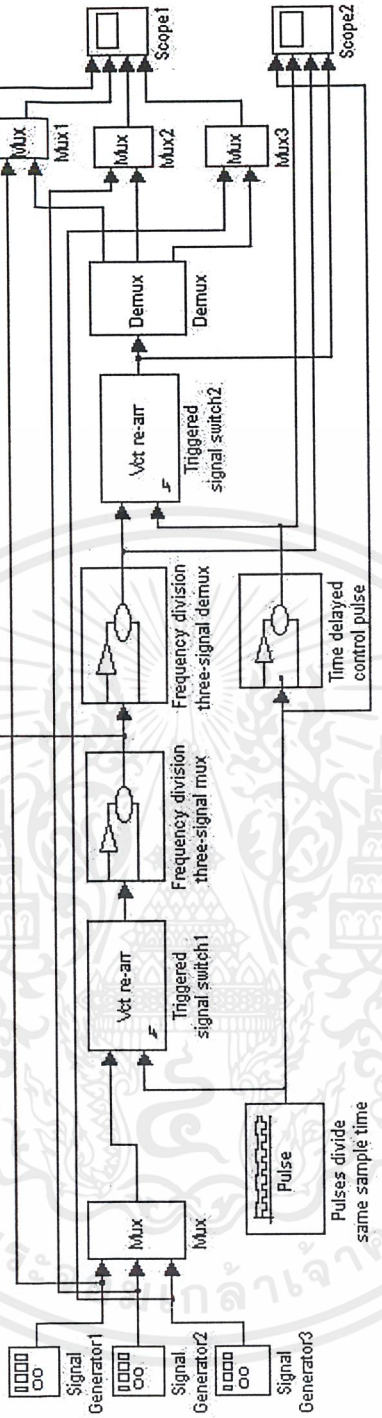
รูปที่ 4.77 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณพัลส์กับการทำงานของภาคส่ง
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทของบล็อกทริกเกอร์ซิกแนลสวิทซ์
(ข) แสดงสัญญาณพัลส์
(ค) แสดงสัญญาณเอาท์พุทของบล็อกทริกเกอร์ซิกแนลสวิทซ์

4.3.2 ภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

4.3.2.1 ภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

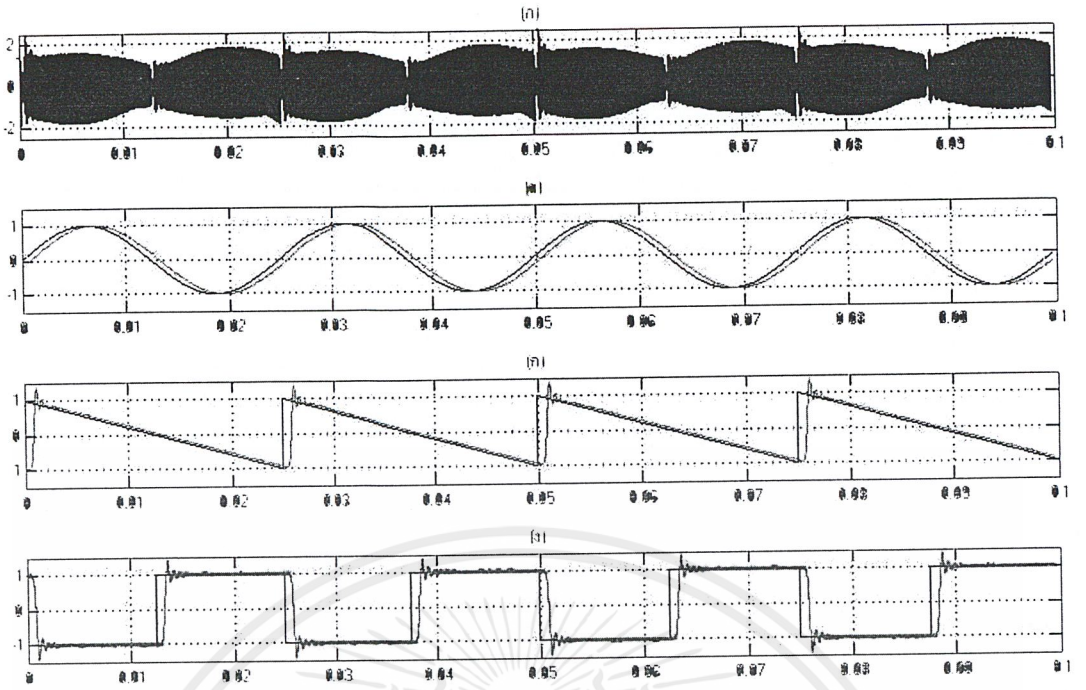
ในภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสได้ทดสอบโดยการป้อนอินพุทซึ่งเป็นสัญญาณที่ผ่านมาจากภาคส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสจากส่วนแรก เข้ามาเป็นอินพุทของภาครับดังรูปที่ 4.78 โดยได้มีการวัดสัญญาณเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณอินพุทกับเอาท์พุทในแกนเวลาเดียวกัน เพื่อสังเกตุรูปร่างของสัญญาณ ความผิดเพี้ยนของสัญญาณและการเลื่อนเฟส ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.78 แสดงการวัดผลการทดสอบภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.79 แสดงผลการทดสอบภาครับของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

(ก) แสดงสัญญาณอินพุทของภาครับ

(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทของภาครับเมื่อป้อนสัญญาณไซน์เป็นอินพุท

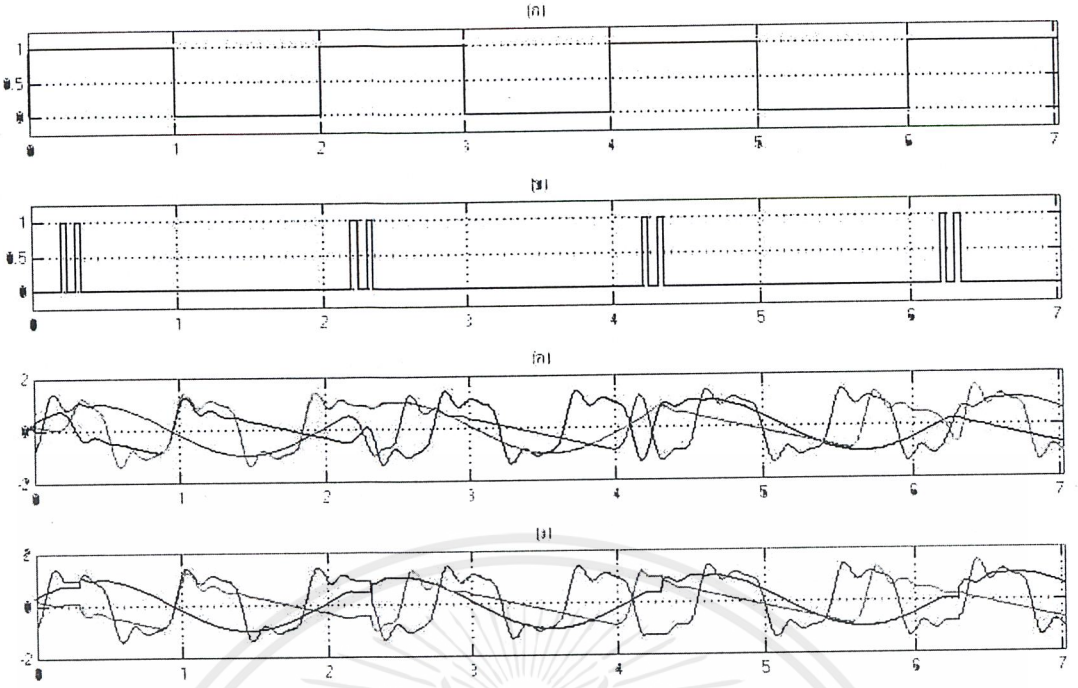
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทของภาครับเมื่อป้อนสัญญาณฟันเลื่อยเป็นอินพุท

(ง) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทของภาครับเมื่อป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมเป็นอินพุท

4.3.2.2 ความสัมพันธ์ของสัญญาณพัลส์กับการทำงานของภาครับ

ทำการพิจารณความสัมพันธ์ของสัญญาณพัลส์กับการทำงานของภาครับโดยมีการปรับค่าเพื่อให้สังเกตได้ง่ายโดยทำการวัดค่า สโคปที่ 2 จากรูปที่ 4.78 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ของพัลส์กับการทำงานของบล็อกทริกเกอร์ชิกแนลสวิทซ์ได้ในรูปที่ 4.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.80 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณพัลส์กับการทำงานของภาครับ

(ก) แสดงสัญญาณพัลส์ที่ยังไม่ผ่านไทม์ดีเลย์คอนโทรลพัลส์

(ข) แสดงสัญญาณพัลส์ที่ผ่านไทม์ดีเลย์คอนโทรลพัลส์

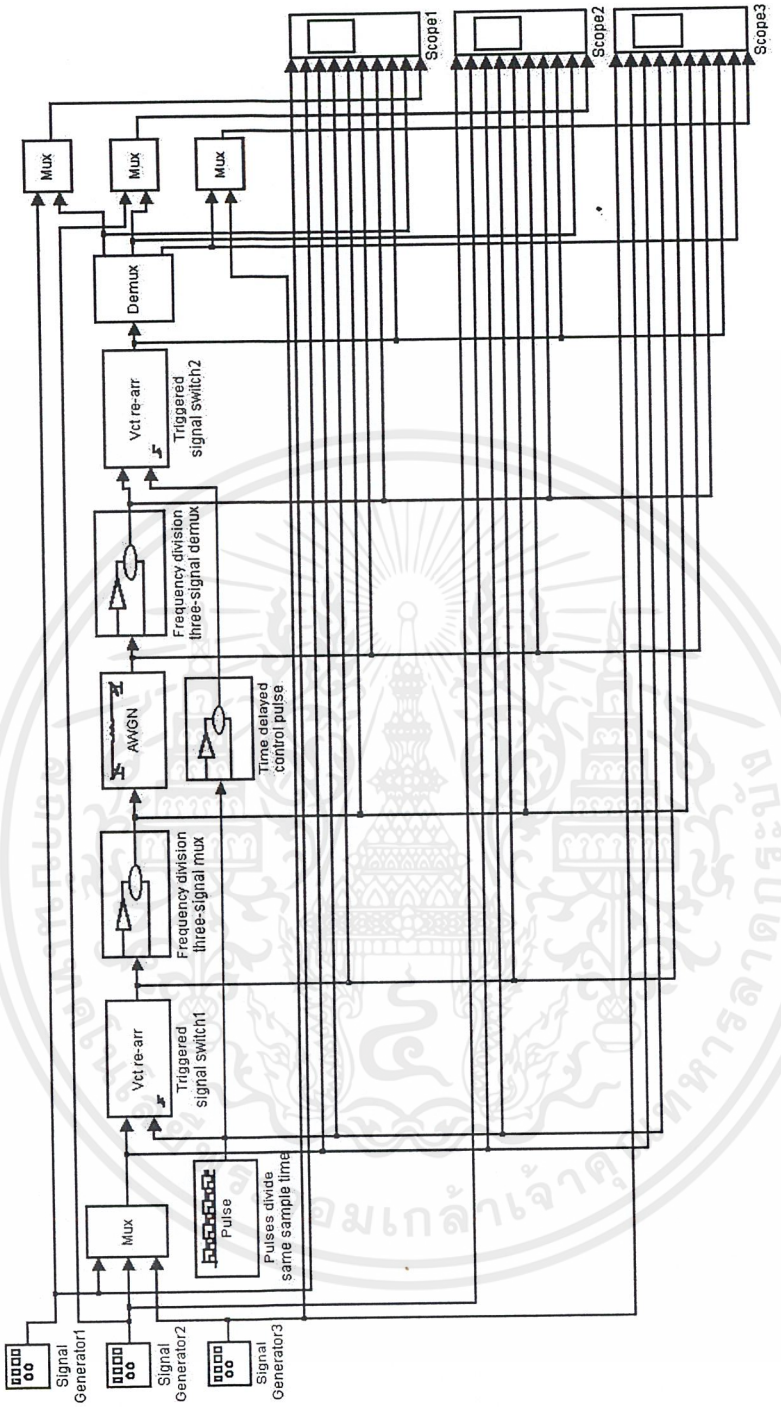
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทของบล็อกทริกเกอร์ซิกแนลสวิทซ์ที่ภาครับ

(ง) แสดงสัญญาณเอาท์พุทของบล็อกทริกเกอร์ซิกแนลสวิทซ์ที่ภาครับ

4.3.3 การทำงานแต่ละขั้นตอนของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

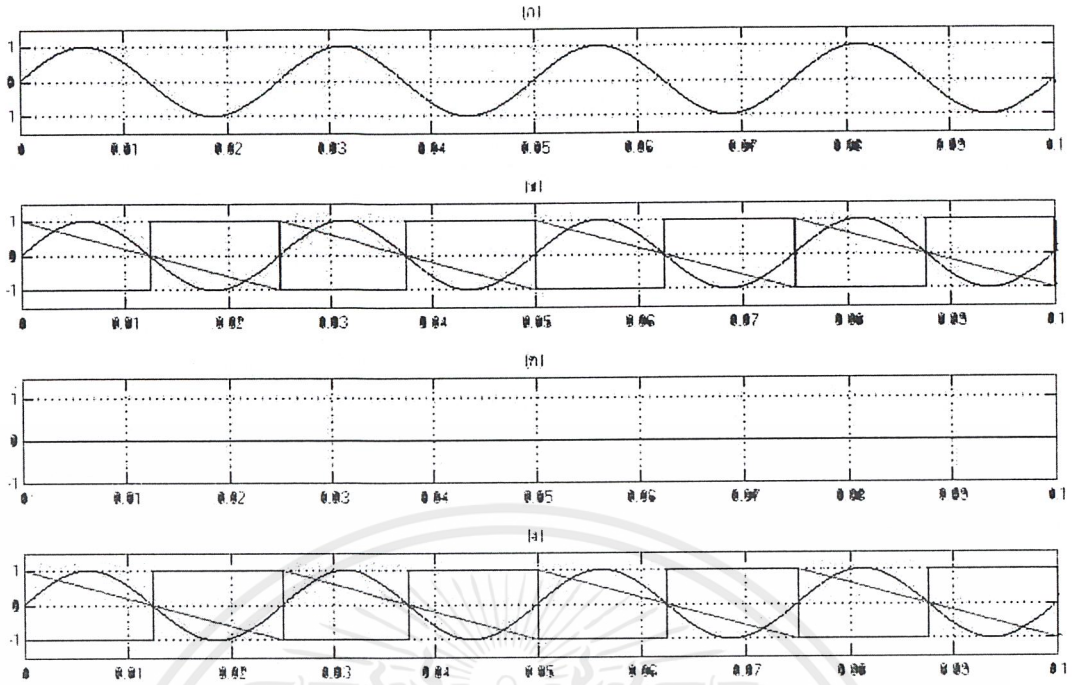
ทำการทดสอบโดยการป้อนสัญญาณอินพุทต่าง ๆ คือ โดยมีการป้อนสัญญาณไซน์ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 100 เฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 1 และ ป้อนสัญญาณฟันเลื่อย ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 100 เฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 2 และ ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยม ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 100 เฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 3 และทำการวัดสัญญาณทุกขั้นตอนการทำงานและวัดสัญญาณเอาท์พุทสุดท้ายของระบบเพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุทดังรูปที่ 4.81 เพื่อสังเกตถึงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในแต่ละขั้นตอนของระบบได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.82 ถึง 4.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.81 แสดงการวัดผลการทดสอบ ณ จุดต่างๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.82 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่างๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ตอนที่ 1

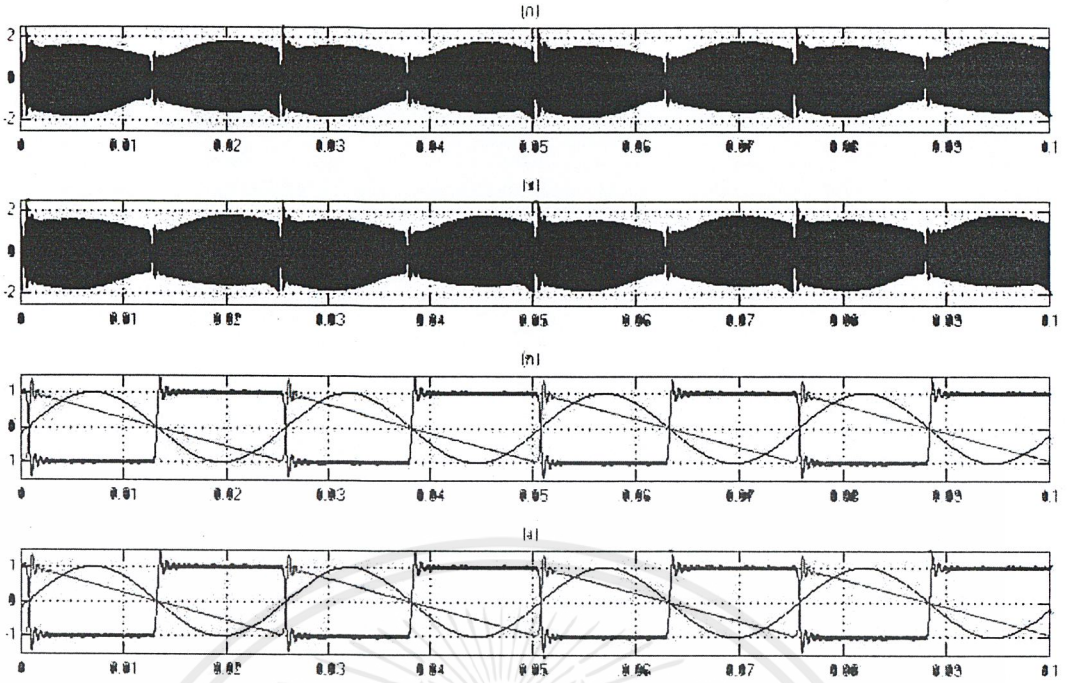
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทที่เป็นสัญญาณไซน์

(ข) แสดงสัญญาณที่ผ่านการมัลติเพล็กซ์ของทั้ง3สัญญาณอินพุท

(ค) แสดงสัญญาณพัลส์

(ง) แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกทริกเกอร์ซิกแนลสวิทซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



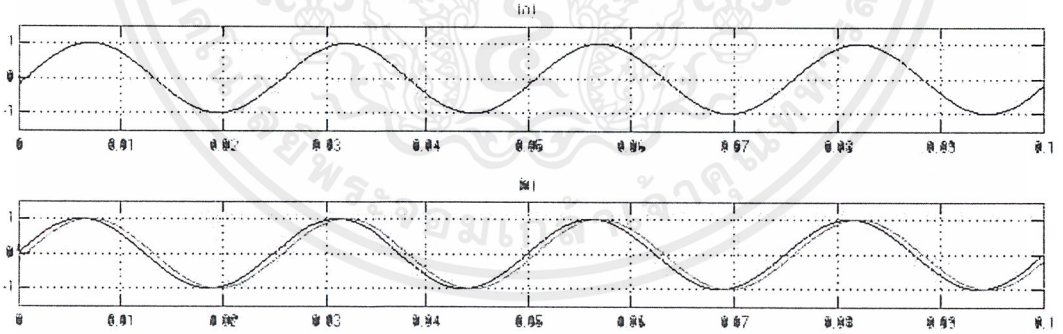
รูปที่ 4.83 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่างๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ตอนที่ 2

(ก) แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกฟรีเควนซีดิวิชั่นทรีซิกแนลมัลติเพล็กซ์เซอร์

(ข) แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกช่องสัญญาณเอดับเบิลยูจีเอ็น

(ค) แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกฟรีเควนซีดิวิชั่นทรีซิกแนลดีมัลติเพล็กซ์เซอร์

(ง) แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกทริกเกอร์ซิกแนลสวิทซ์

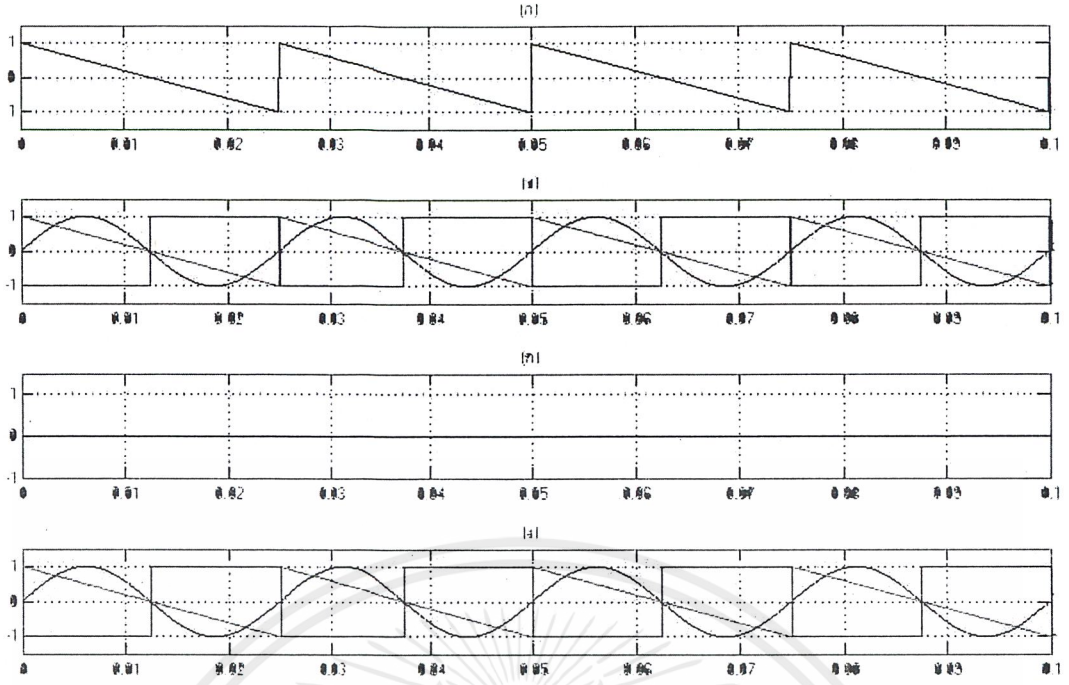


รูปที่ 4.84 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่างๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ตอนที่ 3

(ก) แสดงสัญญาณที่ผ่านการดีมัลติเพล็กซ์

(ข)แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทบนแกนเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.85 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่างๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ตอนที่ 4

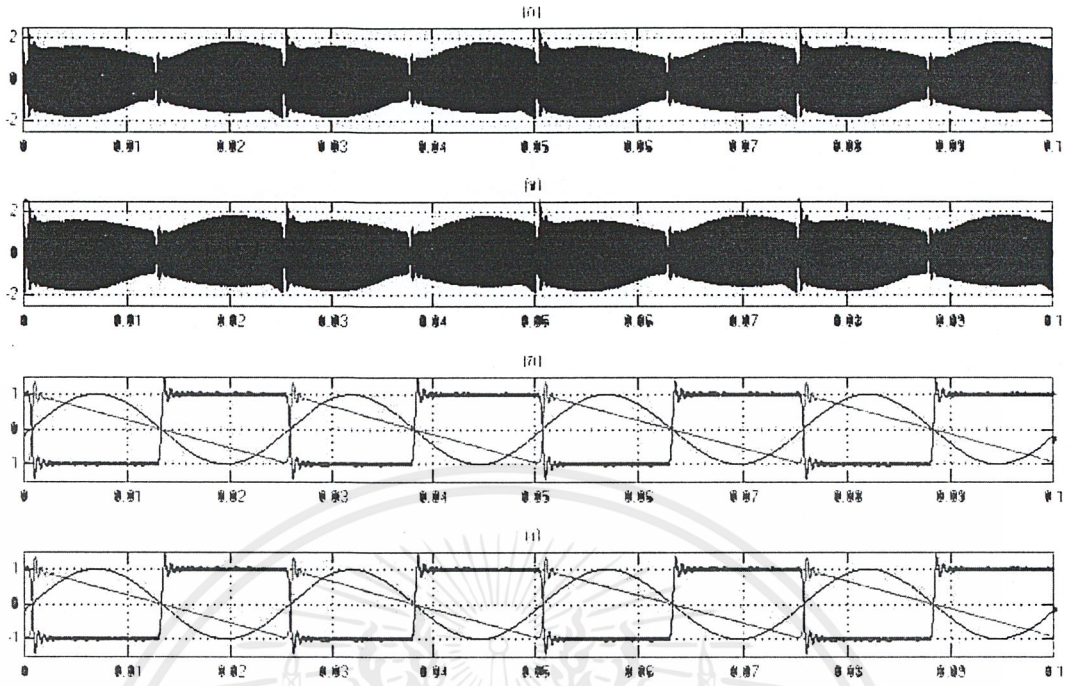
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทที่เป็นสัญญาณฟันเลื่อย

(ข) แสดงสัญญาณที่ผ่านการมัลติเพล็กซ์ของทั้ง3สัญญาณอินพุท

(ค) แสดงสัญญาณพัลส์

(ง) แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกทริกเกอร์ซิกแนลสวิทซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



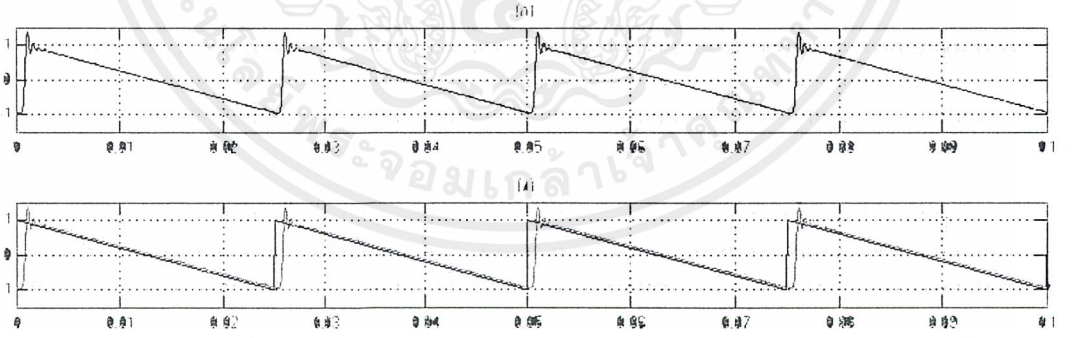
รูปที่ 4.86 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่างๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ตอนที่ 5

(ก) แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกฟรีเควนซีดิวิชั่นทรีซิกแนลมัลติเพล็กซ์เซอร์

(ข) แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกช่องสัญญาณเอดับเบิลยูจีเอ็น

(ค) แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกฟรีเควนซีดิวิชั่นทรีซิกแนลดีมัลติเพล็กซ์เซอร์

(ง) แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกทริกเกอร์ซิกแนลสวิทซ์

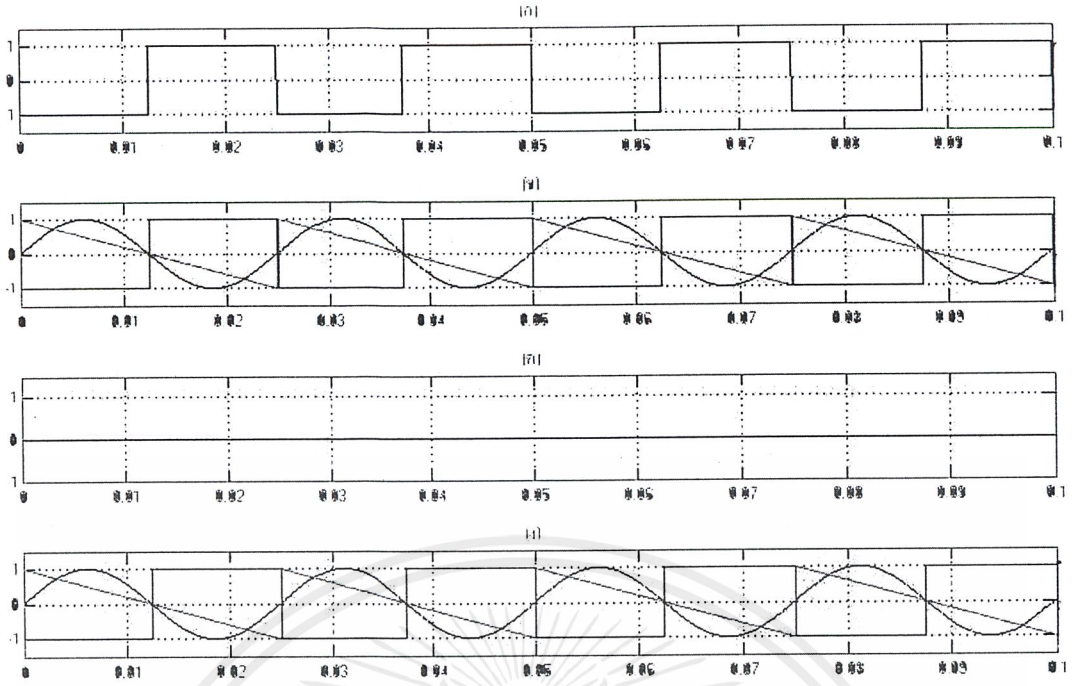


รูปที่ 4.87 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่างๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ตอนที่ 6

(ก) แสดงสัญญาณที่ผ่านการดีมัลติเพล็กซ์

(ข)แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทบนแกนเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.88 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่างๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ตอนที่ 7

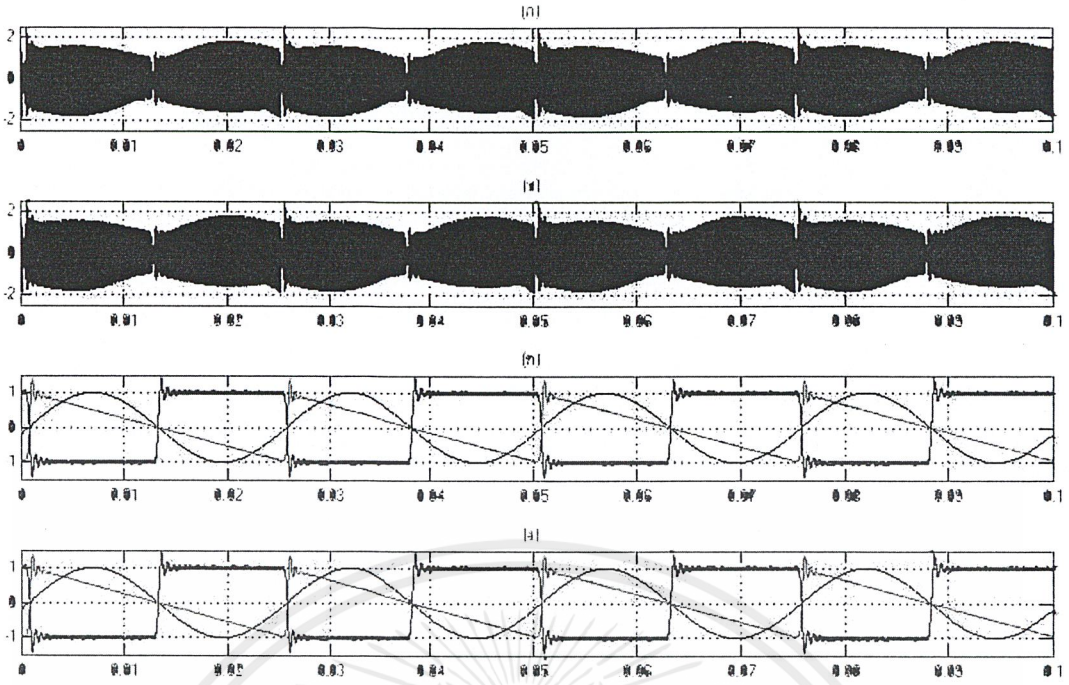
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทที่เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

(ข) แสดงสัญญาณที่ผ่านการมัลติเพล็กซ์ของทั้ง3สัญญาณอินพุท

(ค) แสดงสัญญาณพัลส์

(ง) แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกทริกเกอร์ซิกแนลสวิทซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



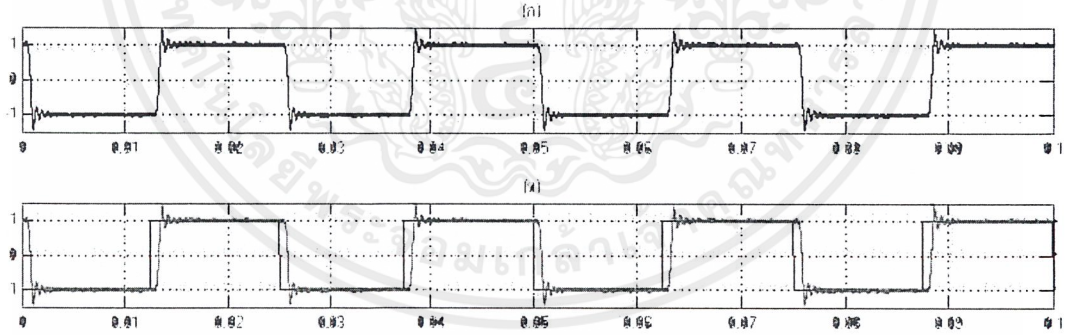
รูปที่ 4.89 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่างๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ตอนที่ 8

(ก) แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกฟรีเควนซีดิวิชั่นทรีซิกแนลมัลติเพล็กซ์เซอร์

(ข) แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกช่องสัญญาณเอดับเบิลยูจีเอ็น

(ค) แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกฟรีเควนซีดิวิชั่นทรีซิกแนลดีมัลติเพล็กซ์เซอร์

(ง) แสดงสัญญาณที่ผ่านบล็อกทริกเกอร์ซิกแนลสวิทซ์



รูปที่ 4.90 แสดงผลการทดสอบ ณ จุดต่างๆ ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ตอนที่ 9

(ก) แสดงสัญญาณที่ผ่านการดีมัลติเพล็กซ์

(ข)แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทบนแกนเดียวกัน

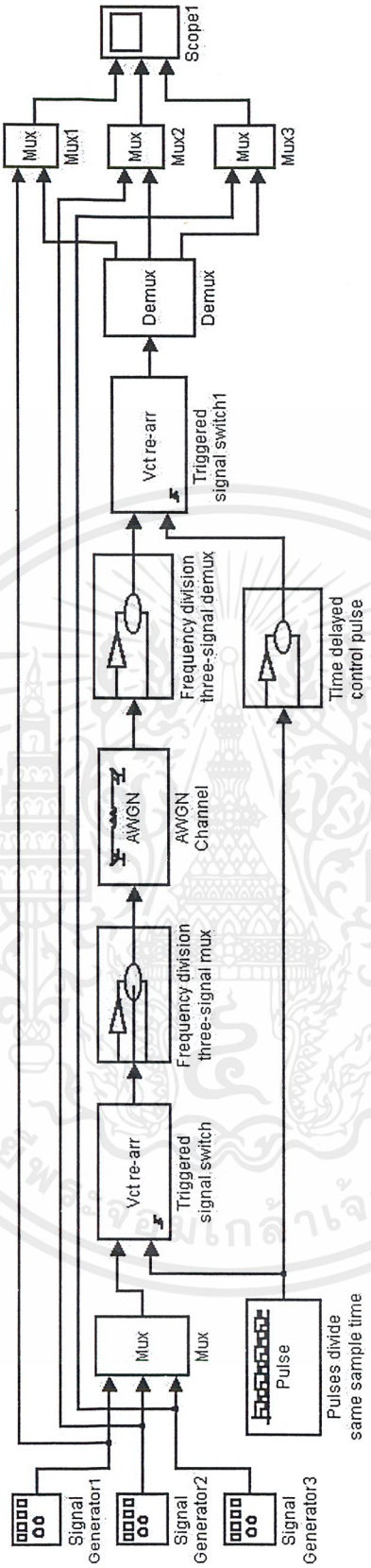
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 ภาครับ-ส่งของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

4.3.4.1 ระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสทั้งระบบ

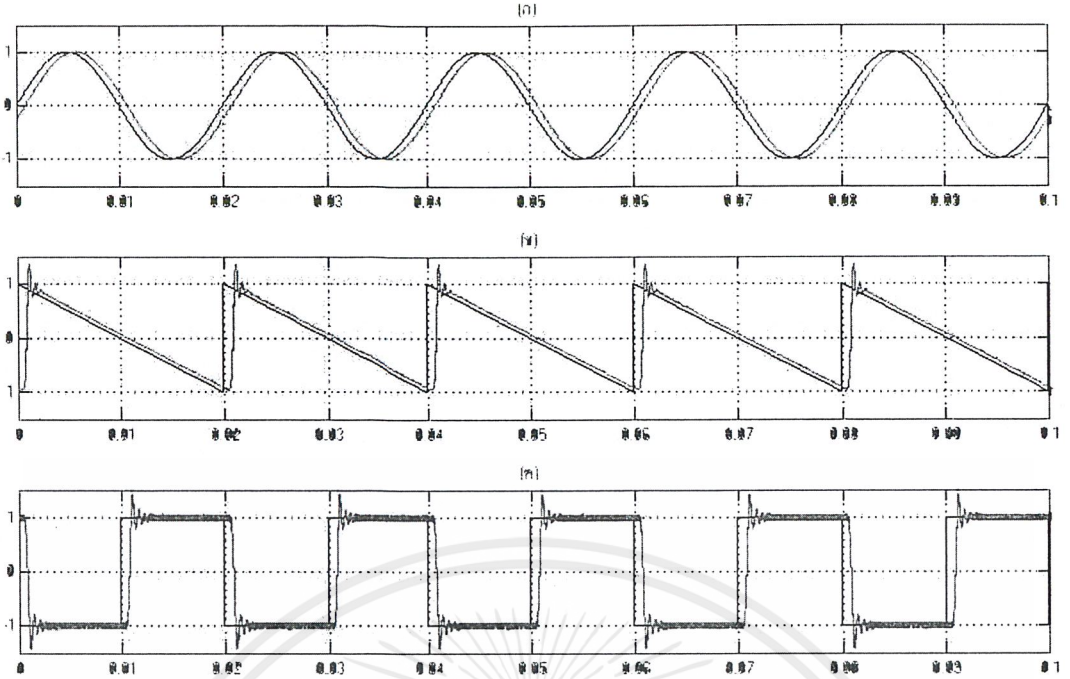
ทำการทดสอบระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสทั้งระบบโดยในการทดสอบนี้กำหนดให้สัญญาณอินพุทมีค่าดังนี้ คือทำการป้อนสัญญาณไซน์ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 1 และ ป้อนสัญญาณฟันเลื่อย ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 2 และ ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยม ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 3 และทำการเปลี่ยนค่าความถี่ของสัญญาณในแต่ละช่องสัญญาณเป็นค่าต่างๆดังนี้ 50Hz, 100Hz, 150Hz, 200Hz, 250Hz, 300Hz, 350Hz 400Hz, 450Hz และ500Hz จากนั้นทำการวัดค่าสัญญาณเอาท์พุทดังรูปที่ 4.91 โดยการวัดผลการทอสอบให้สัญญาณอินพุทเทียบกับสัญญาณเอาท์พุทบนแกนเดียวกัน เพื่อสามารถสังเกตุรูปร่างของสัญญาณและความผิดเพี้ยนของสัญญาณตลอดจนการเลื่อนเฟสและได้ผลการทดสอบที่ความถี่ต่างๆ ดังรูปที่ 4.92 ถึง 4.101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

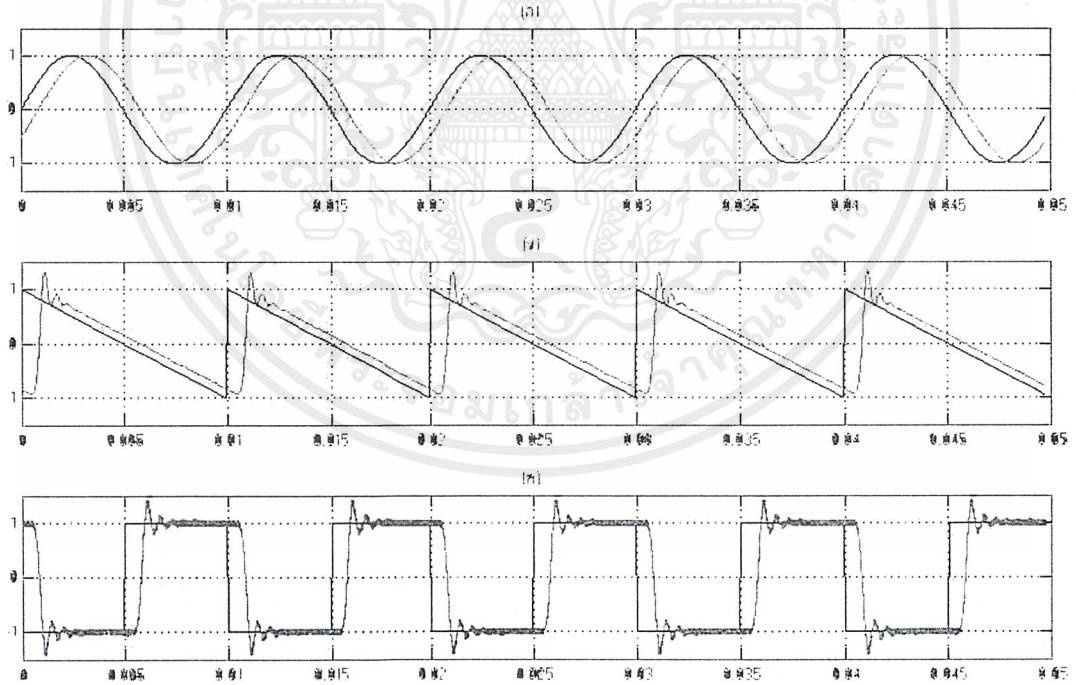


รูปที่ 4.91 แสดงการวัดผลการทดสอบของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

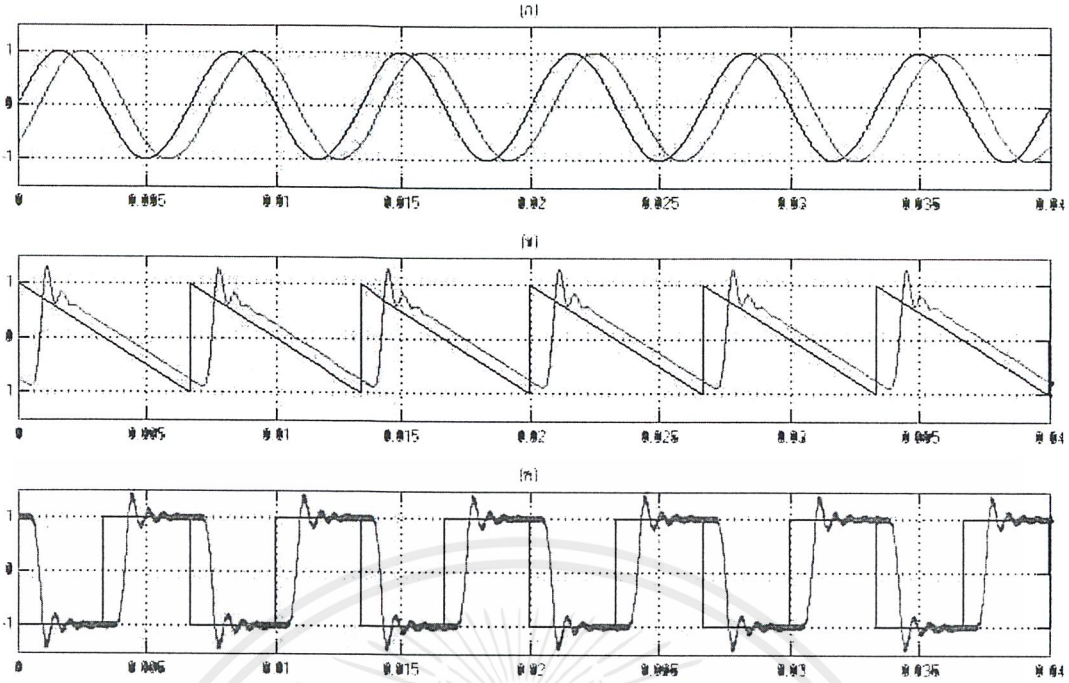


รูปที่ 4. 92 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 50 เฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

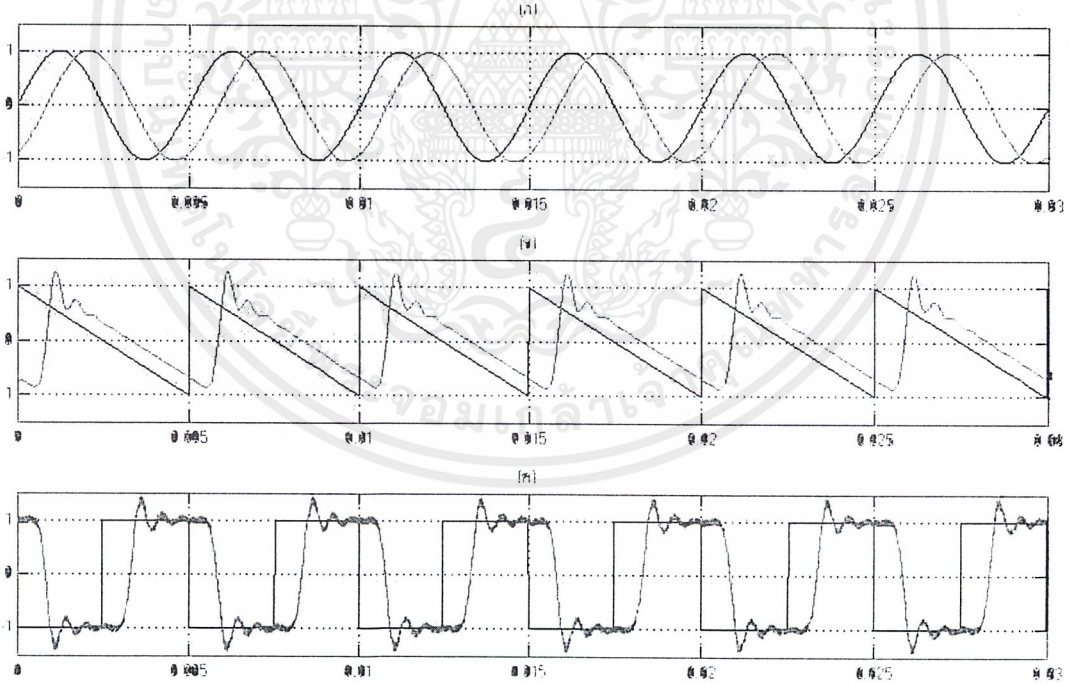


รูปที่ 4. 93 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 100 เฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

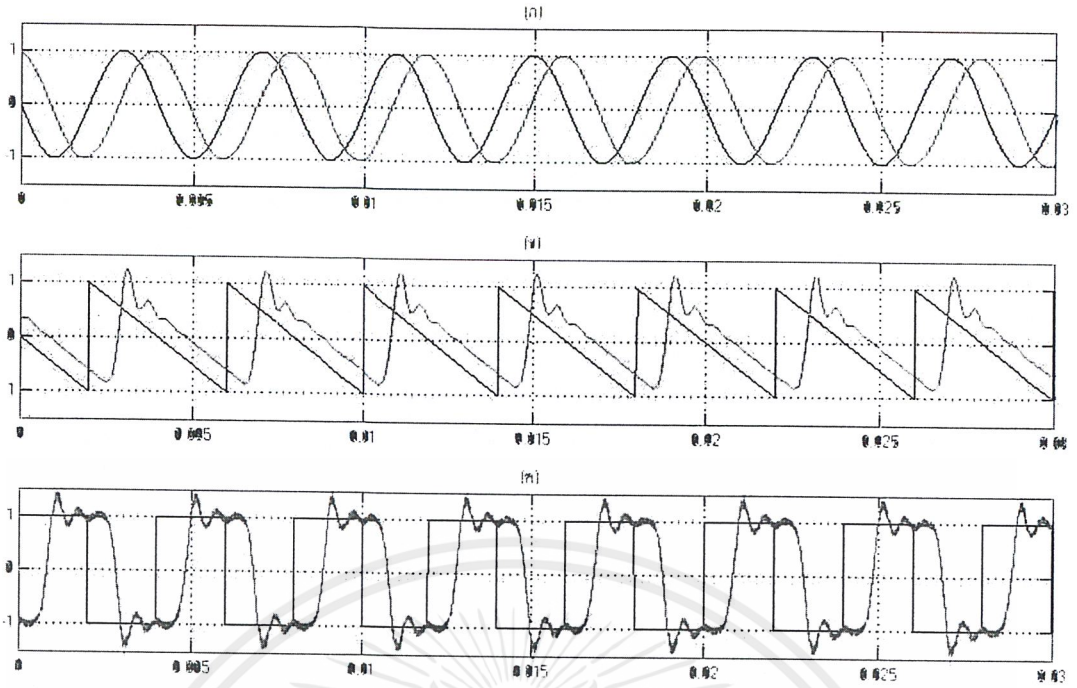


รูปที่ 4. 94 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 150 เฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

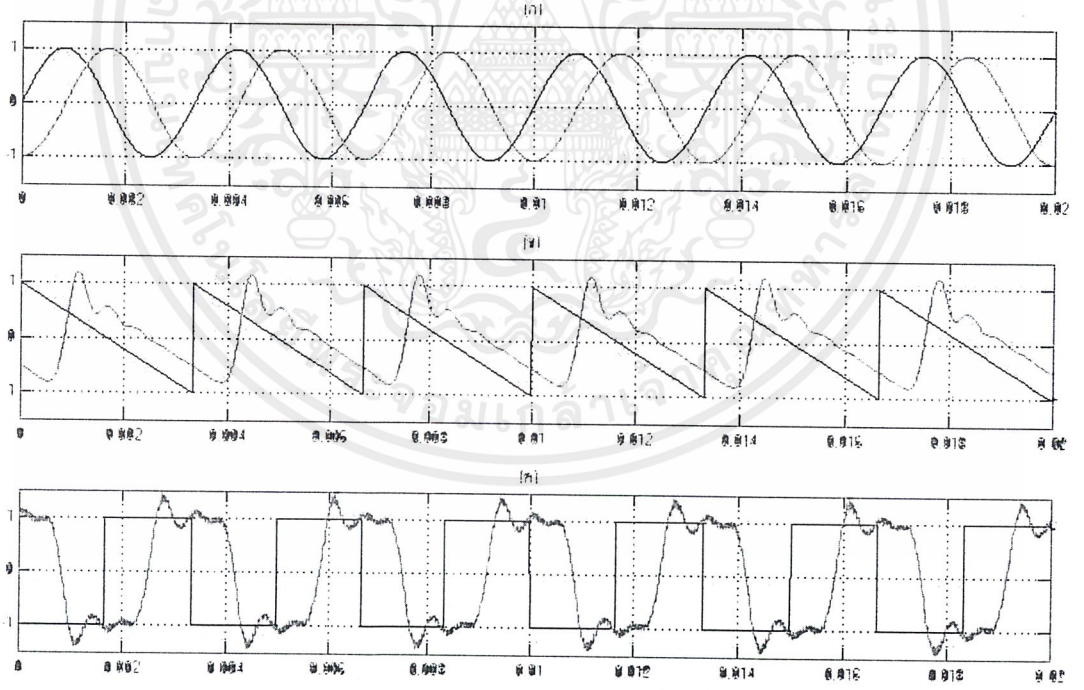


รูปที่ 4. 95 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 200 เฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

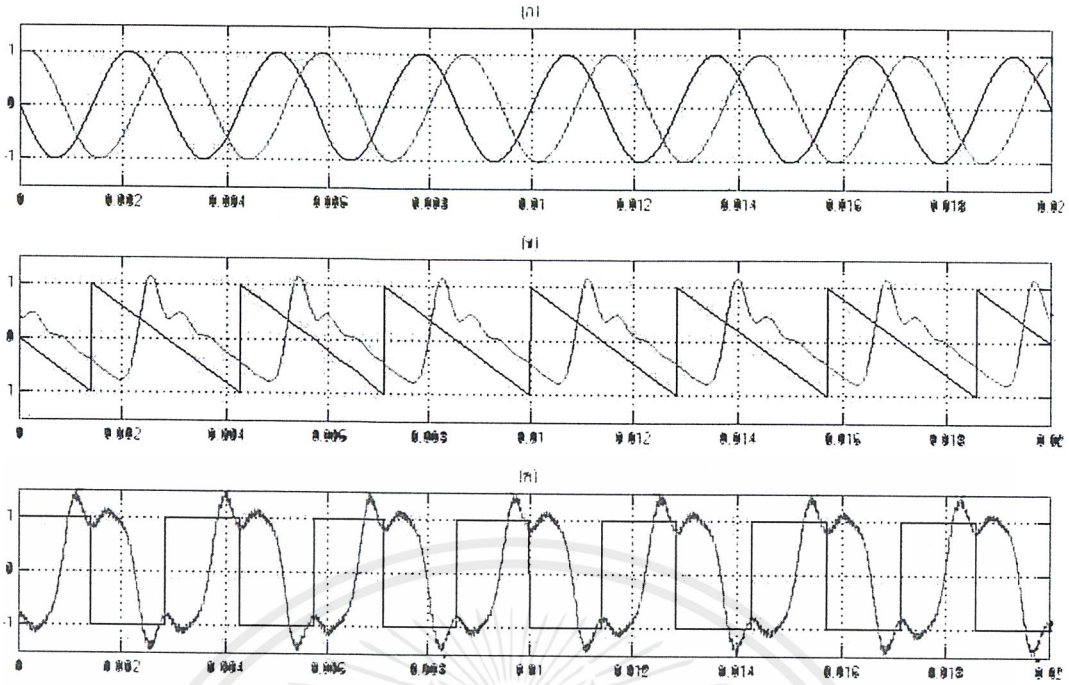


รูปที่ 4. 96 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 250 เฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

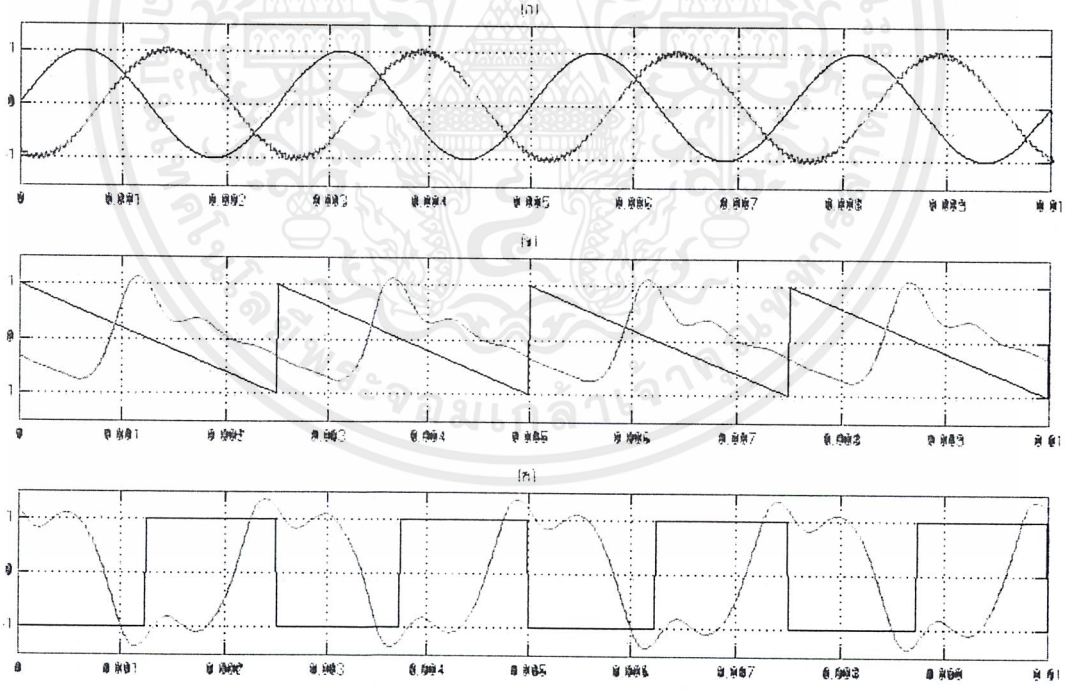


รูปที่ 4. 97 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 300 เฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

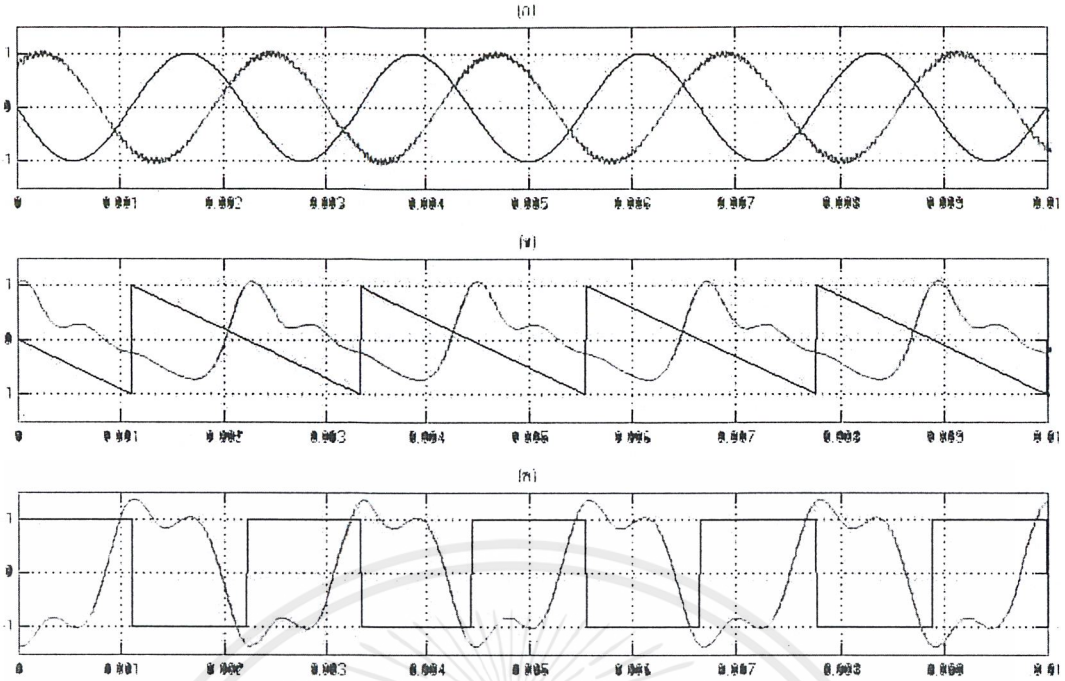


รูปที่ 4.98 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 350 เฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

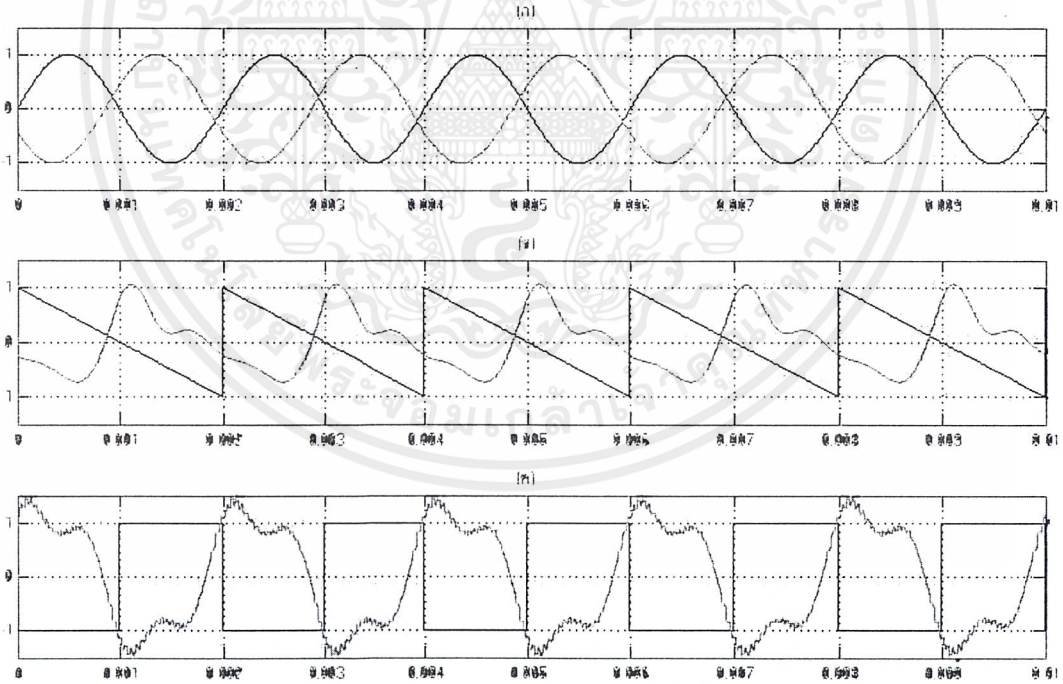


รูปที่ 4.99 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 400 เฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.100 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 450 เฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม



รูปที่ 4.101 กราฟเมื่อกำหนดให้ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุท เป็น 500 เฮิรตซ์
(ก) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์
(ข) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณฟันเลื่อย
(ค) แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4.2 การตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

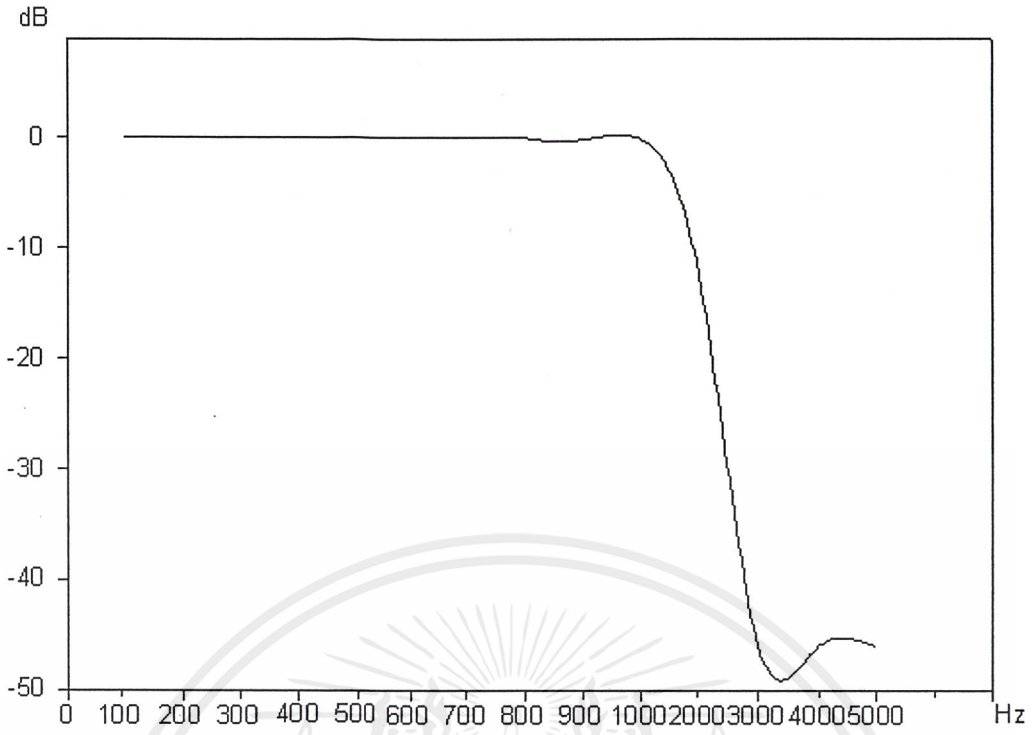
ทำการพิจารณาคุณสมบัติการตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสในแต่ละช่องสัญญาณอินพุทโดยกำหนดให้สัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณไซน์ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ทั้งสามช่องสัญญาณและทำการเปลี่ยนค่าความถี่ต่าง ๆ และนำผลการทดสอบที่ได้ดังตารางที่ 3 มาทำการสร้างเป็นกราฟเซมิล็อก (Semilog) ดังกราฟ รูปที่ 4.102 ถึง 4.104 เพื่อให้สังเกตุถึงผลการตอบสนองทางความถี่ของแต่ละช่องสัญญาณในระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

ตารางแสดงการทดสอบทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

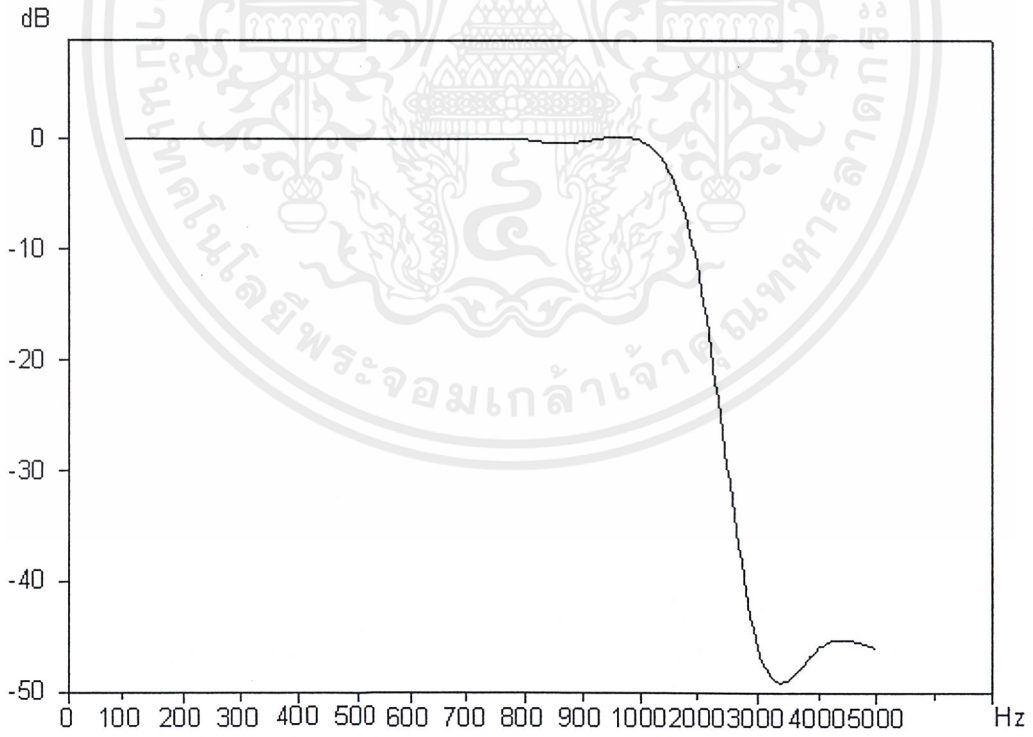
ความถี่ (Hz)	ช่องสัญญาณที่ 1	ช่องสัญญาณที่ 2	ช่องสัญญาณที่ 3
100	2	2	2
200	2	2	2
300	2	2	2
400	2	2	2
500	2	2	2
600	2	2	2
700	2	2	2
800	2	2	2
900	1.98	1.98	2
1000	1.97	1.97	2
2000	0.48	0.48	0.5
3000	0.01	0.01	0.01
4000	0.01	0.01	0.01
5000	0.01	0.01	0.01

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงการทดสอบทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

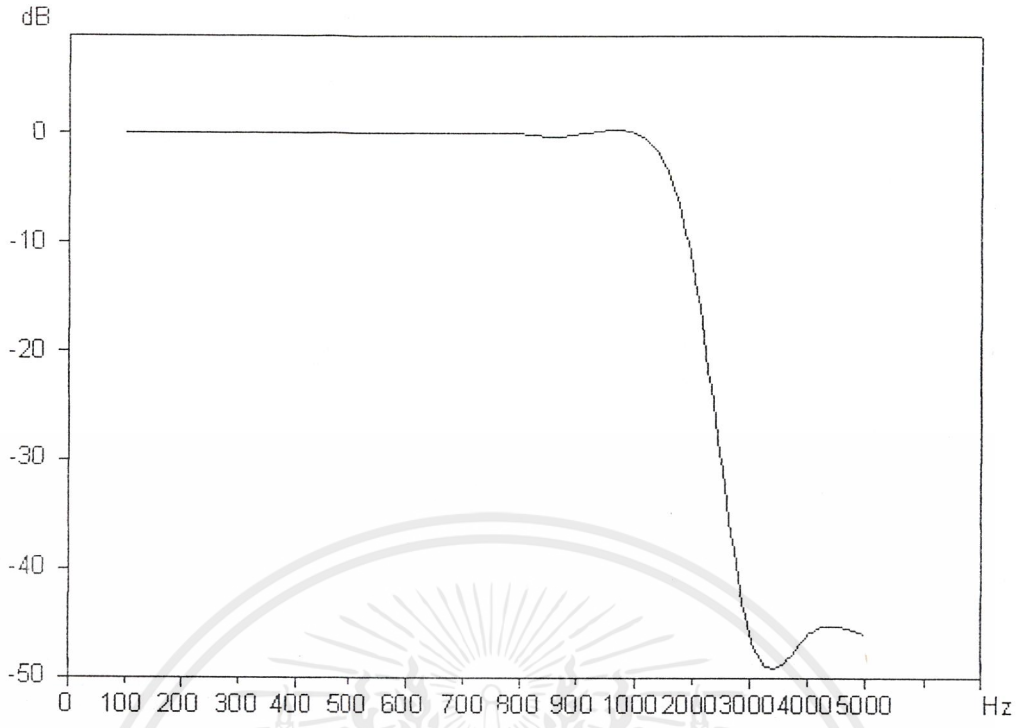


รูปที่ 4.102 ผลการตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ช่องสัญญาณที่ 1



รูปที่ 4.103 ผลการตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ช่องสัญญาณที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

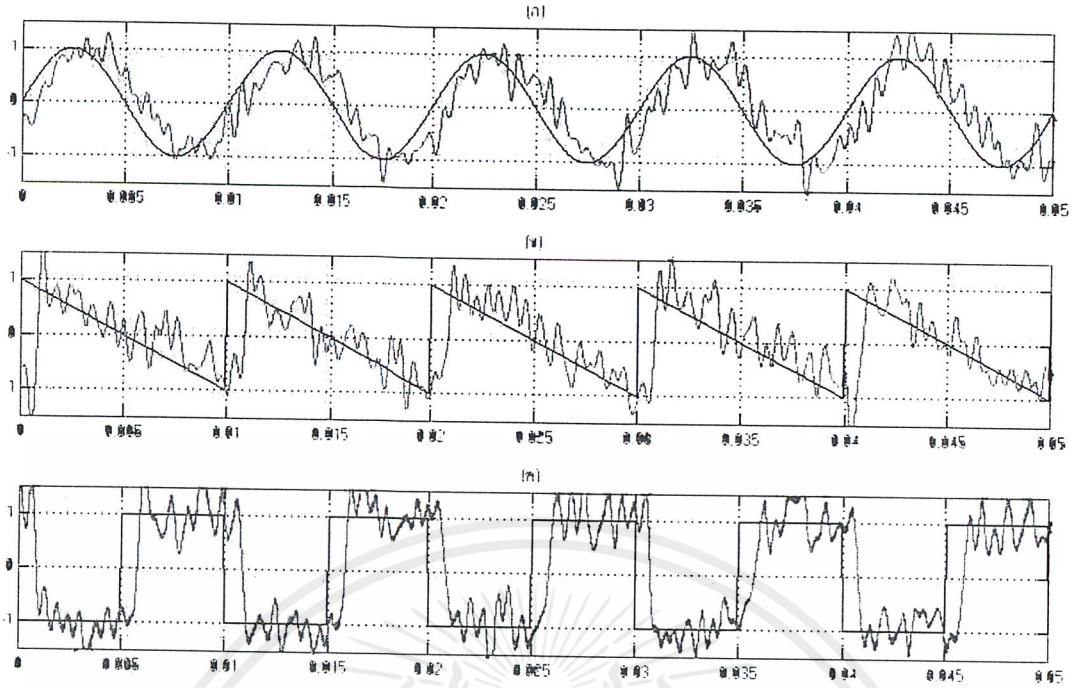


รูปที่ 4.104 ผลการตอบสนองทางความถี่ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส ช่องสัญญาณที่ 3

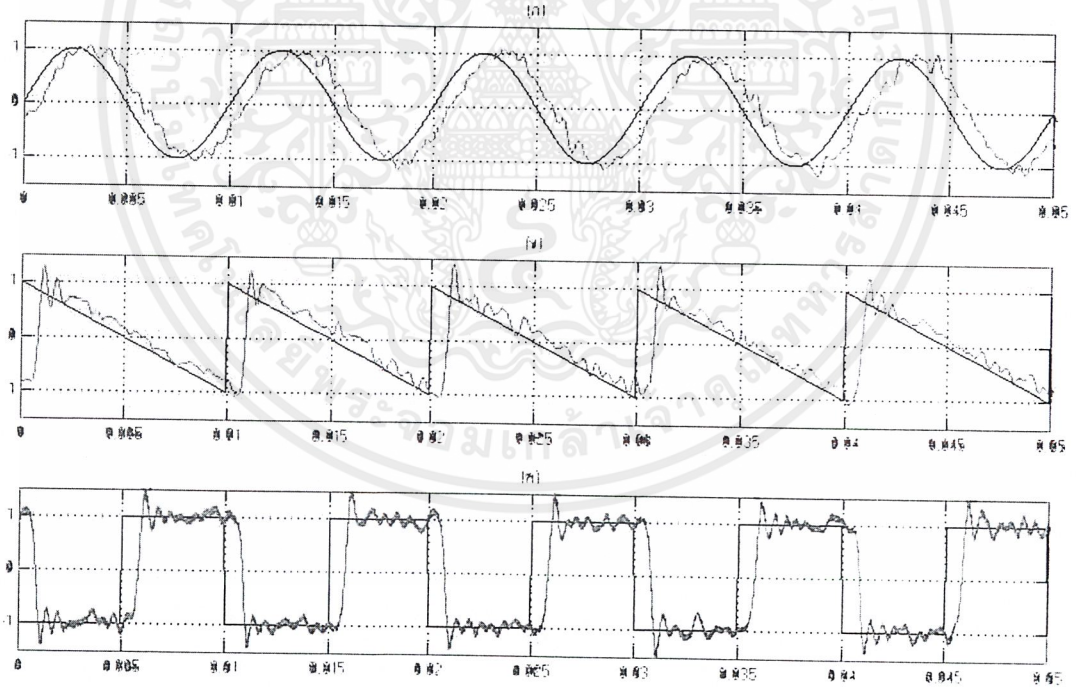
4.3.4.3 สัญญาณรบกวนที่มีผลต่อระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

ทำการพิจารณาถึงสัญญาณรบกวนของระบบ ในที่นี้จะพิจารณาสัญญาณรบกวนประเภทแอดดิทีฟไวท์เกาส์เซี่ยนโดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าแวเรียนซ์ต่างๆกันคือ 1, 0.01, 0.0001 ป้อนสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณ ไซน์ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 100 เฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 1 และ ป้อนสัญญาณฟันเลื่อย ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 100 เฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 2 และ ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยม ที่มีแอมปลิจูดขนาด 1 โวลต์ ความถี่ 100 เฮิรตซ์ เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 3 และทำการวัดเอาท์พุทรวมของระบบเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุทดังรูปที่ 4.91 เพื่อสังเกตรูปร่างของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไปที่เป็นผลจากการพิจาราณาสัญญาณรบกวนซึ่งได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.105 ถึง 4.107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

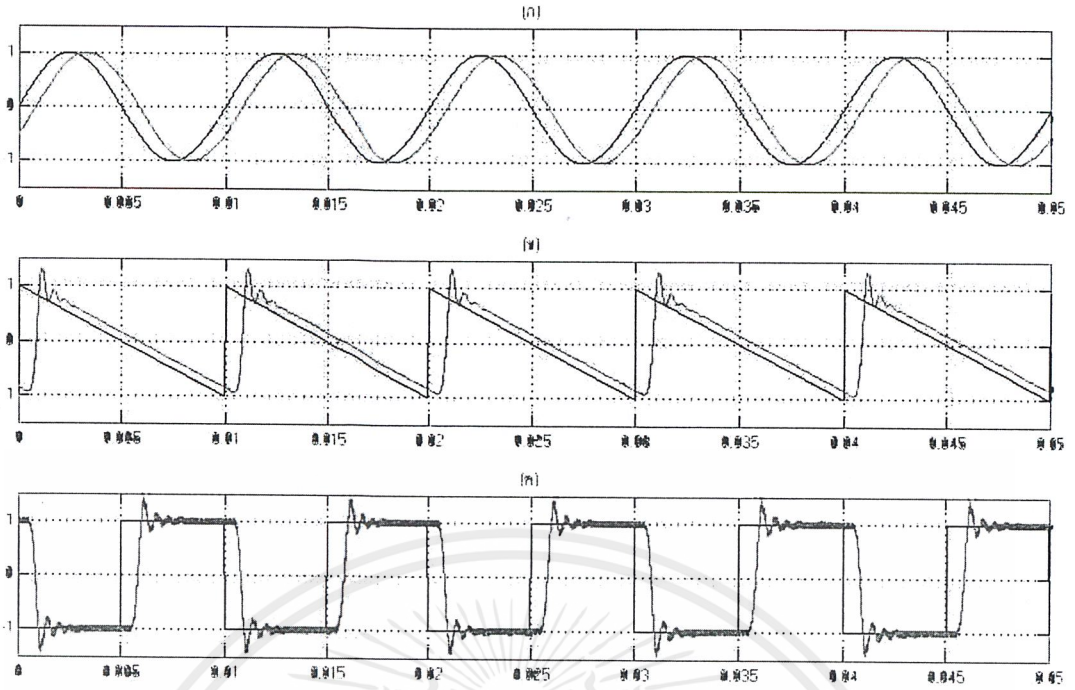


รูปที่ 4.105 แสดงผลกระทบของสัญญาณรบกวนเมื่อกำหนดค่าแวเรียนซ์เท่ากับ 1



รูปที่ 4.106 แสดงผลกระทบของสัญญาณรบกวนเมื่อกำหนดค่าแวเรียนซ์เท่ากับ 0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

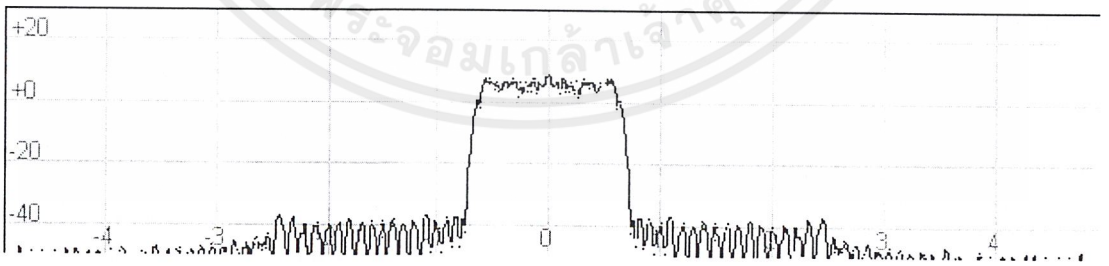


รูปที่ 4.107 แสดงผลกระทบของสัญญาณรบกวนเมื่อกำหนดค่าแวเรียนซ์เท่ากับ 0.0001

4.4 การประยุกต์การใช้งานตามมาตรฐาน IS-95A

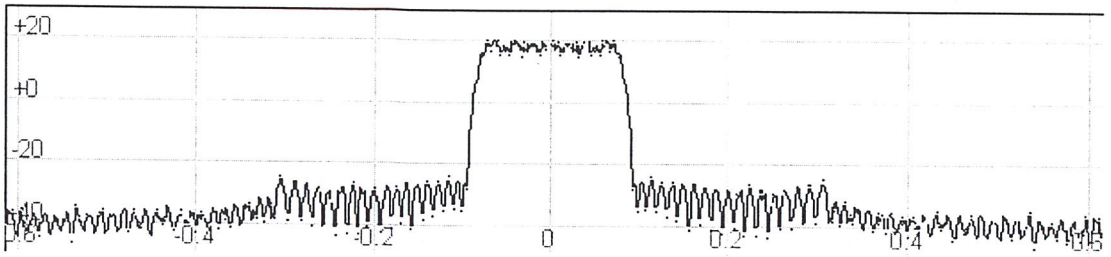
4.4.1 เครื่องส่งไอเอส 95 เอ รีเวิร์สทราฟฟิกแชนแนล

จากบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.20 โดยใช้โปรแกรมแมทแล็บ (MATLAB) จะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.108 ถึง 4.111 โดยแกนนอนเป็นแกนความถี่ แกนตั้งแสดงแอมปลิจูด

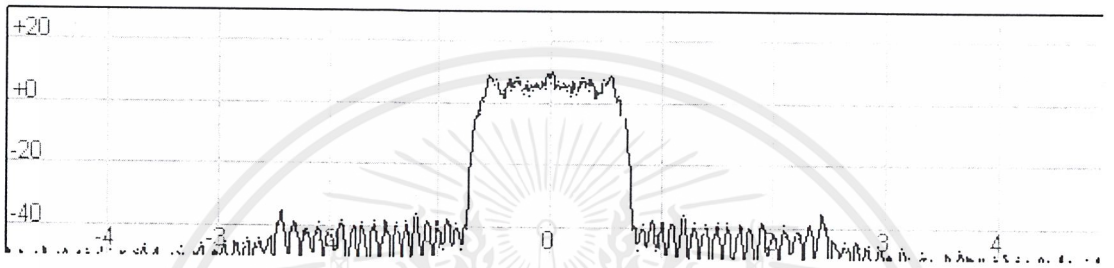


รูปที่ 4.108 สัญญาณ PN I จาก เครื่องกำเนิดรหัสสั้น (Short Code Generator)

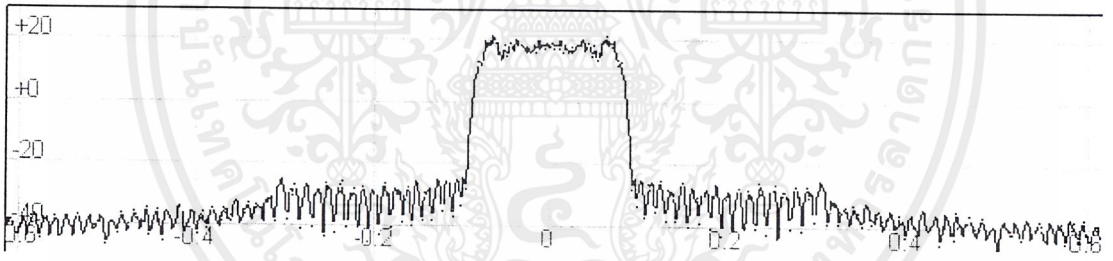
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.109 สัญญาณเอาท์พุต I ของเครื่องส่งไอเอส 95 เอ รีเวิร์สทราฟฟิกแชนแนล



รูปที่ 4.110 สัญญาณ PN Q จากเครื่องกำเนิดรหัสสั้น



รูปที่ 4.111 สัญญาณเอาท์พุต Q ของเครื่องส่งไอเอส 95 เอ รีเวิร์สทราฟฟิกแชนแนล

จากผลการทดลองในโดเมนความถี่พบว่าเมื่อผ่านบล็อกการมอดูเลชั่นแบบวอล์ชและการแผ่กว้างออกของสเปกตรัม (IS-95A Reverse Channel Walsh Modulation and Spreading library block) สัญญาณที่ได้มีการแผ่กว้างออกของสเปกตรัม (มีแบนด์วิดท์มากขึ้น)

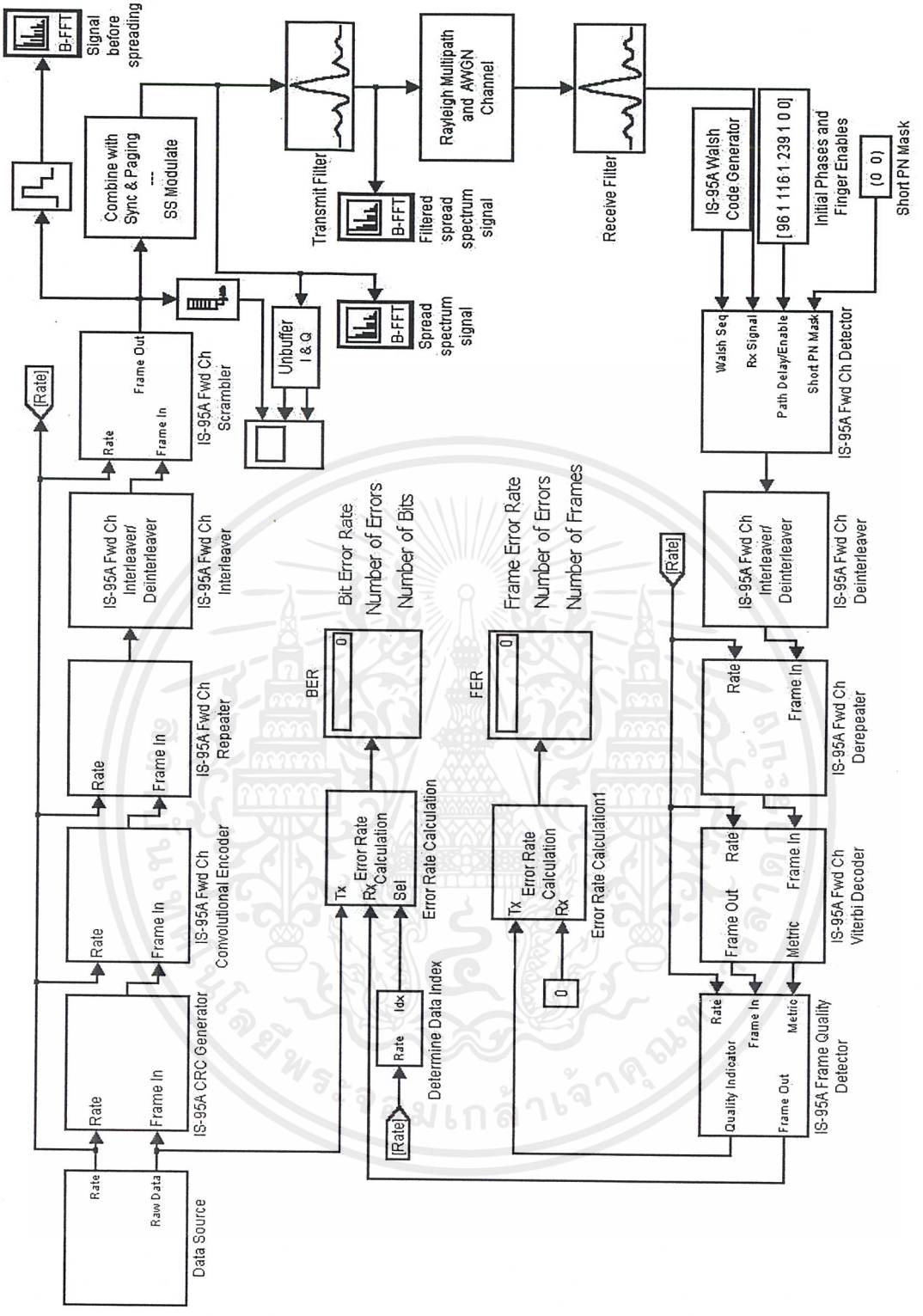
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 โมเดลไอเอส 95 เอ ฟอร์เวิร์ดทราฟฟิกแชนแนลเอนทูเอน

4.4.2.1 ความสัมพันธ์ของสัญญาณในระบบ

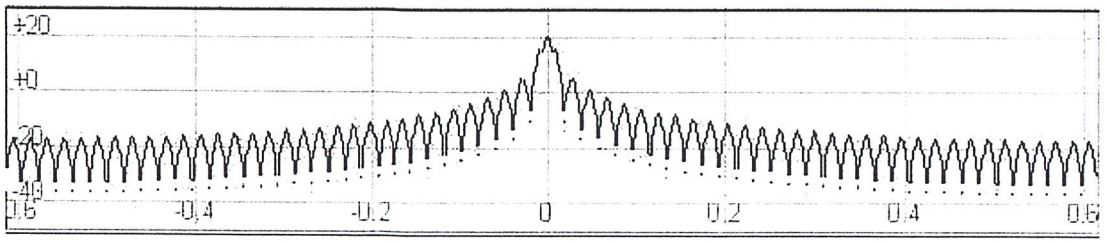
ในการทดสอบการประยุกต์การใช้งานโมเดลไอเอส 95 เอ ฟอร์เวิร์ดทราฟฟิกแชนแนลเอนทูเอน นั้นกำหนดให้สัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณข้อมูลเฟรมแบบสุ่มที่เป็นไบนารี่ซึ่งมีอัตราการส่งข้อมูล 9600 บิทต่อวินาทีและทำการวัดสัญญาณ ณ จุดต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.112 ซึ่งสามารถสังเกตความสัมพันธ์ของสัญญาณ ณ จุดต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.113 ถึง รูปที่ 4.116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

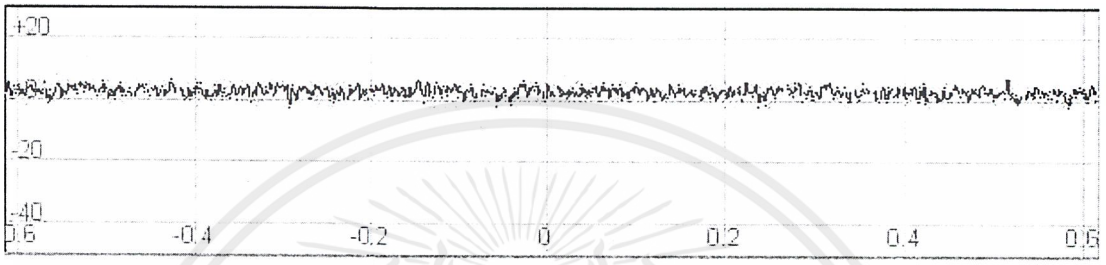


รูปที่ 4.112 แสดงการวัดผลการทดสอบการประยุกต์การใช้งานโมเดลไอเอส 95 เอ ฟอร์เวิร์ดทราฟฟิกแชนแนลเอนทูเอน

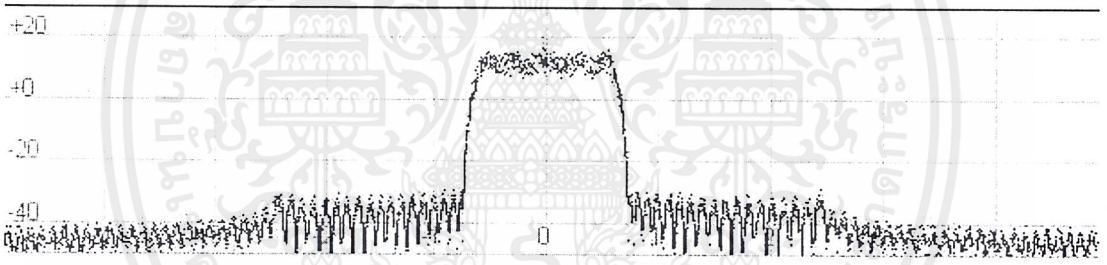
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.113 แสดงสัญญาณก่อนทำการสเปรดสเปกตรัมในแกนความถี่

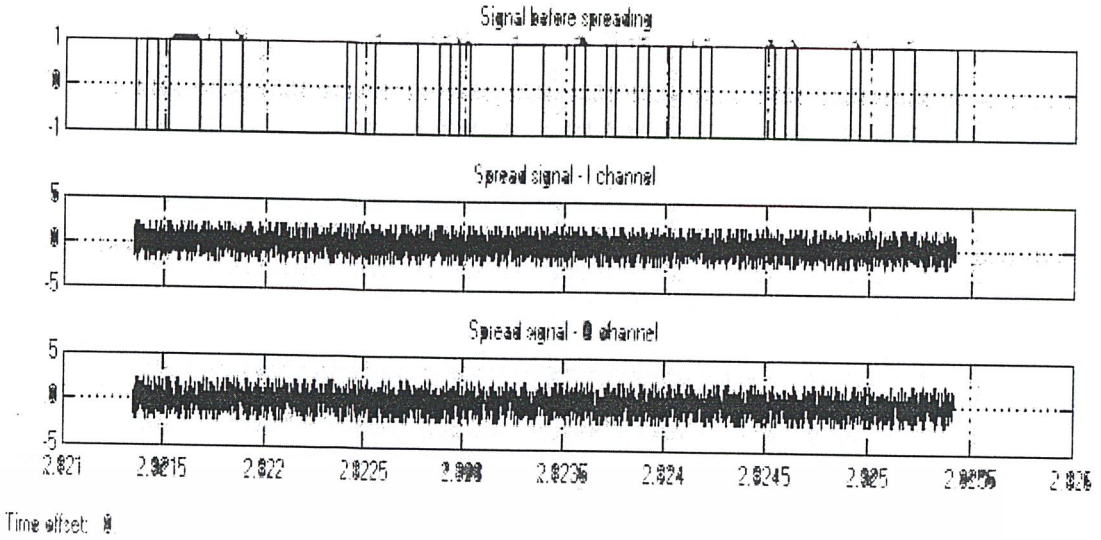


รูปที่ 4.114 แสดงสัญญาณหลังทำการสเปรดสเปกตรัมในแกนความถี่



รูปที่ 4.115 แสดงสัญญาณหลังทำการสเปรดสเปกตรัมและผ่านวงจรกรองความถี่ในแกนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.116 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณ

ช่องที่ 1 แสดงสัญญาณก่อนทำการสเปรดสเปกตรัมในแกนเวลา

ช่องที่ 2 แสดงสัญญาณ I หลังทำการสเปรดสเปกตรัมในแกนเวลา

ช่องที่ 3 แสดงสัญญาณ Q หลังทำการสเปรดสเปกตรัมในแกนเวลา

4.4.2.2 ความถูกต้องของสัญญาณข้อมูล

ทำการวัดอัตราความผิดพลาดของบิท (Bit Error Rate ; BER) และอัตราความผิดพลาดของเฟรม (Frame Error Rate ; FER)ที่เวลาต่างๆซึ่งจะแสดงผลการทดสอบตามตารางที่4.4

ตารางแสดงความถูกต้องของสัญญาณข้อมูลของโมเดลไอเอส 95 เอ ฟอร์เวิร์ดทราฟฟิกแชนแนลเอนทูเอน

เวลา (วินาที)	อัตราความผิดพลาดของบิท	จำนวนบิทที่ผิดพลาด	จำนวนบิทอินพุท	อัตราความผิดพลาดของเฟรม	จำนวนเฟรมที่ผิดพลาด	จำนวนเฟรมอินพุท
125	0	0	3,784	0	0	23
250	0	0	8,084	0	0	47
375	0.00215	27	12,560	0.0133	1	75
500	0.00210	35	16,680	0.0303	3	99

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงความถูกต้องของสัญญาณข้อมูลของโมเดลไอเอส 95 เอ ฟอร์เวิร์ดทราฟฟิกแชนแนลเอนทูเอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และบทสรุป

โครงงานนี้เป็นการศึกษาทฤษฎี การประยุกต์ใช้งานและการออกแบบระบบการมอดูเลตเชิงดิจิตอลแบบผู้ใช้หลายราย โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปแม็ทแล็บ(MATLAB) ในการประมวลผล ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบระบบได้ตามที่กำหนดไว้ ปัญหาของโครงงานคือแบบจำลองที่สร้างขึ้นในระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่และระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลาได้ใช้คลื่นพาห์ที่มีความถี่ไม่สูงมากนัก ส่วนระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสยังไม่สามารถส่งสัญญาณที่มีความถี่สูงได้ สำหรับข้อดีของโครงงานคือ สามารถอธิบายและแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติ ประสิทธิภาพตลอดจนการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในแต่ละขั้นตอนได้ อย่างชัดเจนง่ายต่อการเข้าใจ

แนวทางในการพัฒนาโครงงานคือ ทำการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบบระบบจำลองนี้ให้สามารถรองรับข้อมูลที่มีความถี่สูงกว่าเดิมและใช้คลื่นพาห์ที่มีความถี่สูงมากขึ้นตลอดจนเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณให้มากขึ้นในการออกแบบแบบจำลองที่สร้างขึ้นและการทดสอบในที่นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้ความช่วยเหลือทางด้าน ความรู้ คำแนะนำ จัดหาตำรา อุปกรณ์ต่าง ๆ ค่าใช้จ่ายในการทำโครงงานเทคนิคการมอดูเลตเชิงดิจิตอลแบบผู้ใช้หลายราย และทำการตรวจสอบจนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี และข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คุณไพบูรณ์ ตู้ประกาย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการให้คำแนะนำและแก้ไขข้อผิดพลาดต่าง ๆ ของโครงงานนี้และคำวิจารณ์ที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับปริญญานิพนธ์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. วิวัฒน์ กิรานนท์, "วิศวกรรมการสื่อสาร", พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์ อักษรการพิมพ์, กรุงเทพ, 2540
2. นฤมล สมบุญ, "การวิเคราะห์สมรรถนะของ DS-CDMA โดยใช้ช่องสัญญาณการจางแบบนาคากามิแบบสหสัมพันธ์", 2543
3. พงษ์ศักดิ์ สุสัมพันธ์ไพบูลย์, "คอมพิวเตอร์ อิเลคทรอนิคส์ เวิลด์", ระบบ TDMA, ฉบับที่ 20, เล่มที่ 155, บริษัทศูนย์การพิมพ์ดวงกมล จำกัด, 2540
4. ประสิทธิ์ ประพิณมงคลการ, "หลักการระบบสื่อสาร", บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ, 2539
5. ไพโรจน์ ไววานิชกิจ และ กมล เขมะรังษี, "เปิดโลกการสื่อสารไร้สาย", บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2539
6. บัณฑิต โรจน์อารยานนท์, "หลักการไฟฟ้าสื่อสาร", สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532
7. ณรงค์ เหมกรณ์, "การสื่อสารดาวเทียม", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 2533
8. รัชนัย อินทุไส, "การสื่อสารดาวเทียม", สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ, 2539
9. ถวิล พึ่งมา, "ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์", พิมพ์ครั้งที่ 2, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541
10. มนัส สังวรศิลป์ และ วรรัตน์ ภัทรอมรกุล, "คู่มือการใช้งานMATLABฉบับสมบูรณ์",พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์อินโฟเพรส,กรุงเทพฯ, 2543
11. W. Tomasi, "Advanced Electronic Communications Systems", Fourth Edition (International Edition)
12. E. Fthenakis, "Manual of Satellite Communications", McGraw – Hill Book Company
13. I.A.Glover,.P.M.Grant, "Digital Communication", Prentice Hall, Europe, 1998
14. B.G.Evans, "Satellite Communication Systems", Second Edition, IEEE Telecommunications series 24
15. H. Kolimbiris, "Digital Communication Systems", Prentice Hall
16. M. S.Roden, "Digital Communication Systems Design", International Edition, Prentice Hall, 1988
17. A. Bateman, "Digital Communications Design for The Real World", Henry Ling Ltd., 1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้