โครงการการพัฒนาชุดปฏิบัติการทดลองด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมด้วยระบบสื่อสารแบบ Software-Defined radio

โดย

ดิสพล ฉ่ำเฉียวกุล

สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2556

A development of laboratory exercises in telecommunication engineering based on software-defined radio systems

By

DITSAPON CHUMCHEWKUL

Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2013

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2556 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ผลงานส่วนหนึ่งที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ดิสพล ฉ่ำเฉียวกุล

มีนาคม 2557

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : Social 035/2556
ชื่อโครงการ : การพัฒนาชุดปฏิบัติการทดลองด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมด้วยระบบสื่อสารแบบ Software-Defined radio
ชื่อนักวิจัย : นายดิสพล ฉ่ำเฉียวกุล

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมฝึกปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมสำหรับใช้ประกอบการสอน เป็นการนำโปรแกรมออกแบบระบบสื่อสารประเภท Software-Defined Radio ที่มีชื่อว่า GNU Radio และ GNU Radio companion มาใช้ในการพัฒนาและจัดทำชุดฝึกปฏิบัติการซึ่งครอบคลุมทฤษฎีต่าง ๆ ทางวิศวกรรมโทรคมนาคม จากการทดสอบโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมพบว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ประกอบการสอนทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมได้เป็นอย่างดีและผู้สอนสามารถพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการต่าง ๆ ได้ด้วยตนเองโดยใช้โมดูลที่ให้มาในโปรแกรม และมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการไม่มากนักดังนั้นจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มพูนความรู้ให้แก่นักศึกษา อย่างไรก็ตามการติดตั้งชุดฝึกปฏิบัติการจำเป็นต้องติดตั้งลงเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการลินุกส์ซึ่งไม่ค่อยถูกนำมาติดตั้งในเครื่องคอมพิวเตอร์ในสถาบันการศึกษามากนักดังนั้นจึงส่งผลให้เกิดอุปสรรคในการติดตั้งโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการขึ้น ผลลัพธ์บางส่วนจากการดำเนินงานวิจัยจะถูกใช้เพื่อประกอบการสอนรายวิชา TEE2205 หลักการของระบบสื่อสาร (Principle) สำหรับนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ต่อไป

คำสำคัญ : ระบบสื่อสารแบบ Software-Defined Radio GNU Radio

E-mail Address : ditsapon.chu@rmutr.ac.th
ระยะเวลาโครงการ : 1 ตุลาคม พ.ศ.2555 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2556

Abstract

Code of Project : Social 035/2556
Project name : A development of laboratory exercises in telecommunication engineering based on software-defined radio systems
Researcher name : Mr.Ditsapon Chumchewkul

This research is a development of laboratory exercise in telecommunication engineering. The objective of this research is to provide a tool to for classes in telecommunication engineering. GNU Radio, development software of software-defined radio communication systems, is used to develop laboratory exercises concern to principle of telecommunication engineering. According to the results from this research, this software can be considered as efficient learning tools for student. Instructor can easily improve their laboratory exercise at no cost. However, this software must be installed in computer with Linux operating system which is not widely used. Parts of this research will be used by the class of TEE2205 principle of communication, department of telecommunication engineering, faculty of engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin.

Keywords : **Software-Defined Radio GNU Radio**

E-mail Address: : ditsapon.chu@rmutr.ac.th
Period of Project : 1 October 2012 to 30 September 2013

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย	2
3 คำถามการวิจัย	2
4 กรอบแนวคิดการวิจัย	2
5 นิยามศัพท์	4
6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	**5**
1 พื้นฐานของระบบสื่อสาร	5
1.1 การมอดูเลตสัญญาณ	6
1.2 วงจรกรองความถี่	7
2 พื้นฐานระบบสื่อสารแบบ SDR	8
2.1 โปรแกรม GNU Radio	9
2.2 โปรแกรม GNU Radio companion	10
3 การติดตั้งและใช้งานโปรแกรม GNU Radio บนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการลินุกส์	11
4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารแบบ SDR	13
5 โปรแกรม LabVIEW	14
บทที่ 3 การออกแบบโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม	**16**
1 แนวทางการพัฒนาโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการ	16
2 การพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการโทรคมนาคมด้วยโปรแกรม GNU Radio	17
2.1 ชุดฝึกปฏิบัติการคุณสมบัติของสัญญาณทางไฟฟ้า	18
2.2 ชุดฝึกปฏิบัติการวงจรกรองความถี่	18
2.3 ชุดฝึกปฏิบัติการมอดูเลตเชิงแอมพลิจูด	19
2.4 ชุดฝึกปฏิบัติการมอดูเลตเชิงมุม	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ชุดฝึกปฏิบัติการการชักสัญญาณ	20
3 การพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการโทรคมนาคมด้วยโปรแกรม LabVIEW	21
3.1 ชุดฝึกปฏิบัติการคุณสมบัติของสัญญาณทางไฟฟ้า	21
3.2 ชุดฝึกปฏิบัติการวงจรกรองความถี่	22
3.3 ชุดฝึกปฏิบัติการมอดูเลตสัญญาณแอนะล็อก	23
3.4 ทฤษฎีการชักสัญญาณ	23
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานตลอดโครงการ	**24**
1 การจัดทำโปรแกรมต้นแบบชุดฝึกปฏิบัติการวิศวกรรมโทรคมนาคมด้วยโปรแกรม GNU Radio	24
2 การนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการระดับประเทศ	25
3 การถ่ายทอดองค์ความรู้จากการวิจัย	25
4 การจัดทำโปสเตอร์เผยแพร่ผลงานวิชาการ	27
บทที่ 5 บทสรุป	**28**
1 สรุปผลการวิจัย	28
2 อภิปรายผล	28
3 ข้อเสนอแนะ	29
บรรณานุกรม	**30**
ภาคผนวก ก. บทความวิชาการที่ได้รับการนำเสนอในการประชุมวิชาการ EENET2013	**31**
ภาคผนวก ข. เอกสารประกอบชุดฝึกปฏิบัติการทดลองด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมด้วย Software-Defined Radio	**37**
ภาคผนวก ค. เอกสารประกอบชุดฝึกปฏิบัติการทดลองด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมด้วยโปรแกรม LabVIEW	**82**
ประวัติผู้วิจัย	**107**

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2-1 โมดูลประมวลผลสัญญาณที่ใช้ประกอบการจัดทำชุดฝึกปฏิบัติการ 13

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	ชุดปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมเพื่อจำลองการสื่อสารด้วยเครื่อมคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล	4
2-1	พื้นฐานการสื่อสาร	5
2-2	การมอดูเลตสัญญาณแบบต่าง ๆ	6
2-3	ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของวงจรกรองความถี่แบบต่าง ๆ	8
2-4	พื้นฐานระบบสื่อสารแบบ SDR	9
2-5	การพัฒนาระบบสื่อสารแบบ SDR ด้วย GNU Radio	10
2-6	อุปกรณ์รุ่น USRP N2000 Series	10
2-7	ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม GNU Radio Companion	11
2-8	การติดตั้งโปรแกรม GNU radio	11
2-9	การใช้งานโปรแกรม GNU Radio	12
2-10	การพัฒนาโปรแกรม LabVIEW	15
2-11	ตัวอย่างหน้าต่างระหว่างการใช้งานโปรแกรม LabVIEW	15
3-1	ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการ	16
3-2	ผลการประมวลผลสัญญาณ	17
3-3	ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณ	17
3-4	โครงสร้างโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมด้วยโปรแกรม GNU Radio	18
3-5	การทดลองลักษณะลูกคลื่นสัญญาณ	18
3-6	การทดลองวงจรกรองผ่านต่ำ	19
3-7	การทดลองสัญญาณเอเอ็ม	19
3-8	การทดลองสัญญาณเอฟเอ็ม	20
3-9	การทดลองชักสัญญาณ	21
3-10	ชุดฝึกปฏิบัติการคุณสมบัติของสัญญาณทางไฟฟ้า	22
3-11	ชุดฝึกปฏิบัติการวงจรกรองความถี่	22
3-12	ชุดฝึกปฏิบัติการมอดูเลตสัญญาณแอนะล็อก	23
3-13	ชุดฝึกปฏิบัติการทฤษฎีการชักสัญญาณ	23
4-1	โปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมพร้อมเอกสารประกอบการฝึกปฏิบัติการด้วยตนเอง	24
4-2	การนำเสนอผลการวิชาการในการประชุมวิชาการ EENET 2013	25
4-3	การถ่ายทอดผลงานวิจัยให้แก่นักศึกษาใน มทร. รัตนโกสินทร์	26

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
4-4	การจัดเตรียมเอกสารคู่มือประกอบการฝึกปฏิบัติการสำหรับการจัดกิจกรรมในภาคการศึกษาถัดไป	26
4-5	โปสเตอร์เผยแพร่ผลงานวิจัย	27

บทที่ 1
บทนำ

1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสาร (Communication systems) [1] มีอัตราการเจริญเติบโตอย่างก้าวกระโดด อาทิ ระบบโทรศัพท์เซลลูล่าร์ (Cellular mobile phone) โมเด็มแบบ Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) และ การสื่อสารผ่านดาวเทียม (Satellite communications) ด้วยที่ระบบสื่อสารดังกล่าวมีปริมาณผู้ใช้งานเพิ่มขึ้นเทคโนโลยีเกี่ยวกับการประมวลผลสัญญาณและการพัฒนาอุปกรณ์ส่วนต่าง ๆ ของระบบสื่อสารจึงได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเช่นเดียวกัน เทคโนโลยีได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องอย่างรวดเร็วดังนั้นการปรับปรุงเนื้อหาสำหรับการสอนนักศึกษาในสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมควรมีการเพิ่มเติมความรู้เกี่ยวกับการสื่อสารที่มีการปรับปรุงให้ทันสมัยอย่างสม่ำเสมอจึงเป็นส่วนหนึ่งที่สามารถเพิ่มพูนทักษะให้แก่นักศึกษาเพื่อการนำไปใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรมได้

การให้ความรู้แก่นักศึกษาในสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคมด้านทฤษฎีที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งเปิดโอกาสให้นักศึกษาได้มีโอกาสเรียนรู้ด้วยตนเองผ่านการทำปฏิบัติการทดลองซึ่งมีความสอดคล้องกับเนื้อหาที่สอนเป็นแนวทางในการให้ความรู้แก่นักศึกษาที่มีประสิทธิภาพและทำให้ผู้เรียนเข้าใจเทคโนโลยีต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมา ณ ปัจจุบัน อาทิ ระบบสื่อสารแบบ Multiple-Input Multiple-Output การสื่อสารแบบ Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) และ รหัสควบคุมความผิดพลาดแบบ Low-Density Parity-Check code (LDPC) ใช้การออกแบบที่มีความซับซ้อนจึงทำให้เกิดความยากในการจัดเตรียมปฏิบัติการทดลองเพื่อสาธิตหลักการดังกล่าว นอกจากนั้น การปรับปรุงชุดปฏิบัติการทดลอง (Laboratory exercises) ให้ทันสมัยจำเป็นต้องใช้งบประมาณเพิ่มเติมเพื่อการจัดซื้อและปรับปรุงอุปกรณ์อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นหากมีการพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการโดยใช้ซอฟต์แวร์เพื่อนำมาใช้ประกอบการเรียนการสอนเพิ่มเติมน่าจะเป็นผลดีเพราะการพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการในลักษณะของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่าง ๆ นั้นง่ายแก่การปรับแต่งรายละเอียดต่างๆ นอกจากนั้นผู้สอนยังสามารถเพิ่มเติมชุดฝึกปฏิบัติการต่าง ๆ ได้โดยง่าย ทั้งนี้หากพัฒนาซอฟท์แวร์ซึ่งนักศึกษาและบุคคลทั่วไปสามารถนำไปใช้งานได้โดยง่ายแล้วก็จะทำให้ผู้ใช้งานสามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนรู้ด้วยตนเองได้โดยสะดวกมากยิ่งขึ้น

2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการนี้เป็นการจัดทำโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมสำหรับใช้ประกอบการสอนพร้อมทั้งจัดทำคู่มือประกอบการฝึกปฏิบัติการโดมีวัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงการวิจัยนี้คือ

2.1 สำรวจเครื่องมือและงานวิจัยเกี่ยวกับ Software-Defined radio และ GNU Radio

2.2 ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำโปรแกรม GNU Radio มาใช้ประกอบการทำปฏิบัติการทดลองทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม

2.3 พัฒนาชุดปฏิบัติการทดลองทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมระยะสั้นเพื่อให้นักศึกษาเรียนรู้เทคโนโลยีด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม

3 คำถามการวิจัย

ในการแก้ปัญหาเรื่องการพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมตามที่กล่าวมาข้างต้นนั้น อาจทำได้โดยการจัดเตรียมซอฟต์แวร์สำหรับการฝึกปฏิบัติการของนักศึกษาเพื่อให้ความรู้ในส่วนที่ยังขาดแคลน ทั้งนี้ หากเลือกใช้โปรแกรมที่มีความเหมาะสมแก่การออกแบบชุดฝึกปฏิบัติการทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมก็จะส่งผลให้ผู้ออกแบบชุดฝึกสามารถออกแบบและปรับเปลี่ยนชุดฝึกปฏิบัติการได้โดยง่าย

4 กรอบแนวคิดการวิจัย

เพื่อตอบสนองปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาชุดปฏิบัติการทดลองทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมซึ่งนำโปรแกรม Software-Defined radio (SDR) [2] มาใช้ประกอบการทำปฏิบัติการทดลองของผู้เรียน SDR คือระบบสื่อสารสมัยใหม่รูปแบบหนึ่งซึ่งใช้อุปกรณ์ประมวลผล เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal computer) และ หน่วยประมวลผลขนาดเล็ก (Embedded devices) เป็นต้นสำหรับการควบคุมการทำงานของระบบสื่อสาร การออกแบบการทำงานส่วนต่าง ๆ ของระบบสื่อสารแบบ SDR ใช้การพัฒนาอุปกรณ์ในลักษณะของซอฟท์แวร์ (Software) ซึ่งถูกสร้างและติดตั้งลงบนหน่วยประมวลผลเพื่อการประมวลผลสัญญาณจริงแทนการใช้ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ซึ่งใช้วงจรรวม (Integrated circuit) และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ การติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกอุปกรณ์ประมวลผลกระทำผ่านอุปกรณ์ Analog-to-Digital converter (A/D) และ Digital-to-Analog converter (D/A) การปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงการทำงานส่วนต่าง ๆ ของระบบสื่อสารแบบ SDR กระทำได้โดยการแก้ไขซอฟท์แวร์ซึ่งทำได้รวดเร็วและประหยัดกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการพัฒนาระบบสื่อสารด้วยวงจรรวมและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ปัจจุบันระบบสื่อสารแบบ SDR เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจและได้รับการนำไปประยุกต์ใช้งานทั้งในส่วนของการใช้เป็นเครื่องมือประกอบการสอนและการพัฒนาต้นแบบทางวิศวกรรมต่าง ๆ จากเหตุผลตามที่กล่าวมาข้างต้นทำให้สามารถสรุปได้ว่าการพัฒนาชุดปฏิบัติการทดลองทางวิศวกรรมโทรคมนาคมด้วย SDR สามารถตอบสนองความต้องการเพิ่มพูนความรู้ด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมอันทันสมัยแก่นักศึกษาได้อย่างเหมาะสม นอกจากนั้นยังสามารถต่อยอดกลายเป็นงานวิจัยทางด้านโทรคมนาคมซึ่งใช้ระบบสื่อสารแบบ SDR เป็นแกนหลักในการทำงานได้ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นวิจัยเฉพาะส่วนของการใช้

โปรแกรมพัฒนาระบบสื่อสารแบบ SDR สำหรับการนำมาใช้จำลองและสาธิตการทำงานของระบบสื่อสารเป็นหลักดังนั้นจึงไม่มีการเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารเพื่อการใช้งานจริงอย่างไรก็ตามโปรแกรมดังกล่าวสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในอนาคตได้ ชุดปฏิบัติการทดสอบที่จะพัฒนาขึ้นมานั้นมีลักษณะการทำงานดังภาพที่ 1-1 โปรแกรมทั้งหมดที่เกี่ยวข้องพร้อมชุดปฏิบัติการทดสอบจะถูกติดตั้งไว้ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal computer) เพื่อให้ผู้ทดลองสามารถจำลองการทำงานของระบบสื่อสารที่ใช้เทคโนโลยีวิศวกรรมโทรคมนาคมต่าง ๆ การที่ชุดปฏิบัติการทดสอบนี้มุ่งเน้นที่การจำลองการทำงานของระบบสื่อสารและปราศจากการเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์ภายนอกเพื่อการเชื่อมต่อกับช่องสัญญาณจริงจะทำให้ต้นทุนในการจัดซื้ออุปกรณ์ประกอบการสอนไม่มากนัก

การดำเนินงานวิจัยเพื่อสร้างชุดปฏิบัติการทดลองทางวิศวกรรมโทรคมนาคมด้วยโปรแกรม SDR มีวัตถุประสงค์หลักคือเพื่อจัดทำชุดปฏิบัติการทดลองพร้อมเอกสารประกอบซึ่งอธิบายการทดสอบส่วนต่าง ๆ ของระบบสื่อสารรวมถึงการติดตั้งโปรแกรม การดำเนินงานเน้นศึกษาการใช้งานโปรแกรม GNU Radio [3] ซึ่งเป็นหนึ่งในโปรแกรมสำหรับพัฒนาระบบสื่อสารแบบ SDR ที่เปิดโอกาสให้บุคคลทั่วไปสามารถนำไปใช้งานและเผยแพร่ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ต่อจากนั้นจะจัดการอบรมบุคคลกรและนักศึกษาจากสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ในเครือราชมงคลเพื่อเป็นการบริการสังคมและเผยแพร่ผลงานวิจัยแก่ผู้สนใจ นอกจากนั้นข้อเสนอแนะและความเห็นต่าง ๆ ที่จะได้รับระหว่างการจัดกิจกรรมจะสามารถนำไปใช้ปรับแต่งชุดปฏิบัติการทดลองให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นและทำให้สามารถประเมินความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนของนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ต่อไปได้

ระหว่างการดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนชุดฝึกปฏิบัติการ ผู้พัฒนาประสบปัญหาในการใช้งานโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการเนื่องจากโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้นใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการลินุกส์ในขณะที่เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่ที่ใช้งานในสถาบันการศึกษามักใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ การติดตั้งโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการดังกลล่าวนี้ลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ในห้องปฏิบัติการเพื่อรองรับการอบรมสำหรับนักศึกษาจำนวนมากจึงจำเป็นต้องกระทำผ่านโปรแกรม Virtual machine เพื่อจำลองการทำงานของระบบปฏิบัติการลินุกส์ซึ่งส่งผลให้การใช้งานโปรแกรมไม่รวดเร็วนัก เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยได้ศึกษาการใช้งานโปรแกรม LabVIEW [4] ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับการควบคุมและตรวจสอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ทางวิศวกรรมและจัดทำโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการด้วยโปรแกรม LabVIEW สำหรับใช้ประกอบการสอนเพิ่มเติม

5 นิยามศัพท์

ระบบสื่อสาร (Communication system) คือระบบซึ่งทำหน้าที่ส่งถ่ายข่าวสารจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง

การมอดูเลต (Modulation) คือกระบวนการกำเนิดสัญญาณที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการส่งผ่านช่องสื่อสาร โดยจะมีช่วงความถี่ที่ใช้งานที่แตกต่างออกไปจากเดิม

การดีมอดูเลต (Demodulation) คือกระบวนการแปลงสัญญาณที่รับได้ให้กลายเป็นสัญญาณข่าวสารดังเดิม

ระบบสื่อสารแบบ Software-Defined Radio คือระบบสื่อสารรูปแบบหนึ่งซึ่งใช้อุปกรณ์ประมวลผลเพื่อการประมวลผลสัญญาณ

โปรแกรม GNU Radio คือโปรแกรมสำหรับออกแบบระบบสื่อสารแบบ Software-defined Radio รูปแบบหนึ่ง

ระบบปฏิบัติการลินุกส์ (Linux operating system) คือระบบปฏิบัติการสำหรับควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ซึ่งอนุญาตโอกาสให้บุคคลทั่วไปใช้งานหรือพัฒนาได้โดยเสรี

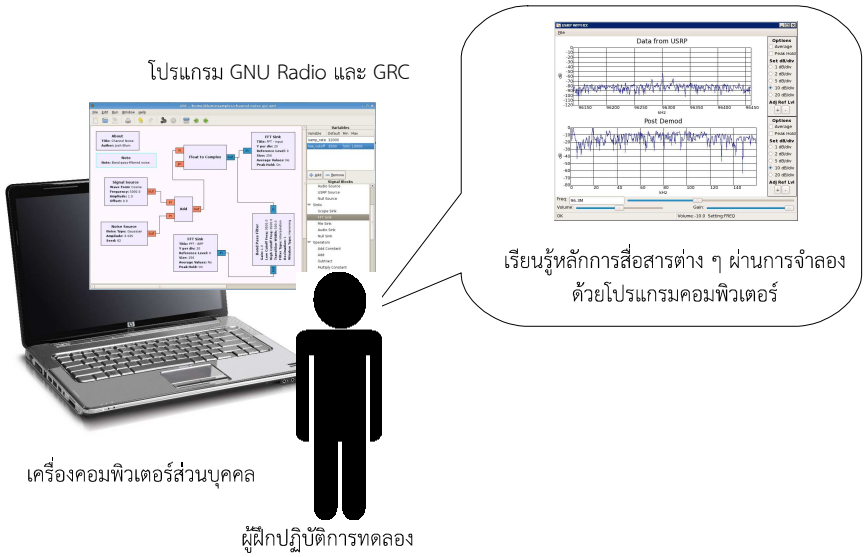
LabVIEW ภาษาและชุดพัฒนาโปรแกรมควบคุมและแสดงผลทางด้านวิศวกรรม

6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

6.1 บุคลากรและนักศึกษาในหน่วยงานมีความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับระบบสื่อสารแบบ Software-Defined Radio

6.2 มีเครื่องมือและสื่อการสอนประสิทธิภาพสูงเพิ่มเติมสำหรับใช้ประกอบการสอนด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม

6.3 ผลลัพธ์ของการดำเนินงานสามารถนำไปต่อยอดเพื่อสร้างผลงานวิจัยในอนาคตได้



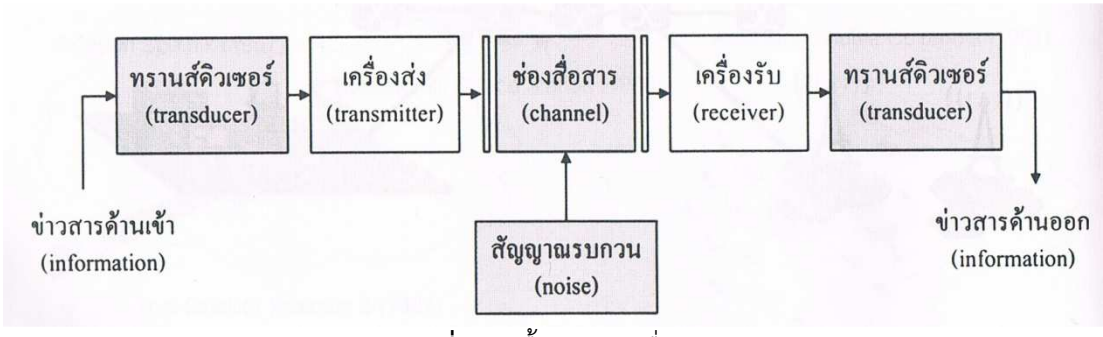
ภาพที่ 1-1 ชุดปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมเพื่อจำลองการสื่อสารด้วยเครื่อมคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1 พื้นฐานของระบบสื่อสาร

ระบบสื่อสาร (Communication systems) [1] หมายถึงระบบใด ๆ ซึ่งทำหน้าที่รับและส่งข่าวสารจากผู้ส่งและผู้รับสาร ตัวกลางสำหรับส่งข่าวสารมีหลากหลายรูปแบบตามประเภทของระบบสื่อสารที่ถูกนำมาใช้งาน พื้นฐานของการสื่อสารโดยทั่วไปมีลักษณะดังภาพที่ 2-1 ระบบดังกล่าวประกอบด้วยทรานส์ดิวเซอร์ (Transducer) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับแปลงข่าวสารให้อยู่ในรูปของสัญญาณที่เหมาะสมต่อการส่งผ่านระบบสื่อสาร เครื่องส่ง (Transmitter) ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณให้เหมาะสมต่อการส่งผ่านช่องสัญญาณ ช่องสัญญาณ (Channel) เป็นตัวกลางสำหรับพาข่าวสารจากแหล่งกำเนิดไปสู่ปลายทาง และ เครื่องรับ (Receiver) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณเพื่อส่งต่อให้แก่ทรานส์ดิวเซอร์เพื่อกำเนิดเป็นข่าวสารต่อไป

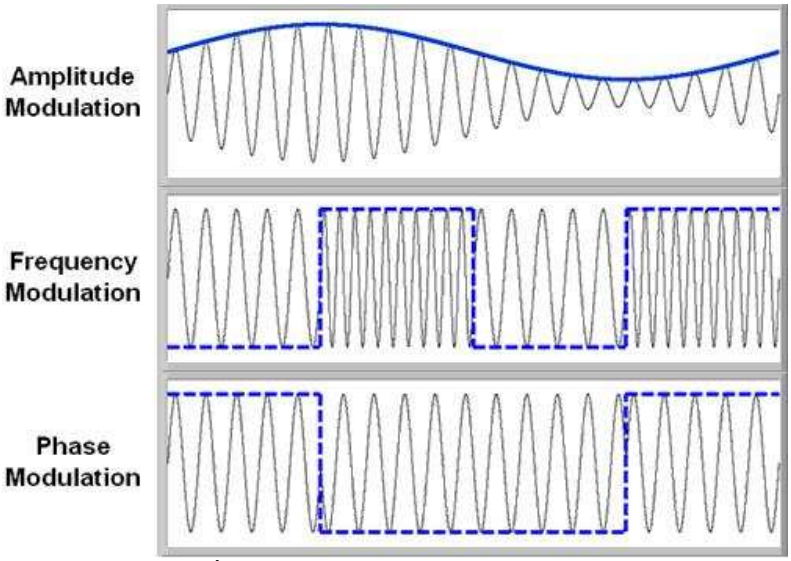
ในการทำงานของระบบสื่อสารที่ภาคส่ง (Transmitter) จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าทรานส์ดิวเซอร์ (Transducer) ซึ่งทำหน้าที่แปลงข่าวสารให้อยู่ในรูปของสัญญาณที่เหมาะสมต่อการส่งผ่านระบบสื่อสาร ต่อจากนั้นเครื่องส่ง (Transmitter) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณให้เหมาะสมต่อการส่งผ่านช่องสัญญาณช่องสัญญาณ (Channel) ซึ่งนำพาข่าวสารจากแหล่งกำเนิดไปสู่ปลายทาง เครื่องรับ (Receiver) จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณเพื่อส่งต่อให้แก่ทรานส์ดิวเซอร์เพื่อกำเนิดเป็นข่าวสารต่อไป เพื่อให้สัญญาณมีสเปกตรัม (Spectral) หรือช่วงความถี่ที่เหมาะสม การทำงานของภาคส่งมันนำสัญญาณที่ต้องการส่งมาผ่านการมอดูเลต (Modulation) เพื่อเลื่อนสเปกตรัมหรือช่วงของสัญญาณที่ใช้งานให้เหมาะสมต่อการส่งผ่านช่องสัญญาณ และที่ภาครับก็จะนำสัญญาณที่รับได้มาผ่านการดีมอดูเลต (Demodulation) เพื่อแปลงสัญญาณให้กลับมาเป็นสัญญาณข้อมูลเพื่อป้อนเข้าสู่ภาคทรานส์ดิวเซอร์ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณทางไฟฟ้าให้กลายเป็นข้อมูลในลักษณะต่าง ๆ



ภาพที่ 2-1 พื้นฐานการสื่อสาร

1.1 การมอดูเลตสัญญาณ

จุดมุ่งหมายหลักของระบบสื่อสารคือการที่สามารถส่งผ่านสัญญาณข่าวสาร (information signal) จากอุปกรณ์ส่งสัญญาณบนช่องสื่อสาร communication channel) ให้ไปถึงภาครับสัญญาณได้อย่างถูกต้องตามต้องการ สัญญาณข้อมูลที่ออกจากแหล่งกำเนิดข้อมูลโดยทั่วไปจะเรียกว่าสัญญาณเบสแบนด์ (Baseband) ก่อนการส่งสัญญาณนี้ลงบนช่องสื่อสารมักจะมีการนำสัญญาณดังกล่าวไปผ่านกระบวนการเลื่อนความถี่ขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับคุณลักษณะของช่องสัญญาณที่จะส่งออก เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าวจึงมีการนำสัญญาณต่างๆ มาผ่านกระบวนการมอดูเลต (Modulation) [1] เพื่อกำเนิดสัญญาณที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการส่งผ่านช่องสื่อสาร โดยมีช่วงความถี่ที่ใช้งานที่แตกต่างออกไปจากเดิม ในทางกลับกันที่ภาครับก็ใช้การดีมอดูเลต (Demodulation) เพื่อแปลงสัญญาณที่รับได้ให้กลายเป็นสัญญาณข่าวสารดังเดิม เทคนิคการมอดูเลตสัญญาณสามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภทหลักได้แก่ การมอดูเลตเชิงแอมพลิจูด (Amplitude Modulation) และ การมอดูเลตเชิงมุม (Angle modulation)



ภาพที่ 2-2 การมอดูเลตสัญญาณแบบต่าง ๆ

การมอดูเลตเชิงแอมพลิจูด (Amplitude Modulation) เป็นการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของสัญญาณคลื่นพาห์ไปตามขนาดของสัญญาณข้อมูล สามารถแบ่งออกเป็นวิธีย่อยได้แก่ การมอดูเลตแบบเอเอ็ม การมอดูเลตแบบ DSB-SC (Double Sideband Suppressed Carrier) การมอดูเลตแบบ SSB (Single Sideband) และ การมอดูเลตแบบ VSB (Vestigial Sideband) หากกำหนดให้ $m(t)$ แทนสัญญาณข้อมูลที่ป้อนเข้าสู่ภาคมอดูเลตซึ่งได้รับการนอร์มอลไลซ์ (Normalize) เพื่อให้มีแอมพลิจูด A_m ไม่เกิน 1 จะได้ว่าสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตแบบเอเอ็มมีลักษณะดังสมการต่อไปนี้

$$s_{AM}(t) = A_c[1 + m(t)]\cos(2\pi f_c t) \tag{2.1}$$

เมื่อ A_c และ f_c คือแอมพลิจูดและความถี่ของสัญญาณพาห์ (Carrier signal) จากสมการพบว่าแอมพลิจูดของสัญญาณพาห์มีการเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณข้อมูล ณ เวลาต่าง ๆ ในกรณีที่มีการมอดูเลตแบบ DSB-SC สัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตมีคุณสมบัติดังนี้

$$s_{DSB-SC}(t) = A_c m(t)\cos(2\pi f_c t) \tag{2.2}$$

สำหรับสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตแบบ SSB และ VSB นั้นจะมีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีของการมอดูเลตแบบ DSB-SC ทุกประการหากแต่ว่าจะมีการนำสัญญาณดังกล่าวมาผ่านวงจรกรองความถี่เพื่อกรองสัญญาณให้เหลือเฉพาะ Sideband ที่ต้องการ

การมอดูเลตเชิงมุม (Angle modulation) เป็นการเปลี่ยนแปลงมุมของสัญญาณคลื่นพาห์ไปตามขนาดของสัญญาณข้อมูล สามารถแบ่งออกได้เป็น การมอดูเลตแบบ FM (Frequency modulation) และ การมอดูเลตแบบ PM (Phase modulation) สำหรับการมอดูเลตแบบ FM เป็นการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นพาห์ให้สอดคล้องกับสัญญาณข้อมูล สัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตแบบ FMจะเป็นลูกคลื่นโคไซน์ซึ่งมีแอมพลิจูดเป็น A_c และมีความถี่เป็น

$$f_{FM} = f_c + k_f m(t) \tag{2.3}$$

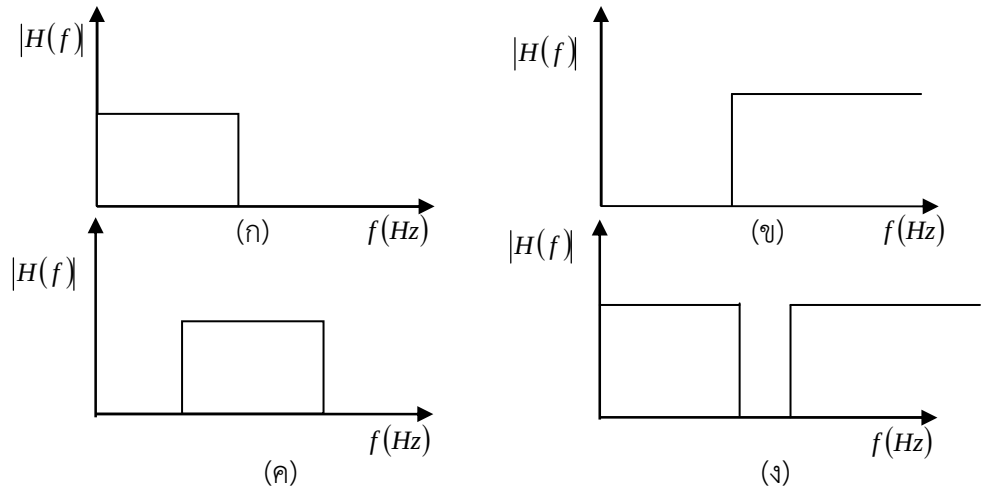
เมื่อ k_f คือค่า Frequency sensitivity และ f_c เป็นความถี่ของคลื่นพาห์ สำหรับการมอดูเลตแบบ PM เป็นการเปลี่ยนแปลงเฟสของสัญญาณคลื่นพาห์ให้สอดคล้องกับสัญญาณข้อมูล สัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตมีความสัมพันธ์กับสัญญาณข้อมูลดังสมการต่อไปนี้

$$s_{PM}(t) = A_c \cos\left[2\pi f_c t + k_\theta m(t)\right] \tag{2.4}$$

เมื่อ k_θ คือค่า Phase sensitivity

1.2 วงจรกรองความถี่

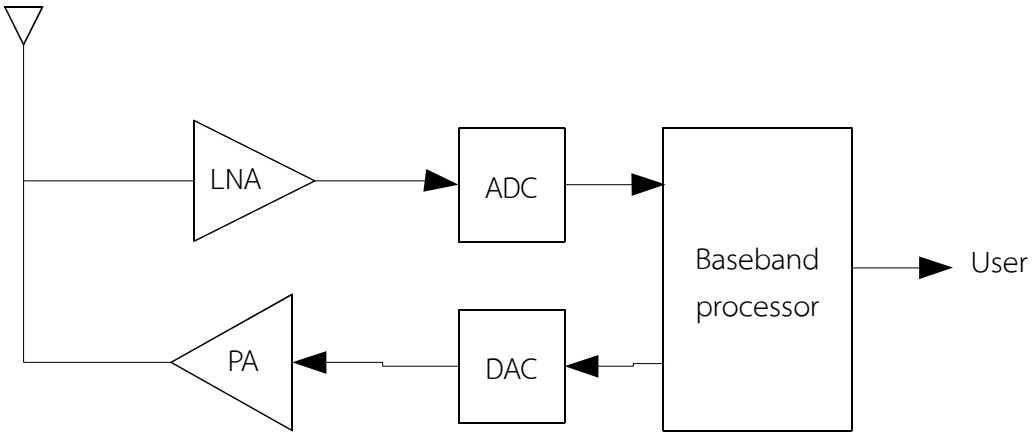
วงจรกรองความถี่ (Filter) คือวงจรไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ใด ๆ ที่ยอมให้สัญญาณไฟฟ้าในช่วงความถี่ถึงผ่านไปได้ การออกแบบวงจรกรองความถี่สามารถทำได้โดยใช้วงจรแบบ Passive ซึ่งใช้อุปกรณ์ประเภทตัวต้านทาน (Resistor) ตัวเก็บประจุ (Capacitor) และขดลวดเหนี่ยงนำ (Inductor) ในการทำงาน หรืออาจใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบ Active ซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์ ไอซีต่าง ๆ หรือออปแอมป์ในการทำงาน วงจรกรองความถี่พื้นฐานสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทได้แก่ วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low pass filter) วงจรกรองความถี่สูง (High pass filter) วงจร Band pass filter และวงจร Band Reject filter หรือ Band Stop filter โดยที่วงจรกรองความถี่แต่ละภาพแบบมีทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน $H(f)$ ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2-3 ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของวงจรกรองความถี่แบบต่าง ๆ (ก) Low pass filter (ข) High pass filter (ค) Band pass filter (ง) Band reject filter

2 พื้นฐานระบบสื่อสารแบบ SDR

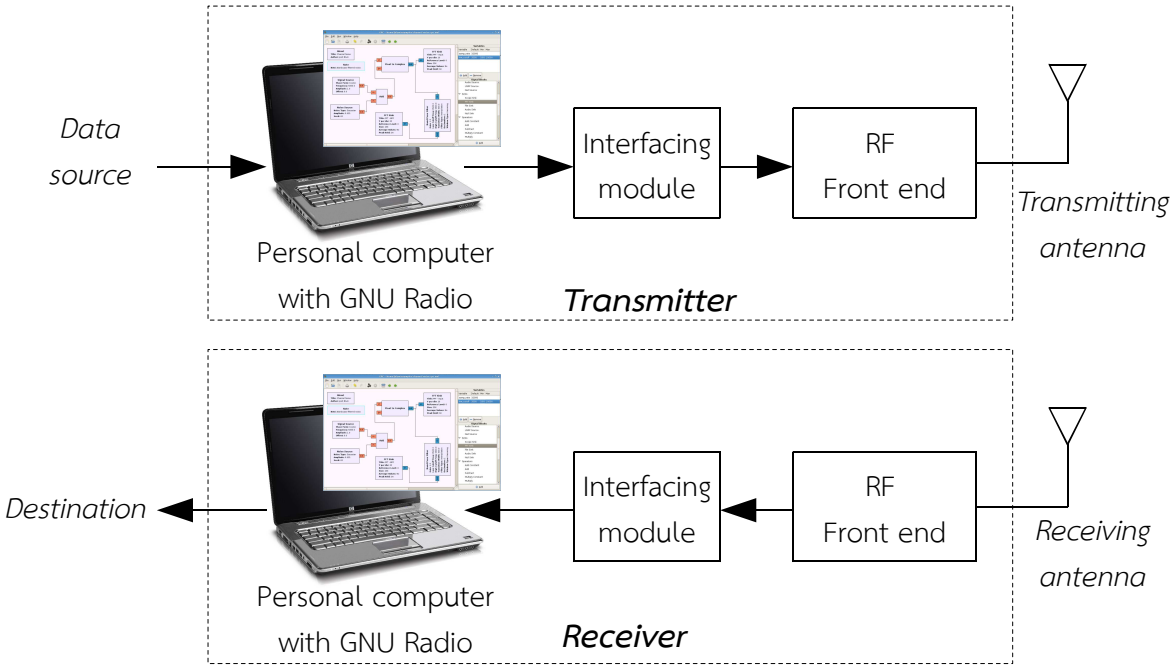
ระบบสื่อสารแบบ SDR (Software-Designed Radio) [2] คือระบบสื่อสารรูปแบบหนึ่งซึ่งใช้ซอฟท์แวร์เพื่อการออกแบบและกำหนดการทำงานส่วนต่าง ๆ เช่น ภาคมิกเซอร์ (Mixer) ภาคฟิลเตอร์ (Filter) ภาคขยายสัญญาณ (Amplifier) ภาคมอดุเลต (Modulator) และดีมอดูเลต (Demodulator) เป็นต้น พื้นฐานการทำงานของระบบสื่อสารแบบ SDR มีลักษณะดังภาพที่ 2-4 กล่าวคือการทำงานในส่วนประมวลผลสัญญาณเบสแบนด์ (Baseband) กระทำโดยหน่วยประมวลผลซึ่งใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal computer) หรือหน่วยประมวลผลขนาดเล็ก (Embedded devices) สัญญาณที่รับและส่งในระบบสื่อสารด้วยภาค Front end จะถูกส่งเข้าสู่อุปกรณ์ Analog-to-Digital Converter (ADC) และ Digital-to-Analog Converter (DAC) เพื่อเชื่อมต่อกับหน่วยประมวลผลสัญญาณ หน่วยประมวลผลสัญญาณที่ใช้งานในระบบสื่อสารแบบ SDR มีหลายรูปแบบ โดยอาจอยู่ในรูปของอุปกรณ์ประเภท Field Programmable Gate Array (FPGA) หรือ Digital Signal Processing (DSP) ก็ได้ นอกจากนั้นยังอาจใช้โปรแกรมสำหรับออกแบบระบบสื่อสารแบบ SDR เพื่อความสะดวกในการพัฒนาอุปกรณ์



ภาพที่ 2-4 พื้นฐานระบบสื่อสารแบบ SDR

2.1 โปรแกรม GNU Radio

โปรแกรม GNU radio [3] เป็นโปรแกรมสำหรับการออกแบบและพัฒนาระบบสื่อสารแบบ SDR ประเภท Open source ที่เปิดโอกาสให้บุคคลทั่วไป Download ไปติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้ระบบปฏิบัติการ Windows หรือ Linux ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ผู้ใช้งานสามารถออกแบบระบบสื่อสารได้ด้วยการนำโมดูลการประมวลผลสัญญาณต่าง ๆ ที่ได้ถูกจัดเตรียมไว้อย่างสมบูรณ์มาต่อเพื่อใช้งานร่วมกันได้ด้วยภาษา Python และยังสามารถพัฒนาโมดูลต่าง ๆ เพิ่มเติมสำหรับการใช้งานเฉพาะกิจได้ด้วยภาษา C/C++ การพัฒนาระบบสื่อสารแบบ SDR ที่ใช้ GNU Radio มีการทำงานดังภาพที่ 2-5 การออกแบบการประมวลผลสัญญาณต่าง ๆ ทั้งหมดกระทำด้วยโปรแกรม GNU Radio ซึ่งถูกติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal computer) ซึ่งใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows operating systems) หรือลินุกส์ (Linux operating system) โปรแกรมพัฒนาสามารถจำลองการทำงานของระบบสื่อสารบนเครื่องคอมพิวเตอร์ได้โดยปราศจากการเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารจริง การเชื่อมต่อเพื่อรับและส่งข้อมูลจากภายนอกสำหรับการใช้งานที่ภาครับและส่งกระทำได้ด้วยการใช้ Audio port ของเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือใช้อุปกรณ์ ADC และ DAC เพื่อการเชื่อมต่อกับภาค RF Front end เพื่อการรับส่งสัญญาณผ่านสายอากาศ นอกจากนั้นยังสามารถใช้อุปกรณ์ที่มีชื่อว่า Universal Software radio Peripheral (USRP) [5] ของบริษัท ETTUS Research LLC ซึ่งรองรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไร้สายและเครือข่ายด้วยอัตราเร็วสูง

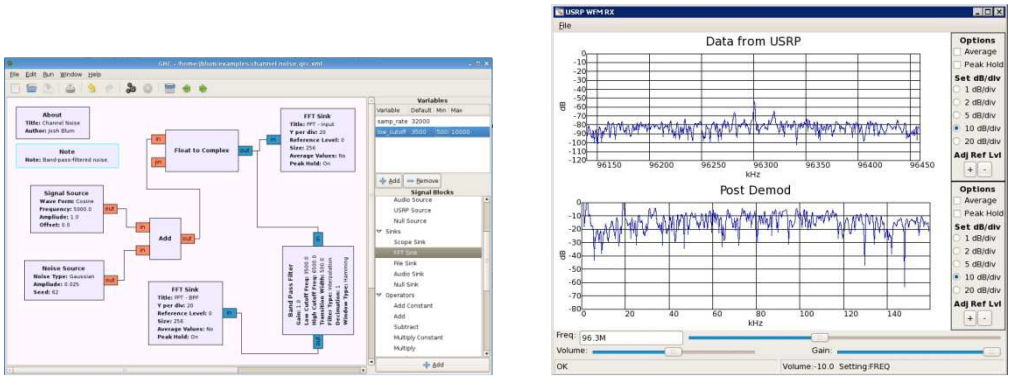


ภาพที่ 2-5 การพัฒนาระบบสื่อสารแบบ SDR ด้วย GNU Radio

ภาพที่ 2-6 อุปกรณ์รุ่น USRP N2000 Series

2.2 โปรแกรม GNU Radio companion (GRC)

โปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานของระบบสื่อสารที่ใช้ GNU Radio ใช้ภาษา Python ในการพัฒนา ผู้ใช้งานสามารถออกแบบโปรแกรมเพื่อกำหนดการทำงานของโมดูลต่าง ๆ ได้โดยง่าย อย่างไรก็ตามเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถพัฒนาโปรแกรมได้โดยสะดวกมากยิ่งขึ้น ผู้พัฒนาระบบยังสามารถใช้โปรแกรม GNU Radio companion [3] ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ทำให้ผู้พัฒนาระบบ SDR สามารถออกแบบการทำงานของระบบสื่อสารได้ ภาพที่ 2-4 แสดงลักษณะการพัฒนาโปรแกรมโดยใช้ GNU Radio companion ในการออกแบบระบบสื่อสารนั้นผู้พัฒนาระบบสามารถใช้โมดูลประมวลผลสัญญาณต่าง ๆ ในโปรแกรมเพื่อการคำนวณต่าง ๆ ตามได้ต้องการรวมทั้งการเชื่อมต่อกับ Audio port TCP/IP UDP และบอร์ด USRP ได้โดยง่าย



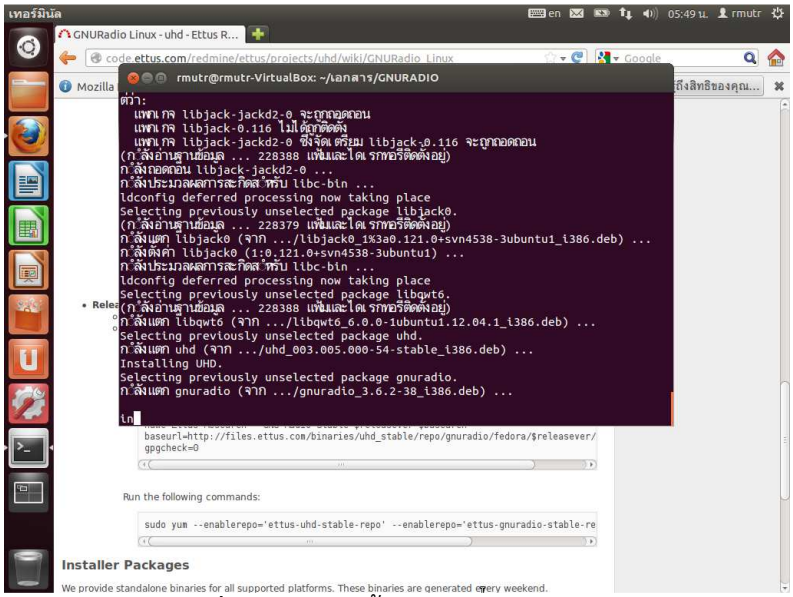
(ก) (ข)

ภาพที่ 2-7 ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม GNU Radio Companion (ก) โปรแกรมสำหรับพัฒนาระบบสื่อสารแบบ SDR (ข) ตัวอย่างผลการจำลองระบบสื่อสาร

3 การติดตั้งและใช้งานโปรแกรม GNU Radio บนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการลินุกส์

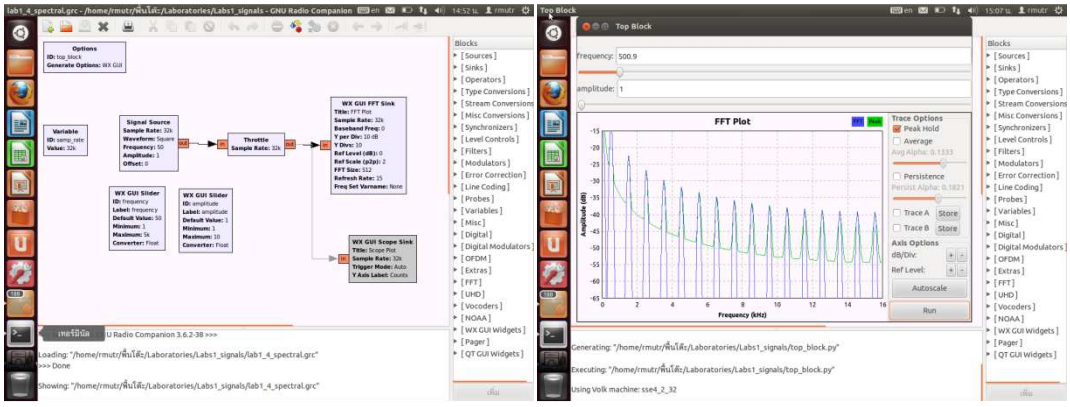
การติดตั้งโปรแกรม GNU radio สามารถติดตั้งได้ทั้งกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการลินุกส์ การติดตั้งโปรแกรม GNU Radio และ GNU Radio companion ลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้ระบบปฏิบัติการลินุกส์ Ubuntu สามารถกระทำได้หลายแนวทางทั้งในส่วนของการติดตั้งจากไฟล์ Binary และการคอมไพล์จาก Source code โดยตรง แนวทางหนึ่งในการติดตั้งที่ทำได้โดยง่ายนั้นได้รับการจัดเตรียมข้อมูลโดยบริษัท Ettus research [5] โดยที่ผู้ใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้ระบบปฏิบัติการลินุกส์ Ubuntu สามารถติดตั้งได้โดยการเรียกใช้คำสั่งต่อไปนี้ใน Terminal

sudo apt-get install python libboost-all-dev libusb-1.0-0-dev



ภาพที่ 2-8 การติดตั้งโปรแกรม GNU radio

ภายหลังจากการติดตั้งโปรแกรม GNU Radio ลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้ระบบปฏิบัติการลินุกส์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้งานโปรแกรม GNU Radio Companion ได้โดยการเรียกใช้โปรแกรมเทอร์มินัลและพิมพ์คำสั่ง “gnuradio-companion” สำหรับโปรแกรม GNU Radio รุ่นก่อนอาจใช้คำสั่ง “grc” แทนโดยจะปรากฏโปรแกรมดังภาพที่ 2-7 (ก) หน้าต่างโปรแกรมประกอบด้วยเมนู พื้นที่ทำงาน และ ส่วนโมดูล สำหรับเมนูควบคุมการทำงานของโปรแกรมอยู่ด้านบนของหน้าต่าง ส่วนโมดูลทำหน้าที่รวบรวมโมดูลประมวลผลสัญญาณต่าง ๆ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถใช้เมาส์ลากและวางในส่วนพื้นที่ทำงานและลากเส้นเพื่อเชื่อมต่อแต่ละโมดูลเข้าด้วยกัน การเชื่อมต่อแต่ละบล็อกเข้าด้วยกันทำได้โดยการคลิกเมาส์ที่จุดเชื่อมต่อต่าง ๆ การปรับค่าตัวแปรของแต่ละโมดูลสามารถกระทำได้ด้วยการกดดับเบิลคลิกที่โมดูลที่ต้องการปรับแต่งจากนั้นจะปรากฏหน้าต่างสำหรับแก้ไขตัวแปรต่าง ๆ ขึ้น เมื่อต้องการทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นให้เลือกเมนู Build และ Generate ตามลำดับเพื่อสร้างไฟล์ Python ที่สัมพันธ์กับโปรแกรมที่ออกแบบไว้ต่อจากนั้นให้ทำการรันโปรแกรมโดยเรียกเมนู Build และ Execute ตามลำดับเพื่อสั่งรันโปรแกรมโดยจะปรากฏโปรแกรมที่ออกแบบไว้บนหน้าจอดังตัวอย่างในภาพที่ 2-9 (ข)



(ก) (ข)

ภาพที่ 2-9 การใช้งานโปรแกรม GNU Radio (ก) การพัฒนาโปรแกรม (ข) ตัวอย่างผลการใช้งาน

โปรแกรม GNU Radio Companion มีโมดูลประมวลผลสัญญาณต่าง ๆ ให้เลือกใช้หลายรูปแบบ โดยที่โมดูลประมวลผลสัญญาณหลักที่ถูกนำมาใช้ในการจัดทำชุดฝึกปฏิบัติการมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.1 ในแต่ละโมดูลนั้นผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนตัวแปรควบคุมการทำงานต่าง ๆ ได้โดยอิสระด้วยการกด Double click ที่บล็อกโมดูลประมวลผลสัญญาณต่าง ๆ เพื่อเปิดหน้าต่างสำหรับการปรับแต่งค่า

ตารางที่ 2-1 โมดูลประมวลผลสัญญาณที่ใช้ประกอบการจัดทำชุดฝึกปฏิบัติการ

ลำดับที่	โมดูล	การใช้งาน
1	Signal Source	ใช้กำเนิดลูกคลื่นสัญญาณต่าง ๆ อาทิ ลูกคลื่นไซน์ และลูกคลื่นสี่เหลี่ยม
2	Constant source	กำเนิดสัญญาณค่าคงที่
3	WX GUI Scope sink	วัดสัญญาณทางเวลา
4	WX GUI FFT sink	วัดสเปกตรัมทางความถี่ของสัญญาณ
5	Throttle	กำหนดอัตราการชักสัญญาณในระบบสื่อสาร
6	Add	โมดูลสำหรับการบวกสัญญาณ
7	Subtract	โมดูลสำหรับการลบสัญญาณ
8	Multiply	โมดูลสำหรับการคูณสัญญาณ
9	Low Pass Filter	โมดูลกรองความถี่ต่ำ
10	High Pass Filter	โมดูลกรองความถี่สูง
11	Band Pass Filter	โมดูลBand pass filter
12	Band Reject Filter	โมดูลBand reject filter
13	Delay	โมดูลหน่วงเวลา

4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารแบบ SDR

ที่ผ่านมาโปรแกรม GNU Radio ได้รับการนำไปประยุกต์ใช้งานทั้งในส่วนของการเรียนการสอนและงานวิจัยหลายรูปแบบ นักวิจัยจากศูนย์วิจัย Wireless@Virginia จากสถาบันการศึกษา Virginia Polytechnic Institute and State University ได้พัฒนาโปรแกรม Open Source SCA Implementation – Embedded (OSSIE) [6] เพื่อใช้ประกอบการสอนเกี่ยวกับ SDR และการสื่อสารไร้สายโดยพัฒนาโปรแกรมแบบ GUI ของ GNU Radio ที่สามารถพัฒนาได้ง่าย การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกของหน่วยประมวลผลที่ใช้โปรแกรม GNU radio สามารถใช้ Audio port เพื่อการทำงานได้ แต่เพื่อรองรับการใช้งานในกรณีที่มีความถี่ของการชักสัญญาณ (Sampling) มากขึ้นจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ ADC และ DAC เพิ่มเติม นอกจากการเชื่อมต่อตามที่กล่าวมาข้างต้นบริษัท ETTUS Research LLC ได้ผลิตอุปกรณ์ที่มีชื่อว่า Universal Software radio Peripheral (USRP) ซึ่งรองรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไร้สายและเครือข่ายด้วยอัตราเร็วสูง อุปกรณ์รุ่น USRP N2000 Series มีลักษณะดังภาพที่ 2-5 โปรแกรม OpenBTS [7] ก็เป็นหนึ่งในรูปแบบการนำ GNU Radio มาใช้งานเพื่อการสร้างสถานีฐาน (Base station) หรือระบบสื่อสารส่วน GSM air interface ซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับโทรศัพท์เซลลูล่าร์ระบบ GSM และใช้ระบบ Software PBX เพื่อการเชื่อมต่อกับโทรศัพท์พื้นฐาน โปรแกรมดังกล่าวถูกติดตั้งลงบนอุปกรณ์เช่น บอร์ด USRP เพื่อการเชื่อมต่อกับโทรศัพท์เซลลูล่าร์

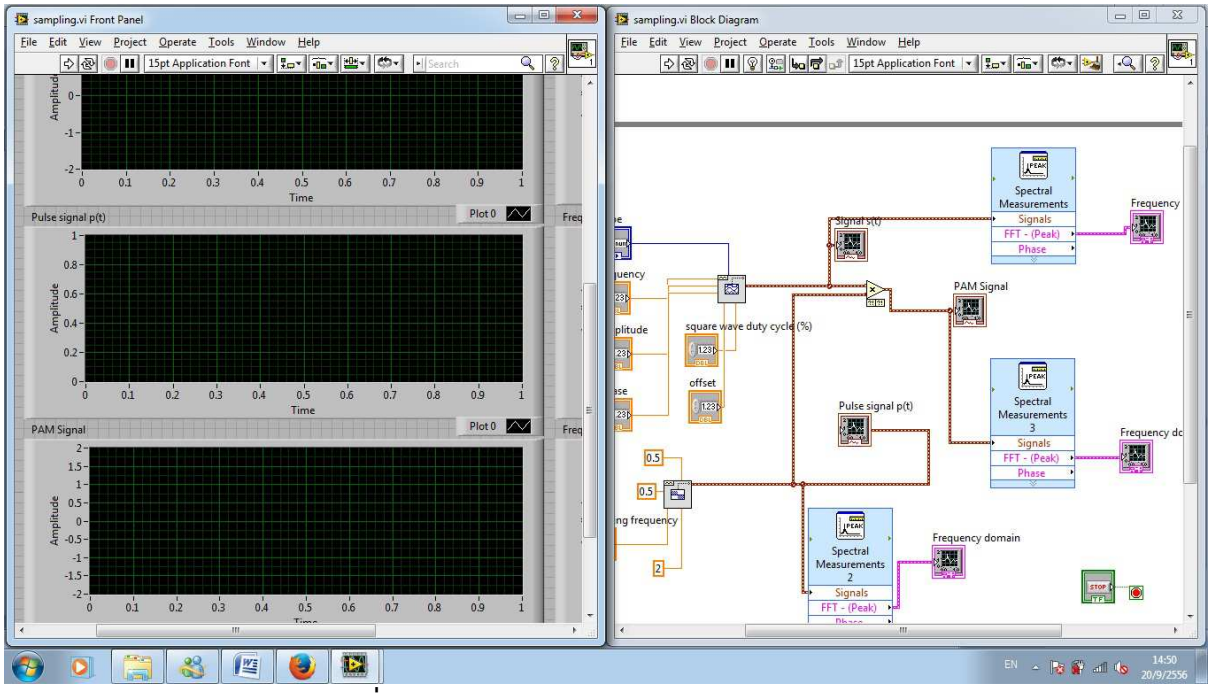
พ.ศ. 2549 N. Kim N. Kehtarnavaz และคณะผู้วิจัยได้นำเสนอการออกแบบ QAM modem ด้วยระบบสื่อสารแบบ Software-defined radio [8] ซึ่งพัฒนาด้วยโปรแกรม LabVIEW ซึ่งเปิดโอกาสให้ผู้พัฒนาสามารถพัฒนาและทำความเข้าใจระบบสื่อสารได้ด้วยการพัฒนาโปรแกรม

แบบ Graphical programming environment พ.ศ. 2552 L. Nagurney นำเสนอแนวทางการพัฒนาระบบสื่อสารแบบ Software-defined radio [9] ใน พ.ศ. 2555 A.F.B. Selva A.L.G.Reis และคณะผู้วิจัยได้นำเสนอหลักการออกแบบระบบสื่อสารแบบ Software-defined radio ด้วยโปรแกรม GNU Radio และบอร์ด USRP จากข้อมูลในบทความดังกล่าวโครงสร้างของภาครับและภาคส่งของระบบสื่อสารแบบ SDR มีการทำงานดังภาพที่ 2-4 Bandpass filter ถูกใช้เพื่อกรองให้สัญญาณที่มีความถี่ในช่วงที่ต้องการเท่านั้นมาใช้งาน ภาค A/D จะต้องมีอัตราการชักสัญญาณ (Sample rate) อย่างน้อยเป็นสองเท่าของความถี่สูงสุดที่ใช้งาน หน่วยประมวลผลที่ถูกนำมาใช้งานได้แก่ CPU DSP FPGA หรือ วงจร Discrete logic ต่าง ๆ เนื่องจากสัญญาณที่ถูกกำเนิดขึ้นมาในระบบสื่อสารมักมีความถี่สูงดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาวิธีการต่าง ๆ มาใช้แก้ปัญหาดังกล่าวเช่นการใช้ Quadrature modulator เป็นต้น

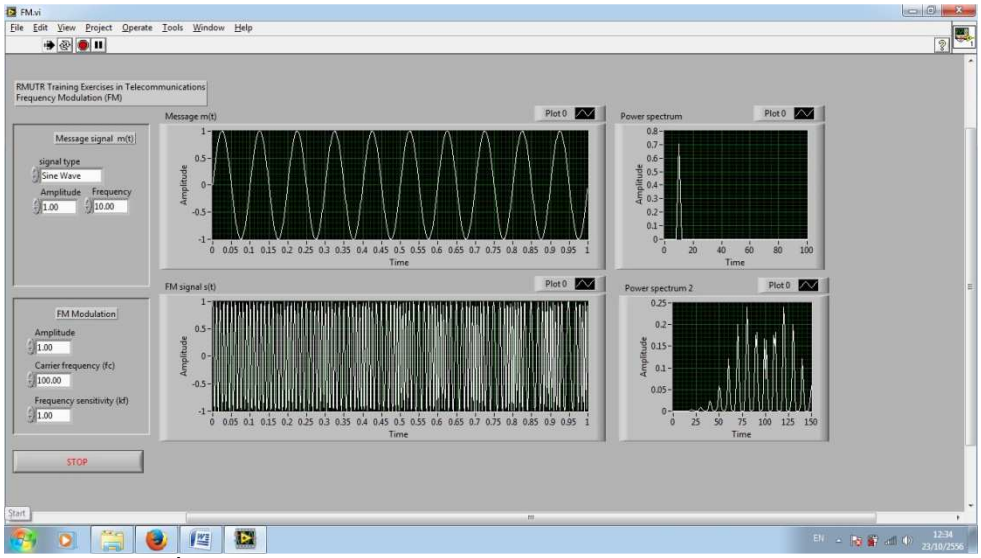
การพัฒนาระบบสื่อสารแบบ Real-time สามารถทำได้หลายวิธี การใช้ DSP processor เป็นทางเลือกหนึ่งที่ถูกใช้งาน การพัฒนาคำสั่งควบคุมสามารถทำได้ด้วยการใช้ DSP machine language และภาษาซี นอกจากนั้นยังสามารถใช้โปรแกรม อาทิ Simulink และ LabVIEW สำหรับการออกแบบในลักษณะของ Block diagram ได้ การพัฒนาระบบสื่อสารแบบ SDR ด้วย FPGA ค่อนข้างได้รับความนิยมในการใช้งาน FPGA สามารถทำงานที่ความเร็วสูงได้ดีกว่าการใช้หน่วยประมวลผล นอกเหนือจากการพัฒนาอุปกรณ์ด้วย DSP และ FPGA แล้ว ยังสามารถพัฒนาระบบสื่อสารแบบ SDR ในลักษณะของ Softrock design ซึ่งเชื่อมต่ออุปกรณ์กับพอร์ทเสียง (Audio port) จากซาวด์การ์ด (Sound card)

5 โปรแกรม LabVIEW

LabVIEW คือโปรแกรมสำหรับประมวลผลและแสดงผลทางวิศวกรรมของบริษัท National instrument co. ltd. ผู้พัฒนาโปรแกรมสามารถออกแบบโปรแกรมเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ในลักษณะของการออกแบบด้วยกราฟฟิกโดยสามารถนำโมดูลประมวลผลต่าง ๆ มาใช้งานได้โดยง่าย นอกจากนั้น LabVIEW ยังรองรับการเชื่อมต่อกับเครื่องมือวัดทางวิศวกรรมต่าง ๆ ได้ ภาพที่ 2-10 และ 2-11 แสดงโปรแกรม LabVIEW ขณะที่อยู่ระหว่างการพัฒนาโปรแกรม โดยโปรแกรมจะประกอบด้วยสองส่วนได้แก่ Front panel และ Block diagram สำหรับ Front panel เป็นเป็นหน้าต่างสำหรับติดต่อกับผู้ใช้งานขณะที่โปรแกรมถูกเรียกใช้งาน อาทิ การรับตัวแปร ปุ่มควบคุมการทำงาน ปุ่มแสดงข้อความและกราฟแสดงผลต่าง ๆ สำหรับหน้าต่าง Block diagram เป็นหน้าต่างสำหรับการควบคุมการคำนวณต่าง ๆ ของโปรแกรม เช่น การคำนวณทางคณิตศาสตร์พื้นฐาน ผลตอบสนองเมื่อกดปุ่มต่าง ๆ และ การประมวลผลสัญญาณ ผู้พัฒนาสามารถเลือกโมดูลต่าง ๆมาเชื่อมต่อกันได้โดยอิสระ



ภาพที่ 2-10 การพัฒนาโปรแกรม LabVIEW

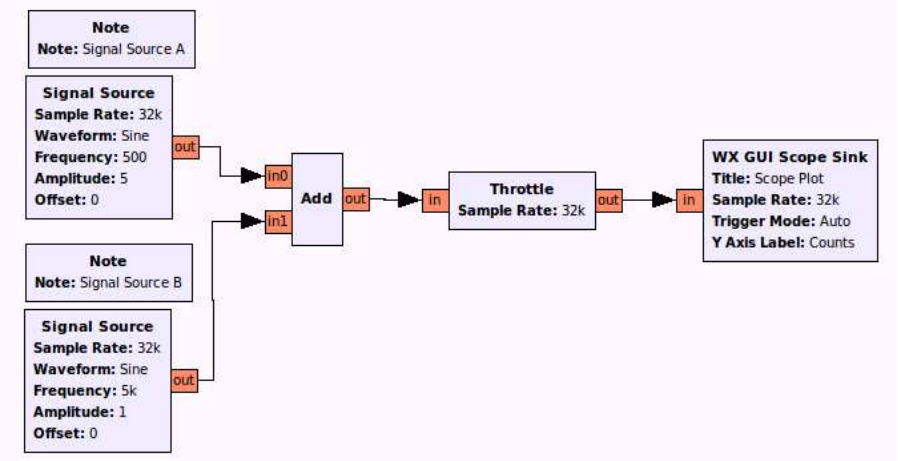


ภาพที่ 2-11 ตัวอย่างหน้าต่างระหว่างการใช้งานโปรแกรม LabVIEW

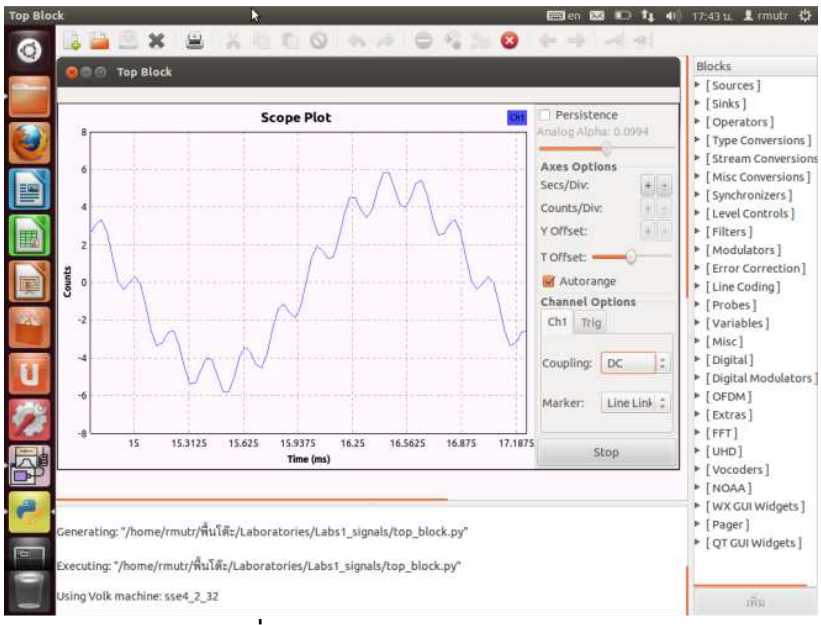
บทที่ 3
การออกแบบโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม

1 แนวทางการพัฒนาโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการ

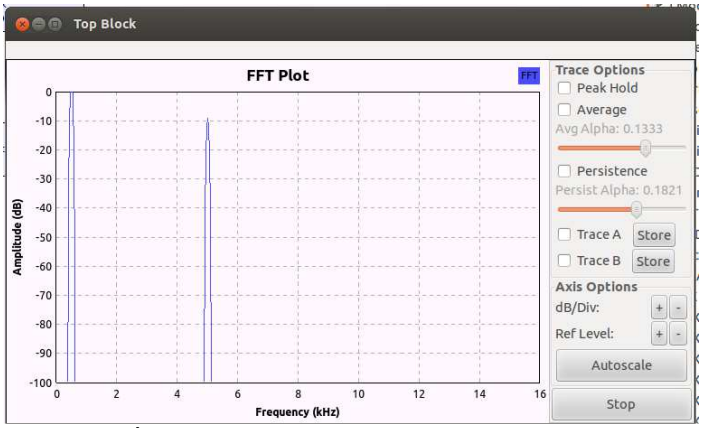
การพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมเป็นการนำโปรแกรม GNU Radio และ GNU Radio Companion สำหรับออกแบบระบบสื่อสารแบบ SDR มาประยุกต์ใช้งาน มีการติดตั้งโปรแกรมดังกล่าวลงบนระบบปฏิบัติการลินุกส์ (Linux Operating system) ซึ่งบุคคลทั่วไปสามารถติดตั้งและใช้งานได้โดยปราศจากค่าใช้จ่าย ในกรณีที่ต้องการติดตั้งโปรแกรมภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows Operating system) ก็สามารถกระทำได้ผ่านระบบคอมพิวเตอร์เสมือน (Virtual machine) ซึ่งเป็นการจำลองการติดตั้งระบบปฏิบัติการลินุกส์ภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ภาพที่ 3-1 แสดงตัวอย่างจอภาพระหว่างการใช้งานโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม ผู้ใช้งานมีหน้าที่อ่านคำแนะนำและขั้นตอนการฝึกปฏิบัติการตามใบงานในแต่ละหัวข้อและฝึกปฏิบัติด้วยการนำบล็อกประมวลผลสัญญาณต่าง ๆ ของโปรแกรม GNU Radio companion มาใช้งานพร้อมทั้งปรับแต่งตัวแปรต่าง ๆ ด้วยตนเอง และดำเนินการทดลองจำลองระบบสื่อสารเพื่อให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลและกำเนิดสัญญาณผลลัพธ์สำหรับใบงานต่าง ๆ เนื่องจากเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลส่วนใหญ่มักติดตั้งระบบปฏิบัติการวินโดวส์ดังนั้นการทดลองใช้งานโปรแกรมจึงมุ่งเน้นที่การใช้งานผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์เสมือนบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ภาพที่ 3-1 แสดงตัวอย่างการทดลองด้านคุณสมบัติของสัญญาณทางเวลาและความถี่โดยเป็นการจำลองลักษณะของสัญญาณทางไฟฟ้าที่เกิดจากผลรวมของลูกคลื่นไซน์จากแหล่งกำเนิดสองแห่งที่มีแอมปริจูดและความถี่แตกต่างกัน เมื่อผู้ใช้งานต่อบล็อกดังภาพที่ 3-1 แล้วโปรแกรมจะเริ่มต้นประมวลผลสัญญาณและกำเนิดสัญญาณผลลัพธ์ดังภาพที่ 3-2 นอกจากนั้นผู้ใช้งานสามารถวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณดังกล่าวได้และจะได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 3-2 และ 3-3



ภาพที่ 3-1 ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการ



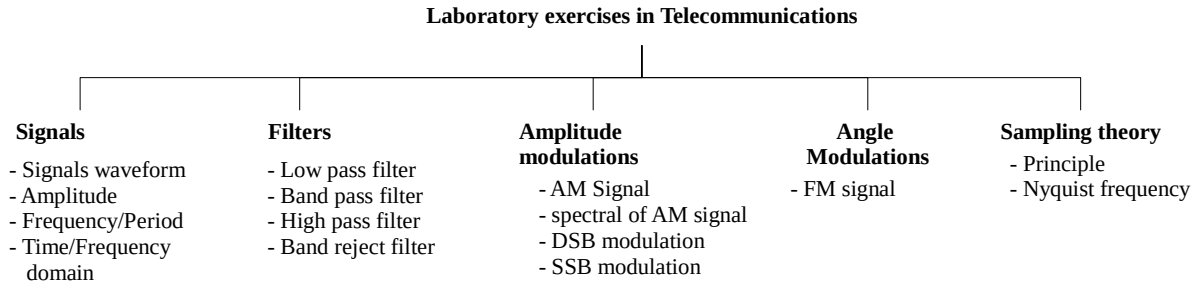
ภาพที่ 3-2 ผลการประมวลผลสัญญาณ



ภาพที่ 3-3 ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณ

2 การพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการโทรคมนาคมด้วยโปรแกรม GNU Radio

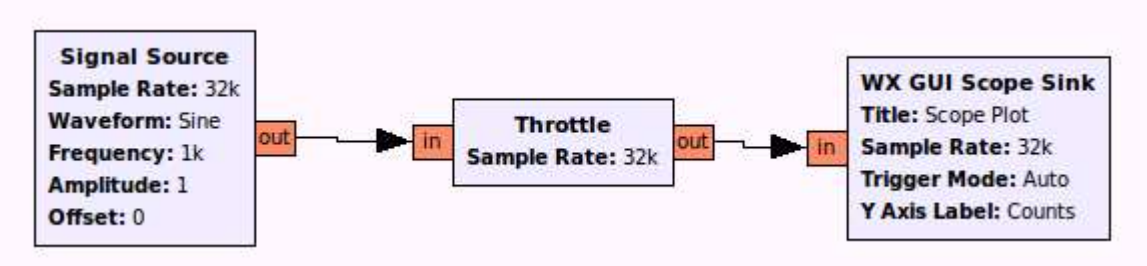
การออกแบบชุดฝึกปฏิบัติการแต่ละชุดนั้นเป็นการนำโมดูลประมวลผลสัญญาณต่าง ๆ ของโปรแกรม GNU Radio companion มาใช้ประกอบการฝึกปฏิบัติการพร้อมทั้งได้จัดทำเอกสารคู่มือประกอบการฝึกปฏิบัติการโดยละเอียด ในอนาคตยังสามารถเพิ่มเติมการฝึกปฏิบัติการอื่นๆ ได้โดยง่าย รายละเอียดของคู่มือประกอบการฝึกปฏิบัติการสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากภาคผนวก เพื่อให้การฝึกปฏิบัติการทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมโดยใช้ชุดฝึกปฏิบัติการนี้ครอบคลุมทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ผู้วิจัยได้แบ่งชุดฝึกปฏิบัติการจำนวน 5 ชุด ได้แก่ ชุดฝึกปฏิบัติการคุณสมบัติของสัญญาณทางไฟฟ้า ชุดฝึกปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ ชุดฝึกปฏิบัติการมอดูเลตเชิงแอมพลิจูด ชุดฝึกปฏิบัติการมอดูเลตเชิงมุม ชุดฝึกปฏิบัติการการชักสัญญาณ โดยที่แต่ละชุดมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 3-4 โครงสร้างโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมด้วยโปรแกรม GNU Radio

2.1 ชุดฝึกปฏิบัติการคุณสมบัติของสัญญาณทางไฟฟ้า

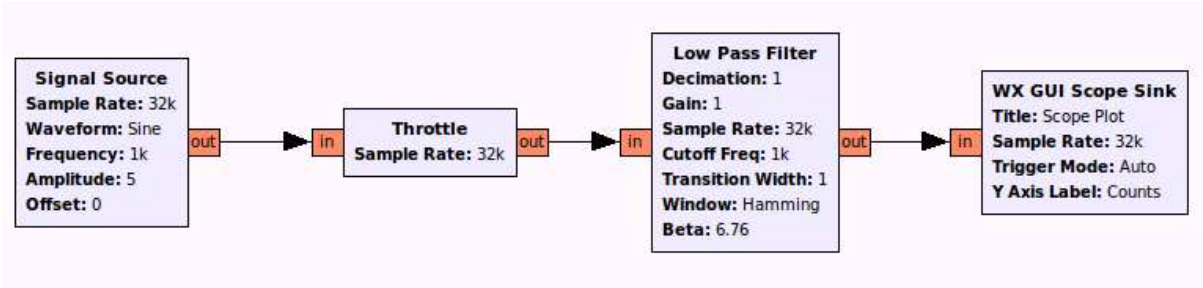
ชุดฝึกปฏิบัติการคุณสมบัติของสัญญาณทางไฟฟ้ามีวัตถุประสงค์เพื่อการเสริมสร้างความเข้าใจด้านคุณสมบัติพื้นฐานของสัญญาณทางไฟฟ้า อาทิ คาบ ความถี่ แอมพลิจูด ลักษณะของสัญญาณทางเวลาและทางถี่แบบต่าง ๆ เป็นการใช้โมดูล Signal source เพื่อกำเนิดสัญญาณต่าง ๆ โดยต่อกับโมดูล Wx GUI Scope Sink และ Wx GUI FFT Sink เพื่อแสดงลักษณะของสัญญาณดังกล่างทางเวลาและทางความถี่ดังตัวอย่างในภาพที่ 3-3 และปรับแต่งค่าตัวแปรต่าง ๆ ของลูกคลื่นสัญญาณเพื่อสังเกตคุณสมบัติของสัญญาณทางเวลาและทางความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป



ภาพที่ 3-5 การทดลองลักษณะลูกคลื่นสัญญาณ

2.2 ชุดฝึกปฏิบัติการวงจรกรองความถี่

ชุดฝึกปฏิบัติการวงจรกรองความถี่มีวัตถุประสงค์เพื่อการเสริมสร้างความเข้าใจด้านคุณลักษณะของวงจรกรองความถี่แบบต่าง ๆ ได้แก่ วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low pass filter) วงจรกรองความถี่สูง (High pass filter) วงจร Band pass filter และ วงจร Band Reject filter โดยเป็นการป้อนสัญญาณจากโมดูลกำเนิดสัญญาณป้อนเข้าสู่โมดูลกรองสัญญาณแบบต่าง ๆ เพื่อศึกษาผลตอบสนองของวงจรกรองความถี่ในกรณีที่ป้อนสัญญาณความถี่ต่าง ๆ



ภาพที่ 3-6 การทดลองวงจรกรองผ่านต่ำ

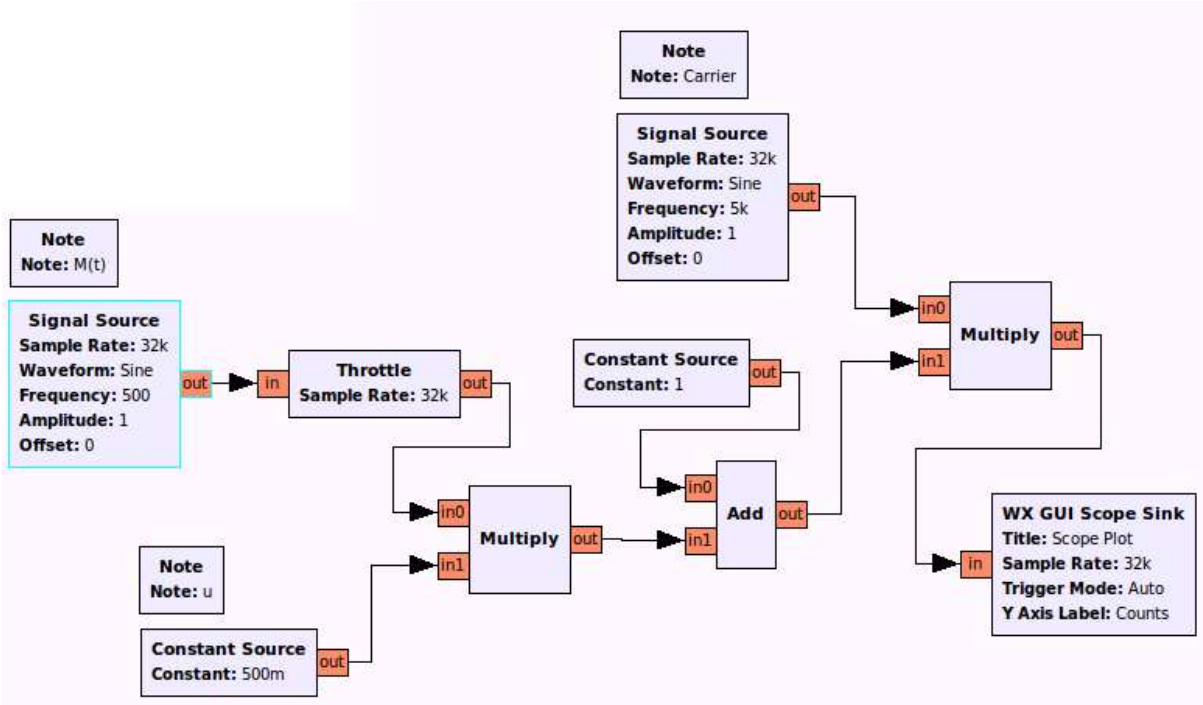
2.3 ชุดฝึกปฏิบัติการมอดูเลตเชิงแอมพลิจูด

ชุดฝึกปฏิบัติการมอดูเลตเชิงแอมพลิจูดมีวัตถุประสงค์เพื่อการเสริมสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับการมอดูเลตเชิงแอมพลิจูดโดยมีการต่อบล็อกประมวลผลสัญญาณต่าง ๆ ตามภาพที่ 3-7 โดยเป็นการจำลองการมอดูเลตสัญญาณแบบเอเอ็มและ Double Side band Suppressed-Carrier (DSB-SC) ตามทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ผู้ทดสอบสามารถปรับตัวแปรต่าง ๆ ได้ เช่น แอมพลิจูดของสัญญาณ และดรรชนีการมอดูเลต เป็นต้น สมการสำหรับกำเนิดสัญญาณเอเอ็ม $s_{AM}(t)$ และ สัญญาณ DSB-SC $s_{DSB}(t)$ ที่ใช้งานเป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$s_{AM}(t) = A_c[1 + m(t)]\cos(2\pi f_c t) \quad (3.1)$$

$$s_{DSB-SC}(t) = A_c m(t)\cos(2\pi f_c t) \quad (3.2)$$

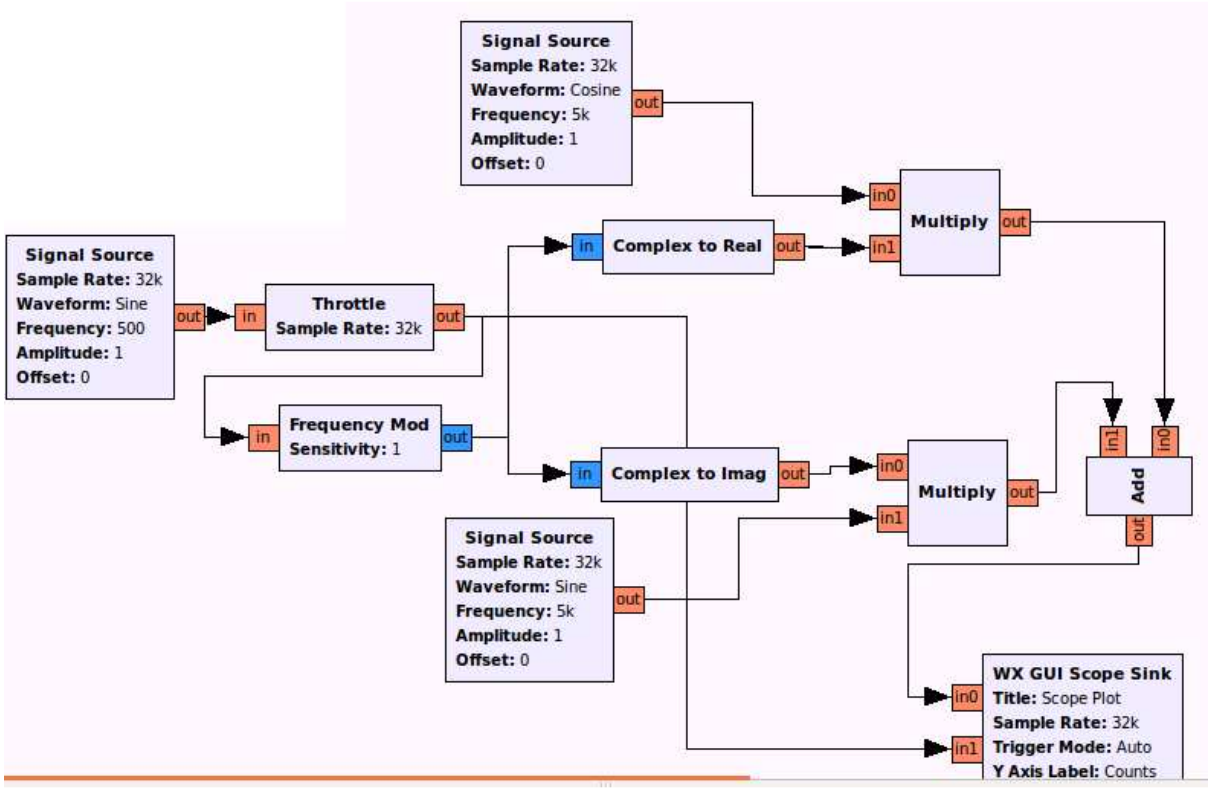
เมื่อ $m(t)$ คือสัญญาณข่าวสาร A_c และ f_c คือแอมพลิจูดและความถี่ของคลื่นพาห์ตามลำดับ



ภาพที่ 3-7 การทดลองสัญญาณเอเอ็ม

2.4 ชุดฝึกปฏิบัติการมอดูเลตเชิงมุม

ชุดฝึกปฏิบัติการมอดูเลตเชิงมุมมีวัตถุประสงค์เพื่อการเสริมสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับการมอดูเลตเชิงความถี่และการมอดูเลตเชิงเฟส โดยมีการต่อบล็อกประมวลผลสัญญาณต่าง ๆ ตามภาพที่ 3-8 เป็นการนำโมดูลประมวลผลสัญญาณด้านการมอดูเลตเชิงเฟสและเชิงมุมของโปรแกรม GNU Radio มาใช้งานโดยตรงและมีการปรับปรุงรูปแบบของสัญญาณขาออกเพื่อให้แสดงให้เห็นถึงสัญญาณแบนด์พาสที่ได้จากการมอดูเลต



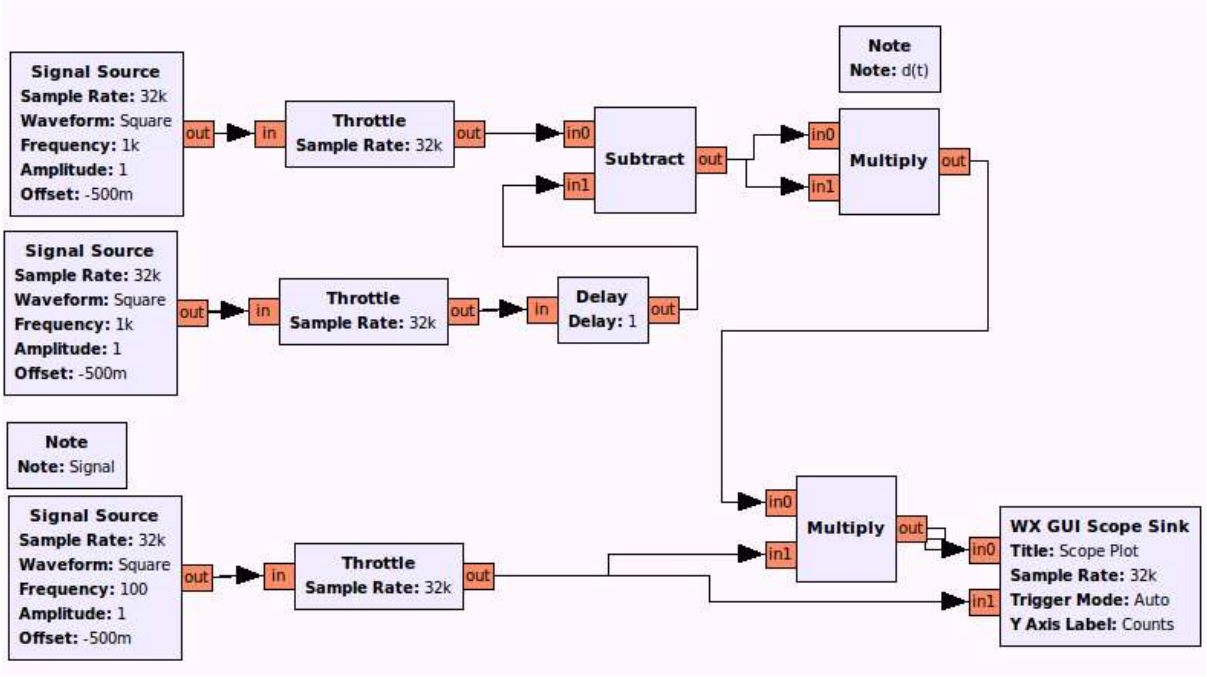
ภาพที่ 3-8 การทดลองสัญญาณเอฟเอ็ม

2.5 ชุดฝึกปฏิบัติการการชักสัญญาณ

ชุดฝึกปฏิบัติการการชักสัญญาณมีวัตถุประสงค์เพื่อการเสริมสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีการชักสัญญาณ มีการต่อบล็อกประมวลผลสัญญาณดังภาพที่ 3-9 โดยเป็นการจำลองการคูณระหว่างสัญญาณข้อมูล $s(t)$ และลูกคลื่นพัลส์ $p(t)$ ซึ่งแสดงถึงการชักสัญญาณตามสมการต่อไปนี้

$$s_{PAM}(t) = s(t)p(t) \tag{3.3}$$

สัญญาณที่ได้จากการชักสัญญาณเป็นลูกคลื่นพัลส์ที่มีแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณข้อมูล เราเรียกสัญญาณดังกล่าวว่าเป็นสัญญาณ PAM (Pulse Amplitude Modulation) ผู้ฝึกปฏิบัติการสามารถปรับอัตราการชักสัญญาณ (Sampling rate) f_s ได้



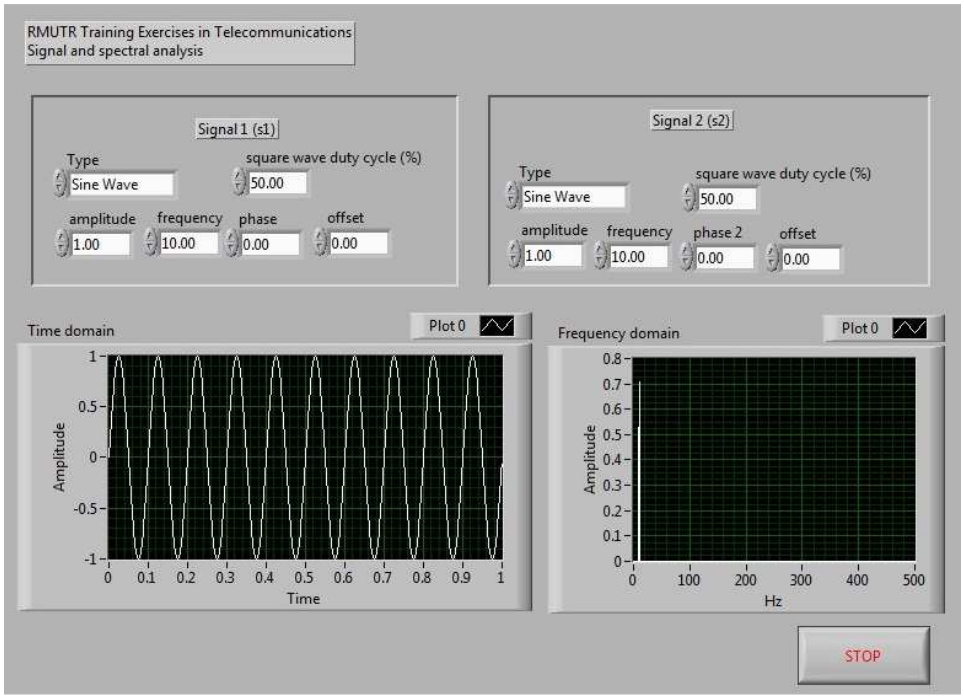
ภาพที่ 3-9 การทดลองชักสัญญาณ

3 การพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการโทรคมนาคมด้วยโปรแกรม LabVIEW

เนื่องจากการพัฒนาโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการด้วยโปรแกรม GNU Radio มีความจำเป็นต้องใช้งานกับเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งติดตั้งระบบปฏิบัติการลินุกส์เป็นหลัก การใช้งานกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์จำเป็นต้องกระทำผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์เสมือน (Virtual machine) และส่งผลให้มีการประมวลผลที่มากเกินไปสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่นเก่า เพื่อเพิ่มความเหมาะสมในการใช้งานชุดฝึกปฏิบัติการกับเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปในสถาบันการศึกษา งานวิจัยนี้จึงได้มีการจัดทำโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ซึ่งมีวิธีการพัฒนาโปรแกรมคล้ายคลึงกับโปรแกรม GNU radio โครงสร้างชุดฝึกปฏิบัติการที่พัฒนาด้วยโปรแกรม LabVIEW มีลักษณะดังภาพที่ 3-4 โดยที่แต่ละหัวข้อมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ชุดฝึกปฏิบัติการคุณสมบัติของสัญญาณทางไฟฟ้า

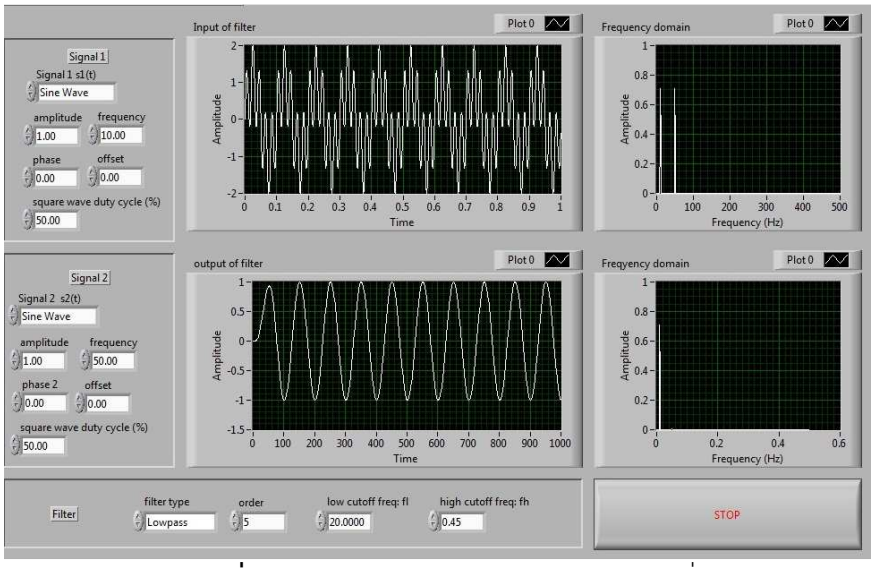
การฝึกปฏิบัติการนี้เป็นการทดลองเกี่ยวกับคุณลักษณะทางเวลาและทางความถี่ของสัญญาณทางไฟฟ้าแบบต่าง ๆ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะดังภาพที่ 3-10 ซึ่งแสดงถึงการแสดงลักษณะของสัญญาณทางเวลาและทางความถี่ของลูกคลื่นไซน์ ผู้ใช้งานสามารถปรับรูปแบบของสัญญาณได้โดยอิสระและสามารถศึกษาลักษณะของสัญญาณทางเวลาและทางความถี่ได้จากกราฟบนจอภาพ การเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่าง ๆ ในโปรแกรมจะส่งผลต่อการแสดงผลบนจอภาพโดยทันที



ภาพที่ 3-10 ชุดฝึกปฏิบัติการคุณสมบัติของสัญญาณทางไฟฟ้า

3.2 ชุดฝึกปฏิบัติการวงจรกรองความถี่

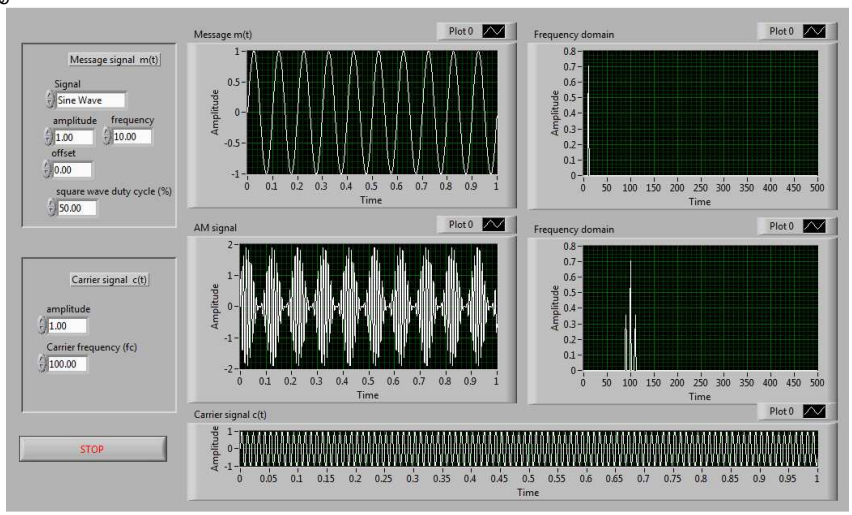
โปรแกรมสำหรับการทดสอบคุณสมบัติของวงจรกรองความถี่มีลักษณะดังภาพที่ 3-11 โดยเป็นโปรแกรมที่แสดงถึงสัญญาณขาเข้าและขาออกของวงจรกรองความถี่แบบต่าง ๆ สัญญาณขาเข้าเกิดจากผลรวมของสัญญาณใด ๆ เข้าด้วยกัน ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบและตัวแปรต่าง ๆ ได้ สำหรับภาพที่ 3-11 เป็นการแสดงถึงสัญญาณขาเข้าและขาออกของวงจรกรองความถี่ต่ำ จากภาพพบว่าสัญญาณที่มีความถี่สูงมากกว่าความถี่คัทออฟจะถูกกำจัดออกไป



ภาพที่ 3-11 ชุดฝึกปฏิบัติการวงจรกรองความถี่

3.3 ชุดฝึกปฏิบัติการมอดูเลตสัญญาณแอนะล็อก

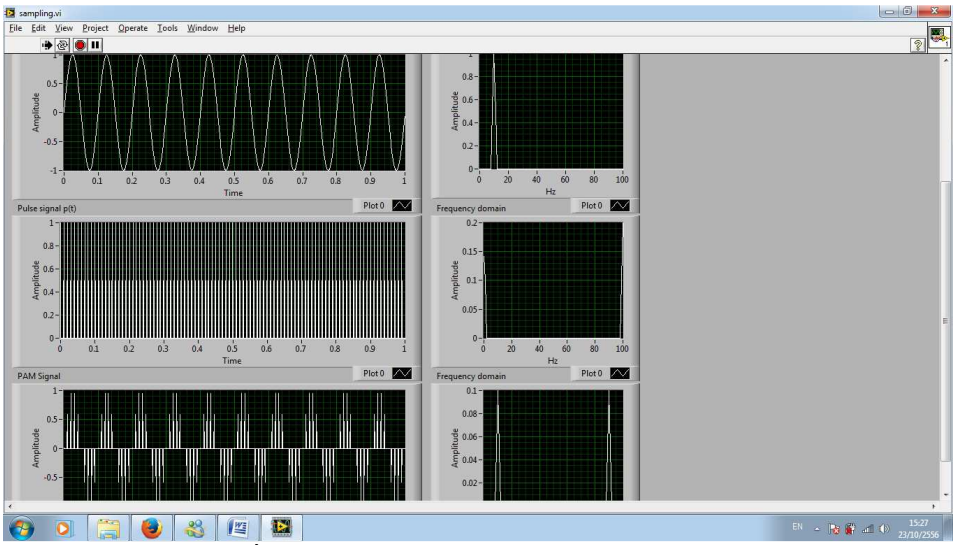
โปรแกรมนี้เป็นการฝึกปฏิบัติเกี่ยวกับการมอดูเลตสัญญาณแอนะล็อกแบบเอเอ็ม เอฟเอ็ม และพีเอ็ม ผู้ใช้งานโปรแกรมนี้สามารถปรับรูปแบบของสัญญาณข้อมูลรวมถึงคลื่นพาห์ได้ กราฟบนจอภาพแสดงถึงลักษณะของสัญญาณทางเวลาและทางความถี่ของสัญญาณขาเข้าและขาออกของภาคมอดูเลตแบบต่าง ๆ ภาพที่ 3-12 เป็นตัวอย่างการใช้งานโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการมอดูเลตสัญญาณเชิงแอมพลิจูดซึ่งสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตเป็นสัญญาณลูกคลื่นไซน์ที่มีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดตามสัญญาณข่าวสาร



ภาพที่ 3-12 ชุดฝึกปฏิบัติการมอดูเลตสัญญาณแอนะล็อก

3.4 ทฤษฎีการชักสัญญาณ

โปรแกรมนี้มีวัตถุประสงค์คือเพื่อการศึกษาพื้นฐานของการชักสัญญาณและทฤษฎีของ Nyquist ภาพที่ 3-13 เป็นตัวอย่างการใช้งานโปรแกรมที่แสดงลักษณะของสัญญาณ PAM ที่ได้จากการชักสัญญาณ



ภาพที่ 3-13 ชุดฝึกปฏิบัติการทฤษฎีการชักสัญญาณ

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานตลอดโครงการ

ผลการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1 การจัดทำโปรแกรมต้นแบบชุดฝึกปฏิบัติการวิศวกรรมโทรคมนาคมด้วยโปรแกรม GNU Radio

ผู้วิจัยได้จัดทำต้นแบบโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมสำหรับติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งติดตั้งระบบปฏิบัติการลินุกส์ Ubuntu 10.04 และโปรแกรมซึ่งพัฒนาด้วย LabVIEW สำหรับการใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการวินโดวส์เพื่อใช้ประกอบการสอนรายวิชา TEE 2206 หลักการของระบบสื่อสาร (Principle of communications) พร้อมทั้งจัดทำเอกสารประกอบการฝึกปฏิบัติการเพื่อการเรียนรู้ด้วยตนเองของนักศึกษา

ภาพที่ 4-1 โปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมพร้อมเอกสารประกอบการฝึกปฏิบัติการด้วยตนเอง

2 การนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการระดับประเทศ

ระหว่างการดำเนินการวิจัยได้มีการนำผลงานบางส่วนไปจัดทำบทความเรื่อง “การพัฒนาโปรแกรมฝึกปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมด้วย Software-Defined Radio” โดยได้รับความอนุเคราะห์ในการให้นำเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 5 (EENET2013) ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ระหว่างวันที่ 27-29 มีนาคม พ.ศ.2556 จากการนำเสนอผลงานวิชาการในการประชุมวิชาการดังกล่าวได้รับคำแนะนำจากผู้ดำเนินการประชุมและผู้เข้าร่วมการประชุมดังนี้

2.1 การใช้โปรแกรมเพื่อเป็นสื่อการสอนมีข้อดีก็คือสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามก็ขอให้อย่างทิ้งการให้นักศึกษาได้ฝึกปฏิบัติกับอุปกรณ์จริงเพื่อสร้างจิตวิญญาณของนักปฏิบัติ

2.2 หากปรับแต่งโปรแกรมเพื่อให้นักศึกษาสามารถฝึกความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ กับคุณสมบัติของระบบสื่อสารได้จะเป็นผลดีแก่นักศึกษา

2.3 หากเป็นไปได้ควรใช้โปรแกรมที่นักศึกษาสามารถนำไปใช้งานจริงได้

ข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้ระหว่างการนำเสนอผลงานเหล่านี้จะถูกนำไปใช้เพื่อการปรับปรุงงานวิจัยต่อไป รายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับบทความวิจัยและการประชุมวิชาการอยู่ในภาคผนวก

(ก) (ข)

ภาพที่ 4-2 การนำเสนอผลการวิชาการในการประชุมวิชาการ EENET 2013 (ก) ห้องประชุม (ข) การนำเสนอผลงาน

3 การถ่ายทอดองค์ความรู้จากการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดการถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่นักศึกษาชั้นที่ปี 3 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์จำนวน 33 คนซึ่งได้ลงเรียนวิชา TEE 2205 หลักการของระบบสื่อสาร (Principle of Communications) ณ ห้อง 10901 อาคารปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ในวันพฤหัสบดีที่ ในวันที่ 25 กรกฎาคม 2556 เวลา 13.00-16.00 น. เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้จากการ

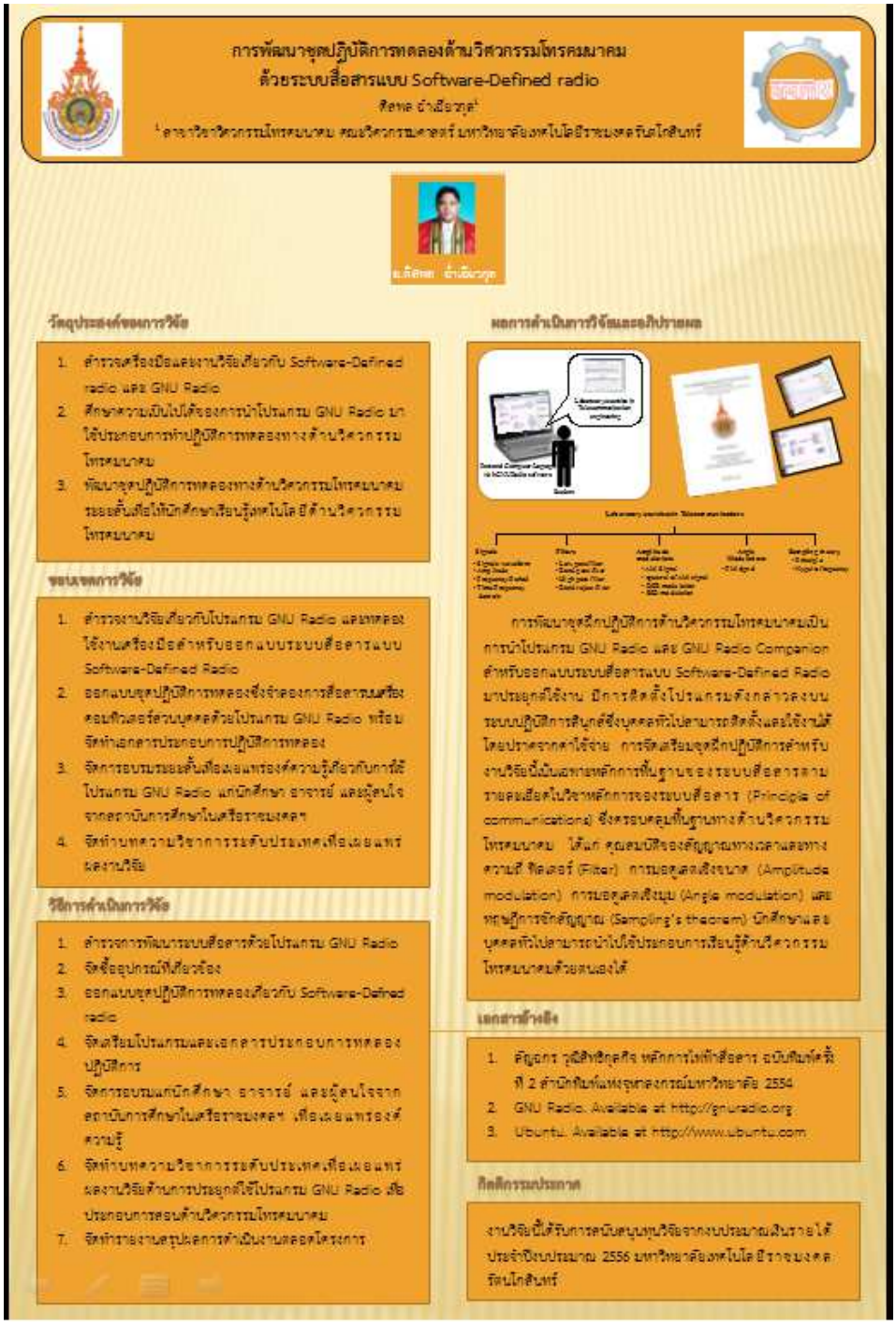
วิจัยแก่นักศึกษา นอกจากนั้นโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมที่พัฒนาขึ้นนี้ยังได้ถูกนำมาใช้ประกอบการเรียนการสอนในวิชาดังกล่าวเพื่อให้นักศึกษาสามารถเข้าใจทฤษฎีที่เกี่ยวข้องได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นแต่อย่างไรก็ตาม ด้วยที่เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่ที่ใช้งานมันใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ดังนั้นการจัดกิจกรรมดังกล่าวจึงเป็นเพียงการบรรยายถึงพื้นฐานของระบบสื่อสารเท่านั้น นักศึกษามิได้ฝึกปฏิบัติการด้วยตนเองได้ นอกจากนั้นมีการจัดทำเอกสารคู่มือประกอบการฝึกปฏิบัติการทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมเพื่อรองรับการฝึกอบรมนักศึกษาและผู้สนใจในภาคการศึกษาต่อไป

ภาพที่ 4-3 การถ่ายทอดผลงานวิจัยให้แก่นักศึกษาใน มทร. รัตนโกสินทร์

ภาพที่ 4-4 การจัดเตรียมเอกสารคู่มือประกอบการฝึกปฏิบัติการสำหรับการจัดกิจกรรมในภาคการศึกษาถัดไป

4 การจัดทำโปสเตอร์เผยแพร่ผลงานวิชาการ

ภายหลังจากที่การดำเนินงานต่าง ๆ เสร็จสิ้นผู้วิจัยได้จัดทำโปสเตอร์เพื่อรองรับการผลงานตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์



ภาพที่ 4-5 โปสเตอร์เผยแพร่ผลงานวิจัย

บทที่ 5
บทสรุป

1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมสำหรับใช้ประกอบการสอนในรายวิชา TEE2205 หลักการของการสื่อสาร ของสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ เป็นการนำโปรแกรม GNU Radio และ GNU radio companion มาใช้ออกแบบชุดฝึกปฏิบัติการ ระหว่างการดำเนินงานตลอดโครงการ ผู้วิจัยได้สำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้จัดทำโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมด้วยโปรแกรม GNU Radio และ โปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนพร้อมทั้งเอกสารคู่มือประกอบการฝึกปฏิบัติการ และระหว่างดำเนินงานวิจัยได้นำเสนอผลงานวิชาการในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5 ระหว่างวันที่ 27-27 มีนาคม 2556 ณ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และถ่ายทอดองค์ความรู้แก่นักศึกษาที่ลงเรียนในรายวิชา TEE2205 หลักการของการสื่อสาร ของสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

2 อภิปรายผล

จากการดำเนินงานตลอดโครงการพบว่าโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการสามารถช่วยสนับสนุนการเรียนการสอนทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมได้ ผู้สอนสามารถนำโปรแกรมมาใช้เป็นสื่อการสอนได้ซึ่งส่งผลให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของระบบสื่อสารผ่านการพิจารณาจากโปรแกรมซึ่งสามารถทำความเข้าใจได้ง่ายกว่าหากเปรียบเทียบกับการอธิบายด้วยการบรรยายประกอบกับรูปภาพในตำราและเอกสารประกอบการสอนตามปรกติ อย่างไรก็ตามโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการดังกล่าวยังไม่ได้รับการประเมินโดยผู้เรียนโดยสมบูรณ์เนื่องจากผู้วิจัยเกิดความล่าช้าในการพัฒนาโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการและพบอุปสรรคในการติดตั้งโปรแกรมลงเครื่องคอมพิวเตอร์ในห้องปฏิบัติการ โดยจะมีการจัดกิจกรรมให้นักศึกษาได้ทดลองใช้งานและประเมินชุดฝึกปฏิบัติการในลำดับถัดไป

3 ข้อเสนอแนะ

ด้วยที่โปรแกรม GNU Radio และชุดฝึกปฏิบัติการดังกล่าวออกแบบมาเพื่อใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการลินุกส์ดังนั้นจึงไม่อาจติดตั้งลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ของนักศึกษาและเครื่องคอมพิวเตอร์ของสถาบันการศึกษาส่วนใหญ่ซึ่งใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ได้โดยง่าย ดังนั้นหากมีการปรับรูปแบบของโปรแกรมให้นักศึกษาสามารถติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์ต่าง ๆ ได้ด้วยตนเองแล้วก็น่าจะส่งผลดีต่อนักศึกษามากขึ้น นอกจากนั้น จากการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระบบสื่อสารแบบ SDR พบว่าองค์ประกอบหลักของระบบสื่อสารคือการออกแบบภาคประมวลผลสัญญาณเบสแบนด์โดยใช้อุปกรณีอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เพื่อนำไปกำเนิดเป็นสัญญาณสำหรับระบบสื่อสารต่อไป ดังนั้นหากพัฒนาชุดประมวลผลสัญญาณโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำ อาทิ ไมโครคอนโทรเลอร์และพัฒนาโมดูลเชื่อมต่อในลักษณะเดียวกับระบบสื่อสารแบบ SDR ก็น่าจะทำให้ได้อุปกรณ์รับส่งข้อมูลสำหรับระบบสื่อสารแบบ SDR ที่มีราคาถูกสำหรับการใช้ประกอบการสอนต่อไปได้

บรรณานุกรม

[1] ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ **หลักการไฟฟ้าสื่อสาร** ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2554

[2] A.F.B. Selva, A.L.G.Reis, “Introduction to the Software-defined Radio Approach,” **IEEE Latin America Transaction**, Vol. 10, No. 1, , pp. 1156-1161, Jan 2012

[3] GNU Radio, Available at http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki

[4] NI LabVIEW, Available at http://www.ni.com/labview/

[5] Ettus Research, Available at http://www.ettus.com

[6] OSSIE, Available at http://ossie.wireless.vt.edu

[7] Gnu Radio-OpenBTS, Available at http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/OpenBTS

[8] 2549 N. Kim, N. Kehtarnavaz, et. al., “LabVIEW-Based Software-Defined Radio: 4-QAM Modem,” **Systemic Cybernetics and Informatics**, Vol. 4, No. 3, pp. 54-61, 2006

[9] L.S. Nagurney, “Software Defined Radio in the Electrical and Computer Engineering Curriculum,” ***Proc.* in the 39th ASEE/IEEE Frontier in Education Conference**, 2009

[10] Easily create a custom ubuntu live CD, Available at http://www.webupd8.org/2010/01/easily-create-custom-ubuntu-live-cd.html

ภาคผนวก ก
บทความวิชาการที่นำเสนอในการประชุมวิชาการ EENET 2013

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

Proceedings of The 5th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET 2013)

การพัฒนาโปรแกรมฝึกปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมด้วย Software-Defined Radio

A Development of Laboratory Exercises in Telecommunication Engineering Based on Software-Defined Radio

ดิสพล ฉ่ำเฉียวกุล[1]

[1]สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

96 หมู่ 3 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม โทรศัพท์: 0 2889 5857 ต่อ 2631 E-mail: ditsapon.chu@rmutr.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงการพัฒนาโปรแกรมฝึกปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมสำหรับใช้ประกอบการสอน เป็นการนำโปรแกรมออกแบบระบบสื่อสารประเภท Software-Defined Radio ที่มีชื่อว่า GNU Radio และ GNU Radio companion มาใช้ในการพัฒนาและจัดทำชุดฝึกปฏิบัติการซึ่งครอบคลุมทฤษฎีต่าง ๆ ทางวิศวกรรมโทรคมนาคม เนื่องจากการพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการสามารถรองรับการสอนพื้นฐานทางวิศวกรรมโทรคมนาคมต่าง ๆ อีกทั้งยังสามารถปรับปรุงชุดฝึกได้ง่ายและมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการไม่มากนักดังนั้นจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มพูนความรู้ให้แก่นักศึกษา

คำสำคัญ: ระบบสื่อสารแบบ Software-Defined Radio โปรแกรม GNURadio

Abstract

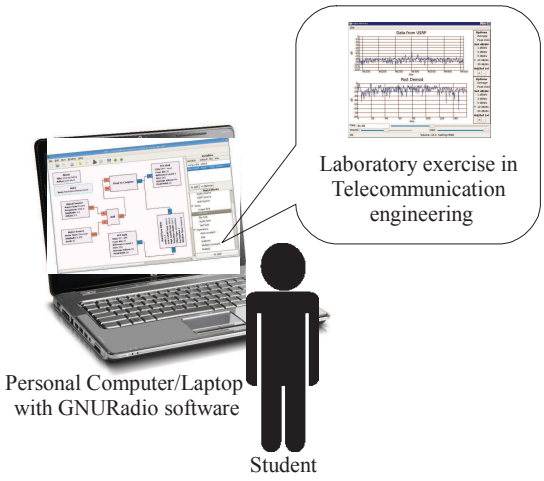
This paper introduces a development of laboratory exercises in telecommunication engineering for applications at classroom. The GNU Radio and GNU Radio companion, software to develop software-defined radio system, are used to provide efficient laboratory exercises and give students more chances to learn principle in telecommunication engineering. This software is suitable for classroom because a lot of theory in telecommunication engineering can be applied and the laboratory exercises can be improved rapidly and low cost.

Keywords: Software-Defined Radio, GNU Radio

1. บทนำ

เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสาร (Communication systems) [1] มีอัตราการเจริญเติบโตอย่างก้าวกระโดด อาทิ ระบบโทรศัพท์เซลลูล่าร์ (Cellular mobile phone) และ การสื่อสารผ่านดาวเทียม (Satellite communications) ด้วยที่ระบบสื่อสารดังกล่าวมีปริมาณผู้ใช้งานเพิ่มขึ้นเทคโนโลยีการประมวลผลสัญญาณและการพัฒนาอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบสื่อสารจึงถูกพัฒนาขึ้นมาเช่นเดียวกัน เทคโนโลยีได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและรวดเร็วดังนั้นการปรับปรุงเนื้อหาสำหรับการสอนนักศึกษาในสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมควรมีการเพิ่มเติมความรู้เกี่ยวกับการสื่อสารที่มีการปรับปรุงให้ทันสมัยอย่างสม่ำเสมอเพื่อเพิ่มพูนทักษะให้แก่นักศึกษาเพื่อการนำไปใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรมได้ การให้ความรู้แก่นักศึกษาในสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคมด้านทฤษฎีที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งเปิดโอกาสให้นักศึกษามีโอกาสเรียนรู้ด้วยตนเองผ่านการทำปฏิบัติการทดลองซึ่งสอดคล้องกับเนื้อหาที่สอนเป็นแนวทางในการให้ความรู้แก่นักศึกษาที่มีประสิทธิภาพและทำให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจได้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมา ณ ปัจจุบัน อาทิ ระบบสื่อสารไร้สายแบบ Multiple-Input Multiple-Output [2] และรหัสควบคุมความผิดพลาด (Error Control Coding) [3] ใช้การออกแบบที่มีความซับซ้อนจึงทำให้เกิดความยากในการจัดเตรียมปฏิบัติการทดลองเพื่อสาธิตหลักการดังกล่าว นอกจากนั้น การปรับปรุงชุดปฏิบัติการทดลองให้ทันสมัยจำเป็นต้องใช้งบประมาณเพิ่มเติมเพื่อการจัดซื้อและปรับปรุงอุปกรณ์ให้ทันสมัยอยู่ตลอดเวลา

เพื่อตอบสนองปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาชุดปฏิบัติการทดลองทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมซึ่งนำโปรแกรม GNU Radio [4] สำหรับออกแบบระบบสื่อสารประเภท Software-Defined radio (SDR) [5] มาใช้ประกอบการทำปฏิบัติการทดลองของผู้เรียน การพัฒนาระบบสื่อสารแบบ SDR เป็นการการพัฒนาอุปกรณ์ในลักษณะของซอฟท์แวร์ (Software) ซึ่งถูกสร้างและติดตั้งลงบนหน่วยประมวลผลเพื่อการประมวลผลสัญญาณจริงแทนการใช้ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ซึ่งใช้วงจรรวม (Integrated circuit) และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ การติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกอุปกรณ์ประมวลผลกระทำผ่านอุปกรณ์ Analog-to-Digital converter (A/D) และ Digital-to-Analog converter (D/A) ดังนั้นการเพิ่มเติมชุดปฏิบัติการเพื่อรองรับการฝึกด้านเทคโนโลยีใหม่ ๆ จึงสามารถทำได้โดยสะดวกและประหยัดจากต้นทุนในการจัดทำชุดฝึกปฏิบัติการ ที่ผ่านมาระบบสื่อสารแบบ GNU Radio ได้ถูกนำมาใช้ในการ



รูปที่ 1 โปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม

วิจัยอย่างแพร่หลาย สำหรับด้านการใช้ประกอบการสอนนั้นใน พ.ศ.2552 Ladimer S. Nagurney ได้สรุปแนวทางการใช้งาน Software-Defined Radio สำหรับการสอนในหลักสูตรวิศวกรรมโทรคมนาคมและวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ [5] นอกจากนั้นยังมีการนำมาใช้ประกอบการสอนในห้องปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม ณ มหาวิทยาลัยต่าง ๆ

บทความนี้เป็นการนำโปรแกรม GNU Radio มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมที่สอดคล้องกับทฤษฎีด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมโดยตรงซึ่งสามารถนำมาใช้เพิ่มพูนความรู้ควบคู่ไปกับการเรียนตามปรกติและใช้เป็นโปรแกรมประกอบการสอนสำหรับผู้สอนได้ นอกจากนั้นการผลิตโปรแกรมชุดฝึกขึ้นมาใช้งานเองยังทำให้ผู้สอนสามารถปรับแต่งรายละเอียดต่าง ๆ ให้สอดคล้องกับการสอนได้สะดวกมากกว่าการใช้ชุดฝึกต่าง ๆ ที่พัฒนาขึ้นโดยผู้อื่นอีกทั้งยังสามารถปรับปรุงได้อย่างสะดวก

ในหัวข้อถัดไปกล่าวถึง โครงสร้างของโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการ หลักการทำงานของระบบสื่อสารแบบ SDR การพัฒนาระบบสื่อสารแบบ SDR ด้วยโปรแกรม GNU Radio และรายละเอียดการพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการทางวิศวกรรมโทรคมนาคม ตามลำดับ

2. โครงสร้างของโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการ

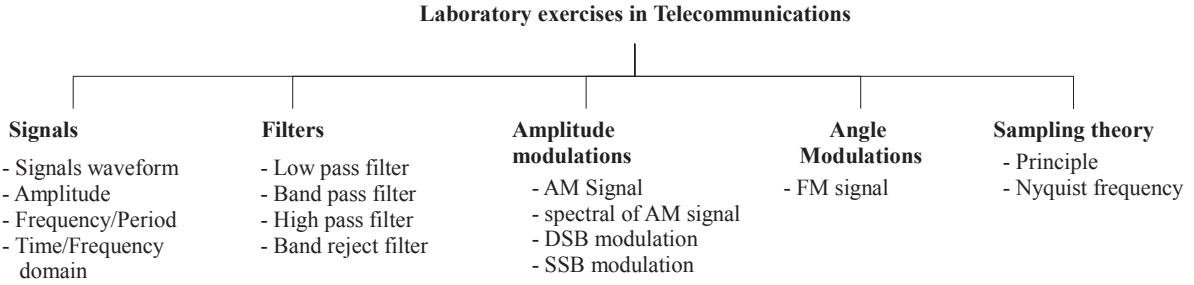
ชุดปฏิบัติการทดสอบที่พัฒนาขึ้นมามีการทำงานดังรูปที่ 1 โดยเป็นการจัดเตรียมชุดโปรแกรมสำหรับใช้ประกอบการฝึกปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมด้วยโปรแกรม GNU Radio และออกแบบให้บุคคลทั่วไปสามารถใช้งานได้โดยง่าย โปรแกรมที่เกี่ยวข้องพร้อมชุดปฏิบัติการทดสอบถูกติดตั้งไว้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal computer) เพื่อให้ผู้ทดลองสามารถจำลองการทำงานของระบบสื่อสารที่ใช้เทคโนโลยีวิศวกรรมโทรคมนาคมต่าง ๆ การที่ชุดปฏิบัติการทดสอบนี้มุ่งเน้นที่การจำลองการทำงานของระบบสื่อสารและปราศจากการเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์ภายนอกเพื่อการเชื่อมต่อกับช่องสัญญาณจริงทำให้ต้นทุนในการจัดซื้ออุปกรณ์ประกอบการสอนไม่มากนัก นอกจากนั้นยังพัฒนาปฏิบัติการทดลองต่าง ๆ ที่สอดคล้องกับทฤษฎีด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม โดยมุ่งเน้นเฉพาะหลักการพื้นฐานของระบบสื่อสารตามรายละเอียดในวิชาหลักการของระบบสื่อสาร (Principle of communications) ซึ่งครอบคลุมพื้นฐานทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม ได้แก่ คุณสมบัติของสัญญาณทางเวลาและทางความถี่ ฟิลเตอร์ (Filter) การมอดูเลตเชิงขนาด (Amplitude modulation) การมอดูเลตเชิงมุม (Angle modulation) และทฤษฎีการชักสัญญาณ (Sampling's theorem) หัวข้อต่อแสดงในรูปที่ 2 ในอนาคตจะมีการเพิ่มเติมการทดลองด้านเทคโนโลยีประมวลผลสัญญาณอื่น ๆเพิ่มเติมต่อไป

3. ระบบสื่อสารแบบ Software-Defined Radio

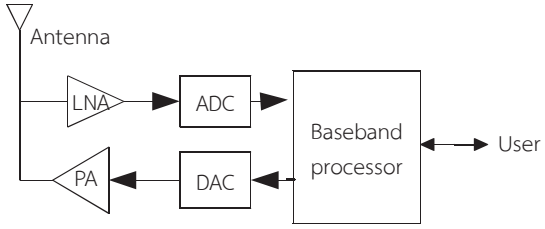
ระบบสื่อสารแบบ SDR คือระบบสื่อสารรูปแบบหนึ่งซึ่งใช้ซอฟท์แวร์เพื่อการออกแบบและกำหนดการทำงานส่วนต่าง ๆ เช่น ภาคมิกเซอร์ (Mixer) ภาคฟิลเตอร์ (Filter) ภาคขยายสัญญาณ (Amplifier) ภาคมอดูเลต (Modulator) และดีมอดูเลต (Demodulator) เป็นต้น พื้นฐานการทำงานของระบบสื่อสารแบบ SDR มีลักษณะดังรูปที่ 3 กล่าวคือการทำงานในส่วนประมวลผลสัญญาณเบสแบนด์ (Baseband) กระทำโดยหน่วยประมวลผลซึ่งใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal computer) หรือหน่วยประมวลผลขนาดเล็ก (Embedded devices) สัญญาณที่รับและส่งในระบบสื่อสารด้วยภาค Front end จะถูกส่งเข้าสู่อุปกรณ์ Analog-to-Digital Converter (ADC) และ Digital-to-Analog Converter (DAC) เพื่อเชื่อมต่อกับหน่วยประมวลผลสัญญาณ การควบคุมการทำงานต่าง ๆ ของหน่วยประมวลผลสัญญาณกระทำโดยการออกแบบซอฟท์แวร์ SDR เพื่อรองรับการทำงานต่าง ๆ และติดตั้งลงบนหน่วยประมวลผล

4. โปรแกรม GNU Radio

โปรแกรม GNU radio [5] เป็นโปรแกรมสำหรับการออกแบบและพัฒนาระบบสื่อสารแบบ SDR ประเภทโอเพนซอร์ซ (Open source) ที่เปิดโอกาสให้บุคคลทั่วไปติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ผู้ใช้งานสามารถออกแบบระบบสื่อสารได้ด้วยการนำโมดูลการประมวลผลสัญญาณต่าง ๆ ที่ได้ถูกจัดเตรียมไว้อย่างสมบูรณ์มาต่อเพื่อใช้งานร่วมกันได้ด้วยภาษาไพทอน (Python) และยังสามารถพัฒนาโมดูลต่าง ๆ เพิ่มเติมสำหรับการใช้งานเฉพาะกิจได้ด้วยภาษา C/C++ การออกแบบการประมวลผลสัญญาณต่าง ๆ ทั้งหมดกระทำด้วยโปรแกรม GNU Radio โปรแกรมพัฒนาสามารถจำลองการทำงานของ



รูปที่ 2 โครงสร้างโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม



รูปที่ 3 พื้นฐานระบบสื่อสารแบบ SDR

ระบบสื่อสารบนเครื่องคอมพิวเตอร์ได้โดยปราศจากการเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารจริง การเชื่อมต่อเพื่อรับและส่งข้อมูลจากภายนอกสำหรับการใช้งานที่ภาครับและส่งกระทำได้ด้วยการใช้ Audio port ของเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือใช้อุปกรณ์ ADC และ DAC เพื่อการเชื่อมต่อกับภาค RF Front end เพื่อการรับส่งสัญญาณผ่านสายอากาศ

5. ชุดฝึกปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม

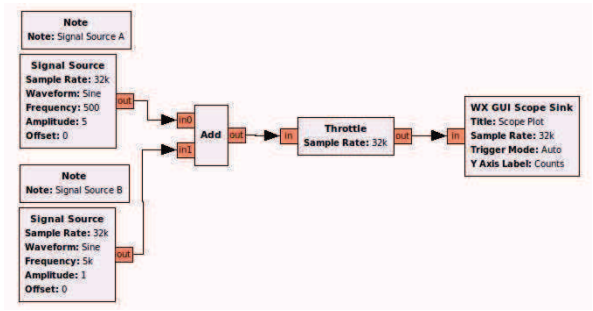
การพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมเป็นการนำโปรแกรม GNU Radio และ GNU Radio Companion [6] สำหรับออกแบบระบบสื่อสารแบบ SDR มาประยุกต์ใช้งาน มีการติดตั้งโปรแกรมดังกล่าวลงบนระบบปฏิบัติการลินุกส์ (Linux Operating system) [7] ซึ่งบุคคลทั่วไปสามารถติดตั้งและใช้งานได้โดยปราศจากค่าใช้จ่าย ในกรณีที่ต้องการติดตั้งโปรแกรมภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows Operating system) ก็สามารถกระทำได้ผ่านระบบคอมพิวเตอร์เสมือน (Virtual machine) ซึ่งเป็นการจำลองการติดตั้งระบบปฏิบัติการลินุกส์ภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างจอภาพระหว่างการใช้งานโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม ผู้ใช้งานมีหน้าที่อ่านคำแนะนำและขั้นตอนการฝึกปฏิบัติการตามใบงานในแต่ละหัวข้อและฝึกปฏิบัติด้วยการนำบล็อกประมวลผลสัญญาณต่าง ๆ ของโปรแกรม GNU Radio companion มาใช้งานพร้อมทั้งปรับแต่งตัวแปรต่าง ๆ ด้วยตนเอง และดำเนินการทดลองจำลองระบบสื่อสารเพื่อให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลและกำเนิดสัญญาณผลลัพธ์สำหรับใบงานต่าง ๆ

6. ผลการทดสอบ

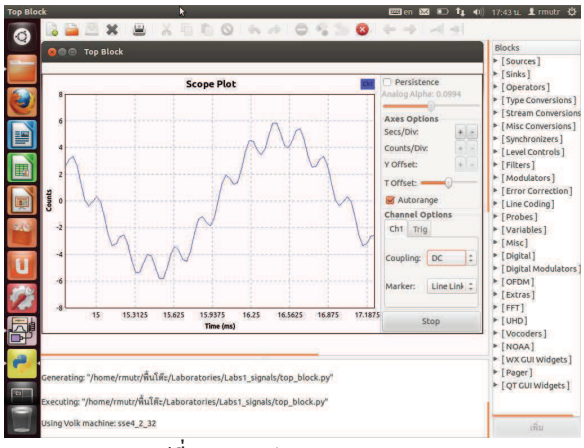
ปัจจุบันโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมอยู่ระหว่างการออกแบบและพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการ เนื่องจากเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลส่วนใหญ่มักติดตั้งระบบปฏิบัติการวินโดวส์ดังนั้นการทดลองใช้งานโปรแกรมจึงมุ่งเน้นที่การใช้งานผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์เสมือนบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างการทดลองด้านคุณสมบัติของสัญญาณทางเวลาและความถี่โดยเป็นการจำลองลักษณะของสัญญาณทางไฟฟ้าที่เกิดจากผลรวมของลูกคลื่นไซน์จากแหล่งกำเนิดสองแห่งที่มีแอมปริจูดและความถี่แตกต่างกัน เมื่อผู้ใช้งานต่อบล็อกดังรูปที่ 4 แล้วโปรแกรมจะเริ่มต้นประมวลผลสัญญาณและกำเนิดสัญญาณผลลัพธ์ดังรูปที่ 5 นอกจากนั้นผู้ใช้งานสามารถวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณดังกล่าวได้และจะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 6

บทสรุป

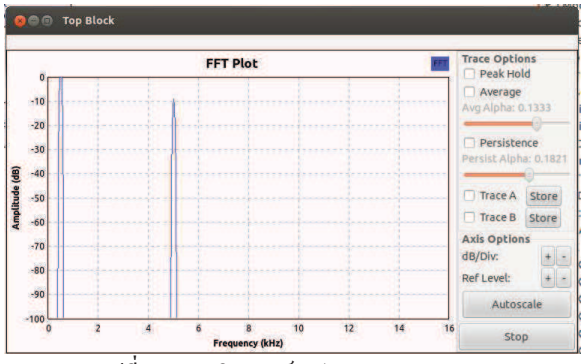
บทความนี้กล่าวถึงการพัฒนาโปรแกรมฝึกปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมสำหรับใช้ประกอบการเรียนการสอนวิชาหลักการของระบบสื่อสารสำหรับนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ เป็นการนำโปรแกรมออกแบบระบบสื่อสารประเภท Software-Defined Radio ที่มีชื่อว่า GNU Radio มาใช้ในการพัฒนาและจัดทำชุดฝึกปฏิบัติการทางทฤษฎีต่าง ๆ ที่จำเป็นเพื่อให้ผู้ฝึกปฏิบัติมีโอกาสเพิ่มพูนความรู้เพิ่มเติมนอกเหนือจากการสอนตามปรกติ ผลการทดสอบการใช้งานภายใต้เครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์พบว่าโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมสามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสม



รูปที่ 4 ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการ



รูปที่ 5 ผลการประมวลผลสัญญาณ



รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณ

ผลจากการทดลองใช้งานสามารถสรุปได้ว่าการออกแบบชุดฝึกปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมโดยการนำโปรแกรม GNU Radio สามารถออกแบบชุดฝึกประสิทธิภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้สอนสามารถออกแบบการฝึกปฏิบัติการโดยใช้บล็อกประมวลผลสัญญาณต่าง ๆ ได้โดยสะดวกและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ ได้หลายรูปแบบ อย่างไรก็ตามการติดตั้งโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการนี้กระทำผ่านระบบคอมพิวเตอร์เสมือนดังนั้นการประมวลผลสัญญาณต่าง ๆ จึงใช้เวลามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้ระบบปฏิบัติการลินุกส์โดยตรง ทั้งนี้จะมีการปรับปรุงเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสมรวมทั้งให้นักศึกษาได้ทดลองใช้งานชุดฝึกปฏิบัติการเพื่อประเมินผลการใช้งานต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาชุดปฏิบัติการทดลองด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมด้วยระบบสื่อสารแบบ Software-Defined radio” ซึ่งได้รับการสนับสนุนงบประมาณวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ.2546 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

เอกสารอ้างอิง

[1] ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ หลักการไฟฟ้าสื่อสาร ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2554

[2] V. Tarokh, H. Jafarkhani, A. R. Carlderbank, “Space-Time Block Codes from Orthogonal design,” IEEE Trans. Inform. Theory, Vol.45, No. 5, pp. 1456–1467, July 1999

[3] Theodore S. Rappaport, “Wireless Communications: Principle and Practice,” the 2nd Edition, Prentice Hall, 2009

[4] GNU Radio. Available at http://gnuradio.org

[5] Ladimer S. Nagurney, “Software Defined Radio in Electrical and Computer Engineering Curriculum,” the 39th ASEE/IEEE Frontier in Education Conference, October 18-21, 2009

[6] GNU Radio Companion. Available at http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/GNURadioCompanion

[7] Ubuntu. Available at http://www.ubuntu.com

นายดิสพล ฉ่ำเฉียวกุล จบการศึกษาระดับปริญญาโทจากภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระหว่างการศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาได้รับทุนสนับสนุนการศึกษาจากสถาบันพัฒนาบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย (TGIST) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ งานวิจัยที่สนใจได้แก่การสื่อสารไร้สาย และการสื่อสารทางแสง

ภาคผนวก ข
เอกสารประกอบโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการทดลองด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมด้วย Software-Defined Radio

โปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการทดลองด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมด้วย Software-Defined Radio

(Laboratory Exercises in Telecommunication Engineering Based on Software-Defined Radio)

อ.ดิสพล ฉ่ำเฉียวกุล

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ปีการศึกษา 2556

คำนำ

ตำราเล่มนี้กล่าวถึงโปรแกรมฝึกปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมสำหรับใช้ประกอบการสอน เป็นการนำโปรแกรมออกแบบระบบสื่อสารประเภท Software-Defined Radio ที่มีชื่อว่า GNU Radio และ GNU Radio companion มาใช้ในการพัฒนาและจัดทำชุดฝึกปฏิบัติการซึ่งครอบคลุมทฤษฎีต่าง ๆ ทางวิศวกรรมโทรคมนาคม เนื่องจากการพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการสามารถรองรับการสอนพื้นฐานทางวิศวกรรมโทรคมนาคมต่าง ๆ อีกทั้งยังสามารถปรับปรุงชุดฝึกได้ง่ายและมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการไม่มากนักดังนั้นจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มพูนความรู้ให้แก่นักศึกษา นอกจากนั้นมีการจัดเตรียมชุดฝึกปฏิบัติการทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมเพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนรายวิชา TEE2205 หลักการของระบบสื่อสารสำหรับนักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ตำราเล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาชุดปฏิบัติการทดลองด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมด้วยระบบสื่อสารแบบ Software-Defined radio” ซึ่งได้รับการสนับสนุนงบประมาณวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ.2556 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

กิตติกรรมประกาศ

เนื้อหาบางส่วนในตำราเล่มนี้ได้รับการสนับสนุนข้อมูลและจัดทำโดยนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ผู้แต่งขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
คำนำ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
บทที่ 1 บทนำ	1-1
บทที่ 2 คุณสมบัติของสัญญาณทางไฟฟ้า	2-1
การทดลองที่ 2.1 ลักษณะลูกคลื่นสัญญาณ	2-1
การทดลองที่ 2.2 ลักษณะลูกคลื่นสัญญาณ	2-2
การทดลองที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าความถี่และคาบเวลา	2-3
การทดลองที่ 2.4 สัญญาณทางความถี่ของลูกคลื่นไซน์	2-4
บทที่ 3 วงจรกรองสัญญาณ	3-1
การทดลองที่ 3.1 วงจรกรองผ่านต่ำ	3-1
การทดลองที่ 3.2 วงจรกรองความถี่สูง	3-3
การทดลองที่ 3.3 วงจร Band Pass Filter	3-5
การทดลองที่ 3.4 วงจร Band Reject Filter	3-7
การทดลองที่ 3.5 การกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการด้วยวงจรกรองความถี่	3-9
บทที่ 4 การมอดูเลตเชิงแอมพลิจูด	4-1
การทดลองที่ 4.1 คุณลักษณะของสัญญาณเอเอ็ม	4-1
การทดลองที่ 4.2 สเปกตรัมและแบนด์วิดท์ของสัญญาณเอเอ็ม	4-3
การทดลองที่ 4.3 การมอดูเลตแบบ DSB	4-5

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 การมอดูเลตเชิงมุม	5-1
การทดลองที่ 5.1 คุณลักษณะของสัญญาณเอฟเอ็ม	5-1
การทดลองที่ 5.2 คุณลักษณะของสัญญาณพีเอ็ม	5-3
บทที่ 6 ทฤษฎีการชักสัญญาณ	6-1
การทดลองที่ 6.1 หลักการชักสัญญาณ	6-1
การทดลองที่ 6.2 Nyquist’s theorem	6-3
บรรณานุกรม	7-1

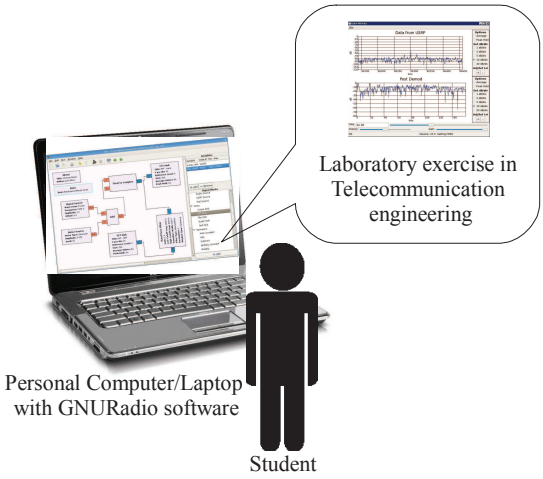
บทที่ 1

บทนำ

เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสาร (Communication systems) [1] มีอัตราการเจริญเติบโตอย่างก้าวกระโดด อาทิ ระบบโทรศัพท์เซลลูล่าร์ (Cellular mobile phone) และ การสื่อสารผ่านดาวเทียม (Satellite communications) ด้วยที่ระบบสื่อสารดังกล่าวมีปริมาณผู้ใช้งานเพิ่มขึ้นเทคโนโลยีการประมวลผลสัญญาณและการพัฒนาอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบสื่อสารจึงถูกพัฒนาขึ้นมาเช่นเดียวกัน เทคโนโลยีได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและรวดเร็วดังนั้นการปรับปรุงเนื้อหาสำหรับการสอนนักศึกษาในสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมควรมีการเพิ่มเติมความรู้เกี่ยวกับการสื่อสารที่มีการปรับปรุงให้ทันสมัยอย่างสม่ำเสมอเพื่อเพิ่มพูนทักษะให้แก่นักศึกษาเพื่อการนำไปใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรมได้ การให้ความรู้แก่นักศึกษาในสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคมด้านทฤษฎีที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งเปิดโอกาสให้นักศึกษามีโอกาสเรียนรู้ด้วยตนเองผ่านการทำปฏิบัติการทดลองซึ่งสอดคล้องกับเนื้อหาที่สอนเป็นแนวทางในการให้ความรู้แก่นักศึกษาที่มีประสิทธิภาพและทำให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจได้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมา ณ ปัจจุบัน อาทิ ระบบสื่อสารไร้สายแบบ Multiple-Input Multiple-Output [2] และรหัสควบคุมความผิดพลาด (Error Control Coding) [3] ใช้การออกแบบที่มีความซับซ้อนจึงทำให้เกิดความยากในการจัดเตรียมปฏิบัติการทดลองเพื่อสาธิตหลักการดังกล่าว นอกจากนั้น การปรับปรุงชุดปฏิบัติการทดลองให้ทันสมัยจำเป็นต้องใช้งบประมาณเพิ่มเติมเพื่อการจัดซื้อและปรับปรุงอุปกรณ์ให้ทันสมัยอยู่ตลอดเวลา

เพื่อตอบสนองปัญหาดังกล่าวงานผู้แต่งจึงได้พัฒนาชุดปฏิบัติการทดลองทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมซึ่งนำโปรแกรม GNU Radio [4] สำหรับออกแบบระบบสื่อสารประเภท Software-Defined radio (SDR) [5] มาใช้ประกอบการทำปฏิบัติการทดลองของผู้เรียน การพัฒนาระบบสื่อสารแบบ SDR เป็นการการพัฒนาอุปกรณ์ในลักษณะของซอฟท์แวร์ (Software) ซึ่งถูกสร้างและติดตั้งลงบนหน่วยประมวลผลเพื่อการประมวลผลสัญญาณจริงแทนการใช้ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ซึ่งใช้วงจรรวม (Integrated circuit) และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ การติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกอุปกรณ์ประมวลผลกระทำผ่านอุปกรณ์ Analog-to-Digital converter (A/D) และ Digital-to-Analog converter (D/A) ดังนั้น การเพิ่มเติมชุดปฏิบัติการเพื่อรองรับการฝึกด้านเทคโนโลยีใหม่ ๆ จึงสามารถทำได้โดยสะดวกและปราศจากต้นทุนในการจัดทำชุดฝึกปฏิบัติการ ที่ผ่านมาระบบสื่อสารแบบ GNU Radio ได้ถูกนำมาใช้ในการวิจัยอย่างแพร่หลาย สำหรับด้านการใช้ประกอบการสอนนั้นใน พ.ศ.2552 Ladimer S. Nagurney ได้สรุปแนวทางการใช้งาน Software-Defined Radio สำหรับการสอนในหลักสูตรวิศวกรรมโทรคมนาคมและวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ [5] นอกจากนั้นยังมีการนำมาใช้ประกอบการสอนในห้องปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม ณ มหาวิทยาลัยต่าง ๆ

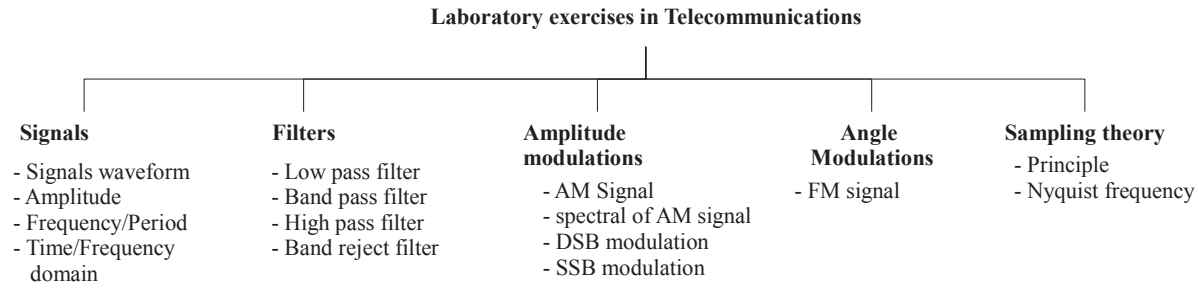
ตำราเล่มนี้เป็นการนำโปรแกรม GNU Radio มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมที่สอดคล้องกับทฤษฎีด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมโดยตรงซึ่งสามารถนำมาใช้เพิ่มพูนความรู้ควบคู่ไปกับการเรียนตามปรกติและใช้เป็นโปรแกรมประกอบการสอนสำหรับผู้สอนได้ นอกจากนั้นการผลิตโปรแกรมชุดฝึกขึ้นมาใช้งานเองยังทำให้ผู้สอนสามารถปรับแต่งรายละเอียดต่าง ๆ ให้สอดคล้องกับการสอนได้สะดวกมากกว่าการใช้ชุดฝึกต่าง ๆ ที่พัฒนาขึ้นโดยผู้อื่นอีกทั้งยังสามารถปรับปรุงได้อย่างสะดวก



รูปที่ 1.1 โปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม

1.1 โครงสร้างของโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการ

การออกแบบชุดฝึกปฏิบัติการแต่ละชุดนั้นเป็นการนำโมดูลประมวลผลสัญญาณต่าง ๆ ของโปรแกรม GNU Radio companion มาใช้ประกอบการฝึกปฏิบัติการพร้อมทั้งได้จัดทำเอกสารคู่มือประกอบการฝึกปฏิบัติการโดยละเอียด ในอนาคตยังสามารถเพิ่มเติมการฝึกปฏิบัติการอื่นๆ ได้โดยง่าย รายละเอียดของคู่มือประกอบการฝึกปฏิบัติการสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากภาคผนวก เพื่อให้การฝึกปฏิบัติการทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมโดยใช้ชุดฝึกปฏิบัติการนี้ครอบคลุมทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ผู้วิจัยได้แบ่งชุดฝึกปฏิบัติการจำนวน 5 ชุด ได้แก่ ชุดฝึกปฏิบัติการคุณสมบัติของสัญญาณทางไฟฟ้า ชุดฝึกปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ ชุดฝึกปฏิบัติการมอดูเลตเชิงแอมพลิจูด ชุดฝึกปฏิบัติการมอดูเลตเชิงมุม



รูปที่ 1.2 โครงสร้างโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม

บทที่ 2

คุณสมบัติของสัญญาณทางไฟฟ้า

วัตถุประสงค์ของการฝึกปฏิบัติการ

1. เข้าใจลักษณะลูกคลื่นสัญญาณแบบต่าง ๆ
2. เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ คาบเวลา และแอมพลิจูดกับลักษณะลูกคลื่นสัญญาณ

การทดลองที่ 2.1 ลักษณะลูกคลื่นสัญญาณ

2.1.1 ต่อบล็อกดังรูปที่ 2.1 โดยใช้บล็อก (Block) ในหมวด (Category) Source Wx GUI widget และ Misc ตามลำดับ

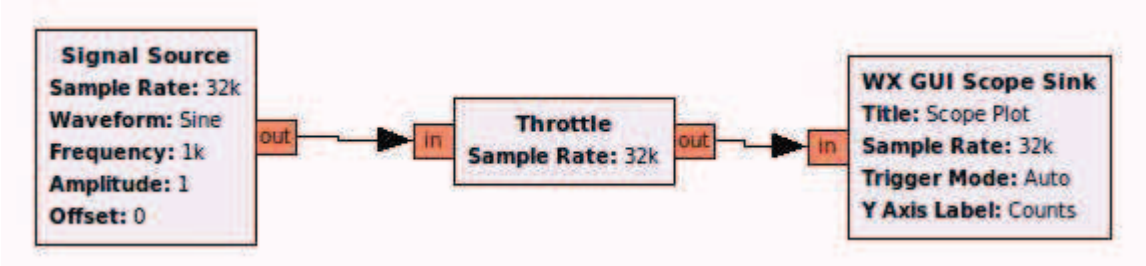
2.1.2 กดดับเบิ้ลคลิ๊กที่บล็อก Signal Source และกำหนดค่าตัวแปรดังนี้

- Output type: Float
- Waveform: sine
- Amplitude: 5

2.1.3 ปรับตัวแปร Type ของบล็อก Throttle และ Wx GUI Scope sink เป็น Float

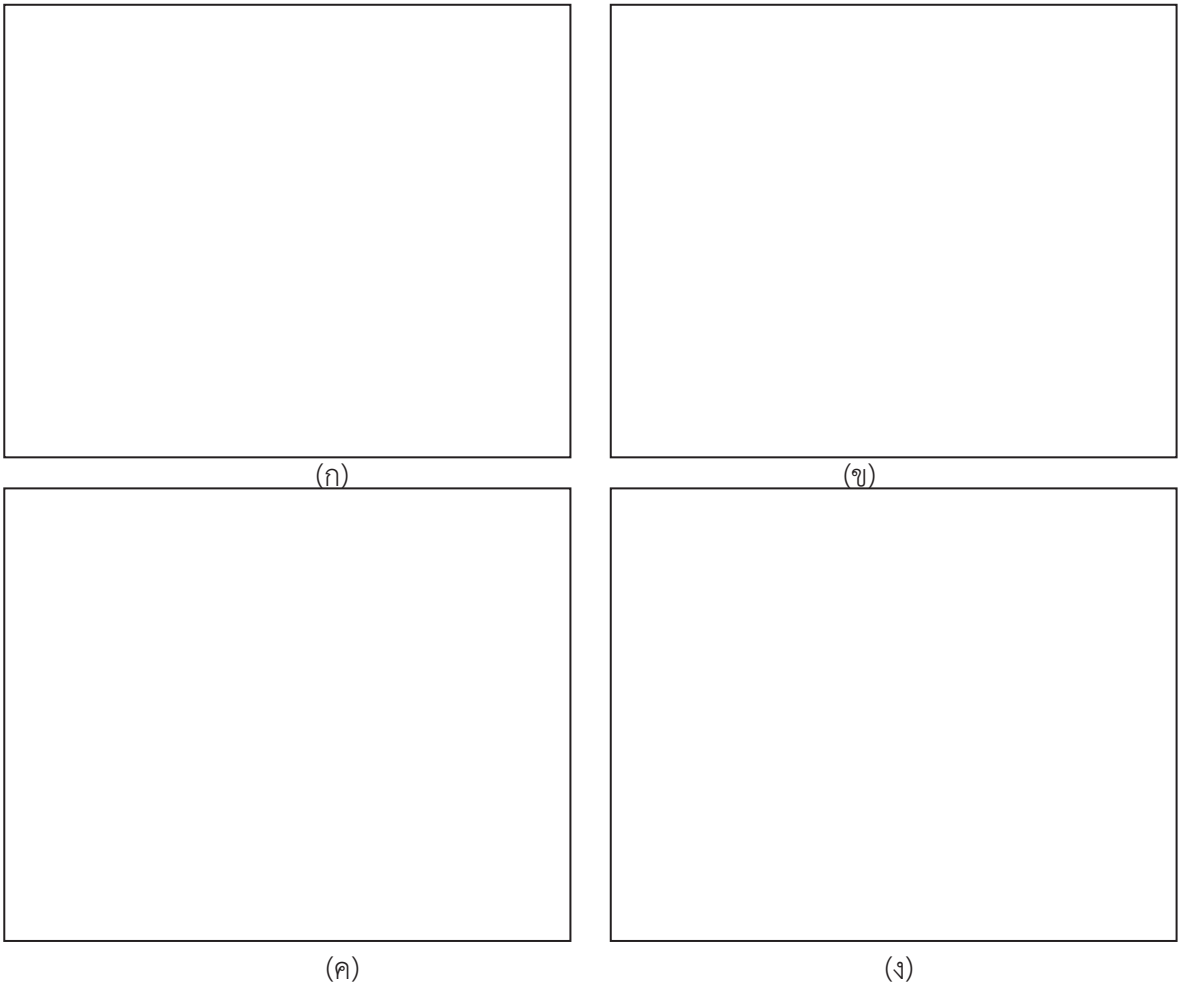
2.1.4 เริ่มต้นการจำลองการทำงานของระบบโดยเลือกเมนู Build>>Generates และ Build>>Execute ตามลำดับ

2.1.5 บันทึกกราฟลูกคลื่นไซน์ลงในรูปที่ 2.2 (ก)



รูปที่ 2.1 การทดลองลักษณะลูกคลื่นสัญญาณ

2.1.6 ปรับรูปแบบลูกคลื่นโดยกดดับเบิ้ลคลิ๊กที่บล็อก Signal Source และเปลี่ยนตัวแปร Waveform เป็น Square Triangle และ Saw Tooth ตามลำดับ ทำการทดลอง 2.4-2.5 ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง บันทึกผลการทดลองลงในรูป 2.2(ข) 2.2(ค) และ 2.2(ง) ตามลำดับ



รูปที่ 2.2 กราฟลูกคลื่นสัญญาณ (ก) ลูกคลื่นไซน์ (ข) ลูกคลื่นโคไซน์ (ค) Triangle (ง) Saw tooth

การทดลองที่ 2.2 ลักษณะลูกคลื่นสัญญาณ

2.2.1 ต่อบล็อกดังรูปที่ 2.1 โดยใช้บล็อก (Block) ในหมวด (Category) Source Wx GUI widget และ Misc ตามลำดับ

2.2.2 กดดับเบิ้ลคลิ๊กที่บล็อก Signal Source และกำหนดค่าตัวแปรดังนี้

- Output type: Float
- Waveform: sine
- Amplitude: 5

2.2.3 ปรับตัวแปร Type ของบล็อก Throttle และ Wx GUI Scope sink เป็น Float

2.2.4 เริ่มต้นการจำลองการทำงานของระบบโดยเลือกเมนู Build>>Generates และ Build>>Execute ตามลำดับ

2.2.5 บันทึกค่าแรงดันสูงสุดของสัญญาณลูกคลื่นไซน์

แรงดันสูงสุดมีค่าเป็น_____โวลต์

2.2.6 ทำการทดลอง2.2.2 ถึง 2.2.5 ซ้ำอีกครั้งโดยเปลี่ยนตัวแปร Amplitude เป็น 10 บันทึกค่าแรงดันสูงสุดของสัญญาณลูกคลื่นไซน์

แรงดันสูงสุดมีค่าเป็น_____โวลต์

คำถาม

จากผลการทดลองนี้ ค่าแอมพลิจูด (Amplitude) ของลูกคลื่นไซน์มีความสัมพันธ์กับค่าสูงสุดของลูกคลื่นไซน์อย่างไร

_____

_____

_____

การทดลองที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และคาบเวลา

2.3.1 ต่อบล็อกดังรูปที่ 2.1 โดยใช้บล็อก (Block) ในหมวด (Category) Source Wx GUI widget และ Misc ตามลำดับ

2.3.2 กดดับเบิ้ลคลิ๊กที่บล็อก Signal Source และกำหนดค่าตัวแปรดังนี้

- Output type: Float
- Waveform: sine
- Amplitude: 5
- Frequency : 1000

2.3.3 ปรับตัวแปร Type ของบล็อก Throttle และ Wx GUI Scope sink เป็น Float

2.3.4 เริ่มต้นการจำลองการทำงานของระบบโดยเลือกเมนู Build>>Generates และ Build>>Execute ตามลำดับ

2.3.5 คำนวณคาบเวลาของลูกคลื่นไซน์จากความถี่ f โดยใช้สมการต่อไปนี้ ($f = 1000Hz$)

$$T = \frac{1}{f}$$

บันทึกผลการคำนวณลงในตารางที่ 2.1

2.3.6 จากผลการทดลองให้วิเคราห์ระยะห่างที่น้อยที่สุดระหว่างจุดสูงสุดของลูกคลื่นไซน์ (มีแรงดันทางไฟฟ้า 5 โวลต์) สองลูกคลื่น บันทึกค่าคาบเวลาที่วัดได้ลงในตารางที่ 2.1

2.3.7 ทำการทดลองที่ 2.3.2 ถึง 2.3.6 ซ้ำอีกครั้งโดยเปลี่ยนตัวแปร Frequency เป็น 2000 3000 และ 4000 คำนวณและบันทึกผลการทดสอบที่คงเหลือทั้งหมดลงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาและความถี่

ความถี่ (Hz)	**คาบเวลา (จากการคำนวณ)**	**คาบเวลา (จากการทดลอง)**
1000		
2000		
3000		
4000		

คำถาม

คาบเวลาและความถี่มีความสัมพันธ์กันอย่างไร

_____

_____

_____

การทดลองที่ 2.4 สัญญาณทางความถี่ของลูกคลื่นไซน์

2.4.1 ต่อบล็อกดังรูปที่ 2.2 โดยใช้บล็อก (Block) ในหมวด (Category) Source Wx GUI widget และ Misc ตามลำดับ

2.4.2 กดดับเบิ้ลคลิ๊กที่บล็อก Signal Source และกำหนดค่าตัวแปรดังนี้

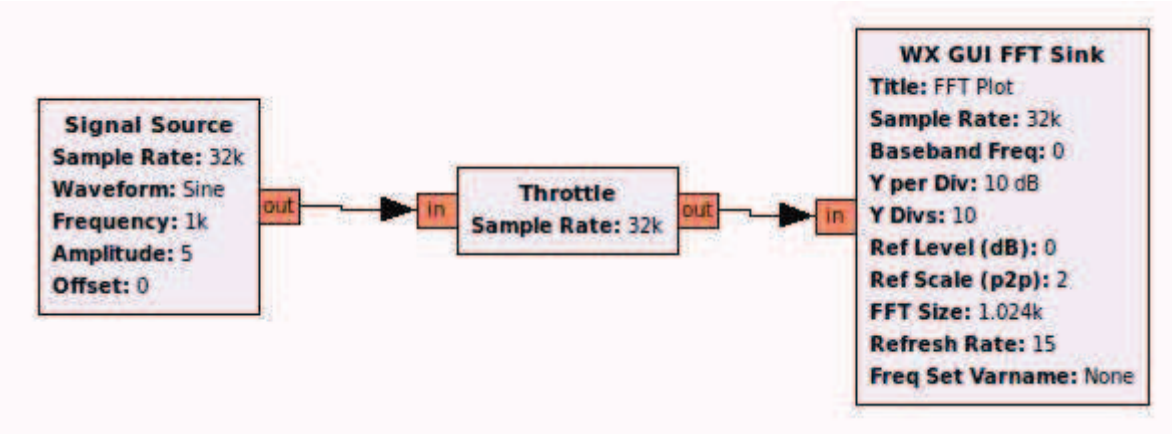
- Output type: Float
- Waveform: sine
- Amplitude: 5
- Frequency : 1000

2.4.3 ปรับตัวแปร Type ของบล็อก Throttle และ Wx GUI FFT sink เป็น Float

2.4.4 เริ่มต้นการจำลองการทำงานของระบบโดยเลือกเมนู Build>>Generates และ Build>>Execute ตามลำดับ

2.4.5 บันทึกสเปกตรัมของลูกคลื่นไซน์ที่มีแอมพลิจูดเป็น 5 โวลต์และมีความถี่ 1 KHz ลงในรูปที่ 2.4 (ก)

2.4.6 ทำการทดลอง 2.4.2 ถึง 2.4.5 ซ้ำอีกครั้งโดยเปลี่ยนค่าตัวแปรแอมพลิจูด (Amplitude) และความถี่ (Frequency) ของบล็อก Signal Source ตามค่าต่าง ๆ ในรูปที่ 2.4 (ข) 2.4(ค) และ 2.4(ง) บันทึกสเปกตรัมผลการทดลองลงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 การทดลองวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณ

2.4.7 เปลี่ยนแปลงการทำงานของระบบดังรูปที่ 2.5 โดยใช้บล็อก Signal Source ในหมวด Sink บล็อก Add ในหมวด Operator และบล็อก Wx GUI Scope ในหมวด Source Wx GUI widget

2.4.8 กำหนดตัวแปรของ Wx GUI Scope Sink Signal Source A และ Signal Source B ดังนี้

Signal Source A: Output type: Float

Waveform: sine

Amplitude: 5

Frequency : 500

Signal Source B: Output type: Float

Waveform: sine

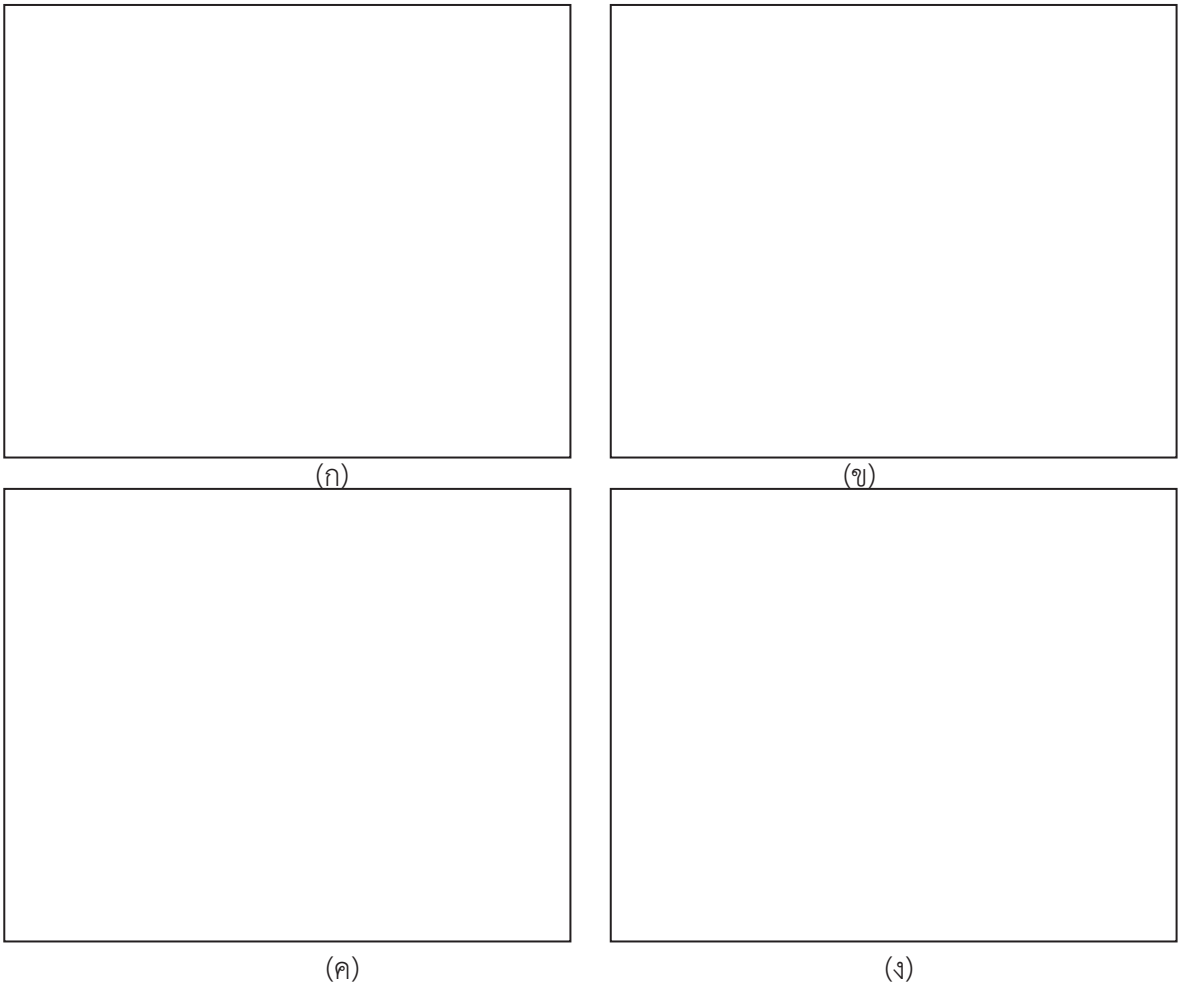
Amplitude: 1

Frequency : 5000

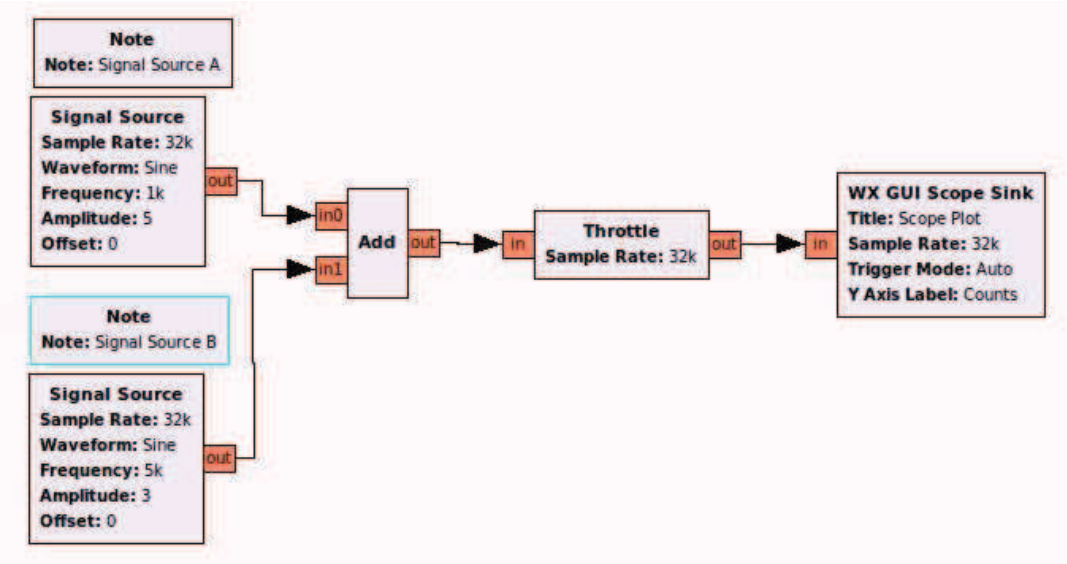
Wx GUI Scope Sink: Type: Float

2.4.9 เริ่มต้นการจำลองการทำงานของระบบโดยเลือกเมนู Build>>Generates และ Build>>Execute ตามลำดับ บันทึกลักษณะสัญญาณทางเวลาที่ได้ลงในรูปที่ 2.6 (ก)

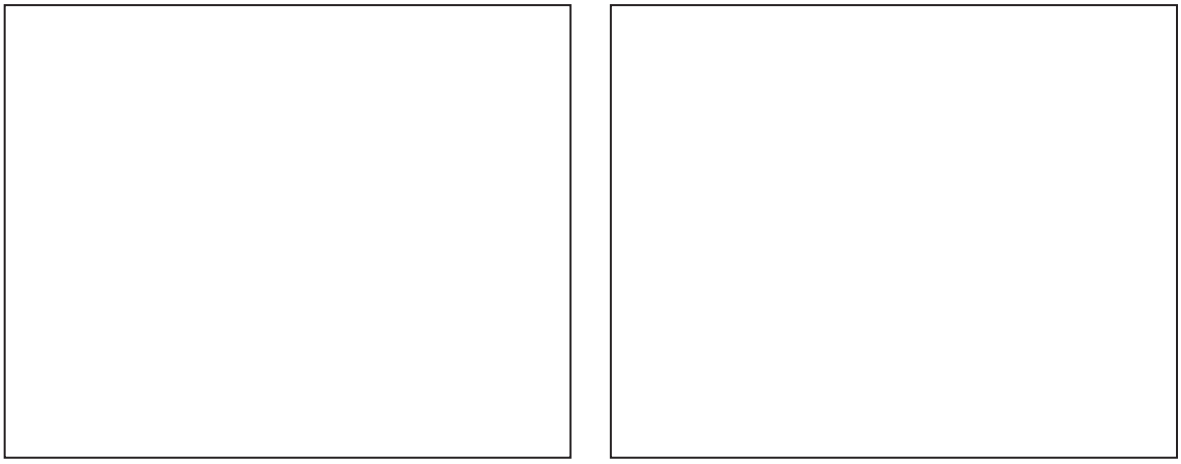
2.4.9 เปลี่ยนบล็อก Wx GUI Scope Sink ทางด้านขวาสุดของระบบเป็น Wx GUI FFT sink ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งและบันทึกสัญญาณทางความถี่ลงในรูป 2.6 (ข)



รูปที่ 2.4 สเปกตรัมของสัญญาณไซน์ (ก) แอมพลิจูด 5 โวลต์ความถี่ 1kHz (ข) แอมพลิจูด 10 โวลต์ความถี่ 1kHz (ค) แอมพลิจูด 5 โวลต์ความถี่ 5kHz (ง) แอมพลิจูด 10 โวลต์ความถี่ 5kHz



รูปที่ 2.5 การทดลองวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณ



(ก) (ข)

รูปที่ 2.6 ผลการทดลองผลรวมของลูกคลื่นไซน์ (ก) สัญญาณทางเวลา (ข)สัญญาณทางความถี่

คำถาม

เราสามารถวิเคราะห์แอมพลิจูดและความของสัญญาณลูกคลื่นไซน์จากสเปกตรัมของสัญญาณดังกล่าวได้อย่างไร

_____

_____

_____

บทที่ 3

วงจรกรองสัญญาณ

วัตถุประสงค์ของการฝึกปฏิบัติการ

1. เข้าใจคุณสมบัติของวงจรสัญญาณแบบต่าง ๆ
2. สามารถวิเคราะห์คุณลักษณะของสัญญาณขาเข้าและขาออกของวงจรกรองความถี่ได้

การทดลองที่ 3.1 วงจรกรองผ่านต่ำ (Low Pass Filter)

3.1.1 ต่อบล็อก Signal source Throttle Low Pass Filter และ WX GUI Scope Sink ดังรูปที่ 3.1 ตามลำดับ

3.1.2 กดดับเบิ้ลคลิ๊กที่บล็อก Signal Source และกำหนดค่าตัวแปรดังนี้

- Output type: Float
- Waveform: sine
- Amplitude: 1

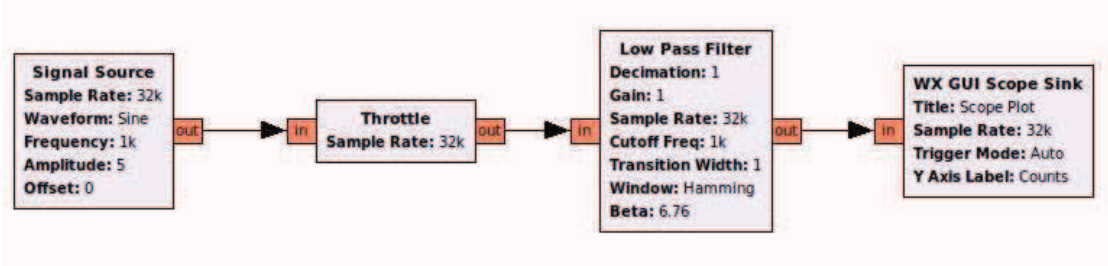
3.1.3 ปรับตัวแปร Type ของบล็อก Throttle และ Wx GUI Scope sink เป็น Float

3.1.4 กดดับเบิ้ลคลิ๊กที่บล็อก Low Pass Filter และกำหนดค่าตัวแปรดังนี้

- Cut off frequency : 1000
- Transition width : 100
- FIR Type : Float-to-Float (Decimation)

3.1.5 กดดับเบิ้ลคลิ๊กที่บล็อก Signal source อีกครั้งและกำหนดค่าความถี่ (Frequency) ของลูกคลื่นไซน์เป็น 500 Hz (500) จากนั้น เริ่มต้นการจำลองการทำงานของระบบโดยเลือกเมนู Build>>Generates และ Build>>Execute ตามลำดับ บันทึกแอมปลิจูดของลูกคลื่นไซน์ผลลัพธ์ลงในตารางที่ 3.1

3.1.6 ทำการทดสอบซ้ำโดยใช้ค่าต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.1 และบันทึกผลลงในตารางที่ 3.1

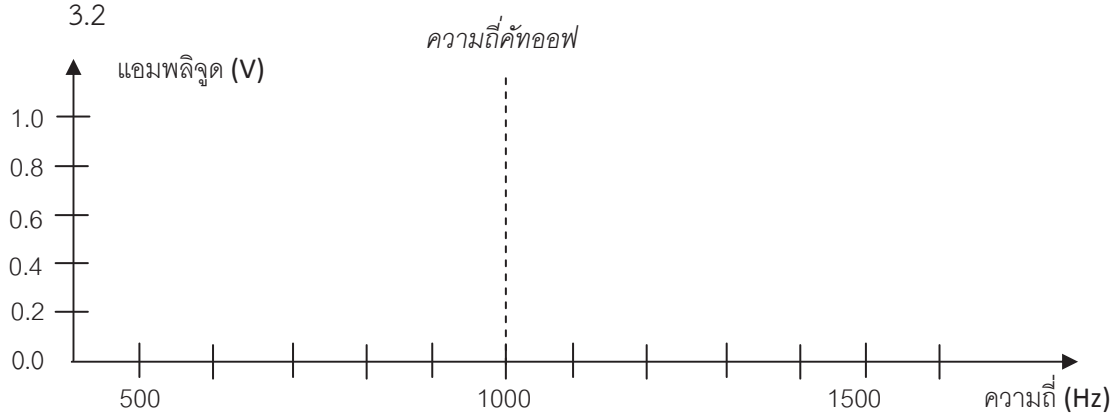


รูปที่ 3.1 การทดลองวงจรกรองผ่านต่ำ

ตารางที่ 3.1 ผลการทดลองวงจรกรองผ่านต่ำ

ความถี่ (Hz)	แอมพลิจูดของลูกคลื่นไซน์ขาออกจากวงจรกรองผ่านต่ำ
500	
600	
700	
800	
900	
1000	
1100	
1200	
1300	
1400	
1500	

3.1.7 พล็อตความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดและความถี่ของสัญญาณขาออกของวงจรกรองผ่านต่ำในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดและความถี่ของสัญญาณขาออกจากวงจรกรองผ่านต่ำ

คำถาม

ค่าแอมพลิจูด (Amplitude) ของลูกคลื่นไซน์ขาออกจากวงจรกรองผ่านต่ำมีลักษณะเป็นเช่นใด

_____

_____

_____

การทดลองที่ 3.2 วงจรกรองความถี่สูง (High Pass Filter)

3.2.1 ต่อบล็อก Signal source Throttle High Pass Filter และ WX GUI Scope Sink ดังรูปที่ 3.3 ตามลำดับ

3.2.2 กดดับเบิ้ลคลิ๊กที่บล็อก Signal Source และกำหนดค่าตัวแปรดังนี้

- Output type: Float
- Waveform: sine
- Amplitude: 1

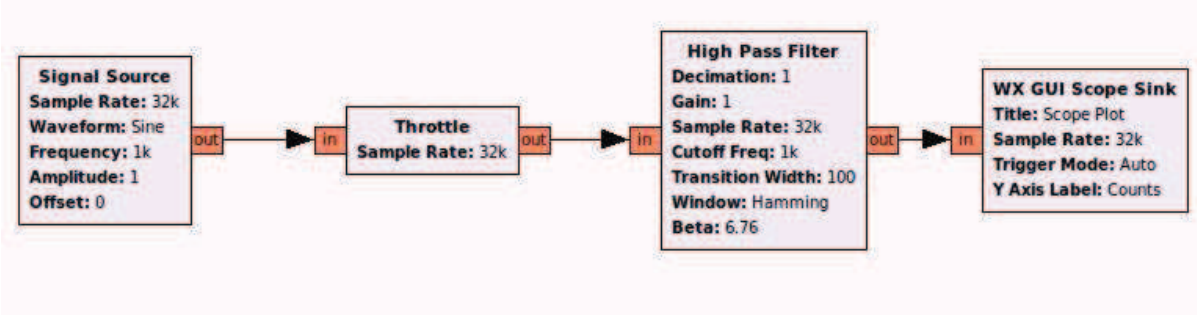
3.2.3 ปรับตัวแปร Type ของบล็อก Throttle และ Wx GUI Scope sink เป็น Float

3.2.4 กดดับเบิ้ลคลิ๊กที่บล็อก High Pass Filter และกำหนดค่าตัวแปรดังนี้

- Cut off frequency : 1000
- Transition width : 100
- FIR Type : Float-to-Float (Decimation)

3.2.5 กดดับเบิ้ลคลิ๊กที่บล็อก Signal source อีกครั้งและกำหนดค่าความถี่ (Frequency) ของลูกคลื่นไซน์เป็น 500 Hz (500) จากนั้น เริ่มต้นการจำลองการทำงานของระบบโดยเลือกเมนู Build>>Generates และ Build>>Execute ตามลำดับ บันทึกแอมปลิจูดของลูกคลื่นไซน์ผลลัพธ์ลงในตารางที่ 3.2

3.2.6 ทำการทดสอบซ้ำโดยใช้ค่าต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.2 และบันทึกผลลงในตารางที่ 3.2

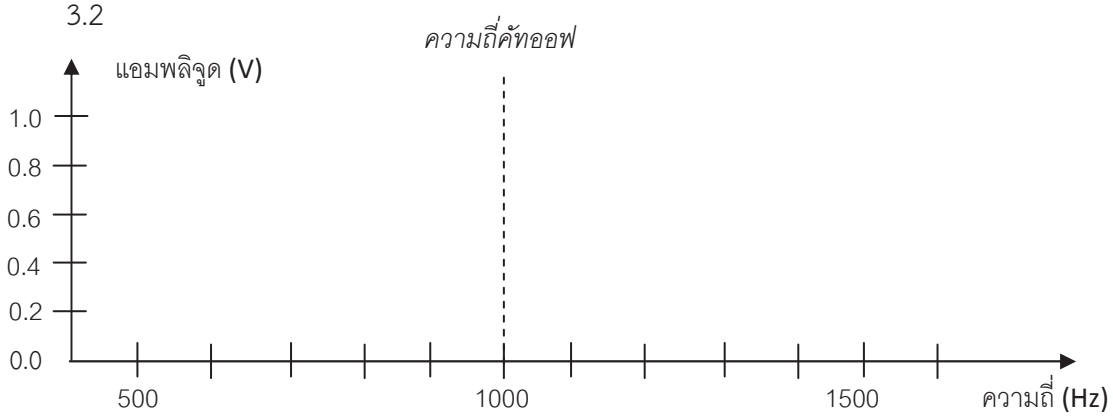


รูปที่ 3.3 การทดลองวงจรกรองความถี่สูง

ตารางที่ 3.2 ผลการทดลองวงจรกรองความถี่สูง

ความถี่ (Hz)	แอมพลิจูดของลูกคลื่นไซน์ขาออกจากวงจรกรองความถี่สูง
500	
600	
700	
800	
900	
1000	
1100	
1200	
1300	
1400	
1500	

3.2.7 พล็อตความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดและความถี่ของสัญญาณขาออกของวงจรกรองผ่านต่ำในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดและความถี่ของสัญญาณขาออกจากวงจรกรองความถี่สูง

คำถาม

ค่าแอมพลิจูด (Amplitude) ของลูกคลื่นไซน์ขาออกจากวงจรกรองความถี่สูงมีลักษณะเป็นเช่นใด

_____

_____

_____

การทดลองที่ 3.3 วงจร Band Pass Filter

3.3.1 ต่อบล็อก Signal source Throttle Band Pass Filter และ WX GUI Scope Sink ดังรูปที่ 3.5 ตามลำดับ

3.3.2 กดดับเบิ้ลคลิ๊กที่บล็อก Signal Source และกำหนดค่าตัวแปรดังนี้

- Output type: Float
- Waveform: sine
- Amplitude: 1

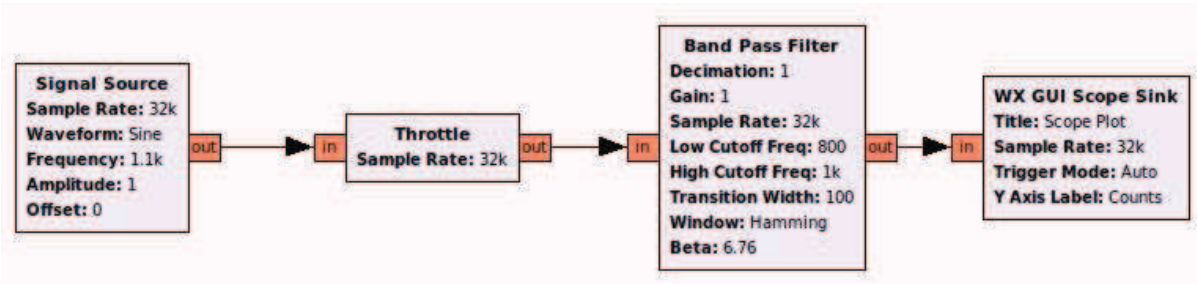
3.3.3 ปรับตัวแปร Type ของบล็อก Throttle และ Wx GUI Scope sink เป็น Float

3.3.4 กดดับเบิ้ลคลิ๊กที่บล็อก Band Pass Filter และกำหนดค่าตัวแปรดังนี้

- Low Cut off frequency : 800
- High Cut off frequency : 1000
- Transition width : 100
- FIR Type : Float-to-Float (Real taps)(Decim)

3.3.5 กดดับเบิ้ลคลิ๊กที่บล็อก Signal source อีกครั้งและกำหนดค่าความถี่ (Frequency) ของลูกคลื่นไซน์เป็น 500 Hz (500) จากนั้น เริ่มต้นการจำลองการทำงานของระบบโดยเลือกเมนู Build>>Generates และ Build>>Execute ตามลำดับ บันทึกแอมปลิจูดของลูกคลื่นไซน์ผลลัพธ์ลงในตารางที่ 3.3

3.3.6 ทำการทดสอบซ้ำโดยใช้ค่าต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.3 และบันทึกผลลงในตารางที่ 3.3

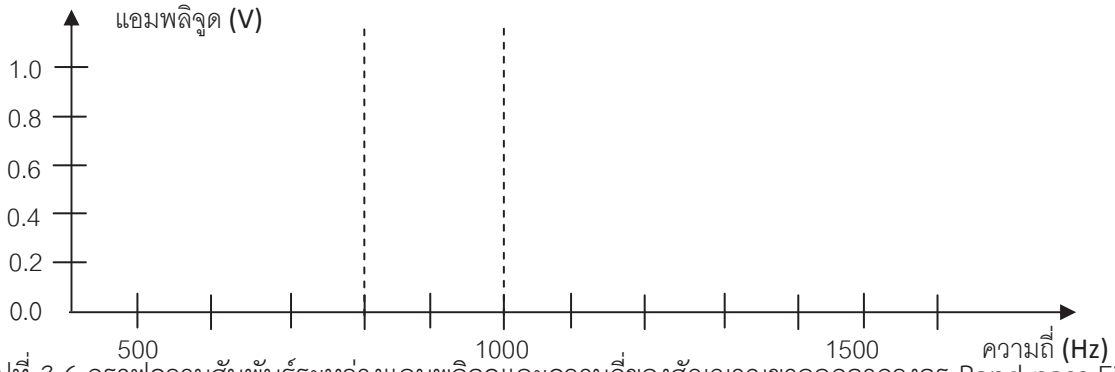


รูปที่ 3.5 การทดลองวงจร Band pass Filter

ตารางที่ 3.3 ผลการทดลองวงจร Band Pass Filter

ความถี่ (Hz)	แอมพลิจูดของลูกคลื่นไซน์ขาออกจากวงจรกรองความถี่สูง
500	
600	
700	
800	
900	
1000	
1100	
1200	
1300	
1400	
1500	

3.3.7 พล็อตความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดและความถี่ของสัญญาณขาออกของวงจรกรองผ่านต่ำในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดและความถี่ของสัญญาณขาออกจากวงจร Band pass Filter

คำถาม

ค่าแอมพลิจูด (Amplitude) ของลูกคลื่นไซน์ขาออกจากวงจรBand Pass Filterมีลักษณะเป็นเช่นใด

_____

_____

_____

การทดลองที่ 3.4 วงจร Band Reject Filter

3.4.1 ต่อบล็อก Signal source Throttle Band Reject Filter และ WX GUI Scope Sink ดังรูปที่ 3.7 ตามลำดับ

3.4.2 กดดับเบิ้ลคลิ๊กที่บล็อก Signal Source และกำหนดค่าตัวแปรดังนี้

- Output type: Float
- Waveform: sine
- Amplitude: 1

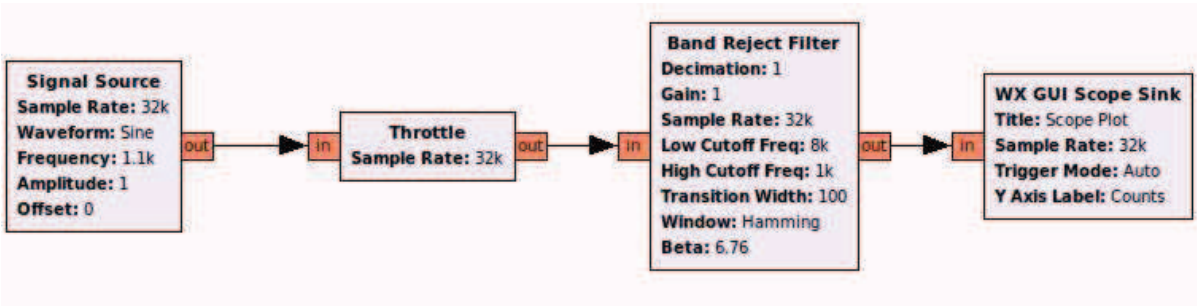
3.4.3 ปรับตัวแปร Type ของบล็อก Throttle และ Wx GUI Scope sink เป็น Float

3.4.4 กดดับเบิ้ลคลิ๊กที่บล็อก Band Reject Filter และกำหนดค่าตัวแปรดังนี้

- Low Cut off frequency : 800
- High Cut off frequency : 1000
- Transition width : 100
- FIR Type : Float-to-Float (Real taps)(Decim)

3.4.5 กดดับเบิ้ลคลิ๊กที่บล็อก Signal source อีกครั้งและกำหนดค่าความถี่ (Frequency) ของลูกคลื่นไซน์เป็น 500 Hz (500) จากนั้น เริ่มต้นการจำลองการทำงานของระบบโดยเลือกเมนู Build>>Generates และ Build>>Execute ตามลำดับ บันทึกแอมปลิจูดของลูกคลื่นไซน์ผลลัพธ์ลงในตารางที่ 3.4

3.4.6 ทำการทดสอบซ้ำโดยใช้ค่าต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.4 และบันทึกผลลงในตารางที่ 3.4

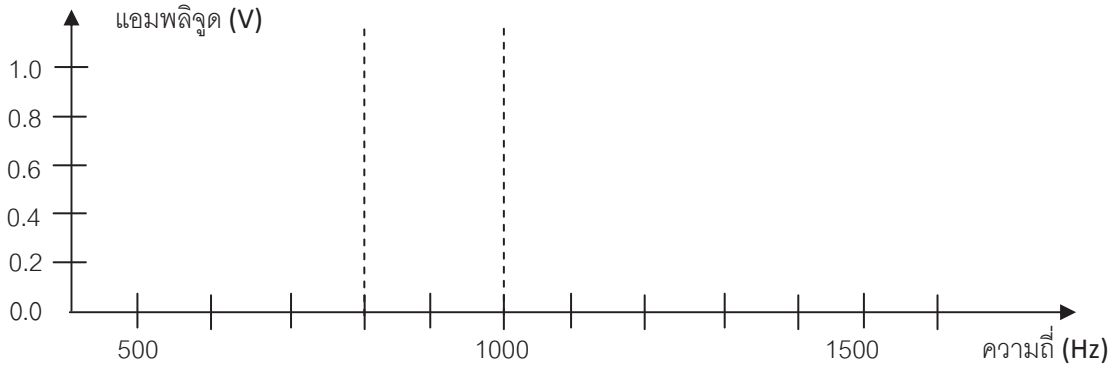


รูปที่ 3.7 การทดลองวงจร Band Reject Filter

ตารางที่ 3.4 ผลการทดลองวงจร Band Reject Filter

ความถี่ (Hz)	แอมพลิจูดของลูกคลื่นไซน์ขาออกจากวงจรกรองความถี่สูง
500	
600	
700	
800	
900	
1000	
1100	
1200	
1300	
1400	
1500	

3.4.7 พล็อตความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดและความถี่ของสัญญาณขาออกของวงจรกรองผ่านต่ำในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดและความถี่ของสัญญาณขาออกจากวงจร Band Reject Filter

คำถาม

ค่าแอมพลิจูด (Amplitude) ของลูกคลื่นไซน์ขาออกจากวงจรBand Reject Filterมีลักษณะเป็นเช่นใด

_____

_____

_____

การทดลองที่ 3.5 การกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการด้วยวงจรกรองความถี่

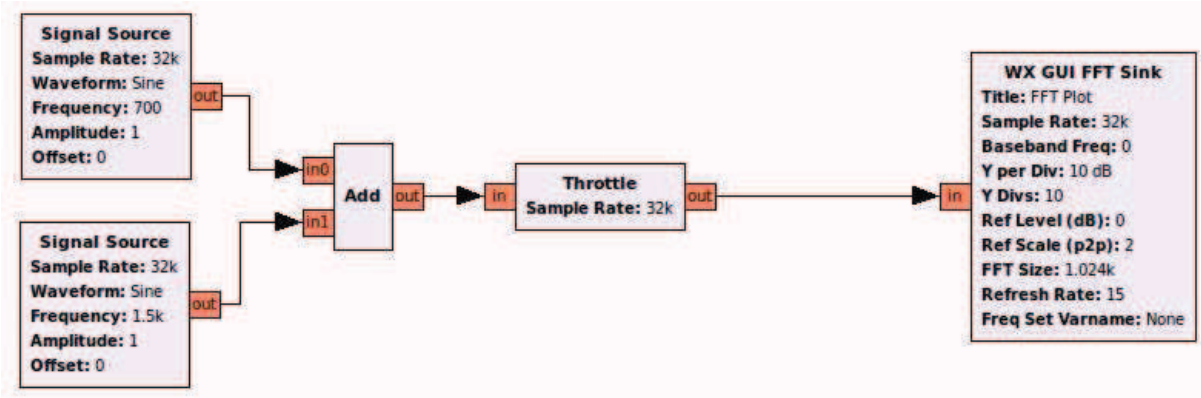
3.5.1 ต่อบล็อก Signal source Throttle และ WX FFT Scope Sink ดังรูปที่ 3.9(ก) ตามลำดับ

3.5.2 กดดับเบิ้ลคลิ๊กที่บล็อก Signal Source ทั้งสองและกำหนดค่าตัวแปรดังนี้

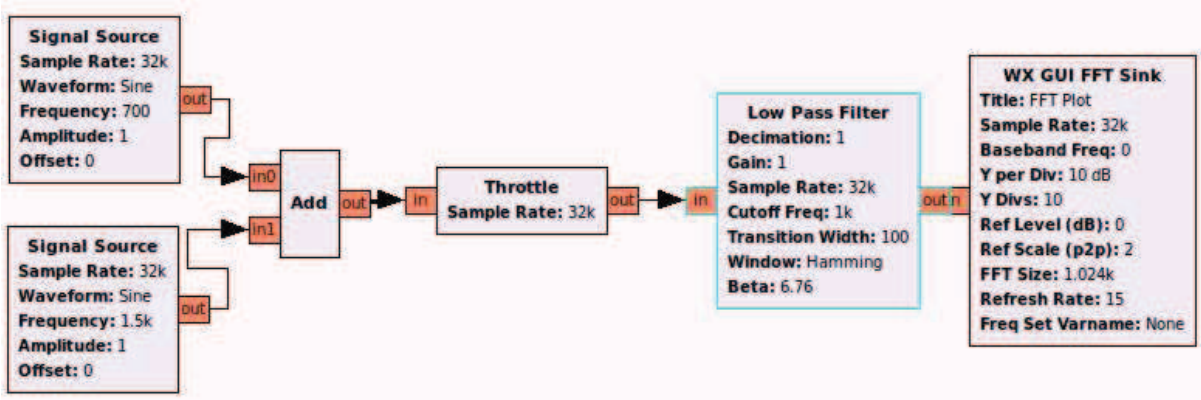
- Output type: Float
- Waveform: sine
- Amplitude: 1

3.5.3 กดดับเบิ้ลคลิ๊กที่บล็อก Signal Source ทั้งสองอีกครั้งเพื่อกำหนดความถี่ของ Sinnal Source เป็น 700 และ1500 Hz และปรับตัวแปร Type ของบล็อก Throttle Add และ Wx FFT Scope sink เป็น Float

3.5.4 เริ่มต้นการจำลองการทำงานของระบบโดยเลือกเมนู Build>>Generates และ Build>>Execute ตามลำดับ บันทึกสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้จากวงจรบวกลงในรูปที่ 3.10 (ก)



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.9 การทดลองใช้งานวงจรกรองความถี่ต่ำ (ก) กรณีไม่ใช้วงจรกรองความถี่ต่ำ (ข) ต่อวงจรกรองความถี่ต่ำ

3.5.5 เพิ่มบล็อก Low Pass Filter เข้าไปในระบบดังรูปที่ 3.9(ข) กดดับเบิ้ลคลิ๊กที่บล็อก Low Pass Filter และกำหนดค่าตัวแปรดังนี้

- Cut off frequency : 1000
- Transition width : 100
- FIR Type : Float-to-Float (Decimation)

3.5.6 เริ่มต้นการจำลองการทำงานของระบบโดยเลือกเมนู Build>>Generates และ Build>>Execute ตามลำดับ บันทึกสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้จากวงจรบวกลงในรูปที่ 3.10 (ข)

(ก)

(ข)

รูปที่ 3.10 ผลการทดสอบ (ก) สเปกตรัมสัญญาณขาเข้าวงจรกรองความถี่ต่ำ (ข) สเปกตรัมสัญญาณขาออกจากวงจรกรองความถี่ต่ำ

คำถาม

สเปกตรัมของสัญญาณก่อนและหลังเข้าสู่วงจรกรองความถี่ต่ำมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไร

_____

_____

_____

บทที่ 4

การมอดูเลตเชิงแอมพลิจูด

วัตถุประสงค์ของการฝึกปฏิบัติการ

1. เข้าใจหลักการมอดูเลตแบบเอเอ็ม
2. เข้าใจคุณสมบัติของสัญญาณเอเอ็ม

การทดลองที่ 4.1 คุณลักษณะของสัญญาณเอเอ็ม

4.1.1 ต่อบล็อกดังรูปที่ 4.1 โดยใช้บล็อก (Block) ในหมวด (Category) Source Wx GUI widget และ Misc ตามลำดับเพื่อจำลองการมอดูเลตแบบเอเอ็มซึ่งมีลักษณะสัญญาณดังสมการ

$$S_{AM}(t) = A_c\left[1 + \mu \times m(t)\right]\cos\left(2\pi f_c t\right)$$

4.1.2 กำหนด Output type ของบล็อกต่าง ๆ เป็น Float และกำหนดค่าคงที่ในบล็อกดังนี้

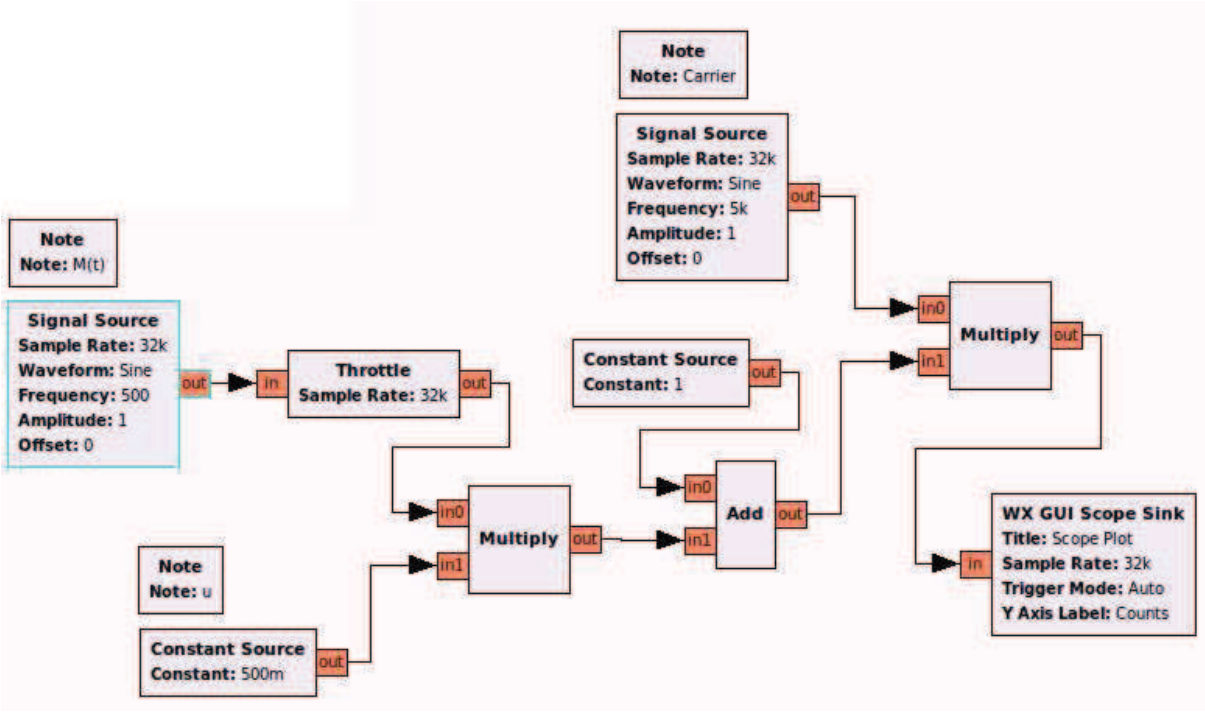
Signal source m(t):	Waveform:	Sine
	Frequency:	500
	Amplitude:	1
Signal source carrier:	Waveform:	Sine
	Frequency:	5000
	Amplitude:	1
Constant μ:	constant:	0.5

4.1.3 เริ่มต้นจำลองสัญญาณเอเอ็มโดยการเลือกเมนู Build>>Generate และ Build>>Execute ตามลำดับ ปรับสัญญาณที่พล็อตบนหน้าจอให้แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงเอนวีโลปอย่างชัดเจน บันทึกสัญญาณที่ปรากฏลงในรูปที่ 4.2 (ก)

4.1.4 เปลี่ยนตัวแปร Waveform ของบล็อก Signal source m(t) เป็น Triangle ทำการทดลองตามหัวข้อ 4.1.3 อีกครั้งหนึ่งและบันทึกสัญญาณผลลัพธ์ลงในรูปที่ 4.2(ข)

4.1.5 เปลี่ยนตัวแปร Constant μ จาก 0.5 เป็น 0.75 ทำการทดลองตามหัวข้อ 4.1.3 อีกครั้งหนึ่ง สังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสัญญาณและบันทึกสัญญาณผลลัพธ์ลงในรูปที่ 4.3 (ค)

4.1.6 เปลี่ยนตัวแปร Constant μ จาก 0.5 เป็น 1.0 ทำการทดลองตามหัวข้อ 4.1.3 อีกครั้งหนึ่ง สังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสัญญาณและบันทึกสัญญาณผลลัพธ์ลงในรูปที่ 4.3 (ง)



รูปที่ 4.1 การทดลองสัญญาณเอเอ็ม

คำถาม

สัญญาณ m(t) และเอนวีโลปของสัญญาณเอเอ็มมีความสัมพันธ์กันอย่างไร

_____

_____

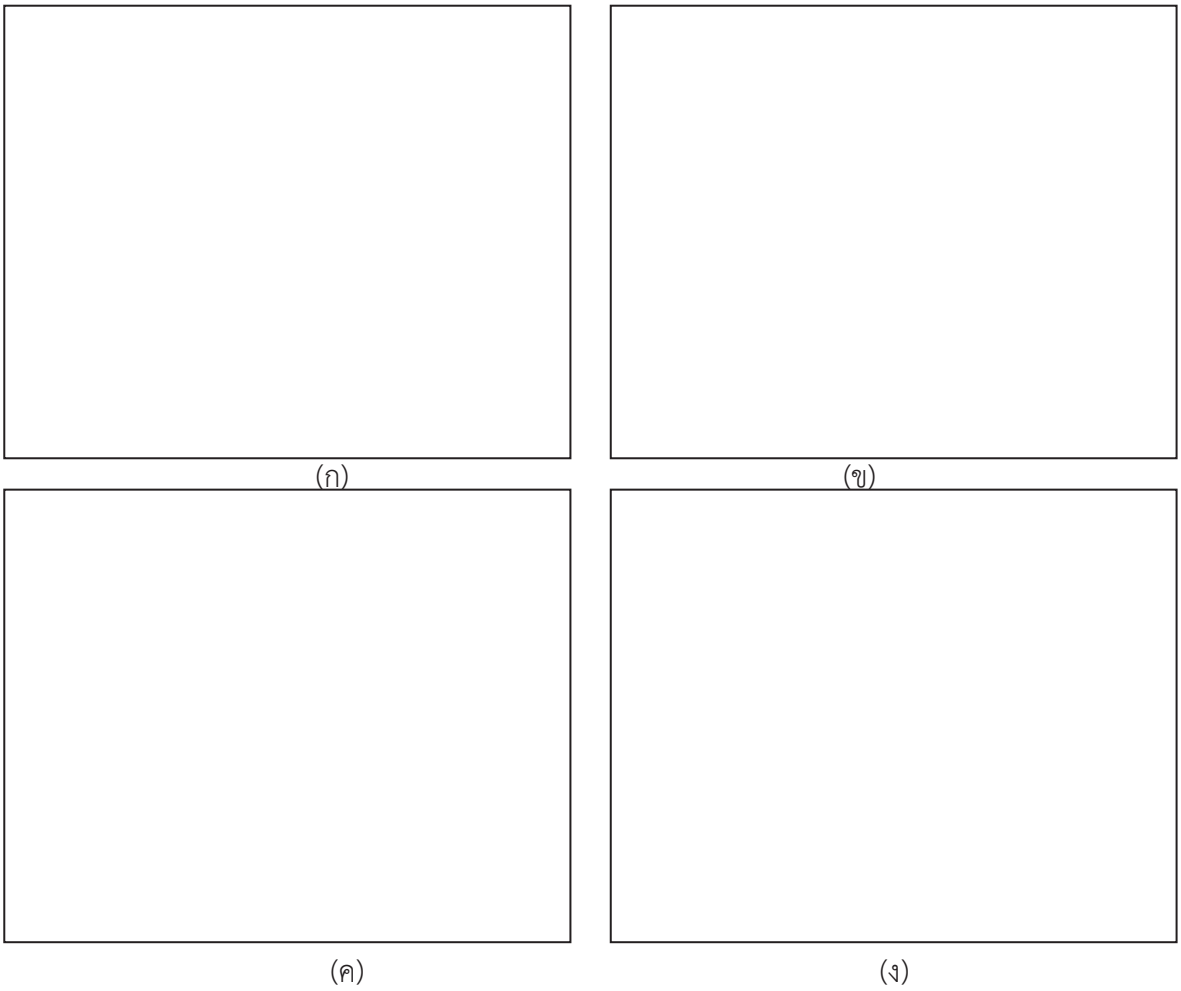
_____

เมื่อเปลี่ยนแปลงตัวแปร μ สัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

_____

_____

_____



รูปที่ 4.2 กราฟลูกคลื่นสัญญาณเอเอ็ม

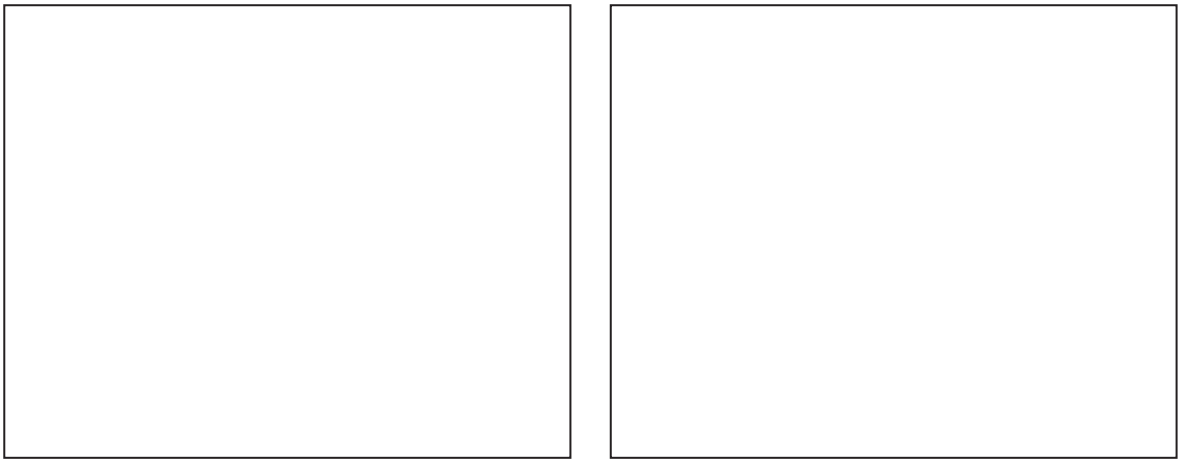
การทดลองที่ 4.2 สเปกตรัมและแบนด์วิดท์ของสัญญาณเอเอ็ม

4.2.1 ต่อบล็อกดังรูปที่ 4.1 และปรับแต่งตัวแปรต่าง ๆ ตามรายละเอียดในหัวข้อ 4.1.1-4.1.2 จากนั้น เปลี่ยนบล็อก WX GUI Scope sink เป็น WX GUI FT Sink (กำหนด Output type ของบล็อกดังกล่าวเป็น Floating)

4.2.2 เริ่มต้นจำลองสัญญาณเอเอ็มโดยการเลือกเมนู Build>>Generate และ Build>>Execute ตามลำดับ ปรับสัญญาณที่พล็อตบนหน้าจอให้แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงเอนวีโลปอย่างชัดเจน บันทึกสัญญาณที่ปรากฏลงในรูปที่ 4.3 (ก)

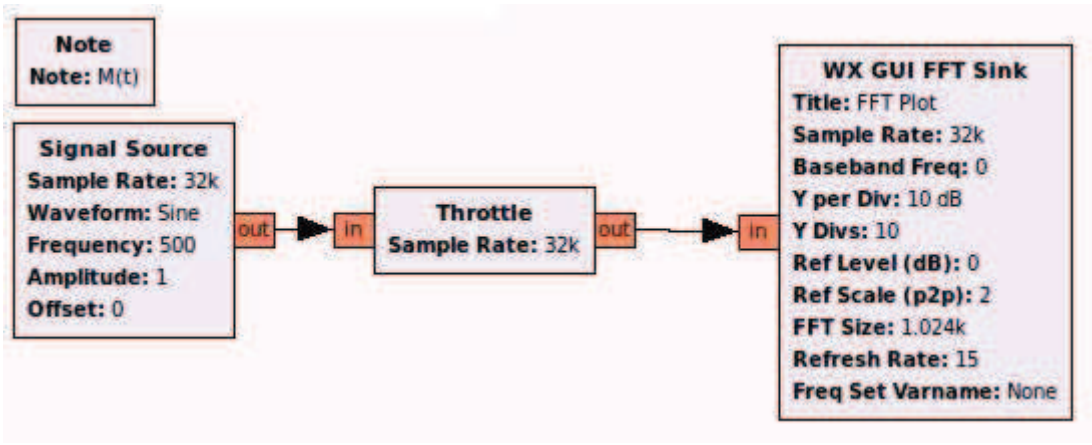
4.2.3 ปรับแต่งความถี่ของบล็อก Signal source เป็นค่าต่าง ๆ และสังเกตความเปลี่ยนแปลงเพื่อตอบคำถามด้านล่าง

4.2.4 ปรับแต่งบล็อกการทำงานจนมีลักษณะดังรูปที่ 4.4 จากนั้นเลือกเมนู Build>>Generate และ Build>>Execute ตามลำดับเพื่อวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณ m(t) พล็อตสัญญาณที่ได้ลงในรูปที่ 4.3(ข)



(ก) (ข)

รูปที่ 4.3 สเปกตรัมของสัญญาณ (ก) เอเอ็ม (ข) m(t)



รูปที่ 4.4 การทดสอบสเปกตรัมของสัญญาณ m(t)

คำถาม

สเปกตรัมของสัญญาณ m(t) และ s(t) มีความสัมพันธ์กันอย่างไร

_____

_____

_____

เมื่อเปลี่ยนแปลงตัวแปร μ สัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

_____

_____

_____

การทดลองที่ 4.3 การมอดูเลตแบบ DSB

4.3.1 ต่อบล็อกดังรูปที่ 4.5 โดยใช้บล็อก (Block) ในหมวด (Category) Source Wx GUI widget และ Misc ตามลำดับเพื่อจำลองการมอดูเลตแบบเอเอ็มซึ่งมีลักษณะสัญญาณดังสมการ

$$S_{DSB}(t) = m(t)\cos(2\pi f_c t)$$

4.3.2 กำหนด Output type ของบล็อกต่าง ๆ เป็น Float และกำหนดค่าคงที่ในบล็อกดังนี้

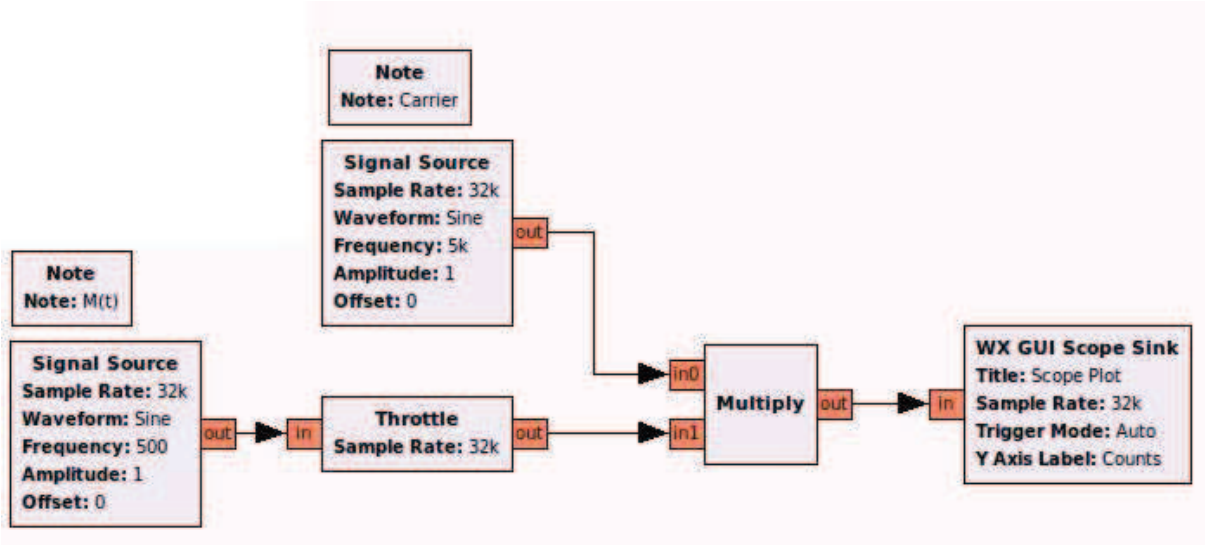
Signal source m(t)	Waveform:	Sine
	Frequency:	500
	Amplitude:	1
Signal source carrier:	Waveform:	Sine
	Frequency:	5000
	Amplitude:	1

4.3.3 เริ่มต้นจำลองสัญญาณเอเอ็มโดยการเลือกเมนู Build>>Generate และ Build>>Execute ตามลำดับ ปรับสัญญาณที่พล็อตบนหน้าจอให้แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงเอนวีโลปอย่างชัดเจน บันทึกสัญญาณที่ปรากฏลงในรูปที่ 4.6 (ก)

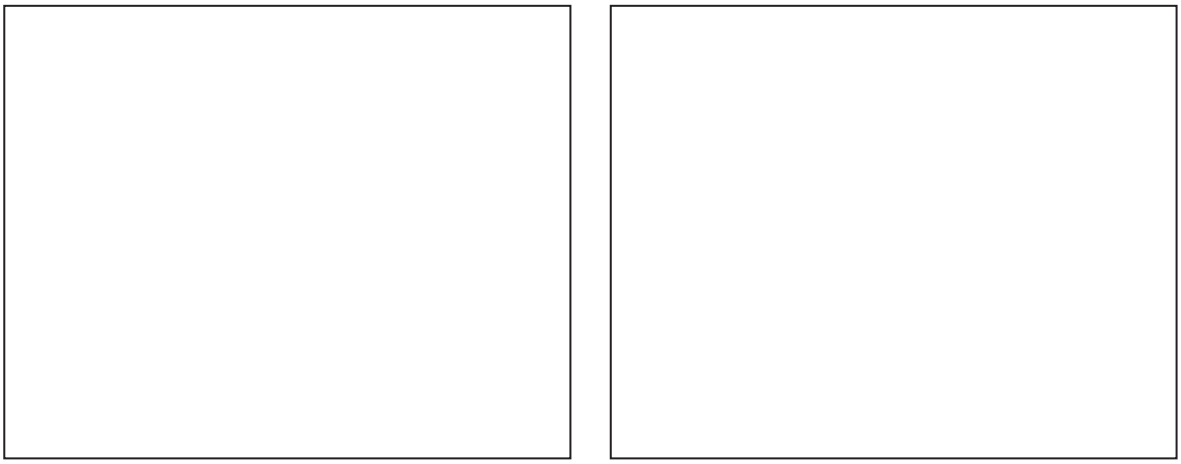
4.3.4 ทดลองเปลี่ยน Waveform ของบล็อก Signal source m(t) เป็นรูปแบบต่าง ๆ และทำการทดสอบที่ 4.4.3 ซ้ำอีกครั้ง สังเกตสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลต

4.3.5 เปลี่ยน Waveform ของบล็อก Signal source m(t) เป็น Sine และ เปลี่ยนบล็อก WX GUI Scope sink เป็น WX GUI FT Sink (กำหนด Output type ของบล็อกดังกล่าวเป็น Floating) เริ่มต้นจำลองสัญญาณเอเอ็มโดยการเลือกเมนู Build>>Generate และ Build>>Execute ตามลำดับ ปรับสัญญาณที่พล็อตบนหน้าจอให้แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงเอนวีโลปอย่างชัดเจน บันทึกสัญญาณที่ปรากฏลงในรูปที่ 4.6 (ข)

4.3.6 ทดลองเปลี่ยน Waveform ของบล็อก Signal source m(t) เป็นรูปแบบต่าง ๆ และทำการทดสอบที่ 4.4.3 ซ้ำอีกครั้ง สังเกตสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลต



รูปที่ 4.5 การทดสอบสัญญาณ DSB



(ก) (ข)

รูปที่ 4.6 สัญญาณ DSB (ก) ทางเวลา (ข) ทางความถี่

คำถาม

สเปกตรัมของสัญญาณ m(t) และ s(t) มีความสัมพันธ์กันอย่างไร

_____

_____

_____

สัญญาณ DSB แตกต่างจากสัญญาณ AM จากการทดลอบที่ 4.1 อย่างไร

_____

_____

บทที่ 5

การมอดูเลตเชิงมุม

วัตถุประสงค์ของการฝึกปฏิบัติการ

1. เข้าใจหลักการมอดูเลตแบบเอฟเอ็มและพีเอ็ม
2. เข้าใจคุณสมบัติของสัญญาณเอฟเอ็มและพีเอ็ม

การทดลองที่ 5.1 คุณลักษณะของสัญญาณเอฟเอ็ม

5.1.1 ต่อบล็อกดังรูปที่ 5.1 โดยใช้บล็อก (Block) ในหมวด (Category) Source Wx GUI widget และ Misc ตามลำดับเพื่อจำลองการมอดูเลตแบบเอเอ็มซึ่งมีลักษณะสัญญาณดังสมการ

5.1.2 กำหนด Output type ของบล็อกต่าง ๆ เป็น Float และกำหนดค่าคงที่ในบล็อกดังนี้

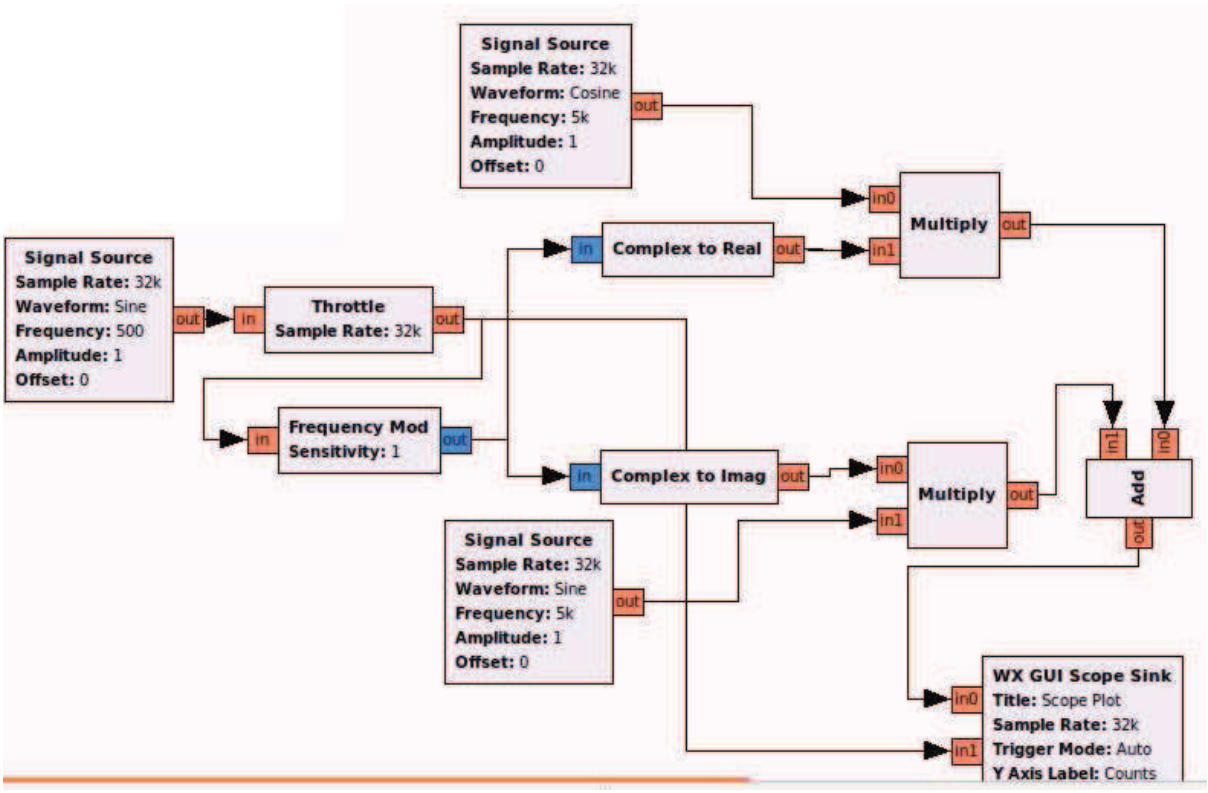
Signal source m(t)	Waveform:	Sine
	Frequency:	500
	Amplitude:	1
Signal source carrier:	Waveform:	Sine และ Cosine (ตามตำแหน่งดังรูป 5.1)
	Frequency:	5000
	Amplitude:	1
WX GUI Scope sink:	Input:	2
Frequency Mod:	Sensitivity:	1

5.1.3 เริ่มต้นจำลองสัญญาณเอฟเอ็มโดยการเลือกเมนู Build>>Generate และ Build>>Execute ตามลำดับ ปรับสัญญาณที่พล็อตบนหน้าจอให้แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงเอนวีโลปอย่างชัดเจน บันทึกสัญญาณที่ปรากฏลงในรูปที่ 5.2 (ก)

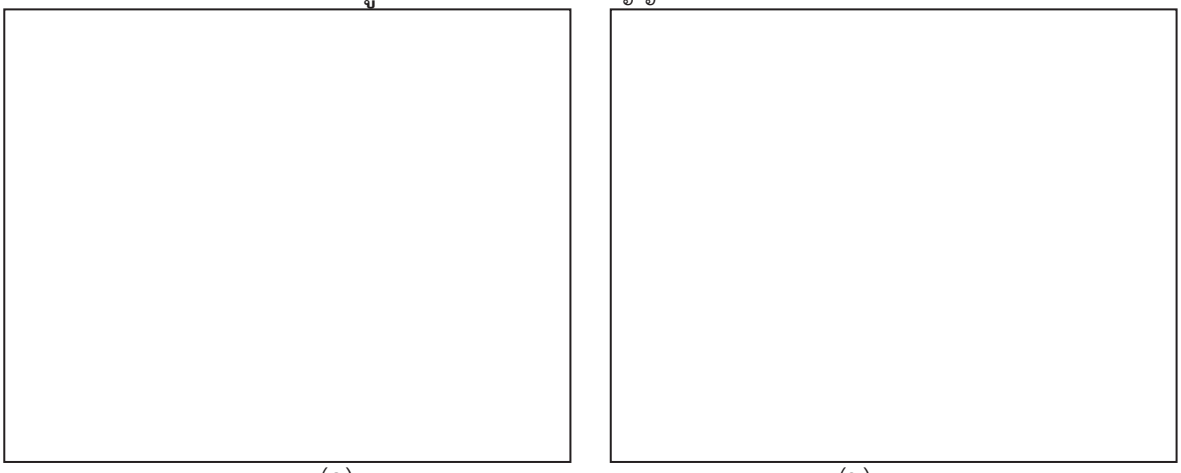
5.1.4 ต่อบล็อกดังรูปที่ 3.1 และปรับแต่งตัวแปรต่าง ๆ ตามรายละเอียดในหัวข้อ 5.1.1-5.1.3 จากนั้นเปลี่ยนบล็อก WX GUI Scope sink เป็น WX GUI FTF Sink (กำหนด Output type ของบล็อกดังกล่าวเป็น Floating) และต่อสัญญาณ Output ของบล็อก Add เข้าที่ WX GUI FFT Sink

5.1.5 เริ่มต้นจำลองสัญญาณเอฟเอ็มโดยการเลือกเมนู Build>>Generate และ Build>>Execute ตามลำดับ ปรับสัญญาณที่พล็อตบนหน้าจอให้แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงเอนวีโลป อย่างชัดเจน บันทึกสัญญาณที่ปรากฏลงในรูปที่ 5.2 (ข)

5.1.6 ทดลองปรับความถี่ของสัญญาณ Signal Source เป็นค่าต่าง ๆ ทำการทดสอบที่ 5.1.4-5.1.5 ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง สังเกตลักษณะของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไปเพื่อตอบคำถาม



รูปที่ 5.1 การทดลองสัญญาณเอฟเอ็ม



(ก) (ข)

รูปที่ 5.2 กราฟลูกคลื่นสัญญาณเอฟเอ็ม (ก) ทางเวลา (ข) ทางความถี่

คำถาม

สัญญาณ m(t) และสัญญาณ FM มีความสัมพันธ์กันอย่างไร

_____

_____

การทดลองที่ 5.2 คุณลักษณะของสัญญาณพีเอ็ม

5.2.1 ต่อบล็อกดังรูปที่ 5.3 โดยใช้บล็อก (Block) ในหมวด (Category) Source Wx GUI widget และ Misc ตามลำดับเพื่อจำลองการมอดูเลตแบบเอเอ็มซึ่งมีลักษณะสัญญาณดังสมการ

5.2.2 กำหนด Output type ของบล็อกต่าง ๆ เป็น Float และกำหนดค่าคงที่ในบล็อกดังนี้

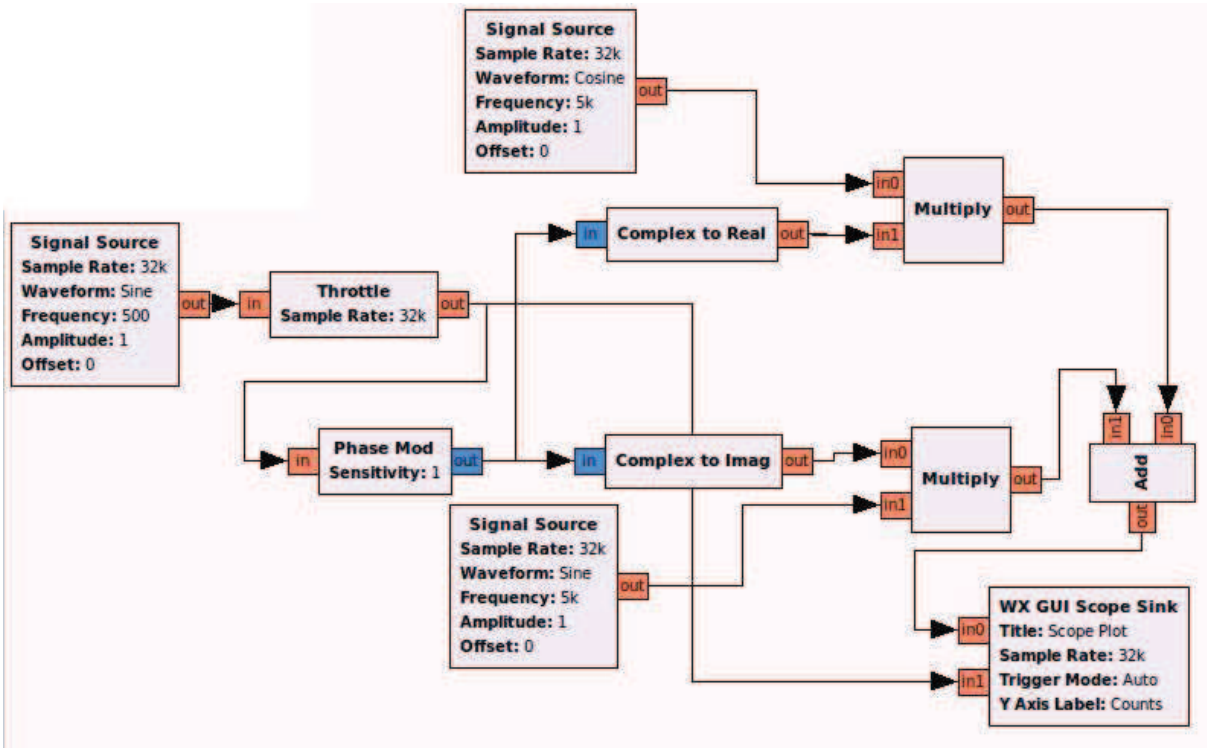
Signal source m(t)	Waveform:	Sine
	Frequency:	500
	Amplitude:	1
Signal source carrier:	Waveform:	Sine และ Cosine (ตามตำแหน่งดังรูป 5.1)
	Frequency:	5000
	Amplitude:	1
WX GUI Scope sink:	Input:	2
Phase Mod:	Sensitivity:	1

5.2.3 เริ่มต้นจำลองสัญญาณเอฟเอ็มโดยการเลือกเมนู Build>>Generate และ Build>>Execute ตามลำดับ ปรับสัญญาณที่พล็อตบนหน้าจอให้แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงเอนวีโลปอย่างชัดเจน บันทึกสัญญาณที่ปรากฏลงในรูปที่ 5.2 (ก)

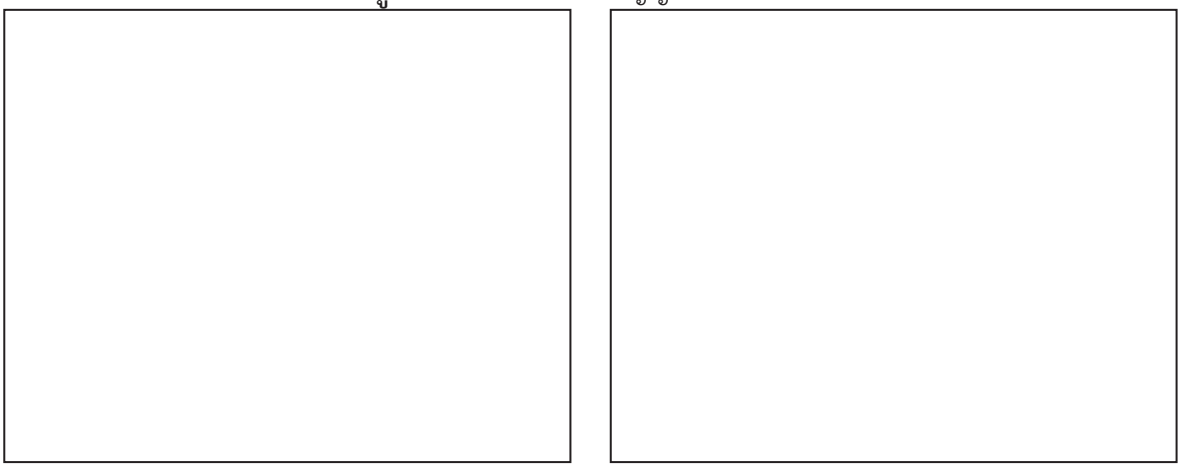
5.2.4 ต่อบล็อกดังรูปที่ 3.1 และปรับแต่งตัวแปรต่าง ๆ ตามรายละเอียดในหัวข้อ 5.1.1-5.1.3 จากนั้นเปลี่ยนบล็อก WX GUI Scope sink เป็น WX GUI FTF Sink (กำหนด Output type ของบล็อกดังกล่าวเป็น Floating) และต่อสัญญาณ Output ของบล็อก Add เข้าที่ WX GUI FFT Sink

5.2.5 เริ่มต้นจำลองสัญญาณเอฟเอ็มโดยการเลือกเมนู Build>>Generate และ Build>>Execute ตามลำดับ ปรับสัญญาณที่พล็อตบนหน้าจอให้แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงเอนวีโลป อย่างชัดเจน บันทึกสัญญาณที่ปรากฏลงในรูปที่ 5.4 (ข)

5.2.6 ทดลองปรับความถี่ของสัญญาณ Signal Source เป็นค่าต่าง ๆ ทำการทดสอบที่ 5.1.4-5.1.5 ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง สังเกตลักษณะของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไปเพื่อตอบคำถาม



รูปที่ 5.3 การทดลองสัญญาณพีเอ็ม



(ข) (ข)

รูปที่ 5.4 กราฟลูกคลื่นสัญญาณพีเอ็ม (ก) ทางเวลา (ข) ทางความถี่

คำถาม

สัญญาณ m(t) และสัญญาณ PM มีความสัมพันธ์กันอย่างไร

_____

_____

_____

บทที่ 6

ทฤษฎีการชักสัญญาณ

วัตถุประสงค์ของการฝึกปฏิบัติการ

1. เข้าใจหลักการชักสัญญาณ
2. เข้าใจ Nyquist's sampling theorem

การทดลองที่ 6.1 หลักการชักสัญญาณ

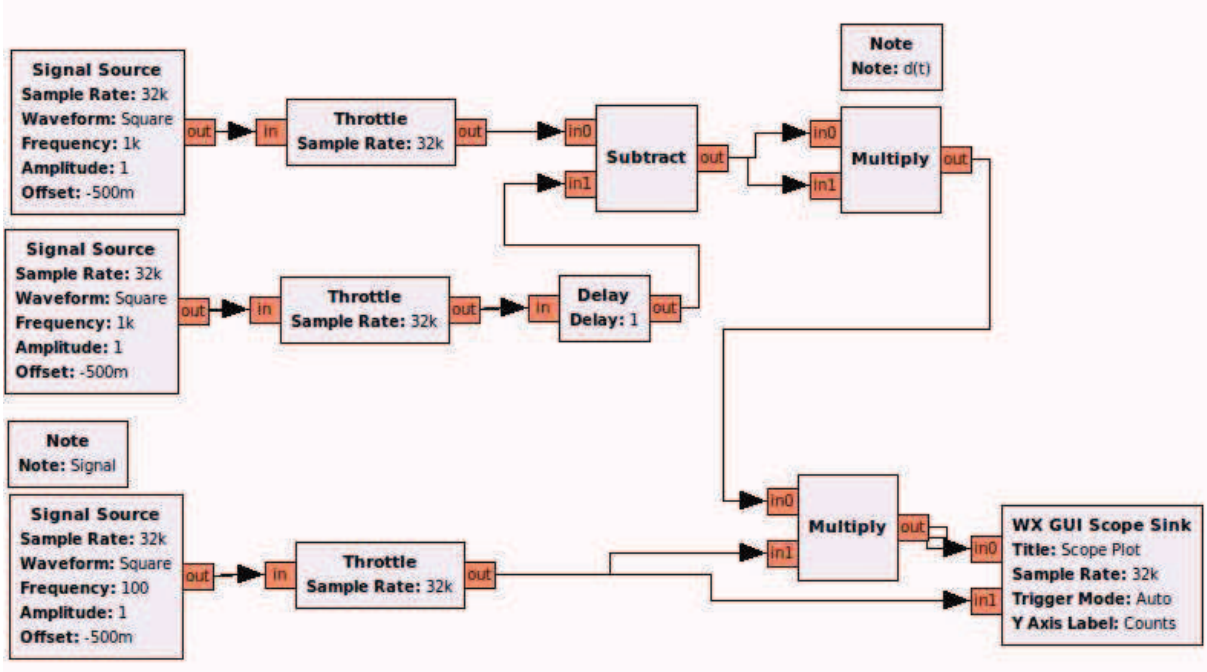
6.1.1 ต่อบล็อกดังรูปที่ 6.1 โดยใช้บล็อก (Block) ในหมวด (Category) Source Wx GUI widget และ Misc ตามลำดับเพื่อจำลองการชักสัญญาณโดยที่ s(t) คือสัญญาณข่าวสารและ d(t) คือ Pulse train

6.1.2 กำหนด Output type ของบล็อกต่าง ๆ เป็น Float และกำหนดค่าคงที่ในบล็อกทั้งหมดดังรูป

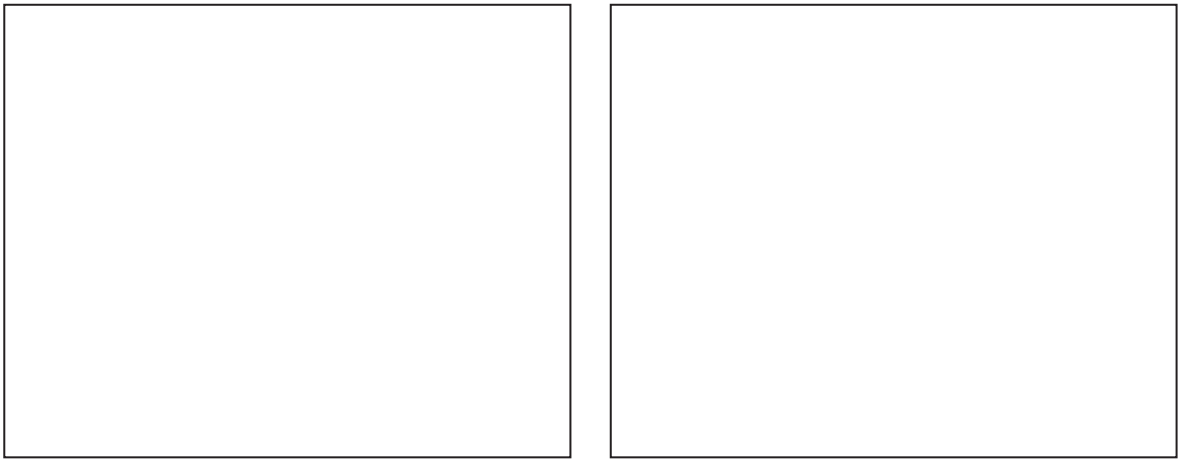
6.1.3 เริ่มต้นจำลองสัญญาณโดยการเลือกเมนู Build>>Generate และ Build>>Execute ตามลำดับ ปรับสัญญาณที่พล็อตบนหน้าจอให้แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงเอนวีโลปอย่างชัดเจน บันทึกสัญญาณที่ปรากฏลงในรูปที่ 6.2 (ก)

6.1.4 เปลี่ยนตัวแปร Waveform ของแหล่งกำเนิดสัญญาณ s(t) จาก Square เป็น Triangle

6.1.5 เริ่มต้นจำลองสัญญาณอีกครั้งหนึ่ง บันทึกสัญญาณที่ปรากฏลงในรูปที่ 6.2 (ข)



รูปที่ 6.1 การทดลองชักสัญญาณ



(ก) (ข)

รูปที่ 6.2 กราฟลูกคลื่นสัญญาณเอฟเอ็ม (ก) ทางเวลา (ข) ทางความถี่

คำถาม

สัญญาณ PAM ที่ได้จากการชักสัญญาณมีลักษณะเป็นเช่นใด

_____

_____

_____

สัญญาณ PAM ที่ได้จากการชักสัญญาณมีความสัมพันธ์กับสัญญาณข่าวสารอย่างไร

_____

_____

_____

อัตราการชักสัญญาณของระบบสื่อสารที่ทดสอบมีค่าเท่าใด (Symbols/second)

_____

_____

_____

การทดลองที่ 6.2 Nyquist's theorem

6.2.1 ต่อบล็อกดังรูปที่ 6.1 โดยใช้บล็อก (Block) ในหมวด (Category) Source Wx GUI widget และ Misc ตามลำดับเพื่อจำลองการชักสัญญาณโดยที่ s(t) คือสัญญาณข่าวสารและ d(t) คือ Pulse train

6.2.2 กำหนด Output type ของบล็อกต่าง ๆ เป็น Float และกำหนดค่าคงที่ในบล็อกทั้งหมดดังรูป

6.2.3 เริ่มต้นจำลองสัญญาณโดยการเลือกเมนู Build>>Generate และ Build>>Execute ตามลำดับ ปรับสัญญาณที่พล็อตบนหน้าจอให้แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงเอนวีโลปอย่างชัดเจน บันทึกสัญญาณที่ปรากฏลงในรูปที่ 6.3 (ก)

6.2.4 จำลองการชักสัญญาณซึ่งมีความถี่สูงขึ้นโดยปรับความถี่ของสัญญาณ s(t) จาก 100 Hz เป็น 500Hz บันทึกผลลงในรูปที่ 6.3(ข)

6.2.5 ปรับความถี่ของสัญญาณ s(t) เป็น 1000Hz บันทึกผลลงในรูปที่ 6.3(ค)

6.2.6 ปรับความถี่ของสัญญาณ s(t) เป็น 1500Hz บันทึกผลลงในรูปที่ 6.3(ง)

(ก) (ข)

(ค) (ง)

รูปที่ 6.3 กราฟลูกคลื่นสัญญาณ

คำถาม

เมื่อความถี่ของสัญญาณมีค่าเพิ่มขึ้นมากเกินไปเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการชักสัญญาณจะเกิดอะไรขึ้นกับสัญญาณที่เป็นผลลัพธ์จากการชักสัญญาณ

_____

_____

_____

บรรณานุกรม

[1] ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ หลักการไฟฟ้าสื่อสาร ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2554

[2] http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki

[3] http://www.ettus.com

ภาคผนวก ค
เอกสารประกอบโปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการทดลองด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมด้วยโปรแกรม LabVIEW

โปรแกรมชุดฝึกปฏิบัติการทดลองด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมด้วยโปรแกรม LabVIEW

(Laboratory Exercises in Telecommunication Engineering using LabVIEW)

อ.ดิสพล ฉ่ำเฉียวกุล

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ปีการศึกษา 2556

คำนำ

ตำราเล่มนี้กล่าวถึงโปรแกรมฝึกปฏิบัติการด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมสำหรับใช้ประกอบการสอน เป็นการนำโปรแกรม LabVIEW มาใช้ในการพัฒนาและจัดทำชุดฝึกปฏิบัติการซึ่งครอบคลุมทฤษฎีต่าง ๆ ทางวิศวกรรมโทรคมนาคม เนื่องจากการพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการสามารถรองรับการสอนพื้นฐานทางวิศวกรรมโทรคมนาคมต่าง ๆ อีกทั้งยังสามารถปรับปรุงชุดฝึกได้ง่ายและมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการไม่มากนักดังนั้นจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มพูนความรู้ให้แก่นักศึกษา นอกจากนั้นมีการจัดเตรียมชุดฝึกปฏิบัติการทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมเพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนรายวิชา TEE2205 หลักการของระบบสื่อสาร สำหรับนักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ตำราเล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาชุดปฏิบัติการทดลองด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมด้วยระบบสื่อสารแบบ Software-Defined radio” ซึ่งได้รับการสนับสนุนงบประมาณวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ.2556 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

กิตติกรรมประกาศ

เนื้อหาบางส่วนในตำราเล่มนี้ได้รับการสนับสนุนข้อมูลและจัดทำโดยนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ผู้แต่งขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
คำนำ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
บทที่ 1 คุณสมบัติของสัญญาณทางไฟฟ้า	1-1
การทดลองที่ 1.1 ลักษณะลูกคลื่นสัญญาณ	1-1
บทที่ 2 วงจรกรองความถี่	2-1
การทดลองที่ 2.1 คุณสมบัติของวงจรกรองความถี่แบบต่าง ๆ	2-1
บทที่ 3 การมอดูเลตเชิงแอมพลิจูด	3-1
การทดลองที่ 3.1 การมอดูเลตเชิงแอมพลิจูด	3-1
การทดลองที่ 3.2 คุณสมบัติทางความถี่ของสัญญาณเอเอ็ม	3-2
การทดลองที่ 3.3 พื้นฐานการมอดูเลตแบบ DSB-SC	3-2
การทดลองที่ 3.4 คุณสมบัติทางความถี่	3-4
การทดลองที่ 3.5 พื้นฐานการมอดูเลตแบบ SSB	3-4
การทดลองที่ 3.6 คุณสมบัติทางความถี่ของสัญญาณ SSB	3-5
บทที่ 4 การมอดูเลตเชิงความถี่	4-1
การทดลองที่ 4.1 พื้นฐานการมอดูเลตเชิงความถี่	4-1
การทดลองที่ 4.2 คุณสมบัติทางความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็ม	4-2
บทที่ 5 การมอดูเลตเชิงเฟส	5-1
การทดลองที่ 5.1 พื้นฐานการมอดูเลตเชิงเฟส	5-1
การทดลองที่ 5.2 คุณสมบัติทางความถี่ของสัญญาณพีเอ็ม	5-2

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 6 การชักสัญญาณ	6-1
การทดลองที่ 6.1 พื้นฐานการชักสัญญาณ	6-1
บรรณานุกรม	7-1

บทที่ 1

คุณสมบัติของสัญญาณทางไฟฟ้า

วัตถุประสงค์ของการฝึกปฏิบัติการ

1. เข้าใจลักษณะลูกคลื่นสัญญาณแบบต่าง ๆ
2. เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ คาบเวลา และแอมพลิจูดกับลักษณะลูกคลื่นสัญญาณ
3. เข้าใจสเปกตรัมทางความถี่ของสัญญาณ

การทดลองที่ 1.1 ลักษณะลูกคลื่นสัญญาณ

1.1.1 เรียกใช้งานโปรแกรม “Signalandspectral.vi” ซึ่งทำหน้าที่แสดงลักษณะของสัญญาณทางเวลาและทางความถี่ของสัญญาณ s_1 (t) และ s_2(t) ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ของสัญญาณ ได้แก่ รูปแบบสัญญาณแอมพลิจูด (Amplitude) ความถี่ เฟส (Phase) ออฟเซ็ต และค่า Duty cycle (เฉพาะสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเท่านั้น)

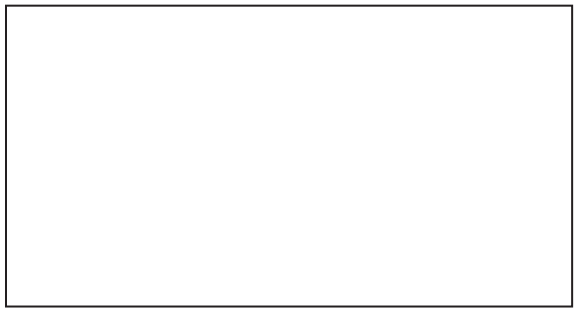
1.1.2 คลิ๊กปุ่มเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม

1.1.3 ปรับตัวแปรสำหรับสัญญาณ s_1(t) และ s_2(t) ดังนี้

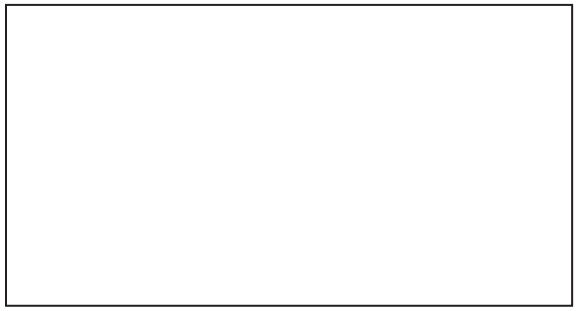
- Type : Sine Wave
- Amplitude : 1.0
- Frequency : 1.0
- Phase : 0.0
- Offset : 0.0
- Square wave duty cycle : 50

1.1.4 ค่อย ๆ เพิ่มค่าตัวแปรแอมพลิจูดของสัญญาณ s_1(t) อย่างช้า ๆ สังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสัญญาณทางเวลาที่เกิดขึ้น

1.1.5 ปรับค่าแอมพลิจูดของสัญญาณ s_1 (t) เป็น 3.0 และบันทึกสัญญาณทางเวลา s_1(t) และ s_2(t) ลงในรูปที่ 1.1(ก)



(ก)



(ข)

รูปที่ 1.1 ลักษณะของสัญญาณทางเวลา (ก) การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด (ข) การเปลี่ยนแปลงความถี่

1.1.6 ปรับแอมพลิจูดของสัญญาณ s_1 (t) เป็น 1.0 อีกครั้งหนึ่ง ต่อจากนั้นให้ค่อย ๆ เพิ่มค่าตัวแปรความถี่ของสัญญาณ s_1 (t) อย่างช้า ๆ สังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสัญญาณทางเวลาที่เกิดขึ้น

1.1.7 ปรับค่าตัวแปรความถี่ของสัญญาณ s_1(t) เป็น 3.0 และบันทึกสัญญาณทางเวลา s_1(t) และ s_2(t) ลงในรูปที่ 1.1(ข)

1.1.8 ปรับค่าตัวแปรความถี่ของสัญญาณ s_1(t) เป็น 10 Hz ต่อจากนั้นทดลองปรับรูปแบบ (Type) ของสัญญาณ s_1(t) เป็น Saw tooth Square wave และ Triangle wave ตามลำดับ

สังเกตุการเปลี่ยนแปลงสเปกตรัมทางความถี่ของสัญญาณที่เกิดขึ้น

1.1.9 ปรับค่าตัวแปรความถี่ของสัญญาณ $s_1(t)$ เป็น 100 Hz ต่อจากนั้นทดลองปรับรูปแบบ (Type) ของสัญญาณ $s_1(t)$ เป็น Sine wave พล็อตลักษณะสเปกตรัมทางความถี่ของสัญญาณ $s_1(t)$ และ $s_2(t)$ ลงในรูปที่ 1.2(ก)

1.1.10 ค่อย ๆ เพิ่มความถี่และแอมพลิจูดของสัญญาณ $s_1(t)$ อย่างช้า ๆ สังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสเปกตรัมทางความถี่ที่เกิดขึ้น

1.1.11 ปรับค่าแอมพลิจูดและความถี่และของสัญญาณ $s_1(t)$ เป็น 1.5 และ 200 Hz ตามลำดับพล็อตลักษณะสเปกตรัมทางความถี่ของสัญญาณ $s_1(t)$ และ $s_2(t)$ ลงในรูปที่ 1.2(ข)

1.1.12 ตอบคำถามท้ายบท

(ก)

(ข)

รูปที่ 1.2 ลักษณะของสัญญาณทางความถี่
(ก) ก่อน (ข) หลัง

คำถาม

การเพิ่มแอมพลิจูดของสัญญาณ s(t) มีผลให้รูปคลื่นสัญญาณทางเวลามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร?

_____
_____
_____

การเพิ่มความถี่ของสัญญาณ s(t) มีผลให้รูปคลื่นสัญญาณทางเวลามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร?

_____
_____
_____

การเพิ่มแอมพลิจูดของสัญญาณ s(t) มีผลให้รูปคลื่นสัญญาณทางความถี่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร?

_____
_____
_____

การเพิ่มความถี่ของสัญญาณ s(t) มีผลให้รูปคลื่นสัญญาณทางความถี่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร?

_____
_____
_____

บทที่ 2

วงจรกรองความถี่

วัตถุประสงค์ของการฝึกปฏิบัติการ

1. เข้าใจคุณลักษณะของวงจรกรองความถี่แบบต่าง ๆ

การทดลองที่ 2.1 คุณสมบัติของวงจรกรองความถี่แบบต่าง ๆ

2.1.1 เรียกใช้งานโปรแกรม “filter.vi” ซึ่งทำหน้าที่แสดงสัญญาณทางเวลาและสเปกตรัมของสัญญาณขาเข้า (Input) ซึ่งเป็นผลรวมระหว่างสัญญาณ $s_1(t)$ และ $s_2(t)$ และขาออกของวงจรกรองความถี่ ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ของสัญญาณ ได้แก่ รูปแบบสัญญาณแอมพลิจูด (Amplitude) ความถี่ เฟส (Phase) ออฟเซ็ต และค่า Duty cycle (เฉพาะสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเท่านั้น)

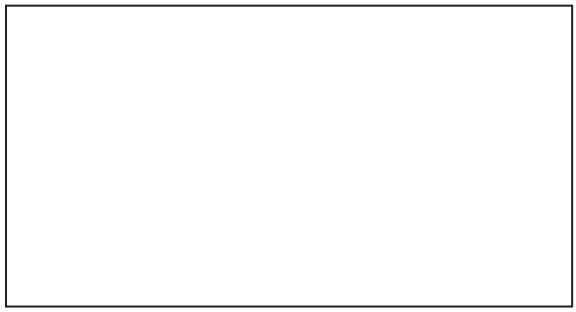
2.1.2 คลิ๊กปุ่มเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม

2.1.3 ปรับตัวแปรสำหรับสัญญาณ $s_1(t)$ และ $s_2(t)$ ดังนี้

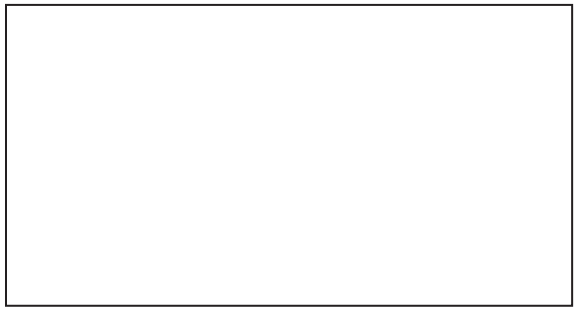
- Type : Sine Wave
- Amplitude : 1.0
- Phase : 0.0
- Offset : 0.0
- Square wave duty cycle : 50

2.1.4 กำหนดให้วงจรกรองความถี่เป็นแบบ “Low pass” โดยมีค่า Order เป็น 5 และมี low cut off frequency เป็น 100 Hz ปรับความถี่ (Frequency) ของสัญญาณ $s_1(t)$ และ $s_2(t)$ เป็น 10 Hz สังเกตกราฟบนจอภาพ

2.1.5 ค่อย ๆ เพิ่มค่าตัวแปรแอมพลิจูดของสัญญาณ $s_1(t)$ อย่างช้า ๆ ระหว่าง 10 และ 200 Hz สังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสัญญาณขาออกที่เกิดขึ้น



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.1 สเปกตรัมของสัญญาณของวงจรกรองความถี่ต่ำ (ก) สัญญาณขาเข้า (ข) สัญญาณขาออก

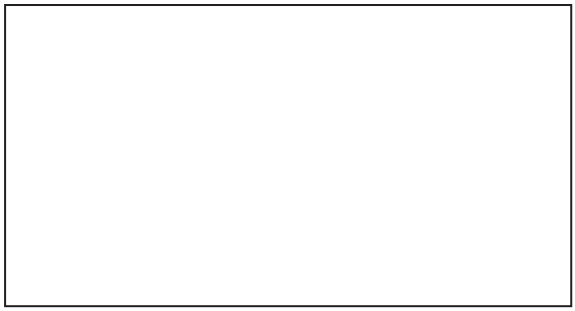
2.1.6 ปรับค่าความถี่ของสัญญาณ s_2 (t) เป็น 200 Hzและบันทึกสัญญาณทางความถี่ขาเข้าและขาออกของวงจรกรองความถี่ต่ำลงในรูปที่ 2.1 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

2.1.7 กำหนดให้วงจรกรองความถี่เป็นแบบ “High pass” โดยมีค่า Order เป็น 5 และมี low cut off frequency เป็น 100 Hz ปรับความถี่ (Frequency) ของสัญญาณ $s_1(t)$ และ $s_2(t)$ เป็น 10 Hz สังเกตกราฟบนจอภาพ

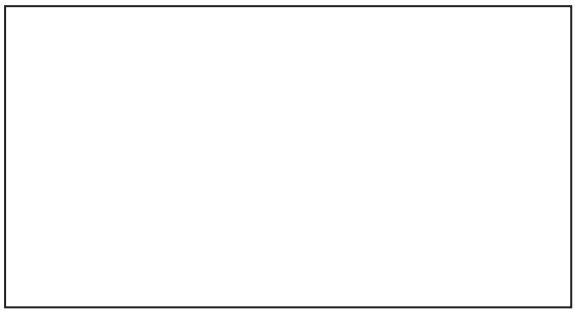
2.1.8 ค่อย ๆ เพิ่มค่าตัวแปรแอมพลิจูดของสัญญาณ $s_1(t)$ อย่างช้า ๆ ระหว่าง 10 และ 200 Hz

สังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสัญญาณขาออกที่เกิดขึ้น

2.1.9 ปรับค่าความถี่ของสัญญาณ s_2 (t) เป็น 200 Hzและบันทึกสัญญาณทางความถี่ขาเข้าและขาออกของวงจรกรองความถี่ต่ำลงในรูปที่ 2.2(ก) และ (ข) ตามลำดับ



(ก)



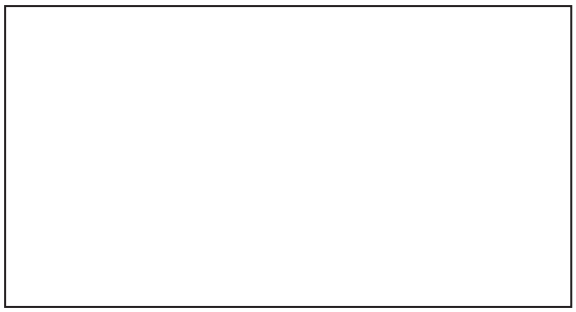
(ข)

รูปที่ 2.2 สเปกตรัมของสัญญาณของวงจรกรองความถี่สูง(ก) สัญญาณขาเข้า (ข) สัญญาณขาออก

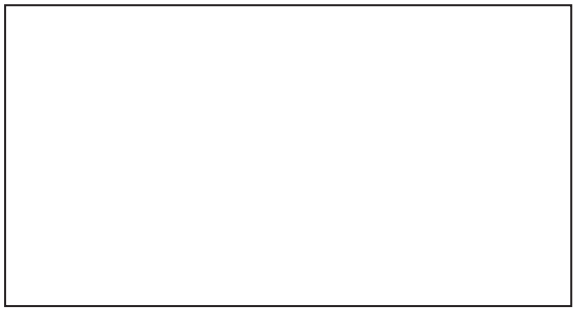
2.1.10 กำหนดให้วงจรกรองความถี่เป็นแบบ “Band pass” โดยมีค่า Order เป็น 5 และมี low cut off frequency เป็น 25 Hz และ High cut off frequency เป็น 50 Hz ปรับความถี่ (Frequency) ของสัญญาณ s_1(t) และ s_2(t) เป็น 10 Hz สังเกตกราฟบนจอภาพ

2.1.11 ค่อย ๆ เพิ่มค่าตัวแปรแอมพลิจูดของสัญญาณ s_1(t) อย่างช้า ๆ ระหว่าง 10 และ 100 Hz สังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสัญญาณขาออกที่เกิดขึ้น

2.1.12 ปรับค่าความถี่ของสัญญาณ s_2 (t) เป็น 30 Hz และบันทึกสัญญาณทางความถี่ขาเข้าและขาออกของวงจรกรองความถี่ต่ำลงในรูปที่ 2.3 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



(ก)



(ข)

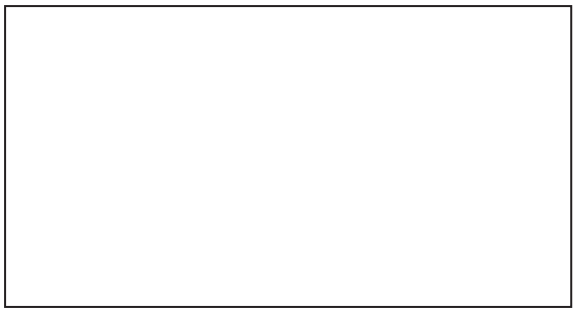
รูปที่ 3 สเปกตรัมของสัญญาณของวงจร Band pass filter (ก) สัญญาณขาเข้า (ข) สัญญาณขาออก

2.1.13 กำหนดให้วงจรกรองความถี่เป็นแบบ “Band stop” โดยมีค่า Order เป็น 5 และมี low cut off frequency เป็น 25 Hz และ High cut off frequency เป็น 50 Hz ปรับความถี่ (Frequency) ของสัญญาณ s_1(t) และ s_2(t) เป็น 10 Hz สังเกตกราฟบนจอภาพ

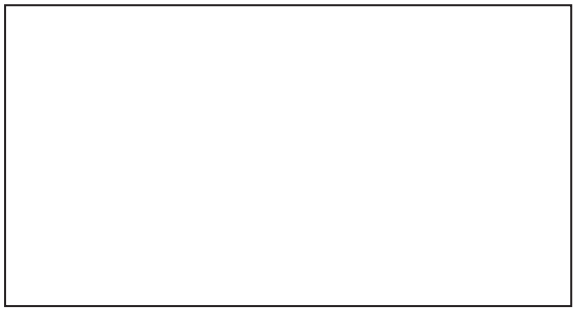
2.1.14 ค่อย ๆ เพิ่มค่าตัวแปรแอมพลิจูดของสัญญาณ s_1(t) อย่างช้า ๆ ระหว่าง 10 และ 100 Hz สังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสัญญาณขาออกที่เกิดขึ้น

2.1.15 ปรับค่าความถี่ของสัญญาณ s_2 (t) เป็น 30 Hz และบันทึกสัญญาณทางความถี่ขาเข้าและขาออกของวงจรกรองความถี่ต่ำลงในรูปที่ 4(ก) และ 4(ข) ตามลำดับ

2.1.16 ตอบคำถามท้ายบท



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.3 สเปกตรัมของสัญญาณของวงจร Band pass filter (ก) สัญญาณขาเข้า (ข) สัญญาณขาออก

คำถาม

เมื่อป้อนสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าความถี่คัทออฟเข้าวงจรกรองความถี่ต่ำสัญญาณขาออกของวงจรกรองความถี่ต่ำจะมีลักษณะเป็นเช่นใด?

_____

_____

_____

เมื่อป้อนสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่คัทออฟเข้าวงจรกรองความถี่สูง สัญญาณขาออกของวงจรกรองความถี่ต่ำจะมีลักษณะเป็นเช่นใด?

_____

_____

_____

วงจร Band pass filter มีคุณสมบัติอย่างไร?

_____

_____

_____

วงจร Band stop filter มีคุณสมบัติอย่างไร?

_____

_____

_____

บทที่ 3

การมอดูเลตเชิงแอมพลิจูด

วัตถุประสงค์ของการฝึกปฏิบัติการ

1. เข้าใจหลักการมอดูเลตเชิงแอมพลิจูด
2. เข้าใจตัวแปรต่าง ๆ ของการมอดูเลตเชิงแอมพลิจูด

การทดลองที่ 3.1 การมอดูเลตเชิงแอมพลิจูด

3.1.1 เรียกใช้งานโปรแกรม “am.vi” ซึ่งทำหน้าที่แสดงสัญญาณทางเวลาและสเปกตรัมของสัญญาณขาเข้า m(t) และสัญญาณขาออก s(t) ของภาคมอดูเลตเชิงแอมพลิจูด ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ของสัญญาณขาเข้าของภาคมอดูเลตรวมถึงคลื่นพาห์ที่ใช้งานได้ สัญญาณขาออกจะมีความสัมพันธ์ตามสมการต่อไปนี้

$$s_{AM}(t) = A_c[1 + m(t)]\cos(2\pi f_c t)$$

เมื่อ A_c และ f_c คือแอมพลิจูดและความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห์

3.1.2 คลิ๊กปุ่มเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม

3.1.3 ปรับตัวแปรสำหรับสัญญาณ m(t) ดังนี้

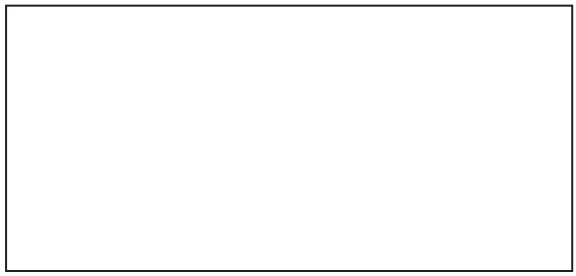
- Type : Sine Wave
- Amplitude : 0.5
- Frequency : 10 Hz
- Offset : 0.0
- Square wave duty cycle : 50

3.1.4 กำหนดให้ตัวแปรสำหรับสัญญาณคลื่นพาห์ที่ใช้ในการมอดูเลตมีลักษณะดังนี้

- Amplitude : 1.0
- Carrier frequency : 100 Hz

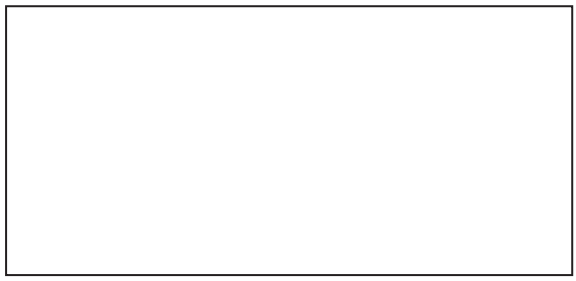
3.1.5 คำนวณค่าดรรชนีการมอดูเลตของการมอดูเลตเชิงแอมพลิจูดโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\mu = \frac{A_m}{A_c} = \text{——} = \text{_____}$$

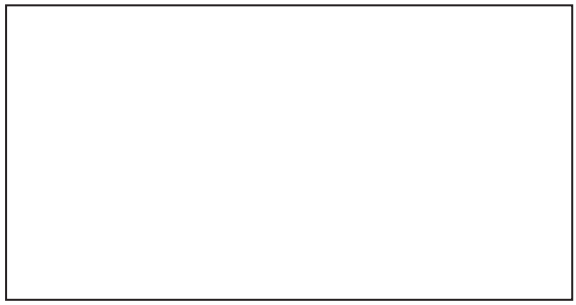


(ก)

(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 3.1 สัญญาณที่เกิดขึ้นจากการมอดูเลตเชิงแอมพลิจูด (ก) สัญญาณขาเข้า m(t) (ข) สัญญาณขาออกกรณีที่ $\mu = 0.5$ (ค) สัญญาณขาออก $(\mu = 1.0)$ (ค) สัญญาณขาออก($\mu = 1.25$)

3.1.6 พล็อตกราฟสัญญาณทางเวลา m(t) และสัญญาณเอเอ็ม (AM signal) ที่ได้จากการมอดูเลตลงในรูปที่ 3.1(ก) และ 3.1 (ข) ตามลำดับ

3.1.7 ปรับค่าตัวแปรแอมพลิจูดของสัญญาณ m(t) จาก 0.5 เป็น 1.0 และพล็อตสัญญาณเอเอ็มลงบนรูปที่ 1(ค) และคำนวณค่าดรรชนีการมอดูเลตโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\mu = \frac{A_m}{A_c} = \text{——} = \text{_____}$$

3.1.8 ปรับค่าตัวแปรแอมพลิจูดของสัญญาณ m(t) จาก 1.0 เป็น 1.25 และพล็อตสัญญาณเอเอ็มลงบนรูปที่ 3.1(ง) และคำนวณค่าดรรชนีการมอดูเลตโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\mu = \frac{A_m}{A_c} = \text{——} = \text{_____}$$

3.1.9 ทดลองปรับตัวแปรต่าง ๆ และสังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสัญญาณ

การทดลองที่ 3.2 คุณสมบัติทางความถี่ของสัญญาณเอเอ็ม

3.2.1 ปรับตัวแปรสำหรับสัญญาณ m(t) ดังนี้

- Type : Sine Wave
- Amplitude : 1.0
- Frequency : 10 Hz
- Offset : 0.0
- Square wave duty cycle : 50

3.2.2 กำหนดให้ตัวแปรสำหรับสัญญาณคลื่นพาห์ที่ใช้ในการมอดูเลตมีลักษณะดังนี้

- Amplitude : 1.0
- Carrier frequency : 20 Hz

3.2.3 ค่อย ๆ เพิ่มค่าตัวแปร Carrier frequency สัญญาณ c(t) อย่างช้า ๆ ระหว่าง 20 และ 200 Hz สังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสัญญาณขาออกที่เกิดขึ้น

3.2.4 กำหนดให้ค่า Carrier frequency สัญญาณ c(t) มีค่าเป็น 200 Hz วาดสเปกตรัมของสัญญาณ m(t) และสัญญาณเอเอ็มลงในรูปที่ 3.2(ก) และ 3.2(ข) ตามลำดับ

(ก)

(ข)

รูปที่ 3.2 สเปกตรัมของสัญญาณสำหรับการมอดูเลตเชิงแอมพลิจูด (ก) สัญญาณขาเข้า (ข) สัญญาณขาออก

การทดลองที่ 3.3 พื้นฐานการมอดูเลตแบบ DSB-SC

3.5.3. เรียกใช้งานโปรแกรม “dsbsc.vi” ซึ่งทำหน้าที่แสดงสัญญาณทางเวลาและสเปกตรัมของสัญญาณขาเข้า m(t) และสัญญาณขาออก s(t) ของภาคมอดูเลตแบบ Double Sideband Suppressed Carrier (DSB-SC) ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ของสัญญาณขาเข้าของภาคมอดูเลตรวมถึงคลื่นพาห์ที่ใช้งานได้ สัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตจะมีความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$s_{DSB-SC}(t) = A_c m(t)\cos(2\pi f_c t)$$

3.5.4. คลิ๊กปุ่มเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม

3.5.5. ปรับตัวแปรสำหรับสัญญาณ m(t) ดังนี้

- Type : Sine Wave
- Amplitude : 0.5
- Frequency : 10 Hz
- Offset : 0.0
- Square wave duty cycle : 50

3.5.6. กำหนดให้ตัวแปรสำหรับสัญญาณคลื่นพาห์ที่ใช้ในการมอดูเลตมีลักษณะดังนี้

- Amplitude : 1.0
- Carrier frequency : 100 Hz

3.5.7. คำนวณค่าดรรชนีการมอดูเลตของการมอดูเลตเชิงแอมพลิจูดโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\mu = \frac{A_m}{A_c} = \text{——} = \text{_____}$$

เมื่อ A_m และ A_c คือแอมพลิจูดของ m(t) และ c(t) ตามลำดับ

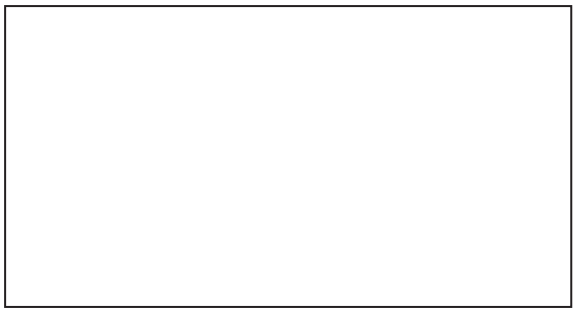
3.5.8. พล็อตกราฟสัญญาณทางเวลา m(t) และสัญญาณDSB-SC Signal ที่ได้จากการมอดูเลตลงในรูปที่ 3.3(ก) และ 3.3(ข) ตามลำดับปรับค่าตัวแปรแอมพลิจูดของสัญญาณ m(t) จาก 0.5 เป็น 1.0 และพล็อตสัญญาณDSB-SC ลงบนรูปที่ 3.3(ค) และคำนวณค่าดรรชนีการมอดูเลตโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\mu = \frac{A_m}{A_c} = \text{——} = \text{_____}$$

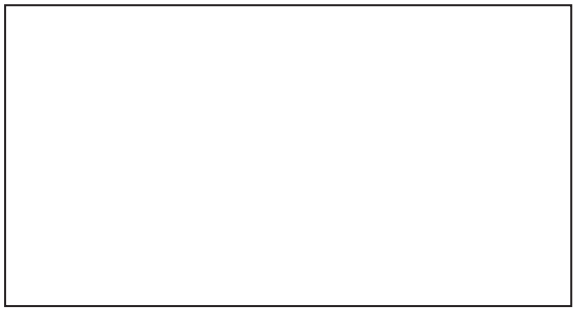
3.5.9. ปรับค่าตัวแปรแอมพลิจูดของสัญญาณ m(t) จาก 1.0 เป็น 1.25 และพล็อตสัญญาณ DSB-SC ลงบนรูปที่ 3.3(ง) และคำนวณค่าดรรชนีการมอดูเลตโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\mu = \frac{A_m}{A_c} = \text{——} = \text{_____}$$

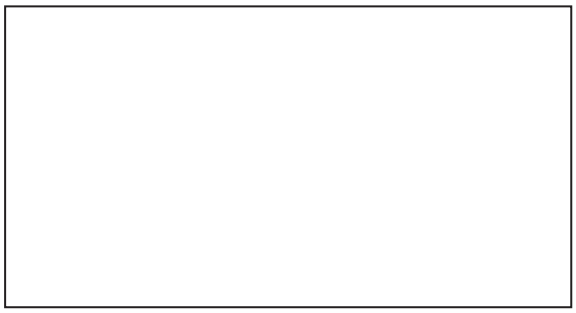
3.5.10. ทดลองปรับตัวแปรต่าง ๆ และสังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสัญญาณ



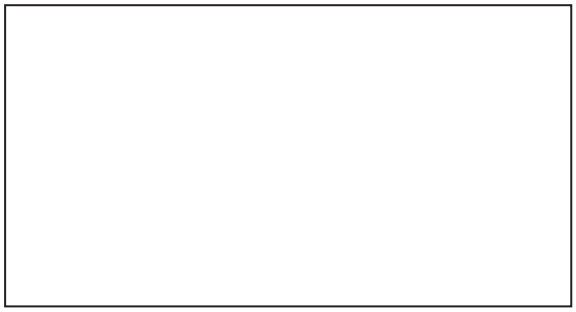
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 3.3 สัญญาณที่เกิดขึ้นจากการมอดูเลตแบบ DSB-SC (ก) สัญญาณขาเข้า m(t) (ข) สัญญาณขาออก $(\mu = 0.5)$(ค) สัญญาณขาออก $(\mu = 1.0)$(ค) สัญญาณขาออก $(\mu = 1.25)$

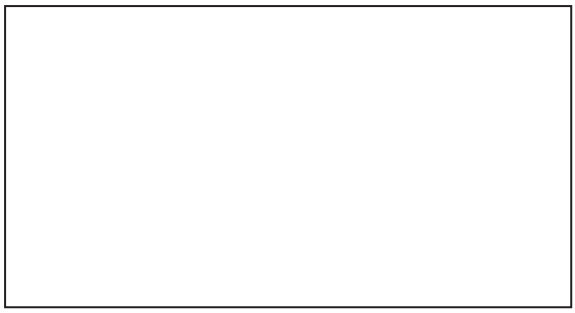
การทดลองที่ 3.4 คุณสมบัติทางความถี่ของสัญญาณ DSB-SC

3.4.1 ปรับตัวแปรสำหรับสัญญาณ m(t) ดังนี้
- Type : Sine Wave
- Amplitude : 1.0
- Frequency : 10 Hz
- Offset : 0.0
- Square wave duty cycle : 50

3.4.2 กำหนดให้ตัวแปรสำหรับสัญญาณคลื่นพาห์ที่ใช้ในการมอดูเลตมีลักษณะดังนี้
- Amplitude : 1.0
- Carrier frequency : 20 Hz

3.4.3 ค่อย ๆ เพิ่มค่าตัวแปร Carrier frequency สัญญาณ c(t) อย่างช้า ๆ ระหว่าง 20 และ 200 Hz สังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสัญญาณขาออกที่เกิดขึ้น

3.4.4 กำหนดให้ค่า Carrier frequency สัญญาณ c(t) มีค่าเป็น 200 Hz วาดสเปกตรัมของสัญญาณ m(t) และสัญญาณเอเอ็มลงในรูปที่ 3.4(ก) และ 3.4(ข) ตามลำดับ



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.4 สเปกตรัมของสัญญาณสำหรับการมอดูเลตแบบ DSB-SC (ก) สัญญาณขาเข้า (ข) สัญญาณขาออก

การทดลองที่ 3.5 พื้นฐานการมอดูเลตแบบ SSB

3.5.1 เรียกใช้งานโปรแกรม “ssb.vi” ซึ่งทำหน้าที่แสดงสัญญาณทางเวลาและสเปกตรัมของสัญญาณขาเข้า m(t) และสัญญาณขาออก s(t) ของภาคมอดูเลตแบบ Single Side band (SSB) ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ของสัญญาณขาเข้าของภาคมอดูเลตรวมถึงคลื่นพาห์ที่ใช้งานได้ สัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตเป็นการนำสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตแบบ SSB มาผ่านวงจรกรองความถี่เพื่อเลือก Sideband สำหรับการสื่อสาร

3.5.2 คลิ๊กปุ่มเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม

3.5.3 ปรับตัวแปรสำหรับสัญญาณ m(t) ดังนี้
- Type : Sine Wave
- Amplitude : 0.5
- Frequency : 10 Hz
- Offset : 0.0
- Square wave duty cycle : 50

3.5.4 กำหนดให้ตัวแปรสำหรับสัญญาณคลื่นพาห์ที่ใช้ในการมอดูเลตมีลักษณะดังนี้
- Amplitude : 1.0
- Carrier frequency : 100 Hz

3.5.5 คำนวณค่าดรรชนีการมอดูเลตของการมอดูเลตเชิงแอมพลิจูดโดยใช้สมการต่อไปนี้

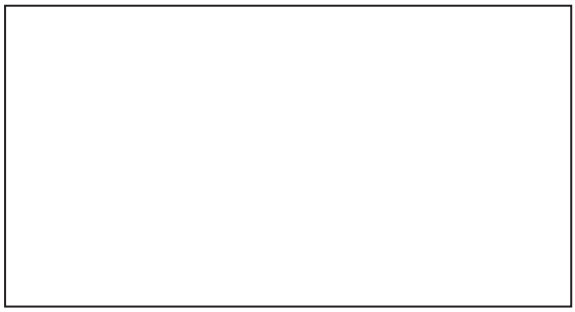
$$\mu = \frac{A_m}{A_c} = \text{——} = \text{_____}$$

เมื่อ A_m และ A_c คือแอมพลิจูดของ m(t) และ c(t) ตามลำดับ

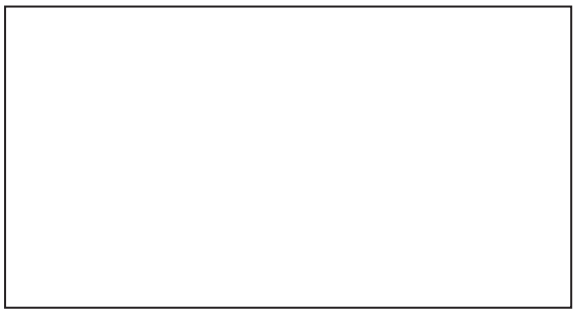
3.5.6 พล็อตกราฟสัญญาณทางเวลา m(t) และสัญญาณ SSB Signal ที่ได้จากการมอดูเลตลงในรูปที่ 3.5(ก) และ 3.5(ข) ตามลำดับปรับค่าตัวแปรแอมพลิจูดของสัญญาณ m(t) จาก 0.5 เป็น 1.0 และพล็อตสัญญาณ SSB ลงบนรูปที่ 3.5(ค) และคำนวณค่าดรรชนีการมอดูเลตโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\mu = \frac{A_m}{A_c} = \text{——} = \text{_____}$$

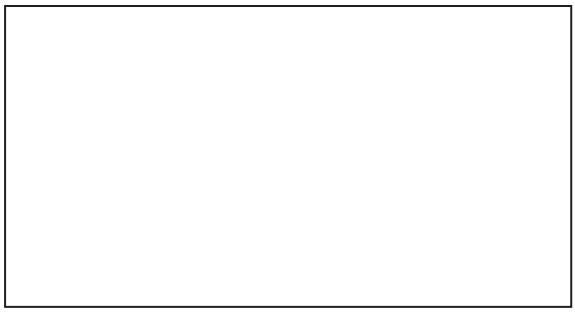
3.5.7 ทดลองปรับตัวแปรต่าง ๆ และสังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสัญญาณ



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.5 สัญญาณที่เกิดขึ้นจากการมอดูเลตแบบ SSB (ก) สัญญาณขาเข้า m(t) (ข) สัญญาณขาออก $(\mu = 0.5)$(ค) สัญญาณขาออก $(\mu = 1.0)$(ค) สัญญาณขาออก $(\mu = 1.25)$

การทดลองที่ 3.6 คุณสมบัติทางความถี่ของสัญญาณ SSB

3.6.1 ปรับตัวแปรต่าง ๆ ตามหัวข้อการทดลองที่ 3.5.3 และ 3.5.4

3.6.2 กำหนดให้วงจรกรองความถี่ทำหน้าที่กรองเฉพาะ Upper sideband มาใช้งานโดยกำหนดค่าตัวแปรดังนี้

- Low cut off frequency : 100 Hz

- High cut off frequency : 150 Hz

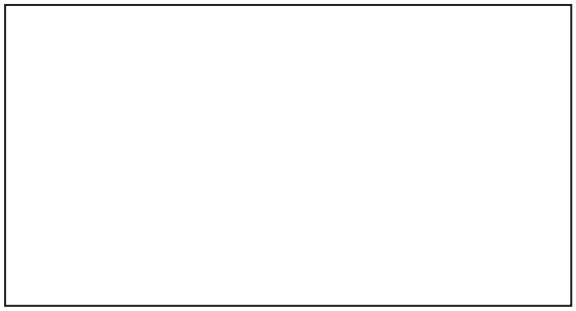
3.6.3 วาดสเปกตรัมของสัญญาณSSB ลงในรูปที่ 3.6(ก)

3.6.4 กำหนดให้วงจรกรองความถี่ทำหน้าที่กรองเฉพาะ Lower side band มาใช้งานโดยกำหนดค่าตัวแปรดังนี้

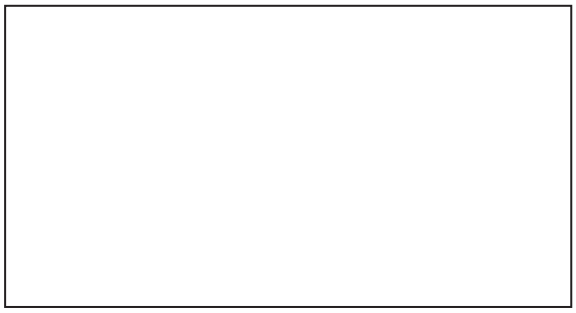
- Low cut off frequency: 50 Hz

- High cut off frequency: 100 Hz

3.6.5 วาดสเปกตรัมของสัญญาณSSB ลงในรูปที่ 3.4(-ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.6 สเปกตรัมของสัญญาณสำหรับการมอดูเลตแบบ SSB (ก) สัญญาณขาเข้า (ข) สัญญาณขาออก

คำถาม

สัญญาณเอเอ็มมีความสัมพันธ์กับสัญญาณข่าวสารที่ป้อนเข้าสู่ภาคมอดูเลตเชิงแอมพลิจูดอย่างไร?

_____

_____

การมอดูเลตสัญญาณเอเอ็มโดยให้ค่าดรรชนีการมอดูเลตมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้สัญญาณเอเอ็มมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร?

_____

_____

การเพิ่มความถี่ของคลื่นพาห์ที่ใช้ในการมอดูเลตเชิงแอมพลิจูดส่งผลให้สเปกตรัมของสัญญาณเอเอ็มเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร?

_____

_____

_____

สเปกตรัมของสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตแบบเอเอ็มและ DSB-SC มีความแตกต่างกันอย่างไร?

_____

_____

_____

บทที่ 4

การมอดูเลตเชิงความถี่

วัตถุประสงค์ของการฝึกปฏิบัติการ

1. เข้าใจหลักการมอดูเลตเชิงความถี่
2. เข้าใจตัวแปรต่าง ๆ ของการมอดูเลตเชิงความถี่

การทดลองที่ 4.1 พื้นฐานการมอดูเลตเชิงความถี่

4.1.1 เรียกใช้งานโปรแกรม “fm.vi” ซึ่งทำหน้าที่แสดงสัญญาณทางเวลาและสเปกตรัมของสัญญาณขาเข้า m(t) และสัญญาณขาออก s(t) ของภาคมอดูเลตเชิงความถี่ ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ของสัญญาณขาเข้าของภาคมอดูเลตรวมถึงคลื่นพาห์ที่ใช้งานได้ สัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตจะเป็นลูกคลื่นโคไซน์ซึ่งมีแอมพลิจูดเป็น A_c และมีความถี่เป็น

$$f_{FM} = f_c + k_f m(t)$$

เมื่อ k_f คือค่า Frequency sensitivity และ f_c เป็นความถี่ของคลื่นพาห์

4.1.2 คลิ๊กปุ่มเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม ปรับตัวแปรสำหรับสัญญาณ m(t) ดังนี้

- Type : Square wave
- Amplitude : 1.0
- Frequency : 2 Hz
- Offset : 0.0
- Square wave duty cycle : 50

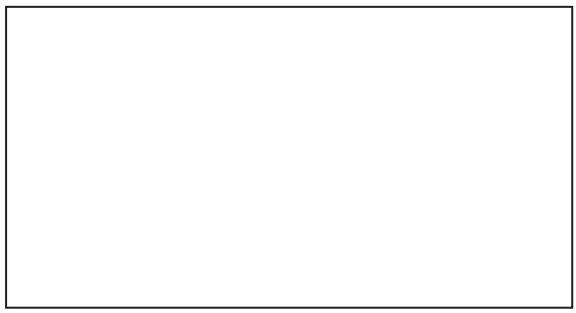
4.1.3 กำหนดให้ตัวแปรสำหรับสัญญาณคลื่นพาห์ที่ใช้ในการมอดูเลตมีลักษณะดังนี้

- Amplitude : 1.0
- Carrier frequency : 20 Hz
- Frequency sensitivity : 10 Hz

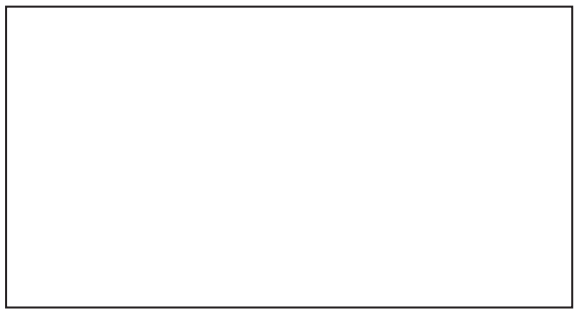
4.1.4 คำนวณค่าดรรชนีการมอดูเลตของการมอดูเลตเชิงแอมพลิจูดโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\beta = \frac{k_f A_m}{f_m} = \frac{\quad \times \quad}{\quad} = \underline{\qquad\qquad}$$

เมื่อ A_m และ f_m คือแอมพลิจูดและความถี่ของ m(t) ตามลำดับและ k_f คือดรรชนีการมอดูเลต



(ก)



(ข)

(ค)

รูปที่ 4.1 สัญญาณที่เกิดขึ้นจากการมอดูเลตเชิงความถี่ (ก) สัญญาณขาเข้า m(t) (ข) สัญญาณขาออก $(\beta = 5)$ (ค) สัญญาณขาออก $(\beta = 7.5)$

4.1.5 พล็อตกราฟสัญญาณทางเวลา m(t) และสัญญาณเอฟเอ็ม (FM signal) ที่ได้จากการมอดูเลตลงในรูปที่ 4.1(ก) และ 4.1(ข) ตามลำดับ

4.1.6 ปรับค่าตัวแปร Frequency sensitivity ของการมอดูเลตสัญญาณจาก 10 เป็น 15 คำนวณค่าดรรชนีการมอดูเลตของการมอดูเลตเชิงแอมพลิจูดโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\beta = \frac{k_f A_m}{f_m} = \frac{\quad \times \quad}{\quad} = _____$$

4.1.7 พล็อตสัญญาณเอฟเอ็มลงบนรูปที่ 1(ค)

4.1.8 ทดลองปรับตัวแปรต่าง ๆ และสังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสัญญาณ

การทดลองที่ 4.2 คุณสมบัติทางความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็ม

4.2.1 ปรับตัวแปรสำหรับสัญญาณ m(t) ดังนี้

- Type : Sine wave
- Amplitude : 1.0
- Frequency : 5 Hz

4.2.2 กำหนดให้ตัวแปรสำหรับสัญญาณคลื่นพาห์ที่ใช้ในการมอดูเลตมีลักษณะดังนี้

- Amplitude : 1.0
- Carrier frequency : 40 Hz
- Frequency sensitivity 1.0

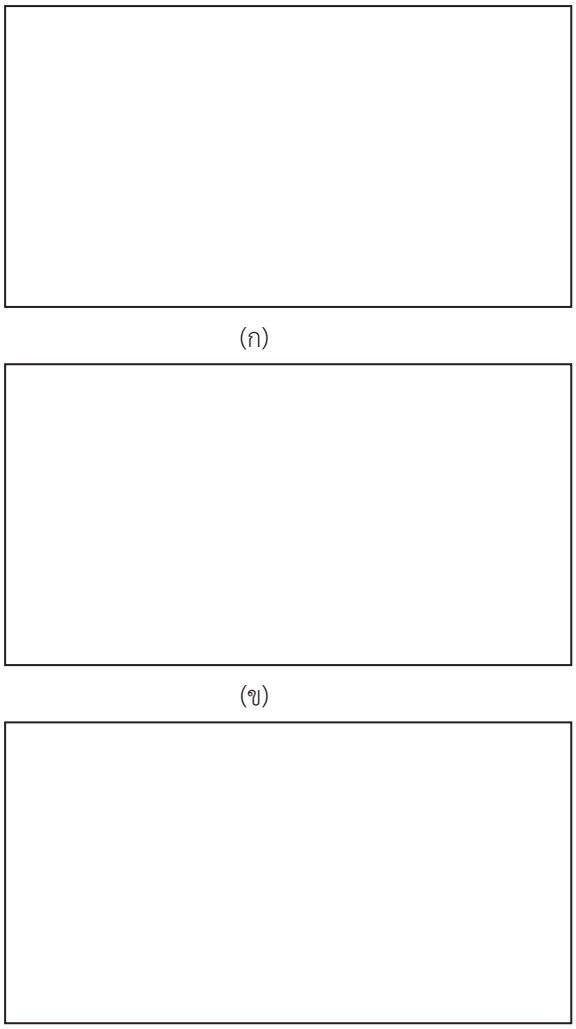
4.2.3 พล็อตสเปกตรัมของสัญญาณ m(t) และสัญญาณเอฟเอ็ม (FM signal) ที่ได้จากการมอดูเลตลงในรูปที่ 4.2(ก) และ 4.2(ข) ตามลำดับ

4.2.4 ค่อย ๆ เพิ่มค่าตัวแปร Carrier frequency สัญญาณ c(t) อย่างช้า ๆ ระหว่าง 40 และ 100 Hz สังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสัญญาณขาออกที่เกิดขึ้น

4.2.5 กำหนดให้ค่า Carrier frequency สัญญาณ c(t) มีค่าเป็น 100 Hz วาดสเปกตรัมของสัญญาณเอฟเอ็มลงในรูปที่ 4.2(ค)

4.2.6 ตอบคำถามท้ายบท

4.2.7



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของสัญญาณสำหรับการมอดูเลตเชิงความถี่ (ก) สัญญาณขาเข้า (ข) สัญญาณขาออกกรณี f_c เป็น 40 Hz (ข) สัญญาณขาออกกรณี f_c เป็น 100 Hz

คำถาม

สัญญาณเอฟเอ็มมีความสัมพันธ์กับสัญญาณข่าวสารที่ป้อนเข้าสู่ภาคมอดูเลตเชิงแอมพลิจูดอย่างไร?

_____

_____

การมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็มโดยให้ค่าดรรชนีการมอดูเลตมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้สัญญาณเอฟเอ็มมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร?

_____

_____

การเพิ่มความถี่ของคลื่นพาห์ที่ใช้ในการมอดูเลตเชิงความถี่ส่งผลให้สเปกตรัมของสัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร?

_____

_____

_____

บทที่ 5

การมอดูเลตเชิงเฟส

วัตถุประสงค์ของการฝึกปฏิบัติการ

1. เข้าใจหลักการมอดูเลตเชิงเฟส
2. เข้าใจตัวแปรต่าง ๆ ของการมอดูเลตเชิงเฟส

การทดลองที่ 5.1 พื้นฐานการมอดูเลตเชิงเฟส

5.1.1 เรียกใช้งานโปรแกรม “pm.vi” ซึ่งทำหน้าที่แสดงสัญญาณทางเวลาและสเปกตรัมของสัญญาณขาเข้า m(t) และสัญญาณขาออก s(t) ของภาคมอดูเลตเชิงเฟส ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ของสัญญาณขาเข้าของภาคมอดูเลตรวมถึงคลื่นพาห์ที่ใช้งานได้ สัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตมีความสัมพันธ์กับสัญญาณข้อมูลดังสมการต่อไปนี้

$$s(t) = A_c \cos\left[2\pi f_c t + k_\theta m(t)\right]$$

5.1.2 คลิ๊กปุ่มเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม ปรับตัวแปรสำหรับสัญญาณ m(t) ดังนี้

- Type : Square wave
- Amplitude : 1.0
- Frequency : 2 Hz
- Offset : 0.0
- Square wave duty cycle : 50

5.1.3 กำหนดให้ตัวแปรสำหรับสัญญาณคลื่นพาห์ที่ใช้ในการมอดูเลตมีลักษณะดังนี้

- Amplitude : 1.0
- Carrier frequency : 20 Hz
- Phase sensitivity : 1.5708 rad/V

5.1.4 พล็อตกราฟสัญญาณทางเวลา m(t) และสัญญาณพีเอ็ม (PM signal) ที่ได้จากการมอดูเลตลงในรูปที่ 5.1(ก) และ (ข) ตามลำดับ

5.1.5 ทดลองปรับตัวแปรต่าง ๆ และสังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสัญญาณ

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 5.1 สัญญาณที่เกิดขึ้นจากการมอดูเลตเชิงเฟส (ก) สัญญาณขาเข้า m(t) (ข) สัญญาณขาออก กรณีที่ $k_\theta = 1.5708$ rad./V

การทดลองที่ 5.2 คุณสมบัติทางความถี่ของสัญญาณพีเอ็ม

5.2.1 ปรับตัวแปรสำหรับสัญญาณ m(t) ดังนี้
- Type : Sine wave
- Amplitude : 1.0
- Frequency : 5 Hz

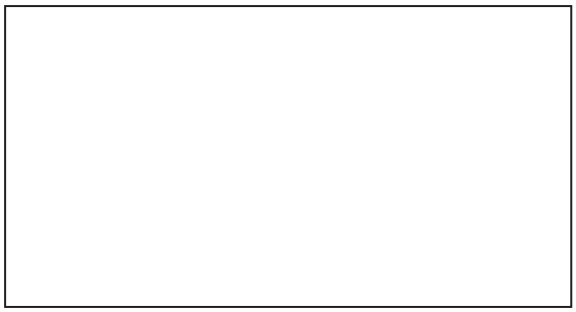
5.2.2 กำหนดให้ตัวแปรสำหรับสัญญาณคลื่นพาห์ที่ใช้ในการมอดูเลตมีลักษณะดังนี้
- Amplitude : 1.0
- Carrier frequency : 40 Hz
- Phase sensitivity 1.0

5.2.3 พล็อตสเปกตรัมของสัญญาณ m(t) และสัญญาณพีเอ็ม (PM signal) ที่ได้จากการมอดูเลตลงในรูปที่ 5.2(ก) และ 5.2(ข) ตามลำดับ

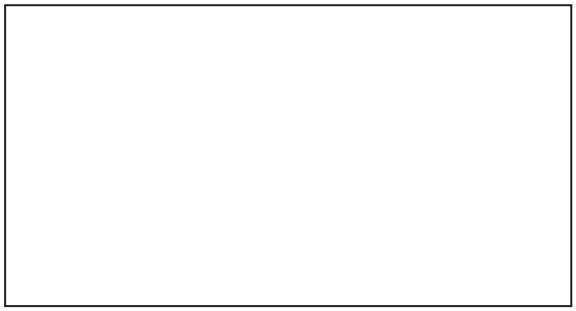
5.2.4 ค่อย ๆ เพิ่มค่าตัวแปร Carrier frequency สัญญาณ c(t) อย่างช้า ๆ ระหว่าง 40 และ 100 Hz สังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสัญญาณขาออกที่เกิดขึ้น

5.2.5 กำหนดให้ค่า Carrier frequency สัญญาณ c(t) มีค่าเป็น 100 Hz วาดสเปกตรัมของสัญญาณพีเอ็มลงในรูปที่ 5.2(ค)

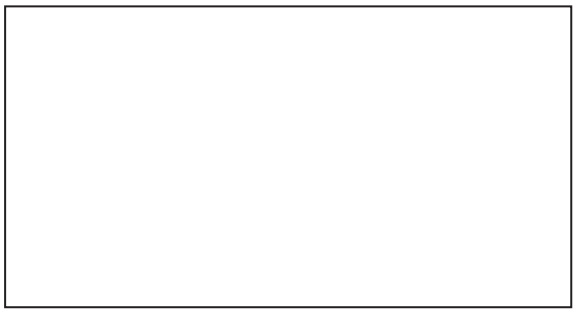
5.2.6 ตอบคำถามท้ายบท



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 5.2 สเปกตรัมของสัญญาณสำหรับการมอดูเลตเชิงความถี่ (ก) สัญญาณขาเข้า (ข) สัญญาณขาออกกรณี f_c เป็น 40 Hz (ข) สัญญาณขาออกกรณี f_c เป็น 100 Hz

คำถาม

สัญญาณพีเอ็มมีความสัมพันธ์กับสัญญาณข่าวสารที่ป้อนเข้าสู่ภาคมอดูเลตเชิงแอมพลิจูดอย่างไร?

_____

_____

บทที่ 6

ทฤษฎีการชักสัญญาณ

วัตถุประสงค์ของการฝึกปฏิบัติการ

1. เข้าใจหลักการชักสัญญาณ
2. สามารถกำหนดอัตราการชักสัญญาณที่เหมาะสมได้

การทดลองที่ 6.1 พื้นฐานการชักสัญญาณ

6.1.1 เรียกใช้งานโปรแกรม “sampling.vi” ซึ่งทำหน้าที่แสดงสัญญาณทางเวลาของสัญญาณข้อมูล s(t) สัญญาณพัลส์ p(t) และ สัญญาณ PAM (Pulse Amplitude Modulation) ซึ่งมีความสัมพันธ์ต่าง ๆ ตามสมการต่อไปนี้

$$s_{PAM}(t) = p(t)s(t)$$

6.1.2 ปรับตัวแปรสำหรับสัญญาณ s(t) ดังนี้

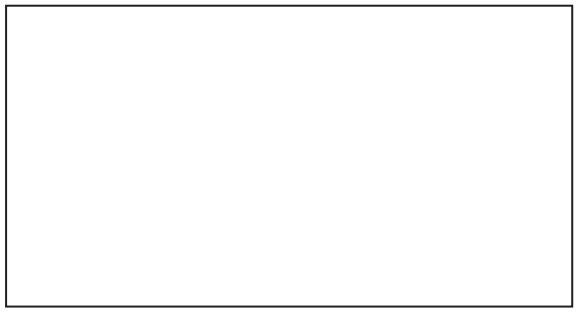
- Type : Sine wave
- Amplitude : 1.0
- Frequency : 2 Hz
- Offset : 0.0
- Square wave duty cycle : 50

6.1.3 ปรับความถี่ของการชักสัญญาณ (Sampling frequency) เป็น 2 Hz สังเกตสัญญาณ PAM ที่ปรากฏบนจอภาพ

6.1.4 ค่อย ๆ เพิ่มความถี่ของการชักสัญญาณ (Sampling frequency) จนมีค่าเป็น 50 Hz สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ PAM ที่เกิดขึ้น

6.1.5 พล็อตสัญญาณข้อมูล s(t) และสัญญาณ PAM ลงในรูปที่ 6.1 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

6.1.6 ตอบคำถามท้ายบท



(ก)

(ข)

รูปที่ 6.1 สัญญาณที่เกิดขึ้นจากการชักสัญญาณ (ก) สัญญาณข่าวสาร (ข) สัญญาณ PAM

คำถาม

สัญญาณ PAM ที่ได้จากการชักสัญญาณมีความสัมพันธ์กับสัญญาณข้อมูลอย่างไร?

_____

_____

บรรณานุกรม

[1] ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ หลักการไฟฟ้าสื่อสาร ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2554

[2] http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki

[3] http://www.ettus.com

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล นายดิสพล ฉ่ำเฉียวกุล

2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

3. หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ พื้นที่ศาลายา
หมายเลขโทรศัพท์ 02 8894 585-7 ต่อ 2631
E-Mail ditsapon.chu@rmutr.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

- วศ.ม.สารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- วศ.บ. ไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

5. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

- การสื่อสารไร้สาย (Wireless communications)
- การประมวลผลสัญญาณ (Signal processing)
- การสื่อสารทางแสง (Optical communications)

5. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

ไม่มี