



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เครื่องวัดสัญญาณนำร่องอากาศยานในระบบ ILS ด้วยเทคโนโลยี software defined radio (SDR)

Instrumentation Landing System Receiver Based on Software Defined Radio (SDR)

รองศาสตราจารย์ ดร. พรชัย ทรัพย์นิธิ

นายศราวุธ รุ่งเรืองวชิเอก

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH
QC
973.5
W231ค

เลขหมู่.....131120

เลขทะเบียน.....

วัน,เดือน,ปี.22...11ค...2557

b.1260379x
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	IV
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	V
กิตติกรรมประกาศ.....	VI
สารบัญ.....	I
สารบัญตาราง.....	II
สารบัญภาพ.....	III
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 วิทยุควบคุมโดยซอฟต์แวร์.....	4
2.1.1 ระบบ SDR ในปัจจุบัน.....	4
2.1.2 ระบบวิทยุควบคุมซอฟต์แวร์แบบโอเพนซอร์ส (Open Source SDR).....	5
2.2 ภาษาไพธอน.....	5
2.3 Universal Software Radio Peripheral (USRP).....	5
2.3.1 เส้นทางารับข้อมูล (Signal Receive Path).....	7
2.3.2 Daughter Board.....	8
2.4 GNU Radio.....	9
2.5 Instrument Landing System (ILS).....	10
2.5.1 การทำงานของระบบ ILS ในภาคพื้นดิน.....	10
2.5.1.1 สถานี Localizer.....	10
2.5.1.2 สถานี Glide Slope.....	11
2.5.2 การทำงานของระบบ ILS ในทางฝั่งภาครับ.....	13
บทที่ 3 การออกแบบระบบ.....	15
3.1 การออกแบบการทำงาน.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1	แผนผังการทำงานของระบบ.....	15
3.2	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	16
3.3	ผลการทดลอง.....	17
3.3.1	ผลการทดลองด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม.....	17
3.4	การออกแบบ.....	17
3.4.1	การติดตั้งโปรแกรม GNU Radio.....	17
3.4.2	โปรแกรมระบบประมวลผลสัญญาณ ILS.....	21
3.5	การประมวลผลและแสดงผลผ่านโปรแกรม.....	24
3.5	สายอากาศที่ใช้ในการรับสัญญาณ.....	26
บทที่ 4	ผลการทดลอง.....	29
4.1	ผลการวัดสายอากาศที่ความถี่ 110.5 เมกะเฮิร์ตซ์และ 329.6 เมกะเฮิร์ตซ์.....	29
4.2	การจำลองการสร้างสัญญาณ AM.....	43
4.3	การหาค่าความแตกต่างของการมอดูเลชัน: (DDM).....	47
4.4	ผลการทดลองวัดสัญญาณ.....	49
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย.....	53
	บรรณานุกรม.....	54
	ประวัตินักวิจัย.....	55

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ย่านความถี่ ILS ที่ใช้งานในสนามบินสุวรรณภูมิ.....	13
3.1 ประสิทธิภาพขั้นต่ำของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์.....	18
4.1 ค่า Return loss ที่ความถี่ 110 MHz.....	30
4.2 ค่า Return loss ที่ความถี่ 329 MHz.....	33
4.3 ข้อมูลของสัญญาณ Localizer.....	41
4.4 ข้อมูลของสัญญาณ Glide Slope.....	42
4.5 ย่านความถี่ ILS ที่ใช้งานในสนามบินสุวรรณภูมิ.....	50



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 บล็อกไดอะแกรม ระบบวิทยุควบคุมโดยซอฟต์แวร์.....	3
2.2 บล็อกไดอะแกรมการใช้งานระบบการสื่อสารแบบ SDR ในปัจจุบัน.....	4
2.3 ลักษณะของ USRP.....	6
2.4 เส้นทางการรับ-ส่ง สัญญาณของ USRP.....	6
2.5 Digital Down Conversion (DDC) ใน USRP.....	7
2.6 Digital Up-Conversion (DUC) ใน USRP.....	8
2.7 สายอากาศของสถานี Localizer ที่ติดตั้งบริเวณสนามบิน.....	11
2.8 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสถานี Localizer.....	11
2.9 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสถานี Glide Slope.....	12
2.10 สายอากาศของสถานี Glide Slope ที่ติดตั้งบริเวณสนามบิน.....	12
2.11 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องรับ ILS แบบอนาล็อก.....	13
3.1 แผนผังการทำงานของระบบ.....	15
3.2 แผนผังการทำงานของระบบส่วนของ USRP และ GNU Radio.....	16
3.3 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม.....	17
3.4 ระบบปฏิบัติการอุบนตุ 10.04.....	18
3.5 หน้าต่างพิมพ์คำสั่ง.....	19
3.6 การเปิดโปรแกรม GNU Radio.....	20
3.7 โปรแกรมระบบประมวลผลสัญญาณ ILS.....	21
3.8 USRP_source.....	22
3.9 บล็อกอัตราการสุ่มตัวอย่าง.....	22
3.10 บล็อกการเดซิเมชัน.....	23
3.11 บล็อกตัวกรองสัญญาณดิจิทัล.....	23
3.12 USRP_sourc ตัวแปลงสัญญาณชนิดเชิงซ้อนเป็นขนาดของสัญญาณ.....	23
3.13 การหาค่า DDM ของระบบ.....	24
3.14 แผนผังการทำงานเพื่อหาค่า DDM.....	26
3.15 สายอากาศไดโพล.....	26
3.16 สายอากาศไดโพลที่ใช้สายนำสัญญาณ.....	27
3.17 สายอากาศไดโพลที่ไม่ใช้สายนำสัญญาณ.....	28
4.1 สัญญาณในย่าน Localizer.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 กราฟ Return loss ที่ความถี่ 110 MHz.....	30
4.3 สัญญาณในย่าน Glide Slope.....	32
4.4 กราฟ Return loss ที่ความถี่ 329.6 MHz.....	33
4.5 Co-H plane ที่ความถี่ 110.5 MHz.....	38
4.6 Cross-H plane ที่ความถี่ 110.5 MHz.....	38
4.7 Co-E plane ที่ความถี่ 110.5 MHz.....	39
4.8 Co-H plane ที่ความถี่ 329.6 MHz.....	40
4.10 Co-E plane ที่ความถี่ 329 MHz.....	40
4.11 กราฟสัญญาณ LOCALIZER.....	41
4.12 กราฟสัญญาณ Glide Slope.....	42
4.13 การทดสอบการสร้างสัญญาณ AM.....	43
4.14 สเปกตรัมสัญญาณเมื่อมีค่ามอดูเลตชั้นอินเด็กซ์เท่ากับ 1.....	44
4.15 สัญญาณเมื่อมีค่ามอดูเลตชั้นอินเด็กซ์เท่ากับ 1.....	45
4.16 สเปกตรัมสัญญาณเมื่อมีค่ามอดูเลตชั้นอินเด็กซ์เท่ากับ 0.5.....	45
4.17 สัญญาณเมื่อมีค่ามอดูเลตชั้นอินเด็กซ์เท่ากับ 0.5.....	46
4.18 สเปกตรัมสัญญาณเมื่อมีค่ามอดูเลตชั้นอินเด็กซ์เท่ากับ 2.....	46
4.19 สัญญาณเมื่อมีค่ามอดูเลตชั้นอินเด็กซ์เท่ากับ 2.....	47
4.20 การจำลองสัญญาณที่มีขนาดของสัญญาณ 90 เฮิร์ตซ์และ 150 เฮิร์ตซ์ที่เท่ากัน.....	47
4.21 การจำลองสัญญาณที่มีขนาดของสัญญาณ 90 เฮิร์ตซ์มากกว่า 150 เฮิร์ตซ์.....	48
4.22 การจำลองสัญญาณที่มีขนาดของสัญญาณ 90 เฮิร์ตซ์น้อยกว่า 150 เฮิร์ตซ์.....	48
4.23 ภาพรัศมีของสนามบินสุวรรณภูมิเมื่อมองจากหลังคาตึก 12 ชั้น.....	49
4.24 การวัดสัญญาณจากสเปกตรัมอนาล็อกเซอร์.....	49
4.25 สเปกตรัมของสัญญาณ Localizer.....	50
4.26 ระบบวัดสัญญาณ ILS.....	51
4.27 โปรแกรม GNU Radio และเครื่อง USRP.....	51
4.28 การทดสอบรับสัญญาณ ILS.....	52
4.29 สัญญาณ ILS ที่รับได้ และหน้าต่างโปรแกรม GUI.....	52

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) เครื่องวัดสัญญาณนำร่องอากาศยานในระบบ ILS ด้วยเทคโนโลยี software defined radio (SDR)

แหล่งเงิน เงินงบประมาณรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์.....

ประจำปีงบประมาณ 2555..... จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 80,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2554..... ถึง 30 กันยายน 2555.....

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

..... รองศาสตราจารย์ ดร. พรชัย ทรัพย์นิธิ (หัวหน้าโครงการ)

..... นายศราวุธ รุ่งเรืองวชิเอก (ผู้ร่วมโครงการวิจัย)

บทคัดย่อ

ระบบ Instrumentation Landing System (ILS) เป็นเครื่องมือช่วยเดินอากาศที่ใช้ในการนำเครื่องบินลงสู่สนามบินตามทางวิ่งที่กำหนด ซึ่งจะทำให้การส่งคลื่นเอเอ็มที่มอดูเลตสัญญาณโทน (Tone) สองความถี่เพื่อให้เครื่องบินสามารถตรวจสอบระยะที่คลาดเคลื่อนจากจุดศูนย์กลางของรันเวย์และมุมร่อนลงเพื่อความเรียบของการลงจอด รวมถึงบอกระยะห่างของเครื่องบินให้ทราบว่าจะอยู่ที่ตำแหน่งใดหรือระยะทางถึงสนามบินเท่าไรและยังสามารถใช้งานได้ในทุกสภาพอากาศ การทดสอบระบบ ILS นั้นจะต้องมีความถูกต้องและความแม่นยำสูงของสัญญาณที่ถูกส่งมา ซึ่งในการนี้จะต้องใช้อุปกรณ์อย่างหนึ่งสำหรับการตรวจสอบสัญญาณที่ต้องมีการนำเข้ามาจากต่างประเทศซึ่งก็มีต้นทุนที่สูง โดยเครื่องมือที่ใช้เป็นเครื่องรับสัญญาณแบบอนาล็อก ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้ได้พัฒนาเครื่องรับสัญญาณ ILS โดยใช้หลักการของ Software Defined Radio (SDR) ซึ่งจัดเป็นเทคโนโลยีสำคัญที่ทำให้การออกแบบเครื่องรับสัญญาณซึ่งจะอาศัยเทคนิคดิจิทัลในการออกแบบ โดยได้พัฒนาสายอากาศสำหรับรับสัญญาณสัญญาณของ ILS ในสองช่วงความถี่ จากนั้นทำการแปลงความถี่ลงให้เป็นสัญญาณแถบฐานด้วยชุดพัฒนา Universal Software Radio Peripheral (USRP) ซึ่งจะถูกลบเป็นค่ามาตรฐาน (metric) ด้วยอัลกอริทึมที่พัฒนาและผ่านซอฟต์แวร์ที่เรียกว่า GNU Radio มาทำการประมวลผลบนคอมพิวเตอร์

คำสำคัญ : ระบบ ILS, software defined radio, AM

Research Title: Instrumentation Landing System Receiver Based on Software Defined Radio (SDR)

Researcher: Assoc. Prof. Dr. Pornchai Supnithi, Mr. Sarawoot Rungraengwajake

Faculty: Engineering **Department:** Telecommunications Engineering

ABSTRACT

Instrumentation Landing System (ILS) is designed to direct the airplane for a smooth landing on the airport runway. This system transmits the amplitude-modulated (AM) signal with 2 tone frequencies. For operational purpose, it is essential to monitor the signal quality regularly. However, current analog ILS receiver is costly and inflexible for changes. In this project, we design a digital receiver for ILS system based software defined radio. The analysis software is written to check the localizer as well as glide slope signal. In addition, the GUI is used to show the results.

Keywords : ILS, Software defined radio, AM

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายณัฐพงศ์ เคียรสวัสดิ์ ตำแหน่งวิศวกร กองวิศวกรรมระบบเครื่องช่วยเดินอากาศบริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในเรื่องการรับสัญญาณ ILS ที่ สนามบิน สุวรรณภูมิ ขอขอบคุณนายณัฐพล เหมือนหม้อ นายทรงกฤษณ์ พึ่งตนเอง นายสุรเสน แทนทด สำหรับการ วัตถุประสงค์ต่างๆและการเก็บผลการทดลองในโครงการวิจัยนี้ การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากทุนวิจัยด้วยเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) เป็นชั้นบรรยากาศที่มีความสูงประมาณ 80 กิโลเมตร ถึง 1200 กิโลเมตรจากพื้นโลก เป็นชั้นบรรยากาศที่เกิดการไอออไนส์ (Ionized) มีปริมาณไอออนและอิเล็กตรอนจำนวนมาก ความแปรปรวนของประจุเหล่านี้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบสื่อสาร เมื่อคลื่นสัญญาณเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ทำให้คลื่นสัญญาณที่เดินทางผ่านจะมีสถานะต่ำลง หรือในกรณีที่เลวร้ายสัญญาณอาจจะขาดหายไป (Loss-Of-Lock)

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โครงการนี้มีแนวคิดในการใช้เทคโนโลยีของ Instrumentation Landing System (ILS) เป็นเครื่องมือช่วยเดินอากาศที่ใช้ในการนำเครื่องบินลงสู่สนามบินตามทางวิ่งที่กำหนด ซึ่งจะทำการส่งคลื่นเอเอ็มที่มอดูเลตสัญญาณโทน (Tone) สองความถี่เพื่อให้เครื่องบินสามารถตรวจสอบระยะที่คลาดเคลื่อนจากจุดศูนย์กลางของรันเวย์และมุมร่อนลงเพื่อความเรียบของการลงจอด รวมถึงบอกระยะห่างของเครื่องบินให้ทราบว่ายู่ที่ตำแหน่งใดหรือระยะทางถึงสนามบินเท่าไรและยังสามารถใช้งานได้ในทุกสภาพอากาศ การทดสอบระบบ ILS นั้นจะต้องมีความถูกต้องและความแม่นยำสูงของสัญญาณที่ถูกส่งมา ซึ่งในการนี้จะต้องใช้อุปกรณ์อย่างหนึ่งสำหรับการตรวจสอบสัญญาณที่ต้องมีการนำเข้ามาจากต่างประเทศซึ่งก็มีต้นทุนที่สูง โดยเครื่องมือที่ใช้เป็นเครื่องรับสัญญาณแบบอนาล็อก

ในปัจจุบันนี้จึงมีแนวคิดที่จะสร้างเครื่องรับสัญญาณ ILS โดยใช้หลักการของ Software Defined Radio (SDR) ซึ่งจัดเป็นเทคโนโลยีสำคัญที่ทำให้การออกแบบเครื่องรับสัญญาณซึ่งจะอาศัยเทคนิคดิจิทัลในการออกแบบ โดยได้พัฒนาสายอากาศสำหรับรับสัญญาณสัญญาณของ ILS ในสองช่วงความถี่ จากนั้นทำการแปลงความถี่ให้เป็นสัญญาณแถบฐานด้วยชุดพัฒนา Universal Software Radio Peripheral (USRP) ซึ่งจะถูกแปลงเป็นค่ามาตรวัด (metric) ด้วยอัลกอริธึมที่พัฒนาและผ่านซอฟต์แวร์ที่เรียกว่า GNU Radio มาทำการประมวลผลบนคอมพิวเตอร์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการทำงานของระบบ ILS (Instrument Landing System)
2. เพื่อพัฒนาเครื่องรับ ILS โดยใช้ชุดพัฒนา USRP
3. พัฒนาอัลกอริธึมในการประมวลผลสัญญาณ ILS ที่ระดับสัญญาณรบกวนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ทำการรับสัญญาณ ILS สองความถี่จากสนามบินโดยใช้ชุดพัฒนา USRP จากนั้นจะทำการประมวลผลของสัญญาณที่คอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม GNU Radio และจะทำการวิเคราะห์สัญญาณที่ประมวลผลแล้วว่ามีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดอย่างน้อยเพียงใด

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการสร้างอุปกรณ์ทดสอบสัญญาณ ILS นั้นจะใช้ชุดพัฒนา Universal Software Radio Peripheral (USRP) ร่วมกับซอฟต์แวร์ GNU Radio ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์แบบโอเพ่นซอร์ส มาช่วยในการออกแบบและสร้างวงจรรับสัญญาณ ILS โดยที่เครื่องรับสัญญาณ ILS นั้นจะประกอบไปด้วยภาครับ RF Front End ย่านความถี่ VHF (108.1 – 119.9 MHz) และ UHF (328.6-335.4 MHz) ซึ่งจะทำหน้าที่ย้ายความถี่จากย่าน RF ให้มาอยู่ที่ความถี่ IF (Intermediate Frequency) หลังจากนั้นจะทำการแอมป์ลิ้งให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัลโดยผ่านวงจร Analog-to-Digital Converter (A/D) หลังจากนั้นจะผ่านวงจร I/Q Demodulator เพื่อทำการย้ายความถี่จากย่าน IF ให้มาอยู่ความถี่ย่านเบสแบนด์ จากนั้นจะทำการ decimate เพื่อลดระดับแอมป์ลิ้งของสัญญาณลงเพื่อให้สามารถส่งผ่านไปยังพอร์ต USB ได้ หลังจากนั้นสัญญาณจะถูกส่งไปประมวลผลยังคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต USB หลังจากนั้นจะใช้วงจรกรองความถี่แถบผ่าน (Band Pass Filter) เพื่อแยกสัญญาณ 90 Hz และ 150 Hz ออกจากกัน จากนั้นจะผ่านวงจรยกกำลังสองเพื่อที่จะทำให้ระดับสัญญาณมีค่าเป็นบวก หลังจากนั้นจะทำการ decimate สัญญาณให้เหลือสัญญาณแต่บริเวณ peak เพื่อทำการเปรียบเทียบ peak ของสัญญาณ 90 Hz และ 150 Hz และทำการแสดงผลผ่านทางจอภาพคอมพิวเตอร์ โดยการออกแบบวงจรและการประมวลผลสัญญาณทั้งหมดจะใช้ซอฟต์แวร์ GNU Radio ในการทำงาน

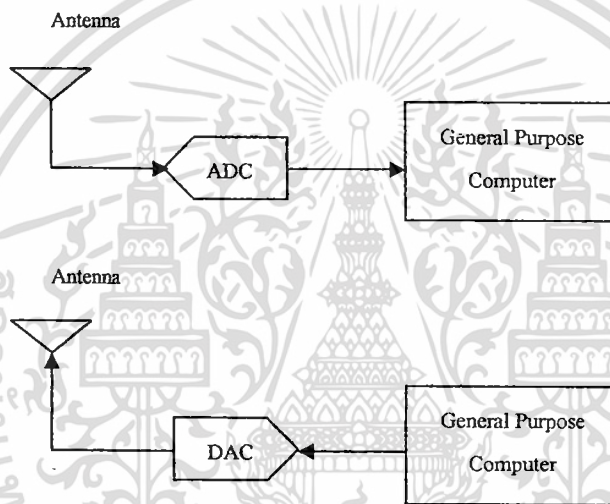
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดการนำเข้าอุปกรณ์โทรคมนาคมจากต่างประเทศ (เครื่องทดสอบระบบ ILS ในสนามบินมีราคาประมาณ 1 ล้านบาท)
2. พัฒนาความรู้ทางด้านระบบสื่อสารและระบบช่วยเดินอากาศ (ILS)
3. พัฒนาความรู้ทางด้าน Software-Defined Radio เพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบสื่อสารอื่นๆ เช่น 3G, LTE เป็นต้น
4. แสดงถึงศักยภาพของนักวิจัยไทยในการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์จากเทคโนโลยี Software-Defined Radio

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิทยุควบคุมโดยซอฟต์แวร์ (Software-Defined Radio)

วิทยุควบคุมโดยซอฟต์แวร์ (Software-Defined Radio) หรือเรียกโดยย่อว่า SDR เป็นระบบสื่อสารทางวิทยุที่สามารถกระทำการมอดูเลต (Modulation) และการดีมอดูเลต (Demodulation) สัญญาณวิทยุได้ในซอฟต์แวร์ (Software) โดยมีแนวคิดที่ให้ซอฟต์แวร์ทำงานเข้าใกล้กับสายอากาศให้มากที่สุด และซอฟต์แวร์นั้นจะต้องทำงานบนคอมพิวเตอร์ทั่วไปได้อีกด้วย โดยแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรม ระบบวิทยุควบคุมโดยซอฟต์แวร์

ในทางทฤษฎีของระบบนี้สายอากาศ ADC/DAC (Analog to Digital/Digital to Analog Converter) และคอมพิวเตอร์สามารถที่จะประมวลผลสัญญาณวิทยุที่ต้องการแบบเรียลไทม์ (Real Time) ได้ โดยงานวิจัยทางด้าน SDR นั้นต้องการที่จะย้ายปัญหาทางด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware) ไปทางด้านของซอฟต์แวร์ (Software) ซึ่งข้อดีของการทำแบบนี้คือ กระบวนการทำงานนั้นจะมีความยืดหยุ่น คาดคะเนผลได้ ทำซ้ำได้ และเข้าถึงได้มากกว่าฮาร์ดแวร์ ในซอฟต์แวร์นั้น ระบบวิทยุจะถูกสร้างขึ้นโดยซอฟต์แวร์ เพราะฉะนั้น ระบบ SDR โดยลำพังนั้นสามารถเรียกได้ว่าเป็นหนึ่งในตัวรับ - ส่ง สัญญาณคลื่นวิทยุได้ (RF Transceiver) เพียงแค่สั่งผ่านโปรแกรมที่สร้างขึ้นมาจากภาษาต่าง ๆ ที่ฝังอยู่ในหน่วยความจำให้ทำงาน ในความเป็นจริงที่ว่า การสร้างระบบ SDR ในอุดมคติตามภาพที่ 2.1 นั้นจะมีอุปสรรคบางอย่างที่ยากจะจัดการพิจารณาจากองค์ประกอบของระบบ

1. สายอากาศรับ - ส่ง ในอุดมคติ สายอากาศทำงานที่ความถี่ของคลื่นพาห้ของสัญญาณวิทยุ
ใดที่สนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

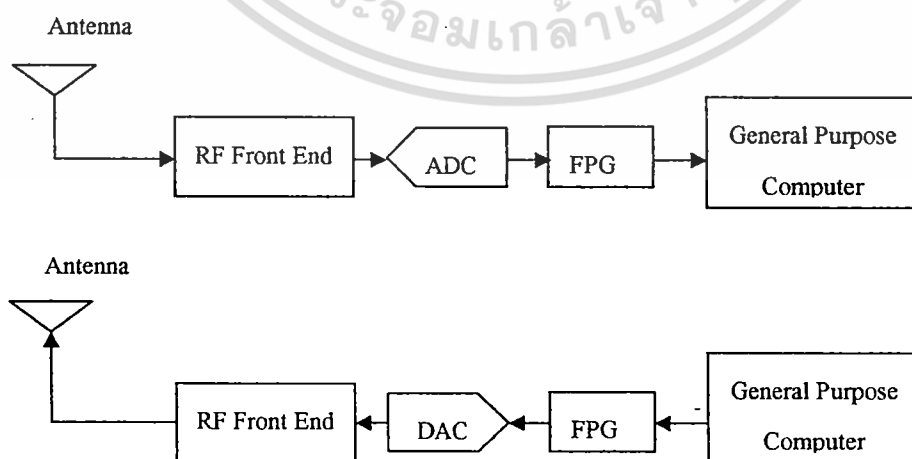
2. วงจรแปลง ADC และ DAC ในทางทฤษฎี อุปกรณ์นี้จะต้องมีค่าอัตราแซมปลิง (Sampling Rate) มากกว่าสองเท่าของค่าความถี่คลื่นพาห์ของคลื่นวิทยุทุกย่านความถี่ที่สนใจ ซึ่งค่าอัตราการแซมปลิงนี้จะทำให้สัญญาณที่สนใจประมวลผลได้ที่ความถี่คลื่นพาห์

3. คอมพิวเตอร์ในทางทฤษฎี คอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถพอที่จะทำการประมวลผลสัญญาณแบบเรียลไทม์และมีการจัดการโปรโตคอลให้เพียงพอแต่ความต้องการของสัญญาณวิทยุที่สนใจ

ในความเป็นจริง สายอากาศนั้นจะต้องออกแบบเพื่อการทำงานเฉพาะย่านความถี่ ADC และ DAC ในปัจจุบันยังไม่สามารถประมวลผลได้เร็วเพียงพอและคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันนั้นยังไม่รองรับการทำงานแบบเรียลไทม์พร้อมกันหลายแอปพลิเคชันได้

2.1.1 ระบบ SDR ในปัจจุบัน

ระบบ SDR ดังภาพที่ 2.1 นั้นแสดงถึงระบบทั่วไปที่เป็นการประยุกต์ใช้อย่างง่ายและความถี่ไม่สูงมากนัก เช่น FM และ AM เท่านั้น อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้งานที่นอกเหนือจากนี้นั้นไม่ได้มีองค์ประกอบเพียงเท่านี้ องค์ประกอบอื่นที่เพิ่มขึ้นมานั้นจะใช้ FPGAs และ Super Heterodyne Mixing ที่เรียกว่า RF Front End เพื่อเพิ่มความสามารถของระบบให้มากขึ้นดังภาพที่ 2.2 ในส่วนของสายอากาศภาครับนั้น RF Front End จะทำการแปลงสัญญาณที่รับได้ที่ความถี่คลื่นพาห์แปลงไปสู่ความถี่ย่าน IF (Intermediate Frequency) หรือเบสแบนด์ (Baseband) ส่วนภาคส่งนั้น RF Front End จะทำการแปลงสัญญาณส่งจากความถี่ย่าน IF หรือเบสแบนด์ ไปยังความถี่คลื่นพาห์ที่ต้องการและในขณะเดียวกัน ADC/DAC นั้นใช้เพียงเพื่อแปลงสัญญาณจากค่ามอดูเลชันแบนด์วิดท์ ไม่ใช่แบนด์วิดท์ทั้งหมดจาก DC ถึงความถี่พาห์ ในงานทางด้านที่ใช้อัตราการส่งข้อมูลต่ำ ADC/DAC จะช่วยในการลดภาระการคำนวณของคอมพิวเตอร์ อย่างไรก็ตามโดยปกติแล้วการประมวลผลยังต้องการการประมวลผลที่ให้ประสิทธิภาพสูง ซึ่งการจะลดภาระของการคำนวณของคอมพิวเตอร์นั้นยังสามารถทำได้วิธีอื่นโดยการให้ FPGA นั้นอยู่ระหว่าง ADC/DAC และคอมพิวเตอร์ โดย FPGA จะทำงานในส่วนการประมวลผลสัญญาณในระดับสูง



ภาพที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมการใช้งานระบบการสื่อสารแบบ SDR ในปัจจุบัน

2.1.2 ระบบวิทยุควบคุมซอฟต์แวร์แบบโอเพนซอร์ส (Open Source SDR)

GNU คือซอฟต์แวร์ที่เป็นโอเพนซอร์ส (Open Source) ซึ่งคิดค้นโดย Eric Blossom ซึ่งต้องการที่จะสร้างซอฟต์แวร์ที่รองรับการรับสัญญาณ HDTV ภายใต้การออกอากาศที่จำกัดทางกฎหมาย ในปัจจุบันงานทางด้าน GNU Radio นั้นได้มีการพัฒนาขึ้นเป็นสถาปัตยกรรมในการสร้างระบบ SDR ต่างๆ ซึ่งซอฟต์แวร์นั้นประกอบด้วย ส่วนของฮาร์ดแวร์ที่ไม่ขึ้นกับโปรแกรมการประมวลผลสัญญาณ และฮาร์ดแวร์ที่ขึ้นกับการโปรแกรม ซึ่งรวมไปถึงการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรม การประมวลผลสัญญาณที่ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปกับส่วนของฮาร์ดแวร์ (ADC/DAC หรือ FPGA) ในจำนวนของฮาร์ดแวร์ในปัจจุบันที่ใช้ติดต่อกับ GNU Radio นั้นจะรวมถึง การ์ดเสียง TV Tuner ADC และประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานนั้นๆด้วย อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่นิยมใช้ในการติดต่อกับ GNU Radio นั้นคือ Universal Software Radio Peripheral (USRP)

2.2 ภาษาไพธอน (Python)

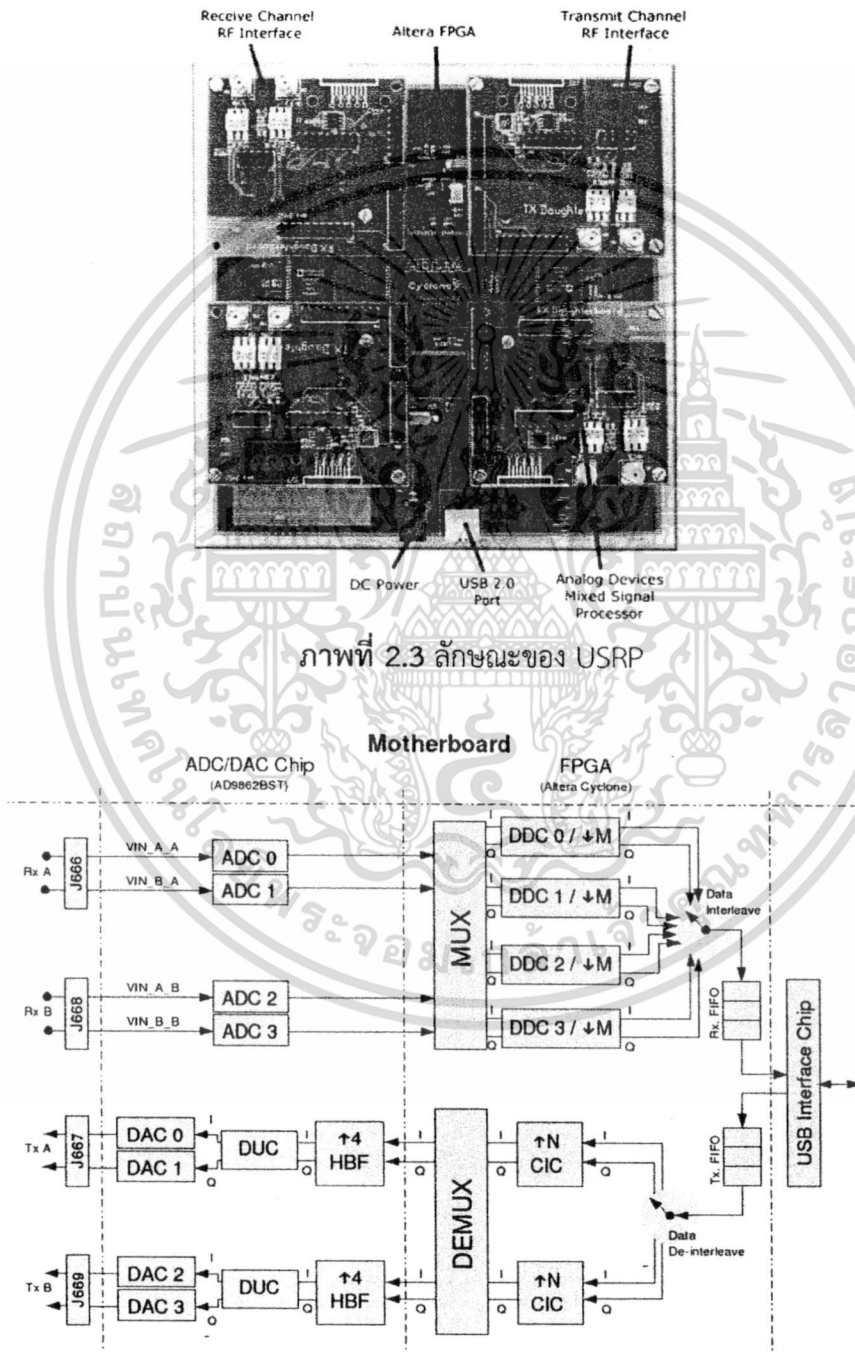
ภาษาไพธอนเป็นเครื่องมือที่มีอินเตอร์เฟสคล้ายกับ Matlab กล่าวคือ จะทำการประมวลผลคำสั่งทีละบรรทัด หรืออาจจะทำการโปรแกรมแบบซอร์สไฟล์ (Source File) จากนั้นสั่งให้ประมวลผลในภายหลังก็สามารถทำได้ ช่วงต้นปี ค.ศ. 1990 (พ.ศ. 2533) Guido Van Rossum ได้ออกแบบและสร้างภาษาไพธอน โดยภาษาไพธอนทั้งหมดถูกสร้างขึ้นมาจากภาษา C ภาษาไพธอนเป็น Open Source กล่าวคือ ผู้สร้างไม่คิดมูลค่ากับสิ่งที่สร้างสรรค์ขึ้นมา สามารถใช้งานได้อย่างอิสระ ไม่มีค่าลิขสิทธิ์ และยังอนุญาตให้นักพัฒนาสามารถแก้ไขโปรแกรมให้มีความสามารถสูงขึ้นอีกด้วย จึงเป็นเหตุผลให้ผู้เชี่ยวชาญในหลากหลายสาขาต่างร่วมมือกันสร้างเครื่องมือเพื่อพัฒนาให้ไพธอนเป็นโปรแกรมที่ดีและนำไปใช้งานด้านต่างๆได้อย่างกว้างขวาง ภายในไพธอนประกอบด้วยโมดูล (Module) ต่างๆ ในแต่ละโมดูลประกอบด้วยคำสั่งหรือฟังก์ชัน (Function) อีกจำนวนมาก ดังนั้นโปรแกรมเมอร์สามารถเรียกใช้ชุดคำสั่งและโมดูลเหล่านั้นได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ

นอกจากนั้นหากผู้มีความชำนาญทางด้านภาษา C หรือ C++ แล้ว สามารถที่จะสร้างโปรแกรมให้ทำงานร่วมกับภาษาไพธอนได้ หรือใช้เป็นส่วนหนึ่งของไพธอนได้อีกด้วย ปัจจุบันมีผู้เชี่ยวชาญหลายด้านได้สร้างเครื่องมือเพื่อนสนับสนุนการใช้งานภาษาไพธอน ได้แก่ ด้านปัญญาประดิษฐ์ ด้านคณิตศาสตร์ ด้านกราฟฟิก ด้านเน็ตเวิร์ก และด้านอื่นๆ อีกมากมาย

2.3 Universal Software Radio Peripheral (USRP)

USRP ถูกออกแบบและสร้างโดย Matt Ettus ซึ่งได้รับทุนจาก National Science Foundation ทำวิจัยของมหาวิทยาลัย Utah ในปัจจุบัน USRP ได้มีการปรับปรุงพัฒนามาถึง 4 ครั้ง ซึ่งคำ

จำกัดความของ USRP จากหนังสือ The USRP User's and Developer's Guide กล่าวไว้ว่า USRP นั้นถูกออกแบบมาเพื่อคอมพิวเตอร์ทั่วไปที่มีฟังก์ชันไว้สำหรับระบบ SDR โดย USRP นั้นมีลักษณะดังภาพที่ 2.3 การออกแบบ USRP ร่วมกับ Daughter Board นั้น พัฒนาขึ้นภายใต้โครงการวิจัยเปิดนั้น หมายความว่า



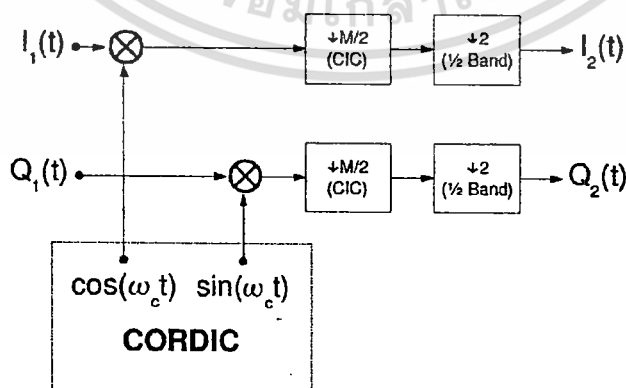
ภาพที่ 2.4 เส้นทางารรับ-ส่ง สัญญาณของ USRP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่าไฟล์ Computer-Aided Design (CAD) ที่ใช้ในการออกแบบที่รวมวงจรไฟล์ gerber และอุปกรณ์ที่ใช้ นั้นถูกเผยแพร่ให้ดาวน์โหลดได้ฟรีและยิ่งกว่านั้น การออกแบบฮาร์ดแวร์นั้นถูกออกแบบโดยใช้โปรแกรม CAD ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ฟรีและเป็นโอเพนซอร์ส การออกแบบ FPGA Verilog นั้นคอมไพล์โดยใช้ Quartus II Web Edition from Altera ซึ่งตัว Compiler นั้นสามารถดาวน์โหลดได้ และผู้ใช้สามารถ ดัดแปลง FPGA ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย หลักการออกแบบ USRP คือ การประมวลผลหลายๆ รูปคลื่น เช่น การมอดูเลชันและดีมอดูเลชันนั้นควรจะทำที่ CPU ของคอมพิวเตอร์ ส่วนการประมวลผลความเร็วสูง ทั่วไปเช่น Digital Up/Down Conversion (DDC/DUC), Decimation, Interpolation นั้นจะกระทำบน FPGA ในภาพที่ 2.4 แสดงถึงเส้นทางการรับ-ส่งสัญญาณของ USRP

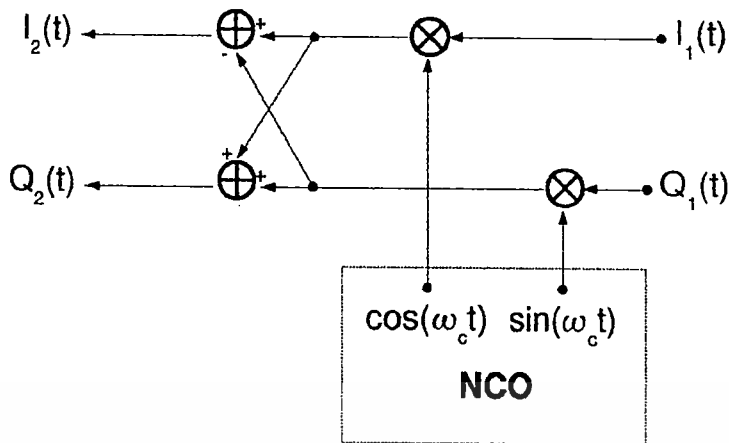
2.3.1 เส้นทางการรับข้อมูล (Signal Receive Path)

USRP นั้นมี 2 สล็อตสำหรับรับสัญญาณใน Daughter Board โดยสล็อตนี้จะเรียกเป็น RXA และ RXB ซึ่ง จะต่ออยู่กับจุดเชื่อมต่อ J666 และ J668 ตามลำดับ โดยในแต่ละจุดเชื่อมต่อนั้นจะรับค่าจำนวนจริง 2 ค่าที่ เป็นค่าสัญญาณจาก Daughter Board ซึ่งสัญญาณนี้จะกำหนดเป็น VIN_A_X และ VIN_B_X โดยที่ X จะ ถูกแทนด้วย A หรือ B ขึ้นอยู่กับ สล็อตฝั่งรับที่รับสัญญาณมา สัญญาณแอนะล็อกทั้ง 4 ตัว VIN_A_A, VIN_A_B, VIN_B_A และ VIN_B_B จะถูกส่งไปยัง ADC สี่ตัวขนาด 12 บิต ที่มีอัตราแซมปลิง 64 เมกะ แซมเปิ้ลต่อวินาที หลังจากผ่าน ADC สัญญาณจะถูกส่งไปยัง FPGA เพื่อทำการประมวลผล สัญญาณที่ถูก แปลงเป็นดิจิตอลจะมีการวางเส้นทางโดย MUX (Multiplexer) เพื่อจัดสรรให้ DDC DDC จะทำการรับ อินพุตเข้ามา 2 ตัว คือ In-Phase และ Quadrature ซึ่งจะถูกกำหนดโดยผู้ใช้งานว่าจะให้รับค่ามาจาก VIN_A_A, VIN_A_B, VIN_B_A, VIN_B_B หรือให้มีค่าเป็นศูนย์ทั้งหมดสำหรับ DDC ทั้ง 4 ตัวของ In-Phase หรือ Quadrature โดย DDC แต่ละตัวจะทำการ down convert สัญญาณจากย่าน IF ไปยัง เบสแบนด์ และทำการ decimation ด้วยแฟคเตอร์ M ที่กำหนดโดยผู้ใช้งาน การ decimation จะแบ่ง



ภาพที่ 2.5 Digital Down Conversion (DDC) ใน USRP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 Digital Up-Conversion (DUC) ใน USRP

ออกเป็นสองส่วนโดยส่วนแรกจะถูก decimate ด้วยแฟคเตอร์ $M/2$ โดยตัวกรอง CIC และส่วนที่สองจะถูก decimate อีกครั้งด้วยแฟคเตอร์ 2 โดยตัวกรอง halfband สำหรับในส่วนของ DUC (Digital Up Converter) มีลักษณะการทำงานที่คล้ายกันดังภาพที่ 2.6

2.3.2 Daughter Board

Daughter Boards ที่มีอยู่ในปัจจุบันจากบริษัท Ettus Research นั้น ถ้าเป็น Basic Boards จะไม่มีส่วนของ Tuning หรือส่วนขยาย (Amplifier) ที่มีความสำคัญ ในส่วนการติดต่อกับ USRP กับ External Front Ends ส่วนบอร์ดอื่น ๆ นั้นจะมีส่วนของ Tuning และส่วนขยายรวมอยู่ด้วย รายชื่อ Daughter Boards ที่ทางบริษัท Ettus ได้จัดทำและจำหน่ายมีดังนี้

- Basic Tx : 1MHz – 250MHz Transmitter
- Basic Rx : 1MHz – 250MHz Receiver
- LFTX : DC – 30MHz Transmitter
- LFRX : DC – 30MHz Receiver
- TVRX : 50MHz – 860MHz Receiver
- DBSRX : 800MHz – 2.4GHz Receiver
- RFX400 : 400MHz – 500MHz Transceiver, Transmit Power: 200mW (23dBm)
- RFX900 : 750MHz – 1050MHz Transceiver, Transmit Power: 200mW (23 dBm)
- RFX1200 : 1150-1450 MHz Transceiver, Transmit Power: 200mW (23 dBm)
- RFX1800 : 1.5GHz – 1.2GHz Transceiver, Transmit Power: 100mW (20dBm)
- RFX2400 : 2.3GHz – 2.9GHz Transceiver, Transmit Power: 50mW (17dBm)
- XCVR2450 : 2.4GHz – 2.5GHz and 4.9GHz – 5.9GHz Transceiver, Transmit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power: 100mW (20dbm)

- WBX : 50 MHz – 2.2 GHz Transceiver, Transmit Power: 100mW (20dBm)

2.4 GNU Radio

GNU Radio เป็น Open Source Software Framework สำหรับงานทางด้าน SDR ภายใต้อระบบปฏิบัติการ Linux, Unix, Windows หรือ MAC OS X โดย GNU Radio เตรียมการประมวลผลสัญญาณของคอมพิวเตอร์ จุดเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์ และ Graphical User Interface และ Library ที่เป็นประโยชน์ GNU Radio Framework นั้นสร้างแบบลักษณะของการออกแบบกราฟในแต่ละแอปพลิเคชันของ GNU Radio โดย Flow Graph จะสร้างขึ้นจากโหนดเรียกว่า Block ซึ่งจะทำการเชื่อมต่อกับด้านที่เรียกว่า Ports ซึ่งแต่ละบล็อกจะแทนการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลที่ต่างกันและการส่งผ่านข้อมูลระหว่างบล็อกนั้นทำได้สะดวกโดยการเชื่อมต่อพอร์ตอินพุตของบล็อกหนึ่งกับพอร์ตเอาต์พุตของอีกบล็อกหนึ่ง ภายใต้อโครงสร้างนี้โปรแกรมเมอร์สามารถสร้างบล็อกและเชื่อมต่อกันด้วยกราฟได้และเมื่อเชื่อมต่อทุกบล็อกเข้าด้วยกัน GNU Radio ก็จะเป็นตัวจัดการอัตราไหลของข้อมูลจากซอร์สของข้อมูลไปยังซิงค์บล็อก

GNU Radio เป็นระบบไฮบริดจ์ ส่วนงานที่สำคัญที่เป็นบล็อกของการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลจะเขียนโดยภาษา C++ และส่วนที่ไม่สำคัญที่เป็นการทำงานกราฟและการจัดการทั่วไปนั้นจะเขียนโดยใช้ภาษาไพธอน ซึ่งทำให้ผู้พัฒนาสามารถเขียนโปรแกรมที่เอาไว้ประมวลผลสัญญาณคุณภาพสูงด้วยภาษา C++ แต่ใช้ภาษาที่ง่ายในการสร้างแอปพลิเคชันด้วยภาษาไพธอน แอปพลิเคชันใน GNU Radio นั้นจะเขียนด้วยไพธอน เชื่อมกับบล็อกการประมวลผลที่เขียนโดย C++ ไปยังจุดเชื่อมซึ่งจะถูกสร้างอัตโนมัติโดย SWIG (The Simple Wrapper Interface Generator) สำหรับข้อมูลไพธอนของ SWIG สามารถค้นหารายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน www.swig.org

การใช้งานโครงสร้าง GNU Radio เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันด้าน SDR นั้นมีประโยชน์มากมายไม่เพียงแค่มีกลุ่มพัฒนาอย่างต่อเนื่องและ Mailing List เท่านั้น แต่ประโยชน์อื่น ๆ ของโครงสร้าง GNU Radio นั้นยังมีอีกมากมายซึ่งเรียบเรียงอยู่ในเว็บไซต์ของ Eric Blossom ซึ่งสรุปได้ดังนี้

- ระบบ Hybrid C++/ไพธอน บล็อกการประมวลผลนั้นโดยดั้งเดิมแล้วจะเขียนด้วยC++ การเชื่อมต่อกราฟ การทำงานทั่วไปที่ไม่สำคัญมากจะถูกเขียนด้วยไพธอน การ Runtime ภายใต้อระบบนั้นจะถูกจัดการจากไพธอน
- บล็อกอัตราคงที่และเปลี่ยนแปลง อนึ่งการทำงานกับอัตราข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronous) ระบบจะรองรับบล็อกที่เป็นตัวแปรได้ ลักษณะเช่นนี้มีความจำเป็นต่อการบีบอัดและขยายอัตราตัวแปร
- ปรับปรุงโครงสร้างได้แบบ On-The-Fly คือ ตัวแปรบล็อกการประมวลผลสัญญาณนั้นสามารถปรับแต่งได้ในขณะรันโปรแกรมอยู่ นั่นก็คือโครงข่ายของการเชื่อมต่อนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามต้องการ

- Graphical User Interface (GUI) GUI นั้นถูกสร้างโดยใช้เครื่องมือจากไพธอนซึ่งในที่นี้จะแนะนำ wx Python Toolkit เพื่อลดการทำงานข้ามแพลตฟอร์มโดยวิดเจ็ต (Widgets) นั้นเตรียมการแสดงผลของการไหลของข้อมูลทั้งในแกนเวลาและความถี่ (Multichannel Digital Oscilloscope FFT)
- ฮาร์ดแวร์และซิงค์บล็อกที่มากกว่า 100 ชนิดที่มีให้อินพุตไฟล์ TCP, A/D, D/A ความเร็วสูง, Sound Card, ฟิวด์เตอร์ทุกชนิด, NCO, VCO, Modulators, Demodulator, Error Correction, etc. ไลบรารีที่มีให้ใน GNU Radio นั้นมีอย่างกว้างขวางขึ้นอยู่กับแอปพลิเคชันของผู้ใช้ซึ่งผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องไปเขียนบล็อกการประมวลผลเพิ่ม

2.5 Instrument Landing System (ILS)

ILS เป็นเครื่องช่วยเดินอากาศที่ใช้ในการนำร่องเครื่องบินร่อนลงสู่สนามบินตามทางวิ่งที่กำหนด โดยจะให้ข้อมูลทั้งเส้นทางเข้าสู่ทางวิ่ง (Course) ที่ตรงกับแนวกึ่งกลางหรือ Center Line ของสนามบิน และมุมร่อน (Glide Path) ของเครื่องบินถึงจุดสัมผัส (Threshold) การแยกประเภทของ ILS หรือ ILS Categories จะพิจารณาจากความสามารถดังนี้

- Categories I (CAT I): มีประสิทธิภาพอำนวยความสะดวกให้นักบินใช้งานนำเครื่องร่อนลง จนถึงจุดเส้น Localizer Course ตัดกับ Glide Path และเหลือความสูงเพียง 60 เมตรหรือ 200 ฟุต เทียบกับแนวระดับเดียวกับ Threshold เป็นความสูงที่นักบินสามารถมองเห็น Runway และตัดสินใจร่อนลงได้ โดยเหลือระยะทางไม่น้อยกว่า 800 เมตร หรือ 2,600 ฟุต ก่อนถึง Threshold
- Categories II (CAT II): มีประสิทธิภาพอำนวยความสะดวกให้นักบินใช้งานนำเครื่องร่อนลง จนถึงจุดเส้น Localizer Course ตัดกับ Glide Path และเหลือความสูงเพียง 15 เมตรหรือ 50 ฟุต เทียบกับแนวระดับเดียวกับ Threshold โดยเหลือระยะทางไม่น้อยกว่า 400 เมตร หรือ 1,300 ฟุตก่อนถึง Threshold
- Categories III : มีประสิทธิภาพอำนวยความสะดวกให้นักบินใช้งานนำเครื่องร่อนลง จนถึงจุด Threshold ที่เครื่องบินแตะพื้นรันเวย์

ระบบ ILS ประกอบด้วยการทำงานของสองระบบได้แก่ Localizer ทำงานในย่านความถี่ที่ใช้งาน VHF ระหว่าง 108.1 ถึง 119.9 MHz มีกำลังส่งของเครื่องส่งภาคพื้นเท่ากับ 15 ถึง 20 วัตต์ และ Glide Slope ทำงานในย่านความถี่ที่ใช้งาน UHF ระหว่าง 328.6 ถึง 335.4 MHz มีกำลังส่งของเครื่องส่งภาคพื้นเท่ากับ 3 ถึง 8 วัตต์

2.5.1 การทำงานของระบบ ILS ในภาคพื้นดิน

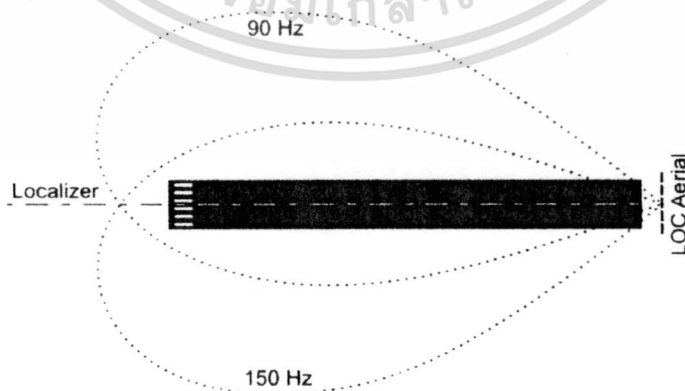
2.5.1.1 สถานี Localizer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานี Localizer ทางภาคพื้นดินจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณข้อมูล Course เพื่อบอกให้นักบินทราบว่าเครื่องบินอยู่ด้านซ้ายหรือขวาของเส้นทางบินเข้าหาสนามบิน ซึ่งจะตรงกับ Center Line ของ Runway โดยที่สถานี Localizer จะมีชุด Antenna ติดตั้งอยู่ปลายทางวิ่งห่างจาก Runway Threshold ด้าน Stop End เป็นระยะ 1,000 ฟุต แสดงดังภาพที่ 2.7 ซึ่งสัญญาณจะถูกส่งออกจากสายอากาศโดยจะมีการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบแนวนอน (Horizontal Polarization) ซึ่งจะใช้การมอดูเลตแบบ AM ที่เป็น Carrier Plus Sideband (CSB) และ Sideband Only (SBO) ซึ่งมีการจัด Phase และ Amplitude ของสัญญาณให้ออกไปผสมกันในอากาศที่เรียกว่า Space Modulation เพื่อให้ผลรวมของสัญญาณที่ตรงกับ Center Line ออกไปมีส่วนผสม (Percentage Modulation) ของความถี่ 90 Hz และ 150 Hz กับ Carrier เท่ากัน โดยจะมีค่า Percentage Modulation เท่ากับ 20% หรือมีค่า DDM (Difference in Depth of Modulation) เท่ากับ 0.000 DDM แสดงดังภาพที่ 2.8 สำหรับด้านซ้ายของ Center Line (เมื่อนักบินมองเข้าหาสนามบิน) จะมีค่า Percentage Modulation ของความถี่ 90 Hz มากกว่าของความถี่ 150 Hz หรือเรียกว่าด้าน 90 Hz และเช่นเดียวกันที่ด้านขวาของ Center Line จะมี Percentage Modulation ของความถี่ 150 Hz มากกว่าความถี่ 90 Hz หรือเรียกว่าด้าน 150 Hz



ภาพที่ 2.7 สายอากาศของสถานี Localizer ที่ติดตั้งบริเวณสนามบิน

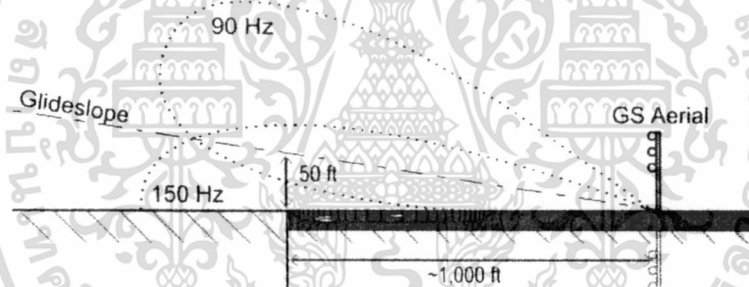


ภาพที่ 2.8 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสถานี Localizer

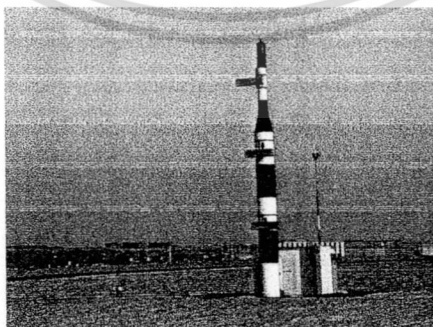
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.2 สถานี Glide Slope

สถานี Glide Slope ทางด้านพื้นดินจะทำหน้าที่ให้ข้อมูลมุมร่อน (Glide Path) ในแนวตั้ง ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นมุมเงยจากระดับสนามบิน 3 องศา โดยจะอาศัยหลักการมอดูเลตเช่นเดียวกับ สัญญาณของ Localizer โดยผสมคลื่นความถี่ 90 Hz และ 150 Hz ผสมกับความถี่ Carrier โดยจะมี Percentage Modulation ของความถี่ 90 Hz และ 150 Hz รวมกันเท่ากับ 80% ซึ่งสัญญาณ Glide Path มีค่า Percentage Modulation ของความถี่ 90 Hz เท่ากับ 40 % และความถี่ 150 Hz เท่ากับ 40% ทำให้ไม่มีความแตกต่างของ Percentage Modulation หรือมีค่า DDM=0.000 โดยสัญญาณของสถานี Glide Slope จะถูกส่งออกไปยังด้านบนและด้านล่างของมุมร่อน ดังภาพที่ 2.8 โดยที่ด้านบนจะมีค่า Percentage Modulation ของความถี่ 90 Hz มากกว่าความถี่ 150 Hz และทำนองเดียวกันด้านล่างของ Glide Path จะมีค่า Percentage Modulation ของความถี่ 150 Hz มากกว่าความถี่ 90 Hz ภาพที่ 2.10 แสดงตัวอย่างสายอากาศของสถานี Glide slope



ภาพที่ 2.9 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสถานี Glide Slope

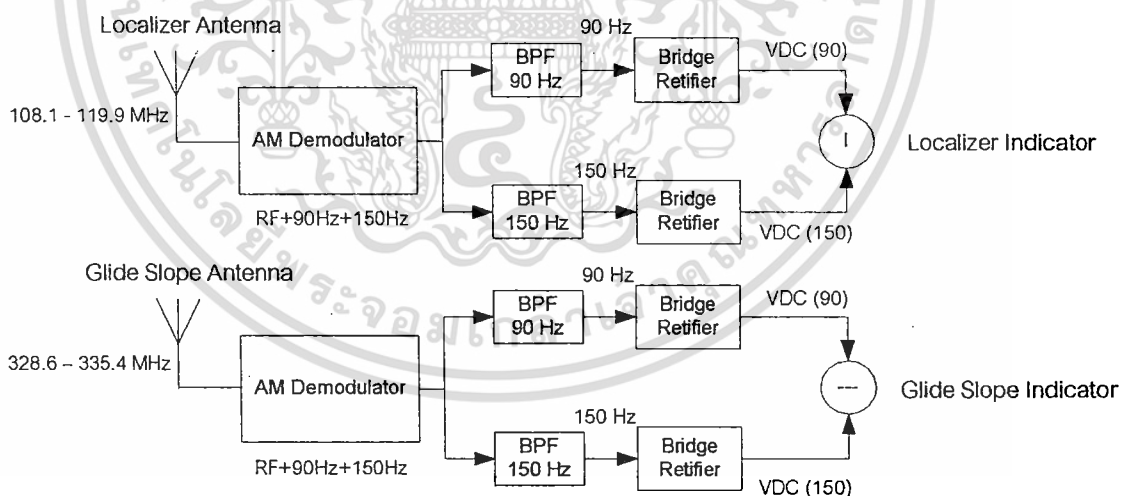


ภาพที่ 2.10 สายอากาศของสถานี Glide Slope ที่ติดตั้งบริเวณสนามบิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การทำงานของระบบ ILS ในทางฝั่งภาครับ

ระบบ ILS ที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องบินนั้นจะประกอบไปด้วย ชุดเครื่องรับสัญญาณ, สายอากาศสำหรับรับสัญญาณ Localizer, สายอากาศสำหรับรับสัญญาณ Glide Slope และชุดแสดงผลสำหรับนักบิน โดยจะทำการรับสัญญาณจากสถานี Localizer และ Glide Slope ที่ส่งมาจากสนามบิน จากนั้นจะทำการตีมอดูเลตสัญญาณโดยผ่านวงจร AM Demodulator ซึ่งจะทำการแยกสัญญาณ 90 Hz และ 150 Hz ออกจาก Carrier หลังจากนั้นจะผ่านวงจรกรองความถี่แถบผ่าน (Band Pass Filter) เพื่อทำการแยกสัญญาณ 90 และ 150 Hz ออกจากกัน หลังจากนั้นจะผ่านวงจร Bridge Rectifier เพื่อแปลงสัญญาณ 90 Hz และ 150 Hz ให้เป็นสัญญาณ DC จากนั้น Indicator จะทำการเปรียบเทียบระดับสัญญาณ DC โดยที่เมื่อระดับผลต่างสัญญาณทั้งสองมีค่าเป็น 0 นั้น จะทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่าน Diode โดยที่เข็มของ Meter จะขี้อยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลาง ส่วนในกรณีที่ความแรงของสัญญาณ Localizer/Glide Slope ของความถี่ 90 Hz หรือ 150 Hz มีค่ามากกว่ากัน จะส่งผลให้ระดับสัญญาณผลต่าง DC มีค่าเป็นบวกหรือค่าลบ ซึ่งทำให้มีกระแสไหลผ่าน Meter ส่งผลให้เข็มของ Meter เบี่ยงเบนไป ภาพที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องรับ ILS แบบอนาล็อก ในส่วนของความถี่ Carrier ที่ใช้ส่งไปยังเครื่องบินนั้นจะขึ้นอยู่กับแต่ละสนามบินและ Runway ซึ่งในประเทศไทยนั้นทางบริษัทวิทยุการบินแห่งประเทศไทยนั้นเป็นผู้กำหนดมาตรฐานให้กับเครื่องส่งแต่ละ Runway โดยย่านความถี่ที่กำหนดใช้งานในสนามบินสุวรรณภูมิ แสดงในตารางที่ 2.1



ภาพที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องรับ ILS แบบอนาล็อก

ตารางที่ 2.1 ย่านความถี่ ILS ที่ใช้งานในสนามบินสุวรรณภูมิ

แวนร่อน	ความถี่	Channel
ILS.01R	110.10 MHz	CH.38X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	334.40 MHz	
ILS.01L	109.10 MHz	CH.28X
	331.40 MHz	
ILS.19R	109.50 MHz	CH.32X
	332.60 MHz	
ILS.19L	110.50 MHz	CH.42X
	329.60 MHz	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

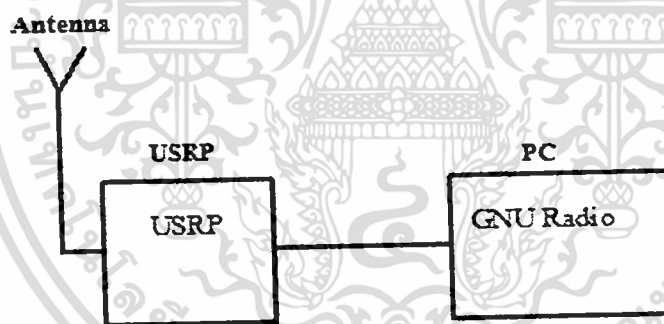
บทที่ 3

การออกแบบระบบ

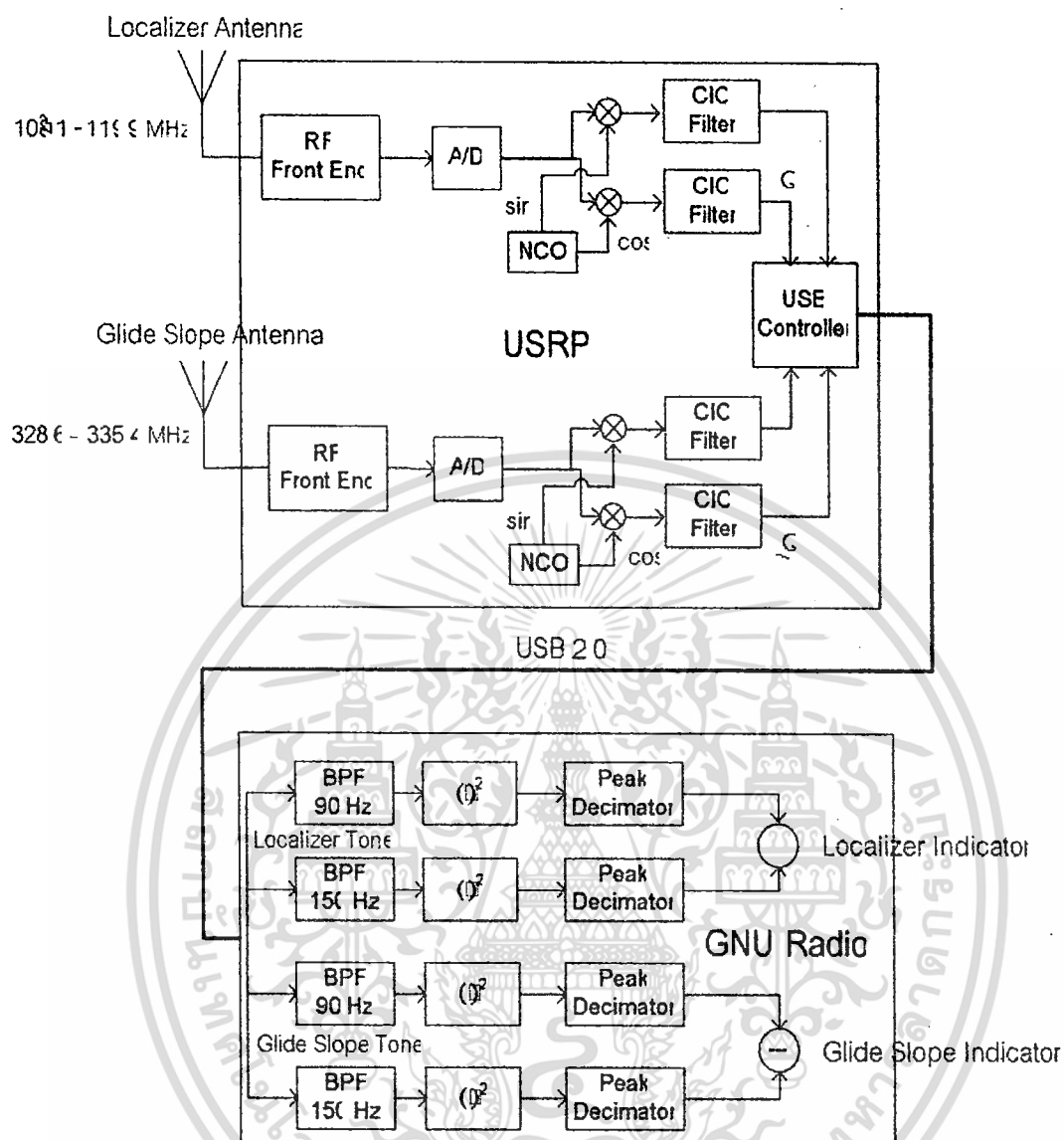
3.1 การออกแบบการทำงาน

ระบบ Instrument Landing System (ILS) ที่ถูกติดตั้งอยู่บนเครื่องบินนั้นจะประกอบไปด้วยชุดเครื่องรับสัญญาณและสายอากาศรับสัญญาณโดยแบ่งเป็น สายอากาศรับสัญญาณในย่าน Localizer และสายอากาศที่รับสัญญาณในย่าน Glide Slope รวมทั้งในส่วนของการแสดงผล โดยหลักการการทำงานจะรับสัญญาณทั้งสองย่านจากสนามบินในขณะที่ร่อนลงจอดบน Runway ซึ่งสนามบินสุวรรณภูมิจะมีค่าของแต่ละช่องสัญญาณเป็นตารางแสดงค่าดังกล่าวไว้ สัญญาณที่รับเข้ามาแล้วนั้นจะผ่านวงจร AM Demodulator เพื่อทำการแยกความถี่ของสัญญาณที่ 90 เฮิรตซ์ และ 150 เฮิรตซ์ ออกจากคลื่นพาห์ (Carrier) โดยใช้ดิจิตอลฟิลเตอร์กรองสัญญาณออกมานั้นทำการหาขนาดของสัญญาณทั้งสาม แล้วนำไปคำนวณหาค่า Difference in Depth of Modulation (DDM) ต่อไป

3.1.1 แผนผังการทำงานของระบบ



ภาพที่ 3.1 แผนผังการทำงานของระบบ



ภาพที่ 3.2 แผนผังการทำงานของระบบส่วนของ USRP และ GNU Radio

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 1) เครื่องสเปกตรัม (Spectrum Analyzer)
- 2) ชุดพัฒนา USRP
- 3) สายอากาศ (Antenna)
- 4) คอมพิวเตอร์ (Computer)
- 5) แผ่นดิสก์บันทึกข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) หัวแรง, ที่ดูดตะกั่ว

3.3 ผลการทดลอง

3.3.1 ผลการทดลองด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม

เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม เป็นเครื่องมือที่มีหลักการทำงานคือใช้วิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณที่วัดได้ ในการทดลองนี้เราใช้เครื่องสเปกตรัมในการตรวจสอบสัญญาณที่ถูกปล่อยมาจากสนามบินสุวรรณภูมิในบริเวณชั้นดาวเทียม 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ว่ามีสัญญาณเข้ามาหรือไม่ และถ้าตรวจสอบแล้วสามารถรับสัญญาณได้จริงโดยแสดงเป็นสเปกตรัม เราจึงจะทำการทดลองรับสัญญาณโดยผ่านเครื่อง USRP ในขั้นต่อไป ในส่วนของการแสดงผลของเครื่องสเปกตรัม (Spectrum Analyzer) นี้ผลที่ได้จะแสดงผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ซึ่งบอกรายละเอียดของสัญญาณที่วัดได้ มีโหมดการทำงานที่ใช้ในการปรับค่าและปรับเปลี่ยนข้อมูลที่อยู่ด้านข้างของจอคอมพิวเตอร์ ภาพที่ 3.3 และบันทึกผลการทดลองลงในแผ่นดิสก์



ภาพที่ 3.3 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม

3.4 การออกแบบ

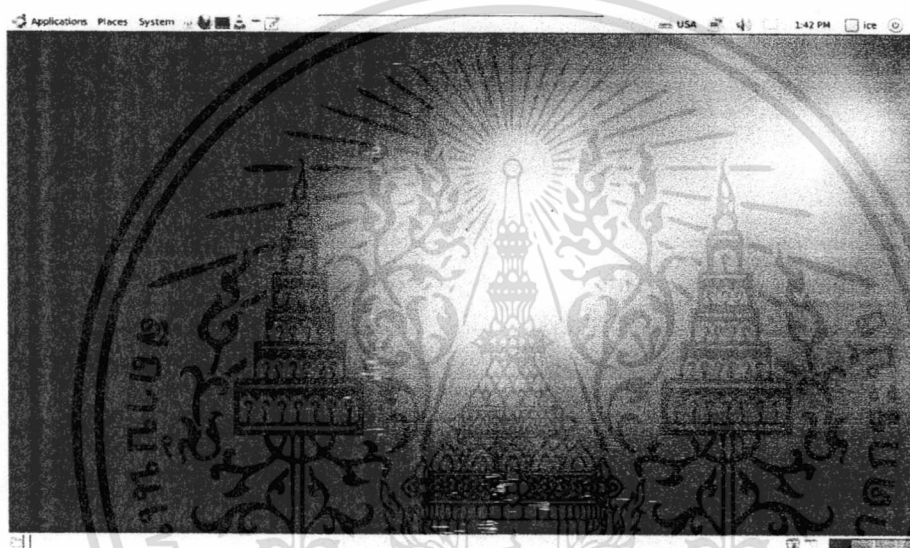
3.4.1 การติดตั้งโปรแกรม GNU Radio

ติดตั้งระบบปฏิบัติการ Ubuntu 10.04 LTS - Long-term support สามารถดาวน์โหลดได้ที่ “<http://www.ubuntu.com/download/Ubuntu/download>” และสามารถดูวิธีการติดตั้งได้ที่ “<http://www.unixmen.com/ubuntu-1004-lucid-lynx-step-by-step-installation-for-newbies-howto/>” โดยใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพขั้นต่ำ คือ

ตารางที่ 3.1 ประสิทธิภาพขั้นต่ำของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

CPU	Pentium 4, 1GHz
RAM (minimal)	64 megabytes
RAM (recommended)	512 megabytes
Hard Drive	5 gigabytes

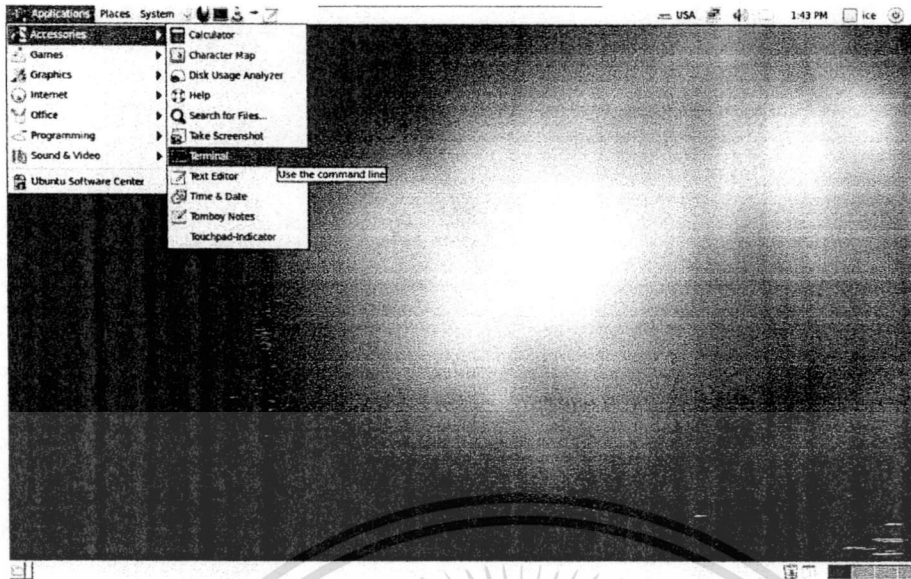
ติดตั้งโปรแกรม GNU Radio ให้เปิดระบบปฏิบัติการอุบุนตุ 10.04 ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ระบบปฏิบัติการอุบุนตุ 10.04

จากนั้นให้เข้าไปที่ Applications > Accessories > Terminal เพื่อเปิดหน้าต่างพิมพ์คำสั่ง ดังรูป 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.5 หน้าต่างพิมพ์คำสั่ง

ติดตั้งแพ็คเกจที่จำเป็นต่อการติดตั้งโปรแกรม GNU Radio โดยพิมพ์ตามนี้

```
sudo apt-get -y install libfontconfig1-devlibxrender-devlibpulse-dev \
swig g++ automakeautoconf libtool python-devlibfftw3-dev \
libcppunit-devlibboost-all-devlibusb-dev fort77sdccsdcc-libraries \
libsdl1.2-dev python-wxgtk2.8git-core guile-1.8-dev \
libqt4-dev python-numpyccache python-opengl libgst0-dev \
python-cheetah python-lxml doxygenqt4-dev-tools \
libqwt5-qt4-devlibqwtplot3d-qt4-devpyqt4-dev-tools python-qwt5-qt4
```

จากนั้น ดาวน์โหลดซอร์สโค้ดโปรแกรมได้ โดยใช้คำสั่ง

```
git clone http://gnuradio.org/git/gnuradio.git
```

สั่งติดตั้งโปรแกรมโดยใช้คำสั่ง

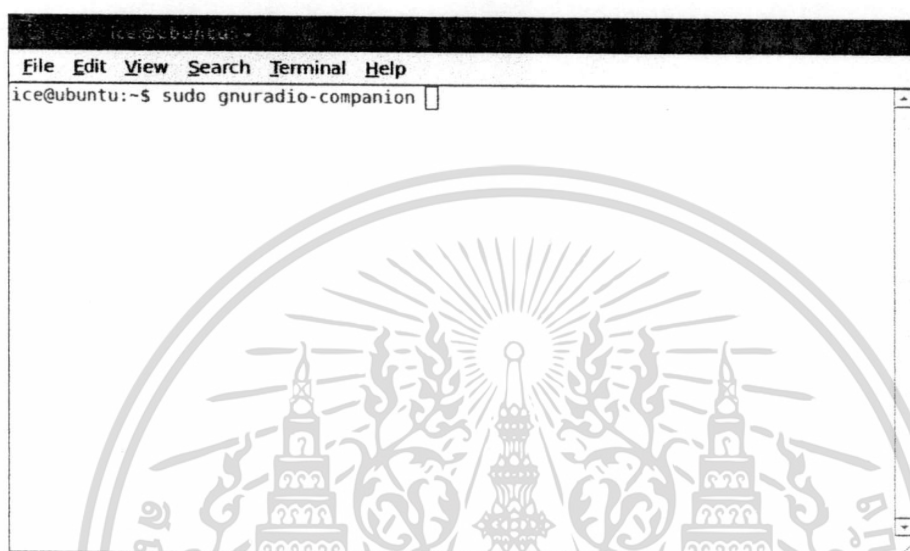
```
cdgnuradio
./bootstrap
./configure
make
make check
sudo make install
```

ส่วนสุดท้ายแก้ไขข้อผิดพลาดในการลงโปรแกรมโดยใช้คำสั่ง

```
cp /etc/ld.so.conf /tmp/ld.so.conf
```

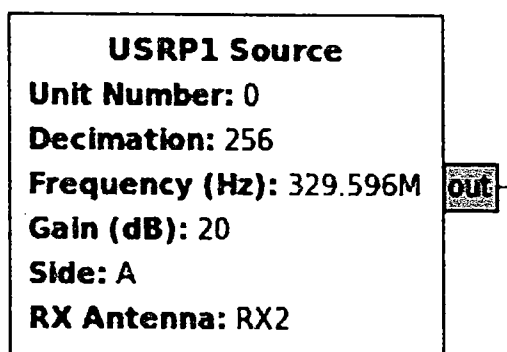
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
echo /usr/local/lib >> /tmp/ld.so.conf  
sudo mv /tmp/ld.so.conf /etc/ld.so.conf  
sudoldconfig  
สั่งเปิดแกรม GNU Radio โดยใช้คำสั่ง  
sudognuradio-companionดังภาพที่3.6
```



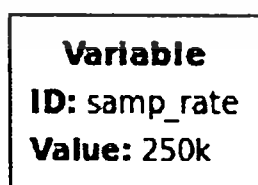
ภาพที่ 3.6 การเปิดโปรแกรม GNU Radio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.8 USRP Source

USRP Source คือ การบล็อกการทำงานในส่วน Front end ซึ่งจะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณอนาล็อก ที่มีความถี่ศูนย์กลางอยู่ที่ 329.596 เมกกะเฮิร์ตซ์ซึ่งก็คือ ความถี่ของ Glide Slope จากนั้นทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล ด้วยอัตราการสุ่มตัวอย่าง 64 เมกกะแซมเปิลต่อวินาที ดังนั้นจึงทำการเดซิเมชันสัญญาณไป 256 เท่า จะได้ใช้อัตราสุ่มในการประมวลผลสัญญาณต่อไปเพียง 250 กิโลแซมเปิลต่อวินาที ส่วนค่าเกนนั้นตั้งไว้มาตรฐานที่ 20 เดซิเบล สามารถเพิ่มลดค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 100 เดซิเบล เลือกใช้ด้านเอ และชนิดรูปแบบเป็นแบบอาร์เอช2 ซึ่งเป็นค่าคงที่สำหรับกำหนดในการเชื่อมต่อกับบอร์ดลูกในเครื่อง USRP ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.9 บล็อกอัตราการสุ่มตัวอย่าง

อัตราการสุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการประมวลผลสัญญาณนั้นจะใช้ค่าที่ 250 กิโลแซมเปิล ต่อวินาทีดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ดังภาพที่ 3.9

Variable
ID: dec_rate
Value: 500

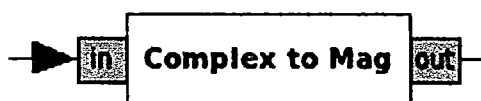
ภาพที่ 3.10 บล็อกการเดซิเมชัน

Band Pass Filter
Decimation: 500
Gain: 1
Sample Rate: 250k
Low Cutoff Freq: 85
High Cutoff Freq: 95
Transition Width: 10
Window: Hamming
Beta: 6.76

ภาพที่ 3.11 บล็อกตัวกรองสัญญาณดิจิทัล

ภาพที่ 3.10 เป็นตัวแปรสำหรับการทำเดซิเมชันลงไปอีก 500 เท่า เพื่อให้เหลือเพียงแค่ช่วงแบนวิทที่สนใจเท่านั้นคือ จะคล้ายกับการครอบแล้วซุ่มดูสเปกตรัมของสัญญาณอินพุท ภาพที่ 3.11 สำหรับทำหน้าที่กรองสัญญาณดิจิทัลแบบแถบผ่าน โดยกำหนดช่วงความถี่ตัดอยู่ที่ 85-95 เฮิรตซ์ ช่วงแถบทรานซิชั่น 10 เฮิรตซ์ ใช้การออกแบบตัวกรองเป็นเอพ็อลลิปติกัลฟิลเตอร์ ออกแบบโดยวิธีหน้าต่าง และใช้หน้าต่างชนิด Hamming ซึ่งตัวกรองนี้ใช้สำหรับกรองสัญญาณ 90 เฮิรตซ์ ส่วนสัญญาณ 150 เฮิรตซ์ ก็ออกแบบเช่นเดียวกับ 90 เฮิรตซ์เพียงแต่เปลี่ยนค่าช่วงความถี่ตัดอยู่ที่ 145 – 155 เฮิรตซ์ ส่วนตัวกรองสัญญาณคลื่นพาห์ จะใช้ชนิดแถบความถี่ต่ำผ่าน โดยกำหนดช่วงความถี่ตัดอยู่ที่ 40 เฮิรตซ์

ส่วนต่างๆของบล็อกการทำงานใน USRP เพื่อแสดงค่าของ DDM



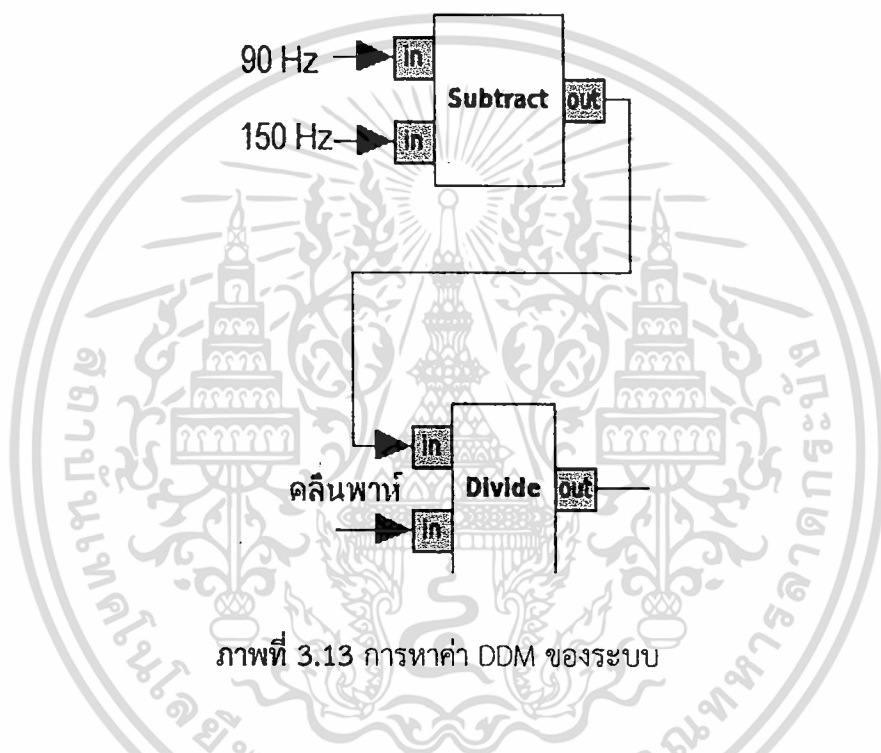
ภาพที่ 3.12 ตัวแปลงสัญญาณชนิดเชิงซ้อนเป็นขนาดของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสัญญาณที่คำนวณในภาคก่อนหน้านั้น เป็นสัญญาณเชิงซ้อนที่จะมีค่า I และ Q ซึ่งเป็นสัญญาณในส่วนจำนวนจริง และจินตภาพตามลำดับ ดังนั้นถ้าหากต้องการขนาดของสัญญาณโดยใช้วิธีการ

$$A(t) = \sqrt{I^2(t) + Q^2(t)} \quad (3.1)$$

จะได้ค่าขนาดของสัญญาณดังกล่าว ดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.13 การหาค่า DDM ของระบบ

3.5 การประมวลผลและแสดงผลผ่านโปรแกรม

เมื่อเราทำการรับข้อมูลสัญญาณแล้วทำการตัดเอาช่วงที่เราต้องการเพื่อนำไปประมวลผลและแสดงผลดังกล่าวนั้นออกมาทางโปรแกรม โดยส่วนที่เราประมวลผลนั้น เราใช้ทฤษฎีของ Difference in Depth of Modulation (DDM) โดยค่าดังกล่าวนี้จะมีความสัมพันธ์กับค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่ความถี่ 90เฮิรตซ์ และ 150เฮิรตซ์ รวมทั้งแอมพลิจูดของสัญญาณCarrierด้วย โดยมีความสัมพันธ์กัน และจากรูปค่าของขนาดของสัญญาณจะเข้ามาจะใช้สัญญาณ 90 เฮิรตซ์ ตั้งแล้วลบด้วยสัญญาณ 150 เฮิรตซ์ จากนั้นนำไปหารด้วยขนาดของสัญญาณคลื่นพาห้ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$DDM = \mu_{90} - \mu_{150} = \frac{A_{90} - A_{150}}{A_c} \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu = \frac{A_m}{A_c} \quad (3.3)$$

เมื่อ A_{90} คือ Amplitude frequency 90 เฮิรตซ์, A_{150} คือ Amplitude frequency 150 เฮิรตซ์ และ A_c คือ Amplitude carrier และสามารถคำนวณหาค่าของแอมพลิจูด (A) ของแต่ละย่านความถี่ได้โดยใช้ความสัมพันธ์ของการหาค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย ได้จาก

$$v(t) = A \times \sin(\omega t) \quad (3.4)$$

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{1}{\Delta T} \int_{-T}^T |v(t)|^2 dt} \quad (3.5)$$

$$P_{avg} = \frac{(v_{rms})^2}{R} = (v_{rms})^2 = \frac{1}{\Delta T} \int_{-T}^T |v(t)|^2 dt \quad (3.6)$$

$$P_{avg} = \frac{A^2}{2} \text{ Watts} \quad (3.7)$$

$$x_{dBm} = 10 \log_{10}(1000P) \quad (3.8)$$

$$P = 10^{(x-30)/10} = \frac{A^2}{2} \quad (3.9)$$

$$A = \sqrt{2 \times 10^{(x-30)/10}} \quad (3.10)$$

จะได้ ค่า Difference in Depth of Modulation (DDM) ดังนี้

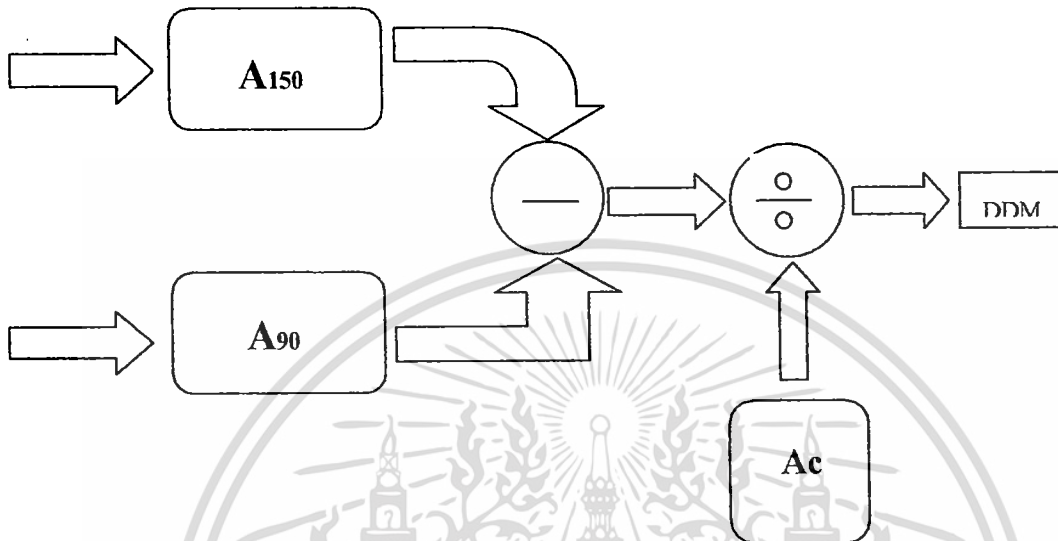
$$DDM = |\mu_{150} - \mu_{90}| = \left| \frac{A_{90} - A_{150}}{A_c} \right| \quad (3.11)$$

$$DDM = \left| \frac{\sqrt{2 \times 10^{(x_{90}-30)/10}} - \sqrt{2 \times 10^{(x_{150}-30)/10}}}{\sqrt{2 \times 10^{(x_c-30)/10}}} \right| \quad (3.12)$$

หลักการทํางานนั้นจะสัมพันธ์กับสมการที่ (3.3) โดยในส่วนแรกจะเป็นการนำค่าของ Amplitude frequency 90 Hz กับ Amplitude frequency 150 Hz มาทำการหาค่าผลต่าง หลังจากนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าที่ได้มาหารด้วย Amplitude carrier เพื่อได้ค่า Difference in Depth of Modulation (DDM) ออกมา ซึ่งค่าที่ได้แสดงออกมานั้น จะแสดงในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง DDM กับ TIME จากหลักการที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถแสดงแผนผังการทำงานได้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.14 แผนผังการทำงานเพื่อหาค่า DDM

3.6 สายอากาศที่ใช้ในการรับสัญญาณ

เป็นสายอากาศ Half-Wavelength Dipole ที่ใช้รับสัญญาณที่ความถี่ 110 MHz และ 329 MHz ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 3.15



สายอากาศ
ไดโพล

ภาพที่ 3.15 สายอากาศไดโพล

ซึ่งจะมีหลักการออกแบบดังนี้

1. หาความยาวคลื่นตามความถี่ที่เราต้องการจากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.14)$$

2. หาความยาวคลื่นที่วิ่งในท่อโลหะ จากสมการ

$$\text{ความยาวคลื่นในท่อโลหะ} = \text{ความยาวคลื่น} \times \text{ความเร็วโลหะ} \quad (3.15)$$

เนื่องจากเป็นสายอากาศ Half-Wavelength Dipole ความยาวของท่อโลหะจะใช้ $1/4$ ของความยาวคลื่นในท่อโลหะ

3. หาความยาวสายที่ใช้จากสมการ

$$\text{ความยาวสาย} = \text{ความยาวคลื่น} \times \text{ความเร็วในสาย} \quad (3.16)$$

ความยาวสายที่ใช้จริงจะเลือกใช้เป็นอัตราส่วนแบบ $1/4, 3/4, 5/4 \dots$ ของค่าที่คำนวณได้ สายอากาศไดโพลที่ออกแบบตามสมการข้างบนจะได้ดังภาพที่ 3.16



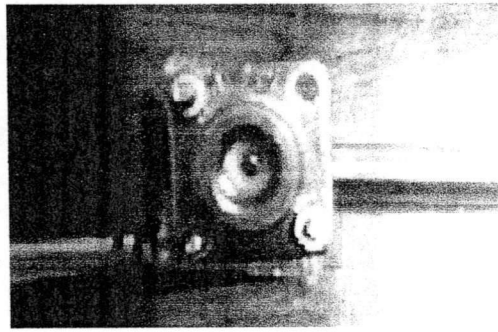
ภาพที่ 3.16 สายอากาศไดโพลที่ใช้สายนำสัญญาณ

อุปกรณ์

- 1.สาย RG-58
- 2.เสาอากาศแบบปรับความยาวได้
- 3.ท่อ PVC แบบ 3ทางขนาด 0.5 นิ้ว
- 4.หัว Connector BNC

สายอากาศไดโพลที่ไม่ใช้สายนำสัญญาณจะมีลักษณะดังภาพที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.17 สายอากาศไดโพลที่ไม่ใช้สายนำสัญญาณ

ลักษณะของสายอากาศจะเป็นการใช้หัว N-type แบบติดฐานเชื่อมกับเสาอากาศปรับความยาวได้โดยเชื่อมเสาอากาศ 2 เสากับ Inner ของ N-type และ ฐานของ N-type

อุปกรณ์

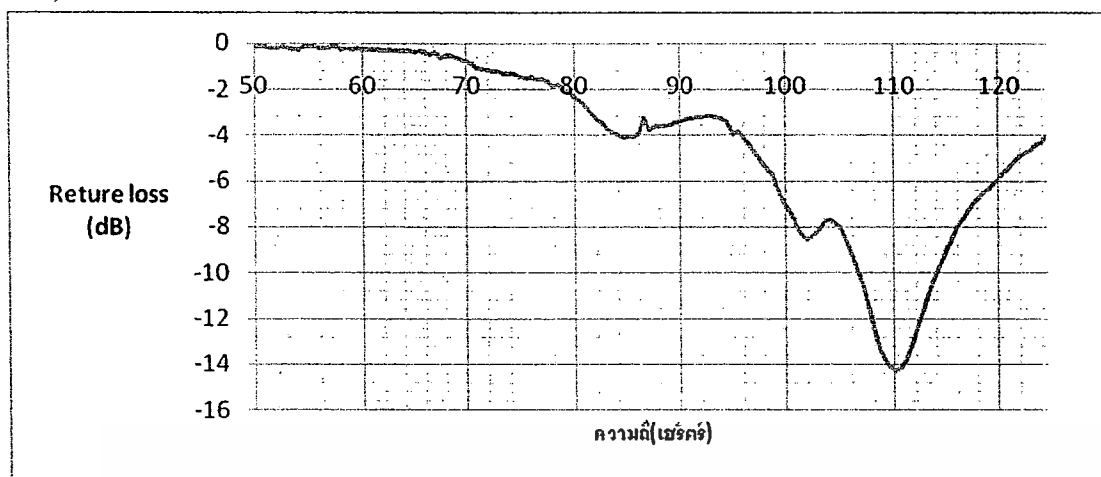
1. หัว N-type แบบติดฐาน
2. เสาอากาศ

หมายเหตุ: เนื่องจากการตัดท่อลูมิเนียมบางครั้งอาจยุ่งยากหรือการวัดความยาวอาจเกิดความคลาดเคลื่อนและความหนาของท่อลูมิเนียมอาจส่งผลต่อการรับสัญญาณจึงได้ใช้เสาอากาศแบบปรับความยาวได้แทนท่อลูมิเนียม

หลักการทำงาน

สายอากาศไดโพลจะทำหน้าที่ 2 ลักษณะคือ

1. สายอากาศจะทำการเชื่อมต่อกับ Spectrum Analyze เพื่อตรวจสอบว่ามีสัญญาณที่สนามบินสุวรรณภูมิส่งมาขณะนั้นหรือไม่
2. เมื่อพบว่ามีสัญญาณจากสนามบินสุวรรณภูมิ จะนำสายอากาศเชื่อมต่อกับ USRP เพื่อเป็นตัวรับสัญญาณให้แก่ USRP



ภาพที่ 4.2 กราฟ Return loss ที่ความถี่ 110 MHz

-Center frequency 110 MHz

-S1 = -14.261 dB

-Bandwidth ตั้งแต่ 107MHz ถึง 114MHz

- ความยาวของสายอากาศ 1 ข้าง เท่ากับ 68.5 cm

ค่า Return loss ของสายอากาศที่ความถี่ 110 MHz แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่า Return loss ที่ความถี่ 110 MHz

ความถี่(MHz)	Return loss (dB)	ความถี่(MHz)	Return loss (dB)	ความถี่(MHz)	Return loss (dB)
50	-0.154	75	-1.45	100	-7.112
50.5	-0.165	75.5	-1.499	100.5	-7.451
51	-0.145	76	-1.466	101	-7.98
51.5	-0.24	76.5	-1.587	101.5	-8.398
52	-0.195	77	-1.595	102	-8.524
52.5	-0.139	77.5	-1.67	102.5	-8.378
53	-0.197	78	-1.845	103	-8.075
53.5	-0.289	78.5	-1.828	103.5	-7.783
54	-0.269	79	-2.046	104	-7.695
54.5	-0.153	79.5	-2.182	104.5	-7.792
55	-0.185	80	-2.361	105	-8.057
ความถี่(MHz)	Return loss	ความถี่(MHz)	Return loss	ความถี่(MHz)	Return loss

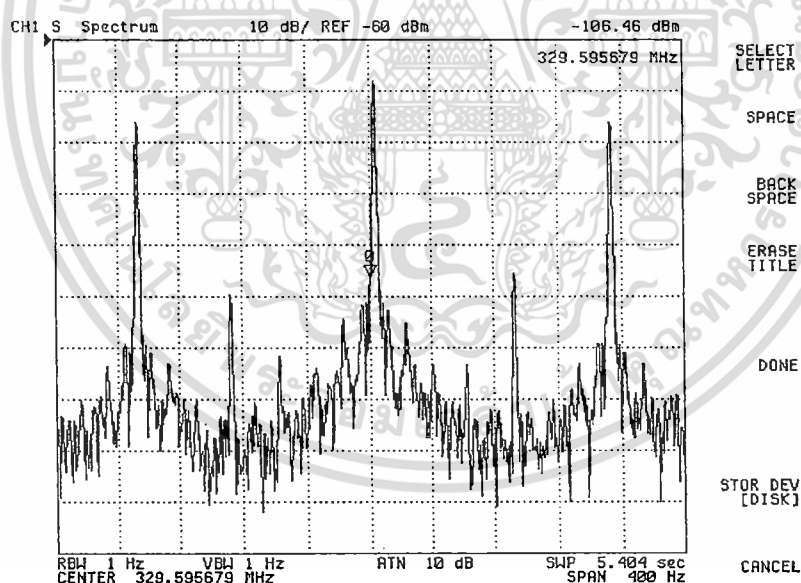
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	(dB)		(dB)		(dB)
55.5	-0.173	80.5	-2.515	105.5	-8.603
56	-0.225	81	-2.777	106	-9.163
56.5	-0.194	81.5	-3.062	106.5	-9.806
57	-0.137	82	-3.311	107	-10.608
57.5	-0.163	82.5	-3.478	107.5	-11.522
58	-0.25	83	-3.755	108	-2.5.41
58.5	-0.246	83.5	-3.878	108.5	-13.284
59	-0.256	84	-4.014	109	-13.747
59.5	-0.23	84.5	-4.107	109.5	-14.109
60	-0.272	85	-4.063	110	-14.261
60.5	-0.258	85.5	-4.048	110.5	-14.16
61	-0.252	86	-3.914	111	-13.803
61.5	-0.251	86.5	-3.2824	111.5	-13.24
62	-0.329	87	-3.779	112	-2.5.594
62.5	-0.275	87.5	-3.64	112.5	-11.937
63	-0.356	88	-3.627	113	-11.273
63.5	-0.356	88.5	-3.613	113.5	-10.602
64	-0.316	89	-3.538	114	-10.077
64.5	-0.325	89.5	-3.462	114.5	-9.441
65	-0.376	90	-3.408	115	-8.974
65.5	-0.327	90.5	-3.343	115.5	-8.488
66	-0.405	91	-3.288	116	-8.01
66.5	-0.481	91.5	-3.227	116.5	-7.674
67	-0.409	92	-3.207	117	-7.38
67.5	-0.589	92.5	-3.174	117.5	-7.046
68	-0.554	93	-3.16	118	-6.784
68.5	-0.54	93.5	-3.209	118.5	-6.508
69	-0.639	94	-3.306	119	-6.355
69.5	-0.724	94.5	-3.408	119.5	-6.093
70	-0.778	95	-3.95	120	-5.866

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

70.5	-0.914	95.5	-3.828	120.5	-5.625
71	-1.071	96	-4.063	121	-5.412
71.5	-1.107	96.5	-4.347	121.5	-5.166
72	-1.18	97	-4.68	122	-4.941
72.5	-1.233	97.5	-4.958	122.5	-4.747
73	-1.256	98	-5.329	123	-4.664
73.5	-1.33	98.8	-5.771	123.5	-4.421
74	-1.325	99	-6.184	124	-4.294
74.5	-1.328	99.5	-6.687	124.5	-4.084

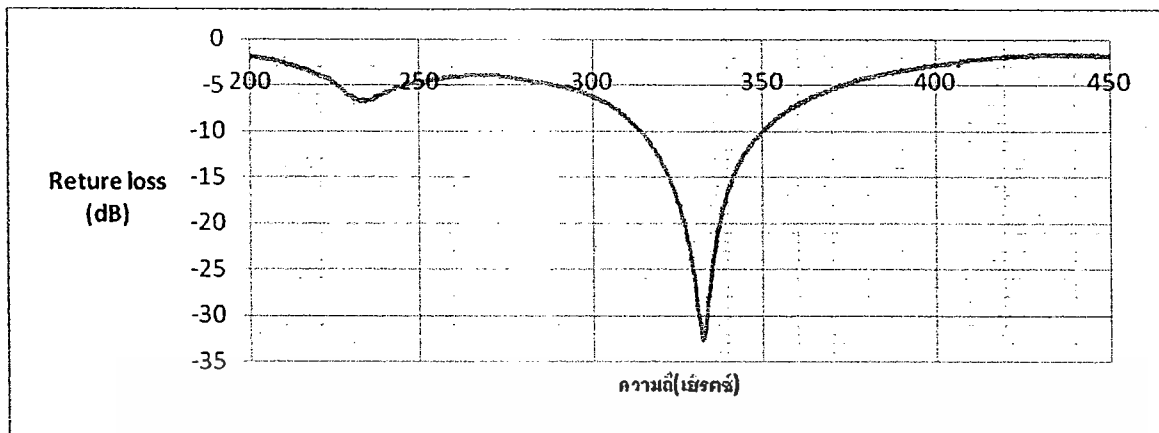
ผลการวัดสเปกตรัมของสัญญาณที่ความถี่ 329.6MHz จะสังเกตเห็นว่ามีพีคสูงสุดที่ 329.6 MHz และมีพีคของสัญญาณโทน 90Hz และ 150Hz อยู่ข้างพีคสูงสุดโดยพีคของ 90 Hz จะต่ำกว่าพีคของ โทน 150 Hz แสดงดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 สัญญาณในย่าน Glide slope

กราฟ Return loss ของสายอากาศที่ความถี่ 329.6 MHz อยู่ในภาพที่ 4.4 พบว่า ที่ความถี่ 329 MHz มีค่า Return loss ที่ใช้งานได้ครอบคลุม Bandwidth ตั้งแต่ 314MHz ถึง 349.5MHz โดยมีค่า Return loss ที่ความถี่ 329 MHz เท่ากับ -14.261 MHz เป็นค่าที่น้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 กราฟ Return loss ที่ความถี่ 329.6 MHz

- Center frequency 329 MHz
 - S (dB) = -23.725 dB
 - Bandwidth ตั้งแต่ 314 MHz ถึง 349.5MHz
 - ความยาวของสายอากาศ 1 ข้างเท่ากับ 18.5 cm
- ค่า Return loss ของสายอากาศที่ความถี่ 329 MHz

ตารางที่ 4.2 ค่า Return loss ที่ความถี่ 329 MHz

ความถี่ (MHz)	Return loss (dB)	ความถี่ (MHz)	Return loss (dB)	ความถี่ (MHz)	Return loss (dB)	ความถี่ (MHz)	Return loss (dB)
200	-1.872	262.5	-3.997	325	-17.742	387.5	-3.568
200.5	-1.898	263	-4.018	325.5	-18.047	388	-3.532
201	-1.892	263.5	-3.96	326	-18.678	388.5	-3.5
201.5	-1.947	264	-3.954	326.5	-19.369	389	-3.437
202	-1.927	264.5	-3.959	327	-20.03	389.5	-3.427
202.5	-1.975	265	-3.965	327.5	-20.907	390	-3.402
203	-2.043	265.5	-3.938	328	-21.735	390.5	-3.409
203.5	-2.097	266	-3.93	328.5	-22.654	391	-3.298
204	-2.12	266.5	-3.883	329	-23.725	391.5	-3.336
204.5	-2.129	267	-3.895	329.5	-24.806	392	-3.272
205	-2.199	267.5	-3.933	330	-26.182	392.5	-3.275
205.5	-2.236	268	-3.927	330.5	-27.669	393	-3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

206	-2.262	268.5	-3.918	331	-29.201	393.5	-3.17
206.5	-2.276	269	-3.934	331.5	-30.82	394	-3.16
207	-2.354	269.5	-3.862	332	-32.261	394.5	-3.131
207.5	-2.377	270	-3.93	332.5	-32.69	395	-3.102
208	-2.394	270.5	-3.935	333	-31.731	395.5	-3.078
208.5	-2.466	271	-3.903	333.5	-30.235	396	-3.061
209	-2.539	271.5	-3.932	334	-28.519	396.5	-2.996
209.5	-2.566	272	-3.935	334.5	-26.845	397	-2.961
210	-2.63	272.5	-3.938	335	-25.335	397.5	-2.933
210.5	-2.74	273	-3.953	335.5	-24	398	-2.962
211	-2.745	273.5	-4.032	336	-22.75	398.5	-2.903
211.5	-2.811	274	-3.998	336.5	-21.706	399	-2.864
212	-2.848	274.5	-4.08	337	-20.696	399.5	-2.855
22.5.5	-2.908	275	-4.081	337.5	-19.84	400	-2.852
213	-2.982	275.5	-4.113	338	-18.97	400.5	-2.788
213.5	-3.064	276	-4.123	338.5	-18.244	401	-2.77
214	-3.125	276.5	-4.154	339	-17.619	401.5	-2.762
214.5	-3.191	277	-4.236	339.5	-16.946	402	-2.677
215	-3.233	277.5	-4.243	340	-16.415	402.5	-2.708
215.5	-3.279	278	-4.235	340.5	-15.844	403	-2.682
216	-3.336	278.5	-4.304	341	-15.376	403.5	-2.644
216.5	-3.404	279	-4.322	341.5	-14.92	404	-2.65
217	-3.469	279.5	-4.4	342	-14.407	404.5	-2.563
217.5	-3.579	280	-4.367	342.5	-13.987	405	-2.578
218	-3.67	280.5	-4.436	343	-13.613	405.5	-2.522
218.5	-3.767	281	-4.458	343.5	-13.226	406	-2.508
219	-3.828	281.5	-4.501	344	-2.5.922	406.5	-2.747
219.5	-3.882	282	-4.491	344.5	-2.5.581	407	-2.473
220	-4.007	282.5	-4.557	345	-2.5.302	407.5	-2.444
220.5	-4.07	283	-4.574	345.5	-2.5.027	408	-2.374
221	-4.027	283.5	-4.62	346	-11.734	408.5	-2.376

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

221.5	-4.201	284	-4.622	346.5	-11.503	409	-2.347
222	-4.254	284.5	-4.687	347	-11.212	409.5	-2.275
222.5	-4.349	285	-4.736	347.5	-10.973	410	-2.244
223	-4.411	285.5	-4.697	348	-10.746	410.5	-2.272
223.5	-4.605	286	-4.792	348.5	-10.652	411	-2.253
224	-4.712	286.5	-4.821	349	-10.36	411.5	-2.182
224.5	-4.818	287	-4.831	349.5	-10.142	412	-2.178
225	-4.984	287.5	-4.869	350	-9.918	42.5.5	-2.183
225.5	-5.131	288	-4.871	350.5	-9.785	413	-2.176
226	-5.329	288.5	-4.958	351	-9.567	413.5	-2.149
226.5	-5.456	289	-5.009	351.5	-9.409	414	-2.123
227	-5.596	289.5	-5.058	352	-9.236	414.5	-2.101
227.5	-5.828	290	-5.014	352.5	-9.067	415	-2.073
228	-5.98	290.5	-5.167	353	-8.883	415.5	-2.084
228.5	-6.085	291	-5.129	353.5	-8.651	416	-2.047
229	-6.222	291.5	-5.162	354	-8.565	416.5	-2.02
229.5	-6.285	292	-5.235	354.5	-8.379	417	-1.958
230	-6.436	292.5	-5.3	355	-8.26	417.5	-1.972
230.5	-6.485	293	-5.292	355.5	-8.134	418	-1.961
231	-6.561	293.5	-5.313	356	-8.001	418.5	-1.948
231.5	-6.621	294	-5.423	356.5	-7.874	419	-1.948
232	-6.678	294.5	-5.469	357	-7.685	419.5	-1.928
232.5	-6.626	295	-5.534	357.5	-7.6	420	-1.869
233	-6.652	295.5	-5.618	358	-7.508	420.5	-1.888
233.5	-6.682	296	-5.635	358.5	-7.414	421	-1.838
234	-6.657	296.5	-5.731	359	-7.243	421.5	-1.852
234.5	-6.555	297	-5.794	359.5	-7.16	422	-1.818
235	-6.545	297.5	-5.846	360	-7.1	422.5	-1.821
235.5	-6.548	298	-5.905	360.5	-6.925	423	-1.782
236	-6.38	298.5	-5.994	361	-6.82	423.5	-1.779
236.5	-6.278	299	-6.061	361.5	-6.798	424	-1.794

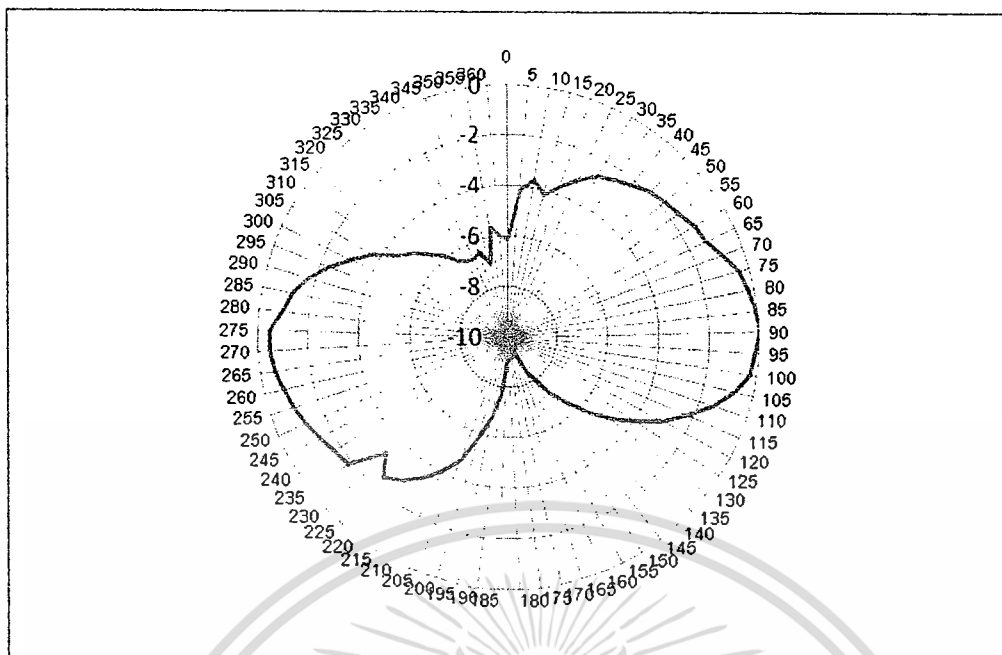
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

237	-6.172	299.5	-6.137	362	-6.679	424.5	-1.795
237.5	-6.072	300	-6.256	362.5	-6.554	425	-1.767
238	-6.027	300.5	-6.315	363	-6.463	425.5	-1.751
238.5	-5.929	301	-6.427	363.5	-6.378	426	-1.744
239	-5.866	301.5	-6.488	364	-6.268	426.5	-1.75
239.5	-5.764	302	-6.613	364.5	-6.163	427	-1.733
240	-5.706	302.5	-6.674	365	-6.124	427.5	-1.705
240.5	-5.612	303	-6.768	365.5	-6.01	428	-1.688
241	-5.569	303.5	-6.857	366	-5.91	428.5	-1.769
241.5	-5.514	304	-6.942	366.5	-5.904	429	-1.711
242	-5.405	304.5	-7.047	367	-5.838	429.5	-1.662
242.5	-5.278	305	-7.12	367.5	-5.722	430	-1.685
243	-5.246	305.5	-7.308	368	-5.648	430.5	-1.689
243.5	-5.206	306	-7.4	368.5	-5.545	431	-1.644
244	-5.123	306.5	-7.558	369	-5.489	431.5	-1.692
244.5	-5.086	307	-7.606	369.5	-5.408	432	-1.691
245	-5.006	307.5	-7.755	370	-5.35	432.5	-1.661
245.5	-4.948	308	-7.992	370.5	-5.278	433	-1.676
246	-4.871	308.5	-8.119	371	-5.203	433.5	-1.647
246.5	-4.839	309	-8.268	371.5	-5.071	434	-1.683
247	-4.82	309.5	-8.38	372	-5.071	434.5	-1.643
247.5	-4.775	310	-8.575	372.5	-4.984	435	-1.611
248	-4.711	310.5	-8.742	373	-4.912	435.5	-1.638
248.5	-4.664	311	-8.952	373.5	-4.883	436	-1.668
249	-4.634	311.5	-9.164	374	-4.779	436.5	-1.685
249.5	-4.615	312	-9.248	374.5	-4.743	437	-1.667
250	-4.614	32.5.5	-9.437	375	-4.674	437.5	-1.632
250.5	-4.594	313	-9.598	375.5	-4.603	438	-1.613
251	-4.534	313.5	-9.805	376	-4.551	438.5	-1.661
251.5	-4.588	314	-10.038	376.5	-4.496	439	-1.71
252	-4.488	314.5	-10.144	377	-4.492	439.5	-1.677

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

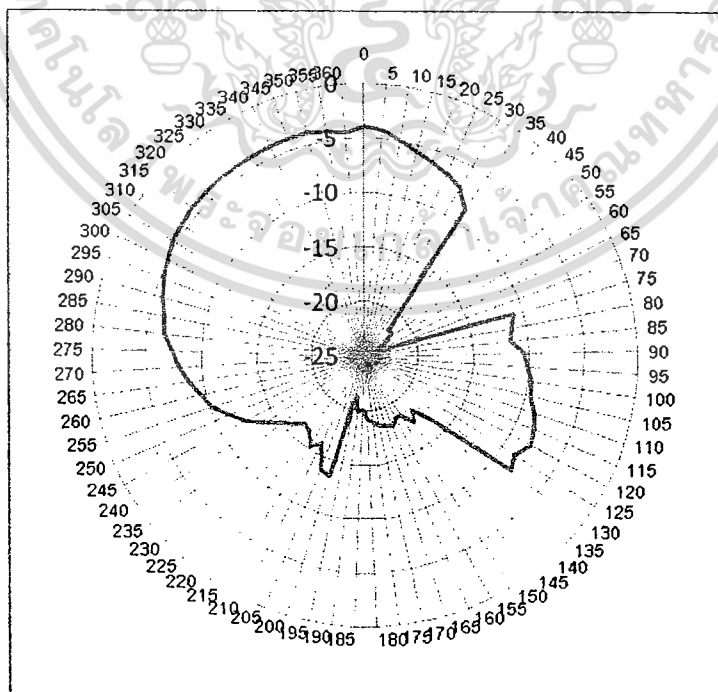
252.5	-4.524	315	-10.451	377.5	-4.371	440	-1.68
253	-4.475	315.5	-10.689	378	-4.388	440.5	-1.647
253.5	-4.428	316	-10.883	378.5	-4.307	441	-1.685
254	-4.404	316.5	-11.141	379	-4.246	441.5	-1.711
254.5	-4.416	317	-11.383	379.5	-4.228	442	-1.716
255	-4.33	317.5	-11.635	380	-4.158	442.5	-1.686
255.5	-4.312	318	-11.881	380.5	-4.089	443	-1.677
256	-4.278	318.5	-2.5.202	381	-4.085	443.5	-1.717
256.5	-4.294	319	-2.5.539	381.5	-4.068	444	-1.707
257	-4.213	319.5	-2.5.805	382	-3.98	444.5	-1.683
257.5	-4.214	320	-13.144	382.5	-3.941	445	-1.715
258	-4.18	320.5	-13.52	383	-3.904	445.5	-1.708
258.5	-4.176	321	-13.809	383.5	-3.831	446	-1.744
259	-4.108	321.5	-14.184	384	-3.804	446.5	-1.721
259.5	-4.117	322	-14.555	384.5	-3.814	447	-1.75
260	-4.093	322.5	-14.981	385	-3.751	447.5	-1.772
260.5	-4.058	323	-15.43	385.5	-3.674	448	-1.745
261	-4.063	323.5	-15.865	386	-3.678	448.5	-1.76
261.5	-4.019	324	-16.428	386.5	-3.638	449	-1.789
262	-4.026	324.5	-16.916	387	-3.592	449.5	-1.747
						450	-1.774

การทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบ Co-H plane คือการที่ใส่สายอากาศตัวส่งและตัวรับ ส่งและรับสัญญาณด้วยโพลาไรเซชันแนวนอนทั้งคู่ แสดงดังภาพที่ 4.5 และ 4.8



ภาพที่ 4.5 Co-H plane ที่ความถี่ 110.5 MHz

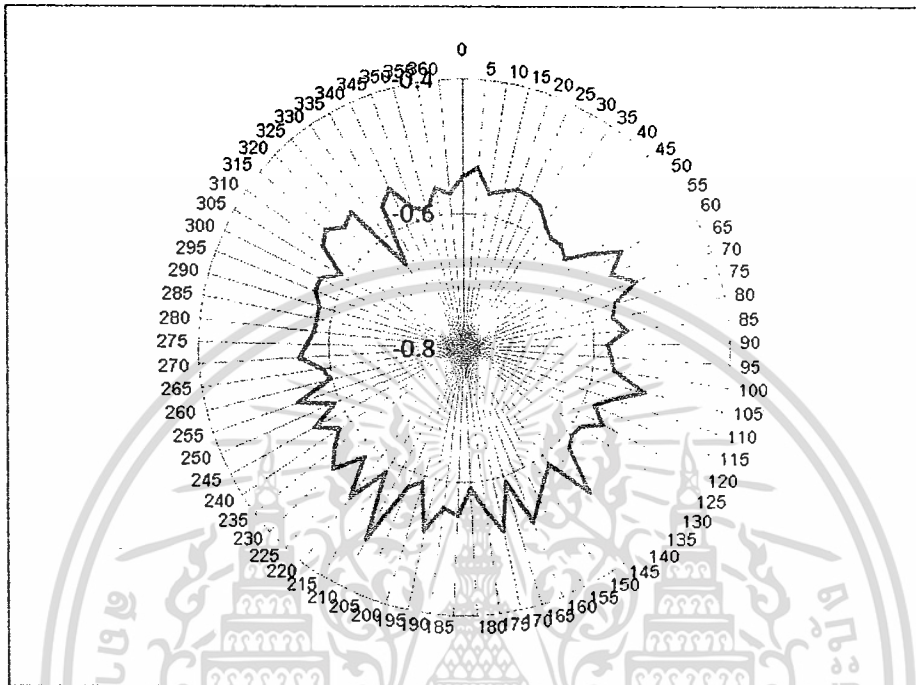
การทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบ Cross-H plane คือการที่ให้สายอากาศตัวรับรับสัญญาณด้วยโพลาริเซชันแนวนอนและตัวส่งส่งสัญญาณด้วยโพลาริเซชันแนวตั้ง แสดงดังภาพที่ 4.6 และ 4.9



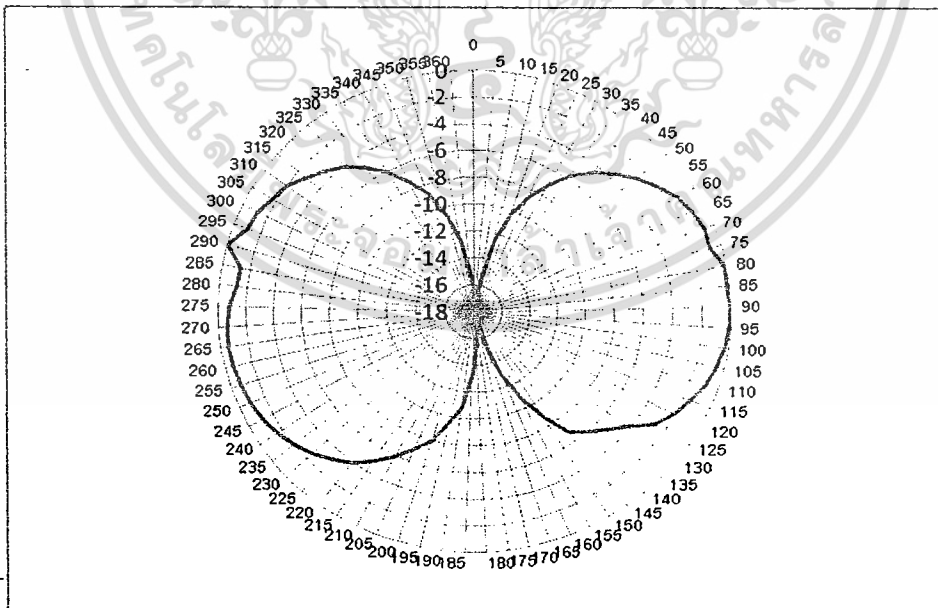
ภาพที่ 4.6 Cross H plane 110.5 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบ Co-E plane คือการที่ให้สายอากาศตัวรับรับสัญญาณด้วยโพลาริเซชันแนวตั้งและตัวส่งส่งสัญญาณด้วยโพลาริเซชันแนวตั้ง แสดงดังภาพที่ 4.7 และ 4.10

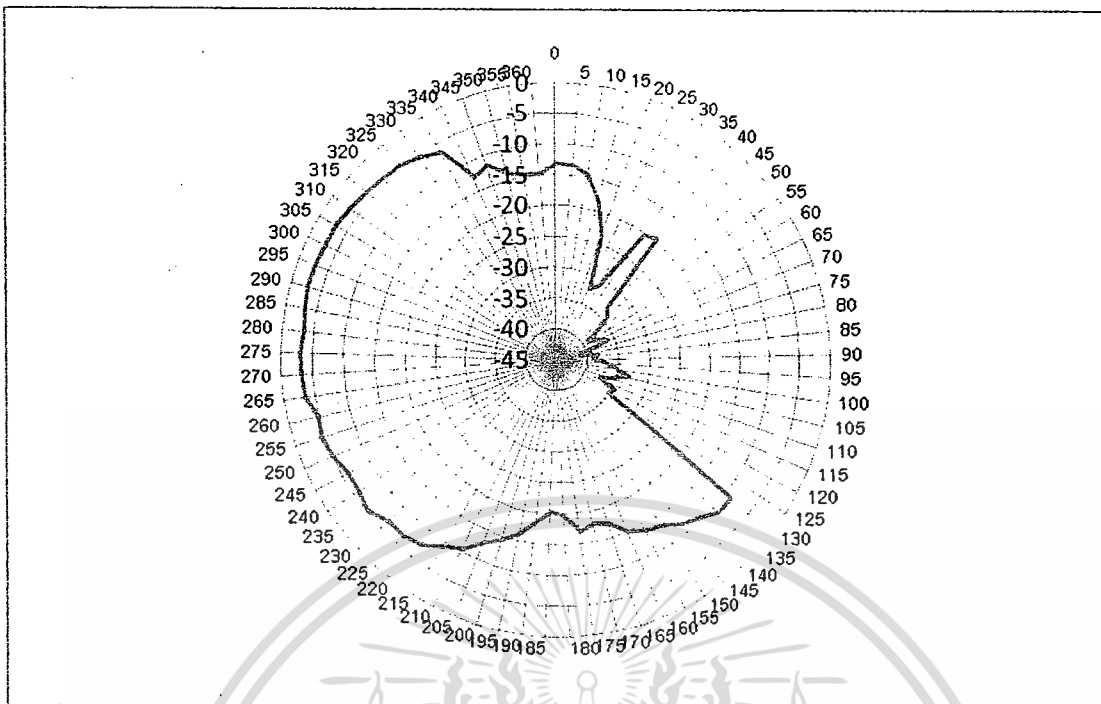


ภาพที่ 4.7 Co-E plane 110.5 MHz



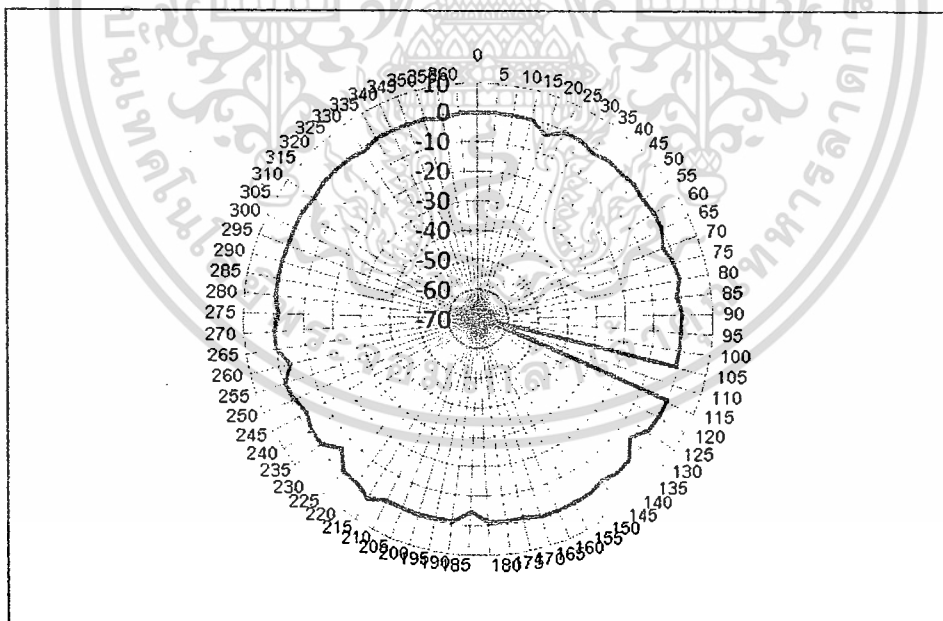
ภาพที่ 4.8 Co-H plane 329.6 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 Cross H plane 329.6 MHz

Co-E plane 329.6 MHz



ภาพที่ 4.10 Co-E plane 329 MHz

คำสั่งสัญญาณ LOCALIZER

DATE: Feb 27 2012

CHANNEL: 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MEASURE TYPE: S

FORMAT TYPE: SPECTRUM UNIT: dBm

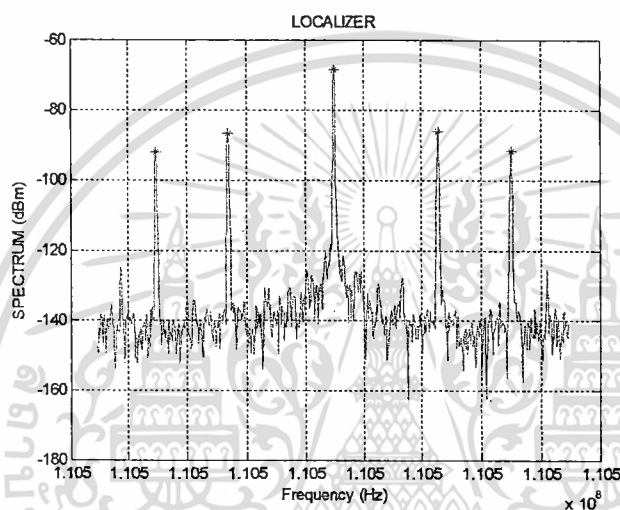
NUMBER of POINTS: 801

SWEEP TIME: 5.404 s

SWEEP TYPE: LIN FREQ

SOURCE POWER: 0 dBm

RBW: 1 เฮิรตซ์ VBW: 1 เฮิรตซ์



ภาพที่ 4.11 กราฟสัญญาณ LOCALIZER

จากภาพที่ 4.11 ต้องการหาค่าพลังงานของสัญญาณคลื่นพาห้และสัญญาณโทน 90 Hz และ 150Hz เพื่อมาหาค่า SNR ของสัญญาณ ดังตารางที่ 4.3 โดยพบว่า สัญญาณโทน 150Hz จะมีกำลังงานต่ำกว่าโทน 90 Hz โดยมี Noise floor คือ -140 dBm

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลของสัญญาณ Localizer

ความถี่ (เฮิรตซ์)	กำลังของสัญญาณ (dBm)	SNR (dB)
110503524.50	-92.09	$(-92.09) - (-140) = 47.91$
110503584.50	-86.67	$(-86.67) - (-140) = 53.33$
110503674.50	-68.74	$(-68.74) - (-140) = 71.26$
110503764.50	-86.15	$(-86.15) - (-140) = 53.85$
110503824.50	-91.67	$(-91.67) - (-140) = 48.33$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสัญญาณ GLIDE SLOPE

DATE: Feb 27 2012

CHANNEL: 1

MEASURE TYPE: S

FORMAT TYPE: SPECTRUM UNIT: dBm

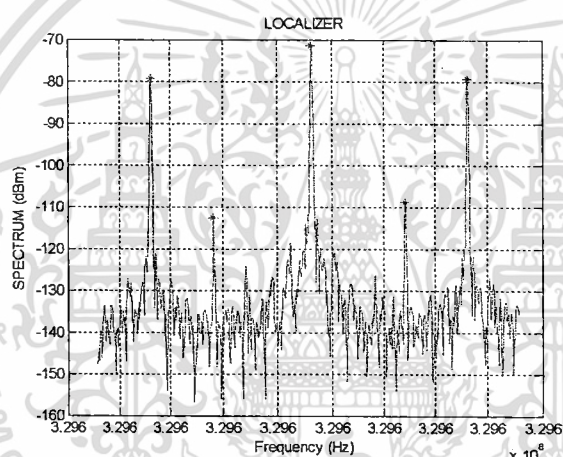
NUMBER of POINTS: 801

SWEEP TIME: 5.404 s

SWEEP TYPE: LIN FREQ

SOURCE POWER: 0 dBm

RBW: 1 เฮิรตซ์ VBW: 1 เฮิรตซ์



ภาพที่ 4.12 กราฟสัญญาณ Glide Slope

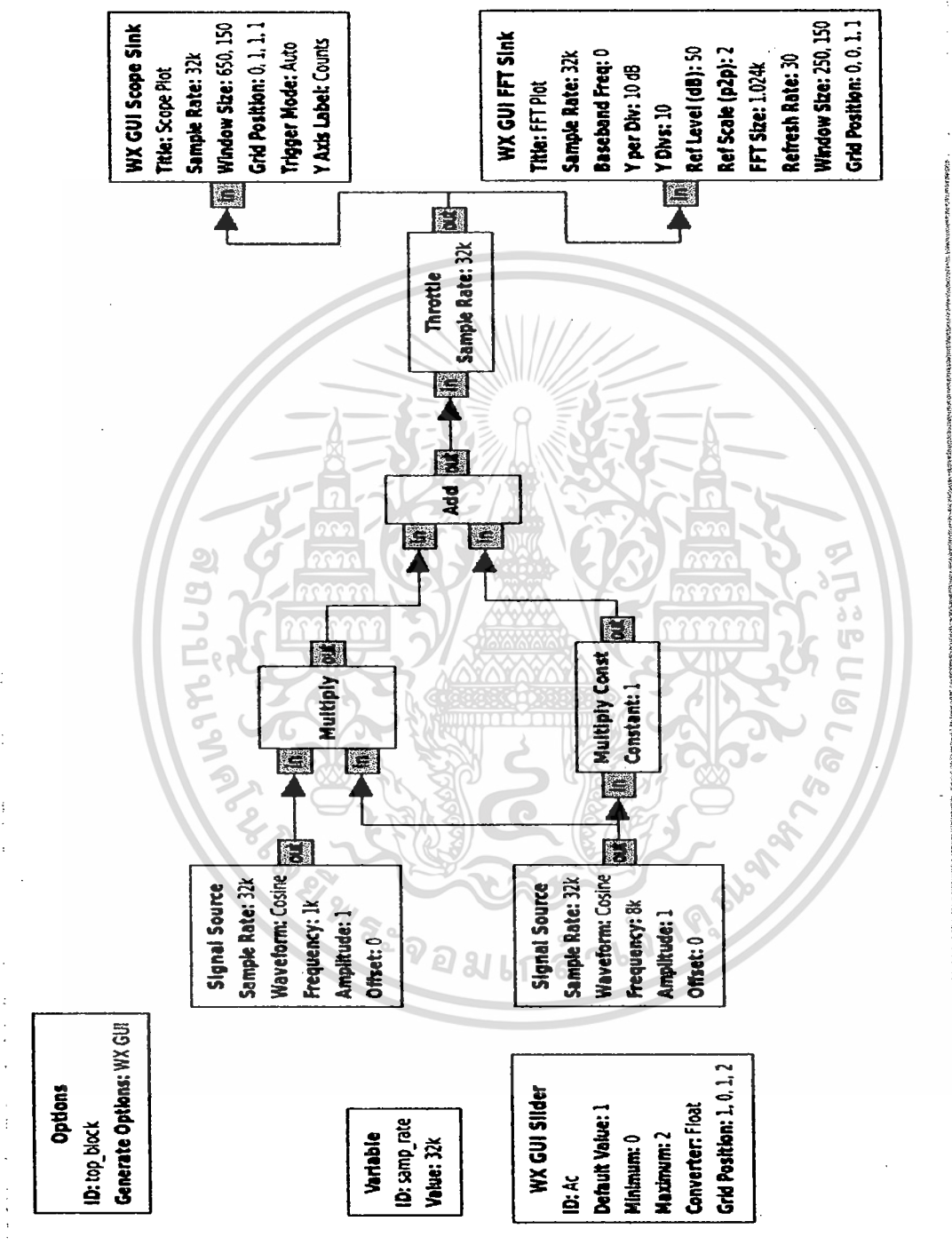
จากภาพที่ 4.12 ต้องการหากำลังงานของสัญญาณคลื่นพาห์และสัญญาณโทน 90 Hz และ 150Hz เพื่อมาหาค่า SNR ของสัญญาณ ดังตารางที่ 4.3 โดยพบว่า สัญญาณโทน 150Hz จะมีกำลังงานมากกว่าโทน 90 Hz โดยมี Noise floor คือ -135dBm

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลของสัญญาณ Glide Slope

ความถี่ (เฮิรตซ์)	กำลังของสัญญาณ (dBm)	SNR (dB)
329595531.00	-79.35	$(-79.35) - (-135) = 55.65$
329595591.00	-12.5.74	$(-12.5.74) - (-135) = 22.26$
329595681.00	-71.41	$(-71.41) - (-135) = 63.59$
329595771.00	-108.82	$(-108.82) - (-135) = 26.18$
329595831.00	-79.21	$(-79.21) - (-135) = 55.79$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การจำลองการสร้างสัญญาณ AM



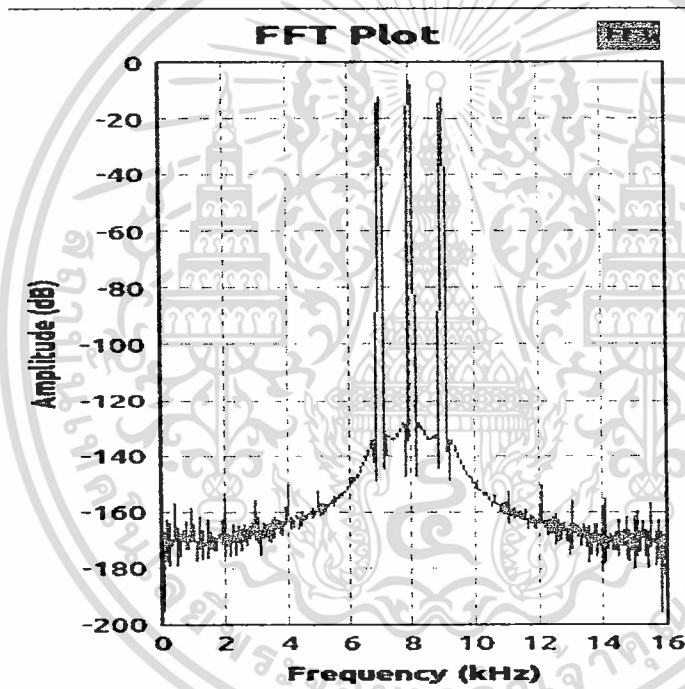
ภาพที่ 4.13 การทดสอบการสร้างสัญญาณ AM

จากระบบในภาพที่ 4.13 เป็นการจำลองรูปแบบสัญญาณ AM แบบ double-sideband a full-carrier เพื่อที่จะทำให้ทราบถึงรูปของสเปกตรัมของสัญญาณ แล้วสามารถนำไปวัดค่าจากเครื่องเอกซารนี้เป็นเอกซารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

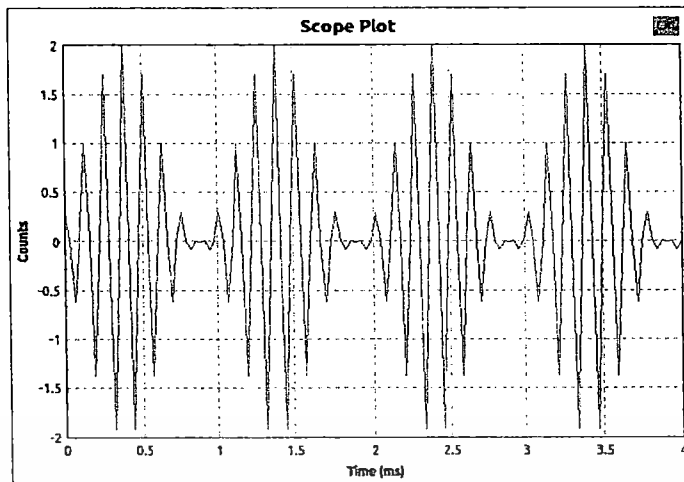
สเปกตรัมของสัญญาณได้ดังต่อไปนี้ ซึ่งเป็นการจำลองสัญญาณอนาล็อกในรูปแบบการประมวลผลแบบดิจิทัล โดยกำหนดให้ข้อมูลข่าวสารเป็นสัญญาณเป็นสัญญาณโคซาย ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ แอมพลิจูดเท่ากับ 1 แล้วคลื่นพาห้มีความถี่ 8 กิโลเฮิร์ตซ์ แอมพลิจูดเท่ากับ 1 แล้วต่อโปรแกรมตามสมการ

$$\phi_{AM}(t) = A_c \{1 + \mu \cos(\omega_m t)\} \cos(\omega_c t) \quad (4.1)$$

โดย A_c คือ ตัว Multiply Const ในโปรแกรม ซึ่งมีผลต่ออัตราส่วน $\frac{A_m}{A_c}$ หรือ ค่ามอดูเลชันอินเดกซ์ μ เมื่อทำการให้ค่า A_c มีค่าเท่ากับ 1 จะได้ค่า $\mu = \frac{A_m}{A_c} = 1$ แล้วจะมีรูปสเปกตรัมดังภาพที่ 4.14 และสัญญาณทางเวลาดังภาพที่ 4.15

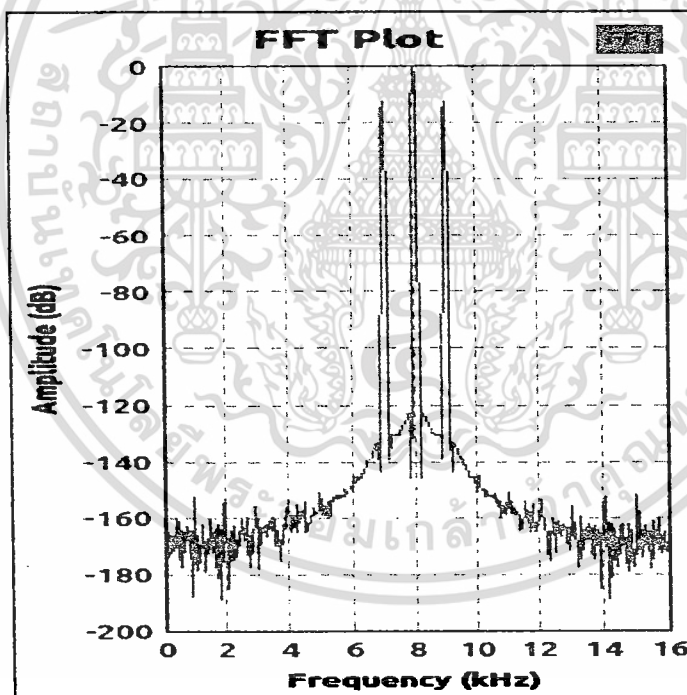


ภาพที่ 4.14 สเปกตรัมสัญญาณเมื่อมีค่ามอดูเลชันอินเดกซ์เท่ากับ 1



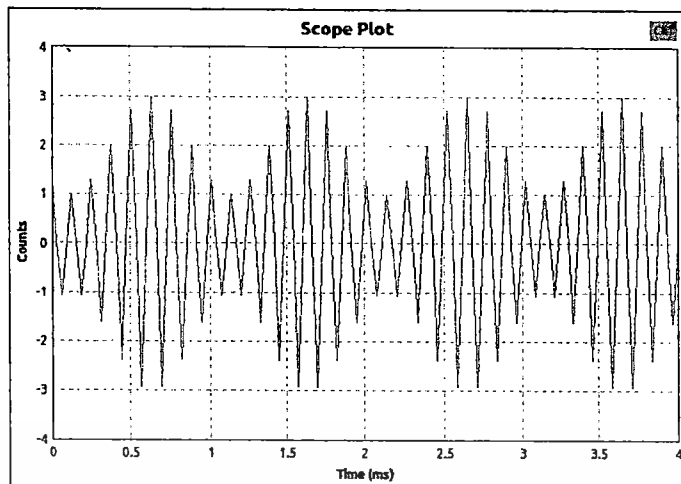
ภาพที่ 4.15 สัญญาณเมื่อมีค่ามอดูเลตชันอินเด็กซ์เท่ากับ 1

เมื่อทำการให้ค่า A_c มีค่าเท่ากับ 2 จะได้ค่า $\mu = \frac{A_m}{A_c} = \frac{1}{2} = 0.5$ แล้วจะมีรูปสเปกตรัมดังภาพที่ 4.16 และสัญญาณทางเวลาดังภาพที่ 4.17

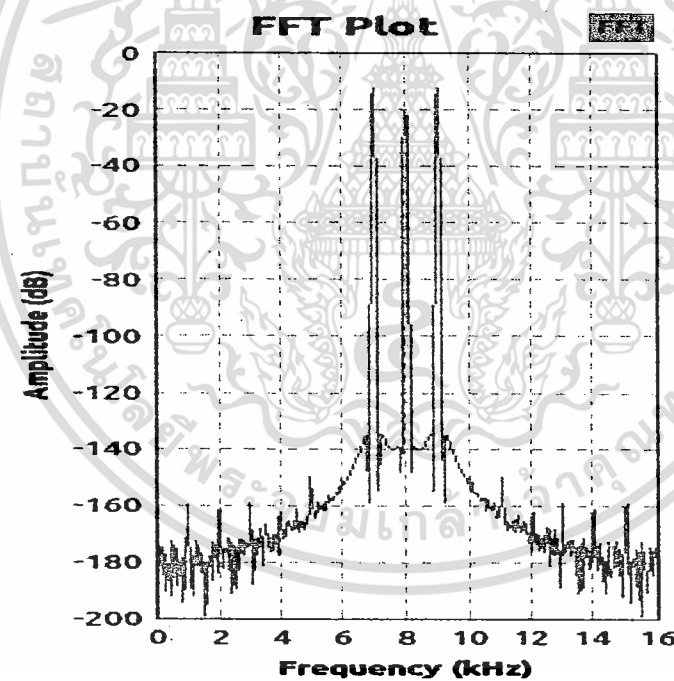


ภาพที่ 4.16 สเปกตรัมสัญญาณเมื่อมีค่ามอดูเลตชันอินเด็กซ์เท่ากับ 0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

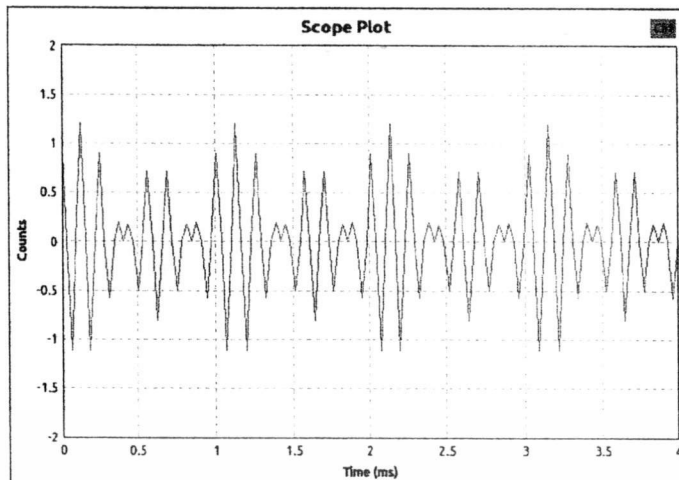


ภาพที่ 4.17 สัญญาณเมื่อมีค่ามอดูเลตชันอินเด็กซ์เท่ากับ 0.5
 เมื่อทำการให้ค่า A_c มีค่าเท่ากับ 0.5 จะได้ค่า $\mu = \frac{A_m}{A_c} = \frac{1}{0.5} = 2$ แล้วจะทำให้เกิดการโอเวอร์มอดูเลตชัน
 โดยมีรูปสเปกตรัมดังภาพที่ 4.18 และสัญญาณทางเวลาดังภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.18 สเปกตรัม เมื่อมีค่ามอดูเลตชันอินเด็กซ์เท่ากับ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

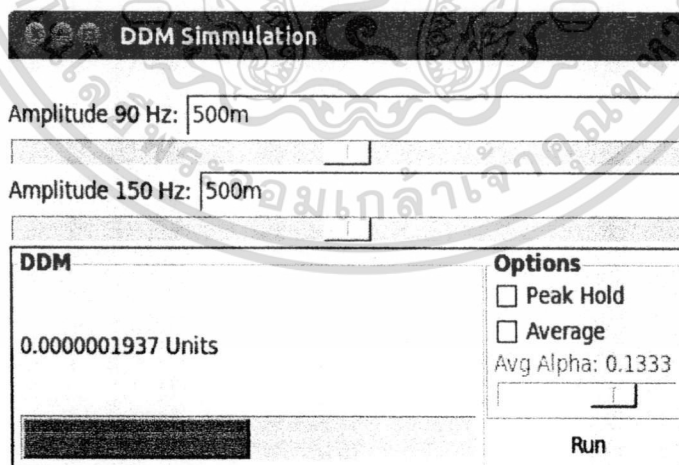


ภาพที่ 4.19 สัญญาณ เมื่อมีค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์เท่ากับ 2

4.3 การหาค่าความแตกต่างของการมอดูเลชัน: (DDM)

เมื่อเรานำสัญญาณที่รับมาได้แล้วไปประมวลผลและแสดงค่าดังกล่าวนี้ผ่านทางโปรแกรมโดยค่าดังกล่าวนี้จะมีความสัมพันธ์กับค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่ความถี่ 90 เฮิรตซ์ และ 150 เฮิรตซ์ รวมทั้งแอมพลิจูดของสัญญาณ Carrier ด้วย

4.3.1 การ Simulation สัญญาณที่มีขนาดของสัญญาณ 90 เฮิรตซ์และ 150 เฮิรตซ์ที่เท่ากัน จะได้ค่า DDM ของสัญญาณเท่ากับศูนย์

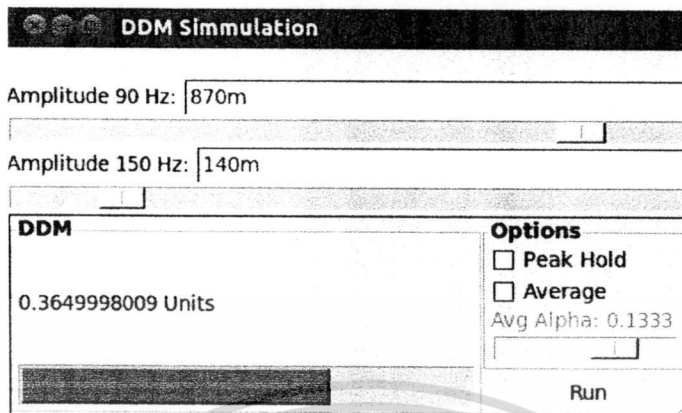


ภาพที่ 4.20 การจำลองสัญญาณที่มีขนาดของสัญญาณ 90 เฮิรตซ์และ 150 เฮิรตซ์ที่เท่ากัน

4.3.2 สัญญาณโทน 90 เฮิรตซ์ มีขนาดมากกว่า สัญญาณโทน 150 เฮิรตซ์

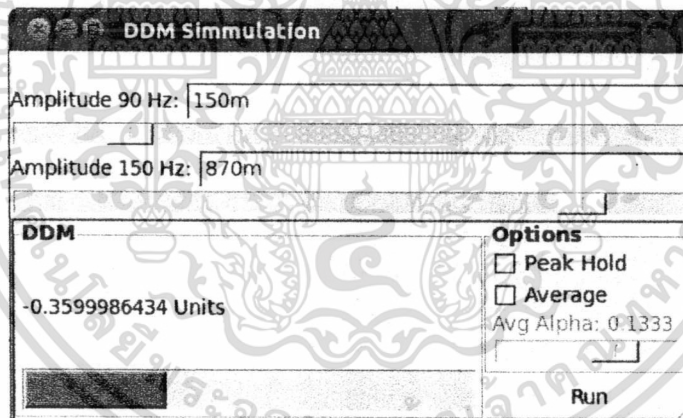
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำให้ค่า DDM ออกมาเป็นค่าเป็นค่าบวก



ภาพที่ 4.21 การจำลองสัญญาณที่มีขนาดของสัญญาณ 90 เฮิร์ตซ์มากกว่า 150 เฮิร์ตซ์

4.3.3 สัญญาณโทน 90 เฮิร์ตซ์ มีขนาดน้อยกว่า สัญญาณโทน 150 เฮิร์ตซ์
จะทำให้ค่า DDM ออกมาเป็นค่าเป็นค่าลบ



ภาพที่ 4.22 การจำลองสัญญาณที่มีขนาดของสัญญาณ 90 เฮิร์ตซ์น้อยกว่า 150 เฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดลองวัดสัญญาณ

รันเวย์ของสนามบินสุวรรณภูมิ เมื่อทำการสังเกตจากตาดฟ้าตึก 12 ชั้นสนามบินซึ่งสามารถรับสัญญาณ ILS จากช่อง ILS.19L ดังตารางที่ 4.5 ความถี่ Localizer 110.50 MHz ความถี่ Glide Slope 329.60 MHz ซึ่ง ILS.19L หมายความว่า ระบบ ILS ที่วางสายอากาศทำมุม 190 องศา กับทางทิศเหนือ และ L คือรันเวย์ทางด้านซ้าย ซึ่งทิศทางด้านกล่าวได้ส่งสัญญาณมาทางตึก 12 ชั้น ของคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และเนื่องด้วยความสูงระดับตึก 12 ชั้น ทำให้สามารถรับสัญญาณได้ทั้ง Localizer และ Glide Slope ดังภาพที่ 4.23



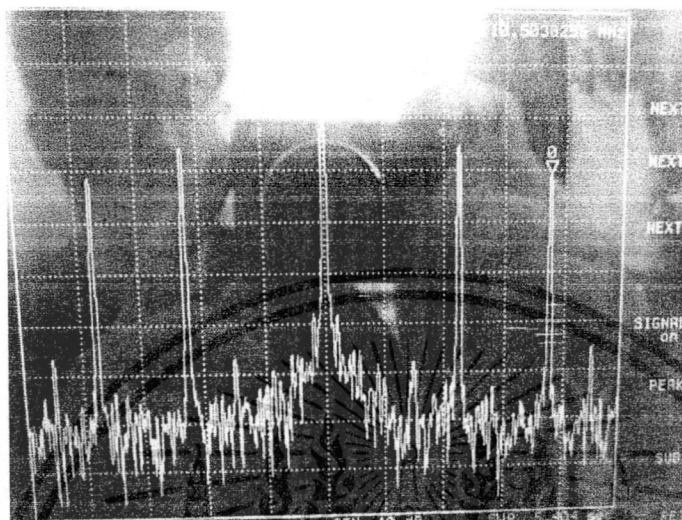
ภาพที่ 4.23 ภาพรันเวย์ของสนามบินสุวรรณภูมิเมื่อมองจากหลังคาตึก 12 ชั้น



ภาพที่ 4.24 การวัดสัญญาณจากสเปคตรัมอนาลิเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบการรับสัญญาณ Localizer ด้วยสายอากาศไดโพลในย่านความถี่ VHF ซึ่งจะทำการตั้งค่า Center ให้กับเครื่องสเปกตรัมอนาล็อกให้อยู่ที่ 110.50 MHz แล้วจากนั้นจะหาสัญญาณ แล้วทำการลดค่า Span ลงไปเรื่อย ๆ จนแบนวิทที่แสดงบนหน้าจออยู่ที่ 400 เฮิร์ตซ์ดังภาพที่ 4.24



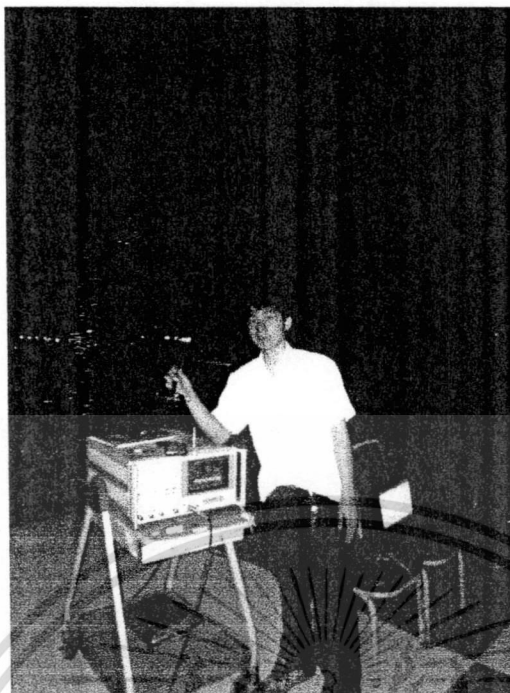
ภาพที่ 4.25 สเปกตรัมของสัญญาณ Localizer

สัญญาณ Localizer ที่วัดได้จากเครื่องสเปกตรัมอนาล็อก ซึ่งกำลังของสัญญาณรูปไซน์ 90 เฮิร์ตซ์มีค่ามากกว่า 150 เฮิร์ตซ์ซึ่งหมายความว่าอยู่ทางด้านซ้ายจากกึ่งกลางของสนามบิน ดังภาพที่ 4.25

ตารางที่ 4.5 ย่านความถี่ ILS ที่ใช้งานในสนามบินสุวรรณภูมิ

แวนร่อน	ความถี่	Channel
ILS.01R	110.10 MHz	CH.38X
	334.40 MHz	
ILS.01L	109.10 MHz	CH.28X
	331.40 MHz	
ILS.19R	109.50 MHz	CH.32X
	332.60 MHz	
ILS.19L	110.50 MHz	CH.42X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.26 ระบบวัดสัญญาณ ILS

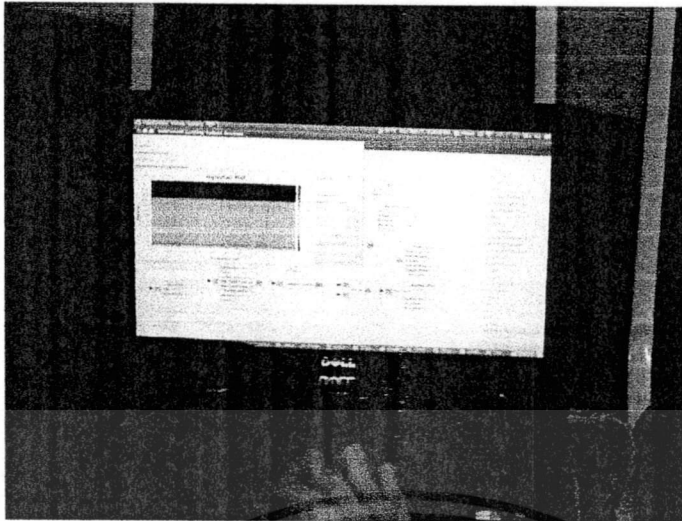
ระบบวัดสัญญาณ ILS ซึ่งประกอบด้วยสายอากาศไดโพล เครื่องสเปกตรัม อนุบาลเซอร์เครื่อง USRP และเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ดังภาพที่ 4.26



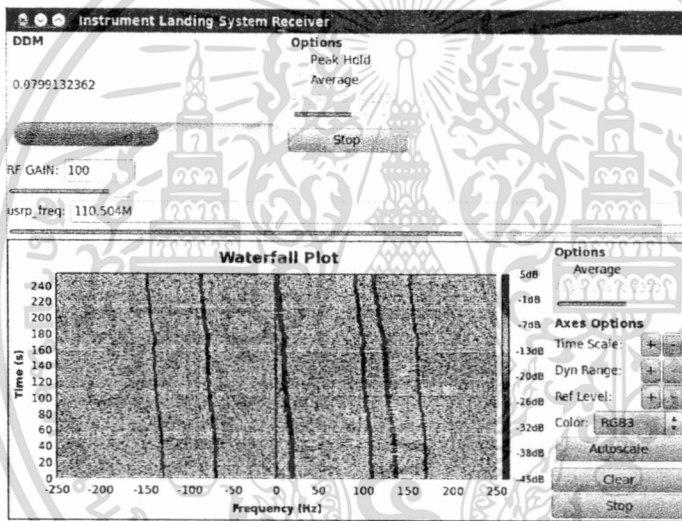
ภาพที่ 4.27 โปรแกรม GNU Radio และเครื่อง USRP

การโปรแกรมด้วย GNU Radio ไปยังเครื่อง USRP ซึ่งสามารถใช้toolboxมาต่อกันเป็นระบบ ซึ่งในแต่ละระบบจะใช้ความรู้ทางด้านดิจิตอลซิกเนลโพลเซสซึ่งมาช่วยในการกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบ ดังภาพที่ 4.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.28 การทดสอบรับสัญญาณ ILS



ภาพที่ 4.29 สัญญาณ ILS ที่รับได้ และหน้าต่างโปรแกรม GUI

รับสัญญาณ ILS เข้าสู่โปรแกรม GNU Radio โดยแสดงผลเป็นกราฟวอเตอร์ฟอลล์สามารถนำสัญญาณไปหาค่า DDM โดยผ่านระบบไบบิทที่ 3 ดังภาพที่ 4.28 จากภาพที่ 4.29 จะทราบว่าสัญญาณที่แสดงในกราฟวอเตอร์ฟอลล์นั้นจะมีสัญญาณคลื่นพาห่อย้ายมาอยู่ที่เบสแบนด์ สีแดง ซึ่งมีกำลังงานของสัญญาณอยู่ที่ 5 ถึง -1 เดซิเบล แล้วมีสัญญาณข่าวสารที่อยู่ในรูปแบบการมอดูเลตขั้นแบบแอมพลิจูด อยู่ที่ 90 เฮิรตซ์และ 150 เฮิรตซ์ตามลำดับ มีเส้นกราฟเป็นสีเขียวเป็นนอยส์ฟลอร์ ซึ่งมีกำลังของสัญญาณอยู่ที่ -13 ถึง -26 เดซิเบล ส่วนสัญญาณที่เกิดขึ้นระหว่างโทน 90 เฮิรตซ์ และ 150 เฮิรตซ์นั้น เป็นสัญญาณรบกวนที่เราไม่ต้องการ โดยสามารถนำไปผ่านวงจรกรองความถี่แบบแถบผ่าน เพื่อเอาเฉพาะสัญญาณส่วนที่ต้องการเท่านั้นได้ แล้วสามารถนำไปทำการคำนวณหาค่า DDM ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

ในส่วนของสายอากาศจะทำงานเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ 2 ส่วนคือ Spectrum Analyze และ USRP (Universal Software Radio Peripheral) โดยต่อกับ Spectrum Analyze เพื่อตรวจสอบสัญญาณที่มาจากสนามบินสุวรรณภูมิ จากการที่ได้ทดสอบสามารถรับสัญญาณที่ถูกส่งมาจากสนามบินสุวรรณภูมิได้จริง ทั้งในย่าน Localizer และ Glide Slope โปรแกรม GNU Radio เป็นฟรีแวร์ที่สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ USRP (Universal Software Radio Peripheral) สามารถรับสัญญาณ ILS จากสนามบินสุวรรณภูมิได้ มีหน้าต่างกราฟิกแสดงผลรหัสค่า DDM มีการวาดกราฟวอเทอร์พอร์ของสัญญาณที่รับได้สามารถเลือกได้ว่า จะรับสัญญาณ Localizer หรือ Glide Slope



บรรณานุกรม

- [1] bigihon. “ค่า Velocity Factor”. <http://fws.cc/cb245saraburi/index.php?topic=82.0>.
- [2] noname. “ค่า Velocity Factor ของท่ออะลูมิเนียมขนาดต่าง”. http://www.108ham.com/home/index.php?option=com_content&view=article&id=4:viocity-factor-&catid=17:2011-02-25-05-34-01&Itemid=48.
- [3] noname. “สูตรคำนวณ สายอากาศ Collinear Dipole 2 stacks”.
<http://www.hs3uka.com/antenna/collinear-dipole-2stack/#more-53>.
- [4] Hs3uka. “ DiPOLE รุ่น 2.0 for Windows”. <http://www.hs3uka.com/downloads/antenna-design/dipole-for-windows/>.
- [5] วิวัฒน์ กิรานนท์. วิศวกรรมการสื่อสาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: อักษรสยามการพิมพ์, 2546..
- [6] พรชัย ภาวรงค์ศักดิ์. การประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเบื้องต้น, 2000.
- [7] <http://www.aerostandard.com/images/DDMTables.pdf>
- [8] http://www.mathworks.com/academia/student_center/tutorials/signal-processing-tutorial-launchpad.html
- [9] http://en.wikipedia.org/wiki/Instrument_landing_system
- [10] <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki>
- [11] <http://www.oz9aec.net/index.php/gnu-radio>
- [12] http://www.csun.edu/~skatz/katzpage/sdr_project/sdrproject.html
- [13] นายเศรษฐวิทย์ภูฉายา. “การเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลของการสื่อสารระยะไกลสำหรับระบบขนส่งอัจฉริยะโดยใช้เทคนิคโมโม.” <http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/3763/2>
- [14] http://www.pilotfriend.com/training/flight_training/nav/ils.htm
- [15] <http://phlairline.com/aviationglossary.html>
- [16] <http://antennasystems.com/category/towers-glide-slope.html>
- [17] Constantine A. Balanis. Antenna Theory: Analysis and Design. 3rd Edition, 2005

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นายพรชัย ทรัพย์นिति

ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
Doctor of Philisophy	Electrical Engineering	Georgia Institute of Technology, USA	2002
Master of Science	Electrical Engineering	University of Southern California, USA	1997
Bachelor of Science	Electrical Engineering	University of Rochester, USA	1995

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ การออกแบบระบบการสื่อสารดิจิทัล

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

1. Y. Suppakhun, P. Supnithi, Y. Okamoto, Y. Nakamura and H. Osawa, "Performance Improvement System for Perpendicular Magnetic Recording with Thermal Asperity," *IEICE Transaction on Electronics, accepted, 2011.* (impact factor = 0.608)
2. S. Osaklang, A. Kaewrawang, A. Kruesubthaworn, V. Ungvichian, P. Supnithi and A. Siritaratiwat, "A Practical Crosstalk Reduction Technique Applied to High-Density Hard Disk Interconnecting Assembly Traces," *IEEE Transaction on Magnetics, accepted, 2011* (impact factor = 1.061).
3. K. Watthanasangmechai, P. Supnithi, S. Lerkvaranyu, T. Maruyama, "TEC prediction with neural network for Thailand equatorial latitude station," *Earth Planets Space, accepted, 2011.* (impact factor = 1.074)
4. W. Phakpisut, P. Supnithi, L. M.M. Myint and T. Sopon, "Serial schedulings for LDPC decoders and the performances in the bit patterned media systems with media noise," *IEEE Transaction on Magnetics, accepted, 2011,* (impact factor = 1.061)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. P. Supnithi, K. Bunsri, and M. Novid, "Improved Bit Error Rate from Head/Media Optimization in Perpendicular Magnetic Recording Systems, IEEE Transaction on Magnetics, *to appear*, July 2011, (impact factor = 1.061).
6. P. Kenpankho, P. Supnithi, T. Tsugawa and T. Maruyama, "Equatorial magnetic variation of ionospheric slab thickness observations at Chumphon, ", *Earth Planets Space, Accepted*, 2011. (impact factor = 1.074)
7. P. Supnithi, W. Phakpisut and W. Singhaudom, "Improved Iterative Processing to Combat Pseu-do Cycles in Perpendicular Magnetic Recording, " *IEICE on Fundamentals*, vol. E94-A, No.6, pp.1441-1448 , June 2011. (impact factor = 0.366)
8. C. Warisarn, P. Kovintavewat, and P. Supnithi, "Modified Per-Survivor Processing (MPSP) timing recovery for magnetic recording channels," *IEICE Transaction on Electronics*, vol. E94-C, No.3, pp.xxx, Mar. 2011. (impact factor = 0.535)
9. P. Kenpankho, P. Supnithi, T. Tsugawa and T. Maruyama, "Comparison of GPS TEC measurements with IRI TEC prediction at an equatorial latitude station, Chumphon, Thailand, " *Earth Planets Space*, vol. 63, pp. 365-370, 2011. (impact factor = 1.074)
10. N. Wichaipanich, P. Supnithi, M. Ishii and T. Maruyama, "Thailand low and equatorial F2-layer peak electron density and comparison with IRI-2007 model," *Earth Planets Space*, 2011. (impact factor = 1.074)

ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 1

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นายศรารุฒิ รุ่งเรืองวชิเอก.....

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	วิศวกรรมโทรคมนาคม	สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง	2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้