ระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายใน
บริเวณท่าอากาศยาน

OPERATIONAL RADIO WAVE MONITORING AND ANALYSIS SYSTEM
IN AIRPORT AREA

โดย

นางสาววรวลัญช์ เทียบศิริปกรณ์

นายวรวิช นามสมุทร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายใน
บริเวณท่าอากาศยาน

OPERATIONAL RADIO WAVE MONITORING AND ANALYSIS SYSTEM
IN AIRPORT AREA

โดย

นางสาววรวลัญช์	เทียบศิริปกรณ์	64010771
นายวรวิช	นามสมุทร	64010772

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ

ดร.จิรภูมิ บุตรโท

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2567

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน OPERATIONAL RADIO WAVE MONITORING AND ANALYSIS SYSTEM IN AIRPORT AREA

ผู้จัดทำ

1. นางสาววรวลัญช์ เทียบศิริปกรณ์ 64010771
2. นายวรวิช นามสมุทร 64010772

..... **อาจารย์ที่ปรึกษา**

(ศาสตราจารย์ ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ)

..... **อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม**

(ดร.จิรภูมิ บุตรโท)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินปริญญานิพนธ์เรื่อง “ระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน” ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา ทางผู้จัดทำต้องขอขอบคุณศาสตราจารย์ ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์นี้ และดร.จิรภูมิ บุตรโท อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการให้คำแนะนำ และชี้แนะแนวทางวิธีการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ระหว่างการดำเนินปริญญานิพนธ์ รวมถึงผู้จัดทำขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาเอก ปริญญาโท ที่คอยช่วยเหลือ และสนับสนุนเครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้การทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และถ่ายทอดประสบการณ์ต่าง ๆ ที่มีค่าให้แก่คณะผู้จัดทำ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบคุณบิดา มารดา และสมาชิกในครอบครัว ที่มอบโอกาสทางการศึกษา ให้ความช่วยเหลือเกื้อกูลในด้านต่าง ๆ รวมถึงทางผู้จัดทำขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาปริญญาตรี ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือแก่คณะผู้จัดทำเสมอมา

นางสาววรวลัญช์ เทียบศิริปกรณ์
นายวรวิช นามสมุทร
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน
OPERATIONAL RADIO WAVE MONITORING AND ANALYSIS SYSTEM IN AIRPORT AREA

โดย นางสาววรวลัญช์ เทียบศิริปกรณ์ 64010771
นายวรวิช นามสมุทร 64010772

อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.จิรภูมิ บุตรโท

บทคัดย่อ

ภายในท่าอากาศยานมีการใช้อุปกรณ์ในระบบการสื่อสารและระบบเครื่องช่วยเดินอากาศ ซึ่งถูกจัดสรรความถี่ในระหว่างการใช้งานโดยสหภาพ ITU แต่ทว่าในบริเวณดังกล่าวอาจมีความถี่ที่มีความผิดปกติหรือแปลกปลอมเกิดขึ้น เนื่องจากความตั้งใจหรือปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อนำเสนอระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน โดยอุปกรณ์จะตรวจสอบว่าย่านความถี่ใดบ้างที่ถูกใช้งานในบริเวณดังกล่าวผ่านเครื่องรับวิทยุกำหนดด้วยซอฟต์แวร์ พร้อมแสดงผลระดับกำลังของสัญญาณที่ตรวจจับได้ในช่วงเวลาต่าง ๆ เมื่ออุปกรณ์ที่ออกแบบนำข้อมูลของคลื่นวิทยุที่ได้จากการตรวจจับมาประมวลผลด้วยพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง จะทำการจัดเก็บข้อมูลเพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ค่าทางสถิติภายหลัง และนำเสนอข้อมูลที่จัดเก็บมาแสดงผลในเว็บเบราว์เซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

The International Telecommunication Union (ITU) allocates radio frequency for air navigation and communication systems when operating in airport areas. There is a possibility for unusual frequencies nearby, from both interference and natural phenomena. Therefore, this project presents the operational radio wave detection and analysis system for the Airport area. The device in this project continuously monitors the radio frequency and displays signal intensity using such as Software-defined radio (SDR). After processing the radio-frequency-related parameters, the device will display the output through a Web browser and store it for later statistical analysis.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญรูป VIII
สารบัญตาราง XV

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 คลื่นวิทยุจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารและระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ 3
2.2 ระบบช่วยการลงจอด 5
2.2.1 อุปกรณ์ภาคพื้นดินของระบบช่วยการลงจอด [4] 5
2.2.2 หลักการทำงานของระบบช่วยการลงจอด [4] 7
2.3 RTL-SDR BLOG V3 R860 RTL2832U 9
2.4 INTEL NUC 11ATKC4 10
2.5 สายนำสัญญาณ RG – 58C/U 11
2.6 สายอากาศ BROADBAND 108 – 350 MHZ 13
2.7 การจัดเก็บข้อมูลและรูปภาพ 14
2.8 ตัวกรองความถี่แบบดิจิตอล 14
2.8.1 ตัวกรองความถี่ที่มีการตอบสนองต่อสัญญาณอิมพัลส์มีความยาวจำกัด (FINITE IMPULSE RESPONSE FILTERS) [14] 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.8.2 ตัวกรองความถี่ที่มีการตอบสนองต่อสัญญาณอิมพัลส์มีความยาวไม่จำกัด (INFINITE IMPULSE RESPONSE FILTERS) [14] 15
2.9 อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน 16
2.10 สมการฮาเวอร์ไซน์ 16
2.11 สมการแบริ่ง 17
2.12 สภาพอวกาศที่มีผลกระทบต่อการสื่อสารวิทยุ 17
2.12.1 ปรากฏการณ์คลื่นวิทยุช่วงความยาวคลื่นสั้นขาดหายชั่วขณะจากการปะทุของเปลวสุริยะ 18
2.12.2 ปรากฏการณ์การรบกวนของชั้นไอออนออสเฟียร์ที่เคลื่อนที่ 19
2.12.3 ปรากฏการณ์ SPORADIC-E 20
2.13 ภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับการสร้างเว็บเบราว์เซอร์ 21
2.13.1 HTML (HYPERTEXT MARKUP LANGUAGE) [20] 21
2.13.2 CSS (CASCADING STYLE SHEET) [21] 22
2.13.3 PHP (PHP HYPERTEXT PREPROCESSOR) [22] 22
2.13.4 JAVASCRIPT [23] 23

บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์ 26
3.1 การออกแบบ 26
3.1.1 การออกแบบระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน 27
3.1.2 การออกแบบระบบการตรวจสอบสถานะการทำงานของระบบตรวจจับคลื่นวิทยุที่มีการใช้งานภายในท่าอากาศยาน 34
3.1.3 การออกแบบระบบจัดเก็บข้อมูล 36
3.1.4 การออกแบบเว็บเบราว์เซอร์ในการแสดงผล 39
3.1.5 การออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยาน 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 48
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง 49
3.3.1 การทดสอบคุณสมบัติสายอากาศ BROADBAND 108 – 350 MHZ 49
3.3.2 การทดสอบระบบต่าง ๆ ที่ทำการออกแบบไว้เพื่อนำไปปรับปรุงระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน 49
3.3.3 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังสัญญาณและทิศทางสายอากาศที่ใช้ในการรับคลื่นวิทยุ VHF ช่วงความถี่ 108 - 118 MHZ 54
3.3.4 การทดสอบการรับคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน 56
3.3.5 การทดสอบการทำงานระบบตรวจสอบสถานะการทำงานของระบบตรวจจับคลื่นวิทยุที่มีการใช้งานภายในท่าอากาศยาน 58
3.3.6 การทดสอบการทำงานระบบจัดเก็บข้อมูลภายในไฟล์เซิร์ฟเวอร์ 58
3.3.7 การทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน 58

บทที่ 4 ผลการทดลอง 60
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติสายอากาศ BROADBAND 108 – 350 MHZ 60
4.1.1 ผลการทดสอบวัดค่า S11 (SCATTERING PARAMETER 11) 60
4.1.2 ผลการทดสอบวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR) 62
4.2 ผลการทดสอบระบบต่าง ๆ ที่ทำการออกแบบไว้เพื่อนำไปปรับปรุงระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน 63
4.2.1 การทดลองเปรียบเทียบการรับสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ โดยโปรแกรมกับเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม 63
4.2.2 การทดสอบรับค่าข้อมูลของคลื่นวิทยุของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.3 การทดลองปรับค่ากำลังขยายและค่าอัตราการสุ่มตัวอย่างในการรับคลื่นวิทยุ....68
4.2.4 การทดลองประมวลผลสัญญาณด้วยตัวกรองความถี่สูงผ่านประเภท IIR และ FIR....70
4.3 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังสัญญาณและทิศทางสายอากาศที่ใช้ในการรับคลื่นวิทยุ VHF ช่วงความถี่ 108 - 118 MHZ....77
4.4 ผลการทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน....79
4.4.1 ผลการทดสอบการทำงานระบบรับคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน....79
4.4.2 ผลการทดสอบการทำงานระบบตรวจจับคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน....82
4.4.3 ผลการทดสอบการทำงานระบบที่ใช้พล็อตสเปกโตรแกรม....93
4.5 ผลการทดสอบการทำงานระบบตรวจสอบสถานะการทำงานของระบบตรวจจับคลื่นวิทยุที่มีการใช้งานภายในท่าอากาศยาน....97
4.6 ผลการทดสอบการทดสอบการทำงานระบบจัดเก็บข้อมูลภายในไฟล์เซิร์ฟเวอร์....98
4.7 ผลการทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน....99
4.7.1 เว็บเบราว์เซอร์ที่ใช้ในการแสดงผลของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยาน....99
4.7.2 การแก้ไขปัญหาการทำงานของเว็บเบราว์เซอร์ผ่านผู้ใช้งานจริง....101
4.7.3 การทดสอบการทำงานของเว็บเบราว์เซอร์ร่วมกับระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน....102
4.7.4 การเปรียบเทียบระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยานกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ **112**

บรรณานุกรม **114**

ภาคผนวก ก **119**

ภาคผนวก ข **150**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

รูปที่ 2.1 สายอากาศของระบบส่งสัญญาณทิศทางที่ติดตั้งที่ภาคพื้นดิน [4] 6
รูปที่ 2.2 ระบบส่งสัญญาณมุมลงที่ติดตั้งที่ภาคพื้นดิน [4] 6
รูปที่ 2.3 สเปกตรัมของสัญญาณที่ระบบช่วยการลงจอดส่งไปยังเครื่องรับสัญญาณบนอากาศยาน ... 7
รูปที่ 2.4 ขอบเขตการใช้งานของระบบส่งสัญญาณทิศทางตามความกว้างของลำคลื่น [4] 8
รูปที่ 2.5 ขอบเขตการใช้งานของระบบส่งสัญญาณทิศทางตามความกว้างของลำคลื่น [4] 9
รูปที่ 2.6 RTL-SDR BLOG V3 R860 RTL2832U [7] 9
รูปที่ 2.7 INTEL NUC 11ATKC4 [8] 10
รูปที่ 2.8 สายนำสัญญาณ RG – 58C/U 12
รูปที่ 2.9 สายอากาศ BROADBAND 108 – 350 MHZ 13
รูปที่ 2.10 การเกิดชั้น ES ที่ส่งผลกระทบต่อคลื่นวิทยุ VHF [19] 20
รูปที่ 2.11 โครงสร้างไฟล์ HTML 21
รูปที่ 2.12 โครงสร้างไฟล์ CSS 22
รูปที่ 2.13 โครงสร้างไฟล์ PHP 23
รูปที่ 2.14 โครงสร้างไฟล์ JAVASCRIPT (1) 24
รูปที่ 2.15 โครงสร้างไฟล์ JAVASCRIPT (2) 24
รูปที่ 2.16 โครงสร้างไฟล์ JAVASCRIPT (3) 24
รูปที่ 2.17 โครงสร้างไฟล์ JAVASCRIPT (4) 24
รูปที่ 2.18 โครงสร้างไฟล์ JAVASCRIPT (5) 25
รูปที่ 2.19 โครงสร้างไฟล์ JAVASCRIPT (6) 25
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุ ที่ใช้งานภายในท่าอากาศยาน 26
รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของระบบตรวจจับคลื่นวิทยุมีการใช้งาน ภายในท่าอากาศยาน 27
รูปที่ 3.3 แผนผังการทำงานของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุ ที่มีการใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

รูปที่ 3.4 รูปแบบข้อมูลที่ถูกบันทึกลงในไฟล์บันทึกสถานะการทำงาน ของสัญญาณช่วยการลงจอดที่ความถี่ต่าง ๆ 32
รูปที่ 3.5 แผนผังการทำงานของระบบพล็อตสเปกโตรแกรม 33
รูปที่ 3.6 แผนผังการทำงานของระบบตรวจสอบสถานะการทำงานของระบบ 35
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการทำงานระบบจัดเก็บข้อมูล 36
รูปที่ 3.8 โฟลเดอร์ “VHF2023” บนหน้าต่างไฟล์เซิร์ฟเวอร์ 36
รูปที่ 3.9 โฟลเดอร์ย่อยในโฟลเดอร์ “VHF2023” บนหน้าต่างไฟล์เซิร์ฟเวอร์ 37
รูปที่ 3.10 โฟลเดอร์ย่อยภายในโฟลเดอร์ DATA 37
รูปที่ 3.11 โฟลเดอร์ PSD_CSV ที่เก็บข้อมูลความถี่และกำลังสัญญาณในรูปแบบไฟล์ .CSV 38
รูปที่ 3.12 โฟลเดอร์ PSD_SPECTROGRAM ที่เก็บรูปภาพสเปกตรัมในรูปแบบไฟล์ PNG 38
รูปที่ 3.13 การออกแบบส่วนหัวของเว็บเบราว์เซอร์ 39
รูปที่ 3.14 การออกแบบส่วนของการแสดงผลกราฟสเปกโตรแกรม และกราฟไอโอโนแกรมของเว็บเบราว์เซอร์ 40
รูปที่ 3.15 การออกแบบส่วน ABOUT US ของหน้าเว็บเบราว์เซอร์ 41
รูปที่ 3.16 การออกแบบโครงร่างเว็บเบราว์เซอร์ของระบบแสดงผล 42
รูปที่ 3.17 แผนผังการทำงานระบบแสดงผลสถานะการใช้งานของคลื่นวิทยุ 43
รูปที่ 3.18 แผนผังการทำงานระบบแสดงผลสถานะการทำงานของระบบ 44
รูปที่ 3.19 แผนผังการทำงานระบบข้อมูลความผิดปกติของคลื่นวิทยุของระบบ 45
รูปที่ 3.20 แผนผังการทำงานระบบแสดงสเปกโตรแกรม 46
รูปที่ 3.21 สายอากาศ BROADBAND 108-350 MHZ ที่ติดตั้ง ณ ดาดฟ้า ตึก 12 ชั้น 47
รูปที่ 3.22 การเชื่อมต่อสายนำสัญญาณ RG-58 เข้าไปที่ SDR DONGLE ที่ต่อกับ INTEL NUC 11ATKC4 ที่ติดตั้งภายในห้องแล็ปบนดาดฟ้า 47
รูปที่ 3.23 การเชื่อมต่อเข้ากับเซิร์ฟเวอร์ของห้องแล็ป CSSRG 48
รูปที่ 3.24 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทำการทดลอง 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

รูปที่ 3.25 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ DIRECT CONVERSION ของ SDR [25] 51
รูปที่ 3.26 DC SPIKE ที่เกิดจาก LO LEAKAGE ณ ความถี่ศูนย์กลาง 110.024 MHZ และ 111.048 MHZ 51
รูปที่ 3.27 ตัวอย่างข้อมูล I และ Q ของคลื่นวิทยุที่ใช้ในการประมวลผลด้วย HPF 52
รูปที่ 3.28 แผนผังแสดงกระบวนการการทดลองประมวลผลคลื่นวิทยุด้วย ตัวกรองความถี่สูง ประเภท IIR และ FIR 53
รูปที่ 3.29 สายอากาศ BROADBAND 108 - 350 MHZ แบบ VERTICAL/HORIZONTAL POLARIZED ที่ใช้ในการทดลอง 55
รูปที่ 3.30 การวัดและปรับมุมที่ใช้ในการปรับทิศทางของสายอากาศ 56
รูปที่ 3.31 เครื่องกำเนิดสัญญาณที่สร้างสัญญาณแอมพลิจูดมอดูเลชันที่ความถี่ 110.70 MHZ 57
รูปที่ 4.1 ค่า S11 ของช่วงความถี่ที่สายอากาศสามารถรับสัญญาณได้ 60
รูปที่ 4.2 ค่า S11 ณ ความถี่ที่ต้องการใช้งาน 61
รูปที่ 4.3 ค่า SWR ณ ความถี่ที่ต้องการใช้งาน 62
รูปที่ 4.4 สเปกตรัมของสัญญาณที่ได้จากการรับสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ เมื่อส่งสัญญาณที่ความถี่ 109.10 MHZ 64
รูปที่ 4.5 สเปกตรัมของสัญญาณที่ได้จากการรับสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ เมื่อส่งสัญญาณที่ความถี่ 109.50 MHZ 64
รูปที่ 4.6 สเปกตรัมของสัญญาณที่ได้จากการรับสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ เมื่อส่งสัญญาณที่ความถี่ 110.10 MHZ 64
รูปที่ 4.7 สเปกตรัมของสัญญาณที่ได้จากการรับสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ เมื่อส่งสัญญาณที่ความถี่ 110.50 MHZ 65
รูปที่ 4.8 ตัวอย่างค่าข้อมูล I (IN-PHASE) และ Q (QUADRATURE) ของคลื่นวิทยุ 66
รูปที่ 4.9 สเปกตรัมของคลื่นวิทยุจากการรับคลื่นวิทยุที่กำหนดความถี่ศูนย์กลาง ณ ความถี่ 121.1 MHZ 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

รูปที่ 4.10 สเปกตรัมของคลื่นวิทยุจากการรับคลื่นวิทยุที่กำหนดความถี่ศูนย์กลาง ณ ความถี่ 133.4 MHZ 67
รูปที่ 4.11 สเปกตรัมของคลื่นวิทยุจากการรับคลื่นวิทยุที่กำหนดความถี่ศูนย์กลาง ณ ความถี่ 133.6 MHZ 67
รูปที่ 4.12 สเปกตรัมของคลื่นวิทยุจากการรับคลื่นวิทยุที่กำหนดความถี่ศูนย์กลาง ณ ความถี่ 133.8 MHZ 67
รูปที่ 4.13 สเปกตรัมของคลื่นวิทยุจากการรับคลื่นวิทยุที่กำหนดความถี่ศูนย์กลาง ใกล้เคียงกับความถี่ที่มีการใช้งานจริง 68
รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบสเปกตรัมของคลื่นวิทยุจากการรับคลื่นวิทยุที่กำหนดความถี่ศูนย์กลาง ณ ความถี่ 109.5 MHZ เมื่อทำการกำหนดค่ากำลังขยายต่างกัน 69
รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบสเปกตรัมของคลื่นวิทยุจากการรับคลื่นวิทยุที่กำหนดความถี่ศูนย์กลาง ณ ความถี่ 109.5 MHZ เมื่อทำการกำหนดค่าอัตราการสุ่มต่างกัน 70
รูปที่ 4.16 ตัวอย่างค่า IN-PHASE ของคลื่นวิทยุ VHF ณ ความถี่ศูนย์กลาง 110.024 MHZ 71
รูปที่ 4.17 ตัวอย่างค่า QUADRATURE ของคลื่นวิทยุ VHF ณ ความถี่ศูนย์กลาง 110.024 MHZ. 71
รูปที่ 4.18 ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังช่วงความถี่ 109-112 MHZ ที่มี DC SPIKE ณ ความถี่ศูนย์กลาง 110.024 และ 111.048 MHZ ตามลำดับ 72
รูปที่ 4.19 การตอบสนองความถี่ของตัวกรองประเภท IIR ที่ลำดับต่าง ๆ 73
รูปที่ 4.20 การเปรียบเทียบสเปกตรัมระหว่างการใช้ตัวกรองประเภท IIR ที่ลำดับของวงจรต่างกัน 73
รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบผลตอบสนองความถี่ของตัวกรองความถี่สูงผ่าน ประเภท FIR ที่จำนวน TAPS ต่างกัน 74
รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบสเปกตรัมระหว่างการใช้ตัวกรองประเภท FIR ที่จำนวน TAPS ของตัวกรองต่างกัน ณ ช่วงความถี่ 109-112 MHZ 75
รูปที่ 4.23 เวลาที่ใช้ในการประมวลระหว่างตัวกรองความถี่สูงผ่านประเภท FIR และ IIR ตามลำดับ 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

รูปที่ 4.24 การเปรียบเทียบผลลัพธ์สเปกตรัมช่วงความถี่ 109-112 MHZ ระหว่างสัญญาณก่อนกรองและหลังกรองด้วยตัวกรองความถี่สูงผ่านประเภท FIR และ IIR ตามลำดับ.....76
รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบผลลัพธ์สเปกตรัมช่วงความถี่ 262-276 MHZ ระหว่าง สัญญาณก่อนกรองและหลังกรองด้วยตัวกรองความถี่สูงผ่านประเภท IIR.....77
รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบผลลัพธ์สเปกตรัมช่วงความถี่ 329.5-334.5 MHZ ระหว่าง สัญญาณก่อนกรองและหลังกรองด้วยตัวกรองความถี่สูงผ่านประเภท IIR.....77
รูปที่ 4.27 ค่ากำลังของสัญญาณ ILS ที่ทิศทางของสายอากาศที่ 0 องศาถึง 360 องศา เทียบจากท่าอากาศยาน.....78
รูปที่ 4.28 ตัวอย่างข้อมูลที่ถูกบันทึกภายในไฟล์ .CSV ของข้อมูลความถี่ช่วง 108-118 MHZ.....79
รูปที่ 4.29 สเปกตรัมช่วงความถี่ 109-112 MHZ ณ วันที่ 6 กันยายน 2567 เวลา 02.20 น.....80
รูปที่ 4.30 สเปกตรัมช่วงความถี่ 118-134 MHZ ณ วันที่ 6 กันยายน 2567 เวลา 02.20 น.....81
รูปที่ 4.31 สเปกตรัมช่วงความถี่ 329.5-334 MHZ ณ วันที่ 6 กันยายน 2567 เวลา 02.20 น.....81
รูปที่ 4.32 การทำงานในส่วนของการจำแนกประเภทสัญญาณช่วยการลงจอด ของระบบตรวจจับคลื่นวิทยุ.....82
รูปที่ 4.33 การทำงานในส่วนของการจำแนกประเภทสัญญาณรบกวน ของระบบตรวจจับคลื่นวิทยุ.....83
รูปที่ 4.34 การทำงานในส่วนของการตรวจจับความผิดปกติของระบบตรวจจับคลื่นวิทยุในสถานการณ์ที่ไม่มีความผิดปกติเกิดขึ้น.....83
รูปที่ 4.35 สัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHZ ที่ระบบตรวจจับได้ ณ เวลา 16.16 น.....84
รูปที่ 4.36 ข้อมูลและสถานะของสัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHZ เมื่อทำการส่งสัญญาณ ณ เวลา 16.16 น. 84
รูปที่ 4.37 ข้อมูลและสถานะของสัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHZ หลังจากทำการหยุดส่งสัญญาณ ณ เวลา 16.17 น. 85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

รูปที่ 4.38 ผลการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากการหายไปของสัญญาณ ช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHZ ณ เวลา 16.19 น. 85
รูปที่ 4.39 สเปกตรัมช่วงความถี่ 108 - 118 MHZ ที่พบความผิดปกติที่สัญญาณ ช่วยการลงจอดจำลองความถี่ 110.7 MHZ ณ เวลา 16.19 น. 85
รูปที่ 4.40 สัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHZ ที่ระบบตรวจจับได้ ณ เวลา 16.23 น. 86
รูปที่ 4.41 ข้อมูลและสถานะของสัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHZ เมื่อทำการส่งสัญญาณ ณ เวลา 16.23 น. 86
รูปที่ 4.42 ข้อมูลและสถานะของสัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHZ หลังจากทำการหยุดส่งสัญญาณ ณ เวลา 16.24 น. 86
รูปที่ 4.43 ผลการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากการหายไปของ สัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHZ ณ เวลา 16.28 น. 86
รูปที่ 4.44 สเปกตรัมช่วงความถี่ 108 - 118 MHZ ที่พบความผิดปกติที่สัญญาณ ช่วยการลงจอดจำลองความถี่ 110.7 MHZ ณ เวลา 16.28 น. 87
รูปที่ 4.45 สัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHZ ที่ระบบตรวจจับได้ ณ เวลา 16.34 น. 87
รูปที่ 4.46 ข้อมูลและสถานะของสัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHZ เมื่อทำการส่งสัญญาณ ณ เวลา 16.34 น. 87
รูปที่ 4.47 ข้อมูลและสถานะของสัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHZ หลังจากทำการหยุดส่งสัญญาณ ณ เวลา 16.35 น. 88
รูปที่ 4.48 ผลการตรวจจับสัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHZ ณ เวลา 16.41 น. (ไม่มีความผิดปกติเกิดขึ้น) 88
รูปที่ 4.49 เครื่องกำเนิดสัญญาณที่ใช้ส่งสัญญาณที่ความถี่นอกเหนือ จากความถี่ของสัญญาณช่วยการลงจอด 89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

รูปที่ 4.50 ผลการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากสัญญาณที่ไม่ได้ถูกใช้งาน ในระบบช่วยการลงจอดที่ความถี่ 110.7 MHZ ณ เวลา 15.26 น. 90
รูปที่ 4.51 สเปกตรัมช่วงความถี่ 108 - 118 MHZ ที่พบความผิดปกติที่ สัญญาณความถี่ 110.7 MHZ ณ เวลา 15.26 น. 90
รูปที่ 4.52 ผลการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากสัญญาณที่ไม่ได้ถูกใช้งาน ในระบบช่วยการลงจอดที่ความถี่ 109.3 MHZ ณ เวลา 15.31 น. 90
รูปที่ 4.53 สเปกตรัมช่วงความถี่ 108 - 118 MHZ ที่พบความผิดปกติที่ สัญญาณความถี่ 109.3 MHZ ณ เวลา 15.31 น. 91
รูปที่ 4.54 ผลการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากการจำลอง ปรากฏการณ์ธรรมชาติ SPORADIC E ณ เวลา 1.46 น. 91
รูปที่ 4.55 สเปกตรัมช่วงความถี่ 108 - 118 MHZ ที่พบความผิดปกติที่เกิดขึ้น จากการจำลองปรากฏการณ์ธรรมชาติ SPORADIC E ณ เวลา 1.46 น. 92
รูปที่ 4.56 การเก็บรูปกราฟสเปกโตรแกรมของข้อมูลความถี่ช่วง 109-112 MHZ ที่ถูกบันทึกภายในไฟล์เซิร์ฟเวอร์ 93
รูปที่ 4.57 ตัวอย่างรูปกราฟสเปกโตรแกรมของข้อมูลความถี่ในช่วง 109-112 MHZ 94
รูปที่ 4.58 การเก็บรูปกราฟสเปกโตรแกรมของข้อมูลความถี่ช่วง 118-134 MHZ ที่ถูกบันทึกภายในไฟล์เซิร์ฟเวอร์ 94
รูปที่ 4.59 ตัวอย่างรูปกราฟสเปกโตรแกรมของข้อมูลความถี่ในช่วง 118-134 MHZ 95
รูปที่ 4.60 การเก็บรูปกราฟสเปกโตรแกรมของข้อมูลความถี่ช่วง 262-276 MHZ ที่ถูกบันทึกภายในไฟล์เซิร์ฟเวอร์ 95
รูปที่ 4.61 ตัวอย่างรูปกราฟสเปกโตรแกรมของข้อมูลความถี่ในช่วง 262-276 MHZ 96
รูปที่ 4.62 การเก็บรูปกราฟสเปกโตรแกรมของข้อมูลความถี่ช่วง 329-334 MHZ ที่ถูกบันทึกภายในไฟล์เซิร์ฟเวอร์ 96
รูปที่ 4.63 ตัวอย่างรูปกราฟสเปกโตรแกรมของข้อมูลความถี่ในช่วง 329-334 MHZ 97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

รูปที่ 4.64 กรณีที่ระบบสามารถทำงานได้ปกติ 97
รูปที่ 4.65 กรณีที่คอมพิวเตอร์ดับหรือไม่สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายได้ 98
รูปที่ 4.66 กรณีที่อุปกรณ์ SDR ไม่สามารถใช้งานได้ 98
รูปที่ 4.67 ตัวอย่างข้อมูลที่ถูกจัดเก็บในไฟล์เซิร์ฟเวอร์ของโฟลเดอร์ PSD_SPECTROGRAM 98
รูปที่ 4.68 ตัวอย่างข้อมูลที่ถูกจัดเก็บในไฟล์เซิร์ฟเวอร์ของโฟลเดอร์ PSD_CSV 99
รูปที่ 4.69 ส่วนหัวของเว็บเบราว์เซอร์ที่ได้จากการเขียนโปรแกรม 99
รูปที่ 4.70 ส่วนแสดงสถานะการใช้งานต่าง ๆ ของเว็บเบราว์เซอร์ที่ได้จากการเขียนโปรแกรม 100
รูปที่ 4.71 ส่วนแสดงผลสเปกโตรแกรม 100
รูปที่ 4.72 ส่วน ABOUT US ของหน้าเว็บเบราว์เซอร์ 101
รูปที่ 4.73 หน้าเว็บเบราว์เซอร์ที่ปรับปรุงตามความต้องการของผู้ใช้งาน 101
รูปที่ 4.74 หน้าเว็บเบราว์เซอร์ที่แสดงต่อผู้ใช้งาน 102
รูปที่ 4.75 หน้าเว็บเบราว์เซอร์ที่แสดงต่อผู้ใช้งานกรณีไม่มีการใช้งานสัญญาณช่วยการลงจอดและไม่มีเหตุการณ์ความผิดปกติเกิดขึ้น 103
รูปที่ 4.76 หน้าเว็บเบราว์เซอร์ที่แสดงต่อผู้ใช้งานกรณีมีการใช้งานสัญญาณช่วยการลงจอดและไม่มีเหตุการณ์ความผิดปกติเกิดขึ้น 104
รูปที่ 4.77 หน้าเว็บเบราว์เซอร์ที่แสดงต่อผู้ใช้งานกรณีไม่มีการใช้งานสัญญาณช่วยการลงจอดแต่ มีเหตุการณ์ความผิดปกติเกิดขึ้น 105
รูปที่ 4.78 หน้าเว็บเบราว์เซอร์ที่แสดงต่อผู้ใช้งานกรณีมีการใช้งานสัญญาณช่วยการลงจอดและมีเหตุการณ์ความผิดปกติเกิดขึ้น 106
รูปที่ 4.79 หน้าเว็บเบราว์เซอร์ที่แสดงต่อผู้ใช้งานกรณีมีการใช้งานสัญญาณช่วยการลงจอดและมีเหตุการณ์ความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากสัญญาณช่วยการลงจอด (ANOMALY A) เกิดขึ้น 106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

รูปที่ 4.80 หน้าเว็บเบราว์เซอร์ที่แสดงต่อผู้ใช้งานกรณีมีการใช้งานสัญญาณช่วยการลงจอดและมีเหตุการณ์ความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากสัญญาณที่ไม่ได้ถูกใช้งานใน ระบบช่วยการลงจอด (ANOMALY B) เกิดขึ้น 107
รูปที่ 4.81 ผลการเปรียบเทียบกราฟสเปกโตรแกรมของงานวิจัยก่อนหน้ากับปริญญานิพนธ์นี้.....108
รูปที่ 4.82 หน้าเว็บเบราว์เซอร์แสดงผลของงานวิจัยก่อนหน้า [1] 110
รูปที่ 4.83 เว็บเบราว์เซอร์แสดงผลของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งาน ภายในบริเวณท่าอากาศยานในปริญญานิพนธ์นี้ 111
รูปที่ 1 ส่วนของการตั้งค่าเส้นทางและพารามิเตอร์ภายในโปรแกรม SCAN_VHF.PY 152
รูปที่ 2 ส่วนของการตั้งค่าเส้นทางและพารามิเตอร์ภายในโปรแกรม CONSTANT_NOISE.PY 152
รูปที่ 3 ส่วนของการตั้งค่าเส้นทางและพารามิเตอร์ภายในโปรแกรม ILS_MONITOR.PY.....153
รูปที่ 4 ส่วนของการตั้งค่าเส้นทางและพารามิเตอร์ภายในโปรแกรม ANOMALY_DETECT.PY....153
รูปที่ 5 การกำหนดเวลาในการทำงานของโปรแกรมผ่าน CRON JOBS 154
รูปที่ 6 หน้าเว็บเบราว์เซอร์ที่แสดงต่อผู้ใช้งาน.....154
รูปที่ 7 กล่องตัวเลือกในการเลือกวันที่ที่ต้องการ และปุ่ม SUBMIT 155
รูปที่ 8 กราฟแสดงที่จะแสดงขึ้นเมื่อผู้ใช้งานเลือกวันที่ที่ต้องการเรียกดูกราฟสเปกโตรแกรมวันที่ย้อนหลัง.....156

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1 ความถี่ที่ใช้งานในระบบการสื่อสารและระบบ เครื่องช่วยเดินอากาศที่ใช้ในท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ 3
2.2 คุณสมบัติของอุปกรณ์ RTL-SDR BLOG V3 R860 RTL2832U 10
2.3 คุณสมบัติของอุปกรณ์ INTEL NUC 11ATKC4 [8], [9] 11
2.4 คุณสมบัติของสายนำสัญญาณ RG – 58C/U [11] 12
2.5 ค่าการลดทอนของสัญญาณของสายนำสัญญาณประเภท RG – 58 [12] 12
2.6 คุณสมบัติของสายอากาศ BROADBAND 108 – 350 MHZ 13
4.1 ค่า S11 เมื่อทำการวัด ณ ความถี่ที่ต้องการใช้งานและ ช่วงความถี่ที่สายอากาศสามารถรับสัญญาณได้ 61
4.2 ค่า SWR เมื่อทำการวัด ณ ความถี่ที่ต้องการใช้งาน 62
4.3 เปรียบเทียบความถี่ที่ส่งกับความถี่ที่รับได้จริง จากเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมและโปรแกรมไพธอน 65
4.4 ผลการตรวจจับความผิดปกติของการหายไปชั่วคราวของสัญญาณช่วยการลงจอด 84
4.5 ผลการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากสัญญาณที่ไม่ได้ถูก ใช้งานในระบบช่วยการลงจอด 92
4.6 การเปรียบเทียบการแสดงผลบนเว็บเบราว์เซอร์ใน งานวิจัยก่อนหน้าและปริญญานิพนธ์นี้ 109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสื่อสารและระบบช่วยการเดินอากาศมีความสำคัญและจำเป็นอย่างมากต่อการเดินทางทางอากาศ ตั้งแต่เริ่มทำการบินจนถึงท่าอากาศยานปลายทาง เพื่อให้การเดินทางไปถึงจุดหมายปลายทางมีความสะดวก รวดเร็วและปลอดภัยมากที่สุด โดยการสื่อสารระหว่างภาคพื้นดินกับอากาศยานจะใช้การส่งคลื่นวิทยุในย่านความถี่ VHF และ UHF ในการสื่อสารกัน ซึ่งเป็นความถี่ที่สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) เป็นผู้กำหนดย่านของความถี่สำหรับการควบคุมจราจรทางอากาศแบบสากล และองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (ICAO) เป็นผู้กำหนดความถี่ให้กับแต่ละท่าอากาศยานใช้งาน โดยใช้ความถี่ไม่ซ้ำกัน เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการสื่อสารระหว่างภาคพื้นดินกับอากาศยานในการแจ้งให้นักบินทราบถึงข้อมูลต่าง ๆ ระหว่างการเดินทาง อีกทั้งยังมีระบบช่วยการเดินอากาศตามมาตรฐานขององค์การ ICAO อาทิเช่น ระบบ Instrumentation Landing System (ILS) ระบบ VHF Omnidirectional Range (VOR) เป็นต้น ซึ่งใช้คลื่นวิทยุในการสื่อสารเช่นเดียวกัน ดังนั้นคลื่นวิทยุมีความสำคัญมากต่อการทำการบินเพราะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นอย่างมากในการทำการบินในแต่ละครั้ง หากมีสัญญาณรบกวนหรือสัญญาณแปลกปลอมที่ไม่เกี่ยวข้องเข้ามาระหว่างการเดินทางจะทำให้เกิดความเสี่ยงสูงต่อการเกิดอุบัติเหตุที่ไม่คาดคิดและไม่ควรเกิดขึ้น และจากงานวิจัยที่ทางผู้จัดทำได้มีการศึกษาเพิ่มเติม [1], [2] การเปลี่ยนแปลงของสภาพอวกาศส่งผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของโลกจนเกิดเป็นปรากฏการณ์ต่าง ๆ อาทิเช่น ปรากฏการณ์ Sporadic-E ที่สามารถสะท้อนคลื่นวิทยุจากตำแหน่งหนึ่งไปยังตำแหน่งใด ๆ ซึ่งรบกวนการสื่อสารของคลื่นวิทยุที่ใช้งาน ณ ตำแหน่งนั้นได้ อีกทั้งระบบตรวจสอบสถานะการใช้งานของคลื่นวิทยุเหล่านี้ในปัจจุบันมีต้นทุนค่อนข้างสูง ด้วยเหตุนี้ทางคณะผู้จัดทำเล็งเห็นถึงความสำคัญของเรื่องนี้ จึงได้ออกแบบระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน เนื่องจากต้องการที่จะตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุว่ามีสถานะการใช้งานผิดปกติหรือเป็นคลื่นวิทยุแปลกปลอมหรือไม่ แล้วจัดเก็บเป็นข้อมูลเพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ค่าทางสถิติในภายหลัง และมีระบบแสดงผลสถานะการใช้งานของคลื่นวิทยุแก่ผู้ใช้งาน อีกทั้งอุปกรณ์ที่ใช้งานภายในระบบมีต้นทุนต่ำเพื่อลดต้นทุนในการทำระบบตรวจจับและวิเคราะห์การใช้งานของคลื่นวิทยุอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาวิธีการตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน

2) เพื่อศึกษาปรากฏการณ์ Sporadic-E Propagation ที่เกิดขึ้นบนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

3) เพื่อวิเคราะห์และตรวจสอบคลื่นวิทยุที่ผิดปกติหรือแปลกปลอมเข้ามาภายในบริเวณท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1) ออกแบบสถานีเพื่อการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลจากระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน

2) รับสัญญาณย่านความถี่ VHF ที่ถูกใช้งานในบริเวณท่าอากาศยานสุวรรณภูมิผ่าน Software - defined Radio เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการใช้งานอาทิเช่น ILS LOC เป็นต้น

3) สร้างซอฟท์แวร์ในการตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับปริญญานิพนธ์เรื่อง “ระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน” ประกอบด้วยหลักการที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 คลื่นวิทยุจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารและระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ

สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union : ITU) ได้มีการกำหนดย่านของความถี่สำหรับการควบคุมจราจรทางอากาศแบบสากลและองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (International Civil Aviation Organization : ICAO) มีส่วนในการกำหนดมาตรฐาน ข้อกำหนดและรายละเอียดของการใช้ความถี่ในแต่ละหมวดหมู่ โดยจะมีตั้งแต่ช่วงความถี่สูงมาก (Very High Frequency : VHF) ที่ 108 – 137 MHz สำหรับการสื่อสารทางอากาศระหว่างผู้บังคับอากาศยานกับผู้คุมจราจรทางอากาศ และระบบเครื่องช่วยเดินอากาศ อาทิเช่น ILS Localizer VOR และ DME ซึ่งทั้งนี้ยังมีการใช้ความถี่ประมาณช่วง 75 MHz สำหรับ marker beacon และช่วงความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency : UHF) ที่ประมาณ 329.15 – 335 MHz ใช้สำหรับ Glide path แสดงดังตารางที่ 2.1

โดยในการพิจารณาช่วงความถี่คลื่นวิทยุที่ใช้งานบริเวณท่าอากาศยานสุวรรณภูมิจะพิจารณาในช่วงความถี่ที่ 108 – 335 MHz เมื่ออ้างอิงตามตารางในส่วนของ ATS communication facilities และ Radio Navigation and Landing aids [3]

ตารางที่ 2.1 ความถี่ที่ใช้งานในระบบการสื่อสารและระบบเครื่องช่วยเดินอากาศที่ใช้ในท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

ระบบการสื่อสารทางอากาศ/ระบบเครื่องช่วยเดินอากาศ	ความถี่ที่ใช้งาน (MHz)
Approach Control Service (Bangkok Approach)	122.35 / 262.5 124.35 / 262.5 125.2 / 262.5 133.4 / 262.5 119.1 / 262.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงความถี่ที่ใช้งานในระบบการสื่อสารและระบบ
เครื่องช่วยเดินอากาศที่ใช้ในท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ต่อ)

ระบบการสื่อสารทางอากาศ/ ระบบเครื่องช่วยเดินอากาศ	**ความถี่ที่ใช้งาน (MHz)**
Approach Control Service (Bangkok Approach)	120.3 / 262.5 125.8
Approach Control Service (Suvarnabhumi Departure)	119.25 / 262.5 121.5 / 243.0 (กรณีฉุกเฉิน)
Arrive / Arrival (Suvarnabhumi Arrival)	121.1 / 262.5 126.3 / 262.5 121.5 / 243.0 (สำหรับกรณีฉุกเฉิน)
Aerodrome Control Tower (Suvarnabhumi Tower)	118.2 / 274.5 (Runway 01/19) 119.0 (Runway 02R/20L) 121.5 / 243.0 (กรณีฉุกเฉิน)
Surface Movement Control (Suvarnabhumi Ground)	121.65 / 275.8 121.75 121.95
Suvarnabhumi Delivery	128.7 133.8
Automatic Terminal Information System (Suvarnabhumi Airport)	133.6 / 278.6 (สำหรับ Arrival ATIS) 127.65 (สำหรับ Departure ATIS)
DVOR/DME	111.4
ILS CAT II LOC/DME	109.1 (Runway 02R) 109.5 (Runway 20L) 110.1 (Runway 01) 110.5 (Runway 19)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงความถี่ที่ใช้งานในระบบการสื่อสารและระบบ
เครื่องช่วยเดินอากาศที่ใช้ในท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ต่อ)

ระบบการสื่อสารทางอากาศ/ ระบบเครื่องช่วยเดินอากาศ	**ความถี่ที่ใช้งาน (MHz)**
Glide path	331.4 (Runway 02R) 332.6 (Runway 20L) 334.4 (Runway 01) 329.6 (Runway 19)

2.2 ระบบช่วยการลงจอด

ระบบช่วยการลงจอด (Instrument Landing System : ILS) เป็นระบบช่วยการเดินอากาศตามมาตรฐานขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ ที่ช่วยให้นักบินสามารถนำอากาศยานร่อนลงจอดที่ท่าอากาศยานได้อย่างปลอดภัย โดยมีการใช้งานคลื่นวิทยุในการส่งข้อมูลทิศทางของอากาศยานหรือมุมที่ใช้ร่อนลง เป็นต้น

2.2.1 อุปกรณ์ภาคพื้นดินของระบบช่วยการลงจอด [4]

อุปกรณ์ภาคพื้นดินของระบบช่วยการลงจอดมีอุปกรณ์สำคัญ 2 ส่วน ได้แก่

2.2.1.1 เครื่องส่งสัญญาณทิศทาง (Localizer)

เครื่องส่งสัญญาณทิศทาง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งคลื่นวิทยุเพื่อบอกแนวกึ่งกลางรันเวย์ (Runway Center Line) ให้นักบินทราบว่า ณ ขณะนั้นอากาศยานอยู่ที่ตำแหน่งใดและอยู่ในแนวกึ่งกลางของรันเวย์หรือไม่ การนำเครื่องบินลงจอด นักบินจะต้องบังคับเครื่องบินให้ลงจอดในแนวกึ่งกลางรันเวย์เท่านั้น โดยอุปกรณ์ในฝั่งภาคพื้นดินจะประกอบไปด้วยสายอากาศจำนวน 13 ถึง 41 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เพื่อส่งคลื่นวิทยุในย่านความถี่สูงมากตั้งแต่ความถี่ที่ 108 - 112 MHz จะถูกติดตั้งอยู่ทางด้านหัวของรันเวย์ที่จะอยู่ทิศตรงกันข้ามกับด้านที่อากาศยานร่อนลง ซึ่งจะให้การนำทางได้ในระยะทาง 18 ไมล์ทะเล (Nautical Mile : NM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 สายอากาศของระบบส่งสัญญาณทิศทางที่ติดตั้งที่ภาคพื้นดิน [4]

2.2.1.2 เครื่องส่งสัญญาณมุมลง (Glide Path)

เครื่องส่งสัญญาณมุมลง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งคลื่นวิทยุเพื่อบอกมุมร่อนให้นักบินทราบว่า ณ ขณะนั้นอากาศยานอยู่ที่ความสูงระดับใดเพื่อที่นักบินจะสามารถปรับระดับอากาศยานให้เหมาะสมกับการร่อนลงจอดบนรันเวย์มากที่สุด โดยอุปกรณ์นี้จะติดตั้งอยู่ที่ระยะระหว่าง 230 เมตร ถึง 380 เมตรจากปลายรันเวย์ และเบี่ยงออกจากแนวศูนย์กลางรันเวย์ที่ระยะระหว่าง 75 เมตร ถึง 198 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เพื่อส่งคลื่นวิทยุในย่านความถี่สูงยิ่งบอกมุมร่อนให้แก่นักบิน ซึ่งจะให้การนำทางได้ในระยะทาง 10 ไมล์ทะเล

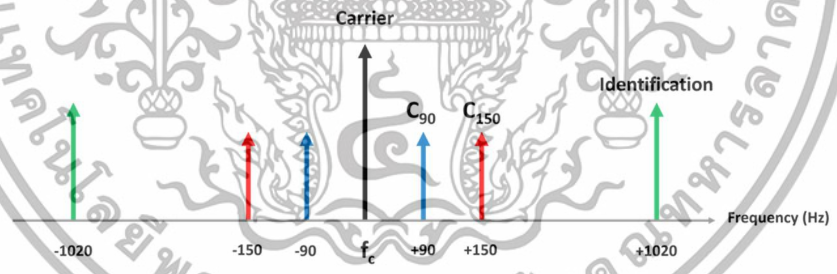
รูปที่ 2.2 ระบบส่งสัญญาณมุมลงที่ติดตั้งที่ภาคพื้นดิน [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 หลักการทำงานของระบบช่วยการลงจอด [4]

หลักการทำงานของระบบช่วยการลงจอด คือ จะมีเครื่องส่งสัญญาณไซน์ที่ความถี่ 90 Hz และ 150 Hz ทำการกล้ำสัญญาณเชิงขนาด (Amplitude Modulate) ไปกับสัญญาณพาห์ที่มีความถี่ตามกำหนดของแต่ละท่าอากาศยาน จากนั้นจะมีเครื่องรับสัญญาณติดตั้งอยู่บนอากาศยานที่ใช้หลักการเปรียบเทียบความแรงของสัญญาณไซน์ความถี่ที่ 90 Hz และ 150 Hz แล้วจะแสดงผลตำแหน่งของอากาศยานให้นักบินทราบเพื่อปรับทิศทางและระดับความสูงของอากาศยานเพื่อเตรียมที่จะร่อนลงจอดสู่รันเวย์

สัญญาณไซน์ความถี่ที่ 90 Hz และ 150 Hz ที่ระบบช่วยการลงจอดส่งไปยังเครื่องรับสัญญาณบนอากาศยานสามารถแสดงเป็นสเปกตรัมของสัญญาณได้ดังรูปที่ 2.3 เป็นกรณีที่อากาศยานอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของรันเวย์ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการร่อนลงจอด ซึ่งสัญญาณความถี่ 90 Hz แสดงทิศด้านซ้ายมือของแนวกึ่งกลางรันเวย์เมื่อนักบินหันหน้าเข้าสู่รันเวย์ และสัญญาณความถี่ 150 Hz แสดงทิศด้านขวามือของแนวกึ่งกลางรันเวย์เมื่อนักบินหันหน้าเข้าสู่รันเวย์ โดยหากสัญญาณความถี่ 90 Hz มีความแรงมากกว่าสัญญาณความถี่ 150 Hz แสดงว่าอากาศยานอยู่ด้านซ้ายมือของแนวกึ่งกลางรันเวย์ ในทางตรงกันข้ามหากสัญญาณความถี่ 150 Hz มีความแรงน้อยกว่าสัญญาณความถี่ 150 Hz แสดงว่าอากาศยานอยู่ด้านซ้ายมือของแนวกึ่งกลางรันเวย์



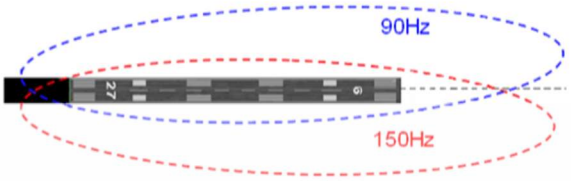
รูปที่ 2.3 สเปกตรัมของสัญญาณที่ระบบช่วยการลงจอดส่งไปยังเครื่องรับสัญญาณบนอากาศยาน

จากรูปที่ 2.3 สเปกตรัมของสัญญาณที่ระบบช่วยการลงจอดส่งไปยังเครื่องรับสัญญาณบนอากาศยาน สัญญาณหลักที่จะเห็นเมื่อสังเกตสเปกตรัมจะมีทั้งหมด 4 สัญญาณ ได้แก่

- Carrier คือ สัญญาณพาห์
- C_{90} คือ สัญญาณความถี่ 90 Hz
- C_{150} คือ สัญญาณความถี่ 150 Hz
- Identification คือ สัญญาณข้อมูลรันเวย์ที่เครื่องบินจะลงจอด

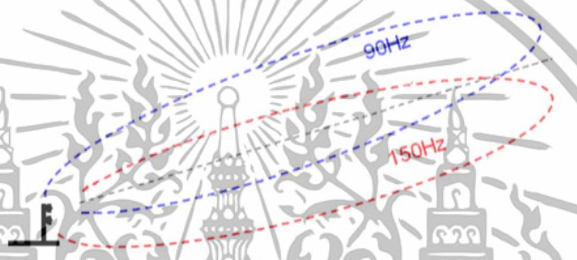
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหลักการทำงานของระบบช่วยการลงจอดข้างต้นสามารถจำลองเป็นภาพได้ดังแสดงในรูปที่ 2.4



Simple representation of the 2 fictive transmitters for the localizer

(a)



Simple representation of the 2 fictive transmitters for the glide slope

(b)

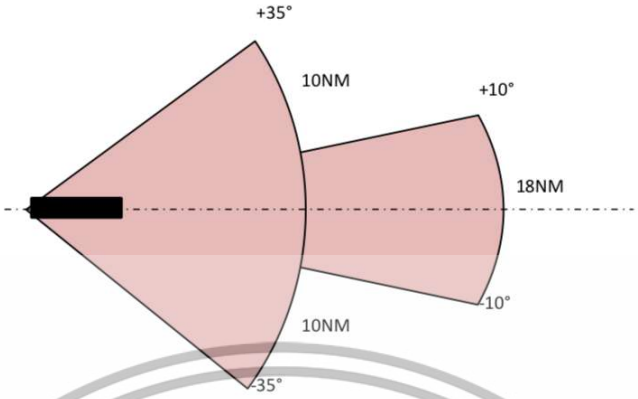
รูปที่ 2.4 ขอบเขตการใช้งานของระบบส่งสัญญาณทิศทางตามความกว้างของลำคลื่น [4]

อีกทั้งระบบส่งสัญญาณทิศทางจะมีขอบเขตการใช้งานตามความกว้างของลำคลื่นของสัญญาณที่ถูกส่งออกจากภาคส่ง [5] โดย

- ลำคลื่นขนาด 10 องศาจากทางซ้ายและขวาของรันเวย์ จะสามารถใช้งานได้ในระยะ 25 ไมล์ทะเล จะสายอากาศที่ติดตั้งที่เครื่องส่งบนอุปกรณ์ภาคพื้นดิน
- ลำคลื่นระหว่าง 10 องศาและ 35 องศาจากทางซ้ายและขวาของรันเวย์ จะสามารถใช้งานได้ในระยะ 17 ไมล์ทะเล จะสายอากศที่ติดตั้งที่เครื่องส่งบนอุปรณ์ภาคพื้นดิน
- ลำคลื่นขนาด 35 องศาจากทางซ้ายและขวาของรันเวย์ จะสามารถใช้งานได้ในระยะ 10 ไมล์ทะเล จะสายอากาศที่ติดตั้งที่เครื่องส่งบนอุปกรณ์ภาคพื้นดิน

สามารถแสดงทิศทางขอบเขตการใช้งานของระบบส่งสัญญาณทิศทางได้ดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ขอบเขตการใช้งานของระบบส่งสัญญาณทิศทางตามความกว้างของลำคลื่น [4]

2.3 RTL-SDR Blog V3 R860 RTL2832U

RTL-SDR Blog V3 R860 RTL2832U ดังรูปที่ 2.6 เป็นอุปกรณ์รับสัญญาณไร้สายที่ใช้เทคโนโลยี Software Defined Radio (SDR) ซึ่งสามารถรับคลื่นวิทยุได้ตั้งแต่ความถี่ต่ำสุด 24 MHz ถึงความถี่สูงสุด 1.766 GHz โดยสามารถใช้งานได้กับโปรแกรม SDR ต่าง ๆ เช่น SDR# (SDR Sharp) HDSDR SDR-Console CubicSDR และอื่น ๆ [6], [7]

รูปที่ 2.6 RTL-SDR Blog V3 R860 RTL2832U [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก RTL-SDR Blog V3 R860 RTL2832U สำหรับรับคลื่นวิทยุแบบ All-Band โดยสามารถใช้งานได้ทั้ง HF VHF UHF โดยอุปกรณ์มี TCXO ความแม่นยำ 1 PPM เพื่อให้มีความแม่นยำในการรับคลื่นวิทยุที่สูงขึ้น ทำให้สามารถรับคลื่นวิทยุแบบ AM FM SSB CW ADSB และอื่น ๆ ได้ตามต้องการ ซึ่งมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของอุปกรณ์ RTL-SDR Blog V3 R860 RTL2832U

คุณสมบัติ	รายละเอียด
Bandwidth	Up to 2.4 MHz stable
ADC	RTL2832U 8-bits
Frequency Range	24 MHz – 1766 MHz
Typical Input Impedance	50 Ohms
Typical Current Draw	270 – 280 mA

2.4 Intel NUC 11ATKC4

Intel NUC 11ATKC4 เป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่อยู่ในกลุ่มคอมพิวเตอร์แบบฝังตัว (Embedded Computer) ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งถูกพัฒนาโดย Intel Corporation มีจุดเด่นด้านประสิทธิภาพและขนาดกะทัดรัด เหมาะสำหรับการใช้งานทั่วไปและงานเฉพาะทางคุณสมบัติเด่นของ Intel NUC 11ATKC4 คือ รองรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่อพ่วงที่หลากหลาย สามารถต่อเข้ากับจอภาพผ่าน HDMI 2.0, รองรับเมาส์ คีย์บอร์ด และอุปกรณ์อื่นๆ ผ่าน USB 3.2 รวมถึงรองรับการเชื่อมต่อเครือข่ายผ่าน LAN (RJ-45) และ Wi-Fi 6 ทำให้สามารถนำไปใช้ในงานด้าน IoT, Digital Signage, Home Server, และระบบเครือข่ายขนาดเล็ก ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.3 [8], [9]

รูปที่ 2.7 Intel NUC 11ATKC4 [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของอุปกรณ์ Intel NUC 11ATKC4 [8], [9]

คุณสมบัติ	รายละเอียด
CPU	Intel Celeron N5105 (2.00GHz Up to 2.90GHz , 4M Cache)
Memory Slots	2 x SO-DIMM Slot(s) Up to 32GB DDR4 2666 MHz
Storage	1 x SSD M.2 2280 PCIe 3.0 NVMe Up to 1TB
Graphics	Intel UHD Graphics (Integrated)
USB	2 x USB 3.2 Gen 2 2 x USB 2.0 2 x USB 3.2 Gen 1
DisplayPort	1 x DisplayPort1.4
HDMI	1 x HDMI2.0b
Connection	10/100/1000 Mbps Intel Wireless-AC 9462 m.2 card, dual-band 1x1 w/ diversity Bluetooth 5.1

2.5 สายนำสัญญาณ RG – 58C/U

สายนำสัญญาณประเภท RG – 58C/U เป็นสายนำสัญญาณโคแอกเซียล (Coaxial cable) ที่นิยมใช้ในการสื่อสารทางวิทยุหรือสามารถใช้งานในด้านอื่นเช่น ใช้งานในการส่งสัญญาณกล้องวงจรปิดหรือเชื่อมต่อเครื่องรับ-ส่งวิทยุกับสายอากาศภายนอก เป็นต้น [10] โดยสายนำสัญญาณประเภท RG – 58C/U ที่เลือกใช้งานมีลักษณะเป็นดังรูปที่ 2.8 และมีคุณสมบัติดังที่แสดงในตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.8 สายนำสัญญาณ RG – 58C/U

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของสายนำสัญญาณ RG – 58C/U [11]

คุณสมบัติ	**รายละเอียด**
Impedance	50 Ω
Maximum Operating Frequency	1 GHz
Outer Diameter	0.495 cm
Capacitance	101 pF/m

สายนำสัญญาณประเภท RG – 58C/U ที่เลือกใช้งานมีค่าการลดทอนของสัญญาณต่อความยาวของสายนำสัญญาณ 100 เมตร ณ แต่ละความถี่ดังที่แสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าการลดทอนของสัญญาณของสายนำสัญญาณประเภท RG – 58 [12]

ความถี่ (MHz)	**ค่าการลดทอนของสัญญาณ (dB/100m)**
100	13.7
200	19.8
400	28.8
700	39.2
1000	47.8
2000	70.6
2500	81.3
3000	89.9
6000	145.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 สายอากาศ Broadband 108 – 350 MHz

สายอากาศที่เลือกใช้งาน คือ สายอากาศ Broadband 108 – 350 MHz มีรูปแบบการแพร่กระจายแบบ Omni-directional และรูปแบบโพลาไรเซชันของสายอากาศเป็นโพลาไรซ์เชิงเส้นที่สามารถรับคลื่นวิทยุได้ทั้งรูปแบบโพลาไรซ์แนวตั้งและแนวนอน โดยสายอากาศ Broadband 108 – 350 MHz มีลักษณะเป็นดังรูปที่ 2.9 และข้อมูลจำเพาะของสายอากาศดังตารางที่ 2.6

รูปที่ 2.9 สายอากาศ Broadband 108 – 350 MHz

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของสายอากาศ Broadband 108 – 350 MHz

คุณสมบัติ	**รายละเอียด**
Frequency Range	108 MHz - 350 MHz
Gain	3.14 dBi
Maximum Power	250 W
Radiation Pattern	Omni-directional
VSWR	≤ 1.3
Polarization	Horizontal Vertical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การจัดเก็บข้อมูลและรูปภาพ

ในการจัดเก็บข้อมูลและรูปภาพสเปกตรัมนั้นจะจัดเก็บข้อมูลในส่วนของที่ได้รับมาจาก Intel NUC 11ATKC4 โดยจะจัดเก็บข้อมูลทั้งหมด ได้แก่ ส่วนของรายงาน ส่วนของรูปภาพทั้งหมดไว้ที่ไฟล์เซิร์ฟเวอร์ โดยจะใช้งานโปรแกรม WinSCP เป็นโปรแกรมสำเร็จรูป FTP Client ที่เอาไว้ใช้ถ่ายโอนข้อมูล ดาวน์โหลดข้อมูลหรือคัดลอกไฟล์ข้อมูล จากเครื่องลูกข่ายไปยังเครื่องแม่ข่ายหรือเซิร์ฟเวอร์ โดยใช้โปรโตคอล SFTP SCP FTP WebDAV และ Amazon S3 ในการสื่อสารผ่านระบบไฟล์ผ่านเครือข่าย โดย WinSCP จะมีหน้าต่างกราฟฟิกที่สามารถถ่ายโอนข้อมูลไฟล์หรือโฟลเดอร์ระหว่างคอมพิวเตอร์และเซิร์ฟเวอร์ในรูปแบบที่ปลอดภัยและสะดวกได้ [13]

2.8 ตัวกรองความถี่แบบดิจิตอล

เทคโนโลยีในการประมวลผลสัญญาณ ณ ปัจจุบันมีความสามารถสูงขึ้น สามารถประมวลผลได้เร็วขึ้น และมีความละเอียดสูงขึ้น จึงทำให้เป็นที่นิยมในการประมวลผลรูปแบบสัญญาณดิจิตอลมากขึ้น ซึ่งตัวกรองความถี่แบบดิจิตอลจะมีความยืดหยุ่นและสามารถปรับปรุงแก้ไขได้ง่ายกว่าเพียงเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์เพราะตัวกรองความถี่แบบดิจิตอลจะอยู่ในรูปแบบของซอฟท์แวร์เป็นส่วนใหญ่เมื่อเทียบกับตัวกรองความถี่แบบอนาล็อกที่อาจจะอยู่ในรูปแบบของฮาร์ดแวร์และมีความซับซ้อนของระบบมากกว่า [14]

ตัวกรองความถี่แบบดิจิตอลแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่

2.8.1 ตัวกรองความถี่ที่มีการตอบสนองต่อสัญญาณอิมพัลส์มีความยาวจำกัด (Finite Impulse Response Filters) [14]

ตัวกรองความถี่ที่มีการตอบสนองต่อสัญญาณอิมพัลส์มีความยาวจำกัด หรือ ตัวกรองความถี่แบบ FIR เป็นตัวกรองความถี่ที่นำเอาสัญญาณอินพุตปัจจุบันและสัญญาณอินพุตที่ถูกหน่วงเวลาไว้มาทำการประมวลผลซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.1

$$y(n) = \sum_{k=0}^{M} b_k \cdot x(n-k) \tag{2.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย $y(n)$ คือ เอาต์พุตของตัวกรองความถี่แบบ ณ ช่วงเวลา n

$x(n-k)$ คือ ค่าอินพุตที่ถูกเลื่อนเวลาออกไป

b_k คือ สัมประสิทธิ์ของตัวกรองความถี่แบบ FIR

M คือ จำนวนการ Taps ของตัวกรองความถี่ (filter taps)

ตัวกรองความถี่แบบ FIR จะไม่มีการป้อนกลับ (feedback) ของสัญญาณเอาต์พุตกลับไปยังอินพุต จึงมีความเสถียรโดยธรรมชาติเนื่องจากไม่มีโอกาสเกิดการสะสมของข้อผิดพลาด นอกจากนี้ ตัวกรองความถี่แบบ FIR ยังสามารถออกแบบให้มีลักษณะเฟสเชิงเส้น (linear phase) ซึ่งมีความสำคัญในงานที่ต้องการรักษาความสัมพันธ์ของเฟส เช่น การประมวลผลสัญญาณเสียงหรือภาพ อย่างไรก็ตาม ตัวกรองความถี่แบบ FIR มักต้องใช้จำนวนการ Taps มากกว่าตัวกรองความถี่แบบ IIR เพื่อให้ได้ลักษณะการตอบสนองที่คล้ายกัน ซึ่งทำให้ต้องใช้ทรัพยากรในการคำนวณและหน่วยความจำมากกว่า

2.8.2 ตัวกรองความถี่ที่มีการตอบสนองต่อสัญญาณอิมพัลส์มีความยาวไม่จำกัด (Infinite Impulse Response Filters) [14]

ตัวกรองความถี่ที่มีการตอบสนองต่อสัญญาณอิมพัลส์มีความยาวไม่จำกัด หรือ ตัวกรองความถี่แบบ IIR เป็นตัวกรองความถี่ที่นำเอาสัญญาณอินพุตปัจจุบัน สัญญาณอินพุตที่ถูกหน่วงเวลาไว้และสัญญาณเอาต์พุตที่ถูกหน่วงเวลาไว้มาทำการประมวลผลซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.2

$$y(n) = \sum_{k=0}^{M} b_k \cdot x(n-k) + \sum_{j=1}^{N} a_j \cdot y(n-j) \qquad (2.2)$$

โดย $y(n)$ คือ ผลลัพธ์ของตัวกรองความถี่ ณ ช่วงเวลา n

$x(n-k)$ คือ ค่าอินพุตที่ถูกเลื่อนเวลาออกไป

b_k และ a_j คือ สัมประสิทธิ์ของตัวกรองความถี่แบบ IIR

M และ N คือ ลำดับของตัวกรองความถี่ (Order)

ตัวกรองความถี่แบบ IIR มีการป้อนกลับของค่าเอาต์พุต ทำให้สามารถบรรลุลักษณะการตอบสนองความถี่ที่ชัดเจนได้ด้วยจำนวนสัมประสิทธิ์ที่น้อยกว่าตัวกรองความถี่แบบ FIR ทำให้ลดเวลาในการประมวลผลลงอย่างมาก แต่หากออกแบบไม่เหมาะสม การป้อนกลับของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเอาต์พุตอาจส่งผลให้ตัวกรองความถี่แบบ IIR มีความไม่เสถียร นอกจากนี้ตัวกรองความถี่แบบ IIR ไม่สามารถรักษาลักษณะเฟสเชิงเส้นได้ ตัวกรองความถี่แบบ IIR จะมีประสิทธิภาพในงานที่ไม่คำนึงถึงเฟส เช่น การกรองสัญญาณทั่วไป เนื่องจากใช้ทรัพยากรในการประมวลผลน้อยกว่า

2.9 อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio : SNR) คือ อัตราส่วนที่เปรียบเทียบระหว่างกำลังของสัญญาณกับกำลังของสัญญาณรบกวน สามารถบ่งชี้ได้ถึงประสิทธิภาพของสัญญาณว่าสัญญาณมีความชัดเจนมากเท่าใด สัญญาณถูกรบกวนมากน้อยเพียงใด สัญญาณที่มีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูงแสดงให้เห็นถึงสัญญาณส่งมีค่ากำลังสูงกว่าสัญญาณรบกวน จะทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณน้อย สัญญาณส่งมีประสิทธิภาพสูง และในทางตรงกันข้ามหากสัญญาณที่มีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าต่ำแสดงให้เห็นถึงสัญญาณส่งมีค่ากำลังสูงกว่าสัญญาณรบกวนเล็กน้อย จะทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณมาก สัญญาณส่งมีประสิทธิภาพต่ำ ซึ่งภาครับอาจได้ข้อมูลที่มีความผิดเพี้ยนไปได้ [15]

$$SNR_{dB} = 10\log_{10}\left(\frac{P_{signal}}{P_{noise}}\right) \tag{2.3}$$

โดย SNR_{dB} คือ ผลลัพธ์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

P_{signal} คือ ค่ากำลังของสัญญาณส่ง

P_{noise} คือ ค่ากำลังของสัญญาณรบกวน

2.10 สมการฮาเวอร์ไซน์

สมการฮาเวอร์ไซน์ หรือ Haversine Formula เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณระยะห่างระหว่างจุดสองจุดบนโลกบนพื้นผิวโลกโดยพิจารณาตามความโค้งของโลก [16] ซึ่งสามารถคำนวณระยะห่างได้ดังสมการที่ 2.3

$$D = \frac{\pi}{180} \times 2 \times R \times \arcsin\left[\sqrt{\sin^2\left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2}\right) + \cos(\phi_2)\cos(\phi_1)\sin^2\left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}\right)}\right] \tag{2.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย D คือ ระยะห่างระหว่างจุดสองจุด

R คือ รัศมีของโลก

ϕ_1 คือ ละติจูดของจุดที่ 1

ϕ_2 คือ ละติจูดของจุดที่ 2

φ_1 คือ ลองจิจูดของจุดที่ 1

φ_2 คือ ลองจิจูดของจุดที่ 2

2.11 สมการแบริ่ง

สมการแบริ่ง หรือ Bearing Formula เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณทิศทางจองการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยใช้มุมในการวัดจากทิศเหนือในเข็มทิศไปยังทิศของอีกจุดหนึ่งที่ต้องการวัด [17] สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4

$$\theta = \arctan\times 2\times\left(\sin(\Delta\varphi)\cdot\cos(\phi_2), \cos(\phi_1)\cdot\sin(\phi_2) - \sin(\phi_1)\cdot con(\phi_2)\cdot\cos(\Delta\varphi)\right) \quad (2.5)$$

โดย θ คือ มุมระหว่างจุดสองจุด

ϕ_1 คือ ละติจูดของจุดที่ 1

ϕ_2 คือ ละติจูดของจุดที่ 2

φ_1 คือ ลองจิจูดของจุดที่ 1

φ_2 คือ ลองจิจูดของจุดที่ 2

$\Delta\varphi$ คือ ผลต่างระหว่างลองจิจูดของจุดที่ 2 กับจุดที่ 1

2.12 สภาพอวกาศที่มีผลกระทบต่อการสื่อสารวิทยุ

สภาพอวกาศ (Space Weather) คือ การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในอวกาศที่เกิดจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของดวงอาทิตย์โดยทำให้อนุภาคในอวกาศโดยเฉพาะอนุภาคที่มีประจุมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อสนามแม่เหล็กโลกและทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่สามารถรบกวนการสื่อสารวิทยุได้

ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ส่งผลกระทบต่อการสื่อสารคลื่นวิทยุในย่านความถี่ VHF [18] ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.1 ปรากฏการณ์คลื่นวิทยุช่วงความยาวคลื่นสั้นขาดหายชั่วขณะจากการปะทุของเปลวสุริยะ

ปรากฏการณ์คลื่นวิทยุช่วงความยาวคลื่นสั้นขาดหายชั่วขณะจากการปะทุของเปลวสุริยะ (Short Wave Blackout from solar flare) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของรังสีเอกซ์อย่างกะทันหันในระหว่างการปะทุของดวงอาทิตย์ (solar flare) ซึ่งทำให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้น D ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สูงขึ้น ซึ่งชั้นบรรยากาศนี้เป็นชั้นที่อยู่ต่ำที่สุดของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และอยู่ในระดับความสูงที่การดูดกลืนรังสีเอกซ์ของบรรยากาศมีค่าสูงที่สุด การเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของอิเล็กตรอนทำให้คลื่นวิทยุความถี่สูง (HF, 3-30 MHz) ถูกดูดกลืน เนื่องจากการชนกันระหว่างอิเล็กตรอนกับอนุภาคบรรยากาศที่เป็นกลาง ปรากฏการณ์นี้ยังเรียกว่า ปรากฏการณ์เดลลิงเกอร์ (Dellinger phenomenon) ยิ่งความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้น D สูงขึ้นเท่าใด การดูดกลืนก็จะยิ่งมากขึ้นและยิ่งความถี่ของคลื่นวิทยุต่ำลงเท่าใด ผลกระทบก็จะยิ่งรุนแรงขึ้น

คลื่นวิทยุในย่านความถี่ HF มักจะถูกสะท้อนในชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ทำให้คลื่นสามารถเดินทางไกลได้ อย่างไรก็ตาม เมื่อเกิดปรากฏการณ์คลื่นวิทยุช่วงความยาวคลื่นสั้นขาดหายชั่วขณะจากการปะทุของเปลวสุริยะขึ้นและปริมาณการดูดกลืนทั้งหมดในเส้นทางการแพร่กระจายผ่านชั้น D มีค่ามากกว่าความแรงของคลื่นวิทยุที่ส่งออกมา จะทำให้เกิดการขาดการสื่อสารขึ้น

ระยะเวลาในการเกิดปรากฏการณ์ ปรากฏการณ์คลื่นวิทยุช่วงความยาวคลื่นสั้นขาดหายชั่วขณะจากการปะทุของเปลวสุริยะจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการปล่อยรังสีเอกซ์ที่เกี่ยวข้องกับการปะทุของดวงอาทิตย์ ซึ่งอาจอยู่ในช่วงตั้งแต่ไม่กี่นาทีจนถึงหลายสิบนาที ปรากฏการณ์นี้ยังสามารถทำให้ความแรงของคลื่นวิทยุในย่านความถี่ VHF (30-300 MHz) ลดลงได้อีกด้วย แต่ไม่ถึงกับทำให้เกิดการขาดสัญญาณ อย่างไรก็ตาม สำหรับคลื่นที่ความถี่ต่ำกว่ามาก (ต่ำกว่า 300 kHz) การเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้น D มีผลกระทบต่อการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุ

ในย่านความถี่ LF (30-300 kHz) คลื่นวิทยุสามารถสะท้อนจากส่วนล่างของชั้น D ทำให้เส้นทางการแพร่กระจายของ skywave สั้นลง ซึ่งอาจรบกวนกับสัญญาณ ground wave ที่แพร่กระจายตามพื้นผิวโลก สัญญาณ skywave จะมาถึงเครื่องรับหลังจากสัญญาณ ground

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

wave โดยมีความล่าช้าระหว่าง 35 ถึง 1,000 ไมโครวินาที และความล่าช้าที่สั้นลงนี้อาจทำให้เกิดปัญหามากขึ้นหากมีการสะท้อนจากชั้น D

ปรากฏการณ์ Short Wave Blackout from solar flare ยังสามารถเกิดขึ้นระหว่างเหตุการณ์การตกตะกอนของอิเล็กตรอนพลังงานสูง (REP) ซึ่งเกิดจากการที่อิเล็กตรอนพลังงานสูง (MeV) ในแถบรังสีถูกกระจายไปตามแนวสนามแม่เหล็ก และตกลงสู่บรรยากาศของโลก จึงทำให้อิเล็กตรอนเหล่านี้ปล่อยพลังงานและสร้างไอออนในชั้น D

2.12.2 ปรากฏการณ์การรบกวนของชั้นไอออนออสเฟียร์ที่เคลื่อนที่

ปรากฏการณ์การรบกวนของชั้นไอโอโนสเฟียร์ที่เคลื่อนที่ (Travelling Ionospheric Disturbance : TID) เป็นการปั่นป่วนของค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้นไอโอโนสเฟียร์ที่เกิดจากคลื่นความโน้มถ่วงในบรรยากาศ (Atmospheric Gravity Waves - AGW) และเคลื่อนที่ไปพร้อมกับคลื่นความโน้มถ่วงเหล่านั้น ปรากฏการณ์นี้ได้รับการสังเกตและศึกษามาอย่างกว้างขวาง

TID สามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทตามลักษณะเฉพาะ ได้แก่

- Medium-Scale TIDs (MSTIDs) มีคาบประมาณ 15-60 นาที และมีความยาวคลื่นแนวนอนหลายร้อยกิโลเมตร
- Large-Scale TIDs (LSTIDs) มีคาบประมาณ 30 นาทีถึง 3 ชั่วโมง และมีความยาวคลื่นแนวนอนมากกว่า 1,000 กิโลเมตร

LSTIDs มักเกิดจากคลื่นความโน้มถ่วงที่เกิดขึ้นจากการรบกวนแม่เหล็กโลกในบริเวณละติจูดสูงและแพร่กระจายไปทางเส้นศูนย์สูตร นอกจากนี้ คลื่นความโน้มถ่วงที่สามารถทำให้เกิด TIDs ยังมาจากปรากฏการณ์ต่างๆ ในบรรยากาศระดับต่ำหรือพื้นผิว เช่น เมฆที่เกิดจากการพาความร้อนหรือพายุฝนฟ้าคะนอง, สึนามิ, และการระเบิดทั้งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และที่มนุษย์สร้างขึ้น

TIDs อาจเป็นแหล่งของข้อผิดพลาดที่เหลืออยู่ในการหาตำแหน่งสัมพัทธ์ เช่น ระบบ RTK (Real-Time Kinematic) หรือ GNSS ที่มีการปรับค่าแตกต่าง (Differential GNSS) การคำนวณตำแหน่งที่แม่นยำแบบจุดเดียวเป็นวิธีแก้ไขปัญหาที่เป็นไปได้ แต่การทำงานในแบบเรียลไทม์ยังคงต้องพึ่งพาบริการการปรับค่าที่มีการสร้างแบบจำลองข้อผิดพลาดในพื้นที่กว้าง ซึ่ง TIDs อาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดที่ยังคงอยู่

นอกจากนี้ TIDs ยังมีผลกระทบสำคัญต่อการสังเกตการณ์ทางวิทยาศาสตร์ด้วยกล้องโทรทรรศน์วิทยุ แม้ว่าจะมีเทคนิคในการปรับเทียบสำหรับการสังเกตการณ์ทางดาราศาสตร์วิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

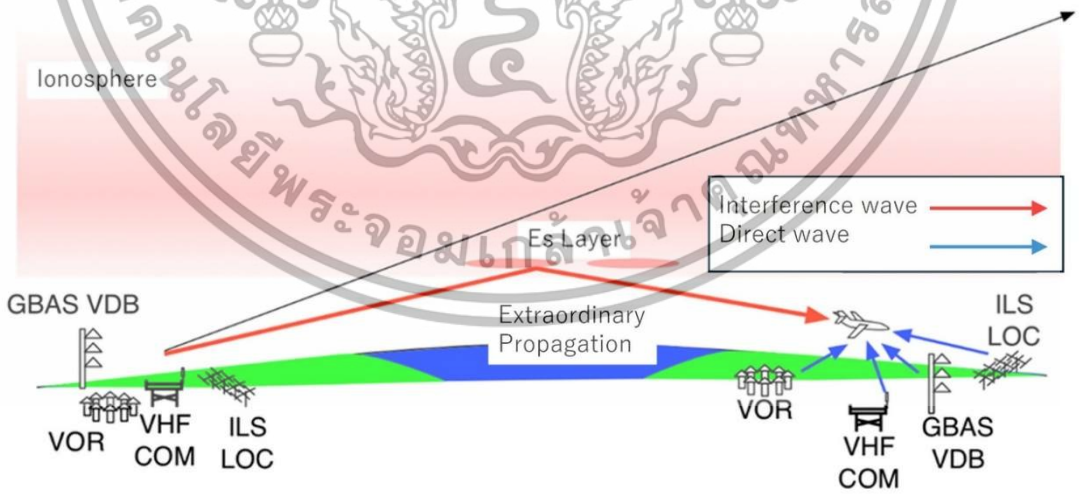
แต่ผลกระทบจากไอโอโนสเฟียร์ยังคงเป็นความท้าทายสำหรับการศึกษาในอนาคต เช่น ยุคของการรีไอโอไนเซชัน (epoch of reionisation) และโครงสร้างพื้นฐานใหม่ เช่น Square Kilometre Array Observatory

2.12.3 ปรากฏการณ์ Sporadic-E

ชั้น Es คือชั้นที่มีความหนาแน่นของไอออนโลหะสูง ซึ่งเกิดขึ้นจากการเฉือนลม (wind shears) ที่ระดับความสูงประมาณ 110 กิโลเมตร และค่อย ๆ ลดระดับลงมาถึงประมาณ 100 กิโลเมตร และสุดท้ายจะสลายไปตามกระบวนการ recombination มีการเกิดชั้นไอโอโนสเฟียร์แบบชั่วคราวที่เรียกว่า ปรากฏการณ์ sporadic-E นี้ มักจะเกิดขึ้นบ่อยในช่วงฤดูร้อนและในช่วงเวลานั้นอาจปรากฏเป็นลำดับของเหตุการณ์หลาย ๆ ครั้ง ซึ่งแต่ละครั้งจะมีการลดระดับลงตามที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้

เมื่อคลื่นวิทยุแพร่กระจายเข้าไปในไอโอโนสเฟียร์ในทิศทางที่เฉียงและมุมตกกระทบ (angle of incidence) เพิ่มขึ้น ความถี่สะท้อนก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งสามารถทำให้เกิดการรบกวนกับการสื่อสารระยะไกลที่อยู่นอกระยะสายตา (out-of-sight communications) ได้

เมื่อมีการเกิดชั้นไอโอโนสเฟียร์ชั่วคราวหรือชั้น Es เกิดขึ้น ชั้น Es ทำให้คลื่นวิทยุ VHF (ช่วงความถี่ 108 - 137 MHz ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์) ซึ่งถูกส่งมาจากสถานีภาคพื้นดินที่อยู่นอกระยะสายตาสามารถส่งไปถึงเครื่องบินได้ ส่งผลให้เกิดการรบกวนคลื่นวิทยุเกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การเกิดชั้น Es ที่ส่งผลกระทบต่อคลื่นวิทยุ VHF [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 ภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับการสร้างเว็บเบราว์เซอร์

2.13.1 HTML (Hypertext Markup Language) [20]

HTML ย่อมาจาก Hyper Text Markup Language เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการสร้างและกำหนดโครงสร้างของเว็บเบราว์เซอร์ในรูปแบบของไฟล์ HTML ซึ่งมีเว็บเบราว์เซอร์เป็นโปรแกรมที่ใช้แปลงไฟล์ HTML เพื่อแสดงผลในรูปของหน้าเว็บ โดยภายในไฟล์ HTML จะมีโครงสร้างการใช้งานในรูปแบบการกำกับแท็ก โดยคำสั่งของ HTML จะอยู่ภายในเครื่องหมาย < และ > และแท็กใน HTML สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ คอนเทนเนอร์แท็ก ซึ่งจะประกอบไปด้วยแท็กเปิดและแท็กปิด โดยที่แท็กปิดจะมีเครื่องหมาย / ยกตัวอย่างเช่น . . . และอีกประเภท คือ แท็กเปล่าที่ประกอบด้วยแท็กเปิดอย่างเดียวก็สามารถใช้งานเว็บได้อย่างปกติ อย่างเช่น
 ซึ่งแท็กจะถูกเขียนด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่หรือพิมพ์เล็กก็ได้จะไม่มีผลต่อการแสดงผลเนื่องจากเว็บเบราว์เซอร์จะแปลความหมายเหมือนกัน

โครงสร้างไฟล์ HTML แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนหัวเรื่อง (Head) และส่วนเนื้อหา (Body) ซึ่งจะมีแท็ก <HTML> และ </HTML> เป็นตัวกำหนดขอบเขตไฟล์ โดยในส่วนหัวเรื่องจะมีไว้กำหนดข้อมูลเฉพาะของหน้าเว็บหรือชื่อเรื่องของเว็บภายในแท็ก <Head>....</Head> และในส่วนเนื้อหาจะมีไว้กำหนดรายละเอียดต่าง ๆ ที่ต้องการแสดงบนหน้าเว็บอย่างเช่น ข้อความหรือรูปภาพภายในแท็ก <Body>....</Body> ดังรูปที่ 2.11

```
<html>
    <head>
        <title> แสดงชื่อไตเติ้ลบาร์ของเว็บเบราว์เซอร์ </title>
    </head>
    <Body>
        ส่วนเนื้อหาของเว็บเบราว์เซอร์ประกอบด้วย
        - ข้อความ
        - รูปภาพ
    </Body>
</html>
```

รูปที่ 2.11 โครงสร้างไฟล์ HTML

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.2 CSS (Cascading Style Sheet) [21]

CSS ย่อมาจาก Cascading Style Sheet เรียกโดยย่อว่า สไตล์ชีต เป็นภาษาที่ใช้ในการอธิบายรูปแบบการนำเสนอเว็บเพจ ทั้งสีของข้อความ สีพื้นหลัง รูปแบบการจัดวาง และประเภทตัวอักษรที่จะปรากฏให้ผู้ใช้งานเห็นบนหน้าเว็บเบราว์เซอร์ ซึ่ง CSS นั้นถูกออกแบบมาเพื่อสร้างสไตล์ชีทสำหรับเว็บเบราว์เซอร์ และในส่วนของการกำหนดรูปแบบนี้ใช้หลักการในการแยกเนื้อหาของเอกสาร HTML ออกจากคำสั่งที่ใช้ในการจัดรูปแบบการแสดงผล เพื่อให้ง่ายต่อการจัดรูปแบบแสดงผลของไฟล์ HTML โดยเฉพาะในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาเอกสารที่บ่อยครั้งหรือในกรณีที่ต้องการควบคุมให้รูปแบบการแสดงผลไฟล์ HTML มีความสม่ำเสมอทั่วกันของทุกหน้าเอกสารภายในเว็บเบราว์เซอร์เดียวกันและมีลักษณะโครงสร้างของไฟล์ CSS ดังรูปที่ 2.12

```
selector { property: value }
```

รูปที่ 2.12 โครงสร้างไฟล์ CSS

จากรูปที่ 2.12 โครงสร้างไฟล์ CSS ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ตัวเลือก (Selector) สมบัติ (Property) และค่าของสมบัติ (Value)

- Selector คือ ส่วนที่ใช้กำหนดว่าจะใช้สไตล์นี้กับแท็กของ HTML ตัวใด
- Property คือ ตัวระบุคุณสมบัติที่ต้องการเปลี่ยนแปลงหรือกำหนดค่า
- Value คือ ส่วนที่ใช้กำหนดค่าให้แก่ Property โดยต้องมีเครื่องหมายทวิภาค (:) คั่นกลางระหว่าง Property กับค่าที่กำหนดให้

2.13.3 PHP (PHP Hypertext Preprocessor) [22]

PHP ย่อมาจาก PHP Hypertext Preprocessor เป็นภาษาคอมพิวเตอร์จำพวก Scripting language ซึ่งภาษาประเภทนี้จะมีคำสั่งต่าง ๆ เก็บอยู่ในไฟล์ที่เรียกว่าสคริปต์และเวลาเรียกใช้งานต้องอาศัยตัวแปรชุดคำสั่ง ซึ่ง PHP นั้นมีลักษณะที่แตกต่างจากภาษาสคริปต์แบบอื่น ๆ คือ PHP ได้รับการพัฒนาและออกแบบมาเพื่อใช้งานในการสร้างเอกสารแบบ HTML ที่สามารถสอดแทรกหรือแก้ไขเนื้อหาได้โดยอัตโนมัติ ดังนั้นภาษา PHP จึงถูกเรียกว่าเป็นเป็นภาษาแบบ Server-side หรือ HTML-embedded scripting language โดยในปกติทุก ๆ ครั้งก่อนที่เครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์จะส่งหน้าเว็บเบราว์เซอร์ที่เขียนด้วย PHP ให้ผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซิร์ฟเวอร์จะมีการประมวลผลคำสั่งในไฟล์นั้นที่มีอยู่ให้เสร็จก่อน แล้วจึงส่งผลลัพธ์ที่ได้กลับมาในรูปแบบเว็บเบราว์เซอร์ที่ถูกแสดง ซึ่งถือได้ว่าภาษา PHP นั้นเป็นตัวช่วยให้เว็บเบราว์เซอร์สามารถแสดงผลได้แบบไดนามิกและตอบสนองตามคำสั่งและข้อมูลที่รับมาจากผู้ใช้อย่างมีประสิทธิภาพและมีลูกเล่นมากขึ้นและมีลักษณะโครงสร้างของไฟล์ PHP ดังรูปที่ 2.13

```
<?php
    /*ชุดคำสั่งในภาษา php*/
    echo "Hello World!";
?>
```

รูปที่ 2.13 โครงสร้างไฟล์ PHP

2.13.4 JavaScript [23]

JavaScript เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่มีไว้เพื่อจัดการเอฟเฟต์ การทำงานของหน้าเว็บเบราว์เซอร์ร่วมกับ HTML ที่ใช้จัดการเรื่องของเนื้อหาภายในเว็บเบราว์เซอร์และ CSS ที่ใช้จัดการเรื่องโครงสร้างหรือดีไซน์ของเว็บเบราว์เซอร์ ซึ่ง JavaScript นั้นสามารถนำไปใช้ในการสร้างหน้าเว็บแบบอินเทอร์แอคทีฟในการตอบโต้กับผู้ใช้งาน และสามารถช่วยในการจัดการแสดงผลต่าง ๆ โดยไม่ต้องทำการรีเฟรชหน้าเว็บใหม่ซ้ำอย่างเช่น ในการเปลี่ยนสีของตัวอักษร การซ่อนข้อความ การแสดงหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหาต่าง ๆ ซึ่งจะสามารถแบ่งหน้าที่การทำงานของ JavaScript อย่างคร่าวๆ ได้ดังนี้และมีลักษณะโครงสร้างของไฟล์ JavaScript ดัง

รูปที่ 2.14 - รูปที่ 2.19

ก. JavaScript สามารถเปลี่ยนเนื้อหา HTML ได้

ข. JavaScript สามารถเปลี่ยนค่าภายใน HTML Attributes ได้

ค. JavaScript สามารถเปลี่ยนสไตล์ CSS ของ HTML ได้

ง. JavaScript สามารถซ่อนส่วน HTML ที่ไม่ต้องการได้

จ. JavaScript สามารถแสดงส่วน HTML ที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
<script language = “JavaScript” >
        คำสั่งในภาษา JavaScript
</script>
```

รูปที่ 2.14 โครงสร้างไฟล์ JavaScript (1)

```
<script type = “text/JavaScript” >
        คำสั่งในภาษา JavaScript
</script>
```

รูปที่ 2.15 โครงสร้างไฟล์ JavaScript (2)

```
<script scr = “myscript.js” >
        คำสั่งในภาษา JavaScript
</script>
```

รูปที่ 2.16 โครงสร้างไฟล์ JavaScript (3)

```
<script>
        คำสั่งในภาษา JavaScript
</script>
```

รูปที่ 2.17 โครงสร้างไฟล์ JavaScript (4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
<html>
    <head>
        <script>
            คำสั่งในภาษา JavaScript
        </script>
    </head>
    <body>
    </body>
</html>
```

รูปที่ 2.18 โครงสร้างไฟล์ JavaScript (5)

```
<html>
    <head>
    </head>
    <body>
        <script>
            คำสั่งในภาษา JavaScript
        </script>
    </body>
</html>
```

รูปที่ 2.19 โครงสร้างไฟล์ JavaScript (6)

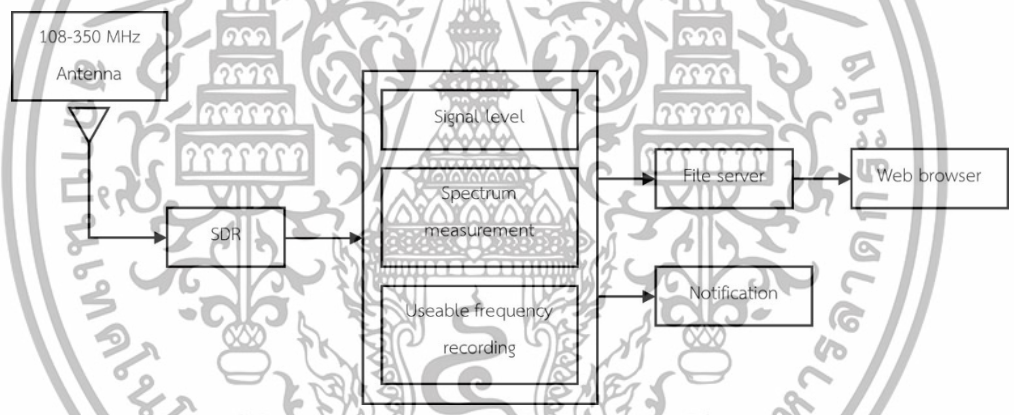
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

3.1 การออกแบบ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน แบ่งการทำงานเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ระบบตรวจจับคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน ระบบจัดเก็บข้อมูล และส่วนของเว็บเบราว์เซอร์แสดงผลซึ่งในส่วนของระบบตรวจจับคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยานทั้งหมดจะใช้สคริปต์ของไพธอนทำงาน ซึ่งทำการตรวจจับคลื่นวิทยุช่วงความถี่ของย่านความถี่สูงมากที่ 108 - 118 MHz ซึ่งแผนผังการทำงานของส่วนแสดงสถานะการทำงานของคลื่นวิทยุสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยาน

จากรูปที่ 3.1 การทำงานของระบบตรวจจับคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน จะมีการใช้สายอากาศ Broadband 108 - 350 MHz ร่วมกับ RTL-SDR Dongle ในการรับค่ากำลังสัญญาณและความถี่ของคลื่นวิทยุช่วงความถี่ 108 – 118 MHz จากนั้นระบบจะทำการจัดเก็บข้อมูลที่ได้รับลงในไฟล์เซิร์ฟเวอร์ โดยระบบจะทำงานตามรูปแบบดังกล่าวทุก 1 นาที เพื่อใช้ข้อมูลเหล่านั้นในการพล็อตและจัดเก็บข้อมูลกราฟสเปกโตรแกรม แล้วแสดงผลที่ได้บนเว็บเบราว์เซอร์สำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติในภายหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 การออกแบบระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน

3.1.1.1 การออกแบบระบบรับคลื่นวิทยุที่มีการใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน

ในการออกแบบระบบรับคลื่นวิทยุที่มีการใช้งานภายในท่าอากาศยาน ทางคณะผู้จัดทำออกแบบระบบในส่วนนี้ให้ทำการรับค่ากำลังสัญญาณและช่วงความถี่ 108 - 118 MHz ซึ่งแผนผังการทำงานของระบบตรวจจับคลื่นวิทยุมีการใช้งานภายในท่าอากาศยานสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของระบบตรวจจับคลื่นวิทยุมีการใช้งานภายในท่าอากาศยาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.2 เป็นแผนผังการทำงานหลักของระบบตรวจจับคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยาน เริ่มแรกระบบจะรับค่าสัญญาณจาก RTL-SDR dongle ร่วมกับสายอากาศ Broadband 108 - 350 MHz ซึ่งระบบจะรับสัญญาณช่วงความถี่ 108 - 118 MHz มาประมวลผล จากนั้นระบบจะทำการคำนวณค่ากำลังสัญญาณของค่าในช่วงความถี่ต่าง ๆ และทำการบันทึกข้อมูลที่ได้เก็บไว้ในตัวแปรสำหรับแต่ละความถี่ เมื่อเสร็จสิ้นการคำนวณ ระบบจะทำการจัดเก็บค่าเวลาและบันทึกข้อมูลกำลังสัญญาณ ความถี่ และเวลาลงไฟล์ .csv และบันทึกไปยังไฟล์เซิร์ฟเวอร์ โดยการทำงานของระบบดังกล่าว ทางคณะผู้จัดทำได้ออกแบบให้ระบบทำงานทุก ๆ 1 นาที ในการวิเคราะห์ความผิดปกติของคลื่นวิทยุย่านความถี่ VHF เบื้องต้น

3.1.1.2 การออกแบบระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่มีการใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน

ในการออกแบบระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่มีการใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน ทางคณะผู้จัดทำได้จำแนกประเภทของความผิดปกติในการใช้งานของคลื่นวิทยุที่มีการใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยานออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากสัญญาณช่วยการลงจอด (Anomaly A) และความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากสัญญาณที่ไม่ได้ถูกใช้งานในระบบช่วยการลงจอด (Anomaly B)

แผนผังการทำงานของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยานแสดงได้ดังรูปที่ 3.3 โดยมีรายละเอียดการทำงานของระบบเพิ่มเติมดังนี้

1) การตรวจสอบสัญญาณช่วยการลงจอด จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากไฟล์ .csv ของ psd ล่าสุดจำนวน 3 ไฟล์ (psd1, psd2, และ psd3) โดยข้อมูลค่ากำลังและความถี่ที่ 109.1 109.5 110.1 และ 110.5 MHz ซึ่งเป็นความถี่ของสัญญาณช่วยการลงจอด ระบบจะทำการตรวจสอบค่ากำลังสูงสุดที่พบในช่วงความถี่ที่กำหนด และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ตั้งไว้ หากพบค่ากำลังสูงสุดระบบจะนำข้อมูลจาก psd1 และ psd2 มาทำการตรวจสอบเพื่อยืนยันความถูกต้องของสัญญาณ หากพบว่ามีค่ากำลังที่ตรงหรือใกล้เคียงกันจะถูกจำแนกประเภทเป็นสัญญาณช่วยการลงจอด (ILS) แต่หากไม่ตรงกันจะถูกจำแนกประเภทเป็นสัญญาณที่ไม่ต้องการ (UNWANTED) เนื่องจากอาจเป็นสัญญาณแปลกปลอมที่เกิดจากระบบของผู้จัดทำเอง ในกรณีที่ไม่พบค่ากำลังสูงสุดจะถือว่าเป็นสัญญาณรบกวน (NOISE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

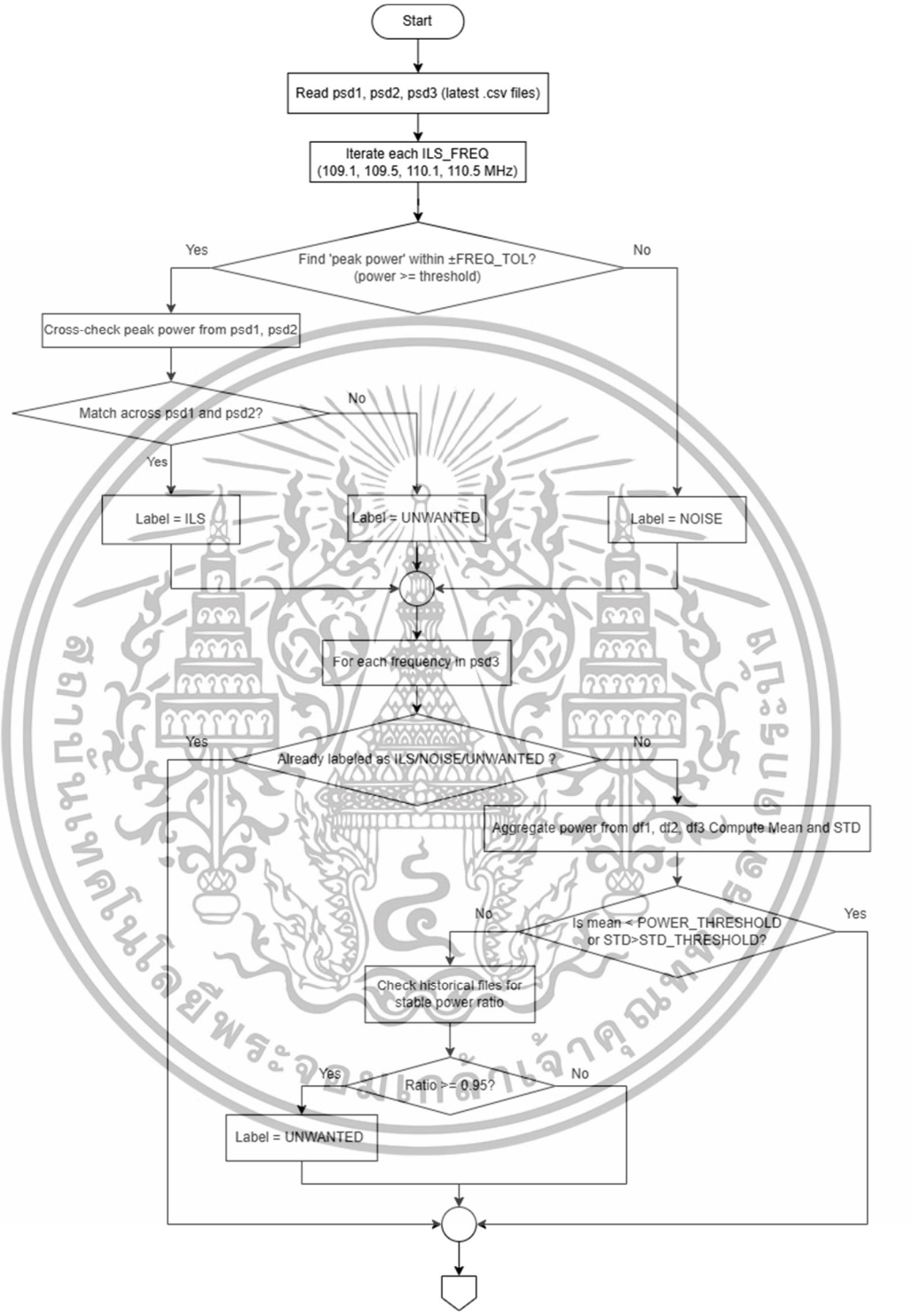
2) หลังจากที่ระบบระบุสัญญาณเป็น ILS NOISE หรือ UNWANTED แล้ว ระบบจะดำเนินการวิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อระบุสัญญาณรบกวนคงที่ โดยใช้ข้อมูลจากไฟล์ psd3 และเปรียบเทียบกับข้อมูลในอดีต เพื่อประเมินความคงที่และระดับกำลังของสัญญาณ หากพบว่าสัญญาณมีระดับค่ากำลังเฉลี่ยสูง และมีความเสถียรของค่ากำลัง ระบบจะจัดประเภทเป็นสัญญาณรบกวนคงที่ ซึ่งรวมถึงสัญญาณที่เกิดจากความผิดพลาดภายในระบบเอง โดยสัญญาณเหล่านี้จะถูกจำแนกประเภทเป็น UNWANTED เนื่องจากไม่ถือเป็นความผิดปกติที่เกิดจากภายนอกระบบจริง

3) หลังจากการระบุสัญญาณรบกวนคงที่ ระบบจะทำงานต่อในส่วนของการตรวจจับและระบุประเภทของความผิดปกติตามที่นิยามไว้ ในส่วนแรกคือการตรวจสอบการหายไปและกลับมาของสัญญาณช่วยการลงจอดภายในช่วงเวลาสั้น ซึ่งเหตุการณ์นี้บ่งบอกถึงความผิดปกติของเครื่องส่งสัญญาณช่วยการลงจอด โดยการทำงานในส่วนนี้จะมีการใช้ข้อมูลจากไฟล์สถานะการทำงานของสัญญาณช่วยการลงจอดที่ความถี่ต่าง ๆ หากระบบคำนวณเวลาที่สัญญาณไม่มีการทำงานจากไฟล์รายงานสถานะเทียบกับเวลาปัจจุบันที่ระบบของผู้จัดทำตรวจพบสัญญาณช่วยการลงจอดนั้น และพบว่าระยะเวลาระหว่างสองเวลานี้ห่างกันไม่เกินที่ระบบตรวจจับกำหนดไว้ ระบบจะระบุเหตุการณ์ดังกล่าวนี้เป็น “ANOMALY_A_CARRIER_DROP”

นอกจากนี้ ระบบยังทำการตรวจสอบสัญญาณแปลกปลอมหรือสัญญาณที่ไม่ได้ถูกใช้งานในตารางความถี่สำหรับเครื่องช่วยการลงจอดหรือระบบนำร่องอากาศยาน โดยเปรียบเทียบข้อมูลจากไฟล์ psd1 psd2 และ psd3 กับค่ากำลังมาตรฐานตามที่ผู้จัดทำกำหนดเพื่อระบุสัญญาณที่แปลกปลอม หากพบสัญญาณที่น่าสงสัยระบบจะระบุเป็น “ANOMALY_B_SUSPICIOUS_SIGNAL” แต่หากพบสัญญาณที่มีจำนวนช่วงความถี่หลายช่วง ระบบจะระบุเป็น ANOMALY_B_SPORADIC_E ซึ่งเป็นเหตุการณ์ผิดปกติที่อาจเกิดจากการสะท้อนคลื่นวิทยุของชั้นบรรยากาศ (Sporadic E)

เมื่อระบบตรวจพบเหตุการณ์หรือความผิดปกติใดๆ ระบบจะทำการบันทึกข้อมูลลงในไฟล์รายงานในรูปแบบ CSV หรือ JSON และระบบจะทำการคำนวณค่ากำลังสัญญาณรบกวนเฉลี่ย และบันทึกสถานะการทำงานของสัญญาณช่วยการลงจอด ณ เวลาที่ระบบของผู้จัดทำสามารถตรวจจับลงในไฟล์รายงานดังรูปที่ 3.4 พร้อมทั้งอัปโหลดข้อมูลไปยังไฟล์เซิร์ฟเวอร์ และแสดงผลวิเคราะห์สเปกตรัมเพื่อช่วยในการวิเคราะห์เพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

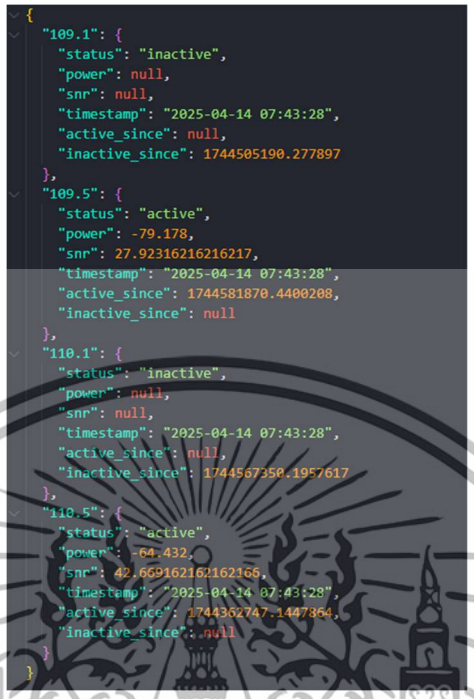


รูปที่ 3.3 แผนผังการทำงานของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุ
ที่มีการใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 แผนผังการทำงานของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุ
ที่มีการใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

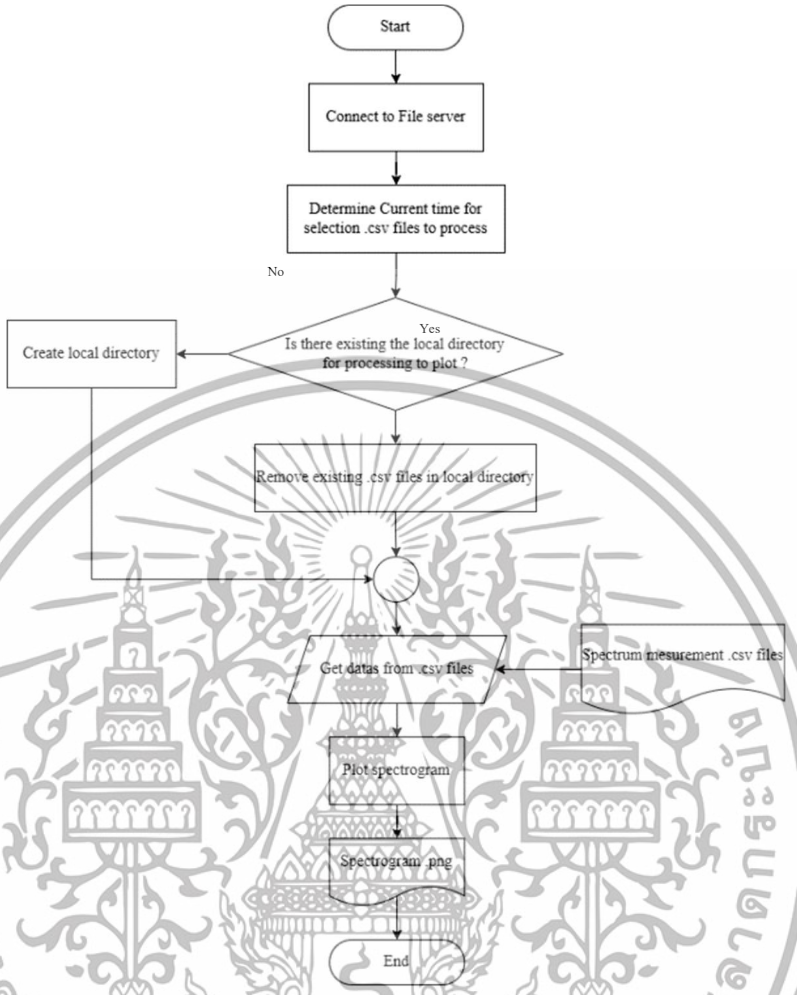


รูปที่ 3.4 รูปแบบข้อมูลที่ถูกบันทึกลงในไฟล์บันทึกสถานะการทำงาน
ของสัญญาณช่วยการลงจอดที่ความถี่ต่าง ๆ

3.1.1.4 การออกแบบระบบพล็อตสเปกโตรแกรม

การออกแบบระบบพล็อตสเปกโตรแกรม ทางคณะผู้จัดทำได้ออกแบบให้ระบบในส่วนนี้ทำงาน หลังจากที่ระบบหลักที่ใช้ตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยานทำงานเสร็จสิ้น และข้อมูลที่บันทึกถูกจัดเก็บในไฟล์เซิร์ฟเวอร์ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แผนผังการทำงานของระบบพล็อตสเปกโตรแกรม

จากรูปที่ 3.5 ระบบพล็อตสเปกโตรแกรมจะเริ่มต้นด้วยการเชื่อมต่อไปยังไฟล์เซิร์ฟเวอร์ที่จัดเก็บข้อมูลไฟล์ .csv และตรวจสอบเวลาปัจจุบันเพื่อเลือกไฟล์ .csv ที่จะนำมาประมวลผล หลังจากนั้นระบบจะตรวจสอบว่ามีไดเรกทอรีในอุปกรณ์ Intel NUC 11ATKC4 ที่เป็นพื้นที่จัดเก็บไฟล์ .csv ที่จะนำมาประมวลผลหรือไม่ ในกรณีที่มีไฟล์ .csv อยู่แล้วในไดเรกทอรีนั้น ระบบจะลบไฟล์เหล่านั้นออกเพื่อให้มั่นใจว่าข้อมูลที่จะนำไปใช้เป็นข้อมูลล่าสุดและเกี่ยวข้องกับเวลาปัจจุบัน หลังจากการเตรียมพื้นที่เก็บข้อมูลแล้ว ระบบจะดาวน์โหลดไฟล์ .csv ที่นำมาจากไฟล์เซิร์ฟเวอร์ในขั้นตอนนี้จะมีการดึงค่าความถี่ ค่ากำลัง และค่าเวลาจากไฟล์ .csv มาใช้ในการพล็อตสเปกโตรแกรม หลังจากนั้นระบบจะทำการจัดเก็บรูปไปยังไฟล์เซิร์ฟเวอร์และปิดการเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์และจบกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การออกแบบระบบการตรวจสอบสถานะการทำงานของระบบตรวจจับคลื่นวิทยุที่มีการใช้งานภายในท่าอากาศยาน

การออกแบบระบบการตรวจสอบสถานะการทำงานของระบบตรวจจับคลื่นวิทยุที่มีการใช้งานภายในท่าอากาศยาน ทางผู้จัดทำได้ออกแบบส่วนของการตรวจสอบสถานะการทำงานของระบบ ซึ่งจะมีการตรวจสอบสถานะของระบบทั้งหมด 4 รายการได้แก่

ก. สถานะการทำงานของอุปกรณ์ SDR

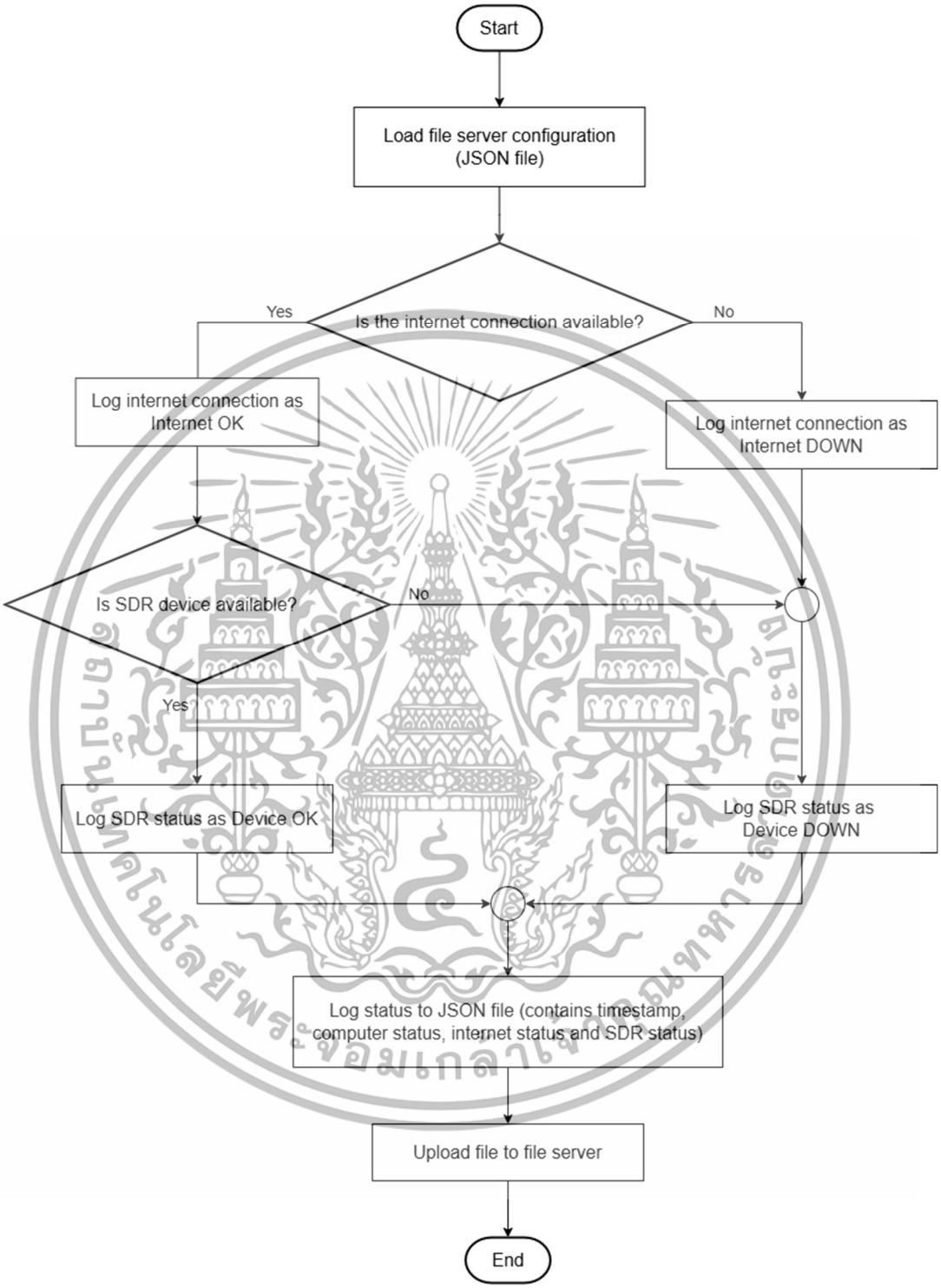
ข. สถานะการเชื่อมต่อเครือข่ายของคอมพิวเตอร์

ค. สถานะการทำงานของคอมพิวเตอร์

ง. สถานะการเชื่อมต่อระหว่างไฟล์เซิร์ฟเวอร์และคอมพิวเตอร์

โดยโปรแกรมนี้จะทำการตรวจสอบการเชื่อมต่อเครือข่ายของคอมพิวเตอร์ก่อนเป็นอันดับแรก หากการเชื่อมต่อเครือข่ายปกติ ระบบจะทำการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ RTL-SDR ที่ใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์ที่ใช้รับคลื่นวิทยุ VHF ที่มีการใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน จากนั้นระบบจะทำการบันทึกสถานะการทำงานต่าง ๆ ของระบบและส่งข้อมูลสถานะไปยังไฟล์เซิร์ฟเวอร์เพื่อนำไปใช้ในการแจ้งเตือนแก่ผู้ใช้งานเพื่อให้ทราบถึงสถานะการทำงานต่าง ๆ ของอุปกรณ์ในระบบ ซึ่งแผนผังการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในการตรวจสอบสถานะการทำงานของระบบสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

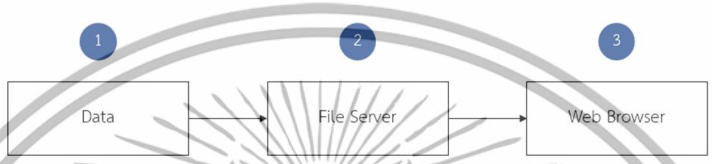


รูปที่ 3.6 แผนผังการทำงานของระบบตรวจสอบสถานะการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

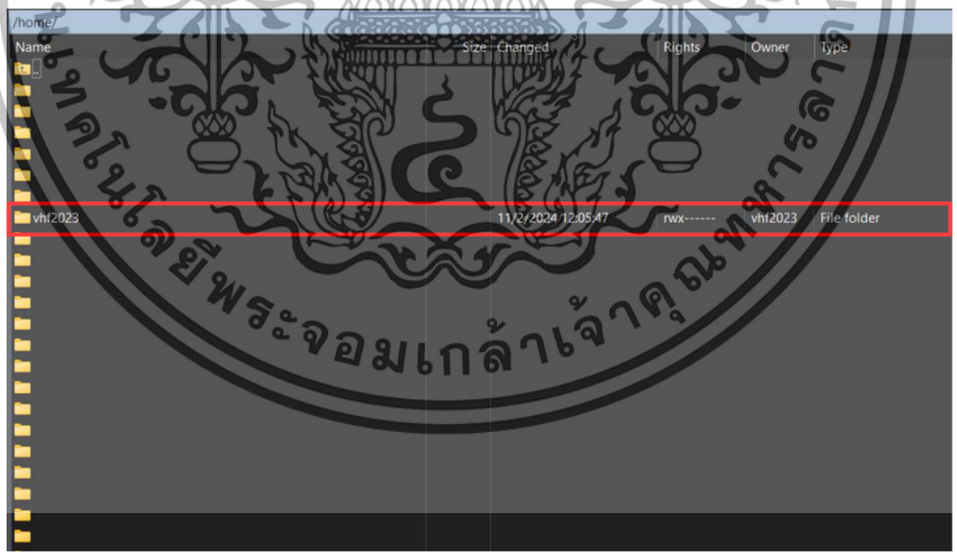
3.1.3 การออกแบบระบบจัดเก็บข้อมูล

ในการออกแบบระบบจัดเก็บข้อมูลเพื่อจัดเก็บข้อมูลที่ได้รับมาจากระบบตรวจจับคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะถูกจัดเก็บไว้ภายในไฟล์เซิร์ฟเวอร์ โดยจะจัดเก็บข้อมูลที่เป็นส่วนของรูปภาพและส่วนของสำรองข้อมูลรายงาน หลังจากนั้นจะดึงข้อมูลทั้งหมดไปแสดงผ่านเว็บเบราว์เซอร์ โดยจะแสดงขั้นตอนการทำงานในรูปแบบดังรูปที่ 3.7



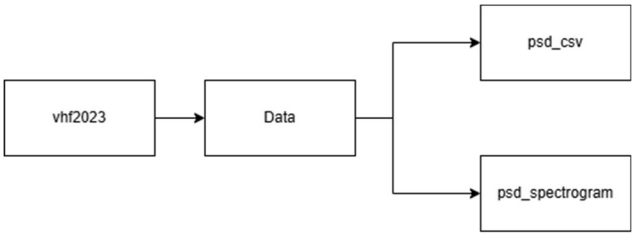
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการทำงานระบบจัดเก็บข้อมูล

ไฟล์เซิร์ฟเวอร์เป็นส่วนที่ใช้จัดเก็บข้อมูลรูปภาพสเปกโตรแกรม และสำรองข้อมูลรายงาน โดยใช้เครื่องเซิร์ฟเวอร์ของห้องแล็ป CSSRG และได้ทำการสร้างโฟลเดอร์ที่มีชื่อว่า “vhf2023” ดังรูปที่ 3.8 เพื่อจัดเก็บข้อมูล และได้สร้างโฟลเดอร์ย่อยเพื่อจัดเก็บข้อมูลที่เฉพาะเจาะจงมากยิ่งขึ้นตามลำดับดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 โฟลเดอร์ “vhf2023” บนหน้าต่างไฟล์เซิร์ฟเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 โฟลเดอร์ย่อยในโฟลเดอร์ “vhf2023” บนหน้าต่างไฟล์เซิร์ฟเวอร์

จากรูปที่ 3.9 แสดงถึงลำดับของโฟลเดอร์ย่อยภายในโฟลเดอร์ “vhf2023”ภายในโฟลเดอร์จะประกอบไปด้วยโฟลเดอร์ Data ซึ่งมีโฟลเดอร์ย่อยอีก 2 โฟลเดอร์ ได้แก่ psd_csv และ psd_spectrogram ดังรูปที่ 3.10 โดยภายใน 2 โฟลเดอร์นี้มีโฟลเดอร์ย่อยที่สร้างไว้สำหรับเก็บข้อมูลที่แบ่งเป็นโฟลเดอร์ ปีที่เก็บไฟล์ โฟลเดอร์ ปีและเดือนที่เก็บไฟล์ โฟลเดอร์ ปี, เดือน, วันที่เก็บไฟล์ ตามลำดับ

รูปที่ 3.10 โฟลเดอร์ย่อยภายในโฟลเดอร์ Data

จากรูปที่ 3.10 แสดงโฟลเดอร์ย่อยภายในโฟลเดอร์ Data ซึ่งสร้างไว้สำหรับเก็บข้อมูลรายงาน รูปภาพสเปกตรัมและรูปภาพสเปกโตรแกรม ซึ่งมีทั้งหมด 2 โฟลเดอร์ ได้แก่ โฟลเดอร์ psd_csv และ โฟลเดอร์ psd_spectrogram

1) โฟลเดอร์ psd_csv

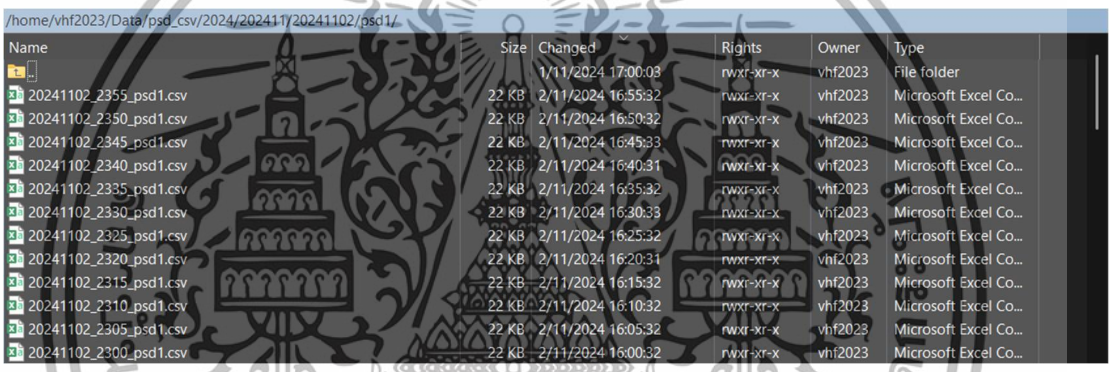
เป็นโฟลเดอร์ที่สร้างไว้เพื่อเก็บข้อมูลความถี่และค่ากำลังของคลื่นวิทยุที่รับมาจากระบบตรวจจับคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยานโดยเมื่อทำการเปิดเข้าไปที่โฟลเดอร์นี้จะพบโฟลเดอร์ย่อยที่สร้างไว้สำหรับเก็บข้อมูลที่แบ่งเป็นโฟลเดอร์แยกปีที่เก็บไฟล์ จากนั้นจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟลเดอร์แยกปีและเดือนที่เก็บไฟล์ แยกโฟลเดอร์ ปี,เดือน,วันที่เก็บไฟล์ และแยกเป็นโฟลเดอร์ย่อยอีก 5 โฟลเดอร์สำหรับข้อมูลของคลื่นวิทยุได้ทำการแบ่งย่านของความถี่ในการตรวจจับเป็น 5 ย่านความถี่ตามลำดับ แสดงตัวอย่างข้อมูลที่ถูกเก็บไว้ในโฟลเดอร์ดังรูปที่ 3.11

2) โฟลเดอร์ psd_spectrogram

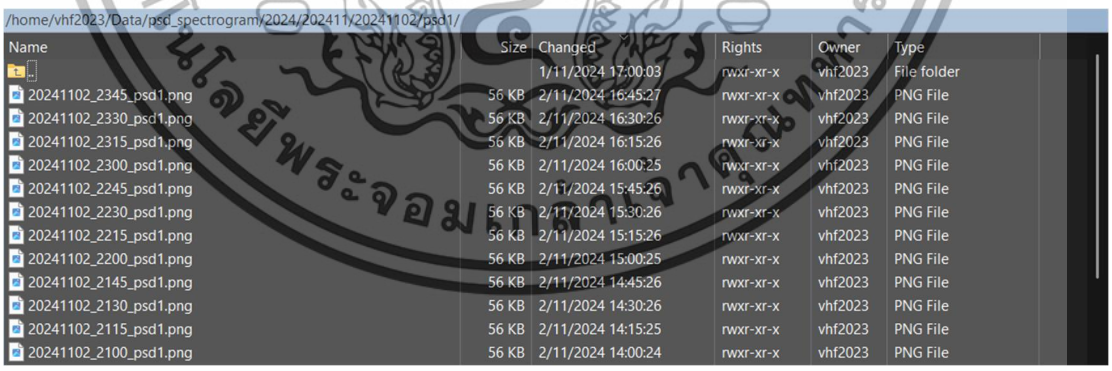
เป็นโฟลเดอร์ที่สร้างไว้เพื่อเก็บรูปภาพสเปกโตรแกรมที่ได้จากระบบตรวจจับคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยานโดยเมื่อทำการเปิดเข้าไปที่โฟลเดอร์นี้จะพบโฟลเดอร์ย่อยที่สร้างไว้สำหรับเก็บข้อมูลที่แบ่งเป็นโฟลเดอร์แยกปีที่เก็บไฟล์ จากนั้นจะเป็นโฟลเดอร์แยกปีและเดือนที่เก็บไฟล์ แยกโฟลเดอร์ ปี, เดือน, วันที่เก็บไฟล์ แสดงตัวอย่างข้อมูลที่ถูกเก็บไว้ในโฟลเดอร์ดังรูปที่ 3.12



/home/vhf2023/Data/psd_csv/2024/202411/20241102/psd1/

Name	Size	Changed	Rights	Owner	Type
..		1/11/2024 17:00:03	rwxr-xr-x	vhf2023	File folder
20241102_2355_psd1.csv	22 KB	2/11/2024 16:55:32	rwxr-xr-x	vhf2023	Microsoft Excel Co...
20241102_2350_psd1.csv	22 KB	2/11/2024 16:50:32	rwxr-xr-x	vhf2023	Microsoft Excel Co...
20241102_2345_psd1.csv	22 KB	2/11/2024 16:45:33	rwxr-xr-x	vhf2023	Microsoft Excel Co...
20241102_2340_psd1.csv	22 KB	2/11/2024 16:40:31	rwxr-xr-x	vhf2023	Microsoft Excel Co...
20241102_2335_psd1.csv	22 KB	2/11/2024 16:35:32	rwxr-xr-x	vhf2023	Microsoft Excel Co...
20241102_2330_psd1.csv	22 KB	2/11/2024 16:30:33	rwxr-xr-x	vhf2023	Microsoft Excel Co...
20241102_2325_psd1.csv	22 KB	2/11/2024 16:25:32	rwxr-xr-x	vhf2023	Microsoft Excel Co...
20241102_2320_psd1.csv	22 KB	2/11/2024 16:20:31	rwxr-xr-x	vhf2023	Microsoft Excel Co...
20241102_2315_psd1.csv	22 KB	2/11/2024 16:15:32	rwxr-xr-x	vhf2023	Microsoft Excel Co...
20241102_2310_psd1.csv	22 KB	2/11/2024 16:10:32	rwxr-xr-x	vhf2023	Microsoft Excel Co...
20241102_2305_psd1.csv	22 KB	2/11/2024 16:05:32	rwxr-xr-x	vhf2023	Microsoft Excel Co...
20241102_2300_psd1.csv	22 KB	2/11/2024 16:00:32	rwxr-xr-x	vhf2023	Microsoft Excel Co...

รูปที่ 3.11 โฟลเดอร์ psd_csv ที่เก็บข้อมูลความถี่และกำลังสัญญาณในรูปแบบไฟล์ .csv



/home/vhf2023/Data/psd_spectrogram/2024/202411/20241102/psd1/

Name	Size	Changed	Rights	Owner	Type
..		1/11/2024 17:00:03	rwxr-xr-x	vhf2023	File folder
20241102_2345_psd1.png	56 KB	2/11/2024 16:45:27	rwxr-xr-x	vhf2023	PNG File
20241102_2330_psd1.png	56 KB	2/11/2024 16:30:26	rwxr-xr-x	vhf2023	PNG File
20241102_2315_psd1.png	56 KB	2/11/2024 16:15:26	rwxr-xr-x	vhf2023	PNG File
20241102_2300_psd1.png	56 KB	2/11/2024 16:00:25	rwxr-xr-x	vhf2023	PNG File
20241102_2245_psd1.png	56 KB	2/11/2024 15:45:26	rwxr-xr-x	vhf2023	PNG File
20241102_2230_psd1.png	56 KB	2/11/2024 15:30:26	rwxr-xr-x	vhf2023	PNG File
20241102_2215_psd1.png	56 KB	2/11/2024 15:15:26	rwxr-xr-x	vhf2023	PNG File
20241102_2200_psd1.png	56 KB	2/11/2024 15:00:25	rwxr-xr-x	vhf2023	PNG File
20241102_2145_psd1.png	56 KB	2/11/2024 14:45:26	rwxr-xr-x	vhf2023	PNG File
20241102_2130_psd1.png	56 KB	2/11/2024 14:30:26	rwxr-xr-x	vhf2023	PNG File
20241102_2115_psd1.png	56 KB	2/11/2024 14:15:25	rwxr-xr-x	vhf2023	PNG File
20241102_2100_psd1.png	56 KB	2/11/2024 14:00:24	rwxr-xr-x	vhf2023	PNG File

รูปที่ 3.12 โฟลเดอร์ psd_spectrogram ที่เก็บรูปภาพสเปกตรัมในรูปแบบไฟล์ PNG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 การออกแบบเว็บเบราว์เซอร์ในการแสดงผล

ทางผู้จัดทำได้ทำการออกแบบเว็บเบราว์เซอร์เพื่อแสดงผลของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน โดยจะมีการแสดงผลข้อมูลของระบบในแต่ละส่วน ได้แก่ ส่วนแสดงสถานะการใช้งานของคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน ส่วนแสดงข้อมูลความผิดปกติของคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน ส่วนแสดงสถานะการใช้งานของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุภายในบริเวณท่าอากาศยาน และส่วนแสดงสเปกโตรแกรม โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.4.1 การออกแบบโครงร่างของเว็บเบราว์เซอร์ส่วนของการแสดงผล

การออกแบบหน้าเว็บเบราว์เซอร์ในส่วนของการแสดงผลจะแบ่งส่วนของการแสดงผลออกเป็น 3 ส่วนประกอบด้วย ส่วนบนแสดงชื่อของปริญญานิพนธ์ ส่วนแสดงผลข้อมูลต่าง ๆ ของระบบ และส่วนแสดงข้อมูลผู้จัดทำ ตามลำดับ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ในส่วนแรกของเว็บเบราว์เซอร์คือ ส่วนบนของเว็บเบราว์เซอร์ที่จะมีการแสดงตราสัญลักษณ์ของสถาบันและชื่อของปริญญานิพนธ์ที่ได้จัดทำทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ดังแสดงรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 การออกแบบส่วนหัวของเว็บเบราว์เซอร์

ส่วนถัดมาของหน้าเว็บเบราว์เซอร์คือ ส่วนของการแสดงผลข้อมูล ซึ่งจะมีการแสดงข้อมูล ได้แก่

1) ส่วนแสดงสถานะการใช้งานของคลื่นวิทยุ

ในส่วนนี้จะมีการแสดงการใช้งานของคลื่นวิทยุว่า ณ ขณะนั้น คลื่นวิทยุที่ถูกกำหนดให้ใช้งานเพื่อช่วยในการเดินอากาศแต่ละประเภท มีการใช้งานอยู่ในสภาวะปกติหรือไม่ โดยจะแสดงในรูปแบบของตารางซึ่งมีการระบุประเภทของการใช้งาน ความถี่ และสถานะการใช้งานของคลื่นวิทยุนั้น ๆ ซึ่งจะแสดงดังหมายเลข 1 ในรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ส่วนแสดงสถานะการใช้งานของระบบ

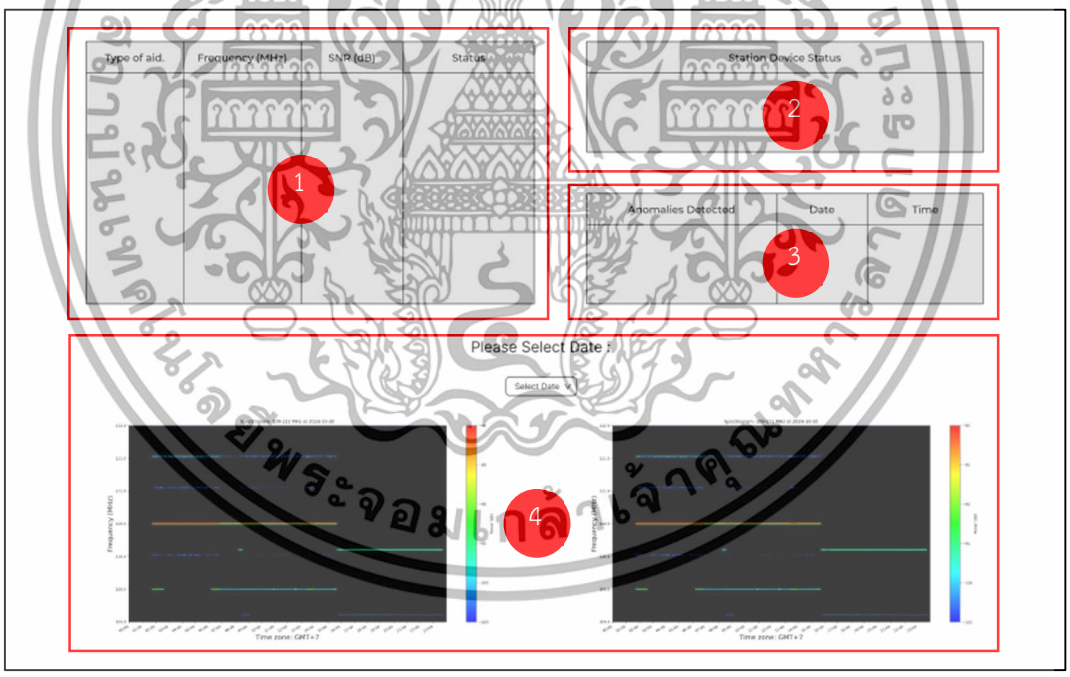
ในส่วนนี้จะมีการแสดงสถานะการใช้งานของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยานว่ามีการใช้งานอยู่ในสภาวะปกติหรือไม่ เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบถึงความพร้อมในการใช้งานของระบบซึ่งจะแสดงดังหมายเลข 2 ในรูปที่ 3.14

3) ส่วนแสดงข้อมูลความผิดปกติของคลื่นวิทยุ

ในส่วนนี้จะมีการแสดงข้อมูลในกรณีหากเกิดการใช้งานคลื่นวิทยุที่ผิดปกติเกิดขึ้นโดยจะแสดงประเภทของความผิดปกติที่ทางผู้จัดทำได้จำแนกไว้ ซึ่งส่วนนี้จะแสดงดังหมายเลข 3 ในรูปที่ 3.14

4) ส่วนแสดงสเปกโตรแกรม

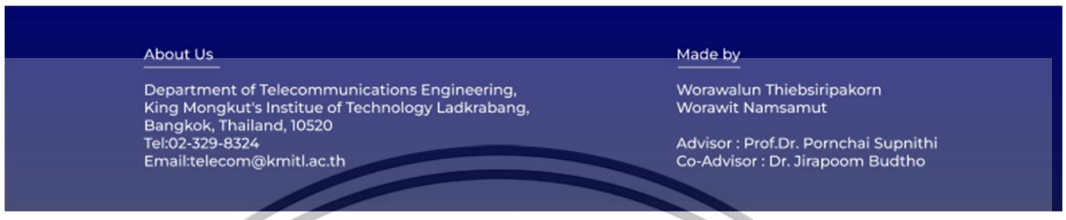
ในส่วนนี้จะมีการแสดงแสดงถึงการใช้งานของคลื่นวิทยุในย่านความถี่ต่าง ๆ ในช่วงระยะเวลา 1 วัน ซึ่งแสดงในรูปแบบของสเปกโตรแกรมที่สามารถระบุได้ว่าในช่วงเวลาใด ๆ มีค่ากำลังสัญญาณเป็นอย่างไร ซึ่งจะแสดงดังหมายเลข 4 ในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การออกแบบส่วนของการแสดงผลกราฟสเปกโตรแกรม
และกราฟไอโอโนแกรมของเว็บเบราว์เซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

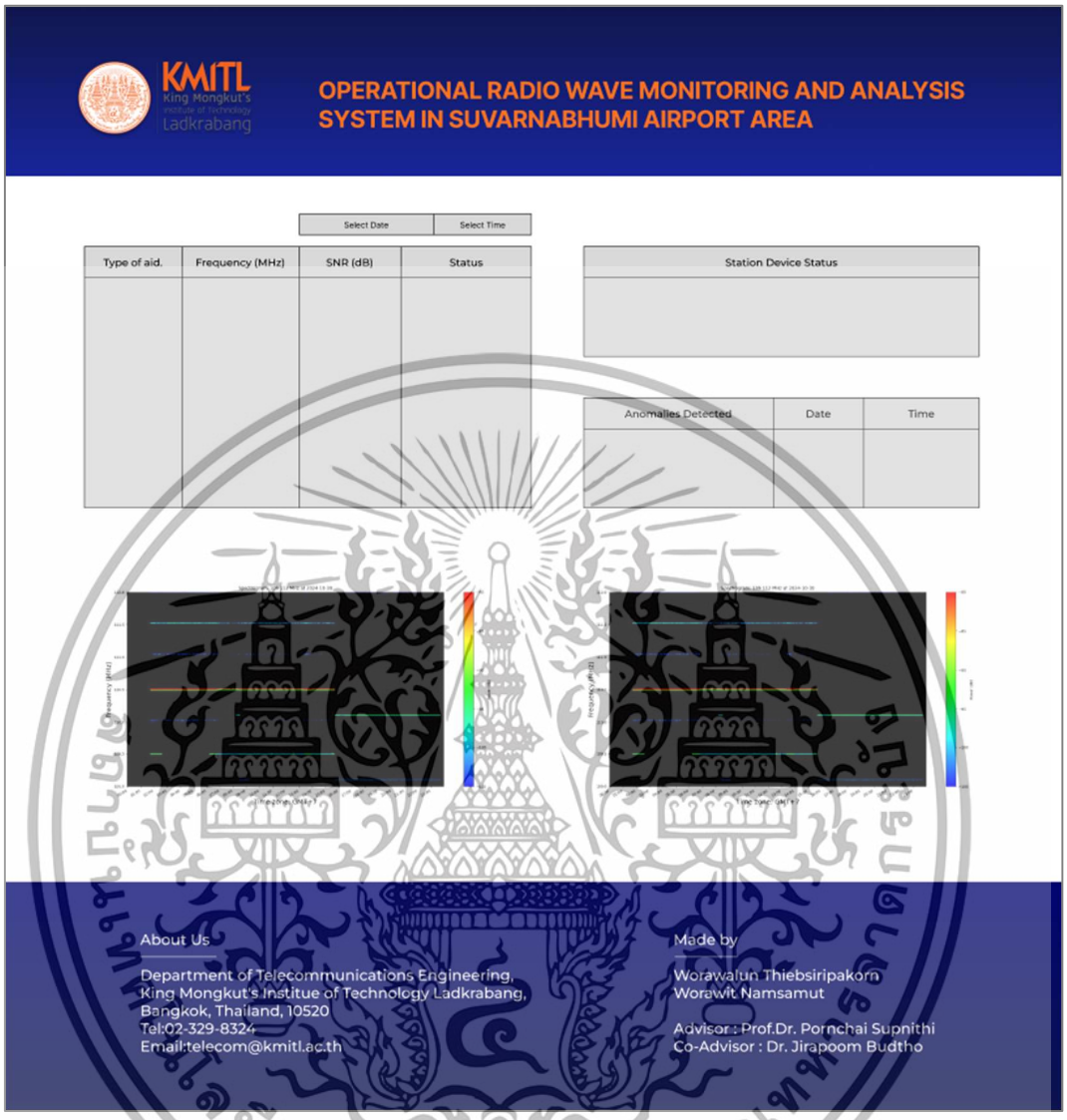
และในส่วนสุดท้ายคือ ส่วน About us จะเป็นส่วนที่แสดงข้อมูลเกี่ยวกับผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ประกอบด้วย ภาควิชา สถาบัน ที่อยู่ เบอร์โทรศัพท์ติดต่อภาควิชา อีเมล์ติดต่อภาควิชา รายชื่อผู้จัดทำและอาจารย์ที่ปรึกษาดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การออกแบบส่วน About us ของหน้าเว็บเบราว์เซอร์

จากการออกแบบหน้าเว็บเบราว์เซอร์เพื่อแสดงผลข้อมูลต่าง ๆ สามารถแสดงภาพรวมของหน้าเว็บเบราว์เซอร์ที่ออกแบบไว้ได้ดังรูปที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 การออกแบบโครงร่างเว็บเบราว์เซอร์ของระบบแสดงผล

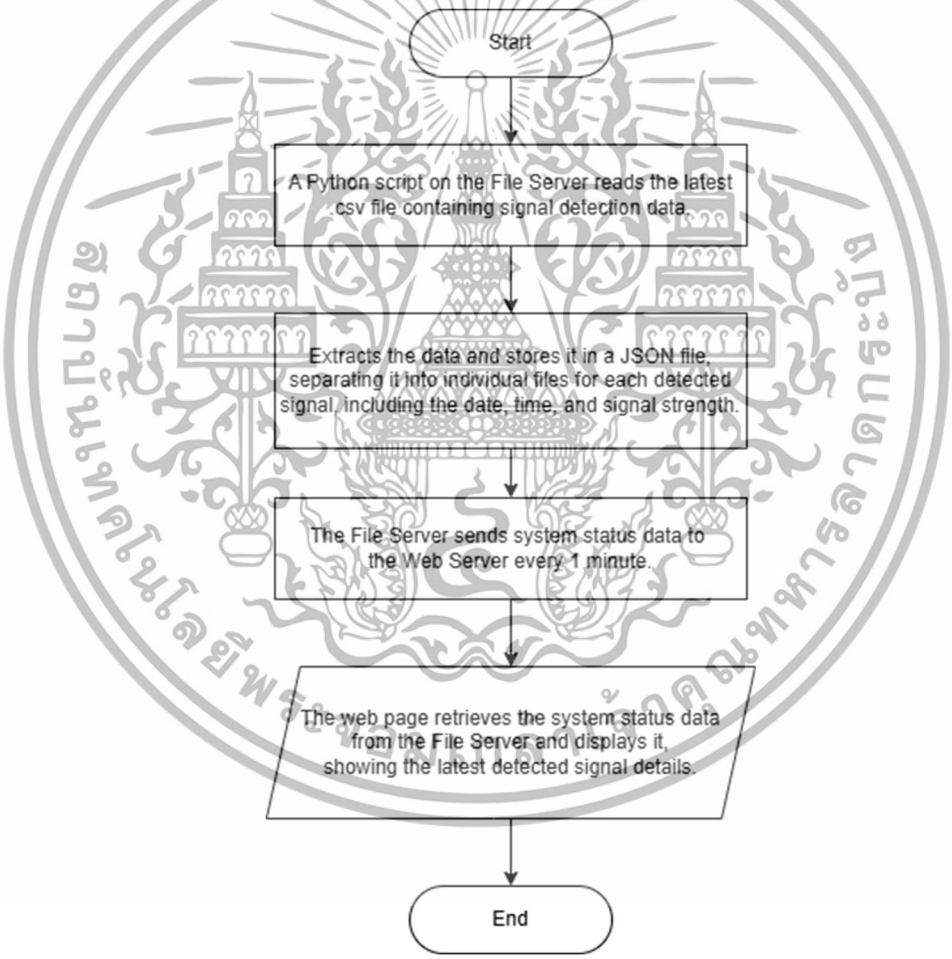
3.1.3.2 การออกแบบระบบการทำงานของเว็บเบราว์เซอร์

จากการออกแบบหน้าเว็บเบราว์เซอร์เพื่อแสดงผลข้อมูลต่าง ๆ สามารถแสดงภาพรวมของหน้าเว็บเบราว์เซอร์ที่ออกแบบไว้ ในแต่ละส่วนของการแสดงผลมีระบบการทำงานในการแสดงข้อมูลแตกต่างกันซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ส่วนแสดงสถานะการใช้งานของคลื่นวิทยุ

การทำงานของระบบในส่วนนี้ โปรแกรมไพธอนภายในไฟล์เซิร์ฟเวอร์จะทำการอ่านไฟล์ .csv ที่บันทึกข้อมูลในการตรวจจับล่าสุดแล้วบันทึกลงในไฟล์ JSON แยกเป็นไฟล์ของแต่ละคลื่นวิทยุแต่ละความถี่ไว้ จากนั้นจะมีการตั้งค่าให้ไฟล์เซิร์ฟเวอร์ส่งต่อข้อมูลสถานะการใช้งานไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์ทุก ๆ 1 นาที จากนั้นโปรแกรมของหน้าเว็บเบราว์เซอร์จะดึงข้อมูลสถานะการใช้งานจากเว็บเซิร์ฟเวอร์ขึ้นแสดงผลว่า ณ ขณะนั้น คลื่นวิทยุมีสถานะการใช้งานอย่างไร มีค่าความแรงสัญญาณเท่าใด ซึ่งแผนผังการทำงานของส่วนแสดงสถานะการทำงานของคลื่นวิทยุสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แผนผังการทำงานระบบแสดงผลสถานะการใช้งานของคลื่นวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ส่วนแสดงสถานะการทำงานของระบบ

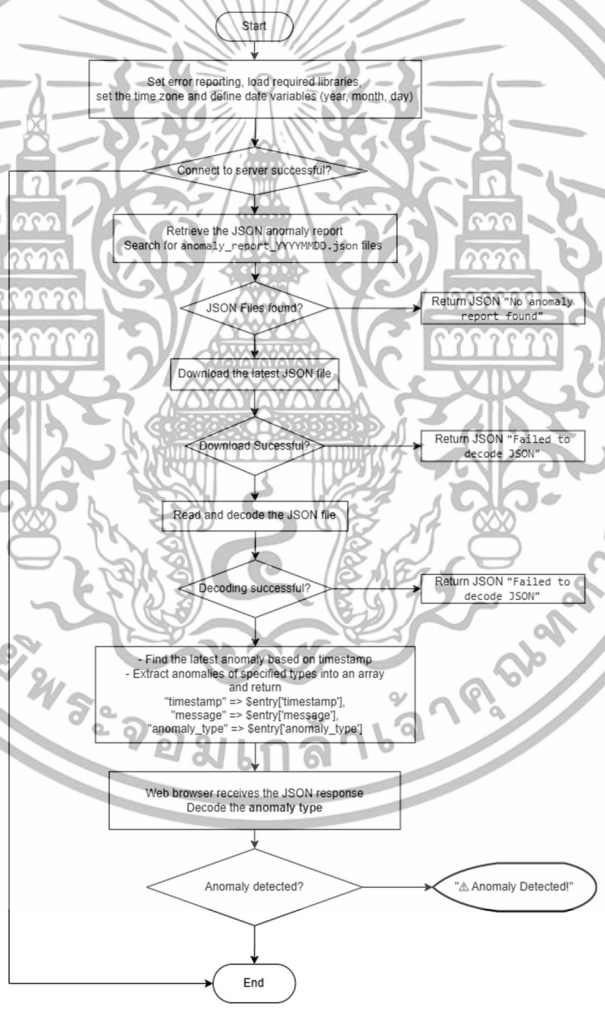
การทำงานของระบบในส่วนนี้ โปรแกรมไพธอนภายในอุปกรณ์ Intel NUC 11ATKC4 จะทำการจัดเก็บและส่งข้อมูลสถานะการใช้งานไปยังไฟล์เซิร์ฟเวอร์ จากนั้นจะมีการตั้งค่าให้ไฟล์เซิร์ฟเวอร์ส่งต่อข้อมูลสถานะการใช้งานไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์ทุก ๆ 1 นาที จากนั้นโปรแกรมของหน้าเว็บเบราว์เซอร์จะดึงข้อมูลสถานะการใช้งานจากเว็บเซิร์ฟเวอร์ขึ้นแสดงผลว่า ณ ขณะนั้น ระบบตรวจจับอยู่ในสภาวะการทำงานที่ปกติ ซึ่งแผนผังการทำงานของส่วนแสดงสถานะการทำงานของระบบสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.18

รูปที่ 3.18 แผนผังการทำงานระบบแสดงผลสถานะการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ส่วนแสดงข้อมูลความผิดปกติของคลื่นวิทยุ

การทำงานของระบบในส่วนนี้ หน้าเว็บเบราว์เซอร์จะมีการออกแบบให้ทำการรับค่าข้อมูลการตรวจจับความผิดปกติจากระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน โดยจะมีการแสดงวันที่และเวลาที่ทำการตรวจจับความผิดปกติได้และจะมีกล่องแจ้งเตือนขึ้นที่หน้าเว็บเบราว์เซอร์สู่ผู้ใช้งานว่า ณ ขณะนั้นมีการใช้งานของคลื่นวิทยุที่ผิดปกติ หรือ มีสัญญาณแปลกปลอมที่ไม่ต้องการเกิดขึ้น เพื่อแจ้งเตือนให้ผู้ใช้งานตรวจสอบถึงสิ่งผิดปกติโดยเร็ว ซึ่งแผนผังการทำงานระบบข้อมูลความผิดปกติของคลื่นวิทยุของระบบสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 แผนผังการทำงานระบบข้อมูลความผิดปกติของคลื่นวิทยุของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ส่วนแสดงสเปกโตรแกรม

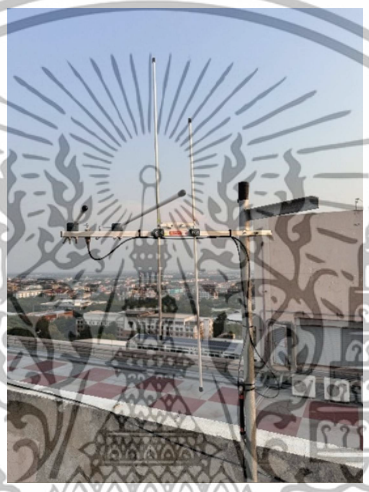
การทำงานของระบบในส่วนนี้ หน้าเว็บเบราว์เซอร์จะมีการออกแบบให้มีกล่องตัวเลือกให้ผู้ใช้งานเลือกวันที่ที่ต้องการให้หน้าเว็บเบราว์เซอร์แสดงผลเมื่อรับค่าวันที่จากกล่องตัวเลือกมาแล้วจะทำการส่งค่าวันที่ให้กับโปรแกรมเพื่อนำค่าวันที่ไปดึงข้อมูลรูปภาพกราฟสเปกโตรแกรมที่เก็บไว้ภายในไฟล์เซิร์ฟเวอร์ หากพบไฟล์รูปภาพให้แสดงบนหน้าเว็บเบราว์เซอร์ หากไม่พบไฟล์รูปภาพให้แสดงรูปที่มีข้อความว่า “Data Not Available” ซึ่งแผนผังการทำงานของส่วนแสดงสเปกโตรแกรมสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.20

รูปที่ 3.20 แผนผังการทำงานระบบแสดงสเปกโตรแกรม

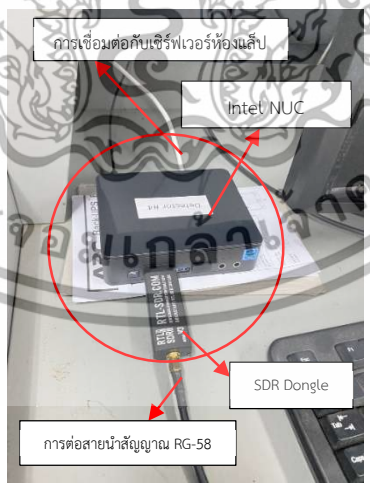
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 การออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยาน

คณะผู้จัดทำได้ทำการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ โดยทำการติดตั้งสายอากาศ Broadband 108 - 350 MHz ณ ดาดฟ้า ตึก 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ดังรูปที่ 3.21 จากนั้นเชื่อมต่อสายนำสัญญาณ RG-58 เข้าไปที่ SDR Dongle ที่ต่อกับ Intel NUC 11ATKC4 ที่ติดตั้งภายในห้องแล็ปบนดาดฟ้าและทำการเชื่อมต่อเข้ากับเซิร์ฟเวอร์ของห้องแล็ป CSSRG ดังรูปที่ 3.22 และรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.21 สายอากาศ Broadband 108-350 MHz ที่ติดตั้ง ณ ดาดฟ้า ตึก 12 ชั้น



รูปที่ 3.22 การเชื่อมต่อสายนำสัญญาณ RG-58 เข้าไปที่ SDR Dongle ที่ต่อกับ Intel NUC 11ATKC4 ที่ติดตั้งภายในห้องแล็ปบนดาดฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.23 การเชื่อมต่อเข้ากับเซิร์ฟเวอร์ของห้องแล็ป CSSRG

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในการจัดทำปริญญานิพนธ์นี้มีอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองดังนี้

1) RTL-SDR Dongle
2) Intel NUC 11ATKC4
3) สายอากาศ Broadband 108 – 350 MHz
4) สคริปท์ไพธอน
5) อุปกรณ์ Divider 2 way
6) N-Type male crimp for RG58U
7) PL-259 male crimp for RG58U
8) SMA female crimp for RG58U
9) RG58U Cable
10) Intel NUC 11ATKC4 power supply adapter
11) LAN Cable
12) เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator)
13) เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer)
14) เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.3.1 การทดสอบคุณสมบัติสายอากาศ Broadband 108 – 350 MHz

3.3.1.1 การทดสอบวัดค่า S11 (Scattering Parameter 11)

จุดประสงค์เพื่อทำการวัดค่า S11 ด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย โดยการพิจารณาจากกำลังของสัญญาณที่ได้รับเข้ามากับสัญญาณที่สะท้อนกลับจากสายอากาศ

3.3.1.2 การทดสอบวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR)

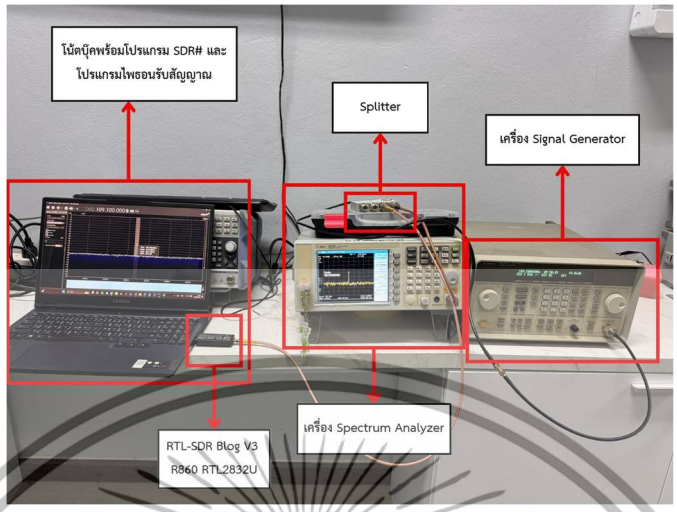
จุดประสงค์เพื่อทำการวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งโดยเทียบอัตราส่วนของค่าแรงดันไฟฟ้าที่มากที่สุดต่อค่าแรงดันไฟฟ้าที่น้อยที่สุดที่ปรากฏในระบบสายอากาศ

3.3.2 การทดสอบระบบต่าง ๆ ที่ทำการออกแบบไว้เพื่อนำไปปรับปรุงระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน

3.3.2.1 การทดลองเปรียบเทียบการรับสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณโดยโปรแกรมกับเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม

จุดประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการรับสัญญาณของโปรแกรมที่ทางผู้จัดทำได้เขียนขึ้นหลังจากการทดลองประมวลผลสัญญาณด้วย HPF โดยทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างสเปกตรัมในเชิงความถี่ของสัญญาณที่ส่งจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ ที่รับมาจากโปรแกรมที่ทางผู้จัดทำได้เขียนขึ้นและที่รับจากเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม โดยทางผู้จัดทำได้ทำการทดลองใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ กำเนิดสัญญาณความถี่ต่าง ๆ จากนั้นใช้งานเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม และโปรแกรมในการรับสัญญาณจากนั้นเปรียบเทียบสัญญาณที่รับได้จากทั้งสองอุปกรณ์ว่ามีความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร และสังเกตสเปกตรัมของสัญญาณ ณ ความถี่ต่าง ๆ ซึ่งได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทำการทดลองดังแสดงรูปที่ 3.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทำการทดลอง

3.3.2.2 การทดสอบรับค่าข้อมูลของคลื่นวิทยุของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน

จุดประสงค์ในการทดลองนี้เป็นการทดสอบรับค่าข้อมูลของคลื่นวิทยุของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน เพื่อสังเกตรูปแบบข้อมูลที่ระบบได้รับ โดยการใช้งานอุปกรณ์ SDR ร่วมกับการเขียนโปรแกรมภาษาไพธอน ซึ่งทางผู้จัดทำได้กำหนดความถี่ศูนย์กลางตามความถี่ที่มีการใช้งานภายในท่าอากาศยานสุวรรณภูมิและได้กำหนดกำลังขยายของสัญญาณเท่ากันทุกครั้งคือ 2.7 dB ที่ทำการรับค่าข้อมูลคลื่นวิทยุ จากนั้นแสดงผลของคลื่นวิทยุในรูปแบบความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง

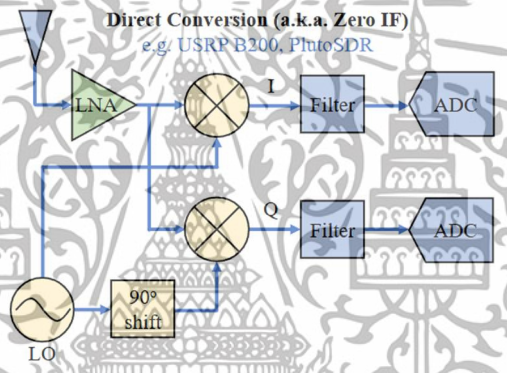
3.3.2.3 การทดลองปรับค่ากำลังขยายและค่าอัตราการสุ่มตัวอย่างในการรับคลื่นวิทยุ

จุดประสงค์ในการทดลองนี้เป็นการทดลองกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการรับค่าจากคลื่นวิทยุ ได้แก่ ค่ากำลังขยายและค่าอัตราการสุ่มตัวอย่าง เพื่อเก็บข้อมูลสเปกตรัมของคลื่นวิทยุมาประมวลผลได้อย่างเหมาะสม โดยทำการทดลองด้วยการกำหนดความถี่ศูนย์กลางที่ใกล้เคียงกับคลื่นวิทยุที่มีการใช้งานจริง เช่น ความถี่ที่ 109.5 MHz ของอุปกรณ์ ILS RWY 20L ความถี่ที่ 110.5 MHz ของอุปกรณ์ ILS RWY 19 เป็นต้น

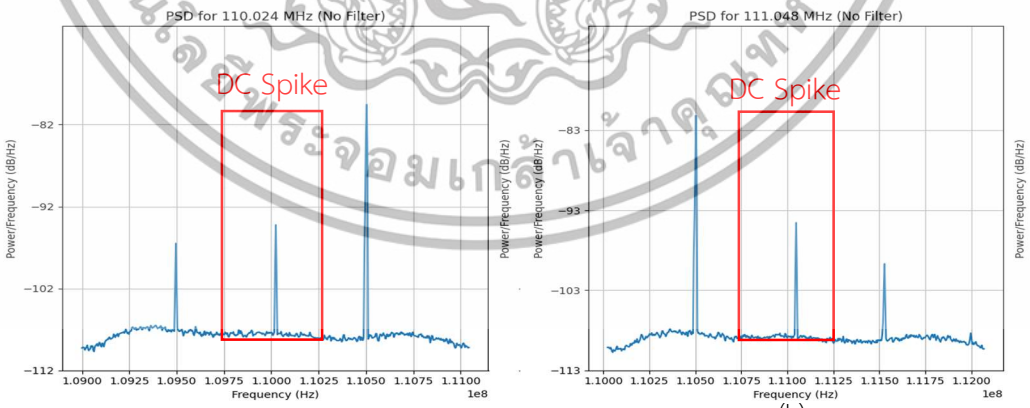
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.4 การทดลองประมวลผลสัญญาณด้วยตัวกรองความถี่สูงผ่านประเภท IIR และ FIR

Direct Conversion ของ SDR หรือ Zero-IF Conversion เป็นวิธีที่ใช้ในการแปลงสัญญาณวิทยุจากความถี่วิทยุ (RF) ลงสู่ความถี่เบสแบนด์ (Baseband) ที่ 0 Hz โดยตรง ไม่มีขั้นตอนการแปลงผ่านความถี่กลาง (IF) โดยมีหลักการทำงานดังแสดงในบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 3.25 อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้จะทำให้เกิดปัญหาที่เรียกว่า DC Spike หรือ DC Offset ที่ความถี่ศูนย์กลาง ซึ่งเกิดจาก Local Oscillator Leakage หรือความไม่สมดุลในกระบวนการแปลงความถี่ ทำให้เกิดสัญญาณ DC ที่ไม่ต้องการที่ความถี่ 0 Hz ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.26 ปัญหานี้สามารถรบกวนสัญญาณที่ต้องการวิเคราะห์ได้ [24], [24]



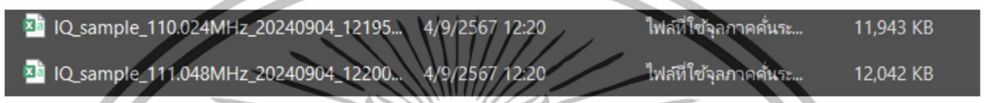
รูปที่ 3.25 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ Direct Conversion ของ SDR [25]



รูปที่ 3.26 DC Spike ที่เกิดจาก LO Leakage ณ ความถี่ศูนย์กลาง 110.024 MHz และ 111.048 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดประสงค์ของการทดลองนี้ คือ การทดสอบใช้ตัวกรองประเภท IIR และ FIR ในการกรอง DC Spike ออกจากคลื่นวิทยุ เพื่อให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อได้โดยไม่มีสัญญาณรบกวนจาก DC Spike การทดลองนี้จะดำเนินการโดยการเปรียบเทียบการออกแบบและตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตัวกรองประเภท IIR และ FIR เพื่อค้นหาค่าที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการกรอง DC Spike ออก โดยข้อมูลที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นค่า I (In-Phase) และ Q (Quadrature) ของคลื่นวิทยุในย่าน VHF ที่ใช้ในบริเวณท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ซึ่งครอบคลุมช่วงความถี่ 109-112 MHz ตามลำดับดังรูปที่ 3.27

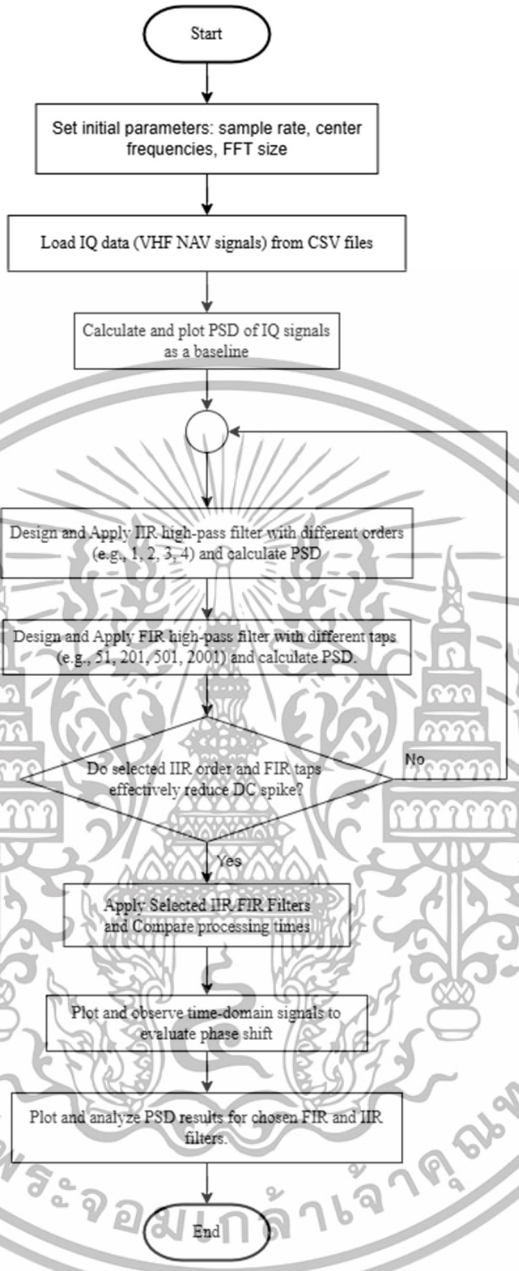


รูปที่ 3.27 ตัวอย่างข้อมูล I และ Q ของคลื่นวิทยุที่ใช้ในการประมวลผลด้วย HPF

ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองนี้ได้มาจากการรับคลื่นวิทยุ VHF ย่านความถี่ 109-112 MHz ที่ใช้งานสำหรับคลื่นวิทยุนำร่องอากาศอย่างเช่น ILS โดยใช้ SDR ซึ่งมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ เช่น กำลังขยาย อัตราการสุ่มตัวอย่าง และความถี่ศูนย์กลาง ให้เหมาะสมกับการตรวจจับสัญญาณวิทยุในย่านความถี่ VHF ข้อมูล IQ ของคลื่นวิทยุที่รวบรวมได้นี้จะถูกนำไปประมวลผลด้วยตัวกรองความถี่สูงประเภท IIR และ FIR เพื่อกำจัด DC Spike ซึ่งเกิดจาก LO leakage ที่ความถี่ศูนย์กลาง โดยการทดลองนี้จะปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตัวกรอง เช่น ค่าความถี่ตัดและลำดับของตัวกรองประเภท IIR รวมถึงจำนวนการ Taps ของตัวกรองประเภท FIR

หลังจากการกรอง ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ในเชิงความถี่ เพื่อประเมินประสิทธิภาพการกรองของตัวกรองแต่ละประเภท ซึ่งกระบวนการการทดลองดังที่กล่าวสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 แผนผังแสดงกระบวนการการทดลองประมวลผลคลื่นวิทยุด้วย
ตัวกรองความถี่สูงประเภท IIR และ FIR

3.3.2.5 การทดลองวิเคราะห์ระดับของพื้นสัญญาณรบกวน (Noise Floor) และ อัตราส่วนระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-Noise Ratio) ของข้อมูลสถิติของคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดประสงค์ในการทดลองนี้ คือ เพื่อวิเคราะห์ว่าระดับของพื้นสัญญาณรบกวนและอัตราส่วนระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยานสุวรรณภูมิในแต่ละช่วงเวลาเป็นอย่างไร มีการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับทั้งสองมากน้อยเพียงใด เพื่อจะนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบตรวจจับคลื่นวิทยุต่อไป โดยการนำข้อมูลของคลื่นวิทยุที่ได้เก็บสถิติไว้ก่อนหน้านำมาวิเคราะห์ คำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับของพื้นสัญญาณรบกวน คำนวณค่าอัตราส่วนระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสำหรับแต่ละช่วงความถี่โดยเปรียบเทียบค่ากำลังสัญญาณกับค่าเฉลี่ยของระดับของพื้นสัญญาณรบกวนผ่านโปรแกรมไพธอน

3.3.3 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังสัญญาณและทิศทางสายอากาศที่ใช้ในการรับคลื่นวิทยุ VHF ช่วงความถี่ 108 - 118 MHz

3.3.3.1 วัตถุประสงค์และสมมติฐานการทดลอง

ในการสั่งซื้อและออกแบบคุณสมบัติสายอากาศ สายอากาศที่ได้จัดสั่งซื้อมีคุณสมบัติแบบ Omni-directional ในการทดสอบปรับมุมและทิศทางของสายอากาศ ค่ากำลังของสัญญาณที่รับมาจากท่าอากาศยานควรจะมีค่ากำลังที่ใกล้เคียงกันในทุก ๆ มุมของทิศทางสายอากาศ ทำให้ทิศทางของสายอากาศอาจไม่มีผลต่อการรับคลื่นวิทยุต่าง ๆ ซึ่งวัตถุประสงค์ในการทดลองต้องการพิสูจน์ในส่วนคุณสมบัติรูปแบบการแพร่กระจายของสายอากาศโดยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังสัญญาณและทิศทางสายอากาศที่ใช้ในการรับคลื่นวิทยุ VHF ช่วงความถี่ 108 - 118 MHz

3.3.3.2 สถานที่และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

สถานที่ทำการทดลอง : ดาดฟ้าอาคาร 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) สายอากาศ Broadband 108 - 350 MHz แบบ Vertical/Horizontal Polarized

2) Raspberry Pi 4 Model B

3) โทรศัพท์พร้อมแอปพลิเคชันเข็มทิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

1) ทำการวัดมุมของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิโดยเทียบจากทิศเหนือ และใช้ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิเป็นจุดอ้างอิงทิศทางของสายอากาศที่ 0 องศา

2) กำหนดและปรับมุมของสายอากาศ Broadband 108 - 350 MHz แบบ Vertical/Horizontal Polarized ที่ติดตั้ง ณ ดาดฟ้าอาคาร 12 ชั้นดังแสดงในรูปที่ 3.29 ในการรับสัญญาณของสายอากาศโดยเริ่มที่ 0 องศาถึง 360 องศาจากท่าอากาศยานโดยเพิ่มมุมทีละ 30 องศาตามเข็มนาฬิกาโดยใช้แอปพลิเคชันเข็มทิศในโทรศัพท์เทียบที่เสาติดตั้งดังรูปที่ 3.30

3) หลังจากการปรับมุมแต่ละครั้งทำการรับคลื่นวิทยุ VHF ช่วงความถี่ 108 - 118 MHz และทำการบันทึกค่ากำลังและความถี่ลงในไฟล์ .csv

รูปที่ 3.29 สายอากาศ Broadband 108 - 350 MHz แบบ Vertical/Horizontal Polarized ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.30 การวัดและปรับมุมที่ใช้ในการปรับทิศทางของสายอากาศ

3.3.4 การทดสอบการรับคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน

3.3.4.1 การทดสอบการทำงานระบบรับคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน

จุดประสงค์เพื่อทดสอบระบบโดยการตรวจสอบข้อมูลที่เข้ามาภายในไฟล์เซิร์ฟเวอร์ว่า ไฟล์ .csv ที่ได้ทำการจัดเก็บนั้นมีองค์ประกอบข้อมูลที่ต้องการ ได้แก่ วันที่ เวลา ค่าความถี่ และค่ากำลังสำหรับความถี่ย่าน VHF ที่กำหนดไว้หรือไม่

3.3.4.2 การทดสอบการทำงานระบบตรวจจับคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน

จุดประสงค์เพื่อทดสอบระบบตรวจจับคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยานว่า ระบบที่จัดทำขึ้นสามารถตรวจจับความผิดปกติของการใช้งานคลื่นวิทยุได้หรือไม่ ซึ่งทางผู้จัดทำได้ทำการออกแบบการทดสอบโดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1) การทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับด้วยการจำลองการหายไปชั่วคราวของสัญญาณช่วยการลงจอด

ในการทดสอบนี้ ผู้จัดทำจำลองสถานการณ์ที่สัญญาณช่วยการลงจอดหายไปชั่วคราวโดยการลดระดับหรือปรับเปลี่ยนค่ากำลังของสัญญาณที่ส่งจากเครื่องกำเนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ โดยผู้จัดทำจะทำการส่งสัญญาณที่ถูกจำลองขึ้นต่อเนื่องและปล่อยให้ระบบตรวจจับทำงานต่อเนื่องไปทุก ๆ 1 นาที จากนั้นผู้จัดทำจะทำการปรับเปลี่ยนค่ากำลังของสัญญาณที่จำลอง หากระบบตรวจพบว่ามีการหายไปและกลับมาของสัญญาณในช่วงเวลาที่สั้น ระบบจะตรวจจับว่าเป็นเหตุการณ์การหายไปชั่วคราวของสัญญาณช่วยการลงจอด และทำการกำกับ “ANOMALY_A_CARRIER_DROP” ให้กับข้อมูลนั้น กระบวนการนี้ช่วยให้สามารถตรวจสอบความเสถียรของสัญญาณและวิเคราะห์ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์หรือระบบสื่อสารภายในท่าอากาศยาน

2) การทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับด้วยการส่งสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ

ผู้จัดทำใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 3.31 เพื่อส่งสัญญาณในช่วงความถี่ 108–118 MHz ด้วยการมอดูเลตแบบแอมพลิจูด 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสัญญาณดังกล่าวไม่ได้ถูกใช้งานในระบบนำร่องอากาศยานดังที่ถูกแสดงในตารางที่ 2.1 หลังจากส่งสัญญาณ ระบบตรวจจับจะเก็บข้อมูลและวิเคราะห์สัญญาณที่ได้รับเพื่อตรวจสอบความผิดปกติ โดยจะเปรียบเทียบค่ากำลังที่ตรวจพบกับค่ากำลังมาตรฐานที่กำหนดไว้ หากพบสัญญาณที่มีความแรงผิดปกติ ระบบจะทำการกำกับความผิดปกติ (เช่น “ANOMALY_B_SUSPICIOUS_SIGNAL” หรือ “SPORADIC_E”) เพื่อระบุและบันทึกเหตุการณ์ที่ผิดปกติได้อย่างถูกต้อง

รูปที่ 3.31 เครื่องกำเนิดสัญญาณที่สร้างสัญญาณแอมพลิจูดมอดูเลชันที่ความถี่ 110.70 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.3 การทดสอบการทำงานระบบที่ใช้พล็อตสเปกโตรแกรม

ทางคณะผู้จัดทำได้ทดสอบร่วมกับระบบหลักที่ใช้ตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน มีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบว่า หลังจากที่ระบบได้ทำการตรวจจับคลื่นวิทยุแล้วนั้น ได้มีการพล็อตกราฟสเปกโตรแกรมแล้วบันทึกสู่ไฟล์เซิร์ฟเวอร์ด้วยหรือไม่ และรูปกราฟสเปกโตรแกรมที่ได้เป็นไปตามความต้องการของคณะผู้จัดหรือไม่ โดยเริ่มจากการทดสอบการบันทึกรูปกราฟสเปกโตรแกรมภายในเซิร์ฟเวอร์

3.3.5 การทดสอบการทำงานระบบตรวจสอบสถานะการทำงานของระบบตรวจจับคลื่นวิทยุที่มีการใช้งานภายในท่าอากาศยาน

ทางผู้จัดทำได้ทำการตรวจสอบการทำงานของระบบตรวจสอบสถานะการทำงานของระบบว่าสามารถทำงานได้ปกติหรือไม่ เพื่อความน่าเชื่อถือของข้อมูลของโปรแกรมที่ใช้ในระบบตรวจจับและวิเคราะห์การใช้งานคลื่นวิทยุภายในบริเวณท่าอากาศยาน

3.3.6 การทดสอบการทำงานระบบจัดเก็บข้อมูลภายในไฟล์เซิร์ฟเวอร์

ทางผู้จัดทำได้ทำการตรวจสอบการทำงานของระบบจัดเก็บข้อมูลว่าสามารถบันทึกข้อมูลจากระบบตรวจจับเข้าสู่ไฟล์เซิร์ฟเวอร์ได้เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดไม่ให้ข้อมูลสถิติสูญหาย

3.3.7 การทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน

3.3.7.1 เว็บเบราว์เซอร์ที่ใช้ในการแสดงผลของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน

จากการออกแบบโครงร่างของเว็บเบราว์เซอร์ส่วนของการแสดงผล ทางผู้จัดทำได้ทำการสร้างเว็บเบราว์เซอร์แสดงผลขึ้นจากการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา HTML CSS PHP และ JavaScript

3.3.7.2 การแก้ไขปัญหาการทำงานของเว็บเบราว์เซอร์ผ่านผู้ใช้งานจริง

นำเว็บเบราว์เซอร์ที่ทำขึ้นนี้ไปทดสอบการทำงานกับผู้ใช้งานจริงว่ามีข้อผิดพลาดหรือข้อเสนอแนะของระบบหรือไม่เพื่อนำมาปรับปรุงและพัฒนาเว็บเบราว์เซอร์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.7.3 การทดสอบการทำงานของเว็บเบราว์เซอร์ร่วมกับระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน

ทำการทดสอบการทำงานของเว็บเบราว์เซอร์โดยรวมให้ผู้ใช้งานได้ทดลองใช้หลังจากปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของผู้ใช้งานแล้ว โดยการจำลองสถานการณ์การใช้งานต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

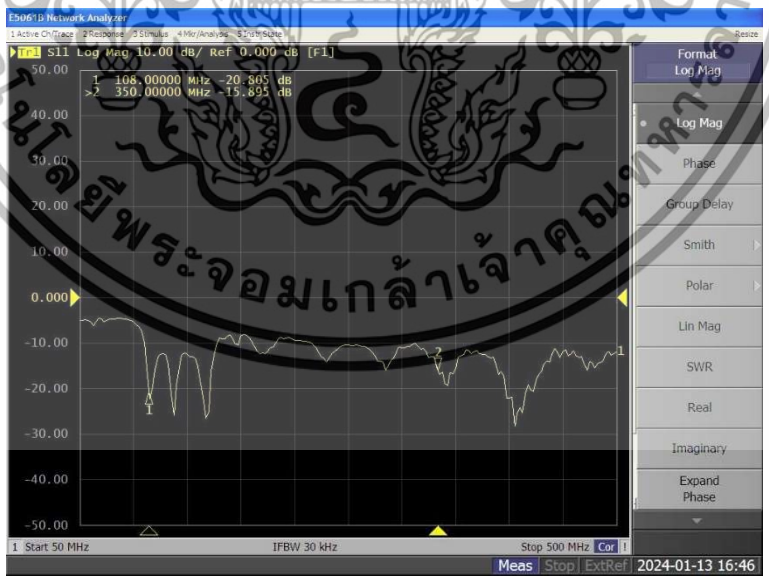
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติสายอากาศ Broadband 108 – 350 MHz

ในการวัดคุณสมบัติสายอากาศ Broadband 108 - 350 MHz ในปริญญานิพนธ์นี้จะทำการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย โดยจะทำการวัดค่า S11 และค่า SWR ของสายอากาศ

4.1.1 ผลการทดสอบวัดค่า S11 (Scattering Parameter 11)

ค่า Scattering Parameter 11 หรือค่า S11 เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการรับสัญญาณของสายอากาศที่ใช้งานโดยการพิจารณาจากกำลังของสัญญาณที่ได้รับเข้ามากับสัญญาณที่สะท้อนกลับจากสายอากาศ หรือสามารถเรียกได้อีกอย่างว่าค่า Reflection Coefficient [26] โดยผลลัพธ์จากการวัดค่า S11 จากเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย ที่มีการวัดจากช่วงความถี่ทั้งหมดของสายอากาศแสดงดังรูปที่ 4.1 และผลลัพธ์จากการวัดค่า S11 จากเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย ที่มีการวัดช่วงความถี่แต่ละความถี่ที่ต้องการพิจารณาแสดงดังรูปที่ 4.2 ซึ่งสามารถแสดงค่าผลลัพธ์ต่าง ๆ แต่ละความถี่ที่พิจารณาได้ดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ค่า S11 ของช่วงความถี่ที่สายอากาศสามารถรับสัญญาณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 ค่า S11 ณ ความถี่ที่ต้องการใช้งาน

ตารางที่ 4.1 ค่า S11 เมื่อทำการวัด ณ ความถี่ที่ต้องการใช้งานและช่วงความถี่ที่สายอากาศสามารถรับสัญญาณได้

ความถี่ (MHz)	ค่า S11 (dB)
108.0	-20.475
112.0	-17.872
117.5	-12.197
134.0	-15.254
242.0	-9.8619
279.0	-10.603
328.0	-10.454
336.0	-11.378
350.0	-15.895

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการทดสอบวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR)

ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio) หรือค่า SWR เป็นค่าพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการรับสัญญาณของสายอากาศที่ใช้งานโดยเทียบอัตราส่วนของค่าแรงดันไฟฟ้าที่มากที่สุดต่อค่าแรงดันไฟฟ้าที่น้อยที่สุดที่ปรากฏในระบบสายอากาศ [27] โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย ซึ่งได้ผลลัพธ์จากการทดสอบวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งดังแสดงในรูปที่ 4.3 และสามารถแสดงค่าผลลัพธ์ต่าง ๆ ในรูปแบบของตารางได้ดังตารางที่ 4.2 ค่า SWR เมื่อทำการวัด ณ ความถี่ที่ต้องการใช้งาน

รูปที่ 4.3 ค่า SWR ณ ความถี่ที่ต้องการใช้งาน

ตารางที่ 4.2 ค่า SWR เมื่อทำการวัด ณ ความถี่ที่ต้องการใช้งาน

ความถี่ (MHz)	ค่า Standing Wave Ratio
108.0	1.2390
112.0	1.3216
117.5	1.6489
134.0	1.4279
242.0	1.9455
279.0	1.8387
328.0	1.8534
336.0	1.7337

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

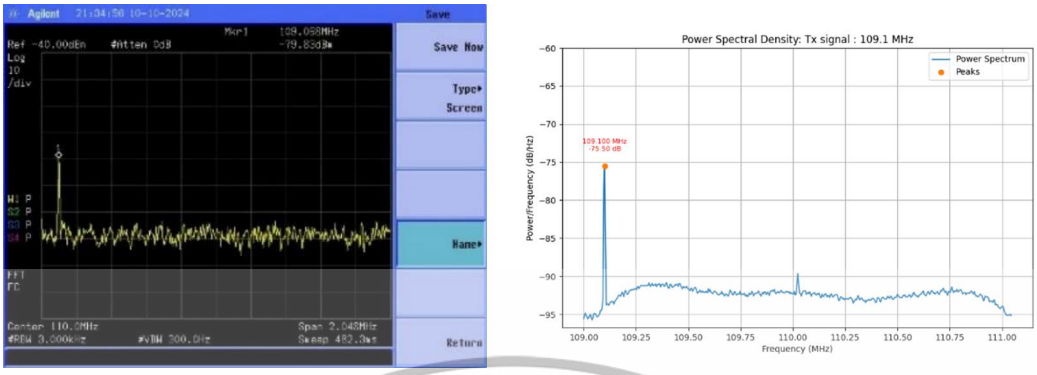
จากการทดสอบวัดค่า S11 และค่า SWR ณ ช่วงความถี่ที่ต้องการใช้งาน ทางคณะผู้จัดทำสามารถสรุปผลการทดลองได้ว่า สายอากาศ Broadband 108 - 350 MHz ที่ได้ทำการทดสอบสามารถใช้งานในด้านการรับสัญญาณในช่วงความถี่ที่ต้องการใช้งานได้ เนื่องจากค่า S11 ณ ความถี่ต่าง ๆ ที่พิจารณาดังตารางที่ 6 มีทั้งค่าที่ใกล้เคียงและน้อยกว่า -10 dB ซึ่งหมายความว่ากำลังที่ส่งจากเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย อย่างน้อย 90% ถูกส่งผ่านไปยังสายอากาศได้ และกำลัง 10% ที่เหลือถูกสะท้อนกลับ ทำให้ค่า S11 ที่น้อยกว่า -10 dB เป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ [28] และในส่วนของค่า SWR ณ ความถี่ต่าง ๆ ที่พิจารณาดังตารางที่ 7 พบว่ามีค่าที่น้อยกว่า 2 ซึ่งจากหลักการทางทฤษฎีนั้น ค่า SWR ที่ดีที่สุดคือ 1:1 เพราะหมายความว่าสายอากาศไม่มีการสะท้อนกลับของสัญญาณ ทำให้การรับ-ส่งสัญญาณมีประสิทธิภาพมากที่สุด แต่หากค่า SWR มีค่าน้อยกว่า 2 ดังผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง ตามหลักการทางทฤษฎีนั้นถือว่าสายอากาศสามารถรับ-ส่งสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพดีอยู่มีสัญญาณที่สะท้อนกลับมาน้อย [29] จึงสามารถกล่าวได้ว่าสายอากาศ Broadband 108 - 350 MHz นี้มีประสิทธิภาพในการรับสัญญาณที่อยู่เกณฑ์ที่สามารถรับได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.2 ผลการทดสอบระบบต่าง ๆ ที่ทำการออกแบบไว้เพื่อนำไปปรับปรุงระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน

4.2.1 การทดลองเปรียบเทียบการรับสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ โดยโปรแกรมกับเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม

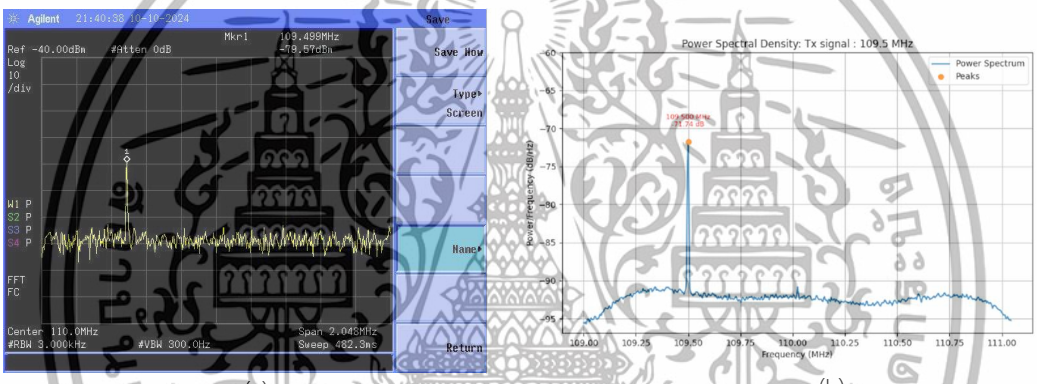
จากการทดลองเปรียบเทียบสเปกตรัมของสัญญาณที่แสดงผลจากเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม และโปรแกรมไพธอนที่ทางผู้จัดทำเขียนขึ้น โดยที่ผู้จัดทำได้ทำการกำหนดความถี่ที่ส่งจากเครื่องกำเนิดสัญญาณที่ความถี่ 109.10 MHz 109.50 MHz 110.10 MHz และ 110.0 MHz ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าลักษณะของสเปกตรัมมีลักษณะใกล้เคียงกันทั้งผลจากเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (a) และโปรแกรมไพธอน (b) ดังแสดงรูปที่ 4.4 รูปที่ 4.7 และเมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ที่ส่งจากเครื่องกำเนิดสัญญาณกับค่าความถี่ที่รับได้และค่ากำลังสัญญาณจากเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมและโปรแกรมไพธอน จะได้ผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



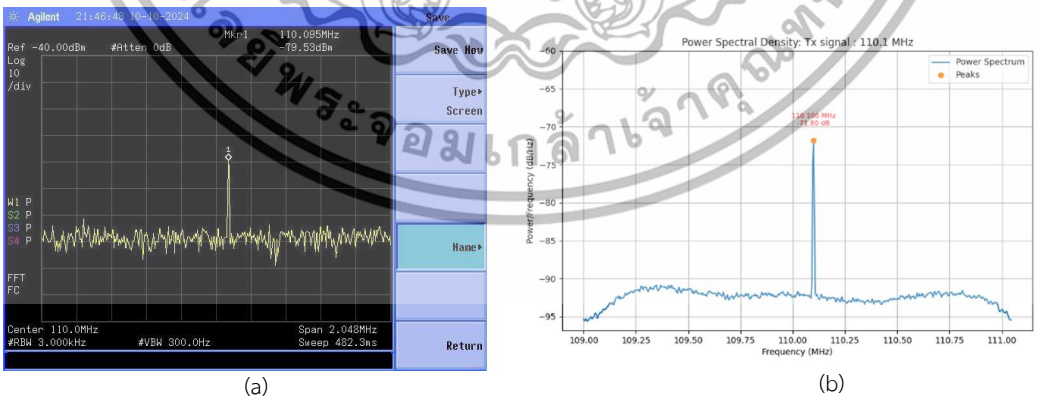
(a) (b)

รูปที่ 4.4 สเปกตรัมของสัญญาณที่ได้จากการรับสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ เมื่อส่งสัญญาณที่ความถี่ 109.10 MHz



(a) (b)

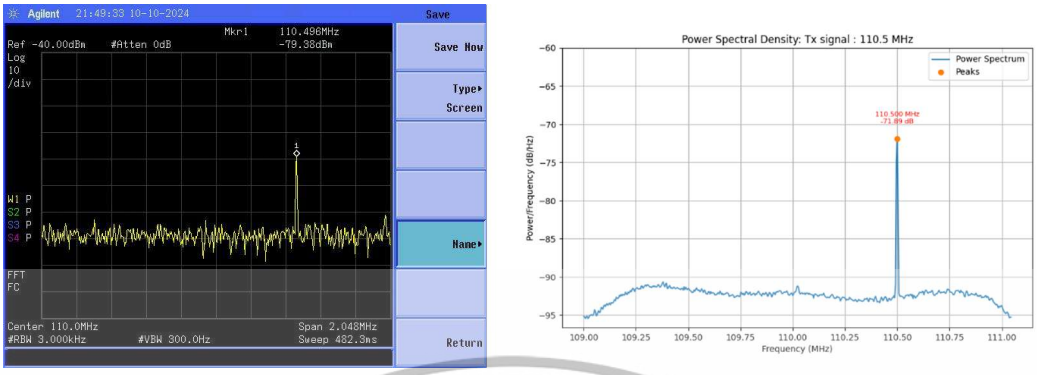
รูปที่ 4.5 สเปกตรัมของสัญญาณที่ได้จากการรับสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ เมื่อส่งสัญญาณที่ความถี่ 109.50 MHz



(a) (b)

รูปที่ 4.6 สเปกตรัมของสัญญาณที่ได้จากการรับสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ เมื่อส่งสัญญาณที่ความถี่ 110.10 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) (b)

รูปที่ 4.7 สเปกตรัมของสัญญาณที่ได้จากการรับสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ เมื่อส่งสัญญาณที่ความถี่ 110.50 MHz

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบความถี่ที่ส่งกับความถี่ที่รับได้จริง จากเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมและโปรแกรมไพธอน

Frequency transmitted from Signal Generator (MHz)	ความถี่ที่รับได้ (MHz)		ค่ากำลังสัญญาณ (dBm)	
	เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม	โปรแกรมไพธอน	เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม	โปรแกรมไพธอน
109.10	109.098	109.100	-79.83	-75.50
109.50	109.499	109.480	-79.57	-71.64
110.10	110.095	110.100	-79.53	-71.80
110.50	110.496	110.500	-79.83	-71.89

จากตารางที่ 4.3 จะแสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ของการทดลองว่าในการรับสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ โดยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม และโปรแกรมไพธอนที่ทางผู้จัดทำเขียนขึ้น พบว่าความถี่ที่ได้รับและค่ากำลังสัญญาณมีค่าใกล้เคียงกันอาจจะมีการคลาดเคลื่อนไปจากความถี่จริงที่ควรจะได้รับอยู่เล็กน้อย

การทดลองนี้สามารถพิสูจน์ให้เห็นว่าการรรับสัญญาณผ่านโปรแกรมไพธอนที่ผู้จัดทำเขียนขึ้น สามารถรับสัญญาณได้ใกล้เคียงกับที่เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม

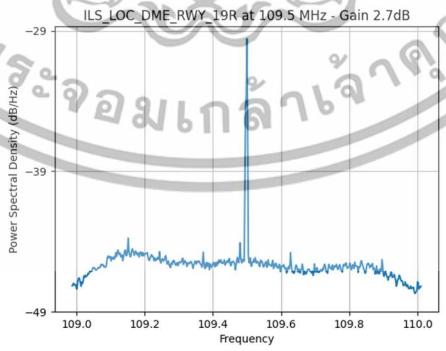
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การทดสอบรับค่าข้อมูลของคลื่นวิทยุของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน

จากการทดสอบรับค่าข้อมูลของคลื่นวิทยุของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยานจากโปรแกรมไพธอนเพื่อสังเกตรูปแบบข้อมูลที่ระบบได้รับที่ทางผู้จัดทำได้กำหนดความถี่ศูนย์กลางตามความถี่ที่มีการใช้งานภายในท่าอากาศยานและได้กำหนดกำลังขยายของสัญญาณเท่ากันทุกครั้งคือ 2.7 dB ที่ทำการรับค่าข้อมูลคลื่นวิทยุนั้น พบว่ารูปแบบค่าข้อมูลของคลื่นวิทยุที่รับเข้ามาเป็นข้อมูล I (In-phase) และ Q (Quadrature) ดังแสดงเป็นตัวอย่างของข้อมูลในรูปที่ 4.8 และได้ผลลัพธ์ของรูปกราฟแสดงสเปกตรัมของคลื่นวิทยุที่มีการใช้งานอยู่ ณ เวลาที่ทำการรับคลื่นวิทยุ ดังตัวอย่างรูปที่ 4.9 - รูปที่ 4.12

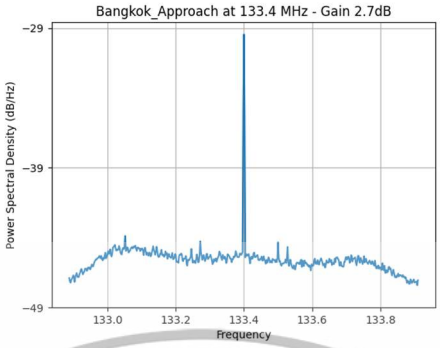
I (In-phase)	Q (Quadrature)	IQ raw
-0.003921569	-0.003921569	-0.003921568627450960-0.003921568627450960j
-0.003921569	-0.003921569	-0.003921568627450960-0.003921568627450960j
0.003921569	0.003921569	0.003921568627450960+0.003921568627450960j
-0.003921569	0.003921569	-0.003921568627450960+0.003921568627450960j
0.003921569	-0.011764706	0.003921568627450960-0.011764705882352940j
0.003921569	0.003921569	0.003921568627450960+0.003921568627450960j
0.003921569	-0.003921569	0.003921568627450960-0.003921568627450960j
-0.003921569	-0.003921569	-0.003921568627450960-0.003921568627450960j
-0.003921569	0.003921569	-0.003921568627450960+0.003921568627450960j
0.003921569	0.003921569	0.003921568627450960+0.003921568627450960j
0.003921569	-0.003921569	0.003921568627450960-0.003921568627450960j
0.003921569	0.003921569	0.003921568627450960+0.003921568627450960j
0.003921569	-0.003921569	-0.003921568627450960-0.003921568627450960j
0.003921569	-0.003921569	0.003921568627450960-0.003921568627450960j
0.003921569	-0.003921569	-0.003921568627450960-0.003921568627450960j
0.003921569	-0.003921569	0.003921568627450960-0.003921568627450960j
0.003921569	0.003921569	0.003921568627450960+0.003921568627450960j
-0.003921569	-0.003921569	-0.003921568627450960-0.003921568627450960j
-0.003921569	-0.003921569	-0.003921568627450960-0.003921568627450960j
-0.003921569	0.003921569	0.003921568627450960+0.003921568627450960j
-0.003921569	+0.003921569	-0.003921568627450960-0.003921568627450960j
-0.003921569	-0.003921569	-0.003921568627450960-0.003921568627450960j

รูปที่ 4.8 ตัวอย่างค่าข้อมูล I (In-phase) และ Q (Quadrature) ของคลื่นวิทยุ

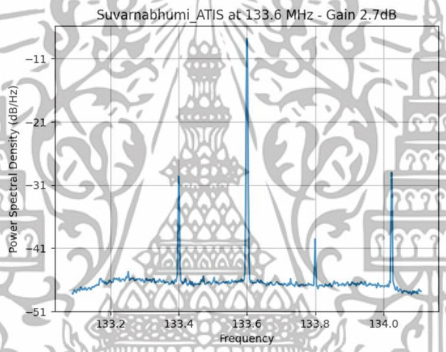


รูปที่ 4.9 สเปกตรัมของคลื่นวิทยุจากการรับคลื่นวิทยุที่กำหนดความถี่ศูนย์กลาง ณ ความถี่ 121.1 MHz

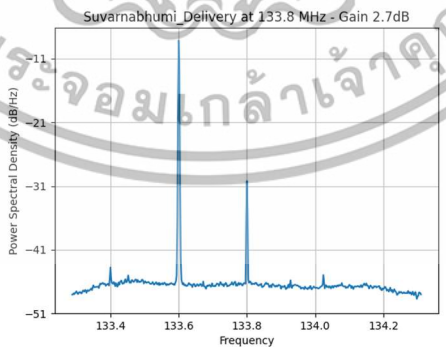
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 สเปกตรัมของคลื่นวิทยุจากการรับคลื่นวิทยุที่กำหนดความถี่ศูนย์กลาง ณ ความถี่ 133.4 MHz



รูปที่ 4.11 สเปกตรัมของคลื่นวิทยุจากการรับคลื่นวิทยุที่กำหนดความถี่ศูนย์กลาง ณ ความถี่ 133.6 MHz



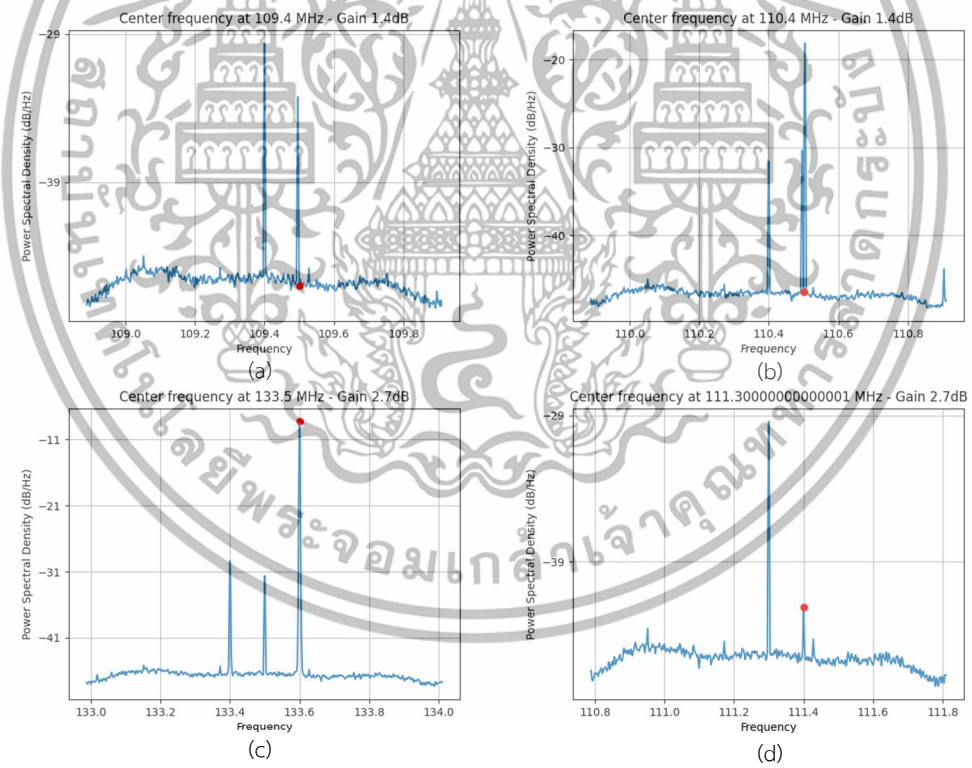
รูปที่ 4.12 สเปกตรัมของคลื่นวิทยุจากการรับคลื่นวิทยุที่กำหนดความถี่ศูนย์กลาง ณ ความถี่ 133.8 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปกราฟสเปกตรัมที่ได้จากการรับคลื่นวิทยุที่กำหนดความถี่ศูนย์กลางเป็นความถี่ที่มีการใช้งานภายในท่าอากาศยานนั้น เมื่อพิจารณาที่ความถี่ศูนย์กลางที่กำหนดพบว่าค่ากำลังของความถี่นั้นมีค่าอยู่ที่ประมาณ -29 dB ถึง -31 dB

4.2.3 การทดลองปรับค่ากำลังขยายและค่าอัตราการสุ่มตัวอย่างในการรับคลื่นวิทยุ

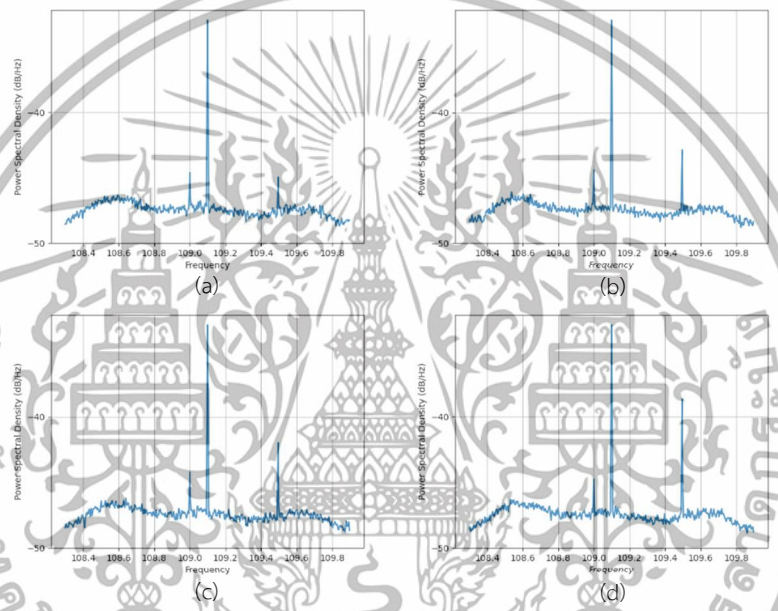
การทดลองกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการรับค่าจากคลื่นวิทยุ ได้แก่ ค่ากำลังขยายและค่าอัตราการสุ่มตัวอย่าง เพื่อเก็บข้อมูลสเปกตรัมของคลื่นวิทยุมาประมวลผลได้อย่างเหมาะสม ซึ่งจากการศึกษาคลื่นวิทยุย่าน VHF ที่มีการใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน ทางผู้จัดทำได้เริ่มต้นการทดลองด้วยการกำหนดความถี่ศูนย์กลางที่ใกล้เคียงกับคลื่นวิทยุที่มีการใช้งานจริง เช่น ความถี่ที่ 109.5 MHz ของอุปกรณ์ ILS RWY 19R ความถี่ที่ 110.5 MHz ของอุปกรณ์ ILS RWY 19L เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 สเปกตรัมของคลื่นวิทยุจากการรับคลื่นวิทยุที่กำหนดความถี่ศูนย์กลางใกล้เคียงกับความถี่ที่มีการใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

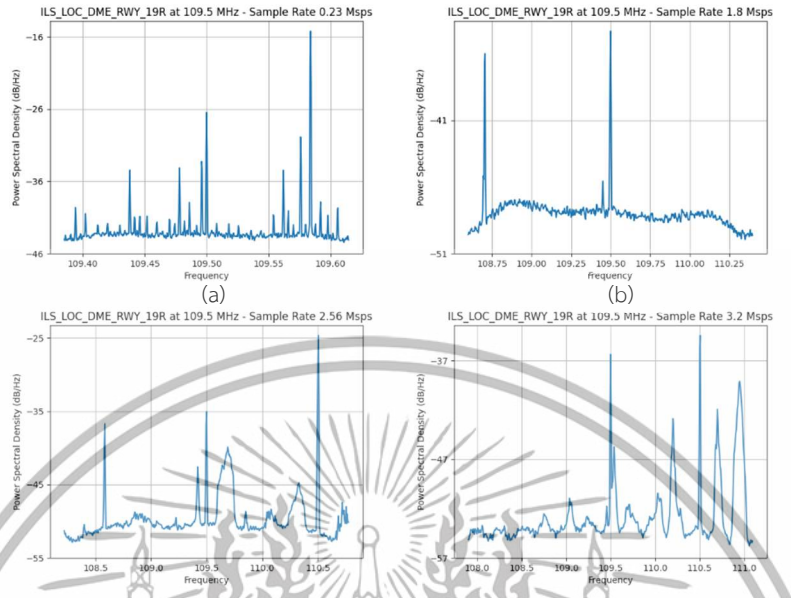
อีกทั้งทางผู้จัดทำได้มีการทดสอบรับคลื่นวิทยุเพิ่มเติมอีก 2 การทดสอบ เพื่อหาค่ากำลังขยายและค่าอัตราการสุ่มที่เหมาะสม คือ การทดสอบรับคลื่นวิทยุโดยการเปลี่ยนค่ากำลังขยายของสัญญาณเป็นค่าที่ต่างกัน ซึ่งจะแสดงตัวอย่างสเปกตรัมของคลื่นวิทยุจากการรับคลื่นวิทยุที่กำหนดความถี่ศูนย์กลาง ณ ความถี่ 109.5 MHz เมื่อทำการกำหนดค่ากำลังขยายเท่ากับ 0.0, 0.9, 1.4 และ 2.7 dB ดังรูปที่ 4.14 (a) - รูปที่ 4.14 (d) ตามลำดับ จะพบว่าผลลัพธ์จากการปรับค่ากำลังขยายที่ต่างกัน เมื่อค่ากำลังขยายมากขึ้นจะทำให้ค่ากำลังของสัญญาณก็จะมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบสเปกตรัมของคลื่นวิทยุจากการรับคลื่นวิทยุที่กำหนดความถี่ศูนย์กลาง ณ ความถี่ 109.5 MHz เมื่อทำการกำหนดค่ากำลังขยายต่างกัน

และการทดสอบรับคลื่นวิทยุโดยการเปลี่ยนค่าอัตราการสุ่มของสัญญาณเป็นค่าที่ต่างกัน ซึ่งจะแสดงตัวอย่างสเปกตรัมของคลื่นวิทยุจากการรับคลื่นวิทยุที่กำหนดความถี่ศูนย์กลาง ณ ความถี่ 109.5 MHz เมื่อทำการกำหนดค่าอัตราการสุ่มเท่ากับ 0.23, 1.8, 2.56 และ 3.2 Msps ดังรูปที่ 4.15 (a) -รูปที่ 4.15 (d) ตามลำดับ จะพบว่าผลลัพธ์จากการปรับเปลี่ยนค่าอัตราการสุ่มของสัญญาณที่ต่างกันเมื่อค่าอัตราการสุ่มมากขึ้นจะทำให้มีการสุ่มค่าละเอียดน้อยลงทำให้รายละเอียดของสัญญาณลดลงและแสดงให้เห็นว่ารูปร่างของสัญญาณมีความละเอียดลดลงไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบสเปกตรัมของคลื่นวิทยุจากการรับคลื่นวิทยุที่กำหนดความถี่ศูนย์กลาง ณ ความถี่ 109.5 MHz เมื่อทำการกำหนดค่าอัตราการสุ่มต่างกัน

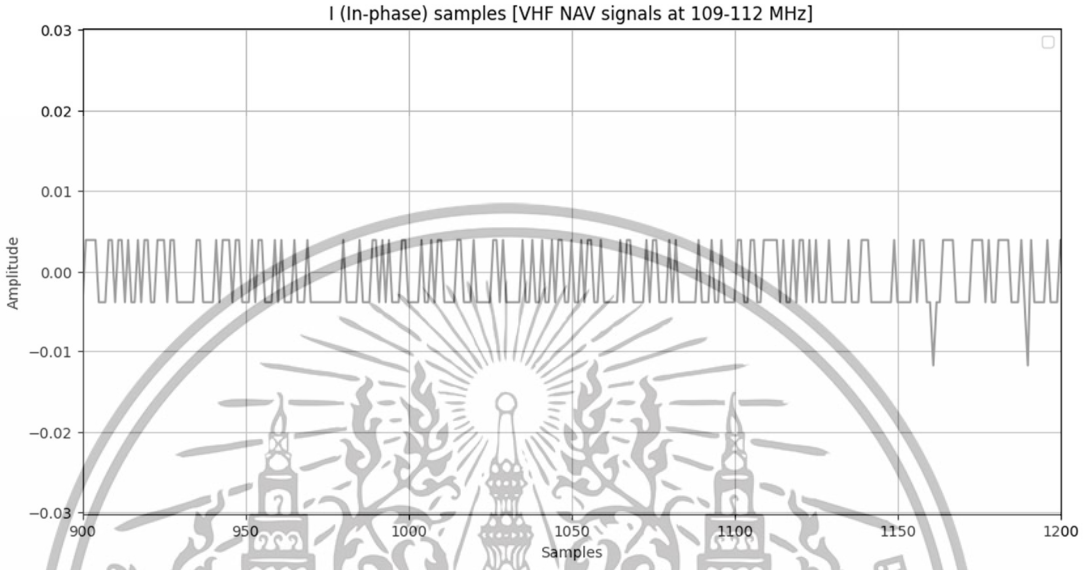
จากการทดลองทั้งหมดข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ทางผู้จัดทำได้กำหนดค่ากำลังขยายและค่าอัตราการสุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมได้เท่ากับ 3.7 dB และ 2.048 MHz ตามลำดับ อีกทั้งเมื่อตรวจสอบสเปกตรัมในโดเมนความถี่ของคลื่นวิทยุที่รับมานั้นที่ความถี่ศูนย์กลางมีค่ากำลังอยู่ในช่วง -29 ถึง -31 dB และไม่แปรผันตามค่ากำลังขยายต่าง ๆ ที่กำหนด ประกอบกับเมื่อทางผู้จัดทำได้ศึกษาและวิเคราะห์ พบว่าสาเหตุนี้อาจจะเกิดจากการเกิด DC Offset ขึ้น ณ ความถี่ศูนย์กลางในการรับคลื่นวิทยุในแต่ละครั้ง

4.2.4 การทดลองประมวลผลสัญญาณด้วยตัวกรองความถี่สูงผ่านประเภท IIR และ FIR

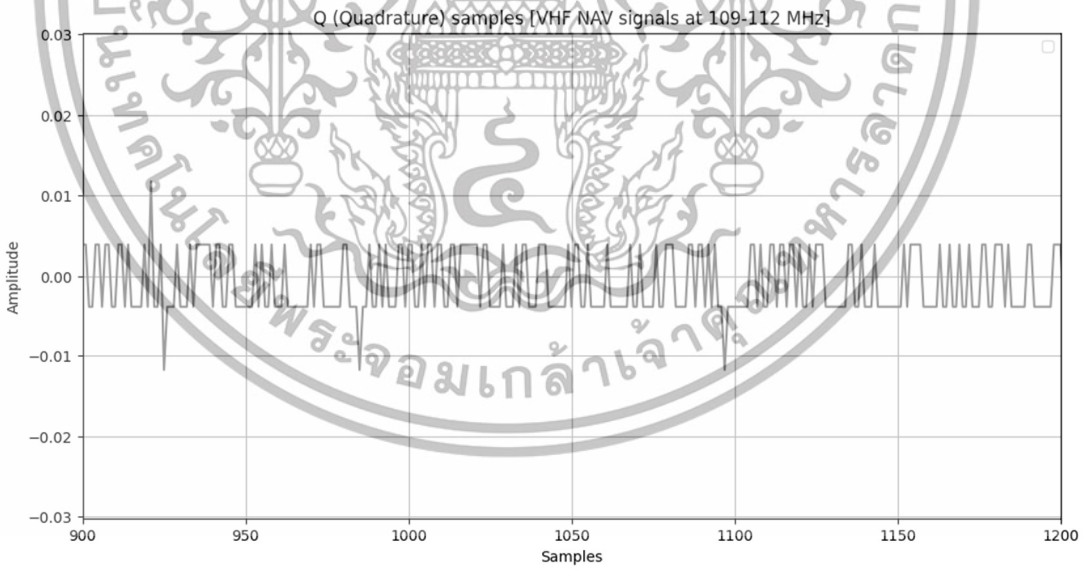
จากปัญหาเรื่อง DC spike หรือ LO leakage ที่เกิดจากวงจร Direct Conversion ของอุปกรณ์ SDR และการออกแบบและทดสอบค่าพารามิเตอร์ตัวกรองความถี่สูงผ่านประเภท IIR และ FIR ในหัวข้อที่ 3.3.2.4 เพื่อเป็นการกรองสัญญาณความถี่ต่ำอย่าง DC spike ออกจากคลื่นวิทยุที่ทางผู้จัดทำต้องการนำไปประมวลผลต่อ ผู้จัดทำได้เขียนโปรแกรมไพธอนขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบโดยในการทดลอง ข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลคือค่า I (In-Phase) และค่า Q (Quadrature) ของคลื่นวิทยุย่าน VHF ช่วงความถี่ 109-112 MHz ที่ใช้บริเวณท่าอากาศยานจากไฟล์ csv 2 ชุดข้อมูลที่มีความถี่ศูนย์กลางที่ 110.024 MHz และ 111.048 MHz ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างค่า IQ และความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของคลื่นวิทยุ VHF ได้ดังรูปที่ 4.16 - รูปที่ 4.18

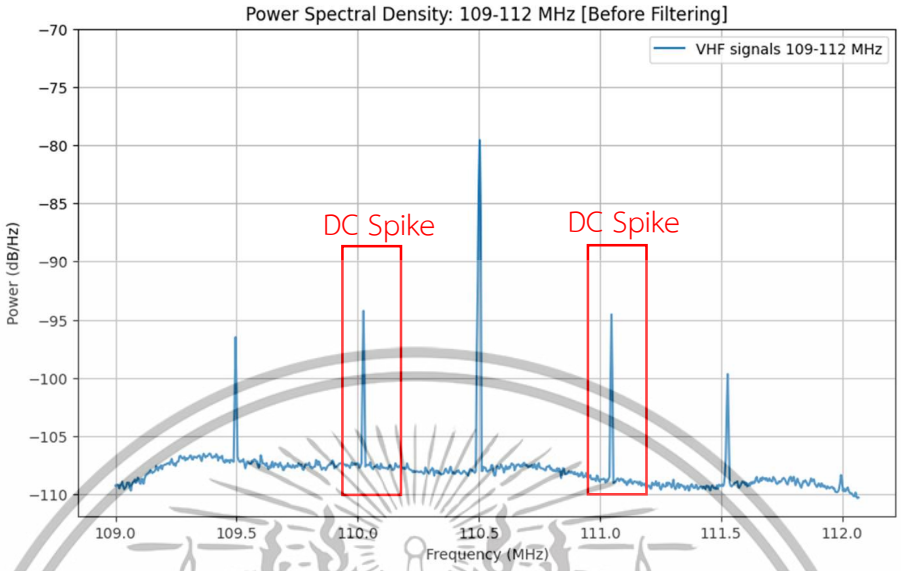


รูปที่ 4.16 ตัวอย่างค่า In-phase ของคลื่นวิทยุ VHF ณ ความถี่ศูนย์กลาง 110.024 MHz



รูปที่ 4.17 ตัวอย่างค่า Quadrature ของคลื่นวิทยุ VHF ณ ความถี่ศูนย์กลาง 110.024 MHz

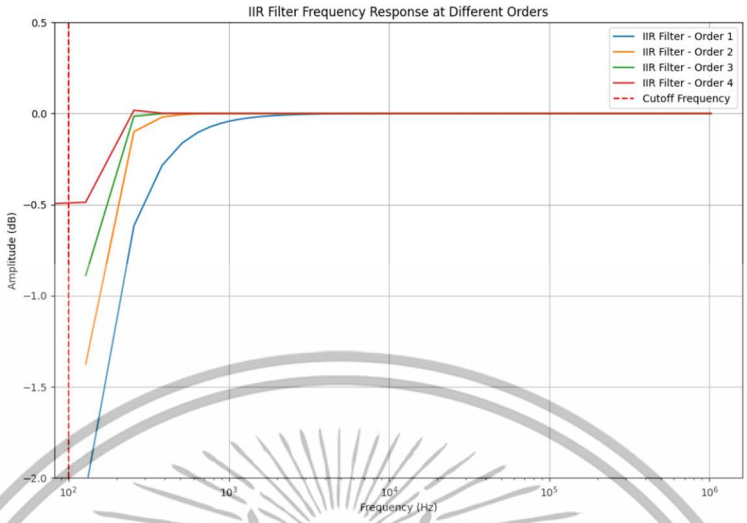
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



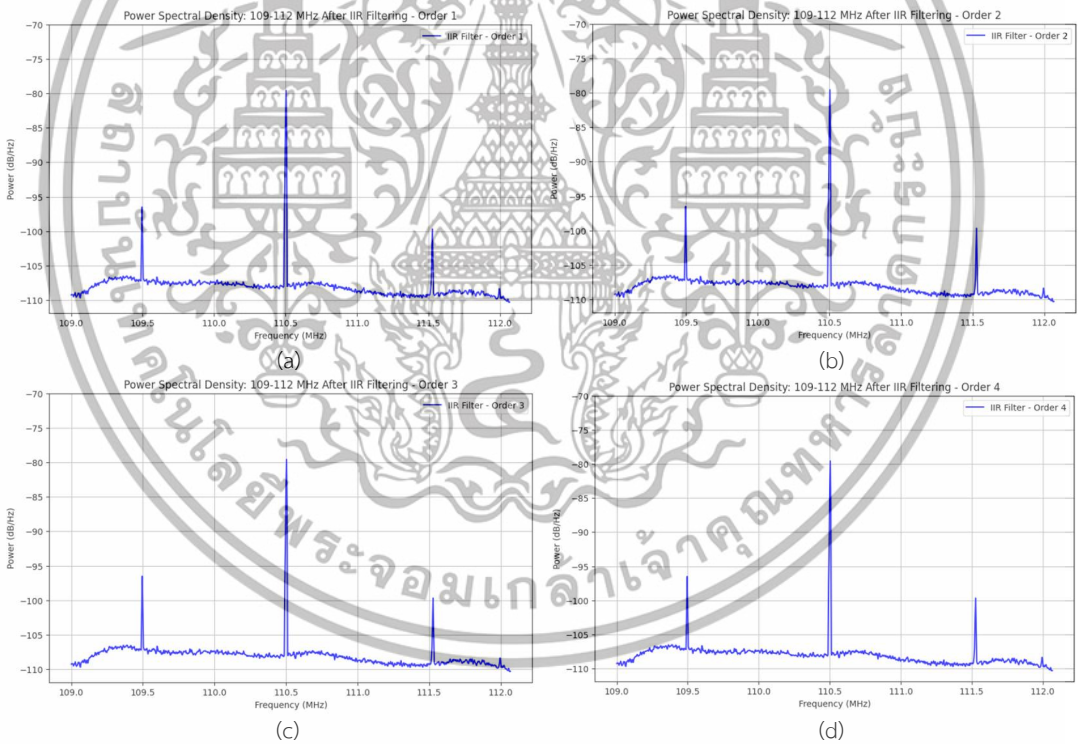
รูปที่ 4.18 ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังช่วงความถี่ 109-112 MHz ที่มี DC Spike ณ ความถี่ศูนย์กลาง 110.024 และ 111.048 MHz ตามลำดับ

ต่อจากนั้นทางผู้จัดทำได้ทำการกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับการสร้างตัวกรองประเภท IIR และ FIR โดยใช้ไลบรารี Scipy ร่วมกับโปรแกรมไพธอนในการสร้าง ในส่วนของการกำหนดพารามิเตอร์ของตัวกรองประเภท IIR เมื่ออ้างอิงจากสมการที่ 2.2 ทางผู้จัดทำได้กำหนดลำดับ (Order) ของวงจรไว้ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ เพื่อดูประสิทธิภาพในการกรองโดยมีการกำหนดความถี่ตัดไว้ที่ 100 Hz และอัตราการสุ่มตัวอย่าง 2.048 MHz เช่นเดียวกับที่ใช้ในการรับคลื่นวิทยุ VHF จาก SDR สำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์ b_k และ a_j ซึ่งผลลัพธ์การตอบสนองความถี่ของตัวกรองความถี่สูงผ่านประเภท IIR ที่ลำดับต่างกันแสดงได้ดังรูปที่ 4.19 และเมื่อนำมาใช้กับข้อมูล IQ ของคลื่นวิทยุ VHF ช่วงความถี่ 109-112 MHz สามารถแสดงผลลัพธ์สเปกตรัมในโดเมนความถี่ได้ดังรูปที่ 4.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 การตอบสนองความถี่ของตัวกรองประเภท IIR ที่ลำดับต่าง ๆ



(a) (b)

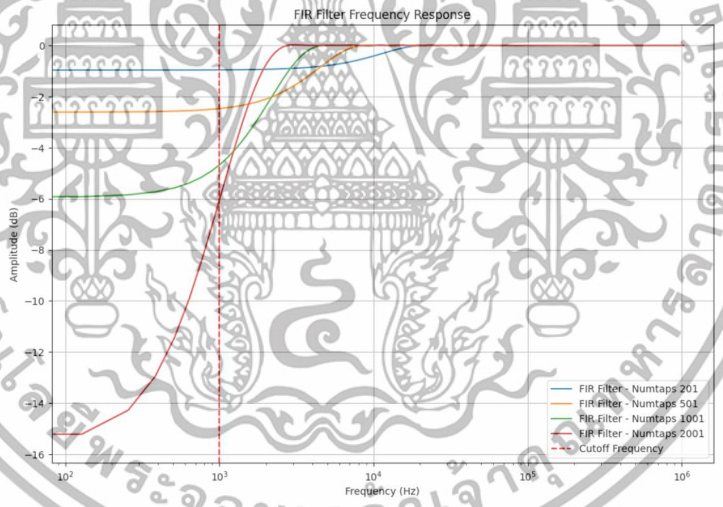
(c) (d)

รูปที่ 4.20 การเปรียบเทียบสเปกตรัมระหว่างการใช้ตัวกรองประเภท IIR ที่ลำดับของวงจรต่างกัน ณ ช่วงความถี่ 109-112 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

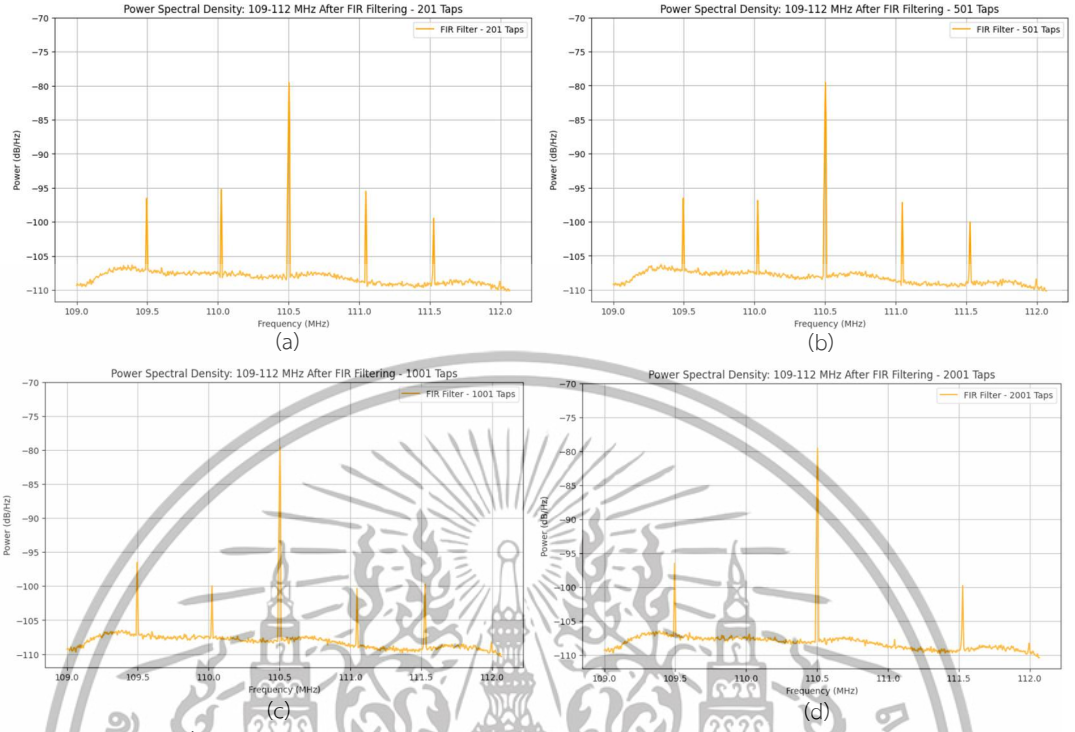
จากการทดลอง พบว่า IIR filter ที่ความถี่ตัด 100 Hz และอัตราการสุ่มตัวอย่าง 2.048 MHz สามารถกรอง DC spike ได้อย่างมีประสิทธิภาพตั้งแต่ลำดับที่ 1 โดยที่การเพิ่มลำดับที่สูงขึ้นไม่ได้ให้ผลลัพธ์การกรองที่ต่างออกไปอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากโครงสร้างของตัวกรองประเภท IIR ที่มีการป้อนกลับ (feedback) ทำให้สามารถลดทอนความถี่ต่ำได้ แม้จะใช้ลำดับของตัวกรองต่ำ

ในส่วนของการออกแบบตัวกรองความถี่สูงผ่านประเภท FIR ทางผู้จัดทำได้กำหนดความถี่ตัดที่ 1 kHz และอัตราการสุ่มตัวอย่าง 2.048 MHz เนื่องจากการกำหนดค่าความถี่ตัดต่ำจะทำให้ต้องใช้จำนวน Taps ของตัวกรองประเภท FIR ที่มากขึ้น และกำหนดจำนวนการ Taps ของตัวกรองที่ 51, 201, 501 และ 2,001 ครั้งตามลำดับ ซึ่งผลลัพธ์การตอบสนองความถี่ของตัวกรองความถี่สูงผ่านประเภท FIR ที่จำนวน Taps ต่างกันแสดงได้ดังรูปที่ 4.21 และเมื่อนำมาใช้กับข้อมูล IQ ของคลื่นวิทยุ VHF ช่วงความถี่ 109-112 MHz สามารถแสดงผลลัพธ์สเปกตรัมหลังผ่านตัวกรองความถี่สูงผ่านประเภท FIR ในโดเมนความถี่ได้ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบผลตอบสนองความถี่ของตัวกรองความถี่สูงผ่านประเภท FIR ที่จำนวน Taps ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบสเปกตรัมระหว่างการใช้ตัวกรองประเภท FIR ที่จำนวน Taps ของตัวกรองต่างกัน ณ ช่วงความถี่ 109-112 MHz

จากการทดลองใช้ FIR Filter ที่มีจำนวน taps ต่างกัน ได้แก่ 201, 501, 1001 และ 2001 taps ในการกรอง DC spike ในช่วงความถี่ 109-112 MHz พบว่าการเพิ่มจำนวน taps ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการลดทอน DC spike ดีขึ้นตามลำดับ โดยจำนวน taps ที่ต่ำกว่ายังมี DC spike ในย่านความถี่ต่ำเหลืออยู่บ้าง ขณะที่จำนวน taps 1001 สามารถลดทอน DC spike ได้ดีขึ้นอย่างชัดเจน และเมื่อเพิ่มเป็น 2001 taps พบว่าประสิทธิภาพในการกรองดีที่สุด สเปกตรัมมีความเรียบและสะอาดในย่านความถี่ต่ำ สรุปได้ว่าการใช้ FIR Filter ที่มีจำนวน taps สูงขึ้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการลดทอน DC spike ได้

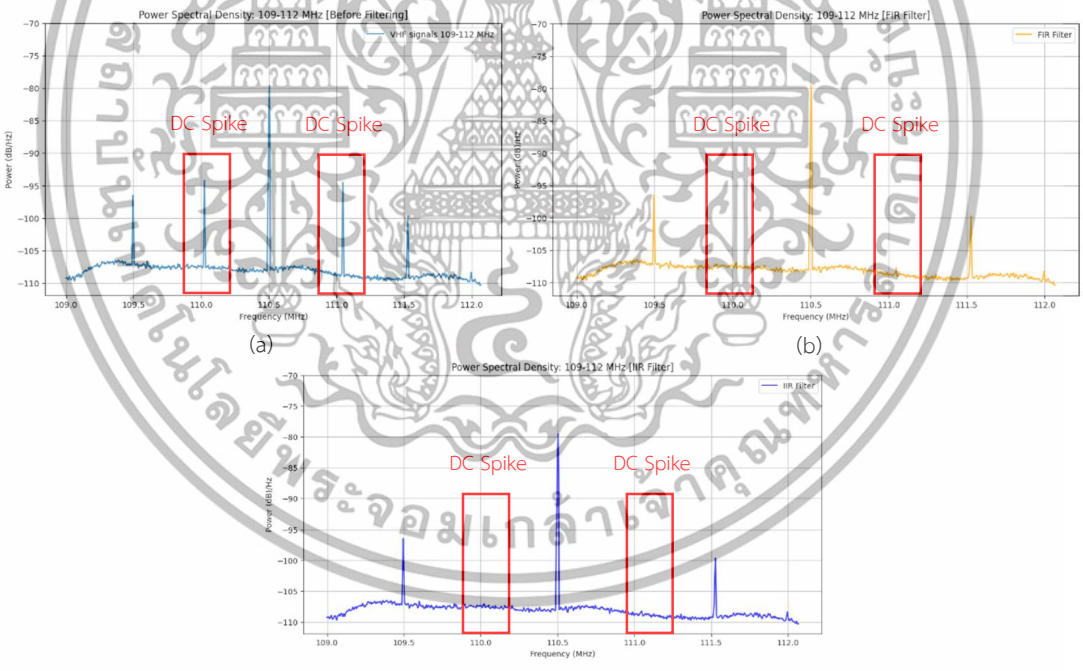
หลังจากการทดสอบตัวกรองความถี่สูงผ่านประเภท IIR และ FIR ทางผู้จัดทำได้เลือกตัวกรองแต่ละประเภทที่มีการตั้งค่าพารามิเตอร์เหมาะสมที่สุดในการกรอง DC spike มาทดสอบในส่วนของจำนวนทรัพยากรและเวลาที่ใช้ในการประมวลผล ซึ่งเมื่ออ้างอิงจากทฤษฎีและจากการทดสอบพบว่า ตัวกรองความถี่สูงผ่านประเภท IIR ใช้เวลาในการประมวลที่น้อยกว่าตัวกรองประเภท FIR แต่ให้ประสิทธิภาพในการกรอง DC spike ที่เท่ากัน เนื่องจากตัวกรองประเภท IIR มีการใช้การป้อนกลับช่วยในด้านของการลดทอนสัญญาณถึงแม้จะมีลำดับของตัวกรองที่ต่ำ ทางผู้จัดทำจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกใช้ตัวกรองประเภทในการกรองคลื่นวิทยุที่รับมาจาก SDR ก่อนนำไปประมวลผลและวิเคราะห์ด้วยตัวกรองประเภท IIR โดยผลลัพธ์เวลาที่ใช้ในการประมวลผลตัวกรองประเภท FIR และ IIR แสดงดังรูปที่ 4.23 ผลลัพธ์ของสเปกตรัมก่อนการกรอง-หลังการกรองด้วยตัวกรองความถี่สูงผ่านประเภท FIR และ IIR แสดงดังรูปที่ 4.24 โดยรูป (a) เป็นสเปกตรัมย่าน VHF ช่วงความถี่ 109-112 MHz ก่อนผ่านตัวกรองประเภท FIR และ IIR โดยจะพบ DC spike บริเวณความถี่ 110.024 MHz และ 111.048 MHz รูป (b) เป็นสเปกตรัมย่าน VHF ช่วงความถี่ 109-112 MHz หลังผ่านกรองด้วยตัวกรองความถี่สูงผ่านประเภท FIR รูป (c) เป็นสเปกตรัมย่าน VHF ช่วงความถี่ 109-112 MHz หลังผ่านกรองด้วยตัวกรองความถี่สูงผ่านประเภท IIR ตามลำดับ

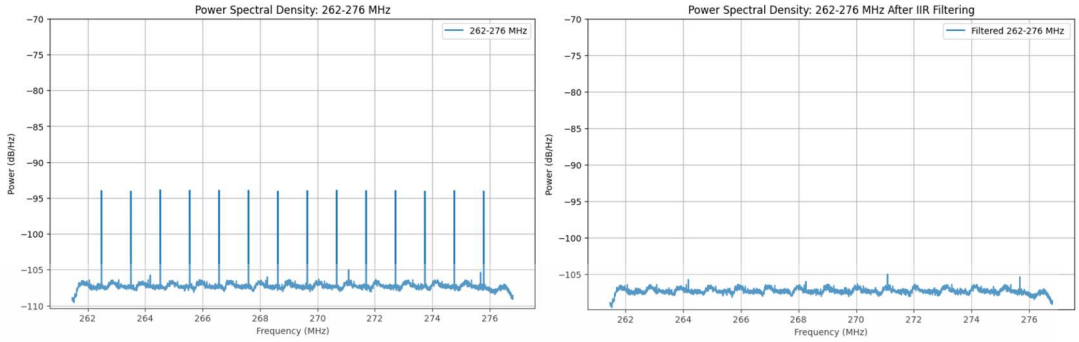
```
FIR filter processing time: 0.309725 seconds
IIR filter processing time: 0.006740 seconds
```

รูปที่ 4.23 เวลาที่ใช้ในการประมวลระหว่างตัวกรองความถี่สูงผ่านประเภท FIR และ IIR ตามลำดับ



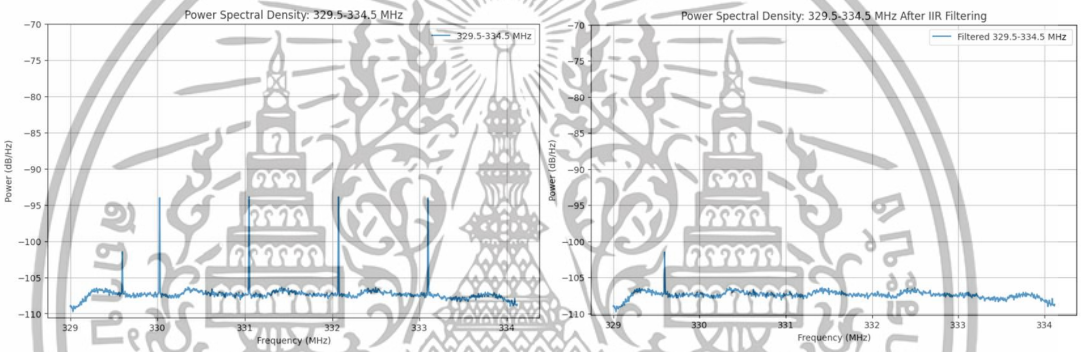
รูปที่ 4.24 การเปรียบเทียบผลลัพธ์สเปกตรัมช่วงความถี่ 109-112 MHz ระหว่างสัญญาณก่อนกรองและหลังกรองด้วยตัวกรองความถี่สูงผ่านประเภท FIR และ IIR ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) (b)

รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบผลลัพธ์สเปกตรัมช่วงความถี่ 262-276 MHz ระหว่างสัญญาณก่อนกรองและหลังกรองด้วยตัวกรองความถี่สูงผ่านประเภท IIR



(a) 4 (b)

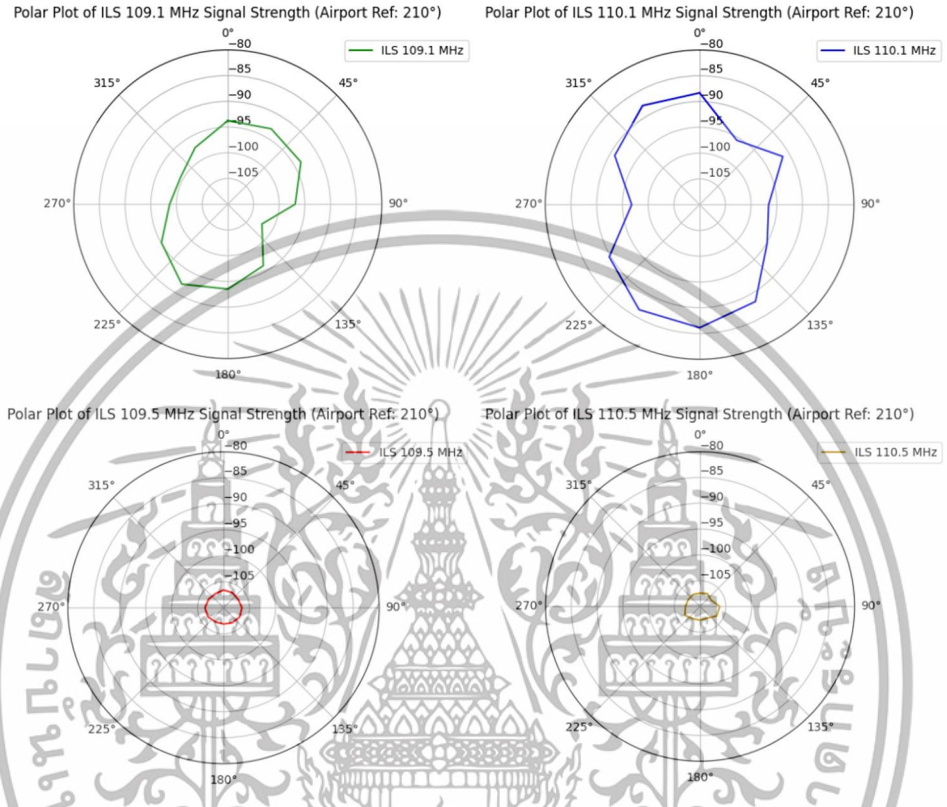
รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบผลลัพธ์สเปกตรัมช่วงความถี่ 329.5-334.5 MHz ระหว่างสัญญาณก่อนกรองและหลังกรองด้วยตัวกรองความถี่สูงผ่านประเภท IIR

4.3 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังสัญญาณและทิศทางสายอากาศที่ใช้ในการรับคลื่นวิทยุ VHF ช่วงความถี่ 108 – 118 MHz

จากการทดลอง หลังจากที่ได้ทำการบันทึกค่ากำลังและความถี่ของคลื่นวิทยุ VHF ช่วงความถี่ 108 - 118 MHz ในแต่ละมุมที่มีการปรับทิศทางของสายอากาศ ทางผู้จัดทำได้ทำการเลือกนำค่ากำลังของคลื่นวิทยุความถี่ 109.1 MHz 109.5 MHz 110.1 MHz และ 110.5 MHz ที่เป็นคลื่นวิทยุ ILS ที่ใช้ในท่าอากาศยานสุวรรณภูมิมาพล็อตเป็นกราฟโพลาร์ดังรูปที่ 4.27 พบว่าค่ากำลังสัญญาณ ILS ที่มีการใช้งาน ณ ตอนนั้นที่ความถี่ 110.1 MHz และ 109.1 MHz เมื่อปรับทิศของสายอากาศหันไปที่ 0 องศาจากท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ทิศทางหันสายอากาศตรงไปที่ท่าอากาศยาน) และที่ 180 องศาจากท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ทิศทางหันออกจากท่าอากาศยาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถรับสัญญาณ ILS ได้ที่ค่ากำลังสูงที่สุดประมาณ -90 dB และ -94 dB ตามลำดับ ส่วนทิศที่ 270 องศาและ 90 องศา รับสัญญาณ ILS ได้ค่ากำลังที่ต่ำที่สุดประมาณ -97 dB ของทั้งสองความถี่



รูปที่ 4.27 ค่ากำลังของสัญญาณ ILS ที่ทิศทางของสายอากาศที่ 0 องศาถึง 360 องศา เทียบจากท่าอากาศยาน

โดยเบื้องต้นทางผู้จัดทำสามารถสรุปการทดลองได้ว่า สายอากาศไม่สามารถรับสัญญาณได้ค่ากำลังที่ใกล้เคียงกันได้รอบทิศทางทำให้ทิศทางของสายอากาศมีผลต่อการรับสัญญาณด้วย ดังนั้นในการปรับทิศทางของสายอากาศในการรับสัญญาณ ทางผู้จัดทำได้ทำการปรับทิศทางอยู่ที่มุมประมาณ 270 องศาเพื่อให้ได้รับสัญญาณ ILS ที่มีค่ากำลังที่ต่ำกว่ามุมที่ได้รับค่ากำลังของสัญญาณ ILS ที่สูงที่สุดเพื่อที่จะเพิ่มโอกาสในการรับค่ากำลังสัญญาณแปลกปลอมนอกเหนือจากความถี่ที่ถูกกำหนดใช้งานภายในท่าอากาศยานที่มีค่ากำลังต่ำกว่าได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน

4.4.1 ผลการทดสอบการทำงานระบบรับคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน

4.4.1.1 ผลการทดสอบการจัดเก็บข้อมูล

จากการทดสอบการทำงานของระบบที่ใช้ตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน พบว่า ข้อมูลที่ได้จากการบันทึกนั้นเป็นไปดังที่ผู้จัดทำต้องการ ซึ่งเป็นดังรูปที่ 4.28 คือในคอลัมน์แรกจะบันทึกวันที่ที่ทำการตรวจจับ คอลัมน์ที่ 2 จะบันทึกเวลาที่ทำการตรวจจับ คอลัมน์ที่ 3 จะบันทึกความถี่ที่ตรวจจับได้ และคอลัมน์ที่ 4 จะบันทึกค่ากำลังสัญญาณที่ตรวจจับได้

Date	Timestamp	Frequency(MHz)	Power(dB)
24/2/2025	6:06:02	108.005	-108.619633
		108.015	-108.7770015
		108.025	-108.6390443
		108.035	-108.5403048
		108.045	-94.53071593
		108.055	-85.8766215
		108.065	-102.2330058
		108.075	-108.5213616
		108.085	-108.5593131
		108.095	-108.6554732
		108.105	-108.7810688
		108.115	-108.956196
		108.125	-108.619633
		108.135	-108.7770015
		108.145	-108.6390443
		108.155	-108.5403048
		108.165	-108.4802696
		108.175	-108.0946716
		108.185	-107.80669
		108.195	-107.9673246
		108.205	-107.7588197

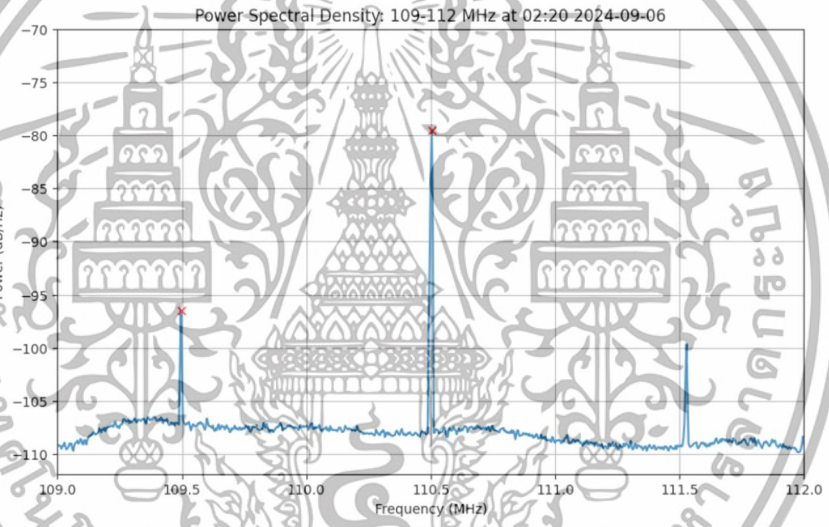
รูปที่ 4.28 ตัวอย่างข้อมูลที่ถูกบันทึกภายในไฟล์ .csv ของข้อมูลความถี่ช่วง 108-118 MHz

4.4.1.2 ผลการทดสอบความถูกต้องของข้อมูล

จากการทดสอบใช้งานระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยาน พบว่า เมื่อทำการตรวจสอบข้อมูลในไฟล์ .csv ของการตรวจจับที่ช่วงความถี่ 118-134 MHz ที่ระบบได้ทำการบันทึกเข้าสู่ไฟล์เซิร์ฟเวอร์นั้น จะพบว่า เมื่อเทียบกับตารางความถี่ที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ มีการตรวจพบค่ากำลังที่คลื่นวิทยุความถี่ 122.35 MHz และ 124.35 MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารทางอากาศเพื่อทำการ Approach ในส่วนของค่ากำลังที่ความถี่ 127.65 และ 133.6 MHz เป็นความถี่ที่ใช้งานเกี่ยวกับการสื่อสารทางอากาศของ

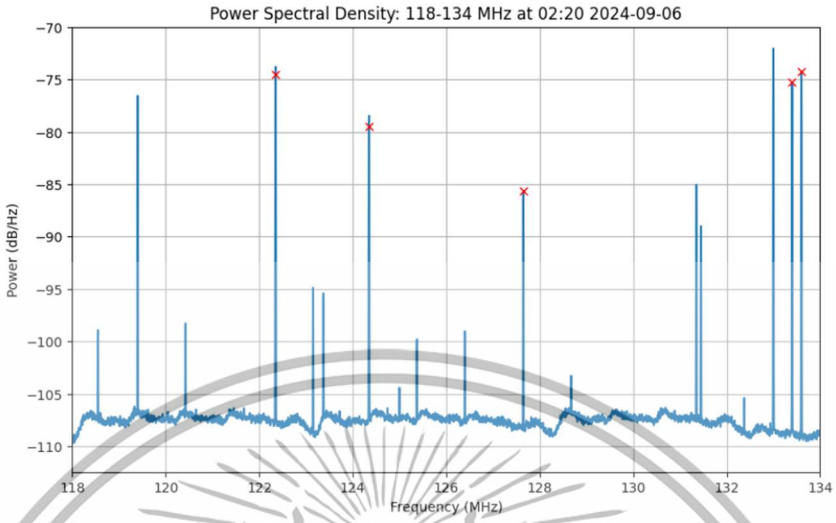
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิและ ATIS (Automatic Terminal Information Service) ซึ่งเป็นระบบกระจายเสียงอัตโนมัติที่ให้บริการข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับท่าอากาศยานตลอดเวลา มีการใช้งานอยู่จริง และระบบตรวจจับที่ทำขึ้นภายในปริญญานิพนธ์นี้สามารถตรวจจับคลื่นวิทยุความถี่ดังกล่าวได้จริง เมื่อสังเกตุจากการนำข้อมูลไฟล์ .csv มาพล็อตสเปกตรัมของช่วงความถี่ 118-134 MHz ช่วงเวลาประมาณ 2.20 น. นอกจากนี้ระบบสามารถรับคลื่นวิทยุ VHF ช่วงความถี่อื่น ๆที่มีการใช้งานจริงภายในบริเวณท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ เช่น ความถี่ที่ 109.1 MHz และ 109.5 MHz ที่ใช้ในอุปกรณ์ ILS สำหรับการนำร่องอากาศยาน และความถี่ที่ 329.6 MHz ในช่วงความถี่ 329.5-334 MHz ที่มีค่ากำลังของสัญญาณ Glidepath บนรันเวย์ RWY19L เป็นต้น ดังรูปที่ 4.29 - รูปที่ 4.31 ตามลำดับ

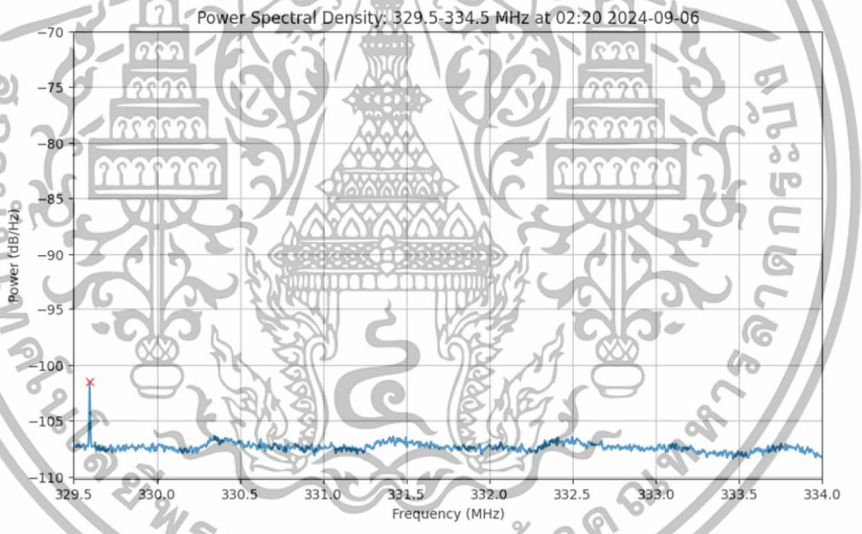


รูปที่ 4.29 สเปกตรัมช่วงความถี่ 109-112 MHz ณ วันที่ 6 กันยายน 2567 เวลา 02.20 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 สเปกตรัมช่วงความถี่ 118-134 MHz ณ วันที่ 6 กันยายน 2567 เวลา 02.20 น.

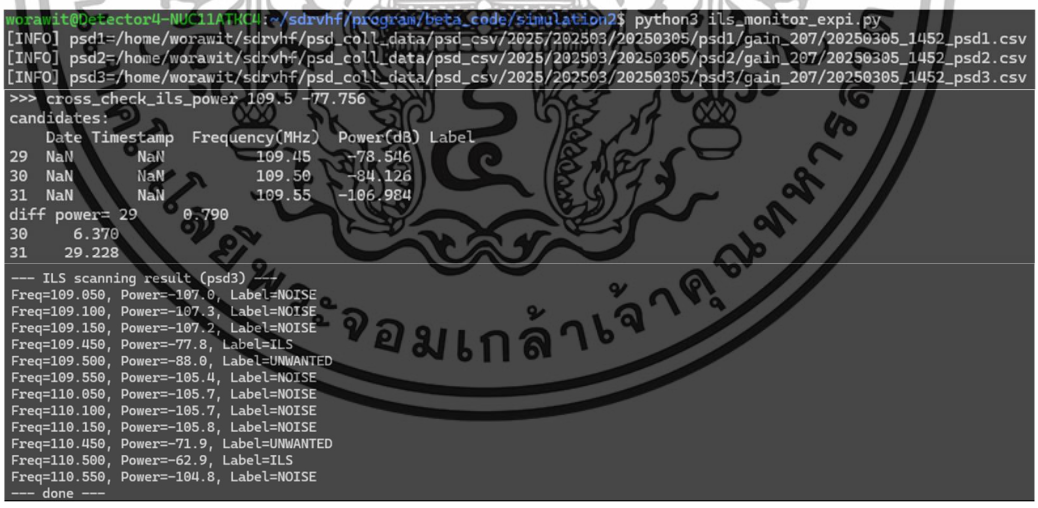


รูปที่ 4.31 สเปกตรัมช่วงความถี่ 329.5-334 MHz ณ วันที่ 6 กันยายน 2567 เวลา 02.20 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

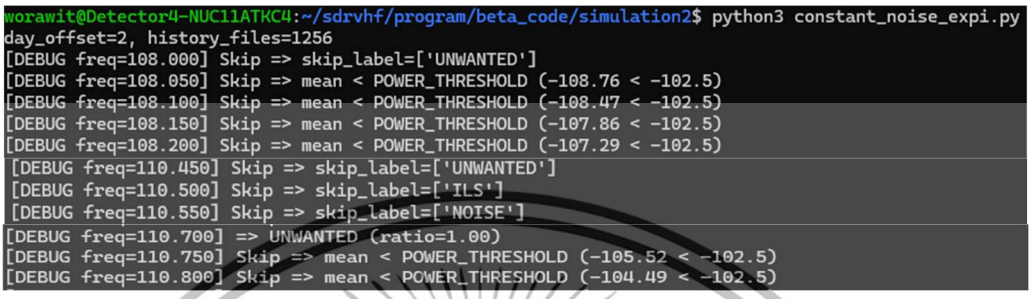
4.4.2 ผลการทดสอบการทำงานระบบตรวจจับคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน

ในการทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับคลื่นวิทยุ VHF ช่วงความถี่ 108 – 118 MHz เมื่อทำการทดสอบการทำงานของระบบในสถานการณ์ปกติที่ไม่มีความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากสัญญาณช่วยการลงจอด (Anomaly A) และความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากสัญญาณที่ไม่ได้ถูกใช้งานในระบบช่วยการลงจอด (Anomaly B) พบว่า ระบบมีการทำงานเรียงตามลำดับตามที่ผู้จัดทำได้ออกแบบไว้ โดยระบบจะเริ่มทำงานในส่วนของการตรวจสอบและเปรียบเทียบค่ากำลังจากข้อมูลในไฟล์ .csv ทั้ง 3 ไฟล์ที่ช่วงความถี่ของสัญญาณช่วยการลงจอดที่ 109.1 MHz 109.5 MHz 110.1 MHz และ 110.5 MHz และทำการจำแนกประเภทสัญญาณช่วยการลงจอดเป็นอันดับแรกดังรูปที่ 4.32 จากนั้นระบบจะทำการคัดกรองความถี่และค่ากำลังที่เป็นสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดจากขึ้นจากส่วนของการรรับสัญญาณของระบบเองดังรูปที่ 4.33 และสุดท้ายระบบจะทำการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นพร้อมกับพล็อตสเปกตรัม ณ เวลาที่เกิดความผิดปกติ หากไม่มีความผิดปกติเกิดขึ้นระบบจะแสดงผลว่า “ไม่พบความผิดปกติ” และทำการบันทึกสถานะการทำงานของสัญญาณช่วยการลงจอดที่ความถี่ต่าง ๆ ณ เวลาที่ระบบของผู้จัดทำทำงานหยุดการทำงานดังรูปที่ 4.34

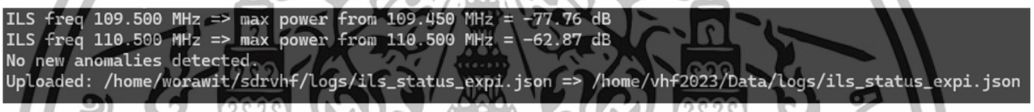


รูปที่ 4.32 การทำงานในส่วนของการจำแนกประเภทสัญญาณช่วยการลงจอดของระบบตรวจจับคลื่นวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 การทำงานในส่วนของการจำแนกประเภทสัญญาณรบกวน
ของระบบตรวจจับคลื่นวิทยุ



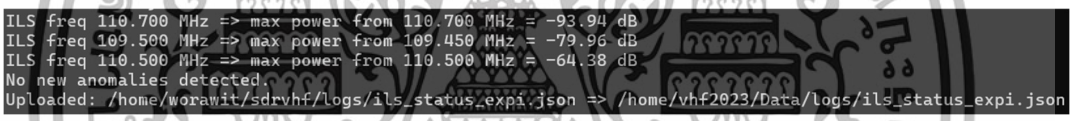
รูปที่ 4.34 การทำงานในส่วนของการตรวจจับความผิดปกติของระบบตรวจจับคลื่นวิทยุ
ในสถานการณ์ที่ไม่มีความผิดปกติเกิดขึ้น

ขั้นตอนการทดสอบส่วนที่สองเป็นการทดสอบการตรวจจับความผิดปกติของสัญญาณช่วยการลงจอดในสถานการณ์ที่มีการหยุดใช้งานและกลับมาทำงานใหม่ในระยะเวลาอันสั้น โดยทางผู้จัดทำได้จำลองสัญญาณช่วยการลงจอดที่ความถี่ 110.7 MHz ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสัญญาณแอมพลิจูดมอดูเลชันจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ เมื่อเริ่มการทดสอบ ระบบจะทำการตรวจจับและบันทึกเวลาที่พบสัญญาณในสถานะปกติ จากนั้นผู้จัดทำจะหยุดการส่งสัญญาณจำลอง เพื่อให้ระบบสามารถตรวจสอบและบันทึกสถานะใหม่ที่แสดงว่าไม่มีสัญญาณ (inactive) และสุดท้ายผู้จัดทำส่งสัญญาณจำลองอีกครั้งภายในระยะเวลาไม่เกิน 5 นาทีตามที่กำหนดไว้ในโปรแกรม เพื่อให้ระบบทำการตรวจจับและบันทึกความผิดปกติของการหายไปชั่วคราวของสัญญาณช่วยการลงจอดได้อย่างถูกต้อง โดยผลการทดสอบการทำงานดังกล่าวของระบบตรวจจับสรุปได้ดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.35 - รูปที่ 4.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการตรวจจับความผิดปกติของการหายไปชั่วคราวของสัญญาณช่วยการลงจอด

เวลาที่เริ่มส่งสัญญาณ	เวลาที่หยุดส่งสัญญาณ	เวลาที่กลับมาส่งสัญญาณ	ระยะเวลา (นาที)	สถานะการตรวจจับของระบบ
16.14 น.	16.15 น.	16.16 น.	1	ANOMALY_A_CARRIER_DROP
16.16 น.	16.17 น.	16.19 น.	2	ANOMALY_A_CARRIER_DROP
16.19 น.	16.20 น.	16.23 น.	3	ANOMALY_A_CARRIER_DROP
16.23 น.	16.24 น.	16.28 น.	4	ANOMALY_A_CARRIER_DROP
16.28 น.	16.29 น.	16.34 น.	5	ANOMALY_A_CARRIER_DROP
16.34 น.	16.35 น.	16.41 น.	6	ไม่พบความผิดปกติ



รูปที่ 4.35 สัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHz
ที่ระบบตรวจจับได้ ณ เวลา 16.16 น.

รูปที่ 4.36 ข้อมูลและสถานะของสัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHz
เมื่อทำการส่งสัญญาณ ณ เวลา 16.16 น.

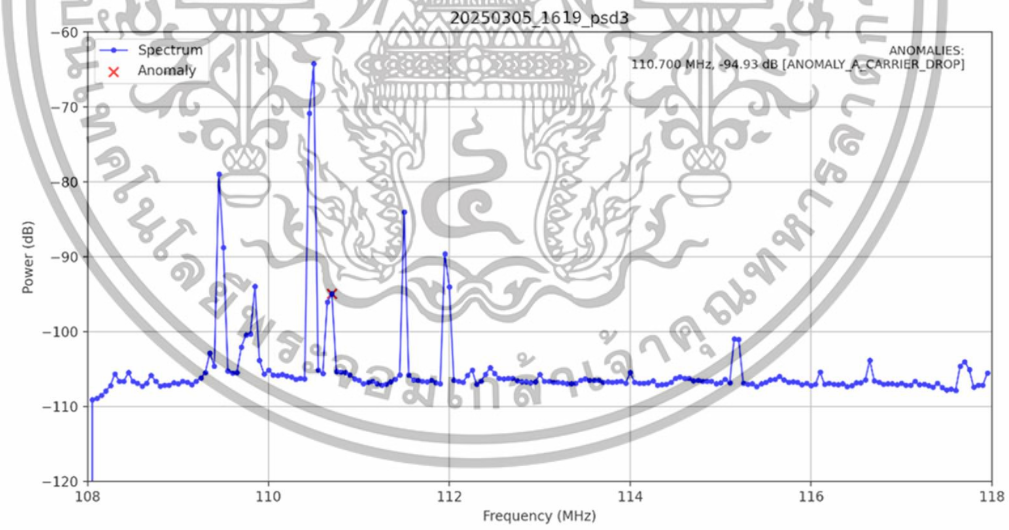
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  },
  "110.7": {
    "status": "inactive",
    "power": null,
    "snr": null,
    "timestamp": "2025-03-05 16:17:16",
    "active_since": null,
    "inactive_since": 1741166236.6897846
  }
}
```


รูปที่ 4.37 ข้อมูลและสถานะของสัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHz หลังจากทำการหยุดส่งสัญญาณ ณ เวลา 16.17 น.


```
[DEBUG] anomaly_cd = [{'freq': 110.7, 'anomaly_type': 'ANOMALY_A_CARRIER_DROP', 'inactive_duration(min)': 2.021
8369245529173, 'message': 'Reactive within 2.0 minutes', 'timestamp': '2025-03-05 16:19:18'}]
[DEBUG] anomaly_b = []
ILS freq 110.700 MHz => max power from 110.700 MHz = -94.93 dB
ILS freq 109.500 MHz => max power from 109.450 MHz = -78.99 dB
ILS freq 110.500 MHz => max power from 110.500 MHz = -64.25 dB
Updated JSON file: /home/worawit/sdrvhf/psd_coll_data/anomaly/2025/202503/20250305/anomaly_report_20250305.json
```


รูปที่ 4.38 ผลการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากการหายไปของสัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHz ณ เวลา 16.19 น.



รูปที่ 4.39 สเปกตรัมช่วงความถี่ 108 - 118 MHz ที่พบความผิดปกติที่สัญญาณช่วยการลงจอดจำลองความถี่ 110.7 MHz ณ เวลา 16.19 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ILS freq 110.700 MHz => max power from 110.700 MHz = -94.92 dB
ILS freq 109.500 MHz => max power from 109.450 MHz = -78.59 dB
ILS freq 110.500 MHz => max power from 110.500 MHz = -63.27 dB
No new anomalies detected.
Uploaded: /home/worawit/sdrvhf/logs/ils_status_expi.json => /home/vhf2023/Data/logs/ils_status_expi.json
```

รูปที่ 4.40 สัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHz
ที่ระบบตรวจจับได้ ณ เวลา 16.23 น.

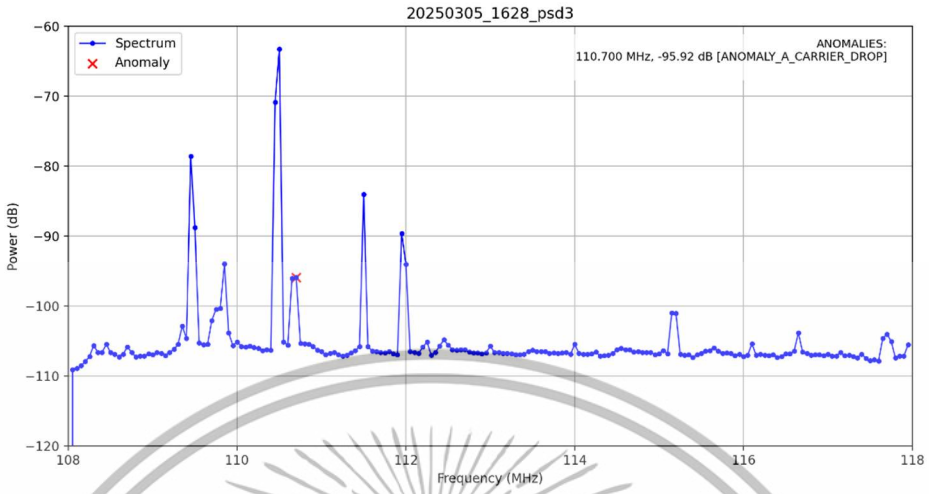
รูปที่ 4.41 ข้อมูลและสถานะของสัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHz
เมื่อทำการส่งสัญญาณ ณ เวลา 16.23 น.

รูปที่ 4.42 ข้อมูลและสถานะของสัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHz
หลังจากทำการหยุดส่งสัญญาณ ณ เวลา 16.24 น.

```
[DEBUG] anomaly_cd = [{'freq': 110.7, 'anomaly_type': 'ANOMALY_A_CARRIER_DROP', 'inactive_duration(min)': 3.9702227274576822, 'message':
'Reactive within 4.0 minutes', 'timestamp': '2025-03-05 16:28:17'}]
[DEBUG] anomaly_b = []
ILS freq 110.700 MHz => max power from 110.700 MHz = -95.92 dB
ILS freq 109.500 MHz => max power from 109.450 MHz = -78.59 dB
ILS freq 110.500 MHz => max power from 110.500 MHz = -63.27 dB
Updated JSON file: /home/worawit/sdrvhf/psd_coll_data/anomaly/2025/202503/20250305/anomaly_report_20250305.json
```

รูปที่ 4.43 ผลการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากการหายไปของ
สัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHz ณ เวลา 16.28 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.44 สเปกตรัมช่วงความถี่ 108 - 118 MHz ที่พบความผิดปกติที่สัญญาณช่วยการลงจอดจำลองความถี่ 110.7 MHz ณ เวลา 16.28 น.

```
ILS freq 110.700 MHz => max power from 110.700 MHz = -94.97 dB
ILS freq 109.500 MHz => max power from 109.450 MHz = -79.98 dB
ILS freq 110.500 MHz => max power from 110.500 MHz = -64.45 dB
No new anomalies detected.
Uploaded: /home/worawit/sdrvhf/logs/ils_status_expi.json => /home/vhf2023/Data/logs/ils_status_expi.json
```

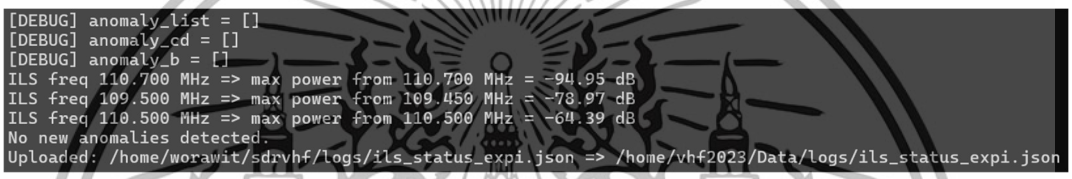
รูปที่ 4.45 สัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHz ที่ระบบตรวจจับได้ ณ เวลา 16.34 น.


```
  },
  "110.7": {
    "status": "active",
    "power": -94.97,
    "snr": 11.559719101123605,
    "timestamp": "2025-03-05 16:34:15",
    "active_since": 1741167255.3841164,
    "inactive_since": null
  }
}
```


รูปที่ 4.46 ข้อมูลและสถานะของสัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHz เมื่อทำการส่งสัญญาณ ณ เวลา 16.34 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.47 ข้อมูลและสถานะของสัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHz หลังจากทำการหยุดส่งสัญญาณ ณ เวลา 16.35 น.



รูปที่ 4.48 ผลการตรวจจับสัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHz ณ เวลา 16.41 น. (ไม่มีความผิดปกติเกิดขึ้น)

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.35 - รูปที่ 4.48 ผู้จัดทำสามารถสรุปผลการทดสอบได้ว่า ระบบตรวจจับสามารถตรวจจับและรายงานการหายไปชั่วคราวของสัญญาณช่วยการลงจอดจำลองที่ความถี่ 110.7 MHz ซึ่งระบบทำการระบุสถานะของสัญญาณช่วยการลงจอดจำลองเป็น ANOMALY_A_CARRIER_DROP เมื่อสัญญาณหายไปและกลับมาทำงานใหม่ภายในระยะเวลาที่กำหนดในโปรแกรมได้อย่างถูกต้อง อย่างไรก็ตาม ในการทดสอบส่วนนี้อาจมีความผิดพลาดในการตรวจจับความผิดปกติของการหายไปของสัญญาณที่ระยะเวลา 5 นาทีที่กำหนดไว้ในโปรแกรมเนื่องจากความหน่วงเวลาในการประมวลผลของโปรแกรมอาจจะทำให้ความต่างของระยะเวลาคลาดเคลื่อนในหน่วยวินาทีที่ทำให้ระบบไม่สามารถตรวจจับความผิดปกตินี้ได้

ในการทดสอบส่วนสุดท้ายเป็นการทดสอบตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากสัญญาณที่ไม่ได้ถูกใช้งานในระบบช่วยการลงจอด โดยผู้จัดทำได้ทำการส่งสัญญาณแอมพลิจูดมอดูเลชันที่ความถี่ต่าง ๆ นอกเหนือจากความถี่สำหรับสัญญาณช่วยการลงจอดจากเครื่องกำเนิดสัญญาณดังรูปที่ 4.49 อาทิเช่น ความถี่ที่ 110.7 MHz 109.3 MHz และ 110.3 MHz เป็นต้น เพื่อให้ระบบทำงานและตรวจจับความผิดปกติดังกล่าวได้ ซึ่งตัวอย่างผลการทดสอบดังกล่าวเป็นไปดังรูปที่ 4.50 - รูปที่ 4.53 และสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งข้อมูลภายในตารางประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปด้วยความถี่และค่ากำลังที่ใช้ส่งสัญญาณทดสอบ ความถี่และค่ากำลังที่ระบบตรวจจับสามารถบันทึกได้ และสถานการณ์ตรวจจับของระบบ

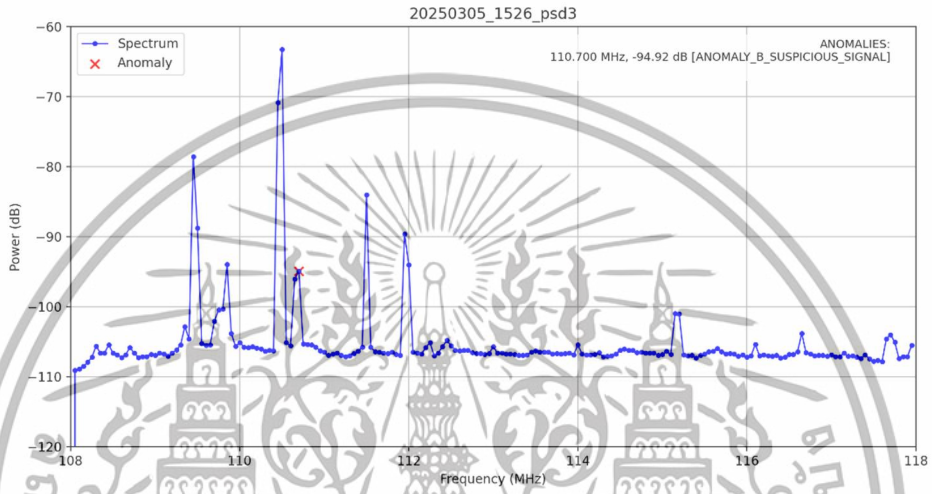
นอกจากนี้ การทดสอบการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดจากสัญญาณที่ไม่ได้ถูกใช้งานในระบบช่วยการลงจอด ในส่วนของปรากฏการณ์ sporadic E ซึ่งเป็นเหตุการณ์ผิดปกติที่อาจเกิดจากการสะท้อนคลื่นวิทยุของชั้นบรรยากาศ (ANOMALY_B_SPORADIC_E) เนื่องจากข้อจำกัดที่ไม่สามารถส่งสัญญาณหลายความถี่ได้พร้อมกัน ทางผู้จัดทำได้ทดลองปรับเปลี่ยนข้อมูลภายในไฟล์ .csv ที่ค่ากำลังบางความถี่โดยอ้างอิงรูปแบบของค่ากำลังมาจากความถี่และค่ากำลังที่ได้จากการส่งสัญญาณแอมพลิจูดมอดูเลชันจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ จากนั้นผู้จัดทำได้ทำการสั่งให้ระบบตรวจจับทำงาน พบว่า เมื่อความถี่หลายความถี่มีค่ากำลังที่สูงพร้อมกันเกินจำนวนความถี่ที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรม ระบบจะทำการตรวจจับและระบุความผิดปกติที่เกิดขึ้นเป็น ANOMALY_B_SPORADIC_E ดังรูปที่ 4.54 - รูปที่ 4.55

รูปที่ 4.49 เครื่องกำเนิดสัญญาณที่ใช้ส่งสัญญาณที่ความถี่นอกเหนือ
จากความถี่ของสัญญาณช่วยการลงจอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
[DEBUG] anomaly_b = [{'freq': 110.7, 'anomaly_type': 'ANOMALY_B_SUSPICIOUS_SIGNAL', 'power_df1': -94.951, 'power_df2':
 -94.854, 'power_df3': -94.923, 'message': 'Suspicious signal at freq 110.700', 'timestamp': '2025-03-05 15:26:17'}]
ILS freq 109.500 MHz => max power from 109.450 MHz = -78.59 dB
ILS freq 110.500 MHz => max power from 110.500 MHz = -63.27 dB
Updated JSON file: /home/worawit/sdrvhf/psd_coll_data/anomaly/2025/202503/20250305/anomaly_report_20250305.json
```

รูปที่ 4.50 ผลการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากสัญญาณที่ไม่ได้ถูกใช้งาน
ในระบบช่วยการลงจอดที่ความถี่ 110.7 MHz ณ เวลา 15.26 น.

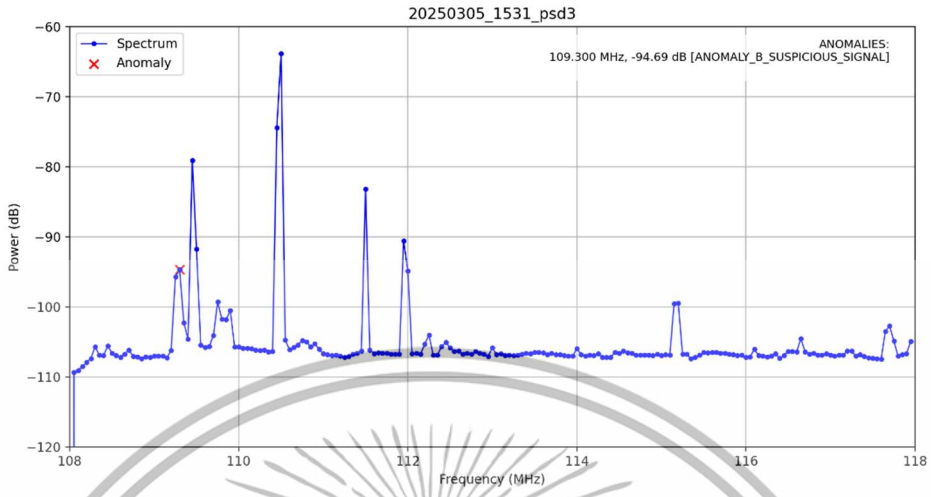


รูปที่ 4.51 สเปกตรัมช่วงความถี่ 108 - 118 MHz ที่พบความผิดปกติที่
สัญญาณความถี่ 110.7 MHz ณ เวลา 15.26 น.

```
[DEBUG] anomaly_b = [{'freq': 109.3, 'anomaly_type': 'ANOMALY_B_SUSPICIOUS_SIGNAL', 'power_df1': -94.023, 'power_df2':
 -93.904, 'power_df3': -94.695, 'message': 'Suspicious signal at freq 109.300', 'timestamp': '2025-03-05 15:31:13'}]
ILS freq 109.500 MHz => max power from 109.450 MHz = -79.09 dB
ILS freq 110.500 MHz => max power from 110.500 MHz = -63.85 dB
Updated JSON file: /home/worawit/sdrvhf/psd_coll_data/anomaly/2025/202503/20250305/anomaly_report_20250305.json
```

รูปที่ 4.52 ผลการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากสัญญาณที่ไม่ได้ถูกใช้งาน
ในระบบช่วยการลงจอดที่ความถี่ 109.3 MHz ณ เวลา 15.31 น.

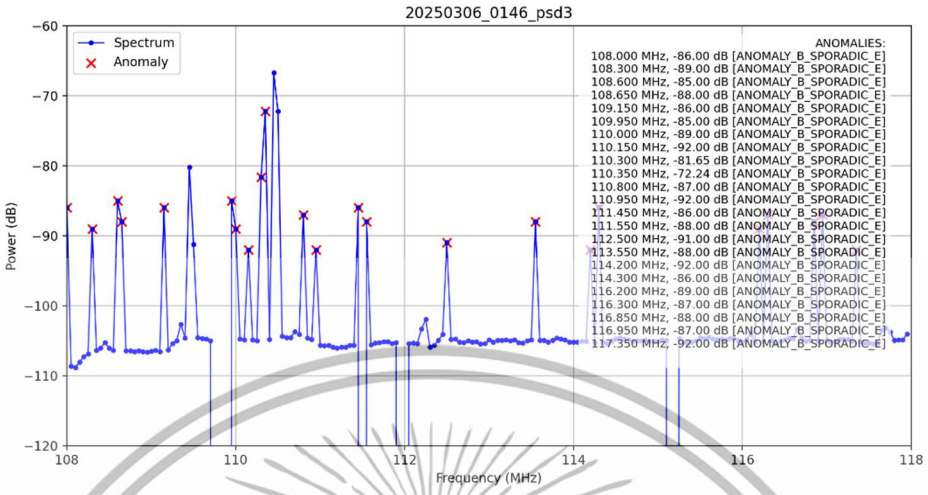
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.53 สเปกตรัมช่วงความถี่ 108 - 118 MHz ที่พบความผิดปกติที่สัญญาณความถี่ 109.3 MHz ณ เวลา 15.31 น.

รูปที่ 4.54 ผลการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากการจำลองปรากฏการณ์ธรรมชาติ sporadic E ณ เวลา 1.46 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.55 สเปกตรัมช่วงความถี่ 108 - 118 MHz ที่พบความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากการจำลองปรากฏการณ์ธรรมชาติ sporadic E ณ เวลา 1.46 น.

ตารางที่ 4.5 ผลการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากสัญญาณที่ไม่ได้ถูกใช้งานในระบบช่วยการลงจอด

ความถี่ของสัญญาณ (MHz)		**ค่ากำลังสัญญาณ (dB)**		**สถานะการตรวจจับของระบบ**
เครื่องกำเนิดสัญญาณ	**ระบบตรวจจับ**	**เครื่องกำเนิดสัญญาณ**	**ระบบตรวจจับ**	
109.30	109.25	-20.00	-95.71	ANOMALY_B_SUSPICIOUS_SIGNAL
109.70	109.70	-20.00	-94.64	ANOMALY_B_SUSPICIOUS_SIGNAL
110.30	110.30	-20.00	-95.16	ANOMALY_B_SUSPICIOUS_SIGNAL
110.70	110.70	-20.00	-94.92	ANOMALY_B_SUSPICIOUS_SIGNAL

จากตารางที่ 4.5 ซึ่งแสดงผลการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากสัญญาณที่ไม่ได้ถูกใช้งานในระบบช่วยการลงจอด ทางผู้จัดทำสามารถสรุปผลได้ว่า การทำงานของระบบในการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นในกรณีนี้ทำงานตามที่ผู้จัดทำได้ออกแบบไว้ โดยระบบจะทำการ

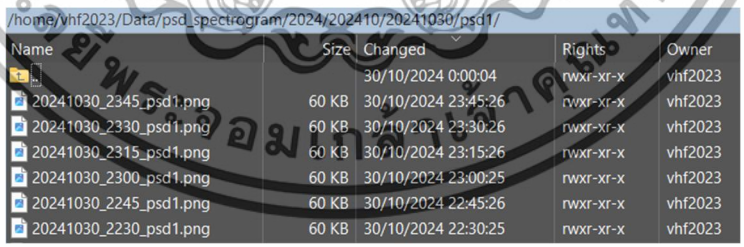
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบค่ากำลังสัญญาณที่ไม่ได้มีการกำหนดใช้งานสำหรับสัญญาณช่วยการลงจอดร่วมกับข้อมูลค่ากำลังและความถี่ย้อนหลัง หากพบว่าสัญญาณที่ความถี่ดังกล่าวมีค่ากำลังที่สูงและเมื่อเทียบกับข้อมูลย้อนหลัง สัญญาณนี้ไม่เคยปรากฏมาก่อน ระบบจะทำการตรวจจับและระบุความผิดปกติที่เกิดขึ้นนี้ทันที

อย่างไรก็ตาม ในการทดสอบนี้พบว่า มีข้อจำกัดบางส่วนในการตรวจจับความผิดปกตินี้ หากสัญญาณที่มีการใช้งานที่ความถี่นอกเหนือสำหรับสัญญาณช่วยการลงจอดนี้มีความถี่ตรงกับสัญญาณช่วยการลงจอด ระบบจะไม่สามารถแยกแยะระหว่างสัญญาณแปลมปลอมนี้กับสัญญาณช่วยการลงจอดได้ และหากสัญญาณนี้ปรากฏที่ความถี่เดียวกับสัญญาณรบกวนคงที่ที่เกิดขึ้นจากภายในระบบของผู้จัดทำเอง ระบบตรวจจับอาจมีการทำงานที่ผิดพลาดซึ่งไม่สามารถระบุความผิดปกตินี้ได้เช่นกัน

4.4.3 ผลการทดสอบการทำงานระบบที่ใช้พล็อตสเปกโตรแกรม

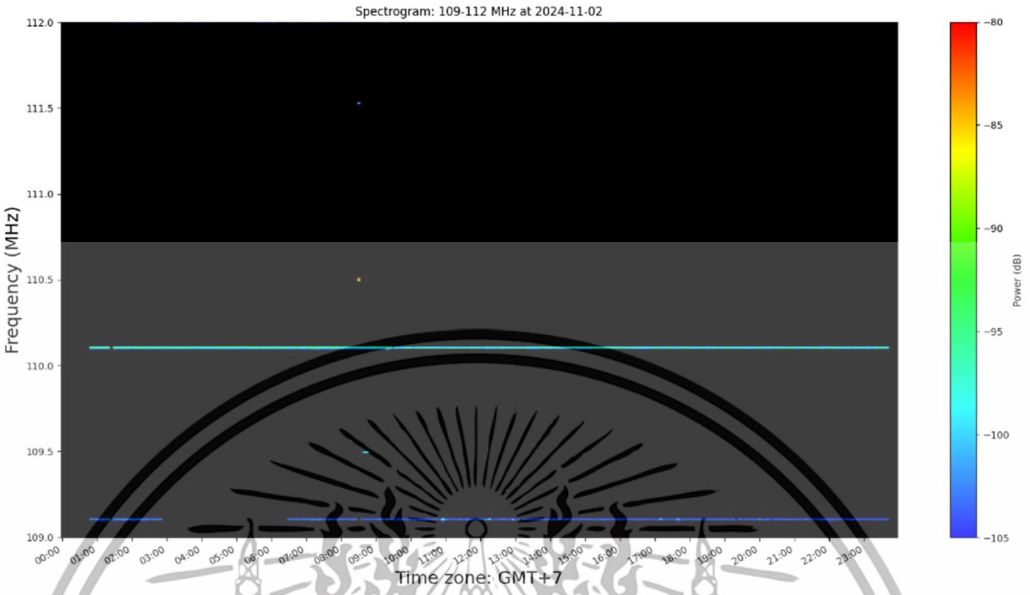
ในการทดสอบการทำงานของระบบที่ใช้พล็อตสเปกโตรแกรม ทางคณะผู้จัดทำได้ทดสอบร่วมกับระบบหลักที่ใช้ตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน โดยเริ่มจากการทดสอบการบันทึกรูปกราฟสเปกโตรแกรมภายในเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งจากการทดสอบพบว่า รูปกราฟสเปกโตรแกรมมีการบันทึกลงไฟล์เซิร์ฟเวอร์เป็นดังความต้องการของคณะผู้จัดทำ ดังรูปที่ 4.56 รูปที่ 4.58 รูปที่ 4.60 และรูปที่ 4.62 และทางผู้จัดทำได้แสดงตัวอย่างรูปสเปกโตรแกรมของข้อมูลในแต่ละช่วงความถี่เป็นดังรูปที่ 4.57 รูปที่ 4.59 รูปที่ 4.61 และรูปที่ 4.63


/home/vhf2023/Data/psd_spectrogram/2024/202410/20241030/psd1/

Name	Size	Changed	Rights	Owner
		30/10/2024 0:00:04	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2345_psd1.png	60 KB	30/10/2024 23:45:26	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2330_psd1.png	60 KB	30/10/2024 23:30:26	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2315_psd1.png	60 KB	30/10/2024 23:15:26	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2300_psd1.png	60 KB	30/10/2024 23:00:25	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2245_psd1.png	60 KB	30/10/2024 22:45:26	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2230_psd1.png	60 KB	30/10/2024 22:30:25	rwxr-xr-x	vhf2023

รูปที่ 4.56 การเก็บรูปกราฟสเปกโตรแกรมของข้อมูลความถี่ช่วง 109-112 MHz ที่ถูกบันทึกภายในไฟล์เซิร์ฟเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



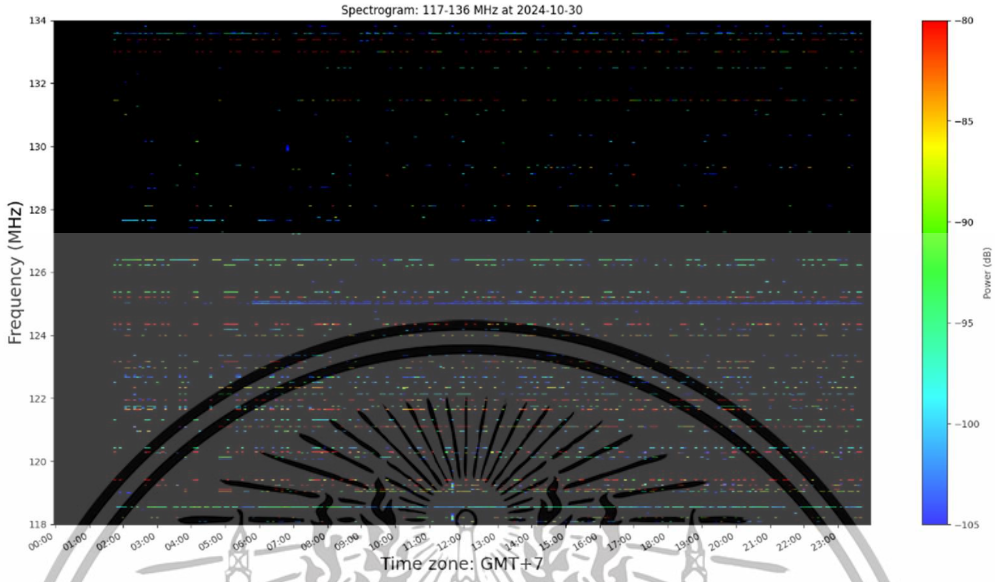
รูปที่ 4.57 ตัวอย่างรูปกราฟสเปกโตรแกรมของข้อมูลความถี่ในช่วง 109-112 MHz

/home/vhf2023/Data/psd_spectrogram/2024/202410/20241030/psd2/

Name	Size	Changed	Rights	Owner
..		30/10/2024 0:00:04	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2345_psd2.png	74 KB	30/10/2024 23:46:13	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2330_psd2.png	74 KB	30/10/2024 23:31:14	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2315_psd2.png	74 KB	30/10/2024 23:16:12	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2300_psd2.png	73 KB	30/10/2024 23:01:12	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2245_psd2.png	73 KB	30/10/2024 22:46:13	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2230_psd2.png	73 KB	30/10/2024 22:31:10	rwxr-xr-x	vhf2023

รูปที่ 4.58 การเก็บรูปกราฟสเปกโตรแกรมของข้อมูลความถี่ช่วง 118-134 MHz ที่ถูกบันทึกภายในไฟล์เซิร์ฟเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



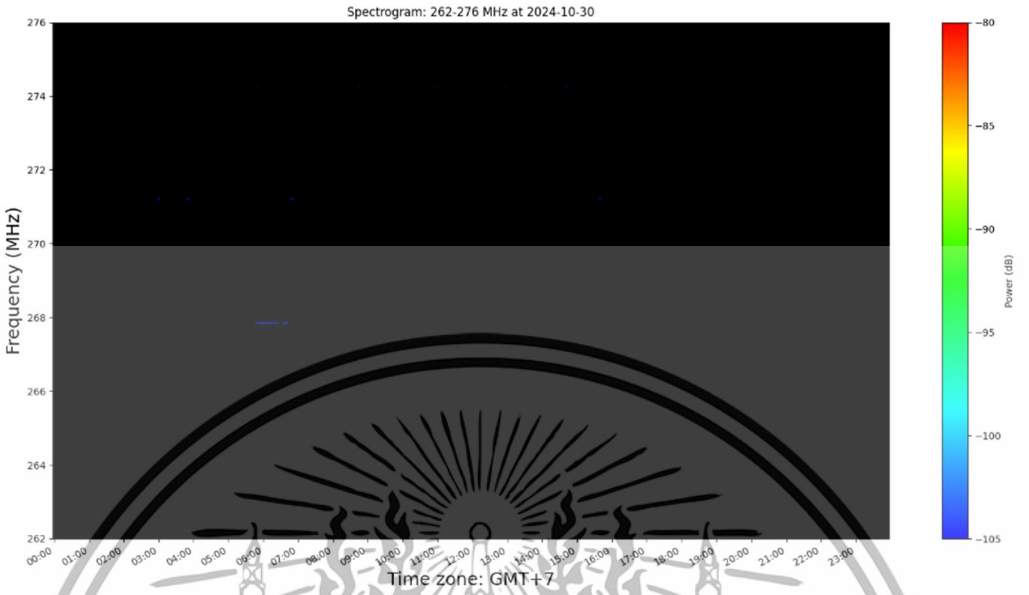
รูปที่ 4.59 ตัวอย่างรูปกราฟสเปกโตรแกรมของข้อมูลความถี่ในช่วง 118-134 MHz

/home/vhf2023/Data/psd_spectrogram/2024/202410/20241030/psd3/

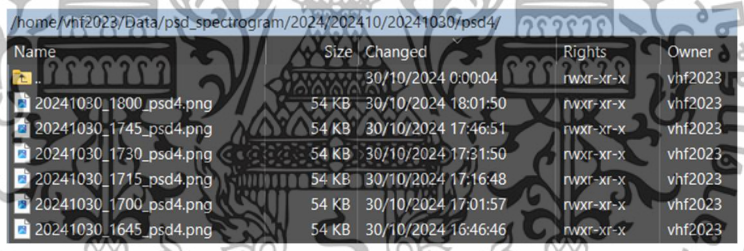
Name	Size	Changed	Rights	Owner
..		30/10/2024 0:00:04	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2345_psd3.png	55 KB	30/10/2024 23:46:26	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2330_psd3.png	55 KB	30/10/2024 23:31:27	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2315_psd3.png	55 KB	30/10/2024 23:16:25	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2300_psd3.png	55 KB	30/10/2024 23:01:25	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2245_psd3.png	55 KB	30/10/2024 22:46:25	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2230_psd3.png	55 KB	30/10/2024 22:31:23	rwxr-xr-x	vhf2023

รูปที่ 4.60 การเก็บรูปกราฟสเปกโตรแกรมของข้อมูลความถี่ช่วง 262-276 MHz ที่ถูกบันทึกภายในไฟล์เซิร์ฟเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

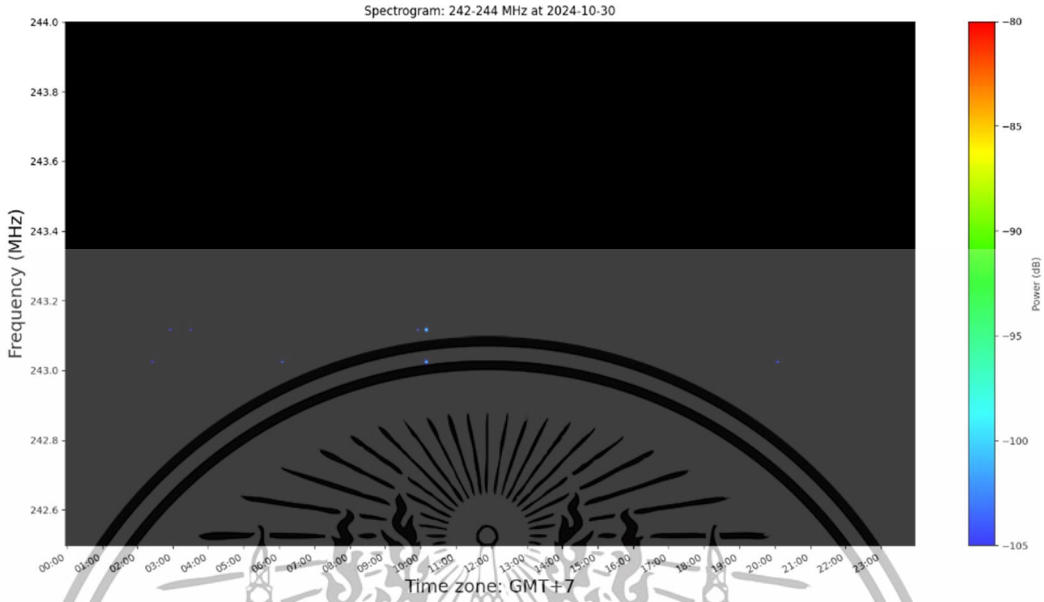


รูปที่ 4.61 ตัวอย่างรูปกราฟสเปกโตรแกรมของข้อมูลความถี่ในช่วง 262-276 MHz



รูปที่ 4.62 การเก็บรูปกราฟสเปกโตรแกรมของข้อมูลความถี่ช่วง 329-334 MHz ที่ถูกบันทึกภายในไฟล์เซิร์ฟเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.63 ตัวอย่างรูปกราฟสเปกโตรแกรมของข้อมูลความถี่ในช่วง 329-334 MHz

4.5 ผลการทดสอบการทำงานระบบตรวจสอบสถานะการทำงานของระบบตรวจจับคลื่นวิทยุที่มีการใช้งานภายในท่าอากาศยาน

หลังจากการออกแบบการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในส่วนของการตรวจสอบสถานะการทำงานของระบบ ผู้จัดทำได้ทดสอบโปรแกรมที่ได้ออกแบบเบื้องต้นโดยสามารถแบ่งสถานการณ์หลัก ๆ ที่อาจเกิดขึ้นกับระบบได้ 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่ระบบสามารถทำงานได้ปกติ กรณีที่คอมพิวเตอร์ดับหรือไม่สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายได้ และกรณีที่อุปกรณ์ SDR ไม่สามารถใช้งานได้ โดยผลการทดสอบเป็นไปดังรูปที่ 4.64รูปที่ 4.66

```
vhf2023@ssh-server:~/Data/logs$ tail -f system_status.json
{
    "timestamp": "2024-12-16 03:15:01",
    "pi_status": "OK",
    "internet_status": "OK",
    "rtl_sdr_status": "Device OK",
    "last_update": "2024-12-16 03:12:04"
}
```

รูปที่ 4.64 กรณีที่ระบบสามารถทำงานได้ปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
vhf2023@ssh-server:~/Data/logs$ tail -f system_status.json
{
    "timestamp": "2024-12-16 02:20:01",
    "pi_status": "ERROR",
    "internet_status": "UNKNOWN",
    "rtl_sdr_status": "UNKNOWN",
    "last_update": null
}^C
```

รูปที่ 4.65 กรณีที่คอมพิวเตอร์ดับหรือไม่สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายได้

```
vhf2023@ssh-server:~/Data/logs$ tail -f system_status.json
{
    "timestamp": "2024-12-16 03:30:30",
    "pi_status": "OK",
    "internet_status": "OK",
    "rtl_sdr_status": "Device DOWN: <LIBUSB_ERROR_BUSY (-6): Resource busy> \"Could not open SDR (device index = 0)\"",
    "last_update": "2024-12-16 03:30:13"
}
```

รูปที่ 4.66 กรณีที่อุปกรณ์ SDR ไม่สามารถใช้งานได้

จากการทดสอบการทำงานของโปรแกรมในส่วนของการตรวจสอบสถานะการทำงานของระบบพบว่า การตรวจสอบสถานะการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบสามารถตรวจสอบและรายงานสถานะการทำงานของอุปกรณ์ในระบบได้ในเบื้องต้นได้ดังที่ผู้จัดทำได้ออกแบบดังรูปที่ 3.6 โดยโปรแกรมสามารถระบุและแยกแยะปัญหาในแต่ละส่วนได้ชัดเจน ทั้งในกรณีที่ระบบทำงานปกติและเกิดข้อผิดพลาด ซึ่งช่วยเพิ่มความถูกต้องและความน่าเชื่อถือในการทำงานของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุภายในบริเวณท่าอากาศยานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

4.6 ผลการทดสอบการทดสอบการทำงานระบบจัดเก็บข้อมูลภายในไฟล์เซิร์ฟเวอร์

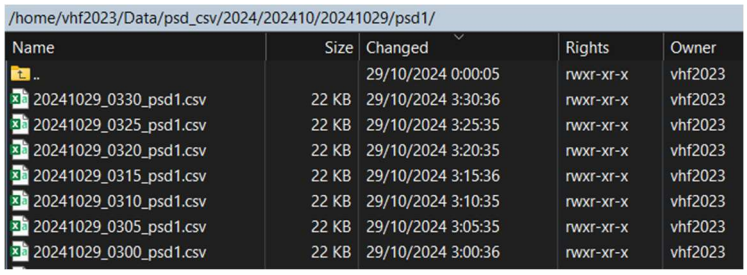
ไฟล์เซิร์ฟเวอร์จะเป็นส่วนของการจัดเก็บข้อมูลที่เป็นส่วนของรูปภาพกราฟสเปกโตร-แกรม และส่วนของสำรองข้อมูลรายงาน โดยในการจัดเก็บข้อมูลทั้งหมดนี้จะแยกตามช่วงความถี่ที่ตรวจจับ 5 ช่วง และการจัดเก็บข้อมูลรายงานสำรองจะถูกจัดเก็บอยู่ในโฟลเดอร์วันของแต่ละปีดังรูปที่ 4.67 -รูปที่ 4.68

/home/vhf2023/Data/psd_spectrogram/2024/202410/20241030/psd1/

Name	Size	Changed	Rights	Owner
..		30/10/2024 0:00:04	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2345_psd1.png	60 KB	30/10/2024 23:45:26	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2330_psd1.png	60 KB	30/10/2024 23:30:26	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2315_psd1.png	60 KB	30/10/2024 23:15:26	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2300_psd1.png	60 KB	30/10/2024 23:00:25	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2245_psd1.png	60 KB	30/10/2024 22:45:26	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2230_psd1.png	60 KB	30/10/2024 22:30:25	rwxr-xr-x	vhf2023
20241030_2215_psd1.png	60 KB	30/10/2024 22:15:25	rwxr-xr-x	vhf2023

รูปที่ 4.67 ตัวอย่างข้อมูลที่ถูกจัดเก็บในไฟล์เซิร์ฟเวอร์ของโฟลเดอร์ psd_spectrogram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



/home/vhf2023/Data/psd_csv/2024/202410/20241029/psd1/

Name	Size	Changed	Rights	Owner
..		29/10/2024 0:00:05	rwxr-xr-x	vhf2023
20241029_0330_psd1.csv	22 KB	29/10/2024 3:30:36	rwxr-xr-x	vhf2023
20241029_0325_psd1.csv	22 KB	29/10/2024 3:25:35	rwxr-xr-x	vhf2023
20241029_0320_psd1.csv	22 KB	29/10/2024 3:20:35	rwxr-xr-x	vhf2023
20241029_0315_psd1.csv	22 KB	29/10/2024 3:15:36	rwxr-xr-x	vhf2023
20241029_0310_psd1.csv	22 KB	29/10/2024 3:10:35	rwxr-xr-x	vhf2023
20241029_0305_psd1.csv	22 KB	29/10/2024 3:05:35	rwxr-xr-x	vhf2023
20241029_0300_psd1.csv	22 KB	29/10/2024 3:00:36	rwxr-xr-x	vhf2023

รูปที่ 4.68 ตัวอย่างข้อมูลที่ถูกจัดเก็บในไฟล์เซิร์ฟเวอร์ของโฟลเดอร์ psd_csv

4.7 ผลการทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน

4.7.1 เว็บเบราว์เซอร์ที่ใช้ในการแสดงผลของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยาน

จากการออกแบบโครงร่างของเว็บเบราว์เซอร์ส่วนของการแสดงผลนั้น ทางผู้จัดทำได้ทำการสร้างเว็บเบราว์เซอร์แสดงผลขึ้นจากการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา HTML CSS PHP และ JavaScript นั้น ได้ผลลัพธ์ของเว็บเบราว์เซอร์ที่จะใช้แสดงผลระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยานดังต่อไปนี้

4.7.1.1 ส่วนหัวของเว็บเบราว์เซอร์ที่ได้จากการเขียนโปรแกรม

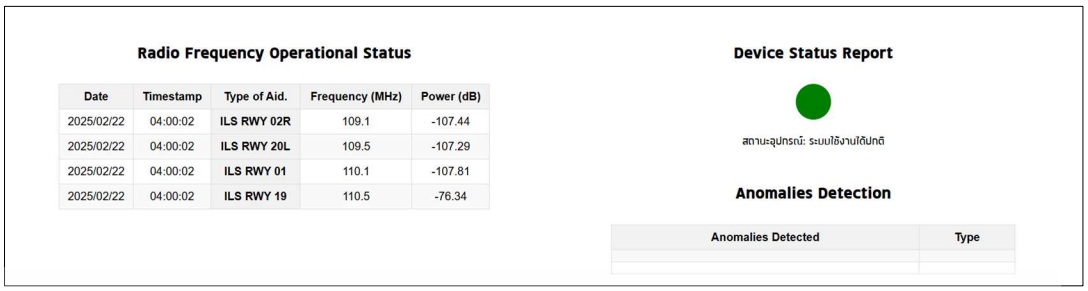
ในส่วนหัวของหน้าเว็บเบราว์เซอร์จะแสดงข้อมูลได้แก่ โลโก้ของสถาบัน ชื่อของปริญญานิพนธ์ภาษาอังกฤษและภาษาไทยดังรูปที่ 4.69

รูปที่ 4.69 ส่วนหัวของเว็บเบราว์เซอร์ที่ได้จากการเขียนโปรแกรม

4.7.1.2 ส่วนแสดงสถานะการใช้งานต่าง ๆ

ในส่วนแสดงสถานะการใช้งานจะมีการแสดงสถานะการใช้งานของคลื่นวิทยุ สถานะการใช้งานของระบบ และการตรวจจับความผิดปกติของการใช้งานคลื่นวิทยุเป็นดังแสดงในรูปที่ 4.70

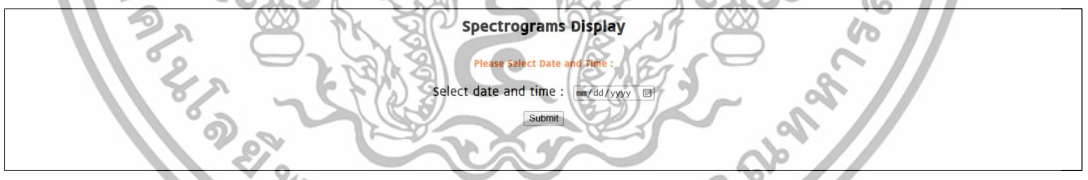
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.70 ส่วนแสดงสถานะการใช้งานต่าง ๆ ของเว็บเบราว์เซอร์ที่ได้จากการเขียนโปรแกรม

4.7.1.3 ส่วนแสดงผลสเปกโตรแกรมระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยาน

ในส่วนของการแสดงผลรูปสเปกโตรแกรมของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ เมื่อผู้ใช้งานมีการกดเลือกวันที่จากกล่องตัวเลือกแล้วกด Submit แล้วนั้น โปรแกรมจะทำการรับค่าวันที่มาแล้วทำการส่งข้อมูลวันที่ที่ผู้ใช้งานเลือกไว้ไปยังโปรแกรมที่ใช้ในการดึงข้อมูลสเปกโตรแกรมจากไฟล์เซิร์ฟเวอร์เข้าสู่ระบบ จากนั้นโปรแกรมจะทำการนำสเปกโตรแกรมขึ้นสู่เว็บเบราว์เซอร์ ซึ่งผลลัพธ์ในการดึงรูปสเปกโตรแกรมขึ้นสู่เว็บเบราว์เซอร์ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.71



รูปที่ 4.71 ส่วนแสดงผลสเปกโตรแกรม

4.7.1.4 ส่วนท้ายของหน้าเว็บเบราว์เซอร์

ในส่วนท้ายของหน้าเว็บเบราว์เซอร์จะเป็นส่วนที่ใช้ในการแสดงข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ประกอบด้วย ภาควิชา สถาบัน ที่อยู่ เบอร์โทรศัพท์ติดต่อภาควิชา อีเมล์ติดต่อภาควิชา รายชื่อผู้จัดทำและอาจารย์ที่ปรึกษาดังรูปที่ 4.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.72 ส่วน About Us ของหน้าเว็บเบราว์เซอร์

4.7.2 การแก้ไขปัญหาการทำงานของเว็บเบราว์เซอร์ผ่านผู้ใช้งานจริง

เนื่องจากก่อนที่จะนำเว็บเบราว์เซอร์ไปใช้งานจริงบนระบบตรวจจับคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยาน คณะผู้จัดทำได้มีการนำเว็บเบราว์เซอร์ที่ทำขึ้นนี้ไปทดสอบการทำงานกับผู้ใช้งานจริงว่ามีข้อผิดพลาดหรือข้อเสนอแนะของระบบหรือไม่เพื่อนำมาปรับปรุงและพัฒนาเว็บเบราว์เซอร์ต่อไป

จากการนำเว็บเบราว์เซอร์ให้ผู้ใช้งานทำการทดลองใช้งานจริงนั้น ทางผู้ใช้งานได้มีข้อติชมว่า อยากให้ส่วนการแสดงสถานะการใช้งานและข้อมูลต่าง ๆ มีความเข้าใจง่ายและเป็นสัดส่วนให้ดี จากข้อติชมนี้ ทางผู้จัดทำปรับปรุงโครงร่างของหน้าเว็บเบราว์เซอร์ใหม่ให้ตรงความต้องการของผู้ใช้งานได้เป็นดังรูปที่ 4.73

รูปที่ 4.73 หน้าเว็บเบราว์เซอร์ที่ปรับปรุงตามความต้องการของผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.3 การทดสอบการทำงานของเว็บเบราว์เซอร์ร่วมกับระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน

จากการปรับปรุงหน้าเว็บเบราว์เซอร์ตามคำแนะนำของผู้ใช้งาน ทางผู้จัดทำจึงได้ทำการทดสอบการทำงานของเว็บเบราว์เซอร์พร้อมกับระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน โดยเริ่มต้น เมื่อผู้ใช้งานเข้าสู่หน้าเว็บเบราว์เซอร์จะพบกับส่วนแสดงผลด้านซ้ายมือที่จะแสดงสถานะการใช้งานของคลื่นวิทยุและการตรวจจับความผิดปกติของการใช้งานคลื่นวิทยุ และอีกส่วนทางขวามือเป็นส่วนในการแสดงสเปกโตรแกรม โดยจะมีกล่องตัวเลือกวันที่ เมื่อผู้ใช้งานกดเลือกวันที่ต้องการแล้วกด Submit นั้น เว็บเบราว์เซอร์จะทำการดึงข้อมูลรูปกราฟสเปกโตรแกรมที่บันทึกไว้ภายในไฟล์เซิร์ฟเวอร์ ณ วันที่ที่ผู้ใช้งานเลือกจากนั้นเว็บเบราวเซอร์จะแสดงสเปกโตรแกรมจากระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยานที่ทำขึ้นในปริญญานิพนธ์นี้ ซึ่งแสดงผลภาพรวมของเว็บเบราว์เซอร์ได้ดังรูปที่ 4.74

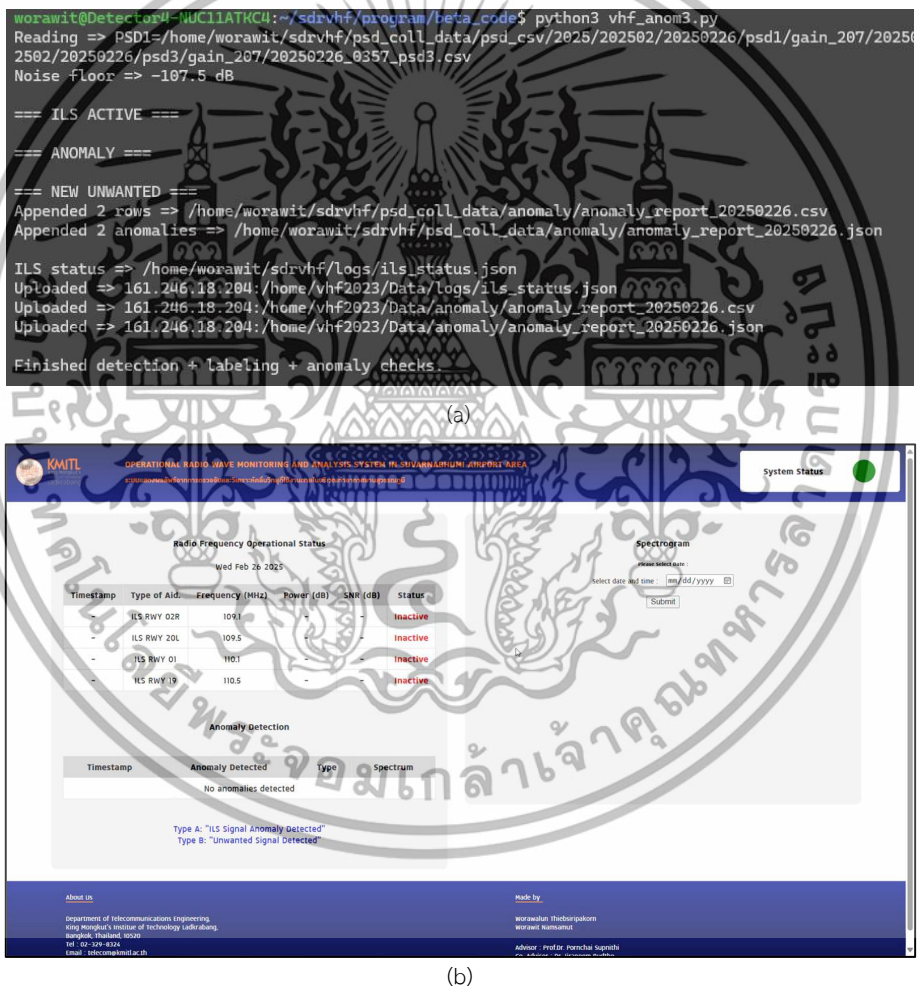
รูปที่ 4.74 หน้าเว็บเบราว์เซอร์ที่แสดงต่อผู้ใช้งาน

จากนั้นทางผู้จัดทำได้ทำการทดสอบการแสดงผลต่อผู้ใช้งานในแต่ละกรณีร่วมกับระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยานที่ได้จัดทำขึ้นโดยการจำลองสถานการณ์ในแต่ละกรณีจากการรันโปรแกรมจำลองการตรวจจับ โดยได้ทำการทดสอบทั้งสิ้น 4 กรณี ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.3.1 กรณีไม่มีการใช้งานสัญญาณช่วยการลงจอดและไม่มีเหตุการณ์ความผิดปกติเกิดขึ้น

ทำการจำลองสถานการณ์หากไม่มีการใช้งานสัญญาณช่วยการลงจอดและไม่มีเหตุการณ์ความผิดปกติเกิดขึ้น ในโปรแกรมการตรวจจับจะไม่มีข้อมูลถึงการตรวจจับความถี่ใดๆ ดังรูป (a) ในรูปที่ 4.75 และส่วนของหน้าเว็บเบราว์เซอร์ เมื่อไม่มีข้อมูลการตรวจจับจากระบบตรวจจับ สถานะการใช้งานของคลื่นวิทยุจะแสดงว่าคลื่นวิทยุไม่ได้มีการใช้งานอยู่ ณ ขณะนั้น ดังรูป (b) ในรูปที่ 4.75

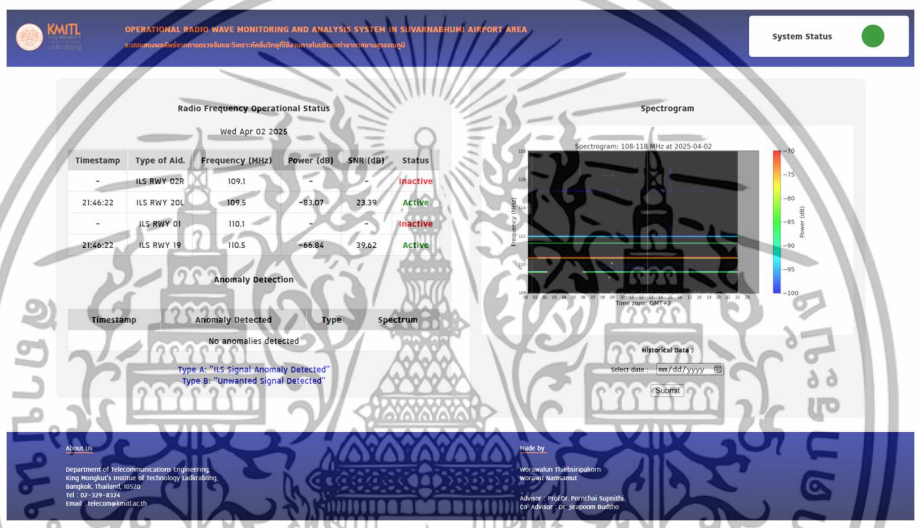


รูปที่ 4.75 หน้าเว็บเบราว์เซอร์ที่แสดงต่อผู้ใช้งานกรณีไม่มีการใช้งานสัญญาณช่วยการลงจอดและไม่มีเหตุการณ์ความผิดปกติเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.3.2 กรณีมีการใช้งานสัญญาณช่วยการลงจอดและไม่มีเหตุการณ์ความผิดปกติเกิดขึ้น

ในกรณีนี้ ทางผู้จัดทำได้ทำการบันทึกผลการทดลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจากการใช้งานระบบตรวจจับในสถานการณ์จริง ดังรูปที่ 4.76 มีการใช้งานคลื่นวิทยุความถี่ 109.1 MHz และ 110.1 MHz และไม่มีเหตุการณ์ความผิดปกติเกิดขึ้น ส่วนของหน้าเว็บเบราว์เซอร์เมื่อมีข้อมูลการตรวจจับจากโปรแกรมการตรวจจับ สถานะการใช้งานของคลื่นวิทยุจะแสดงว่ามีการใช้งานสัญญาณช่วยการลงจอดอยู่ ณ ขณะนั้นดังรูปที่ 4.76

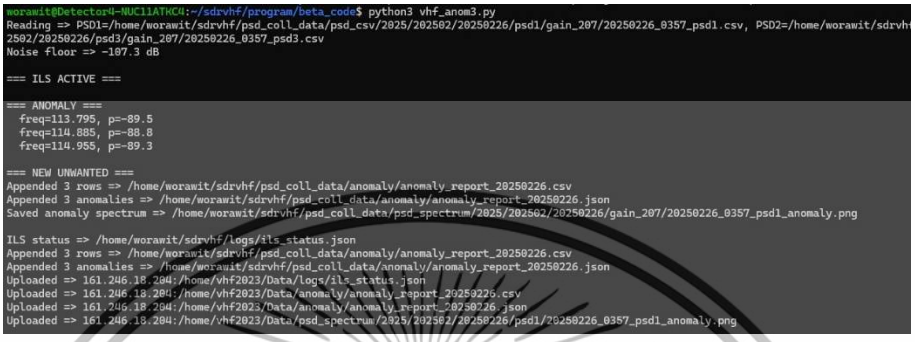


รูปที่ 4.76 หน้าเว็บเบราว์เซอร์ที่แสดงต่อผู้ใช้งานกรณีมีการใช้งานสัญญาณช่วยการลงจอดและไม่มีเหตุการณ์ความผิดปกติเกิดขึ้น

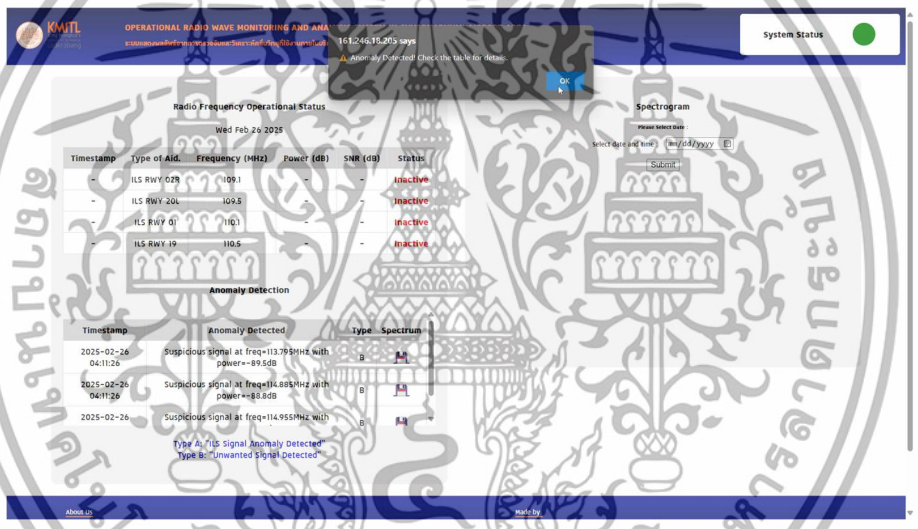
4.7.3.3 กรณีไม่มีการใช้งานสัญญาณช่วยการลงจอดแต่มีเหตุการณ์ความผิดปกติเกิดขึ้น

ทำการจำลองสถานการณ์หากไม่มีสัญญาณช่วยการลงจอดถูกใช้งานแต่มีความผิดปกติของการใช้งานคลื่นวิทยุ ในโปรแกรมการตรวจจับจะมีข้อมูลการตรวจจับความถี่แปลกปลอม ดังรูป (a) ในรูปที่ 4.77 และส่วนของหน้าเว็บเบราว์เซอร์ เมื่อมีข้อมูลการตรวจจับจากโปรแกรมการตรวจจับตรงสถานะการใช้งานของคลื่นวิทยุจะแสดงว่าคลื่นวิทยุไม่ได้มีการใช้งานอยู่ ณ ขณะนั้นแต่จะมีกล่องแจ้งเตือนผู้ใช้งานถึงสัญญาณแปลกปลอมที่นอกเหนือการใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน ดังรูป (b) ในรูปที่ 4.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

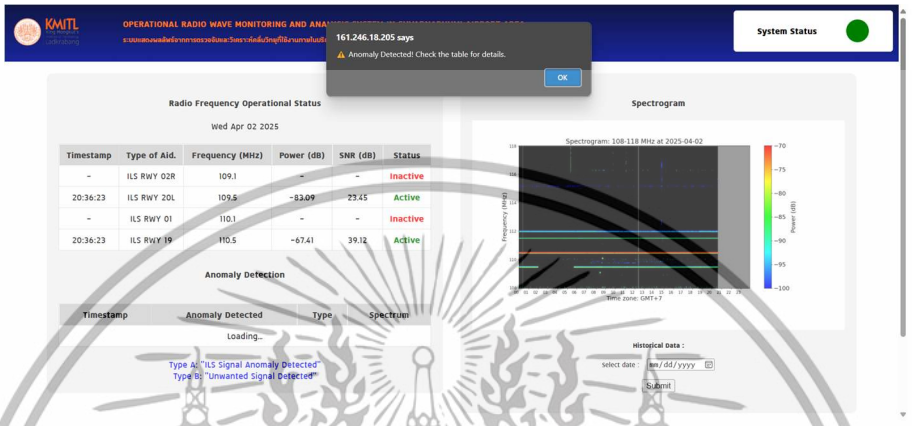
รูปที่ 4.77 หน้าเว็บเบราว์เซอร์ที่แสดงต่อผู้ใช้งานกรณีไม่มีการใช้งานสัญญาณช่วยการลงจอดแต่มีเหตุการณ์ความผิดปกติเกิดขึ้น

4.7.3.4 กรณีมีการใช้งานสัญญาณช่วยการลงจอดและมีเหตุการณ์ความผิดปกติเกิดขึ้น

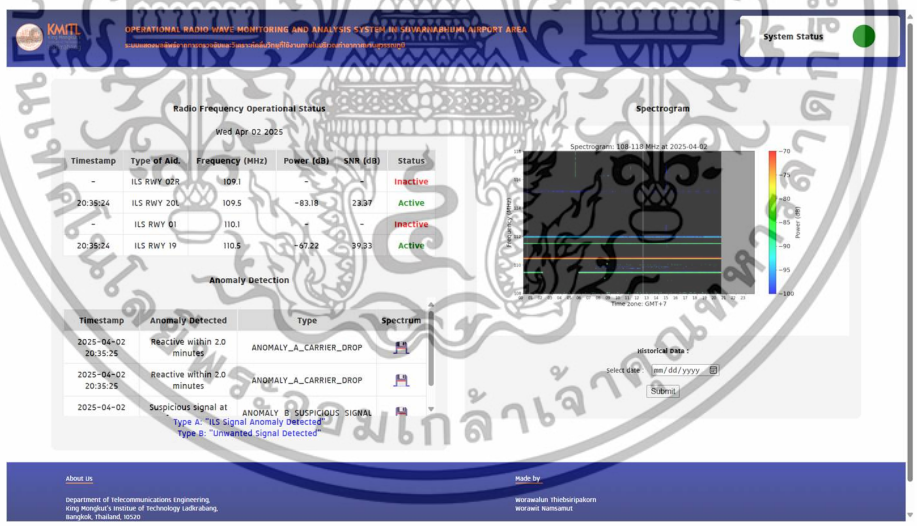
ในกรณีนี้ ทางผู้จัดทำได้ทำการบันทึกผลการทดลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจากการใช้งานระบบตรวจจับในสถานการณ์จริง ซึ่งเหตุการณ์ความผิดปกติที่เกิดขึ้นนั้น ผู้จัดทำได้ทำการจำแนกประเภทของความผิดปกติในการใช้งานออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากสัญญาณช่วยการลงจอด (Anomaly A) และความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากสัญญาณที่ไม่ได้ถูกใช้งานในระบบช่วยการลงจอด (Anomaly B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นในส่วนของหน้าเว็บเบราว์เซอร์ เมื่อมีข้อมูลการตรวจจับถึงเหตุการณ์ที่มีความผิดปกติเกิดขึ้นในขณะที่มีการใช้งานสัญญาณช่วยการลงจอดอยู่ จะมีกล่องแจ้งเตือนผู้ใช้งานถึงเหตุการณ์ความผิดปกติที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 4.78

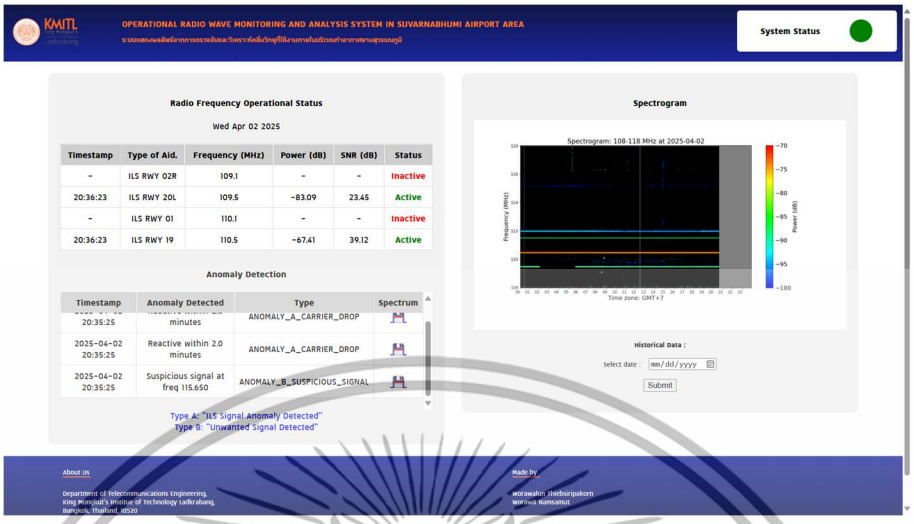


รูปที่ 4.78 หน้าเว็บเบราว์เซอร์ที่แสดงต่อผู้ใช้งานกรณีมีการใช้งานสัญญาณช่วยการลงจอดและมีเหตุการณ์ความผิดปกติเกิดขึ้น



รูปที่ 4.79 หน้าเว็บเบราว์เซอร์ที่แสดงต่อผู้ใช้งานกรณีมีการใช้งานสัญญาณช่วยการลงจอดและมีเหตุการณ์ความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากสัญญาณช่วยการลงจอด (Anomaly A) เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.80 หน้าเว็บเบราว์เซอร์ที่แสดงต่อผู้ใช้งานกรณีมีการใช้งานสัญญาณช่วยการลงจอดและมีเหตุการณ์ความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากสัญญาณที่ไม่ได้ถูกใช้งานในระบบช่วยการลงจอด (Anomaly B) เกิดขึ้น

จากการทำการทดสอบ สามารถสรุปได้ว่าระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยานที่ทางผู้จัดทำได้จัดทำขึ้นสามารถตรวจจับถึงสถานะการใช้งานของคลื่นวิทยุและตรวจจับความผิดปกติหรือสัญญาณแปลกปลอมที่อาจมารบกวนการสื่อสารของระบบช่วยการลงจอดที่ใช้งานอยู่ภายในท่าอากาศยานได้ และสามารถแสดงผลและแจ้งเตือนสถานะการใช้งานต่าง ๆ จากการตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุให้แก่ผู้ใช้งานได้

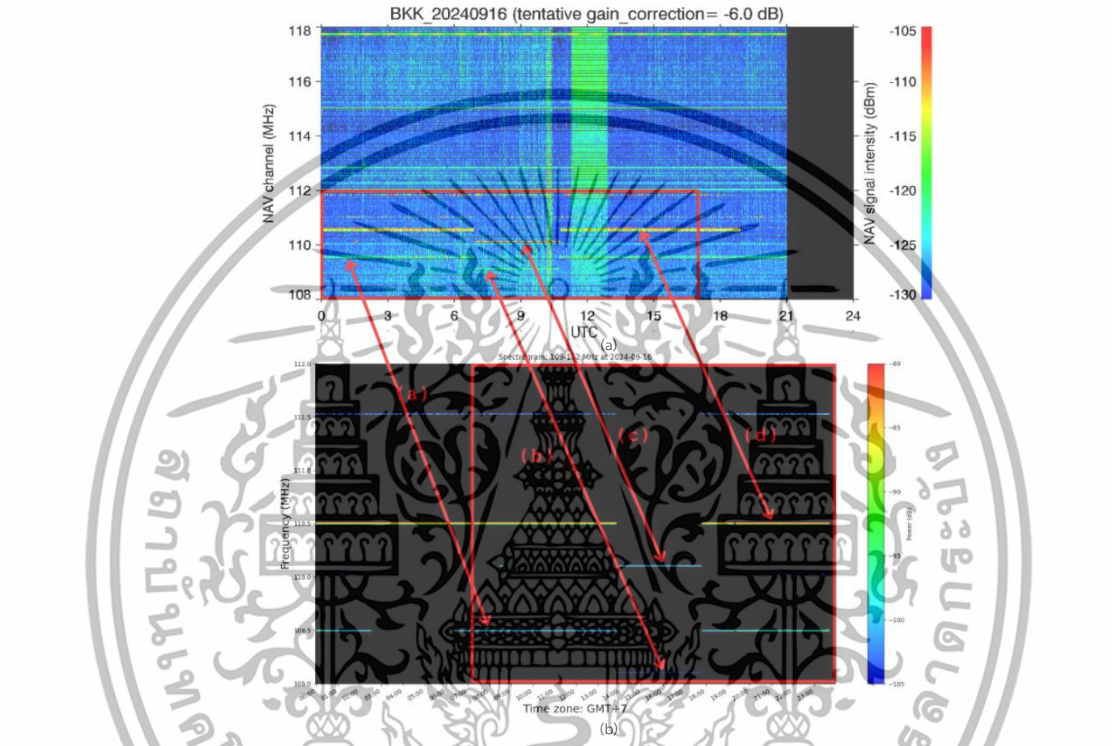
4.7.4 การเปรียบเทียบระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยานกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทางผู้จัดทำได้ทำการเปรียบเทียบระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยานกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเปรียบเทียบความคล้ายคลึงและความแตกต่างของปริญญานิพนธ์นี้กับงานวิจัยก่อนหน้า

งานวิจัยก่อนหน้าที่ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาค้นคว้านั้น ได้มีการเสนอระบบมอนิเตอร์ความแปลกปลอมอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ Sporadic-E ของคลื่นวิทยุย่านความถี่ VHF ที่ใช้งานในทางการบินในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของประเทศญี่ปุ่น โดยทำการรับและวัดความแรงสัญญาณจากสถานีรับสัญญาณที่ติดตั้งไว้จากนั้นมีการบันทึกข้อมูลเป็นกราฟสเปกโตรแกรมและแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ http://gwave.cei.uec.ac.jp/cgi-bin/vor/vhf.cgi [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการผลลัพธ์ของงานวิจัยก่อนหน้า ทางผู้จัดทำจึงได้ทำการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของปริญญานิพนธ์นี้กับงานวิจัยก่อนหน้า โดยได้ทำการเปรียบเทียบผลกราฟสเปกโตรแกรมของงานวิจัยก่อนหน้าดังรูป (a) ในรูปที่ 4.81 กับผลกราฟสเปกโตรแกรมที่ได้จากระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยานดังรูป (b) ในรูปที่ 4.81



รูปที่ 4.81 ผลการเปรียบเทียบกราฟสเปกโตรแกรมของงานวิจัยก่อนหน้ากับปริญญานิพนธ์นี้

จากการเปรียบเทียบกราฟสเปกโตรแกรมของงานวิจัยก่อนหน้ากับปริญญานิพนธ์นี้ พบว่า ระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยานในปริญญานิพนธ์นี้สามารถตรวจจับการใช้งานของคลื่นวิทยุได้คล้ายคลึงกับระบบมอนิเตอร์ของงานวิจัยก่อนหน้าเมื่อเปรียบเทียบโดยกราฟสเปกโตรแกรม โดยสามารถตรวจจับการใช้งานคลื่นวิทยุได้ที่ความถี่ 109.1 MHz (a) 109.5 MHz (b) 110.1 MHz (c) และ 110.5 MHz (d) ซึ่งเป็นความถี่ที่มีการใช้งานเพื่อช่วยการลงจอดอากาศยานภายในท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของหน้าเว็บเบราว์เซอร์แสดงผล เมื่อทำการเปรียบเทียบเว็บเบราว์เซอร์ของระบบมอนิเตอร์ของงานวิจัยก่อนหน้ากับเว็บเบราว์เซอร์ของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยานในปริญญานิพนธ์นี้ พบว่ามีความคล้ายคลึงและความแตกต่างกันแสดงได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบการแสดงผลบนเว็บเบราว์เซอร์ใน
งานวิจัยก่อนหน้าและปริญญานิพนธ์นี้

ข้อมูลที่แสดงบนเว็บเบราว์เซอร์	งานวิจัยก่อนหน้า	ปริญญานิพนธ์นี้
กราฟสเปกโตรแกรมแสดงความแรงของคลื่นวิทยุช่วงความถี่ 108 – 118 MHz จากสถานีที่ติดตั้ง ณ ดาดฟ้า ตึก 12 ชั้น สจล.	☑	☑
กราฟสเปกโตรแกรมที่เก็บสถิติย้อนหลัง	☑	☑
ข้อมูล f_oE_s จากสถานีไอโอโนซอนด์	☑	☒
สถานะการใช้งานของระบบตรวจจับ	☒	☑
ตารางแสดงสถานะการใช้งานของคลื่นวิทยุของระบบช่วยการลงจอด (พร้อมแสดงพารามิเตอร์ของคลื่นวิทยุ ได้แก่ Power (dB) SNR (dB) Status)	☒	☑
การตรวจจับความผิดปกติของการใช้งานคลื่นวิทยุของระบบช่วยการลงจอดพร้อมระบบแจ้งเตือนต่อผู้ใช้งาน	☒	☑
กราฟสเปกตรัมแสดงความถี่แปลกปลอมที่ตรวจจับได้ ณ ขณะนั้น	☒	☑
ตารางแสดงข้อมูลของความถี่แปลกปลอมที่ตรวจจับได้ ได้แก่ วันที่และเวลาที่ตรวจจับได้ ความผิดปกติที่เกิดขึ้น และประเภทของความผิดปกติ	☒	☑

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลการเปรียบเทียบการแสดงผลบนเว็บเบราว์เซอร์ในงานวิจัยก่อนหน้าและปริญญานิพนธ์นี้ดังแสดงในตารางที่ 4.6 สามารถสรุปได้ว่า เว็บเบราว์เซอร์ในงานวิจัยก่อนหน้าและปริญญานิพนธ์นี้มีความคล้ายคลึงกัน คือ มีการแสดงผลกราฟสเปกโตรแกรมแสดงความแรงของคลื่นวิทยุช่วงความถี่ 108 – 118 MHz จากสถานีที่ติดตั้ง ณ ดาดฟ้า ตึก 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และ สามารถแสดงผลกราฟสเปกโตรแกรมที่เก็บสถิติย้อนหลังได้เช่นเดียวกัน และมีส่วนที่แตกต่างกัน คือ เว็บเบราว์เซอร์ในปริญญานิพนธ์นี้ไม่มีข้อมูล f_oE_s จากสถานีไอโอโนซอนด์ และ เว็บเบราว์เซอร์ในปริญญานิพนธ์นี้มีการเพิ่มเติมส่วนของการแสดงผลต่าง ๆ ได้แก่

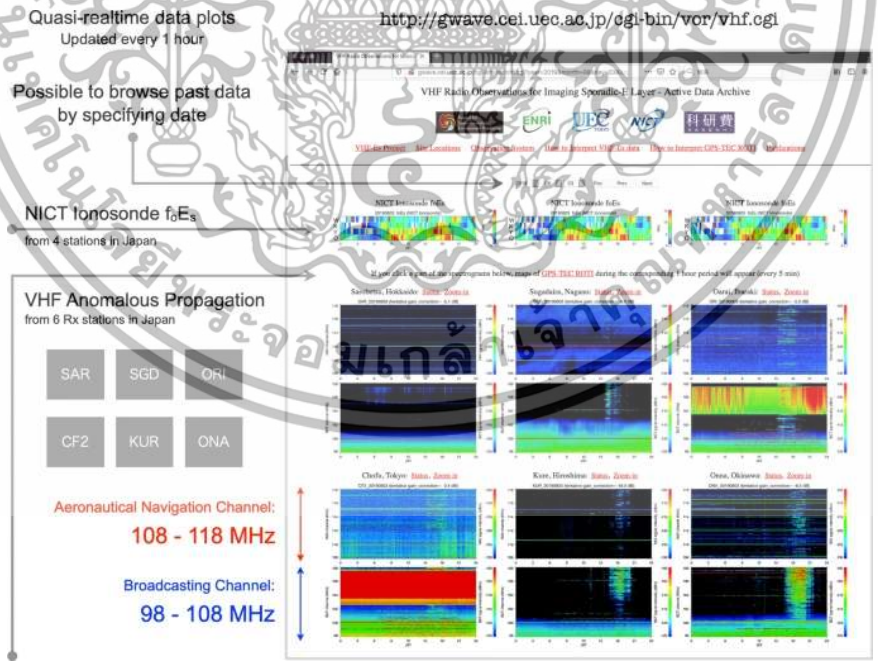
ก. ส่วนแสดงสถานะการใช้งานของคลื่นวิทยุ

ข. ส่วนแสดงสถานะการใช้งานของระบบ

ค. ส่วนแสดงข้อมูลความผิดปกติของคลื่นวิทยุพร้อมการแจ้งเตือน

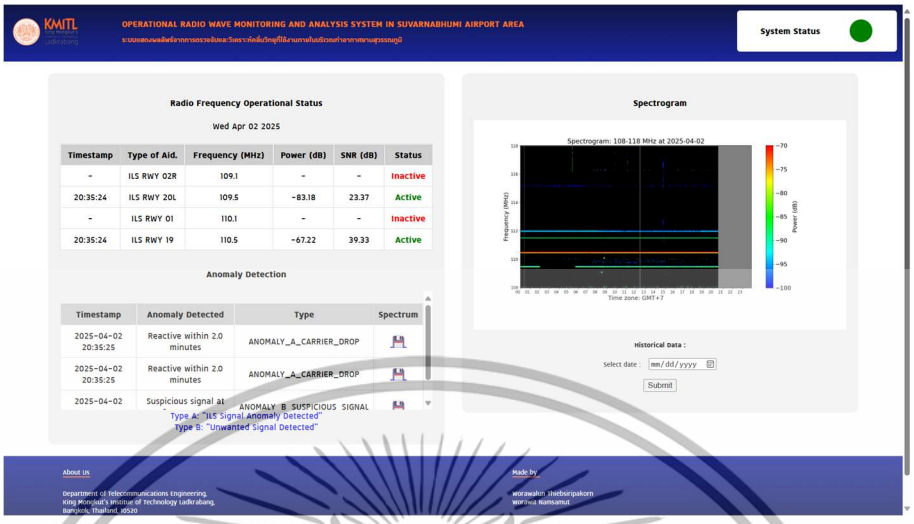
ง. ส่วนแสดงสเปกโตรแกรม

ซึ่งสามารถสังเกตหน้าเว็บเบราว์เซอร์แสดงผลของงานวิจัยก่อนหน้าได้ดังรูปที่ 4.82 เปรียบเทียบกับเว็บเบราว์เซอร์แสดงผลของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยานในปริญญานิพนธ์นี้ได้ดังรูปที่ 4.83



รูปที่ 4.82 หน้าเว็บเบราว์เซอร์แสดงผลของงานวิจัยก่อนหน้า [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.83 เว็บเบราว์เซอร์แสดงผลของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยานในปริญญานิพนธ์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างระบบการตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่มีการใช้งานภายในท่าอากาศยานโดยใช้อุปกรณ์ SDR Dongle ในการรับคลื่นวิทยุจากสายอากาศ Broadband 108 - 350 MHz ไปยัง Intel NUC 11ATKC4 โดยรับค่ากำลังและค่าความถี่ของคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยานสุวรรณภูมิเข้ามาเพื่อประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ และมีการนำข้อมูลที่รับได้ไปพล็อตกราฟสเปกโตรแกรมแล้วแสดงผลบนเว็บเบราว์เซอร์ โดยปริญญานิพนธ์นี้จะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนหลักได้แก่ ส่วนของระบบตรวจจับคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยาน โดยในส่วนนี้ทางผู้จัดทำได้มีการพัฒนาและปรับปรุงในด้านของข้อจำกัดของอุปกรณ์ SDR ที่มีปัญหาในเรื่องของ LO leakage ด้วยการใช้ตัวกรองความถี่สูงผ่านเพื่อกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการใช้ในการวิเคราะห์และประมวล และค่าอัตราสุ่มตัวอย่างที่ไม่สามารถรับคลื่นวิทยุช่วงความถี่ที่กว้างได้และส่วนของการแสดงผลบนเว็บเบราว์เซอร์ โดยระบบตรวจจับคลื่นวิทยุจะทำการรับค่ากำลังและค่าความถี่ของคลื่นวิทยุที่ถูกกำหนดช่วงความถี่ 108 -118 MHz เมื่อรับค่าเข้ามาแล้ว จะทำการจัดเก็บค่าไว้แยกเป็นไฟล์ของแต่ละช่วงและแยกตามวันที่และเวลาที่ทำการตรวจจับ โดยบันทึกในรูปแบบของไฟล์ .csv ซึ่งจะนำไฟล์ข้อมูลนี้ไปประมวลผลต่อไป คือ มอนิเตอร์สถานะการใช้งานและตรวจจับความผิดปกติของการใช้งานคลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน โดยเบื้องต้น ระบบของผู้จัดทำสามารถตรวจจับและระบุความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากสัญญาณช่วยการลงจอด (Anomaly A) และความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากสัญญาณที่ไม่ได้ถูกใช้งานในระบบช่วยการลงจอด (Anomaly B) ได้ แต่ยังคงมีข้อจำกัดในด้านของความหน่วงของเวลาในการประมวลผลและความแม่นยำดังผลการทดสอบในหัวข้อที่ 4.4.2 จากนั้นระบบจะนำไฟล์ข้อมูลไปพล็อตกราฟสเปกตรัมและกราฟสเปกโตรแกรมเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงสถิติว่า ณ ความถี่แต่ละความถี่มีการใช้งานอย่างไรบ้างในแต่ละช่วงเวลาหรือภายในแต่ละวัน จากนั้นจะทำการบันทึกกราฟสเปกโตรแกรมไว้ภายในไฟล์เซิร์ฟเวอร์แล้วทำการนำกราฟสเปกโตรแกรมไปแสดงผลบนเว็บเบราว์เซอร์เพื่อให้ผู้ที่สนใจหรือต้องการข้อมูลสามารถเข้าถึงข้อมูลนี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ในส่วนของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยานสามารถที่จะระบุและแจ้งเตือนความผิดปกติที่เกิดขึ้นในช่วงความถี่ VHF ที่ใช้ภายในบริเวณท่าอากาศยานสุวรรณภูมิได้ แต่ไม่มีความแม่นยำมากนัก อาจจะต้องปรับปรุงในส่วนของการตรวจจับให้ดีและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

2) ในการแสดงผลบนเว็บเบราว์เซอร์ยังมีความล่าช้าในการประมวลผลอยู่ในบางครั้ง อาจจะต้องมีการปรับแก้ไขระบบการทำงานของเว็บเบราว์เซอร์ต่อไปในภายหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] K. Hosokawa *et al.*, "A monitoring network for anomalous propagation of aeronautical VHF radio waves due to sporadic E in Japan," *Earth, Planets and Space*, vol. 72, no. 1, Dec. 2020, doi: 10.1186/s40623-020-01216-z.

[2] M. Ishii, J. Berdermann, B. Forte, M. Hapgood, M. M. Bisi, and V. Romano, "Space weather impact on radio communication and navigation," *Advances in Space Research*, 2024, doi: 10.1016/j.asr.2024.01.043.

[3] "Aerodrome/Heliport VTBS." Accessed: Aug. 03, 2024. [Online]. Available: https://aip.caat.or.th/2023-11-30-AIRAC/html/eAIP/VT-AD-2.VTBS-en-GB.html#AD-2.VTBS

[4] "Instrument Landing System - ILS (Beacon)", Accessed: Feb. 20, 2025. [Online]. Available: https://wiki.ivao.aero/en/home/training/documentation/Instrument_Landing_System_-_ILS_Beacon

[5] "Volume I Radio Navigation Aids Aeronautical Telecommunications International Standards and Recommended Practices," 2018.

[6] "RTL-SDR", [Online]. Available: https://www.rtl-sdr.com/about-rtl-sdr/

[7] "13 Amazing Sdr Rtl Dongle for 2024", [Online]. Available: https://cellularnews.com/mobile-accessories/13-amazing-sdr-rtl-dongle-for-2023/

[8] "MINI PC (มินิพีซี) INTEL NUC 11ATKC4", Accessed: Jan. 24, 2025. [Online]. Available: https://www.jib.co.th/img_master/product/original/20220324093 70852205_1.jpg

[9] "Intel® NUC Products NUC11ATKPE /NUC11ATKC4/ NUC11ATKC2/NUC11ATBC4 Technical Product Specification," 2023.

[10] "ความรู้สายนำสัญญาณ", Accessed: Aug. 07, 2024. [Online]. Available: https://www.suntechnology.co.th/content/121/%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%A3%E0%B8%B9%E0%B9%89%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%99%E0%B8%B3%E0%B8%AA%E0%B8%B1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E0% B8% 8D% E0% B8% 8D% E0% B8% B2% E0% B8% 93#: ~: text= RG-58%20%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%A1%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%88%E0%B8%B0%E0%B9%83%E0%B8%8A%E0%B9%89%E0%B9%80%E0%B8%9B%E0%B9%87%E0%B8%99%E0%B8%9C%E0%B8%B9%E0%B9%89%E0%B9%83%E0%B8%AB%E0%B9%89%E0%B8%9A%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%97%E0%B8%B1%E0%B9%88%E0%B8%A7%E0%B9%84%E0%B8%9B%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%8D%E0%B8%8D%E0%B8%B2%E0%B8%93%E0%B9%83%E0%B8%99%E0%B8%AB%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%9B%E0%B8%8F%E0%B8%B4%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%A3%E0%B9%88%E0%B8%A7%E0%B8%A1%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%9A%20%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%8A%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%A1%E0%B8%95%E0%B9%88%E0%B8%AD,BNC%20%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B9%83%E0%B8%8A%E0%B9%89%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%97%E0%B8%B1%E0%B9%88%E0%B8%A7%E0%B9%84%E0%B8%9B%E0%B9%83%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%97%E0%B8%94%E0%B8%AA%E0%B8%AD%E0%B8%9A%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B8%AD%E0%B8%B8%E0%B8%9B%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%93%E0%B9%8C%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B9%80%E0%B8%8A%E0%B9%88%E0%B8%99%20Oscilloscope%20%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87.

[11] “TSL RG58 C/U specification”, Accessed: Aug. 07, 2024. [Online]. Available: http://www.tsl1988.com/cgi-bin/images/000468_2.pdf

[12] “RG58 Coaxial Cable Specifications”, Accessed: Aug. 07, 2024. [Online]. Available: https://www.data-alliance.net/blog/rg58-compared-to-lmr200-lmr100-coax-shielding-signal-loss/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[13] “WinSCP (วินเอสซีพี) คืออะไร เป็นโปรแกรมสำเร็จรูป FTP Client”, Accessed: Aug. 07, 2024. [Online]. Available: https://www.mindphp.com/%E0%B8%84%E0%B8%B9%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD/73-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3/4135-what-is-winscp.html

[14] เจตน์ ออสวัสดิ์, “การออกแบบวงจรแบ่งความถี่แบบเฟสเป็นเชิงเส้นสมบูรณ์ด้วยวงจรกรองความถี่ดิจิตอลไอ ไอ อาร์ และสร้างบน เอฟ พี จี เอ,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2006.

[15] กิตติพงศ์ วะระทรัพย์, “พื้นฐานการสื่อสารไร้สายและเครือข่าย.”

[16] “Haversine Formula”, Accessed: Feb. 23, 2025. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Haversine_formula

[17] “How to calculate bearing between two coordinates”, Accessed: Feb. 23, 2025. [Online]. Available: https://mapscaping.com/how-to-calculate-bearing-between-two-coordinates/

[18] M. Ishii, J. Berdermann, B. Forte, M. Hapgood, M. M. Bisi, and V. Romano, “Space weather impact on radio communication and navigation,” *Advances in Space Research*, 2024, doi: 10.1016/j.asr.2024.01.043.

[19] J. Sakai, K. Hosokawa, I. Tomizawa, and S. Saito, “A Statistical Study of Anomalous VHF Propagation Due to the Sporadic-E Layer in the Air-Navigation Band,” *Radio Sci*, vol. 54, no. 5, pp. 426– 439, May 2019, doi: 10.1029/2018RS006781.

[20] “HTML คืออะไร เอชทีเอ็มแอล ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการสร้างเว็บเพจ ใช้เขียนโปรแกรมย่อมาจากอะไร.” Accessed: Oct. 03, 2024. [Online]. Available: https://www.mindphp.com/%E0%B8%84%E0%B8%B9%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD/73-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3/2026-html-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3.html

[21] H. Ngamsai, "CSS คืออะไร?" Accessed: Nov. 03, 2024. [Online]. Available: https://medium.com/@hattagornngamsai/css-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3-97c6ff59671d

[22] "PHP คืออะไร พีเอชพี คือภาษาคอมพิวเตอร์ ใช้ในการเขียนโปรแกรมในเว็บ." Accessed: Oct. 03, 2024. [Online]. Available: https://www.mindphp.com/%E0%B8%84%E0%B8%B9%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD/73-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3/2127-php-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3.html

[23] N. Chaiya, "ก่อนเริ่มเรียน JavaScript ต้องรู้อะไรบ้าง." Accessed: Nov. 03, 2024. [Online]. Available: https://www.aware.co.th/it-jobs/th/what-you-need-to-know-before-learning/

[24] S. Haruyama and R. Morelos-Zaragoza, "A software defined radio platform with direct conversion: SOPRANO," in *IEEE Vehicular Technology Conference*, 2001, pp. 1558–1560. doi: 10.1109/vtc.2001.956459.

[25] M. Lichtman, "IQ Sampling," 2024, Accessed: Sep. 24, 2024. [Online]. Available: https://pysdr.org/content/sampling.html

[26] P. J. Bevelacqua, "S-Parameters", Accessed: Sep. 03, 2024. [Online]. Available: https://antenna-theory.com/definitions/sparameters.php

[27] P. J. Bevelacqua, "VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)", Accessed: Sep. 03, 2024. [Online]. Available: https://www.antenna-theory.com/definitions/vswr.php

[28] "S-Parameters and the Reflection Coefficient," Nov. 2023, Accessed: Sep. 03, 2024. [Online]. Available: https://resources.pcb.cadence.com/blog/2023-s-parameters-and-the-reflection-coefficient

[29] Steven W. Ellingson, "Standing Wave Ratio", Accessed: Sep. 03, 2024. [Online]. Available:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

https: / / eng. libretexts. org/ Bookshelves/ Electrical_Engineering/ Electro-Optics/Book%3A_Electromagnetics_I_(Ellingson)/03%3A_Transmission_Lines/3.14%3A_Standing_Wave_Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
โปรแกรมระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของโปรแกรมไพธอนที่ใช้สำหรับในระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน ประกอบไปด้วย 4 โปรแกรมหลักดังนี้

ก. scan_VHF.py

ข. ils_monitor.py

ค. constant_noise.py

ง. anomaly_detect.py

โดยโปรแกรม ก. เป็นโปรแกรมหลักที่ใช้ในส่วนของการรับสัญญาณและสั่งโปรแกรม ข. – ค. ทำงานสำหรับการระบุสถานะสัญญาณช่วยการลงจอดและตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นผ่าน subprocess ตามลำดับ โดยภายในแต่ละโปรแกรมมีรายละเอียดดังนี้

ก. scan_VHF.py

```
import os
import time
import json
import subprocess
import traceback
from datetime import datetime

import numpy as np
import pandas as pd
import paramiko
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.signal import butter, lfilter
from rtlsdr import RtlSdr
# -------------------- CONFIG ------------------- #
# Paths
PSD_BASE_PATH       = "Path to save csv files" #.../../../psd_csv_folder
LOGS_BASE_PATH      = "Path to save logs " #../../../logs_folder
SCRIPT_DIR          = "Path to codes" #../../../script_folder

# SDR parameters
GAINS               = [20.7]      # list of gains [dB]
FS                  = 2.048e6     # sample rate [Hz]
NFFT                = 512         # NFFT for PSD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
CUTOFF_HPF          = 100         # high-pass cutoff [Hz]
HPF_ORDER           = 1           # filter order

# Frequency segments to scan (MHz)
SS_FREQ             = np.array([
   [108.00, 118.00],
   [107.95, 118.00],
   [108.05, 118.00],
])

# PSD merging and selection
BIN_STEP            = 0.05        # MHz
FREQ_MIN, FREQ_MAX  = 108.0, 118.0  # MHz

# ------------------------- Part I: Receiving Signal ------------------------ #
def rtl(freq_array, startstop_freq):
   # ฟังก์ชันนี้ใช้ในการรับสัญญาณจาก RTL-SDR
   sample_list = []  # เก็บตัวอย่างสัญญาณที่อ่านได้
   total_samples_size = 0  # ขนาดรวมของตัวอย่างสัญญาณ
   for start_stop, freqs in zip(startstop_freq, freq_array):
      start_time_perrange = time.time()  # เวลาที่เริ่มสแกนในช่วงความถี่นี้
      for j in freqs:
         # กำหนดค่า sample rate และ center frequency
         fs_used = FS
         sdr.sample_rate = fs_used
         sdr.center_freq = j
         print(f"Now scanning at {round(j/1e6,4)} MHz, Fs:{fs_used}")
         # อ่านข้อมูลจาก RTL-SDR
         if j == freq_array[0][0] or j == freq_array[-1][-1]:
            # อ่านข้อมูลสองครั้งที่ขอบของช่วงความถี่
            for i in np.arange(2):
               samples = sdr.read_samples(256*1024)
               # print(samples)
         else:
            samples = sdr.read_samples(256*1024)
         total_samples_size += samples.nbytes  # เพิ่มขนาดของตัวอย่างที่อ่านได้
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            sample_list.append((j, samples))  # เพิ่มตัวอย่างลงในรายการ
        print(f"Completely Scanned at {start_stop[0]}-{start_stop[1]} MHz \nTime:
{time.time()-start_time_perrange} s")
    return sample_list

def process_psd(sample_list, nfft, freq_groups, gain):
    # ฟังก์ชันนี้ใช้ในการประมวลผล Power Spectral Density (PSD) จากตัวอย่างสัญญาณ
    freq_list = [[] for _ in freq_groups]  # เก็บรายการความถี่ที่ประมวลผลแล้ว
    power_list = [[] for _ in freq_groups]  # เก็บรายการค่ากำลังที่ประมวลผลแล้ว
    for center_freq, samples in sample_list:
        # กำหนดค่า sample rate และ cutoff frequency สำหรับ high-pass filter
        fs_used = FS
        nfft_used = nfft
        cutoff_used = CUTOFF_HPF
        # กรองสัญญาณด้วย high-pass filter
        """Optional"""
        # filtered_samples = highpass_filter(samples, cutoff_used, fs_used,
HPF_ORDER)
        # คำนวณ PSD
        # powers, freqs = plt.psd(filtered_samples, NFFT=nfft_used, Fs=fs_used,
Fc=center_freq, visible=False)
        powers, freqs = plt.psd(samples, NFFT=nfft_used, Fs=fs_used, Fc=center_freq,
visible=False)
        powers_db = 10 * np.log10(powers)  # แปลงค่ากำลังเป็น dB
        powers_db = np.around(powers_db, 3).tolist()  # ลดทศนิยม 3 หลัก
        freqs = np.array(freqs) / 1e6  # แปลงเป็น MHz

        for i, freq_range in enumerate(freq_groups):
            if center_freq in freq_range:
                freq_list[i].append(freqs)
                power_list[i].append(powers_db)
    return freq_list, power_list

"""Optional"""
# def highpass_filter(data, cutoff, fs, order):
#     # ฟังก์ชันนี้ใช้ในการกรองสัญญาณด้วย high-pass filter
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#     b, a = butter_highpass(cutoff, fs, order)  # คำนวณพารามิเตอร์ของ filter
#     return lfilter(b, a, data)  # กรองสัญญาณ

# def butter_highpass(cutoff, fs, order=1):
#     # ฟังก์ชันนี้ใช้ในการคำนวณพารามิเตอร์ของ high-pass filter
#     nyq = 0.5 * fs  # ความถี่ Nyquist
#     normal_cutoff = cutoff / nyq  # ความถี่ cutoff ที่ normalized
#     b, a = butter(order, normal_cutoff, btype='high', analog=False)  # คำนวณพารามิเตอร์
ของ filter
#     return b, a

def compar(freq_list, power_list, step):
    # ใช้รวมและจัดเรียงข้อมูลความถี่และค่ากำลัง

    freq_concat_all = []  # เก็บความถี่ที่รวมแล้ว
    pow_concat_all = []  # เก็บค่ากำลังที่รวมแล้ว
    for freqs, pows in zip(freq_list, power_list):
        freq_concat_all.append(np.concatenate(freqs))  # รวมความถี่
        pow_concat_all.append(np.concatenate(pows))  # รวมค่ากำลัง
    freq_merged = np.concatenate(freq_concat_all)  # รวมความถี่ทั้งหมด
    pow_merged = np.concatenate(pow_concat_all)  # รวมค่ากำลังทั้งหมด
    idx = np.argsort(freq_merged)  # จัดเรียงดัชนีตามความถี่
    freq_mhz_sorted = freq_merged[idx]  # จัดเรียงความถี่
    pow_sorted = pow_merged[idx]  # จัดเรียงค่ากำลัง
    start_mhz = 108.0  # ความถี่เริ่มต้น
    stop_mhz = 118.0  # ความถี่สิ้นสุด
    bin_edges = np.arange(start_mhz, stop_mhz + step, step)  # ขอบเขตของ bin
    bin_centers = (bin_edges[:-1] + bin_edges[1:]) / 2.0
    bin_centers = np.round(bin_centers / step) * step
    bin_power = np.full(len(bin_centers), -9999.0)  # ค่าเริ่มต้นของค่ากำลังใน bin
    bin_index = 0
    data_index = 0
    while bin_index < len(bin_edges) - 1 and data_index < len(freq_mhz_sorted):
        left_edge = bin_edges[bin_index]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            right_edge = bin_edges[bin_index+1]
            if freq_mhz_sorted[data_index] < left_edge:
                data_index += 1
                continue
            if freq_mhz_sorted[data_index] >= right_edge:
                bin_index += 1
                continue
            if pow_sorted[data_index] > bin_power[bin_index]:
                bin_power[bin_index] = pow_sorted[data_index]
            data_index += 1
        return bin_centers, bin_power

def select_val(psd_data):
    # เลือกค่าความถี่และค่ากำลังที่ต้องการจากข้อมูล PSD
    var_name = variable_name(psd_data)  # หาชื่อของตัวแปร
    if var_name == "psd1_o" or var_name == "psd2_o" or var_name == "psd3_o" or
var_name == "psd4_o" or var_name == "psd5_o":
        # เลือกความถี่ในช่วง 108-118 MHz
        cond = (psd_data[2] >= 108) & (psd_data[2] <= 118)
        selected_freq = psd_data[2][cond]
        selected_pow = psd_data[3][cond]
    psd_data = [psd_data[0], psd_data[1], selected_freq, selected_pow]  # อัปเดตข้อมูล
PSD
    return psd_data

def save_csv_locally(psd_data, gain):
    date, ts, freqs, pows = psd_data
    now = datetime.now()
    Y, M, D = now.strftime("%Y"), now.strftime("%Y%m"),
now.strftime("%Y%m%d")
    folder = os.path.join(PSD_BASE_PATH, Y, M, D, f"gain_{int(gain)}")
    os.makedirs(folder, exist_ok=True)
    fn = f"{now.strftime('%Y%m%d_%H%M')}_gain_{int(gain)}.csv"
    full = os.path.join(folder, fn)

    df1 = pd.DataFrame({'Date': [date], 'Time': [ts]})
    df2 = pd.DataFrame({'Frequency(MHz)': freqs, 'Power(dB)': pows})
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    pd.concat([df1, df2], axis=1).to_csv(
        full, mode='a', index=False,
        header=not os.path.exists(full)
    )
    print(f"Saved data locally: {full}")
    return full

def save_parameter(gain, nfft, ss_freq, sample_rate, cutoff_hpf):
    now = datetime.now()
    Y, M, D = now.strftime("%Y"), now.strftime("%Y%m"),
now.strftime("%Y%m%d")
    logdir = os.path.join(LOGS_BASE_PATH, Y, M, D)
    os.makedirs(logdir, exist_ok=True)
    fn = os.path.join(logdir, f"parameters_{now.strftime('%H%M')}.json")

    params = {
        "gain": gain,
        "nfft": nfft,
        "ss_freq": ss_freq,
        "sample_rate": sample_rate,
        "cutoff_hpf": cutoff_hpf,
        "timestamp": now.strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S")
    }
    with open(fn, 'w') as f:
        json.dump(params, f, indent=4)
    print(f"Saved parameters locally to {fn}")

def variable_name(variable):
    # ฟังก์ชันนี้ใช้ในการหาชื่อของตัวแปรจากค่าในตัวแปร
    for name in globals():
        if id(globals()[name]) == id(variable):
            return name
    for name in locals():
        if id(locals()[name]) == id(variable):
            return name
    return None

start_program = time.time()  # บันทึกเวลาเริ่มต้นของโปรแกรม
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
vhf_freq = []  # เก็บรายการความถี่ VHF ที่จะสแกน

for i in range(len(SS_FREQ)):
    freq_step = FS / 2  # กำหนดขั้นของความถี่
    start_freq, stop_freq = SS_FREQ[i]
    start_freq *= 1e6  # แปลงความถี่เริ่มต้นเป็น Hz
    start_freq += freq_step  # เพิ่มขั้นของความถี่
    stop_freq *= 1e6  # แปลงความถี่สิ้นสุดเป็น Hz
    freq = []
    for j in np.arange(start_freq, stop_freq, freq_step):
        freq.append(j)  # เพิ่มความถี่ลงในรายการ
    vhf_freq.append(freq)  # เพิ่มรายการความถี่ลงใน vhf_freq

# vhf_freq[0].extend(ils_freqs)  # เพิ่มความถี่ ILS ลงในรายการแรก
vhf_freq[0] = sorted(vhf_freq[0])  # จัดเรียงความถี่
vhf_freq[0] = [f for f in vhf_freq[0] if not np.isnan(f)]  # ลบค่า NaN ออกจากรายการ

timestamp_time = datetime.now()  # บันทึกเวลาปัจจุบัน
Year = timestamp_time.strftime("%Y")  # ปี
month = timestamp_time.strftime('%Y%m')  # เดือน
day = timestamp_time.strftime("%Y%m%d")  # วัน
day_timestamp = timestamp_time.strftime("%Y/%m/%d")  # วันที่ในรูปแบบที่ต้องการ
time_timestamp = timestamp_time.strftime("%H:%M:%S")  # เวลาในรูปแบบที่ต้องการ
timest = timestamp_time.strftime("%H%M")  # เวลาในรูปแบบที่ต้องการ
print(time_timestamp)  # แสดงเวลาปัจจุบัน

# บันทึกพารามิเตอร์การสแกนโดยเรียกใช้ฟังก์ชัน save_parameter
save_parameter(
    gain=GAINS[0],  # ใช้ค่า gain แรก
    nfft=NFFT,
    ss_freq=SS_FREQ.tolist(),
    sample_rate=FS,
    cutoff_hpf=CUTOFF_HPF,
)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
try:

    for gain in GAINS:
        sdr = RtlSdr()  # เปิดการใช้งาน SDR
        print(f"Starting scan for gain {gain} dB")
        sdr.gain = gain  # กำหนดค่า gain
        start_time_perscan = time.time()  # บันทึกเวลาเริ่มต้นของการสแกน
        sample_list = rtl(vhf_freq, SS_FREQ)  # รับสัญญาณจาก RTL-SDR
        freq_arr, pow_arr = process_psd(sample_list, NFFT, vhf_freq, gain)  # ประมวลผล
PSD
        center_freq, center_pow = compar([freq_arr[0]], [pow_arr[0]], step=0.05)  # รวม
และจัดเรียงข้อมูลความถี่และค่ากำลัง
        print("=== DEBUG: center bins near 109.45..109.50 ===")
        for i in range(len(center_freq)):
            if 109.4 <= center_freq[i] <= 109.6:
                print(f"bin={center_freq[i]:.3f}, power={center_pow[i]:.3f}")

        plus_freq, plus_pow = compar([freq_arr[1]], [pow_arr[1]], step=0.05)
        print("=== DEBUG: plus bins near 109.45..109.50 ===")
        for i in range(len(plus_freq)):
            if 109.4 <= plus_freq[i] <= 109.6:
                print(f"bin={plus_freq[i]:.3f}, power={plus_pow[i]:.3f}")

        minus_freq, minus_pow = compar([freq_arr[2]], [pow_arr[2]], step=0.05)
        print("=== DEBUG: minus bins near 109.45..109.50 ===")
        for i in range(len(minus_freq)):
            if 109.4 <= minus_freq[i] <= 109.6:
                print(f"bin={minus_freq[i]:.3f}, power={minus_pow[i]:.3f}")
        end_time_perscan = time.time() - start_time_perscan  # คำนวณเวลาที่ใช้ในการสแกน
        print(f"scanning time for gain {gain} dB: {end_time_perscan} sec")
        psd1_o = [day_timestamp, time_timestamp, center_freq, center_pow]  # ข้อมูล
PSD สำหรับความถี่กลาง
        psd2_o = [day_timestamp, time_timestamp, plus_freq, plus_pow]  # ข้อมูล PSD
สำหรับความถี่บวก
        psd3_o = [day_timestamp, time_timestamp, minus_freq, minus_pow]  # ข้อมูล
PSD สำหรับความถี่ลบ
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        print(f"[DEBUG] psd1 size={len(center_freq)}, psd2 size={len(plus_freq)},
psd3 size={len(minus_freq)}")

        psd1 = select_val(psd1_o)  # เลือกค่าความถี่และค่ากำลังที่ต้องการ
        psd2 = select_val(psd2_o)
        psd3 = select_val(psd3_o)

        psd = [psd1, psd2, psd3]
        file_info_list = []

        sdr.close()

        for psd_element in psd:
            local_filename, var_name = save_csv_locally(psd_element, gain)
            print(f"[DEBUG] Saved {var_name} => {local_filename}")
            file_info_list.append((local_filename, var_name))
        time.sleep(2)

        for script in ["ils_monitor.py", "constant_noise.py", "anomaly_detect.py"]:
            subprocess.run(["python3", os.path.join(SCRIPT_DIR, script)])

    print(f"execution time : {time.time() - start_program} sec")  # แสดงเวลาที่ใช้ในการทำงาน
ทั้งหมด

except Exception:
    traceback.print_exc()
    with open(os.path.join(LOGS_BASE_PATH, "rtl_sdr_error.log"), "w") as fw:
        fw.write(f"Error at {datetime.now()}\n")
    if 'sdr' in locals():
        sdr.close()
    exit(1)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. ils_monitor.py

```
import os
import pandas as pd
import numpy as np
from datetime import datetime

# -------------------- CONFIG --------------------

ILS_FREQS      = [109.1, 109.5, 110.1, 110.5]  # List of ILS frequencies to monitor
(MHz)
FREQ_TOL       = 0.06      # Frequency tolerance (MHz)
POWER_THRESHOLD = -101.0   # Minimum power threshold for detection (dB)
POWER_TOL      = 12.0      # Power tolerance for cross-check (dB)

# build current date's paths
current_date = datetime.now()
year = current_date.strftime("%Y")
ym  = current_date.strftime("%Y%m")
ymd = current_date.strftime("%Y%m%d")

BASE_PATH  = "Path to current date's PSD csv" #.../../../psd_csv_folder
FOLDER_PSD1 = os.path.join(BASE_PATH, "psd1", "gain_207")
#.../../../psd_csv_folder/psd1
FOLDER_PSD2 = os.path.join(BASE_PATH, "psd2", "gain_207")
#.../../../psd_csv_folder/psd2/gain_207
FOLDER_PSD3 = os.path.join(BASE_PATH, "psd3", "gain_207")
#.../../../psd_csv_folder/psd3/gain_207

def read_psd_csv(csv_path):
    # Read PSD CSV; return empty DataFrame with standard columns if missing
    if not csv_path or not os.path.exists(csv_path):
        columns = ["Date", "Timestamp", "Frequency(MHz)", "Power(dB)", "Label"]
        return pd.DataFrame(columns=columns)
    df = pd.read_csv(csv_path)
    # Ensure Label column exists
    if "Label" not in df.columns:
        df["Label"] = ""
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    return df

def get_latest_csv(folder):
    # Return the latest CSV file in the folder by filename, or None
    if not os.path.isdir(folder):
        return None
    csv_files = [f for f in os.listdir(folder) if f.endswith(".csv")]
    if not csv_files:
        return None
    latest_file = max(csv_files)
    return os.path.join(folder, latest_file)

def cross_check_ils_power(freq_ils, power_ils, dfA, freq_tol, power_tol):
    # Check if dfA has any bin within freq and power tolerances
    freq_mask = (
        (dfA["Frequency(MHz)"] >= freq_ils - freq_tol) &
        (dfA["Frequency(MHz)"] <= freq_ils + freq_tol)
    )
    candidates = dfA[freq_mask]
    if candidates.empty:
        return False
    diff_power = np.abs(candidates["Power(dB)"] - power_ils)
    return (diff_power <= power_tol).any()

def label_ils_in_psd3(df1, df2, df3):
    # Label ILS, UNWANTED, or NOISE in df3 based on cross-checks with df1 and
df2
    df3["Label"] = ""
    for ils_f in ILS_FREQS:
        # Filter df3 for bins within frequency tolerance
        mask = (
            (df3["Frequency(MHz)"] >= ils_f - FREQ_TOL) &
            (df3["Frequency(MHz)"] <= ils_f + FREQ_TOL)
        )
        sub_df = df3[mask]
        if sub_df.empty:
            continue
        # Select bins above power threshold and sort by power descending
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        candidate_idxs = sub_df.index[sub_df["Power(dB)"] >
POWER_THRESHOLD]
        candidate_idxs = candidate_idxs[np.argsort(-sub_df.loc[candidate_idxs,
"Power(dB)"])]
        used = set()
        for idx in candidate_idxs:
            pw = sub_df.at[idx, "Power(dB)"]
            ok1 = cross_check_ils_power(ils_f, pw, df1, FREQ_TOL, POWER_TOL)
            ok2 = cross_check_ils_power(ils_f, pw, df2, FREQ_TOL, POWER_TOL)
            if ok1 and ok2:
                df3.at[idx, "Label"] = "ILS"
                used.add(idx)
                break
            else:
                df3.at[idx, "Label"] = "UNWANTED"
                used.add(idx)
        # Label remaining bins
        for idx in sub_df.index:
            if idx in used:
                continue
            pw = df3.at[idx, "Power(dB)"]
            df3.at[idx, "Label"] = "UNWANTED" if pw > POWER_THRESHOLD else
"NOISE"
    return df3

def main():
    # Get latest PSD CSVs
    f1 = get_latest_csv(FOLDER_PSD1)
    f2 = get_latest_csv(FOLDER_PSD2)
    f3 = get_latest_csv(FOLDER_PSD3)
    if not (f1 and f2 and f3):
        print("Missing CSV in psd1/psd2/psd3, stopping.")
        return
    print(f"[INFO] psd1={f1}")
    print(f"[INFO] psd2={f2}")
    print(f"[INFO] psd3={f3}")
    # Read data
    df1 = read_psd_csv(f1)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    df2 = read_psd_csv(f2)
    df3 = read_psd_csv(f3)
    # Label df3
    df3_labeled = label_ils_in_psd3(df1, df2, df3)
    df3_labeled.to_csv(f3, index=False)
    print(f"[OK] Updated labels in psd3 => {f3}")
    # Print summary
    print("\n--- ILS scanning result (psd3) ---")
    for idx, row in df3_labeled.iterrows():
        if row["Label"] in ["ILS", "UNWANTED", "NOISE"]:
            print(f"Freq={row['Frequency(MHz)']:.3f}, Power={row['Power(dB)']:.1f},
Label={row['Label']}")
    print("--- done ---")

if __name__ == "__main__":
    main()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. constant_noise.py

```
import os
import pandas as pd
import numpy as np
from datetime import datetime, timedelta
# -------------------- CONFIG --------------------
FREQ_TOL        = 0.01          # Frequency matching tolerance (MHz)
POWER_TOL       = 10            # Power tolerance for constant noise check (dB)
HISTORY_HOURS   = 360           # Number of historical data points (files) to check
POWER_THRESHOLD = -102.5        # Minimum power threshold to consider as constant noise (dB)
INVALID_POWER   = -9999.0       # Value representing invalid or missing power measurement
STD_THRESHOLD   = 10            # Maximum standard deviation allowed for constant noise
RELATED_ILS = {                 # Related ILS frequencies for activation checks
    111.5: [109.5, 110.5],
    111.1: [109.1, 110.1]
}
# Paths
PSD_PATH = "Path to PSD csv" #.../../../psd_csv_folder
PSD_SUBFOLD = "psd3" #.../../../psd_csv_folder/psd3
PSD_GAIN = "gain_207"
SKIP_LABELS = {"ILS", "NOISE", "UNWANTED"}      # Labels to skip in the current scan for constant noise
HISTORICAL_ANOMALY_LABELS = {                   # Historical anomaly labels that disqualify constant noise
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    "ANOMALY_A_POWER_FLUCTUATION",
    "ANOMALY_A_CARRIER_DROP"
}
# build latest base path
current_date = datetime.now()
year = current_date.strftime("%Y")
ym  = current_date.strftime("%Y%m")
ymd = current_date.strftime("%Y%m%d")
BASE_PATH = os.path.join(PSD_PATH,year,ym,ymd)
# Define PSD data folders
FOLDER_PSD1 = os.path.join(BASE_PATH, "psd1", "gain_207")
FOLDER_PSD2 = os.path.join(BASE_PATH, "psd2", "gain_207")
FOLDER_PSD3 = os.path.join(BASE_PATH, "psd3", "gain_207")
def get_latest_csv(folder, n):
    # Return the n most recent CSV file paths from the folder
    if not os.path.isdir(folder):
        return []
    files = sorted(
        [f for f in os.listdir(folder) if f.endswith(".csv")],
        reverse=True
    )
    return [os.path.join(folder, f) for f in files[:n]]
def read_psd_csv(csv_path):
    # Read a PSD CSV file; return empty DataFrame if path is invalid
    if not csv_path or not os.path.exists(csv_path):
        cols = ["Date", "Timestamp", "Frequency(MHz)", "Power(dB)", "Label"]
        return pd.DataFrame(columns=cols)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    return pd.read_csv(csv_path)
def get_history_files(folder, history_hours):
    # Collect up to history_hours CSV paths from folder and previous days
    history_files = []
    # Add current day's files
    if os.path.isdir(folder):
        current_files = sorted(
            [os.path.join(folder, f) for f in os.listdir(folder) if f.endswith(".csv")],
            reverse=True
        )
        history_files.extend(current_files)
    # If data not enough, go back up to 5 days
    day_offset = 1
    while len(history_files) < history_hours and day_offset <= 5:
        prev_date = datetime.strptime(ymd, "%Y%m%d") -
timedelta(days=day_offset)
        y_prev  = prev_date.strftime("%Y")
        ym_prev = prev_date.strftime("%Y%m")
        ymd_prev = prev_date.strftime("%Y%m%d")
        prev_folder = os.path.join(
            PSD_PATH,
            y_prev, ym_prev, ymd_prev, PSD_SUBFOLD, PSD_GAIN
        )
        if os.path.isdir(prev_folder):
            prev_files = sorted(
                [os.path.join(prev_folder, f) for f in os.listdir(prev_folder) if
f.endswith(".csv")],
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            reverse=True
        )
        history_files.extend(prev_files)
    day_offset += 1
  print(f"day_offset={day_offset}, history_files={len(history_files)}")
  return history_files[:history_hours]
def find_constant_noise(df1, df2, df3, history_files):
  # Detect constant noise frequencies in df3 using df1, df2, and historical data
  df3.loc[df3["Power(dB)"] == INVALID_POWER, "Label"] = "UNWANTED"
  all_freqs = sorted(df3["Frequency(MHz)"].unique())
  constant_noise = []
  for freq in all_freqs:
    # Skip if label in current scan is ILS/NOISE/UNWANTED
    current_labels = set(df3[df3["Frequency(MHz)"] == freq]["Label"].unique())
    if current_labels & SKIP_LABELS:
      print(f"[DEBUG freq={freq:.3f}] skip due to current
label={current_labels}")
      continue
    # Gather powers from df1, df2, df3
    powers = []
    for df in (df1, df2, df3):
      vals = df.loc[df["Frequency(MHz)"] == freq, "Power(dB)"].values
      powers.extend([v for v in vals if v > INVALID_POWER])
    if not powers:
      print(f"[DEBUG freq={freq:.3f}] skip: no valid powers")
      continue
    mean_power = np.mean(powers)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        std_power  = np.std(powers)
        if mean_power < POWER_THRESHOLD:
            print(f"[DEBUG freq={freq:.3f}] skip: mean {mean_power:.2f} <
threshold")
            continue
        if std_power > STD_THRESHOLD:
            print(f"[DEBUG freq={freq:.3f}] skip: std {std_power:.2f} > threshold")
            continue
        # Historical check
        hist_vals = []
        skip_history = False
        related = RELATED_ILS.get(freq, [])
        for hist in history_files:
            df_hist = read_psd_csv(hist)
            if "Label" not in df_hist:
                df_hist["Label"] = None
            df_f = df_hist[
                df_hist["Frequency(MHz)"].between(freq-FREQ_TOL,
freq+FREQ_TOL)
            ]
            if df_f.empty:
                continue
            if set(df_f["Label"]) & HISTORICAL_ANOMALY_LABELS:
                print(f"[DEBUG freq={freq:.3f}] skip history: anomaly in
{os.path.basename(hist)}")
                skip_history = True
                break
            if related:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            ils_active = any(
                df_hist[
                    (df_hist["Frequency(MHz)"].between(r-FREQ_TOL,
r+FREQ_TOL)) &
                    (df_hist["Label"] == "ILS")
                ].any()
                for r in related
            )
            if not ils_active:
                continue
        hist_vals.extend([v for v in df_f["Power(dB)"].values if v >
INVALID_POWER])
    if skip_history or not hist_vals:
        print(f"[DEBUG freq={freq:.3f}] skip: no history measurements")
        continue
    # Ratio within tolerance
    count_in_tol = sum(abs(v-mean_power) <= POWER_TOL for v in hist_vals)
    ratio = count_in_tol / len(hist_vals)
    if ratio >= 0.7:
        df3.loc[df3["Frequency(MHz)"] == freq, "Label"] = "UNWANTED"
        constant_noise.append((freq, mean_power, ratio))
        print(f"[DEBUG freq={freq:.3f}] labeled UNWANTED (ratio={ratio:.2f})")
    else:
        print(f"[DEBUG freq={freq:.3f}] skip: low ratio {ratio:.2f}")
  return constant_noise, df3
def main():
  # Load latest PSD files
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    f1 = get_latest_csv(FOLDER_PSD1, 1)
    f2 = get_latest_csv(FOLDER_PSD2, 1)
    f3 = get_latest_csv(FOLDER_PSD3, 1)
    if not (f1 and f2 and f3):
        print("Missing CSV files, stopping.")
        return
    df1 = read_psd_csv(f1[0])
    df2 = read_psd_csv(f2[0])
    df3 = read_psd_csv(f3[0])
    # Historical files for PSD3
    history = get_history_files(FOLDER_PSD3, HISTORY_HOURS)
    # Find and label constant noise
    const_noises, updated_df3 = find_constant_noise(df1, df2, df3, history)
    # Save updated PSD3 with new labels
    updated_df3.to_csv(f3[0], index=False, encoding="utf-8-sig")
    # Summary
    print("\n--- Constant Noise Summary ---")
    for freq, mean_val, ratio in const_noises:
        print(f"Freq={freq:.3f} MHz, Mean={mean_val:.2f} dB, Ratio={ratio:.2f}")
    print("--- done ---")
if __name__ == "__main__":
    main()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๓. anomaly_detect.py

```
import os
import json
import pandas as pd
import numpy as np
from datetime import datetime
import matplotlib.pyplot as plt
import time
# -------------------- CONFIG --------------------
ILS_FREQS          = [109.1, 109.5, 110.1, 110.5]  # ILS nominal frequencies to monitor (MHz)
ILS_TOL            = 0.06                  # Frequency tolerance for ILS detection (MHz)
POWER_TOL          = 6.0                   # Power tolerance for matching (dB)
NOISE_FLOOR_TOL    = 3.0                   # Tolerance above noise floor for noise labeling (dB)
DROP_DURATION_MIN  = 5                     # Drop duration threshold (minutes) for detecting carrier drop
# Number of history and short-term files to read
HISTORY_FILES      = 60
SHORT_TERM_FILES   = 10
# Thresholds for new spurious signals
THRESHOLD_NEW_SIGNAL = -97.0
SPUR_TOL           = 6.0
SPUR_THRESHOLD     = -103.0
# Build current date's paths
today      = datetime.now()
year       = today.strftime("%Y")
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ym          = today.strftime("%Y%m")
ymd         = today.strftime("%Y%m%d")
BASE_PATH   = "Path to current date's PSD csv" #.../../../psd_csv_folder
# PSD data folders for each frequency ranges
FOLDER_PSD1 = os.path.join(BASE_PATH, "psd1", "gain_207")
FOLDER_PSD2 = os.path.join(BASE_PATH, "psd2", "gain_207")
FOLDER_PSD3 = os.path.join(BASE_PATH, "psd3", "gain_207")
# Folder for saving anomaly reports locally
ANOMALY_BASE = "Path to svae anomaly report" #.../../../anomaly_folder
ANOMALY_PATH = os.path.join(ANOMALY_BASE, year, ym, ymd)
os.makedirs(ANOMALY_PATH, exist_ok=True)
# File to store ILS status locally
ILS_STATUS_FILE = "Path to save ils status" #.../../../logs_folder
def load_ils_status():
    #Load ILS status from JSON; initialize default if missing
    if not os.path.exists(ILS_STATUS_FILE):
        default = {str(freq):
{"status":"unknown","power":None,"snr":None,"timestamp":None}
                   for freq in ILS_FREQS}
        save_ils_status(default)
        return default
    with open(ILS_STATUS_FILE, 'r') as f:
        return json.load(f)
def save_ils_status(data):
    #Save ILS status dictionary to JSON file
    with open(ILS_STATUS_FILE, 'w') as f:
        json.dump(data, f, indent=2)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
def get_latest_csv(folder, n=1):
    #Return up to n most recent CSV file paths in folder
    if not os.path.isdir(folder):
        return []
    files = sorted([f for f in os.listdir(folder) if f.endswith('.csv')], reverse=True)
    return [os.path.join(folder, f) for f in files[:n]]
def read_psd_csv(path):
    #Read a PSD CSV into DataFrame, ensure Label column exists
    if not path or not os.path.exists(path):
        cols = ["Date","Timestamp","Frequency(MHz)","Power(dB)","Label"]
        return pd.DataFrame(columns=cols)
    df = pd.read_csv(path)
    if 'Label' not in df.columns:
        df['Label'] = np.nan
    return df
def read_multiple_csv(folder, n_files=10):
    # Read latest n_files CSVs, concatenate into one DataFrame
    paths = get_latest_csv(folder, n_files)[::-1]
    dfs = []
    for p in paths:
        df = read_psd_csv(p)
        df['csv_file'] = os.path.basename(p)
        dfs.append(df)
    if dfs:
        return pd.concat(dfs, ignore_index=True)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    return
pd.DataFrame(columns=["Date","Timestamp","Frequency(MHz)","Power(dB)","La
bel","csv_file"])

def detect_spurs(df1, df2, df3):

    # Detect spurious signals

    df3.loc[(df3["Power(dB)"]==-9999.0)&(df3["Label"]!='ILS'),
'Label']='UNWANTED'

    for freq in df3['Frequency(MHz)'].unique():

        sub = df3[df3['Frequency(MHz)']==freq]

        if (sub['Label']=='ILS').any():

            continue

        p1 = df1.loc[df1['Frequency(MHz)']==freq,'Power(dB)'].values

        p2 = df2.loc[df2['Frequency(MHz)']==freq,'Power(dB)'].values

        p3 = sub['Power(dB)'].values

        if len(p1)==0 or len(p2)==0 or len(p3)==0:

            continue

        vals = [p1[0], p2[0], p3[0]]

        if max(vals)-min(vals)>SPUR_TOL and max(vals)>SPUR_THRESHOLD:

            mask = (df3['Frequency(MHz)']==freq)&(df3['Label']!='ILS')

            df3.loc[mask,'Label']='UNWANTED'

    return df3

def update_ils_status(ils_status, freq_str, new_status, new_power, new_snr,
new_timestamp):

    # Update ILS status dict (active/inactive times, power, SNR)

    old = ils_status[freq_str]['status']

    if new_status!=old:

        now = time.time()

        if new_status=='active':
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            ils_status[freq_str]['active_since']=now
            ils_status[freq_str]['inactive_since']=None
        else:
            ils_status[freq_str]['inactive_since']=now
            ils_status[freq_str]['active_since']=None
    ils_status[freq_str].update({'status':new_status,'power':new_power,'snr':new_snr,'t
imestamp':new_timestamp})
def update_json_file(entries, path):
    #Append new_entries to a JSON list on disk
    data = []
    if os.path.exists(path):
        try:
            data = json.load(open(path))
            if not isinstance(data,list):
                data = []
        except:
            data = []
    data.extend(entries)
    json.dump(data, open(path,'w'), indent=2)
def label_noise_floor(df3):
    # Label any NaN as NOISE, return average noise floor
    df3.loc[df3['Label'].isna(),'Label']='NOISE'
    df3.loc[df3['Label']=='NOISE_FLOOR','Label']='NOISE'
    noise_df = df3[df3['Label']=='NOISE']
    floor = noise_df['Power(dB)'].mean() if not noise_df.empty else -109.0
    return df3, floor
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
def detect_anomaly_a_carrier_drop(status, df3,
drop_duration=DROP_DURATION_MIN, ils_tol=ILS_TOL+0.01):
    # Detect short ILS carrier drops
    anomalies = []
    now = time.time()
    valid_labels = ['ILS','ANOMALY_A_CARRIER_DROP']
    for freq in ILS_FREQS:
        s = str(freq)
        old = status[s]['status']
        inactive_ts = status[s].get('inactive_since')
        rows = df3[
            df3['Frequency(MHz)'].between(freq-ils_tol, freq+ils_tol) &
            df3['Label'].isin(valid_labels)
        ]
        if old=='inactive' and inactive_ts and not rows.empty:
            dur = (now - inactive_ts)/60.0
            if 0 < dur <= drop_duration:
                idxs = rows.index
                df3.loc[idxs,'Label']='ANOMALY_A_CARRIER_DROP'
                anomalies.append({
                    'freq':freq,
                    'anomaly_type':'ANOMALY_A_CARRIER_DROP',
                    'inactive_duration_min':dur,
                    'timestamp':datetime.now().strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S')
                })
    return df3, anomalies
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
def detect_anomaly_b(df1, df2, df3):
    # Detect suspicious new signals or Sporadic E events
    sus = []
    all_freqs = set(df1['Frequency(MHz)']) | set(df2['Frequency(MHz)']) |
set(df3['Frequency(MHz)'])
    for freq in all_freqs:
        if freq in ILS_FREQS: continue
        row = df3[df3['Frequency(MHz)']==freq]
        if row.empty: continue
        lbl = row['Label'].iloc[0]
        if lbl in ['NOISE','UNWANTED','ILS','ANOMALY_A_CARRIER_DROP']:
            continue
        p1 = df1.loc[df1['Frequency(MHz)']==freq,'Power(dB)'].values[0]
        p2 = df2.loc[df2['Frequency(MHz)']==freq,'Power(dB)'].values[0]
        p3 = row['Power(dB)'].values[0]
        if p1>THRESHOLD_NEW_SIGNAL and p2>THRESHOLD_NEW_SIGNAL
and p3>THRESHOLD_NEW_SIGNAL:
            df3.loc[row.index,'Label']='ANOMALY_B_SUSPICIOUS_SIGNAL'
            sus.append({
                'freq':freq,
                'anomaly_type':'ANOMALY_B_SUSPICIOUS_SIGNAL',
                'timestamp':datetime.now().strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S')
            })
    # check Sporadic E
    total = len(df3['Frequency(MHz)'].unique())
    b_freqs =
df3[df3['Label']=='ANOMALY_B_SUSPICIOUS_SIGNAL']['Frequency(MHz)'].un
ique()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    if total>0 and len(b_freqs)/total >= 0.1:
        df3.loc[df3['Label']=='ANOMALY_B_SUSPICIOUS_SIGNAL','Label']='AN
OMALY_B_SPORADIC_E'
        return df3, [{
            'anomaly_type':'ANOMALY_B_SPORADIC_E',
            'freq_list':b_freqs.tolist(),
            'timestamp':datetime.now().strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S')
        }]
    return df3, sus
def main():
    now_str = datetime.now().strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S')
    #load latest PSD files
    l1 = get_latest_csv(FOLDER_PSD1, 1)
    l2 = get_latest_csv(FOLDER_PSD2, 1)
    l3 = get_latest_csv(FOLDER_PSD3, 1)
    if not (l1 and l2 and l3):
        print("Missing CSV files, stop.")
        return
    f1, f2, f3 = l1[0], l2[0], l3[0]
    # read current PSD data
    df1, df2, df3 = read_psd_csv(f1), read_psd_csv(f2), read_psd_csv(f3)
    # read history for anomaly detection
    df_hist = read_multiple_csv(FOLDER_PSD3, n_files=HISTORY_FILES)
    # detect spurs
    df3 = detect_spurs(df1, df2, df3)

    # append current to history if new
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if os.path.basename(f3) not in df_hist['csv_file'].unique():
    tmp = df3.copy(); tmp['csv_file'] = os.path.basename(f3)
    df_hist = pd.concat([df_hist, tmp], ignore_index=True)
# detect Anomaly A (carrier drop)
ils_status = load_ils_status()
df3, anom_a = detect_anomaly_a_carrier_drop(ils_status, df3)
# detect Anomaly B
df3, anom_b = detect_anomaly_b(df1, df2, df3)
anomalies = anom_a + anom_b
# label noise floor and save current CSV
df3, noise_floor = label_noise_floor(df3)
df3.to_csv(f3, index=False)
# update ILS status and save
for freq in ILS_FREQS:
    rows = df3[
        (df3['Label'].isin(['ILS','ANOMALY_A_CARRIER_DROP'])) &
        (df3['Frequency(MHz)'].between(freq-ILS_TOL, freq+ILS_TOL))
    ]
    if not rows.empty:
        idx = rows['Power(dB)'].idxmax()
        pw = rows.at[idx,'Power(dB)']
        snr = pw - noise_floor
        status = 'active' if pw > noise_floor + NOISE_FLOOR_TOL else 'inactive'
        update_ils_status(ils_status, str(freq), status, pw, snr, now_str)
save_ils_status(ils_status)
# save anomaly reports
if anomalies:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        rep_date = datetime.now().strftime('%Y%m%d')
        dfrep = pd.DataFrame(anomalies)
        csvp  = os.path.join(ANOMALY_PATH, f"anomaly_report_{rep_date}.csv")
        mode  = 'a' if os.path.exists(csvp) else 'w'
        header = not os.path.exists(csvp)
        dfrep.to_csv(csvp, index=False, encoding='utf-8-sig', mode=mode,
header=header)
        # save JSON
        jpath = os.path.join(ANOMALY_PATH, f"anomaly_report_{rep_date}.json")
        update_json_file(anomalies, jpath)
    else:
        print("No new anomalies detected.")
    print("\n--- Anomalies Detected ---")
    df_curr =
df3[df3['Label'].str.contains('ANOMALY|UNWANTED|SPORADIC_E', na=False)]
    print(df_curr)
    print(f"Noise Floor: {noise_floor:.1f} dB")
    print("--- done ---")
if __name__ == '__main__':
    main()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
คู่มือการใช้งานระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในบริเวณท่าอากาศยาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการใช้งานระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยาน สามารถแบ่งการใช้งานออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

1. การใช้งานโปรแกรมของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยาน

ในส่วนนี้เป็นการอธิบายการตั้งค่าและการเรียกใช้งานโปรแกรมของระบบ สำหรับผู้ใช้งานที่ต้องการนำโปรแกรมไปใช้งานหรือพัฒนาร่วมกับอุปกรณ์ SDR และสายอากาศด้วยตนเอง ผู้ใช้งานต้องติดตั้งโปรแกรมไพธอนและไลบรารีที่จำเป็นสำหรับการใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ SDR และการะประมวลผลต่าง ๆ ภายในโปรแกรม ได้แก่

ก. NumPy
ข. Matplotlib.pyplot
ค. Pandas
ง. Datetime
จ. rtlsdr
ฉ. SciPy
ช. Paramiko (optional)

จากไลบรารีดังกล่าว ไลบรารีที่เป็นตัวเลือกเสริม (optional) ใช้สำหรับผู้ใช้งานที่ต้องการอัปโหลดข้อมูลที่ได้ไปยังไฟล์เซิร์ฟเวอร์

หลังจากทำการติดตั้งแล้ว ในการทำงานหลักของระบบ โปรแกรม scan_VHF.py จะเป็นโปรแกรมที่ใช้งานในการทำงานเป็นหลักโดยจะมีโปรแกรมสำหรับการระบุสถานะของสัญญาณช่วยการลงจอดและตรวจจับความผิดปกติที่ถูกเรียกใช้งานผ่าน subprocess ในโปรแกรมหลักซึ่งประกอบไปด้วย ils_monitor.py constant_noise.py และ anomaly_detect.py ดังแสดงในภาคผนวก ก

ก่อนการเริ่มใช้งานของโปรแกรมใด ๆ ของระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยาน ผู้ใช้งานต้องกำหนดเส้นทางสำหรับการบันทึกไฟล์ต่าง ๆ และเรียกใช้งานโปรแกรมในส่วนของการตั้งค่าพารามิเตอร์และเส้นทางของไฟล์ในโปรแกรมเพื่อให้โปรแกรมสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง ดังรูปที่ 1–รูปที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
# -------------------- CONFIG -------------------- #
# Paths
PSD_BASE_PATH          = "Path to save csv files" #.../../../psd_csv_folder
LOGS_BASE_PATH         = "Path to save logs " #../../../logs_folder
SCRIPT_DIR             = "Path to codes" #../../../script_folder

# SDR parameters
GAINS                  = [20.7]        # list of gains [dB]
FS                     = 2.048e6       # sample rate [Hz]
NFFT                   = 512           # NFFT for PSD
CUTOFF_HPF             = 100           # high-pass cutoff [Hz]
HPF_ORDER              = 1             # filter order

# Frequency segments to scan (MHz)
SS_FREQ                = np.array([
    [108.00, 118.00],
    [107.95, 118.00],
    [108.05, 118.00],
])

# PSD merging and selection
BIN_STEP               = 0.05          # MHz
FREQ_MIN, FREQ_MAX     = 108.0, 118.0  # MHz
```

รูปที่ 1 ส่วนของการตั้งค่าเส้นทางและพารามิเตอร์ภายในโปรแกรม scan_VHF.py

```
# -------------------- CONFIG -------------------- #
FREQ_TOL          = 0.01          # Frequency matching tolerance (MHz)
POWER_TOL         = 10            # Power tolerance for constant noise check (dB)
HISTORY_HOURS     = 360           # Number of historical data points (files) to check
POWER_THRESHOLD   = -102.5        # Minimum power threshold to consider as constant noise (dB)
INVALID_POWER     = -9999.0       # Value representing invalid or missing power measurement
STD_THRESHOLD     = 10            # Maximum standard deviation allowed for constant noise
RELATED_ILS = {                   # Related ILS frequencies for activation checks
    111.5: [109.5, 110.5],
    111.1: [109.1, 110.1]
}
# Paths
PSD_PATH = "Path to PSD csv" #.../../../psd_csv_folder
PSD_SUBFOLD = "psd3" #.../../../psd_csv_folder/psd3
PSD_GAIN = "gain_207" #.../../../psd_csv_folder/psd3/gain_207


SKIP_LABELS = {"ILS", "NOISE", "UNWANTED"}      # Labels to skip in the current scan for constant noise
HISTORICAL_ANOMALY_LABELS = {                   # Historical anomaly labels that disqualify constant noise
    "ANOMALY_A_POWER_FLUCTUATION",
    "ANOMALY_A_CARRIER_DROP"
}

# build latest base path
current_date = datetime.now()
year = current_date.strftime("%Y")
ym  = current_date.strftime("%Y%m")
ymd = current_date.strftime("%Y%m%d")
BASE_PATH = os.path.join(PSD_PATH,year,ym,ymd)

# Define PSD data folders
FOLDER_PSD1 = os.path.join(BASE_PATH, "psd1", "gain_207")
FOLDER_PSD2 = os.path.join(BASE_PATH, "psd2", "gain_207")
FOLDER_PSD3 = os.path.join(BASE_PATH, "psd3", "gain_207")
```

รูปที่ 2 ส่วนของการตั้งค่าเส้นทางและพารามิเตอร์ภายในโปรแกรม constant_noise.py

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
# -------------------- CONFIG --------------------

ILS_FREQS       = [109.1, 109.5, 110.1, 110.5]  # List of ILS frequencies to monitor (MHz)
FREQ_TOL        = 0.06      # Frequency tolerance (MHz)
POWER_THRESHOLD = -101.0    # Minimum power threshold for detection (dB)
POWER_TOL       = 12.0      # Power tolerance for cross-check (dB)

# build current date's paths
current_date = datetime.now()
year = current_date.strftime("%Y")
ym   = current_date.strftime("%Y%m")
ymd = current_date.strftime("%Y%m%d")

BASE_PATH    = "Path to current date's PSD csv" #.../../../psd_csv_folder
FOLDER_PSD1 = os.path.join(BASE_PATH, "psd1", "gain_207") #.../../../psd_csv_folder/psd1
FOLDER_PSD2 = os.path.join(BASE_PATH, "psd2", "gain_207") #.../../../psd_csv_folder/psd2/gain_207
FOLDER_PSD3 = os.path.join(BASE_PATH, "psd3", "gain_207") #.../../../psd_csv_folder/psd3/gain_207
```

รูปที่ 3 ส่วนของการตั้งค่าเส้นทางและพารามิเตอร์ภายในโปรแกรม ils_monitor.py

```
# -------------------- CONFIG --------------------
ILS_FREQS           = [109.1, 109.5, 110.1, 110.5]  # ILS nominal frequencies to monitor (MHz)
ILS_TOL             = 0.06                          # Frequency tolerance for ILS detection (MHz)
POWER_TOL           = 6.0                           # Power tolerance for matching (dB)
NOISE_FLOOR_TOL     = 3.0                           # Tolerance above noise floor for noise labeling (dB)
DROP_DURATION_MIN   = 5                             # Drop duration threshold (minutes) for detecting carrier drop

# Number of history and short-term files to read
HISTORY_FILES       = 60
SHORT_TERM_FILES    = 10

# Thresholds for new spurious signals
THRESHOLD_NEW_SIGNAL = -97.0
SPUR_TOL             = 6.0
SPUR_THRESHOLD       = -103.0

# Build current date's paths
today       = datetime.now()
year        = today.strftime("%Y")
ym          = today.strftime("%Y%m")
ymd         = today.strftime("%Y%m%d")
BASE_PATH   = "Path to current date's PSD csv" #.../../../psd_csv_folder

# PSD data folders for each frequency ranges
FOLDER_PSD1 = os.path.join(BASE_PATH, "psd1", "gain_207")
FOLDER_PSD2 = os.path.join(BASE_PATH, "psd2", "gain_207")
FOLDER_PSD3 = os.path.join(BASE_PATH, "psd3", "gain_207")

# Folder for saving anomaly reports locally
ANOMALY_BASE = "Path to svae anomaly report" #.../../../anomaly_folder
ANOMALY_PATH = os.path.join(ANOMALY_BASE, year, ym, ymd)
os.makedirs(ANOMALY_PATH, exist_ok=True)

# File to store ILS status locally
ILS_STATUS_FILE = "Path to save ils status" #.../../../logs_folder
```

รูปที่ 4 ส่วนของการตั้งค่าเส้นทางและพารามิเตอร์ภายในโปรแกรม anomaly_detect.py

หลังจากที่ทำการตั้งค่าและกำหนดพารามิเตอร์เรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้งานจะสามารถใช้งานโปรแกรมของระบบได้อย่างถูกต้อง หากต้องการให้โปรแกรมทำงานอัตโนมัติอย่างต่อเนื่อง ผู้ใช้งานสามารถกำหนดการทำงานของโปรแกรมผ่าน Cron Jobs สำหรับระบบปฏิบัติการ Linux ได้ดังรูปที่ 5 หรือกำหนดผ่าน Task Scheduler สำหรับระบบปฏิบัติการ Windows

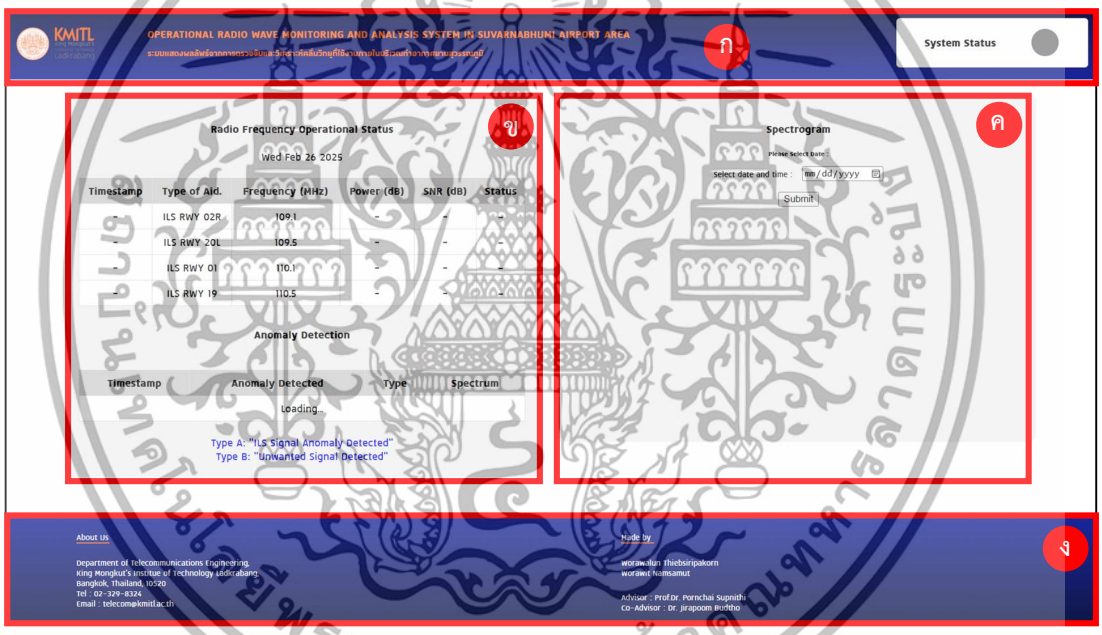
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
* * * * * /usr/bin/python3 /home/worawit/sdrvhf/program/beta_code/scan_VHF.py >>/home/worawit/cron.log 2>&1
* * * * * sleep 43; /usr/bin/python3 /home/worawit/sdrvhf/program/pi_status.py
0 0 * * * /usr/bin/python3 /home/worawit/sdrvhf/autoscript/auto_date_beta2.py
```

รูปที่ 5 การกำหนดเวลาในการทำงานของโปรแกรมผ่าน Cron Jobs

ผลลัพธ์จากการทำงานของโปรแกรมสำหรับระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยานจะอยู่ในรูปแบบของไฟล์ .csv หากผู้ใช้งานต้องการนำไปวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงสเปกโตรแกรม สเปกตรัม หรือเชิงสถิติใด ๆ ผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูลภายในไฟล์ไปใช้งานในการวิเคราะห์ตามความเหมาะสมในการใช้งาน

2. การใช้งานเว็บเบราว์เซอร์แสดงผลระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยาน



รูปที่ 6 หน้าเว็บเบราว์เซอร์ที่แสดงต่อผู้ใช้งาน

1) เข้าสู่เว็บเบราว์เซอร์ของระบบผ่าน http://161.246.18.205/vhf2024/

2) เมื่อผู้ใช้งานเข้าสู่หน้าเว็บเบราว์เซอร์จะพบกับส่วนแสดงผล 4 ส่วนหลัก ได้แก่

ก. ส่วนหัวของหน้าเว็บเบราว์เซอร์จะแสดงข้อมูล ได้แก่

- โลโก้ของสถาบัน
- ชื่อของปริญญานิพนธ์ภาษาอังกฤษและภาษาไทย
- สถานะการใช้งานของระบบตรวตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. ส่วนแสดงสถานะการใช้งานต่าง ๆ อัตโนมัติ โดยจะแสดงข้อมูล ได้แก่

- สถานะการใช้งานของคลื่นวิทยุ
- การตรวจจับความผิดปกติของการใช้งานคลื่นวิทยุ

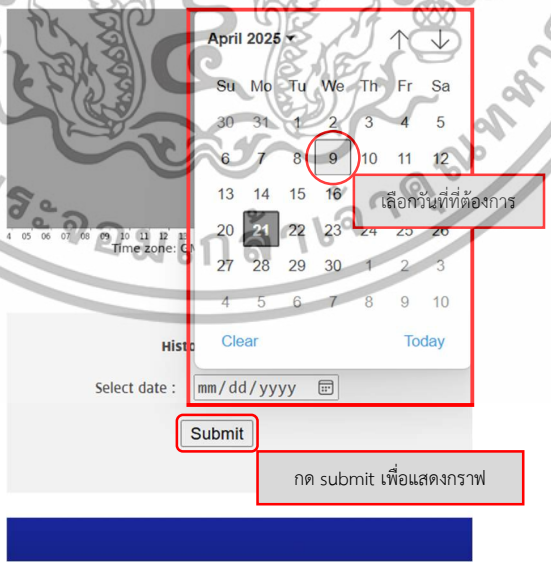
ค. ส่วนในการแสดงสเปกโตรแกรม จะแสดงกราฟสเปกโตรแกรมโดยอัตโนมัติแก่ผู้ใช้งานพร้อมกล่องวันที่ในการเลือกวันที่ที่ผู้ใช้งานต้องการ และปุ่ม submit เพื่อแสดงกราฟสเปกโตรแกรมที่บันทึกไว้วันย้อนหลัง

ง. ส่วนท้ายของหน้าเว็บเบราว์เซอร์จะแสดงข้อมูล จะแสดงข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ ได้แก่

- ภาควิชา
- สถาบัน
- ที่อยู่สถาบัน
- เบอร์โทรศัพท์ติดต่อภาควิชา
- อีเมล์ติดต่อภาควิชา
- รายชื่อผู้จัดทำและอาจารย์ที่ปรึกษา

3) ข้อมูลต่าง ๆ จะแสดงขึ้นโดยอัตโนมัติเมื่อผู้ใช้งานเข้าสู่หน้าเว็บเบราว์เซอร์

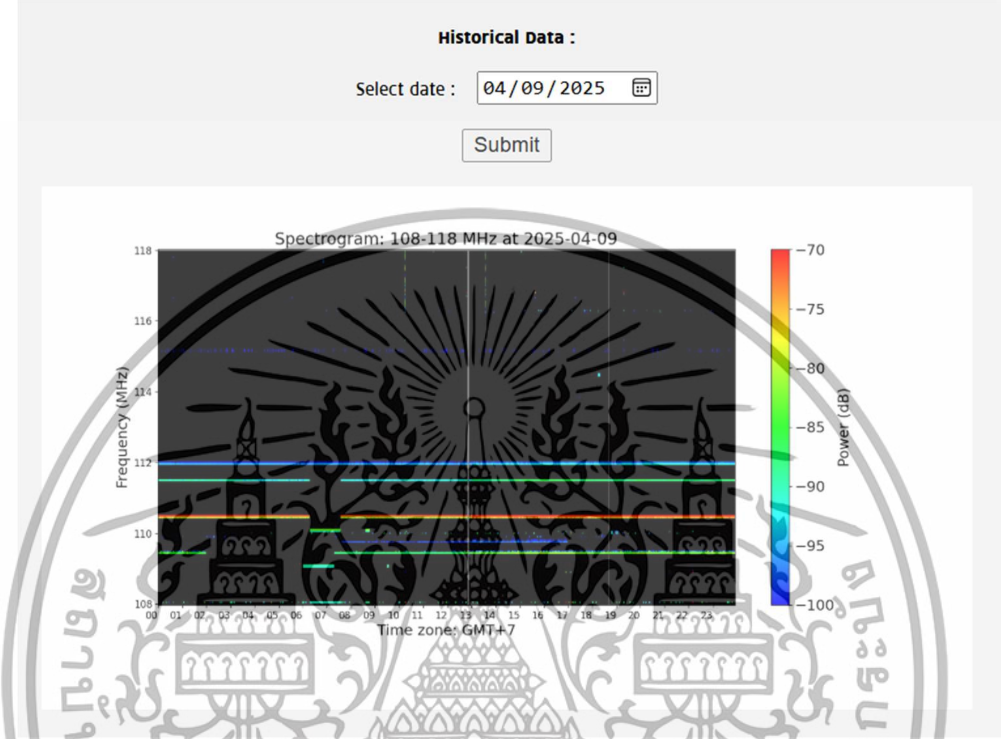
4) ผู้ใช้งานสามารถเรียกดูกราฟสเปกโตรแกรมของวันย้อนหลังได้โดยจะมีกล่องตัวเลือกวันที่เมื่อผู้ใช้งานกดเลือกวันที่ต้องการแล้วกด Submit ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 กล่องตัวเลือกในการเลือกวันที่ที่ต้องการ และปุ่ม submit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เมื่อผู้ใช้งานกดปุ่ม Submit เว็บเบราเซอร์จะแสดงสเปกโตรแกรมจากระบบตรวจจับและวิเคราะห์คลื่นวิทยุที่ใช้งานภายในท่าอากาศยานที่จัดทำขึ้นในปริญญานิพนธ์นี้



รูปที่ 8 กราฟแสดงที่จะแสดงขึ้นเมื่อผู้ใช้งานเลือกวันที่ที่ต้องการเรียกดูกราฟสเปกโตรแกรมวันที่ย้อนหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้