



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การตรวจวัดระดับความแรงของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและ
การตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่โทรคมนาคม
Measurement intensity of electromagnetic radiation
and radio frequency interference

นางสาวชมพูท บัญเมืองแสน

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การตรวจวัดระดับความแรงของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและ
การตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่โทรคมนาคม
Measurement intensity of electromagnetic radiation
and radio frequency interference

นางสาวชมพูนุท บุญเมืองแสน

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา	การตรวจวัดระดับความแรงของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและการตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่โทรคมนาคม
ชื่อ – สกุล นักศึกษา	นางสาวชมพูนุท บุญเมืองแสน
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
ภาควิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
ชื่อ – สกุลอาจารย์นิเทศ	ผศ.ดร.มนตรี คำเงิน
ชื่อ – สกุลผู้นิเทศงาน	นางสาวชัชชีย์ ดอนขำ
ตำแหน่ง	พนักงานปฏิบัติการระดับกลาง
สถานประกอบการ	สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เขต 1 (กรุงเทพมหานคร)

บทคัดย่อ

เนื่องจากปัญหาเรื่องการแพร่คลื่นไม่พึงประสงค์ ชนิดของการแพร่คลื่นแปลกปลอมในรูปแบบของการผสมสัญญาณ (intermodulation products) รวมถึงรูปแบบอื่นๆ และการตรวจวัดระดับความแรงของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าให้เป็นไปตามมาตรฐานที่เกิดขึ้นจริงในกรณีต่าง ๆ เป็นองค์ความรู้ที่ไม่สามารถหาได้ในรั้วมหาวิทยาลัย อันเนื่องมาจากความไม่พร้อมของอุปกรณ์ ดังนั้นโครงการสหกิจศึกษานี้จึงต้องการถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ได้จากการปฏิบัติสหกิจศึกษาในครั้งนี้ให้กับนักศึกษาสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคมที่ยังไม่มีประสบการณ์ทำงานและปัญหาที่เกิดขึ้นจริงและการแก้ไขปัญหาระหว่างการปฏิบัติงาน ทำให้ผู้สนใจได้เข้าใจถึงวิธีการดำเนินงานของวิศวกรการตรวจสอบ ผู้ปฏิบัติงานจึงได้นำวิธีดำเนินโครงการจากการลงปฏิบัติงานจริงกับวิศวกรการตรวจสอบผู้มีประสบการณ์ทำงานกว่า 10-20 ปี นำมาสรุปและอธิบายอย่างเป็นขั้นตอนเพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจลำดับการดำเนินโครงการตั้งแต่เริ่มโครงการจนจบโครงการ เข้าใจภาพรวมการใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมโทรคมนาคมแต่ละชนิดและวิธีการแก้ไขปัญหาในเบื้องต้น เพื่อให้ให้นักศึกษาสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคมที่ยังเรียนอยู่ในมหาวิทยาลัยและผู้สนใจ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางปฏิบัติในการฝึกงาน สหกิจศึกษาหรือการประกอบอาชีพได้ในอนาคต

Cooperative Title	Measurement intensity of electromagnetic radiation and radio frequency interference
Student name	Chompoonut Boonmuangsaen
Faculty	Engineering
Department	Telecommunication Engineering
Advisor name	Asst. prof. Dr. Montree Kumngern
Mentor name	Miss. Chatcharee Donkham
Position	Middle operation official
Company	National Broadcasting and Telecommunication Commission Bangkok (Region 1)

ABSTRACT

The issues regarding unwanted emission of electromagnetic wave, types of spurious emission through intermodulation products and otherways, and measurement of electromagnetic radiation intensity to be fitted as standard in different cases are all the knowledge that cannot be acquired in the classroom due to a lack of equipment. Therefore, the purpose of this paper is to share the knowledge and the problems occurring during the cooperative education program with Telecommunications Engineering major students, who have no work experience, in order to allow them to realize working procedures of examining engineers. To let the readers understand process of the program, from beginning to end, the author has summed up and clearly explained the working procedures, learned from the 20-year experienced engineers, in this paper. The readers will understand the overview of Telecommunications Engineering equipment usage and know the solutions to any potential problems. This paper, furthermore, will also allow Telecommunications Engineering major students and interested persons to be able apply the provided knowledge to their internship, cooperative education, or career in the future.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยการให้ความช่วยเหลือแนะนำของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี คำเงิน อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษาภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม และนายสัญญา กระจ่างศรี วิศวกรที่ปรึกษาตำแหน่งผู้อำนวยการสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เขต 1 (กรุงเทพมหานคร) ที่สถานประกอบการคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนข้อคิดเห็นการตรวจสอบและแก้ไขร่างรายงานสหกิจศึกษามาโดยตลอด ผู้เขียนจริงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ นางสาวชัชชรี ดอนขำ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำในทุกๆด้าน ตลอดจนวิศวกรที่ปรึกษาตำแหน่งพนักงานปฏิบัติการทุกระดับทุกๆท่าน รวมถึงเจ้าหน้าที่ฝ่ายทรัพยากรบุคคล เจ้าหน้าที่ฝ่ายกิจการนักศึกษาแผนกสหกิจศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้ความสะดวกด้านอำนวยความสะดวกและประสานงานในการทำรายงานสหกิจศึกษาให้ผู้เขียนตลอดมา ตลอดจนค้นคว้าหาข้อมูลในการจัดทำรายงานของผู้เขียนในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายนี้ผู้เขียนขออน้อมรำลึกถึงอำนาจบารมีของคุณพระศรีรัตนตรัย และสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายที่อยู่ในสากลโลก อันเป็นที่พึ่งให้ผู้เขียนมีสติปัญญาในการจัดทำรายงานสหกิจศึกษาให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้เขียนขอให้เป็นกตเวทิตาแต่บิดา มารดา ครอบครัวของผู้เขียน ตลอดจนผู้เขียนหนังสือและบทความต่าง ๆ ที่ให้ความรู้แก่ผู้เขียนสามารถเขียนรายงานฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

นางสาวชมพูนุท บุญเมืองแสน

ผู้จัดทำรายงานสหกิจศึกษา

สารบัญ

บท	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญรูป.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	3
1.6 แผนการดำเนินการ.....	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.8 สถานที่สถานประกอบการ.....	4
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1.1 ข้อพิจารณาทั่วไป.....	5
2.1.2 ผลกระทบของการรบกวนจากสภาพแวดล้อม.....	5
2.1.3 การตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุและสายอากาศ.....	6
2.1.4 การกำหนดค่าสายอากาศที่เหมาะสม.....	6
2.1.5 บริเวณการแผ่พลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้า.....	6
2.2 พารามิเตอร์มูลฐานของสายอากาศ.....	8
2.2.1 แบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation Pattern / Antenna Pattern).....	9
2.2.2 สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity).....	9
2.3 การวัดความแรงสนามและความหนาแน่นฟลักซ์กำลัง (Measurement of field strength and power flux-density).....	10
2.3.1 วัตถุประสงค์ของการวัดความเข้มของสนามและความหนาแน่น.....	10
2.3.2 ในกรณีของการวัดพื้นที่ครอบคลุมนั้น.....	11
2.3.3 การวัดโดยใช้เครื่องวัดความแรงสนามแบบเคลื่อนย้ายได้.....	11
2.3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด.....	12
2.4 การวัดความถี่.....	12
2.4.1 การวัดปริมาณการใช้ความถี่วิทยุ (spectrum occupancy measurement).....	12
2.4.2 ข้อจำกัดของการวัด.....	14
2.5 การหาทิศวิทยุ.....	14

2.5.1	หลักการหาทิศทางวิทยุ.....	14
2.5.2	หลักในการพิจารณาเลือกอุปกรณ์หาทิศ.....	15
2.5.3	อุปกรณ์หลักสำหรับหาทิศ.....	16
2.5.4	หลักการทำงานของอุปกรณ์หาทิศ.....	17
2.6	การหาตำแหน่งที่ตั้ง.....	18
2.6.1	การหามุมบอกทิศที่เชื่อถือได้.....	18
2.6.2	การตัดเส้นมุมบอกทิศที่ไม่เข้าพวกออก.....	18
2.7	การวัดการแผ่รังสีไม่พึงประสงค์ (Measurement of unwanted emission).....	19
2.7.1	คำจำกัดความที่สำคัญ.....	19
2.7.2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด.....	23
2.7.3	ข้อจำกัดของการวัด.....	25
2.8	การมอดูเลตระหว่างกัน (Intermodulation).....	25
2.8.1	ประเภทการมอดูเลตระหว่างกันตามแหล่งกำเนิดของสัญญาณ.....	26
2.8.2	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการมอดูเลตระหว่างกัน.....	26
2.9	การรบกวนความถี่วิทยุจากการใช้งานอุปกรณ์รูปแบบต่างๆ.....	30
2.9.1	การรบกวนคลื่นความถี่สถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่จากเครื่องตัดสัญญาณวิทยุ (Jammer).....	30
2.9.2	เครื่องส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือฉุกเฉิน (Emergency Beacons).....	32
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	36
3.1	เครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินโครงการ.....	36
3.2	โปรแกรมที่ใช้ในการดำเนินโครงการ.....	36
3.3	ขั้นตอนการวิจัย.....	36
3.3.1	การดำเนินงานของฝ่ายตรวจสอบการใช้ความถี่.....	38
3.3.1.1	การตรวจวัดความแรงของสนามไฟฟ้า ตรวจสอบการตั้งสถานีฐาน หรือกรณีชุมชนร้องเรียน.....	38
3.3.1.2	การตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุ.....	45
3.3.1.3	โปรแกรมที่ใช้ในการดำเนินโครงการ (Scorpio Client).....	52
3.3.2	การดำเนินงานของฝ่ายใบอนุญาตวิทยุคมนาคม.....	55
3.3.3	การทำรายงานโดยลงข้อมูลในระบบ.....	56
บทที่ 4	ผลการวิจัย.....	57
4.1	การตรวจวัดความแรงของสนามไฟฟ้า ตรวจสอบการตั้งสถานีฐาน หรือกรณีชุมชนร้องเรียน.....	57
4.2	การมอดูเลตระหว่างกัน (Intermodulation).....	62
4.3	ผลการทดลองวงจรกรองผ่านแถบ (BPF).....	67
4.3.1	การหาอัตราการสูญเสีย.....	67
4.3.2	การนำไปใช้งานจริง.....	68
4.4	แนวทางการแก้ไขปัญหา.....	72
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	73
5.1	สรุปผลการดำเนินโครงการ.....	73

5.2 ปัญหาหรืออุปสรรคการดำเนินงาน.....	76
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	76
บรรณานุกรม.....	77
ภาคผนวก.....	78

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด.....12
2.2	ความถี่ของการแพร่และความกว้างแถบความถี่อ้างอิง.....21
3.1	ตารางย่านความถี่ของเครือข่ายที่ทำการวัด.....41
4.1	การคำนวณหาค่าเฉลี่ยความแรงสนามแม่เหล็กเชิงพื้นที่จากการคำนวณโดยใช้สมการ.....57
4.2	สมการที่ใช้ในการคำนวณขีดจำกัดความรบกวนไฟฟ้า สำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป.....58
4.3	ผลการวัดระดับความแรงสนามไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเปรียบเทียบกับขีดจำกัดตาม มาตรฐาน ICNIRP สถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ บริเวณซอยสุขุมวิท 21 ตำบลปากน้ำ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ ในวันที่ 22 พฤศจิกายน พ.ศ.2560.....59
4.4	ผลการวัดระดับความแรงสนามไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเปรียบเทียบกับขีดจำกัดตาม มาตรฐาน ICNIRP สถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในบริเวณพื้นที่ที่พักอาศัยบริเวณ ตำบลคลองพระอุดม อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานีในวันที่ 20 สิงหาคม พ.ศ.2560.....60
4.5	ผลการวัดระดับความแรงสนามไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเปรียบเทียบกับขีดจำกัดตาม มาตรฐาน ICNIRP สถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในบริเวณพื้นที่ที่พักอาศัย บริเวณหมู่ที่ 1 ตำบลธนู อำเภออุทัย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ในวันที่ 4 กันยายน พ.ศ.2560.....61
4.6	แนวทางที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาการเกิดการมอดูเลตระหว่างกัน.....72

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	บริเวณการแผ่พลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้า.....7
2.2	แอมพลิจูดแบบรูปการแพร่ตั้งแต่บริเวณสนามระยะใกล้รีแอกทีฟถึงบริเวณสนามไกล.....8
2.3	สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กตั้งฉากกันกับทิศทางการแพร่กระจายคลื่น.....15
2.4	เครื่องรับ (Receiver) ESM500 และอุปกรณ์บอกทิศ (DF Unit) PP 055 S.....16
2.5	การตัดเส้นมุมบอกทิศที่ไม่เข้าพวกออกไป.....18
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างแถบความถี่ที่จำเป็น โดเมนนอกแถบ และโดเมนแปลกปลอม.....19
2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่ฮาร์โมนิก การแพร่พาราซิติก ผลของการมอดูเลตระหว่างกัน และผลของการแปลงความถี่.....20
2.8	การวัดการแพร่แปลกปลอมโดยสถานีตรวจสอบและฝ้าฟังวิทยุ.....22
2.9	การเกิดการมอดูเลตชั้นระหว่างกัน.....25
2.10	สเปกตรัมการเกิดการมอดูเลตชั้นระหว่างกัน.....27
2.11	ตัวอย่างความถี่ที่เกิดจากอินเตอร์มอดูเลชัน.....28
2.12	ค่าขีดจำกัดของสเปกตรัมของการแพร่แบบ FM ของสถานีวิทยุกระจายเสียง.....29
2.13	หลักการรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่.....30
2.14	เครื่องตัดสัญญาณวิทยุชนิดพกพา (Jammer).....31
2.15	เครื่องตัดสัญญาณวิทยุของกองทัพทหาร (Jammer).....31
2.16	ตัวอย่างเครื่องส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือฉุกเฉิน ชนิด Emergency Position Indicating Radio Beacon (EPIRB).....35
2.17	อุปกรณ์ตัดสัญญาณที่ย่านความถี่ 26-80,315,433, 135-176 ,245-246 ,400-435 , 435-470, 870-960, 1805-1880, 2100-2170 ,2400-2495 MHz.....35
3.1	บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างสำนักงาน.....37
3.2	บล็อกไดอะแกรมกิจกรรมงานของส่วนตรวจสอบคลื่นความถี่.....37
3.3	บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการวัดความแรงสนามไฟฟ้า.....38
3.4	Isotropic antennas ต่อกับเครื่อง Spectrum Analyzer ที่ใช้ในการวัด.....40
3.5	ตัวอย่างตำแหน่งที่ทำการวัดสัญญาณในระยะ 5-50 เมตรจากสถานีฐานและต้องทำการวัด สัญญาณซ้ำในลักษณะที่ทุก 101-200, 201-300, 301-400, 401-500 เมตร ถัดไปตามลำดับ.....40
3.6	การต่อชุดเครื่องมือวัดความแรงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แบบสะพานถื่อ (TS-EMF).....42
3.7	การต่อชุดเครื่องมือวัดความแรงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แบบสะพานถื่อ (TS-EMF) เพื่อถอดรหัส Decoding with analyzer control via-LAN ของสถานีฐาน.....42
3.8	จุดการวัดแบบ Spatial Averaging.....43
3.9	ช่วงการวัดทั้ง 6 จุด และสำรวจระยะที่มีระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุด.....44
3.10	จุดการวัดแบบ Spatial Averaging.....44
3.11	บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุ.....45
3.12	บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนตรวจสอบการครอบครองคลื่นความถี่วิทยุ.....46
3.13	บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการตรวจสอบมาตรฐานทางเทคนิคการแพร่คลื่น.....46

3.14	บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการตรวจสอบแก้ไขการรบกวนคลื่นวิทยุ.....	47
3.15	บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการตรวจสอบความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาต.....	47
3.16	Spectrum Analyzer Rohde & Schwarz FS8.....	48
3.17	อุปกรณ์ที่ใช้ในรถตรวจสอบ (Mobile Direction Finder).....	49
3.18	รถตรวจสอบ (Mobile Direction Finder : 20 MHz – 1 GHz).....	49
3.19	HE300 Antenna [20 MHz - 200 MHz].....	49
3.20	HE300 Antenna Module [200 MHz - 500 MHz].....	50
3.21	ขีดจำกัดของสเปกตรัมของการแพร่แบบ FM.....	50
3.22	ภาพขณะปฏิบัติงาน.....	51
3.23	บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการตรวจสอบสำรองจำหน่าย.....	55
3.24	หน้าร้านค้าเครื่องวิทยุคมนาคม.....	55
3.25	ตัวอย่างเครื่องวิทยุคมนาคมในร้านค้า.....	56
3.26	บันทึกข้อมูลหลังขอใบอนุญาตค้าเครื่องวิทยุคมนาคม.....	56
3.27	การทำรายงานโดยลงข้อมูลในระบบของสำนักงาน กสทช.....	56
4.1	สัญญาณรบกวนของสถานีวิทยุที่รบกวนกิจการวิทยุการบิน.....	63
4.2	โปรแกรม Scorpio Client ในการชี้ทิศที่ที่มีการรบกวนเกิดขึ้นที่จุดตัด.....	63
4.3	การมอดูเลตระหว่างกัน (Intermodulation).....	64
4.4	ผลของความถี่ที่เกิดจากการมอดูเลตระหว่างกันที่ได้จากการคำนวณ.....	65
4.5	ตำแหน่งความถี่ที่เกิดผลการมอดูเลตระหว่างกัน.....	65
4.6	ภาพสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 91.75 MHz.....	66
4.7	ภาพสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 107.50 MHz.....	66
4.8	โครงสร้างที่สำคัญของวงจรรอง (รูปไม่เต็มความยาว).....	66
4.9	ภาพช่วยการกลิ้งตัวยึดท่อเพื่อให้ได้ขนาดที่ต้องการ และภาพขวาหลังจากเสร็จเรียบร้อยแล้ว.....	67
4.10	ภาพช่วยการยึดขดลวดเข้ากับตัวยึดท่อ และภาพขวาตัวเก็บประจุที่ปลายท่อทองแดงด้านล่าง.....	67
4.11	ผลการทดสอบ Filter 1 ตัว มีการสูญเสียที่ความถี่ใช้งานประมาณ 0.3 dB โดยการลดทอนที่ความถี่ที่ห่างไป 10 MHz และ 20 MHz มีค่าเท่ากับ 27 dB และ 42 dB ตามลำดับ.....	68
4.12	ผลการทดสอบ Filter 2 ตัว มีการสูญเสียที่ความถี่ใช้งานประมาณ 0.6 dB โดยการลดทอนที่ความถี่ที่ห่างไป 10 MHz และ 20 MHz มีค่าเป็น 63 dB และ 85 dB ตามลำดับ.....	68
4.13	การต่อและการวัดสัญญาณตามจุดต่างๆ.....	69
4.14	สัญญาณที่วัดได้ภายในสายส่งที่ออกจากเครื่องส่ง 107.5 MHz ก่อนที่จะมีการใส่วงจรรองใดๆ.....	69
4.15	สัญญาณที่ออกจากเครื่องส่งก่อนผ่านวงจรรอง.....	70
4.16	สัญญาณที่ผ่านวงจรรอง.....	70
4.17	การวัดกำลัง (ซ้าย) ก่อนเข้าวงจรรองวัดได้ 440 วัตต์ (ขวา) หลังผ่านวงจรรองวัดได้ 410 วัตต์.....	71
4.18	การต่อวงจรรองผ่านแถบกับเครื่องส่ง.....	71

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การบริหารคลื่นความถี่วิทยุอยู่ในความรับผิดชอบของคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) โดยอำนาจ หน้าที่ และความรับผิดชอบตามพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2553 และพระราชบัญญัติวิทยุคมนาคม พ.ศ. 2498 ซึ่งการบริหารคลื่นความถี่วิทยุ มีกระบวนการดำเนินการที่ผสมผสานทั้งด้านบริหารจัดการด้านวิทยาศาสตร์และด้านเทคนิคเข้าด้วยกัน ทั้งนี้ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าการทำงานของอุปกรณ์และการดำเนินการในแต่ละกิจการของการติดต่อสื่อสารวิทยุเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพปราศจากซึ่งการรบกวน การตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุจึงเปรียบเสมือนเป็นหูเป็นตาให้กับกระบวนการบริหารคลื่นความถี่ ซึ่งในทางปฏิบัติถือว่ามีความจำเป็นเพราะว่าการอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นการพิจารณาอนุญาตตามข้อมูลของเอกสารแม้จะเป็นขั้นตอนตามหลักสากลก็ตาม แต่ไม่อาจแน่ใจได้ว่าเมื่อมีการใช้งานจริงจะมีการรบกวนหรือไม่ ดังนั้นระบบการตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่วิทยุ จึงเป็นวิธีการตรวจสอบพิสูจน์ยืนยัน และเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดในกระบวนการบริหารคลื่นความถี่โดยไม่สามารถแยกออกไปได้ อาจกล่าวได้ว่าความมุ่งหมายของการตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุก็คือการสนับสนุนกระบวนการบริหารจัดการคลื่นความถี่ ทั้งทางด้านการจัดสรรความถี่และการจัดทำแผน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุ มีความมุ่งหมายเพื่อ

1. ช่วยในการแก้ไขการรบกวนคลื่นความถี่วิทยุไม่ว่าจะเป็นในระดับท้องถิ่น ระดับภูมิภาคหรือครอบคลุมทั่วโลกก็ตาม ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์วิทยุคมนาคมและสถานีวิทยุโทรคมนาคมต่าง ๆ อาจประสานร่วมกันในการลดทรัพยากรที่เกี่ยวข้องในการติดตั้งและการใช้งานในกิจการโทรคมนาคมต่าง ๆ และให้ประโยชน์ตอบแทนทางเศรษฐกิจต่อสาธารณูปโภคพื้นฐานของประเทศที่สามารถให้บริการโทรคมนาคมต่าง ๆ โดยปราศจากการรบกวน
2. ช่วยให้เกิดความมั่นใจต่อสาธารณชนถึงระดับความแรงของสัญญาณรบกวนที่ยอมรับได้ต่อการรับสัญญาณวิทยุกระจายเสียงและวิทยุโทรทัศน์
3. ให้ข้อมูลผลการตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ที่มีคุณค่าแก่กระบวนการบริหารคลื่นความถี่วิทยุของประเทศ อาทิเช่น การใช้ความถี่และการใช้ความกว้างแถบคลื่นความถี่ ซึ่งผลพิสูจน์จะยืนยันลักษณะทางเทคนิคและลักษณะการใช้งานของสัญญาณ รวมทั้งการค้นหาและการพิสูจน์ทราบสถานีส่งผิดกฎหมายตลอดจนตรวจพิสูจน์ยืนยันตามบันทึกข้อมูลความถี่
4. ให้ข้อมูลผลการตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุที่มีคุณค่าต่อสำนักงานทะเบียนความถี่ (ITU Radiocommunication Bureau : ITU BR) ตามโปรแกรมที่กำหนดให้

การตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุอาจถือได้ว่าเป็นการดำเนินการเพื่อสังคมส่วนรวมที่ไม่ได้มุ่งแสวงผลประโยชน์ตอบแทนหรือรายได้จากการดำเนินงาน หรือเป็นกิจการที่ลงทุนไม่ได้มุ่งหวังผลกำไร แต่เป็นการดูแลคลื่นความถี่วิทยุซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติและทรัพยากรแห่งชาติให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้สูงสุดและมีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยปราศจากการรบกวน ซึ่งสามารถช่วยลดการสูญเสียได้มากมายจนบางครั้งไม่อาจประเมินค่าได้จากการขจัดการรบกวนที่จะเกิดขึ้นกับข่ายสื่อสารต่าง ๆ อาทิเช่น ข่ายวิทยุสื่อสารของ

ก็สามารถทำให้การติดต่อของแต่ละฝ่ายต้องหยุดชะงักไม่สามารถทำงานได้ เป็นผลให้เกิดการสูญเสียต่อรัฐอย่างมากมาย หรือซ้ำวิฤตในกิจการขอความช่วยเหลือหรือแจ้งเหตุภัยพิบัติ ถ้าหากมีการรบกวนเกิดขึ้นในช่องความถี่จนไม่สามารถใช้ในการติดต่อสื่อสารกันได้แล้ว อาจก่อให้เกิดพิบัติภัย เช่น ช่างการบิน ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นเพียงไม่ใช่เพียงค่าเสียหายจากราคาของเครื่องบินเท่านั้น แต่ยังรวมไปถึงความสูญเสียชีวิตมนุษย์ที่ไม่อาจประเมินค่าได้

โดยหลักสูตรของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเปิดโอกาสให้นักศึกษาได้มีทางเลือกในการเรียนรู้และหาประสบการณ์จากการปฏิบัติงานจริงในสหกิจศึกษา เพื่อให้นักศึกษามีการพัฒนาตัวเองให้รักการเรียนรู้ สามารถศึกษาค้นคว้าได้ด้วยตัวเอง มีความรับผิดชอบ เข้าใจหน้าที่ของตนเอง และที่สำคัญเป็นช่วงในการค้นหาตัวเองว่าชอบในสายงานทางด้านนี้หรือไม่ ได้เก็บเกี่ยวประสบการณ์ในสายงานและสิ่งที่ตนเองให้ความสนใจเพื่อให้เกิดทักษะการทำงาน ส่งผลให้โอกาสที่สถานประกอบการพิจารณานักศึกษาจบใหม่รับเข้าทำงานมากกว่าคนอื่นในอนาคต

จากที่กล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงจัดทำรายงานเรื่องการตรวจวัดการแผ่ไม่พึงประสงค์ (unwanted emission) ชนิดของการแผ่คลื่นแปลกปลอม (Spurious emission) ในรูปแบบของการผสมสัญญาณ (intermodulation products) รวมถึงรูปแบบอื่น ๆ และการตรวจวัดระดับความแรงของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าให้เป็นไปตามมาตรฐาน ซึ่งถือว่าเป็นการรบกวนคลื่นความถี่โทรคมนาคมที่เกิดขึ้นได้ในบริเวณพื้นที่ทั่วไป โดยนำความรู้จากการปฏิบัติงานจริงมาสรุปและเขียนอธิบายขั้นตอนการดำเนินงานผนวกกับความรู้ที่ได้จากห้องเรียนเพื่อให้เกิดความรู้และการเชื่อมโยงกันให้มากที่สุด ทั้งนี้หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจไปปรับใช้ในการทำงานในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อตรวจวัดระดับความแรงของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและการตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่โทรคมนาคมของสถานีวิทยุคมนาคมที่ได้รับ ณ จุดใดจุดหนึ่ง และวัดประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดการแผ่สัญญาณว่ามีมากน้อยเพียงใดในการให้บริการครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ หรือเพื่อหาพื้นที่การให้บริการ
2. เพื่อตรวจสอบว่าระดับความแรงของสัญญาณมีค่าเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในข้อบังคับวิทยุกฎระเบียบ หรือเงื่อนไขใบอนุญาตหรือไม่
3. เพื่อช่วยในการพิสูจน์ทราบกรณีที่มีการรบกวนเกิดขึ้น โดยการวัดระดับความแรงของการรบกวนที่เกิดจากการใช้ความถี่วิทยุของเครื่องวิทยุคมนาคมอื่น (ว่าความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า-electromagnetic compatibility : EMC)
4. เพื่อศึกษาคุณสมบัติและลักษณะการแพร่กระจายคลื่นวิทยุและสัญญาณรบกวน รวมทั้งช่วยในการประเมินระดับอันตรายที่เกิดจากการแผ่พลังงานคลื่นวิทยุที่เกิดกับมนุษย์ หรือที่เรียกการวัด Specific Absorption Rate (SAR)
5. เพื่อศึกษาการรบกวนคลื่นความถี่สถานีฐานในกรณีต่าง ๆ เช่น การรบกวนคลื่นความถี่สถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่จากเครื่องตัดสัญญาณวิทยุ (Jammer), การเกิดการรบกวนที่เกิดจากการมอดูเลตระหว่างกัน (Intermodulation) สำหรับตรวจสอบการแผ่ไม่พึงประสงค์
6. เพื่อศึกษาการใช้อุปกรณ์วิทยุโทรคมนาคมชนิดต่าง ๆ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษากระบวนการทำงานของวิศวกรรมการตรวจสอบในการจัดสรรความถี่ตรวจวัดและวัดระดับความแรงของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและย่านความถี่ให้ถูกต้องรวมถึงการตรวจวัดการแผ่รังสีไม่พึงประสงค์ (unwanted emission) ชนิดของการแผ่คลื่นแปลกปลอม (Spurious emission) ให้เป็นไปตามข้อบังคับของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลการตรวจสอบและตรวจวัดเปรียบเทียบให้เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคมของคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

ออกปฏิบัติงานนอกสถานที่ที่ได้รับมอบหมายร่วมกับวิศวกรรมการตรวจสอบ ลงมือปฏิบัติงานเรียนรู้และสอบถามกระบวนการทำงานต่าง ๆ ของโครงการที่ได้รับมอบหมายจากวิศวกร จากนั้นทำรายงานสรุปเป็นภาพรวมและอธิบายเป็นหัวข้อย่อยในเนื้อหาที่ดำเนินในแต่ละโครงการที่ได้รับมอบหมาย

1.5 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ระยะเวลาในการดำเนินการเริ่มตั้งแต่วันที่ 7 สิงหาคม พ.ศ.2560 – 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560

1.6 แผนการดำเนินการ

ขั้นตอนการวิจัย	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.
1. ศึกษาปัญหา กำหนดวัตถุประสงค์และกำหนดขอบเขต	←→			
2. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←→			
3. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานที่ได้รับมอบหมาย	←→	←→		
4. ศึกษาเครื่องมือโทรคมนาคมที่ใช้ในการปฏิบัติงาน	←→	←→		
5. ศึกษางานในส่วนของการตรวจสอบการครอบครองคลื่นความถี่วิทยุ		←→		
6. ศึกษางานในส่วนของการตรวจสอบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า		←→	←→	
7. ศึกษางานในส่วนของใบอนุญาตกิจการวิทยุ			←→	
8. ออกตรวจสอบนอกสถานที่ร่วมกับพนักงานที่ปรึกษา		←→	←→	←→
9. สรุปผลกาวิจัย			←→	
10. การเขียนรายงานและการเผยแพร่ผลงาน			←→	←→

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 เพิ่มโอกาสการรับเข้าทำงานของนักศึกษาปริญญาตรีจบใหม่
- 1.5.2 นักศึกษาปริญญาตรีเห็นถึงความสำคัญของการเรียนรู้ทั้งในห้องเรียนและนอกห้องเรียน
- 1.5.3 เข้าใจกระบวนการทำงานของวิศวกรรมการตรวจสอบและการอยู่ร่วมกันกับผู้อื่น
- 1.5.4 เกิดทักษะและความคล่องในการใช้เครื่องมือทางวิทยุคมนาคม

1.8 สถานที่สถานประกอบการ

- **ชื่อหน่วยงาน :** สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการ โทรทัศน์ และกิจการ โทรคมนาคมแห่งชาติ เขต 1 (กรุงเทพมหานคร) : สำนักงาน กสทช. เขต 1 (กรุงเทพมหานคร)
- **ที่อยู่ :** อาคารโพสเทล หลักสี่ เลขที่ 101 หมู่ที่ 4 ซอยแจ้งวัฒนะ 5 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210
- **พื้นที่ความรับผิดชอบ :** กรุงเทพมหานคร , นนทบุรี , ปทุมธานี , ราชบุรี , สมุทรปราการ , สมุทรสาคร , สมุทรสงคราม และพระนครศรีอยุธยา
- **หมายเลขโทรศัพท์ :** 02-573-6241
- **โทรสาร :** 02-573-6242
- **e-mail :** mtr_nb@nbtc.go.th
- **เว็บไซต์ :** <http://nonthaburi.nbtc.go.th>



บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ข้อพิจารณาทั่วไป

ระบบการตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุที่ดีประกอบด้วยลำดับขั้นของสถานีตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุระดับประเทศ สถานีตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุระดับภูมิภาค สถานีตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุควบคุมระยะไกล และสถานีตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุแบบเคลื่อนที่รวมกันเป็นเครือข่ายแบบ Real-time เพื่อให้เป็นการรวมการควบคุมของหลายๆ สถานีจากส่วนควบคุมการทำงานจุดเดียว โดยเครื่องมือที่ใช้งานตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุควรมีความเหมาะสมกับงานและคำนึงถึงจุดประสงค์ของการวัดและค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการ เช่น การวัดความถี่วิทยุขั้นพื้นฐาน , การวัดความแรงสนามวิเคราะห์การผสมสัญญาณ (Modulation) และการหาทิศทางวิทยุโดยใช้เครื่องมือในการหาทิศทางวิทยุ (Direction-finding : DF) สำหรับข้อมูลค่ามุมบอกทิศ (Azimuth bearing) เพื่อเป็นการตรวจมาตรฐานให้มีความสอดคล้องกับกำหนดของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU-International Telecommunication Union) รวมถึงการวัดปริมาณการใช้ความถี่วิทยุในแต่ละช่วงเวลา เพื่อเก็บข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในทางสถิติฐานประกอบกับการออกใบอนุญาตและข้อมูลทางด้านเทคนิคหรือการเชื่อมต่อโดยตรงไปยังฐานข้อมูลระบบการบริหารความถี่วิทยุที่มีฐานข้อมูลทางเทคนิคนี้ รวมไปถึงข้อมูลทางเทคนิคที่ทางสถานีได้รับใบอนุญาตและการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งจะช่วยให้สถานีศูนย์รวมสามารถทำการระบุความถี่ที่มาจากเครื่องส่งที่ไม่ได้รวมอยู่ในฐานข้อมูลและน่าจะสันนิษฐานได้ว่าไม่มีใบอนุญาตและยังสามารถระบุเป็นเครื่องส่งที่ไม่ดำเนินการภายใต้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้รับอนุญาต เพื่อดำเนินการตามกฎหมายต่อไป

2.1.2 ผลกระทบของการรบกวนจากสภาพแวดล้อม

ในทางอุดมคติสถานีตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุควรตั้งอยู่ในสถานที่ที่การตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุไม่ถูกรบกวนจากเครื่องส่งวิทยุบริเวณใกล้เคียงหรือจากสายไฟแรงสูง (High-voltage lines) และจากสถานีเชื่อมโยงสัญญาณไมโครเวฟ (Microwave Links) ที่พาดผ่านสถานีตรวจสอบ

เนื่องจากเราไม่สามารถเฝ้าฟังวิทยุได้ตลอดเวลา ดังนั้นสายอากาศและเครื่องรับของสถานีตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุโดยทั่วไปจะต้องสามารถทำงานได้ภายใต้เงื่อนไขให้มีการรบกวนที่ไม่เกินกว่าความสามารถของสายอากาศและเครื่องรับจะรับสัญญาณได้อย่างแม่นยำ รวมถึงความถี่ในการทำงาน สถานีที่ตั้ง ระดับความสูงและค่ามุมบอกทิศของสายอากาศของเครื่องรับประจำที่ได้ถูกเลือกมาเป็นพิเศษในขั้นตอนของการกำหนดความถี่ เช่น มีการป้องกันที่ดีพอต่อปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับเครื่องรับจากผลกระทบของการรบกวนจากเครื่องส่งของสถานีเชื่อมโยงสัญญาณวิทยุอื่นๆ (โดยการให้ค่าความถี่ที่เหมาะสมและการแยกออกห่างจากสถานีส่งวิทยุกระจายเสียงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศและเครื่องรับ)

สายอากาศของสถานีตรวจสอบควรจะต้องติดตั้งอยู่ในพื้นที่ยกสูงล้อมรอบด้วยพื้นที่เปิดโล่งเพื่อที่จะได้รับสัญญาณจากเครื่องส่งที่ทำการตรวจสอบได้มีประสิทธิภาพมากที่สุดภายในพื้นที่ที่ดูแลในวงกว้างและมุมบอกทิศทั้งหมด ซึ่งสิ่งที่มักเกิดขึ้นคือสถานีตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุมักจะถูกนำไปติดตั้งอยู่ในเมืองใกล้กับ

เครื่องส่งกำลังส่งแรงสูงทั้งของสถานีวิทยุกระจายเสียงและโทรทัศน์ที่มีสายอากาศสูงๆ หรือไม่กี่เครื่องส่งที่มีกำลังส่งสูงจะถูกนำมาติดตั้งใกล้กับสถานีตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุ เป็นผลให้สายอากาศและเครื่องรับของสถานีตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุโดยทั่วไปจะต้องดำเนินการภายใต้เงื่อนไขของการรบกวนที่รุนแรงกว่าเครื่องวิทยุสื่อสารอื่นๆ

2.1.3 การตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุและสายอากาศ

คุณสมบัติที่สำคัญของสายอากาศของเครื่องรับที่ต้องมี คือ ต้องสามารถรับสัญญาณจากสภาพแวดล้อมได้ดีที่สุด เพื่อนำสัญญาณนี้ไปส่งสู่ภาครับของเครื่องรับ ในขณะที่เดียวกันก็ลดทอนสัญญาณรบกวนลักษณะเฉพาะของสายอากาศที่เลือกใช้ในการตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุจะถูกเลือกโดยพิจารณาคุณสมบัติและปัจจัยต่างๆ เช่น คุณสมบัติของสัญญาณที่ต้องการวัด ความถี่ที่ต้องการวัด รวมถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสถานที่ที่ติดตั้งและสัญญาณรบกวนใดๆ ที่พบ

สำหรับผลของการรับสัญญาณที่ดีที่สุดของสายอากาศ คือ ควรมีทิศทางของสายอากาศ (polarization) ที่สอดคล้องกับทิศทางของสัญญาณที่ส่งมา และควรมีค่าความต้านทานที่เหมาะสม (Matching Impedance) ระหว่างสายส่งและวงจรภาครับของเครื่องรับ เพื่อที่จะสามารถถ่ายโอนพลังงานได้สูงสุด ซึ่งรูปแบบการใช้สายอากาศสำหรับตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุโดยทั่วไปจะใช้สายอากาศแบบรับสัญญาณรอบตัว (Omnidirectional) ส่วนสายอากาศแบบทิศทางจะเหมาะกับการตรวจวัดแถบคลื่นความถี่วิทยุที่ต้องการเฝ้าฟังสัญญาณโดยเฉพาะ และสถานีตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุเคลื่อนจะมีประโยชน์ในการตรวจสอบสถานีที่ใช้ความถี่ร่วมกันโดยการขับรถตรวจสอบเข้าใกล้กับสถานีเครื่องส่ง ดังนั้น สถานีตรวจสอบจึงควรเลือกใช้สายอากาศให้เหมาะสมสำหรับการรับสัญญาณที่สุด นอกจากนี้จะมีการวัดความเข้มสนามไฟฟ้า เนื่องจากไม่สามารถใช้สายอากาศที่มีคุณสมบัติตรงกับความต้องการได้ทั้งหมด

2.1.4 การกำหนดค่าสายอากาศที่เหมาะสม

คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รวมทั้งความยาวคลื่น การสะท้อนสัญญาณและสัญญาณกับการแพร่สัญญาณรบกวน ช่วยในการกำหนดทางเลือกของสายอากาศเกี่ยวข้องกับ :

- ทิศทางและอัตราการขยาย (Gain) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์หลักทางเทคนิคของสายอากาศ อาจแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ สายอากาศแบบรอบตัว (โดยที่รูปแบบการแพร่เป็นวงกลม) และสายอากาศแบบทิศทาง โดยสายอากาศแบบรอบตัวอาจจะใช้สำหรับงานทั่วไปของการตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุเมื่อไม่รู้ตำแหน่งที่มาของสัญญาณ (การตั้งค่าการสแกนการตรวจสอบความถี่ครอบคลุม) ในขณะที่สายอากาศแบบทิศทางอาจจะใช้สำหรับงานที่เฉพาะเจาะจง (วัดทางเทคนิค) เมื่อจำเป็นต้องใช้ความไวต่อการรับสัญญาณที่ดีกว่า

- ย่านความถี่ VLF, LF, HF, VHF, UHF หรือ SHF

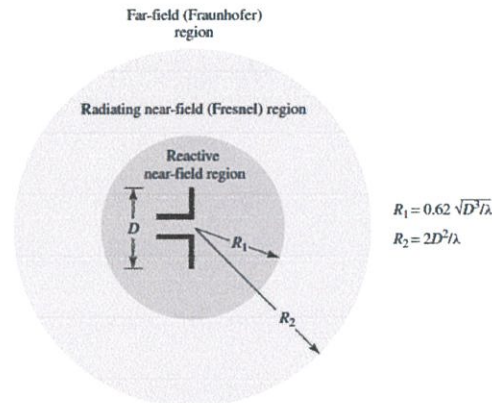
- ขนาดและน้ำหนักของสายอากาศอาจจะถูกพิจารณาเมื่อมีการเลือกใช้ตามรูปแบบของสถานีตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุว่าเป็นสถานีประจำที่ (Fixed stations) สถานีเคลื่อนที่ (Mobile stations) หรือสถานีกึ่งเคลื่อนที่ (Portable/transportable stations)

2.1.5 บริเวณการแผ่พลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

พื้นที่ว่างหรืออวกาศว่างที่อยู่ล้อมรอบสายอากาศในขณะที่มีการแผ่พลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 3 บริเวณ โดยพิจารณาจากระยะทางที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของ

สนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งบริเวณรอยต่อหรือขอบเขตของแต่ละบริเวณนั้นไม่ได้มีผลในเรื่องความแตกต่างของพฤติกรรมของสนามดังกล่าวเท่าใดนัก แต่บริเวณที่เราสนใจอย่างมากเนื่องจากเป็นบริเวณที่ใช้งานและพ้นจากขอบเขตรอยต่อสุดท้ายออกไปแล้วนั้นคือ บริเวณที่เป็นสนามไกล อย่างไรก็ตามจะได้อธิบายในส่วนของบริษัทอื่น ๆ ได้ 3 บริเวณ ดังนี้

1. บริเวณสนามระยะใกล้รีแอคทีฟ (Reactive Near-Field Region)
2. บริเวณแผ่พลังงานสนามใกล้ (Radiating Near-Field Region)
3. บริเวณสนามไกล (Far-Field Region)



รูปที่ 2.1 บริเวณการแผ่พลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

2.1.5.1 บริเวณสนามระยะใกล้รีแอคทีฟ (Reactive Near-Field Region)

บริเวณสนามระยะใกล้รีแอคทีฟ (Reactive Near-Field Region) คือ บริเวณโดยรอบและอยู่ใกล้สายอากาศมากที่สุด โดยสนามที่เกิดขึ้นในบริเวณนี้จะเป็นสนามที่เกิดจากคาร์รีแอกแตนต์หรือจากกำลังที่เป็นจำนวนจินตภาพเป็นส่วนใหญ่ ไม่ว่าจะเป็สายอากาศแบบใดก็ตามเราจะสมมติให้บริเวณที่อยู่รอบสายอากาศนั้นๆ มีรูปเป็นวงกลมโดยสายอากาศเป็นจุดศูนย์กลาง ซึ่งรัศมีของบริเวณสนามใกล้รีแอคทีฟนี้จะเท่ากับ

$$R < 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$$

โดยที่ D คือ ขนาดด้านที่กว้างหรือยาวที่สุดของสายอากาศ และ λ ความยาวคลื่นของสนามที่แผ่พลังงานออกมาจากสายอากาศ ซึ่งสมการนี้เหมาะสำหรับใช้กับสายอากาศชนิดเส้นลวดและสายอากาศชนิดช่องเปิดเท่านั้น แต่จะให้ผลที่ไม่ถูกต้องนักหากนำไปใช้กับสายอากาศแบบตัวสะท้อนที่มีขนาดใหญ่

2.1.5.2 บริเวณแผ่พลังงานสนามใกล้ (Radiating Near-Field Region)

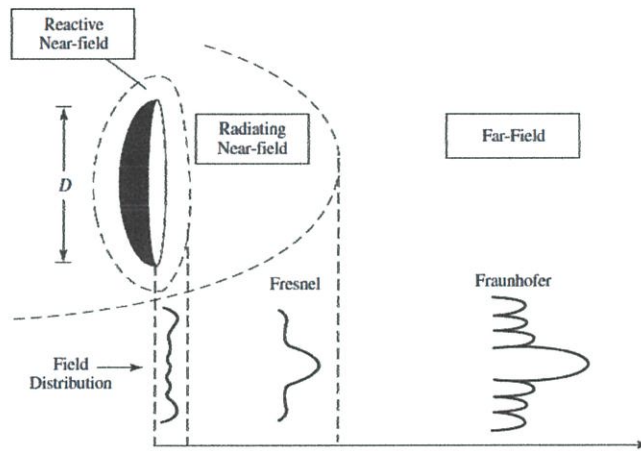
บริเวณแผ่พลังงานสนามใกล้ (Radiating Near-Field Region) คือ บริเวณรอยต่อระหว่างบริเวณสนามใกล้รีแอคทีฟและบริเวณสนามไกล ซึ่งเรียกว่า “บริเวณเฟรสเนล” (Fresnel Region) โดยสนามที่เกิดขึ้นในบริเวณนี้จะมีการแผ่พลังงานที่เป็นส่วนหนึ่งของจำนวนจริงเป็นส่วนใหญ่ แต่การแผ่พลังงานของสนามเชิงมุม (Angular Field) ยังคงขึ้นอยู่กับระยะทางที่ห่างออกไปจากสายอากาศด้วย ซึ่งสายอากาศทุกชนิดจะถูกสมมติให้มีบริเวณเฟรสเนลเป็นพื้นที่อยู่ระหว่างวงกลมสองวงที่มีรัศมีหรือระยะทางต่างกัน นั่นคือ

$$0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq R \leq \frac{2D^2}{\lambda}$$

2.1.5.3 บริเวณสนามไกล (Far-Field Region)

บริเวณสนามไกล (Far-Field Region) คือ บริเวณที่อยู่ในพื้นที่วงกลมนอกสุด (ถัดจากบริเวณเฟรสเนล) ซึ่งบางครั้งเรียกว่า “บริเวณเฟราน์โฮเฟอร์ (Fraunhofer Region)” โดยผลเฉลยของสนามที่ได้จะไม่มีองค์ประกอบของสนามเชิงมุม เนื่องจากเงื่อนไขของสนามไกลนี้ องค์ประกอบของสนามเชิงมุมจะไม่ขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างสายอากาศไปยังจุดสังเกตใดๆ ทั้งสิ้น องค์ประกอบของสนามที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามขวาง (Transverse Electromagnetic Wave: TEM Wave) กับทิศทางการแผ่คลื่นสามารถนำมาพล็อตเพื่อหาแบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation Pattern) ที่เกิดขึ้นจริงจากสายอากาศที่ต้องการได้ โดยระยะของสนามไกลของสายอากาศทุกชนิดจะถูกกำหนดโดย

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda}$$



รูปที่ 2.2 แอมพลิจูดแบบรูปการแผ่รังสีตั้งแต่บริเวณสนามระยะใกล้รัศมีแอกทิฟถึงบริเวณสนามไกล

2.2 พารามิเตอร์มูลฐานของสายอากาศ

พารามิเตอร์มูลฐานของสายอากาศจะใช้สำหรับอธิบายพฤติกรรมของสายอากาศชนิดใดๆ โดยอ้างอิงกับพลังงานที่แผ่ออกไปในอวกาศว่าง ประสิทธิภาพของกำลัง การเข้ากันได้หรือการแมตช์ (Matching) กันระหว่างสายอากาศและวงจรป้อนกำลัง เป็นต้น

- 1) แบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation Pattern / Antenna Pattern)
- 2) สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)
- 3) トラขยาย (Gain)
- 4) ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half-Power Beamwidth)
- 5) ความกว้างแถบ (Bandwidth)
- 6) การโพลาไรซ์/การแยกขั้วคลื่น (Polarization)
- 7) อิมพีแดนซ์อินพุต (Input Impedance)
- 8) ความยาวประสิทธิผลเชิงเวกเตอร์และพื้นที่สมมูลของสายอากาศ (Antenna Vector Effective Length and Equivalent Areas)

แต่สำหรับในการปฏิบัติงานนั้นจะพิจารณาแบบรูปการแผ่พลังงานและสภาพเจาะจงทิศทางเป็นสำคัญ ดังนั้น จึงขอกล่าวเฉพาะเจาะจงใน 2 กรณีดังต่อไปนี้

2.2.1 แบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation Pattern / Antenna Pattern)

แบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation Pattern) หรือแบบรูปของสายอากาศ (Antenna Pattern) คือ การบอกคุณสมบัติในการแผ่พลังงานของสายอากาศในรูปของกราฟฟิกหรือในรูปของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของพิกัดตำแหน่ง (Space Coordinates) ในการพิจารณาแบบรูปการแผ่พลังงานจะต้องกระทำในบริเวณสนามไกลและแสดงในรูปฟังก์ชันของพิกัดทิศทาง (Directional Coordinates) แบบรูปการแผ่พลังงานนี้สามารถวัดและพล็อตได้จากความเข้มสนาม (Field Intensity) แบบรูปการแผ่พลังงานอธิบายได้ดังนี้

1) แบบรูปไอโซโทรปิก (Isotropic Pattern) จะเป็นแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่มีการแผ่พลังงานออกไปในทุกทิศทางเท่ากันทั้งหมดเสมือนมีลักษณะเป็นรูปร่างกลม ซึ่งในความเป็นจริงนั้นไม่มีสายอากาศใดเลยที่มีแบบรูปในลักษณะเช่นนี้ทั้งในทฤษฎีและปฏิบัติ จึงถือว่าเป็นแบบรูปที่มีลักษณะที่เป็นอุดมคติมากกว่า บางครั้งเรียกว่า ตัวแผ่พลังงานแบบไอโซโทรปิก (Isotropic Radiator) อย่างไรก็ตามมักจะถูกนำมาใช้ในการกำหนดพารามิเตอร์ตัวอื่นๆของสายอากาศ

2) สายอากาศแบบมีทิศทาง (Directional Antenna) คือ สายอากาศที่มีคุณสมบัติในการแผ่พลังงานหรือรับกำลังเข้ามาในทิศทางใดทิศทางหนึ่งอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าทิศทางอื่น มักจะใช้กับสายอากาศที่มีสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) มากกว่าของสายอากาศไดโพลครึ่งคลื่น (Half-Wavelength Dipole)

3) สายอากาศแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว (Omnidirectional Antenna) คือ สายอากาศที่มีคุณสมบัติในการแผ่พลังงานออกไปรอบตัวในระนาบใดระนาบหนึ่ง ส่วนระนาบอื่นที่ตั้งฉากกันจะมีการแผ่พลังงานแบบมีทิศทาง โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นคุณสมบัติของสายอากาศชนิดที่ทำจากเส้นลวดเดี่ยว

4) แบบรูปการแผ่พลังงานหลัก (Principal Pattern) คือ รูปแบบการแผ่พลังงานแบบสองมิติของสายอากาศที่มีการโพลาไรซ์แบบเส้นตรง (Linear Polarization) โดยวัดกำลังของคลื่นจากระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane : เป็นระนาบที่ขนานกับเวกเตอร์สนามไฟฟ้า) และระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane : เป็นระนาบที่ขนานกับเวกเตอร์สนามแม่เหล็ก) ในทิศทางที่มีการแผ่พลังงานสูงสุด ซึ่งเป็นตัวอย่างของสายอากาศแบบมีทิศทางชนิดปากแตรพีระมิด (Pyramidal Horn Antenna)

2.2.2 สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)

สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) ของสายอากาศในทิศทางที่กำหนดให้ คือ อัตราส่วนของค่าความเข้มการแผ่พลังงานในทิศทางนั้นๆ เทียบกับค่าความเข้มการแผ่พลังงานที่เฉลี่ยออกไปทุกทิศทาง โดยทั่วไปจะมีการกำหนดสภาพเจาะจงทิศทางในทิศทางที่มีการแผ่พลังงานสูงสุดเสมอ

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}}$$

ถ้าไม่มีการกำหนดทิศทางให้ จะถือว่าทิศทางที่มีความเข้มของการแผ่กระจายกำลังสูงสุด คือ สภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด (Maximum Directivity) ที่ต้องการหา นั่นคือ

$$D_{max} = D_0 = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}}$$

โดยที่	D	คือ สภาพเจาะจงทิศทาง (ไม่มีหน่วย)
	D_0	คือ สภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด (ไม่มีหน่วย)
	U	คือ ความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงาน มีหน่วยเป็น W/unit solid angle
	U_{\max}	คือ ความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานสูงสุด มีหน่วยเป็น W/unit solid angle
	U_0	คือ ความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานของแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิก มีหน่วยเป็น W/unit solid angle
	P_{rad}	คือ กำลังงานรวมของการแผ่กระจายกำลังงาน มีหน่วยเป็น W

สำหรับแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิก จะมีสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากับหนึ่ง เนื่องจาก U , U_{\max} และ U_0 ต่างก็มีเท่ากัน

2.3 การวัดความแรงสนามและความหนาแน่นฟลักซ์กำลัง (Measurement of field strength and power flux-density)

การวัดความแรงสนาม (field strength) และความหนาแน่นฟลักซ์กำลัง (power flux density) มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับ ณ จุดใดจุดหนึ่ง และวัดประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิด การแพร่สัญญาณว่ามีมากน้อยเพียงใดในการให้บริการครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ หรือเพื่อหาพื้นที่การ ให้บริการ (service area) เพื่อตรวจสอบว่าระดับความแรงของสัญญาณมีค่าเป็นไปตามที่กำหนดไว้ใน ข้อบังคับวิทยุ กฎระเบียบ หรือเงื่อนไขใบอนุญาตหรือไม่

การวัดจะช่วยให้การพิสูจน์ทราบกรณีที่มีการรบกวนเกิดขึ้น โดยการวัดระดับความแรงของการรบกวนที่ เกิดจากการใช้ความถี่วิทยุของเครื่องวิทยุคมนาคมอื่น (เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า – electromagnetic compatibility : EMC) หรือการรบกวนที่เกิดจากการแผ่พลังงานคลื่นวิทยุของอุปกรณ์อื่น เช่น อุปกรณ์ทางอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์และการแพทย์ หากมีการแก้ไขปัญหาการรบกวนแล้ว การวัด ความแรงสนามหรือความหนาแน่นฟลักซ์กำลังก็จะช่วยในการประเมินประสิทธิภาพของวิธีการแก้ไขปัญหา ดังกล่าวว่าได้ผลมากน้อยเพียงใดอีกด้วย

การวัดช่วยในการศึกษาคุณสมบัติและลักษณะการแพร่กระจายคลื่นวิทยุและสัญญาณรบกวนอันจะมี ส่วนช่วยในการตรวจสอบและยืนยันความน่าเชื่อถือของแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นที่ใช้งานอยู่มีความ แม่นยำน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด และที่สำคัญยิ่งในปัจจุบันคือช่วยในการประเมินระดับอันตรายที่เกิดจาก การแผ่พลังงานคลื่นวิทยุที่เกิดกับมนุษย์ หรือที่เรียกว่าการวัด Specific Absorption Rate (SAR) ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามการวัดความแรงสนามหรือความหนาแน่นฟลักซ์กำลังอย่างเดียวไม่สามารถบอกคุณภาพของ สัญญาณที่รับได้ในบางครั้ง อาจจำเป็นต้องทำการวัดพารามิเตอร์อื่น เช่น FM-to-AM conversion ในกรณี การแพร่ของสถานีวิทยุกระจายเสียงแบบ FM หรือวัดอัตราการผลิตผิดพลาดบิต (BER) และการตอบสนองต่ออิมพัลส์ของช่องสัญญาณ (CIR) ในกรณีของการแพร่แบบดิจิทัล ประกอบด้วย

2.3.1 วัตถุประสงค์ของการวัดความเข้มของสนามและความหนาแน่น มี 4 ประเภท ดังนี้

- 1) วัดด้วยเครื่องวัดชนิดพกพาหรือเคลื่อนที่เป็นการวัดผลแบบทันทีทันใดจากจุดใดจุดหนึ่งหรือหลาย จุดการวัด
- 2) วัดด้วยเครื่องวัดแบบพกพาเพื่อเก็บค่าทางสถิติเพื่อวัดการครอบคลุมของความแรงสนาม

- 3) วัดจากจุดประจำที่เพื่อสนับสนุนการตรวจสอบในกิจกรรมอื่น ๆ
- 4) การวัดระยะยาวเพื่อบันทึกความแรงของสนามเพื่อการวิเคราะห์จัดเก็บข้อมูลและนำไปประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์ต่อไป

การวัดความแรงสนามในลักษณะเคลื่อนที่มักจะใช้กับการวัดเขตพื้นที่ครอบคลุม (coverage measurement) ของสถานีวิทยุกระจายเสียงและวิทยุโทรทัศน์ และการให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อออกแบบกำหนดพื้นที่บริการในช่วงแรก และเพื่อตรวจสอบและยืนยันพื้นที่บริการหลังจากติดตั้งสถานีแล้ว หรือเพื่อแก้ไขปัญหาการรบกวนที่เกิดขึ้น ในบางครั้งการวัดเพียงแค่ระดับแรงดันไฟฟ้าขาเข้าที่เครื่องรับก็เพียงพอที่จะนำมาพิจารณาแล้ว โดยไม่จำเป็นต้องคำนวณค่าความแรงสนามอีก

2.3.2 ในกรณีของการวัดพื้นที่ครอบคลุมนั้น ควรมีข้อพิจารณาดังนี้

- การวัดความแรงสนามที่รวดเร็วและแม่นยำนั้น ค่าความกว้างแถบความถี่ภาค IF ที่ทำการวัดควรจะสอดคล้องกับสัญญาณที่จะวัด
- ควรมีพิสัยการทำงานของเครื่องรับอยู่ในช่วง 60 dB หรือมากกว่า เพื่อรองรับต่อการกระเพื่อมขึ้นลงของความแรงสนาม
- สามารถที่จะต่อเชื่อมข้อมูลความแรงสนามเข้ากับข้อมูลภูมิประเทศ และอาจนำไปวาดเป็นเส้นที่เรียกว่า contour plot แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความแรงสนามกับจุดที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ได้

การวัดความแรงสนามในลักษณะเคลื่อนที่ ควรคำนึงการกระเพื่อมของสัญญาณที่ได้รับเนื่องจากการจางหายของสัญญาณแบบเรย์ลี (Rayleigh fading) และการบังของสิ่งกีดขวาง (shadowing)

การจางหายของสัญญาณแบบเรย์ลีนั้น เกิดจากการรวมกันของคลื่นหลายแนวที่มาจากการหักเห การกระจัดกระจาย และการสะท้อน ซึ่งแตกต่างกันไปตามระยะทาง คลื่นหลายแนวที่มีเฟสต่างกันจะทำให้เกิดการเสริมและหักล้างซึ่งกันและกัน คลื่นที่ได้รับอาจมีความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด สูงถึง 30 dB ในบางครั้ง

การบังของสิ่งกีดขวางทำให้ระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปหรืออย่างฉับพลัน ขึ้นอยู่กับลักษณะของสิ่งกีดขวาง ซึ่งบางครั้งอาจทำให้เกิดการลดลงของความแรงสนามที่วัดได้สูงถึง 50 dB เลยทีเดียว

ตัวอย่างผลของการทดลองวัดความแรงสนามโดยใช้รถยนต์ตรวจสอบฝ้าฟังและหาทิศทางวิทยุเคลื่อนที่ซึ่งประกอบด้วยเครื่องรับและสายอากาศที่ปรับเทียบและทราบค่าตัวประกอบสายอากาศแล้ว ซึ่งได้คำนวณหาตัวปรับแก้ (correction factor) เพื่อปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ให้เป็นค่าความแรงสนามที่ต้องการ

2.3.3 การวัดโดยใช้เครื่องวัดความแรงสนามแบบเคลื่อนย้ายได้

การวัดโดยใช้เครื่องวัดความแรงสนามแบบเคลื่อนย้ายหรือพกพาได้ จะคล้ายกับการวัดโดยใช้สถานีตรวจสอบและฝ้าฟังวิทยุประจำที่และเคลื่อนที่รวมกัน การวัดควรจะใช้หลักการวัดเป็นกลุ่ม (cluster measurement) เช่นเดียวกันโดยวัดที่ระยะห่าง 1 – 5 เมตร หลาย ๆ แห่งรอบจุดศูนย์กลาง (ระยะห่างนี้ขึ้นอยู่กับความถี่ ยิ่งความถี่ต่ำ ระยะห่างก็ยิ่งมาก) หลังจากนั้นจึงนำค่าที่วัดได้มาเฉลี่ยเป็นค่าความแรงสนามที่วัดได้จริง

ถ้าเครื่องวัดใช้สายอากาศแบบบ่วง การวัดเพียงไม่กี่ครั้งก็เพียงพอสำหรับการอ่านค่า เนื่องจากสายอากาศประเภทนี้ไม่ค่อยได้รับผลกระทบจากการสะท้อนหรือการแผ่พลังงานซ้ำ สำหรับการวัดความแรงสนามในความถี่วิทยุย่าน VHF หรือสูงกว่า ซึ่งผลกระทบในลักษณะดังกล่าวมีมาก อาจจำเป็นต้องใช้การวัดเป็นกลุ่ม ในแต่ละกลุ่มใช้การวัดจำนวนมากกว่า 10 ครั้งขึ้นไป

สำหรับการวัดความแรงสนามในความถี่วิทยุย่าน HF อาจใช้การวัดที่เดียวหลาย ๆ ครั้ง แล้วนำมาเฉลี่ยโดยไม่จำเป็นต้องวัดเป็นกลุ่มก็ได้

2.3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด

ตารางที่ 2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด

Item	Description	Brand	Model	Freq Range	Qty
1	Spectrum Analyzer TS-EMF	Rohde & Schwarz	FSL6	9 KHz to 6 GHz	1
2	สายอากาศ Tri-Axis-Probe (Isotropic antennas)	Rohde & Schwarz	TSEMF-B1	30 MHz to 3 GHz	1
3	GPS	Garmin	OreGon 550		1
4	Digital Camera	Cannon	EOS400		1
5	Tripod	Rohde & Schwarz	TSEMF-03		1
6	เครื่องวัดระยะทาง	Bushnell	Elite 1500		1

2.4 การวัดความถี่

การวัดความถี่มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดความถี่ที่แพร่โดยเครื่องส่งวิทยุคมนาคมที่รับได้แล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าความถี่คลาดเคลื่อนที่ยินยอมให้มีได้ (frequency tolerance) ว่ามีความคลาดเคลื่อนเกินค่าที่กำหนดไว้หรือไม่

โดยทั่วไปแล้วการวัดความถี่จะกระทำในลักษณะการวัดระยะไกล (remote measurement) นั่นคือวัดความถี่ของสัญญาณที่แพร่จากเครื่องส่งที่รับได้โดยเครื่องรับ ไม่ใช่การวัดโดยตรงต่ออุปกรณ์วัดเข้ากับเครื่องส่งโดยตรง ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำและเชื่อถือได้ ควรเลือกเครื่องรับที่มีความไวในการรับสัญญาณสูง มีค่าการลดทอนความถี่เงาที่ดี มีอัตราการเกิดการมอดูเลตข้ามและการมอดูเลตระหว่างกันน้อย มีวงจรถ่วงเลือกล่วงหน้า (preselector) ที่เหมาะสมเพื่อขจัดย่านความถี่ที่ไม่ต้องการ มีการใช้วงจรถ่วงคุมอัตราขยาย (gain control) แต่กรณีนี้สัญญาณที่รับได้มีกำลังอ่อนมากหรือเป็นสัญญาณที่เข้ามารบกวน ซึ่งในกรณีดังกล่าวมักใช้ระบบอัตโนมัติไม่ได้ผล

2.4.1 การวัดปริมาณการใช้ความถี่วิทยุ (spectrum occupancy measurement)

การวัดปริมาณการใช้ความถี่วิทยุ คือ การวัดระดับความมากน้อยของการใช้ความถี่วิทยุหรือการใช้ช่องสัญญาณ เพื่อประกอบการพิจารณาจัดสรรความถี่วิทยุและเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบสำหรับภารกิจการตรวจสอบและเฝ้าฟังวิทยุ

ในการจัดสรรความถี่วิทยุ นั้น ข้อมูลการวัดปริมาณการใช้ความถี่วิทยุจะใช้เป็นสถิติประกอบการเลือกความถี่ที่จะจัดสรรให้กับผู้ใช้ความถี่วิทยุรายใหม่ หรือจัดสรรเพิ่มเติมให้กับผู้ใช้รายเดิม ใช้เป็นสถิติแสดงอัตราการเจริญเติบโตของการใช้ความถี่วิทยุต่างๆ (ปริมาณการใช้เมื่อระยะเวลาผ่านไป) รวบรวมเป็นสถิติการใช้งานและความแออัดคับคั่งของช่องสัญญาณหรือของย่านความถี่ (channel or band loading) และเพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่ทำนายปริมาณการใช้งานว่ามีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด

สำหรับการตรวจสอบและเฝ้าฟังวิทยุ นั้น ข้อมูลที่ได้จากการวัดปริมาณการใช้ความถี่วิทยุจะถูกเก็บรวบรวมไว้ประกอบการพิจารณาการใช้งานความถี่วิทยุเทียบกับข้อมูลที่มีอยู่ในระบบฐานข้อมูล และใช้เป็นข้อมูลประกอบการแก้ไขปัญหาการรบกวน เนื่องจากปริมาณการใช้ความถี่วิทยุอาจใช้เป็นข้อมูลของการรบกวนไม่เพียงประสงค์ทั้งที่เกิดตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้น

เครื่องรับที่ใช้ในการวัดปริมาณการใช้ความถี่วิทยุ มักแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ 9 kHz – 30 MHz / 20 MHz – 1000 MHz และมากกว่า 1 GHz และควรจะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- 1) มีวงจรรองความถี่ภาค RF ที่เหมาะสมกับการใช้งาน นั่นคือ มีวงจรรองความถี่เพียงพอที่จะไม่ก่อให้เกิดการมอดูเลตระหว่างกัน
- 2) มีวงจรรองความถี่ภาค IF ที่มีแถบผ่านแคบพอเหมาะกับกับการใช้งาน
- 3) มีอุปกรณ์ลดทอนสัญญาณที่สามารถปรับค่าได้
- 4) มีอินเตอร์เฟสเพื่อเชื่อมต่อกับความถี่มาตรฐานได้
- 5) สามารถวัดความแรงสนามได้อย่างเที่ยงตรง นั่นคือ มีอุปกรณ์ควบคุมที่สามารถปรับแก้ค่าแรงดันไฟฟ้าหรือกำลังที่วัดได้ที่อินพุทของเครื่องรับ ไปเป็นค่าความแรงสนามหรือความหนาแน่นฟลักซ์กำลัง โดยใช้ค่าตัวประกอบสายอากาศหรือพื้นที่ประสิทธิผล แล้วแต่กรณี
- 6) สามารถทำการตรวจหรือสแกน (scan) ความถี่ของช่องสัญญาณที่จะทำการวัดได้อย่างรวดเร็ว
- 7) มีอินเตอร์เฟสเชื่อมต่อกับอุปกรณ์แสดงผล เช่น จอภาพ หรืออุปกรณ์บันทึกผล เช่น เครื่องพิมพ์ เพื่อแสดงข้อมูลที่วัดและเก็บบันทึกไว้ได้ในลักษณะ online
- 8) อาจจำเป็นต้องมีความสามารถในการตัดทอนจำนวนข้อมูลที่มากเกินไปให้ลดลงเท่าที่เหมาะสมได้โดยอัตโนมัติ

• ข้อมูลที่ได้จากการวัดควรประกอบด้วยข้อมูลดังต่อไปนี้

- 1) วัน เวลาเริ่มต้น และเวลาสิ้นสุดของการส่งสัญญาณ
- 2) ความถี่ที่วัดได้
- 3) ประเภทของการแพร่
- 4) ค่าความกว้างแถบความถี่ (ที่วัดได้หรือที่ประมาณค่า)
- 5) ลักษณะการแสดงตน เช่น สัญญาณเรียกขาน
- 6) ตำแหน่ง พิกัดที่ตั้ง มุมบอกทิศ หรือ QTE (มุมบอกทิศจริงของสถานี เมื่อเทียบกับสถานีอ้างอิง เช่น สถานีตรวจสอบและเฝ้าฟังวิทยุ)
- 7) ประเภทของสถานี และลักษณะการใช้งาน
- 8) ความแรงสนามหรือความหนาแน่นฟลักซ์กำลังที่วัดได้ หรือถ้าวัดโดยใช้หลักการดังกล่าวไม่ได้ ก็ให้ใช้ QSA level ระดับ 1 – 5 แทน (ระดับ 1 อ่อนมากจนรับสัญญาณแทบไม่ได้เลย ระดับ 2 อ่อน ระดับ 3 แรงพอใช้ได้ ระดับ 4 แรงดี ระดับ 5 แรงดีมาก)

• ควรจะมีคุณสมบัติขั้นต่ำของอุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาณการใช้ความถี่วิทยุอัตโนมัติ ดังต่อไปนี้

ย่านความถี่วิทยุที่วัดได้	20 MHz – 2.7 GHz
sweep frequency range	20 – 5000 kHz (analog system) 20 kHz – 100 MHz (digital system)
numbers of sweep per minute	ปรับค่าได้ตั้งแต่ 6 – 6000
ความไว	1 μ V หรือดีกว่า
resolution bandwidth	ปรับค่าได้ตั้งแต่ 10 Hz – 10 kHz

ข้อมูลพื้นฐานที่กัก ได้แก่ ความถี่ที่รับได้ ความกว้างแถบความถี่ ความแรงสนาม และระยะเวลาที่ช่องสัญญาณมีการใช้งาน

2.4.2 ข้อจำกัดของการวัด

ความเชื่อถือได้ของการวัดปริมาณการใช้ความถี่วิทยุ จะขึ้นอยู่กับลักษณะของการสุ่มตัวอย่างสัญญาณ โดยพิจารณาจากจำนวนครั้งของการสุ่ม เพื่อให้ข้อมูลที่ให้เป็นข้อมูลเชิงสถิติที่มีนัยสำคัญ เช่น ต้องสุ่มตัวอย่างประมาณ 4000 ครั้ง (แต่ละครั้งห่างกันประมาณ 45 วินาที) ซึ่งต้องใช้เวลาดำเนินการทั้งหมดประมาณ 5 ชั่วโมง ที่ปริมาณการใช้งาน 30% จึงจะเชื่อถือได้ที่ระดับความมั่นใจ 95%

นอกจากปริมาณการใช้ความถี่วิทยุแล้ว ค่าพารามิเตอร์ทางเทคนิคอย่างอื่นที่วัดได้โดยอุปกรณ์ตรวจสอบและเฝ้าฟังวิทยุระบบอัตโนมัติ อาจจะมีข้อจำกัดอย่างอื่นที่ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์เป็นต้นว่า ความคลาดเคลื่อนของความกว้างแถบความถี่ที่วัดได้ โดยเฉพาะกับการแพร่ที่มีแถบความถี่แคบกว่า 2 kHz เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้วัดมี sweep frequency range และ resolution bandwidth ที่จำกัด หรือความแรงสนามที่วัดได้ อาจจะขึ้นอยู่กับโพลาริเซชันและสภาพเจาะจงทิศทาง (directivity) ของสายอากาศ รวมทั้งความคลาดเคลื่อนที่เกิดจาก sweep process ของอุปกรณ์วัดด้วย

2.5 การหาทิศทางวิทยุ

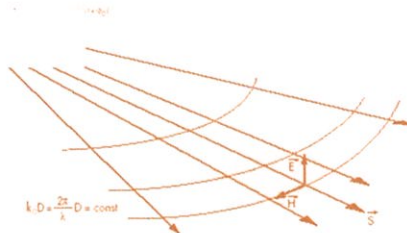
การหาทิศทางวิทยุมีวัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์ทราบตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยอาศัยคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่น ในการหาตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งกำเนิดการแพร่ นั้น สถานีหาทิศทางประจำที่สามารถที่จะระบุตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งกำเนิดคลื่นได้ในระยะไม่กี่กิโลเมตร โดยใช้หลักการเส้นตัดรูปสามเหลี่ยม (triangulation) หลังจากนั้นจะใช้อุปกรณ์หาทิศทางที่ติดตั้งภายในรถยนต์ช่วยเพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งโดยละเอียด และในขั้นตอนสุดท้ายก็สามารถที่จะใช้อุปกรณ์หาทิศทางแบบเคลื่อนย้ายได้ (portable)

อุปกรณ์หาทิศทางวิทยุ คือ อุปกรณ์ตัวตรวจ (sensor) ที่จะประมาณทิศทางของแหล่งกำเนิดคลื่นวิทยุ โดยทำการวัดและประเมินผลค่าพารามิเตอร์ทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า อุปกรณ์หาทิศทางทุกประเภทจะใช้สัญญาณที่แตกต่างกันเนื่องจากการประวิงเวลา (delay) ซึ่งตกกระทบยังอะเพอร์เจอร์ของสายอากาศ (ความยาวหรือพื้นที่ที่สายอากาศใช้ในการรับสัญญาณ) แล้วนำมาคำนวณหามุมบอกทิศทาง (bearing)

2.5.1 หลักการหาทิศทางวิทยุ

การหาทิศทางวิทยุจะอาศัยคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมีสมมุติฐานว่าคลื่นที่แพร่กระจายออกจากแหล่งกำเนิดคลื่นโดยปราศจากสิ่งกีดขวาง เมื่อพิจารณาที่ระยะทางไกลพอสมควรจาก

แหล่งกำเนิดนั้น องค์ประกอบสนามแผ่พลังงาน (radiating field) จะถูกลดทอนหายไปเกือบหมด ดังนั้น คลื่นที่แพร่กระจายถือว่าเป็นคลื่นระนาบ (plane wave) ได้ ซึ่งคุณสมบัติของคลื่นระนาบที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจะมีเฟสเดียวกันและตั้งฉากซึ่งกันและกัน และสนามทั้งสองสนามจะตั้งฉากกับทิศทางการแพร่กระจายคลื่นดังภาพ



รูปที่ 2.3 สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กตั้งฉากกันกับทิศทางการแพร่กระจายคลื่น

ซึ่งคุณสมบัติที่ว่าสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าจะมีทิศตั้งฉากกับทิศทางของการแพร่กระจายคลื่น และพื้นผิวของเฟส จะตั้งฉากกับทิศทางของการแพร่กระจายคลื่น จะนำมาใช้เป็นหลักการพื้นฐานในการหาทฤษฎี

อุปกรณ์หาทฤษฎี จะแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ตามวิธีการหาทิศ ดังนี้

1) การหาทิศโดยใช้โพลาริเซชัน จะวัดทิศของสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็ก เพื่อหาทิศของคลื่นที่ตกกระทบ มักจะใช้สายอากาศไดโพล (Dipole antenna) เป็นสายอากาศสำหรับหาทิศเหมาะสมกับสถานะที่มีพื้นที่ในการติดตั้งอุปกรณ์หาทิศไม่มากนัก เช่น ในรถยนต์ หรือในเรือ

2) การหาทิศโดยใช้เฟส จะวัดทิศทางของพื้นผิวหน้าคลื่นที่มีเฟสเท่ากัน (หรือเส้นแสดงหน้าคลื่นที่มีเฟสเท่ากัน ในกรณีที่ไม่สนใจมุมเงย) ซึ่งสามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 ประเภท คือ

- การหาทิศโดยใช้คุณสมบัติเชิงทิศ นั่นคือ จะทำการวัดคลื่นที่มาตกกระทบ ณ จุดต่าง ๆ ในระบบสายอากาศ และทำการรวมสัญญาณเข้าด้วยกัน สัญญาณที่ถูกรวมเข้าด้วยกันนี้จะมีค่าสูงสุด ณ มุมของสายอากาศที่ค่าความต่างเฟสน้อยที่สุด ดังนั้นสัญญาณผลรวมนี้จะตั้งฉากกับพื้นผิวหน้าคลื่นที่มีเฟสเท่ากันเสมอ และบอกทิศของคลื่นที่มาตกกระทบได้ หรือในทางกลับกันสัญญาณที่ถูกรวมเข้าด้วยกัน อาจจะถูกทำให้มีค่าต่ำสุด ณ มุมของสายอากาศที่ความต่างเฟสมากที่สุด ก็จะได้ผลลัพธ์ทิศของคลื่นที่ตกกระทบเช่นเดียวกัน

- การหาทิศโดยวิธีอะเพอร์เจอร์แซมปลิง (aperture sampling) ซึ่งจะทำการสุ่มตัวอย่าง (sampling) สัญญาณที่เข้ามาตกกระทบหลาย ๆ จุด แล้วนำไปประมวลผลทางคณิตศาสตร์โดยใช้วงจรประมวลผลแบบอนุกรมหรือแบบขนาน

2.5.2 หลักในการพิจารณาเลือกอุปกรณ์หาทิศ

- 1) ความเที่ยงตรง (accuracy) ไม่ควรจะมีผิดพลาดเกิน 1 องศา
- 2) ความไว (sensitivity) ควรจะมีค่าที่ดี เพื่อสามารถรับสัญญาณอ่อนได้
- 3) ความปลอดภัยจากหน้าคลื่นที่ผิดเพี้ยน (immunity to distorted wavefronts)

เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไม่ได้แพร่กระจายโดยปราศจากสิ่งกีดขวาง ดังนั้นคลื่นที่ได้รับจะเกิดการสะท้อน หักเห เลี้ยวเบน เนื่องมาจากสิ่งกีดขวาง และเนื่องจากชั้นบรรยากาศ (ในกรณีของคลื่นในย่าน HF)

ทำให้หน้าคลื่นที่ได้รับเกิดการผิดเพี้ยน ซึ่งทำให้ความยาวของสายอากาศหาคณิต (D) มีผลต่อการรับสัญญาณ เพราะจะเป็นสัดส่วนกับความยาวคลื่น ซึ่งในกรณีของหน้าคลื่นที่ผิดเพี้ยนจะทำให้บอกทิศทางที่ได้ผิดพลาด

ดังนั้น จึงควรเลือกสายอากาศสำหรับหาคณิตที่ค่าความยาวเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น $\left(\frac{D}{\lambda}\right)$ มีค่าสูง เพื่อลดความผิดพลาดจากหน้าคลื่นที่ผิดเพี้ยน โดย

$\frac{D}{\lambda} > 1$ จะเรียกว่า wide aperture direction finder

$\frac{D}{\lambda} < \frac{1}{2}$ จะเรียกว่า narrow aperture direction finder

$\frac{1}{2} < \frac{D}{\lambda} < 1$ จะเรียกว่า medium aperture direction finder

• ผลของการเปลี่ยนโพลาไรเซชัน (depolarization)

การที่ระนาบโพลาไรเซชันของคลื่นตกกระทบอุปกรณ์หาคณิตไม่ตรงกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับระบบสายอากาศและวิธีการหาคณิตที่ใช้งาน โดยส่วนใหญ่แล้วเครื่องส่งวิทยุคมนาคมจะใช้โพลาไรเซชันแนวตั้ง ดังนั้น อุปกรณ์หาคณิตในย่าน VHF และ UHF จึงประกอบด้วยไดโพลที่วางในแนวตั้งเป็นหลัก หากคลื่นที่ตกกระทบมีองค์ประกอบแนวนอนน้อยก็就会有ความผิดพลาดในการบอกทิศทางน้อยไปด้วย

• ผลของการรบกวนร่วมช่องสัญญาณ (effect of co-channel interference)

เมื่อมีสัญญาณอื่นที่ใช้ความถี่เดียวกันปรากฏในช่องสัญญาณเดียวกันกับช่องสัญญาณที่ต้องการหาคณิต อุปกรณ์หาคณิตควรมีความสามารถที่จะแยกแยะสัญญาณที่ต้องการออกจากสัญญาณที่ไม่ต้องการได้ และสามารถหามุมบอกทิศทางของแต่ละสัญญาณได้ถ้าจำเป็น

2.5.3 อุปกรณ์หลักสำหรับหาคณิต

จะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่อผ่านสาย GX 055 เครื่องรับ VHF/UHF Receiver ESM 500 ซึ่งอาจใช้ร่วมกับอุปกรณ์แสดงผลแนวกว้าง panoramic adapter AZP และอุปกรณ์บอกทิศทาง VHF/UHF DF Unit PP 055 S ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.7 ซึ่งอุปกรณ์ทั้งหมดนี้จะทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณที่ได้รับจากทั้งสายอากาศหาคณิต และสายอากาศอ้างอิง เพื่อหาคณิตของคลื่นตกกระทบแล้วแสดงผลมุมบอกทิศทางที่ได้



รูปที่ 2.4 เครื่องรับ (Receiver) ESM500 และอุปกรณ์บอกทิศทาง (DF Unit) PP 055 S

อุปกรณ์ต่อผ่านสาย (Junction Unit) GX 055 จะทำหน้าที่รับสัญญาณบอกทิศทาง 2 ช่องสัญญาณ และสัญญาณอ้างอิงอีก 1 ช่องสัญญาณ เพื่อจะส่งต่อสัญญาณบอกทิศทางไปยังอุปกรณ์หาคณิตและส่งต่อสัญญาณอ้างอิงไป

ยังเครื่องรับ โดยจะทำการแปลงสัญญาณบอกทิศทางทั้งสองช่อง (CW และ CCW) ให้เป็นสัญญาณความถี่ IF ที่ 5.1 kHz โดยใช้หลักการชดเชยสัญญาณซึ่งจะได้กล่าวต่อไป นอกจากนี้อุปกรณ์ต่อผ่านสายยังทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ระบบอุปกรณ์หาทิศทางรวมทั้งระบบสายอากาศทั้งหมดด้วย

เครื่องรับ (Receiver) ESM500 จะรับสัญญาณอ้างอิงจากอุปกรณ์สแกนนิ่งที่ผ่านอุปกรณ์ต่อผ่านสายแล้วทำการแปลงสัญญาณดังกล่าวให้เป็นสัญญาณความถี่ IF ที่ 10.7 MHz โดยใช้หลักการชดเชยสัญญาณเช่นเดียวกัน ซึ่งเครื่องรับนี้สามารถทำการประมวลผลและแสดงผลสัญญาณที่ได้รับเช่นเดียวกับเครื่องรับที่ใช้สำหรับการตรวจสอบและเฝ้าฟังวิทยุทั่วไป

อุปกรณ์แสดงผลแนวกว้างความถี่ RF (RF panoramic display) AZP จะช่วยในการแสดงลักษณะของความถี่วิทยุที่ได้รับบนหน้าจอ คล้ายกับเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม แสดงได้กว้างถึง 500 MHz ในหน้าจอเดียว โดยจะแสดงความถี่วิทยุที่เครื่องรับปรับไว้เป็นมาร์กเกอร์ (marker) บนจอแสดงผล นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลแนวกว้างที่ความถี่ IF และแสดงระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับเพื่อทำการเปรียบเทียบกันได้ด้วย และหากนำไปต่อพ่วงกับอุปกรณ์บันทึกผลการตรวจสอบและเฝ้าฟังวิทยุ ก็จะสามารถวัดและแสดงปริมาณการใช้ความถี่ในแต่ละย่านที่ทำการตรวจวัดได้

อุปกรณ์บอกทิศ (DF Unit) PP 055 S จะทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณ IF ที่ได้จากสัญญาณบอกทิศทางทั้งสองช่องสัญญาณ แล้วแสดงผลมุมบอกทิศในลักษณะอนาลอกบนจอ CRT ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นคุณภาพของมุมบอกทิศที่ได้ (ว่ามีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด) และแสดงความชัดเจนในการเข้าหาเป้าหมาย (homing) หรือแสดงผลมุมบอกทิศในลักษณะดิจิทัล เป็นตัวเลขปรากฏที่จอแสดงผล ซึ่งจะบอกในสองลักษณะ คือ แบบขณะใดขณะหนึ่ง (instantaneous) แสดงผลมุมบอกทิศในขณะนั้นเป็นตัวเลข 3 หลัก ($0^{\circ} - 359^{\circ}$) ทุก ๆ 1 วินาที หรือแบบเฉลี่ย ซึ่งจะแสดงผลมุมบอกทิศที่ถูกเฉลี่ยจากมุมบอกทิศทั้งหมด 10 ค่า (จึงใช้เวลาในการเฉลี่ยทั้งหมด 10 วินาที) เป็นตัวเลขมุมบอกทิศ 3 หลัก ($0^{\circ} - 359^{\circ}$) และตัวเลขความคลาดเคลื่อนอีก 2 หลัก ($\pm 0^{\circ} - 99^{\circ}$)

2.5.4 หลักการทำงานของอุปกรณ์หาทิศ

อุปกรณ์หาทิศ PA 055 จะใช้หลักการทำงานแบบเสมือนดอปเปลอร์ (quasi-Doppler) โดยใช้เทคนิคการชดเชยสัญญาณประกอบ

ระบบสายอากาศของอุปกรณ์หาทิศ PA 055 จะทำงานเสมือนเป็นสายอากาศไดโพลที่หมุนรอบจุดศูนย์กลางเป็นวงกลม โดยอาศัยการสแกนเฟสของสัญญาณที่มาจากกระทบ ณ จุดต่างๆ ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์จะทำให้ความถี่ที่ได้รับเพิ่มขึ้นเมื่อสายอากาศเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดคลื่น และลดลงเมื่อสายอากาศเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดคลื่น โดยไม่ขึ้นกับโพลาริเซชันของคลื่นที่ตกกระทบ ดังนั้นความถี่ของสัญญาณที่ได้รับจึงเสมือนถูกมอดูเลตเชิงความถี่เป็นสัดส่วนกับความเร็วในการหมุน ซึ่งในที่นี้จะใช้ความเร็ว 170 รอบต่อวินาที หรือความถี่ 170 Hz ซึ่งเฟสของสัญญาณที่วัดได้ สามารถนำไปประมวลผลเพื่อแสดงทิศทางของคลื่นตกกระทบหรือมุมทิศ (azimuth) ได้

เนื่องจากความถี่ในการสแกนสายอากาศเท่ากับ 170 Hz ดังนั้น คลื่นที่มาตกกระทบจะต้องมีอยู่ต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลา 5.8 ms (เวลาที่ใช้ในการสแกน 1 รอบ) เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณทั้งหมดอย่างน้อยจึงเท่ากับ 5.8 ms บวกกับเวลาที่ใช้ในการประมวลผล

ความคลาดเคลื่อนของมุมทิศทางที่ได้จากการใช้รถยนต์ตรวจสอบฝ้าฟังและหาทิศทาง จะเกิดจากตัวถังของรถยนต์ด้วย ซึ่งทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน (เป็นองศา) ที่แปรตามความถี่รับโดยเฉพาะในย่านความถี่ VHF (low band)

2.6 การหาตำแหน่งที่ตั้ง

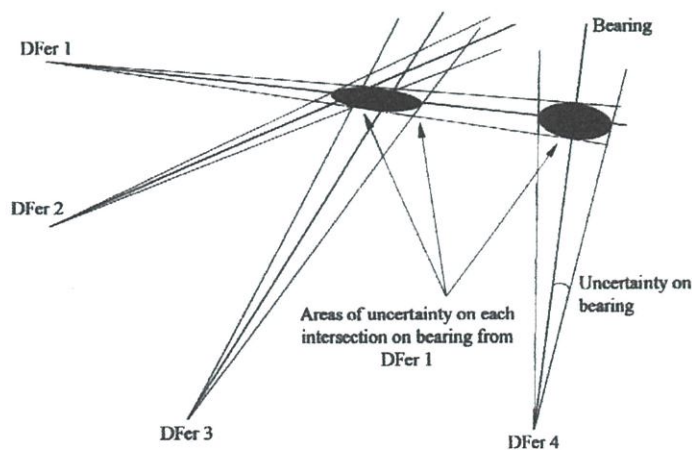
โดยทั่วไปแล้วเส้นมุมบอกทิศทางที่ได้จากอุปกรณ์หาทิศทางไม่สามารถช่วยในการพิสูจน์ทราบตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวิทยุคมนาคมได้ จำเป็นต้องมีวิธีที่สามารถระบุตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวิทยุคมนาคมนั้น ซึ่งมักจะใช้วิธีเส้นตัดรูปสามเหลี่ยม (triangulation) โดยใช้เส้นมุมบอกทิศทางอย่างน้อย 3 เส้นขึ้นไป หรือใช้หลักการวิเคราะห์เวลาคลื่นตกกระทบที่แตกต่างกัน (time difference of arrival) โดยใช้หลักการวิเคราะห์ลักษณะของคลื่นที่ได้รับที่สถานีรับที่อยู่ห่างจากเครื่องส่งในระยะทางที่ไม่เท่ากัน

2.6.1 การหามุมบอกทิศทางที่เชื่อถือได้

ค่ามุมบอกทิศทางที่ได้จากอุปกรณ์หาทิศทางแต่ละค่า จะต้องนำมาประเมินความน่าเชื่อถือโดยวิธีการทางสถิติ เพื่อที่จะคัดเลือกค่ามุมบอกทิศทางที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแง่สถิติออกไป ซึ่งอาจใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยของมุมบอกทิศทางที่ได้ ไม่ว่าจะ เป็นมุมทิศ มุมเงย และค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความสามารถของสถานีหาทิศทางนั้น ๆ ว่าทำการคัดเลือกได้มากน้อยเพียงใด

2.6.2 การตัดเส้นมุมบอกทิศทางที่ไม่เข้าพวกออก

ในการคำนวณหาตำแหน่งที่ตั้งแต่ละครั้ง มุมบอกทิศทางที่ได้จากอุปกรณ์หาทิศทางจะถูกนำมาคำนวณและประเมินความเป็นไปได้ ที่จะนำมาใช้เพื่อการคำนวณหาตำแหน่งที่ตั้ง ดังตัวอย่างแสดงให้เห็นในรูป 1-2 ซึ่งมีข้อมูลเส้นมุมบอกทิศทางที่ได้จากสถานีหาทิศทางจำนวน 4 สถานี แต่ละสถานีมีความคลาดเคลื่อนของเส้นมุมบอกทิศทางที่ต่างกัน จะเห็นว่าข้อมูลจากสถานีหาทิศทางที่ 4 ไม่สามารถนำมาใช้ในการคำนวณได้ เนื่องจากพื้นที่ไม่ซ้อนทับกับข้อมูลที่ได้จากสถานีอื่น ดังนั้น จำเป็นต้องตัดข้อมูลของสถานีหาทิศทางที่ 4 ออกไป ไม่นำมาใช้ในการคำนวณ



รูปที่ 2.5 การตัดเส้นมุมบอกทิศทางที่ไม่เข้าพวกออกไป

2.7 การวัดการแผ่รังสีไม่พึงประสงค์ (Measurement of unwanted emission)

2.7.1 คำจำกัดความที่สำคัญ

➤ การแผ่รังสีไม่พึงประสงค์ (unwanted emission) ประกอบด้วยการแผ่รังสีแปลกปลอมและการแผ่รังสีนอกแถบรวมกัน

➤ การแผ่รังสีแปลกปลอม (spurious emission) คือ การแผ่รังสีที่ความถี่หรือย่านความถี่ใด ๆ ที่อยู่นอกแถบความถี่ที่จำเป็นออกไป และสามารถลดระดับความแรงของการแผ่รังสีนั้นได้โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อการใช้งาน การแผ่รังสีแปลกปลอมประกอบด้วยการแผ่รังสีฮาร์โมนิก การแผ่รังสีพาราซิติก ผลของการมอดูเลตระหว่างกัน และผลของการแปลงความถี่ แต่จะไม่รวมถึงการแผ่รังสีนอกแถบ

➤ การแผ่รังสีนอกแถบ (out-of-band emission) คือ การแผ่รังสีที่ความถี่หรือย่านความถี่ใด ๆ ที่อยู่ถัดจากความถี่ที่จำเป็น ซึ่งเกิดจากกระบวนการมอดูเลตสัญญาณ แต่จะไม่รวมการแผ่รังสีแปลกปลอม

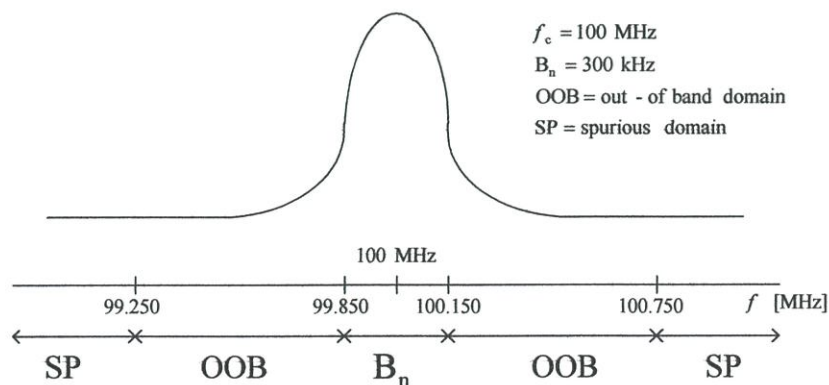
➤ ความถี่ที่จำเป็น (necessary bandwidth) ของประเภทการแผ่รังสีแบบใด หมายถึง ความถี่ของแถบความถี่ที่พอเพียงสำหรับการส่งข่าวสารที่ความเร็วและคุณภาพตามที่ระบุไว้

ในกรณีของเครื่องส่งหรือทรานสปอนเดอร์ที่มีหลายช่องสัญญาณหรือหลายคลื่นพาห์ ซึ่งส่งคลื่นพาห์หลายคลื่นพร้อมกันจากวงจรขยายออกภาคสุดท้าย (final RF amplifier) หรือจากสายอากาศแอกทีฟ จะถือว่าค่าความถี่ที่จำเป็นเท่ากับความถี่ที่ 3 dB ของเครื่องส่งหรือทรานสปอนเดอร์นั้น แต่กรณีนี้จะไม่ใช่กับสถานีฐานในกิจการเคลื่อนที่ หรือสถานีฐานในลักษณะ fixed wireless access

ในกรณีของกิจการตรวจการณและตรวจค้นหา (radiodetermination service) หรือเรดาร์ ให้ใช้ช่วงความถี่ที่เรดาร์นั้นปรับจูนไว้

➤ โดเมนนอกแถบ (out-of-band domain) คือ ช่วงความถี่ที่อยู่ถัดจากความถี่ที่จำเป็น แต่ไม่รวมถึงโดเมนแปลกปลอม ซึ่งการแผ่รังสีนอกแถบมักจะเกิดขึ้นในความถี่ช่วงดังกล่าว

➤ โดเมนแปลกปลอม (spurious domain) คือ ช่วงความถี่ที่อยู่เลยโดเมนนอกแถบออกมา ซึ่งการแผ่รังสีแปลกปลอมมักจะเกิดขึ้นในความถี่ช่วงดังกล่าว ทั้งนี้ ข้อบังคับวิทยุกำหนดไว้ว่า ในกรณีปกติโดเมนแปลกปลอม คือ ช่วงความถี่ที่อยู่ห่างจากความถี่ศูนย์กลาง (center frequency) ของการแผ่รังสีเป็นระยะห่าง 250% ของค่าความถี่ที่จำเป็นหรือมากกว่าออกไป



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่จำเป็น โดเมนนอกแถบ และโดเมนแปลกปลอม

อย่างไรก็ตามในบางกรณีการกำหนดความถี่ที่อยู่ในโดเมนใดอาจจะขึ้นอยู่กับประเภทของการมอดูเลต อัตราความเร็วบิตในการส่งข้อมูล (ในกรณีการส่งสัญญาณแบบดิจิทัล) ลักษณะของเครื่องส่งและหลักการประสานงานความถี่วิทยุด้วย อาจแตกต่างจากหลักการที่ใช้ค่า 250% ที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยเฉพาะในกรณีของการส่งสัญญาณแบบดิจิทัลแบบแถบความถี่กว้างหรือที่ใช้การมอดูเลตเชิงพัลส์ ทั้งนี้ การแพร่แบบแถบความถี่กว้างกับการแพร่แบบแถบความถี่แคบ จะพิจารณาที่ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างแถบความถี่ของการแพร่เมื่อเทียบกับความกว้างแถบผ่านของเครื่องรับหรือเครื่องมือวัดเป็นหลัก

ในกรณีของการใช้ความถี่วิทยุในกิจการประจำที่ระบบดิจิทัล ได้มีข้อเสนอแนะเพื่อใช้ในการคำนวณค่าความกว้างแถบความถี่ที่จำเป็นสำหรับระบบข่ายเชื่อมโยงประจำที่แบบหลายคลื่นพาห์ (multi-carrier fixed link) และกำหนดให้ใช้ค่า $\pm 250\%$ ของค่าความห่างระหว่างช่องสัญญาณ (channel spacing หรือ channel separation) แทนค่า $\pm 250\%$ ของค่าความกว้างแถบความถี่ที่จำเป็นในการประสานงานการใช้ความถี่วิทยุระหว่างกัน และในการคำนวณค่าขีดจำกัดการแพร่แปลกปลอมที่ยอมรับให้มีได้

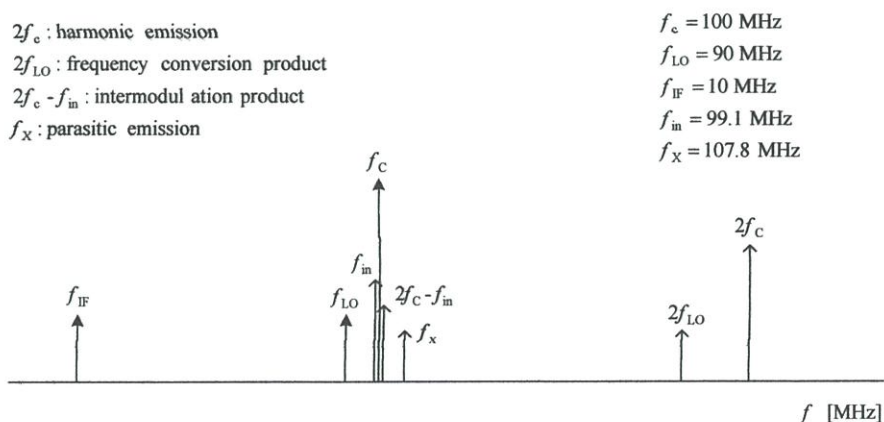
➤ การแพร่ฮาร์โมนิก (harmonic emission) คือ การแพร่แปลกปลอมที่ความถี่ที่เป็นค่าทวีคูณของความถี่ศูนย์กลาง

➤ การแพร่พาราซิติค (parasitic emission) คือ การแพร่แปลกปลอมที่ความถี่หรือช่วงความถี่ใด ๆ ที่ไม่ขึ้นอยู่กับคลื่นพาห์หรือความถี่เชิงลักษณะของการแพร่ และไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ของการออสซิลเลชันที่เกิดจากการสร้างความถี่คลื่นพาห์หรือความถี่เชิงลักษณะดังกล่าว

➤ ผลของการมอดูเลตระหว่างกัน (intermodulation product) คือ การแพร่แปลกปลอมที่เกิดจากการมอดูเลตระหว่างกันของการออสซิลเลชันที่ความถี่คลื่นพาห์หรือความถี่เชิงลักษณะของการแพร่หรือการออสซิลเลชันที่เกิดจากการสร้างความถี่คลื่นพาห์หรือความถี่เชิงลักษณะดังกล่าว กับการออสซิลเลชันแบบเดียวกันที่เกิดกับการแพร่ของเครื่องส่งเดียวกันหรือเครื่องส่งอื่น

➤ ผลของการแปลงความถี่ (frequency conversion product) คือ การแพร่แปลกปลอม (ไม่รวมการแพร่ฮาร์โมนิก) ที่ความถี่ของการออสซิลเลชันเพื่อสร้างความถี่คลื่นพาห์หรือความถี่เชิงลักษณะของการแพร่นั้น หรือที่ความถี่ซึ่งเป็นค่าทวีคูณหรือค่าผลบวกและผลต่างของค่าทวีคูณเหล่านั้นได้

➤ ความถี่เชิงลักษณะ (characteristic frequency) คือ ความถี่ที่สามารถระบุค่าและทำการวัดได้โดยง่ายสำหรับการแพร่ประเภทนั้น ๆ เช่น ความถี่คลื่นพาห์ หรือความถี่ศูนย์กลางของการแพร่



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่ฮาร์โมนิก การแพร่พาราซิติค ผลของการมอดูเลตระหว่างกัน และผลของการแปลงความถี่

ในที่นี้ จะใช้คำว่า “การแพร่แปลกปลอม” ให้ครอบคลุมการแพร่ไม่พึงประสงค์ในโดเมนแปลกปลอม และ “การแพร่นอกแถบ” ให้ครอบคลุมการแพร่ไม่พึงประสงค์ในโดเมนนอกแถบ

การแสดงค่าระดับการแพร่แปลกปลอมมักจะใช้หน่วยของกำลัง ซึ่งอาจจะเป็นค่ากำลังเอนVELOPE สูงสุด (peak envelope power) หรือค่ากำลังเฉลี่ย (mean power) ที่ส่งผ่านเข้าสายอากาศโดยเครื่องส่งที่ ความถี่ของการแพร่แปลกปลอมนั้น และที่ค่าความกว้างแถบความถี่อ้างอิงที่กำหนด

ค่าความกว้างแถบความถี่อ้างอิงจะต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.2 เว้นแต่ในกรณีของการ แพร่แปลกปลอมในกิจการสื่อสารผ่านดาวเทียม จะใช้ค่าความกว้างแถบความถี่อ้างอิงที่ 4 kHz

ตารางที่ 2.2 ความถี่ของการแพร่และความกว้างแถบความถี่อ้างอิง

ความถี่ของการแพร่	ความกว้างแถบความถี่อ้างอิง
9 – 150 kHz	1 kHz
150 kHz – 30 MHz	10 kHz
30 MHz – 1 GHz	100 kHz
> 1 GHz	1 MHz

การแสดงค่าระดับการแพร่แปลกปลอม อาจจะใช้หน่วยของความแรงสนามหรือค่าความหนาแน่น พลังก์กำลังบนพื้นผิวโลกที่ความถี่ของการแพร่นั้นเป็นตัวแสดงค่าก็ได้

- กำลังที่ส่งเข้าสายอากาศ (power supplied to the antenna : p.s.a) หมายถึง กำลังที่ เครื่องส่งส่งเข้ายังขั้วต่อของสายอากาศ ซึ่งวัดได้ง่าย (ยกเว้นเครื่องส่งที่ใช้สายอากาศแบบติดประจำเครื่อง และเครื่องส่งกำลังสูงในย่าน VLF และ LF ที่วัดไม่ได้ หรือวัดได้ยาก) มักใช้กับเครื่องส่งที่ความถี่ต่ำกว่า 30 MHz และเครื่องส่งที่ความถี่สูงกว่า 30 MHz ที่มีขั้วต่อสายอากาศ ค่ากำลังที่ส่งเข้าสายอากาศนี้จะแสดงให้เห็นถึงความสามารถของเครื่องส่งที่จะส่งการแพร่ไม่พึงประสงค์เข้าไปยังสายอากาศ แต่ไม่ได้บอกถึงคุณสมบัติ ของสายอากาศที่จะแผ่พลังงานความถี่วิทยุที่ความถี่อื่นนอกเหนือจากที่ได้ออกแบบไว้แต่แรก

- กำลังแผ่สมมูลแบบไอโซทรอปิก หรือกำลังส่งออกอากาศไอโซทรอปิก (equivalent isotropically radiated power : e.i.r.p) ซึ่งมักใช้กับเครื่องส่งที่ความถี่สูงกว่า 30 MHz โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กับเครื่องส่งที่ใช้สายอากาศแบบติดประจำเครื่อง จะแสดงให้เห็นถึงกำลังส่งที่แพร่ออกจากสายอากาศนั้น เมื่อเทียบกับสายอากาศไอโซทรอปิกซึ่งบอกลักษณะของการแพร่ไม่พึงประสงค์ได้ดีกว่า แต่ว่ามักจะหา ความสัมพันธ์ระหว่าง e.i.r.p และ p.s.a ในส่วนของการแพร่ไม่พึงประสงค์ได้ยาก เนื่องจากไม่ทราบลักษณะ ทางเทคนิคของสายอากาศหรือขั้วต่อที่ความถี่ที่อยู่นอกเหนือจากย่านความถี่ที่ออกแบบไว้

- กำลังแผ่ประสิทธิภาพ หรือกำลังส่งออกอากาศ (effective radiated power : e.r.p) จะเป็น กำลังส่งที่แพร่ออกจากสายอากาศนั้น เมื่อเทียบกับสายอากาศไดโพลครึ่งคลื่นซึ่งปรับความถี่ไว้แล้ว

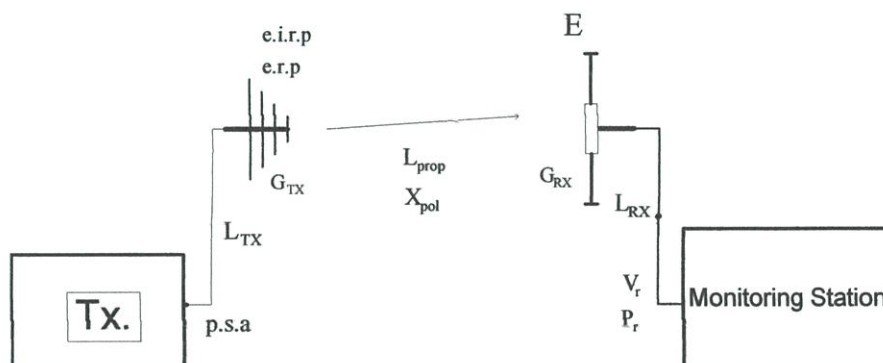
ความสัมพันธ์ระหว่าง e.i.r.p และ e.r.p แสดงได้ดังนี้

$$e.i.r.p \text{ [dBW]} = e.r.p. \text{ [dBW]} + 2.15 \text{ [dB]}$$

หน่วยที่ใช้ในการระบุค่ากำลัง มักจะใช้หน่วยเป็นวัตต์ (W) และหน่วยย่อยของวัตต์ (เช่น mW, μ W, nW และ pW) หรือหน่วยลอการิทึมของกำลัง (เช่น dBW, dBm หรือ dBpW) หรืออาจจะใช้หน่วยความ หนาแน่นกำลังในช่วงความถี่อ้างอิงก็ได้

สำหรับหน่วยที่ใช้ในการระบุความแรงสนาม (ทั้งในกรณีของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า) และความหนาแน่นฟลักซ์กำลัง ได้กล่าวไว้

ในกรณีของการวัดการแพร่แปลงปลอมโดยสถานีตรวจสอบและเฝ้าฟังวิทยุ นั้น มักจะแสดงผลของการวัดโดยใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่รับได้ ดังแสดงไว้ในรูป



รูปที่ 2.8 การวัดการแพร่แปลงปลอมโดยสถานีตรวจสอบและเฝ้าฟังวิทยุ

ซึ่งจะหาค่ากำลังที่รับได้จากความสัมพันธ์

$$P_r = \frac{V_r^2}{R_N} P$$

สมการอย่างง่ายได้ ในกรณีที่วัดโดยใช้สายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น และความถี่มีหน่วยเป็น MHz และความแรงสนามมีหน่วยเป็น V/m

$$P_r = 31.2 \frac{E^2}{f^2}$$

หรือในรูปลอการิทึม เมื่อความแรงสนามมีหน่วยเป็น dBμV/m ความถี่มีหน่วยเป็น MHz และกำลังที่รับได้มีหน่วยเป็น dBm

$$P_r = -75.1 + e - 20 \log f$$

เมื่อทราบค่ากำลังหรือแรงดันไฟฟ้าที่รับได้ที่อินพุทของเครื่องรับแล้ว ก็สามารถที่จะคำนวณค่า e.i.r.p ได้จากความสัมพันธ์เชิงลอการิทึมดังต่อไปนี้

$$e.i.r.p = P_r - G_{RX} + L_{prop} + L_{RX} + X_{pol}$$

- เมื่อ G_{RX} คือ อัตราขยายของสายอากาศด้านรับในทิศทางของเครื่องส่งที่ทำการวัด [dB]
- L_{RX} คือ การสูญเสียของสัญญาณด้านรับเนื่องจากสายนำสัญญาณ ขั้วต่อ และการไม่แมตช์กันของสาย [dB]
- X_{pol} คือ การสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากโพลาริเซชันด้านส่งและด้านรับไม่ตรงกัน [dB]
- L_{prop} คือ การสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งในกรณีของการแพร่ผ่านที่ว่างอิสระ จะเท่ากับ $20 \log f$ [MHz] + $20 \log d$ [km] + 32.45 ทั้งนี้ อาจใช้แบบจำลองการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นแบบอื่นที่เหมาะสมได้

เนื่องจากการคำนวณค่า e.i.r.p จากค่ากำลังที่รับได้ที่อินพุทของเครื่องรับ โดยเฉพาะในกรณีของการคำนวณค่าการแพร่แปลกปลอมจะมีความยุ่งยาก (เนื่องจากไม่ทราบค่า G_{RX} , L_{RX} และ X_{pol} ที่แท้จริงที่ความถี่ของการแพร่แปลกปลอมนั้น) และความคลาดเคลื่อนสูง (เนื่องจากไม่สามารถหาค่าการสูญเสียของสัญญาณของการแพร่กระจายคลื่นที่แท้จริงได้ ค่าที่ได้จากการใช้แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นเป็นเพียงค่าประมาณซึ่งไม่ได้คำนึงถึงการลดทอนสัญญาณเนื่องจากปัจจัยอื่น เช่น การสะท้อน หรือการจัดกระจาย) ดังนั้น ในกรณีที่ระยะทางในการวัดไม่มาก สภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ จึงได้เสนอให้ใช้สูตรอย่างง่ายในการหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังส่งผสมมูลแบบไอโซทรอปิก (e.i.r.p) หน่วยเป็นวัตต์ ความแรงสนาม (E) หน่วยเป็นโวลต์ต่อเมตร และความหนาแน่นฟลักซ์กำลัง (pdf) หน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ที่ระยะห่างระหว่างเครื่องส่งและจุดที่ทำการวัด (D) หน่วยเป็นเมตร ดังนี้

$$E = \frac{\sqrt{30(e.i.r.p)}}{D}$$

$$pdf = \frac{30(e.i.r.p)}{120\pi D^2}$$

ซึ่งสูตรดังกล่าวจะเหมาะสมกับการวัดค่าความแรงสนามเพื่อหาระดับการรบกวนของอุปกรณ์ที่แผ่พลังงานคลื่นวิทยุ โดยเฉพาะอุปกรณ์เทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology Equipment : ITE) ทั้งนี้ คณะกรรมาธิการพิเศษระหว่างประเทศว่าด้วยการรบกวนทางวิทยุ (CIRPR) ได้เสนอให้ใช้การวัดค่าความแรงสนามที่ระยะห่าง 10 เมตร ในบริเวณสนามทดสอบพื้นที่เปิด (open area test site) ที่ปรับเทียบแล้วโดยใช้ระนาบเชิงเงาสะท้อน (reflecting ground plane) ประกอบ ซึ่งจะทำให้ค่าความแรงสนามสูงสุดที่อ่านค่าได้จากสนามทดสอบดังกล่าว ต่างจากค่าความแรงสนามจากการคำนวณในกรณีของการแพร่ในที่ว่างอิสระดังแสดงไว้ในสมการข้างล่างนี้

$$E_{\max} \cong 1.6E$$

$$e_{\max} \cong e + 4[dB]$$

ทั้งนี้ ความสัมพันธ์และสูตรการแปลงค่าระหว่างความแรงสนาม ระดับแรงดันไฟฟ้า กำลังส่ง กำลังที่ได้รับ และความหนาแน่นฟลักซ์กำลัง

2.7.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด

เครื่องรับซึ่งเลือกย่านความถี่ได้ (selective receiver) หรือเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมซึ่งมีฟังก์ชันของดีเทกเตอร์แบบค่าเฉลี่ย (AV) และค่าสูงสุด (PK) สามารถนำมาใช้วัดกำลังการแพร่แปลกปลอมที่ส่งเข้าไปยังสายอากาศ

ค่า resolution bandwidth ของเครื่องรับ ซึ่งวัดที่จุด -3 dB ของวงจรรองความถี่ภาค IF สุดท้ายของเครื่องรับนั้น ควรจะเท่ากับค่าความกว้างแถบความถี่อ้างอิง

ถ้าค่า resolution bandwidth ที่ใช้มีค่าน้อยกว่าค่าความกว้างแถบความถี่อ้างอิง ควรนำค่ากำลังที่วัดได้มารวมกันตลอดช่วงความกว้างแถบความถี่อ้างอิงนั้น ในลักษณะการบวก เว้นแต่ในกรณีของการวัดค่ากำลังเอนเวโลปสูงสุด (PEP) ซึ่งหลักการรวมกำลังอาจไม่เหมาะสม อาจต้องพิจารณาทั้งหลักการรวมกำลังและหลักการรวมแรงดันไฟฟ้า โดยถ้าใช้หลักการรวมแรงดันแล้ว ค่ากำลังที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนด แสดง

ว่ากำลังการแพร่แปลกปลอมนั้นอยู่ในเกณฑ์ แต่ถ้าใช้หลักการรวมกำลังแล้ว กำลังที่ได้มีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนด แสดงว่ากำลังการแพร่แปลกปลอมนั้นไม่อยู่ในเกณฑ์

ถ้าค่า resolution bandwidth ที่ใช้มีค่ากว้างกว่าค่าความกว้างแถบความถี่อ้างอิง ควรนำค่ากำลังที่ได้มาปรับค่าให้เป็นค่ามาตรฐาน (normalized) โดยเทียบกับความกว้างแถบความถี่อ้างอิง

ในบางกรณีอาจจำเป็นต้องมีการปรับค่า resolution bandwidth ให้เหมาะสม อันเนื่องมาจากประเภทของเครื่องรับที่ใช้ (เช่น -6 dB resolution bandwidth) และลักษณะของการแพร่แปลกปลอมที่ทำการวัด (เช่นการวัดสัญญาณพัลส์ หรือสัญญาณรบกวนแบบ Guassian)

ค่า video bandwidth ของเครื่องรับ ควรจะตั้งค่าให้กว้างอย่างน้อยเท่ากับ resolution bandwidth แต่ถ้าจะให้ดีแล้ว ควรตั้งให้มีค่าประมาณ 3 – 5 เท่าของ resolution bandwidth

ค่า filter shape factor ของเครื่องรับ เป็นพารามิเตอร์ที่ระบุถึงความสามารถในการเลือกรับสัญญาณของวงจรกรองความถี่ โดยนิยามว่า เป็นอัตราส่วนระหว่างความกว้างแถบความถี่ที่ไม่ต้องการให้ผ่าน ต่อความกว้างแถบความถี่ที่ต้องการให้ผ่าน ซึ่งวงจรกรองความถี่ในอุดมคติควรจะมีค่าเท่ากับ 1 แต่ในความเป็นจริงแล้วจะมีการลดลงของความลาดชันที่เรียกว่า โรลล์ออฟ (roll-off) ที่ไม่เป็นตามนั้น เช่น อาจมีค่าความกว้างแถบความถี่ที่ -60 dB ต่อ -3 dB เท่ากับ 5 : 1 ถึง 15:1

เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างกำลังของความถี่หลัก (fundamental frequency) กับกำลังของการแพร่แปลกปลอมจะต่างกันค่อนข้างมาก อยู่ในช่วง 70 dB หรือมากกว่านั้น ซึ่งเมื่อรับสัญญาณดังกล่าวพร้อมกัน อาจทำให้เครื่องรับทำงานในช่วงที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรกรองตัดแถบความถี่ (band rejection filter) ที่ปรับไว้ที่ความถี่หลักเพื่อหลีกเลี่ยงกรณีดังกล่าว (ถ้าความถี่หลักและความถี่ของการแพร่แปลกปลอมอยู่ห่างกันพอสมควร) ทั้งนี้ ต้องคำนึงถึงการสูญเสียเนื่องจากการใส่วงจรดังกล่าว (insertion loss) ที่จะเกิดขึ้นด้วย

ในการวัดควรจะใช้ directional coupler ที่สามารถใช้งานได้ที่ระดับความแรงของความถี่หลักที่กำหนด โดยค่าอิมพีแดนซ์ของ directional coupler จะต้องปรับให้ได้ตรงกับอิมพีแดนซ์ของเครื่องส่งและควรต่อเครื่องส่งเข้ากับโหลดทดสอบ (dummy load) และควรใช้สายอากาศไดโพลที่ปรับความถี่แล้วทำการวัด หรืออาจใช้สายอากาศอ้างอิงที่ทราบอัตราขยายเมื่อเทียบกับสายอากาศไอโซทรอปิกก็ได้

ควรจะทำการวัดในขณะที่มีการมอดูเลตสัญญาณค่าสูงสุดที่ระบุไว้ (maximum rated modulation) ที่เครื่องส่งนั้นกระทำภายใต้สภาพการใช้งานปกติ ในบางกรณีอาจทำการวัดการแพร่แปลกปลอมในขณะที่ไม่มีการมอดูเลตก็ได้ แต่จะไม่ทราบและตรวจพบการแพร่แปลกปลอมที่เกิดขึ้นทั้งหมด อีกทั้งการเปิดสวิตช์ให้มีการมอดูเลตในขณะที่กำลังทำการวัดอยู่ ก็อาจทำให้มีการแพร่ไม่พึงประสงค์ขึ้นมาได้

ในกรณีของเครื่องส่งที่มีการมอดูเลตเชิงแอมพลิจูดนั้น ในบางครั้งอาจวัดค่ากำลังเอนเวโลปสูงสุดโดยตรงไม่ได้ ต้องอาศัยการคำนวณจากค่ากำลังเฉลี่ย (mean power) หรือกำลังของคลื่นพาห้ (carrier power) ของเครื่องส่งที่วัดได้แทน อย่างไรก็ตาม จะมีความแตกต่างระหว่างค่าที่คำนวณได้กับค่าที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งขึ้นอยู่กับความไม่เป็นเชิงเส้นของเครื่องส่งนั้น และความผิดเพี้ยนจากการมอดูเลตระหว่างกันที่ยอมรับได้ แนวทางในการคำนวณและปรับค่ากำลังเอนเวโลปสูงสุดจากค่ากำลังที่วัดได้นั้น

2.7.3 ข้อจำกัดของการวัด

ในบางกรณีการใช้หลักการวัดการแพร่แปลงปลอมที่ขอบเขต $\pm 250\%$ นั้น อาจจะไม่เหมาะสมเนื่องจากจะทำให้ค่าที่ได้จากการวัดผิดพลาด เนื่องจากรวมการแพร่ที่ไม่ใช่การแพร่แปลงปลอมเข้ามาด้วย ดังนั้น อาจใช้หลักการปรับค่าขอบเขตอื่นที่ไม่ใช่ $\pm 250\%$ หรือปรับค่า resolution bandwidth ให้มีค่าลดลงอย่างใดอย่างหนึ่ง

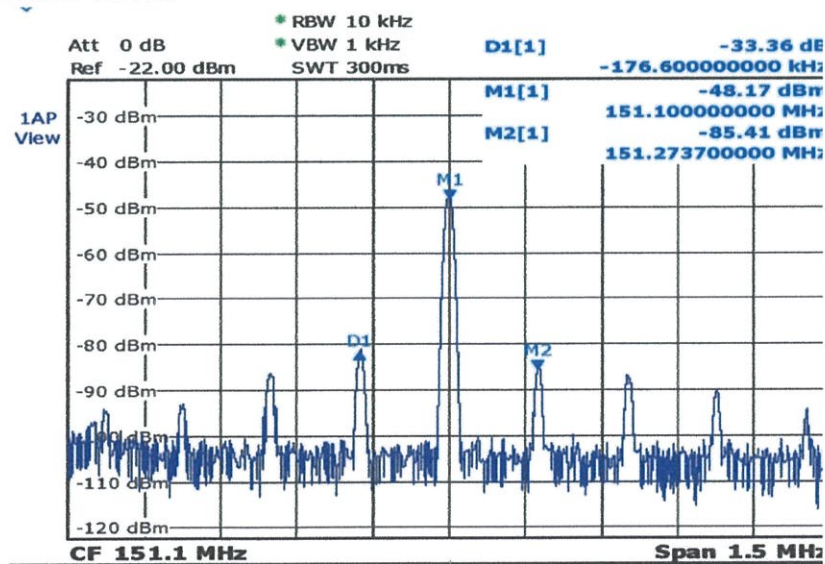
ในบางครั้งค่าความไวของเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมที่มีอยู่ รวมทั้งการสูญเสียของสัญญาณภายในเครื่อง อาจทำให้ความไวในการรับเปลี่ยนแปลงไปจนกระทั่งไม่สามารถวัดได้ ซึ่งในกรณีดังกล่าว อาจจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ขยายที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ (low noise amplifier) เข้ามาช่วย

สำหรับกรณีที่สัญญาณมีระดับแอมพลิจูดไม่คงที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (non-constant envelope modulation) ควรทำการวัดอย่างน้อย 10 ครั้งแล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย

2.8 การมอดูเลตระหว่างกัน (Intermodulation)

การมอดูเลตระหว่างกัน บางครั้งจะเรียกว่า อินเตอร์มอด หรือ IM เป็นปัญหาที่สำคัญในระบบวิทยุคมนาคม โดยเฉพาะในกิจการเคลื่อนที่ทางบกที่มีการจัดช่องสัญญาณไว้แล้ว การมอดูเลตระหว่างกันนี้จะเกิดขึ้นเมื่ออุปกรณ์ที่ทำงานในช่วงที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้รับสัญญาณกำลังแรงสองสัญญาณหรือมากกว่าพร้อมๆกัน แล้วทำให้เกิดการทวีคูณและผสมกันของสัญญาณดังกล่าว ซึ่งจะทำให้เกิดสัญญาณไม่พึงประสงค์ที่ความถี่อื่นที่ไม่ใช่ความถี่ของสัญญาณทั้งสองสัญญาณดังกล่าวข้างต้น จะเรียกสัญญาณที่เกิดขึ้นนี้ว่า ผลของการมอดูเลตระหว่างกัน (intermodulation product) ซึ่งการรบกวนจะเกิดขึ้น เมื่อผลของการมอดูเลตระหว่างกันนี้มีความถี่อยู่ในช่วงแถบผ่านของเครื่องรับและทำให้เกิดการรบกวนต่อสัญญาณที่ต้องการ

ส่วนใหญ่แล้วผลของการมอดูเลตระหว่างกันจะเกิดขึ้นจากการทำงานในช่วงที่ไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ เช่น klystron หรือ power amplifier และของอุปกรณ์แพสซีฟต่าง ๆ เช่น combiner circulator connector เป็นต้น



Date: 25.OCT.2017 17:02:38

รูปที่ 2.9 การเกิดการมอดูเลตระหว่างกัน

2.8.1 ประเภทการมอดูเลตระหว่างกันตามแหล่งกำเนิดของสัญญาณ ดังนี้

• ประเภทของการมอดูเลตระหว่างกัน แบ่งได้ 3 ประเภท ตามแหล่งกำเนิดสัญญาณการมอดูเลตระหว่างกัน ดังนี้

- 1) การมอดูเลตระหว่างกันในเครื่องรับ (receiver intermodulation)
- 2) การมอดูเลตระหว่างกันในเครื่องส่ง (transmitter intermodulation)
- 3) การมอดูเลตระหว่างกันที่เกิดขึ้นจากภายนอก (external intermodulation)

1) การมอดูเลตระหว่างกันในเครื่องรับ (receiver intermodulation) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อความถี่วิทยุที่มีกำลังแรงจากเครื่องส่งที่อยู่ใกล้เคียงกับเครื่องรับ ทำให้วงจรขยายภาค RF วงจรขยายภาค IF หรือวงจรผสมสัญญาณ (mixer) ของเครื่องรับเกิดการอิมิตัว ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์วงจรดังกล่าวทำงานในภาวะที่ไม่เป็นเชิงเส้นแล้วทำให้เกิดการผสมสัญญาณขึ้น และทำให้เกิดสัญญาณที่มีความถี่ใหม่ซึ่งอยู่ในแถบผ่านของเครื่องรับ เป็นสัญญาณไม่พึงประสงค์ ซึ่งเป็นการมอดูเลตระหว่างกันประเภทที่เกิดได้มากที่สุด (80% ของกรณีการมอดูเลตระหว่างกันทั้งหมด)

2) การมอดูเลตระหว่างกันในเครื่องส่ง (transmitter intermodulation) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณจากเครื่องส่งสองเครื่องหรือมากกว่านั้น ที่ติดตั้งอยู่ใกล้กันและใช้ความถี่วิทยุใกล้เคียงกัน มีกำลังแรงมากพอที่จะทำให้วงจรขยายภาค RF ของเครื่องส่งเครื่องใดเครื่องหนึ่งเกิดการอิมิตัวและทำงานในภาวะที่ไม่เป็นเชิงเส้นแล้วทำให้เกิดการผสมสัญญาณขึ้น และทำให้เกิดสัญญาณที่มีความถี่ใหม่ส่งออกจากเครื่องส่งเครื่องนั้น ทำให้เกิดการรบกวนต่อเครื่องรับที่ใช้ความถี่ตรงหรือใกล้เคียงกับความถี่ที่เกิดจากการมอดูเลตระหว่างกัน เกิดขึ้นประมาณ 15% ของกรณีการมอดูเลตระหว่างกันทั้งหมด

3) การมอดูเลตระหว่างกันที่เกิดขึ้นจากภายนอก (external intermodulation) ซึ่งเกิดขึ้นในอุปกรณ์ภายนอกที่ถูกกัดกร่อนหรือที่ต่อสายดินไว้ไม่ดี เช่น เสาโลหะ เป็นต้น หรือจุดที่โลหะไม่เหมือนกันมาต่อเชื่อมกัน บางครั้ง อุปกรณ์หรือจุดต่อดังกล่าวจะทำตัวคล้ายไดโอด ซึ่งถ้าเกิดอยู่ภายใต้การแผ่พลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากำลังแรงแล้ว อาจทำงานในลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นแล้วทำให้เกิดการแผ่พลังงานซ้ำออกไปอีกในลักษณะเช่นเดียวกับเครื่องส่งที่มีกำลังส่งต่ำ แต่จะเกิดผลของการมอดูเลตระหว่างกันที่ความถี่ใหม่ส่งออกไปด้วย ก่อให้เกิดการรบกวนต่อเครื่องรับที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงซึ่งใช้ความถี่ตรงหรือใกล้เคียงกับความถี่ของการมอดูเลตระหว่างกัน ทั้งนี้จะเกิดขึ้นได้น้อย (ประมาณ 5% ของกรณีการมอดูเลตระหว่างกันทั้งหมด) และไม่สามารถแสดงความสัมพันธ์ในเชิงคณิตศาสตร์ได้

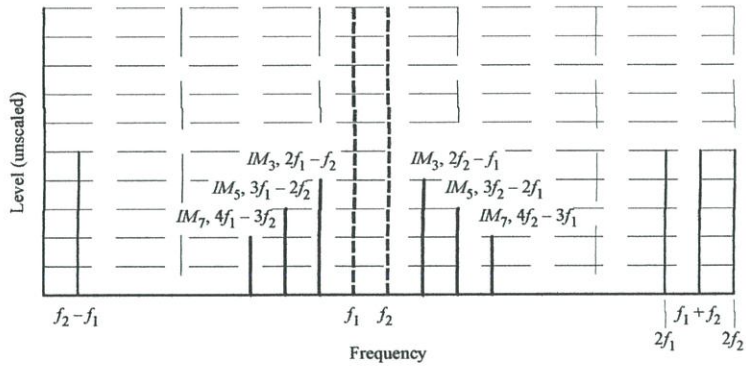
2.8.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการมอดูเลตระหว่างกัน

ผลของการมอดูเลตระหว่างกันที่ความถี่ f_{IM} จะเกิดจากการผสมกันของสัญญาณจำนวน 2 สัญญาณหรือมากกว่า ที่มีความถี่เป็น f_1, f_2, \dots ตามลำดับ ในลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้น ตามความสัมพันธ์ของความถี่ดังนี้

$$f_{IM} = |m_1 f_1 + m_2 f_2 + \dots| \quad \text{เมื่อ } m_v = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

ทั้งนี้ ลำดับ (order) ของผลของการมอดูเลตระหว่างกัน จะเรียกว่าลำดับที่ n โดย

$$n = m_1 + m_2 + \dots$$



รูปที่ 2.10 สเปกตรัมการเกิดการมอดูเลชันระหว่างกัน

จะได้ความสัมพันธ์ของการมอดูเลตระหว่างกันเฉพาะในกรณีที่เกิดจากสัญญาณสองสัญญาณซึ่งมีความถี่ f_1 และ f_2 ดังนี้

ลำดับที่ 2 ($n=2$) เมื่อ	$m_1 = 1 \quad m_2 = 1$	$f_{IM2} = f_1 \pm f_2 $
ลำดับที่ 3 ($n=3$) เมื่อ	$m_1 = 2 \quad m_2 = 1$	$f_{IM3} = 2f_1 \pm f_2 $
	$m_1 = 1 \quad m_2 = 2$	$f_{IM3} = f_1 \pm 2f_2 $
ลำดับที่ 4 ($n=4$) เมื่อ	$m_1 = 3 \quad m_2 = 1$	$f_{IM4} = 3f_1 \pm f_2 $
	$m_1 = 1 \quad m_2 = 3$	$f_{IM4} = f_1 \pm 3f_2 $
ลำดับที่ 5 ($n=5$) เมื่อ	$m_1 = 3 \quad m_2 = 2$	$f_{IM5} = 3f_1 \pm 2f_2 $
	$m_1 = 2 \quad m_2 = 3$	$f_{IM5} = 2f_1 \pm 3f_2 $

เมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ลำดับของผลของการมอดูเลตระหว่างกันของสัญญาณจำนวนสองสัญญาณซึ่งมีความถี่ f_1 และ f_2 ดังแสดงในรูป 1-1 จะเห็นได้ว่า ผลของการมอดูเลตระหว่างกันในลำดับเลขคู่ (เช่นลำดับที่ 2 4 6) จะก่อให้เกิดการรบกวนได้มากกว่าผลของการมอดูเลตระหว่างกันในลำดับเลขคี่ (เช่นลำดับที่ 3 5 7) จะก่อให้เกิดการรบกวนได้มากกว่าผลของการมอดูเลตระหว่างกันในลำดับเลขคี่ (เช่นลำดับที่ 2 4 6) เนื่องจากอายุใกล้ความถี่ f_1 หรือ f_2 มากที่สุด และมีโอกาสจะอยู่ในแถบผ่านของเครื่องรับ โดยเฉพาะผลของการมอดูเลตระหว่างกันในลำดับที่ 3 คือ $2f_1 - f_2$ และ $2f_2 - f_1$ ดังนั้น ผลของการมอดูเลตระหว่างกันในลำดับที่ 3 หรือในบางกรณี จะรวมถึงลำดับที่ 5 จึงเป็นปัจจัยหลักในการพิจารณาการคำนวณการรบกวนที่จะเกิดขึ้น

อย่างไรก็ตาม ในกรณีของเครื่องรับของสถานีตรวจสอบและเฝ้าฟังวิทยุ ซึ่งจะสามารถทำงานได้ในความถี่ย่านกว้าง จำเป็นต้องพิจารณาผลของการมอดูเลตระหว่างกันในลักษณะอื่น เช่น ลำดับที่ 3 ที่เกิดจากสัญญาณ 3 สัญญาณ ($f_1 + f_2 - f_3$) หรือลำดับที่ 5 ที่เกิดจากสัญญาณสองสัญญาณ ($3f_1 - 2f_2$) ซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้นสูงกว่าเครื่องรับวิทยุคมนาคมปกติ เนื่องจากเครื่องรับที่ใช้งานตรวจสอบและเฝ้าฟังวิทยุจะรับสัญญาณที่มีกำลังส่งสูงได้หลายความถี่ และแถบผ่านของเครื่องรับจะค่อนข้างกว้าง

ผลของการมอดูเลตระหว่างกันที่เกิดจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ รวมทั้งระดับความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์หรือวงจรที่ก่อให้เกิดการมอดูเลตระหว่างกันและความแรงของสัญญาณที่ได้รับ (แล้วก่อให้เกิดการมอดูเลตระหว่างกัน) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดแอมพลิจูดหรือขนาดความแรงของสัญญาณการมอดูเลตระหว่างกัน

วงจรหรืออุปกรณ์ที่ทำงานในภาวะที่ไม่เป็นเชิงเส้นจะแสดงคุณสมบัติสองประการที่ส่งผลให้เกิดการมอดูเลตระหว่างกัน คุณสมบัติแรกคือจะผลิตสัญญาณที่มีความถี่เป็นทวีคูณของความถี่หลัก (สัญญาณฮาร์โมนิก) ออกมา ตัวอย่างเช่น ที่ความถี่หลัก 150 MHz อุปกรณ์ดังกล่าวจะผลิตสัญญาณที่มีความถี่ 300 MHz 450 MHz 600 MHz ... โดยมีระดับแอมพลิจูดของสัญญาณฮาร์โมนิกลดลงเรื่อย ๆ

คุณสมบัติอีกประการคือจะทำการผสมสัญญาณระหว่างสัญญาณความถี่หลักกับความถี่ฮาร์โมนิกทั้งในรูปแบบของผลบวกและผลต่าง ทำให้ผลิตสัญญาณที่ความถี่แปลกปลอมออกมาเป็นการมอดูเลตระหว่างกันขึ้น

➤ ตัวอย่างความถี่ที่เกิดจากอินเตอร์มอดูเลชัน

Two frequency intermodulation products

Frequency 1:	103,000
Frequency 2:	98,000

Three frequency intermodulation products

Frequency 1:	103,000
Frequency 2:	98,000
Frequency 3:	88,000

Intermodulation products:

3rd order	108,000
3rd order	93,000
5th order	113,000
5th order	88,000
7th order	118,000
7th order	83,000
9th order	123,000
9th order	78,000

Intermodulation products:

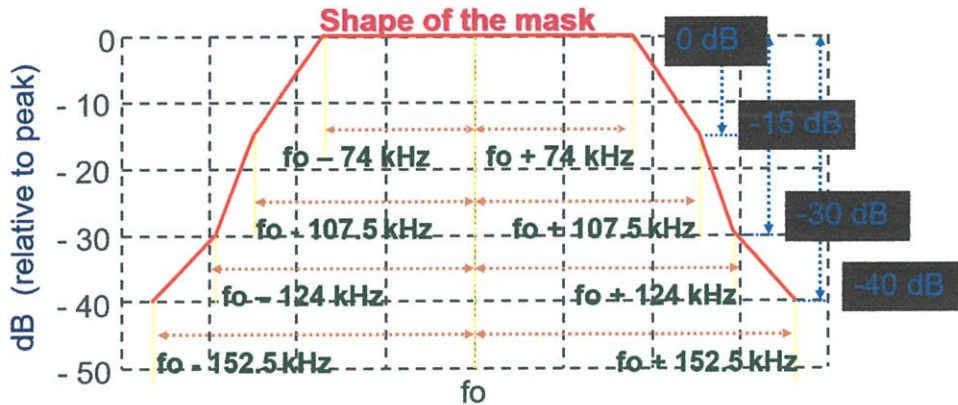
3rd order	113,000
3rd order	118,000
3rd order	108,000
3rd order	108,000
3rd order	93,000
3rd order	93,000
3rd order	83,000
3rd order	78,000
3rd order	73,000
5th order	133,000
5th order	128,000
5th order	123,000
5th order	123,000
5th order	118,000
5th order	113,000
5th order	103,000
5th order	98,000
5th order	88,000
5th order	83,000
5th order	78,000
5th order	68,000
5th order	68,000
5th order	63,000
5th order	58,000

ย่านความถี่วิทยุการบิน

รูปที่ 2.11 ตัวอย่างความถี่ที่เกิดจากอินเตอร์มอดูเลชัน

(โปรแกรมคำนวณจาก http://adminlab.com-th.com/00_signin/index.php)

สภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศได้เสนอแนะค่าขีดจำกัดของสเปกตรัมของการแพร่แบบ FM ของสถานีวิทยุกระจายเสียง ซึ่งถ้าสเปกตรัมของการแพร่แบบ FM มีค่าเกินขีดจำกัดดังกล่าว แสดงว่าค่าเบี่ยงเบนความถี่มีค่าเกินค่าที่กำหนดไว้ (75 kHz)



รูปที่ 2.12 ค่าขีดจำกัดของสเปกตรัมของการแพร่แบบ FM ของสถานีวิทยุกระจายเสียง

การวัดสเปกตรัมที่เกิดจากการมอดูเลตสัญญาณวิทยุกระจายเสียงระบบ FM เพื่อตรวจสอบว่ามีค่าเกินค่าขีดจำกัดที่กำหนดไว้หรือไม่ สามารถทำได้โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมที่มีฟังก์ชันการเก็บค่า spectrum mask และกำหนดการตั้งค่าของเครื่องและเงื่อนไขในการวัดดังนี้

การวัดการมอดูเลตที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือการวัดอัตราการผิดเพี้ยนของสัญญาณวิทยุกระจายเสียงระบบ FM อันเนื่องมาจากการเกิดคลื่นหลายวิถี ซึ่งจะทำให้สัญญาณที่ได้รับเกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงแอมพลิจูดนอกเหนือจากการเปลี่ยนแปลงเชิงความถี่ที่เป็นลักษณะพึงประสงค์แล้ว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวัดการเบี่ยงเบนความถี่และความลึกของการมอดูเลตของสัญญาณ แล้วนำค่าที่ได้มาหาสัมประสิทธิ์การเปลี่ยน (conversion coefficient) จากความสัมพันธ์

$$\text{conversion coefficient} = \frac{\% \text{ modulation depth}}{\text{frequency deviation (kHz)}}$$

โดยค่าที่ได้ไม่ควรจะเกิน 6%/kHz ในกรณีของการมอดูเลตแบบ FM (mono) และ 2%/kHz ในกรณีของการมอดูเลตแบบ FM (stereo) ไม่เช่นนั้นคุณภาพของสัญญาณเสียงที่ได้จะถูกลดทอนอย่างมาก และการที่มีการมอดูเลตแบบ AM เกิดขึ้นกับสัญญาณมาก ก็จะทำให้ผลของการวัดค่าเบี่ยงเบนความถี่นั้นผิดพลาดได้มาก บางครั้งอาจมีค่าเป็น 2 เท่าของค่าจริงเลยทีเดียว

เครื่องรับของสถานีตรวจสอบและเฝ้าฟังวิทยุโดยทั่วไป จะไม่สามารถวัดค่าการเบี่ยงเบนความถี่หรือการเบี่ยงเบนเฟส (ค่าดัชนีการมอดูเลต) ได้ จำเป็นต้องใช้เครื่องรับที่มีฟังก์ชันดังกล่าวเป็นกรณีพิเศษ เช่น เครื่องตรวจสอบและเฝ้าฟังวิทยุอัตโนมัติ ซึ่งจะสามารถวัดค่าการเบี่ยงเบนเฟสและค่าการเบี่ยงเบนความถี่อีก 3 ค่าได้ (ค่าการเบี่ยงเบนความถี่สูงสุดด้านบวก ค่าการเบี่ยงเบนความถี่สูงสุดด้านลบ และค่าการเบี่ยงเบนความถี่ทั้งหมด (\pm ค่าเฉลี่ย)) โดยค่าความถี่ของสัญญาณเบสแบนด์สูงสุดจะเป็น 100 kHz ทั้งนี้ ในกรณีของการวัดค่าเบี่ยงเบนความถี่นั้น ควรตั้งค่าความกว้างแถบความถี่ IF ให้มากกว่า $2 \times (AF \times \text{deviation})$ ถ้าตั้งค่าต่ำไป อาจทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณ ควรเลือกใช้ค่าความกว้างแถบความถี่ IF ที่ค่า 9 kHz 120 kHz หรือ 250 kHz ส่วนในกรณีของการวัดการเบี่ยงเบนเฟส ค่าสูงสุดของค่าความกว้างแถบความถี่ IF คือ 15 kHz เนื่องจากถ้ามากกว่านี้จะไม่เกิดการมอดูเลตเชิงเฟสในทางปฏิบัติ

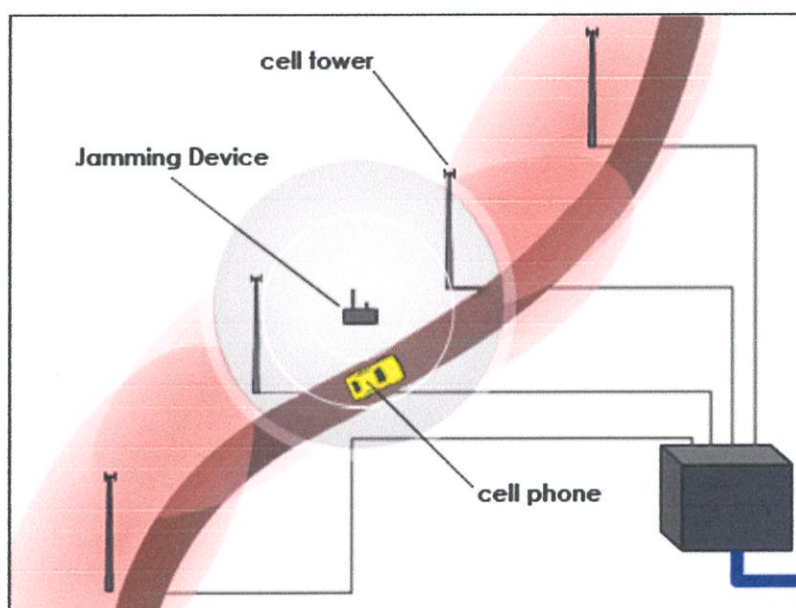
อนึ่งหากจะวัดสัมประสิทธิ์การแปลง (conversion coefficient) เพื่อหาอัตราการผิดเพี้ยนของสัญญาณวิทยุกระจายเสียงระบบ FM อันเนื่องมาจากคลื่นหลายวิธีจำเป็นต้องวัดค่าการเบี่ยงเบนความถี่และความลึกของการมอดูเลตทีละครั้ง แล้วจึงนำค่าสูงสุดที่ได้มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ต่อไป

2.9 การรบกวนความถี่วิทยุจากการใช้งานอุปกรณ์รูปแบบต่างๆ

- 1) การรบกวนคลื่นความถี่สถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่จากเครื่องตัดสัญญาณวิทยุ (Jammer)
- 2) การรบกวนคลื่นวิทยุจากเครื่องส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือฉุกเฉิน (Emergency Beacons)

• หลักการของการรบกวนคลื่น

โทรศัพท์เคลื่อนที่ทำงานโดยอาศัยการติดต่อกับเครือข่ายที่ให้บริการผ่านคลื่นที่ส่งออกมาจากเสาสัญญาณของสถานีย่อย อุปกรณ์ส่งคลื่นรบกวน จะทำงานโดยการส่งคลื่นที่มีความถี่เดียวกับความถี่ที่โทรศัพท์ใช้ในการติดต่อสื่อสารกับเสาสัญญาณ วิธีการนี้เรียกว่า การรบกวนแบบปฏิเสธการให้บริการ (Denial of service attack) โดยสัญญาณที่อุปกรณ์นี้ส่งออกมาจะไปรบกวนสเปกตรัมของคลื่นวิทยุที่ผู้ให้บริการส่งออกมาผ่านเสาสัญญาณ ทำให้เสมือนโทรศัพท์จะไม่รับรู้ว่ามีบริเวณนี้ได้อยู่ในเขตให้บริการ เมื่อภายในบริเวณที่สัญญาณของอุปกรณ์นี้สามารถส่งไปถึงอุปกรณ์ส่งคลื่นรบกวนนั้น จะถูกออกแบบมาเพื่อให้สร้างความถี่ที่ตรงกับความถี่ที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ใช้งานและมีกำลังส่งมากพอที่จะทำให้สัญญาณทั้งสองหักล้างกันไปจนหมด



รูปที่ 2.13 หลักการรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่

2.9.1 การรบกวนคลื่นความถี่สถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่จากเครื่องตัดสัญญาณวิทยุ (Jammer)

การสื่อสารตามมาตรฐานแบบ CDMA สัญญาณของผู้ใช้บริการแต่ละรายที่มีการส่งผ่านทางช่องทางสัญญาณวิทยุไม่ว่าจะเป็นในทิศทางขาลงหรือขาขึ้นก็ตาม เมื่อรวมๆ ระดับความแรงแล้ว จะมีสภาพเป็นสัญญาณรบกวนต่อข้อมูลของผู้ใช้บริการแต่ละรายอยู่เพียง 2-3 ราย ระดับสัญญาณโดยรวมที่เกิดจากการส่งข้อมูลก็จะมีไม่มากนัก แต่เมื่อใดก็ตามที่มีจำนวนผู้ให้บริการมากขึ้นหรือกรณีที่ผู้ให้บริการมีการสื่อสารข้อมูลซึ่ง

มีอัตราเร็วมากขึ้น ล้วนส่งผลให้ระดับพลังงานที่เกิดขึ้นบนช่องความถี่วิทยุในสถานีดังกล่าวมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อพิจารณาจำเพาะเจาะจงถึงข้อมูลของผู้ใช้บริการรายหนึ่งที่ถูกกระจายสัญญาณไปตลอดแถบความถี่ช่องสัญญาณวิทยุอื่นๆ สัญญาณจากผู้ให้บริการรายอื่นๆย่อมจะกลายเป็นสัญญาณรบกวนที่มีผลต่อระดับความแรงของสัญญาณสำหรับผู้ให้บริการรายดังกล่าว



รูปที่ 2.14 เครื่องตัดสัญญาณวิทยุชนิดพกพา (Jammer)



รูปที่ 2.15 เครื่องตัดสัญญาณวิทยุของกองทัพทหาร (Jammer)

➤ รูปแบบของเครื่องรบกวนสัญญาณและตรวจจับสัญญาณโทรศัพท์มือถือ (Jammer)

เครื่องรบกวนสัญญาณและตรวจจับสัญญาณโทรศัพท์มือถือแบ่งออกเป็น 5 ชนิด ดังนี้

1. แบบเอ (Type A)

เครื่องแจมเมอร์แบบเอ (Type A) ใช้หลักการส่งสัญญาณนอยส์หรือสัญญาณรบกวนไปกับความถี่ที่ต้องการรบกวน เช่น ถ้าหากต้องการรบกวนโทรศัพท์ระบบที่ความถี่ 800 ถึง 900 เมกะเฮิร์ตซ์ เครื่องแจมเมอร์จะสร้างสัญญาณนอยส์ผสมกับความถี่ 800 ถึง 900 เมกะเฮิร์ตซ์ เครื่องรับโทรศัพท์ก็จะได้รับความถี่จากเครื่องแจมเมอร์ซึ่งมีกำลังวัตต์สูงกว่าเมื่อเทียบกับสถานีซึ่งมีระยะไกลกว่าและความถี่ดังกล่าวนั้น จะมีสัญญาณนอยส์ที่แจมมาด้วยทำให้การสื่อสารของเครื่องโทรศัพท์ไม่สามารถสื่อสารกับเครือข่ายได้ จากการทำงานของ

เครื่องแจมเมอร์สัญญาณโทรศัพท์มือถือถือหลักการทำงานของเครื่องแจมเมอร์ เริ่มจากการผลิตความถี่รูปสี่เหลี่ยมแล้วส่งสัญญาณไปปรับรูปให้เป็นรูปฟันเลื่อยด้วยวงจรอินทิเกรตเตอร์จากนั้นก็ส่งไปขยายสัญญาณด้วยวงจรบัฟเฟอร์ในขณะเดียวกันวงจรสร้างสัญญาณนอยส์ จะผลิตสัญญาณรบกวนเพื่อผสมกับสัญญาณฟันเลื่อยที่วงจรมิกเซอร์สัญญาณที่ได้จากการผสมจะส่งเข้าสู่วงจรโวลเตจคอนโทรลลออสซิลเลเตอร์ เพื่อทำการรักษาช่วงระดับแรงดันให้คงที่ แต่ทำให้ความถี่นั้นมีการเปลี่ยนแปลง

2. แบบบี (Type B)

เครื่องอินเทลลิเจนท์เซลลูลาร์ แบบบี (Intelligent Cellular Disablers Type B) โดยที่จะมีลักษณะการทำงานแตกต่างกับเครื่องแจมเมอร์อย่างสิ้นเชิง เพราะการทำงานของเครื่องนั้นจะใช้ หลักการดีเทกเตอร์สัญญาณร่วมกับสถานีในขณะที่มีการสื่อสาร จากนั้นก็จะทำการส่งสัญญาณไปขัดขวางกับความถี่ของเครื่องรับโทรศัพท์ที่ตรวจจับได้ หลังจากนั้นเครื่องรบกวนอินเทลลิเจนท์เซลลูลาร์จะทำการถอดหมายเลขโทรศัพท์ที่เช็คตำแหน่งและตรวจเช็คระยะทางของเครื่องรับของเครื่องโทรศัพท์ไปพร้อมๆกัน ใช้ระยะเวลาการทำงานทั้งหมดให้การตรวจเช็คประมาณ 2 นาที

3. แบบซี (Type C)

เครื่องเช็คสัญญาณโทรศัพท์แบบมีสัญญาณเตือนแบบซี (Intelligent beacon disabler Type C) พื้นฐานการทำงานของเครื่องจะคล้ายกับเครื่องรับโทรศัพท์มือถือ โดยที่จะไม่มีภาคส่งสัญญาณของระบบจะไม่มี การส่งสัญญาณไปก่อกวนการสื่อสารของโทรศัพท์ใดๆ ทั้งสิ้น หากแต่ตัวเครื่องจะเพิ่มเติมระบบไฟเตือนเพื่อเป็นการเตือนทุกครั้ง เมื่อบริเวณพื้นที่ดังกล่าวมีการใช้งานโทรศัพท์มือถือ จะนิยมใช้งานในห้องเรียนหรือห้องประชุม

4. แบบดี (Type D)

เครื่องรับสัญญาณและเครื่องแจมเมอร์แบบดี (Direct Receive and Transmit Jammers Type D) รายละเอียดของเครื่องก็จะประกอบด้วยกัน 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ภาครับที่สามารถพกพาไปได้ซึ่งจะนำเอาคุณสมบัติเครื่องแบบซีมาใช้งานในส่วนของภาคส่งก็จะเป็นลักษณะของเครื่องแจมเมอร์ขนาดเล็ก ที่มีอำนาจในการบล็อกสัญญาณในระยะใกล้ การบล็อกสัญญาณจะใช้วิธีการ สร้างสัญญาณแจมเมอร์ให้มีกำลังที่ต่ำแต่เพียงพอที่จะกระจายคลื่นความถี่ให้รบกวนการสื่อสารในบริเวณใกล้เคียงนอกเหนือจากนั้นแล้ว ตัวเครื่องยังสามารถโทรแจ้งไปยังหมายเลขฉุกเฉิน เช่น 191 ในกรณีพื้นที่ดังกล่าวมีการใช้งานโทรศัพท์ที่มีหมายเลขแปลกปลอม

5. แบบอี (Type E)

เครื่องรบกวนคลื่นสัญญาณแบบสนามแม่เหล็กแบบอี (Electro Magnetic Interference Shield Passive Jamming Type E) เป็นเทคนิคการใช้รบกวนสัญญาณโดยใช้ทฤษฎีของสนามไฟฟ้าไปก่อกวนคลื่นสนามแม่เหล็กของการสื่อสารระบบสถานีใกล้เคียงกับตัวเครื่องโทรศัพท์ไว้เป็นรูปแบบการรบกวนสัญญาณที่ไม่มีการทำงานยุ่งยาก แต่รัศมีการรบกวนโทรศัพท์มือถือที่นั้นไม่สูงมากนัก จึงเป็นที่นิยมใช้งานในใช้ห้องประชุมหรือโรงภาพยนตร์ เป็นต้น

2.9.2 เครื่องส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือฉุกเฉิน (Emergency Beacons)

เครื่องส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือฉุกเฉินจะส่งสัญญาณฉุกเฉินเมื่อตกอยู่ในภาวะอันตราย เป็นเครื่องมือช่วยในการค้นหาและระบุตำแหน่ง ซึ่งทำงานตลอดเวลา หรือ 24 ชั่วโมงต่อวัน 365 วันต่อปี จะค้นหาและระบุตำแหน่งโดยอัตโนมัติ ส่งไปยังดาวเทียมและส่งสัญญาณเตือนไปยังหน่วยกู้ภัยเพื่อให้ทราบถึงต้องการ

ต้องความช่วยเหลือ ระบบนี้สามารถช่วยเพิ่มสมรรถภาพ ทางด้านความปลอดภัยของการเดินเรือและการบิน ให้แก่ประเทศไทย เช่น เรือที่ตกอยู่ในอันตรายใกล้ เขตไทย เป็นต้น

➤ ชนิดของเครื่องส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือฉุกเฉิน (Emergency Beacons)

เครื่องส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือฉุกเฉินแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

- 1) Emergency Position Indicating Radio Beacon (EPIRB)
- 2) Emergency Locator Transmitters (ELTs)
- 3) Personal Locator Beacons (PLBs)

1) Emergency Position Indicating Radio Beacon (EPIRB)

EPIRB คือ การบันทึกข้อมูลหรือรหัสที่สำคัญของเรือแต่ละลำเอาไว้ในระบบดิจิทัล (Digitally Encoded Message) เช่น ชื่อเรือ ประเทศที่จดทะเบียน ประเภทของเรือ และรหัสประจำตัว MMSI (Maritime Mobile Service Identity code) ซึ่งจะช่วยให้อุปกรณ์ภาคพื้นดินหรือ LUT (Local User Terminal/Mission Control Center) สามารถแปลงรหัสที่ได้รับจากดาวเทียมเป็นข้อมูลต่าง ๆ ของเรือลำนั้น และสามารถแจ้งให้แก่เจ้าของเรือหรือผู้ที่เกี่ยวข้องทราบได้ในทันทีที่ได้รับสัญญาณร้องขอความช่วยเหลือจาก EPIRB ปกติแล้วการบันทึกข้อมูลลงใน EPIRB จะทำโดยสถานบริการ (Service Station) ของผู้ผลิต EPIRB แต่ละยี่ห้อเมื่อเจ้าของเรือซื้ออุปกรณ์นี้ติดตั้งประจำเรือ

EPIRB ที่ใช้สำหรับระบบการเดินเรือใช้สำหรับระบบการเดินเรือ มี 2 แบบ ที่ใช้ในการส่งข้อมูล ระบบอะนาล็อกที่ 121.5 MHz และแบบที่ใช้การส่งข้อมูลระบบดิจิทัลที่ 406 MHz นั่นคือ แบบติดตั้งประจำที่บนเรือ ซึ่งสามารถติดตั้งตัวเองให้ลอยน้ำได้เมื่อเรือจมลงโดยจะส่งสัญญาณออกมาด้วยตัวเองอัตโนมัติ และอีกแบบหนึ่งเป็นแบบเคลื่อนที่ (มือถือ) สามารถนำลงไปใช้ในเรือช่วยชีวิตหรือแพช่วยชีวิตขนาดเล็กได้ การทำงานก็เป็นลักษณะเดียวกัน คือ เมื่อปล่อยให้ลอยน้ำ (Float Free) เครื่องจะส่งสัญญาณได้ทันที

- EPIRB ประเภท 1 ที่ความถี่ 406 MHz สามารถส่งสัญญาณได้ทั้งแบบอัตโนมัติและแบบธรรมดา EPIRB มีส่วนที่ห่อหุ้มซึ่งทำจาก วัสดุ Hydrostatic ซึ่งช่วยให้ EPIRB สามารถหลุดออกจากปลอกได้หลังจากตกลงสู่น้ำที่ระดับความสูง 1-3 เมตร จากนั้น EPIRB จะลอยขึ้นมาบนผิวน้ำและทำการส่งสัญญาณ โดย EPIRB ประเภทนี้จำเป็นต้องติดตั้งไว้นอกห้องโดยสารของเรือซึ่งจะสามารถลอยตัวได้หากเรือจม

- EPIRB ประเภท 2 เป็นแบบธรรมดาหรือต้องเปิดการใช้งานด้วยตนเองเท่านั้น ควรจะเก็บไว้ในตำแหน่งที่สามารถเข้าถึงได้ง่ายที่สุดบนเรือ ซึ่งจะสามารถเข้าถึงได้อย่างรวดเร็วในกรณีฉุกเฉินและจะสามารถตรวจพบได้ทันทีโดยดาวเทียมธรณีพิบัติ ซึ่งหมายความว่าต้องระงับการใช้งาน แม้แต่สัญญาณที่ส่งจะส่งโดนตั้งใจหรือไม่ตั้งใจก็ตามอาจทำให้เกิดการแจ้งเตือนที่ผิดพลาดได้ เพื่อหลีกเลี่ยงการรับสัญญาณได้จากหน่วยป้องกันชายฝั่ง โดยระบบ EPIRB ประเภท 2 นี้ ถูกออกแบบโดยกฎหมายการเดินเรือ นานาชาติ สำหรับเรือประมงที่มีน้ำหนักมากกว่า 300 ตัน และเรือประมงที่เดินเรือมากกว่า 3 ไมล์ทะเลจากฝั่ง และมีผู้โดยสารมากกว่า 6 คน

2) Emergency Locator Transmitters (ELTs)

ใช้กับระบบการบิน BEACON ของระบบนี้จะส่งสัญญาณได้ทั้งแบบอัตโนมัติ ซึ่งใช้แรงดึงดูดของโลก และแบบธรรมดา

3) Personal Locator Beacons (PLBs)

ใช้กับส่วนบุคคลซึ่ง PLBs นี้จะส่งสัญญาณโดยผู้ใช้ปฏิบัติเอง

► การทำงานของระบบ

- 1) เครื่องส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือฉุกเฉินจะส่งสัญญาณฉุกเฉิน เมื่อตกอยู่ในภาวะอันตราย
- 2) ดาวเทียมรับสัญญาณฉุกเฉินและส่งไปที่สถานีภาคพื้นดินโดยอัตโนมัติ สถานีภาคพื้นดินนี้เรียกอีกอย่างว่า Local User Terminals (LUTs)
- 3) สัญญาณฉุกเฉินและการระบุตำแหน่งของผู้ที่ตกอยู่ในอันตรายจะถูกส่งไปยัง Mission Control Center (MCC) โดยผ่านสายโทรศัพท์
- 4) หลังจากที่พิสูจน์ตำแหน่งแล้ว สัญญาณจะถูกส่งต่ออีกครั้ง เมื่อได้รับการช่วยเหลือจากหน่วยกู้ภัย โดยขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเครื่องส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือฉุกเฉินหรือประเทศที่เครื่องส่งจดทะเบียนกับ MCC นั้น ๆ
- 5) ในประเทศไทย กรมการบินพาณิชย์กำลังจะเป็นผู้ให้บริการในการค้นหาและช่วยเหลือ
- 6) ระบบการค้นหาและกู้ภัยโดยใช้ดาวเทียม (Satellite Aided Search and Rescue System)

ในปัจจุบันนี้ การพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีต่างๆที่นำมาช่วยในการค้นหาและช่วยชีวิตนั้น ได้พัฒนาไปไกลมากแล้ว สำหรับเมืองไทย เป็นที่น่าภูมิใจอย่างยิ่งเมื่อ กรมการบินพาณิชย์ ซึ่งกำลังจะเป็นหนึ่งในสมาชิกของผู้ให้บริการการค้นหาและกู้ภัยโดยใช้ดาวเทียม เป็นการช่วยเหลือ ที่มีไว้ใช้สำหรับเครื่องบินหรือเรือที่ประสบอุบัติเหตุในสถานที่ต่าง ๆ ในการเป็นผู้ให้บริการนี้ ประเทศไทยจะต้องมีระบบ COSPAS-SARSAT ติดตั้งอยู่ในประเทศก่อน ซึ่งระบบนี้ในปัจจุบันมีประมาณ 20 ประเทศทั่วโลกที่ใช้ระบบนี้ให้บริการ หรือกล่าวได้ว่า เป็นระบบที่นานาชาติใช้ช่วยในการค้นหาและกู้ภัยสำหรับเพื่อนมนุษย์ โดยมี BEACONหรือเครื่องส่งสัญญาณวิทยุ ซึ่งจะอยู่ในเรือ, เครื่องบิน, หรือตัวบุคคล เป็นเครื่องมือช่วยในการค้นหาและระบุตำแหน่ง โดยระบบ COSPAS-SARSAT ซึ่งทำงานตลอดเวลา หรือ 24 ชั่วโมงต่อวัน 365 วันต่อปี จะค้นหาและระบุตำแหน่งโดยอัตโนมัติ ผ่าน BEACON ส่งไปยังดาวเทียมและส่งสัญญาณเตือนไปยังหน่วยกู้ภัยที่เหมาะสม ระบบนี้สามารถช่วยเพิ่มสมรรถภาพ ทางด้านความปลอดภัยของการเดินเรือและการบินให้แก่ประเทศไทย เช่น เรือที่ตกอยู่ในอันตรายใกล้ เขตไทย สามารถใช้ BEACON เป็นเครื่องมือในการขอความช่วยเหลือ

➤ ลักษณะทั่วไปของเครื่องส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือฉุกเฉิน (Emergency Beacons)
 เครื่องส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือฉุกเฉินส่วนใหญ่ จะเป็นเครื่องสีส้ม กันน้ำได้ ทรงลูกบาศก์ขนาด
 ประมาณด้านละ 30 เซนติเมตร หนัก 2-5 กิโลกรัม มีอายุการใช้งานประมาณ 10 ปี ในสภาวะการใช้งานปกติ
 (-40°C to 40°C) และส่งสัญญาณได้ 24-48 ชั่วโมง



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างเครื่องส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือฉุกเฉิน
 ชนิด Emergency Position Indicating Radio Beacon (EPIRB)



รูปที่ 2.17 อุปกรณ์ตัดสัญญาณที่ย่านความถี่
 26-80,315,433, 135-176 ,245-246 ,400-435 ,435-470, 870-960,
 1805-1880, 2100-2170 ,2400-2495 MHz

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุ เป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญในการบริหารความถี่วิทยุ อาจถือได้ว่าเป็นการดำเนินการเพื่อสังคมส่วนรวมที่ไม่ได้มุ่งแสวงหาผลประโยชน์ตอบแทนหรือรายได้จากการดำเนินงาน หรือเป็นกิจการที่ลงทุนไม่ได้มุ่งหวังผลกำไร แต่เป็นการดูแลคลื่นความถี่วิทยุซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติและทรัพยากรแห่งชาติให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้สูงสุดและมีประสิทธิภาพที่สุดโดยปราศจากการรบกวน

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินโครงการ

- Real time Spectrum Analyzer : R&S FSW
- Spectrum Analyzer Rohde & Schwarz FS8
- VHF-UHF The Rohde & Schwarz ES500A Receiver [20-1000 MHz]
- VHF-UHF DF Unit PP 055 S
- HE300 Antenna [200 MHz - 500 MHz]
- HE300 Antenna [20 MHz - 200 MHz]
- Jamming System 20-1000 MHz
- Test-Receiver R&S/ESVN 20
- Switch Unit R&S/ZS127
- Line Distributor with EMI-FILTER R&S [Automatic Recorder 20 - 1,000 MHz]
- Computer control
- Mobile Direction Finder 20 MHz – 1GHz and 20 MHz – 3 GHz
- Remote Controlled Station 20 - 3,000 MHz

3.2 โปรแกรมที่ใช้ในการดำเนินโครงการ

- Spectrum Monitoring System Client – Scorpio Client

3.3 ขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแต่ละโครงการจะมีกระบวนการดำเนินงานเหมือนกัน โดยยึดถือโครงสร้างของสำนักงาน แสดงได้ดังรูปที่ 3.1 เป็นหลักในการปฏิบัติงาน ซึ่งนักศึกษาเองมีโอกาสดำเนินการ 2 ฝ่าย ได้แก่ ฝ่ายตรวจสอบการใช้ความถี่และฝ่ายใบอนุญาตวิทยุคมนาคม โดยจะเน้นไปที่ฝ่ายตรวจสอบการใช้ความถี่เป็นหลัก โดยอธิบายหน้าที่ที่ปฏิบัติงานดังต่อไปนี้

- หน้าที่ความรับผิดชอบแบ่งออกเป็น 2 ฝ่ายงาน ได้แก่

1) ฝ่ายตรวจสอบการใช้ความถี่ ทำหน้าที่

- การตรวจวัดความแรงของสนาม ตรวจสอบการตั้งสถานีฐาน หรือกรณีชุมชนร้องเรียน

- ตรวจสอบการครอบครองความถี่วิทยุ ตรวจสอบมาตรฐานการแพร่คลื่นวิทยุ ตรวจสอบ

แก้ไขการรบกวนคลื่นวิทยุและตรวจสอบความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาต

2) ฝ่ายใบอนุญาตวิทยุคมนาคม ทำหน้าที่

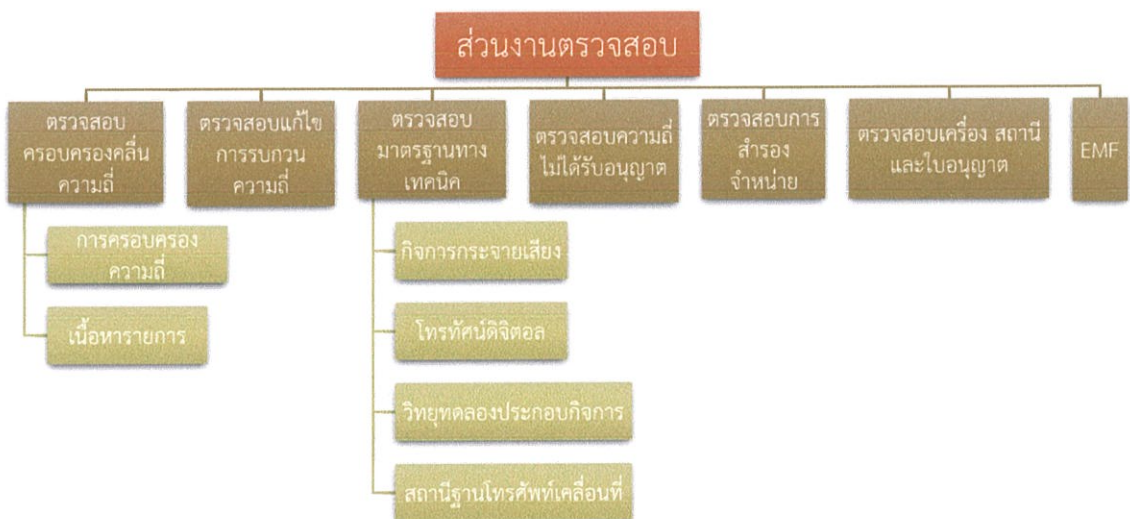
- การทำ/นำเข้าเครื่องวิทยุคมนาคม

- การออกใบอนุญาต เพิกถอนและพักใช้ใบอนุญาตวิทยุคมนาคม
- การตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุ และควบคุม กำกับ ดูแลการใช้วิทยุคมนาคม
- การวางกฎ ระเบียบ ข้อบังคับ และการบังคับใช้กฎหมายรวมถึงเข้าจับกุมเครื่องวิทยุคมนาคมที่ไม่ได้รับอนุญาตหรือเถื่อน

➤ โครงสร้างสำนักงาน



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างสำนักงาน



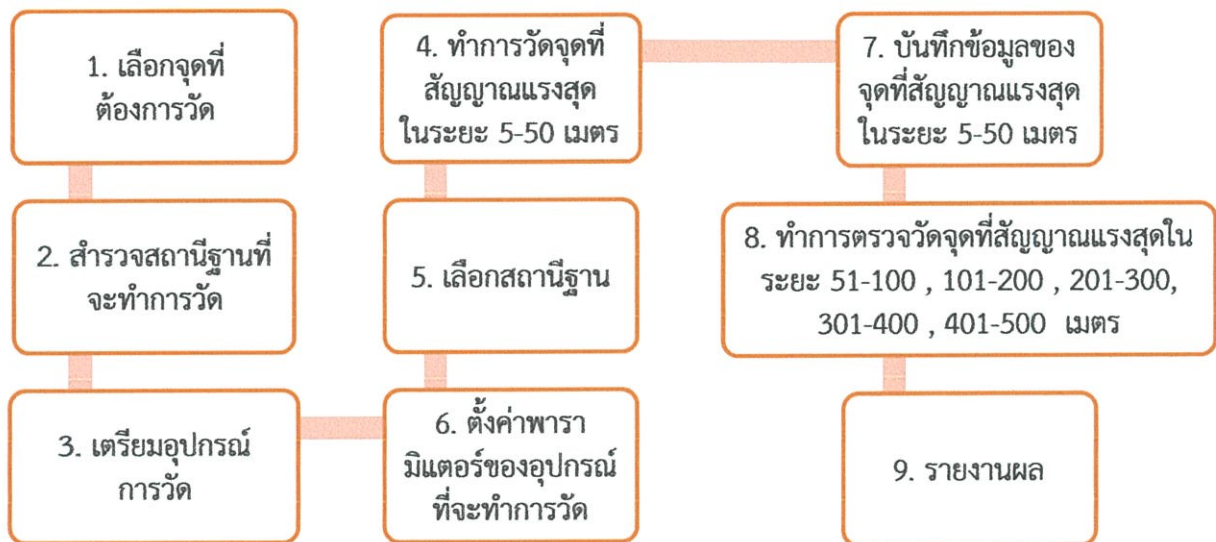
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมกิจกรรมงานของส่วนตรวจสอบคลื่นความถี่

3.3.1 การดำเนินงานของฝ่ายตรวจสอบการใช้ความถี่

3.3.1.1 การตรวจวัดความแรงของสนามไฟฟ้า ตรวจสอบการตั้งสถานีฐาน หรือกรณี

ชุมชนร้องเรียน

ขั้นตอนการดำเนินงานแต่ละโครงการจะมีกระบวนการดำเนินงานเหมือนกัน โดยยึดถือบล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการวัดความแรงสนามไฟฟ้า แสดงได้ดังรูปที่ 3.2 เป็นหลักในการปฏิบัติงาน โดยในการดำเนินการผู้ตรวจสอบจะมีการออกตรวจสอบตามสถานที่ต่างๆตามแผนปฏิบัติงานของตนอยู่แล้ว แต่หากมีกรณีชุมชนร้องเรียนเข้ามาเนื่องจากกลัวผลกระทบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคมที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ กสทช. จึงประกาศกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุโทรคมนาคมไว้ ดังมีรายละเอียดตามมาตรฐานเลขที่ กทข. มท. 5001-2550



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการวัดความแรงสนามไฟฟ้า

➤ รายละเอียดของกระบวนการ

• เลือกจุดที่ต้องการวัด

1. ทำการสำรวจพื้นที่ที่จะทำการวัดเพื่อความสะดวกในการดำเนินการตรวจวัด เช่น การสำรวจเส้นทางที่จะทำการตรวจวัด
2. เลือกแนวถนนที่จะทำการวัด ควรมีระยะทางประมาณ 500 เมตร ซึ่งเป็นระยะทางสูงสุดในการตรวจวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กโดยทั่วไป
3. พื้นที่ที่เหมาะสมในการวัดควรเป็นพื้นที่ที่สามารถเข้าถึงได้สะดวก และตำแหน่งในการวัดควรมองเห็นสถานีฐานได้ชัดเจน

• สำรวจสถานีฐานที่จะทำการวัด

4. สำรวจสถานีฐานที่จะทำการวัด บันทึกค่า ตำแหน่ง พิกัดที่ตั้ง ถ่ายภาพสภาพแวดล้อมทั่วไปของตำแหน่งสถานีฐาน

- **เตรียมอุปกรณ์การวัด**

5. จัดเตรียมอุปกรณ์ในการสำรวจสถานีฐานและอุปกรณ์วัดความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนี้

- Spectrum Analyzer ความถี่ 9 kHz to 6 GHz
- สายอากาศ Tri-Axis-Probe (Isotropic antennas ความถี่ 30 MHz to 3 GHz)
- Cable for a Portable EMF Measurement System
- GPS
- Digital Camera
- Tripod
- Notebook และอุปกรณ์
- กล้องวัดระยะทาง

- **ตั้งค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ที่จะทำการวัด**

6. ทำการเลือกเซกเตอร์ (Sector) ของสถานีฐานที่จะทำการวัด โดยมีแนวลำคลื่นหันไปทางทิศทางตามแนวถนนที่มีแหล่งชุมชนหนาแน่น มีลักษณะเป็น Line of Sight ไม่มีสิ่งกีดขวางเพื่อสะดวกในการวัดและเพื่อได้แนวของความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามากที่สุด

7. ติดตั้งอุปกรณ์ชุดตรวจวัดความแรงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แบบสะพายถือ (TS-EMF) เพื่อเตรียมการวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ประกอบ Isotropic antennas เข้ากับเครื่อง Spectrum Analyzer โดยทำการต่อ N Connector ของสายอากาศ เข้ากับเครื่องวัดโดยผ่าน Adapter Connector

- **เลือกสถานีฐาน**

8. ทำการเลือกชื่อผู้ให้บริการโดยเลือกที่ย่านความถี่ในช่วงขาลง (Downlink)

- **ทำการตรวจวัดจุดที่สัญญาณแรงที่สุดในระยะ 5-50 เมตร**

9. ทำการสำรวจรอบแรกเพื่อหาตำแหน่งที่มีความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุดในระยะที่กำหนด โดยทำการวัดที่ระยะความสูง 1.5 เมตร โดยเฉลี่ย โดยทำการวัดแบบ Single Measurement Mode เมื่อได้ตำแหน่งที่มีค่าสูงที่สุดแล้วก็จะกลับมาทำการวัดค่า ณ ตำแหน่งที่ได้เลือกไว้ โดยใช้การวัด Spatial Averaging แบบ 3 จุด ค่าเฉลี่ย 6 นาที

- **บันทึกข้อมูลของจุดที่สัญญาณแรงที่สุดในระยะทาง 5-50 เมตร**

10. ถ่ายรูปตำแหน่งการวัด ณ ตำแหน่งที่มีค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามากที่สุด โดยถ่ายไปยังทิศทางของสถานีฐาน ให้เห็นภาพลักษณะโดยทั่วไปในบริเวณนั้น

11. บันทึกค่าระยะห่างระหว่างสถานีฐานมายังจุดที่ทำการวัด โดยดูจากอุปกรณ์ GPS

12. เครื่องวัดจะบันทึกผลการวัดค่าต่างๆโดยอัตโนมัติ

- **ทำการตรวจวัดจุดที่สัญญาณแรงที่สุดในระยะ 51-100, 101-200, 201-300, 301-400, 401-500 เมตร**

13. ทำซ้ำตามขั้นตอนข้อ 9-12 ในระยะ 51-100 , 101-200, 201-300, 301-400, 401-500 เมตรตามลำดับ

- **รายงานผล**

14. จัดทำรายงานผลการตรวจวัดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่

หมายเหตุ

หลังจากมีการตรวจวัดการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วพบว่าผลการตรวจสอบมีค่าเกินมาตรฐานตามประกาศหลักเกณฑ์ที่สำนักงาน กสทช. กำหนด จะต้องทำรายงานแจ้งผู้ประกอบการให้แก้ไข แล้วทางผู้ประกอบการจะต้องดำเนินการแก้ไขและจำเป็นต้องส่งผลหลังการแก้ไขมาที่สำนักงาน กสทช. จากนั้นผู้ตรวจสอบจะออกไปตรวจสอบ ณ สถานที่นั้นอีกครั้งหนึ่งเพื่อเป็นการตรวจสอบความเรียบร้อย และรายงานผลให้ผู้บังคับบัญชาทราบ



รูปที่ 3.4 Isotropic antennas ต่อกับเครื่อง Spectrum Analyzer ที่ใช้ในการวัด



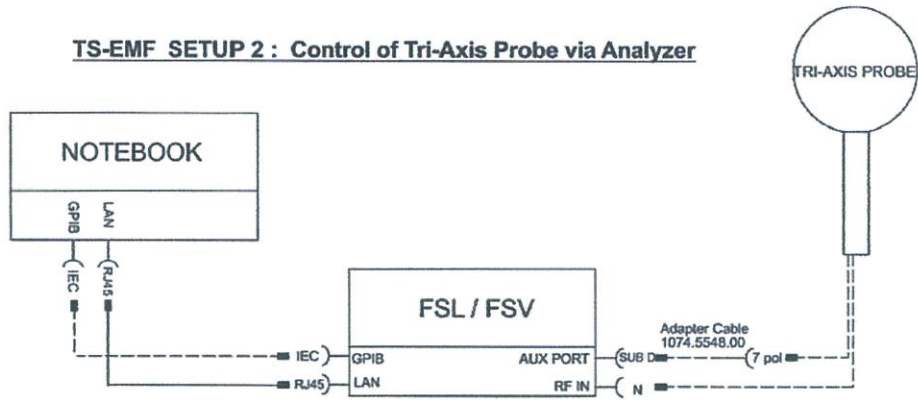
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างตำแหน่งที่ทำการวัดสัญญาณในระยะ 5-50 เมตรจากสถานีฐานและต้องทำการวัดสัญญาณซ้ำในลักษณะที่ทุก 101-200, 201-300, 301-400, 401-500 เมตร ถัดไปตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 ตารางย่านความถี่ของเครือข่ายที่ทำการวัด

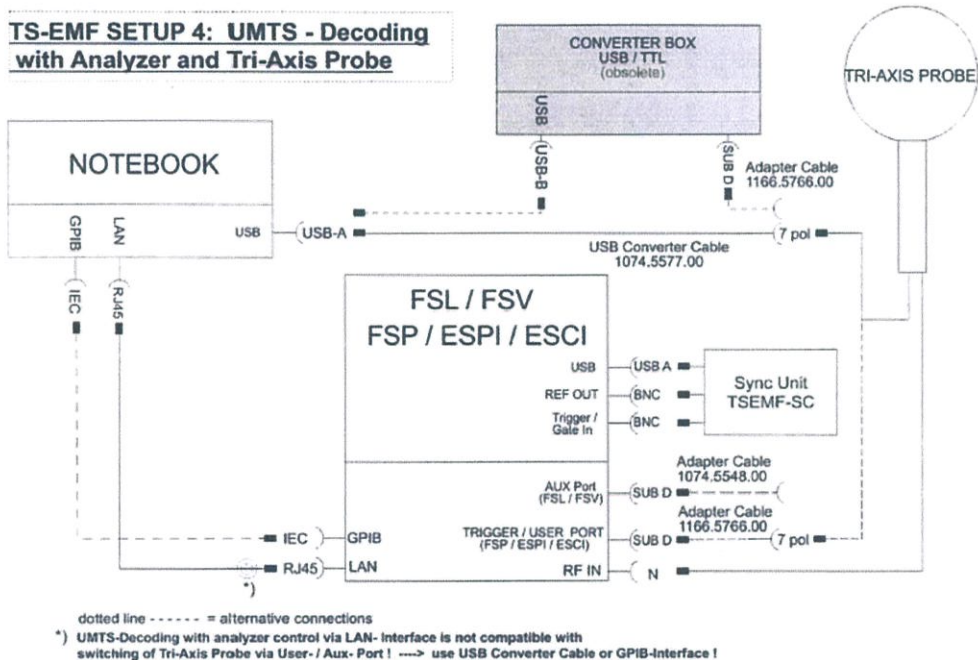
ลำดับ	ความถี่วิทยุที่ได้รับการจัดสรร	ระบบ	หน่วยงานที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ความถี่	บริษัทที่ได้รับสัมปทาน
1	824-839 MHz/869-884 MHz	HSPA 850	บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน)	บริษัท ทรู มูฟ จำกัด (2025)
2	839-849 MHz/884-894 MHz	HSPA 850	บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน)	บริษัท โทเทิล แอ็คเซ็ส คอมมูนิเคชั่น จำกัด (2018)
3	895-905 MHz/940-950 MHz	LTE 900	บริษัท แอดวานซ์ ไวร์เลส เนทเวอร์ค จำกัด	(2034)
4	905-915 MHz/950-960 MHz	LTE 900	บริษัท ทรูมูฟ เอช ยูนิเวอร์แซล คอมมิวนิเคชั่น จำกัด	(2034)
5	1710-1725 MHz/1805-1820 MHz	LTE 1800	บริษัท ทรูมูฟ เอช ยูนิเวอร์แซล คอมมิวนิเคชั่น จำกัด	(2033)
6	1725-1740MHz/1820-1835MHz	LTE 1800	บริษัท แอดวานซ์ ไวร์เลส เนทเวอร์ค จำกัด	(2033)
7	1740-1765MHz/1835-1860MHz	LTE 1800	บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน)	บริษัท โทเทิล แอ็คเซ็ส คอมมูนิเคชั่น จำกัด (2018)
8	1906.1-1918.6	PHS	บริษัท ทศท คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน)	บริษัท ทรู คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน)
9	1920-1935MHz/2110-2125MHz	HSPA-2000	บริษัท ดีแทค ไตรเนต จำกัด	(2027)
10	1935-1950MHz/2125-2140MHz		บริษัท ทรูมูฟ เอช ยูนิเวอร์แซล คอมมิวนิเคชั่น จำกัด	
11	1950-1965MHz/2140-2155MHz		บริษัท แอดวานซ์ ไวร์เลส เนทเวอร์ค จำกัด	
12	1965-1980MHz/2155-2170MHz	HSPA-2000	บริษัท ทศท คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน)	

➤ การติดตั้งอุปกรณ์ชุดตรวจวัดความแรงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แบบสะพานถือ (TS-EMF) เพื่อเตรียมการวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ประกอบ Isotropic antennas เข้ากับเครื่อง Spectrum Analyzer โดยทำการต่อ N Connector ของสายอากาศ เข้ากับเครื่องวัดโดยผ่าน Adapter Connector ดังแสดงตาม Diagram ข้างล่าง



รูปที่ 3.6 การต่อชุดเครื่องมือวัดความแรงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แบบสะพายถือ (TS-EMF)



รูปที่ 3.7 การต่อชุดเครื่องมือวัดความแรงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แบบสะพายถือ (TS-EMF) เพื่อถอดรหัส Decoding with analyzer control via-LAN ของสถานีฐาน

➤ การวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของผู้ให้บริการแบบแหล่งกำเนิดเดียว (Single Source)

1. ในการวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของแต่ละสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ให้บริการแต่ละรายจะทำการวัดแบบแหล่งกำเนิดเดียว (Single Source)
2. ในการวัดแต่ละจุดจะใช้หลักการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาและระยะทาง (Time and Spatial variability) ตามมาตรฐาน ตามมาตรฐาน กทช. มท. 5001-2550 และมาตรฐาน ITU-T Recommendation K-61 (2005)
3. ในการวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะใช้การวัด Spatial Averaging แบบ 3 จุด ค่าเฉลี่ย 6 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.9

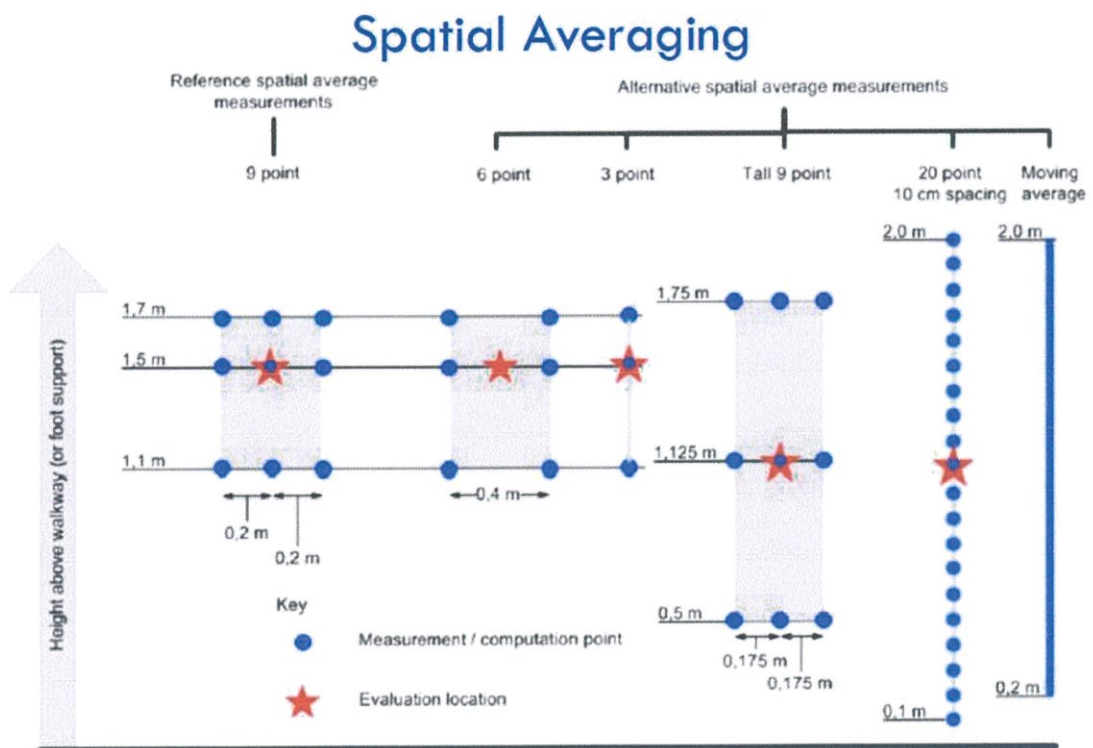
4. การวัดไม่ควรวัดใกล้กับแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและวัตถุที่เป็นโลหะ เพื่อหลีกเลี่ยงการ Coupling มายังโพรบ เช่น โพรบควรห่างจากวัตถุที่เป็นโลหะอย่างน้อย 3 เท่าของขนาดโพรบ

➤ การวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของผู้ให้บริการแบบหลายแหล่ง (Multi Source)

1. ใช้ในกรณีได้รับร้องเรียนจากผู้บริโภค
2. วิธีการวัดจะมีขั้นตอนเช่นเดียวกับการวัดแบบแหล่งกำเนิดเดียว แต่จะแตกต่างในส่วนของการเลือก Service Provider โดยเลือกย่านความถี่ทั้งหมดที่ทำการวัดเพื่อให้ได้ผลรวมของความแรงสนามไฟฟ้าทั้งหมด

➤ การวัดสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า ณ สถานที่พักอาศัยที่มีผู้ร้องเรียน

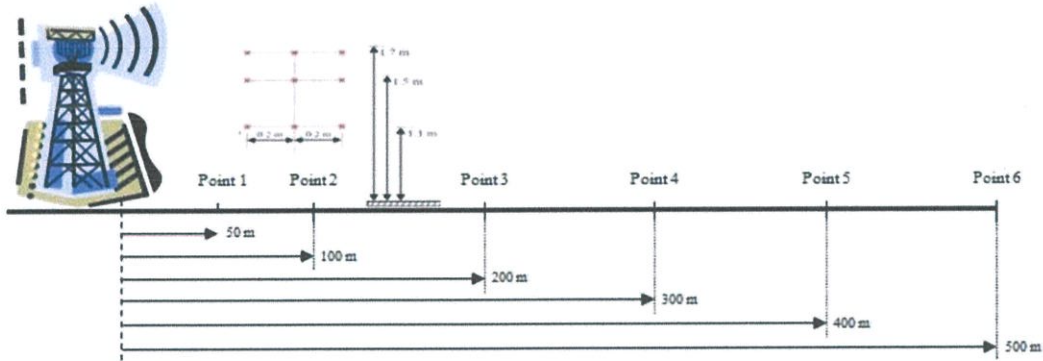
1. ประสานผู้ร้องเรียนเพื่อขอเข้าสถานที่ ที่จะทำการตรวจวัดความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
2. ทำการเดินสำรวจรอบแรกเพื่อหาตำแหน่งที่มีความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุดก่อน โดยทำการวัดที่ระยะความสูง 1.5 เมตร โดยเฉลี่ย เมื่อได้ตำแหน่งที่มีค่าสูงที่สุดแล้วก็จะกลับมาทำการวัดค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่เลือกไว้แล้ว โดยใช้การวัด Spatial Averaging แบบ 3 จุด ค่าเฉลี่ย 6 นาที แล้วทำการบันทึกค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ตามรูปที่ 3.8
3. ทำการถ่ายรูปตำแหน่งการวัด ณ ตำแหน่งที่มีความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามากที่สุด โดยถ่ายไปยังทิศทางของสถานีฐาน ให้เห็นภาพลักษณะโดยทั่วไปในบริเวณนั้น
4. บันทึกค่าระยะห่างระหว่างสถานีฐานมายังจุดที่ทำการวัด โดยดูจากอุปกรณ์ GPS



รูปที่ 3.8 จุดการวัดแบบ Spatial Averaging

➤ การวัดความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อตรวจสอบการตั้งสถานีฐาน หรือกรณีที่ชุมชนร้องเรียน

1. แบ่งช่วงการวัดไว้ทั้งหมด 6 จุดดังนี้ ตั้งแต่ระยะ 5 เมตร ถึง 50 เมตร 51 เมตร ถึง 100 เมตร 101 เมตร ถึง 200 เมตร 201 เมตร ถึง 300 เมตร 301 เมตร ถึง 400 เมตร และ 401 เมตร ถึง 500 เมตร ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.9 ช่วงการวัดทั้ง 6 จุด และสำรวจระยะที่มีระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุด

2. ทำการเดินสำรวจรอบแรกเพื่อหาตำแหน่งที่มีความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุดก่อน โดยทำการวัดที่ระยะความสูง 1.5 เมตร โดยเฉลี่ย เมื่อได้ตำแหน่งที่มีค่าสูงที่สุดแล้วก็จะกลับมาทำการวัดค่า ณ ตำแหน่งที่ได้เลือกไว้ (ตำแหน่งที่มีความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุด) แล้วทำการบันทึกค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ตามรูปที่ 3.9

3. ทำการถ่ายรูปตำแหน่งการวัด ณ ตำแหน่งที่มีค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามากที่สุด โดยถ่ายภาพไปยังทิศทางของสถานีฐาน ให้เห็นภาพลักษณะโดยทั่วไปในบริเวณนั้น

4. บันทึกค่าระยะห่างระหว่างสถานีฐานมายังจุดที่ทำการวัด โดยดูจากอุปกรณ์ GPS

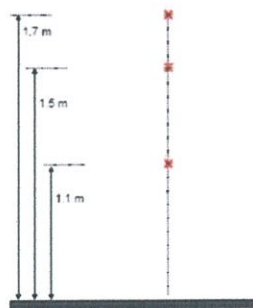
5. ทำการเลือกชื่อผู้ให้บริการโดยเลือกที่ย่านความถี่ในช่วงขาลง (Downlink)

6. ในการวัดแต่ละจุดจะใช้เวลาและระยะทาง ตามมาตรฐาน กทข. มท. 5001-2550 และมาตรฐาน ITU-T Recommendation K-61 (2005)

7. การวัดไม่ควรวัดใกล้กับแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและวัตถุที่ใช้โลหะ เพื่อหลีกเลี่ยงการ Coupling มายังโพรบ เช่น โพรบควรห่างจากวัตถุที่เป็นโลหะอย่างน้อย 3 เท่าของขนาดโพรบ

8. ทำการวัดซ้ำ ค่าเฉลี่ย 6 นาที จำนวน 5 ครั้ง เพื่อหาค่า Repeatability of Measurement โดยทำการวัดแบบ Single Measurement Mode

9. ในการวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในที่นี่จะใช้การวัด Spatial Averaging แบบ 3 จุด ค่าเฉลี่ย 6 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 จุดการวัดแบบ Spatial Averaging

3.3.1.2 การตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุ

ขั้นตอนการดำเนินงานแต่ละโครงการจะมีกระบวนการดำเนินงานเหมือนกัน โดยยึดถือบล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการวัดความแรงสนามไฟฟ้า แสดงได้ดังรูปที่ 3.10 เป็นหลักในการปฏิบัติงาน ในการดำเนินการผู้ตรวจสอบจะมีการออกตรวจสอบตามสถานที่ต่างๆตามแผนปฏิบัติงานของตนอยู่แล้ว แต่หากมีกรณีชุมชนร้องเรียนเข้ามาอาจเนื่องมาจากการรบกวนกันเองของสถานีวิทยุซึ่งอาจจะเกิดจากการแพร่แปลกปลอมหรือมีการรบกวนจากการใช้คลื่นความถี่ในกิจการวิทยุการบิน กสทช. จึงประกาศกำหนดหลักเกณฑ์การวัดการแพร่แปลกปลอมของสถานีทดลองประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง หลักเกณฑ์การกำกับดูแลการทดลองประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง และหลักเกณฑ์ป้องกันการรบกวนการใช้คลื่นความถี่ในกิจการวิทยุการบินของสถานีวิทยุกระจายเสียงได้รับจัดสรรคลื่นความถี่



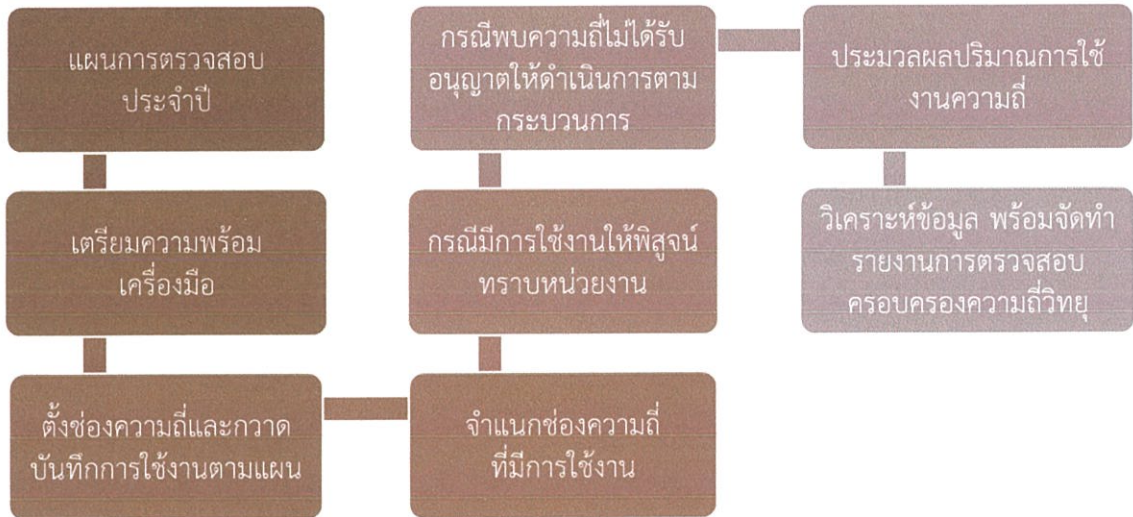
รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุ

➤ วัตถุประสงค์การตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุ

การตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุ ประกอบด้วยกิจกรรมหลัก ดังนี้

• กิจกรรม 1 ตรวจสอบการครอบครองคลื่นความถี่วิทยุ

1. เพื่อควบคุมการใช้คลื่นวิทยุให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ ข้อกำหนดและเงื่อนไขที่อนุญาต
2. เพื่อจัดทำฐานข้อมูลการครอบครองช่องความถี่วิทยุมาใช้ประกอบการพิจารณาจัดสรรความถี่อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งการจัดสรรช่องความถี่ใหม่ การจัดสรรช่องความถี่ใช้ร่วม (Sharing Frequency) และการเรียกคืนช่องความถี่ที่ไม่มีการใช้งาน
3. เพื่อหาข้อมูลเบื้องต้นของการใช้ความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาต สำหรับนำไปขยายผลตรวจสอบและระงับการกระทำของผู้ละเมิดต่อไป



รูปที่ 3.12 บล็อกโตอะแกรมขั้นตอนตรวจสอบการครอบครองคลื่นความถี่วิทยุ

• กิจกรรม 2 ตรวจสอบมาตรฐานการแพร่คลื่นวิทยุ

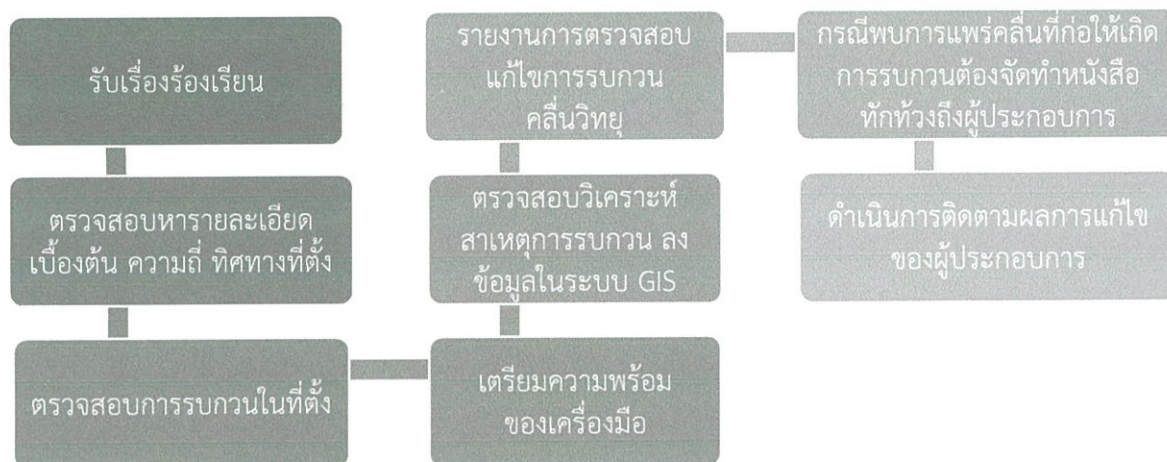
1. เพื่อควบคุมการแพร่คลื่นวิทยุให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด
2. เพื่อบริการตรวจวัดทางเทคนิคของการแพร่คลื่นวิทยุตามที่ได้รับร้องขอหรือประสานความร่วมมือกับหน่วยงานทั้งในและต่างประเทศ
3. เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการรบกวนระหว่างคลื่นความถี่วิทยุกระจายเสียงและวิทยุโทรทัศน์



รูปที่ 3.13 บล็อกโตอะแกรมขั้นตอนการตรวจสอบมาตรฐานทางเทคนิคการแพร่คลื่น

• กิจกรรม 3 ตรวจสอบแก้ไขการรบกวนคลื่นวิทยุ

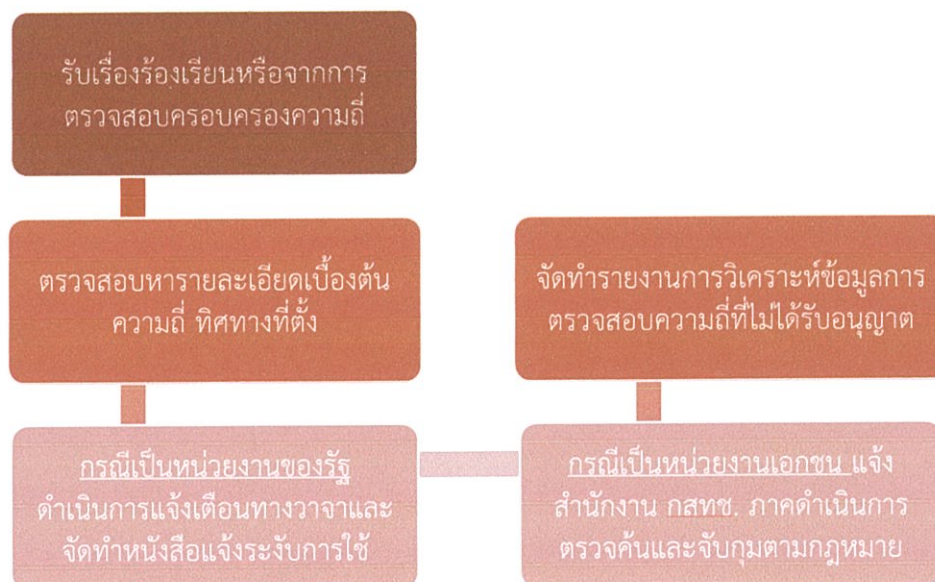
1. เพื่อจัดการรบกวนคลื่นวิทยุระหว่างข่ายวิทยุคมนาคมต่าง ๆ ให้สามารถใช้งานติดต่อสื่อสารกันได้ อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด
2. เพื่อจัดการรบกวนระหว่างคลื่นความถี่วิทยุกระจายเสียงและวิทยุโทรทัศน์ ให้ประชาชนสามารถรับคลื่นสัญญาณได้ชัดเจน



รูปที่ 3.14 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการตรวจสอบแก้ไขการรบกวนคลื่นวิทยุ

• กิจกรรม 4 ตรวจสอบความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาต

1. เพื่อระงับการใช้ความถี่วิทยุที่ไม่ได้รับอนุญาต
2. เพื่อลดจำนวนผู้ละเมิดการใช้ความถี่วิทยุผิดกฎหมาย
3. เพื่อควบคุมป้องกันไม่ให้เกิดการรบกวนระหว่างข่ายวิทยุคมนาคมต่าง ๆ ให้สามารถใช้งานติดต่อสื่อสารกันได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ 3.15 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการตรวจสอบความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาต

➤ การตรวจวัดคลื่นความถี่ทางเทคนิค มีวัตถุประสงค์หลักดังนี้

- 1) ตรวจวัดความถี่ของสถานีวิทยุต่าง ๆ ภายในประเทศเป็นประจำ
- 2) ตรวจวัดความเข้มสัญญาณ (Field strength) ของการแพร่กระจายคลื่นต่างๆภายในประเทศ และตรวจวัดการแพร่กระจายคลื่นแปลกปลอม (Spurious emissions)

3) ตรวจสอบวัดหาทิศทางวิทยุ เพื่อช่วยในการพิสูจน์ทราบสถานีวิทยุที่ก่อให้เกิดการรบกวนและที่ใช้ความถี่โดยไม่ได้รับอนุญาตภายในประเทศ

4) ตรวจสอบวัดความกว้างแถบคลื่นความถี่ (Bandwidth) ของสถานีวิทยุต่าง ๆ ภายในประเทศ และสถานีวิทยุจากต่างประเทศที่อาจก่อให้เกิดการรบกวนต่อสถานีวิทยุภายในประเทศ

5) ตรวจสอบวัดการผสมสัญญาณคลื่น (Modulation) ของสถานีวิทยุต่าง ๆ ภายในประเทศ เพื่อตรวจสอบว่าสัญญาณคลื่นมีการผสมสัญญาณคลื่นเป็นไปตามพิกัดที่กำหนดหรือไม่ และยังเป็นการควบคุมการใช้ Bandwidth และ Spectrum ที่เกิดพิกัดด้วย

6) ตรวจสอบและวัดค่าต่างๆ เพื่อรวบรวมข้อมูลสนองบริการทางเทคนิค

7) พิสูจน์ทราบและตรวจสอบวัดความถี่ของสถานีวิทยุจากต่างประเทศเป็นประจำ เพราะอาจเป็นสาเหตุก่อให้เกิดการรบกวนอย่างร้ายแรงต่อสถานีวิทยุภายในประเทศได้

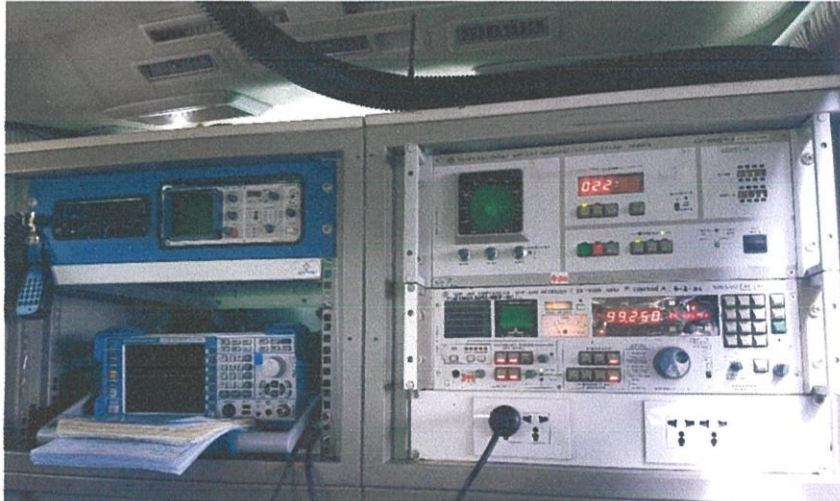
➤ อุปกรณ์การวัด

อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุ มีดังนี้

- Spectrum Analyzer Rohde & Schwarz FS8
- VHF-UHF The Rohde & Schwarz ESM-500A Receiver [20-1000 MHz]
- VHF-UHF DF Unit PP 055 S
- HE300 Antenna [200 MHz - 500 MHz]
- HE300 Antenna [20 MHz - 200 MHz]
- Mobile Direction Finder 20 MHz – 1GHz and 20 MHz – 3 GHz
- GPS
- Digital Camera
- Notebook และอุปกรณ์



รูปที่ 3.16 Spectrum Analyzer Rohde & Schwarz FS8



รูปที่ 3.17 อุปกรณ์ที่ใช้ในรถตรวจสอบ (Mobile Direction Finder)



รูปที่ 3.18 รถตรวจสอบ (Mobile Direction Finder : 20 MHz – 1 GHz)



รูปที่ 3.19 HE300 Antenna [20 MHz - 200 MHz]



รูปที่ 3.20 HE300 Antenna Module [200 MHz - 500 MHz]

➤ ขั้นตอนการดำเนินงาน

การวัดค่าการเบี่ยงเบนความถี่ วิธี Simple spectrum mask based method

สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ ได้เสนอแนะค่าขีดจำกัดของสเปกตรัมของการแพร่แบบ FM ของสถานีวิทยุกระจายเสียงไว้ดังปรากฏในรูปที่ 3.21 ซึ่งถ้าสเปกตรัมของการแพร่แบบ FM มีค่าเกินขีดจำกัดดังกล่าว แสดงว่าค่าเบี่ยงเบนความถี่มีค่าเกินค่าที่กำหนดไว้ (± 75 kHz)

• การตั้งค่าเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่

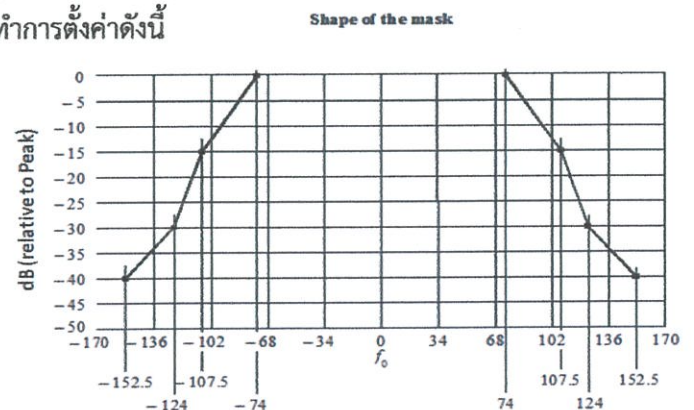
- center frequency (carrier frequency of the transmitter)
- resolution bandwidth = 10 kHz (IF Filter)
- video bandwidth = 10 kHz (video Filter)
- span = 340 kHz
- sweep time = 340 ms (1 ms/kHz)
- max hold mode
- เลือกค่า input attenuation ให้เหมาะสมกับค่า input level
- Limit Line (spectrum mask)

การวัดสเปกตรัมที่เกิดจากการมอดูเลตสัญญาณวิทยุกระจายเสียงระบบ FM เพื่อตรวจสอบว่ามีค่าเกินค่าขีดจำกัดที่กำหนดไว้หรือไม่ สามารถทำได้โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมที่มีฟังก์ชันการเก็บค่า spectrum mask และกำหนดการตั้งค่าของเครื่องและเงื่อนไขการวัดดังนี้

• การตั้งค่า Limit Line (Spectrum mask) ใน Spectrum Analyzer

เข้า Menu → Display → Edit → Edit upper ทำการตั้งค่าดังนี้

ลำดับ	ความถี่ (kHz)	ความแรง (dBm)	สถานะ
1	-152.5	-40	Slope
2	-124.0	-30	Slope
3	-107.5	-15	Slope
4	-74	0	Flat
5	74	0	Slope
6	107.5	-15	Slope
7	124.0	-30	Slope
8	152.5	-40	Point



รูปที่ 3.21 ขีดจำกัดของสเปกตรัมของการแพร่แบบ FM

เสร็จแล้ว กดปุ่ม Save → Trace Internal → Limit Line → เลือก Register ที่เราต้องการเก็บบันทึก (1-52) / เครื่องบางรุ่น บางยี่ห้อ อาจให้ตั้งชื่อไฟล์ → กดปุ่ม Enter

• เงื่อนไขการวัด

1. วัด 3 ครั้ง ครั้งละ 5 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มี impulse interference ในช่วงที่ทำการวัด
2. ควรมีระดับที่ต้องการวัดอย่างน้อย 43 dB(pW) หรือเท่ากับ 60 dBμV ที่ความต้านทาน 50 โอห์ม
3. ควรมีอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนและสัญญาณไม่พึงประสงค์อื่น $\frac{S}{I+N}$

สูงกว่า 50 dB

4. ไม่ควรมีการรบกวนแบบอิมพัลส์ เช่น การจุดระเบิด , หม้อแปลงไฟฟ้า , มอเตอร์ไฟฟ้า
5. นำรูปการวัดเทียบกับ Spectrum mask ที่ได้ตั้งค่าไว้แล้ว โดยให้เส้นกึ่งกลางของแกน X ของ mask ทับกับความถี่ศูนย์กลาง (f_0) และปรับค่า reference level ของแกน Y ให้ค่าแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณเท่ากับ 0 dB
6. ตรวจสอบว่าค่าที่ได้จากการวัดอยู่ในเส้นขอบของ Spectrum mask หรือไม่

• เกณฑ์ตัดสิน

หากมีสัญญาณเกินเส้นขอบของ Spectrum mask แสดงว่า การเบี่ยงเบนความถี่ของสถานีวิทยุกระจายเสียงนั้นเกินค่าที่กำหนด (± 75 kHz)



รูปที่ 3.22 ภาพขณะปฏิบัติงาน

หมายเหตุ

หลังจากมีการตรวจสอบการครอบครองความถี่วิทยุ ตรวจสอบมาตรฐานการแพร่คลื่นวิทยุ ตรวจสอบแก้ไขการรบกวนคลื่นวิทยุแล้วพบว่าผลการตรวจสอบมีค่าเกินมาตรฐานตามประกาศหลักเกณฑ์ที่สำนักงาน กสทช. กำหนด จะต้องทำรายงานแจ้งผู้ประกอบการให้แก้ไข แล้วทางผู้ประกอบการจะต้องดำเนินการแก้ไขและจำเป็นต้องส่งผลหลังการแก้ไขมาที่สำนักงาน กสทช. จากนั้นผู้ตรวจสอบจะออกไปตรวจสอบ ณ สถานที่นั้นอีกครั้งหนึ่งเพื่อเป็นการตรวจสอบความเรียบร้อย และรายงานผลให้ผู้บังคับบัญชาทราบ แต่หากตรวจสอบพบว่ามีการใช้ความถี่โดยไม่ได้รับอนุญาต กสทช. จะดำเนินการตามกฎหมายตามพระราชบัญญัติประกอบกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติทันที

3.3.1.3 โปรแกรมที่ใช้ในการดำเนินโครงการ (Scorpio Client)

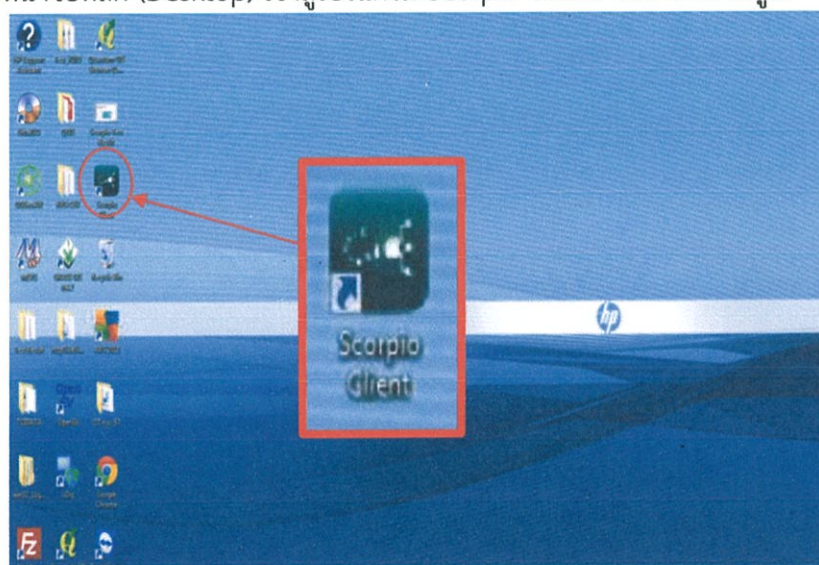
- Spectrum Monitoring System Client – Scorpio Client เป็นโปรแกรมที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ เป็นการตรวจสอบการใช้ความถี่ที่ครอบคลุมการตรวจสอบควบคุมระยะไกล (Remote Controlled Station)

จะใช้ในจุดประสงค์ของการตรวจสอบครอบครองความถี่ คือการรวบรวมข้อมูลการแพร่กระจายคลื่นภายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้ สามารถนำไปสรุปผลในรูปแบบต่างๆต่อไปได้ เช่น นำไปคำนวณร้อยละของการใช้งานต่อย่านหรือช่องความถี่ โดยพิจารณาจากช่วงเวลาที่ความแรงของสัญญาณเกินกว่าระดับที่กำหนดได้ ทั้งนี้ ปัจจัยที่ต้องตรวจสอบ ประกอบด้วย ใครเป็นผู้ใช้งาน, มีการใช้งานในบริเวณใด และการใช้งานนั้นเกิดขึ้นในช่วงเวลาใด

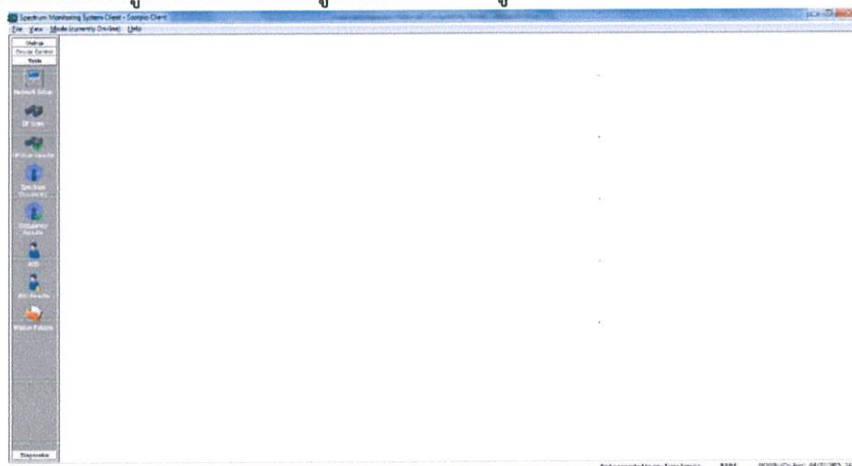
➤ วิธีการใช้โปรแกรม Scorpio Client สำหรับตรวจสอบครอบครองการใช้ความถี่

• การเข้าโปรแกรม

1. จากหน้าจอหลัก (Desktop) เข้าสู่โปรแกรม Scorpio Client ด้วย Icon ดังรูป

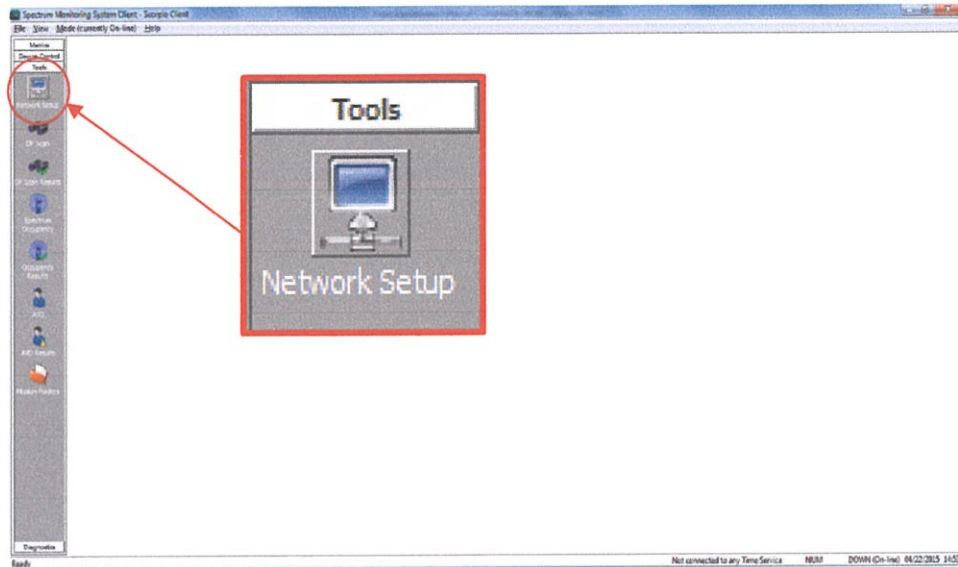


2. จากนั้นรอสักครู่ระบบจะเปิดเข้าสู่หน้าจอหลัก ดังรูป

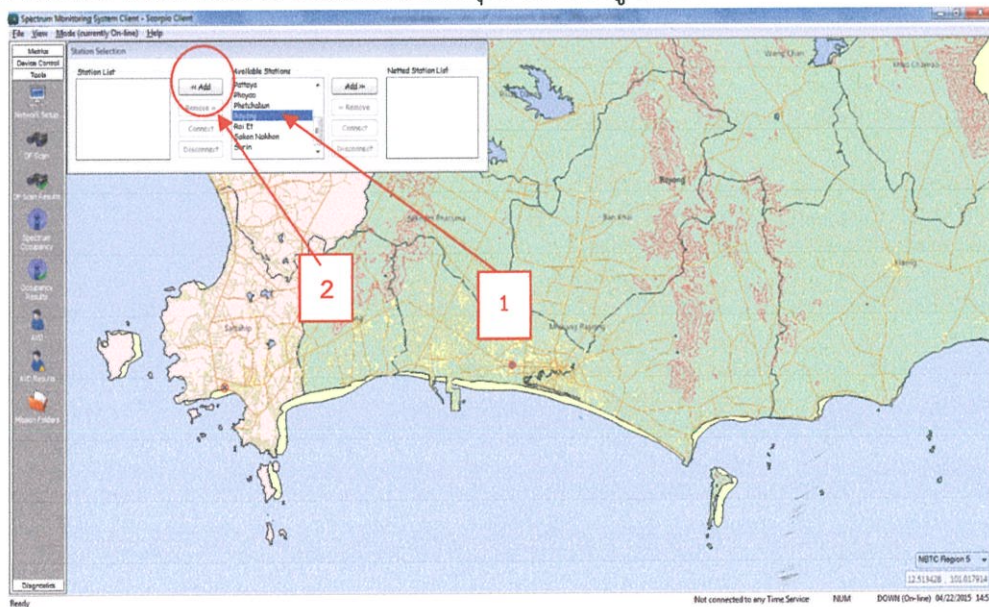


• วิธีการเชื่อมต่อกับสถานีตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุระบบควบคุมระยะไกล (สถานีรีโมต)

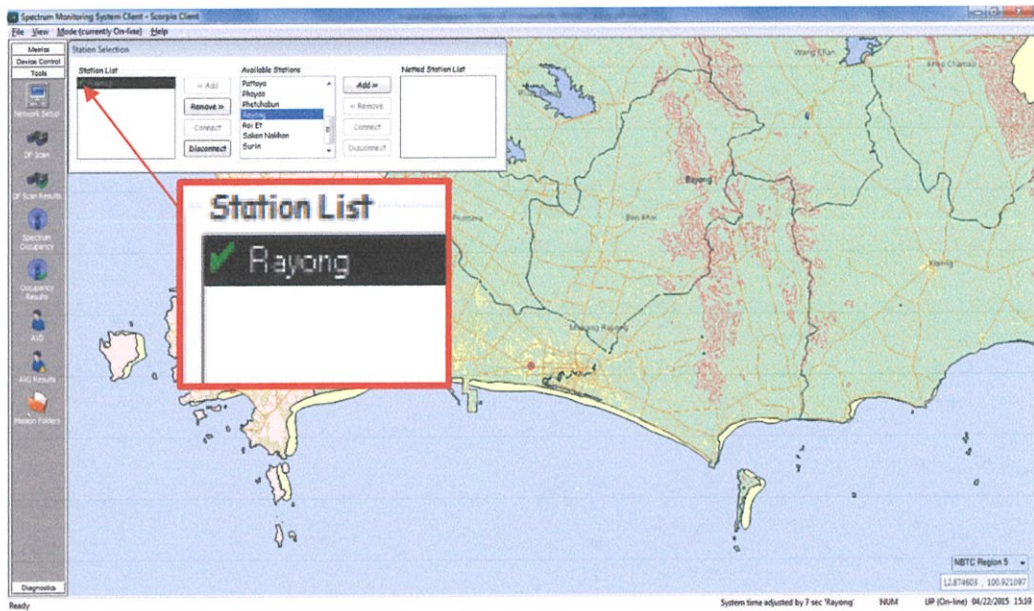
3. จากหน้าจอหลัก เลือก Tool > Network Setup



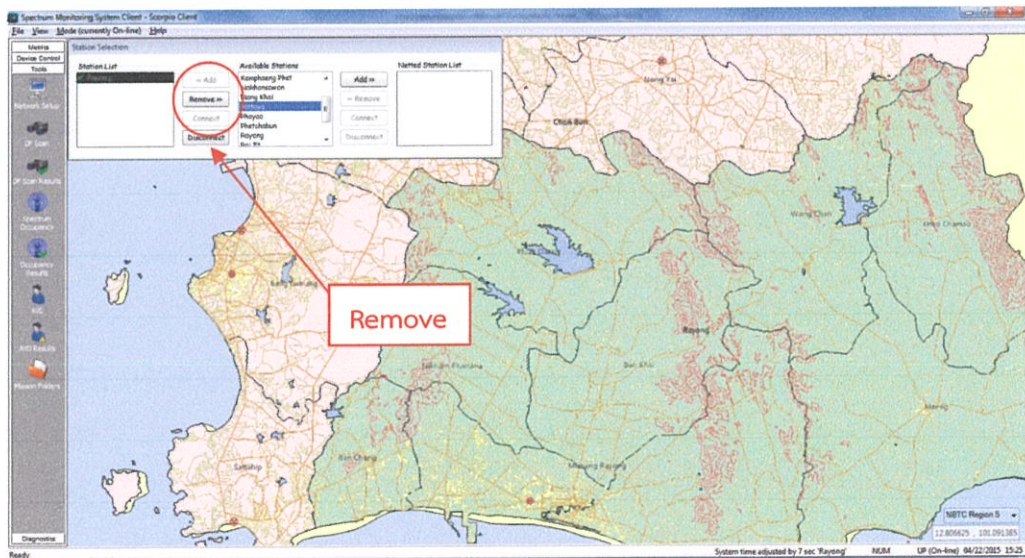
4. เลือกสถานีรีโมตที่ต้องการสแกน แล้วกดปุ่ม Add เข้าสู่ Station List



5. หากสำเร็จ จะขึ้นเครื่องหมาย ✓ ด้านหน้าชื่อสถานี ดังรูป

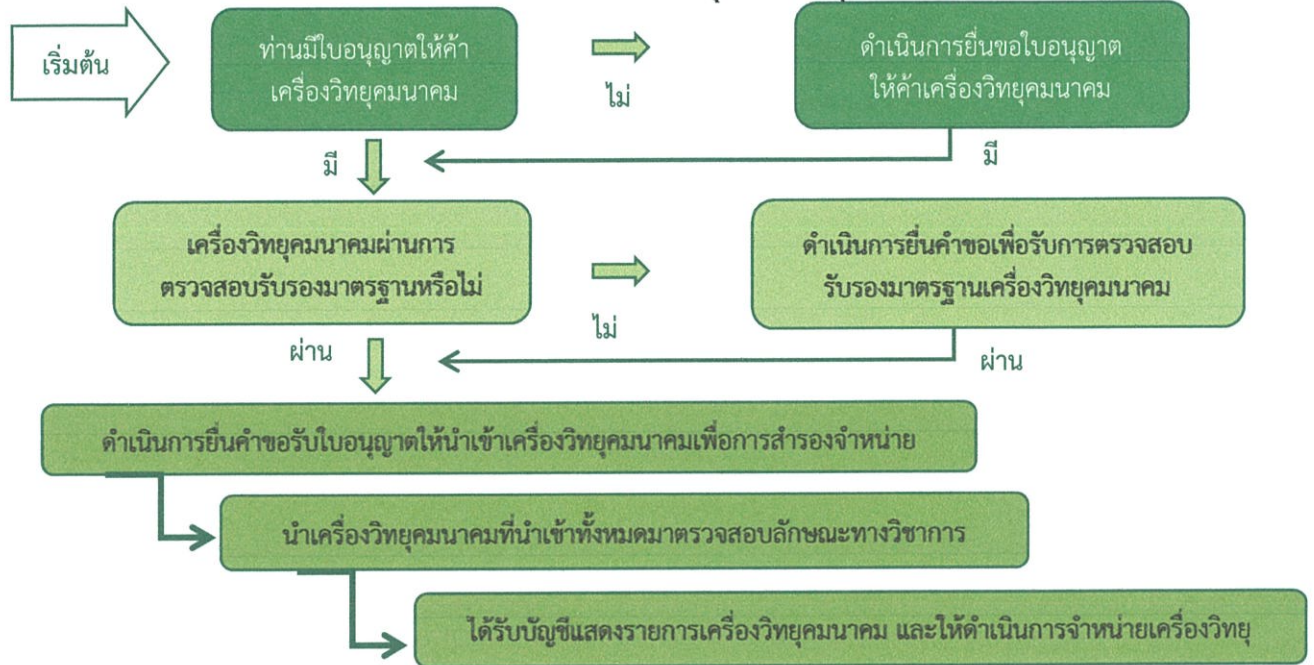


6. หากต้องการเปลี่ยนสถานี ให้กดปุ่ม Remove สถานีเดิมออก แล้วเลือก Add สถานีใหม่ ดังรูป



3.3.2 การดำเนินงานของฝ่ายใบอนุญาตวิทยุคมนาคม

➤ ตรวจสอบการสำรองจำหน่ายเครื่องและอุปกรณ์วิทยุคมนาคม



รูปที่ 3.23 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการตรวจสอบสำรองจำหน่าย

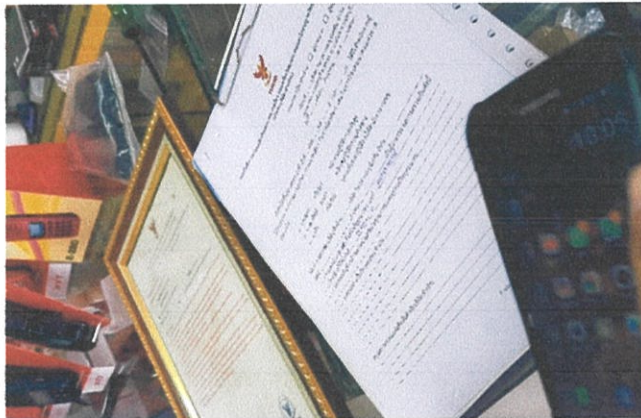
จากรูปที่ 3.23 เป็นบล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการตรวจสอบสำรองจำหน่ายเครื่องและอุปกรณ์วิทยุคมนาคม ซึ่งเป็นฝ่ายงานของฝ่ายใบอนุญาตการใช้วิทยุคมนาคม แต่ในการปฏิบัติงานนักศึกษาและพนักงานที่ปรึกษาจะออกไปตรวจสอบสำรองจำหน่ายพร้อมๆกับการออกไปตรวจสอบเกี่ยวกับการวัดมาตรฐานต่างๆเพื่อเก็บเก็บข้อมูล โดยการตรวจสอบสำรองจำหน่ายจะเข้าไปตรวจร้านค้า เพื่อขออนุญาตให้ค้าเครื่องวิทยุคมนาคมว่ามีหรือไม่ แล้วทำการสุ่มตรวจเครื่องวิทยุคมนาคมที่นำมาจำหน่ายว่ามี serial number ของเครื่องตรงกับในฐานข้อมูลที่สถานประกอบการมีหรือไม่



รูปที่ 3.24 หน้าร้านค้าเครื่องวิทยุคมนาคม



รูปที่ 3.25 ตัวอย่างเครื่องวิทยุคมนาคมในร้านค้า



รูปที่ 3.26 บันทึกข้อมูลหลังขอใบอนุญาตค้าเครื่องวิทยุคมนาคม

3.3.3 การทำรายงานโดยลงข้อมูลในระบบ

หลังจากออกตรวจสอบในสถานีวิทยุกระจายเสียงเรียบร้อยแล้ว จะมาบันทึกการปฏิบัติงานในระบบฐานข้อมูล สามารถเข้าถึงได้โดย <https://gis2.nbtc.go.th/MONITORING/Login.aspx>



รูปที่ 3.27 การทำรายงานโดยลงข้อมูลในระบบของสำนักงาน กสทช.

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การตรวจวัดความแรงของสนามไฟฟ้า ตรวจสอบการตั้งสถานีฐาน หรือกรณีชุมชนร้องเรียน

สถานที่ที่ 1 การตรวจวัดระดับความแรงของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ บริเวณซอยสุขุมวิท 21 ตำบลปากน้ำ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ โดยดำเนินการวัดที่ระดับความสูงเทียบเท่ากับระดับความสูงของมนุษย์ที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่ติดตั้งสายอากาศ โดยได้กำหนดจุดวัดขึ้นเป็น 3 จุด ที่ระดับความสูง 1.1 , 1.5 และ 1.7 เมตร ในวันที่ 22 พฤศจิกายน พ.ศ.2560

การตรวจวัดในบริเวณพื้นที่ที่พักอาศัยนั้นจะทำการวัดแบบ Multi Source แล้วนำค่าที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานทางด้านความปลอดภัยของการแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อมนุษย์ตามข้อกำหนดของกฎหมายโทรคมนาคม สำหรับผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไปที่อาศัยบริเวณใกล้เคียงกับเสาส่งสัญญาณ

➤ การหาความแรงสนามไฟฟ้าเทียบกับค่ามาตรฐาน (%)

ตารางที่ 4.1 การคำนวณหาค่าเฉลี่ยความแรงสนามแม่เหล็กเชิงพื้นที่จากการคำนวณโดยใช้สมการ

ระยะการวัด	ผู้ให้บริการ	ความสูง (CM)			เฉลี่ย
		110	150	170	
จุดที่ 1 ระยะ 48 เมตร	LTE_850_TRUE	0.0564	0.0692	0.0465	0.0581
	LTE_900_TRUE	0.0729	0.0789	0.0836	0.0786
	LTE_1800_TRUE	0.0705	0.0667	0.0661	0.0678
	UMTS_2100_TRUE	0.0625	0.0567	0.0583	0.0592
จุดที่ 2 ระยะ 62 เมตร	LTE_850_TRUE	0.0134	0.0119	0.0102	0.0119
	LTE_900_TRUE	0.0729	0.0584	0.0603	0.0642
	LTE_1800_TRUE	0.0265	0.021	0.0215	0.0231
	UMTS_2100_TRUE	0.0136	0.0138	0.0119	0.0131
จุดที่ 3 ระยะ 120 เมตร	LTE_850_TRUE	0.0854	0.0936	0.0694	0.0834
	LTE_900_TRUE	0.4907	0.4935	0.4675	0.4840
	LTE_1800_TRUE	0.1042	0.0958	0.1434	0.1163
	UMTS_2100_TRUE	0.096	0.0548	0.0543	0.0711
จุดที่ 4 ระยะ 205 เมตร	LTE_850_TRUE	0.0736	0.0765	0.069	0.0731
	LTE_900_TRUE	0.5135	0.5003	0.4672	0.4941
	LTE_1800_TRUE	0.3106	0.2975	0.2528	0.2880
	UMTS_2100_TRUE	0.191	0.1649	0.1844	0.1804

ตัวอย่างการคำนวณ : ที่จุดที่ 1 ระยะ 48 เมตร ผู้ให้บริการ LTE_850_TRUE
จากสูตร

$$E_{\text{spatial_average}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 E_i^2}{N}} = \sqrt{\frac{0.0564^2 + 0.0692^2 + 0.0465^2}{3}} = 0.0581 \text{ V/m}$$

เมื่อ $E_{\text{spatial_average}}$ คือ ค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ (Spatial Averaging) V/m
 E_i คือ ความเข้มสนามไฟฟ้า (Electric Field Strength) มีหน่วย V/m
 N คือ จำนวนจุดที่ทำการวัด

นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาลงในคอลัมน์ค่าความแรงสนามไฟฟ้า (V/m) จะได้ค่าความแรงสนามไฟฟ้าเทียบกับ
ค่ามาตรฐาน (%)

➤ สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าขีดจำกัดความแรงสนามไฟฟ้า

ตารางที่ 4.2 สมการที่ใช้ในการคำนวณขีดจำกัดความแรงสนามไฟฟ้า
สำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป

ความถี่	E-field strength (V/m)	H-field strength (A/m)	equivalent plane wave power density S_{eq} (W/m ²)
9 kHz – 150 kHz	87	5	-
150 kHz – 1 MHz	87	$0.73f$	-
1 MHz – 10 MHz	$87f^{1/2}$	$0.73f$	-
10 MHz – 400 MHz	28	0.073	2
400 MHz – 2 GHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$f/200$
2 GHz – 300 GHz	61	0.16	10

คอลัมน์ค่าขีดจำกัดความแรงสนามไฟฟ้า (V/m) ได้จากการพิจารณาร่วมกับตารางย่านความถี่ของ
เครือข่ายที่ทำการวัดดังตารางที่ 3.1 โดยใช้ค่าความถี่ uplink ของความถี่ที่ทำการวัดเพื่อประกอบการ
คำนวณดังตารางที่ 4.2

ตัวอย่าง ที่ย่านความถี่ 869-884 MHz คำนวณหาขีดจำกัดความแรงสนามไฟฟ้า ดังนี้
จากสูตร $1.375f^{1/2} = 1.375 \times (869)^{0.5} = 40.5334 \text{ V/m}$

หมายเหตุ : จากการคำนวณข้างต้นแสดงให้เห็นด้วยตัวหนังสือสีแดงในตารางที่ 4.3 และจะใช้ตารางที่ 4.2 ใน
การคำนวณค่าขีดจำกัดความแรงสนามไฟฟ้างี้แสดงในคอลัมน์ของตารางที่ 4.3-4.5

➤ ผลการวัดระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดระดับความแรงสนามไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเปรียบเทียบกับขีดจำกัดตามมาตรฐาน ICNIRP สถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ บริเวณซอยสุขุมวิท 21 ตำบลปากน้ำ อำเภอเมืองจังหวัดสมุทรปราการ ในวันที่พุธที่ 22 พฤศจิกายน พ.ศ.2560

ระยะการวัด	ผู้ให้บริการ	ความถี่ที่ทำการตรวจวัด (MHz)	สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าขีดจำกัดความแรงสนามไฟฟ้า E(V/m)	ค่าความแรงสนามไฟฟ้า (V/m)	ค่าขีดจำกัดความแรงสนามไฟฟ้า (V/m)	อัตราส่วนความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเทียบกับค่ามาตรฐาน	ผลรวมความแรงสนามไฟฟ้าเทียบกับค่ามาตรฐานแต่ละระดับ (%)
จุดที่ 1 ระยะ 48 เมตร	LTE_850_TRUE	869-884	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.0581	40.5334	0.000002056	0.000778
	LTE_900_TRUE	950-960	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.0786	42.3803	0.000003439	
	LTE_1800_TRUE	1805-1820	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.0678	58.4173	0.000001347	
	UMTS_2100_TRUE	2125-2140	61	0.0592	61.0000	0.000000942	
จุดที่ 2 ระยะ 62 เมตร	LTE_850_TRUE	869-884	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.0119	40.5334	0.000000086	0.000258
	LTE_900_TRUE	950-960	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.0642	42.3803	0.000002294	
	LTE_1800_TRUE	1805-1820	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.0231	58.4173	0.000000157	
	UMTS_2100_TRUE	2125-2140	61	0.0131	61.0000	0.000000046	
จุดที่ 3 ระยะ 120 เมตร	LTE_850_TRUE	869-884	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.0834	40.5334	0.000004234	0.014001
	LTE_900_TRUE	950-960	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.4840	42.3803	0.000130447	
	LTE_1800_TRUE	1805-1820	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.1163	58.4173	0.000003966	
	UMTS_2100_TRUE	2125-2140	61	0.0711	61.0000	0.000001359	
จุดที่ 4 ระยะ 205 เมตร	LTE_850_TRUE	869-884	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.0731	40.5334	0.000003252	0.017221
	LTE_900_TRUE	950-960	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.4941	42.3803	0.000135898	
	LTE_1800_TRUE	1805-1820	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.2880	58.4173	0.000024311	
	UMTS_2100_TRUE	2125-2140	61	0.1804	61.0000	0.000008750	

➤ การหาอัตราส่วนความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเทียบกับค่ามาตรฐานของค่าขีดจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดมากกว่าหนึ่งแหล่งในช่วงเวลาเดียวกัน
คำนวณได้จาก

$$\sum_{i=100kHz}^{1MHz} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1MHz}^{300GHz} \left(\frac{E_i}{E_{l,i}} \right)^2 \leq 1$$

E_i คือ ความแรงสนามไฟฟ้า ณ ความถี่ i

$E_{i,j}$ คือ ระดับขีดจำกัด ณ ความถี่ i

C มีค่าเท่ากับ $610/f$ V/m (f มีหน่วยเป็น MHz) สำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงานและมีค่าเท่ากับ $87/f^{1/2}$ V/m สำหรับกลุ่มผู้ที่รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป

➤ การวิเคราะห์และสรุปผล

ระดับความแรงสนามไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่วัดได้เปรียบเทียบกับขีดจำกัดตามมาตรฐานของ ICNIRP

ผลการวัดความแรงสนามไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่จากสถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในบริเวณพื้นที่ที่พักอาศัย บริเวณซอยสุขุมวิท 21 ตำบลปากน้ำ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ ในตารางที่ 4.3 พบว่ามีระดับความแรงสนามไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุดบริเวณจุดที่ 4 ระยะ 205 เมตร เมื่อนำค่าความแรงสนามไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่วัดได้ไปคำนวณเพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน

ผลที่ได้จากการคำนวณมีค่าเป็น 0.017221% เทียบกับค่ามาตรฐาน ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานมาก

➤ ผลการวัดระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

สถานที่ที่ 2 ผลการวัดระดับความหนาแน่นกำลังของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่จากสถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในบริเวณพื้นที่ที่พักอาศัย บริเวณตำบลคลองพระอุดม อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี ที่ละติจูด 14.000833 ลองจิจูด 100.451111 โดยผลการวัดในแต่ละตำแหน่งได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับขีดจำกัดความแรงสนามไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามมาตรฐาน กสทช มท. 5001-2550 และ ICNIRP สำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดระดับความแรงสนามไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเปรียบเทียบกับขีดจำกัดตามมาตรฐาน ICNIRP สถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในบริเวณพื้นที่ที่พักอาศัยบริเวณตำบลคลองพระอุดม อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานีในวันพุธที่ 20 สิงหาคม พ.ศ.2560

ระยะการวัด	ผู้ให้บริการ	ความถี่ที่ทำการตรวจวัด (MHz)	สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าขีดจำกัดความแรงสนามไฟฟ้า $E(V/m)$	ค่าความแรงสนามไฟฟ้า (V/m)	ค่าขีดจำกัดความแรงสนามไฟฟ้า (V/m)	อัตราส่วนความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเทียบกับค่ามาตรฐาน	ความแรงสนามไฟฟ้าเทียบกับค่ามาตรฐาน (%)
จุดที่ 1 ระยะ 15 เมตร	LTE_1800_AWN	1820-1835	$1.375*f^{(1/2)}$	0.3681	58.6595	0.00003939	0.0063560
	UMTS_2100_AWN	2140-2155	61	0.2999	61.0000	0.00002418	
จุดที่ 2 ระยะ 60 เมตร	LTE_1800_AWN	1820-1835	$1.375*f^{(1/2)}$	0.1521	58.6595	0.00000672	0.0128361
	UMTS_2100_AWN	2140-2155	61	0.3535	61.0000	0.00003359	
จุดที่ 3 ระยะ 120 เมตร	LTE_1800_AWN	1820-1835	$1.375*f^{(1/2)}$	0.0597	58.6595	0.00000103	0.0007904
	UMTS_2100_AWN	2140-2155	61	0.0641	61.0000	0.00000110	

➤ การวิเคราะห์และสรุปผล

ระดับความแรงสนามไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่วัดได้เปรียบเทียบกับขีดจำกัดตามมาตรฐานของ ICNIRP

ผลการวัดความแรงสนามไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่จากสถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในบริเวณพื้นที่ทั่วไป บริเวณซอยหมู่บ้านบัวทองแลนด์ ตำบลบางบัวทอง อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี ในตารางที่ 4.4 พบว่ามีระดับความแรงสนามไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุดบริเวณจุดที่ 2 ระยะ 60 เมตร เมื่อนำค่าความแรงสนามไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่วัดได้ไปคำนวณเพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน

ผลที่ได้จากการคำนวณมีค่าเป็น 0.0128361% เทียบกับค่ามาตรฐาน ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานมาก

➤ ผลการวัดระดับความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

สถานที่ที่ 3 ผลการวัดระดับความหนาแน่นกำลังของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่จากสถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในบริเวณพื้นที่ที่พักอาศัย บริเวณหมู่ที่ 1 ตำบลธนู อำเภออุทัย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ที่ละติจูด 14.356976 ลองจิจูด 100.607994 มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3 โดยผลการวัดในแต่ละตำแหน่งได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับขีดจำกัดความแรงสนามไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามมาตรฐาน กสทช มท. 5001-2550 และ ICNIRP สำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป

ตารางที่ 4.5 ผลการวัดระดับความแรงสนามไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเปรียบเทียบกับขีดจำกัดตามมาตรฐาน ICNIRP สถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในบริเวณพื้นที่ที่พักอาศัย บริเวณหมู่ที่ 1 ตำบลธนู อำเภออุทัย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ในวันที่ 4 กันยายน พ.ศ.2560

ระยะการวัด	ผู้ให้บริการ	ความถี่ที่ทำการตรวจวัด (MHz)	สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าขีดจำกัดความแรงสนามไฟฟ้า E(V/m)	ค่าความแรงสนามไฟฟ้า (V/m)	ค่าขีดจำกัดความแรงสนามไฟฟ้า (V/m)	อัตราส่วนความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเทียบกับค่ามาตรฐาน	ความแรงสนามไฟฟ้าเทียบกับค่ามาตรฐาน (%)
จุดที่ 1 ระยะ 22 เมตร	HSPA_850_TRUE	869-884	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.1922	40.5334	0.00002248	0.0150
	LTE_900_TRUE	950-960	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.4461	42.3803	0.00011080	
	LTE_1800_TRUE	1805-1820	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.2177	58.4173	0.00001389	
	UMTS_2100_TRUE	2125-2140	61	0.1085	61.0000	0.00000316	
จุดที่ 2 ระยะ 90 เมตร	HSPA_850_TRUE	869-884	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.2665	40.5334	0.00004321	0.0110
	LTE_900_TRUE	950-960	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.3264	42.3803	0.00005931	
	LTE_1800_TRUE	1805-1820	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.1214	58.4173	0.00000432	
	UMTS_2100_TRUE	2125-2140	61	0.1005	61.0000	0.00000272	
จุดที่ 3 ระยะ 116 เมตร	HSPA_850_TRUE	869-884	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	1.1228	40.5334	0.00076735	0.5193
	LTE_900_TRUE	950-960	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	2.7999	42.3803	0.00436484	
	LTE_1800_TRUE	1805-1820	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.3792	58.4173	0.00004213	
	UMTS_2100_TRUE	2125-2140	61	0.2607	61.0000	0.00001826	

ระยะเวลา วัด	ผู้ให้บริการ	ความถี่ที่ทำการตรวจวัด (MHz)	สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าขีดจำกัดความแรงสนามไฟฟ้า E(V/m)	ค่าความแรงสนามไฟฟ้า (V/m)	ค่าขีดจำกัดความแรงสนามไฟฟ้า (V/m)	อัตราส่วนความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเทียบกับค่ามาตรฐาน	ความแรงสนามไฟฟ้าเทียบกับค่ามาตรฐาน (%)
จุดที่ 4 ระยะ 255 เมตร	HSPA_850_TRUE	869-884	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.0533	40.5334	0.00000173	0.0059
	LTE_900_TRUE	950-960	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.0873	42.3803	0.00000425	
	LTE_1800_TRUE	1805-1820	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.2695	58.4173	0.00002129	
	UMTS_2100_TRUE	2125-2140	61	0.3456	61.0000	0.00003210	
จุดที่ 5 ระยะ 395 เมตร	HSPA_850_TRUE	869-884	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.0079	40.5334	0.00000004	0.0001
	LTE_900_TRUE	950-960	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.0187	42.3803	0.00000020	
	LTE_1800_TRUE	1805-1820	$1.375 \cdot f^{(1/2)}$	0.0478	58.4173	0.00000067	
	UMTS_2100_TRUE	2125-2140	61	0.0380	61.0000	0.00000039	

➤ การวิเคราะห์และสรุปผล

ระดับความแรงสนามไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่วัดได้เปรียบเทียบกับขีดจำกัดตามมาตรฐานของ ICNIRP

ผลการวัดความแรงสนามไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่จากสถานีฐานในตารางที่ 4.5 พบว่ามีระดับความแรงสนามไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุดบริเวณจุดที่ 3 ระยะ 116 เมตร เมื่อนำค่าความแรงสนามไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่วัดได้ไปคำนวณเพื่อเปรียบเทียบกับ

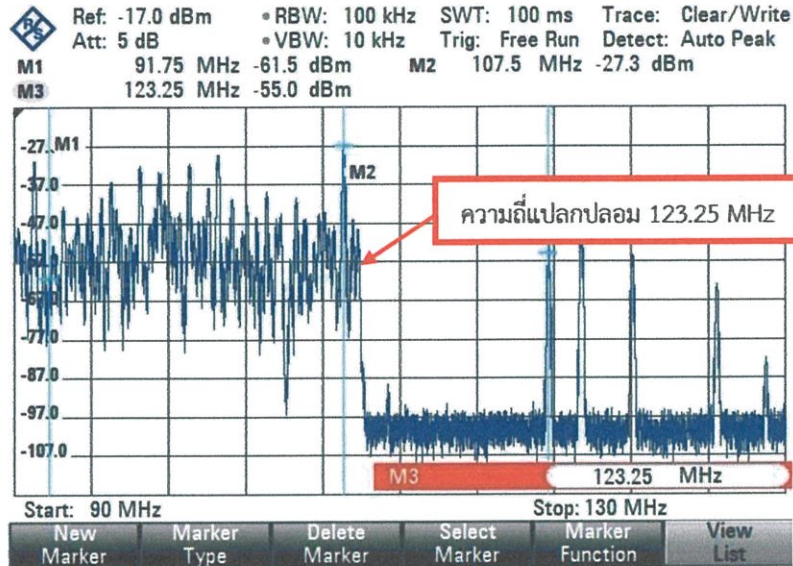
ผลที่ได้จากการคำนวณมีค่าเป็น 0.0253% เทียบกับค่ามาตรฐาน ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานมาก

4.2 การมอดูเลตระหว่างกัน (Intermodulation)

การมอดูเลตระหว่างกันที่เกิดขึ้นในกระจายเสียงระบบเอฟเอ็มนั้น เกิดขึ้นจากการที่เครื่องส่งเครื่องใดเครื่องหนึ่งหรือทั้งสองเครื่อง ไปรับเอาสัญญาณที่ส่งออกมาจากอีกเครื่อง ย้อนกลับเข้าไปในเครื่องส่ง ดังนั้นมันจึงขยายสัญญาณทั้งสอง (สัญญาณหลักที่ต้องการจะส่งและสัญญาณย้อนเข้ามา) พร้อมๆ ไปกับสร้างความถี่อินเตอร์มอดูเลชันใหม่ขึ้นมา เราเรียกปรากฏการณ์เช่นนี้ว่า Reverse Intermodulation: RIM

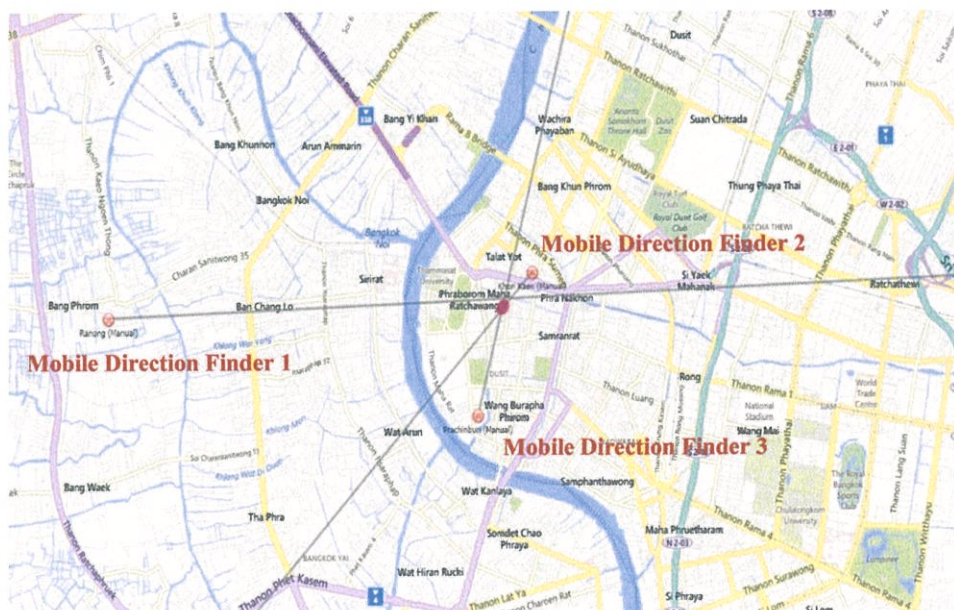
ผลการวัด

เมื่อวันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ.2560 เป็นสิ่งที่วัดได้ในขณะปฏิบัติงานบริเวณท้องสนามหลวงในงานพระราชพิธีถวายพระเพลิงพระบรมศพพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลย เกิดการรบกวนกิจการวิทยุการบินที่ความถี่ 123.25 MHz โดยใช้โปรแกรม Scorpio Client ซึ่งเป็นการมอนิเตอร์ในห้องมอนิเตอร์ โดย Spectrum Monitoring System Client – Scorpio Client เป็นอุปกรณ์ Remote monitoring ประโยชน์ของโปรแกรมนี้นี้ คือ ทำให้รู้พื้นที่ที่มีการรบกวนเกิดขึ้นอย่างคร่าวๆ



รูปที่ 4.1 สัญญาณรบกวนของสถานีวิทยุที่รบกวนกิจการวิทยุการบิน

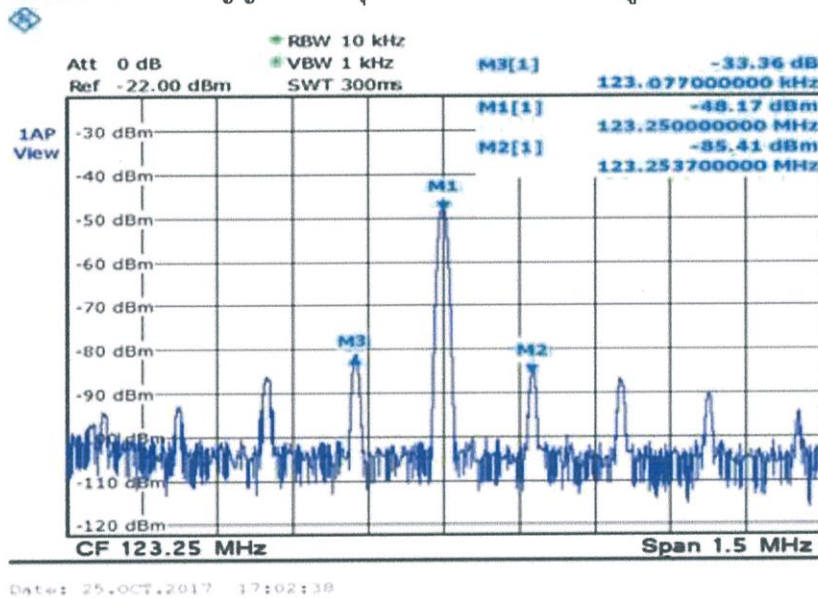
ในขณะที่ปฏิบัติงานจะมีการวางแผนเพื่อกำหนดตำแหน่งรถตรวจสอบโดยพิจารณาจากแผนที่ทางภูมิศาสตร์และสภาพแวดล้อมที่ต้องโล่งและต้องสามารถรับสัญญาณได้มากที่สุดอยู่แล้ว ขณะเกิดสัญญาณรบกวนที่สถานที่จริงนั้น จะใช้โปรแกรม Scorpio Client ในการชี้ทิศทางที่มีการรบกวนที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าตำแหน่งของรถตรวจสอบทั้ง 3 จุดนั้นสามารถรับสัญญาณรบกวนที่คลื่นความถี่ 123.25 MHz ได้และโปรแกรม Scorpio Client จะชี้ตำแหน่งที่มีการรบกวน ทำให้เราทราบว่าบริเวณที่ทั้ง 3 จุดตัดกันนั้นคือบริเวณที่มีการรบกวนเกิดขึ้น



รูปที่ 4.2 โปรแกรม Scorpio Client ในการชี้ทิศทางที่มีการรบกวนเกิดขึ้นที่จุดตัด

นอกจากนี้โปรแกรม Scorpio Client เปรียบเสมือน Spectrum Analyzer เครื่องหนึ่งที่มีย่านความถี่ที่ครอบคลุมกว้าง สามารถบอกบอกตำแหน่ง (Azimuth : degree) , ความแรงของสัญญาณ (Signal Strength : dBm) , SNR ของสัญญาณ , พิกัดละติจูดและลองจิจูดที่ความถี่ของสถานีวิทยุบริเวณนั้นๆได้ เป็นต้น

เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการวัดสูงสุดควรใช้โปรแกรม Scorpio Client ควบคู่กับการใช้ Google Maps เพื่อหาบริเวณที่สามารถรับสัญญาณได้ดีที่สุดโดยมีข้อจำกัดของสิ่งปลูกสร้างในช่วงบริเวณนั้นๆ



รูปที่ 4.3 การมอดูเลตระหว่างกัน (Intermodulation)

จากรูปที่ 4.3 เบื้องต้นทราบแล้วว่าสัญญาณที่เกิดขึ้นเป็นการรูปแบบการรบกวนของการมอดูเลตระหว่างกัน (Intermodulation) โดยใช้วิธีการคำนวณประกอบกับใช้วิธีการพิสูจน์เฝ้าฟังว่า ณ ความถี่ใดที่ตรงกับความถี่ใหม่ที่เกิดขึ้นของ 2 สถานีวิทยุที่ทำให้เกิดการมอดูเลตระหว่างกัน

Two frequency intermodulation products		Three frequency intermodulation products	
Frequency 1:	91,750	Frequency 1:	91,750
Frequency 2:	107,500	Frequency 2:	107,500
		Frequency 3:	123,250

Intermodulation products:		Intermodulation products:	
3rd order	76,000	3rd order	76,000
3rd order	123,250	3rd order	60,250
5th order	60,250	3rd order	91,750
5th order	139,000	3rd order	76,000
7th order	44,500	3rd order	123,250
7th order	154,750	3rd order	107,500
9th order	28,750	3rd order	139,000
9th order	170,500	3rd order	139,000
		3rd order	154,750
		5th order	28,750
		5th order	44,500
		5th order	60,250
		5th order	44,500
		5th order	76,000
		5th order	60,250

รบกวนย่านความถี่วิทยุ

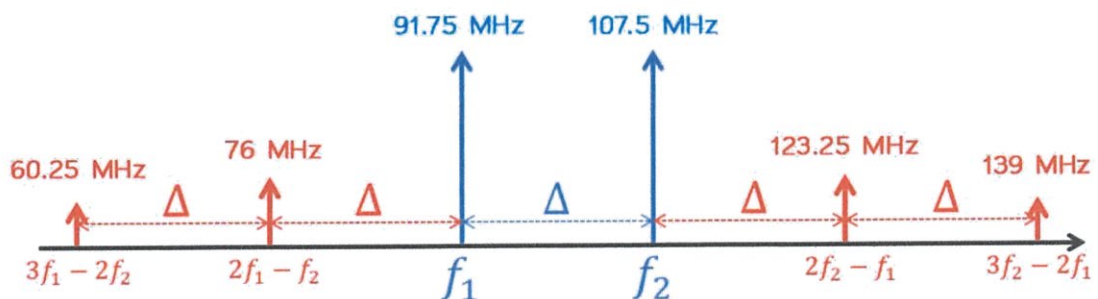
หมายเหตุ:

- ความถี่ที่ใช้ในกิจการวิทยุการบินอยู่ในช่วง 108-137 MHz
- จำนวนการเกิดการมอดูเลตระหว่างกันได้จาก

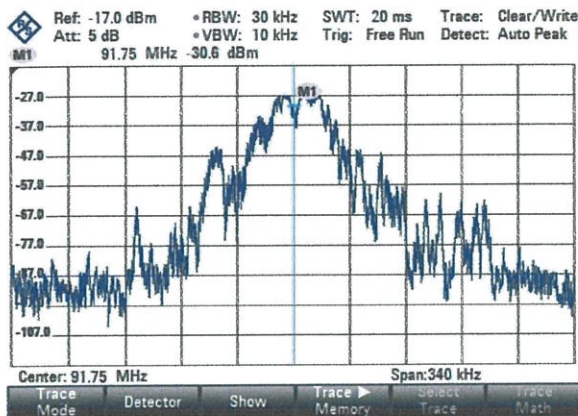
<http://www.arcticpeak.com/radiopages/intermodulationproducts.htm>

รูปที่ 4.4 ผลของความถี่ที่เกิดจากการมอดูเลตระหว่างกันที่ได้จากการคำนวณ

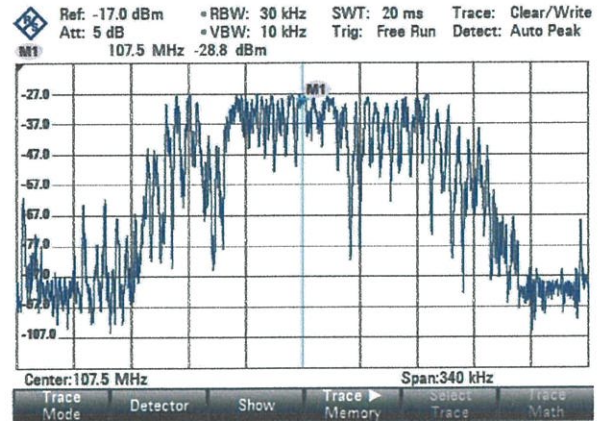
จากรูปที่ 4.4 พอจะคาดการณ์ได้ว่าสัญญาณที่รบกวนกันแล้วทำให้เกิดการรบกวนที่ความถี่ใหม่นั้น น่าจะเกิดขึ้นที่ออร์เดอร์ที่ 3 การรบกวนที่เกิดขึ้นไปเกิดที่ความถี่ที่สูงกว่าและจะเกิดการรบกวนในลักษณะนี้ได้ ต้องเป็นการรวมกันอย่างน้อย 2 สัญญาณ เมื่อพิสูจน์ฟังที่ความถี่ที่ 91.75 MHz และ 107.5 MHz ทำให้ทราบว่าที่ความถี่ 91.75 MHz มีเสียงที่ตรงกันกับสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นที่ความถี่ 123.25 MHz เพื่อให้ง่ายในการอธิบายจะแสดงตำแหน่งความถี่ที่เกิดผลการมอดูเลตระหว่างกันดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ตำแหน่งความถี่ที่เกิดผลการมอดูเลตระหว่างกัน



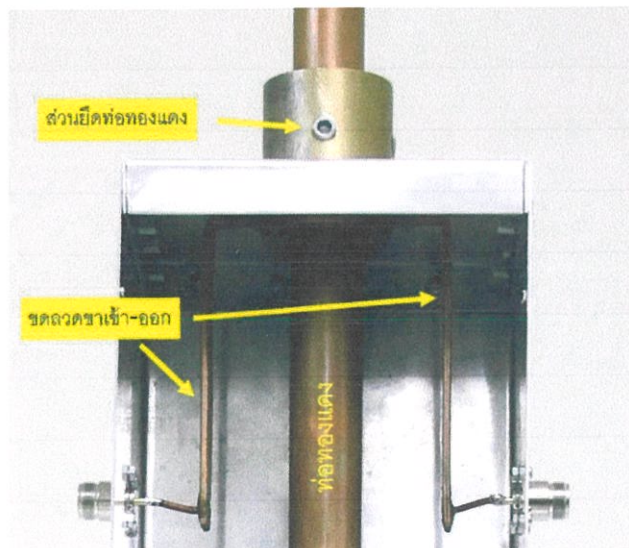
รูปที่ 4.6 ภาพสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 91.75 MHz



รูปที่ 4.7 ภาพสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 107.50 MHz

➤ แนวทางการออกแบบวงจรกรองผ่านแถบ (BPF)

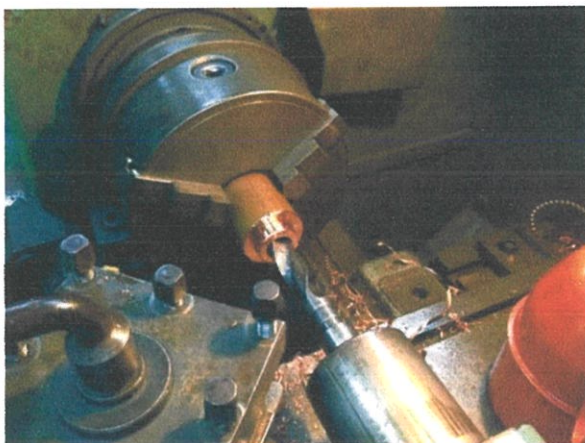
วงจรกรองผ่านแถบ (BPF) ที่ใช้กรองผ่านสัญญาณที่เราต้องการและตัดสัญญาณที่ความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ใช้งาน จำเป็นต้องมี Quality Factor (Q) ที่สูง ดังนั้นเรามักจะใช้กล่องหรือท่อเพื่อสร้างปริมาตรในการเก็บพลังงาน และใช้แท่งทองแดงทำหน้าที่ Resonance ที่ความถี่ที่เราต้องการเพื่อส่งผ่านพลังงานการปรับความยาวของแท่งทองแดงจึงมีความสำคัญมาก เพราะมันเป็นตัวกำหนดความถี่ Resonance หรือความถี่ใช้งาน ทางด้านขาออกและขาเข้าจะมีขดลวดเพื่อเปลี่ยนพลังงานความถี่วิทยุให้เป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อส่งไปยังแท่งทองแดงอีกที ดังแสดงในรูปที่ 4.8



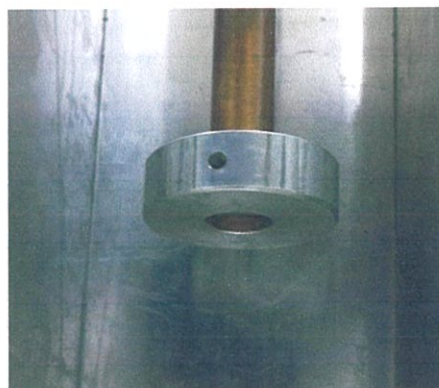
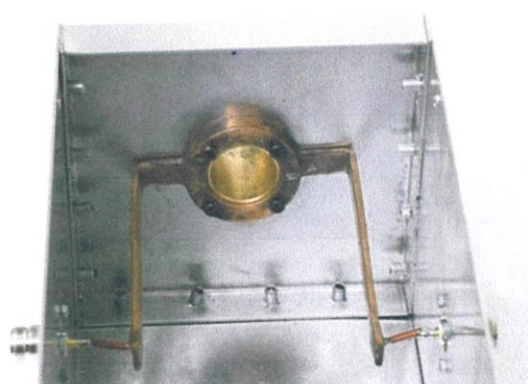
รูปที่ 4.8 โครงสร้างที่สำคัญของวงจรกรอง (รูปไม่เต็มความยาว)

เพื่อให้สามารถรองรับกำลังความถี่วิทยุได้เป็นอย่างดี ส่วนที่น่ากระแสมากๆ จะใช้วัสดุทองแดง ซึ่งจะให้ผลดีทั้งทางด้านกรนำไฟฟ้า และการระบายความร้อน ตัวท่อทองแดงควรจะเป็นชิ้นเดียว ไม่มีรอยต่อ และแนบสนิทกับตัวกล่องที่ด้านบนเพื่อการนำไฟฟ้าและระบายความร้อนที่ดีไปยังตัวกล่องด้านบนของขดลวดจะต่อลงตัวกล่องด้วยการเชื่อมโลหะทั้ง 3 ชั้นเข้าด้วยกัน ทั้งนี้เพื่อการนำไฟฟ้าและนำความร้อนที่ดีและทำการยึดเข้ากับตัวยึดท่อที่อยู่ด้านบน โดยรูที่จะให้ท่อทองแดงสอดผ่านควรมีขนาดฟิตพอดี เนื่องจากต้องการให้นำกระแสไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี ดังแสดงในรูปที่ 4.9

การยึดขดลวดและตัวยึดท่อกระทำได้โดยง่ายดังแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งบริเวณนี้เป็นจุดที่สำคัญ เนื่องจากมีกระแสไฟฟ้าไหลมาก ถ้าจุดต่อทุกจุดกระทำเป็นอย่างดีจะช่วยลดการสูญเสียกำลังความถี่วิทยุได้



รูปที่ 4.9 ภาพช่วยการกลึงตัวยึดท่อเพื่อให้ได้ขนาดที่ต้องการ และภาพขวาหลังจากเสร็จเรียบร้อยแล้ว



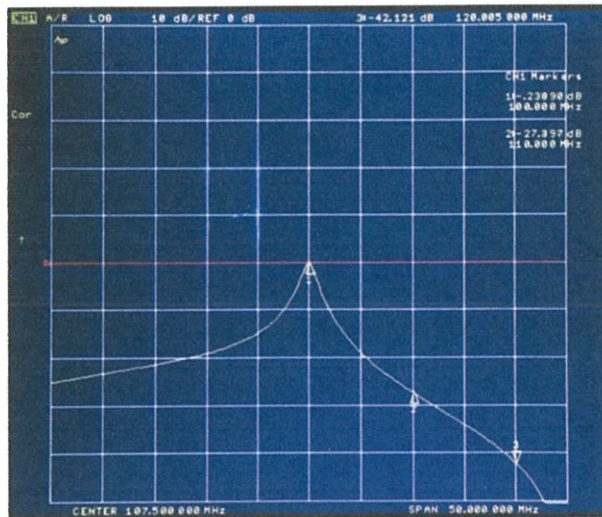
รูปที่ 4.10 ภาพช่วยการยึดขดลวดเข้ากับตัวยึดท่อ และภาพขวาตัวเก็บประจุที่ปลายท่อทองแดงด้านล่าง

4.3 ผลการทดลองวงจรกรองผ่านแถบ (BPF)

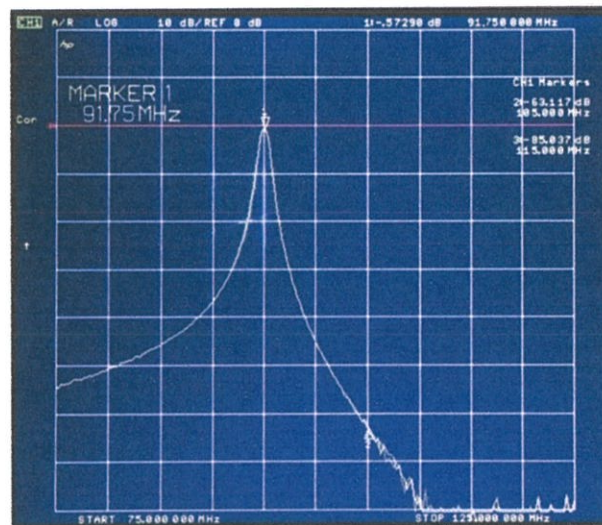
1. การวัดอัตราการใช้สูญเสียและวัดการลดทอนสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ โดยใช้ Network analyzer HP8753
2. การนำไปใช้งานจริง

4.3.1 การหาอัตราการใช้สูญเสีย

เมื่อนำ Filter ไปทดสอบโดยใช้ Network Analyzer ปรากฏว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ทั้งนี้ตัว Filter มีการสูญเสียที่ความถี่ใช้งานประมาณ 0.3 dB ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และเมื่อเพิ่มจำนวน Filter เป็น 2 พบว่ามีการสูญเสียที่ความถี่ใช้งานประมาณ 0.6 dB ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ทั้งนี้เนื่องจาก Filter มีการลดทอนสัญญาณไม่เท่ากันระหว่างด้านความถี่สูงและด้านความถี่ต่ำ ดังนั้นจะพิจารณาด้านความถี่สูงเป็นหลัก เนื่องจากเป็นด้านที่มีปัญหาการรบกวนกับกิจการวิทยุการบิน



รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบ Filter 1 ตัว มีการสูญเสียที่ความถี่ใช้งานประมาณ 0.3 dB โดยการลดทอนที่ความถี่ที่ห่างไป 10 MHz และ 20 MHz มีค่าเท่ากับ 27 dB และ 42 dB ตามลำดับ

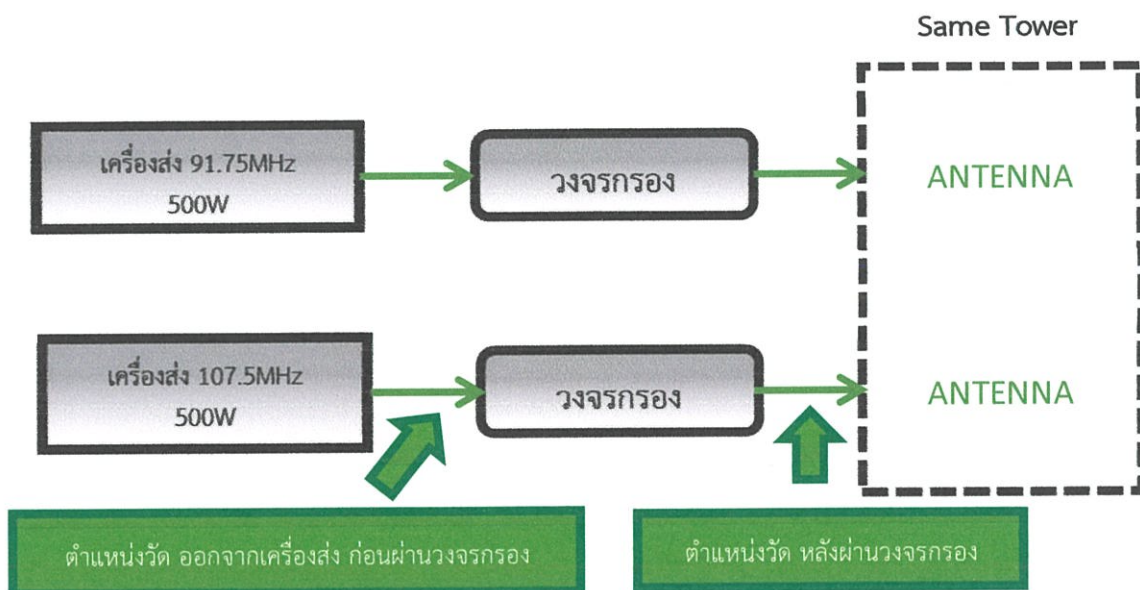


รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบ Filter 2 ตัว มีการสูญเสียที่ความถี่ใช้งานประมาณ 0.6 dB โดยการลดทอนที่ความถี่ที่ห่างไป 10 MHz และ 20 MHz มีค่าเป็น 63 dB และ 85 dB ตามลำดับ

ซึ่งจากผลการทดลองทั้ง 2 ส่วน จะเห็นว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ทั้งนี้หากการเกิด RIM ไม่รุนแรงมาก เช่นไม่ได้อยู่บนเสาต้นเดียวกัน การใช้ Filter เพียง 1 ตัวก็เพียงพอที่จะกำจัด RIM ให้ต่ำกว่า -70 dBc ได้

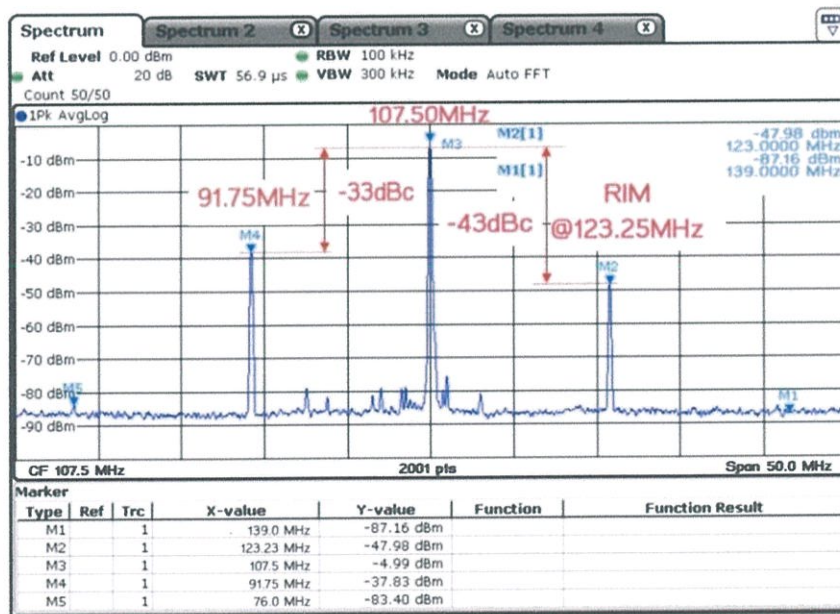
4.3.2 การนำไปใช้งานจริง

เมื่อนำวงจรกรองไปใช้กับสถานีที่ออกอากาศจริง โดยทั้งสองความถี่ออกอากาศโดยใช้สายอากาศคนละต้นแต่อยู่บนเสา Tower เดียวกันบนบดาดฟ้าชั้น 5 ที่ความสูง 60 เมตรวัดจากพื้นดิน ความถี่ 91.75 MHz ออกอากาศโดยใช้ สายอากาศแบบ dipole 8 stack และความถี่ 107.5 MHz ออกอากาศโดยใช้สายอากาศแบบ circular 8 stack ส่วนสายนาสัญญาณเป็นแบบ Helix 7/8 นิ้วทั้งสองความถี่



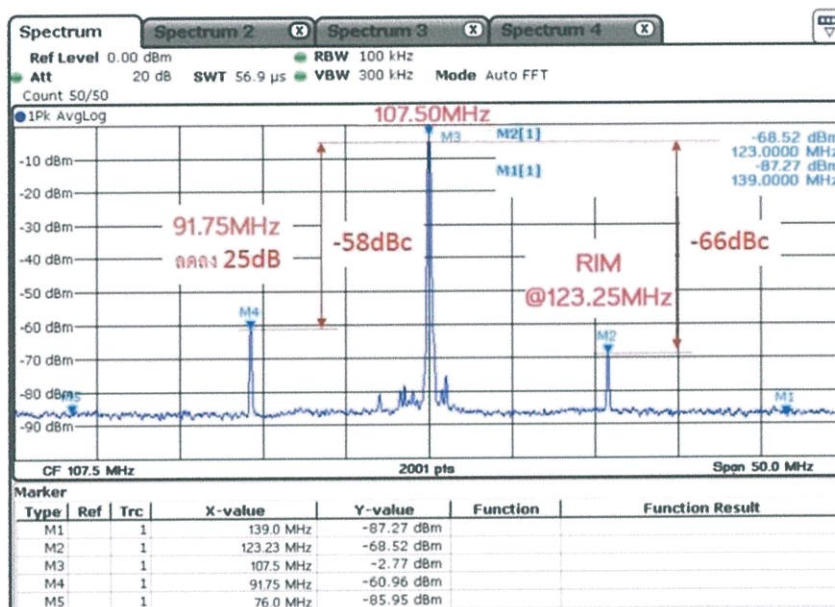
รูปที่ 4.13 การต่อและการวัดสัญญาณตามจุดต่างๆ

เพื่อให้ได้ผลการวัดที่แม่นยำตรง การวัดจะกระทำโดยแทรก RF coupler -60 dB ตามจุดต่างๆ ที่ต้องการวัด ดังแสดงในรูปที่ 4.13 โดยการวัดจะกระทำที่ความถี่ 107.5 MHz เท่านั้น แต่ก่อนที่จะใส่วงจรรองจะทำการวัดสัญญาณที่ออกมาจากเครื่องส่งไว้เพื่อเป็นการอ้างอิง ดังแสดงในรูปที่ 4.14

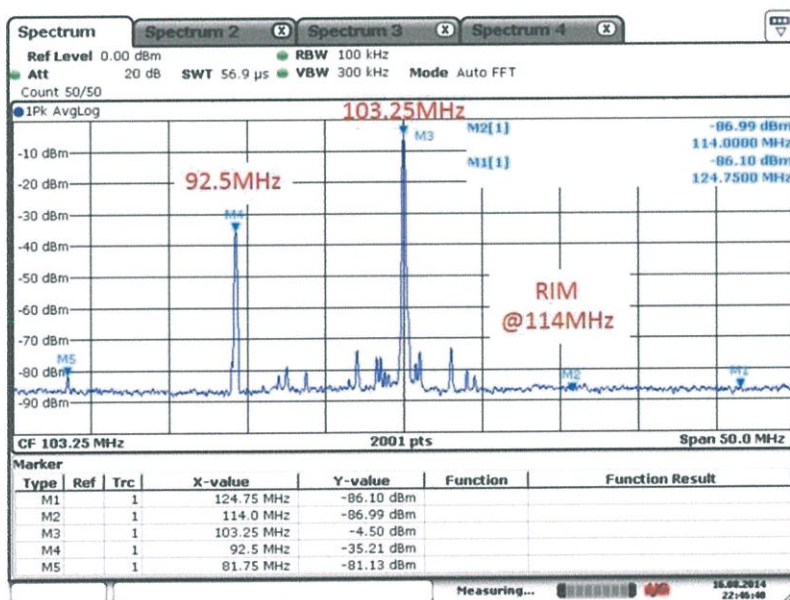


รูปที่ 4.14 สัญญาณที่วัดได้ภายในสายส่งที่ออกมาจากเครื่องส่ง 107.5 MHz ก่อนที่จะมีการใส่วงจรรองใดๆ

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นว่าสัญญาณความถี่ 91.75 MHz ที่ยอนเข้ามามีความแรงต่ำกว่าสัญญาณที่เราตั้งใจส่งเพียง -33 dBc ซึ่งเป็นระดับที่แรงมาก แล้วก่อให้เกิด RIM ที่ความถี่ 123.25 MHz ด้วยความแรงที่ต่ำกว่าสัญญาณที่เราตั้งใจส่งเพียง -43 dBc ซึ่งตามเกณฑ์แล้ว การแพร่แปลกปลอมต้องน้อยกว่า -70 dBc



รูปที่ 4.15 สัญญาณที่ออกจากเครื่องส่งก่อนผ่านวงจรกรอง



รูปที่ 4.16 สัญญาณที่ผ่านวงจรกรอง

รูปที่ 4.15 แสดงสัญญาณที่ออกมาจากเครื่องส่งที่จุดนี้จะได้เห็นว่าสัญญาณความถี่ 91.75 MHz ที่ยอนเข้ามา ได้ถูกลดทอนลงต่ำกว่าสัญญาณที่เราตั้งใจส่งไปอยู่ที่ -58 dBc (จากเดิม -33 dBc) นั่นคือสัญญาณความถี่ 91.75 MHz ถูกวงจรกรองลดทอนไป 25 dB แต่ถึงกระนั้นเครื่องส่งก็ยังสร้างสัญญาณ RIM ออกมาที่ความแรง -66 dBc

รูปที่ 4.16 แสดงสัญญาณที่ผ่านการกรองแล้ว จะเห็นว่าสัญญาณ RIM มีค่าต่ำกว่าสัญญาณที่เราตั้งใจส่งที่ -80 dBc ซึ่งก็เพียงพอที่ถือว่าเครื่องส่ง 107.5 MHz ไม่ได้มีการแพร่แปลกปลอมแต่อย่างใด

จากการทดลองนี้จะเห็นว่า การใช้วงจรกรองเพียง 1 ตัวต่อ 1 คลื่นก็เพียงพอที่จะกำจัด RIM ที่เกิดจากการส่งจากเสา Tower ต้นเดียวกันได้เป็นอย่างดี (ซึ่งถือว่าเป็นการเกิด RIM ที่รุนแรงที่สุด) ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากในที่นี่ทั้งสองความถี่แตกต่างกันมากถึงประมาณ 10 MHz ซึ่งถ้าหากทั้งสองความถี่แตกต่างกันประมาณ 5 MHz ก็อาจจะจำเป็นต้องใช้วงจรกรอง 2 ตัวต่อ 1 คลื่น หรือถ้าทั้งสองความถี่แตกต่างกันน้อยกว่า 2 MHz ก็อาจจะจำเป็นต้องใช้เทคนิคอื่นประกอบและจากการทดลองพบว่า connector ที่ไม่ได้คุณภาพมีผลต่อใช้งานมาก ดังนั้นจำเป็นต้องใช้อย่างยิ่งที่ต้องจัดหา connector ที่มีคุณภาพมาใช้ หรือใช้ขนาดที่โตขึ้น เช่น DIN 7/16 เป็นต้น

การปรับแต่งความถี่ใช้งานอาจจะปรับเพื่อใช้งานเบื้องต้นไปก่อน แล้วพอใช้งานไปประมาณ 30 นาที หรือจนอุ่นคงที่แล้วก็ปรับแต่งใหม่อีกครั้ง หรืออาจจะปรับครั้งเดียว แต่ปรับแต่งที่ความถี่ที่สูงกว่าความถี่ใช้งานประมาณ 25 kHz การวางใช้งาน การขนย้าย ควรจัดวางอุปกรณ์กรองในแนวตั้งเสมอ หรือหาอุปกรณ์ Teflon ค้ำที่บริเวณ capacitor ที่ปลายท่อกับผนังกล่องเพื่อป้องกันการแกว่งไป ขณะใช้งานควรวางบนพื้นแข็ง ไม่มีการสั่นไหว



รูปที่ 4.17 การวัดกำลัง (ซ้าย) ก่อนเข้าวงจรกรองวัดได้ 440 วัตต์ (ขวา) หลังผ่านวงจรกรองวัดได้ 410 วัตต์



รูปที่ 4.18 การต่อวงจรกรองผ่านแถบกับเครื่องส่ง

4.4 แนวทางการแก้ไข้ปัญหา

➤ กรณีการมอดูเลตระหว่างกัน (Intermodulation)

- เลือกต่อวงจรกรองผ่านแถบ (BPF) , วงจรกรองตัดแถบ , Isolator หรือ Combiner กับเครื่องส่ง

- การลดเกิดการมอดูเลตระหว่างกันขึ้นกับการเลือกใช้สายอากาศ โดยสายอากาศประเภท Circular หรือ Elliptic จะมีการหมุนของสนามไฟฟ้าที่ตรงข้ามกันเมื่อหันหน้าเข้าหากันจึงลดการรบกวนได้มากเพราะในการรับสัญญาณด้วยสายอากาศที่มีโพลาไรซ์แบบตรงกันข้าม (cross polarized) จะลดทอนสัญญาณลงไ้มากกว่า 10 dB

ตารางที่ 4.6 แนวทางที่ใช้ในการแก้ไข้ปัญหาการเกิดการมอดูเลตระหว่างกัน

เทคนิค	ข้อดี	ข้อด้อย	หมายเหตุ
วงจรกรองผ่านแถบ (BPF)	- ทั้งป้องกันและลด RIM	- ขนาดใหญ่	- สองความถี่ต้องต่างกันเกิน 2 MHz
วงจรกรองตัดแถบ	- ขนาดเล็ก - ตัดได้แคบกว่า	- หากมีความถี่ที่ต้องการกำจัดหลายความถี่ต้องใช้หลายตัว	
Isolator	- ไม่ขึ้นอยู่กับความถี่	- ราคาแพง - ทนกำลังได้น้อย	- ค่า isolation กำหนดความสามารถของการกำจัด RIM มีค่าประมาณ 20 dB
Combiner	- ใช้สายอากาศและสายนำสัญญาณชุดเดียว - สามารถทำงานได้ดี	- เครื่องส่ง 2 เครื่องจำเป็นต้องอยู่ด้วยกัน	- ต้องใช้อุปกรณ์กรองอย่างน้อย 2 ตัวต่อ 1 ความถี่

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

รายงานการปฏิบัติสหกิจศึกษานับนี้ข้าพเจ้าศึกษาเกี่ยวกับการตรวจวัดการแพร่ไม่พึงประสงค์ และชนิดของการแพร่คลื่นแปลกปลอม กรณีศึกษาของสถานประกอบการของสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ กรุงเทพมหานคร เขต 1 (กสทช.) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและเพิ่มอัตราการได้งานของนักศึกษาปริญญาตรีจบใหม่ และเพื่อชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการเรียนรู้ทั้งทางทฤษฎีในสถาบันและการลงปฏิบัติหน้างานจริง ด้วยหลักสูตรของคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังร่วมกับสถานประกอบการต่างๆ ทั้งทางภาครัฐและเอกชนเปิดโอกาสให้นักศึกษามีทางเลือกลงวิชาสหกิจศึกษา โดยเป็นการศึกษาและเรียนรู้จากการปฏิบัติงานจริงในสายงานที่ข้าพเจ้าสนใจ อีกทั้งยังได้นำความรู้ที่ได้จากการเรียนในรั้วของมหาวิทยาลัยมาใช้เชื่อมโยงกับสิ่งที่ได้พบเจอกับการปฏิบัติจริง ทำให้เห็นภาพได้มากขึ้น รวมถึงการปรับตัวในการอยู่สังคมและเพื่อนร่วมงาน

จากการปฏิบัติสหกิจศึกษาในตำแหน่งงานตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่วิทยุร่วมกับวิศวกรรมกรตรวจสอบที่สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ กรุงเทพมหานคร เขต 1 (กสทช.) ตั้งแต่วันที่ 7 สิงหาคม – 24 พฤศจิกายน 2560 สรุปได้ว่า สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ทำหน้าที่จัดทำแผนแม่บทการบริหารคลื่นความถี่ ตารางกำหนดคลื่นความถี่แห่งชาติ แผนแม่บทกิจการกระจายเสียง และกิจการโทรทัศน์ แผนแม่บทกิจการโทรคมนาคม แผนความถี่วิทยุและแผนเลขหมายโทรคมนาคม รวมถึงการกำหนดการจัดสรรและกำหนดหลักเกณฑ์ของคลื่นความถี่ระหว่างคลื่นความถี่ที่ใช้ในกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมโดยออกระเบียบ ประกาศ หรือคำสั่งอันเกี่ยวกับอำนาจหน้าที่ของ กสทช. ตามที่กำหนดไว้ในพระราชบัญญัติหรือกฎหมาย

สิ่งที่นักศึกษาได้ปฏิบัติจริงแบ่งเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ การตรวจสอบการใช้งานสถานีวิทยุและการตรวจวัดคลื่นความถี่วิทยุทางเทคนิค จากได้ออกติดตามการปฏิบัติงานร่วมกับพนักงานที่ปรึกษาที่มีตำแหน่งพนักงานปฏิบัติการนอกพื้นที่ในบริเวณจังหวัดกรุงเทพมหานคร ราชบุรี สมุทรสาคร สมุทรสงคราม สมุทรปราการ ปทุมธานี นนทบุรีและพระนครศรีอยุธยา โดยจะมีเรื่องร้องเรียนเข้ามา อาทิเช่น จากกิจการวิทยุการบิน สถานีวิทยุทั่วไปที่มีการรบกวนเกิดขึ้น และหมายรวมถึงประชาชนทั่วไปที่ร้องเรียนเข้ามาเนื่องจากความกังวลเรื่องความปลอดภัยด้านสุขภาพ โดยการทำงานของ กสทช. มีประกาศคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่องมาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม , เรื่องหลักเกณฑ์การวัดการแพร่แปลกปลอมของสถานีทดลองประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง และเรื่องหลักเกณฑ์ป้องกันการรบกวนการใช้คลื่นความถี่ในกิจการวิทยุการบินของสถานีวิทยุกระจายเสียงที่ได้รับจัดสรรคลื่นความถี่ ซึ่งประกาศเหล่านี้ใช้เป็นแบบแผนหลักในการดำเนินงาน นอกจากนี้จะมีการสุ่มตรวจมาตรฐานของกิจการกระจายเสียง ในการดำเนินการตามแผนนั้น หลังจากที่มีการร้องเรียนเข้ามาจะต้องออกไปตรวจสอบงานที่ร้องเรียนเข้ามา โดยผู้ที่ร้องเรียนเข้ามามักจะแจ้งพิกัดที่ตั้งของสถานีในการตรวจสอบ หากไม่ได้มีการแจ้งเข้ามา ทางสำนักงานสามารถหาข้อมูลได้จากระบบฐานข้อมูลได้

หลังจากนั้นจะใช้รถตรวจสอบและหาทิศทางวิทยุ (Mobile Direction Finder) ภายในรถใช้เครื่องมือในการตรวจสอบหลักๆ ได้แก่ Rohde & Schwarz ESM500 VHF/UHF Comms Receiver (20 MHz – 1GHz) ในการฟังเสียง ใช้ควบคู่กับ Rohde & Schwarz VHF-UHF-PEILGERAT VHF/UHF DF -UNIT PP055S (Analog) เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยหลักการของสนามไฟฟ้า (Electromagnetic Field) ในการบอกทิศทางของสถานีที่ตั้ง และใช้ Rohde & Schwarz Handheld Spectrum Analyzer รุ่น FSH8 (9 kHz-8GHz) ในการวิเคราะห์โดยเลือกใช้สายอากาศให้เหมาะสมกับย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน โดยตั้งค่าการวัดที่เครื่อง Spectrum Analyzer (Frequency separation from carrier : kHz) ตามมาตรฐานของ ITU (Rec. ITU-R SM.1268-2) ดำเนินการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์การแพร่คลื่นสัญญาณและพิจารณาความถูกต้องตามมาตรฐานที่กำหนดซึ่งประกอบไปด้วย 3 ค่า ได้แก่ ค่าการแพร่คลื่นที่มีค่าเบี่ยงเบนความถี่ (Frequency Deviation Limits : Rec. ITU-R SM.1268-2), ค่าแถบการครอบครองความถี่ (Occupied Bandwidth : Rec.ITU-R SM.443-4) และค่าการแพร่คลื่นแปลกปลอม (Unwanted Emission : Rec.ITU-R SM.1268-2)

การตรวจวัดระดับความแรงของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากตัวอย่างสถานีทั้ง 3 สถานีที่ทำการตรวจวัดการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยวัดการรวมสัญญาณหลายๆสัญญาณเข้าด้วยกัน (Multiple signal integration) และจะทำการวัดสัญญาณโดยคำนวณหาระยะห่างจากสถานีฐานในการวัดในบริเวณสนามระยะไกล (Far Field) เพื่อจะทำให้ทราบความแรงของสัญญาณที่แรงที่สุดที่เครื่องมือวัดสามารถวัดได้ ในกรณีการวัดความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อตรวจสอบการตั้งสถานีฐานจะแบ่งช่วงการวัด และนำค่าที่ได้จากการวัดมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยความแรงสนามแม่เหล็กเชิงพื้นที่ หาค่าความแรงสนามไฟฟ้า และคำนวณค่าขีดจำกัดความแรงสนามไฟฟ้าเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานด้านความปลอดภัยของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตามลำดับ

จากสถานีฐานทั้ง 3 สถานีในบทความนี้จะเห็นว่า พบว่าผลรวมความแรงสนามไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.017221% , 0.0128361% , 0.0253% ตามลำดับ พบว่าทั้งสามค่านี้ถึงจะเป็นค่าที่มากที่สุดของการวัดการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วก็ยังไม่เกินมาตรฐานด้านความปลอดภัยในการรับผลกระทบ โดยค่ามาตรฐานจะกำหนดไว้ว่า อัตราส่วนความแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเทียบกับค่ามาตรฐานของค่าขีดจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต้องไม่เกิน 1 โดยสอดคล้องกับสมการ ซึ่งแสดงว่าค่าความแรงของสนามไฟฟ้าทั้ง 3 สถานีจากเครื่องวิทยุคมนาคมนี้ สอดคล้องตามมาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม - ขีดจำกัดและวิธีการวัดสำหรับการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของมนุษย์ในย่านความถี่ 9 kHz - 300 GHz ที่ประกาศกำหนดโดยคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

ทั้งนี้ทั้งนั้นผลการวัดขึ้นอยู่กับความถี่ที่ทำการวัด โดยพิจารณาจำนวนแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารวมทั้งคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและรูปแบบบริเวณสนามที่ทำการวัด ความไม่แน่นอนเนื่องจากวิธีการวัด ประกอบกับความแปรปรวนจากการอ่านค่ามิเตอร์ของเครื่องวัด , ตำแหน่งของ Field probe วิเคราะห์จากตัวแปรอื่นพุดร่วมกับสภาวะแวดล้อมและระบบการวัด การประเมินผลการวัดความไม่แน่นอน การตอบสนองสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของโพรบ, การประเมินค่าและอัลกอริทึมในการหาค่าเฉลี่ยของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

การตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่โทรคมนาคมสถานีกระจายเสียงที่ความถี่ 91.75 MHz ผสมสัญญาณกับสถานีกระจายเสียงความถี่ 107.50 MHz ก่อให้เกิดการรบกวนการมอดูเลตระหว่างกันที่ความถี่ 123.23 MHz เนื่องจากเสียงที่ย่านความถี่วิทยุการบินตรงกับเสียงของสถานีกระจายเสียง หรือสรุปได้ว่าย่านความถี่สถานีกระจายเสียงรบกวนย่านความถี่ของวิทยุการบิน สามารถแก้ปัญหาการเกิดการรบกวนได้โดยใช้วงจรกรองผ่านแถบ โดยผลการทดสอบอุปกรณ์กรองผ่านแถบ (Bandpass filter: BPF) ที่ผ่านความถี่ย่านวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็มเฉพาะความถี่ที่เราตั้งใจให้ออกอากาศ เพื่อนำไปใช้ป้องกันการเกิด Reverse Intermodulation (RIM) ของสถานีวิทยุที่ออกอากาศอยู่บริเวณใกล้เคียงกัน ซึ่งผลการทดลองได้ผลเป็นที่น่าพอใจ สามารถกรองผ่านสัญญาณที่ใช้งานด้วยอัตราการสูญเสียเพียงประมาณ 0.3 dB ในขณะที่สามารถตัดสัญญาณที่ห่างออกไป 10 MHz และ 20 MHz ด้วยอัตราการลดทอน 27 dB และ 42 dB ตามลำดับ

เมื่อนำอุปกรณ์วงจรกรองนี้ไปใช้กับสถานีวิทยุที่ออกอากาศ 2 ความถี่ โดยมีความถี่แตกต่างกันประมาณ 10 MHz พบว่าก่อนที่จะทำการติดตั้งวงจรกรอง วัดสัญญาณ RIM ได้ความแรงอยู่ที่ประมาณ -33 dBc แล้วหลังจากที่ทำการติดตั้งวงจรกรองให้กับเครื่องส่ง 1 ตัวต่อ 1 คลื่น ปรากฏว่าสัญญาณ RIM ลดลงไปอยู่ต่ำกว่า -80 dBc การสูญเสียจากวงจรกรองมีค่าประมาณ 0.3-0.5 dB หรือคิดเป็นประมาณ 50 วัตต์ ที่กำลังส่ง 500 วัตต์ ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

แนวทางการแก้ไขปัญหากรณีการมอดูเลตระหว่างกัน (Intermodulation) โดยจะเลือกต้องวงจรกรองผ่านแถบ (BPF) เข้ากับเครื่องส่งของสถานีวิทยุทั้ง 2 สถานี เนื่องจากมีราคาสูงกว่าการเลือกใช้วงจรอื่น แต่มีข้อเสียคือมีขนาดใหญ่ การที่จะใช้วงจรกรองผ่านแถบได้นั้น ความถี่ของสถานีวิทยุต้องต่างกันเกิน 2 MHz นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ที่ช่วยลดการเกิด RIM อื่นๆ เช่น วงจรกรองตัดแถบ , Isolator และ Combiner โดยมีทั้งข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกัน แต่เนื่องจากราคามีผลต่อการเลือกใช้อุปกรณ์ จึงเลือกใช้วงจรกรองผ่านแถบในการแก้ปัญหา วงจรกรองผ่านแถบ (BPF) ที่ใช้กรองผ่านสัญญาณที่ต้องการและตัดสัญญาณที่ความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ใช้งานจำเป็นต้องมี Quality Factor (Q) ที่สูง ดังนั้นแม้จะใช้กล่องหรือท่อเพื่อสร้างปริมาตรในการเก็บพลังงาน และใช้แท่งทองแดงทำหน้าที่ Resonance ที่ความถี่ที่เราต้องการเพื่อส่งผ่านพลังงาน การปรับความยาวของแท่งทองแดงเป็นตัวกำหนดความถี่ Resonance หรือความถี่ใช้งาน ทางด้านขาออกและขาเข้าจะมีขดลวดเพื่อเปลี่ยนพลังงานความถี่วิทยุให้เป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อส่งไปยังแท่งทองแดงอีกที จากที่กล่าวข้างต้นการลดเกิดการมอดูเลตระหว่างกันยังขึ้นกับการเลือกใช้สายอากาศ โดยสายอากาศประเภท Circular หรือ Elliptic จะมีการหมุนของสนามไฟฟ้าที่ตรงข้ามกันเมื่อหันหน้าเข้าหากัน จึงลดการรบกวนได้มากเพราะในการรับสัญญาณด้วยสายอากาศที่มีโพลาไรซ์แบบตรงกันข้าม (cross polarized) จะลดทอนสัญญาณลงไปมากกว่า 10 dB

ทั้งนี้ทั้งนั้นสาเหตุการเกิดการมอดูเลตระหว่างกันส่วนใหญ่ที่สามารถหาสาเหตุการเกิดได้จริง เกิดจากขั้วใส่ดัมมีโหลด (Dummy load) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ต่อแทนสายอากาศในขณะที่ปรับแต่งและทดสอบเครื่องรับ-ส่งวิทยุ มีค่าความต้านทาน 50 โอห์มการใส่ดัมมีโหลดเข้าไปแทนสายอากาศจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนออกมา และไม่ส่งสัญญาณออกไปรบกวนเพื่อนที่เฝ้าฟังหรือใช้ความถี่นั้นๆอยู่บนเสาทาวเวอร์หักภายในช่วงระยะสายก่อนต่อเข้ากับวงจรกรองความถี่หรือเกิดจากการหมดสภาพการใช้งานของอุปกรณ์ เนื่องจากอาจจะมีน้ำเข้าทำให้เกิดความเสียหาย

หลังจากหาสาเหตุและวัดผลการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและการรบกวนอื่นๆเสร็จสิ้น จะต้องทำบันทึกข้อมูลในฐานข้อมูลของสำนักงานในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และทำรายงานการตรวจสอบมาตรฐาน

ทางเทคนิคของการแพร่คลื่นวิทยุ กรณีพบการแพร่คลื่นวิทยุไม่เป็นไปตามมาตรฐานส่วนใหญ่ต้องจัดทำร่างหนังสือทักท้วงถึงผู้ประกอบการให้ดำเนินการแก้ไขและแนบพร้อมรายงาน โดยผู้ประกอบการต้องทำหนังสือแจ้งผลการดำเนินการแก้ไขภายใน 15 วันหลังจากได้รับหนังสือจากสำนักงาน กสทช. เขต ต่อมาคือวางแผนการติดตามผลการดำเนินการแก้ไข ณ สถานที่ที่ทำให้เกิดการแพร่คลื่นเกินมาตรฐาน และจัดทำรายงานการตรวจสอบมาตรฐานทางเทคนิคของการแพร่คลื่นวิทยุ นำเสนอผู้อำนวยการเขต ทุกสิ้นเดือนรวบรวมข้อมูลรายงานผลการตรวจสอบมาตรฐานทางเทคนิคของการแพร่คลื่นวิทยุ ประจำเดือนจากสำนักงาน กสทช. เขต ทั้งหมด และดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล พร้อมจัดทำรายงานการวิเคราะห์ข้อมูลการตรวจสอบมาตรฐานทางเทคนิคของการแพร่คลื่นวิทยุ เสนอร่องเลขาธิการสายงานบริหารคลื่นความถี่และภูมิภาคเห็นชอบ ผ่านผู้บังคับบัญชาตามลำดับต่อไป

5.2 ปัญหาหรืออุปสรรคการดำเนินงาน

ระหว่างปฏิบัติงานที่สถานประกอบการเนื่องจากหากมีการแจ้งเตือนฉุกเฉินเข้ามา อาทิเช่น แจ้งเตือนการรบกวนจากพระราชวังหรือวิทยุการบิน ในบางครั้งจำเป็นต้องออกตรวจสอบในพื้นที่ ซึ่งต้องออกปฏิบัติงานนอกเหนือเวลาทำงานปกติ ทำให้เหนื่อยเกินความจำเป็นและเนื่องจากต้องออกปฏิบัติหน้าที่ช่วงระหว่างงานพระราชพิธีถวายพระเพลิงพระบรมศพพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดชช่วงเดือนตุลาคมและจำเป็นต้องกลับหลังจากถึงกำหนดของโครงการสหกิจศึกษา ทำให้เสียโอกาสในการศึกษาเครื่องมือที่ใช้ตรวจตัวรุ่นใหม่ฯ

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการประเมินความคุ้มค่าของการเข้าร่วมโครงการสหกิจศึกษากับสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ กรุงเทพมหานครเขต 1 (กสทช.) ซึ่งข้าพเจ้าได้เรียนรู้งานและประสบการณ์ในการทำงานในสิ่งที่ตนไม่เคยสัมผัสมาก่อน ทำให้เกิดความเชื่อมโยงและเพิ่มความเข้าใจกับสิ่งที่ได้เรียนรู้จากร่วมหลายได้เป็นอย่างดี ถือเป็นความภูมิใจอย่างยิ่งที่ได้มีโอกาสร่วมงานกับสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ กรุงเทพมหานครเขต 1 ซึ่งถือว่าเป็นองค์กรที่ดูแลกิจการโทรคมนาคมของประเทศไทย พี่พนักงานทุกคนสอนงาน ให้คำแนะนำและทุกความช่วยเหลือเสมอครอบครัวใหม่ของข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาสหกิจศึกษา ได้มีโอกาสใช้เครื่องมือโทรคมนาคมมากมายที่ไม่มีในสถาบัน การได้ออกไปทำสหกิจศึกษาในครั้งนี้ให้ประสบการณ์แก่ข้าพเจ้า การใช้ชีวิต การปรับตัว การทำงานร่วมกับผู้อื่น รวมถึงโอกาสต่างๆมากมาย ที่สำคัญคือข้าพเจ้าได้มีโอกาสร่วมถวายงานในงานพระราชพิธีถวายพระเพลิงพระบรมศพพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดชตลอดทั้งเดือนตุลาคม 2560 ถือเป็นโอกาสและเป็นเกียรติสูงสุดในชีวิตของข้าพเจ้าที่ไม่สามารถประเมินค่าได้ และยิ่งไปกว่านั้นการได้รับความรักจากที่นี้จากพี่ๆทุกคน สหกิจศึกษาในครั้งนี้ถือเป็นก้าวแรกของการทำงาน ทำให้เห็นภาพการทำงานและทางเลือกงานในสิ่งที่เหมาะกับข้าพเจ้า และการวางแผนชีวิตให้ตัวเองในอนาคต เสมอว่าซ้อมให้เราเตรียมความพร้อมก่อนที่จะออกไปเจอการทำงานจริง ที่ต้องแบกรับหน้าที่ความรับผิดชอบและแรงกดดัน ซึ่งในอนาคตหากรุ่นน้องวิศวกรรมโทรคมนาคมได้มีโอกาสเข้าร่วมโครงการสหกิจศึกษาถือว่าเป็นโอกาสที่ดีสำหรับการเปิดโลกทัศน์ให้กับตนเองในสังคมใหญ่ และเป็นอา

กาสที่จะได้เรียนรู้และพัฒนาทักษะในการทำงานเพื่อจบออกไปจะเป็นบัณฑิตที่ดีและมีคุณภาพ นำมาซึ่งชื่อเสียงที่ดีแก่สถาบันและคณะวิศวกรรมโทรคมนาคมของเราต่อไป

บรรณานุกรม

- [1] International Telecommunication Union, Spectrum Monitoring Handbook, Chapter 3, Section 3.1, 1995
- [2] International Telecommunication Union, Recommendation ITU-R SM.377-3 “Accuracy of Frequency Measurements at Stations for International Monitoring”, 1994
- [3] International Telecommunication Union, Recommendation ITU-R SM.1393 “Common Formats for the Exchange of Information between Monitoring Stations”, 1999
- [4] International Telecommunication Union, Recommendation ITU-R SM.182-4 “Automatic Monitoring of Occupancy of the Radio-frequency Spectrum”, 1992
- [5] International Telecommunication Union, Recommendation ITU-R SM.1446 “Definition and Measurement of Intermodulation Products in Transmitter Using Frequency, Phase or Complex Modulation Techniques”, 2000
- [6] International Telecommunication Union, Recommendation ITU-R SM.1134 “Intermodulation Interference Calculations in the Land Mobile Service”, 1995
- [7] International Telecommunication Union, Recommendation ITU-R SM.326-7 “Determination and Measurement of the Power of Amplitude-modulated Radio Transmitters”, 1994
- [8] International Telecommunication Union, Recommendation ITU-R SM.337-4 “Frequency and Distance Separations”, 1997
- [9] พงศกร แก้วจันทร์เหนือ, คู่มือการใช้งานและการปฏิบัติทางเทคนิค AUTOMATIC RECEIVER TS9965 SOFTWARE, ศูนย์ตรวจสอบและเฝ้าฟังวิทยุเขต 1 นนทบุรี กองตรวจสอบและเฝ้าฟังวิทยุ กรมไปรษณีย์โทรเลข, ไม่ระบุวันเดือนปีที่พิมพ์
- [10] วุฒิเลิศ ชนะหาญ, คู่มือแนะนำการใช้งานเครื่องตรวจสอบและบันทึกการใช้ความถี่วิทยุอัตโนมัติ ESVN40 เรื่องกระบวนการวัด Measurement ในโปรแกรม ROHDE & SCHWARZ TS9965/WIN เพื่อควบคุมการทำงานเครื่องตรวจสอบ Test Receiver รุ่น ESVN40 โดยผ่านทาง Windows NT 3.51, ศูนย์ตรวจสอบและเฝ้าฟังวิทยุเขต 3 ลำปาง กองตรวจสอบและเฝ้าฟังวิทยุ กรมไปรษณีย์โทรเลข, มกราคม 2543
- [11] กรมไปรษณีย์โทรเลข, เอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตรเทคนิคการตรวจสอบและเฝ้าฟังวิทยุ หัวข้อ “เครื่องหาทิศทางวิทยุ”, 5 – 16 มิถุนายน 2538
- [12] วรุต ศรีจันทร์บาล, คู่มือการใช้เครื่องตรวจสอบและหาทิศทางชนิดประจำที่ (FIXED DIRECTION FINDER), ศูนย์ตรวจสอบและเฝ้าฟังวิทยุเขต 1 นนทบุรี กองตรวจสอบและเฝ้าฟังวิทยุ กรมไปรษณีย์โทรเลข, ไม่ระบุวันเดือนปีที่พิมพ์
- [13] กัมปนาท เกษรเกษรา, คู่มือการใช้งานรถตรวจสอบเฝ้าฟังและหาทิศทาง, ศูนย์ตรวจสอบและเฝ้าฟังวิทยุ เขต 1 นนทบุรี กองตรวจสอบและเฝ้าฟังวิทยุ กรมไปรษณีย์โทรเลข, ไม่ระบุวันเดือนปีที่พิมพ์
- [14] “EMERGENCY POSITION INDICATING RADIOBEACON (EPIRB).” [online].
เข้าถึงได้จาก : <https://www.navcen.uscg.gov/?pageName=mtEpirb>
- [15] “Emergency Beacons.” เข้าถึงได้จาก : <http://www.sarsat.noaa.gov/emercns.html>

ภาคผนวก

Uncertainty Calculation TS-EMF / EMF Monitoring System with different Spectrum Analyzers

System Uncertainty with TSEMF-B1, Isotropic Antenna 30 MHz – 3 GHz

Input Quantity	Probability Distribution	Uncertainty / dB	Remark
Antenna Factor	Normal (k=2)	± 1.0	1)
Antenna factor Interpolation	Normal (k=2)	± 0.5	
Isotropy with Radome	Normal (k=2)	± 2.1 ± 1.0 @ 900 MHz ± 1.7 @ 1.8 GHz	1)
VSWR (Reflection Coefficient) Antenna	U-Distribution	± 0.5 (VSWR=2.0) f < 1.8 GHz ± 0.75 (VSWR=2.3) f > 1.8 GHz	3)
Specification Spectrum Analyzer e.g. .FSH3, FSH6	Normal (k=2)	± 1.5	2)
Extension / System cable	Normal (k=2)	0.6	
Expanded Uncertainty	Normal	3.1 / 3.0	4)
Expanded Uncertainty @ 900 MHz	Normal	2.3 / 2.2	4)
Expanded Uncertainty @ 1.8 GHz	Normal	2.8 / 2.7	4)
Specification Spectrum Analyzer e.g. FSH4 (<3.6 GHz), FSL < 6GHz	Normal (k=2)	± 1.0	2)
Extension / System cable	Normal (k=2)	0.6	
Expanded Uncertainty	Normal	2.9 / 2.8	4)
Expanded Uncertainty @ 900 MHz	Normal	2.0 / 1.9	4)
Expanded Uncertainty @ 1.8 GHz	Normal	2.6 / 2.5	4)

Remarks:

- 1) Antenna data sheet or calibration laboratory. Exact uncertainty may slightly vary for different labs.
- 2) According to data sheet for 95% confidence level. Total level uncertainty includes VSWR.
- 3) Tri-axis probe with integrated solid state switch features a VSWR of max. 2.3. Matching can be improved by setting the input attenuation of analyzer to at least 10 dB.
- 4) Values with / without extension or system cable

System Uncertainty with TSEMF-B2, Isotropic Antenna 700 MHz – 6 GHz

Input Quantity	Probability Distribution	Uncertainty / dB	Remark
Antenna Factor	Normal (k=2)	± 1.4	1)
Antenna Factor Interpolation	Normal (k=2)	± 0.5	
Isotropy with Radome	Normal (k=2)	$\leq \pm 2.5$ dB (0.6 to 2 GHz) $\leq \pm 2.2$ dB (2 to 3.6 GHz) $\leq \pm 3.0$ dB (3.6 to 6 GHz)	1)
VSWR (Reflection Coefficient) Antenna	U-Distribution	± 0.5 (VSWR=2.0)	3)
Specification Spectrum Analyzer e.g. FSH3, FSH6, FSH4 > 3.6 GHz	Normal (k=2)	± 1.5	2)
Extension / System cable	Normal (k=2)	0.6	
Expanded Uncertainty < 2 GHz	Normal	3.4 / 3.3	4)
Expanded Uncertainty 2 GHz – 3.6 GHz	Normal	3.2 / 3.1	4)
Expanded Uncertainty > 3.6 GHz	Normal	3.8 / 3.7	4)
Specification Spectrum Analyzer e.g. FSH4 (<3.6 GHz), FSL < 6GHz	Normal (k=2)	± 1.0	2)
Extension / System cable	Normal (k=2)	0.6	
Expanded Uncertainty < 2 GHz	Normal	3.2 / 3.2	4)
Expanded Uncertainty 2 GHz – 3.6 GHz	Normal	3.0 / 2.9	4)
Expanded Uncertainty > 3.6 GHz	Normal	3.6 / 3.6	4)

Remarks:

- 1) Assumed medium uncertainty over the frequency range. Exact uncertainty will slightly vary for different labs and be split into frequency ranges.
- 2) According to data sheet for 95% confidence level. Total level uncertainty includes VSWR.
- 3) Tri-axis probe with integrated solid state switch features a VSWR of max. 2.3. Matching can be improved by setting the input attenuation of FSH to at least 10 dB.
- 4) Values with / without extension or system cable

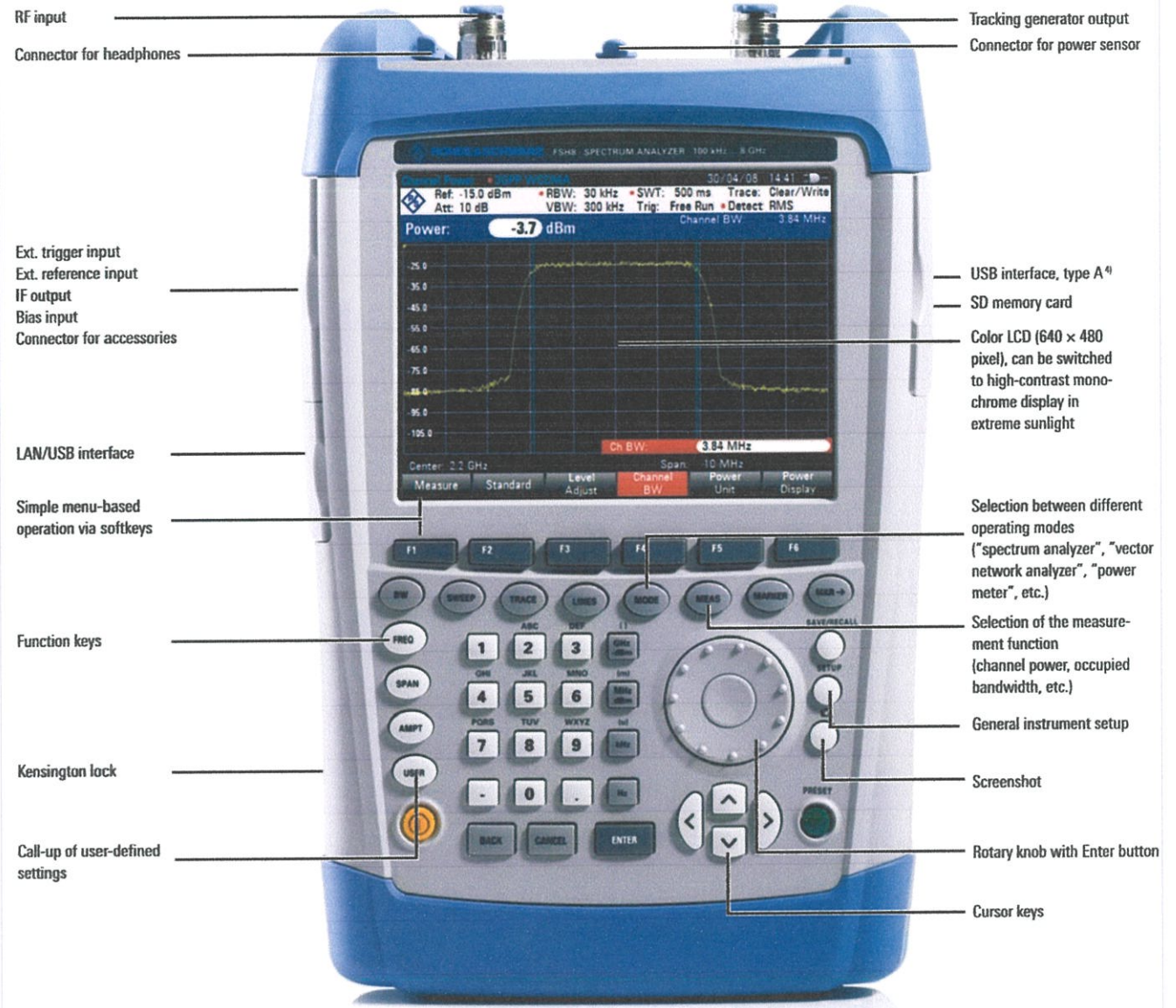
System Uncertainty with TSEMF-B3, Isotropic Antenna 9 kHz – 200 MHz

Input Quantity	Probability Distribution	Uncertainty / dB	Remark
Antenna Factor Loop Antenna (including isotropy deviation, with Radome)	Normal (k=2)	± 1.5	1)
Measurement uncertainty TEM	Normal (k=2)	± 0.2	
Antenna factor Interpolation	Normal (k=2)	± 0.5	
VSWR (Reflection Coefficient) Antenna	U-Distribution	± 0.6 (VSWR=2.0)	3)
Specification Spectrum Analyzer e.g. .FSH3, FSH6, FSH4 > 3.6 GHz	Normal (k=2)	± 1.5	2)
Extension Cable (Option)	Normal (k=2)	0.6	
Expanded Uncertainty	Normal	2.4	4)
Specification Spectrum Analyzer e.g. FSH4 (<3.6 GHz), FSL < 6GHz	Normal (k=2)	± 1.0	2)
Extension Cable (Option)	Normal (k=2)	0.6	
Expanded Uncertainty	Normal	2.1	4)

Remarks:

- 1) Loop antenna data sheet; based on evaluation of samples from series production.
- 2) According to data sheet. Total level uncertainty includes VSWR.
- 3) Loop antenna with integrated solid state switch features. Matching can be improved by setting the input attenuation of FSH to at least 10 dB.
- 4) Values with system / extension cable

Front view



⁴⁾ Interface integrated into instruments with serial numbers ≥ 105000 .
For connecting R&S®NRP-Zxx power sensors and USB sticks.

Specifications in brief

Spectrum analysis		R&S®FSH4	R&S®FSH8	R&S®FSH13	R&S®FSH20
Frequency range	models .04/.14/.08/.18/ .13/.23/.20/.30 models .24/.28	9 kHz to 3.6 GHz 100 kHz to 3.6 GHz	9 kHz to 8 GHz 100 kHz to 8 GHz	9 kHz to 13.6 GHz –	9 kHz to 20 GHz –
Resolution bandwidths		1 Hz to 3 MHz			
Displayed average noise level	without preamplifier, RBW = 1 Hz (normalized)				
	9 kHz to 100 kHz (models .04/.14/.08/.18 only)	< –108 dBm, –118 dBm typ.		< –96 dBm, –106 dBm typ.	
	100 kHz to 1 MHz	< –115 dBm, –125 dBm typ.			
	1 MHz to 10 MHz	< –136 dBm, –144 dBm typ.			
	10 MHz to 2 GHz	< –141 dBm, –146 dBm typ.			
	2 GHz to 3.6 GHz	< –138 dBm, –143 dBm typ.			
	3.6 GHz to 5 GHz	–	< –142 dBm, –146 dBm typ.		
	5 GHz to 6.5 GHz	–	< –140 dBm, –144 dBm typ.		
	6.5 GHz to 13.6 GHz	–	< –136 dBm, –141 dBm typ.		
	13.6 GHz to 18 GHz	–	–	–	< –134 dBm, –139 dBm typ.
	18 GHz to 20 GHz	–	–	–	< –130 dBm, –135 dBm typ.
	with preamplifier, RBW = 1 Hz (normalized)				
	100 kHz to 1 MHz	< –133 dBm, –143 dBm typ.		–	
	1 MHz to 10 MHz	< –157 dBm, –161 dBm typ.		< –155 dBm, –160 dBm typ.	
	10 MHz to 2 GHz	< –161 dBm, –165 dBm typ.		–	
	2 GHz to 3.6 GHz	< –159 dBm, –163 dBm typ.		–	
	3.6 GHz to 5 GHz	–	< –155 dBm, –159 dBm typ.		
	5 GHz to 6.5 GHz	–	< –151 dBm, –155 dBm typ.		
	6.5 GHz to 8 GHz	–	< –147 dBm, –150 dBm typ.		
	8 GHz to 13.6 GHz	–	–	< –158 dBm, –162 dBm typ.	
	13.6 GHz to 18 GHz	–	–	< –155 dBm, –160 dBm typ.	
	18 GHz to 20 GHz	–	–	–	< –150 dBm, –155 dBm typ.
Third-order intercept (IP3)	300 MHz to 3.6 GHz	> 10 dBm, +15 dBm typ.			
	3.6 GHz to 20 GHz	–	> 3 dBm, +10 dBm typ.		
Phase noise	frequency 500 MHz				
	30 kHz carrier offset	< –95 dBc (1 Hz), –105 dBc (1 Hz) typ.			
	100 kHz carrier offset	< –100 dBc (1 Hz), –110 dBc (1 Hz) typ.			
	1 MHz carrier offset	< –120 dBc (1 Hz), –127 dBc (1 Hz) typ.			
Detectors		sample, max. peak, min. peak, auto peak, RMS			
Level measurement uncertainty	10 MHz < f ≤ 3.6 GHz	< 1 dB, typ. 0.5 dB			
	3.6 GHz < f ≤ 20 GHz	–	< 1.5 dB, 1 dB typ.		
Display		6.5" color LCD with VGA resolution			
Battery operating time (without tracking generator)	R&S®HA-Z204, 4.5 Ah	up to 3 h			
	R&S®HA-Z206, 6.75 Ah	up to 4.5 h			
Dimensions (W × H × D)		194 mm × 300 mm × 69 mm (144 mm) ¹⁾ 7.6 in × 11.8 in × 2.7 in (5.7 in)			
Weight		3 kg (6.6 lb)			

¹⁾ With carrying handle.

Vector network analysis²⁾/vector voltmeter³⁾

		R&S®FSH4	R&S®FSH8	R&S®FSH13/20
Frequency range	models .24/.28/.23/.30	300 kHz to 3.6 GHz	300 kHz to 8 GHz	100 kHz to 8 GHz
Output power (port 1)		0 dBm to -40 dBm		-
Output power (port 2)		0 dBm to -40 dBm		0 dBm to -40 dBm
Reflection measurements (S_{11}, S_{22})				
Directivity	300 kHz to 3 GHz	> 43 dB nominal	> 43 dB nominal	> 43 dB nominal ⁴⁾
	3 GHz to 3.6 GHz	> 37 dB nominal	> 37 dB nominal	> 37 dB nominal ⁴⁾
	3.6 GHz to 6 GHz	-	> 37 dB nominal	> 37 dB nominal ⁴⁾
	6 GHz to 8 GHz	-	> 31 dB nominal	> 31 dB nominal ⁴⁾
Display modes	vector reflection and transmission measurement (R&S®FSH-K42) vector voltmeter (R&S®FSH-K45)	magnitude, phase, magnitude + phase, Smith chart, VSWR, reflection coefficient, mp, one-port cable loss, electrical length, group delay magnitude + phase, Smith chart		
Transmission measurements				
Dynamic range (S_{21})	100 kHz to 300 kHz	70 dB typ.	70 dB typ.	-
	300 kHz to 3.6 GHz	> 70 dB, 90 dB typ.	> 70 dB, 90 dB typ.	-
	3.6 GHz to 6 GHz	-	> 70 dB, 90 dB typ.	-
	6 GHz to 8 GHz	-	50 dB typ.	-
Dynamic range (S_{12})	100 kHz to 300 kHz	80 dB typ.	typ. 80 dB	typ. 80 dB
	300 kHz to 3.6 GHz	> 80 dB, 100 dB typ.	> 80 dB, 100 dB typ.	> 80 dB, 100 dB typ.
	3.6 GHz to 6 GHz	-	> 80 dB, 100 dB typ.	> 80 dB, 100 dB typ.
	6 GHz to 8 GHz	-	60 dB typ.	60 dB typ.
Display modes	vector reflection and transmission measurement (R&S®FSH-K42) vector voltmeter (R&S®FSH-K45)	magnitude (attenuation, gain), phase, magnitude + phase, electrical length, group delay magnitude + phase		

²⁾ Available for models .24/.28/.23/.30 only; models .24/.28 require R&S®FSH-K42 additionally.

³⁾ For models .24/.28/.23/.30 only, requires R&S®FSH-K45.

⁴⁾ Only S_{22} measurements.

For data sheet, see PD 5214.0482.22 and www.rohde-schwarz.com

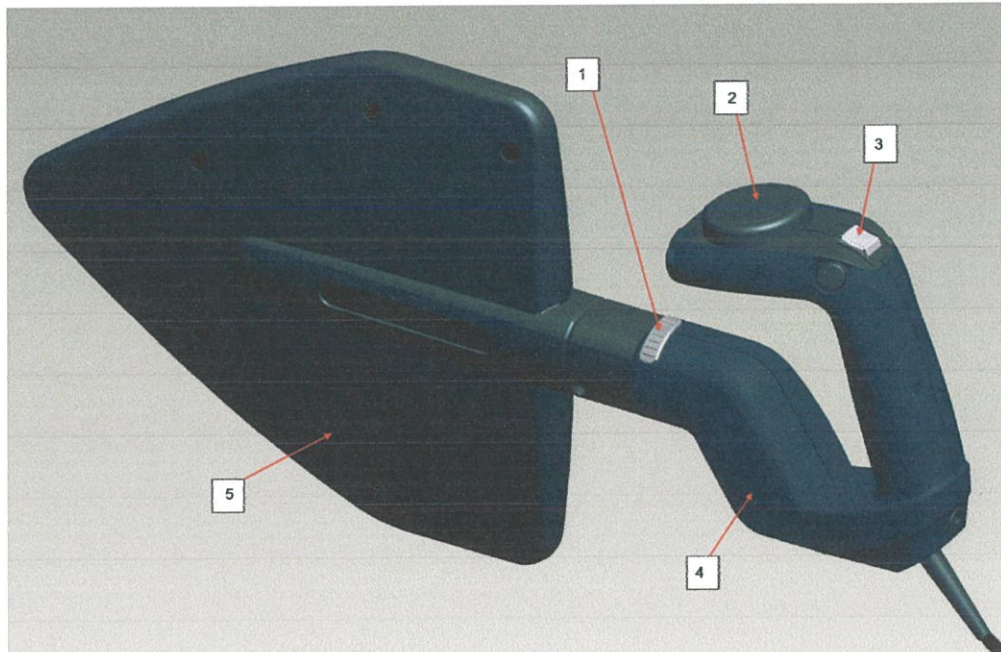


Fig. 1-2: System overview (model 03).

- 1 = Release switch (releases/locks the antenna module)
- 2 = GPS/Electronic compass unit
- 3 = Toggle switch (internal amplifier ON / OFF)
- 4 = Supply and display unit
- 5 = Antenna module

The overall frequency range from 9 kHz to 7.5 GHz is covered by four exchangeable antenna modules, each with a distinct directional pattern. The modules do not have to be tuned within their frequency sub-ranges. Delivery of the R&S HE300 includes three of these modules; the fourth module (R&S HE300HF for 9 kHz to 20 MHz) is available as an option.

A built-in low-noise broadband amplifier can be activated in order to increase the system's sensitivity ("Active" mode).

In "Passive" mode, the amplifier is bypassed and the R&S HE300 may also be used in the vicinity of strong transmitters.

NOTICE

Incorrect use of the system

Use of the system for purposes other than those stated in this chapter may result in personal injury or damage to the equipment or other property.

The R&S HE300 is characterized by the following features:

- Unambiguous direction finding, i.e. distinct directional pattern with the receive maximum pointing to the front in the frequency range from 20 MHz to 7.5 GHz.
- The maximum of the antenna output signal serves as a directional criterion (maximum direction finding).

- Handy size despite extreme broadband capability.
- Fatigue-free operation due to the antenna design and the material used, which keep weight to a minimum.
- May be used for vertical and horizontal polarization in the frequency range from 20 MHz to 7.5 GHz.
- Wide dynamic range due to switchable "Passive" and "Active" mode.
- May be mounted on a tripod (1/4" mounting thread).
- Power supply by standard AA batteries or rechargeable batteries.

1.2 Description

1.2.1 Antenna Modules

The operating frequency range of 20 MHz to 7.5 GHz is covered by three exchangeable antenna modules:

Frequency range	Antenna module
20 MHz to 200 MHz	Antenna module 4067.6306.00 (loaded loop antenna with broadband cardioid directional pattern)
200 MHz to 500 MHz	Antenna module 4067.6606.00 (loaded loop antenna with broadband cardioid directional pattern)
500 MHz to 7500 MHz	Antenna module 4067.6458.00 (log-periodic dipole antenna with a nearly frequency-independent directional pattern)

A fourth antenna module is available as an option for the lower frequency range from 9 kHz to 20 MHz:

Frequency range	Antenna module
9 kHz to 20 MHz	Antenna module R&S HE300HF 4067.6806.02 (loop antenna, not included in delivery)

The module selected for the task at hand is plugged into the supply and display unit and locked in position. The modules can be plugged in for both vertical and horizontal polarization.

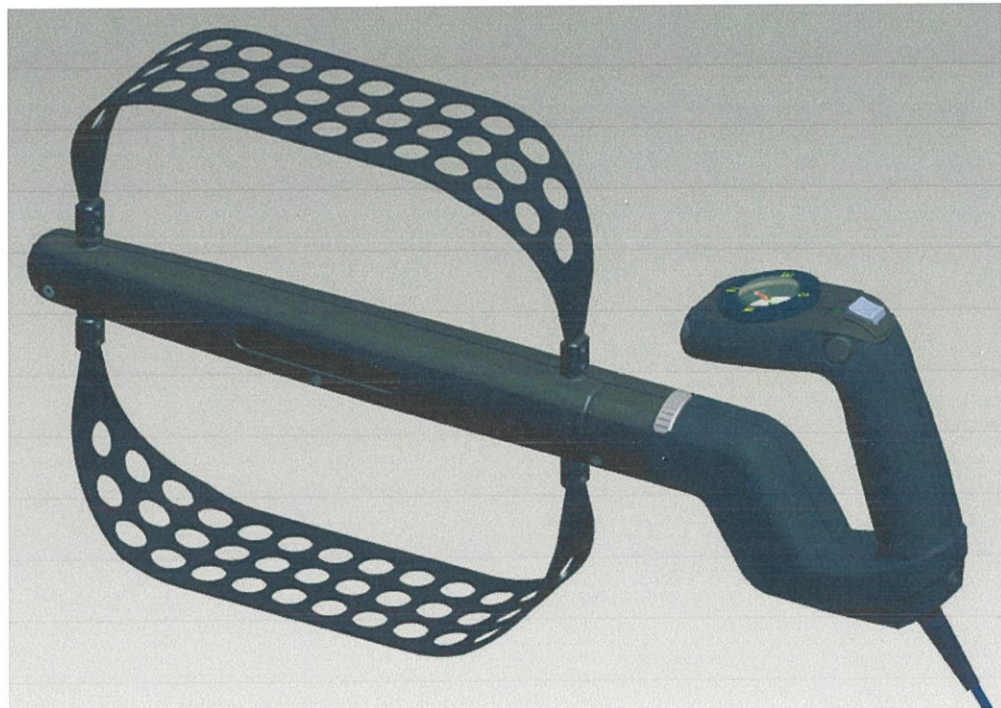


Fig. 1-3: R&S HE300 with antenna module 20 MHz to 200 MHz.



Fig. 1-4: R&S HE300 with antenna module 200 MHz to 500 MHz.

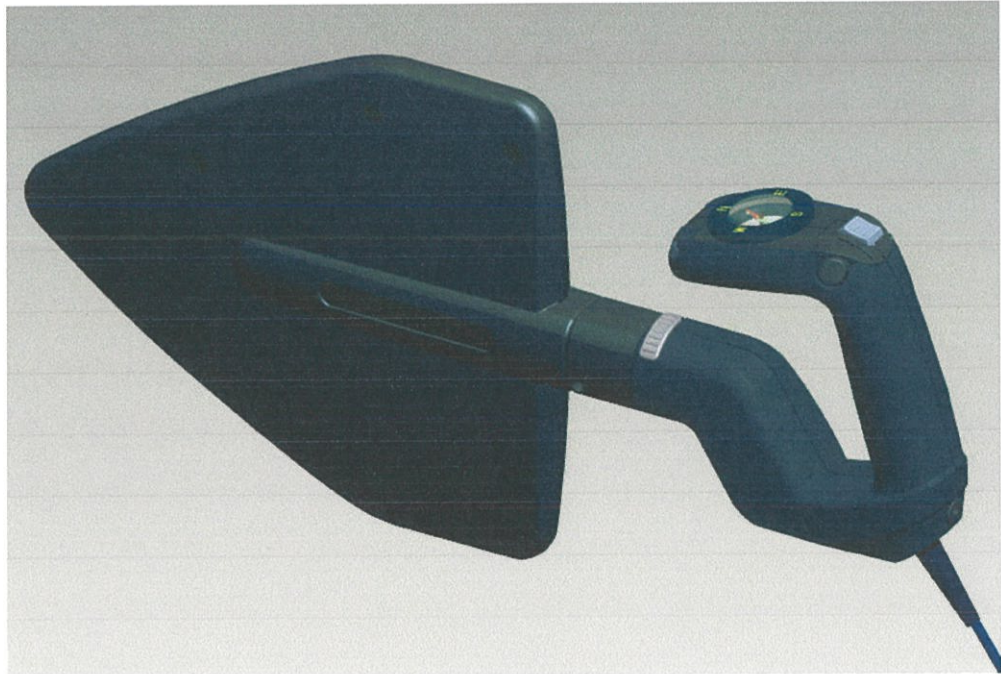


Fig. 1-5: R&S HE300 with antenna module 500 MHz to 7.5 GHz.

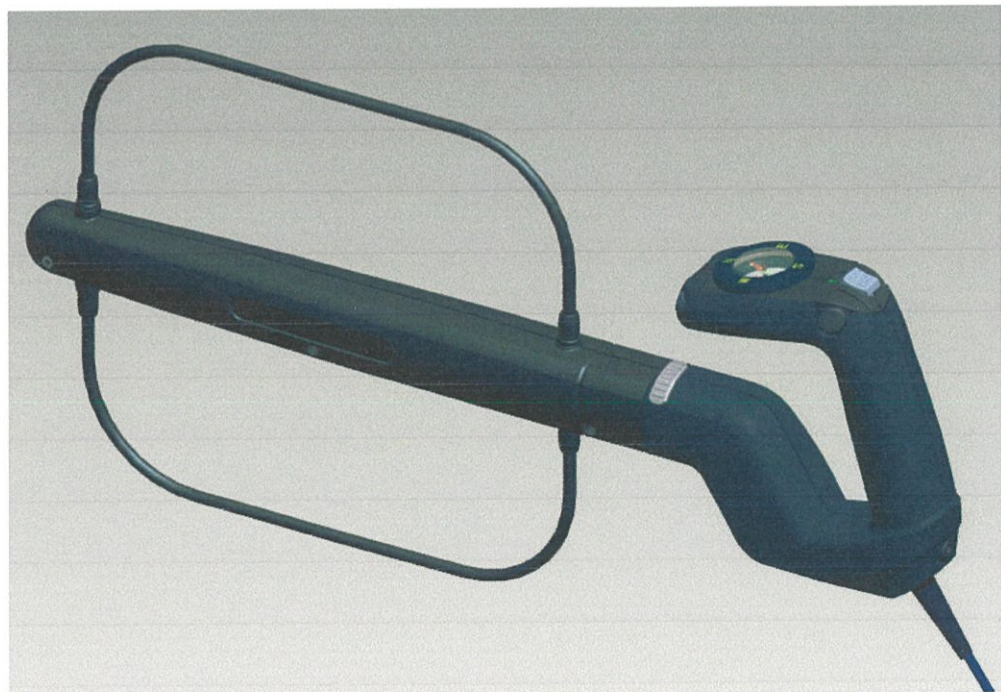


Fig. 1-6: R&S HE300 with optional antenna module R&S HE300HF 9 kHz to 20 MHz.

**Note on the frequency range 9 kHz to 20 MHz**

As antenna module R&S HE300HF is designed as a loop antenna, vertical polarization (normal handling position) leads to two receive maxima, one in the direction of the signal source and the other at an angle of 180° to it (see also figure 5-17).

In order to determine the direction of arrival of a particular signal in vertical polarization (vertical loop), direction finding must take place from at least two different sites. The transmitter is then found at the intersection point of the respective DF beams.

With horizontal polarization (horizontal loop), the direction cannot be determined as the radiation pattern in azimuth is circular.

1.2.2 Supply and Display Unit

Two different models of R&S HE300 are available which differ in the supply and display unit:

- Model 02 contains a supply and display unit which comprises the following modules:
 - Compass with turnable graduation ring
 - Antenna electronics with built-in low-noise amplifier
 - Toggle switch for switching between "Active" and "Passive" mode
- Model 03 contains a supply and display unit which comprises the following modules:
 - Electronic compass module
 - GPS receiver module with patch antenna
 - Antenna electronics with built-in low-noise amplifier
 - Toggle switch for switching between "Active" and "Passive" mode with the additional feature to detect the state of the switch by the connected receiver, e.g. R&S PR100
 - Microcontroller unit for data transfer to R&S PR100 via a serial interface

**Note on R&S HE300UK**

R&S HE300UK upgrade kit contains all hardware to upgrade R&S HE300 model 02 to model 03.

In "Passive" mode the low-noise amplifier is bypassed and has no supply voltage. "Passive" mode is thus also possible without batteries or external voltage supply.

**Note on "Active" and "Passive" mode**

The R&S HE300 should only be switched to "Active" mode if there are no strong transmitters in close vicinity and the sensitivity of the receiving system (antenna with receiver) in "Passive" mode is not sufficient to detect the signal.

When the amplifier is activated, a green LED on the rear of the supply and display unit indicates that the battery voltage or external supply voltage is within the permissible range. If this LED goes off, you must replace the batteries or check the external voltage supply.

R&S HE300 model 03 reports the activation of the amplifier via the control cable for further processing by a connected receiver, e.g. R&S PR100.

1.3 Specifications

Frequency range	20 MHz to 7.5 GHz with the three supplied plug-in antenna modules
<ul style="list-style-type: none"> • Antenna module 4067.6306.00 Loaded loop antenna • Antenna module 4067.6606.00 Loaded loop antenna • Antenna module 4067.6458.00 Log-periodic antenna • Option 4067.6806.02 Loop antenna • Supply and display unit 	<p>20 MHz to 200 MHz</p> <p>200 MHz to 500 MHz</p> <p>500 MHz to 7.5 GHz</p> <p>9 kHz to 20 MHz</p> <p>9 kHz to 7.5 GHz</p>
Polarization	Horizontal und vertical for all antenna modules. Selection of polarization by turning the longitudinal antenna axis by 90° prior to connecting it to the supply and display unit.
Nominal impedance	50 Ω
VSWR	< 2.5 typ. (excluding R&S HE300HF module)
RF output	Cable at the handle, approx. 1 m in length N connector
Internal amplifier	<ul style="list-style-type: none"> • Power consumption $I_{cc} = 40 \text{ mA}$ $V_D = 3.6 \text{ V}$ • Noise figure 5.3 dB at 2 GHz • Output IP3 +26 dBm 2 GHz ± 100 kHz $P_{Tone} = -5 \text{ dBm}$ • Output P_{1dB} +11.7 dBm at 2 GHz • Input RF-Power max. 13 dBm
Gain	for typical values see figure 5-1, figure 5-2 and figure 5-13
Antenna factor	for typical values see figure 5-3, figure 5-4 and figure 5-14
Field strength sensitivity	for typical values see figure 5-5, figure 5-6 and figure 5-15

Typical directional patterns <ul style="list-style-type: none"> • 20 MHz to 200 MHz • 200 MHz to 500 MHz • 500 MHz to 7.5 GHz • Option: 9 kHz to 20 MHz 	<p>for typical values see figure 5-8 and figure 5-9</p> <p>for typical values see figure 5-10 and figure 5-11</p> <p>for typical values see figure 5-12</p> <p>for typical values see figure 5-17</p>
Power supply <ul style="list-style-type: none"> • Batteries • Rechargeable batteries • External voltage supply • Permissible voltage range • Current drain 	<p>6 dry cells (1.5 V, size AA) in the handle</p> <p>6 AA rechargeable batteries in the handle (1.2 V)</p> <p>8 V (via connector EXT. POWER)</p> <p>7 V to 9 V DC</p> <p>approx. 100 mA in "Active" mode (25 °C)</p> <p>0 mA in "Passive" mode</p>
MTBF according to SN29500 ground benign, 45 °C	<p>R&S HE300 mod. 02 > 1 500 000 hours</p> <p>R&S HE300 mod. 03 > 100 000 hours</p>
Dimensions The maximum dimensions apply to the R&S HE300 with antenna module 20 MHz to 200 MHz. The other modules give smaller dimensions. <ul style="list-style-type: none"> • max. length • max. width • max. depth 	<p>580 mm</p> <p>310 mm</p> <p>90 mm</p>
Weight <ul style="list-style-type: none"> • total weight (including transport case and auxiliaries) • max. operational weight (with Antenna module 20 MHz to 200 MHz) 	<p>approx. 7 kg</p> <p>approx. 1.5 kg</p>
Temperature ranges <ul style="list-style-type: none"> • Operating temperature range • Nominal temperature range • Storing temperature range 	<p>-30 °C to +55 °C</p> <p>-10 °C to +50 °C</p> <p>-30 °C to +60 °C</p>
Vibration resistance according to DIN EN 60068-2-64	<p>Random 10 Hz to 300 Hz: 0.01 g²/Hz</p> <p>300 Hz to 500 Hz: 0.003 g²/Hz</p> <p>every 30 minutes in the three orthogonal axes; acceleration approx. 1.9 g_{rms}</p>
Shock resistance according to MIL-STD 810 E-method 516.4 procedure I	<p>max. 40 g, crossover frequency 45 Hz in three orthogonal axes</p>

GPS/Electronic compass unit (only applicable for R&S HE300 model 03 and R&S HE300UK)	
Power supply	5 V +/- 0.2 V (delivered by R&S PR100 via control cable)
Current consumption	max. 100 mA
Connector type	7-pin male cable connector
GPS	
<ul style="list-style-type: none"> Acquisition time (cold start) 	approx 40 sec (measured with good visibility of satellites and -125 dBm signal strength)
<ul style="list-style-type: none"> Refresh rate 	1 Hz
Electronic compass	
<ul style="list-style-type: none"> Available data 	Azimuth and elevation
<ul style="list-style-type: none"> Accuracy (accuracy data is valid for optimum surroundings without metallic obstacles in the vicinity of the antenna) 	typ. 2° RMS for 0° Elevation typ. 4° RMS for +/- 60° Elevation
<ul style="list-style-type: none"> Data resolution 	1°

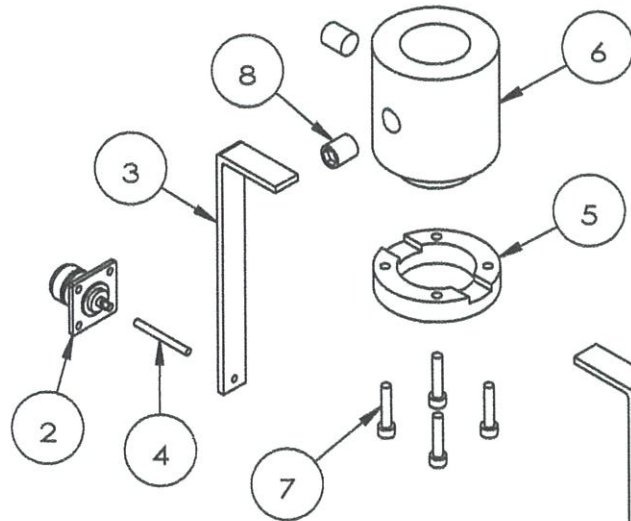
1.4 Equipment Supplied

Delivery of the R&S HE300 includes:

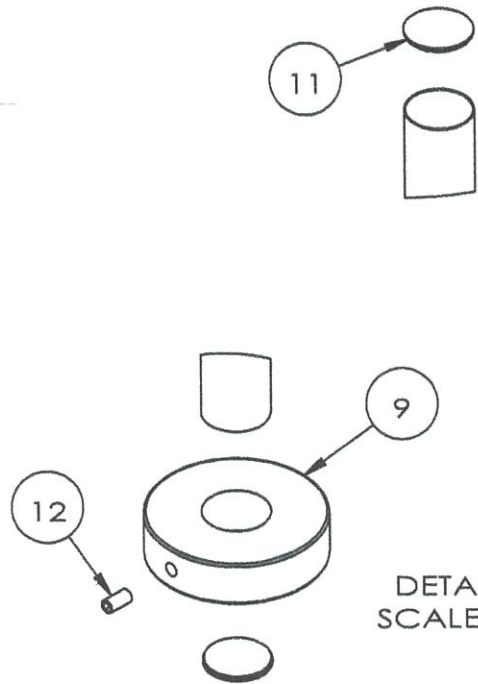
- 1 supply and display unit with compass (R&S HE300 mod. 02) or GPS/Electronic compass module (R&S HE300 mod. 03)
- 3 antenna modules
- 1 set of batteries
- 2 battery holders
- 1 transport case
- 1 carrying belt
- 1 manual (CD-ROM)
- Safety instructions and customer information (printed)

Delivery of R&S HE300UK includes:

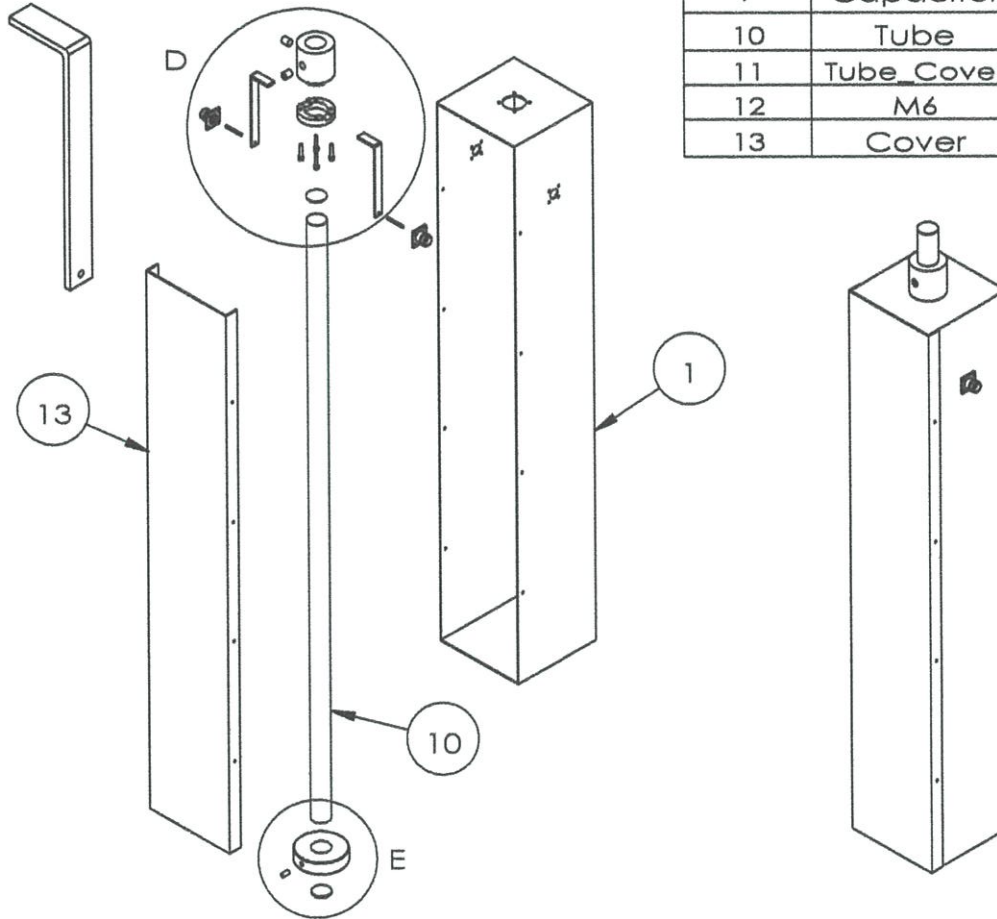
- 1 supply and display unit with GPS/Electronic compass module
- 1 set of batteries
- 1 battery holder
- 1 manual (CD-ROM)
- Safety instructions and customer information (printed)



DETAIL D
SCALE 1 : 3



DETAIL E
SCALE 1 : 3



ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Body	1
2	N_type	2
3	Loop	2
4	Wire	2
5	Lower	1
6	Upper	1
7	M4	4
8	M10	2
9	Capacitor	1
10	Tube	1
11	Tube_Cover	2
12	M6	1
13	Cover	1



Title:

Cavity
Bandpass
Filter

Subtitle:

Draft:

PANYA HANTULA

Date:

16 September 2014

Scale:

1 : 10

Unit:

mm

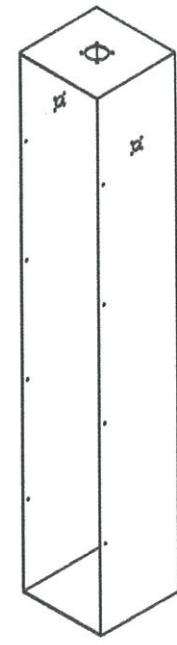
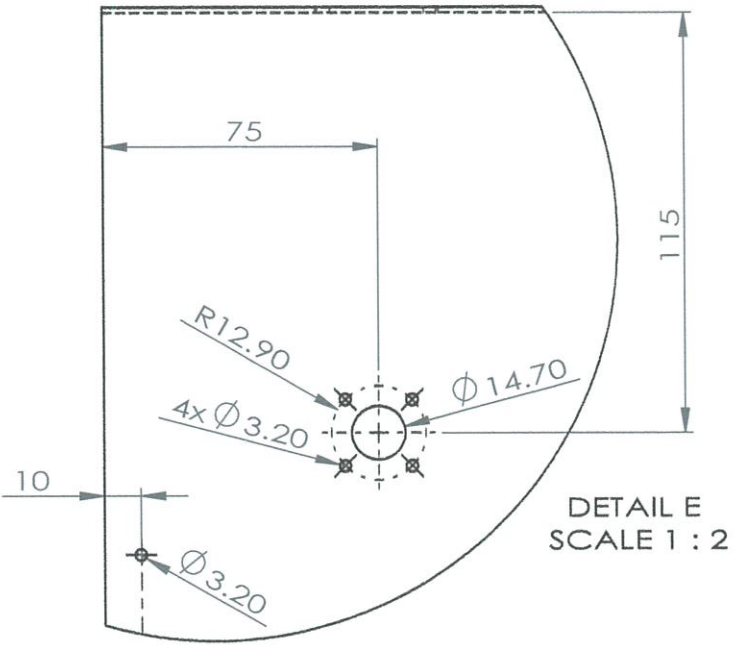
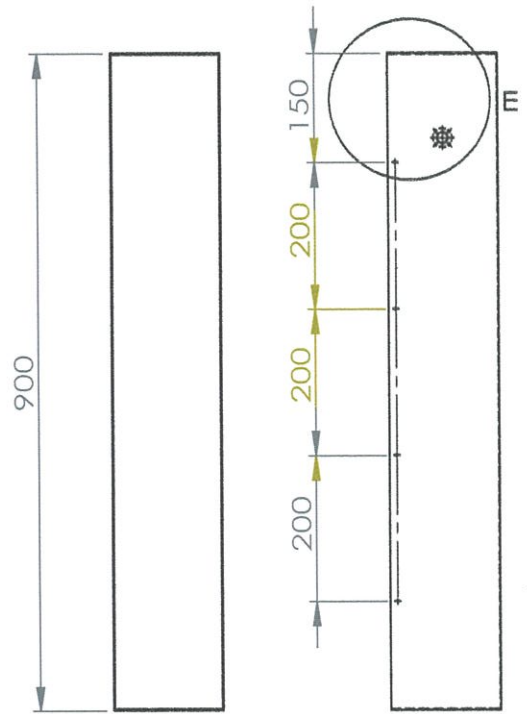
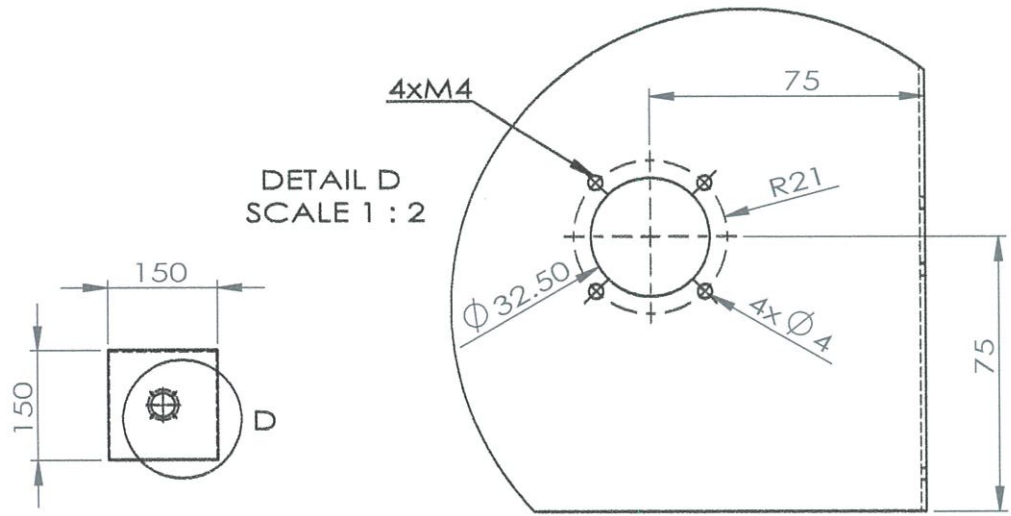
Page:

1 of 9

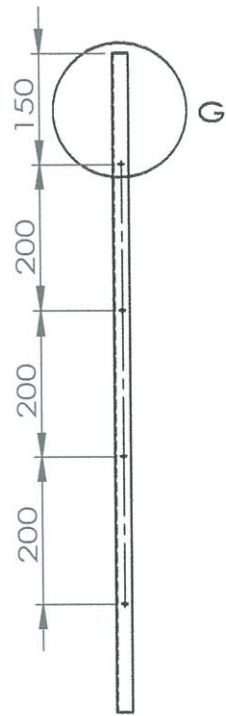
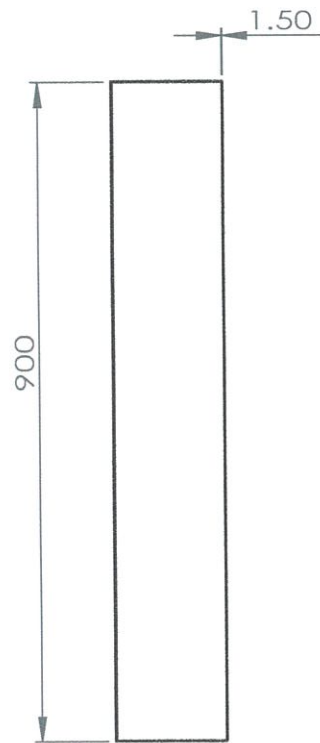
Sheet format:

A4

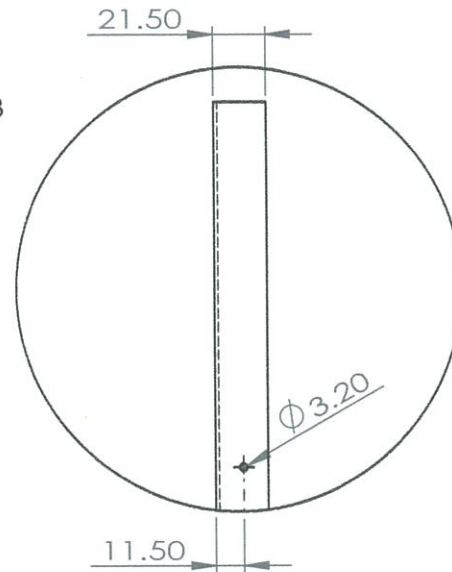
Remark:



Title:	
Body	
Subtitle:	
-	
Draft:	
PANYA HANTULA	
Date:	
16 September 2014	
Scale:	
1 : 10	
Unit:	
mm	
Page:	Sheet format:
2 of 9	A4
Remark:	



DETAIL G
SCALE 1 : 3



Title:

Cover

Subtitle:

-

Draft:

PANYA HANTULA

Date:

16 September 2014

Scale:

1 : 10

Unit:

mm

Page:

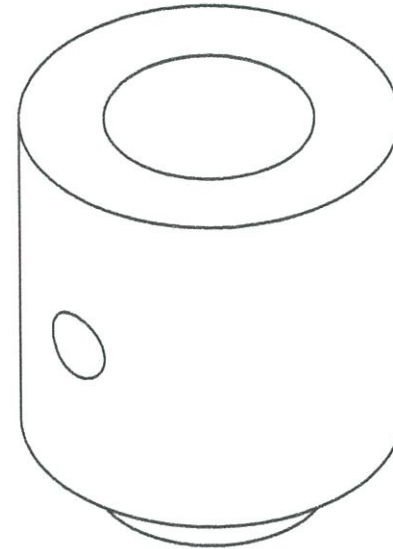
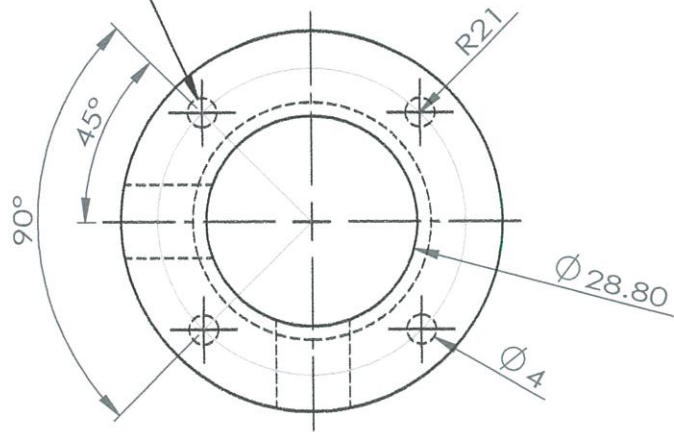
3 of 9

Sheet format:

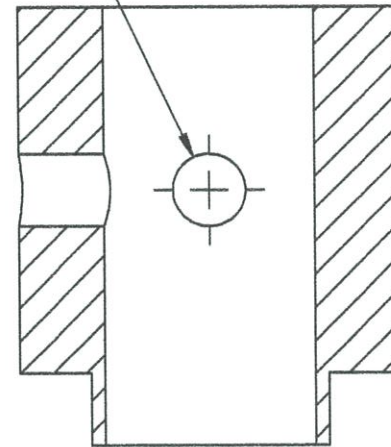
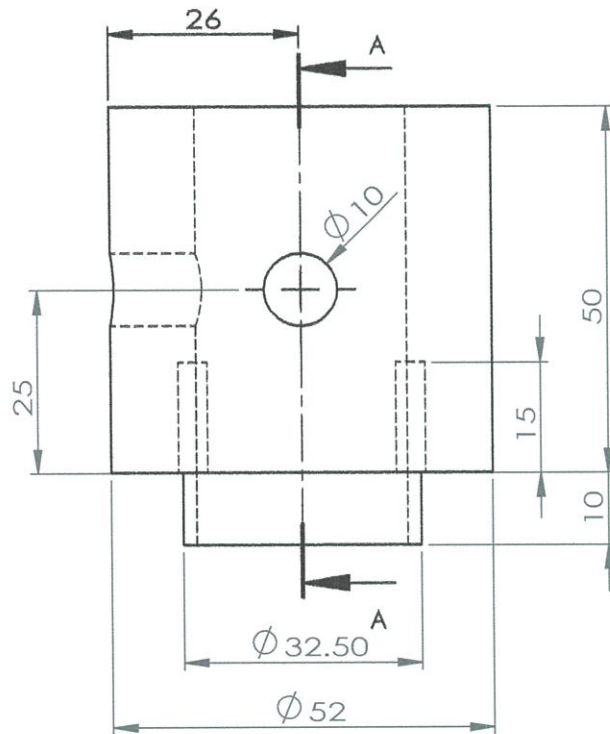
A4

Remark:

4 x Helic
Size : M4



2 x Helic
Size : M10



Title:

Upper

Subtitle:

-

Draft:

PANYA HANTULA

Date:

16 September 2014

Scale:

1 : 1

Unit:

mm

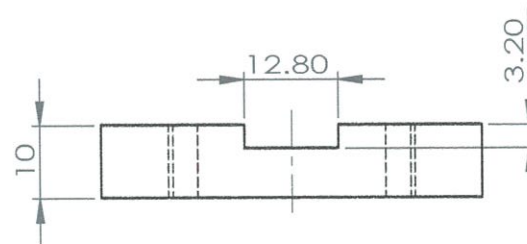
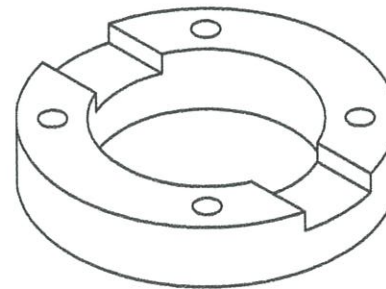
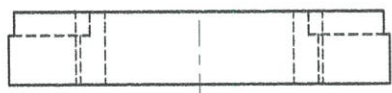
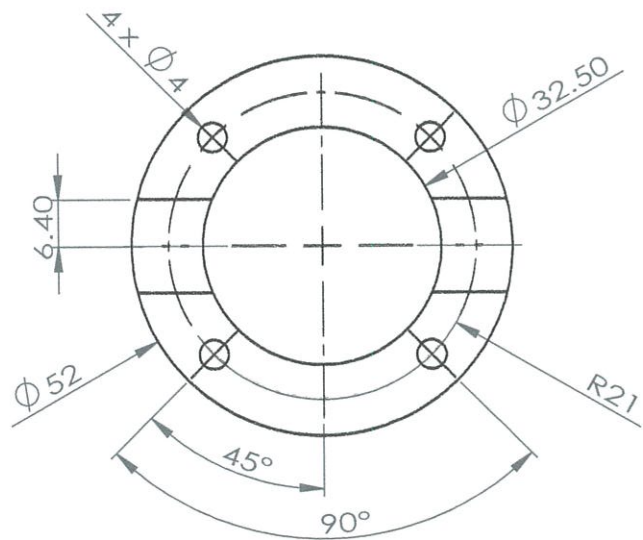
Page:

4 of 9

Sheet format:

A4

Remark:



Title:

Lower

Subtitle:

-

Draft:

PANYA HANTULA

Date:

16 September 2014

Scale:

1 : 1

Unit:

mm

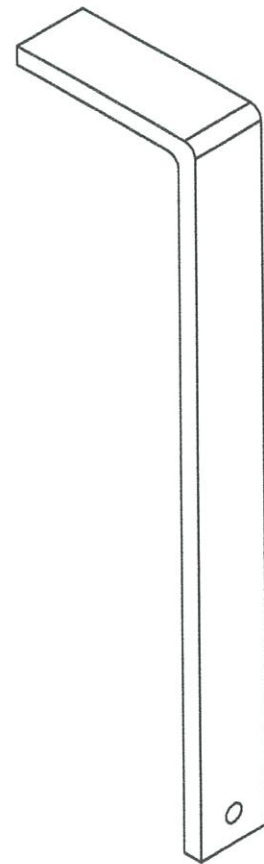
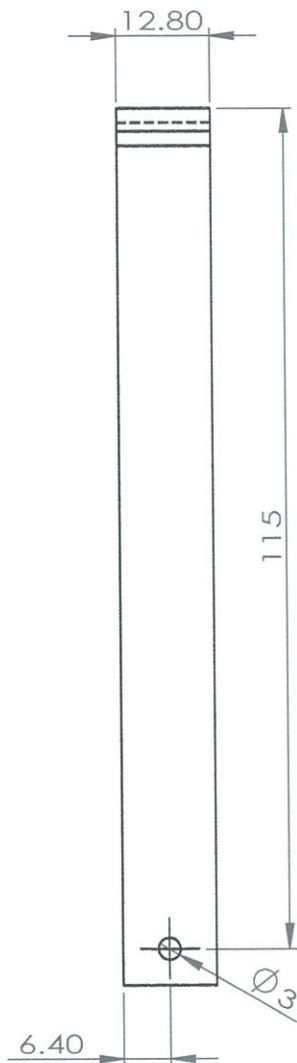
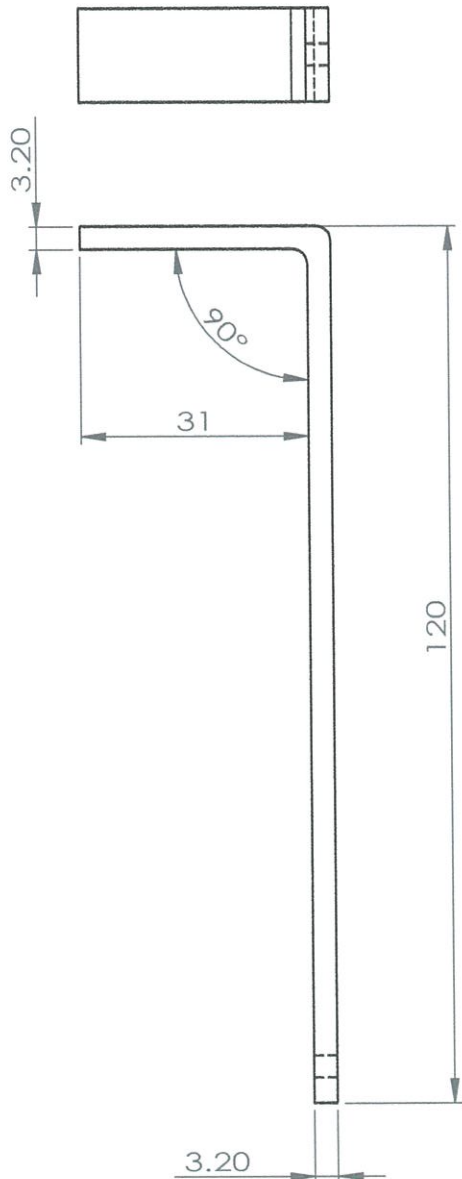
Page:

5 of 9

Sheet format:

A4

Remark:



Title:
Loop

Subtitle:
-

Draft:
PANYA HANTULA

Date:
16 September 2014

Scale:
1 : 1

Unit:
mm

Page: 6 of 9 Sheet format: A4

Remark:



Title:

Tube

Subtitle:

-

Draft:

PANYA HANTULA

Date:

16 September 2014

Scale:

1 : 10

Unit:

mm

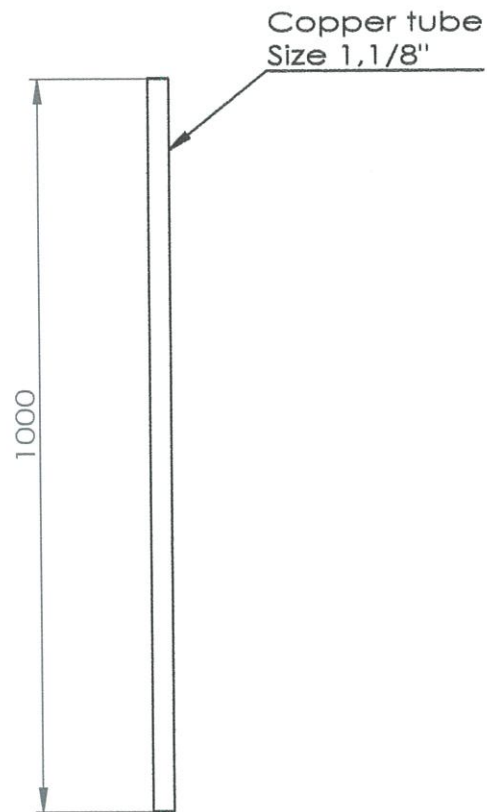
Page:

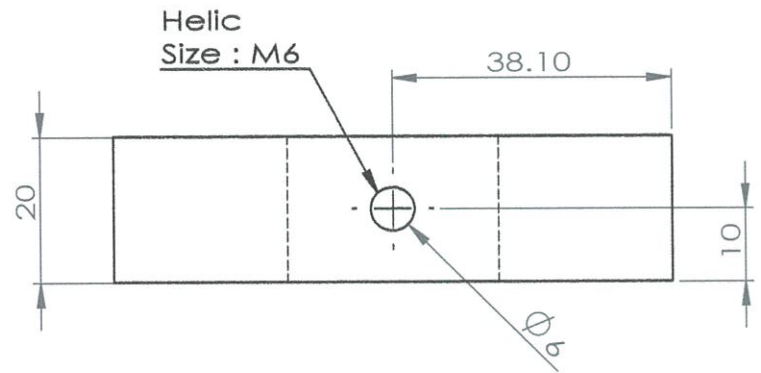
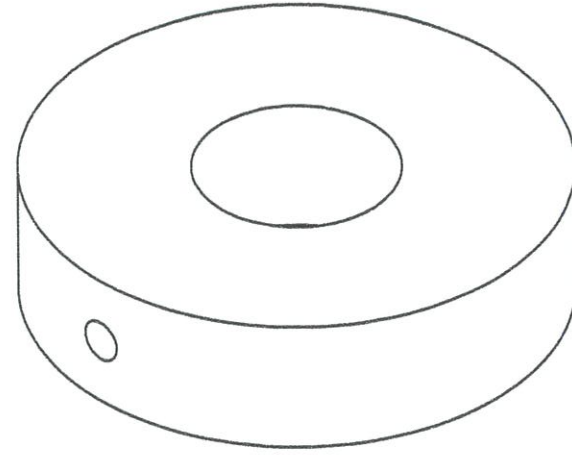
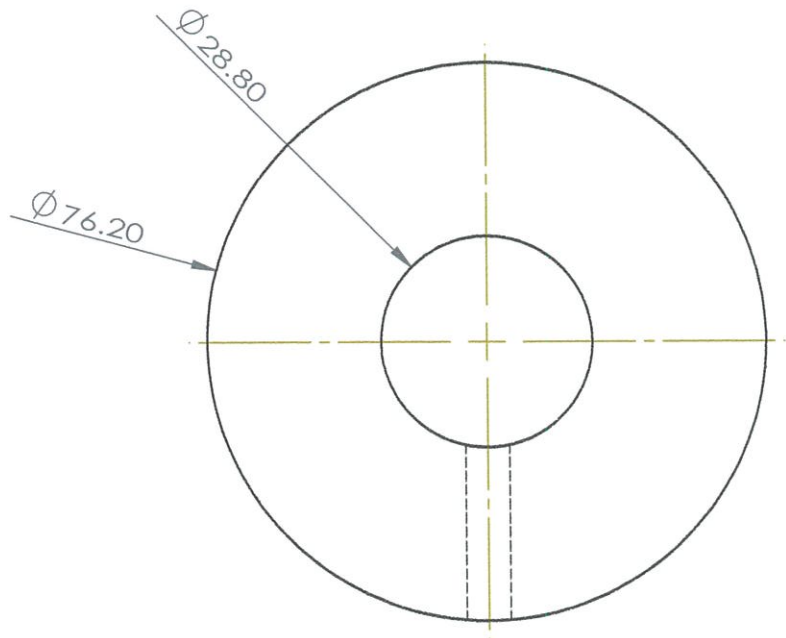
7 of 9

Sheet format:

A4

Remark:





Title:
Capacitor

Subtitle:
-

Draft:
PANYA HANTULA

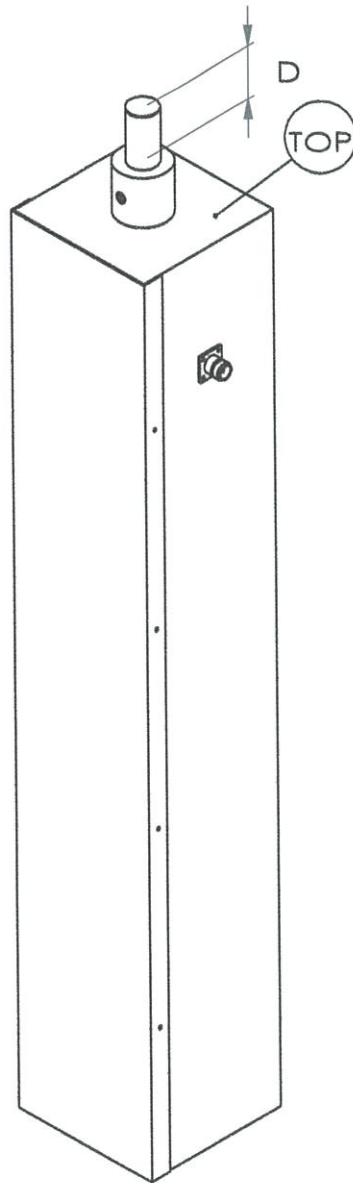
Date:
16 September 2014

Scale:
1 : 1

Unit:
mm

Page: 8 of 9 Sheet format: A4

Remark:



Frequency (MHz)	Distance (D)
88.00	210
89.00	218
90.00	228
91.00	237
92.00	246
93.00	254
94.00	262
95.00	271
96.00	279
97.00	287
98.00	294
99.00	301
100.00	309
101.00	315
102.00	232
103.00	330
104.00	337
105.00	344
106.00	350
107.00	357

วางอุปกรณ์นี้ในแนวตั้งเท่านั้น



Title:

Detail

Subtitle:

88.00 - 108.00 MHz

Draft:

PANYA HANTULA

Date:

16 September 2014

Scale:

1 : 6

Unit:

mm

Page:

9 of 9

Sheet format:

A4

Remark: