

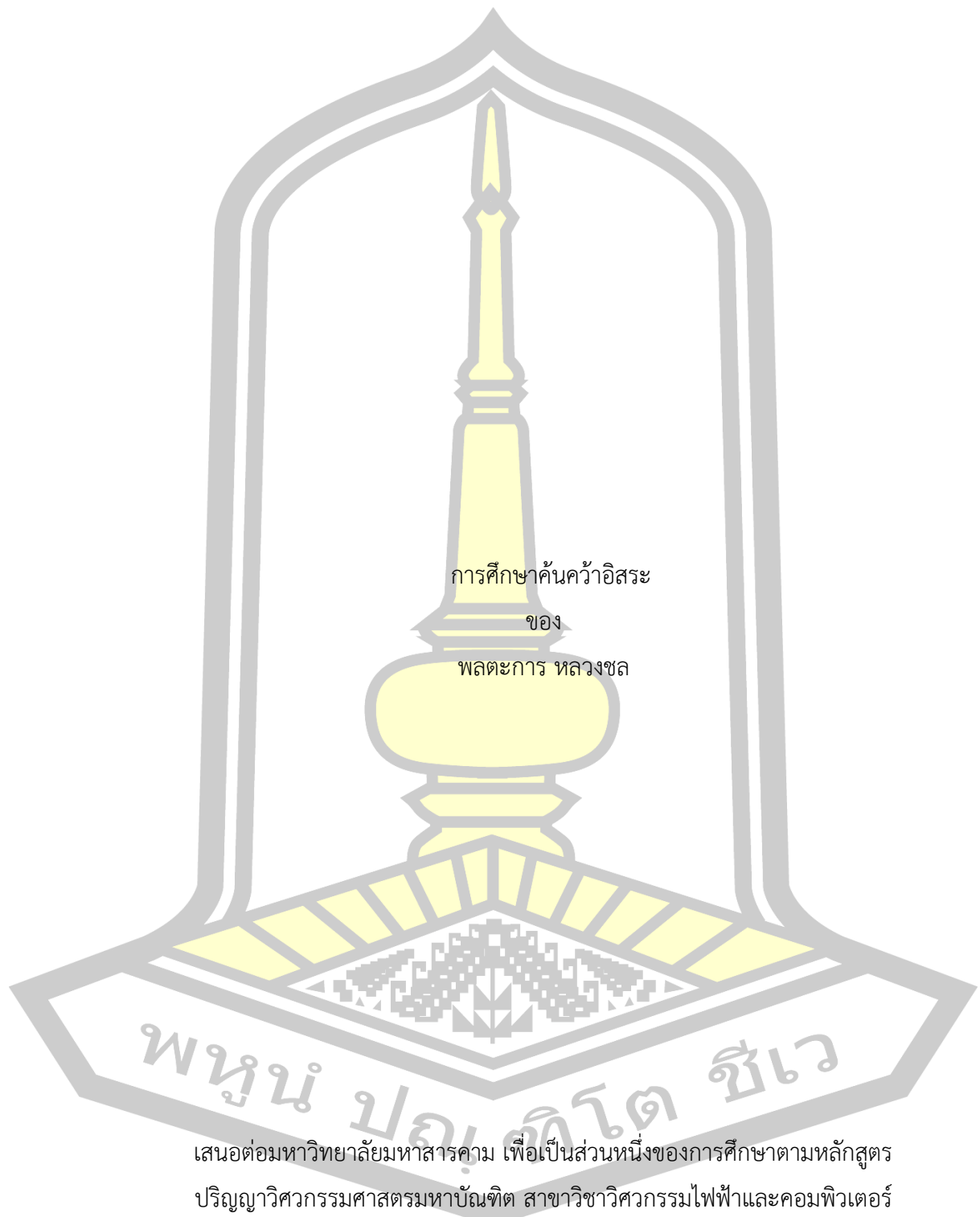
การพัฒนาเสถียรภาพในการตรวจสอบฟังก์ชันของเครื่องรับสื่อแบบดิจิทัล

การศึกษาค้นคว้าอิสระ
ของ
พลตะการ หลวงชล

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มีนาคม 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การพัฒนาเสถียรภาพในการตรวจสอบฟังก์ชันของเครื่องรับสื่อบนแบบดิจิทัล



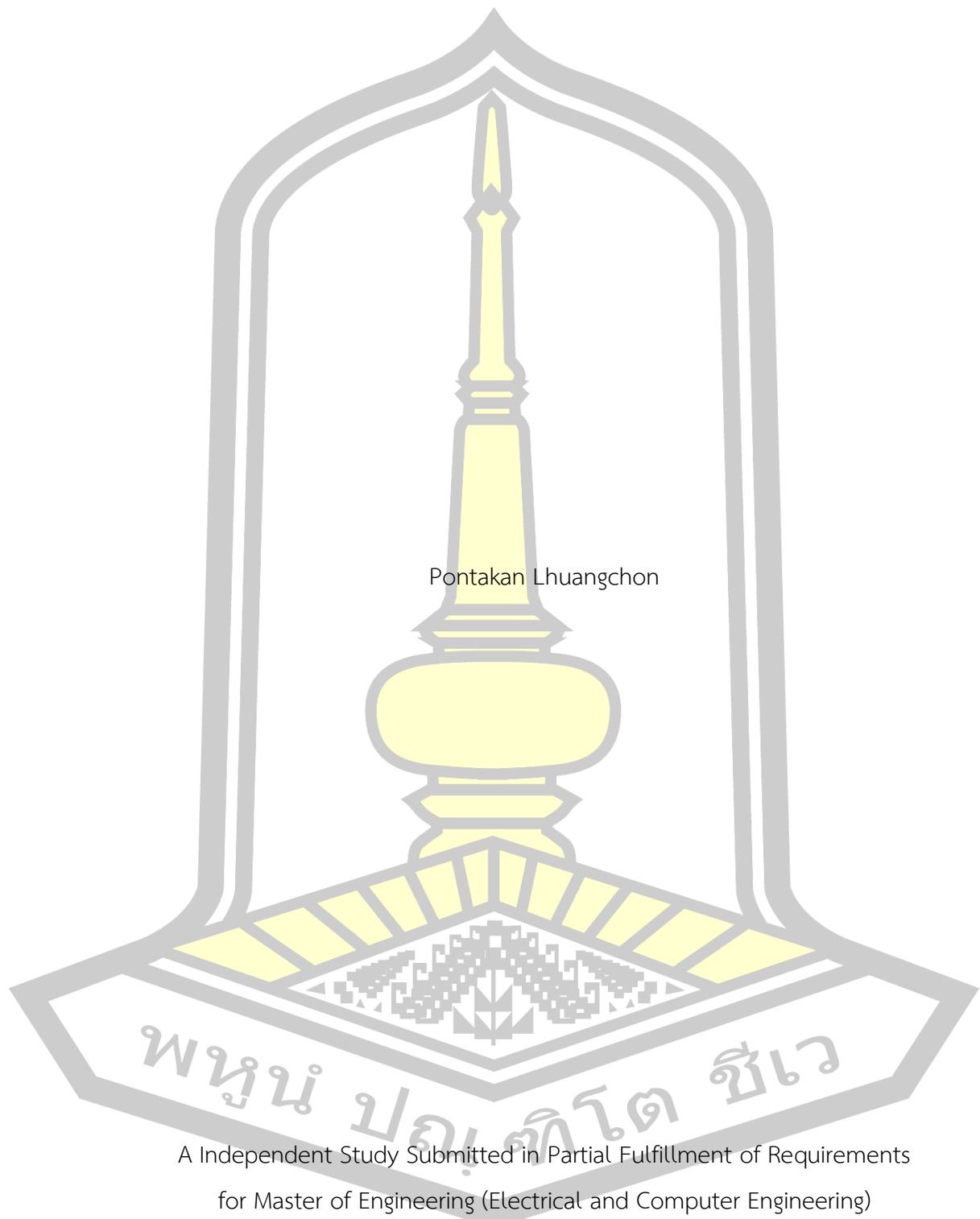
การศึกษาค้นคว้าอิสระ
ของ
พลตะการ หลวงชล

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

มีนาคม 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Development Of The Function Check Stability Of Digital Media Receivers



Pontakan Lhuangchon

A Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering)

March 2024

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระ ได้พิจารณาการศึกษาค้นคว้าอิสระของนาย พลตะการ หลวงชล แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. อติเรก จันทะคุณ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. ชัยยงค์ เสริมผล)

.....กรรมการ

(รศ. ดร. นิวัตร อังควิศิฐพันธ์)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. นวรัตน์ พิลาดัง)

.....กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(ผศ. ดร. อติเรก จันทะคุณ)

มหาวิทยาลัยขอนแก่นให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. จักรมาส เลหาวิช)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การพัฒนาเสถียรภาพในการตรวจสอบฟังก์ชันของเครื่องรับสื่อบนดิจิทัล		
ผู้วิจัย	พลตะการ หลวงชล		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยยงค์ เสริมผล		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ดำเนินการศึกษาหาวิธีในการลดสัญญาณรบกวนในการตรวจสอบฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับ สัญญาณคลื่นวิทยุเอเอ็ม (AM) ของเครื่องรับสื่อบนดิจิทัลโดยใช้เทคนิคการป้องกันสัญญาณ การกรองสัญญาณและการต่อสายดิน การตรวจสอบมุ่งเน้นไปที่การทดสอบสายเคเบิลส่งสัญญาณ โดยใช้สายเคเบิล BNC RG59 75 โอห์มที่มีความยาว 300 มม. และ 600 มม. โดยทดสอบทั้งหมด 6 วิธี คือ วิธีการที่ 1 ใช้แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core) หุ้มที่สาย วิธีการที่ 2 ใช้เทปทองแดงหุ้มที่สาย วิธีการที่ 3 ทำการต่อสายกราวด์จากกราวด์ของสายเข้ากับหัวต่อเสาอากาศ วิธีการที่ 4 ทำการต่อสายกราวด์จากกราวด์ สายเข้ากับหัวต่อเสาอากาศและใช้แกนเฟอร์ไรต์หุ้มที่สาย วิธีการที่ 5 ทำการต่อสายกราวด์จากกราวด์ของสายเข้ากับหัวต่อเสาอากาศและใช้เทปทองแดงหุ้มที่สาย วิธีการที่ 6 ทำการต่อสายกราวด์จากกราวด์ของสายเข้ากับหัวต่อเสาอากาศ และใช้แกนเฟอร์ไรต์กับเทปทองแดงหุ้มที่สาย ผลการศึกษาศึกษาพบว่า วิธีการที่ 6 ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ทั้งสายที่มีความยาว 300 มม. และ 600 มม. โดยสายที่มีความยาว 300 มม. ฟังก์ชัน AM 1000 kHz Usable Sens , AM Interstation Noise และ AM Interstation Noise R มีผลต่างจากค่าอ้างอิงก่อนลดสัญญาณรบกวนอยู่ที่ -3.53 dBm , -5.05 dBm และ -5.26 dBm ตามลำดับ ส่วนสายที่มีความยาว 600 มม. ฟังก์ชัน AM 1000 kHz Usable Sens , AM Interstation Noise และ AM Interstation Noise R มีผลต่างจากค่าอ้างอิงก่อนลดสัญญาณรบกวนอยู่ที่ -1.20 dBm , -1.73 dBm และ -1.83 dBm ตามลำดับ

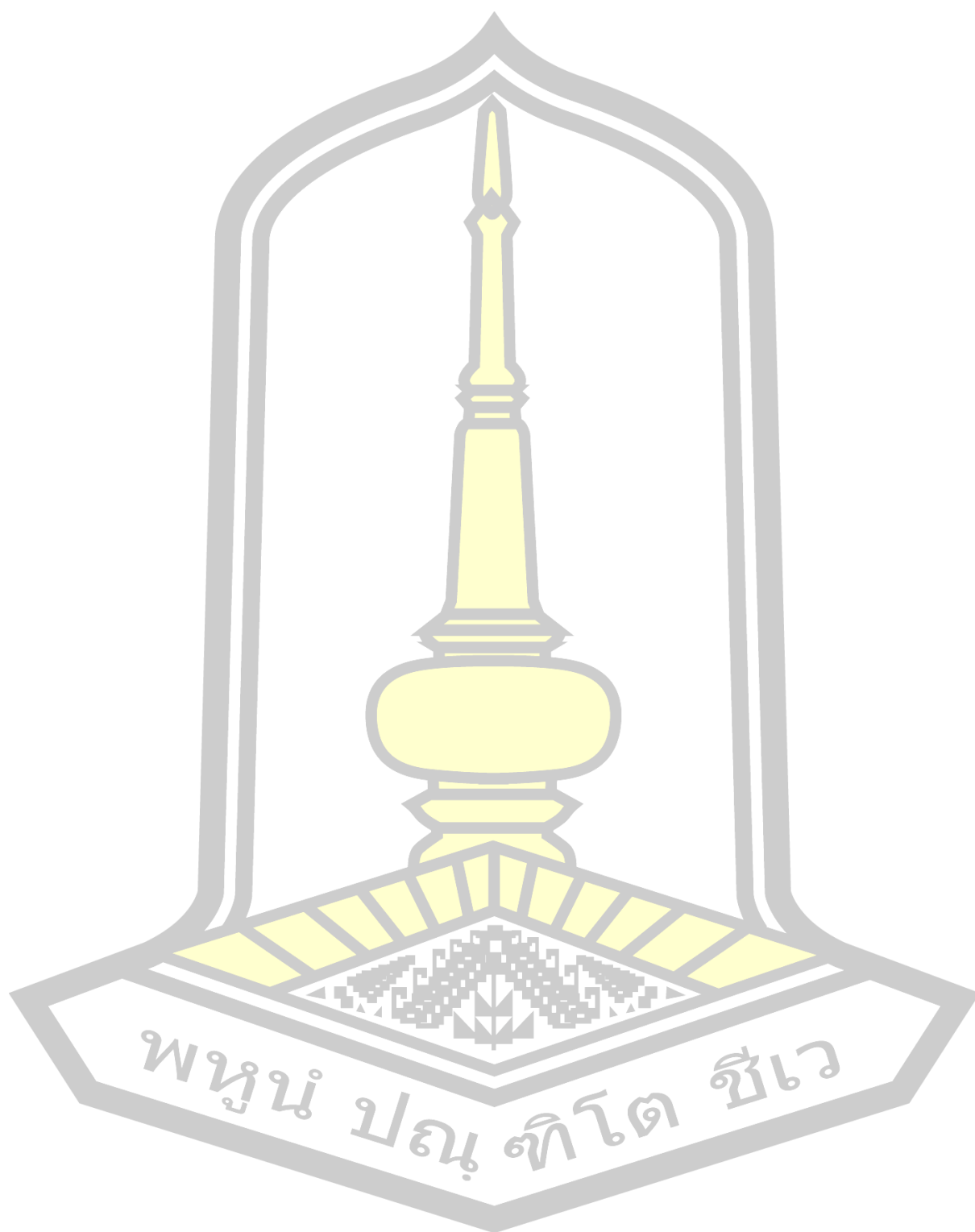
คำสำคัญ : การลดสัญญาณรบกวน, การชิลด์, การกราวด์

TITLE	Development Of The Function Check Stability Of Digital Media Receivers		
AUTHOR	Pontakan Lhuangchon		
ADVISORS	Assistant Professor Chaiyong Soemphol , Ph.D.		
DEGREE	Master of Engineering	MAJOR	Electrical and Computer Engineering
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2024

ABSTRACT

This research investigates methods to reduce interference in the examination of functions related to AM radio wave signals of digital media receivers. The testing on signal transmission cables was performed using shielding and grounding methods on BNC RG59 75-ohm cables, with cable lengths of 300 mm and 600 mm. There are a total of 6 methods; method 1 was using a Ferrite Core to cover the RG59 cable, method 2 was using copper tape to cover the RG59 cable, method 3 was connecting a grounding wire from the RG59 cable to antenna jack, method 4 was connecting a grounding wire from the RG59 cable to antenna jack and using a Ferrite Core to cover the cable, method 5 was connecting a grounding wire from the RG59 cable to antenna jack and using copper tape to cover the cable, and method 6 was connecting a grounding wire from the RG59 cable to antenna jack and using a Ferrite Core along with copper tape to cover the cable. It was found that method 6 yielded the best results for both the 300 mm and 600 mm cables. For the 300 mm cable, the AM 1000 kHz Usable Sens, AM Interstation Noise L , and AM Interstation Noise R functions had differences from the reference values of -3.53 dBm, -5.05 dBm, and -5.26 dBm, respectively. While the 600 mm cable were differences from the reference values of -1.20 dBm, -1.73 dBm, and -1.83 dBm, respectively.

Keyword : EMI Reduction, Shielding, Grounding



กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาอิสระฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากบุคคลหลายท่านได้กรุณาช่วยเหลือให้ข้อเสนอแนะ คำปรึกษา แนะนำความคิดเห็น และกำลังใจแก่ผู้จัดทำ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร. ชัยยงค์ เสริมผล อาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษาอิสระที่ได้สละเวลาให้ความช่วยเหลือ ให้แนวคิดความรู้ทางวิชาการ แนะนำแนวทางในการจัดการศึกษาค้นคว้าอิสระ ตรวจสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระทุกขั้นตอน ตลอดจนให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำ ซึ่งเป็นผลให้ผู้จัดทำมีความสามารถในการทำและพัฒนาการศึกษาค้นคว้าอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระทุกท่าน ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะแก้ไขให้แนวคิดต่างๆ

ขอขอบพระคุณ บุคลากรคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พี่น้องและเพื่อนๆ ตลอดจนบุคคลต่างๆ ที่ให้ความช่วยเหลืออีกมากมาย ที่ผู้จัดทำไม่สามารถกล่าวนามได้หมดในที่นี้

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของผู้จัดทำ ที่ได้ช่วยส่งเสริมสนับสนุน คอยเอาใจใส่ดูแล ให้กำลังใจและสนับสนุนทุนทรัพย์ในการศึกษาเล่าเรียนด้วยดีตลอดมา ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

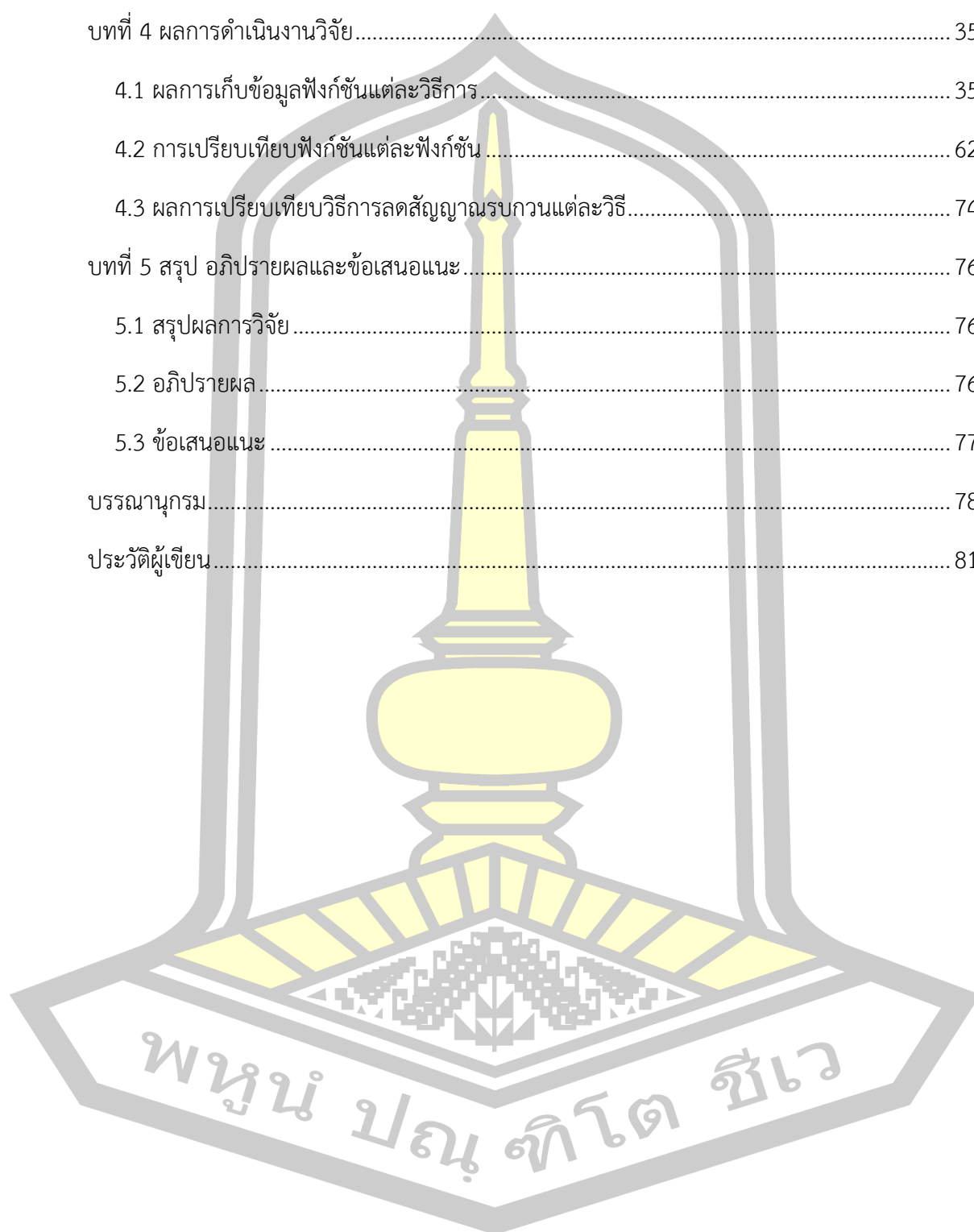
พลตะการ หลวงชล



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพประกอบ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 กรอบการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ปรีทัศน์เอกสารข้อมูล	4
2.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	4
2.2 คลื่นวิทยุ.....	6
2.3 สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า.....	9
2.4 วิธีการลดสัญญาณรบกวน	12
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	28
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	28
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	31

3.3 วิธีการเก็บข้อมูล	33
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย.....	35
4.1 ผลการเก็บข้อมูลฟังก์ชันแต่ละวิธีการ.....	35
4.2 การเปรียบเทียบฟังก์ชันแต่ละฟังก์ชัน.....	62
4.3 ผลการเปรียบเทียบวิธีการลดสัญญาณรบกวนแต่ละวิธี.....	74
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	76
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	76
5.2 อภิปรายผล.....	76
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	77
บรรณานุกรม.....	78
ประวัติผู้เขียน.....	81



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 การจำแนกย่านความถี่คลื่นวิทยุ (คุณสมบัติของคลื่นวิทยุ, 2565)	7
ตารางที่ 2 ความแตกต่างระหว่างคลื่นวิทยุระบบ AM และ FM (Porter, 2021).....	9
ตารางที่ 3 ค่าฟังก์ชันก่อนการลดสัญญาณรบกวนโดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.....	35
ตารางที่ 4 ค่าฟังก์ชันก่อนการลดสัญญาณรบกวนโดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.....	37
ตารางที่ 5 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 1 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.....	38
ตารางที่ 6 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 1 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.....	40
ตารางที่ 7 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 2 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.....	42
ตารางที่ 8 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 2 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.....	44
ตารางที่ 9 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 3 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.....	46
ตารางที่ 10 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 3 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.....	48
ตารางที่ 11 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 4 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.....	50
ตารางที่ 12 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 4 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.....	52
ตารางที่ 13 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 5 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.....	54

ตารางที่ 14 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 5 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.....	56
ตารางที่ 15 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 6 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.....	58
ตารางที่ 16 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 6 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.....	60
ตารางที่ 17 เปรียบเทียบฟังก์ชัน AM 1000kHz Usable Sens โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.....	62
ตารางที่ 18 เปรียบเทียบฟังก์ชัน AM 1000kHz Usable Sens โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.....	64
ตารางที่ 19 เปรียบเทียบฟังก์ชัน AM Interstation Noise L โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความ ยาวสาย 300 มม.....	66
ตารางที่ 20 เปรียบเทียบฟังก์ชัน AM Interstation Noise L โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความ ยาวสาย 600 มม.....	68
ตารางที่ 21 เปรียบเทียบฟังก์ชัน AM Interstation Noise R โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความ ยาวสาย 300 มม.....	70
ตารางที่ 22 เปรียบเทียบฟังก์ชัน AM Interstation Noise R โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความ ยาวสาย 600 มม.....	72
ตารางที่ 24 สรุปผลการเปรียบเทียบฟังก์ชัน โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.	74
ตารางที่ 25 สรุปผลการเปรียบเทียบฟังก์ชัน โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.	75

สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย	3
ภาพประกอบที่ 2 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า, 2566; Noise Suppression Basic Course, 2023)	5
ภาพประกอบที่ 3 กลไกการเกิดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าบนอุปกรณ์ไฟฟ้าและ อิเล็กทรอนิกส์ (สายพันธ์์ เกลี้ยงสิน & นิวัฒน์ ไชยด่าง, 2550)	12
ภาพประกอบที่ 4 หลักการของสัญญาณรบกวน (Noise Suppression Basic Course, 2023)	12
ภาพประกอบที่ 5 มาตรการลดสัญญาณรบกวน (Noise Suppression Basic Course, 2023)	13
ภาพประกอบที่ 6 ตัวป้องกันสัญญาณ (Noise Suppression Basic Course, 2023)	14
ภาพประกอบที่ 7 ตัวอย่างผลของตัวป้องกันสัญญาณที่แตกต่างกันโดยรูปร่างช่องเปิดที่แตกต่างกัน สามแบบในพื้นที่เดียวกัน (Noise Suppression Basic Course, 2023)	14
ภาพประกอบที่ 8 ตัวกรองสัญญาณ (Noise Suppression Basic Course, 2023)	15
ภาพประกอบที่ 9 การทำงานของตัวกรองสัญญาณ (Noise Suppression Basic Course, 2023) ..	15
ภาพประกอบที่ 10 การแยกสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Noise Suppression Basic Course, 2023)	16
ภาพประกอบที่ 11 การนำไฟฟ้าของตัวนำทำให้เกิดช่องโหว่ในตัวป้องกัน (Noise Suppression Basic Course, 2023)	17
ภาพประกอบที่ 12 ตัวกรองถูกข้ามโดยการนำเชิงพื้นที่ (Noise Suppression Basic Course, 2023)	17
ภาพประกอบที่ 13 สามารถปิดกั้นสัญญาณรบกวนได้โดยใช้ตัวกรองและซีลด์ร่วมกัน (Noise Suppression Basic Course, 2023)	17
ภาพประกอบที่ 14 ถ้าตัวนำไฟฟ้าสั้น การลดสัญญาณรบกวนทำได้โดยใช้ตัวกรองเท่านั้น (Noise Suppression Basic Course, 2023)	18

ภาพประกอบที่ 15 เส้นทางกระแสของสัญญาณรบกวน (Noise Suppression Basic Course, 2023).....	18
ภาพประกอบที่ 16 ผลของอิมพีแดนซ์ในกราวด์(Noise Suppression Basic Course, 2023)	19
ภาพประกอบที่ 17 ส่วนประกอบของสายโคแอกเซียล (coaxial)(พรหม จันทาโพธิ์, 2557)	20
ภาพประกอบที่ 18 ตัวอย่างการเชื่อมต่อกราวด์สำหรับสายเคเบิลที่มีฉนวนป้องกัน(Noise Suppression Basic Course, 2023)	20
ภาพประกอบที่ 19 ตัวอย่างการเสริมแรงกราวด์ (Noise Suppression Basic Course, 2023)	22
ภาพประกอบที่ 20 ตัวอย่างการเชื่อมต่อโดยใช้กราวด์ตัวกรอง (Noise Suppression Basic Course, 2023).....	23
ภาพประกอบที่ 21 กระบวนการของเครื่อง Auto function check.....	28
ภาพประกอบที่ 22 การเกิดสัญญาณรบกวนในสายที่ต่อเข้ากับผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์	29
ภาพประกอบที่ 23 ขั้นตอนการทำวิจัย	30
ภาพประกอบที่ 24 ตัวอย่างโปรแกรมตรวจสอบฟังก์ชันที่ใช้ในเครื่อง Auto Function Check.....	31
ภาพประกอบที่ 25 สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม. และ 600 มม.	31
ภาพประกอบที่ 26 แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite core).....	31
ภาพประกอบที่ 27 เทปทองแดง	32
ภาพประกอบที่ 28 สายกราวด์.....	32
ภาพประกอบที่ 29 Microsoft Excel	32
ภาพประกอบที่ 30 สาย BNC RG59 75 โอห์มก่อนลดสัญญาณรบกวน	33
ภาพประกอบที่ 31 สาย BNC RG59 75 โอห์ม การลดสัญญาณรบกวนวิธีที่ 1.....	33
ภาพประกอบที่ 32 สาย BNC RG59 75 โอห์ม การลดสัญญาณรบกวนวิธีที่ 2.....	33
ภาพประกอบที่ 33 สาย BNC RG59 75 โอห์ม การลดสัญญาณรบกวนวิธีที่ 3.....	34
ภาพประกอบที่ 34 สาย BNC RG59 75 โอห์ม การลดสัญญาณรบกวนวิธีที่ 4.....	34
ภาพประกอบที่ 35 สาย BNC RG59 75 โอห์ม การลดสัญญาณรบกวนวิธีที่ 5.....	34
ภาพประกอบที่ 36 สาย BNC RG59 75 โอห์ม การลดสัญญาณรบกวนวิธีที่ 6.....	34

ภาพประกอบที่ 51 ฟังก์ชัน AM 1000kHz Usable Sens โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.	63
ภาพประกอบที่ 52 ฟังก์ชัน AM 1000kHz Usable Sens โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.	65
ภาพประกอบที่ 53 ฟังก์ชัน AM Interstation Noise L โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.	67
ภาพประกอบที่ 54 ฟังก์ชัน AM Interstation Noise L โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.	69
ภาพประกอบที่ 55 ฟังก์ชัน AM Interstation Noise R โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.	71
ภาพประกอบที่ 56 ฟังก์ชัน AM Interstation Noise R โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.	73



บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ในปัจจุบันโรงงานผลิตสื่อดิจิทัลดิทรอยด์แห่งหนึ่ง มีแผนกที่ผลิตเครื่องเล่นและรับสื่อแบบดิจิทัล ซึ่งในกระบวนการผลิตจะมีกระบวนการตรวจสอบฟังก์ชันต่างๆของผลิตภัณฑ์ เช่นการตรวจสอบการจ่ายไฟให้กับตัวผลิตภัณฑ์ การตรวจสอบการเชื่อมต่อบลูทูธ การตรวจสอบการกดรีโมท การตรวจสอบการรับสัญญาณวิทยุเอฟเอ็ม (FM), เอเอ็ม (AM) หรือ ตรวจสอบการเล่นสื่อผ่าน USB เป็นต้น เพื่อให้สามารถมั่นใจได้ว่าฟังก์ชันต่างๆสามารถทำงานได้ตามปกติก่อนส่งขายให้กับลูกค้า

ปัจจุบันทางบริษัทได้นำเครื่อง Auto Function Check เข้ามาช่วยในกระบวนการผลิต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต ซึ่งเครื่องจักรแบ่งการทำงาน 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่ 1 SFIT เป็นกระบวนการตรวจสอบฟังก์ชันต่างๆของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 10 สถานี ส่วนที่ 2 คือ Aging เป็นกระบวนการที่จ่ายไฟให้กับตัวผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 10 นาที และ ส่วนที่ 3 คือ White balance เป็นกระบวนการ ตรวจสอบค่าแสงค่าสีของหน้าจอผลิตภัณฑ์หลังจากจ่ายไฟ 10 นาที ที่กระบวนการ Aging แล้วว่าค่าแสงค่าสีมีความผิดเพี้ยนไปจากมาตรฐานที่กำหนดของผลิตภัณฑ์หรือไม่ มีทั้งหมด 2 สถานี จากกระบวนการตรวจสอบทั้งหมดจะพบว่าที่กระบวนการ SFIT พบปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยและทำให้งานเสียมากที่สุด ในการตรวจสอบฟังก์ชันที่กระบวนการ SFIT ฟังก์ชันเกิดปัญหาขึ้นบ่อยคือ ฟังก์ชันการตรวจสอบสัญญาณวิทยุคลื่น AM ที่ช่วงความถี่ 1000 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งมี 2 ฟังก์ชันที่ ค่าที่วัดได้ไม่อยู่ในช่วงที่มาตรฐานของผลิตภัณฑ์กำหนดไว้ ทำให้มีงานเสียเกิดขึ้น เกิดการล่าช้าในกระบวนการผลิต คือ ฟังก์ชัน AM Interstation noise เป็นฟังก์ชันที่ตรวจสอบสัญญาณรบกวนของคลื่นวิทยุ AM ที่ตัวผลิตภัณฑ์ปล่อยออกมา และอีกหนึ่งฟังก์ชันคือ AM 1000 kHz Usable Sens เป็นฟังก์ชันที่ใช้ตรวจสอบความไวในการรับสัญญาณวิทยุคลื่น AM จึงได้วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นพบว่าเกิดจากสายสัญญาณ FM AM ที่ต่อ ระหว่าง ตัวผลิตภัณฑ์ กับ เสออากาศจำลอง (dummy antenna) และ เครื่องกำเนิดความถี่ มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น ทำให้ขณะที่ตรวจสอบฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณวิทยุคลื่น AM ค่าที่วัดได้ไม่ถึงค่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเป็นคลื่นสัญญาณความถี่ต่ำ ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนได้ง่าย นอกจากนี้พื้นที่ติดตั้งเครื่องจักรเป็นพื้นที่เปิด ทำให้เมื่อสายการผลิตที่ข้างเคียงมีการผลิตสามารถส่งสัญญาณมารบกวนขณะที่ทำการตรวจสอบฟังก์ชันได้

จากปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงจัดทำเพื่อหาวิธีในการลดทอนสัญญาณรบกวนในแต่ละวิธี แล้วนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาวิธีที่ดีที่สุดไปใช้กับกระบวนการตรวจสอบฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีในการลดทอนสัญญาณรบกวนในแบบต่างๆ
- 1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบวิธีในการลดทอนสัญญาณรบกวนในแบบต่างๆ ในเครื่อง Auto function check
- 1.2.3 เพื่อเลือกวิธีที่การลดทอนสัญญาณรบกวนดีที่สุดไปใช้กับกระบวนการตรวจสอบฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์

1.3 ขอบเขตการวิจัย

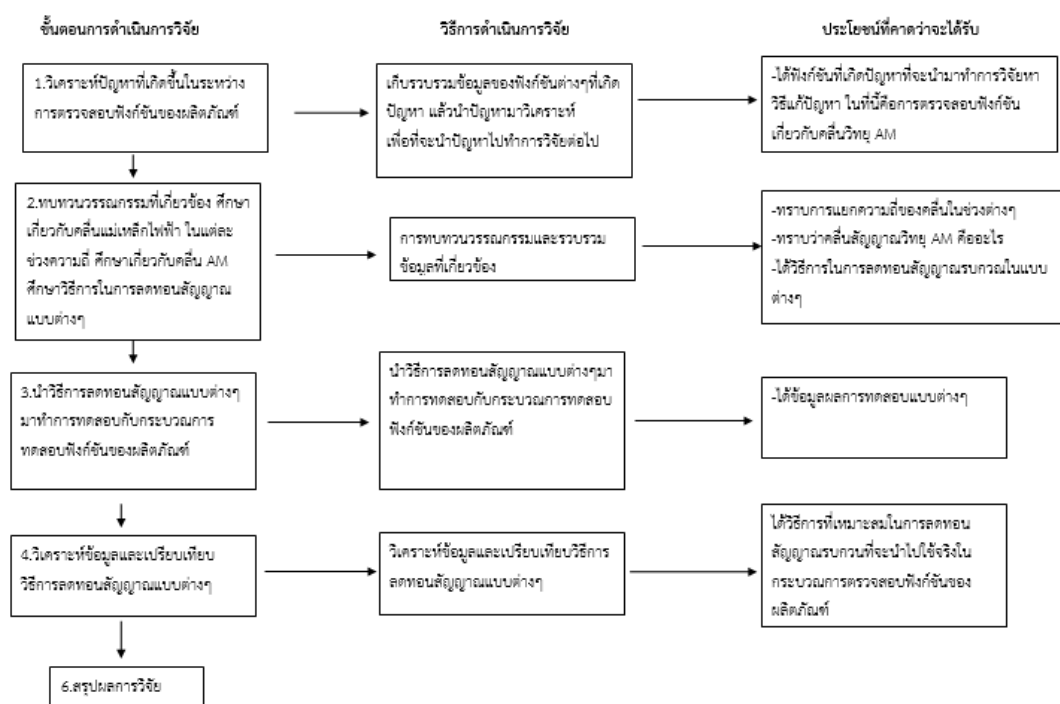
งานวิจัยนี้จะกำหนดขอบเขตการวิจัยเพื่อสามารถกำหนดเป้าหมายและวิธีการในการแก้ปัญหาได้อย่างเป็นระบบ ขอบเขตของงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

- 1.3.1 ทำการวิจัยที่เครื่อง Auto Function Check ในกระบวนการตรวจสอบฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์
- 1.3.2 ใช้ผลิตภัณฑ์รุ่น A ในการทำวิจัย
- 1.3.3 วิจัยการตรวจสอบฟังก์ชันที่เกี่ยวกับสัญญาณคลื่นวิทยุ AM



1.4 กรอบการวิจัย

เนื่องจากการวิจัยหลายขั้นตอน เพื่อให้สามารถเห็นภาพรวมของขั้นตอนทั้งหมด ของการดำเนินวิจัยจึงจำเป็นต้องมีกรอบการวิจัย ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 1 โดยกรอบการวิจัยจะประกอบไปด้วย ขอบเขตการวิจัย วิธีการดำเนินการวิจัย และผลที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละขั้นตอนวิจัย



ภาพประกอบที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้วิธีการที่เหมาะสมในการลดทอนสัญญาณรบกวนในเครื่อง Auto function check

1.5.2 ฟังก์ชันที่เกี่ยวกับการตรวจสอบคลื่นวิทยุ AM อยู่ในช่วงค่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์ และไม่เกิดงานเสียในกระบวนการตรวจสอบฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์

พูน ปณ จิตโต ชีเว

บทที่ 2

ปรีทัศน์เอกสารข้อมูล

ในการดำเนินการวิเคราะห์ปัญหาของการตรวจสอบฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ พบว่ามันเกิดขึ้นเป็นปัญหาในการตรวจสอบฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องคลื่นวิทยุสัญญาณ AM ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นวิทยุ และวิธีการลดทอนสัญญาณรบกวนแบบต่างๆเพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจ

2.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าตลอดเวลาเหนี่ยวนำ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก พอเกิดสนามแม่เหล็กจะเหนี่ยวนำ ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าเกิดต่อเนื่องกันตลอดเวลา และสนามแม่เหล็กกับสนามไฟฟ้าตั้งฉากกันตลอดเวลาหาทิศทางของความเร็วโดยใช้กฎมือขวา และเกิดคลื่นแม่เหล็กในทุกที่ไม่ว่าจะเป็นที่ว่าง ตัวนำหรือฉนวน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดจะมีความเร็วเท่ากัน คือเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที แต่ความถี่ไม่เท่ากัน

สมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

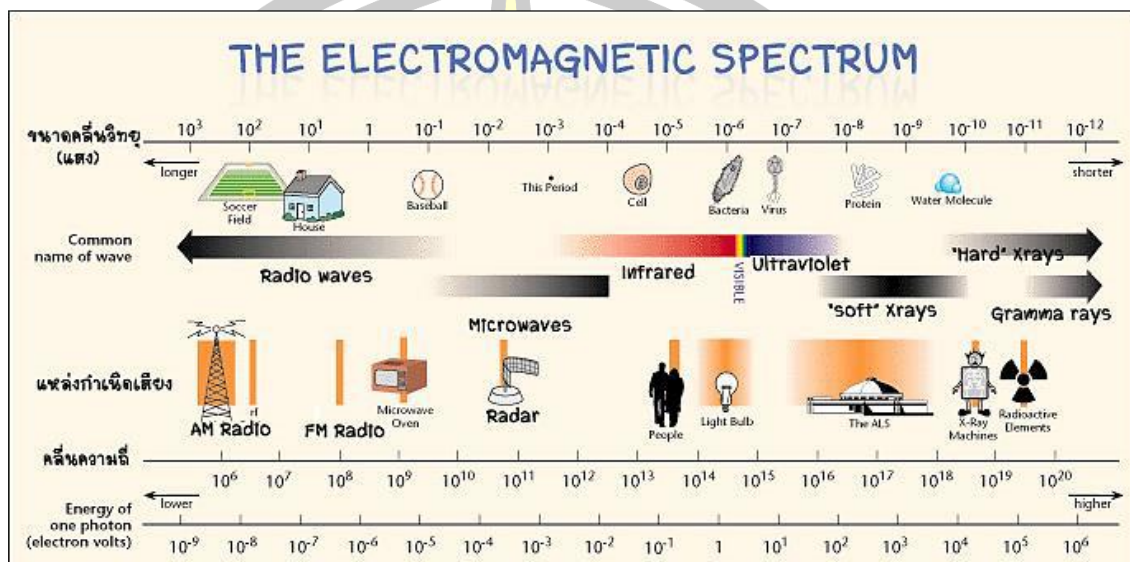
1. ไม่ต้องใช้ตัวกลางในการเคลื่อนที่
2. อัตราเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดในสุญญากาศเท่ากับ $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ซึ่งเท่ากับอัตราเร็วของแสง
3. เป็นคลื่นตามขวาง
4. ถ่ายเทพลังงานจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง
5. ถูกปล่อยออกมาและถูกดูดกลืนได้โดยสสาร
6. ไม่มีประจุไฟฟ้า
7. คลื่นสามารถแทรกสอด สะท้อน หักเห และเลี้ยวเบนได้

2.1.1 แหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

แหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีทั้งแบบที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติเช่น รังสี UV จากดวงอาทิตย์ การปล่อยของดวงดาวที่มีอุณหภูมิสูง และแบบที่มนุษย์สร้างขึ้นเช่น เรดาร์ คอมพิวเตอร์ เป็นต้น

2.1.2 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือ แถบแสดงความถี่ หรือความยาวคลื่นต่าง ๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เรียงตามลำดับความถี่ เรียงจากความถี่น้อยที่สุดถึงความถี่มากที่สุด ดังภาพประกอบที่ 2



ภาพประกอบที่ 2 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า, 2566; Noise Suppression Basic Course, 2023)

1. คลื่นวิทยุ มีความถี่ช่วง $10^4 - 10^9$ Hz (เฮิร์ตซ์) ใช้ในการสื่อสาร คลื่นวิทยุมีการส่งสัญญาณ 2 ระบบคือ

1.1 ระบบเอเอ็ม (A.M. = amplitude modulation)

ระบบเอเอ็ม มีช่วงความถี่ 530 - 1600 kHz (กิโลเฮิร์ตซ์) สื่อสารโดยใช้คลื่นเสียงผสมเข้าไปกับคลื่นวิทยุเรียกว่า "คลื่นพาหะ"

1.2 ระบบเอฟเอ็ม (F.M. = frequency modulation)

ระบบเอฟเอ็ม มีช่วงความถี่ 88 - 108 MHz (เมกะเฮิร์ตซ์)

2. คลื่นโทรทัศน์และไมโครเวฟ มีความถี่ช่วง $10^8 - 10^{12}$ Hz มีประโยชน์ในการสื่อสารเช่น การส่งสัญญาณของชุมสายโทรศัพท์ทางไกล (Trunk) การส่งสัญญาณแพร่ภาพโทรทัศน์ และการสื่อสารผ่านดาวเทียม เป็นต้น

3. รังสีอินฟราเรด (infrared rays) มีช่วงความถี่ $10^{11} - 10^{11}$ Hz หรือความยาวคลื่นตั้งแต่ $10^{-3} - 10^{-6}$ เมตร ซึ่งมีช่วงความถี่คาบเกี่ยวกับไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรดสามารถใช้กับฟิล์มถ่ายรูปบางชนิดได้และใช้เป็นการควบคุมระยะไกลหรือรีโมทคอนโทรลเลขกับเครื่องรับโทรทัศน์ได้

4. แสง (light) มีช่วงความถี่ 10^{14} Hz หรือความยาวคลื่น $4 \times 10^{-7} - 7 \times 10^{-7}$ เมตร เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ประสาทตาของมนุษย์รับรู้ได้ สเปกตรัมของแสงสามารถแยกได้ 7 สี คือ สีม่วง สีนํ้าเงิน สีเขียว สีเหลือง สีแสด สีแดง

5. รังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet rays) รังสีอัลตราไวโอเลต หรือ รังสีเหนือม่วง มีความถี่ช่วง $10^{15} - 10^{18}$ Hz เป็นรังสีตามธรรมชาติจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์สามารถทำให้เชื้อโรคบางชนิดตายได้ แต่มีอันตรายต่อผิวหนังและตาคน

6. รังสีเอกซ์ (X-rays) มีความถี่ช่วง $10^{16} - 10^{22}$ Hz มีความยาวคลื่นระหว่าง $10^{-8} - 10^{-13}$ เมตร ซึ่งสามารถทะลุสิ่งกีดขวางหนา ๆ ได้ หลักการสร้างรังสีเอกซ์คือ การเปลี่ยนความเร็วของอิเล็กตรอน มีประโยชน์ทางการแพทย์ในการตรวจดูความผิดปกติของอวัยวะภายในร่างกาย ในวงการอุตสาหกรรมใช้ในการตรวจหารอยร้าวภายในชิ้นส่วนโลหะขนาดใหญ่ ใช้ตรวจหาอาวุธปืนหรือระเบิดในกระเป๋าเดินทาง และศึกษาการจัดเรียงตัวของอะตอมในผลึก

7. รังสีแกมมา (Y-rays) มีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้ามีความถี่สูงกว่ารังสีเอกซ์ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์และสามารถกระตุ้นปฏิกิริยานิวเคลียร์ได้ มีอำนาจทะลุทะลวงสูง

2.2 คลื่นวิทยุ

คลื่นวิทยุ (Radio Wave) คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถเดินทางในสภาวะสุญญากาศด้วยความเร็วเทียบเท่าความเร็วแสงที่ราว 300,000 กิโลเมตรต่อวินาที คลื่นวิทยุเป็นคลื่นความถี่สูงที่มีคุณสมบัติในการเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางชนิดต่าง ๆ ในระยะไกล

คุณสมบัติของคลื่นวิทยุ

ในทางวิทยาศาสตร์ คลื่นวิทยุ คือ “คลื่นพาหะ” (Carrier Wave) ที่นำส่งคลื่นเสียง (Audio Frequency) จากแหล่งกำเนิดหรือเครื่องส่งวิทยุให้เดินทางไปพร้อมกัน ทำให้คลื่นเสียงที่มีความถี่ค่อนข้างต่ำสามารถเดินทางไปได้ไกลจนถึงจุดหมายหรือเครื่องรับวิทยุที่ทำหน้าที่รับสัญญาณและแยกคลื่นเสียงออกจากคลื่นวิทยุให้ผู้ฟังสามารถได้ยินเสียงตามปกติ

เนื่องจากคลื่นวิทยุ คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 กิโลเฮิร์ตซ์ (Kilohertz: kHz) ไปจนถึง 300 กิกะเฮิร์ตซ์ (Gigahertz: GHz) ในขณะที่ช่วงความถี่ของคลื่นเสียงที่มนุษย์สามารถได้ยินคือ 20 เฮิร์ตซ์ ไปจนถึง 20 กิโลเฮิร์ตซ์เท่านั้น ดังนั้น คลื่นวิทยุจึงถูกนำไปใช้ในการสื่อสารทางไกลหรือโทรคมนาคมได้ดี โดยเฉพาะจากคุณสมบัติในการสะท้อนกลับลงสู่พื้นโลก เมื่อคลื่นวิทยุเดินทางไปปะทะชนกับอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าจำนวนมากในบรรยากาศโลก โดยเฉพาะในชั้นไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) ที่อยู่สูงจากพื้นดินตั้งแต่ 80 ถึง 500 กิโลเมตร

คลื่นวิทยุสามารถจำแนกออกได้ 8 ย่านความถี่ (Radio Frequency) และมีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การจำแนกย่านความถี่คลื่นวิทยุ (คุณสมบัติของคลื่นวิทยุ, 2565)

ย่านความถี่	ช่วงความถี่	ลักษณะใช้งาน
ย่านความถี่ต่ำมาก Very low Frequency (VLF)	3 kHz-30kHz	การสื่อสารในการเดินเรือ การสื่อสารใต้ทะเล ธรณีฟิสิกส์
ย่านความถี่ต่ำ low Frequency (LF)	30 kHz – 300 kHz	ระบบนำร่อง วิทยุกระจายเสียง ระบบเอเอ็มและระบบสมัครเล่น
ย่านความถี่ปานกลาง Medium Frequency (MF)	300 kHz – 30 MHz	วิทยุกระจายเสียงระบบเอเอ็มและสัญญาณแจ้งเตือนภัยพิบัติต่าง ๆ
ย่านความถี่สูง High Frequency (HF)	3 MHz – 30 MHz	การสื่อสารในอุตสาหกรรมการบิน การแพทย์และหน่วยกู้ภัย
ย่านความถี่สูงมาก Very High Frequency (VHF)	30 MHz – 300 MHz	การสื่อสารในอุตสาหกรรมการบิน และการรายงานสภาพอากาศ วิทยุเอฟเอ็ม
ย่านความถี่สูงพิเศษ Ultra-High Frequency (UHF)	300 MHz – 3 GHz	โทรทัศน์ เรดาร์ ไมโครเวฟ จีพีเอส โทรศัพท์ และวิทยุดาราศาสตร์
ย่านความถี่สูงสุด Super High Frequency (SHF)	3 GHz – 30 GHz	เรดาร์ ไมโครเวฟ ระบบแลนไร้สาย และวิทยุดาวเทียม
ย่านความถี่สูงยิ่งยวด Extremely High Frequency (EHF)	30 GHz – 300 GHz	วิทยุดาราศาสตร์ สถานีทวนสัญญาณไมโครเวฟต่าง ๆ

การแผ่กระจายของคลื่นวิทยุสามารถจำแนกออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

1. **คลื่นตรง (Direct Wave)** หมายถึง คลื่นที่เดินทางเป็นแนวเส้นตรงระหว่างสายอากาศของสถานีที่ส่งต่อไปยังสายอากาศของสถานีรับหรือที่เรียกว่า “การแผ่กระจายในแนวสายตา” (Line of Sight) ซึ่งการกระจายคลื่นในลักษณะนี้ ไม่สามารถรับส่งในระยะไกล เนื่องจากถูกบดบังโดยส่วนโค้งของพื้นผิวโลก

2. คลื่นฟ้า (Sky Wave) หมายถึง คลื่นที่เดินทางจากสายอากาศของสถานีขึ้นไปยังชั้นบรรยากาศของโลกจนถึงชั้นไอโอโนสเฟียร์ที่สะท้อนคลื่นกลับมายังสายอากาศสถานีรับบนภาคพื้นดิน โดยคุณสมบัติการสะท้อนของคลื่นมักแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณประจุที่เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศและอาจส่งผลกระทบต่อ การรับช่วงสัญญาณ เมื่อเกิดปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่สามารถรบกวนการสะท้อนกลับของคลื่น เช่น การเกิดปรากฏการณ์ลมสุริยะ (Solar Wind) หรือฟ้าแลบฟ้าผ่า อย่างไรก็ตาม คลื่นฟ้าสามารถแก้ปัญหาเรื่องการถูกบดบังจากความโค้งของพื้นผิวโลก จึงถูกนำมาใช้ในการกระจายเสียงข้ามประเทศที่สามารถส่งสัญญาณไปยังผู้รับในสถานที่ห่างไกล

3. คลื่นดิน (Ground Wave) หมายถึง คลื่นที่เดินทางไปตามแนวราบระดับพื้นดินจากสายอากาศของสถานีส่งตามความโค้งของพื้นผิวโลกไปยังสายอากาศของสถานีรับ ทำให้คลื่นดินสามารถเดินทางได้ไกล อีกทั้ง ยังไม่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศอีกด้วย

ปัจจุบัน ในกลุ่มประชาชนทั่วไปมีการส่งสัญญาณวิทยุกระจายเสียงอยู่ 2 ระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ

ระบบเอเอ็ม (Amplitude Modulation: A.M.) คือ การสื่อสารโดยใช้คลื่นเสียงรวมไปกับคลื่นวิทยุหรือที่เรียกว่าคลื่นพาหะ โดยแอมพลิจูดของคลื่นพาหะจะเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณคลื่นเสียง ซึ่งในระบบเอเอ็มส่วนใหญ่จะมีคลื่นความถี่อยู่ในช่วง 535 ถึง 1705 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งระบบเอเอ็มสามารถจำแนกออกเป็น 2 ส่วน คือ

คลื่นวิทยุย่านความถี่ปานกลาง (Medium Frequency: MF) อยู่ในย่านความถี่ประมาณ 550 ถึง 1600 กิโลเฮิร์ตซ์หรือที่เรียกว่า “คลื่นยาว” สามารถกระจายเสียงโดยอาศัยทั้งคลื่นดินที่ส่งไปได้ไกลถึง 100 กิโลเมตรและคลื่นฟ้าที่รับสัญญาณได้ไกลกว่า 100 กิโลเมตร

คลื่นวิทยุย่านความถี่สูง (High Frequency: HF) อยู่ในย่านความถี่ตั้งแต่ 3 ถึง 12 เมกะเฮิร์ตซ์หรือที่เรียกว่า “คลื่นสั้น” สามารถรับสัญญาณจากคลื่นดินในระยะ 15 กิโลเมตร เท่านั้น แต่สามารถรับสัญญาณจากคลื่นฟ้าได้ไกลนับพันกิโลเมตร

ระบบเอฟเอ็ม (Frequency Modulation: F.M.) คือ ระบบการสื่อสารที่มีการส่งสัญญาณเสียงไปกับคลื่นพาหะเช่นเดียวกัน แต่ในขณะที่ความถี่ของคลื่นพาหะเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณเสียง แอมพลิจูดของคลื่นในระบบนี้จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

การส่งวิทยุระบบเอฟเอ็มมีความถี่สูงกว่าระบบเอเอ็มอยู่ที่ 88 ถึง 108 เมกะเฮิร์ตซ์และสามารถส่งได้เฉพาะคลื่นดินที่กระจายคลื่นสัญญาณในแนวระดับ ดังนั้น จึงทำให้การรับสัญญาณในระยะไกลเกินกว่า 80 กิโลเมตร จำเป็นต้องติดตั้งเสาอากาศรับสัญญาณเพิ่มเติม

ความแตกต่างระหว่างคลื่นวิทยุระบบ AM และ FM

ตารางที่ 2 ความแตกต่างระหว่างคลื่นวิทยุระบบ AM และ FM (Porter, 2021)

ความหมาย	AM ย่อมาจาก Amplitude Modulation	FM ย่อมาจาก Frequency Modulation
ที่มา	วิธีการส่งสัญญาณเสียงของ AM ประสบความสำเร็จครั้งแรกในช่วงกลางทศวรรษที่ 1870	วิทยุ FM ได้รับการพัฒนาในสหรัฐอเมริกาในทศวรรษที่ 1930 โดยส่วนใหญ่ โดย Edwin Armstrong
การปรับความแตกต่าง	ใน AM คลื่นวิทยุที่เรียกว่า "พาหะ" หรือ "คลื่นพาหะ" จะถูกมอดูเลตในแอมพลิจูดโดยสัญญาณที่จะส่ง ความถี่และเฟสยังคงเหมือนเดิม	ใน FM คลื่นวิทยุที่เรียกว่า "ผู้ให้บริการ" หรือ "คลื่นพาหะ" จะถูกปรับความถี่โดยสัญญาณที่จะส่ง แอมพลิจูดและเฟสยังคงเหมือนเดิม
ข้อดีและข้อเสีย	AM มีคุณภาพเสียงที่แย่กว่าเมื่อเทียบกับ FM แต่มีราคาถูกกว่าและสามารถส่งได้ในระยะทางไกล มีแบนด์วิดท์ที่ต่ำกว่าจึงสามารถมีสถานีได้มากขึ้นในทุกช่วงความถี่	FM มีแนวโน้มที่จะถูกรบกวนน้อยกว่า AM อย่างไรก็ตามสัญญาณ FM ได้รับผลกระทบจากอุปสรรคทางกายภาพ FM มีคุณภาพเสียงที่ดีขึ้นเนื่องจากแบนด์วิดท์ที่สูงขึ้น
ช่วงความถี่	วิทยุ AM อยู่ในช่วง 535 ถึง 1705 kHz หรือ สูงสุด 1200 บิตต่อวินาที	คลื่นวิทยุ FM มีคลื่นความถี่อยู่ที่ 88 ถึง 108 MHz หรือ 1200 ถึง 2400 บิตต่อวินาที
สัญญาณรบกวน	AM มีความไวต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าเนื่องจากสัญญาณรบกวนมีผลต่อแอมพลิจูด ซึ่งเป็นที่ที่ "จัดเก็บ" ข้อมูลไว้ในสัญญาณ AM	FM มีความไวต่อสัญญาณรบกวนน้อยกว่าเนื่องจากข้อมูลในสัญญาณ FM ถูกส่งผ่านความถี่ที่แตกต่างกันไม่ใช่แอมพลิจูด

2.3 สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

สัญญาณรบกวน (Noise) คือสัญญาณไฟฟ้าในวงจรที่เกิดขึ้นนอกเหนือไปจากสัญญาณที่ได้ออกแบบเอาไว้ การยอมรับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือ Electromagnetic Compatibility (EMC) คือความสามารถของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถทำงานได้โดยที่ไม่ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า และในขณะเดียวกันต้องสามารถทนต่อการถูกรบกวนจากปรากฏการณ์ทางแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกซึ่งการแพร่สัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ออกสู่ภายนอกเรียกว่า Electromagnetic Interference หรือ EMI และความสามารถ

ในการต้านทานการรบกวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ถูกเรียกว่า Electromagnetic Susceptibility หรือ Electromagnetic Immunity หรือ EMS

หลายประเทศในยุโรปมีการรายงานสิ่งที่น่าสนใจเกี่ยวกับความผิดปกติของเครื่องมือทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เช่น

1. ระบบเบรกของรถยนต์ซึ่งปัจจุบันควบคุมการทำงานด้วยอิเล็กทรอนิกส์เกิดการลือคล้อขึ้นเองเมื่อรถยนต์เคลื่อนที่เข้าใกล้สถานีจ่ายกำลังไฟฟ้า
 2. รีโมทคอนโทรลที่ใช้ควบคุมการ ปิด-เปิด ของประตูโรงรถซึ่งอยู่ใกล้สนามบิน ปิด-เปิด เองเมื่อมีเครื่องบินๆ ผ่าน
 3. เกิดเสียงรบกวนวิทยุในบ้าน เมื่อข้างบ้านใช้งานเครื่องหรีไฟหรือสว่านไฟฟ้า
- จากตัวอย่างที่กล่าวมาข้างต้นสามารถอธิบายได้ว่าสาเหตุของปัญหามาจาก สนามแม่เหล็กไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ไปรบกวนการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ที่อยู่บริเวณข้างเคียงและทำให้การทำงานของอุปกรณ์ที่อยู่ข้างเคียงทำงานผิดปกติไปจากเดิม

การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า ส่งผลให้อุปกรณ์ที่ถูกรบกวนนั้นเกิดข้อบกพร่องในการทำงาน และบางครั้งอาจจะทำให้ผู้ใช้อุปกรณ์นั้นเกิดอันตรายขึ้นได้ดังนั้นในตลาดการค้าสากลผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่างๆก่อนที่จะนำออกมาจำหน่ายได้นั้นต้องผ่านการทดสอบด้านการใช้งาน ความทนทานต่อสภาพแวดล้อม และความปลอดภัยต่อผู้ใช้ การทดสอบความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการทดสอบความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ต่อผู้ใช้สินค้าต้องผ่านการทดสอบตามมาตรฐานที่กำหนดโดยตลาดที่ส่งไปจำหน่าย จึงจะสามารถส่งออกไปขายในเขตการค้าอื่นๆได้เช่น ผู้ผลิตต้องทำตามข้อกำหนดของสหภาพยุโรป เพื่อติดเครื่องหมายการค้าบนสินค้าสำหรับตลาดในกลุ่มสหภาพยุโรป ส่วนในตลาดสหรัฐอเมริกา สินค้าบางประเภทต้องผ่านการทดสอบตามข้อกำหนดของคณะกรรมการกลางควบคุมการสื่อสารโทรคมนาคมก่อน จึงจะสามารถนำเข้าไปขายในสหรัฐอเมริกาได้เป็นต้น

ปัจจุบันเราจะเห็นว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็กลงสามารถทำงานได้ดีขึ้น ฉลาดขึ้นมีความเร็วในการทำงานมากขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการผลิตสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาเพราะอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่เราใช้งานอยู่นั้นจะผลิตสัญญาณความถี่ออกมาเมื่อมีการใช้งาน สาเหตุที่ก่อให้เกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนใหญ่ๆ ตามประเภทของแหล่งกำเนิดคือ

1. แหล่งกำเนิดทางธรรมชาติเช่น สัญญาณฟ้าแลบ ฟ้าร้อง สนามแม่เหล็กจากดวงอาทิตย์ สนามแม่เหล็กโลก เป็นต้น
2. แหล่งกำเนิดที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น เครื่องส่งและเครื่องรับวิทยุโทรทัศน์ โทรศัพท์ เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน อุปกรณ์โรงงาน เครื่องคอมพิวเตอร์ รถยนต์ เป็นต้น

ปัญหาการรบกวนจากอุปกรณ์ต่างๆ ทางแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้นรวดเร็วเนื่องจากหลายสาเหตุ ดังนี้

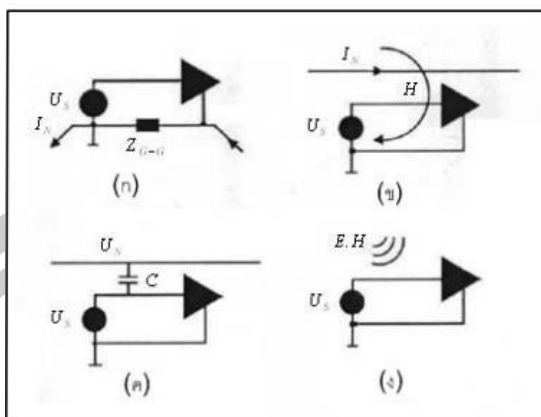
1. จำนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว
2. การทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ มีความเร็วสูงขึ้น เช่น คอมพิวเตอร์มีสัญญาณนาฬิกา(clock) สูงขึ้น ซึ่งในปัจจุบันมีความถี่ของอุปกรณ์มากกว่า 2 GHz
3. มีการแข่งขันกันความถี่มากขึ้น เช่น ความถี่วิทยุโทรทัศน์ โทรศัพท์ดาวเทียมและอื่นๆ
4. การที่อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็กลง และมีการออกแบบให้วงจรดังกล่าวสามารถทำงานที่ระดับไฟเลี้ยงตัวประมวลผลจากเดิม 5 โวลต์ ปัจจุบันลดลงเป็น 3 โวลต์ และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ การลดระดับของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงกลับมีผลเสียต่อความสามารถในการต้านทานการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าเพราะแรงดันต่ำถูกรบกวนได้ง่าย

1. การรบกวนซึ่งมีสาเหตุมาจากความต่างศักย์ระหว่างกราวด์ของระบบ โดยปกติแล้วระบบไฟฟ้าหลายๆ ระบบที่นำมาต่อกันเพื่อทำงานร่วมกันจะใช้ระบบกราวด์ของตน ซึ่งเป็นการแยกหรือใช้งานระบบกราวด์คนละระบบ แต่ถ้านำมาต่อเชื่อมกันจะทำให้เกิดความต่างศักย์คร่อมระหว่างกราวด์ขึ้น ผลของความต่างศักย์ของระบบกราวด์นี้เองทำให้เกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น เราเรียกการรบกวนในโหมดนี้ว่า Common ground impedance coupling แสดงดังภาพประกอบที่ 3 (ก)

2. การรบกวนซึ่งมีสาเหตุมาจากกระแสสูงๆ เมื่อกระแสไหลผ่านเส้นลวดตัวนำจะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นโดยรอบตัวนำตามแนวรัศมี ผลของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะไปเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลของกระแสบนตัวนำหรือวงจรที่อยู่ใกล้เคียงดังแสดงในภาพประกอบที่ 3 (ข) เราเรียกการรบกวนในแบบนี้ว่า Inductive coupling

3. การรบกวนซึ่งมีสาเหตุมาจากแรงดันที่อยู่ข้างเคียง เมื่อนำแหล่งกำเนิดที่มีแรงดันสูงๆ มาวางใกล้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ดังภาพประกอบที่ 3 (ค) อากาศซึ่งมีค่าความซึมซาบแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Permeability) ซึ่งอยู่ระหว่างแหล่งกำเนิดและวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะมีพฤติกรรมเสมือนเป็นตัวเก็บประจุขนาดเล็กและสามารถส่งถ่ายพลังงานจากแหล่งกำเนิดมายังวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้เราเรียกการรบกวนในแบบนี้ว่า Capacitive coupling

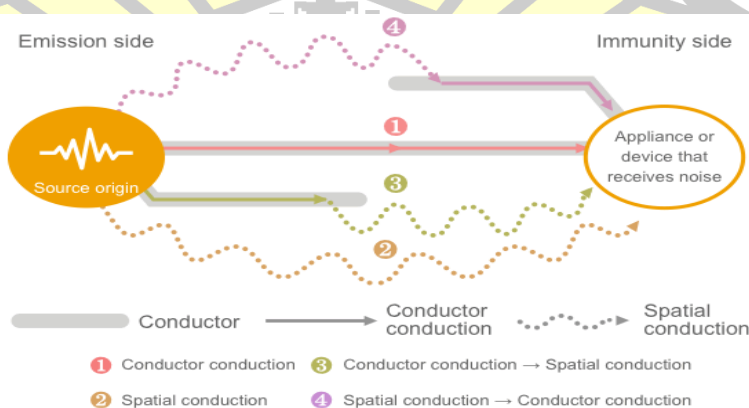
4. การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีสาเหตุมาจากคลื่นรบกวน ซึ่งประกอบด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปรบกวนการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ข้างเคียง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3 (ง) เราเรียกการรบกวนในแบบนี้ว่า Radiate field coupling



ภาพประกอบที่ 3 กลไกการเกิดสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าบนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (สายันท์ เกลี้ยงสิน & นิวัฒน์ ไชยด่าง, 2550)

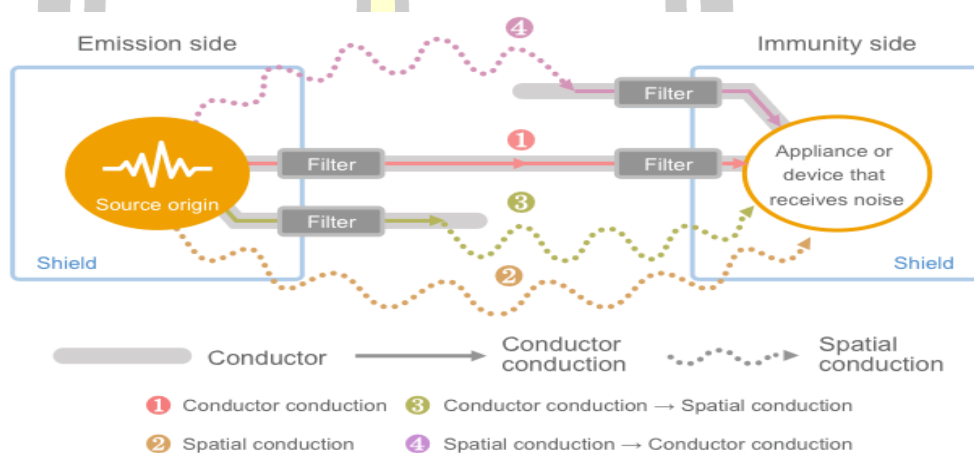
2.4 วิธีการลดสัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นเมื่อมีปัจจัยสามประการ (แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน ตัวรับสัญญาณ และเส้นทางการส่งสัญญาณ) ตามที่ระบุไว้ในแผนภาพหลักการในภาพประกอบที่ 4 สัญญาณรบกวนสามารถกำจัดได้หากสามารถกำจัดหนึ่งในปัจจัยเหล่านี้ได้ ดังนั้นสามารถใช้มาตรการด้านแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนหรือด้านตัวรับสัญญาณได้ ตัวอย่างเช่น หากไม่ใช้วงจรดิจิทัล อุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้า หรือเครื่องส่งสัญญาณ สัญญาณรบกวนที่เกิดจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะน้อยมาก อีกตัวอย่างหนึ่งคือการตั้งค่าการประมวลผลซ้ำซ้อนในซอฟต์แวร์ในฝั่งของตัวรับสัญญาณ ดังนั้น แม้ว่าข้อมูลจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย สัญญาณก็สามารถกู้คืนได้ มาตรการเหล่านี้สามารถเป็นวิธีแก้ปัญหาพื้นฐานได้ แต่หลายกรณีดังกล่าวอาจทำให้เกิดผลกระทบทางอ้อมขนาดใหญ่ เช่น ลดประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงอย่างมากหรือเพิ่มขนาดของอุปกรณ์ ทำให้มาตรการดังกล่าวไม่อาจจะไม่เหมาะสม



ภาพประกอบที่ 4 หลักการของสัญญาณรบกวน (Noise Suppression Basic Course, 2023)

การนำสัญญาณรบกวนมีสองประเภท คือ การนำเชิงพื้นที่และการนำทางไฟฟ้าของตัวนำ ดังที่แสดงในภาพประกอบที่ 5 การนำเชิงพื้นที่จะถูกจัดการโดยตัวป้องกันสัญญาณ (shield) ในขณะที่การนำทางไฟฟ้าของตัวนำจะถูกจัดการโดยตัวกรอง (filter) ดังที่แสดงในภาพประกอบที่ 5 การนำเชิงพื้นที่และการนำทางตัวนำมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงร่วมกันผ่านเส้นลวดที่ทำงานเป็นเสาอากาศ ดังนั้น แม้ว่าการนำไฟฟ้าของตัวนำจะมีปัญหาเพียงตำแหน่งเดียว แต่ก็ไม่สามารถเพิกเฉยต่อความเป็นไปได้ของการนำไฟฟ้าเชิงพื้นที่ได้โดยสิ้นเชิง



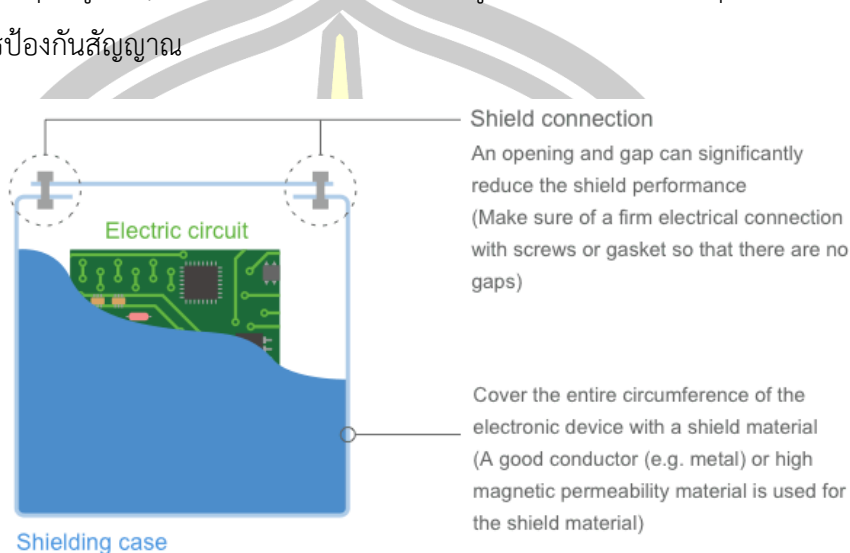
ภาพประกอบที่ 5 มาตรการลดสัญญาณรบกวน (Noise Suppression Basic Course, 2023)

การป้องกันสัญญาณ (shields)

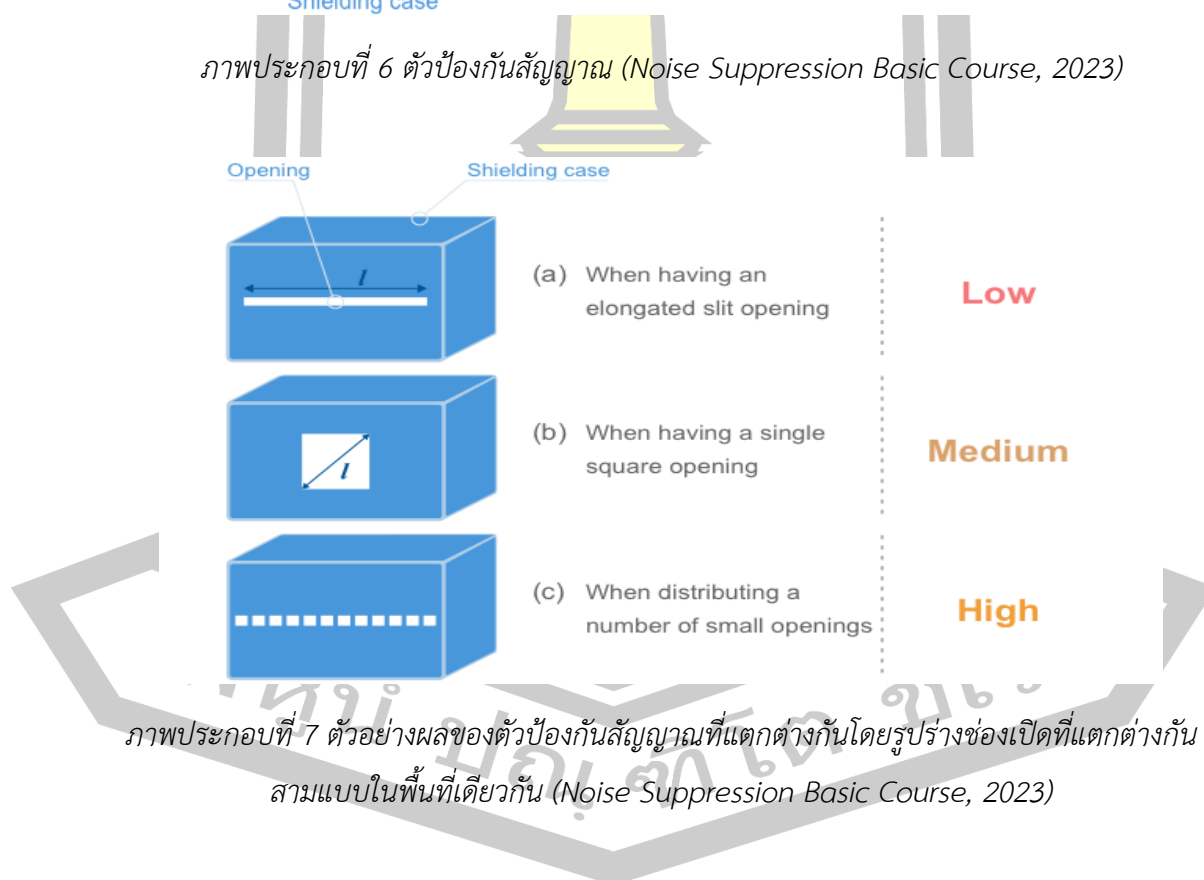
การป้องกันสัญญาณ (shields) หมายถึงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยรอบที่ถูกปิดกั้นโดยการปิดล้อมวัตถุเป้าหมายด้วยแผ่นโลหะหรือการป้องกันอื่นๆ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 6 แม้ว่าโดยทั่วไปแล้วผลของการป้องกันสัญญาณจะขึ้นอยู่กับ การนำไฟฟ้า ความสามารถในการยอมให้ซึมผ่านได้เชิงแม่เหล็ก และความหนาของวัสดุที่ใช้ การลดสัญญาณรบกวนสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปสามารถทำให้เกิดผลลัพธ์ได้มากพอสมควรด้วยแผ่นโลหะที่บางมาก เช่น อลูมิเนียมฟอยล์ ต้องตระหนักว่าผลลัพธ์ของการลดสัญญาณรบกวนสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มักขึ้นอยู่กับวิธีการเชื่อมต่อสำหรับการตัวป้องกันสัญญาณ (ช่องว่าง ความต้านทานหน้าสัมผัส ฯลฯ) มากกว่าข้อมูลจำเพาะของวัสดุ

เมื่อทำการเปิดช่องของตัวป้องกันสัญญาณเพื่อระบายความร้อน การจำกัดขนาดสูงสุดของแต่ละช่องมีความสำคัญมากกว่าการจำกัดพื้นที่ทั้งหมดของช่องเปิด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 7 หากมีช่องเปิดหรือช่องเปิดยาว ส่วนนี้สามารถทำงานเป็นเสาอากาศแบบช่องได้ (slot antenna) ได้

(โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับช่วงความถี่สูงที่ความยาว λ ในรูปเกิน $1/2$ ของความยาวคลื่น) และคลื่นวิทยุสามารถเข้าและออกตัวป้องกันได้ เพื่อป้องกันปัญหานี้ ช่องเปิดแต่ละช่องควรมีขนาดเล็กจากมุมมองนี้ วัสดุที่มีรูเล็กๆ จำนวนมาก เช่น โลหะเจาะรูและตะแกรงเป็นวัสดุที่ดีทั้งในการระบายอากาศและการป้องกันสัญญาณ



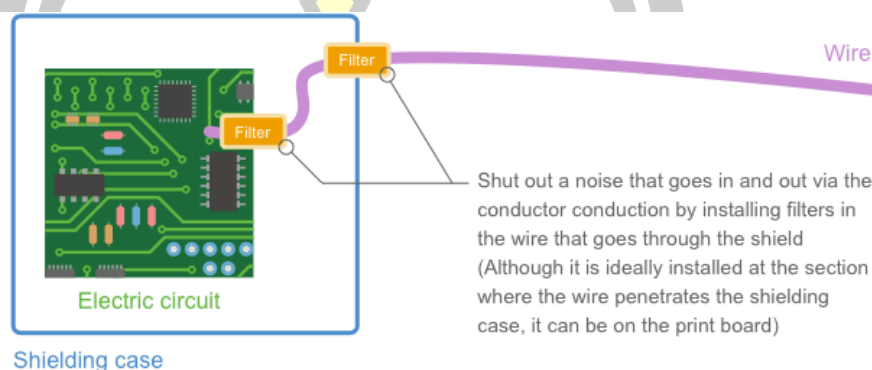
ภาพประกอบที่ 6 ตัวป้องกันสัญญาณ (Noise Suppression Basic Course, 2023)



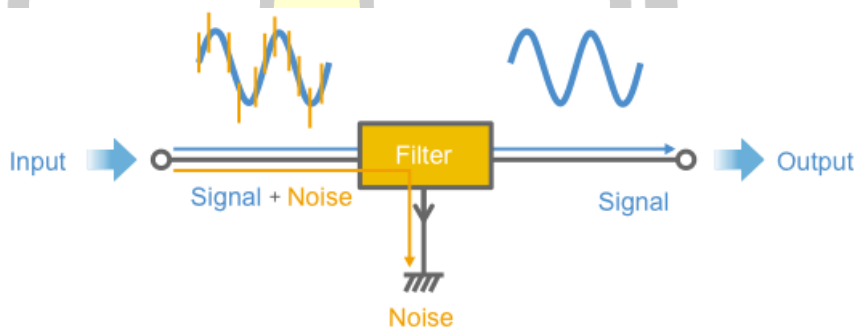
ภาพประกอบที่ 7 ตัวอย่างผลของตัวป้องกันสัญญาณที่แตกต่างกันโดยรูปร่างช่องเปิดที่แตกต่างกันสามแบบในพื้นที่เดียวกัน (Noise Suppression Basic Course, 2023)

ตัวกรอง (filter)

ตัวกรองหมายถึงชิ้นส่วนหรือฟังก์ชันที่สามารถให้ส่วนประกอบที่จำเป็นผ่านและจัดส่วนประกอบที่ไม่ต้องการระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำ แม้ว่าสัญญาณรบกวนจะถูกเบี่ยงเบนไปที่กราวด์ในภาพประกอบที่ 9 พลังงานของสัญญาณรบกวนสามารถถูกดูดซับภายในชิ้นส่วนหรือสามารถส่งกลับไปยังแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนได้ (เพิ่มอิมพีแดนซ์)



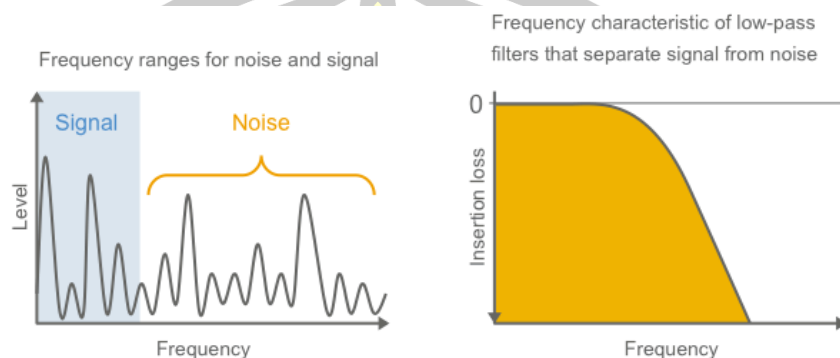
ภาพประกอบที่ 8 ตัวกรองสัญญาณ (Noise Suppression Basic Course, 2023)



ภาพประกอบที่ 9 การทำงานของตัวกรองสัญญาณ (Noise Suppression Basic Course, 2023)

เนื่องจากสัญญาณรบกวนมีแนวโน้มที่จะกระจายมากขึ้นในช่วงความถี่ที่ค่อนข้างสูงกว่า ดังแสดงในภาพประกอบที่ 10 การลดสัญญาณรบกวนสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จึงมักใช้ตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำซึ่งจะลบส่วนประกอบความถี่สูงออก สามารถใช้ชิ้นส่วนอเนกประสงค์ เช่น ตัวเหนี่ยวนำ (ขดลวด) ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุสำหรับตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำนี้ อย่างไรก็ตาม เพื่อปิดกั้นสัญญาณรบกวนอย่างสมบูรณ์ จึงมีการใช้ส่วนประกอบเฉพาะสำหรับ ตัวกรองป้องกัน EMI

นอกเหนือจากตัวกรองเหล่านี้ที่ใช้ประโยชน์จากการกระจายความถี่ที่ไม่สม่ำเสมอของสัญญาณรบกวนแล้ว ยังมีตัวกรองที่ใช้ประโยชน์จากความต่างศักย์ไฟฟ้า (วาริสเตอร์ ฯลฯ) และตัวกรองที่ใช้ประโยชน์จากความแตกต่างของโหมดการนำไฟฟ้า (common mode chock coils)



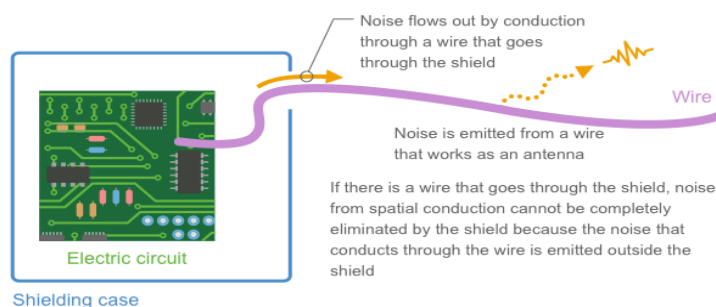
ภาพประกอบที่ 10 การแยกสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Noise Suppression Basic Course, 2023)

การใช้ตัวป้องกันและตัวกรองในจุดเดียว (shields and filter)

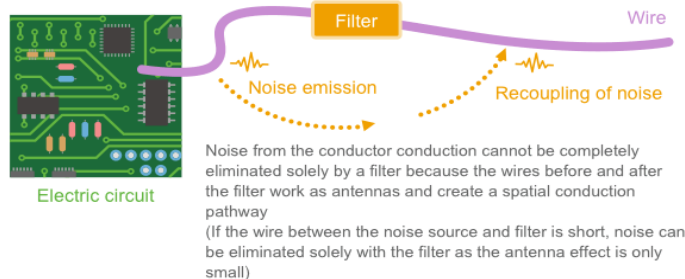
ตัวกรอง (filter) ใช้สำหรับสัญญาณรบกวนที่ผ่านตัวนำ ในขณะที่ตัวป้องกัน (shields) ใช้สำหรับสัญญาณรบกวนที่ผ่านช่องว่าง อย่างไรก็ตาม เนื่องจากตัวนำที่สัญญาณรบกวนผ่านสามารถทำงานเป็นเสาอากาศได้ ดังนั้นเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนอย่างสมบูรณ์ จึงจำเป็นต้องใช้ทั้งตัวกรองและตัวป้องกันในที่เดียว

ตัวอย่างเช่น เมื่อใช้การตัวป้องกันในการปิดกั้นตัวนำเชิงพื้นที่ หากมีตัวนำทะลุผ่านตัวป้องกัน ดังภาพประกอบที่ 11 ตัวนำนี้จะรับและดึงสัญญาณรบกวนภายในตัวป้องกันออกไปยังด้านนอกของตัวป้องกัน ทำให้เกิดสัญญาณรบกวน เป็นผลให้ไม่สามารถปิดกั้นการนำเชิงพื้นที่ได้อย่างสมบูรณ์ด้วยตัวป้องกันเท่านั้น

ในทำนองเดียวกัน เมื่อใช้ตัวกรองเพื่อปิดกั้นการนำไฟฟ้าของตัวนำ สายไฟทั้งก่อนและหลังตัวกรองอาจเชื่อมต่อกันผ่านการนำไฟฟ้าเชิงพื้นที่ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 12 เป็นผลให้ไม่สามารถปิดกั้นตัวนำไฟฟ้าได้อย่างสมบูรณ์ด้วยตัวกรองเพียงอย่างเดียว

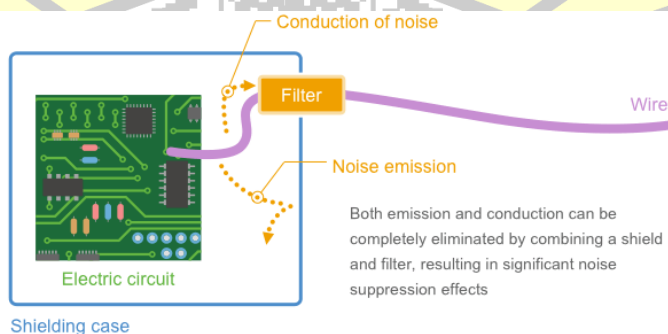


ภาพประกอบที่ 11 การนำไฟฟ้าของตัวนำทำให้เกิดช่องโหว่ในตัวป้องกัน (Noise Suppression Basic Course, 2023)

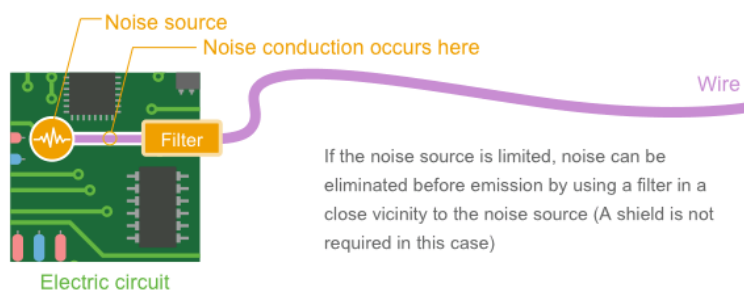


ภาพประกอบที่ 12 ตัวกรองถูกข้ามโดยการนำเชิงพื้นที่ (Noise Suppression Basic Course, 2023)

เมื่อใช้ทั้ง ตัวป้องกัน (shields) และ ตัวกรอง (filter) ร่วมกันในที่เดียวดังภาพประกอบที่ 13 ทั้ง การนำเชิงพื้นที่ และ การนำของตัวนำ จะถูกปิดกั้นอย่างสมบูรณ์ ทำให้สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้อย่างสมบูรณ์ หากความยาวของตัวนำระหว่างแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนและตัวกรองสั้นมากดังภาพประกอบที่ 14 ผลกระทบของตัวนำเป็นเสาอากาศจะถูกลบหายไป และสัญญาณรบกวนสามารถถูกกำจัดได้โดยใช้ตัวกรองเพียงอย่างเดียวได้ ดังนั้น หากสามารถใช้ตัวกรองในบริเวณใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน การลดสัญญาณรบกวนสามารถทำได้โดยใช้ตัวกรองเท่านั้น



ภาพประกอบที่ 13 สามารถปิดกั้นสัญญาณรบกวนได้โดยใช้ตัวกรองและชีลด์ร่วมกัน (Noise Suppression Basic Course, 2023)

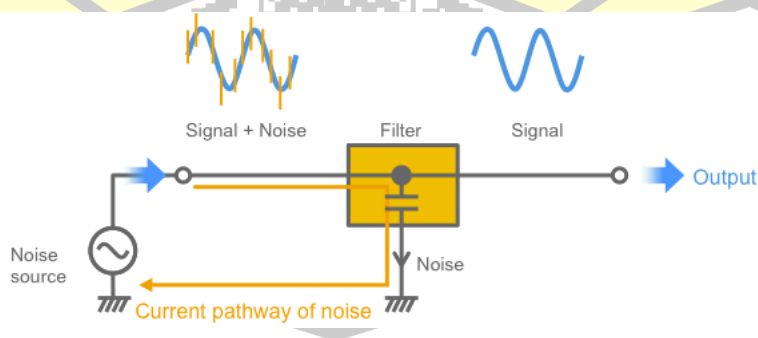


ภาพประกอบที่ 14 ถ้าตัวนำไฟฟ้าสั้น การลดสัญญาณรบกวนทำได้โดยใช้ตัวกรองเท่านั้น (Noise Suppression Basic Course, 2023)

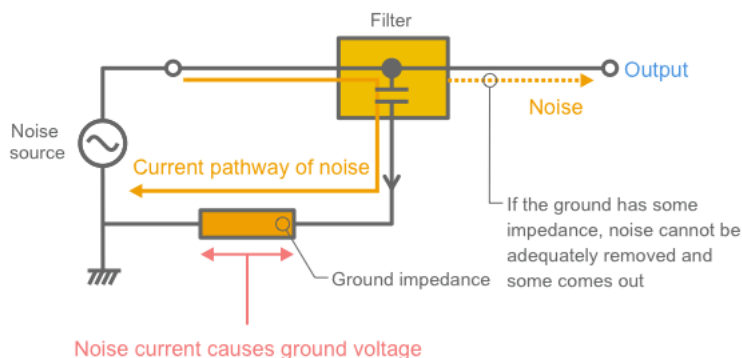
ตัวกรองและกราวด์ (filter and ground)

ในการใช้ตัวกรองและตัวป้องกันอย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปจำเป็นต้องมีการเชื่อมต่อกับกราวด์ (ground) ที่ดี หากมีตัวเก็บประจุภายในตัวกรอง กราวด์จะกลายเป็นเส้นทางเพื่อส่งกระแสสัญญาณรบกวนกลับไปยังแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนดังแสดงในภาพประกอบที่ 15 ต้องคำนึงถึงการรักษามิพีแดนซ์ของส่วนนี้ให้ต่ำมาก หากมีอิมพีแดนซ์ที่กราวด์มาก ดังที่แสดงในภาพประกอบที่ 16(a) แรงดันไฟฟ้าบางส่วนจะปรากฏขึ้นที่กราวด์เนื่องจากกระแสสัญญาณรบกวนรบกวนการกำจัดสัญญาณรบกวนที่ดี หากใช้กราวด์นี้ร่วมกับสายไฟอื่นที่ต่อกับตัวกรองอื่น แรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏที่กราวด์สามารถกลับไปให้สายไฟอื่นผ่านตัวเก็บประจุของตัวกรอง ดังภาพประกอบที่ 16(b)

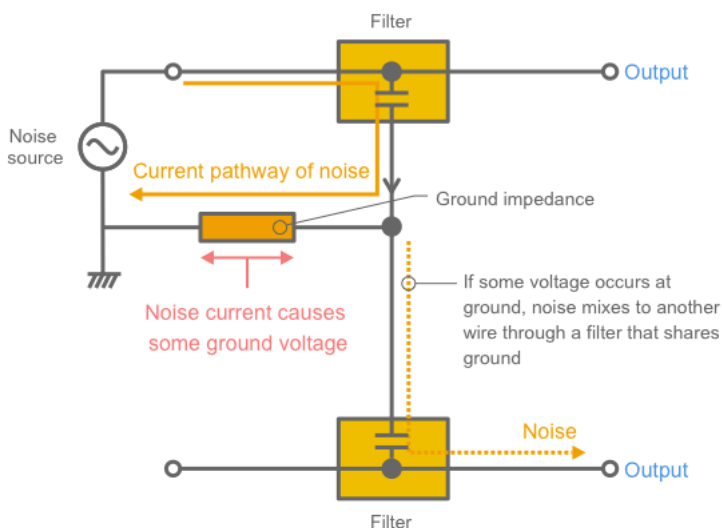
impedance coupling สถานะของการมีสัญญาณรบกวนบนกราวด์นี้เรียกอีกอย่างว่าการเกิดสัญญาณรบกวนในโหมดร่วม (common mode) เป็นหนึ่งในกลไกที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนในโหมดร่วม เนื่องจากผลของตัวกรองที่มีตัวเก็บประจุในตัวนั้นไวต่อสถานะของกราวด์ที่เชื่อมต่อมาก จึงต้องใช้กราวด์ที่เสถียรและมีอิมพีแดนซ์ต่ำ



ภาพประกอบที่ 15 เส้นทางกระแสของสัญญาณรบกวน (Noise Suppression Basic Course, 2023)



(a) Effect on noise reduction performance



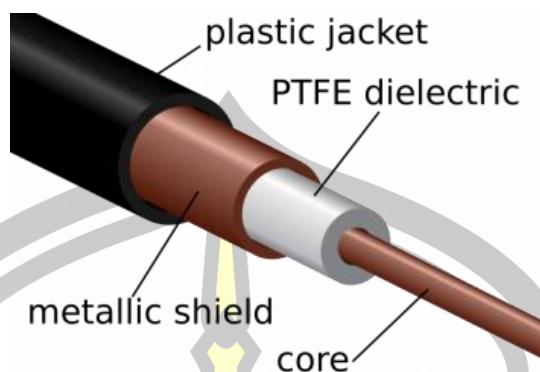
(b) Noise coupling through ground

ภาพประกอบที่ 16 ผลของอิมพีแดนซ์ในกราวด์ (Noise Suppression Basic Course, 2023)

ตัวป้องกันและกราวด์ (shields and ground)

ตัวป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ต้องเชื่อมต่อกับกราวด์ ซึ่งโดยหลักการแล้วเป็นกราวด์ภายนอก (ศูนย์โวลท์) เนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลบนสายไฟที่เชื่อมต่อกับกราวด์ มีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าที่จะห้อมล้อมอยู่ สายไฟจึงต้องมีอิมพีแดนซ์ต่ำ

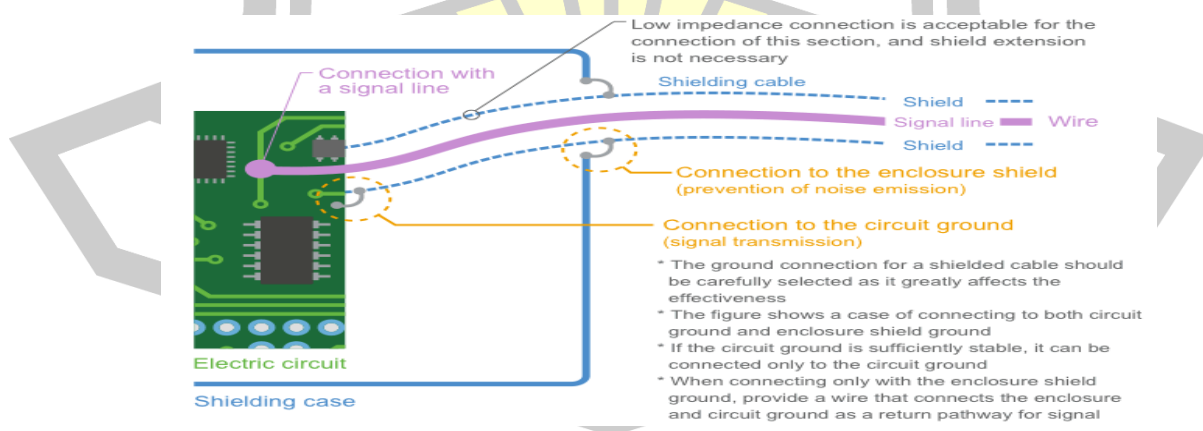
ในหลายกรณี เมื่อใช้สายเคเบิลหุ้มฉนวน ตัวป้องกันยังทำหน้าที่เป็นทางเดินกลับสำหรับกระแสที่ไหลผ่านตัวนำด้านใน (เช่น ตัวนำด้านนอกของสายโคแอกเซียล เป็นต้น) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเชื่อมต่อกับกราวด์ที่สามารถส่งคืนกระแสนี้ (เมื่อทำการชิลด์ ให้เชื่อมต่อกับกราวด์ของวงจร)



ภาพประกอบที่ 17 ส่วนประกอบของสายโคแอกเซียล (coaxial)(พรหม จันทาโพธิ์, 2557)

ในกรณีที่สัญญาณรบกวนถูกนำลงกราวด์ดังเช่นกรณีของรูปที่ 16 ถ้าชีลด์เชื่อมต่อกับกราวด์นี้ ชีลด์จะดึงสัญญาณรบกวนจากการทำงานของกราวด์ออกมาแล้วปล่อยสัญญาณรบกวนเช่นเดียวกับเสาอากาศ ซึ่งอาจทำให้สัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้น เมื่อเชื่อมต่อชีลด์ ดังนั้นจึงต้องเลือกกราวด์อิมพีแดนซ์ต่ำที่มีศักยภาพมั่นคง

เคสป้องกันสามารถใช้งานเป็นกราวด์ได้ค่อนข้างดี หากมีเคสป้องกันที่ครอบคลุมอุปกรณ์ทั้งหมด เคสป้องกันนี้สามารถเป็นกราวด์ที่ดีสำหรับจุดประสงค์ในการลดสัญญาณรบกวนแม้ว่าจะไม่ได้เชื่อมต่อกับกราวด์ก็ตาม (หากจำเป็นต้องระบายกระแสไฟจ่ายลงกราวด์เพื่อวัตถุประสงค์ในการป้องกันไฟฟ้าสถิตย์หรือกระแสอื่น ๆ จำเป็นต้องต่อกราวด์) เคสป้องกันนี้ยังสามารถใช้เป็นกราวด์สำหรับสายเคเบิลที่มีชีลด์ อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ชีลด์นี้ทำงานเป็นทางเดินกลับสำหรับสัญญาณตามที่อธิบายไว้ข้างต้น จำเป็นต้องเชื่อมต่อกับกราวด์ของวงจรด้วย ดังนั้น หากแยกกราวด์ของเคสป้องกันและกราวด์ของวงจรออกจากกัน การเชื่อมต่อจะซับซ้อน



ภาพประกอบที่ 18 ตัวอย่างการเชื่อมต่อกราวด์สำหรับสายเคเบิลที่มีฉนวนป้องกัน (Noise Suppression Basic Course, 2023)

การเสริมกราวด์ (Reinforcement of ground)

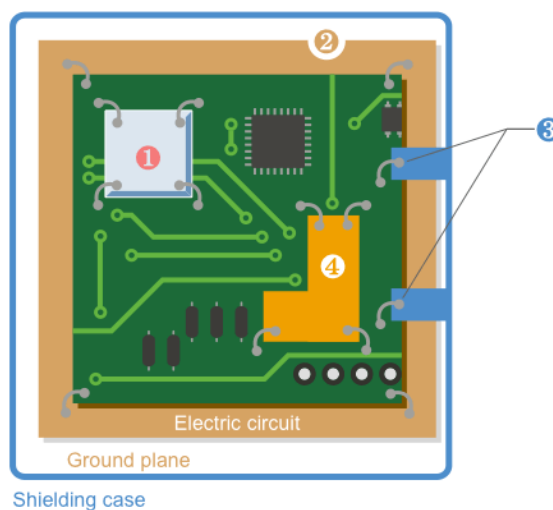
การเชื่อมต่อกับกราวด์ที่มั่นคงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวกรองและซีลด์ นอกจากนี้ เมื่อใช้เคสป้องกันที่ครอบคลุมอุปกรณ์ทั้งหมด เคสป้องกันนี้สามารถใช้เป็นกราวด์ที่มั่นคงได้ ดังนั้นเคสป้องกันโดยทั่วไปมีหน้าที่ทำให้กราวด์มั่นคง

หากมีสายไฟผ่านเคสป้องกันนี้ แสดงว่ามีช่องที่ช่วยให้สัญญาณรบกวนเข้าและออกจากเคสป้องกัน ดังที่แสดงในรูปที่ 11 ทำให้กราวด์ของเคสป้องกันไม่มั่นคง ในกรณีเช่นนี้ สามารถใช้ตัวกรองในสายไฟนี้เพื่อหยุดสัญญาณรบกวนไม่ให้เข้าและออก เพื่อให้กราวด์ของเคสป้องกันมีความเสถียร เนื่องจากซีลด์และตัวกรองที่ใช้อย่างเหมาะสมจะทำงานเพื่อทำให้กราวด์มั่นคงตามที่อธิบายไว้ข้างต้น จึงมีความสัมพันธ์ที่ส่งเสริมกันระหว่างซีลด์ ตัวกรอง และกราวด์

กราวด์ของวงจรยังเป็นกราวด์ประเภทหนึ่งนอกเหนือจากกราวด์เคสป้องกันที่อธิบายไว้ข้างต้น และมักจะทำให้เกิดแรงดันสัญญาณรบกวนมากกว่ากราวด์ของเคสป้องกัน กราวด์แบบนี้เรียกว่า กราวด์สกปรก (dirty ground) ในทางตรงกันข้าม กราวด์ที่ไม่มีสัญญาณรบกวนเรียกว่า กราวด์สะอาด (clean ground) กราวด์ที่เชื่อมต่อกับซีลด์หรือตัวกรองนั้นเป็นกราวด์ที่สะอาด อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องมีการต่อสายกราวด์ของวงจรเพื่อส่งคืนกระแสที่ไหลกลับของสัญญาณหรือเพื่อส่งกระแสสัญญาณรบกวนกลับไปยังแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน หากกราวด์ของวงจรสกปรก ควรลดแรงดันสัญญาณรบกวนให้เหลือน้อยที่สุดโดยลดอิมพีแดนซ์ของกราวด์วงจร จัดให้มีระนาบกราวด์ (ground plane) ตามแผงวงจร หรือเชื่อมต่อกับกราวด์ของเคสป้องกัน

การดำเนินการทำให้สัญญาณรบกวนกราวด์คงที่โดยการลดแรงดันไฟฟ้าในลักษณะนี้เรียกว่า การเสริมแรงกราวด์ (ground reinforcement) การหุ้มแผงวงจรด้วยเคสป้องกันช่วยเสริมกราวด์

พูน ปณ จิต ชเว



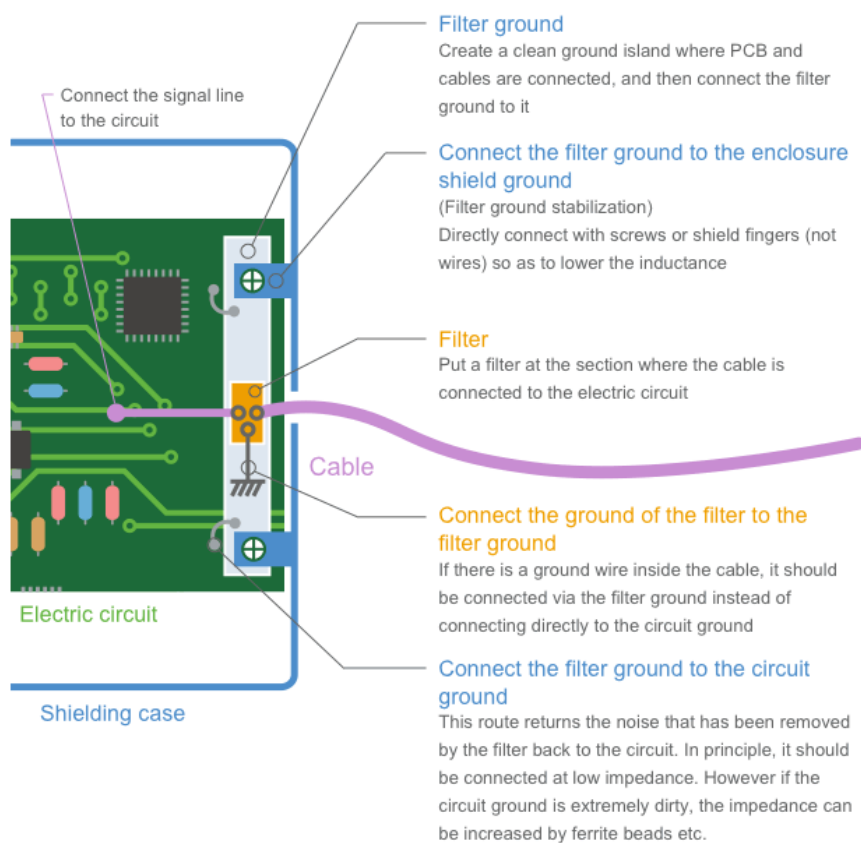
- 1 Cover the top of a circuit that causes strong noise with a metal case, and connect it to ground
- 2 Put a metal plate (referred to as a ground plane) under the circuit board and connect it to the circuit ground at several points
- 3 Connect to a stable ground such as the enclosure shield ground etc. at a low impedance (not with wire, but directly with metal fittings etc.)
- 4 Connect narrow or diverted ground sections with a short and thick wire (lowering the ground impedance)

* in the figure indicates a connection to the circuit ground

ภาพประกอบที่ 19 ตัวอย่างการเสริมแรงกราวด์ (Noise Suppression Basic Course, 2023)

เมื่อเชื่อมต่อสายไฟเข้ากับเคสป้องกัน ตัวกรองจะติดไว้เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนเข้าและออกผ่านสายไฟ กราวด์ของตัวกรองนี้จะต้องสร้างขึ้นบนแผงวงจร อย่างไรก็ตาม เพื่อให้กราวด์มีความเสถียร มักจะเชื่อมต่อกับกราวด์ของเคสป้องกันแทนกราวด์ของวงจร ดังนั้นกราวด์สำหรับตัวกรองที่เชื่อมต่อกับกราวด์ของเคสป้องกันมักจะถูกสร้างขึ้นที่ส่วนที่ต่อสายไฟ ในที่นี้เรียกราวด์นี้ว่า กราวด์ตัวกรอง

โดยทั่วไปแล้ว กราวด์ตัวกรองไม่ได้เชื่อมต่อกับกราวด์ของเคสป้องกันเท่านั้น แต่ยังเชื่อมต่อกับกราวด์ของวงจรด้วย เพื่อส่งสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นภายในวงจรกลับไปยังแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน นอกจากนี้ ยังทำงานเสริมแรงกราวด์สำหรับกราวด์ของวงจรในเวลาเดียวกัน เมื่อใช้สายเคเบิลหุ้มฉนวน สามารถต่อตัวป้องกันเข้ากับกราวด์ตัวกรองได้ ในกรณีนี้ จะต้องเชื่อมต่อกับกราวด์ของเคสป้องกันที่อิมพีแดนซ์ต่ำมาก เนื่องจากประสิทธิภาพของสายเคเบิลที่มีฉนวนขึ้นอยู่กับคุณภาพของกราวด์ตัวกรอง ภาพประกอบที่ 20 แสดงตัวอย่างของกราวด์ตัวกรอง สิ่งสำคัญคือต้องรักษากราวด์ตัวกรองให้มีอิมพีแดนซ์ต่ำมากโดยอ้างอิงกับกราวด์เคสป้องกัน



ภาพประกอบที่ 20 ตัวอย่างการเชื่อมต่อโดยใช้กราวด์ตัวกรอง (Noise Suppression Basic Course, 2023)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(พีรวัจน์ มีสุข & อิศราพงษ์ พูลพราหมณ์, 2560) ได้นำเสนอวิธีการลดสัญญาณรบกวนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของอุปกรณ์ขับหลอดอิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดแอลอีดีให้ได้ตามมาตรฐาน มอก. 1955 - 2551 ซึ่งตามมาตรฐานจะต้องทดสอบความเข้ากันได้ทางสนามแม่เหล็ก ประกอบด้วย Magnetic Field Emission : ME, Conducted Emission : CE และ Coupling Decoupling Network : CDN โดยทำการทดสอบหลอดแอลอีดีจำนวน 3 หลอด กำหนดให้เป็นชนิด A, B และ C แต่ละหลอดมีกำลังไฟฟ้า 16 วัตต์ และมีระดับสัญญาณรบกวนของแต่ละหลอดไม่เท่ากัน จากนั้นทำการออกแบบ วงจรลดสัญญาณรบกวนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งพิจารณาที่ความถี่ต่ำโดยได้ทำการทดสอบ Conducted Emission เท่านั้น เพื่อให้หลอดแอลอีดีชนิด A มีสัญญาณรบกวนตามมาตรฐาน มอก.1955-2551 แล้วใช้วงจรลดสัญญาณรบกวนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้ออกแบบทดสอบกับอุปกรณ์ขับหลอดอิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดแอลอีดีชนิด B และ C เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของวงจรลดสัญญาณรบกวนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ผลการสอบพบว่าวงจรลดสัญญาณรบกวนคลื่น

แม่เหล็กไฟฟ้าสามารถลดสัญญาณรบกวนให้หลอดแอลอีดีชนิด A และ B มีค่าสัญญาณรบกวนผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนชนิด C สามารถลดสัญญาณรบกวนได้เช่นเดียวกัน แต่ไม่สามารถลดสัญญาณรบกวนให้ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

(มัลลิกา ทองเจริญ & สมประสงค์ ภาษาประเทศ, 2559) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของผ้าทอจากฝ้าย/สแตนเลส ซึ่งเส้นด้ายที่นำไปทอผ้าเป็นเส้นด้ายควบระหว่างฝ้าย/สแตนเลส นำมาทอเป็นผืนผ้า ตามโครงสร้างพื้นฐาน 3 แบบคือ ผ้าทอลายขัด ผ้าทอลายทแยง และผ้าทอลายส่วน เพื่อศึกษาโครงสร้างผ้าทอที่มีผลต่อการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและการใช้สัดส่วนเส้นใยสแตนเลสในรูปแบบการทอที่ต่างกัน ผลที่ได้แสดงว่าผ้าทอที่ผลิตจากเส้นด้ายควบฝ้าย/สแตนเลสทุกโครงสร้างสามารถป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดี ผ้าทอที่มีสัดส่วนการใช้เส้นใยสแตนเลสมากกว่าจะสามารถป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีกว่า

(เกียรติศักดิ์ สละยอง et al., 2565) นำเสนอความเป็นมาของการนำยางพาราไทยมาทำเป็นวัสดุดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยจะเป็นการนำเสนอในด้านการศึกษาและพัฒนาวัสดุดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากยางแห้งชนิด เอสทีอาร์ไฟว์แอล (STR-5L) และการสร้างวัสดุดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากน้ำยางข้น 60 เปอร์เซ็นต์ (%) รวมถึงการพัฒนาสู่การนำไปใช้งานอย่างเป็นรูปธรรม ในบทความนี้จะกล่าวถึงที่มาของการสร้างวัสดุดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากยางพาราวิธีการออกแบบ วิธีการสร้าง สูตรสารเคมีวิธีการขึ้นรูปการทดสอบทางกายภาพ และการทดสอบทางไฟฟ้า นอกจากนี้ยังแสดงถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งพบว่าวัสดุดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากยางพาราที่ถูกพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในการดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเทียบเท่า หรือดีกว่าวัสดุดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีขายในท้องตลาด และมีลักษณะทางกายภาพที่ดีเหมาะกับการใช้งานจริง

(Harada et al., 2016) นำเสนอระบบป้องกันสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับวิทยุ AM โดยใช้องค์ประกอบ ควอดราเจอร์ (Quadrature component) ของสัญญาณที่ได้รับ ในระบบนี้สัญญาณวิทยุ AM ที่ถูกรบกวนโดยสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูก ควอดราเจอร์ ดีมอดูเลต (Quadrature demodulate) สัญญาณรบกวนจำลองจะถูกสร้างขึ้นโดยใช้สัญญาณรบกวนที่รวมอยู่ในองค์ประกอบ ควอดราเจอร์ (Quadrature component) จากนั้นสัญญาณรบกวนจำลองจะถูกลบออกจากองค์ประกอบอิน-เฟส (In-phase component) ซึ่งรวมถึงในสัญญาณวิทยุ AM และสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ในบทความนี้จะอธิบายหลักการของวิธีการตัดสัญญาณรบกวนก่อน จากนั้นจะสร้างต้นแบบ ระบบรับวิทยุ AM ตามวิธีนี้ สุดท้ายแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนจาก ตัวแปลง DC-DC และ EPS ที่ซ้อนทับกันบนสัญญาณวิทยุ AM ได้มากกว่า 15 เดซิเบล

(วราเทพ ผดุงถิ่น, 2563) นำเสนอการเปรียบเทียบวิธีคาดการณ์สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางอากาศ (radiated electromagnetic interference) ได้แก่ วิธีแรกนำเสนอโดย Henry W. Ott วิธีที่สองโดย Clayton R. Paul และวิธีสุดท้ายนำเสนอโดย Shaowei Deng ซึ่งวิธีการดังกล่าวสามารถหาได้จากกระแสโหมดผลรวม (CM current) ที่วัดจากแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน โดยในงานวิจัยนี้แหล่งจ่ายกำลังสวิตช์ซึ่งจำลองเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน จากนั้นวิธีการคาดการณ์ทั้งหมดที่กล่าวมาจะถูกเปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่ได้จากห้องปิดกั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน เพื่อเป็นการยืนยันประสิทธิภาพของการคาดการณ์ จากผลการทดลองสรุปได้ว่าวิธีการคาดการณ์ที่นำเสนอโดย Shaowei Deng มีความเหมาะสมที่สุดต่อการนำไปใช้งานเพื่อประมาณค่าสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางอากาศ เนื่องจากผลลัพธ์จากการคาดการณ์มีความใกล้เคียงกับผลวัดจริงในช่วงย่านความถี่ต่ำประมาณ 30 MHz ถึง 55 MHz แต่ในย่านความถี่ที่นอกเหนือจากนี้ยังคงมีผลลัพธ์จากการคาดการณ์ที่สูงกว่าผลวัดจริงมากเกินไป อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวนี้ยังคงต้องปรับปรุงความแม่นยำในการคาดการณ์สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางอากาศในย่านความถี่สูง

(Nikolopoulos et al., 2023) นำเสนอประสิทธิภาพของถ่านไบโอชาร์(biochar) ที่ได้จากต้นมะกอก ในการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้ถ่านไบโอชาร์ในปริมาณต่างๆ เพื่อเตรียมตัวอย่างคอมโพสิตที่มีคาร์บอนแบล็ค (carbon black) และ โพลีเตตระฟลูออโรเอทิลีน (polytetrafluoroethylene) เป็นสารยึดเกาะ ประสิทธิภาพการป้องกันแม่เหล็กไฟฟ้าของตัวอย่างถูกวัดในช่วงความถี่ 1-3 GHz โดยใช้การตั้งค่าการทดลองที่ง่าย เป็นมิตรต่อผู้ใช้ และเชื่อถือได้ ผลการวิจัยพบว่าถ่านไบโอชาร์ดิบที่ไม่ได้ดัดแปลงมีประสิทธิภาพการป้องกันต่ำอยู่ในช่วง 1.5-4 dB เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อความหนาของตัวอย่างเพิ่มขึ้นจาก 0.1 เป็น 0.5 มม. การดัดแปลงถ่านไบโอชาร์ด้วยอะเซทิลีนแบล็ค (acetylene black) 20 %w/w เพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันอย่างมาก โดยมีค่าถึง 39 dB ในช่วงความถี่เดียวกัน แสดงให้เห็นว่าถ่านไบโอชาร์ดิบสามารถใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการพัฒนาวัสดุคอมโพสิตที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันที่สำคัญ และประเมินประสิทธิภาพด้วยวิธีการในห้องปฏิบัติการที่ง่ายและรวดเร็ว

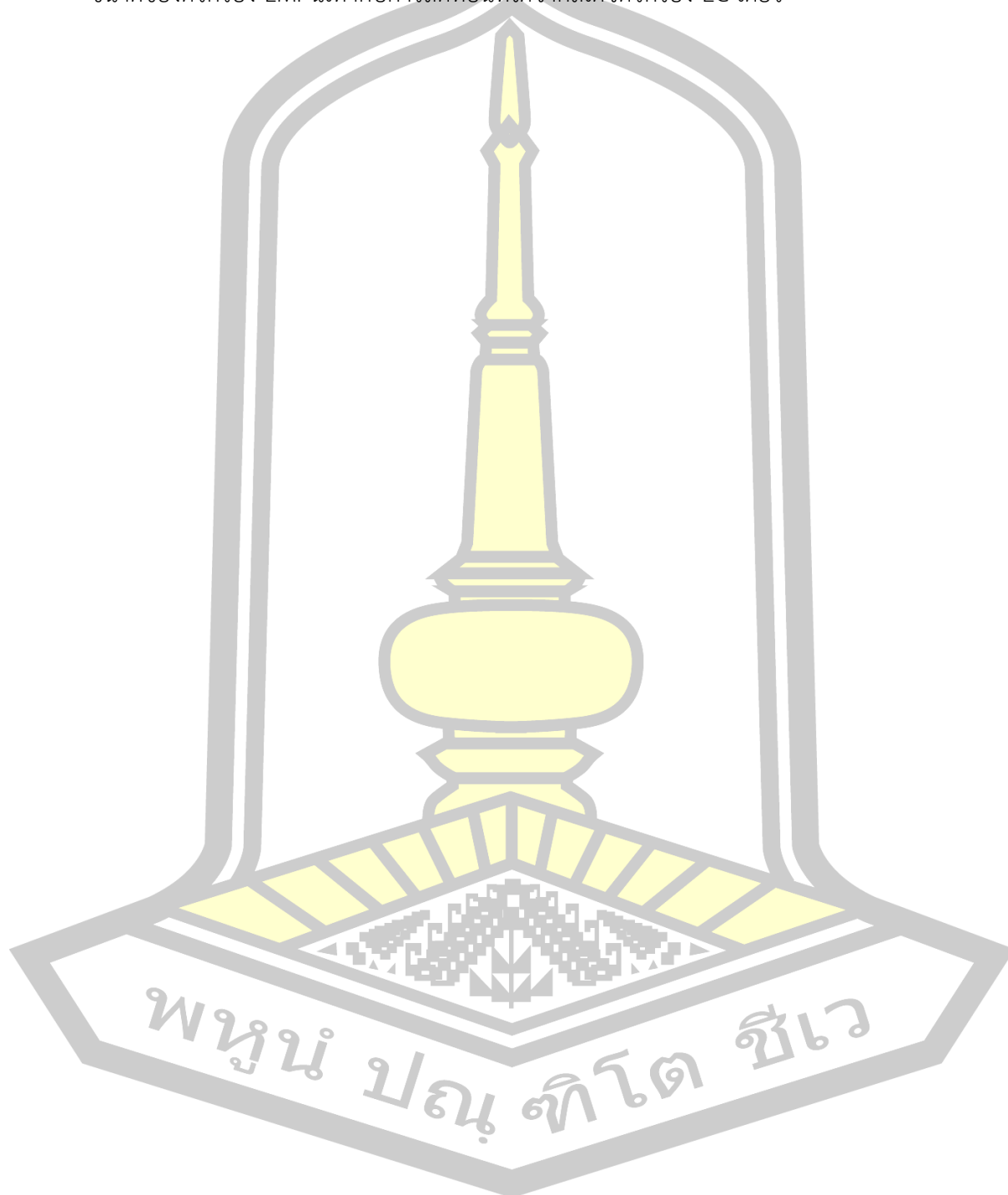
(บุญฤทธิ์ ปัญญาอิน & ไตรรัตน์ เนียมสุวรรณ, 2560) นำเสนอประสิทธิภาพของวูดเชรามิกซึ่งเป็นอีกหนึ่งวัสดุคาร์บอนรุ่นใหม่ที่มีคุณสมบัติโดดเด่นหลายประการ หนึ่งในการใช้ประโยชน์ที่น่าสนใจคือใช้เป็นวัสดุป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยงานวิจัยนี้จะให้ความสนใจไปที่ย่านความถี่โทรคมนาคมเป็นหลัก วูดเชรามิกได้จากการคาร์บอนไนเซชันแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางที่

ได้จากเส้นใยทางไบโพลีเมอร์และผ่านการอัดด้วยกาวยางสังเคราะห์จากการกลายสภาพของกะลา
 ปาล์มน้ำมัน โดยมีปัจจัย ในการผลิต 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิสูงสุดของการคาร์บอนไนเซชันที่ 600,
 800 และ 1,000 °C และอัตราการเพิ่ม อุณหภูมิที่ 1, 5 และ 10 °C/min. ตามลำดับ นำมาศึกษา
 คุณสมบัติการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE 299 ที่ช่วงคลื่นความถี่ 800-960 และ
 1,710-2,170 MHz ผลการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพการป้องกัน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น
 อย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงสุดในการผลิตให้มีค่าเกินกว่า 600 °C แต่จะเริ่ม คงที่เมื่ออุณหภูมิ
 สูงสุดประมาณ 800 °C ทั้งนี้พบว่าวัสดุเซรามิกที่ผลิตขึ้นโดยใช้อุณหภูมิ 800 และ 1,000 °C เท่านั้นที่มี
 ประสิทธิภาพการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานสากลโดยมีค่าการป้องกันอยู่
 ระหว่าง 34.34-42.86 dB

(Dai et al., 2019) นำเสนอ multi-function common mode choke (MCMC) ที่ใช้ใน
 ตัวกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า แบบไฮบริด (HEF) ซึ่งแตกต่างจาก common mode
 choke (CM) ตรงที่ฟังก์ชันสองอย่างของ การตรวจจับสัญญาณ CM และ การลดสัญญาณรบกวน
 CM ถูกรวมเข้าไว้ใน chock เดียว ในการออกแบบ MCMC ที่นำเสนอ หม้อแปลงกระแสแบบดั้งเดิม
 (CT) จะถูกกำจัดในโทโลยีตัวกรองแบบไฮบริด เทคนิคนี้สามารถลดขนาด น้ำหนัก และต้นทุนของ
 ตัวกรองได้อย่างมาก จาก MCMC ได้มีการนำเสนอตัวกรอง CM ใหม่เพื่อให้ได้การลดสัญญาณรบกวน
 ที่มีประสิทธิภาพสูง โมเดลระบบและคุณสมบัติความเสถียรของตัวกรองใหม่ได้รับการพัฒนาและ
 ตรวจสอบโดยละเอียด สร้างต้นแบบตัวกรองตาม MCMC ที่เสนอ ได้รับการทดสอบกับตัวแปลง
 AC/DC เซิงพาณิชย์ขนาด 100 วัตต์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวกรอง CM ที่นำเสนอสามารถ
 ช่วยลดสัญญาณรบกวน EMI ได้ดีกว่าด้วยขนาดที่เล็กกว่า การสูญเสียการแทรกอาจถึง 50 dB ที่
 ความถี่ต่ำและ 40 dB ที่ความถี่สูง

(Yamada et al., 2021) นำเสนอการผสมผสานระหว่างสองวิธีเพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เป็น
 สื่อกะแสไฟฟ้าในวงจร power factor correction (PFC) ทั้งสองวิธีนี้ไม่มีส่วนประกอบเพิ่มเติม
 ขนาดใหญ่วิธีแรกสามารถตัดสัญญาณรบกวนได้ด้วยวงจรเพิ่มเติมโดยใช้ทรานซิสเตอร์สำหรับใช้งาน
 ทั่วไป มันลดแรงดันสัญญาณรบกวนโดยการอัดกระแสที่มีขนาดเท่ากันและชั่วตรงข้ามไปยังกระแส
 รั่วไหลที่เกิดจากอุปกรณ์สวิตชิงซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนตามการทำงานของมัน สิ่งนี้ไม่ได้มี
 ผลกับค่าเฉลี่ย (AV) เท่านั้น แต่ยังรวมถึงค่า quasi-peak (QP) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของรูป
 คลื่นสัญญาณรบกวนจะถูกติดตาม วิธีที่สองใช้สัญญาณควบคุมที่มีสเปกตรัมเพกตรัม การประยุกต์ใช้ส
 เปกตรัมเพกตรัมสำหรับ PFC นั้นได้ผลตามปกติสำหรับค่า AV เท่านั้น แต่บทความนี้แสดงเงื่อนไขที่

จำเป็นเพื่อให้มีผลกับค่า QP ด้วย การรวมกันของวิธีการเหล่านี้ได้รับการยืนยันว่าสามารถลดสัญญาณรบกวนที่นำไฟฟ้าได้ประมาณ 30 dB ในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 1 MHz ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อขนาดของตัวกรอง EMI นี้เท่ากับการลดทอนที่ได้จากสเตจตัวกรอง LC เดียว



บทที่ 3

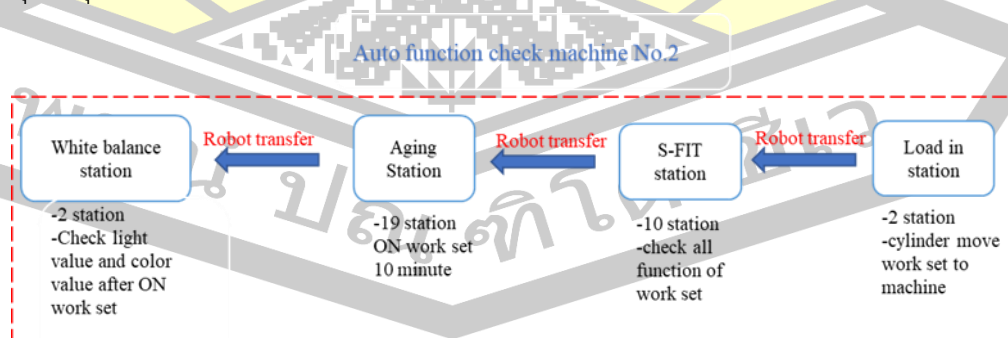
วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการตรวจสอบฟังก์ชันต่างๆของผลิตภัณฑ์เครื่องรับสื่อดิจิตอลรุ่น A โดยเริ่มทำการวิเคราะห์ฟังก์ชันที่การตรวจสอบไม่ผ่านตามมาตรฐานกำหนดของผลิตภัณฑ์ จากนั้นนำปัญหามาทำการหาวิธีแก้ไข ในส่วนการวิเคราะห์ปัญหาได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 และบทที่ 2 ในบทนี้จะขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ซึ่งประกอบด้วยหัวข้อ

- 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย
- 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย
- 3.3 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

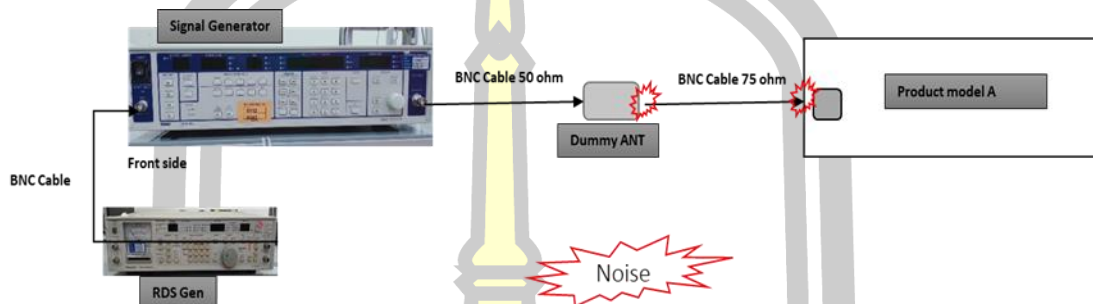
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

เนื่องงานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัญหาของเครื่อง Auto Function Check ซึ่งมีกระบวนการทั้งหมด ดังภาพประกอบที่ 21 โดยจะเริ่มนำผลิตภัณฑ์เข้าเครื่องที่กระบวนการใส่งาน (Load in) จากนั้นหุ่นยนต์จะมายับผลิตภัณฑ์ไปที่กระบวนการ SFIT ซึ่งเป็นการตรวจสอบฟังก์ชันต่างๆของผลิตภัณฑ์ จากนั้นหากผ่านการตรวจสอบ หุ่นยนต์จะมายับผลิตภัณฑ์จากกระบวนการ SFIT ไปที่กระบวนการ Aging ซึ่งเป็นกระบวนการจ่ายไฟให้กับผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเมื่อครบ 10 นาทีแล้ว หุ่นยนต์จะวิ่งมายับผลิตภัณฑ์ที่กระบวนการ Aging ไปที่กระบวนการ White balance ซึ่งเป็นกระบวนการตรวจสอบค่าแสงค่าสีของหน้าจอหลังจากที่ทำการจ่ายไฟให้กับผลิตภัณฑ์แล้วค่าผิดเพี้ยนไปจากมาตรฐานที่กำหนดของผลิตภัณฑ์หรือไม่ จากที่กล่าวมาในบทที่ 1 กระบวนการตรวจสอบฟังก์ชันต่างๆของผลิตภัณฑ์ (SFIT) พบปัญหางานเสียมากที่สุดในทุกกระบวนการ



ภาพประกอบที่ 21 กระบวนการของเครื่อง Auto function check

จึงได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นพบปัญหาเกี่ยวกับฟังก์ชันเกี่ยวกับคลื่น AM ซึ่งมีความไวต่อสัญญาณรบกวนภายนอก และทำการวิเคราะห์ว่ามีวิธีไหนที่จะช่วยให้การตรวจสอบฟังก์ชันเกี่ยวกับคลื่น AM มีความเสถียรมากขึ้นและไม่เกิดงานเสีย และได้ทำการวิเคราะห์พบพบว่าเกิดจากสายสัญญาณ FM AM ที่ต่อ ระหว่าง ตัวผลิตภัณฑ์ กับ เสาอากาศจำลอง (dummy antenna) และเครื่องกำเนิดความถี่ มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นดังภาพประกอบที่ 22

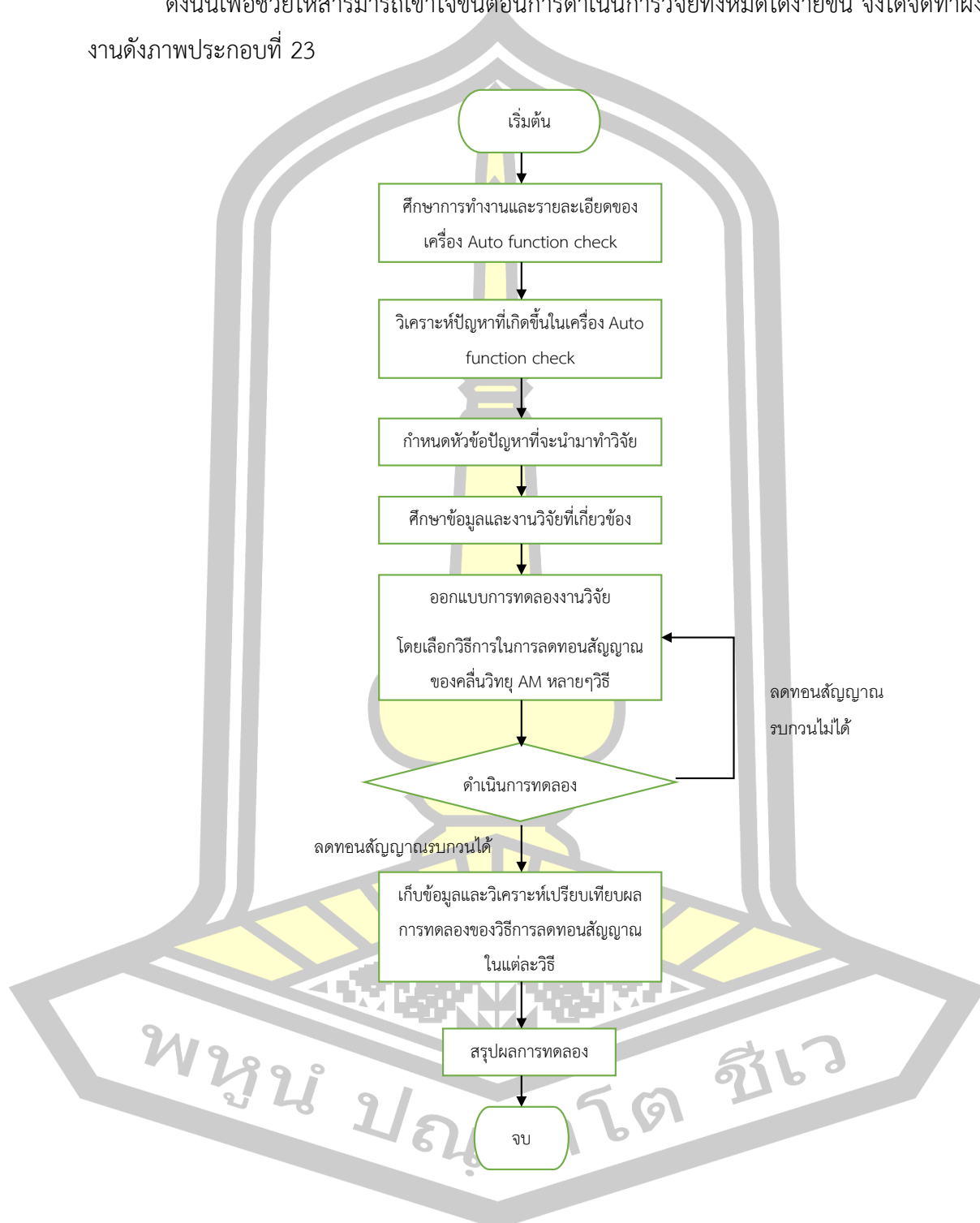


ภาพประกอบที่ 22 การเกิดสัญญาณรบกวนในสายที่ต่อเข้ากับผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์

เนื่องจากฟังก์ชันที่เกิดปัญหาคือ ฟังก์ชัน AM Interstation noise เป็นฟังก์ชันที่ตรวจสอบสัญญาณรบกวนของคลื่นวิทยุ AM ที่ตัวผลิตภัณฑ์ปล่อยออกมา และอีกหนึ่งฟังก์ชันคือ AM 1000 kHz Usable Sens เป็นฟังก์ชันที่ใช้ตรวจสอบความไวในการรับสัญญาณวิทยุคลื่น AM จึงไม่สามารถต่อตัวกรองสัญญาณเข้ากับสาย BNC ได้เพราะจะทำให้ไม่สามารถวัดสัญญาณรบกวนที่ผลิตภัณฑ์ปล่อยออกมาได้ ในการทำการวิจัยจึงจะใช้วิธีการชีลด์ (Shielding) และวิธีการกราวด์ (Grounding) ในการทำวิจัย

พูน ปณ จิโต ชีเว

ดังนั้นเพื่อช่วยให้สามารถเข้าใจขั้นตอนการดำเนินการวิจัยทั้งหมดได้ง่ายขึ้น จึงได้จัดทำผังงานดังภาพประกอบที่ 23



ภาพประกอบที่ 23 ขั้นตอนการทำวิจัย

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 เครื่อง Auto Function Check

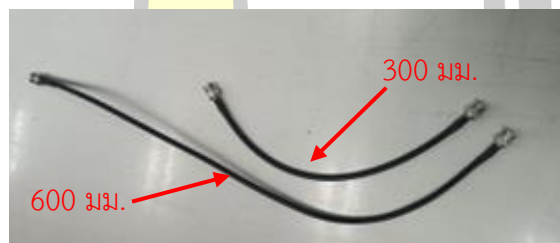
เครื่อง Auto Function Check เป็นเครื่องจิ๊กที่ใช้ในการตรวจสอบการทำงานต่างๆของผลิตภัณฑ์ โดยจะใช้สถานี SFIT ซึ่งเป็นสถานีที่ใช้ในการตรวจสอบฟังก์ชันต่างๆของผลิตภัณฑ์ในการทำวิจัย

Step	Step name	Result	Judge
57	MW Output Level at 74dBuV (R)	-8.0260	OK
58	MW 999KHz Distortion (R)	0.2388	OK
60	MW Interstation Noise (R)	-26.937	OK
63	MW S/N Ratio (R)	-64.042	OK
	Complete OK	MIC stop	

ภาพประกอบที่ 24 ตัวอย่างโปรแกรมตรวจสอบฟังก์ชันที่ใช้ในเครื่อง Auto Function Check

3.2.2 สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม. และ 600 มม.

เป็นสายที่ใช้เชื่อมต่อผลิตภัณฑ์กับเสาอากาศจำลอง (Dummy Antenna) และ เครื่องกำเนิดความถี่



ภาพประกอบที่ 25 สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม. และ 600 มม.

3.2.3 แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite core)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบวิธีการชีลด์ (Shielding) คุณสมบัติของแกนเฟอร์ไรต์คือ มีลักษณะโครงสร้างแบบใช้หนีบกับสายสัญญาณ ทำให้ง่ายต่อการติดตั้ง มีขนาด 20 มม. x 25 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5 มม. สามารถลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในสายสัญญาณได้โดยไม่ต้องตัดสาย อีกทั้งยังสามารถลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากแหล่งกระตุ้นภายนอก เช่น ไฟฟ้าสถิตย์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้อีกด้วย มีอิมพีแดนซ์อยู่ที่ 50 โอห์ม ที่ความถี่ 10-100 เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz) และ 100 โอห์ม ที่ความถี่ 100-500 เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz)



ภาพประกอบที่ 26 แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite core)

3.2.4 เทปทองแดง

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบวิธีกำบัง (Shielding) คุณสมบัติของเทปทองแดงคือ มีความหนา 0.05 มม. มีประสิทธิภาพการป้องกัน EMI มากกว่า 80 เดซิเบล (dB) มีความต้านทานที่พื้นผิว น้อยกว่า 0.05 โอห์ม



ภาพประกอบที่ 27 เทปทองแดง

3.2.4 สายกราวด์

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบวิธีกราวด์ (Grounding) มีขนาด 1.5 ตารางมิลลิเมตร ทนแรงดันสูงสุด 450 โวลต์ ทนอุณหภูมิสูงสุด 70 องศาเซลเซียส ทนกระแสสูงสุด 21 แอมแปร์



ภาพประกอบที่ 28 สายกราวด์

3.2.4 Microsoft Excel

Microsoft Excel เป็นโปรแกรมทางด้านตารางคำนวณหรือที่เรียกว่า สเปรดชีต (Spreadsheet) เป็นโปรแกรมในชุด Microsoft Office มีความสามารถในการสร้างตาราง การคำนวณ การวิเคราะห์ รายงานในรูปแบบตารางและกราฟ



EXCEL

ภาพประกอบที่ 29 Microsoft Excel

3.3 วิธีการเก็บข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดสอบดังนี้

3.3.1 การเก็บผลการวิจัย

ในการทดสอบจะทำการเก็บข้อมูลในการวัดฟังก์ชันผลิตภัณฑ์ทั้งสองฟังก์ชัน คือ AM 1000 kHz Usable Sens และ AM Interstation noise แต่เนื่องจาก ฟังก์ชัน AM Interstation noise มีการวัดค่า 2 ฟังก์ชันคือ AM Interstation noise L และ AM Interstation noise R ดังนั้นฟังก์ชันที่จะเก็บข้อมูลจึงมีทั้งหมด 3 ฟังก์ชัน โดยการทดสอบจะใช้ผลิตภัณฑ์ รุ่น A (Model A) จำนวน 30 ตัว ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการเก็บข้อมูลค่าฟังก์ชันก่อนการลดสัญญาณรบกวน เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงเปรียบเทียบกับหลังการลดสัญญาณรบกวน ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลค่าฟังก์ชันโดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์มต่อเข้ากับผลิตภัณฑ์กับเสาอากาศจำลอง (Dummy Antenna) ทั้งสายความยาว 300 มม. และ 600 มม. เนื่องจากในกระบวนการตรวจสอบฟังก์ชันมีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน



ภาพประกอบที่ 30 สาย BNC RG59 75 โอห์มก่อนลดสัญญาณรบกวน

2. การลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 1 จะใช้วิธีการชีลด์ (Shielding) โดยใช้แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core) หุ้มที่สาย BNC RG59 75 โอห์ม ทำการเก็บข้อมูลค่าฟังก์ชันทั้งสายความยาว 300 มม. และ 600 มม.



ภาพประกอบที่ 31 สาย BNC RG59 75 โอห์ม การลดสัญญาณรบกวนวิธีที่ 1

3. การลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 2 จะใช้วิธีการชีลด์ (Shielding) โดยใช้เทปทองแดง หุ้มที่สาย BNC RG59 75 โอห์ม ทำการเก็บข้อมูลค่าฟังก์ชันทั้งสายความยาว 300 มม. และ 600 มม.



ภาพประกอบที่ 32 สาย BNC RG59 75 โอห์ม การลดสัญญาณรบกวนวิธีที่ 2

4. การลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 3 จะใช้วิธีการกราวด์ (Grounding) โดยทำการต่อสายกราวด์จากกราวด์ สาย BNC RG59 75 โอห์ม เข้ากับ แจ็คเสอาอากาศ ทำการเก็บข้อมูลค่าฟังก์ชันทั้งสายความยาว 300 มม. และ 600 มม.



ภาพประกอบที่ 33 สาย BNC RG59 75 โอห์ม การลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 3

5. การลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 4 จะใช้วิธีการกราวด์ (Grounding) ร่วมกับวิธีการชีลด์ (Shielding) โดยทำการต่อสายกราวด์จากกราวด์ สาย BNC RG59 75 โอห์ม เข้ากับ แจ็คเสอาอากาศ และใช้แกนเฟอร์ไรต์หุ้มที่สาย BNC RG59 75 โอห์ม ทำการเก็บข้อมูลค่าฟังก์ชันทั้งสายความยาว 300 มม. และ 600 มม.



ภาพประกอบที่ 34 สาย BNC RG59 75 โอห์ม การลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 4

6. การลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 5 จะใช้วิธีการกราวด์ (Grounding) ร่วมกับวิธีการชีลด์ (Shielding) โดยทำการต่อสายกราวด์จากกราวด์ สาย BNC RG59 75 โอห์ม เข้ากับ แจ็คเสอาอากาศ และใช้เทปทองแดงหุ้มที่สาย BNC RG59 75 โอห์ม ทำการเก็บข้อมูลค่าฟังก์ชันทั้งสายความยาว 300 มม. และ 600 มม.



ภาพประกอบที่ 35 สาย BNC RG59 75 โอห์ม การลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 5

6. การลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 6 จะใช้วิธีการกราวด์ (Grounding) ร่วมกับวิธีการชีลด์ (Shielding) โดยทำการต่อสายกราวด์จากกราวด์ สาย BNC RG59 75 โอห์ม เข้ากับ แจ็คเสอาอากาศ และใช้แกนเฟอร์ไรต์กับเทปทองแดงหุ้มที่สาย BNC RG59 75 โอห์ม ทำการเก็บข้อมูลค่าฟังก์ชันทั้งสายความยาว 300 มม. และ 600 มม.



ภาพประกอบที่ 36 สาย BNC RG59 75 โอห์ม การลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 6

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้ จะกล่าวถึงผลการดำเนินการงานวิจัย โดยเริ่มจาก ผลการเก็บข้อมูลค่าฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ก่อนการลดสัญญาณรบกวนโดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ทั้งสายความยาว 300 มม. และ 600 มม. จากนั้นจะทำการเก็บข้อมูลของการวิธีการลดสัญญาณรบกวนแต่ละวิธี แล้วนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานกำหนดของผลิตภัณฑ์ และค่าฟังก์ชันก่อนลดสัญญาณรบกวน ในบทนี้ จะนำเสนอเนื้อหา ในส่วนผลการดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้

4.1 ผลการเก็บข้อมูลฟังก์ชันแต่ละวิธี

4.2 ผลการเปรียบเทียบฟังก์ชันแต่ละฟังก์ชัน

4.3 สรุปผลการเปรียบเทียบวิธีการลดสัญญาณรบกวนแต่ละวิธี

4.1 ผลการเก็บข้อมูลฟังก์ชันแต่ละวิธีการ

4.1.1 ผลการเก็บข้อมูลฟังก์ชันก่อนการลดสัญญาณรบกวน

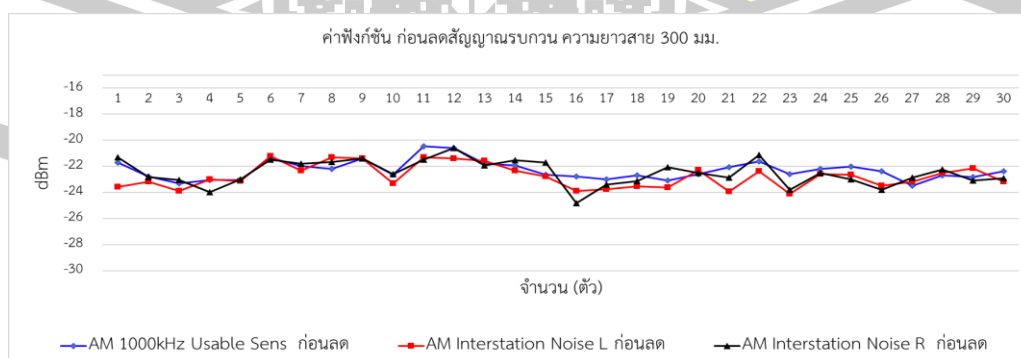
1. ผลการเก็บข้อมูลฟังก์ชันก่อนการลดสัญญาณรบกวน โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม. เนื่องจาก เป็นสายที่มีความยาวที่สั้นทำให้สาย BNC RG59 75 โอห์มที่ต่อจากผลิตภัณฑ์เข้ากับเสาอากาศจำลอง (Dummy Antenna) มีการดิ่งรังเกิดขึ้นเมื่อทำการตรวจสอบฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ ทำให้มีค่าข้อมูลฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์หลายตัวที่ไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนดของผลิตภัณฑ์ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าฟังก์ชันก่อนการลดสัญญาณรบกวนโดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
ความยาว	300 มม.	300 มม.	300 มม.
มาตรฐานกำหนด	-21.00	-23.00	-23.00
ค่าเฉลี่ย	-22.31	-22.77	-22.48
ผลต่างจากมาตรฐาน	-1.31	0.23	0.52
1	-21.73	-23.58	-21.32
2	-22.76	-23.16	-22.81
3	-23.32	-23.91	-23.06
4	-23.03	-22.98	-23.96
5	-23.04	-23.15	-23.00
6	-21.35	-21.20	-21.47
7	-21.96	-22.32	-21.80

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
8	-22.19	-21.29	-21.65
9	-21.41	-21.39	-21.41
10	-22.63	-23.29	-22.60
11	-20.44	-21.32	-21.51
12	-20.58	-21.40	-20.60
13	-21.78	-21.59	-21.94
14	-21.91	-22.32	-21.52
15	-22.64	-22.78	-21.72
16	-22.78	-23.91	-24.81
17	-23.01	-23.74	-23.40
18	-22.69	-23.55	-23.11
19	-23.11	-23.61	-22.08
20	-22.62	-22.28	-22.50
21	-22.06	-23.93	-22.87
22	-21.62	-22.36	-21.15
23	-22.58	-24.09	-23.79
24	-22.20	-22.60	-22.51
25	-22.04	-22.64	-23.00
26	-22.39	-23.51	-23.80
27	-23.48	-23.16	-22.88
28	-22.69	-22.53	-22.24
29	-22.81	-22.17	-23.10
30	-22.39	-23.19	-22.89

*ผลต่างจากมาตรฐาน = ค่าเฉลี่ย - มาตรฐานกำหนด



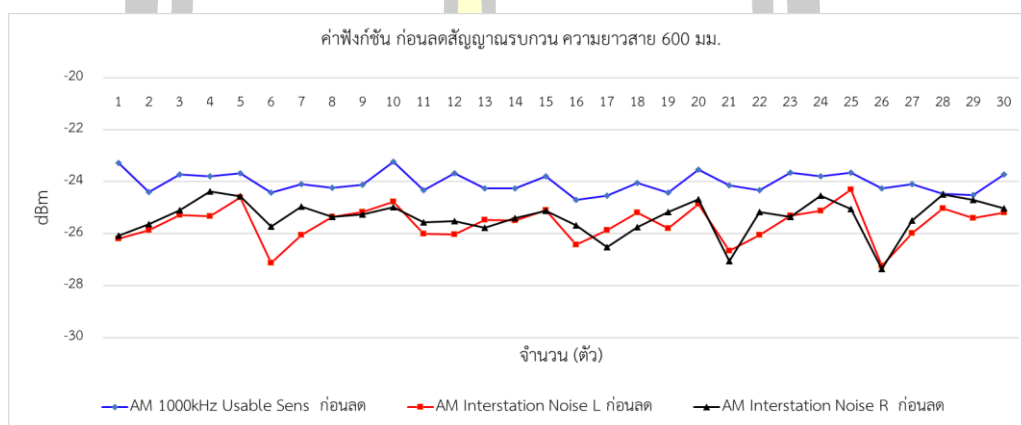
ภาพประกอบที่ 37 ค่าฟังก์ชัน ก่อนลดสัญญาณรบกวน ความยาวสาย 300 มม.

2. ผลการเก็บข้อมูลฟังก์ชันก่อนการลดสัญญาณรบกวน โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม. ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าฟังก์ชันก่อนการลดสัญญาณรบกวนโดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
ความยาว	600 มม.	600 มม.	600 มม.
มาตรฐานกำหนด	-21.00	-23.00	-23.00
ค่าเฉลี่ย	-24.04	-25.61	-25.38
ผลต่างจากมาตรฐาน	-3.04	-2.61	-2.38
1	-23.28	-26.19	-26.08
2	-24.41	-25.87	-25.63
3	-23.72	-25.28	-25.11
4	-23.8	-25.32	-24.37
5	-23.67	-24.62	-24.56
6	-24.43	-27.14	-25.72
7	-24.09	-26.07	-24.95
8	-24.24	-25.35	-25.36
9	-24.11	-25.18	-25.27
10	-23.24	-24.77	-24.97
11	-24.33	-26.01	-25.57
12	-23.68	-26.04	-25.53
13	-24.26	-25.47	-25.78
14	-24.25	-25.50	-25.40
15	-23.80	-25.10	-25.11
16	-24.70	-26.42	-25.68
17	-24.55	-25.87	-26.53
18	-24.06	-25.18	-25.75
19	-24.42	-25.80	-25.17
20	-23.54	-24.88	-24.67
21	-24.14	-26.65	-27.06
22	-24.34	-26.06	-25.18
23	-23.65	-25.31	-25.35
24	-23.79	-25.12	-24.55
25	-23.66	-24.31	-25.06

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
26	-24.26	-27.24	-27.35
27	-24.09	-25.99	-25.50
28	-24.46	-25.02	-24.49
29	-24.51	-25.41	-24.70
30	-23.73	-25.20	-25.03



ภาพประกอบที่ 38 ค่าฟังก์ชัน ก่อนลดสัญญาณรบกวน ความยาวสาย 600 มม.

4.1.2 ผลการเก็บข้อมูลฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวน วิธีการที่ 1

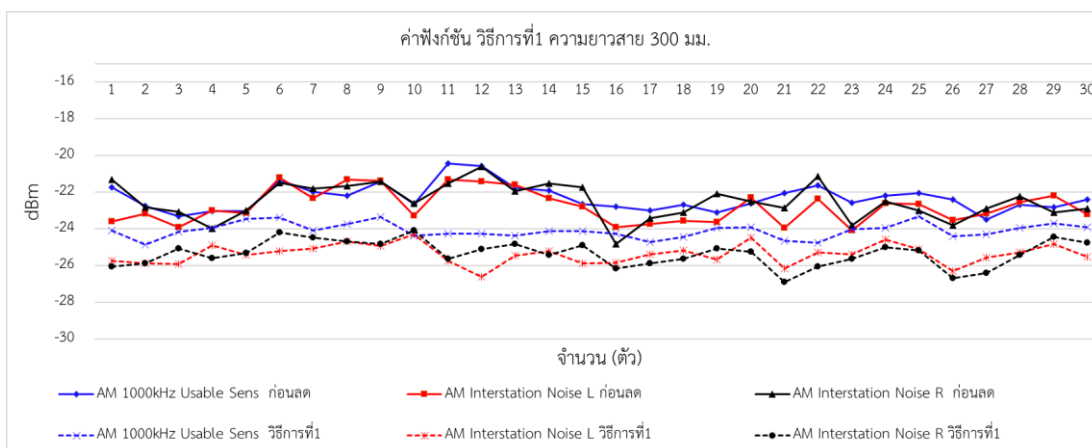
1. การลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 1 จะใช้วิธีการชีลด์ (Shielding) โดยใช้แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core) หุ้มที่สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม. จะได้ค่าข้อมูลฟังก์ชันดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 1 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
ความยาว	300 มม.	300 มม.	300 มม.
มาตรฐานกำหนด	-21.00	-23.00	-23.00
ค่าเฉลี่ย	-24.09	-25.38	-25.35
ผลต่างจากมาตรฐาน	-3.09	-2.38	-2.35
ผลต่างจากค่าอ้างอิง*	-1.78	-2.61	-2.86
1	-24.09	-25.75	-26.05
2	-24.86	-25.86	-25.88
3	-24.16	-25.90	-25.07

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
4	-23.94	-24.87	-25.59
5	-23.46	-25.42	-25.32
6	-23.38	-25.22	-24.18
7	-24.09	-25.05	-24.48
8	-23.72	-24.68	-24.68
9	-23.34	-24.94	-24.84
10	-24.35	-24.31	-24.07
11	-24.26	-25.75	-25.62
12	-24.27	-26.60	-25.11
13	-24.35	-25.44	-24.83
14	-24.11	-25.21	-25.42
15	-24.12	-25.89	-24.88
16	-24.25	-25.85	-26.16
17	-24.70	-25.40	-25.86
18	-24.45	-25.16	-25.65
19	-23.93	-25.66	-25.08
20	-23.91	-24.46	-25.26
21	-24.66	-26.14	-26.91
22	-24.76	-25.29	-26.05
23	-24.01	-25.38	-25.62
24	-23.95	-24.59	-24.99
25	-23.31	-25.12	-25.16
26	-24.39	-26.28	-26.69
27	-24.29	-25.56	-26.40
28	-23.95	-25.26	-25.43
29	-23.69	-24.81	-24.44
30	-23.91	-25.52	-24.74

*ผลต่างจากค่าอ้างอิง = ค่าเฉลี่ย - ค่าเฉลี่ยก่อนลดสัญญาณรบกวน



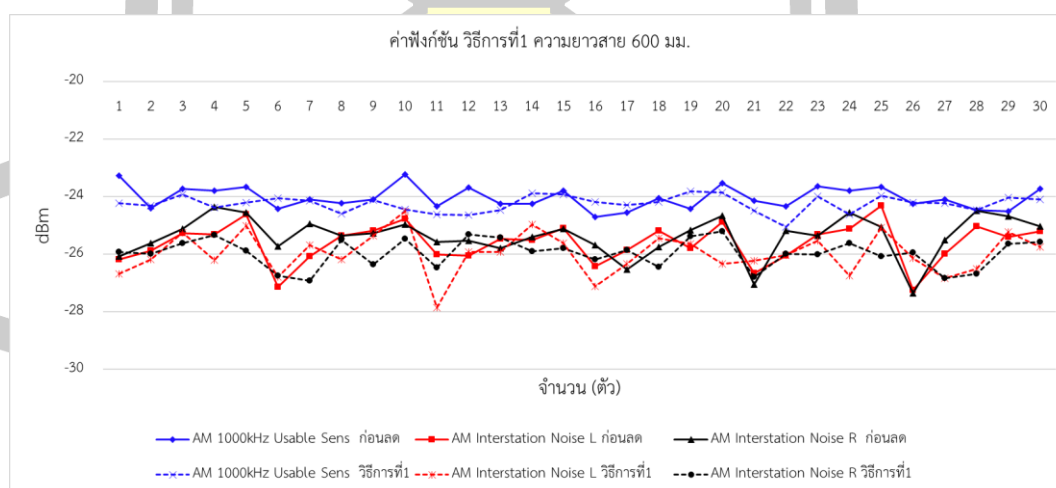
ภาพประกอบที่ 39 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 1 เทียบกับก่อนลดสัญญาณรบกวน ความยาวสาย 300 มม.

2. การลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 1 จะใช้วิธีการชีลด์ (Shielding) โดยใช้แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core) หุ้มที่สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม. จะได้ค่าข้อมูลฟังก์ชัน ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 1 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
ความยาว	600 มม.	600 มม.	600 มม.
มาตรฐานกำหนด	-21.00	-23.00	-23.00
ค่าเฉลี่ย	-24.25	-25.97	-25.97
ผลต่างจากมาตรฐาน	-3.25	-2.97	-2.97
ผลต่างจากค่าอ้างอิง	-0.21	-0.36	-0.58
1	-24.24	-26.68	-25.92
2	-24.32	-26.17	-25.98
3	-23.92	-25.24	-25.62
4	-24.38	-26.21	-25.33
5	-24.21	-25.02	-25.89
6	-24.05	-26.79	-26.74
7	-24.14	-25.68	-26.93
8	-24.60	-26.19	-25.52
9	-24.13	-25.36	-26.36
10	-24.45	-24.51	-25.47

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
11	-24.61	-27.86	-26.47
12	-24.64	-25.92	-25.32
13	-24.46	-25.92	-25.43
14	-23.89	-24.96	-25.91
15	-23.92	-25.61	-25.80
16	-24.18	-27.12	-26.18
17	-24.30	-26.33	-25.85
18	-24.19	-25.45	-26.44
19	-23.82	-25.63	-25.39
20	-23.87	-26.33	-25.21
21	-24.48	-26.22	-26.79
22	-25.05	-26.04	-26.00
23	-24.00	-25.54	-26.02
24	-24.62	-26.75	-25.62
25	-23.96	-25.08	-26.07
26	-24.20	-26.13	-25.94
27	-24.24	-26.84	-26.84
28	-24.47	-26.51	-26.69
29	-24.03	-25.22	-25.65
30	-24.11	-25.75	-25.58



ภาพประกอบที่ 40 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 1 เทียบกับก่อนลดสัญญาณรบกวน ความยาวสาย 600 มม.

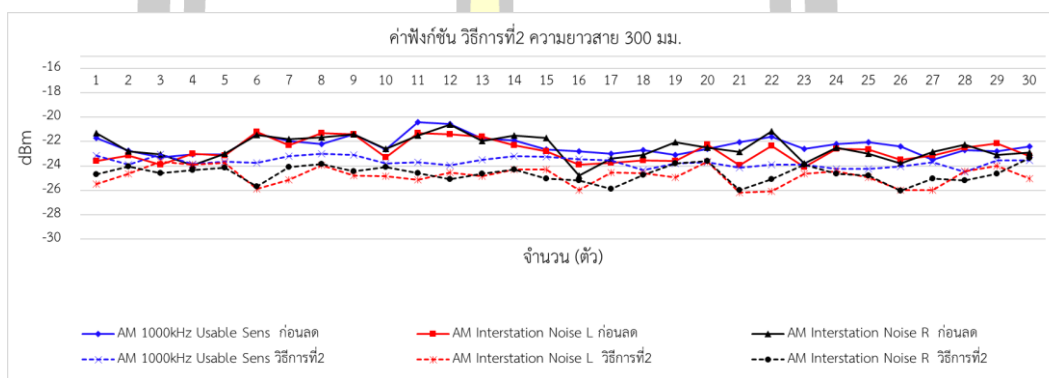
4.1.3 ผลการเก็บข้อมูลฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวน วิธีการที่ 2

1. การลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 2 จะใช้วิธีการชีลด์ (Shielding) โดยใช้เทปทองแดงหุ้มที่สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม. จะได้ค่าข้อมูลฟังก์ชัน ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 2 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
ความยาว	300 มม.	300 มม.	300 มม.
มาตรฐานกำหนด	-21.00	-23.00	-23.00
ค่าเฉลี่ย	-23.69	-24.82	-24.65
ผลต่างจากมาตรฐาน	-2.69	-1.82	-1.65
ผลต่างจากค่าอ้างอิง	-1.38	-2.06	-2.17
1	-23.14	-25.51	-24.67
2	-23.92	-24.66	-24.03
3	-23.03	-23.65	-24.58
4	-23.85	-23.90	-24.35
5	-23.65	-23.76	-24.13
6	-23.74	-25.88	-25.70
7	-23.19	-25.16	-24.09
8	-23.02	-23.92	-23.86
9	-23.12	-24.78	-24.46
10	-23.81	-24.85	-24.11
11	-23.69	-25.16	-24.60
12	-23.96	-24.53	-25.08
13	-23.50	-24.87	-24.62
14	-23.19	-24.29	-24.31
15	-23.26	-24.31	-25.03
16	-23.44	-25.97	-25.21
17	-23.55	-24.53	-25.91
18	-24.33	-24.59	-24.77
19	-23.79	-24.96	-23.80
20	-23.72	-23.63	-23.58
21	-24.13	-26.18	-25.97
22	-23.89	-26.09	-25.08
23	-23.91	-24.65	-23.89

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
24	-24.25	-24.47	-24.67
25	-24.27	-24.96	-24.77
26	-24.04	-25.97	-26.05
27	-23.72	-25.99	-25.03
28	-24.49	-24.46	-25.19
29	-23.57	-23.98	-24.66
30	-23.53	-25.05	-23.36



ภาพประกอบที่ 41 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 2 เทียบกับก่อนลดสัญญาณรบกวน ความยาวสาย 300 มม.

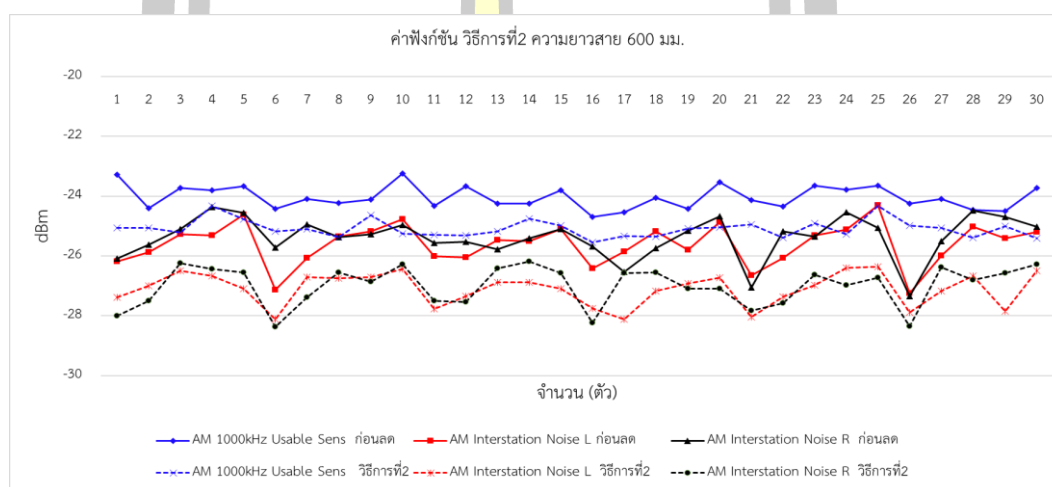


2. การลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 2 จะใช้วิธีการชีลด์ (Shielding) โดยใช้เทปทองแดง หุ้มที่สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม. จะได้ค่าข้อมูลฟังก์ชัน ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 2 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
ความยาว	600 มม.	600 มม.	600 มม.
มาตรฐานกำหนด	-21.00	-23.00	-23.00
ค่าเฉลี่ย	-25.09	-27.11	-27.00
ผลต่างจากมาตรฐาน	-4.09	-4.11	-4.00
ผลต่างจากค่าอ้างอิง	-1.05	-1.50	-1.62
1	-25.07	-27.39	-28.01
2	-25.06	-26.99	-27.50
3	-25.22	-26.50	-26.24
4	-24.32	-26.67	-26.43
5	-24.77	-27.09	-26.55
6	-25.18	-28.12	-28.37
7	-25.11	-26.71	-27.38
8	-25.37	-26.75	-26.55
9	-24.64	-26.70	-26.87
10	-25.26	-26.44	-26.29
11	-25.29	-27.77	-27.50
12	-25.32	-27.34	-27.55
13	-25.18	-26.87	-26.42
14	-24.76	-26.88	-26.18
15	-24.98	-27.09	-26.57
16	-25.54	-27.75	-28.24
17	-25.33	-28.13	-26.57
18	-25.35	-27.17	-26.55
19	-25.09	-26.93	-27.10
20	-25.04	-26.73	-27.09
21	-24.94	-28.05	-27.83
22	-25.40	-27.36	-27.58
23	-24.90	-26.99	-26.63
24	-25.28	-26.39	-26.98
25	-24.33	-26.37	-26.73

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
26	-24.98	-27.88	-28.35
27	-25.06	-27.18	-26.38
28	-25.39	-26.66	-26.81
29	-25.00	-27.85	-26.58
30	-25.41	-26.50	-26.29



ภาพประกอบที่ 42 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 2 เทียบกับก่อนลดสัญญาณรบกวน ความยาวสาย 600 มม.



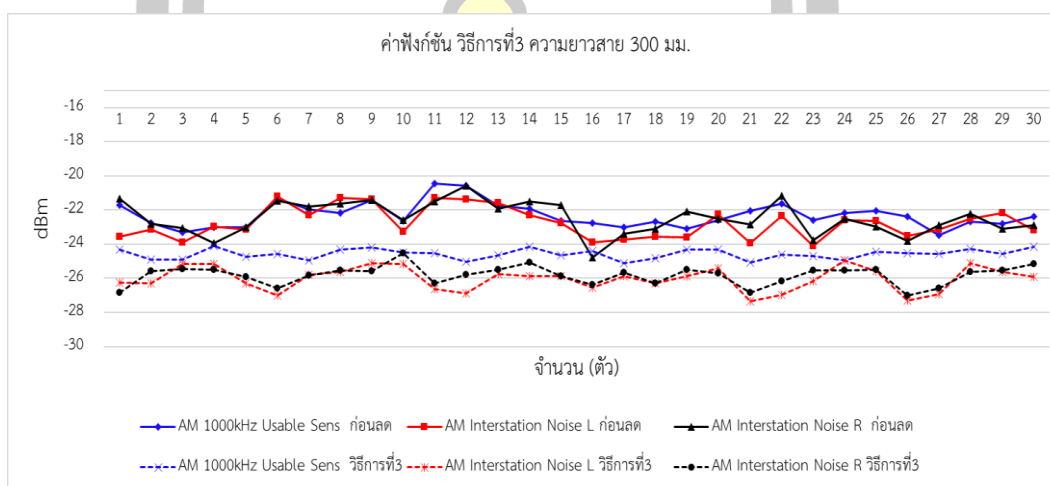
4.1.4 ผลการเก็บข้อมูลฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวน วิธีการที่ 3

1. การลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 3 จะใช้วิธีการกราวด์ (Grounding) โดยทำการต่อสายกราวด์จากกราวด์ สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม. เข้ากับ แจ็คเสาอากาศ จะได้ค่าข้อมูลฟังก์ชัน ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 3 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
ความยาว	300 มม.	300 มม.	300 มม.
มาตรฐานกำหนด	-21.00	-23.00	-23.00
ค่าเฉลี่ย	-24.58	-26.03	-25.83
ผลต่างจากมาตรฐาน	-3.58	-3.03	-2.83
ผลต่างจากค่าอ้างอิง	-2.27	-3.27	-3.35
1	-24.31	-26.24	-26.84
2	-24.92	-26.31	-25.60
3	-24.9	-25.17	-25.45
4	-24.12	-25.17	-25.49
5	-24.73	-26.28	-25.91
6	-24.56	-27.03	-26.61
7	-24.94	-25.79	-25.85
8	-24.34	-25.61	-25.52
9	-24.20	-25.14	-25.60
10	-24.48	-25.16	-24.53
11	-24.55	-26.64	-26.30
12	-25.04	-26.90	-25.80
13	-24.65	-25.77	-25.51
14	-24.14	-25.90	-25.08
15	-24.67	-25.89	-25.87
16	-24.42	-26.56	-26.39
17	-25.12	-25.88	-25.68
18	-24.82	-26.31	-26.28
19	-24.31	-25.88	-25.49
20	-24.32	-25.42	-25.71
21	-25.08	-27.34	-26.83
22	-24.61	-26.97	-26.17

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
23	-24.69	-26.15	-25.54
24	-24.97	-24.95	-25.53
25	-24.45	-25.59	-25.50
26	-24.55	-27.33	-27.00
27	-24.59	-26.93	-26.59
28	-24.29	-25.11	-25.64
29	-24.56	-25.64	-25.52
30	-24.14	-25.92	-25.16



ภาพประกอบที่ 43 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 3 เทียบกับก่อนลดสัญญาณรบกวน ความยาวสาย 300 มม.

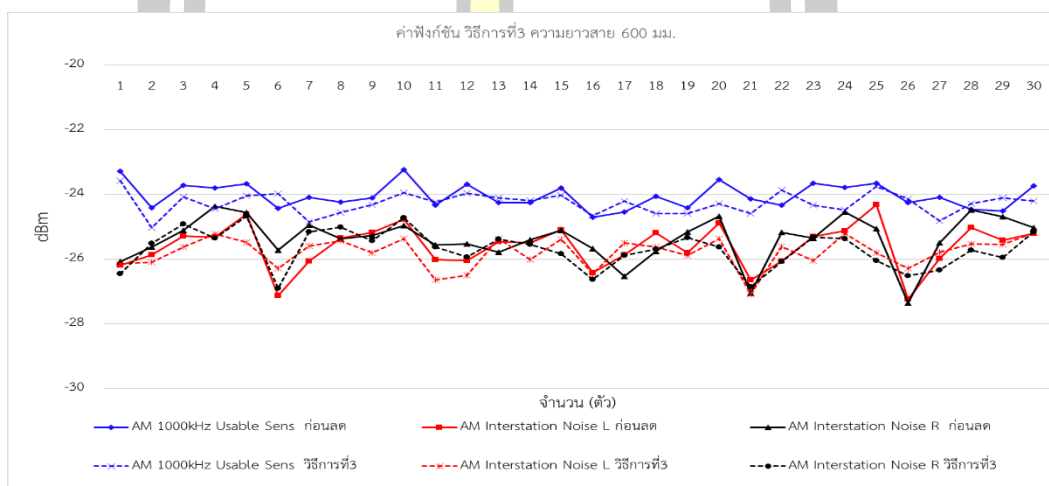


2. การลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 3 จะใช้วิธีการกราวด์ (Grounding) โดยทำการต่อสายกราวด์จากกราวด์ สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม. เข้ากับ แจ็คเสอาอากาศ จะได้ค่าข้อมูลฟังก์ชัน ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 3 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
ความยาว	600 มม.	600 มม.	600 มม.
มาตรฐานกำหนด	-21.00	-23.00	-23.00
ค่าเฉลี่ย	-24.27	-25.80	-25.70
ผลต่างจากมาตรฐาน	-3.27	-2.80	-2.70
ผลต่างจากค่าอ้างอิง	-0.23	-0.18	-0.32
1	-23.57	-26.14	-26.46
2	-25.03	-26.10	-25.51
3	-24.08	-25.62	-24.91
4	-24.45	-25.22	-25.36
5	-24.05	-25.49	-24.68
6	-23.98	-26.29	-26.90
7	-24.85	-25.59	-25.16
8	-24.56	-25.43	-25.02
9	-24.31	-25.80	-25.44
10	-23.94	-25.37	-24.73
11	-24.23	-26.65	-25.63
12	-23.96	-26.50	-25.94
13	-24.10	-25.37	-25.38
14	-24.19	-26.01	-25.55
15	-24.03	-25.39	-25.84
16	-24.65	-26.45	-26.64
17	-24.21	-25.49	-25.88
18	-24.60	-25.63	-25.69
19	-24.59	-25.89	-25.33
20	-24.28	-25.37	-25.63
21	-24.59	-27.09	-26.85
22	-23.86	-25.61	-26.07
23	-24.33	-26.05	-25.32

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
24	-24.48	-25.20	-25.37
25	-23.75	-25.81	-26.05
26	-24.14	-26.29	-26.51
27	-24.82	-25.79	-26.34
28	-24.28	-25.54	-25.72
29	-24.11	-25.54	-25.96
30	-24.20	-25.20	-25.16



ภาพประกอบที่ 44 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 3 เทียบกับก่อนลดสัญญาณรบกวน ความยาวสาย 600 มม.



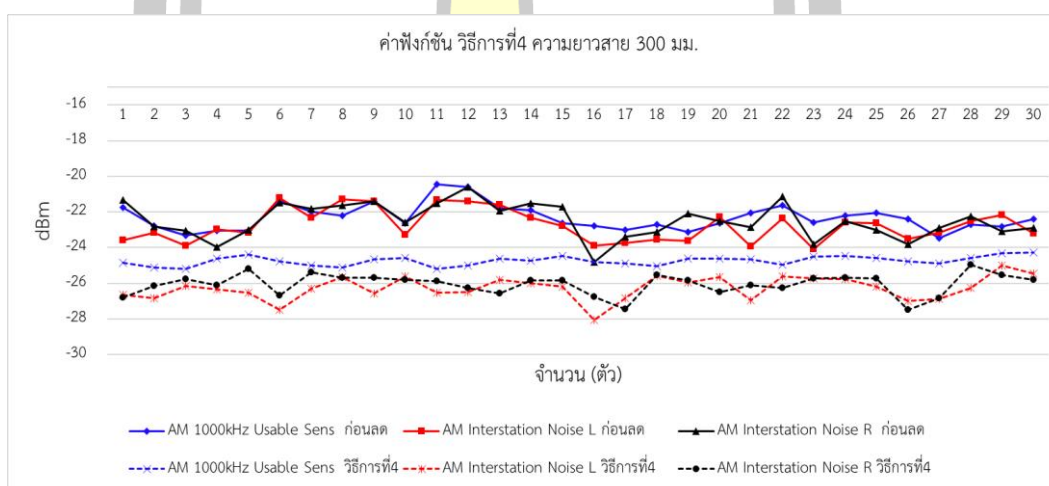
4.1.5 ผลการเก็บข้อมูลฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวน วิธีการที่ 4

1. การลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 4 จะใช้วิธีการกราวด์ (Grounding) ร่วมกับวิธีการชีลด์ (Shielding) โดยทำการต่อสายกราวด์จากกราวด์ สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม. เข้ากับ แจ็คเสาอากาศ และใช้แกนเฟอร์ไรต์หุ้มที่สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม. จะได้ค่าข้อมูลฟังก์ชัน ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 4 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
ความยาว	300 มม.	300 มม.	300 มม.
มาตรฐานกำหนด	-21.00	-23.00	-23.00
ค่าเฉลี่ย	-24.74	-26.27	-26.06
ผลต่างจากมาตรฐาน	-3.74	-3.27	-3.06
ผลต่างจากค่าอ้างอิง	-2.43	-3.50	-3.57
1	-24.84	-26.65	-26.78
2	-25.11	-26.85	-26.15
3	-25.19	-26.14	-25.74
4	-24.63	-26.32	-26.09
5	-24.38	-26.54	-25.18
6	-24.75	-27.48	-26.69
7	-25.01	-26.32	-25.37
8	-25.13	-25.66	-25.68
9	-24.65	-26.56	-25.69
10	-24.56	-25.61	-25.78
11	-25.19	-26.53	-25.88
12	-24.98	-26.50	-26.26
13	-24.62	-25.81	-26.56
14	-24.74	-26.00	-25.82
15	-24.46	-26.19	-25.84
16	-24.82	-28.04	-26.76
17	-24.88	-26.83	-27.43
18	-25.02	-25.57	-25.54
19	-24.61	-25.95	-25.86
20	-24.60	-25.65	-26.50

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
21	-24.65	-26.95	-26.11
22	-24.95	-25.63	-26.25
23	-24.51	-25.71	-25.74
24	-24.46	-25.77	-25.70
25	-24.59	-26.18	-25.72
26	-24.77	-27.00	-27.48
27	-24.87	-26.88	-26.85
28	-24.56	-26.26	-24.95
29	-24.32	-25.00	-25.52
30	-24.28	-25.47	-25.82



ภาพประกอบที่ 45 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 4 เทียบกับก่อนลดสัญญาณรบกวน ความยาวสาย 300 มม.

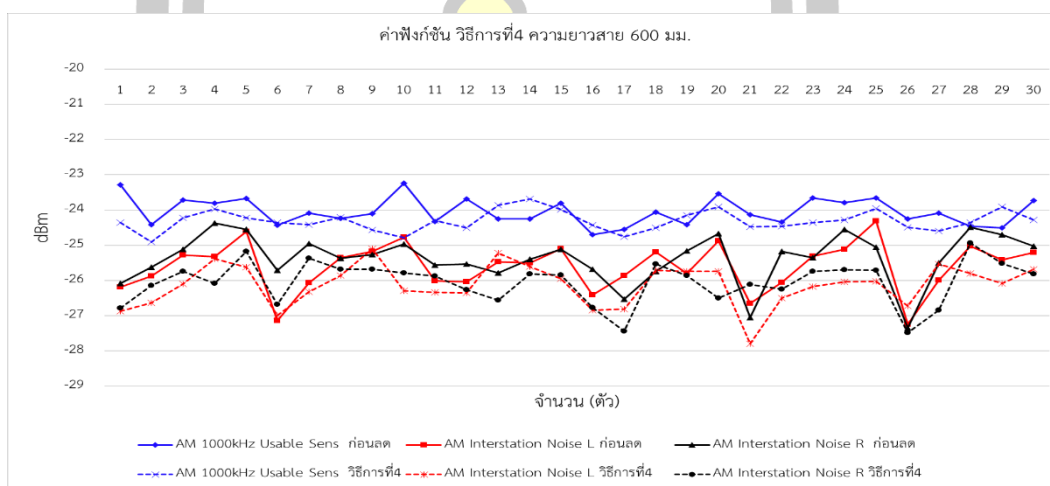


2. การลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 4 จะใช้วิธีการกราวด์ (Grounding) ร่วมกับวิธีการชีลด์ (Shielding) โดยทำการต่อสายกราวด์จากกราวด์ สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม. เข้ากับ แจ็คเสาอากาศ และใช้แกนเฟอร์ไรต์หุ้มที่สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม. จะได้ค่าข้อมูลฟังก์ชัน ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 4 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
ความยาว	600 มม.	600 มม.	600 มม.
มาตรฐานกำหนด	-21.00	-23.00	-23.00
ค่าเฉลี่ย	-24.31	-26.13	-26.06
ผลต่างจากมาตรฐาน	-3.31	-3.13	-3.06
ผลต่างจากค่าอ้างอิง	-0.27	-0.52	-0.67
1	-24.35	-26.88	-26.78
2	-24.91	-26.64	-26.15
3	-24.23	-26.10	-25.74
4	-23.97	-25.39	-26.09
5	-24.22	-25.62	-25.18
6	-24.36	-26.99	-26.69
7	-24.42	-26.33	-25.37
8	-24.21	-25.86	-25.68
9	-24.57	-25.11	-25.69
10	-24.79	-26.29	-25.78
11	-24.30	-26.33	-25.88
12	-24.51	-26.35	-26.26
13	-23.87	-25.22	-26.56
14	-23.69	-25.61	-25.82
15	-23.99	-25.96	-25.84
16	-24.43	-26.84	-26.76
17	-24.76	-26.81	-27.43
18	-24.51	-25.72	-25.54
19	-24.15	-25.74	-25.86
20	-23.91	-25.74	-26.50
21	-24.48	-27.79	-26.11
22	-24.46	-26.51	-26.25

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
23	-24.36	-26.17	-25.74
24	-24.28	-26.04	-25.70
25	-23.95	-26.02	-25.72
26	-24.49	-26.72	-27.48
27	-24.59	-25.54	-26.85
28	-24.35	-25.81	-24.95
29	-23.91	-26.08	-25.52
30	-24.29	-25.68	-25.82



ภาพประกอบที่ 46 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 4 เทียบกับก่อนลดสัญญาณรบกวน ความยาวสาย 600 มม.



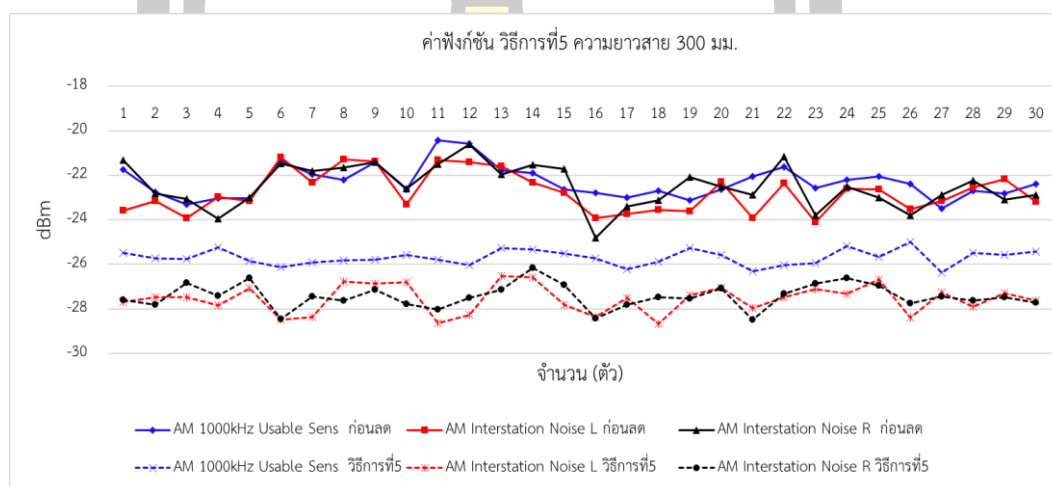
4.1.6 ผลการเก็บข้อมูลฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวน วิธีการที่ 5

1. การลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 5 จะใช้วิธีการกราวด์ (Grounding) ร่วมกับวิธีการชีลด์ (Shielding) โดยทำการต่อสายกราวด์จากกราวด์ สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม. เข้ากับ แจ็คเสาอากาศ และใช้เทปทองแดงหุ้มที่สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม. จะได้ค่าข้อมูลฟังก์ชัน ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 5 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
ความยาว	300 มม.	300 มม.	300 มม.
มาตรฐานกำหนด	-21.00	-23.00	-23.00
ค่าเฉลี่ย	-25.69	-27.55	-27.43
ผลต่างจากมาตรฐาน	-4.69	-4.55	-4.43
ผลต่างจากค่าอ้างอิง	-3.39	-4.78	-4.95
1	-25.49	-27.68	-27.58
2	-25.72	-27.46	-27.80
3	-25.75	-27.47	-26.82
4	-25.25	-27.83	-27.42
5	-25.86	-27.07	-26.61
6	-26.13	-28.47	-28.45
7	-25.92	-28.35	-27.44
8	-25.82	-26.75	-27.63
9	-25.79	-26.87	-27.14
10	-25.58	-26.79	-27.79
11	-25.78	-28.63	-28.03
12	-26.03	-28.28	-27.49
13	-25.26	-26.51	-27.12
14	-25.33	-26.58	-26.16
15	-25.50	-27.82	-26.92
16	-25.71	-28.36	-28.41
17	-26.21	-27.49	-27.79
18	-25.87	-28.68	-27.47
19	-25.27	-27.38	-27.53
20	-25.56	-27.03	-27.07
21	-26.31	-27.96	-28.48

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
22	-26.04	-27.48	-27.32
23	-25.94	-27.11	-26.86
24	-25.18	-27.33	-26.63
25	-25.67	-26.66	-26.96
26	-24.98	-28.39	-27.75
27	-26.37	-27.24	-27.42
28	-25.48	-27.89	-27.63
29	-25.58	-27.30	-27.48
30	-25.42	-27.62	-27.71



ภาพประกอบที่ 47 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 5 เทียบกับก่อนลดสัญญาณรบกวน ความยาวสาย 300 มม.

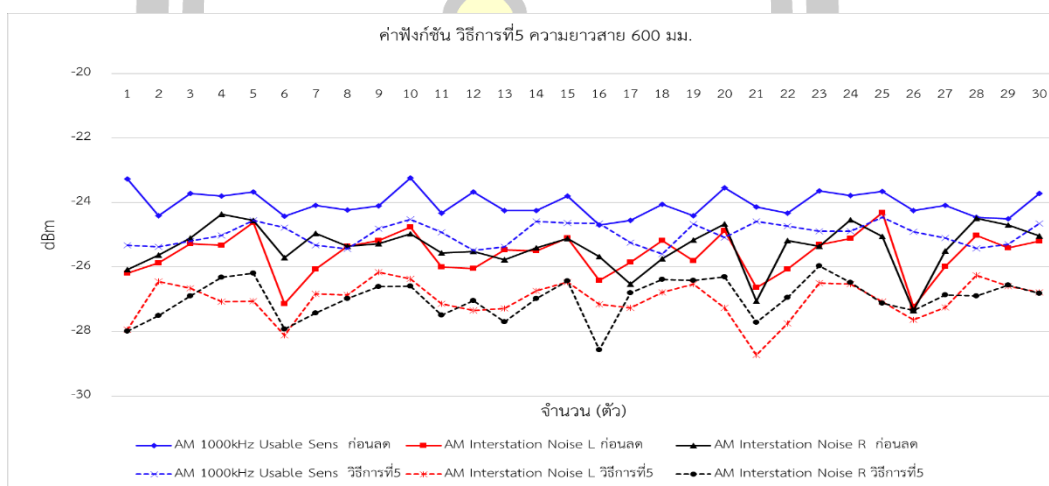


2. การลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 5 จะใช้วิธีการกราวด์ (Grounding) ร่วมกับวิธีการชีลด์ (Shielding) โดยทำการต่อสายกราวด์จากกราวด์ สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม. เข้ากับ แจ็คเสาอากาศ และใช้เทปทองแดงหุ้มที่สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม. จะได้ค่าข้อมูลฟังก์ชัน ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 5 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
ความยาว	600 มม.	600 มม.	600 มม.
มาตรฐานกำหนด	-21.00	-23.00	-23.00
ค่าเฉลี่ย	-24.99	-27.02	-26.98
ผลต่างจากมาตรฐาน	-3.99	-4.02	-3.98
ผลต่างจากค่าอ้างอิง	-0.95	-1.41	-1.60
1	-25.33	-27.94	-27.99
2	-25.37	-26.45	-27.51
3	-25.2	-26.66	-26.89
4	-25.02	-27.09	-26.33
5	-24.55	-27.07	-26.20
6	-24.79	-28.13	-27.93
7	-25.32	-26.84	-27.42
8	-25.44	-26.87	-26.99
9	-24.81	-26.17	-26.62
10	-24.53	-26.38	-26.59
11	-24.92	-27.14	-27.49
12	-25.49	-27.35	-27.04
13	-25.38	-27.28	-27.71
14	-24.59	-26.74	-26.99
15	-24.64	-26.47	-26.44
16	-24.66	-27.16	-28.57
17	-25.24	-27.27	-26.80
18	-25.60	-26.79	-26.40
19	-24.67	-26.53	-26.42
20	-25.09	-27.26	-26.31
21	-24.59	-28.72	-27.72
22	-24.74	-27.76	-26.95

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
23	-24.90	-26.49	-25.97
24	-24.89	-26.53	-26.48
25	-24.46	-27.07	-27.12
26	-24.91	-27.64	-27.35
27	-25.11	-27.25	-26.87
28	-25.42	-26.26	-26.89
29	-25.30	-26.60	-26.57
30	-24.65	-26.78	-26.82



ภาพประกอบที่ 48 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 5 เทียบกับก่อนลดสัญญาณรบกวน ความยาวสาย 600 มม.



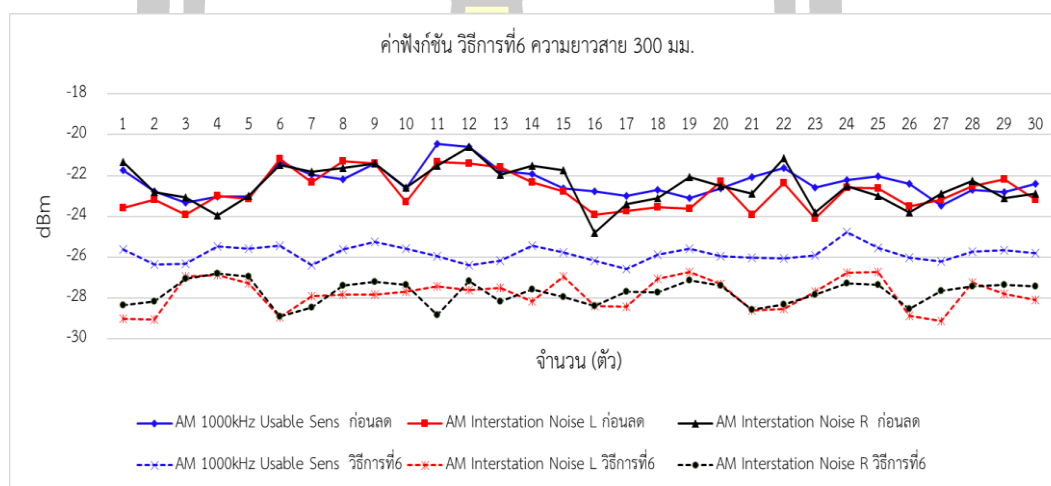
4.1.7 ผลการเก็บข้อมูลฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวน วิธีการที่ 6

1. การลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 6 จะใช้วิธีการกราวด์ (Grounding) ร่วมกับวิธีการชีลด์ (Shielding) โดยทำการต่อสายกราวด์จากกราวด์ สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม. เข้ากับ แจ็คเสาอากาศ และใช้แกนเฟอร์ไรต์กับเทปทองแดงหุ้มที่สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม. จะได้ค่าข้อมูลฟังก์ชัน ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 6 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
ความยาว	300 มม.	300 มม.	300 มม.
มาตรฐานกำหนด	-21.00	-23.00	-23.00
ค่าเฉลี่ย	-25.84	-27.81	-27.74
ผลต่างจากมาตรฐาน	-4.84	-4.81	-4.74
ผลต่างจากค่าอ้างอิง	-3.53	-5.05	-5.26
1	-25.63	-29.02	-28.33
2	-26.37	-29.07	-28.15
3	-26.31	-26.93	-27.04
4	-25.48	-26.86	-26.78
5	-25.59	-27.27	-26.93
6	-25.44	-28.92	-28.89
7	-26.41	-27.89	-28.45
8	-25.63	-27.83	-27.38
9	-25.26	-27.84	-27.22
10	-25.57	-27.69	-27.37
11	-25.94	-27.44	-28.83
12	-26.38	-27.59	-27.17
13	-26.16	-27.49	-28.15
14	-25.42	-28.18	-27.56
15	-25.76	-26.96	-27.94
16	-26.16	-28.39	-28.38
17	-26.56	-28.44	-27.67
18	-25.88	-27.06	-27.72
19	-25.57	-26.71	-27.12
20	-25.94	-27.33	-27.40
21	-26.03	-28.61	-28.56

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
22	-26.06	-28.53	-28.30
23	-25.91	-27.69	-27.84
24	-24.78	-26.78	-27.26
25	-25.55	-26.74	-27.35
26	-26.03	-28.87	-28.53
27	-26.22	-29.14	-27.66
28	-25.74	-27.23	-27.44
29	-25.67	-27.80	-27.36
30	-25.81	-28.07	-27.42



ภาพประกอบที่ 49 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 6 เทียบกับก่อนลดสัญญาณรบกวน ความยาวสาย 300 มม.

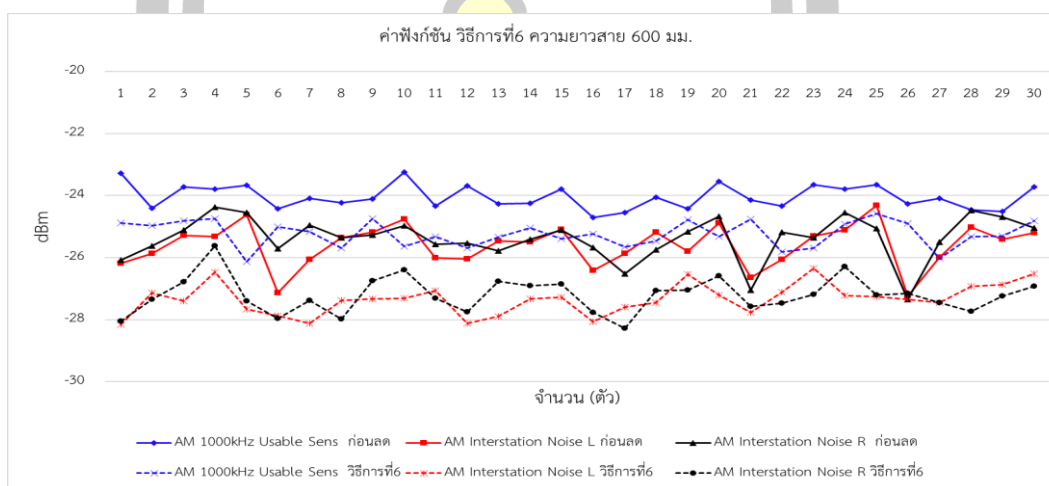


2. การลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 6 จะใช้วิธีการกราวด์ (Grounding) ร่วมกับวิธีการชีลด์ (Shielding) โดยทำการต่อสายกราวด์จากกราวด์ สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม. เข้ากับ แจ็คเสาอากาศ และใช้แกนเฟอร์ไรต์กับเทปทองแดงหุ้มที่สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม. จะได้ค่าข้อมูลฟังก์ชัน ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 6 โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
ความยาว	600 มม.	600 มม.	600 มม.
มาตรฐานกำหนด	-21.00	-23.00	-23.00
ค่าเฉลี่ย	-25.24	-27.34	-27.21
ผลต่างจากมาตรฐาน	-4.24	-4.34	-4.21
ผลต่างจากค่าอ้างอิง	-1.20	-1.73	-1.83
1	-24.89	-28.15	-28.06
2	-24.98	-27.13	-27.35
3	-24.82	-27.40	-26.78
4	-24.75	-26.46	-25.62
5	-26.13	-27.67	-27.41
6	-25.01	-27.88	-27.96
7	-25.16	-28.12	-27.39
8	-25.70	-27.39	-27.98
9	-24.74	-27.33	-26.75
10	-25.64	-27.32	-26.40
11	-25.32	-27.07	-27.32
12	-25.70	-28.12	-27.75
13	-25.35	-27.89	-26.77
14	-25.05	-27.34	-26.90
15	-25.39	-27.29	-26.86
16	-25.23	-28.06	-27.77
17	-25.66	-27.59	-28.28
18	-25.47	-27.45	-27.07
19	-24.78	-26.54	-27.05
20	-25.32	-27.20	-26.60
21	-24.76	-27.77	-27.57
22	-25.81	-27.13	-27.48

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	AM Interstation Noise L (dBm)	AM Interstation Noise R (dBm)
23	-25.70	-26.34	-27.19
24	-24.92	-27.22	-26.29
25	-24.59	-27.27	-27.21
26	-24.90	-27.34	-27.15
27	-26.02	-27.46	-27.45
28	-25.33	-26.92	-27.74
29	-25.31	-26.87	-27.25
30	-24.81	-26.53	-26.93



ภาพประกอบที่ 50 ค่าฟังก์ชันหลังการลดสัญญาณรบกวนวิธีการที่ 6 เทียบกับก่อนลดสัญญาณรบกวน ความยาวสาย 600 มม.



4.2 การเปรียบเทียบฟังก์ชันแต่ละฟังก์ชัน

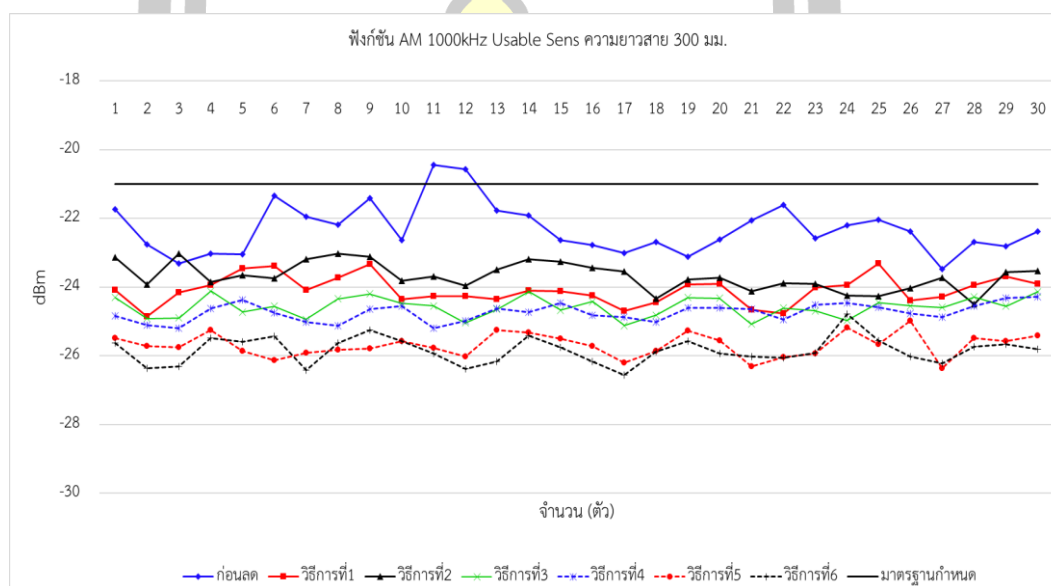
4.2.1.การเปรียบเทียบฟังก์ชัน AM 1000kHz Usable Sens

1. การเปรียบเทียบฟังก์ชัน AM 1000kHz Usable Sens โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาวสาย 300 มม. ทำการทดสอบ ผลการทดสอบพบว่า วิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่ 6 ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบฟังก์ชัน AM 1000kHz Usable Sens โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.

AM 1000kHz Usable Sens	ก่อนลดสัญญาณรบกวน	วิธีการที่1	วิธีการที่2	วิธีการที่3	วิธีการที่4	วิธีการที่5	วิธีการที่6
ความยาว	300 มม.	300 มม.	300 มม.	300 มม.	300 มม.	300 มม.	300 มม.
มาตรฐานกำหนด	-21.00	-21.00	-21.00	-21.00	-21.00	-21.00	-21.00
ค่าเฉลี่ย	-22.31	-24.09	-23.69	-24.58	-24.74	-25.69	-25.84
ผลต่างจากมาตรฐาน	-1.31	-3.09	-2.69	-3.58	-3.74	-4.69	-4.84
1	-21.73	-24.09	-23.14	-24.31	-24.84	-25.49	-25.63
2	-22.76	-24.86	-23.92	-24.92	-25.11	-25.72	-26.37
3	-23.32	-24.16	-23.03	-24.9	-25.19	-25.75	-26.31
4	-23.03	-23.94	-23.85	-24.12	-24.63	-25.25	-25.48
5	-23.04	-23.46	-23.65	-24.73	-24.38	-25.86	-25.59
6	-21.35	-23.38	-23.74	-24.56	-24.75	-26.13	-25.44
7	-21.96	-24.09	-23.19	-24.94	-25.01	-25.92	-26.41
8	-22.19	-23.72	-23.02	-24.34	-25.13	-25.82	-25.63
9	-21.41	-23.34	-23.12	-24.20	-24.65	-25.79	-25.26
10	-22.63	-24.35	-23.81	-24.48	-24.56	-25.58	-25.57
11	-20.44	-24.26	-23.69	-24.55	-25.19	-25.78	-25.94
12	-20.58	-24.27	-23.96	-25.04	-24.98	-26.03	-26.38
13	-21.78	-24.35	-23.50	-24.65	-24.62	-25.26	-26.16
14	-21.91	-24.11	-23.19	-24.14	-24.74	-25.33	-25.42
15	-22.64	-24.12	-23.26	-24.67	-24.46	-25.50	-25.76
16	-22.78	-24.25	-23.44	-24.42	-24.82	-25.71	-26.16
17	-23.01	-24.70	-23.55	-25.12	-24.88	-26.21	-26.56
18	-22.69	-24.45	-24.33	-24.82	-25.02	-25.87	-25.88
19	-23.11	-23.93	-23.79	-24.31	-24.61	-25.27	-25.57
20	-22.62	-23.91	-23.72	-24.32	-24.60	-25.56	-25.94
21	-22.06	-24.66	-24.13	-25.08	-24.65	-26.31	-26.03
22	-21.62	-24.76	-23.89	-24.61	-24.95	-26.04	-26.06

AM 1000kHz Usable Sens	ก่อนลดสัญญาณ รบกวน	วิธีการ ที่1	วิธีการ ที่2	วิธีการ ที่3	วิธีการ ที่4	วิธีการ ที่5	วิธีการ ที่6
23	-22.58	-24.01	-23.91	-24.69	-24.51	-25.94	-25.91
24	-22.20	-23.95	-24.25	-24.97	-24.46	-25.18	-24.78
25	-22.04	-23.31	-24.27	-24.45	-24.59	-25.67	-25.55
26	-22.39	-24.39	-24.04	-24.55	-24.77	-24.98	-26.03
27	-23.48	-24.29	-23.72	-24.59	-24.87	-26.37	-26.22
28	-22.69	-23.95	-24.49	-24.29	-24.56	-25.48	-25.74
29	-22.81	-23.69	-23.57	-24.56	-24.32	-25.58	-25.67
30	-22.39	-23.91	-23.53	-24.14	-24.28	-25.42	-25.81



ภาพประกอบที่ 51 ฟังก์ชัน AM 1000kHz Usable Sens โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.

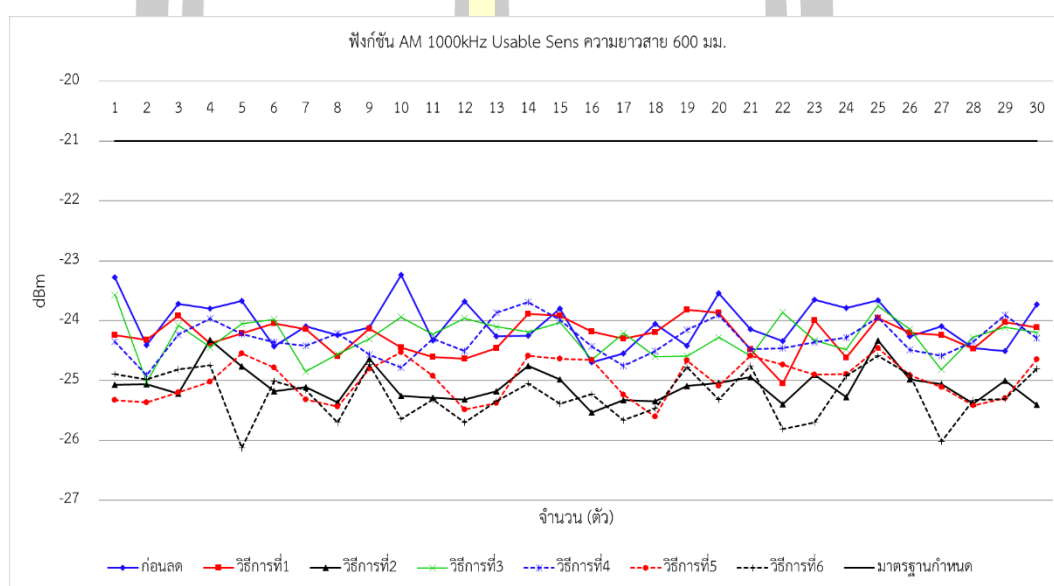


2. การเปรียบเทียบฟังก์ชัน AM 1000kHz Usable Sens โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาวสาย 600 มม. ทำการทดสอบ ผลการทดสอบพบว่า วิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่ 6 ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 เปรียบเทียบฟังก์ชัน AM 1000kHz Usable Sens โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.

AM 1000kHz Usable Sens	ก่อนลดสัญญาณรบกวน	วิธีการที่1	วิธีการที่2	วิธีการที่3	วิธีการที่4	วิธีการที่5	วิธีการที่6
ความยาว	600 มม.	600 มม.	600 มม.	600 มม.	600 มม.	600 มม.	600 มม.
มาตรฐานกำหนด	-21.00	-21.00	-21.00	-21.00	-21.00	-21.00	-21.00
ค่าเฉลี่ย	-24.04	-24.25	-25.09	-24.27	-24.31	-24.99	-25.24
ผลต่างจากมาตรฐาน	-3.04	-3.25	-4.09	-3.27	-3.31	-3.99	-4.24
1	-23.28	-24.24	-25.07	-23.57	-24.35	-25.33	-24.89
2	-24.41	-24.32	-25.06	-25.03	-24.91	-25.37	-24.98
3	-23.72	-23.92	-25.22	-24.08	-24.23	-25.2	-24.82
4	-23.8	-24.38	-24.32	-24.45	-23.97	-25.02	-24.75
5	-23.67	-24.21	-24.77	-24.05	-24.22	-24.55	-26.13
6	-24.43	-24.05	-25.18	-23.98	-24.36	-24.79	-25.01
7	-24.09	-24.14	-25.11	-24.85	-24.42	-25.32	-25.16
8	-24.24	-24.60	-25.37	-24.56	-24.21	-25.44	-25.70
9	-24.11	-24.13	-24.64	-24.31	-24.57	-24.81	-24.74
10	-23.24	-24.45	-25.26	-23.94	-24.79	-24.53	-25.64
11	-24.33	-24.61	-25.29	-24.23	-24.30	-24.92	-25.32
12	-23.68	-24.64	-25.32	-23.96	-24.51	-25.49	-25.70
13	-24.26	-24.46	-25.18	-24.10	-23.87	-25.38	-25.35
14	-24.25	-23.89	-24.76	-24.19	-23.69	-24.59	-25.05
15	-23.80	-23.92	-24.98	-24.03	-23.99	-24.64	-25.39
16	-24.70	-24.18	-25.54	-24.65	-24.43	-24.66	-25.23
17	-24.55	-24.30	-25.33	-24.21	-24.76	-25.24	-25.66
18	-24.06	-24.19	-25.35	-24.60	-24.51	-25.60	-25.47
19	-24.42	-23.82	-25.09	-24.59	-24.15	-24.67	-24.78
20	-23.54	-23.87	-25.04	-24.28	-23.91	-25.09	-25.32
21	-24.14	-24.48	-24.94	-24.59	-24.48	-24.59	-24.76
22	-24.34	-25.05	-25.40	-23.86	-24.46	-24.74	-25.81
23	-23.65	-24.00	-24.90	-24.33	-24.36	-24.90	-25.70
24	-23.79	-24.62	-25.28	-24.48	-24.28	-24.89	-24.92

AM 1000kHz Usable Sens	ก่อนลดสัญญาณ รบกวน	วิธีการ ที่1	วิธีการ ที่2	วิธีการ ที่3	วิธีการ ที่4	วิธีการ ที่5	วิธีการ ที่6
25	-23.66	-23.96	-24.33	-23.75	-23.95	-24.46	-24.59
26	-24.26	-24.20	-24.98	-24.14	-24.49	-24.91	-24.90
27	-24.09	-24.24	-25.06	-24.82	-24.59	-25.11	-26.02
28	-24.46	-24.47	-25.39	-24.28	-24.35	-25.42	-25.33
29	-24.51	-24.03	-25.00	-24.11	-23.91	-25.30	-25.31
30	-23.73	-24.11	-25.41	-24.20	-24.29	-24.65	-24.81



ภาพประกอบที่ 52 ฟังก์ชัน AM 1000kHz Usable Sens โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.

พูน ปณ ทิโต ชเว

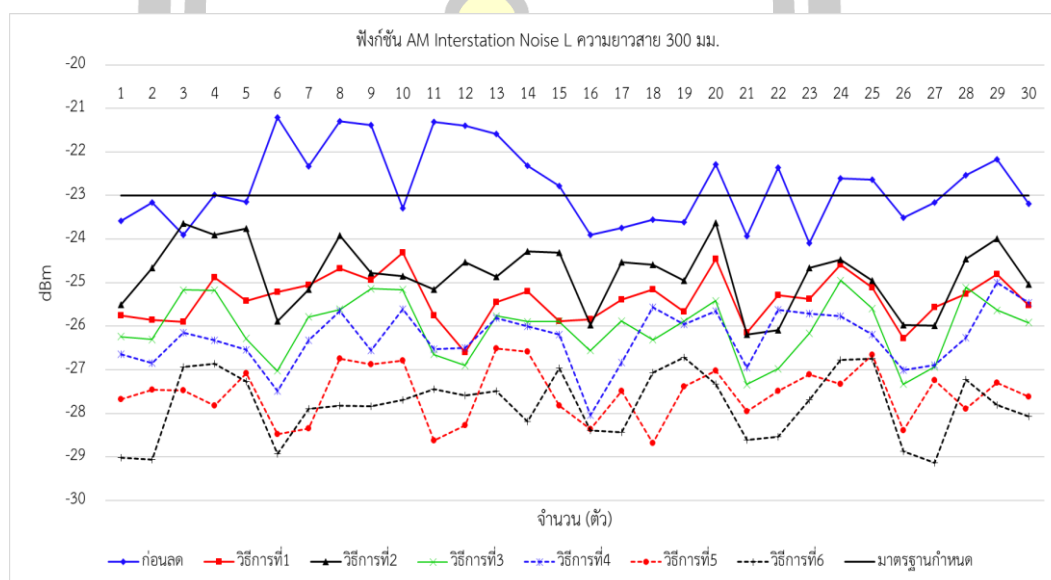
4.2.2.การเปรียบเทียบฟังก์ชัน AM Interstation Noise L

1. การเปรียบเทียบฟังก์ชัน AM Interstation Noise L โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาวสาย 300 มม. ทำการทดสอบ ผลการทดสอบพบว่า วิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่ 6 ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบฟังก์ชัน AM Interstation Noise L โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาวสาย 300 มม.

AM Interstation Noise L	ก่อนลดสัญญาณรบกวน	วิธีการที่1	วิธีการที่2	วิธีการที่3	วิธีการที่4	วิธีการที่5	วิธีการที่6
ความยาว	300 มม.	300 มม.	300 มม.	300 มม.	300 มม.	300 มม.	300 มม.
มาตรฐานกำหนด	-23.00	-23.00	-23.00	-23.00	-23.00	-23.00	-23.00
ค่าเฉลี่ย	-22.77	-25.38	-24.82	-26.03	-26.27	-27.55	-27.81
ผลต่างจากมาตรฐาน	0.23	-2.38	-1.82	-3.03	-3.27	-4.55	-4.81
1	-23.58	-25.75	-25.51	-26.24	-26.65	-27.68	-29.02
2	-23.16	-25.86	-24.66	-26.31	-26.85	-27.46	-29.07
3	-23.91	-25.90	-23.65	-25.17	-26.14	-27.47	-26.93
4	-22.98	-24.87	-23.90	-25.17	-26.32	-27.83	-26.86
5	-23.15	-25.42	-23.76	-26.28	-26.54	-27.07	-27.27
6	-21.20	-25.22	-25.88	-27.03	-27.48	-28.47	-28.92
7	-22.32	-25.05	-25.16	-25.79	-26.32	-28.35	-27.89
8	-21.29	-24.68	-23.92	-25.61	-25.66	-26.75	-27.83
9	-21.39	-24.94	-24.78	-25.14	-26.56	-26.87	-27.84
10	-23.29	-24.31	-24.85	-25.16	-25.61	-26.79	-27.69
11	-21.32	-25.75	-25.16	-26.64	-26.53	-28.63	-27.44
12	-21.40	-26.60	-24.53	-26.90	-26.50	-28.28	-27.59
13	-21.59	-25.44	-24.87	-25.77	-25.81	-26.51	-27.49
14	-22.32	-25.21	-24.29	-25.90	-26.00	-26.58	-28.18
15	-22.78	-25.89	-24.31	-25.89	-26.19	-27.82	-26.96
16	-23.91	-25.85	-25.97	-26.56	-28.04	-28.36	-28.39
17	-23.74	-25.40	-24.53	-25.88	-26.83	-27.49	-28.44
18	-23.55	-25.16	-24.59	-26.31	-25.57	-28.68	-27.06
19	-23.61	-25.66	-24.96	-25.88	-25.95	-27.38	-26.71
20	-22.28	-24.46	-23.63	-25.42	-25.65	-27.03	-27.33
21	-23.93	-26.14	-26.18	-27.34	-26.95	-27.96	-28.61
22	-22.36	-25.29	-26.09	-26.97	-25.63	-27.48	-28.53

AM Interstation Noise L	ก่อนลดสัญญาณ รบกวน	วิธีการ ที่1	วิธีการ ที่2	วิธีการ ที่3	วิธีการ ที่4	วิธีการ ที่5	วิธีการ ที่6
23	-24.09	-25.38	-24.65	-26.15	-25.71	-27.11	-27.69
24	-22.60	-24.59	-24.47	-24.95	-25.77	-27.33	-26.78
25	-22.64	-25.12	-24.96	-25.59	-26.18	-26.66	-26.74
26	-23.51	-26.28	-25.97	-27.33	-27.00	-28.39	-28.87
27	-23.16	-25.56	-25.99	-26.93	-26.88	-27.24	-29.14
28	-22.53	-25.26	-24.46	-25.11	-26.26	-27.89	-27.23
29	-22.17	-24.81	-23.98	-25.64	-25.00	-27.30	-27.80
30	-23.19	-25.52	-25.05	-25.92	-25.47	-27.62	-28.07



ภาพประกอบที่ 53 ฟังก์ชัน AM Interstation Noise L โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.

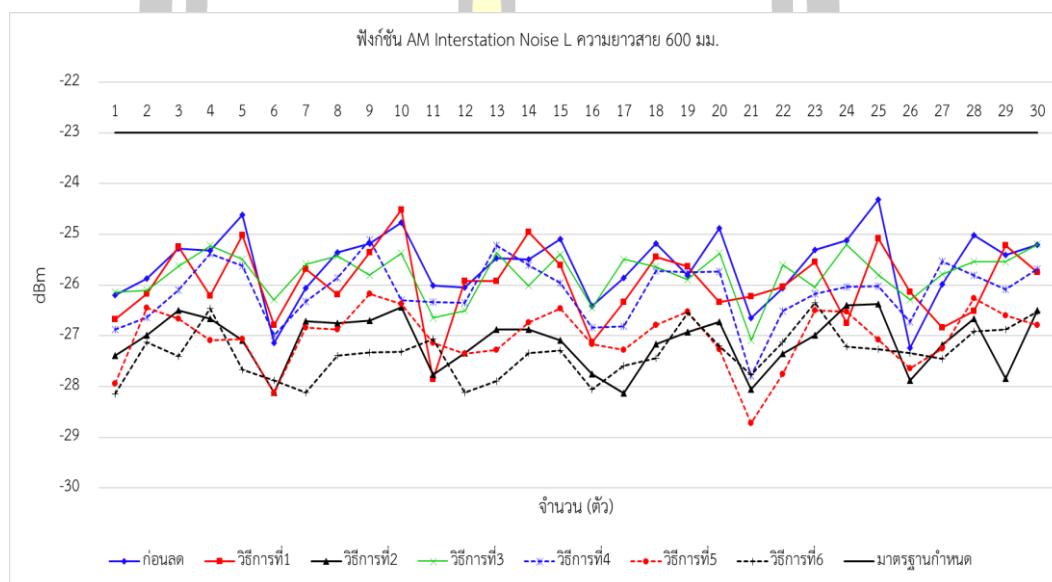


2. การเปรียบเทียบฟังก์ชัน AM Interstation Noise L โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาวสาย 600 มม. ทำการทดสอบ ผลการทดสอบพบว่า วิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่ 6 ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 เปรียบเทียบฟังก์ชัน AM Interstation Noise L โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาวสาย 600 มม.

AM Interstation Noise L	ก่อนลดสัญญาณรบกวน	วิธีการที่1	วิธีการที่2	วิธีการที่3	วิธีการที่4	วิธีการที่5	วิธีการที่6
ความยาว	600 มม.	600 มม.	600 มม.	600 มม.	600 มม.	600 มม.	600 มม.
มาตรฐานกำหนด	-23.00	-23.00	-23.00	-23.00	-23.00	-23.00	-23.00
ค่าเฉลี่ย	-25.61	-25.97	-27.11	-25.80	-26.13	-27.02	-27.34
ผลต่างจากมาตรฐาน	-2.61	-2.97	-4.11	-2.80	-3.13	-4.02	-4.34
1	-26.19	-26.68	-27.39	-26.14	-26.88	-27.94	-28.15
2	-25.87	-26.17	-26.99	-26.10	-26.64	-26.45	-27.13
3	-25.28	-25.24	-26.50	-25.62	-26.10	-26.66	-27.40
4	-25.32	-26.21	-26.67	-25.22	-25.39	-27.09	-26.46
5	-24.62	-25.02	-27.09	-25.49	-25.62	-27.07	-27.67
6	-27.14	-26.79	-28.12	-26.29	-26.99	-28.13	-27.88
7	-26.07	-25.68	-26.71	-25.59	-26.33	-26.84	-28.12
8	-25.35	-26.19	-26.75	-25.43	-25.86	-26.87	-27.39
9	-25.18	-25.36	-26.70	-25.80	-25.11	-26.17	-27.33
10	-24.77	-24.51	-26.44	-25.37	-26.29	-26.38	-27.32
11	-26.01	-27.86	-27.77	-26.65	-26.33	-27.14	-27.07
12	-26.04	-25.92	-27.34	-26.50	-26.35	-27.35	-28.12
13	-25.47	-25.92	-26.87	-25.37	-25.22	-27.28	-27.89
14	-25.50	-24.96	-26.88	-26.01	-25.61	-26.74	-27.34
15	-25.10	-25.61	-27.09	-25.39	-25.96	-26.47	-27.29
16	-26.42	-27.12	-27.75	-26.45	-26.84	-27.16	-28.06
17	-25.87	-26.33	-28.13	-25.49	-26.81	-27.27	-27.59
18	-25.18	-25.45	-27.17	-25.63	-25.72	-26.79	-27.45
19	-25.80	-25.63	-26.93	-25.89	-25.74	-26.53	-26.54
20	-24.88	-26.33	-26.73	-25.37	-25.74	-27.26	-27.20
21	-26.65	-26.22	-28.05	-27.09	-27.79	-28.72	-27.77
22	-26.06	-26.04	-27.36	-25.61	-26.51	-27.76	-27.13
23	-25.31	-25.54	-26.99	-26.05	-26.17	-26.49	-26.34

AM Interstation Noise L	ก่อนลดสัญญาณ รบกวน	วิธีการ ที่1	วิธีการ ที่2	วิธีการ ที่3	วิธีการ ที่4	วิธีการ ที่5	วิธีการ ที่6
24	-25.12	-26.75	-26.39	-25.20	-26.04	-26.53	-27.22
25	-24.31	-25.08	-26.37	-25.81	-26.02	-27.07	-27.27
26	-27.24	-26.13	-27.88	-26.29	-26.72	-27.64	-27.34
27	-25.99	-26.84	-27.18	-25.79	-25.54	-27.25	-27.46
28	-25.02	-26.51	-26.66	-25.54	-25.81	-26.26	-26.92
29	-25.41	-25.22	-27.85	-25.54	-26.08	-26.60	-26.87
30	-25.20	-25.75	-26.50	-25.20	-25.68	-26.78	-26.53



ภาพประกอบที่ 54 ฟังก์ชัน AM Interstation Noise L โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.



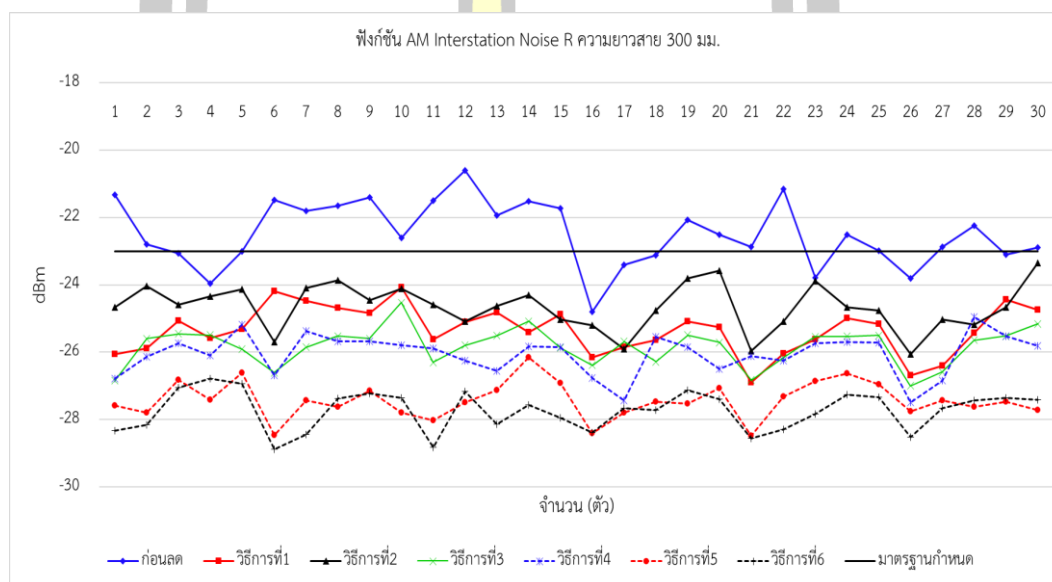
4.2.3. การเปรียบเทียบฟังก์ชัน AM Interstation Noise R

1. การเปรียบเทียบฟังก์ชัน AM Interstation Noise R โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาวสาย 300 มม. ทำการทดสอบ ผลการทดสอบพบว่า วิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่ 6 ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 เปรียบเทียบฟังก์ชัน AM Interstation Noise R โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาวสาย 300 มม.

AM Interstation Noise R	ก่อนลดสัญญาณรบกวน	วิธีการที่1	วิธีการที่2	วิธีการที่3	วิธีการที่4	วิธีการที่5	วิธีการที่6
ความยาว	300 มม.	300 มม.	300 มม.	300 มม.	300 มม.	300 มม.	300 มม.
มาตรฐานกำหนด	-23.00	-23.00	-23.00	-23.00	-23.00	-23.00	-23.00
ค่าเฉลี่ย	-22.48	-25.35	-24.65	-25.83	-26.06	-27.43	-27.74
ผลต่างจากมาตรฐาน	0.52	-2.35	-1.65	-2.83	-3.06	-4.43	-4.74
1	-21.32	-26.05	-24.67	-26.84	-26.78	-27.58	-28.33
2	-22.81	-25.88	-24.03	-25.60	-26.15	-27.80	-28.15
3	-23.06	-25.07	-24.58	-25.45	-25.74	-26.82	-27.04
4	-23.96	-25.59	-24.35	-25.49	-26.09	-27.42	-26.78
5	-23.00	-25.32	-24.13	-25.91	-25.18	-26.61	-26.93
6	-21.47	-24.18	-25.70	-26.61	-26.69	-28.45	-28.89
7	-21.80	-24.48	-24.09	-25.85	-25.37	-27.44	-28.45
8	-21.65	-24.68	-23.86	-25.52	-25.68	-27.63	-27.38
9	-21.41	-24.84	-24.46	-25.60	-25.69	-27.14	-27.22
10	-22.60	-24.07	-24.11	-24.53	-25.78	-27.79	-27.37
11	-21.51	-25.62	-24.60	-26.30	-25.88	-28.03	-28.83
12	-20.60	-25.11	-25.08	-25.80	-26.26	-27.49	-27.17
13	-21.94	-24.83	-24.62	-25.51	-26.56	-27.12	-28.15
14	-21.52	-25.42	-24.31	-25.08	-25.82	-26.16	-27.56
15	-21.72	-24.88	-25.03	-25.87	-25.84	-26.92	-27.94
16	-24.81	-26.16	-25.21	-26.39	-26.76	-28.41	-28.38
17	-23.40	-25.86	-25.91	-25.68	-27.43	-27.79	-27.67
18	-23.11	-25.65	-24.77	-26.28	-25.54	-27.47	-27.72
19	-22.08	-25.08	-23.80	-25.49	-25.86	-27.53	-27.12
20	-22.50	-25.26	-23.58	-25.71	-26.50	-27.07	-27.40
21	-22.87	-26.91	-25.97	-26.83	-26.11	-28.48	-28.56
22	-21.15	-26.05	-25.08	-26.17	-26.25	-27.32	-28.30
23	-23.79	-25.62	-23.89	-25.54	-25.74	-26.86	-27.84

AM Interstation Noise R	ก่อนลดสัญญาณ รบกวน	วิธีการ ที่1	วิธีการ ที่2	วิธีการ ที่3	วิธีการ ที่4	วิธีการ ที่5	วิธีการ ที่6
24	-22.51	-24.99	-24.67	-25.53	-25.70	-26.63	-27.26
25	-23.00	-25.16	-24.77	-25.50	-25.72	-26.96	-27.35
26	-23.80	-26.69	-26.05	-27.00	-27.48	-27.75	-28.53
27	-22.88	-26.40	-25.03	-26.59	-26.85	-27.42	-27.66
28	-22.24	-25.43	-25.19	-25.64	-24.95	-27.63	-27.44
29	-23.10	-24.44	-24.66	-25.52	-25.52	-27.48	-27.36
30	-22.89	-24.74	-23.36	-25.16	-25.82	-27.71	-27.42



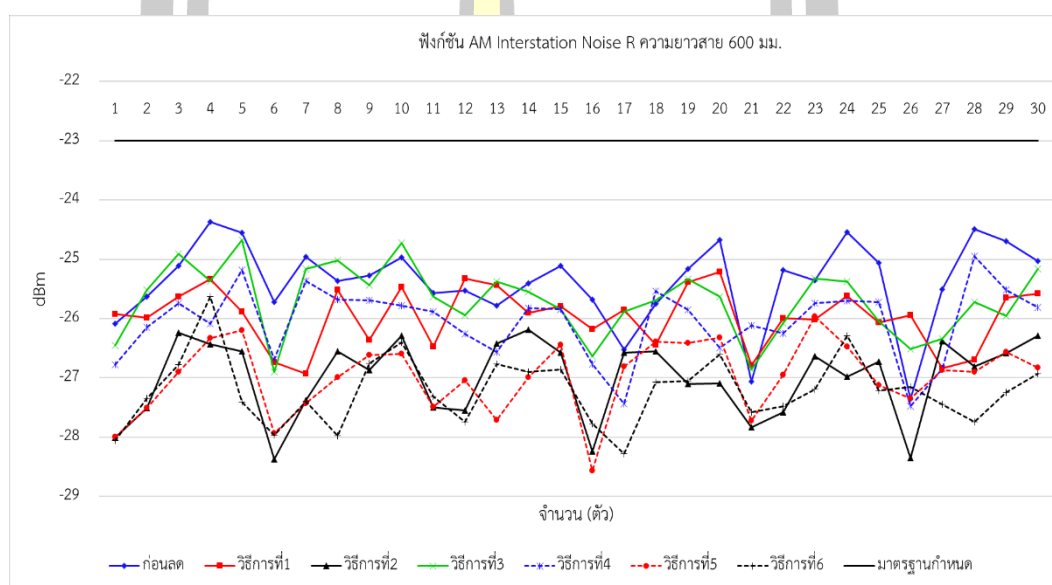
ภาพประกอบที่ 55 ฟังก์ชัน AM Interstation Noise R โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.



2. การเปรียบเทียบฟังก์ชัน AM Interstation Noise R โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม
ความยาวสาย 600 มม. ทำการสอบ ผลการทดสอบพบว่า วิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่ 6 ได้
ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ดังตารางที่ 22
ตารางที่ 22 เปรียบเทียบฟังก์ชัน AM Interstation Noise R โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม
ความยาวสาย 600 มม.

AM Interstation Noise R	ก่อนลดสัญญาณ รบกวน	วิธีการ ที่1	วิธีการ ที่2	วิธีการ ที่3	วิธีการ ที่4	วิธีการ ที่5	วิธีการ ที่6
ความยาว	600 มม.	600 มม.	600 มม.	600 มม.	600 มม.	600 มม.	600 มม.
มาตรฐานกำหนด	-23.00	-23.00	-23.00	-23.00	-23.00	-23.00	-23.00
ค่าเฉลี่ย	-25.38	-25.97	-27.00	-25.70	-26.06	-26.98	-27.21
ผลต่างจากมาตรฐาน	-2.38	-2.97	-4.00	-2.70	-3.06	-3.98	-4.21
1	-26.08	-25.92	-28.01	-26.46	-26.78	-27.99	-28.06
2	-25.63	-25.98	-27.50	-25.51	-26.15	-27.51	-27.35
3	-25.11	-25.62	-26.24	-24.91	-25.74	-26.89	-26.78
4	-24.37	-25.33	-26.43	-25.36	-26.09	-26.33	-25.62
5	-24.56	-25.89	-26.55	-24.68	-25.18	-26.20	-27.41
6	-25.72	-26.74	-28.37	-26.90	-26.69	-27.93	-27.96
7	-24.95	-26.93	-27.38	-25.16	-25.37	-27.42	-27.39
8	-25.36	-25.52	-26.55	-25.02	-25.68	-26.99	-27.98
9	-25.27	-26.36	-26.87	-25.44	-25.69	-26.62	-26.75
10	-24.97	-25.47	-26.29	-24.73	-25.78	-26.59	-26.40
11	-25.57	-26.47	-27.50	-25.63	-25.88	-27.49	-27.32
12	-25.53	-25.32	-27.55	-25.94	-26.26	-27.04	-27.75
13	-25.78	-25.43	-26.42	-25.38	-26.56	-27.71	-26.77
14	-25.40	-25.91	-26.18	-25.55	-25.82	-26.99	-26.90
15	-25.11	-25.80	-26.57	-25.84	-25.84	-26.44	-26.86
16	-25.68	-26.18	-28.24	-26.64	-26.76	-28.57	-27.77
17	-26.53	-25.85	-26.57	-25.88	-27.43	-26.80	-28.28
18	-25.75	-26.44	-26.55	-25.69	-25.54	-26.40	-27.07
19	-25.17	-25.39	-27.10	-25.33	-25.86	-26.42	-27.05
20	-24.67	-25.21	-27.09	-25.63	-26.50	-26.31	-26.60
21	-27.06	-26.79	-27.83	-26.85	-26.11	-27.72	-27.57
22	-25.18	-26.00	-27.58	-26.07	-26.25	-26.95	-27.48
23	-25.35	-26.02	-26.63	-25.32	-25.74	-25.97	-27.19
24	-24.55	-25.62	-26.98	-25.37	-25.70	-26.48	-26.29

AM Interstation Noise R	ก่อนลดสัญญาณ รบกวน	วิธีการ ที่1	วิธีการ ที่2	วิธีการ ที่3	วิธีการ ที่4	วิธีการ ที่5	วิธีการ ที่6
25	-25.06	-26.07	-26.73	-26.05	-25.72	-27.12	-27.21
26	-27.35	-25.94	-28.35	-26.51	-27.48	-27.35	-27.15
27	-25.50	-26.84	-26.38	-26.34	-26.85	-26.87	-27.45
28	-24.49	-26.69	-26.81	-25.72	-24.95	-26.89	-27.74
29	-24.70	-25.65	-26.58	-25.96	-25.52	-26.57	-27.25
30	-25.03	-25.58	-26.29	-25.16	-25.82	-26.82	-26.93



ภาพประกอบที่ 56 ฟังก์ชัน AM Interstation Noise R โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.



4.3 ผลการเปรียบเทียบวิธีการลดสัญญาณรบกวนแต่ละวิธี

1. ผลการเปรียบเทียบฟังก์ชัน โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาวสาย 300 มม.

ทำการทดสอบ ผลการทดสอบพบว่า วิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่ 6 ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ดังตารางที่ 23

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	ผลต่างจากมาตรฐาน	ผลต่างจากค่าอ้างอิง	AM Interstation Noise L (dBm)	ผลต่างจากมาตรฐาน	ผลต่างจากค่าอ้างอิง	AM Interstation Noise R (dBm)	ผลต่างจากมาตรฐาน	ผลต่างจากค่าอ้างอิง
ความยาว	300 มม.	300 มม.	300 มม.	300 มม.	300 มม.	300 มม.	300 มม.	300 มม.	300 มม.
มาตรฐานกำหนด	-21.00	-	-	-23.00	-	-	-23.00	-	-
ก่อนลดสัญญาณ	-22.31	-1.31	-	-22.77	0.23	-	-22.48	0.52	-
วิธีการที่1	-24.09	-3.09	-1.78	-25.35	-2.35	-2.58	-25.35	-2.35	-2.86
วิธีการที่2	-23.69	-2.69	-1.38	-24.82	-1.82	-2.06	-24.65	-1.65	-2.17
วิธีการที่3	-24.58	-3.58	-2.27	-26.03	-3.03	-3.27	-25.83	-2.83	-3.35
วิธีการที่4	-24.74	-3.74	-2.43	-26.27	-3.27	-3.50	-26.06	-3.06	-3.57
วิธีการที่5	-25.69	-4.69	-3.39	-27.55	-4.55	-4.78	-27.43	-4.43	-4.95
วิธีการที่6	-25.84	-4.84	-3.53	-27.81	-4.81	-5.05	-27.74	-4.74	-5.26

ตารางที่ 23 สรุปผลการเปรียบเทียบฟังก์ชัน โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม.

จากตารางพบว่า วิธีการลดสัญญาณรบกวน วิธีการที่ 6 คือ การใช้วิธีการกราวด์ (Grounding) ร่วมกับวิธีการชีลด์ (Shielding) โดยทำการต่อสายกราวด์จากกราวด์ สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม. เข้ากับ แจ็คเสาอากาศ และใช้แกนเฟอร์ไรต์กับเทปทองแดงหุ้มที่สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม. ได้ผลลัพธ์ในการลดสัญญาณรบกวนดีที่สุด โดย ฟังก์ชัน AM 1000kHz Usable Sens มีค่าเฉลี่ย อยู่ที่ -25.84 dBm มีผลต่างจากมาตรฐานอยู่ที่ -4.84 dBm มีผลต่างจากค่าอ้างอิงก่อนลดสัญญาณรบกวนอยู่ที่ -3.53 dBm ส่วนฟังก์ชัน AM Interstation Noise L มีค่าเฉลี่ย อยู่ที่ -27.81 dBm มีผลต่างจากมาตรฐานอยู่ที่ -4.81 dBm มีผลต่างจากค่าอ้างอิงก่อนลดสัญญาณรบกวนอยู่ที่ -5.05 dBm และฟังก์ชัน AM Interstation Noise R ค่าเฉลี่ย อยู่ที่ -27.74 dBm มีผลต่างจากมาตรฐานอยู่ที่ -4.74 dBm มีผลต่างจากค่าอ้างอิงก่อนลดสัญญาณรบกวนอยู่ที่ -5.26 dBm

2. ผลการเปรียบเทียบฟังก์ชัน โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาวสาย 600 มม.
ทำการทดสอบผลการทดสอบพบว่า วิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่ 6 ได้ผลลัพธ์ดีที่สุด ดังตารางที่ 24

ฟังก์ชัน	AM 1000kHz Usable Sens (dBm)	ผลต่างจากมาตรฐาน	ผลต่างจากค่าอ้างอิง	AM Interstation Noise L (dBm)	ผลต่างจากมาตรฐาน	ผลต่างจากค่าอ้างอิง	AM Interstation Noise R (dBm)	ผลต่างจากมาตรฐาน	ผลต่างจากค่าอ้างอิง
ความยาว	600 มม.	600 มม.	600 มม.	600 มม.	600 มม.	600 มม.	600 มม.	600 มม.	600 มม.
มาตรฐานกำหนด	-21.00	-	-	-23.00	-	-	-23.00	-	-23.00
ก่อนลดสัญญาณ	-24.04	-3.04	-	-25.61	-2.61	-	-25.38	-2.38	-
วิธีการที่1	-24.25	-3.25	-0.21	-25.97	-2.97	-0.36	-25.97	-2.97	-0.58
วิธีการที่2	-25.09	-4.09	-1.05	-27.11	-4.11	-1.50	-27.00	-4.00	-1.62
วิธีการที่3	-24.27	-3.27	-0.23	-25.80	-2.80	-0.18	-25.70	-2.70	-0.32
วิธีการที่4	-24.31	-3.31	-0.27	-26.13	-3.13	-0.52	-26.06	-3.06	-0.67
วิธีการที่5	-24.99	-3.99	-0.95	-27.02	-4.02	-1.41	-26.98	-3.98	-1.60
วิธีการที่6	-25.24	-4.24	-1.20	-27.34	-4.34	-1.73	-27.21	-4.21	-1.83

ตารางที่ 24 สรุปผลการเปรียบเทียบฟังก์ชัน โดยใช้สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม.

จากตารางพบว่า วิธีการลดสัญญาณรบกวน วิธีการที่ 6 คือ การใช้วิธีการกราวด์ (Grounding) ร่วมกับวิธีการชีลด์ (Shielding) โดยทำการต่อสายกราวด์จากกราวด์ สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม. เข้ากับ แจ็คเสาอากาศ และใช้แกนเฟอร์ไรต์กับเทปทองแดงหุ้มที่สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม. ได้ผลลัพธ์ในการลดสัญญาณรบกวนดีที่สุด โดย ฟังก์ชัน AM 1000kHz Usable Sens มีค่าเฉลี่ย อยู่ที่ -25.24 dBm มีผลต่างจากมาตรฐานอยู่ที่ -4.24 dBm มีผลต่างจากค่าอ้างอิงก่อนลดสัญญาณรบกวนอยู่ที่ -1.20 dBm ส่วนฟังก์ชัน AM Interstation Noise L มีค่าเฉลี่ย อยู่ที่ -27.34 dBm มีผลต่างจากมาตรฐานอยู่ที่ -4.34 dBm มีผลต่างจากค่าอ้างอิงก่อนลดสัญญาณรบกวนอยู่ที่ -1.73 dBm และฟังก์ชัน AM Interstation Noise R ค่าเฉลี่ย อยู่ที่ -27.21 dBm มีผลต่างจากมาตรฐานอยู่ที่ -4.21 dBm มีผลต่างจากค่าอ้างอิงก่อนลดสัญญาณรบกวนอยู่ที่ -1.83 dBm

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

จากการผลการดำเนินงานวิจัยในบทที่ 4 ซึ่งได้ทำการเก็บข้อมูลค่าฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ในแต่ละวิธีการ ทำการเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันของทุกวิธีการในแต่ละฟังก์ชัน และนำวิธีการลดสัญญาณรบกวนทุกวิธีการมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การดำเนินวิจัยใช้วิธีการลดสัญญาณรบกวนทั้งหมด 6 วิธี ซึ่งวิธีการที่ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดคือวิธีการที่ 6 คือ การต่อสายกราวด์จากกราวด์ สาย BNC RG59 75 โอห์ม เข้ากับ แจ็คเสาอากาศ และใช้แกนเฟอร์ไรต์กับเทปทองแดงหุ้มที่สาย BNC RG59 75 โอห์ม ทั้งการวิจัยที่ความยาวสาย 300 มม. และ 600 มม.

5.1.2 สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 300 มม. ฟังก์ชัน AM 1000kHz Usable Sens ผลต่างจากค่าอ้างอิงก่อนลดสัญญาณรบกวนอยู่ที่ -3.53 dBm ส่วนฟังก์ชัน AM Interstation Noise มีผลต่างจากค่าอ้างอิงก่อนลดสัญญาณรบกวนอยู่ที่ -5.05 dBm และฟังก์ชัน AM Interstation Noise R มีผลต่างจากค่าอ้างอิงก่อนลดสัญญาณรบกวนอยู่ที่ -5.26 dBm

5.1.3 สาย BNC RG59 75 โอห์ม ความยาว 600 มม. ฟังก์ชัน AM 1000kHz Usable Sens มีผลต่างจากค่าอ้างอิงก่อนลดสัญญาณรบกวนอยู่ที่ -1.20 dBm ส่วนฟังก์ชัน AM Interstation Noise มีผลต่างจากค่าอ้างอิงก่อนลดสัญญาณรบกวนอยู่ที่ -1.73 dBm และฟังก์ชัน AM Interstation Noise R มีผลต่างจากค่าอ้างอิงก่อนลดสัญญาณรบกวนอยู่ที่ -1.83 dBm

5.2 อภิปรายผล

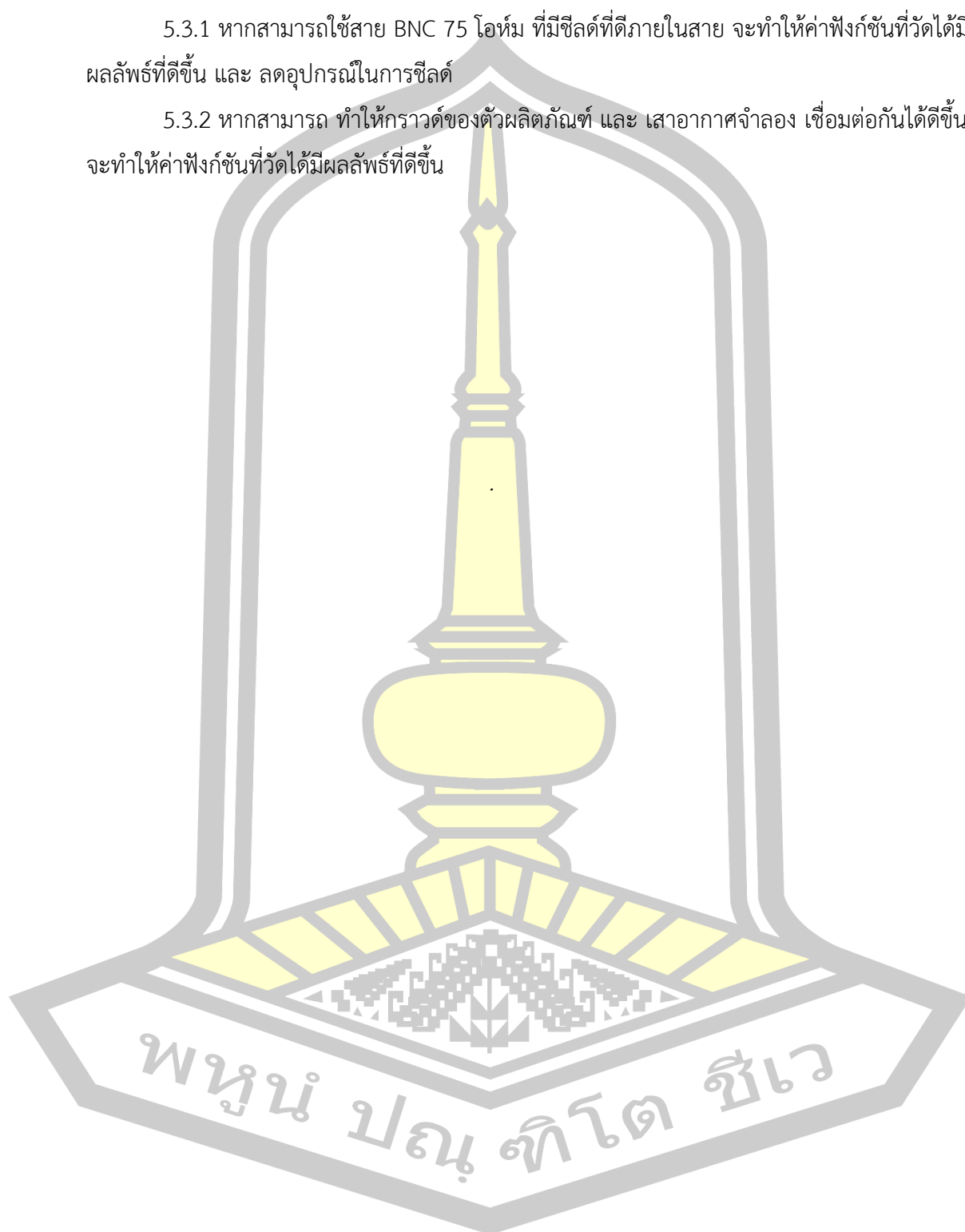
5.2.1 จากการศึกษการวิจัยพบว่า วิธีการลดสัญญาณโดยใช้ วิธีการชีลด์ (Shielding) ร่วมกับวิธีการกราวด์ ให้ผลลัพธ์ในการลดสัญญาณรบกวนที่ดีขึ้น

5.2.2 จากการศึกษการวิจัยพบว่า สาย BNC RG59 75 โอห์ม ที่มีความยาวน้อยกว่าเมื่อผ่านวิธีการลดสัญญาณรบกวน ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า สาย BNC RG59 75 โอห์ม ที่มีความยาวมากกว่า

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 หากสามารถใช้สาย BNC 75 โอห์ม ที่มีชีลด์ที่ดีภายในสาย จะทำให้ค่าฟังก์ชันที่วัดได้มีผลลัพธ์ที่ดีขึ้น และ ลดอุปสรรคในการชีลด์

5.3.2 หากสามารถ ทำให้กราวด์ของตัวผลิตภัณฑ์ และ เสวอากาศจำลอง เชื่อมต่อกันได้ดีขึ้น จะทำให้ค่าฟังก์ชันที่วัดได้มีผลลัพธ์ที่ดีขึ้น



บรรณานุกรม

Dai, L., Chen, W., Yang, X., Zheng, M., Yang, Y., & Wang, R. (2019). A Multi-Function Common Mode Choke Based on Active CM EMI Filters for AC/DC Power Converters. *IEEE Access*, 7, 43534-43546.

<https://doi.org/10.1109/access.2019.2904951>

Electromagnetic คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า. (2566). Retrieved 2566 from

http://www.physics.rmutk.ac.th/all_files/sci_everyday/Electromagnetics.pdf

Harada, T., Hattori, Y., Ito, S., Fujimoto, M., & Hori, T. (2016). Noise Suppression System for AM Radio Receiver Using Quadrature Component of Receiving Signal. *SAE International Journal of Passenger Cars - Electronic and Electrical Systems*, 9.

<https://doi.org/10.4271/2016-01-0079>

Nikolopoulos, C. D., Baklezos, A. T., Kapetanakis, T. N., Vardiambasis, I. O., Tsubota, T., & Kalderis, D. (2023). Characterization of the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Biochar-Based Materials. *IEEE Access*, 11, 6413-6420.

<https://doi.org/10.1109/access.2023.3237327>

Noise Suppression Basic Course. (2023). Retrieved 2023 from

<https://www.murata.com/en-sg/products/emc/emifil/library/knowhow/basic/chapter01-p1>

Porter, M. (2021). *BILDUNG AM VS. FM*. Retrieved 2023 from <https://natapa.org/AM-vs-FM-368>

Yamada, R., Araumi, R., Fujita, S., & Wada, K. (2021). Conductive Noise Suppression with Cancelling for Miniaturization of EMI Filters in PFC Converter. *IEEJ Journal of Industry Applications*, 10(6), 700-707. <https://doi.org/10.1541/ieejia.21000945>

เกียรติศักดิ์ สละยอง, ฐิติพงษ์ เลิศวิริยะประภา, ก. และ, & ดนัย ต.รุ่งเรือง. (2565). การศึกษาและพัฒนาวัสดุดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากยางพารา. *วารสารงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์โดยสมาคม ECTI*, 2(3), 20-30.

คุณสมบัติของคลื่นวิทยุ. (2565). Retrieved 2566 from

<https://ngthai.com/science/45131/radio-wave/>

บุญยฤทธิ์ ปัญญาสิน, พ. และ, & ไตรรัตน์ เนียมสุวรรณ. (2560, 31 มกราคม - 3 กุมภาพันธ์ 2560).

ความสามารถในการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัสดุเซรามิกจากทางใบปาล์มน้ำมันในช่วงความถี่โทรคมนาคม การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรหม จันทาโพธิ์. (2557). สายโคแอกเชียล (Coaxial Cable). Retrieved 2566 from

<https://techno.oas.psu.ac.th/content/124>

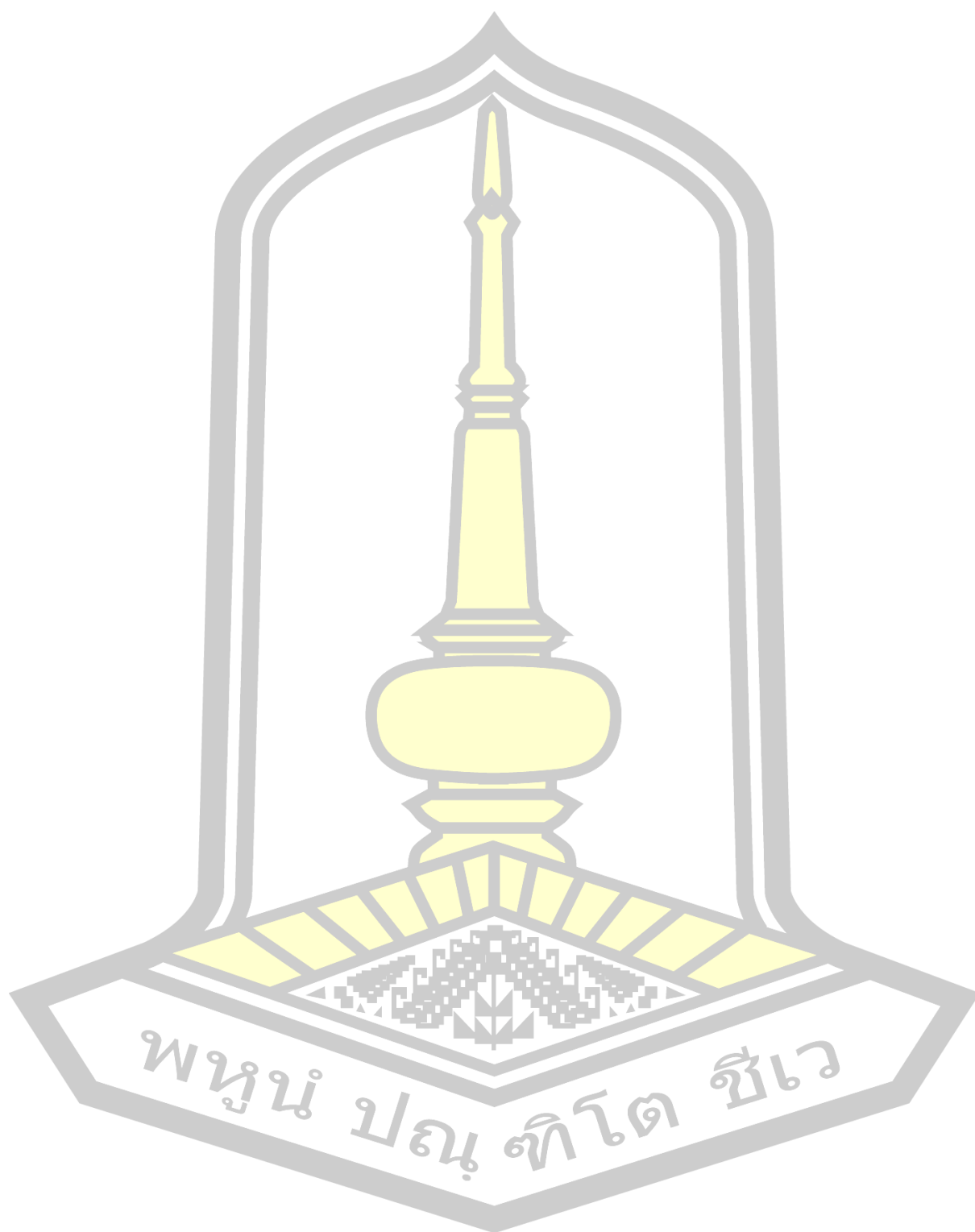
พิรวจน์ มีสุข, & อิศราพงษ์ พูลพราหมณ์. (2560). การลดสัญญาณรบกวนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากอุปกรณ์ขับหลอดแอลอีดี. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร 11(2), 178-188.

มัลลิกา ทองเจริญ, & สมประสงค์ ภาษาประเทศ, ร. ม. (2559). การศึกษาประสิทธิภาพการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของผ้าทอจากฝ้าย/สแตนเลส. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชวมงคลชัยบุรี, 14(1), 35-45.

วราเทพ ผดุงถิ่น. (2563). การศึกษาเทคนิคการคาดการณ์สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางอากาศโดยอาศัยผลการวัดกระแสไหลมดผลรวมสำหรับระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ]. กรุงเทพฯ.

สายัณห์ เกลี้ยงสิน, & นิวัฒน์ ไชยด้วง. (2550). สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า. Retrieved 2566 from https://www.dss.go.th/images/st-article/pep_6_2550_Magnetic.pdf





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	พลตะการ หลวงชล
วันเกิด	7 มีนาคม พ.ศ.2539
สถานที่เกิด	จังหวัดบุรีรัมย์
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	141 หมู่ 16 บ้านไมตรีจิต ต.แคนดง อ.แคนดง จ.บุรีรัมย์
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2555 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนแคนดงพิทยาคม อ.แคนดง จ.บุรีรัมย์ พ.ศ. 2558 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนแคนดงพิทยาคม อ.แคนดง จ.บุรีรัมย์ พ.ศ. 2562 ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมเมคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2567 ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ทุนวิจัย	โครงการการบูรณาการการเรียนรู้กับการทำงาน (Work-integrated Learning:WiL)

พูน ปณ จิตโต ชีเว