



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การสร้างอุปกรณ์ดูดซับโหมดร่วมด้วยต้นทุนต่ำและการทดสอบ

Invention of common mode absorption device (CMAD) with low
budget and its testing

นายจิตเกษม นามสุวรรณ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การสร้างอุปกรณ์ดูดซับโหมตร่วมด้วยต้นทุนต่ำและการทดสอบ

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายจิตเกษม นามสุวรรณ

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร.วรวรรณ นาคะวิโร

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายชัยวัฒน์ ชูชื่น

สถานประกอบการ บริษัท ไตกิ้น อินดัสทรีส์ (ประเทศไทย) จำกัด

บทคัดย่อ

อุปกรณ์ดูดซับโหมตร่วม (CMAD) เป็นหนึ่งในอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการแพร่สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ อุปกรณ์นี้มีสองหน้าที่ คือ ทำหน้าที่คงค่าอิมพีแดนซ์ที่สายส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง เพื่อให้เป็นค่าอิมพีแดนซ์มาตรฐานในทุกๆห้องทดสอบความเข้ากันทางแม่เหล็กไฟฟ้า และ ทำหน้าที่ลดค่าสัญญาณรบกวนที่สายส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง แต่ในปัจจุบันอุปกรณ์นี้มีราคาที่สูง โครงการนี้จึงพยายามที่จะค้นหาวัสดุที่เหมาะสมที่จะนำมาประดิษฐ์ CMAD โดยคัดเลือกแกนเฟอร์ไรต์นำมาประกอบและทดสอบค่าความสูญเสียของสัญญาณให้มีค่าใกล้เคียงกับในใบข้อมูลของ CMAD ของจริง จากนั้นทำการทดสอบกับอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบชนิดต่างๆ เช่น เครื่องปรับอากาศ หลอดไฟ และ อิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ และได้ผลว่า CMAD นั้นมีประสิทธิภาพในการลดสัญญาณรบกวนสูง เมื่ออุปกรณ์ภายใต้การทดสอบเป็นระบบเล็กอย่าง อิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ ซึ่งลดได้ถึง 18 เดซิเบล เมื่อเทียบกับระบบใหญ่อย่างเครื่องปรับอากาศ VRV ที่ลดได้เพียง 1 เดซิเบล และถึงแม้จะมีการเปลี่ยนความยาวสายไฟที่มีผลต่อการทดสอบ อุปกรณ์ CMAD ยังสามารถคงค่าอิมพีแดนซ์ให้ค่าสัญญาณรบกวนไม่กระจายมาก ซึ่งได้ค่าพิสัย 28.7 เดซิเบล ในสายไฟยาว 2.5 เมตรและได้ค่าพิสัย 28.1 เดซิเบล ในสายไฟยาว 5.0 เมตร

คำสำคัญ : ความเข้ากันทางแม่เหล็กไฟฟ้า อุปกรณ์ดูดซับโหมตร่วม การแพร่สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ค่าความสูญเสียของสัญญาณ อุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cooperative Title : Invention of common mode absorption device (CMAD) with low budget and its testing

Student intern name: Jitkasem Namsuwan

Faculty: Engineering **Department:** Electrical Engineering

Advisor name: Asst. Prof. Dr. Worawat Nakawiro

Mentor name: Mr.Chaiwat Choochuen

Company: Daikin Industries (Thailand) LTD.

ABSTRACT

Common mode absorption device (CMAD) is one of the devices used to test the propagation of electromagnetic waves through the air or Radiated emission. Given the high price of commercial products, this project tries to find a suitable material to create CMAD with low budget. This invention process starts from selecting the ferrite core to assemble and test the insertion loss value to be close to the real CMAD data sheet. Then, the developed CMAD is used to conduct several tests with electrical appliances including air conditioners and electronic ballasts. The test results show effectiveness of our CMAD in reducing noise. For electronic ballasts, the noise level is reduced to 18 dBs compared to the air conditioners with the noise reduction just only 1 dB. With the change of power cable length that generally affects the test, our CMAD can still maintain the impedance. Moreover, the noise value is not distributed so much. The noise level is 28.7 dBs for a 2.5-m power cable and 28.1 for a 5-m power cable.

Key word : Common mode absorption device, Electromagnetic compatibility , Radiated emission , Insertion loss , Equipment under test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก อาจารย์วรวรรณ ที่ได้สละเวลาอันมีค่าให้แก่ผู้วิจัย เพื่อให้คำปรึกษาและแนะนำตลอดจนตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ จากใจจริง

ขอขอบคุณ คุณชัยวัฒน์ ชูชื่นและสมาชิกทีม EMC จากบริษัท ไตกิ้น อินดัสทรีส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ ตลอดจนช่วยสนับสนุนในการหาอุปกรณ์ในการทำการทดลองต่างๆ จนเสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ ขออุทิศความดีที่มีในการศึกษาวิจัยนี้แด่ บิดา มารดา ครอบครัวของผู้วิจัย ซึ่งคอยให้กำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้เสมอมา

จิตเกษม นามสุวรรณ
ผู้วิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเบื้องต้น.....	3
2.1.1 แหล่งกำเนิดสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าจากธรรมชาติและจากทางเทคนิคของมนุษย์.....	5
2.1.2 นิยามของสัญญาณรบกวน.....	6
2.1.3 ช่วงความถี่.....	6
2.1.4 สัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง (Differential mode noise).....	7
2.1.5 สัญญาณรบกวนโหมดร่วม (Common mode noise).....	8
2.1.6 การถ่ายโอนของสัญญาณรบกวน.....	8
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการแพร่สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ.....	9
2.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	11
2.2.3 การติดตั้งการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศ.....	17
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับอุปกรณ์ดูดซับโหมดผลรวม.....	22
2.3.1 การเปรียบเทียบ TRL (through reflect line).....	22
2.3.2 การวัดค่าพารามิเตอร์ S.....	24
2.3.3 คุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์ดูดซับโหมดผลรวม.....	26
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับวัสดุเฟอร์ไรต์.....	30
2.4.1 ประเภทของวัสดุเฟอร์ไรต์ 1. เฟอร์ไรต์อ่อน.....	30
2.4.2 การนำไปใช้งาน.....	32
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	35
3.1 เลือกว่าวัสดุอุปกรณ์.....	35
3.2. Simulation พารามิเตอร์ต่างๆ.....	36
3.3 ประกอบกับอุปกรณ์ยึดติด.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศด้วยเครื่องปรับอากาศ VRV ใน SAC 3m.....	44
3.5 ทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศด้วยเครื่องปรับอากาศTBM ใน SAC 3m.....	47
3.6 ทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศด้วย หลอดไฟและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ใน SAC 3m	48
3.7 ทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศด้วยหลอดไฟและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใน SAC 10m	49
บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงการงาน	51
4.1 ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ S และค่าความสูญเสียของสัญญาณด้วยเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายแบบ เวกเตอร์.....	51
4.2 ทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศด้วยเครื่องปรับอากาศ VRV ใน SAC 3m.....	54
4.3 ทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศด้วยเครื่องปรับอากาศ TBM ใน SAC 3m.....	63
4.4 ทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศด้วย หลอดไฟและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใน SAC 3m	66
4.5 ทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศด้วย หลอดไฟและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ใน SAC 10m	69
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน.....	71
5.1 สรุปผลการทดลอง	71
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทดลอง	72
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพประกอบ

รูปที่ 2.1 ความเข้ากันทางแม่เหล็กไฟฟ้า.....	3
รูปที่ 2.2 สัญญาณรบกวนโหมมผลต่างในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 1 เฟส	7
รูปที่ 2.3 สัญญาณรบกวนโหมมพร้อมในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 1 เฟส.....	8
รูปที่ 2.4 ระบบการถ่ายโอนสัญญาณในระบบไฟฟ้า 1 เฟส.....	9
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างลักษณะสัญญาณรบกวนผ่านอากาศในแอร์คอนดิชันเนอร์.....	10
รูปที่ 2.6 ห้องปิดกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	11
รูปที่ 2.7 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแบบเรียลไทม์ (Real time spectrum analyzer).....	12
รูปที่ 2.8 เสาอากาศรับสัญญาณแบบ X-wing Bilog.....	13
รูปที่ 2.9 เสาอากาศนับสัญญาณแบบเขา.....	14
รูปที่ 2.10 ฟรีแอมพลิฟายเออร์	14
รูปที่ 2.11 ขาดังเสาอากาศสามขา	15
รูปที่ 2.12 สายสัญญาณโคแอกซ์ชีเยล	15
รูปที่ 2.13 อุปกรณ์คูคซ์โหมมพร้อม.....	16
รูปที่ 2.14 รูปแบบการวางอุปกรณ์ทดสอบบนพื้นหมุนในห้องทดสอบ	17
รูปที่ 2.15 รูปแบบการติดตั้งทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศแบบอุปกรณ์ตั้งโต๊ะ (1).....	18
รูปที่ 2.16 รูปแบบการติดตั้งทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศแบบอุปกรณ์ตั้งโต๊ะ (2).....	18
รูปที่ 2.17 รูปแบบการติดตั้งทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศแบบอุปกรณ์ตั้งโต๊ะ (3).....	19
รูปที่ 2.18 รูปแบบการติดตั้งทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศแบบอุปกรณ์ตั้งพื้น	19
รูปที่ 2.19 รูปแบบการติดตั้งทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศแบบอุปกรณ์หลายชั้น (1).....	20
รูปที่ 2.20 รูปแบบการติดตั้งทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศแบบอุปกรณ์หลายชั้น(2).....	20
รูปที่ 2.21 ลักษณะการเดินสายเคเบิลที่ต่อออกจากอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ	21
รูปที่ 2.22 การจัดวางอุปกรณ์การเปรียบเทียบ TRL (1).....	23
รูปที่ 2.23 การจัดวางอุปกรณ์การเปรียบเทียบ TRL (2).....	24
รูปที่ 2.24 รูปแบบการทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ S	25
รูปที่ 2.25 กราฟค่าพารามิเตอร์ S11 ที่เหมาะสมสำหรับ CMAD.....	26
รูปที่ 2.26 กราฟค่าอิมพีแดนซ์ของ Decoupling clamp และ CMAD.....	28
รูปที่ 2.27 กราฟค่า Decoupling factor ของ Decoupling clamp และ CMAD.....	29
รูปที่ 2.28 แม่เหล็กเฟอร์ไรต์.....	30
รูปที่ 2.29 แกนเฟอร์ไรต์รูปร่างทอรอยด์ (Toroid)	32

รูปที่ 2.30 แกนเพอร์ไรต์รูปร่าง E	33
รูปที่ 2.31 แกนเพอร์ไรต์รูปร่างทรงกระบอก	33
รูปที่ 2.32 เพอร์ไรต์ปิด	34
รูปที่ 3.1 Epoxy coated toroid (5943002701).....	36
รูปที่ 3.2 อุปกรณ์วิเคราะห์เครือข่ายเวกเตอร์และหน้าจอมอนิเตอร์	36
รูปที่ 3.3 CMAD ขณะทำการทดสอบ	37
รูปที่ 3.4 แท่งโลหะขนาด 60 เซนติเมตร	37
รูปที่ 3.5 Auto calibration kit.....	38
รูปที่ 3.6 จี๊กทดสอบ S- parameter ความต้านทาน 50 โอห์ม	38
รูปที่ 3.7 สายเคเบิลสัญญาณสำหรับต่อกับเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายแบบเวกเตอร์.....	39
รูปที่ 3.8 ไม้ขนาด 13×37×2 เซนติเมตร	40
รูปที่ 3.9 กีบรัดท่อขนาด 1.25 นิ้ว พร้อมโฟมกันกระแทก	40
รูปที่ 3.10 ฟันสีกีบรัดท่อ	41
รูปที่ 3.11 ชั้นสกรูติดกับไม้.....	41
รูปที่ 3.12 CMAD (1)	42
รูปที่ 3.13 CMAD (2)	42
รูปที่ 3.14 CMAD เสร็จสมบูรณ์ (1).....	43
รูปที่ 3.15 CMAD เสร็จสมบูรณ์ (2).....	43
รูปที่ 3.16 CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอก.....	44
รูปที่ 3.17 Decoupling clamp ที่สายสายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอก.....	44
รูปที่ 3.18 ขณะทำการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศด้วย VRV	45
รูปที่ 3.19 แกนเพอร์ไรต์คล้องที่สายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่างเครื่องปรับอากาศ	45
รูปที่ 3.20 Fabric shield สำหรับการกีดสัญญาณรบกวน	46
รูปที่ 3.21 CMAD ที่สายสายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านใน	47
รูปที่ 3.22 ขณะทำการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศด้วย TBM	47
รูปที่ 3.23 หลอดไฟและอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ที่ใช้ทำการทดสอบ	48
รูปที่ 3.24 SAC 10 เมตรที่ สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์.....	49
รูปที่ 3.25 ทดสอบด้วย CMAD ของโครงการที่ทำขึ้น	49
รูปที่ 3.26 ทดสอบด้วย CMAD ของสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ S ต่างๆของแกนเฟอร์ไรต์ 594300270.....	51
รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบค่าความสูญเสียของสัญญาณของแกนเฟอร์ไรต์ 594300270 โดยที่ทำการหาค่า ความสูญเสียของสัญญาณในสามความถี่ได้แก่ ความถี่ 1 MHz 30 MHz และ 100 MHz.....	52
รูปที่ 4.3 ค่าความสูญเสียของสัญญาณ ในแต่ละความถี่สามความถี่ ที่ทำการคำนวณโดยเครื่องวิเคราะห์ เครือข่ายแบบเวกเตอร์.....	52
รูปที่ 4.4 ค่าความสูญเสียของสัญญาณในอุปกรณ์ดูดซับโหมตรง่วมของจริง.....	53
รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศโดยใช้เครื่องปรับอากาศ VRV ฝั่งด้านนอก เป็นอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ ในการทดสอบที่ไม่มีอุปกรณ์ CMAD ที่สายจ่ายไฟ.....	54
รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศโดยใช้เครื่องปรับอากาศ VRV ฝั่งด้านนอก เป็นอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ ในการทดสอบที่มีอุปกรณ์ Decoupling clamp ที่สายจ่ายไฟ	55
รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศโดยใช้เครื่องปรับอากาศ VRV ฝั่งด้านนอก เป็นอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ ในการทดสอบที่มีอุปกรณ์ CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลัง.....	56
รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศโดยใช้เครื่องปรับอากาศ VRV ฝั่งด้านนอก เป็นอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ ในการทดสอบที่มีอุปกรณ์ CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลังของ เครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกและ Decoupling clamp ที่สายจ่ายไฟกำลังของ เครื่องปรับอากาศของฝั่งด้านใน.....	57
รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศโดยใช้เครื่องปรับอากาศ VRV ฝั่งด้านนอก เป็นอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ ในการทดสอบที่มีอุปกรณ์ Decoupling clamp ที่สายจ่ายไฟ กำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกและ CMAD ที่สายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่าง เครื่องปรับอากาศ ครั้งที่ 1.....	58
รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศโดยใช้เครื่องปรับอากาศ VRV ฝั่งด้านนอก เป็นอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ ในการทดสอบที่มีอุปกรณ์ Decoupling clamp ที่สายจ่ายไฟ กำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกและ CMAD ที่สายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่าง เครื่องปรับอากาศ ครั้งที่ 2.....	59
รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศโดยใช้เครื่องปรับอากาศ VRV ฝั่งด้านนอก เป็นอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ ในการทดสอบที่มีอุปกรณ์ Decoupling clamp ที่สายจ่ายไฟ กำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกและ CMAD ที่สายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่าง เครื่องปรับอากาศ ครั้งที่ 3.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศโดยใช้เครื่องปรับอากาศ VRV ฝั่งด้านนอก เป็นอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ ในการทดสอบที่มีอุปกรณ์ CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลังของ เครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกและ Decoupling clamp ที่สายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่าง เครื่องปรับอากาศ ครั้งที่ 1.....	60
รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศโดยใช้เครื่องปรับอากาศ VRV ฝั่งด้านนอก เป็นอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ ในการทดสอบที่มีอุปกรณ์ CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลังของ เครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกและ Decoupling clamp ที่สายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่าง เครื่องปรับอากาศ ครั้งที่ 2.....	60
รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศโดยใช้เครื่องปรับอากาศ VRV ฝั่งด้านนอก เป็นอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ ในการทดสอบที่มีอุปกรณ์ CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลังของ เครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกและ Decoupling clamp ที่สายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่าง เครื่องปรับอากาศ ครั้งที่ 3.....	61
รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบโหมดพัฒนาของเครื่องปรับอากาศ VRV โดยที่ Decoupling clamp ถูกใช้งาน อยู่ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกและ CMAD ถูกใช้งานอยู่ที่สายเชื่อมต่อ ระหว่างเครื่องปรับอากาศ.....	62
รูปที่ 4.16 ผลการทดสอบแบบดั้งเดิม โดยที่ไม่มีอุปกรณ์ลดสัญญาณรบกวนใดๆของเครื่องปรับอากาศ TBM.....	63
รูปที่ 4.17 ผลการทดสอบโดยใช้ Decoupling clamp ที่สายจ่ายไฟกำลังเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอก ของเครื่องปรับอากาศ TBM.....	64
รูปที่ 4.18 ผลการทดสอบโดยใช้ CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลังเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกของ เครื่องปรับอากาศ TBM.....	64
รูปที่ 4.19 ผลการทดสอบแบบดั้งเดิมโดยที่ไม่ได้ใส่อุปกรณ์ลดสัญญาณใดๆที่สายจ่ายไฟกำลัง 2.5 เมตร..	66
รูปที่ 4.20 ผลการทดสอบโดยใช้ CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลัง 2.5 เมตรของอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์.....	67
รูปที่ 4.21 ผลการทดสอบแบบดั้งเดิมโดยที่ไม่ได้ใส่อุปกรณ์ลดสัญญาณใดๆที่สายจ่ายไฟกำลัง 5.0 เมตร..	67
รูปที่ 4.22 ผลการทดสอบโดยใช้ CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลัง 5.0 เมตรของอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์.....	68
รูปที่ 4.23 ผลการทดสอบดั้งเดิมด้วยอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์.....	69
รูปที่ 4.24 ผลการทดสอบ CMAD ของ สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์.....	69
รูปที่ 4.25 ผลการทดสอบ CMAD ของโครงการงานที่ทำขึ้น.....	70

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ช่วงความถี่ของความถี่วิทยุ.....	7
ตารางที่ 2.2 ช่วงความถี่ที่ใช้ในการตั้งค่าเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแบบเรียลไทม์.....	12
ตารางที่ 2.3 ค่าจำกัดในการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศ.....	17
ตารางที่ 3.1 Datasheet ของ Epoxy coated toroid (5943002701).....	35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในงานวิจัยเล่มนี้จะวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบการแพร่สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ ซึ่งจะเกิดขึ้นในระดับความถี่ที่สูงตั้งแต่ 30 Hz ขึ้นไป ค่าจำกัดสูงสุดของความถี่ขึ้นอยู่กับมาตรฐานที่ใช้ในการวัด แต่ส่วนใหญ่แล้วจะจำกัดที่ความถี่ 1 GHz สำหรับบางผลิตภัณฑ์ก็ทดสอบไปจนถึงความถี่ 2-3 GHz ในระดับความถี่สูงระดับนี้จะมีการแพร่สัญญาณสนามแม่เหล็กออกมาจากตัวผลิตภัณฑ์ที่กำลังทำงานอยู่ หรือแม้แต่สายจ่ายไฟที่กำลังจ่ายไฟให้กับผลิตภัณฑ์ก็มีการแพร่ออกมาเช่นกัน เรียกว่า การรบกวนทางไฟฟ้า ซึ่งปัญหาในการวิจัยครั้งนี้ก็คือ เราจะรู้ได้อย่างไรว่าค่าสัญญาณรบกวนที่ออกมาจากตัวผลิตภัณฑ์เพียงอย่างเดียวนั้นมีค่าเท่าใด ในขณะที่ความยาวของสายไฟนั้นมีผลต่อค่าสัญญาณรบกวนด้วย แต่ในห้องทดสอบแต่ละห้อง จุดต่อสายจ่ายไฟกำลังนั้นก็มิได้อยู่ที่เดียวกัน บางห้องทดสอบก็อยู่ไกล บางห้องทดสอบก็อยู่ใกล้ อีกทั้งในห้องทดสอบก็มีขนาดไม่เท่ากันอีก เช่น ห้องปิดกั้นคลื่นสนามไฟฟ้าแบบกึ่งไร้คลื่นสะท้อน 3 เมตร (Semi anechoic chamber 3 m : SAC 3 m) กับ ห้องปิดกั้นคลื่นสนามไฟฟ้าแบบกึ่งไร้คลื่นสะท้อน 10 เมตร (Semi anechoic chamber 10 m : SAC 10 m) หรือ ห้องปิดกั้นคลื่นสนามไฟฟ้าแบบไร้คลื่นสะท้อนสมบูรณ์ (Fully anechoic chamber : FAR)

ทุกๆปัจจัยนี้ล้วนมีผลต่อปริมาณการแพร่สนามแม่เหล็กออกมาจากสายไฟทั้งนั้น เราจึงจะต้องมีอุปกรณ์เพื่อรักษาอิมพีแดนซ์ที่สาย ให้มีค่าคงที่ในทุกๆห้องทดสอบ ซึ่งก็จะมีอุปกรณ์ที่ใช้กันบ่อยๆอยู่สามชนิด คือ โครงข่ายสร้างเสถียรภาพอิมพีแดนซ์ (Line impedance stabilization network : LISN) และ อุปกรณ์ดูดซับโหมดผลรวม (Common mode absorption device : CMAD) ทั้งสองชนิดนั้นล้วนแล้วแต่มีราคาที่สูงมาก อีกทั้งถ้ามีสายส่งที่ออกมาจากตัวผลิตภัณฑ์มากกว่า 1 เส้นเช่น อาจจะมีสายสัญญาณ หรือ สายรีโมตควบคุม เป็นต้น ในกรณีของเครื่องปรับอากาศ ก็จำเป็นต้องมีอุปกรณ์รักษาอิมพีแดนซ์ที่สายจ่ายไฟกำลัง จำนวนให้พอกับสายไฟที่ออกมา ในการวิจัยครั้งนี้จึงคิดริเริ่มที่จะลองทำอุปกรณ์ใช้เอง โดยเลือกทำ CMAD เหตุผลคือ CMAD นั้นมีเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดจากกระแสโหมดรวม โดยเฉพาะ เพราะ ตัวปัญหาหลักที่สำคัญที่ก่อให้เกิดการแพร่สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ หรือ การรบกวนทางไฟฟ้านั้นเกิดจากกระแสโหมดรวม ที่ไหลระหว่างสายจ่ายไฟกับกราวด์ มากกว่ากระแสโหมดผลต่าง

1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการจัดหาอุปกรณ์ทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศในการทดสอบ EMC
2. เพื่อคัดเลือกวัสดุแกนเฟอร์ไรต์ที่เหมาะสมและมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับอุปกรณ์ทดสอบของจริง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. คัดเลือกแกนเฟอร์ไรต์ที่เหมาะสมกับการลดทอนสัญญาณรบกวนในสายจ่ายไฟกำลัง
2. ทำการทดสอบค่าตัวแปรที่ใช้บ่งบอกคุณภาพของแกนเฟอร์ไรต์ในการลดทอนสัญญาณรบกวน
3. ศึกษาปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการใช้งาน CMAD ในอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบชนิดต่างๆ

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ทำการศึกษาอุปกรณ์ดูดซับกระแสโหมดผลรวม จากมาตรฐาน เช่น CISPR-14-1 กับ CISPR-14-2, IEC61000-4-6 กับ CISPR16-1-4 และ CISPR 16-2-3 เพื่อศึกษารายละเอียดต่างๆของวัสดุต่างๆที่จะนำมาใช้ทำ CMAD
2. สั่งซื้อแกนเฟอร์ไรต์จาก บริษัท Ferroxcube และบริษัท Fairrite ซึ่งเป็นบริษัทจัดทำแกนเฟอร์ไรต์
3. ทำการประกอบแกนเฟอร์ไรต์กับไม้และก๊ิปติดท่อพร้อมทั้งกระจกอะคลิลิกใสครอบ
4. ทดสอบประสิทธิภาพของ CMAD ที่ทำขึ้นมาด้วย Vecter network analyzer วัดค่าพารามิเตอร์ S (S-Parameter) และ ค่าความสูญเสียของสัญญาณ (Insertion loss) แล้วพิจารณาว่า ได้ค่าตามกราฟแผ่นข้อมูลของ CMAD ของจริงที่ขายในท้องตลาดหรือไม่
5. ทำการทดสอบในห้องทดสอบห้อง SAC 3 เมตร ที่บริษัทไดกิ้น อินดัสทรีส์ (ประเทศไทย) จำกัด โดยใช้ อุปกรณ์ภายใต้การทดสอบเป็นเครื่องปรับอากาศ VRV-A 20 แรงแม และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ขนาดความยาวสาย 2.5 เมตร และ 5.0 เมตร
6. ทำการทดสอบอีกครั้งที่ห้องทดสอบ EMC ที่ ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) โดยการใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในห้อง SAC 10 เมตร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ลดค่าใช้จ่ายในการจัดหาอุปกรณ์ในการทดสอบการแพร่สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ
2. ได้ทดสอบว่าอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบแบบใดที่คุ้มค่าต่อการใช้ทดสอบด้วย CMAD
3. ได้ทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อการใช้งานของ CMAD

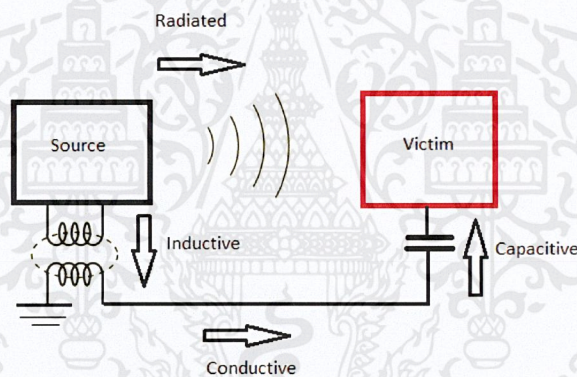
บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเบื้องต้น

ก่อนที่จะเริ่มถึงพูดถึงที่มาของงานวิจัยเล่มนี้นั้น ผู้วิจัยอยากให้ผู้อ่านได้ทำความรู้จักกับคำว่า ความเข้ากันทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic compatibility : EMC) เสียก่อน เพราะเป็นที่มาและหัวข้อใหญ่ที่สุดของการศึกษานี้ขึ้นมา

ความเข้ากันทางแม่เหล็กไฟฟ้า คือความสามารถของเครื่องใช้ไฟฟ้าและระบบต่างๆในการทำงานร่วมกันได้อย่างถูกต้อง ในสภาพสิ่งแวดล้อมแบบอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ โดยการที่เราจะจำกัดค่าสนามแม่เหล็กที่กำเนิดออกมาโดยที่ไม่ได้ตั้งใจจากเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งสนามแม่เหล็กเหล่านี้สามารถก่อให้เกิดผลที่ไม่ดีต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างอื่นได้ ยกตัวอย่างเช่น โทรทัศน์สมัยก่อนจะไม่ชัดเมื่อมีเครื่องบินบินผ่านหรือ อินเทอร์เน็ตไม่เสถียรเมื่อเกิดฝนตก พายุร้อน พายุผ่า เป็นต้น ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้เรียกว่า การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Inteferece : EMI)



รูปที่ 2.1 ความเข้ากันทางแม่เหล็กไฟฟ้า

ความสามารถในการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่จะไม่ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนกับการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดอื่น [4]

การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า คือ การที่สัญญาณหรือการแพร่กระจายใดๆ เกิดการแผ่รังสีในพื้นที่ว่างหรือเกิดการเหนี่ยวนำขึ้นตามสายไฟหรือสายสัญญาณ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของ ระบบนำทางแบบคลื่นวิทยุ หรือการให้บริการด้านความปลอดภัยต่างๆ นอกจากนี้ยังลดความชัดเจนของสัญญาณ อีกทั้งยังขัดขวางรบกวนของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณชนิดอื่นๆอีกด้วย ฉะนั้นก่อนที่ผู้ประกอบการที่ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าไม่ว่าจะชนิดใดก็ตาม จะส่งออกขายในประเทศหรือต่างประเทศ จะต้องมีการทดสอบให้มั่นใจว่าจะไม่เกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า เกินมาตรฐานของประเทศนั้นๆ ซึ่งหัวข้อการทดสอบ จะมีดังนี้

- 1) การทดสอบการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ (Conducted emission testing) คือ การทดสอบหาระดับสัญญาณที่ออกมาจากผลิตภัณฑ์ที่ย้อนกลับเข้าไปในแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยมีสายตัวนำเป็นตัวกลางในการส่งผ่าน
- 2) การทดสอบการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านทางอากาศ (Radiated emission testing) คือ การทดสอบหาระดับสัญญาณรบกวนที่ออกมาจากผลิตภัณฑ์ ที่แพร่กระจายออกไปในอากาศโดยมีอากาศเป็นตัวนำในการส่งผ่าน
- 3) การทดสอบการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนกระแสฮาร์โมนิกส์ (Harmonics emission testing) คือ การวัดกระแสฮาร์โมนิกส์จากผลิตภัณฑ์ที่แพร่เข้าสู่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า
- 4) การทดสอบการกระพริบและการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในระบบจ่ายไฟฟ้า (Flicker testing) คือ การวัดระดับแรงดันกระพริบที่ผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า

หัวข้อต่อมาในเรื่องของความเข้ากันทางแม่เหล็กไฟฟ้านั้น เมื่อได้พูดถึงการจำกัดสนามแม่เหล็กที่ปล่อยออกมาจากตัวผลิตภัณฑ์แล้ว ก็ยังมีความสามารถในการต่อต้านสนามแม่เหล็กเหล่านั้นของผลิตภัณฑ์ เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ อีกด้วยหรือที่เรียกกันว่า ความคงทนต่อสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Susceptibility : EMS) เช่นเดียวกับในหัวข้อการแพร่สัญญาณ ผู้ประกอบการทุกคนจะต้องมีการทดสอบผลิตภัณฑ์ของตนด้วย เพื่อให้มั่นใจว่าเมื่อผลิตภัณฑ์นั้นได้เจอกับค่าสนามแม่เหล็ก EMI แล้ว จะยังสามารถทำงานได้ตามปกติหรือไม่ ความคงทนต่อสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้านั้นก็จะมี การทดสอบต่างๆ ดังนี้

- 1) การทดสอบภูมิคุ้มกันต่อประจุไฟฟ้าสถิต (Electrostatic discharge immunity testing) คือ การทดสอบความทนต่อการถูกรบกวนในรูปของการคายประจุไฟฟ้าสถิตสู่ตัวผลิตภัณฑ์ ทั้งการคายประจุไฟฟ้าแบบสัมผัสและการคายประจุไฟฟ้าผ่านอากาศ
- 2) การทดสอบภูมิคุ้มกันคลื่นวิทยุ (RF radiated immunity testing) คือ การทดสอบความทนต่อการถูกรบกวนโดยคลื่นวิทยุซึ่งการทดสอบจะทำที่ระดับความเข้มระนาบสนามไฟฟ้าที่มีระดับความเข้มสนามต่างๆ
- 3) การทดสอบภูมิคุ้มกันการเกิดแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วครู่แบบรวดเร็ว (Electrical fast transient/burst immunity testing) คือ การทดสอบความทนต่อการถูกรบกวนจากแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วครู่แบบรวดเร็วที่เกิดขึ้นในแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากำลังทั้งการรบกวนทางสายตัวนำไฟฟ้าและการเหนี่ยวนำที่สายควบคุม
- 4) การทดสอบภูมิคุ้มกันเสิร์จ (SURGE immunity testing) คือ การทดสอบความทนต่อการถูกรบกวน ที่เกิดจากการสร้างสัญญาณรบกวนในรูปของเสิร์จเข้ามาทางสายตัวนำไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) การทดสอบภูมิคุ้มกันการรบกวนคลื่นวิทยุผ่านสายตัวนำไฟฟ้า (RF conducted immunity test) คือ การทดสอบความทนต่อการถูกรบกวนในรูปของความถี่วิทยุที่มาทางสายนำไฟฟ้าและช่องสายสัญญาณ
- 6) การทดสอบภูมิคุ้มกันสนามแม่เหล็กเชิงกำลัง (Power magnetic field immunity testing) คือ การทดสอบความทนต่อการถูกรบกวนในรูปของสนามแม่เหล็กแบบความเข้มสูงผ่านทางอากาศ
- 7) การทดสอบภูมิคุ้มกันสนามแม่เหล็กเชิงพัลส์ (Pulse magnetic field immunity testing) คือ การทดสอบความทนต่อการถูกรบกวนในรูปของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพัลส์
- 8) การทดสอบภูมิคุ้มกันต่อแรงดันไฟฟ้าตก (Voltage Dips) คือ การทดสอบที่จำลองการที่แรงดันไฟฟ้าหายไปชั่วขณะ และ แรงดันไฟฟ้าแกว่ง

สัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นผลที่เกิดจาก กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า เมื่อไรก็ตามที่เครื่องใช้ไฟฟ้านั้นใช้ไฟฟ้าในการใช้งานก็จะมี สัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าตามมาอย่างแน่นอน สัญญาณเหล่านี้สามารถใช้งานในการส่งผ่านข้อมูลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ หรืออาจจะเป็นผลพลอยได้จากการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งผู้ใช้งานไม่ได้ตั้งใจที่จะสร้างขึ้นหรือเราสามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสัญญาณรบกวนเหล่านี้เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดความผิดปกติ จึงเป็นหน้าที่ผู้ประกอบการที่จะต้องหาวิธีแก้ไขเพื่อให้สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าลดลง

2.1.1 แหล่งกำเนิดสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าจากธรรมชาติและจากทางเทคนิคของมนุษย์

สัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้านั้นเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดตามธรรมชาติ ยกตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเลย เช่น เหตุการณ์ฟ้าผ่า ซึ่งก็ไม่ได้มีอะไรไปมากกว่าการที่ กระแสไฟฟ้าปริมาณมากที่คลายประจุจำนวนมากจากก้อนเมฆลงสู่พื้นดินของโลก กระแสที่เกิดจากฟ้าผ่านี้ก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขนาดใหญ่และยังก่อให้เกิดรังสีในชั้นบรรยากาศ ซึ่งชนิดของสัญญาณเหล่านี้ไม่ถือว่าเป็น EMC แต่ที่น่าสนใจมากกว่าและเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้คือ แหล่งกำเนิดสัญญาณในทางเทคนิคหรือที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มนุษย์สร้างขึ้น อุปกรณ์ทุกอย่างที่ถูกขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้านั้นถูกยกให้เป็นสาเหตุหลักของแหล่งกำเนิดสัญญาณเหล่านี้ ซึ่งเราสามารถที่จะแบ่งออกเป็นสองชนิด คือ ตัวจ่ายพลังงานไฟฟ้า (Power supplied) และอินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบ (Motor drive) ในทางตรงกันข้ามในบางครั้ง เราก็ยกกำเนิดสัญญาณเหล่านี้เพื่อที่จะส่งข้อมูลผ่านระยะทางไกลๆ เช่น ในสถานีโทรทัศน์ ในโลกที่มีการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ไร้สายมากขึ้น ประเด็นในเรื่องสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าก็มีความสำคัญมากขึ้นเรื่อยๆ

2.1.2 นิยามของสัญญาณรบกวน

บางสัญญาณที่กำเนิดเพื่อการส่งผ่านข้อมูลในระยะทางไกลๆนั้น ไม่ได้ว่าเป็นสัญญาณรบกวน แต่ถึงกระนั้นก็ยังมีความกระทบต่อเครื่องใช้ไฟฟ้า, อุปกรณ์ EMC ทั้งหมด สัญญาณรบกวนนั้นหมายถึงสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนอกเหนือไปจากสัญญาณที่ได้ออกแบบเอาไว้แต่จะต้องเข้าใจว่า สัญญาณขาออก ที่มีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear) กับอินพุต นั้นไม่ใช่สัญญาณรบกวน แต่เป็นปัญหาที่เกิดจากการออกแบบวงจร เว้นแต่ว่าสัญญาณดังกล่าวนี้ไปรบกวนวงจรอื่น เช่นนั้น เราจะเรียกสัญญาณนี้ว่าเป็นสัญญาณรบกวน

2.1.3 ช่วงความถี่

คุณสมบัติหลักที่ควรพิจารณาของสัญญาณรบกวนสนามแม่เหล็กคือ ความถี่ของสัญญาณนั้นๆ มาตรฐานของ EMC นั้นครอบคลุมตั้งแต่ช่วงความถี่ 0 Hz ถึง 400 GHz แต่อย่างไรก็ตาม มิใช่ทุกความถี่ที่ผู้ทดสอบจะต้องควบคุม มีเพียงบางความถี่เท่านั้นที่สำคัญสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทนั้นๆ

ช่วงความถี่ที่สำคัญช่วงแรกคือ ช่วงความถี่ของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าซึ่งถ้าในทวีปยุโรปนั้นจะมีความถี่ 50 Hz โหลดทางไฟฟ้าส่วนใหญ่ที่ต่อกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้านั้นจะเป็นโหลดไม่เป็นเชิงเส้น โหลดไม่เป็นเชิงเส้นเหล่านั้นทำให้สัญญาณแรงดันไม่เป็นรูปไซน์และมีคุณสมบัติที่สามารถให้กำเนิดกระแสไฟฟ้าเพิ่มเติมในช่วงความถี่ส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ซึ่งเราเรียกกระแสที่เพิ่มขึ้นมาเหล่านี้ว่า ฮาร์โมนิกส์ (Harmonics) ฮาร์โมนิกเหล่านี้จะถูกพิจารณาไปจนถึงอันดับที่ 40 จนถึงอันดับที่ 50 เลยทีเดียว หรือในอีกนัยหนึ่งก็คือ ความถี่มูลฐานของระบบนั้นคือ 50 Hz จะพิจารณาไปจนถึงความถี่ 2000-2500 Hz แต่สำหรับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 60 Hz ก็จะพิจารณาความถี่ไปจนถึง 2400-3000 Hz

ในช่วงความถี่ที่มีค่าสูงกว่า 9000 Hz ขึ้นไป จะเป็นช่วงความถี่สูง (high-frequency) ในช่วงความถี่นี้จะถูกเรียกว่า ความถี่วิทยุ (Radio frequency : RF) ความถี่วิทยุนี้เป็นผลรวมของทุกๆความถี่ในช่วงกิโลเฮิร์ตต์น้อยๆไปจนถึง กิกะเฮิร์ตต์ ในมาตรฐาน EMC นั้นจำกัดค่าความถี่ที่นำมาพิจารณาสูงสุดอยู่ที่ความถี่ 400 GHz แต่ในการทดสอบ EMC กำหนดค่าความถี่ที่ทำการทดสอบอยู่ในความถี่ 9KHz จนถึง 1 GHz ในการทดสอบใหม่ๆบางครั้งก็สูงไปจนถึง 2 GHz หรือมากกว่า

ช่วงความถี่วิทยุนี้โดยทั่วไปแล้วจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วงด้วยกันคือ ช่วงสัญญาณรบกวนในสาย (Conducted noise) และในช่วงสัญญาณรบกวนแพร่ทางอากาศ (Radiated noise) สำหรับในช่วงความถี่ต่ำของความถี่วิทยุนี้ สัญญาณรบกวนจะแพร่ในตัวนำของสายไฟฟ้ามากกว่าจะแพร่ออกมาจากตัวเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านอากาศ เหตุผลหลักเพราะ การจะวัดค่าสัญญาณที่แพร่ผ่านอากาศในช่วงความถี่ต่ำนั้น จำเป็นที่จะต้องมีส่วนรับสัญญาณที่ใหญ่ (Antenna) หรือถ้าจะพูดอย่างง่ายก็คือ ไม่มีอุปกรณ์ที่ใหญ่พอที่จะรองรับสำหรับการวัดสัญญาณรบกวนที่แพร่ผ่านอากาศในช่วงความถี่ต่ำนั่นเอง

โดยทั่วไปแล้วตามค่ามาตรฐาน ความถี่ที่จะเกิดสัญญาณรบกวนในสายส่งตัวนำนั้นจะอยู่ในช่วง 150 KHz จนถึง 30 MHz และความถี่ที่จะเกิดสัญญาณรบกวนที่แพร่ผ่านอากาศจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 30 MHz ขึ้นไป ขอบเขตจำกัดของความถี่จะเป็นอยู่กับว่าทดสอบโดยใช้มาตรฐานอันไหนอ้างอิง

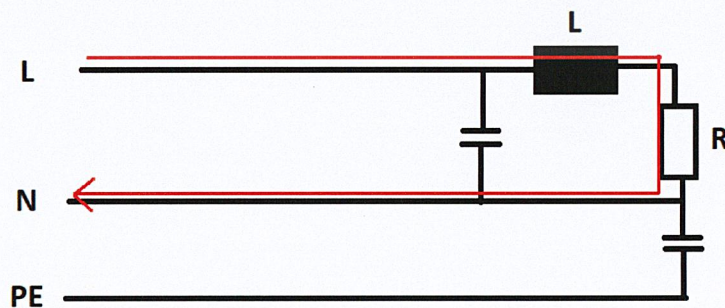
ย่านคลื่น	ช่วงความถี่	ตัวย่อ
Very low frequency	3 kHz – 30 kHz	VLF
Low frequency	30 kHz – 300 kHz	LF
Medium frequency	300 kHz – 3 MHz	MF
High frequency	3 MHz – 30 MHz	HF
Very high frequency	30 MHz – 300 MHz	VHF
Ultra high frequency	300 MHz – 3 GHz	UHF
Super high frequency	3 GHz – 30 GHz	SHF
Extremely high frequency	30 GHz – 300 GHz	EHF

ตารางที่ 2.1 ช่วงความถี่ของความถี่วิทยุ

ความถี่วิทยุ คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับกิจการด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ด้านการสื่อสารทางไกล โดยแต่ละคลื่นความถี่จะมีความเหมาะสมกับกิจการแต่ละชนิด วิทยุกระจายเสียงระบบ FM , โทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น

2.1.4 สัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง (Differential mode noise)

เมื่อเกิดสัญญาณรบกวนในสายส่งกำลังไฟฟ้า สัญญาณรบกวนนั้นจะสามารถเกิดได้ที่ระหว่างสายไฟสองเส้น ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้า 1 เฟส สิ่งนี้อาจจะเกิดขึ้นระหว่างสายไลน์กับสายนิวทรัล ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส อาจเกิดขึ้นในสายระหว่างสาย L1 กับสาย L2 ในระบบไฟฟ้ากระแสตรง สัญญาณรบกวนสามารถวิ่งจากขั้วบวกไปยังขั้วลบได้ สัญญาณรบกวนเหล่านี้ เรียกว่า สัญญาณรบกวนโหมดผลต่าง (Differential mode noise) หรือสัญญาณรบกวนสมมาตร (Symmetrical noise)

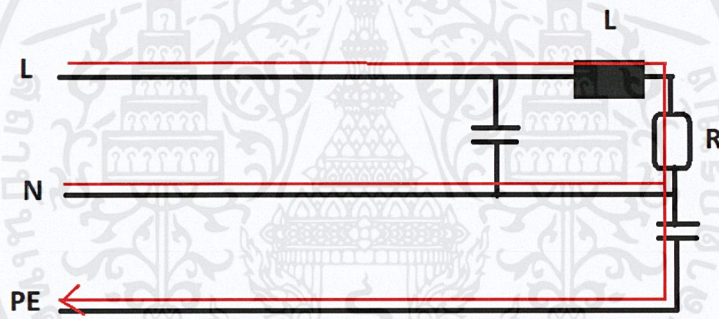


รูปที่ 2.2 สัญญาณรบกวนโหมดผลต่างในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 1 เฟส[4]

สัญญาณรบกวนโหมดผลต่างนั้นเป็นผลที่เกิดมาจากส่วนประกอบฉาก (Parasitic component) ในวงจรไฟฟ้า ยกตัวอย่างเช่น ค่าความจุไฟฟ้าสเตรย์ ที่เกิดจากการที่ตัวนำสองตัวใกล้กัน จนก่อให้เกิดค่าเก็บประจุไฟฟ้าขนานระหว่างตัวนำสองตัวนั้น หรือจะเป็น ผลรวมสมมูลของลดขวดเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่ต่อกัน เป็นแบบอนุกรม เป็นต้น สัญญาณรบกวนโหมดผลต่างนั้น มักจะเกิดขึ้นในช่วงความถี่ต่ำ และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความถี่เชิงของพาวเวอร์ซัพพลาย

2.1.5 สัญญาณรบกวนโหมดร่วม (Common mode noise)

สัญญาณรบกวนนี้สามารถเกิดขึ้นในสายเส้นไหนก็ได้ในระบบ จากนั้นสัญญาณจะไหลลงสายดิน ในระบบส่งจ่ายกำลัง 1 เฟส นั้น สัญญาณรบกวนอาจจะวิ่งจากสาย L และ N ไปยังสายดิน สัญญาณรบกวนชนิดนี้นั้นเรียกว่า สัญญาณรบกวนโหมดร่วม (Common mode noise) เป็นสัญญาณรบกวนที่วิ่งในทุกสายในทิศทางเดียวกันจากนั้นก็วิ่งลงสายดินหมด



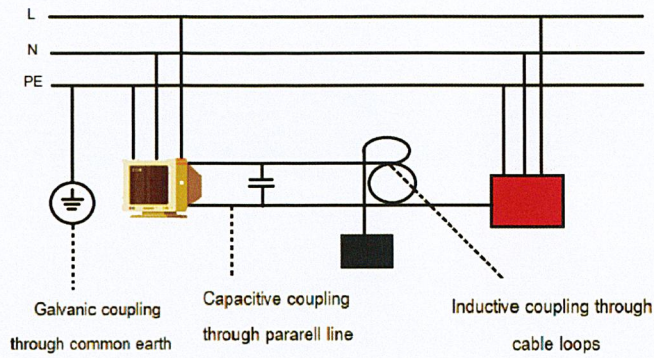
รูปที่ 2.3 สัญญาณรบกวนโหมดร่วมในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 1 เฟส [4]

2.1.6 การถ่ายโอนของสัญญาณรบกวน

สัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถที่จะแพร่ออกได้ ไม่ว่าจะในหรือนอกระบบไฟฟ้านั้นๆ ไม่ว่าจะในสายไฟหรือแพร่ออกมาทางอากาศจะอธิบายดังต่อไปนี้

การถ่ายโอนสัญญาณ (Coupling method) เมื่อดูที่รูปที่ 2.7 ซึ่งเป็นรูปการถ่ายโอนสัญญาณในระบบไฟฟ้า จะเห็นได้ว่ามีเส้นทางการถ่ายโอนสัญญาณสามทาง คือ

1. การถ่ายโอนสัญญาณก็ความถี่เกิดขึ้นเนื่องจากการต่อสายตรงระหว่างพื้นดินในระบบไฟฟ้า
2. การถ่ายโอนสัญญาณความถี่ไฟฟ้า เกิดขึ้นเมื่อ สายเคเบิลสองเส้นเข้าใกล้กันจนเกิดค่าเก็บประจุสเตรย์
3. การถ่ายโอนสัญญาณเหนี่ยวนำ เกิดจากการที่ขดสายไฟเป็นวงกลมจนก่อให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำขึ้น



รูปที่ 2.4 ระบบการถ่ายโอนสัญญาณในระบบไฟฟ้า 1 เฟส[4]

โดยทั่วไปแล้ว การถ่ายโอนสัญญาณที่เกิดขึ้นบ่อย คือการถ่ายโอนสัญญาณแบบกัลป์วานิก ซึ่งต่อตรงกับสายดิน ส่วนการถ่ายโอนสัญญาณแบบความจุไฟฟ้า มักจะเกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมใหญ่ๆ เหตุเพราะมีสายส่งจ่ายไฟกำลังและสายสัญญาณหลายเส้นที่ซึ่งเป็นเส้นขนานกันเป็นระยะไกลๆ รอบโรงงานนั่นเอง

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการแพร่สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ

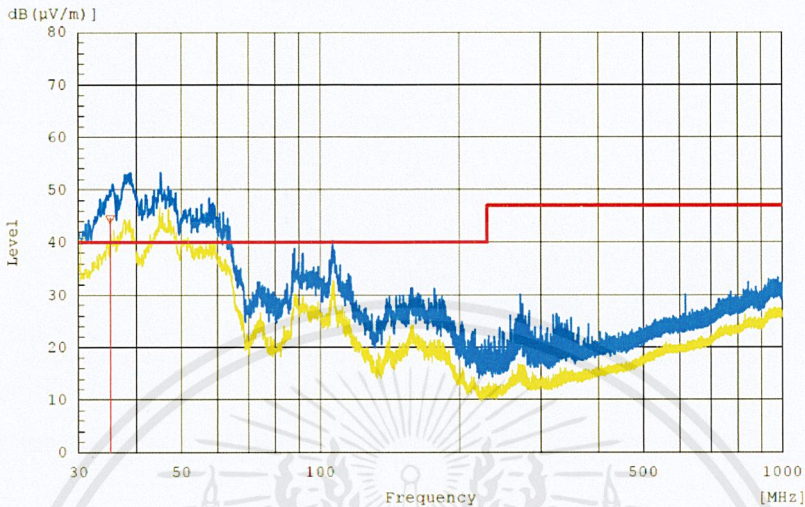
การแพร่สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ คือการปล่อยพลังงานสนามแม่เหล็กออกจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ โดยที่ผู้ใช้งานไม่ได้ตั้งใจจะเกิดขึ้นมา ทุกๆอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้นสามารถแพร่สัญญาณรบกวนสนามแม่เหล็กออกมาตามโครงสร้างภายนอกของอุปกรณ์ได้ โดยทั่วไปแล้ว การแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศนั้นจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับตัวแพร่รังสีแบบไม่ได้ตั้งใจ แต่ในบางครั้งนั้นตัวแพร่รังสีแบบตั้งใจ ก็สามารถก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนในช่วงความถี่นอกช่วงความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารได้ ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นว่า สัญญาณรบกวนเหล่านี้เป็นอันตรายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดอื่นที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกัน ทำให้การทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านั้นมีความผิดปกติทำงานได้ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร องค์กรและหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกัอุปกรณ์ไฟฟ้าจึงต้องมีการควบคุมการแพร่สัญญาณรบกวนไม่ให้มีค่าเกินมาตรฐาน

สัญญาณรบกวนนั้นจะแพร่ออกโดยมีทิศทางการแพร่ที่แน่นอน ไม่ได้แพร่ออกมาเป็นทรงกลม ดังนั้นห้องทดสอบนั้นไม่ว่าจะเป็น ห้องปิดกั้นคลื่นสนามไฟฟ้าแบบกึ่งไร้คลื่นสะท้อน หรือ ห้องปิดกั้นคลื่นสนามไฟฟ้าแบบไร้คลื่นสะท้อนสมบูรณ์ นั้นจะต้องมีความสูงมากพอสำหรับเสาอากาศรับสัญญาณที่สูงตั้งแต่ 1 เมตรจนถึง 4 เมตร ขึ้นอยู่กับความยาวของรัศมีของพื้นหมุนในห้องทดสอบนั้นๆ

การรับสัญญาณของเสาอากาศ (Antenna) จะรับทั้งสัญญาณที่แพร่ออกมาจาก อุปกรณ์ที่อยู่ภายใต้การทดสอบ (Equipment under test , EUT) โดยตรง และสัญญาณที่สะท้อนมาจากพื้นห้องทดลอง เพื่อเพิ่มความแม่นยำและลดค่าความผิดพลาดที่เกิดจากอุปกรณ์และความผิดพลาดที่เกิดจากผู้ทดลองเอง

พื้นที่ของห้องทดลองจึงจำเป็นต้องเป็นวัสดุนำไฟฟ้าและมีความสามารถในการสะท้อนสัญญาณสนามแม่เหล็ก เช่น อะลูมิเนียม, เหล็ก, และระนาบพื้นนี้จะต้องเรียบ

ห้องทดสอบนั้นจะทดสอบในช่วงความถี่ที่สนใจ และหาวิธีแก้ไขในช่วงของความถี่ที่ค่าขนาดสัญญาณใกล้เคียงกับเส้นค่าจำกัดเท่านั้น



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างลักษณะสัญญาณรบกวนผ่านอากาศในแอร์คอนดิชันเนอร์

2.2.1 ประเภทสถานที่ในการทำการทดสอบ

2.2.1.1 พื้นที่ทดสอบเปิด

พื้นที่ทดสอบเปิดนั้น ถูกออกแบบขึ้นมาให้เข้ากับมาตรฐาน ANSI C63.4 สำหรับประเทศในอเมริกาเหนือ และมาตรฐาน CISPR 16-1-x สำหรับประเทศในแถบยุโรปและอื่นๆ ระยะห่างระหว่างเสาอากาศและอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ โดยทั่วไปคือ 3 เมตร, 10 เมตรหรือ 30 เมตร ระยะการวัดมีความสำคัญ ผู้ทำการทดลองต้องการให้แน่ใจว่ากำลังวัดความแรงของสัญญาณสนามแม่เหล็กในสนามระยะไกลเมื่อเทียบกับระยะใกล้ ในระยะการทดสอบที่ใกล้ ค่าสัญญาณที่วัดได้จากเสาอากาศก็จะมีค่าสูง ในระยะการทดสอบที่ไกลค่าทดสอบที่ได้ก็จะมีค่าน้อยกว่า ในบางมาตรฐานก็จะมีกั้นการแยกกันทดสอบในแต่ละระยะ และมีการจำกัดค่าสัญญาณในแต่ละความถี่แตกต่างกันออกไป

2.2.1.2 ห้องปิดกั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ห้องปิดกั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นคล้ายคลึงกับพื้นที่ทดสอบเปิด เพียงแค่ทำการทดสอบในห้องปิดที่พื้นห้องนั้นปูด้วย วัสดุเรียบที่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้า พื้นห้องแบบนี้ช่วยได้มากสำหรับการลดทอนสัญญาณรบกวนพื้นหลัง (Background noise) หรือสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นอยู่แล้วขณะที่ยังไม่ได้ใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ทำการทดสอบ เมื่อสามารถลดสัญญาณรบกวนพื้นหลังได้แล้ว ก็จะเป็นเรื่องง่ายขึ้นสำหรับการแยกแยะว่า สัญญาณรบกวนที่ออกมาจากอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบเพียงอย่างเดียวมีค่าเท่าใด

ภายในห้องปิดกั้นคลื่นแม่เหล็กนั้นจะเต็มไปด้วย วัสดุดูดซับคลื่นวิทยุ (RF absorber) เพื่อให้การสะท้อนของสัญญาณภายในห้องนั้นมีค่าต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ถ้าขาดวัสดุเหล่านี้ การวัดค่าสัญญาณทางเสอากาศก็จะเกิดความผิดพลาดจากการสะท้อนตามผนัง ตามเพดาน ตามมุมห้องของสัญญาณที่ปล่อยออกมา



รูปที่ 2.6 ห้องปิดกั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

2.2.2.1 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแบบเรียลไทม์ (Real time spectrum analyzer)

เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแบบเรียลไทม์นั้นวัดค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุตต่อความถี่ภายในช่วงค่าความถี่สูงสุดที่ตั้งค่าไว้ในอุปกรณ์ การใช้งานส่วนใหญ่ก็จะใช้จับสัญญาณและวัดค่าสเปกตรัมของสัญญาณที่รู้ที่มาและไม่รู้ที่มาอย่าง สัญญาณรบกวนสนามแม่เหล็ก

แตกต่างกับเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแบบดั้งเดิม เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแบบเรียลไทม์นั้นมีความสามารถในการจับสัญญาณที่ไม่สม่ำเสมอหรือสัญญาณที่มักเกิดขึ้นไม่บ่อยด้วยความแม่นยำที่สูงมาก และอีกทั้งยังสามารถสกัดกั้นสัญญาณที่ไม่ต้องการเหล่านั้นในบางความถี่ได้อีกด้วย

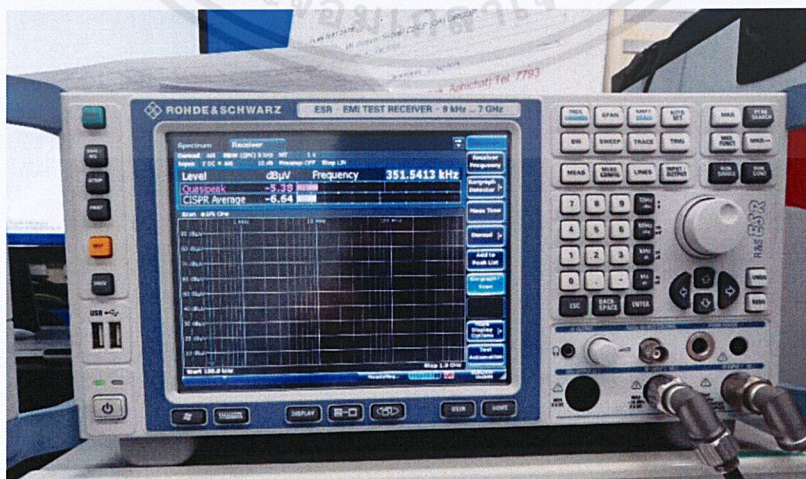
ช่วงความถี่ที่สามารถตั้งค่าได้ในเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแบบเรียลไทม์นั้น จะขึ้นอยู่กับมาตรฐานการทดสอบที่นำมาใช้ด้วย ค่าสัญญาณที่ต่ำที่สุดมักจะใช้ค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ต่ำที่สุดในอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กำลังทำการทดลอง ซึ่งในรูปที่ 2.13 จะเป็นรูปของช่วงความถี่ที่ใช้ตั้งค่าในอุปกรณ์ กำหนดโดย Federal Communications Commission (FCC) ในการทดสอบอุปกรณ์ที่ปล่อยสัญญาณรบกวน รวมไปถึงอุปกรณ์ดิจิทัลด้วย

ความถี่สูงสุดที่อุปกรณ์ภายใต้การทดสอบแพร่สัญญาณออกมา	ช่วงความถี่สูงสุดของการทดสอบ
ต่ำกว่า 1.705 MHz	30 MHz
1.705 - 108 MHz	1000 MHz
108 - 500 MHz	2000 MHz
500 – 1000 MHz	5000 MHz
สูงกว่า 1000 MHz	ความถี่ที่ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 5 หรือที่ความถี่ 40 GHz ขึ้นอยู่กับว่าอันไหนมีค่าสูงกว่า

ตารางที่ 2.2 ช่วงความถี่ที่ใช้ในการตั้งค่าเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแบบเรียลไทม์ กำหนดโดย Federal Communications Commission (FCC) [4]

สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาเมื่อตัดสินใจใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแบบเรียลไทม์สำหรับการทดสอบการวัดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ มีดังนี้

- สภาพแวดล้อมที่มีสัญญาณรบกวนพื้นหลังน้อย
- ช่วงความถี่ที่กว้าง (ต้องมีช่วงที่ครอบคลุมช่วงความถี่ที่ต้องการจะทดสอบ)
- ตัวตรวจจับค่าสูงสุด กับค่าเฉลี่ยและค่าควอไซน์สูงสุด
- โปรแกรมในการแสดงค่าสัญญาณ
- การสอบเทียบและความแม่นยำของการตรวจจับสัญญาณ

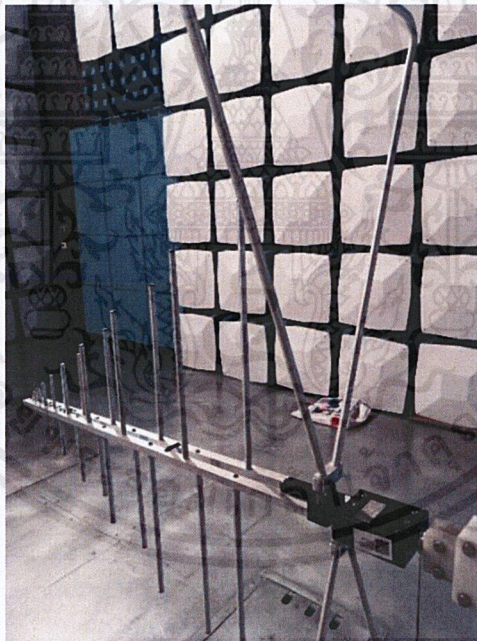


รูปที่ 2.7 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแบบเรียลไทม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2 เสาอากาศรับสัญญาณ (Antenna)

เสาอากาศรับสัญญาณนั้นจะมีการเลือกใช้งานขึ้นอยู่กับช่วงความถี่ที่ผู้ทดสอบเลือกในการทดสอบ อุปกรณ์ไฟฟ้าชิ้นนั้นๆ ในบางครั้งนั้นผู้ทดสอบอาจจะต้องใช้เสาอากาศรับสัญญาณหลายอันเพื่อที่จะรับสัญญาณได้ดีมากขึ้น เพราะอัตราการขยายสัญญาณในเสาอากาศต่ำเกินไป จนผู้ทดสอบไม่สามารถเห็นค่าแอมพลิจูดของสัญญาณได้ เหตุเกิดจาก สัญญาณที่แพร่ออกมาจากเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นถูกกลับไปโดยสัญญาณรบกวนพื้นหลังและเพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ นอกจากจะเพิ่มจำนวนเสาอากาศแล้ว ยังต้องอุปกรณ์ขยายสัญญาณอย่างพีแอมพลิฟายเออร์ ต่อระหว่างเสาอากาศกับเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแบบเรียลไทม์ โดยทั่วไปเสาอากาศรับสัญญาณที่ใช้กันบ่อยๆมีอยู่ 4 ประเภท ดังนี้ เสาอากาศแบบห่วง (Loop antenna) ใช้ในช่วงความถี่ 10 kHz – 30 MHz, เสาอากาศแบบไบโคนิคอล (Biconical antenna) ใช้ในช่วงความถี่ 25 MHz – 300 MHz , เสาอากาศแบบคาบลิค (Log periodic antenna) ใช้ในช่วงความถี่ 300 MHz – 1 GHz และเสาอากาศแบบเขาคobra (Horn antenna) ใช้ในช่วงความถี่ 1 GHz – 26 GHz



รูปที่ 2.8 เสาอากาศรับสัญญาณแบบ X-wing Bilog



รูปที่ 2.9 เสาอากาศนั้บสัญญาณแบบเขา

2.2.2.3 พรีแอมพลิฟายเออร์ (Preamplifier)

พรีแอมพลิฟายเออร์นั้นทำหน้าที่ขยายสัญญาณระดับต่ำที่ใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวนพื้นหลัง อีกทั้งยังสามารถเพิ่มความไวในการวัดค่าสัญญาณรบกวนได้อีกด้วย ทุกครั้งที่มีการทดสอบ ต้องแน่ใจทุกครั้งว่า Preamplifier ที่กำลังใช้ทดสอบนั้นตั้งค่าช่วงความถี่ตรงกับช่วงความถี่ที่จะใช้ทดสอบหรือไม่ และ ค่าขยายสัญญาณนั้นเพียงพอหรือยัง ในพรีแอมพลิฟายเออร์บางชนิดมีข้อดีในการที่สามารถชาร์จแบตเตอรี่เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟได้ ในกรณีที่ใช้พกพา



รูปที่ 2.10 พรีแอมพลิฟายเออร์

2.2.2.4 ขาตั้งเสาอากาศสามขา (Antenna tripod)

ในการทดสอบนั้นจำเป็นที่จะต้องมี ขาตั้งเสาอากาศสามขา และขาตั้งนี้จะต้องเป็น อุปกรณ์ที่ไม่มีความสามารถในการแพร่สัญญาณรบกวน ควรเป็นขาตั้งที่สามารถยกสูงขึ้นไปและสามารถหมุนได้ 360 องศารอบทิศ ในการทดสอบ ถ้าสามารถมีขาตั้งสำหรับการทดสอบ EMC โดยเฉพาะได้นั้นก็จะเป็นการดี ในการสร้างมาตรฐานในการทดสอบของห้องทดสอบนั้นๆ แต่ผู้ทดสอบเองก็สามารถสร้างขาตั้งขึ้นเองได้ โดยใช้วัสดุอย่างเช่น ไม้ หรือ ท่อ PCB เป็นต้น



รูปที่ 2.11 ขาตั้งเสาอากาศสามขา

2.2.2.5 สายสัญญาณโคแอกซ์เชียล (Coaxial cable)

ในการทดสอบนั้นจะต้องใช้สายเคเบิลโคแอกซ์เชียล 2 เส้น เส้นหนึ่งเชื่อมต่อระหว่างเสาอากาศรับสัญญาณกับพรีแอมพลิฟายเออร์ อีกเส้นหนึ่งเชื่อมต่อระหว่างพรีแอมพลิฟายเออร์กับเครื่องวิเคราะห์สเปคตรัม สายสัญญาณนั้นไม่จำเป็นที่จะต้องใช้สายที่มีราคาแพงมาก トラบใดที่ผู้ทดสอบแน่ใจว่าสายสัญญาณนั้นทำงานตรงกับช่วงความถี่ที่กำลังจะทำการทดสอบ มีค่าอิมพีแดนซ์ตรงกับเสาสัญญาณ และการรับสัญญาณนั้นยังมีความเสถียรขณะที่สายโค้งงอ ความยาวของสายเคเบิลนั้นมักจะแตกต่างกันในแต่ละห้องทดสอบ แต่โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 1 เมตร, 5 เมตร, 10 เมตร



รูปที่ 2.12 สายสัญญาณโคแอกซ์เชียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.6 พื้นหมุน (turntable)

ในการทดสอบนั้นจะต้องใช้พื้นหมุน เพื่อทดสอบค่าสัญญาณที่แพร่ออกมาผ่านอากาศในมุมต่างๆ ขึ้นอยู่กับมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ โตะหมุนที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการทดสอบต่างใน EMC นี้จะมีความแม่นยำในการหมุนสูงและใช้งานง่าย แต่สำหรับการประหยัดงบประมาณการใช้กล่องกระดาษที่มีระยะห่างและความสูงที่เหมาะสม ก็เป็นทางเลือกอีกทางที่คุ้มค่า

2.2.2.7 อุปกรณ์ดูดซับโหมดผลรวม (Common mode absorption device : CMAD)

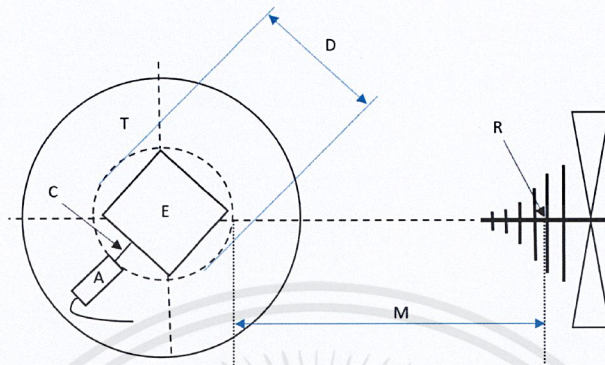
จากที่อธิบายในเบื้องต้นในบทที่ 1 เกี่ยวกับ อุปกรณ์ดูดซับโหมดผลรวม (ดูรูป 1.13) มีหน้าที่ในการคงที่ค่าอิมพีแดนซ์รอยต่อของสายระหว่างขั้วของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบกับจุดต่อแหล่งจ่ายไฟกำลัง เหตุเพราะ ในห้องทดสอบแต่ละทีนั้นมีขนาดไม่เท่ากัน จุดต่อแหล่งจ่ายไฟก็ไม่ได้อยู่ที่เดียวกัน เป็นเหตุให้สายไฟที่ต่อออกจากตัวอุปกรณ์มีความยาวไม่เท่ากัน ส่งผลให้ค่าสัญญาณรบกวนที่แพร่ออกมาจากสายมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งจะทำให้ค่าทดสอบสัญญาณรบกวนที่แพร่ออกมาจากตัวอุปกรณ์ที่ทดสอบมีค่าคลาดเคลื่อน จึงต้องมีการใช้ CMAD ในการใช้เป็นมาตรฐานในการทดสอบของแต่ละห้องทดสอบว่า มีสายยาวได้เพียงเท่าใดที่ออกมาจากอุปกรณ์ที่กำลังทำการทดสอบ



รูปที่ 2.13 อุปกรณ์ดูดซับโหมดผลรวม

2.2.3 การติดตั้งการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศ

อุปกรณ์ภายใต้การทดสอบที่นำมาทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านทางอากาศ นั้นจะถูกกำหนดให้อยู่ในวงกลมวงหนึ่งซึ่งล้อมรอบอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ ซึ่งศูนย์กลางของวงกลมนี้จะต้องเป็นศูนย์กลางเดียวกับศูนย์กลางของพื้นหมุนในห้องทดสอบนั้นๆ (ดูรูปที่ 2.14)



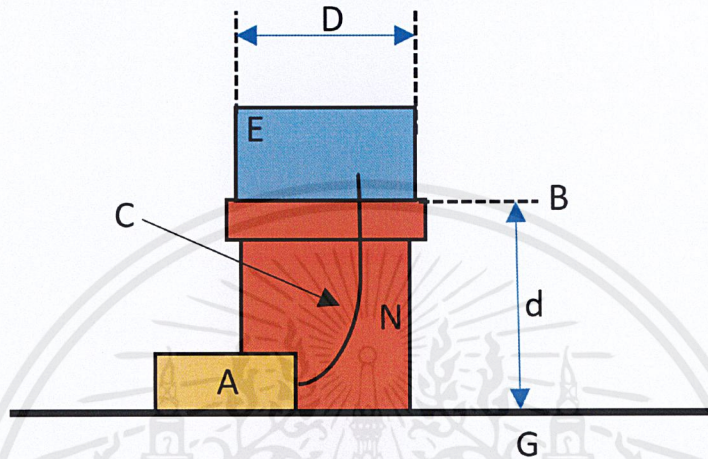
รูปที่ 2.14 รูปแบบการวางอุปกรณ์ทดสอบบนโต๊ะหมุนในห้องทดสอบ [8]

ระยะห่างจากจุดอ้างอิงของเสาอากาศไปยังอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบนั้น จะถูกกำหนดตามมาตรฐานการทดสอบ ซึ่งในมาตรฐาน CISPR14-1 ซึ่งใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงกำหนดไว้ดังนี้

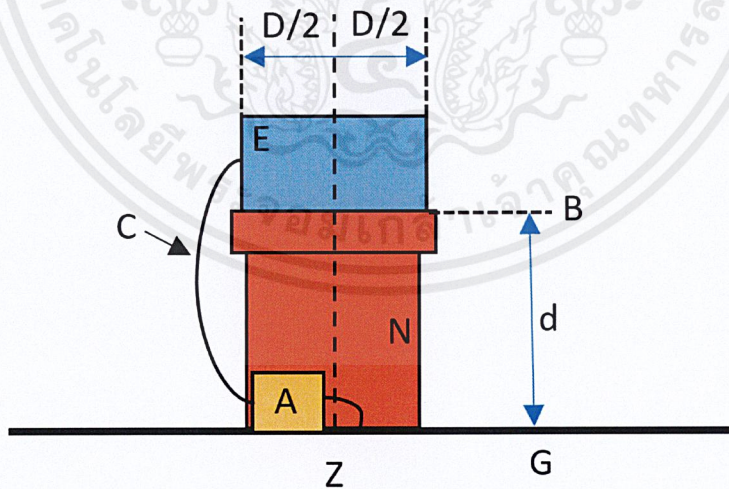
วิธีการทดสอบ	มาตรฐาน	ช่วงความถี่ (MHz)	ค่าจำกัดควอไซน์ฟิค ($dB\mu V/m$)	ระยะในการทดสอบ (m)
OAT หรือ SAC	CISPR16-2-3	30 ถึง 230 230 ถึง 1000	30 37	10
FAR	CISPR16-2-3	30 ถึง 230 230 ถึง 1000	42 ถึง 35 42	3
FAR	IEC61000-4-22	30 ถึง 230 230 ถึง 1000	42 ถึง 35 42	3
TEM waveguide	IEC61000-4-20	30 ถึง 230 230 ถึง 1000	30 37	-

ตารางที่ 2.3 ค่าจำกัดในการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศ[8]

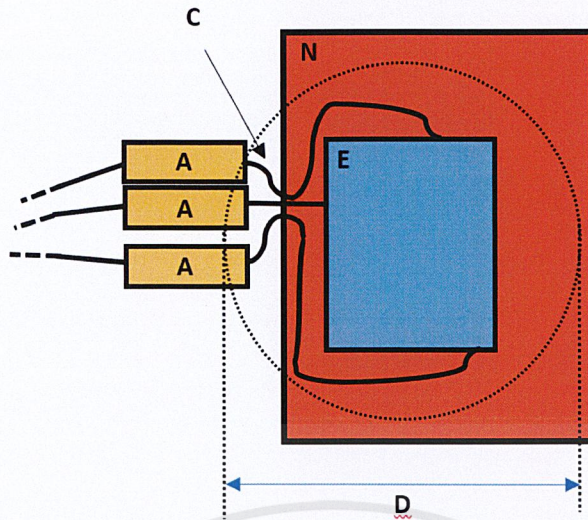
การจ่ายไฟให้อุปกรณ์ภายใต้การทดสอบทำงานนั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ต่อเสริม และอุปกรณ์เสริมนั้นไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ เพื่อให้อุปกรณ์เสริมนั้นไม่มีสัญญาณรบกวนแพร่ตามอากาศออกมาทำให้ผลการทดสอบผิดพลาด ผู้ทดสอบจะต้องวางอุปกรณ์เสริมนั้นไว้ด้านนอกห้องทดสอบ อุปกรณ์ภายใต้การทดสอบแบบตั้งโต๊ะจะต้องวางไว้ที่ความสูง 0.8 ± 0.05 เมตร เหนือพื้นของห้องทดสอบ (ดูรูปที่ 2.15 และรูปที่ 2.16)



รูปที่ 2.15 รูปแบบการติดตั้งทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศแบบอุปกรณ์ตั้งโต๊ะ (1) [8]

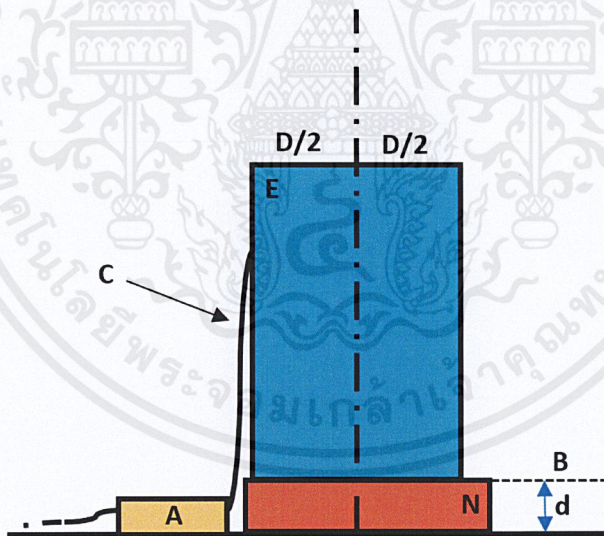


รูปที่ 2.16 รูปแบบการติดตั้งทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศแบบอุปกรณ์ตั้งโต๊ะ (2) [8]



รูปที่ 2.17 รูปแบบการติดตั้งทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศแบบอุปกรณ์ตั้งโต๊ะ (3) [8]

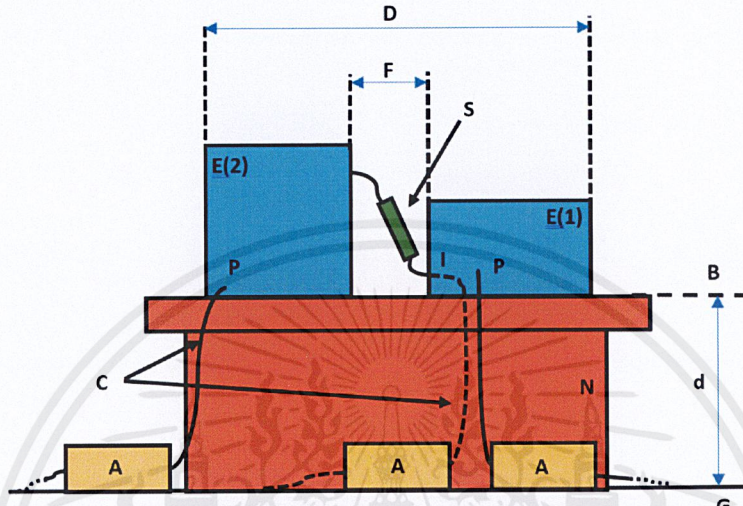
สำหรับอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบแบบตั้งพื้นจะติดตั้งที่ 0.12 ± 0.04 เมตร เหนือพื้นอ้างอิงของห้องทดสอบ (ดูรูปที่ 2.18)



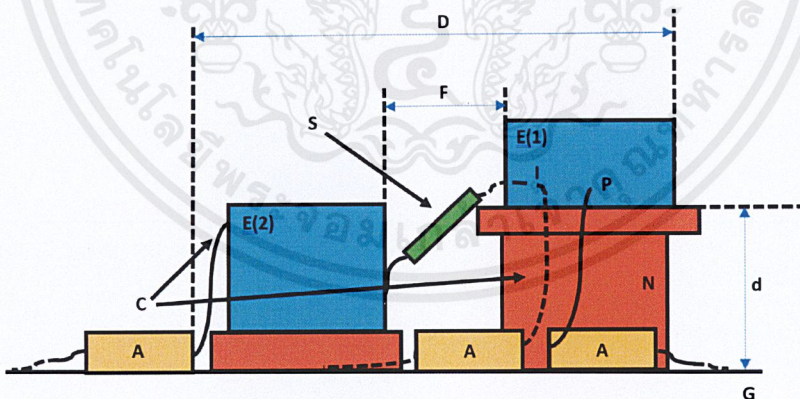
รูปที่ 2.18 รูปแบบการติดตั้งทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศแบบอุปกรณ์ตั้งพื้น [8]

ชั้นส่วนหรือพื้นที่ใช้รองรับอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบนั้นต้องเป็นวัสดุไม่นำไฟฟ้า เช่น ไม้ พลาสติก แข็ง เป็นต้น

หากอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบนั้น มีหลายชิ้นเชื่อมต่อกัน ยกตัวอย่างเช่น หน้าจอคอมพิวเตอร์กับเคส ซีพียู เป็นต้น เมื่อทำการทดสอบพร้อมๆกันจะต้อง วางระยะห่างระหว่างกันที่ 0.1 เมตร เป็นระยะที่น้อยที่สุด (ดูรูปที่ 2.19 และรูปที่ 2.20)



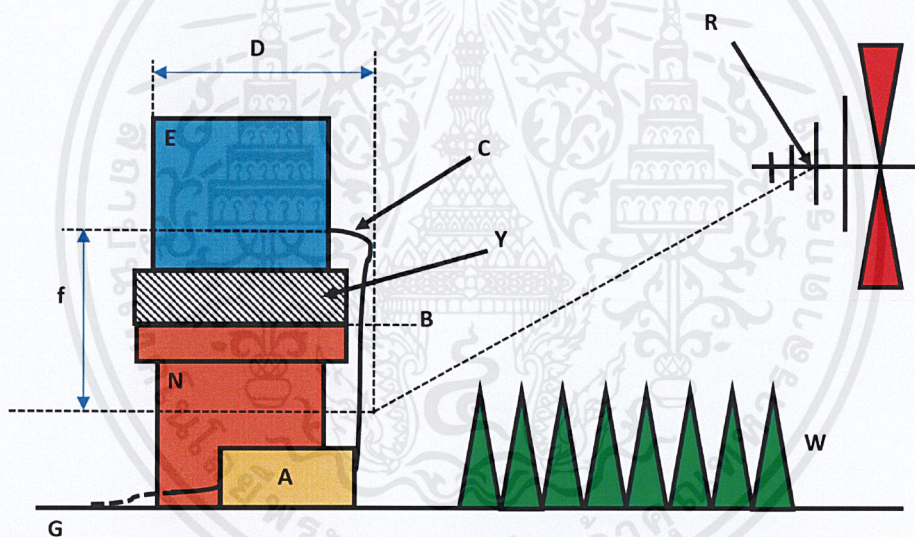
รูปที่ 2.19 รูปแบบการติดตั้งทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศแบบอุปกรณ์หลายชั้น(1) [8]



รูปที่ 2.20 รูปแบบการติดตั้งทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศแบบอุปกรณ์หลายชั้น(2) [8]

สายจ่ายไฟกำลังที่ใช้ในการทดสอบที่ออกมาจากอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นสายจ่ายไฟฟ้ากำลัง หรือสายสัญญาณ หรือกรณีที่มีสายรีโมตควบคุม จะต้องทำตามเงื่อนไขทั้งหมดดังนี้

- สายส่งจ่ายไฟกำลังจะต้องถูกซิงตรงในแนวตั้งออกจากอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบไปยังพื้นที่ห้องทดสอบ
- หากอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบมีสายออกจากตัวอุปกรณ์มากกว่า 1 สาย สายอื่นทั้งหมดต้องเดินสายไปพร้อมกับสายส่งจ่ายไฟกำลังที่ใกล้ที่สุดไปยังพื้นที่ห้องทดสอบ
- ที่จุดที่สายเคเบิลถึงพื้นที่ห้องทดสอบจะต้องประกอบสายเคเบิลทุกสายลงไปในอุปกรณ์ดูดซับโหมดผลรวม 1 สายประกอบลงในอุปกรณ์ดูดซับโหมดผลรวม 1 ชิ้นเท่านั้น หากอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบมีสายที่ต่อออกมาจากตัวอุปกรณ์มากกว่า 3 เส้น จะประกอบอุปกรณ์ดูดซับโหมดผลรวมแค่เพียงสายส่งจ่ายไฟกำลังเพียงเส้นเดียวเท่านั้น
- หากทำการทดสอบในห้องปิดกั้นคลื่นสนามไฟฟ้าแบบไร้คลื่นสะท้อนสมบูรณ์ จะต้องเห็นสายที่ต่อออกจากอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบอย่างน้อย 0.8 เมตร จากจุดอ้างอิงของเสาอากาศรับสัญญาณ (ดูรูปที่ 2.21)



- | | |
|-------------------------------------|---|
| A คือ CMAD | C คือ สายไฟที่ออกจากอุปกรณ์ทดสอบ |
| E คือ อุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ | D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมล้อม EUT |
| G คือ พื้นที่ห้องทดสอบ | B คือ ระดับล่างสุดของ EUT |
| N คือ ที่วาง EUT ที่ไม่นำไฟฟ้า | F คือ ระยะห่างจากสาย EUT ถึง แนววัดสัญญาณ อย่างต่ำ 0.8 เมตร |
| W คือ วัสดุดูดซับสัญญาณ | R คือ จุดอ้างอิงบนเสาอากาศ |
| Y คือ วัสดุไม่นำไฟฟ้าใช้ยกระดับ EUT | |
- ให้ตรงกับเสาอากาศรับสัญญาณ

รูปที่ 2.21 ลักษณะการเดินสายเคเบิลที่ต่อออกจากอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ [8]

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับอุปกรณ์ดูดซับโหมดผลรวม

อุปกรณ์ดูดซับโหมดผลรวม เป็นอุปกรณ์ที่ถูกนำไปใช้กับสายเคเบิลที่ต่อออกจากอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบในการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศ อุปกรณ์ดูดซับโหมดผลรวมถูกใช้ในการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศเพื่อลดความแปรผันในการทดสอบระหว่างห้องทดสอบแต่ละที่ เนื่องจากค่าที่ทำการวัดสัญญาณรบกวนจะมีความแตกต่างเนื่องจากความต่างกันของ อิมพีแดนซ์โหมดรวม (Common mode impedance) ของแต่ละอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบและความห่างกันของจุดต่อสายเคเบิลที่ออกจากห้องทดสอบ เช่น ศูนย์กลางของโต๊ะหมุน เป็นต้น

คุณสมบัติพื้นฐานของอุปกรณ์ดูดซับโหมดผลรวม ในการใช้ทดสอบนั้นจะถูกระบุโดยตัวแปรตัวหนึ่ง คือ พารามิเตอร์ S ใช้อธิบายประสิทธิภาพในการทำงานของอุปกรณ์ดูดซับโหมดผลรวม ไม่ว่าจะเป็นค่าความสูญเสียสัญญาณ (Insertion loss) , ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของค่าสัญญาณ (Coefficient of reflection) ซึ่งการวัดค่าพารามิเตอร์ S นั้นจะถูกพบในหัวข้อถัดไป

2.3.1 การปรับเทียบ TRL (through reflect line)

การปรับเทียบ TRL เป็นวิธีที่แนะนำในการวัดค่าพารามิเตอร์ S การใช้กระบวนการปรับเทียบนี้จะช่วยให้สามารถเลือกกระนาบอ้างอิงในการทดสอบจิ๊กทดสอบดังกล่าวให้อยู่ใกล้กับตำแหน่งของ CMAD ที่กำลังทดสอบมากที่สุด ดังนั้น ระยะเวลา D_A และ D_B จะสามารถทำให้มีระยะเวลาเล็กที่สุดได้ การสอบเทียบต้องใช้แท่งโลหะที่มีขนาดและความสูงเท่ากับส่วนสายส่งของจิ๊ก ค่าอิมพีแดนซ์และความยาวของส่วนของแท่งสายส่งจะต้องรู้แน่ชัดและนำไปใช้กับข้อมูลการปรับเทียบที่ใช้โดยเฟิร์มแวร์ของอุปกรณ์วิเคราะห์เครือข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector network analyzer : VNA) หรือโดยการคำนวณการแก้ไขภายนอก ความยาวของแท่งสายส่งสำหรับการปรับเทียบ TRL นั้นจะนำมาใช้กำหนดช่วงความถี่ที่จะนำมาใช้ในการปรับเทียบข้อจำกัดด้านความถี่นี้เป็นผลมาจากขั้นตอนทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในวิธีการปรับเทียบ TRL โดยที่บางความถี่มีเงื่อนไขการหารโดยศูนย์ (หรือค่าน้อยมาก) และควรหลีกเลี่ยง หากความยาวของแท่งสายส่งคือ L ค่าความถี่ที่ต่ำที่สุดและสูงที่สุดในช่วงความถี่ที่ทำการปรับเทียบจะมีค่าดังนี้

$$f_L = 0,05 \frac{c}{L}$$

$$f_H = 0,45 \frac{c}{L}$$

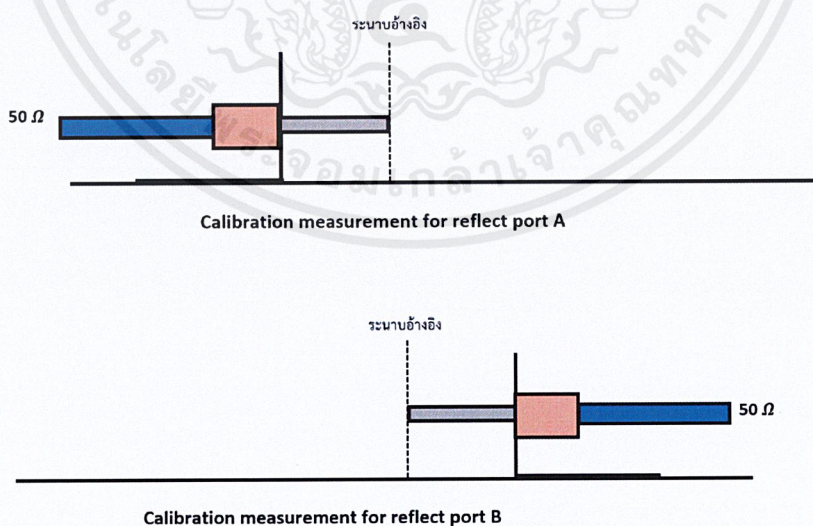
โดยที่ c คือ ค่าความเร็วแสง ($3 \times 10^8 m/s$) ความยาวของแท่งสายส่งที่เหมาะสมกับช่วงความถี่ 30 MHz ถึง 200 MHz นั้นคือ 0.6 เมตร และความยาวของแท่งสายส่งที่เหมาะสมกับช่วงความถี่

150 MHz ถึง 1 GHz นั่นคือ 0.12 เมตร ส่วนประกอบในการปรับเทียบ TRL มีสี่ส่วนประกอบที่จำเป็นในการปรับเทียบดังนี้

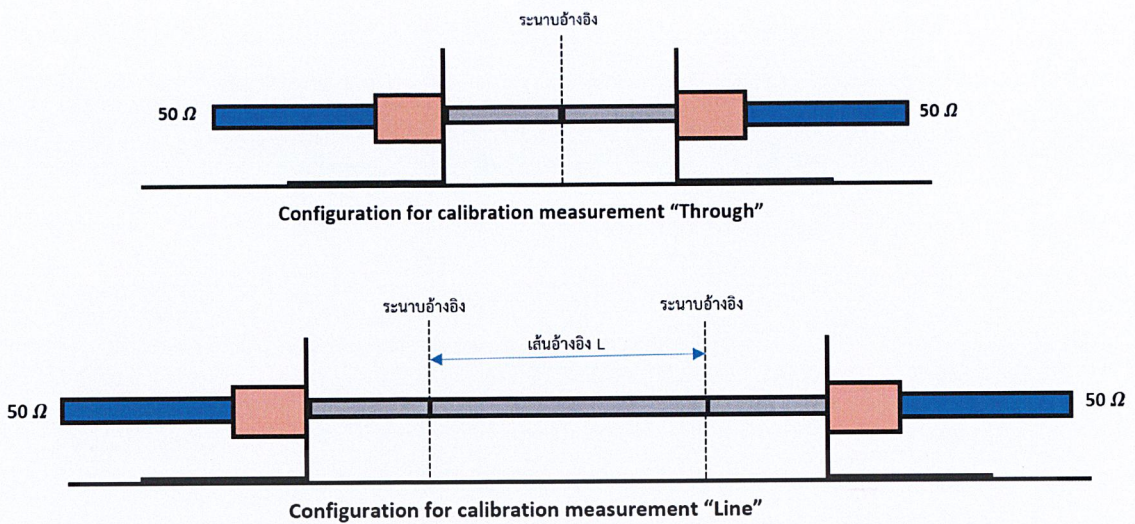
1. ส่วนการสะท้อนที่พอร์ต A (Reflect port A) วัดค่าเชิงซ้อนของ S_{11} ของส่วนของอะแดปเตอร์และพอร์ตอะแดปเตอร์ A โดยไม่มีการเชื่อมต่ออย่างอื่น (จำลองสภาพเปิดวงจร)
2. ส่วนการสะท้อนที่พอร์ต B (Reflect port B) วัดค่าเชิงซ้อนของ S_{22} ของส่วนของอะแดปเตอร์และพอร์ตอะแดปเตอร์ โดยไม่มีการเชื่อมต่ออย่างอื่น (จำลองสภาพเปิดวงจร)
3. ส่วนการส่ง (Through) วัดค่าเชิงซ้อน $S_{11}, S_{12}, S_{22}, S_{21}$ ส่วนของอะแดปเตอร์สองส่วนต่อตรงซึ่งกันและกัน (ไม่มีส่วนของแท่งสายส่ง)
4. ส่วนของแท่งสายส่ง (Line) วัดค่าเชิงซ้อน $S_{11}, S_{12}, S_{22}, S_{21}$

การปรับเทียบเหล่านี้ทั้ง 4 ขั้นตอนจะให้ค่าของตัวแปรพารามิเตอร์ S เป็นค่าเชิงซ้อนออกมา 10 ค่าด้วยกันสำหรับแต่ละจุดความถี่ หากว่า VNA มีเฟิร์มแวร์สำหรับการปรับเทียบ TRL ซึ่งจะใช้การวัดอ้างอิงเหล่านี้เพื่อคำนวณค่าคอลเล็กชันแฟคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการวัด TRL

คุณสมบัติของส่วนของอะแดปเตอร์และพอร์ตอะแดปเตอร์นั้นไม่จำเป็นที่จะต้องกำหนดอย่างเข้มงวดมากนักในการปรับเทียบ TRL เพราะการปรับเทียบ TRL จะสามารถชดเชยความถูกต้องในการเลือกพอร์ตอะแดปเตอร์ได้ในที่สุด ดังนั้นพอร์ตอะแดปเตอร์สามารถใช้แบบใดก็ได้ แต่แนะนำว่าพอร์ตทั้งสองด้านควรจะใช้พอร์ตประเภทเดียวกัน และความยาวของส่วนของอะแดปเตอร์ทั้งสองด้านของจิ๊กทดสอบก็ควรจะมีขนาดยาวเท่ากัน ($L_A = L_B$)



รูปที่ 2.22 การจัดวางอุปกรณ์การปรับเทียบ TRL (1) [2]



รูปที่ 2.23 การจัดวางอุปกรณ์การปรับเทียบ TRL (2) [2]

2.3.2 การวัดค่าพารามิเตอร์ S

การวัดค่าพารามิเตอร์ S จะถูกวัดในการทดสอบจิ๊ก ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ถูกนำมาใช้อธิบายคุณสมบัติต่างๆของ CMAD ค่าพารามิเตอร์ S จะถูกประเมินที่ระนาบอ้างอิงในการทดสอบจิ๊ก (ดูรูป 2.24) วิธีการอ้างอิงในการวัดพารามิเตอร์ S ที่มีความแม่นยำในการวัดสูงที่สุด จะใช้ VNA และการสอบเทียบแบบ TRL (TRL calibration)

การวัดค่าพารามิเตอร์ S ในการทดสอบจิ๊กนั้น จะต้องใช้ แท่งโลหะทรงกระบอกเหนือระนาบพื้นการทำทดสอบ แท่งโลหะนั้นจะถูกประกอบอยู่ระหว่างระนาบโลหะแนวตั้งของการทดสอบจิ๊ก ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วน ส่วนที่หนึ่ง คือ ส่วนการสร้างการส่งสัญญาณในจิ๊กระหว่างระนาบโลหะจิ๊กสองระนาบ ส่วนที่สอง คือ ส่วนของอะแดปเตอร์อยู่ระหว่างระนาบโลหะอ้างอิงจนถึงพอร์ตอะแดปเตอร์ และส่วนที่สามคือ ส่วนของพอร์ตอะแดปเตอร์

ผลกระทบจากการวัดพารามิเตอร์ S ที่มาจากส่วนของอะแดปเตอร์และพอร์ตอะแดปเตอร์ สามารถแก้ไขได้โดยใช้การสอบเทียบแบบ TRL ซึ่งจะให้ความแปรผันค่าในการวัดไม่สูงมากนักสำหรับการวัดค่าครั้งสุดท้าย

เส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งโลหะ (d) จะต้องมีขนาด 4 มิลลิเมตร , ค่าความสูงเหนือระนาบพื้น (h) จะถูกกำหนดโดยขนาดของ CMAD ที่ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ S โดยทั่วไปจะมีความสูงที่ 30 มิลลิเมตร , 65 มิลลิเมตรและ 90 มิลลิเมตร, ระยะระหว่างระนาบอ้างอิงกับระนาบโลหะจิ๊ก (ส่วนของอะแดปเตอร์) (L_A) ต้องมีความยาวอย่างน้อยเป็นสองเท่าของ h , ระยะห่างระหว่างระนาบอ้างอิงจนถึงปลายสุดของ CMAD (D_A และ D_B) ควรทำให้เล็กที่สุดเท่าที่ทำได้ , ระนาบพื้นโลหะของจิ๊กทดสอบจะต้องมากกว่า

$(L_{jig} + 4h)$ ในความยาวและมากกว่า $4h$ ในความกว้าง โดยที่ค่าอิมพีแดนซ์อ้างอิงจะถูกกำหนดโดยเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของแท่งโลหะ (d) และความสูงจากแกนกลางแท่งโลหะถึงระนาบพื้น (h)

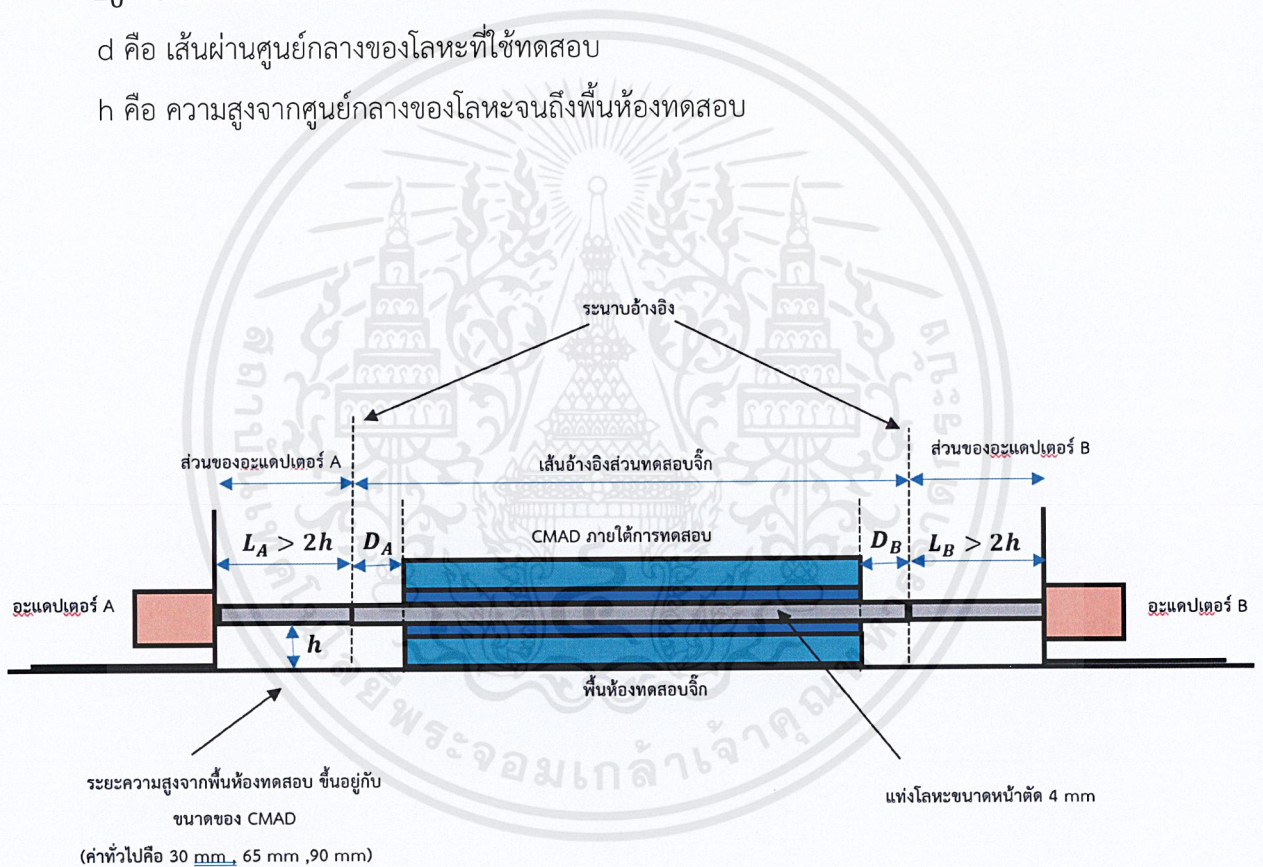
$$Z_{ref} = \frac{Z_0}{2\pi} \cosh^{-1}\left(\frac{2h}{d}\right)$$

โดยที่ Z_{ref} คือ อิมพีแดนซ์ของแท่งตัวนำโลหะ

Z_0 คือ อิมพีแดนซ์พื้นที่อิสระมีค่าเท่ากับ 120π

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของโลหะที่ใช้ทดสอบ

h คือ ความสูงจากศูนย์กลางของโลหะจนถึงพื้นห้องทดสอบ

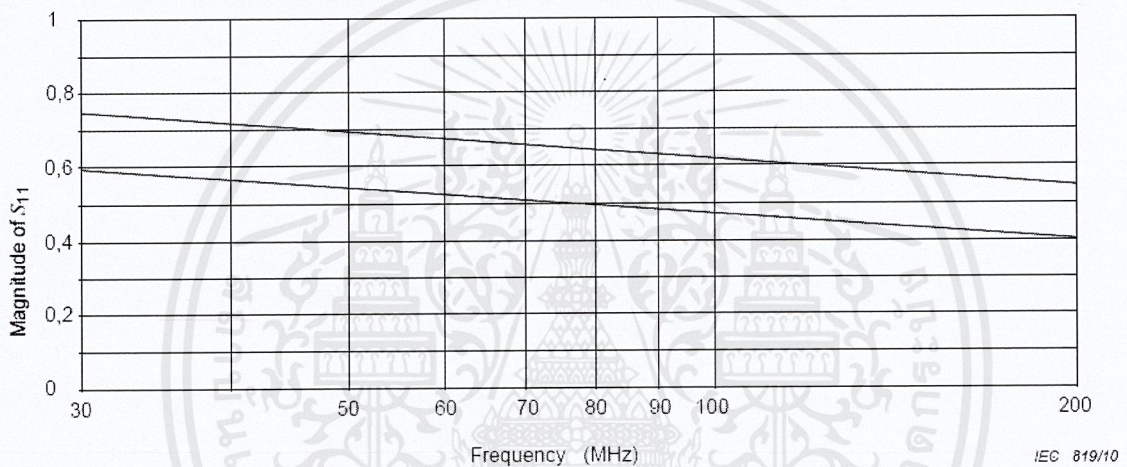


รูปที่ 2.24 รูปแบบการทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ S [2]

2.3.3 คุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์ดูดซับโหมตผลรวม

เฟอร์ไรต์แคสึมพ์ชนิด CMAD ที่ถูกใช้ทดสอบในการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศในห้องทดสอบที่ความถี่ต่ำกว่า 1 GHz นั้น วัตถุประสงค์เพื่อลดความแปรผันของสัญญาณรบกวนที่วัดได้ในห้องทดสอบแต่ละที่ เมื่อทำการวัดค่าพารามิเตอร์ S โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เครือข่ายแบบเวกเตอร์แล้วนั้น ค่าพารามิเตอร์ที่ควรได้ออกมา ควรจะเป็นดังนี้

1. ขนาดของพารามิเตอร์ S₂₁ ควรจะมีค่าน้อยกว่า 0.25 ในช่วงความถี่ 30 MHz ถึง 200 MHz
2. ขนาดของพารามิเตอร์ S₁₁ ควรจะมีค่าขอบบนที่ 0.75 ที่ความถี่ 30 MHz และ 0.55 ที่ความถี่ 200 MHz และค่าขอบล่างควรจะทำกับ 0.6 ที่ความถี่ 30 MHz และ 0.4 ที่ความถี่ 200 MHz (ค่าความถี่ในแนวแกนนอนเป็นสเกลล็อกการิทึมและค่าขนาดพารามิเตอร์ S เป็นค่าเปอร์ยูนิต)



รูปที่ 2.25 กราฟค่าพารามิเตอร์ S₁₁ ที่เหมาะสมสำหรับ CMAD [2]

คุณสมบัติในช่วงความถี่ 200 MHz ถึง 1 GHz นั้นจะไม่ถูกกล่าวถึง เพราะการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศออกจากอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นไม่กังวลผลกระทบของสัญญาณรบกวนในช่วงนี้เหล่านี้

จากการวัดค่าพารามิเตอร์ S ในหัวข้อที่ 2.3.2 ในอุปกรณ์การทดสอบจิกนั้น จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์อื่นๆต่อไป ที่พอร์ตอะแดปเตอร์จะต้องถูกต่อด้วยเทอมินอลโหลด 50 โอห์ม CMAD จะถูกมองเป็นเน็ตเวิร์คแบบสองพอร์ต

2.3.3.1 การแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

จากการวัดค่าพารามิเตอร์ S ด้วยเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายแบบเวกเตอร์ ในหัวข้อที่ 2.3.2 ในอุปกรณ์การทดสอบจิกนั้น จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณค่าอิมพีแดนซ์ CMAD ที่พอร์ตอะแดปเตอร์จะต้องถูกต่อด้วยเทอมินอลโหลด 50 โอห์ม CMAD จะถูกมองเป็นเน็ตเวิร์คแบบสองพอร์ตในระบบเทอมินอล 50 โอห์ม แต่อย่างไรก็ตาม ค่า Z'_{ref} นั้นจะมีค่าไม่เท่ากันในแต่ละอุปกรณ์ CMAD เหตุเพราะเกิดจากความสูงที่ไม่เท่ากันของอุปกรณ์ วัดตั้งแต่ศูนย์กลางของตัวนำแท่งโลหะไปจนถึงพื้นห้องทดสอบอ้างอิง จะต้องมีการแปลงค่า ABCD ซึ่งเป็นการแปลงค่าเพื่อหาค่าพารามิเตอร์อื่นนอกเหนือจากพารามิเตอร์ S และ Z'_{ref}

$$Z_{ref} = 50 \Omega$$

$$A = \frac{(1 + S_{11})(1 - S_{22}) + S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$$

$$B = \frac{(1 + S_{11})(1 + S_{22}) - S_{12}S_{21}}{2S_{21}} \times Z_{ref}$$

$$C = \frac{(1 - S_{11})(1 - S_{22}) - S_{12}S_{21}}{2S_{21}} / Z_{ref}$$

$$D = \frac{(1 - S_{11})(1 + S_{22}) + S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$$

อ้างอิงจากค่าพารามิเตอร์ ABCD ซึ่งมีที่มาจากพารามิเตอร์ S และอิมพีแดนซ์ $Z_{ref} = 50 \Omega$ จะสามารถนำมาคำนวณค่า Z'_{ref} ตามสูตรดังนี้

$$Z'_{ref} = 60 \cosh^{-1}\left(\frac{2h}{d}\right)$$

โดยที่ h คือ ความสูงของอุปกรณ์ CMAD วัดจากศูนย์กลางของตัวนำแท่งโลหะถึงพื้นห้องทดสอบ

d คือ ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งโลหะตัวนำ

$$B' = B/Z'_{ref}$$

$$C' = C \times Z'_{ref}$$

$$S'_{11} = \frac{A + B' - C' - D}{A + B' + C' + D}$$

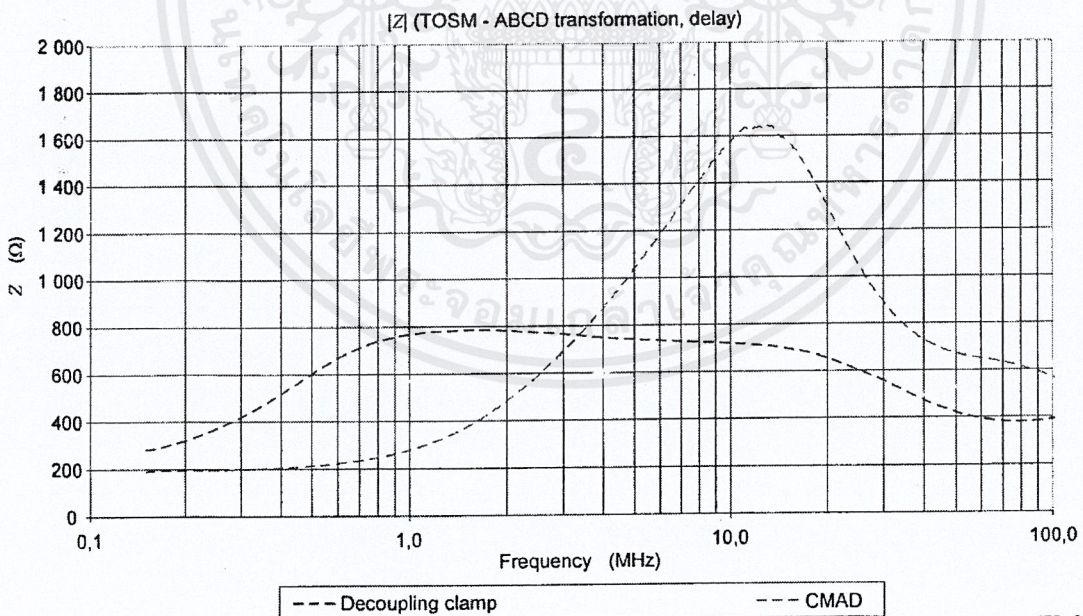
$$S'_{12} = \frac{2(AD - BC)}{A + B' + C' + D}$$

$$S'_{21} = \frac{2}{A + B' + C' + D}$$

$$S'_{22} = \frac{-A + B' - C' + D}{A + B' + C' + D}$$

2.3.3.2 การคำนวณอิมพีแดนซ์ขาเข้าของอุปกรณ์ CMAD

$$Z_{in} = Z'_{ref} \times \frac{1+S'_{11}}{1-S'_{11}}$$

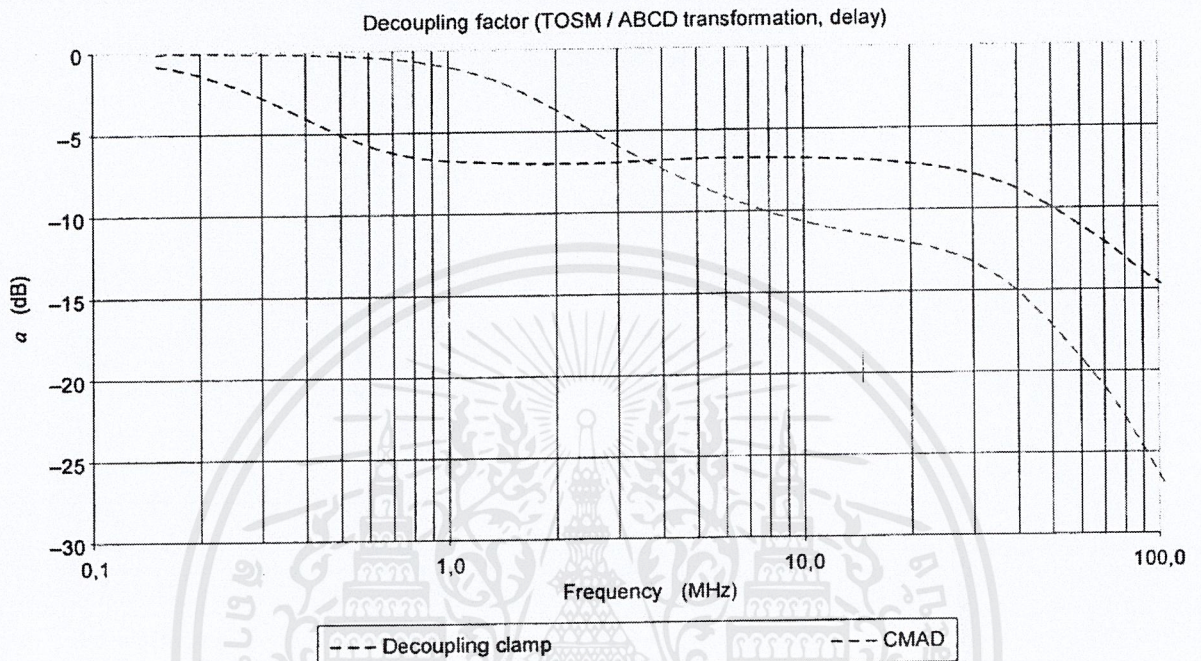


IEC 2623/13

รูปที่ 2.26 กราฟค่าอิมพีแดนซ์ของ Decoupling clamp และ CMAD [2]

2.3.3.3 การคำนวณค่า Decoupling factor

$$a[dB] = 20\log (ABS(S'_{21}))$$

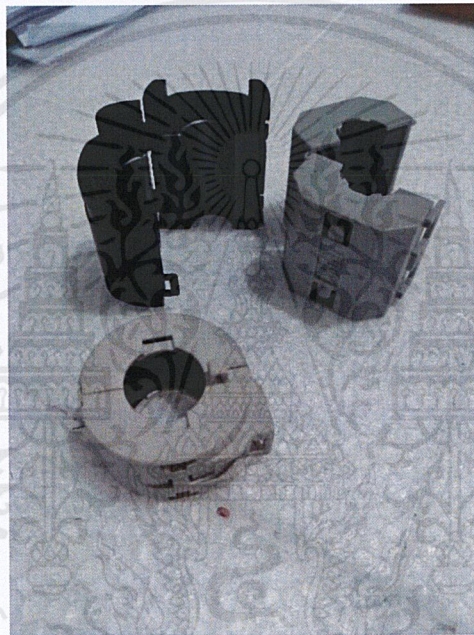


IEC 2624/13

รูปที่ 2.27 กราฟค่า Decoupling factor ของ Decoupling clamp และ CMAD [2]

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับวัสดุเฟอร์ไรต์

เฟอร์ไรต์ เป็นวัสดุเซรามิกชนิดหนึ่งที่เกิดจากการเผาและผสมจาก ไอออนไดรอกไซด์ หรือ สนิมเหล็ก เป็นส่วนใหญ่กับธาตุทรานซิชันอื่นๆอีกเล็กน้อย ที่เป็นธาตุโลหะ เช่น แบเรียม (Ba) แมงกานีส (Mn) นิกเกิล (Ni) สังกะสี (Zn) เป็นต้น ซึ่งส่วนผสมทั้งสองส่วนนั้น ล้วนแล้วแต่เป็น วัสดุที่ไม่นำไฟฟ้า หรือก็คือ มีความเป็นฉนวนนั่นเอง นอกจากนั้น เฟอร์ไรต์ยังเป็นวัสดุที่อยู่ในสภาวะแม่เหล็ก เฟอร์ริแมกเนติก (Ferrimagnetic) นั้นหมายความว่า เป็นวัสดุที่ง่ายต่อการดูดกับแม่เหล็กชนิดอื่นๆ เซรามิกเฟอร์ไรต์นั้น สามารถแบ่งออกเป็นสามประเภทด้วยกัน แบ่งแยกกันด้วย ค่าความต้านทานทางไฟฟ้า(Resistance) และ ค่าสภาพบังคับของแม่เหล็ก (Coercivity) เป็นเกณฑ์



รูปที่ 2.28 แม่เหล็กเฟอร์ไรต์

2.4.1 ประเภทของวัสดุเฟอร์ไรต์

1. เฟอร์ไรต์อ่อน

เป็นชนิดของเฟอร์ไรต์ที่นิยมใช้ในงานหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง หรือ ในงานแกนแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบไปด้วยสารประกอบ นิกเกิล สังกะสี หรือ แมงกานีส เป็นต้น เป็นชนิดของเฟอร์ไรต์ที่มีค่าสภาพบังคับทางแม่เหล็กต่ำ (Low coercivity) การที่มีค่าสภาพบังคับทางแม่เหล็กต่ำนั้น จะส่งผลให้ สามารถกลับทิศทางของแม่เหล็กได้ง่ายโดยที่ไม่จำเป็นต้องสูญเสียค่าพลังงานสูงมากนัก (ความสูญเสียฮิสเทอซิส) ในขณะเดียวกันเฟอร์ไรต์อ่อนยังมีค่าความต้านทานทางไฟฟ้าสูงทำให้สามารถป้องกันค่าความสูญเสียของกระแสเอ็ดดี้ (Eddy current) ในแกนเหล็กซึ่งเป็นอีกแหล่งกำเนิดความสูญเสียได้ดีอีกด้วย

เนื่องจากค่าความสูญเสีย ไม่ว่าจะเป็ นฮี สเตอร์ ซิสหรือ กระแส เอ็ด ดี จะ มี ค่า ต่ำ ใน ช่วง ความถี่ สูง เฟอร์ไรต์ อ่อน จึง เป็น ที่ นิยม และ ใช้ งาน กัน อย่าง กว้าง ขวาง ใน งาน หม้อ แปลง RF และ ตัว เหนี่ยว นำ ใน งาน สวิต ชิง เพาเวอร์ ชั พพลาย และ ใน งาน สาย อากาศ ที่ ใช้ ใน วิห ยุ AM เฟอร์ไรต์ อ่อน ที่ พบ มาก ที่ สุด จะ มี อยู่ สอง ชนิด คือ

- แมงกานีสซิงค์ (MnZn มาจากสูตรทางเคมีว่า $Mn_aZn_{(1-a)}Fe_2O_4$) ซึ่งจะมีค่า μ สูง และมีค่าอิมพีแดนซ์เหนี่ยวนำสูงกว่า NiZn
- นิกเกิลซิงค์ (NiZn มาจากสูตรทางเคมีว่า $Ni_aZn_{(1-a)}Fe_2O_4$) จะมีค่าต้านทานทางไฟฟ้าสูงกว่า MnZn ดังนั้นจึงเหมาะในการใช้งานในย่านความถี่สูงกว่า 1 MHz

สำหรับการใช้งานในช่วงความถี่ต่ำกว่า 5 MHz ลงไป จะนิยมใช้เฟอร์ไรต์แมงกานีสซิงค์ แต่ในช่วงความถี่สูงกว่า 5 MHz จะนิยมใช้นิกเกิลซิงค์มากกว่า ยกเว้นในงาน common mode choke coil กรณีที่ การเลือกจะอยู่ที่ 70 MHz

2. เฟอร์ไรต์แข็ง

ในทางตรงกันข้ามแม่เหล็กเฟอร์ไรต์ถาวรนั้นจะทำมาจากเฟอร์ไรต์แข็งซึ่งมีค่าสภาพบังคับทางแม่เหล็กและค่าเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กสูงหลังจากหยุดให้ผ่านสนามแม่เหล็กแล้ว เหล็กออกไซด์แบเรียมหรือสตรอนเตียมคาร์บอเนตจะถูกนำมาใช้ในการผลิตแม่เหล็กเฟอร์ไรต์แข็ง การที่มีค่าสภาพบังคับทางแม่เหล็กสูงหมายความว่า ในการขจัดความเป็นแม่เหล็กออกจากเนื้อวัสดุ นั้น มีความยาก ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่สำคัญสำหรับแม่เหล็กถาวร นอกจากนี้เฟอร์ไรต์แข็งยังมีค่า μ สูง แม่เหล็กเซรามิกชนิดนี้มีราคาถูกและใช้กันอย่างแพร่หลายในผลิตภัณฑ์ในครัวเรือนเช่น แม่เหล็กติดตู้เย็น สนามแม่เหล็กสูงสุด B อยู่ที่ประมาณ 0.35 เทสลาและความแรงของสนามแม่เหล็ก H คือประมาณ 30 ถึง 160 กิโลกรัมต่อรอบต่อเมตร ความหนาแน่นของแม่เหล็กเฟอร์ไรต์อยู่ที่ประมาณ 5 g / cm³ เฟอร์ไรต์แข็งที่พบมากที่สุดมีอยู่สองชนิด คือ

- สตรอนเตียมเฟอร์ไรต์ ($SrFe_{12}O_{19}$ ($SrO \cdot 6Fe_2O_3$)) ใช้ในการมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็ก, ไมโครเวฟ, สื่อบันทึก, การสื่อสารโทรคมนาคมและอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์
- แบเรียมเฟอร์ไรต์ ($BaFe_{12}O_{19}$ ($BaO \cdot 6Fe_2O_3$)) เป็นวัสดุทั่วไปสำหรับในงานแม่เหล็กถาวร มีความเสถียรต่อความชื้นและทนทานการกัดกร่อน ใช้ในแม่เหล็กของลำโพง, การบันทึกข้อมูลในระบบแม่เหล็ก เป็นต้น

3. เฟอร์ไรต์กึ่งแข็ง

จะมีเพียงชนิดเดียว คือ โคบอลต์เฟอร์ไรต์ CoFe_2O_4 ($\text{CoO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) อยู่ระหว่างเฟอร์ไรต์อ่อนและเฟอร์ไรต์แข็ง แต่มักจะถูกจัดให้เป็นวัสดุชนิดกึ่งแข็ง ส่วนใหญ่จะใช้งานในงานวัสดุแมกนีโตสทริกทีฟ (magnetostrictive) ที่สามารถเปลี่ยนแปลงไปมาระหว่างแรงแม่เหล็กกับแรงเชิงกลได้ , แอคทูเอเตอร์หรือตัวกระตุ้น ซึ่งเป็นมอเตอร์ชนิดหนึ่ง

2.4.2 การนำไปใช้งาน

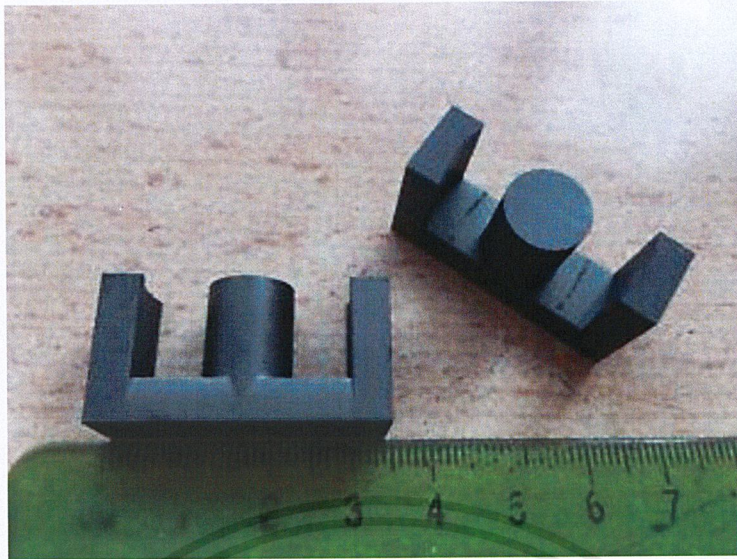
การนำไปใช้งานของแกนเฟอร์ไรต์นั้นมีอยู่สองประเภท ซึ่งจะมีขนาดและช่วงความถี่ในการใช้งานต่างกันออกไป อย่างในการใช้งานของ หม้อแปลงสัญญาณจะมีขนาดเล็กแต่ช่วงความถี่อยู่ในช่วงความถี่สูง และ หม้อแปลงกำลังที่มีขนาดใหญ่แต่ช่วงความถี่อยู่ในช่วงความถี่ต่ำ แกนเฟอร์ไรต์นั้นยังสามารถจำแนกความรูปร่างได้ เช่น รูปร่างทอรรอยด์ (Toroid) , รูปร่างแกนเปลือก (Shell core) , รูปร่างทรงกระบอก (Cylindrical core) เป็นต้น

แกนเฟอร์ไรต์ที่นำไปใช้งานในงานหม้อแปลงกำลัง ทำงานในช่วงความถี่ต่ำ ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 1 kHz ไปจนถึง 200 kHz และจะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ นิยมใช้รูปร่าง ทอรรอยด์ หรือรูปร่างคล้ายตัวอักษร เช่น ตัวอักษร C , ตัวอักษร E , ตัวอักษร D อุปกรณ์เหล่านี้มีประโยชน์ในอุปกรณ์สวิตชิงอิเล็กทรอนิกส์ทุกชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในแหล่งจ่ายไฟตั้งแต่ 1 วัตต์ถึง 1,000 วัตต์เนื่องจากการใช้งานที่มีประสิทธิภาพปกติจะอยู่นอกขอบเขตของเฟอร์ริติกแกนเดี่ยวและต้องการแกนเคลือบลามิเนต

แกนเฟอร์ไรต์ที่ใช้งานสำหรับอุปกรณ์สัญญาณมีช่วงของการใช้งานตั้งแต่ 1 kHz ไปจนถึง หลายๆ MHz และอาจมากไปจนถึง 300 MHz พบการใช้งานหลักๆในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เช่นในวิทยุ AM และ แท็ก RFID



รูปที่ 2.29 แกนเฟอร์ไรต์รูปร่างทอรรอยด์ (Toroid)



รูปที่ 2.30 แกนเฟอร์ไรต์รูปร่าง E



รูปที่ 2.31 แกนเฟอร์ไรต์รูปร่างทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกนเฟอร์ไรต์ถูกนำมาใช้ในตัวเหนี่ยวนำอิเล็กทรอนิกส์หม้อแปลงไฟฟ้าและแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่สูงของเฟอร์ไรต์สูงทำให้กระแสไฟฟ้าไหลวนหรือกระแสเอ็ดดีต่ำมาก โดยทั่วไปมักพบเห็นเป็นก้อนในสายเคเบิลคอมพิวเตอร์เรียกว่าเฟอร์ไรต์บีด ซึ่งช่วยป้องกันสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้าความถี่สูง (สัญญาณรบกวนคลื่นวิทยุ) จากการออกหรือเข้าอุปกรณ์คอมพิวเตอร์

การเก็บข้อมูลของคอมพิวเตอร์ในยุคแรกๆนั้นจะเก็บข้อมูลไว้ในสนามแม่เหล็กตกค้างของแกนเฟอร์ไรต์ฮาร์ดซึ่งรวมอยู่ในอาร์เรย์ของหน่วยความจำหลัก ผงเฟอร์ไรต์ถูกนำมาใช้ในการเคลือบของเทปบันทึกแม่เหล็ก หนึ่งในประเภทของวัสดุดังกล่าวคือเหล็ก (III) ออกไซด์ อนุภาคเฟอร์ไรต์ยังใช้เป็น ส่วนประกอบของวัสดุดูดซับเรดาร์หรือสารเคลือบผิวที่ใช้ในเครื่องบินและในวัสดุสำหรับการดูดซับสัญญาณที่ใช้สำหรับการตรวจวัดความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าในห้องทดสอบ EMC แม่เหล็กเสียงที่ใช้กันทั่วไปส่วนใหญ่รวมถึงแม่เหล็กที่ใช้ในลำโพงและรถกระบะอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าเป็นแม่เหล็กเฟอร์ไรต์ บางชนิดแม่เหล็กเฟอร์ไรต์ได้แทนที่แม่เหล็กอัลนิโค (Alnico) ที่มีราคาแพงกว่าในการใช้งานเหล่านี้เป็นส่วนใหญ่ และสุดท้ายอนุภาคนาโนเฟอร์ไรต์ยังสามารถแสดงคุณสมบัติของซูเปอร์พาราแมกเนติก (Super paramagnetic) ได้อีกด้วย



รูปที่ 2.32 เฟอร์ไรต์บีด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เลือกวัสดุอุปกรณ์

ทำการศึกษา อุปกรณ์ดูดซับโหมดผลร่วม (CMAD) จากมาตรฐาน เช่น CISPR-14-1, CISPR-14-2, IEC61000-4-6 , CISPR16-1-4 , CISPR 16-2-3 และศึกษารายละเอียดต่างๆของวัสดุต่างๆที่นำมาใช้ทำ CMAD รวมทั้ง dimension ขนาดต่างๆที่เหมาะสมในการขจัดสัญญาณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่ออกมาจากสายจ่ายไฟให้ผลิตภัณฑ์ ได้ทำการเลือกชนิดแกนเฟอร์ไรต์ประเภท Ni-Zn มา โดยคัดเลือกจากค่าอิมพีแดนซ์ที่สูงที่สุดในช่วงความถี่ประมาณ 30 MHz – 200 MHz เนื่องจากค่าความสูญเสียของสัญญาณจะแปรผันโดยตรงกับค่าอิมพีแดนซ์ และเพื่อที่จะกีดสัญญาณที่ออกมาจากสายให้มากที่สุด จึงเลือกแกนที่ค่าอิมพีแดนซ์สูงที่สุด โดยที่จะเป็นแกนเฟอร์ไรต์ชนิดนิกเกิลสังกะสี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 37.33 มิลลิเมตร จำนวน 50 ชั้น

3.1.1 Epoxy Coated Toroids (5943002701)

เป็นเฟอร์ไรต์นิกเกิลสังกะสี NiZn ชนิดนี้เป็นเฟอร์ไรต์ที่เป็นที่นิยมที่สุดสำหรับการขจัดสัญญาณ EMI ที่อยู่ในช่วงความถี่จาก 20 MHz ถึง 250 MHz ยังนิยมทำไปใช้งานในงานคอมพิวเตอร์ใช้คคอยด์ ช่วงความถี่สูงอีกด้วย ค่าอิมพีแดนซ์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จ่ายไฟ DC ได้ประมาณ 10^5 โอห์มเมตร

<i>Property</i>	<i>Symbol</i>	<i>Conditions</i>	<i>Value</i>
<i>intitial permeability</i>	μ_i	25 °C ; ≤ 10 kHz ; 025 mT	900 \pm 20%
<i>Flux density</i> (mT)	B	25 °C ; ≤ 10 kHz ; 3000 A/m	≈ 2900
		100 °C ; ≤ 10 kHz 3000 A/m	≈ 1600
<i>Loss factor</i>	$\tan \delta / \mu_i$	25 °C ; ≤ 3 MHz ; 025 mT	$\leq 250 \times 10^6$
<i>Resistivity</i> (Ω cm)	ρ	DC; 25 °C	$\approx 10^5$
<i>Curie temperature</i> (°C)	T_c		≥ 130

ตารางที่ 3.1 Datasheet ของ Epoxy coated toroid (5943002701)



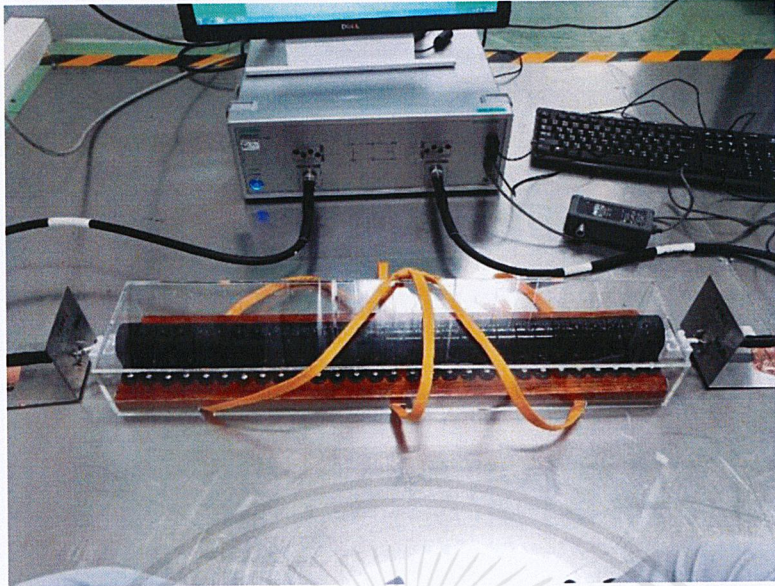
รูปที่ 3.1 Epoxy coated toroid (5943002701)

3.2. Simulation พารามิเตอร์ต่างๆ

ทดสอบประสิทธิภาพของ CMAD ที่ทำขึ้นมาด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์เครือข่ายเวกเตอร์ วัดค่าพารามิเตอร์ S และค่าความสูญเสียสัญญาณ แล้วพิจารณาว่า ได้ค่าตามกราฟตามแผ่นข้อมูลของ CMAD ของจริงหรือไม่ โดยการใช้ แท่งโลหะความยาว 60 เซนติเมตร เชื่อมต่อเข้ากับจิกทดสอบกับสายสัญญาณของอุปกรณ์วิเคราะห์เครือข่ายเวกเตอร์ และทำการสอบเทียบสายสัญญาณด้วยอุปกรณ์สอบเทียบแบบอัตโนมัติ



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์วิเคราะห์เครือข่ายเวกเตอร์และหน้าจอคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.3 CMAD ขณะทำการทดสอบ

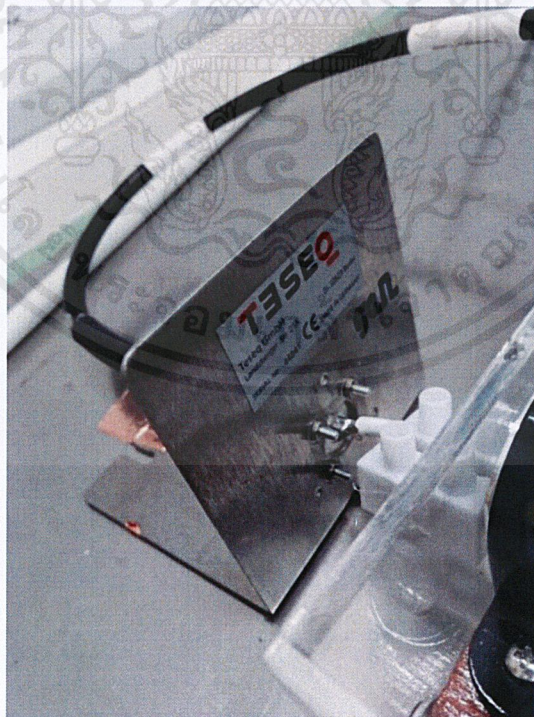


รูปที่ 3.4 แท่งโลหะขนาด 60 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

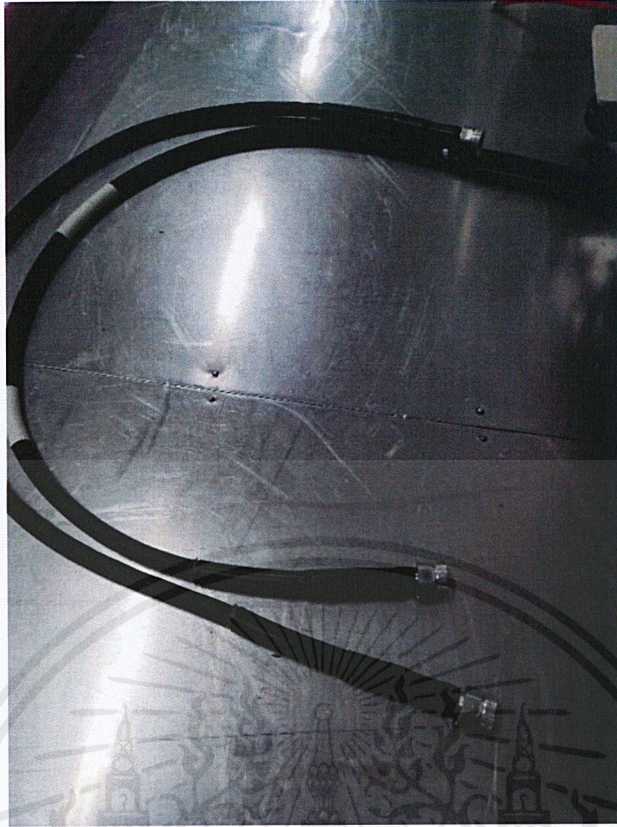


รูปที่ 3.5 Auto calibration kit



รูปที่ 3.6 จีททดสอบ S- parameter ความต้านทาน 50 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
38
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 สายเคเบิลสัญญาณสำหรับต่อเครื่องวิเคราะห์เครื่องข่ายแบบเวกเตอร์

3.3 ประกอบกับอุปกรณ์ยึดติด

นำ แกนเฟอร์ไรต์นิกเกิล - สังกะสี (5943002701) ประกอบเข้ากับแผ่นไม้ ความสูง 2 เซนติเมตร ความยาว 67 เซนติเมตร ความกว้าง 13 เซนติเมตร ความสูงจากศูนย์กลางของโลหะตัวนำ 3.15 เซนติเมตร ยึดติดกับไม้ด้วยก๊ีบรัดท่อ พีวีซี 1 ¼ นิ้ว พร้อมกับอะคลิลิกใสครอบ



รูปที่ 3.8 ไม้ขนาด 13x37x2 เซนติเมตร



รูปที่ 3.9 ก๊ีบรัดท่อขนาด 1.25 นิ้ว พร้อมโฟมกันกระแทก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ฟันลี้กิปัดต่อ

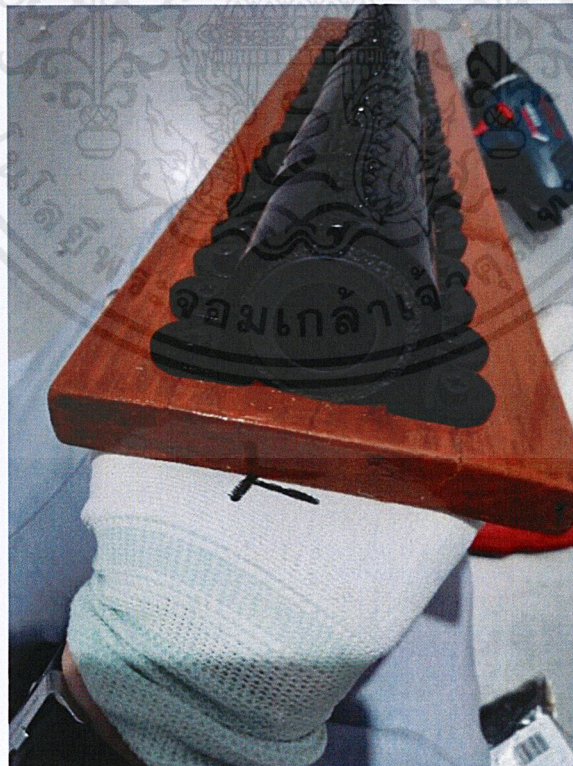


รูปที่ 3.11 ชั้นสกรูติดกับไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

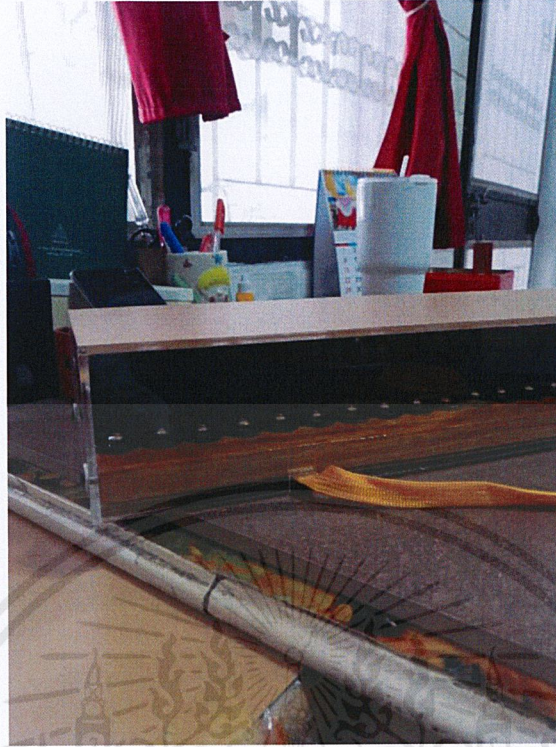


รูปที่ 3.12 CMAD (1)



รูปที่ 3.13 CMAD (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 CMAD เสร็จสมบูรณ์ (1)



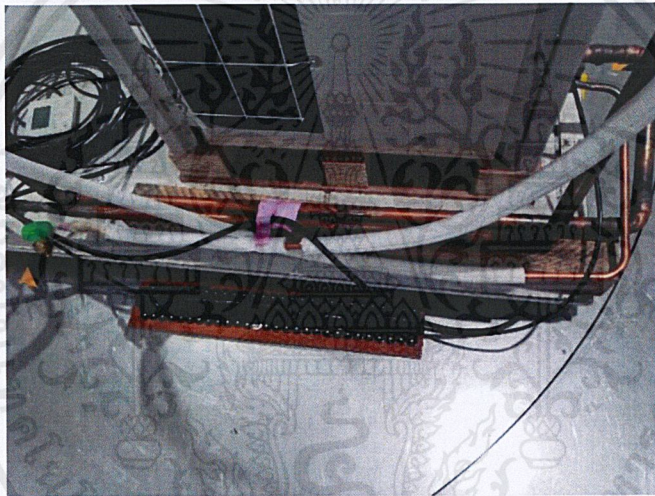
รูปที่ 3.15 CMAD เสร็จสมบูรณ์ (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

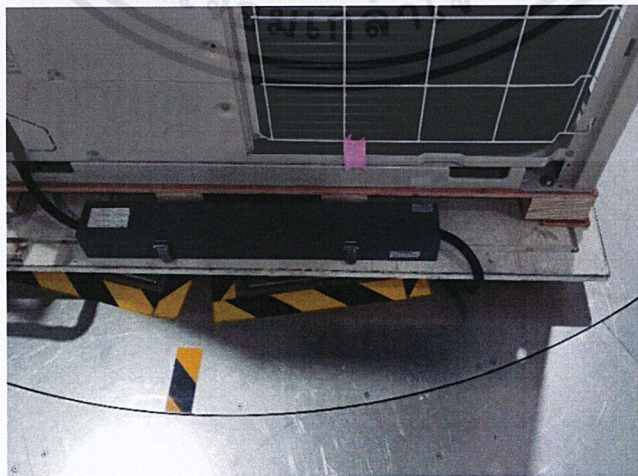
3.4 ทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศด้วยเครื่องปรับอากาศ VRV ใน SAC 3m

ทำการทดสอบค่าสัญญาณรบกวนผ่านอากาศแบบดั้งเดิมเพื่อตรวจสอบค่าสัญญาณรบกวนเมื่อไม่ได้ใส่อุปกรณ์ลดสัญญาณที่สายเคเบิล จากนั้นทำการใส่ Decoupling clamp และ CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอก ตามลำดับและ บันทึกผลที่ได้ จากนั้นเปลี่ยนไปใส่ Decoupling clamp และ CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งใน ตามลำดับและ บันทึกผลที่ได้ เพื่อตรวจสอบสัญญาณรบกวนว่าแพร่มาจากสายใดมากกว่า

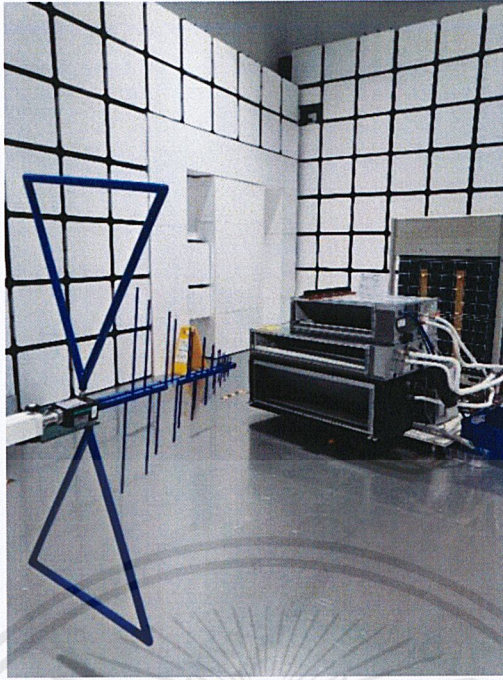
จากนั้นทำการใส่ Decoupling clamp และ CMAD พร้อมกันที่สาย สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งใน และ สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอก ตามลำดับ จากนั้นสลับสายกัน เพื่อยืนยันค่าความสูญเสียสัญญาณที่มากกว่าของ CMAD ตามค่า ความสูญเสียสัญญาณที่วัดมาได้ จากอุปกรณ์วิเคราะห์เครือข่ายแบบเวกเตอร์สองสาย



รูปที่ 3.16 CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอก



รูปที่ 3.17 Decoupling clamp ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอก

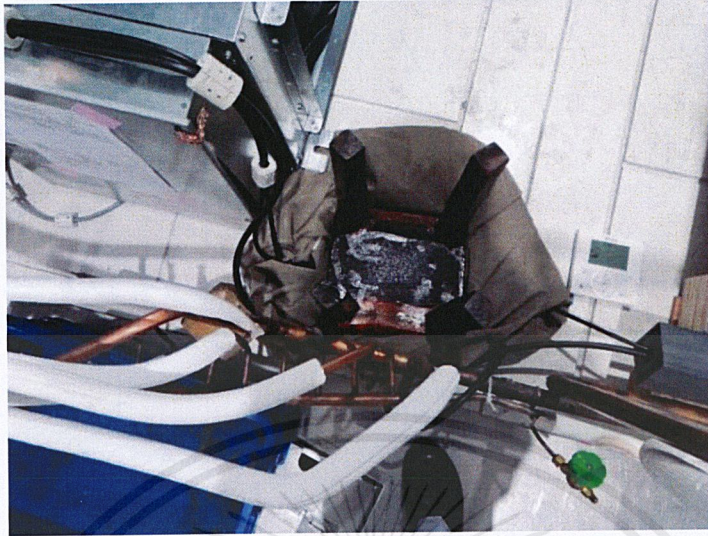


รูปที่ 3.18 ขณะทำการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศด้วย VRV

จากนั้นทำการทดสอบโดยการเปิด Fan-mode โดยที่ CMAD ยังอยู่ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอก , Decoupling clamp อยู่ที่สายสัญญาณ และสายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งใน และทำการใส่เฟอร์ไรต์แคลมป์ ชนิดต่างๆ เพื่อกวดค่าสัญญาณให้มากที่สุด จากนั้นบันทึกผลที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 3.19 แกนเฟอร์ไรต์คล้องที่สายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่างเครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 3.20 Fabric shield สำหรับการก่ดสัถยญาณรบกวน



3.5 ทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศด้วยเครื่องปรับอากาศTBM ใน SAC 3m

ทำการทดสอบทั้งแบบดั้งเดิม จากนั้นทำการทดสอบแบบใส่ Decoupling clamp และ CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านใน ที่มีการแพร่สัญญาณรบกวนมากกว่าในสายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอก จากนั้นบันทึกผลที่ได้ พิจารณาว่ามีการกดสัญญาณใกล้เคียงกับค่าความสูญเสียสัญญาณมากน้อยเพียงใด



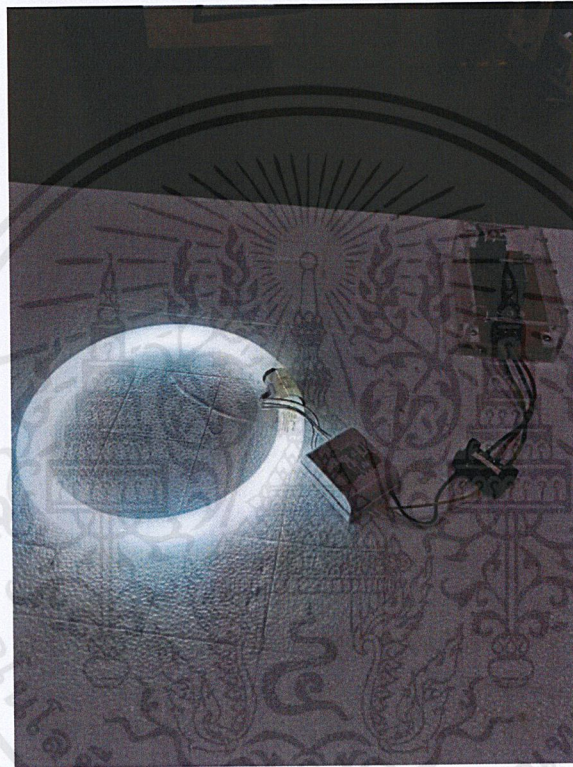
รูปที่ 3.21 CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอก



รูปที่ 3.22 ขณะทำการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศด้วย TBM

3.6 ทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศด้วย หลอดไฟและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ใน SAC 3m

ทำการทดสอบแบบดั้งเดิมและเมื่อใช้ CMAD ทำการพล็อตจุดในสเปกตรัมที่ความถี่ 30 40 50 60 100 และ 200 MHz เพื่อทำการเปรียบเทียบทั้งสองการทดสอบว่า มีค่าพิสัยต่างกันมากน้อยเพียงใด เมื่อใช้กับไม่ใช่ CMAD จากนั้นทำการทดสอบแบบเดิมแต่เปลี่ยนสายเคเบิ้ลให้มีขนาดที่ยาวขึ้น เพื่อยืนยันว่าความยาวนั้นมีผลต่อการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศ



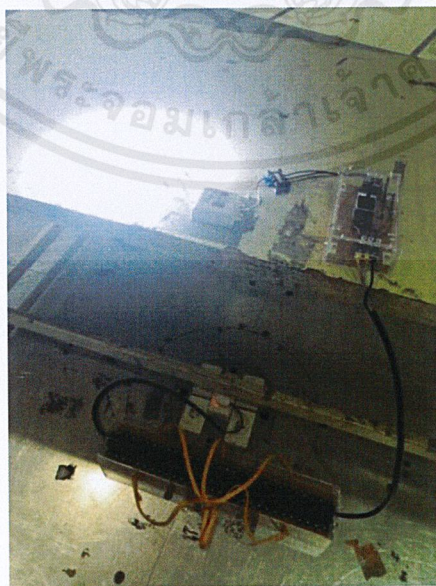
รูปที่ 3.23 หลอดไฟและอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ที่ใช้ทำการทดสอบ

3.7 ทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศด้วยหลอดไฟและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ใน SAC 10m

ทำการทดสอบแบบดั้งเดิมโดยไมใส่อุปกรณ์ลดสัญญาณ เพื่อตรวจสอบว่าขนาดของห้อง SAC นั้นมีผลหรือไม่ จากนั้นทำทดสอบด้วย CMAD ของโปรเจกต์นี้เทียบกับการทดสอบด้วย CMAD ของจริงที่มีอยู่ที่สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ว่ามีความแตกต่างของการกดสัญญาณมากน้อยเพียงใด ด้วยการพล็อตจุดในสเปคตรัมที่ความถี่ 30 40 50 60 100 และ 200 MHz เพื่อทำการเปรียบเทียบทั้งสองการทดสอบว่ามีค่าพิสัยและแนวโน้มของสเปคตรัมต่างกันหรือไม่



รูปที่ 3.24 SAC 10 เมตรที่ สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 3.25 ทดสอบด้วย CMAD ของโครงการที่ทำขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



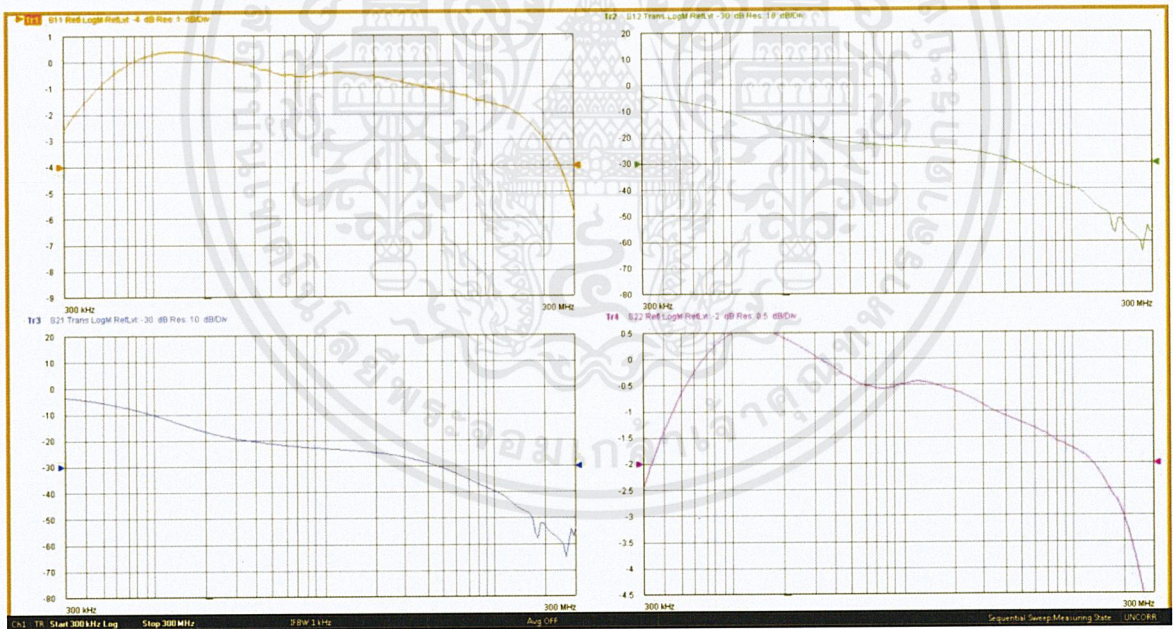
รูปที่ 3.26 ทดสอบด้วย CMAD ของสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

บทที่ 4

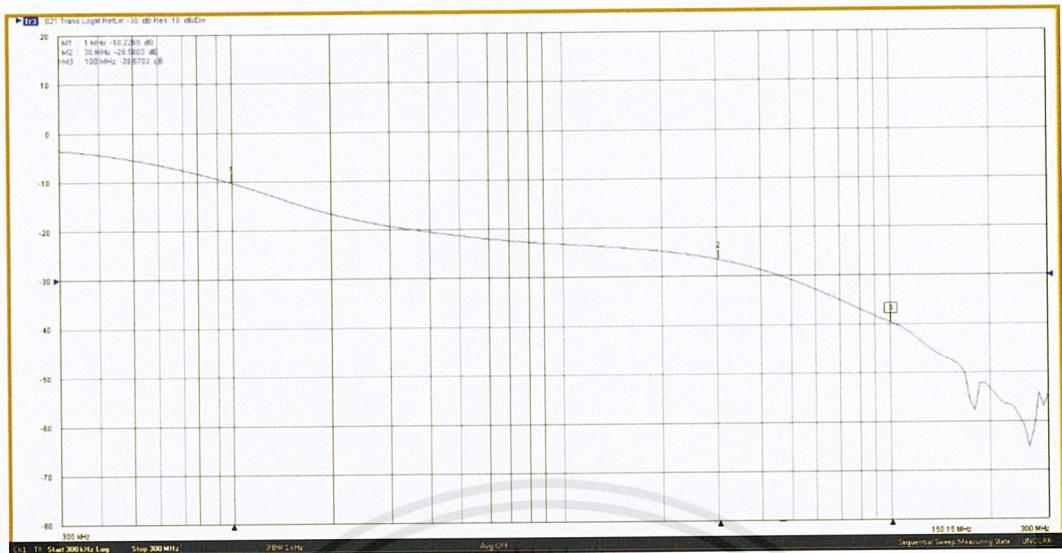
ผลการดำเนินโครงการ

4.1 ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ S และค่าความสูญเสียของสัญญาณด้วยเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายแบบเวกเตอร์

ทำการทดสอบค่าพารามิเตอร์ S และค่าความสูญเสียของสัญญาณด้วยเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายแบบเวกเตอร์ โดยการลดแท่งโลหะยาว 60 เซนติเมตรใส่ในรูของแกนเฟอร์ไรต์ 5943002701 จากนั้นเชื่อมต่อแท่งโลหะกับอุปกรณ์ทดสอบจิ๊ก โดยยกความสูงของแท่งโลหะให้อยู่กึ่งกลางของรูแกนเฟอร์ไรต์ เชื่อมต่ออุปกรณ์ทดสอบจิ๊กทั้งสองฝั่งด้านนอกด้วยสายโคแอกซ์เชียวลเชื่อมกับเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายแบบเวกเตอร์ และก่อนจะทำการทดสอบ ต้องสอบเทียบสายโคแอกซ์เชียวลและ CMAD ที่กำลังทำการทดสอบด้วยอุปกรณ์สอบเทียบอัตโนมัติ ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ S และค่าความสูญเสียของสัญญาณเป็นไปตามรูป ก กับ รูป ข และรูป ค ด้านล่าง



รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ S ต่างๆของแกนเฟอร์ไรต์ 594300270

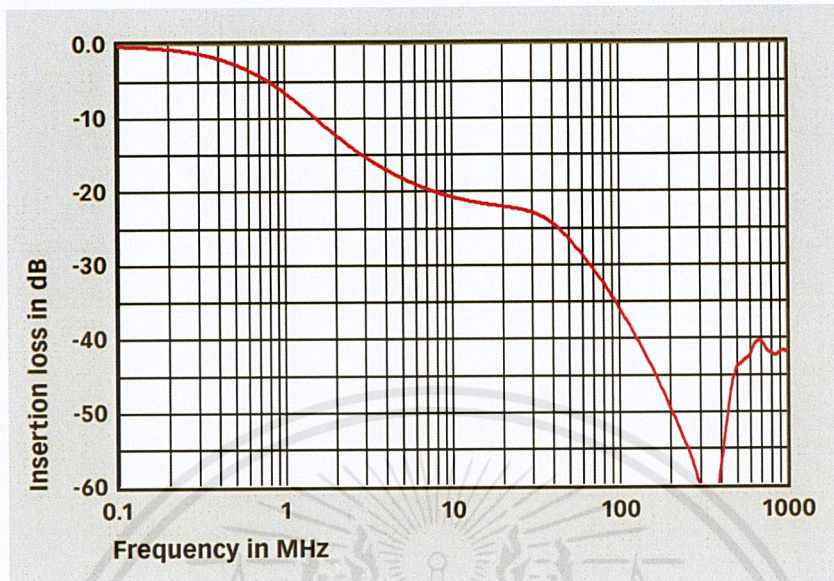


รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบค่าความสูญเสียของสัญญาณของแกนเฟอร์ไรต์ 594300270 โดยที่ทำการค่าหาความสูญเสียของสัญญาณในสามความถี่ ได้แก่ ความถี่ 1 MHz 30 MHz และ 100 MHz

Tr3 S21 Trans LogM RefLvl: -30 dB Res: 10 dB/Div	
20	M1 : 1 MHz -10.2269 dB
	M2 : 30 MHz -26.5603 dB
	M3 : 100 MHz -39.6703 dB
10	

รูปที่ 4.3 ค่าความสูญเสียของสัญญาณ ในแต่ละความถี่สามความถี่ ที่ทำการคำนวณโดยเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายแบบเวกเตอร์

ทำการเปรียบเทียบกับกราฟค่าความสูญเสียของสัญญาณของอุปกรณ์ดูดซับโหมตรงร่วม เปรียบเทียบทั้งสามความถี่ที่ระบุ จากนั้นยืนยันความถูกต้องด้วยการคำนวณความชันของความสูญเสียของสัญญาณจากความถี่ 1 MHz ถึง 30 MHz และจาก 30 MHz ถึง 100 MHz จากรูป ง.



รูปที่ 4.4 ค่าความสูญเสียของสัญญาณในอุปกรณ์ดูดซับโหมตร่วมของจริง

จากรูปกราฟ สามารถระบุค่าความสูญเสียของสัญญาณได้นี้ ที่ความถี่ 1 MHz มีค่าความสูญเสียของสัญญาณ -7 เดซิเบล ที่ความถี่ 30 MHz มีค่าความสูญเสีย -23 เดซิเบล และที่ความถี่ 100 MHz มีค่าความสูญเสีย -37 เดซิเบล

จากนั้นทำการคำนวณความชันของกราฟค่าความสูญเสียของสัญญาณของอุปกรณ์ทั้งสองขึ้น จากนั้นนำมาเปรียบเทียบ ดังนี้

1. ที่ความถี่ 1 MHz ถึง 30 MHz

- ความชันอุปกรณ์ดูดซับโหมตร่วมของโครงการงาน = $\frac{-26.56 - (-10.2)}{30 - 1} = -0.564$

- ความชันอุปกรณ์ดูดซับโหมตร่วมของจริง = $\frac{-23 - (-7)}{30 - 1} = -0.551$

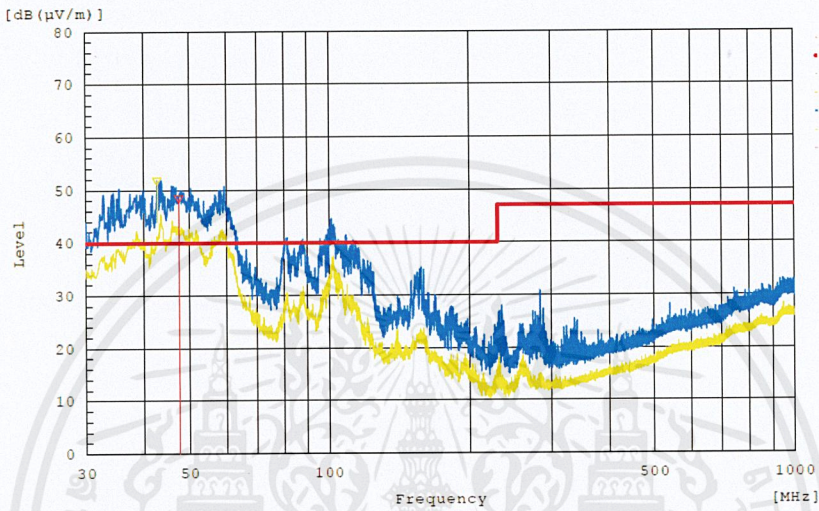
2. ที่ความถี่ 30 MHz ถึง 100 MHz

- ความชันอุปกรณ์ดูดซับโหมตร่วมของโครงการงาน = $\frac{-39.67 - (-26.56)}{100 - 30} = -0.187$

- ความชันอุปกรณ์ดูดซับโหมตร่วมของจริง = $\frac{-37 - (-23)}{100 - 30} = -0.2$

4.2 ทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศด้วยเครื่องปรับอากาศ VRV ใน SAC 3m

ทำการทดสอบด้วยเครื่องปรับอากาศ VRV ทำการจ่ายไฟที่พิกัด ตั้งค่าเสาวัดสัญญาณไว้ที่ 1 เมตรถึง 3 เมตร เพื่อเป็นการวัดค่าสัญญาณรบกวนที่แพร่ออกมาจากเครื่องปรับอากาศในระดับความสูงที่สูงกว่าตัวเครื่องปรับอากาศเอง โดยทำการเชื่อมต่อเครื่องปรับอากาศให้ เครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกเป็นอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ และเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านในเป็นเพียงโหนดที่ต่ออยู่กับเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกเท่านั้น ผลการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศ เป็นไปตามรูป ก.1 ด้านล่าง



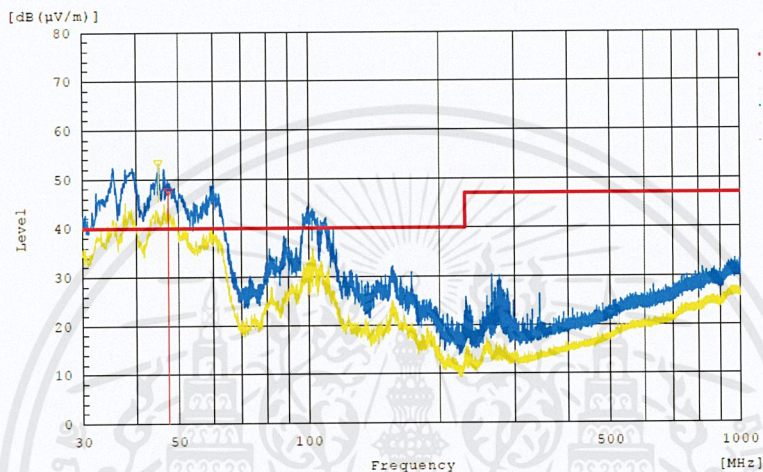
Final Result

No.	Frequency [MHz]	(P)	Reading QP [dB (µV)]	c.f [dB (1/m)]	Result QP [dB (µV/m)]	Limit QP [dB (µV/m)]	Margin QP [dB]	Height [cm]	Angle [°]
1	47.551	V	66.0	-17.4	48.6	40.0	-8.6	101.2	9.0

รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศโดยใช้เครื่องปรับอากาศ VRV ฝั่งด้านนอกเป็นอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ ในการทดสอบที่ไม่มีอุปกรณ์ CMAD ที่สายจ่ายไฟ

จากผลการทดสอบ เมื่อดูค่าสัญญาณรบกวนที่เกินมาจากค่าจำกัดในมาตรฐาน CISPR 14-1 นั้นจะเห็นว่าสัญญาณรบกวนมีค่าสูงที่สุดในช่วงความถี่ 47 MHz ซึ่งมีค่าสัญญาณเกินถึง 8.6 dB ซึ่งถือว่าเป็นค่าเกินมาตรฐานที่สูงมาก

ทำการทดสอบในเงื่อนไขแบบเดิมจากการทดสอบก่อนหน้านี้ เพียงแต่ทำการแคลมป์สายด้วยอุปกรณ์ลดสัญญาณรบกวนที่สาย เรียกว่า Decoupling clamp ซึ่งมีหน้าที่คล้ายกับ CMAD เพียงแต่สามารถทำได้ลดสัญญาณรบกวนที่สายเท่านั้น ไม่สามารถคงค่าอิมพีแดนซ์ที่สายได้ สามารถลดสัญญาณรบกวนในช่วงความถี่ 30 MHz ถึง 50MHz ได้น้อยกว่า CMAD ประมาณ 5 เดซิเบลถึง 7 เดซิเบล และในช่วงความถี่ 50 MHz ถึง 100 MHz สามารถลดสัญญาณได้น้อยกว่า CMAD ประมาณ 10 เดซิเบลถึง 15 เดซิเบล (ดูรูปค่าความสูญเสียของสัญญาณในรูปที่ 2.27) ผลการทดสอบเป็นไปดังรูป ก.2



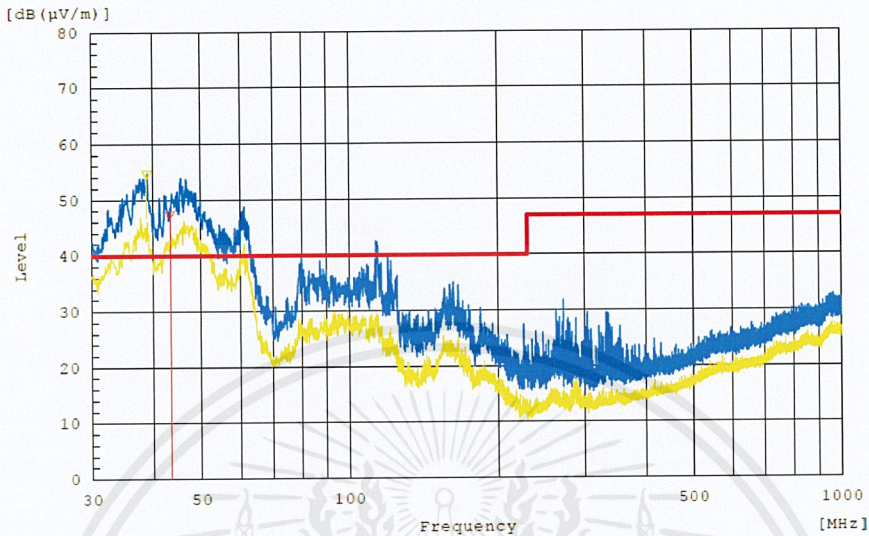
Final Result

No.	Frequency [MHz]	(P)	Reading QP [dB (µV/m)]	c.f [dB (1/m)]	Result QP [dB (µV/m)]	Limit QP [dB (µV/m)]	Margin QP [dB]	Height [cm]	Angle [°]
1	47.378	V	65.0	-17.3	47.7	40.0	-7.7	100.0	14.1

รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศโดยใช้เครื่องปรับอากาศ VRV ฝั่งด้านนอกเป็นอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ ในการทดสอบที่มีอุปกรณ์ Decoupling clamp ที่สายจ่ายไฟ

จะสังเกตได้ว่า เมื่อทำการใส่ Decoupling clamp แล้วค่าสัญญาณรบกวนสูงสุดที่ความถี่เดียวกัน ที่ 47 MHz นั้นมีค่าลดลงประมาณ 1 เดซิเบล จากนั้นลองเปลี่ยนเป็น CMAD มาแทนที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอก เพื่อดูผลการทดสอบว่า ค่าสัญญาณรบกวนที่แพร่ออกมาจากเครื่องปรับอากาศนั้น มีค่าลดลงในช่วงความถี่ 30 MHz ถึง 50 MHz มีค่าลดลงกว่าการทดสอบที่ใช้ Decoupling clamp ตามกราฟค่าความสูญเสียของสัญญาณเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่

ทำการทดสอบโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่แคลมป์ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอก จาก Decoupling clamp เป็น CMAD แล้วทำการทดสอบ ได้ผลการทดสอบตามรูป ก.3



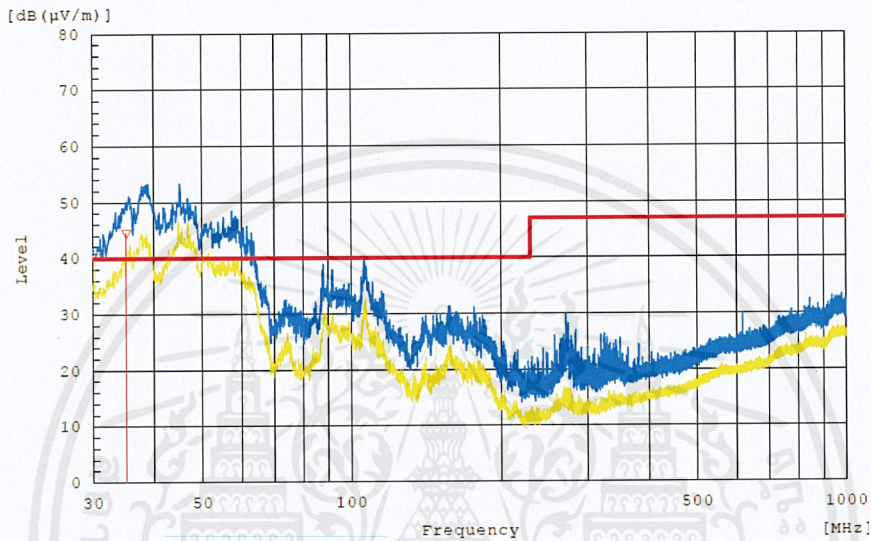
Final Result

No.	Frequency [MHz]	(P)	Reading QP [dB (µV)]	c.f [dB (1/m)]	Result QP [dB (µV/m)]	Limit QP [dB (µV/m)]	Margin QP [dB]	Height [cm]	Angle [°]
1	43.322	V	62.5	-15.0	47.5	40.0	-7.5	101.2	12.4

รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศโดยใช้เครื่องปรับอากาศ VRV ฝั่งด้านนอกเป็นอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ ในการทดสอบที่มีอุปกรณ์ CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลัง

จะสังเกตได้ว่าเมื่อทดสอบโดยใช้ CMAD แล้วในช่วงความถี่ 30 MHz ถึง 50 MHz ค่าของสัญญาณรบกวนที่เสาอากาศรับได้ ไม่ได้แตกต่างไปจากตอนทดสอบด้วย Decoupling clamp มากนัก เหตุเพราะถ้าเรากลับไปดูที่ค่าความสูญเสียของสัญญาณ ค่าความสูญเสียของสัญญาณของ CMAD และ Decoupling clamp ในช่วง 30-50 MHz นั้นไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก ต่างกันประมาณ 5 dB เมื่อทดสอบจริงจึงเห็นผลได้ไม่ชัดเจนมากนัก ในทางตรงกันข้าม เมื่อเราพิจารณาในช่วงหลัง 50 MHz ไปจนถึงช่วงเกิน 100 MHz ผลการทดสอบสัญญาณของ CMAD นั้น กดได้มากกว่า Decoupling clamp จนเห็นได้ชัด เหตุผลก็คล้ายคลึงกัน ค่าความสูญเสียของสัญญาณในช่วงความถี่ 50 MHz เป็นต้นไป ในรูปที่ 2.27 CMAD สามารถกดได้มากกว่าถึงสิบกว่า dB ผลการทดสอบจึงแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

เนื่องจากค่าสูงสุดของสัญญาณระหว่างใส่ CMAD กับ Decoupling clamp ในช่วง 30-50 MHz นั้น ยังเห็นผลไม่ชัดเจนนัก ผู้ทดสอบจึงนำ CMAD ไปใส่ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกและ Decoupling clamp ไปใส่ในสายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่างเครื่องปรับอากาศกับสายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านใน ทำการทดสอบเหมือนเดิม เพื่อหาต้นตอของสัญญาณในช่วง 30-50 MHz ผลการทดสอบเป็นไปตาม รูป ก.4



Final Result

No.	Frequency [MHz]	(P)	Reading QP [dB (µV)]	c.f [dB (1/m)]	Result QP [dB (µV/m)]	Limit QP [dB (µV/m)]	Margin QP [dB]	Height [cm]	Angle [°]
1	35.121	V	54.3	-9.7	44.6	40.0	-4.6	101.2	322.8

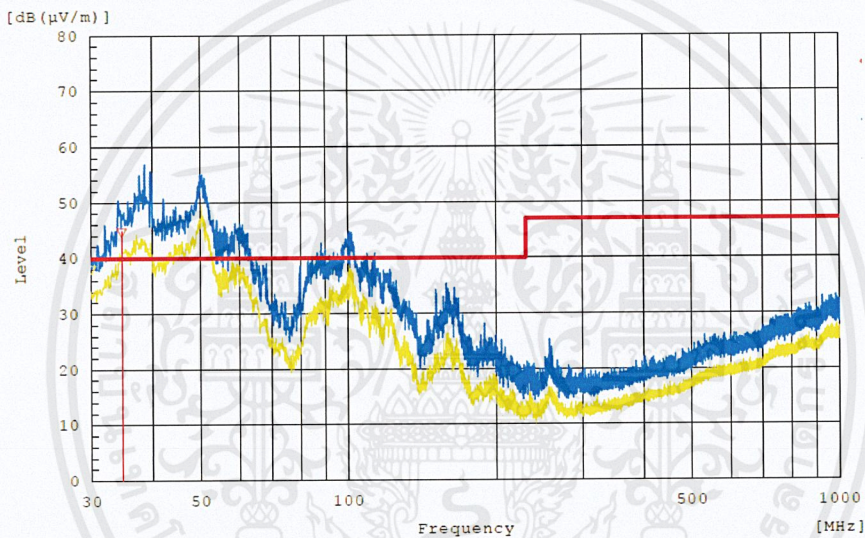
รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศโดยใช้เครื่องปรับอากาศ VRV ฝั่งด้านนอกเป็นอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ ในการทดสอบที่มีอุปกรณ์ CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกและ Decoupling clamp ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศของฝั่งด้านใน

ปรากฏว่า ค่าสูงสุดของสัญญาณลดลงอย่างเห็นได้ชัด จึงสันนิษฐานได้ว่าสัญญาณที่ออกมาในช่วงความถี่ 30-50MHz นั้นมาจากสายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่างเครื่องปรับอากาศกับสายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านใน (เพื่อที่จะนำไปเปรียบเทียบกับอันต่อไปได้ จะพิจารณาเฉพาะค่าสัญญาณที่มีความถี่ประมาณ 35 MHz เท่านั้น)

เมื่อสันนิษฐานว่า ต้นตอของสัญญาณมาจากสายสัญญาณระหว่างเครื่องปรับอากาศ ผู้ทดสอบก็จะทำการเปรียบเทียบกันระหว่าง

1. ใส่ Decoupling clamp ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอก และใส่ CMAD ที่สายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่างเครื่องปรับอากาศ
2. ใส่ CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอก และใส่ Decoupling clamp ที่สายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่างเครื่องปรับอากาศ

ถ้าจะให้เป็นไปตามค่าความสูญเสียของสัญญาณในรูปที่ 2.27 แนวน้อมของกรณีที่ 1 ควรจะมีค่าสัญญาณที่ต่ำกว่ากรณีที่ 2 ในช่วงความถี่ประมาณ 35 MHz ซึ่งผลการทดสอบเป็นไปตามรูป ก.5 ก.6 ก.7 ในกรณีที่ 1 และรูป ก.8 ก.9 ก.10 ในกรณีที่ 2

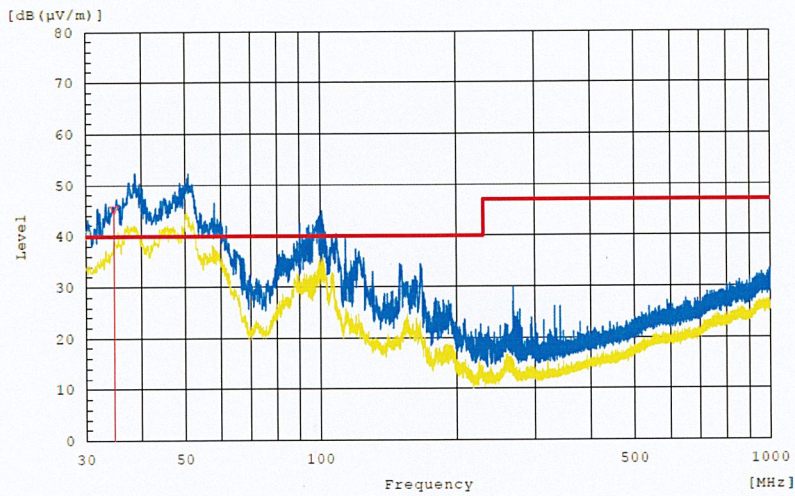


Final Result

No.	Frequency [MHz]	(P)	Reading QP [dB (µV)]	c.f [dB (1/m)]	Result QP [dB (µV/m)]	Limit QP [dB (µV/m)]	Margin QP [dB]	Height [cm]	Angle [°]
1	34.671	V	54.4	-9.5	44.9	40.0	-4.9	100.0	7.7

รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศโดยใช้เครื่องปรับอากาศ VRV ฝั่งด้านนอกเป็นอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ ในการทดสอบที่มีอุปกรณ์ Decoupling clamp ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกและ CMAD ที่สายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่างเครื่องปรับอากาศ

ครั้งที่ 1

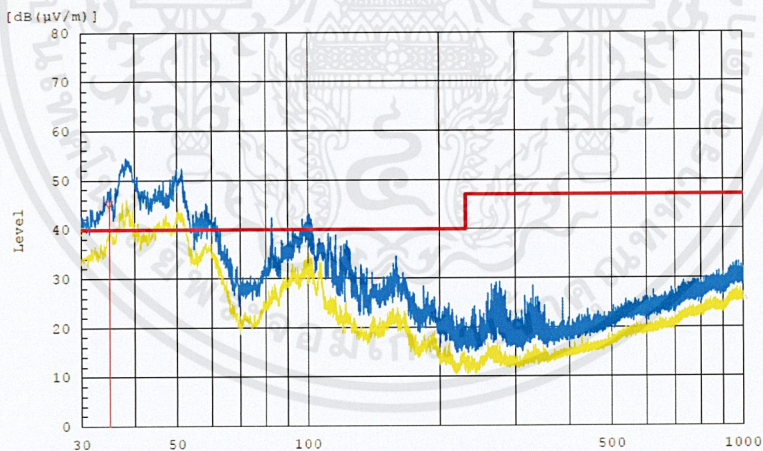


Final Result

No.	Frequency [MHz]	(P)	Reading QP [dB (µV)]	c.f [dB (1/m)]	Result QP [dB (µV/m)]	Limit QP [dB (µV/m)]	Margin QP [dB]	Height [cm]	Angle [°]
1	34.755	V	54.9	-9.5	45.4	40.0	-5.4	127.2	339.1

รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศโดยใช้เครื่องปรับอากาศ VRV ฝั่งด้านนอกเป็นอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ ในการทดสอบที่มีอุปกรณ์ Decoupling clamp ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกและ CMAD ที่สายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่างเครื่องปรับอากาศ

ครั้งที่ 2

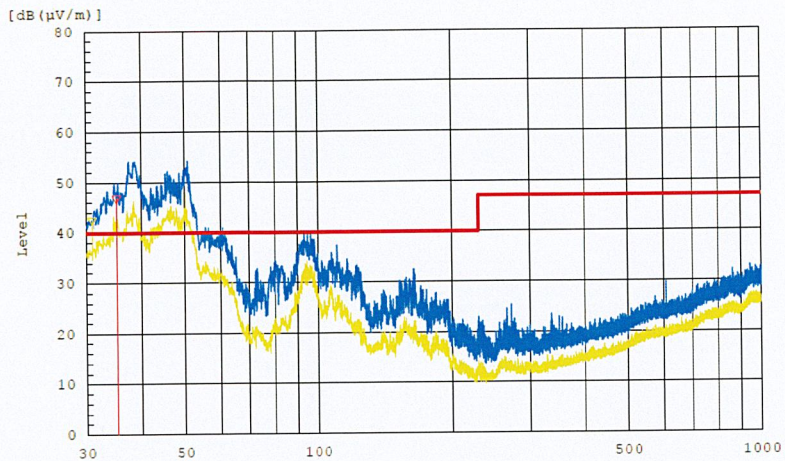


Final Result

No.	Frequency [MHz]	(P)	Reading QP [dB (µV)]	c.f [dB (1/m)]	Result QP [dB (µV/m)]	Limit QP [dB (µV/m)]	Margin QP [dB]	Height [cm]	Angle [°]
1	34.813	V	54.9	-9.5	45.4	40.0	-5.4	100.0	298.8

รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศโดยใช้เครื่องปรับอากาศ VRV ฝั่งด้านนอกเป็นอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ ในการทดสอบที่มีอุปกรณ์ Decoupling clamp ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกและ CMAD ที่สายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่างเครื่องปรับอากาศ

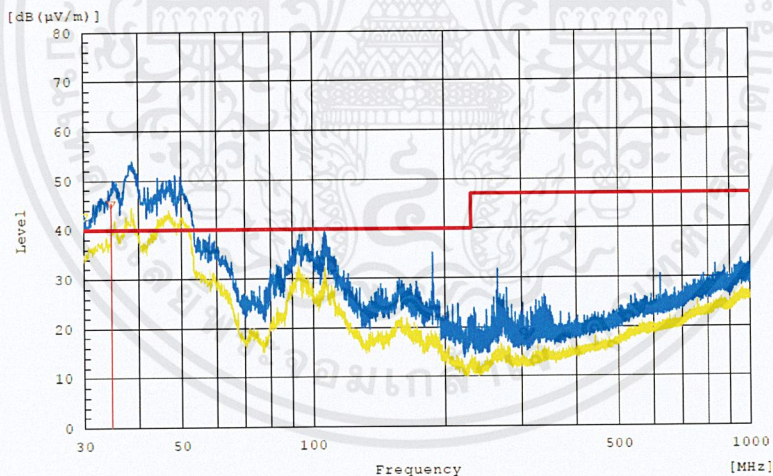
ครั้งที่ 3



Final Result

No.	Frequency [MHz]	(P)	Reading QP [dB (µV)]	c.f [dB (1/m)]	Result QP [dB (µV/m)]	Limit QP [dB (µV/m)]	Margin QP [dB]	Height [cm]	Angle [°]
1	35.168	V	56.6	-9.7	46.9	40.0	-6.9	100.0	355.5

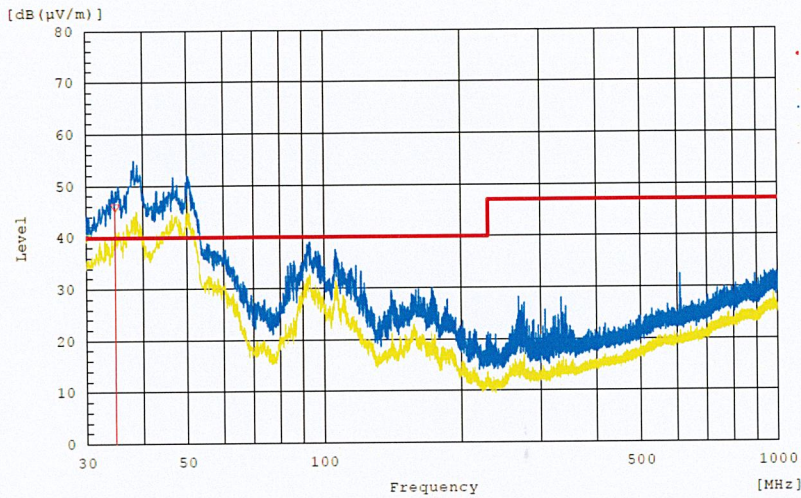
รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศโดยใช้เครื่องปรับอากาศ VRV ฝั่งด้านนอกเป็นอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ ในการทดสอบที่มีอุปกรณ์ CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกและ Decoupling clamp ที่สายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่างเครื่องปรับอากาศ ครั้งที่ 1



Final Result

No.	Frequency [MHz]	(P)	Reading QP [dB (µV)]	c.f [dB (1/m)]	Result QP [dB (µV/m)]	Limit QP [dB (µV/m)]	Margin QP [dB]	Height [cm]	Angle [°]
1	34.678	V	54.9	-9.5	45.4	40.0	-5.4	100.0	347.4

รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศโดยใช้เครื่องปรับอากาศ VRV ฝั่งด้านนอกเป็นอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ ในการทดสอบที่มีอุปกรณ์ CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกและ Decoupling clamp ที่สายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่างเครื่องปรับอากาศ ครั้งที่ 2



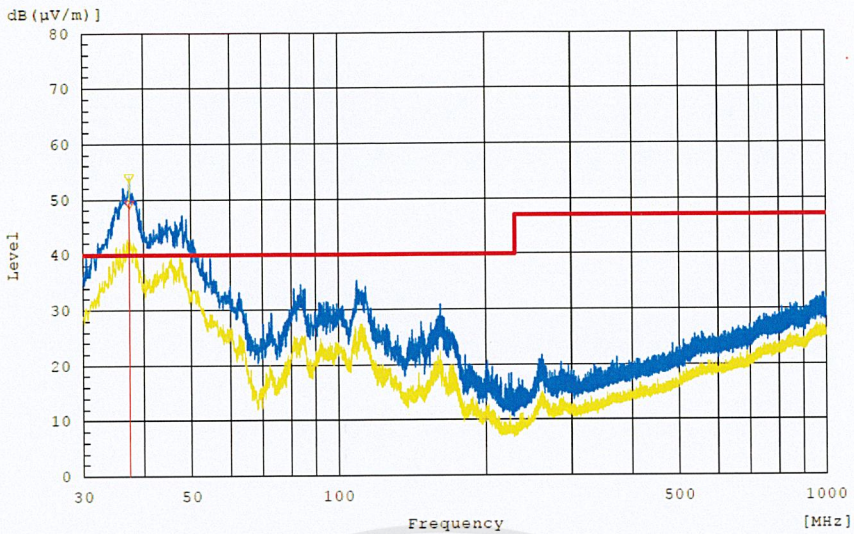
Final Result

No.	Frequency [MHz]	(P)	Reading QP [dB (µV)]	c.f [dB(1/m)]	Result QP [dB (µV/m)]	Limit QP [dB (µV/m)]	Margin QP [dB]	Height [cm]	Angle [°]
1	34.771	V	55.5	-9.5	46.0	40.0	-6.0	100.0	336.8

รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศโดยใช้เครื่องปรับอากาศ VRV ฝั่งด้านนอกเป็นอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ ในการทดสอบที่มีอุปกรณ์ CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกและ Decoupling clamp ที่สายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่างเครื่องปรับอากาศ ครั้งที่ 3

จะสามารถเห็นได้ว่า จากผลการทดสอบเมื่อรู้ว่า ต้นตอของสัญญาณรบกวนที่วัดได้จากเสาอากาศรับสัญญาณมาจากสายเชื่อมต่อระหว่างเครื่องปรับอากาศเป็นส่วนใหญ่ เมื่อทำการเปรียบเทียบกันระหว่างนำ Decoupling clamp กับ CMAD มาแคลมป์ที่สายเชื่อมต่อระหว่างเครื่องปรับอากาศ ในกรณีแคลมป์มีแนวโน้มที่จะสามารถลดสัญญาณได้มากกว่าในการทดสอบทั้งสามครั้ง

จากนั้นเพื่อค้นหาต้นตอการแพร่สัญญาณรบกวนให้เจาะจงมากขึ้น จึงทำการทดสอบโดยการเปิดโหมดพัลลม ซึ่งเป็นโหมดการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่จะเปิดการทำงานเพียงแค่เครื่องปรับอากาศฝั่งด้านในและวงจรควบคุมของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกเท่านั้น ไม่มีการจ่ายไฟในสายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศ โดยที่ Decoupling clamp ถูกใช้งานอยู่ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกและ CMAD ถูกใช้งานอยู่ที่สายเชื่อมต่อระหว่างเครื่องปรับอากาศ ซึ่งผลปรากฏว่า สัญญาณในช่วงความถี่ 30 ถึง 50 MHz นั้น ยังไม่ลดลง จึงสันนิษฐานได้ว่า สัญญาณรบกวนที่ออกมาในช่วงความถี่ 30 ถึง 50 MHz นั้นไม่ได้มาจากสายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอก แต่มาจากสายไฟภายในตัวอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ ผลการทดสอบโหมดพัลลมดูจากรูป ก.11



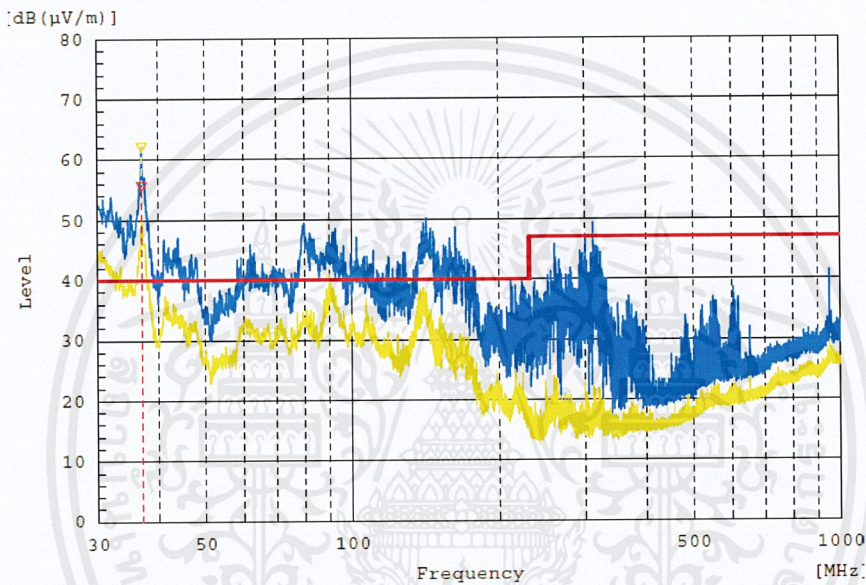
Final Result

No.	Frequency [MHz]	(P)	Reading QP [dB (µV)]	c.f [dB (1/m)]	Result QP [dB (µV/m)]	Limit QP [dB (µV/m)]	Margin QP [dB]	Height [cm]	Angle [°]
1	37.423	V	60.3	-11.0	49.3	40.0	-9.3	100.0	343.1

รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบโหมดพัลลวมของเครื่องปรับอากาศ VRV โดยที่ Decoupling clamp ถูกใช้งานอยู่ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกและ CMAD ถูกใช้งานอยู่ที่สายเชื่อมต่อระหว่างเครื่องปรับอากาศ

4.3 ทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศด้วยเครื่องปรับอากาศ TBM ใน SAC 3m

เนื่องจากการทดสอบก่อนหน้านี้ ได้ข้อสันนิษฐานว่า สัญญาณรบกวนส่วนใหญ่ที่แพร่ออกมาจากเครื่องปรับอากาศนั้น มาจากการร้อยสายภายในอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ จึงทำให้เมื่อทดสอบด้วยโหมดพัลลัม ค่าสัญญาณรบกวนจึงไม่ลดลง ซ้ำยังเพิ่มขึ้นอีกด้วย จึงทำการเปลี่ยนอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบใหม่เป็น เครื่องปรับอากาศ TBM ซึ่งเป็นเครื่องปรับอากาศที่ขนาดเล็กลงจากเครื่องปรับอากาศ VRV และมีการร้อยสายภายในเครื่องปรับอากาศน้อยกว่า โดยที่ผลการทดสอบแบบดั้งเดิมโดยที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ลดสัญญาณใดๆ ดูรูป ข.1



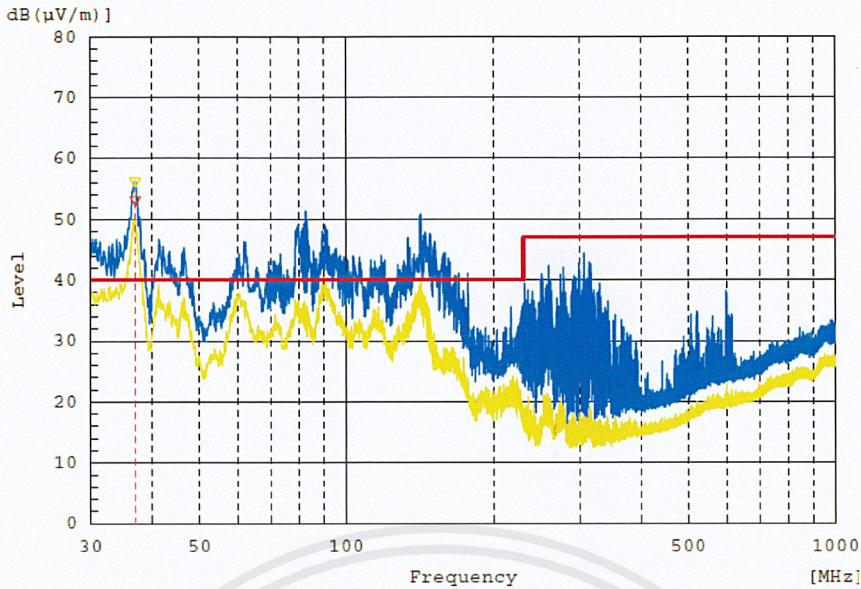
Final Result

No.	Frequency [MHz]	(P)	Reading QP [dB (µV)]	c.f [dB (1/m)]	Result QP [dB (µV/m)]	Limit QP [dB (µV/m)]	Margin QP [dB]	Height [cm]	Angle [°]
1	37.008	V	66.6	-10.7	55.9	40.0	-15.9	100.0	259.2

รูปที่ 4.16 ผลการทดสอบแบบดั้งเดิม โดยที่ไม่ใช้อุปกรณ์ลดสัญญาณรบกวนใดๆของเครื่องปรับอากาศ

TBM

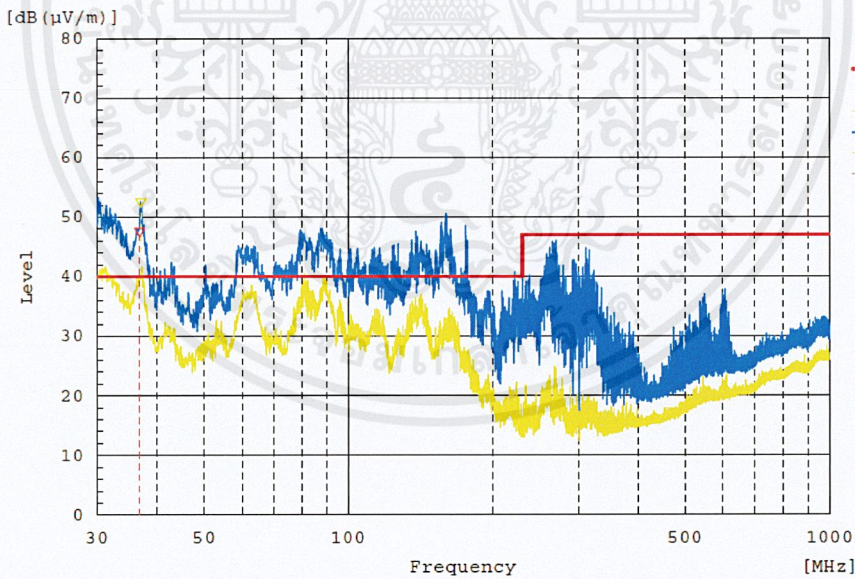
เนื่องจากการทดสอบเครื่องปรับอากาศ VRV ทำให้ได้ข้อสันนิษฐานว่า สัญญาณรบกวนที่แพร่ออกมาส่วนใหญ่แพร่ออกมาจากการร้อยสายภายในเครื่องปรับอากาศ และการแคลมป์อุปกรณ์ลดสัญญาณที่สายเชื่อมต่อระหว่างเครื่องปรับอากาศกับสายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านใน มีผลในการลดสัญญาณได้ดีกว่าแคลมป์อุปกรณ์ลดสัญญาณที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอก จึงทดสอบเปรียบเทียบระหว่าง Decoupling clamp กับ CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านในเพียงอย่างเดียว ได้ผลการทดสอบตามรูป ข.2 กับ ข.3



Final Result

No.	Frequency [MHz]	(P)	Reading QP [dB (µV)]	c.f [dB (1/m)]	Result QP [dB (µV/m)]	Limit QP [dB (µV/m)]	Margin QP [dB]	Height [cm]	Angle [°]
1	37.000	V	64.0	-10.7	53.3	40.0	-13.3	100.0	166.6

รูปที่ 4.17 ผลการทดสอบโดยใช้ Decoupling clamp ที่สายจ่ายไฟกำลังเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกของเครื่องปรับอากาศ TBM



Final Result

No.	Frequency [MHz]	(P)	Reading QP [dB (µV)]	c.f [dB (1/m)]	Result QP [dB (µV/m)]	Limit QP [dB (µV/m)]	Margin QP [dB]	Height [cm]	Angle [°]
1	36.743	V	58.3	-10.6	47.7	40.0	-7.7	101.2	266.0

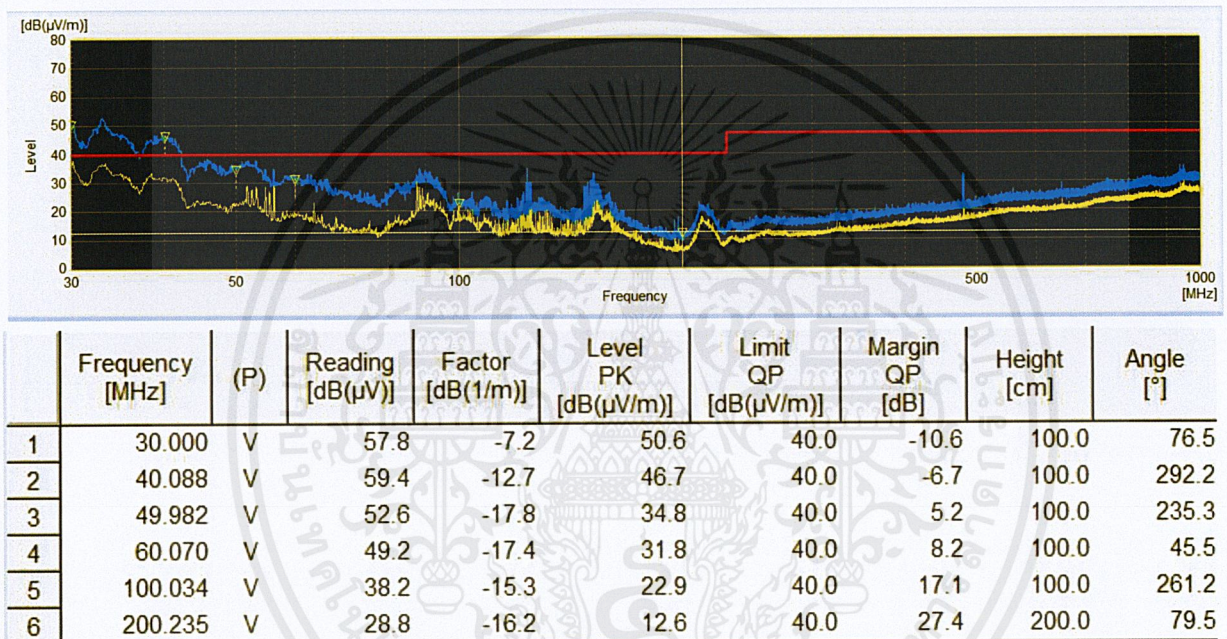
รูปที่ 4.18 ผลการทดสอบโดยใช้ CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลังเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านนอกของเครื่องปรับอากาศ TBM

จากผลการทดสอบเปรียบเทียบกันระหว่าง Decoupling clamp และ CMAD ที่ถูกใช้งานที่สายจ่ายไฟกำลังของเครื่องปรับอากาศฝั่งด้านในของเครื่องปรับอากาศ TBM จะเห็นได้ว่า เมื่อลดขนาดของอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบให้เล็กลงหรือลดความซับซ้อนของการร้อยสายภายในอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบลง อุปกรณ์ CMAD สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จากในตอนที่ใช้อุปกรณ์ภายใต้การทดสอบเป็น VRV สามารถลดสัญญาณได้เพียง 1 ถึง 2 เดซิเบล แต่เมื่อเปลี่ยนอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบเป็น เครื่องปรับอากาศ TBM สามารถลดสัญญาณรบกวนไปได้ถึง 6 เดซิเบล

เมื่อผลการทดสอบเห็นได้ชัดว่า CMAD ไม่เหมาะสมในการใช้งานกับ อุปกรณ์ภายใต้การทดสอบที่มีระบบใหญ่ จึงทำการลดขนาดระบบลงมาเป็น แอร์ที่ตัวเล็กลงอย่าง TBM ซึ่งผลการทดสอบนั้นก็จะเป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ เมื่อระบบของการทดสอบเล็กลง ส่งผลให้สายไฟภายในอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบนั้นมีจำนวนน้อยลง จึงทำให้ ผลจากสัญญาณรบกวนนั้นมาจากในส่วนของภายในอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบน้อย ไปออกจากสายไฟภายนอกแทนเป็นส่วนใหญ่ ทำให้เมื่อใช้ CMAD และ Decoupling clamp สามารถเห็นผลต่างของการกีดสัญญาณในช่วงความถี่ 30-50 MHz ได้ชัดเจนกว่า เมื่อทดสอบด้วยเครื่องปรับอากาศ VRV จะเห็นได้ว่า เมื่อไม่ใส่อุปกรณ์เลย ความสูงสุดของสัญญาณในช่วงความถี่ต้น เกินค่ามาตรฐานไปถึง 15.9 dB จากนั้นใส่อุปกรณ์ Decoupling clamp ค่าสัญญาณรบกวนลดลงมาเหลือ 13.3 dB เท่านั้น และการทดสอบสุดท้าย ใส่อุปกรณ์ CMAD สามารถลดลงจาก Decoupling clamp ไปได้ถึง 5.6 dB เหลือเพียง 7.7 dB เท่านั้นที่เกินค่ามาตรฐาน ซึ่งเป็นไปตามกราฟค่าความสูญเสียของสัญญาณในตอนต้นที่ CMAD สามารถกีดสัญญาณได้มากกว่า Decoupling clamp ประมาณ 5 dB ในช่วงความถี่ 30-50 MHz

4.4 ทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศด้วย หลอดไฟและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ใน SAC 3m

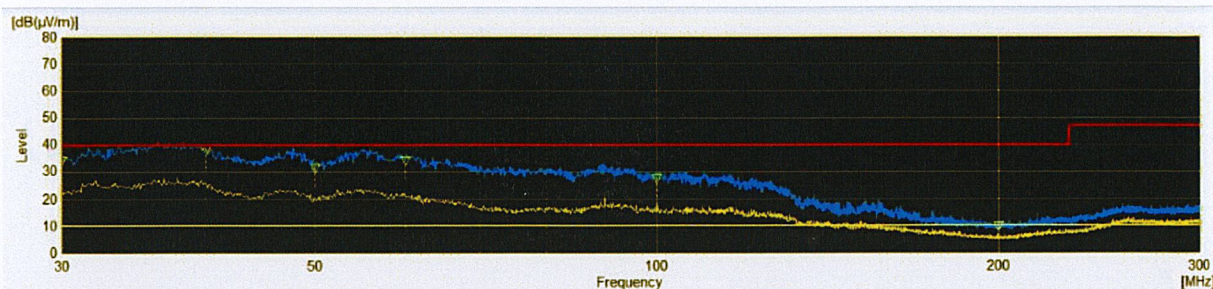
เมื่อข้อสันนิษฐานที่ว่า CMAD สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพในอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบที่มีการรบกวนที่น้อย จึงทำการเปลี่ยนอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบอีกครั้ง โดยครั้งนี้เปลี่ยนอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบเป็นอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ซึ่งมีเพียงแค่อุปกรณ์จ่ายไฟกำลังเพียงเส้นเดียว ไม่มีการรบกวนภายในตัวอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ โดยครั้งแรกทำการทดสอบโดยใช้สายยาว 2.5 เมตร โดยที่ผลการทดสอบโดยที่ไม่มีอุปกรณ์ลดสัญญาณใดๆที่สายจ่ายไฟกำลัง เป็นไปตามรูป ค.1



รูปที่ 4.19 ผลการทดสอบแบบดั้งเดิมโดยที่ไม่ได้ใส่อุปกรณ์ลดสัญญาณใดๆที่สายจ่ายไฟกำลัง 2.5 เมตร

สังเกตได้ว่าค่าสัญญาณรบกวนที่แพร่ผ่านอากาศออกมาจากอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์นั้นอยู่ในช่วงความถี่ 30 MHz ถึง 50 MHz ซึ่งเป็นผลดีต่อการทดสอบ CMAD เหตุผลเพราะ CMAD ทำงานในช่วงความถี่ 30 MHz ถึง 200 MHz จะทำให้ผลการทดสอบเห็นความแตกต่างชัดเจน

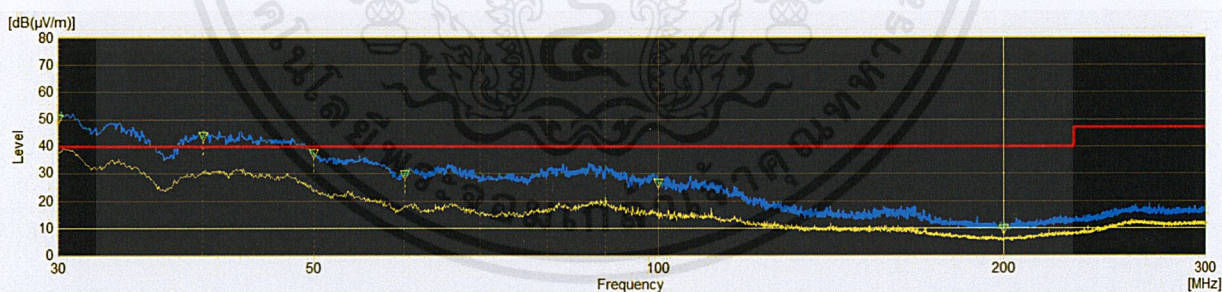
จากนั้นทำการทดสอบโดยใช้เงื่อนไขเหมือนเดิม แต่ทำการทดสอบโดยใช้ CMAD แคลมป์ที่สายจ่ายไฟกำลังของอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ ผลการทดสอบเป็นไปตามรูปที่ ค.2



	Frequency [MHz]	(P)	Reading [dB(µV)]	Factor [dB(1/m)]	Level PK [dB(µV/m)]	Limit QP [dB(µV/m)]	Margin QP [dB]	Height [cm]	Angle [°]
1	30.000	V	41.9	-7.2	34.7	40.0	5.3	100.0	357.5
2	40.088	V	51.2	-12.7	38.5	40.0	1.5	100.0	291.8
3	50.079	V	49.8	-17.8	32.0	40.0	8.0	100.0	204.3
4	60.070	V	52.0	-17.4	34.6	40.0	5.4	200.0	17.6
5	100.034	V	43.4	-15.3	28.1	40.0	11.9	100.0	299.0
6	199.944	V	26.6	-16.2	10.4	40.0	29.6	100.0	85.5

รูปที่ 4.20 ผลการทดสอบโดยใช้ CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลัง 2.5 เมตรของอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์

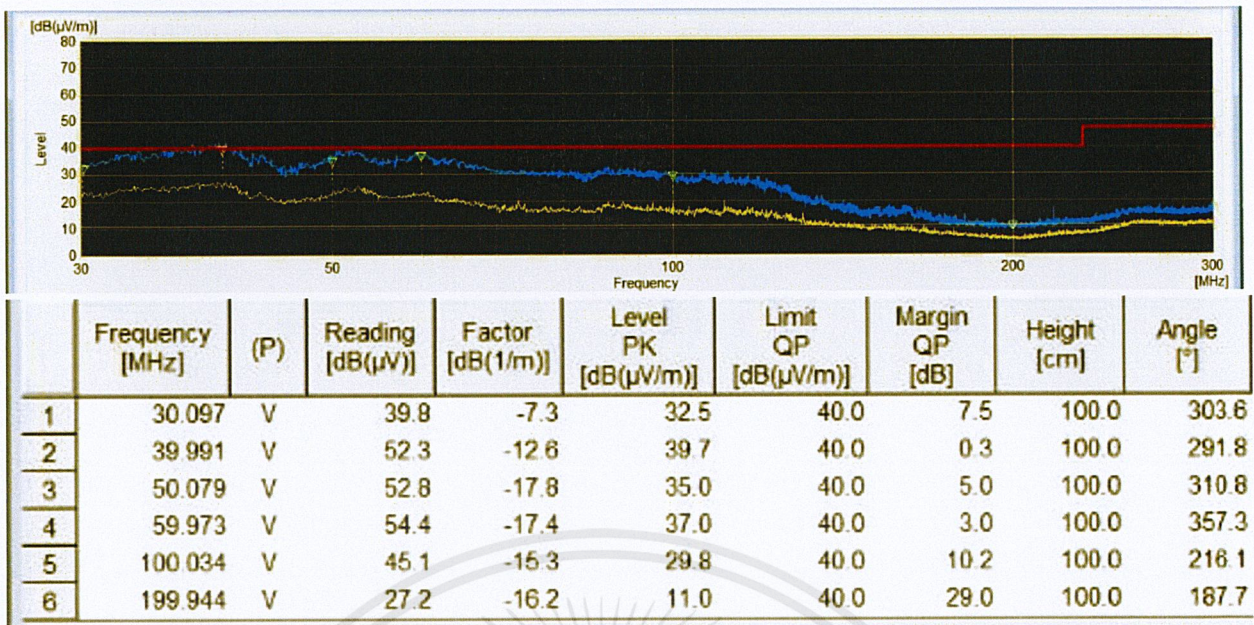
จากผลการทดสอบโดยใช้ CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลังยาว 2.5 เมตรของอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์จะเห็นได้ว่าในช่วงความถี่ 30 MHz ถึง 50 MHz มีประสิทธิภาพในการกดสัญญาณรบกวนที่ออกมาจากสายจ่ายไฟกำลังอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งในความถี่ที่ 30 MHz สามารถกดสัญญาณรบกวนไปได้ถึง 18.1 เดซิเบลซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่า เมื่อใช้อุปกรณ์ภายใต้การทดสอบเป็นเครื่องปรับอากาศ TBM และเครื่องปรับอากาศ VRV อย่างเห็นได้ชัด จากนั้นทำการเปลี่ยนความยาวสายจ่ายไฟกำลังเป็น 5 เมตร เพื่อดูผลการทดสอบว่าความยาวสายไฟนั้นมีผลต่อการทดสอบหรือไม่ ทั้งการทดสอบแบบตั้งไม่เดิมที่ไม่ใส่อุปกรณ์ลดสัญญาณใดๆ และเมื่อทำการใส่อุปกรณ์ CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลังแล้ว ได้ผลการทดลองตามรูปที่ รูป ค.3 และรูป ค.4



	Frequency [MHz]	(P)	Reading [dB(µV)]	Factor [dB(1/m)]	Level PK [dB(µV/m)]	Limit QP [dB(µV/m)]	Margin QP [dB]	Height [cm]	Angle [°]
1	30.000	V	57.7	-7.2	50.5	40.0	-10.5	100.0	156.8
2	40.088	V	57.0	-12.7	44.3	40.0	-4.3	100.0	353.7
3	50.079	V	55.8	-17.8	38.0	40.0	2.0	100.0	14.5
4	60.070	V	47.6	-17.4	30.2	40.0	9.8	300.0	341.2
5	100.034	V	42.3	-15.3	27.0	40.0	13.0	100.0	208.6
6	199.944	V	26.2	-16.2	10.0	40.0	30.0	100.0	213.7

รูปที่ 4.21 ผลการทดสอบแบบตั้งเดิมโดยที่ไม่ได้ใส่อุปกรณ์ลดสัญญาณใดๆที่สายจ่ายไฟกำลัง 5.0

เมตร



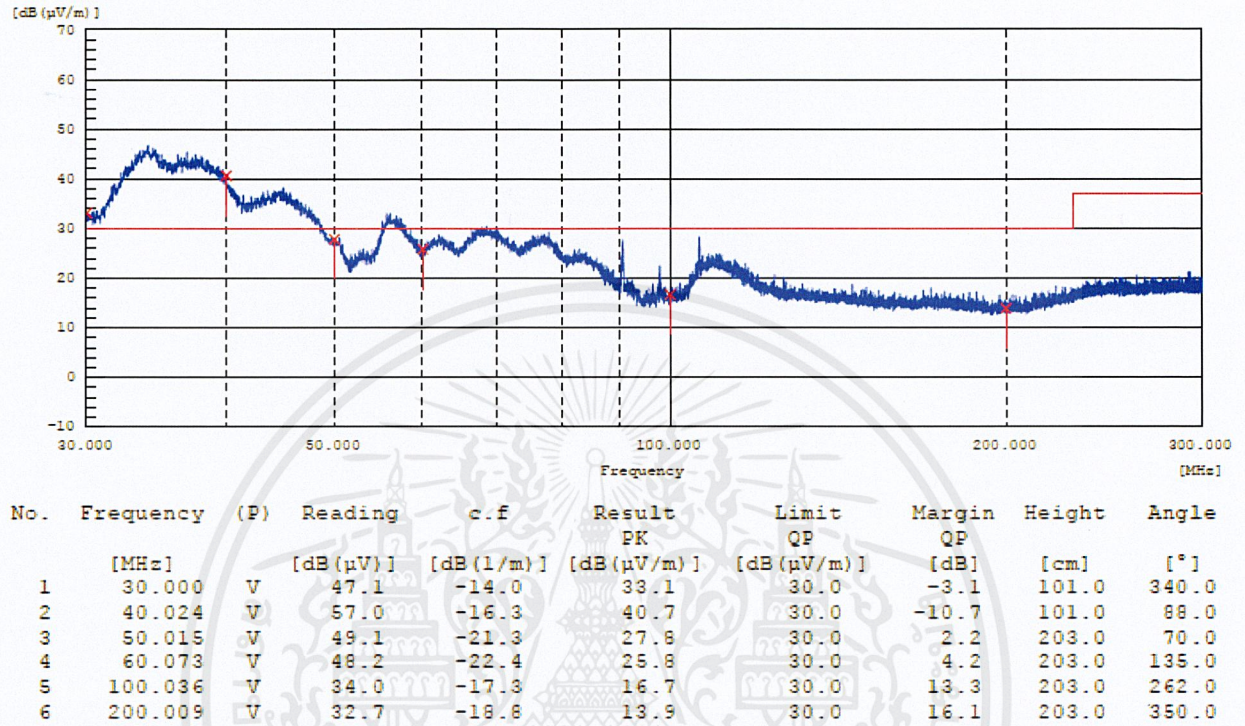
รูปที่ 4.22 ผลการทดสอบโดยใช้ CMAD ที่สายจ่ายไฟกำลัง 5.0 เมตรของอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์

จากการทดสอบ ทั้ง 4 การทดสอบ นั้น ผู้ทดสอบได้ทำการวิเคราะห์ค่าสัญญาณรบกวนแพร่ผ่านอากาศ ณ ความถี่ต่างๆ คือ 30 MHz, 40 MHz, 50 MHz, 60 MHz, 100 MHz, 200 MHz ได้ค่าออกมาดังรูป จะสังเกตเห็นว่าเมื่อทำการทดสอบแบบดั้งเดิม ด้วยสายไฟขนาดความยาว 2.5 เมตร ค่าสัญญาณรบกวนมีค่าสูง เมื่อทำการหาค่าพิสัย หรือ ค่ามากที่สุด - ค่าน้อยที่สุด ได้เท่ากับ $27.4 - (-10.6) = 38.0$ dB ซึ่งจะเห็นได้ว่าการกระจาย (Deviation) ของสัญญาณสูง แต่เมื่อนำมาเทียบกับการทดสอบที่ใส่ CMAD ไปที่สาย AC main แล้วนั้น ค่าพิสัยเท่ากับ $29.6 - 1.5 = 28.1$ dB ซึ่งมีค่าต่ำกว่า เหตุเพราะ CMAD นั้นช่วยคงค่า อิมพีแดนซ์ที่สาย AC main

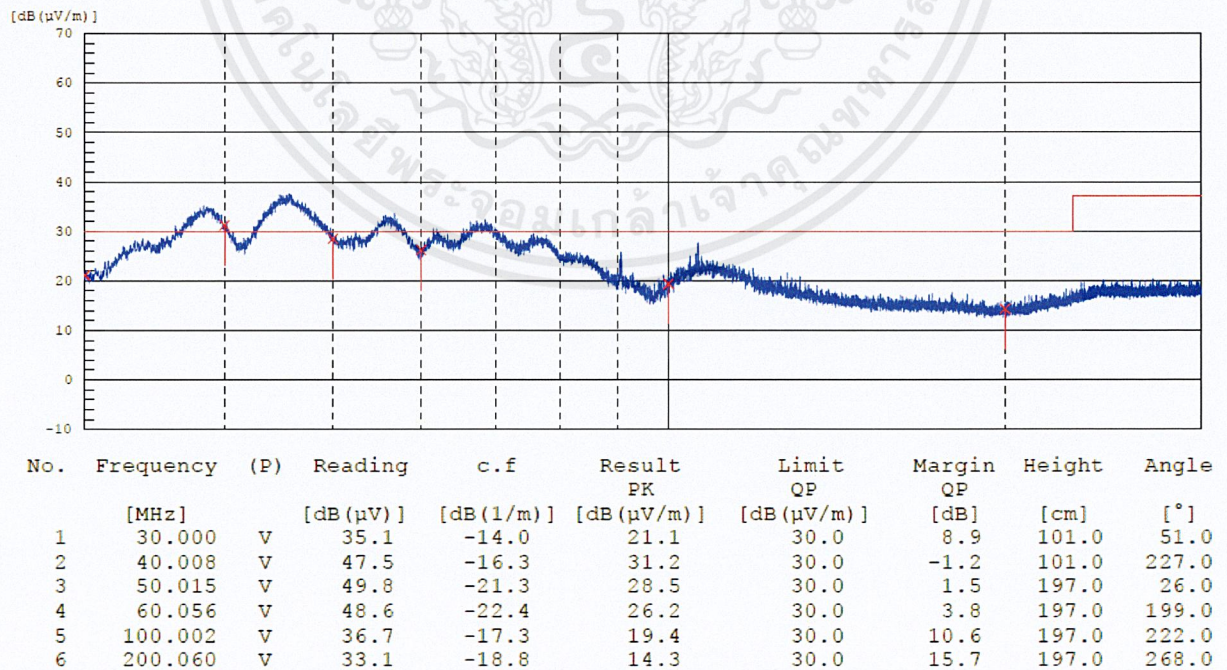
เมื่อทำการทดสอบอีกครั้งด้วยสายที่ยาวขึ้น ขนาด 5.0 เมตร พบว่าค่าพิสัยทั้งในกรณีที่เป็น Original setup และกรณีใส่ CMAD นั้น โดยรวมมีค่าสูงขึ้นเท่ากับ 40.5 dB และ 28.7 ตามลำดับ

4.5 ทดสอบการแพร่สัญญาณรบกวนผ่านอากาศด้วย หลอดไฟและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ใน SAC 10m

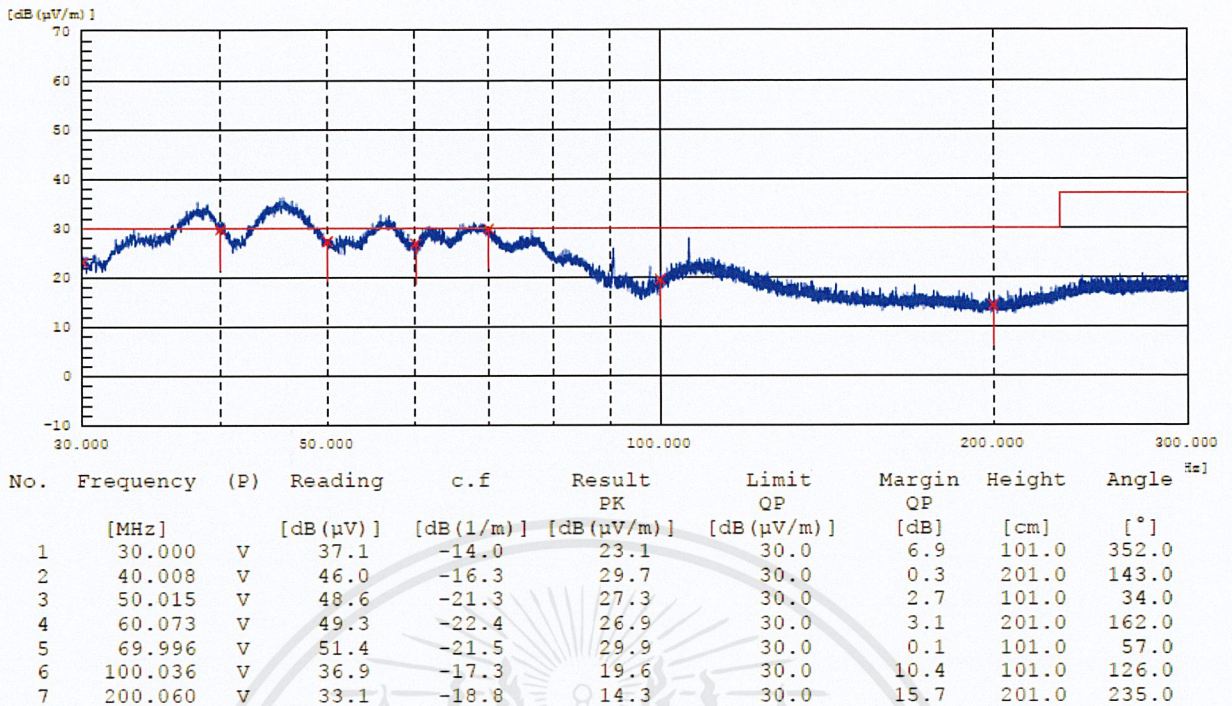
เพื่อที่จะทำการยืนยันประสิทธิภาพของ CMAD ที่ทำขึ้น จึงทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบด้วยบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ด้วย CMAD ของจริง ผลการทดสอบเป็นไปตามรูป ง.1 ง.2 และ ง.3



รูปที่ 4.23 ผลการทดสอบดั้งเดิมด้วยอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์



รูปที่ 4.24 ผลการทดสอบ CMAD ของ สถานีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 4.25 ผลการทดสอบ CMAD ของโครงการที่สร้างขึ้น

จากการทดสอบด้วยหลอดไฟและแบตเตอรี่อิเล็กทรอนิกส์ในห้อง SAC 10 เมตร ในการทดสอบแบบดั้งเดิม โดยที่ไม่ได้ใส่อุปกรณ์ลดสัญญาณใดๆไปพบว่า มีค่าสัญญาณที่แตกต่างกันในการขึ้นและลงของ noise จากนั้นเมื่อพล็อตจุดในแต่ละความถี่แล้ว พบว่ามีค่าของสัญญาณที่ทั้งมากกว่าและน้อยกว่าในการทดสอบด้วยอุปกรณ์เดียวกันใน SAC 3 เมตร

จากนั้นทำการทดสอบด้วยการใส่ CMAD ทั้งสองแบบเข้าไปที่สาย AC main พบว่ามีรูปสเปคตรัมของสัญญาณที่ใกล้เคียงกันมาก และเมื่อพล็อตจุดในแต่ละความถี่พบว่า มีค่าใกล้เคียงกันในทุกความถี่

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

จากการได้ทำโครงการการสร้าง อุปกรณ์ลดสัญญาณรบกวนสนามแม่เหล็ก CMAD (Common mode absorption device) มีรายละเอียดผลสรุปดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการได้ทำโครงการการสร้าง อุปกรณ์ดูดซับโหมตร่วม ได้ผลสรุปว่า เมื่อทดสอบค่าความสูญเสียของสัญญาณของ CMAD ที่ทำขึ้นด้วยเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายแบบเวกเตอร์ ผลปรากฏว่า ในช่วงความถี่ 30 MHz – 200 MHz มีรูปภาพใกล้เคียงกับค่าความสูญเสียของสัญญาณในแผ่นข้อมูล ของสินค้าจริง เพียงแต่มีข้อจำกัดในการทดสอบว่า อุปกรณ์ที่นำมาทำการทดสอบนั้น ควรจะเป็นอุปกรณ์ที่มีระบบการร้อยสายไฟภายในตัวอุปกรณ์น้อย เหตุผลเพราะ เมื่ออุปกรณ์มีการร้อยสายไฟภายในมาก สัญญาณรบกวนที่แพร่ออกมาจะแพร่ออกมาจากสายภายในอุปกรณ์มากกว่า สายจ่ายไฟกำลัง ที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ CMAD ดังนั้น อุปกรณ์ CMAD จะไม่สามารถแสดงประสิทธิภาพได้เต็มที่ อย่างในการทดสอบเมื่อเทียบกับ เครื่องปรับอากาศ VRV กับ อิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ สามารถลดสัญญาณรบกวนได้ 1.1 dB และ 18.1 dB ตามลำดับ จากนั้นทำการเปลี่ยนความยาวสายในการทดสอบ ผลปรากฏว่า ค่าสัญญาณรบกวนมากขึ้นในสายที่ยาวกว่า แต่เมื่อทำการหาค่าพิสัยหรือค่าความกระจายของสัญญาณแล้ว มีค่าเท่ากับ 28.1 dB และ 28.7 dB ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน CMAD จึงมีประสิทธิภาพในการคงค่าอิมพีแดนซ์ จากนั้นทำการทดสอบเปรียบเทียบกันระหว่าง CMAD ของจริงและ CMAD ที่ประดิษฐ์ขึ้น ผลปรากฏว่า มีรูปภาพที่เหมือนกันในทุกความถี่ และค่า Margin ที่ค่าใกล้เคียงกันมาก ต่างไม่เกิน 2 dB

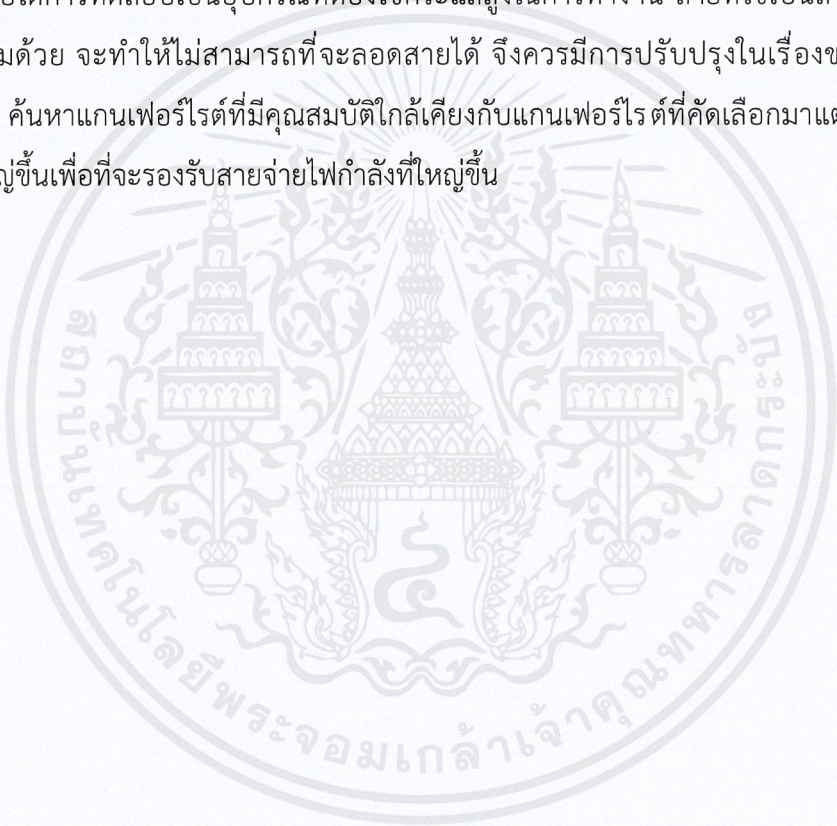
อุปกรณ์ CMAD นั้นจึงเป็นเพียงหนึ่งในอุปกรณ์หนึ่งที่มีหน้าที่ลดสัญญาณรบกวนที่สายจ่ายไฟกำลัง และคงค่าอิมพีแดนซ์ที่สายเท่านั้น ยังมีอุปกรณ์อีกมากมายที่สามารถลดสัญญาณรบกวนได้มากกว่า ในการแพร่สัญญาณที่แพร่ออกมาจากสายภายในตัวอุปกรณ์ เช่น วัสดลดสัญญาณรบกวน หรือสายชีลด์ หรือการชีลด์ที่เคลือบรอบอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ อีกทั้งยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการทดสอบการแพร่สัญญาณด้วย ยกตัวอย่างเช่น การตั้งค่าเสาอากาศ ประเภทของเสาอากาศ ขนาดของห้องทดสอบ ประเภทของห้องทดสอบ ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ทดสอบกับเสาอากาศ หรือจะเป็น ความยาวของสายจ่ายไฟกำลัง เป็นต้น ดังนั้นจะส่งผลให้ การทดสอบในแต่ละห้องการทดสอบนั้น มีปัจจัยควบคุมที่จะต้องทำให้เหมือนกันในทุกห้องทดสอบ ซึ่งเป็นไปได้ยากมาก

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทดลอง

- การควบคุมตัวแปรควบคุมในแต่ละห้องทดสอบ เมื่อจะทำการเปรียบเทียบกันนั้น เป็นไปได้ยาก เหตุเพราะมีตัวแปรมากมายหลายตัวที่มีผลต่อการทดสอบ
- การสั่งซื้อเฟอร์ไรต์ที่นำมาเป็นวัสดุภายใน CMAD นั้นใช้เวลาในการส่งของนาน

5.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากอุปกรณ์ชุดขับโหมตร่วมที่ทำขึ้นในโครงการนี้นั้น มีจุดที่ต่างจากอุปกรณ์ชุดขับโหมตร่วมของจริงตรงที่ ไม่สามารถที่จะเปิดฝาเพื่อทำการวางสายได้ จะทำได้ก็เพียงสอดสายใส่เข้าไปในรูเท่านั้น ดังนั้นหากอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบเป็นอุปกรณ์ที่ต้องใช้กระแสสูงในการทำงาน สายที่ใช้เป็นสายจ่ายไฟกำลังจะต้องใหญ่ตามด้วย จะทำให้ไม่สามารถที่จะสอดสายได้ จึงควรมีการปรับปรุงในเรื่องของการใส่สายยกตัวอย่างเช่น ค้นหาแกนเฟอร์ไรต์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับแกนเฟอร์ไรต์ที่คัดเลือกมาแต่เลือกชนิดที่มีขนาดของวงใหญ่ขึ้นเพื่อที่จะรองรับสายจ่ายไฟกำลังที่ใหญ่ขึ้น



อ้างอิง

- [1] International Electrotechnical Commission.(2013).IEC61000-4-6.พิมพ์ครั้งที่ 4
- [2] International Electrotechnical Commission.(2010).CISPR16-1-4.พิมพ์ครั้งที่ 3
- [3] International Electrotechnical Commission.(2016).CISPR16-2-3.พิมพ์ครั้งที่ 4
- [4] Andy Eadie.(2018).EMC Testing : The beginner guide. Retrieve July 20 2019, from <https://emcfastpass.com/emc-testing-beginners-guide/emissions/>
- [5] Rice Lake Weighing Systems.(2010).Using Ferrite Core to Suppress Electromagnetic Interference.
- [6] Spartaco Caniggia,Carlo Carobbi.(2018).Improving the Reproducibility of Radiated Immunity Tests Through the Use of the CMAD.
- [7] EMC'14/Tokyo.(2014).Reducing the Standard Compliance Uncertainty by Using Ferrite type CMADs during Radiated Disturbance Measurement acc. To CISPR16-2-3
- [8] International Electrotechnical Commission.(2016). CISPR14-1.พิมพ์ครั้งที่ 6