

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

การวัดดิสชาร์จบางส่วนด้วยสายอากาศยูเอชเอฟ  
Partial Discharge Measurement with UHF Antenna



โดย

นาย วิชชา

เกตุสิงห์น้อย

นาย ศรายุทธ

แก้วเนียม

นาย สุภธร

เป็นมันคง

นาย อำนาจ

ทองศรี

๒๙พ.

๑๕๓๑ ก

๒๕๕๐

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... **81806**  
วัน,เดือน,ปี..... 24 ส.ย. 2551

b. 11๑.3๖3๖8  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2550

การวัดดิสชาร์จบางส่วนด้วยสายอากาศยูเอชเอฟ  
Partial Discharge Measurement with UHF Antenna



โดย  
นาย วิชชา เกตุสิงห์น้อย  
นาย ศรายุทธ แก้วเนียม  
นาย ศุภธร เป็็นมันคง  
นาย อำนาจ ทองศรี

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

อ.นรเศรษฐ พัฒนเดช

อ.พีรวุฒิ ยุทธโกวิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวัดดิสซาร์จบางส่วนด้วยสายอากาศยูเอชเอฟ

ผู้จัดทำ

นาย วิชา เกตุสิงห์น้อย รหัส 47010696

นาย ศรายุทธ แก้วเนียม รหัส 47010747

นาย ศุภธร เป็นมั่นคง รหัส 47010782

นาย อำนาจ ทองศรี รหัส 47010989

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อ.นเรศรชฐ พัดนเดช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อ.พีรวุฒิ ยุทธโกวิท)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การวัดดิซาร์จบางส่วนด้วยสายอากาศยูเอชเอฟ

นายวิชา เกตุสิงห์น้อย

นายศรายุทธ แก้วเนียม

นายศุภธร เป็นมันคง

นายอำนาจ ทองศรี

อ.นรเศรษฐ พัฒนเดช อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.มณฑล สีลาจินดาไกรฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.พีรภูมิ ยุทธโกวิท อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2550

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการวัดดิซาร์จบางส่วนด้วยสายอากาศยูเอชเอฟ ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ใช่วิธีการวัดสัญญาณพัลส์ทางไฟฟ้าโดยตรง สายอากาศที่ออกแบบเป็นแบบดิสก์โมนโพล ช่วงความถี่ 300 MHz- 3 GHz คุณสมบัติของสายอากาศที่ออกแบบนั้นได้มีการศึกษาวิเคราะห์คำนวณหาค่าสูญเสียย้อนกลับ และรูปแบบการแผ่กระจายคลื่น โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และทำการทดลองจริง พบว่ามีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน สำหรับการวัดดิซาร์จบางส่วนนั้น ได้ทำการจำลองรูปแบบของการเกิดดิซาร์จบางส่วนขึ้นมาแล้วทำการวัดเปรียบเทียบด้วยวิธีดั้งเดิม และวิธีวัดด้วยสายอากาศ ซึ่งจะทำการวัดเปรียบเทียบระหว่างสายอากาศอ้างอิงกับสายอากาศที่ออกแบบขึ้น จากผลการทดลองเบื้องต้นในห้องซีลด์ พบว่าสายอากาศที่ออกแบบสามารถใช้งานในการวัดดิซาร์จบางส่วนได้ดีเหมาะที่จะนำไปพัฒนาต่อไปเพื่อใช้งานในระบบจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Partial Discharge Measurement with UHF Antenna

Mr. Witcha	Kate-singnoy	
Mr. Sarayut	Kheawniam	
Mr. Supathon	Poenmankong	
Mr. Umnart	Thongsri	
Assoc.Prof.Monthon	Leelachindakaileak	Supervisor
Lecturer Norasage	Pattanadech	Supervisor
Lecturer Pearawut	Yutthagowith	Supervisor

2007

### ABSTRACT

This project represents partial discharge measurement using UHF antenna which is non-conventional method for partial discharge measurement. Disc monopole antenna in frequency range of 300 MHz – 3 GHz is designed and constructed. The electrical characteristics of designed antenna, return loss and radiate pattern, are examined using both computer program and measurement which is relatively similar. For partial discharge measurement, partial discharge models are constructed for testing by using conventional method and unconventional method comprised of measuring by reference antenna and designed disc monopole antenna in a shielding room. It was primarily found that the designed disc monopole antenna can measure partial discharge accurately compared with measuring from reference antenna.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้คงไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ถ้าหากขาดความช่วยเหลือและความร่วมมือเป็นอย่างดีจากบุคคลเหล่านี้

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์, อาจารย์ นรเศรษฐ พัฒนเดช และ อาจารย์ พีรภูมิ ยุทธโกวิท ที่คอยดูแลเอาใจใส่อย่างใกล้ชิดเสมอมา ช่วยชี้แนะให้คำปรึกษารวมถึงวิชาการความรู้ต่างๆที่ได้สอนแก่ผู้จัดทำโครงการ ที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา และค้นคว้าหาข้อมูลเพื่อจัดทำโครงการ โดยมีเห็นแก่ความเหน็ดเหนื่อย รวมถึงตรวจสอบและแก้ไขปริญญาโทฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความรู้ต่อผู้จัดทำโครงการ ซึ่งมีประโยชน์ต่อการนำมาใช้ในการจัดทำโครงการครั้งนี้ ขอบพระคุณห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ใช้เป็นสถานที่ในการทำ ทดสอบ และเป็นที่ยอมรับในกลุ่มเพื่อทำงานต่างๆ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่เพื่อทำการทดสอบต่างๆ และให้คำแนะนำที่ดีตลอดมา

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ คุณไพโรจน์ วุ่นซุม นักศึกษาปริญญาเอก, คุณชญวัฒน์ ลิ้มปิติ รุ่นพี่นักศึกษาปริญญาโท และเจ้าหน้าที่ประจำห้อง Wireless communication lab ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้คำแนะนำ เป็นที่ปรึกษาในเรื่องสายอากาศเป็นอย่างดี

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ คุณประวิทย์ เพ็ชรผึ้ง, คุณเพทาย นิมสนอง, คุณภูษิต ถึงสุข และคุณอภิชาติ นิมเทียน รุ่นพี่นักศึกษาปริญญาโท ที่คอยให้คำแนะนำ เป็นที่ปรึกษาในเรื่องการทำการทดลองเป็นอย่างดี และช่วยเหลือตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง อีกทั้งขอบคุนเพื่อนร่วมงานและสมาชิกในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมแรงสูงทุกคน ที่คอยช่วยเหลือในทุกๆด้าน และคอยให้กำลังใจในการทำงานเสมอ จนกระทั่งโครงการสำเร็จได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำขอขอบคุนเพื่อนๆภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกคนสำหรับมิตรภาพที่ดีทั้งในเรื่องการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนการศึกษาใช้ชีวิตนอกห้องเรียนมากมาย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวถึงที่คอยสนับสนุนทางการเรียนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน รวมถึงคอยให้กำลังใจที่ดีในทุกๆเรื่อง

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของงานวิจัย	2
1.4 ตารางแสดงแผนงานวิจัย	3
1.5 ประโยชน์และผลที่ได้รับ	4
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ดิสซาร์จบางส่วน	6
2.2 ชนิดแบบของการเกิดดิสซาร์จบางส่วน	7
2.3 ผลของการเกิดดิสซาร์จบางส่วน	11
2.4 ความสำคัญของการตรวจจับดิสซาร์จบางส่วน	11
2.5 การตรวจจับดิสซาร์จบางส่วน	12
2.6 หลักการตรวจจับดิสซาร์จบางส่วน	15
2.7 เทคนิคการวัดดิสซาร์จบางส่วน	16
2.8 การวิเคราะห์ดิสซาร์จบางส่วน	20
2.9 สัญญาณที่ใช้ในการจำแนกรูปแบบดิสซาร์จบางส่วน	21
2.10 การตรวจวัดที่ไม่ใช่วิธีการทางไฟฟ้า	22
2.11 เหตุผลหลักของการเลือกใช้วิธี UHF ใน GIS	23
2.12 ทฤษฎีเบื้องต้นของสายอากาศ	23
2.13 สายอากาศแบบระนาบ	27
2.14 การประยุกต์ใช้งานสายอากาศ	31
บทที่ 3 การออกแบบสร้างสายอากาศระบบ UHF เพื่อนำไปวัดสัญญาณดิสซาร์จบางส่วน	33
3.1 การออกแบบสายอากาศ	33
3.2 สายอากาศที่ได้ออกแบบ	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 คุณสมบัติของสายอากาศที่ได้ออกแบบจากการจำลองวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	35
3.4 การออกแบบแบบจำลองพฤติกรรมกรรมการเกิดดิซาร์จบางส่วน	38
3.5 การออกแบบวงจรการวัดดิซาร์จบางส่วนด้วยสายอากาศ	39
3.6 การประกอบสร้างสายอากาศ	40
บทที่ 4 การทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ	43
4.1 การทดสอบการเกิดดิซาร์จบางส่วนด้วยวิธี Conventional Method ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง	43
4.2 การทดสอบการวัดดิซาร์จบางส่วนด้วยสายอากาศ Disc Monopole เทียบกับสายอากาศอ้างอิง	54
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	83
5.1 สรุป	83
5.2 อุปสรรคและข้อเสนอแนะ	84
บรรณานุกรม	85
ภาคผนวก	86
ประวัติผู้เขียน	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2 – 1 รูปแบบของดิสซาร์จบางส่วน	7
รูปที่ 2 – 2 ลักษณะโคโรนาดิสซาร์จ	8
รูปที่ 2 – 3 ลักษณะรูปแบบของฉนวนที่ทำให้เกิดดิสซาร์จบางส่วนตามผิว	9
รูปที่ 2 – 4 วงจรสมมูลของการเกิดดิสซาร์จบางส่วนทั่วไป	12
รูปที่ 2 – 5 วงจรสมมูลของโคโรนาดิสซาร์จและดิสซาร์จตามผิว	13
รูปที่ 2 – 6 รูปคลื่นของแรงดันตกคร่อมแกปและกระแสที่ขั้วสายของอุปกรณ์วัด ขณะเกิดดิสซาร์จบางส่วน	13
รูปที่ 2 – 7 ลักษณะรูปร่างของกระแสดิสซาร์จบางส่วนในทางทฤษฎีสำหรับแกปเล็ก ๆ	14
รูปที่ 2 – 8 วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับดิสซาร์จบางส่วน	16
รูปที่ 2 – 9 วงจรทดสอบดิสซาร์จบางส่วนแบบต่าง ๆ ตามมาตรฐาน IEC 60270 [3]	17
รูปที่ 2 – 10 กระบวนการการวิเคราะห์การเกิดดิสซาร์จบางส่วน	21
รูปที่ 2 – 11 ตัวอย่างของสายอากาศเส้นลวด	25
รูปที่ 2 – 12 ตัวอย่างของสายอากาศโครงโลหะ	25
รูปที่ 2 – 13 ตัวอย่างของสายอากาศแบบระนาบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ฟุต	26
รูปที่ 2 – 14 ตัวอย่างของสายอากาศแบบอาเรียรี	26
รูปที่ 2 – 15 ตัวอย่างของจานสายอากาศ	26
รูปที่ 2 – 16 ตัวอย่างของสายอากาศแบบเลนส์	27
รูปที่ 2 – 17 ตัวอย่างสายอากาศแบบระนาบ	28
รูปที่ 2 – 18 ตัวอย่างสายอากาศแบบระนาบที่แพร่กระจายคลื่นตามแนวยาว	28
รูปที่ 2 – 19 ตัวอย่างองค์ประกอบของสายอากาศแบบระนาบ	29
รูปที่ 2 – 20 ตัวอย่างสายอากาศจริงแบบซับซ้อนมาก ซึ่งมีต้นแบบมาจาก โครงสร้างของไม้	29
รูปที่ 2– 21 รูปการแพร่กระจายคลื่นตามแนวของสายอากาศแบบระนาบย่าน C (5 กิกะเฮิรตซ์) และประสิทธิภาพมากกว่าจากตารางที่ 2.1 สายอากาศ สามารถออกแบบมาให้ใช้งานกับทุกย่านความถี่	32
รูปที่ 3-1 ตัวอย่างสายอากาศที่วาดโดยโปรแกรม Solid work	34
รูปที่ 3-2 ตัวอย่างสายอากาศที่วาดโดยโปรแกรม Solid work	34
รูปที่ 3-3 แสดงส่วนประกอบของสายอากาศ	35
รูปที่ 3-4 แสดงค่าสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์	35
รูปที่ 3-5 แสดงรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ 3 มิติที่ความถี่ 0.3 GHz	36
รูปที่ 3-6 แสดงรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ 2 มิติที่ความถี่ 0.3 GHz	36
รูปที่ 3-7 แสดงรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ 3 มิติที่ความถี่ 1.5 GHz	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3-8 แสดงรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ 2 มิติที่ความถี่ 1.5 GHz	37
รูปที่ 3-9 อุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบ โคโรนาดิสชาร์จ	38
รูปที่ 3-10 อุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบ ดิสชาร์จตามผิว	38
รูปที่ 3-11 อุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบ ดิสชาร์จภายใน	39
รูปที่ 3-12 วงจรการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนโดย Reference Antenna	39
รูปที่ 3-13 วงจรการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนโดย Disc Monopole Antenna	40
รูปที่ 3-14 การประกอบสร้างสายอากาศแบบ Disc Monopole	41
รูปที่ 3-15 การนำสายอากาศที่สร้างไปทดสอบหาค่าความสูญเสียย้อนกลับ(Return loss)	41
รูปที่ 3-16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Return loss ที่ได้ระหว่างการ simulated ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับผลที่ได้จากการวัดจริง	42
รูปที่ 4-1 วงจรการทดลอง	43
รูปที่ 4-2 วงจรที่ทำการทดสอบ	44
รูปที่ 4-3 เครื่อง PD DETECTOR DDX-9101 ใช้สำหรับทดสอบการเกิดดิสชาร์จบางส่วน	45
รูปที่ 4-4 อุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาดิสชาร์จ	45
รูปที่ 4-5 อุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบดิสชาร์จตามผิว	45
รูปที่ 4-6 อุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบดิสชาร์จภายใน	46
รูปที่ 4-7 อุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลง	46
รูปที่ 4-8 Background noise ค่าดิสชาร์จ 1.2 pC	48
รูปที่ 4-9 แสดงรูปคลื่นอิลิปส์และคลื่นซายน์	48
รูปที่ 4-10 PD เริ่มเกิดบนรูปคลื่นอิลิปส์และคลื่นซายน์ ที่แรงดัน 4.83 kV	49
รูปที่ 4-11 PD บนรูปคลื่นอิลิปส์และคลื่นซายน์ ที่แรงดัน 4.96 kV	49
รูปที่ 4-12 PD เริ่มเกิดบนรูปคลื่นอิลิปส์และคลื่นซายน์ ที่แรงดัน 4.35 kV	49
รูปที่ 4-13 PD เกิดบนรูปคลื่นอิลิปส์และคลื่นซายน์ ที่แรงดัน 6.48 kV	50
รูปที่ 4-14 PD เริ่มเกิดบนรูปคลื่นอิลิปส์และคลื่นซายน์ ที่แรงดัน 4.96 kV	50
รูปที่ 4-15 PD เกิดบนรูปคลื่นอิลิปส์และคลื่นซายน์ ที่แรงดัน 5.54 kV	50
รูปที่ 4-16 PD เริ่มเกิดบนรูปคลื่นอิลิปส์และคลื่นซายน์ ที่แรงดัน 3.19 kV	51
รูปที่ 4-17 PD เกิดบนรูปคลื่นอิลิปส์และคลื่นซายน์ ที่แรงดัน 5.54 kV	51
รูปที่ 4-18 PD เริ่มเกิดบนรูปคลื่นอิลิปส์และคลื่นซายน์ ที่แรงดัน 7.98 kV	52
รูปที่ 4-19 PD เกิดบนรูปคลื่นอิลิปส์และคลื่นซายน์ ที่แรงดัน 12.30 kV	52
รูปที่ 4-20 วงจรที่ออกแบบการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนด้วยสายอากาศอ้างอิง	54
รูปที่ 4-21 วงจรที่ออกแบบการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนด้วยสายอากาศ	55

Disc Monopole ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4-22 การตรวจวัดสัญญาณดิสซาร์จบางส่วนโดยใช้ Reference Antenna	55
รูปที่ 4-23 การตรวจวัดสัญญาณดิสซาร์จบางส่วนโดยใช้สายอากาศ Disc Monopole ที่สร้างขึ้น	56
รูปที่ 4-24 สายอากาศอ้างอิงออกแบบมาให้ใช้ใน ช่วงความถี่ 30 MHz - 1 GHz	56
รูปที่ 4-25 สายอากาศ Disc Monopole ออกแบบมาให้ใช้ใน ช่วงความถี่ 300 MHz - 3 GHz	57
รูปที่ 4-26 ชุด Spectrum Analyzer ที่ใช้วิเคราะห์คลื่นสัญญาณความถี่ที่วัดได้	57
รูปที่ 4-27 แอมพลิไฟเออร์ ที่ขยายสัญญาณ	57
รูปที่ 4-28 หม้อแปลงทดสอบ พิกัด 230/15,000 V	58
รูปที่ 4-29 Corona 4.6 kV	60
รูปที่ 4-30 Corona 6.5 kV	61
รูปที่ 4-31 Corona 7.8 kV	61
รูปที่ 4-32 Corona 4.6 kV	62
รูปที่ 4-33 Corona 6.5 kV	62
รูปที่ 4-34 Corona 7.8 kV	63
รูปที่ 4-35 Surface 11 kV	64
รูปที่ 4-36 Surface 13.65 kV	65
รูปที่ 4-37 Surface 14.3 kV	65
รูปที่ 4-38 Surface 14.95 kV	66
รูปที่ 4-39 Surface 11 kV	66
รูปที่ 4-40 Surface 13.65 kV	67
รูปที่ 4-41 Surface 14.3 kV	67
รูปที่ 4-42 Surface 14.95 kV	68
รูปที่ 4-43 Internal 10.4 kV	69
รูปที่ 4-44 Internal 11.7 kV	70
รูปที่ 4-45 Internal 13 kV	70
รูปที่ 4-46 Internal 10.4 kV	71
รูปที่ 4-47 Internal 11.7 kV	71
รูปที่ 4-48 Internal 13 kV	72
รูปที่ 4-49 Internal 13 kV	73
รูปที่ 4-50 Internal 13.65 kV	74
รูปที่ 4-51 Internal 14.3 kV	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4-52 Internal 13 kV	75
รูปที่ 4-53 Internal 13.65 kV	75
รูปที่ 4-54 Internal 14.3 kV	76
รูปที่ 4-55 น้ำมันหม้อแปลง12.35 kV	77
รูปที่ 4-56 น้ำมันหม้อแปลง13 kV	78
รูปที่ 4-57 น้ำมันหม้อแปลง 13.65 kV	78
รูปที่ 4-58 น้ำมันหม้อแปลง 12.35 kV	79
รูปที่ 4-59 น้ำมันหม้อแปลง 13 kV	79
รูปที่ 4-60 น้ำมันหม้อแปลง13.65 kV	80



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานโครงการวิศวกรรม 1/2550	3
ตารางที่ 1.2 แผนการดำเนินงานโครงการวิศวกรรม 2/2550	4
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงย่านความถี่	30
ตารางที่ 4-1 แสดงผลการทดสอบแรงดันเริ่มเกิดดิสชาร์จบางส่วน ด้วยวิธี conventional method	53
ตารางที่ 4-2 แสดงผลการทดสอบแรงดันของดิสชาร์จบางส่วน ด้วยวิธี conventional method	53
ตารางที่ 4-3 ผลการทดสอบโคโรนาดิสชาร์จด้วยสายอากาศ ทั้งสองแบบที่แรงดันต่างๆ	63
ตารางที่ 4-4 ผลการทดสอบดิสชาร์จตามผิวด้วยสายอากาศ ทั้งสองแบบที่แรงดันต่างๆ	68
ตารางที่ 4-5 ผลการทดสอบดิสชาร์จภายใน(10 mm)ด้วยสายอากาศ ทั้งสองแบบที่แรงดันต่างๆ	72
ตารางที่ 4-6 ผลการทดสอบดิสชาร์จภายใน(6 mm)ด้วยสายอากาศ ทั้งสองแบบที่แรงดันต่างๆ	76
ตารางที่ 4-7 ผลการทดสอบดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันด้วยสายอากาศ ทั้งสองแบบที่แรงดันต่างๆ	80
ตารางที่ 4-8 รวบรวมผลการทดสอบดิสชาร์จบางส่วนด้วยสายอากาศ ทั้งสองแบบที่แรงดันต่างๆ	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในระบบไฟฟ้าแรงสูงการฉนวนมีความสำคัญอย่างยิ่ง ดังนั้นลักษณะคุณสมบัติของวัสดุฉนวน จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการฉนวน คือ ถ้าหากความเครียดสนามไฟฟ้าที่จุดใด ๆ เกิดมีค่าสูงกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤตหรือค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า (dielectric strength) ของฉนวนก็จะทำให้เกิดเบรกดาวน์โดยสมบูรณ์ หรือเบรกดาวน์เพียงบางส่วน ถ้าหากฉนวนที่ไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐานที่ได้กำหนด หรือเกิดความผิดปกติในฉนวนจะทำให้เกิดความล้มเหลวในระบบไฟฟ้าได้ ซึ่งความผิดปกติของฉนวนนั้นอาจเกิดจากการออกแบบฉนวนที่ไม่ได้มาตรฐาน หรืออาจเกิดจากความบกพร่องในกระบวนการผลิต ความบกพร่องของฉนวนทำให้เกิดการดิสชาร์จบางส่วนขึ้นและจะพัฒนาไปสู่การเสียหายอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการตรวจสอบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนก่อนนำอุปกรณ์ไปใช้งานจริง หรือในระหว่างที่ใช้งานอยู่จริง จึงเป็นส่วนสำคัญในการตรวจสอบถึงมาตรฐานการฉนวนของอุปกรณ์นั้นๆ ว่าเหมาะสมที่จะนำไปใช้อยู่หรือไม่

โดยที่ดิสชาร์จบางส่วน หมายถึง การที่ฉนวนเสียหายเพียงบางส่วนที่ยังไม่ได้เชื่อมโยงกันระหว่างอิเล็กโทรด อาจแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ โครนาดิสชาร์จ ดิสชาร์จตามผิว และดิสชาร์จภายใน

การตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนนั้น โดยทั่วไปจะทำการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนทางไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบแบบดั้งเดิม (Conventional method, IEC 60270) ซึ่งจำเป็นที่จะต้องทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการและต้องอาศัยความเชี่ยวชาญของแต่ละบุคคล

ซึ่งชุดทดสอบการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนทางไฟฟ้านั้นมีราคาแพง ด้วยขีดจำกัดของการทดสอบแบบดั้งเดิมทางผู้ทำการวิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาวิธีการแบบใหม่ขึ้นมา เพื่อใช้ในการทดสอบดิสชาร์จบางส่วน ซึ่งมีการพัฒนากันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศขณะนี้ เป็นแนวคิดหนึ่งที่เป็นที่สนใจกันอยู่คือการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนด้วยสายอากาศ โดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อเกิดดิสชาร์จบางส่วนขึ้นมา จะมีคลื่นความถี่สูงแพร่กระจายออกมาในรูปของสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก ซึ่งสามารถตรวจจับได้โดยใช้สายอากาศ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงทำการออกแบบสร้างสายอากาศระบบ UHF ดันแบบมาตรฐานจับสัญญาณความถี่ที่แพร่ออกมา เพื่อตรวจวัดการเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่ได้จำลองขึ้นด้วยสายอากาศและนำสัญญาณที่วัดได้มาเป็นข้อมูลสำหรับพัฒนาการตรวจวัดดิสชาร์จบางส่วนต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีและมาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดิสซาร์จบางส่วน
2. เพื่อศึกษาทฤษฎีและโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสายอากาศที่จะมาใช้ตรวจวัดดิสซาร์จบางส่วน
3. เพื่อศึกษาถึงรูปแบบกระบวนการวัดดิสซาร์จบางส่วนของอุปกรณ์ทดสอบ ซึ่งจำลองลักษณะการเกิดดิสซาร์จบางส่วนขึ้น
4. เพื่อศึกษาถึงการวิเคราะห์สเปกตรัมของการเกิดดิสซาร์จบางส่วน ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

## 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของงานวิจัย

1. ศึกษามาตรฐานและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยโดยการสืบค้นจากฐานข้อมูลของ IEEE , IEC , ปรินซิเพิล และวิทยานิพนธ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO เพื่อใช้ในการออกแบบสายอากาศ และนำไปสร้างสายอากาศช่วงความถี่ UHF ที่สามารถตรวจวัดดิสซาร์จบางส่วนได้
3. ทำการออกแบบสร้างสายอากาศระบบ UHF เพื่อใช้ในการวัดดิสซาร์จบางส่วน
4. ทำการทดสอบวัดการเกิดดิสซาร์จบางส่วนด้วยสายอากาศที่ออกแบบสร้างขึ้นมาเปรียบเทียบกับสายอากาศมาตรฐานที่สร้างขึ้นมา
5. ทำการวิเคราะห์สเปกตรัมของการเกิดดิสซาร์จบางส่วน ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์





## 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- [1] ณรงค์ ทองนิม, “เครื่องตรวจจับดีสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง”, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2533
- [2] อธิรัชย์ บัวแก้ว, “สายอากาศสองทิศทางที่ตอบสนองช่วงความถี่กว้าง โดยใช้วงแหวนวงกลมป้อนด้วยโมโนโพลกลมบาง”, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม, บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549
- [3] Masayuki HIKITA and groups, “Recent Trend of Partial Discharge Measurement Technique using UHF Electromagnetic Wave Detection Method ” ,Kyushu Institute of Technology, Japan, 2006
- [4] Qiu Jinghui and Qi Jiaran, “Study on the properties of circular monopole antenna” , Harbin Institute of Technology, China, 2006

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ดิสชาร์จบางส่วน (PD)

ในระบบการฉนวนไฟฟ้าแรงสูง ไม่ว่าจะเป็นสายส่งจ่าย หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงก็ตาม ถ้าหากความเครียดสนามไฟฟ้าที่จุดใด เกิดมีค่าสูงกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤต หรือค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า (Dielectric Strength) ของฉนวนก็จะทำให้เกิดเบรกดาวน์ โดยสมบูรณ์ หรือเบรกดาวน์เป็นเพียงบางส่วน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าจะเกิดแนวที่ฉนวนเปลี่ยนสภาพไปเป็นสภาพนำไฟฟ้าที่มีความต้านทานระหว่างอิเล็กโทรดต่ำพอหรือไม่ อีกนัยหนึ่งก็คือพลังงานที่ทำให้เกิดดิสชาร์จนั้นมากพอหรือไม่ ถ้าเกิดเบรกดาวน์ที่สมบูรณ์ไม่ได้ก็จะกลายเป็นดิสชาร์จพัลส์สั้นๆ หรือที่เรียกว่า ดิสชาร์จบางส่วน (Partial discharge = PD) เพราะดิสชาร์จนั้นไม่เชื่อมโยงระหว่างอิเล็กโทรด และการดิสชาร์จบางส่วนนี้การฉนวนของอิเล็กโทรดด้านหนึ่ง หรือทั้งสองด้านยังเป็นฉนวนที่สมบูรณ์มั่นคงอยู่ ซึ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลว หรือ ก๊าซก็ได้ [1]

นิยามดิสชาร์จบางส่วน (PD) , Kreuger [2] ได้ให้คำอธิบายไว้ว่า ดิสชาร์จบางส่วนเป็นคายประจุทางไฟฟ้าที่ไม่เชื่อมโยงถึงกันระหว่างอิเล็กโทรด ดิสชาร์จบางส่วนจัดอยู่ในกลุ่มใหญ่ของก๊าซดิสชาร์จ ซึ่งเกิดจากอิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้า แล้ววิ่งชนโมเลกุลของก๊าซก่อเป็นอะวาแลนซ์ของอิเล็กตรอน และทิ้งไอออนบวกนี้ไว้เบื้องหลัง ที่เคลื่อนที่เข้าหาอิเล็กโทรดอีกด้านหนึ่ง อิเล็กตรอน และไอออนบวกนี้จะเป็นเส้นทางให้กระแสไหลผ่านก๊าซได้

ดิสชาร์จบางส่วนจะเกิดขึ้นในระบบฉนวนที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง หรือฉนวนที่มีความไม่สม่ำเสมอ หรือเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าบางจุดในฉนวนมีค่าสูงกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤต แต่จะไม่เกิดเบรกดาวน์โดยสมบูรณ์ได้ หากแต่เกิดเพียงบางส่วนเท่านั้น

ดิสชาร์จบางส่วนเกิดขึ้นได้ทั้งในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ และสนามไฟฟ้ากระแสตรง ภายใต้สนามไฟฟ้ากระแสสลับ ดิสชาร์จจะเกิดทุกๆ ไชเคิลของแรงดัน ปกติจะเกิดขึ้นขณะที่แรงดันที่ป้อนเพิ่มขึ้นจากศูนย์ไปสู่ค่ายอด

พัลส์ดิสชาร์จบางส่วนแต่ละครั้ง จะมีพลังงานถ่ายเทให้กับพื้นผิวฉนวน ในลักษณะชนกระแทกเป็นเหตุให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นเฉพาะจุดเป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้ฉนวนเสียหายเป็นจุดๆ และเกิดผิวด่างขยายตัวมากขึ้น และอาจนำไปสู่การเกิดเบรกดาวน์อย่างสมบูรณ์ได้ ทำให้ฉนวนเสียหายได้อายุการใช้งานของฉนวนจะสั้นลง

การเกิดดิสชาร์จบางส่วนบนสายส่งแรงสูงแบบชิ่งอากาศ เรียกว่า โคโรนา ย่อมหมายถึงการเกิดพลังงานสูญเสียตลอดเวลา และยิ่งกว่านั้นการเกิดโคโรนาพัลส์ดิสชาร์จดังกล่าวนำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายออกไปรบกวนระบบสื่อสารย่านความถี่วิทยุ เรียกว่า คลื่นรบกวนวิทยุ

ฉะนั้น เพื่อให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงใช้งานได้ยาวนาน ไม่ก่อให้เกิดคลื่นรบกวนวิทยุ การออกแบบการฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องมีคุณภาพเพียงพอ ความเครียดสนามไฟฟ้าที่แรงดันใช้งานปกติ จะต้องต่ำกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤตของฉนวน จะต้องไม่มีดิสชาร์จบางส่วน แม้จะมีแรงดันเกินอันเนื่องมาจากแรงดันกระเพื่อมเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม เพื่อความมั่นใจในคุณภาพของการฉนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง จำเป็นต้องมีการทดสอบตรวจวัดค่าดิสชาร์จบางส่วน วัดแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุ (Radio interference voltage = RIV) ตามที่มาตรฐานกำหนด [3]

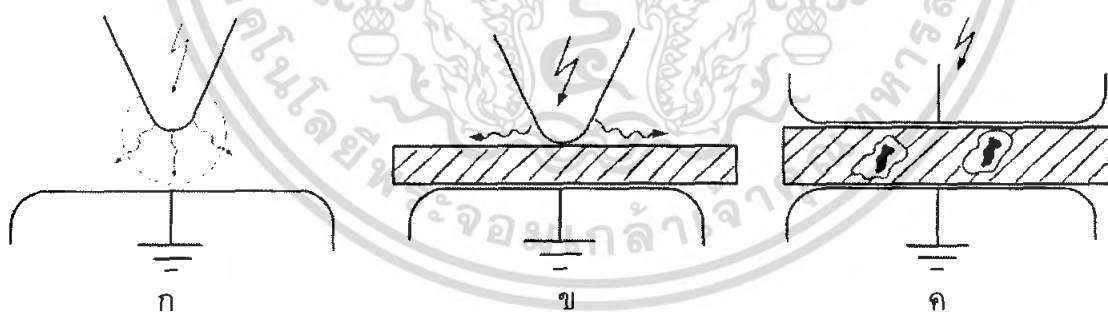
## 2.2 ชนิดแบบของการเกิดดิสชาร์จบางส่วน

ดิสชาร์จบางส่วนโดยทั่วไปอาจแบ่งตามลักษณะที่เกิดขึ้นได้เป็น 3 แบบ ดังรูปที่ 2 - 1

1) โคโรนาดิสชาร์จ (Corona discharge or external discharge) เกิดขึ้นในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงที่อิเล็กโทรดปลายแหลม หรือมีขอบคม หรืออิเล็กโทรดขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับระยะระหว่างอิเล็กโทรด ดังรูปที่ 2 - 1 ก)

2) ดิสชาร์จตามผิว (Surface discharge) เกิดขึ้นที่ผิวของฉนวนที่ความเครียดสนามไฟฟ้าตามแนวผิวสูง ดังรูปที่ 2 - 1 ข)

3) ดิสชาร์จบางส่วนภายใน (Internal partial discharge) เกิดขึ้นในโพรงหรือฟองก๊าซในเนื้อฉนวนซึ่งเป็นฉนวนแข็งหรือฉนวนเหลว ดังรูปที่ 2 - 1 ค)



รูปที่ 2 - 1 รูปแบบของดิสชาร์จบางส่วน

- ก) โคโรนาดิสชาร์จ เกิดที่ปลายอิเล็กโทรดแหลมคมในอากาศ
- ข) ดิสชาร์จตามผิว เกิดขึ้นที่ผิวฉนวนแข็งคั่นระหว่างอิเล็กโทรดวางในก๊าซ
- ค) ดิสชาร์จภายใน เกิดจากโพรงก๊าซในเนื้อฉนวน

### 2.2.1 โครนาดีสชาร์จ

โครนาดีสชาร์จเป็นดีสชาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้นในอากาศ หรือก๊าซที่ยืดแหลม หรือขอบคมของอิเล็กโทรดที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณอื่น [4] ซึ่งอาจเป็นจุดหรือบริเวณที่ความเครียดสนามไฟฟ้าเพิ่มสูงกว่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤตก่อนบริเวณอื่นๆ ของระบบ ฉนวน ตัวอย่างเช่นสายส่งไฟฟ้าแรงสูงแบบขึงในอากาศที่มีตัวนำไม่เรียบและมีขอบคม เป็นต้น ตัวอย่างในรูปที่ 2 – 2 ก) แสดงถึงสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงด้วยอิเล็กโทรดปลายแหลมของการเกิดโครนาดีสชาร์จจากมุมด้านบน ดังในรูปที่ 2-2 ข) เมื่อป้อนแรงดันเพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่ง ถ้าพิจารณารูปคลื่นแรงดันจากออสซิลโลสโคป จะสังเกตเห็นพัลส์ ซึ่งเริ่มเกิดขึ้นก่อนที่ยอดลบของรูปคลื่นแรงดันกระแสสลับรูปคลื่นไซน์ขนาด และช่วงห่างของพัลส์สม่ำเสมอเท่า ๆ กัน เรียกว่า “Trichel pulses” (G.W. Trichel ผู้พบในปี 1938) ดังในรูปที่ 2 – 2 ค) มีช่วงกว้างของคลื่นเพียงสิบ ๆ นาโนวินาที ความถี่อาจถึง 0.5 MHz ถ้าเพิ่มแรงดันสูงขึ้นอีก จะสังเกตเห็นพัลส์ที่ยอดครึ่งคลื่นบวกแต่จะไม่สม่ำเสมอ ทั้งยอดบวกและยอดลบพัลส์อาจจะหายไปหากเพิ่มแรงดันอีก เรียกลักษณะโครนาเช่นนี้ว่า โครนาต่อเนื่อง (Continuous corona) ดังรูปที่ 2 – 2 ง) คลื่นรบกวนวิทยุจึงลดลง แต่พลังงานสูญเสียโครนากลับเพิ่มมากขึ้น ต่อจากนั้นก็สังเกตเห็นพัลส์หนาแน่นมากขึ้นที่ยอดคลื่นบวก เรียกว่า ดีสชาร์จขนแปรง (Brush discharge) ดังรูปที่ 2 – 2 จ)



ก) rod-plane

1, 2 : Electrodes

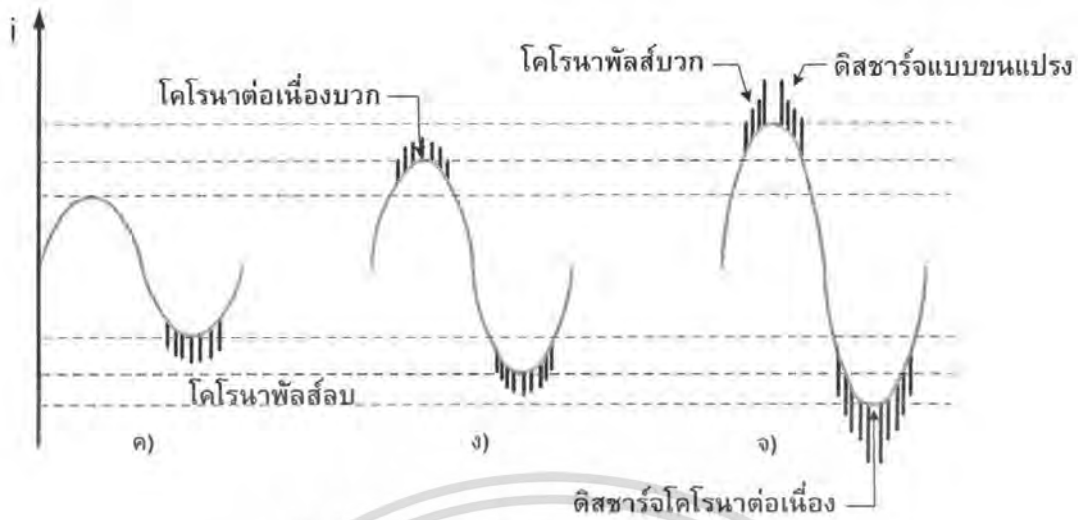
3 : PD region

ข) Top view Coaxial gap (corona-cage)

1 : Electrodes

3 : PD region

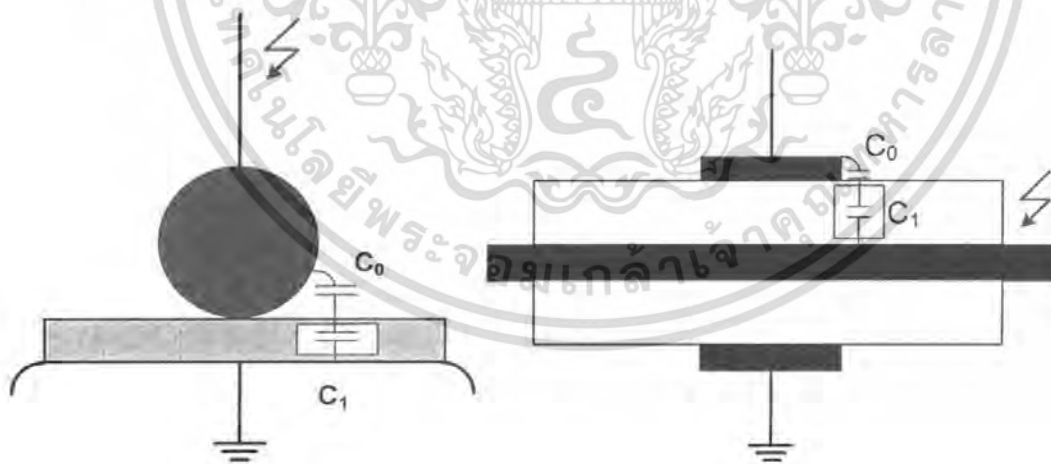
รูปที่ 2 – 2 ลักษณะโครนาดีสชาร์จ



รูปที่ 2 - 2 (ต่อ) ลักษณะโคโรนาดิสชาร์จ

2.2.2 ดิสชาร์จบางส่วนตามผิว

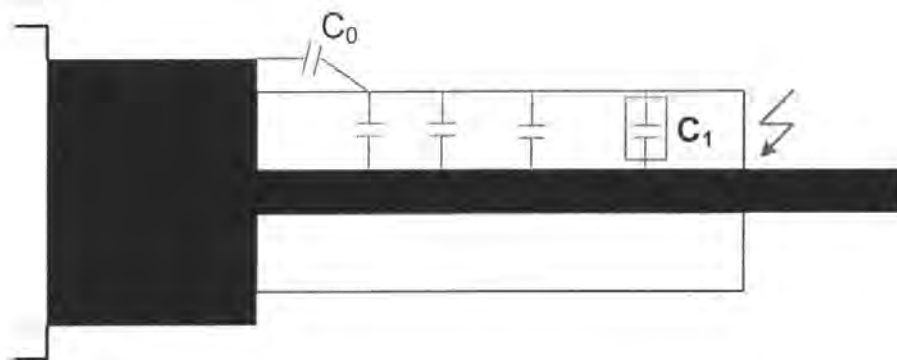
ดิสชาร์จบางส่วนตามผิวอาจเกิดขึ้นตามแนวรอยต่อของฉนวนต่างชนิดกันเช่น ของแข็งกับก๊าซหรือของแข็งกับของเหลว เมื่อมีความเครียดสนามไฟฟ้าตามแนวผิวรอยต่อของฉนวนสูงเกินค่าวิกฤต ตัวอย่างเช่น ปลายฉนวนนาสาย ปลายสายเคเบิล หรือ ดิสชาร์จภายนอกกระทบเข้ากับผิวฉนวน ซึ่งความเครียดสนามไฟฟ้าในเนื้อฉนวนไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดเบรกดาวนจ์เกาะทะเล่ได้ เช่น แผ่นคั่นระหว่างอิเล็กโทรด ดังรูปที่ 2 - 3



ก) อิเล็กโทรดทรงกลมกับระนาบคั่นด้วยแผ่นแก้ว      ข) ปลายฉนวนตัวนำ

รูปที่ 2 - 3 ลักษณะรูปแบบของฉนวนที่ทำให้เกิดดิสชาร์จบางส่วนตามผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค) ปลายสายเคเบิลแรงสูง

รูปที่ 2 – 3 (ต่อ) ลักษณะรูปแบบของฉนวนที่ทำให้เกิดดิสชาร์จบางส่วนตามผิว

ในรูปที่ 2 – 3 ก) ดิสชาร์จตามผิวจะเริ่มเกิดขึ้นที่บริเวณทรงกลมสัมผัส หรือใกล้กับแผ่นแก้วก่อนเพราะความเครียดสนามไฟฟ้าบริเวณนั้นสูงกว่าบริเวณอื่น เมื่อเพิ่มแรงดันหรือความเครียดสูงขึ้น ดิสชาร์จจะขยายตัวกว้างยาวขึ้นห่างออกไปจากทรงกลมสู่ขอบแผ่นแก้ว ถ้าแผ่นแก้วหนาพอและไม่กว้างเกินไป ก็จะทำให้ความไฟข้ามแผ่นแก้วไปหาอิเล็กโทรดตระนาได้ ถ้าแผ่นแก้วไม่หนามากและแผ่นกว้างใหญ่ การเกิดดิสชาร์จตามผิวก็จะมีขนาดเล็กโทรดแหวนยึดต่อลงดินและวิ่งขยายตัวออกไปทางปลายปลอกฉนวนนำสายเข้าหาตัวนำ ทั้งนี้เพราะความเครียดสนามไฟฟ้าบริเวณนั้นสูงกว่าบริเวณอื่น ทำนองเดียวกันปลายเคเบิลแรงสูงในรูปที่ 2 – 3 ค) ดิสชาร์จบางส่วนตามผิวจะเกิดที่บริเวณซิลด์โลหะซึ่งเป็นอิเล็กโทรดต่อลงดิน แล้วดิสชาร์จจะขยายตัวออกไปสู่ปลายเคเบิลวิ่งเข้าหาตัวนำเมื่อเพิ่มแรงดันสูงขึ้น

ดิสชาร์จบางส่วนตามผิวที่เริ่มเกิดขึ้นในบริเวณดังกล่าว อาจอธิบายได้ด้วยลักษณะของสมคักย์ หรือคักย์ไฟฟ้าเท่าในรูปทั้งสามกรณีค่าเปอร์มิตติวิตีของฉนวนแข็ง จะมีค่าสูงกว่าอากาศหลายเท่า ค่าความจุไฟฟ้า  $C_1$  ย่อมมีค่ามากกว่า  $C_0$  ฉะนั้นตามหลักโวลเตจดีไวเดอร์แรงดันตกคร่อมส่วนใหญ่จะอยู่ที่  $C_0$  นั้นหมายถึงค่าความเครียดสนามไฟฟ้าในส่วนนั้น จะมีค่าสูงกว่าเมื่อป้อนแรงดันถึงค่าหนึ่ง จะทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าบริเวณดังกล่าวมีค่าเกินค่าวิกฤต ดิสชาร์จบางส่วนก็เริ่มเกิดขึ้น เมื่อแรงดันเพิ่มสูงกว่าค่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิด ดิสชาร์จจะเปลี่ยนจากโคโรนาไปเป็นดิสชาร์จแบบชนแปร่งวิ่งคืบหน้าไปตามผิวฉนวนแข็ง ความเข้มของดิสชาร์จบางส่วนตามผิวจะขึ้นอยู่กับความจุไฟฟ้าของฉนวนแข็ง  $C_1$  ถ้าค่า  $C_1$  ยิ่งมาก ดิสชาร์จบางส่วนตามผิวจะยิ่งเพิ่มแรงมากขึ้น

ในกรณีของแรงดันกระแสสลับ กระแสดิสชาร์จที่ไหลจากปลายดิสชาร์จจนแปลงผ่านเนื้อฉนวนเป็นกระแสประจุ (Displacement current) ซึ่งจะทำให้ดิสชาร์จตามผิวขยายตัวคืบหน้ามากขึ้นได้ ในกรณีแรงดันกระแสตรงซึ่งค่าแรงดันคงที่ไม่ขึ้นอยู่กัเวลา ดิสชาร์จตามผิวจะเกิดได้ยาก หรือไม่เกิดเลยเพราะว่าไม่มีกระแสประจุ การเกิดดิสชาร์จบางส่วนตามผิวจะขึ้นอยู่กับสภาพนำไฟฟ้าของผิวและของฉนวน สำหรับแรงดันอิมพัลส์ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนแปลงรวดเร็วของแรงดันต่อเวลา  $du/dt$  นี้เป็นผลให้กระแสประจุมีค่าสูงไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยเหตุนี้เอง การเกิดดิสชาร์จบางส่วนตามผิวเนื่องจากแรงดันอิมพัลส์ จึงมีพลังงานสูง จากรูปลักษณะและดิสชาร์จบางส่วนตามผิวทำให้สามารถทราบข้อและขนาดของแรงดันอิมพัลส์ได้

### 2.2.3 ดิสชาร์จบางส่วนภายใน

ดิสชาร์จบางส่วนภายในหมายถึง ดิสชาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้นในเนื้อฉนวนแข็งหรือฉนวนเหลวที่ซึ่งมีโพรง หรือฟองก๊าซ หรือสิ่งเจือปนแปลกปลอมที่มีค่าเปอร่ามิตติวิตีต่ำกว่าในเนื้อฉนวนหลัก อันทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าในโพรง หรือสิ่งเจือปนดังกล่าวมีค่าสูงกว่าฉนวนรอบๆ ซึ่งอาจพิสูจน์ได้จากการวิเคราะห์ห้วงฉนวนที่มีค่าเปอร่ามิตติวิตีต่างกันวางซ้อนกัน ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ เมื่อชั้นฉนวนซ้อนได้รับแรงดันถึงระดับหนึ่ง แล้วจะทำให้โพรงก๊าซมีความเครียดสนามไฟฟ้าเกินค่าวิกฤต และเกิดเบรกดาวนในโพรงก๊าซเช่นนี้ จะทำให้ฉนวนโดยรอบเสียหาย เกิดการกัดกร่อน การฉนวนเสื่อมคุณภาพ อายุการใช้งานจะสั้นลง และในบางกรณีอาจนำไปสู่การเบรกดาวนได้ในที่สุด การวัดและประเมินค่าดิสชาร์จบางส่วนภายใน จะใช้วิธีวิเคราะห์จากวงจรสมมูลดังที่ได้กล่าวต่อไป

## 2.3 ผลของการเกิดดิสชาร์จบางส่วน

การเกิดดิสชาร์จเป็นผลให้เกิดปรากฏการณ์หลายอย่างคือ

- 1) Electric phenomena
  - dielectric losses
  - Electric pulses
- 2) Electro magnetic radiation
- 3) Light
- 4) Heat
- 5) Noise
- 6) Gas pressure
- 7) Chemical transformations

## 2.4 ความสำคัญของการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน

สิ่งที่ควรคำนึงถึงการตรวจสอบดิสชาร์จบางส่วน

- 1) Detection ตรวจจับว่ามีหรือไม่มีดิสชาร์จบางส่วน ผลที่ได้คือ  $U$ , (inception voltage)
- 2) Measurement หาขนาดของดิสชาร์จบางส่วน โดยวิธี electric
- 3) Location ตำแหน่งที่เกิด (ยกตัวอย่าง Transformer, Cable, Transmission Line) ใช้ ฟังเสียง ดูแสง
- 4) Evaluation PD ขนาดไหนจะเกิดอันตราย (ตัวอย่างในเคเบิลและในหม้อแปลง)  $\leq 5pC \leq 500pC$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

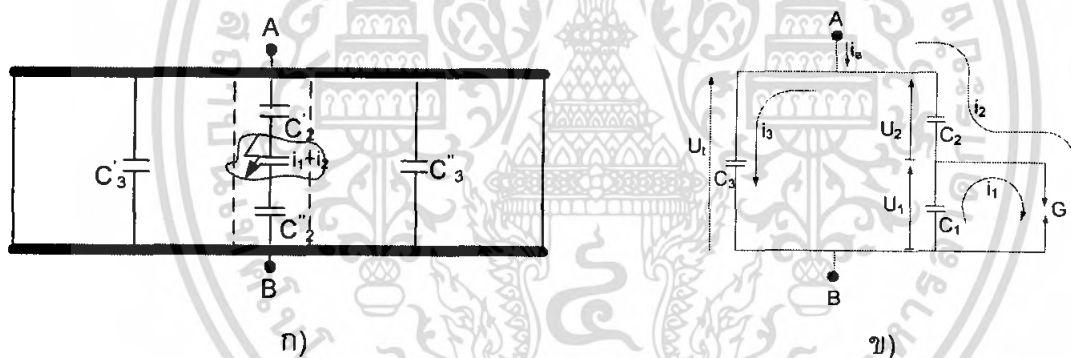
## 2.5 การตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน

### 2.5.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของการเกิดดิสชาร์จบางส่วน

ดิสชาร์จบางส่วนภายในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงมีผลกระทบต่ออายุการใช้งานของอุปกรณ์โดยตรง ปริมาณของดิสชาร์จบางส่วนจะวัดในเทอมของ “ประจุที่ปรากฏ” (Apparent Charge) เนื่องจากมาตรฐานต่างๆ ไป [3] นิยมการวัดปริมาณของดิสชาร์จบางส่วนในเทอมนี้มากที่สุด การวัดดิสชาร์จบางส่วนนี้จะไม่รวมถึงดิสชาร์จตามผิวและโคโรนาดิสชาร์จ ซึ่งปกติจะวัดในเทอมของ “คลื่นรบกวนวิทยุ”

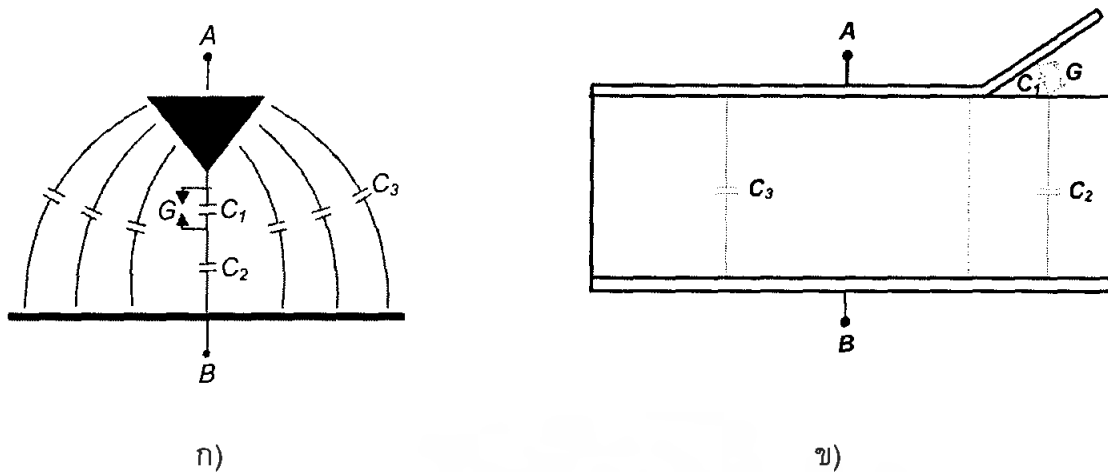
### 2.5.2 วงจรสมมูลดิสชาร์จภายใน

โดยปกติแล้ว วงจรสมมูลของดิสชาร์จภายในนั้น จะหมายถึง วงจรสมมูลที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ ถ้ากล่าวถึงดิสชาร์จบางส่วนอย่างลอยๆ ก็ให้หมายถึงดิสชาร์จภายใน วงจรสมมูลสำหรับฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงขณะเกิดดิสชาร์จบางส่วน อาจแทนด้วยตัวเก็บประจุ  $C_3$  ,  $C_2$  ,  $C_1$  และแกป  $G$  ตามลำดับ โดยที่แกป  $G$  จะแทนการลัดวงจรขณะเกิดดิสชาร์จบางส่วน  $C_3 = C_3' + C_3''$  และ  $C_2 = C_2' C_2'' / (C_2' + C_2'')$  ดังรูปที่ 2-4 ในทางปฏิบัติจะพบว่า  $C_3 \gg C_1 \gg C_2$  [2]



รูปที่ 2-4 วงจรสมมูลของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนทั่วไป

แต่อย่างไรก็ตามวงจรสมมูลในรูปที่ 2-4 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโคโรนาดิสชาร์จและดิสชาร์จตามผิวได้ โดยการแทนส่วนต่างๆ ของฉนวนหรืออากาศรอบๆ ด้วยค่าความจุไฟฟ้าและแกป  $G$  [2] ดังรูปที่ 2-5



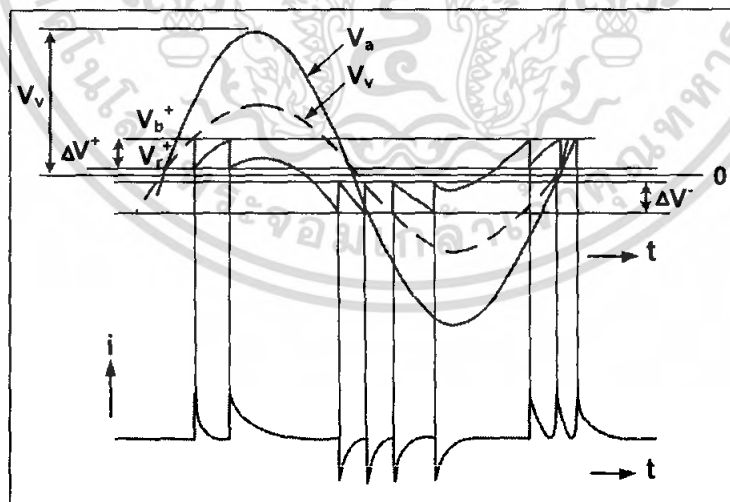
รูปที่ 2 - 5 วงจรสมมูลของโคโรนาดิสชาร์จและดิสชาร์จตามผิว

ก) การเกิดโคโรนาดิสชาร์จที่วัสดุปลายแหลม ข) การเกิดโคโรนาดิสชาร์จตามผิว

2.5.3 ธรรมชาติพัลส์ของดิสชาร์จบางส่วน

2.5.3.1 การเกิดดิสชาร์จซ้ำ

ในทางปฏิบัติดิสชาร์จบางส่วน อาจเกิดซ้ำ ๆ ได้หลายครั้งในแต่ละคาบเวลา ดังรูปที่ 2 - 6 โดยที่  $V_a$  คือ แรงดันคร่อมขั้วของอุปกรณ์  $V_b$  คือ แรงดันเบรกดาวนของโพรงอากาศ หรือแก๊ป  $V_r$  คือ แรงดันหลังการเบรกดาวนของโพรงอากาศหรือแก๊ป  $V_v$  คือ แรงดันคร่อมโพรงอากาศหรือแก๊ปถ้าไม่มีการเกิดดิสชาร์จบางส่วนเลย และ  $i$  คือ กระแสที่ขั้วสายของอุปกรณ์ ตามลำดับ [2]



รูปที่ 2 - 6 รูปคลื่นของแรงดันตกคร่อมแก๊ปและกระแสที่ขั้วสายของอุปกรณ์วัดขณะเกิดดิสชาร์จบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

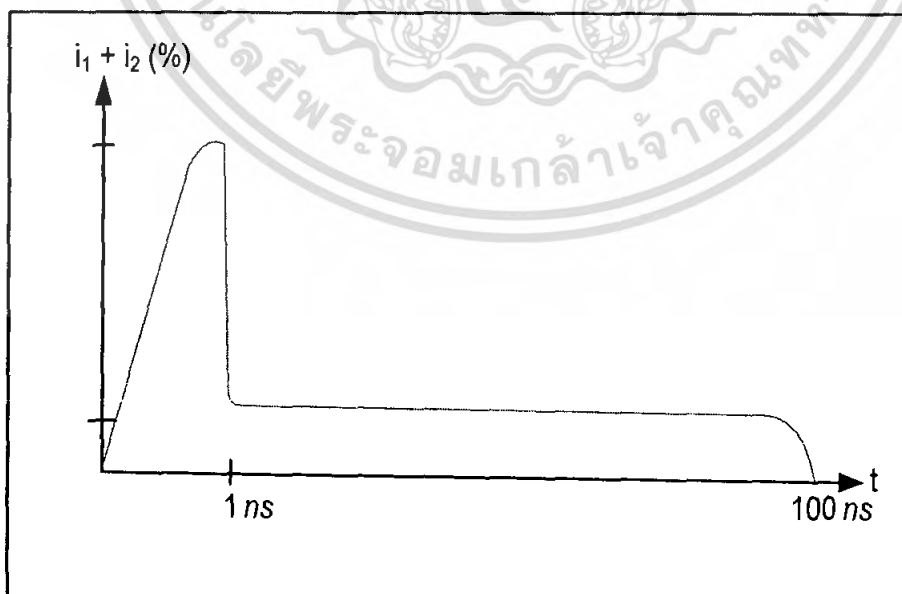
จำนวนครั้งการเกิดดิซาร์จบางส่วน สามารถคำนวณได้จากรูปที่ 2 – 6 โดยสมมติว่าดิซาร์จบางส่วนเกิดแบบสมมาตรกับแกนเวลา ดังนั้นจำนวนดิซาร์จบางส่วนต่อครึ่งคาบเวลา  $N$  คำนวณดังนี้

$$N = \frac{[(\hat{V}_v - V_r) - Y]}{V_b - V_r} \quad (2.1)$$

โดยที่  $N$  คือ จำนวนครั้งการเกิดดิซาร์จบางส่วนต่อครึ่งคาบเวลา  
 $V_b$  คือ แรงดันเบรกดาว์นของโพรงอากาศหรือแกป  
 $V_r$  คือ แรงดันหลังการเบรกดาว์นของโพรงอากาศหรือแกป  
 $\hat{V}_v$  คือ ค่ายอดของแรงดันคร่อมโพรงอากาศหรือแกปถ้าไม่มีการเกิดของดิซาร์จบางส่วนเลย ซึ่งเท่ากับ  $[C_b / (C_b + C_o)]$  เท่ากับค่ายอดของแรงดันคร่อมวัสดุทดสอบ  
 $Y$  คือ แรงดันใด ๆ ซึ่งมีค่า  $0 < Y < (V_b - V_r)$

### 2.5.3.2 ลักษณะรูปร่างของกระแสดิซาร์จบางส่วน

ลักษณะรูปร่างของกระแสดิซาร์จบางส่วนในแกปเล็กๆ ในทางทฤษฎี แสดงดังรูปที่ 2 – 7 กล่าวคือขณะเกิดดิซาร์จบางส่วน การไหลของกระแสผ่านแกปจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ซึ่งเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าไอออนบวกผ่านแกปสั้นๆ เมื่ออิเล็กตรอนไหลผ่านแกปหมดกระแสจะลดลงอย่างรวดเร็ว และกระแสที่ลดลงนี้ยังคงไหลต่อไปอีกเนื่องจากการเคลื่อนที่ของไอออนบวก



รูปที่ 2 – 7 ลักษณะรูปร่างของกระแสดิซาร์จบางส่วนในทางทฤษฎีสำหรับแกปเล็กๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการค้นคว้าเอกสารต่างๆ เกี่ยวกับช่วงเวลาการเกิดดิสชาร์จบางส่วน ในฉนวนแห้ง และเหลวที่มีโพรงอากาศภายใน จะพบว่ากระแสพัลส์ของดิสชาร์จบางส่วน จะมีช่วงเวลาน้อยกว่า 5 นาโนวินาที เพราะว่าดิสชาร์จบางส่วน เกิดในที่แคบๆ ฉนวนเนื้อเดียว เช่น ก๊าซจะมีช่วงเวลานั้นน้อยกว่า 5 นาโนวินาทีและเวลาส่วนหางคลื่นจะยาวกว่าช่วงเวลานั้น สำหรับในอากาศกระแสพัลส์ของดิสชาร์จบางส่วน มีช่วงเวลาเกิดน้อยกว่า 100 นาโนวินาที

### 2.5.3.3 พลังงานดิสชาร์จบางส่วน

พลังงานดิสชาร์จภายในของวัสดุทดสอบ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$W = 0.7qV_1 \quad (2.2)$$

เมื่อ	$W$	คือ พลังงานดิสชาร์จ
	$q$	คือ ประจุที่ปรากฏของดิสชาร์จบางส่วน
	$V_1$	คือ แรงดันเริ่มต้นเกิดดิสชาร์จบางส่วน (ค่า rms)

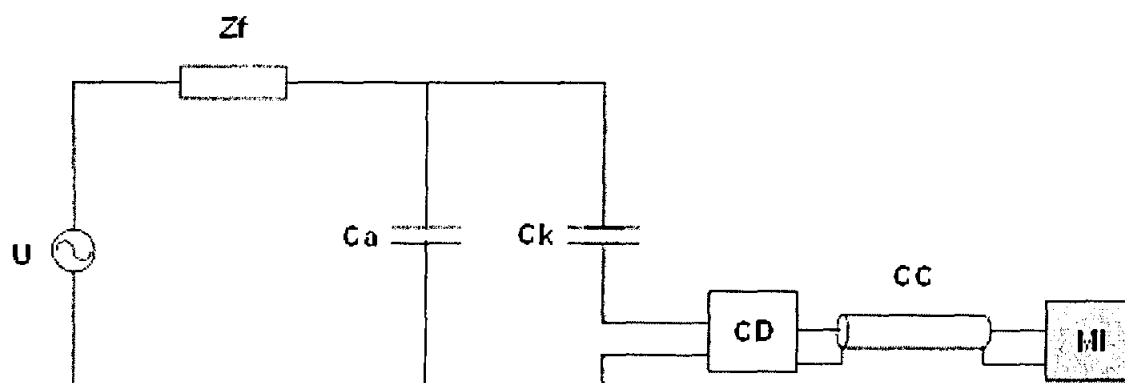
พลังงานดิสชาร์จบางส่วนนี้อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบฉนวนได้ เช่น  $V_1 = 10$  กิโลโวลต์ และ  $q = 10$  พิโคคูลอมบ์ ดังนั้น  $W = 7 \times 10^{-8}$  จูล ซึ่งมีค่าน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากพลังงานจำนวนนี้ปล่อยออกมา ขณะเกิดดิสชาร์จบางส่วนในช่วงเวลาน้อยกว่า  $10^{-8}$  วินาที และเกิดในที่แคบๆ ทำให้ความหนาแน่นพลังงานบริเวณนั้นสูงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

## 2.6 หลักการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน

การตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน สามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน โดยการสังเกตหรือวัดผลที่ปรากฏการณ์ต่างๆ ของดิสชาร์จบางส่วน อย่างไรก็ตามการวัดผลของดิสชาร์จบางส่วน ในเชิงปริมาณที่ได้ผลดีที่สุดคือ การวัดผลทางไฟฟ้าโดยวิธีการตรวจจับกระแสพัลส์ที่ขั้วสายของอุปกรณ์ [2]

### 2.6.1 วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน

วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน ด้วยวิธีตรวจจับกระแสพัลส์ที่ขั้วสายของอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 2 - 8



รูปที่ 2 – 8 วงจรพื้นฐานสำหรับการตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน

- $U \sim$  : แหล่งจ่ายแรงดันสูง
- $Z_f$  : ตัวกรองสัญญาณ
- $C_a$  : วัสดุทดสอบ
- $C_k$  : ตัวเก็บประจุคัปปลิง
- CD : อุปกรณ์รับสัญญาณ
- CC : สายนำสัญญาณ
- MI : เครื่องมือวัด

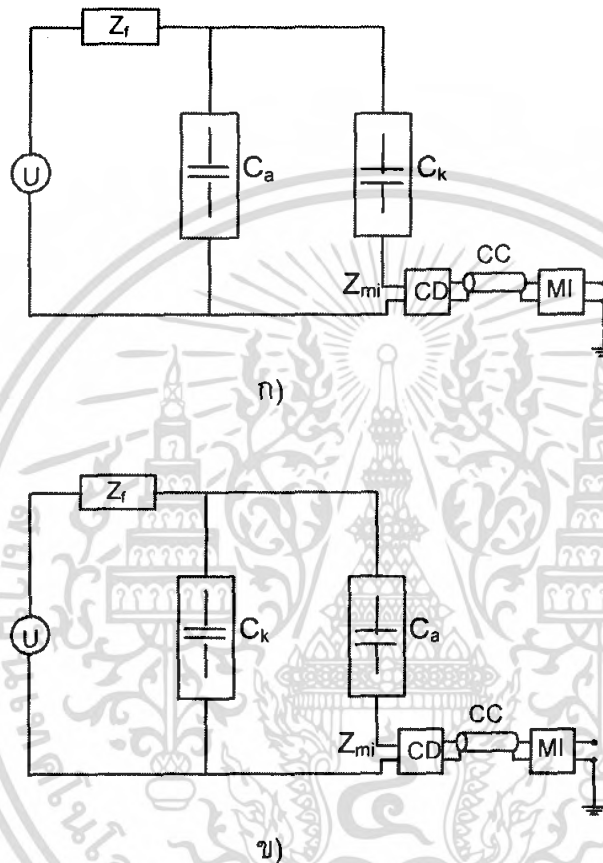
เนื่องจากอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายมีค่าสูงมากขณะเกิดดิสชาร์จบางส่วน ดังนั้นจึงต้องมีตัวเก็บประจุคัปปลิงเป็นทางผ่านของกระแสพัลส์หรือคัปปลิงสัญญาณ

## 2.7 เทคนิคการวัดดิสชาร์จบางส่วน

### 2.7.1 การวัดดิสชาร์จบางส่วนสำหรับวัสดุทดสอบทั่วไป

โดยปกติวัสดุทดสอบทั่วไปอาจแทนได้ด้วยตัวเก็บประจุชนิดองค์ประกอบแบบลัมปีหรือตัวเก็บประจุรวมดาวจรทดสอบดิสชาร์จบางส่วนตามมาตรฐานต่างๆจะมีลักษณะเช่นเดียวกันในที่นี้ใช้วงจรทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60270 [3] โดยรูปที่ 2 – 9 ก) และรูปที่ 2 – 9 ข) เป็นวงจรทดสอบแบบวิธีตรงข้อดีของวงจรรูปที่ 2 – 9 ก) คือ ขั้วแรงดันต่ำของวัสดุทดสอบต่อลงกราวด์โดยตรง ในกรณีวัสดุทดสอบเกิดการเบรกดาวน์อิมพีแดนซ์วัดจะไม่สามารถเสียหาย ข้อดีของวงจรในรูปที่ 2 – 9 ข) จะให้ความไวในการวัดสูงกว่าแบบแรกในกรณีที่วัสดุทดสอบมีขนาดเล็ก เนื่องจากผลของตัวเก็บประจุทดสอบแบบสแตร์ย์จะทำให้ตัวเก็บประจุคัปปลิงมีค่าเพิ่มเล็กน้อย ในรูปที่ 2 – 9 ค) เป็นวงจรทดสอบแบบสมดุล วงจรแบบนี้จะมีข้อได้เปรียบในเรื่องการลดสัญญาณรบกวนที่เข้ามาจากแหล่งจ่าย หรือสัญญาณแบบ “คอมมอน โหมด” นั่นเอง ในวงจรรูปที่ 2 – 9 ง) เป็นวงจรทดสอบแยกขั้วสัญญาณได้ (Polarity Discrimination) มีข้อดีเช่นเดียวกับวงจรทดสอบแบบสมดุล แต่มีความสามารถเพิ่มเติมในการแยกขั้วสัญญาณรบกวนจากภายนอกออกจากการดิสชาร์จบางส่วนภายในวงจรได้โดยใช้แต่มีข้อเสียคือการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

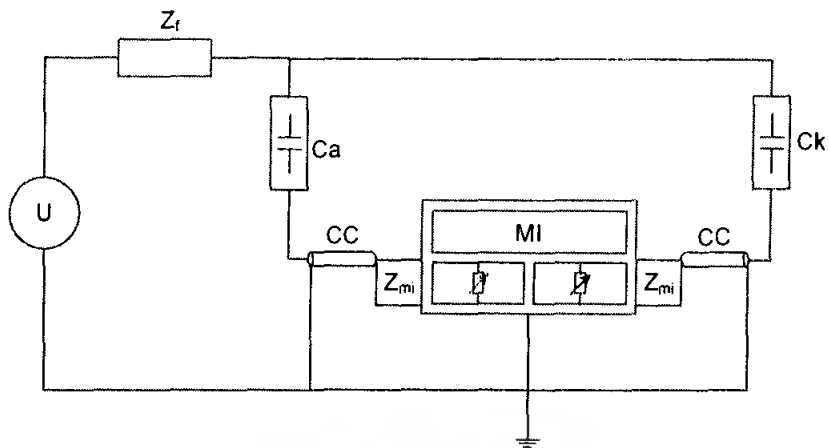
ของวงจรทั้งรูป 2 - 9 ค) และ 2 - 9 ง) คือ อาจทำให้เครื่องวัดได้รับความเสียหายในกรณีวัตถุทดสอบเกิดการเบรกดาวน์และไม่เหมาะกับการทดสอบที่มีการชิลด์ขนาดใหญ่ เนื่องจากการชิลด์ไม่ได้ต่อลงกราวด์โดยตรงดังนั้นถ้ามีสัญญาณรบกวนที่ชิลด์จะทำให้ความไวในการวัดดิสชาร์จบางส่วนลดลง



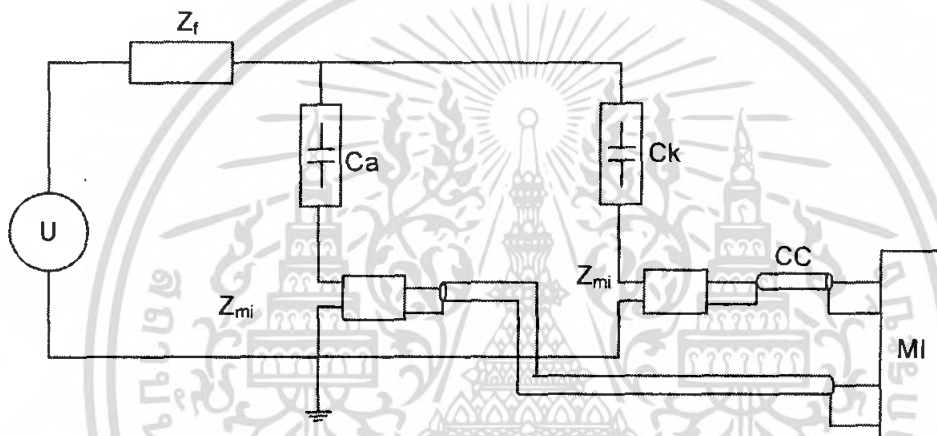
รูปที่ 2 - 9 วงจรทดสอบดิสชาร์จบางส่วนแบบต่าง ๆ ตามมาตรฐาน IEC 60270 [3]

81806

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก)



ง)

รูปที่ 2 - 9 (ต่อ) วงจรทดสอบดิสชาร์จบางส่วนแบบต่าง ๆ ตามมาตรฐาน IEC 60270 [3]

การปรับเทียบวงจรทดสอบโดยปกติจะทำก่อนการป้อนแรงดันเข้าวงจรทดสอบ โดยใช้เครื่องปรับเทียบดิสชาร์จมาตรฐานในการป้อนกระแสพัลส์สั้นๆ ที่มีประจุ (Pulse Area) ซึ่งทราบค่าที่แน่นอนที่ขั้วทั้งสองของวัสดุทดสอบ หลังจากทำการปรับเทียบเสร็จแล้วควรเอาเครื่องปรับเทียบดิสชาร์จมาตรฐานออกก่อนการป้อนแรงดันเข้าวงจรทดสอบ

## 2.7.2 คุณสมบัติของเครื่องตรวจจับดิซชาร์จบางส่วน

ข้อกำหนดของเครื่องตรวจจับ ดิซชาร์จบางส่วนตามมาตรฐาน IEC 60270 [3]

- 1) เวลาแยกชุดของเครื่องตรวจจับดิซชาร์จบางส่วน กำหนดไว้ว่าต้องไม่เกิน 100 sec ในกรณีที่ไมเกิดความผิดพลาดเนื่องจากการชอนทับของพัลส์ดิซชาร์จบางส่วน
- 2) เครื่องปรับเทียบดิซชาร์จมาตรฐาน ใช้สำหรับจ่ายกระแสพัลส์มาตรฐาน กำหนดให้ใช้แรงดันที่มีช่วงเวลาขึ้นไม่เกิน 0.1 sec และลดลงด้วยค่าคงตัวเวลาอยู่ในช่วง 100 – 100 sec
- 3) ความไวของเครื่องตรวจจับ จะต้องมีความสามารถตรวจจับพัลส์ต่ำสุดเป็น 2 เท่าของสัญญาณรบกวน
- 4) เครื่องกำเนิดพัลส์คู่ที่ใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติ Superposition ของเครื่องตรวจจับดิซชาร์จบางส่วน นั้นต้องสามารถสร้างพัลส์ขนาดเท่ากัน 2 พัลส์ ซึ่งมีช่วงเวลาขาขึ้นไม่เกิน 20 n sec และมีความกว้างของพัลส์จากค่า 10% ของหน้าคลื่นถึงหางคลื่นต้องไม่เกิน 150 n sec โดยทั้ง 25 พัลส์นี้สามารถปรับระยะห่างได้อย่างน้อย 0.2 - 100 sec สำหรับเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ปกติประมาณ 50 – 60 โอห์ม เก็บประจุที่ใช้ในการปรับเทียบต้องมีค่าไม่เกิน 150 pF สำหรับการทดสอบในเคเบิล
- 5) เครื่องตรวจจับดิซชาร์จบางส่วนที่ใช้ในการทดสอบเคเบิลยอมให้เกิด Superposition ทางลบได้ไม่เกิน 10% ในกรณีที่เกิน 10% จะต้องนำผลอันนี้มาพิจารณาในการวัดด้วย

## 2.7.3 ระบบวัดดิซชาร์จบางส่วนสำหรับวัดประจุที่ปรากฏ (Apparent Charge) [3]

1) ระบบวัดประจุปรากฏ(q) นี้จะวัดเฉพาะค่ายอดพัลส์ของดิซชาร์จบางส่วนที่มีค่าสูงสุดและเกิดซ้ำ ๆ ทุกคาบเวลาความถี่ที่ใช้ของแรงดันทดสอบ การอ่านค่าของอุปกรณ์วัดจะใช้หลักการเดียวกันกับวงจรตรวจจับค่ายอดแบบอนาล็อกที่มี Electric Charge Time Constant สั้นมากและมี Electric Discharge Time Constant < 0.44 วินาที การตอบสนองของระบบวัดที่มีต่อพัลส์ของดิซชาร์จบางส่วนที่มีระยะห่างระหว่างพัลส์เท่ากันที่ถูกรบกวนด้วย Pulse Repetition Frequency, N จะทำให้ค่าที่ระบบวัดอ่านได้

2) ระบบวัดดิซชาร์จบางส่วน แถบกว้างจะกำหนดคุณสมบัติการตอบสนองความถี่ต่างๆ ของ Transfer Impedance,  $Z(f)$  ดังนี้

$$30\text{kHz} \leq f_1 \leq 100\text{kHz}$$

$$f_2 \leq 500\text{kHz}$$

$$100\text{kHz} \leq \Delta f \leq 400\text{kHz}$$

3) ระบบวัดดิซาร์จบางส่วน แถบแคบจะกำหนดคุณสมบัติการตอบสนองความถี่ต่างๆ ของ Transfer Impedance,  $Z(f)$  ดังนี้

$$9\text{kHz} \leq \Delta f \leq 30\text{kHz}$$

$$50\text{kHz} \leq f_m \leq 1\text{MHz}$$

โดยที่  $f_m$  สามารถปรับค่าได้ และกำหนดให้ขนาดของ  $Z(f)$  ที่ความถี่  $f_m + f$  มีค่าลดลงต่ำกว่าค่ายอดสูงสุดที่อยู่ในช่วง Pass-band 20 dB

4) ความเป็นเชิงเส้นของระบบวัดยอมให้ Scale Factor,  $k$  ผิดพลาดได้อย่างน้อย 5%

## 2.8 การวิเคราะห์ดิซาร์จบางส่วน

เมื่อตรวจพบดิซาร์จบางส่วนในระบบฉนวน ก็จะต้องทำการหาสาเหตุ โดยการสังเกตจากลักษณะของสัญญาณที่ตรวจวัดได้ การหาสาเหตุนี้มีความสำคัญสำหรับผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงและผู้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง เป็นเวลาหลายสิบปีที่การวิเคราะห์และการรู้จำ (Recognition) รูปแบบของการเกิดดิซาร์จบางส่วน กระทำโดยใช้สายตาสังเกตสัญญาณที่แสดงแบบวงรีบนจอของออสซิลโลสโคป [1,2] ซึ่งการแปลความหมายจะขึ้นอยู่กับความรู้ และประสบการณ์ของผู้ทดสอบ

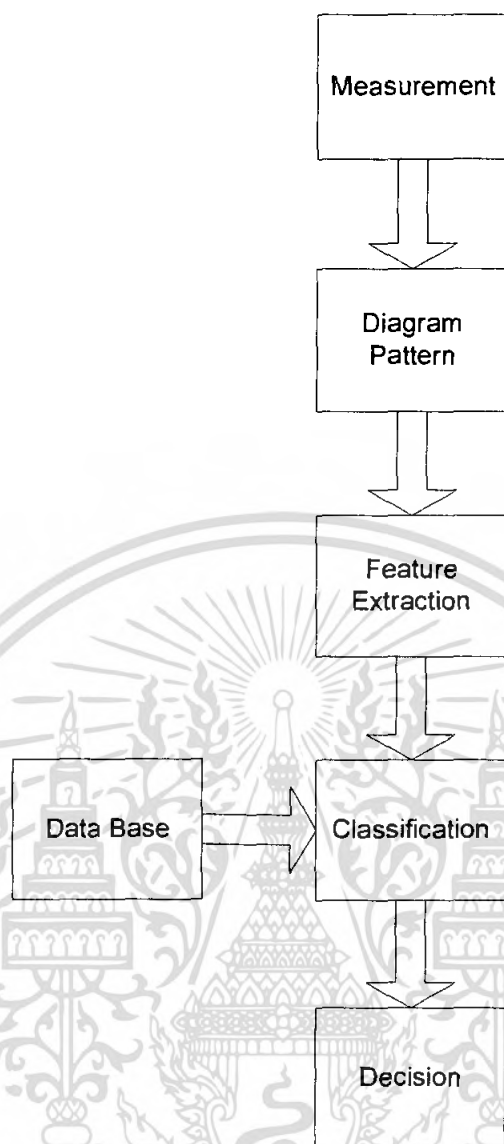
การนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการตรวจวัดดิซาร์จบางส่วนเป็นการเปิดโอกาสให้สามารถทำการรู้จำรูปแบบของการเกิดดิซาร์จบางส่วน โดยอัตโนมัติได้ [5,6] ในกระบวนการวิเคราะห์ดิซาร์จบางส่วน จุดประสงค์ของหลักการวิเคราะห์ก็คือ การรู้จำรูปแบบการเกิดดิซาร์จบางส่วนในเนื้อฉนวนเนื่องจากผลของดิซาร์จ ตัวอย่างเช่น การเกิดดิซาร์จภายใน ดิซาร์จภายนอก และการเกิดโคโรนา โดยข้อมูลของการรู้จำนี้จะสำคัญมากสำหรับนำมาประเมินความเสียหายที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากดิซาร์จ

ในการวิเคราะห์ดิซาร์จบางส่วน มีคำถามที่สำคัญ 2 คำถาม คือ

1. จะสามารถวิเคราะห์ และ Quantify Information จากรูปคลื่นการกระจายที่ได้รับอย่างไร

2. จะสามารถแยกความแตกต่างของความบกพร่องที่เกิดขึ้นจากข้อมูลที่มีอย่างไร

กระบวนการรู้จำรูปแบบและการวิเคราะห์การเกิดดิซาร์จบางส่วน โดยอัตโนมัติแสดงดังแผนภูมิประกอบด้วย Measurement คือ การตรวจวัด ซึ่งจะได้รูปแบบของการเกิดดิซาร์จบางส่วน Pattern ส่วน Feature Extraction คือการคำนวณหาคุณลักษณะจากรูปแบบที่ได้ Classification คือการจำแนกประเภทโดยอ้างอิงจากฐานข้อมูล ซึ่งจะนำมาสู่การ Decision คือ การตัดสินใจในที่สุด



รูปที่ 2 – 10 กระบวนการการวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วน

## 2.9 สัญญาณที่ใช้ในการจำแนกรูปแบบดิสชาร์จบางส่วน

การตรวจวัดสัญญาณดิสชาร์จบางส่วน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่เกิดดิสชาร์จบางส่วนนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตรวจวัดทางไฟฟ้า โดยการตรวจวัดการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าในสายตัวนำ การตรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การตรวจวัดคลื่นเสียง และการตรวจวัดทางแสง เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีก็จะให้รูปแบบของสัญญาณแตกต่างกันออกไป

ลักษณะของสัญญาณพัลส์ดิสชาร์จบางส่วน จะทำการตรวจวัดสัญญาณโดยใช้เทคนิคการแยกช่วงทางเวลา (Time Resolution Technique) ซึ่งเครื่องมือที่ใช้มีแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ประมาณ 500 MHz ลักษณะสัญญาณพัลส์ที่ตรวจจับได้จะแตกต่างกันไปตามสาเหตุของดิสชาร์จบางส่วน เช่น วัตถุแปลกปลอมที่ปะปนอยู่ภายในเนื้องนวนเกิดการนำไฟฟ้า โลหะที่อยู่ในบริเวณทดสอบไม่ต้องต่อลงกราวด์และการเกิดทรีอิ่ง (Treeing) ใน GIS เป็นต้น รูปร่างของสัญญาณพัลส์ดิสชาร์จบางส่วนที่ตรวจวัดได้ โดยวิธีนี้ยังแตกต่างจากรูปร่างของพัลส์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เกิดจากสัญญาณรบกวน ทำให้สามารถแยกสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณดิซาร์จบางส่วน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 2.10 การตรวจวัดที่ไม่ใช้วิธีการทางไฟฟ้า

ตัวอย่างการตรวจวัดด้วยวิธีอื่น ๆ นอกเหนือจากวิธีทางไฟฟ้า ที่สามารถใช้ในการจำแนกสาเหตุของการเกิดดิซาร์จบางส่วน ได้มีตัวอย่างดังต่อไปนี้

- 1) สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการบันทึกสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในช่วงตั้งแต่ 10 kHz – 2 GHz ซึ่งพบว่าสเปกตรัมที่บันทึกได้จากสาเหตุต่าง ๆ ของการเกิดดิซาร์จบางส่วนใน GIS จะให้สเปกตรัมที่ต่างกันออกไป [3] และพบว่า สเปกตรัมในช่วงความถี่คลื่นวิทยุของดิซาร์จบางส่วนในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ตรวจจับโดยแคลมป์กระแสในสายนิวตรอน สามารถนำมาจำแนกการเกิดดิซาร์จบางส่วนในฉนวนของขดลวดสเตเตอร์ และการเกิดอาร์คระหว่างปลายขดลวดสองชุดที่อยู่ติดกันได้ [6]
- 2) การกระจายความสัมพันธ์ระหว่างพัลส์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งแสดงถึงเวลาระหว่างพัลส์ที่เกิดขึ้นติดกัน การกระจายนี้ใช้ในการพิจารณาความเป็นไปได้ที่วัตถุอิสระซึ่งนำไฟฟ้าได้ใน GIS จะสามารถเคลื่อนที่ไปสัมผัสกับสับบาร์อันจะเป็นจุดเริ่มต้นที่จะนำไปสู่การเกิดเบรกดาวน
- 3) รูปคลื่นของคลื่นเสียง ส่วนใหญ่ใช้ในการรู้จำความผิดปกติใน GIS
- 4) สเปกตรัมความถี่ของคลื่นเสียง มักตรวจในย่านความถี่ไม่เกิน 2 MHz ซึ่งพบว่า สเปกตรัมที่ตรวจวัดได้จากการเกิดดิซาร์จบางส่วน จากสาเหตุต่าง ๆ ในน้ำมัน เช่น โครโมนา วัตถุอิสระที่นำไฟฟ้า และฟองอากาศมีความแตกต่างกันและพบว่ามีลักษณะของสเปกตรัมกับขนาดของโพรงอากาศในเนื้อฉนวนมีความสัมพันธ์กัน
- 5) การกระจายของขนาดพัลส์ของแสงตามมุมเฟส ใช้ในการสังเกตการณ์เกิดเบรกดาวนในระยะแรก ซึ่งการเกิดการเปล่งแสงด้วยไฟฟ้า (Electroluminescence) จะมีความสัมพันธ์กับการฉีดประจุ (Charge Injection) การเกิด Microchannel และการขยายตัวของทรี (Tree)
- 6) สัญญาณพัลส์ที่ตรวจวัดได้ในย่านรังสีอินฟราเรดร่วมกับค่าแรงดันทดสอบ ใช้ในการตรวจจับการก่อตัวของลิตเตอร์ของดิซาร์จใน GIS

จากวิธีการตรวจวัดสัญญาณดิซาร์จบางส่วนที่ได้กล่าวมานี้จะพบว่าสัญญาณที่สามารถใช้ในการจำแนกแหล่งกำเนิดของดิซาร์จบางส่วนมีหลายแบบ แต่ละแบบมีความสามารถในการจำแนกสาเหตุในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงที่ต่าง ๆ กันไป จะต้องเลือกวิธีการตรวจวัดที่สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงได้หลายประเภท และต้องมีความสามารถในการจำแนกดิซาร์จบางส่วนที่เกิดจากสาเหตุต่าง ๆ ได้ดี

## 2.11 เหตุผลหลักของการเลือกใช้วิธี UHF

1. ช่วงเวลาขาขึ้นของกระแสพัลส์ PD ในก๊าซ SF<sub>6</sub> นั้นอยู่ในหน่วย ns หรือน้อยกว่าจึงมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่ออกมาซึ่งมีช่วงความถี่ UHF รวมอยู่ด้วย
2. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากดิสชาร์จบางส่วนนั้นสามารถแพร่ไปได้ในระยะทางไกลใน GIS Tank และมีการลดทอนของสัญญาณน้อยกว่าคลื่นเสียงดังนั้นสัญญาณ UHF จึงสามารถใช้เซ็นเซอร์ หรือสายอากาศ ซึ่งติดตั้งไว้ในระยะทางที่ไกลจากแหล่งเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้
3. วิธี UHF ไม่มีอิทธิพลของสัญญาณรบกวนต่าง ๆ จากคลื่นสื่อสารหรือคลื่นวิทยุที่มีช่วงความถี่ในย่าน VHF
4. วิธี UHF มีการตอบสนองต่อสัญญาณดิสชาร์จบางส่วน ได้ไวกว่า conventional method

## 2.12 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับสายอากาศ ( Antenna )

จากการที่การสื่อสารไร้สายได้รับความนิยมอย่างมากทำให้มีความต้องการใช้งานความถี่เพิ่มมากขึ้นแต่เนื่องจากความถี่ในช่วงที่ใช้งานมีอยู่ไม่เพียงพอกับความถี่ที่ต้องการ จึงจำเป็นต้องเพิ่มการใช้งานไปในย่านความถี่ที่สูงขึ้น ดังนั้นสายอากาศที่เคยใช้งานอยู่เดิมจะต้องปรับเปลี่ยนให้สามารถรองรับความถี่สูงขึ้นนั้นได้จึงต้องทำให้มีขนาดเล็กลง หรือไม่สามารถสร้างให้อยู่ในรูปแบบเดิมได้อีกต่อไปและจำเป็นต้องมีโครงระนาบมาค้ำโละหะที่ทำให้เป็นสายอากาศไว้ จึงเป็นที่มาของคำว่าสายอากาศแบบระนาบ ข้อดีของสายอากาศชนิดนี้คือราคาถูก น้ำหนักเบา และง่ายต่อการสร้าง ถูกพัฒนาขึ้นเมื่อโครงสร้างแบบเดิมไม่สามารถตอบสนองความต้องการได้ ดังนั้น สายอากาศบระนาบแผ่นทองแดงจึงถูกใช้งานแทนที่สายอากาศแบบเดิมไม่สามารถตอบสนองความต้องการได้ ดังนั้น สายอากาศบระนาบแผ่นทองแดงจึงถูกใช้งานแทนที่สายอากาศแบบเดิมในย่านความถี่สูง โดยเนื้อหาในบทนี้จะเริ่มจากข้อมูลเบื้องต้นของเสาอากาศทั่วไป ชนิดของเสาอากาศแต่ละชนิด และสายอากาศแบบระนาบ โดยอธิบายถึง ประเภทของสายอากาศแบบระนาบ ส่วนประกอบของสายอากาศแบบระนาบ และการใช้งานสายอากาศแบบระนาบ

### 2.12.1 อภิธานศัพท์

#### สายอากาศหรือเสาอากาศ ( Antenna )

อุปกรณ์ที่มีส่วนประกอบเป็นโลหะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อใช้ส่งข้อมูลผ่านอากาศในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งที่มีข้อมูลไปยังแหล่งรับข้อมูล สายอากาศเป็นสิ่งจำเป็นที่ขาดไม่ได้สำหรับการสื่อสารแบบไร้สาย

### หัวเชื่อมต่อ (Connector)

อุปกรณ์เชื่อมต่อสายอากาศกับสายนำสัญญาณ เมื่อแหล่งข้อมูลต้องการส่งข้อมูลโดยใช้สายอากาศ แหล่งข้อมูลจำเป็นต้องมีหัวเชื่อมต่อ เพื่อเชื่อมระบบแหล่งข้อมูลเข้ากับตัวสายอากาศ

### สายอากาศแบบระนาบหรือแบบไมโครสตริป (Microstrip Antenna)

สายอากาศแบบไมโครสตริป คือสายอากาศที่สร้างขึ้นจากแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยวิธีการกัดกร่อนหรือการเจาะให้ทำงานในย่านความถี่ที่ต้องการเช่น แผ่นวงจรพิมพ์ที่ใช้วัสดุแข็งเป็นวัสดุฐานรองรับประกบทับด้วยทองแดง อาจมีทองแดงทั้งสองด้านหรือด้านเดียวก็ได้

### ลักษณะการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นหรือรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น คือคุณสมบัติการส่งต่อข้อมูลออกไปยังเป้าหมายโดยทั่วไปแล้วมีการกระจายสองลักษณะใหญ่ๆ คือ ตามแนวขวางและตามแนวยาว ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งาน

#### 2.12.2 ความหมายของสายอากาศ [7]

สายอากาศคือ อุปกรณ์ที่ใช้ส่งพลังงานในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งที่มีข้อมูล ไปยังที่ๆ ต้องการข้อมูล โดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง หรือที่เรียกว่าการเชื่อมต่อแบบไร้สาย อาจกล่าวได้ว่าการเชื่อมต่อที่ไร้สายนั้นจำเป็นต้องมีสายอากาศไว้ใช้งานเสมอ

เดิมสายอากาศเรียกว่าเสาอากาศ เพราะลักษณะที่เป็นรูปเสา และการคั่นเคຍโดยส่วนใหญ่กับรูปแบบของเสาอากาศที่วี ดังนั้นสายอากาศ จึงอธิบายได้ว่าเป็นเสาอากาศที่มีขนาดเล็กจนไม่แสดงลักษณะเป็นเสาอีก ถูกสร้างอยู่บนระนาบโลหะเพื่อให้สามารถงอรูปไว้ใช้งานได้ และถูกเรียกว่า “สายอากาศ” ในที่สุด

#### 2.12.3 ประวัติความเป็นมาของสายอากาศ

ไม่มีข้อมูลที่แน่ชัดว่าใครเป็นผู้คิดค้นขึ้น แต่หลังจากได้มีการค้นคิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นมาสายอากาศก็ได้ถูกคิดค้นขึ้นมาตามไปด้วย เมื่อย้อนหลังไปที่การใช้รหัสสมอร์สในครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. 2327 นั้นการส่งรหัสใช้งานกับสายนำสัญญาณและภายหลังที่ Heinrich Rudolf Hertz ได้ค้นพบหลักการของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้ว รหัสสมอร์สจึงถูกนำมาใช้กับเสาอากาศเป็นครั้งแรกเมื่อ พ.ศ.2433 จึงถือได้ว่าการกำเนิดของเสาอากาศคือปี พ.ศ.2433 นั้นเอง และต่อมาก็มีบทบาทในเหตุการณ์สำคัญๆ เช่น เหตุการณ์เรือ ไททานิคจมในพ.ศ. 2455 และในสงครามโลกครั้งที่ 1 ช่วงปี พ.ศ.2455 และในสงครามโลกครั้งที่ 1 ช่วงปี พ.ศ. 2457 ถึงปี พ.ศ.2461 จากนั้นเสาอากาศจึงถูกพัฒนาต่อมาอย่างแพร่หลาย ถือได้ว่าตั้งแต่ปี พ.ศ.2483 นั้นเป็นช่วงเวลาที่มีการพัฒนาเสาอากาศให้ก้าวหน้าขึ้นอย่างชัดเจน

เนื่องจากมนุษย์ต้องการการใช้งานเสาอากาศที่อ่อนตัวกว่าเดิม ในขณะที่ความนิยมของเสาอากาศเกิดขึ้นเป็นอย่างมาก ในทุกๆ อุปกรณ์การสื่อสารไร้สายจำเป็นต้องมีเสาอากาศที่เหมาะสมกับงานเฉพาะด้านนั้นๆ ประกอบกับภายหลังจากที่การใช้งานความถี่สูงขึ้น เสาอากาศก็ได้มีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ จนไม่สามารถผลิตในลักษณะเสาได้อีกต่อไป เป็นที่มาของเสาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการขออนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยไว้ล่วงหน้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศแบบใหม่อีกหลายๆ แบบและไม่ถูกเรียกว่าเสอากาศอีกต่อไป เกิดเป็นคำใหม่ในการเรียกอุปกรณ์ชนิดนี้ว่า “สายอากาศ”

#### 2.12.4 ประเภทของสายอากาศแบบต่างๆ

จากการพัฒนาเสอากาศจึงเกิดสายอากาศขึ้นมากมายหลายประเภท สามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้

1. สายอากาศแบบเส้นลวด หรือเสอากาศเดิมนั้นเอง รูปแบบจะมีหลายแบบแต่ส่วนใหญ่จะเป็น แบบเส้นตรง แบบวงกลม หรือแบบสปริง เป็นส่วนใหญ่มักพบเห็นบ่อยๆ กับอุปกรณ์เคลื่อนที่ต่างๆ เช่น เสอากาศวิทยุตัวอย่างดังรูปที่ 2-11

2. สายอากาศแบบโครงโลหะ ถูกใช้งานในวงแคบ เฉพาะด้านเท่านั้น ลักษณะเด่นคือสายอากาศแบบนี้บังคับทิศทางได้แน่นอน เพราะโครงโลหะจะหันปลายไปทางทิศที่ต้องการโดยทั่วไปแล้วมักพบอยู่สามแบบคือแบบ พีระมิด แบบกรวย และแบบเหลี่ยม ขนาดของสายอากาศชนิดนี้ยาวประมาณ 1-2 ฟุต ตัวอย่างของสายอากาศชนิดนี้ดังรูปที่ 2-12



รูปที่ 2 - 11 ตัวอย่างของสายอากาศเส้นลวด

รูปที่ 2 - 12 ตัวอย่างของสายอากาศโครงโลหะ

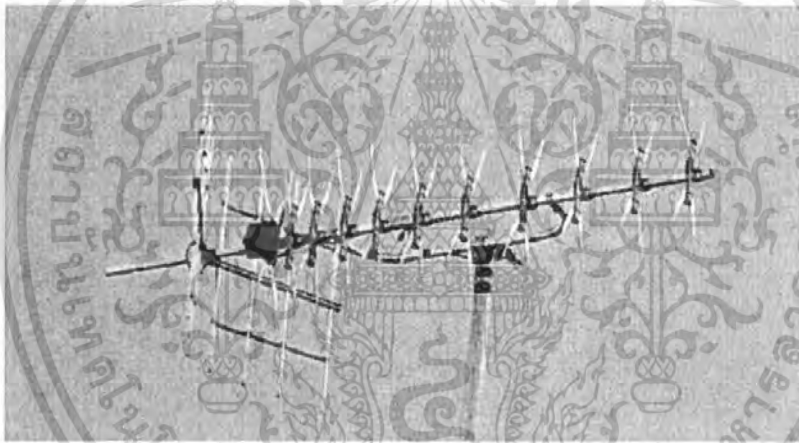
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 – 13 ตัวอย่างของสายอากาศแบบระนาบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ฟุต

3. สายอากาศแบบระนาบหรือเรียกอีกอย่างว่า สายอากาศแบบไมโครสตริป ดังรูปที่ 2-13 เป็นสายอากาศบนแผ่นคล้ายแผ่นวงจรไฟฟ้าทั่วไป จะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

4. สายอากาศแบบอาเรีย เป็นการนำสายอากาศแบบเส้นลวดมาเพิ่มประสิทธิภาพขึ้น ทำให้รับสัญญาณได้ดีขึ้น แต่ข้อเสียคือทิศทางต้องตรงกันพอดี จึงถูกใช้งานกับอุปกรณ์ที่ไม่เคลื่อนที่ ตัวอย่างที่พบเห็นเป็นประจำคือ เสาอากาศโทรทัศน์ ซึ่งยาวประมาณ 1 – 2 เมตร



รูปที่ 2 – 14 ตัวอย่างของสายอากาศแบบอาเรีย



รูปที่ 2 – 15 ตัวอย่างของจานสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 - 16 ตัวอย่างของสายอากาศแบบเลนส์

5. งานสายอากาศ ใช้งานกับดาวเทียมหรือการสื่อสารที่มีระยะทางไกลมาก เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงที่สุด แต่ข้อเสียคือ ทิศทางแคบมากที่สุดเช่นกัน จึงคลาดเคลื่อนไม่ได้เลย และสายอากาศชนิดนี้ยังมีขนาดใหญ่ที่สุดเช่นกัน

6. สายอากาศอื่นๆ เนื่องจากมีการพัฒนาเพื่อการใช้งานเฉพาะด้านมากมายทำให้เกิดสายอากาศเฉพาะด้านและจัดกลุ่มไม่ได้มากมาย เช่นสายอากาศแบบเลนส์เพื่อใช้งานด้านแสง เป็นต้น มักมีขนาดเล็กกว่า ยาวไม่เกิน 1 ฟุต

### 2.13 สายอากาศแบบระนาบ

สายอากาศแบบระนาบได้เริ่มถูกใช้งานครั้งแรกเมื่อ พ.ศ.2513 แม้ว่าแนวความคิดครั้งแรกจะเกิดขึ้นโดย G.A. Deschamps ตั้งแต่เมื่อปี พ.ศ.2496 และถูกจดสิทธิบัตรไปตั้งแต่ในปีพ.ศ.2498 สาเหตุที่ในช่วงแรกไม่มีการพัฒนาไปใช้งาน เนื่องจากสายอากาศชนิดนี้มีประสิทธิภาพต่ำมาก แต่มีข้อดีตรงที่ขนาดเล็ก ซึ่งเหมาะกับงานด้านความถี่สูง UHF ขึ้นไป

กล่าวได้ว่าสายอากาศชนิดนี้เป็นการพัฒนารูปแบบหนึ่งของสายอากาศเพื่อใช้งานกับอุปกรณ์ขนาดเล็กเช่นโทรศัพท์มือถือ ลักษณะอุปกรณ์จึงแบนคล้ายกับแผ่นทองแดงทั่วไป และเนื่องจากถูกออกแบบมาให้ใช้งานกับความถี่ใดความถี่หนึ่งโดยเฉพาะ รูปร่างจึงอิงตามความเหมาะสมของความถี่ใช้งานเป็นหลัก และรูปร่างจะแตกต่างกันไปเนื่องจากสายอากาศชนิดนี้ออกแบบได้ง่ายที่สุด จึงมีนักวิจัยให้ความสนใจออกแบบเป็นอย่างมาก

#### 2.13.1 ประเภทของสายอากาศแบบระนาบ

สายอากาศแบบระนาบมีหลายประเภท แต่แบ่งตามการใช้งานได้สามประเภทดังนี้

1. สายอากาศแบบแพร่กระจายคลื่นตามแนวกว้าง เพื่อการสื่อสารตามแนวกว้างของแผ่นทองแดงสายอากาศแบบนี้จะมีทิศทางการส่งสัญญาณตั้งฉากกับแผ่นทองแดง ตัวอย่างดังรูปที่ 2-17

2. สายอากาศที่แพร่กระจายคลื่นตามแนวยาวเพื่อการสื่อสารในทิศทางตัดขวางของแผ่นทองแดงสายอากาศแบบนี้จะมีทิศทางการส่งสัญญาณตามแนวเดียวกับแผ่นทองแดง

3. สายอากาศอื่นๆ เป็นสายอากาศที่ออกแบบมาเฉพาะการใช้งานชนิดหนึ่งๆ อาจมีมากกว่า สอง ทิศทางหรืออาจปรับเปลี่ยนทิศทางได้ตามความถี่ที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.13.2 ส่วนประกอบของสายอากาศแบบระนาบ

แม้ว่าสายอากาศชนิดนี้จะมีรูปร่างที่แตกต่างกันไปหลายแบบ แต่ส่วนประกอบยังคงเหมือนกันคือ

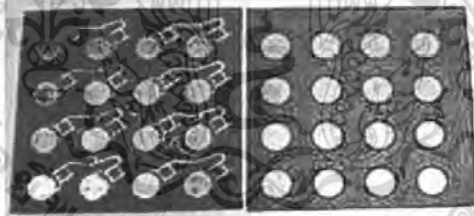
1. หัวเชื่อมต่อ คืออุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมระหว่างสายอากาศกับอุปกรณ์ส่งข้อมูล โดยปกติแล้วจะใช้ตามมาตรฐาน SMA ซึ่งเป็นมาตรฐานสากล แต่มาตรฐาน SMA นี้ก็สามารถแบ่งย่อยลงไปได้อีกกว่าสิบชนิด เพื่อให้ตรงกับการใช้งานมากที่สุดถ้าใช้ผิดประเภทแล้วจะไม่สามารถต่อกันได้หรือถ้าได้ก็จะลดประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณลดลง

2. แผ่นทองแดง เป็นฐานของทองแดงซึ่งทองแดงนี้คือเสาอากาศขนาดเล็กนั่นเอง เมื่อความถี่สูงขึ้นจึงมีขนาดเล็กลงจนไม่สามารถงอรูปเดิมได้ จึงต้องมีแผ่นทองแดงมายึดโครงสร้างของสายอากาศเอาไว้

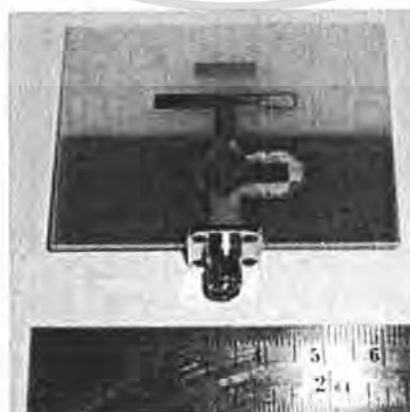
แผ่นทองแดงนี้มีหลายชนิดในประเทศไทย แล้วแผ่นทองแดงแบบ เอฟอาร์พี หรือแผ่นที่หนา 1.6 มิลลิเมตรมีใช้อย่างแพร่หลายที่สุดเพราะราคาถูกและสามารถหาได้ง่าย แบ่งย่อยได้เป็น 2 ชนิด คือ แบบด้านเดียวและแบบสองด้านตามการใช้งาน สามารถหาได้ตามแหล่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป แต่แผ่นทองแดงแบบเอฟอาร์พี มีข้อเสีย คือการส่งสัญญาณที่ไม่ดีมากนัก

### 2.13.3 ตัวอย่างของสายอากาศ

โดยปกติแล้วเสาอากาศจะอิงตามความยาว  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$  ของความยาวคลื่น เมื่อเปลี่ยนรูปแบบมาเป็น



รูปที่ 2 - 17 ตัวอย่างสายอากาศแบบระนาบ

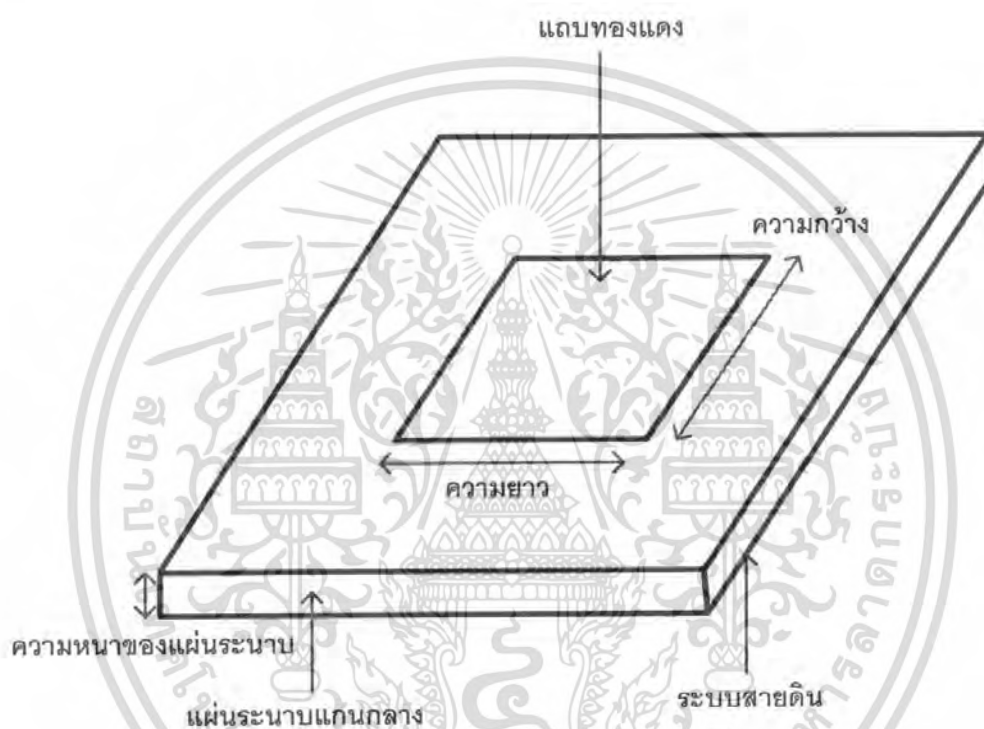


รูปที่ 2 - 18 ตัวอย่างสายอากาศแบบระนาบที่แพร่กระจายคลื่นตามแนวยาว

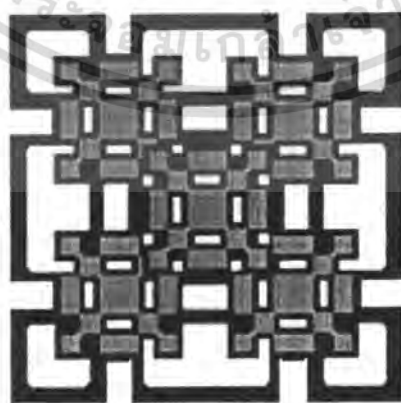
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศแบบระนาบแล้วก็ยังคงใช้วิธีการเดิมอยู่ แต่จะต้องคำนึงถึงผลกระทบจากชนิดของแผ่นทองแดงด้วยผลกระทบนี้เรียกว่าความยาวคลื่นสัมพันธ์ที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นทองแดง ตัวอย่างสายอากาศแบบไมโครสตริปพื้นฐานแสดงได้ดังรูปที่ 2 – 19

จากตัวอย่างในรูปที่ 2 – 19 จะเห็นว่า สายอากาศแบบระนาบหรือไมโครสตริปพื้นฐานเป็นรูปแบบที่เข้าใจได้ง่ายคือ นำแผ่นทองแดงมาเซาะทองแดงรอบนอกออกให้เหลือทองแดงเป็นสี่เหลี่ยม กว้างยาวประมาณ  $\frac{1}{2}$  ของความยาวคลื่นที่ต้องการ ก็สามารถนำไปใช้งานได้แล้วแต่



รูปที่ 2 – 19 ตัวอย่างองค์ประกอบของสายอากาศแบบระนาบ



รูปที่ 2-20 ตัวอย่างสายอากาศจริงแบบซับซ้อนมากซึ่งมีต้นแบบมาจากโครงสร้างของไบไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวคลื่นนั้นต้องคิดแบบความยาวคลื่นสัมพันธ์กับชนิดของแผ่นทองแดงด้วย สายอากาศแบบพื้นฐานนี้คือใช้งานได้กับช่องสัญญาณแคบมาก ประกอบกับมีขนาดใหญ่และประสิทธิภาพต่ำจึงมักถูกนำมาเพียงเพื่อเรียนรู้เบื้องต้นของสายอากาศแบบระนาบเท่านั้น แต่ไม่ถูกนำไปใช้งาน

รูปที่ 2-20 แสดงตัวอย่างของสายอากาศแบบซับซ้อนมากซึ่งเป็นสายอากาศที่มีสองชั้น สีสว่างแทนชั้นบนของแผ่นทองแดง และสีเข้มแทนชั้นล่างของแผ่นทองแดง

### ตารางที่ 2-1 ตารางแสดงย่านความถี่

ย่านความถี่	ช่วงความถี่วิทยุ
HF	3 เฮิรตซ์ – 30 เมกะเฮิรตซ์
VHF	30 เมกะเฮิรตซ์ – 300 เมกะเฮิรตซ์
UHF	300 เมกะเฮิรตซ์ – 1 กิกะเฮิรตซ์
L	1 กิกะเฮิรตซ์ – 2 กิกะเฮิรตซ์
S	2 กิกะเฮิรตซ์ – 4 กิกะเฮิรตซ์
C	4 กิกะเฮิรตซ์ – 8 กิกะเฮิรตซ์
X	8 กิกะเฮิรตซ์ – 12 กิกะเฮิรตซ์
KU	12 กิกะเฮิรตซ์ – 18 กิกะเฮิรตซ์
K	18 กิกะเฮิรตซ์ – 27 กิกะเฮิรตซ์
Ka	27 กิกะเฮิรตซ์ – 40 กิกะเฮิรตซ์
V	40 กิกะเฮิรตซ์ – 75 กิกะเฮิรตซ์
W	75 กิกะเฮิรตซ์ – 110 กิกะเฮิรตซ์
Mm	110 กิกะเฮิรตซ์ - 300 กิกะเฮิรตซ์

ตัวอย่างสายอากาศแบบระนาบ หรือแบบไมโครสตริป ในรูปแบบซับซ้อนมากในรูปที่ 2-20 นั้น สายอากาศชนิดนี้ถูกพัฒนาขึ้นให้สามารถใช้งานได้กับหลายความถี่ขึ้นและยังมีประสิทธิภาพขึ้นด้วย วัตถุประสงค์ของสายอากาศแบบนี้ก็เนื่องจากว่าสายอากาศเดิมสามารถใช้งานได้กับความถี่เดียว เมื่อต้องการสายอากาศที่รองรับหลายความถี่ก็ต้องออกแบบที่ซับซ้อนขึ้น โดยรื้อสายอากาศแบบพื้นฐานเดิม เอามาเรียงซ้อนๆกัน เพื่อให้ได้ความสามารถเพิ่มขึ้นนั่นเอง

## 2.14 การประยุกต์ใช้งานสายอากาศ

การสื่อสารไร้สายไม่ว่าจะเป็น โทรศัพท์มือถือ รถวิทยุบังคับ วิทยุสื่อสาร โทรทัศน์ไปถึงการสื่อสารไกลมากเช่นดาวเทียม ต้องการเสาอากาศแบบระนาบสามารถใช้งานได้กับทุกย่านความถี่ ขึ้นอยู่กับการออกแบบสายอากาศแต่ก็ขึ้นอยู่กับการปัจจัย ความสะดวกของชนิดสายอากาศ

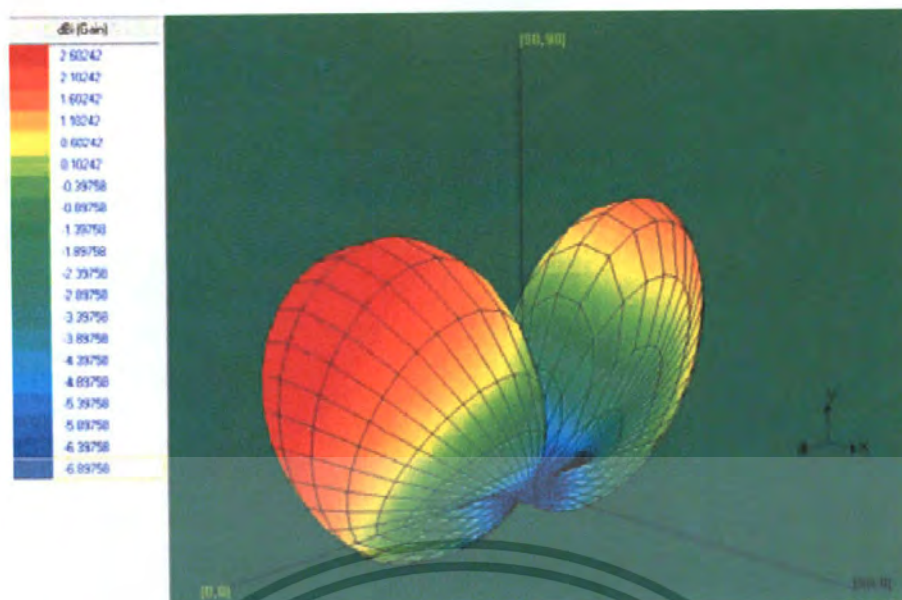
### 2.14.1 ย่านความถี่ทั่วไป

ในส่วนของสายอากาศแบบระนาบนั้นมักใช้งานกับอุปกรณ์ที่มีความถี่ในระดับไมโครเวฟ คือย่าน L สูงขึ้นไปแต่ก็ไม่เกินย่าน Ka เนื่องจากมีขนาดเล็กมากและเริ่มเข้าสู่ทางด้านแสง ดังนั้นจึงมักจะเห็นการนำเอาสายอากาศมาใช้กับย่านความถี่ช่วง L S และ C เป็นประจำซึ่งเป็นย่านของโทรศัพท์มือถือ และการสื่อสารไร้สาย เป็นต้น

### 2.14.2 วิธีการทำงานของสายอากาศแบบระนาบ

สายอากาศมีการทำงานเช่นเดียวกับเสาอากาศทั่วไปคือนำเอาสายอากาศมาเชื่อมเข้ากับแหล่งจ่ายข้อมูล ผ่านทาง หัวเชื่อมต่อ ก็สามารถใช้งานได้โดยส่วนใหญ่แล้วมักจะไม่มีการปรับแต่งได้อีก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับสายอากาศที่มีทิศทางแคบมากจะไม่มีขยับเขยื้อนใดๆเลย หลังจากติดตั้งแล้ว

การใช้งานสายอากาศสื่อสารสายไม่ว่าจะเป็นโทรศัพท์มือถือ รถวิทยุบังคับ ICOM ไปถึงการสื่อสารไกลมากเช่นดาวเทียม ต้องการเสาอากาศในการติดต่อสื่อสารทั้งสิ้นในย่านของสายอากาศนั้นมักใช้งานกับ อุปกรณ์ที่มีความถี่ในระดับไมโครเวฟ คือย่าน L สูงขึ้นไปแต่ก็ไม่เกินย่าน Ka เนื่องจากมีขนาดเล็กมากและเริ่มเข้าสู่ทางด้านแสง เช่น หากต้องการออกแบบสายอากาศในย่าน C โดยเลือกใช้สายอากาศแบบชนิดแพร่กระจายคลื่นตามแนวยาว จะได้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 2-21



รูปที่ 2- 21 รูปการแพร่กระจายคลื่นตามแนวของสายอากาศแบบระนาบย่าน C (5 กิกะเฮิรตซ์) และประสิทธิภาพมากกว่าจากรูปที่ 2.1 สายอากาศสามารถออกแบบมาให้ใช้งานกับทุกย่านความถี่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## การออกแบบสร้างสายอากาศระบบยูเอชเอฟ(UHF) เพื่อนำไปวัดสัญญาณดิซาร์จบางส่วน

### 3.1 การออกแบบสายอากาศ [8]

เนื่องจากการวัดสัญญาณดิซาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้นนั้นเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่ ออกมาอยู่ในช่วงความถี่ UHF ซึ่งเป็นช่วงความถี่ตั้งแต่ 300 MHz ถึง 3 GHz โดยที่ช่วงความถี่ ดังกล่าวเป็นช่วงความถี่แบบแถบกว้างพิเศษ(Ultra-wideband) โดยสายอากาศที่จะนำมาทำการ วัดนั้นจะต้องเป็นแบบแถบกว้างพิเศษ(Ultra-wideband)ด้วยเช่นกันจึงจะทำให้สามารถตรวจวัด สัญญาณได้ตลอดช่วงความถี่ที่มีการเกิดดิซาร์จขึ้น และสายอากาศที่เหมาะสมจะนำมาทำการ ตรวจวัดนั้นก็คือ สายอากาศแบบ Disc Monopole ซึ่งเป็นสายอากาศที่เป็นแบบแถบกว้างพิเศษ (Ultra-wideband) และง่ายต่อการออกแบบสร้าง โดยมีขั้นตอนการออกแบบ ดังนี้

#### 3.1.1 ขั้นตอนการออกแบบสายอากาศระบบ UHF แบบ Disc Monopole Antenna [9]

1. เลือกช่วงความถี่ที่ต้องการตรวจวัด (โดยในการออกแบบนี้เลือกช่วงความถี่เริ่มต้น 300 MHz ) แล้วนำไปคำนวณหาความยาวคลื่นโดยใช้สมการ

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (3.1)$$

โดยที่  $\lambda$  = ความยาวคลื่น (m)

$f$  = ความถี่เริ่มต้นที่ต้องการตรวจวัด (Hz)

$v$  = ความเร็วคลื่นแสงมีค่าเท่ากับ  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

เมื่อแทนค่าในสมการ 3.1 จะได้  $\lambda = 1 \text{ m}$

2. เมื่อได้ค่า  $\lambda = 1 \text{ m}$  แล้วหลังจากนั้นก็นำค่าที่ได้นี้มาหาค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของ จานสายอากาศ โดยที่เส้นผ่าศูนย์กลางของจานสายอากาศจะหาได้ตามสมการ

$$D = \frac{\lambda}{4} \quad (3.2)$$

โดยที่  $D$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของจานสายอากาศ (m)

$\lambda$  = ความยาวคลื่น (m)

เมื่อแทนค่าในสมการที่ 3.2 โดยใช้ค่า  $\lambda = 1 \text{ m}$  จะได้  $D = 0.25 \text{ m}$

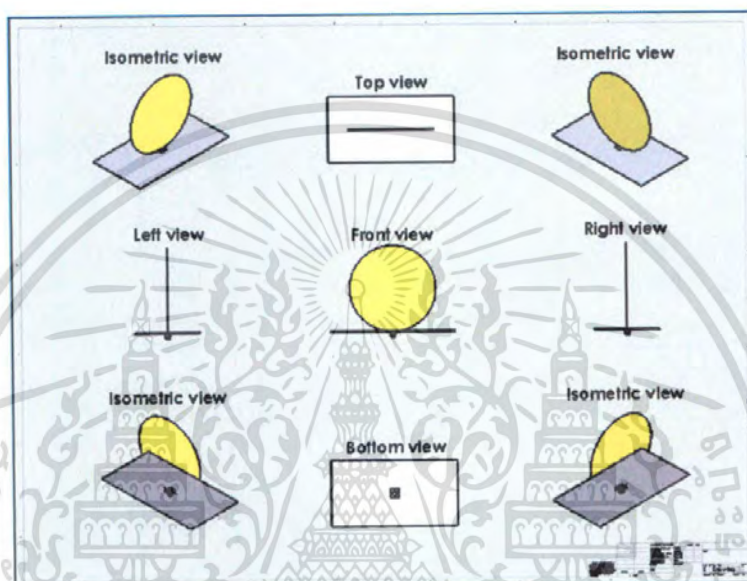
หมายเหตุ : ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางที่คำนวณได้ 0.25 m นั้น เมื่อนำไปทำการออกแบบใน โปรแกรมออกแบบสายอากาศอาจมีการปรับเปลี่ยนค่าได้ตามความเหมาะสม เพื่อให้ได้ช่วงการ ดอบสนองต่อความถี่ที่เราต้องการ และกราวด์เพลต(Ground plate) ซึ่งเป็นอีกส่วนประกอบหนึ่ง ที่มีผลต่อการตอบสนองต่อช่วงความถี่ที่เราต้องการ โดยในการออกแบบนั้นก็จะต้องให้มีความ เหมาะสมกับขนาดของจานสายอากาศด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการออกแบบสายอากาศ โดยใช้โปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสายอากาศ แล้วคำนวณหาค่า Return loss ของความถี่ในช่วง UHF และบันทึกค่าต่างๆ ที่ได้จากการออกแบบสายอากาศจากโปรแกรม เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่า Return loss ที่วัดได้จากการวัดจริงต่อไป

### 3.2 สายอากาศที่ได้ออกแบบ

เมื่อทำการ Simulated ในโปรแกรมออกแบบสายอากาศ ได้สายอากาศที่ออกแบบดังรูป

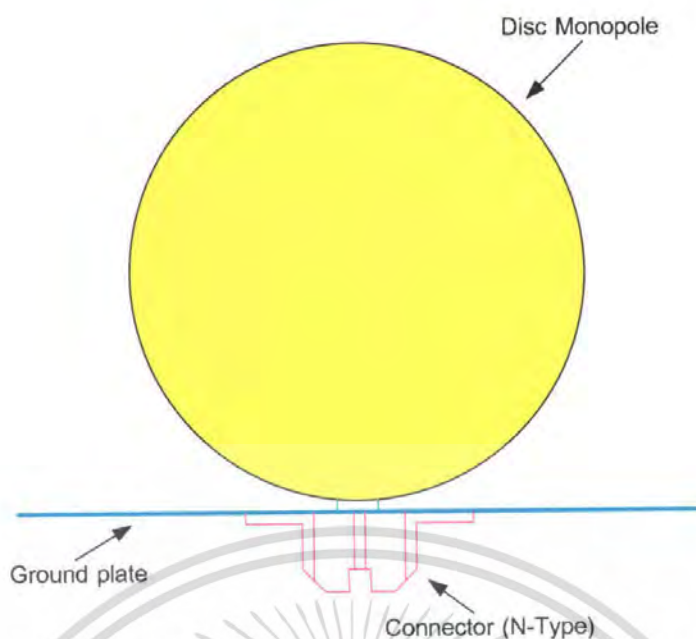


รูปที่ 3-1 ตัวอย่างสายอากาศที่วาดโดยโปรแกรม Solid work



รูปที่ 3-2 ตัวอย่างสายอากาศที่วาดโดยโปรแกรม Solid work

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

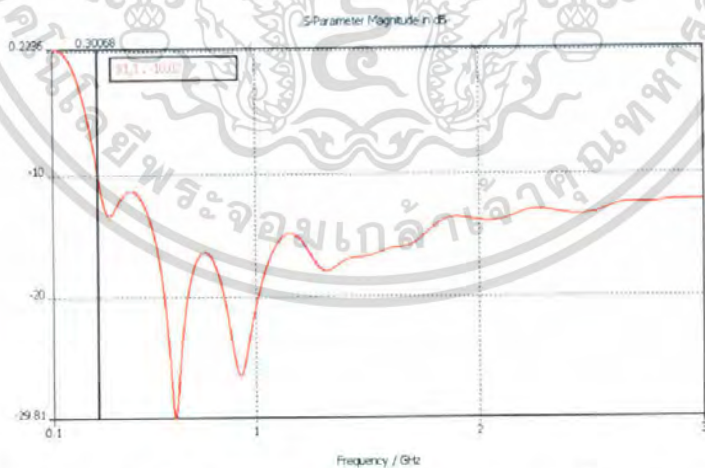


รูปที่ 3-3 แสดงส่วนประกอบของสายอากาศ

### 3.3 คุณสมบัติของสายอากาศที่ได้ออกแบบจากการจำลองวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

#### 3.3.1 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss)

ค่าที่ยอมรับได้พิจารณาในรูปของกำลังงานที่สะท้อนกลับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่า -10 dB ที่ความถี่ตั้งแต่ 300.68 MHz ถึง 3 GHz แสดงดังรูป

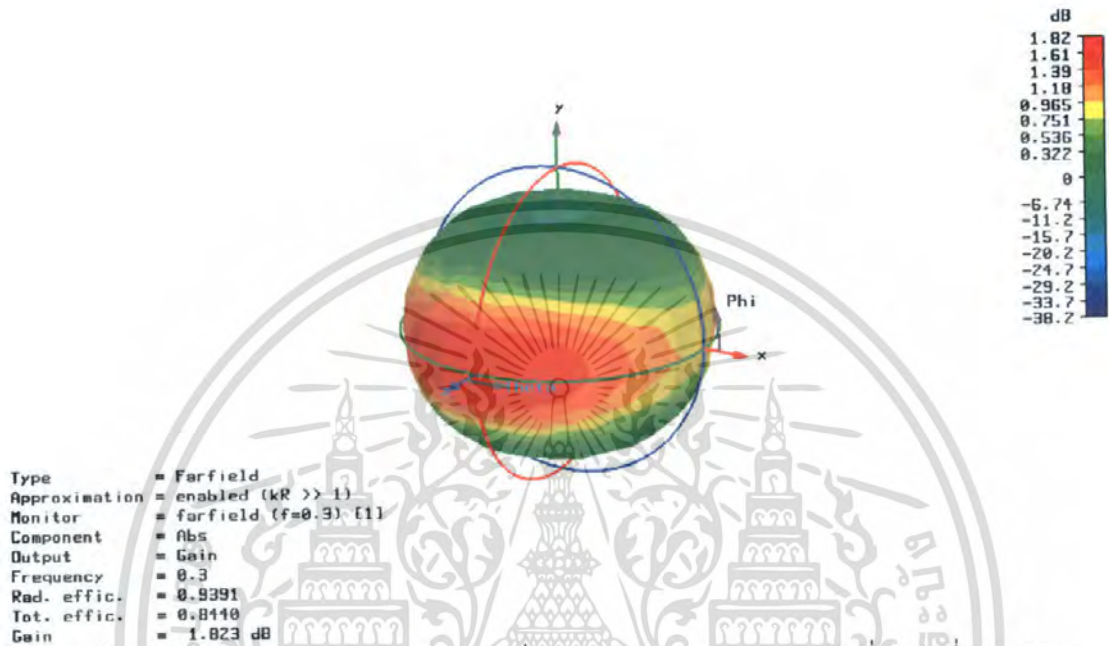


รูปที่ 3-4 แสดงค่าสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

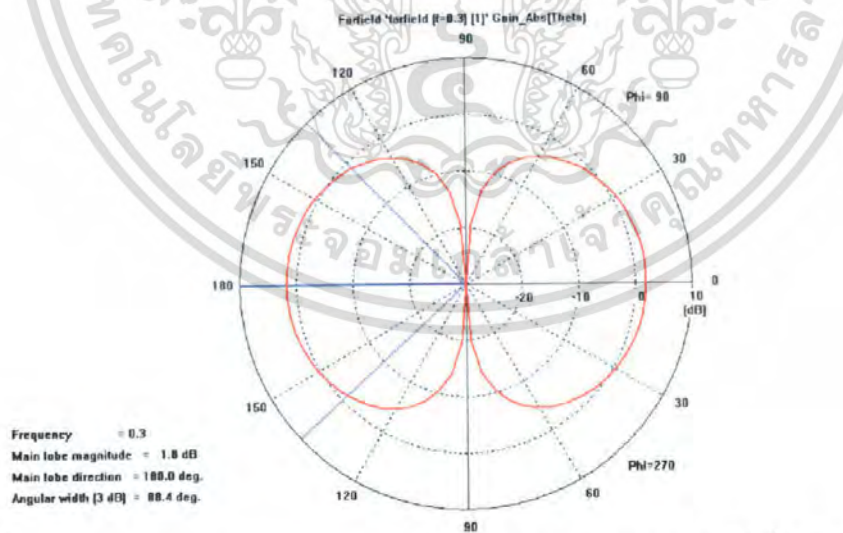
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 รูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ (Radiation pattern)

รูปที่ 3-5 ถึง รูปที่ 3-8 เป็นผลการจำลองเพื่อบอกว่าทิศทางต่างๆ รอบตัวสายอากาศนั้นมีการแผ่กระจายคลื่นเป็นอย่างไร โดยแสดงเป็นแบบจำลองสามมิติ และสองมิติของการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ได้ออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ความถี่ 300 MHz, 1.5 GHz และ 3 GHz

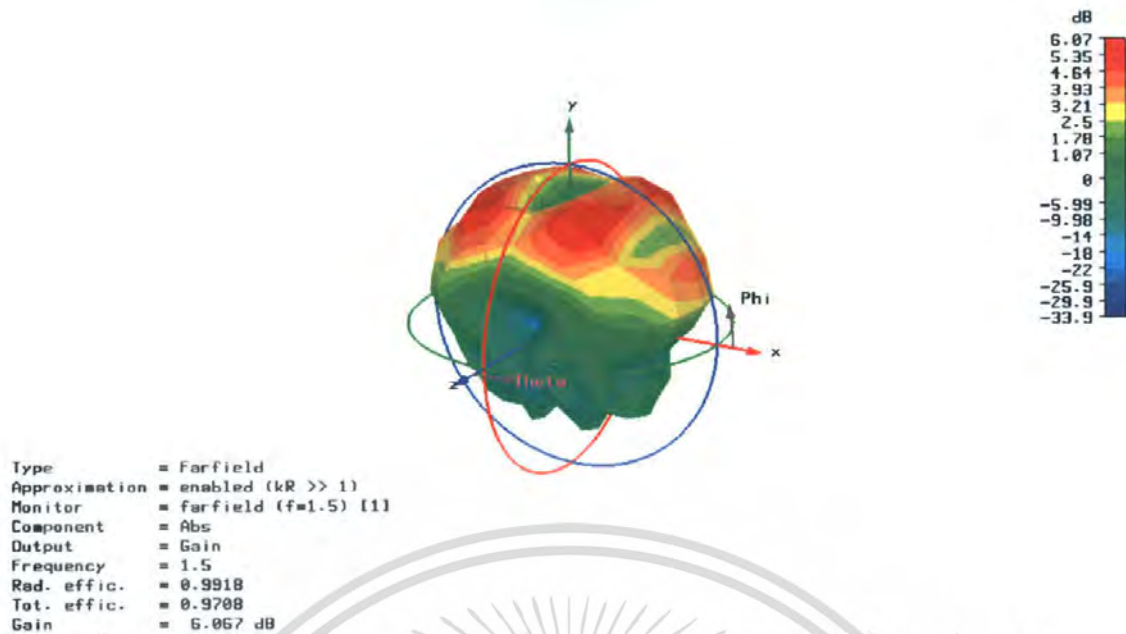


รูปที่ 3-5 แสดงรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ 3 มิติที่ความถี่ 0.3 GHz



รูปที่ 3-6 แสดงรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ 2 มิติที่ความถี่ 0.3 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-7 แสดงรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ 3 มิติที่ความถี่ 1.5 GHz



รูปที่ 3-8 แสดงรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ 2 มิติที่ความถี่ 1.5 GHz

### 3.3.3 แบนด์วิธ (Bandwidth)

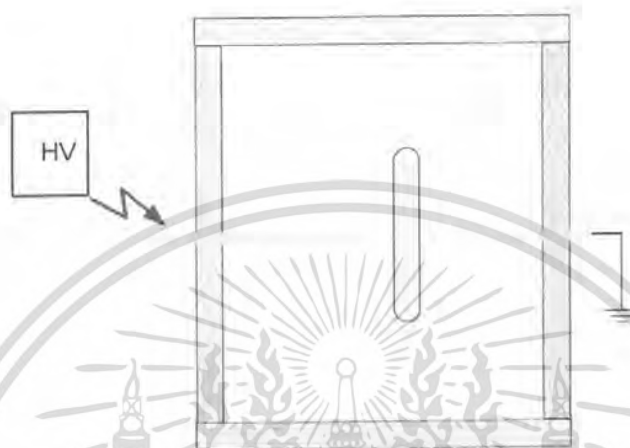
แบนด์วิธของสายอากาศที่ได้ออกแบบมาให้อยู่ในค่าที่ใช้งานได้ คือช่วงความถี่ 300 MHz ถึง 3 GHz ซึ่งมีแบนด์วิธ 10 : 1 (อัตราส่วนของความถี่ที่ใช้งานได้ด้านสูงต่อความถี่ที่ใช้งานได้ด้านต่ำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การออกแบบแบบจำลองพฤติกรรมที่เกิดดิสชาร์จบางส่วน

#### 3.4.1 แบบจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาดิสชาร์จ

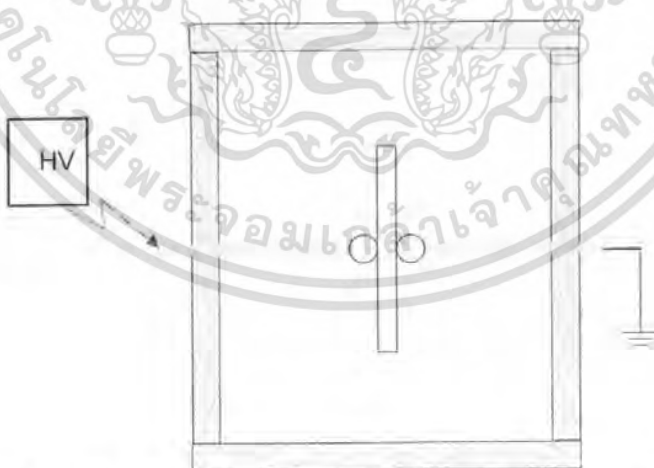
โคโรนาดิสชาร์จ (Corona discharge or external discharge) เกิดขึ้นในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงที่อิเล็กโทรดปลายแหลม หรือมีขอบคม หรืออิเล็กโทรดขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับระยะระหว่างอิเล็กโทรด โดยออกแบบตามรูปที่ 3-9



รูปที่ 3-9 อุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบ โคโรนาดิสชาร์จ

#### 3.4.2 อุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบ ดิสชาร์จตามผิว

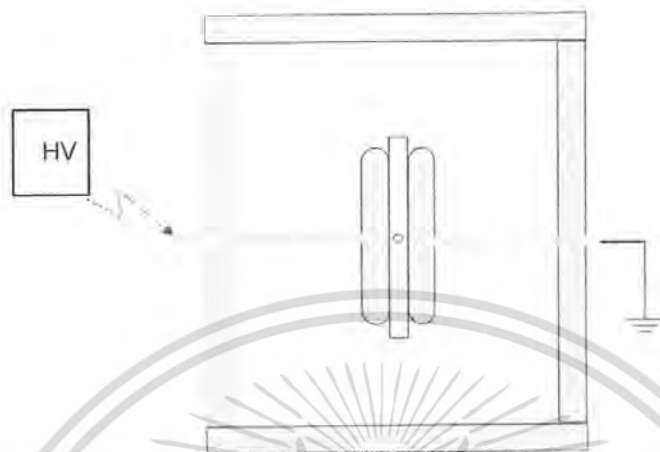
ดิสชาร์จตามผิว (Surface discharge) เกิดขึ้นที่ผิวของฉนวนที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าตามแนวผิวสูง โดยออกแบบตามรูปที่ 3-10



รูปที่ 3-10 อุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบ ดิสชาร์จตามผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

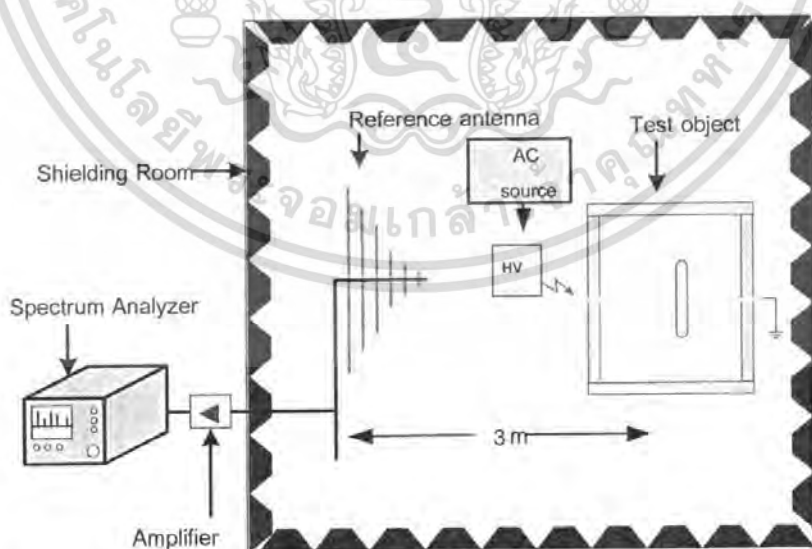
**3.4.3 อุปกรณ์จำลองการเกิดดิซชาร์จบางส่วนแบบดิซชาร์จบางส่วนภายใน**  
ดิซชาร์จบางส่วนภายใน (Internal discharge) เกิดขึ้นในโพรงหรือฟองก๊าซในเนื้อฉนวนซึ่งเป็นฉนวนแข็งหรือฉนวนเหลว โดยออกแบบตามรูปที่ 3-11



รูปที่ 3-11 อุปกรณ์จำลองการเกิดดิซชาร์จบางส่วนแบบ ดิซชาร์จภายใน

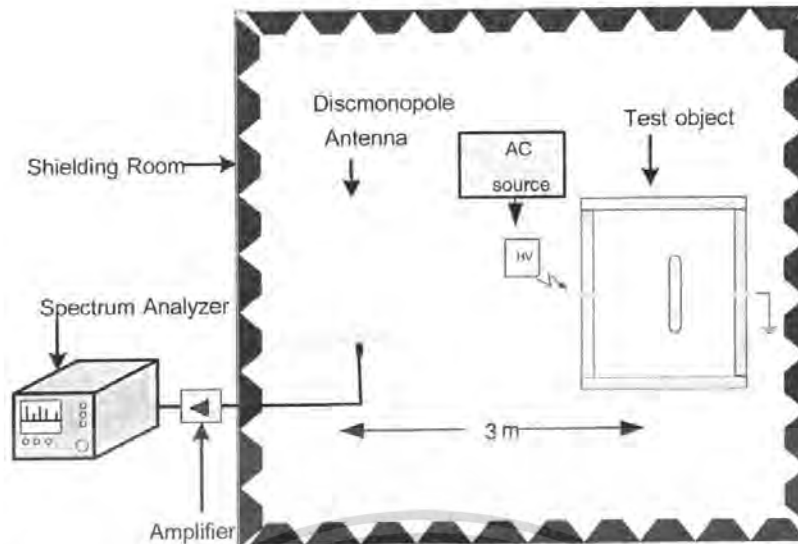
### 3.5 การออกแบบวงจรการวัดดิซชาร์จบางส่วนด้วยสายอากาศ

วงจรการวัดดิซชาร์จด้วยสายอากาศแสดงดังรูปที่ 3-12 และรูปที่ 3-13 ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย อุปกรณ์จำลองการเกิดดิซชาร์จบางส่วนแบบต่างๆ, สายอากาศอ้างอิง, สายอากาศ Disc Monopole ที่ออกแบบสร้าง, แอมพลิไฟเออร์, Spectrum Analyzer, แหล่งจ่ายแรงดันสูงพร้อมชุดวัดแรงดัน โดยจะทำการทดสอบในห้องชีลด์



รูปที่ 3-12 วงจรการตรวจวัดการดิซชาร์จบางส่วนโดย Reference Antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

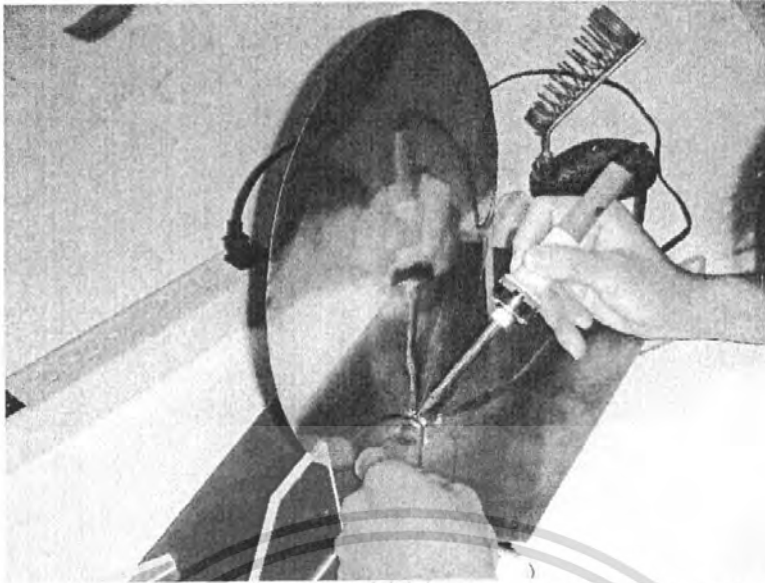


รูปที่ 3-13 วงจรการตรวจวัดการดิซซาร์จบางส่วนโดย Disc Monopole Antenna

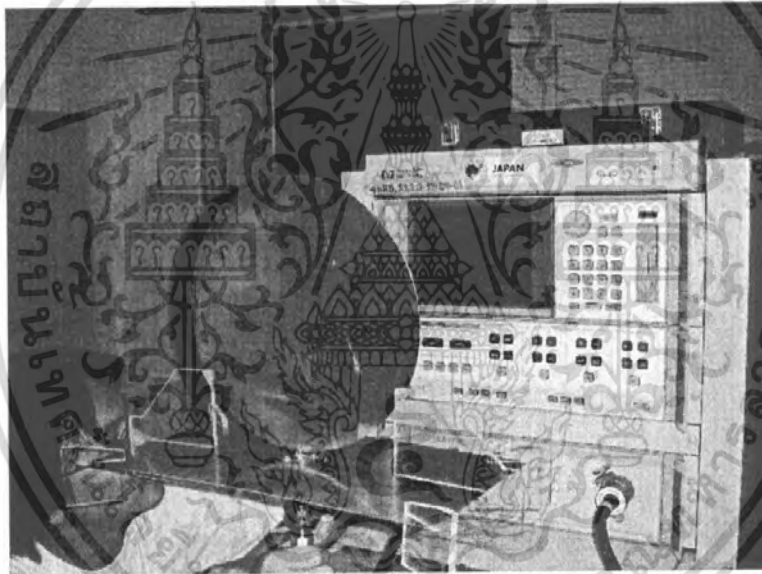
### 3.6 การประกอบสร้างสายอากาศ

- 1) นำรูปแบบที่ได้จากการออกแบบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยมีส่วนประกอบดังนี้
  - 1.1) แผ่นทองเหลืองมีความหนา 0.6 มิลลิเมตร ตัดเป็นวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 26 เซนติเมตร
  - 1.2) แผ่นอะลูมิเนียมมีความหนา 0.9 มิลลิเมตร ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 19x38 เซนติเมตร
- 2) นำส่วนประกอบต่างๆ มาประกอบโดยนำหัว connector ไปประกอบเข้าที่ฐานซึ่งเป็นอะลูมิเนียมและบัดกรีหัว connector เข้ากับแผ่นทองเหลือง ดังรูปที่ 3-14
- 3) ใช้คัตติงทำเป็นฐานตั้ง และเป็นตัวรองรับแผ่นทองเหลือง
- 4) นำสายอากาศที่ประกอบสร้างสมบูรณ์แล้วไปทดสอบหาค่าความสูญเสียย้อนกลับ (Return loss) และช่วงความถี่ที่สายอากาศแบบ Disc Monopole สามารถตอบสนองคลื่นความถี่ได้
- 5) นำผลของค่าความสูญเสียย้อนกลับ (Return loss) และช่วงความถี่ที่สายอากาศแบบ Disc Monopole สามารถตอบสนองคลื่นความถี่ได้ไปเปรียบเทียบค่าที่ออกแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าที่ได้ออกมาจากการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ออกแบบ จึงสามารถนำสายอากาศแบบ Disc Monopole ไปใช้ในการตรวจวัดดิซซาร์จบางส่วนได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

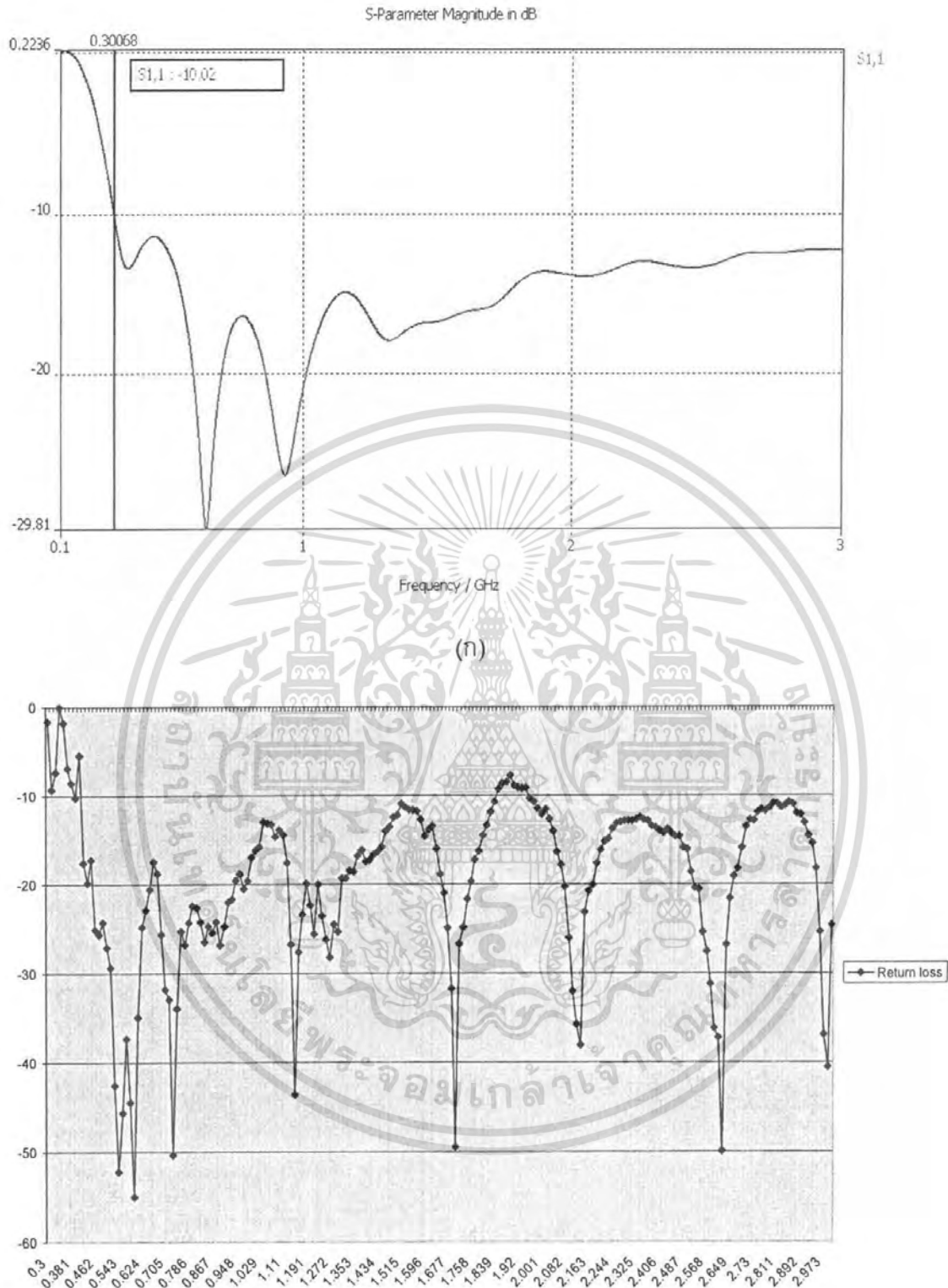


รูปที่ 3-14 การประกอบสร้างสายอากาศแบบ Disc Monopole



รูปที่ 3-15 การนำสายอากาศที่สร้างไปทดสอบหาค่าความสูญเสียย้อนกลับ(Return loss)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 3-16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Return loss ที่ได้ระหว่างการ simulated ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ก) กับผลที่ได้จากการวัดจริง (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

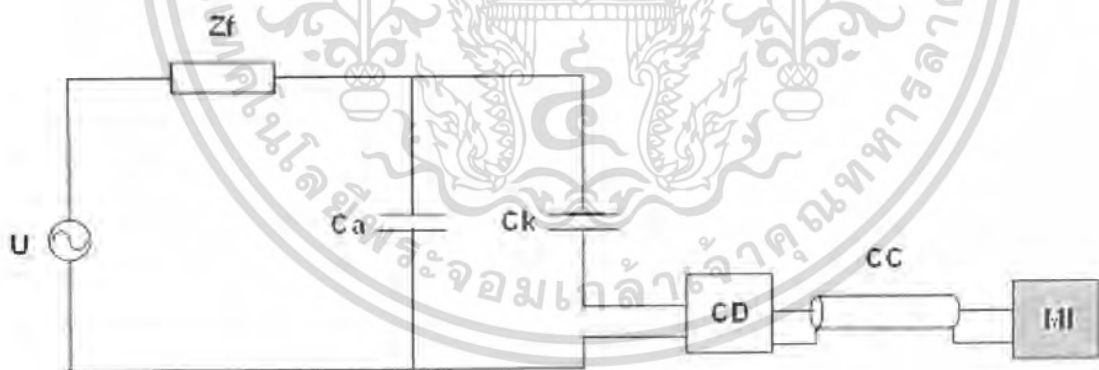
### การทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

#### 4.1 การทดสอบการเกิดดิสชาร์จบางส่วน ด้วยวิธี Conventional Method ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง

กระบวนการทดสอบจะเป็นการทดสอบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่สภาวะเริ่มเกิดและที่ระดับแรงดันต่างๆของอิลีกโทรครูปแบบต่างๆโดยต่อวงจรทดสอบดังรูปที่ 4-1 ถึงรูปที่ 4-2 หลังจากนั้นค่อยๆเพิ่มแรงดันจนกระทั่งสามารถตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนเริ่มเกิด บันทึกรูปการเกิดดิสชาร์จบางส่วนด้วยเครื่องตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน รวมทั้งบันทึกค่าแรงดันดังกล่าวด้วย จากนั้นจะทำการเพิ่มแรงดันขึ้นเรื่อยๆ บันทึกรูปการเกิดดิสชาร์จบางส่วนและค่าแรงดัน และบันทึกผลการทดสอบจากเครื่องวัดการเกิดดิสชาร์จบางส่วน (เครื่อง PD DETECTOR DDX-9101) ที่แต่ละระดับแรงดัน

##### 4.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องตรวจจับการเกิดดิสชาร์จบางส่วน PD DETECTOR DDX-9101
2. ตู้ควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้า
3. ตัวเก็บประจุคงที่มีค่า 100 pF (C ปรับเทียบ)
4. หม้อแปลงทดสอบแรงดันสูง 75 kV, 40kVA, PD < 2 pC

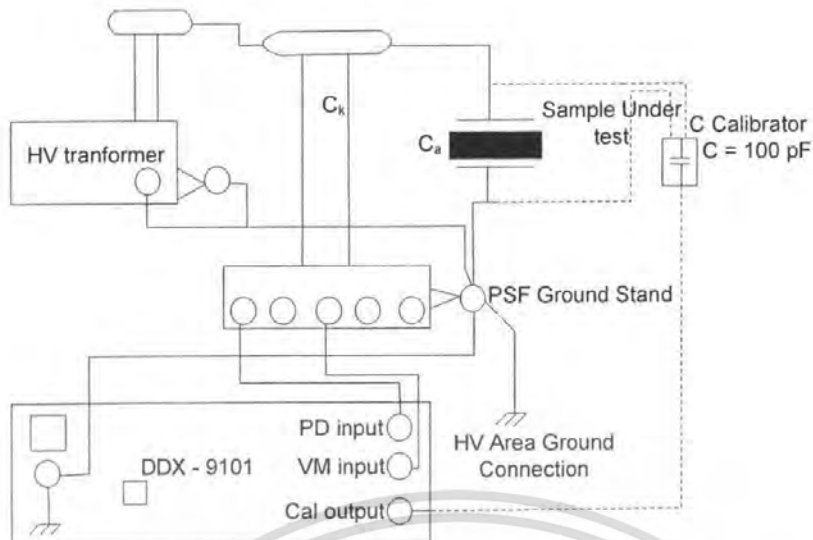


(ก)

รูปที่ 4-1 วงจรการทดลอง ก) วงจรสมมูล

- โดยที่ U คือ หม้อแปลงทดสอบแรงดันสูง 75 kV, 40kVA, PD<2 pC
- $C_k$  คือ Coupling Capacitor 100 kV
- PD คือ ตัวตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน โดยที่ภายใน PD Detector ได้รวมเอา PD Calibrator ไว้ด้วย
- $C_a$  คือ Test Object

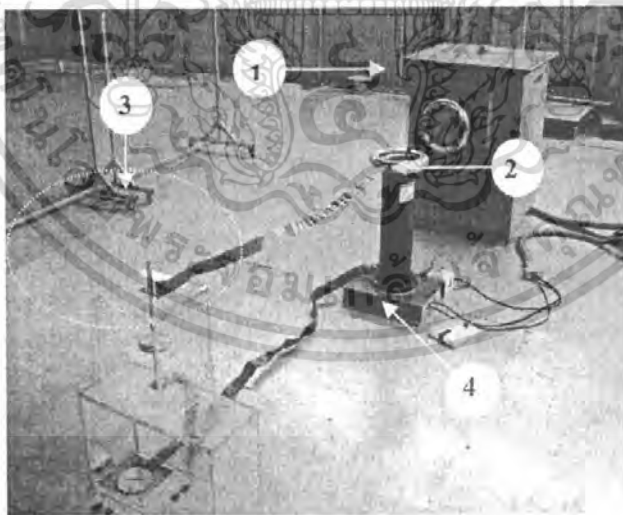
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

## รูปที่ 4-1 (ต่อ) วงจรการทดลอง ข) วงจรในการทดสอบ

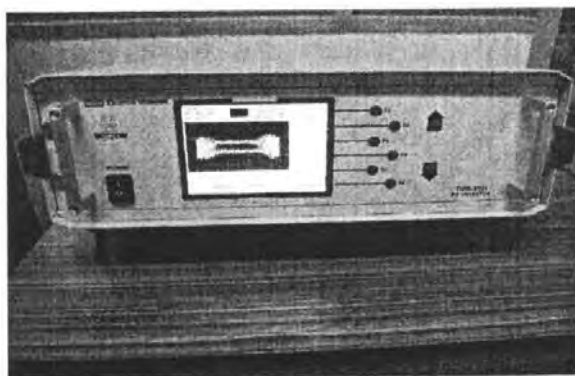
- โดยที่ U คือ หม้อแปลงทดสอบแรงดันสูง 75 kV, 40kVA, PD<2 pC  
 $C_k$  คือ Coupling Capacitor 100 kV  
 PD คือ ตัวตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน โดยที่ภายใน PD Detector ได้รวมเอา PD Calibrator ไว้ด้วย  
 $C_a$  คือ Test Object



## รูปที่ 4-2 วงจรที่ทำการทดสอบ

- เมื่อ 1 คือ หม้อแปลงทดสอบ  
 2 คือ คาปาซิเตอร์คานเกียว  
 3 คือ อุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วน  
 4 คือ อุปกรณ์คานเกียว

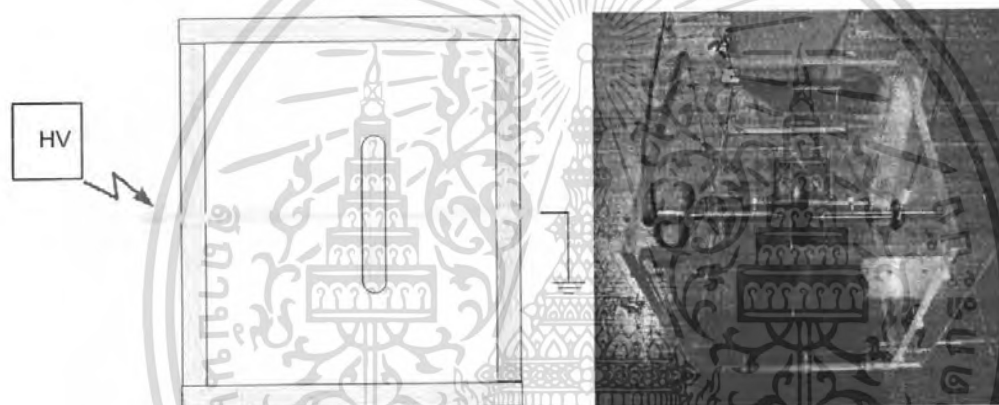
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-3 เครื่อง PD DETECTOR DDX-9101 ใช้สำหรับทดสอบการเกิดดิสชาร์จบางส่วน

#### 4.1.2 อุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบต่าง ๆ

ก) โครนาดีสชาร์จ (Corona discharge or external discharge)



รูปที่ 4-4 อุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบ โครนาดีสชาร์จ

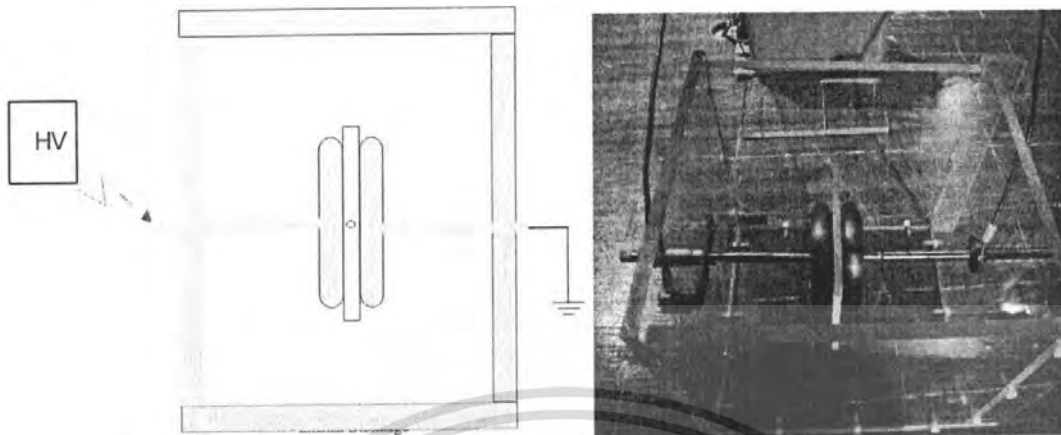
ข) ดิสชาร์จตามผิว (Surface discharge)



รูปที่ 4-5 อุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบ ดิสชาร์จตามผิว

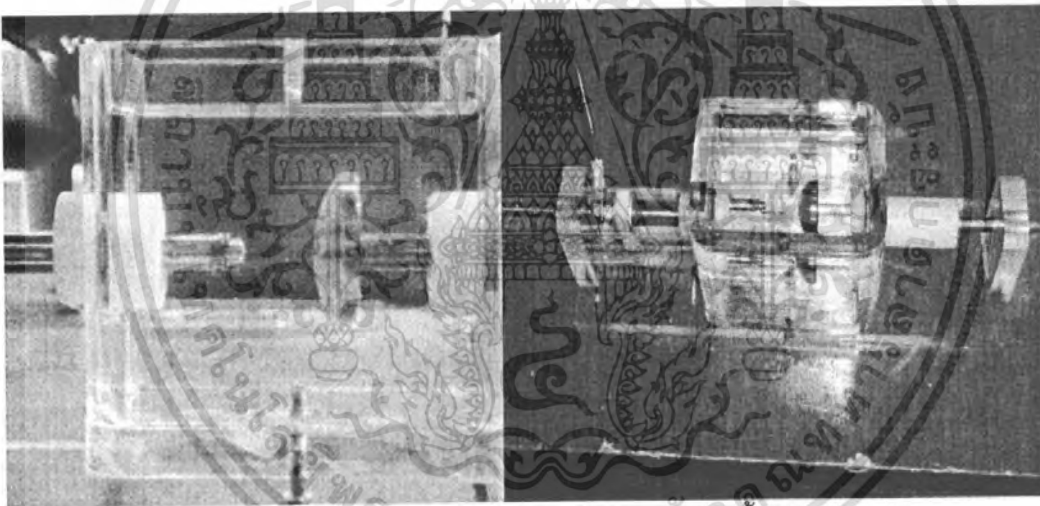
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค) ดิสชาร์จบางส่วนภายใน (Internal discharge)



รูปที่ 4-6 อุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบ ดิสชาร์จภายใน

ง) ดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลง



รูปที่ 4-7 อุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.3 ขั้นตอนการทดสอบ

1. ตัวอย่างการทดลองดังรูปที่ 4-1 โดยที่อุปกรณ์ทดสอบ ( $C_a$ ) เป็นอุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาดิสชาร์จ จะใช้ Rod กับ Plate โดยต่อ Rod ทางด้านไฟฟ้าแรงสูงและ Plate ระบายต่อต้านกราวด์โดยมีอากาศเป็นฉนวนระยะห่างกัน 10 mm เพื่อศึกษาโคโรนาดิสชาร์จ

2. ทำการปรับเทียบชุดวัดดิสชาร์จบางส่วนแบบ โดยนำ C Calibration มาต่อแล้วทำการแล้วทำการปรับเทียบ เมื่อทำการปรับเทียบเสร็จจะต้องนำ C Calibration ออกจากวงจรทดสอบทุกครั้ง

3. ทำการป้อนแรงดันเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และสังเกตว่าดิสชาร์จบางส่วนเริ่มเกิดที่แรงดันเท่าไร แล้วบันทึกผลการทดสอบ

4. หลังจากพบดิสชาร์จบางส่วนเริ่มเกิดทำการเพิ่มแรงดันขึ้นอีกเล็กน้อยแล้วทำการบันทึกผลการทดสอบ

5. หลังจากทำการทดสอบดิสชาร์จบางส่วนของอุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในวัสดุที่หนึ่งเสร็จแล้วทำเปลี่ยน อุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบต่างๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 เปลี่ยนเป็นอุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบดิสชาร์จตามผิวตามรูปที่ 4-5 โดยมีฉนวนเป็นแผ่นอซิสิกหนา 10 mm แล้วทำตามขั้นตอนที่ 2-4 แล้วบันทึกผลการทดสอบ

5.2 เปลี่ยนเป็นอุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบดิสชาร์จภายในดังรูปที่ 4-6 โดยมีฉนวนเป็นแผ่นอซิสิกหนา 10 mm และมีโพรงอากาศอยู่ตรงกลาง แล้วทำตามขั้นตอนที่ 2-4 แล้วบันทึกผลการทดสอบ

5.3 เปลี่ยนเป็นอุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบดิสชาร์จภายในดังรูปที่ 4-6 โดยมีฉนวนเป็นแผ่นอซิสิกหนา 6 mm และมีโพรงอากาศอยู่ตรงกลาง แล้วทำตามขั้นตอนที่ 2-4 แล้วบันทึกผลการทดสอบ

#### 4.1.4. ผลการทดสอบการเกิดดิสชาร์จบางส่วน

1) อุณหภูมิห้องทดสอบ  $30.5^{\circ}\text{C}$  , ความดันบรรยากาศ  $765\text{ mmHg}$  , ความชื้นสัมพัทธ์  $66.7\%$

2) Background Noise



รูปที่ 4-9 แสดงรูปคลื่นอิลิปส์และคลื่นไซน์  
หลังจาก Calibration เสร็จสิ้น ที่  $100\text{ pC}$   $8\text{ พัลส์}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ผลการทดสอบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาดิสชาร์จ



รูปที่ 4-10 PD เริ่มเกิดบนรูปคลื่นอิลิปส์และคลื่นไซน์ ที่แรงดัน 4.83 kV  
ค่าดิสชาร์จ 9.45 pC ที่มุม 300-320 องศา



รูปที่ 4-11 PD บนรูปคลื่นอิลิปส์และคลื่นไซน์ ที่แรงดัน 4.96 kV  
ค่าดิสชาร์จ 69.70 pC ที่มุม 300-330 องศา

5) ผลการทดสอบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบดิสชาร์จตามผิว



รูปที่ 4-12 PD เริ่มเกิดบนรูปคลื่นอิลิปส์และคลื่นไซน์ ที่แรงดัน 4.35 kV  
ค่าดิสชาร์จ 14.42 pC ที่มุม 90-150 องศาและมุม 270-320 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้เอาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

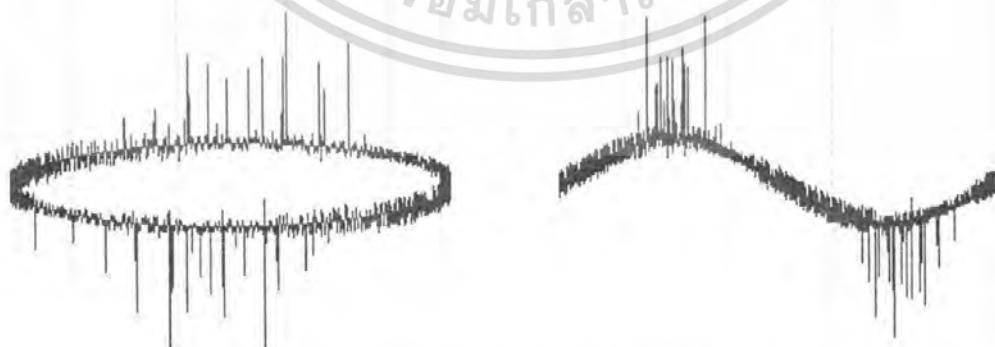


รูปที่ 4-13 PD เกิดบนรูปคลื่นอิลิปส์และคลื่นซายน์ ที่แรงดัน 6.48 kV  
ค่าดิสชาร์จ 61.62 pC ที่มุม 70-160 องศาและมุม 240-330 องศา

6) ผลการทดสอบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบดิสชาร์จภายในโดยวัตถุทดสอบมี  
อคลิลึกหนา 10 mm



รูปที่ 4-14 PD เริ่มเกิดบนรูปคลื่นอิลิปส์และคลื่นซายน์ ที่แรงดัน 4.96 kV  
ค่าดิสชาร์จ 5.73 pC ที่มุม 90-110 องศาและมุม 270-300 องศา



รูปที่ 4-15 PD เกิดบนรูปคลื่นอิลิปส์และคลื่นซายน์ ที่แรงดัน 5.54 kV  
ค่าดิสชาร์จ 8.78 pC ที่มุม 80-120 องศาและมุม 260-320 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) ผลการทดสอบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบดิสชาร์จภายในโดยวัดทดสอบมี  
อณิศาหน้า 6 mm.



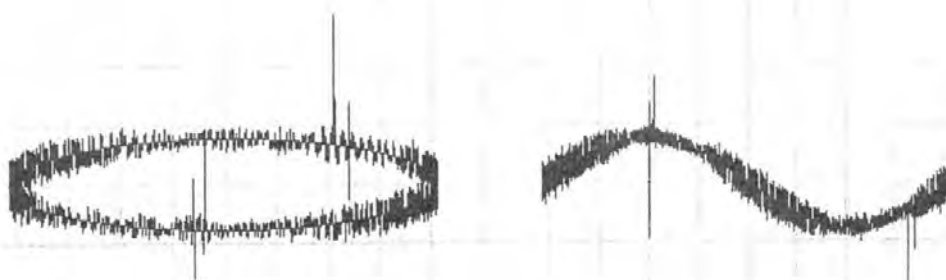
รูปที่ 4-16 PD เริ่มเกิดบนรูปคลื่นอิลิปส์และคลื่นซายน์ ที่แรงดัน 3.19 kV  
ค่าดิสชาร์จ 8.47 pC ที่มุม 90-150 องศาและมุม 270-320 องศา



รูปที่ 4-17 PD เกิดบนรูปคลื่นอิลิปส์และคลื่นซายน์ ที่แรงดัน 5.54 kV  
ค่าดิสชาร์จ 8.98 pC ที่มุม 60-140 องศาและมุม 250-320 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) ผลการทดสอบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลง



รูปที่ 4-18 PD เริ่มเกิดบนรูปคลื่นอิลิปส์และคลื่นซายน์ ที่แรงดัน 7.98 kV  
ค่าดิสชาร์จ 6.03 pC ที่มุม 90 องศาและมุม 300 องศา



รูปที่ 4-19 PD เกิดบนรูปคลื่นอิลิปส์และคลื่นซายน์ ที่แรงดัน 12.30 kV  
ค่าดิสชาร์จ 31.06 pC ที่มุม 90-160 องศาและมุม 270-330 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-1 แสดงผลการทดสอบแรงดันเริ่มเกิดดิสชาร์จบางส่วนด้วยวิธี conventional method

ชนิดของ PD	แรงดันเริ่มเกิด PD (kV)	ค่าดิสชาร์จ (pC)	มุมที่เกิด PD (องศา)
Corona discharge	4.83	9.45	300 - 320
Surface discharge	4.35	14.42	270-320
Internal discharge acrellic 10 mm.	4.96	5.73	90-110, 270-300
Internal discharge acrellic 6 mm.	3.19	8.47	60-140, 250-320
ดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลง	7.98	6.03	90,300

ตารางที่ 4-2 แสดงผลการทดสอบแรงดันของดิสชาร์จบางส่วนด้วยวิธี conventional method

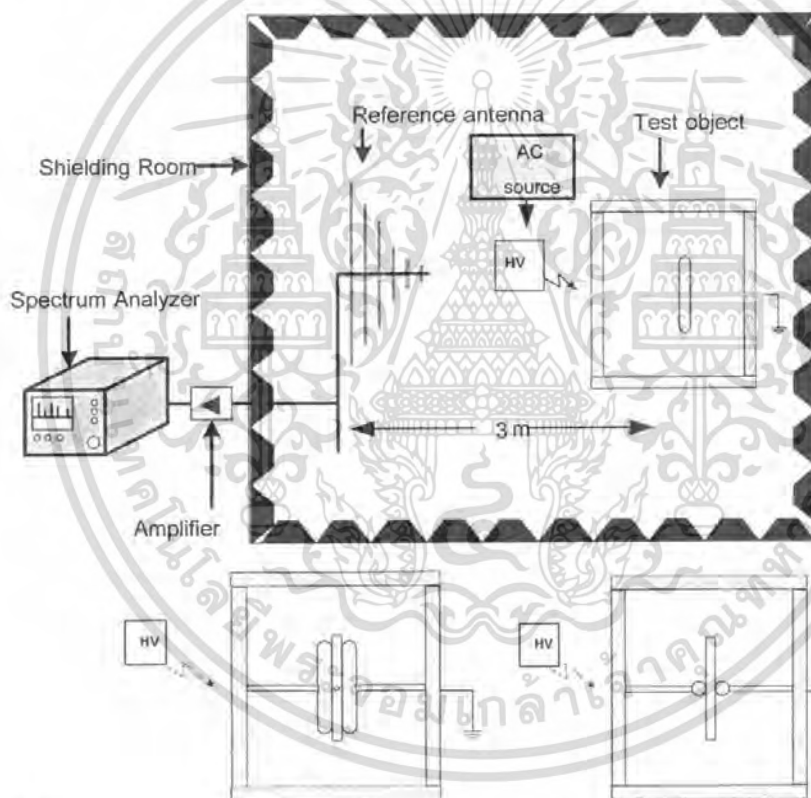
ชนิดของ PD	แรงดัน (kV)	ค่าดิสชาร์จ (pC)	มุมที่เกิด PD (องศา)
Corona discharge	4.96	69.70	300-330
Surface discharge	6.48	61.62	240-330
Internal discharge acrellic 10 mm.	5.54	8.78	80-120, 260-320
Internal discharge acrellic 6 mm.	5.54	8.98	90-150 , 270-320
ดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลง	12.30	31.06	90-160 ,270-330

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การทดสอบการวัดดิซซาร์จบางส่วนด้วยสายอากาศ Disc Monopole เทียบกับสายอากาศอ้างอิง

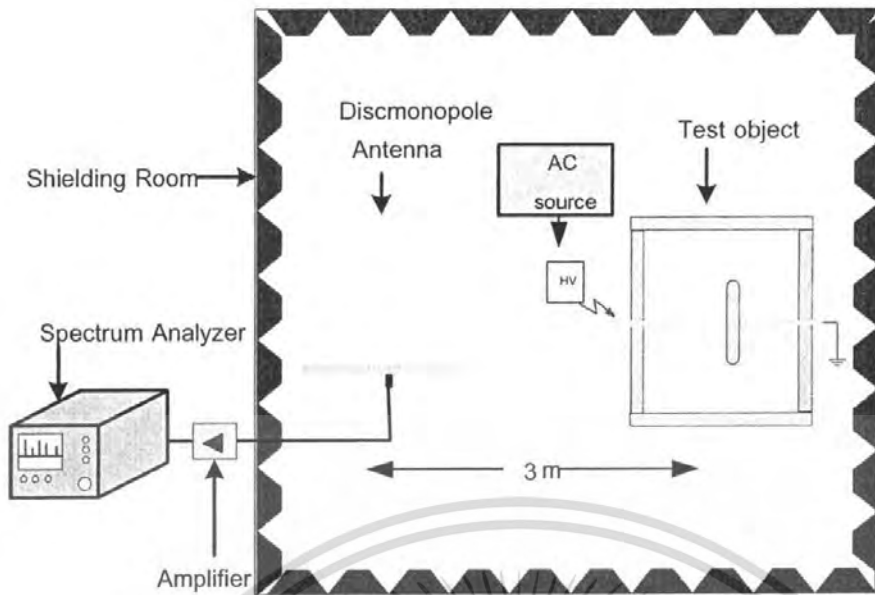
เป็นการทดสอบวัดระดับสัญญาณดิซซาร์จบางส่วนที่แพร่กระจายออกไปในอากาศ โดยมีอากาศเป็นตัวกลางในการส่งผ่าน โดยการทดสอบนี้จะต้องจัดวงจรทดสอบไว้ในห้องปิดกั้นคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบกึ่งไร้คลื่นสะท้อน (Semi-anechoic chamber) มีระยะทดสอบ 3 เมตร และวัดสัญญาณดิซซาร์จบางส่วนที่แพร่ออกมาจากวัตถุทดสอบโดยใช้สายอากาศชนิดพิเศษแบบ bi-log antenna และแบบ Disc Monopole antenna เป็นตัวรับสัญญาณและแสดงผลการวัดที่ได้ที่เครื่องวัดสัญญาณ ทำการเทียบผลที่วัดได้จากสายอากาศทั้งสองแบบ

### 4.2.1 วงจรการวัดดิซซาร์จบางส่วนด้วยสายอากาศโดยทดสอบในห้อง Anechoic Room

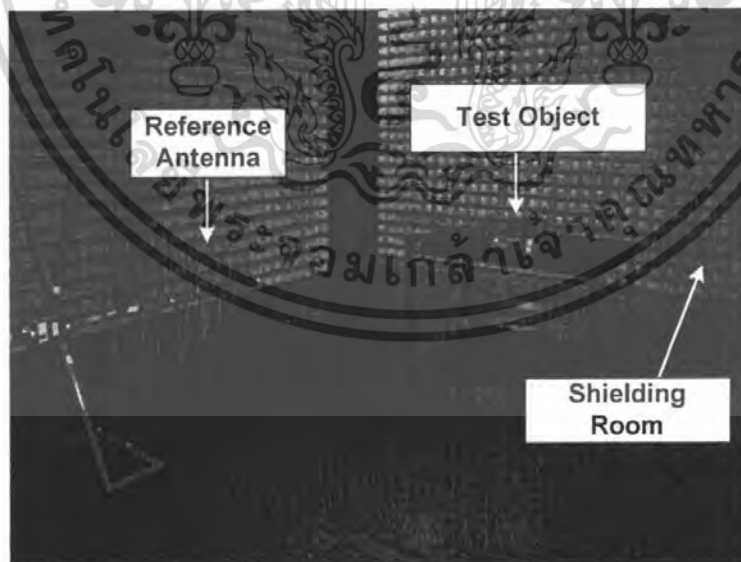


รูปที่ 4-20 วงจรที่ออกแบบการตรวจวัดการดิซซาร์จบางส่วนด้วยสายอากาศอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

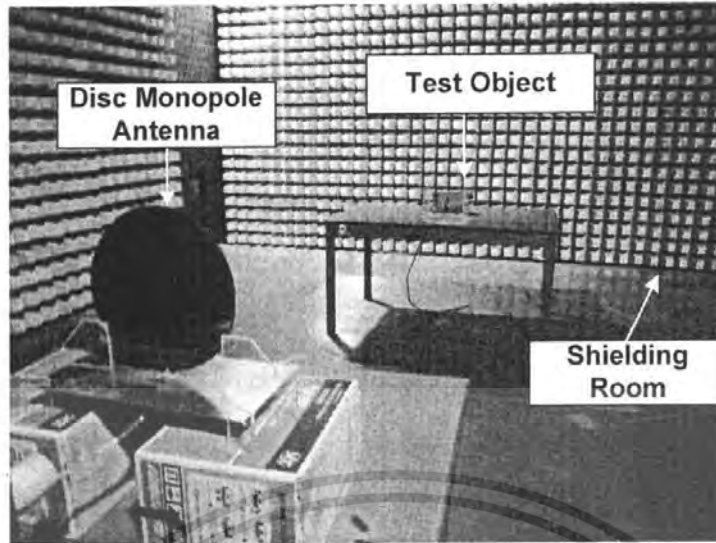


รูปที่ 4-21 วงจรที่ออกแบบการตรวจวัดการดิสชาร์จบางส่วนด้วยสายอากาศ Disc Monopole ที่สร้างขึ้น



รูปที่ 4-22 การตรวจวัดสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้ Reference Antenna

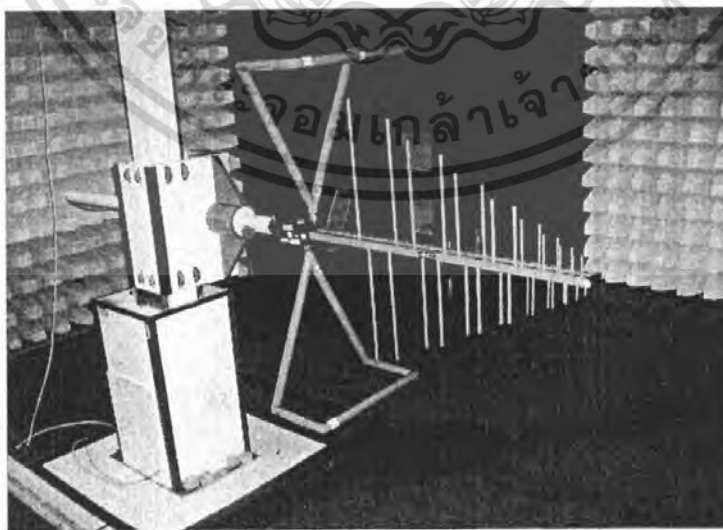
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-23 การตรวจวัดสัญญาณดิสซาร์จบางส่วนโดยใช้สายอากาศ  
Disc Monopole ที่สร้างขึ้น

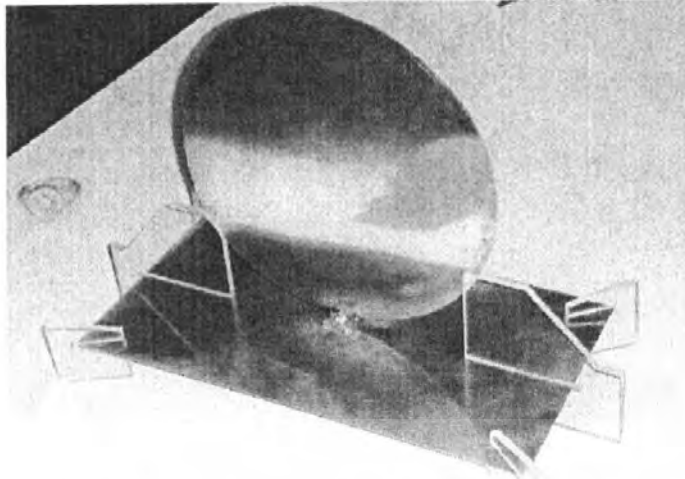
#### 4.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) อุปกรณ์จำลองการเกิดดิสซาร์จบางส่วนแบบต่างๆ
- 2) สายอากาศอ้างอิง
- 3) สายอากาศ Disc Monopole ที่ออกแบบสร้าง
- 4) แอมพลิไฟเออร์
- 5) Spectrum Analyzer
- 6) แหล่งจ่ายแรงดันสูงพร้อมชุดวัดแรงดัน

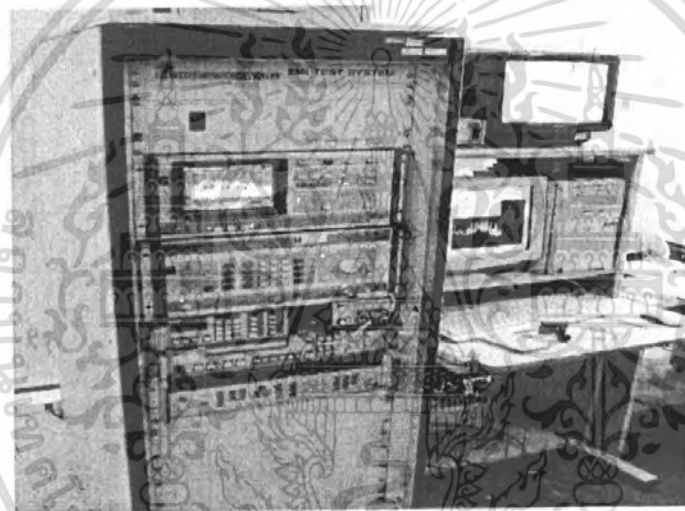


รูปที่ 4-24 สายอากาศอ้างอิงออกแบบมาให้ใช้ใน ช่วงความถี่ 30 MHz - 1 GHz

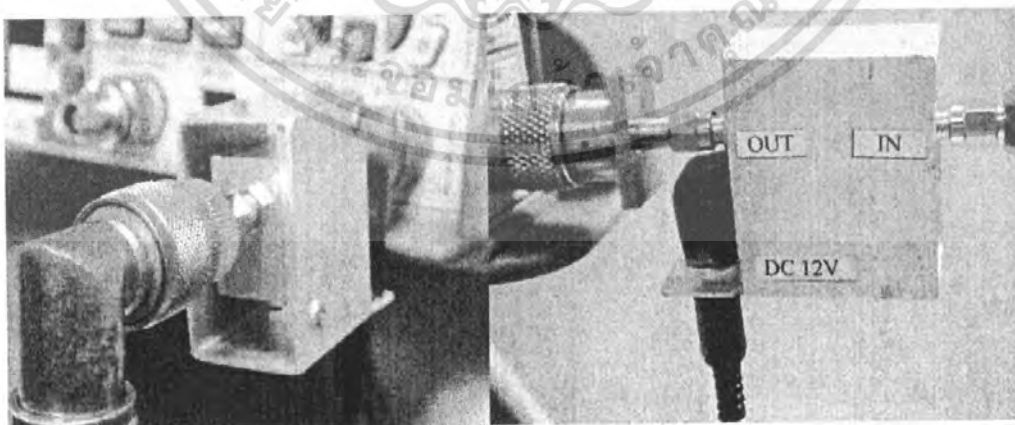
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-25 สายอากาศ Disc Monopole ออกแบบมาให้ใช้ใน ช่วงความถี่ 300 MHz - 3 GHz



รูปที่ 4-26 ชุด Spectrum Analyzer ที่ใช้วิเคราะห์คลื่นสัญญาณความถี่ที่วัดได้



รูปที่ 4-27 แอมพลิไฟเออร์ขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-28 หม้อแปลงทดสอบ พิกัด 230/15000 V

### 4.2.3 ขั้นตอนการทดสอบ

#### 4.2.3.1 การตรวจวัดสัญญาณดิซาร์จบางส่วนโดยใช้สายอากาศอ้างอิง

1. ต่อดวงจรการทดลองดังรูปที่ 4-20 โดยที่อุปกรณ์จำลองการเกิดดิซาร์จบางส่วนแบบโคโรนาดิซาร์จ จะใช้ Rod กับ Plate โดยต่อ Rod ทางด้านไฟฟ้าแรงสูงและ Plate ระบาย ต่อ ด้านกราวด์โดยมีระยะห่างกัน 10 mm เพื่อศึกษาโคโรนาดิซาร์จและใช้สายอากาศอ้างอิงเป็นตัววัดสัญญาณดิซาร์จบางส่วน

2. ทำการป้อนแรงดันเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และสังเกตว่าดิซาร์จบางส่วนเริ่มเกิดที่แรงดันเท่าไร แล้วบันทึกผลการทดสอบ

3. หลังจากพบดิซาร์จบางส่วนเริ่มเกิดทำการเพิ่มแรงดันขึ้นไปอีกแล้วทำการบันทึกผลการทดสอบที่แรงดันค่าต่างๆ

4. หลังจากทำการทดสอบดิซาร์จบางส่วนของอุปกรณ์จำลองการเกิดดิซาร์จบางส่วนในวัสดุที่หนึ่งเสร็จแล้วทำเปลี่ยน อุปกรณ์จำลองการเกิดดิซาร์จบางส่วนแบบต่างๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 เปลี่ยนเป็นอุปกรณ์จำลองการเกิดดิซาร์จบางส่วนแบบดิซาร์จตามผิว จะใช้ Rod กับ Rod โดยต่อ Rod ทางด้านไฟฟ้าแรงสูง และ Rod อีกด้านต่อลงกราวด์และมีฉนวนเป็นแผ่นอซิติกหนา 10 mm แล้วทำตามขั้นตอนที่ 2-3 แล้วบันทึกผลการทดสอบ

4.2 เปลี่ยนเป็นอุปกรณ์จำลองการเกิดดิซาร์จบางส่วนแบบดิซาร์จภายใน จะใช้ Plate กับ Plate โดยต่อ Plate ทางด้านไฟฟ้าแรงสูง และ Plate อีกด้านต่อลงกราวด์โดยมีแผ่นอซิติกหนา 10 mm และมีโพรงอากาศอยู่ตรงกลาง แล้วทำตามขั้นตอนที่ 2-3 แล้วบันทึกผลการทดสอบ

5. ทำการทดสอบดิซาร์จบางส่วน โดยใช้อุปกรณ์จำลองการเกิดดิซาร์จบางส่วน ในน้ำมันหม้อแปลง โดยต่อ Rod ทางด้านไฟฟ้าแรงสูงและ ทางด้านกราวด์ ต่อกับ Plate ระบาย ใต้วงส่วนฉนวนใช้น้ำมันหม้อแปลง แล้วทำตามขั้นตอนที่ 2-3 แล้วบันทึกผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.3.2 การตรวจวัดสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนโดยใช้สายอากาศ Disc Monopole ที่ทำการสร้างขึ้น

1. ต่อบังคับการทดลองดังรูปที่ 4-21 โดยที่อุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบโคโรนาดิสชาร์จ จะใช้ Rod กับ Plate โดยต่อ Rod ทางด้านไฟฟ้าแรงสูงและ Plate ระบาย ต่อ ด้านกราวด์โดยมีอากาศเป็นฉนวนระยะห่างกัน 10 mm เพื่อศึกษาโคโรนาดิสชาร์จและใช้สายอากาศ Disc Monopole ที่ทำการสร้างขึ้นเป็นตัววัดสัญญาณดิสชาร์จบางส่วน

2. ทำการป้อนแรงดันเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และสังเกตว่าดิสชาร์จบางส่วนเริ่มเกิดที่แรงดันเท่าไร แล้วบันทึกผลการทดสอบ

3. หลังจากพบดิสชาร์จบางส่วนเริ่มเกิดทำการเพิ่มแรงดันขึ้นไปอีกแล้วทำการบันทึกผลการทดสอบที่แรงดันค่าต่างๆ

4. หลังจากทำการทดสอบดิสชาร์จบางส่วนของอุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในวัสดุที่หนึ่งเสร็จแล้วทำเปลี่ยน อุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบต่างๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 เปลี่ยนเป็นอุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบดิสชาร์จตามผิว จะใช้ Rod กับ Rod โดยต่อ Rod ทางด้านไฟฟ้าแรงสูง และ Rod อีกด้านต่อลงกราวด์และมีฉนวนเป็นแผ่นอซิสิกหนา 10 mm แล้วทำตามขั้นตอนที่ 2-3 แล้วบันทึกผลการทดสอบ

4.2 เปลี่ยนเป็นอุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบดิสชาร์จภายใน จะใช้ Plate กับ Plate โดยต่อ Plate ทางด้านไฟฟ้าแรงสูง และ Plate อีกด้านต่อลงกราวด์โดยมีแผ่นอซิสิกหนา 10 mm และมีโพรงอากาศอยู่ตรงกลาง แล้วทำตามขั้นตอนที่ 2-3 แล้วบันทึกผลการทดสอบ

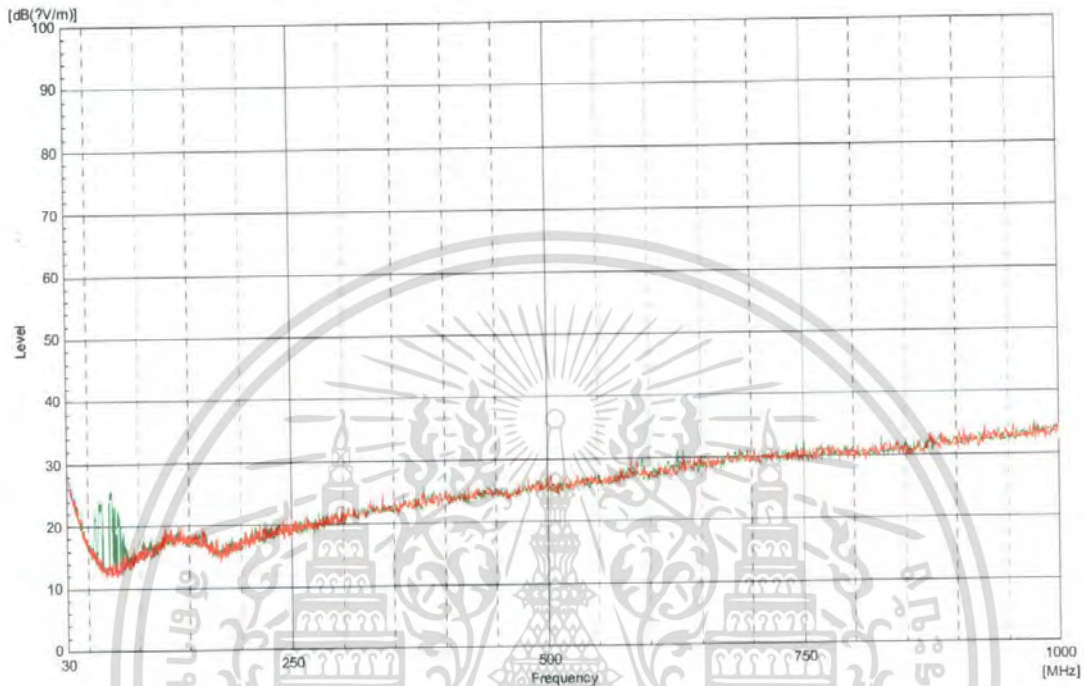
4.3 เปลี่ยนเป็นอุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบดิสชาร์จภายใน จะใช้ Plate กับ Plate โดยต่อ Plate ทางด้านไฟฟ้าแรงสูง และ Plate อีกด้านต่อลงกราวด์โดยมีแผ่นอซิสิกหนา 6 mm และมีโพรงอากาศอยู่ตรงกลาง แล้วทำตามขั้นตอนที่ 2-3 แล้วบันทึกผลการทดสอบ

5. ทำการทดสอบดิสชาร์จบางส่วน โดยใช้อุปกรณ์จำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วน ในน้ำมันหม้อแปลง โดยต่อ Rod ทางด้านไฟฟ้าแรงสูงและ ทางด้านกราวด์ ต่อกับ Plate ระบาย โด่งส่วนฉนวนใช้น้ำมันหม้อแปลง แล้วทำตามขั้นตอนที่ 2-3 แล้วบันทึกผลการการทดสอบ

#### 4.2.5. ผลการทดสอบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่ตรวจจับด้วยสายอากาศที่นำมาวิเคราะห์โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

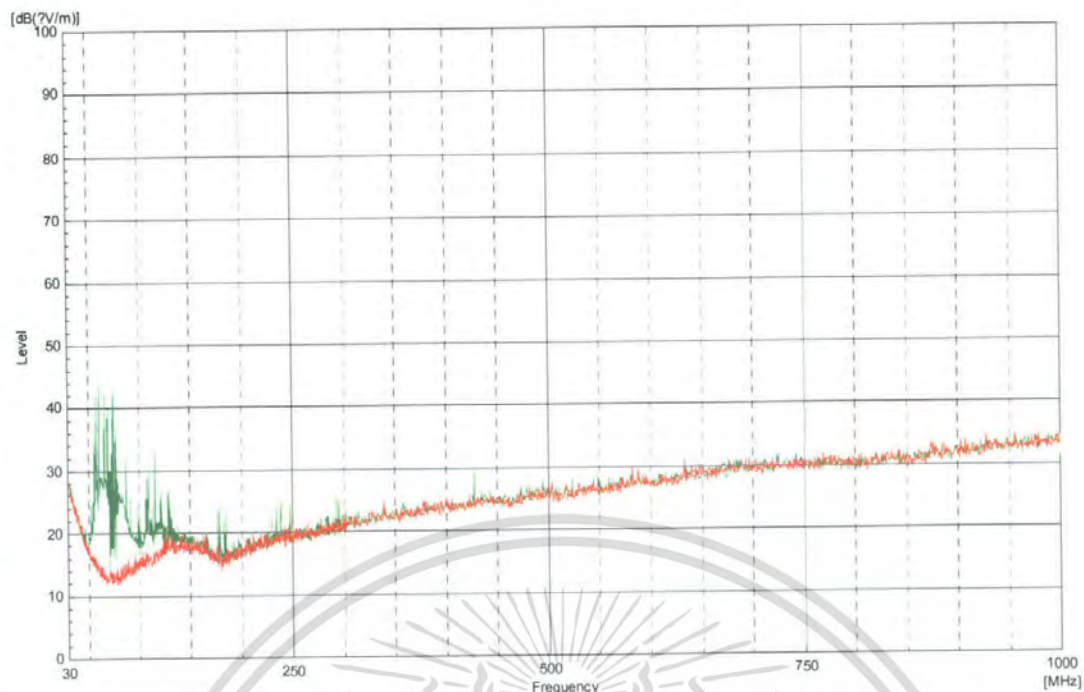
- อุณหภูมิห้องทดสอบ 25 °C , ความดันบรรยากาศ 765 mmHg  
ความชื้นสัมพัทธ์ 60 %

##### 1. ผลการวัดโคโรนาดิสชาร์จ

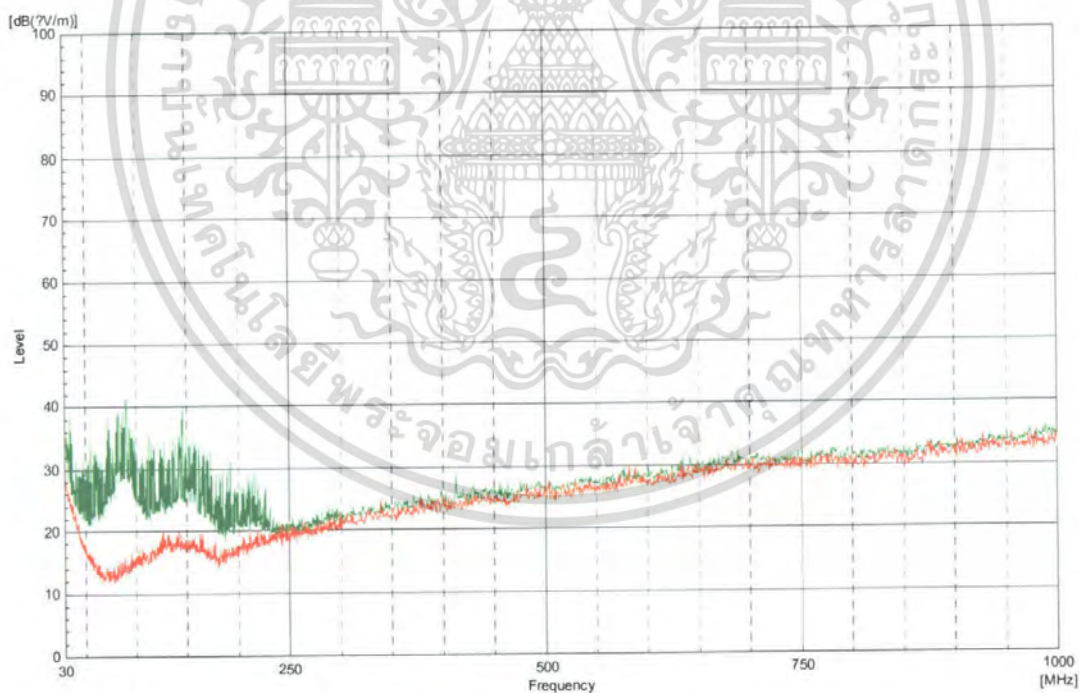


รูปที่ 4-29 Corona 4.6 kV  
 Red - Background noise  
 Green - Reference Antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

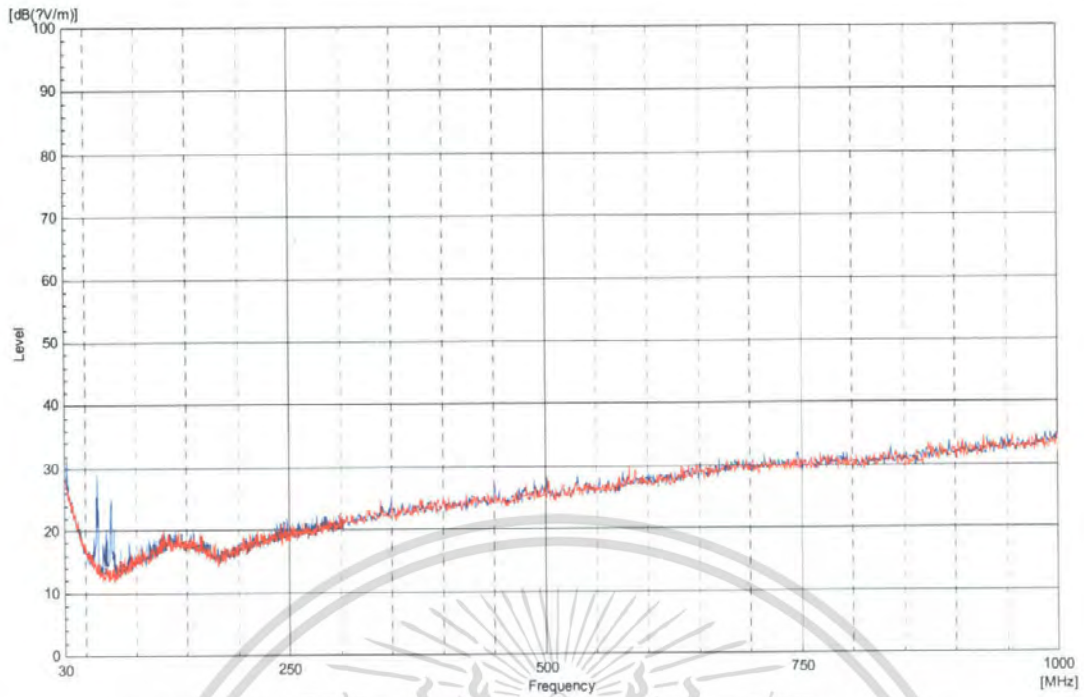


รูปที่ 4-30 Corona 6.5 kV — Red - Background noise  
— Green - Reference Antenna

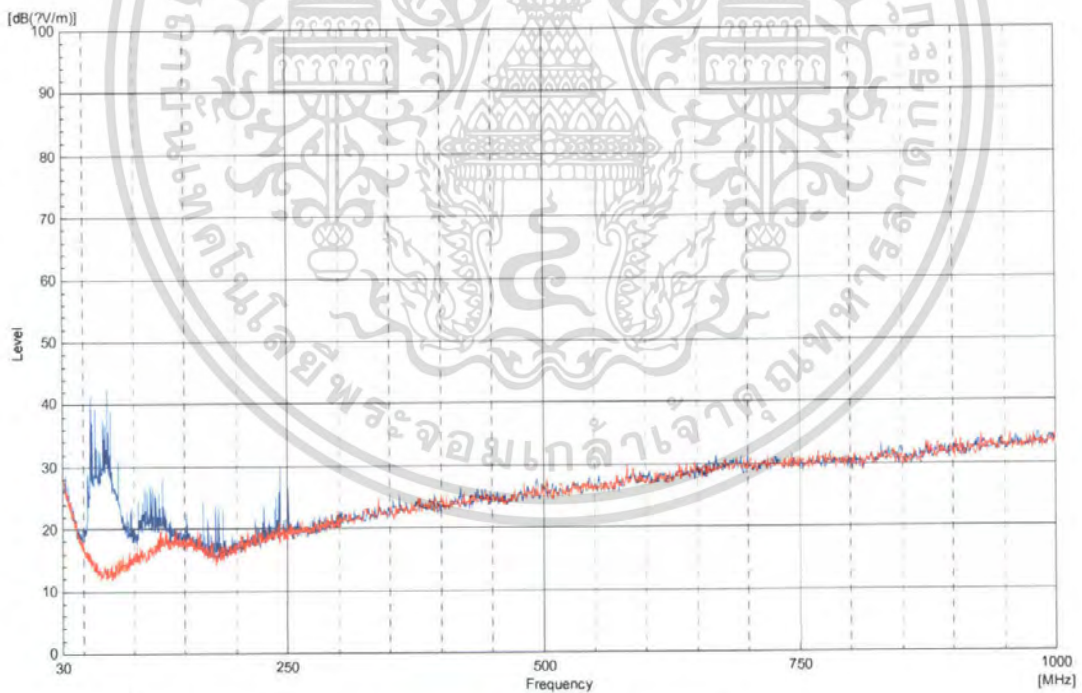


รูปที่ 4-31 Corona 7.8 kV — Red - Background noise  
— Green - Reference Antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

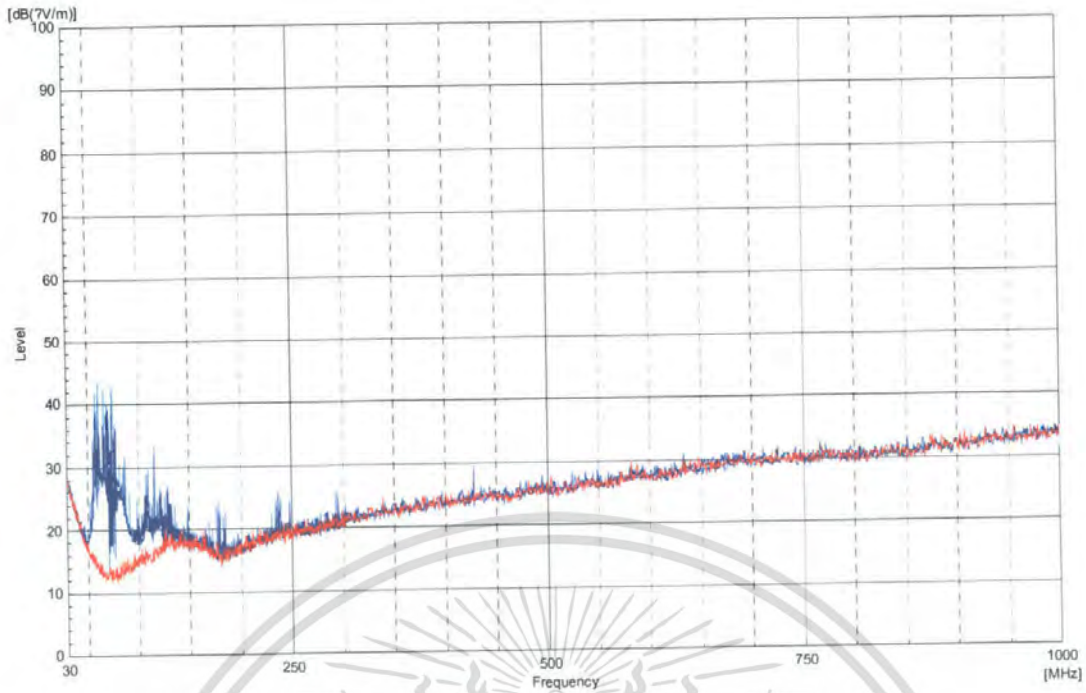


รูปที่ 4-32 Corona 4.6 kV — Red - Background noise  
— Blue - Disc Monopole Antenna



รูปที่ 4-33 Corona 6.5 kV — Red - Background noise  
— Blue - Disc Monopole Antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-34 Corona 7.8 kV — Red - Background noise  
— Blue - Disc Monopole Antenna

ตารางที่ 4-3 ผลการทดสอบโคโรนาดิสชาร์จด้วยสายอากาศทั้งสองแบบที่แรงดันต่างๆ

Type		Voltages (kV)	Main frequency (MHz)											
Partial Discharge	Antenna													
	Reference	4.6	56	58	62	65	71	72	74	76	79	81	85	
Corona	Reference	6.5	52	60	75	87	107	115	121	128	178	184	217	
		7.8	40	55	80	113	128	145	158	167	192	216	240	
		4.6	58	61	63	68	70	72	74	76	78	84	93	
	Disc	6.5	55	62	74	77	84	104	116	127	167	180	243	
		7.8	57	71	77	85	103	118	130	148	179	236	251	
		4.6	56	58	62	65	71	72	74	76	79	81	85	

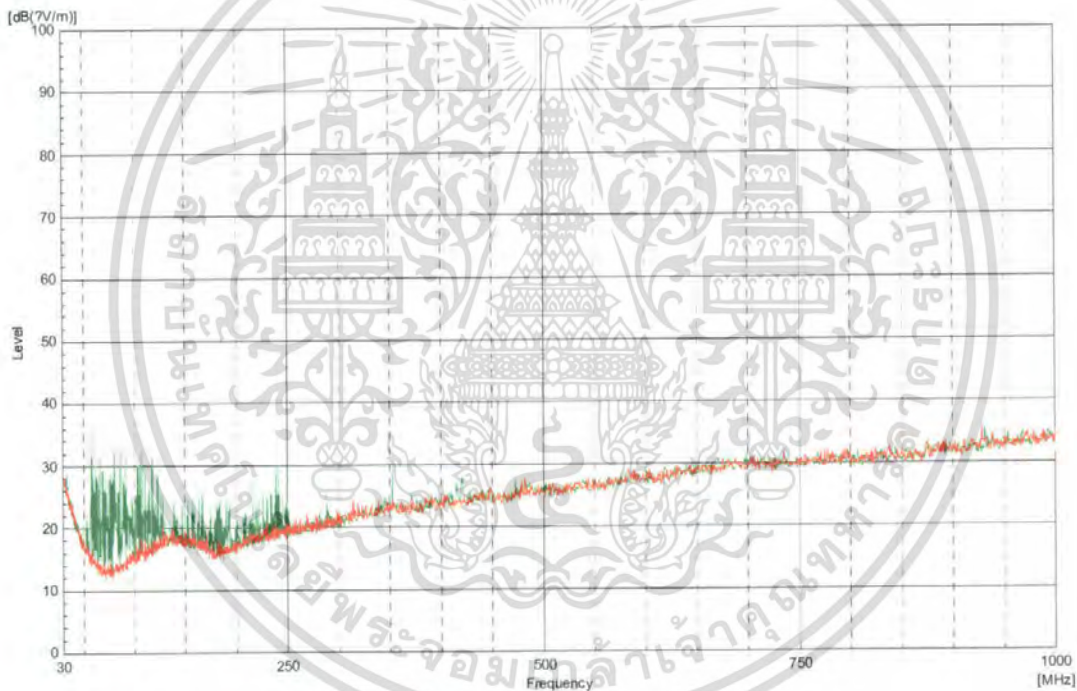
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิเคราะห์ผลการวัดโคโรนาดีสชาร์จ

จากการทดสอบ แรงดันที่โคโรนาเริ่มเกิดนั้นคือ 4.2 kV สายอากาศที่สามารถตรวจจับการเกิดดีสชาร์จได้ก่อนนั้นคือ สายอากาศมาตรฐาน ส่วนสายอากาศที่ได้ออกแบบสร้างนั้นจะเริ่มตรวจจับการเกิดดีสชาร์จได้เมื่อมีแรงดันประมาณ 4.6 kV ซึ่งเป็นเพราะสายอากาศมาตรฐานนั้นเป็นสายอากาศที่มีช่วงการตอบสนองต่อความถี่กว้างกว่าสายอากาศที่ทำการออกแบบ

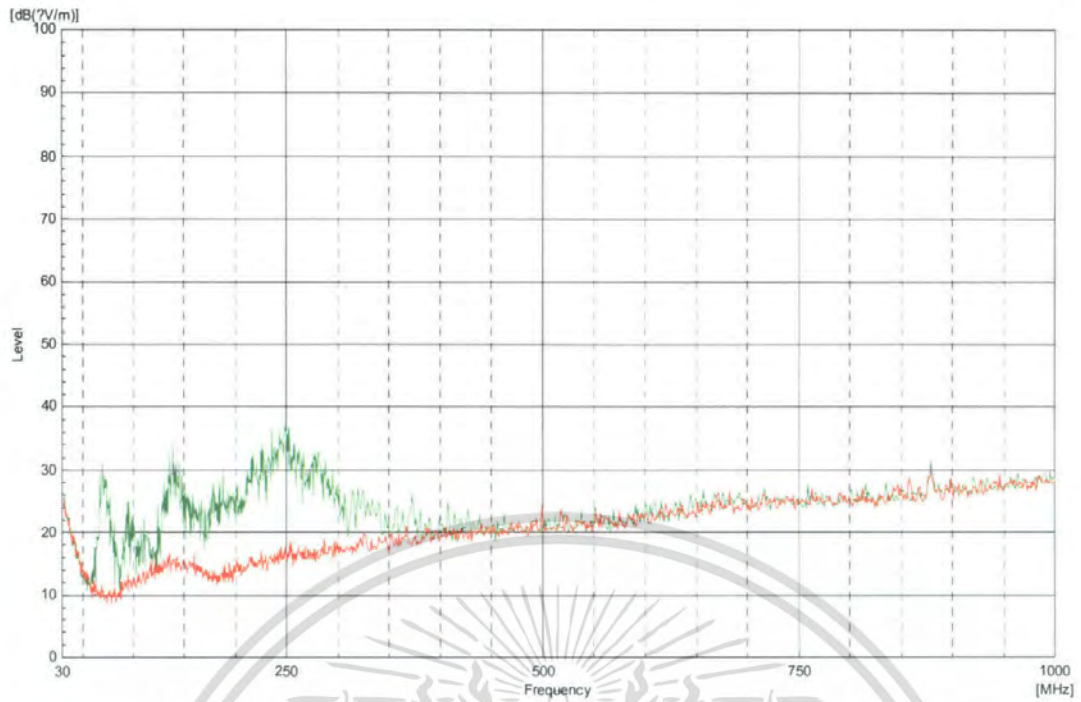
สเปกตรัมของการเริ่มเกิดโคโรนาที่สายอากาศสามารถตรวจจับได้นั้นจะมีความถี่ในช่วง 50 – 90 MHz ที่แรงดัน 4.6 kV และเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นเป็น 6.5 kV แล้วจะพบว่า มีสเปกตรัมของการเกิดดีสชาร์จขึ้นที่ความถี่สูงขึ้นเป็น 50 – 200 MHz ซึ่งเมื่อเพิ่มแรงดันขึ้นเป็น 7.8 kV จะตรวจจับสเปกตรัมของความถี่ได้ที่ 50 – 250 MHz และแอมพลิจูดก็จะเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิมซึ่งสอดคล้องกันทั้งสายอากาศมาตรฐานและสายอากาศ Disc Monopole ที่ออกแบบขึ้น

## 2. ผลการวัดดีสชาร์จบางส่วนตามผิว

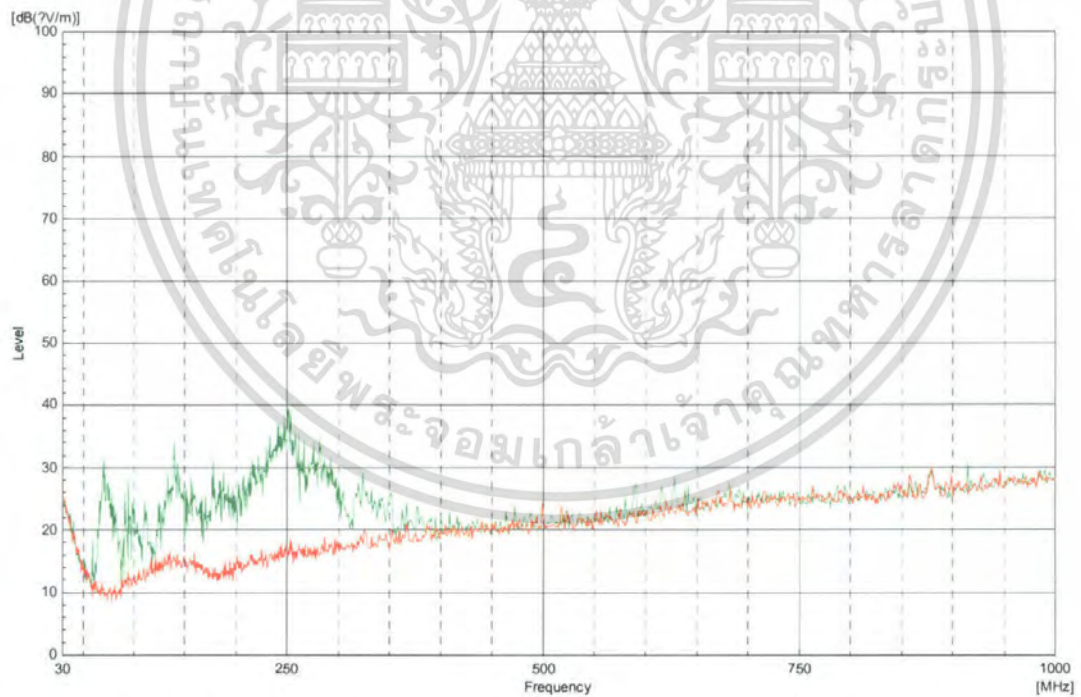


รูปที่ 4-35 Surface 11 kV — Red — Background noise  
— Green — Reference Antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

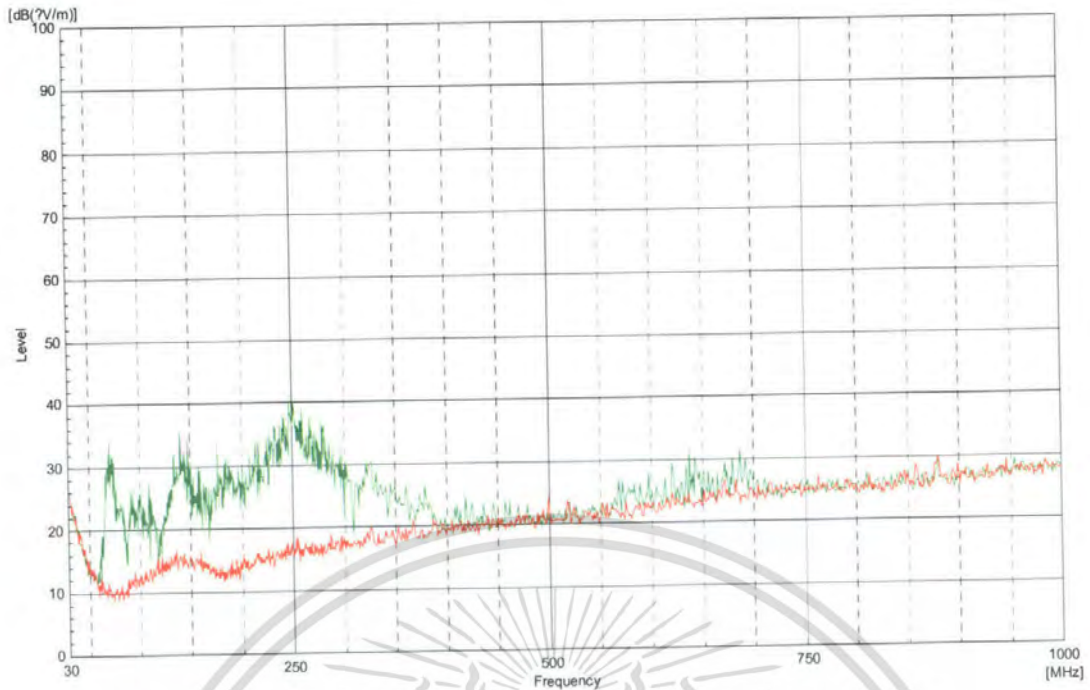


รูปที่ 4-36 Surface 13.65 kV  
 Red - Background noise  
 Green - Reference Antenna

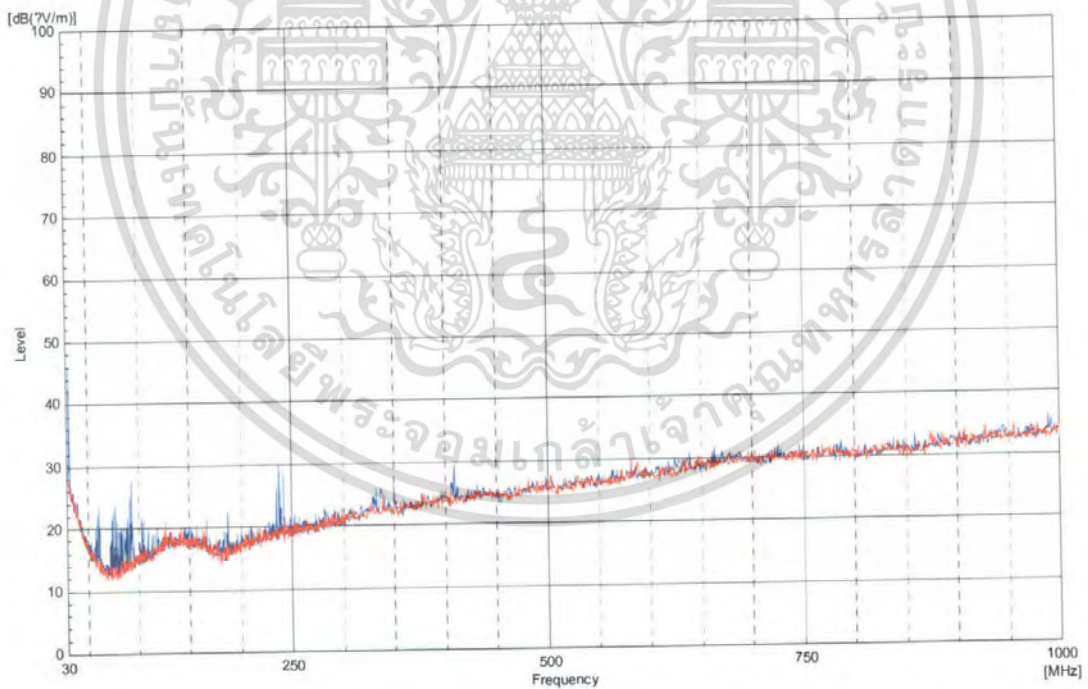


รูปที่ 4-37 Surface 14.3 kV  
 Red - Background noise  
 Green - Reference Antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

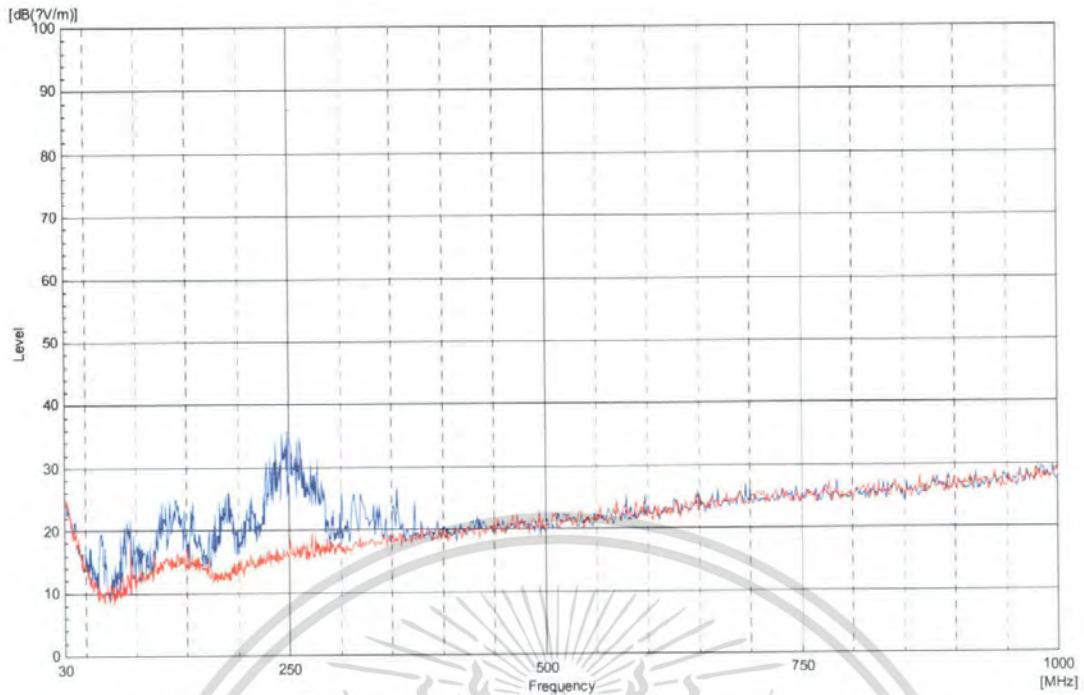


รูปที่ 4-38 Surface 14.95 kV  
 Red - Background noise  
 Green - Reference Antenna

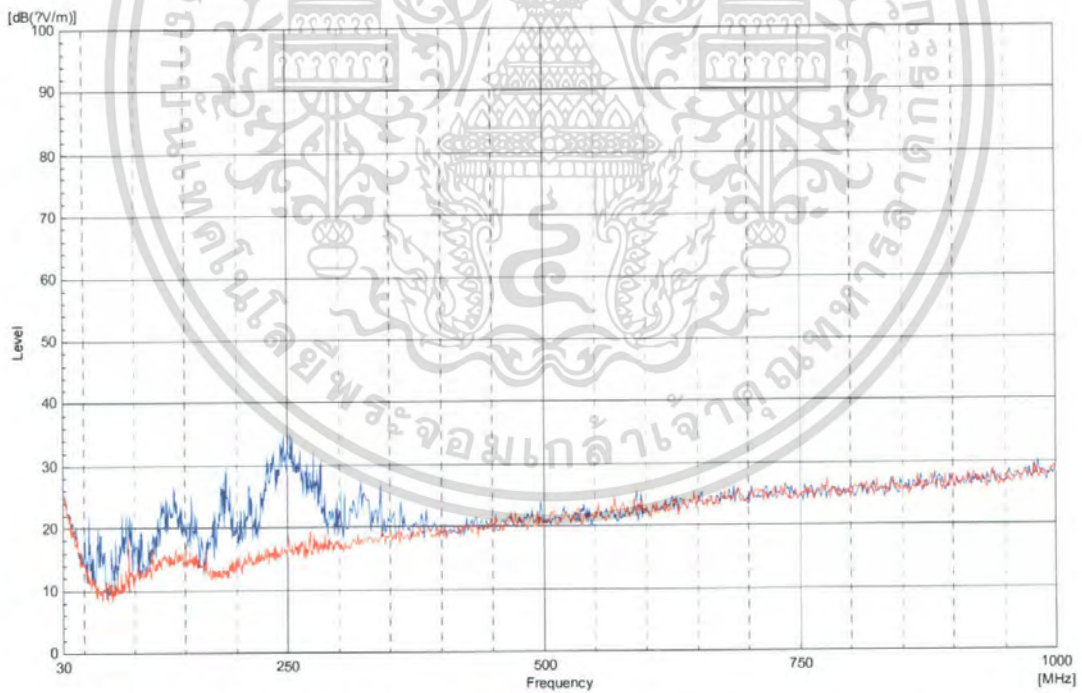


รูปที่ 4-39 Surface 11 kV  
 Red - Background noise  
 Blue - Disc Monopole Antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

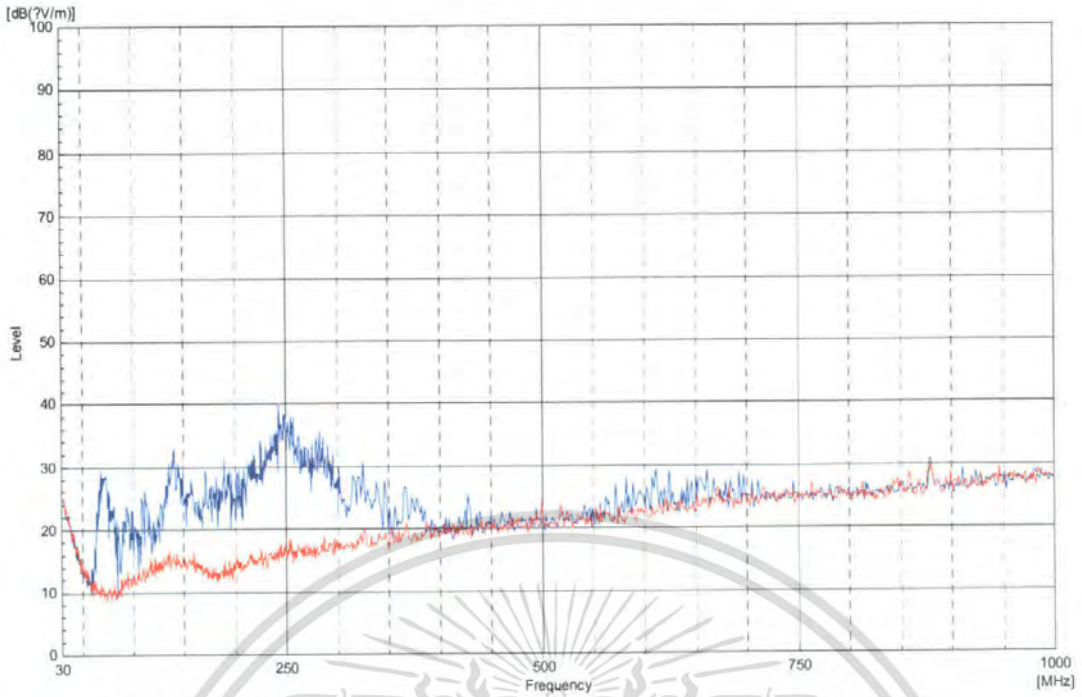


รูปที่ 4.40 Surface 13.65 kV  
 Red - Background noise  
 Blue - Disc Monopole Antenna



รูปที่ 4.41 Surface 14.3 kV  
 Red - Background noise  
 Blue - Disc Monopole Antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-42 Surface 14.95 kV — Red - Background noise  
 — Blue - Disc Monopole Antenna

ตารางที่ 4-4 ผลการทดสอบดิสชาร์จบางส่วนตามผิวด้วยสายอากาศทั้งสองแบบที่แรงดันต่างๆ

Type		Antenna	Voltages (kV)		Main frequency (MHz)											
			11	13.6	14.3	14.95	57	66	71	80	87	103	117	128	153	216
Partial Discharge	Reference	11	13.6	14.3	14.95	57	66	71	80	87	103	117	128	153	216	240
		67	70	70	61	64	89	117	154	173	189	247	281	325	373	427
Surface	Disc	11	13.6	14.3	14.95	57	66	71	80	87	103	117	128	153	216	240
		61	64	87	119	140	185	211	236	311	356	373	424			
		61	64	87	119	140	185	211	236	311	356	373	424			
		61	64	87	119	140	185	211	236	311	356	373	424			

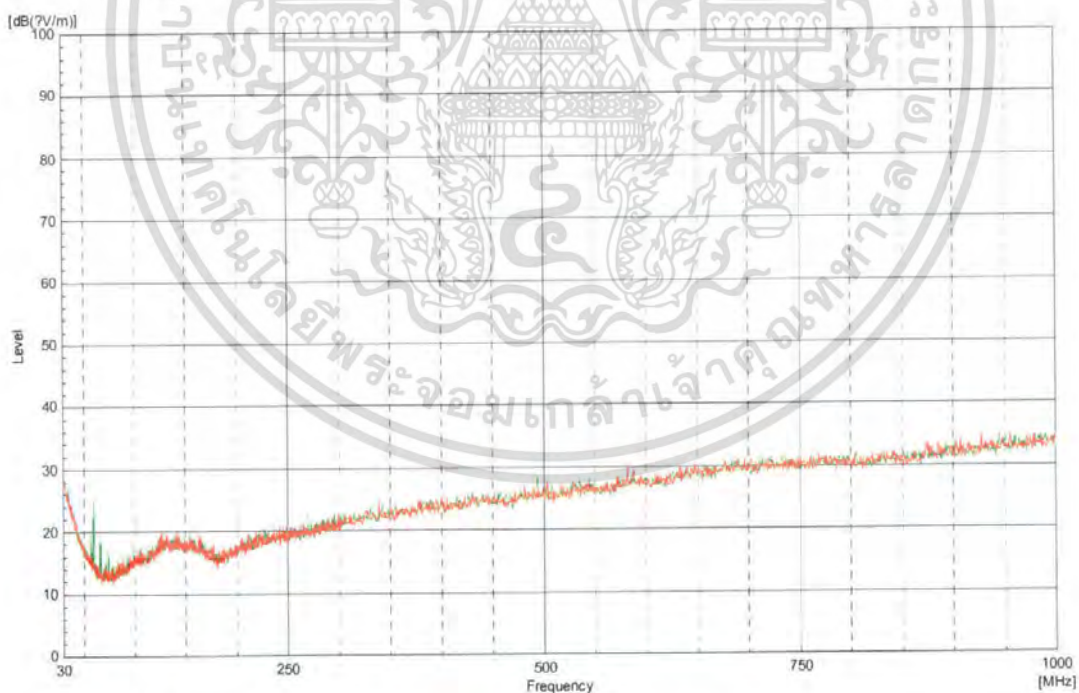
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วิเคราะห์ผลการวัดดิสชาร์จบางส่วนตามผิว

จากการทดสอบนั้น สายอากาศมาตรฐานจะตรวจจับการเกิดดิสชาร์จตามผิวได้ก่อนสายอากาศที่ได้ทำการออกแบบสร้างขึ้นมา โดยสายอากาศมาตรฐานสามารถตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนเริ่มเกิดได้ที่แรงดัน 10.5 kV ช่วงความถี่ที่สามารถตรวจจับสเปกตรัมการเกิดดิสชาร์จบางส่วนตามผิวได้คือ ช่วงความถี่ 60 – 240 MHz ส่วนสายอากาศ Disc Monopole ที่ออกแบบขึ้นมาสามารถ ตรวจจับสเปกตรัมการเกิดดิสชาร์จบางส่วนตามผิวได้คือ ช่วงความถี่ 60 – 240 MHz ที่แรงดัน 11 kV

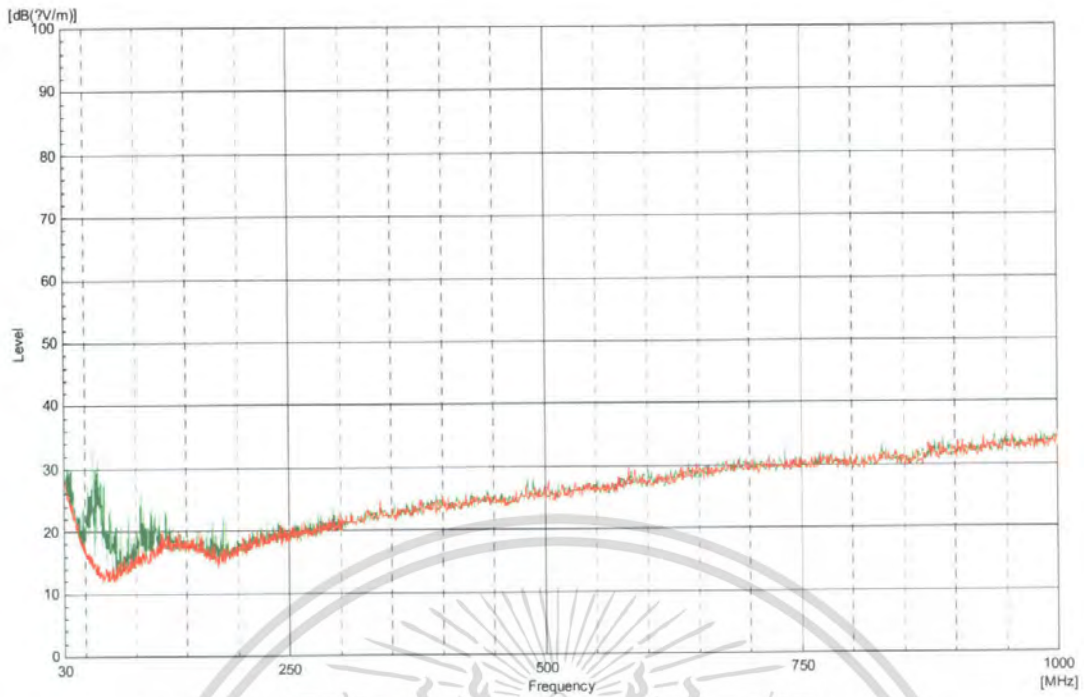
เมื่อทำการเพิ่มแรงดันให้กับวัตถุทดสอบเป็น 13.6 kV แล้วจะพบว่าสายอากาศมาตรฐานสามารถตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนได้สเปกตรัมความถี่ 70 – 430 MHz ส่วนสายอากาศ Disc Monopole สามารถตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนได้สเปกตรัมความถี่ 70 – 350 MHz และมีแอมพลิจูดของความถี่สเปกตรัมที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มแรงดันขึ้นเป็น 14.95 kV สายอากาศมาตรฐานสามารถตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนได้สเปกตรัมความถี่ 70 – 680 MHz ส่วนสายอากาศ Disc Monopole สามารถตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนได้สเปกตรัมความถี่ 70 – 670 MHz และมีแอมพลิจูดของความถี่สเปกตรัมที่เพิ่มขึ้นไปในทิศทางที่สอดคล้องกัน

### 3. ผลการวัดดิสชาร์จบางส่วนภายใน (10 mm)

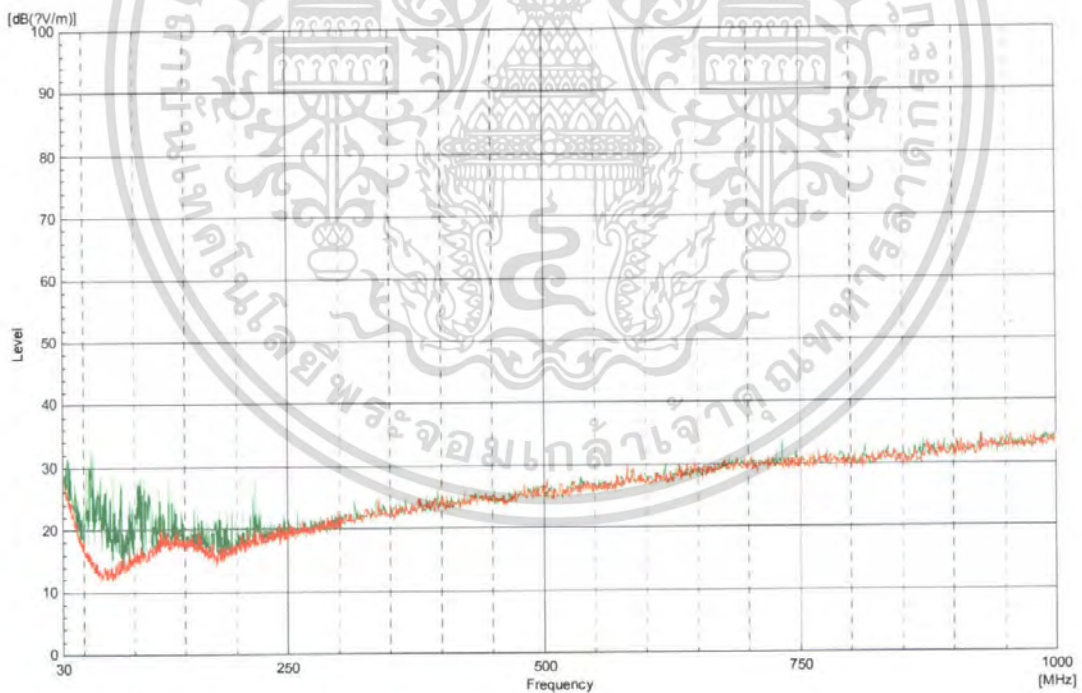


รูปที่ 4-43 Internal 10.4 kV — Red - Background noise  
— Green - Reference Antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

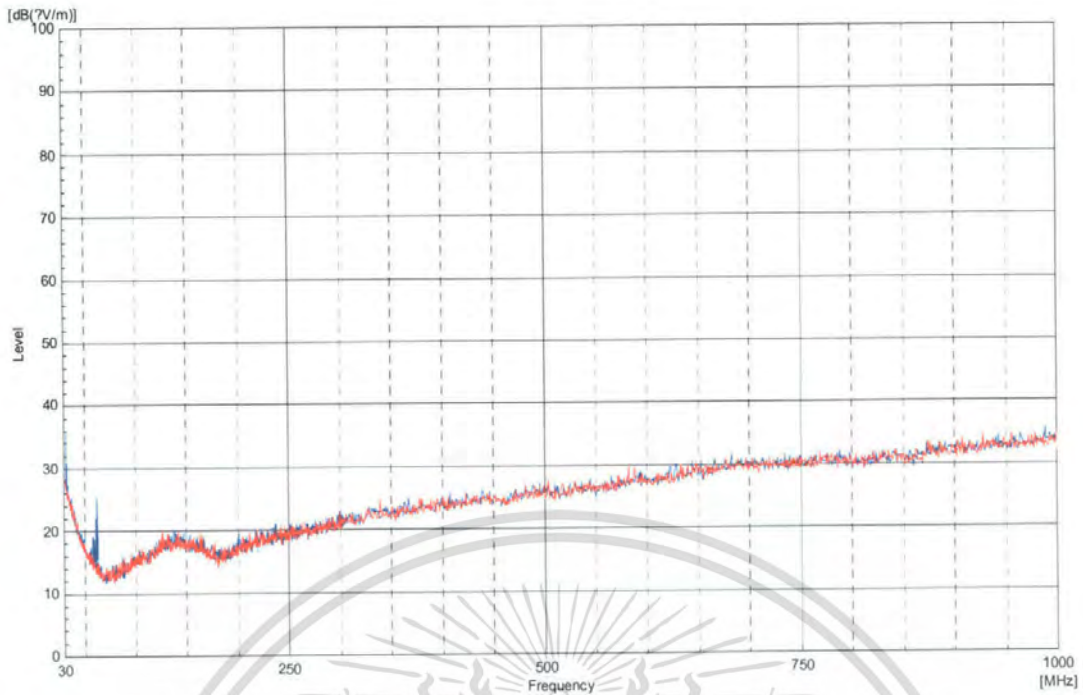


รูปที่ 4-44 Internal 11.7 kV — Red - Background noise  
— Green - Reference Antenna

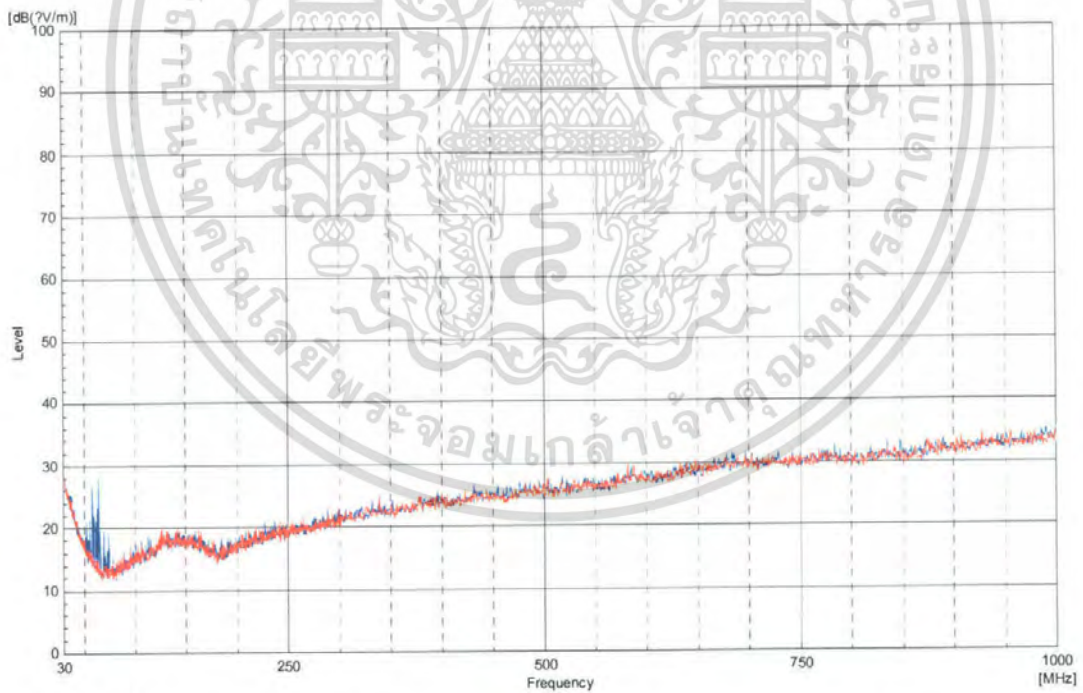


รูปที่ 4-45 Internal 13 kV — Red - Background noise  
— Green - Reference Antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

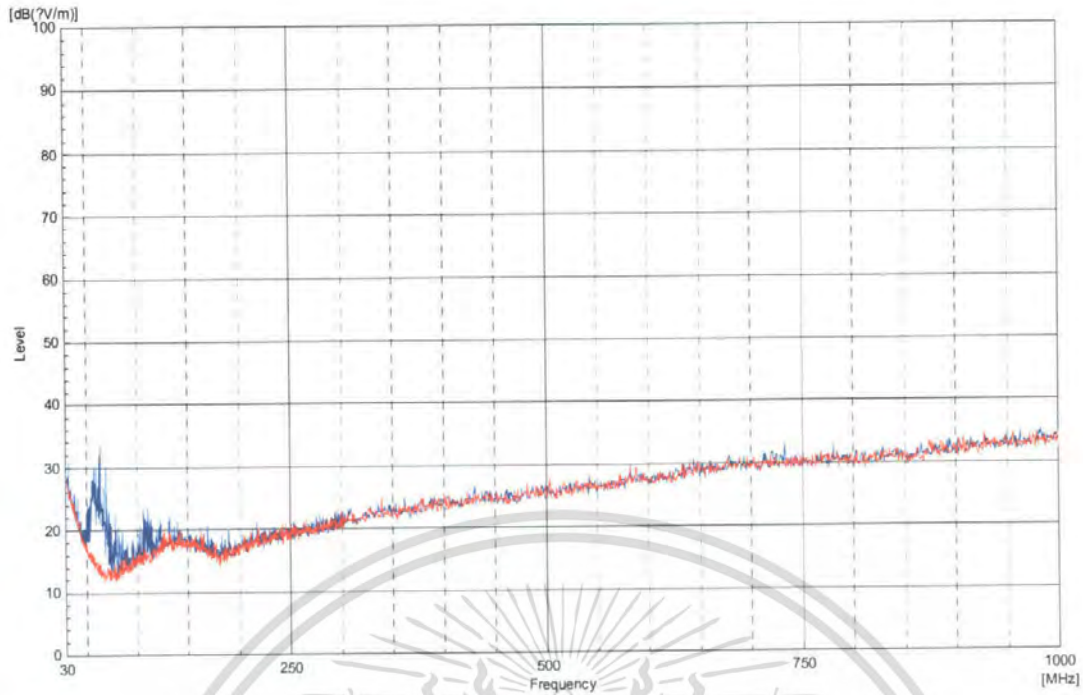


รูปที่ 4-46 Internal 10.4 kV — Red - Background noise  
— Blue - Disc Monopole Antenna



รูปที่ 4-47 Internal 11.7 kV — Red - Background noise  
— Blue - Disc Monopole Antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-48 Internal 13 kV — Red - Background noise  
— Blue - Disc Monopole Antenna

ตารางที่ 4-5 ผลการทดสอบดีสชาร์จบางส่วนภายในด้วยสายอากาศทั้งสองแบบที่แรงดันต่างๆ

Type		Voltages (kV)		Main frequency (MHz)										
Partial Discharge	Antenna													
	Reference	10.4	57	59	60	65	66	67	70	72	73	75	79	
Internal(10mm)	Reference	11.7	53	58	66	74	85	93	105	120	130	174	185	
		13	53	60	67	73	86	103	124	134	158	195	218	
	Disc	10.4	50	51	56	58	59	60	61	62	63	65	67	
		11.7	51	53	56	58	60	62	69	74	90	113	184	
		13	51	55	63	78	82	96	106	111	122	132	190	

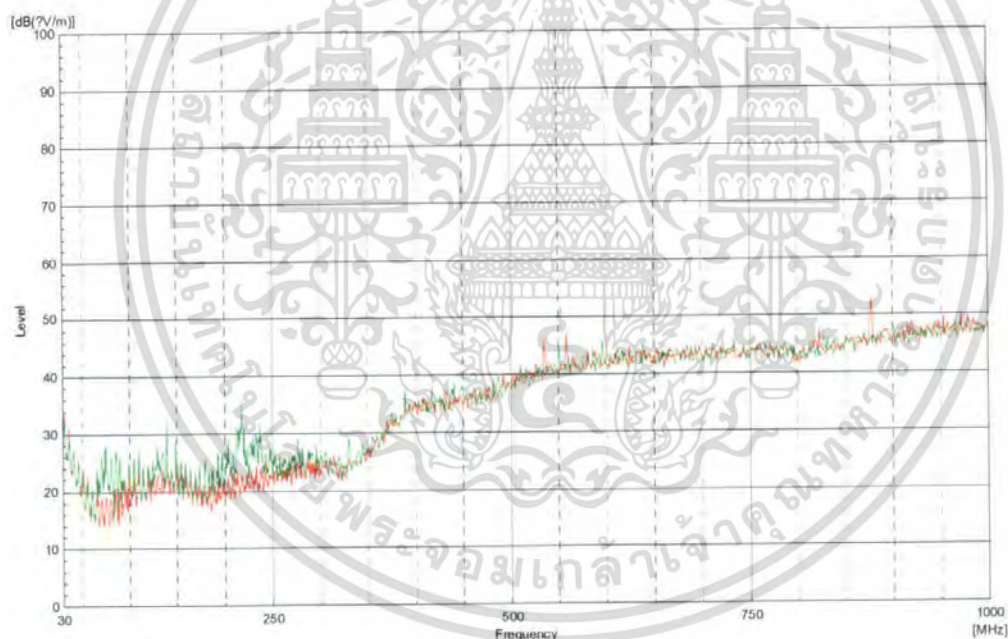
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วิเคราะห์ผลการวัดดิสชาร์จบางส่วนภายใน(10 mm)

จากการทดสอบพบว่าสายอากาศมาตรฐานจะเริ่มตรวจจับการเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้ที่แรงดัน 10.4 kV ช่วงความถี่ที่พบสเปคตรัมของการเริ่มเกิดดิสชาร์จบางส่วนคือ ช่วงความถี่ 50 – 80 MHz ส่วนสายอากาศ Disc Monopole ก็สามารถเริ่มตรวจจับเกิดดิสชาร์จบางส่วนภายในได้ที่แรงดัน 10.4 kV เช่นกันโดยkV ช่วงความถี่ที่พบสเปคตรัมคือ 50 – 70 MHz

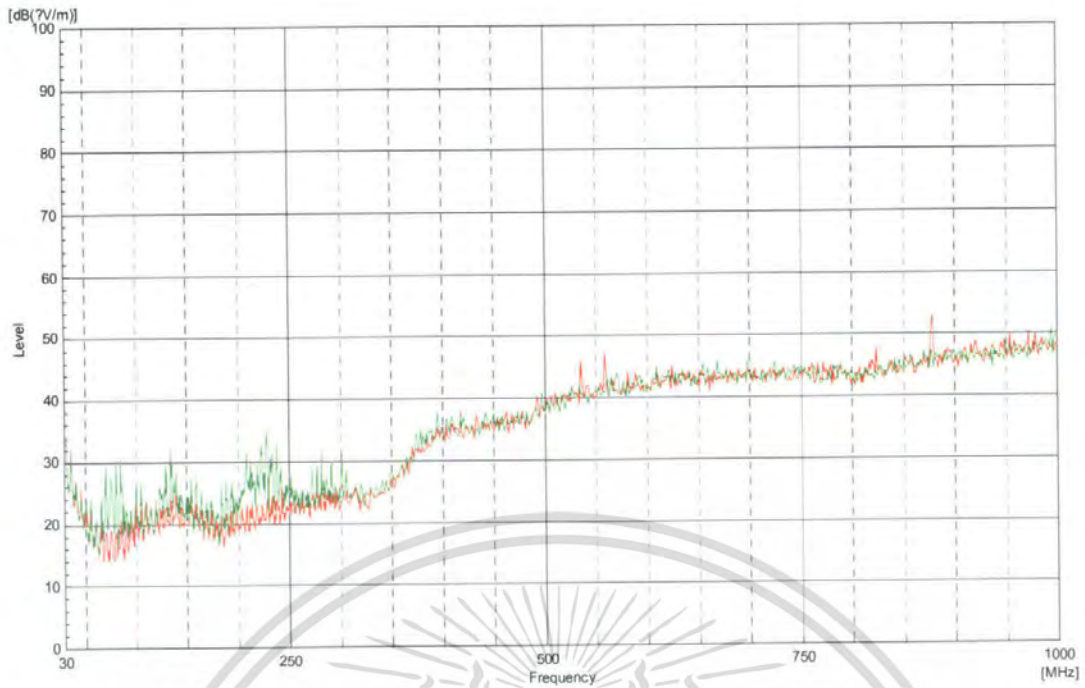
เมื่อเพิ่มแรงดันขึ้นเป็น 11.7 kV สายอากาศมาตรฐานจะตรวจจับการเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้ช่วงความถี่ที่พบสเปคตรัม คือ 50 – 180 MHz ส่วนสายอากาศ Disc Monopole สามารถตรวจจับสเปคตรัมความถี่ได้ในช่วง 50 – 180 MHz เช่นกันส่วนแอมพลิจูดของความถี่ที่วัดได้ก็มีขนาดเพิ่มขึ้นทั้งคู่ และเมื่อเพิ่มแรงดันขึ้นเป็น 13 kV สายอากาศมาตรฐานจะตรวจจับการเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้ช่วงความถี่ที่พบสเปคตรัม คือ 50 – 220 MHz ส่วนสายอากาศ Disc Monopole สามารถตรวจจับสเปคตรัมความถี่ได้ในช่วง 50 – 190 MHz เช่นกัน ส่วนแอมพลิจูดของความถี่ที่วัดได้ก็มีขนาดเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกันระหว่างสายอากาศสองชนิด

### 4.ผลการวัดดิสชาร์จบางส่วนภายใน (6 mm)

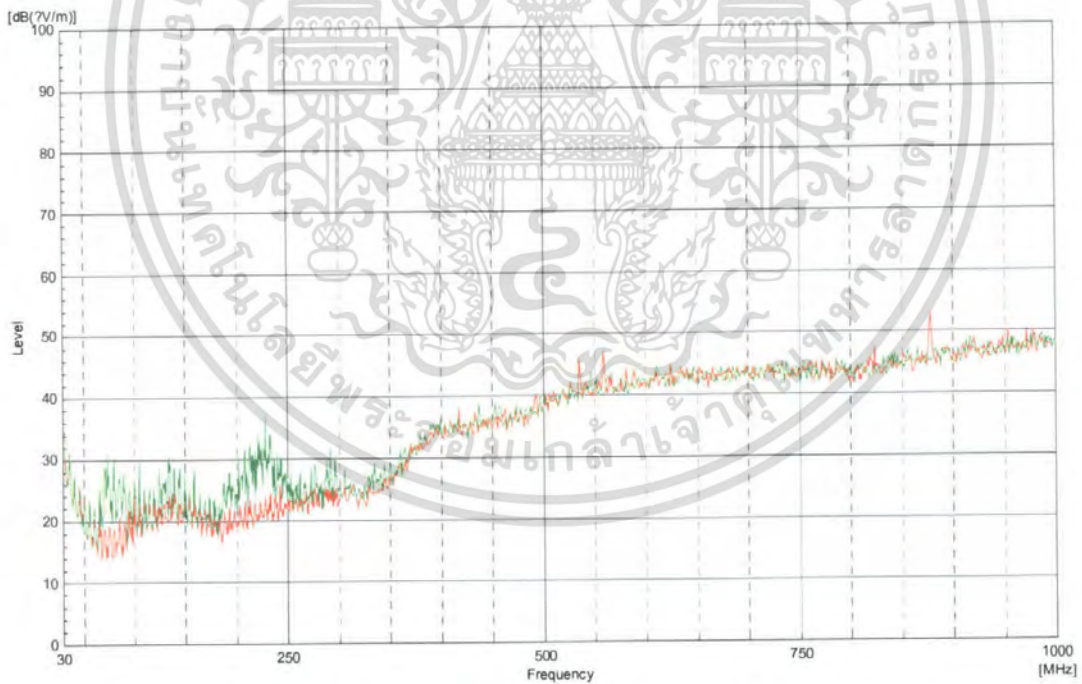


รูปที่ 4-49 Internal 13 kV — Red - Background noise  
— Green - Reference Antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

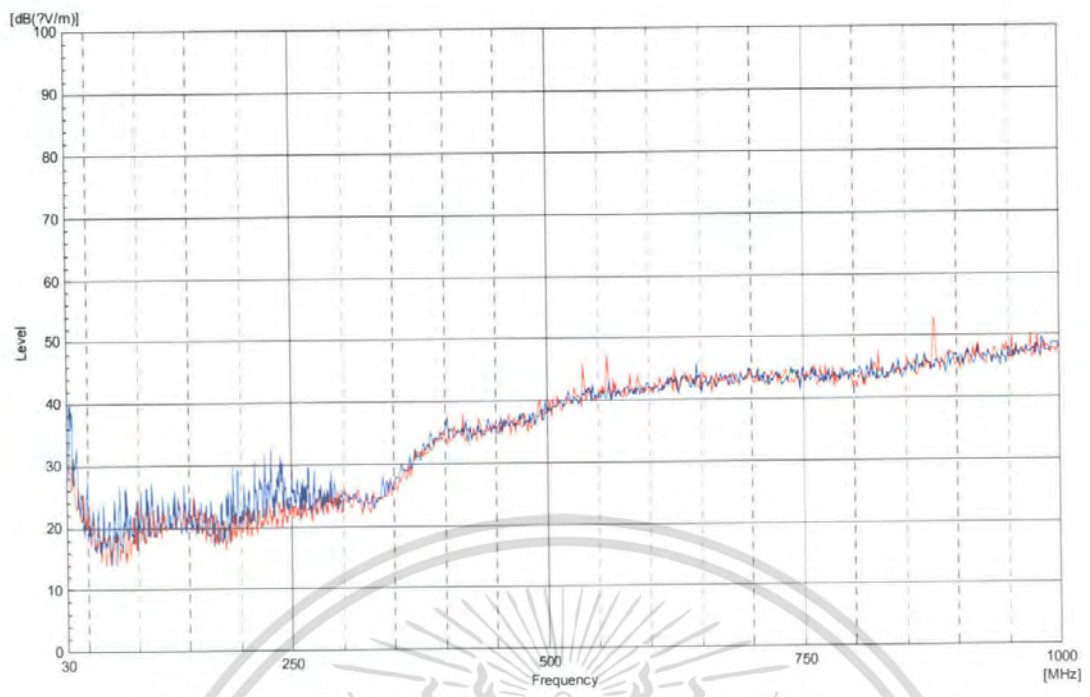


รูปที่ 4-50 Internal 13.65 kV  
 Red - Background noise  
 Green - Reference Antenna

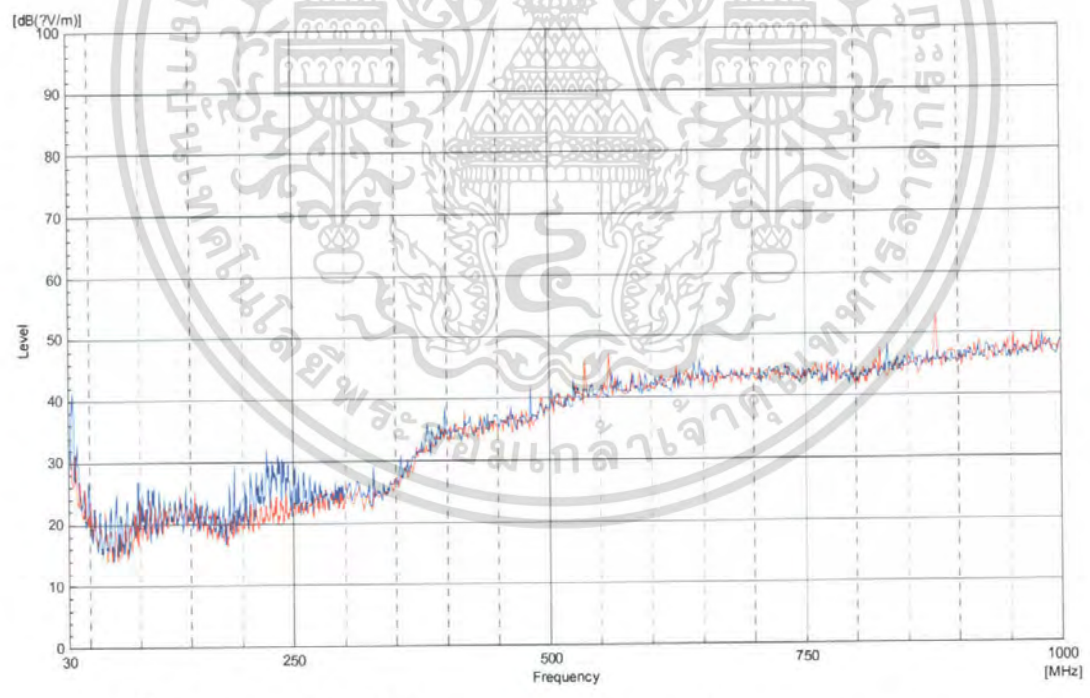


รูปที่ 4-51 Internal 14.3 kV  
 Red - Background noise  
 Green - Reference Antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

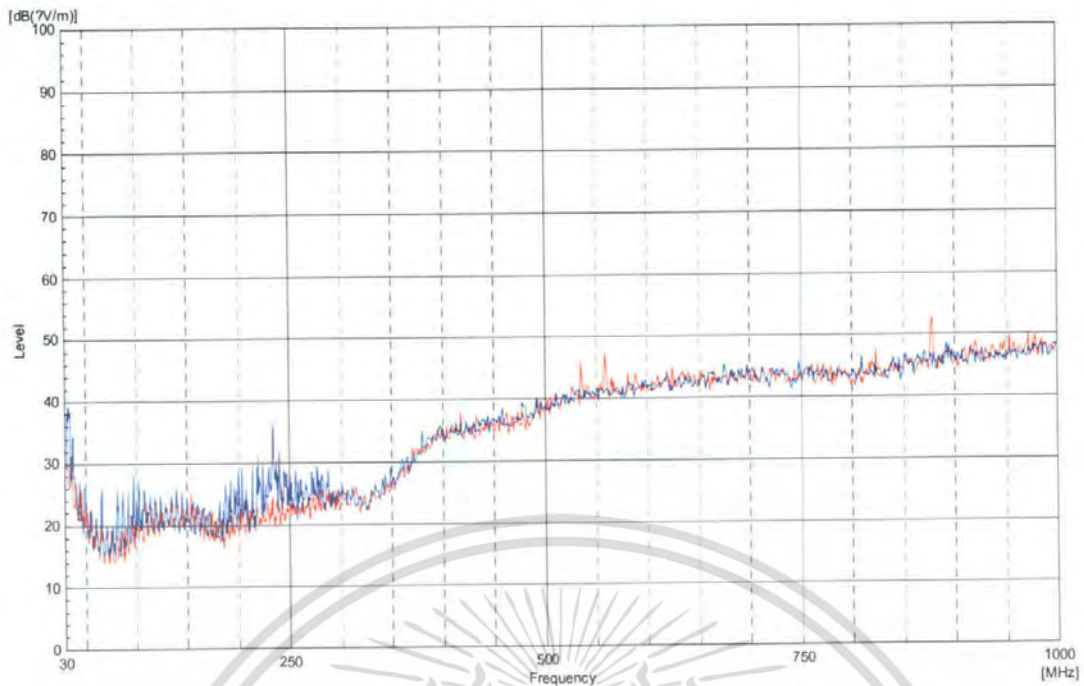


รูปที่ 4-52 Internal 13 kV  
 Red - Background noise  
 Blue - Disc Monopole Antenna



รูปที่ 4-53 Internal 13.65 kV  
 Red - Background noise  
 Blue - Disc Monopole Antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-54 Internal 14.3 kV — Red - Background noise  
— Blue - Disc Monopole Antenna

ตารางที่ 4-6 ผลการทดสอบดิสชาร์จบางส่วนด้วยสายภายในอากาศทั้งสองแบบที่แรงดันต่างๆ

Type		Voltages (kV)	Main frequency (MHz)											
Partial Discharge	Antenna													
	Reference	13	65	70	80	89	105	139	148	159	203	217	236	
Internal(6mm)	Reference	13.65	66	85	100	129	134	183	208	227	237	281	301	
		14.3	66	73	89	105	134	193	208	228	233	273	305	
		13	65	81	88	113	145	181	193	213	22	238	250	
	Disc	13.65	70	98	113	145	187	192	207	223	235	244	271	
		14.3	66	81	107	187	200	219	234	246	261	271	286	

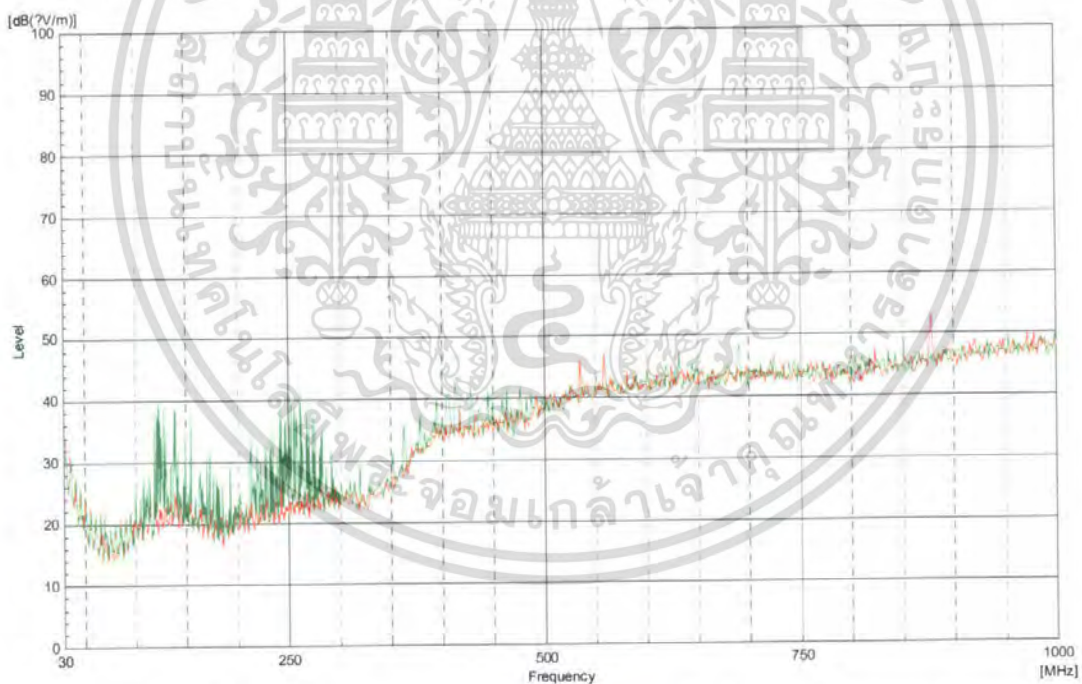
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วิเคราะห์ผลการวัดดิสชาร์จบางส่วนภายใน(6 mm)

จากการทดสอบพบว่าที่แรงดัน 13 kV สายอากาศมาตรฐานสามารถตรวจจับการเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้ ช่วงความถี่ที่พบสเปกตรัมของการเริ่มเกิดดิสชาร์จบางส่วนคือ ช่วงความถี่ 60 – 240 MHz ส่วนสายอากาศ Disc Monopole ก็สามารถเริ่มตรวจจับการเกิดดิสชาร์จบางส่วนภายในได้ใน ช่วงความถี่ที่พบสเปกตรัมคือ 60 – 250 MHz ซึ่งจับสัญญาณได้ใกล้เคียงกันแต่แอมพลิจูดของสายอากาศมาตรฐานมีขนาดสูงกว่า

เมื่อเพิ่มแรงดันขึ้นเป็น 13.65 kV สายอากาศมาตรฐานจะตรวจจับการเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้ช่วงความถี่ที่พบสเปกตรัม คือ 65 – 300 MHz ส่วนสายอากาศ Disc Monopole สามารถตรวจจับสเปกตรัมความถี่ได้ในช่วง 70 – 270 MHz เช่นกันส่วนแอมพลิจูดของความถี่ที่วัดได้ก็มีขนาดเพิ่มขึ้นทั้งคู่ และเมื่อเพิ่มแรงดันขึ้นเป็น 14.3 kV สายอากาศมาตรฐานจะตรวจจับการเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้ช่วงความถี่ที่พบสเปกตรัม คือ 65 – 300 MHz ส่วนสายอากาศ Disc Monopole สามารถตรวจจับสเปกตรัมความถี่ได้ในช่วง 65 – 290 MHz ส่วนแอมพลิจูดของความถี่ที่วัดได้ก็มีขนาดเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกันระหว่างสายอากาศสองชนิด

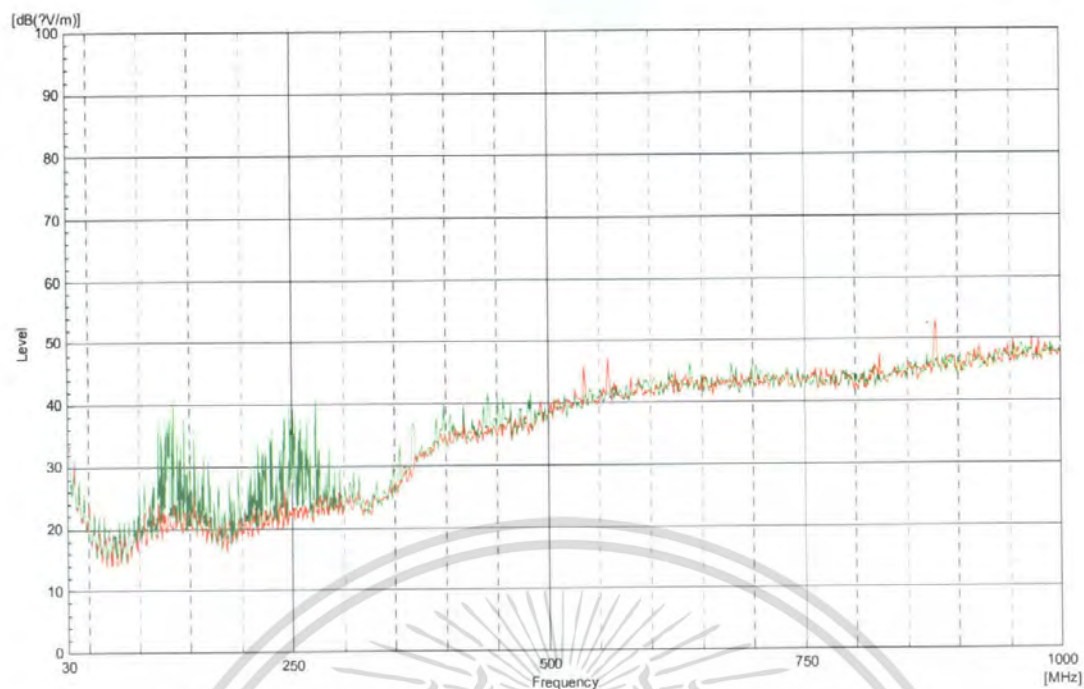
### 5. ผลการทดสอบดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลง



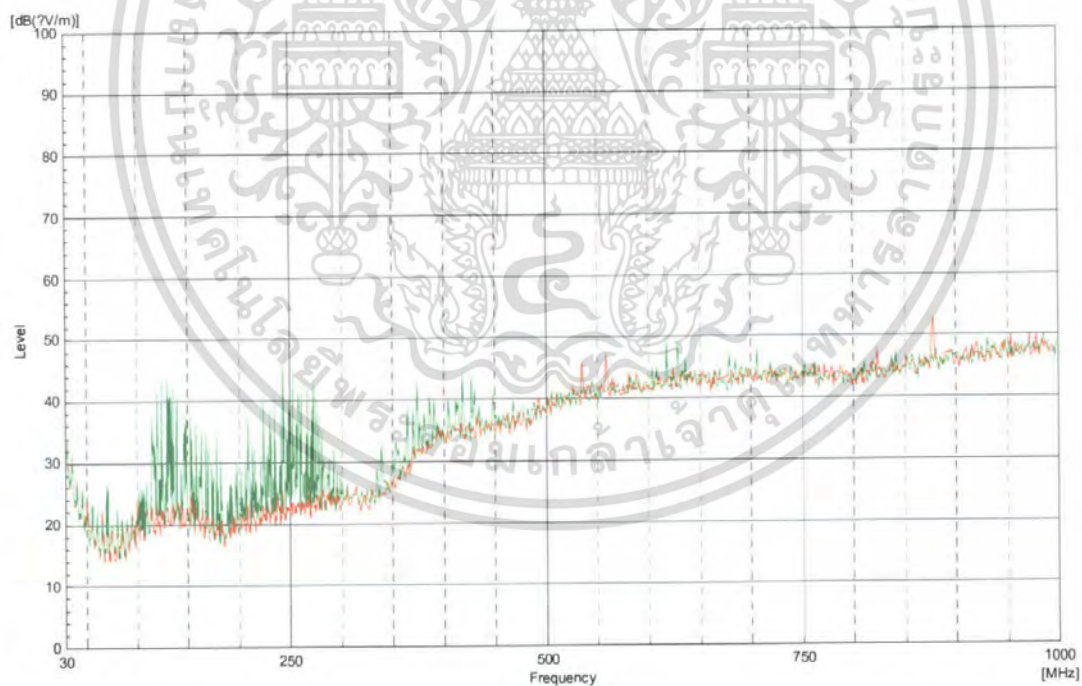
รูปที่ 4-55 น้ำมันหม้อแปลง 12.35 kV

- Red - Background noise
- Green - Reference Antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

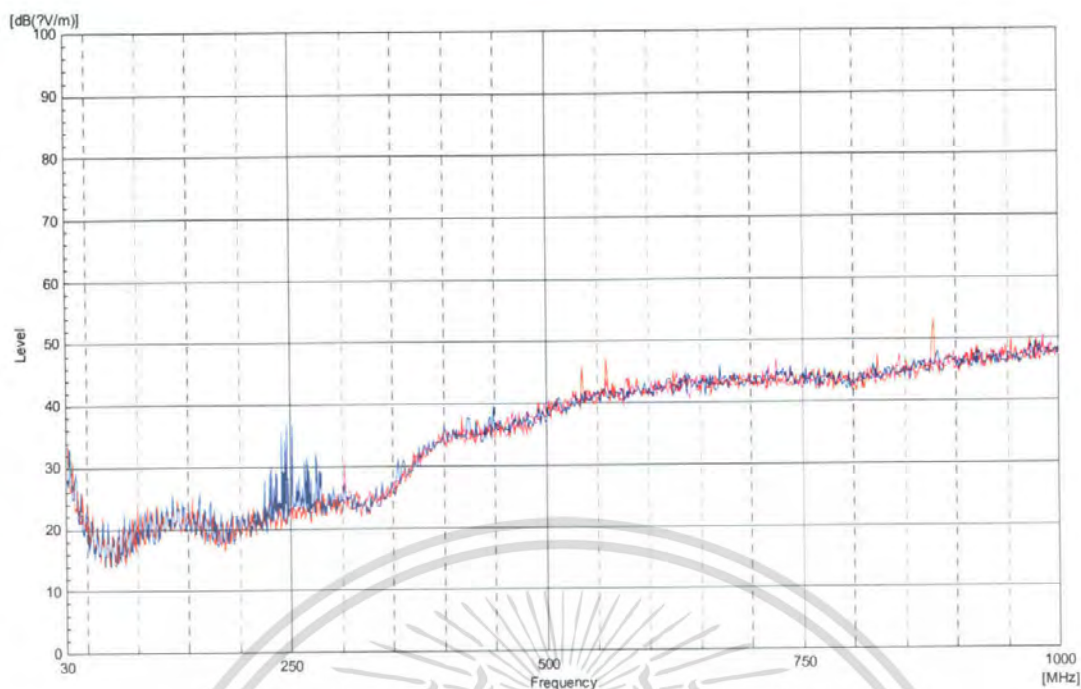


รูปที่ 4-56 น้ำมันหม้อแปลง 13 kV  
 Red - Background noise  
 Green - Reference Antenna

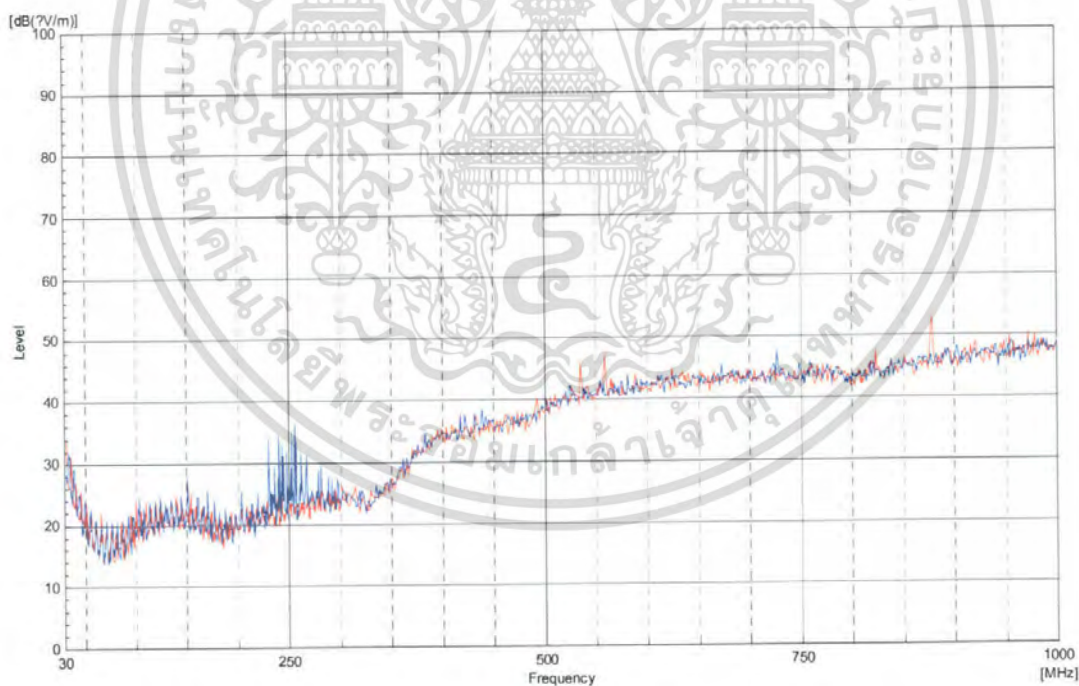


รูปที่ 4-57 น้ำมันหม้อแปลง 13.65 kV  
 Red - Background noise  
 Green - Reference Antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

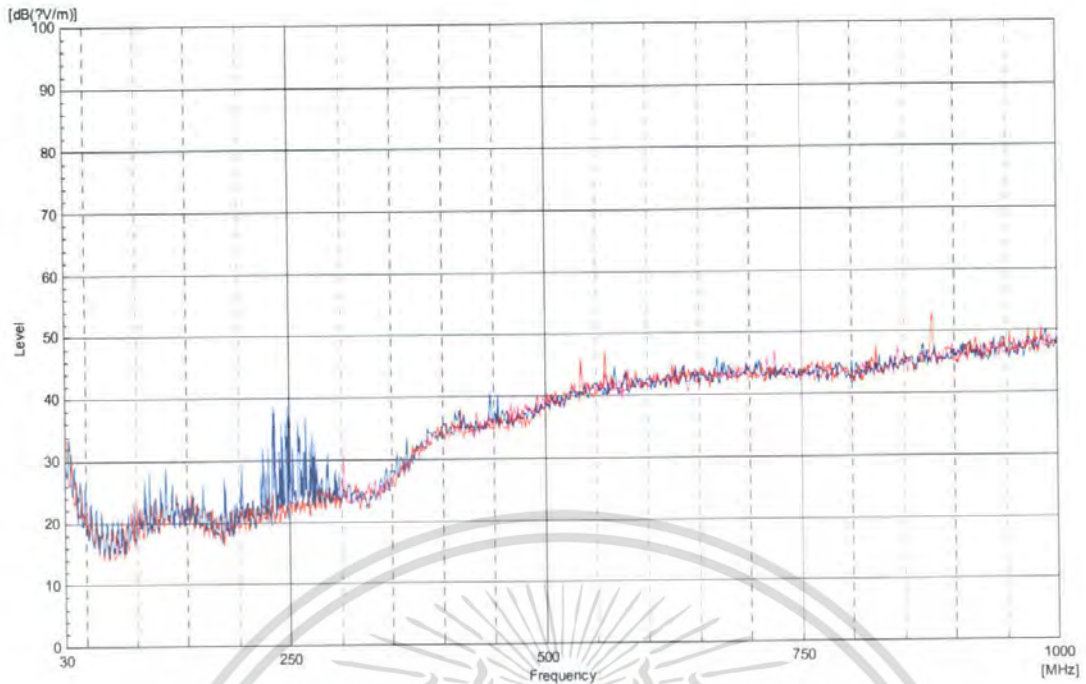


รูปที่ 4-58 น้ำมันหม้อแปลง 12.35 kV — Red - Background noise  
— Blue - Disc Monopole Antenna



รูปที่ 4-59 น้ำมันหม้อแปลง 13 kV — Red - Background noise  
— Blue - Disc Monopole Antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-60 น้ำมันหม้อแปลง 13.65 kV  
 Red - Background noise  
 Blue - Disc Monopole Antenna

ตารางที่ 4-7 ผลการทดสอบดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันด้วยสายอากาศทั้งสองแบบที่แรงดันต่างๆ

Type		Voltages (kV)	Main frequency (MHz)											
Partial Discharge	Antenna													
	Reference	12.35	119	123	154	173	193	213	241	253	282	413	476	
		13	119	134	144	163	188	197	216	273	367	441	483	
Oil	Disc	13.65	114	124	148	163	208	223	261	364	373	427	468	
		12.35	224	229	235	241	246	251	257	263	265	279	354	
		13	202	229	235	240	242	247	252	255	267	281	382	
		13.65	108	128	186	202	234	242	248	258	271	287	447	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิเคราะห์ผลการทดสอบดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลง

จากการทดสอบพบว่าที่แรงดัน 12.35 kV สายอากาศมาตรฐานสามารถตรวจจับการเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้ ช่วงความถี่ที่พบสเปคตรัมของการเริ่มเกิดดิสชาร์จบางส่วนคือ ช่วงความถี่ 120 – 480 MHz ส่วนสายอากาศ Disc Monopole ก็สามารถตรวจจับเกิดดิสชาร์จบางส่วนภายในได้ในช่วงความถี่ที่พบสเปคตรัมคือ 220 – 360 MHz ซึ่งวัดช่วงสัญญาณได้น้อยกว่าสายอากาศอ้างอิงเนื่องมาจากประสิทธิภาพของสายอากาศและสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนยังมีค่าน้อยอยู่และแอมพลิจูดของสายอากาศมาตรฐานก็มีขนาดสูงกว่าด้วย

เมื่อเพิ่มแรงดันขึ้นเป็น 13 kV สายอากาศมาตรฐานจะตรวจจับการเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้ในช่วงความถี่ที่พบสเปคตรัม คือ 120 – 480 MHz ส่วนสายอากาศ Disc Monopole สามารถตรวจจับสเปคตรัมความถี่ได้ในช่วง 200 – 380 MHz เช่นกันส่วนแอมพลิจูดของความถี่ที่วัดได้ก็มีขนาดเพิ่มขึ้นทั้งคู่แต่ช่วงของสัญญาณความถี่ของสายอากาศ Disc Monopole วัดได้ในช่วงที่น้อยกว่าสายอากาศอ้างอิง และเมื่อเพิ่มแรงดันขึ้นเป็น 13.65 kV สายอากาศมาตรฐานจะตรวจจับการเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้ช่วงความถี่ที่พบสเปคตรัม คือ 110 – 470 MHz ส่วนสายอากาศ Disc Monopole สามารถตรวจจับสเปคตรัมความถี่ได้ในช่วง 110 – 450 MHz ส่วนแอมพลิจูดของความถี่ที่วัดได้ก็มีขนาดเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกันระหว่างสายอากาศสองชนิดแต่ช่วงของสัญญาณความถี่ที่วัดได้สายอากาศอ้างอิงสามารถตรวจจับได้ดีกว่าเนื่องจากประสิทธิภาพของสายอากาศ

ตารางที่ 4-8 รวบรวมผลการทดสอบดิสชาร์จบางส่วนด้วยสายอากาศทั้งสองแบบที่แรงดันต่างๆ

Type		Voltages (kV)	Main frequency (MHz)										
Partial Discharge	Antenna												
	Corona	Reference	4.6	56	58	62	65	71	72	74	76	79	81
6.5			52	60	75	87	107	115	121	128	178	184	217
7.8			40	55	80	113	128	145	158	167	192	216	240
Disc		4.6	58	61	63	68	70	72	74	76	78	84	93
		6.5	55	62	74	77	84	104	116	127	167	180	243
		7.8	57	71	77	85	103	118	130	148	179	236	251
Surface	Reference	11	57	66	71	80	87	103	117	128	153	216	240
		13.6	67	94	124	140	178	216	250	281	325	373	427
		14.3	70	111	140	190	243	280	325	366	427	611	661
		14.95	70	110	139	176	246	297	379	420	572	637	686
	Disc	11	57	61	77	85	93	103	126	187	235	238	242
		13.6	55	64	89	117	154	173	189	247	281	322	352
		14.3	66	87	119	140	185	211	236	311	356	373	424
		14.95	65	85	130	200	245	270	325	430	575	625	690
Internal(10mm)	Reference	10.4	57	59	60	65	66	67	70	72	73	75	79
		11.7	53	58	66	74	85	93	105	120	130	174	185
		13	53	60	67	73	86	103	124	134	158	195	218
	Disc	10.4	50	51	56	58	59	60	61	62	63	65	67
		11.7	51	53	56	58	60	62	69	74	90	113	184
		13	51	55	63	78	82	96	106	111	122	132	190
Internal(6mm)	Reference	13	65	70	80	89	105	139	148	159	203	217	236
		13.65	66	85	100	129	134	183	208	227	237	281	301
		14.3	66	73	89	105	134	193	208	228	233	273	305
	Disc	13	65	81	88	113	145	181	193	213	22	238	250
		13.65	70	98	113	145	187	192	207	223	235	244	271
		14.3	66	81	107	187	200	219	234	246	261	271	286
Oil	Reference	12.35	119	123	154	173	193	213	241	253	282	413	476
		13	119	134	144	163	188	197	216	273	367	441	483
		13.65	114	124	148	163	208	223	261	364	373	427	468
	Disc	12.35	224	229	235	241	246	251	257	263	265	279	354
		13	202	229	235	240	242	247	252	255	267	281	382
		13.65	108	128	186	202	234	242	248	258	271	287	447

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอนหะ

#### 5.1 สรุป

จากการออกแบบสายอากาศแบบ Disc Monopole ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการวัดสัญญาณดิสซาร์จบางส่วนนั้น เมื่อนำสายอากาศที่ประกอบสร้างเสร็จแล้วไปทำการวัดผลตอบสนองต่อความถี่ ปรากฏว่าสายอากาศที่ได้ออกแบบนั้นมีคุณสมบัติที่เหมาะสมใกล้เคียงกับที่ได้ออกไว้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เมื่อนำสายอากาศที่ได้ออกแบบไปวัดสัญญาณดิสซาร์จบางส่วนเทียบกับสายอากาศมาตรฐานแล้ว ปรากฏว่ามีผลการตอบสนองต่อสัญญาณดิสซาร์จบางส่วนในช่วงความถี่ต่างๆ ได้ใกล้เคียงกัน โดยผลของการทดสอบดิสซาร์จบางส่วนแต่ละประเภทเป็นดังนี้

- โคโรนาดิสซาร์จ มีสเปคตรัมของช่วงความถี่ที่สามารถตรวจจับได้คือ 60 – 200 MHz เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นแอมพลิจูดของสเปคตรัมความถี่ก็จะมีขนาดเพิ่มขึ้นตามไปด้วย
- ดิสซาร์จตามผิว มีสเปคตรัมของช่วงความถี่ที่สามารถตรวจจับได้คือ 60 – 350 MHz เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นแอมพลิจูดของสเปคตรัมความถี่ก็จะมีขนาดเพิ่มขึ้นตาม และมีช่วงของสเปคตรัมความถี่ที่สามารถตรวจจับได้กว้างขึ้นคือ 60 – 670 MHz
- ดิสซาร์จภายใน มีสเปคตรัมของช่วงความถี่ที่สามารถตรวจจับได้คือ 60 – 250 MHz เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นแอมพลิจูดของสเปคตรัมความถี่ก็จะมีขนาดเพิ่มขึ้นตามไปด้วย
- ดิสซาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลง มีสเปคตรัมของช่วงความถี่ที่สามารถตรวจจับได้คือ 110 – 450 MHz เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นแอมพลิจูดของสเปคตรัมความถี่ก็จะมีขนาดเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

จากผลการทดสอบนั้นชี้ให้เห็นว่าผลการทดสอบการตรวจจับดิสซาร์จบางส่วนด้วยสายอากาศ แบบ Disc Monopole นั้นสามารถตรวจจับสัญญาณดิสซาร์จบางส่วนได้และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่สายอากาศแบบ Disc Monopole นั้นยังมีการตอบสนองต่อบางช่วงความถี่ที่ไม่ดีเหมือนกับสายอากาศมาตรฐานเนื่องจากประสิทธิภาพของสายอากาศแบบ Disc Monopole นั้นยังไม่ดีเท่าสายอากาศมาตรฐาน

เนื่องจากสายอากาศที่ได้ออกแบบขึ้นมา นั้นมีช่วงการตอบสนองต่อช่วงความถี่ตั้งแต่ 300MHz – 3GHz ซึ่งอยู่ในช่วง UHF แต่สัญญาณดิสซาร์จที่แพร่ออกมาจากอุปกรณ์จำลองการเกิดดิสซาร์จบางส่วนนั้นจะมีช่วงความถี่ VHF อยู่ด้วย ดังนั้นสายอากาศที่ได้ทำการออกแบบนั้น จะมีการตอบสนองต่อช่วงความถี่ VHF ได้ไม่ดีนัก แต่ยังสามารถตรวจจับสัญญาณดิสซาร์จบางส่วนในช่วงความถี่ VHF ได้ก็เป็นเพราะแอมพลิไฟเออร์ที่ใช้มีอัตราขยายสัญญาณที่สูง จึงทำให้สามารถตรวจจับสัญญาณได้

## 5.2 อุปสรรคและข้อเสนอแนะ

1. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวัดดิสซาร์จบางส่วนด้วยสัญญาณ UHF ในประเทศนั้นยังมีน้อยมาก จึงต้องทำการศึกษาข้อมูลจากงานวิจัยของต่างประเทศ
2. เนื่องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศนั้น มีจำนวนบุคลากรที่มีความรู้ในการใช้งานในด้านนี้น้อย และขาดบุคลากรแนะนำในการศึกษา จึงทำให้ที่ทำการศึกษาโปรแกรมดังกล่าวนี้ต้องใช้เวลาในการศึกษามากพอสมควร อีกทั้งโปรแกรมมีปัญหาในด้านลิขสิทธิ์เวลาใช้งาน จึงต้องมีการขอคำแนะนำจากผู้ที่มีความรู้และชำนาญในการใช้งาน
3. เนื่องจากต้องใช้ความรู้ในด้านภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมในการออกแบบสายอากาศจึงต้องศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศ
4. ควรมีการพัฒนาสายอากาศให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น เพื่อที่จะสามารถตรวจจับสัญญาณได้ในช่วงความถี่ที่กว้างขึ้น
5. ควรเลือกใช้แอมพลิไฟเออร์ให้เหมาะสมกับช่วงความถี่ของสายอากาศที่จะนำไปตรวจวัดดิสซาร์จบางส่วน
6. ก่อนทำการทดสอบนั้นควรทำการขึ้นแรงดันเพื่อหาแรงดันสูงสุดของหม้อแปลงที่สามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดดิสซาร์จบางส่วนในตัวหม้อแปลงเอง
7. สัญญาณดิสซาร์จบางส่วนที่วัดได้จะมีความถี่ในช่วง VHF ปนอยู่ด้วยหากมีการพัฒนาสายอากาศให้สามารถตรวจจับสัญญาณในช่วงความถี่ VHF ได้ก็จะทำให้การตรวจจับสัญญาณมีประสิทธิภาพดีขึ้นกว่าเดิม

## บรรณานุกรม

- [1] Kuffel ,E, and Zaengl ,W.S. High Voltage Engineering : Fundamental ,pp.433 - 461.,Pergamon Press Ltd.,Oxford,1<sup>st</sup> ed.,1984
- [2] Kreuger, F. H., Discharge Detection in High Voltage Equipment, Temple Press Books Ltd., London, 1964
- [3] IEC 60270 , Partial Discharge Measurement.2000
- [4] สำรวย สังข์สะอาด, วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547
- [5] Boggs,S.A. and Stone, G.C.,"Fundamental Limitation in the Measurement of Corona and Partial Discharge"Trans.IEEE EI-17(1982) ,pp. 143-150.
- [6] Burnley,K.G.,and Exon, J.L.T.,"Relationship Between Various Measurement Techniques for Void Discharge",IEEE Proc.Vol.126,Pt.A,No.8 (1982),pp. 593-606
- [7] ชิดวัน เขยสกุล คราวุธ ชัยมูล และประยูทธ อัครเอกฉาลิน. A new quasi-yagi antenna with a log-periodic dipole array director. การสัมมนา ECTI จังหวัดอุบลราชธานี หน้า ๗๕๓-๗๕๖ ๒๕๔๙
- [8] Jeffrey H Reed. An Introduction to Ultra Wideband Communication System First Edition. PRENTICE HALL: Donnelley in Crawfordville.2005.
- [9] Qiu Jinghui and Qi Jiaran, "Study on the properties of circular monopole antenna" , Harbin Institute of Technology, China, 2006



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### คุณสมบัติของเครื่องตรวจจับดิสชาร์จบางส่วน

ข้อกำหนดของเครื่องตรวจจับ PD ตามมาตรฐาน IEC โครงการนี้จะกล่าวถึงข้อกำหนดตาม IEC 270(1981) ซึ่งยังคงใช้อยู่ถึงปัจจุบันนี้ และ IEC 60270(1998 ฉบับร่าง)ที่มีการแก้ไข ข้อบกพร่องและเพิ่มเติมรายละเอียดเกี่ยวกับข้อกำหนด วิธีการทดสอบ และวิธีการปฏิบัติ เพื่อให้การตรวจจับหรือการวัด PD มีความถูกต้องและเหมาะสมยิ่งขึ้น ซึ่งจะมาแทน IEC 270(1981) ในอนาคตอันใกล้นี้ ซึ่งข้อกำหนดตาม IEC 60270 จะครอบคลุมข้อกำหนดทุกข้อตาม IEC 270 ส่วนกรณีที่ใช้เครื่องตรวจจับ PD ในการวัด PD ในสายเคเบิลนั้น เครื่องตรวจจับ PD จะต้องมีความสัมพันธ์เพิ่มเติมตามมาตรฐาน IEC 885-3

#### 1. ข้อกำหนดตามมาตรฐาน IEC 270

ข้อกำหนดเกี่ยวกับคุณสมบัติของเครื่องตรวจจับ PD ที่สำคัญมีดังนี้

- 1) เวลาแยกชัดของพัลส์ (Pulse resolution time) ของเครื่องตรวจจับ PD ต้องไม่เกิน 100 ไมโครวินาที ในกรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดเนื่องจากเกิดชุปเปอร์โพสิชันของพัลส์ PD
- 2) เครื่องปรับเทียบดิสชาร์จมาตรฐาน ที่ใช้ในการปรับเทียบวงจรทดสอบ ได้กำหนดให้แรงดันรูปขึ้นของเครื่องปรับเทียบดิสชาร์จมาตรฐานมีช่วงเวลาขึ้น (rise time) ไม่เกิน 0.1 ไมโคร วินาที และแรงดันค่อยๆลดลงด้วยเวลาลดถอย (decay time) อยู่ในช่วง 100 ไมโครวินาที ถึงหลักพันของไมโคร วินาที และ  $C_0 \leq 0.1(C_0 + C_x)$

#### 2. ข้อกำหนดตามมาตรฐาน IEC60270

มาตรฐาน IEC 60270 มีการแก้ไขและเพิ่มเติมรายละเอียดเกี่ยวกับข้อกำหนด วิธีการทดสอบ และวิธีการปฏิบัติหลายประการ

##### 2.1 นิยามเพิ่มเติมและนิยามที่กำหนดใหม่ ในส่วนที่เกี่ยวข้องโดยตรง

นิยามเพิ่มเติมและนิยามที่กำหนดใหม่ ในส่วนที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการออกแบบเครื่องตรวจจับดิสชาร์จบางส่วนได้แก่

1) Pulse Repetition Frequency, N คือจำนวนพัลส์ที่มีระยะห่างระหว่างพัลส์ทุกลูก เท่ากันที่นับได้ต่อวินาที

2) Phase Angle,  $\phi$ , และ Time,  $t$ , ของพัลส์ PD ที่เกิดขึ้น กำหนดดังนี้

$$\phi_i = 360(t_i / T)$$

โดยที่  $t_i$  คือ เวลาที่เริ่มมุมเฟสของแรงดันทดสอบ เริ่มที่มุมศูนย์องศาจนถึงเวลาที่เกิดพัลส์ PD เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T คือ คาบเวลาของความถี่ของแรงดันทดสอบ

3) Transfer impedance,  $Z(f)$  ในที่นี้ใช้  $Z_m(f)$  แทน  $Z(f)$  ของระบบวัด PD คือ อัตราส่วนของแรงดันเอาต์พุตต่อกระแสอินพุตของระบบวัด PD โดยการป้อนกระแสที่มีขนาดคงที่รูปไซน์ที่อินพุตและปรับเปลี่ยนความถี่เพื่อหาอัตราส่วนดังกล่าวที่ความถี่ต่างๆ

4) ความถี่จำกัดล่างและบน (lower and upper frequencies,  $f_1$  and  $f_2$ ) คือความถี่ที่ขนาด transfer impedance,  $Z(f)$  มีค่าลดลง 6 dB จากค่ายอดสูงสุดที่อยู่ในช่วงแถบผ่าน

5) แบนด์วิดท์,  $\Delta f = f_2 - f_1$  และ midband frequency,  $f_m = \frac{f_1 + f_2}{2}$

## 2.2 ระบบวัด PD สำหรับวัดประจุที่ปรากฏ

คุณสมบัติที่สำคัญของระบบวัด PD สำหรับวัดประจุที่ปรากฏมีดังนี้

1) ระบบวัดประจุที่ปรากฏ(q)นี้จะวัดเฉพาะค่ายอดพัลส์ของ PD ที่มีค่าสูงสุดและเกิดขึ้นซ้ำๆ ทุกคาบเวลาของความถี่ของแรงดันทดสอบ การอ่านค่าของอุปกรณ์วัดจะใช้หลักการเดียวกันกับวงจรตรวจจับค่ายอดแบบแอนะล็อกที่มีค่าคงตัวทางเวลาของการอัดประจุ (electric charging time constant) สั้นมาก และมีค่าคงตัวทางเวลาของการคายประจุ (electric discharging time constant)  $\leq 0.44$  วินาที การตอบสนองของระบบวัดที่มีต่อพัลส์ของ PD ที่มีระยะห่างระหว่างพัลส์เท่ากันที่ถูกป้อนด้วย Pulse repetition frequency, N จะทำให้ค่าที่ระบบวัดอ่านได้ R เป็นตามตารางต่อไปนี้ โดยสมมติว่าพิสัย (range) และอัตราขยาย (gain) ถูกปรับให้อ่านเต็มสเกลหรือ 100% เมื่อ  $N = 100$

N(1/s)	1	2	5	10	50	$\geq 100$
$R_{min}(\%)$	35	55	76	85	94	95
$R_{max}(\%)$	45	65	86	95	104	105

2) ระบบวัด PD แบบแถบกว้าง จะกำหนดคุณสมบัติการตอบสนองความถี่ต่างๆของ Transfer impedance,  $Z(f)$  ดังนี้

$$30\text{kHz} \leq f_1 \leq 100\text{kHz}$$

$$f_2 \leq 500\text{kHz}$$

$$100\text{kHz} \leq \Delta f \leq 400\text{kHz}$$

3) ระบบวัด PD แบบแถบแคบ จะกำหนดคุณสมบัติการตอบสนองความถี่ต่างๆของ Transfer impedance,  $Z(f)$  ดังนี้

$$9\text{kHz} \leq \Delta f \leq 30\text{kHz}$$

$$50\text{kHz} \leq f_m \leq 1\text{MHz}$$

ซึ่ง  $f_m$  สามารถปรับค่าได้ และกำหนดให้ขนาดของ  $Z(f)$  ที่ความถี่  $f_m \pm \Delta f$  มีค่าลดลงต่ำกว่าค่ายอดสูงสุดที่อยู่ในช่วงแถบผ่าน 20 dB

4) ความเป็นเชิงเส้นของระบบวัด มาตรฐานยอมให้สเกลแฟกเตอร์  $k$  ผิดพลาดได้น้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์

### 2.3 ระบบวัด PD แบบดิจิตอล สำหรับวัดประจุที่ปรากฏ

ข้อกำหนดของระบบวัด PD แบบดิจิตอล สำหรับวัดประจุที่ปรากฏ มีดังนี้

1) ระบบวัดนี้จะต้องใช้หลักการระบบวัดแบบแอนะล็อกที่กล่าวมาแล้วในข้อ 2.5.2.2 ส่วนภาคดิจิตอลนั้นจะวัดประจุที่ปรากฏโดยใช้การรับข้อมูลแบบดิจิตอลในการอ่านข้อมูลสัญญาณเพื่อนำไปแสดงผลและวิเคราะห์ต่อไป

2) ข้อกำหนดต่ำสุดของระบบวัด PD แบบดิจิตอล คือ ต้องสามารถแสดงผลค่าประจุที่ปรากฏได้ โดยค่าที่อ่านได้ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในข้อ 2.5.2.2 เวลาแสดงผลใหม่แต่ละครั้งของการแสดงผลแบบดิจิตอลต้องไม่เกิน 1 วินาที และในกรณีที่มีการใช้ Bipolar sensitivity threshold นั้น จะต้องมีการบันทึกระดับ threshold ด้วย

3) ข้อกำหนดในการวัดขนาดแรงดันและมุมเฟสของแรงดันทดสอบ ถ้าระบบวัดนี้สามารถวัดระดับแรงดันของแรงดันทดสอบได้ ค่าที่อ่านได้จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดใน IEC 60060-2(1994) ถ้าต้องการออกแบบให้ระบบวัดนี้สามารถวัดมุมเฟสของแรงดันทดสอบได้ มุมเฟสจะผิดพลาดได้ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ และถ้าหากระบบวัดนี้มีความสามารถในการวัดค่าขณะหนึ่ง (instantaneous value) ของแรงดันทดสอบ ค่าที่อ่านได้จะต้องผิดพลาดได้น้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ของค่ายอดของแรงดันทดสอบ การควอนไทซ์ (quantization) ของแรงดันทดสอบจะต้องมีความละเอียดอย่างน้อย 8 บิต และต้องมีอัตราซีกตัวอย่าง (sampling rate) ไม่น้อยกว่า 100 ตัวอย่างในหนึ่งคาบเวลาของความถี่ของแรงดันทดสอบ

**ภาคผนวก ข**  
**ลักษณะห้องทดสอบ**

- ผนังด้านนอกเป็นแผ่นเหล็กป้องกันสนิมทั้ง 6 ด้าน ช่วยลดทอนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความถี่ตั้งแต่ 9 kHz – 40 GHz
- ผนังด้านในชั้นล่างบุด้วยแผ่นเฟอร์ไรท์ที่ช่วยดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำกว่า 200 MHz
- ผนังด้านในชั้นบนบุด้วยแผ่นฟองน้ำชนิดพิเศษช่วยดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง ตั้งแต่ 200 MHz ถึง 18 GHz
- ขนาดภายนอกกว้าง 6.4 เมตร ยาว 9.4 เมตร และสูง 5.5 เมตร
- ขนาดพื้นที่ทำงานภายในกว้าง 5.5 เมตร ยาว 8.5 เมตร และสูง 4.8 เมตร

คุณสมบัติ	ชนิดของสนาม	ความถี่	ประสิทธิภาพ
การปิดกั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	แม่เหล็ก	9 kHz – 30 MHz	> 30 dB
	ไฟฟ้า	9 kHz – 30 MHz	> 110 dB
	ระนาบ	30 MHz – 1 GHz	> 100 dB
การดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	ระนาบ	26 MHz – 10 GHz	> 40 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ค**  
**ประสิทธิภาพของระบบทดสอบด้วยสายอากาศ**

ระบบทดสอบ	หัวข้อทดสอบ	ความถี่	ประสิทธิภาพ
EMI	Radiated Emission	30MHz – 500MHz	ความไว > 30 dBuV/m
		500MHz – 1GHz	ความไว > 35 dBuV/m
		1GHz – 2GHz	ความไว > 45 dBuV/m



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ง**  
**อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ**

**สายอากาศที่ใช้ทดสอบ**

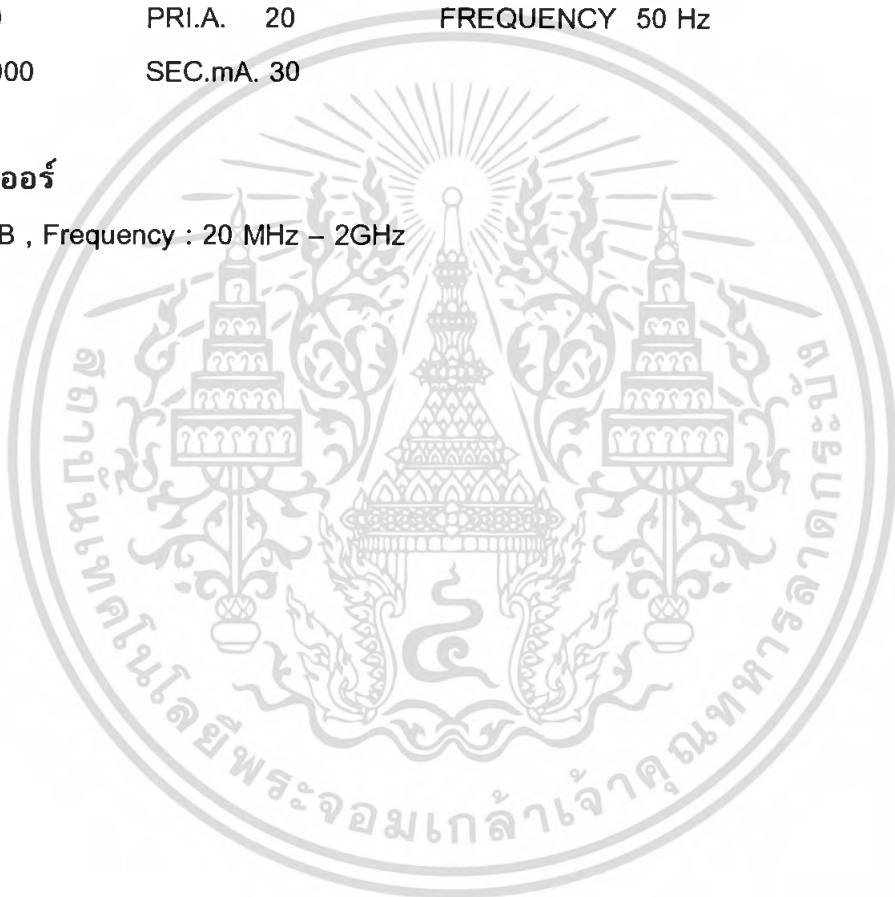
BILOG ANTENNA (Reference Antenna)	ความถี่ใช้งาน 30 MHz – 2 GHz
DISC MONOPOLE ANTENNA	ความถี่ใช้งาน 300 MHz – 3 GHz

**หม้อแปลงทดสอบ**

PRI.V. 230	PRI.A. 20	FREQUENCY 50 Hz
SEC.V. 15000	SEC.mA. 30	

**แอมพลิไฟเออร์**

Gain : 20 dB , Frequency : 20 MHz – 2GHz



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



นายวิชา เกตุสิงห์น้อย เกิดวันที่ 22 ธันวาคม 2528 ที่จังหวัดพะเยา  
สำเร็จมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนเชียงคำวิทยาคม  
อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา

สำเร็จมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนจุฬามรรคาวิทยาลัย  
อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า  
คุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ.2547

มีความสนใจและความถนัดในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง

ความสามารถทางคอมพิวเตอร์และการใช้โปรแกรม Finite element, Solidwork, MATLAB, SPSS, AutoCAD, PSpice, CST Microwave Studio, Microsoft office.

ทักษะทางภาษาต่างประเทศ คือ ภาษาอังกฤษ

ฝึกงานที่บริษัท ธิรไทย จำกัด (มหาชน) ระหว่างเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม พ.ศ.2549

ฝึกงานที่บริษัท พัฒน์ไกล จำกัด (มหาชน) ระหว่างเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม พ.ศ.2550



นายศรายุทธ แก้วเนียม เกิดวันที่ 27 ตุลาคม 2528 ที่จังหวัดพัทลุง

สำเร็จมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนพัทลุง อำเภอเมือง  
จังหวัดพัทลุง

สำเร็จมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนพัทลุง อำเภอเมือง  
จังหวัดพัทลุง

เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า  
คุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ.2547

มีความสนใจและความถนัดในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง

ความสามารถทางคอมพิวเตอร์และการใช้โปรแกรม Finite element, Solidwork, MATLAB, SPSS, AutoCAD, PSpice, CST Microwave Studio, Microsoft office.

ทักษะทางภาษาต่างประเทศ คือ ภาษาอังกฤษ

ฝึกงานที่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ระหว่างเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม พ.ศ.2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



นายศุภร เป็นมันคง เกิดวันที่ 9 มิถุนายน 2529ที่จังหวัดนครราชสีมา  
สำเร็จมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย  
อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

สำเร็จมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย  
อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า  
คุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ.2547

มีความสนใจและความถนัดในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง

ความสามารถทางคอมพิวเตอร์และการใช้โปรแกรม Finite element, Solidwork, MATLAB,  
SPSS, AutoCAD, PSpice, CST Microwave Studio, Microsoft office.

ทักษะทางภาษาต่างประเทศ คือ ภาษาอังกฤษ

ฝึกงานที่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ระหว่างเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม พ.ศ.2550



นายอำนาจ ทองศรี เกิดวันที่ 25 ตุลาคม 2528 ที่จังหวัดสุรินทร์  
สำเร็จมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนสุรวิทยาคาร  
อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์

สำเร็จมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสุรวิทยาคาร  
อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์

เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า  
คุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ.2547

มีความสนใจและความถนัดในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง

ความสามารถทางคอมพิวเตอร์และการใช้โปรแกรม Finite element, Solidwork, MATLAB,  
SPSS, AutoCAD, PSpice, CST Microwave Studio, Microsoft office.

ทักษะทางภาษาต่างประเทศ คือ ภาษาอังกฤษ

ฝึกงานที่บริษัท ทรูไทย จำกัด (มหาชน) ระหว่างเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม พ.ศ.2549

ฝึกงานที่บริษัท พัฒน์กล จำกัด (มหาชน) ระหว่างเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม พ.ศ.2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้