

การระบุปรากฏการณ์โคโรนาในสถานีไฟฟ้าที่ตรวจจับได้จากอุลตราโพรบ
โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

IDENTIFICATION OF CORONA PHENOMENA IN SUBSTATION
DETECTED BY ULTRAPROBE USING
COMPUTER PROGRAMMING

รศดร. มโนสิงห์
RONGYAKORN MANOSINGHAJ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2586-2

การระบุปรากฏการณ์โคโรนาในสถานีไฟฟ้าที่ตรวจจับได้จากอูลตราโพรบ
โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

IDENTIFICATION OF CORONA PHENOMENA IN SUBSTATION
DETECTED BY ULTRAPROBE USING
COMPUTER PROGRAMMING



รณกร มโนเสงี่ยม

RONNAKORN MANOSNGIAM

ฉน.
จ 122 1
2549
๑๖

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 61648
วัน,เดือน,ปี..... 19 ก.ค. 2549

b..... 11 6008 6x.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2549

ISBN 974-15-2536-2

**IDENTIFICATION OF CORONA PHENOMENA IN SUBSTATION
DETECTED BY ULTRAPROBE USING
COMPUTER PROGRAMMING**

RONNAKORN MANOSNGIAM

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATED STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006

ISBN 974-15-2536-2

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATED STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การระบุปรากฏการณ์โคโรนาในสถานีไฟฟ้าที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์โทรพบ โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

นักศึกษา

นายธนกกร มโนเสงี่ยม

รหัสนักศึกษา

44061032

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.)

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

พ.ศ.

2549

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) มีการนำเครื่องอุปกรณ์โทรพบมาใช้ในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันด้านระบบไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการตรวจจับคลื่นอุปกรณ์โซนิกที่แพร่กระจายออกมาในอากาศเนื่องจากปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าต่างๆ ด้วยการฟังเสียงที่ส่งผ่านมาทางชุดหูฟัง ซึ่งมีความยากและต้องอาศัยพนักงานที่มีความชำนาญในการจำแนกและระบุชนิดของสัญญาณเสียงที่ได้ยินว่าสัญญาณนั้นแสดงถึงปรากฏการณ์ชนิดใดในทางไฟฟ้าที่กำลังเกิดขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สร้างโมเดลในการระบุปรากฏการณ์โคโรนาที่เกิดขึ้นภายในสถานีไฟฟ้า เพื่อพิจารณาสเปกตรัมของสัญญาณเสียงที่ตรวจจับได้จากเครื่องอุปกรณ์โทรพบ โดยเริ่มจากการบันทึกเสียงที่ตรวจจับได้ใส่ลงเครื่องบันทึกเสียงดิจิทัล ทำการแปลงให้เป็นไฟล์เสียง (เวฟไฟล์) และใช้ฟูเรียร์ ทรานส์ฟอร์มในการสังเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณเสียงที่ป้อน ก่อนนำมาเปรียบเทียบกับแพทเทิร์นของสเปกตรัมกับสัญญาณโคโรนาด้านแบบที่สร้างขึ้นจากห้องทดลอง ที่พบว่าสเปกตรัมในโดเมนความถี่ของสัญญาณโคโรนานั้น มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์เด่นชัดอยู่ที่ความถี่สองเท่าของความถี่ในระบบที่ 100 Hz ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลจากการทดลองของ EPRI ดังนั้นหากสัญญาณเสียงใดๆ ที่ป้อนเข้าสู่โมเดลแล้วมีแพทเทิร์นของสเปกตรัมเหมือนกับสัญญาณโคโรนาด้านแบบที่มีคุณลักษณะสอดคล้องกับทาง EPRI แล้วนั้น จึงกล่าวได้ว่าสัญญาณที่ป้อนนั้นเป็นปรากฏการณ์โคโรนานั่นเอง

| | |
|-----------------------|--|
| Thesis Title | Identification of Corona Phenomena in Substation Detected by Ultraprobe using Computer Programming |
| Student | Mr.Ronnakorn Manosngiam |
| Student ID. | 44061032 |
| Degree | Master of Engineering |
| Programme | Electrical Engineering |
| Year | 2006 |
| Thesis Advisor | Assoc.Prof. Monthon Leelajindakrairerk |

ABSTRACT

Nowadays, the Ultraprobe is used routinely in the preventive maintenance program at Provincial Electricity Authority (PEA). It is used to detect the ultrasonic wave which emitted from any equipment in switch – yard of substations. The hearing analysis of the Ultrasonic wave generated by different electrical phenomena is not only difficult, but also the classification requires good expertise from the specialists to specify these sound signals. Therefore in this research, the application of computer programming to identify the corona phenomena that occurs in PEA substations is presented. First, the sound signal detected by the Ultraprobe is recorded by digital recorder then entered into PC for transferring to the digital files (.wav file) and synthesis its spectrum of the sound by the Fourier Transform. The spectrum pattern is then compared with the corona master signal that created from HV laboratory, which has distinct spectrum of twice harmonic frequency to the applied system frequency and it is agree with the experimentation of EPRI. So if any input sounds signal have the same pattern spectrum with the corona master signal and have the spectrum characterize agree with EPRI, we can point that this input sounds signal is a corona phenomena.

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญตาราง..... | VII |
| สารบัญรูป..... | VIII |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา..... | 1 |
| 1.3 สมมติฐานของการศึกษา..... | 2 |
| 1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย..... | 2 |
| 1.5 ขอบเขตของการวิจัย..... | 2 |
| 1.6 ขั้นตอนของการศึกษา..... | 3 |
| บทที่ 2 โคลโรน่า..... | 4 |
| 2.1 การเบรกดาวน์และการดิสซาร์จในอากาศ..... | 4 |
| 2.1.1 ปฏิกิริยาไอออนในเซชัน..... | 4 |
| 2.1.2 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวตัวนำ..... | 7 |
| 2.1.3 การดิสซาร์จในอากาศหรือในก๊าซ..... | 8 |
| 2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโคลโรน่า..... | 10 |
| 2.3 ลักษณะและชนิดของปรากฏการณ์โคลโรน่า..... | 10 |
| 2.3.1 ลักษณะของปรากฏการณ์โคลโรน่าโดยทั่วไป..... | 10 |
| 2.3.2 ชนิดของปรากฏการณ์โคลโรน่า..... | 12 |
| 2.3.3 แรงดัน โคลโรน่าเริ่มต้น..... | 17 |
| 2.4 ผลกระทบจากปรากฏการณ์โคลโรน่า..... | 17 |
| 2.4.1 คุณสมบัติและการวัดค่าของสัญญาณรบกวนที่สามารถรับฟัง..... | 18 |
| 2.5 การเกิดปรากฏการณ์โคลโรน่าในสถานีไฟฟ้า..... | 22 |
| 2.5.1 สถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค..... | 23 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 3 อุลตราโพรบ..... | 26 |
| 3.1 เทคโนโลยีอุลตราซาวนด์..... | 26 |
| 3.2 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่องอุลตราโพรบ..... | 27 |
| 3.2.1 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องอุลตราโพรบ..... | 27 |
| 3.2.2 หลักการทำงานของเครื่องอุลตราโพรบ..... | 32 |
| 3.3 การประยุกต์ใช้งานเครื่องอุลตราโพรบในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันทางไฟฟ้า..... | 33 |
| | |
| บทที่ 4 หลักการและขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย..... | 35 |
| 4.1 การสร้างสัญญาณโคโรน่าต้นแบบจากห้องทดลอง..... | 35 |
| 4.1.1 การสร้างปรากฏการณ์โคโรน่าในลักษณะแบบไม่ทำลาย..... | 35 |
| 4.1.2 การสร้างปรากฏการณ์โคโรน่าในลักษณะแบบเบรกควาน์..... | 40 |
| 4.2 การสร้างโมเดลเพื่อสังเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณเสียง..... | 42 |
| 4.2.1 คำแนะนำเบื้องต้นเกี่ยวกับโปรแกรมแมทแลป..... | 43 |
| 4.2.2 ข้อดีของ โปรแกรมแมทแลป..... | 44 |
| 4.2.3 ฮาร์ดแวร์ที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโปรแกรมแมทแลป เวอร์ชัน 7.1 | 45 |
| 4.2.4 การสร้างโมเดล..... | 45 |
| 4.2.5 ขั้นตอนการใช้งานโมเดล..... | 47 |
| 4.3 ขั้นตอนและกระบวนการในการเก็บข้อมูลภาคสนาม | 50 |
| 4.3.1 การดำเนินการเก็บข้อมูลภาคสนาม ณ สถานีไฟฟ้าของ กฟภ. | 51 |
| | |
| บทที่ 5 การทดลองและการวิเคราะห์ผล..... | 57 |
| | |
| บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย..... | 70 |
| | |
| เอกสารอ้างอิง..... | 72 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| ภาคผนวก..... | 74 |
| ภาคผนวก ก. ตารางแสดงผลการเก็บข้อมูล ณ สถานีไฟฟ้าต่างๆ..... | 74 |
| ภาคผนวก ข. Source Code..... | 85 |
| บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการ..... | 94 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 109 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 แสดงลักษณะการชนแบบต่างๆ..... | 5 |
| 4.1 ตัวอย่างข้อมูลสถานีฟ้าและข้อมูลสัญญาณเสียงที่ได้ทำการบันทึกมา..... | 56 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันในแกปคิสซาร์จของก๊าซนีออน..... | 8 |
| 2.2 การเกิดการวาบไฟตามผิวของตัวนำหรือที่เรียกว่า “ปรากฏการณ์โคโรน่า” | 12 |
| 2.3 การเพิ่มขึ้นของการอะวาลานซ์ในการคิสซาร์จของโคโรน่าที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าบวก..... | 13 |
| 2.4 แรงดันเริ่มต้นของโคโรน่าที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าบวกที่ค่ากระแสต่างๆ กันและค่าแรงดันเบรกดาวน์ที่เกิดจากแกประหว่างตัวนำแบบจุดกับแผ่น..... | 13 |
| 2.5 การเพิ่มขึ้นของการอะวาลานซ์ในการคิสซาร์จของโคโรน่าที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าลบ..... | 14 |
| 2.6 ภาพจำลองการเกิดโคโรน่ากระแสสลับที่เกิดจากแกปแบบสมมาตรระหว่างตัวนำ a และ b ที่วางขนานกัน..... | 15 |
| 2.7 การเกิดโคโรน่าที่สร้างจากแรงดันอิมพัลส์ (a) ภาพขวาสร้างจากแรงดันลบ, ภาพซ้ายสร้างจากแรงดันบวก (b) ชุดทดสอบ..... | 16 |
| 2.8 ตัวอย่างสเปกตรัมความถี่ของสัญญาณรบกวนที่สามารถรับฟังได้ที่เกิดจากระบบสายส่งในช่วงฤดูฝน..... | 19 |
| 2.9 การลดทอนของน้ำหนักที่แตกต่างกันที่ใช้ในการวัดค่าสัญญาณรบกวนที่รับฟังได้..... | 21 |
| 2.10 ตัวอย่างการเกิดโคโรน่าที่ตัวอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สามารถมองเห็นได้จากกล้องตรวจจับความร้อน (Thermal Viewer Camera)..... | 22 |
| 3.1 ชุดเครื่องอุตสาหกรรมโพรบและอุปกรณ์ประกอบ..... | 26 |
| 3.2 แผงหน้าปัดของเครื่องอุตสาหกรรมโพรบ..... | 28 |
| 3.3 รูปด้านล่างของเครื่องอุตสาหกรรมโพรบ..... | 29 |
| 3.4 รูปด้านข้างของเครื่องอุตสาหกรรมโพรบ..... | 30 |
| 3.5 ชุดหูฟังคุณภาพสูงที่นำมาใช้งานร่วมกับเครื่องอุตสาหกรรมโพรบ..... | 31 |
| 3.6 งานรวมคลื่นอุตสาหกรรมโซนิก (UWC)..... | 32 |
| 3.7 ไดอะแกรมแสดงกระบวนการแปลงสัญญาณของเครื่องอุตสาหกรรมโพรบ..... | 32 |
| 3.8 ไดอะแกรมแสดงวงจรภายในเครื่องอุตสาหกรรมโพรบ [13]..... | 33 |
| 3.9 ส่วนประกอบพื้นฐานต่างๆของเครื่องอุตสาหกรรมโพรบ..... | 34 |
| 4.1 ชุดทดสอบในการสร้างสัญญาณโคโรน่าต้นแบบ..... | 36 |
| 4.2 ไดอะแกรมจำลองภาพการเก็บข้อมูล..... | 37 |
| 4.3 ห้องทดสอบในส่วนในพื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบการคิสซาร์จบางส่วน..... | 37 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.4 การต่อวงจรของชุดทดสอบการสร้างตัวอย่างปรากฏการณ์โคโรน่าตามการทดสอบในหัวข้อ 4.1.1..... | 38 |
| 4.5 ห้องควบคุมการดิสชาร์จบางส่วน..... | 38 |
| 4.6 เครื่องควบคุมการเกิดดิสชาร์จบางส่วน..... | 39 |
| 4.7 ชุดคอมพิวเตอร์ตรวจสอบการเกิดดิสชาร์จบางส่วน..... | 39 |
| 4.8 เครื่องแสดงตำแหน่งในการเกิดดิสชาร์จบางส่วน..... | 40 |
| 4.9 การต่อวงจรของชุดทดสอบการสร้างตัวอย่างปรากฏการณ์โคโรน่าตามการทดสอบในหัวข้อ 4.1.2..... | 41 |
| 4.10 เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ..... | 41 |
| 4.11 แผงวงจรควบคุมการจ่ายไฟให้แก่เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ..... | 42 |
| 4.12 โปรแกรมเมทแลป เวอร์ชัน 7.1 ที่นำมาใช้งาน..... | 43 |
| 4.13 บล็อกไดอะแกรมของโมเดล..... | 45 |
| 4.14 โฟลว์ชาร์ทแสดงการทำงานของโมเดล..... | 46 |
| 4.15 แสดงโพลเดอร์ work ที่ใช้เก็บ M-file และ FIG-file ที่สร้างขึ้น..... | 47 |
| 4.16 หน้าจอเริ่มต้น โปรแกรมเมทแลป..... | 48 |
| 4.17 หน้าจอรับข้อมูลของโมเดล (GUI)..... | 48 |
| 4.18 แสดงโพลเดอร์ work ที่ใช้เก็บไฟล์ข้อมูลต่างๆ สำหรับเรียกขึ้นมาใช้งาน..... | 49 |
| 4.19 สเปกตรัมของสัญญาณโคโรน่าต้นแบบในโดเมนเวลา..... | 49 |
| 4.20 สเปกตรัมของสัญญาณโคโรน่าต้นแบบในโดเมนความถี่..... | 50 |
| 4.21 ไดอะแกรมแสดงการต่อเครื่องอุลตราโพรบเข้ากับ ชุดหูฟัง งานรวมคลื่นๆ และการต่อพ่วงกับเครื่องบันทึกเสียงดิจิตอลและ ไมโคร โฟน..... | 51 |
| 4.22 วิธีการกวาดงานรวมคลื่นๆ ในการตรวจจับคลื่นอุลตราโซนิคภายในบริเวณลานไก..... | 52 |
| 4.23 ช่องเสียบเหนื่อด้ามจับของงานรวมคลื่นๆ (สรชี้)..... | 53 |
| 4.24 การเสียบอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นต้นกำเนิดสัญญาณอุลตราโซนิค..... | 53 |
| 4.25 การถ่ายโอนข้อมูลจากเครื่องบันทึกเสียงลงสู่เครื่องคอมพิวเตอร์..... | 54 |
| 4.26 การตัดต่อสัญญาณเสียง..... | 55 |
| 5.1 เปิดโมเดลและกดปุ่ม Browse ที่สเปกตรัมสโคปด้านบนเพื่อเรียกสัญญาณโคโรน่าต้นแบบขึ้นมา..... | 57 |

สารบัญรูปรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 5.2 กรุป FFT ของสเปกตรัมสโคปด้านบนเพื่อสังเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณในโดเมนความถี่..... | 58 |
| 5.3 กรุป Browse ที่สเปกตรัมสโคปด้านล่างเพื่อเรียกสัญญาณเสียงใดๆที่ได้บันทึกมาจากสถานีไฟฟ้าขึ้นมา..... | 58 |
| 5.4 กรุป FFT ของสเปกตรัมสโคปด้านล่าง จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบแพทเทิร์นสเปกตรัมในโดเมนความถี่ของสัญญาณโคโรนาดันแบบเทียบกับสัญญาณเสียงใดๆที่ป้อนเป็นอินพุทให้แก่โมเดล..... | 59 |
| 5.5 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ Disconnecting Switch ณ สถานีไฟฟ้านวนนคร 1..... | 60 |
| 5.6 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ Disconnecting Switch ณ สถานีไฟฟ้าชัยบุรี..... | 60 |
| 5.7 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ Disconnecting Switch ณ สถานีไฟฟ้านวนนคร 2..... | 61 |
| 5.8 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์แคล้มป์หม้อแปลงกระแส ณ สถานีไฟฟ้าบางบัว..... | 61 |
| 5.9 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ Disconnecting Switch ณ สถานีไฟฟ้าบางสมัคร..... | 62 |
| 5.10 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ Disconnecting Switch ณ สถานีไฟฟ้าปทุมธานี 1..... | 62 |
| 5.11 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ Disconnecting Switch ณ สถานีไฟฟ้าชลบุรี 2..... | 63 |
| 5.12 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ขั้วบรูซิ่งของหม้อแปลงกำลัง ณ สถานีไฟฟ้าชลบุรี 2..... | 63 |
| 5.13 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ Bus Support ณ สถานีไฟฟ้าบางกะดี..... | 64 |
| 5.14 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์แคล้มป์หม้อแปลงกระแส ณ สถานีไฟฟ้าบ่อวิน 2..... | 64 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 5.15 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆ ที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ขั้วบรูซิ่งของหม้อแปลงกำลัง ณ สถานีไฟฟ้าวังน้อย..... | 65 |
| 5.16 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆ ที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ Disconnecting Switch ณ สถานีไฟฟ้าแหลมฉบัง 1..... | 65 |
| 5.17 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆ ที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ Disconnecting Switch ณ สถานีไฟฟ้าคลองใหม่..... | 66 |
| 5.18 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆ ที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ Disconnecting Switch ณ สถานีไฟฟ้านคร 1..... | 66 |
| 5.19 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆ ที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ Disconnecting Switch ณ สถานีไฟฟ้าปทุมธานี 1..... | 67 |
| 5.20 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆ ที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ขั้วบรูซิ่งของหม้อแปลงกำลัง ณ สถานีไฟฟ้าบางไทร..... | 67 |
| 5.21 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆ ที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์แคลมป์หม้อแปลงกำลัง ณ สถานีไฟฟ้าคลองขวาง..... | 68 |
| 5.22 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆ ที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์แคลมป์หม้อแปลงกระแส ณ สถานีไฟฟ้าปลวกแดง 1..... | 68 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สืบเนื่องมาจากการที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ได้ดำเนินการจัดซื้อเครื่องมือเพื่อการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance: PM) สำหรับระบบไฟฟ้าและภายในสถานีไฟฟ้าที่มีชื่อว่า “อัลตราโพรบ 2000” (Ultraprobe model 2000) ที่ได้ดำเนินการจัดซื้อมาเมื่อเดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2539 จำนวน 13 เครื่อง ในราคาเครื่องละ 145,000.- บาท และได้แจกจ่ายใช้งานทั้งในส่วนกลางและส่วนภูมิภาคทั่วประเทศ สำหรับงานด้านบำรุงรักษาเชิงป้องกันระบบไฟฟ้าและภายในสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. นั้น

เนื่องจากเครื่องอัลตราโพรบที่จัดซื้อมา เป็นเครื่องมือที่แสดงผลลัพธ์ออกมาในรูปของสัญญาณเสียงที่ส่งผ่านมาทางชุดหูฟัง ซึ่งมีความยากในการวิเคราะห์ จำแนก และระบุผลลัพธ์ของเสียงที่ได้ยิน จำเป็นต้องอาศัยผู้ที่มีความชำนาญในการฟังเสียงเหล่านั้น เพื่อระบุได้ถึงความแตกต่างของสัญญาณเสียงที่ได้ยินได้ กอปรกับการขาดประสบการณ์, ทักษะในการฟังเสียงสัญญาณ รวมถึงการขาดการฝึกฝน อบรมอย่างเพียงพอและต่อเนื่อง จึงทำให้พนักงานผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถใช้งานเครื่องอัลตราโพรบในงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันด้านระบบไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพตามที่คาดหวังเอาไว้

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้มีความคิดที่จะทำการประยุกต์การแสดงผลลัพธ์ของเครื่องอัลตราโพรบให้มีความง่ายในการระบุผลมากขึ้น เพื่อให้สามารถนำเครื่องอัลตราโพรบกลับมาใช้งานได้มีประสิทธิภาพอีกครั้ง อีกทั้งในปัจจุบันผู้วิจัยก็ดำรงตำแหน่งเป็นวิศวกรอยู่ในสังกัดสายงานก่อสร้างและบำรุงรักษา การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อยู่ด้วย จึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่สนับสนุนให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะดำเนินการศึกษาวิจัยในเรื่องนี้ เพื่อเป็นการพัฒนาคุณภาพและประสิทธิภาพขององค์กรที่ผู้วิจัยสังกัดอยู่ด้วยนั่นเอง

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

งานศึกษาวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์การแสดงผลลัพธ์ของเครื่องอัลตราโพรบให้สามารถวิเคราะห์และระบุผลได้ง่ายและแม่นยำขึ้นมากกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน โดยการใส่โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ผล เพื่อให้สามารถนำเครื่องอัลตราโพรบกลับมาใช้งานในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันด้านระบบไฟฟ้าและภายในสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. ได้อย่างคุ้มค่าและเต็มประสิทธิภาพต่อไป

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การใช้งานเครื่องอุตสาหกรรมโรบอมนั้น จำเป็นต้องมีการอบรมและฝึกฝนเพื่อให้เกิดทักษะในการสร้างความคุ้นเคยสำหรับการฟังเสียงสัญญาณใดๆที่เครื่องตรวจจับได้แล้วส่งผ่านมายังชุดหูฟัง ซึ่งมีความยากในการปฏิบัติงานจริง ส่งผลให้การปฏิบัติงานไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ สิ้นเปลืองทรัพยากรทั้งด้านบุคลากรและค่าใช้จ่ายต่างๆที่เกิดขึ้น รวมถึงทำให้พนักงานผู้ปฏิบัติงานรู้สึกไม่พึงพอใจที่จะใช้งานเครื่องอุตสาหกรรมโรบอมนี้นี้ เนื่องจากไม่สามารถใช้งานในการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าได้ตามความต้องการ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พยายามหาแนวทางแก้ไขโดยการทำให้เครื่องอุตสาหกรรมโรบอมนี้ออกมาแสดงผลที่ง่ายและสะดวกในการวิเคราะห์ผลมากขึ้น ซึ่งคาดว่าจะส่งผลให้มีการนำเครื่องอุตสาหกรรมโรบอกลับมาใช้งานอีกครั้งหนึ่ง

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้มีพื้นฐานจากแนวความคิดที่ว่าถ้าทำการจำลองการเกิดปรากฏการณ์โคโรน่าจากห้องทดลองขึ้นมา แล้วใช้เครื่องอุตสาหกรรมโรบอตรวจจับคลื่นอุตสาหกรรมโรบอที่แพร่กระจายออกมาในอากาศรอบๆชุดทดสอบพร้อมทั้งทำการบันทึกเสียงที่ได้จากเครื่องอุตสาหกรรมโรบอลงในเครื่องบันทึกเสียง จากนั้นนำไปผ่านการสังเคราะห์สัญญาณด้วยโมเดลที่สร้างจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก็จะทำให้เราได้แพทเทิร์นสเปกตรัมของสัญญาณโคโรน่าที่ถูกต้องขึ้นมา และโดยการเทียบกับการวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณโคโรน่าจากการวิจัยของ EPRI ก็จะทำให้เราสามารถนำมาใช้เป็นสเปกตรัมของสัญญาณโคโรน่าต้นแบบได้ ซึ่งเท่ากับว่าหากเรามีสัญญาณเสียงใดๆที่มีสเปกตรัมของสัญญาณในรูปแบบเดียวกับสเปกตรัมของสัญญาณโคโรน่าต้นแบบที่เราสร้างขึ้นมามาแล้วนั้น ก็จะสามารถกล่าวได้ว่าสัญญาณนั้นๆ เป็นปรากฏการณ์โคโรน่านั่นเอง

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

สำหรับขอบเขตของงานวิจัยของวิทยานิพนธ์นี้นั้น จะแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนดังนี้

1. การพิจารณาศึกษาปรากฏการณ์ทางไฟฟ้า: งานวิจัยนี้จะมุ่งประเด็นศึกษาไปที่การเกิดปรากฏการณ์โคโรน่าเป็นหลักเท่านั้น เนื่องจากจากสถิติที่ผ่านมาเราพบว่าปรากฏการณ์โคโรน่าที่เกิดขึ้นภายในระบบไฟฟ้าแรงสูงนั้น จะเป็นปรากฏการณ์ที่พบมากกว่าปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าชนิดอื่นๆที่มีอยู่ทั้งหมด

2. การดำเนินการเก็บข้อมูล (การตรวจจับสัญญาณอุตสาหกรรมโรบอที่แพร่กระจายออกมาจากการเกิดปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าต่างๆ): งานวิจัยนี้จะทำการเก็บข้อมูลเฉพาะภายในบริเวณลานไถของสถานีไฟฟ้าเท่านั้น ด้วยเหตุผลที่ว่าภายในบริเวณลานไถของสถานีไฟฟ้านั้น จะเป็นบริเวณที่มีปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าต่างๆเกิดขึ้นอยู่เสมอๆ และพบได้ทั่วไป

3. การสร้างโมเดลเพื่อสังเคราะห์สัญญาณ: สำหรับการสร้างโมเดลนั้น ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมแมทแลป (MATLAB) ในการสังเคราะห์สัญญาณเสียงที่บันทึกมาจากการเก็บข้อมูลที่สถานีไฟฟ้า โดยมีการแสดงผลพัลส์ของโปรแกรมด้วยการใช้ GUI (Graphical User Interface) เพื่อให้มีความง่ายในการพิจารณาผลลัพธ์ โดยโมเดลจะมีสเปกตรัมสโคป (Spectrum Scope) อยู่สองชุด เพื่อใช้แสดงผลของสเปกตรัมในโดเมนความถี่ของสัญญาณ โครโมนาดันแบบที่สร้างขึ้นเทียบกับสัญญาณเสียงใดๆที่ป้อนเข้าไปเป็นสัญญาณอินพุตแก่โมเดล

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาวิจัยสำหรับการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จะแบ่งออกได้เป็น 5 ส่วน ดังนี้-

1. การศึกษาทฤษฎีของปรากฏการณ์โครโมนา โดยจะมุ่งประเด็นการศึกษาไปที่การเกิดปรากฏการณ์โครโมนาภายในสถานีไฟฟ้าเป็นหลัก
2. การศึกษาการใช้งาน หลักการทำงาน และส่วนประกอบต่างๆของเครื่องอุลตราโพรบ
3. การสร้างโมเดลในการสังเคราะห์สัญญาณเสียงที่ตรวจจับได้ด้วยเครื่องอุลตราโพรบ โดยการใช้โปรแกรมแมทแลป
4. การจำลองการเกิดปรากฏการณ์โครโมนา โดยการสร้างจากโรงประลองไฟฟ้าแรงสูง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แล้วนำมาสังเคราะห์สเปกตรัม เพื่อที่จะใช้เป็นแพทเทิร์นสเปกตรัมของสัญญาณโครโมนาดันแบบในการเปรียบเทียบกับแพทเทิร์นสเปกตรัมของสัญญาณเสียงของปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าใดๆที่ตรวจจับได้
5. การดำเนินการเก็บข้อมูลภาคสนาม ณ สถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลจากสถานีไฟฟ้าต่างๆเอาไว้จำนวน 27 สถานี ภายในบริเวณเขตพื้นที่ภาคกลาง และได้จำนวนข้อมูลกว่า 150 ตัวอย่าง

บทที่ 2 โคโรน่า

2.1 การเบรกดาวนและการดิสชาร์จในอากาศ

2.1.1 ปฏิกิริยาไอออนไนเซชัน

โดยทั่วไปแล้วก๊าซหรืออากาศรอบๆตัวเราที่อุดมภูมิและความดันปกติจะประกอบไปด้วยไนโตรเจน (Nitrogen) และออกซิเจน (Oxygen) เป็นหลักและมีความเป็นฉนวนค่อนข้างสูงหรือมีค่าความต้านทานสูง โดยโมเลกุลของอากาศปกติจะมีสถานะเป็นกลาง (Non - Polarized) และไม่มีผลกระทบจากสนามไฟฟ้า แต่ก็เป็นที่ทราบกันว่าในอากาศโดยทั่วไปนั้นยังมีอิเล็กตรอนอิสระที่มีสภาพเป็นประจุไฟฟ้าลบบปะปนอยู่ด้วย โดยจะเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของสนามไฟฟ้า และถ้าอากาศในบริเวณนั้นเกิดความเครียดจากสนามไฟฟ้ามากพอ ก็จะทำให้อิเล็กตรอนอิสระได้รับพลังงานจนเพียงพอที่จะเคลื่อนที่ไปผลักรวมอิเล็กตรอนที่วนอยู่ชั้นนอกสุดของโมเลกุลของอากาศที่มีความเสถียรภาพให้หลุดออกมา โดยกระบวนการของการสูญเสียอิเล็กตรอนวงนอกสุดของโมเลกุลของอากาศนั้น เราเรียกว่าการ “ไอออนไนเซชัน” (Ionization) หรือการแตกตัวของอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของอากาศ แต่ถ้าหากอิเล็กตรอนที่วนอยู่ชั้นนอกสุดนั้นยังคงอยู่ในโมเลกุล เราจะเรียกว่าอิเล็กตรอนถูกกระตุ้น (Excitation Electron) [1]

นอกจากนี้ กระบวนการเกิดอิเล็กตรอนในอากาศยังสามารถเกิดได้จากอิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวของอิเล็กโทรด (Electrode) โดยกระบวนการเกิดอิเล็กตรอนหลุดจากของแข็ง (ขั้วอิเล็กโทรด) นี้ จะเรียกว่า การแพร่กระจายอิเล็กตรอน (Electron Emission) ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า อากาศหรือก๊าซจะมีสภาพนำไฟฟ้าได้ (มีอิเล็กตรอนอิสระจำนวนมากพอ) นั้น จะเกิดจากกระบวนการเริ่มต้น 2 กระบวนการ คือ

- กระบวนการแตกตัวของอิเล็กตรอนออกจากโมเลกุลของก๊าซ อันเนื่องมาจากการชนของอิเล็กตรอน (หรือ ไอออน, หรือ โฟตอน) กับอนุภาคของก๊าซ
- กระบวนการแพร่อิเล็กตรอนออกจากผิวอิเล็กโทรด เมื่อได้รับความเครียดสนามไฟฟ้าสูงพอ (ได้รับความร้อน, รังสี หรือการกระทบของอนุภาคต่างๆ)

โดยการแตกตัวของไอออนนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ [1] ตามลักษณะการเกิดดังนี้

1. การแตกตัวของไอออนอันเนื่องมาจากการชนกัน (Collision Ionization)

พลังงานการแตกตัวเป็นไอออนจะถูกส่งผ่านให้กันและกัน โดยการชนกันระหว่างอิเล็กตรอน, ไอออน หรือ โมเลกุล การชนกันทำให้เกิดการกระตุ้นหรือการแตกตัวเป็นไอออนของอนุภาคนั้น เราเรียกว่าการชนแบบไม่ยืดหยุ่น ถ้าเกิดการถ่ายเทพลังงานจลน์อย่างเดียวเรียกว่าการชนแบบยืดหยุ่น

การชนแบบยึดหยุ่นนั้นมีหลายแบบ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะการชนแบบต่างๆ

| หมายเลข | ก่อนชน | หลังชน | ประเภทของการชน |
|---------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 1-1 | $A + e$ | $A + e$ | ยึดหยุ่น |
| 1-2 | $A + e$ | $A^{\bullet} + e$ | กระตุ้น |
| 1-3 | $A + e$ | $A^+ + 2e$ | แตกตัวเป็นไอออน |
| 2-1 | $A + B^+$ | $A + B^+$ | ยึดหยุ่น |
| 2-2 | $A + B^+$ | $A^{\bullet} + B$ | กระตุ้น |
| 2-3 | $A + B^+$ | $A^+ + B^+ + e$ | แตกตัวเป็นไอออน |
| 3-1 | $A + B$ | $A + B$ | ยึดหยุ่น |
| 3-2 | $A + B$ | $A^{\bullet} + B$ | กระตุ้น |
| 3-3 | $A + B$ | $A^+ + B + e$ | แตกตัวเป็นไอออน |
| 4-1 | $A^{\bullet} + e$ | $A^{\bullet} + e$ | ยึดหยุ่น |
| 4-2 | $A^{\bullet} + e$ | $A + e$ | อิเล็กตรอนได้รับพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น |
| 4-3 | $A^{\bullet} + e$ | $A^+ + 2e$ | แตกตัวเป็นไอออน |
| 5-1 | $A^{\bullet} + B$ | $A^{\bullet} + B$ | ยึดหยุ่น |
| 5-2 | $A^{\bullet} + B$ | $A + B$ | โมเลกุลได้รับพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น |
| 5-3 | $A^{\bullet} + B$ | $A^+ + B + e$ | แตกตัวเป็นไอออน |
| 6-1 | $A^{\bullet} + B^{\bullet}$ | $A^{\bullet} + B^{\bullet}$ | ยึดหยุ่น |
| 6-2 | $A^{\bullet} + B^{\bullet}$ | $A + B^+ + e$ | แตกตัวเป็นไอออน |

หมายเหตุ A, B หมายถึง โมเลกุลที่เป็นกลาง 2 ชนิด
 A^+, B^+ หมายถึง ไอออน 2 ชนิด
 A^{\bullet}, B^{\bullet} หมายถึง โมเลกุลที่ถูกกระตุ้น 2 ชนิด
 e หมายถึง อิเล็กตรอน

2. การแตกตัวของไอออนโดยแสง (Photo Ionization)

แสงจะประกอบด้วยพลังงานเล็กๆที่เรียกว่าโฟตอน ซึ่งหน่วยพลังงานนี้ 1 หน่วย มีค่าเท่ากับ $W = hf$ และจากความสัมพันธ์ $c = f\lambda$ (โดย f เป็นความถี่, λ เป็นความยาวคลื่น และ c เป็นความเร็วแสง) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง W และ λ ดังสมการที่ 2.1

$$\lambda = \frac{12400}{W} \quad (2.1)$$

จะเห็นได้ว่าพลังงานของโฟตอนหนึ่งหน่วยนั้นเป็นปฏิภาคกับความยาวของคลื่นแสง และพลังงานของแสงทั้งหมด จะขึ้นอยู่กับจำนวนโฟตอนทั้งหมดที่มีอยู่ เมื่อมีการปล่อยแสงเข้าไปในอากาศ โมเลกุลของอากาศจะดูดเอาพลังงานจากโฟตอน เพื่อการกระตุ้นหรือการแตกตัวไปเป็นไอออน ซึ่งส่วนใหญ่จะดูดเอาพลังงานจากโฟตอนมาเพียง 1 ตัว ดังนั้นถ้าความยาวคลื่นของแสงสั้นกว่าความยาวคลื่นที่ได้จากการแทนค่า W ลงในสมการ 2.1 ด้วยระดับพลังงานการกระตุ้นหรือการแตกตัวเป็น ไอออนแล้ว แสงนั้นก็อาจทำให้เกิดภาวะการกระตุ้นหรือการแตกตัวเป็น ไอออนได้ ฉะนั้น การทำให้โมเลกุลของอากาศแตกตัวเป็น ไอออนนั้น จะกระทำได้กับแสงที่มีความยาวคลื่นสั้น อย่างเช่น แสงเหนือม่วง (Ultraviolet) เป็นต้น

ถ้าแสงมีความยาวคลื่นสั้นมากๆ จะทำให้อิเล็กตรอนที่เกิดจากการแตกตัวเป็น ไอออนมีพลังงานจลน์สูง ซึ่งมีค่าเท่ากับพลังงานของโฟตอนลบด้วยพลังงานที่ใช้ในการแตกตัวเป็น ไอออน พลังงานจลน์นี้ ถ้ามีค่าสูงกว่าระดับพลังงานของการแตกตัวเป็น ไอออนของ โมเลกุลอื่น จะทำให้เกิดการแตกตัวเป็น ไอออน ได้อีกจากการชนกันของอิเล็กตรอนกับ โมเลกุลอื่นๆ และเมื่อความยาวคลื่นของแสงมีค่าสั้นมาก ถึงระดับรังสีเอ็กซ์ (X - Ray) พลังงานของโฟตอนจะมีค่าสูงมาก ไม่เพียงแต่อิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นวงนอกของ โมเลกุลเท่านั้น อิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นในถัดเข้าไป ก็อาจถูกทำให้แตกตัวเป็น ไอออน ได้ ด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นมากๆ

3. การแตกตัวของไอออนด้วยความร้อน (Thermal Ionization)

โมเลกุลของอากาศนั้น จะมีพลังงานจลน์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับอุณหภูมิ ดังนั้นแม้ว่าจะไม่มีการป้อนแรงดันเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าหรือไม่มีการฉายรังสีก็ตาม ถ้าหากอุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น ก็จะสามารถเกิดการแตกตัวของ ไอออนขึ้นมาเองได้ และเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิสูงมากๆ โมเลกุลของอากาศก็อาจมีพลังงานอยู่มากกว่าระดับพลังงานของการแตกตัวเป็น ไอออน ดังนั้นอาจเกิดการแตกตัวเป็น ไอออนขึ้นได้ โดยผ่านกระบวนการชนกัน อิเล็กตรอนที่เกิดจากการแตกตัวเป็น ไอออนด้วยความร้อนนี้ จะมีพลังงานสะสมอยู่ ตามระดับของอุณหภูมิ และจะทำให้เกิดการกระตุ้นหรือแตกตัวเป็น ไอออนขึ้นได้ เมื่อชนกับ โมเลกุลอื่นๆ

การแตกตัวเป็น ไอออนด้วยความร้อนนั้น สามารถเขียนในรูปของสมการได้ดังนี้

$$\frac{n_i^2}{n_0} \cong 4.82 \times 10^{15} \sqrt{T^3} \exp\left(\frac{-11,600V_i}{T}\right) \quad (2.2)$$

| | | |
|-------|-------|--|
| เมื่อ | n_0 | คือค่าความหนาแน่นของ โมเลกุลที่เป็นกลาง ณ อุณหภูมิ T |
| | n_i | คือค่าความหนาแน่นของ โมเลกุลที่แตกตัวเป็น ไอออน |
| | V_i | คือระดับพลังงานของการแตกตัวเป็น ไอออน |

2.1.2 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวตัวนำ

ในการเกิดการคายประจุหรือที่เรียกว่าการคิซซาร์จในก๊าซนั้น นอกจากอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวเป็นไอออนของโมเลกุลในก๊าซด้วยกระบวนการต่างๆดังที่กล่าวมาแล้ว อิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมาจากผิวของตัวนำก็เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการคิซซาร์จได้เช่นกัน ซึ่งกระบวนการปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวของตัวนำสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ ที่ผิวตัวนำจะมีโมเลกุลอยู่ใกล้กันมาก จนกระทั่งอิเล็กตรอนวงนอกสุดของโมเลกุลหนึ่ง อาจจะเป็นอิเล็กตรอนในอีกโมเลกุลหนึ่งได้ ถ้าอิเล็กตรอนตัวใดตัวหนึ่งมีพลังงานสูงพอ ก็จะสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ อย่างไรก็ตามในตัวนำ เราเรียกอิเล็กตรอนเหล่านี้ว่า อิเล็กตรอนอิสระ อย่างไรก็ตามที่ผิวของตัวนำ จะมีกำแพงพลังงานศักย์ (Potential Energy Barrier) กั้นอยู่ ทำให้อิเล็กตรอนไม่สามารถหลุดออกมาจากพื้นผิวของตัวนำได้ นอกเสียจากมันจะได้รับพลังงานเพิ่มเติมจากภายนอก ซึ่งเราอาจแบ่งการปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวตัวนำไฟฟ้าได้ตามแหล่งพลังงานที่พวกมันได้รับมาจากภายนอกออกเป็น 4 รูปแบบ [2] ดังนี้คือ

2.1.2.1 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากพื้นผิวตัวนำโดยผลของอุณหภูมิ (Thermionic Emission) คือการที่อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวตัวนำ โดยได้รับพลังงานเพิ่มเติมในรูปของพลังงานความร้อน ตัวอย่างเช่น การเผาขั้วคาโทดในหลอดสุญญากาศโดยให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ถ้าอุณหภูมิสูงพอจะส่งผลให้มีอิเล็กตรอนบางตัวที่มีพลังงานสูงอยู่แล้ว มีพลังงานมากขึ้น จนกระทั่งสามารถหลุดออกมาจากพื้นผิวของตัวนำได้

2.1.2.2 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากพื้นผิวตัวนำโดยพลังงานแสง (Photoelectric Emission) หมายถึงการที่อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากผิวของตัวนำโดยการได้รับพลังงานโฟตอนจากการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น ในกรณีของการยิงแสงเหนือม่วงตกกระทบกับขั้วคาโทดของหลอดคิซซาร์จ เป็นต้น

2.1.2.3 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากพื้นผิวตัวนำโดยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Field Emission) คือการที่อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวของตัวนำได้โดยการได้รับอิทธิพลจากสนามไฟฟ้าภายนอก ผิวของตัวนำเมื่อมีผลกระทบจากสนามไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้องจะส่งผลให้กำแพงพลังงานศักย์มีค่าลดลง ซึ่งจะมีผลให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากผิวของตัวนำด้วยพลังงานความร้อนได้ง่ายขึ้น แม้แต่ค่าอุณหภูมิห้องก็สามารถทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาได้ และที่สนามไฟฟ้าสูงมาก ๆ ความหนาแน่นของกำแพงพลังงานศักย์จะแคบลง ทำให้อิเล็กตรอนบางตัวที่ถึงแม้ว่าจะมีพลังงานไม่สูงเท่าไร ก็สามารถจะหลุดทะลุผ่านกำแพงออกมาได้ ซึ่งเราเรียกว่า ผลของอุโมงค์ (Tunnel

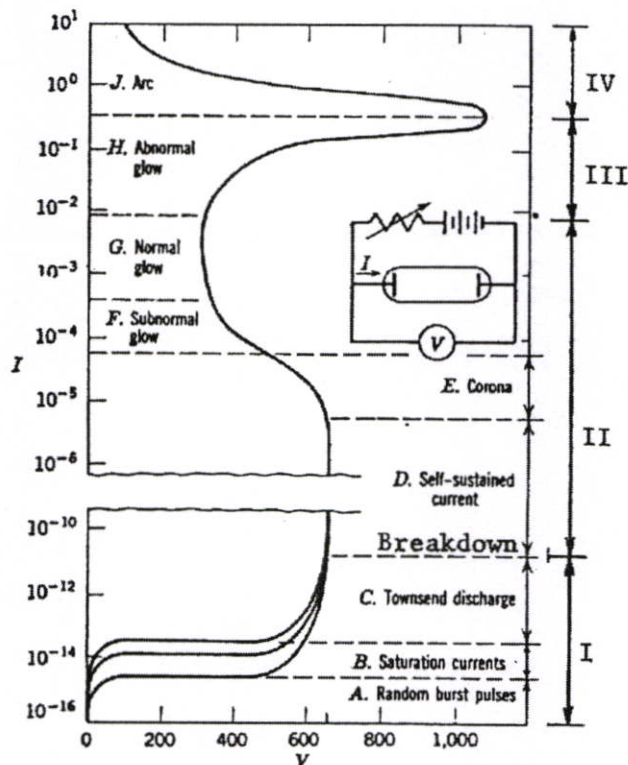
Effect) และการที่อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากผิวตัวนำเช่นนี้ เราเรียกว่า การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากพื้นผิวตัวนำโดยสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั่นเอง

2.1.2.4 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากพื้นผิวตัวนำโดยการชนของอนุภาค (Secondary Emission) เป็นการที่อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากผิวตัวนำ เนื่องจากได้รับพลังงานเพิ่มเติมจากการกระทบของไอออนบวกหรือของโมเลกุลที่อยู่ในสภาวะไม่เสถียร โดยกระบวนการปล่อยอิเล็กตรอนจากผิวตัวนำ (หรืออาจเรียกว่าการแผ่รังสี)

2.1.3 การคายประจุในอากาศหรือในก๊าซ

การคายประจุในอากาศหรือในก๊าซ (Gaseous discharge) เป็นการอธิบายถึงปรากฏการณ์การไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านอากาศโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุไฟฟ้าที่เกิดจากการแตกตัวของไอออนด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.1.1 ซึ่งการแตกตัวของไอออนนั้นจะเกิดขึ้นได้จะต้องมีสนามไฟฟ้าเป็นต้นเหตุให้อนุภาคมีพลังงานเพียงพอที่จะเคลื่อนที่ไปสู่อิเล็กโทรดได้ และนั่นหมายถึงกระแสที่กำลังไหลอยู่ในอากาศ

จากผลการทดลองวัดกระแสคายประจุในแกป (Gap) ระหว่างอิเล็กโทรดแผ่นระนาบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร และมีระยะแกป 50 เซนติเมตร ที่ความดันก๊าซนีออน 1 Torr จะปรากฏลักษณะของกระแส - แรงดันในช่วงต่างๆดังรูปที่ 2.1 [3]



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันในแกปคายประจุของก๊าซนีออน

จากรูปที่ 2.1 จะพบว่า การคายประจุในอากาศหรือในก๊าซ เป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการที่จะนำไปสู่การเกิดปรากฏการณ์ต่างๆทางไฟฟ้า โดยลำดับขั้นของการคายประจุ นั้น จะแบ่งออกได้เป็น 4 ช่วงด้วยกัน

ช่วง I : การคายประจุแบบทาวน์เซนด์ (Townsend Discharge)

เป็นช่วงที่เรียกว่า การคายประจุที่ประทุตัวเองไม่ได้ (Non – Self Sustained Discharge) เขตของช่วงนี้กำหนดด้วยแรงดันเริ่มต้น (Ignition Voltage, Threshold Voltage) เมื่อฉายรังสีเข้าไปที่คาโอด (เช่นรังสีอัลตราไวโอเล็ตหรือรังสีเอ็กซ์) ค่ากระแสจะเพิ่มขึ้นตามแรงดันที่ป้อนในระยะเริ่มต้น และจะอิ่มตัว (ในย่าน B) เนื่องจากอิเล็กตรอนที่ออกจากคาโอดหรือเกิดขึ้นในก๊าซทั้งหมด วิ่งไปถึงอานออดหมด ในช่วงนี้ กระแสจะไม่เพิ่มขึ้นตามแรงดันที่เพิ่ม จนกระทั่งถึงค่าหนึ่ง กระแสจะเริ่มเพิ่มขึ้นอีกครั้งในลักษณะอย่างเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential) จนถึงจุดหนึ่งแรงดันที่ตกคร่อมแกปจะหดตัว และกระแสจะไหลเพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งจำกัดได้ด้วยวงจรรายนอกเท่านั้น ที่จุดนี้เราจะเรียกว่าเกิดการ “เบรกดาวน์” (Breakdown) โดยเมื่อเกิดการเบรกดาวน์แล้ว จะส่งผลให้การคายประจุที่เกิดขึ้นกลายเป็นการคายประจุที่ประทุตัวเองได้ (Self Sustained Discharge) คือจะมีกระแสไหลต่อไปได้ถึงแม้ว่าจะเอาต้นกำเนิดในการฉายแสงหรือรังสีไปยังคาโอดออกก็ตาม

ช่วงที่ II : การคายประจุแบบเรืองแสงปกติ (Normal Glow Discharge)

หลังจากเกิดการเบรกดาวน์แล้ว ถ้าปล่อยให้กระแสที่ค่าเพิ่มขึ้นต่อไป โดยการตัดความต้านทานของวงจรรายนอกออก แรงดันตกคร่อมแกปคิซาร์จจะลดลงจนเหลือค่าต่ำสุด (ย่าน F และ G) ที่เรียกว่าย่านเรืองแสงปกติ การคายประจุในลักษณะนี้ อาจคงสภาพอยู่ได้ โดยมากจะเกิดขึ้นที่ก๊าซที่มีค่าความต้านทานต่ำ สำหรับในอากาศที่ความดันบรรยากาศนั้น อาจเกิดขึ้นที่สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงเท่านั้น

ช่วงที่ III : การคายประจุเรืองแสงแบบไม่ปกติ (Abnormal Glow Discharge)

หลังจากถึงย่านคิซาร์จเรืองแสงปกติแล้ว ถ้ากระแสเพิ่มขึ้นต่อไปเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียล เราจะเรียกว่าการคายประจุเรืองแสงแบบไม่ปกติ จะเกิดการไอออนไนซ์เนื่องมาจากความร้อนในก๊าซและที่พื้นผิวของตัวนำ

ช่วงที่ IV : การคายประจุแบบอาร์ค (Arcing Discharge)

เมื่อผ่านช่วงที่ 3 มา ถ้ายังปล่อยให้กระแสเพิ่มขึ้นต่อไปอีก ในที่สุดก็จะเกิดปรากฏการณ์ของการคายประจุที่เรียกว่า การคายประจุแบบอาร์ค ซึ่งจะมีอิเล็กตรอนหลุดออกจากคาโอดด้วยความร้อน และจะเกิดมีแสงจ้าเนื่องจากลำอาร์ค

โดยการคายประจุเบรกดาวน์ในแกปอากาศ จะแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1. การเบรกดาวน์แบบสมบูรณ์ (Complete Breakdown) หมายถึง การเกิดเบรกดาวน์โดยตลอดแกปอากาศที่เชื่อมโยงระหว่างอิเล็กโตรด ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อวัสดุฉนวนสูญเสียสภาพความเป็นฉนวนไปจนหมดสิ้น หลังจากเบรกดาวน์เกิดขึ้นในฉนวนแล้วแรงดันจะเหลือน้อยมาก มีกระแสไหลอยู่สูง

ตามแนวที่เกิดการเบรกดาวนั้ กระแสเบรกดาวนั้ นี้ จะจำกัดด้วยความต้านทานภายในของตัวจ่ายแรงดัน ในขณะที่กำลังเกิดการเบรกดาวนั้ ขึ้นนั้น จะเป็นเวลาเดียวกับที่การอาร์คกำลังจะเริ่มเกิดขึ้น

2. การเบรกดาวนั้เพียงบางส่วน (Partial Breakdown) หรือเรียกว่าการเบรกดาวนั้ไม่สมบูรณ์ จะเกิดขึ้นในระบบการฉนวนที่มีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง (แพคเตอร์สนามไฟฟ้า τ มีค่าต่ำ) การเบรกดาวนั้เพียงบางส่วนอาจเกิดก่อนการเบรกดาวนั้แบบสมบูรณ์ได้ เป็นการเกิดไอออนไนซ์ในแก๊สเพียงบางส่วน บางทีเราก็เรียกว่าการดิสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge) หรือ 프리ดิสชาร์จ (Pre – Discharge) อย่างเช่นการดิสชาร์จแบบโคโรน่าดิสชาร์จเป็นต้น ซึ่งจะได้กล่าวโดยละเอียดในหัวข้อต่อไป

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโคโรน่า

คำว่า “โคโรน่า” (Corona) มีความหมายดั้งเดิมว่า “วงรัศมีของแสงที่ปรากฏอยู่รอบดวงอาทิตย์” ซึ่งคำว่าโคโรน่านี้ถูกนำมาใช้ในด้านวิศวกรรมไฟฟ้าโดยนักฟิสิกส์ผู้หนึ่ง ที่นำมาใช้อธิบายการเกิดปรากฏการณ์ดิสชาร์จบางส่วน ณ บริเวณที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าสูง ยกตัวอย่างเช่น ที่บริเวณพื้นผิวของตัวนำที่มีลักษณะเป็นแบบจุดหรือเป็นก้านทรงกระบอก ที่อยู่ในบริเวณที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าสูงและอยู่ตรงข้ามกับตัวนำอีกขั้วหนึ่งในระยะห่างพอประมาณ ซึ่งการเบรกดาวนั้บางส่วนในอากาศนี้ี้จะมีความแตกต่างจากการเบรกดาวนั้ตามธรรมชาติอยู่เล็กน้อย และจะสามารถเห็นการเบรกดาวนั้อย่างสมบูรณ์นี้ี้ได้จากช่องว่างเล็กๆระหว่างตัวนำ [4]

ปรากฏการณ์โคโรน่านั้นจะแตกต่างจากการดิสชาร์จที่เกิดขึ้นจากด้านในของฟองอากาศภายในฉนวนที่เป็นของแข็งและของเหลว ถึงแม้ว่าจะมีลักษณะแบบเดียวกันกับการเกิดปรากฏการณ์ดิสชาร์จในแก๊ส โดยการเกิดโคโรน่าดิสชาร์จนั้น จะมีผลที่ตามมาอีกหลายประการ เช่น การเกิดแสงที่มองเห็นได้ตามพื้นผิวดำนำ การเกิดเสียงรบกวน กระแสไฟฟ้า การสูญเสียพลังงาน การรบกวนคลื่นความถี่วิทยุ การสั่นในทางกลและรวมถึงการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งจะผลิตกลิ่นฉุนของโอโซนและไนโตรเจนออกไซด์ออกมา

2.3 ลักษณะและชนิดของปรากฏการณ์โคโรน่า

2.3.1 ลักษณะของปรากฏการณ์โคโรน่าโดยทั่วไป

การเกิดปรากฏการณ์โคโรน่าดิสชาร์จขึ้นนั้น อาจกล่าวได้อย่างง่ายๆ ว่า จะเกิดจากค่าความเข้มสนามไฟฟ้าบนพื้นผิวดำนำมีค่ามากเกินไปเกินกว่าค่าสนามไฟฟ้าวิกฤต(ที่ประมาณ 30 กิโลโวลต์ต่อตารางเซนติเมตร [5])

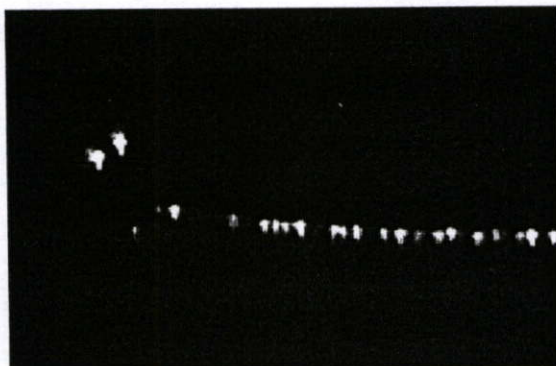
เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า อากาศโดยทั่วไปนั้น จะประกอบไปด้วยออกซิเจนและไนโตรเจนเป็นหลัก และยังมีโมเลกุลตรอนอิสระปะปนอยู่ในอากาศเป็นจำนวนมาก อันเป็นผลเนื่องมาจากวัตถุ

กัมมันตภาพรังสีที่เปลือกโลกและรังสีคอสมิกจากนอกโลก ในขณะที่หากพิจารณาอากาศ ณ บริเวณรอบๆผิวของตัวนำหรือโลหะที่ถูกกระตุ้นด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับในทุกๆ 50 เฮิร์ตซ์ จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้า ณ รอบบริเวณผิวดำดังกล่าว ซึ่งสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระในอากาศรอบๆตัวนำ โดยจะส่งผลให้อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของสนามไฟฟ้า และหากบริเวณรอบผิวดำนั้นมีความเข้มของสนามไฟฟ้ามากพอ ก็จะทำให้ให้อิเล็กตรอนอิสระมีความเร็วและพลังงานเพียงพอที่จะเคลื่อนที่ไปปะทะกับ โมเลกุลของอากาศที่มีความเสถียรหรือมีสภาพเป็นกลาง และผลจากการปะทะจะส่งผลให้โมเลกุลเหล่านั้นสูญเสียอิเล็กตรอนวงนอกสุดออกมา เมื่อโมเลกุลในอากาศสูญเสียอิเล็กตรอนวงนอกสุดออกมาก็จะทำให้มันกลายเป็นประจุไฟฟ้าบวกโดยการปะทะกันระหว่างอิเล็กตรอนอิสระกับ โมเลกุลของอากาศนั้นจะเกิดลักษณะเช่นนี้จะเกิดต่อกันไป ที่เรียกว่าปรากฏการณ์ไอออนไนซ์เชซัน ซึ่งถ้าพิจารณาให้ดีๆจะเห็นว่าจำนวนของอิเล็กตรอนที่ลอยอยู่ในอากาศนั้นจะเพิ่มขึ้น ในลักษณะทวีคูณตามปริมาณการปะทะกันในแต่ละครั้ง เรียกว่า “อิเล็กตรอนอะวาแลนซ์” (Electron Avalanche) [6]

ความเข้มของสนามไฟฟ้ารอบๆตัวนำ จะเป็นแบบไม่สม่ำเสมอ และจะมีความเข้มสูงสุดที่บริเวณพื้นผิวของตัวนำ ดังนั้นเมื่อค่าแรงดันในตัวนำถูกทำให้มีค่าเพิ่มมากขึ้น ก็จะส่งผลให้ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่บริเวณพื้นผิวมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และหากยังคงเพิ่มขึ้นต่อไปก็จะทำให้มันเข้าสู่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าวิกฤต ซึ่งจะทำให้เกิดการดิซชาร์จขึ้นตามผิวของตัวนำ ในช่วงที่แรงดันไฟฟ้าภายในตัวนำในขณะนั้นอยู่ในครึ่งไซเคิลบวก อิเล็กตรอนอะวาแลนซ์จะมีทิศทางเคลื่อนเข้าสู่ผิวดำนำ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาในการดึงดูดกันระหว่างขั้วบวกของสนามไฟฟ้ากับขั้วลบของอิเล็กตรอน จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าในตัวนำเปลี่ยนมาอยู่ที่ครึ่งไซเคิลลบก็จะเกิดการผลัดกันระหว่างขั้วลบของสนามไฟฟ้ากับตัวอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนอะวาแลนซ์มีทิศทางเคลื่อนที่ออกจากผิวดำนำ ไปยังบริเวณที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าที่ต่ำกว่า และมันจะหยุดการอะวาแลนซ์เมื่อความเข้มสนามไฟฟ้าที่ค่าน้อยเกินกว่าที่จะสามารถเร่งให้อิเล็กตรอนมีความเร็วพอที่จะทำให้เกิดการไอออนไนซ์ได้

สำหรับประจุบวกที่เกิดขึ้นจากอิเล็กตรอนอะวาแลนซ์ของนั้น มันจะมุ่งหน้าอย่างช้าๆเข้าหาอิเล็กโตรดที่มีขั้วลบ แต่เนื่องจากที่มวลของตัวมันที่มีค่ามากกว่าอิเล็กตรอนถึง 50,000 เท่า จึงทำให้มันเคลื่อนที่ได้ช้า และเมื่อประจุบวกเหล่านี้ ลอยไปจับตัวกับอิเล็กตรอนที่อยู่อิสระ (Wandering Electron) พวกมันจะรวมตัวกันกลายเป็น โมเลกุลที่เป็นกลางอีกครั้ง ซึ่งเราพบว่าระดับพลังงานของโมเลกุลที่เกิดจากการรวมตัวกันใหม่นี้ จะมีค่าน้อยกว่าพลังงานของประจุบวก จึงหมายความว่าเมื่อประจุบวกมีการจับตัวกับอิเล็กตรอนอิสระ โมเลกุลที่เกิดขึ้นใหม่นั้นจะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมา ที่เราเรียกว่า “ควอนต้า” (Quanta) หรือ “ซังค์” (Chunk) โดยค่าควอนต้าหรือซังค์นี้จะมีปริมาณพลังงานเท่ากับค่าพลังงานที่ใช้ในการชนให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจาก โมเลกุลในตอนแรก

นั่นเอง และจะมีลักษณะเป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีการแพร่กระจายออกมาในระดับที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า [6]



รูปที่ 2.2 การเกิดการวาบไฟตามผิวของตัวนำหรือที่เรียกว่า “ปรากฏการณ์โคโรนา”

2.3.2 ชนิดของปรากฏการณ์โคโรนา

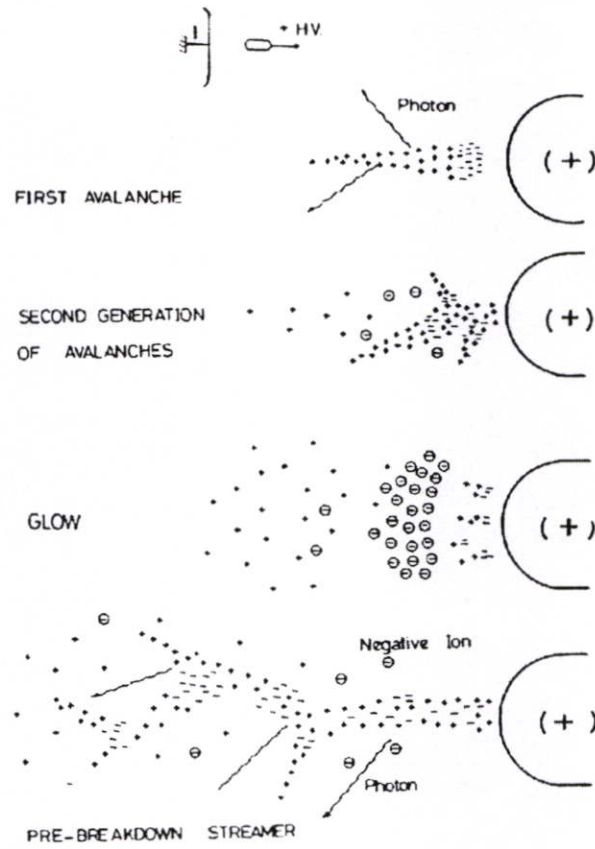
หากแบ่งตามกลไกในการเกิดโคโรนาดิสชาร์จ กระบวนการในการดิสชาร์จนั้นจะขึ้นอยู่กับข้อของแรงดันที่ป้อนให้กับตัวนำเป็นสำคัญ ดังนั้นเราจะเริ่มพิจารณาจากแต่ละข้อของแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงก่อนในอันดับแรก

2.3.2.1 โคโรนาที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าบวก (Positive Corona)

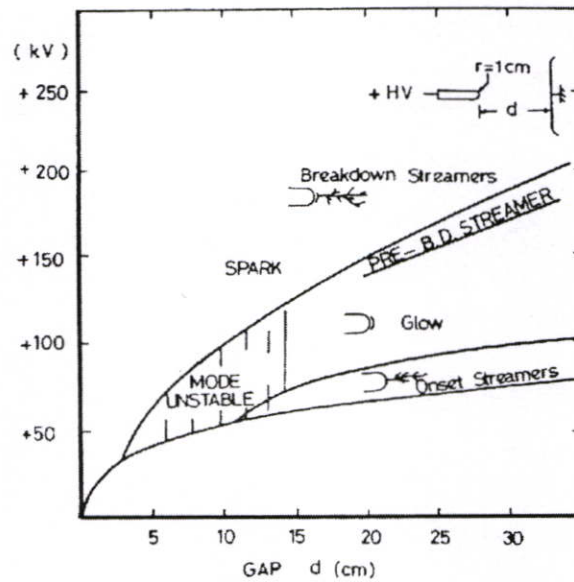
ที่ระดับแรงดันเริ่มต้นและที่สูงขึ้นมาเล็กน้อย ณ ช่องว่างอากาศเล็กๆของอาโนดที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าเพียงพอจะทำให้เกิดการไอออนไนซ์เนื่องจากการปะทะกันของอิเล็กตรอน เมื่ออิเล็กตรอนอิสระถูกทำให้เคลื่อนที่ไปตามพื้นผิวของอาโนด (หมายถึงตัวนำที่มีแรงดันด้านไฟบวก) โดยอิทธิพลของสนามไฟฟ้า ก็จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอะวาลานซ์ขึ้น โดยกลุ่มของประจุบวกจะเกิดที่บริเวณส่วนต้นของการอะวาลานซ์ใกล้ๆกับอาโนดและจะเคลื่อนที่ต่อไปยังอาโนดในที่สุด ซึ่งในสถานะต่อมาก็จะเกิดการอะวาลานซ์ขึ้น โดยตรงกับอาโนดและกับกลุ่มของประจุบวกเหล่านั้น (ดังรูปที่ 2.3) การเกิดโคโรนาในลักษณะนี้ จะประกอบด้วยเกิดสตรีมเมอร์เริ่มต้น ถ้าพิจารณาในสถานะที่เหมาะสม เมื่อมีความเข้มสนามไฟฟ้าที่ช่องว่างของอาโนดสูงมากพอ อาจทำให้เกิดการสร้างรูปแบบของสตรีมเมอร์ที่เราเรียกว่า “เบิร์สต์ – พัลส์ สตรีมเมอร์” (Burst – Pulse Streamer) ขึ้นมา

ในบริเวณพื้นผิวอาโนดที่ยังคงมีสนามไฟฟ้าสูงอยู่ ประจุไฟฟ้าลบจะไม่สามารถทนอยู่ในสถานะเสถียรได้ และจะเกิดการแตกตัวเนื่องจากการพรีเบรกดาวน์สตรีมเมอร์ (Pre – Breakdown Streamer) อย่างรุนแรง ซึ่งจะทำให้กระแสพัลส์มีค่าสูงขึ้น หากเรายังคงจ่ายแรงดันเพิ่มขึ้นต่อไปเรื่อยๆ ก็จะเกิดปรากฏการณ์เบรกดาวน์ขึ้น

รูป 2.4 แสดงให้เห็นถึงช่วงของการเบรกดาวน์จากการคายประจุของโคโรนาที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านบวกที่ป้อนให้แก่แก๊สระหว่างตัวนำแบบจุดกับแผ่น (Point – Plane)



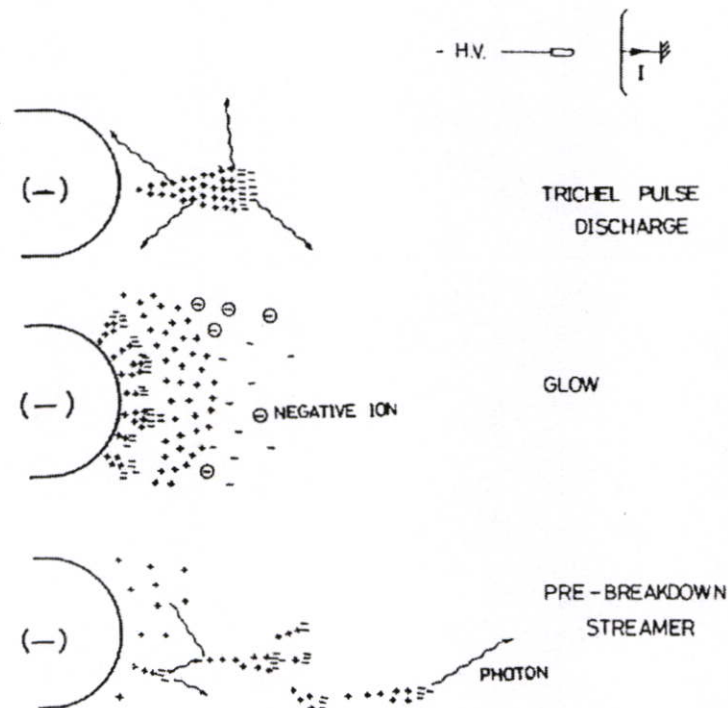
รูปที่ 2.3 การเพิ่มขึ้นของการอะวาลานซ์ในการติสซาร์จของโคโรน่าที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าบวก



รูปที่ 2.4 แรงดันเริ่มต้นของโคโรน่าที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าบวกที่ค่ากระแสต่างกันและค่าแรงดันเบรกควาน์ที่เกิดจากแกประหว่างตัวนำแบบจุดกับแผ่น

2.3.2.2 โคริน่าที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าลบ (Negative Corona)

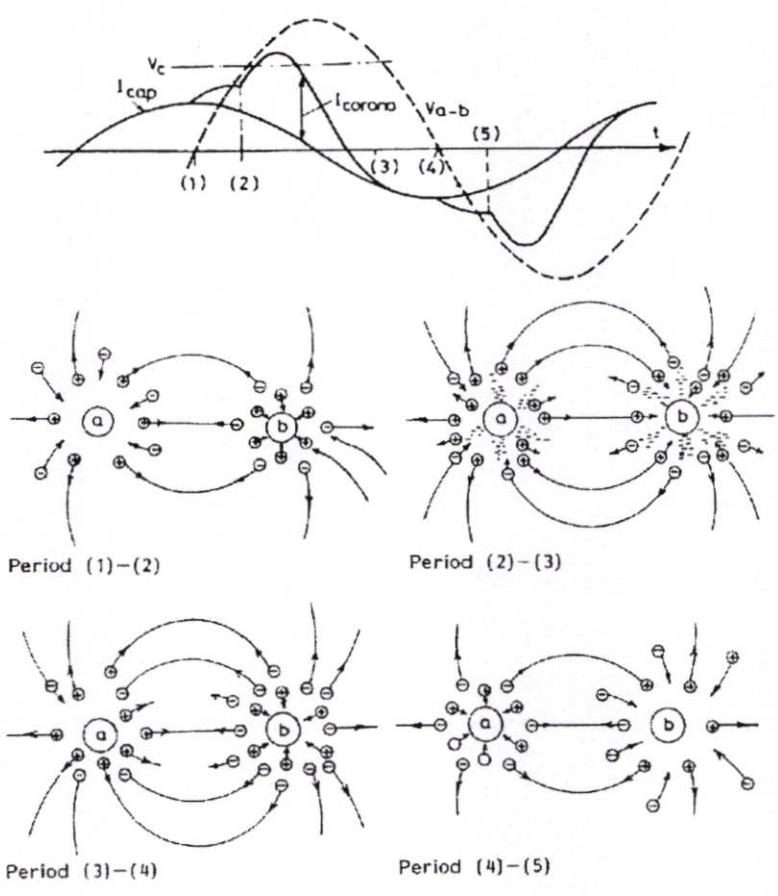
ที่ระดับค่าแรงดันเริ่มต้นและที่สูงขึ้นมาเล็กน้อย ปรากฏการณ์โคริน่าที่พื้นผิวของคาโอด (หมายถึงตัวนำที่มีแรงดันด้านไฟลบ) จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและจะมีการสั้นอย่างคงที่เป็นจังหวะที่เรารู้จักกันในชื่อของ ทริกเชล พัลส์ โคริน่า (Trichel Pulse Corona) โดยกระแสแต่ละพัลส์จะหมายถึงอิเล็กตรอนอะวาลานซ์หนึ่งตัวที่กำลังเกิดขึ้นในบริเวณที่มีการไอออนไนซ์ (ดังรูปที่ 2.5) ซึ่งในกรณีนี้ บริเวณที่เกิดการไอออนไนซ์จะแผ่ขยายออกไปจากพื้นผิวของตัวนำ จนกระทั่งถึงตำแหน่งที่มีค่าสนามไฟฟ้าต่ำกว่าที่จะทำให้เกิดการไอออนไนซ์ได้โดยการปะทะกันของอิเล็กตรอน สำหรับในตำแหน่งที่อยู่ห่างออกไป อิเล็กตรอนอะวาลานซ์จำนวนมากจะมีการรวมตัวกับโมเลกุลของอากาศและกลายเป็นประจุไฟฟ้าลบเคลื่อนที่ลอยออกจากคาโอดอย่างช้าๆ โดยในระหว่างที่เกิดการเรืองแสง จะมีโฟตอนบางตัวแพร่กระจายแสงออกมาจากศูนย์กลางของการอะวาลานซ์ และเมื่อเราเพิ่มค่าแรงดันที่ป้อน ก็จะทำให้ ทริกเชล พัลส์ มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยมันจะขึ้นอยู่กับค่าวิกฤตของโคริน่าที่เกิดจากแรงดันลบที่ได้รับไปสู่สภาวะคงตัวในการเรืองแสงจากแรงดันลบ (Negative Glow) โดยในขณะที่ยังคงมีการพรีเบรกดาวน์สตรีมเมอร์ที่ตำแหน่งแรงดันที่สูงกว่า ก็จะทำให้เกิดการเบรกดาวน์อย่างสมบูรณ์ระหว่างช่องว่างของตัวนำขึ้นในที่สุด



รูปที่ 2.5 การเพิ่มขึ้นของการอะวาลานซ์ในการดิสชาร์จของโคริน่าที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าลบ

2.3.2.3 โครโน่าที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Corona)

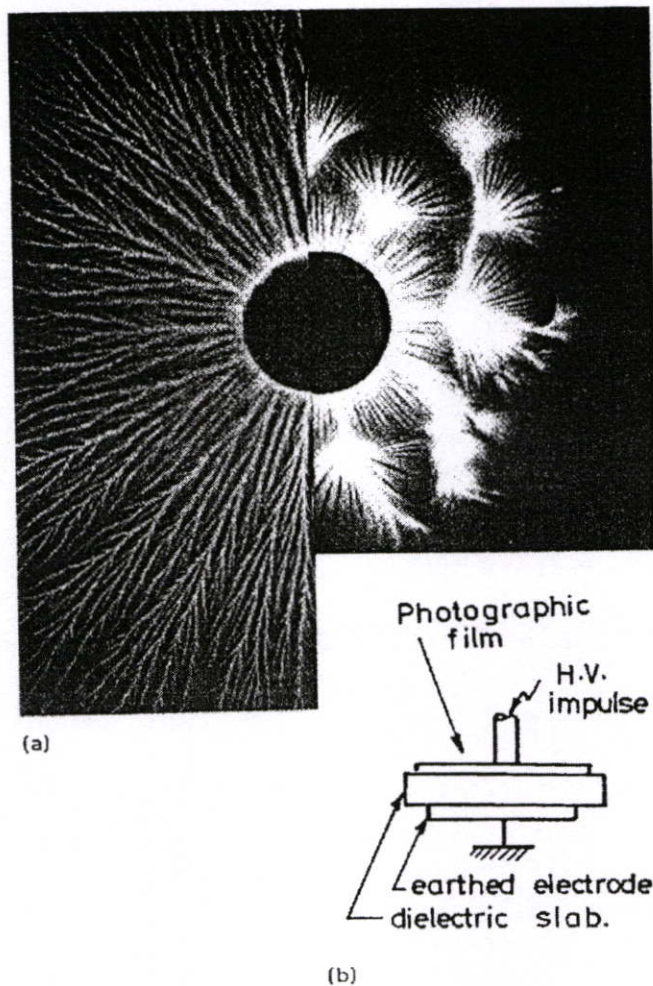
ความแตกต่างชั้นพื้นฐานที่สามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนระหว่างการเกิดโครโน่ากระแสสลับกับโครโน่าที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสตรงนั้นก็คือการเปลี่ยนแปลงทิศทางหรือขั้วไฟฟ้าของแรงดันที่ป้อนไปตามคาบเวลาที่มีผลต่อประจุไฟฟ้าที่ยังคงเหลือในบริเวณรอบๆตัวนำที่เกิดจากการคายประจุของครึ่งไซเคิลก่อนหน้า (รูปที่ 2.6) ซึ่งสตรีมเมอร์บวกเริ่มต้นกับบรัลท์ - พัลซ์สตรีมเมอร์ อาจจะปรากฏขึ้นได้แม้ว่าจะมีค่าแรงดันเริ่มต้นเพียงน้อยนิดก็ตาม โดยจะเกิดตามการเรืองแสงในด้านบวก สำหรับทั้งทริกเซิล พัลซ์ลบและการเรืองแสงด้านลบนั้นสามารถจะมองเห็นได้ในโครโน่ากระแสสลับ และถ้าแรงดันที่ป้อนมีค่าที่เหมาะสมเราจะสามารถสังเกตเห็นทั้งการเรืองแสงในด้านบวกและด้านลบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการจัดวางตัวนำด้วยอีกประการหนึ่ง



รูปที่ 2.6 ภาพจำลองการเกิด โครโน่ากระแสสลับที่เกิดจากแก๊สแบบสมมาตรระหว่างตัวนำ a และ b ที่วางขนานกัน

2.3.2.4 อิมพัลซ์โคโรนา (Impulse Corona)

ภายใต้แรงดันอิมพัลซ์ การเกิดโคโรนาเกือบจะสมบูรณ์ภายในแก๊ปอากาศ ซึ่งจะทำให้มีอิเล็กตรอนอะวาลานซ์และสตรีมเมอร์ต์ออกไปนอกเหนือจากช่องว่างของแก๊ป การสร้างสตรีมเมอร์เริ่มต้นและรูปแบบรอยการแผ่ขยายของมันสามารถมองเห็นได้อย่างง่ายดายบนแผ่นฟิล์มที่วางขึ้นอยู่ระหว่างอาโนดกับคาโทด ที่เรารู้จักกันว่า “ภาพลิตซ์เท่นเบิร์ก” (Lichtenberg figures) [4] ดังแสดงในรูปที่ 2.7 จากรูปจะไม่สามารถสร้างจากไฟฟ้ากระแสตรงได้ เนื่องจากผลกระทบของการชอกกิ้ง (Choking effect) ที่เกิดจากสะสมของกลุ่มประจุไฟฟ้าในอากาศบริเวณนั้น ภายใต้อิทธิพลของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ จะมีรอยการแผ่ขยายวางทับซ้อนกันอยู่เป็นจำนวนมาก



รูปที่ 2.7 การเกิดโคโรนาที่สร้างจากแรงดันอิมพัลส์ (a) ภาพขาวสร้างจากแรงดันลบ, ภาพถ่ายสร้างจากแรงดันบวก (b) ชุดทดสอบ

2.3.3 แรงดันโคโรน่าเริ่มต้น

โดยจากการทดลองและจากการคำนวณการเริ่มต้นการเกิดโคโรน่า ณ บริเวณพื้นผิวของตัวนำ เมื่อแรงดันที่ตัวนำมีค่าสูงมากเกินค่าแรงดันวิกฤต E_0 ซึ่งขนาดของ E_0 จะขึ้นอยู่กับขั้วแรงดันไฟฟ้า และความดันบรรยากาศกับค่าอุณหภูมิแวดล้อม ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะมีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ค่าความดันบรรยากาศ p (kPa) และอุณหภูมิ θ ($^{\circ}\text{C}$) จะถูกรวมเข้าไปอยู่ในค่าแฟกเตอร์ δ อยู่ด้วยแล้ว ส่วนความหนาแน่นของอากาศสัมพัทธ์จะถูกอ้างโดย STP [4] ดังนี้

$$\delta = \frac{2.94p}{273+\theta} \quad (2.3)$$

โดย δ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.9 ถึง 1.1 จากการทดลองวัดค่า E_0 จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้ สำหรับไฟฟ้ากระแสสลับ

$$E_0 = 30\delta \quad (\text{kV}_{peak}/\text{cm}) \quad (2.4)$$

สำหรับไฟฟ้ากระแสตรง

$$E_{\pm} = A_{\pm}\delta + B_{\pm}\sqrt{\frac{\delta}{r}} \quad (\text{kV}/\text{cm}) \quad (2.5)$$

โดยค่า A_+ จะอยู่ในช่วง 31 ถึง 39.8, A_- จะอยู่ในช่วง 29.4 ถึง 40.3 และ B_+ จะอยู่ในช่วง 11.8 ถึง 8.4, B_- จะอยู่ในช่วง 9.9 ถึง 7.3

ภายใต้อิทธิพลของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า E_v จะมีสามารถทำให้มองเห็นปรากฏการณ์โคโรน่าที่พื้นผิวของตัวนำ ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้ดังสมการ $E_v = 30\delta(1 + 0.3/\sqrt{\delta \cdot r})$ โดย r หมายถึงรัศมีของตัวนำมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

2.4 ผลกระทบจากปรากฏการณ์โคโรน่า

ผลจากการเกิดโคโรน่าดิสชาร์จขึ้นในลักษณะของการอะวาลานซ์ของอิเล็กตรอนนั้น เราจะสามารถสังเกตเห็นได้หลายวิธี [6] ดังนี้

1. โดยการสังเกตจากแสงของปรากฏการณ์โคโรน่าที่มองเห็นได้ (Visual Corona) ซึ่งจะปรากฏเป็นแสงสีม่วงออกมาจากบริเวณที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าอยู่สูงมากๆ (Overstress) โดยการสังเกตดู

ได้จากพื้นผิวของตัวนำหรืออุปกรณ์ต่างๆในสภาวะที่มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เห็นนี้เป็นผลมาจากการรวมตัวกันระหว่างประจุบวกของไนโตรเจนกับอิเล็กตรอนอิสระในอากาศ

2. สามารถทราบได้จากผลการรบกวนคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Interference: RI) ที่เกิดจากการอะวาลานซ์ของอิเล็กตรอน โดยจะมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นมา โดยจะสร้างทั้งสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าสถิตขึ้นมาใกล้ๆกันในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ในแบบทันทีทันใด ซึ่งจะทำให้เกิดโวลต์เดจพัลซ์ที่มีความถี่สูงไปรบกวนสัญญาณความถี่วิทยุในย่านใกล้เคียง โดยเราเรียกโวลต์เดจพัลซ์นี้ว่า Radio Interference Voltage (RIV)

3. โดยการได้ยินจากสัญญาณรบกวนที่สามารถรับฟังได้ (Audible Noise: AN) ซึ่งเป็นเสียงที่มีลักษณะแบบเสียงกราง อาจเบามากจนหูมนุษย์ไม่สามารถรับฟังได้ (ในลักษณะของคลื่นที่มีความถี่ต่ำหรือคลื่นอุลตราซาวนด์) จนกระทั่งมีเสียงกรางดังที่ฟังได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของการเกิดปรากฏการณ์โคโรน่าที่ตัวอุปกรณ์ ณ ช่วงเวลานั้น ที่มีผลมาจากการดิสชาร์จหรือการเคลื่อนที่ของประจุบวกที่แตกตัวอยู่ในอากาศ

เนื่องจากงานวิจัยนี้ ได้นำเอาผลกระทบของการเกิดโคโรน่าที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนที่สามารถรับฟังได้มาใช้ในการวิเคราะห์ผลเพื่อหาการเกิดปรากฏการณ์โคโรน่ากับตัวอุปกรณ์ไฟฟ้าในขณะนั้น ฉะนั้นจะได้ข้อกล่าวถึงคุณลักษณะและการวัดค่าของสัญญาณรบกวนที่สามารถรับฟังได้ในลำดับต่อไป เพื่อให้เข้าใจถึงคุณลักษณะเฉพาะรวมไปถึงกรรมวิธีในการวัดค่าขนาดของมัน

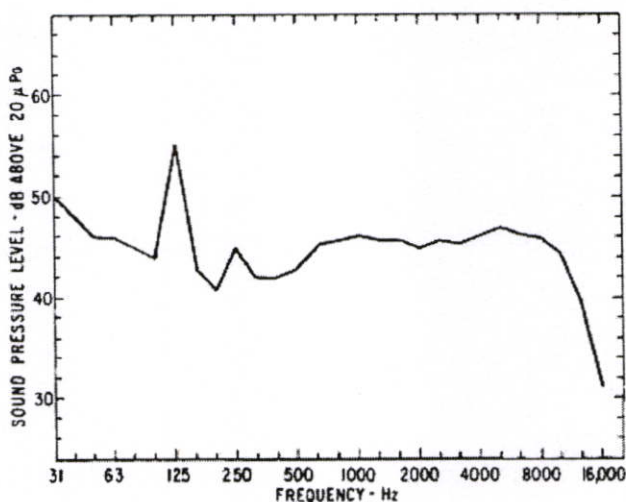
2.4.1 คุณลักษณะและการวัดค่าของสัญญาณรบกวนที่สามารถรับฟังได้

ดังที่กล่าวไว้ในข้างต้นว่าสัญญาณรบกวนที่มนุษย์รับฟังหรือได้ยินได้ในระบบไฟฟ้านั้น จะเกิดจากการแตกตัวของประจุไฟฟ้าในอากาศที่เกิดขึ้นเนื่องจากปรากฏการณ์โคโรน่า ซึ่งหมายความว่า มันจะเกิดขึ้นเฉพาะในระบบไฟฟ้าแรงสูงเท่านั้น โดยสัญญาณรบกวนที่มนุษย์สามารถรับฟังหรือได้ยินได้ที่เกิดขึ้นนั้นจะประกอบไปด้วย 2 องค์ประกอบหลักๆ คือ “องค์ประกอบบรอดแบนด์” (Broadband Component) เป็นองค์ประกอบความถี่ในย่านความถี่สูงที่สามารถรับรู้ได้ถึงความแตกต่างกับสัญญาณเสียงรบกวนของสภาพแวดล้อมต่างๆไป ความสัมพันธ์เฟสแบบสุ่ม (Random Phase) ของคลื่นแรงดัน (Pressure Wave) ที่ถูกสร้างขึ้นจากต้นกำเนิดของโคโรน่าแต่ละตำแหน่งตามสายส่งร่วมกับขนาดความถี่สูงจะทำให้เกิดเสียงแครกกิง (Cracking), ฟรายอิง (Frying) หรือฮิสซิง (Hissing) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของสัญญาณรบกวนในระบบไฟฟ้าแรงสูง เคยพบว่า องค์ประกอบบรอดแบนด์ของสัญญาณรบกวนต่างๆที่เกิดจากปรากฏการณ์โคโรน่านั้น อาจเพิ่มสูงถึงความถี่เหนือเสียงได้

สำหรับองค์ประกอบส่วนที่ 2 คือ องค์ประกอบในย่านความถี่ต่ำหรือที่เรียกว่า “องค์ประกอบเพียวโทน” (Pure Tone Component) ซึ่งมันจะวางซ้อนทับอยู่กับสัญญาณรบกวนบรอดแบนด์ เนื่องมาจากการดิสชาร์จในอากาศของปรากฏการณ์โคโรน่า มันจะผลิตประจุบวกและลบออกมา

ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้ากระแสสลับที่มีอยู่รอบๆสายตัวนำหรือหน้าสัมผัสของอุปกรณ์ โดยมันจะสร้างแรงดึงและผลักขึ้นที่บริเวณรอบๆตัวนำ และจากที่กล่าวมานี้จะมีผลทำให้แรงดันคลื่นสัญญาณเสียงของโคโรน่านั้นมีความถี่เป็นสองเท่าของความถี่ในระบบ [7] โดยสำหรับประเทศไทยใช้ระบบความถี่ในการส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 50 เฮิร์ตซ์ ดังนั้นแรงดันคลื่นสัญญาณเสียงของโคโรนาจึงมีองค์ประกอบความถี่เด่นชัดที่ 100 เฮิร์ตซ์ หรือหมายความว่าหากเรานำแรงดันคลื่นสัญญาณเสียงของโคโรนามาทำการสังเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณด้วยฟาสท์ ฟูเรียร์แล้ว เราจะพบว่าแรงดันคลื่นสัญญาณเสียงของโคโรนามีฮาร์โมนิกส์เด่นชัดจึงอยู่ที่ตำแหน่ง 100 เฮิร์ตซ์นั่นเอง ส่วนฮาร์โมนิกส์ที่สูงขึ้นไปตำแหน่ง 200 เฮิร์ตซ์นั้น ก็อาจมองเห็นได้แต่มันก็มีได้มีนัยสำคัญใดๆ

การเกิดปรากฏการณ์โคโรนาในแต่ละชนิด จะมีผลทำให้เกิดสัญญาณรบกวนหรือเสียงฮัม (Hum) ในระบบที่มีอัตราส่วนแตกต่างกันไป สำหรับสัญญาณรบกวนบรอดแบนด์ส่วนใหญ่จะเกิดจากสตรีมเมอร์ชั่วคราว ในขณะที่ทริกเซล พัลส์หรือโคโรนาที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าลบนั้น ทำให้เกิดการคายประจุไฟฟ้าที่มีความหนาแน่น ซึ่งจะก่อให้เกิดเสียงฮัมที่มีองค์ประกอบความถี่ ณ ตำแหน่ง 100 เฮิร์ตซ์ ความแตกต่างของสภาพภูมิอากาศหรือการเปลี่ยนแปลงฤดูกาล อาจส่งผลให้ขนาดของสัญญาณรบกวนและเสียงฮัมที่เกิดจากโคโรนาแตกต่างกันได้ อย่างเช่น ในฤดูฝนจะสามารถมองเห็นองค์ประกอบความถี่ของสัญญาณรบกวนบรอดแบนด์ได้อย่างชัดเจนดังแสดงให้เห็นในรูป



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างสเปกตรัมความถี่ของสัญญาณรบกวนที่สามารถรับฟังได้ที่เกิดจากระบบสายส่งในช่วงฤดูฝน*

หมายเหตุ* เนื่องจากรูปที่ 2.8 ที่นำมาแสดงประกอบการอธิบายนั้น เป็นการเก็บข้อมูลของประเทศสหรัฐอเมริกาที่ใช้ความถี่ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าเท่ากับ 60 เฮิร์ตซ์ ดังนั้นจึงมีองค์ประกอบความถี่เด่นชัดที่ประมาณ 120 เฮิร์ตซ์

จากรูปที่ 2.8 จะเห็นองค์ประกอบเด่นชัดของเสียงฮัมในระบบที่ตำแหน่งประมาณ 120 เฮิร์ตซ์ และจะสามารถเห็นมองเห็นได้เล็กน้อยอีกตำแหน่งหนึ่งที่ความถี่ประมาณ 240 เฮิร์ตซ์ สำหรับสัญญาณรบกวนบรอดแบนด์จะเริ่มมองเห็นได้ที่ความถี่ประมาณ 300 เฮิร์ตซ์ ขึ้นไป และจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงหลังจากความถี่ที่ประมาณ 10 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นผลมาจากแฟกเตอร์ 2 ส่วน คือ ผลตอบสนองทางความถี่ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของการดูดซับพลังงานในอากาศ

การลดทอนของสัญญาณรบกวนที่ส่งออกมาจากจุดกำเนิดนั้น จะมีค่าลดลงทุกๆ 3 เดซิเบลต่อการลอยห่างออกไปจากจุดกำเนิดสัญญาณเป็นระยะทางหนึ่งเท่า [7] อย่างเช่น ถ้าเราวัดค่าแรงดันคลื่นเสียงได้เท่ากับ 12 เดซิเบลที่ตำแหน่งห่างจากจุดกำเนิดสัญญาณเท่ากับ 10 เมตร ดังนั้นหากเราลอยห่างออกจากจุดกำเนิดสัญญาณไปที่ระยะทาง 20 เมตร มันจะมีการลดทอนสัญญาณลงไปเหลือเท่ากับ 9 เดซิเบลนั่นเอง การดูดซับ โมเลกุลของพลังงานคลื่นเสียงที่แพร่กระจายทางอากาศนั้น จะมีผลในการเพิ่มค่าการลดทอนให้สูงขึ้น ซึ่งมันเป็นฟังก์ชันของความถี่, อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ และที่ความถี่เพิ่มขึ้นก็จะส่งผลกระทบกับการดูดซับเพิ่มขึ้นด้วย ที่ระยะทางไกลจากตัวนำเพิ่มขึ้นสเปกตรัมของความถี่จะมีการลดทอนมากขึ้นด้วย

การวัดค่าสัญญาณรบกวนที่สามารถรับฟังได้

1 แรงดันเสียง ระดับแรงดันเสียงและเดซิเบล (Sound Pressure, Sound – Pressure Level, the Decibel)

ขนาดของคลื่นเสียงอาจจำแนกได้จากแรงดันเสียงของคลื่น สำหรับเสียงที่สม่ำเสมอในอากาศ อย่างเช่นสัญญาณรบกวนในสายส่ง คุณลักษณะนี้ถูกพบได้บ่อยในรูปของรากกำลังสองของขนาดของสัญญาณเบี่ยงเบนเล็กๆ ในแรงดันบรรยากาศ ซึ่งมาพร้อมกับการเดินทางของคลื่นเสียง โดยถูกแสดงในเทอมของไมโครปาสคาล ที่มีตัวย่อว่า μPa ($1 \mu\text{Pa} = 1 \mu\text{N}/\text{m}^2 = 10^{-5} \mu\text{bar}$)

ช่วงของการเบี่ยงเบนของแรงดัน ที่หูของมนุษย์สามารถจะรับฟังได้นั้นจะกว้างมาก เสียงที่ดังมากๆ อาจจะดังกว่า 1,000,000 เท่าของรากกำลังสองของแรงดันเสียงที่เงียบมากๆ เพื่อความสะดวกในการรายงานผล จึงได้มีการออกแบบสเกลแบบบีบที่อยู่บนพื้นฐานของลอการิทึมของแรงดันเสียง และนี่ก็คือระดับแรงดันเสียง ซึ่งแสดงเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปของเดซิเบลได้ดังนี้

$$\text{Sound pressure level} = 20 \log_{10} \left(\frac{\text{sound pressure}}{\text{reference pressure}} \right) \text{dB} \quad (2.6)$$

เป็นที่เข้าใจกันว่าระดับแรงดันเสียงคือค่ารากกำลังสองของแรงดันเสียงต่อแรงดันอ้างอิงที่มีค่าเท่ากับ $20 \mu\text{Pa}$ นอกเสียจากว่าจะกำหนดไว้อย่างชัดเจน (ควรจะกำหนดแรงดันอ้างอิงไว้เสมอ เมื่อมี

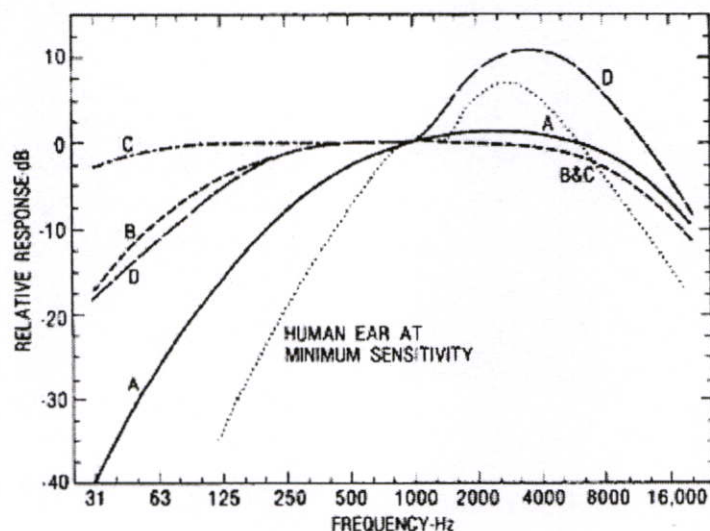
การกล่าวถึงระดับแรงดันเสียง ยกตัวอย่างเช่นสัญญาณรบกวนใดๆอาจจะมีระดับแรงดันเสียงเท่ากับ 50 เดซิเบลนับจาก 20 μPa)

2 ระดับเสียงที่ถูกกำหนดน้ำหนัก (Weighted Sound Level)

หูของมนุษย์จะตอบสนองได้ดีกว่าต่อย่านความถี่กลาง ซึ่งเป็นความถี่ที่นำพาข้อมูลของเสียงพูดได้ดีที่สุด คุณลักษณะนี้อาจแสดงให้เห็นว่าประจักษ์ได้ในการวัดเสียงโดยปรับสเปกตรัมของระดับแรงดันเสียงที่วัดได้ในเครื่องวัดเสียงที่ได้มาตรฐาน การปรับนี้สามารถทำได้โดยการใช้ระบบการให้น้ำหนักที่เลือกได้แบบ A-, B- หรือ C- การให้น้ำหนักนี้ถูกนำมาใช้ก็เพราะว่าความถี่บางความถี่มีความสำคัญหรือมีน้ำหนักแตกต่างจากความถี่อื่น

โดยส่วนใหญ่สเกลการวัดสัญญาณรบกวนที่ใช้กันอย่างแพร่หลายก็คือระดับเสียงที่ถูกกำหนดน้ำหนักแบบ A- ที่แสดงได้เป็นเดซิเบล(เอ) (เราไม่กล่าวถึง “แรงดัน” เมื่อพูดถึงระดับเสียงที่ถูกกำหนด) การกำหนดน้ำหนักแบบ A- ได้ถูกใช้มานานอย่างแพร่หลายสำหรับเสียงที่เกิดจากสายส่ง ถึงแม้ว่าการทดลองในห้องแล็บโดยเวลล์ [7] จะระบุว่าปฏิกิริยาตอบสนองอัตนัย (Subjective Reaction) ต่อสัญญาณรบกวนจากโคโรน่าจะสัมพันธ์กันได้ดีกว่ากับการวัดสัญญาณรบกวนที่ถูกกำหนดน้ำหนักแบบ B- ส่วนการกำหนดน้ำหนักแบบ C- ซึ่งบางครั้งถูกนำมาใช้วัดเสียงแบบอิมพัลส์ ไม่ค่อยถูกนำมาใช้นักกับสัญญาณรบกวนจากโคโรน่า

จากการศึกษาในปัจจุบันพบว่า การกำหนดน้ำหนักแบบ D- ของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากสายส่ง อาจจะทำให้ความสัมพันธ์ที่ดีกว่าปฏิกิริยาตอบสนองอัตนัยที่มีต่อสัญญาณรบกวน ดูเหมือนว่าการกำหนดน้ำหนักแบบ D- ได้ให้น้ำหนักที่เหมาะสมกับองค์ประกอบความถี่สูงของสัญญาณรบกวนมากกว่าการกำหนดน้ำหนักแบบอื่นๆ

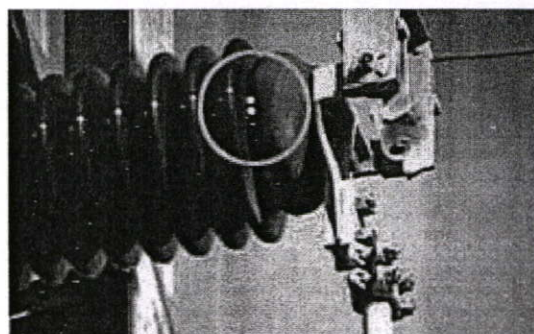
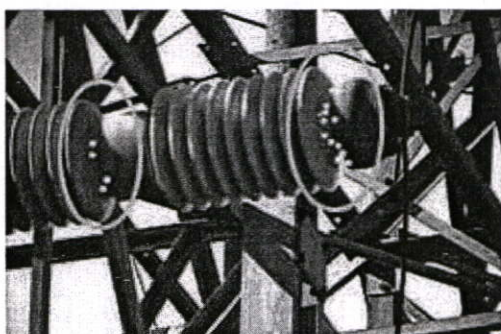


รูปที่ 2.9 การลดทอนของน้ำหนักที่แตกต่างกันที่ใช้ในการวัดค่าสัญญาณรบกวนที่รับฟังได้

คุณลักษณะของการกำหนดคุณลักษณะแบบ A-, B-, C- และ D- แสดงอยู่ในรูปที่ 2.9 พร้อมๆ กับคุณลักษณะหุมนุขย์โดยทั่วไป ระดับเสียงของสัญญาณรบกวนที่ถูกกำหนดน้ำหนักแบบ A- ที่ใช้กันบ่อยๆ จะไม่ได้รับผลกระทบอย่างชัดเจนจากการเบี่ยงเบนขององค์ประกอบความถี่ที่ 100 เฮิร์ตซ์ เนื่องจากการกำหนดน้ำหนักอย่างเด่นชัดที่ระดับ A- นำมาประยุกต์ใช้กับย่านความถี่ต่ำ

2.5 การเกิดปรากฏการณ์โคโรนาในสถานีไฟฟ้า

การเกิดปรากฏการณ์โคโรนาเกิดขึ้นภายในสถานีไฟฟ้านั้นจะสามารถพบเห็นอยู่ได้ทั่วไปภายในบริเวณลานไกของสถานี ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมหลายๆอย่างที่สามารถก่อให้เกิดโคโรนาขึ้นมาได้ อย่างเช่น ลักษณะทางกายภาพของตัวอุปกรณ์ที่ติดตั้งใช้งานภายในบริเวณลานไก ซึ่งหมายถึงจำพวกสวิตช์ตัดตอน (Disconnecting Switch) บางรุ่น บางแบบที่อาจมีส่วนหนึ่งส่วนใดของชุดกลไกในการสับสวิตช์ที่เป็นปลายแหลมและมีลักษณะยื่นออกมาในอากาศ อายุการใช้งานของตัวอุปกรณ์ต่างๆในลานไก บางครั้งอาจมีการใช้งานมานานแล้ว ทำให้ตัวอุปกรณ์เกิดการสึกหรอ มีคราบออกไซด์ (Oxide) หรือสนิมบางๆจับตามพื้นผิว หรือเกิดการคลายตัว หลุดหลวมของจุดต่อต่างๆรวมถึงรอยเว้าแหว่งที่อาจเกิดขึ้นได้



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการเกิดโคโรนาที่ตัวอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สามารถมองเห็นได้จากกล้องตรวจจับความร้อน (Thermal Viewer Camera)

ทำเลที่ตั้งของสถานีไฟฟ้าก็อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดมีปรากฏการณ์โคโรนาขึ้นภายในบริเวณลานไกได้ โดยเฉพาะกับสถานีไฟฟ้าที่อยู่ใกล้กับสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยให้เกิดปรากฏการณ์โคโรนาได้ อย่างเช่นสถานีที่ตั้งอยู่ใกล้กับโรงงานอุตสาหกรรมจำพวกเคมีภัณฑ์บางชนิดที่มีการแพร่กระจายของสารประกอบที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อย่างเช่น คลอรีน (Cl), กรดเกลือ (HCl) หรือกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ออกมาในอากาศ มาทำปฏิกิริยากับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆภายในบริเวณลานไกของสถานีไฟฟ้าที่ส่วนมากเป็นโลหะ ทำให้เกิดออกไซด์จับที่บริเวณพื้นผิวของอุปกรณ์ ซึ่งจะเป็นสิ่งที่จะช่วยก่อให้เกิดปรากฏการณ์โคโรนาขึ้นกับอุปกรณ์ตัวนั้นๆได้หรือในกรณีที่ตั้งอยู่ใกล้กับชายฝั่ง

ทะเล ทำให้มีการสะสมของคราบเกลือที่บริเวณพื้นผิวตัวนำ ก็อาจก่อให้เกิดออกไซด์ชั้นที่ตัวอุปกรณ์ได้เช่นกัน คราบสกปรกที่เกาะอยู่บนพื้นผิวตัวนำก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์โคโรนาขึ้นได้ อย่างเช่น มุลนก หรือ ซากแมลงเล็กต่างๆ ที่ตายอยู่บนตัวอุปกรณ์

ยิ่งถ้าในบริเวณลานไกของสถานีสับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า (Switching Station) ก็จะมีโอกาสพบกับปรากฏการณ์โคโรนาได้มากกว่าสถานีไฟฟ้าย่อย (Substation) เนื่องจากขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่านั่นเอง

2.5.1 สถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

สถานีไฟฟ้า เป็นเสมือนส่วนที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างระบบสายส่งกับระบบจำหน่าย โดยจะรับพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งเพื่อโอนถ่ายสู่ระบบจำหน่ายต่อไป ประกอบด้วยการเปลี่ยนแรงดัน การตัดตอน การควบคุมและการป้องกันระบบ สถานีไฟฟ้าจะมีหน้าที่และวัตถุประสงค์ดังนี้.-

- เป็นจุดเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า
- เป็นจุดปรับระบบแรงดันให้คงที่
- เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างระบบสายส่งกับระบบจ่ายไฟฟ้าในการตัดตอนออกจากระบบและการนำกลับเข้าสู่ระบบ
- เป็นจุดวัดปริมาณทางไฟฟ้า
- เป็นจุดเชื่อมโยงระบบสื่อสาร
- เป็นตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า, อุปกรณ์ตัดตอนต่างๆ

ปัจจุบันการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีสถานีไฟฟ้ากระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศจำนวนกว่า 350 สถานี โดย สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ [8] คือ

2.5.1.1 สถานีไฟฟ้าแบบเอาต์ดอร์ (Outdoor) หรือที่เรียกว่าสถานีแบบคอนเวนชันนอล (Conventional Type) คือสถานีไฟฟ้าที่มีลานไกในการสับจ่ายแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นรูปแบบของสถานีไฟฟ้าที่มีการใช้งานมานาน มีข้อดีคือสามารถบำรุงรักษาได้ง่าย ควบคุมด้วยกลไกทางแมคคานิกส์ทำให้สามารถทราบถึงสิ่งผิดปกติได้ง่าย สามารถขยายเบย์ (Bay) ได้เมื่อมีจำนวนโหลดเพิ่มมากขึ้น แต่ข้อเสียคือจะใช้พื้นที่ในการก่อสร้างค่อนข้างมากคือตั้งแต่ 8 ไร่ขึ้นไป และไม่เหมาะจะใช้งานในเขตนิคมอุตสาหกรรมที่มีมลภาวะสูง

ในการออกแบบสถานีไฟฟ้าแบบเอาต์ดอร์ สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงประการแรกในการออกแบบ คือการจัดรูปแบบบัส (Bus Scheme) โดยทั่วไปแล้ว การจัดรูปแบบบัสนั้นมีหลายวิธีแต่ละวิธีมีข้อได้เปรียบเสียเปรียบแตกต่างกัน ซึ่งจะต้องเลือกสรรให้เหมาะสมกับสภาพของงานและเงินทุนเป็นกรณีๆ ไปดังนี้

- Simple Radial Bus เป็นลักษณะที่ง่ายและประหยัดที่สุด แต่มีข้อเสียในเรื่องความน่าเชื่อถือ (Reliability) ถ้าเบรกเกอร์ขัดข้องหรือต้องการปรับซ่อมจำเป็นต้องดับไฟ

ปัญหานี้อาจกำจัดได้โดยติดตั้งสวิตช์บายพาส (By-Pass Switch) คร่อมเบรกเกอร์ แต่ก็ยังขาดรีเลย์ป้องกัน รูปแบบนี้ใช้ในพื้นที่ที่ไม่ต้องการความมั่นคงสูงนัก

- Sectionalized Radial Bus คือ Split Radial Bus ต่อกันโดย Bus Tie Circuit Breaker ซึ่งจะทำงานเป็นแบบปกติเปิดหรือปิดมีข้อดีกว่า Simple Radial Bus ในแง่ที่เกิดบัสฟอลต์ (Bus Fault) ขึ้นที่บัส สามารถตัดส่วนที่ฟอลต์ออกได้ และสามารถจ่ายไฟบางส่วนได้
- Main and Transfer Bus คล้าย Radial แต่เพิ่ม Bus Tie และ Transfer Bus เข้าไป ประโยชน์ของแบบนี้คือ หากเบรกเกอร์ตัวใดขัดข้องหรือต้องการจะตัดตอนออกจากวงจรเพื่อซ่อมก็อาจจ่ายไฟผ่าน Transfer Bus และ Tie Breaker ได้ แต่หากขัดข้องที่ Main Bus ก็จำเป็นต้องดับไฟทั้งสถานีอยู่ดี โดยการจับบัสในลักษณะนี้ กฟภ. จะใช้เป็นส่วนใหญ่
- Single Breaker Double Bus การจับบัสแบบนี้สามารถตรวจสอบที่บัสได้โดยไม่ต้องดับไฟ หรืออีกนัยหนึ่งโดยถือหลักว่าโอกาสที่จะตรวจสอบบัสมีการตรวจสอบเบรกเกอร์ แต่หาก เบรกเกอร์ขัดข้องก็ต้องตัดเบรกเกอร์ตัวนั้นออกจากระบบ
- Ring Bus แบบนี้สามารถตัดเอาเบรกเกอร์หรือสวิตช์ตัวใดตัวหนึ่งออกซ่อมได้โดยที่การป้องกันของระบบยังสมบูรณ์
- Breaker and a Half ใช้เบรกเกอร์ 3 ตัวต่อ Incoming หรือ Outgoing 2 ชุด จึงช่วยลดเบรกเกอร์ได้ Double Bus ปกติใช้งานในระบบ 230 kV แต่อาจใช้งานกับแรงดันที่ต่ำกว่าได้ในกรณีที่ต้องการความมั่นคงสูงมากๆ
- Double Breaker Double Bus ใช้เบรกเกอร์ 2 ตัวต่อ 1 Incoming หรือ Outgoing ค่าลงทุนสูง แต่มีข้อดีที่หากเบรกเกอร์ตัวใดตัวหนึ่งขัดข้องหรืออาจตัดตอนออกมาซ่อมได้โดยไม่มีการดับไฟ โดยการป้องกันต่างๆยังสมบูรณ์ แบบนี้เหมาะติดตั้งที่โรงไฟฟ้าหรือในพื้นที่ที่ต้องการความมั่นคงสูง โดยถือว่าการลงทุนเป็นเรื่องรองลงมา

ในสมัยก่อน การจับบัสของสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะเป็นแบบ Single Bus สำหรับสถานีไฟฟ้าขนาดเล็ก และเป็นแบบ Main & Transfer Bus สำหรับสถานีไฟฟ้าขนาดใหญ่ แต่ปัจจุบันมีลักษณะการจับบัสเพิ่มขึ้นอีกหลายชนิด เช่น Double Main and Transfer, Double Bus Double Breaker, Breaker and a Half, Ring Bus, Double Bus Single Breaker เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมตามสภาพของงาน และวงเงินลงทุนเป็นกรณีๆ ไป และสิ่งที่ต้องคำนึงในการจัดรูปแบบบัสจะมีดังนี้

- Operation Flexibility: ต้องมีความยืดหยุ่นอย่างเพียงพอ เช่นสามารถสลับเปลี่ยนเบรกเกอร์ใช้แทนกันได้โดยง่าย เมื่อเบรกเกอร์ตัวใดตัวหนึ่งเกิดขัดข้อง ในกรณีที่มีความจำเป็นต้องจำกัด Short Circuit Level การติดตั้งเบรกเกอร์จำนวนมากก็สามารถ

แยกจ่ายเพื่อลด Short Circuit Level ได้สะดวกด้วย แต่ไม่ควรติดตั้งมากเกินไป เนื่องจากเป็นการไม่ประหยัด

- System Security: เมื่อเกิดฟอลต์ในสายส่งหรือในสถานีไฟฟ้าจะต้องเลือกรูปแบบบัสที่กู้คืนระบบได้เร็ว โดยให้กระทบกระเทือนต่อสายส่งวงจรอื่นน้อยที่สุด
- Reliability and Availability: แต่ละรูปแบบบัสจะให้ความน่าเชื่อถือที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความต้องการระดับความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงไร ในกรณีโหลดไม่หนาแน่น เป็นโหลดแสงสว่างต่างๆไป อาจจะเลือกรูปแบบบัสที่ให้ความมั่นคงเชื่อถือได้น้อยกว่าในที่บริเวณอุตสาหกรรมที่มีความหนาแน่นของโหลดสูง
- Substation Control: การจัดรูปแบบและการออกแบบต้องไม่ยุ่งยากในการ Switching และ Plan Outage for Maintenance หรือการขยายเบย์ในอนาคต

2.5.1.2 สถานีไฟฟ้าแบบอินดอร์ (Indoor) หรือที่เรียกกันว่าสถานีไฟฟ้าแบบ GIS จะขอกกล่าว โดยสรุปคร่าวๆโดยย่อดังนี้ว่า คำว่า GIS นั้น ย่อมาจาก Gas Insulated Switchgear เป็นสวิทช์เกียร์ที่ติดตั้งอยู่ในท่อโลหะหรืออลูมิเนียมที่ปิดสนิท ที่มีฉนวนระหว่างตัวนำเป็นก๊าซ (ปัจจุบันใช้ก๊าซ SF₆) โดยที่อุปกรณ์แรงสูงซึ่งรวมทั้งบัสบาร์, เซอร์กิต เบรกเกอร์, Disconnecting Switch, ซีที., พีที.ฯ จะถูกบรรจุรวมกันอยู่ในท่อโลหะหรือในท่ออลูมิเนียมดังกล่าวในลักษณะแบบคอมแพคเซต (Compact Set) สถานีไฟฟ้าแบบ GIS นี้ จะมีข้อดีคือใช้พื้นที่ในการก่อสร้างน้อย เหมาะสำหรับใช้งานในภูมิประเทศที่ราคาของที่ดินค่อนข้างสูง มีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน สำหรับสถานีไฟฟ้าที่ต้องรับแรงดันขนาด 200 เควี. ขึ้นไป ส่วนข้อเสียคือราคาสูง หากเกิดปัญหาขึ้นกับตัวอุปกรณ์แล้ว ในบางครั้งจะซ่อมบำรุงยาก

บทที่ 3

อุลตราโซรบ

3.1 เทคโนโลยีอุลตราซาวนด์

เทคโนโลยีด้านอุลตราซาวนด์ (Ultrasound Technology) นั้น เป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับคลื่นเสียงที่หูของมนุษย์เราไม่สามารถจะรับฟังได้ กล่าวคือโดยทั่วไปแล้วนั้นหูของมนุษย์เราจะสามารถรับเสียงที่มีคลื่นความถี่เฉลี่ยประมาณ 16,500 เฮิร์ตซ์ และจะรับฟังคลื่นความถี่ได้สูงสุดประมาณ 21,000 เฮิร์ตซ์เท่านั้น แต่ในส่วนของเทคโนโลยีอุลตราซาวนด์นี้ จะเป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับช่วงความถี่ในตั้งแต่ 20,000 เฮิร์ตซ์ขึ้นไป [9]

คลื่นอุลตราซาวนด์ จัดเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง หรือเป็นสัญญาณคลื่นสั้น (Short Wave Signal) ที่มีคุณสมบัติแตกต่างจากคลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำที่มนุษย์สามารถรับฟังได้ กล่าวคือ คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงอย่างคลื่นอุลตราซาวนด์นั้น จะใช้พลังงานมากกว่าคลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำในการเดินทางไปในระยะทางที่เท่ากัน



รูปที่ 3.1 ชุดเครื่องอุลตราโซรบและอุปกรณ์ประกอบ

อุลตราโซรบเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับคลื่นอุลตราโซนิกที่แพร่กระจายออกมาในอากาศ โดยอาศัยหลักการของเทคโนโลยีแอร์ – โบนอุลตราซาวนด์ (Air – Borne Ultrasound Technology) [9] ซึ่งคือเทคโนโลยีในการรับ – ส่งคลื่นอุลตราซาวนด์ผ่านอากาศโดยไม่ต้องอาศัยพาหะหรือตัวนำเสียง (Sound Conductive Gels) แต่จะใช้คลื่นในการรับ – ส่งแทน กล่าวคือโดยทั่วไปแล้วการเกิดสัญญาณอุลตราโซนิกในอากาศ จะมีอยู่มากมายหลายรูปแบบและพบได้อยู่ทั่วไป เพียงแต่มันจะเป็นเสียงในย่านความถี่ที่หูของมนุษย์เราไม่สามารถจะรับฟังได้ ซึ่งจะเกิดขึ้นจากการเสียดสี

(Friction) ยกตัวอย่างง่ายๆ เช่นการถูนิ้วโป้งและนิ้วชี้เข้าด้วยกัน ก็จะทำให้เกิดคลื่นสัญญาณอุลตราโซนิคขึ้นได้ โดยที่หูของเราจะไม่ได้ยินเสียง หากแต่ถ้าเรานำเครื่องอุลตราโพรบมาทำการตรวจจับ มันก็จะทำให้เราสามารถได้ยินเสียงนิ้วถูกันนั้นได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องอุลตราโพรบนั้น จะทำการเปลี่ยนสัญญาณอุลตราโซนิคที่ตรวจจับได้ให้กลายเป็นย่านที่หูมนุษย์ของเราสามารถจะรับฟังได้ พร้อมทั้งขยายสัญญาณนั้นให้มีความดังเพิ่มขึ้นอีกด้วย

3.2 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่องอุลตราโพรบ

เครื่องอุลตราโพรบ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานในการตรวจจับหาค้นความถี่ในย่านที่หูมนุษย์ไม่สามารถรับฟังได้ที่เรียกว่าความถี่อุลตราโซนิค ที่แพร่กระจายออกมาจากวัสดุอุปกรณ์ หรือเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ โดยเครื่องอุลตราโพรบนี้จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานในลักษณะการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance, PM) ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวางและหลากหลายลักษณะรูปแบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายในโรงงานอุตสาหกรรม อย่างเช่น การตรวจวัดรอยร้าวของซีลต่างๆ, การตรวจสอบการทำงานของแบร์ริง, การตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรกลต่างๆ, การตรวจหาความผิดปกติของตัวดักไอน้ำ (steam traps), การตรวจสอบการทำงานของวาล์วต่างๆ ฯลฯ ซึ่งการแสดงผลของเครื่องอุลตราโพรบนั้น จะแสดงผลอยู่ในรูปของสัญญาณเสียงที่ส่งผ่านมาทางชุดหูฟัง โดยจะมีการแปลงความถี่ของสัญญาณที่ตรวจจับได้จากความถี่ที่อุลตราโซนิคที่ความถี่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์ขึ้นไป ซึ่งเป็นสัญญาณความถี่ที่สูงมากเกินกว่าที่หูมนุษย์จะรับฟังได้ ให้ลดค่าลงจนมาอยู่ในย่านความถี่ที่หูมนุษย์สามารถรับฟังได้ในช่วง 20 เฮิร์ตซ์ จนถึง 20 กิโลเฮิร์ตซ์ [10] โดยเครื่องอุลตราโพรบจะมีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้

3.2.1 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องอุลตราโพรบ

เนื่องจากอุลตราโพรบ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง จึงทำให้มีส่วนประกอบและอุปกรณ์เสริมอยู่มากมาย ในหัวข้อนี้ จะขอกล่าวถึงอุปกรณ์และส่วนประกอบต่างๆที่จำเป็นในการประยุกต์ใช้กับปฏิบัติงานทางด้านไฟฟ้าเท่านั้น เพื่อมิให้ผู้อ่านเกิดความสับสนในการศึกษาทำความเข้าใจ

3.2.1.1 METERED PISTOL HOUSING

โดยในหัวข้อนี้จะเป็นส่วนประกอบที่อยู่บนแผงหน้าปัดของเครื่องอุลตราโพรบ โดย Pistol Housing ซึ่งจะมีส่วนประกอบย่อยๆดังนี้

- A. Meter: ตัว Ballistic Meter นี้สามารถวัดความเข้ม (Intensity) ได้จากระดับ 0 ถึง 100 โดยปกติแล้วหากสัญญาณอุลตราโซนิคมีความเข้มมากขึ้นค่าที่อ่านได้จะยิ่งสูงขึ้น

- B. Battery Level Light (ไฟแสดงระดับแบตเตอรี่): ไฟสีแดงจะปรากฏให้เห็นเมื่อแบตเตอรี่มีกำลังไฟต่ำและต้องการชาร์จไฟใหม่
- C. Sensitivity Selection Dial (ปุ่มปรับความไว): ปุ่มนี้สามารถตั้งระดับได้ถึง 500 จุด กล่าวคือที่ปุ่มนี้จะมีตัวเลขอยู่ 3 ชุด ตัวเลขที่อยู่วงรอบนอกสุดจะมีตัวเลขที่มีค่าจาก 0 ถึง 10 ตัวเลขที่อยู่ในวงในนั้นจะใช้สำหรับการปรับค่าที่ละเอียดขึ้น โดยทั่วไปแล้วเมื่อปรับให้ตัวเลขมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความไว (Sensitivity) ของเครื่องจะเพิ่มขึ้นตามด้วย โดยระดับความไวสูงสุดนั้นจะเท่ากับ 10 และระดับความไวต่ำสุดเท่ากับ 0 ผู้ปฏิบัติงานสามารถล็อคค่าความไวได้ โดยหมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาจากนั้นปล่อยล็อกและหมุนปุ่มทวนเข็มนาฬิกาอีกครั้งหนึ่ง นอกจากนี้เพื่อป้องกันไม่ให้ปุ่ม Sensitivity หมุนไปในทิศทางที่ไม่ต้องการ
- D. Head Set Jack (ที่เสียบหูฟัง): ใช้สำหรับเสียบหูฟังเพื่อฟังสัญญาณเสียงที่ตรวจจับได้จากเครื่องอุลตราโพรบ หรือใช้เสียบต่อสายเครื่องบันทึกเสียง (Recorder) ในกรณีที่ต้องการบันทึกเสียงเพื่อนำไปใช้งานต่างๆต่อไป



รูปที่ 3.2 แผงหน้าปัดของเครื่องอุลตราโพรบ

ส่วนประกอบต่อไปนี้อยู่ตรงส่วนล่างของเครื่องอุลตราโพรบ

- E. Trigger Switch (ไก): เครื่องอุลตราโพรบจะอยู่ในสภาพ “ปิดการทำงาน” (Off) เสมอ หากต้องการให้เครื่องทำงานให้กดตัวไก (Trigger) และเมื่อปล่อยไกออก เครื่องก็จะหยุดทำงาน
- F. Frequency Adjust Dial (ปุ่มปรับความถี่): เครื่องอุลตราโพรบจะสามารถรับคลื่นสัญญาณได้ตั้งแต่ระดับ 20 – 100 kHz คลื่นความถี่เหล่านี้สามารถปรับได้ตามความต้องการเมื่อทำการตรวจวัดด้วยการใช้ Contact Probe นอกจากนี้แล้ว

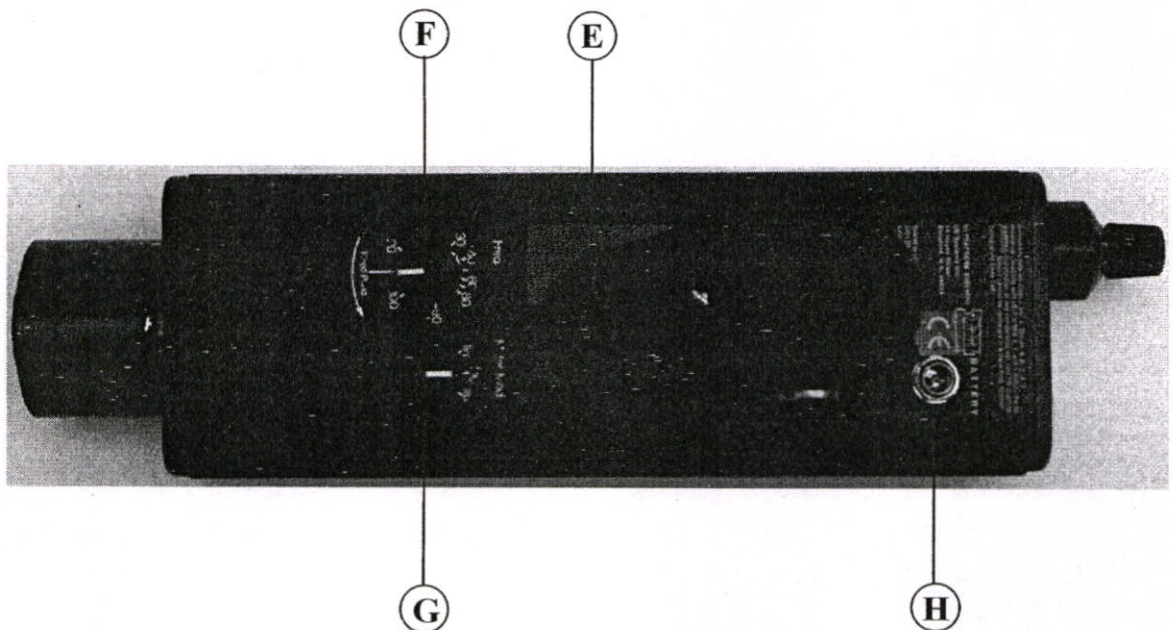
ผู้ปฏิบัติงานยังสามารถปรับคลื่นความถี่ให้อยู่ในตำแหน่ง Fixed Band ซึ่งเป็นระดับความถี่ที่เครื่องอัลตราโพรบจะทำงานในลักษณะที่เป็น Peak Response ทั้งจากการวัดด้วย Contact Module หรือ Trisonic Scanning Module

G. Meter Selection: ปุ่มนี้สามารถปรับเลือกได้ 3 ตำแหน่งดังนี้คือ

1. Log: การเลือกตำแหน่งนี้จะทำให้มิเตอร์ทำงานในลักษณะที่ให้ Response อย่างรวดเร็วทันที ดังนั้นการเลือกตำแหน่งนี้จะใช้เมื่อต้องการให้มิเตอร์มี Response อย่างรวดเร็ว เช่น ในกรณีของการวัดการรั่ว

2. Lin: การเลือกตำแหน่ง Lin หรือ Linear นี้จะใช้ในกรณีที่ต้องการ Low Response กล่าวคือตำแหน่ง Linear จะมีผลให้เครื่องตัดค่าที่สูงและค่าที่ต่ำมากออกไป และให้ผลที่เป็น Average Response แทนการเลือกตำแหน่งที่ใช้ สำหรับกรณีที่ตรวจวัดแบร์ริงหรือในการวิเคราะห์ทางกล (Mechanical Analysis) ซึ่งไม่ต้องการ Response ที่เร็วมากไปเนื่องจากอาจสร้างความสับสนกับผู้ปฏิบัติงานได้

3. Aux: เป็นตำแหน่งพิเศษที่จะนำมาใช้ก็ต่อเมื่อต้องการต่อเครื่องอัลตราโพรบเข้าใช้งานร่วมกับเครื่องมือพิเศษ (Specially Adapted Instrument) อาทิเช่น U.E. Systems's Chart Recorder เป็นต้น การที่จะหมุน Meter Selection ไปยังตำแหน่ง aux. ได้นั้นจะต้องมีการปรับแต่งเครื่องอัลตราโพรบจากโรงงานผู้ผลิตโดยตรงก่อน ดังนั้นอย่าพยายามหมุน Meter Selection ไปยังตำแหน่ง aux. หากเครื่องของท่านยังไม่ได้มีการปรับแต่งมาก่อน

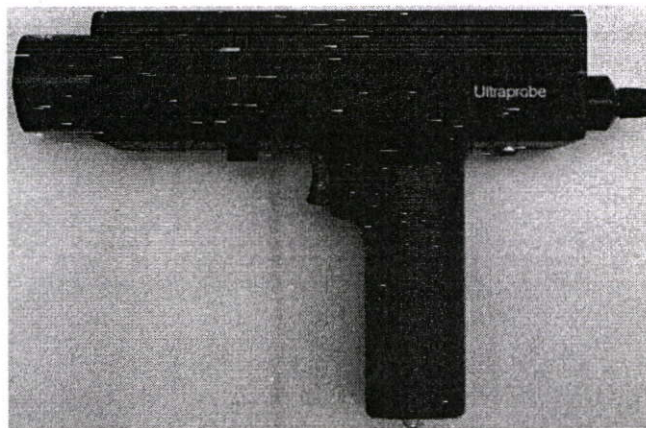


รูปที่ 3.3 รูปด้านล่างของเครื่องอัลตราโพรบ

H. Recharge Jack: ใช้สำหรับเสียบสายของเครื่องชาร์จไฟ

ตัวเครื่องชาร์จไฟจะต้องต่อกับสายไฟ 2 สาย สายแรกต่อเข้ากับตัวเครื่องอุลตราโพรบ และสายที่สองสำหรับต่อเข้ากับ Warble Tone Generator Recharger

เมื่อไหร่ที่ควรทำการชาร์จไฟ: เมื่อไฟแสดงระดับแบตเตอรี่แดงขึ้นให้ทำการชาร์จเครื่องอุลตราโพรบทันทีโดยการชาร์จนั้นควรใช้เวลาประมาณ 8 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามหากคาดว่า จะไม่ใช้งานอีกในหนึ่งอาทิตย์ข้างหน้าหรือนานกว่านั้น ก็อาจจะใช้เวลาในการชาร์จเพียง 4 ชั่วโมง ก็ได้ แต่หากจะไม่ใช้งานเครื่องอุลตราโพรบเพียงระยะเวลา 2 – 3 วัน ก็อาจจะใช้งานเครื่องอุลตราโพรบต่อไปได้โดยไม่ต้องชาร์จไฟใหม่ อย่างไรก็ตามใคร่ขอแนะนำให้ผู้ปฏิบัติงานทำการชาร์จไฟ เครื่องอุลตราโพรบประมาณหนึ่งชั่วโมงก่อนการใช้งาน เพื่อเป็นการ Boost เครื่อง



รูปที่ 3.4 รูปด้านข้างของเครื่องอุลตราโพรบ

3.2.1.2 ชุดหูฟัง (Headphone Set)

หูฟังนี้เป็นชุดหูฟังที่มีคุณภาพสูง สวมใส่กระชับ และออกแบบมาให้เพื่อใช้ป้องกันเสียงรบกวนหรือเสียงดังสอดแทรก โดยมักพบทั่วไปในบริเวณ โรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากในการฟังเสียงสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิคนั้น หากมีสัญญาณรบกวนเพียงเล็กน้อยก็อาจทำให้ผู้ปฏิบัติงานเกิดความสับสนขึ้นได้ ฉะนั้นชุดหูฟังนี้ จึงมีส่วนสำคัญในการปฏิบัติงานเป็นอย่างยิ่งเพื่อให้สามารถรับฟังเสียงจากเครื่องอุลตราโพรบได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 3.5 ชุดหูฟังคุณภาพสูงที่นำมาใช้งานร่วมกับเครื่องอัลตราโซนิค

3.2.1.3 งานรวมคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic Wave Concentrator: UWC)

งานรวมคลื่นอัลตราโซนิค เป็นงานสะท้อนคลื่นรูปทรงพาราโบลาที่มีคุณสมบัติโดยตรงในการใช้งานกับเครื่องอัลตราโซนิคที่สามารถลดค่า Background Noise ให้ต่ำที่สุดในขณะที่กำลังตรวจจับปรากฏการณ์โคโรน่าหรือปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าอื่นๆ และสามารถใช้งานได้ไกลจากจุดกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิคถึง 30 เมตร [11]

สัญญาณคลื่นอัลตราโซนิคระดับต่ำๆ ที่ถูกสร้างขึ้นปรากฏการณ์โคโรน่านั้น จะแพร่กระจายออกมาจากจุดกำเนิด เมื่อเรานำงานฯ ไปส่ง ณ บริเวณใกล้ๆ กับจุดกำเนิดนั้น คลื่นอัลตราโซนิคก็จะสะท้อนไปตามรูปทรงพาราโบลาของมัน เข้าสู่จุดโฟกัสและจะถูกรับสัญญาณได้โดยการใช้เซปติโซนิค ทรานสดิวเซอร์ (Septisonic Transducer) หลายๆ ตัววางต่อเข้าด้วยกัน ซึ่งจะช่วยให้กลายสภาพเป็นเหมือนไมโครโฟนขนาดใหญ่ที่สามารถตรวจจับคลื่นอัลตราโซนิคที่ระดับต่ำๆ แม้ในระยะทางไกลๆ ได้อย่างง่ายดาย กอปรกับงานรวมคลื่นอัลตราโซนิคนั้น ทำมาจากวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและมีความโปร่งแสงจึงทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถนำติดตัวไปปฏิบัติงานได้ตลอดเวลาและสามารถมองเห็นจุดต่างๆ เพื่อพิจารณาถึงจุดกำเนิดเสียงได้อีกด้วย

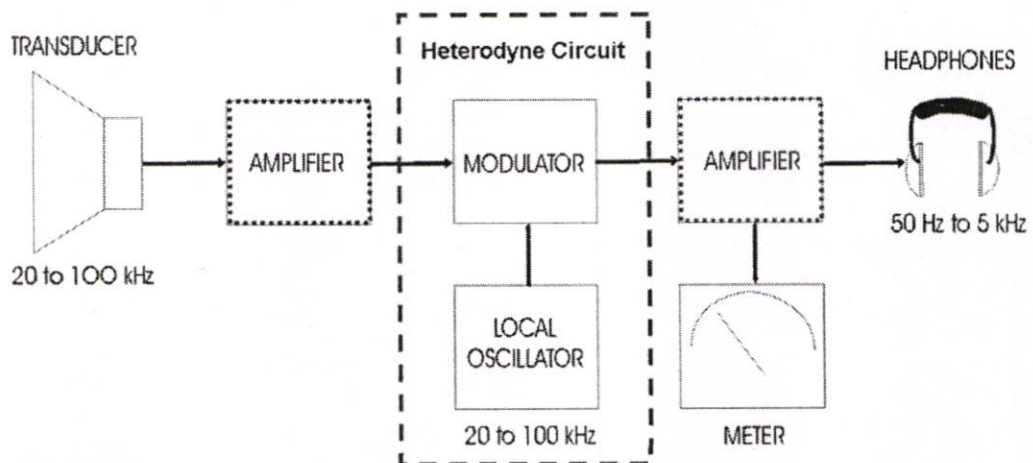
งานรวมคลื่นอัลตราโซนิคนั้น จะมีใช้การเล็ง ไปยังเป้าหมายในแบบพินพอยท์ (Pinpoint) คือการเล็ง ไปยังจุดหรือตำแหน่งของตัวอุปกรณ์ที่ต้องการจะตรวจจับสัญญาณผ่านช่องมองเล็กๆ ด้านบนเหนือด้ามจับ ซึ่งจะได้อ่านอย่างละเอียดอีกครั้งหนึ่งในหัวข้อขั้นตอนและกระบวนการในการเก็บข้อมูลภาคสนาม ในบทที่ 4 สำหรับรูปของงานรวมคลื่นอัลตราโซนิคนี้ แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.6



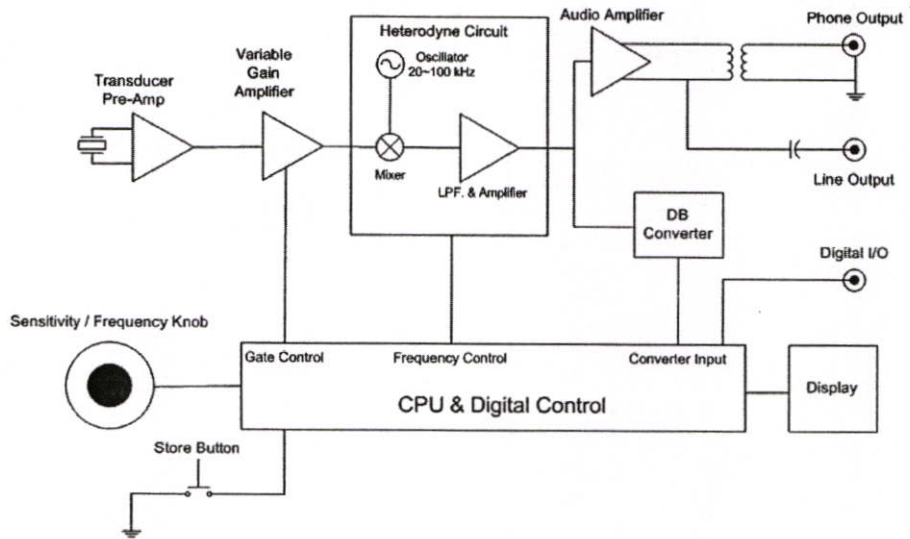
รูปที่ 3.6 งานรวมคลื่นอุลตราโซนิก (UWC)

3.2.2 หลักการทำงานของเครื่องอุลตราโพรบ

จากการตรวจจับคลื่นอุลตราโซนิกที่แพร่กระจายอยู่ในอากาศนั้น ทรานสดิวเซอร์จะรับสัญญาณความถี่อุลตราโซนิกที่เข้ามา มาผ่านภาคขยายตัวที่หนึ่ง ซึ่งเป็น Variable Gain Amplifier ที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณย่าน Wide Dynamic จากนั้นจะเข้าสู่ วงจรเฮกเตอโรไดน์ (Heterodyne Circuit) เพื่อเริ่มต้นขบวนการแปลงย่านความถี่ให้ลงสู่ย่านที่หูมนุษย์สามารถรับฟังได้, ที่วงจรเฮกเตอโรไดน์ คลื่นอุลตราโซนิกจะถูกโมดูเลทแบบ AM (Amplitude Modulation) กับความถี่ออสซิลเลเตอร์ (Oscillator Frequency) ที่กำหนดไว้ ซึ่งจะเป็นการสร้างสัญญาณที่เป็นผลต่างระหว่างสัญญาณอุลตราโซนิกที่ตรวจจับได้กับสัญญาณออสซิลเลเตอร์ที่เรียกว่าสัญญาณเฮกเตอโรไดน์ขึ้นมา จากนั้นก็จะถูกส่งไปยังตัว Audio Amplifier เพื่อทำการปรับสถานะของสัญญาณให้เหมาะสมต่อการประมวลผล ก่อนที่จะถูกส่งผ่านไปยังชุดหูฟัง [12]



รูปที่ 3.7 ไคอะแกรมแสดงกระบวนการแปลงสัญญาณของเครื่องอุลตราโพรบ



รูปที่ 3.8 โค้ดแอมแสดงวงจรภายในเครื่องอูตตราโพรบ [13]

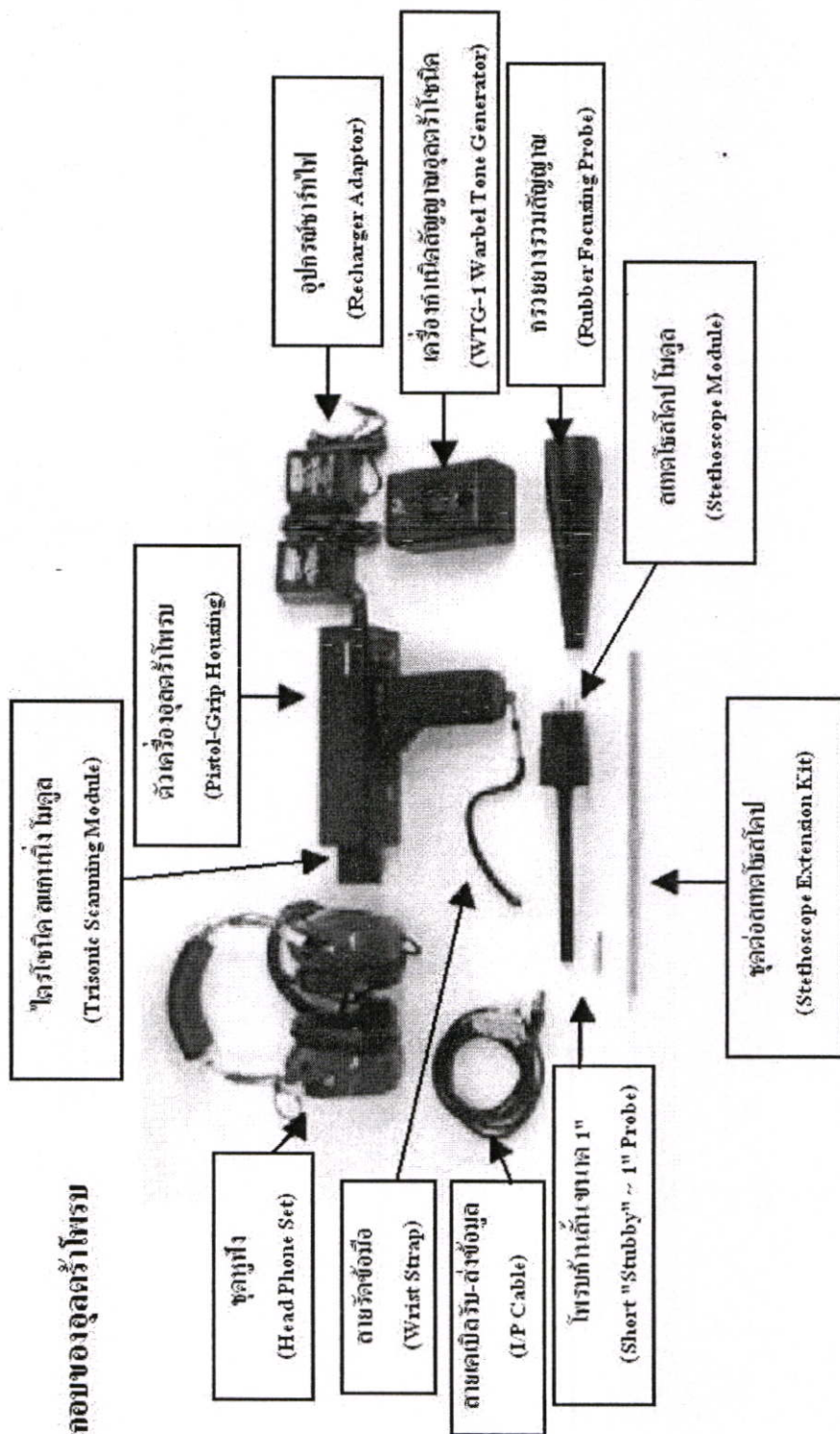
3.3 การประยุกต์ใช้งานเครื่องอูตตราโพรบในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันทางไฟฟ้า

ในกรณีที่เกิดการคายประจุไฟฟ้าในอากาศออกมาจากตัวอุปกรณ์ไฟฟ้าใดๆจะมีผลให้โมเลกุลของอากาศรอบๆตัวอุปกรณ์ต่างๆถูกรบกวนและก่อให้เกิดคลื่นอูตตราโซนิกออกมา

สำหรับวิธีการทดสอบการเกิดอาร์คหรือโคโรน่าที่เกิดกับตัวอุปกรณ์ไฟฟ้าก็เหมือนกับวิธีการตรวจวัดการรั่วไหลของก๊าซ (Leakage Detection) นั่นเอง กล่าวคือเมื่อก๊าซไหลผ่านบริเวณที่เป็นรูรั่วภายใต้ระบบความดัน ก๊าซจะเคลื่อนที่จากที่ที่มีความดันสูงในลักษณะที่ไหลเป็นชั้นๆ (Laminas) มีทิศทางเดียวกัน ไปสู่ที่ซึ่งมีความดันต่ำในลักษณะที่ไม่มีทิศทางที่แน่นอน (Turbulence Flow) ซึ่งการเคลื่อนไหวในลักษณะที่ไม่มีทิศทางที่แน่นอน เช่นนี้จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนที่เรียกว่า “White Noise” ขึ้น โดย White Noise นี้จะมีคลื่นอูตตราโซนิกเป็นองค์ประกอบอยู่ ดังนั้นการตรวจวัดหารอยรั่วจึงทำได้ง่าย ทั้งนี้เนื่องจากเสียง อูตตราโซนิกจะดังที่สุดในบริเวณที่มีรอยรั่วนั่นเอง ดังนั้นหากเปรียบเทียบกับการประยุกต์ใช้ในทางไฟฟ้าก็จะแตกต่างกันเพียงแค่ว่าผู้ฟังจะได้ยินเสียงแบบแครกกิ่ง (Cracking) หรือเสียงบ๊ซซิ่ง (Buzzing) แทนที่จะได้ยินเสียงดัง (Rushing) [9]

ในกรณีการตรวจหาคลื่นแทรกซ้อนของวิทยุ โทรทัศน์ หรือในกรณีของสถานีไฟฟ้าอาจตรวจหาคลื่นรบกวนได้ด้วยการใช้เครื่องตรวจวัดธรรมดา(Gross Detection) เช่นวิทยุทรานซิสเตอร์ หรือ Wide Band Interference Locator เมื่อตรวจหาบริเวณกว้างๆ ที่พบว่ามึคลื่นแทรกซ้อนแล้ว จึงใช้ Scanning Module ตรวจอีกครั้ง โดยพยายามปรับลดระดับความไวลงหากรู้สึกว่ามีสัญญาณนั้นแรงมากกว่าที่จะอ่านได้จากมิเตอร์ ให้พยายามลดลงจนกระทั่งถึงจุดที่มีเสียงดังที่สุดในกรณีของสถานีไฟฟ้านั้น ควรมีการทดสอบส่วนประกอบของอุปกรณ์ต่างๆภายในลานไก อย่างเช่น Disconnecting Switch, Power Transformer, CT, Bus-Bar และอุปกรณ์อื่นๆด้วย

ส่วนประกอบของอุตตราโทรรม



รูปที่ 3.9 ส่วนประกอบพื้นฐานต่างๆของเครื่องอุตตราโทรรม

บทที่ 4

หลักการและขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

ในบทที่ 3 ที่ผ่านมา เราทราบว่าเครื่องอุตสาหกรรมโพรบสามารถตรวจจับคลื่นอุตสาหกรรมโพรบที่แพร่กระจายออกมาจากการเกิดปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าต่างๆ ได้ หากแต่ในการปฏิบัติงานจริงที่ภาคสนาม ณ สถานีไฟฟ้านั้น ยังไม่สามารถจะระบุได้ว่าปรากฏการณ์ที่ตรวจจับมานั้น แสดงถึงปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าชนิดใด และมีระดับความรุนแรงเท่าใด เนื่องจากสัญญาณเสียงที่ส่งผ่านมาทางชุดหูฟังที่มีความยากในการจำแนกและระบุ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการจำลองการเกิดปรากฏการณ์โคโรน่าขึ้นมาจากห้องทดลอง แล้วใช้เครื่องอุตสาหกรรมโพรบตรวจจับสัญญาณคลื่นอุตสาหกรรมโพรบที่แพร่กระจายออกมาจากอุปกรณ์ทดสอบอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์โคโรน่าที่สร้างขึ้น ทำการบันทึกเสียงที่ส่งผ่านมาทางชุดหูฟังจากเครื่องอุตสาหกรรมโพรบ แล้วนำสัญญาณเสียงที่บันทึกได้มาป้อนใส่โมเดลที่ได้ทำการสร้างขึ้นมาจาก โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อทำการสังเคราะห์สัญญาณ ก็จะทำให้ได้แพทเทิร์นสเปกตรัมของสัญญาณ โคโรน่าขึ้นมา และจะนำมาใช้เป็นแพทเทิร์นสเปกตรัมของสัญญาณ โคโรน่าต้นแบบ (Corona Master Signal) ในการเปรียบเทียบกับแพทเทิร์นสเปกตรัมสัญญาณเสียงใดๆที่ได้ทำการบันทึกมาจากสถานีไฟฟ้าต่างๆ แล้วนำมาป้อนใส่โมเดลเพื่อพิจารณาว่ามีรูปแบบลักษณะของแพทเทิร์นสเปกตรัมเหมือนหรือต่างจากแพทเทิร์นสเปกตรัมสัญญาณ โคโรน่าต้นแบบหรือไม่ อย่างไร ซึ่งจะทำให้เราสามารถระบุได้ว่าสัญญาณใดๆที่ป้อนเข้ามาให้กับโมเดลนั้น เป็นสัญญาณที่แสดงถึงปรากฏการณ์โคโรน่าหรือไม่นั่นเอง

4.1 การสร้างสัญญาณโคโรน่าต้นแบบจากห้องทดลอง

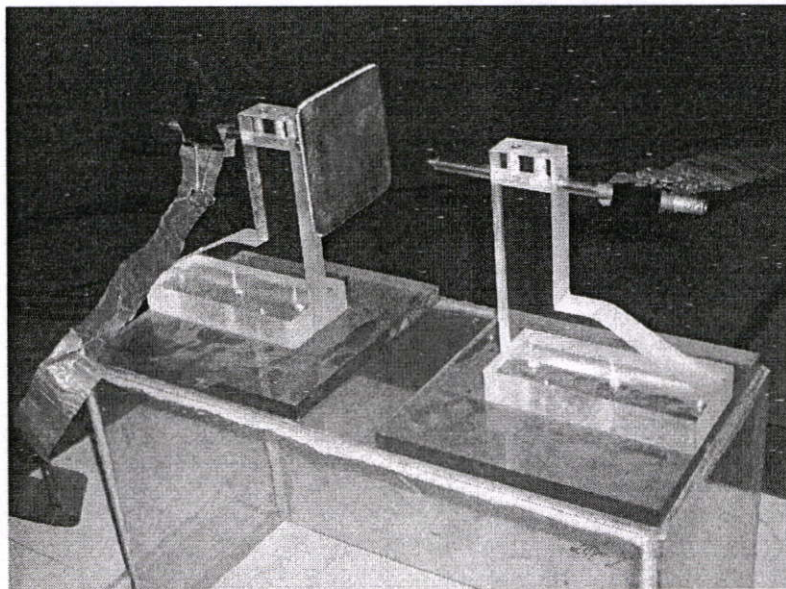
โดยการติดต่อกับอาจารย์ผู้ควบคุมดูแลการใช้งาน โรงประลองไฟฟ้าแรงสูงของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อขอความอนุเคราะห์ให้ทำการสร้างวงจรจำลองการเกิดปรากฏการณ์โคโรน่าขึ้น ซึ่งจะมีผู้วิจัยเป็นผู้ใช้เครื่องอุตสาหกรรมโพรบในการเก็บข้อมูลสัญญาณเสียงดังกล่าว พร้อมจดบันทึกข้อมูลสภาพแวดล้อมต่างๆภายในห้องทดลอง โดยในการสร้างสัญญาณ โคโรน่าต้นแบบ เราแบ่งวัตถุประสงค์ออกในการสร้างเป็นสองประการดังนี้-

4.1.1 การสร้างปรากฏการณ์โคโรน่าในลักษณะแบบไม่ทำลาย (Non – Destructive Testing)

คือการสร้างปรากฏการณ์โคโรน่า โดยการใช้เครื่องสร้างการคายประจุบางส่วน (Partial Discharge Generator) เป็นตัวควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าแรงสูง เพื่อก่อให้เกิดการไอออนไนซ์ของประจุไฟฟ้าออกมาในอากาศภายในบริเวณรอบๆผิวตัวนำที่จำลองขึ้น ที่มีลักษณะเป็นแท่งโลหะด้านหนึ่งกับแผ่นโลหะอีกด้านหนึ่ง (Rot – Plate) ดังรูปที่ 4.1 โดยการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้กับ

ชุดทดสอบเรื่อยๆจนกระทั่งชุดทดสอบมีความเข้มสนามไฟฟ้ามากกว่าค่าสนามไฟฟ้าวิกฤตตามทฤษฎีที่ได้กล่าวเอาไว้ในบทที่ 2 ซึ่งจะช่วยให้กลายเป็นปรากฏการณ์โคโรน่าขึ้นในที่สุด

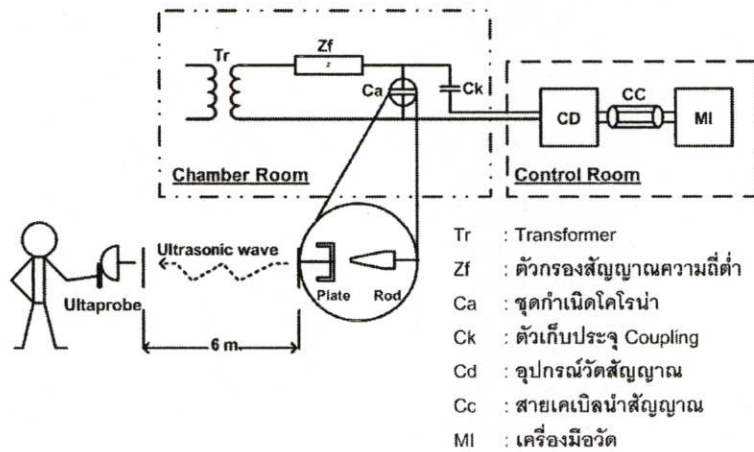
โดยตั้งแต่ที่เริ่มทำการจ่ายไฟจนกระทั่งเกิดการไอออนไนซ์ขึ้นที่ชุดทดสอบ เราจะใช้เครื่องอูลตราโพรบเล็งไปยังชุดทดสอบเพื่อตรวจจับสัญญาณตลอดเวลา จนเครื่องอูลตราโพรบเริ่มจับสัญญาณคลื่นอูลตราโซนิกที่แพร่กระจายออกมาในอากาศ เนื่องจากปรากฏการณ์โคโรน่าที่สร้างขึ้นดังกล่าว ซึ่งจะได้อินเป็นสัญญาณเสียงส่งผ่านมาทางชุดหูฟังจากนั้นทำการบันทึกเสียงลงในเครื่องบันทึกเสียงดิจิทัลที่มีคุณภาพสูง โดยเหตุที่จำเป็นต้องเลือกใช้เครื่องบันทึกเสียงดิจิทัลคุณภาพสูงนั้น เนื่องจากจะมีฟังก์ชันต่างๆที่ช่วยให้การบันทึกเสียงมีคุณภาพเสียงที่ดีที่สุด อย่างเช่น ฟังก์ชันการตัดสัญญาณรบกวน (Noise Rejection) มีความไวของไมโครโฟนในการจับสัญญาณบันทึกสูง สามารถเลือกค่าอัตราการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Rate) ได้และสามารถเลือกบันทึกเป็นไฟล์เสียงดิจิทัลได้หลายรูปแบบตามความต้องการ โดยสัญญาณโคโรน่าที่สร้างขึ้นนี้ จะใช้เพื่อเป็นสัญญาณต้นแบบอ้างอิงให้กับโมเดล เพื่อให้โมเดลสังเคราะห์สัญญาณซึ่งจะทำให้เราได้รูปแบบของแพทเทิร์นสเปกตรัมของสัญญาณโคโรน่าที่ถูกต้อง และจะได้นำไปใช้เพื่อเป็นแพทเทิร์นสเปกตรัมของสัญญาณโคโรน่าต้นแบบ ในการเปรียบเทียบกับแพทเทิร์นสเปกตรัมของสัญญาณเสียงใดๆที่ได้ทำการบันทึกมาจากสถานีไฟฟ้าที่เราไม่ทราบมาก่อนว่ามันเป็นสัญญาณเสียงที่แสดงถึงปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าชนิดใด



รูปที่ 4.1 ชุดทดสอบในการสร้างสัญญาณ โคโรน่าต้นแบบ

โดยการทดลองสร้างสัญญาณโคโรนาต้นแบบ ดำเนินการเมื่อวันที่ 8 เมษายน พ.ศ. 2548 โดยมีองค์ประกอบและสภาพแวดล้อมในห้องทดลองเป็นดังนี้.-

- เป็นโคโรนาที่สร้างจากเครื่องกำเนิดการคิซาร์จบางส่วนที่แรงดัน 14 kV
- มีระยะห่างระหว่างตัวรับคลื่นอุลตราโซนิคกับตำแหน่งของชุดทดสอบที่เกิดการแพร่กระจายคลื่นอุลตราโซนิคประมาณ 6 ม.
- มีความชื้นภายในห้องทดลองเท่ากับ 70 %
- มีอุณหภูมิภายในห้องทดลองเท่ากับ 33 องศาเซลเซียส

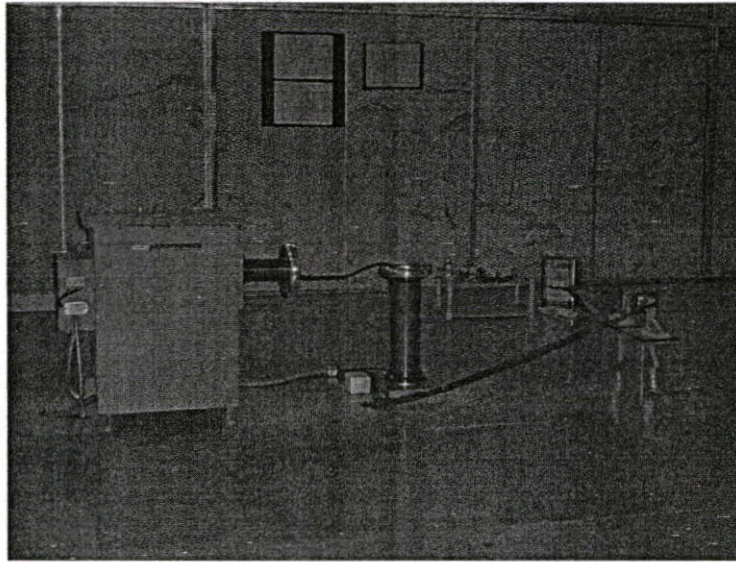


รูปที่ 4.2 ไลอะแกรมจำลองภาพการเก็บข้อมูล

ในส่วนของห้องทดสอบการเกิดคิซาร์จบางส่วน ดังแสดงตามรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4

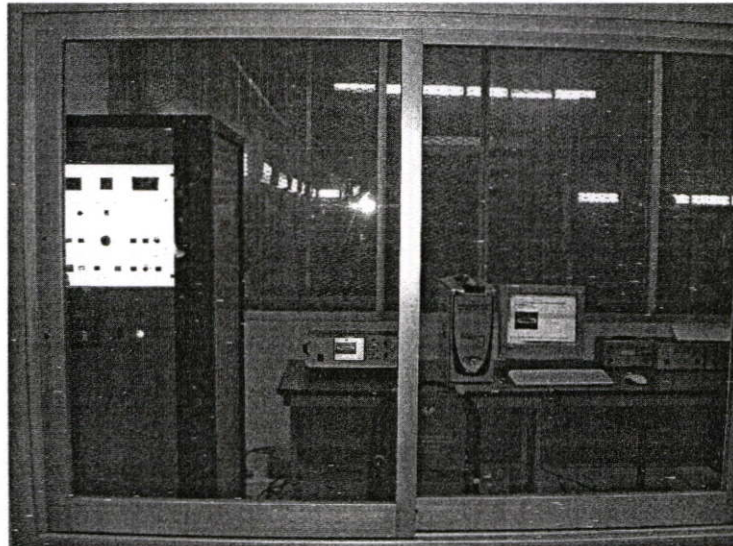


รูปที่ 4.3 ห้องทดสอบในส่วนในพื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบการคิซาร์จบางส่วน

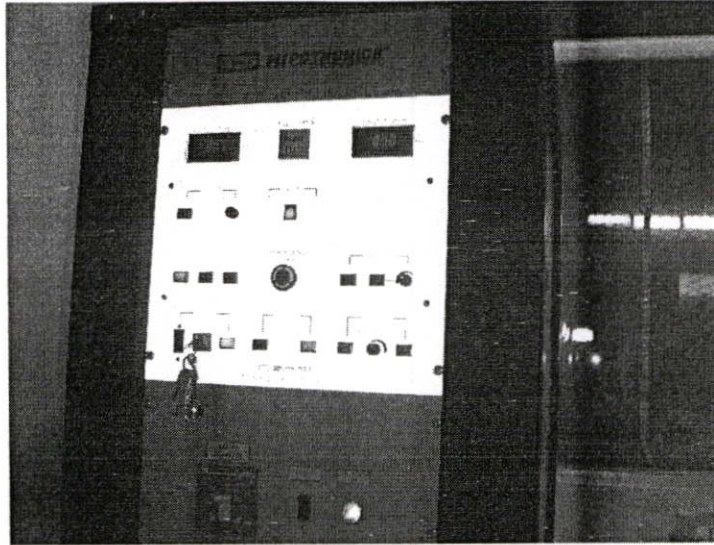


รูปที่ 4.4 การต่อวงจรของชุดทดสอบการสร้างตัวอย่างปรากฏการณ์โคโรน่าตามการทดสอบ
ในหัวข้อ 4.1.1

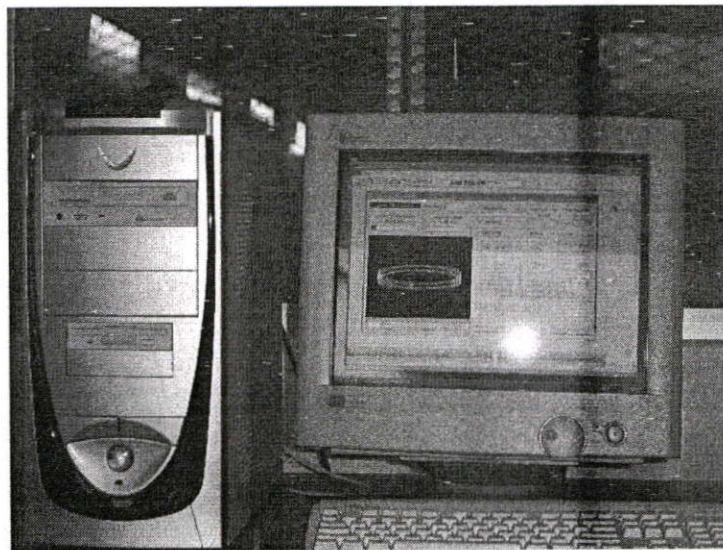
ในส่วนของห้องควบคุมการเกิดดิสชาร์จบางส่วน แสดงตามรูปที่ 4.5 – 4.8



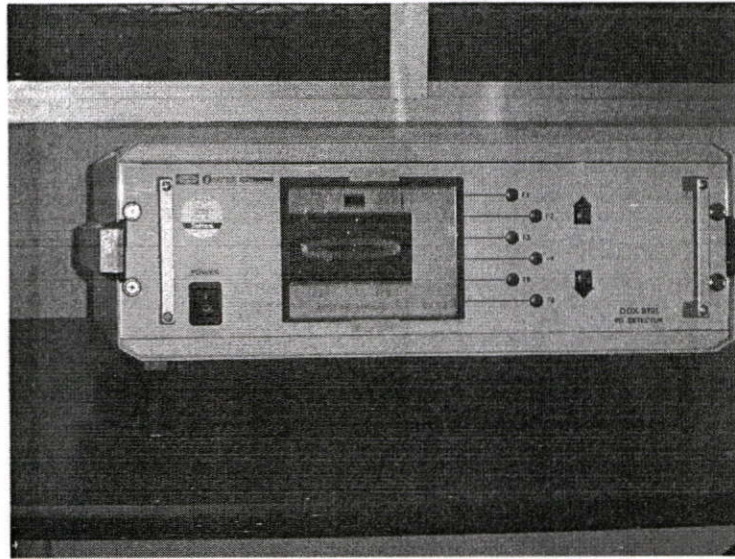
รูปที่ 4.5 ห้องควบคุมการเกิดดิสชาร์จบางส่วน



รูปที่ 4.6 เครื่องควบคุมการเกิดดิสชาร์จบางส่วน



รูปที่ 4.7 ชุดคอมพิวเตอร์ตรวจสอบการเกิดดิสชาร์จบางส่วน



รูปที่ 4.8 เครื่องแสดงตำแหน่งในการเกิดคิซาร์จบางส่วน

4.1.2 การสร้างปรากฏการณ์โคโรนาในลักษณะเบรกดาวน์ (Breakdown Testing)

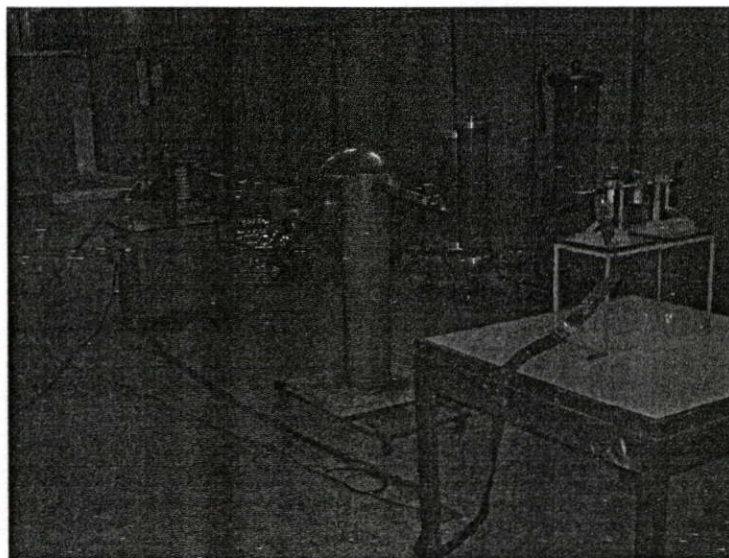
เป็นการสร้างโคโรนาในลักษณะที่เพิ่มแรงดันให้กับชุดทดสอบขึ้นเรื่อยๆ โดยใช้ชุดทดสอบที่มีลักษณะเป็นแท่งโลหะด้านหนึ่งกับแผ่นโลหะอีกด้านหนึ่ง เหมือนกับในหัวข้อ 4.1.1 แต่จะทำการจ่ายแรงดันให้กับชุดทดสอบขึ้นไปเรื่อยๆ จนกระทั่งเกิดการแฟลช โอเวอร์ (Flash Over) หรือเกิดการเบรกดาวน์ขึ้นกับชุดทดสอบ โดยจะใช้เครื่องอูลตราโพรบตรวจจับสัญญาณคลื่นอูลตราโซนิคที่แพร่กระจายออกมาเนื่องจากชุดทดสอบตั้งแต่เริ่มต้นจ่ายไฟจนเกิดการเบรกดาวน์

การทดสอบในลักษณะนี้ กระทำขึ้นเพื่อจำลองการเกิดค่าสูงสุด (Maximum Value) ที่สามารถเกิดขึ้นได้ของปรากฏการณ์โคโรนา ทำให้เราได้มาซึ่งค่าเทียบเคียงค่าสูงสุดของการเกิดปรากฏการณ์โคโรนานั้นเอง

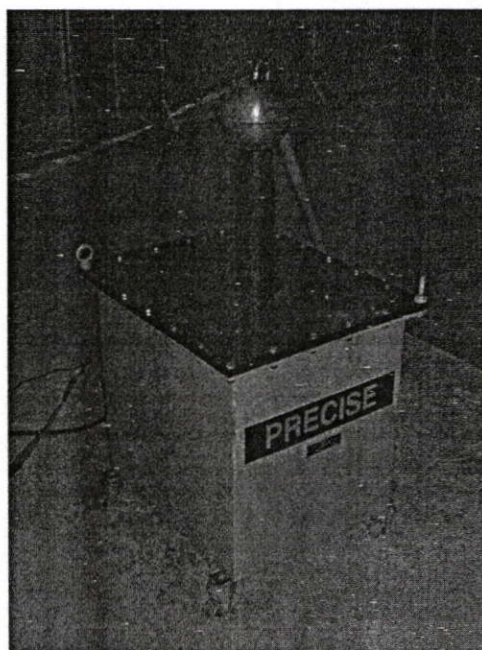
โดยการทดลองสร้างปรากฏการณ์โคโรนาเป็นการจำลองค่าระดับความรุนแรงสูงสุด ทำการทดสอบเมื่อวันที่ 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549 โดยมีองค์ประกอบและสภาพแวดล้อมในห้องทดลองเป็นดังนี้.-

- เป็นการจ่ายแรงดันจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่แรงดัน 29 kV
- มีระยะห่างระหว่างตัวรับคลื่นอูลตราโซนิคกับตำแหน่งของชุดทดสอบที่เกิดการแพร่กระจายคลื่นอูลตราโซนิคประมาณ 6 ม.
- มีความชื้นภายในห้องทดลองเท่ากับ 79 %
- มีอุณหภูมิภายในห้องทดลองเท่ากับ 32 องศาเซลเซียส

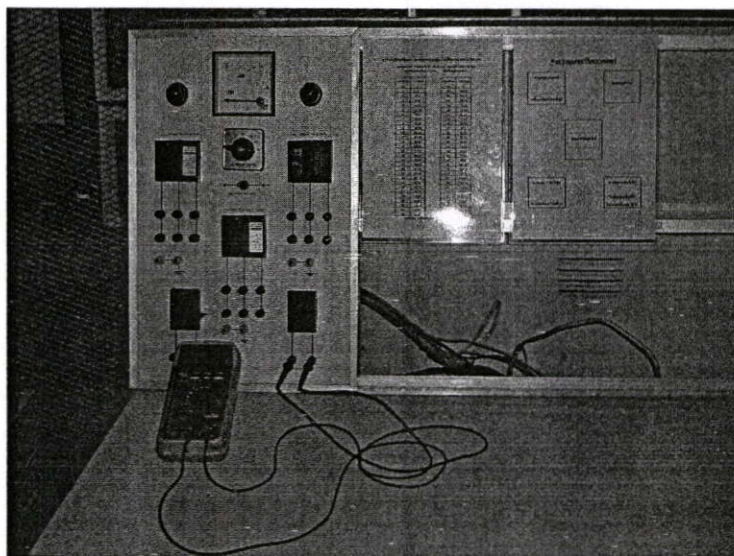
การต่อวงจรในการทดลอง, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูง และแผงวงจรควบคุม มีลักษณะดังรูปที่ 4.9, 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 การต่อวงจรของชุดทดสอบการสร้างตัวอย่างปรากฏการณ์โคโรน่าตามการทดสอบ
ในหัวข้อ 4.1.2



รูปที่ 4.10 เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 4.11 แผงวงจรควบคุมการจ่ายไฟให้แก่เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง เราจะได้มาทั้งแพทเทิร์นของสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบและค่าเทียบเคียงค่าสูงสุดของการเกิดปรากฏการณ์โคโรนา ซึ่งเราจะนำมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการสังเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณใดๆต่อไป

4.2 การสร้างโมเดลเพื่อสังเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณเสียง

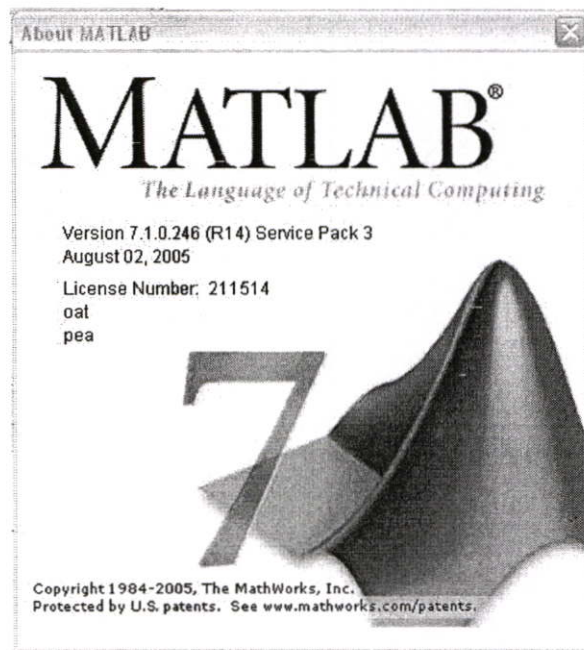
หลังจากได้สัญญาณเสียงโคโรนาดันแบบที่ถูกบันทึกอยู่ในรูปของไฟล์ดิจิทัลเรียบร้อยแล้ว จากนั้นผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างโมเดลสังเคราะห์สัญญาณเสียงขึ้นมาจาก โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อนำมาใช้สังเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณเสียงปรากฏการณ์โคโรนาที่สร้างขึ้น ซึ่งก็จะทำให้เราได้สเปกตรัมต้นแบบของสัญญาณโคโรนา เพื่อนำไปใช้อ้างอิงในการเปรียบเทียบแพทเทิร์นของสเปกตรัมกับสัญญาณเสียงใดๆที่ป้อนเข้ามาเป็นสัญญาณอินพุตเข้าสู่โมเดลต่อไป

การสร้างแบบจำลองเพื่อช่วยในการประมวลผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าการสร้าง “โมเดล” (Model) นั้น มีประโยชน์อย่างมากสำหรับการทำงานวิจัยในหลายๆสาขาวิชา ซึ่งจะช่วยให้ผู้ทำวิจัยสามารถวิเคราะห์ สังเคราะห์ พิจารณา หรือเปรียบเทียบข้อมูลหรือผลลัพธ์ของการศึกษาวิจัยที่กำลังทำอยู่ได้อย่างสะดวก รวดเร็ว ประหยัด และถูกต้อง

สำหรับงานวิจัยนี้ จะสร้างโมเดลขึ้นเพื่อใช้ในการสังเคราะห์สัญญาณเสียงทั้งสัญญาณเสียงของปรากฏการณ์โคโรนาดันแบบ และสัญญาณเสียงใดๆที่ได้ทำการตรวจจับและบันทึกมาจากภาคสนาม ณ สถานีไฟฟ้าต่างๆ นำมาป้อนเข้าสู่โมเดลเพื่อทำการสังเคราะห์ แล้วนำผลที่ได้จากการสังเคราะห์สัญญาณทั้งสองแสดงออกมาเป็นสเปกตรัม ทำการเปรียบเทียบแพทเทิร์นของคุณสมบัติทางด้านความถี่เสียงที่สามารถรับฟังได้ด้วยหูมนุษย์ ตามที่ได้กล่าวเอาไว้ในหัวข้อ 2.4.1 และ

แสดงผลของสเปคตรัมออกมาทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้งาน โมเดลสามารถพิจารณาได้ว่าสัญญาณเสียงใดๆที่บันทึกมาจากสถานีไฟฟ้านั้น มีสเปคตรัมเหมือนหรือต่างจากปรากฏการณ์โคโรน่าหรือไม่ อย่างไร จึงทำให้สามารถระบุได้ว่าสัญญาณเสียงใดๆที่ป้อนเข้าสู่โมเดลเป็นสัญญาณเสียงที่แสดงถึงปรากฏการณ์โคโรน่าหรือไม่

โดยในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำเอาโปรแกรมแมทแลป เวอร์ชัน 7.1 (MATLAB Version 7.1) มาใช้ในการสร้าง โมเดลเพื่อสังเคราะห์สัญญาณเสียง ดังนั้นผู้วิจัยจึงใคร่ขอกล่าวถึงตัวโปรแกรมแมทแลปอย่างคร่าวๆเพื่อให้เกิดความเข้าใจในพื้นฐานของโปรแกรมดังนี้



รูปที่ 4.12 โปรแกรมแมทแลป เวอร์ชัน 7.1 ที่นำมาใช้งาน

4.2.1 คำแนะนำเบื้องต้นเกี่ยวกับโปรแกรมแมทแลป

โปรแกรมแมทแลปเป็น โปรแกรมที่ใช้คำนวณเชิงตัวเลขซึ่งเป็นที่นิยมนำมาใช้งาน ในการแก้ปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และด้านวิศวกรรมศาสตร์ในสาขาต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจาก โปรแกรมแมทแลปเป็น โปรแกรมที่ง่ายต่อการศึกษาเพื่อนำไปใช้งาน เนื่องจากเป็น โปรแกรมใน ลักษณะแบบปฏิสัมพันธ์ (Interactive) ที่มีการเขียน โปรแกรมไม่ยุ่งยาก ตลอดจนยังมีฟังก์ชันต่างๆ ให้เลือกใช้งานอย่างมากมายอีกด้วย โดยแมทแลป จัดเป็นภาษาขั้นสูง (High – Level Language) สำหรับการเขียน โปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่ประกอบด้วย การคำนวณเชิง ตัวเลข กราฟที่ซับซ้อน และการจำลองแบบเพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจน โดยชื่อของ “แมทแลป” นั้น ย่อมาจากคำว่า “เมตริกซ์ แลปบอราทอรี” (MATLAB: MATrix LABoratory) เนื่องจากแต่เดิม

โปรแกรมแมทแลปได้เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณทางเมตริกซ์เป็นหลัก หรือเรียกว่าเป็นเมตริกซ์ซอฟต์แวร์ (Matrix Software) ที่พัฒนามาจาก โปรเจกต์ที่ชื่อ LINKPAC และ EISPACK [14]

แมทแลปเป็นโปรแกรมที่พัฒนามาด้วยการแก้ปัญหาที่ผู้ใช้งานทั่วไปส่งย้อนกลับเข้ามายังบริษัทผู้ผลิตเป็นระยะเวลาหลายปี จึงทำให้โปรแกรมแมทแลปมีฟังก์ชันต่างๆ ให้เลือกใช้งานอย่างมากมาย ซึ่งในบางมหาวิทยาลัยก็ได้เลือกใช้โปรแกรมแมทแลปเป็นหลักสูตรพื้นฐานในการศึกษาในสาขาวิชาด้านคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และด้านวิศวกรรมศาสตร์ ตลอดจนในด้านงานอุตสาหกรรม ก็มีการนำโปรแกรมแมทแลปเข้าไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางในการวิจัย วิเคราะห์และการพัฒนา

โปรแกรมแมทแลปจะมีกล่องเครื่องมือที่ใช้ช่วยในการหาคำตอบที่เราเรียกว่าทูลบ็อกซ์ (Toolbox) ซึ่งโปรแกรมแมทแลปนั้นจะมีทูลบ็อกซ์อยู่หลากหลายสาขาให้เลือกใช้งานตามความต้องการ อย่างเช่นในสาขาของการประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing), ระบบควบคุม (Control System) การติดต่อสื่อสาร (Communication) โครงข่ายประสาท (Neural Network) ฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) สถิติ (Statistic) และสาขาอื่นๆอีกมากมาย ภายในทูลบ็อกซ์แต่ละสาขาก็จะมีฟังก์ชันต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาในสาขานั้นๆ ให้เลือกประยุกต์ใช้งานเป็นจำนวนมาก

4.2.2 ข้อดีของโปรแกรมแมทแลป

1. มีฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และด้านวิศวกรรมศาสตร์ ให้เลือกใช้ในการคำนวณมากมาย และผู้ใช้งานยังสามารถสร้างฟังก์ชันต่างๆ ขึ้นมาสำหรับใช้งานเองได้
2. อัลกอริทึม (Algorithm) พัฒนาได้ง่าย สามารถแก้ไขปัญหาด้านคณิตศาสตร์ที่มีความยุ่งยาก ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. มีโครงสร้างของแบบจำลอง (Simulink) ซึ่งเป็น โมดูลที่สามารถนำไปสร้างเป็นบล็อกไดอะแกรมเพื่อใช้ทดสอบและประเมินผลระบบไดนามิคต่างๆ ก่อนนำไปใช้งานจริง
4. เกี่ยวกับงานทางด้านกราฟิก โปรแกรมแมทแลปสามารถสร้างและแสดงภาพหรือกราฟทั้งในรูปแบบสองมิติและแบบสามมิติ ตลอดจนสามารถนำภาพมาต่อกันและเก็บไว้เพื่อสร้างภาพเคลื่อนไหวได้อีกด้วย
5. มีการประยุกต์ใช้งานในส่วนของ GUI เพื่อให้ผู้ออกแบบสามารถพัฒนาโปรแกรมให้มีการปฏิสัมพันธ์กันระหว่างผู้ใช้งาน (User) กับเครื่องคอมพิวเตอร์ (PC) ได้

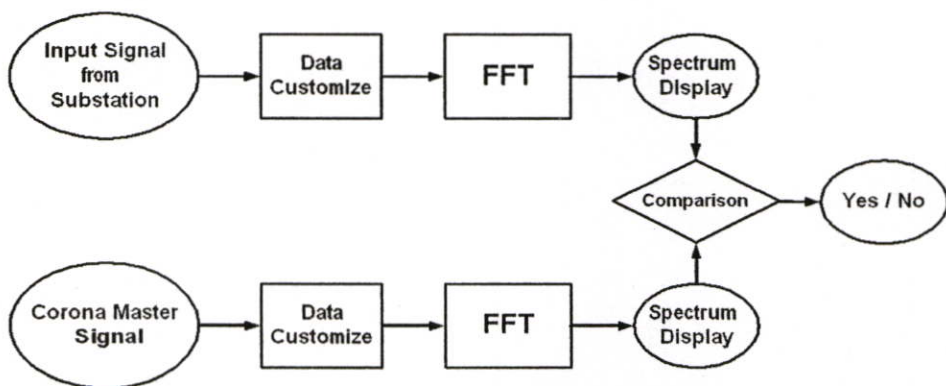
4.2.3 ฮาร์ดแวร์ที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโปรแกรมแมทแลป เวอร์ชัน 7.1

- ระบบปฏิบัติการ (OS) : Window XP (SP1 or SP2)
- หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) : Pentium III, IV, Xeon, Pentium M, AMD Athlon, Athlon XP, Athlon MP
- หน่วยความจำ (RAM) : 256 Mbsp. (512 Mbsp. is recommended)
- พื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้งโปรแกรม (Hard-Disk) : 450 MB (with Help file)
- การแสดงผลทางกราฟิก: 16-, 24- or 32-bit OpenGL capable graphics adapter

4.2.4 การสร้างโมเดล

โดยการนำโปรแกรมแมทแลป เวอร์ชัน 7.1 มาใช้ในการสร้างโมเดลสังเคราะห์สัญญาณเสียง จะอาศัยหลักการพื้นฐานของการแปลงฟูเรียร์ แบบเร็ว (Fast Fourier Transform: FFT) ที่เป็นหนึ่งในฟังก์ชันมาตรฐานในหมวดของการประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing) ที่ใช้ในการสังเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณ

โดยภายในโมเดลจะแบ่งกระบวนการสังเคราะห์สัญญาณเสียงออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกจะเป็นส่วนของการสังเคราะห์สัญญาณโคโรนาต้นแบบที่เราได้ทำการสร้างขึ้นตามหัวข้อ 4.1 เพื่อใช้เป็นสเปกตรัมต้นแบบในการเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงใดๆที่จะนำมาป้อนเป็นอินพุตให้กับโมเดล และในส่วนที่สอง จะเป็นส่วนของข้อมูลที่จะนำมาใช้เป็นสัญญาณอินพุต ซึ่งในที่นี้จะหมายถึงสัญญาณเสียงใดๆที่ได้ไปทำการเก็บบันทึกมาจากสถานีไฟฟ้าต่าง ๆ นั้นเอง ซึ่งจะสามารถเขียนให้เข้าใจได้ง่ายๆตามบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 4.13

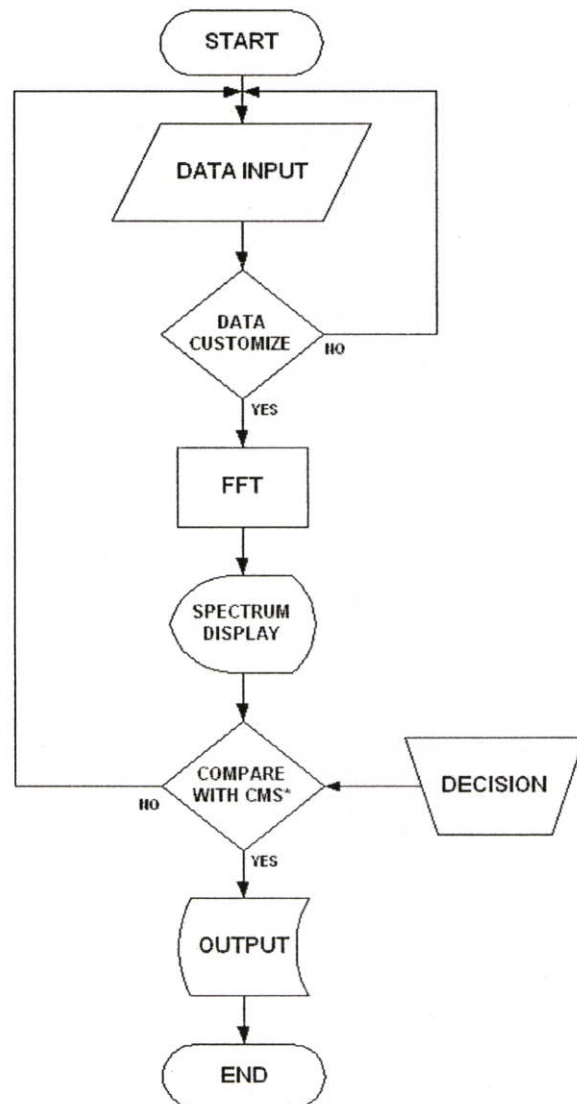


รูปที่ 4.13 บล็อกไดอะแกรมของโมเดล

เมื่อมีสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามา โมเดลจะพิจารณาคูณสมบัติของสัญญาณอินพุตว่าถูกต้องตรงตามเงื่อนไขหรือไม่ จากนั้นจะส่งผ่านไปยังส่วนของการวิเคราะห์เพทเทิร์นของสเปกตรัมของสัญญาณ โดยการใช้ฟังก์ชัน FFT ซึ่งจะแสดงผลออกมาทางจอมอนิเตอร์ในลักษณะของสเปกตรัม-

สโคป เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถพิจารณาคูณลักษณะของสเปกตรัมของสัญญาณอินพุตที่ป้อนเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาต้นแบบที่มีอยู่แล้วได้อย่างชัดเจน โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบทางความถี่ (Frequency Component) ของสัญญาณอินพุต แล้วนำไปเทียบกับองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณโคโรนาต้นแบบ จะทำให้สามารถสรุปได้ว่าสัญญาณอินพุตที่ป้อนนั้นเป็นปรากฏการณ์โคโรนาหรือไม่ได้ทันที

สำหรับโฟลว์ชาร์ตแสดงขั้นตอนการทำงานต่างๆของโมเดลนั้น แสดงดังรูปที่ 4.14

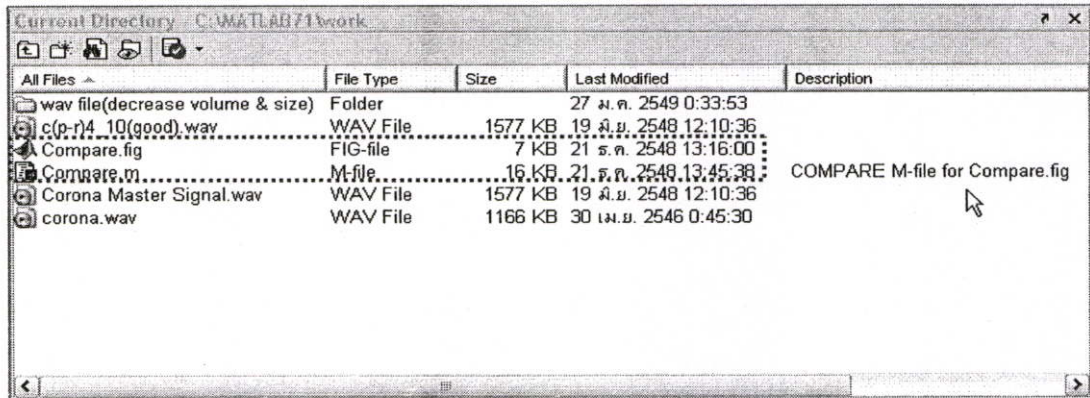


CMS* = Corona Master Signal

รูปที่ 4.14 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโมเดล

4.2.5 ขั้นตอนการใช้งานโมเดล

หลังจากที่ทำการเขียนโปรแกรมและสร้าง GUI เสร็จเรียบร้อยแล้ว เราจะได้ไฟล์สำหรับการวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณมาสองไฟล์ด้วยกัน คือ Compare.fig และ Compare.m (ผู้วิจัยตั้งชื่อไฟล์ทั้งสองว่า Compare ซึ่งจะหมายถึงการเปรียบเทียบสัญญาณสองสัญญาณนั่นเอง) ดังแสดงในรูปที่ 4.15



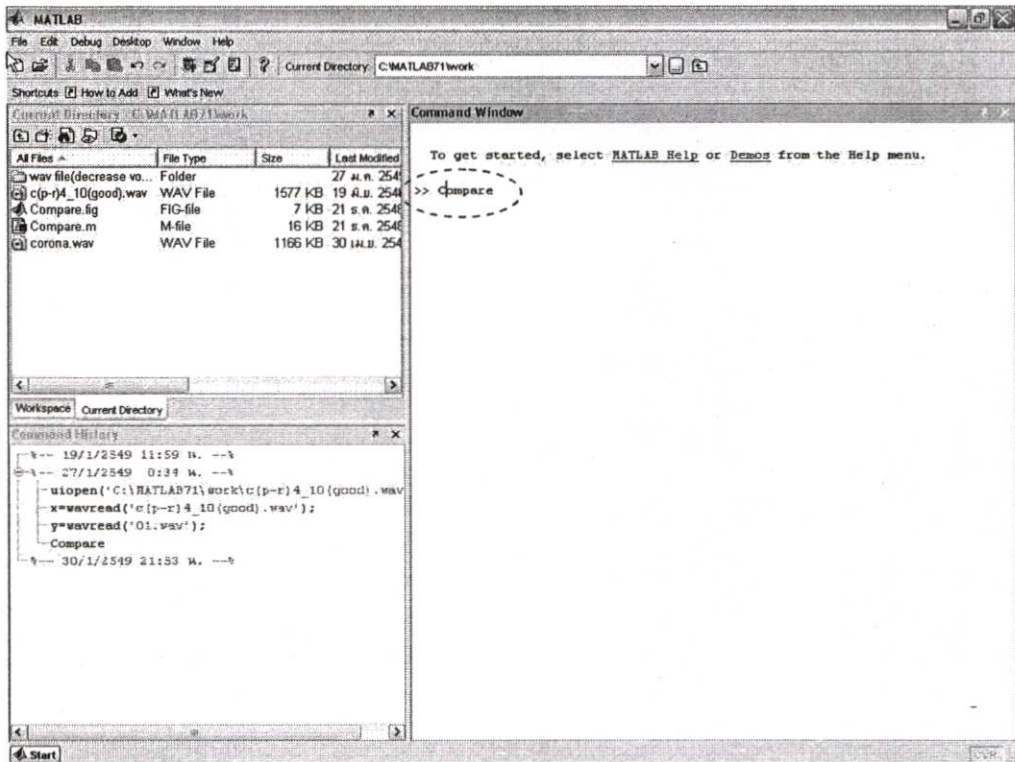
รูปที่ 4.15 แสดงโฟลเดอร์ work ที่ใช้เก็บ M-file และ FIG-file ที่สร้างขึ้น

1. การเปิดใช้งานโมเดล

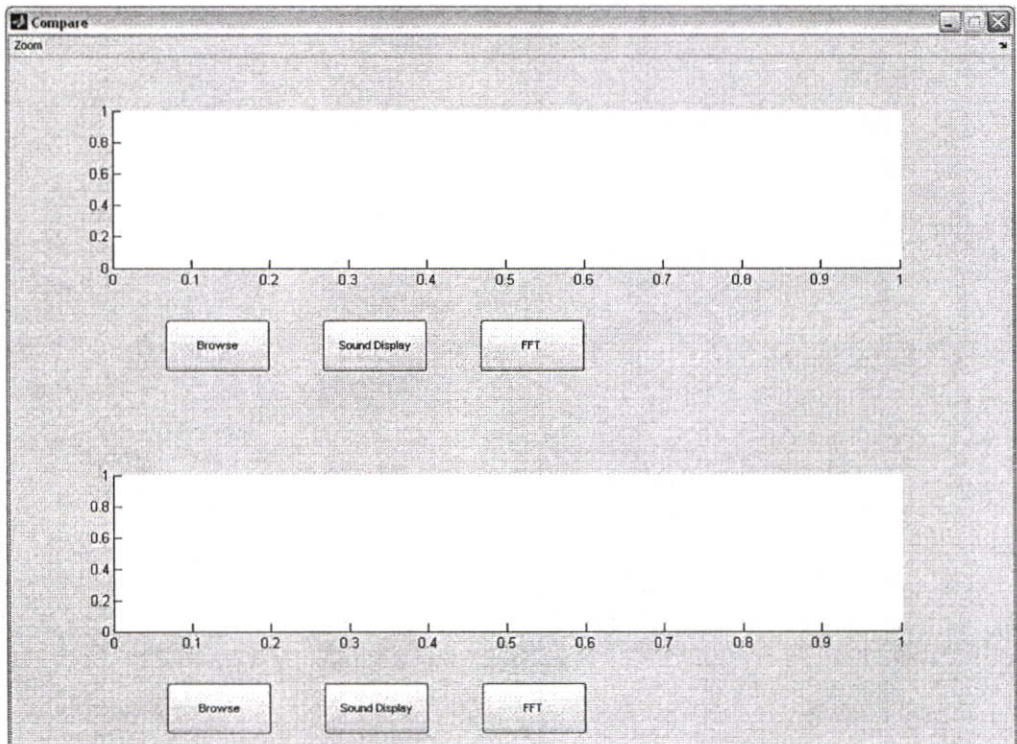
เริ่มจากการเปิดโปรแกรมเมทแลปขึ้นมา พิมพ์ชื่อของ m-file ที่เราได้สร้างขึ้น ในที่นี้คือไฟล์ Compare ลงใน Command Window ดังรูปที่ 4.16 โปรแกรมจะทำการเรียก GUI ขึ้นมา โดยจะมีหน้าต่างดังรูปที่ 4.17

2. การเรียกข้อมูล (Browse) และการประมวลผล (Run)

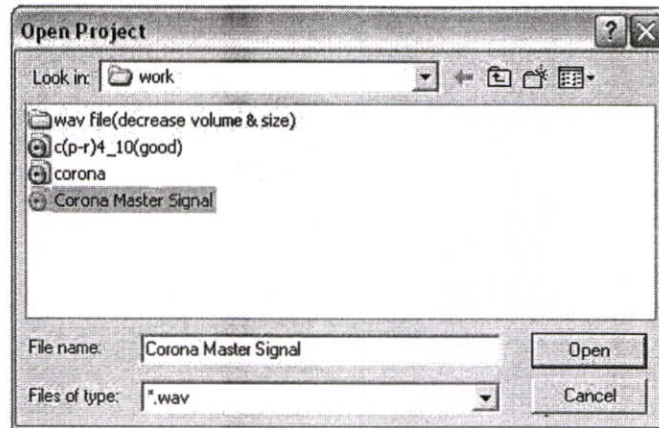
หลังจากเปิดโมเดลขึ้นมาแล้วนั้น ผู้ใช้งานจะพบกับหน้าจอรับข้อมูลดังรูปที่ 4.17 โดยการเรียกข้อมูลขึ้นมาจากเครื่องคอมพิวเตอร์มาจะสามารถทำได้โดยการกดที่ปุ่ม Browse แล้วทำการเลือกไปยังโฟลเดอร์ที่เราใช้ในการเก็บไฟล์สัญญาณเสียงต่างๆ ซึ่งโดยปกติสำหรับโปรแกรมเมทแลปนั้น เรามักจะทำการเก็บไฟล์ข้อมูลต่างๆที่จะใช้งานลงในโฟลเดอร์ที่ชื่อว่า "work" โดยมีพาธ (path) ในการค้นหาเป็น C:\MATLAB71\work ซึ่งจะปรากฏให้เห็นดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.16 หน้าจอเริ่มต้น โปรแกรมแมทแลป

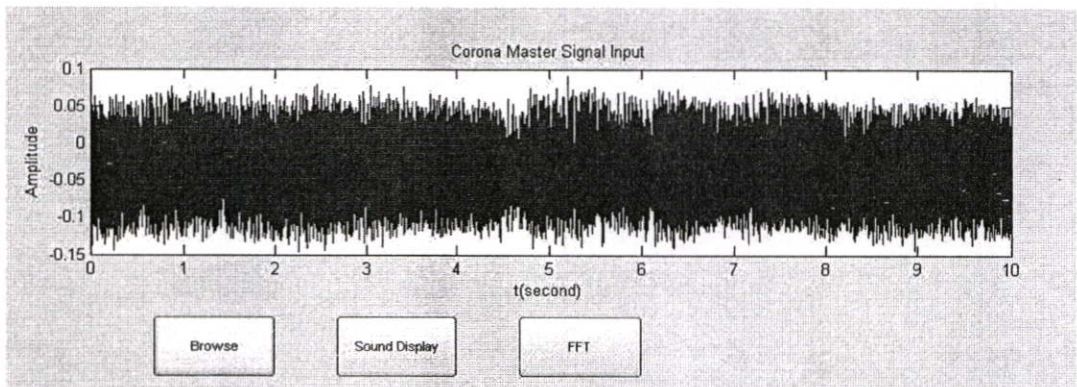


รูปที่ 4.17 หน้าจอรับข้อมูลของ โมเดล (GUI)



รูปที่ 4.18 แสดงโพลเดอร์ work ที่ใช้เก็บไฟล์ข้อมูลต่างๆสำหรับเรียกขึ้นมาใช้งาน

เมื่อเรียกโพลเดอร์ work ขึ้นมาได้แล้ว ให้เลือกไปที่ไฟล์สัญญาณเสียงโคโรนาต้นแบบที่สร้างขึ้นในหัวข้อ 4.1 แล้วเปิดไฟล์ โมเดลจะทำการประมวลผลเพื่อสังเคราะห์สัญญาณ และแสดงผลออกมาเป็นสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาต้นแบบในโดเมนเวลา ดังรูปที่ 4.19



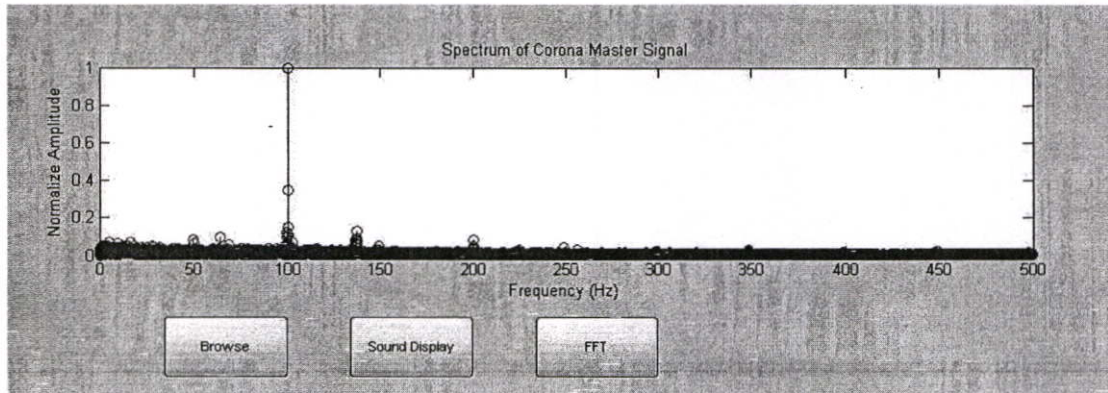
รูปที่ 4.19 สเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาต้นแบบในโดเมนเวลา

3. การฟังเสียงสัญญาณอินพุตของโมเดล

ฟังก์ชันในการฟังเสียงสัญญาณของโมเดลนี้ เป็นส่วนที่ผู้วิจัยทำเพิ่มเติมขึ้น เพื่อให้ผู้ใช้งานโปรแกรมสามารถฟังเสียงของไฟล์สัญญาณที่กำลังเปิดอยู่ในขณะนั้นได้ทันที ก่อนที่จะทำการสังเคราะห์สัญญาณ ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้งานโปรแกรมทราบได้ถึงรูปแบบของเสียงของสัญญาณอินพุต ก่อนที่จะทำการพิจารณาสเปกตรัมที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยโมเดล โดยผู้ใช้งานสามารถรับฟังเสียงของสัญญาณที่ป้อนเป็นอินพุตแก่โมเดลได้โดยการกดที่ปุ่ม Sound Display

4. การสังเคราะห์สัญญาณ

การสังเคราะห์สัญญาณเสียงที่ป้อนให้แก่โมเดลนั้น ทำได้โดยการกดที่ปุ่ม FFT โมเดลจะทำการประมวลผลอีกครั้ง และจะสังเคราะห์สัญญาณพร้อมทั้งแสดงผลออกมาเป็นสเปกตรัมในโดเมนความถี่ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 สเปกตรัมของสัญญาณ โคโรนาต้นแบบในโดเมนความถี่

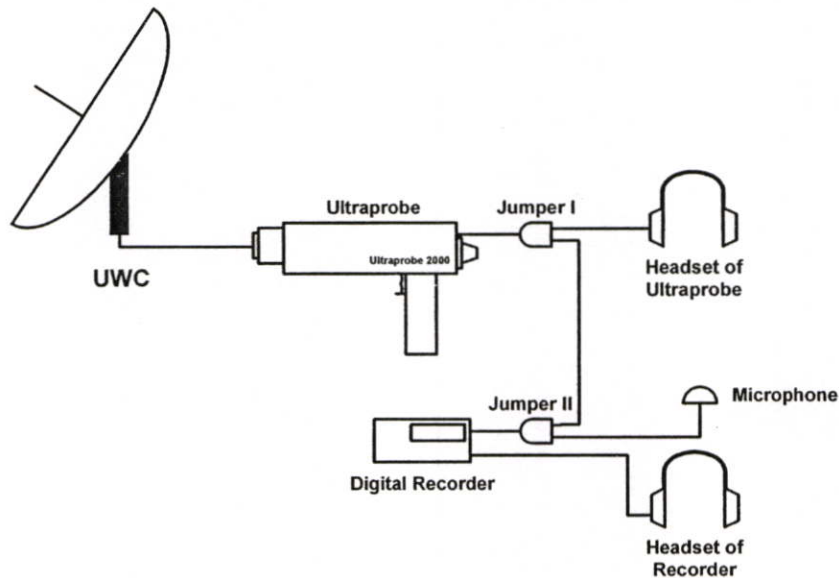
4.3 ขั้นตอนและกระบวนการในการเก็บข้อมูลภาคสนาม

สำหรับข้อมูลที่จะนำเอามาใช้เป็นฐานข้อมูล (Database) ของงานวิจัยนี้ คือข้อมูลสัญญาณเสียงที่ได้ทำการบันทึกมาจากสถานีไฟฟ้าต่างๆของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ในพื้นที่เขตภาคกลาง (จ.ปทุมธานี, จ.ฉะเชิงเทรา, จ.ชลบุรี, จ.ระยอง) จำนวน 27 สถานี โดยเริ่มจากการเลือกสถานีไฟฟ้าที่จะไปทำการเก็บข้อมูล ซึ่งในการเลือกสถานีไฟฟ้านั้น จะมีการกำหนดเงื่อนไขในการเลือกไว้ดังนี้

- เป็นสถานีไฟฟ้าแบบเอาต์ดอร์ (Outdoor) หรือที่เรียกกันว่าแบบคอนเวนชันนอล (Conventional Type) คือจะเป็นสถานีแบบที่มีลานไกหรือเป็นสถานีสับเปลี่ยนแรงดัน (Switching Station) ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าการเกิดปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าต่าง ๆ นั้น มักเกิดขึ้นในบริเวณลานไกของสถานีไฟฟ้ามากกว่าที่จะเกิดขึ้นกับ สถานีไฟฟ้าแบบอินดอร์ (Indoor) หรือแบบ GIS ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงเลือกที่จะไปเก็บข้อมูล ณ สถานีไฟฟ้าแบบเอาต์ดอร์มากกว่านั่นเอง
- สถานีไฟฟ้าจะต้องไม่อยู่ในบริเวณพื้นที่ที่มีมลภาวะสูงจนเกินไป เช่น อยู่ใกล้ชายฝั่งทะเล หรืออยู่ใกล้กับโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท อย่างเช่น โรงงานปูนซีเมนต์ โรงงานเคมีภัณฑ์ฯ เนื่องจากอาจทำให้ข้อมูลที่ได้คลาดเคลื่อนเพราะมีผลกระทบจากปัจจัยทางมลภาวะที่มีมากกว่าปกติทั่วไป

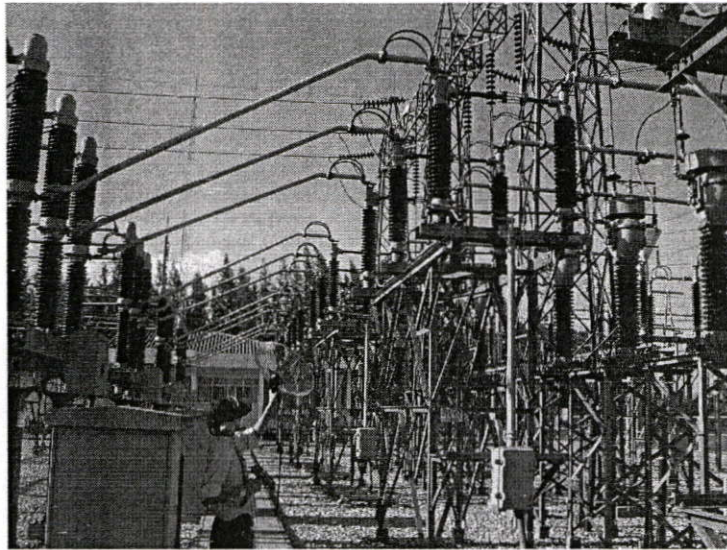
4.3.1 การดำเนินการเก็บข้อมูลภาคสนาม ณ สถานีไฟฟ้าของ กฟภ.

เริ่มจากการกำหนดวัน – เวลาในการเดินทาง เลือกสถานีไฟฟ้าที่จะไปเก็บข้อมูลตามเงื่อนไขข้างต้นพร้อมทั้งกำหนดเส้นทางในการเดินทาง [15] และเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการออกไปสำรวจเก็บข้อมูล ดังนั้นในการเดินทางออกไปเก็บข้อมูลแต่ละครั้ง ผู้วิจัยจะพยายามสำรวจเก็บข้อมูลให้ได้อย่างน้อย 2 สถานีขึ้นไป เมื่อเดินทางถึงสถานีไฟฟ้า หลังจากรับการอนุญาตจากเจ้าหน้าที่ผู้ควบคุมสถานีให้เข้าไปดำเนินการสำรวจและเก็บข้อมูลได้แล้วนั้น เราจะเริ่มโดยการประกอบชุดอุปกรณ์โทรบ ที่มีส่วนประกอบหลักพื้นฐานอยู่ 3 ชิ้น คือ ตัวเครื่องชุดอุปกรณ์โทรบ ชุดหูฟัง และจานรวมคลื่นอุลตราโซนิคมาประกอบเข้าด้วยกัน แล้วจึงนำส่วนของเครื่องบันทึกเสียงดิจิทัลและไมโครโฟนมาทำการต่อพ่วงเข้ากับตัวชุดของเครื่องชุดอุปกรณ์โทรบ ดัง ไดอะแกรมตามรูปที่ 4.21 แล้วนำอุปกรณ์ทั้งหมดมาสวมเข้ากับตัวผู้เก็บข้อมูล



รูปที่ 4.21 ไดอะแกรมแสดงการต่อเครื่องชุดอุปกรณ์โทรบเข้ากับ ชุดหูฟัง จานรวมคลื่นฯ และการต่อพ่วงกับเครื่องบันทึกเสียงดิจิทัลและไมโครโฟน

จากนั้นจึงเริ่มดำเนินการเก็บข้อมูล โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานคร่าวๆดังนี้ คือหลังจากการประกอบชุดเครื่องชุดอุปกรณ์โทรบพ่วงกับชุดเครื่องบันทึกเสียงเสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยก่อนการเริ่มลงไปเดินสำรวจเก็บข้อมูลที่บริเวณสถานใด ให้ตั้งค่าความไวในการรับคลื่นของเครื่องชุดอุปกรณ์โทรบไว้ที่ 7.5 [11] จากนั้นจึงเริ่มทำการเดินสำรวจเก็บข้อมูล โดยให้ทำการเดินวนไปรอบๆบริเวณสถานใดตามทางเดินที่กำหนดไว้ หันงานๆไปทางตัวอุปกรณ์ไฟฟ้า(ทีละฝั่ง) และในขณะที่ก้าวเดินให้เลื่อนงานๆในลักษณะกวัดแกว่งไปมาขึ้นลงอย่างช้าๆ และเป็นจังหวะดังรูปที่ 4.22

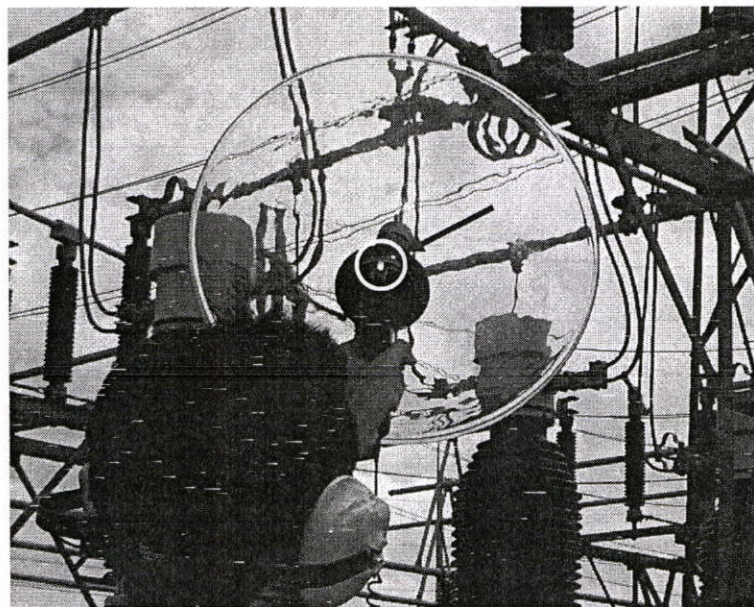


รูปที่ 4.22 วิธีการกวาดงานรวมคลื่นในการตรวจจับคลื่นอุลตราโซนิคภายในบริเวณลานไก

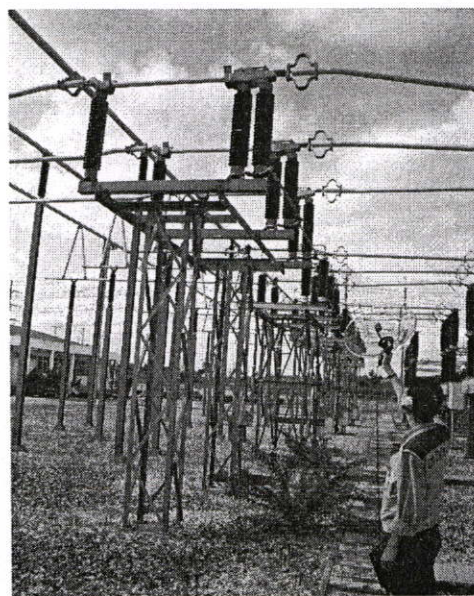
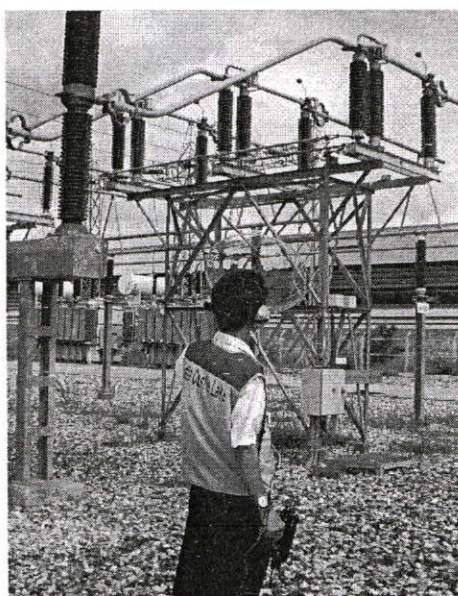
โดยในขณะที่ทำงานตรวจจับสัญญาณ หากอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวใดภายในบริเวณลานไกมีการผิดปกติหรือกำลังเกิดปรากฏการณ์โคโรน่าหรือเกิดอาร์คขึ้นในช่วงเวลานั้นๆ ก็จะเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดการแพร่กระจายของคลื่นอุลตราโซนิคขึ้นมา ที่สามารถรับรู้ถึงความผิดปกติเป็นสัญญาณเสียงส่งผ่านมาทางชุดหูฟังทันที แต่ ณ เวลานี้ เรายังไม่สามารถระบุตำแหน่งที่ชัดเจนได้ว่าเสียงที่ได้ยินผ่านมาจากชุดหูฟังนั้น มีต้นกำเนิดของเสียงมาจากอุปกรณ์ตัวใด เพียงแต่ทราบว่ากำลังเกิดปัญหาขึ้นกับตัวอุปกรณ์ใดตัวใดที่ติดตั้งอยู่บริเวณนั้นๆ จากนั้นจึงต้องทำการตรวจอย่างละเอียดอีกครั้ง โดยการเดินผ่านช่องมองเล็กๆ ที่อยู่เหนือด้ามจับของงานรวมคลื่นฯ ดังรูปที่ 4.23 ไปยังตัวอุปกรณ์ฯ แต่ละตัวทุกตัวที่อยู่ในบริเวณนั้น ในลักษณะแบบฟินพอยท์ [11] ซึ่งจะหมายถึงถ้าเราเดินไป ณ ตำแหน่งของอุปกรณ์ตัวใด งานรวมคลื่นฯ ก็จะทำการสะท้อนคลื่นให้ได้ยินเสียงที่เฉพาะ ณ ตำแหน่งของอุปกรณ์ตัวนั้น กอปรกับการปรับลดค่าความไวของตัวเครื่องอุลตราโพรบลง ที่เรียกว่าเทคนิค Gross to Fine [9] ซึ่งจะทำให้เราสามารถตรวจหาอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นตัวต้นกำเนิดการแพร่กระจายของคลื่นอุลตราโซนิคได้ ดังนั้นเราจึงสามารถระบุตำแหน่งที่ถูกต้องของอุปกรณ์ตัวที่กำลังเกิดปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าได้

ขั้นตอนต่อไปจึงเริ่มทำการบันทึกเสียงของปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าต่างๆ ที่เกิดจากอุปกรณ์ฯ นั้นๆ ด้วยเครื่องบันทึกเสียงดิจิทัล ที่ได้ต่อพ่วงเข้ากับชุดหูฟังของเครื่องอุลตราโพรบ รวมไปถึงการเก็บข้อมูลแวดล้อมที่จำเป็นอันได้แก่ ชนิดและตำแหน่งของอุปกรณ์ฯ ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ถึงตำแหน่งของงานรวมคลื่นฯ โดยประมาณ วัน - เวลาที่ทำการเก็บข้อมูล ซึ่งปกติจะอยู่ในช่วงชั่วโมงในเวลาทำการ โดยจะเป็นการเก็บข้อมูลในช่วงเวลากลางวัน (Day time) ที่มีสภาพอากาศแจ่มใส ไม่มีลมแรงและท้องฟ้าไม่ครึ้ม มีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส เพื่อลดผลกระทบของ

ความชื้นในอากาศ ซึ่งมีส่วนสำคัญที่จะทำให้ในการทำให้เกิดปรากฏการณ์โคโรน่าหรือการอาร์ค ได้มากกว่า จากนั้นทำการบันทึกค่าเหล่านี้ใส่ลงในคอมพิวเตอร์มือถือ และสิ่งสุดท้ายสำหรับ ขั้นตอนนี้ คือการถ่ายภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวนั้นๆ เพื่อให้รู้ถึงลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์ฯ ตัวที่กำลังมีปัญหา และจะได้ใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงประกอบการวิเคราะห์สัญญาณเสี่ยงต่อไป



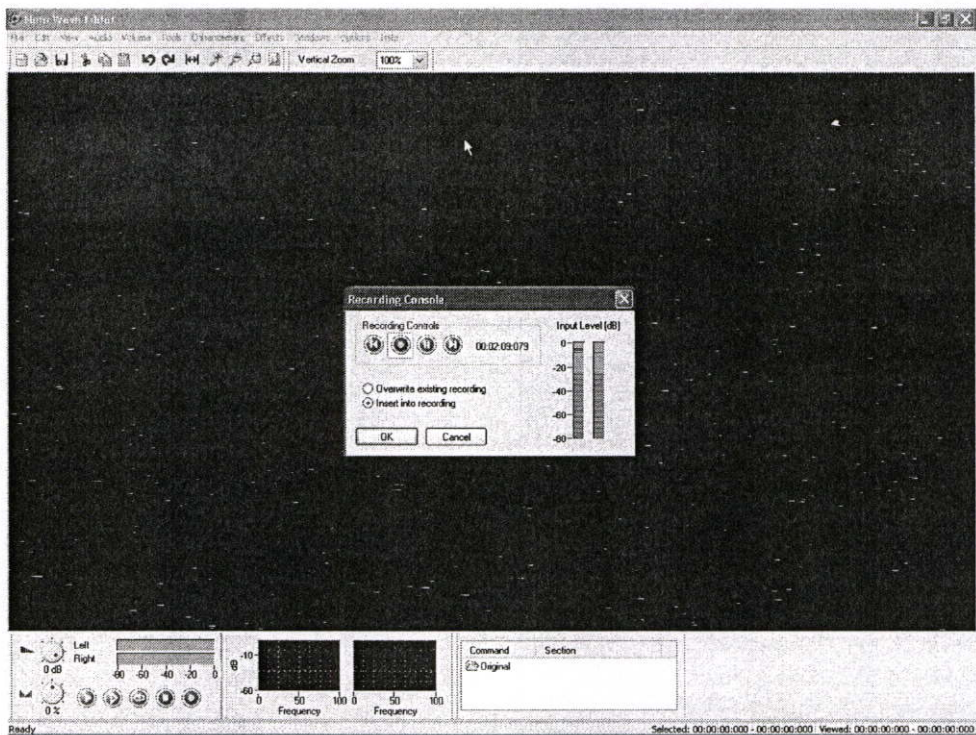
รูปที่ 4.23 ช่องเล็งเหนือค้ำจับของงานรวมคลื่นฯ (ศรีชัย)



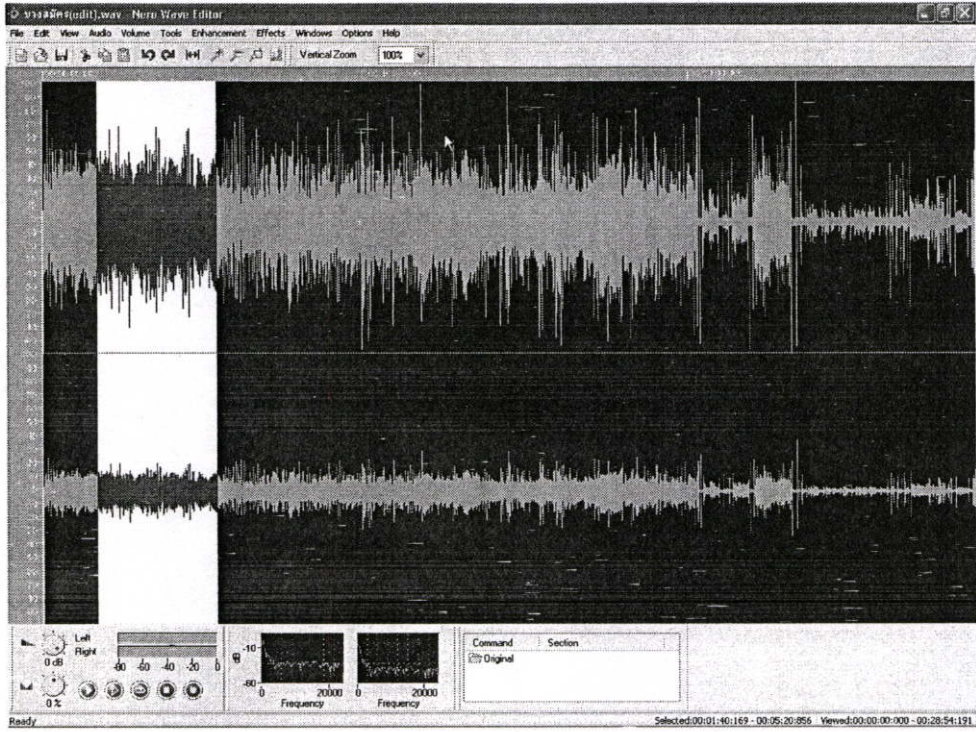
รูปที่ 4.24 การเล็งหาอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นต้นกำเนิดสัญญาณอุลตราโซนิค

สำหรับขั้นตอนต่อไปนี้จะเป็นส่วนของการกลับมาปฏิบัติงานในสำนักงานภายหลังจากเสร็จสิ้นการออกไปเก็บข้อมูลภาคสนาม ณ สถานีไฟฟ้า

หลังจากที่ทำการเก็บและบันทึกข้อมูลต่างๆจากสถานีไฟฟ้าเรียบร้อยแล้ว จากนั้นเมื่อกลับมาถึงสำนักงาน ก็จะทำการถ่ายโอนสัญญาณเสียงที่ได้ทำการบันทึกมาจากสถานีไฟฟ้าลงในคอมพิวเตอร์ต่อไป จากนั้นจะทำการตัดต่อสัญญาณเสียงเหล่านั้น โดยการใช้โปรแกรม Nero Wave Editor ซึ่งเป็นฟังก์ชันหรือโมดูลหนึ่งของโปรแกรม Nero Start Smart version 6 เพื่อตัดต่อแยกเอาเฉพาะสัญญาณเสียงของปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าที่ต้องการออกมา ดังรูปที่ 4.25 และรูปที่ 4.26 แล้วจึงนำมาจับคู่กับภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ได้ถ่ายมาว่าสัญญาณเสียงอันไหนเกิดขึ้นมาจากอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวไหน โดยจะพิจารณาในเบื้องต้นว่าสัญญาณเสียงที่ได้ยินนั้น เกิดจากอุปกรณ์ที่มีลักษณะทางกายภาพเป็นอย่างไร และห้วงจังหวะของเสียงที่ได้ยินลักษณะเป็นอย่างไร ก็เป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการในการตรวจสอบและเก็บข้อมูล ณ สถานีไฟฟ้าแห่งหนึ่งๆ ส่วนข้อมูลของสัญญาณเสียงที่ได้ออกไปเก็บมาตามสถานีไฟฟ้าต่างๆนั้น แสดงตัวอย่างดังให้เห็นได้ดังตารางที่ 4.1 และได้สรุปรวบรวมข้อมูลเอาไว้ทั้งหมดในภาคผนวก ก. แล้ว



รูปที่ 4.25 การถ่ายโอนข้อมูลจากเครื่องบันทึกเสียงลงสู่เครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.26 การตัดต่อสัญญาณเสียง

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างข้อมูลสถานีไฟฟ้าและข้อมูลสัญญาณเสียงที่ได้ทำการบันทึกมา

| ที่ | รายชื่อสถานี | ข้อมูลทั่วไปของสถานีไฟฟ้า | | | | | | | ข้อมูลของสัญญาณเสียงที่บันทึกได้ | | | | | วัน-เวลา ในการเก็บข้อมูล |
|-----|--------------|---------------------------|--------|---------|-------------------|------------------|-------------------|--------------|----------------------------------|--------|--------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|
| | | ระบบ (kV) | | | หม้อแปลง (MVA) | จ่ายโหลด (MW) | ก่อตั้ง (พ.ศ.) | อายุ (ปี) | อุปกรณ์ | ความไว | ระยะห่าง (เมตร) | อุณหภูมิ (เซลเซียส) | ความชื้น (%) | |
| | | 69/22 | 115/22 | 115/115 | | | | | | | | | | |
| 10 | บางปะกง | | ✓ | | 2 x 40 | 43.3 | 2536 | 13 | BUS-SPT | 10 | 8 | 34 | 59.8 | 17 ธ.ค. 47 – 14.50 น. |
| | | | | | | | | | BUS-SPT | 10 | 8 | | | 17 ธ.ค. 47 – 14.55 น. |
| | | | | | | | | | BUS-SPT | 8 | 8 | | | 17 ธ.ค. 47 – 15.00 น. |
| | | | | | | | | | BUS-SPT | 8 | 8 | | | 17 ธ.ค. 47 – 15.05 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 10 | | | 17 ธ.ค. 47 – 15.10 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 6 | | | 17 ธ.ค. 47 – 15.15 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 10 | | | 17 ธ.ค. 47 – 15.20 น. |
| | | | | | | | | | DS | 7 | 6 | | | 17 ธ.ค. 47 – 15.25 น. |
| | | | | | | | | | DS | 9 | 10 | | | 17 ธ.ค. 47 – 15.27 น. |

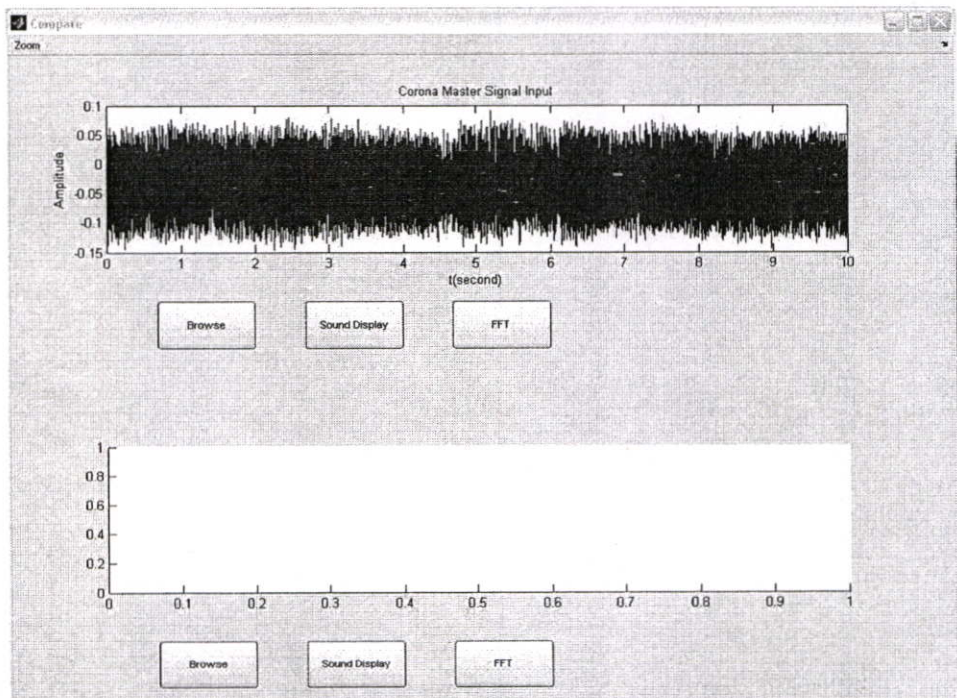
หมายเหตุ: BUS = Bus-Bar, BUS-SPT = Bus Support, CB-BUS = Bus bar to Circuit Breaker, CB-CLM = Clamp of Circuit Breaker,

CT-CLM = Clamp of Current Transformer, DS = Disconnecting Switch, LA = Lightning Arrester, TR-BSH = Bushing of Transformer

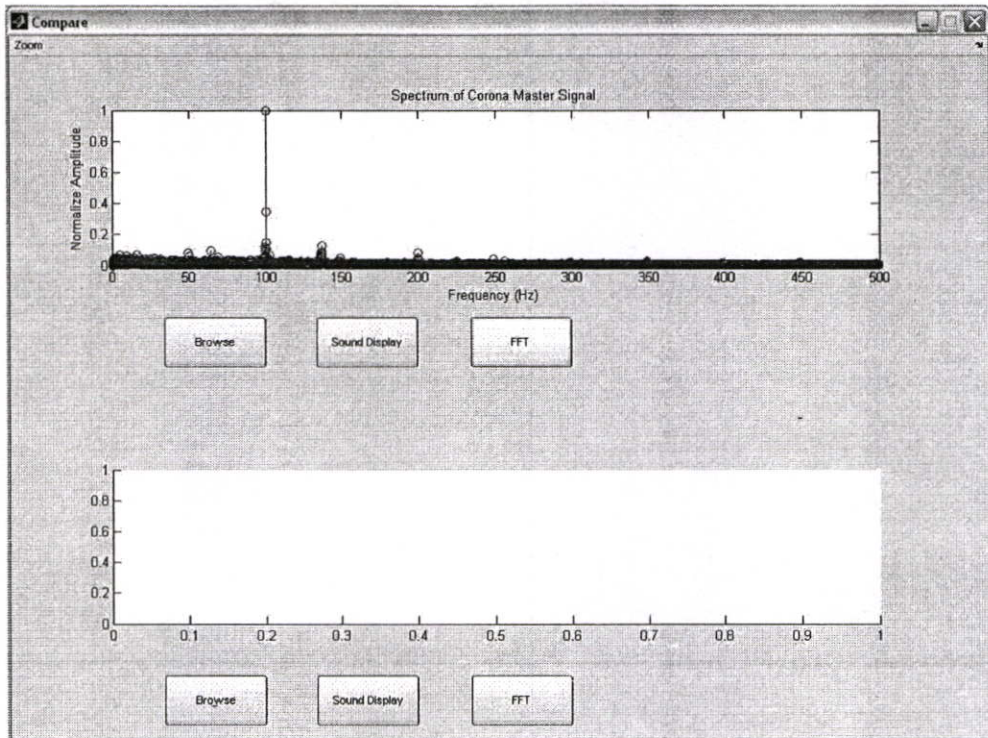
บทที่ 5

การทดลองและการวิเคราะห์ผล

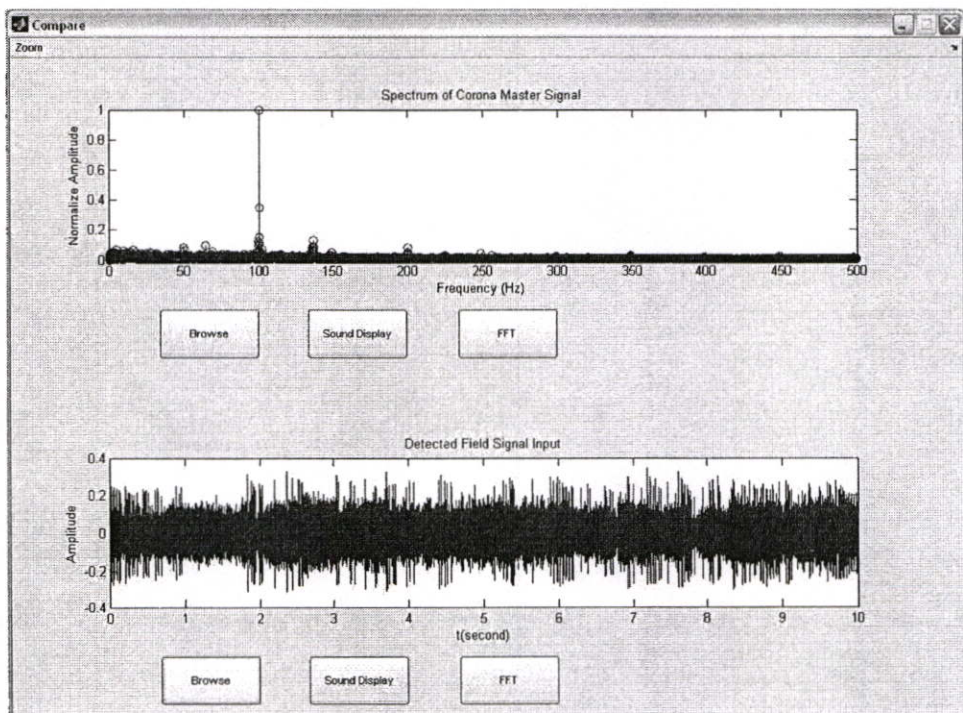
เมื่อนำสัญญาณเสียงที่ยังไม่สามารถระบุได้อย่างแน่ชัดว่าแสดงถึงการเกิดปรากฏการณ์อะไรทางไฟฟ้าที่เราได้ทำการเก็บบันทึกข้อมูลมาจากสถานีไฟฟ้า ทำให้อยู่ในรูปแบบของไฟล์เสียงดิจิทัล (.wav) และผ่านการตัดต่อเอาเฉพาะส่วนที่ต้องการสังเคราะห์ออกมาเรียบร้อยแล้ว จากนั้นนำมาป้อนใส่เป็นสัญญาณอินพุทให้แก่โมเดล ซึ่งหลังจากผ่านกระบวนการสังเคราะห์สัญญาณภายในโมเดลแล้วนั้น ข้อมูลของสัญญาณทั้งสองก็จะถูกส่งออกมาแสดงผลที่หน้าจอมอนิเตอร์ในลักษณะของสเปกตรัมสโคป โดยจะมีหน้าจอสำหรับแสดงผลอยู่สองส่วน สำหรับไว้แสดงแพทเทิร์นสเปกตรัมของสัญญาณโคโรน่าต้นแบบกับสัญญาณอินพุทเปรียบเทียบกันว่ามีสัญญาณทั้งสองมีแพทเทิร์นสเปกตรัมของสัญญาณเหมือน ใกล้เคียง หรือว่าแตกต่างกันอย่างไร เพื่อช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถพิจารณาตัดสินใจสินได้ง่ายขึ้นว่าผลลัพธ์ของสัญญาณอินพุทที่ป้อนเข้านั้นเป็นปรากฏการณ์โคโรน่าหรือไม่ อย่างไร โดยมีขั้นตอนในการเปรียบเทียบแพทเทิร์นของสเปกตรัมของสัญญาณทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ถึง 5.4



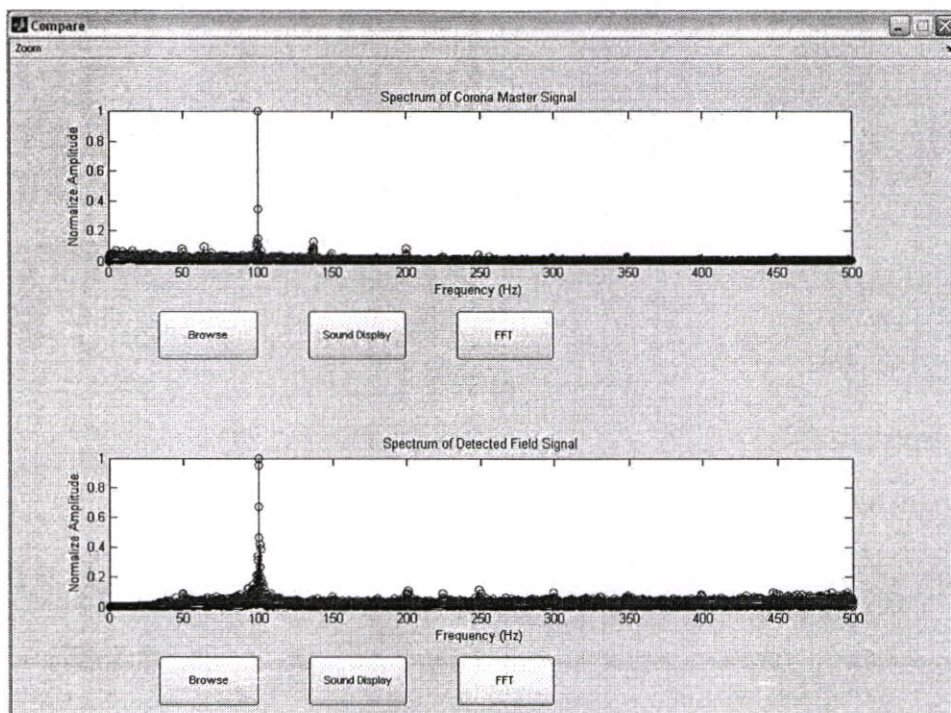
รูปที่ 5.1 เปิด โมเดลและกดปุ่ม Browse ที่สเปกตรัมสโคปด้านบนเพื่อเรียกสัญญาณ โคโรน่าต้นแบบขึ้นมา



รูปที่ 5.2 กดปุ่ม FFT ของสเปกตรัมสโคปด้านบนเพื่อสังเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณในโดเมนความถี่



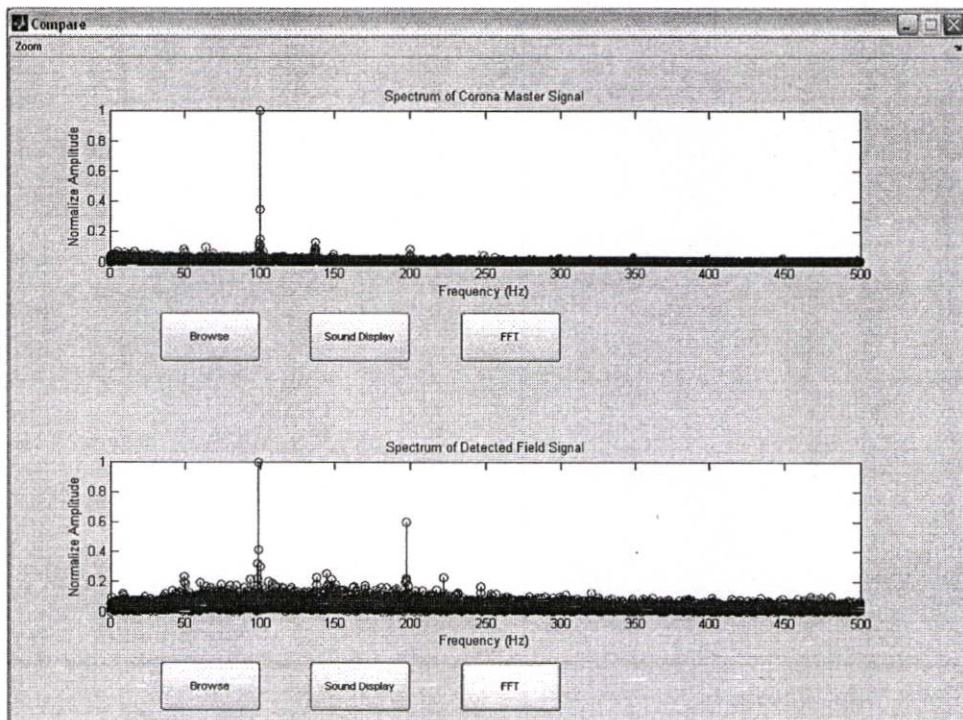
รูปที่ 5.3 กดปุ่ม Browse ที่สเปกตรัมสโคปด้านล่างเพื่อเรียกสัญญาณเสียงใดๆที่ได้บันทึกมาจากสถานีไฟฟ้าขึ้นมา



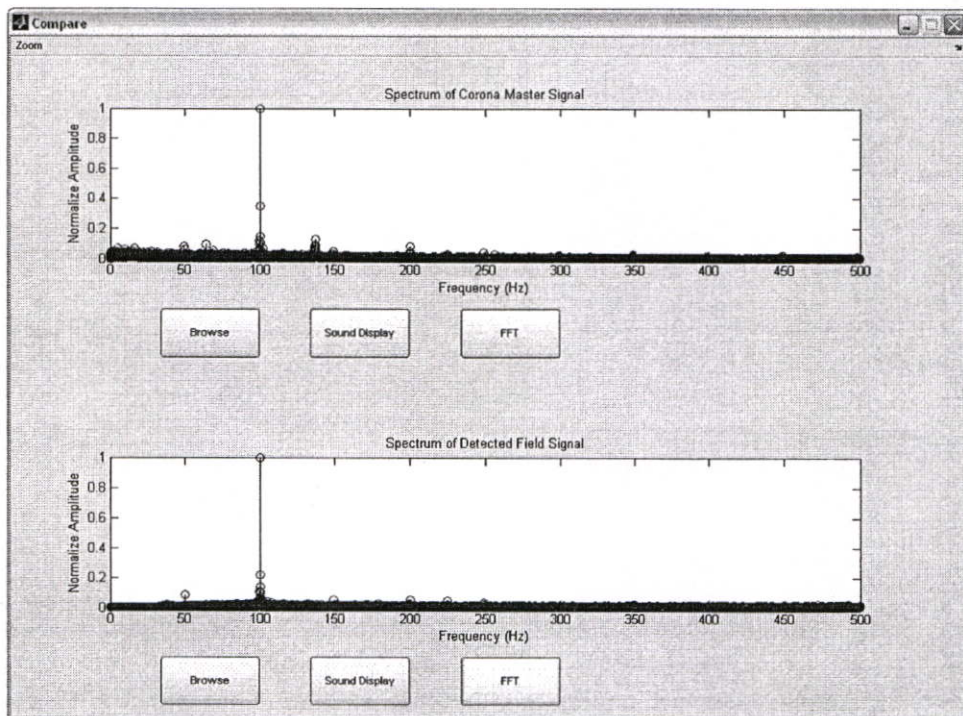
รูปที่ 5.4 กรุปม FFT ของสเปกตรัมสโคปด้านล่าง จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบแพทเทิร์นสเปกตรัมใน โดเมนความถี่ของสัญญาณ โครโรน่าค้นแบบเทียบกับสัญญาณเสียงใดๆ ที่ป้อนเป็นอินพุทให้แก่โมเดล

จากการทดลองเปรียบเทียบสเปกตรัมระหว่างสัญญาณ โครโรน่าค้นแบบที่สร้างขึ้นจากห้องทดลองกับสัญญาณเสียงใดๆที่นำมาป้อนเป็นอินพุทให้แก่โมเดลนั้น เราจะสังเกตเห็นว่าสเปกตรัมของสัญญาณ โครโรน่าค้นแบบที่สร้างขึ้นนั้น จะมีองค์ประกอบของ “ฮาร์โมนิกส์เด่นชัด” (Main Harmonics Component) อยู่ที่ตำแหน่ง 100 เฮิร์ตซ์ หรือที่เรียกว่า “องค์ประกอบเพียวโทน” ซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่มีค่าเท่ากับสองเท่าของความถี่ที่ใช้งานในระบบ [7] ในประเทศไทยในความถี่ในระบบไฟฟ้าเท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์ จึงเท่ากับว่าจะว่ามีสเปกตรัมของฮาร์โมนิกส์เด่นชัดอยู่ที่ตำแหน่ง 100 เฮิร์ตซ์นั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการศึกษาวิจัยที่กล่าวถึงใน Technical Report ของ Electric Power Research Institute (EPRI) เรื่อง “Transmission Line Reference Book 345 kV and Above” ดังที่ได้กล่าวเอาไว้อย่างละเอียดในหัวข้อ 2.4.1 ฉะนั้นจึงกล่าวได้ว่าหากแพทเทิร์นของสเปกตรัมสัญญาณเสียงใดๆที่เครื่องอุตสาหกรรมได้จากหน้างานจริงนั้น เมื่อผ่านการสังเคราะห์สัญญาณด้วย โมเดลแล้วมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์เด่นชัดอยู่ ณ ตำแหน่ง 100 เฮิร์ตซ์ แสดงว่ากำลังเกิดปรากฏการณ์โครโรน่าที่ขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวนั้นๆนั่นเอง

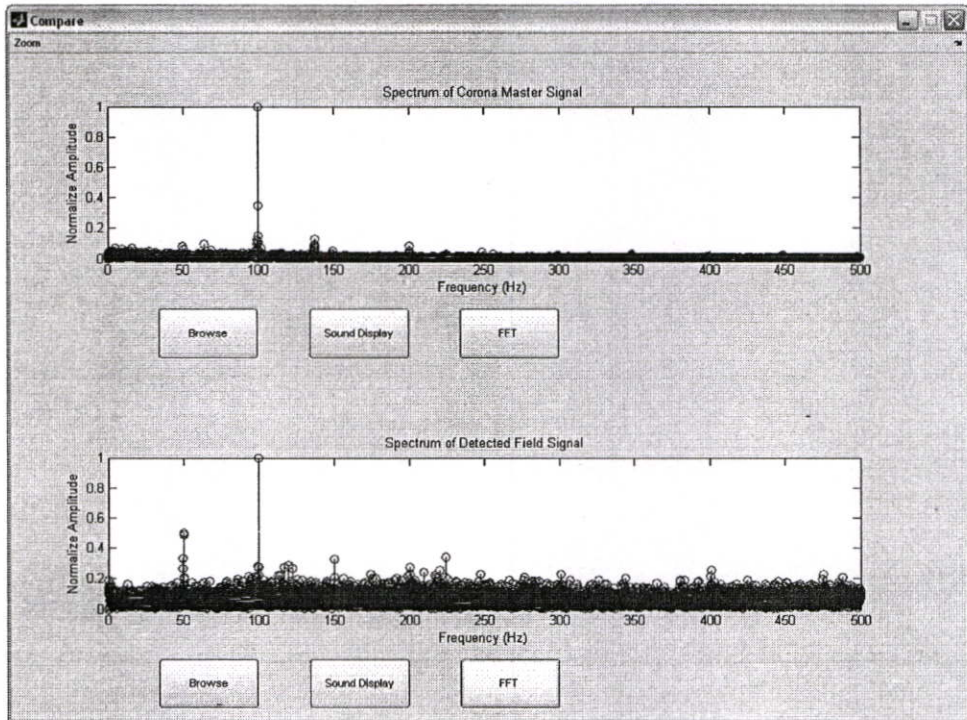
รูปที่ 5.5 – 5.22 จะเป็นการแสดงตัวอย่างในการสังเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณเสียงใดๆที่บันทึกมาได้จากสถานีไฟฟ้านำมาเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณ โครโรน่าค้นแบบด้วยโมเดลที่สร้างขึ้น



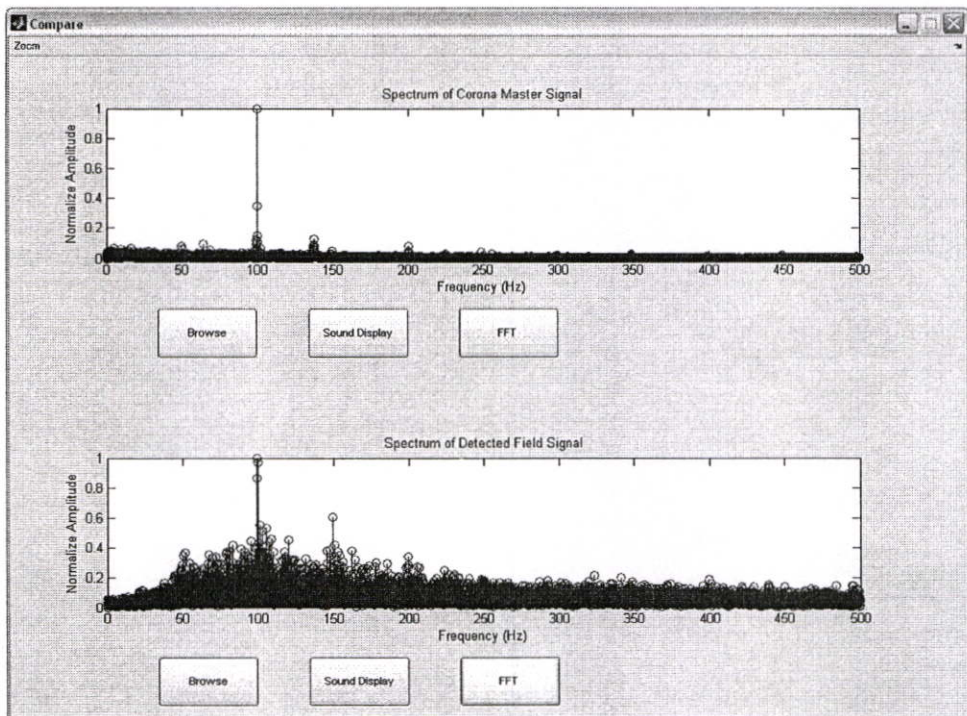
รูปที่ 5.5 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณ โคโรน่าต้นแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ Disconnecting Switch ณ สถานีไฟฟ้านวนคร 1



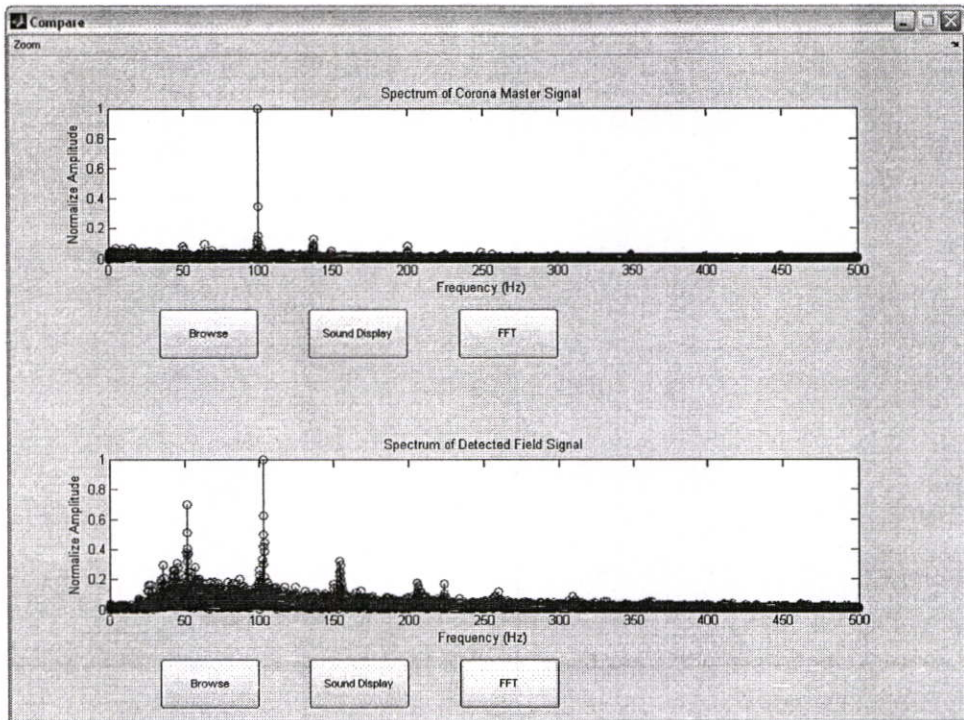
รูปที่ 5.6 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณ โคโรน่าต้นแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ Disconnecting Switch ณ สถานีไฟฟ้าชัยบุรี



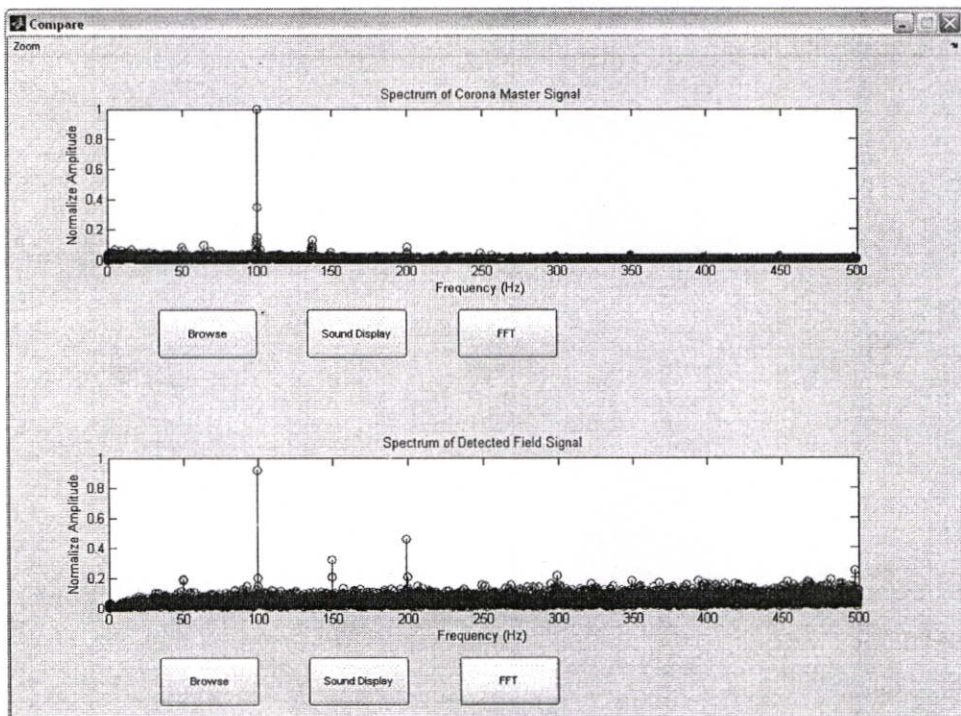
รูปที่ 5.7 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณ โคโรนาดันแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ Disconnecting Switch ณ สถานีไฟฟ้านคร 2



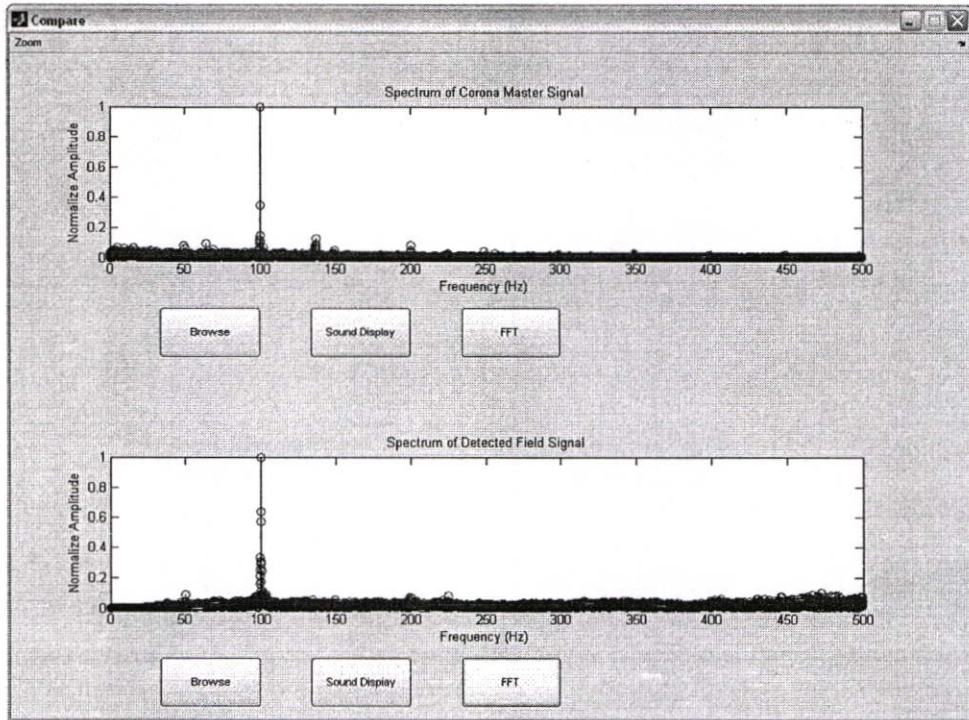
รูปที่ 5.8 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณ โคโรนาดันแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ แคล้มป์หุ้มแปลงกระแส ณ สถานีไฟฟ้าบางบัว



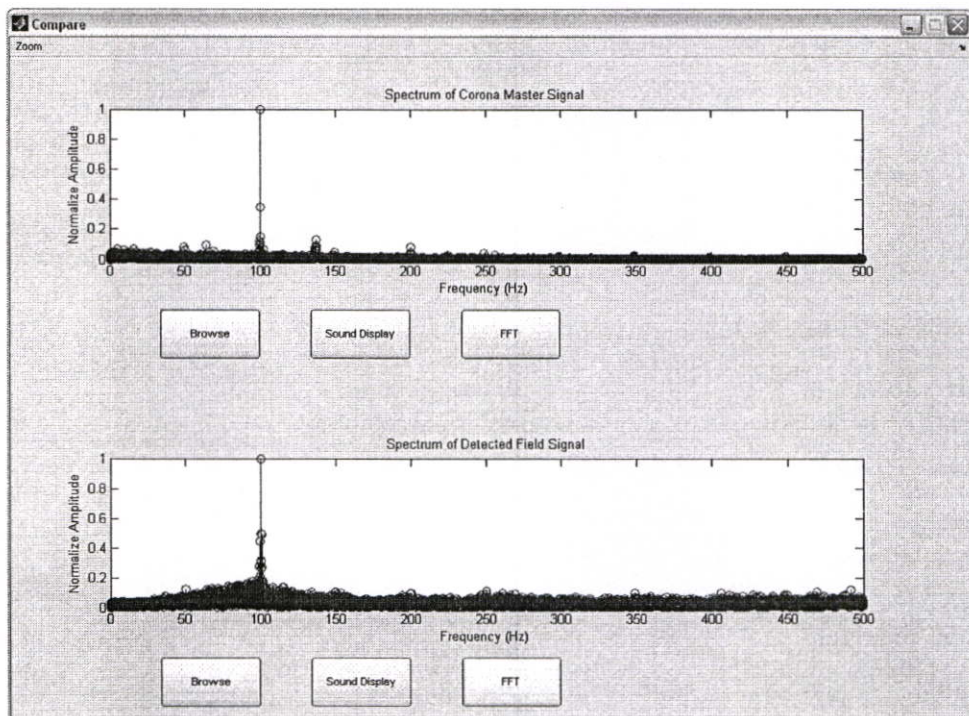
รูปที่ 5.9 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ Disconnecting Switch ณ สถานีไฟฟ้าบางสมัคร



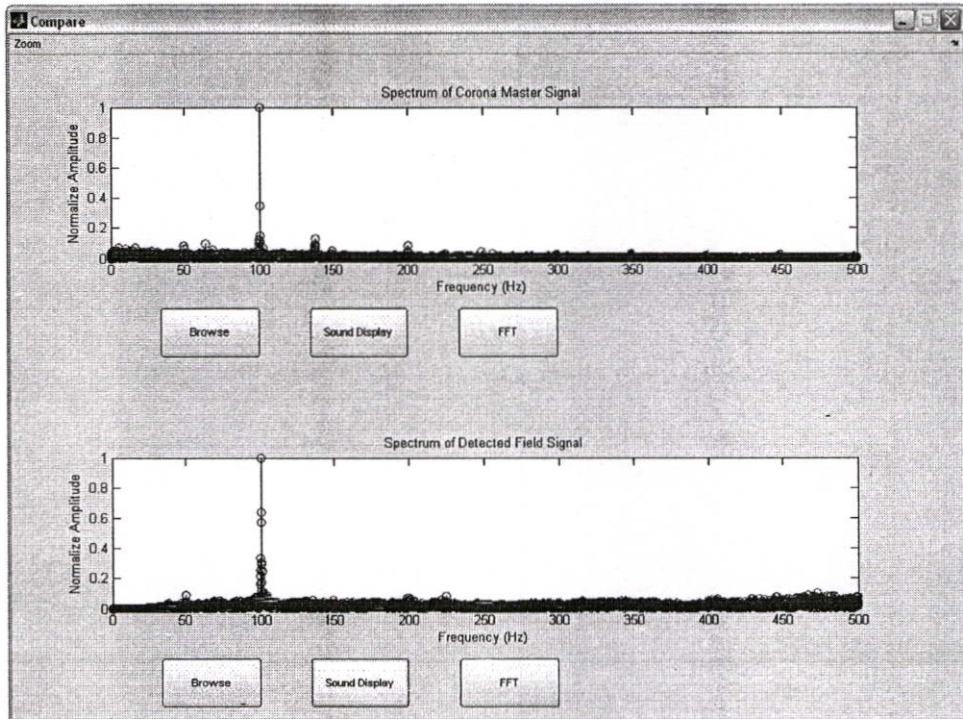
รูปที่ 5.10 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ Disconnecting Switch ณ สถานีไฟฟ้าปทุมธานี 1



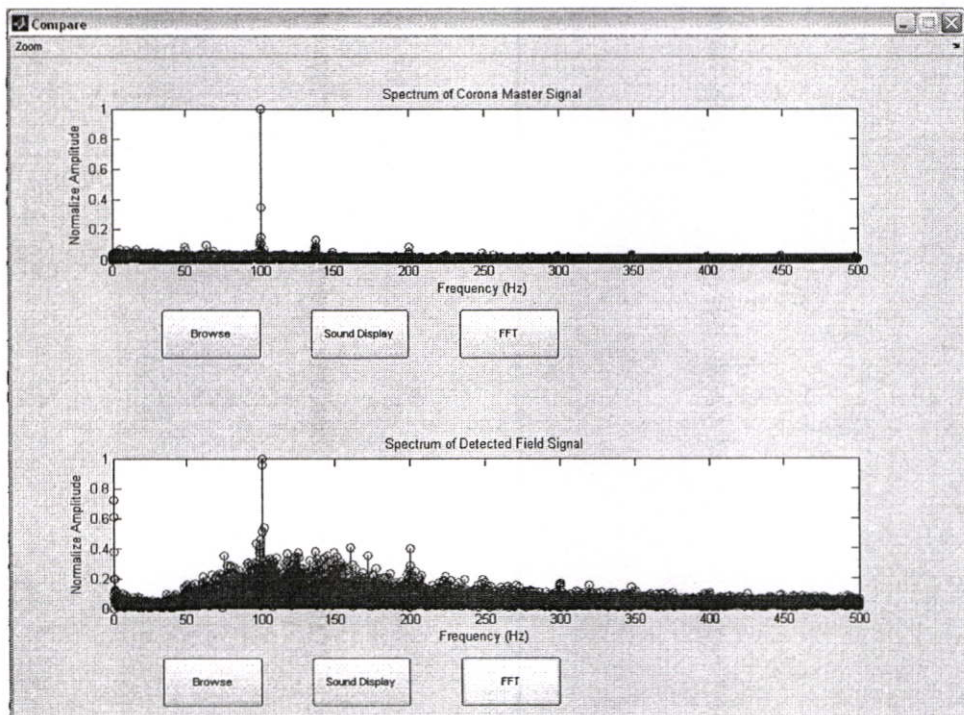
รูปที่ 5.11 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณ โคโรนาต้นแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ Disconnecting Switch ณ สถานีไฟฟ้าชลบุรี 2



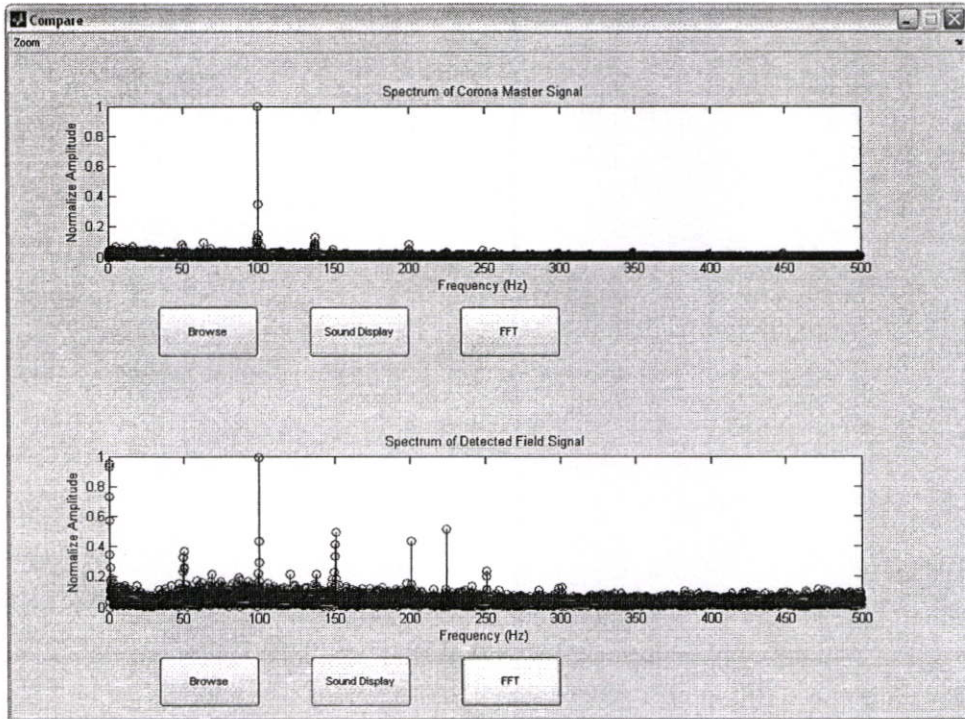
รูปที่ 5.12 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณ โคโรนาต้นแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ข้าวขึงของหม้อแปลงกำลัง ณ สถานีไฟฟ้าชลบุรี 2



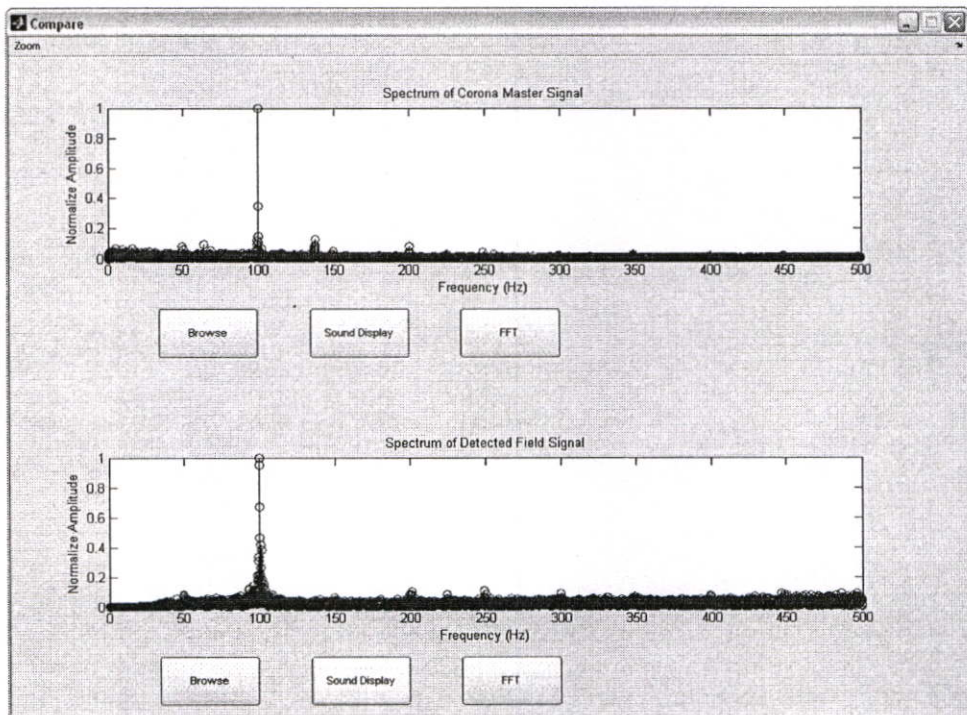
รูปที่ 5.13 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรน่าคั่นแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ Bus Support ณ สถานีไฟฟ้าบางกะดี



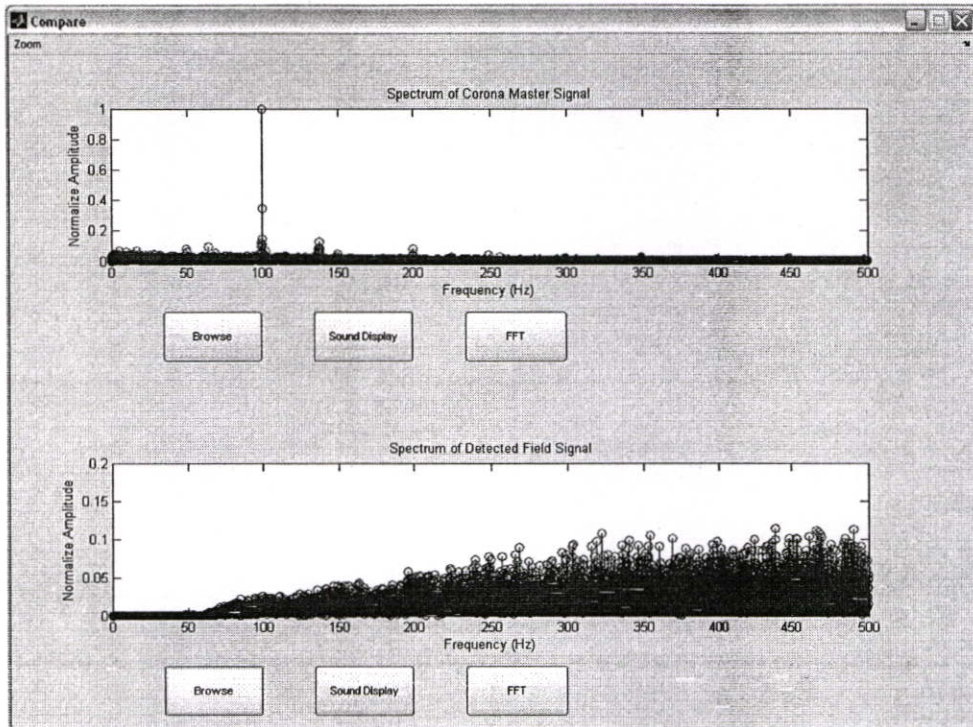
รูปที่ 5.14 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรน่าคั่นแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์แคล้มป์หม้อแปลงกระแส ณ สถานีไฟฟ้าบ่อวิน 2



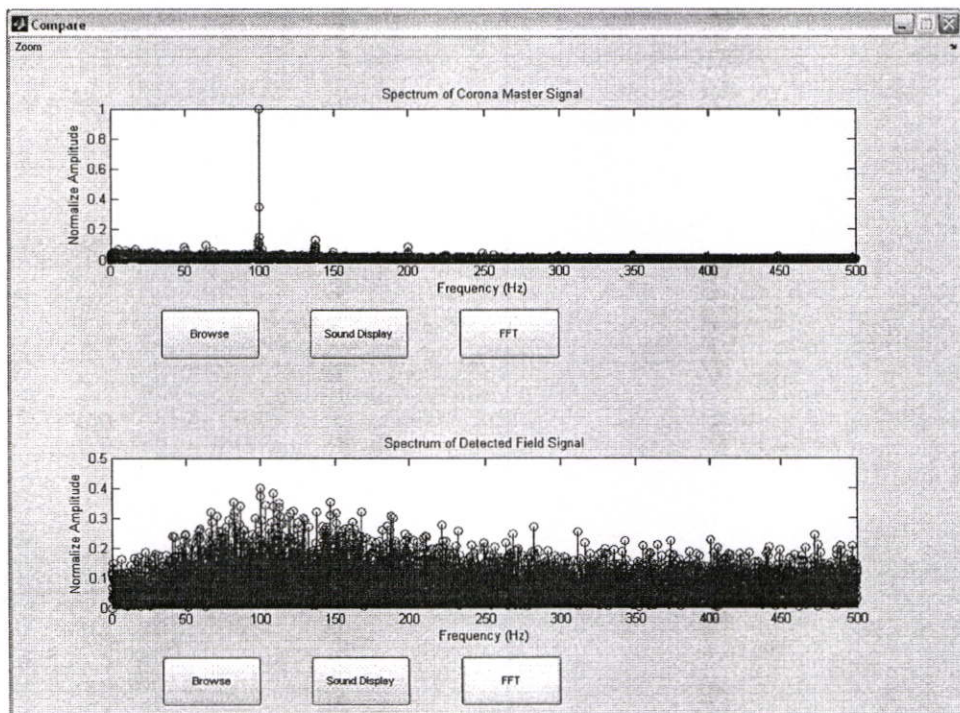
รูปที่ 5.15 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณ โคโรน่าต้นแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ชั่วคราวซึ่งของหม้อแปลงกำลัง ณ สถานีไฟฟ้าวังน้อย



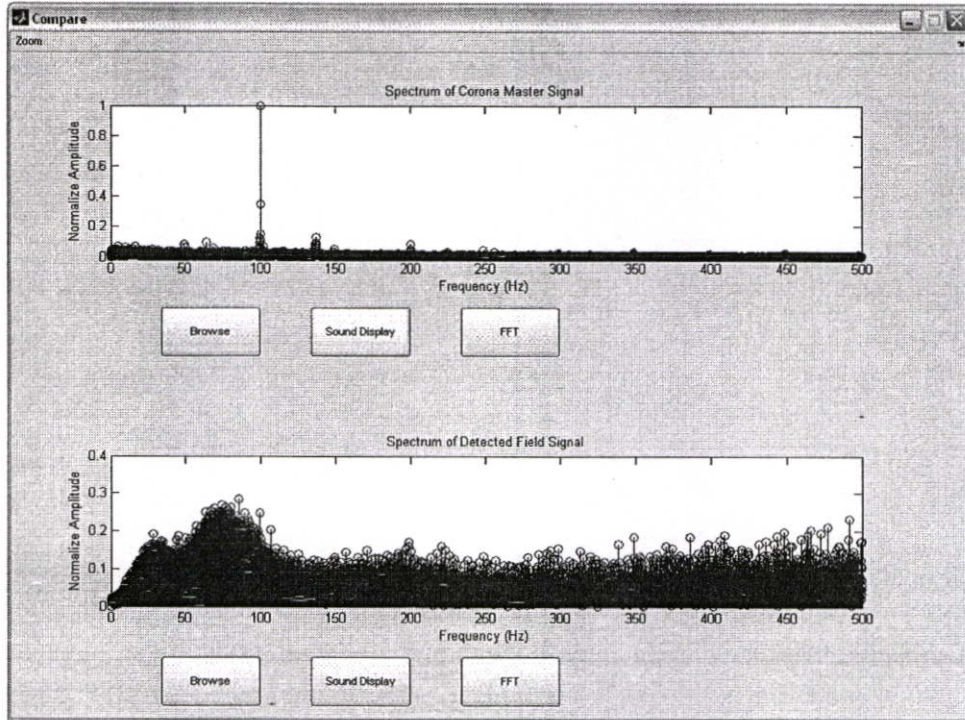
รูปที่ 5.16 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณ โคโรน่าต้นแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ Disconnecting Switch ณ สถานีไฟฟ้าแหลมฉบัง 1



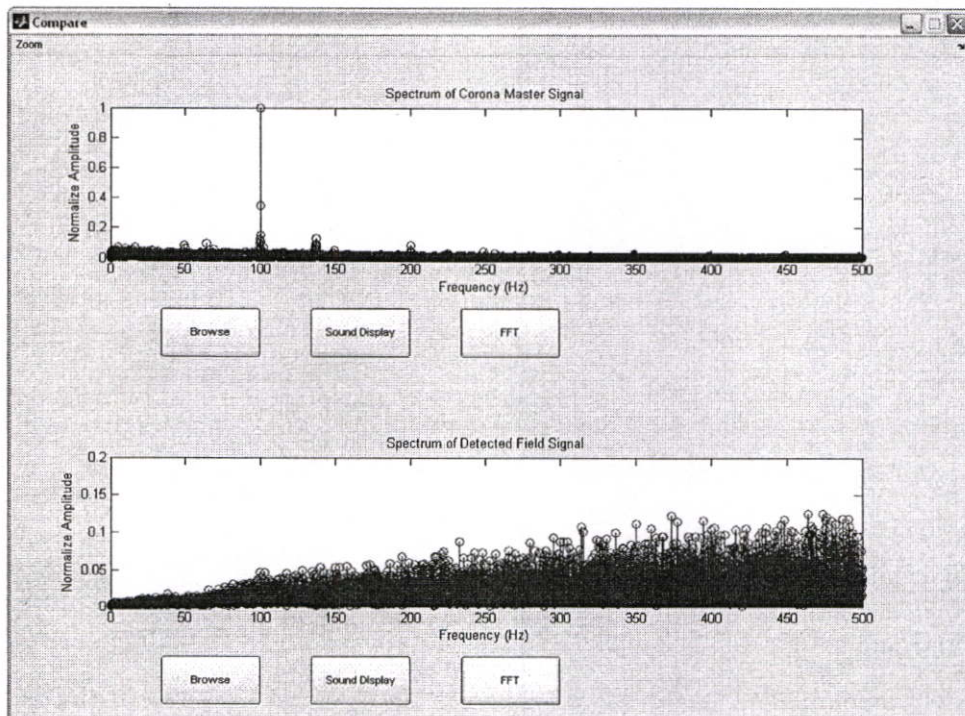
รูปที่ 5.17 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณ โคโรนาต้นแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ Disconnecting Switch ณ สถานีไฟฟ้าคลองใหม่



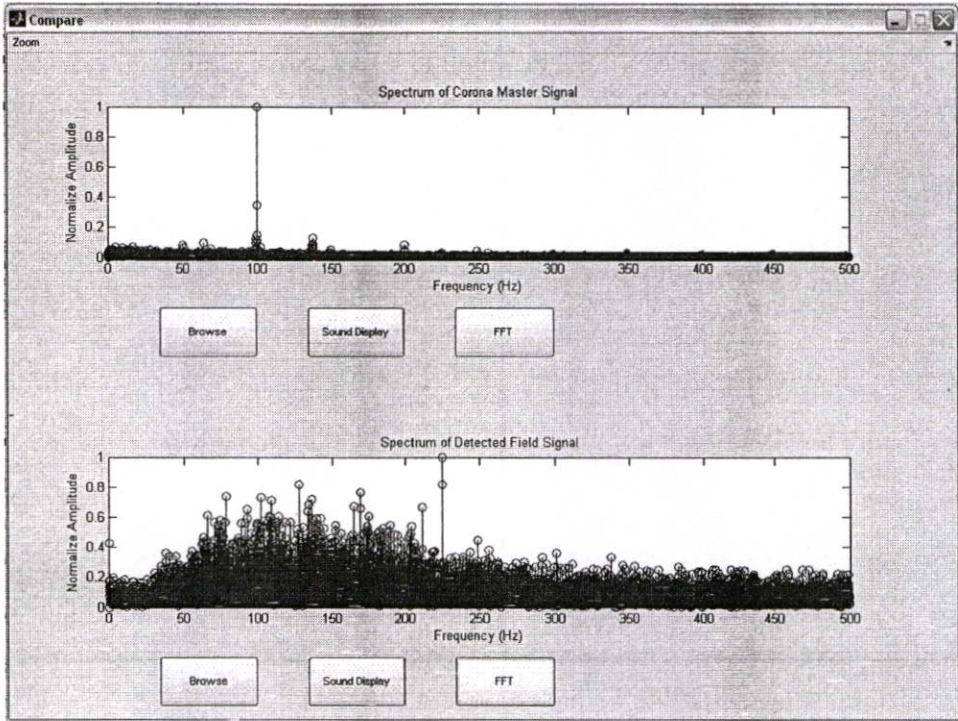
รูปที่ 5.18 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณ โคโรนาต้นแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ Disconnecting Switch ณ สถานีไฟฟ้านวนคร 1



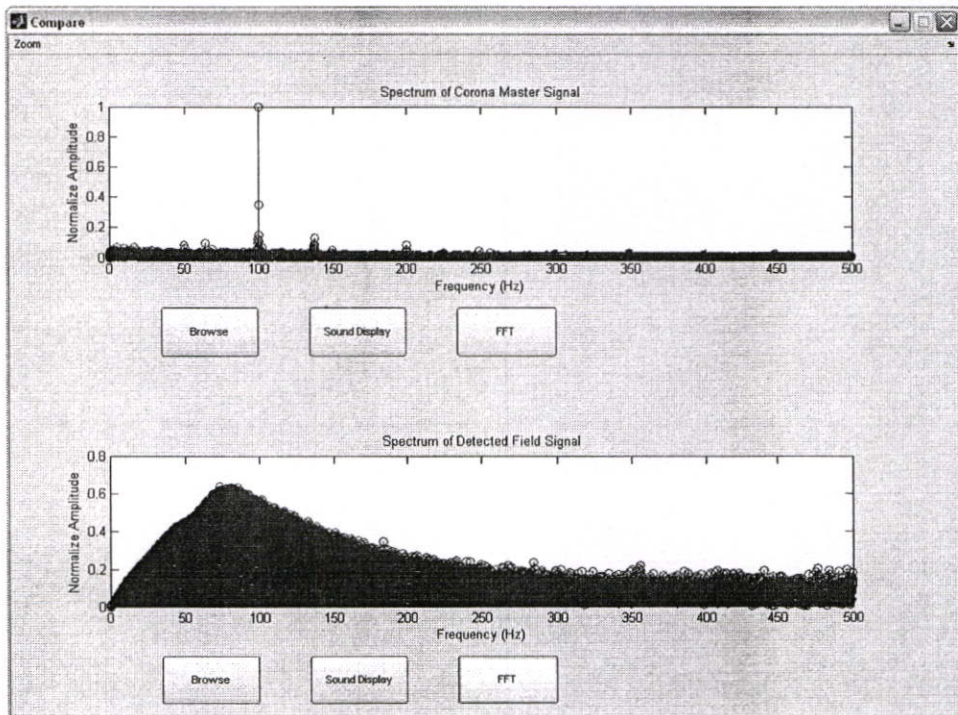
รูปที่ 5.19 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรน่าต้นแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ Disconnecting Switch ณ สถานีไฟฟ้าปทุมธานี 1



รูปที่ 5.20 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรน่าต้นแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ขั้วบรูซิ่งของหม้อแปลงกำลัง ณ สถานีไฟฟ้าบางไทร



รูปที่ 5.21 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรน่าต้นแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์เคลือบหม้อแปลงกำลัง ณ สถานีไฟฟ้าคลองขวาง



รูปที่ 5.22 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโคโรน่าต้นแบบเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณใดๆที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์เคลือบหม้อแปลงกระแส ณ สถานีไฟฟ้าปลวกแดง 1

รูปที่ 5.5 – 5.16 แสดงผลการสังเคราะห์สัญญาณเสียงใดๆที่ตรวจจับได้จากสถานีไฟฟ้า ที่มีคุณลักษณะของสเปกตรัมเหมือนกับสัญญาณโคโรน่าต้นแบบที่ได้สร้างขึ้น ก็จะทำให้เห็นว่ามีฮาร์โมนิกส์เด่นชัดอยู่ที่ตำแหน่ง 100 เฮิร์ตซ์ ซึ่งมีความสอดคล้องกับบทวิเคราะห์ของ EPRI ที่เกี่ยวกับเรื่องการวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณโคโรน่าในโดเมนความถี่ได้กล่าวไว้ตามหัวข้อ 2.4.1 ดังนั้นเราจึงสามารถระบุลงไปได้ว่าสัญญาณเสียงในรูปที่ 5.5 – 5.16 นั้น แสดงถึงการเกิดปรากฏการณ์โคโรน่าขึ้นกับตัวอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เวลานั้นๆ โดยจะเห็นว่าบางสเปกตรัมของสัญญาณที่แสดงถึงปรากฏการณ์โคโรน่าดังกล่าวข้างต้นนั้น จะมีฮาร์โมนิกส์ย่อยแทรกขึ้นมาในตำแหน่งความถี่ต่างๆ ซึ่งฮาร์โมนิกส์ย่อยเหล่านั้นจะแสดงถึงความถี่ของสัญญาณรบกวนต่างๆที่สอดแทรกเข้ามาในระหว่างที่ทำการเก็บบันทึกข้อมูลที่สถานีไฟฟ้านั่นเอง

จากการพิจารณารูปที่ 5.17 – 5.22 เราพบว่าสเปกตรัมของสัญญาณเสียงใดๆที่ป้อนเข้าไปนั้น จะมีลักษณะไม่เหมือนกับแพทเทิร์นสเปกตรัมของสัญญาณโคโรน่าต้นแบบที่ได้สร้างขึ้นเลย ดังนั้นเราจึงยังไม่สามารถระบุลงไปได้ว่าสัญญาณเสียงที่ได้บันทึกมาเหล่านั้นนั้น แสดงถึงการเกิดปรากฏการณ์โคโรน่าขึ้นแต่อย่างใด

โดยการพิจารณาของผู้ปฏิบัติงานจากสเปกตรัมสโคปผ่านทางหน้าจอมอนิเตอร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ จะทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถจำแนกความเหมือนหรือความแตกต่างระหว่างสเปกตรัมของสัญญาณทั้งสองที่ปรากฏอยู่ในแต่ละสเปกตรัมสโคปได้ ซึ่งหมายถึงจะทำให้สามารถระบุผลออกมาได้ว่าสัญญาณเสียงที่เราป้อนเข้าไปเป็นอินพุทให้แก่โมเดลนั้น คือสัญญาณที่แสดงถึงการเกิดปรากฏการณ์โคโรน่าหรือไม่

สำหรับการพิจารณาในส่วนของขนาด (Amplitude) ของสัญญาณหรืออาจเรียกว่าระดับความรุนแรงของปรากฏการณ์โคโรน่านั้น เราอาจพิจารณาได้จากสเปกตรัมของสัญญาณในโดเมนเวลาดังรูปที่ 5.1 ของสเปกตรัมสโคปบน และ 5.3 ของสเปกตรัมสโคปล่าง แต่เนื่องจากในการเก็บข้อมูลภาคสนามนั้น จะมีอยู่หลายๆปัจจัยที่เราไม่สามารถควบคุมได้ อย่างเช่น ระยะห่างระหว่างตัวอุปกรณ์ที่ทำการตรวจจับสัญญาณกับเครื่องอุตสาหกรรม (เนื่องจากจะต้องเดินตามเส้นทางที่กำหนดไว้เท่านั้น) สัญญาณรบกวนต่างๆที่อาจเกิดขึ้นและสอดแทรกเข้ามาได้ตลอดเวลา รวมถึงการปรับจูนค่าความไวของเครื่องอุตสาหกรรมที่ในบางครั้งจำเป็นจะต้องมีการปรับเปลี่ยนค่าเพื่อให้สามารถตรวจจับสัญญาณได้อย่างชัดเจนและถูกต้องกับตัวอุปกรณ์ ซึ่งปัจจัยต่างๆเหล่านี้จะมีผลโดยตรงต่อขนาดของสัญญาณเสียงที่ได้ทำการบันทึกมา ประกอบกับในการสังเคราะห์สัญญาณเสียงใดๆของโปรแกรมแมทแลปด้วยคำสั่ง wavread นั้น จะเป็นการพิจารณาขนาดของสัญญาณในช่วง ± 1 เท่านั้น จึงทำให้การพิจารณาคู่ถึงขนาดหรือระดับความรุนแรงของสัญญาณนั้นอาจยังไม่ถูกต้องตามสภาพความเป็นจริง ซึ่งเป็นสิ่งที่จะต้องทำการค้นคว้าวิจัยกันต่อไป

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

จากข้อมูลที่เราได้ทำการเก็บรวบรวมมาทั้งหมด คือสัญญาณเสียงตัวอย่างจากสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจำนวน 27 สถานี ที่เก็บข้อมูลสัญญาณเสียงตัวอย่างมาได้จำนวนเกือบ 150 สัญญาณ ซึ่งสัญญาณเสียงที่ได้ทำการบันทึกมาทุกสัญญาณนั้น ในขณะที่ปฏิบัติงานอยู่ที่หน้างานจริง เราจะไม่สามารถระบุได้จากการฟังเสียงว่ามันคือเป็นสัญญาณเสียงที่แสดงถึงปรากฏการณ์ชนิดใดในทางไฟฟ้า แต่หลังจากที่ได้ทำการบันทึกเสียงสัญญาณเหล่านั้นแล้วนำกลับมาป้อนให้แก่โมเดลเพื่อทำการสังเคราะห์สัญญาณดังกล่าว เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานวิเคราะห์เปรียบเทียบสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้บันทึกมาเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบ ก็จะทำให้ผู้ปฏิบัติงานนั้น สามารถระบุได้ว่าสัญญาณเสียงใดๆที่ได้ทำการบันทึกมาจากสถานีไฟฟ้าแสดงถึงปรากฏการณ์โคโรนาหรือไม่ โดยการพิจารณาจากสเปกตรัมของสัญญาณเสียงใดๆที่ผ่านการสังเคราะห์โดยโมเดลแล้วเทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบที่เราสร้างขึ้น

จากการดำเนินการเก็บข้อมูลภาคสนาม ณ สถานีไฟฟ้าต่างๆนั้น เราพบว่ามีสัญญาณเสียงที่มีลักษณะของสเปกตรัมเหมือน หรือคล้ายคลึงกับสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบนั้น จะมีจำนวนอยู่ประมาณกว่า 70% ของสัญญาณเสียงทั้งหมดที่เราได้ทำการบันทึกมา ที่สามารถระบุลงไปได้ว่าเป็นสัญญาณเสียงที่แสดงถึงการเกิดปรากฏการณ์โคโรนา ส่วนสัญญาณที่มีสเปกตรัมไม่เหมือนกับสัญญาณโคโรนาดันแบบนั้น จะเป็นเสียงของสัญญาณที่เราไม่สามารถระบุได้ว่ากำลังแสดงถึงปรากฏการณ์ชนิดใดในทางไฟฟ้า เนื่องจากมีสเปกตรัมของสัญญาณต่างจากสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนาดันแบบนั่นเอง

โดยประโยชน์ที่จะได้รับจากการที่เราทราบว่าสัญญาณเสียงใดๆที่ได้ทำการบันทึกมาจากสถานีไฟฟ้านั้น เป็นปรากฏการณ์โคโรนาหรือไม่นั้น จะทำให้เราสามารถดำเนินการบำรุงรักษาหรือดำเนินการปรับปรุง ซ่อมแซม แก้ไข อุปกรณ์ต่างๆได้อย่างทันท่วงที ก่อนที่อาจเกิดการเบรคดาวน์ขึ้นกับอุปกรณ์ฯ ได้ ซึ่งเป็นผลดีกับความเสถียรภาพในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟ รวมไปถึงความปลอดภัยต่อระบบไฟฟ้าของ กฟภ. เอง อีกทั้งตัวโมเดลนั้นยังมีความถูกต้องแม่นยำในการสังเคราะห์สัญญาณด้วย FFT จึงทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ได้มีความน่าเชื่อถือสูงอีกด้วย ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าโมเดลนี้มีประโยชน์ในการนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับเครื่องอัลตราโพรบ เพื่อการดำเนินการตามแผนงานการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าเชิงป้องกันของ กฟภ. ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

สำหรับการพัฒนางานวิจัยในขั้นต่อไป ผู้วิจัยมีความปรารถนาที่จะพัฒนาโมเดลให้สามารถบอกได้ถึงขนาดหรือระดับความรุนแรงที่ชัดเจนและถูกต้องของแต่ละปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้ และยังสามารถพัฒนาต่อไปให้มีความสามารถในการแยกแยะและระบุปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าประเภทอื่นๆ

ได้อีก เช่น การเกิดอาร์คที่เกิดจากจุดต่อหรือแฉลัมปีมีการคลายตัวหรือหลุดหลวม หรือการเกิดการ
คายประจุบางส่วนๆ ซึ่งจำเป็นจะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปอีก

เอกสารอ้างอิง

- [1] กิรติ ชยะกุลศิริ และ กฤษดา ปรีชาชน. **วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง**. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์. ม.ป.ป.
- [2] วิเชียร เบญจวัฒนาผล. **วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง**. กรุงเทพฯ : ประชาชน. 2538.
- [3] ตำรวจ สังข์สะอาด. **วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2528.
- [4] Mazen Abdel-Salam, Hussein Anis, Ahdab El-Morshedy and Roshdy Radwan. **High Voltage Engineering Theory and Practice**. 2nd ed. New York : Marcel Dekker. 2000.
- [5] ชวลิต คำรงรัตน์. **การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เล่มที่ 1** กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น. 2536.
- [6] กรินทร์ กานทนานนท์, ดาวยศ คำแก้ว, ทรงพล สุนทรส และ ทวีชัย สุขเกษมรุ่งเรือง. “การสำรวจและวิเคราะห์โคโรนาในสถานีไฟฟ้าแรงสูง 230 kV.” **ปริชญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**. 2540.
- [7] EPRI. **Transmission Line Reference Book 345 kV and Above**. [EL – 2500 – R1]. 2nd edition. California : EPRI. 1987.
- [8] กองฝึกอบรม, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. **เอกสารประกอบการฝึกอบรม การปฏิบัติการบำรุงรักษา สถานีไฟฟ้า**. กรุงเทพฯ : กองการพิมพ์, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2543.
- [9] UE Systems Inc. **Ultraprobe™ 2000 User Manual**. New York : UE Systems Inc. 2000.
- [10] UE Systems Inc. **Technology Overview: Ultrasonic Detection**. New York : UE Systems Inc. 2000.
- [11] UE Systems Inc. **UE-UWC-2000 Ultrasonic Waveform Concentrator Instruction**. New York : UE Systems Inc. 2000.
- [12] UE Systems Inc. **Heterodyne Explanation**. New York : UE Systems Inc. 2000.
- [13] M.Abdel-Salam, S.Abdel-Satter, Y.Sayed and M.Ghally. “Early Detection of Weak Points in MEEC Distribution System” **Proc. IEEE**, Vol.4, 2001. pp. 2541-2545.
- [14] รศ.ดร.มนัส สัจวงศิลปี และ วรรัตน์ ภัทรอมรกุล. **คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์**. นนทบุรี : อินโฟเพรส. 2543.
- [15] กองแผนงานระบบไฟฟ้า, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. **แผนที่ระบบสายส่งและสถานีไฟฟ้าของ กฟภ**. กรุงเทพฯ : กองแผนงานระบบไฟฟ้า, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2546.
- [16] Jerzy Moscinski and Zbigniew Ogonowski. **Advanced Control with Matlab and Simulink**. London : Ellis Horwood. 1995.

- [17] James B. Dabney and Thomas L. Harman. **Mastering Simulink 4**. New Jersey : Prentice-Hall. 2001.
- [18] M.S. Naidu and V. Kamaraju. **High Voltage Engineering**. New Delhi : McGraw Hill. 2000.
- [19] Ravvndra Arora and Wolfgang Mosch. **High Voltage Insulation Engineering**. New Delhi : New Age International and Wiley Eastern. 1995.
- [20] Toshinori Tsuji, Shingo Matsumoto, Shingo Nakayama, Masahisa Otsubo, Chikahisa Honda, Youichi Nkahara and Hiroshi Noguchi. "Detection of Corona Sound Produced by Discharge on Insulator of Transmission Line" **IEE Japan**, 2005. pp. 39-44.
- [21] EPRI. **Non – intrusive Predictive Distribution Maintenance** Radio Frequency Interference/Ultrasonic Surveys of Distribution Lines [TR – 1000194]. Final Report. California : EPRI. 2000.

ภาคผนวก ก.

ตารางแสดงผลการเก็บข้อมูล ณ สถานีไฟฟ้าต่างๆ

ตารางแสดงผลการเก็บข้อมูล ณ สถานีไฟฟ้าต่างๆ

| ที่ | รายชื่อสถานี | ข้อมูลทั่วไปของสถานีไฟฟ้า | | | | | | | ข้อมูลของสัญญาณเสียงที่บันทึกได้ | | | | | วัน-เวลา ในการเก็บข้อมูล |
|-----|--------------|---------------------------|--------|---------|-------------------|------------------|-------------------|--------------|----------------------------------|--------|--------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|
| | | ระบบ (kV) | | | หม้อแปลง (MVA) | จ่ายโหลด (MW) | ก่อตั้ง (พ.ศ.) | อายุ (ปี) | อุปกรณ์ | ความไว | ระยะห่าง (เมตร) | อุณหภูมิ (เซลเซียส) | ความชื้น (%) | |
| | | 69/22 | 115/22 | 115/115 | | | | | | | | | | |
| 1 | คลองขวาง | | ✓ | | 2 x 50 | 65.7 | 2539 | 9 | TR-BSH | 7.5 | 8 | 33 | 64.4 | 29 พ.ค. 47 – 11.30 น. |
| | | | | | | | | | DS | 9 | 6 | | | 29 พ.ค. 47 – 12.00 น. |
| 2 | คลองใหม่ | | | ✓ | Sw.-Yard | - | 2535 | 14 | DS | 6.5 | 7 | 33 | 64.4 | 29 พ.ค. 47 – 13.25 น. |
| 3 | นวนคร 1 | | ✓ | | 2 x 40 | 54.0 | 2533 | 16 | DS | 9 | 8 | 36 | 53.0 | 03 มิ.ย. 47 – 14.30 น. |
| | | | | | | | | | BUS-SPT | 9 | 7 | | | 03 มิ.ย. 47 – 14.45 น. |
| | | | | | | | | | DS | 9 | 8 | | | 03 มิ.ย. 47 – 14.55 น. |
| | | | | | | | | | DS | 9 | 9 | | | 03 มิ.ย. 47 – 15.05 น. |
| | | | | | | | | | BUS-SPT | 9 | 8 | | | 03 มิ.ย. 47 – 15.08 น. |
| | | | | | | | | | DS | 7 | 4 | | | 03 มิ.ย. 47 – 15.25 น. |
| | | | | | | | | | TR-BSH | 8.5 | 6 | | | 03 มิ.ย. 47 – 15.35 น. |
| 4 | รัษฎบุรี | ✓ | | | 2 x 40 | 45.0 | 2530 | 19 | DS | 8 | 7 | 33 | 65.3 | 10 ส.ค. 47 – 13.45 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 6 | | | 10 ส.ค. 47 – 13.45 น. |
| | | | | | | | | | BUS | 9 | 6 | | | 10 ส.ค. 47 – 13.50 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 6 | | | 10 ส.ค. 47 – 13.55 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8.5 | 6 | | | 10 ส.ค. 47 – 14.00 น. |

หมายเหตุ: BUS = Bus-Bar, BUS-SPT = Bus Support, CB-BUS = Bus bar to Circuit Breaker, CB-CLM = Clamp of Circuit Breaker,

CT-CLM = Clamp of Current Transformer, DS = Disconnecting Switch, LA = Lightning Arrester, TR-BSH = Bushing of Transformer

ตารางแสดงผลการเก็บข้อมูล ณ สถานีไฟฟ้าต่างๆ

| ที่ | รายชื่อสถานี | ข้อมูลทั่วไปของสถานีไฟฟ้า | | | | | | | ข้อมูลของสัญญาณเสียงที่บันทึกได้ | | | | | วัน-เวลา ในการเก็บข้อมูล |
|-----|---------------|---------------------------|--------|---------|-------------------|------------------|-------------------|--------------|----------------------------------|--------|--------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|
| | | ระบบ (kV) | | | หม้อแปลง (MVA) | จ่ายโหลด (MW) | ก่อตั้ง (พ.ศ.) | อายุ (ปี) | อุปกรณ์ | ความไว | ระยะห่าง (เมตร) | อุณหภูมิ (เซลเซียส) | ความชื้น (%) | |
| | | 69/22 | 115/22 | 115/115 | | | | | | | | | | |
| 4 | ธัญบุรี (ต่อ) | ✓ | | | 2 x 40 | 45.0 | 2530 | 19 | BUS-SRT | 8.5 | 7 | 33 | 65.3 | 10 ส.ค. 47 – 14.10 น. |
| | | | | | | | | | BUS-SRT | 9 | 7 | | | 10 ส.ค. 47 – 14.15 น. |
| 5 | นวนคร 2 | | ✓ | | 2 x 50 | 55.3 | 2535 | 14 | BUS-SPT | 10 | 5 | 36 | 65.0 | 23 ก.ย. 47 – 14.30 น. |
| | | | | | | | | | DS | 10 | 5 | | | 23 ก.ย. 47 – 14.40 น. |
| 6 | ลำลูกกา | | ✓ | | 2 x 50 | 44.0 | 2541 | 8 | DS | 10 | 3 | 34 | 72.0 | 23 ก.ย. 47 – 16.10 น. |
| | | | | | | | | | DS | 9 | 3 | | | 23 ก.ย. 47 – 16.20 น. |
| | | | | | | | | | DS | 9 | 3 | | | 23 ก.ย. 47 – 16.25 น. |
| | | | | | | | | | DS | 9 | 3 | | | 23 ก.ย. 47 – 16.25 น. |
| | | | | | | | | | DS | 9 | 3 | | | 23 ก.ย. 47 – 16.30 น. |
| 7 | องครักษ์ | | ✓ | | 2 x 50 | 28.5 | 2540 | 9 | DS | 8 | 6 | 35 | 57.8 | 13 ต.ค. 47 – 14.40 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 6 | | | 13 ต.ค. 47 – 14.45 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8.5 | 6 | | | 13 ต.ค. 47 – 14.46 น. |
| | | | | | | | | | CB-BUS | 9 | 5 | | | 13 ต.ค. 47 – 15.05 น. |
| | | | | | | | | | CT-CLM | 9 | 6 | | | 13 ต.ค. 47 – 15.10 น. |
| | | | | | | | | | DS | 9 | 5 | | | 13 ต.ค. 47 – 15.15 น. |

หมายเหตุ: BUS = Bus-Bar, BUS-SPT = Bus Support, CB-BUS = Bus bar to Circuit Breaker, CB-CLM = Clamp of Circuit Breaker,

CT-CLM = Clamp of Current Transformer, DS = Disconnecting Switch, LA = Lightning Arrester, TR-BSH = Bushing of Transformer

ตารางแสดงผลการเก็บข้อมูล ณ สถานีไฟฟ้าต่างๆ

| ที่ | รายชื่อสถานี | ข้อมูลทั่วไปของสถานีไฟฟ้า | | | | | | | ข้อมูลของสัญญาณเสียงที่บันทึกได้ | | | | | วัน-เวลา ในการเก็บข้อมูล |
|-----|----------------|---------------------------|--------|---------|-------------------|------------------|------------------|--------------|----------------------------------|--------|--------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|
| | | ระบบ (kV) | | | หม้อแปลง (MVA) | จ่ายโหลด (MW) | ก่อดัง (พ.ศ.) | อายุ (ปี) | อุปกรณ์ | ความไว | ระยะห่าง (เมตร) | อุณหภูมิ (เซลเซียส) | ความชื้น (%) | |
| | | 69/22 | 115/22 | 115/115 | | | | | | | | | | |
| 7 | องครักษ์ (ต่อ) | | ✓ | | 2 x 50 | 24.6 | 2540 | 9 | DS | 9 | 5 | 35 | 57.8 | 13 ต.ค. 47 – 15.15 น. |
| | | | | | | | | | TR-BSH | 9 | 7 | | | 13 ต.ค. 47 – 15.20 น. |
| 8 | บางสมัคร | | ✓ | | 3 x 50 | 60.6 | 2535 | 14 | DS | 9 | 5 | 30 | 51.0 | 25 พ.ย. 47 – 13.40 น. |
| | | | | | | | | | DS | 10 | 5 | | | 25 พ.ย. 47 – 13.45 น. |
| | | | | | | | | | DS | 10 | 5 | | | 25 พ.ย. 47 – 13.55 น. |
| | | | | | | | | | DS | 10 | 8 | | | 25 พ.ย. 47 – 14.00 น. |
| 9 | บางบัว | | ✓ | | 2 x 40 | 36.3 | 2534 | 15 | TR-BSH | 8 | 5 | 32 | 51.0 | 25 พ.ย. 47 – 15.25 น. |
| | | | | | | | | | CB-BUS | 10 | 4 | | | 25 พ.ย. 47 – 15.35 น. |
| | | | | | | | | | CB-BUS | 10 | 4 | | | 25 พ.ย. 47 – 15.40 น. |
| | | | | | | | | | CT-CLM | 10 | 5 | | | 25 พ.ย. 47 – 15.45 น. |
| | | | | | | | | | CT-CLM | 8.5 | 5 | | | 25 พ.ย. 47 – 15.50 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8.5 | 6 | | | 25 พ.ย. 47 – 15.50 น. |
| | | | | | | | | | CT-CLM | 9 | 5 | | | 25 พ.ย. 47 – 15.55 น. |
| | | | | | | | | | BUS | 9 | 6 | | | 25 พ.ย. 47 – 16.00 น. |

หมายเหตุ: BUS = Bus-Bar, BUS-SPT = Bus Support, CB-BUS = Bus bar to Circuit Breaker, CB-CLM = Clamp of Circuit Breaker,

CT-CLM = Clamp of Current Transformer, DS = Disconnecting Switch, LA = Lightning Arrester, TR-BSH = Bushing of Transformer

ตารางแสดงผลการเก็บข้อมูล ณ สถานีไฟฟ้าต่างๆ

| ที่ | รายชื่อสถานี | ข้อมูลทั่วไปของสถานีไฟฟ้า | | | | | | | ข้อมูลของสัญญาณเสียงที่บันทึกได้ | | | | | วัน-เวลา ในการเก็บข้อมูล |
|-----|--------------|---------------------------|--------|---------|-------------------|-----------------------|--------------------|--------------|----------------------------------|--------|--------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|
| | | ระบบ (kV) | | | หม้อแปลง (MVA) | จ่ายโหลด (MW) | ก่อสร้าง (พ.ศ.) | อายุ (ปี) | อุปกรณ์ | ความไว | ระยะห่าง (เมตร) | อุณหภูมิ (เซลเซียส) | ความชื้น (%) | |
| | | 69/22 | 115/22 | 115/115 | | | | | | | | | | |
| 10 | บางปะกง | | ✓ | | 2 x 40 | 59.8 | 2536 | 13 | BUS-SPT | 10 | 8 | 34 | 59.8 | 17 ธ.ค. 47 – 14.50 น. |
| | | | | | | | | | BUS-SPT | 10 | 8 | | | 17 ธ.ค. 47 – 14.55 น. |
| | | | | | | | | | BUS-SPT | 8 | 8 | | | 17 ธ.ค. 47 – 15.00 น. |
| | | | | | | | | | BUS-SPT | 8 | 8 | | | 17 ธ.ค. 47 – 15.05 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 10 | | | 17 ธ.ค. 47 – 15.10 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 6 | | | 17 ธ.ค. 47 – 15.15 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 10 | | | 17 ธ.ค. 47 – 15.20 น. |
| | | | | | | | | | DS | 7 | 6 | | | 17 ธ.ค. 47 – 15.25 น. |
| | | | DS | 9 | 10 | 17 ธ.ค. 47 – 15.27 น. | | | | | | | | |
| 11 | หัวลำโพง | | ✓ | | 50 | 18.6 | 2537 | 12 | BUS-SPT | 8 | 6 | 35 | 66.4 | 14 ก.พ. 48 – 14.20 น. |
| | | | | | | | | | BUS-SPT | 8 | 6 | | | 14 ก.พ. 48 – 14.25 น. |
| | | | | | | | | | BUS-SPT | 8 | 5 | | | 14 ก.พ. 48 – 14.30 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 5 | | | 14 ก.พ. 48 – 14.45 น. |
| 12 | ปทุมธานี 1 | | ✓ | | 2 x 40 | 32.0 | 2528 | 21 | DS | 7.5 | 8 | 37 | 57.6 | 01 เม.ย. 48 – 12.50 น. |
| | | | | | | | | | DS | 7.5 | 8 | | | 01 เม.ย. 48 – 12.50 น. |

หมายเหตุ: BUS = Bus-Bar, BUS-SPT = Bus Support, CB-BUS = Bus bar to Circuit Breaker, CB-CLM = Clamp of Circuit Breaker,

CT-CLM = Clamp of Current Transformer, DS = Disconnecting Switch, LA = Lightning Arrester, TR-BSH = Bushing of Transformer

ตารางแสดงผลการเก็บข้อมูล ณ สถานีไฟฟ้าต่างๆ

| ที่ | รายชื่อสถานี | ข้อมูลทั่วไปของสถานีไฟฟ้า | | | | | | | ข้อมูลของสัญญาณเสียงที่บันทึกได้ | | | | | วัน-เวลา ในการเก็บข้อมูล |
|-----|---------------------|---------------------------|--------|---------|-------------------|------------------|------------------|--------------|----------------------------------|--------|--------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|
| | | ระบบ (kV) | | | หม้อแปลง (MVA) | จ่ายโหลด (MW) | ก่อดัง (พ.ศ.) | อายุ (ปี) | อุปกรณ์ | ความไว | ระยะห่าง (เมตร) | อุณหภูมิ (เซลเซียส) | ความชื้น (%) | |
| | | 69/22 | 115/22 | 115/115 | | | | | | | | | | |
| 12 | ปทุมธานี 1 (ต่อ) | | ✓ | | 2 x 40 | 32.0 | 2528 | 21 | DS | 9 | 8 | 37 | 57.6 | 01 เม.ย. 48 – 12.55 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8.5 | 10 | | | 01 เม.ย. 48 – 13.00 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8.5 | 8 | | | 01 เม.ย. 48 – 13.05 น. |
| 13 | บางไทร | | ✓ | | 2 x 50 | 33.0 | 2537 | 12 | DS | 8 | 10 | 35 | 57.6 | 01 เม.ย. 48 – 14.55 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8.5 | 10 | | | 01 เม.ย. 48 – 15.00 น. |
| | | | | | | | | | CB-CLM | 8 | 3 | | | 01 เม.ย. 48 – 15.05 น. |
| | | | | | | | | | TR-BSH | 8 | 4 | | | 01 เม.ย. 48 – 15.10 น. |
| 14 | บางปะกง 3 | | ✓ | | 50 | 9.7 | 2538 | 11 | BUS-SPT | 8 | 6 | 34 | 59.4 | 21 เม.ย. 48 – 14.35 น. |
| | | | | | | | | | BUS-SPT | 7.5 | 6 | | | 21 เม.ย. 48 – 14.40 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 6 | | | 21 เม.ย. 48 – 14.55 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 6 | | | 21 เม.ย. 48 – 15.00 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 4 | | | 21 เม.ย. 48 – 15.05 น. |
| | | | | | | | | | CT-CLM | 8 | 5 | | | 21 เม.ย. 48 – 15.10 น. |
| | | | | | | | | | DS | 9 | 5 | | | 21 เม.ย. 48 – 15.15 น. |

หมายเหตุ: BUS = Bus-Bar, BUS-SPT = Bus Support, CB-BUS = Bus bar to Circuit Breaker, CB-CLM = Clamp of Circuit Breaker,

CT-CLM = Clamp of Current Transformer, DS = Disconnecting Switch, LA = Lightning Arrester, TR-BSH = Bushing of Transformer

ตารางแสดงผลการเก็บข้อมูล ณ สถานีไฟฟ้าต่างๆ

| ที่ | รายชื่อสถานี | ข้อมูลทั่วไปของสถานีไฟฟ้า | | | | | | | ข้อมูลของสัญญาณเสียงที่บันทึกได้ | | | | | วัน-เวลา ในการเก็บข้อมูล |
|-----|--------------|---------------------------|--------|---------|-------------------|------------------|------------------|--------------|----------------------------------|--------|--------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|
| | | ระบบ (kV) | | | หม้อแปลง (MVA) | จ่ายโหลด (MW) | ก่อดัง (พ.ศ.) | อายุ (ปี) | อุปกรณ์ | ความไว | ระยะห่าง (เมตร) | อุณหภูมิ (เซลเซียส) | ความชื้น (%) | |
| | | 69/22 | 115/22 | 115/115 | | | | | | | | | | |
| 15 | ชลบุรี 2 | | ✓ | | 2 x 50 | 54.3 | 2543 | 6 | DS | 7 | 8 | 31 | 61.3 | 11 พ.ค. 48 – 14.45 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8.9 | 8 | | | 11 พ.ค. 48 – 14.50 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8.7 | 8 | | | 11 พ.ค. 48 – 14.55 น. |
| | | | | | | | | | TR-BSH | 10 | 7 | | | 11 พ.ค. 48 – 15.10 น. |
| | | | | | | | | | TR-BSH | 10 | 7 | | | 11 พ.ค. 48 – 15.15 น. |
| 16 | บ้านใหม่ | ✓ | ✓ | | 2 x 40 | 40.1 | 2526 | 23 | TR-BSH | 8 | 7 | 33 | 54.4 | 16 มิ.ย. 48 – 11.55 น. |
| | | | | | | | | | TR-BSH | 8 | 7 | | | 16 มิ.ย. 48 – 12.10 น. |
| | | | | | | | | | BUS-SPT | 8.5 | 6 | | | 16 มิ.ย. 48 – 12.15 น. |
| | | | | | | | | | BUS-SPT | 8.5 | 7 | | | 16 มิ.ย. 48 – 12.15 น. |
| | | | | | | | | | BUS-SPT | 8.5 | 6 | | | 16 มิ.ย. 48 – 12.15 น. |
| | | | | | | | | | DS | 9 | 6 | | | 16 มิ.ย. 48 – 12.20 น. |
| 17 | ปทุมธานี 2 | | ✓ | | 2 x 50 | 22.6 | 2537 | 12 | CT-CLM | 9 | 6 | 32 | 62.9 | 16 มิ.ย. 48 – 14.10 น. |
| | | | | | | | | | DS | 9 | 6 | | | 16 มิ.ย. 48 – 14.15 น. |
| | | | | | | | | | DS | 9 | 5 | | | 16 มิ.ย. 48 – 14.15 น. |
| | | | | | | | | | DS | 9 | 6 | | | 16 มิ.ย. 48 – 14.20 น. |

หมายเหตุ: BUS = Bus-Bar, BUS-SPT = Bus Support, CB-BUS = Bus bar to Circuit Breaker, CB-CLM = Clamp of Circuit Breaker,

CT-CLM = Clamp of Current Transformer, DS = Disconnecting Switch, LA = Lightning Arrester, TR-BSH = Bushing of Transformer

ตารางแสดงผลการเก็บข้อมูล ณ สถานีไฟฟ้าต่างๆ

| ที่ | รายชื่อสถานี | ข้อมูลทั่วไปของสถานีไฟฟ้า | | | | | | | ข้อมูลของสัญญาณเสียงที่บันทึกได้ | | | | | วัน-เวลา ในการเก็บข้อมูล |
|-----|--------------|---------------------------|--------|---------|-------------------|------------------|-------------------|--------------|----------------------------------|--------|--------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|
| | | ระบบ (kV) | | | หม้อแปลง (MVA) | จ่ายโหลด (MW) | ก่อตั้ง (พ.ศ.) | อายุ (ปี) | อุปกรณ์ | ความไว | ระยะห่าง (เมตร) | อุณหภูมิ (เซลเซียส) | ความชื้น (%) | |
| | | 69/22 | 115/22 | 115/115 | | | | | | | | | | |
| 18 | บางกะดี | | ✓ | | 2 x 40 | 37.9 | 2533 | 16 | DS | 8.5 | 6 | 32 | 64.3 | 16 มิ.ย. 48 – 15.30 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8.5 | 6 | | | 16 มิ.ย. 48 – 15.35 น. |
| | | | | | | | | | DS | 9 | 6 | | | 16 มิ.ย. 48 – 15.40 น. |
| | | | | | | | | | BUS | 9 | 6 | | | 16 มิ.ย. 48 – 15.45 น. |
| 19 | พนัสนิคม | | ✓ | | 2 x 50 | 20.1 | 2539 | 10 | CT-CLM | 7.5 | 7 | 34 | 61.0 | 05 ก.ค. 48 – 15.00 น. |
| | | | | | | | | | CT-CLM | 7.5 | 7 | | | 05 ก.ค. 48 – 15.05 น. |
| | | | | | | | | | BUS-SPT | 7 | 6 | | | 05 ก.ค. 48 – 15.10 น. |
| | | | | | | | | | DS | 7.5 | 5 | | | 05 ก.ค. 48 – 15.20 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 5 | | | 05 ก.ค. 48 – 15.25 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 6 | | | 05 ก.ค. 48 – 15.30 น. |
| 20 | ปลวกแดง 1 | | ✓ | | 2 x 50 | 17.1 | 2541 | 8 | DS | 8 | 6 | 35 | 63.5 | 17 ส.ค. 48 – 14.00 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 6 | | | 17 ส.ค. 48 – 14.00 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 6 | | | 17 ส.ค. 48 – 14.00 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 6 | | | 17 ส.ค. 48 – 14.00 น. |
| | | | | | | | | | CT-CLM | 9 | 8 | | | 17 ส.ค. 48 – 14.05 น. |

หมายเหตุ: BUS = Bus-Bar, BUS-SPT = Bus Support, CB-BUS = Bus bar to Circuit Breaker, CB-CLM = Clamp of Circuit Breaker,

CT-CLM = Clamp of Current Transformer, DS = Disconnecting Switch, LA = Lightning Arrester, TR-BSH = Bushing of Transformer

ตารางแสดงผลการเก็บข้อมูล ณ สถานีไฟฟ้าต่างๆ

| ที่ | รายชื่อสถานี | ข้อมูลทั่วไปของสถานีไฟฟ้า | | | | | | | ข้อมูลของสัญญาณเสียงที่บันทึกได้ | | | | | วัน-เวลา ในการเก็บข้อมูล |
|-----|--------------------|---------------------------|--------|---------|-------------------|------------------|------------------|--------------|----------------------------------|--------|--------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|
| | | ระบบ (kV) | | | หม้อแปลง (MVA) | จ่ายโหลด (MW) | ก่อดัง (พ.ศ.) | อายุ (ปี) | อุปกรณ์ | ความไว | ระยะห่าง (เมตร) | อุณหภูมิ (เซลเซียส) | ความชื้น (%) | |
| | | 69/22 | 115/22 | 115/115 | | | | | | | | | | |
| 20 | ปลวกแดง 1 (ต่อ) | | ✓ | | 2 x 50 | 14.8 | 2541 | 8 | CT-CLM | 9 | 8 | 35 | 63.5 | 17 ส.ค. 48 – 14.10 น. |
| | | | | | | | | | CT-CLM | 9 | 8 | | | 17 ส.ค. 48 – 14.10 น. |
| | | | | | | | | | CT-CLM | 9 | 8 | | | 17 ส.ค. 48 – 14.15 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 6 | | | 17 ส.ค. 48 – 14.20 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 6 | | | 17 ส.ค. 48 – 14.20 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 6 | | | 17 ส.ค. 48 – 14.20 น. |
| 21 | บ่อวิน 1 | | | ✓ | Sw.-Yard | - | 2536 | 13 | DS | 8.5 | 6 | 34 | 63.5 | 17 ส.ค. 48 – 15.00 น. |
| | | | | | | | | | LA | 8.5 | 7 | | | 17 ส.ค. 48 – 15.15 น. |
| 22 | บ่อวิน 2 | | ✓ | | 2 x 40 | 22.0 | 2526 | 23 | DS | 8 | 5 | 34 | 63.5 | 17 ส.ค. 48 – 15.40 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 5 | | | 17 ส.ค. 48 – 15.45 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 5 | | | 17 ส.ค. 48 – 15.50 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 5 | | | 17 ส.ค. 48 – 16.00 น. |
| | | | | | | | | | BUS-SPT | 8 | 6 | | | 17 ส.ค. 48 – 16.05 น. |
| | | | | | | | | | BUS-SPT | 8 | 6 | | | 17 ส.ค. 48 – 16.15 น. |
| | | | | | | | | | CT-CLM | 8 | 6 | | | 17 ส.ค. 48 – 16.20 น. |

หมายเหตุ: BUS = Bus-Bar, BUS-SPT = Bus Support, CB-BUS = Bus bar to Circuit Breaker, CB-CLM = Clamp of Circuit Breaker,

CT-CLM = Clamp of Current Transformer, DS = Disconnecting Switch, LA = Lightning Arrester, TR-BSH = Bushing of Transformer

ตารางแสดงผลการเก็บข้อมูล ณ สถานีไฟฟ้าต่างๆ

| ที่ | รายชื่อสถานี | ข้อมูลทั่วไปของสถานีไฟฟ้า | | | | | | | ข้อมูลของสัญญาณเสียงที่บันทึกได้ | | | | | วัน-เวลา ในการเก็บข้อมูล |
|-----|--------------|---------------------------|--------|---------|-------------------|------------------|-------------------|--------------|----------------------------------|--------|--------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|
| | | ระบบ (kV) | | | หม้อแปลง (MVA) | จ่ายโหลด (MW) | ก่อตั้ง (พ.ศ.) | อายุ (ปี) | อุปกรณ์ | ความไว | ระยะห่าง (เมตร) | อุณหภูมิ (เซลเซียส) | ความชื้น (%) | |
| | | 69/22 | 115/22 | 115/115 | | | | | | | | | | |
| 23 | วังน้อย | | ✓ | | 2 x 50 | 69.0 | 2537 | 12 | CT-CLM | 8 | 8 | 37 | 43.0 | 22 ส.ค. 48 – 11.50 น. |
| | | | | | | | | | TR-BSH | 9 | 8 | | | 22 ส.ค. 48 – 12.00 น. |
| | | | | | | | | | BUS | 8.5 | 6 | | | 22 ส.ค. 48 – 12.05 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 6 | | | 22 ส.ค. 48 – 12.10 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 6 | | | 22 ส.ค. 48 – 12.10 น. |
| 24 | โรจนะ | | ✓ | | 2 x 50 | 56.5 | 2535 | 14 | DS | 8 | 8 | 37 | 43.0 | 22 ส.ค. 48 – 13.30 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 8 | | | 22 ส.ค. 48 – 13.30 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 10 | | | 22 ส.ค. 48 – 13.35 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 10 | | | 22 ส.ค. 48 – 13.40 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 10 | | | 22 ส.ค. 48 – 13.45 น. |
| 25 | บึง | | ✓ | | 40 | 36.5 | 2537 | 12 | BUS | 8 | 7 | 32 | 47.3 | 21 พ.ย. 48 – 12.05 น. |
| | | | | | | | | | BUS-SPT | 8 | 7 | | | 21 พ.ย. 48 – 12.10 น. |
| | | | | | | | | | BUS-SPT | 8 | 7 | | | 21 พ.ย. 48 – 12.15 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 5 | | | 21 พ.ย. 48 – 12.20 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 5 | | | 21 พ.ย. 48 – 12.25 น. |

หมายเหตุ: BUS = Bus-Bar, BUS-SPT = Bus Support, CB-BUS = Bus bar to Circuit Breaker, CB-CLM = Clamp of Circuit Breaker,

CT-CLM = Clamp of Current Transformer, DS = Disconnecting Switch, LA = Lightning Arrester, TR-BSH = Bushing of Transformer

ตารางแสดงผลการเก็บข้อมูล ณ สถานีไฟฟ้าต่างๆ

| ที่ | รายชื่อสถานี | ข้อมูลทั่วไปของสถานีไฟฟ้า | | | | | | | ข้อมูลของสัญญาณเสียงที่บันทึกได้ | | | | | วัน-เวลา ในการเก็บข้อมูล |
|-----|--------------|---------------------------|--------|---------|-------------------|------------------|-------------------|--------------|----------------------------------|--------|--------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|
| | | ระบบ (kV) | | | หม้อแปลง (MVA) | จ่ายโหลด (MW) | ก่อตั้ง (พ.ศ.) | อายุ (ปี) | อุปกรณ์ | ความไว | ระยะห่าง (เมตร) | อุณหภูมิ (เซลเซียส) | ความชื้น (%) | |
| | | 69/22 | 115/22 | 115/115 | | | | | | | | | | |
| 25 | บึง (ต่อ) | | ✓ | | 40 | 25.0 | 2537 | 12 | DS | 8 | 5 | 32 | 47.3 | 21 พ.ย. 48 – 12.25 น. |
| | | | | | | | | | CT-CLM | 8 | 5 | | | 21 พ.ย. 48 – 12.35 น. |
| | | | | | | | | | CT-CLM | 8 | 4 | | | 21 พ.ย. 48 – 12.40 น. |
| | | | | | | | | | TR-BSH | 8 | 7 | | | 21 พ.ย. 48 – 12.45 น. |
| 26 | แหลมฉบัง 1 | | ✓ | | 2 x 50 | 46.2 | 2537 | 12 | TR-BSH | 7.5 | 7 | 30 | 56.0 | 21 พ.ย. 48 – 14.00 น. |
| | | | | | | | | | CT-CLM | 7.5 | 5 | | | 21 พ.ย. 48 – 14.05 น. |
| | | | | | | | | | DS | 7.5 | 5 | | | 21 พ.ย. 48 – 14.20 น. |
| | | | | | | | | | DS | 7.5 | 5 | | | 21 พ.ย. 48 – 14.25 น. |
| | | | | | | | | | DS | 8 | 5 | | | 21 พ.ย. 48 – 14.30 น. |
| 27 | อ่าวไผ่ 1 | ✓ | | | 40, 50 | 8.9 | 2543 | 6 | DS | 7.5 | 7 | 30 | 56.0 | 21 พ.ย. 48 – 15.20 น. |
| | | | | | | | | | DS | 6 | 7 | | | 21 พ.ย. 48 – 15.25 น. |
| | | | | | | | | | DS | 6.5 | 7 | | | 21 พ.ย. 48 – 15.30 น. |
| | | | | | | | | | DS | 6.5 | 7 | | | 21 พ.ย. 48 – 15.35 น. |

หมายเหตุ: BUS = Bus-Bar, BUS-SPT = Bus Support, CB-BUS = Bus bar to Circuit Breaker, CB-CLM = Clamp of Circuit Breaker,

CT-CLM = Clamp of Current Transformer, DS = Disconnecting Switch, LA = Lightning Arrester, TR-BSH = Bushing of Transformer

ภาคผนวก ข.
SOURCE CODE

```

function varargout = Compare(varargin)
% COMPARE M-file for Compare.fig
%   COMPARE, by itself, creates a new COMPARE or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = COMPARE returns the handle to a new COMPARE or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   COMPARE('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the
local
%   function named CALLBACK in COMPARE.M with the given input
arguments.
%
%   COMPARE('Property','Value',...) creates a new COMPARE or raises
the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value
pairs are
%   applied to the GUI before Compare_OpeningFunction gets called.
An
%   unrecognized property name or invalid value makes property
application
%   stop. All inputs are passed to Compare_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only
one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help Compare

% Last Modified by GUIDE v2.5 21-Dec-2005 01:06:30

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @Compare_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @Compare_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before Compare is made visible.
function Compare_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.

```

```

% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to Compare (see VARARGIN)
warning off
% Choose default command line output for Compare
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes Compare wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = Compare_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
[fname,pname] = uigetfile({'*.wav'}, 'Open Project');
x = wavread([pname,fname]);
x = x(1:10*48000+1);
axes(handles.axes1);
plot(0:1/48000:10,x)
title('Corona Master Signal Input')
xlabel('t(second)')
ylabel('Amplitude')
%set(handles.edit3,'String',mean(x));
%set(handles.edit4,'String',median(x));
%set(handles.edit5,'String',std(x));
handles.x = x;
guidata(hObject,handles)

% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
[fname,pname] = uigetfile({'*.wav'}, 'Open Project');
y = wavread([pname,fname]);
y = y(1:10*48000+1);
axes(handles.axes2);
plot(0:1/48000:10,y)

```

```

title('Detected Field Signal Input')
xlabel('t(second)')
ylabel('Amplitude')
%set(handles.edit6,'String',mean(y));
%set(handles.edit7,'String',median(y));
%set(handles.edit8,'String',std(y));
handles.y = y;
guidata(hObject,handles)

% --- Executes on button press in pushbutton3.
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to pushbutton3 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
x = handles.x;
Pxx = fft(x);
Pxx = abs(Pxx(1:length(Pxx)/2+1));
Pxx(1) = 0;
Pxx = Pxx/max(Pxx); %normalization%
freq = [0:length(Pxx)-1]*48000/length(Pxx)/2;
axes(handles.axes1);
stem(freq(1:5000),Pxx(1:5000));
title('Spectrum of Corona Master Signal')
xlabel('Frequency (Hz)')
ylabel('Normalize Amplitude')
[a,max_f] = max(Pxx);
%text(freq(max_f),1,strcat('\leftarrow Maximum
at',num2str(freq(max_f))),...
%   'Color','red','BackgroundColor',[.7 .9
.7],'HorizontalAlignment','left',...
%   'Fontweight','bold')

% --- Executes on button press in pushbutton4.
function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to pushbutton4 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
y = handles.y;
Pyy = fft(y);
Pyy = abs(Pyy(1:length(Pyy)/2+1));
Pyy(1) = 0;
Pyy = Pyy/max(Pyy); %normalization%
freq = [0:length(Pyy)-1]*48000/length(Pyy)/2;
axes(handles.axes2);
stem(freq(1:5000),Pyy(1:5000));
title('Spectrum of Detected Field Signal')
xlabel('Frequency (Hz)')
ylabel('Normalize Amplitude')
[a,max_f] = max(Pyy);
%text(freq(max_f),1,strcat('\leftarrow Maximum
at',num2str(freq(max_f))),...
%   'Color','red','BackgroundColor',[.7 .9
.7],'HorizontalAlignment','left',...
%   'Fontweight','bold')

```

```

% -----
function Untitled_2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Untitled_2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
Zoom on

% -----
function Untitled_3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Untitled_3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
Zoom out

% -----
function Untitled_1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Untitled_1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in pushbutton5.
function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
x = handles.x;
wavplay(x,48000);

% --- Executes on button press in pushbutton6.
function pushbutton6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
y = handles.y;
wavplay(y,48000);

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.

```

```
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2 as
a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
```

```
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
% --- Executes on button press in pushbutton7.
```

```
function pushbutton7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton7 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
x = handles.x;
y = handles.y;
Rxy = xcorr(x,y);
axes(handles.axes3);
plot(0:1/96000:10,Rxy)
```

```

title('Wave File')
xlabel('t(second)')
ylabel('Amplitude')

```

```

%function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit3 as
a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
%function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
%if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
%end

```

```

%function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit4 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit4 as
a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
%function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
%if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

```

```

        set(hObject,'BackgroundColor','white');
    %end

%function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit5 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit5 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
%function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
%if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
%end

%function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit6 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit6 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
%function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
%if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
%end

```

```

%function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit7 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit7 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
%function edit7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
%if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
%end

%function edit8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit8 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit8 as
a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
%function edit8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
%if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
%end

```

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28

28th Electrical Engineering Conference (EECON 28)

จัดโดยภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ณ รร.เพิร์ลวิลเลจ จ.ภูเก็ต ระหว่างวันที่ 20 – 21 ตุลาคม 2548

ชื่อบทความ

ภาษาไทย การจำแนกปรากฏการณ์โคโรนาในสถานีไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรมเมทแลป

ภาษาอังกฤษ Analysis of Corona Phenomena in Substations using MATLAB

International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD 2006)

Organized by KIEEME and KERI

Venue CECO (Changwon Exhibition and Convention Centre) Changwon, Korea

Date 2 – 5 Apr 2006

Paper Title Identification of Corona Phenomena in Substations Detected by Ultraprobe
using Computer Programming

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28

28th Electrical Engineering Conference



Volume I

ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)
อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
ไฟฟ้ากำลัง (PW)

Engineering



ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
20 - 21 ตุลาคม 2548
ณ โรงแรม เฟิร์ล วิลเลจ อ. กุเกี๋ย



การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28

28th Electrical Engineering Conference (EECON 28)



ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

สาส์นจากอธิการบดี/คณบดี/ประธาน

กรรมการการประชุม

บทความดีเด่น

ดรชนี้ผู้เขียนบทความ

Author Index

สารบัญบทความ

- ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
- การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)
- อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)



การจำแนกปรากฏการณ์โคโรนาในสถานีไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรมเมทแลบ Analysis of Corona Phenomena in Substations using Matlab

รณกร มโนธรรม, มณฑล สีลาจินดาไกรฤกษ์ และ นรเศรษฐ พัฒนเดช
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 3 หมู่ 2 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์ 0-2590-5452, 0-1890-1773, Email: ronnakorn@yahoo.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) มีการนำอุลตราโพรบมาใช้ในงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน โดยการวิเคราะห์จากคลื่นอุลตราโซนิคที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าต่างๆด้วยการฟังเสียงที่ส่งผ่านมาจากชุดหูฟัง ซึ่งยากและต้องอาศัยพนักงานที่มีความชำนาญในการจำแนกและระบุชนิดของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น บทความนี้จึงนำเสนอการประยุกต์ใช้โปรแกรมเมทแลบในการจำแนกปรากฏการณ์โคโรนาที่เกิดขึ้นภายในสถานีไฟฟ้า โดยการวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณเสียงที่ตรวจจับได้จากอุลตราโพรบ ด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มและทำการเปรียบเทียบคุณลักษณะทางสเปกตรัมกับสัญญาณโคโรนาต้นแบบที่พบว่าสเปกตรัมของสัญญาณโคโรนามีองค์ประกอบฮาร์โมนิกเด่นชัดอยู่ที่ความถี่สองเท่าของความถี่ในระบบ ซึ่งอ้างโดยสถาบัน EPRI

คำสำคัญ: โคโรนา, คลื่นอุลตราโซนิค, อุลตราโพรบ

Abstract

Nowadays, the Ultraprobe is used routinely in the preventive maintenance program at Provincial Electricity Authority (PEA). The hearing analysis of the ultrasonic wave generated by different electrical phenomena is not only difficult, but also the classification requires good expertise from the specialists. Therefore in this paper, the application of the MATLAB computer programming to detect and classify the corona that occurs in PEA substations is presented. The acoustic spectrum detected by the Ultraprobe is analyzed using the Fourier Transform. The spectrum pattern is then compared with the corona master signal, which has distinct spectrum of twice harmonic frequency to the applied system frequency. (reference to EPRI).

Keywords: Corona, Ultrasonic wave, Ultraprobe

1. บทนำ

แผนการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าเชิงป้องกันของ กฟภ. มีรูปแบบและวิธีการดำเนินการอยู่หลายรูปแบบ เช่น การให้พนักงานออกไปตรวจสอบสภาพระบบไฟฟ้าตามวาระ การตรวจหาโคโรนาด้วยปืนส่องโคโรนา การส่งกล้องหาจุดสัมผัสความร้อน ฯลฯ ซึ่งในวิธีการต่างๆเหล่านี้มีวิธีหนึ่งที่มีผู้วิจัยได้ให้ความสนใจเป็นพิเศษได้แก่การตรวจจับคลื่นอุลตราโซนิคที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์โคโรนาหรืออาร์คด้วยเครื่องอุลตราโพรบ ที่การใช้งานจริงมีความยากต่อการวิเคราะห์ผลลัพธ์ของปรากฏการณ์เหล่านั้น เนื่องจากแสดงออกมาในรูปของสัญญาณเสียงที่ถูกแปลงมาจากคลื่นอุลตราโซนิค ทำให้การใช้งานต้องใช้พนักงานที่มีประสบการณ์และความชำนาญในการระบุชนิดของปรากฏการณ์ และอาจมีการผิดพลาดขึ้นได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้เสนอความคิดการเปลี่ยนรูปแบบและวิธีการแสดงผลที่ได้จากเครื่องอุลตราโพรบให้อยู่ในรูปแบบที่ผู้ปฏิบัติงานสามารถจำแนกและพิจารณาได้ง่าย รวมทั้งมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น โดยนำสัญญาณเสียงจากเครื่องอุลตราโพรบที่ตรวจจับได้จากการตรวจเช็คไปทำการวิเคราะห์สเปกตรัมด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มโดยโปรแกรมเมทแลบ จากนั้นทำการเปรียบเทียบแพทเทิร์นสเปกตรัมของสัญญาณเสียงที่ได้กับแพทเทิร์นสัญญาณเสียงโคโรนาต้นแบบที่สร้างขึ้นจากห้องทดลองและแสดงผลออกทางจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถจำแนกโคโรนาได้ง่ายกว่าการใช้หูฟังจากอุลตราโพรบโดยตรง

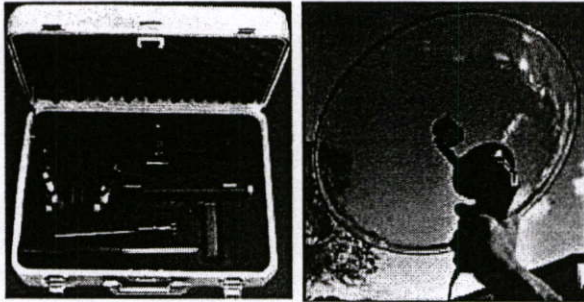
2. ปรากฏการณ์โคโรนา

อากาศปกติประกอบด้วยไนโตรเจนและออกซิเจนเป็นหลัก โดยโมเลกุลของอากาศปกติจะมีสภาวะเป็นกลางและไม่มีผลกระทบจากสนามไฟฟ้า แต่เป็นที่ทราบกันดีว่าในอากาศนั้นยังมีอิเล็กตรอนอิสระ (ประจุลบ) ปะปนอยู่ด้วย โดยเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของสนามไฟฟ้า ซึ่งถ้าอากาศเกิดความเครียดจากสนามไฟฟ้ามากกว่า 30 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร จะทำให้อิเล็กตรอนอิสระในอากาศได้รับพลังงานเพียงพอที่จะผลักอิเล็กตรอนให้หลุดออกมาจากโมเลกุลที่มีความเสถียรภาพ [1] ทำให้โมเลกุลของอากาศสูญเสียอิเล็กตรอน และกลายเป็นประจุไฟฟ้าบวก ค่าความเป็นฉนวนของอากาศก็จะลดลง และถ้าลดลงมากพอจะทำให้เกิดการคายประจุไฟฟ้าจากตัวนำเคลื่อนที่ผ่านอากาศออกมาได้ ซึ่งเรียกว่าการเกิดปรากฏการณ์โคโรนา

3. **อุลตราโพรบ (Ultraprobe)**

อุลตราโพรบ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจจับคลื่นอุลตราโซนิกที่แพร่กระจายออกมาในอากาศ ซึ่งเกิดจากการสั่นไหวของสิ่งต่างๆ จากนั้นจะทำการแปลงความถี่จากย่านอุลตราโซนิกที่อยู่ระหว่าง 20 kHz – 100 kHz ให้ลงมาอยู่ในช่วง 100 Hz - 3 kHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่หูของมนุษย์สามารถที่จะรับฟังได้ (Audible range)[2,3] สำหรับการประยุกต์ใช้งานด้านไฟฟ้าานั้น จะใช้อุลตราโพรบในการตรวจจับการสั่นไหวที่เกิดจากการแตกตัวของประจุไฟฟ้าในอากาศ ซึ่งเกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ทางไฟฟ้ากับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น โครโน่าหรืออาร์ค โดยการใช้งานร่วมกับอุปกรณ์รวมคลื่นอุลตราโซนิก (Ultrasonic Waveform Concentrator: UWC.) ที่มีลักษณะเป็นจานสะท้อนคลื่นทรงพาราโบลิก ซึ่งเป็นอุปกรณ์เสริมที่ใช้ในการตรวจจับคลื่นสัญญาณอุลตราโซนิกระยะไกล โดยมีตัวรับสัญญาณอุลตราโซนิกที่มีความไวในการตรวจจับสูงติดตั้งอยู่เหนือจาน[4]

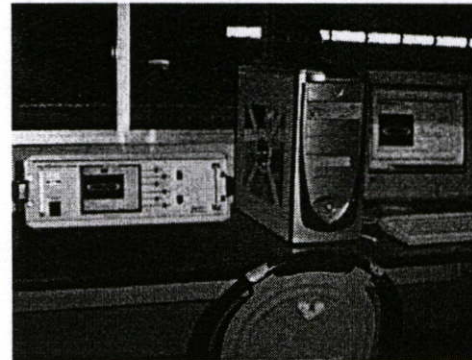
- เป็นโครโน่าที่สร้างจากเครื่องกำเนิดการคายประจุไฟฟ้า บางส่วนที่แรงดัน 14 kV
- มีระยะห่างระหว่างตัวรับคลื่นอุลตราโซนิกกับตำแหน่งที่เกิดการแพร่กระจายคลื่นอุลตราโซนิกประมาณ 6 m.
- มีความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดลองเท่ากับ 70%
- มีอุณหภูมิภายในห้องทดลองเท่ากับ 33 องศาเซลเซียส



รูปที่ 1 (ก) เครื่องอุลตราโพรบพร้อมอุปกรณ์ประกอบ
(ข) จานสะท้อนคลื่นและตัวรับสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิก



(ก)



(ข)

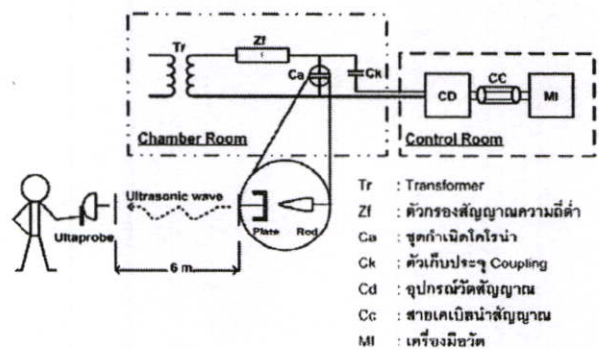
รูปที่ 2 (ก) การเก็บข้อมูลสัญญาณเสียงโครโน่าต้นแบบ
(ข) ชุดควบคุมเครื่องสร้างการคายประจุไฟฟ้าบางส่วน

4. **ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ**

เริ่มจากการสร้างสัญญาณ โครโน่าต้นแบบในห้องทดลองแล้วบันทึกสัญญาณเสียงที่ได้จากอุลตราโพรบด้วยเครื่องบันทึกเสียงแบบดิจิทัล จากนั้นนำไฟล์เสียงที่บันทึกไปทำการวิเคราะห์สเปกตรัมด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มในโปรแกรมแมทแล็บ เพื่อเก็บแพทเทิร์นต้นแบบของสัญญาณโครโน่าไว้ทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณอุลตราโซนิกใดๆ ที่ตรวจจับได้จากงานจริง เพื่อทำการจำแนกและระบุว่าเป็นสัญญาณเสียงอุลตราโซนิกที่เก็บมาจากงานนั้น เป็นสัญญาณ โครโน่าหรือไม่

4.1 **การสร้างสัญญาณโครโน่าต้นแบบ**

สร้างจากการทดลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงของภาควิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้เครื่องสร้างการคายประจุไฟฟ้าบางส่วนเป็นตัวสร้างสัญญาณโครโน่า โดยมีองค์ประกอบและสภาพแวดล้อมในห้องทดลองเป็นดังนี้.-

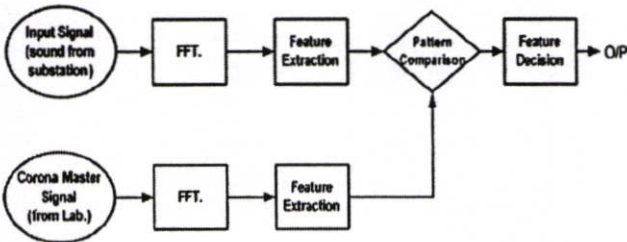


รูปที่ 3 โคอะแกรมแสดงการสร้าง โครโน่าต้นแบบในห้องทดลอง และการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องอุลตราโพรบ

โดยสัญญาณเสียงโครโน่าต้นแบบที่ได้จากการทดลองจะถูกบันทึกและนำไปวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นแพทเทิร์นสเปคตรัมต้นแบบต่อไป

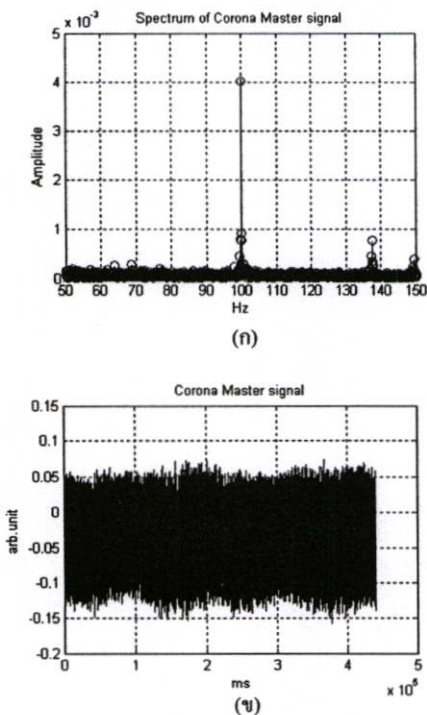
4.2 การจำแนกและวิเคราะห์แพทเทิร์นของสัญญาณเสียง

บทความนี้ได้ประยุกต์ใช้โปรแกรมเมทแลบ (Matlab version 6.5R13) มาใช้ในการวิเคราะห์สเปคตรัมของทั้งสัญญาณโครโน่าต้นแบบและสัญญาณเสียงใดๆ ที่เก็บจากหน้างานจริงจากสถานีไฟฟ้าต่างๆด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มโดยเป็นแพทเทิร์นที่แสดงผลในรูปแบบของสเปคตรัมสโคปที่แสดงผลทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ทางจอกอมพิวเตอร์



รูปที่ 4 บล็อกโคแอดแกรมการวิเคราะห์สเปคตรัมของสัญญาณเสียงในเมทแลบ

ซึ่งจากการนำสัญญาณโครโน่าต้นแบบที่สร้างจากห้องทดลองมาทำการวิเคราะห์ด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม สัญญาณต้นแบบดังกล่าวมีแพทเทิร์นสเปคตรัมในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ดังรูปที่ 5

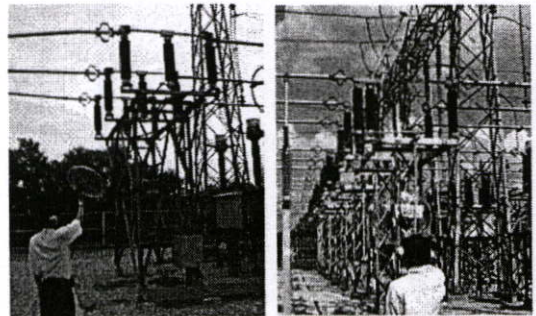


รูปที่ 5 สเปคตรัมของสัญญาณโครโน่าต้นแบบที่สร้างขึ้นจากห้องทดลองใน (ก)โดเมนความถี่ และ (ข)โดเมนเวลา

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของสัญญาณโครโน่าต้นแบบที่สร้างจากห้องทดลองจะเห็นว่ามีส่วนประกอบฮาร์โมนิกเด่นชัดอยู่ที่ 100 Hz ที่เรียกว่า pure tone component ที่เกิดจากการคายประจุในอากาศของโครโน่า ซึ่งผลิตประจุบวกและลบออกมาภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้ากระแสสลับที่มีอยู่รอบๆสายตัวนำหรือหน้าสัมผัสของอุปกรณ์ โดยจะสร้างแรงดึงและผลัก มีผลทำให้คลื่นสัญญาณเสียงโครโน่ามีความถี่เป็นสองเท่าของความถี่ในระบบ สำหรับประเทศไทยใช้ระบบความถี่ 50 Hz ดังนั้นองค์ประกอบฮาร์โมนิกเด่นชัดจึงอยู่ที่ 100 Hz ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีที่กล่าวถึงในหนังสืออ้างอิงของ EPRI เรื่อง "Transmission Line Reference Book 345 kV and Above" [5] ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าแพทเทิร์นของสเปคตรัมสัญญาณเสียงใดๆที่ถูกรวบรวมได้จากหน้างานจริงที่มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกเด่นชัดอยู่ ณ ตำแหน่ง 100 Hz นั้นแสดงว่ากำลังเกิดปรากฏการณ์โครโน่าที่ขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวนั้นๆ ซึ่งเมื่อเรานำสัญญาณที่เก็บได้จริงจากสถานีไฟฟ้า สุ่มตัวอย่างขึ้นมาจำนวน 3 สัญญาณในรูปแบบที่ 7 มาเปรียบเทียบกับสเปคตรัมในโดเมนความถี่กับสัญญาณโครโน่าต้นแบบแล้ว จะเห็นว่ามีส่วนประกอบฮาร์โมนิกเด่นชัดอยู่ที่ตำแหน่ง 100 Hz เหมือนกัน ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี จึงระบุได้ว่าสัญญาณตัวอย่างทั้ง 3 นั้น เป็นสัญญาณที่แสดงถึงปรากฏการณ์โครโน่าที่กำลังเกิดขึ้นกับตัวอุปกรณ์จริง

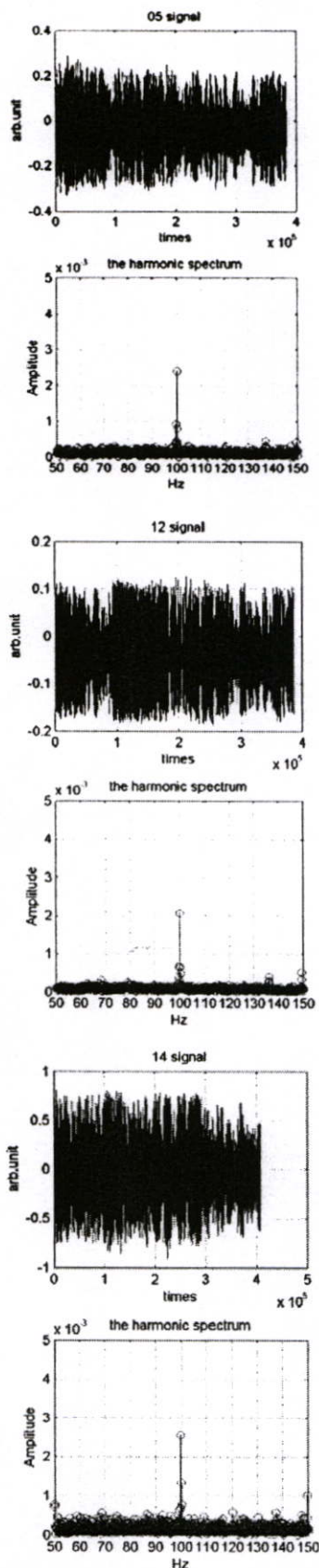
5. การทดลอง

ในการทดลองได้ทำการเก็บข้อมูลภาคสนามตามสถานีไฟฟ้าต่างๆ โดยพิจารณาคัดเลือกสถานีจากสองปัจจัย คือ เป็นสถานีแบบเอาร์ทอร์ เนื่องจากมุ่งเน้นเก็บข้อมูลกับตัวอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ บริเวณลานไกเป็นสิ่งสำคัญ และสถานีไม่ควรตั้งอยู่บริเวณที่มีมลภาวะสูงเกินไป เช่น ใกล้ชายทะเล โรงงานอุตสาหกรรมเคมีบางประเภท เพราะอาจเป็นสาเหตุให้เกิดปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ได้ง่ายกว่าสภาวะปกติทั่วไป และอาจทำให้ผลของการเก็บสัญญาณเสียงตัวอย่างมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงได้ โดยได้ดำเนินการทดสอบและเก็บข้อมูลจากสถานีไฟฟ้าจำนวน 30 สถานี ตัวอย่างวิธีการเก็บข้อมูลและผลการวิเคราะห์แพทเทิร์นสเปคตรัมของสัญญาณเสียงจากการทดลองแสดงดังรูปที่ 6 รูปที่ 7 ตามลำดับ



รูปที่ 6 การเก็บและบันทึกข้อมูลจากสถานีไฟฟ้า

PW066



รูป 7 ตัวอย่างแพทเทิร์นสเปกตรัมของสัญญาณเสียงที่ป้อน

6. บทสรุป

จากการดำเนินการเก็บข้อมูลตามสถานีไฟฟ้าจำนวน 30 สถานี ได้ตัวอย่างของข้อมูลเสียงมาประมาณ 150 ตัวอย่าง ซึ่งสัญญาณเสียงที่ได้ทำการบันทึกมาทุกตัวอย่างนั้น จะเป็นสัญญาณเสียงที่ยังไม่ระบุงไปได้ชัดเจนว่าเป็นเสียงที่แสดงถึงปรากฏการณ์ใดในทางไฟฟ้า แต่หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์สเปกตรัมและเปรียบเทียบแพทเทิร์นของสัญญาณตัวอย่างกับสเปกตรัมของสัญญาณโคโรน่าต้นแบบตามที่ได้เสนอไปแล้ว ทำให้สามารถระบุถึงสัญญาณโคโรน่าได้โดยไม่ต้องอาศัยผู้ปฏิบัติงานที่มีความชำนาญสูงในแยกแยะปรากฏการณ์ทางไฟฟ้า อีกทั้งยังสามารถนำสัญญาณที่ได้จากการบันทึกไปวิเคราะห์สำหรับงานในด้านอื่นๆ ได้อีก และสามารถดำเนินการบำรุงรักษาซ่อมแซมแก้ไขได้ทันท่วงที ซึ่งเป็นผลดีกับความเสถียรภาพในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟ รวมไปถึงความปลอดภัยต่อระบบไฟฟ้าของ กฟภ. เอง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Mark Lautenschlager, "High Voltage Maintenance", NETA World
- [2] UE Systems Inc., Ultraprobe™ 2000 User Manual, New York, USA
- [3] UE Systems Inc., Technology Overview: Ultrasonic Detection, New York, USA
- [4] UE Systems Inc., UE-UWC-2000 Ultrasonic Waveform Concentrator Instruction, New York, USA
- [5] EPRI, "Transmission Line Reference Book 345 kV and Above 2nd edition Revised", 3412 Hillview Avenue, Paolo Alto, Carifomia, 1987

ประวัติผู้เขียนบทความ



รณกร มโนเสงี่ยม ดำรงตำแหน่งวิศวกร ระดับ 5 ประจำฝ่ายบำรุงรักษา กฟภ. ปัจจุบันเป็นนักศึกษามหาบัณฑิตวิทยาลัย ภาควิศวกรรมไฟฟ้า สจล. มีความสนใจในงานวิจัยทางด้านการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า



มณฑล สิตาจินคาไกรกฤษณ์ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ประจำภาควิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. มีความสนใจงานวิจัยทางด้าน Power System Control and Stability

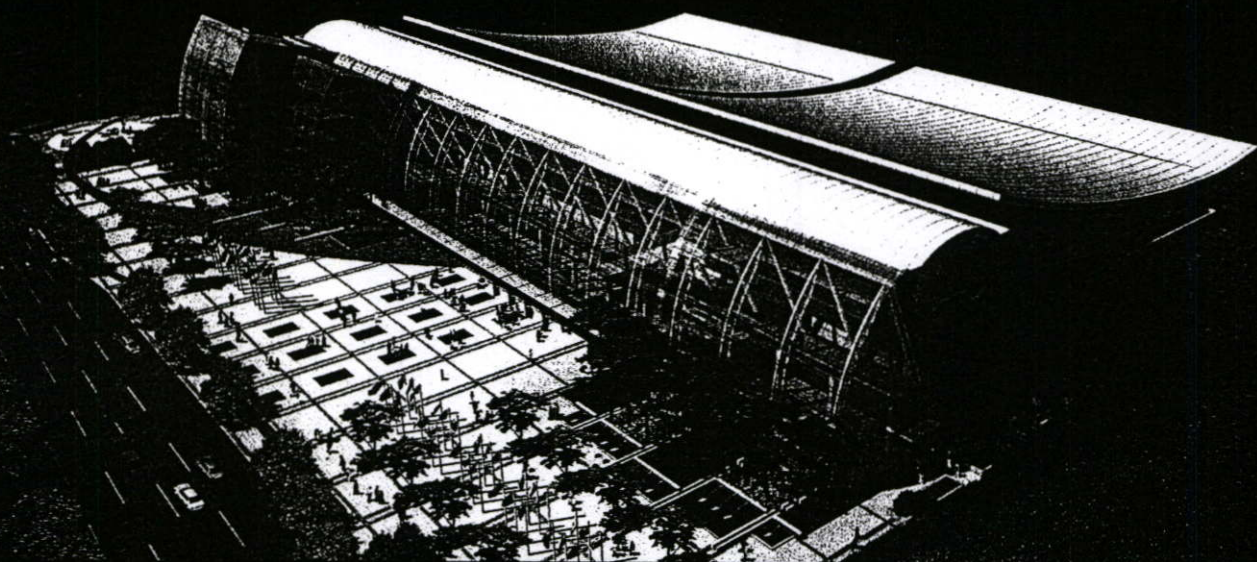


นรเศรษฐ พัฒนเดช ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำภาควิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. มีความสนใจงานวิจัยทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง

CMD 2006

International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis
Changwon, Korea, April 2~5, 2006

Program /Abstract



Organized by



KIEEME

The Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers



**KOREA ELECTROTECHNOLOGY
RESEARCH INSTITUTE**

Technically Sponsored by



CIGRE



IEEE DEIS



IEEE PES



IEE



KIEE

Fault diagnosis expert system for power substation based on RCM

Liu Shixin¹, GaoWensheng², Quan Yusheng¹

1. School of Electrical Engineering, North China

Electrical Engineering, China 10084

2. Electrical Engineering Department, Tsinghua

University, Beijing, China 100084

In this paper, an diagnostic expert system (ES) for substation equipments is presented, in which the automatic diagnostic mode and man-machine interactive diagnostic mode are used to evaluate the state of equipment based on the knowledge-based system (KBS). The hybrid reasoning strategy fused by the rule-based reasoning and fault tree reasoning as well as case-based reasoning (CBR) is used to meet the request of equipment diagnosis. For the analysis of fault modes about substation equipment, the fault tree analysis (FTA) method was introduced to analyze and generalize all kinds of fault types and causes about each subsystem of substation equipment according to all kinds of accident and fault analysis data year-to-year. Diagnostic fault trees of each subsystem were obtained which could supply with the theoretical base for the production diagnostic rule-base.

Identification of Corona Phenomena in Substations Detected by Ultraprobe using Computer Programming

Ronnakorn Manosngiam^{1,2}, Monthon

Leelajindakrairerk² and Norasage Patthanadech²

Maintenance Department, Provincial Electricity

Authority, Bangkok, Thailand.1,

Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering,

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabung,

Bangkok, Thailand²

Nowadays, the Ultraprobe is used routinely in the preventive maintenance program at Provincial Electricity

Authority (PEA). The hearing analysis of the ultrasonic wave generated by different electrical phenomena is not only difficult, but also the classification requires good expertise from the specialists. Therefore in this paper, the application of the computer programming to detect and classify the corona that occurs in PEA substations is presented. The sound spectrum detected by the Ultraprobe is synthesized and analyzed using the Fourier Transform. The spectrum pattern is then compared with the corona master signal, which has distinct spectrum of twice harmonic frequency to the applied system frequency.

Predictive Maintenance Tools for Substations

Ernesto Perez-Moreno, Angel Guerra-LLamas¹

Union Fenosa Distribucion, Substation Maintenance,

C/ Antonio Lopez, 193, 28026 Madrid, Spain

The distribution electricity concepts has changed in a significant way from the last 10-15 years. New requirements has come to the scene as regulatory, product quality, social requirements, environmental, economics, etc. A result of those, asset management has turned out to be essential. Technological evolution and human resources must be adapted to this new scenario. The evolution registered by maintenance policies along the time, from the obsolete corrective and preventive activities based on low reliability and frequency-based checking, have empowered the implementation of growing predictive maintenance tools, depending on the state of the equipment, its reliability and its criticality inside the system.

The Model of Propagation of the Own Electromagnetic Radiation of the HV Equipment on Substations

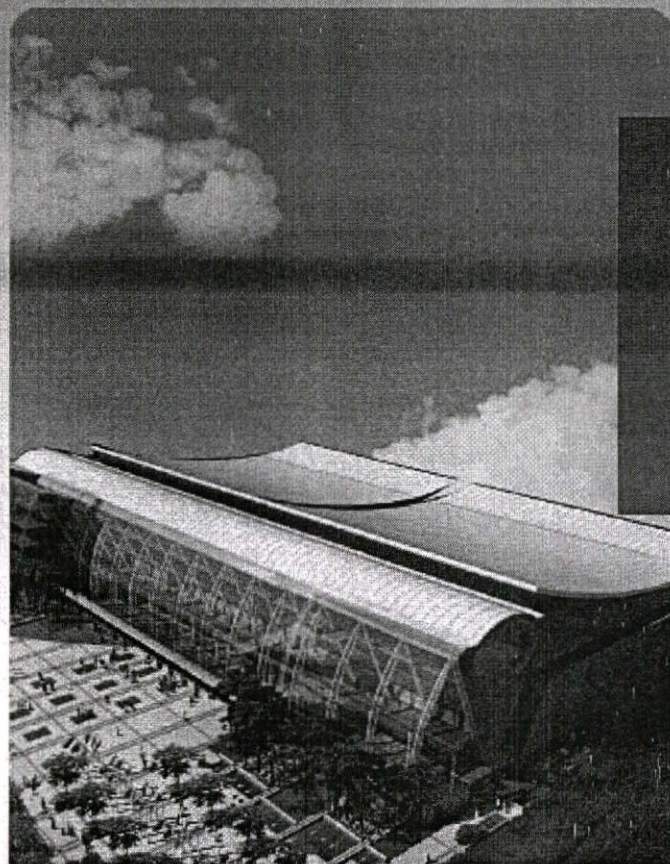
Nikolay V. Kinsht, Natalia N. Petrun'ko

Electrophysics and Power Laboratory, the Institute of Automation and Control Processes Far East Branch of

CMD 2006

International Conference on condition Monitoring and Diagnosis

Changwon, Korea, April 2-5, 2006



- 1. Plenary Lecture**
- 2. Oral Presentation(A)**
- 3. Oral Presentation(B)**
- 4. Poster Presentation(A)**
- 5. Poster Presentation(B)**

Identification of Corona Phenomena in Substations Detected by Ultraprobe using Computer Programming

Ronnakorn Manosngiam^{1,2}, Monthon Leelajindakraierk² and Norasage Patthanadech²

Maintenance Department, Provincial Electricity Authority, Bangkok, Thailand.¹,
Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabung, Bangkok, Thailand²

Abstract – Nowadays, the Ultraprobe is used routinely in the preventive maintenance program at Provincial Electricity Authority (PEA). The hearing analysis of the ultrasonic wave generated by different electrical phenomena is not only difficult, but also the classification requires good expertise from the specialists. Therefore in this paper, the application of the computer programming to detect and classify the corona that occurs in PEA substations is presented. The sound spectrum detected by the Ultraprobe is synthesized and analyzed using the Fourier Transform. The spectrum pattern is then compared with the corona master signal, which has distinct spectrum of twice harmonic frequency to the applied system frequency.

Keywords – Corona, Acoustics

I. INTRODUCTION

The preventive maintenance program for the whole electrical system of Provincial Electricity Authority (PEA) is carried out in several ways such as system patrol by patrolman, hot spot detection of electrical apparatus by Thermal Viewer Camera, tree trimming for the aerial cable clearance, insulator cleaning by water spraying etc. Among these programs, detection of ultrasonic wave is interested by author. When electrical phenomena like corona happens, it produces and emits the ultrasonic wave that can be detected by the Ultraprobe. The sound of any electrical phenomena can be heard using Ultraprobe headphone set as audible sound output. Although the Ultraprobe converts the ultrasonic wave to the audible sound, but it is difficult to analyze and identify these sounds because they are in the same tone. So MATLAB computer programming is utilized to solve this problem by using FFT function to synthesize, analyze and classify spectrum of the detected field signals, then compare with the corona master signal created from the KMITL High-Voltage Engineering Laboratory. The spectrum comparison of the detected field signals and the corona master signal are presented by the display scope in frequency domain on the monitor, so we can determine what the detected field signal input is.

II. CORONA PHENOMENA

By nature, air is composed of nitrogen and oxygen. The air molecules are normally not polarized and not affected by the electric field. But it also contains the free electrons (negative ions) that move toward and away from the conductor under influence of the electric field. If the electric field stress in the air increases above 30 kV/cm [1], free electrons will attain enough energy to knock out other electrons in the stable molecule. When stable molecules lose electrons, they appear as positive ions. Because of the movement of free electrons, they would collide with the air molecules and thus ionize them. The process of ionization may be cumulative in nature, and ultimately forms electron avalanche. When the avalanche crosses the gap between the conductors, a self-sustained discharge is resulted.

III. ULTRAPROBE

The Ultraprobe is a device that is used to detect ultrasonic wave, which is emitted from corona phenomena. This device transfers the band of frequencies from ultrasonic range at 20 kHz – 100 kHz downing to audible range between 100 Hz – 3 kHz [2, 3]. For the application of Ultraprobe for electrical maintenance, it is employed to detect any electrical phenomena such as corona arcing or tracking cause of these phenomena that produces and emits ultrasonic wave into the air. In the detection process, the Ultraprobe is used with Ultrasonic Wave Concentrator (UWC), which is a useful accessory that has high sensitivity transducer for detection of the ultrasonic wave at a long distance [4].



Fig. 1. Ultraprobe with its accessories



Fig. 2. Ultrasonic Wave Concentrator

IV. PROCESS AND LABORATORY TEST

First, the corona master signal was created at KMITL High-Voltage Engineering Laboratory and recorded by the digital recorder in a wave file format. Then, the MATLAB programming was used under the mode of FFT function to synthesize and analyze the corona master signal spectrums in attempt to create database for comparison with any input of the detected field signals.

A. Corona Master Signal Creation

The corona phenomena were simulated by applying AC high voltage of 14 kV to the rod-plate electrode. The corona signal was then detected by both the partial discharge detector and the Ultraprobe. The test environment was as follows:

- Distance between UWC and an electrode is 6 m
- 70% relative humidity
- 33 degree(Celsius) temperature



Fig. 3. Corona master signal recoding in laboratory

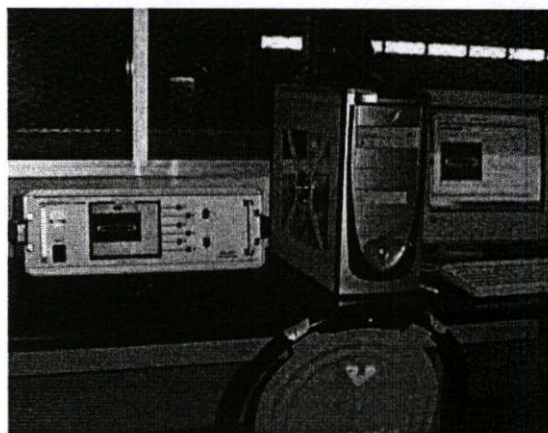


Fig. 4. Control unit of partial discharge generator

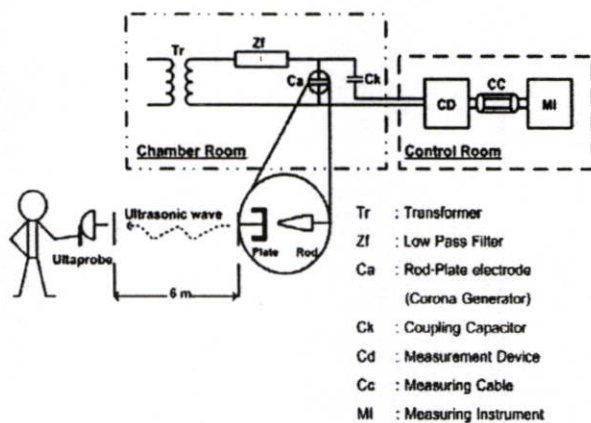


Fig. 5. Corona master signal generating and recoding diagram

B. Synthetic Analytical and Classification of the Detected Field Signals

In this paper, we used MATLAB computer programming to synthesize, analyze and classify before comparing the spectrum of detected field signals from substations with the corona master signal from the laboratory. The block diagram of spectrum synthesis, analysis, and classification model is shown in Fig. 6, which synthesizes and analyzes the sound signal in frequency domain, and displays on the PC monitor.

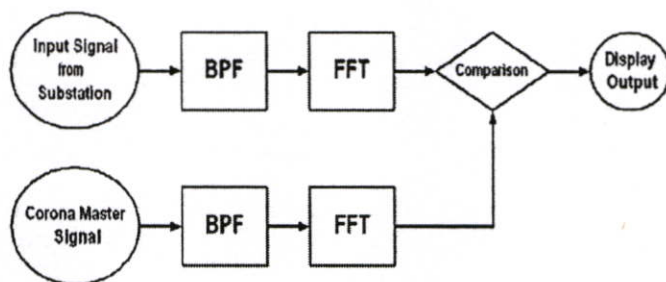


Fig. 6. Block Diagram of spectrum analytical and classification model

By considering spectrum of the corona master signal in frequency domain as shown in Fig. 7, we found that it contains the main harmonic at 100 Hz that we call the pure tone component. The pure tone component is caused by corona discharge that produces positive and negative ions under the influence of alternating current field around the conductors. They are attracted and repelled from the conductors. This action established a

sound pressure wave of corona having a frequency as twice of the power frequency in the system. In Thailand, the applied frequency is 50 Hz, so the main harmonic of corona sound wave is equal to 100 Hz. This mention is in agreement with the theory in the EPRI reference book [5]. In the other word, it can be concluded that if the spectrum of any detected field signal from substations have the main harmonic at 100 Hz, we can specify that detected field signal represents the corona phenomena.

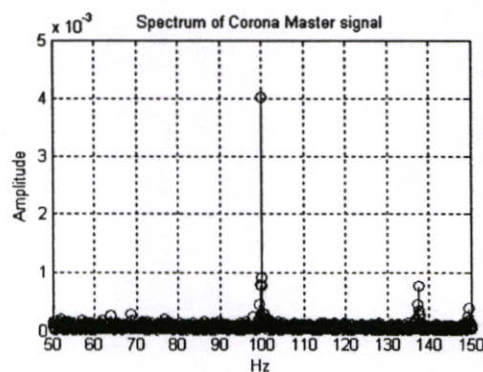


Fig. 7. Spectrum of corona master signal in frequency domain

V. EXPERIMENT

In the field test, the sound signals in PEA substations were investigated and recorded as the database. There are two main criteria selecting the substation for collection of sound signal. Firstly, it must be the outdoor substation because our target is to check corona sound signal that is emitted from any apparatus in the switch yard or switching station. Secondly, the selected substation must not be near sea shore or the chemical factories, which in effect greatly create corona phenomena. From more than 30 substations selected, we collected almost 150 samples of sound signal. Figure 8 and 9 show some of the process to collect the sound sample at some substations.



Fig. 8. Swinging the UWC to find a source of sound.

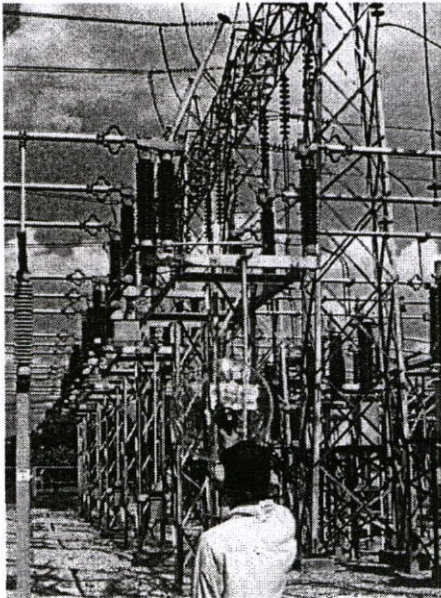


Fig. 9. Aiming to target of sound source at critical apparatus.

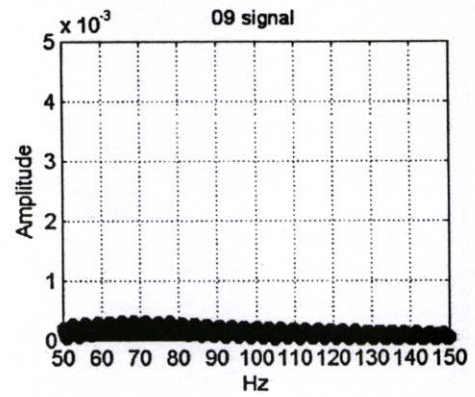


Fig. 10.1

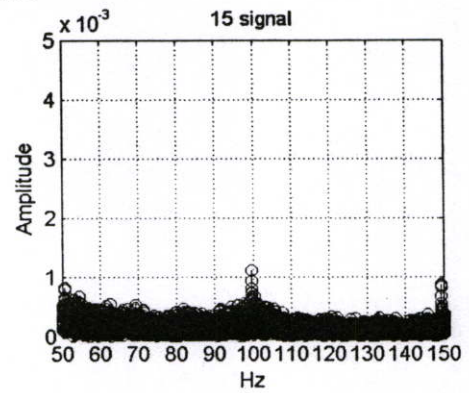


Fig. 10.2

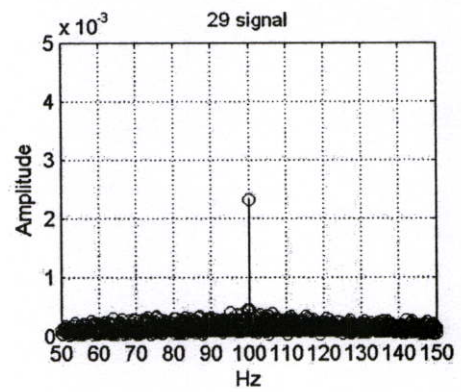


Fig. 10.3

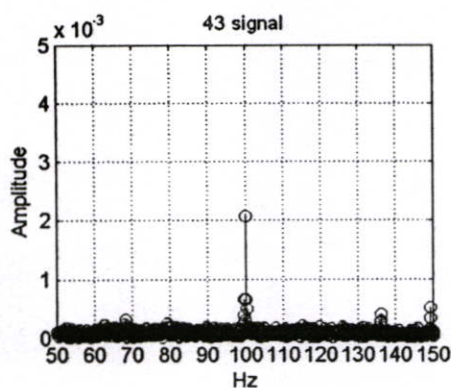


Fig. 10.4

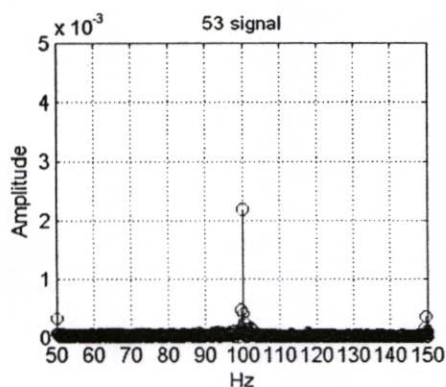


Fig. 10.5

Fig. 10. Examples of the 5 detected field signals as shown in frequency domain.

In Fig. 10, the 5 samples of spectrum in frequency domain of detected field signals from sound recorded database are shown. After comparing the spectrum with the corona master signal and assessing the main harmonic, we obtained the spectrum of Fig. 10 can be classify in two categories. The detected field signal *as not of corona phenomena* is shown in Fig. 10.1 and 10.2, while the detected field signal *as a result of corona phenomena* is shown in Fig. 10.3 to 10.5.

VI. CONCLUSION


By employing the spectrum synthesis and analysis method by comparing the detected field signals of nearly 150 samples collected at 30 different substations with the master corona spectrum, it is possible to identify corona without consulting with any expert or

specialist. When the main harmonic of any detected sound signal is present at 100 Hz, we know that it is corona. In practice, it will be better if we can locate where corona takes place in the substation so that we can suppress it from reaching its critical point before breaking down finally. This method is useful for management of our preventive maintenance plan, protection and improvement of the system stabilization and customer safety.

REFERENCE

- [1] Mark Lautenschlager, "High Voltage Maintenance", NETA World
- [2] UE Systems Inc., Ultraprobe™ 2000 User Manual, New York, USA
- [3] UE Systems Inc., Technology Overview: Ultrasonic Detection, New York, USA
- [4] UE Systems Inc., UE-UWC-2000 Ultrasonic Waveform Concentrator Instruction, New York, USA
- [5] EPRI "Transmission Line Reference Book 345 kV and Above 2nd Edition Revised", Paolo Alto, California, 1987

ประวัติผู้เขียน

| | | |
|----------------------|--|---|
| ชื่อ-นามสกุล | นายรณกร มโนเสงี่ยม |  |
| วันเดือนปีเกิด | 21 พฤษภาคม 2517 ที่กรุงเทพมหานคร | |
| สถานภาพสมรส | สมรสแล้ว กับนางนันทิยา มโนเสงี่ยม | |
| ประวัติการศึกษา | พ.ศ. 2534 สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) แผนกช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ พ.ศ. 2538 สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) แผนกช่างไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตเทคนิค กรุงเทพ พ.ศ. 2541 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต (อส.บ) จากภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม สาขาเทคโนโลยีโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง | |
| ที่อยู่ปัจจุบัน | เลขที่ 77/189 หมู่ 5 ซ.นวมินทร์ 75 ถ.นวมินทร์ คลองกุ่ม บึงกุ่ม กรุงเทพมหานคร | |
| ตำแหน่งงานปัจจุบัน | วิศวกร ระดับ 5 ประจำฝ่ายบำรุงรักษา สายงานธุรกิจก่อสร้างและบำรุงรักษา การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค | |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน | ฝ่ายบำรุงรักษา อาคาร 3 ชั้น 2 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สำนักงานใหญ่ ถ.งามวงศ์วาน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพมหานคร | |
| ติดต่อ | ทำงาน โทรศัพท์ 0-2590-5452 โทรสาร 0-2590-5132 E-Mail: ronnakorn.ma@pea.co.th | |