

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การจำแนกรูปแบบดีสชาร์จบางส่วนโดยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม  
จากการวัดด้วยวิธีดั้งเดิมและการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF

PARTIAL DISCHARGE CLASSIFICATION USING NEURAL NETWORK  
TECHNIQUE OBTAINED FROM A CONVENTIONAL AND  
UHF MEASUREMENT



T123098

เพทย นิมสนอง  
PHETHAI NIMSANONG

กท.  
พท/37  
2555

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 123098  
วัน,เดือน,ปี...1.8.ค.อ. 2555

b. 122/ค.อ.ค.  
i. ....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2555

KMITL-2012-EN-M-020-052

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำแนกรูปแบบดีสชาร์จบางส่วนโดยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม  
จากการวัดด้วยวิธีดั้งเดิมและการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF

PARTIAL DISCHARGE CLASSIFICATION USING NEURAL NETWORK  
TECHNIQUE OBTAINED FROM A CONVENTIONAL AND  
UHF MEASUREMENT



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2555

KMITL-2012-EN-M-020-052

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PARTIAL DISCHARGE CLASSIFICATION USING NEURAL NETWORK  
TECHNIQUE OBTAINED FROM A CONVENTIONAL AND  
UHF MEASUREMENT**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2012  
KMITL-2012-EN-M-020-052**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2012**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การจำแนกรูปแบบดีสชาร์จบางส่วนโดยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมจากการวัดด้วยวิธีดั้งเดิมและการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF

Thesis Title Partital Discharge Classification Using Neural Network Technique Obtained from a Conventional and UHF Measurement

นักศึกษา นายเพทาย นิมสนอง

รหัสประจำตัว 50060219

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย

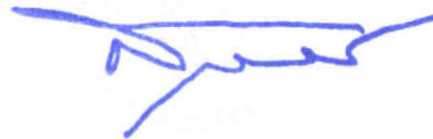
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2012-EN-M-020-052

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ศิริวัฒน์	โพธิเวชกุล	
ผศ.ดร.เชาว์	ชมภูอินท	
ผศ.ดร.ศุภกิตต์	โชติโก	
ผศ.ดร.สุรินทร์	คำฝอย	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 26 ตุลาคม 2552 เวลา 11.00-13.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 2 ห้องประชุม 6

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.สุชชีวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำแนกรูปแบบดีสซาร์จบางส่วนโดยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมจากการวัดด้วยวิธีดั้งเดิมและการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF
นักศึกษา	นายเพทาย นิมสนอง
รหัสประจำตัว	50060219
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2555
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการวัดสัญญาณดีสซาร์จบางส่วนด้วยวิธีดั้งเดิมตาม IEC 60270 และวิธีการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF สัญญาณดีสซาร์จบางส่วนถูกนำไปหาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ และสร้างโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมรู้จำรูปแบบของการเกิดดีสซาร์จบางส่วน 4 ประเภทที่จำลองขึ้นได้แก่ โครโนาด้านแรงดันสูง, โครโนาด้านกราวด์, ดีสซาร์จตามผิว และดีสซาร์จภายใน โมเดลโครงข่ายประสาทเทียมที่ศึกษาในงานวิจัยนี้มี 4 โมเดลได้แก่ multilayer perceptron neural networks (MLP), probabilistic neural networks (PNN), principal component multilayer perceptron neural networks (PCA-MLP), principal component probabilistic neural network (PCA-PNN) เมื่อนำข้อมูลสัญญาณดีสซาร์จบางส่วนที่ได้จากเครื่องตรวจวัด PD แต่ละรูปแบบ มาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ แล้วทำการแบ่งตัวแปรเป็น 2 กลุ่ม คือแบ่งเป็นข้อมูลในการเรียนรู้และข้อมูลสำหรับการทดสอบโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม โมเดลที่ออกแบบทั้ง 4 โมเดลมีความถูกต้องในการจำแนกประเภทของ PD

<b>Thesis Title</b>	Partial Discharge Classification Using Neural Network Technique obtained from a Conventional and UHF Measurement
<b>Student</b>	Mr.Phethai Nimsanong
<b>Student ID.</b>	50060219
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Electrical Engineering
<b>Year</b>	2012
<b>Thesis Advisor</b>	Asst.Prof.Dr. Surin Khomfoi

## ABSTRACT

This thesis represents the partial discharge (PD) signals measurement from both conventional (IEC 60270) and non conventional (UHF measurement) methods. The unique feature extraction of measured PD signals was analyzed with a statistical technique before inputting in created PD classification models. In this work, multilayer perceptron neural networks (MLP), principal component multilayer perceptron neural networks (PCA-MLP), probabilistic neural network (PNN), principal component probabilistic neural network (PCA-PNN) was designed for PD classification. The PD discharge patterns were divided into four categories listed as corona at high voltage side in air, corona at low voltage side in air, surface discharge and internal discharge. All created models were tested PD data. It was found that they have a good performance to classify PD patterns.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.สุรินทร์ คำฝอย อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้ความรู้ทางด้านการวิเคราะห์ข้อมูลและการสร้างโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม แก่ผู้วิจัย ขอขอบคุณพระคุณ ผศ. นรเศรษฐ พัฒนเดช ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา แนวคิด และ ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานโครงการวิจัยนี้ ขอขอบคุณกรรมการตรวจสอบ วิทยานิพนธ์ทุกท่าน ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ ในการใช้ห้องทดสอบและเครื่องมือวัดต่างๆ ในการทดลอง

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการจนเสร็จสิ้นได้ด้วยกำลังใจจากบุคคลรอบข้าง ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความรักและความห่วงใย ขอขอบคุณรุ่นพี่และเพื่อนนักศึกษาปริญญาโท รุ่นน้องนักศึกษาปริญญาตรีในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงทุกท่านสำหรับความช่วยเหลือในการทำ วิทยานิพนธ์ ท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านที่เป็นกำลังใจตลอดมา

เพทาย นิมสนอง

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VIII
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา .....	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย .....	1
1.4 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ของการศึกษา.....	2
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	2
1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ .....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 พฤติกรรมพื้นฐานของ PD .....	4
2.1.1 การสร้างอิเล็กทรอนิกส์เริ่มต้น .....	4
2.2.2 การเกิดอะวาลานซ์ของประจุและปรากฏการณ์ดีสชาร์จ.....	5
2.1.3 การประจุสะสม.....	7
2.2 ประเภทของ PD.....	7
2.3 หลักการพื้นฐานของการตรวจวัด PD .....	8
2.3.1 การตรวจวัดสัญญาณ PD ด้วยวิธีดั้งเดิม .....	8
2.3.2 การตรวจวัดสัญญาณ PD ด้วยวิธี UHF .....	9
2.3.3 การตรวจวัดสัญญาณ PD ด้วยวิธี Acoustic.....	9
2.3.4 การตรวจวัดสัญญาณ PD ด้วยวิธี Optical .....	10
2.3.5 การตรวจวัดสัญญาณ PD ด้วยวิธี Chemical .....	10
2.4 ตัวดำเนินการทางสถิติ.....	11
2.5 การลดจำนวนตัวแปรโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก.....	13
2.6 โมเดลนิรอรอลเน็ตเวิร์ค .....	16
2.6.1 พื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม .....	16
2.6.2 การคำนวณภายในโครงข่ายประสาท.....	20
2.6.3 นีรอนเพอร์เซพตรอน.....	21
2.6.4 รูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียมแบบต่าง ๆ.....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.6.5 โมเดล multilayer perceptron neural networks .....	24
2.6.6 โมเดล Probabilistic Neural Networks .....	24
2.6.7 การแบ่งข้อมูลในการเรียนรู้และการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม .....	25
บทที่ 3 การทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง .....	26
3.1 แบบจำลอง PD .....	26
3.1.1 แบบจำลองโคโรนาดีสชาร์จ .....	26
3.1.2 แบบจำลองดีสชาร์จตามผิว .....	27
3.1.3 แบบจำลองดีสชาร์จภายใน .....	27
3.2 การเก็บตัวอย่างสัญญาณ PD โดยใช้การตรวจวัดด้วยวิธีดั้งเดิม .....	28
3.2.1 การเก็บตัวอย่างสัญญาณ PD ประเภทโคโรนาดีสชาร์จ .....	30
3.2.2 การเก็บตัวอย่างสัญญาณ PD ประเภทดีสชาร์จตามผิว .....	33
3.2.3 การเก็บตัวอย่างสัญญาณ PD ประเภทดีสชาร์จภายใน .....	35
3.3 การเก็บตัวอย่างสัญญาณ PD โดยใช้การวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF .....	37
3.3.1 การเก็บตัวอย่างสัญญาณ PD ประเภทโคโรนาดีสชาร์จ .....	40
3.3.2 การเก็บตัวอย่างสัญญาณ PD ประเภทดีสชาร์จตามผิว .....	42
3.3.3 การเก็บตัวอย่างสัญญาณ PD ประเภทดีสชาร์จภายใน .....	43
บทที่ 4 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ .....	44
4.1 การหาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของสัญญาณ PD ที่ได้จากวิธีดั้งเดิม .....	44
4.1.1 ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น .....	45
4.1.2 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสชาร์จด้านแรงดันสูง .....	48
4.1.3 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสชาร์จด้านกราวนด์ .....	49
4.1.4 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสชาร์จตามผิว .....	50
4.1.5 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสชาร์จภายใน .....	51
4.2 การหาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของสัญญาณ PD ที่ได้จากการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF .....	52
4.2.1 ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น .....	53
4.2.2 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสชาร์จด้านแรงดันสูง .....	55
4.2.3 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสชาร์จด้านกราวนด์ .....	56
4.2.4 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสชาร์จตามผิว .....	57
4.2.5 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสชาร์จภายใน .....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 การสร้างโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม .....	59
5.1 การแบ่งข้อมูล .....	59
5.2 การ Standardizes ข้อมูล.....	65
5.3 การใช้เทคนิคการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก ลดจำนวนตัวแปรเดิม .....	67
5.3.1 การใช้เทคนิค PCA ลดจำนวนตัวแปรตั้งต้นในกรณีวิธีดั้งเดิม.....	68
5.3.2 การใช้เทคนิค PCA ลดจำนวนตัวแปรตั้งต้นในกรณีวิธี UHF.....	71
5.4 การสร้างโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม.....	74
5.4.1 การสร้างโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมกรณีจัดจำรูปแบบ PD ที่ได้จากการวัดด้วยวิธีดั้งเดิม .....	74
5.4.2 การสร้างโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมกรณีจัดจำรูปแบบ PD ที่ได้จากการวัดด้วยวิธี UHF.....	79
5.5 การทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้น.....	83
บทที่ 6 บทสรุป .....	90
6.1 สรุปผล .....	90
6.2 แนวทางการพัฒนาในอนาคต.....	91
บรรณานุกรม .....	92
ภาคผนวก .....	95
ภาคผนวก ก. โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น.....	95
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ .....	112
ประวัติผู้เขียน .....	123

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 รูปแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบต่าง ๆ.....	23
4-1 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสซาร์จทางด้านแรงดันสูงจาก 20 การทดลอง.....	48
4-2 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสซาร์จทางด้านกราวด์จาก 20 การทดลอง.....	49
4-3 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสซาร์จตามผิวจาก 20 การทดลอง.....	50
4-4 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสซาร์จภายใน จาก 20 การทดลอง.....	51
4-5 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสซาร์จทางด้านแรงดันสูงจาก 20 การทดลอง.....	55
4-6 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสซาร์จทางด้านกราวด์จาก 20 การทดลอง.....	56
4-7 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสซาร์จตามผิวจาก 20 การทดลอง.....	57
4-8 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสซาร์จภายในจาก 20 การทดลอง.....	58
5-1 เมตริกซ์ตั้งต้น $X_{IEC}$ ขนาด 80 แถว 11 หลัก กรณีวิธีดั้งเดิม.....	61
5-2 เมตริกซ์ ใช้ในการเรียนรู้กรณีวิธีดั้งเดิม.....	62
5-3 เมตริกซ์ ใช้ในการทดสอบโมเดลกรณีวิธีดั้งเดิม.....	62
5-4 เมตริกซ์ตั้งต้น $X_{UHF}$ ขนาด 80 แถว 12 หลัก กรณีวิธี UHF.....	63
5-5 เมตริกซ์ ใช้ในการเรียนรู้กรณีวิธี UHF.....	64
5-6 เมตริกซ์ ใช้ในการทดสอบโมเดลกรณีวิธี UHF.....	64
5-7 เมตริกซ์ $X_{IEC\_Train\_Zscore}$ .....	65
5-8 เมตริกซ์ $X_{UHF\_Train\_Zscore}$ .....	66
5-9 เมตริกซ์ loading กรณีวิธีดั้งเดิม.....	68
5-10 เมตริกซ์ $Score_{IEC\_train}$ .....	69
5-11 loading matrix กรณีวิธี UHF.....	71
5-12 เมตริกซ์ $Score_{UHF\_train}$ .....	72
5-13 โครงสร้างโมเดลนิเวรอลเน็ตเวิร์ค MLP, PCA-MLP, PNN, PCA-PNN กรณีวิธีดั้งเดิม.....	75
5-14 ผลการสอนและการทดสอบโมเดล MLP และ PCA-MLP กรณีวิธีดั้งเดิม.....	75
5-15 ผลการทดสอบโมเดล MLP กรณีวิธีดั้งเดิม.....	76
5-16 ผลการทดสอบโมเดล PCA-MLP กรณีวิธีดั้งเดิม.....	76
5-17 ผลการทดสอบโมเดล PNN กรณีวิธีดั้งเดิม.....	78
5-18 ผลการทดสอบโมเดล PCA-PNN กรณีวิธีดั้งเดิม.....	78
5-19 โครงสร้างโมเดลนิเวรอลเน็ตเวิร์ค MLP, PCA-MLP, PNN, PCA-PNN กรณีวิธี UHF.....	79
5-20 ผลการสอนและการทดสอบโมเดล MLP และ PCA-MLP กรณีวิธี UHF.....	79
5-21 ผลการทดสอบโมเดล MLP กรณีวิธี UHF.....	80
5-22 ผลการทดสอบโมเดล PCA-MLP กรณีวิธี UHF.....	80
5-23 ผลการทดสอบโมเดล PNN กรณีวิธี UHF.....	82
5-24 ผลการทดสอบโมเดล PCA-PNN กรณีวิธี UHF.....	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การกระจายประจุและการกระจายสนามไฟฟ้า .....	5
2.2 ความบกพร่องภายในเนื้อฉนวน .....	5
2.3 กลไกการเบรกดาวน .....	6
2.4 เวลาหน่วงของการเกิดเบรกดาวน .....	6
2.5 การสะสมประจุ .....	7
2.6 รูปแบบของ PD .....	8
2.7 เทคนิคที่ใช้ในการตรวจวัดสัญญาณ PD .....	8
2.8 วงจรการตรวจจับ PD ด้วยวิธีดั้งเดิม .....	9
2.9 การตรวจจับ PD ด้วยวิธี UHF .....	9
2.10 การตรวจจับ PD ด้วยวิธี Acoustic .....	10
2.11 การตรวจจับ PD ด้วยวิธี Optical .....	11
2.12 ตัวอย่างของรูปแบบการกระจายทางสถิติ .....	12
2.13 กราฟ Scree Plot .....	15
2.14 พื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม .....	16
2.15 องค์ประกอบของนิวรอน (Neuron) .....	17
2.16 ลักษณะของ Threshold Activation Function .....	18
2.17 ลักษณะของ Linear Activation Function .....	18
2.18 ลักษณะของ Logistic Sigmoid Function .....	19
2.19 ลักษณะของ Hyperbolic Tangent Sigmoid Function .....	19
2.20 ลักษณะของ Gaussian Activation Function .....	20
2.21 การออกแบบเพอร์เซพตรอน .....	21
2.22 แสดงการเรียนรู้แบบมีการสอน .....	22
2.23 แสดงการเรียนรู้แบบไม่มีการสอน .....	22
2.24 โครงสร้างของ Multi Layer Feedforward Networks .....	24
2.25 โครงสร้าง Probabilistic Neural Network .....	25
3.1 โมเดลจำลองโคโรนาดีสชาร์จ .....	26
3.2 โมเดลจำลองดีสชาร์จตามผิว .....	27
3.3 โมเดลจำลองดีสชาร์จภายใน .....	27
3.4 ไดอะแกรมการตรวจวัดดีสชาร์จบางส่วน .....	28
3.5 วงจรการทดลอง .....	29
3.6 แรงดัน – เวลาในการทดลอง .....	29
3.7 วงจรวัดสัญญาณ PD ประเภทโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงดันสูง .....	30
3.8 ตัวอย่างผลการทดลองโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงดันสูง .....	31
3.9 ตัวอย่างผลการทดลองโคโรนาดีสชาร์จทางด้านกราวนด์ .....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 วงจรวัดสัญญาณ PD ประเภทดีสชาร์จตามผิว.....	33
3.11 ตัวอย่างผลการทดลองดีสชาร์จตามผิว.....	34
3.12 วงจรวัดสัญญาณ PD ประเภทดีสชาร์จตามผิว.....	35
3.13 ตัวอย่างผลการทดลองดีสชาร์จภายใน.....	36
3.14 ไตอะแกรมการตรวจวัดสัญญาณดีสชาร์จบางส่วน.....	37
3.15 วงจรการทดลองวัดสัญญาณ PD.....	38
3.16 วงจรการทดลองวัดสัญญาณรบกวนในห้องทดลอง.....	39
3.17 สัญญาณรบกวนที่พิกัดระดับแรงดัน 15 kV.....	39
3.18 วงจรวัดสัญญาณ PD ประเภทโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงดันสูง.....	40
3.19 ตัวอย่างสัญญาณโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงดันสูง.....	40
3.20 วงจรวัดสัญญาณ PD ประเภทโคโรนาดีสชาร์จทางด้านกราวนด์.....	41
3.21 ตัวอย่างสัญญาณโคโรนาดีสชาร์จทางด้านกราวนด์.....	41
3.22 วงจรวัดสัญญาณ PD ประเภทดีสชาร์จตามผิว.....	42
3.23 ตัวอย่างสัญญาณดีสชาร์จตามผิว.....	42
3.24 วงจรวัดสัญญาณ PD ประเภทดีสชาร์จภายใน.....	43
3.25 ตัวอย่างสัญญาณดีสชาร์จภายใน.....	43
4.1 แผนผังโปรแกรมหาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ.....	44
4.2 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้ ซอฟต์แวร์ mtronix MPD600.....	45
4.3 ตัวอย่างการ run โปรแกรม Feature_Extraction_IEC.m.....	46
4.4 ตัวอย่างผลการ run โปรแกรม Feature_Extraction_IEC.m.....	47
4.5 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงดันสูง.....	48
4.6 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสชาร์จทางด้านกราวนด์.....	49
4.7 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสชาร์จตามผิว.....	50
4.8 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสชาร์จภายใน.....	51
4.9 แผนผังโปรแกรมหาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ.....	52
4.10 ตัวอย่างการ run โปรแกรม Feature_Extraction_UHF.m.....	54
4.11 ตัวอย่างผลการ run โปรแกรม Feature_Extraction_UHF.m.....	54
4.12 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงดันสูง.....	55
4.13 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสชาร์จทางด้านกราวนด์.....	56
4.14 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสชาร์จตามผิว.....	57
4.15 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสชาร์จภายใน.....	58
5.2 โครงสร้างพื้นฐานของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมร่วมกับเทคนิค PCA.....	67
5.3 กราฟ Scree Plot กรณีวิธีดั้งเดิม.....	68
5.4 ผลบวกสะสมของเปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนกรณีวิธีดั้งเดิม.....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ให้คนอื่นได้ใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.5 Loading และ Score ของ PC#1 วิธีดั้งเดิม.....	69
5.6 Loading และ Score ของ PC#2 วิธีดั้งเดิม.....	69
5.7 Loading และ Score ของ PC#3 วิธีดั้งเดิม.....	69
5.8 Score Plot วิธีดั้งเดิม.....	70
5.9 กราฟ Scree Plot กรณีวิธี UHF.....	71
5.10 ผลบวกสะสมของเปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนกรณีวิธี UHF.....	71
5.11 Loading และ Score ของ PC#1 กรณีวิธี UHF.....	72
5.12 Loading และ Score ของ PC#2 กรณีวิธี UHF.....	72
5.13 Loading และ Score ของ PC#3 กรณีวิธี UHF.....	72
5.14 Score Plot กรณีวิธี UHF.....	73
5.15 ตัวอย่างผลการสอนโมเดล MLP และ PCA-MLP.....	75
5.16 เวกเตอร์การสอนโมเดล PCA-PNN กรณี 3 โหนดอินพุท.....	77
5.17 เวกเตอร์การสอนโมเดล PCA-PNN กรณี 3 โหนดอินพุท กรณีวิธี UHF.....	81
5.18 วงจรการทดลองกรณีอิเล็กโตรด rod – rod.....	83
5.19 ผลการทดลองกรณีอิเล็กโตรด rod – rod.....	83
5.20 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติกรณีอิเล็กโตรด rod – rod.....	84
5.21 กราฟการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติกรณีอิเล็กโตรด rod – rod.....	84
5.22 วงจรการทดลองกรณีอิเล็กโตรด rod – sphere.....	86
5.23 ผลการทดลองกรณีอิเล็กโตรด rod – sphere.....	86
5.24 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติกรณีอิเล็กโตรด rod – sphere.....	87
5.25 กราฟการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติกรณีอิเล็กโตรด rod – sphere.....	87

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงที่ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังนั้น ส่วนประกอบของที่สำคัญอย่างหนึ่งคือฉนวน ถ้าหากฉนวนมีความบกพร่องซึ่งอาจจะเกิดจากกระบวนการผลิตหรือติดตั้งใช้งานอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีมลภาวะต่างๆ หรือได้รับแรงดันเกิน ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของฉนวน[1] สิ่งเหล่านี้เป็นต้นเหตุให้อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงที่ใช้งานเกิดดิสชาร์จบางส่วน (Partial discharge: PD) ขึ้น ทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์นั้นสั้นลง ซึ่งเป็นต้นเหตุของความล้มเหลวของอุปกรณ์ ทำให้ระบบไฟฟ้าขัดข้องและความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟาลดลง ดังนั้นอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจึงจำเป็นต้องมีการทดสอบหวัข้อการวัดค่าดิสชาร์จบางส่วน ซึ่งเป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย เพื่อประเมินสภาพฉนวนก่อนนำไปใช้งานว่าค่า PD อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับหรือไม่ การทดสอบมีทั้งวิธีดั้งเดิมตาม IEC 60270 [2] และการทดสอบด้วยวิธีไม่ดั้งเดิมได้แก่ วิธีทางแสง (optical) วิธีทางไฟฟ้า (HF/VHF/UHF) วิธีทางกล (acoustic) และวิธีทางเคมี (DGA) ซึ่งแต่ละวิธีมีความเหมาะสมและข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน [3] การเกิด PD ในระบบฉนวนสามารถเกิดขึ้นได้หลายกรณี ดังนั้นผู้ทดสอบมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาและแยกแยะหาคุณลักษณะของ PD เพื่อใช้ในการระบุว่าเป็นประเภทใด ข้อมูลดังกล่าวมีความสำคัญต่อผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง, ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงและผู้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ในอดีตนั้นการเรียนรู้และจดจำรูปแบบของการเกิด PD กระทำโดยการใช้สายตาสังเกตที่สัญญาณวงรีบนจอของออสซิลโลสโคปและนำไปแปลความหมายซึ่งการแปลความหมายจะอาศัยประสบการณ์ของผู้ทดสอบ ดังนั้นเพื่อให้ง่ายในการวิเคราะห์ประเภทของ PD งานวิจัยนี้จึงพัฒนาการหาค่าทางสถิติและสร้างโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมวิเคราะห์และจดจำรูปแบบของการเกิด PD ซึ่งประยุกต์ใช้กับการวัด PD ด้วยวิธีดั้งเดิมและการวัด PD ด้วยการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF ของอุปกรณ์ที่จำลองขึ้น เพื่อช่วยในการระบุประเภทของ PD

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาวิจัยโดยประยุกต์ใช้วิธีการทางสถิติเพื่อใช้ในการแยกแยะลักษณะรูปแบบการเกิด PD จากการวัดด้วยวิธีดั้งเดิมและการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF โดยพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ค่าทางสถิติและโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมรู้จำรูปแบบของการเกิด PD ทำให้เกิดความสะดวกต่อผู้ทดสอบ สามารถวิเคราะห์จำแนกประเภทของ PD และบอกถึงสาเหตุของความบกพร่องที่เกิดขึ้นในระบบฉนวนได้

### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้เทคนิคการวัดสัญญาณ PD ด้วยวิธีการตรวจวัดสัญญาณทางไฟฟ้าแบบดั้งเดิม ตามมาตรฐาน IEC 60270 (2000) และวิธีการตรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF โดยพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ค่าทางสถิติและโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมรู้จำรูปแบบของการเกิด PD 4 ประเภทได้แก่ โครนาด้านแรงดันสูง, โครนาด้านกราวนด์, ดิสชาร์จตามผิวและดิสชาร์จภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1 ค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากวารสารทางวิชาการ เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการทำวิจัย
- 2 ศึกษาเทคนิคการวัด PD ด้วยวิธีดั้งเดิมและการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF และจัดเตรียมวงจรการทดลอง
- 3 จำลองรูปแบบความบกพร่องแบบต่างๆ และทดลองวัด PD ด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF บันทึกผลการทดลอง
- 4 พัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของสัญญาณ PD
- 5 สร้างโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้จัดจำรูปแบบของการเกิด PD
- 6 จัดทำวิทยานิพนธ์

## 1.5 ประโยชน์ของการศึกษา

- 1 สามารถวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติจากสัญญาณ PD ที่วัดได้
- 2 จำแนกประเภท PD ของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ที่ทดสอบด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF โดยใช้โมเดลโครงข่ายประสาทเทียมได้

## 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kreuger และ Gulski (1988) ได้ศึกษาการตรวจวัด PD ในระบบฉนวน โดยใช้ระบบ digital computer สามารถวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของ PD และบอกพฤติกรรมที่แตกต่างของ PD ได้ ในปี 1992 [4] ได้พัฒนาการเรียนรู้จำและการจำแนกประเภทของ PD จากแหล่งกำเนิดที่ต่างกัน โดยสร้าง fingerprint เพื่อเปรียบเทียบและช่วยในการจำแนกประเภท PD ที่เกิดขึ้น และต่อมาได้พัฒนาการเรียนรู้จำรูปแบบ PD ที่ไม่ทราบสาเหตุการเกิดมาก่อน โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติที่ได้วิเคราะห์จากเครื่องตรวจวัด PD และจำแนกรูปแบบการเกิด PD โดยใช้วิธี contour score procedure และใช้ neural network มาช่วยในการจัดจำรูปแบบ PD [5]

เกวริน วิเศษจินดาวัฒน์ และคณะ (2544) [6] ได้นำเสนอโปรแกรมวิเคราะห์ดิสชาร์จบางส่วนเรียนรู้และจัดจำรูปแบบของการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง โดยหาค่าทางสถิติจากความสัมพันธ์ของ  $\phi - q - n$  เมื่อ  $\phi$  คือมุมเฟสของแรงดัน,  $q$  คือขนาดประจุ,  $n$  คือจำนวนครั้งการเกิด PD ซ้ำ ที่ได้จากเครื่องตรวจวัด PD ซึ่งมีตัวแปรวิเคราะห์ทั้งหมด 11 ตัวและใช้วิธีแฟร็กทัลจะได้ตัวแปรทั้งหมด 13 ตัว และใช้โมเดลโครงข่ายประสาทเทียมร่วมกับเจนนเน็ตกอัลกอริทึม เพื่อรู้จำรูปแบบของการเกิด PD ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ได้ 3 ประเภทคือ โครนาตีสชาร์จ, ดิสชาร์จภายใน และดิสชาร์จสตามผิว

ดร.วุฒิชัย ขาติพัฒนานันท์ และคณะ (2549) [7-13] ได้นำเสนอวิธีการทางสถิติหลายวิธีมาช่วยในการจำแนกกลุ่ม PD คือ การจำแนกกลุ่มโดยใช้ Cluster Analysis, Quick Unbiased and Efficient Statistical Tree: QUEST, การวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก (Principal Component Analysis :PCA) และการจำแนกกลุ่ม (Linear Discriminant Analysis), Chi-squared Automatic Interaction Detector (CHAID), Classification and Regression Tree, K-Means ซึ่งจะสามารถจำแนกกลุ่มการเกิด PD ได้โดยใช้ข้อมูลทางสถิติที่ได้จากข้อมูลคุณลักษณะของ PD แต่ยังไม่สามารถพัฒนาในส่วนการเรียนรู้จำรูปแบบการเกิด PD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รัชกร ปานทอง และคณะ (2550) [14] ได้นำเสนอเทคนิคทางสถิติ Kolmogorov-Smirnov One-Sample Test มาวิเคราะห์รูปแบบการเกิด PD และหาคุณลักษณะเฉพาะของรูปแบบการเกิด PD เสมือนเป็นลายนิ้วมือ (fingerprint) และวิเคราะห์สาเหตุการเกิด PD จากผลต่างของรูปแบบลายนิ้วมือ ซึ่งใช้รูปแบบรูปเสมือนลายนิ้วมือทั้งหมด 15 รูปแบบหรือตัวแปร 15 ตัว มาใช้ในการวิเคราะห์จำแนกประเภทของการเกิดดีสชาร์จบางส่วน

งานวิจัยที่ผ่านมาแนะนำเสนอการจำแนกรูปแบบการเกิดดีสชาร์จบางส่วนที่ได้จากการวัดด้วยวิธีดั้งเดิม ในปัจจุบันวิธีการตรวจวัดสัญญาณ PD ด้วยการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF มีการวิจัยและพัฒนามากขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้แนะนำการสร้างโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ และจดจำรูปแบบของการเกิดดีสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจากการวัดด้วยวิธีดั้งเดิมและการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF

### 1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันดังนี้

บทที่ 1: บทนำของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 2: กล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับ พฤติกรรมของ PD, การตรวจวัด PD, ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ, การวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก (Principal Component Analysis; PCA) และโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม

บทที่ 3: การจำลองรูปแบบการเกิด PD และการทดลองวัด PD ด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF

บทที่ 4: การหาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ

บทที่ 5: การสร้างโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม

บทที่ 6: บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 พฤติกรรมพื้นฐานของ PD

ดิสชาร์จบางส่วน (Partial discharge: PD) หมายถึงการดิสชาร์จทางไฟฟ้าที่ไม่เชื่อมโยงถึงกันอย่างสมบูรณ์ระหว่างอิเล็กโทรด [15, 16] ซึ่งอาจเกิดขึ้นในฉนวนก๊าซ ฉนวนเหลว หรือฉนวนแข็ง และเมื่อเกิด PD ขึ้นจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ตามมาคือ แสง เสียง กระแสพัลส์ไฟฟ้า กำลังสูญเสียไดอิเล็กตริก คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่สูง ปฏิกริยาเคมี และความร้อน [17, 18]

PD จะเกิดขึ้นได้ต้องมีเงื่อนไขดังนี้

- สนามไฟฟ้า  $E$  ตำแหน่งนั้น (local electric field) มากกว่าค่าความคงทนต่อสนามไฟฟ้าเบรกดาวน์  $E_b$  (breakdown field strength)
- ต้องมีอิเล็กตรอนเริ่มต้น

กลไกทางฟิสิกส์ที่อธิบายการเกิด PD ระหว่างอิเล็กโทรดมีดังนี้ [19, 20]

- การสร้างอิเล็กตรอนเริ่มต้น
- การเกิดอะวาลานซ์ของประจุและปรากฏการณ์ดิสชาร์จ
- ปรากฏการณ์การสะสมประจุเพื่อให้เกิดดิสชาร์จครั้งต่อไป

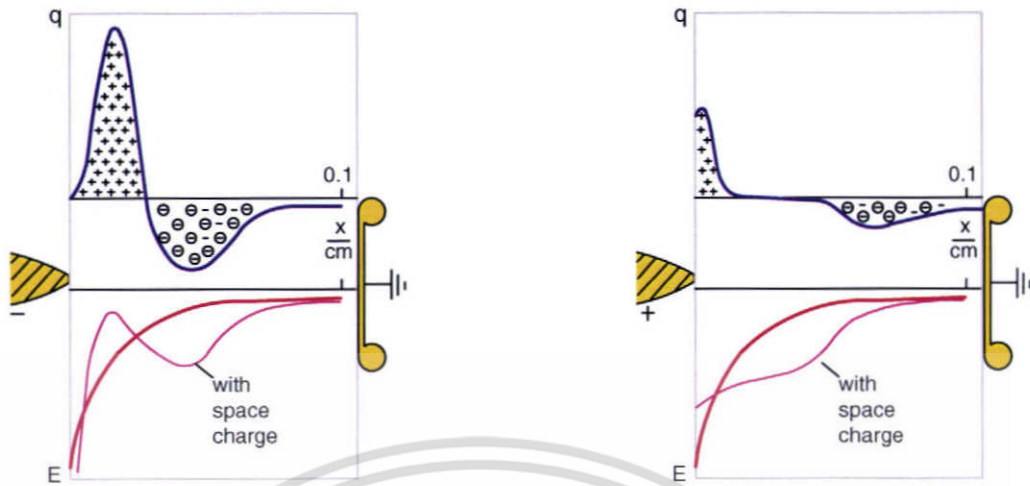
##### 2.1.1 การสร้างอิเล็กตรอนเริ่มต้น

การสร้างอิเล็กตรอนเริ่มต้นขึ้นอยู่กับ:

- ค่าสนามไฟฟ้าสูงสุด  $E_{max}$
- วัสดุของอิเล็กโทรด (นำไฟฟ้าหรือไม่นำไฟฟ้า)
- รูปร่างของอิเล็กโทรด (สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอหรือสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ)
- ผิวของอิเล็กโทรด (มีวัสดุฉนวนห่อหุ้มหรือไม่มีวัสดุฉนวนห่อหุ้ม)
- ความเรียบของผิวอิเล็กโทรด (มีจุดแหลมเล็กๆ)

ตำแหน่งที่อิเล็กตรอนเริ่มต้นเกิดขึ้นได้ง่ายที่สุดคือบริเวณอิเล็กโทรดโลหะปลายแหลมไม่มีวัสดุฉนวนห่อหุ้มแสดงดังรูปที่ 2.1 อิเล็กตรอนเริ่มต้นเกิดจากกระบวนการปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวอิเล็กโทรดเมื่อได้รับความเครียดสนามไฟฟ้าสูงพอ (field-emission) และการดิสชาร์จจะเกิดขึ้นเมื่อความเครียดสนามไฟฟ้าเกินค่าสนามไฟฟ้าวิกฤต

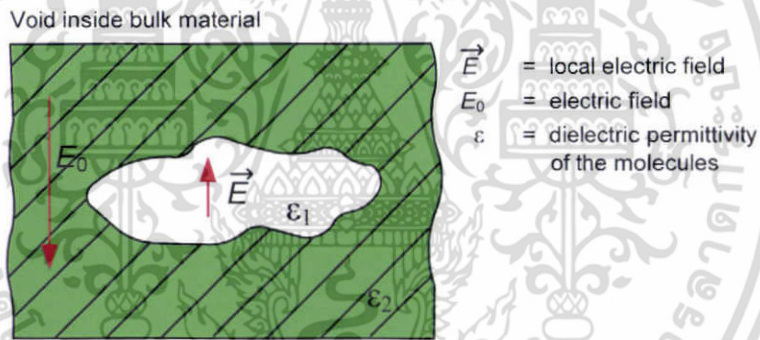
ตำแหน่งที่อิเล็กตรอนเริ่มต้นเกิดขึ้นได้ยากคือโพรงก๊าซภายในเนื้อฉนวน ที่ไม่มีอิเล็กโทรดโลหะแสดงดังรูปที่ 2.2 ในเงื่อนไขนี้อิเล็กตรอนเริ่มต้นเกิดจากการไอออไนเซชัน เนื่องจากอิเล็กตรอนเริ่มต้นมีไม่เพียงพอ จึงทำให้มีเวลาหน่วงก่อนเกิด PD (อาจใช้เวลาหลายนาฬิกา) การดิสชาร์จภายในขึ้นอยู่กับความเครียดสนามไฟฟ้าภายในโพรงก๊าซ และการดิสชาร์จภายในจะเกิดขึ้นเมื่อความเครียดสนามไฟฟ้าภายในโพรงก๊าซ เกินค่าสนามไฟฟ้าวิกฤต



(ก) อิเล็กโตรดปลายแหลมขั้วลบ

(ข) อิเล็กโตรดปลายแหลมขั้วบวก

รูปที่ 2.1 การกระจายประจุและการกระจายสนามไฟฟ้า



รูปที่ 2.2 ความบกพร่องภายในเนื้อฉนวน

2.1.2 การเกิดอะวาลานซ์ของประจุและปรากฏการณ์ตีสชาร์จ

การเกิดอะวาลานซ์ของประจุและกระบวนการตีสชาร์จแสดงดังรูปที่ 2.3 ซึ่งสามารถอธิบายได้ตั้งสมการที่ 2.1

$$n = n_0 e^{\alpha d} \tag{2.1}$$

- เมื่อ  $n$  = จำนวนอิเล็กตรอนที่ระยะ  $d$
- $d$  = ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด
- $n_0$  = จำนวนอิเล็กตรอนเริ่มต้น
- $e^{\alpha d}$  = อะวาลานซ์อิเล็กตรอน

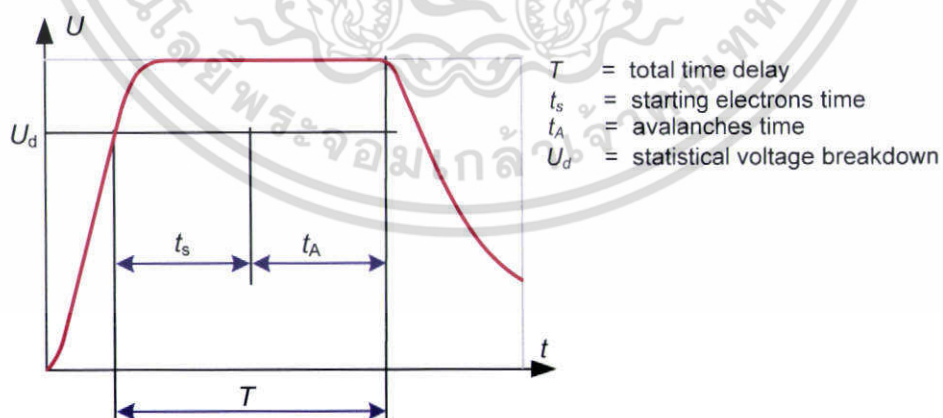
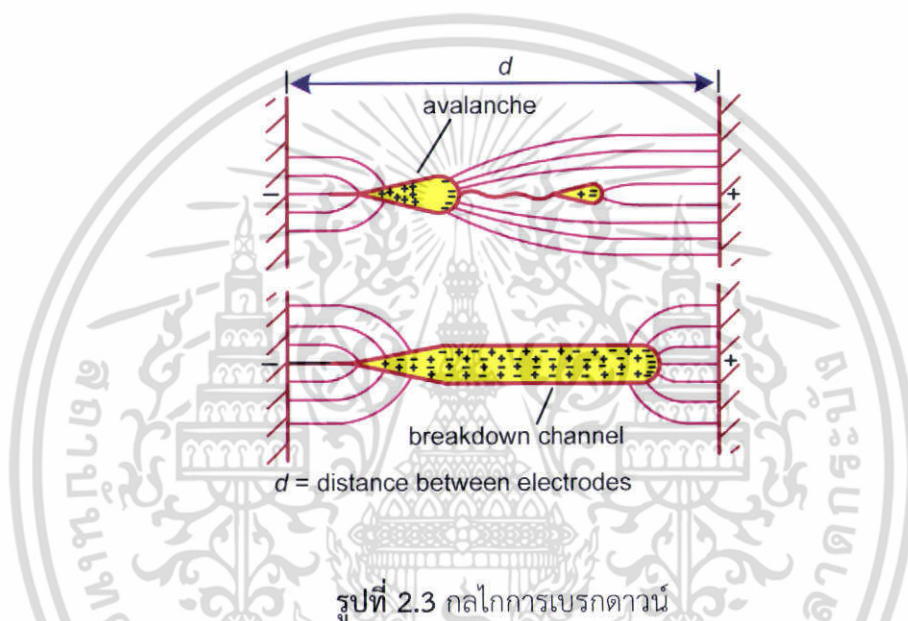
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเบรกดาวนจะเกิดขึ้นเมื่ออะวาลานซ์มีจำนวนอิเล็กตรอนหรือไอออนบวกตามกระบวนการชนไอออนในเซชันดังสมการที่ 2.2

$$e^{\alpha d} \approx 10^7 \quad (2.2)$$

เมื่อ  $\alpha$  = แฟกเตอร์ขึ้นอยู่กับสนามไฟฟ้าและความดันก๊าซ  
 $d$  = ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด

ทั้งสองกระบวนการที่อธิบายข้างต้นจะทำให้เกิดเวลาหน่วงของการเกิดเบรกดาวน (Breakdown delay) แสดงดังรูปที่ 2.4

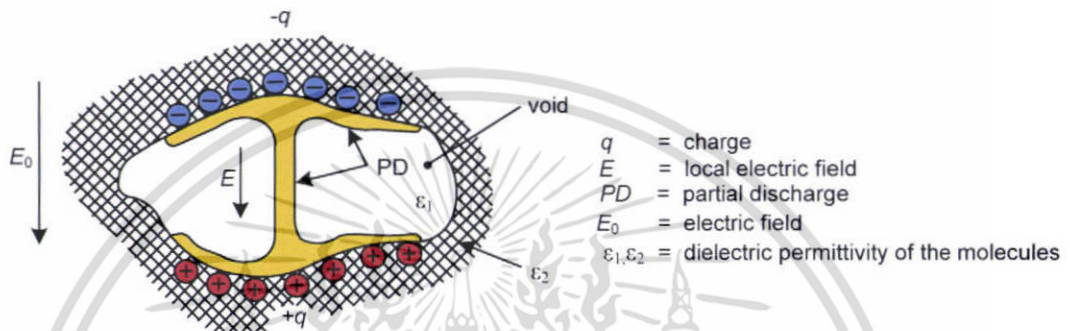


รูปที่ 2.4 เวลาหน่วงของการเกิดเบรกดาวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 การสะสมประจุ

กลไกการสะสมประจุมีความสำคัญในกรณีความบกพร่องประเภทโพรงก๊าซในเนื้อฉนวนแสดงดังรูปที่ 2.5 การสะสมประจุและกลไกการสะสมประจุ มีผลต่อความต่อเนื่องของการเกิดเบรกดาวนภายในโพรงก๊าซ (PD) มีผลต่ออัตราการเกิดจำนวนซ้ำของกระแสพัลส์ PD และรูปแบบของสัญญาณ PD ปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ของกลไกการสะสมประจุสามารถสังเกตได้จากสัญญาณ PD ที่บันทึกในระหว่างการทดสอบเป็นระยะเวลานาน (หลายชั่วโมงที่ค่าแรงดันทดสอบคงที่) อัตราการเกิดจำนวนซ้ำของกระแสพัลส์ PD ที่เพิ่มขึ้น จะบ่งบอกถึงความเสียหายของฉนวนอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2.5 การสะสมประจุ

## 2.2 ประเภทของ PD

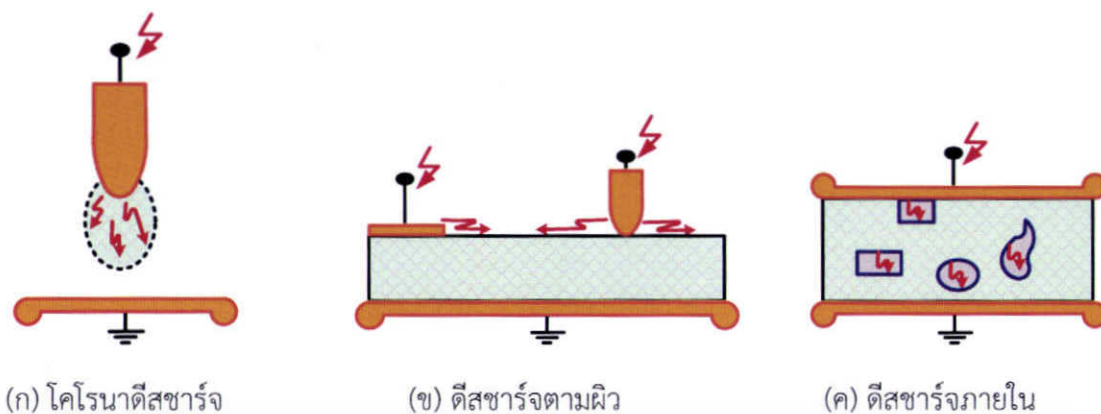
PD โดยทั่วไปอาจแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ 1.โคโรนาดีสชาร์จ 2.ดีสชาร์จตามผิว 3.ดีสชาร์จภายใน [21,22] แสดงดังรูปที่ 2.6

1) โคโรนาดีสชาร์จเกิดขึ้นบริเวณอิเล็กโตรดปลายแหลมหรือขอบคมในก๊าซและในของเหลว โคโรนาดีสชาร์จเมื่อเกิดขึ้นในอากาศและไม่เป็นอันตรายแต่จะทำให้เกิดโอโซนหรือไนโตรทไปทำลายฉนวนบริเวณใกล้เคียง โคโรนาดีสชาร์จเมื่อเกิดขึ้นในฉนวนน้ำมัน อาจเป็นสาเหตุให้ความคงทนต่อแรงดันเบรกดาวนของน้ำมันลดลงเนื่องจากสิ่งปนเปื้อนทำให้เกิดอนุภาคน้ำไฟฟ้า

2) ดีสชาร์จตามผิว เกิดขึ้นเมื่อมีความเครียดสนามไฟฟ้าขนานกับผิวของไดอิเล็กตริกมากกว่าสนามไฟฟ้าเบรกดาวน การเกิด PD ลักษณะนี้เกิดขึ้นกับ บุชชิ่ง จุดต่อสายเคเบิล และบริเวณอิเล็กโตรดสัมผัสฉนวน โดยทั่วไปการดีสชาร์จจะขยายตัวออกไปยังบริเวณผิวที่มีความเครียดสนามไฟฟ้ามากพอที่จะทำให้เกิดการดีสชาร์จตามผิวได้

3) ดีสชาร์จภายในโดยทั่วไปเกิดขึ้นในตัวกลางหรือสิ่งแปลกปลอมภายในเนื้อฉนวนที่มีค่าความคงทนไดอิเล็กตริกต่ำ ปกติแล้วดีสชาร์จภายในจะเกิดในโพรงก๊าซ ดีสชาร์จภายในสามารถเกิดขึ้นได้ในเนื้อฉนวน พลาสติก กลาสเรซิน กระจก น้ำมัน และฉนวนอื่นๆ แรงดันที่เริ่มเกิดดีสชาร์จภายในขึ้นอยู่กับความเครียดสนามไฟฟ้าภายในโพรงก๊าซและความคงทนต่อแรงดันเบรกดาวนของโพรงก๊าซ ซึ่งความเครียดสนามไฟฟ้าในโพรงก๊าซขึ้นอยู่กับแรงดันที่ใช้ รูปทรงของโพรงก๊าซเมื่อเทียบกับทิศทางของสนามไฟฟ้า ความคงทนต่อแรงดันเบรกดาวนของโพรงก๊าซขึ้นอยู่กับมิติของโพรง และความคงทนต่อแรงดันเบรกดาวนถูกควบคุมโดยประเภทของก๊าซและความดันก๊าซภายในโพรงก๊าซ

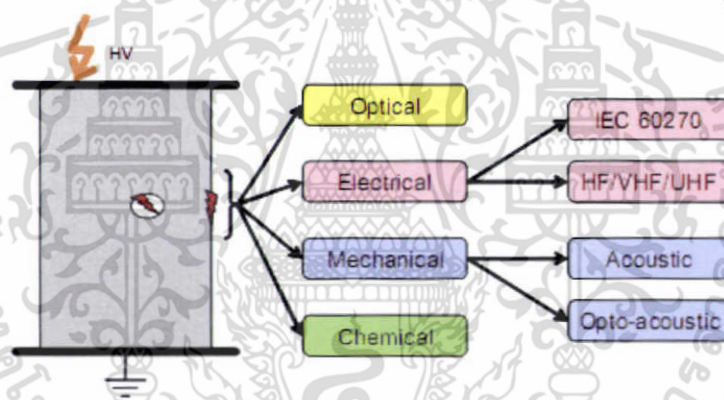
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 รูปแบบของ PD

### 2.3 หลักการพื้นฐานของการตรวจวัด PD

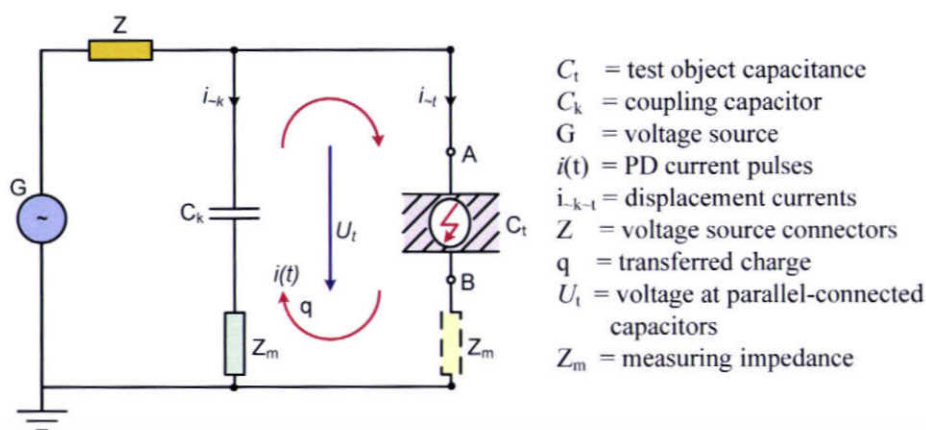
การตรวจวัดสัญญาณ PD จะอาศัยหลักการตรวจวัดปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ แสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เทคนิคที่ใช้ในการตรวจวัดสัญญาณ PD

#### 2.3.1 การตรวจวัดสัญญาณ PD ด้วยวิธีดั้งเดิม

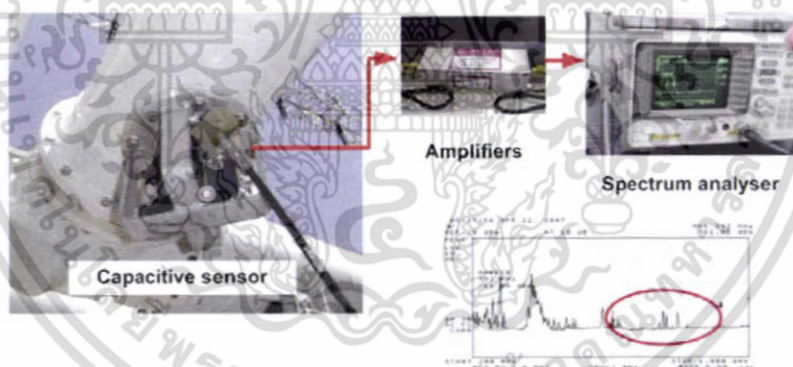
เทคนิคการตรวจวัด PD ด้วยวิธีดั้งเดิม เทคนิคนี้ทำตามข้อแนะนำมาตรฐาน IEC 60270 วงจรแสดงดังรูปที่ 2.8 ประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันสูง, วัสดุทดสอบ Ct, ตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว Ck และ อิมพีแดนซ์วัด  $Z_m$  ในการตรวจวัดจะใช้หลักการตรวจจับกระแสพัลส์ PD ความถี่สูง  $i(t)$  ที่เกิดขึ้นในวัสดุทดสอบและไหลวนระหว่างตัวเก็บประจุคาบเกี่ยวและวัสดุทดสอบโดยตรวจจับผ่านทางอิมพีแดนซ์วัด  $Z_m$  ซึ่งอิมพีแดนซ์วัด  $Z_m$  สามารถต่อได้ทั้งอนุกรมกับตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว Ck หรืออนุกรมกับวัสดุทดสอบ Ct ระบบวัดที่ใช้มีทั้ง wide-band และ narrow-band [23] สัญญาณที่วัดได้คือ ประจุที่ปรากฏ ตำแหน่งมุมเฟสที่เกิด PD และอัตราการเกิด PD ค่า พารามิเตอร์เหล่านี้สามารถนำไปคำนวณและวิเคราะห์ต่อไป [2,16]



รูปที่ 2.8 วงจรการตรวจจับ PD ด้วยวิธีดั้งเดิม

### 2.3.2 การตรวจวัดสัญญาณ PD ด้วยการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF

เทคนิคการตรวจวัดสัญญาณ PD ด้วยวิธี การวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF อาศัยหลักการตรวจจับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากพัลส์ดีเอสชาร์จ์ สเปกตรัมความถี่สูงถึงย่าน UHF ซึ่งมีใช้งานในอุปกรณ์ที่โครงสร้างเป็นทรงกระบอกซ้อนกันร่วมเช่น GIS, GIL คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากพัลส์ PD สามารถตรวจจับได้โดยใช้คาปาซิทีฟเซนเซอร์หรือสายอากาศ [24, 25, 26] ตัวอย่างผลการตรวจวัดแสดงดังรูปที่ 2.9

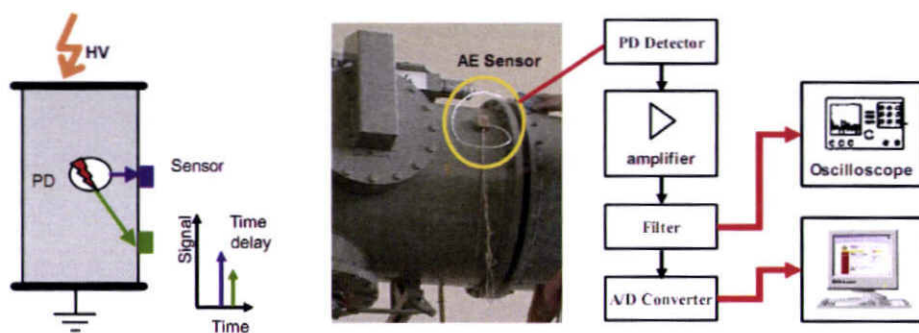


รูปที่ 2.9 การตรวจจับ PD ด้วยวิธี UHF

### 2.3.3 การตรวจวัดสัญญาณ PD ด้วยวิธี Acoustic

เทคนิคการตรวจวัดสัญญาณ PD ด้วยวิธี Acoustic อาศัยหลักการตรวจจับคลื่นเสียงขณะที่เกิด PD คลื่นเสียงที่ตรวจจับได้ขึ้นอยู่กับตัวกลางที่คลื่นเสียงผ่าน ซึ่งมีผลต่อความเร็วของคลื่นเสียง นอกจากนั้น การสะท้อน การหักเห และการซึมซับคลื่นเสียงต้องพิจารณาขณะทำการตรวจวัดและแปลผลการวัด จุดประสงค์ของการวัดด้วยวิธีนี้คือต้องการหาบริเวณจุดบกพร่องของอุปกรณ์ ซึ่งเซนเซอร์ที่ใช้คือไมโครโฟนหรือเซนเซอร์ตรวจจับสัญญาณเสียง [27,28] ตัวอย่างการตรวจวัดแสดงดังรูปที่ 2.10

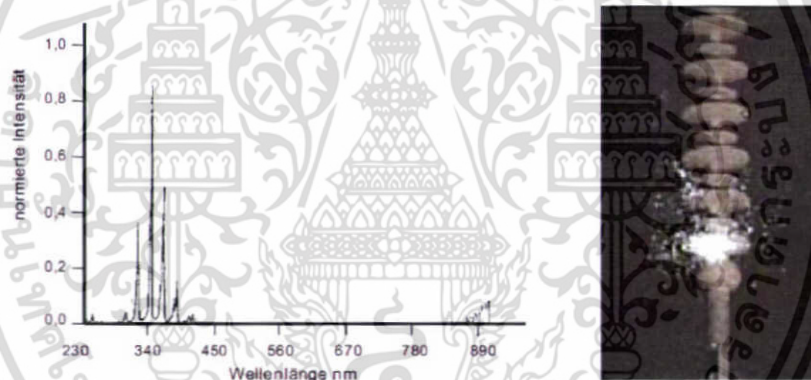
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 การตรวจจับ PD ด้วยวิธี Acoustic

### 2.3.4 การตรวจวัดสัญญาณ PD ด้วยวิธี Optical

เทคนิคการตรวจวัดสัญญาณ PD ด้วยวิธี Optical จะอาศัยหลักการตรวจจับแสงจากกระบวนการการไอออไนเซชัน การกระตุ้น การรวมตัวกันใหม่ของอิเล็กตรอนระหว่างเกิด PD ปริมาณของแสงและความยาวคลื่นแสงขึ้นอยู่กับตัวกลาง (ก๊าซ, ของเหลว และของแข็ง) และแพคเกจที่ต่างกัน (อุณหภูมิ, ความดัน) สเปกตรัมของแสงที่เกิดจาก PD อยู่ในย่านอัลตราไวโอเล็ตไปถึงอินฟราเรด [29, 30]



รูปที่ 2.11 การตรวจจับ PD ด้วยวิธี Optical

### 2.3.5 การตรวจวัดสัญญาณ PD ด้วยวิธี Chemical

เทคนิคการตรวจวัดสัญญาณ PD ด้วยวิธี Chemical อาศัยหลักการตรวจผลทางเคมีของฉนวน ในกรณีฉนวนน้ำมันสามารถวิเคราะห์การเกิด PD ได้จากการวิเคราะห์แก๊สในน้ำมัน (DGA) [25,26] ในกรณีฉนวนอากาศ ถ้าเกิด PD ขึ้นในอากาศจะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างองค์ประกอบของอากาศจะเพิ่มโอโซน การหาความเข้มข้นของโอโซนจะทำให้ทราบถึงปริมาณ PD ที่เกิดขึ้น ข้อดีของวิธีทางเคมีคือจะบอกคุณลักษณะโดยรวม แต่ไม่สามารถบอกประจุที่ปรากฏของ PD, จำนวนการเกิด PD และตำแหน่งที่เกิด PD

## 2.4 ตัวดำเนินการทางสถิติ

การตรวจวัดดีสชาร์จบางส่วนด้วยวิธีดั้งเดิมแบบ PRPDA (Phase Resolving Partial Discharge Analyser) แสดงผลการวัดดีสชาร์จบางส่วนในรูปแบบการกระจาย 3 มิติ  $\Phi - q - n$  เมื่อ  $\Phi$  คือมุมเฟสของแรงดัน,  $q$  คือขนาดประจุ,  $n$  คือจำนวนครั้งการเกิด PD ซ้ำ และแสดงรูปแบบการกระจายขนาดประจุเฉลี่ยตามมุมเฟส  $H_{qn}(\phi)$  และการกระจายจำนวนครั้งการเกิด PD ซ้ำตามมุมเฟส  $H_n(\phi)$  ซึ่งสามารถหาค่าทางสถิติได้ดังนี้ [31, 32]

### 1. Discharge asymmetry

Discharge asymmetry  $Q$  แสดงถึงผลต่างของการกระจาย  $H_{qn}(\phi^+), H_{qn}(\phi^-)$

ถ้าค่า  $Q = 1$  ความแตกต่างระหว่างขนาดประจุที่เท่ากัน

$Q = 0$  ความแตกต่างระหว่างขนาดประจุแตกต่างกันมาก

$$Q = \frac{Q_s^-/N^-}{Q_s^+/N^+} \quad (2.3)$$

โดยที่  $Q_s^+$  และ  $Q_s^-$  เป็นผลรวมของการกระจายประจุ  $H_{qn}(\phi^+), H_{qn}(\phi^-)$

$N^+$  และ  $N^-$  เป็นจำนวนของการกระจายประจุ  $H_{qn}(\phi^+), H_{qn}(\phi^-)$

### 2. The cross correlation factor (cc)

The cross correlation factor (cc) แสดงถึงความแตกต่างของรูปแบบการกระจาย  $H_{qn}(\phi^+), H_{qn}(\phi^-)$

ถ้าค่า  $cc = 1$  รูปแบบการกระจายจะมีลักษณะสมมาตรกันระหว่างรูปคลื่นแรงดันบวกและลบ

$cc = 0$  รูปแบบการกระจายจะมีลักษณะไม่สมมาตรกันระหว่างรูปคลื่นแรงดันบวก

และลบ

$$cc = \frac{\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i / n}{\sqrt{[\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2 / n][\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2 / n]}} \quad (2.4)$$

เมื่อ  $x_i$  เป็นขนาดประจุในแต่ละเฟสทางด้านรูปคลื่นแรงดันบวก

$y_i$  เป็นขนาดประจุในแต่ละเฟสทางด้านรูปคลื่นแรงดันลบ

$n$  เป็นจำนวนของเฟสต่อครึ่งรูปคลื่น

### 3. The modified cross correlation factor (mcc)

$$mcc = Q \times cc \quad (2.5)$$

mcc แสดงถึงความแตกต่างระหว่างรูปแบบของประจุในรูปคลื่นบวกและลบ

#### 4. ความเบ้เอียง (Skewness :Sk)

Sk แสดงถึงความความเบ้เอียงของรูปแบบการกระจายเทียบกับการกระจายปกติทั้งใน  $H_{qn}(\phi)$  และ  $H_n(\phi)$  โดย ถ้าการกระจายสมมาตร  $Sk = 0$ ,เบ้ไปทางซ้าย  $Sk > 0$  และถ้าเบ้ไปทางขวา  $Sk < 0$

$$Sk = \frac{\sum (x_i - \mu)^3 \times P_i}{\sigma^3} \quad (2.6)$$

เมื่อ  $X_i$  เป็นจำนวนของข้อมูล

$P_i$  เป็นความน่าจะเป็นของการเกิดค่า  $X_i$

$\mu$  เป็นค่าเฉลี่ยของการกระจาย

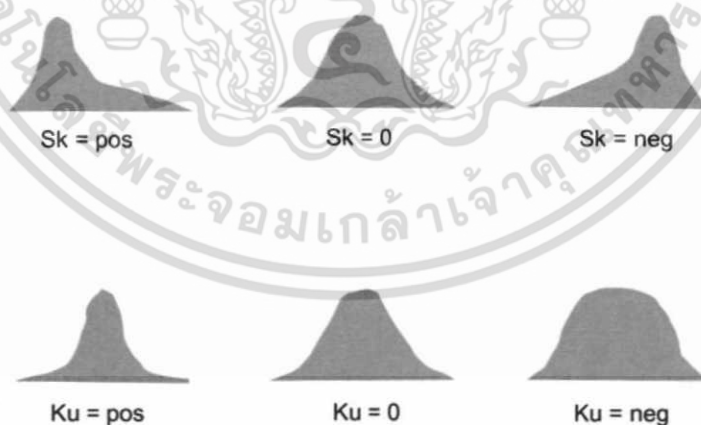
$\sigma$  เป็นความแตกต่างของข้อมูล

#### 5. ความแหลมคม (Kurtosis :Ku)

Ku แสดงถึงความแหลมคมของการกระจายข้อมูลเทียบกับการกระจายปกติ โดยถ้าค่า

$Ku = 0$  การกระจายจะมีลักษณะแหลมคมเหมือนการกระจายปกติ,  $Ku > 0$  ลักษณะการกระจายจะมีความแหลมคมกว่าการกระจายปกติ และ  $Ku < 0$  ลักษณะการกระจายจะมีความป้านกว่าการกระจายปกติ

$$Ku = \frac{\sum (x_i - \mu)^4 \times P_i}{\sigma^4} - 3 \quad (2.7)$$



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างของรูปแบบการกระจายทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 การลดจำนวนตัวแปรโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก

การวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก (Principal Component Analysis; PCA) เป็นเทคนิคการลดจำนวนตัวแปรเทคนิคหนึ่ง โดยสร้างตัวแปรใหม่ให้เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรเดิม และตัวแปรใหม่จะมีรายละเอียดหรือข้อมูลของตัวแปรเดิม จำนวนตัวแปรใหม่จะไม่เกินจำนวนตัวแปรเดิม [33,34,35] การแปลงจากเซตของตัวแปรเดิมไปเซตของตัวแปรใหม่แสดงดังสมการที่ 2.8 และ 2.9

$$\mathbf{T} = \mathbf{XP} \quad (2.8)$$

$$\begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \cdots & t_{1k} \\ t_{21} & t_{22} & \cdots & t_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ t_{m1} & t_{m2} & \cdots & t_{mk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1k} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \cdots & p_{nk} \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

(mxk) = (mxn) \* (nxk)

เมื่อ  $T$  คือ เมตริกซ์ของตัวแปรใหม่เรียกว่าเมตริกซ์ score

$X$  คือ เมตริกซ์ของตัวแปรเดิม

$P$  คือ เมตริกซ์ที่ใช้ในการแปลงข้อมูลเรียกว่าเมตริกซ์ loading

$m$  เท่ากับจำนวนครั้งในการเก็บข้อมูล

$n$  เท่ากับจำนวนตัวแปรเดิม

$k$  เท่ากับจำนวนตัวแปรใหม่

### 2.5.1 การสร้างตัวประกอบหลักจากตัวแปรเดิม

ถ้าเวกเตอร์ตัวแปรสุ่ม  $x' = (x_1, x_2, \dots, x_p)$  ซึ่งมีเมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วม  $\Sigma$  และมีค่าไอเกน (eigenvalue)  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$  โดยเขียนตัวประกอบหลักให้อยู่ในรูปฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปร  $x_1, x_2, \dots, x_p$  คือ

$$\left. \begin{aligned} PC_1 &= w'_1 x = w_{11}X_1 + w_{12}X_2 + \dots + w_{1p}X_p \\ PC_2 &= w'_2 x = w_{21}X_1 + w_{22}X_2 + \dots + w_{2p}X_p \\ &\vdots \\ PC_p &= w'_p x = w_{p1}X_1 + w_{p2}X_2 + \dots + w_{pp}X_p \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

$$\text{และ } Var(PC_i) = w'_i \Sigma w_i; i = 1, 2, \dots, p \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับความแปรปรวนร่วมของ  $PC_i$  และ  $PC_k$  คือ

$$\text{Cov}(PC_i, PC_k) = w'_i \Sigma w_k; i \neq k; i = 1, 2, \dots, p \quad (2.12)$$

โดยที่  $PC_1, PC_2, \dots, PC_p$  เป็นตัวประกอบหลัก  $p$  ตัวและ  $w_j$  เป็นสัมประสิทธิ์หรือน้ำหนักของตัวแปรเดิม  $x_j$  ที่มีต่อตัวประกอบหลัก  $PC_i$  โดยที่  $PC_1, PC_2, \dots, PC_p$  ไม่มีความสัมพันธ์กัน

$PC_1$  เป็นตัวประกอบหลักที่ 1 ซึ่งเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรเดิม ซึ่งทำให้ค่าแปรปรวน  $\text{Var}(PC_1) = w'_1 \Sigma w_1$  มีค่ามากที่สุด หรือ

$PC_1 =$  ฟังก์ชันเชิงเส้น  $w'_1 x$  ที่ทำให้  $\text{Var}(w'_1 x)$  มีค่ามากที่สุด ซึ่งมี  $w'_1 w_1 = 1$  หรือ

$$w'_1 w_1 = w_{11}^2 + w_{12}^2 + \dots + w_{1p}^2 = 1$$

$PC_2$  เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นที่ 2 ของ  $x_1, x_2, \dots, x_p = w'_2 x$  ที่ทำให้  $\text{Var}(w'_2 x)$  มีค่ามากที่สุด โดยมีเงื่อนไขว่า  $w'_2 w_2 = 1$  และ  $\text{Cov}(w'_1 x, w'_2 x) = \text{Cov}(PC_1, PC_2) = 0$  หรือ  $PC_2$  ไม่มีความสัมพันธ์กับ  $PC_1$

$PC_k$  เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นที่  $k$  ของ  $x_1, x_2, \dots, x_p = w'_k x$  ที่ทำให้  $\text{Var}(PC_k)$  มีค่ามากที่สุด โดยมีเงื่อนไข  $w'_k w_k = 1$  และ  $\text{Cov}(w'_k x, w'_i x) = 0$  เมื่อ  $i < k$  หรือ  $PC_k$  ไม่มีความสัมพันธ์กับ  $PC_i$  โดยที่  $i < k$

สรุป ถ้าเวกเตอร์  $x' = (x_1, x_2, \dots, x_p)$  ซึ่งมีเมทริกซ์ค่าแปรปรวนร่วม  $\Sigma$  ที่มีค่าเฉพาะหรือค่าไอเกนและค่าเวกเตอร์ไอเกน  $(\lambda_1, w_1), (\lambda_2, w_2), \dots, (\lambda_p, w_p)$  โดยที่ค่าไอเกน  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$  และเวกเตอร์ไอเกน  $w' = (w_1, w_2, \dots, w_p)$  ถ้า  $PC_1 = w'_1 x, PC_2 = w'_2 x, \dots, PC_p = w'_p x$  เป็นตัวประกอบหลัก  $p$  ค่าแล้วจะได้ว่า

$$\sum_{i=1}^p \text{Var}(X_i) = \sigma_{11} + \sigma_{22} + \dots + \sigma_{pp} = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p = \sum_{i=1}^p \text{Var}(PC_i)$$

$$\therefore PC_k \text{ มีสัดส่วนของค่าแปรปรวน } \frac{\lambda_k}{\sum_{i=1}^p \lambda_i}; k = 1, 2, \dots, p$$

เช่นถ้า  $PC_1$  มีสัดส่วนของค่าแปรปรวน = 0.7 หมายถึง  $PC_1$  สามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปร  $X$ 's ทั้งหมดได้ 70%

สำหรับค่าไอเกน  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$  ของตัวประกอบหลัก  $PC_1, PC_2, \dots, PC_p$  ตามลำดับโดยที่ค่าไอเกนที่  $i$  ( $\lambda_i$ ) จะเป็นค่าความแปรปรวนของตัวประกอบหลักที่  $i$  ( $PC_i$ ) ส่วนเวกเตอร์ไอเกนที่  $k$  ( $w_k$ ) จะเป็นน้ำหนักของตัวแปรเดิมในตัวประกอบหลักที่  $k$  ( $PC_k$ )

## 2.5.2 การพิจารณาจำนวนประกอบหลักที่เหมาะสม

จำนวนตัวประกอบหลักจะเท่ากับจำนวนตัวแปรเดิมคือ  $p$  ตัว แต่ตัวประกอบหลักตัวท้ายๆจะมีสัดส่วนความแปรปรวนต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่ตัวแปรเดิมมีความสัมพันธ์กันมาก จะทำให้มีตัวประกอบหลักเพียงไม่กี่ตัวที่มีสัดส่วนความแปรปรวนสูงจึงมักมีคำถามว่าจำนวนตัวประกอบหลักควรมีกี่ตัวจึงเหมาะสม นอกจากนี้วัตถุประสงค์หลักของการวิเคราะห์ตัวประกอบหลักคือ การลดจำนวนตัวแปร ดังนั้นจำนวนตัวประกอบหลักควรจะต้องน้อยกว่าจำนวนตัวแปรเดิม

แนวทางในการพิจารณาจำนวนตัวประกอบหลักมีดังนี้

1. พิจารณาจากร้อยละความแปรปรวนสะสม ถ้าร้อยละความแปรปรวนสะสมของตัวประกอบหลัก  $m$  ตัวแรกเป็นอย่างต่ำร้อยละ 80 ก็ควรให้จำนวนตัวประกอบหลักเท่ากับ  $m$  โดยที่  $m < p$  เช่น ถ้า  $p = 10$  และมีตัวประกอบเพียง 3 ตัวแรก ที่ค่าสะสมของร้อยละของความแปรปรวนเป็น 82 ขณะที่ตัวประกอบหลักที่ 4 มีร้อยละของความแปรปรวนเพียง 7.5 กรณีนี้จำนวนตัวประกอบหลักที่เหมาะสมคือ 3 ( $PC_1, PC_2, PC_3$ )
2. ใช้กราฟ scree ในการพิจารณาจำนวนตัวประกอบหลักที่เหมาะสม โดยการพล็อตค่าไอเกน ดังรูปที่ 2.13 การพิจารณากราฟ scree นั้น ถ้าตัวประกอบหลักตัวที่  $m + 1$  มีค่าไอเกนต่ำมากเมื่อเทียบกับตัวที่  $m$  หรือค่าไอเกนลดลงอย่างรวดเร็ว ก็ไม่ควรพิจารณาตัวประกอบหลักตัวที่  $m + 1, \dots, p$  หรือควรมีตัวประกอบหลัก  $m$  ตัวเท่านั้น



รูปที่ 2.13 กราฟ Scree Plot

จากรูปที่ 2.13 จะพบว่าตัวประกอบหลักตัวที่ 4 ( $PC_4$ ) มีค่าแปรปรวนลดลงอย่างมาก เมื่อเทียบกับตัวที่ 3 กรณีนี้ควรมีตัวประกอบหลักเพียง 3 ตัว

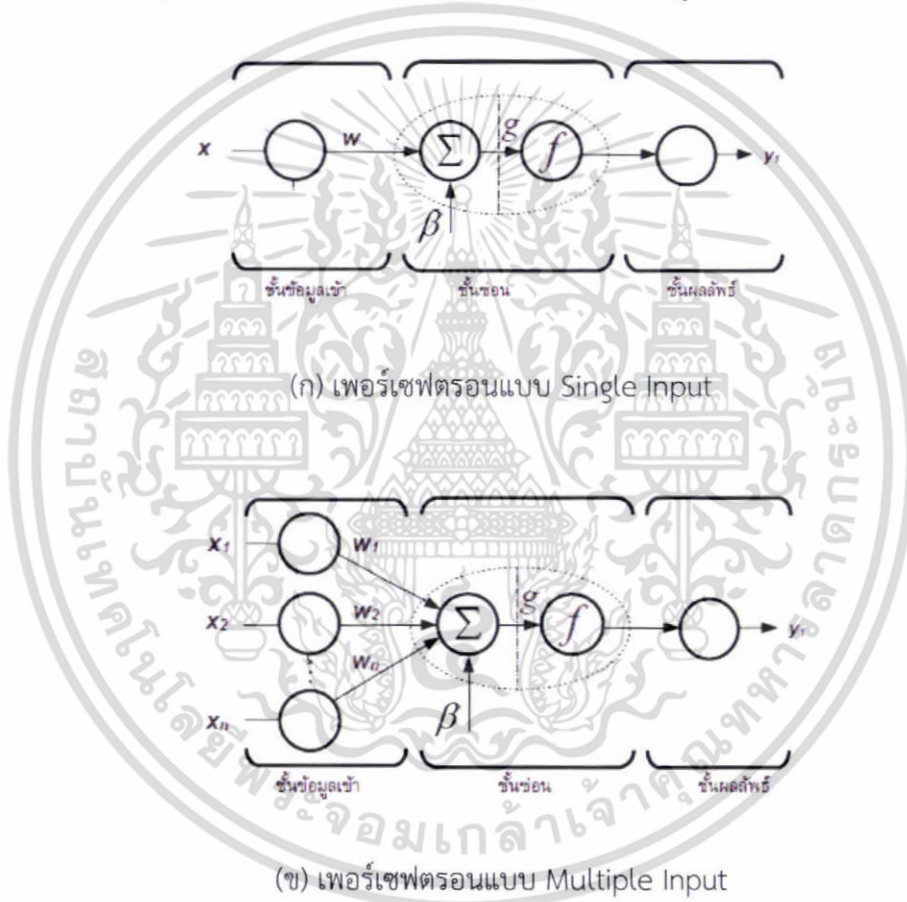
3. ให้พิจารณาค่าไอเกนหรือค่าแปรปรวนของตัวประกอบหลักแต่ละตัว ถ้าค่าแปรปรวนของตัวประกอบหลักตัวใดน้อยกว่าค่าแปรปรวนเฉลี่ย ( $\sum_{i=1}^p \lambda_i / p$ ) จะตัดทิ้ง

## 2.6 โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) คือ ระบบคอมพิวเตอร์ที่เลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ โดยมีการถ่ายทอดส่งผ่านข้อมูล Input เข้าสู่หน่วยประมวลผลของระบบ ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานของระบบ คือข้อมูล Output โดยที่หน่วยประมวลผลนี้จะเรียกว่า Neuron การทำงานของ Neural Networks จะขึ้นกับลักษณะการเชื่อมต่อระหว่าง Neurons และค่า Weight ต่าง ๆ

### 2.6.1 พื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม (Basic of Neural Network)

พื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ชั้นข้อมูลเข้า (Input Layer) ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และชั้นผลลัพธ์ (Output Layer) แสดงได้รูปที่ 2.14

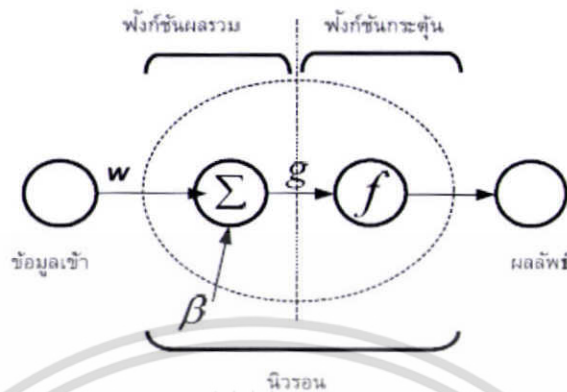


รูปที่ 2.14 พื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม

จากรูปที่ 2.14 จะเห็นว่าในชั้นซ่อน จะบรรจบนิวรอนตั้งแต่หนึ่งตัวขึ้นไป โดยนิวรอนจะทำหน้าที่ในการประมวลผลและส่งผลลัพธ์ที่ออกทางชั้นผลลัพธ์ ทั้งนี้นิวรอน 1 ตัว สามารถอ่านข้อมูลเข้าได้มากกว่า 1 ค่าข้อมูล โดยหากมีข้อมูลเข้าเพียงแค่ 1 ค่า เรียกว่า “เพอร์เซพตรอนแบบ Single Input” และกรณีที่มีค่าข้อมูลเข้ามากกว่าตั้งแต่ 2 ค่าขึ้นไปเรียกว่า “เพอร์เซพตรอนแบบ Multiple Input”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบซึ่งถูกบรรจุอยู่ในนิวรอนแต่ละตัว ประกอบด้วย 2 ฟังก์ชันย่อย คือ ฟังก์ชันผลรวม (Summation Function) และฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) และมีรายละเอียดการทำงานของนิวรอน ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 องค์ประกอบของนิวรอน (Neuron)

### 2.6.1.1 ฟังก์ชันผลรวม

ฟังก์ชันผลรวม (Summation Function) ทำหน้าที่ในการคำนวณผลรวมของข้อมูลที่ได้จากชั้น ข้อมูลนำเข้า (Input Layer) ซึ่งคำนวณได้ดังสมการ (2.13)

$$g = \sum_{i=1}^z x_i \times w_i + \beta \tag{2.13}$$

- กำหนดให้
- ตัวแปร  $x$  คือ ค่าข้อมูลนำเข้าตัวที่  $i$
  - ตัวแปร  $w$  คือ ค่าน้ำหนักของข้อมูลนำเข้าตัวที่  $i$
  - ตัวแปร  $g$  คือ ผลลัพธ์จากฟังก์ชันผลรวม
  - ตัวแปร  $z$  คือ จำนวนนิวรอนของข้อมูลเข้า
  - ตัวแปร  $\beta$  คือ ค่าความเอนเอียง (Bias)
  - ตัวแปร  $i$  มีค่าตั้งแต่ 1 จนถึง  $z$

123098

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

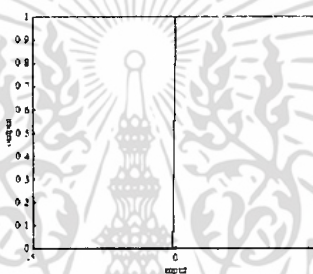
### 2.6.1.2 ฟังก์ชันกระตุ้น

ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) ทำหน้าที่ปรับค่าของข้อมูลที่ได้จากฟังก์ชันผลรวมให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ ฟังก์ชันกระตุ้นที่นิยม ได้แก่ Threshold Activation Function, Linear Activation Function, Logistic Sigmoid Function, Hyperbolic Tangent Sigmoid Function, Gaussian Activation Function

#### 1. Threshold Activation Function

ผลลัพธ์ที่ได้จากฟังก์ชันจะมีค่าเป็น 0 และ 1 ซึ่งคำนวณได้ดังสมการ (2.14) แสดงได้ดังรูปที่ 2.16

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x < 0 \\ 1 & \text{if } x \geq 0 \end{cases} \quad (2.14)$$

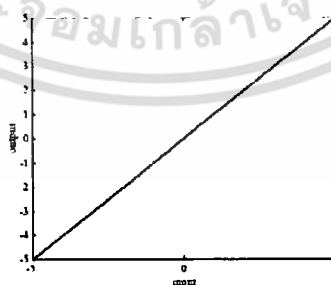


รูปที่ 2.16 ลักษณะของ Threshold Activation Function

#### 2. Linear Activation Function

ผลลัพธ์ที่ได้จากฟังก์ชันจะมีค่าที่การลู่เข้าในลักษณะเชิงเส้น คำนวณได้ดังสมการ (2.15) แสดงได้ดังรูปที่ 2.17

$$f(x) = x \quad (2.15)$$



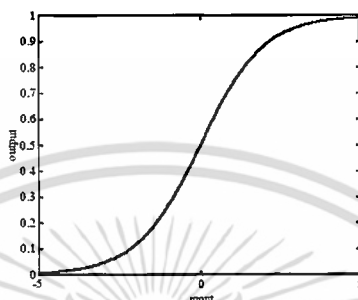
รูปที่ 2.17 ลักษณะของ Linear Activation Function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. Logistic Sigmoid Function

ผลลัพธ์ที่ได้จากฟังก์ชันจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งคำนวณได้ดังสมการ (2.16) แสดงได้ดังรูปที่ 2.18

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\beta x)} \quad (2.16)$$

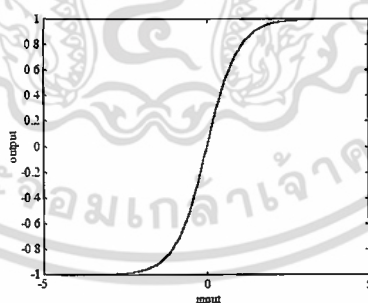


รูปที่ 2.18 ลักษณะของ Logistic Sigmoid Function

### 4. Hyperbolic Tangent Sigmoid Function

ผลลัพธ์ที่ได้จากฟังก์ชันจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งคำนวณได้ดังสมการ (2.17) แสดงได้ดังรูปที่ 2.19

$$f(x) = \tanh(x) \quad (2.17)$$

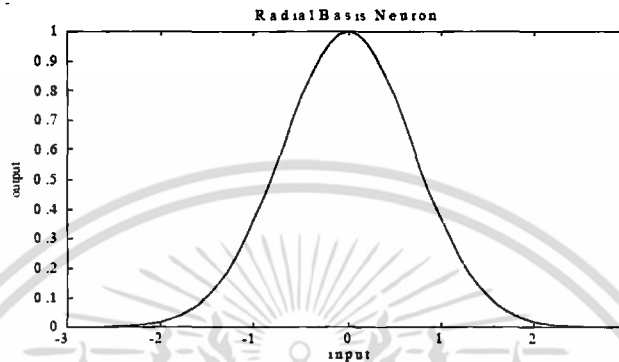


รูปที่ 2.19 ลักษณะของ Hyperbolic Tangent Sigmoid Function

## 5. Gaussian Activation Function

ผลลัพธ์ที่ได้จากฟังก์ชันจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งคำนวณได้ดังสมการ (2.18) แสดงได้ดังรูปที่ 2.20

$$g_i(x) = \exp\left[-(x - \mu_i)^2 / \sigma_i^2\right] \quad (2.18)$$



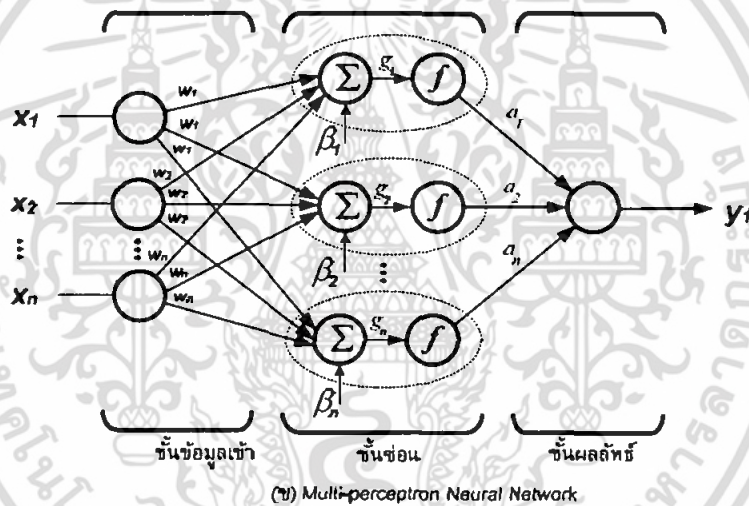
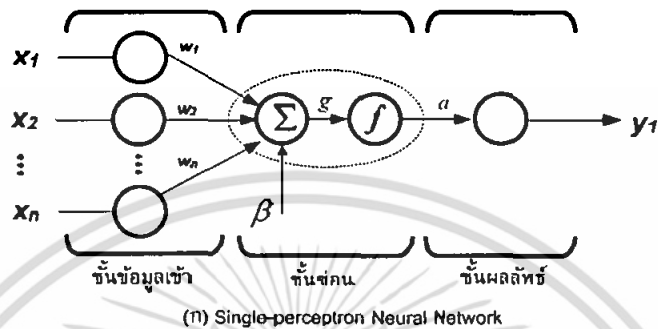
รูปที่ 2.20 ลักษณะของ Gaussian Activation Function

### 2.6.2 การคำนวณภายในโครงข่ายประสาท

กระบวนการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อมีข้อมูลนำเข้า (Input Data) ในชั้นข้อมูลนำเข้า (Input Layer) ของโครงข่ายประสาท จะนำค่าข้อมูลเข้ามาคูณกับค่าน้ำหนัก (Weight) ของแต่ละขาของข้อมูลนำเข้า ผลที่ได้จากโหนดในชั้นข้อมูลนำเข้าทุกๆ ขา จากนั้นค่าที่ได้จะถูกนำเข้าสู่นิวรอนสำหรับรวมค่าข้อมูลด้วยฟังก์ชันผลรวม (Summation Function) จากนั้นนำผลลัพธ์จากฟังก์ชันผลรวมมาปรับค่าให้อยู่ในช่วงที่ต้องการด้วยฟังก์ชันกระตุ้น การกระตุ้นจากฟังก์ชันทำให้เกิดการตอบสนอง (Threshold) ตามที่กำหนดไว้แต่ละฟังก์ชัน โดยถ้าผลรวมมีค่ามากกว่า Threshold แล้วนิวรอนก็จะส่งผลลัพธ์ออกไปเพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าของนิวรอนที่เชื่อมกันในชั้นถัดไปของโครงข่ายประสาท แต่หากค่าน้อยกว่า Threshold ที่กำหนดไว้ นิวรอนก็จะไม่เกิดผลลัพธ์ โดยจะส่งค่าออกมาเป็นค่าซึ่งเป็นค่าต่ำสุดของฟังก์ชันนั้นออกมาโดยส่วนใหญ่จะเป็นค่าศูนย์

### 2.6.3 นิวรอนเพอร์เซพตรอน

เนื่องจากการแก้ไขปัญหา (Problem Solving) บางปัญหามีความยากในการทำความเข้าใจ จำนวนเพอร์เซพตรอนนั้นสามารถช่วยในกระบวนการแก้ปัญหาได้ การออกแบบลักษณะของเพอร์เซพตรอนสามารถแบ่งเป็น 2 แบบ คือ แบบหนึ่งเพอร์เซพตรอน (Single-Perceptron) และแบบหลายเพอร์เซพตรอน (Multi-Perceptron) แสดงได้ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 การออกแบบเพอร์เซพตรอน

จากรูปที่ 2.21 จะเห็นได้ว่า ในชั้นซ่อนจะมีการปรับเพิ่มจำนวนของนิวรอนได้มากกว่า 1 ตัว ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาที่ต้องการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการแก้ปัญหา โดยสามารถกำหนดจำนวนนิวรอนได้ตามต้องการ

## 2.6.4 รูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียมแบบต่าง ๆ

ตารางที่ 2-1 แสดงรูปแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบต่าง ๆ ซึ่งมีสถาปัตยกรรมและลักษณะของนิวรอนที่แตกต่างกัน อัลกอริธึมสำหรับการเรียนรู้ก็มีความแตกต่างกัน เช่น บางชนิดเรียนรู้แบบ Supervised Learning บางชนิดเป็น Unsupervised Learning และสำหรับการประยุกต์ใช้งานก็มีความแตกต่างกันไป เช่น Pattern Classification, Regression, Function Approximation, Interpolation, clustering เป็นต้น

การเรียนรู้สำหรับ Neural Network

### 1. Supervised Learning การเรียนแบบมีการสอน

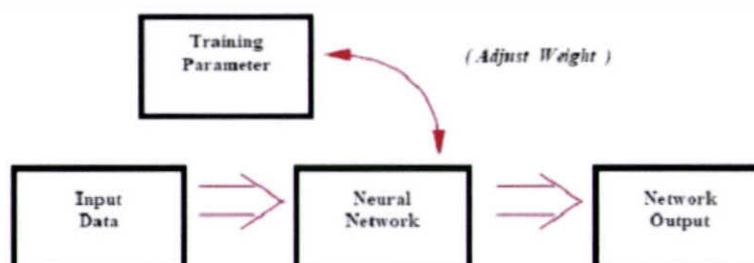
เป็นการเรียนแบบที่มีการตรวจคำตอบเพื่อให้วงจรรข่ายปรับตัว ชุดข้อมูลที่ใช้สอนวงจรรข่ายจะมีคำตอบไว้คอยตรวจดูว่าวงจรรข่ายให้คำตอบถูกหรือไม่ ถ้าตอบไม่ถูก วงจรรข่ายก็จะปรับตัวเองเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น



รูปที่ 2.22 แสดงการเรียนรู้แบบมีการสอน

### 2. Unsupervised Learning การเรียนแบบไม่มีการสอน

เป็นการเรียนแบบไม่มีผู้แนะนำ ไม่มีการตรวจคำตอบว่าถูกหรือผิด วงจรรข่ายจะจัดเรียงโครงสร้างด้วยตัวเองตามลักษณะของข้อมูล ผลลัพธ์ที่ได้ วงจรรข่ายจะสามารถจัดหมวดหมู่ของข้อมูลได้



รูปที่ 2.23 แสดงการเรียนรู้แบบไม่มีการสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-1 รูปแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบต่าง ๆ

รูปแบบ	สถาปัตยกรรม/ ลักษณะเฉพาะของนิวรอน	อัลกอริทึมสำหรับ เรียนรู้	การประยุกต์ใช้งาน
Perceptron	Single-Node. Feedforward Binary- Threshold	Supervised, Error- correction	Pattern Classification
Adaline	Single-Node. Feedforward Linear	Supervised, Gradient Descent	Regression
Multilayer Perceptron	Multilayered Feedforward Nonlinear Sigmoid	Supervised, Gradient Descent	Function Approximation, Pattern Classification, Control Svstems, etc.
Reinforcement Learning	Multilayered Binary- Threshold	Supervised reward- punishment	Robot Control
Support Vector Machines	Multilayered kernel based Binary-threshold	Supervised Quadratic Optimization	Classification, Regression
Radial Basis Function	Multilayered Distance based Linear	Supervised Gradient Descent	Interpolation, Regression, Classification
Hopfield Network	Single Layer, Feedback Binary- threshold Linear	Outer product correlation	Optimization
Boltzmann Machine	Two layered, feedback Binary threshold	Stochastic Gradient Descent	Optimization
Bidirectional Associative Memory	Two layered, feedback Binary threshold	Outer product correlation	Associative Memory
Adaptive Resonance Theory	Two layered Binary, faster-than-linear	Unsupervised competitive	Clustering, Classification
Vector Quantization	Single layered, feedback Faster than linear	Supervised- Unsupervised competitive	Quantization, Clustering, Classification
Mexican hat net	Single Layer, Feedback Linear Threshold	None, Fixed weights	Activity Clustering
Kohonen Self Organizing Feature Map	Single Layer, Linear Threshold	Unsupervised, Soft-Competitive	Clustering, Topological Mapping, Classification
Pulsed Neuron models	Single Multilayer, Pulsed IF Neuron	None	Coincidence detection, Temporal Processing

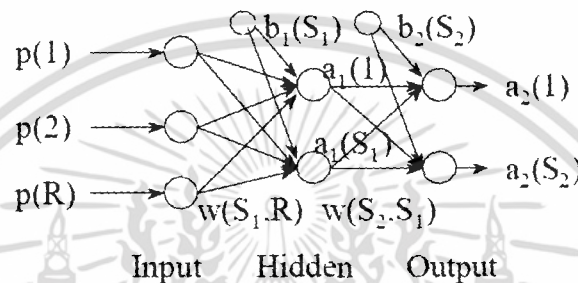
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.5 Multilayer perceptron neural networks model (MLP)

โครงสร้างของ Multi Layer Feedforward Networks แสดงดังรูปที่ 2.24 ประกอบด้วย ชั้นข้อมูลเข้า, ชั้นซ่อนและชั้นผลลัพธ์ สมการพื้นฐานแสดงดังสมการที่ 2.19

$$y = f \left[ \sum_{k=1}^n x_k w_k + b_k \right] \quad (2.19)$$

เมื่อ  $x$  คือข้อมูลเข้า,  $w$  คือค่าน้ำหนัก,  $b$  คือไบแอส,  $f$  คือ Activation Functions,  $y$  คือผลลัพธ์



รูปที่ 2.24 โครงสร้างของ Multi Layer Feedforward Networks

### 2.6.6 Probabilistic Neural Networks model (PNN)

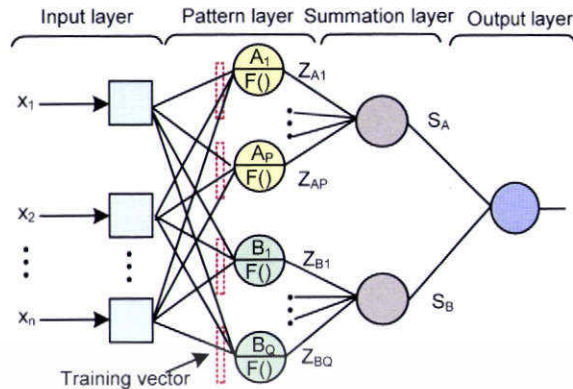
โมเดลนิวรอลเน็ตเวิร์คประเภท Probabilistic Neural Network มีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.25 ประกอบด้วยชั้นข้อมูลเข้า (Input Layer), ชั้นรูปแบบ (pattern layer), ชั้นรวมผล (summation layer) และ ชั้นผลลัพธ์ (Output Layer) ซึ่ง ชั้นข้อมูลเข้ามีจำนวนโหนดเท่ากับองค์ประกอบของ อินพุต  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  แต่ละโหนดของชั้นข้อมูลเข้า จะเชื่อมต่อกับโหนดในชั้นรูปแบบ โดยที่โหนดในชั้นรูปแบบ มีการคำนวณแสดงดังสมการที่ 2.20 ซึ่งเป็นฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้น เมื่อ  $Z_{ci}$  คือผลลัพธ์ของฟังก์ชัน โดย  $c$  แสดงกลุ่มของข้อมูลการเรียนรู้ (training vector) และ  $i$  แสดงลำดับของโหนดในกลุ่มข้อมูลการเรียนรู้ ในชั้นรวมผล แต่ละโหนดซึ่งจะรวมเอาที่พหุจากชั้นรูปแบบ ในแต่ละกลุ่มแสดงดังสมการที่ 2.21 ซึ่งเป็นการคำนวณค่าความน่าจะเป็นของแต่ละกลุ่มข้อมูล [36,37] และ ชั้นผลลัพธ์ จะแสดงเอาที่พหุเป็น 1 ถ้า  $S_c$  หรือค่าความน่าจะเป็นในกลุ่มนั้นมีค่ามากที่สุด ส่วน  $S_c$  ในกลุ่มอื่นๆ ที่มีค่าน้อยกว่าให้มีค่าเป็น 0

$$Z_{ci} = e^{-\frac{\|X - X_i\|^2}{2\sigma^2}} \quad (2.20)$$

$$S_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e^{-\frac{\|X - X_i\|^2}{2\sigma^2}} \quad (2.21)$$

เมื่อ  $n$  คือจำนวนโหนดในกลุ่มของชั้นรูปแบบ,  $X_i$  คือข้อมูลการเรียนรู้แต่ละโหนดในกลุ่มชั้นรูปแบบ,  $X$  คือข้อมูลเข้าที่ต้องการแยกประเภท และ  $\sigma$  คือ width parameter

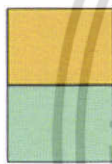
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 โครงสร้าง Probabilistic Neural Network

### 2.6.7 การแบ่งข้อมูลในการเรียนรู้และการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม [36]

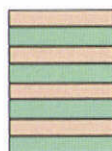
การแบ่งข้อมูลในการสอนโมเดลและการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมมีวิธีการแบ่งอยู่ 4 วิธี ดังนี้



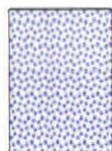
1. First half/Second half: การแบ่งข้อมูลด้วยวิธีนี้ไม่เหมาะนำมาสอนและทดสอบโมเดล เนื่องจากข้อมูลที่ใช้สอนและทดสอบโมเดลไม่ครบทุกเงื่อนไข



2. Odd/Even: การแบ่งข้อมูลด้วยวิธีนี้ไม่เหมาะนำมาสอนและทดสอบโมเดล เนื่องจากข้อมูลที่ใช้สอนโมเดลและทดสอบโมเดลเวลาในการเก็บข้อมูลใกล้เคียงกัน อาจทำให้โมเดลเกิดปัญหา over fitting



3. Blocks: การแบ่งข้อมูลด้วยวิธีนี้เหมาะสำหรับนำมาสอนโมเดล เนื่องจากโมเดลได้รับการสอนทุกเงื่อนไข และทดสอบกับข้อมูลที่ไม่เห็นมาก่อน



4. Random: การแบ่งข้อมูลด้วยวิธีนี้อาจไม่เหมาะนำมาสอนและทดสอบโมเดล เนื่องจากอาจเกิดปัญหาเดียวกับวิธีที่ 2 คือปัญหา over fitting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

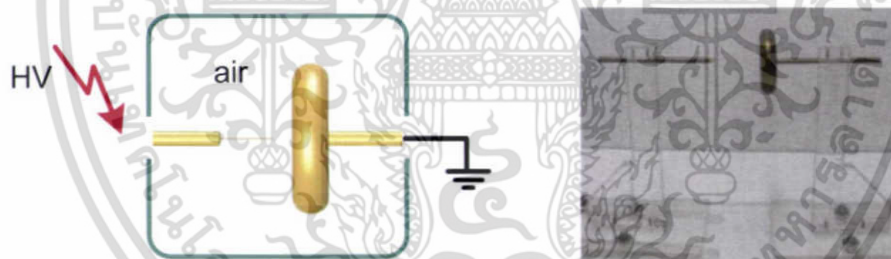
### การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้นำเสนอการเก็บตัวอย่างสัญญาณ PD 4 ประเภท ได้แก่ โครนาด้านแรงดันสูง, โครนาทางด้านกราวด์, ดิสชาร์จตามผิว และดิสชาร์จภายใน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติในบทที่ 4 และนำค่าพารามิเตอร์ทางสถิติสอนโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมรู้จำรูปแบบประเภทของ PD ในบทที่ 5 โดยจำลองรูปแบบ PD ด้วยโมเดลอิเล็กทรอนิกส์แบบต่างๆ ทำการวัดสัญญาณ PD ด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF และเก็บตัวอย่างสัญญาณ PD ประเภทละ 20 ตัวอย่าง

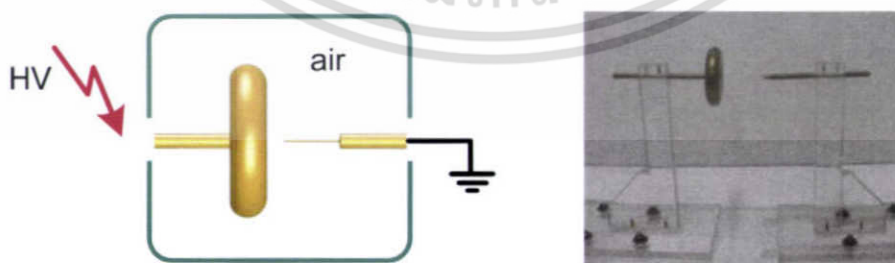
#### 3.1 โมเดลจำลอง PD

##### 3.1.1 โมเดลจำลองโครนาดีสชาร์จ

โครนาดีสชาร์จจะเกิดตรงบริเวณรอบๆ อิเล็กโตรดปลายแหลมในสนามไฟฟ้า โดยปกติจะเกิดขึ้นทางด้านแรงดันสูง แต่ขอบแหลมคมทางด้านกราวด์ก็อาจเป็นสาเหตุให้เกิดโครนาดีสชาร์จได้ด้วย [21] โมเดลจำลองโครนาดีสชาร์จทางด้านแรงดันสูงและทางด้านกราวด์แสดงดังรูปที่ 3.1 โดยใช้อิเล็กโตรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มม. ยาว 35 มม. และอิเล็กโตรดระนาบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มม. ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 10 มม.



(ก) โครนาด้านแรงดันสูง



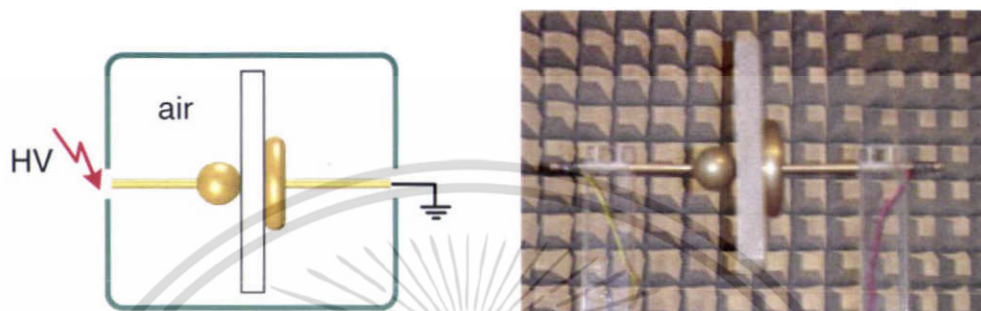
(ข) โครนาด้านกราวด์

รูปที่ 3.1 โมเดลจำลองโครนาดีสชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 โมเดลจำลองดีสชาร์จตามผิว

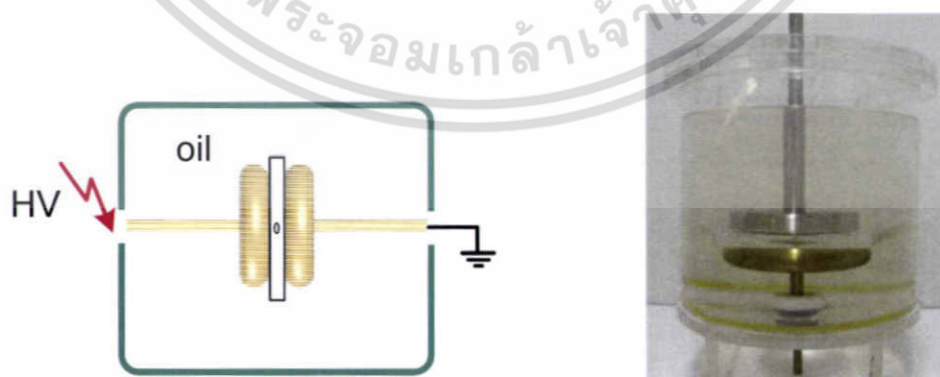
ดีสชาร์จตามผิวเกิดขึ้นตามแนวรอยต่อของฉนวนต่างชนิดกันเมื่อมีความเครียดสนามไฟฟ้าตามแนวผิวรอยต่อของฉนวนสูงกว่าค่าวิกฤต [21] แบบจำลองดีสชาร์จตามผิวแสดงดังรูปที่ 3.2 โดยใช้อิเล็กโตรดทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มม. และอิเล็กโตรดระนาบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มม. คั่นด้วยฉนวนอะคริลิกขนาด 150x150x20 มม.



รูปที่ 3.2 โมเดลจำลองดีสชาร์จตามผิว

### 3.1.3 โมเดลจำลองดีสชาร์จภายใน

ดีสชาร์จภายในเกิดขึ้นเมื่อในเนื้อฉนวนมีจุดพร่องหรือมีโพรงก๊าซภายในเนื้อฉนวนและจะเกิดดีสชาร์จภายในโพรงก๊าซเมื่อความเครียดสนามไฟฟ้าภายในโพรงก๊าซเกินค่าวิกฤต [21] PD ประเภทนี้มีผลต่อคุณภาพของฉนวน ซึ่งเมื่อเกิดขึ้นในเนื้อฉนวนแล้วจะทำให้อายุการใช้งานของฉนวนนั้นสั้นลง ดังนั้นการตรวจวัดดีสชาร์จบางส่วนประเภทนี้จึงมีความสำคัญ แบบจำลองดีสชาร์จภายในแสดงดังรูปที่ 3.3 โดยใช้อิเล็กโตรดระนาบ-ระนาบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มม. คั่นด้วยฉนวนอะคริลิกขนาด 100x100x10 มม. ภายในมีโพรงอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มม. ทำการจำลองในกล่องบรรจุน้ำมันเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดวาบไฟข้ามฉนวน

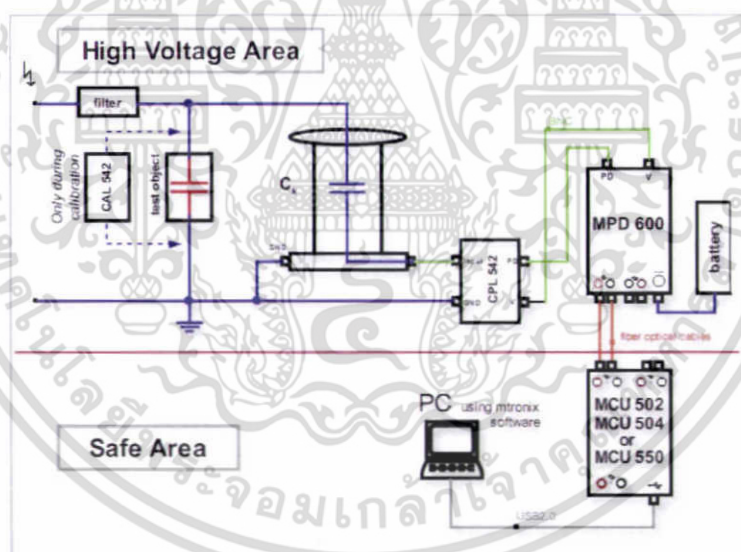


รูปที่ 3.3 โมเดลจำลองดีสชาร์จภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

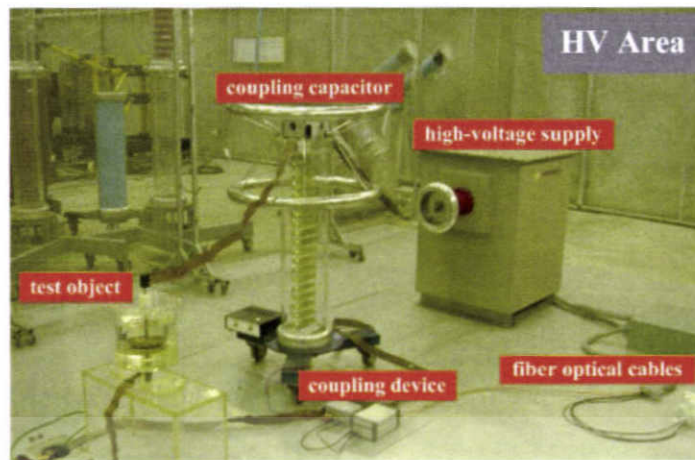
### 3.2 การเก็บตัวอย่างสัญญาณ PD โดยใช้การตรวจวัดด้วยวิธีดั้งเดิม

การตรวจวัดสัญญาณ PD โดยใช้การตรวจวัดด้วยวิธีดั้งเดิมสอดคล้องตามมาตรฐาน IEC60270 ใช้หลักการตรวจจับกระแสพัลส์ที่ขั้วต่อสายของอุปกรณ์ ไดอะแกรมการต่อวงจรแสดงดังรูปที่ 3.4 วงจรการทดลองจริงแสดงดังรูปที่ 3.5 วงจรทดลองทางด้านแรงดันสูงประกอบด้วย หม้อแปลงทดสอบขนาด 40kVA 75kV, ตัวเก็บประจุคาบเกี่ยวขนาด 2 nF, ระบายวัตต์ MPD600 OMICON [38] วงจรเป็นแบบตัวเก็บประจุคาบเกี่ยวต่ออนุกรมกับอิมพีแดนซ์วัตต์ และส่งข้อมูลด้วยสัญญาณทางแสงเพื่อลดผลของสัญญาณรบกวนภายนอก แบนวิดท์ของเครื่องวัด 300kHz โดยที่มีความถี่กลาง 200kHz ในห้องควบคุมประกอบด้วย ตู้ควบคุมแรงดัน คอมพิวเตอร์แสดงผลโดยใช้ซอฟต์แวร์ mtronix ซึ่งมาพร้อมกับชุด MPD600 การป้อนแรงดันและเวลาในการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.6 โดยป้อนแรงดันประมาณ 110 - 120 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันเริ่มเกิด PD เพื่อให้รูปแบบ PD ชัดเจนและทิ้งไว้อย่างน้อย 1 นาทีเพื่อให้ลักษณะรูปแบบ PD คงที่ หลังจากนั้นทำการบันทึกตัวอย่างสัญญาณ PD ในการทดลองขนาดประจุปรากฏของสัญญาณ PD ที่บันทึกต้องมากกว่า 2 เท่าของขนาดสัญญาณรบกวน เมื่อบันทึกเสร็จแล้วทำการลดแรงดันจนเป็น 0 kV และทิ้งระยะเวลาอย่างน้อย 1 นาทีเพื่อให้บริเวณที่เกิด PD คืนสภาพ ถึงจะทำการทดลองเก็บผลครั้งต่อไป ทำการทดลองวัดสัญญาณ PD 4 ประเภท ประเภทละ 20 การทดลอง



รูปที่ 3.4 ไดอะแกรมการตรวจวัดดีสชาร์จบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

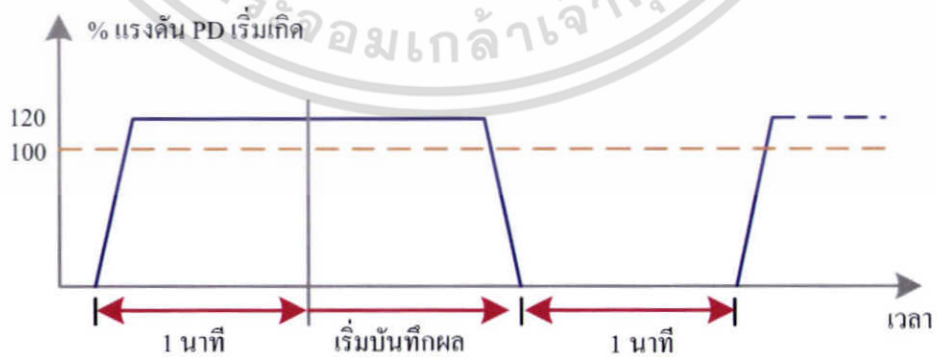


(ก) วงจรทางด้านแรงดันสูง



(ข) ห้องควบคุม

รูปที่ 3.5 วงจรการทดลอง



รูปที่ 3.6 แรงดัน - เวลาในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1 การเก็บตัวอย่างสัญญาณ PD ประเภทโคโรนาดีสชาร์จ

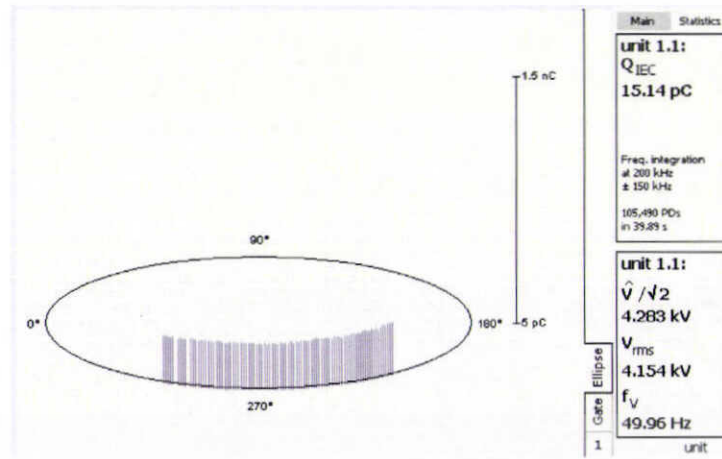
ในการทดลองวัดสัญญาณ PD ประเภทโคโรนาดีสชาร์จ ใช้โมเดลอิเล็กทรอนิกส์ตามรูปที่ 3.1 วงจรการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.7

ผลการทดลองโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงดันสูงแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3.8 จากผลการทดลองพบว่าโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงดันสูง ตำแหน่งมุมเฟสของพัลส์ PD จะเกิดขึ้นบริเวณค่ายอดแรงดันทางด้านไซเคิลลบและมีขนาดใกล้เคียงกัน อัตราการเกิดซ้ำของพัลส์ PD เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้น และขนาดประจุที่ปรากฏ มีขนาดใกล้เคียงกันเมื่อแรงดันที่ป้อนคงที่

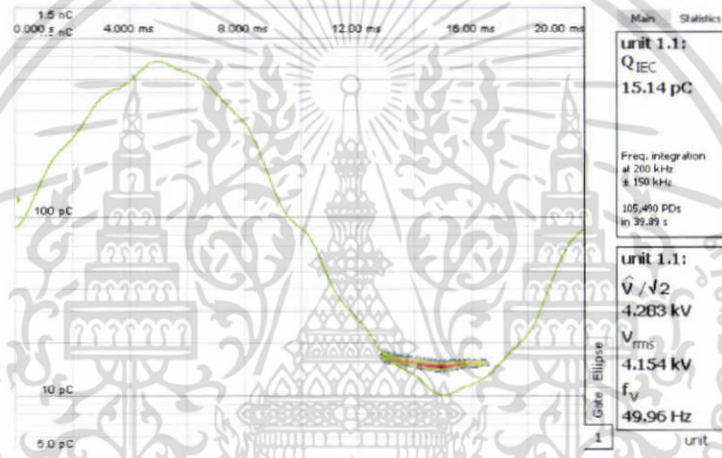
ผลการทดลองโคโรนาดีสชาร์จทางด้านกราวนด์แสดงดังตัวอย่างรูปที่ 3.9 พบว่าโคโรนาดีสชาร์จทางด้านกราวนด์ ตำแหน่งมุมเฟสของพัลส์ PD จะเกิดขึ้นบริเวณค่ายอดแรงดันทางด้านไซเคิลบวก และมีขนาดใกล้เคียงกัน อัตราการเกิดซ้ำของพัลส์ PD เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้น และขนาดประจุที่ปรากฏ (ประจุ IEC) มีขนาดใกล้เคียงกันเมื่อแรงดันที่ป้อนคงที่ แต่ระดับแรงดันเริ่มเกิดโคโรนาดีสชาร์จทางด้านกราวนด์จะมีค่าสูงกว่าโคโรนาดีสชาร์จด้านแรงดันสูงเมื่อระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรดเท่ากัน



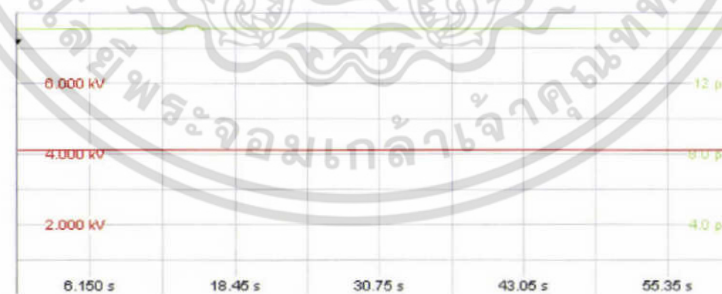
รูปที่ 3.7 วงจรวัดสัญญาณ PD ประเภทโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงดันสูง  
(ก) โคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงดันสูง  
(ข) โคโรนาดีสชาร์จทางด้านกราวนด์



(ก) ตำแหน่งของ PD บนฐานเวลารูปวงรี



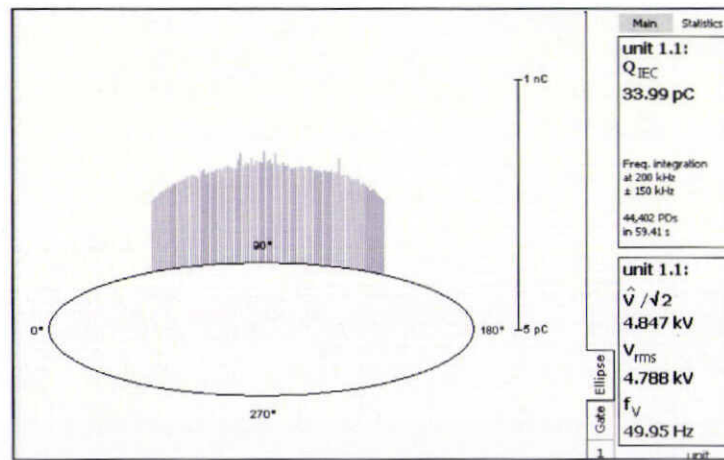
(ข) ตำแหน่งของ PD บนฐานเวลารูปคลื่นไซน์



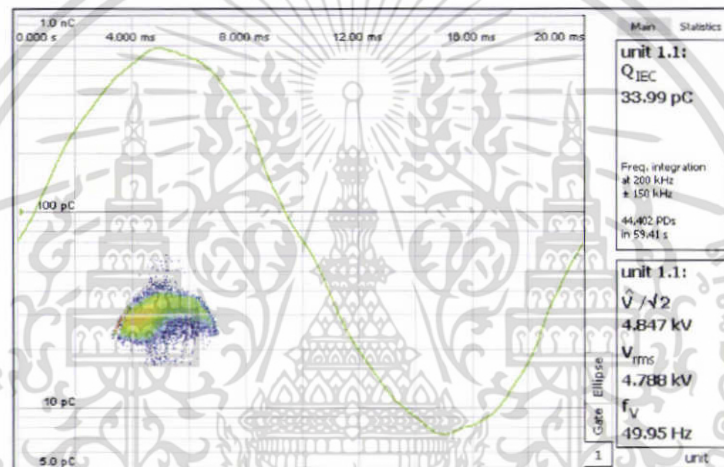
(ค) ขนาดของประจุที่ปรากฏ

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างผลการทดลองโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงดันสูง

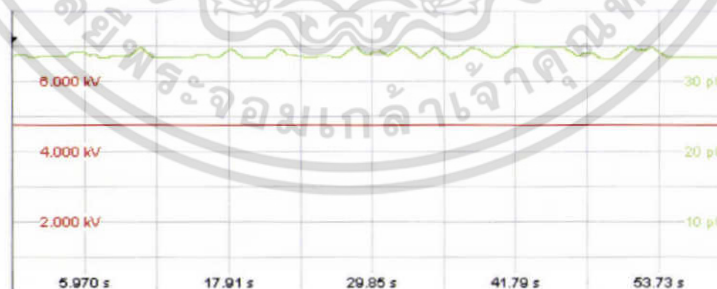
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ตำแหน่งของ PD บนฐานเวลารูปวงรี



(ข) ตำแหน่งของ PD บนฐานเวลารูปคลื่นไซน์



(ค) ขนาดของประจุที่ปรากฏ

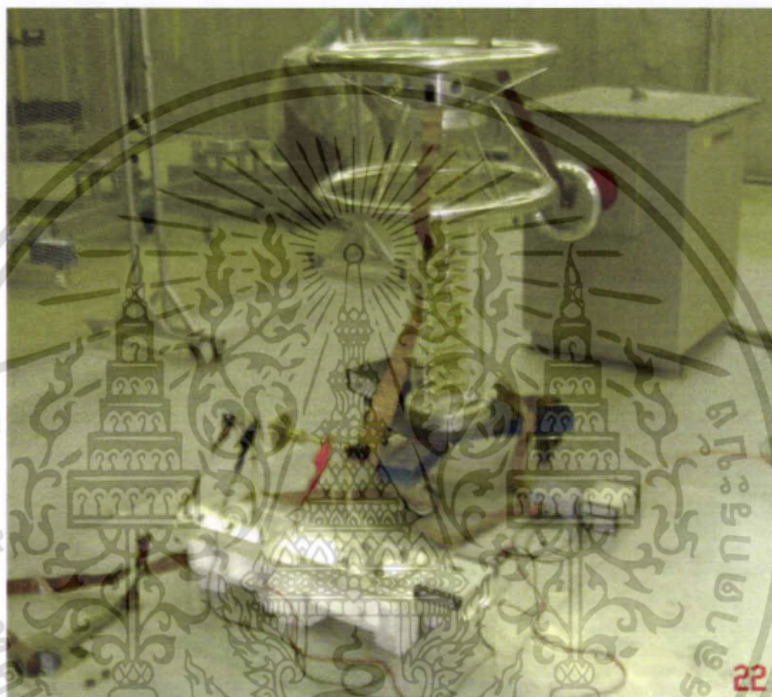
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างผลการทดลองโคโรนาดีสชาร์จทางด้านกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

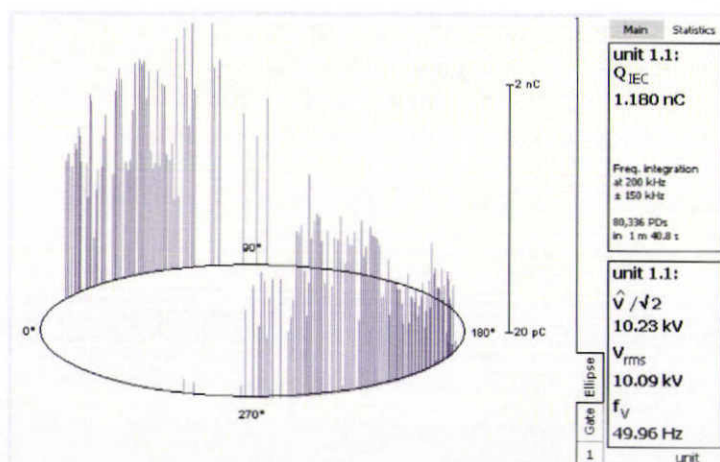
### 3.2.2 การเก็บตัวอย่างสัญญาณ PD ประเภทดิสชาร์จตามผิว

ในการทดลองวัดสัญญาณ PD ประเภทดิสชาร์จตามผิวใช้โมเดลอิเล็กทรอนิกส์ตามรูปที่ 3.2 วงจรการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.10

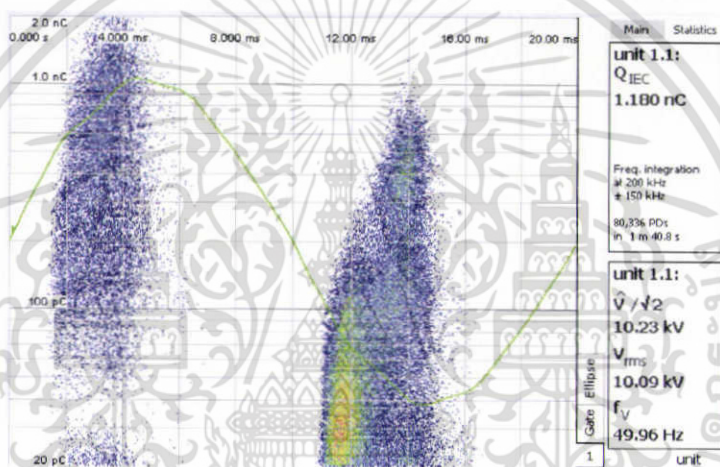
ผลการทดลองดิสชาร์จตามผิวแสดงดังรูปที่ 3.11 จากผลการทดลองพบว่า พัลส์ PD จะเกิดขึ้นพร้อมกันทั้งไซเคิลบวกและไซเคิลลบ และตำแหน่งมุมเฟสเริ่มเกิด PD จะเกิดก่อนค่ายอดแรงดันทางด้านไซเคิลบวกและลบ ขนาดของพัลส์ดิสชาร์จที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งมุมเฟสเดียวกันจะมีขนาดไม่เท่ากัน และขนาดประจุที่ปรากฏมีขนาดไม่คงที่เมื่อแรงดันที่ป้อนคงที่



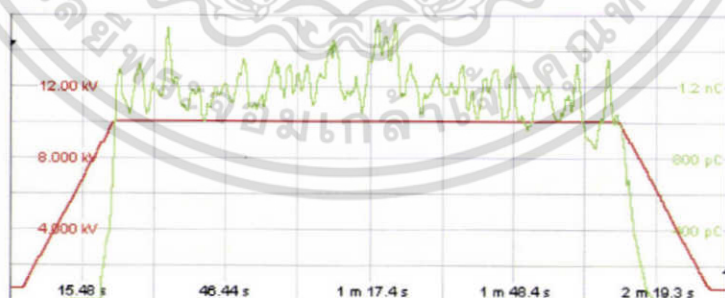
รูปที่ 3.10 วงจรวัดสัญญาณ PD ประเภทดิสชาร์จตามผิว



(ก) ตำแหน่งของ PD บนฐานเวลารูปวงรี



(ข) ตำแหน่งของ PD บนฐานเวลารูปคลื่นไซน์



(ค) ขนาดของประจุที่ปรากฏ

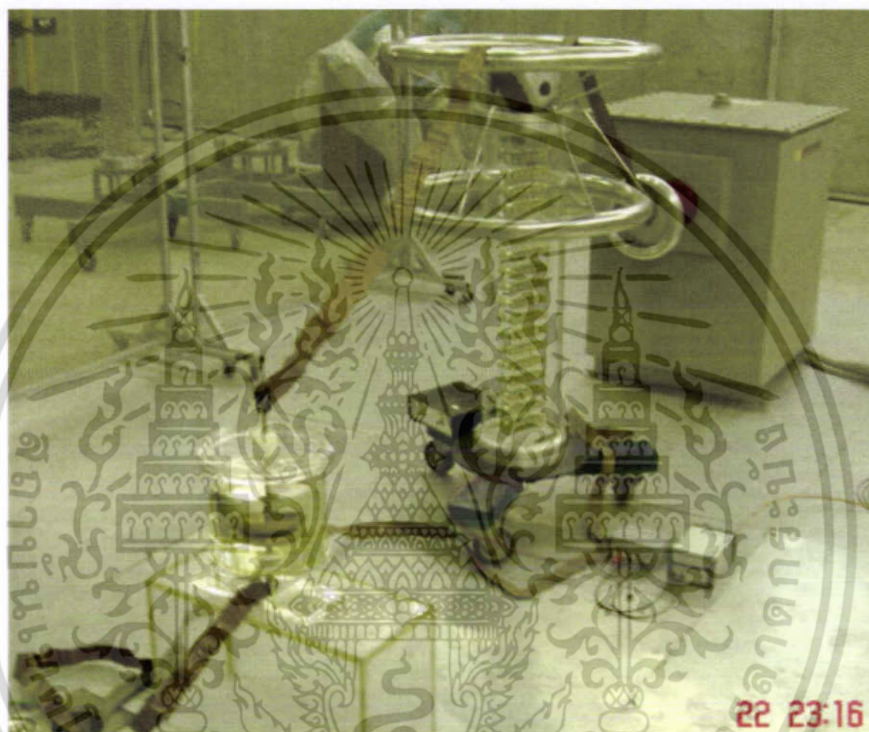
รูปที่ 3.11 ตัวอย่างผลการทดลองดีสชาร์จตามผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

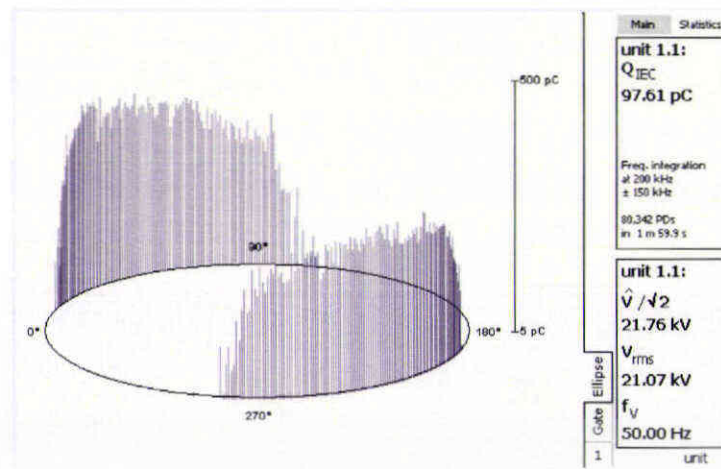
### 3.2.3 การเก็บตัวอย่างสัญญาณ PD ประเภทดิสชาร์จภายใน

ในการทดลองวัดสัญญาณ PD ประเภทดิสชาร์จภายในใช้โมเดลอิเล็กทรอนิกส์ตามรูปที่ 3.3 วงจรการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.12

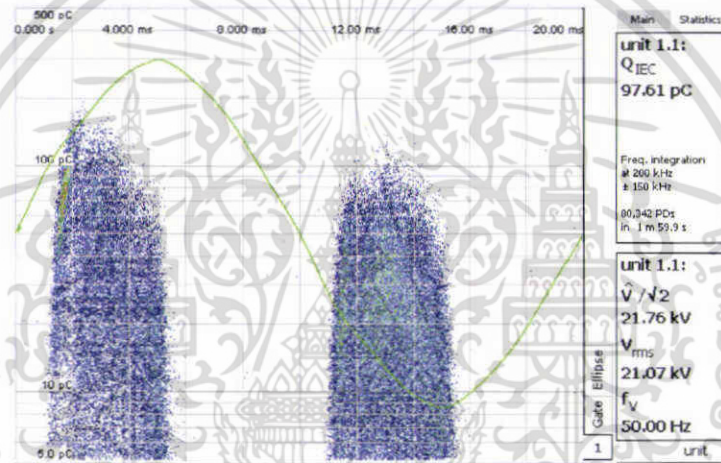
ผลการทดลองดิสชาร์จภายในแสดงดังรูปที่ 3.13 จากผลการทดลองพบว่า พัลส์ดิสชาร์จจะเกิดขึ้นพร้อมกันทั้งไซเคิลบวกและไซเคิลลบ และตำแหน่งมุมเฟสเริ่มเกิด PD จะเกิดก่อนค่ายอดแรงดันทางด้านไซเคิลบวกและลบ ขนาดของพัลส์ดิสชาร์จที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งมุมเฟสเดียวกันจะมีขนาดไม่เท่ากัน และขนาดประจุที่ปรากฏมีขนาดไม่คงที่เมื่อแรงดันที่ป้อนคงที่



รูปที่ 3.12 วงจรวัดสัญญาณ PD ประเภทดิสชาร์จภายใน



(ก) ตำแหน่งของ PD บนฐานเวลารูปวงรี



(ข) ตำแหน่งของ PD บนฐานเวลารูปคลื่นไซน์



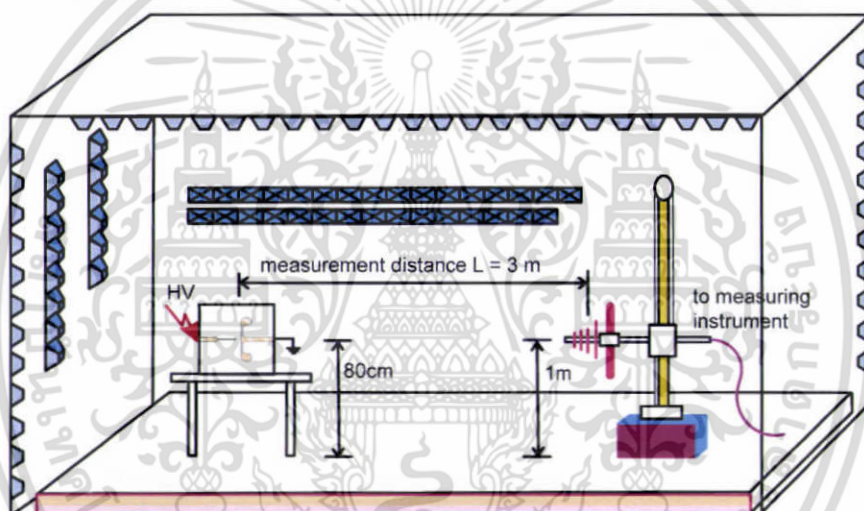
(ค) ขนาดของประจุที่ปรากฏ

รูปที่ 3.13 ตัวอย่างผลการทดลองดิสชาร์จภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การเก็บตัวอย่างสัญญาณ PD โดยใช้การวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF

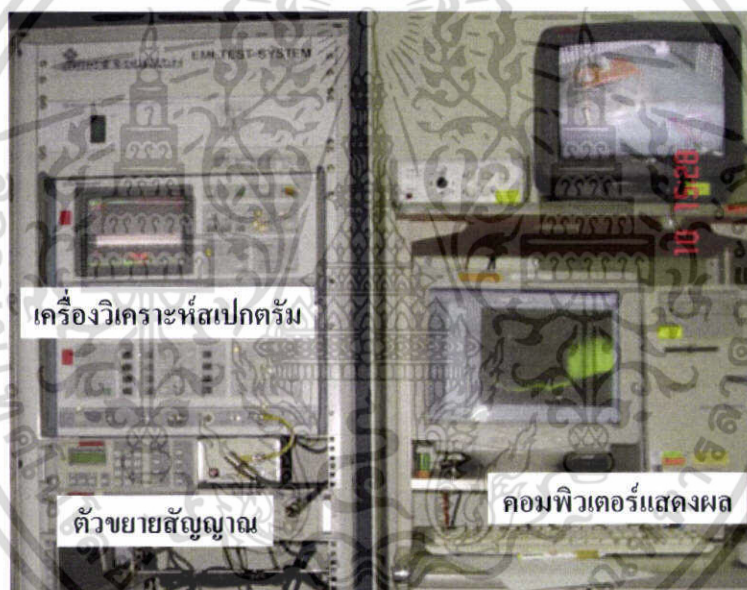
การตรวจวัด PD ด้วยวิธีการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF ใช้หลักการตรวจวัดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุขณะที่เกิด PD โดยใช้สายอากาศ (antenna) ในการตรวจวัดสัญญาณ PD ไดอะแกรมระบบการวัดแสดงดังรูปที่ 3.14 และการวงจรการวัดจริงดังรูปที่ 3.15 วงจรทางด้านแรงดันสูงประกอบด้วยหม้อแปลงทดสอบพิกัด 15 kV โมเดลจำลอง PD และสายอากาศแบบ log-periodic (แบนวิทซ์ 30 MHz - 1GHz) การตรวจวัดทำภายในห้อง Anechoic Chamber ที่ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) ซึ่งเป็นห้องชิลด์ป้องกันสัญญาณรบกวนจากภายนอก ในห้องควบคุมประกอบด้วยตัวขยายสัญญาณด้วยอัตราขยาย 20 dB เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (แบนวิทซ์ 9kHz - 1GHz) และคอมพิวเตอร์แสดงผล การป้อนแรงดันและเวลาในการทดลอง ทำเช่นเดียวกับการทดลองด้วยเทคนิคการตรวจวัด PD ด้วยวิธีแบบดั้งเดิมในรูปที่ 3.6 โดยทำการทดลองวัดสัญญาณ PD 4 ประเภท ประเภทละ 20 การทดลอง



รูปที่ 3.14 ไดอะแกรมการตรวจวัดสัญญาณดีเอสอาร์บางส่วน



(ก) วงจรทางด้านแรงดันสูง

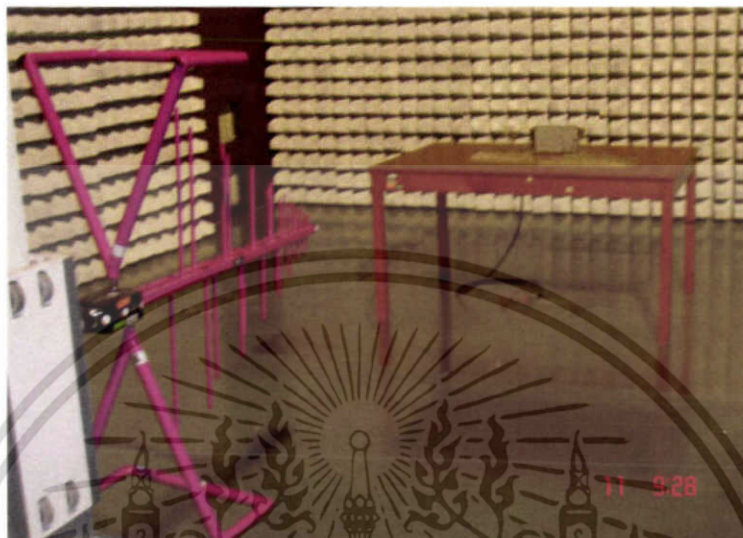


(ข) ห้องควบคุม

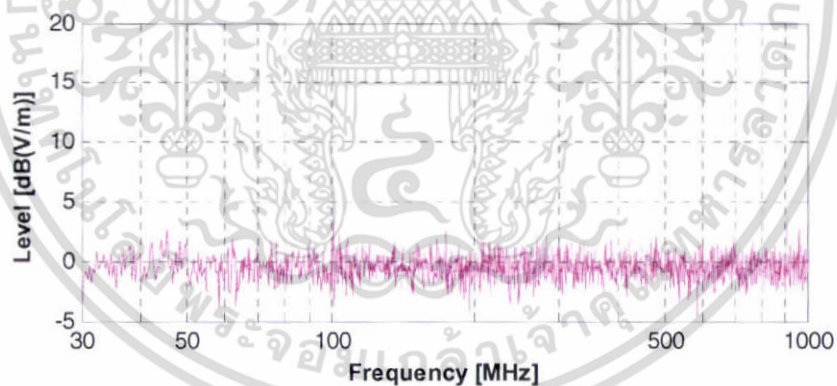
รูปที่ 3.15 วงจรการทดลองวัดสัญญาณ PD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนทำการทดลองเพื่อความถูกต้องของสัญญาณที่วัด ทำการตรวจเช็คสัญญาณรบกวนภายในวงจรการทดลองเอง (ไม่มีแบบจำลอง PD) วงจรแสดงดังรูปที่ 3.16 โดยป้อนแรงดันที่พิกัดของหม้อแปลง ผลการตรวจเช็คพบว่าไม่มีสัญญาณรบกวนภายในวงจรการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.16 วงจรการทดลองวัดสัญญาณรบกวนในห้องทดลอง



รูปที่ 3.17 สัญญาณรบกวนที่พิกัดระดับแรงดัน 15 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

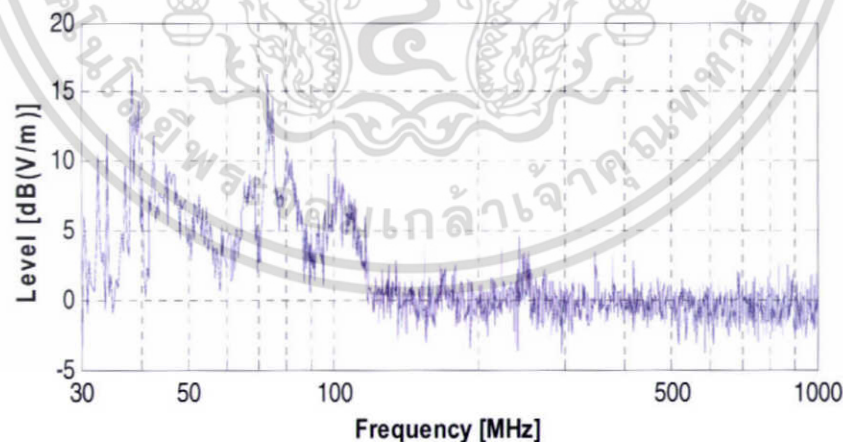
### 3.3.1 การเก็บตัวอย่างสัญญาณ PD ประเภทโคโรนาดีสชาร์จ

ในการทดลองวัดสัญญาณ PD ประเภทโคโรนาดีสชาร์จด้านแรงดันสูงและโคโรนาดีสชาร์จด้านแรงดันกราวด์ ใช้โมเดลอิเล็กทรอนิกส์ตามรูปที่ 3.1 วงจรการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.18 และ 3.20 ผลการทดลองโคโรนาดีสชาร์จด้านแรงดันสูงแสดงดังรูปที่ 3.19 จากผลการทดลองพบว่าโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงดันสูงช่วงสเปกตรัมความถี่อยู่ในช่วง 30 – 110 MHz

ผลการทดลองโคโรนาดีสชาร์จด้านแรงดันกราวด์แสดงดังรูปที่ 3.21 จากผลการทดลองพบว่าโคโรนาดีสชาร์จทางด้านกราวด์ช่วงสเปกตรัมความถี่อยู่ในช่วง 30 – 130 MHz

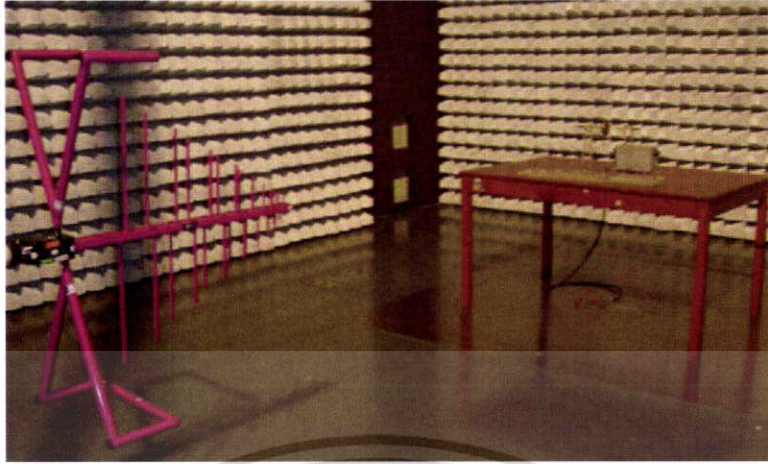


รูปที่ 3.18 วงจรวัดสัญญาณ PD ประเภทโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงดันสูง

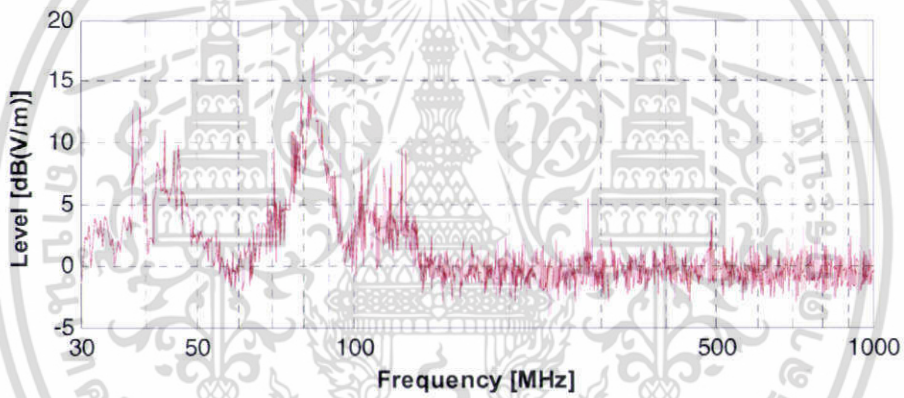


รูปที่ 3.19 ตัวอย่างสัญญาณโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 วงจรวัดสัญญาณ PD ประเภทโคโรนาดีสชาร์จทางด้านกราวนด์



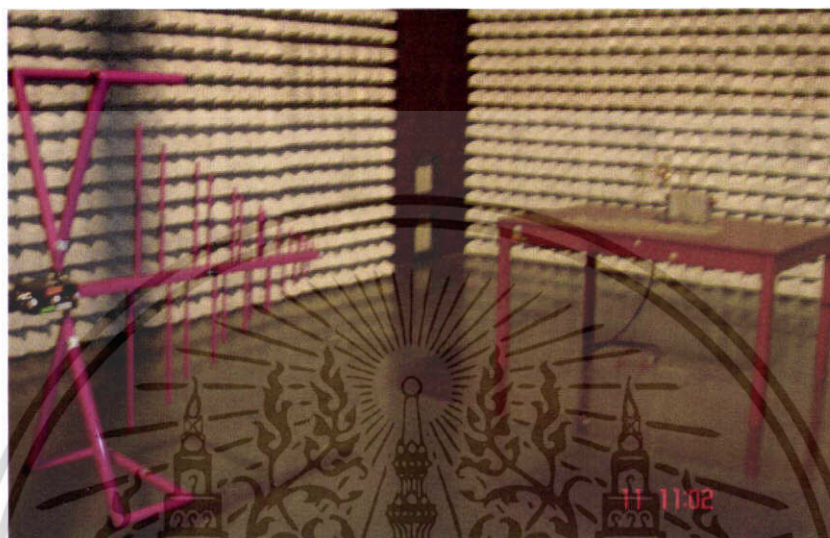
รูปที่ 3.21 ตัวอย่างสัญญาณโคโรนาดีสชาร์จทางด้านกราวนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

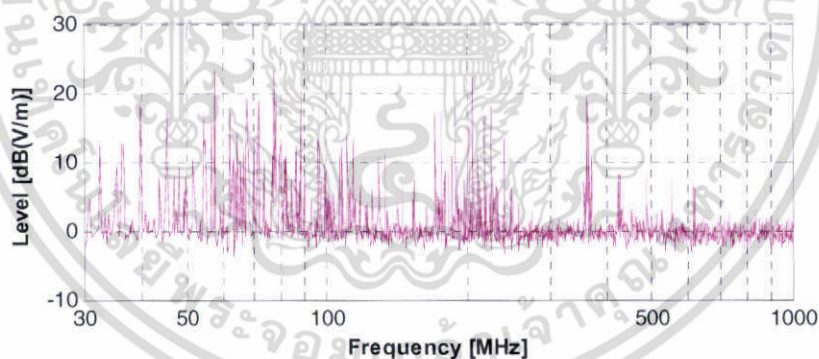
### 3.3.2 การเก็บตัวอย่างสัญญาณ PD ประเภทดีสชาร์จตามผิว

ในการทดลองวัดสัญญาณ PD ประเภทดีสชาร์จตามผิวใช้โมเดลอิเล็กทรอนิกส์ตามรูปที่ 3.2 วงจรการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.22

ผลการทดลองดีสชาร์จตามผิวแสดงดังรูปที่ 3.23 จากผลการทดลองพบว่า ดีสชาร์จตามผิว ช่วงสเปกตรัมความถี่มีช่วงกว้างอยู่ในช่วง 30 – 650 MHz



รูปที่ 3.22 วงจรวัดสัญญาณ PD ประเภทดีสชาร์จตามผิว



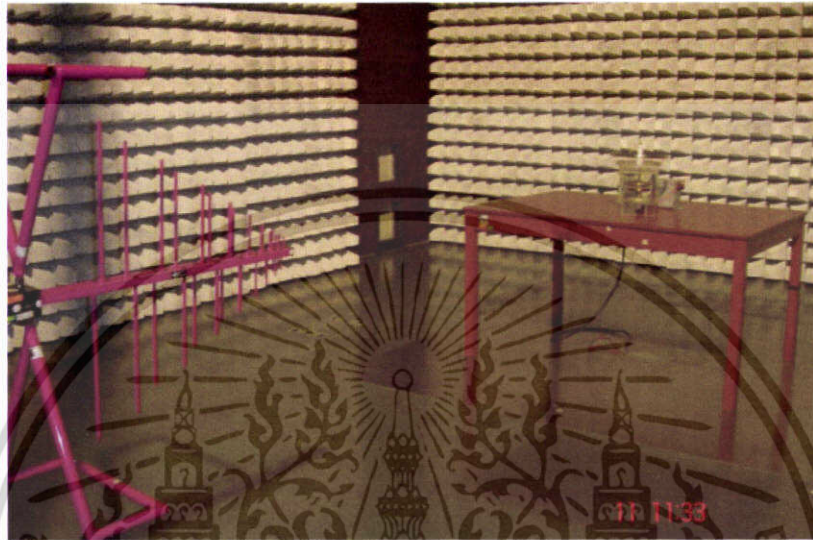
รูปที่ 3.23 ตัวอย่างสัญญาณดีสชาร์จตามผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

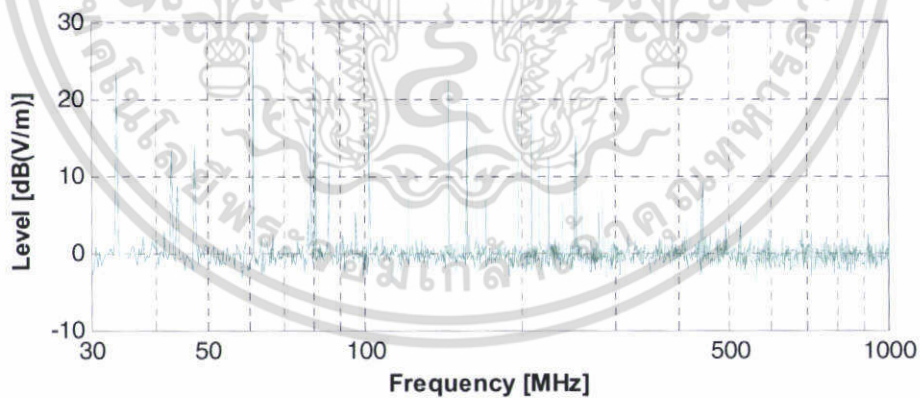
### 3.3.3 การเก็บตัวอย่างสัญญาณ PD ประเภทดีสชาร์จภายใน

ในการทดลองวัดสัญญาณ PD ประเภทดีสชาร์จภายในใช้โมเดลอิเล็กทรอนิกส์ตามรูปที่ 3.3 วงจรการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.24

ผลการทดลองดีสชาร์จภายในแสดงดังรูปที่ 3.25 จากผลการทดลองพบว่า ดีสชาร์จภายใน ช่วงสเปกตรัมความถี่มีช่วงกว้างอยู่ในช่วง 35 – 600 MHz



รูปที่ 3.24 วงจรวัดสัญญาณ PD ประเภทดีสชาร์จภายใน



รูปที่ 3.25 ตัวอย่างสัญญาณดีสชาร์จภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

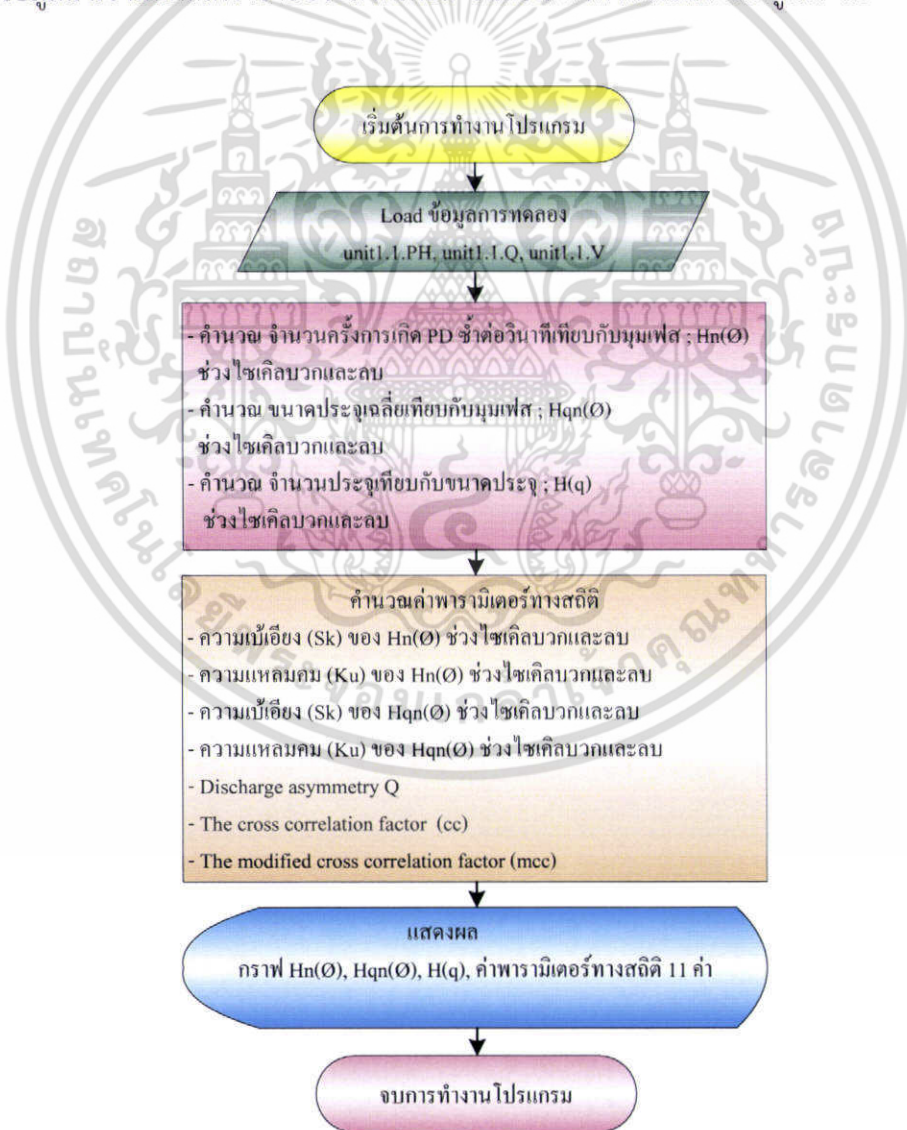
## บทที่ 4

### การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ

ในบทนี้นำเสนอการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของสัญญาณ PD ที่ได้จากการทดลองในบทที่ 3 ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทางสถิติที่ได้จะไปใช้ในบทที่ 5 ใช้สอนโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมให้รู้จำรูปแบบของประเภท PD

#### 4.1 การหาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของสัญญาณ PD ที่ได้จากวิธีดั้งเดิม

สัญญาณ PD ที่ได้จากการทดลองในบทที่ 3 หัวข้อการทดลองการตรวจวัด PD ด้วยวิธีดั้งเดิมยังไม่เหมาะที่จะนำมาเป็นข้อมูลนำเข้าโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมเนื่องจากมีจำนวนข้อมูลมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงพัฒนาโปรแกรมหาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม MATLAB คำนวณ เพื่อลดจำนวนข้อมูลนำเข้าโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม ขั้นตอนการคำนวณแสดงดังรูปที่ 4.1

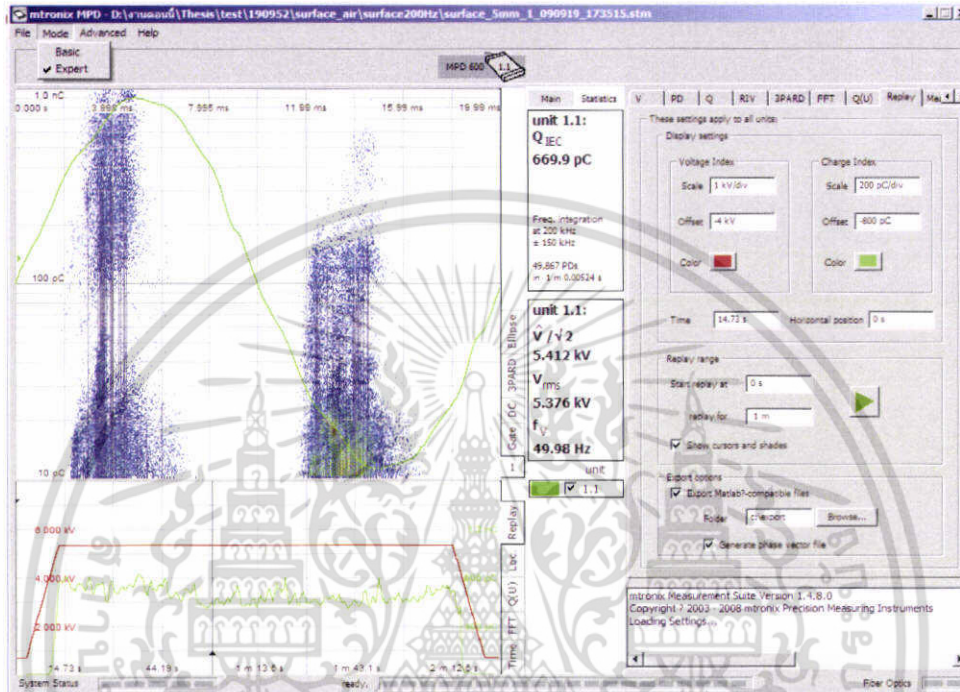


รูปที่ 4.1 แผนผังโปรแกรมหาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ

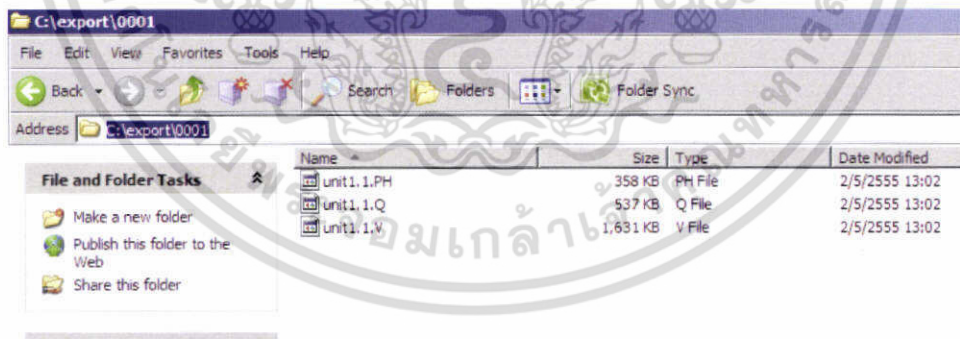
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.1 ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

จากการทดลองในบทที่ 3 สัญญาณ PD ที่ได้จากซอฟต์แวร์ mtronix MPD600 สามารถ Export files ข้อมูล ได้โดยเลือก mode Expert และเลือก Export Matlab – compatible files, Generate phase vectorfile แสดงดังรูปที่ 4.2 (ก) จะได้ files ข้อมูล 3 file คือ unit1.1.PH (ข้อมูลมุมเฟส), unit1.1.Q (ข้อมูลขนาดประจุ), unit1.1.V (ข้อมูลแรงดัน) แสดงดังรูปที่ 4.2 (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.2 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้ ซอฟต์แวร์ mtronix MPD600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Export files ข้อมูลแล้ว ต่อไปทำการ run โปรแกรม Feature\_Extraction\_IEC.m ที่พัฒนาขึ้นในโปรแกรม MATLAB แสดงดังรูปที่ 4.3 โปรแกรมจะให้ใส่ที่อยู่ของ file ข้อมูลที่จะคำนวณ และให้ใส่ขนาด PD เริ่มเกิด จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางสถิติและกราฟแสดงดังรูปที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติที่ได้มี 11 ค่า ดังนี้

1. ค่าความเบ้เอียงของ  $Hn(\Phi)$  ช่วงไซเคิลบวก;  $Sk+(Hn)$
2. ค่าความเบ้เอียงของ  $Hn(\Phi)$  ช่วงไซเคิลลบ;  $Sk-(Hn)$
3. ค่าความแหลมคมของ  $Hn(\Phi)$  ช่วงไซเคิลบวก;  $Ku+(Hn)$
4. ค่าความแหลมคมของ  $Hn(\Phi)$  ช่วงไซเคิลลบ;  $Ku-(Hn)$
5. ค่าความเบ้เอียงของ  $Hqn(\Phi)$  ช่วงไซเคิลบวก;  $Sk+(Hqn)$
6. ค่าความเบ้เอียงของ  $Hqn(\Phi)$  ช่วงไซเคิลลบ;  $Sk-(Hqn)$
7. ค่าความแหลมคมของ  $Hqn(\Phi)$  ช่วงไซเคิลบวก;  $Ku+(Hqn)$
8. ค่าความแหลมคมของ  $Hqn(\Phi)$  ช่วงไซเคิลลบ;  $Ku-(Hqn)$
9. ค่า Discharge asymmetry; Q
10. ค่า The cross correlation factor; cc
11. ค่า The modified cross correlation factor; mcc

```

Command Window
>> Feature_Extraction_IEC
Enter directory filename : c:\export\0001
Enter PD inception (pC): 10

Please wait .....

*****
                Statistical Operators
*****

Number pulse of discharge in positive: 18479
Number pulse of discharge in negcative: 30577

Hn(phase): Sk+= 0.150, Sk-= 0.122, Ku+= -0.283, Ku-= -0.782
Hqn(phase): Sk+= -0.059, Sk-= -0.041, Ku+= -0.540, Ku-= -1.115

Q = 0.197

cc = 0.821

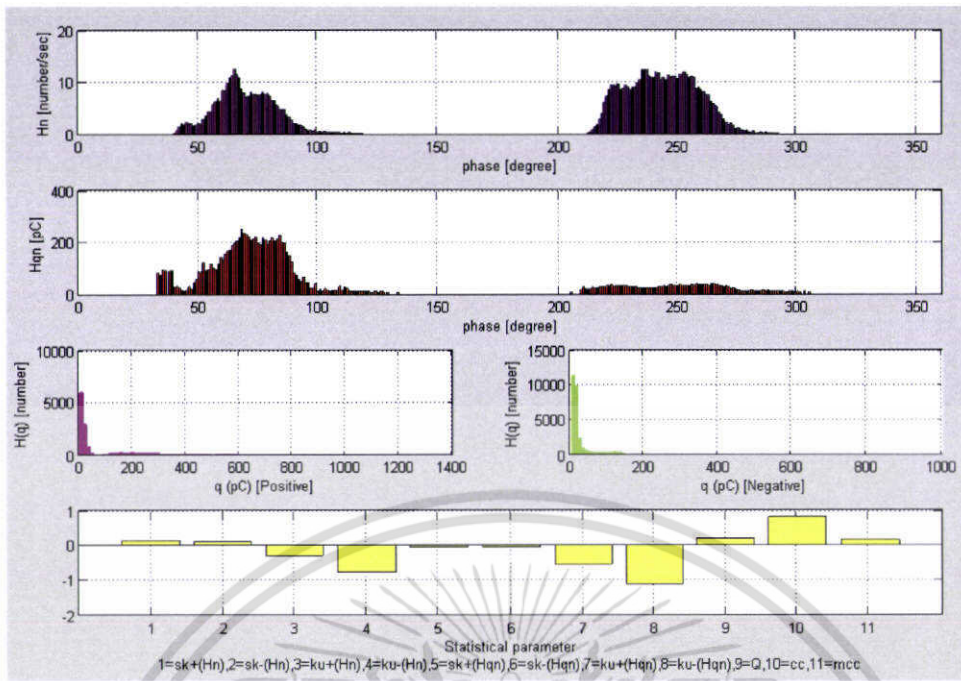
mcc = 0.162

*****

```

รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการ run โปรแกรม Feature\_Extraction\_IEC.m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

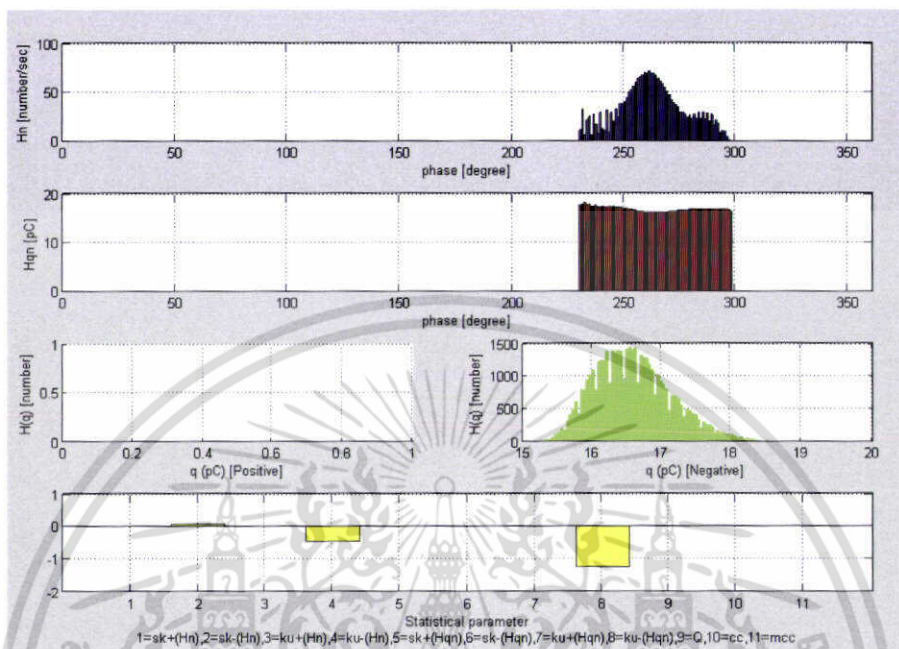


รูปที่ 4.4 ตัวอย่างผลการ run โปรแกรม Feature\_Extraction\_IEC.m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.2 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสชาร์จด้านแรงดันสูง

ผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสชาร์จด้านแรงดันสูงที่ได้จากการทดลองในบทที่ 3 ข้อ 3.2.1 แสดงดังรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4-1



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงดันสูง

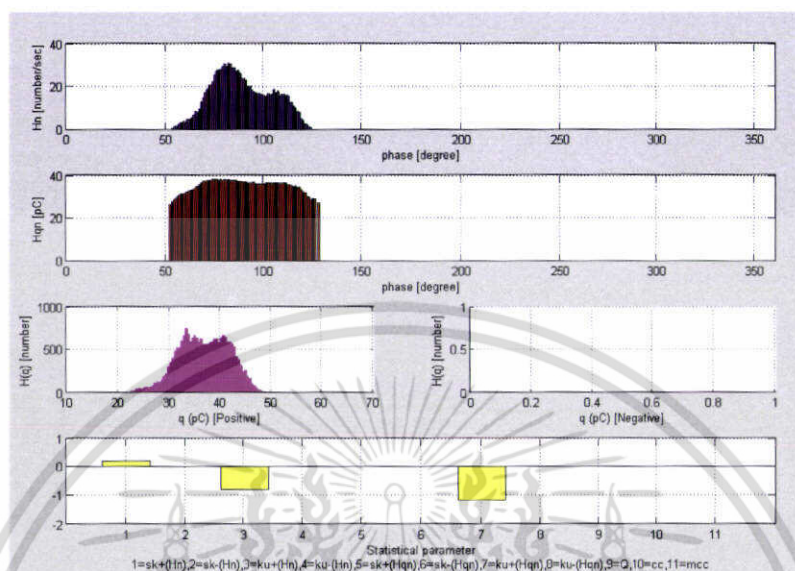
ตารางที่ 4-1 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงดันสูงจาก 20 การทดลอง

ครั้งที่	Hn(phase)				Hqn(phase)				Q	cc	mcc
	Sk+	Sk-	Ku+	Ku-	Sk+	Sk-	Ku+	Ku-			
1	0.000	0.313	0.000	-1.047	0.000	0.010	0.000	-1.201	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.074	0.000	-0.501	0.000	0.018	0.000	-1.225	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.464	0.000	-0.589	0.000	-0.092	0.000	-1.229	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.207	0.000	-1.018	0.000	0.021	0.000	-1.199	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.064	0.000	-0.445	0.000	0.016	0.000	-1.224	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.461	0.000	-0.733	0.000	-0.140	0.000	-1.187	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.237	0.000	-1.008	0.000	0.019	0.000	-1.200	0.000	0.000	0.000
8	0.000	0.118	0.000	-0.457	0.000	0.017	0.000	-1.224	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.454	0.000	-0.531	0.000	-0.123	0.000	-1.214	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.838	0.000	-0.291	0.000	0.008	0.000	-1.204	0.000	0.000	0.000
11	0.000	-0.022	0.000	-0.639	0.000	0.021	0.000	-1.226	0.000	0.000	0.000
12	0.000	0.068	0.000	-0.584	0.000	-0.069	0.000	-1.220	0.000	0.000	0.000
13	0.000	0.855	0.000	-0.365	0.000	0.009	0.000	-1.205	0.000	0.000	0.000
14	0.000	0.117	0.000	-0.626	0.000	0.020	0.000	-1.227	0.000	0.000	0.000
15	0.000	0.058	0.000	-0.670	0.000	-0.030	0.000	-1.204	0.000	0.000	0.000
16	0.000	0.034	0.000	-0.590	0.000	0.015	0.000	-1.211	0.000	0.000	0.000
17	0.000	0.029	0.000	-0.936	0.000	0.022	0.000	-1.221	0.000	0.000	0.000
18	0.000	0.661	0.000	-0.105	0.000	-0.014	0.000	-1.214	0.000	0.000	0.000
19	0.000	0.079	0.000	-0.533	0.000	0.016	0.000	-1.212	0.000	0.000	0.000
20	0.000	0.052	0.000	-0.759	0.000	0.019	0.000	-1.226	0.000	0.000	0.000
average	0.000	0.258	0.000	-0.621	0.000	-0.012	0.000	-1.214	0.000	0.000	0.000
min	0.000	-0.022	0.000	-1.047	0.000	-0.140	0.000	-1.229	0.000	0.000	0.000
max	0.000	0.855	0.000	-0.105	0.000	0.022	0.000	-1.187	0.000	0.000	0.000
std	0.000	0.274	0.000	0.247	0.000	0.051	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตให้ถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.3 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสซาร์จด้านกราวนด์

ผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสซาร์จด้านกราวนด์ที่ได้จากการทดลองในบทที่ 3 ข้อ 3.2.1 แสดงดังรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4-2



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสซาร์จทางด้านกราวนด์

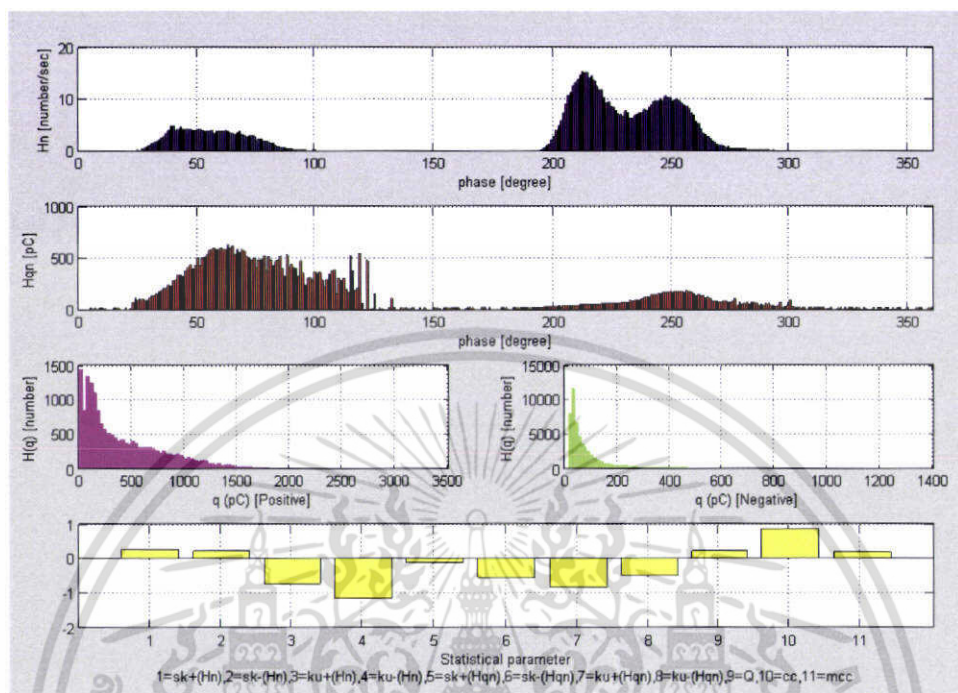
ตารางที่ 4-2 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสซาร์จทางด้านกราวนด์จาก 20 การทดลอง

ครั้งที่	Hn(phase)				Hqn(phase)				Q	cc	mcc
	Sk+	Sk-	Ku+	Ku-	Sk+	Sk-	Ku+	Ku-			
1	0.248	0.000	-0.917	0.000	0.049	0.000	-1.209	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.221	0.000	-0.757	0.000	0.007	0.000	-1.135	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.361	0.000	-0.928	0.000	0.004	0.000	-1.202	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.505	0.000	-0.466	0.000	-0.009	0.000	-1.195	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.071	0.000	-0.759	0.000	-0.011	0.000	-1.142	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.612	0.000	-0.519	0.000	-0.014	0.000	-1.224	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.126	0.000	-0.934	0.000	0.011	0.000	-1.204	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.811	0.000	-0.009	0.000	-0.088	0.000	-1.143	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.632	0.000	-0.326	0.000	-0.014	0.000	-1.225	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.090	0.000	-0.915	0.000	0.008	0.000	-1.205	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.691	0.000	-0.206	0.000	-0.067	0.000	-1.139	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.639	0.000	-0.322	0.000	-0.013	0.000	-1.225	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.043	0.000	-0.951	0.000	0.016	0.000	-1.202	0.000	0.000	0.000	0.000
14	1.017	0.000	0.858	0.000	0.114	0.000	-1.213	0.000	0.000	0.000	0.000
15	0.644	0.000	-0.117	0.000	0.004	0.000	-1.213	0.000	0.000	0.000	0.000
16	0.055	0.000	-0.952	0.000	0.023	0.000	-1.201	0.000	0.000	0.000	0.000
17	0.247	0.000	-0.767	0.000	0.020	0.000	-1.226	0.000	0.000	0.000	0.000
18	0.689	0.000	-0.077	0.000	0.002	0.000	-1.213	0.000	0.000	0.000	0.000
19	0.124	0.000	-0.898	0.000	0.026	0.000	-1.205	0.000	0.000	0.000	0.000
20	0.255	0.000	-0.749	0.000	0.018	0.000	-1.225	0.000	0.000	0.000	0.000
average	0.404	0.000	-0.536	0.000	0.004	0.000	-1.197	0.000	0.000	0.000	0.000
min	0.043	0.000	-0.952	0.000	-0.088	0.000	-1.226	0.000	0.000	0.000	0.000
max	1.017	0.000	0.858	0.000	0.114	0.000	-1.135	0.000	0.000	0.000	0.000
std	0.294	0.000	0.464	0.000	0.040	0.000	0.031	0.000	0.000	0.000	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.4 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสซาร์จตามผิว

ผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสซาร์จตามผิวที่ได้จากการทดลองในบ่อที่ 3 ข้อ 3.2.2 แสดงดังรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4-3



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสซาร์จตามผิว

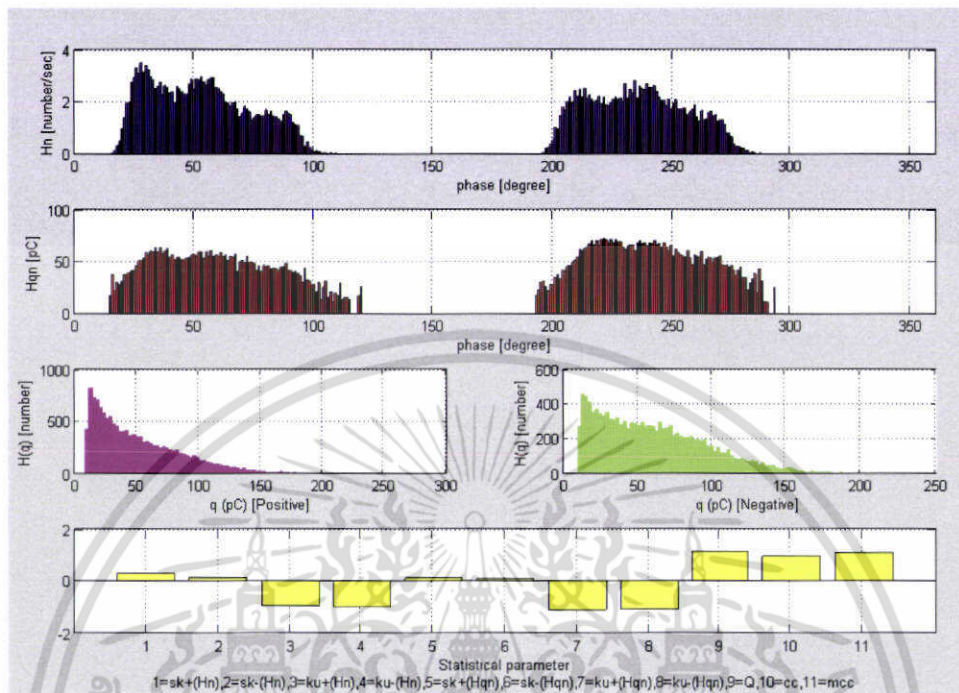
ตารางที่ 4-3 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสซาร์จตามผิวจาก 20 การทดลอง

ครั้งที่	Hn(phase)				Hqn(phase)				Q	cc	mcc
	Sk+	Sk-	Ku+	Ku-	Sk+	Sk-	Ku+	Ku-			
1	0.431	0.880	-0.866	-0.339	0.142	0.082	-1.042	-1.197	0.907	0.938	0.851
2	0.424	0.969	-0.984	-0.288	0.028	0.076	-1.226	-1.189	0.951	0.948	0.902
3	0.639	0.933	-0.102	0.742	0.114	0.203	-1.084	-1.039	0.881	0.964	0.850
4	0.363	0.905	-1.157	-0.323	0.136	0.099	-1.081	-1.204	0.903	0.926	0.836
5	0.296	0.955	-1.161	-0.603	-0.004	0.079	-1.232	-1.203	0.978	0.944	0.924
6	0.653	0.587	-0.058	-0.195	0.194	0.186	-1.031	-0.949	0.890	0.967	0.861
7	0.346	0.706	-0.992	-0.439	0.098	0.078	-1.011	-1.154	0.870	0.939	0.816
8	0.431	0.533	-0.810	-0.408	0.093	0.043	-1.111	-1.164	0.845	0.943	0.797
9	0.612	0.807	-0.704	-0.604	0.009	0.086	-1.123	-1.202	1.013	0.930	0.942
10	0.735	0.521	0.034	0.074	-0.098	0.127	-1.067	-0.953	0.960	0.971	0.932
11	0.809	0.771	-0.136	0.331	0.188	0.128	-1.067	-1.030	0.956	0.954	0.912
12	0.579	1.062	-0.916	0.156	-0.018	0.079	-1.192	-1.178	0.956	0.917	0.877
13	0.744	0.427	-0.051	-0.239	0.150	0.184	-1.146	-0.993	0.903	0.612	0.552
14	0.534	0.771	-0.821	-0.619	0.006	0.125	-1.118	-1.182	1.039	0.942	0.979
15	0.774	0.636	-0.026	-0.314	0.128	0.099	-1.130	-1.129	0.851	0.967	0.823
16	0.347	0.925	-1.114	-0.301	0.005	0.114	-1.159	-1.179	0.988	0.942	0.931
17	0.643	0.885	-0.218	0.711	0.166	0.063	-0.917	-0.959	0.882	0.949	0.837
18	0.336	0.792	-1.090	-0.639	-0.032	0.095	-1.133	-1.192	0.974	0.945	0.920
19	0.859	0.655	0.214	0.238	0.237	0.077	-0.967	-0.900	0.927	0.980	0.909
20	0.807	0.762	0.054	0.714	0.189	0.057	-0.941	-0.797	0.943	0.964	0.909
average	0.567	0.774	-0.545	-0.098	0.092	0.104	-1.089	-1.090	0.931	0.932	0.868
min	0.296	0.427	-1.161	-0.639	-0.032	0.043	-1.232	-1.204	0.845	0.612	0.552
max	0.859	1.062	0.214	0.742	0.237	0.203	-0.917	-0.797	1.039	0.980	0.979
std	0.187	0.172	0.496	0.444	0.079	0.044	0.087	0.125	0.054	0.077	0.089

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.5 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสซาร์จภายใน

ผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสซาร์จภายในที่ได้จากการทดลองในบทที่ 3 ข้อ 3.2.3 แสดงดังรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4-4



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสซาร์จภายใน

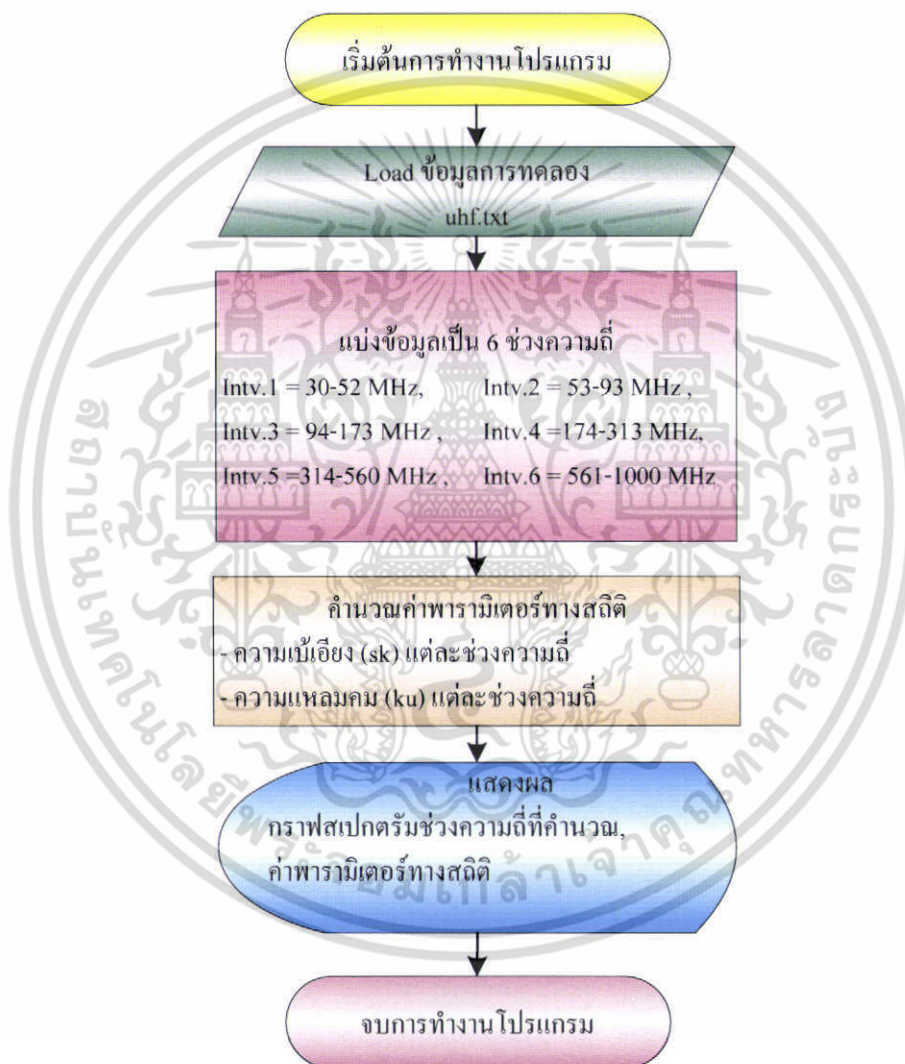
ตารางที่ 4-4 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสซาร์จภายใน จาก 20 การทดลอง

ครั้งที่	Hn(phase)				Hqn(phase)				Q	cc	mcc
	Sk+	Sk-	Ku+	Ku-	Sk+	Sk-	Ku+	Ku-			
1	0.249	0.472	-0.542	-0.467	-0.125	0.106	-0.934	-1.181	0.980	0.838	0.821
2	0.403	0.162	-0.726	-0.934	-0.033	-0.024	-1.061	-1.141	1.176	0.960	1.130
3	0.348	0.140	-0.868	-1.003	0.069	0.070	-1.163	-1.057	1.616	0.942	1.522
4	0.340	0.087	-0.917	-0.981	0.116	0.168	-1.082	-1.019	1.142	0.967	1.105
5	0.339	0.113	-0.911	-1.013	0.126	0.128	-1.062	-1.043	1.007	0.976	0.983
6	0.313	0.086	-0.926	-1.020	0.215	0.113	-0.993	-1.073	0.726	0.959	0.696
7	0.280	0.025	-1.002	-1.036	0.173	0.197	-1.071	-1.028	0.890	0.981	0.873
8	0.321	0.057	-0.898	-1.024	0.293	0.184	-0.905	-1.037	0.520	0.922	0.479
9	0.323	0.053	-0.870	-1.006	0.348	0.180	-0.838	-1.022	0.487	0.904	0.441
10	0.322	0.067	-0.875	-1.013	0.420	0.195	-0.733	-0.997	0.474	0.897	0.426
11	0.261	0.063	-0.989	-1.018	0.374	0.211	-0.765	-0.980	0.452	0.898	0.405
12	0.320	0.105	-0.978	-0.991	0.330	0.236	-0.899	-0.986	0.638	0.955	0.610
13	0.242	0.124	-1.082	-1.015	0.463	0.205	-0.741	-0.964	0.565	0.923	0.522
14	0.254	0.126	-1.053	-1.014	0.406	0.179	-0.767	-0.977	0.524	0.907	0.476
15	0.231	0.143	-1.068	-0.991	0.512	0.153	-0.636	-1.007	0.519	0.903	0.469
16	0.194	0.143	-1.099	-0.971	0.462	0.132	-0.710	-0.990	0.550	0.900	0.495
17	0.221	0.155	-1.087	-0.975	0.516	0.121	-0.649	-0.996	0.552	0.899	0.496
18	0.117	0.076	-1.198	-1.034	0.437	0.136	-0.836	-0.999	0.625	0.266	0.166
19	0.193	0.127	-1.087	-0.973	0.499	0.072	-0.790	-1.018	0.577	0.889	0.513
20	0.186	0.082	-1.084	-0.971	0.465	0.105	-0.847	-0.990	0.613	0.545	0.334
average	0.273	0.120	-0.963	-0.972	0.303	0.143	-0.874	-1.025	0.732	0.872	0.648
min	0.117	0.025	-1.198	-1.036	-0.125	-0.024	-1.163	-1.181	0.452	0.266	0.166
max	0.403	0.472	-0.542	-0.467	0.516	0.236	-0.636	-0.964	1.616	0.981	1.522
std	0.070	0.091	0.149	0.122	0.192	0.061	0.156	0.054	0.308	0.169	0.329

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การหาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของสัญญาณ PD ที่ได้จากการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF

สัญญาณ PD ที่ได้จากการทดลองในบทที่ 3 ในหัวข้อการตรวจวัด PD ด้วยวิธีการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF ยังไม่เหมาะที่จะนำเป็นข้อมูลนำเข้าโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมเนื่องจากมีจำนวนข้อมูลมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงพัฒนาโปรแกรมหาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการคำนวณ เพื่อลดจำนวนข้อมูลนำเข้าโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม ขั้นตอนการคำนวณแสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แผนผังโปรแกรมหาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1 ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

จากการทดลองในบทที่ 3 สัญญาณ PD ที่ได้จากการทดลอง ในหัวข้อการตรวจวัด PD ด้วยวิธีการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF สามารถบันทึก file ข้อมูลนามสกุล .txt ซึ่งสามารถนำมา run โปรแกรม Feature\_Extraction\_UHF.m ที่พัฒนาขึ้นในโปรแกรม MATLAB แสดงดังรูปที่ 4.10 โปรแกรมจะให้ใส่ชื่อ file ข้อมูลที่จะคำนวณ จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ แต่ละช่วงความถี่ ในการที่จะแบ่งว่าควรจะมีกี่ช่วงความถี่นั้นไม่มีข้อกำหนดขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูลที่ต้องการแบ่ง ในที่นี้แบ่งสัญญาณ PD ที่วัดได้ออกเป็น 6 ช่วงความถี่คือ 30-52 (Intv.1), 53-93 (Intv.2), 94-173 (Intv.3), 174-313 (Intv.4), 314-560 (Intv.5), 561-1000 (Intv.6) MHz ผลการคำนวณแสดงดังรูปที่ 4.10 และกราฟแสดงดังรูปที่ 4.11 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติที่ได้มี 12 ค่า ดังนี้

1. ค่าความเบ้เอียงของสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 1;  $Sk(intv1)$
2. ค่าความแหลมคมสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 1;  $Sk(intv1)$
3. ค่าความเบ้เอียงของสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 2;  $Sk(intv2)$
4. ค่าความแหลมคมสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 2;  $Sk(intv2)$
5. ค่าความเบ้เอียงของสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 3;  $Sk(intv3)$
6. ค่าความแหลมคมสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 3;  $Sk(intv3)$
7. ค่าความเบ้เอียงของสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 4;  $Sk(intv4)$
8. ค่าความแหลมคมสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 4;  $Sk(intv4)$
9. ค่าความเบ้เอียงของสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 5;  $Sk(intv5)$
10. ค่าความแหลมคมสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 5;  $Sk(intv5)$
11. ค่าความเบ้เอียงของสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 6;  $Sk(intv6)$
12. ค่าความแหลมคมสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 6;  $Sk(intv6)$

```

Command Window
>> Feature_Extraction_UHF
Enter filename: uhf.txt

*****
                Statistical Operators
*****

skewness interval 1 = -0.336

kurtosis interval 1 = -0.571

skewness interval 2 = -0.045

kurtosis interval 2 = -0.683

skewness interval 3 = 1.921

kurtosis interval 3 = 3.055

skewness interval 4 = -0.150

kurtosis interval 4 = -0.472

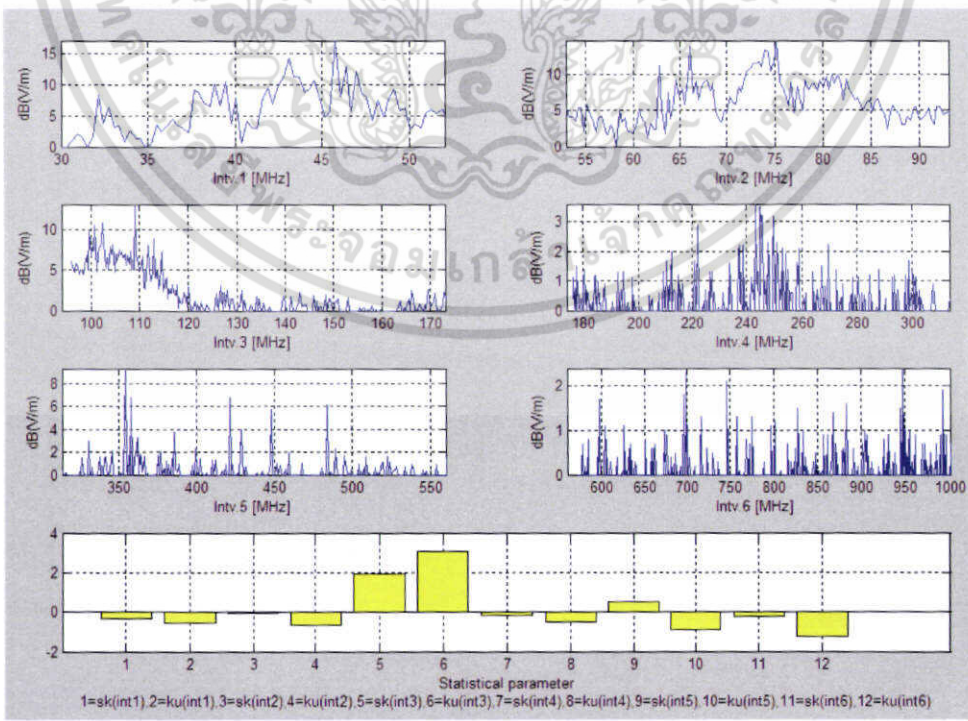
skewness interval 5 = 0.530

kurtosis interval 5 = -0.893

skewness interval 6 = -0.193

kurtosis interval 6 = -1.253
    
```

รูปที่ 4.10 ตัวอย่างการ run โปรแกรม Feature\_Extraction\_UHF.m

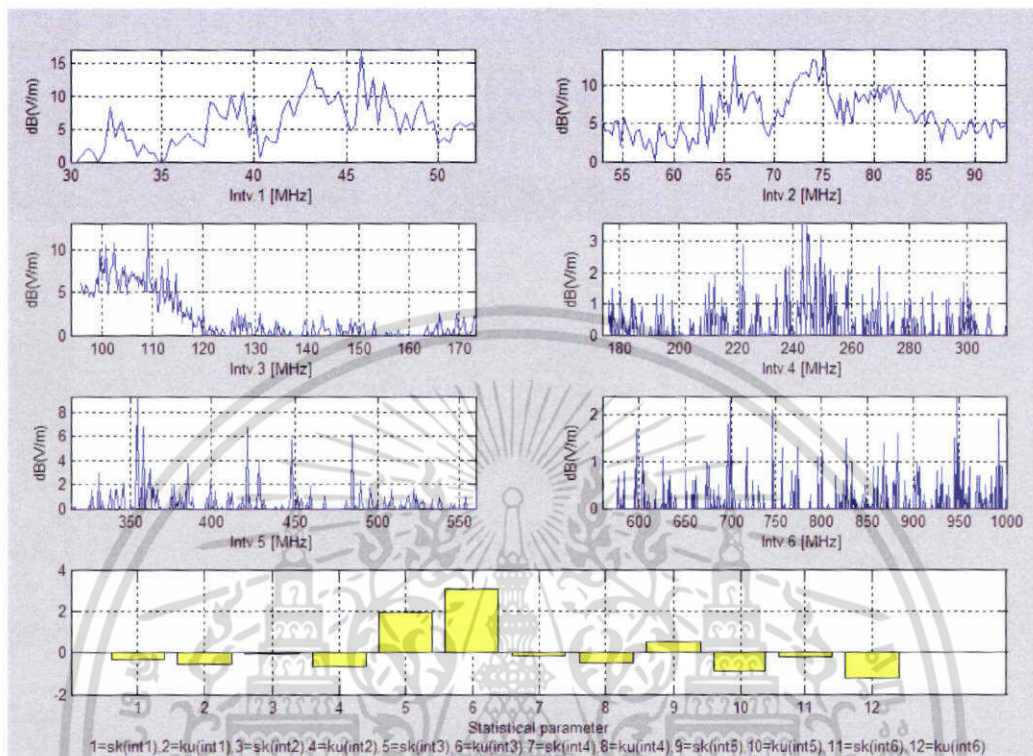


รูปที่ 4.11 ตัวอย่างผลการ run โปรแกรม Feature\_Extraction\_UHF.m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.2 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสชาร์จด้านแรงดันสูง

ผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสชาร์จด้านแรงดันสูงที่ได้จากการทดลองในบทที่ 3 ข้อ 3.3.1 แสดงดังรูปที่ 4.12 และตารางที่ 4-5



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงดันสูง

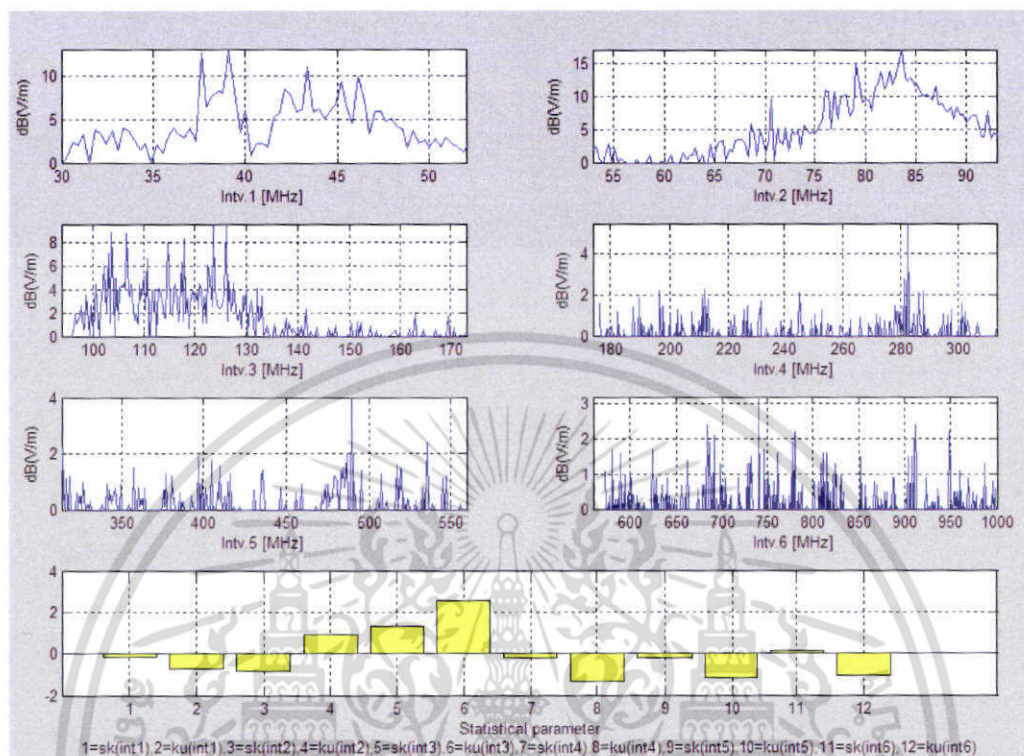
ตารางที่ 4-5 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสชาร์จทางด้านแรงดันสูงจาก 20 การทดลอง

ครั้งที่	Intv.1		Intv.2		Intv.3		Intv.4		Intv.5		Intv.6	
	Sk	Ku	Sk	Ku	Sk	Ku	Sk	Ku	Sk	Ku	Sk	Ku
1	-0.336	-0.571	-0.045	-0.683	1.921	3.055	-0.150	-0.472	0.530	-0.893	-0.193	-1.253
2	-0.494	-0.504	-0.090	-0.713	2.063	3.590	-0.165	-0.557	0.149	-1.242	0.128	-1.215
3	-0.250	-0.795	-0.099	-0.667	2.359	5.207	-0.095	-0.462	0.350	-0.936	0.066	-1.176
4	-0.106	-0.762	-0.091	-0.661	2.059	3.457	-0.137	-0.607	0.132	-1.275	0.043	-1.288
5	-0.127	-0.882	-0.100	-0.638	1.974	3.052	-0.201	-0.327	0.314	-1.100	-0.052	-1.097
6	-0.063	-0.908	-0.102	-0.689	2.182	4.090	-0.165	-0.483	0.383	-0.940	0.065	-1.238
7	-0.288	-0.773	-0.097	-0.686	2.240	4.573	-0.056	-0.797	0.145	-1.394	0.214	-1.078
8	-0.022	-0.778	-0.098	-0.733	2.063	3.603	0.021	-0.671	0.224	-1.172	0.172	-1.075
9	-0.259	-0.751	-0.127	-0.764	2.292	4.936	-0.028	-0.408	0.198	-1.228	0.250	-1.200
10	-0.155	-0.918	-0.035	-0.700	2.111	3.742	-0.005	-0.255	0.198	-1.228	0.250	-1.200
11	-0.336	-0.304	-0.099	-0.461	1.974	4.100	-0.096	-0.521	0.238	-1.178	-0.133	-1.065
12	-0.594	-0.695	-0.101	-0.538	2.282	4.473	-0.029	-0.358	0.248	-1.178	-0.143	-1.165
13	-0.350	-0.662	-0.110	-0.589	2.340	3.503	-0.078	-0.205	0.238	-1.178	-0.143	-1.165
14	-0.206	-0.782	-0.112	-0.586	2.163	4.836	-0.055	-0.422	0.199	-0.986	0.093	-1.047
15	-0.227	-0.808	-0.107	-0.633	2.392	3.642	-0.200	-0.507	0.400	-1.325	-0.002	-1.188
16	-0.163	-0.673	-0.108	-0.664	2.211	2.955	-0.215	-0.412	0.182	-1.150	0.115	-1.028
17	-0.388	-0.678	-0.137	-0.600	2.021	3.490	-0.145	-0.557	0.364	-0.990	0.264	-1.025
18	-0.122	-0.651	-0.045	-0.583	2.163	5.107	-0.187	-0.277	0.433	-1.444	0.222	-1.150
19	-0.359	-0.818	-0.055	-0.613	2.459	3.357	-0.251	-0.433	0.195	-1.222	0.300	-1.150
20	-0.255	-0.471	-0.100	-0.567	2.159	2.952	-0.215	-0.747	0.274	-1.278	0.300	-1.203
average	-0.255	-0.709	-0.093	-0.638	2.172	3.886	-0.122	-0.474	0.270	-1.167	0.091	-1.150
min	-0.594	-0.918	-0.137	-0.764	1.921	2.952	-0.251	-0.797	0.132	-1.444	-0.193	-1.288
max	-0.022	-0.304	-0.035	-0.461	2.459	5.207	0.021	-0.205	0.530	-0.893	0.300	-1.025
std	0.144	0.154	0.027	0.073	0.151	0.736	0.079	0.156	0.108	0.153	0.159	0.077

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.3 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสชาร์จด้านกราวนด์

ผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสชาร์จด้านกราวนด์ที่ได้จากการทดลองในบทที่ 3 ข้อ 3.3.1 แสดงดังรูปที่ 4.13 และตารางที่ 4-6



รูปที่ 4.13 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสชาร์จทางด้านกราวนด์

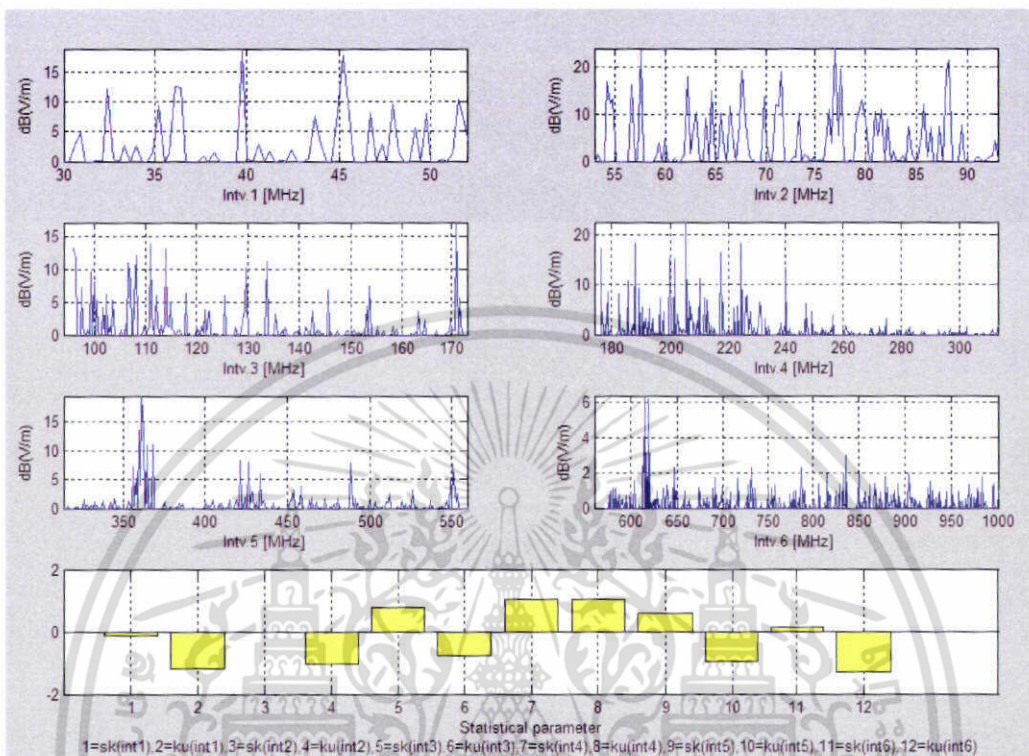
ตารางที่ 4-6 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของโคโรนาดีสชาร์จทางด้านกราวนด์จาก 20 การทดลอง

ครั้งที่	Intv.1		Intv.2		Intv.3		Intv.4		Intv.5		Intv.6	
	Sk	Ku	Sk	Ku	Sk	Ku	Sk	Ku	Sk	Ku	Sk	Ku
1	-0.145	-0.699	-0.827	0.922	1.295	2.561	-0.202	-1.336	-0.211	-1.196	0.125	-1.057
2	0.037	-0.759	-0.928	0.785	1.129	2.323	-0.399	-1.240	0.035	-1.407	0.124	-0.960
3	-0.105	-0.855	-0.924	0.911	1.276	2.353	-0.385	-1.092	-0.212	-1.192	0.174	-1.255
4	-0.029	-0.780	-0.961	0.702	1.289	2.208	-0.240	-1.358	0.212	-1.176	0.153	-1.069
5	-0.004	-0.695	-0.904	0.486	1.204	1.839	-0.092	-1.361	-0.109	-0.942	0.225	-1.204
6	0.068	-0.802	-0.914	0.644	1.172	2.082	-0.305	-1.302	-0.200	-1.292	-0.006	-1.199
7	0.013	-0.825	-0.988	0.773	1.419	2.782	-0.322	-1.037	0.162	-1.256	-0.067	-1.191
8	0.006	-0.753	-0.756	0.660	1.436	2.499	-0.007	-1.298	0.065	-1.281	0.074	-1.317
9	-0.076	-0.692	-0.673	0.264	1.338	2.243	-0.091	-1.296	0.045	-1.213	0.064	-1.165
10	0.182	-0.721	-1.038	1.112	1.385	2.565	-0.365	-1.122	-0.065	-1.175	0.124	-1.261
11	-0.095	-0.709	-0.874	0.752	1.254	2.132	-0.372	-1.248	0.095	-1.225	0.175	-0.910
12	0.087	-0.805	-0.911	0.536	1.222	2.832	-0.057	-1.246	-0.015	-1.246	0.174	-1.205
13	-0.055	-0.730	-0.854	0.694	1.469	2.549	-0.141	-1.072	-0.161	-1.457	0.224	-1.019
14	0.021	-0.645	-0.864	0.823	1.486	2.293	-0.415	-1.286	0.085	-1.242	0.203	-1.154
15	0.046	-0.752	-0.938	0.710	1.388	2.615	-0.252	-1.190	-0.162	-1.226	0.275	-1.149
16	0.118	-0.775	-0.706	0.314	1.435	2.611	-0.449	-1.042	0.262	-0.992	0.044	-1.141
17	0.063	-0.703	-0.623	1.162	1.345	2.373	-0.435	-1.308	-0.059	-1.342	-0.017	-1.267
18	0.056	-0.642	-0.988	0.972	1.179	2.403	-0.290	-1.311	-0.150	-1.306	0.124	-1.115
19	-0.026	-0.671	-0.777	0.835	1.326	2.258	-0.142	-1.252	0.212	-1.331	0.114	-1.211
20	0.232	-0.649	-0.878	0.961	1.339	1.889	-0.355	-0.987	0.115	-1.263	0.174	-1.007
average	0.020	-0.733	-0.866	0.751	1.319	2.371	-0.266	-1.219	-0.003	-1.238	0.124	-1.143
min	-0.145	-0.855	-1.038	0.264	1.129	1.839	-0.449	-1.361	-0.212	-1.457	-0.067	-1.317
max	0.094	0.061	0.110	0.233	0.104	0.266	0.137	0.118	0.153	0.119	0.088	0.109
std	-0.145	-0.699	-0.827	0.922	1.295	2.561	-0.202	-1.336	-0.211	-1.196	0.125	-1.057

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.4 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสซาร์จตามผิว

ผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสซาร์จตามผิวที่ได้จากการทดลองในบพที่ 3 ข้อ 3.3.2 แสดงดังรูปที่ 4.14 และตารางที่ 4-7



รูปที่ 4.14 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสซาร์จตามผิว

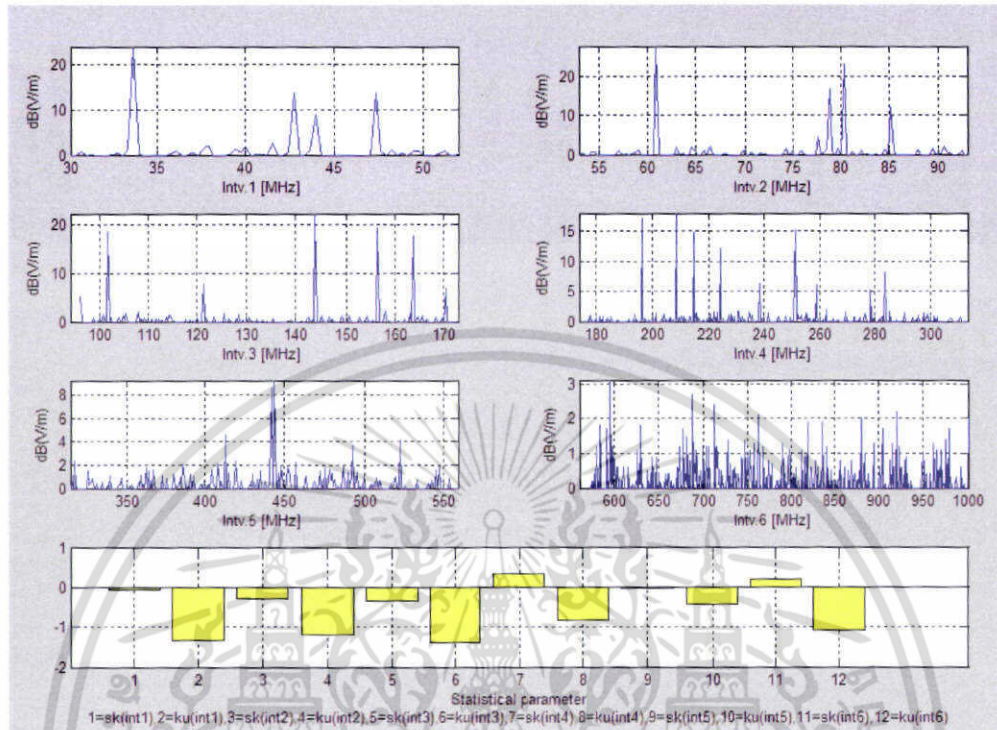
ตารางที่ 4-7 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสซาร์จตามผิวจาก 20 การทดลอง

ครั้งที่	Intv.1		Intv.2		Intv.3		Intv.4		Intv.5		Intv.6	
	Sk	Ku	Sk	Ku	Sk	Ku	Sk	Ku	Sk	Ku	Sk	Ku
1	-0.147	-1.206	-0.021	-1.055	0.761	-0.763	1.054	1.021	0.593	-0.952	0.138	-1.315
2	-0.435	-0.610	-0.088	-0.884	0.782	-0.601	0.871	0.499	0.166	-1.205	0.314	-1.286
3	-0.410	-0.989	0.031	-0.477	0.640	-0.772	0.874	0.447	0.166	-1.205	0.314	-1.286
4	-0.361	-1.144	-0.037	-0.846	0.615	-0.848	0.995	0.741	0.457	-0.967	0.553	-1.007
5	-0.516	-0.218	0.029	-1.041	0.635	-0.665	0.886	0.024	0.194	-1.285	0.212	-1.273
6	-0.042	-1.146	0.064	-1.109	0.707	-0.830	0.969	0.731	0.618	-0.838	0.544	-0.872
7	-0.175	-0.955	0.031	-1.061	0.550	-0.828	0.887	0.211	0.689	-0.733	0.055	-1.384
8	-1.079	0.652	0.131	-0.832	0.567	-0.983	0.841	0.271	0.649	-0.902	0.354	-1.275
9	-0.148	-0.770	0.072	-0.757	0.492	-0.756	0.823	0.143	0.649	-0.902	0.354	-1.275
10	-0.418	-0.445	0.041	-1.039	0.735	-0.485	0.810	0.530	0.564	-0.676	0.366	-1.207
11	-0.197	-0.560	0.081	-0.896	0.685	-0.880	0.937	0.221	0.699	-0.726	0.188	-1.336
12	-0.485	-0.939	0.013	-1.091	0.757	-0.878	0.891	0.093	0.614	-1.002	0.364	-1.336
13	-0.460	-1.094	0.079	-1.159	0.600	-1.033	0.873	0.480	0.643	-1.255	0.364	-1.057
14	-0.411	-0.168	0.114	-1.111	0.617	-0.806	0.860	0.971	0.216	-1.255	0.603	-1.323
15	-0.566	-1.096	0.081	-0.882	0.542	-0.535	1.104	0.449	0.216	-1.017	0.262	-0.922
16	-0.092	-0.905	0.181	-0.807	0.785	-0.813	0.921	0.397	0.507	-1.335	0.594	-1.434
17	-0.225	0.702	0.122	-1.089	0.811	-0.651	0.924	0.691	0.244	-0.888	0.105	-1.325
18	-1.129	-0.720	0.091	-1.105	0.832	-0.822	1.045	-0.026	0.668	-0.783	0.404	-1.325
19	-0.198	-0.395	0.029	-0.934	0.690	-0.898	0.936	0.681	0.739	-0.952	0.404	-1.257
20	-0.468	-1.156	-0.038	-0.527	0.665	-0.715	1.019	0.161	0.699	-0.952	0.416	-1.365
average	-0.398	-0.658	0.050	-0.935	0.673	-0.778	0.926	0.437	0.499	-0.991	0.345	-1.243
min	-1.129	-1.206	-0.088	-1.159	0.492	-1.033	0.810	-0.026	0.166	-1.335	0.055	-1.434
max	-0.042	0.702	0.181	-0.477	0.832	-0.485	1.104	1.021	0.739	-0.676	0.603	-0.872
std	0.287	0.557	0.065	0.191	0.097	0.139	0.082	0.302	0.211	0.201	0.156	0.154

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.5 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสซาร์จภายใน

ผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสซาร์จภายในที่ได้จากการทดลองในบทที่ 3 ข้อ 3.3.3 แสดงดังรูปที่ 4.15 และตารางที่ 4-8



รูปที่ 4.15 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสซาร์จภายใน

ตารางที่ 4-8 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของดีสซาร์จภายในจาก 20 การทดลอง

ครั้งที่	Intv.1		Intv.2		Intv.3		Intv.4		Intv.5		Intv.6	
	Sk	Ku	Sk	Ku	Sk	Ku	Sk	Ku	Sk	Ku	Sk	Ku
1	-0.055	-1.348	-0.287	-1.182	-0.336	-1.380	0.349	-0.823	-0.027	-0.431	0.180	-1.091
2	0.090	-1.462	-0.355	-1.282	0.052	-1.325	0.374	-0.865	-0.100	-1.088	-0.050	-1.259
3	0.612	0.333	0.618	-0.925	-0.223	-0.866	0.083	-1.360	-0.033	-1.237	-0.062	-1.202
4	0.240	-1.570	0.120	-1.075	-0.080	-1.149	0.016	-1.292	-0.151	-1.144	0.218	-1.075
5	-1.160	-0.032	-0.266	-1.443	-0.287	-1.327	0.260	-1.027	-0.161	-0.982	0.191	-1.234
6	0.472	-0.927	-0.378	-1.269	0.269	-1.142	0.316	-0.850	-0.001	-1.144	0.189	-1.084
7	-1.106	0.565	-0.043	-1.391	0.367	-1.117	0.386	-1.083	0.042	-0.990	0.070	-1.072
8	-0.547	-0.731	-0.604	-1.249	0.028	-1.015	0.133	-1.223	-0.205	-1.109	-0.066	-1.255
9	-0.021	-0.675	0.348	-1.095	-0.124	-1.331	0.146	-1.269	0.112	-0.560	0.115	-1.161
10	-1.181	0.448	-0.101	-1.342	0.234	-1.479	0.019	-1.155	-0.024	-0.869	0.133	-1.108
11	-0.105	-1.412	0.568	-1.125	-0.337	-1.192	0.436	-1.273	0.062	-0.819	0.230	-1.309
12	0.040	0.383	0.070	-1.493	0.219	-1.167	0.183	-1.319	-0.074	-0.381	0.000	-1.252
13	0.562	-1.520	-0.316	-1.319	0.317	-1.065	0.196	-1.205	-0.077	-1.038	-0.012	-1.125
14	0.190	0.018	-0.428	-1.441	-0.022	-1.381	0.069	-0.873	-0.150	-1.187	0.268	-1.284
15	-1.210	-0.877	-0.093	-1.299	-0.174	-1.529	0.399	-0.915	-0.083	-1.094	0.241	-1.134
16	0.422	0.615	-0.654	-1.145	0.184	-1.430	0.424	-1.410	-0.201	-0.932	0.239	-1.122
17	-1.156	-0.681	0.298	-1.392	-0.386	-1.375	0.133	-1.342	-0.211	-1.094	0.120	-1.305
18	-0.597	-0.625	-0.151	-1.232	0.002	-0.916	0.066	-1.077	-0.051	-0.940	-0.016	-1.211
19	-0.071	0.498	-0.337	-1.332	-0.273	-1.199	0.310	-0.900	-0.008	-1.059	0.165	-1.158
20	-1.231	-1.298	-0.405	-0.975	-0.130	-1.377	0.366	-1.133	-0.255	-0.510	0.183	-1.141
average	-0.290	-0.515	-0.120	-1.250	-0.035	-1.238	0.233	-1.120	-0.080	-0.930	0.117	-1.179
min	-1.231	-1.570	-0.654	-1.493	-0.386	-1.529	0.016	-1.410	-0.255	-1.237	-0.066	-1.309
max	0.612	0.615	0.618	-0.925	0.367	-0.866	0.436	-0.823	0.112	-0.381	0.268	-1.072
std	0.667	0.794	0.360	0.156	0.238	0.184	0.144	0.194	0.099	0.259	0.113	0.080

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# การสร้างโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม

ในบทนี้นำเสนอการแบ่งข้อมูล, การวิเคราะห์ตัวประกอบหลักเพื่อลดจำนวนตัวแปรเดิมและการสร้างโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม 4 โมเดลคือ Multi-layer Perceptron Neural Networks (MLP), Probabilistic Neural Networks (PNN), Principal Component Multi-layer Perceptron networks (PCA-MLP) และ Principal Component Probabilistic Neural Network (PCA-PNN) เพื่อเรียนรู้จัดจำรูปแบบและประเภทของ PD ที่ได้จากการทดลองในบทที่ 3 โดยจะใช้โมเดลโครงข่ายประสาทเทียมดังกล่าวจำแนกประเภทของ PD

### 5.1 การแบ่งข้อมูล

ในการสร้างโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม โดยทั่วไปจะไม่นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการทดลองสอนให้กับโมเดล ดังนั้นจึงต้องแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธี Blocks [36] ในการแบ่งข้อมูล ซึ่งข้อมูลชุดที่ 1 จำนวน 60% ของข้อมูลทั้งหมดจะใช้สำหรับการเรียนรู้ (Training sample) และข้อมูลชุดที่ 2 เป็นข้อมูลที่เหลืออีก 40% ใช้ในการทดสอบความถูกต้อง (Testing sample) ของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้น โดยข้อมูลดังกล่าวได้มาจากบทที่ 4 ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของสัญญาณ PD

#### 5.1.1 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ทางสถิติจากการทดลองโดยวิธีดั้งเดิม

จากการทดลองในข้อ 4.1.2, 4.1.3, 4.1.4 และ 4.1.5 สามารถนำข้อมูลค่าพารามิเตอร์ทางสถิติที่ได้มาสร้างเมตริกซ์ตั้งต้น ( $X_{IEC}$ ) ขนาด 80 แถว 11 หลักได้ดังตารางที่ 5-1 โดยข้อมูลดังกล่าวจะแยกเป็นข้อมูลชุดที่ 1 (ใช้สำหรับการเรียนรู้) และข้อมูลชุดที่ 2 (ใช้สำหรับการทดสอบ) ดังตารางที่ 5-2

ข้อมูลชุดที่ 1 (ใช้สำหรับการเรียนรู้) ประกอบด้วย 2 เมตริกซ์ (ดังตารางที่ 5-2) คือเมตริกซ์อินพุต ( $X_{IEC\_Train}$ ) ขนาด 48 แถว 11 หลักซึ่งเป็นข้อมูลจากการทดลองและเมตริกซ์ผลลัพธ์ ( $Y_{IEC\_Train}$ ) ซึ่งเมตริกซ์ผลลัพธ์ยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบตามโมเดลที่ใช้งานคือ 1) เมตริกซ์ผลลัพธ์แบบสองหลัก (โมเดล MLP, PCA-MLP) และ 2) เมตริกซ์ผลลัพธ์ชนิดหนึ่งหลัก (โมเดล PNN, PCA-PNN)

- 1) เมตริกซ์ผลลัพธ์แบบสองหลักคือเมตริกซ์ที่ใช้สำหรับโมเดลของ MLP และ PCA-MLP ( $Y_{IEC\_Train\_MLP}$ ) มีขนาด 48 แถว 2 หลัก โดยค่าในเมตริกซ์ทั้งสองหลักหมายถึงประเภทของการเกิด PD ซึ่งในโมเดล MLP, PCA-MLP ได้กำหนดค่าดังนี้

ประเภทของ PD	ค่าในเมตริกซ์หลักที่ 1	ค่าในเมตริกซ์หลักที่ 2
โคโรนาด้านแรงดันสูง	0	0
โคโรนาด้านกราวนด์	0	1
ดีสชาร์จตามผิว	1	0
ดีสชาร์จภายใน	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) เมตริกซ์ผลลัพธ์แบบหนึ่งหลักคือเมตริกซ์สำหรับโมเดล PNN, PCA-PNN ( $Y_{IEC\_Train\_PNN}$ ) มีขนาด 48 แถว 1 หลัก ซึ่งโมเดล PNN, PCA-PNN ได้กำหนดประเภทของการเกิด PD และค่าในเมตริกซ์ดังนี้

ประเภทของ PD	ค่าในเมตริกซ์
โคโรนาด้านแรงดันสูง	1
โคโรนาด้านกราวนด์	2
ดีสชาร์จตามผิว	3
ดีสชาร์จภายใน	4

ข้อมูลชุดที่ 2 (ใช้สำหรับการทดสอบ) เป็นข้อมูลอีก 40 % ที่เหลือของเมตริกซ์ตั้งต้น ซึ่งจะนำไปใช้ในการทดสอบแบบจำลอง โดยข้อมูลดังกล่าวเป็นเมตริกซ์ขนาด 32 แถว 11 หลัก ( $X_{IEC\_Test}$ ) ดังตารางที่ 5-3

#### 5.1.2 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ทางสถิติจากการทดลองโดยวิธี UHF

ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ทางสถิติที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4 และ 4.2.5 สามารถสร้างเมตริกซ์เมตริกซ์ตั้งต้น ( $X_{UHF}$ ) ขนาด 80x12 แสดงตารางที่ 5-4 เมื่อใช้หลักการเดียวกันกับข้อ 5.1.1 จึงทำให้ได้เมตริกซ์สำหรับการทดลองสอนโมเดลดังนี้

ข้อมูลชุดที่ 1 ใช้สำหรับสอนโมเดลแสดงดังตารางที่ 5-5 ประกอบด้วย 2 เมตริกซ์ได้แก่

- 1) เมตริกซ์อินพุต ( $X_{UHF\_Train}$ ) ขนาด 48 แถว 11 หลัก
- 2) เมตริกซ์ผลลัพธ์แบ่งเป็น  $Y_{UHF\_Train\_MLP}$  สำหรับโมเดล MLP, PCA-MLP ขนาด 48 แถว 2 หลักและเมตริกซ์  $Y_{UHF\_Train\_PNN}$  สำหรับโมเดล PNN, PCA-PNN ขนาด 48 แถว 1 หลัก

ข้อมูลชุดที่ 2 แสดงดังตารางที่ 5-6 คือ เมตริกซ์  $X_{UHF\_Test}$

ตารางที่ 5-1 เมตริกซ์ตั้งต้น  $X_{IEC}$  ขนาด 80 แถว 11 หลัก กรณีวิธีดั้งเดิม

	Hn(phase)				Hqn(phase)				Hn(phase)	Hqn(phase)	Hn(phase)	
	Sk+	Sk-	Sk+	Sk-	Sk+	Sk-	Sk+	Sk-				
HV	0.000	0.313	0.000	-1.047	0.000	0.010	0.000	-1.201	0.000	0.000	0.000	Test Trainir Test Trainir Test Trainir Test Trainir Test Trainir Test Trainir Test Trainir
	0.000	0.074	0.000	-0.501	0.000	0.018	0.000	-1.225	0.000	0.000	0.000	
	0.000	0.464	0.000	-0.589	0.000	-0.092	0.000	-1.229	0.000	0.000	0.000	
	0.000	0.207	0.000	-1.018	0.000	0.021	0.000	-1.199	0.000	0.000	0.000	
	0.000	0.064	0.000	-0.445	0.000	0.016	0.000	-1.224	0.000	0.000	0.000	
	0.000	0.461	0.000	-0.733	0.000	-0.140	0.000	-1.187	0.000	0.000	0.000	
	0.000	0.237	0.000	-1.008	0.000	0.019	0.000	-1.200	0.000	0.000	0.000	
	0.000	0.118	0.000	-0.457	0.000	0.017	0.000	-1.234	0.000	0.000	0.000	
	0.000	0.454	0.000	-0.531	0.000	-0.123	0.000	-1.214	0.000	0.000	0.000	
	0.000	0.838	0.000	-0.291	0.000	0.008	0.000	-1.204	0.000	0.000	0.000	
	0.000	-0.022	0.000	-0.639	0.000	0.021	0.000	-1.226	0.000	0.000	0.000	
	0.000	0.068	0.000	-0.584	0.000	-0.069	0.000	-1.220	0.000	0.000	0.000	
	0.000	0.855	0.000	-0.365	0.000	0.009	0.000	-1.205	0.000	0.000	0.000	
	0.000	0.117	0.000	-0.626	0.000	0.020	0.000	-1.227	0.000	0.000	0.000	
	0.000	0.058	0.000	-0.670	0.000	-0.030	0.000	-1.204	0.000	0.000	0.000	
	0.000	0.034	0.000	-0.590	0.000	0.015	0.000	-1.211	0.000	0.000	0.000	
0.000	0.029	0.000	-0.936	0.000	0.022	0.000	-1.221	0.000	0.000	0.000		
0.000	0.661	0.000	-0.185	0.000	-0.014	0.000	-1.214	0.000	0.000	0.000		
0.000	0.079	0.000	-0.533	0.000	0.016	0.000	-1.212	0.000	0.000	0.000		
0.000	0.052	0.000	-0.759	0.000	0.019	0.000	-1.236	0.000	0.000	0.000		
0.248	0.000	-0.947	0.000	0.699	0.000	-1.209	0.000	0.000	0.000	0.000		
0.221	0.000	-0.752	0.000	0.607	0.000	-1.135	0.000	0.000	0.000	0.000		
0.361	0.000	-0.928	0.000	0.400	0.000	-1.232	0.000	0.000	0.000	0.000		
0.505	0.000	-0.466	0.000	-0.009	0.000	-1.195	0.000	0.000	0.000	0.000		
0.071	0.000	-0.759	0.000	-0.013	0.000	-1.142	0.000	0.000	0.000	0.000		
0.612	0.000	-0.519	0.000	-0.000	0.000	-1.224	0.000	0.000	0.000	0.000		
0.126	0.000	-0.934	0.000	0.011	0.000	-1.204	0.000	0.000	0.000	0.000		
0.811	0.000	-0.009	0.000	-0.088	0.000	-1.143	0.000	0.000	0.000	0.000		
4.632	0.000	-0.326	0.000	0.014	0.000	-1.225	0.000	0.000	0.000	0.000		
0.090	0.000	-0.915	0.000	0.009	0.000	-1.205	0.000	0.000	0.000	0.000		
0.691	0.000	-0.206	0.000	-0.067	0.000	-1.139	0.000	0.000	0.000	0.000		
0.639	0.000	-0.322	0.000	-0.013	0.000	-1.225	0.000	0.000	0.000	0.000		
0.043	0.000	-0.954	0.000	0.016	0.000	-1.202	0.000	0.000	0.000	0.000		
1.017	0.000	0.858	0.000	0.114	0.000	-1.213	0.000	0.000	0.000	0.000		
0.644	0.000	-0.417	0.000	0.003	0.000	-1.213	0.000	0.000	0.000	0.000		
0.255	0.000	-0.952	0.000	0.023	0.000	-1.204	0.000	0.000	0.000	0.000		
0.247	0.000	-0.767	0.000	0.022	0.000	-1.226	0.000	0.000	0.000	0.000		
0.689	0.000	-0.077	0.000	0.002	0.000	-1.213	0.000	0.000	0.000	0.000		
0.124	0.000	-0.938	0.000	0.026	0.000	-1.205	0.000	0.000	0.000	0.000		
0.255	0.000	-0.749	0.000	0.018	0.000	-1.225	0.000	0.000	0.000	0.000		
0.431	0.880	-0.865	0.039	0.142	0.682	-0.922	-0.197	0.907	0.938	0.851		
0.424	0.969	-0.984	0.281	0.029	0.076	-1.225	-0.189	0.924	0.928	0.902		
0.639	0.933	-0.902	0.146	0.116	0.501	-0.984	-0.038	0.981	0.948	0.890		
0.333	0.900	-1.157	-0.145	0.136	0.089	-1.081	-0.004	0.903	0.896	0.836		
0.296	0.953	-1.161	-0.503	0.020	0.078	-1.232	-0.505	0.978	0.894	0.926		
0.653	0.967	-0.958	-0.205	0.094	0.186	-1.155	-0.949	0.960	0.967	0.861		
0.346	0.786	-0.922	-0.439	0.024	0.078	-1.011	-1.154	0.870	0.939	0.816		
0.431	0.533	-0.316	-0.408	0.193	0.043	-1.211	-1.164	0.845	0.943	0.797		
0.612	0.907	-0.924	-0.604	0.068	0.086	-1.225	-1.202	1.013	0.930	0.942		
0.735	0.521	0.034	0.074	0.020	0.177	-1.068	-0.953	0.960	0.971	0.932		
0.809	0.771	-0.136	0.331	0.188	0.128	-1.067	-1.036	0.956	0.954	0.912		
0.579	1.062	-0.916	-0.166	-0.018	0.079	-1.192	-1.178	0.956	0.917	0.877		
0.744	0.427	-0.051	0.239	0.150	0.186	-1.146	-0.993	0.903	0.812	0.552		
0.534	0.771	-0.821	-0.613	0.006	0.125	-1.114	-1.161	1.039	0.942	0.979		
0.774	0.436	-0.026	0.318	0.028	0.099	-1.130	-0.125	0.851	0.967	0.823		
0.547	0.925	-1.114	-0.201	0.005	0.114	-1.155	-1.175	0.988	0.942	0.911		
0.643	0.865	-0.218	0.711	0.166	0.063	-0.917	-0.959	0.882	0.949	0.837		
0.336	0.782	-1.090	-0.639	0.032	0.095	-1.184	-1.182	0.974	0.945	0.920		
0.859	0.655	0.214	0.238	0.237	0.077	-0.967	-0.900	0.927	0.980	0.909		
0.807	0.762	0.054	0.714	0.189	0.087	-0.941	-0.797	0.943	0.864	0.909		
0.249	0.472	-0.542	-0.467	-0.125	0.106	-0.934	-1.181	0.980	0.838	0.821		
0.403	0.162	-0.726	-0.934	-0.033	-0.024	-1.061	-1.141	1.176	0.960	1.130		
0.348	0.140	-0.868	-1.003	0.069	0.070	-1.163	-1.057	1.616	0.942	1.522		
0.340	0.087	-0.917	-0.981	0.116	0.168	-1.082	-1.019	1.142	0.967	1.105		
0.339	0.113	-0.911	-1.013	0.126	0.128	-1.062	-1.043	1.007	0.976	0.983		
0.313	0.086	-0.926	-1.020	0.215	0.113	-0.993	-1.073	0.726	0.959	0.696		
0.280	0.025	-1.002	-1.036	0.173	0.197	-1.071	-1.028	0.890	0.981	0.873		
0.321	0.057	-0.898	-1.024	0.293	0.184	-0.905	-1.037	0.520	0.922	0.479		
0.323	0.053	-0.870	-1.006	0.348	0.180	-0.838	-1.022	0.487	0.904	0.441		
0.322	0.067	-0.875	-1.013	0.420	0.195	-0.733	-0.997	0.474	0.897	0.426		
0.261	0.063	-0.989	-1.018	0.374	0.211	-0.765	-0.980	0.452	0.898	0.405		
0.320	0.105	-0.978	-0.991	0.330	0.236	-0.899	-0.986	0.638	0.955	0.610		
0.242	0.124	-1.082	-1.015	0.463	0.205	-0.741	-0.964	0.565	0.923	0.522		
0.254	0.126	-1.053	-1.014	0.406	0.179	-0.767	-0.977	0.524	0.907	0.476		
0.231	0.143	-1.068	-0.991	0.512	0.153	-0.636	-1.007	0.519	0.903	0.469		
0.194	0.143	-1.099	-0.971	0.462	0.132	-0.710	-0.990	0.550	0.900	0.495		
0.221	0.155	-1.087	-0.975	0.516	0.121	-0.649	-0.996	0.552	0.899	0.496		
0.117	0.076	-1.198	-1.034	0.437	0.136	-0.836	-0.999	0.625	0.266	0.166		
0.193	0.127	-1.087	-0.973	0.499	0.072	-0.790	-1.018	0.577	0.889	0.513		
0.186	0.082	-1.084	-0.971	0.465	0.105	-0.847	-0.990	0.613	0.545	0.334		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในหน่วยงานราชการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5-2 เมตริกซ์ ใช้ในการเรียนรู้กรณีวิธีดั้งเดิม

X_IEC_Train											Y_IEC_Train_MLP		Y_IEC_Train_PNN	
0.000	0.313	0.800	-1.047	0.000	0.910	0.080	-1.201	0.000	0.000	0.000	0	0	1	
0.000	0.074	0.000	-0.501	0.000	0.018	0.000	-1.225	0.000	0.000	0.000	0	0	1	
0.000	0.464	0.000	-0.599	0.000	-0.992	0.000	-1.229	0.000	0.000	0.000	0	0	1	
0.000	0.207	0.000	-1.018	0.000	0.021	0.000	-1.199	0.000	0.000	0.000	0	0	1	
0.000	0.064	0.000	-0.495	0.000	0.916	0.000	-1.224	0.000	0.000	0.000	0	0	1	
0.000	0.461	0.000	-0.733	0.000	-0.160	0.000	-1.167	0.000	0.000	0.000	0	0	1	
0.000	0.058	0.000	-0.670	0.000	0.030	0.000	-1.204	0.000	0.000	0.000	0	0	1	
0.000	0.034	0.000	-0.590	0.000	0.015	0.000	-1.211	0.000	0.000	0.000	0	0	1	
0.000	0.029	0.000	-0.936	0.000	0.023	0.000	-1.221	0.000	0.000	0.000	0	0	1	
0.000	0.661	0.000	-0.105	0.000	-0.014	0.000	-1.214	0.000	0.000	0.000	0	0	1	
0.000	0.079	0.000	-0.533	0.000	0.016	0.000	-1.212	0.000	0.000	0.000	0	0	1	
0.000	0.052	0.000	-0.759	0.000	0.019	0.000	-1.226	0.000	0.000	0.000	0	0	1	
0.246	0.000	-0.917	0.000	0.049	0.000	-1.209	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	1	
0.221	0.000	-0.757	0.000	0.057	0.000	-1.135	0.000	0.000	0.000	0.000	0	1	2	
0.361	0.000	-0.928	0.000	0.004	0.000	-1.202	0.000	0.000	0.000	0.000	0	1	2	
0.305	0.000	-0.466	0.000	-0.009	0.000	-1.195	0.000	0.000	0.000	0.000	0	1	2	
0.071	0.000	-0.759	0.000	-0.011	0.000	-1.142	0.000	0.000	0.000	0.000	0	1	2	
0.612	0.000	-0.519	0.000	-0.014	0.000	-1.224	0.000	0.000	0.000	0.000	0	1	2	
0.664	0.000	-0.117	0.000	0.006	0.000	-1.213	0.000	0.000	0.000	0.000	0	1	2	
0.055	0.000	-0.952	0.000	0.023	0.000	-1.201	0.000	0.000	0.000	0.000	0	1	2	
0.267	0.000	-0.767	0.000	0.020	0.000	-1.226	0.000	0.000	0.000	0.000	0	1	2	
0.689	0.000	-0.077	0.000	0.002	0.000	-1.213	0.000	0.000	0.000	0.000	0	1	2	
0.124	0.000	-0.898	0.000	0.058	0.000	-1.205	0.000	0.000	0.000	0.000	0	1	2	
0.255	0.000	-0.749	0.000	0.018	0.000	-1.225	0.000	0.000	0.000	0.000	0	1	2	
0.491	0.986	-0.864	-0.359	0.142	0.082	-1.062	-1.197	0.907	0.938	0.852	0	1	2	
0.424	0.969	-0.984	-0.295	0.028	0.016	-1.226	-1.189	0.951	0.948	0.902	1	0	3	
0.639	0.913	-1.102	-0.742	0.114	0.203	-1.068	-1.056	0.891	0.944	0.850	1	0	3	
0.333	0.905	-1.157	-0.721	0.133	0.099	-1.061	-1.204	0.901	0.926	0.836	1	0	3	
0.296	0.955	-1.161	-0.303	0.004	0.029	-1.202	-1.203	0.906	0.944	0.924	1	0	3	
0.653	0.587	-0.095	-0.105	0.154	0.180	-1.011	-0.999	0.908	0.957	0.861	1	0	3	
0.774	0.636	-0.028	-0.314	0.128	0.199	-1.130	-1.129	0.851	0.967	0.823	1	0	3	
0.347	0.925	-1.116	-0.501	0.005	0.032	-1.145	-1.159	0.888	0.942	0.853	1	0	3	
0.643	0.885	-0.219	0.711	0.066	0.063	-0.987	-0.836	0.987	0.949	0.837	1	0	3	
0.336	0.792	-0.090	-0.639	-0.028	0.085	-0.913	-1.142	0.904	0.985	0.821	1	0	3	
0.859	0.655	0.214	0.719	0.171	0.079	-0.651	-1.010	0.927	0.990	0.969	1	0	3	
0.807	0.762	0.084	0.104	0.189	0.052	-0.944	-0.997	0.945	0.944	0.899	1	0	3	
0.249	0.472	-0.542	-0.467	-0.125	0.104	-0.934	-1.191	0.980	0.838	0.821	1	0	3	
0.403	0.162	-0.726	-0.994	-0.024	-0.061	-1.061	-1.141	1.176	0.980	1.130	1	1	3	
0.348	0.140	-0.868	-1.005	0.069	0.070	-1.185	-1.057	1.614	0.942	1.522	1	1	4	
0.340	0.087	-0.917	0.961	0.114	0.168	-1.082	-1.019	1.142	0.667	1.205	1	1	4	
0.339	0.113	-0.911	-1.013	0.128	0.128	-1.062	-1.043	1.007	0.976	0.983	1	1	4	
0.313	0.086	-0.926	-1.020	0.215	0.113	-0.993	-1.073	0.726	0.959	0.956	1	1	4	
0.291	0.143	-1.068	-0.993	0.512	0.153	-0.636	-1.097	0.919	0.963	0.949	1	1	4	
0.194	0.143	-1.099	-0.971	0.062	0.132	-0.710	-0.990	0.950	0.900	0.895	1	1	4	
0.221	0.135	-1.087	-0.975	0.116	0.121	-0.649	-0.996	0.952	0.829	0.696	1	1	4	
0.117	0.076	-1.158	-1.034	0.837	0.134	-0.836	-0.999	0.625	0.296	0.166	1	1	4	
0.193	0.127	-1.087	-0.943	0.099	0.072	-0.799	-1.018	0.571	0.889	0.919	1	1	4	
0.186	0.042	-1.092	-0.971	0.045	0.108	-0.947	-0.990	0.613	0.545	0.334	1	1	4	

ตารางที่ 5-3 เมตริกซ์ ใช้ในการทดสอบโมเดลกรณีวิธีดั้งเดิม

X_IEC_Test										
0.000	0.237	0.000	-1.008	0.000	0.019	0.000	-1.200	0.000	0.000	0.000
0.000	0.118	0.000	-0.457	0.000	0.017	0.000	-1.224	0.000	0.000	0.000
0.000	0.454	0.000	-0.531	0.000	-0.123	0.000	-1.214	0.000	0.000	0.000
0.000	0.838	0.000	-0.291	0.000	0.008	0.000	-1.204	0.000	0.000	0.000
0.000	-0.022	0.000	-0.839	0.000	0.021	0.000	-1.226	0.000	0.000	0.000
0.000	0.068	0.000	-0.584	0.000	-0.069	0.000	-1.220	0.000	0.000	0.000
0.000	0.855	0.000	-0.365	0.000	0.009	0.000	-1.205	0.000	0.000	0.000
0.000	0.117	0.000	-0.626	0.000	0.020	0.000	-1.227	0.000	0.000	0.000
0.126	0.000	-0.934	0.000	0.011	0.000	-1.204	0.000	0.000	0.000	0.000
0.811	0.000	-0.009	0.000	-0.088	0.000	-1.143	0.000	0.000	0.000	0.000
0.632	0.000	-0.326	0.000	-0.014	0.000	-1.225	0.000	0.000	0.000	0.000
0.090	0.000	-0.915	0.000	0.008	0.000	-1.205	0.000	0.000	0.000	0.000
0.691	0.000	-0.206	0.000	-0.067	0.000	-1.139	0.000	0.000	0.000	0.000
0.639	0.000	-0.322	0.000	-0.013	0.000	-1.225	0.000	0.000	0.000	0.000
0.043	0.000	-0.951	0.000	0.016	0.000	-1.202	0.000	0.000	0.000	0.000
1.017	0.000	0.858	0.000	0.114	0.000	-1.213	0.000	0.000	0.000	0.000
0.346	0.766	-0.992	-0.439	0.091	0.078	-1.011	-1.154	0.870	0.939	0.816
0.431	0.333	-0.610	-0.408	0.093	0.043	-1.111	-1.164	0.845	0.943	0.797
0.612	0.807	-0.704	-0.604	0.009	0.086	-1.123	-1.202	1.013	0.930	0.942
0.735	0.521	0.034	0.074	0.098	0.127	-1.067	-0.953	0.960	0.971	0.932
0.809	0.771	-0.136	0.331	0.188	0.128	-1.067	-1.030	0.956	0.994	0.912
0.579	1.062	-0.916	0.156	-0.018	0.079	-1.192	-1.178	0.956	0.917	0.877
0.744	0.427	0.051	-0.239	0.150	0.184	-1.146	-0.993	0.903	0.612	0.552
0.534	0.771	-0.821	-0.619	0.006	0.125	-1.118	-1.182	1.039	0.942	0.979
0.280	0.025	-1.002	-1.036	0.173	0.197	-1.071	-1.028	0.890	0.981	0.873
0.321	0.057	-0.898	-1.024	0.293	0.184	-0.905	-1.037	0.520	0.922	0.479
0.323	0.053	-0.870	-1.006	0.348	0.180	-0.838	-1.022	0.487	0.904	0.441
0.322	0.067	-0.875	-1.013	0.420	0.195	-0.733	-0.997	0.474	0.897	0.426
0.261	0.063	-0.989	-1.018	0.374	0.211	-0.765	-0.980	0.452	0.898	0.405
0.320	0.105	-0.978	-0.991	0.330	0.236	-0.899	-0.986	0.638	0.955	0.610
0.242	0.124	-1.082	-1.015	0.463	0.205	-0.741	-0.964	0.565	0.923	0.522
0.254	0.126	-1.053	-1.014	0.406	0.179	-0.767	-0.977	0.524	0.907	0.476

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5-4 เมตริกซ์ตั้งต้น  $X_{UHF}$  ขนาด 80 แถว 12 หลัก กรณีวิธี UHF

0.336	-0.571	-0.045	-0.663	1.921	3.035	-0.190	-0.472	0.530	-0.893	-0.193	-1.253
-0.494	-0.504	-0.090	-0.713	2.063	3.590	-0.165	-0.557	0.149	-1.242	0.128	-1.215
-0.250	-0.795	-0.099	-0.667	2.339	5.207	-0.095	-0.462	0.350	-0.936	0.066	-1.176
-0.106	-0.742	-0.091	-0.661	2.059	3.487	-0.137	-0.607	0.132	-1.275	0.043	-1.288
-0.127	-0.882	-0.100	-0.638	1.974	3.052	-0.201	-0.327	0.314	-1.100	-0.052	-1.097
-0.063	-0.908	-0.102	-0.689	2.182	4.090	-0.165	-0.483	0.363	-0.940	0.065	-1.234
-0.288	-0.773	-0.097	-0.666	2.240	4.573	-0.056	-0.797	0.145	-1.394	0.214	-1.078
-0.032	-0.778	-0.098	-0.733	2.063	3.603	0.021	-0.671	0.224	-1.172	0.172	-1.075
-0.259	-0.751	-0.127	-0.764	2.292	4.936	-0.028	-0.408	0.198	-1.228	0.250	-1.200
-0.155	-0.918	-0.045	-0.700	2.111	3.742	-0.005	-0.255	0.198	-1.228	0.250	-1.200
-0.336	-0.304	-0.099	-0.461	1.974	4.100	-0.096	-0.521	0.238	-1.178	-0.133	-1.065
-0.594	-0.695	-0.101	-0.538	2.282	4.473	-0.029	-0.358	0.248	-1.178	-0.143	-1.165
-0.330	-0.662	-0.110	-0.589	2.340	3.503	-0.078	-0.205	0.238	-1.178	-0.143	-1.165
-0.206	-0.782	-0.112	-0.586	2.163	4.836	-0.255	-0.422	0.199	-0.986	0.093	-1.047
-0.227	-0.808	-0.107	-0.633	2.392	3.642	-0.200	-0.507	0.400	-1.325	-0.002	-1.188
-0.163	-0.673	-0.108	-0.664	2.211	2.955	-0.215	-0.412	0.182	-1.150	0.115	-1.028
-0.388	-0.678	-0.137	-0.600	2.021	3.400	-0.145	-0.557	0.364	-0.990	0.264	-1.025
-0.122	-0.651	-0.045	-0.583	2.163	5.107	-0.187	-0.277	0.433	-1.444	0.222	-1.150
-0.359	-0.818	-0.055	-0.613	2.459	3.357	-0.251	-0.433	0.195	-1.222	0.300	-1.150
-0.255	-0.471	-0.100	-0.567	2.159	2.952	-0.215	-0.747	0.274	-1.278	0.300	-1.203
-0.145	-0.699	-0.027	-0.922	1.295	2.561	-0.202	-1.336	-0.211	-1.196	0.125	-1.057
-0.037	-0.759	-0.926	0.785	1.128	2.333	-0.399	-1.240	0.035	-1.407	0.124	0.960
-0.105	-0.855	-0.924	0.911	1.276	2.453	-0.965	-1.092	0.212	-1.192	0.174	-1.255
-0.029	-0.780	-0.961	0.702	1.287	2.768	-0.290	-1.358	0.212	-1.176	0.153	-1.069
-0.004	-0.695	-0.904	0.486	1.304	1.839	-0.092	-1.261	0.109	-0.942	0.225	-1.204
0.068	-0.002	-0.914	0.644	1.172	2.082	-0.305	-1.302	-0.200	-1.292	-0.006	-1.199
0.013	-0.825	-0.988	0.173	1.419	2.782	-0.332	-1.037	0.142	-1.256	-0.067	-1.191
0.006	-0.753	-0.736	0.660	1.434	3.049	-0.407	-1.298	0.066	-1.281	0.074	-1.317
-0.076	-0.692	-0.673	0.264	1.338	2.293	-0.091	-1.286	0.045	-1.213	0.064	-1.165
0.182	-0.721	-0.559	1.112	1.465	2.745	-0.465	-1.122	-0.068	-1.175	0.124	-1.261
-0.095	-0.709	-0.874	0.752	1.254	2.152	-0.372	-1.048	0.095	-1.225	0.175	-0.910
0.087	-0.865	-0.911	0.534	1.222	2.832	-0.057	-1.246	-0.014	-1.204	0.174	-1.205
-0.055	-0.730	-0.854	0.691	1.169	2.549	-0.141	-1.072	0.141	-1.457	0.224	-1.019
0.021	-0.645	-0.864	0.823	1.084	2.253	-0.421	-1.286	0.023	-1.242	0.203	-1.154
0.046	-0.752	-0.938	0.718	1.181	2.615	-0.252	-1.190	-0.142	-1.226	0.275	-1.149
0.118	-0.775	-0.706	0.514	1.335	2.711	-0.249	-1.042	0.262	-0.992	0.044	-1.141
0.063	-0.703	-0.623	1.162	1.348	2.379	-0.436	-1.308	-0.059	-1.342	-0.017	-1.267
0.056	-0.642	-0.568	0.972	1.175	2.493	-0.249	-1.111	-0.150	-1.306	0.129	-1.115
-0.026	-0.623	-0.773	0.866	1.182	2.754	-0.149	-1.352	0.270	-1.331	0.114	-1.211
0.232	-0.649	-0.878	0.761	1.339	1.889	-0.355	-0.987	0.115	-1.263	0.174	-1.007
-0.147	-0.236	-0.001	-1.053	0.161	-0.203	-1.084	0.021	-0.293	-0.954	0.038	-1.315
-0.435	-0.630	-0.083	-0.886	0.184	-0.441	-0.571	-0.659	0.366	-1.234	-0.116	-1.264
-0.410	-0.789	-0.112	-0.473	0.500	-0.172	0.634	-0.267	0.150	-1.205	0.312	-1.286
-0.361	-1.184	-0.057	-0.806	0.637	-0.446	0.093	0.781	0.857	-0.667	0.553	-1.007
-0.516	-0.218	-0.022	-1.041	0.435	-0.445	0.886	0.034	0.174	-1.285	0.212	-1.273
-0.042	-0.166	-0.064	-1.009	0.707	-0.630	0.029	0.731	0.819	-0.838	0.444	-0.872
-0.175	-0.255	-0.031	-1.101	0.558	-0.246	0.961	0.211	0.659	-0.713	0.055	-1.364
-0.079	-0.652	-0.134	-0.835	0.667	-1.033	0.461	0.771	0.749	-0.902	0.354	-1.275
-0.148	-0.776	-0.072	-0.533	0.495	-0.954	0.613	0.184	0.649	-0.802	0.056	-1.275
-0.418	-0.845	-0.041	-1.039	0.795	-0.245	0.810	0.630	0.364	-0.676	0.566	-1.207
-0.197	-0.540	-0.041	-0.894	0.885	0.780	0.921	0.221	0.669	-0.742	0.888	-1.334
-0.485	-0.389	-0.013	-1.177	0.729	-0.878	0.674	0.093	0.614	-1.004	0.954	-1.336
-0.460	-0.094	-0.079	-1.152	0.600	-1.033	0.544	0.455	0.443	-1.245	0.364	-1.057
-0.471	-0.168	-0.114	-1.171	0.517	-0.806	0.623	0.273	0.216	-1.235	0.603	-1.323
-0.566	-1.036	-0.081	-0.802	0.742	-0.435	-1.100	0.449	0.216	-1.077	0.262	-0.922
-0.092	-0.935	-0.159	-0.820	0.763	-0.613	0.921	-0.297	0.307	-0.655	0.594	-1.434
-0.225	-0.702	-0.122	-1.089	0.781	-0.861	0.751	0.244	0.883	-0.105	-1.325	-1.255
-1.129	-0.720	-0.591	-1.304	0.653	-0.822	-1.155	-0.026	0.668	-0.743	0.404	-1.325
-0.138	-0.595	-0.022	-0.934	0.620	-0.898	0.643	0.651	0.739	-0.850	0.465	-1.257
-0.464	-1.156	-0.038	-0.537	0.565	-1.115	0.712	0.161	0.469	-0.950	0.416	-1.365
-0.055	-1.348	-0.287	-1.182	-0.936	-1.300	0.349	-0.823	-0.027	-0.431	0.180	-1.091
0.090	-1.462	-0.365	-1.262	-0.052	-1.325	0.374	-0.865	0.100	-1.088	-0.050	-1.259
0.612	-0.353	-0.619	-0.925	-0.223	-0.866	0.083	-1.360	-0.035	-1.237	-0.062	-1.202
0.240	-1.570	-0.120	-1.075	-0.689	-1.149	-0.016	-1.292	-0.151	-1.144	0.218	-1.075
-1.160	-0.032	-0.266	-1.443	-0.287	-1.327	0.260	-1.027	-0.161	-0.982	0.191	-1.234
0.472	-0.927	-0.378	-1.269	0.269	-1.142	0.316	-0.850	-0.001	-1.144	0.189	-1.084
-1.106	-0.565	-0.043	-1.391	0.367	-1.117	0.386	-1.083	0.042	-0.990	0.070	-1.072
-0.547	-0.731	-1.604	-1.249	0.028	-1.015	0.133	-1.223	-0.205	-1.109	-0.066	-1.255
-0.021	-0.675	-0.348	-1.095	-0.124	-1.331	0.146	-1.269	0.112	-0.560	0.115	-1.161
-1.181	-0.448	-0.101	-1.342	0.234	-1.479	0.019	-1.155	-0.024	-0.869	0.133	-1.108
-0.105	-1.412	0.568	-1.125	-0.537	-1.192	0.436	-1.273	0.042	-0.819	0.230	-1.309
0.040	0.383	0.070	-1.493	0.219	-1.167	0.183	-1.319	-0.074	-0.381	0.000	-1.252
0.562	-1.520	-0.316	-1.319	0.317	-1.065	0.196	-1.205	-0.077	-1.038	-0.012	-1.125
0.190	0.018	-0.428	-1.441	-0.022	-1.381	0.069	-0.873	-0.150	-1.187	0.268	-1.284
-1.210	-0.877	-0.093	-1.299	-0.174	-1.529	0.399	-0.915	-0.083	-1.094	0.241	-1.134
0.422	0.615	-0.654	-1.145	0.184	-1.430	0.424	-1.410	-0.201	-0.932	0.239	-1.122
-1.156	-0.681	0.298	-1.392	-0.386	-1.375	0.133	-1.342	-0.211	-1.094	0.120	-1.305
-0.597	-0.625	-0.151	-1.232	0.002	-0.916	0.066	-1.077	-0.051	-0.940	-0.016	-1.211
-0.071	0.498	-0.337	-1.332	-0.273	-1.199	0.310	-0.900	-0.008	-1.059	0.165	-1.158
-1.231	-1.298	-0.405	-0.975	-0.130	-1.377	0.366	-1.133	-0.255	-0.510	0.183	-1.141

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 5.2 การ Standardizes ข้อมูล

จากข้อมูลที่แบ่งในข้อ 5.1 คือเมตริกซ์  $X_{IEC\_Train}$ ,  $Y_{IEC\_Train}$  ก่อนนำไปสอนโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมควรทำให้ตัวแปรทุกตัวมีความสำคัญเท่ากัน (ค่าค่าเฉลี่ยทุกตัวแปรเท่ากับศูนย์ และค่าความแปรปรวนเท่ากับ 1) โดยใช้คำสั่ง ใน MATLAB statistic toolbox ดังนี้

$$Z = \text{zscore}(D) ; \text{เมื่อ } D \text{ คือข้อมูลที่ต้องการแปลง}$$

ผลการ Standardizes เมตริกซ์  $X_{IEC\_Train}$  แสดงดังตารางที่ 5-7 และผลการ Standardizes เมตริกซ์  $X_{UHF\_Train}$  แสดงดังตารางที่ 5-8 โดยจะนำไปสอนโมเดล MLP และ PNN

ตารางที่ 5-7 เมตริกซ์  $X_{IEC\_Train\_Zscore}$

-1.1443	0.0519	1.1382	-1.2856	-0.5838	-0.5655	1.6321	-0.7406	-0.9242
-1.1443	-0.6419	1.1382	-0.1913	-0.5838	-0.4507	1.6321	-0.7890	-0.9242
-1.1443	0.4902	1.1382	-0.3677	-0.5838	-2.0298	1.6321	-0.7971	-0.9242
-1.1443	-0.2558	1.1382	-1.2275	-0.5838	-0.4076	1.6321	-0.7366	-0.9242
-1.1443	-0.6709	1.1382	-0.0791	-0.5838	-0.4794	1.6321	-0.7870	-0.9242
-1.1443	0.4815	1.1382	-0.6563	-0.5838	-2.7188	1.6321	-0.7124	-0.9242
-1.1443	-0.6883	1.1382	-0.5300	-0.5838	-1.1397	1.6321	-0.7467	-0.9242
-1.1443	-0.7580	1.1382	-0.3697	-0.5838	-0.4938	1.6321	-0.7608	-0.9242
-1.1443	-0.7725	1.1382	-1.0632	-0.5838	-0.3933	1.6321	-0.7809	-0.9242
-1.1443	1.0620	1.1382	0.6024	-0.5838	-0.9101	1.6321	-0.7668	-0.9242
-1.1443	-0.6273	1.1382	-0.2555	-0.5838	-0.4794	1.6321	-0.7628	-0.9242
-1.1443	-0.7057	1.1382	-0.7084	-0.5838	-0.4363	1.6321	-0.7910	-0.9242
-0.1506	-0.8566	-0.7941	0.8128	-0.2847	-0.7091	-0.8541	1.6792	-0.9242
-0.2588	-0.8566	-0.4570	0.8128	-0.5411	-0.7091	-0.7019	1.6792	-0.9242
0.3022	-0.8566	0.8173	0.8128	-0.5594	-0.7091	-0.8397	1.6792	-0.9242
0.8792	-0.8566	0.1562	0.8128	-0.6388	-0.7091	-0.8253	1.6792	-0.9242
-0.8598	-0.8566	-0.4612	0.8128	-0.6510	-0.7091	-0.7163	1.6792	-0.9242
1.3079	-0.8566	0.0446	0.8128	-0.6693	-0.7091	-0.8849	1.6792	-0.9242
1.4361	-0.8566	0.8917	0.8128	-0.5594	-0.7091	-0.8623	1.6792	-0.9242
-0.9239	-0.8566	-0.8679	0.8128	-0.4434	-0.7091	-0.8376	1.6792	-0.9242
-0.1546	-0.8566	-0.4780	0.8128	-0.4617	-0.7091	-0.8890	1.6792	-0.9242
1.6164	-0.8566	0.9760	0.8128	-0.5716	-0.7091	-0.8623	1.6792	-0.9242
-0.6474	-0.8566	-0.7541	0.8128	-0.4251	-0.7091	-0.8459	1.6792	-0.9242
-0.1225	-0.8566	-0.4401	0.8128	-0.4739	-0.7091	-0.8870	1.6792	-0.9242
0.5827	1.6977	-0.6867	0.1334	0.2831	0.4680	-0.5107	-0.7326	0.9774
0.5546	1.9560	-0.9353	0.2356	-0.4129	0.3819	-0.8890	-0.7165	1.0697
1.4161	1.8515	0.9233	2.2999	0.1122	2.2050	-0.5970	-0.4142	0.9229
0.1900	1.7703	-1.2999	0.1654	0.2404	0.7121	-0.5909	-0.7467	0.9691
0.0417	1.9154	-1.3083	0.2055	-0.6083	0.4250	-0.9014	-0.7447	1.1263
1.4722	0.8472	1.0160	0.6024	0.0511	1.9610	-0.4880	-0.2329	0.9418
1.9570	0.9894	1.0835	0.1835	0.1977	0.7121	-0.6916	-0.5956	0.8600
0.2461	1.8283	-1.2093	0.2095	-0.5533	0.9274	-0.7513	-0.6963	1.1473
1.4321	1.7122	0.6789	2.2378	0.4297	0.1953	-0.2536	-0.2530	0.9250
0.2020	1.4423	-1.1587	-0.4679	-0.7792	0.6547	-0.6978	-0.7225	1.1179
2.2976	1.0446	1.5892	1.2898	0.8632	0.3963	-0.3564	-0.1342	1.0194
2.0892	1.3552	1.2520	2.2438	0.5701	0.1092	-0.3030	0.0734	1.0529
-0.1466	0.5134	-0.0039	-0.1232	-1.3470	0.8126	-0.2886	-0.7003	1.1305
0.4705	-0.3864	-0.3917	-1.0591	-0.7853	-1.0536	-0.5497	-0.6197	1.5414
0.2501	-0.4503	-0.6909	-1.1974	-0.1626	0.2958	-0.7595	-0.4505	2.4639
0.2180	-0.6041	-0.7941	-1.1533	0.1244	1.7026	-0.5929	-0.3739	1.4701
0.2140	-0.5286	-0.7815	-1.2175	0.1855	1.1284	-0.5518	-0.4223	1.1871
0.1099	-0.6070	-0.8131	-1.2315	0.7288	0.9131	-0.4099	-0.4827	0.5980
-0.2187	-0.4416	-1.1123	-1.1734	2.5422	1.4873	0.3242	-0.3498	0.1640
-0.3670	-0.4416	-1.1777	-1.1333	2.2369	1.1858	0.1721	-0.3155	0.2290
-0.2588	-0.4067	-1.1524	-1.1413	2.5666	1.0279	0.2975	-0.3276	0.2332
-0.6755	-0.6360	-1.3863	-1.2596	2.0842	1.2432	-0.0871	-0.3336	0.3862
-0.3710	-0.4880	-1.1524	-1.1373	2.4628	0.3245	0.0075	-0.3719	0.2856
-0.3990	-0.6186	-1.1461	-1.1333	2.2552	0.7982	-0.1097	-0.3155	0.3610

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5-8 เมตริกซ์  $X_{UHF\_Train\_Zscore}$ 

-0.26635	0.26977	0.56130	-0.24163	1.07043	0.97604	-0.66347	0.15054	1.35014
-0.64634	0.41079	0.44834	-0.27958	1.23706	1.22897	-0.69292	0.03109	-0.02038
-0.05952	-0.20171	0.42575	-0.22140	1.58441	1.99342	-0.55550	0.16459	0.70265
0.28679	-0.13225	0.44583	-0.21381	1.23237	1.16609	-0.63795	-0.03917	-0.08154
0.23629	-0.38483	0.42324	-0.18472	1.13262	0.97462	-0.76360	0.35431	0.57315
0.39021	-0.43956	0.41822	-0.24922	1.37670	1.46535	-0.69292	0.13508	0.82136
-0.00421	-0.22907	0.40567	-0.17839	1.62313	1.25355	-0.76163	0.10136	0.88251
0.14971	0.05508	0.40316	-0.21760	1.41073	0.92877	-0.79108	0.23486	0.09832
-0.39141	0.04455	0.33036	-0.13665	1.18777	1.18169	-0.65366	0.03109	0.75301
0.24831	0.10138	0.56130	-0.11515	1.35441	1.94614	-0.73611	0.42457	1.00122
-0.32167	-0.25012	0.53620	-0.15310	1.70176	1.11881	-0.86176	0.20535	0.14509
-0.07155	0.48025	0.42324	-0.09491	1.34971	0.92735	-0.79108	-0.23591	0.42926
0.19300	0.00035	-1.40171	1.78840	0.33583	0.74250	-0.76556	-1.06363	-1.31537
0.63071	-0.12594	-1.65524	1.61512	0.14104	0.62998	-1.15231	-0.92872	-0.43046
0.28920	-0.32800	-1.64520	1.77449	0.31354	0.64416	-1.12482	-0.72074	-1.31897
0.47198	-0.17014	-1.73808	1.51014	0.32879	0.57561	-0.84016	-1.09454	0.20624
0.53210	0.00877	-1.59500	1.23694	0.22905	0.40117	-0.54961	-1.09876	-0.94846
0.70526	-0.21645	-1.62010	1.43678	0.19150	0.51605	-0.96777	-1.01585	-1.27580
0.65235	-0.11120	-1.68035	1.52026	0.44497	0.76803	-0.86372	-0.85845	-1.13911
0.82551	-0.15962	-1.09797	1.01939	0.50012	0.76614	-1.25047	-0.65047	0.38610
0.69324	-0.00807	-0.88962	2.09196	0.39431	0.65362	-1.22298	-1.02428	-0.76860
0.67640	0.12033	-1.80586	1.85164	0.19971	0.66780	-0.93832	-1.02849	-1.09594
0.47919	0.05929	-1.27620	1.67836	0.37221	0.59925	-0.64777	-0.94558	0.20624
1.09968	0.10559	-1.52973	1.83773	0.38747	0.42480	-1.06593	-0.57318	-0.14269
0.18819	-1.06679	0.62155	-0.71215	-0.29080	-0.82895	1.70020	2.24863	1.57676
-0.50445	0.18768	0.45336	0.49586	-0.26616	-0.75237	1.34094	1.51507	0.04077
-0.44432	-0.61005	0.75208	0.01892	-0.43279	-0.83321	1.34682	1.44200	0.04077
-0.32648	-0.93629	0.58138	-0.44780	-0.46213	-0.86914	1.58437	1.85515	1.08755
-0.69925	1.01277	0.74706	-0.69444	-0.43866	-0.78262	1.37038	0.84756	0.14149
0.44071	-0.94050	0.83492	-0.78045	-0.35417	-0.86063	1.53333	1.84110	1.66669
-0.81950	-0.83526	0.87759	-0.49333	-0.54779	-0.72116	1.79836	1.44481	0.22063
0.32046	-0.43324	1.12862	-0.39847	-0.26264	-0.85259	1.43909	1.37173	1.26741
0.00060	2.94920	0.98051	-0.75515	-0.23213	0.77600	1.44498	1.78489	0.32135
-2.17351	-0.04385	0.90269	-0.77539	-0.20748	-0.85685	1.68253	0.77730	1.84655
0.06554	0.64021	0.74706	-0.55910	-0.37412	-0.89278	1.46854	1.77084	2.10195
-0.58381	-0.96155	0.57887	-0.04432	-0.40345	-0.80626	1.63149	1.04009	1.95807
0.40945	-1.36567	-0.04618	-0.87278	-1.57810	-1.12065	0.31615	-0.34271	-0.65349
0.75817	-1.60562	-0.21687	-0.99926	-1.12279	-1.09464	0.36523	-0.40174	-0.91608
2.01358	2.17252	2.22559	-0.54772	-1.44550	-0.87765	-0.20605	-1.09735	-0.67507
1.11892	-1.83294	0.97549	-0.73744	-1.27769	-1.01144	0.33759	-1.00179	-1.09954
-2.24806	1.40426	0.00654	-1.20290	-1.52060	-1.09559	0.14143	-0.62939	-1.13551
1.67688	-0.47955	-0.27461	-0.98282	-0.86815	-1.00813	0.25137	-0.38066	-0.55996
-2.36831	-0.37431	0.44081	-1.02076	-1.38800	-1.19109	0.41431	-0.47200	-0.85493
1.55663	2.76608	-0.96744	-0.82598	-0.96790	-1.14428	0.46339	-1.16762	-1.27940
-2.23844	0.03824	1.42231	-1.13839	-1.63677	-1.11828	-0.10789	-1.07206	-1.31537
-0.89405	0.15611	0.29521	-0.93602	-1.18147	-0.90129	-0.23943	-0.69966	-0.73982
0.37097	2.51982	-0.17169	-1.06250	-1.50417	-1.03508	0.23959	-0.45092	-0.58514
-2.41882	-1.26043	-0.34239	-0.61096	-1.33637	-1.11923	0.34953	-0.77835	-1.47365

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 การใช้เทคนิคการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก ลดจำนวนตัวแปรเดิม

ในกรณีโครงข่ายประสาทเทียมประเภท PCA-MLP, PCA-PNN ตัวแปรตั้งต้น (ตัวแปรเดิมที่ Standardizes ข้อมูลแล้ว) จะถูกลดจำนวนโดยใช้การวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก โดยใช้คำสั่งใน MATLAB statistic toolbox ดังนี้

$$[PC, Latent, Explained] = PCACOV(\Sigma)$$

เมื่อ  $\Sigma$  คือ เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมของเมตริกซ์ตัวแปรเดิม

$PC$  คือเมตริกซ์ loading

$Latent$  คือค่าไอเกนของเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม

$Explained$  คือค่าเปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนของแต่ละ  $PC$

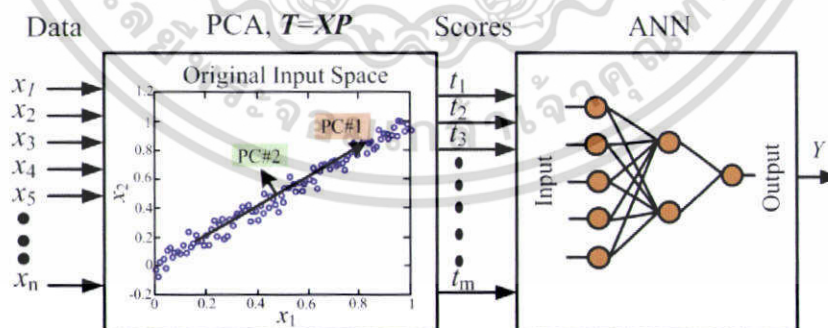
ในการแปลงตัวแปรจากสเปซเดิมไปสู่สเปซใหม่ซึ่งตัวแปรในสเปซใหม่แต่ละตัวเป็นอิสระซึ่งกันและกันใช้สมการที่ 5.1 โครงสร้างพื้นฐานของโมเดลเมื่อใช้เทคนิค PCA ลดจำนวนตัวแปรตั้งต้นแสดงดังรูปที่ 5.2

$$\mathbf{T}_{mxk} = \mathbf{X}_{mxn} \mathbf{P}_{nxk} \quad (5.1)$$

เมื่อ  $T$  คือ เมตริกซ์ของตัวแปรใหม่เรียกว่าเมตริกซ์ score

$X$  คือ เมตริกซ์ของตัวแปรเดิม

$P$  คือเมตริกซ์ที่ใช้ในการแปลงข้อมูลเรียกว่าเมตริกซ์ loading



รูปที่ 5.2 โครงสร้างพื้นฐานของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมร่วมกับเทคนิค PCA

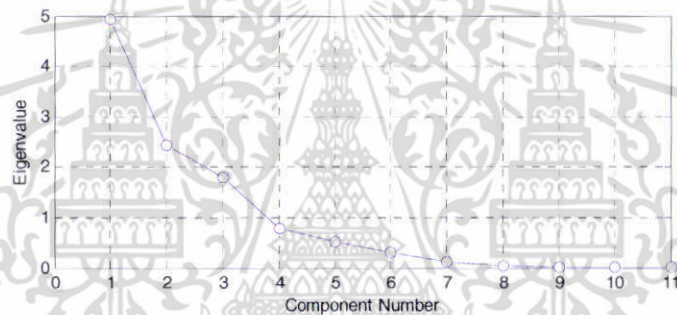
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3.1 การใช้เทคนิค PCA ลดจำนวนตัวแปรตั้งต้นในกรณีวิธีดั้งเดิม

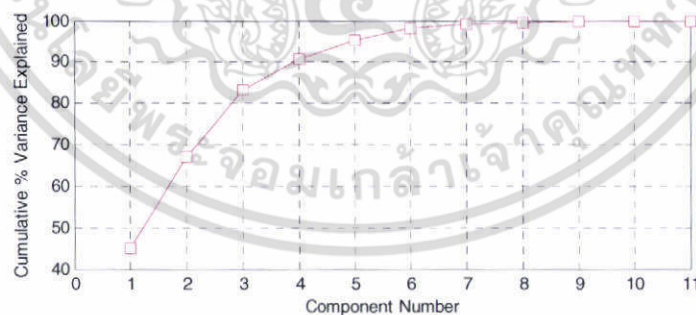
ตัวแปรเดิมจากการวัดสัญญาณ PD ด้วยวิธีดั้งเดิมมีทั้งหมด 11 ตัวแปรในตารางที่ 5-7 เมตริกซ์  $X_{IEC\_Train\_Zscore}$  เมื่อทำการวิเคราะห์หัตถ์ประกอบหลักผลการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 5-9 รูปที่ 5.3 และ 5.4

ตารางที่ 5-9 เมตริกซ์ loading กรณีวิธีดั้งเดิม

	Component										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Sk1+	-0.271	0.400	-0.169	0.322	0.352	0.219	-0.476	0.004	-0.417	-0.249	-0.021
Sk1-	-0.280	-0.002	-0.459	-0.117	-0.621	0.107	-0.395	-0.123	0.334	-0.127	-0.019
Ku1+	0.198	-0.038	-0.566	0.412	0.406	-0.047	0.061	-0.073	0.458	0.286	0.025
Ku1-	-0.002	0.524	-0.310	0.197	-0.381	-0.130	0.574	0.033	-0.304	0.065	0.027
Sk2+	-0.194	-0.184	0.391	0.679	-0.258	0.406	0.125	-0.183	0.116	0.069	0.124
Sk2-	-0.362	-0.082	0.145	0.300	-0.018	-0.851	-0.115	-0.044	0.053	-0.092	0.011
Ku2+	0.242	-0.473	-0.253	0.213	-0.048	0.004	0.182	0.135	-0.171	-0.680	-0.251
Ku2-	0.157	0.535	0.301	0.028	0.055	0.011	0.063	0.058	0.569	-0.445	-0.253
Q	-0.429	-0.066	-0.055	-0.182	0.208	0.088	0.298	-0.551	-0.013	0.029	-0.576
cc	-0.439	-0.079	-0.027	0.021	0.040	0.123	0.114	0.786	0.116	0.189	-0.320
mcc	-0.424	-0.042	-0.104	-0.209	0.250	0.099	0.340	0.008	0.169	-0.354	0.649



รูปที่ 5.3 กราฟ Scree Plot กรณีวิธีดั้งเดิม



รูปที่ 5.4 ผลบวกสะสมของเปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนกรณีวิธีดั้งเดิม

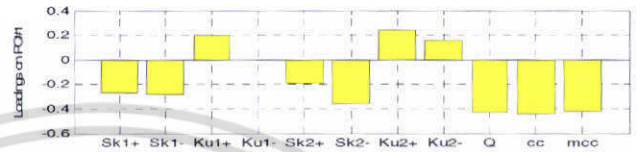
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก ในการที่จะพิจารณาว่าควรจะมีกี่ Component หรือกี่ตัวแปรใหม่จะพิจารณาจากค่า Eigenvalue ที่มีค่ามากกว่า 1 [35] และสามารถแบ่งกลุ่มข้อมูลได้จากกราฟ Scree Plot พบว่า 3 Component แรก ที่มีค่า Eigenvalue มากกว่า 1 และมีเปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนสะสมเท่ากับ 83.38 เปอร์เซ็นต์

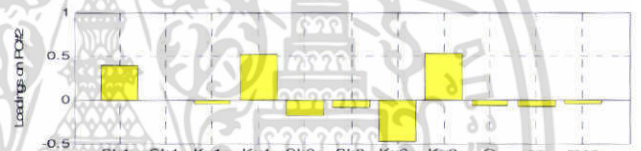
การแปลงตัวแปรตั้งต้นจากสเปซเดิมไปสู่สเปซใหม่ใช้สมการที่ 5.1 ตัวแปรใหม่ที่ได้เรียกว่าตัวแปร score ดังตารางที่ 5-10 ใช้เป็นข้อมูลในการสอนโมเดลประเภท PCA-MLP, PCA-PNN

ตารางที่ 5-10 เมตริกซ์ Score *IEC\_train*

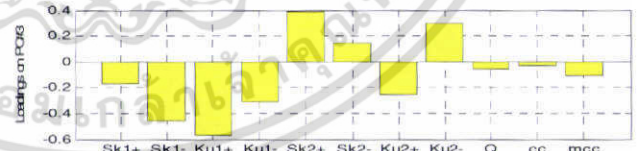
Score on PC1	Score on PC2	Score on PC3
2.3151	-2.0160	-0.8540
2.4581	-1.4763	-0.8723
2.7125	-1.4452	-1.5685
2.3445	-1.9958	-0.7066
2.4767	-1.4139	-0.8972
2.9783	-1.4945	-1.5494
2.7279	-1.5744	-0.8330
2.5109	-1.5509	-0.7614
2.4765	-1.9336	-0.5315
2.1503	-1.0136	-1.9604
2.4687	-1.4935	-0.8553
2.4713	-1.7495	-0.6813
1.6867	1.9864	1.2952
1.8695	1.9055	0.9837
1.6163	2.2122	1.1205
1.6721	2.4132	0.4370
2.0493	1.6924	1.0484
1.5253	2.6228	0.4308
1.6429	2.6105	-0.0332
1.9163	1.7015	1.4015
1.7764	2.0218	1.0565
1.6131	2.6816	-0.1162
1.8585	1.8082	1.2996
1.7782	2.0345	1.0243
-2.5358	-0.1045	-0.6299
-2.6695	0.2576	-0.8363
-3.0554	1.4016	-2.1201
-2.6442	-0.1991	-0.2202
-2.6194	0.0693	-0.5940
-2.6348	0.6063	-1.2310
-2.4034	0.5645	-1.4547
-2.7932	0.0511	-0.5777
-2.2692	1.4193	-2.1024
-2.4907	-0.2957	-0.3572
-2.4350	1.2321	-1.9270
-2.3268	1.8254	-2.2471
-1.5642	-0.3606	-0.9002
-1.6200	-0.4480	-0.1427
-2.9822	-0.7274	0.5395
-2.6697	-0.8191	1.1065
-2.2611	-0.8358	1.0441
-1.6817	-0.9969	1.3469
-1.6079	-1.6852	2.2045
-1.4932	-1.5557	2.1305
-1.5074	-1.6315	2.1547
-0.6141	-1.4729	2.5427
-1.2854	-1.4870	2.1213
-0.9309	-1.3412	2.2727



รูปที่ 5.5 Loading และ Score ของ PC#1 วิธีดั้งเดิม



รูปที่ 5.6 Loading และ Score ของ PC#2 วิธีดั้งเดิม



รูปที่ 5.7 Loading และ Score ของ PC#3 วิธีดั้งเดิม

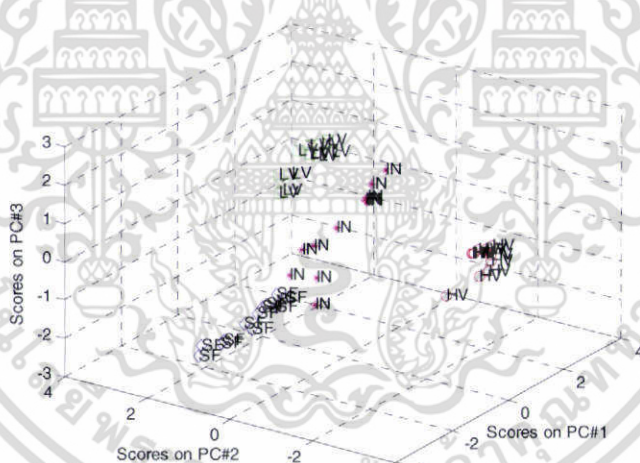
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.5 พบว่า Component #1 สามารถแยกกลุ่มของ PD ออกเป็น 2 กลุ่มจาก 4 กลุ่ม กลุ่มของ HV มีค่าใกล้เคียงกับ LV และกลุ่มของ SF มีค่าใกล้เคียงกับ IN ใน Component แรก และพบว่า Component แรกตัวแปร Ku1+, Ku2+ และ Ku2- ค่า Factor loading เป็นบวก ตัวแปร Sk1+, Sk1-, Sk2+, Sk2-, Q, cc, mcc มีค่า Factor loading เป็นลบ ส่วนตัวแปร Ku1- ไม่ได้ใช้ใน Component นี้

จากรูปที่ 5.6 พบว่า Component#2 แยกกลุ่ม HV ออกจากกลุ่ม LV และกลุ่ม SF แยกออกจาก IN และพบว่า Component#2 ตัวแปร Sk1+, Ku1- และ Ku2- มีค่า Factor loading เป็นบวก ตัวแปร Sk2+ และ Ku2+ มีค่า Factor loading เป็นลบ ส่วนตัวแปร Ku1+, Sk2-, Q, cc และ mcc ไม่ได้ใช้ใน Component#2 เนื่องจากค่า Factor loading มีค่าน้อยมาก

จากรูปที่ 5.7 พบว่า Component#3 แยกกลุ่ม LV ออกจากกลุ่ม SF และกลุ่ม HV แยกออกจาก IN และพบว่า Component#3 ตัวแปร Sk1+, Sk1-, Ku1+, Ku1-, Ku2+ และ mcc มีค่า Factor loading เป็นลบ ตัวแปร Sk2+, Sk2- และ Ku2- มีค่า Factor loading เป็นบวก ส่วนตัวแปร Q และ cc ไม่ได้ใช้ใน Component นี้เนื่องจากค่า Factor loading มีค่าน้อยมาก

และเมื่อพล็อตค่า Score ของ Component#1 - 3 พบว่าสามารถแยกกลุ่มของ PD ออกเป็น 4 กลุ่มค่อนข้างชัดเจน ซึ่งทำให้เห็นว่า 3 Component แรกเหมาะสำหรับเป็นอินพุทของโมเดลในการทำนายประเภทของ PD



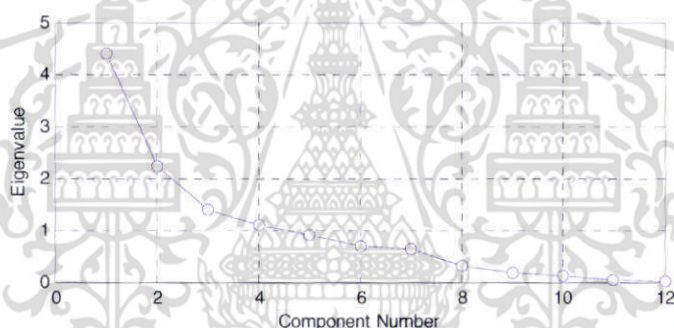
รูปที่ 5.8 Score Plot วิธีดั้งเดิม

### 5.3.2 การใช้เทคนิค PCA ลดจำนวนตัวแปรตั้งต้นในกรณีวิธี UHF

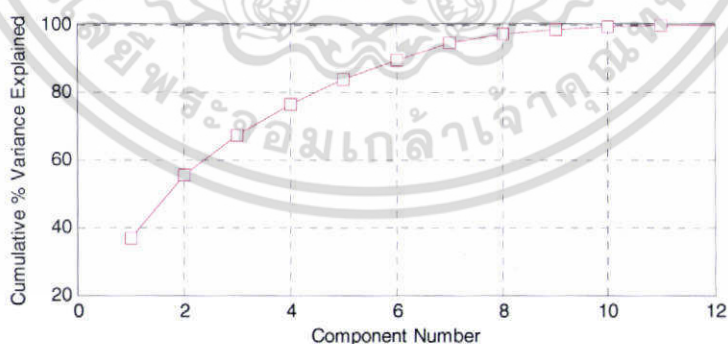
ตัวแปรเดิมจากการวัดสัญญาณ PD ด้วยวิธี UHF มีทั้งหมด 12 ตัวแปรในตารางที่ 5-8 เมตริกซ์  $X_{UHF\_Train\_Zscore}$  เมื่อทำการวิเคราะห์ตัวประกอบหลักผลการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 5-11 รูปที่ 5.9 และ 5.10

ตารางที่ 5-11 loading matrix กรณีวิธี UHF

	Component											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sk1	-0.225	-0.045	-0.070	0.532	0.487	-0.483	0.302	-0.281	0.130	-0.031	0.023	-0.025
Ku1	-0.019	0.116	0.544	0.423	0.256	0.659	0.075	0.040	-0.034	-0.054	-0.033	0.004
Sk2	0.347	-0.166	0.315	-0.140	0.256	-0.234	-0.384	-0.160	-0.153	-0.640	0.069	0.054
Ku2	-0.379	-0.076	-0.232	0.214	-0.341	0.079	0.242	0.269	-0.241	-0.657	0.028	0.080
Sk3	-0.247	-0.537	0.069	-0.156	0.034	0.155	0.010	-0.109	0.334	0.055	0.281	0.625
Ku3	-0.349	-0.401	0.080	-0.222	0.047	0.145	-0.027	-0.131	0.164	-0.069	0.144	-0.754
Sk4	0.442	-0.012	-0.094	0.232	-0.074	-0.010	0.120	0.288	0.181	0.002	0.763	-0.153
Ku4	0.343	-0.394	-0.066	0.137	0.031	-0.014	0.093	0.424	0.449	-0.091	-0.547	-0.073
Sk5	0.211	-0.539	-0.028	0.027	0.105	0.019	0.255	0.037	-0.714	0.275	-0.021	-0.012
Ku5	0.248	0.183	-0.182	-0.448	0.249	0.240	-0.649	-0.249	0.094	-0.243	-0.026	0.020
Sk6	0.260	-0.139	-0.423	0.351	-0.258	0.313	-0.223	-0.618	0.050	-0.060	-0.083	-0.034
Ku6	-0.122	0.053	-0.556	-0.051	0.605	0.265	-0.371	0.290	-0.088	-0.018	0.056	0.028



รูปที่ 5.9 กราฟ Scree Plot กรณีวิธี UHF



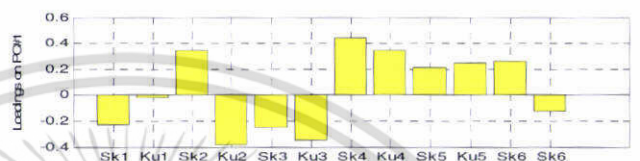
รูปที่ 5.10 ผลบวกสะสมของเปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนกรณีวิธี UHF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

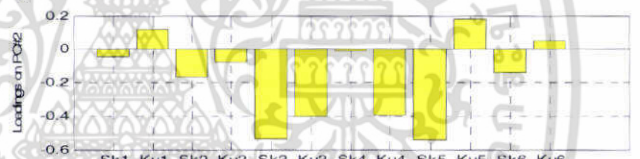
โดยทั่วไปการเลือกใช้งาน Component จะเลือกชุดที่มีค่า Eigenvalue > 1 จากรูปที่ 5.9 จะเห็นว่า Component ที่ 1 ถึง 4 นั้น Eigenvalue > 1 แต่เนื่อง Component ที่ 4 มีค่าเกือบจะเท่ากับ 1 ซึ่งในทางปฏิบัติถ้านำ Component ที่ 4 มีค่าใกล้เคียงกับ 1 ไปใช้งาน จะทำให้การกระจายตัวของข้อมูลไม่สามารถแยกกลุ่มได้ชัดเจน ดังนั้นในการทดลองจึงเลือกใช้งานเฉพาะ Component ที่ 1 ถึง 3 เท่านั้น ซึ่ง การแปลงตัวแปรตั้งต้นจากสเปซเดิมไปสู่สเปซใหม่ใช้สมการที่ 5.1 ตัวแปรใหม่ที่ได้เรียกว่าตัวแปร score ดังตารางที่ 5-12 ใช้เป็นข้อมูลในการสอนโมเดลประเภท PCA-MLP, PCA-PNN

ตารางที่ 5-12 เมตริกซ์ Score\_UHF\_train

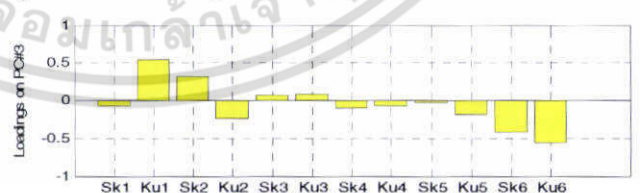
Score on PC1	Score on PC2	Score on PC3
-0.4965	-1.3214	1.7343
-0.8510	-1.2302	1.1810
-0.8719	-1.9289	0.5409
-1.1657	-1.2418	1.3943
-1.0013	-1.3239	0.3854
-0.7131	-1.7317	0.6380
-1.2904	-2.0145	1.0393
-1.0544	-1.2448	-0.0452
-0.4679	-1.4577	-0.6076
-1.1743	-2.6204	0.5878
-0.7543	-1.8065	0.0493
-0.8034	-1.5057	0.6537
2.8599	0.7601	-0.9271
-3.1808	0.2660	-1.3570
-2.6692	0.5537	-0.3797
-2.5123	0.0560	-1.1608
-1.8752	0.8965	0.7287
-3.0397	0.8687	0.0129
-2.6288	0.3539	-0.9742
-2.1659	-0.2433	-0.3698
-3.1497	0.2261	0.6337
-3.1656	0.6664	-0.6729
-2.4040	-0.2674	-0.0469
-2.8013	-0.0510	-1.3483
2.9275	-1.3576	-0.0177
2.1036	-0.4474	0.3678
2.0604	-0.4809	-0.1091
3.0206	-1.0303	-2.4683
1.8966	-0.0402	1.2656
3.1261	-1.2689	-3.0955
2.3785	-0.1862	-1.8403
2.8602	-1.6632	0.2054
2.4981	-0.0491	2.4762
3.7311	-0.8560	0.1107
3.1607	-1.4077	-0.0139
2.9828	-1.2897	-0.4912
1.6151	2.2909	-1.7371
0.3821	1.7419	0.0851
0.0126	1.8276	2.6950
0.2451	1.6817	-1.1583
1.5170	2.5295	1.2277
0.2009	1.2965	-0.7633
1.7375	1.8977	-0.1832
-0.0186	2.7114	0.6540
1.5714	2.4066	1.5799
0.6692	2.0371	0.9447
0.7750	2.1477	1.3077
1.6431	2.8500	-1.2742



รูปที่ 5.11 Loading และ Score ของ PC#1 กรณีวิธี UHF



รูปที่ 5.12 Loading และ Score ของ PC#2 กรณีวิธี UHF



รูปที่ 5.13 Loading และ Score ของ PC#3 กรณีวิธี UHF

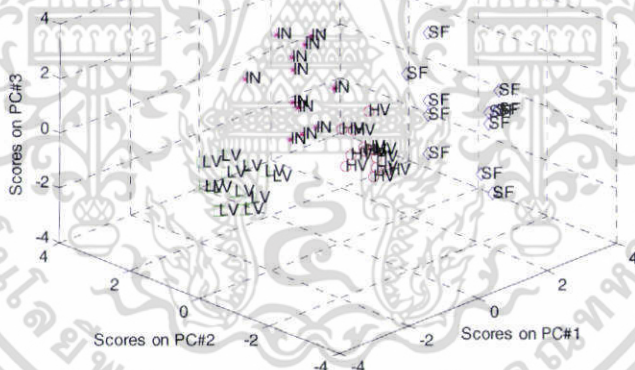
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.11 พบว่าค่า Score ของ Component#1 สามารถแยกกลุ่มของ PD ออกเป็น 4 กลุ่ม และพบว่า Component#1 ตัวแปร Sk2, Sk4, Ku4, Sk5, Ku5 และ Sk6 ค่า Factor loading มีค่าเป็นบวก ตัวแปร Sk1, Ku2, Sk3, Ku3 และ Sk6 ค่า Factor loading มีค่าเป็นลบ ส่วนตัวแปร Ku1 ไม่ได้ใช้ใน Component นี้

จากรูปที่ 5.12 พบว่าค่า Score ของ Component#2 แยกกลุ่มของ IN ออกจากกลุ่มอื่น และพบว่า Component#2 ตัวแปร Ku1 และ Ku5 ค่า Factor loading มีค่าเป็นบวก ตัวแปร Sk2, Ku2, Sk3, Ku3, Ku4, Sk5 และ Sk6 ค่า Factor loading มีค่าเป็นลบ ส่วนตัวแปร Sk1 และ Sk4 ไม่ได้ใช้ใน Component นี้

จากรูปที่ 5.13 พบว่าค่า Score ของ Component#3 ไม่สามารถแยกกลุ่มของ PD ได้เนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกันและพบว่า Component#3 ตัวแปร Ku1 และ Sk2 ค่า Factor loading มีค่าเป็นบวก ตัวแปร Ku2, Ku5, Sk6 และ Ku6 ค่า Factor loading มีค่าเป็นลบ ส่วนตัวแปร Sk1, Sk3, Ku3, Sk4, Ku4 และ Sk5 ไม่ได้ใช้ใน Component นี้

เมื่อพล็อตค่า Score ของ Component#1 – 3 พบว่าสามารถแยกกลุ่มของ PD ออกเป็น 4 กลุ่มค่อนข้างชัดเจน ซึ่งทำให้เห็นว่า 3 Component แรกเหมาะสำหรับเป็นอินพุตของโมเดลในการทำนายประเภทของ PD



รูปที่ 5.14 Score Plot กรณีวิธี UHF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4 การสร้างโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม

ในหัวข้อนี้เป็นการสร้างโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม 4 โมเดลคือ MLP, PCA-MLP, PNN, PCA-PNN สำหรับการเรียนรู้จัดจำรูปแบบ PD ซึ่งใช้กับสัญญาณ PD ที่ได้จากการวัดด้วยวิธีดั้งเดิม และการวัดสัญญาณ PD ด้วยวิธี UHF

### 5.4.1 การสร้างโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมกรณีจัดจำรูปแบบ PD ที่ได้จากการวัดด้วยวิธีดั้งเดิม

โครงสร้างโมเดลกรณีจัดจำสัญญาณ PD ที่ได้จากการวัดด้วยวิธีดั้งเดิมแสดงดังตารางที่ 5-13 รายละเอียดดังนี้

กรณีโมเดล MLP และ PNN จำนวนโหนดอินพุตของโมเดลมี 11 โหนดอินพุตเนื่องจากไม่มีการลดจำนวนตัวแปรตั้งต้น (เมตริกซ์  $X_{IEC\_Train\_Zscore}$ )

กรณีโมเดล PCA-MLP, PCA-PNN โหนดอินพุตของโมเดลมี 3 โหนดอินพุตเนื่องจากใช้เทคนิค PCA ลดจำนวนตัวแปรตั้งต้น (เมตริกซ์  $Score_{IEC\_train}$ )

โหนดเอาต์พุตของโมเดล MLP, PCA-MLP มี 2 โหนดเพราะกำหนดเป็นโค้ตไบนารี 00, 01, 10, 11 แทน HV, LV, SF, IN ตามลำดับ (เมตริกซ์  $Y_{IEC\_Train\_MLP}$ ) ดังนั้นกำหนดฟังก์ชันของชั้นเอาต์พุตเป็น *hardlim* ในชั้นซ่อนกำหนดฟังก์ชันเป็น *tansig* จำนวนโหนดในชั้นซ่อนของโมเดล MLP, PCA-MLP หาได้จากสอนและการทดสอบโมเดล จำนวนรอบการสอนโมเดลแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 5.15 ซึ่งใช้การสอนแบบ Levenberg-Marquardt backpropagation training โดยที่ค่า SEE เท่ากับ 0.01 ผลการสอนและทดสอบแสดงดังตารางที่ 5-14 ถึง 5-16 โดยจะเลือกจำนวนโหนดที่สอนและทดสอบสำเร็จ จากการสอนและทดสอบโมเดลพบว่าจำนวนโหนดในชั้นซ่อนของโมเดล MLP เลือก 3 โหนด และจำนวนโหนดในชั้นซ่อนของโมเดล PCA-MLP เลือก 6 โหนด

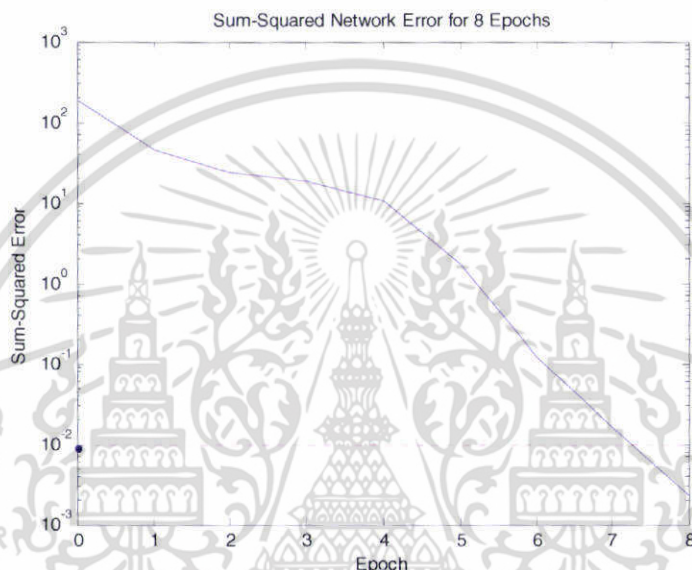
โหนดเอาต์พุตของโมเดล PNN และ PCA-PNN มี 1 โหนดเอาต์พุตเนื่องจากกำหนดเป็นโค้ตของกลุ่มข้อมูล 1, 2, 3, 4 แทน HV, LV, SF, IN ตามลำดับ (เมตริกซ์  $Y_{IEC\_Train\_PNN}$ ) และกำหนดฟังก์ชันของชั้นตัดสินเป็น *compet* เพราะต้องเปรียบเทียบค่า *pdf* ของแต่ละกลุ่มข้อมูลและเลือกกลุ่มข้อมูลที่มีค่า *pdf* สูงที่สุด จำนวนโหนดในชั้นรูปแบบขึ้นอยู่กับจำนวนเวกเตอร์การสอนซึ่งมี 48 เวกเตอร์ตามจำนวนข้อมูลที่แบ่งไว้ เวกเตอร์การสอนกรณี 3 โหนดอินพุตแสดงดังรูปที่ 5.16 กรณี 11 โหนดอินพุตไม่สามารถพล็อตในรูป 3 มิติได้ ในส่วนของชั้นรวมมี 4 โหนดเพราะมี 4 กลุ่มข้อมูล และฟังก์ชันในชั้นรวมคือ *gaussian* เพราะต้องการคำนวณค่า *pdf* ของแต่ละกลุ่มข้อมูล ผลการสอนทดสอบโมเดล PNN และ PCA-PNN แสดงดังตารางที่ 5-17 ถึง 5-18

ตารางที่ 5-13 โครงสร้างโมเดลนิวรอลเน็ตเวิร์ค MLP, PCA-MLP, PNN, PCA-PNN กรณีวิธีดั้งเดิม

Model NN	input		hidden layer		output layer	
	nodes	nodes	nodes	transfer	nodes	transfer
MLP	11			<i>tansig</i>	2	<i>hardlim</i>
PCA-MLP	3			<i>tansig</i>	2	<i>hardlim</i>

	input	pattern layer	summation layer		decision layer	
	nodes	nodes	nodes	transfer	nodes	transfer
PNN	11	48	4	<i>gaussian</i>	1	<i>compet</i>
PCA-PNN	3	48	4	<i>gaussian</i>	1	<i>compet</i>



รูปที่ 5.15 ตัวอย่างผลการสอนโมเดล MLP และ PCA-MLP

ตารางที่ 5-14 ผลการสอนและการทดสอบโมเดล MLP และ PCA-MLP กรณีวิธีดั้งเดิม

จำนวนโหนดที่สอนสำเร็จ (SSE = 0.01)		% error ตอน test	
MLP	PCA-MLP	MLP	PCA-MLP
-	-	-	-
2	-	9.4	-
3	3	0	6.25
4	4	0	3.12
5	5	0	6.25
6	6	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

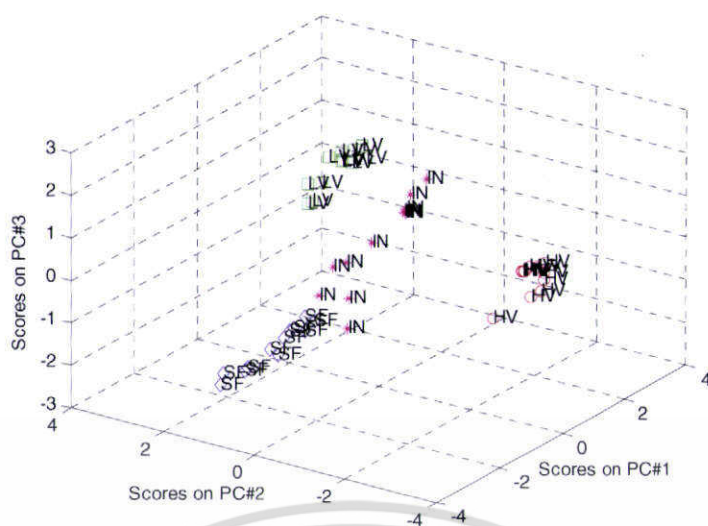
ตารางที่ 5-15 ผลการทดสอบโมเดล MLP กรณีวิธีดั้งเดิม

เป้าหมาย	ผลการทำนาย				
	6 โหนด	5 โหนด	4 โหนด	3 โหนด	2 โหนด
0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
0 1	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1	0 0
	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1	0 0
1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0	1 1
	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1

ตารางที่ 5-16 ผลการทดสอบโมเดล PCA-MLP กรณีวิธีดั้งเดิม

เป้าหมาย	ผลการทำนาย			
	6 โหนด	5 โหนด	4 โหนด	3 โหนด
0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0
0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 0	0 0	0 0
1 0	1 0	1 1	1 0	1 1
	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0
1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 เวกเตอร์การสอนโมเดล PCA-PNN กรณี 3 โหนดอินพุท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5-17 ผลการทดสอบโมเดล PNN กรณีวิธีดั้งเดิม

	Predicted Group, % Decision				ผลการทำนาย
	HV	LV	SF	IN	
1	0.834	0.122	0.031	0.074	1
	0.856	0.169	0.037	0.067	1
	0.673	0.107	0.022	0.028	1
	0.608	0.104	0.057	0.041	1
	0.835	0.157	0.029	0.070	1
	0.823	0.149	0.021	0.045	1
	0.609	0.100	0.056	0.042	1
	0.867	0.157	0.035	0.071	1
2	0.146	0.804	0.042	0.069	2
	0.085	0.514	0.044	0.025	2
	0.110	0.740	0.057	0.045	2
	0.150	0.787	0.041	0.067	2
	0.109	0.658	0.052	0.036	2
	0.109	0.735	0.057	0.045	2
	0.148	0.750	0.038	0.066	2
	0.038	0.191	0.022	0.011	2
3	0.069	0.088	0.534	0.385	3
	0.084	0.123	0.527	0.380	3
	0.040	0.054	0.561	0.249	3
	0.033	0.062	0.515	0.149	3
	0.019	0.041	0.533	0.111	3
	0.023	0.051	0.571	0.122	3
	0.043	0.081	0.394	0.191	3
	0.034	0.047	0.542	0.281	3
4	0.035	0.048	0.181	0.512	4
	0.064	0.074	0.161	0.528	4
	0.066	0.072	0.146	0.514	4
	0.054	0.054	0.118	0.460	4
	0.052	0.055	0.110	0.450	4
	0.033	0.043	0.143	0.460	4
	0.036	0.038	0.104	0.449	4
	0.053	0.057	0.128	0.509	4

ตารางที่ 5-18 ผลการทดสอบโมเดล PCA-PNN กรณีวิธีดั้งเดิม

	Predicted Group, % Decision				ผลการทำนาย
	HV	LV	SF	IN	
1	0.834	0.001	0.000	0.000	1
	0.894	0.004	0.000	0.000	1
	0.733	0.001	0.000	0.000	1
	0.529	0.001	0.000	0.000	1
	0.869	0.003	0.000	0.000	1
	0.852	0.003	0.000	0.000	1
	0.545	0.001	0.000	0.000	1
	0.895	0.003	0.000	0.000	1
2	0.003	0.780	0.000	0.000	2
	0.001	0.383	0.000	0.000	2
	0.001	0.694	0.000	0.000	2
	0.003	0.768	0.000	0.000	2
	0.001	0.561	0.000	0.000	2
	0.001	0.689	0.000	0.000	2
	0.003	0.724	0.000	0.000	2
	0.000	0.197	0.000	0.000	2
3	0.000	0.000	0.387	0.172	3
	0.000	0.001	0.424	0.134	3
	0.000	0.000	0.644	0.038	3
	0.000	0.000	0.617	0.006	3
	0.000	0.000	0.517	0.002	3
	0.000	0.000	0.635	0.005	3
	0.000	0.001	0.613	0.035	3
	0.000	0.000	0.541	0.060	3
4	0.000	0.000	0.019	0.478	4
	0.000	0.000	0.010	0.529	4
	0.000	0.000	0.008	0.510	4
	0.000	0.000	0.004	0.467	4
	0.000	0.000	0.003	0.430	4
	0.000	0.000	0.008	0.453	4
	0.000	0.000	0.002	0.372	4
	0.000	0.000	0.004	0.447	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5.4.2 การสร้างโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมกรณีจัดจำรูปแบบ PD ที่ได้จากกรวัดด้วยวิธี UHF

โครงสร้างโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมจัดจำรูปแบบสัญญาณ PD ที่ได้จากกรวัดด้วยวิธี UHF ใช้หลักการเหมือนกับวิธีดั้งเดิม แต่ต่างกันที่ตัวแปรตั้งต้นด้วยวิธี UHF มี 12 ตัวแปร โครงสร้างโมเดลแสดงดังตารางที่ 5-19 ผลการสอนและการทดสอบโมเดล MLP และ PCA-MLP แสดงดังตารางที่ 5-20 ถึง 5-22 จากผลการสอนและผลการทดสอบโมเดล MLP เลือกโหนดในชั้นซ่อน 4 โหนด ส่วนโมเดล PCA-MLP เลือกโหนดในชั้นซ่อน 6 โหนด ในส่วนของโมเดล PNN และ PCA-PNN เวกเตอร์การสอนโมเดล PCA-PNN แสดงดังรูปที่ 5.17 ส่วนเวกเตอร์การสอนโมเดล PNN คือ เมตริกซ์  $X_{IEC\_Train\_Zscore}$  ผลการทดสอบโมเดล PNN และ PCA-PNN แสดงดังตารางที่ 5-23 ถึง 5-24

ตารางที่ 5-19 โครงสร้างโมเดลนิวรอลเน็ตเวิร์ค MLP, PCA-MLP, PNN, PCA-PNN กรณีวิธี UHF

Model NN	input		hidden layer		output layer	
	nodes	nodes	transfer	nodes	transfer	
MLP	12		<i>tansig</i>	2	<i>hardlim</i>	
PCA-MLP	3		<i>tansig</i>	2	<i>hardlim</i>	
	input nodes	pattern layer nodes	summation layer nodes	transfer	decision layer nodes	transfer
PNN	12	48	4	<i>gaussian</i>	1	<i>compet</i>
PCA-PNN	3	48	4	<i>gaussian</i>	1	<i>compet</i>

ตารางที่ 5-20 ผลการสอนและการทดสอบโมเดล MLP และ PCA-MLP กรณีวิธี UHF

	จำนวนโหนดที่สอนสำเร็จ (SSE = 0.01)		% error ตอน test	
	MLP	PCA-MLP	MLP	PCA-MLP
-	-	-	-	-
2		2	3.12	3.12
3		3	3.12	3.12
4		4	0	3.12
5		5	0	3.12
6		6	0	0

ตารางที่ 5-21 ผลการทดสอบโมเดล MLP กรณีวิธี UHF

เป้าหมาย	ผลการทำนาย				
	6 โหนด	5 โหนด	4 โหนด	3 โหนด	2 โหนด
0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
0 1	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0	0 0
	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	0 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1

ตารางที่ 5-22 ผลการทดสอบโมเดล PCA-MLP กรณีวิธี UHF

เป้าหมาย	ผลการทำนาย				
	6 โหนด	5 โหนด	4 โหนด	3 โหนด	2 โหนด
0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
0 1	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1
1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
	1 1	0 0	0 0	0 0	0 0
	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตารางที่ 5-23 ผลการทดสอบโมเดล PNN กรณีวิธี UHF

	Predicted Group, % Decision				ผลการทำนาย
	HV	LV	SF	IN	
1	0.624	0.301	0.084	0.081	1
	0.720	0.338	0.133	0.126	1
	0.706	0.265	0.128	0.085	1
	0.706	0.274	0.172	0.106	1
	0.594	0.261	0.065	0.088	1
	0.621	0.211	0.072	0.073	1
	0.657	0.237	0.084	0.085	1
	0.676	0.273	0.098	0.097	1
2	0.307	0.695	0.032	0.069	2
	0.324	0.654	0.054	0.096	2
	0.438	0.766	0.070	0.157	2
	0.222	0.730	0.029	0.068	2
	0.229	0.619	0.032	0.074	2
	0.313	0.784	0.055	0.109	2
	0.229	0.658	0.033	0.069	2
	0.319	0.806	0.044	0.087	2
3	0.120	0.032	0.288	0.103	3
	0.062	0.015	0.228	0.061	3
	0.165	0.057	0.501	0.134	3
	0.135	0.035	0.439	0.115	3
	0.133	0.036	0.377	0.110	3
	0.160	0.046	0.499	0.122	3
	0.142	0.043	0.406	0.092	3
	0.077	0.026	0.340	0.069	3
4	0.100	0.055	0.085	0.212	4
	0.148	0.199	0.078	0.340	4
	0.113	0.068	0.114	0.294	4
	0.090	0.057	0.073	0.228	4
	0.088	0.047	0.144	0.234	4
	0.053	0.034	0.041	0.170	4
	0.135	0.166	0.067	0.235	4
	0.124	0.155	0.115	0.284	4

ตารางที่ 5-24 ผลการทดสอบโมเดล PCA-PNN กรณีวิธี UHF

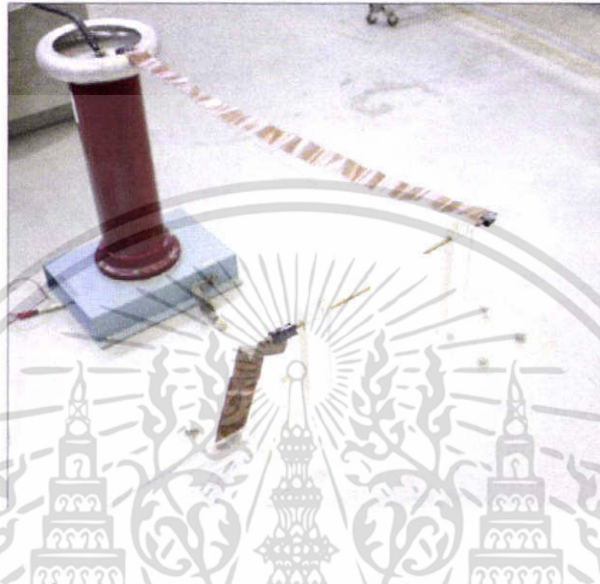
	Predicted Group, % Decision				ผลการทำนาย
	HV	LV	SF	IN	
1	0.687	0.093	0.001	0.001	1
	0.673	0.091	0.004	0.003	1
	0.773	0.026	0.003	0.001	1
	0.723	0.024	0.008	0.001	1
	0.593	0.057	0.000	0.001	1
	0.646	0.020	0.001	0.001	1
	0.682	0.026	0.001	0.001	1
	0.658	0.087	0.003	0.002	1
2	0.084	0.640	0.000	0.001	2
	0.179	0.478	0.000	0.003	2
	0.134	0.626	0.000	0.007	2
	0.043	0.744	0.000	0.001	2
	0.012	0.534	0.000	0.000	2
	0.083	0.770	0.000	0.003	2
	0.021	0.679	0.000	0.001	2
	0.072	0.764	0.000	0.001	2
3	0.006	0.000	0.250	0.009	3
	0.001	0.000	0.096	0.002	3
	0.007	0.000	0.396	0.007	3
	0.002	0.000	0.369	0.004	3
	0.005	0.000	0.279	0.006	3
	0.005	0.000	0.379	0.004	3
	0.003	0.000	0.264	0.001	3
	0.003	0.000	0.219	0.003	3
4	0.001	0.000	0.002	0.218	4
	0.002	0.007	0.000	0.271	4
	0.001	0.001	0.012	0.413	4
	0.001	0.000	0.001	0.260	4
	0.001	0.000	0.039	0.259	4
	0.000	0.000	0.000	0.084	4
	0.006	0.045	0.001	0.208	4
	0.004	0.003	0.002	0.271	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.5 การทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้น

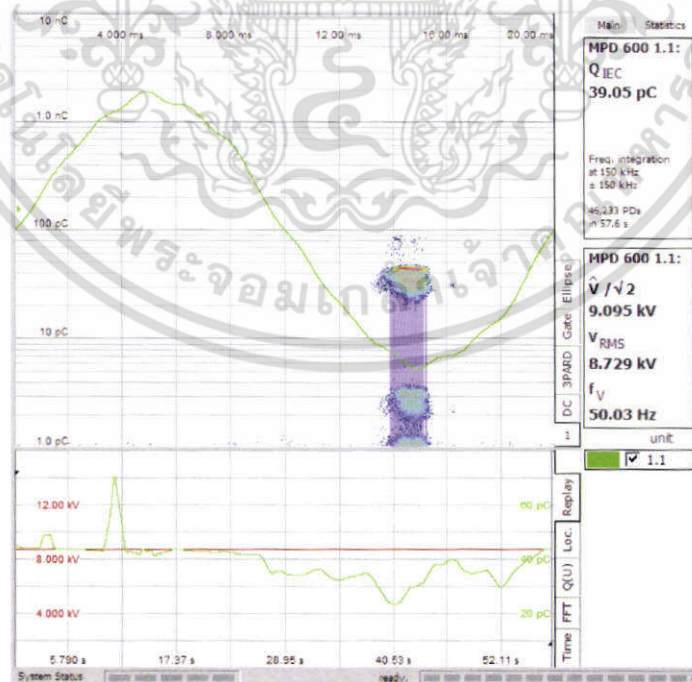
ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมจากการทดสอบจริงในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง สจล. โดยจำลองวัตต์สัญญาณดิซาร์จบางส่วนประเภทโคโรนาด้านแรงดันสูงกับอิเล็กทรอนิกส์รูปแบบอื่นที่โมเดลไม่ได้เรียนรู้มาก่อน

### 1. กรณีอิเล็กทรอนิกส์ rod - rod



รูปที่ 5.18 วงจรการทดลองกรณีอิเล็กทรอนิกส์ rod - rod

ผลการทดลอง



รูปที่ 5.19 ผลการทดลองกรณีอิเล็กทรอนิกส์ rod - rod

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

```

Command Window
Enter directory filename : C:\export\0001
Enter PD inception (pC): 10

Please wait .....

*****
                Statistical Operators
*****

Number pulse of discharge in positive: 0

Number pulse of discharge in neccegative: 5039

Hn(phase): Sk+= 0.000, Sk-= -0.056, Ku+= 0.000, Ku-= -0.898

Hqn(phase): Sk+= 0.000, Sk-= 0.067, Ku+= 0.000, Ku-= -1.200

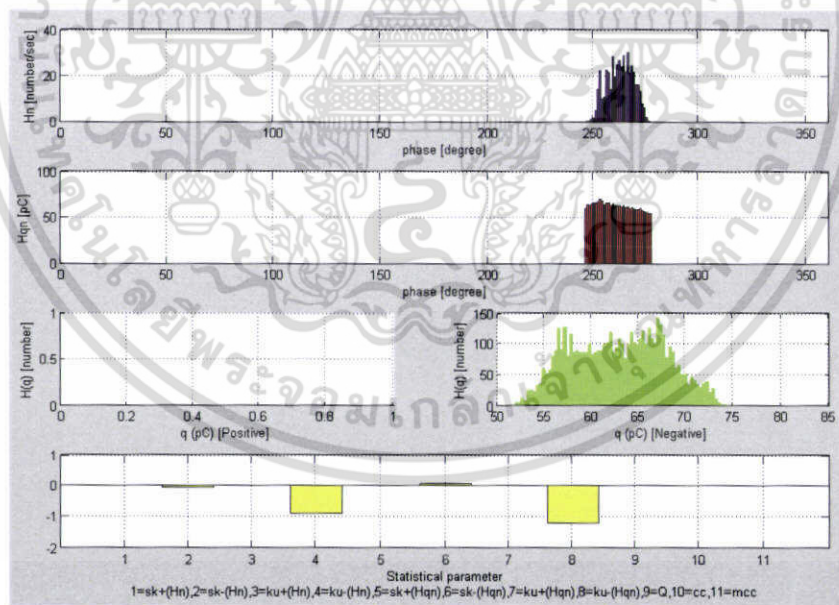
Q = 0.000

cc = 0.000

mcc = 0.000

*****
    
```

รูปที่ 5.20 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติกรณีอิเล็กทรอนิกส์ rod - rod



รูปที่ 5.21 กราฟการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติกรณีอิเล็กทรอนิกส์ rod - rod

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทำนายประเภท PD โมเดลโครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้น

### 1. โมเดลโครงข่ายประสาทเทียม ประเภท MLP

```
Command Window
MLP model
PD_classification =
    0    0
```

### 2. โมเดลโครงข่ายประสาทเทียม ประเภท PCA-MLP

```
Command Window
PCA-MLP model
PD_classification =
    0    0
```

### 3. โมเดลโครงข่ายประสาทเทียม ประเภท PNN

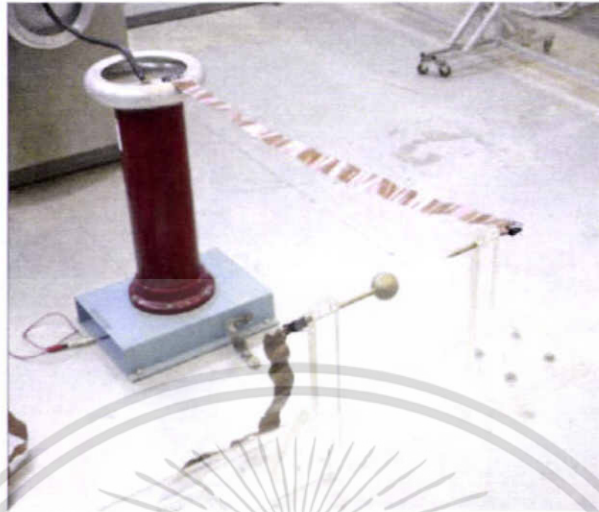
```
Command Window
PNN model
PD_classification =
    1
prob =
    0.7236    0.1265    0.0266    0.0813
```

### 4. โมเดลโครงข่ายประสาทเทียม ประเภท PCA-PNN

```
Command Window
PCA-PNN model
PD_classification =
    1
prob =
    0.7398    0.0020    0.0000    0.0008
```

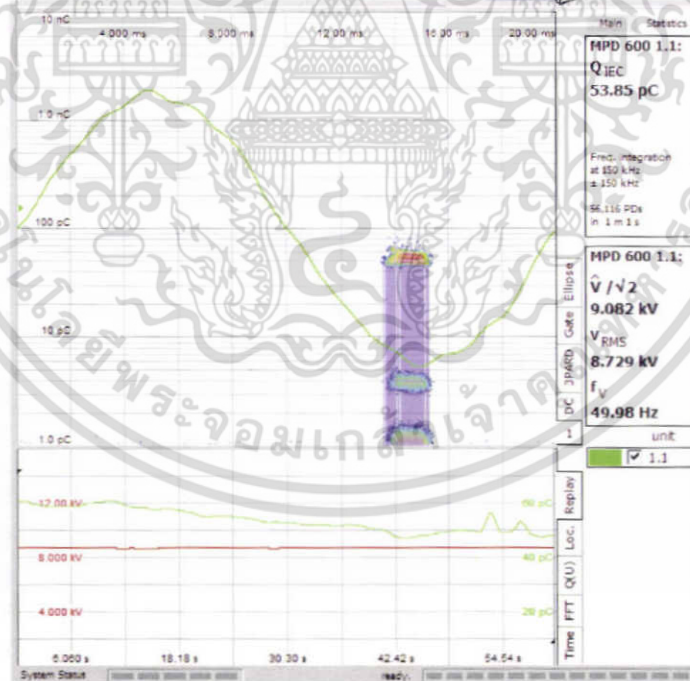
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. กรณีอิเล็กโตรด rod - sphere



รูปที่ 5.22 วงจรการทดลองกรณีอิเล็กโตรด rod - sphere

ผลการทดลอง



รูปที่ 5.23 ผลการทดลองกรณีอิเล็กโตรด rod - sphere

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

```

Command Window
Enter directory filename : C:\export\0002
Enter PD inception (pC): 10

Please wait .....

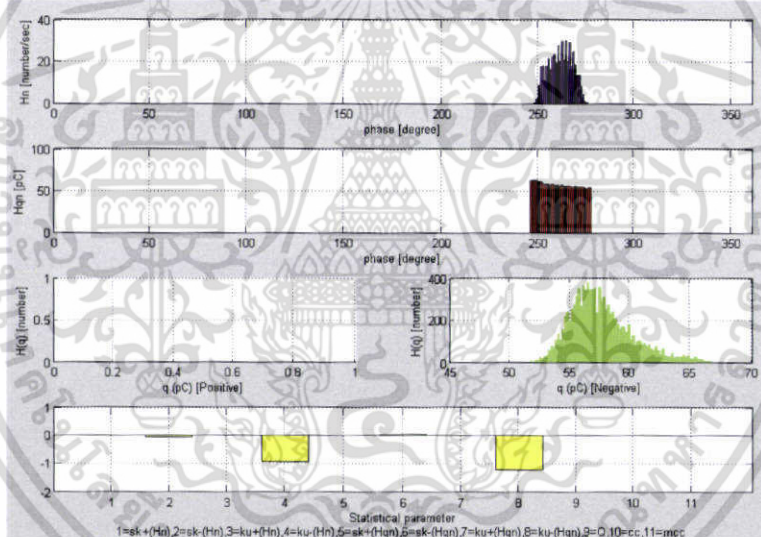
*****
                Statistical Operators
*****

Number pulse of discharge in positive: 0
Number pulse of discharge in negative: 10420

Hn(phase): Sk+= 0.000, Sk-= -0.049, Ku+= 0.000, Ku-= -0.934
Hqn(phase): Sk+= 0.000, Sk-= 0.035, Ku+= 0.000, Ku-= -1.205

Q = 0.000
cc = 0.000
mcc = 0.000
    
```

รูปที่ 5.24 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติกรณีอิเล็กโตรด rod - sphere



รูปที่ 5.25 กราฟการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติกรณีอิเล็กโตรด rod - sphere

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทำนายประเภท PD โมเดลโครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้น

### 1. โมเดลโครงข่ายประสาทเทียม ประเภท MLP

```
Command Window
MLP model
PD_classification =
    0    0
```

### 2. โมเดลโครงข่ายประสาทเทียม ประเภท PCA-MLP

```
Command Window
PCA-MLP model
PD_classification =
    0    0
```

### 3. โมเดลโครงข่ายประสาทเทียม ประเภท PNN

```
Command Window
PNN model
PD_classification =
    1
prob =
    0.7841    0.1316    0.0244    0.0756
```

### 4. โมเดลโครงข่ายประสาทเทียม ประเภท PCA-PNN

```
Command Window
PCA-PNN model
PD_classification =
    1
prob =
    0.7678    0.0018    0.0000    0.0005
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.6 การประเมินผล

จากการนำโปรแกรมโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้จัดจำรูปแบบการเกิดดีสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงมาใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิด PD จะเห็นได้ว่าโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 4 ประเภทสามารถทำนายรูปแบบการเกิดดีสชาร์จบางส่วนได้อย่างถูกต้องเป็นที่น่าพอใจ รายละเอียดโปรแกรมการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ, การวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก และโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมแสดงภาคผนวก ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### บทสรุป

#### 5.1 สรุป

การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติจากบทที่ 4 จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถหาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติได้ดังนี้

กรณีสัญญาณที่วัดได้จากการวัดด้วยวิธีดั้งเดิมค่าพารามิเตอร์ทางสถิติคือ

1. ค่าความเบ้เอียงของ  $Hn(\Phi)$  ช่วงไซเคิลบวก
2. ค่าความเบ้เอียงของ  $Hn(\Phi)$  ช่วงไซเคิลลบ
3. ค่าความแหลมคมของ  $Hn(\Phi)$  ช่วงไซเคิลบวก
4. ค่าความแหลมคมของ  $Hn(\Phi)$  ช่วงไซเคิลลบ
5. ค่าความเบ้เอียงของ  $Hqn(\Phi)$  ช่วงไซเคิลบวก
6. ค่าความเบ้เอียงของ  $Hqn(\Phi)$  ช่วงไซเคิลลบ
7. ค่าความแหลมคมของ  $Hqn(\Phi)$  ช่วงไซเคิลบวก
8. ค่าความแหลมคมของ  $Hqn(\Phi)$  ช่วงไซเคิลลบ
9. ค่า Discharge asymmetry; Q
10. ค่า The cross correlation factor; cc
11. ค่า The modified cross correlation factor; mcc

กรณีสัญญาณที่วัดได้จากวิธีการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติคือ

1. ค่าความเบ้เอียงของสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 1
2. ค่าความแหลมคมสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 1
3. ค่าความเบ้เอียงของสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 2
4. ค่าความแหลมคมสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 2
5. ค่าความเบ้เอียงของสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 3
6. ค่าความแหลมคมสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 3
7. ค่าความเบ้เอียงของสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 4
8. ค่าความแหลมคมสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 4
9. ค่าความเบ้เอียงของสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 5
10. ค่าความแหลมคมสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 5
11. ค่าความเบ้เอียงของสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 6
12. ค่าความแหลมคมสเปกตรัมช่วงความถี่ที่ 6

ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทางสถิติที่ได้จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นข้างต้น เป็นประโยชน์ในการศึกษาวิจัยต่อ ไม่ใช่ใช้เฉพาะในงานวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเดลโครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้นในบทที่ 5 คือโครงข่ายประสาทเทียมประเภท MLP, โครงข่ายประสาทเทียมประเภท PNN, โครงข่ายประสาทเทียมประเภท PCA-MLP, โครงข่ายประสาทเทียมประเภท PCA-PNN เมื่อนำข้อมูลสัญญาณดีสซาร์จบางส่วนที่ได้จากเครื่องตรวจวัด PD มาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ และนำเข้าโมเดลที่สร้างขึ้นทั้ง 4 โมเดลพบว่ามีความถูกต้องในการจำแนกประเภทของ PD ซึ่งสามารถใช้กับการสัญญาณที่วัดได้จากการวัดด้วยวิธีดั้งเดิมและการวัดสัญญาณที่วัดได้วิธีการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ UHF

## 5.2 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการวิเคราะห์และจำแนกประเภทของ PD 4 รูปแบบพื้นฐานโดยใช้อิเล็กทรอนิกส์อย่างง่ายไม่ซับซ้อน แต่ในทางปฏิบัติรูปแบบ PD ที่เกิดขึ้นมีมากกว่า 4 รูปแบบที่ได้ศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์มากขึ้นถ้ามีการศึกษาและเก็บข้อมูล PD รูปแบบอื่นๆเพิ่มเติมและใช้วิธีวิเคราะห์และสร้างโมเดลทำนายประเภทของ PD ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ แต่สิ่งที่สำคัญในการสร้างโมเดลทำนายรูปแบบการเกิด PD คือคุณลักษณะเฉพาะของสัญญาณ PD แต่ละประเภทต้องมีความแตกต่างกัน โมเดลที่สร้างถึงจะทำนายได้ถูกต้อง เพื่อเป็นประโยชน์ในการระบุตำแหน่งจุดบกพร่องของฉนวนและการปรับปรุงแก้ไขระบบฉนวน ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนางานทางด้านนี้ต่อไป

## บรรณานุกรม

- [1] N.Pattanadech, "High voltage insulation maintenance, examination, and diagnosis", Lecture note for Selected topics in High Voltage Engineering Course, Electrical Engineering Dept., Faculty of Engineering, KMITL, Bangkok, Thailand, 2006.
- [2] IEC Standard IEC-60270, "High Voltage Techniques Partial Discharge Measurement", International Electrotechnical Commission 2000.
- [3] M. Muhr, R. Schwarz, S. Pack, B. Koerbler "Unconventional partial discharge measurement", Technical University Graz, Austria, 2004 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena.
- [4] E.Gulski.,F.H.Kreuger. "Recognition of Discharge Sources Using Statistical Tools." Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, Tokyo, Japan, July 8-22,1991.pp.39-42
- [5] Kreuger,E.H., Gulski ., E and Krida .,V. "Classification of Partial Discharge." IEEE Transactions on Electrical Insulation., vol 28, no.6, December,1993.
- [6] เกวริน วิเศษจินดาวัฒน์. "การรู้จำรูปแบบของการเกิดดีสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2544.
- [7] V.Chatpattananan., N. Pattanadech and P.Yutthagowith. "Partial Discharge Classification on High Voltage Equipment with K-Means." Proceeding of Icpadm 2006 8<sup>th</sup> International Conference on Properties and Application of Dielectric Materials, Indonesia., vol.1, June, 2006.pp. 191-194
- [8] V.Chatpattananan., N. Pattanadech. "Partial Discharge Classification on High voltage Equipment by CHAID Classification Free." 13<sup>th</sup> Asian Conference on Electrical Discharge, Japan., October 16-19 ,2006.
- [9] V.Chatpattananan., N. Pattanadech. "PCA-LDA for Partial Discharge Classification on High voltage Equipment." Proceeding of Icpadm 2006 8<sup>th</sup> International Conference on Properties and Application of Dielectric Materials., vol.1, June, 2006.
- [10] V.Chatpattananan., N. Pattanadech. "Quest Tree Model for Partial Discharge Classification on High voltage Equipment." Proceeding of Icpadm 2006 8<sup>th</sup> International Conference on Properties and Application of Dielectric Materials., vol.1, June, 2006.
- [11] N. Pattanadech V.Chatpattananan., P.Yutthagowith and S.Phamvuthisarn. "Partial Discharge Classification on High Voltage Equipment by Hierarchical Cluster Analysis." 13<sup>th</sup> Asian Conference on Electrical Discharge., October ,2006.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] V.Chatpattananan., N. Pattanadech. “Fuzzy C-Means Clustering for Partial Discharge Classification on High Voltage Equipment.” 13<sup>th</sup> Asian Conference on Electrical Discharge.,October 16-19 ,2006.
- [13] N. Pattanadech V.Chatpattananan., ,P.Yutthagowith. “Classification and Regression Tree for Partial Discharge Classification on High Voltage Equipment.” 13<sup>th</sup> Asian Conference on Electrical Discharge., October 16-19 ,2006.
- [14] รัชกร ปานหอทอง. “การวินิจฉัยการปล่อยประจุบางส่วนโดยใช้วิธีทดสอบโคโมโกรอฟ-สเมียนอฟชนิดหนึ่งตัวอย่าง.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.2550.
- [15] Dr. F.H.Kreuger “Partial Discharge Detection in High – Voltage Equipment” Butterworth&Co. (Publishers) Ltd, 1989
- [16] Cigre’ Task Force 15.11/33.03.02 “ Knowledge Rules for Partial Discharge Diagnosis in Service ” April 2003.
- [17] Muhr Hans Michael, Schwarz Robert, Jaufer Stefan “Electrical Measurements for HV-Insulations as Diagnostic Tool” Institute of High Voltage Engineering and System Management Graz University of Technology, Austria.
- [18] A. Haddad and D.F. Warne “Advances in High Voltage Engineering” The Institution of Electrical Engineers, 2004.
- [19] ABB, “Partial Discharge Measurements” 1<sup>st</sup> Edition published by Pro Print GmbH, Dusseldorf
- [20] Jitka Fuhr “Procedure for Identification and Localization of Dangerous PD Sources in Power Transformers” ABB Business Area Power Transformers Eigerweg 4, CH-3700 Spiez, Switzerland.
- [21] สำรวยสังข์ สะอาด, “วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง”, เมษายน, 2547.
- [22] Edward Gulski “ Computer – Aided Recognition of Partial Discharge Using Statistical Tools ” Ph.D.thesis, Delft University, 1991.
- [23] Univ – Prof.Dr – Ing.Dieter König, Prof.Dr – Ing. Y.Narayana Rao “ Partial Discharge in Electrical Power Apparatus ” vde – verlag gmbh, 1993
- [24] J. S. Pearson, B. F. Hampton and A. G. Sellars “A Continuous UHF Monitor for Gas-insulated Substations” IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 26 No. 3, June 1991
- [25] Masayuki HIKITA, Shinya OHSUKA and Satoshi MATSUMOTO, “Recent Trend of Partial Discharge Measurement Technique using UHF Electromagnetic Wave Detection Method.” IEEJ-EIT Joint Symposium on High Voltage Power Technology. November 14-15, 2006.pp 13-18
- [26] สุวพิชญ์ ลิขิตสุภิน, “การวัด PD ใน GIS ด้วยวิธี Conventional และ UHF ”, เอกสารประกอบการบรรยาย ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

- [27] IEEE Std C57.127-2000, “High IEEE Guide for the Detection and Location of Acoustic Emissions from Partial Discharges in Oil-Immersed Power Transformers and Reactors”, IEEE Power Engineering Society.
- [28] L.E. Lundgaard “Acoustic Partial Discharge Detection- Practical Application” IEEE Electrical Insulation Magazine, September/October 1992-Vols8, No.5
- [29] R. Schwarz, M. Muhr, “Modern Technologies in Optical Partial Discharge Detection”, 2007 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena
- [30] นรเศรษฐ์ พัฒนเดช “วัสดุวิศวกรรมไฟฟ้า เล่ม 1: ฉนวนและวัสดุฉนวนไฟฟ้า” คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วศ.สจล.206, พฤษภาคม 2550
- [31] N. Pattanadech and P. Nimsanong , PCA-ANN for Partial Discharge Classification on High Voltage Equipment, 6<sup>th</sup> International Workshop on High Voltage Engineering (IWHV 2008), October 24 – 25, 2008, Kyoto, Japan.
- [32] W.Hauschild, and W. Mosch “Statistical Techinques for High-Voltage Engineering” English edition 1992 Peter Peregrinus Ltd.
- [33] J. Wesly Hines, PCA and PCR document, The University of Tennessee, 2000,6,28
- [34] กัลยา วานิชย์บัญชา, ดร. การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์ – มหาวิทยาลัย.2548.
- [35] กัลยา วานิชย์บัญชา, ดร. การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for Windows. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.2548.
- [36] J.Wesley Hines “Fuzzy and Neural Approaches in Engineering MATLAB Supplement” Copyright 1997, John Wiley and Sons New York, NY
- [37] Philip D. Wasserman, Advanced Methods in Neural Computing, Copyright 1993 by Van Nostrand Reinhold.
- [38] Mtronix Precision Measuring Instruments “Manual MPD 600 Partial Discharge Measuring System”, October, 2007.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรม Feature\_Extraction\_IEC

```

clear all
close all
clc

warning off all
vecfile = input('Enter directory filename : ','s');
PDi = input('Enter PD inception (pC): ');
fprintf('\nPlease wait ..... \n')

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% โหลดข้อมูลจาก export t คือเวลา, q คือประจุ, p คือมุมเฟส, v คือแรงดัน
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

[t,q] = importQData(vecfile, 'unit1.1');
p = importPHData(vecfile, 'unit1.1');
[v_tm, v] = importVData(vecfile, 'unit1.1');

% แปลงมุมเป็นองศา
p=round(p*360);

% ขนาดของ PD ที่เกิด pC
q=abs(q)*1e12;

% เวลาที่บันทึกค่า PD
tmax=max(t);

% สร้างเมตริกซ์ศูนย์
BQ=zeros(361,5); % [มุมเฟส 2 จำนวนขั้ว 3 จำนวนจุดวัดวันที่ (จำนวนขั้ว tmax) 4 ประจุรวม (มุมเฟสนั้นๆ) 5 ประจุเฉลี่ย
(ประจุรวม/จำนวนขั้วมุมเฟสนั้นๆ)]
BQ1=zeros(180,4); % แบ่งครึ่งบวกกับครึ่งลบ 1 ประจุฝั่งบวก 2 จำนวนขั้วฝั่งบวก 3 ประจุฝั่งลบ 4 จำนวนขั้วฝั่งลบ]
BQ2=zeros(180,2); % เป็นค่าประจุเฉลี่ย ใช้ในการคำนวณ cc [1 ประจุเฉลี่ยทางฝั่งบวก 2 ประจุเฉลี่ยทางฝั่งลบ]

% หาจำนวนข้อมูลที่เก็บ ii
i1=length(q);
i2=length(p);
if i1<=i2
    ii=i1;
end
if i2<i1
    ii=i2;
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% หา จำนวนครั้งการเกิดซ้ำ จำนวนครั้งการเกิดซ้ำคือวันที่ ขนาดประจุรวม ขนาดประจุเฉลี่ย เทียบมุมเฟส เก็บใน BQ
% BQ เป็นเมตริกซ์เริ่มต้น สร้างไว้สำหรับพล็อตกราฟ Hn (phase) Hqn (phase) มีขนาด 361*5
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

i=1;
% จากข้อมูลทั้งหมดทำให้ผู้ใช้เลือกเดียว

while i<ii

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% ต้องบวก 1 เพราะมีมุม 0 อยู่ด้วย
ph=p(i)+1;

% มุมเฟส
BQ(ph,1)=p(i);

% ถ้ามากกว่า PDi นับจำนวนซ้ำ
if q(i)>PDi

    % นับจำนวนครั้งการเกิดซ้ำ
    BQ(ph,2)=BQ(ph,2)+1;
    % นับจำนวนครั้งการเกิดซ้ำต่อวินาที*** (ใช้งาน)
    BQ(ph,3)=BQ(ph,2)/tmax;
    % ขนาดประจุมุมสะสมที่มุมนั้นๆ
    BQ(ph,4)=BQ(ph,4)+q(i);
    % ขนาดประจุมุมเฉลี่ย*** (ใช้งานที่มุมนั้นๆ)
    BQ(ph,5)=BQ(ph,4)/BQ(ph,2);

end
i=i+1;
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% สร้าง BQ1 แยกครึ่งแรงดันบวกและครึ่งแรงดันลบ (1 ประจุมุมบวก 2 จำนวนซ้ำที่บวก 3 ประจุมุมลบ 4 จำนวนซ้ำที่ลบ)
% BQ1 สร้างเพื่อแยก BQ ให้ค่าช่วงโวลต์ลบและลบออกจากกัน มีขนาด 180*4 ค่าเท่ากับ BQ
% BQ2 เป็นค่าประจุมุมเฉลี่ยในการคำนวณ CC [1 ประจุมุมบวก 2 ประจุมุมลบที่ลบ]
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

k3=1;
for k3=1:180 % ช่วงโวลต์บวก
    BQ1(k3,1)=BQ(k3,4); % เก็บค่าประจุมุมบวก (ประจุมุมที่เฟสนั้นๆ)
    BQ1(k3,2)=BQ(k3,2); % เก็บค่าจำนวนซ้ำครึ่งบวก (จำนวนซ้ำที่เฟสนั้นๆ)
    BQ2(k3,1)=BQ1(k3,1)/BQ1(k3,2); % คำนวณประจุมุมที่ทางด้านบวก

    if BQ1(k3,2)==0 % ป้องกันค่าเป็น infinite
        BQ2(k3,1)=0;
    end

    k3=k3+1;
end
k4=1;
for k4=1:180 % ช่วงโวลต์ลบ
    BQ1(k4,3)=BQ(k4+180,4); % เก็บค่าประจุมุมลบ (ประจุมุมที่เฟสนั้นๆ)
    BQ1(k4,4)=BQ(k4+180,2); % เก็บค่าจำนวนซ้ำครึ่งลบ (จำนวนซ้ำที่เฟสนั้นๆ)
    BQ2(k4,2)=BQ1(k4,3)/BQ1(k4,4); % คำนวณประจุมุมที่ทางด้านลบ
    if BQ1(k4,4)==0 % ป้องกันค่าเป็น infinite
        BQ2(k4,2)=0;
    end
    k4=k4+1;
end
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% ส่วนนี้ทำเพื่อจะหาช่วงตัดข้อมูลที่จำนวนซ้ำที่น้อยกว่า 5% ของจำนวนซ้ำสูงสุดออก
% ค่าในช่วงบวกอยู่ระหว่าง cut_p_min(phase angle) กับ cut_p_max(phase angle)
% ค่าในช่วงลบอยู่ระหว่าง cut_n_min(phase angle) กับ cut_n_max(phase angle)

```

```

m_p=max(BQ1(:,2)); %หาจำนวนซ้ำช่วงบวกสูงสุดเก็บใน m_p
m_n=max(BQ1(:,4)); %หาจำนวนซ้ำช่วงลบสูงสุดเก็บใน m_n
n_min_p=m_p*0.05; %หาจำนวนซ้ำช่วงบวกต่ำสุดเก็บใน n_min_p
n_min_n=m_n*0.05; %หาจำนวนซ้ำช่วงลบต่ำสุดเก็บใน n_min_

```

```

BQ1_2=BQ1(:,2); %เอาค่าจำนวนซ้ำช่วงบวกเก็บใน BQ1_2 (ยังไม่ตัดข้อมูล)
BQ1_4=BQ1(:,4); %เอาค่าจำนวนซ้ำช่วงลบเก็บใน BQ1_4 (ยังไม่ตัดข้อมูล)

```

```

cut_p=find(BQ1_2 > n_min_p); %หาตำแหน่งมุมเฟสในช่วงบวกที่จำนวนซ้ำมากกว่า 5% ของจำนวนซ้ำสูงสุด
cut_p_min=min(cut_p); %หาตำแหน่งมุมเฟสในช่วงบวกต่ำสุด
cut_p_max=max(cut_p); %หาตำแหน่งมุมเฟสในช่วงบวกสูงสุด

```

```

cut_n=find(BQ1_4 > n_min_n); %หาตำแหน่งมุมเฟสในช่วงลบที่จำนวนซ้ำมากกว่า 5% ของจำนวนซ้ำสูงสุด
cut_n_min=min(cut_n); %หาตำแหน่งมุมเฟสในช่วงลบต่ำสุด
cut_n_max=max(cut_n); %หาตำแหน่งมุมเฟสในช่วงลบสูงสุด

```

```

% เมื่อได้ช่วงข้อมูลแล้วตัดไปจะสร้างเมตริกซ์เพื่อคำนวณ โดยจะตัดจำนวนซ้ำที่เป็น 0 ออกจกเมตริกซ์คำนวณ
% DQ_P เก็บ [1มุมเฟส 2ประจุ 3ประจุเฉลี่ย] ในช่วงบวกไม่รวมมุมเฟสที่จำนวนซ้ำน้อยกว่า 5% ของจำนวนซ้ำสูงสุด
% DQ_N เก็บ [1มุมเฟส 2ประจุ 3ประจุเฉลี่ย] ในช่วงลบไม่รวมมุมเฟสที่จำนวนซ้ำน้อยกว่า 5% ของจำนวนซ้ำสูงสุด

```

```

DQ_P=zeros(1,3);
DQ_N=zeros(1,3);
k1=0;
k2=0;
i=1;

```

```

while i<ii
    ph=p(i)+1;
    % ครั้งบวกมุมเฟส
    BQ(ph,1)=p(i);
    if q(i)>PDi

```

```

        % ครั้งบวก

```

```

        % ไม่นับมุมเฟสที่จำนวนซ้ำน้อยกว่า 5% ของจำนวนซ้ำสูงสุดมาคิด เก็บค่าไว้ใน DQ_P [1มุมเฟส 2ประจุ 3ประจุเฉลี่ย]

```

```

        if p(i)>=cut_p_min&p(i)<=cut_p_max

```

```

            k1=k1+1;

```

```

            DQ_P(k1,1)=p(i); %มุมเฟส

```

```

            DQ_P(k1,2)=q(i); %ประจุ

```

```

            DQ_P(k1,3)=BQ(ph,4)/BQ(ph,2); %ประจุเฉลี่ย

```

```

        end

```

```

        % ครั้งลบ

```

```

        % ไม่นับมุมเฟสที่จำนวนซ้ำน้อยกว่า 5% ของจำนวนซ้ำสูงสุดมาคิด เก็บค่าไว้ใน DQ_N [1มุมเฟส 2ประจุ 3ประจุเฉลี่ย]

```

```

        if p(i)>=cut_n_min+180&p(i)<=cut_n_max+180

```

```

            k2=k2+1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DQ_N(k2,1)=p(i); %มุมเฟส
DQ_N(k2,2)=q(i); %ประจุ
DQ_N(k2,3)=BQ(ph,4)/BQ(ph,2); %ประจุเฉลี่ย
end

end
i=i+1;
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% จำนวนรอบ
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
i;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% คัดข้อมูลบางส่วนทิ้งเพื่อคำนวณค่าสถิติ (รูปวงของกราฟกระจาย)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

r1=0;
rr1=0;
BQ_P=[];
BQ_N=[];

% ช่วงบวกเก็บใน BQ_P (positive) และคัดข้อมูลบางส่วนออก
for r=1:361
    if BQ(r,1)>=cut_p_min&BQ(r,1)<=cut_p_max;
        r1=r1+1;
        BQ_P(r1,:)=BQ(r,:);
    end
end

% ช่วงลบเก็บใน BQ_N (negative) และคัดข้อมูลบางส่วนออก
for rr=1:361
    if BQ(rr,1)>=cut_n_min+180&BQ(rr,1)<=cut_n_max+180;
        rr1=rr1+1;
        BQ_N(rr1,:)=BQ(rr,:);
    end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% แปลงให้อยู่ใน 100%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

SUM_P=sum(DQ_P(:,1)); % เช็คว่ามีค่าในช่วงบวกหรือไม่ โดยรวมจำนวนซ้ำ

if SUM_P~=0
    % กราฟจำนวนซ้ำต่อวินาที
    m_BQ_P3=max(BQ_P(:,3));
    BQ_P3=round((BQ_P(:,3)/m_BQ_P3)*100); % ช่วงบวก(3)

    % กราฟขนาดประจุเฉลี่ย
    m_BQ_P5=max(BQ_P(:,5));

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BQ_P5=round((BQ_P(:,5)/m_BQ_P5)*100); % ช่วงบวก(5)
end

SUM_N=sum(DQ_N(:,1)); % เช็คว่ามีค่าในช่วงลบหรือไม่ โดยรวมจำนวนซ้ำ

if SUM_N~=0
% กราฟจำนวนซ้ำต่อวันที่
m_BQ_N3=max(BQ_N(:,3));
BQ_N3=round((BQ_N(:,3)/m_BQ_N3)*100); % ช่วงลบ(3)

% กราฟขนาดประจูดเล็ก
m_BQ_N5=max(BQ_N(:,5));
BQ_N5=round((BQ_N(:,5)/m_BQ_N5)*100); % ช่วงลบ(5)
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% สร้างข้อมูลใหม่เพื่อคำนวณค่าสถิติ
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

SUM_P=sum(DQ_P(:,1)); % เช็คว่ามีค่าในช่วงบวกหรือไม่ โดยรวมจำนวนซ้ำ

if SUM_P~=0
% จำนวนซ้ำต่อวันที่
l11=1;
BQ_RP=[]; % ช่วงบวก(RP)
for l=1:length(BQ_P3)
for l1=1:BQ_P3(l)
BQ_RP(l11,1)=1;
l11=l11+1;
end
end

% ขนาดประจูดเล็ก
l11=1;
BQ_MP=[]; % ช่วงบวก(MP)
for l=1:length(BQ_P5)
for l1=1:BQ_P5(l)
BQ_MP(l11,1)=1;
l11=l11+1;
end
end

end

end

SUM_N=sum(DQ_N(:,1)); % เช็คว่ามีค่าในช่วงลบหรือไม่ โดยรวมจำนวนซ้ำ

if SUM_N~=0
% จำนวนซ้ำต่อวันที่
l11=1;
BQ_RN=[]; % ช่วงลบ(RN)
for l=1:length(BQ_N3)
for l1=1:BQ_N3(l)
BQ_RN(l11,1)=1;
l11=l11+1;
end
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end

% ขนาดประจูดสี่
l11=1;
BQ_MN=[]; % ช่วงลบ(MN)
for l=1:length(BQ_N5)
    for ll=1:BQ_N5(l)
        BQ_MN(l11,1)=1;
        l11=l11+1;
    end
end
end

end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%คำนวณค่าสถิติ(Statistical Operators)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%คำนวณช่วงไขเคลิบมาก หาค่า

if SUM_P==0 % ถ้าผลรวมเท่ากับ 0 ให้ใส่กรค่าเป็น 0
    Hn_sk_po=0;
    Hn_ku_po=0;
    Hqn_sk_po=0;
    Hqn_ku_po=0;
else % ถ้าผลรวมไม่เป็น 0 คำนวณตามสูตร
    % Hn_sk_po (ความเบ้การกระจายของจำนวนเฟสจำ BQ_RP)
    Hn_sk_po = skewness(BQ_RP);

    % Hn_ku_po (ค่าเบี่ยงเบนการกระจายของจำนวนเฟสจำ BQ_RP)
    Hn_ku_po = kurtosis(BQ_RP)-3;

    % Hqn_sk_po (ความเบ้การกระจายของจำนวนประจุจำ BQ_MP)
    Hqn_sk_po = skewness(BQ_MP);

    % Hqn_ku_po (ความโค้งการกระจายของจำนวนประจุจำ BQ_MP)
    Hqn_ku_po = kurtosis(BQ_MP)-3;
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%คำนวณช่วงไขเคลิบหาค่า

if SUM_N==0 % ถ้าผลรวมเท่ากับ 0 ไม่ต้องคำนวณ ให้ทุกค่าเป็น 0
    Hn_sk_ne=0;
    Hn_ku_ne=0;
    Hqn_sk_ne=0;
    Hqn_ku_ne=0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else % ถ้าผลรวมไม่เป็น 0 คำนวณความสุตร

% Hn_sk_ne (ความเบ้การกระจายจำนวนเฟสซ้ำ BQ_RN)
Hn_sk_ne = skewness(BQ_RN);

% Hn_ku_ne (ความโค้งการกระจายจำนวนเฟสซ้ำ BQ_RN)
Hn_ku_ne = kurtosis(BQ_RN)-3;

% Hq_sk_ne (ความเบ้การกระจายจำนวนประจุซ้ำ BQ_MN)
Hqn_sk_ne = skewness(BQ_MN);

% Hq_ku_ne (ความโค้งการกระจายจำนวนประจุซ้ำ BQ_MN)
Hqn_ku_ne = kurtosis(BQ_MN)-3;

end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% คำนวณ Discharge asymmetry Q
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

if SUM_P==0 || SUM_N==0 % ถ้าผลรวมเท่ากับ 0 ไม่ต้องคำนวณ ให้ทุกค่าเป็น 0
    Q=0;
else % ถ้าผลรวมไม่เป็น 0 คำนวณความสุตร
    Q_sum_neg=sum(DQ_N(:,2)); % ประจุรวมทางด้านลบ
    N_sum_neg=length(DQ_N); % จำนวนของครึ่งประจุทางด้านลบ

    Q_sum_pos=sum(DQ_P(:,2)); % ประจุรวมทางด้านบวก
    N_sum_pos=length(DQ_P); % จำนวนของครึ่งประจุทางด้านบวก

    Q=(Q_sum_neg/N_sum_neg)/(Q_sum_pos/N_sum_pos); % เอาไปใช้จริงๆ
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% คำนวณ The cross-correlation factor cc ใช้คำนวณความต่างของรูปการกระจายประจุ
% ให้ BQ2 คำนวณ [1 ประจุเฉลี่ยทางด้านบวก 2 ประจุเฉลี่ยทางด้านลบ]
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% กำหนดค่าเริ่มต้นก่อนคำนวณ
sum_xiyi=0;
sum_xi=0;
sum_yi=0;
sum_xi2=0;
sum_yi2=0;
k5=1;

% คำนวณโดยการวน loop เพราะมีการ summation
% x คือประจุเฉลี่ยทางด้านบวก y คือประจุเฉลี่ยทางด้านลบ
for k5=1:180

    %sum xiyi
    xiyi=BQ2(k5,1)*BQ2(k5,2);
    sum_xiyi=sum_xiyi+xiyi;

    %sum xi

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

fprintf('\nHn(phase): Sk+= %.3f, Sk-= %.3f, Ku+= %.3f, Ku-= %.3f
\n',Hn_sk_po,Hn_sk_ne,Hn_ku_po,Hn_ku_ne)
fprintf('\nHqn(phase): Sk+= %.3f, Sk-= %.3f, Ku+= %.3f, Ku-= %.3f
\n',Hqn_sk_po,Hqn_sk_ne,Hqn_ku_po,Hqn_ku_ne)
fprintf('\nQ = %.3f \n',Q)
fprintf('\ncc = %.3f \n',cc)
fprintf('\nmcc = %.3f \n',mcc)
fprintf('\n\n*****\n\n')

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% พล็อตกราฟ Hn(ph), Hqn(ph)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

subplot(4,1,1)
phase=[0:1:360];
bar(phase,BQ(:,3)) %พล็อต Hn(ph) จำนวนซ้ำต่อวินาที(จำนวนซ้ำ tmax)
X1=axis;
axis([0 360 0 X1(1,4)])
xlabel('phase [degree]');
ylabel('Hn [number/sec]');
grid on

```

```

subplot(4,1,2)
bar(phase,BQ(:,5),'r') %พล็อต Hqn(ph) ประจุเฉลี่ย(ประจุรวม/จำนวนซ้ำที่เมเฟสนั้น)
X2=axis;
axis([0 360 0 X2(1,4)])
xlabel('phase [degree]');
ylabel('Hqn [pC]');
grid on

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% พล็อตกราฟ Hq(+), Hq(-)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

subplot(4,2,5)
his_p_min=min(DQ_P(:,2));
his_p_max=max(DQ_P(:,2));
dist_p=(his_p_max-his_p_min)/100;
if his_p_min>0 % (เงื่อนไข ถ้ามีประจุช่วงบวกถึงจะพล็อต Hq (+) การกระจายประจุ
    xp = his_p_min:dist_p:his_p_max;
    yp = DQ_P(:,2);
    hist(yp,xp,'r')
end
xlabel('q (pC) [Positive]');
ylabel('H(q) [number]');
h = findobj(gca,'Type','patch');
set(h,'FaceColor','m','EdgeColor','m')
grid on

```

```

subplot(4,2,6)
his_n_min=min(DQ_N(:,2));
his_n_max=max(DQ_N(:,2));
dist_n=(his_n_max-his_n_min)/100;
if his_n_min>0 % (เงื่อนไข ถ้ามีประจุช่วงลบถึงจะพล็อต Hq (-) การกระจายประจุ
    xn = his_n_min:dist_n:his_n_max;
    yn = DQ_N(:,2);
    hist(yn,xn)
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

xlabel('q (pC) [Negative]');
ylabel('H(q) [number]');
h = findobj(gca,'Type','patch');
set(h,'FaceColor','g','EdgeColor','g')
grid on

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% พล็อตกราฟ Statistical
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

subplot(4,1,4)
bar(statistics,'y')
xlabel({'Statistical parameter'; '1=sk+(Hn), 2=sk-(Hn), 3=ku+(Hn), 4=ku-(Hn), 5=sk+(Hqn), 6=sk-(Hqn), 7=ku+(Hqn), 8=ku-(Hqn), 9=Q, 10=cc, 11=mcc'})
grid on

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรม Feature\_Extraction\_UHF

```

clear all
close all
clc
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% โหลดข้อมูล.txt
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

uhf = load('HV1.txt'); % โหลดข้อมูล PD_UHF

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% x คือสัญญาณที่ตัด noise ออก
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

x=uhf;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% x_positive คือ เก็บสัญญาณที่มีค่ามากกว่า 0 และไม่มี noise
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

i=1;
ii=length(x);
x_positive=zeros(ii,1);

while i<ii
    if x(i)>0
        x_positive(i,1)=x(i,1);
    else
        x_positive(i,1)=0;
    end
    i=i+1;
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% แบ่งข้อมูลเป็น 6 ส่วน
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

d1=x_positive([1:76],1);
d2=x_positive([77:218],1);
d3=x_positive([219:482],1);
d4=x_positive([483:919],1);
d5=x_positive([920:1249],1);
d6=x_positive([1250:1802],1);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% สร้างข้อมูลใหม่เพื่อคำนวณพารามิเตอร์ทางสถิติ
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% ช่วงความถี่ 30 - 52 MHz
max_d1=max(d1);
PU_d1=round((d1/max_d1)*100);

l1l=1;
Sta_d1=[];
for l=1:length(PU_d1)
    for l1=1:PU_d1(l)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        Sta_d1(l11,1)=1; % Sta_d1 เอาไว้คำนวณ
        l11=l11+1;
    end
end

% ช่วงความถี่ 53 - 93 MHz
max_d2=max(d2);
PU_d2=round((d2/max_d2)*100);

l11=1;
Sta_d2=[];
for l=1:length(PU_d2)
    for l1=1:PU_d2(l)
        Sta_d2(l11,1)=1; % Sta_d2 เอาไว้คำนวณ
        l11=l11+1;
    end
end

% ช่วงความถี่ 94 - 173 MHz
max_d3=max(d3);
PU_d3=round((d3/max_d3)*100);

l11=1;
Sta_d3=[];
for l=1:length(PU_d3)
    for l1=1:PU_d3(l)
        Sta_d3(l11,1)=1; % Sta_d3 เอาไว้คำนวณ
        l11=l11+1;
    end
end

% ช่วงความถี่ 174 - 313 MHz
max_d4=max(d4);
PU_d4=round((d4/max_d4)*100);

l11=1;
Sta_d4=[];
for l=1:length(PU_d4)
    for l1=1:PU_d4(l)
        Sta_d4(l11,1)=1; % Sta_d4 เอาไว้คำนวณ
        l11=l11+1;
    end
end

% ช่วงความถี่ 314 - 560 MHz
max_d5=max(d5);
PU_d5=round((d5/max_d5)*100);

l11=1;
Sta_d5=[];
for l=1:length(PU_d5)
    for l1=1:PU_d5(l)
        Sta_d5(l11,1)=1; % Sta_d5 เอาไว้คำนวณ
        l11=l11+1;
    end
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

fprintf('\nskewness interval6 = %.3f \n',sk6)
fprintf('\nkurtosis interval6 = %.3f \n',ku6)
fprintf('\n\n*****\n\n')
*****\n\n')

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% plot
subplot(4,2,1)
plot(uhf([1:76],1),d1)
axis([30 52 0 max_d1])
xlabel('Intv.1 [MHz]');
ylabel('dB(V/m)');
grid on

subplot(4,2,2)
plot(uhf([77:218],1),d2)
axis([53 93 0 max_d2])
xlabel('Intv.2 [MHz]');
ylabel('dB(V/m)');
grid on

subplot(4,2,3)
plot(uhf([219:482],1),d3)
axis([94 173 0 max_d3])
xlabel('Intv.3 [MHz]');
ylabel('dB(V/m)');
grid on

subplot(4,2,4)
plot(uhf([483:919],1),d4)
axis([174 313 0 max_d4])
xlabel('Intv.4 [MHz]');
ylabel('dB(V/m)');
grid on

subplot(4,2,5)
plot(uhf([920:1249],1),d5)
axis([314 560 0 max_d5])
xlabel('Intv.5 [MHz]');
ylabel('dB(V/m)');
grid on

subplot(4,2,6)
plot(uhf([1250:1802],1),d6)
axis([561 1000 0 max_d6])
xlabel('Intv.6 [MHz]');
ylabel('dB(V/m)');
grid on

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% พล็อตกราฟ Statistical
subplot(4,1,4)
bar(statistics,'y')
xlabel({'Statistical
parameter';'1=sk(int1),2=ku(int1),3=sk(int2),4=ku(int2),5=sk(int3),6=
ku(int3),7=sk(int4),8=ku(int4),9=sk(int5),10=ku(int5),11=sk(int6),12=
ku(int6)'})
grid on

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรมการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก

```
clear all
close all
clc

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Principal Component Analysis
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

load pd_4type % load training data ประกอบด้วย เมตริกซ์ pd และ y
PD=zscore(pd); % zscore
C=cov(PD); % สร้าง covariance matrix
[PC, Latent, Explained]=PCACOV(C); % หา PC, Latent, Explained
Explained; % ดูค่า Explained
sum(Explained(1:3)); % รวมค่า Explained ของ PC1 PC2 PC3 PC4
scores=PD*PC; % แปลงข้อมูล PD เดิมไปอยู่ชุดปะใหม่
x=[scores([1:48],1) scores([1:48],2) scores([1:48],3)]; % Training
data
save data_train x y
```

### โมเดลโครงข่ายประสาทเทียมประเภท MLP

```
load pd_4type
load unknown
pd=[pd;unknown];
PD=zscore(pd); % zscore
x=PD(49,:);
load data_trainwt
F1 = 'tansig';
F2 = 'hardlim';
fprintf('\nMLP model\n')
PD_classification=simuff(x',W1,B1,F1,W2,B2,F2)'
```

### โมเดลโครงข่ายประสาทเทียมประเภท PCA-MLP

```
load pd_4type
load unknown
pd=[pd;unknown];
PD=zscore(pd); % zscore
C=cov(PD); % สร้าง covariance matrix
[PC, Latent, Explained]=PCACOV(C); % หา PC, Latent, Explained
Explained; % ดูค่า Explained
sum(Explained(1:3)); % รวมค่า Explained ของ PC1 PC2 PC3 PC4
scores=PD*PC; % แปลงข้อมูล PD เดิมไปอยู่ชุดปะใหม่
x=[scores(49,1) scores(49,2) scores(49,3)];

load data_trainwt
F1 = 'tansig';
F2 = 'hardlim';
fprintf('\nPCA-MLP model\n')
ysim=simuff(x',W1,B1,F1,W2,B2,F2)'
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โมเดลโครงข่ายประสาทเทียมประเภท PNN

```

load pd_4type % load training data ประกอบด้วย เมตริกซ์ pd และ y
load unknown
pd=[pd;unknown]; % เพิ่ม unkown sample ไปในเมตริกซ์ pd
PD=zscore(pd); % zscore
x=PD([1:48],:); % Training data
xtest=PD(49,:); % Vector to be classified.
a=1; % a is the width parameter: sigma.
classes=4; % x has two classifications.
fprintf('\nPNN model\n')
[PD_classification,prob]=pnn(x,y,classes,xtest,a)% Classify the test
input: testx.

```

## โมเดลโครงข่ายประสาทเทียมประเภท PCA-PNN

```

load unknown % ข้อมูลที่จะทำนาย
load pd_4type % load training data ประกอบด้วย เมตริกซ์ pd และ y
pd=[pd;unknown]; % เพิ่ม unkown sample ไปในเมตริกซ์ pd
PD=zscore(pd); % zscore
C=cov(PD); % สร้าง covariance matrix
[PC, Latent, Explained]=PCACOV(C); % หา PC, Latent, Explained
Explained; % ดูค่า Explained
sum(Explained(1:3)); % รวมค่า Explained ของ PC1 PC2 PC3 PC4
scores=PD*PC; % แปลงข้อมูล PD เดิมไปอยู่ใน PC ใหม่

x=[scores([1:48],1) scores([1:48],2) scores([1:48],3)]; % Training
data
xtest=[scores(49,1) scores(49,2) scores(49,3)]; % Vector to be
classified.
a=2; % a is the width parameter: sigma.
classes=4; % x has two classifications.
fprintf('\nPCA-PNN model\n')
[PD_classification,prob]=pnn(x,y,classes,xtest,a)% Classify the test
input


```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



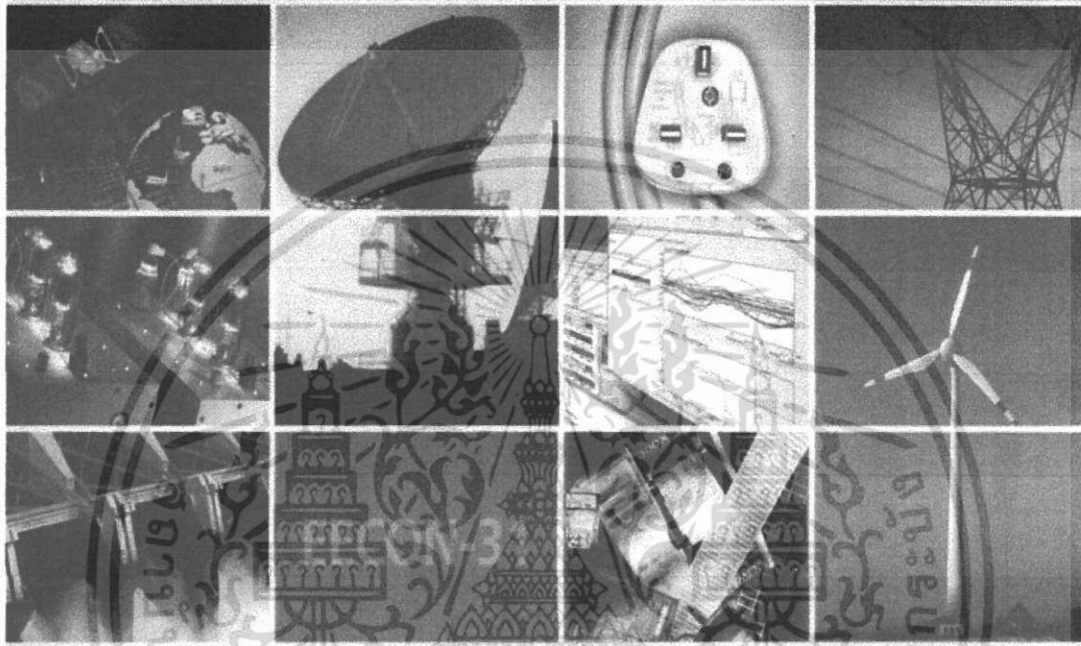
**ภาคผนวก ข.**  
**ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่**

1. เพทาย นิมสนอง, นรเศรษฐ พัฒนเดช, สุรินทร์ คำฝอย “การแยกประเภทสัญญาณดิจิตอลบางส่วนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงโดยใช้ Probabilistic Neural Networks” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31, นครนายก, ประเทศไทย, ตุลาคม 29-31, 2551.
2. เพทาย นิมสนอง, นรเศรษฐ พัฒนเดช, สุรินทร์ คำฝอย “การเปรียบเทียบโมเดลนิวรอลเน็ตเวิร์คในการจำแนกรูปแบบดิจิตอลบางส่วน” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31, ปราจีนบุรี, ประเทศไทย, ตุลาคม 28-30, 2552.



# การประชุมวิชาการ ทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31

## 31<sup>st</sup> Electrical Engineering Conference (EECON-31)




**Volume I**

- ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- คอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)


29 - 31 ตุลาคม 2551

ณ รอยัลสแควร์ กอล์ฟ รีสอร์ท แอนด์ สปา จังหวัดนครนายก

ร่วมจัดโดย




มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY





มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY


สนับสนุนโดย

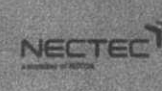



Western Digital














เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การแยกประเภทสัญญาณคิซาร์จบางส่วนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงโดยใช้ Probabilistic Neural Networks

## Classification of Partial Discharge of High Voltage Equipment by Using Probabilistic Neural Networks

เพทาย นิมสนอง, นรเศรษฐ พัฒนเดช, สุรินทร์ คำฝอย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทร 0-2326-9902 E-mail : s0060219@kmitl.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอโมเดลนิวรอลเน็ตเวิร์ค เพื่อแยกประเภทคิซาร์จบางส่วนที่จำลองขึ้น 4 ประเภทได้แก่ โครนาด้านแรงดันสูง, โครนาด้านแรงดันต่ำ, คิซาร์จตามผิว และคิซาร์จภายใน การตรวจวัดสัญญาณคิซาร์จบางส่วนไม่ได้ใช้วิธีดั้งเดิม จะใช้เทคนิคการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการเกิดคิซาร์จบางส่วน โดยใช้สายอากาศแบบ log-periodic และแสดงผลข้อมูลด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม การตรวจวัดทำภายในห้องชิลด์เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนจากภายนอก ตัวแปรอิสระ 12 ตัวได้จากการคำนวณหาคุณลักษณะของรูปแบบการเกิดคิซาร์จบางส่วนแต่ละประเภท โดยการหาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติได้แก่ ความเบ้ (Sk) ความโค้ง (Ku) ของรูปแบบการกระจายแอมพลิจูดในแต่ละช่วงความถี่ โมเดลนิวรอลเน็ตเวิร์คที่สร้างขึ้นเป็นประเภท Probabilistic Neural Networks ตัวแปรอิสระที่นำเข้าโมเดลเลือก 3 ตัวแปรจาก 12 ตัวแปร จากโมเดลที่สร้างขึ้น สามารถแสดงค่าความน่าจะเป็นของการเกิดคิซาร์จบางส่วนแต่ละประเภท และพบว่าโมเดลสามารถแยกประเภทคิซาร์จบางส่วนที่จำลองขึ้นได้ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : การแยกประเภท, คิซาร์จบางส่วน, คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

### Abstract

This paper proposes the neural network model for classification partial discharge patterns, corona at high voltage side, corona at low voltage side, surface discharge, internal discharge. Partial discharge signals were investigated by unconventional method. Electromagnetic wave due to partial discharge phenomena was detected using a log-periodic antenna and recorded employing a spectrum analyzer. This investigation was performed in the shielding room to prevent disturbance signal. 12 independent parameters, skewness and kurtosis of each period of captured signal, obtained from the unique characteristics of each partial discharge phenomena were examined using statistical method. Neural network model using in this experience is Probabilistic Neural Networks. 3 parameters obtained

from 12 parameters were trained and tested with the designed Probabilistic Neural Networks. This model shows the probability of the existence of each partial discharge pattern. The propose model can classify partial discharge types with 100% accuracy.

Keywords: classification, partial discharge, electromagnetic wave

### 1. บทนำ

การฉนวนถือว่าเป็นส่วนสำคัญในระบบไฟฟ้า หากฉนวนไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐานกำหนดหรือเกิดความผิดปกติภายในฉนวนอาจเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดความล้มเหลวในระบบไฟฟ้าได้ ซึ่งความผิดปกติของฉนวนนั้นอาจเกิดมาจากการออกแบบการฉนวนที่ไม่ได้มาตรฐานและอาจเกิดจากความบกพร่องในกระบวนการผลิต ความบกพร่องของการฉนวนทำให้เกิดคิซาร์จบางส่วนขึ้นและจะพัฒนาไปสู่การเสียหายของฉนวนอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการตรวจสอบการเกิดคิซาร์จบางส่วนก่อนนำอุปกรณ์ไปใช้งานจริงจึงเป็นส่วนสำคัญในการตรวจสอบถึงคุณภาพการฉนวนของอุปกรณ์นั้นๆ วิธีตรวจสอบคิซาร์จบางส่วนของฉนวนมีหลายวิธีเช่น วิธีทางไฟฟ้า วิธีทางแสง วิธีทางเคมี และวิธีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในบทความนี้จะใช้วิธีการตรวจสอบคิซาร์จบางส่วนด้วยวิธีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปคิซาร์จบางส่วนอาจแบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ โครนาดิซาร์จ, คิซาร์จตามผิว และคิซาร์จภายใน โครนาดิซาร์จอาจเป็นโครนาทางด้านแรงดันสูงหรือโครนาทางด้านแรงดันต่ำ สัญญาณคิซาร์จบางส่วนแต่ละประเภทจะมีลักษณะรูปแบบที่แตกต่างกัน และสามารถแยกแยะได้ด้วยโมเดลทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นบทความนี้จะนำเสนอวิธีการแยกแยะรูปแบบสัญญาณคิซาร์จบางส่วนโดยใช้ Probabilistic Neural Networks เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์รูปแบบของสัญญาณคิซาร์จบางส่วน และเป็นแนวทางในการหาสาเหตุของความบกพร่องของระบบฉนวนได้ง่ายขึ้น

### 2. โมเดล Probabilistic Neural Networks

การแยกแยะรูปแบบสัญญาณคิซาร์จบางส่วน ในบทความนี้ใช้โมเดลนิวรอลเน็ตเวิร์คประเภท Probabilistic Neural Network มีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 1 ประกอบด้วย ชั้นกระจาย (distribution

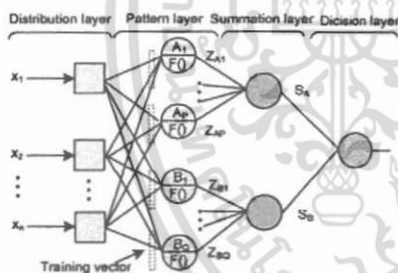
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

layer), ชั้นรูปแบบ (pattern layer), ชั้นรวม (summation layer) และชั้นตัดสินใจ (decision layer) ซึ่งชั้นกระจายมีจำนวนโหนดเท่ากับองค์ประกอบของเวกเตอร์อินพุต  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  แต่ละโหนดของชั้นกระจายจะเชื่อมต่อกับโหนดในชั้นรูปแบบ โดยที่โหนดในชั้นรูปแบบมีการคำนวณแสดงดังสมการที่ 1 ซึ่งเป็นฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้น  $f(.)$  เมื่อ  $Z_{ci}$  คือเอาต์พุตของฟังก์ชัน โดย  $c$  แสดงกลุ่มของเวกเตอร์การสอน (training vector) และ  $i$  แสดงลำดับของโหนดในกลุ่มเวกเตอร์การสอนในชั้นรวมแต่ละโหนดซึ่งจะรวมเอาต์พุตจากชั้นรูปแบบในแต่ละกลุ่มแสดงดังสมการที่ 2 ซึ่งเป็นการคำนวณค่าความน่าจะเป็นของแต่ละกลุ่มข้อมูล [1] และชั้นตัดสินใจจะแสดงเอาต์พุตเป็น 1 ถ้า  $S_c$  หรือค่าความน่าจะเป็นในกลุ่มนั้นมีค่ามากที่สุด ส่วน  $S_c$  ในกลุ่มอื่นๆ ที่มีค่าน้อยกว่าให้มีค่าเป็น 0

$$Z_{ci} = e^{-\frac{|X - X_i|^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

$$S_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e^{-\frac{|X - X_i|^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

เมื่อ  $n$  คือจำนวนโหนดในกลุ่มของชั้นรูปแบบ,  $X_i$  คือเวกเตอร์การสอนแต่ละโหนดในกลุ่มชั้นรูปแบบ,  $X$  คือเวกเตอร์อินพุตที่ต้องการแยกประเภท และ  $\sigma$  คือพารามิเตอร์ความกว้าง (width parameter)

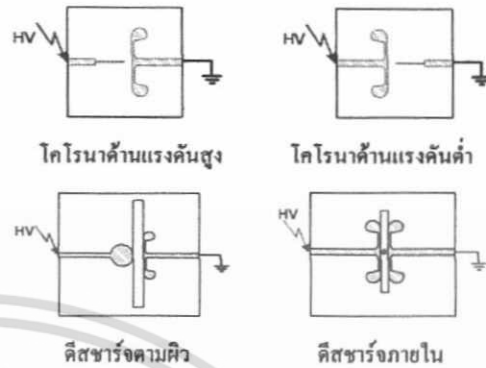


รูปที่ 1 โครงสร้าง Probabilistic Neural Network [2]

**3. แบบจำลองดีสซาร์จบางส่วน**

ดีสซาร์จบางส่วนที่จำลองขึ้นสามารถเกิดขึ้นจริงในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง โดยแบบจำลองมีรูปแบบของความบกพร่องแบบต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2 การจำลองโคโรนาดีสซาร์จทั้งทางด้านแรงดันสูงและทางด้านแรงดันต่ำใช้หลอดทงแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มม. ยาว 35 มม. และอิเล็กโตรดระนาบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มม. ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 10 มม. การจำลองดีสซาร์จตามผิวในอากาศใช้อิเล็กโตรดทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มม. และอิเล็กโตรดระนาบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มม. คันด้วยอะคริลิกขนาด 150×150×20 มม. และในการจำลองดีสซาร์จภายใน ใช้อิเล็กโตรดระนาบ-ระนาบ

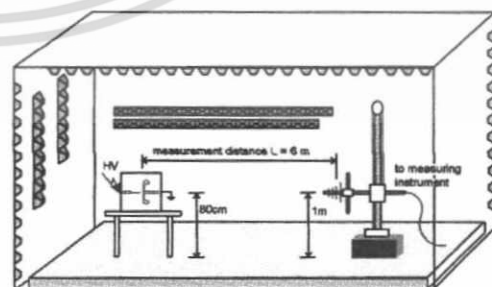
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มม. คันด้วยอะคริลิกขนาด 100×100×10 มม. ภายในมีโครงอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มม. โดยทำการจำลองในกล่องบรรจุน้ำมันเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความไขว้เขวจนงานแข็ง



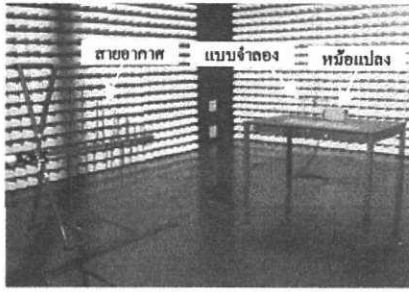
รูปที่ 2 แบบจำลองดีสซาร์จบางส่วน

**4. การทดสอบดีสซาร์จบางส่วน**

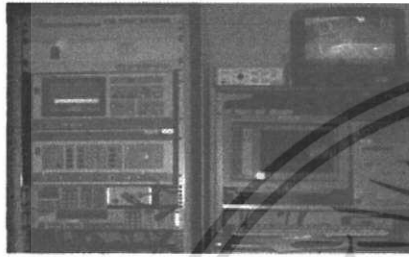
ในการทดลองตรวจวัดสัญญาณดีสซาร์จบางส่วนที่จำลองขึ้นไม่ได้ใช้การตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้าแบบดั้งเดิม แต่จะตรวจวัดโดยใช้สายอากาศ ระบบการวัดแสดงดังรูปที่ 3 และการวัดจริงดังรูปที่ 4 การตรวจวัดทำภายในห้องชีลด์เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนจากภายนอก สายอากาศที่ใช้เป็นแบบ log-periodic (แบนวิทค์ 30 MHz - 1GHz) สัญญาณเอาต์พุตจากสายอากาศถูกขยายด้วยอคริซายา 20 dB ก่อนเข้าเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (แบนวิทค์ 9kHz - 1GHz) รูปที่ 5 แสดงเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม ในการทดลองเริ่มต้นด้วยการป้อนแรงดันให้กับวงจรทดสอบ เริ่มจากศูนย์และเพิ่มแรงดันจนกระทั่ง 15 kV ซึ่งกำหนดให้เป็นค่าแรงดันสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบดีสซาร์จบางส่วน พบว่าไม่มีสัญญาณรบกวนจากตัวหม้อแปลงแสดงดังรูปที่ 6 จากนั้นจึงนำแบบจำลองดีสซาร์จบางส่วนที่สร้างขึ้นแบบต่างๆ ต่อเข้าไปในวงจร แล้วทำการป้อนแรงดันให้กับวงจรอีกครั้งและตรวจวัดสัญญาณดีสซาร์จบางส่วน โดยผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 7 - 10 ตามลำดับ การวัดสัญญาณดีสซาร์จบางส่วนแต่ละประเภท จะทำการทดลองประเภทละ 10 ครั้ง



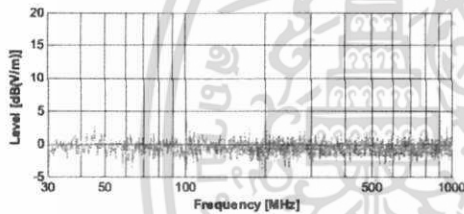
รูปที่ 3 โค้ดแกรมการตรวจวัดสัญญาณดีสซาร์จบางส่วน



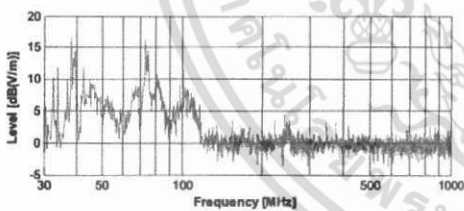
รูปที่ 4 การตรวจวัดสัญญาณคิสราร์จบางส่วน



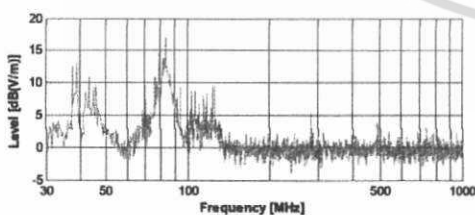
รูปที่ 5 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม



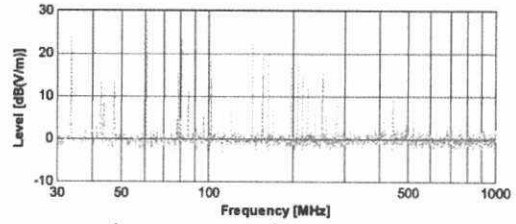
รูปที่ 6 สัญญาณรบกวนที่ระดับแรงดัน 15 kV



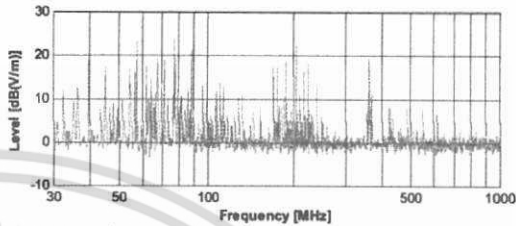
รูปที่ 7 โครนาต้านแรงดันสูงที่ระดับแรงดัน 6.5 kV



รูปที่ 8 โครนาต้านแรงดันต่ำที่ระดับแรงดัน 6.5 kV



รูปที่ 9 คิสราร์จภายในที่ระดับแรงดัน 15 kV



รูปที่ 10 คิสราร์จตามผิวที่ระดับแรงดัน 10 kV

### 5. การคำนวณหาคุณลักษณะของรูปแบบการเกิดคิสราร์จบางส่วน

ในบทความนี้จะทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ ได้แก่ ความเบ้ (Sk) ความโค้ง (Ku) [3] ของรูปแบบการกระจายแอมพลิจูดในแต่ละช่วงความถี่ โดยแบ่งช่วงความถี่ออกเป็น 6 ช่วง ตั้งแต่ 30-52, 53-93, 94-173, 174-313, 314-560, 561-1000 MHz และทำการ Z-score เพื่อให้ข้อมูลมีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และความแปรปรวนของข้อมูลเป็น 1 ด้วยอย่างค่าพารามิเตอร์ทางสถิติที่คำนวณแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของคิสราร์จแต่ละประเภท

รูปแบบ	ช่วงที่ 1		ช่วงที่ 2		ช่วงที่ 3		ช่วงที่ 4		ช่วงที่ 5		ช่วงที่ 6	
	Sk	Ku	Sk	Ku	Sk	Ku	Sk	Ku	Sk	Ku	Sk	Ku
CHV	0.154	-0.26	0.989	0.977	1.157	1.043	-0.213	-0.744	-0.027	-0.109	-0.53	1.6
CLV	-0.38	-0.27	0.69	-0.53	1.324	2.384	-0.059	-0.571	-0.187	-0.94	-0.9	2.18
INT	1.968	5.178	4.292	20.53	4.947	29.37	3.131	25.26	-0.354	-0.921	-0.8	2.06
SF	1.18	1.647	1.368	1.228	2.398	5.824	2.598	8.809	1.597	4.606	-0.09	2.55

เมื่อ CHV คือ โครนาต้านแรงดันสูง, CLV คือ โครนาต้านแรงดันต่ำ, INT คือคิสราร์จภายใน และ SF คือคิสราร์จตามผิว

### 6. การแยกประเภทสัญญาณคิสราร์จบางส่วน

การแยกประเภทสัญญาณคิสราร์จบางส่วนที่จำลองขึ้น ในบทความนี้นำเสนอวิธีการแยกประเภทโดยใช้ Probabilistic Neural Network จากการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติมีตัวแปรทั้งหมด 12 ตัวแปร และจากการพล็อตการกระจายข้อมูลของแต่ละตัวแปรแสดงดังรูปที่ 11 ผู้วิจัยได้เลือก 3 ตัวแปรใช้ในสอนและทดสอบโมเดล ตัวแปรที่เลือกได้แก่ ความเบ้ (Sk) ในช่วงความถี่ที่ 1 (intv1), ความเบ้ (Sk) และ

**EECON** XXXII

**PROCEEDINGS**  
**VOL. 1**

PW - Electrical Power System  
PE - Power Electronics  
CT - Control System and Instrument Technology  
CP - Computer and Information Technology

**การประชุมนิเทศการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๒**  
**๒๘-๓๐ ตุลาคม ๒๕๕๒ โรงแรมทวารวดี รีสอร์ท จ.ปราจีนบุรี**

**32<sup>nd</sup> Electrical Engineering Conference**  
**28-30 October 2009 Tawaravadee Resort Hotel, Prachinburi, Thailand**

**WD Western Digital**

**NECTEC**  
a member of NSTDA

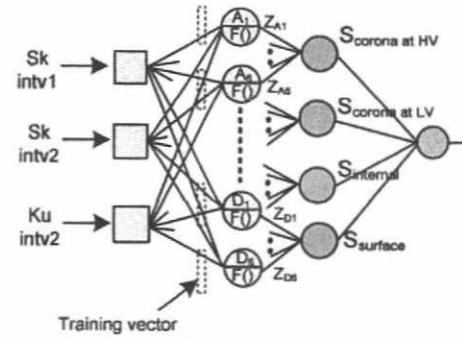
**TRIDI**  
Telecommunications Research and Industrial Development Institute

**PTT Group**

จัดการประชุมโดย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชา  
เทคโนโลยีการจัดการระบบสารสนเทศ  
และภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

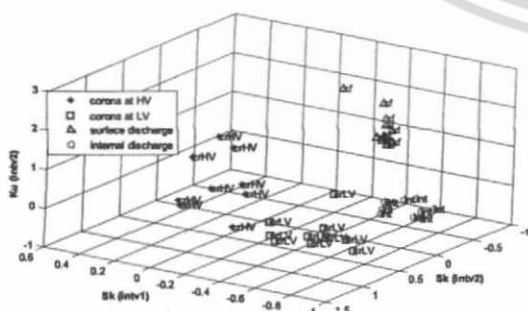
ความโค้ง (Ku) ในช่วงความถี่ที่ 2 (intv2) จากข้อมูลทั้งหมดทำการแบ่งเป็นข้อมูลในการสอนและการทดสอบโมเดลแบบ Venetian Blinds [4] โดยที่ 60% ใช้สอนและ 40% ใช้ทดสอบ โครงสร้างโมเดลที่ใช้ในงานนี้แสดงดังรูปที่ 12 ในการสอนและการทดสอบโมเดลใช้ค่าพารามิเตอร์  $\sigma$  เท่ากับ 0.8 (พารามิเตอร์ความกว้าง) ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบโมเดล จากตารางพบว่า โมเดลนิวรอลเน็ตเวิร์กที่สร้างขึ้น สามารถแสดงค่าความน่าจะเป็นของคิซซาร์จบางส่วนแต่ละประเภท และพบว่าโมเดลสามารถแยกประเภทคิซซาร์จบางส่วนที่จำลองขึ้นได้ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์จากข้อมูลการทดลอง โดยที่ในตารางที่ 2 ข้อมูลที่ 1-4 คือโคโรนาด้านแรงดันสูง, 5-6 คือโคโรนาด้านแรงดันต่ำ, 7-12 คือคิซซาร์จภายใน, 13-16 คือคิซซาร์จตามผิว และกลุ่มที่ 1 คือโคโรนาด้านแรงดันสูง, กลุ่มที่ 2 คือโคโรนาด้านแรงดันต่ำ, กลุ่มที่ 3 คือคิซซาร์จภายใน, กลุ่มที่ 4 คือคิซซาร์จตามผิว



รูปที่ 12 โครงสร้างโมเดลที่ใช้แยกประเภทของคิซซาร์จบางส่วน

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบโมเดล Probabilistic Neural Network

ข้อมูลที่ใช้ทดสอบ	ความน่าจะเป็น (ขั้นรวม)				กลุ่มที่ทำนาย (ขั้นตัดสินใจ)	กลุ่มข้อมูลเป้าหมาย
	CHV	CLV	INT	SF		
1	0.398	0.264	0.0168	0.0921	1	1
2	0.3499	0.0358	0.0589	0.0107	1	1
3	0.4454	0.3743	0.0394	0.1583	1	1
4	0.3011	0.201	0.0297	0.2171	1	1
5	0.1598	0.4323	0.0033	0.0511	2	2
6	0.0664	0.4875	0.0019	0.217	2	2
7	0.2888	0.4953	0.0119	0.1042	2	2
8	0.1677	0.5528	0.0058	0.1472	2	2
9	0.1063	0.021	0.6846	0.0438	3	3
10	0.0094	0.0003	0.4596	0.0003	3	3
11	0.1132	0.0319	0.5821	0.0802	3	3
12	0.0636	0.0093	0.7592	0.0197	3	3
13	0.0034	0.0405	0.0005	0.5908	4	4
14	0.0098	0.0747	0.0022	0.7924	4	4
15	0.0089	0.0723	0.0009	0.6788	4	4
16	0.0131	0.0856	0.0019	0.76	4	4



รูปที่ 11 การกระจายข้อมูลของ 3 ตัวแปรอิสระที่เลือก

7. สรุป

บทความฉบับนี้นำเสนอ Probabilistic Neural Network เพื่อแบ่งประเภทของสัญญาณคิซซาร์จบางส่วน 4 ประเภทที่จำลองขึ้นได้แก่ โคโรนาด้านแรงดันสูง, โคโรนาด้านแรงดันต่ำ, คิซซาร์จตามผิว และคิซซาร์จภายใน ซึ่งตัวแปรอิสระที่นำเข้าโมเดลได้จากการหาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของสัญญาณคิซซาร์จบางส่วน โดยเลือก 3 ตัวแปรจาก 12 ตัวแปร การทดสอบโมเดล Probabilistic Neural Network ที่สร้างขึ้น โมเดลสามารถแสดงค่าความน่าจะเป็นของคิซซาร์จบางส่วนแต่ละประเภท และทำนายประเภทของคิซซาร์จบางส่วนได้ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์จากข้อมูลการทดลอง

กิตติกรรมประกาศ

ในที่นี้ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้อง Anechoic Chamber เครื่องมือวัดต่างๆ ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] J.Wesley Hines "Fuzzy and Neural Approaches in Engineering MATLAB Supplement" Copyright 1997, John Wiley and Sons New York, NY
- [2] Philip D. Wasserman, Advanced Methods in Neural Computing, Copyright 1993 by Van Nostrand Reinhold.
- [3] W.Hauschild, and W. Mosch "Statistical Techinques for High-Voltage Engineering" English edition 1992 Peter Peregrinus Ltd.
- [4] Surin Khomfoi, "Neural Network in Engineering", Lecture note for Selected topics in Electrical Engineering, Electrical Dept., Faculty of Engineering, KMITL, Bangkok, Thailand, 2007.

## การเปรียบเทียบโมเดลนิวรอลเน็ตเวิร์คในการจำแนกรูปแบบคิซาร์จบางส่วน The Comparison of Neural Network Models for Partial Discharge Classification

เพทาช นิมสนอง, นรเศรษฐ พัฒนเดช, สุรินทร์ คำฝอย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทร 0-2326-9902 E-mail: s0060219@kmitl.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอการเปรียบเทียบโมเดลนิวรอลเน็ตเวิร์คสำหรับการจำแนกรูปแบบคิซาร์จบางส่วน 4 โมเดล MLP, PCA-MLP, PNN, PCA-PNN จำแนกรูปแบบคิซาร์จบางส่วน 5 ประเภท ได้แก่ โครนาด้านแรงดันสูง(HV), โครนาด้านแรงดันต่ำ(LV), คิซาร์จตามผิว(SF), คิซาร์จภายใน(IN), และคิซาร์จภายในแบบทรีอิง (TR) จากการทดสอบโมเดลที่ออกแบบทั้ง 4 โมเดลในการทำนายรูปแบบคิซาร์จบางส่วน 40 ข้อมูล พบว่าโมเดล MLP มีความถูกต้อง 95%, โมเดล PCA-MLP มีความถูกต้อง 95%, โมเดล PNN มีความถูกต้อง 62.5%, และโมเดล PCA-PNN มีความถูกต้อง 95%

คำสำคัญ: คิซาร์จบางส่วน, ตัวประกอบหลัก, นิวรอลเน็ตเวิร์ค, ตัวดำเนินการทางสถิติ

### Abstract

This paper proposes the comparison of neural network models for partial discharge classification, corona at high voltage side, corona at low voltage side, surface discharge, internal discharge, and discharges in electrical trees. It is found that the designed model, MLP, PCA-MLP, PNN, and PCA-PNN can predict partial discharge pattern of 40 data with the accuracy of 95%, 95%, 62.5%, and 95% respectively.

Keywords: partial discharge, principal component analysis, neural network, statistical operators

### 1. บทนำ

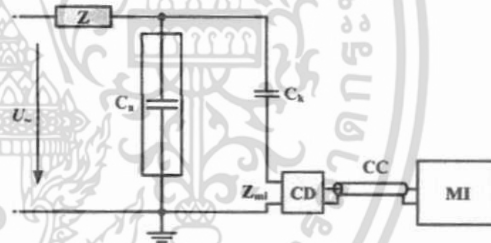
คิซาร์จบางส่วน (PD) หมายถึงการคิซาร์จทางไฟฟ้าที่ไม่เชื่อมโยงถึงกันอย่างสมบูรณ์ระหว่างอิเล็กโทรด [1] คิซาร์จบางส่วนเมื่อเกิดขึ้นในฉนวนหรือระบบฉนวนแล้วจะทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นสั้นลง อาจนำไปสู่ความล้มเหลวของระบบฉนวนและทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบไฟฟ้า [2] ดังนั้นอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจึงจำเป็นต้องมีการทดสอบหวัข้อการทดสอบคิซาร์จบางส่วน เพื่อประเมินสภาพฉนวนก่อนและหลังการติดตั้งใช้งานว่าค่าคิซาร์จบางส่วนอยู่ใน

เกณฑ์ที่อมรับหรือไม่ อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์รูปแบบคิซาร์จบางส่วนก็มีความสำคัญ เพราะจะทำให้ทราบถึงรูปแบบความบกพร่องของระบบฉนวนได้ว่าเป็นความบกพร่องประเภทใด โดยทั่วไปจะอาศัยจากประสบการณ์ของผู้ทดสอบ ดังนั้นบทความนี้จึงนำเสนอโมเดลทางสถิติช่วยในการวิเคราะห์รูปแบบคิซาร์จบางส่วน เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ความบกพร่องของระบบฉนวนหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงต่อไป

### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 วงจรพื้นฐานการวัดคิซาร์จบางส่วน

วงจรพื้นฐานสำหรับการวัดคิซาร์จบางส่วนแสดงดังรูปที่ 1 สอดคล้องตามมาตรฐาน IEC 60270



รูปที่ 1 วงจรพื้นฐานการวัดคิซาร์จบางส่วน

เมื่อ  $U$  คือแหล่งจ่ายแรงดัน,  $Z$  คือตัวกรอง,  $C_1$  คือตัวตัดชุดทดสอบ,  $C_2$  คือตัวเก็บประจุคาบเกี่ยว,  $Z_m$  คืออิมพีแดนซ์ป้อนเข้าระบบ, CD คือตัวคั่นความถี่, CC คือเคเบิลวัด, MI คือตัวแสดงผล

#### 2.2 ตัวดำเนินการทางสถิติ

การตรวจวัดคิซาร์จบางส่วนแบบดั้งเดิมที่ใช้เทคนิค digital signal processing แสดงผลการวัดคิซาร์จบางส่วนในรูปแบบการกระจาย 3 มิติ  $\phi - q - n$  เมื่อ  $\phi$  คือมุมเฟสของแรงดัน,  $q$  คือขนาดประจุ,  $n$  คือจำนวนครั้งการเกิดซ้ำ จากรูปแบบการกระจาย 3 มิติ  $\phi - q - n$  สามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบการกระจายคือ  $H_n(\phi)$  การกระจายขนาด PD เฉลี่ยตามมุมเฟส และ  $H_n(\phi)$  การกระจายจำนวนครั้งที่เกิด PD ซ้ำตามมุมเฟส จากรูปแบบการกระจายทั้งสองสามารถหาตัวแปรสถิติได้ทั้งหมด 11 ตัวแปรคือ ค่าความเบ้ทางด้านแรงดันบวก  $Sk^+$  ค่าความเบ้ทางด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันลบ  $Sk^-$  ค่าความโค้งทางด้านแรงดันบวก  $Ku^+$  ค่าความโค้งทางด้านแรงดันลบ  $Ku^-$  ของการกระจาย  $H_n(\phi)$  และ  $H_n(\phi)$  ค่าความไม่สมมาตรประจุ  $Q = \frac{Q_s^- / N^-}{Q_s^+ / N^+}$  ของ  $H_n(\phi^+)$  และ  $H_n(\phi^-)$  เมื่อ  $Q_s^+$  และ  $Q_s^-$  เป็นผลรวมของการกระจายประจุ  $H_n(\phi^+)$  และ  $H_n(\phi^-)$  ค่าความแตกต่าง  $CC$  ของรูปแบบการกระจาย  $H_n(\phi^+)$  และ  $H_n(\phi^-)$  ค่าความแตกต่างระหว่างรูปแบบของประจุในรูปคลื่นบวกและลบ  $mcc = \phi.Q.CC$  [3]

### 2.3 การวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก (PCA)

เทคนิคการวิเคราะห์ PCA เป็นเทคนิคที่ใช้ลดจำนวนตัวแปรตั้งต้นจากเดิมมีหลายตัวแปรให้เหลือตัวแปรใหม่เพียงไม่กี่ตัวแปร โดยที่ยังคงเก็บข้อมูลที่สำคัญไว้เกือบจะทั้งหมด เรียกตัวแปรใหม่ว่า score ซึ่งในการวิเคราะห์ PCA จะสร้าง Linear combination ของตัวแปร โดยที่ score1 จะเป็น Linear combination แรกและมีรายละเอียดจากตัวแปรตั้งต้นทั้งหมดมากที่สุด หรือกล่าวได้ว่ามีความแปรปรวนสูงสุด, score2 ก็เป็น Linear combination ของตัวแปรตั้งต้นเช่นกัน และสามารถมีรายละเอียดที่เหลือจาก score1 โดยพยายามนำรายละเอียดที่เหลือมาใส่ score2 ให้มากที่สุด โดยที่ score2 ไม่มีความสัมพันธ์กับ score1 ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาการเกิด Multicollinearity ในทำนองเดียวกัน การสร้าง score ที่เหลือก็ทำโดยใช้หลักเกณฑ์เช่นเดียวกันแสดงดังสมการที่ 1 [4]

$$T = XP \quad (1)$$

เมื่อ  $T$  คือเมทริกซ์ของตัวแปร score ขนาด  $m \times k$  (ข้อมูลที่ถูกแปลง),  $X$  คือเมทริกซ์ของตัวแปรตั้งต้นขนาด  $m \times n$ ,  $P$  คือเมทริกซ์การแปลงเรียกว่าเมทริกซ์ loading มีขนาด  $n \times k$

### 2.4 โมเดลนิวรอลเน็ตเวิร์ค

สมการพื้นฐานของโมเดลนิวรอลเน็ตเวิร์คแสดงดังสมการที่ 2

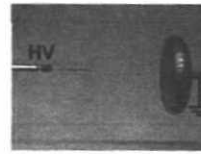
$$y = f \left[ \sum_{k=1}^n x_k w_k + b_k \right] \quad (2)$$

เมื่อ  $x$  คือเวกเตอร์อินพุต,  $w$  คือเวกเตอร์ถ่วงน้ำหนัก,  $b$  คือไบแอส,  $f$  คือฟังก์ชันการกระตุ้น,  $y$  คือเอาต์พุต

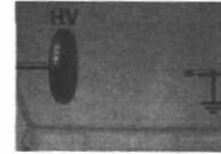
โมเดลนิวรอลเน็ตเวิร์คโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ โมเดลสำหรับการประมาณฟังก์ชัน และ โมเดลสำหรับการแบ่งกลุ่มข้อมูล บทความนี้นำเสนอโมเดลสำหรับการแบ่งกลุ่มข้อมูล 2 โมเดลคือ multilayer perceptron neural networks model (MLP) และ probabilistic neural networks model (PNN) [5]

### 3. แบบจำลองคิซซาร์จบางส่วน

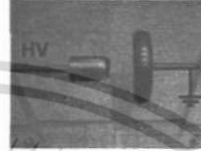
คิซซาร์จบางส่วนที่จำลองขึ้นสามารถเกิดขึ้นจริงในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง โดยแบบจำลองมีรูปแบบของความบกพร่องแบบต่างๆ 5 รูปแบบ แสดงดังรูปที่ 2



โคโรนาด้านแรงดันสูง (HV)



โคโรนาด้านแรงดันต่ำ (LV)



คิซซาร์จตามคิว (SF)



คิซซาร์จภายใน (IN)

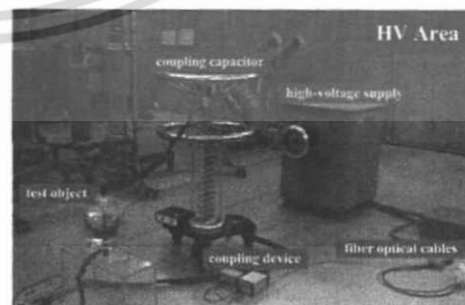


คิซซาร์จภายในแบบทริอิ่ง (TR)

รูปที่ 2 แบบจำลองคิซซาร์จบางส่วน

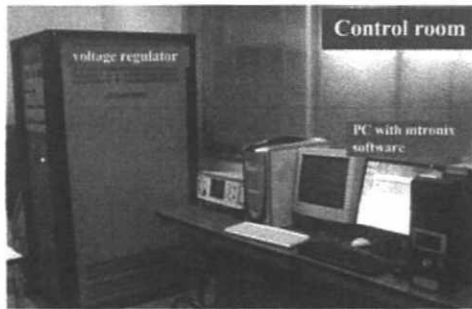
### 4. การทดสอบคิซซาร์จบางส่วน

การทดลองตรวจวัดคิซซาร์จบางส่วน ใช้วิธีการตรวจวัดสัญญาณทางไฟฟ้าแบบดั้งเดิม ซึ่งใช้เทคนิค digital signal processing วงจรการทดลองแสดงดังรูปที่ 3 จากแบบจำลองคิซซาร์จบางส่วน 5 รูปแบบที่สร้างขึ้น ทำการทดลองรูปแบบละ 20 การทดลอง โดยแต่ละการทดลองทำการป้อนแรงดัน 110 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันเริ่มเกิดคิซซาร์จบางส่วนเพื่อให้รูปแบบการเกิดคิซซาร์จบางส่วนชัดเจน และทำการเก็บข้อมูลในการเก็บข้อมูลใช้เวลาในการเก็บ 1 นาทีหรือ 3000 รูปคลื่นแรงดันตัวอย่างผลการตรวจวัดแสดงดังรูปที่ 4 การทดลองทั้งหมดมี 100 การทดลอง โดยทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนคือ ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างโมเดล 60 ข้อมูล และข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบโมเดล 40 ข้อมูล



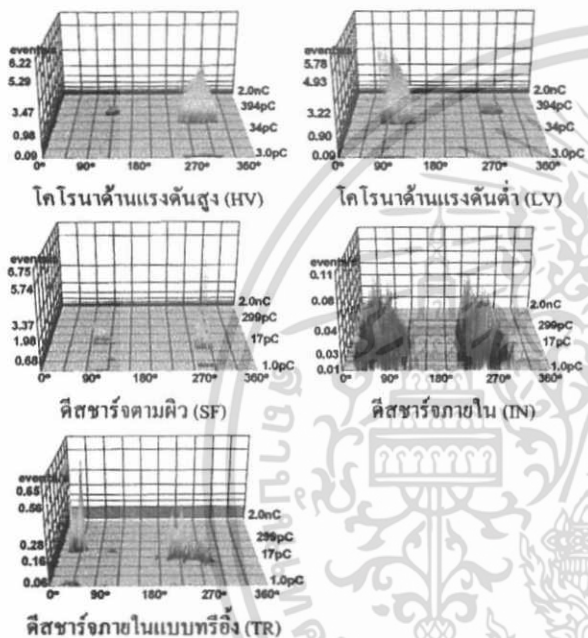
(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 3 วงจรการทดลอง

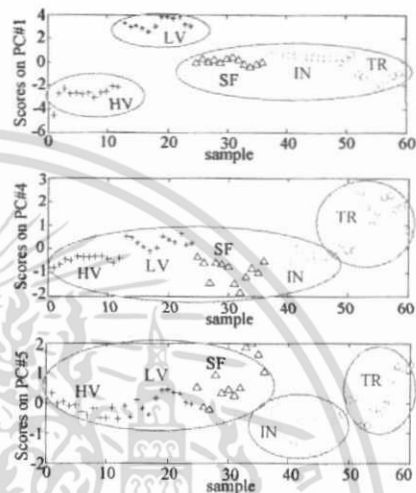


รูปที่ 4 ตัวอย่างผลการทดลองในรูปแบบการกระจาย  $\Phi - q - n$

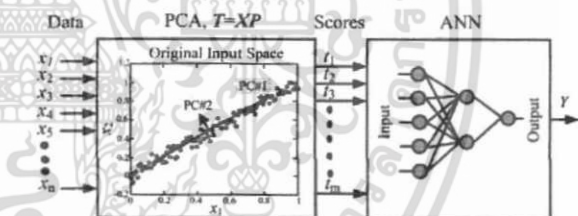
5. การใช้เทคนิค PCA ลดจำนวนตัวแปรตั้งต้น

จากรูปแบบการกระจายข้อมูล  $\Phi - q - n$  สามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบการกระจายคือ  $H_n(\phi)$  และ  $H_n(\phi)$  และหาค่าทางสถิติจากรูปแบบการกระจายทั้งสองได้ทั้งหมด 11 ตัวแปรตั้งต้น ในงานวิจัยนี้ใช้เทคนิค PCA ลดจำนวนตัวแปรตั้งต้นโดยใช้คำสั่ง [PC, Latent, Explained] = PCACO(X) ใน MATLAB statistic toolbox เมื่อ PC คือ เมตริกซ์ loading, Latent คือค่าไอเกนของเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมของเมตริกซ์ตัวแปรตั้งต้น X, Explained คือค่าเปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนของแต่ละ PC ในการแปลงตัวแปรตั้งต้นจากสเปซเดิมไปสู่สเปซใหม่ซึ่งตัวแปรในสเปซใหม่แต่ละตัวเป็นอิสระซึ่งกันและกันและกันใช้สมการที่ 1 ในการแปลง ตัวแปรใหม่ที่ได้เรียกว่าตัวแปร score ซึ่งมีทั้งหมด 11 ตัวแปร ในงานวิจัยนี้มีปัญหาคือการแบ่งกลุ่มประเภทข้อมูล ดังนั้นในการเลือกตัวแปร score เพื่อลดตัวแปรตั้งต้น จะพิจารณาจากกลุ่มข้อมูลในตัวแปร

score แต่ละตัว จากตัวแปร score ทั้ง 11 ตัวแปร ในงานนี้เลือก 3 ตัวแปรที่เหมาะสมคือ score1, score4, และ score5 แสดงดังรูปที่ 5 จากรูปจะพบว่าตัวแปร score1 แบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 3 กลุ่มชัดเจนได้แก่ กลุ่มของ HV, กลุ่มของ LV, และกลุ่มของ SF IN TR ตัวแปร score4 แบ่งกลุ่มข้อมูลของ TR ออกจากกลุ่มอื่น และตัวแปร score5 แบ่งกลุ่มข้อมูลของ IN ออกจากกลุ่มอื่น โครงสร้างพื้นฐานของโมเดลนิวรอลเน็ตเวิร์คที่ใช้เทคนิค PCA ลดจำนวนตัวแปรแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 principal components score ที่เลือก



รูปที่ 6 โครงสร้างพื้นฐานของโมเดลนิวรอลเน็ตเวิร์คที่ใช้เทคนิค PCA

6. การจำแนกประเภทคิซาร์จบางส่วน

งานวิจัยนี้ศึกษาเปรียบเทียบโมเดลนิวรอลเน็ตเวิร์คสำหรับการจำแนกรูปแบบคิซาร์จบางส่วน 4 โมเดลคือ MLP, PCA-MLP, PNN, PCA-PNN โครงสร้างโมเดลที่ออกแบบแสดงดังตารางที่ 1 จำนวนโหนดอินพุตของโมเดลที่มี 11 โหนดอินพุตเนื่องจากไม่มีการลดจำนวนตัวแปรตั้งต้น ส่วนโหนดอินพุตของโมเดลที่มี 3 โหนดอินพุตเนื่องจากใช้เทคนิค PCA ลดจำนวนตัวแปรตั้งต้น โหนดเอาต์พุตของโมเดล MLP, PCA-MLP มี 3 โหนดเพราะกำหนดเป็นโคดีไบนารี 001, 010, 011, 100, 101 แทน HV, LV, SF, IN, TR ตามลำดับ ดังนั้นกำหนดฟังก์ชันของชั้นเอาต์พุตเป็น *hardlim* ในชั้นซ่อนกำหนดฟังก์ชันเป็น *logsig* จำนวนโหนดในชั้นซ่อนของโมเดล MLP, PCA-MLP หาได้จากสอนโมเดลซึ่งใช้การสอนแบบ Levenberg-Marquardt backpropagation training ผลการสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการทดสอบโมเดลแสดงดังตารางที่ 2 จากตารางจำนวนโหนดที่เหมาะสมของโมเดล MLP และ PCA-MLP คือ 4 โหนดและจะพบว่ากราฟที่มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนมากจะทำให้เกิดปัญหา overfitting ทำให้มีความผิดพลาดมากขึ้น ในส่วนโมเดล PNN และ PCA-PNN จะมี 1 โหนดเอาท์พุทเนื่องจากกำหนดเป็นโค้ดของกลุ่มข้อมูล 1, 2, 3, 4, 5 แทน HV, LV, SF, IN, TR ตามลำดับ และกำหนดฟังก์ชันของชั้นตัดสินใจเป็น *compet* เพราะต้องเปรียบเทียบค่า *pdf* ของแต่ละกลุ่มข้อมูลและเลือกกลุ่มข้อมูลที่มีค่า *pdf* สูงที่สุด จำนวนโหนดในชั้นรูปแบบขึ้นอยู่กับจำนวนเวกเตอร์การซ่อนซึ่งมี 60 เวกเตอร์ตามจำนวนข้อมูลที่แบ่งไว้ในส่วนของชั้นรวมมี 5 โหนดเพราะมี 5 กลุ่มข้อมูลและฟังก์ชันในชั้นรวมคือ *gaussian* เพราะต้องการคำนวณค่า *pdf* ของแต่ละกลุ่มข้อมูล จากโมเดลนิวรอลเน็ตเวิร์คที่ออกแบบ 4 โมเดล ผลการทำนายรูปแบบ PD แสดงดังตารางที่ 3 พบว่าโมเดล MLP, PCA-MLP, PNN, PCA-PNN สามารถทำนายรูปแบบ PD ที่จำลองขึ้น 40 ข้อมูลได้ถูกต้อง 95%, 95%, 62.5% และ 95% ตามลำดับ และจะเห็นได้ว่าโมเดล PNN และ PCA-PNN มีข้อได้เปรียบกว่าโมเดล MLP และ PCA-MLP คือสามารถบอกเปอร์เซ็นต์ในการทำนายผิดพลาดบางส่วนแต่ละประเภทได้ แต่ข้อเสียคือถ้าไม่มีการเลือกอินพุทที่เหมาะสมก่อนเข้าโมเดลจะทำให้การทำนายมีความผิดพลาด

ตารางที่ 1 โครงสร้างโมเดลนิวรอลเน็ตเวิร์ค

	input		hidden layer		output layer	
	nodes	nodes	transfer	nodes	transfer	nodes
MLP	11	4	<i>logsig</i>	3	<i>hardlim</i>	
PCA-MLP	3	4	<i>logsig</i>	3	<i>hardlim</i>	
	input		stimulation layer		decision layer	
	nodes	nodes	nodes	transfer	nodes	transfer
PNN	11	60	5	<i>gaussian</i>	1	<i>compet</i>
PCA-PNN	3	60	5	<i>gaussian</i>	1	<i>compet</i>

ตารางที่ 2 ผลการซ่อนและการทดสอบโมเดล MLP และ PCA-MLP

จำนวนโหนดที่ซ่อนสำเร็จ	% error ของ test			
	MLP	PCA-MLP	MLP	PCA-MLP
3			10	
4	4		5	5
5	5		10	10
6	6		15	12.5
7	7		7.5	15

### 6. สรุป

โมเดลนิวรอลเน็ตเวิร์คที่ออกแบบ 4 โมเดลคือ MLP, PCA-MLP, PNN, PCA-PNN สามารถทำนายรูปแบบการซ่อนบางส่วนที่จำลองขึ้น 40 ข้อมูลได้ถูกต้อง 95%, 95%, 62.5% และ 95% ตามลำดับ โดยที่โมเดล PNN และ PCA-PNN มีข้อได้เปรียบกว่าโมเดล MLP และ PCA-MLP คือสามารถบอกเปอร์เซ็นต์ในการทำนายผิดพลาดบางส่วนแต่ละประเภทได้ แต่ข้อเสียคือถ้าไม่มีการเลือกอินพุทที่เหมาะสมก่อนเข้าโมเดลจะทำให้การทำนายมีความผิดพลาด

ตารางที่ 3 ผลการทำนายประเภทการซ่อนบางส่วน

MLP model								
		Predicted Group					Total	
		HV	LV	SF	INT	TR		
Type	PD	HV	8	0	0	0	8	
		LV	0	8	0	0	8	
		SF	0	0	7	0	8	
		IN	0	0	1	7	8	
		TR	0	0	0	0	8	
Total		8	8	8	7	9	40	
Accuracy 95%								
PCA-MLP model								
		Predicted Group					Total	
		HV	LV	SF	INT	TR		
Type	PD	HV	8	0	0	0	8	
		LV	0	8	0	0	8	
		SF	0	0	8	0	8	
		IN	0	0	2	6	8	
		TR	0	0	0	0	8	
Total		8	8	10	6	8	40	
Accuracy 95%								
PNN model								
		Predicted Group, % Decision ±95% C.I.					Total	
		HV	LV	SF	INT	TR		
Type	PD	HV	8	0	0	0	8	
		LV	46.1±0.1	20.7±0.12	30.2±0.15	37±0.19	23.8±0.11	8
		SF	0	8	0	0	0	8
		IN	84.9±0.04	73.2±0.08	20.2±0.08	31.1±0.15	11.7±0.05	8
		TR	0	0	1	7	0	8
Type	PD	HV	26.8±0.1	44.4±0.3	60.5±0.3	72.6±0.4	35.7±0.2	8
		LV	0	0	0	8	0	8
		SF	26.6±0.02	51.2±0.07	56.6±0.07	81.2±0.03	36.1±0.02	8
		IN	0	0	0	8	0	8
		TR	37.7±0.12	32.9±0.09	47.6±0.13	62.8±0.19	37.7±0.08	8
Total		8	8	1	23	0	40	
Accuracy 62.5%								
PCA-PNN model								
		Predicted Group, % Decision ±95% C.I.					Total	
		HV	LV	SF	INT	TR		
Type	PD	HV	8	0	0	0	8	
		LV	91.1±0.03	0.3±0.01	19.9±0.09	13.5±0.07	27.6±0.11	8
		SF	0	8	0	0	0	8
		IN	1.2±0.01	87.5±0.1	24.2±0.11	42.7±0.23	8.3±0.05	8
		TR	0	0	8	0	0	8
Type	PD	HV	17.7±0.16	11.1±0.18	66.9±0.6	36.6±0.6	18.6±0.3	8
		LV	0	0	2	6	0	8
		SF	15.4±0.07	23.5±0.26	48.3±0.47	76.4±0.22	24.9±0.11	8
		IN	0	0	0	0	8	8
		TR	40.1±0.2	21±0.05	18.9±0.27	20.7±0.26	58.9±0.27	8
Total		8	8	10	6	8	40	
Accuracy 95%								

### เอกสารอ้างอิง

- [1] IEC Standard IEC-60270, "High Voltage Techniques Partial Discharge Measurement", International Electrotechnical Commission 2000.
- [2] N.Pattanadech, "High voltage insulation maintenance, examination, and diagnosis", Lecture note for Selected topics in High Voltage Engineering Course, Electrical Engineering Dept., Faculty of Engineering, KMITL, Bangkok, Thailand, 2006.
- [3] Edward Gulski, computer-aided recognition of partial discharges using statistical tools, Copyright 1993 by E. Gulski.
- [4] J. Wesley Hines, PCA and PCR document, The University of Tennessee, 2000,6,28
- [5] J.Wesley Hines "Fuzzy and Neural Approaches in Engineering MATLAB Supplement" Copyright 1997, John Wiley and Sons New York, NY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล	นายเพทาย นิ่มสนอง
วัน เดือน ปีเกิด	22 เมษายน 2526
ประวัติการศึกษา ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2549
ประวัติการทำงาน	วิศวกรไฟฟ้า 4 ฝ่ายควบคุมระบบไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง พ.ศ. 2551 ถึง ปัจจุบัน
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	เพทาย นิ่มสนอง, นรเศรษฐ พัฒนเดช, สุรินทร์ คำฝอย “การแยกประเภทสัญญาณดีสซาร์จบางส่วนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงโดยใช้ Probabilistic Neural Networks” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31 (EECON-31) เพทาย นิ่มสนอง, นรเศรษฐ พัฒนเดช, สุรินทร์ คำฝอย “การเปรียบเทียบโมเดลนิวรอลเน็ตเวิร์คในการจำแนกรูปแบบดีสซาร์จบางส่วน” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32 (EECON-32)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้