

การจำแนกความผิดพร้อมบนสายส่งด้วยลักษณะสมบัติของลูกคลื่น



นายรัฐพล หงษ์ดิลกกุล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Classification of Transmission Line Faults with Waveform Characterization

Mr. Ratthaphol Hongdilokkul



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

รัฐพล หงษ์ดิลกกุล : การจำแนกความผิดปกติบนสายส่งด้วยลักษณะสมบัติของลูกคลื่น (Classification of Transmission Line Faults with Waveform Characterization) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร. ชาญณรงค์ บาลมงคล, 64 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอกระบวนการและเกณฑ์ในการจำแนกสาเหตุของความผิดปกติที่เกิดขึ้นบนสายส่งไฟฟ้า ได้แก่ ต้นไม้ พายุ และสัตว์ โดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ได้จากเครื่องบันทึกความผิดปกติแบบดิจิทัล เพื่อหาค่าแรงดันตกชั่วขณะและอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน ค่าสูงสุดและอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสนิวทรัล ค่าอิมพีแดนซ์ของความผิดปกติ ตำแหน่งมุมที่เกิดความผิดปกติ ความผิดปกติแบบชั่วคราวหรือถาวร และชนิดของความผิดปกติ โดยกระบวนการและเกณฑ์ที่นำเสนอได้จากการนำข้อมูลเหตุการณ์จริงจำนวน 90 เหตุการณ์มาสร้างการตัดสินใจแบบต้นไม้ด้วยการคำนวณ Entropy และ Information gain และใช้วิธี 5-fold cross validation ในการทดสอบประสิทธิภาพ ผลการทดสอบกระบวนการที่นำเสนอพบว่าถึงแม้จำนวนเหตุการณ์ผิดปกติที่สามารถจำแนกสาเหตุได้มีประมาณ 50 % แต่ทุกเหตุการณ์ที่จำแนกสาเหตุมีความถูกต้อง 100%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อนิสิต

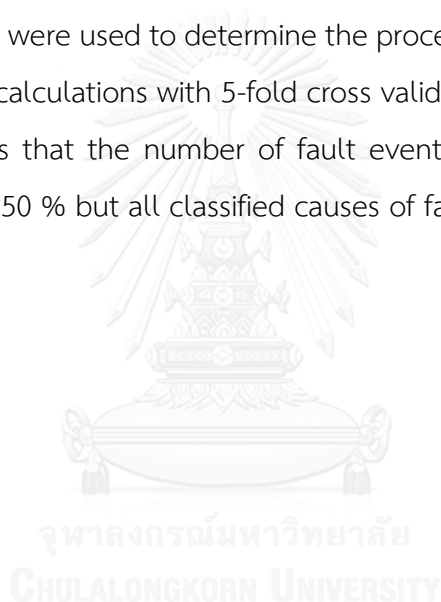
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5770286721 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: FAULT, TRANSMISSION LINE, DIGITAL FAULT RECORDER

RATTHAPHOL HONGDILOKKUL: Classification of Transmission Line Faults with Waveform Characterization. ADVISOR: DR. CHANNARONG BANMONKOL, 64 pp.

This thesis presents a process with criteria to classify causes of faults on transmission lines, i.e., tree, lightning and animal. The classification uses the waveforms of voltages and currents from digital fault recorders which are analyzed to determine voltage dip, rate of change of voltage, neutral current, rate of change of current, permanent/temporary fault, type of fault, fault impedance and fault insertion angle. Actual 90 fault events were used to determine the process of decision tree by entropy and information gain calculations with 5-fold cross validation for effectiveness testing. The test result shows that the number of fault events, classified by the proposed process, is just about 50 % but all classified causes of fault events are correct 100%.



Department: Electrical Engineering Student's Signature

Field of Study: Electrical Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ ดร.ชาญนรงค์ บาลมงคล ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดจนให้ข้อคิดเห็นต่างอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาการทำวิจัย จวบจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ซึ่งข้าพเจ้ามีความซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร.แนบบุญ หุนเจริญ และ อ. ดร.วุฒิกกร ตริวิทยานนท์ ที่ได้ให้ความกรุณาให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ตลอดจนสละเวลาเป็นกรรมการสอบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อนุเคราะห์ทุนในการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการทั้งหลาย

ขอขอบพระคุณทุกคนในครอบครัวอันเป็นที่รักและเพื่อนๆผู้คอยอยู่เคียงข้าง และให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
บทที่1 บทนำ.....	1
ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์.....	2
ขอบเขตวิทยานิพนธ์.....	2
ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินงาน.....	2
ประโยชน์ของวิทยานิพนธ์.....	2
บทที่2 ทฤษฎีและหลักการ.....	3
2.1 เครื่องบันทึกความผิดพ่วงแบบดิจิทัล.....	3
2.1.1 ไฟล์โครงสร้าง.....	3
2.1.2 ไฟล์ข้อมูล.....	5
2.2 เหตุการณ์ความผิดพ่วงในระบบสายส่งและระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	6
2.2.1 ความผิดพ่วงที่เกิดจากฟ้าผ่า.....	6
2.2.2 ความผิดพ่วงที่เกิดจากต้นไม้.....	6
2.2.3 ความผิดพ่วงที่เกิดจากสัตว์.....	7
2.2.4 ความผิดพ่วงที่เกิดจากคว้นไฟ.....	7
2.2.5 ความผิดพ่วงที่เกิดจากรถเครน.....	7
2.3 คุณภาพกำลังไฟฟ้า.....	7
2.3.1 ภาวะชั่วคราว.....	7

2.3.2 การเปลี่ยนแปลงค่าขนาดของแรงดันช่วงระยะสั้น	8
2.4 ลักษณะสมบัติของรูปคลื่น.....	8
2.4.1 แรงดันตกชั่วขณะ	8
2.4.2 กระแสนิวทรัล	9
2.4.3 ตำแหน่งมุมที่เกิดความผิดพร่อง.....	9
2.4.4 ค่าอิมพีแดนซ์ในระบบส่ง	9
2.8 การรู้จำแบบที่ไม่ต้องอาศัยการเรียนรู้.....	10
2.9 การจำแนกด้วยการตัดสินใจแบบต้นไม้.....	10
2.9.1 ส่วนประกอบของผลลัพธ์ของการตัดสินใจแบบต้นไม้.....	10
2.9.2 ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณา.....	10
2.10 การคัดเลือกคุณลักษณะด้วยค่า Information Gain และ Entropy	11
2.10.1 Information Gain	12
2.10.2 Entropy	12
2.11 5-Fold Cross Validation Test.....	15
2.12 การกระจายตัวของข้อมูลทดสอบ.....	17
2.12.1 การกระจายตัวแบบปกติ	17
2.12.2 การกระจายแบบไม่ปกติ.....	17
บทที่3 การวิเคราะห์ลักษณะเด่นของเหตุการณ์ความผิดพร่องในระบบไฟฟ้า	18
3.1 ขั้นตอนการจำแนกเหตุการณ์ความผิดพร่อง.....	18
3.3 ลักษณะเด่นที่นำมาใช้พิจารณา	19
3.3.1 ค่าแรงดันตกชั่วขณะ.....	19
3.3.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าของกระแส (λ).....	19
3.3.3 ค่าอิมพีแดนซ์ของความผิดพร่อง.....	20

3.3.4 ตำแหน่งมุมที่เกิดความผิดพร่อง.....	22
3.3.5 ความผิดพร่องแบบชั่วคราวและความผิดพร่องแบบถาวร.....	22
3.3.6 อัตราการเปลี่ยนแปลงของความดัน	23
3.3.7 ค่าของกระแสนิวทรัล.....	24
3.3.8 ชนิดของความผิดพร่อง	24
บทที่4 การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล.....	27
4.1 ค่าแรงดันตกชั่วขณะ	27
4.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแส	28
4.3 ค่าอิมพีแดนซ์ความผิดพร่อง.....	29
4.4 ตำแหน่งมุมที่เกิดความผิดพร่อง	30
4.5 อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน	31
4.6 ความผิดพร่องแบบชั่วคราวและถาวร	32
4.7 ค่าสูงสุดของกระแสนิวทรัล	32
4.8 ชนิดของความผิดพร่อง	33
บทที่5 เกณฑ์การตัดสินใจ	34
5.1 การสร้างเงื่อนไข	34
5.2 การเก็บค่าและเงื่อนไขการเก็บค่า	45
5.3 การทดสอบประสิทธิภาพของเงื่อนไขการตัดสินใจ.....	46
5.4 การทดสอบกับสถานการณ์จริง	55
บทที่6 สรุป	56
รายการอ้างอิง	57
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	64

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ความผิดปกติในระบบส่ง เป็นปัญหาสำคัญที่พบมากในงานทางด้านระบบไฟฟ้า ซึ่งการเกิดเหตุการณ์ความผิดปกติในระบบส่ง บ่อยครั้งส่งผลกระทบต่อทั้งทางเศรษฐกิจและทางด้านอุตสาหกรรม สาเหตุที่เกิดความผิดปกติเหล่านั้นสามารถเกิดได้จากหลายสาเหตุและมีระดับของความรุนแรงที่แตกต่างกัน ปัจจุบันประเทศไทยต้องใช้จ่ายเงินเพื่อเป็นค่าใช้จ่าย ในการผลิตไฟฟ้าสูงถึงประมาณปีละ 2 แสนล้านบาท ถึงแม้จะมีการปรับปรุงคุณภาพบริการและดูแลรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้า ทั้งในระบบส่งและระบบจำหน่ายไฟฟ้าอย่างเต็มที่ แต่ก็ยังมีปัจจัยอีกหลายประการ ที่ก่อให้เกิดปัญหาความผิดปกติซึ่งทางการไฟฟ้าก็ไม่สามารถควบคุมดูแลได้อย่างทั่วถึง เช่น ปัจจัยจากสภาพอากาศและสิ่งแวดล้อม, สัตว์ต่าง ๆ รวมไปถึงการกระทำที่เกิดจากฝีมือมนุษย์ เช่น ชั้รถชนเสาไฟฟ้า การตัดต้นไม้ใกล้แนวสายส่ง การเผาวัชพืช เป็นต้น ดังนั้นระบบไฟฟ้าที่มีความน่าเชื่อถือ มีเสถียรภาพที่ดี และสามารถแก้ไขปัญหาได้รวดเร็วจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง[1]

การป้องกันความผิดปกติในระบบไฟฟ้า จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ลักษณะเด่นของความผิดปกติที่เหมาะสม เพื่อที่จะสามารถจำแนกและแก้ไขปัญหาความผิดปกติได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ แต่ในการจำแนกและแก้ไขปัญหาความผิดปกติในระบบบางเหตุการณ์มีความซับซ้อนและจำเป็นต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการจำแนก ซึ่งอาจเกิดปัญหาเรื่องของประสบการณ์และความล่าช้าได้ ทางกรมไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาในส่วนนี้จึงติดตั้งอุปกรณ์บันทึกความผิดปกติแบบดิจิทัลขึ้น เพื่อบันทึกเหตุการณ์ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบส่ง แล้วส่งข้อมูลไปยังระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อแก้ไขปัญหาได้ทันที

จากงานวิจัยในอดีตมีการใช้วิธีจำแนกความผิดปกติในระบบส่งด้วยการรับสัญญาณจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ และรีเลย์ป้องกัน แล้วส่งให้ระบบผู้เชี่ยวชาญวิเคราะห์ [1-3] นอกจากนี้ยังมีอีกหนึ่งงานวิจัยกล่าวถึงการจำแนกความผิดปกติในระบบส่ง ซึ่งสังเกตจากความผิดปกติของรูปคลื่นแรงดันโดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญวิเคราะห์เช่นกัน [4-7]

ดังนั้นเพื่อเป็นการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญให้มีความสามารถในการจำแนกความผิดปกติในระบบได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาการนำลักษณะสมบัติของรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ได้จากเครื่องบันทึกความผิดปกติแบบดิจิทัล มาจำแนกเหตุการณ์ความผิดปกติใน

ระบบส่ง ว่ามีสาเหตุเกิดจากฟ้าผ่า ต้นไม้ หรือสัตว์ ซึ่งเป็นสาเหตุที่พบเห็นได้บ่อยในระบบส่งของประเทศไทย

วัตถุประสงค์

- 1.) เพื่อศึกษาลักษณะสมบัติของรูปคลื่นแรงดันและกระแส ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการจำแนกสาเหตุของความผิดปกติ
- 2.) เพื่อหากระบวนการในการจำแนกความผิดปกติที่มีสาเหตุมาจาก ฟ้าผ่า ต้นไม้ และสัตว์

ขอบเขตวิทยานิพนธ์

- 1.) พิจารณาความผิดปกติที่เกิดจากฟ้าผ่า ต้นไม้และสัตว์
- 2.) ใช้ข้อมูลในระบบส่งของการไฟฟ้าแห่งประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2550 – 2558 ที่ระดับแรงดัน 115 kV 230kV และ 500 kV โดยการบันทึกข้อมูลของเครื่องบันทึกแบบดิจิทัลในการศึกษาลักษณะเด่นและทดลองจำแนกเหตุการณ์

ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินงาน

- 1.) กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของวิทยานิพนธ์
- 2.) เก็บข้อมูลความผิดปกติที่มีความเกี่ยวข้องกับเนื้อหาของวิทยานิพนธ์
- 3.) ศึกษารูปแบบของความผิดปกติที่มีการศึกษาในอดีต
- 4.) ศึกษาลักษณะเด่นจากผิดปกติที่มีการศึกษาในอดีต
- 5.) ศึกษาลักษณะเด่นจากข้อมูลที่รวบรวมมาจากเครื่องบันทึกแบบดิจิทัล
- 6.) เลือกขั้นตอนวิธีที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ลักษณะเด่นจากความผิดปกติ
- 7.) ทดสอบจำแนกสาเหตุของความผิดปกติ
- 8.) ปรับปรุงความแม่นยำในการจำแนกเหตุการณ์ความผิดปกติ
- 9.) เรียบเรียงผลการวิจัยและจัดทำเป็นรูปเล่มวิทยานิพนธ์

ประโยชน์ของวิทยานิพนธ์

- 1.) สามารถระบุลักษณะเด่นของแต่ละความผิดปกติได้อย่างชัดเจน
- 2.) สามารถจำแนกความผิดปกติระหว่างฟ้าผ่า ต้นไม้ และสัตว์ ได้
- 3.) สามารถลดความล่าช้าในการวิเคราะห์สาเหตุของความผิดปกติ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 เครื่องบันทึกความผิดพลาดแบบดิจิทัล

เครื่องบันทึกความผิดพลาดแบบดิจิทัลเป็นอุปกรณ์สำหรับบันทึกสัญญาณความผิดพลาดทางระบบไฟฟ้า โดยเครื่องบันทึกความผิดพลาดแบบดิจิทัลเหล่านี้มักจะติดตั้งไว้เฉพาะสถานีไฟฟ้าที่สำคัญ ซึ่งสัญญาณของเครื่องบันทึกความผิดพลาดแบบดิจิทัลที่เรานำมาวิเคราะห์นั้นประกอบด้วย 2 ไฟล์หลัก คือ ไฟล์โครงร่าง และ ไฟล์ข้อมูล[3]

2.1.1 ไฟล์โครงร่าง

ไฟล์โครงร่างนั้นประกอบด้วยสัญญาณ 2 ประเภท โดยแบ่งออกเป็น ช่องสัญญาณอนาล็อก 16 ช่องสัญญาณ และ ช่องสัญญาณดิจิทัล 32 ช่องสัญญาณ ดังนี้

16 ช่องสัญญาณอนาล็อก ประกอบด้วยชื่อและขนาดแรงดันบัส และ กระแสไฟฟ้า ในสายส่งทั้งสามเฟสของแต่ละสถานีที่ได้รับผลกระทบ รวมถึงตัวคูณแพคเตอร์ที่ใช้สำหรับช่องสัญญาณนั้นๆ

32 ช่องสัญญาณดิจิทัล ประกอบด้วยชื่อของอุปกรณ์ป้องกันต่างๆที่ติดตั้งอยู่ในระบบ ได้แก่ รีเลย์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ เป็นต้นโดยสัญญาณที่รับมาจะมีค่าศูนย์กับหนึ่งเท่านั้น โดย ศูนย์หมายถึงอุปกรณ์ปิด และหนึ่งหมายถึงอุปกรณ์เปิด

นอกจากนี้ไฟล์โครงร่างยังประกอบไปด้วย ระยะเวลาที่เกิดความผิดพลาด จำนวนจุดที่บันทึกของแต่ละช่องสัญญาณ และ ค่าความถี่สุ่มของการบันทึก (3000 และ 6400 Hertz) เพื่อบอกว่า 1 จุดช่องสัญญาณนั้นมีค่าเท่ากับกี่วินาที เช่น

$$6400 \text{ Hz} = 128 \text{ จุดสัญญาณ ต่อ } 1 \text{ รอบ} = 0.00156 \text{ วินาที ต่อ } 1 \text{ จุด}$$

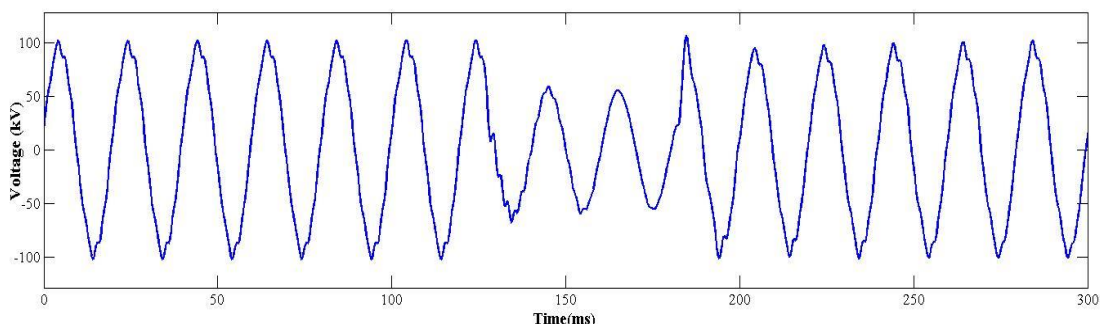
$$3000 \text{ Hz} = 60 \text{ จุดสัญญาณ ต่อ } 1 \text{ รอบ} = 0.00033 \text{ วินาที ต่อ } 1 \text{ จุด}$$

```

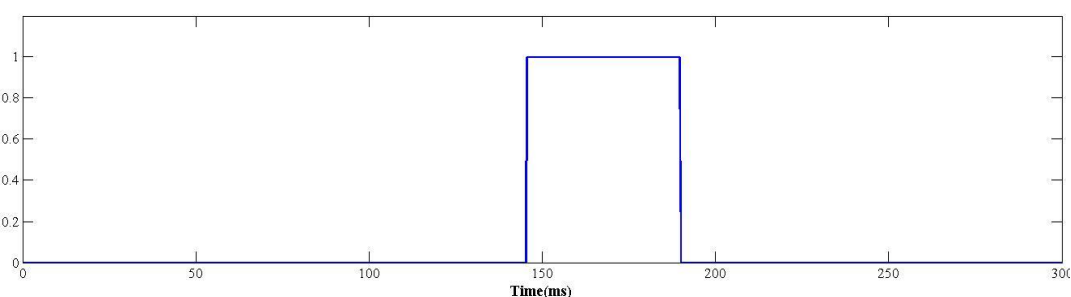
RE2, 0, 1999
48, 16A, 32D
1,V80BUS1--A-----, , ,kv,0.014458055,0.000000000,0.000000000,-16384,16383,2000,1,P
2,V80BUS1--B-----, , ,kv,0.014432159,0.000000000,0.000000000,-16384,16383,2000,1,P
3,V80BUS1--C-----, , ,kv,0.014432159,0.000000000,0.000000000,-16384,16383,2000,1,P
4,I80SU2--1A-----, , ,ka,0.002762136,0.000000000,0.000000000,-16384,16383,300,1,P
5,I80SU2--1B-----, , ,ka,0.002781126,0.000000000,0.000000000,-16384,16383,300,1,P
6,I80SU2--1C-----, , ,ka,0.002774220,0.000000000,0.000000000,-16384,16383,300,1,P
7,I80KK3--1A-----, , ,ka,0.002743146,0.000000000,0.000000000,-16384,16383,300,1,P
8,I80KK3--1B-----, , ,ka,0.002774220,0.000000000,0.000000000,-16384,16383,300,1,P
9,I80KK3--1C-----, , ,ka,0.002777673,0.000000000,0.000000000,-16384,16383,300,1,P
10,CT SPARE 1, , ,ka,0.002771631,0.000000000,0.000000000,-16384,16383,300,1,P
11,CT SPARE 2, , ,ka,0.002771631,0.000000000,0.000000000,-16384,16383,300,1,P
12,CT SPARE 3, , ,ka,0.002755231,0.000000000,0.000000000,-16384,16383,300,1,P
13,CT SPARE 4, , ,ka,0.002755231,0.000000000,0.000000000,-16384,16383,300,1,P
14,CT SPARE 5, , ,ka,0.002762136,0.000000000,0.000000000,-16384,16383,300,1,P
15,CT SPARE 6, , ,ka,0.002768178,0.000000000,0.000000000,-16384,16383,300,1,P
16,CT SPARE 7, , ,ka,0.002774220,0.000000000,0.000000000,-16384,16383,300,1,P
1,D80SU2--1-79P---, , ,0
2,D80SU2--1-94P---, , ,0
3,D80SU2--1-79BU---, , ,0
4,D80SU2--1-94BU---, , ,0
5,D80SU2--1-86DTT---, , ,0
6,D80512----86BF---, , ,0
7,D80532----86BF---, , ,0
8,D80SU2--1-RXPOTT, , ,0
9,D80SU2--1-TXPOTT, , ,0
10,D80SU2--1-RXDTT---, , ,0
11,D80SU2--1-TXDTT---, , ,0
12,D80KK3--1-79P---, , ,0
13,D80KK3--1-94P---, , ,0
14,D80KK3--1-79BU---, , ,0
15,D80KK3--1-94BU---, , ,0
16,D80KK3--1-86DTT---, , ,0
17,D80812----86BF---, , ,0
18,D80832----86BF---, , ,0
19,D80KK3--1-RXPOTT, , ,0
20,D80KK3--1-TXPOTT, , ,0
21,D80KK3--1-RXDTT---, , ,0
22,D80KK3--1-TXDTT---, , ,0
23,D80512----52b---, , ,0
24,D80532----52b---, , ,0
25,D80812----52b---, , ,0
26,D80832----52b---, , ,0
27,D80522----52b---, , ,0
28,D80522----86BF---, , ,0
29,SPARE EVENT 29, , ,0
30,SPARE EVENT 30, , ,0
31,SPARE EVENT 31, , ,0
32,SPARE EVENT 32, , ,0
50 ← ความถี่
1 ← อัตราการสุ่ม และจำนวนข้อมูลต่อหนึ่งช่องสัญญาณ
6400, 38375 ←
28/04/2015,17:21:25.678346 ← วัน / เดือน / ปี และเวลาที่เริ่มบันทึก
28/04/2015,17:21:25.828971 ← วัน / เดือน / ปี และเวลาที่เริ่มเกิดความผิดพลาด
ASCII ← ชนิดไฟล์ข้อมูล
1 ← ตัวคูณ factor

```

รูปที่1 ตัวอย่างไฟล์โครงสร้าง ประกอบด้วย 16ช่องสัญญาณอนาล็อก 32ช่องสัญญาณดิจิทัล ความถี่ที่ 50 Hz อัตราสุ่มที่6400 จำนวน38375จุดตลอดช่องสัญญาณ



รูปที่3 ตัวอย่างรูปคลื่นแรงดันขณะเกิดความผิดพลาด



รูปที่4 ตัวอย่างรูปคลื่นแสดงการทำงานของรีเลย์ป้องกัน

2.2 เหตุการณ์ความผิดพลาดในระบบสายส่งและระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ผลกระทบเชิงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นไม่ว่าจะเป็นแรงดันตก กระแสเกินหรือ การทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน มีสาเหตุมาจากความผิดพลาดต่างๆที่เกิดขึ้นในระบบส่ง ซึ่งแต่ละความผิดพลาดนั้นจะมีลักษณะเด่นหรือเอกลักษณ์ที่ต่างกันออกไป ในโครงร่างวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมุ่งเน้นไปที่การคัดลักษณะเด่นของ 3 สาเหตุความผิดพลาด นั่นคือความผิดพลาดที่เกิดจากฟ้าผ่าความผิดพลาดที่เกิดจากต้นไม้ และ ความผิดพลาดที่เกิดจากสัตว์

2.2.1 ความผิดพลาดที่เกิดจากฟ้าผ่า

ความผิดพลาดลักษณะนี้เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเองทางธรรมชาติ ความผิดพลาดที่เกิดจากฟ้าผ่าสามารถเกิดขึ้นได้ในระบบไฟฟ้าของทุกประเทศ มักเกิดในบริเวณที่สภาพอากาศแปรปรวน, ฝนฟ้าคะนอง หรือ บริเวณที่มีความชื้นสูง ยกตัวอย่างเช่นประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร สภาพภูมิอากาศของประเทศมีลักษณะเป็นแบบร้อนชื้นและมีฝนตกชุกตลอดปี ความผิดพลาดที่เกิดจากฟ้าผ่านี้ส่วนใหญ่มักจะส่งผลกระทบต่อลูกถ้วยฉนวนตามสายส่ง ทำให้เกิดความผิดพลาดจากลูกถ้วยวาบไฟซึ่งเป็นอีกสาเหตุความผิดพลาดหลักของประเทศไทย

2.2.2 ความผิดพลาดที่เกิดจากต้นไม้

ความผิดพลาดที่เกิดจากต้นไม้ นั้นเกิดจากระยะห่างระหว่างต้นไม้กับสายส่งใกล้เกินกว่าระยะขจัดทำให้เกิดกระแสลัดวงจร ความผิดพลาดลักษณะนี้เป็นปรากฏการณ์ที่สามารถเกิดได้ทั้งจาก

ธรรมชาติและมีมือมนุษย์ ยกตัวอย่างเช่น ลมกรรโชกพัดกิ่งไม้หักปลิวหรือล้มมาพาดสาย อุบัติเหตุไม้ล้มจากการตัดต้นไม้ในงานก่อสร้าง หรือแม้แต่วันที่อากาศร้อนส่งผลให้สายหย่อนจะส่งผลกระทบต่อให้ค่าความต้านทานในอากาศลดลงทำให้ระยะขจัดลดลง

2.2.3 ความผิดพลาดที่เกิดจากสัตว์

ความผิดพลาดที่เกิดจากสัตว์เป็นอีกหนึ่งชนิดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ส่วนใหญ่มักเกิดจากสัตว์ขนาดเล็ก ยกตัวอย่างเช่น มูลนก นกทำรังใกล้สายส่ง งูเขี้ยวขึ้นสายไฟ หรือ สาก สัตว์ตายต่างๆ เป็นต้น ดังนั้นความผิดพลาดที่เกิดจากสัตว์จึงมีความหลากหลายและยากต่อการตรวจจับ ซึ่งเป็นอีกสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดโครงสร้างวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้น

2.2.4 ความผิดพลาดที่เกิดจากควันไฟ

ความผิดพลาดที่เกิดจากควันไฟเป็นความผิดพลาดที่มักเกิดจากฝีมือมนุษย์ไม่ว่าจะเป็นการเผาต้นไม้ หรือ เผาขยะ ดังนั้นความผิดพลาดที่เกิดจากควันไฟจึงสามารถเกิดได้ทุกที่ทั่วประเทศ และเนื่องจากควันมีการเคลื่อนไหวเชิงกายภาพ ดังนั้นความผิดพลาดที่เกิดจากควันไฟนั้นมักเกิดการเปลี่ยนแปลงของเฟสที่ได้รับผลกระทบ

2.2.5 ความผิดพลาดที่เกิดจากรถเครน

ความผิดพลาดที่เกิดจากรถเครนเป็นอีกหนึ่งชนิดความผิดพลาดที่พบบ่อย มักเกิดจากอุบัติเหตุและมีความเสียหายค่อนข้างรุนแรง ส่วนใหญ่ความผิดพลาดชนิดนี้มักจะเป็นความผิดพลาดถาวร รีโคสเซอร์จะไม่สามารถสับรีโคสเซอร์กลับได้จนกว่าฝ่ายบำรุงจะเข้ามาแก้ไข

2.3 คุณภาพกำลังไฟฟ้า

ปัจจุบันคุณภาพกำลังไฟฟ้าเป็นสิ่งที่แสดงถึงความมั่นคงของการจ่ายไฟฟ้าของระบบจากการไฟฟ้า ตามมาตรฐานของ IEC และ IEEE ได้ให้คำนิยามของว่าคุณภาพกำลังไฟฟ้าไว้ว่าเป็นค่าของแรงดัน กระแส และความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในสภาวะปกติที่ไม่ทำให้อุปกรณ์มีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดความเสียหาย ซึ่งปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้า[8] ได้แก่

2.3.1 ภาวะชั่วคราว

ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงของสภาพไฟฟ้าทั้งแรงดันและกระแสแบบทันทีทันใดโดยส่งผลกระทบต่อคุณภาพของกำลังไฟฟ้า ภาวะชั่วคราวนี้สามารถแบ่งออกเป็นสองลักษณะใหญ่ๆคือ อิมพัลส์ชั่วคราว และ ออสซิลเลตชั่วคราว

อิมพัลส์ชั่วคราว ค่าขนาดกระแสหรือแรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใดโดยที่ความถี่ไม่เปลี่ยนแปลง

ออสซิลเลชันชั่วคราว ลักษณะของกระแสหรือแรงดันที่มีค่าสูงและเกิดขึ้นแบบทันทีทันใดรวมไปถึง การเปลี่ยนแปลงของชั่ววอกและชั่วลบของรูปคลื่นโดยที่ความถี่ไม่เปลี่ยนแปลง

2.3.2 การเปลี่ยนแปลงค่าขนาดของแรงดันช่วงระยะสั้น

การเปลี่ยนแปลงค่าขนาดของแรงดันในช่วงระยะเวลาไม่เกิน 1 นาที จากสาเหตุของความผิดปกติของไฟฟ้าทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะ แรงดันเกินชั่วขณะ และไฟดับชั่วขณะ

ไฟดับชั่วขณะ คือ ค่าขนาดของแรงดันที่มีค่าลดลงต่ำกว่า 0.1 pu ตั้งแต่ 10 มิลลิวินาที ถึง 3 วินาที

แรงดันตกชั่วขณะ คือ ค่าขนาดของแรงดันที่ลดลงระหว่าง 0.1 – 0.9 pu ตั้งแต่ 10 มิลลิวินาที ถึง 3 วินาที

แรงดันเกินชั่วขณะ คือ ค่าขนาดของแรงดันที่มีขนาดเพิ่มขึ้นระหว่าง 1.1 – 1.8 pu ตั้งแต่ 10 มิลลิวินาที ถึง 3 วินาที และมีขนาด 1.1 – 1.2 pu ตั้งแต่ 3 วินาที ถึง 1 นาที

2.4 ลักษณะสมบัติของรูปคลื่น

2.4.1 แรงดันตกชั่วขณะ

แรงดันตกชั่วขณะคือปรากฏการณ์ที่แรงดันที่มีขนาดลดลงระหว่าง 0.1 – 0.9 pu อย่างทันทีทันใดและคืนกลับสู่สภาวะปกติภายใน 0.5 ถึง 250 cycle โดยระดับแรงดันที่ลดลงจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบกับแรงดันปกติ สาเหตุส่วนใหญ่จะเกิดจากความผิดปกติของไฟฟ้า , การนำโหลดขนาดใหญ่เข้ามาในระบบ หรือ การสตาร์ทมอเตอร์ขนาดใหญ่

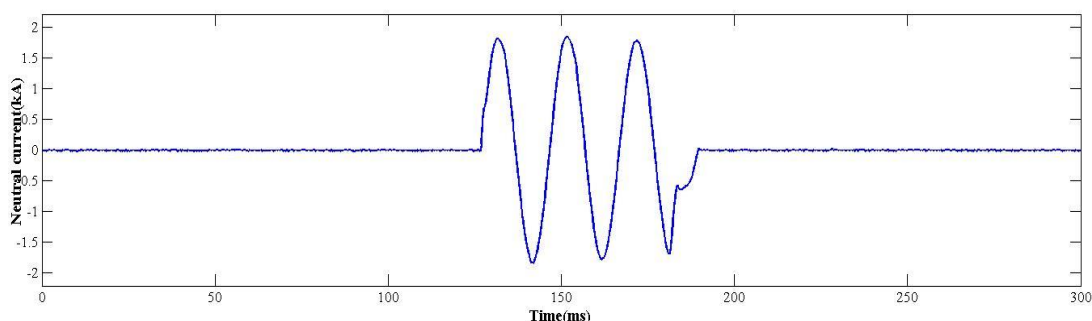
IEC standard ได้ระบุไว้ว่า ค่าแรงดันตกชั่วขณะ สามารถสื่อได้สองลักษณะคือ ค่าส่วนที่เหลืออยู่ กับ ค่าของส่วนที่ลดลง โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทางผู้เขียนได้สื่อถึงค่าของส่วนที่ลดลงของแรงดันตามมาตรฐาน IEC 61000-2-8

สาเหตุของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ

โดยทั่วไปแล้วระบบส่งไฟฟ้าจะมีค่าอิมพีแดนซ์ของสายค่าหนึ่ง ทุกครั้งที่มีการเพิ่มขึ้นของกระแสไหลด้อย่อมทำให้เกิดการลดลงของแรงดัน เมื่อค่าของกระแสไหลเพิ่มขึ้นหรือค่าอิมพีแดนซ์มีค่าสูงขึ้น ค่าแรงดันตกชั่วขณะจะมีค่าของขนาดที่ลดลงมากขึ้นตามไปด้วย โดยสาเหตุที่พบมากที่สุดเกิดจากการเพิ่มของกระแสอย่างทันทีทันใดมากกว่าการเพิ่มขึ้นของค่าอิมพีแดนซ์ในระบบ

2.4.2 กระแสนิวทรัล

ค่ากระแสนิวทรัล คือค่ารวมของกระแสลัดวงจรทั้งสามเฟสที่ผ่านลงดิน ในสภาวะปกติระบบส่งจะอยู่ในสภาวะสมดุลทั้งสามเฟสและไม่มีฮาร์โมนิกส์ ค่ากระแสรวมทั้งสามเฟสจะเป็นศูนย์หรือใกล้เคียงศูนย์ แต่ในสภาวะที่เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบที่กระแสสามารถไหลผ่านลงสู่พื้นดินได้จะทำให้เกิดความไม่สมดุลขึ้นในระบบและมีค่ากระแสนิวทรัลเพิ่มขึ้นแบบทันทีทันใดซึ่งเป็นอีกสาเหตุหลักสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดแรงดันตกค้างที่กล่าวมาข้างต้น ปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้ค่าขนาดของกระแสนิวทรัลขณะที่เกิดความผิดปกติขึ้นนั้นมีค่าสูง คือ ตำแหน่งมุมแทรกบนลูกคลื่นซึ่งทางผู้เขียนจะนำเสนอในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 5 ตัวอย่างกระแสนิวทรัลขณะที่เกิดความผิดปกติ

2.4.3 ตำแหน่งมุมที่เกิดความผิดปกติ

ตำแหน่งมุมที่เกิดความผิดปกติถูกแบ่งออกเป็นสองช่วงหลักคือใกล้กับยอดคลื่น และ ไกลจากยอดคลื่น ซึ่งช่วงใกล้กับยอดคลื่นจะอยู่ในช่วงระหว่าง 75 ถึง 105 องศา และ ช่วงไกลจากยอดคลื่นเท่ากับ 0 ถึง 75 องศา และ ตั้งแต่ 105 ถึง 180 องศา จากทฤษฎีแล้วตำแหน่งมุมที่เกิดความผิดปกติส่งผลกระทบต่อค่าของกระแสนิวทรัลและความรุนแรงต่อระบบส่ง โดยตำแหน่งมุมที่เกิดความผิดปกติที่เกิดใกล้กับค่ายอดจะมีค่าของกระแสนิวทรัลและผลกระทบต่อระบบส่งมากกว่าความผิดปกติที่มีตำแหน่งมุมที่เกิดความผิดปกติไกลค่าจุดยอด

2.4.4 ค่าอิมพีแดนซ์ในระบบส่ง

ค่าอิมพีแดนซ์ คือค่ารวมทั้งหมดที่ต้านกระแสในระบบ หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นสิ่งทั้งหมดในวงจรที่ขวางการไหลของกระแส มีความคล้ายคลึงกับความต้านทานหากแต่ต้องคำนึงถึงผลกระทบของความจุและการเหนี่ยวนำด้วย จากที่กล่าวไว้ในหัวข้อสาเหตุของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ระบบส่งไฟฟ้าจะมีค่าอิมพีแดนซ์ของสายค่าหนึ่งเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นจะมีค่าอิมพีแดนซ์ที่เปลี่ยนไป

2.8 การรู้จำแบบที่ไม่ต้องอาศัยการเรียนรู้

การรู้จำชนิดนี้ มีความสามารถในการจำแนกเหตุการณ์ความผิดพลาดโดยใช้ลักษณะเด่นต่างๆ โดยไม่ใช้ข้อมูลสำหรับขั้นตอนการเรียนรู้ การจำแนกจะแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ โดยเหตุการณ์ที่มีลักษณะเด่นคล้ายคลึงกันจะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน

ยกตัวอย่างงานวิจัยในอดีตของมาเลเซียที่ได้มีการนำการรู้จำรูปแบบโดยการตัดสินใจแบบแบ่งกลุ่มเพื่อจำแนกเหตุการณ์ฟ้าผ่า และต้นไม้ โดยสกัดลักษณะเด่นจากค่าแรงดันตกชั่วขณะ และอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า[6]

2.9 การจำแนกด้วยการตัดสินใจแบบต้นไม้

การตัดสินใจแบบต้นไม้ (Decision Tree) เป็นการเรียนรู้โดยการจำแนกประเภทข้อมูล ออกเป็นกลุ่มต่างๆ โดยใช้คุณลักษณะข้อมูลในการจำแนกประเภท ต้นไม้ตัดสินใจที่ได้จากการเรียนรู้ ทำให้ทราบว่า คุณลักษณะใดเป็นตัวกำหนดการจำแนกประเภท และคุณลักษณะแต่ละตัวมีความสำคัญมากน้อยต่างกันอย่างไร[9, 10]

2.9.1 ส่วนประกอบของผลลัพธ์ของการตัดสินใจแบบต้นไม้

โนดภายใน (internal node) คือ คุณลักษณะของข้อมูล โดยโนดภายในที่เป็นจุดเริ่มต้นของต้นไม้ เรียกว่า โนดราก ใช้คุณลักษณะนี้เป็นตัวตัดสินใจว่าข้อมูลจะไปในทิศทางใด

กิ่ง (branch, link) เป็นค่าของคุณลักษณะในโนดภายในที่แตกกิ่งออกมา โนดภายในจะแตกกิ่งเท่ากับจำนวนค่าของคุณลักษณะในโนดภายในนั้น

โนดใบ (leaf node) คือกลุ่มต่างๆ ซึ่งเป็นผลลัพธ์ในการจำแนกประเภทข้อมูล

2.9.2 ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณา

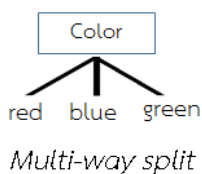
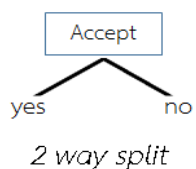
รูปแบบการแบ่งคุณลักษณะ(feature)

- Nominal Attribution (แบ่งเป็นกลุ่ม)
- Ordinal Attribution (แบ่งเป็นกลุ่มโดยมีการเรียงลำดับของกลุ่ม)
- Continuous Attribution (เป็นข้อมูลที่มีความต่อเนื่องกัน)

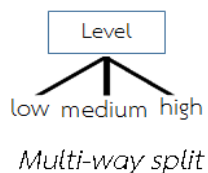
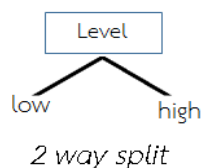
จำนวนของทางที่จะแยก

- 2 way split (Binary split)
- Multi-way split

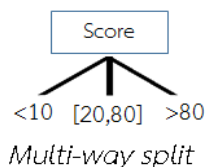
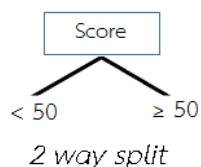
- Normal Attribution



- Ordinal Attribution



- Continuous Attribution



รูปที่ 6 ตัวอย่างแสดงการแบ่งคุณลักษณะ

2.10 การคัดเลือกคุณลักษณะด้วยค่า Information Gain และ Entropy

ในการจำแนกประเภทข้อมูลที่มีจำนวนคุณลักษณะมาก เช่น การจำแนกประเภทข้อความ ทักษะคือออกเป็นเชิงบวก หรือ เชิงลบนั้น ข้อความต่างๆที่ใช้เป็นคุณลักษณะอาจจะมีจำนวนมาก ซึ่งคุณลักษณะเหล่านี้บางอันก็ไม่ได้มีความสำคัญในการแบ่งแยกคลาส ออกเป็นเชิงบวกหรือเชิงลบได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการคัดเลือกคุณลักษณะที่สำคัญมาใช้งาน ขั้นตอนนี้เรียกว่าการคัดเลือกคุณลักษณะ ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้ค่าน้ำหนักซึ่งอาจจะเป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละคุณลักษณะและคลาสต่างๆ และจะเลือกคุณลักษณะโดยเรียงลำดับตามค่าน้ำหนักที่คำนวณได้แล้ว เลือกคุณลักษณะที่มีค่าน้ำหนักมากกว่าที่ต้องการมาใช้งานต่อไป ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะด้วยค่า Information Gain

จะใช้วิธีการคัดเลือกลักษณะด้วยค่า information gain และค่า entropy เป็นตัวประกอบการตัดสินใจ ประยุกต์กับการใช้ 5-fold cross validation test ในการสร้างเงื่อนไขและทดสอบประสิทธิภาพของการตัดสินใจ

2.10.1 Information Gain

ค่าดัชนีของข้อมูลที่เป็นลักษณะเด่นโดยใช้ค่าentropyเป็นตัวชี้วัด จะเลือกใช้จากค่ามากที่สุด

$$\text{InformationGain} = \text{Entropy}(\text{initial}) - [P(c_1) \times \text{Entropy}(c_1) + P(c_2) \times \text{Entropy}(c_2) + \dots] \quad (1)$$

2.10.2 Entropy

ค่าความยุ่งเหยิงของข้อมูล มีค่าตั้งแต่0-1 โดยใช้ค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์นั้นๆเป็นตัวแปรหลักในการคำนวณดังสมการที่

$$\text{Entropy}(c_i) = -P(c_i) \log_2 P(c_i) \quad (2)$$

โดย $P(c_i)$ = ค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ c_i

ถ้าค่าentropyต่ำหรือใกล้เคียงศูนย์แสดงว่าคุณลักษณะนั้นมีความใกล้เคียงกันแต่หากมีค่าentropyสูงหรือใกล้เคียงหนึ่งแสดงว่าคุณลักษณะมีความยุ่งเหยิงไม่เหมาะแก่การใช้ในการคัดเลือกคุณลักษณะ ดังนั้นหากยังมีค่าentropyของแต่ละเหตุการณ์ใกล้เคียงศูนย์มากเท่าไรก็จะมีค่าinformation gain มากขึ้นเท่านั้น เพื่อเพิ่มเติมความเข้าใจเกี่ยวกับการคัดเลือกคุณลักษณะด้วยค่าinformation gain วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำตัวอย่างการคัดเลือกคุณลักษณะด้วยค่าinformation gain จากงานวิจัยในอดีตมานำเสนอ[11]

ตารางที่1 แสดงผลการบันทึกตลอด14วันของการตัดสินใจจัดแข่งขันกีฬาตามสภาพภูมิอากาศ โดยสภาพภูมิอากาศที่ใช้มีทั้งหมด4ลักษณะ

Outlook = สภาพแวดล้อมมี3ค่า sunny, overcast และ rainy

Temperature = อุณหภูมิมี3ค่า hot, cool และ mild

Humidity = ความชื้นมี2ค่า high และ normal

Windy = ลมแรงหรือไม่มี2ค่า True และ False

และมี 1 ผลการตัดสินใจ

Play = เล่นหรือไม่มี2ผลลัพธ์ Yes และ No

ตารางที่1 ข้อมูลบันทึก14วันในการตัดสินใจว่าจะมีการจัดแข่งกีฬาหรือไม่

ID	Outlook	Temperature	Humidity	Windy	Play
1	Sunny	Hot	High	False	No
2	Sunny	Hot	High	True	No
3	Overcast	Hot	High	False	Yes
4	Rainy	Mild	High	False	Yes
5	Rainy	Cool	Normal	False	Yes
6	Rainy	Cool	Normal	True	No
7	Overcast	Cool	Normal	True	Yes
8	Sunny	Mild	High	False	No
9	Sunny	Cool	Normal	False	Yes
10	Rainy	Mild	Normal	False	Yes
11	Sunny	Mild	Normal	True	Yes
12	Overcast	Mild	High	True	Yes
13	Overcast	Hot	Normal	False	Yes
14	Rainy	Mild	High	True	No

มีขั้นตอนในการหาค่า information gain มีดังนี้

1. การคำนวณค่า entropy เริ่มต้น (entropy(initial))

$$\begin{aligned}
 \text{Entropy(initial)} &= -P(\text{Play=yes}) \cdot \log_2(\text{yes}) - P(\text{Play=no}) \cdot \log_2(\text{no}) \\
 &= -(9/14) \cdot \log_2(9/14) - (5/14) \cdot \log_2(5/14) \\
 &= 0.94
 \end{aligned}$$

2. การคำนวณค่า information gain ของแต่ละคุณลักษณะ

2.1 ค่า entropy ของคุณลักษณะ Outlook

Outlook มีทั้งหมด 3ผลลัพธ์ Overcast, Sunny, Rainy → Entropy 3 ค่า

- Entropy (Overcast)
- Entropy (Sunny)
- Entropy (Rainy)

ตารางที่ 2 Outlook ของ 14 วันที่บันทึกการจัดแข่งขันกีฬา

ID	Outlook	Play
3	Overcast	Yes
7	Overcast	Yes
12	Overcast	Yes
13	Overcast	Yes

ID	Outlook	Play
1	Sunny	No
2	Sunny	No
8	Sunny	No
9	Sunny	Yes
11	Sunny	Yes

ID	Outlook	Play
4	Rainy	Yes
5	Rainy	Yes
6	Rainy	No
10	Rainy	Yes
14	Rainy	No

$$\begin{aligned}
 2.1.1 \text{ Entropy (Overcast)} &= -P(\text{Play=yes}) \cdot \log_2(\text{yes}) - P(\text{Play=no}) \cdot \log_2(\text{no}) \\
 &= - (4/4) \cdot \log_2(4/4) - (0/4) \cdot \log_2(0/4) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2.1.2 \text{ Entropy (Sunny)} &= -P(\text{Play=yes}) \cdot \log_2(\text{yes}) - P(\text{Play=no}) \cdot \log_2(\text{no}) \\
 &= - (2/5) \cdot \log_2(2/5) - (3/5) \cdot \log_2(3/5) \\
 &= 0.97
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2.1.3 \text{ Entropy (Rainy)} &= -P(\text{Play=yes}) \cdot \log_2(\text{yes}) - P(\text{Play=no}) \cdot \log_2(\text{no}) \\
 &= - (3/5) \cdot \log_2(3/5) - (2/5) \cdot \log_2(2/5) \\
 &= 0.97
 \end{aligned}$$

2.2 ค่า Information Gain ของ Outlook

$$\begin{aligned}
 \text{Information Gain(Overcast)} &= \text{Entropy(initial)} - [P(\text{overcast}) \cdot \text{Entropy(overcast)} + \\
 &\quad P(\text{rainy}) \cdot \text{Entropy(rainy)} + P(\text{sunny}) \cdot \text{Entropy(sunny)}] \\
 &= 0.94 - [0.29 \cdot 0 + 0.36 \cdot 0.97 + 0.36 \cdot 0.97] \\
 &= 0.25
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ จะเห็นได้ว่าถ้าคุณลักษณะของ outlook เป็น overcast ทุกครั้งจะถูกสั่นสนใจให้จัดแข่งขันกีฬาทุกครั้ง ข้อมูลเด่นชัดทำให้มีค่า entropy เท่ากับศูนย์ในทางกลับกันหาก outlook มีผลออกมาเป็น sunny หรือ rainy จะมีความน่าจะเป็นที่จะจัดการแข่งขันและไม่จัดการแข่งขันใกล้เคียงกัน แสดงถึงความยุ่งเหยิงของข้อมูลจึงทำให้ค่า entropy มีค่าสูง ใกล้เคียง 1

จากตัวอย่างวิธีการคำนวณค่า entropy และ information gain ของคุณลักษณะ outlook ข้างต้นทำให้สามารถหาค่า information gain ของคุณลักษณะของ temperature, humidity และ windy ได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3 โดยเรียงลำดับจากค่า information gain มากที่สุดไปยังน้อยที่สุด

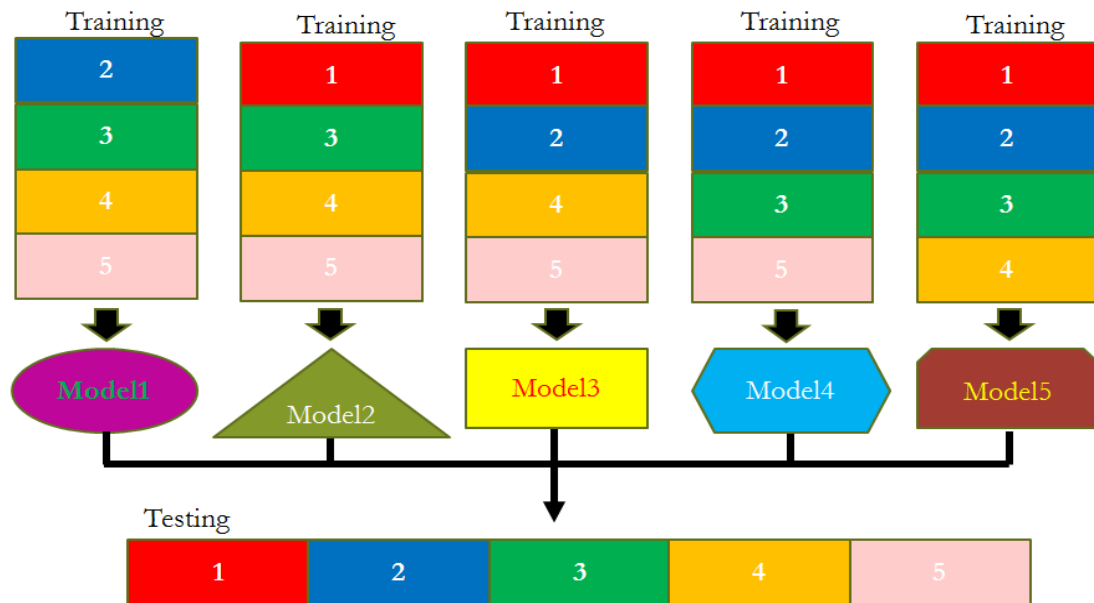
ตารางที่ 3 เรียงลำดับค่า information gain ของทั้ง 4 คุณลักษณะ

คุณลักษณะ	Information Gain
Outlook	0.25
Humidity	0.16
Windy	0.05
Temperature	0.03

หมายเหตุในการเลือกใช้คุณลักษณะนั้นเราจะเลือกใช้จากคุณลักษณะที่มีค่า information gain มากที่สุดและมีค่า entropy น้อยที่สุด

2.11 5-Fold Cross Validation Test

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเงื่อนไขการตรวจจับ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกใช้วิธีทดสอบแบบ 5-fold cross-validation test วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมในการทำงานวิจัย เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของการสร้างเงื่อนไขเนื่องจากผลที่ได้มีความน่าเชื่อถือ โดยทั่วไปแล้ว 5-fold cross validation test คือการแบ่งข้อมูลเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลโดยแบ่งข้อมูลจากแต่ละเหตุการณ์ความผิดพลาดออกเป็น 5 ส่วนๆ ละเท่าๆ กัน แล้วนำข้อมูลส่วนหนึ่งออกมาเพื่อใช้เป็นตัวทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลจนครบทั้ง 5 รอบ แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งข้อมูลของแต่ละชนิดเหตุการณ์ความผิดพลาดออกเป็น 5 ส่วนๆ ละเท่าๆ กันแล้วนำข้อมูล 1 ส่วนออกจากข้อมูลที่เหลือเพื่อหาค่า information gain และค่า entropy ของแต่ละลักษณะเด่นเพื่อที่จะสร้างโมเดลเงื่อนไขที่ 1 ทำซ้ำจนครบทั้งหมด 5 รอบ จะได้ 5 โมเดลเงื่อนไขที่มีค่า information gain และ entropy ของแต่ละโมเดลเงื่อนไขแตกต่างกัน แล้วนำมาทดสอบกับ 90 เหตุการณ์ความผิดพลาดเพื่อทดสอบเปรียบเทียบว่าโมเดลเงื่อนไขใดมีประสิทธิภาพสูงที่สุดดังแสดงไว้ในรูปที่ 8



รูปที่ 8 รายละเอียดการสร้างและทดสอบเงื่อนไขด้วย 5 fold cross validation

จากรูปจะเห็นว่าข้อมูลที่ใช้ในการสร้างเงื่อนไข (training) แต่ครั้งนั้นจะมีข้อมูลที่แตกต่างกัน ทำให้ได้โมเดลเงื่อนไขแตกต่างกันออกไปตามค่าของ information gain และค่า entropy ของแต่ละรอบของข้อมูลทดสอบ (training)

รอบที่ 1 ใช้ข้อมูลส่วนที่ 2, 3, 4, 5 สร้างเงื่อนไข และทำการทดสอบด้วยข้อมูลส่วนที่ 1-5

รอบที่ 2 ใช้ข้อมูลส่วนที่ 1, 3, 4, 5 สร้างเงื่อนไข และทำการทดสอบด้วยข้อมูลส่วนที่ 1-5

รอบที่ 3 ใช้ข้อมูลส่วนที่ 1, 2, 4, 5 สร้างเงื่อนไข และทำการทดสอบด้วยข้อมูลส่วนที่ 1-5

รอบที่ 4 ใช้ข้อมูลส่วนที่ 1, 2, 3, 5 สร้างเงื่อนไข และทำการทดสอบด้วยข้อมูลส่วนที่ 1-5

รอบที่ 5 ใช้ข้อมูลส่วนที่ 1, 2, 3, 4 สร้างเงื่อนไข และทำการทดสอบด้วยข้อมูลส่วนที่ 1-5

2.12 การกระจายตัวของข้อมูลทดสอบ

2.12.1 การกระจายตัวแบบปกติ

การกระจายตัวแบบนี้ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงจำนวนข้อมูล

$$\bar{X} \sim N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n}\right) \quad (3)$$

2.12.2 การกระจายแบบไม่ปกติ

การกระจายตัวแบบนี้ไม่ว่าจะเป็นแบบ Poisson หรือ Binomial หากมีจำนวนข้อมูลทดสอบมากพอ ($n \geq 30$) จะสามารถประมาณเป็นการกระจายแบบปกติได้เช่นกัน [13, 14]

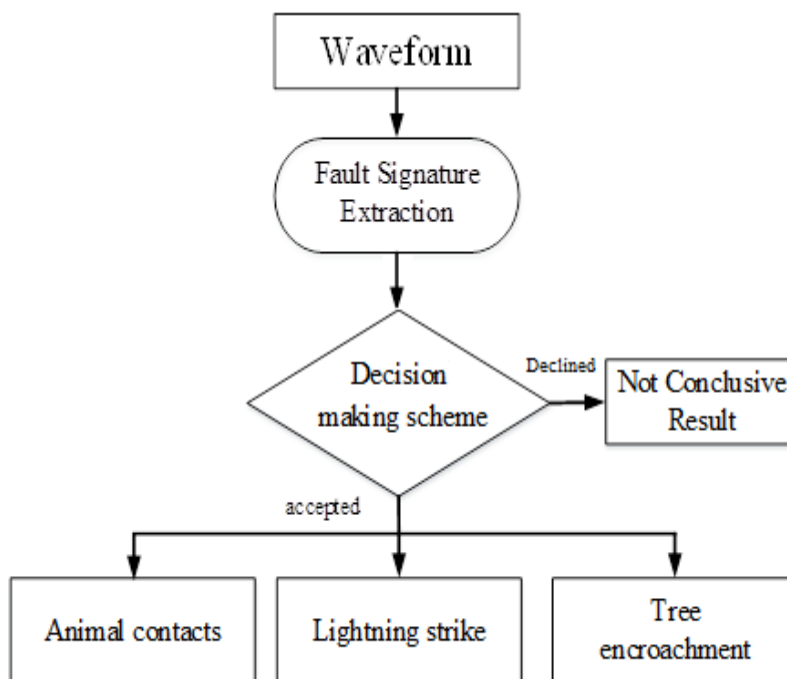
$$\bar{X} \sim N\left(E(x), \frac{\text{var}(X)}{n}\right) \quad (4)$$

ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นเพื่อให้จำนวนข้อมูลทดสอบของแต่ละชนิดความผิดพลาดมากที่สุดเพียงพอ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงใช้ข้อมูลในการทดสอบของแต่ละเหตุการณ์ความผิดพลาด ชนิดละ 35 เหตุการณ์ รวม 105 เหตุการณ์ เพื่อหลีกเลี่ยงการกระจายแบบไม่ปกติและทำให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกัน โดยแบ่ง 90 เหตุการณ์แรกเพื่อเก็บข้อมูลในการกำหนดเงื่อนไขและทดสอบการจำแนกความผิดพลาด และอีก 15 เหตุการณ์เพื่อใช้เป็นข้อมูลทดสอบยืนยันประสิทธิภาพ

บทที่ 3

การวิเคราะห์ลักษณะเด่นของเหตุการณ์ความผิดปกติในระบบไฟฟ้า

3.1 ขั้นตอนการจำแนกเหตุการณ์ความผิดปกติ



รูปที่ 7 แสดงลำดับขั้นตอนการจำแนกความผิดปกติ

จากรูปเมื่อรูปคลื่นแรงดันและกระแสซึ่งถูกบันทึกโดยเครื่องบันทึกความผิดปกติแบบดิจิทัลได้เข้ามาสู่กระบวนการสกัดลักษณะเด่นซึ่งประกอบไปด้วย 8 ตัวแปร ได้แก่ แรงดันตกชั่วขณะ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสนิวทรัล ค่าอิมพีแดนซ์ความผิดปกติ ตำแหน่งมุมที่เกิดความผิดปกติ อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน ค่าสูงสุดกระแสนิวทรัล ความผิดปกติแบบชั่วคราวและความผิดปกติแบบถาวร และชนิดความผิดปกติ จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการตัดสินใจเพื่อทำการจำแนกชนิดของเหตุการณ์ความผิดปกติโดยใช้วิธีการสร้างเงื่อนไขจาก 5 fold cross validation test และการคัดเลือกลักษณะเด่นด้วยค่า Information gain กับค่า entropy

3.3 ลักษณะเด่นที่นำมาใช้พิจารณา

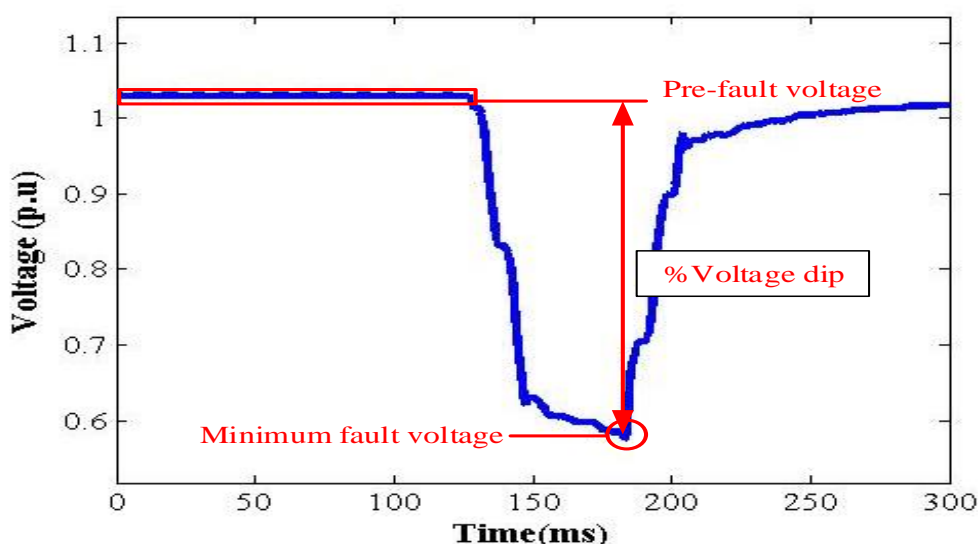
ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ 8 ลักษณะเด่นเพื่อสร้างโมเดลเงื่อนไขในการจำแนกความผิดปกติ

3.3.1 ค่าแรงดันตกชั่วขณะ

รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างค่าประสิทธิผล(rms)ของรูปคลื่นแรงดันบัสในหน่วย per unit ขณะที่เกิดความผิดปกติจากฟ้าผ่า โดยค่าแรงดันตกชั่วขณะคำนวณจากค่าความแตกต่างของแรงดันบัสในเวลาปกติกับค่าแรงดันบัสขณะที่เกิดความผิดปกติสามารถคำนวณดังสมการที่ 1 [6]

$$\text{Voltage dip} = \frac{V_p - V_{f, \min}}{V_p} \times 100\% \quad (5)$$

V_p ค่าแรงดันก่อนความผิดปกติ
 $V_{f, \min}$ ค่าแรงดันต่ำสุดระหว่างที่เกิดความผิดปกติ



รูปที่ 8 ตัวอย่างค่าประสิทธิผลของรูปคลื่นแรงดันบัสในหน่วย per unit ที่มีค่าแรงดันตกชั่วขณะเท่ากับ 45.63%

3.3.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าของกระแส (λ)

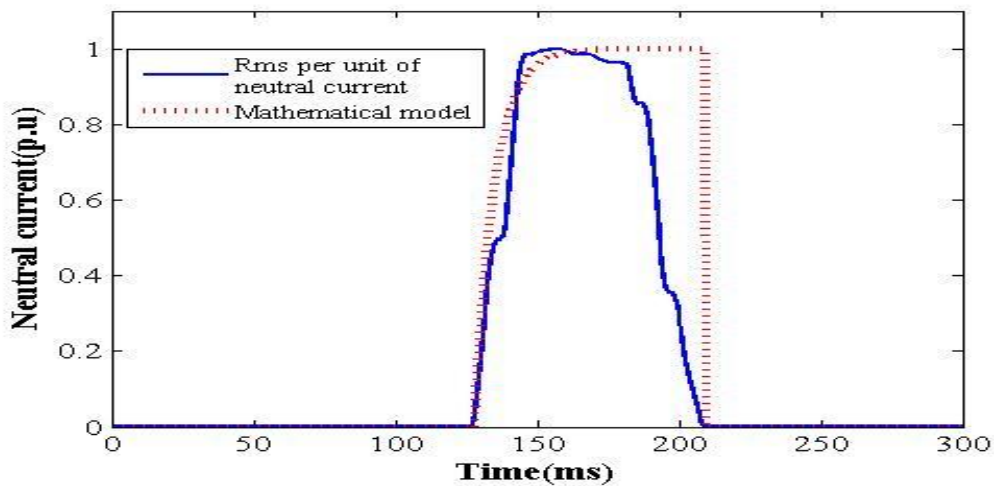
ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้รูปคลื่นกระแสนิวทรัลในการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่เพิ่มขึ้นขณะที่เกิดความผิดปกติ โดยรูปที่ 8 แสดงตัวอย่างค่าประสิทธิผลของรูปคลื่นกระแสนิวทรัลที่เกิดจากความผิดปกติที่เกิดจากฟ้าผ่าในหน่วย per unit

จากงานวิจัยในอดีตพบว่าช่วงหน้าคลื่นของค่าค่าประสิทธิผล(rms)ของรูปคลื่นกระแสนิวทรัลมีลักษณะเป็นสมการเส้นโค้งเอ็กซ์โพเนนเชียล ดังนั้นเราสามารถประมาณรูปร่างของรูปคลื่นกระแส

นิวทรัลได้ด้วยการใช้ค่าความชันของสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล (2) รูปที่ 9 เปรียบเทียบรูปคลื่นจำลองที่สร้างจากการคำนวณของสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล $\lambda = 0.144$ p.u/ms กับ ค่าประสิทธิผลของรูปคลื่นกระแสนิวทรัลจริง[6]

$$I_n(t, \lambda) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (6)$$

- $I_n(t, \lambda)$ ค่าประสิทธิผลของกระแสนิวทรัลในหน่วย per unit ทุกๆมิลลิวินาทีที่ค่าความชัน “ λ ”
 T เวลา ในหน่วย มิลลิวินาที
 λ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสนิวทรัล ในหน่วย p.u/ms



รูปที่ 9 เปรียบเทียบรูปคลื่นจำลอง λ กับรูปคลื่นค่ารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของรูปคลื่นกระแสนิวทรัล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

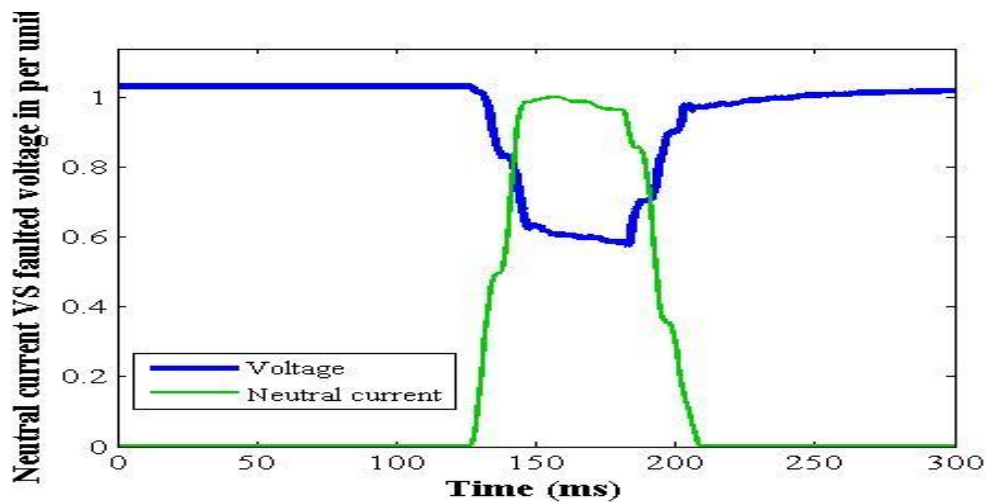
3.3.3 ค่าอิมพีแดนซ์ของความผิดพลาด

ความผิดพลาด สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ ได้แก่ ความผิดพลาดลงดิน กับ ความผิดพลาดที่ไม่ต่อลงดิน ซึ่ง 2 สาเหตุความผิดพลาดนี้จะมีวิธีการหาค่าอิมพีแดนซ์ที่แตกต่างกัน[7, 15]

ค่าอิมพีแดนซ์ของความผิดพลาดที่ต่อลงดิน ได้แก่ ความผิดพลาดแบบ single line to ground, double line to ground และ 3 phase fault 3 สาเหตุนี้จะมีค่าของกระแสที่ไหลลงดิน(มีค่ากระแสนิวทรัล) ดังนั้นค่าอิมพีแดนซ์ของความผิดพลาดจึงสามารถหาได้จากค่าต่ำสุดสัมบูรณ์ของผลหารระหว่างแรงดันบัสกับค่ากระแสนิวทรัลช่วงที่เกิดความผิดพลาดดังแสดงในสมการที่ 3 ค่าอิมพีแดนซ์ความผิดพลาดถูกเลือกเป็นค่าที่ต่ำที่สุดเพื่อที่จะทำให้สอดคล้องกับ เงื่อนไขความผิดพลาดที่แย่ที่สุดระหว่างที่เกิดความผิดพลาด ซึ่งเป็นช่วงที่แรงดันของเฟสที่เกิดความผิดพลาดมีค่าแรงดันตกมากที่สุด

$$Z_{fault} = \min \left(\frac{|V_i|}{|I_{ni}|} \right) \quad (7)$$

Z_{fault}	ค่าอิมพีแดนซ์ความผิดพลาด.
i	ตำแหน่ง sampling รูปคลื่นกระแส/แรงดัน
$ V_i $	ขนาดของแรงดันบัสที่ตำแหน่ง sampling ' i.'
$ I_{ni} $	ขนาดของกระแสนิวทรัลที่ตำแหน่ง sampling ' i.'



รูปที่ 10 รูปคลื่นขณะที่เกิดความผิดพลาดของแรงดันและกระแสนิวทรัล

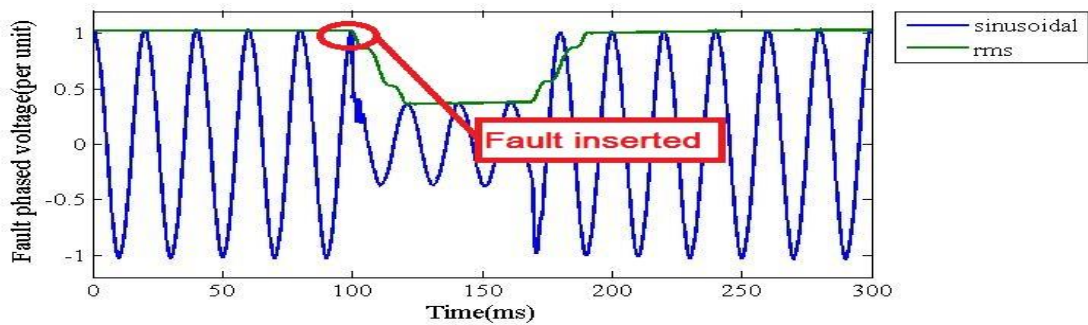
ค่าอิมพีแดนซ์ของความผิดพลาดที่ไม่ต่อลงดิน ได้แก่ ความผิดพลาดแบบ line to line fault สาเหตุนี้จะไม่มีการไหลลงดิน(มีค่ากระแสนิวทรัลใกล้เคียงศูนย์) ดังนั้นค่าอิมพีแดนซ์ของความผิดพลาดจึงสามารถหาได้จากค่าต่ำสุดสัมบูรณ์ของผลหารระหว่างแรงดันระหว่างบัสที่เกิดความผิดพลาดกับค่ากระแสเฟสที่ได้รับผลกระทบช่วงที่เกิดความผิดพลาดดังแสดงในสมการที่ 4 ค่าอิมพีแดนซ์ความผิดพลาดถูกเลือกเป็นค่าที่ต่ำที่สุดเพื่อที่จะทำให้สอดคล้องกับเงื่อนไขความผิดพลาดที่แย่ที่สุดระหว่างที่เกิดความผิดพลาด ซึ่งเป็นช่วงที่แรงดันของเฟสที่เกิดความผิดพลาดมีค่าแรงดันตกมากที่สุด

$$Z_{fault} = \min \left(\frac{|V_{a_i} - V_{b_i}|}{|I_{a_i}|} \right) \quad (8)$$

$ V_{a_i} - V_{b_i} $	ขนาดของแรงดันระหว่างบัสที่ตำแหน่ง sampling ' i.'
$ I_{a_i} $	ขนาดของกระแสที่ได้รับผลกระทบที่ตำแหน่ง sampling ' i.'

3.3.4 ตำแหน่งมุมที่เกิดความผิดพลาด

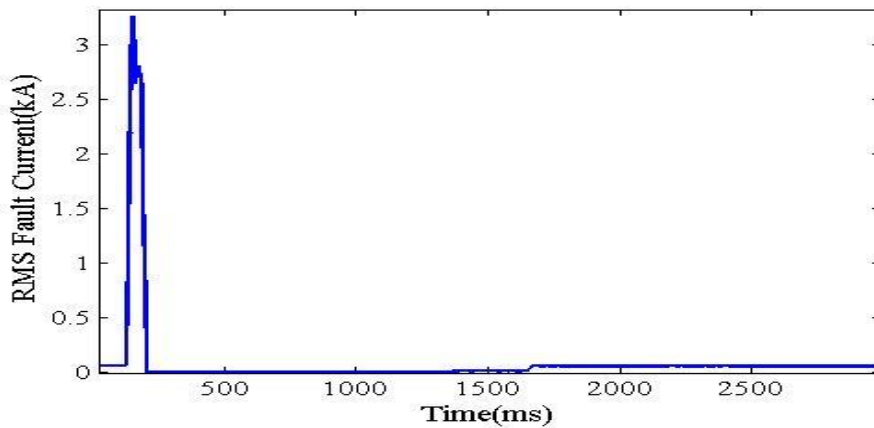
รูปที่ 11 แสดงตำแหน่งของรูปคลื่นแรงดันที่พุ่งตกขณะที่เกิดความผิดพลาดบน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ค่าประสิทธิภาพของรูปคลื่นแรงดันขณะที่เริ่มตกในการหาตำแหน่งมุมที่เกิดความผิดพลาด โดยพิจารณาค่าที่เก็บจะอยู่ในช่วงระหว่าง ± 180 องศา



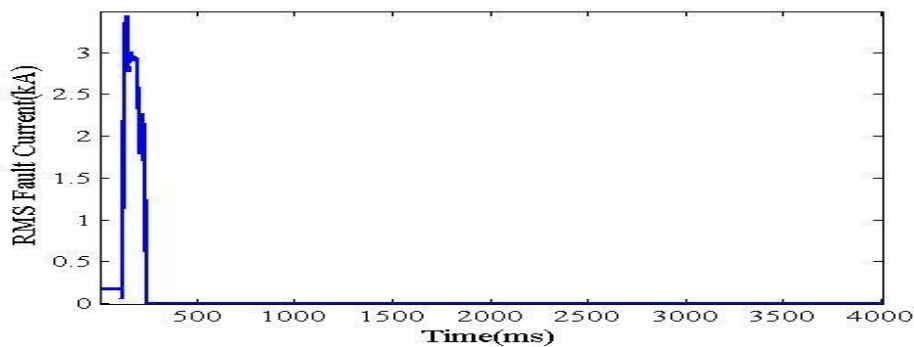
รูปที่ 11 ตัวอย่างแสดงตำแหน่งมุมที่เกิดความผิดพลาด

3.3.5 ความผิดพลาดแบบชั่วคราวและความผิดพลาดแบบถาวร

ความผิดพลาดขึ้นในระบบดังแสดงในรูปที่ 13 และ 14 แสดงตัวอย่างของรูปคลื่นกระแสเมื่อเกิดความผิดพลาดแบบถาวรและชั่วคราว ตามลำดับ



รูปที่ 12 ตัวอย่างความผิดพลาดแบบชั่วคราว(มีการจ่ายกระแสกลับคืนสู่ระบบ)



รูปที่ 13 ตัวอย่างความผิดพลาดแบบชั่วคราว(ไม่มีการจ่ายกระแสกลับคืนสู่ระบบ)

3.3.6 อัตราการเปลี่ยนแปลงของความดัน

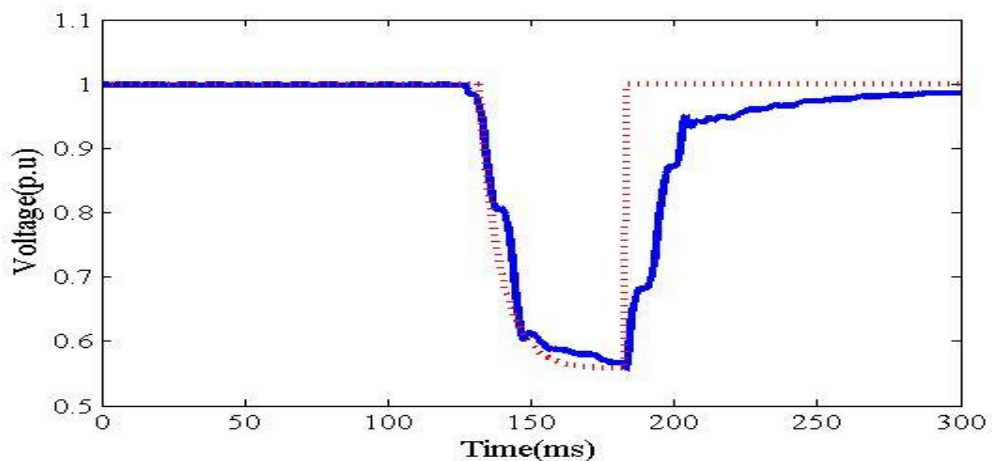
ขณะที่เกิดความผิดปกติของแรงดันจะลดลง อัตราการลดลงของแรงดันสามารถหาได้จาก รูปคลื่นค่าประสิทธิผล (rms) ของแรงดันเฟสที่ได้รับผลกระทบ จากการศึกษาที่ผ่านมาผู้วิจัยพบว่า รูปคลื่นแรงดันrmsมักมีรูปร่างที่คล้ายกับรูปโค้งเอ็กซ์โพเนนเชียล รูปที่ 15 จะแสดงการเปรียบเทียบ ระหว่างรูปคลื่น rms ของแรงดันเฟสที่ได้รับผลกระทบเปรียบเทียบกับ รูปคลื่นจำลองการเกิด ความผิดปกติที่สร้างจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันจากสมการที่(4)

$$V_f(t, \beta) = V_{f,\min} - V_{\text{dip}} e^{\beta t} \quad (9)$$

$V_f(t, \beta)$ ค่าประสิทธิผลของแรงดันในหน่วย per unit ทุกๆมิลลิวินาทีที่ค่าความชัน “ β ”

t เวลา ในหน่วย มิลลิวินาที

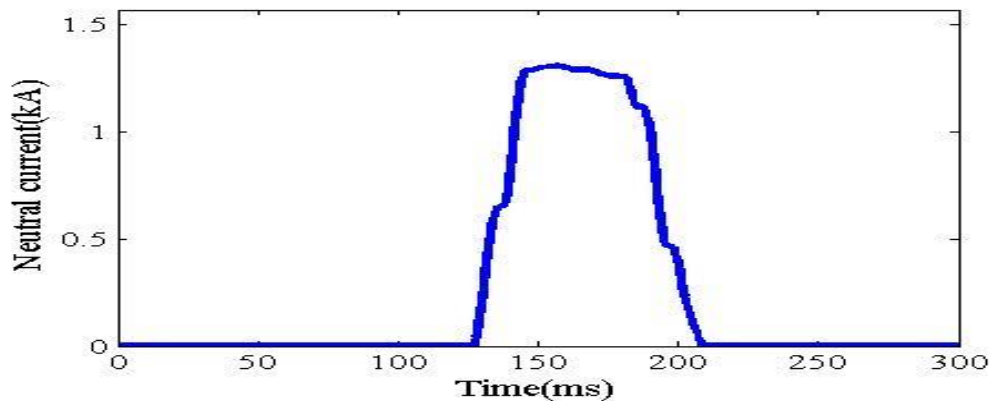
β อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันขณะเกิดความผิดปกติในหน่วย p.u/ms



รูปที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบรูปคลื่นแรงดันขณะเกิดความผิดปกติกับรูปคลื่นจำลองจากสมการ4

3.3.7 ค่าของกระแสนิวทรัล

กระแสนิวทรัลที่เมื่ออยู่ในสภาวะปกติจะมีค่าเท่ากับศูนย์หรือใกล้เคียงศูนย์เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรไหลผ่านลงดินค่าของกระแสนิวทรัลจะหลุดจากสภาวะสมดุลทำให้ค่ากระแสนิวทรัลพุ่งขึ้นสูงแต่อย่างไรก็ตามมีบางกรณีที่กระแสลัดวงจรไม่ไหลผ่านลงดินทำให้ค่าของกระแสนิวทรัลไม่เปลี่ยนจากสภาวะปกติ นั่นคือสาเหตุความผิดพลาดแบบเฟสต่อเฟส [4]



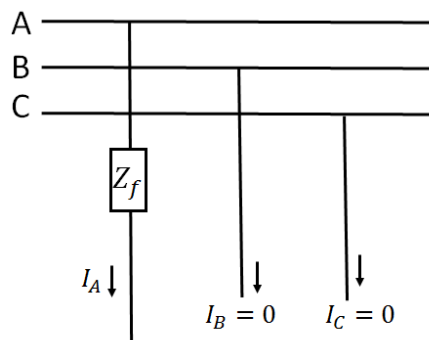
รูปที่ 15 ค่าrmsของกระแสนิวทรัลขณะที่เกิดความผิดพลาด

3.3.8 ชนิดของความผิดพลาด

ความผิดพลาดที่เกิดในระบบส่งไฟฟ้าส่งผลกระทบต่อเฟสต่างๆทั้ง 3 เฟสมีลักษณะการเกิดที่มีเอกลักษณ์และการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันไป สามารถแบ่งได้ 4 ชนิด [16, 17]

1. ความผิดพลาดแบบเฟสเดียวต่อลงดิน

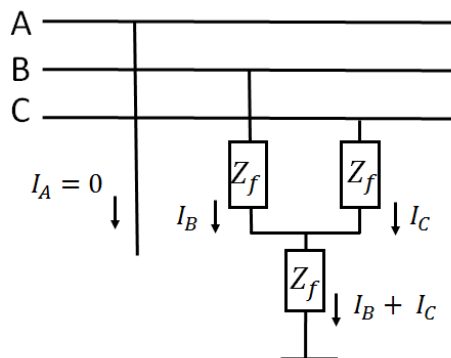
คือความผิดพลาดที่มีกระแสลัดวงจรและแรงดันตกเพียงเฟสเดียว จากรูปที่ 16 สมมติว่าเฟสที่เกิดความผิดพลาดคือ เฟส A จะสังเกตได้ว่ามีเพียงกระแสจากเฟส A เฟสเดียวที่ไหลลงดินโดยไหลผ่านอิมพีแดนซ์ขณะที่เกิดความผิดพลาดลงไป



รูปที่ 16 ตัวอย่างความผิดพลาดแบบเฟสเดียวต่อลงดิน

2. ความผิดปกติของแบบเฟสคู่ต่อลงดิน

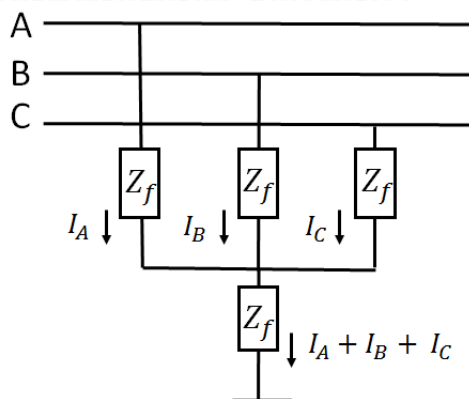
คือความผิดปกติที่มีแรงดันตก 2 เฟส และมีกระแสลัดวงจร 2 ไหลรวมกันก่อนไหลลงสู่ดิน จากรูปที่ 17 แสดงตัวอย่างกระแสลัดวงจรระหว่างที่เกิดความผิดปกติตรงเฟส B และ เฟส C จะสังเกตได้ว่ากระแสเฟส B, C ไหลผ่านอิมพีแดนซ์ความผิดปกติของแต่ละเฟสก่อนรวมกันไหลลงสู่ดิน



รูปที่ 17 ตัวอย่างความผิดปกติแบบเฟสคู่ต่อลงดิน

3. ความผิดปกติแบบสามเฟสลงดิน

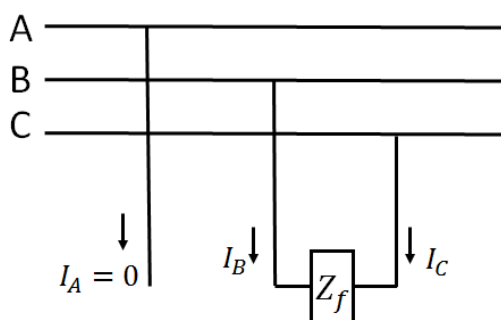
คือความผิดปกติที่มีแรงดันตกทั้ง 3 เฟส และมีกระแสลัดวงจรทั้ง 3 เฟสไหลรวมกันลงดิน จากรูปที่ 18 แสดงตัวอย่างความผิดปกติแบบสามเฟสลงดิน จะสังเกตได้ว่าจะมีกระแสลัดวงจรของแต่ละเฟสไหลผ่านอิมพีแดนซ์ความผิดปกติของแต่ละตัวแล้วรวมกันลงดิน



รูปที่ 18 ตัวอย่างความผิดปกติแบบสมดุลงดินสามเฟสลงดิน

4. ความผิดปกติแบบเฟสต่อเฟส

ความผิดปกติที่เกิดแรงดันตกและกระแสลัดวงจร 2 กระแส แต่ทั้ง 2 กระแสไม่ได้รวมกันไหลลงดินเหมือนกับความผิดปกติก่อนหน้านี้ แต่กระแสจากเฟสหนึ่งจะไหลไปอีกเฟสหนึ่งผ่านค่าอิมพีแดนซ์ความผิดปร้องค่าหนึ่งโดยที่กระแสไม่ไหลลงดิน จากรูปที่ 19 แสดงตัวอย่างความผิดปกติระหว่างเฟสB,C จะสังเกตได้ว่ากระแสลัดวงจรคือกระแสที่ไหลผ่านอิมพีแดนซ์ความผิดปร้องที่อยู่ระหว่างเฟสB,C ไม่ใช่อิมพีแดนซ์ที่อยู่ระหว่างเฟสกับดิน



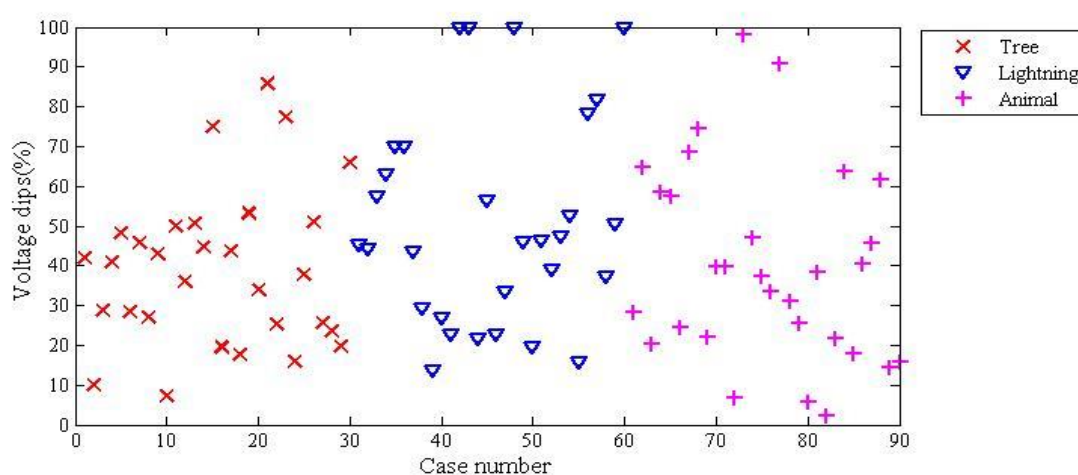
รูปที่ 19 ตัวอย่างความผิดปกติแบบเฟสต่อเฟส

บทที่ 4

การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเหตุการณ์ความผิดปกติที่บันทึกเกิดจาก DFR มา 90 เหตุการณ์โดยแบ่งเป็น ความผิดปกติที่เกิดจากฟ้าผ่า 30 เหตุการณ์ ความผิดปกติที่เกิดจากต้นไม้ 30 เหตุการณ์ และ ความผิดปกติที่เกิดจากสัตว์ 30 เหตุการณ์ โดยในหัวข้อนี้จะเสนอการวินิจฉัยและแนวทางที่จะใช้จำแนกลักษณะความผิดปกติจากแต่ละลักษณะเด่น

4.1 ค่าแรงดันตกชั่วขณะ



รูปที่ 20 แผนภูมิสถิติของค่าแรงดันตกชั่วขณะในหน่วยเปอร์เซ็นต์

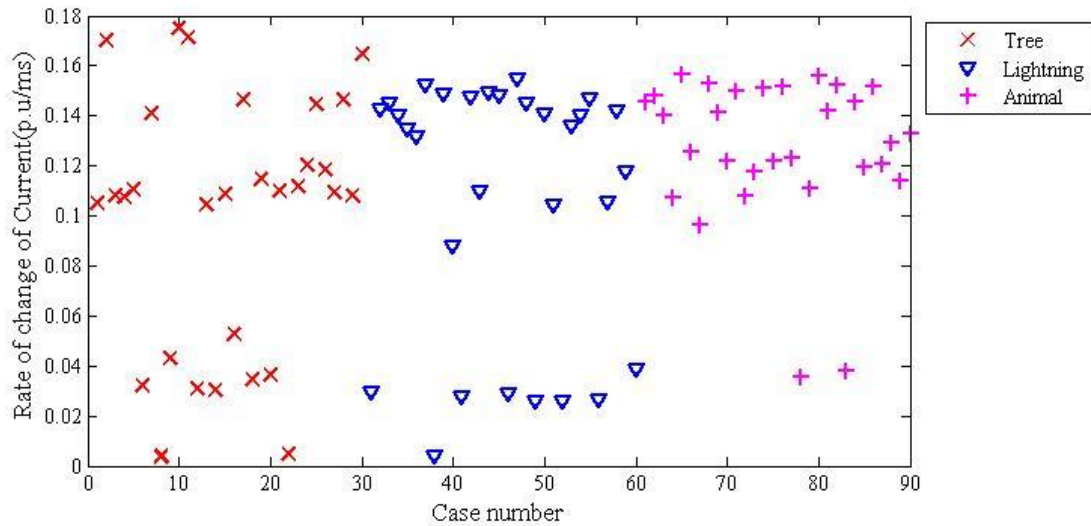
จากแผนภูมิสถิติของการเก็บค่าแรงดันตกชั่วขณะของเหตุการณ์ความผิดปกติทั้ง 90 เหตุการณ์สามารถแบ่งช่วงแรงดันตกชั่วขณะได้ออกเป็น 4 ช่วง ในตารางที่ 4 ได้ดังนี้

ตารางที่ 4 จำนวนเหตุการณ์ความผิดปกติที่เกิดในแต่ละช่วงของแรงดันตกชั่วขณะ

V_{dip} (p.u)	Tree	Lightning	Animal
$0 \leq V_{dip} < 10$	1	0	3
$10 \leq V_{dip} < 55$	25	19	18
$55 \leq V_{dip} < 90$	4	7	7
$V_{dip} \geq 90$	0	4	2

จากรูปที่ 20 และตารางที่ 1 พบว่าความผิดปกติที่เกิดจากต้นไม้และสัตว์มีแนวโน้มจะอยู่ในช่วงต่ำกว่า 55% เมื่อเปรียบเทียบกับความผิดปกติที่เกิดจากฟ้าผ่าซึ่งมีค่าแรงดันตกชั่วขณะที่ไม่แน่นอน (0 – 100%) และมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดค่าแรงดันตกชั่วขณะสูงกว่า 90%

4.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแส



รูปที่ 13 แผนภูมิสถิติของค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสในหน่วย p.u./ms

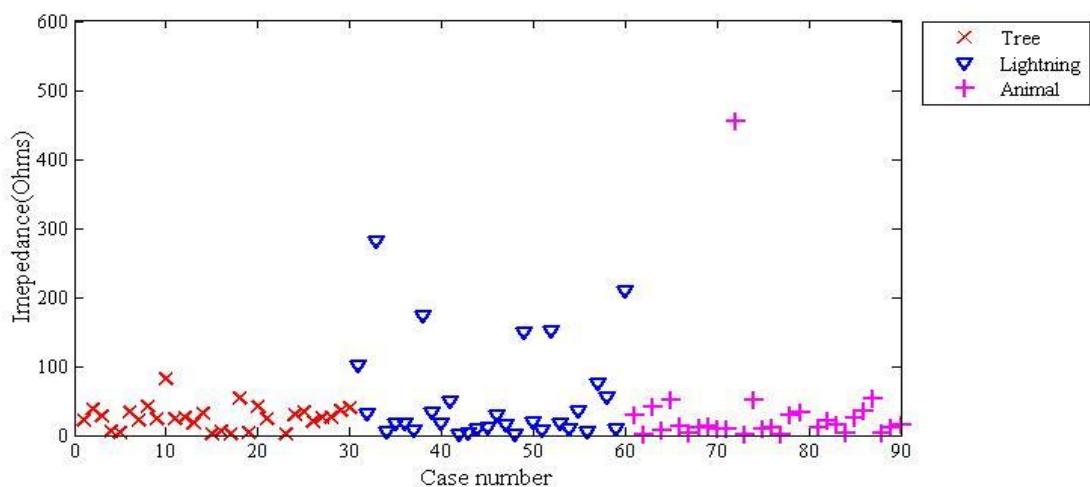
รูปที่ 13 แสดงแผนภูมิสถิติของค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสจากเหตุการณ์ความผิดปกติทั้งหมด 90 เหตุการณ์ สามารถแบ่งช่วงค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสได้เป็น 5 ช่วง ในตารางที่ 5 ดังนี้

ตารางที่ 5 จำนวนเหตุการณ์ความผิดปกติพร้อมในแต่ละช่วงอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแส

λ (p.u./ms)	Tree	Lightning	Animal
$0 \leq \lambda < 0.03$	2	7	0
$0.03 \leq \lambda < 0.06$	7	1	2
$0.06 \leq \lambda < 0.09$	0	1	0
$0.09 \leq \lambda < 0.12$	12	4	7
$\lambda \geq 0.12$	9	17	21

จะสังเกตได้ว่าความผิดปกติพร้อมที่เกิดจากต้นไม้ ฟาผ่าและสัตว์มีความเป็นไปได้ที่จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่แตกต่างกันยกตัวอย่างเช่น ความผิดปกติพร้อมที่เกิดจากฟาผ่ามักจะมีค่า λ น้อยกว่า 0.03 p.u./ms หรือ ความผิดปกติพร้อมที่เกิดจากต้นไม้มักจะมีค่า λ อยู่ในช่วง 0.03 ถึง 0.06 p.u./ms

4.3 ค่าอิมพีแดนซ์ความผิดพลาด



รูปที่ 14 แผนภูมิสถิติของค่าอิมพีแดนซ์ความผิดพลาดในหน่วยโอห์ม

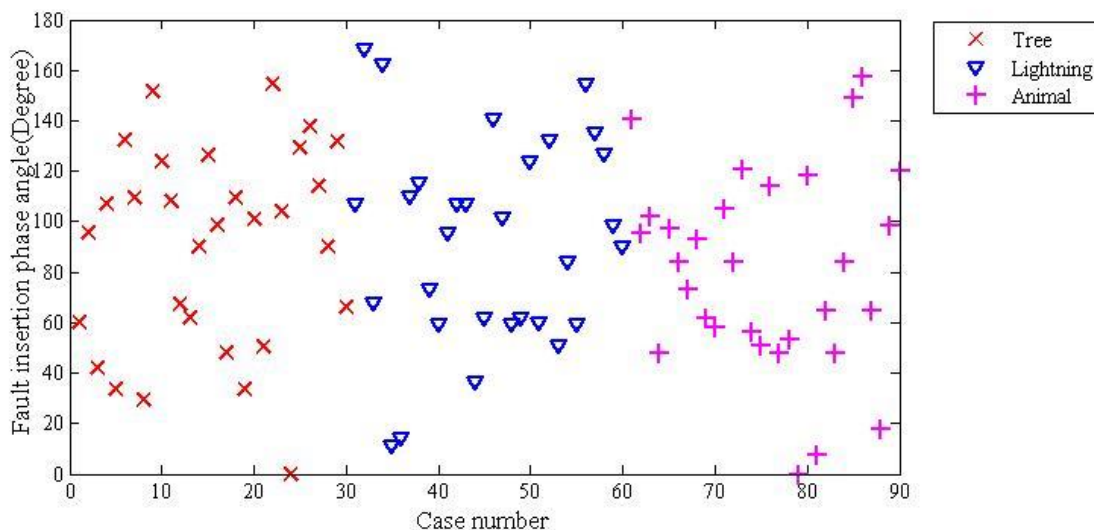
รูปที่ 14 แสดงแผนภูมิสถิติของค่าอิมพีแดนซ์ความผิดพลาด จากการเก็บข้อมูลทั้งหมด 90 เหตุการณ์สามารถแบ่งค่าอิมพีแดนซ์ความผิดพลาดออกเป็น 3 ช่วง ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 จำนวนเหตุการณ์ความผิดพลาดในแต่ละช่วงค่าอิมพีแดนซ์

$Z_{fault} (\Omega)$	Tree	Lightning	Animal
$0 \leq Z_{fault} < 20$	9	17	18
$20 \leq Z_{fault} < 50$	18	5	7
$Z_{fault} \geq 50$	3	8	5

จากรูปที่ 14 และตารางที่ 6 จะเห็นว่าค่าอิมพีแดนซ์ความผิดพลาดที่เกิดจากฟ้าผ่าและสัตว์มีแนวโน้มจะมีค่าต่ำกว่า 20 Ω และความผิดพลาดที่เกิดจากต้นไม้จะมีค่าอิมพีแดนซ์มากกว่า 20 Ω แต่ไม่เกิน 50 Ω

4.4 ตำแหน่งมุมที่เกิดความผิดพลาด



รูปที่ 15 แผนภูมิสถิติค่าสัมบูรณ์ของตำแหน่งมุมที่เกิดความผิดพลาดตั้งแต่ -180 องศา ถึง 180 องศา

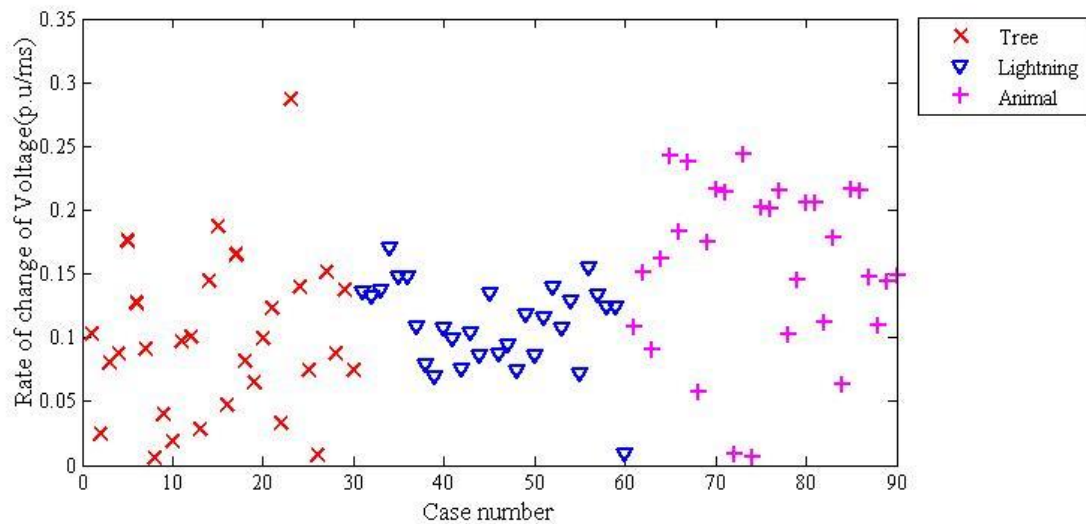
รูปที่ 15 แสดงแผนภูมิสถิติค่าสัมบูรณ์ของตำแหน่งมุมที่เกิดความผิดพลาดตั้งแต่ -180 องศา ถึง 180 องศา ที่บันทึกจากเหตุการณ์ความผิดพลาดทั้งหมด 90 เหตุการณ์ โดยแบ่งตำแหน่งมุมที่เกิดความผิดพลาดออกเป็น 2 ช่วง คือช่วงใกล้ค่ายอด และ ไกลค่ายอด ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 จำนวนเหตุการณ์ความผิดพลาดในแต่ละช่วงของตำแหน่งมุมที่เกิดความผิดพลาด

FIPA(°)	Tree	Lightning	Animal
$80 \leq \theta \leq 100$	4	4	7
ช่วงอื่นๆ	26	26	23

จากการสำรวจพบว่าตำแหน่งมุมที่เกิดความผิดพลาดของสาเหตุความผิดพลาดที่เกิดจากสัตว์ จะมีความน่าจะเป็นที่ตำแหน่งมุมที่เกิดความผิดพลาดเกิดใกล้ค่ายอดมากที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 ชนิด ความผิดพลาด

4.5 อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน



รูปที่ 16 แผนภูมิสถิติของอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันขณะที่เกิดความผิดพลาด

รูปที่ 16 จากการเก็บข้อมูลจากทั้งหมด 90 เหตุการณ์สามารถแบ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันออกได้เป็น 3 ช่วงดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 จำนวนเหตุการณ์ความผิดพลาดในแต่ละช่วงอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน

β (p.u./ms)	Tree	Lightning	Animal
$0 \leq \beta < 0.05$	8	1	2
$0.05 \leq \beta < 0.2$	21	29	16
$\beta \geq 0.2$	1	0	12

จากรูปที่ 16 และ ตารางที่ 8 พบว่าความผิดพลาดที่เกิดจากต้นไม้มีความน่าจะเป็นที่จะมีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันต่ำที่สุด (น้อยกว่า 0.05 p.u./ms) ความผิดพลาดที่เกิดจากสัตว์มีความน่าจะเป็นที่จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันสูงที่สุด (มากกว่า 0.2 p.u./ms) และความผิดพลาดที่เกิดจากฟ้าผ่ามักจะมีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันอยู่ในช่วง 0.05 ถึง 0.2 p.u./ms

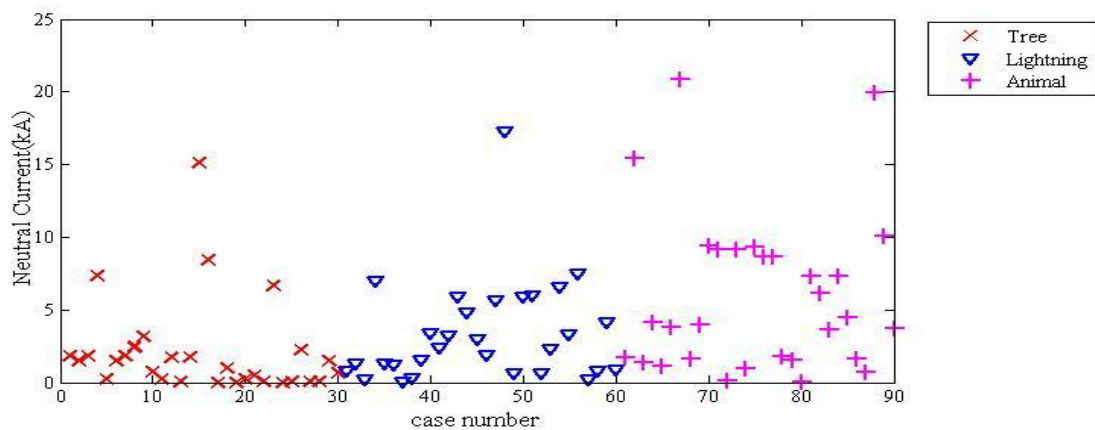
4.6 ความผิดพลาดแบบชั่วคราวและถาวร

ตารางที่ 9 แสดงจำนวนเหตุการณ์ความผิดพลาดชั่วคราวและถาวรของแต่ละชนิดความผิดพลาด

Fault	Tree	Lightning	Animal
แบบชั่วคราว	9	19	17
แบบถาวร	21	11	13

ผลเชิงสถิติบ่งบอกว่าความผิดพลาดที่เกิดจากฟ้าผ่าและสัตว์มีแนวโน้มที่จะเป็นความผิดพลาดแบบชั่วคราวมากกว่าความผิดพลาดที่เกิดจากต้นไม้

4.7 ค่าสูงสุดของกระแสนิวทรัล



รูปที่ 17 แผนภูมิสถิติแสดงค่าสูงสุดของกระแสนิวทรัลขณะที่เกิดความผิดพลาด

จากการเก็บข้อมูลจากทั้งหมด 90 เหตุการณ์ในรูปที่ 17 สามารถแบ่งช่วงค่าของกระแสนิวทรัลออกได้เป็น 4 ช่วงดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 แสดงจำนวนเหตุการณ์ความผิดพลาดในแต่ละช่วงของค่าสูงสุดของกระแสนิวทรัล

I_n (kA)	Tree	Lightning	Animal
$0 \leq I_n < 0.5$	11	4	2
$0.5 \leq I_n < 2$	12	10	9
$2 \leq I_n < 10$	6	15	15
$I_n \geq 10$	1	1	4

จากตารางที่ 7 ความผิดพลาดที่เกิดจากต้นไม้มีแนวโน้มที่จะมีค่าของกระแสนิวทรัลต่ำที่สุด (น้อยกว่า 0.5 kA) และความผิดพลาดที่เกิดจากสัตว์มีแนวโน้มที่จะมีค่ากระแสนิวทรัลสูงที่สุด (มากกว่า 10 kA)

4.8 ชนิดของความผิดปกติ

ชนิดของความผิดปกติแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด

- 1.) Single Line to Ground Fault (SLG)
- 2.) Double Line to Ground Fault (DLG)
- 3.) Three Phase Fault ($3\emptyset$)
- 4.) Line to Line Fault (LL)

ตารางที่ 11 จำนวนเหตุการณ์ของแต่ละชนิดความผิดปกติ

Type of fault	Tree	Lightning	Animal
SLG	15	18	29
DLG	1	7	0
$3\emptyset$	4	3	0
LL	10	2	1

จากตารางที่ 11 ข้อมูลความผิดปกติทั้งสิ้น 90 เหตุการณ์ พบว่า เหตุการณ์ความผิดปกติส่วนใหญ่มักจะเป็นความผิดปกติแบบ single line to ground fault อย่างไรก็ตามยังคงมีเหตุการณ์ความผิดปกติที่เกิดจากต้นไม้บางส่วนที่เป็นความผิดปกติแบบ Line to line fault และ เหตุการณ์ความผิดปกติจากฟ้าผ่าที่บางส่วนที่เป็นความผิดปกติแบบ Double line to ground fault

บทที่ 5

เกณฑ์การตัดสินใจ

เพื่อให้ได้การจำแนกสาเหตุของความผิดพลาดที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุดจำเป็นต้องมีการสร้างเงื่อนไขและการทดสอบประสิทธิภาพที่เหมาะสมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 การสร้างเงื่อนไข

จะใช้วิธีการสร้างเงื่อนไขจากการทำ 5-fold cross validation test ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 คือจะแบ่งข้อมูลของแต่ละเหตุการณ์ความผิดพลาดออกเป็น 5 ส่วนเท่าๆกันแล้วดึงข้อมูลส่วน 1 ใน 5 ออกไป แล้วนำชุดข้อมูลที่เหลือมาสร้างเงื่อนไข ซึ่งในการสร้างเงื่อนไขแต่ละครั้งจะมีการเรียงลำดับที่ต่างกันออกไป โดยผลลัพธ์ที่ได้จะมีทั้งหมด 5 ชุดโมเดลเงื่อนไขดังต่อไปนี้

Model1 : ใช้ข้อมูลชุดที่ 2,3,4,5 ในการสร้างเงื่อนไข

ตารางที่ 12 บันทึกเหตุการณ์, ค่า information gain และค่า entropy จากข้อมูลชุดที่ 2,3,4,5

	จำนวนเหตุการณ์			Entropy
	tree	lightning	animal	
$0 \leq V_{dip} < 10$	1	0	3	0.5119
$10 \leq V_{dip} < 55$	19	17	15	0.9958
$55 \leq V_{dip} < 90$	4	3	4	0.9922
$V_{dip} \geq 90$	0	4	2	0.5794
Information Gain				0.0663
$0 \leq \beta < 0.05$	7	1	2	0.7298
$0.05 \leq \beta < 0.2$	16	23	11	0.9602
$\beta \geq 0.2$	1	0	11	0.2611
Information Gain				0.1883
$0 \leq I_n < 0.5$	10	3	2	0.7836
$0.5 \leq I_n < 2$	8	6	6	0.9912
$2 \leq I_n < 10$	4	14	7	0.8869
$I_n \geq 10$	2	1	9	0.6567
Information Gain				0.144

ตารางที่ 12 บันทึกเหตุการณ์, ค่าinformation gainและค่า entropy จากข้อมูลชุดที่ 2,3,4,5 (ต่อ)

$0 \leq \lambda < 0.03$	2	6	0	0.5119
$0.03 \leq \lambda < 0.06$	6	1	2	0.7725
$0.06 \leq \lambda < 0.09$	0	1	0	0
$0.09 \leq \lambda < 0.12$	8	4	6	0.9656
$\lambda \geq 0.12$	8	12	16	0.9656
Information Gain				0.1223
$0 \leq Z_{fault} < 20$	7	14	15	0.9562
$20 \leq Z_{fault} < 50$	14	4	5	0.8539
$Z_{fault} \geq 50$	3	6	4	0.9629
Information Gain				0.0753
Temporary	7	15	13	0.9584
Permanent	17	9	11	0.9665
Information Gain				0.0374
$80 < \theta < 100$	3	4	4	0.9922
else	21	20	20	0.9998
Information Gain				0.0014
SLG	11	17	23	0.9614
DLG	1	3	0	0.5119
$3 \emptyset$	3	3	0	0.6309
LL	9	1	1	0.5463
Information Gain				0.1545

จากตารางที่ 12 การเก็บข้อมูลและคำนวณหาค่าinformation gain และ entropy ของแต่ละชุดข้อมูลทดสอบ สามารถแบ่งลักษณะเด่นทั้งหมดออกเป็น 3 คลาส (A,B,C) โดยเรียงลำดับคลาสจากค่าinformation gain จากมากไปน้อยและให้ลักษณะเด่นที่มีค่าinformation gainใกล้เคียงกันให้อยู่ในคลาสเดียวกัน ปรับเปลี่ยนเงื่อนไขให้เหมาะสมตามสมมุติฐานที่ให้ไว้ในบทที่ 4 ได้ผลลัพธ์เป็นโมเดลเงื่อนไขที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 โมเดลเงื่อนไขที่ 1 โดยใช้ข้อมูลชุดที่ 2,3,4,5 ในการสร้างเงื่อนไข

ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์
A		
<ul style="list-style-type: none"> - $0 \leq \beta < 0.05$ - 3\emptyset or L-L fault - $0 \leq I_n < 0.5$ - $0.03 \leq \lambda < 0.06$ 	<ul style="list-style-type: none"> - DLG fault - $0 \leq \lambda < 0.03$ - $V_{dip} \geq 90$ 	<ul style="list-style-type: none"> - $\beta \geq 0.2$ - $I_n \geq 10$
B		
<ul style="list-style-type: none"> - $0.09 \leq \lambda < 0.12$ - $20 \leq Z_{fault} < 50$ 	<ul style="list-style-type: none"> - $2 \leq I_n < 10$ - $0.05 \leq \beta < 0.2$ - 3\emptyset fault 	<ul style="list-style-type: none"> - $0 \leq Z_{fault} < 20$ - $0 \leq V_{dip} < 10$ - SLG fault
C		
<ul style="list-style-type: none"> - $10 \leq V_{dip} < 55$ - Permanent Fault 	<ul style="list-style-type: none"> - Temporary fault - $Z_{fault} \geq 50$ 	<ul style="list-style-type: none"> - Temporary fault - $\lambda \geq 0.12$

Model2 : ใช้ข้อมูลชุดที่ 1,3,4,5 ในการสร้างเงื่อนไข

ตารางที่ 14 บันทึกเหตุการณ์, ค่าinformation gainและค่า entropy จากข้อมูลชุดที่ 1,3,4,5

	จำนวนเหตุการณ์			Entropy
	tree	lightning	animal	
$0 \leq V_{dip} < 10$	0	0	2	0
$10 \leq V_{dip} < 55$	20	14	15	0.9886
$55 \leq V_{dip} < 90$	4	7	5	0.9755
$V_{dip} \geq 90$	0	3	2	0.6126
Information Gain				0.0679
$0 \leq \beta < 0.05$	5	1	1	0.7248
$0.05 \leq \beta < 0.2$	18	23	14	0.9816
$\beta \geq 0.2$	1	0	9	0.2959
Information Gain				0.1386
$0 \leq I_n < 0.5$	10	2	1	0.6254
$0.5 \leq I_n < 2$	9	9	8	0.9986
$2 \leq I_n < 10$	3	12	8	0.8852
$I_n \geq 10$	2	1	7	0.7298
Information Gain				0.1423
$0 \leq \lambda < 0.03$	1	5	0	0.4101
$0.03 \leq \lambda < 0.06$	5	1	2	0.8194
$0.06 \leq \lambda < 0.09$	0	0	0	0
$0.09 \leq \lambda < 0.12$	12	4	5	0.8896
$\lambda \geq 0.12$	6	14	17	0.9285
Information Gain				0.1382
$0 \leq Z_{fault} < 20$	9	14	13	0.9846
$20 \leq Z_{fault} < 50$	13	3	7	0.8649
$Z_{fault} \geq 50$	2	7	4	0.8956
Information Gain				0.0697
Temporary	6	16	13	0.9357
Permanent	18	8	11	0.9487
Information Gain				0.0576

ตารางที่ 14 บันทึกเหตุการณ์, ค่าinformation gainและค่า entropy จากข้อมูลชุดที่ 1,3,4,5 (ต่อ)

$80 < \theta < 100$	4	3	5	0.9808
else	20	21	19	0.9992
Information Gain				0.0038
SLG	11	15	23	0.9583
DLG	0	6	0	0
$3 \emptyset$	4	2	0	0.5794
LL	9	1	1	0.5463
Information Gain				0.2161

จากตารางที่ 14 การเก็บข้อมูลและคำนวณหาค่าinformation gain และ entropy ของแต่ละชุดข้อมูลทดสอบ สามารถแบ่งลักษณะเด่นทั้งหมดออกเป็น 3 คลาส (A,B,C) โดยเรียงลำดับคลาสจากค่าinformation gain จากมากไปน้อยและให้ลักษณะเด่นที่มีค่าinformation gainใกล้เคียงกันให้อยู่ในคลาสเดียวกัน ปรับเปลี่ยนเงื่อนไขให้เหมาะสมตามสมมุติฐานที่ให้ไว้ในบทที่ 4 ได้ผลลัพธ์เป็นโมเดลเงื่อนไขที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่15 โมเดลเงื่อนไขที่ 2 โดยใช้ข้อมูลชุดที่ 1,3,4,5 ในการสร้างเงื่อนไข

ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์
A		
- $3\emptyset$ or L-L fault - $0 \leq \beta < 0.05$ - $0 \leq I_n < 0.5$	- DLG fault - $V_{dip} \geq 90$ - $0 \leq \lambda < 0.03$	- $\beta \geq 0.2$ - $I_n \geq 10$ - $0 \leq V_{dip} < 10$
B		
- $20 \leq Z_{fault} < 50$ - $0.03 \leq \lambda < 0.06$ or - $0.09 \leq \lambda < 0.12$	- $2 \leq I_n < 10$ - $Z_{fault} \geq 50$ - Temporary fault	- Temporary fault - $\lambda \geq 0.12$
C		
- Permanent Fault - $10 \leq V_{dip} < 55$	- $0.05 \leq \beta < 0.2$ - $0 \leq Z_{fault} < 20$	- SLG fault - $0 \leq Z_{fault} < 20$

Model3 : ใช้ข้อมูลชุดที่ 1,2,4,5 ในการสร้างเงื่อนไข

ตารางที่ 16 บันทึกเหตุการณ์, ค่าinformation gainและค่า entropy จากข้อมูลชุดที่ 1,2,4,5

	จำนวนเหตุการณ์			Entropy
	tree	lightning	animal	
$0 \leq V_{dip} < 10$	1	0	3	0.5119
$10 \leq V_{dip} < 55$	20	16	14	0.9899
$55 \leq V_{dip} < 90$	3	6	7	0.9497
$V_{dip} \geq 90$	0	2	0	0
Information Gain				0.0731
$0 \leq \beta < 0.05$	6	1	1	0.6696
$0.05 \leq \beta < 0.2$	17	23	15	0.9847
$\beta \geq 0.2$	1	0	8	0.3175
Information Gain				0.1337
$0 \leq I_n < 0.5$	9	4	2	0.8444
$0.5 \leq I_n < 2$	10	9	7	0.9903
$2 \leq I_n < 10$	5	11	9	0.9566
$I_n \geq 10$	0	0	6	0
Information Gain				0.1343
$0 \leq \lambda < 0.03$	2	6	0	0.5119
$0.03 \leq \lambda < 0.06$	4	1	1	0.7897
$0.06 \leq \lambda < 0.09$	0	1	0	0
$0.09 \leq \lambda < 0.12$	10	3	6	0.9041
$\lambda \geq 0.12$	8	13	17	0.9602
Information Gain				0.132
$0 \leq Z_{fault} < 20$	5	12	14	0.9291
$20 \leq Z_{fault} < 50$	17	4	6	0.8269
$Z_{fault} \geq 50$	2	8	4	0.8699
Information Gain				0.1208
Temporary	8	16	12	0.9656
Permanent	16	8	12	0.9656
Information Gain				0.0344

ตารางที่ 16 บันทึกเหตุการณ์, ค่าinformation gainและค่า entropy จากข้อมูลชุดที่ 1,2,4,5 (ต่อ)

$80 < \theta < 100$	2	4	7	0.8956
else	22	20	17	0.995
Information Gain				0.023
SLG	13	14	23	0.9684
DLG	1	6	0	0.3733
$3 \emptyset$	3	2	0	0.6126
LL	7	2	1	0.7298
Information Gain				0.1473

จากตารางที่ 16 การเก็บข้อมูลและคำนวณหาค่าinformation gain และ entropy ของแต่ละชุดข้อมูลทดสอบ สามารถแบ่งลักษณะเด่นทั้งหมดออกเป็น 3 คลาส (A,B,C) โดยเรียงลำดับคลาสจากตามความสำคัญมากไปน้อย จัดเรียงลักษณะเด่นที่มีค่าinformation gainที่ใกล้เคียงกันให้อยู่ในคลาสเดียวกัน และปรับเปลี่ยนให้เหมาะสม ได้ผลลัพธ์เป็นโมเดลเงื่อนไขที่ 3 ดังแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 โมเดลเงื่อนไขที่ 3 โดยใช้ข้อมูลชุดที่ 1,2,4,5 ในการสร้างเงื่อนไข

ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์
A		
- $3 \emptyset$ or L-L fault - $0 \leq \beta < 0.05$ - $0.03 \leq \lambda < 0.06$	- DLG fault - $V_{dip} \geq 90$ - $0.06 \leq \lambda < 0.09$ - $2 \leq I_n < 10$	- $\beta \geq 0.2$ - $I_n \geq 10$ - $0 \leq V_{dip} < 10$
B		
- $0 \leq I_n < 0.5$ - $0.09 \leq \lambda < 0.12$ - $20 \leq Z_{fault} < 50$	- Temporary fault - $0 \leq Z_{fault} < 20$ or - $Z_{fault} \geq 50$	- SLG fault - $55 \leq V_{dip} < 90$ or - $V_{dip} \geq 90$
C		
- Permanent Fault - $10 \leq V_{dip} < 55$	- $0.5 \leq I_n < 2$	- $2 \leq I_n < 10$ - Temporary fault

Model4 : ใช้ข้อมูลชุดที่ 1,2,3,5 ในการสร้างเงื่อนไข

ตารางที่ 18 บันทึกเหตุการณ์, ค่าinformation gainและค่า entropy จากข้อมูลชุดที่ 1,2,3,5

	จำนวนเหตุการณ์			Entropy
	tree	lightning	animal	
$0 \leq V_{dip} < 10$	1	0	1	0.6309
$10 \leq V_{dip} < 55$	21	13	15	0.9808
$55 \leq V_{dip} < 90$	2	7	6	0.9019
$V_{dip} \geq 90$	0	4	2	0.5794
Information Gain				0.788
$0 \leq \beta < 0.05$	7	1	2	0.7298
$0.05 \leq \beta < 0.2$	17	23	12	0.9691
$\beta \geq 0.2$	0	0	10	0
Information Gain				0.1987
$0 \leq I_n < 0.5$	7	4	1	0.808
$0.5 \leq I_n < 2$	11	8	8	0.9891
$2 \leq I_n < 10$	4	11	5	0.9078
$I_n \geq 10$	2	1	10	0.6254
Information Gain				0.1293
$0 \leq \lambda < 0.03$	1	5	0	0.4101
$0.03 \leq \lambda < 0.06$	6	1	1	0.6696
$0.06 \leq \lambda < 0.09$	0	1	0	0
$0.09 \leq \lambda < 0.12$	9	3	6	0.9206
$\lambda \geq 0.12$	8	14	17	0.96
Information Gain				0.1413
$0 \leq Z_{fault} < 20$	7	13	15	0.9584
$20 \leq Z_{fault} < 50$	15	5	5	0.865
$Z_{fault} \geq 50$	2	6	4	0.9206
Information Gain				0.0804
Temporary	7	15	14	0.9562
Permanent	17	9	10	0.9618
Information Gain				0.0410

ตารางที่ 18 บันทึกเหตุการณ์, ค่าinformation gainและค่า entropy จากข้อมูลชุดที่ 1,2,3,5(ต่อ)

$80 < \theta < 100$	4	3	6	0.9629
else	20	21	18	0.9982
Information Gain				0.0082
SLG	12	12	24	0.9464
DLG	1	7	0	0.343
$3 \emptyset$	3	3	0	0.6309
LL	8	2	0	0.4555
Information Gain				0.2151

จากตารางที่ 18 การเก็บข้อมูลและคำนวณหาค่าinformation gain และ entropy ของแต่ละชุดข้อมูลทดสอบ สามารถแบ่งลักษณะเด่นทั้งหมดออกเป็น 3 คลาส (A,B,C) โดยเรียงลำดับคลาสจากตามความสำคัญมากไปน้อย จัดเรียงลักษณะเด่นที่มีค่าinformation gainที่ใกล้เคียงกันให้อยู่ในคลาสเดียวกัน และปรับเปลี่ยนให้เหมาะสม ได้ผลลัพธ์เป็นโมเดลเงื่อนไขที่ 4 ดังแสดงในตารางที่ 19

ตารางที่19 โมเดลเงื่อนไขที่ 4 โดยใช้ข้อมูลชุดที่ 1,2,3,5 ในการสร้างเงื่อนไข

ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์
A		
- $3 \emptyset$ or L-L fault - $0 \leq \beta < 0.05$ - $0.03 \leq \lambda < 0.06$	- DLG fault - $0 \leq \lambda < 0.03$ - $2 \leq I_n < 10$	- $\beta \geq 0.2$ - $I_n \geq 10$
B		
- $20 \leq Z_{fault} < 50$ - $0.09 \leq \lambda < 0.12$ - Permanent Fault	- Temporary fault - $V_{dip} \geq 90$	- SLG fault - $0 \leq V_{dip} < 10$
C		
- $0 \leq I_n < 0.5$ - $10 \leq V_{dip} < 55$	- $Z_{fault} \geq 50$ - $0.05 \leq \beta < 0.2$	- $\lambda \geq 0.12$ - $Z_{fault} \geq 50$ - Temporary fault

Model5 : ใช้ข้อมูลชุดที่ 1,2,3,4 ในการสร้างเงื่อนไข

ตารางที่ 20 บันทึกเหตุการณ์, ค่าinformation gainและค่า entropy จากข้อมูลชุดที่ 1,2,3,4

	จำนวนเหตุการณ์			Entropy
	tree	lightning	animal	
$0 \leq V_{dip} < 10$	1	0	3	0.5119
$10 \leq V_{dip} < 55$	20	16	13	0.986
$55 \leq V_{dip} < 90$	3	5	6	0.9657
$V_{dip} \geq 90$	0	3	2	0.6126
Information Gain				0.0702
$0 \leq \beta < 0.05$	7	0	2	0.4822
$0.05 \leq \beta < 0.2$	16	24	12	0.9629
$\beta \geq 0.2$	1	0	10	0.2773
Information Gain				0.2019
$0 \leq I_n < 0.5$	8	3	2	0.8421
$0.5 \leq I_n < 2$	10	8	7	0.9899
$2 \leq I_n < 10$	4	12	7	0.9154
$I_n \geq 10$	2	1	8	0.6914
Information Gain				0.1062
$0 \leq \lambda < 0.03$	2	6	0	0.5119
$0.03 \leq \lambda < 0.06$	7	0	2	0.4822
$0.06 \leq \lambda < 0.09$	0	1	0	0
$0.09 \leq \lambda < 0.12$	9	2	5	0.862
$\lambda \geq 0.12$	6	15	17	0.9268
Information Gain				0.2021
$0 \leq Z_{fault} < 20$	8	15	15	0.9666
$20 \leq Z_{fault} < 50$	13	4	5	0.8716
$Z_{fault} \geq 50$	3	5	4	0.9808
Information Gain				0.0601
Temporary	8	14	16	0.9650
Permanent	16	10	8	0.9604
Information Gain				0.0372

ตารางที่ 20 บันทึกเหตุการณ์, ค่าinformation gainและค่า entropy จากข้อมูลชุดที่ 1,2,3,4 (ต่อ)

$80 < \theta < 100$	3	2	6	0.9056
else	21	22	18	0.9968
Information Gain				0.0172
SLG	13	14	23	0.9684
DLG	1	6	0	0.3733
$3 \emptyset$	3	2	0	0.6126
LL	7	2	1	0.7298
Information Gain				0.1473

จากตารางที่ 20 การเก็บข้อมูลและคำนวณหาค่าinformation gain และ entropy ของแต่ละชุดข้อมูลทดสอบ สามารถแบ่งลักษณะเด่นทั้งหมดออกเป็น 3 คลาส (A,B,C) โดยเรียงลำดับคลาสจากตามความสำคัญมากไปน้อย จัดเรียงลักษณะเด่นที่มีค่าinformation gainที่ใกล้เคียงกันให้อยู่ในคลาสเดียวกัน และปรับเปลี่ยนให้เหมาะสม ได้ผลลัพธ์เป็นโมเดลเงื่อนไขที่ 5 ดังแสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 โมเดลเงื่อนไขที่ 5 โดยใช้ข้อมูลชุดที่ 1,2,3,4 ในการสร้างเงื่อนไข

ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์
A		
- $10 \leq V_{dip} < 55$ - Permanent Fault - $20 \leq Z_{fault} < 50$	- DLG fault - $0 \leq \lambda < 0.03$ - $2 \leq I_n < 10$	- $\beta \geq 0.2$ - $I_n \geq 10$
B		
- $3 \emptyset$ or L-L fault - $0.09 \leq \lambda < 0.12$ - $0 \leq I_n < 0.5$	- Temporary fault - $V_{dip} \geq 90$	- SLG fault - $0 \leq V_{dip} < 10$
C		
- $0 \leq \beta < 0.05$ - $0.03 \leq \lambda < 0.06$	- $0.05 \leq \beta < 0.2$ - $Z_{fault} \geq 50$	- $\lambda \geq 0.12$ - Temporary fault - $Z_{fault} \geq 50$

5.2 การเก็บค่าและเงื่อนไขการเก็บค่า

การเก็บค่าจะนับที่ละคลาสแบ่งเป็นคลาสๆไป ให้ 1 ลักษณะเด่นมีค่าเท่ากับ+1
 ตัวนับของคลาส A แทนด้วย X1 เงื่อนไขว่า $X1 > 0$ เท่านั้นจึงจะเข้าสู่เงื่อนไขคลาส B ได้
 ตัวนับของคลาส B แทนด้วย X2 เงื่อนไขว่า $X2 > 0$ เท่านั้นจึงจะเข้าสู่เงื่อนไขคลาส C ได้
 ตัวนับของคลาส C แทนด้วย X3

ตัวนับรวมของคลาส A,B,C แทนด้วย $\Sigma = X1+X2+X3$

ตารางที่22 การเก็บค่าของโมเดลเงื่อนไขที่ 1 ทดสอบกับเหตุการณ์ต้นไม้รหัส530715

โมเดลเงื่อนไขที่ 1 ต้นไม้	Event id : 530715	ตัวเก็บค่า
A		X1
- 3Ø or L-L fault	Fault = SLG	0
- $0 \leq \beta < 0.05$	$\beta = 0.005847$	1
- $0.03 \leq \lambda < 0.06$	$\lambda = 0.00385$	0
- $0 \leq I_n < 0.5$	$I_n = 2.45$	0
X1		1
B		X2
- $0.09 \leq \lambda < 0.12$	$\lambda = 0.00385$	0
- $20 \leq Z_{fault} < 50$	$Z_{fault} = 41.435$	1
X2		1
C		X3
- Permanent Fault	Temporary fault	0
- $10 \leq V_{dip} < 55$	$V_{dip} = 26.94$	1
X3		1
Total Σ		$X1+X2+X3 = 3$

5.3 การทดสอบประสิทธิภาพของเงื่อนไขการตัดสินใจ

เพื่อประสิทธิภาพในการจำแนกเหตุการณ์ความผิดปกติที่สูงที่สุด จำเป็นต้องมีเงื่อนไขการตัดสินใจที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการ over-fitting หรือ under-fitting ดังนั้นจึงกำหนดให้ตัวเก็บค่า Σ ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการจำแนกเป็นตัวควบคุมเงื่อนไขการตัดสินใจ โดยการกำหนดและปรับเปลี่ยนค่าของ Σ ตั้งแต่ 1 ถึง 5 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเงื่อนไขการจำแนก

Model1: ใช้ข้อมูลชุดที่ 2,3,4,5 ในการสร้างเงื่อนไข และใช้ข้อมูลชุดที่ 1-5 ในการทดสอบ

ตารางที่ 23 แสดงผลการทดสอบด้วย $\Sigma \geq 1$

สาเหตุที่คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	23	6	5	76.67%	67.76%
ฟ้าผ่า	3	18	2	60.0%	78.26%
สัตว์	3	1	15	50.0%	78.95%

ตารางที่ 24 แสดงผลการทดสอบด้วย $\Sigma \geq 2$

สาเหตุที่คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	22	5	3	73.33%	73.33%
ฟ้าผ่า	2	18	0	60.0%	90.0%
สัตว์	3	1	15	50.0%	78.95%

ตารางที่ 25 แสดงผลการทดสอบด้วย $\Sigma \geq 3$

สาเหตุที่คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	18	1	2	60.0%	85.71%
ฟ้าผ่า	1	16	0	53.33%	94.12%
สัตว์	3	1	14	46.67%	77.78%

ตารางที่ 26 แสดงผลการทดลองด้วย $\Sigma \geq 4$

สาเหตุที่ คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	12	0	0	40.0%	100.0%
ฟ้าผ่า	0	9	0	30.0%	100.0%
สัตว์	0	0	10	33.33%	100.0%

ตารางที่ 27 แสดงผลการทดสอบด้วย $\Sigma \geq 5$

สาเหตุที่ คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	3	0	0	10.0%	100.0%
ฟ้าผ่า	0	1	0	3.33%	100.0%
สัตว์	0	0	8	26.67%	100.0%

จากการทดลองทั้ง 5 ครั้งพบว่า

ความผิดพลาดที่เกิดจากต้นไม้ การทดลองด้วยค่า $\Sigma \geq 4$ มีความแม่นยำสูงสุด 100% โดยสามารถจำแนกเหตุการณ์ที่เกิดจากต้นไม้ได้ถึง 12 จาก 30 เหตุการณ์ (40.0%)

ความผิดพลาดที่เกิดจากฟ้าผ่า การทดลองด้วยค่า $\Sigma \geq 3$ มีความแม่นยำ 94.12% โดยสามารถจำแนกเหตุการณ์ที่เกิดจากฟ้าผ่าได้ถึง 16 จาก 30 เหตุการณ์ (53.33%)

ความผิดพลาดที่เกิดจากสัตว์ การทดลองด้วยค่า $\Sigma \geq 4$ มีความแม่นยำสูงสุด 100% โดยสามารถจำแนกเหตุการณ์ที่เกิดจากสัตว์ได้ถึง 10 จาก 30 เหตุการณ์ (33.33%)

Model2: ใช้ข้อมูลชุดที่ 1,3,4,5 ในการสร้างเงื่อนไข และใช้ข้อมูลชุดที่ 1-5 ในการทดสอบ

ตารางที่ 28 แสดงผลการทดสอบด้วย $\Sigma \geq 1$

สาเหตุที่ คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	21	6	3	70.0%	70.0%
ฟ้าผ่า	3	18	2	60.0%	78.26%
สัตว์	4	1	17	56.67%	77.27%

ตารางที่ 29 แสดงผลการทดสอบด้วย $\Sigma \geq 2$

สาเหตุที่ คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	20	5	2	66.67%	74.07%
ฟ้าผ่า	2	15	2	50.0%	78.95%
สัตว์	1	1	15	50.0%	88.24%

ตารางที่ 30 แสดงผลการทดสอบด้วย $\Sigma \geq 3$

สาเหตุที่ คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	18	1	1	60.0%	90.0%
ฟ้าผ่า	2	13	2	43.33%	76.47%
สัตว์	1	1	14	46.67%	87.5%

ตารางที่ 31 แสดงผลการทดลองด้วย $\Sigma \geq 4$

สาเหตุที่ คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	16	0	0	53.33%	100.0%
ฟ้าผ่า	0	10	0	33.33%	100.0%
สัตว์	0	0	9	30.0%	100.0%

ตารางที่ 32 แสดงผลการทดสอบด้วย $\Sigma \geq 5$

สาเหตุที่ คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	7	0	0	23.33%	100.0%
ฟ้าผ่า	0	4	0	13.33%	100.0%
สัตว์	0	0	8	26.67%	100.0%

จากการทดสอบทั้ง 5 ครั้งพบว่า

ความผิดพลาดที่เกิดจากต้นไม้ การทดลองด้วยค่า $X_4 \geq 4$ มีความแม่นยำสูงสุด 100% โดยสามารถจำแนกเหตุการณ์ที่เกิดจากต้นไม้ได้ถึง 16 จาก 30 เหตุการณ์ (53.33%)

ความผิดพลาดที่เกิดจากฟ้าผ่า การทดลองด้วยค่า $X_4 \geq 4$ มีความแม่นยำสูงสุด 100% โดยสามารถจำแนกเหตุการณ์ที่เกิดจากฟ้าผ่าได้ถึง 10 จาก 30 เหตุการณ์ (33.33%)

ความผิดพลาดที่เกิดจากสัตว์ การทดลองด้วยค่า $X_4 \geq 4$ มีความแม่นยำสูงสุด 100% โดยสามารถจำแนกเหตุการณ์ที่เกิดจากสัตว์ได้ถึง 9 จาก 30 เหตุการณ์ (30%)

Model3: ใช้ข้อมูลชุดที่ 1,2,4,5 ในการสร้างเงื่อนไข และใช้ข้อมูลชุดที่ 1-5 ในการทดสอบ

ตารางที่ 33 แสดงผลการทดสอบด้วย $\Sigma \geq 1$

สาเหตุที่ คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	23	5	5	76.67%	69.70%
ฟ้าผ่า	6	22	11	73.33%	56.41%
สัตว์	4	1	17	56.67%	77.27%

ตารางที่ 34 แสดงผลการทดสอบด้วย $\Sigma \geq 2$

สาเหตุที่ คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	22	4	3	73.33%	75.86%
ฟ้าผ่า	5	19	9	63.33%	57.58%
สัตว์	4	1	17	56.67%	77.27%

ตารางที่ 35 แสดงผลการทดสอบด้วย $\Sigma \geq 3$

สาเหตุที่ คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	20	3	3	66.67%	76.92%
ฟ้าผ่า	0	15	7	50.0%	68.18%
สัตว์	2	0	14	46.67%	87.5%

ตารางที่ 36 แสดงผลการทดลองด้วย $\Sigma \geq 4$

สาเหตุที่ คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	17	0	0	56.67%	100.0%
ฟ้าผ่า	0	7	0	23.33%	100.0%
สัตว์	1	0	9	30.0%	90.0%

ตารางที่ 37 แสดงผลการทดสอบด้วย $\Sigma \geq 5$

สาเหตุที่ คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	7	0	0	23.33%	100.0%
ฟ้าผ่า	0	0	0	0.0%	0.0%
สัตว์	0	0	2	6.67%	100.0%

จากการทดสอบทั้ง 5 ครั้งพบว่า

ความผิดพลาดที่เกิดจากต้นไม้ การทดลองด้วยค่า $X_4 \geq 4$ มีความแม่นยำสูงสุด 100% โดยสามารถจำแนกเหตุการณ์ที่เกิดจากต้นไม้ได้ถึง 17 จาก 30 เหตุการณ์ (56.67%)

ความผิดพลาดที่เกิดจากฟ้าผ่า การทดลองด้วยค่า $X_4 \geq 4$ มีความแม่นยำสูงสุด 100% โดยสามารถจำแนกเหตุการณ์ที่เกิดจากฟ้าผ่าได้ 7 จาก 30 เหตุการณ์ (23.33%)

ความผิดพลาดที่เกิดจากสัตว์ การทดลองด้วยค่า $X_4 \geq 4$ มีความแม่นยำ 90% โดยสามารถจำแนกเหตุการณ์ที่เกิดจากสัตว์ได้ 9 จาก 30 เหตุการณ์ (30%)

Model4: ใช้ข้อมูลชุดที่ 1,2,3,5 ในการสร้างเงื่อนไข และใช้ข้อมูลชุดที่ 1-5 ในการทดสอบ

ตารางที่ 38 แสดงผลการทดสอบด้วย $\Sigma \geq 1$

สาเหตุที่ คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	23	5	5	76.67%	69.70%
ฟ้าผ่า	7	25	9	83.33%	60.98%
สัตว์	3	1	15	50.0%	78.95%

ตารางที่ 39 แสดงผลการทดสอบด้วย $\Sigma \geq 2$

สาเหตุที่ คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	22	2	4	73.33%	78.57%
ฟ้าผ่า	3	17	5	56.67%	68.0%
สัตว์	3	0	15	50.0%	83.33%

ตารางที่ 40 แสดงผลการทดสอบด้วย $\Sigma \geq 3$

สาเหตุที่ คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	21	1	4	70.0%	80.77%
ฟ้าผ่า	2	15	4	50.0%	71.43%
สัตว์	0	0	13	43.33%	100.0%

ตารางที่ 41 แสดงผลการทดลองด้วย $\Sigma \geq 4$

สาเหตุที่ คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	19	0	0	63.33%	100.0%
ฟ้าผ่า	0	8	0	26.67%	100.0%
สัตว์	0	0	10	33.33%	100.0%

ตารางที่ 42 แสดงผลการทดสอบด้วย $\Sigma \geq 5$

สาเหตุที่ คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	7	0	0	23.33%	100.0%
ฟ้าผ่า	0	0	0	0.0%	0.0%
สัตว์	0	0	5	16.67%	100.0%

จากการทดสอบทั้ง 5 ครั้งพบว่า

ความผิดพลาดที่เกิดจากต้นไม้ การทดลองด้วยค่า $\Sigma \geq 4$ มีความแม่นยำสูงสุด 100% โดยสามารถ
จำแนกเหตุการณ์ที่เกิดจากต้นไม้ได้ถึง 19 จาก 30 เหตุการณ์ (63.33%)

ความผิดพลาดที่เกิดจากฟ้าผ่า การทดลองด้วยค่า $\Sigma \geq 4$ มีความแม่นยำสูงสุด 100% โดยสามารถ
จำแนกเหตุการณ์ที่เกิดจากฟ้าผ่าได้ 8 จาก 30 เหตุการณ์ (26.67%)

ความผิดพลาดที่เกิดจากสัตว์ การทดลองด้วยค่า $\Sigma \geq 3$ มีความแม่นยำสูงสุด 100% โดยสามารถ
จำแนกเหตุการณ์ที่เกิดจากสัตว์ได้ 13 จาก 30 เหตุการณ์ (43.33%)

Model5: ใช้ข้อมูลชุดที่ 1,2,3,4 ในการสร้างเงื่อนไข และใช้ข้อมูลชุดที่ 1-5 ในการทดสอบ

ตารางที่ 43 แสดงผลการทดสอบด้วย $\Sigma \geq 1$

สาเหตุที่ คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	30	21	24	100.0%	40.0%
ฟ้าผ่า	7	25	9	83.33%	60.98%
สัตว์	3	1	15	50.0%	78.95%

ตารางที่ 44 แสดงผลการทดสอบด้วย $\Sigma \geq 2$

สาเหตุที่ คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	29	15	13	96.67%	50.88%
ฟ้าผ่า	3	17	5	56.67%	68.0%
สัตว์	3	0	15	50.0%	83.33%

ตารางที่ 45 แสดงผลการทดสอบด้วย $\Sigma \geq 3$

สาเหตุที่ คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	23	6	6	76.67%	65.71%
ฟ้าผ่า	2	15	4	50.0%	71.43%
สัตว์	0	0	13	43.33%	100.0%

ตารางที่ 46 แสดงผลการทดลองด้วย $\Sigma \geq 4$

สาเหตุที่ คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	16	0	1	53.33%	94.12%
ฟ้าผ่า	0	8	0	26.67%	100.0%
สัตว์	0	0	10	33.33%	100.0%

ตารางที่ 47 แสดงผลการทดสอบด้วย $\Sigma \geq 5$

สาเหตุที่ คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	7	0	0	23.33%	100.0%
ฟ้าผ่า	0	0	0	0.0%	0.0%
สัตว์	0	0	5	16.67%	100.0%

จากการทดสอบทั้ง 5 ครั้งพบว่า

ความผิดพลาดที่เกิดจากต้นไม้ การทดลองด้วยค่า $\Sigma \geq 4$ มีความแม่นยำ 94.12% โดยสามารถ
จำแนกเหตุการณ์ที่เกิดจากต้นไม้ได้ถึง 16 จาก 30 เหตุการณ์ (53.33%)

ความผิดพลาดที่เกิดจากฟ้าผ่า การทดลองด้วยค่า $\Sigma \geq 4$ มีความแม่นยำสูงสุด 100% โดย
สามารถจำแนกเหตุการณ์ที่เกิดจากฟ้าผ่าได้ 8 จาก 30 เหตุการณ์ (26.67%)

ความผิดพลาดที่เกิดจากสัตว์ การทดลองด้วยค่า $\Sigma \geq 3$ มีความแม่นยำสูงสุด 100% โดย
สามารถจำแนกเหตุการณ์ที่เกิดจากสัตว์ได้ถึง 13 จาก 30 เหตุการณ์ (43.33%)

เงื่อนไขที่เลือกใช้และผลจากการทดลองประสิทธิภาพ

ตารางที่ 48 โมเดลเงื่อนไขที่เลือกใช้

	โมเดลที่ 4 ($\Sigma \geq 4$)	โมเดลที่ 2 ($\Sigma \geq 4$)	โมเดลที่ 4 ($\Sigma \geq 3$)
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์
A	- 3 \emptyset or L-L fault - $0 \leq \beta < 0.05$ - $0.03 \leq \lambda < 0.06$	- DLG fault - $V_{dip} \geq 90$ - $0 \leq \lambda < 0.03$	- $\beta \geq 0.2$ - $I_n \geq 10$
B	- $20 \leq Z_{fault} < 50$ - $0.09 \leq \lambda < 0.12$ - Permanent Fault	$2 \leq I_n < 10$ - $Z_{fault} \geq 50$ - Temporary fault	- SLG fault - $0 \leq V_{dip} < 10$
C	- $0 \leq I_n < 0.5$. - $10 \leq V_{dip} < 55$	- $0.05 \leq \beta < 0.2$ - $0 \leq Z_{fault} < 20$	- $\lambda \geq 0.12$ - $Z_{fault} \geq 50$ - Temporary fault

ตารางที่ 49 ผลการทดสอบประสิทธิภาพด้วยโมเดลเงื่อนไขที่เลือกใช้

สาเหตุที่ คาดคะเน	สาเหตุจริง			Quantity	Quality
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์		
ต้นไม้	19	0	0	63.33%	100.0%
ฟ้าผ่า	0	10	0	33.33%	100.0%
สัตว์	0	0	13	43.33%	100.0%

โมเดลเงื่อนไขที่เลือกใช้ในตารางที่ 48 และ ผลการทดสอบประสิทธิภาพในตารางที่ 49 สามารถสรุปได้ว่า

ความผิดพลาดที่เกิดจากต้นไม้ที่ใช้ $\Sigma \geq 4$ ตามเงื่อนไขของ cross validation model4 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยมีความแม่นยำ 100% และสามารถจำแนกเหตุการณ์ที่เกิดจากต้นไม้ได้ถึง 19 จาก 30เหตุการณ์ (63.33%)

ความผิดพลาดที่เกิดจากฟ้าผ่านั้นใช้ $\Sigma \geq 4$ ตามเงื่อนไขของ cross validation model2จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยมีความแม่นยำ 100% และสามารถจำแนกเหตุการณ์ที่เกิดจากฟ้าผ่าได้ถึง 10 จาก 30เหตุการณ์ (33.33%)

ความผิดพลาดที่เกิดจากสัตว์นั้นใช้ $\Sigma \geq 3$ ตามเงื่อนไขของ cross validation model4 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยมีความแม่นยำ 100% และสามารถจำแนกเหตุการณ์ที่เกิดจากสัตว์ได้ถึง 13 จาก 30เหตุการณ์ (43.33%)

ด้วยผลการทดลองประสิทธิภาพดังกล่าวสามารถสรุปรวบยอดได้ว่าเกณฑ์การตัดสินใจที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นสามารถจำแนกเหตุการณ์ความผิดพลาดที่เกิดจากต้นไม้ ฟ้าผ่า สัตว์ ได้ถูกต้องทั้งหมด 42 จาก 90 เหตุการณ์ (46.67%) โดยมีความแม่นยำ 100%

5.4 การทดสอบกับสถานการณ์จริง

ตารางที่46 ผลการทดสอบกับสถานการณ์จริง25เหตุการณ์ด้วยเงื่อนไขที่คัดเลือกแล้ว

สาเหตุที่คาดคะเน	สาเหตุจริง			
	ต้นไม้	ฟ้าผ่า	สัตว์	อื่นๆ
ต้นไม้	3	0	0	0
ฟ้าผ่า	0	3	0	0
สัตว์	0	0	2	0

ในการทดลองรอบเสมือนจริงนี้นำเหตุการณ์ความผิดพลาดใหม่อีก 25 เหตุการณ์มาใช้ทดสอบ แบ่งเป็น ความผิดพลาดที่เกิดจากต้นไม้ ฟ้าผ่า และสัตว์ อย่างละ 5 เหตุการณ์ และความผิดพลาดจากสาเหตุอื่น 10 เหตุการณ์ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 33 พบว่าสามารถคาดคะเนสาเหตุของความผิดพลาดว่ามาจากต้นไม้ 3 เหตุการณ์ ($3/5 = 60\%$) มาจากจากฟ้าผ่า 3 เหตุการณ์ ($3/5 = 60\%$) และมาจากสัตว์ 2 เหตุการณ์ ($2/5 = 40\%$) โดยผลการคาดคะเนถูกต้องทั้งหมด 100% และสามารถคัดแยกเหตุการณ์ผิดพลาดจากสาเหตุอื่นๆออกได้ทั้งหมด ซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายที่ให้ ความสำคัญกับความถูกต้องในการคาดคะเนสาเหตุ มากกว่าจำนวนเหตุการณ์ที่สามารถคาดคะเนสาเหตุได้ เพื่อให้ผู้นำไปใช้งานมีความเชื่อมั่นในผลการคาดคะเนสาเหตุ ทำให้สามารถปฏิบัติการแก้ไขได้อย่างถูกต้อง เหมาะสม และรวดเร็ว

บทที่ 6

สรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงการวิเคราะห์ลักษณะเด่นของความผิดปกติ 8 คุณลักษณะ โดยศึกษาจากเหตุการณ์ ความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบส่งของประเทศไทยทั้งหมดซึ่งประกอบไปด้วย เหตุการณ์ความผิดปกติที่เกิดจากฟ้าผ่า ต้นไม้ และ สัตว์ อย่างละ 30 เหตุการณ์รวม 90 เหตุการณ์ ลักษณะเด่นที่นำมาใช้จำแนกมีทั้งหมด 8 ลักษณะเด่น ประกอบไปด้วย ค่าแรงดันตกชั่วขณะ ค่าสูงสุดของกระแสนิวทรัล อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแส ค่าอิมพีแดนซ์ความผิดปกติ ตำแหน่งมุมที่เกิดความผิดปกติ ความผิดปกติแบบชั่วคราวและถาวร และ ชนิดของความผิดปกติ พบว่าลักษณะเด่นทั้ง 8 ของแต่ละสาเหตุความผิดปกติจะมีค่าของลักษณะเด่นที่แตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญ

นำไปสู่บทสรุปในการสร้างเงื่อนไขและทดสอบประสิทธิภาพดังมีผลทำให้สามารถจำแนกเหตุการณ์ได้สูงกว่า 50% จากเหตุการณ์ทั้งหมด โดยที่สามารถจำแนกสาเหตุได้อย่างถูกต้องทุกเหตุการณ์

สำหรับเหตุการณ์ที่ไม่สามารถจำแนกได้นั้น หากนำไปต่อยอดแล้วจะทำให้สามารถเพิ่มจำนวนเหตุการณ์ความผิดปกติที่สามารถจำแนกได้มากขึ้นและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสาเหตุความผิดปกติชนิดอื่นๆได้อีกด้วย ไม่ว่าจะเป็น ความผิดปกติที่เกิดจากควีนไฟ หรือ ความผิดปกติที่เกิดจากรถเครนซึ่งเป็นอีก 2 เหตุการณ์ความผิดปกติที่พบมากในสายส่ง

จากผลการทดลองของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถนำไปต่อยอดให้กับระบบผู้เชี่ยวชาญในการจำแนกสาเหตุของความผิดปกติที่เกิดจากต้นไม้ ฟ้าผ่า และสัตว์ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพทำให้ลดระยะเวลาในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ได้มากยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

- [1] Z. Yongli, Y. Yang, B. Hogg, W. Zhang, and S. Gao, "An expert system for power systems fault analysis," *IEEE transactions on power systems*, vol. 9, pp. 503-509, 1994.
- [2] มารุต ทองสา, "การจำแนกเหตุการณ์ผิดปกติพร้อมบนสายส่งไฟฟ้าจากข้อมูลของเครื่องบันทึกความผิดปกติแบบดิจิทัล," 2012.
- [3] จิรายุทธ์ กิตติจันทร์รัตนา, "การวิเคราะห์อุปกรณ์ผิดปกติพร้อมบนเครือข่ายระบบส่งไฟฟ้าโดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ," วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.)--จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553, 2010.
- [4] พลสันต์ พงษ์ประยูร, "การ วิเคราะห์ซิกเนเจอร์ของความผิดปกติพร้อมในระบบส่งไฟฟ้าโดยใช้การรู้จำรูปแบบ," 2012.
- [5] S. Kulkarni, D. Lee, A. J. Allen, S. Santoso, and T. A. Short, "Waveform characterization of animal contact, tree contact, and lightning induced faults," in *IEEE PES General Meeting*, 2010, pp. 1-7.
- [6] A. A. M. Zin and S. P. A. Karim, "The application of fault signature analysis in Tenaga Nasional Berhad Malaysia," *IEEE Transactions on power Delivery*, vol. 22, pp. 2047-2056, 2007.
- [7] V. B. Núñez, S. Kulkarni, S. Santoso, and M. F. Joaquim, "Feature analysis and classification methodology for overhead distribution fault events," in *IEEE PES General Meeting*, 2010, pp. 1-8.
- [8] ณัฐพล เชียงกาขัน, "Analysis of voltage sag in distribution system of provincial electricity authority in Lamphun industrial estate," 2012.
- [9] J. R. Quinlan, "Induction of decision trees," *Machine learning*, vol. 1, pp. 81-106, 1986.
- [10] F. Esposito, D. Malerba, G. Semeraro, and J. Kay, "A comparative analysis of methods for pruning decision trees," *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 19, pp. 476-491, 1997.
- [11] เอกสิทธิ์ พัชรวงศ์ศักดิ์, "introduction to datamining (ฉบับภาษาไทย)," 2014.
- [12] R. Kohavi, "A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection," in *Ijcai*, 1995, pp. 1137-1145.

- [13] D. P. John Rice, "Mathematical Statistics and Data Analysis," 1995.
- [14] C. M. Grinstead and J. L. Snell, *Introduction to probability*: American Mathematical Soc., 2012.
- [15] P. M. Anderson and P. M. Anderson, *Analysis of faulted power systems* vol. 445: IEEE press Piscataway, 1995.
- [16] J. J. Grainger and W. D. Stevenson, *Power system analysis*: McGraw-Hill, 1994.
- [17] J. D. Glover, M. S. Sarma, and T. Overbye, *Power System Analysis & Design, SI Version*: Cengage Learning, 2012.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ต้นไม้								
Fault ID	In_max	Temp & Per	Type	V_dip	z	Beta	lamda	FIPA
520225	1.8206	PER	SLG	41.86	22.46	0.1035	0.105339	60
520801	1.4838	PER	SLG	10.10	37.42	0.02432	0.170093	95.62
530426	1.8201	TEMP	3Ø	28.7	27.36	0.08	0.10841	42.18
521207	7.3799	PER	SLG	40.92	5.67	0.08704	0.107398	106.87
530518	0.2166	TEMP	LL	48.35	4.13	0.176	0.11072	33.75
530606	1.5271	PER	SLG	28.32	32.84	0.12736	0.032403	132.18
530613	1.8183	PER	DLG	45.82	21.25	0.09088	0.141069	109.68
530715	2.4501	PER	SLG	26.94	41.44	0.005847	0.00385	29.22
530913	3.1676	TEMP	SLG	42.88	24.61	0.03968	0.043027	151.87
531216	0.7657	PER	SLG	7.15	81.77	0.0192	0.175123	123.75
540305	0.2478	PER	LL	49.88	23.90	0.0972	0.1716	108
540610	1.7022	PER	SLG	35.92	26.35	0.10048	0.031027	67.5
540616	0.0317	TEMP	LL	50.59	16.91	0.0288	0.10432	61.875
570111	1.77	PER	3 Ø	44.61	31.91	0.1446	0.030159	90
580524	15.1521	PER	SLG	75.07	1.17	0.18752	0.108672	126.56
580814	8.4374	PER	SLG	19.56	6.40	0.04736	0.05255	98.43
580918	0.0224	PER	LL	43.75	2.18	0.1653	0.1467	48
581005	0.9838	PER	LL	17.75	54.35	0.08128	0.03456	109.68
590115	0.0241	PER	LL	53.23	4.02	0.06464	0.11456	33.75
580902	0.227	PER	3 Ø	33.85	41.09	0.0992	0.036205	101.25
580321	0.5195	TEMP	SLG	85.87	23.91	0.12288	0.109997	50.625
580521	0.0444	TEMP	SLG	25.2	1174.72	0.03328	0.004774	154.68
580529	6.6464	PER	SLG	77.28	2.48	0.28672	0.111597	104.06
590113	0.0108	PER	LL	16.05	29.07	0.14016	0.12032	0
590419	0.0621	TEMP	LL	37.72	33.53	0.07424	0.14464	129.37
590515	2.2558	PER	SLG	50.95	19.89	0.00768	0.118592	137.81
570916	0.0698	PER	LL	25.68	24.91	0.1512	0.1095	114
580206	0.0452	PER	LL	23.5	26.13	0.0879	0.1467	90
580806	1.5124	PER	SLG	19.78	36.59	0.1374	0.107922	132
580817	0.6646	PER	3 Ø	65.93	39.47	0.0744	0.164961	66

Fault ID	In_max	Temp & Per	Type	V_dip	z	Beta	lamda	FIPA
520221	0.7844	PER	SLG	45.16	101.88	0.13632	0.029306	106.87
520407	1.3071	TEMP	DLG	44.25	30.73	0.1323	0.14268	168
520429	0.2193	TEMP	LL	57.32	281.75	0.13696	0.145158	67.5
520501	7.005	TEMP	DLG	62.98	4.025	0.1701	0.140136	162
520521	1.3132	TEMP	DLG	69.8	16.806	0.14784	0.134618	11.25
520521	1.2463	TEMP	DLG	69.92	17.68	0.14784	0.13191	14.06
520525	0.0805	TEMP	LL	43.43	6.90	0.1088	0.15232	109.68
520616	0.3062	TEMP	3 Ø	29.47	174.27	0.07872	0.003936	115.31
520711	1.5797	PER	DLG	13.71	32.53	0.06912	0.148979	73.12
520830	3.3533	PER	SLG	26.87	16.35	0.10688	0.088032	59.06
521015	2.3623	PER	SLG	22.71	49.39	0.09856	0.027533	95.62
530219	3.1819	TEMP	SLG	99.96	1.92	0.07488	0.147667	106.87
530219	5.8844	TEMP	SLG	99.89	2.40	0.10368	0.109958	106.87
530524	4.8181	TEMP	DLG	21.56	9.84	0.0864	0.149274	36.56
530529	2.9781	TEMP	SLG	56.34	10.31	0.13504	0.14825	61.87
530814	1.8396	PER	SLG	22.79	28.45	0.08768	0.028883	140.62
530825	5.6503	PER	SLG	33.4	15.88	0.09472	0.154707	101.25
530929	17.2338	PER	3 Ø	99.83	1.11	0.07424	0.145331	59.06
530930	0.613	TEMP	SLG	46.11	150.40	0.1184	0.02608	61.87
531002	5.8779	PER	SLG	19.78	18.51	0.0864	0.140787	123.75
540218	6.0044	TEMP	SLG	46.48	6.18	0.1158	0.10416	60
540321	0.5965	TEMP	SLG	39.2	152.03	0.13888	0.025888	132.18
540418	2.3087	TEMP	SLG	47.39	16.79	0.10752	0.135994	50.62
540419	6.5254	TEMP	SLG	52.5	9.93	0.1287	0.139896	84
540419	3.2959	PER	SLG	15.85	34.97	0.07232	0.146886	59.06
540428	7.5095	TEMP	SLG	78.18	5.86	0.15488	0.026298	154.68
540429	0.1862	TEMP	SLG	81.62	75.40	0.13312	0.105395	135
540514	0.8044	TEMP	DLG	37.33	55.67	0.12416	0.142035	126.56

สัตว์								
Fault ID	In_max	Temp & Per	Type	V_dip	z	Beta	lamda	FIPA
540607	4.175	TEMP	SLG	50.45	8.16	0.12352	0.11769	98.43
540714	0.8866	TEMP	3 Ø	99.72	208.86	0.0084	0.038793	90
520329	1.7247	TEMP	SLG	28.16	28.68	0.10816	0.14551	140.62
521120	15.4541	TEMP	SLG	64.67	1.57	0.15104	0.148339	95.62
540503	1.3549	PER	SLG	20.31	40.28	0.0903	0.140304	102
570523	4.1458	TEMP	SLG	58.63	6.98	0.1614	0.107142	48
570605	1.123	TEMP	SLG	57.51	50.97	0.24288	0.156792	97.5
570714	3.8314	TEMP	SLG	24.62	13.63	0.1836	0.125577	84
580921	20.8735	PER	SLG	68.46	2.06	0.23744	0.096288	73.12
581215	1.6504	TEMP	SLG	74.5	10.7	0.0576	0.152819	92.81
590315	3.9846	PER	SLG	22.01	13.57	0.17536	0.141299	61.85
570215	9.4167	TEMP	SLG	39.77	8.87	0.21696	0.122179	58.12
570215	9.1571	TEMP	SLG	39.91	9.06	0.21408	0.149731	105
580517	0.144	TEMP	SLG	6.92	456.04	0.0084	0.107772	84
580523	9.1352	TEMP	SLG	98.21	0.179	0.24384	0.117498	120.93
580902	1.0002	PER	SLG	47.06	50.52	0.00704	0.150938	56.25
581208	9.296	TEMP	SLG	37.29	9.32	0.20256	0.122064	50.62
581216	8.6942	TEMP	SLG	33.4	10.56	0.2016	0.151814	114.37
590501	8.6851	TEMP	SLG	90.92	0.77	0.21568	0.122918	47.81
590601	1.8384	TEMP	SLG	31.18	29.56	0.1024	0.035814	53.43
590706	1.5476	TEMP	SLG	25.45	32.80	0.1452	0.110838	0
560102	0.0171	PER	LL	5.88	1010	0.20544	0.15616	118.12
560122	7.2754	TEMP	SLG	38.28	11.37	0.2064	0.142122	7.27
560206	6.1403	PER	SLG	2.17	21.52	0.11264	0.152122	64.68
571101	3.6591	TEMP	SLG	21.77	15.27	0.1782	0.038292	48
571123	7.3364	TEMP	SLG	63.74	3.43	0.0633	0.145767	84
550920	4.5129	PER	SLG	17.9	24.35	0.21696	0.11959	149.06
551001	1.6581	PER	SLG	40.46	34.48	0.21568	0.151827	157.5
551014	0.7028	PER	SLG	45.67	53.66	0.1472	0.120544	64.68
551015	19.9495	TEMP	SLG	61.51	2.68	0.1095	0.129087	18
551016	10.0742	PER	SLG	14.32	11.82	0.144	0.113946	98.43
551103	3.7487	TEMP	SLG	15.9	15.34	0.1494	0.132807	120



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายรัฐพล หงษ์ดิลกกุล เกิดวันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2535 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร เข้าศึกษาที่มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ คณะวิศวกรรมศาสตร์ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ในปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ในปีการศึกษา 2557 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี 2557 และสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2559

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ Hongdilokkul R., Banmongkol C., "Classification on Transmission Line Fault with Waveform Characterization", 13 th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON) 2016