

รายงานฉบับสมบูรณ์

เรื่อง  
การระบุตำแหน่งฟอลต์ที่เกิดขึ้นพร้อมกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า  
Identification of the Simultaneous Fault Location in Distribution Systems

คณะผู้วิจัย

ผศ. ชายชาญ โทธิสาร

หัวหน้าโครงการ

ดร. ชัยยันต์ เจตนาแสน

นักวิจัย

RCH

TK

3101

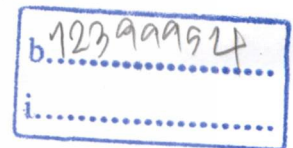
ช 52311

ผ. 1

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....121395

วัน, เดือน, ปี.....4 ก.ค. 2555



สนับสนุนโดย ทุนวิจัยงบประมาณเงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปี 2554

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ นำเสนอการพัฒนาแนวความคิดใหม่เพื่อระบุตำแหน่งฟอลต์ขณะเกิดฟอลต์สองชนิดพร้อมกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าใต้ดินโดยใช้การแปลงเวฟเล็ท การจำลองสายส่งใต้ดินด้วยโปรแกรม ATP/EMTP ค่าเวลาที่สัญญาณฟอลต์มาถึงปลายแต่ละด้านของระบบจำหน่ายไฟฟ้าถูกพิจารณา จากนั้นนำค่าเวลาดังกล่าวมาคำนวณระยะทางที่ฟอลต์เกิดขึ้น ผลสรุปพบว่า วิธีที่นำเสนอให้ผลเป็นที่น่าพอใจทั้งในกรณีเกิดฟอลต์ชนิดเดียวและกรณีเกิดฟอลต์สองชนิดพร้อมกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา แลทุกข้ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Abstract

This research aims to present a development of a new decision algorithm used in the protective relays in order to detect fault locations, during simultaneous fault, in an underground distribution system using discrete wavelet transform (DWT). This fault signal was simulated by ATP/EMTP. The time that the fault signal uses to reach the ends of the distribution line is considered, then, applied so that the distance of fault can be calculated. The result is found that the proposed algorithm gives satisfactory both in case of single fault and simultaneous fault.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ สำเร็จลุล่วงได้อย่างดีด้วยดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาที่มีคุณค่าจากบุคคลและเจ้าหน้าที่ภายในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คุณสิริโรจน์ ใจขาน จากกรไฟฟ้านครหลวงประเทศไทย ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับข้อมูลต่างๆ ที่นำมาใช้ในการศึกษาและวิจัยในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง ที่ได้ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ของสถาบันฯ ประจำปี 2554 ตลอดจนเจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัยของสถาบันที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และได้ให้คำแนะนำในการจัดทำงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บุคคลที่มีความสำคัญยิ่งได้แก่ คุณพ่อ และคุณแม่ ผู้ซึ่งเป็นบิดาและมารดาที่ได้มอบการอบรมสั่งสอนและสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนตั้งแต่อดีตจวบจนถึงปัจจุบัน รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ชีวิตและอบรมความรู้จนทำให้คณะผู้วิจัยมีโอกาสดำเนินโครงการวิจัยฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากโครงการวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญตาราง .....	ฉ
สารบัญรูป .....	ช
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา .....	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ .....	3
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา .....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	5
2.1 การประยุกต์ผลการวิเคราะห์สัญญาณพอลต์กับระบบป้องกันสายส่ง .....	5
2.1.1 การป้องกันแบบกระแสเกิน (Over Current Protection) .....	5
2.1.2 การป้องกันแบบระยะทาง (Distance protection) .....	6
2.2 การวิเคราะห์สัญญาณพอลต์ด้วยการแปลงเวฟเล็ต .....	8
2.2.1 การแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform : WT) .....	8
2.2.1.1 ทฤษฎีเวฟเล็ต (Wavelet Theory) .....	9
2.2.1.2 การสเกล (Scaling) .....	10
2.2.1.3 การเลื่อนตำแหน่ง (Translation or shifting) .....	10
2.2.2 การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform : DWT) .....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การจำลองและวิเคราะห์ฟอลต์ .....	13
3.1 การจำลองฟอลต์ .....	13
3.1.1 การจำลองระบบสายส่ง .....	13
3.2 การวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ด้วยการแปลงเวฟเล็ต .....	15
3.2.1 การตรวจจับ .....	16
3.3 ทฤษฎีการหาจุดกำเนิดฟอลต์.....	19
บทที่ 4 ผลการทดลอง .....	23
4.1 รูปแบบการนำเสนอ .....	23
4.1.1 รูปแบบการนำเสนอของแต่ละกราฟผลการทดลอง .....	23
4.2 ผลการทดลอง .....	25
4.2.1 กรณีเกิดฟอลต์ที่จุด F1 และ F2 ของความยาวสายส่ง ของความยาวสายส่ง (30 กิโลเมตร) .....	25
4.2.2 กรณีกรณีเกิดฟอลต์ที่จุด F1 จุดเดียวของความยาวสายส่ง ของความยาวสายส่ง (30 กิโลเมตร) .....	28
บทที่ 5 บทสรุป .....	30
เอกสารอ้างอิง .....	35
ภาคผนวก ก .....	37
ภาคผนวก ข .....	39
ประวัติผู้จัดทำโครงการวิจัย .....	46

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงเมตริกซ์การแปลงและความเร็วคลื่นเดินทางบนสายส่งของระบบ .....	19
4.1 แสดงผลจากการจำลองที่จุดเกิดฟอลต์ต่างๆ.....	24
4.2 แสดงผลจากการจำลองที่มุมเกิดฟอลต์ต่างๆ.....	24
5.1 ความคลาดเคลื่อนในระบุตำแหน่งฟอลต์ .....	33



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงขนาดของกระแสฟอลต์ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่แตกต่างกัน .....	5
2.2 แสดงการเปรียบเทียบกระแสฟอลต์ด้วยการแปลงฟูเรียร์ .....	6
2.3 แสดงระนาบเชิงซ้อนของกระแสฟอลต์และกราฟเวลาการทำงานของรีเลย์กระแสเกิน .....	6
2.4 แสดงการติดตั้งและหลักการทำงานของรีเลย์ระยะทาง (Distance relay) .....	7
2.5 แสดงระนาบเชิงซ้อน (Complex plane) การทำงานของรีเลย์ระยะทาง .....	8
2.6 แสดงการวิเคราะห์แรงดันและกระแสด้วยการแปลงฟูเรียร์ในสภาวะที่เกิดฟอลต์ .....	8
2.7 แสดงลักษณะของการป้องกันโดยใช้ระบบสื่อสาร .....	10
2.8 แสดงลักษณะของคลื่นเวฟเล็ตแบบ Morlet .....	11
2.9 แสดงคุณสมบัติการสเกลของสัญญาณ ไซน์ .....	12
2.10 แสดงคุณสมบัติการสเกลของฟังก์ชันเวฟเล็ต .....	13
2.11 แสดงคุณสมบัติการเลื่อนตำแหน่งของฟังก์ชันเวฟเล็ต .....	13
2.12 แสดงการกระจายสัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ต .....	14
2.13 แสดงการสร้างกลับสัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ต .....	14
3.1 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในการจำลอง.....	16
3.2 ขนาดของสายเคเบิลใต้ดินที่ใช้ในการจำลอง.....	17
3.3 แสดงรูปคลื่นกระแสทั้ง 3 เฟสที่มุมเกิดฟอลต์ 150° ฟัง Sending.....	17
3.4 แสดงรูปคลื่นกระแสทั้ง 3 เฟสที่มุมเกิดฟอลต์ 150° ฟัง Receiving.....	18
3.5 รูปคลื่นเวฟเล็ตยกกำลัง 2 ฟัง Sending end.....	20
3.6 รูปคลื่นเวฟเล็ตยกกำลัง 2 ฟัง Receiving end.....	21
3.7 ค่าคลื่นสูงสุดฝั่ง A ที่เวลา $T_a$ ค่าคลื่นสูงสุดฝั่ง B ที่เวลา $T_b$ จุดเกิดฟอลต์จริงที่ 3 กิโลเมตร ...	22
4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 3 กิโลเมตร .....	25
4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 8 กิโลเมตร .....	27
4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 17 กิโลเมตร .....	28

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 28.5 กิโลเมตร .....	29
5.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ยสำหรับการตรวจจับฟอลต์ในแต่ละมุมเริ่มเกิดฟอลต์.....	32
5.2 แสดงค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสำหรับการระบุตำแหน่งฟอลต์ประเภท .....	33



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้านั้นควรจะมีควมน่าเชื่อถือที่สูง ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ และความสะดวกแก่ผู้บริโภคด้วย ในอดีตที่ผ่านมา ระบบป้องกันสายส่งไฟฟ้าแรงสูงใช้รีเลย์ระยะทาง (Distance Relay) เป็นตัวเฝ้ามองและมีการวิเคราะห์สัญญาณองค์ประกอบความถี่พื้นฐานของกระแสไฟฟ้าและแรงดัน ไฟฟ้าด้วยการแปลงฟูเรียร์ เพื่อนำมาใช้หาอิมพีแดนซ์ของสายส่งที่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นเมื่อเกิดฟอลต์จะทำให้กระแสไฟฟ้าสูงขึ้น ในขณะที่แรงดัน ไฟฟ้าลดต่ำลง ผลที่ตามมาคือ อิมพีแดนซ์ของสายส่งลดลงจากสภาวะปกติ จากหลักการนี้จะนำมาใช้ในการตรวจจับการเกิดฟอลต์ นอกจากนี้ยังสามารถนำการลดลงของอิมพีแดนซ์มาเทียบเพื่อหาตำแหน่งฟอลต์ ส่วนการระบุประเภทของฟอลต์นั้นจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟส หลักการทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วนั้นตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า ความต้านทานของฟอลต์เป็นศูนย์ ซึ่งในทางปฏิบัติเป็นไปได้ยาก ทำให้มีความผิดพลาดเกิดขึ้น โดยเฉพาะการระบุระยะทางที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงค่อนข้างมาก การระบุระยะทางที่คลาดเคลื่อนนี้ทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการตรวจแต่ละครั้งเป็นจำนวนมาก จากข้อมูลทางสถิติพบว่า รีเลย์แบบนี้จะมีข้อผิดพลาดที่สูง โดยเฉพาะการบอกระยะทางที่คลาดเคลื่อนจากระยะทางจริงมาก นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานอื่นๆ อีกด้วย จึงมีการประยุกต์นำหลักการที่หลากหลายมาประยุกต์ใช้กับวิธีการหาตำแหน่งการเกิดฟอลต์

กระบวนการในการระบุตำแหน่งจุดเกิดฟอลต์เป็นขั้นตอนที่มีความซับซ้อนมาก เมื่อฟอลต์เกิดขึ้นสามารถรับรู้ได้หลายทางด้วยกัน เช่น อาจารย์รู้จากสัญญาณคลื่นที่ตรวจจับฟอลต์ในธุรกิจอุตสาหกรรมได้มีการนำเทคนิคหลากหลายด้วยกันเพื่อนำมาระบุตำแหน่งการเกิดฟอลต์ ดังเช่น การใช้เสียงสะท้อน การใช้คลื่นแม่เหล็ก [1] เป็นต้น ในทางกลับกัน การตรวจหาฟอลต์บริเวณขั้วสายนั้นเป็นวิธีการที่แตกต่างออกไปจากการระบุฟอลต์ระหว่างสายส่ง มักใช้ Bridge Technique เป็นหลักการที่นิยมมากในการระบุการเกิดฟอลต์ที่จุดปลายสาย โดยเป็นการเชื่อมต่อกันของตัวต้านทาน [2] ยังมีหลักการอีกมากมายในการหาฟอลต์ที่ขั้วสาย เช่น Murry Loop Pulse Radar [3] ซึ่งใช้หลักการบริดจ์สมดุลมาใช้ในการหาตำแหน่งของฟอลต์โดยเทียบจากอัตราส่วนของค่าความต้านทานในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า และทฤษฎีคลื่นเดินทาง (Traveling Wave) [4-5] ที่เป็นเทคนิคในการหาตำแหน่งฟอลต์ที่อาศัยคลื่นสัญญาณที่ได้จากการเกิดฟอลต์มาวิเคราะห์โดยนำความเร็วคลื่นเดินทางมาใช้ อีกทั้งยังมีการใช้ SVMs (Support Vector Machines) [6] โดยเป็นเทคนิคที่ใช้ SVMs เข้ามาวิเคราะห์แทนการแปลงเวฟเล็ต จากนั้นมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประยุกต์ใช้เทคนิคในการตรวจวัดแรงดันของสายส่งทั้งสองด้านเพื่อนำมาเปรียบเทียบหาตำแหน่งเกิดฟอลต์ (Synchronized Voltage Measurements) [7] และได้พัฒนาเกี่ยวกับการนำระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent: AI) มาประยุกต์ใช้งานทั้งเทคนิคฟัซซี่โลจิก (Fuzzy logic) [8] และโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) [9- 12] มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการแปลงเวฟเล็ต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ในการวิเคราะห์สัญญาณ โดยใช้หลักการกำหนดคกฎให้แก่โปรแกรม เพื่อให้ตัวโปรแกรมสามารถตัดสินใจ การทำงานด้วยตัวเองได้

จากงานวิจัยส่วนใหญ่ที่ได้กล่าวมานั้นพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่มักจะเป็นการวิเคราะห์ฟอลต์แบบจุดเดี่ยว (Single Fault) ในส่วนการวิเคราะห์ฟอลต์แบบเกิดพร้อมกัน (Simultaneous Fault) มีน้อยมาก โดยในระยะแรกใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์ [13] นอกจากนี้ ยังได้มีการวิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่งฟอลต์ในกรณีการเกิดฟอลต์พร้อมกันในระบบไฟฟ้ากำลังด้วยทฤษฎีคลื่นเดินทาง [14] พบว่า เกิดความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งฟอลต์เกิดขึ้น เนื่องจากการตรวจจับฟอลต์แบบปกตินั้นจะทำการตรวจจับค่าเวลา ณ จุดที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงเวฟเล็ตที่สูงสุด แต่เมื่อวิเคราะห์ฟอลต์แบบเกิดพร้อมกัน สัมประสิทธิ์ที่ได้จะมีลักษณะที่แตกต่างออกไป จึงทำให้ค่าเวลาที่ตรวจจับได้เกิดความผิดพลาด [14] จึงกล่าวได้ว่าการเกิดฟอลต์พร้อมกันในระบบไฟฟ้ากำลังจำเป็นต้องมีการศึกษา เพื่อที่จะป้องกันการเกิดฟอลต์ในกรณีการเกิดฟอลต์พร้อมกันในระบบไฟฟ้ากำลังที่อาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่จะทำให้ระบบไฟฟ้ามีเสถียรภาพและความเชื่อถือได้สูงยิ่งขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแผนการป้องกันแบบใหม่สำหรับวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ที่เกิดขึ้นบนสายส่งไฟฟ้าได้ดิน
2. เพื่อขยายขอบเขตงานวิจัยและเทคโนโลยีทางด้านระบบไฟฟ้ากำลัง โดยการประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ต
3. เพื่อทำการวิเคราะห์และตรวจจับสัญญาณฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ดิน เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบระบบป้องกัน
4. เพื่อระบุตำแหน่ง และรูปแบบของสัญญาณฟอลต์ที่เกิดขึ้น โดยจะทำให้สามารถกำจัดฟอลต์ได้อย่างรวดเร็วซึ่งจะช่วยลดความเสียหายที่เกิดขึ้น

## 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

รูปแบบเดิมในการวิเคราะห์สัญญาณของรีเลย์แบบระยะทาง (distance relay) คือการวิเคราะห์องค์ประกอบความถี่พื้นฐานของกระแสและแรงดันลำดับบวก (Positive sequence) ด้วยการแปลงฟูเรียร์ เพื่อนำมาใช้หาอิมพีแดนซ์ของสายส่ง ดังนั้นเมื่อเกิดฟอลต์จะทำให้กระแสสูงขึ้นในขณะที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงคั่นลดต่ำลง ผลที่ตามมาคือ อิมพีแดนซ์ของสายส่งลดลงจากสภาวะปกติ จากหลักการนี้จะนำมาใช้ในการตรวจจับการเกิดฟอลต์ นอกจากนี้ยังสามารถนำการลดลงของอิมพีแดนซ์มาเทียบเพื่อหาตำแหน่งฟอลต์ ส่วนการระบุประเภทของฟอลต์นั้นจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของกระแสในแต่ละเฟส หลักการทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วนั้นตั้งอยู่บนสมมุติฐานที่ว่าความต้านทานของฟอลต์เป็นศูนย์ซึ่งในทางปฏิบัติเป็นไปได้ยาก ทำให้มีความผิดพลาดเกิดขึ้น

งานวิจัยฉบับนี้ได้ตั้งสมมุติฐานของการศึกษาโดยอ้างอิงจากพฤติกรรมของสัญญาณฟอลต์คือเมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้นบนสายส่งจะมีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่ต่างๆ เกิดขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้将有ความสัมพันธ์กับรูปแบบของฟอลต์ โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่สูงจะมีค่าสูงขึ้นและยังสามารถให้ข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับฟอลต์ที่เกิดขึ้น โดยข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงนี้เมื่อนำการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (DWT) มาใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ที่แพร่มาจากจุดที่เกิดฟอลต์ตามทฤษฎีคลื่นเดินทาง โดยทำการแยกองค์ประกอบความถี่สูง (detail) พิจารณาการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่สูงในหลายสเกลหรือหลายช่วงความถี่ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์นี้จะนำมาใช้ในการตรวจจับฟอลต์ที่เกิดขึ้นบนสายส่งค่าสัมประสิทธิ์ขององค์ประกอบกระแสลำดับบวกที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต และนำเอาผลที่ได้จากสเกลแรกที่เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่สูง นำไปเป็นข้อมูลอินพุตสำหรับการวิเคราะห์หาตำแหน่งฟอลต์

#### 1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ขอบเขตของการศึกษาวิจัยแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่ ขอบเขตของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังที่พิจารณา ขอบเขตของการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

##### 1. ขอบเขตของระบบไฟฟ้ากำลังที่พิจารณา

ในโครงการวิจัยนี้ ระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังที่พิจารณาคือระบบสายส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เท่านั้น ซึ่งเป็นสายส่งในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าทั่วไป ความยาวสายอยู่ที่ 30 กิโลเมตร

##### 2. ขอบเขตของการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์

การวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์จะใช้ข้อมูลของกระแสไฟฟ้าที่เกิดฟอลต์ขึ้นของแบบจำลอง โดยไม่พิจารณาถึงรูปแบบของสัญญาณรบกวนอื่นๆ ที่คล้ายคลึงกันเช่น ไฟฟ้า และทิศทางของสัญญาณฟอลต์ที่เกิดขึ้น จากนั้นใช้โปรแกรม MATLAB/Wavelet Toolbox มาวิเคราะห์ เพื่อศึกษาถึงรูปแบบและพฤติกรรมของสัญญาณฟอลต์ เช่น ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ และมุมที่เริ่มเกิดฟอลต์ เป็นต้น

## 1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษาประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้ จำลองสัญญาณฟอลต์ที่แตกต่างกันในกรณีการเกิดฟอลต์ ด้วยโปรแกรม ATP/EMTP แล้วนำสัญญาณฟอลต์มาทำการแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วย เพื่อทำการพิจารณาหาข้อมูลในสเกลแรกที่ตรวจจับฟอลต์ได้ รวมถึงช่วงของข้อมูลที่เหมาะสมที่ควรใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ เพื่อนำมาสรุปเป็นขั้นตอนการวิเคราะห์และตัดสินใจ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย

1. สามารถเป็นแนวคิดในการออกแบบสร้างระบบป้องกันสายส่งไฟฟ้า
2. เผยแพร่ความรู้ในเทคโนโลยีการตรวจจับการเกิดฟอลต์ในสายส่งไฟฟ้า
3. ส่งเสริมงานวิจัยให้มีการพัฒนาโดยการตีพิมพ์ในวารสารหรือการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

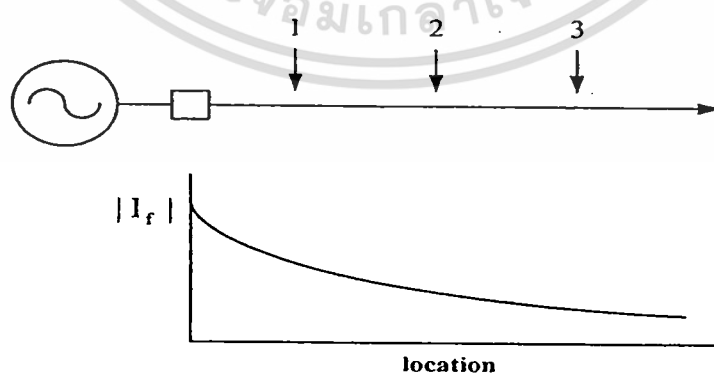
การมีระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอาศัยระบบการป้องกันและอุปกรณ์ที่มาตรฐานเป็นจำนวนมาก ระบบการป้องกันสายส่งที่ใช้ในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันหลากหลายประเภทซึ่งได้รับการออกแบบและพัฒนาอย่างเหมาะสมสำหรับการป้องกันสายส่งที่มีความซับซ้อน โดยที่รูปแบบการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์แต่ละลักษณะนั้น มีหลักการและวิธีการที่แตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้งาน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.1 การประยุกต์ผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์กับระบบป้องกันสายส่ง

สายส่งเป็นอุปกรณ์ที่เกิดฟอลต์ได้มากที่สุดในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เนื่องจากสายส่งมีระยะทางที่ยาวผ่านพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดฟอลต์ได้ เช่น ภูเขา, ป่าเขา รวมไปถึงชุมชนและแหล่งอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมียุทธศาสตร์ในการป้องกันที่ดี และระบบสายส่งส่วนใหญ่เป็นสายส่งที่มีลักษณะเป็นลูป (Loop Line) คือสายส่งที่สามารถรับไฟได้ทั้งสองด้าน ทำให้ฟอลต์มีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งระบบการป้องกันสายส่งที่ใช้ในปัจจุบันมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 2.1.1 การป้องกันแบบกระแสเกิน (Over Current Protection)

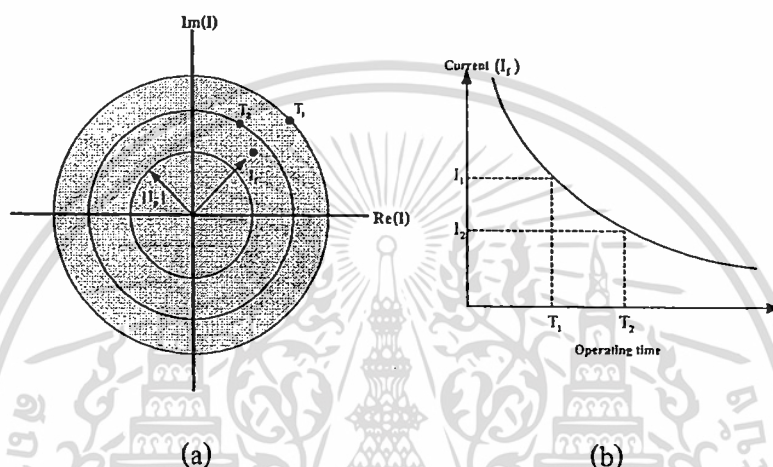
เป็นระบบการป้องกันพื้นฐาน โดยอาศัยหลักการการทำงานคือการตรวจวัดกระแสฟอลต์ที่ 50 หรือ 60 เฮิร์ต ที่ปรากฏบนสายส่งในสถานะที่มีฟอลต์เกิดขึ้น ซึ่งกระแสฟอลต์นี้จะมีขนาดที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับประเภทของฟอลต์ จำนวนเครื่องกำเนิดที่มีอยู่ในระบบ และตำแหน่งที่เกิดฟอลต์เมื่อวัดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงขนาดของกระแสฟอลต์ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่แตกต่างกัน

ซึ่งในระบบการป้องกันแบบกระแสเกินจะอาศัยการเปรียบเทียบขนาดของกระแสที่วัดได้ ( $I_f$ ) จากหม้อแปลงกระแส (CT) กับค่ากระแสที่กำหนดเป็นเกณฑ์ ( $I_p$ ) ซึ่งรีเลย์ที่ทำหน้าที่ในการวิเคราะห์ในรูปแบบนี้คือ รีเลย์กระแสเกิน (Over current relay) โดยมีฟังก์ชันการทำงานดังนี้คือ ถ้ากระแสที่วัดได้มีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ให้รีเลย์จะส่งปลดวงจร แต่ถ้ากระแสที่วัดได้มีค่าน้อยกว่ารีเลย์จะไม่ทำงานดังแสดงในสมการที่ 2.1 และรูปที่ 2.2 (a)

$$\begin{aligned} |I_f| > |I_p| & \quad \text{trip} \\ |I_f| < |I_p| & \quad \text{block} \end{aligned} \quad (2.1)$$

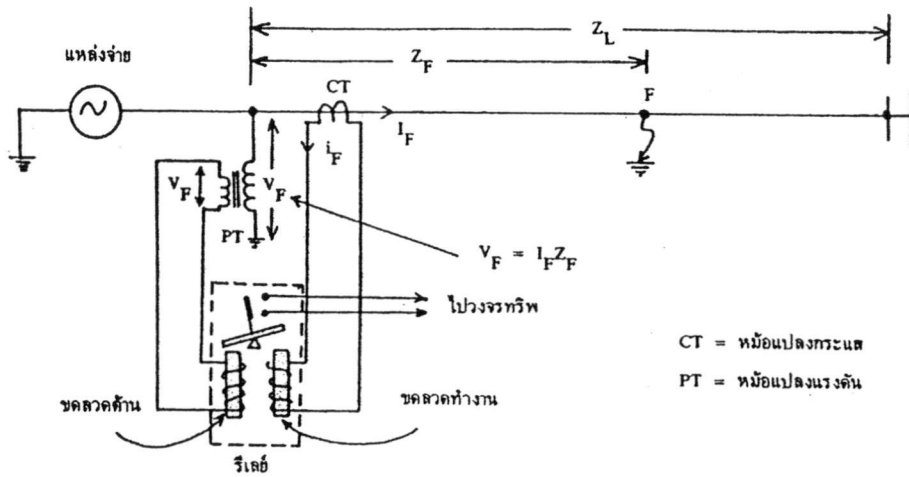


รูปที่ 2.2 แสดงระนาบเชิงซ้อนของกระแสฟอลต์และกราฟเวลาการทำงานของรีเลย์กระแสเกิน

เนื่องจากขนาดที่แตกต่างกันของกระแสฟอลต์ จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดความเร็วในการทำงานของรีเลย์กระแสเกิน ซึ่งจะแปรผกผันกับขนาดของกระแสคือ กระแสฟอลต์มากแสดงว่าฟอลต์มีความรุนแรงมากและอยู่ใกล้จุดที่ติดตั้งรีเลย์มากกว่าจึงต้องมีการทำงานที่รวดเร็วกว่า ในขณะที่กระแสฟอลต์ที่ต่ำลงมาแสดงว่าฟอลต์มีความรุนแรงต่ำกว่าและอยู่ไกลออกไปจะมีการทำงานที่ช้ากว่า ซึ่งเวลาในการทำงานนี้ผู้ใช้จะต้องกำหนด (Setting) ให้รีเลย์ ตามรูปที่ 2.2 (b)

### 2.1.2 การป้องกันแบบระยะทาง (Distance protection)

การทำงานของรีเลย์ชนิดนี้อาศัยการตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์ของสายส่ง โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่พื้นฐาน (50 หรือ 60 Hz) จากกระแสและแรงดันด้วยการแปลงฟูเรียร์ตามหลักการของคลื่นเดินทาง ณ ตำแหน่งที่ติดตั้งรีเลย์ซึ่งปกติจะอยู่ที่ปลายของสายส่งดังแสดงในรูปที่ 2.3



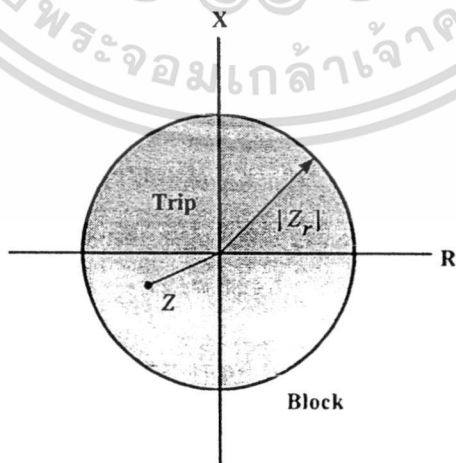
รูปที่ 2.3 แสดงการติดตั้งและหลักการการทำงานของรีเลย์ระยะทาง (Distance relay)

ซึ่งค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งนั้นได้มาจากอัตราส่วนระหว่างแรงดันและกระแสดังสมการที่ 2.2

$$Z = \frac{V}{I} \tag{2.2}$$

ขั้นตอนในการตัดสินใจของรีเลย์จะใช้การเปรียบเทียบค่าอิมพีแดนซ์ที่รีเลย์ตอบสนองเทียบกับค่าที่กำหนดไว้ ( $Z_r$ ) ตามเงื่อนไขต่อไปนี้

$$\begin{aligned} |Z_r| > |Z| & \text{ trip} \\ |Z_r| < |Z| & \text{ block} \end{aligned} \tag{2.3}$$



รูปที่ 2.4 แสดงระนาบเชิงซ้อน (Complex plane) การทำงานของรีเลย์ระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบค่าอิมพีแดนซ์นี้เองทำให้บางครั้งจะเรียกรีเลย์รูปแบบนี้ว่า อิมพีแดนซ์รีเลย์ (Impedance Relay) และถ้าพิจารณาในระนาบเชิงซ้อนทางเดินของ โลกัส (locus) จะมีลักษณะเป็นวงกลมมีรัศมี  $|Z_r|$  ซึ่งจะเป็นอัตราส่วนของแรงดันและกระแสที่พิจารณาจากรีเลย์ ณ ตำแหน่งที่ติดตั้งในรูปที่ 2.3 ในสภาวะปกติรีเลย์จะมองค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งอยู่นอกวงกลมรัศมี  $|Z_r|$  ดังนั้นจะไม่มีคำสั่งให้เบรกเกอร์ปลดวงจร แต่ในสภาวะที่เกิดความผิดปกติขึ้นนั้นค่าของแรงดันจะลดลงในขณะที่ค่าของกระแสเพิ่มขึ้น ถ้าพิจารณาจากสมการที่ 2.2 พบว่าค่าอิมพีแดนซ์จะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับสภาวะปกติ ตามรูปที่ 2.2 และถ้าค่าอิมพีแดนซ์ลดต่ำกว่ารัศมี  $|Z_r|$  รีเลย์ก็จะเริ่มทำงานตามที่ได้กำหนดไว้ (โหนดของรีเลย์ คือ อิมพีแดนซ์ของสายส่ง) ซึ่งอาศัยการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์ที่เกิดขึ้นนี้เพื่อใช้สำหรับการตรวจจับว่ามีฟอลต์เกิดขึ้นหรือไม่

ผลการลดลงของอิมพีแดนซ์นี้สามารถนำมาเปรียบเทียบกับค่าอิมพีแดนซ์ในสภาวะปกติ และค่าอิมพีแดนซ์ต่อหน่วยความยาวก็สามารถที่จะกำหนดหาระยะทางหรือตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ได้ดังสมการที่ 2.4

$$Location = \frac{Z}{m} = \frac{V}{mI} \quad (2.4)$$

เมื่อ  $m$  คือค่าอิมพีแดนซ์ต่อหน่วยความยาว (ohm/km)

จากจุดนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในระบบการป้องกันแบบโซน (Zone protection) ได้ สำหรับการระบุประเภทของฟอลต์ว่าเกิดที่เฟสใดนั้นอาศัยการพิจารณาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของกระแสในแต่ละเฟส รวมการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของกระแสลำดับศูนย์เพื่อบอกกว่าเป็นการลัดวงจรลงดิน (Ground fault) หรือไม่

## 2.2 การวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ด้วยการแปลงเวฟเล็ต

ในทุกหนทุกแห่งรอบๆ ตัวเราประกอบไปด้วยสัญญาณต่างๆ มากมายที่มนุษย์นำมาใช้ในการวิเคราะห์ เช่น การสั่นของแผ่นดินไหว เสียงพูดของมนุษย์ การสั่นของเครื่องยนต์ และการจัดสัญญาณรบกวน เป็นต้น การวิเคราะห์สัญญาณต่างๆ เหล่านี้จะใช้ทฤษฎีเวฟเล็ตเป็นเครื่องมือสำหรับอธิบายลักษณะ โดยทั่วไปของสัญญาณ ซึ่งมีความสำคัญต่อสาขาการประมวลผลสัญญาณมาก ในบทนี้เป็นการอธิบายหลักการของเวฟเล็ต และนำมาประยุกต์ใช้ในการวิจัยได้

### 2.2.1 การแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform : WT)

การแปลงเวฟเล็ตเป็นรูปแบบหนึ่งของกระบวนการประมวลผลสัญญาณ (Signal processing) ที่ได้มีการพัฒนาจากการแปลงสัญญาณพื้นฐานที่มีอยู่เดิม (การแปลงฟูเรียร์และการแปลงฟูเรียร์ช่วงสั้น) แต่ได้พัฒนารูปแบบให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานเฉพาะทางมากยิ่งขึ้น กล่าวคือ สามารถ

ปรับเปลี่ยนขนาดหน้าต่าง (windows) ได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ สามารถปรับเปลี่ยนช่วงเวลาให้เหมาะสมกับช่วงความถี่ที่จะวิเคราะห์ได้ โดยที่สัญญาณความถี่สูงจะมีช่วงคาบเวลาในการวิเคราะห์ที่น้อยลง ในขณะที่สัญญาณความถี่ต่ำลงจะมีช่วงคาบเวลาในการวิเคราะห์ที่กว้างขึ้น

### 2.2.1.1 ทฤษฎีเวฟเล็ต (Wavelet Theory)

ทฤษฎีเวฟเล็ต (Wavelet Theory) เป็นรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายโครงสร้างของระบบสัญญาณที่ประกอบด้วยกลุ่มของสัญญาณเฉพาะมารวมกันเป็นสัญญาณหนึ่ง โดยสัญญาณเฉพาะนี้จะเป็นคลื่นเล็กๆ ที่เรียกว่า “เวฟเล็ต” ลักษณะของเวฟเล็ตจะเป็นคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (Oscillatory) ตามแนวแกนนอนและขนาดของคลื่นจะลดลงสู่ศูนย์ทั้งทางด้านบวกและด้านลบอย่างรวดเร็วดังรูปที่ 2.5 ดังนั้นการอธิบายสัญญาณใดๆ ด้วยการแปลงเวฟเล็ตคือการนำกลุ่มของเวฟเล็ตที่มีโครงสร้างมาจากฟังก์ชันเดียวกันเป็นตัวอธิบาย ซึ่งฟังก์ชันนี้จะเป็นเวฟเล็ตต้นกำเนิดที่เรียกว่า “เวฟเล็ตแม่” (Mother Wavelets) โดยที่คลื่นเวฟเล็ตแต่ละอันในกลุ่มจะเกิดจากการสเกล (Scaling : a) หรือเป็นการยืดหรือหดตัวของเวฟเล็ตแม่นั้นเอง และการเลื่อนตำแหน่ง (Translation or shifting : k) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนตำแหน่งบนแกนเวลา



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของคลื่นเวฟเล็ตแบบ Morlet

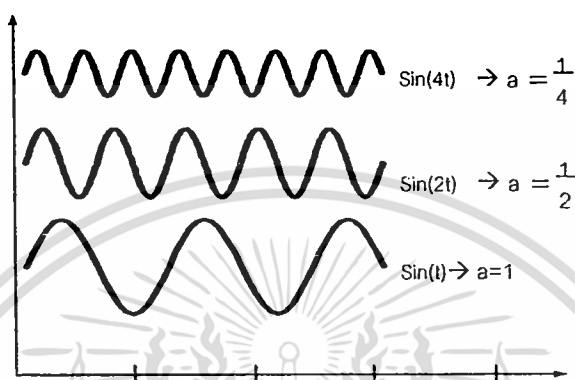
ถ้าให้  $\psi(t)$  เป็นฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่จะเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ของพจน์ต่างๆ ดังนี้

$$\psi_{a,k}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-k}{a}\right) \quad (2.5)$$

$\psi(t)$  เป็นฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ที่มีการปรับเปลี่ยนสเกลและตำแหน่งโดยพารามิเตอร์ a และ k ตามลำดับ โดยที่เวฟเล็ตแม่จะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะไปตามการเปลี่ยนแปลงของค่า a และ k แต่ยังคงอยู่ในเซตหรือมีความสัมพันธ์กับเวฟเล็ตแม่เดิมอยู่ และเพื่อให้เวฟเล็ตที่ถูกสเกลไปมีพลังงานเท่ากับเวฟเล็ตแม่จึงต้องทำการนอร์มัลไลซ์ (Normalize) ด้วย  $\frac{1}{\sqrt{a}}$  เสมอ เพื่อให้เห็นภาพพจน์ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น จะขออธิบายถึงเวฟเล็ตที่มีการสเกลและเลื่อนตำแหน่งดังนี้

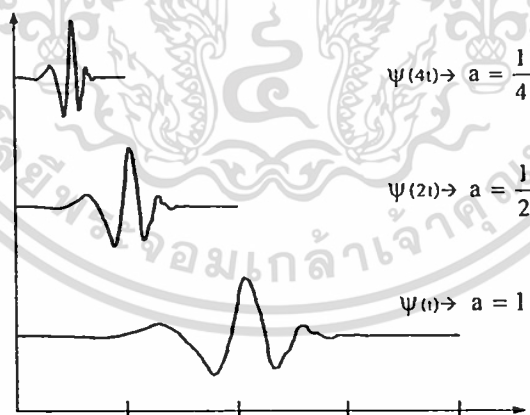
### 2.2.1.2 การสเกล (Scaling : a)

การวิเคราะห์เวฟเล็ทจะแสดงให้เห็นถึงเวลาและขนาดของสัญญาณ การสเกล (Scaling) จะหมายถึงการหดเข้า (Compressing) หรือการขยายออก (Dilation) ซึ่งเราจะให้ “a” แทนด้วยพารามิเตอร์ของการหดหรือขยายซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนความถี่ของเวฟเล็ทนั่นเอง หรืออาจเรียก “a” ว่าเป็นตัวประกอบขนาด (scale factor) และถ้าพิจารณาสัญญาณไซน์ที่มีตัวประกอบขนาดแตกต่างกันจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงคุณสมบัติการสเกลของสัญญาณไซน์

ตัวประกอบขนาด (a) จะมีผลในทางเดียวกันกับเวฟเล็ท ยิ่งถ้าตัวประกอบขนาดน้อยลงเท่าใด เวฟเล็ทจะถูกบีบอัดมากขึ้นเท่านั้น เมื่อพิจารณาเวฟเล็ทที่มีตัวประกอบแตกต่างกันจะปรากฏลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.7

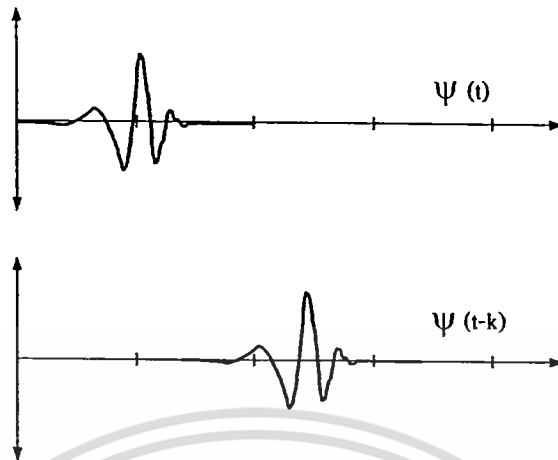


รูปที่ 2.7 แสดงคุณสมบัติการสเกลของฟังก์ชันเวฟเล็ท

### 2.2.1.3 การเลื่อนตำแหน่ง (Translation or shifting : k)

การเลื่อนตำแหน่งของเวฟเล็ทจะมีความหมายง่ายๆ คือ การเลื่อนสัญญาณในทางคณิตศาสตร์ซึ่งการเลื่อนของฟังก์ชัน  $\psi(t)$  ด้วย  $k$  จะแสดงได้โดย  $\psi(t-k)$  การเลื่อนตำแหน่งจะ

กำหนดโดยพารามิเตอร์ “k” ซึ่งจะหมายถึง การเลื่อนตำแหน่งการเกิดคลื่นเวฟเล็บบนแกน เมื่อพิจารณาเวฟเล็ทที่มีการเลื่อนที่ตำแหน่งใดๆ สามารถพิจารณาได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงคุณสมบัติการเลื่อนตำแหน่งของฟังก์ชันเวฟเล็ท

### 2.2.2 การแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform : DWT)

จากข้อจำกัดของการแปลงเวฟเล็ทแบบต่อเนื่องจึงมีการพัฒนารูปแบบการแปลงเวฟเล็ทมาสู่การแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วย ที่มีลักษณะการวิเคราะห์โดยเปลี่ยนสเกลและการเลื่อนตำแหน่งในลักษณะเป็นช่วงๆ ไม่ต่อเนื่องกัน และก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดของการแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วยจำเป็นต้องกล่าวถึง การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Multi-Resolution Analysis : MRA) โดยเป็นการวิเคราะห์สัญญาณที่สามารถเลือกระดับความละเอียดได้ โดยการนำสัญญาณเล็กๆ ที่ระดับความละเอียด  $a$  ซึ่งมี  $k$  หลายๆ ตำแหน่งมารวมกันให้เกิดเป็นสัญญาณที่ระดับความละเอียดที่เลือกไว้ และเมื่อนำสัญญาณที่ทุกระดับความละเอียดมารวมกันก็จะได้สัญญาณอินพุทจริง ซึ่งเรียกว่า “การแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform :DWT)” โดยมีสมการที่ใช้อธิบายดังต่อไปนี้ [6]

$$DWT(m,n) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t - nb_0 a_0^m}{a_0^m}\right) dt \quad (2.6)$$

โดยที่  $a_0^m$  คือ การสเกล

$nb_0 a_0^m$  คือ การเลื่อนตำแหน่ง

$m, n$  คือ เลขจำนวนเต็มบวก

และในทางปฏิบัติการนำมาใช้งานจริง สัญญาณที่เข้ามาจะอยู่ในรูปของการสุ่ม (sample) ดังนั้นจากสมการที่ (2.6) จึงพัฒนามาสู่สมการที่ (2.7) [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$DWT(m, n) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_k f(k) \psi\left[\frac{n - kb_0 a_0^m}{a_0^m}\right] \quad (2.7)$$

เมื่อ  $m, n, k$  เป็นเลขจำนวนเต็มโดยที่

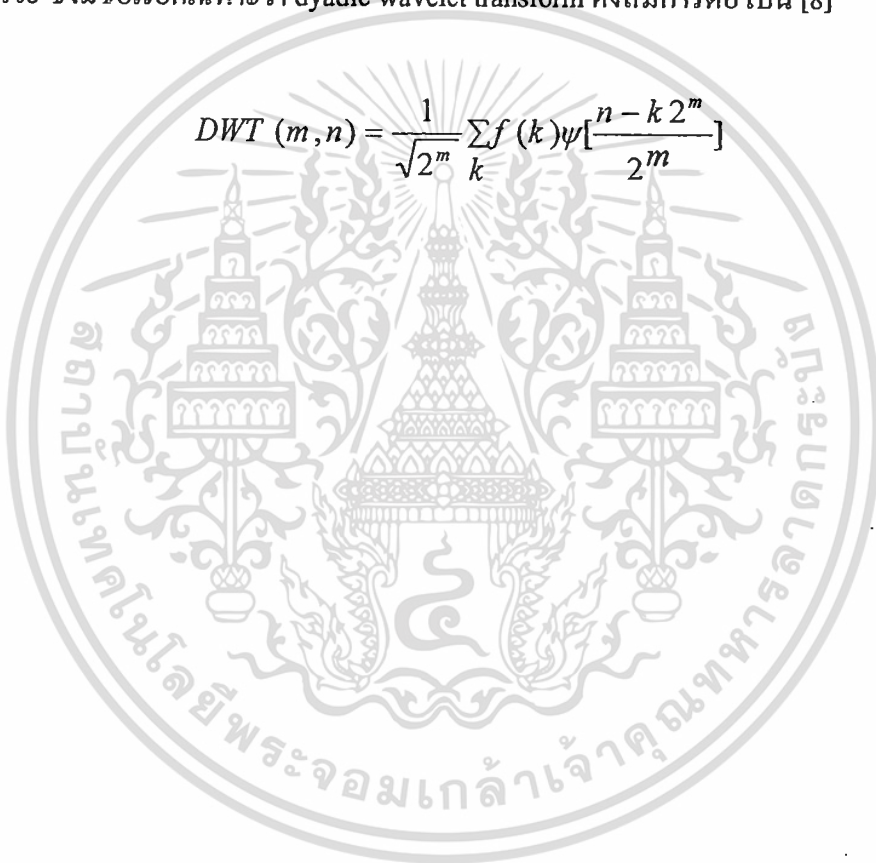
$n$  คือ จำนวนข้อมูล

$m$  คือ เลขแสดงการเปลี่ยนแปลงของสเกล

$k$  คือ เลขแสดงการเลื่อนตำแหน่ง

เมื่อพิจารณาในรูปแบบของการวิเคราะห์หลายระดับความละเอียดแล้วโดยมีการเปลี่ยนแปลงสเกลในการวิเคราะห์ให้ลดลงครึ่งละ 2 เท่า ( $a_0 = 2; b_0 = 1$ ) แล้วจะได้รูปแบบการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย ซึ่งมีชื่อเรียกเฉพาะว่า dyadic wavelet transform ดังสมการต่อไปนี้ [8]

$$DWT(m, n) = \frac{1}{\sqrt{2^m}} \sum_k f(k) \psi\left[\frac{n - k 2^m}{2^m}\right] \quad (2.8)$$



## บทที่ 3

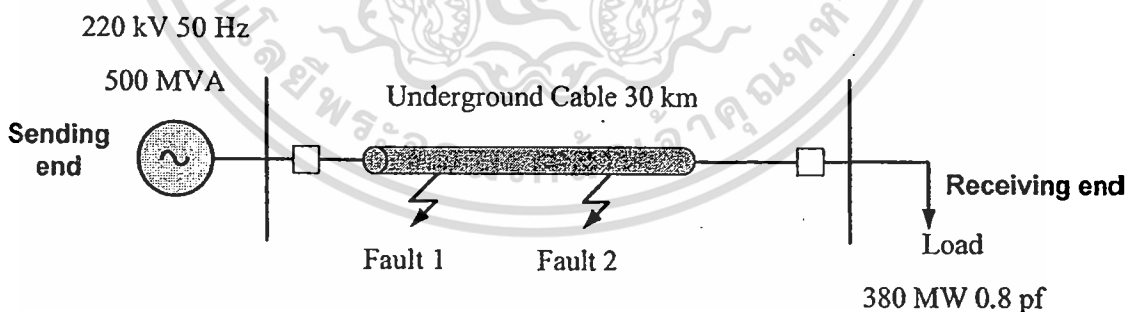
# การจำลองและวิเคราะห์ฟอลต์

### 3.1 การจำลอง

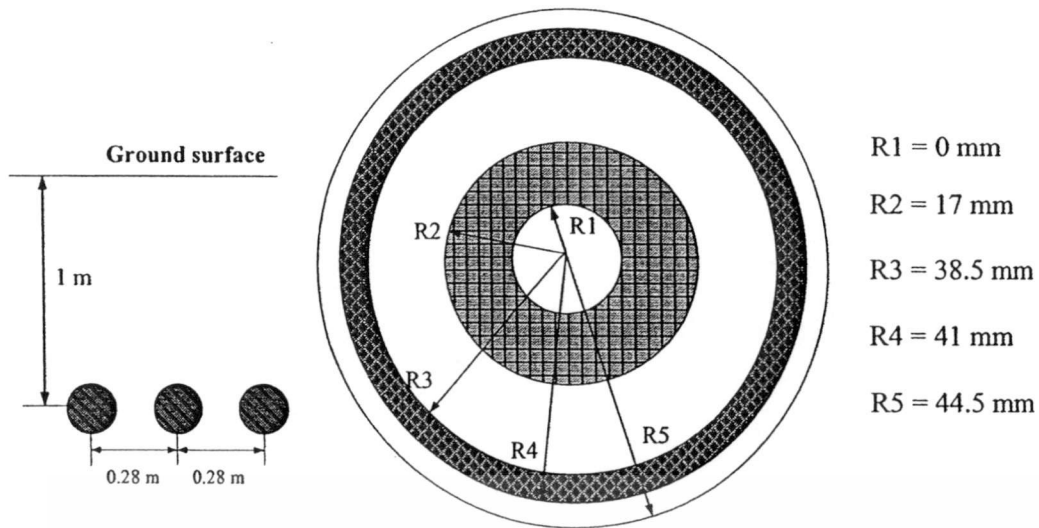
งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการจำลองฟอลต์บนสายส่งด้วยโปรแกรม ATP/EMTP จุดประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของสัญญาณฟอลต์ที่เกิดขึ้นบนสายส่ง เนื่องจากฟอลต์เป็นสิ่งที่ผิดปกติในระบบไฟฟ้าซึ่งในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถทดลองในระบบจริงได้ และเพื่อใช้สำหรับการศึกษาลักษณะพฤติกรรมการตอบสนองทางด้านทรานเซียนต์เมื่อคุณสมบัติของระบบจำลองเปลี่ยนไป โปรแกรม ATP/EMTP มีความสามารถในการจำลองระบบไฟฟ้ากำลัง และเหมาะสมสำหรับจำลองผลตอบสนองเชิงโดเมนเวลาแบบทันทีทันใดอย่างแม่นยำ (Time Domain Instantaneous Responses) พร้อมทั้งใช้โปรแกรม MATLAB / Wavelet ในการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ โดยมีเนื้อหาและรายละเอียดของการจำลองฟอลต์และวิธีการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ดังต่อไปนี้

#### 3.1.1 การจำลองระบบสายส่ง

การจำลองสายส่งเคเบิลใต้ดินจะใช้โปรแกรม ATP/EMTP และสายส่งในกรณีศึกษาเป็นเคเบิลใต้ดิน ณ ระดับแรงดันไฟฟ้า 220 kV ระยะทาง 30 กิโลเมตร จากปลายด้านส่ง (Sending end) ไปยังด้านรับ (Receiving end) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และขนาดของสายเคเบิลในกรณีศึกษาจะแสดงในรูปที่ 3.2

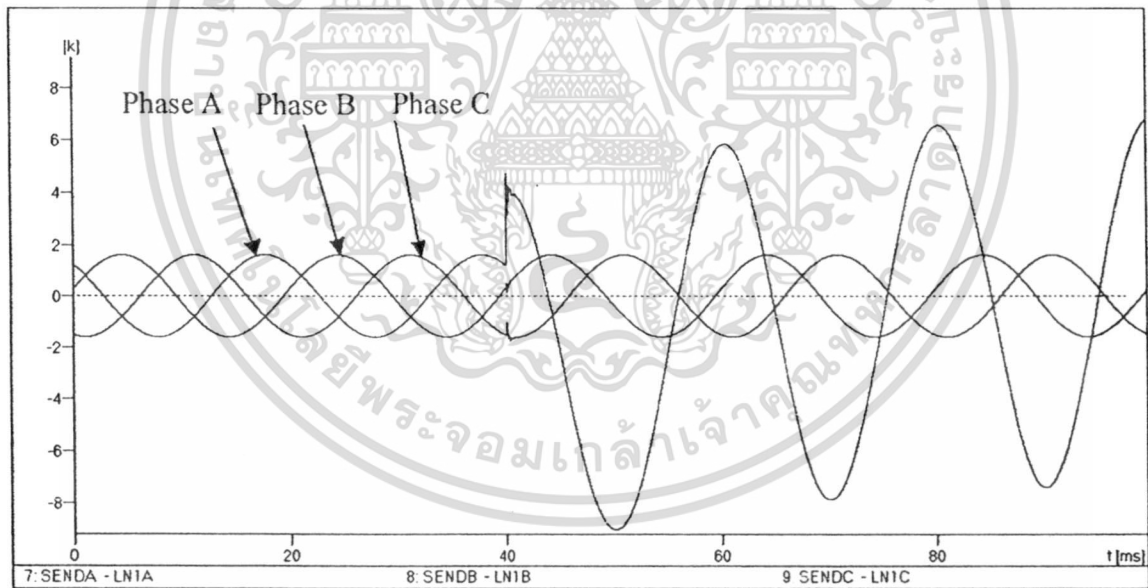


รูปที่ 3.1 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในการจำลอง



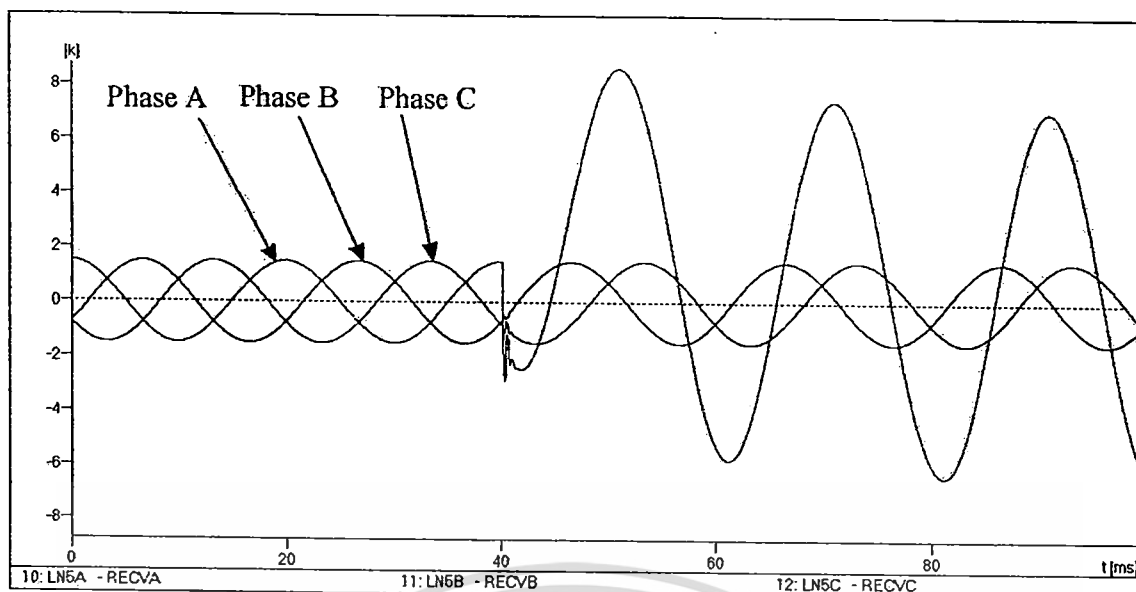
รูปที่ 3.2 ขนาดของสายเคเบิลใต้ดินที่ใช้ในการจำลอง

นำรูปคลื่นของกระแสที่ได้จากการจำลองจากโปรแกรม ATP/EMTP มาแยกองค์ประกอบให้อยู่ในรูป กระแสลำดับบวก ,กระแสลำดับลบ และ กระแสลำดับศูนย์ จากนั้นนำรูปคลื่นที่ได้แปลงเวฟเฟิร์ตโดยโปรแกรม MATLAB นำรูปคลื่นที่ได้ยกกำลังสองจะได้รูปคลื่นเวฟเฟิร์ตของทั้งสองปลายทางด้าน Sending และ Receiving



รูปที่ 3.3 แสดงรูปคลื่นกระแสทั้ง 3 เฟสที่มุมเกิดฟอลต์ 150° ฟัง Sending

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงรูปคลื่นกระแสทั้ง 3 เฟสที่มุมเกิดฟอลต์  $150^\circ$  ฝั่ง Receiving

### 3.2 การวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ด้วยการแปลงเวฟเลต

จากทฤษฎีพื้นฐานของการแปลงเวฟเลตในบทที่ 3 งานวิจัยฉบับนี้จึงได้นำการประยุกต์การแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วย (DWT) มาวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ที่เกิดขึ้นบนสายส่ง โดยสมมุติฐานที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์คือ ในสภาวะปกติสัญญาณกระแสจะไม่มีองค์ประกอบความถี่สูงรวมอยู่ แต่ในสภาวะที่มีฟอลต์จะมีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่สูงเกิดขึ้นและควรจะเปลี่ยนแปลงตามรูปแบบของฟอลต์ที่เกิดขึ้นด้วย เช่น มุมที่เริ่มเกิดฟอลต์, ตำแหน่งที่เกิดหรือเฟสที่เกิดฟอลต์ เป็นต้น ขั้นตอนการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ที่ปลายสายส่งในแต่ละด้าน โดยนำข้อมูลสัญญาณกระแสฟอลต์ที่ได้จากแบบจำลองฟอลต์ที่อัตราการสุ่ม (Sampling Rate) 200 kHz มาทำการแปลงให้อยู่ในองค์ประกอบลำดับต่างๆ (Network Sequence) คือ องค์ประกอบลำดับบวก (Positive Sequence), องค์ประกอบลำดับลบ (Negative Sequence) และองค์ประกอบลำดับศูนย์ (Zero Sequence) จากนั้นนำสัญญาณองค์ประกอบกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) มาดำเนินการแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วย (DWT) เพื่อแยกองค์ประกอบความถี่สูงในสเกลที่ 1-5 ออกมา โดยการใช้เวฟเลตแม่ชนิด Daubechies 4 (db4) แล้วพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงของแต่ละสเกล เพื่อตรวจจับฟอลต์ที่เกิดขึ้นในแต่ละสเกล หลังจากนั้นนำข้อมูลในสเกลแรกที่ตรวจจับฟอลต์ได้มาวิเคราะห์ประเภทของฟอลต์ที่เกิดขึ้นบนสายส่ง และตำแหน่งที่เกิดฟอลต์บนสายส่งต่อไป โดยรายละเอียดของการวิเคราะห์ต่างๆจะแสดงในหัวข้อถัดไป

### 3.2.1 การตรวจจับ

รูปแบบของการตรวจจับฟอลต์ในงานวิจัยฉบับนี้ได้นำสัญญาณกระแสฟอลต์มาทำการวิเคราะห์เพียงอย่างเดียวเพื่อลดจำนวนในการวิเคราะห์และความซับซ้อนในการออกแบบขั้นตอนการวิเคราะห์ ขั้นตอนการวิเคราะห์เวฟเฟิร์ตจะนำสัญญาณกระแสฟอลต์ที่ได้จากโปรแกรม ATP/EMTP ในแต่ละเฟสจากปลายสายส่งแต่ละด้านมาทำการแปลงให้อยู่ในรูปขององค์ประกอบลำดับต่างๆ (Network Sequence) โดยใช้เมตริกซ์ของการแปลง (Sequence Transformation Matrix) ซึ่งสมการการแปลงได้แสดงอยู่ในสมการที่ (3.1)

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = [T] \cdot \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

เมื่อ  $I_0$  หมายถึงองค์ประกอบลำดับศูนย์ (Zero Sequence)

$I_1$  หมายถึงองค์ประกอบลำดับบวก (Positive Sequence)

$I_2$  หมายถึงองค์ประกอบลำดับลบ (Negative Sequence)

T หมายถึงเมตริกซ์การแปลงของกระแส (Phase Current Transformation Matrix)

งานวิจัยฉบับนี้ได้เลือกใช้เมตริกซ์การแปลงของคลาร์ก (Clarke's Transformation Matrix) เนื่องจากสามารถใช้ได้กับสายส่งทั้งแบบมีการไขว้สลับสายแบบสมบรูณ์และไม่มีการไขว้สลับสาย โดยเมตริกซ์การแปลงและความเร็วคลื่นเดินทางบนสายส่งของระบบจำลองแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงเมตริกซ์การแปลงและความเร็วคลื่นเดินทางบนสายส่งของระบบ

Scale	Frequency Range (kHz)	Traveling Wave Speed(km/s)	Sequence Transformation Matrix
1	50-100	294,747	$\frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \sqrt{2} & \frac{-1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} & \frac{-\sqrt{3}}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}$
2	25-50	296,988	
3	12.5-25	296,748	
4	6.25-12.5	296,464	
5	3.125-6.25	296,411	

การตรวจจับฟอลต์สามารถทำได้โดยการนำสัญญาณกระแสฟอลต์ในแต่ละเฟส และสัญญาณกระแสฟอลต์ขององค์ประกอบลำดับต่างๆ ของปลายสายส่งแต่ละด้านมาผ่านการแปลงเวฟเฟิร์ตแบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เต็มหน่วยโดยใช้เวฟเล็ตแม่ขนิค daubechies4 (db4) เพื่อแยกองค์ประกอบความถี่สูงออกมา 5 สเกล ค่อยกันจากนั้นนำมาแยกกำลังสอง แสดงให้เห็น ได้ดังรูปที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับซึ่งในแต่ละสเกล สามารถแสดงค่าของช่วงความถี่ต่างๆ ดังนี้

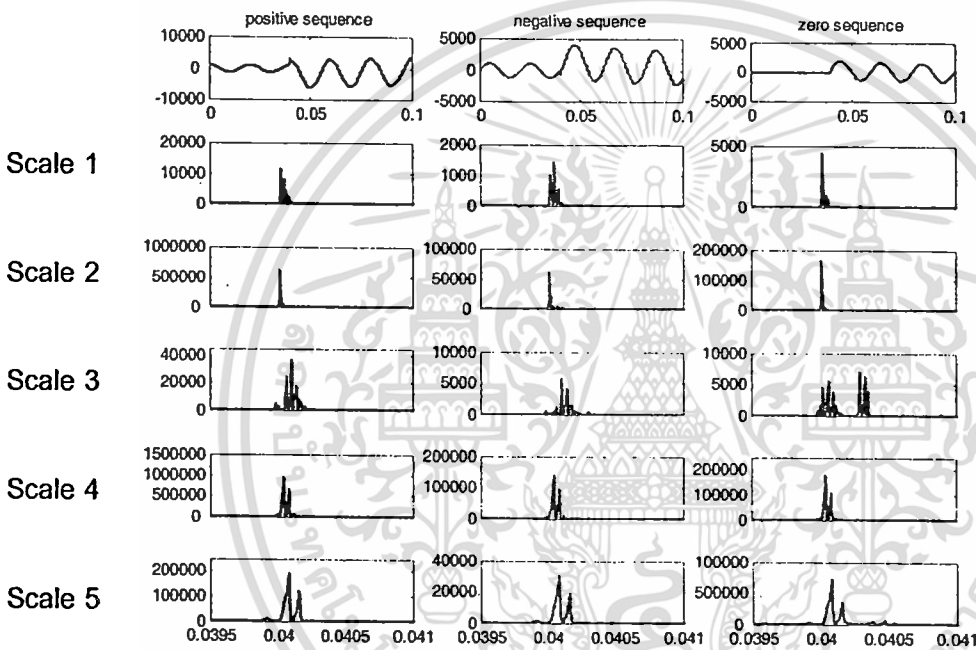
สเกลที่ 1 แสดงสัญญาณที่มีความถี่ในช่วง 50-100 kHz

สเกลที่ 2 แสดงสัญญาณที่มีความถี่ในช่วง 25-50 kHz

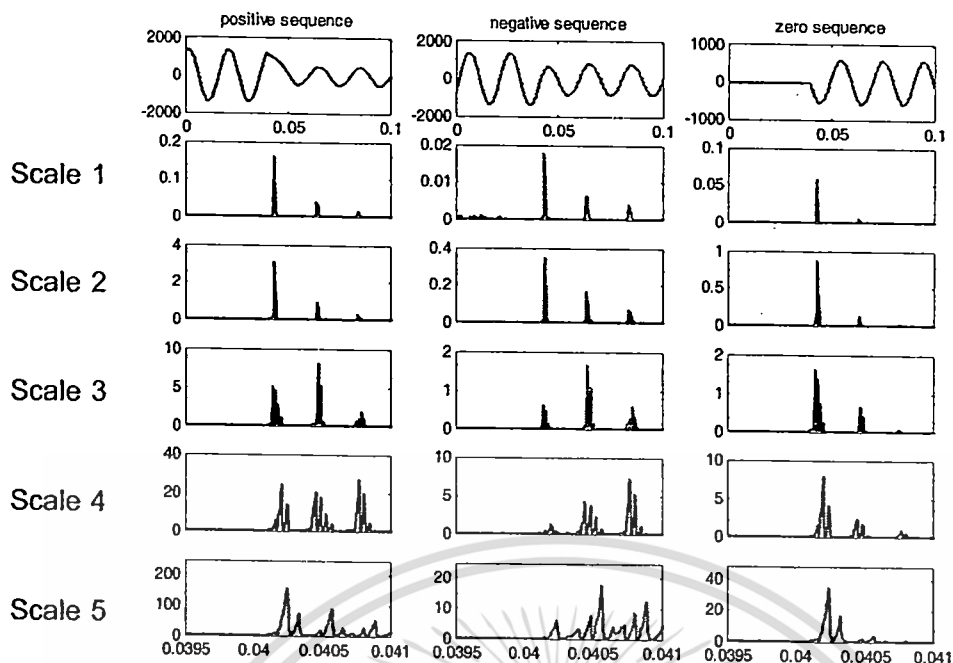
สเกลที่ 3 แสดงสัญญาณที่มีความถี่ในช่วง 12.5-25 kHz

สเกลที่ 4 แสดงสัญญาณที่มีความถี่ในช่วง 6.25-12.5 kHz

สเกลที่ 5 แสดงสัญญาณที่มีความถี่ในช่วง 3.125-6.25 kHz



รูปที่ 3.5 รูปคลื่นเวฟเล็ตยกกำลัง 2 ฟัง Sending end



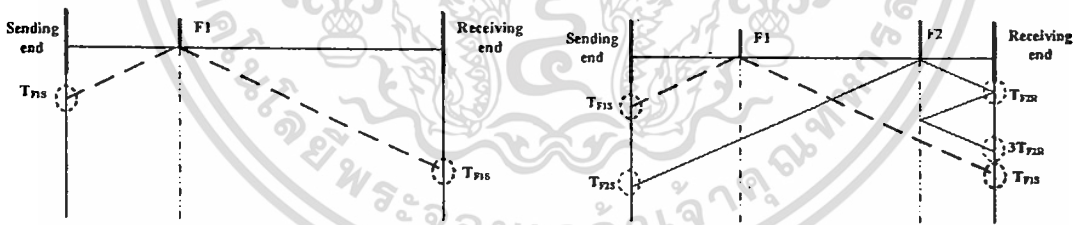
รูปที่ 3.6 รูปคลื่นเวฟใตี้ยกกำลัง 2 ฝั่ง Receiving end

งานวิจัยฉบับนี้ได้กำหนดการเปรียบเทียบระหว่างค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์ในช่วง ¼ ไซเคิล หลังจากเกิดฟลัดต์และค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์ในสภาวะก่อนเกิดฟลัดต์เป็นจำนวนเท่า ในแต่ละสเกลของกระแสที่ปลายสายส่งแต่ละด้าน และเพื่อให้การพิจารณาง่ายขึ้นจึงนำสัมประสิทธิ์มายกกำลังสองเพื่อให้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.5 และ 3.6 จากผลการแปลงเวฟใต้อาจสังเกตได้ว่าในสภาวะที่เริ่มมีฟลัดต์ ( $t \geq 0.04 \text{ sec}$ ) พบว่าค่าของสัมประสิทธิ์ในแต่ละสเกลจะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและมากกว่าค่าของสัมประสิทธิ์ในสภาวะก่อนเกิดฟลัดต์ ( $t < 0.04 \text{ sec}$ ) ดังนั้นจึงสามารถตั้งสมมติฐานได้ว่า “ถ้าสัมประสิทธิ์ในช่วง ¼ ไซเคิลหลังจากเกิดฟลัดต์ของสเกลใดสเกลหนึ่งของกระแสลำดับบวกเมื่อวัดที่ปลายสายส่งแต่ละด้านเกิดการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นมากกว่า 5 เท่าจากช่วงสภาวะก่อนเกิดฟลัดต์ แสดงว่ามีความผิดปกติ เกิดขึ้นในสายส่ง” เมื่อสามารถตรวจจับฟลัดต์ได้แล้ว จากนั้นนำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของแต่ละช่วงความถี่ในวงจรที่เกิดฟลัดต์มาวิเคราะห์ตำแหน่งที่เกิดฟลัดต์บนสายส่งต่อไป

### 3.3 ทฤษฎีการหาจุดกำเนิดฟอลต์

สำหรับการระบุตำแหน่งที่เกิดฟอลต์นั้น โดยส่วนใหญ่จะใช้ทฤษฎีคลื่นเดินทางเพื่อคำนวณตำแหน่งของฟอลต์ที่เกิดขึ้น โดยได้ตั้งสมมุติฐานที่ว่า เมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้น ณ จุดใดๆบนสายเคเบิลจะเกิดสัญญาณฟอลต์เดินทางจากจุดที่เกิดฟอลต์ไปยังสายเคเบิลทั้ง 2 ด้าน ซึ่งถ้าสามารถจับเวลาที่คลื่นแต่ละลูกเดินทางมาที่ปลายแต่ละด้านได้ ก็สามารถนำเวลามาคำนวณหาตำแหน่งของฟอลต์ที่เกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ดี ทฤษฎีคลื่นเดินทางที่กล่าวมานั้นจะใช้ในการคำนวณสำหรับกรณีฟอลต์ชนิดเดียวเท่านั้น แต่เมื่อเกิดฟอลต์สองชนิดพร้อมกันจะทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น เมื่อพิจารณาแสดงในรูปที่ 3.7(ก) ในกรณีฟอลต์ชนิดเดียว ค่าเวลาที่ตำแหน่ง  $T_{F1S}$  และ  $T_{F1R}$  ถูกนำไปใช้ในการคำนวณด้วยทฤษฎีคลื่นเดินทางเพื่อคำนวณตำแหน่งของฟอลต์ที่เกิดขึ้น แต่เมื่อพิจารณาในกรณีฟอลต์สองชนิดพร้อมกันดังรูปที่ 3.7(ข) จะพบว่า ค่าเวลาที่ตำแหน่ง  $T_{F1S}$  และ  $T_{F2R}$  ถูกนำไปใช้ในการคำนวณด้วยทฤษฎีคลื่นเดินทางเช่นกัน แต่จะเกิดความผิดพลาด เนื่องจากเวลาที่สามารถตรวจจับฟอลต์ทางด้านรับ (Receiving end) จะตรวจจับฟอลต์ได้เร็วกว่าเนื่องจากฟอลต์ที่อยู่ใกล้กับสถานีรับ

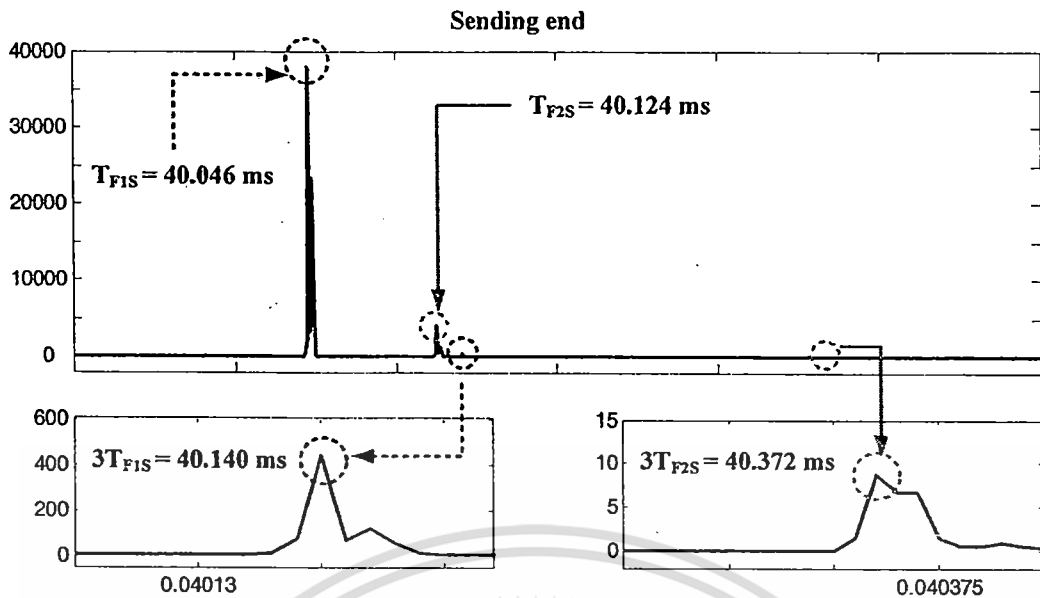
งานวิจัยนี้จึงได้นำการประยุกต์การแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วย (DWT) มาวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์สองชนิดที่เกิดขึ้นพร้อมกัน โดยนำสัญญาณองค์ประกอบกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) มาดำเนินการแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วย (DWT) เพื่อแยกองค์ประกอบความถี่สูงในสเกลที่ 1-5 ออกมา โดยการใช้เวฟเล็ดแม่ซันด์ Daubechies 4 (db4) แล้วพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงของแต่ละสเกล



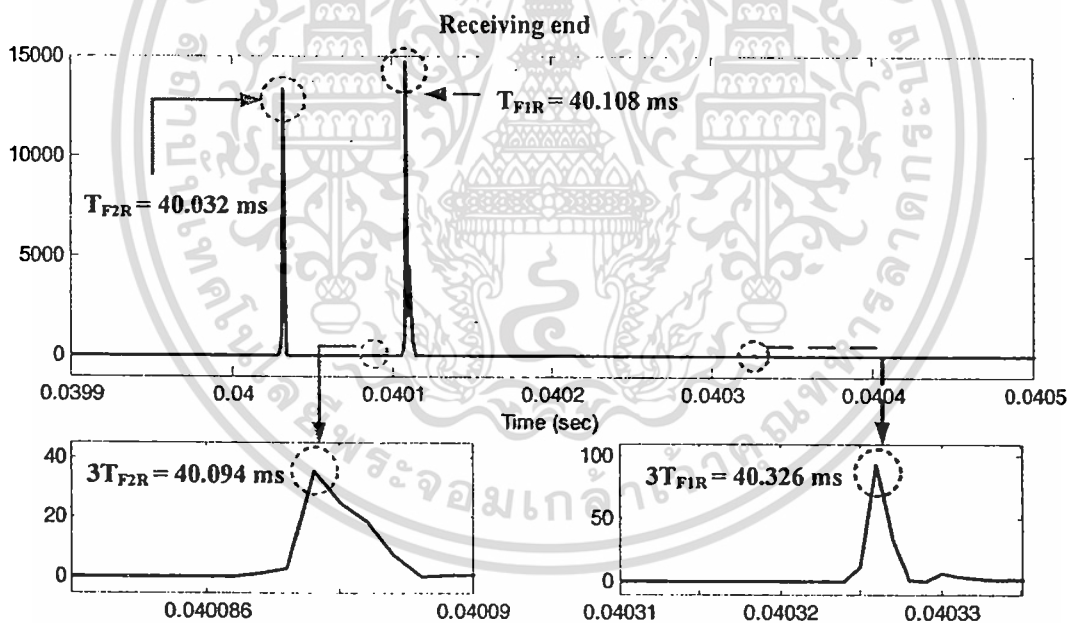
(ก) กรณีฟอลต์ชนิดเดียว

(ข) กรณีฟอลต์สองชนิดพร้อมกัน

รูปที่ 3.7 ค่าเวลาสูงสุดที่มาถึงปลายแต่ละด้านของสายเคเบิล



รูปที่ 3.8 ค่าคลื่นสูงสุดฝั่ง Sending ที่เวลา  $T_{FIS}$   $3T_{FIS}$   $T_{F2S}$   $3T_{F2S}$  ณ จุดเกิดฟลัดจริงที่ 9 และ 24 กิโลเมตร



รูปที่ 3.9 ค่าคลื่นสูงสุดฝั่ง Sending ที่เวลา  $T_{FIR}$   $3T_{FIR}$   $T_{F2R}$   $3T_{F2R}$  ณ จุดเกิดฟลัดจริงที่ 9 และ 24 กิโลเมตร

หลังจากสามารถตรวจจับค่าเวลาในการเกิดฟลัดได้แล้ว นำค่าเวลาที่ได้นำมาคำนวณเพื่อหาระยะทางในการเกิดฟลัดโดยใช้สมการที่ 3.2 ในการหาจุดเกิดฟลัดของคลื่นเดินทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d = LT \times \frac{t_{diff\_FS}}{t_{diff\_FS} + t_{diff\_FR}} \quad (3.2)$$

เมื่อ

$d$  = ระยะทางเกิดฟอลต์จากทางด้านตัวกำเนิดไฟฟ้า (เมตร)

$LT$  = ความยาวสายส่ง (เมตร)

$T_{F1S}$  = ค่าเวลาที่ตรวจจับได้ ที่ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดค่าแรก ณ จุดเกิดฟอลต์ X ด้านส่ง

$3T_{F1S}$  = ค่าเวลาที่ตรวจจับได้ ที่ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดค่าสอง ณ จุดเกิดฟอลต์ X ด้านส่ง

$T_{F1R}$  = ค่าเวลาที่ตรวจจับได้ ที่ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดค่าแรก ณ จุดเกิดฟอลต์ X ด้านรับ

$3T_{F1R}$  = ค่าเวลาที่ตรวจจับได้ ที่ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดค่าที่สอง ณ จุดเกิดฟอลต์ X ด้านรับ

$t_{diff\_FS}$  = ค่าเวลาจากการคำนวณค่าสูงสุดด้านส่ง ณ จุดเกิดฟอลต์ X

$$t_{diff\_FS} = \left| \frac{T_{F1S} - 3T_{F1S}}{2} \right| \quad (3.3)$$

$t_{diff\_FR}$  = ค่าเวลาจากการคำนวณค่าสูงสุดด้านรับ ณ จุดเกิดฟอลต์ X

$$t_{diff\_FR} = \left| \frac{T_{F1R} - 3T_{F1R}}{2} \right| \quad (3.4)$$

จากการคำนวณจุดเกิดฟอลต์ 1

จากรูปที่ 3.7 และ 3.8 เมื่อ  $L = 30,000$  เมตร

$$T_{F1S} = 0.040046 \text{ วินาที}$$

$$3T_{F1S} = 0.040140 \text{ วินาที}$$

$$T_{F1R} = 0.040108 \text{ วินาที}$$

$$3T_{F1R} = 0.040326 \text{ วินาที}$$

$$t_{diff\_FS} = \left| \frac{0.040046 - 0.040140}{2} \right| = 0.047 \text{ วินาที}$$

$$t_{diff\_FR} = \left| \frac{0.040108 - 0.040326}{2} \right| = 0.109 \text{ วินาที}$$

$$d = 30,000 \times \frac{0.047}{0.047 + 0.109} = 9,038.46 \text{ เมตร}$$

ที่จุดเกิดฟอลต์จริง 9 กิโลเมตร คลาดเคลื่อน 38.46 เมตร

จากการคำนวณจุดเกิดฟอลต์ 2

จากรูปที่ 3.7 และ 3.8 เมื่อ  $L = 30,000$  เมตร

$$T_{F2S} = 0.040124 \text{ วินาที}$$

$$3T_{F2S} = 0.040372 \text{ วินาที}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_{F2R} = 0.040124 \text{ วินาที}$$

$$3T_{F2R} = 0.040094 \text{ วินาที}$$

$$t_{diff\_FS} = \left| \frac{0.040124 - 0.040372}{2} \right| = 0.124 \text{ วินาที}$$

$$t_{diff\_FS} = \left| \frac{0.040124 - 0.040094}{2} \right| = 0.031 \text{ วินาที}$$

$$d = 30,000 \times \frac{0.124}{0.124 + 0.031} = 24,000.00 \text{ เมตร}$$

ที่จุดเกิดฟอสต์จริง 24 กิโลเมตร คลาดเคลื่อน 0.00 เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

สำหรับบทนี้เป็นการนำเสนอผลการทดลองซึ่งได้จากการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์จากการจำลองด้วยโปรแกรม ATP/EMTP ตามรูปแบบและวิธีการที่นำเสนอในบทที่ 3 ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบสำหรับการตรวจจับฟอลต์ มีรูปแบบในการนำเสนอ ดังนี้

#### 4.1 รูปแบบการนำเสนอ

##### 4.1.1 รูปแบบการนำเสนอของแต่ละกราฟผลการทดลอง

การแสดงผลการทดลองจะแสดงค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดของผลการทดลองเรียงตามตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ โดยปรับตำแหน่งการเกิดฟอลต์ โดยระยะทางที่เกิดฟอลต์จะคิดจากสถานีไฟฟ้าฝั่ง Sending end เป็นจุดอ้างอิงซึ่งรายละเอียดจะประกอบไปด้วย

1. การตรวจจับฟอลต์ ซึ่งผลที่ได้มาจากการคำนวณผลการวิเคราะห์ด้วยการแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วย
2. ตำแหน่งของฟอลต์ชนิดเกิดขึ้นพร้อมกันที่ได้จากการคำนวณและความคลาดเคลื่อน (Error) ที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ด้วยผลการแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วยร่วมกับทฤษฎีคลื่นเดินทาง
3. ตำแหน่งของฟอลต์ชนิดฟอลต์เดี่ยวที่ได้จากการคำนวณและความคลาดเคลื่อน (Error) ที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ด้วยผลการแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วยร่วมกับทฤษฎีคลื่นเดินทาง

#### ผลการจำลอง

จากการจำลองระบบส่งจ่ายในกรณีศึกษาได้นำแบบของสายส่งมาจาก [1] เพื่อนำค่าที่ได้จากการจำลองระบบที่ใช้ต่างทฤษฎีระหว่างทฤษฎีการใช้คลื่นเดินทาง และใช้ค่าเวลาในการหาฟอลต์ [1] มาเปรียบเทียบเพื่อให้เห็นถึงข้อดีและข้อเสียของทฤษฎีแต่ละแบบ

จากการจำลองหาค่าฟอลต์ที่เกิดในระบบส่งจ่ายในแต่ละช่วงสายส่งพบว่าในแต่ละช่วงการจำลองมีค่าความผิดพลาดที่เกิดแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 4.1 แสดงผลจากการจำลองที่จุดเกิดฟอลต์ F1

ตำแหน่งฟอลต์ที่ เกิดขึ้นจริงจากปลาย ด้านส่ง (เมตร)		การระบุตำแหน่งฟอลต์เมื่อวัดจากปลายด้านส่ง (เมตร)							
ฟอลต์ F <sub>1</sub>	ฟอลต์ F <sub>2</sub>	$T_{F1S}$	$3T_{F1S}$	$I_{diff\_FS}$	$T_{F1R}$	$3T_{F1R}$	$I_{diff\_FR}$	จำนวน	ผิด พลาด
4500	25500	40.024	40.070	0.023	40.132	40.396	0.132	4451.61	48.39
5000	15000	40.026	40.078	0.026	40.130	40.388	0.129	5032.26	32.26
6000	21000	40.032	40.094	0.031	40.124	40.372	0.124	6000.00	0.00
9000	24000	40.046	40.140	0.047	40.108	40.326	0.109	9038.46	38.46
12000	27000	40.062	40.186	0.062	40.092	40.280	0.094	11923.08	76.92
14000	16000	40.072	40.218	0.073	40.082	40.248	0.083	14038.46	38.46

ตารางที่ 4.2 แสดงผลจากการจำลองที่จุดเกิดฟอลต์ F2

ตำแหน่งฟอลต์ที่เกิดขึ้น จริงจากปลายด้านส่ง (เมตร)		การระบุตำแหน่งฟอลต์เมื่อวัดจากปลายด้านส่ง (เมตร)							
ฟอลต์ F <sub>1</sub>	ฟอลต์ F <sub>2</sub>	$T_{F1S}$	$3T_{F1S}$	$I_{diff\_FS}$	$T_{F1R}$	$3T_{F1R}$	$I_{diff\_FR}$	จำนวน	ผิด พลาด
4500	25500	40.132	40.396	0.132	40.024	40.070	0.023	25548.39	48.39
5000	15000	40.078	40.232	0.077	40.078	40.232	0.077	15000.00	0.00
6000	21000	40.112	40.330	0.109	40.046	40.140	0.047	20961.54	38.46
9000	24000	40.124	40.372	0.124	40.032	40.094	0.031	24000.00	0.00
12000	27000	40.140	40.420	0.140	40.016	40.046	0.015	27096.77	96.77
14000	16000	40.082	40.248	0.083	40.072	40.218	0.073	15961.54	38.46

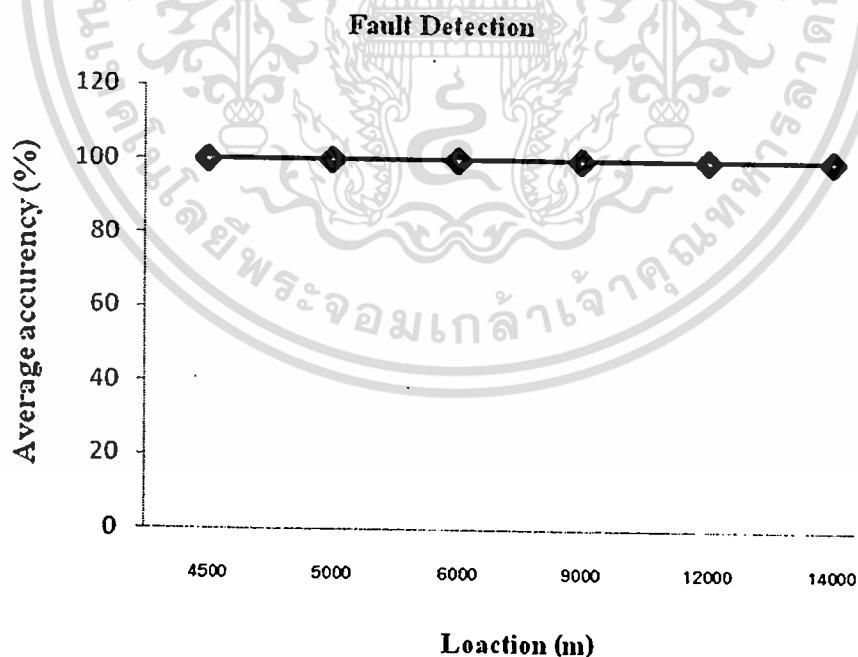
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลจากการจำลองที่จุดเกิดฟอลต์ชนิดฟอลต์จุดเดียว

ตำแหน่งฟอลต์ที่เกิดขึ้นจริงจากปลายค้ำส่ง (เมตร)		การระบุตำแหน่งฟอลต์เมื่อวัดจากปลายค้ำส่ง (เมตร)							
ฟอลต์ $F_1$	ฟอลต์ $F_2$	$T_{FIS}$	$3T_{FIS}$	$t_{diff\_FS}$	$T_{FIR}$	$3T_{FIR}$	$t_{diff\_FR}$	จำนวน	ผิดพลาด
4500	-	40.024	40.070	0.023	40.132	40.396	0.132	4451.61	48.39
5000	-	40.026	40.078	0.026	40.130	40.388	0.129	5032.26	32.26
6000	-	40.032	40.094	0.031	40.124	40.372	0.124	6000.00	0.00
9000	-	40.046	40.140	0.047	40.108	40.326	0.109	9038.46	38.46
12000	-	40.062	40.186	0.062	40.092	40.280	0.094	11923.08	76.92
14000	-	40.072	40.218	0.073	40.082	40.248	0.083	14038.46	38.46

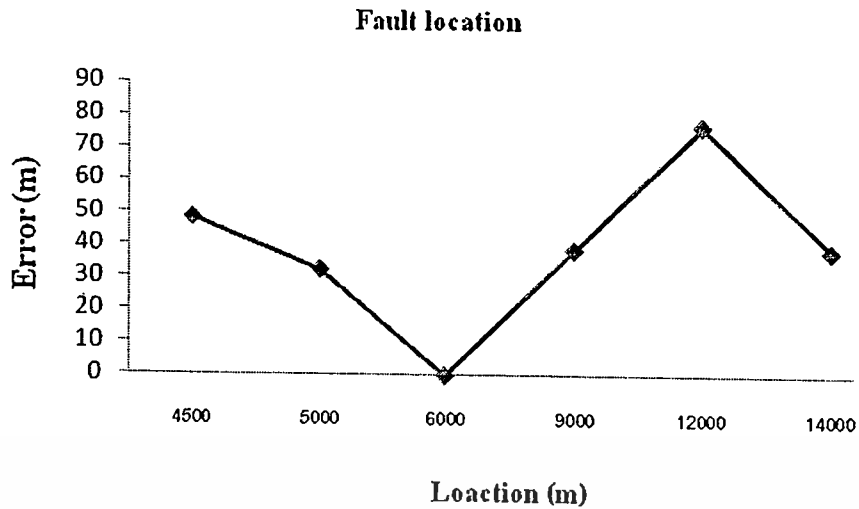
## 4.2 ผลการทดลอง

### 4.2.1 กรณีเกิดฟอลต์ที่จุด $F_1$ และ $F_2$ ของความยาวสายส่ง (30 กิโลเมตร)



(a) การตรวจจับฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) การระบุตำแหน่งฟอลต์

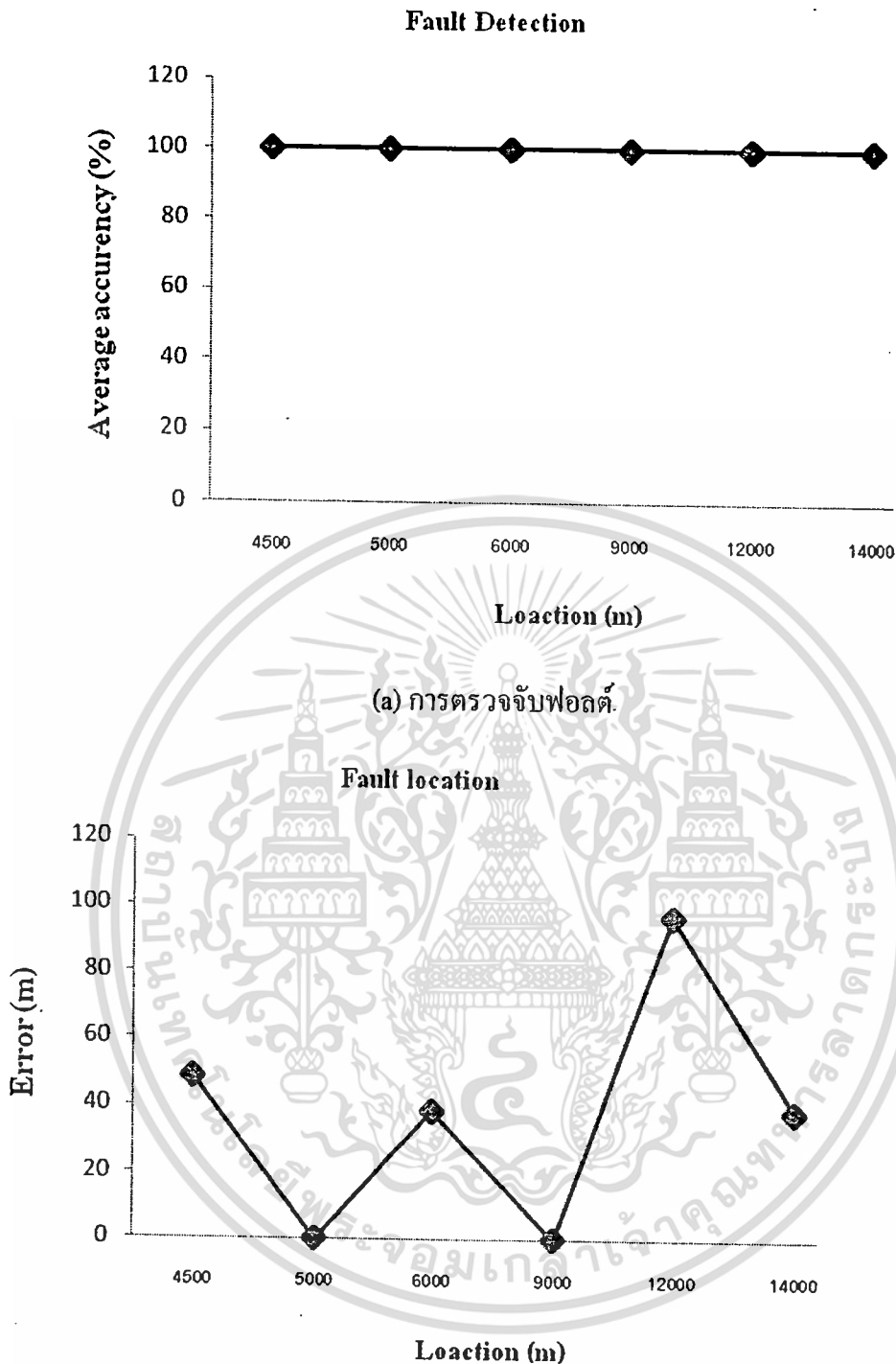
รูปที่ 4.1 กราฟความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการตรวจจับฟอลต์ และการระบุตำแหน่งฟอลต์ ณ จุด F1

จากผลลัพธ์ในรูปที่ 4.1 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

สามารถตรวจจับฟอลต์จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเส้นแบบเต็มหน่วยขององค์ประกอบกระแสลำดับบวกในสเกลแรก และจากรูปที่ 4.1 (a) จะมีค่าเฉลี่ยความถูกต้อง 100%

การระบุตำแหน่งฟอลต์ ณ จุดเกิดฟอลต์ F1

การแปลงเวฟเส้นแบบเต็มหน่วยร่วมกับทฤษฎีคลื่นเดินทาง สามารถหาตำแหน่งฟอลต์ทั้งหมดโดยใช้เพียงข้อมูลในสเกลที่ 1 จากรูปที่ 4.1 (b) มีความคลาดเคลื่อนเป็น 39.08 เมตร



รูปที่ 4.2 กราฟความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการตรวจจับฟอลต์ และการระบุตำแหน่งฟอลต์ ณ จุด F2

จากผลลัพธ์ในรูปที่ 4.2 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

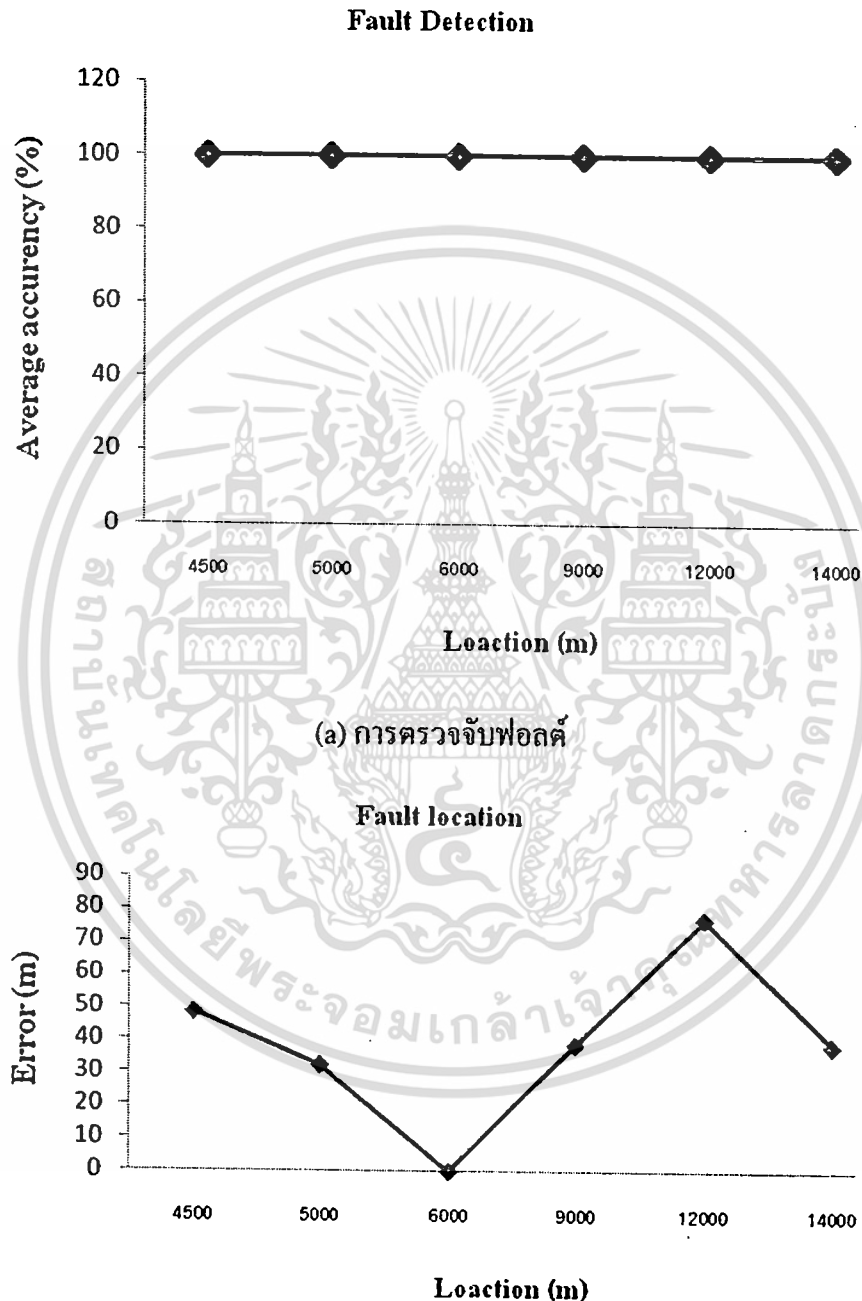
สามารถตรวจจับฟอลต์จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟได้แบบเต็มหน่วยขององค์ประกอบกระแสลำดับบวกในสเกลแรก และจากรูปที่ 4.2 (a) จะมีค่าเฉลี่ยความถูกต้อง 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การระบุตำแหน่งฟอลต์ ณ จุดเกิดฟอลต์ F2

การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยร่วมกับทฤษฎีคลื่นเดินทาง สามารถหาค่าตำแหน่งฟอลต์ทั้งหมดโดยใช้เพียงข้อมูลในสเกลที่ 1 จากรูปที่ 4.2 (b) มีความคลาดเคลื่อนเป็น 37.01 เมตร

### 4.2.2 กรณีเกิดฟอลต์ที่จุด F1 จุดเดียวของความยาวสายส่ง (30 กิโลเมตร)



รูปที่ 4.3 กราฟความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการตรวจจับฟอลต์ และการระบุตำแหน่งฟอลต์ ณ จุด F1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลลัพธ์ในรูปที่ 4.3 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

สามารถตรวจจับพอลต์จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็คแบบเต็มหน่วยขององค์ประกอบ กระแสลำดับบวกในสเกลแรก และจากรูปที่ 4.3 (a) จะมีค่าเฉลี่ยความถูกต้อง 100%

**การระบุตำแหน่งพอลต์ ณ จุดเกิดพอลต์ F1**

การแปลงเวฟเล็คแบบเต็มหน่วยร่วมกับทฤษฎีคลื่นเดินทาง สามารถหาตำแหน่งพอลต์ ทั้งหมด โดยใช้เพียงข้อมูลในสเกลที่ 1 จากรูปที่ 4.3 (b) มีความคลาดเคลื่อนเป็น 39.08 เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุป

จากรูปแบบการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ด้วยการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยร่วมกับทฤษฎีคลื่นเดินทาง และนำผลที่ได้มาประมวลผลตามขั้นตอนที่ได้นำเสนอมาแล้วนั้นสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. รูปแบบการวิเคราะห์ข้อผิดพลาดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่สูงที่อยู่ในสัญญาณฟอลต์ โดยสัญญาณฟอลต์ที่ใช้สำหรับศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้ได้มาจากการจำลองด้วยโปรแกรม ATP/EMTP ซึ่งอาศัยแบบจำลองสายส่งเคเบิลระดับแรงดัน 220 kV ซึ่งเป็นสายส่งในระบบของการจำลองกรณีศึกษา [1] ที่ใช้งานจากสถานีไฟฟ้าด้าน Sending end ไปยังโหลดด้าน Receiving end โดยสายส่งมีความยาว 30 กิโลเมตร เป็นแบบจำลองหลักที่ใช้ในการศึกษา โดยทำการจำลองด้วยการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อศึกษาลักษณะของสัญญาณฟอลต์ในหลากหลายรูปแบบที่อัตราการสุ่ม 200 kHz

2. การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยโดยใช้เวฟเล็ตแม่ชนิด Daubechies 4 (db4) ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เนื่องจากเวฟเล็ตแม่ชนิดนี้มีขั้นตอนการทำงานที่รวดเร็ว (Fast algorithm) และลักษณะของเวฟเล็ตจะเป็นคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (Oscillatory) ในลักษณะไม่สมมาตร (Asymmetry) ซึ่งจะสอดคล้องกันกับฟอลต์ที่เกิดขึ้นบนสายส่ง จึงส่งผลให้รูปแบบการวิเคราะห์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยจะใช้การแปลงเวฟเล็ตทำการวิเคราะห์และพิจารณาการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่สูงที่อยู่ในสัญญาณฟอลต์ จากนั้นทำการแยกองค์ประกอบความถี่สูงออกมาในสเกลที่ 1-5 หรือช่วงความถี่ต่อไปนี้

สเกลที่ 1 แสดงสัญญาณที่มีความถี่ในช่วง 50-100 kHz

สเกลที่ 2 แสดงสัญญาณที่มีความถี่ในช่วง 25-50 kHz

สเกลที่ 3 แสดงสัญญาณที่มีความถี่ในช่วง 12.5-25 kHz

สเกลที่ 4 แสดงสัญญาณที่มีความถี่ในช่วง 6.25-12.5 kHz

สเกลที่ 5 แสดงสัญญาณที่มีความถี่ในช่วง 3.125-6.25 kHz

ผลการวิเคราะห์ที่ได้มานั้นถูกนำมาประมวลผลเพื่อใช้ในการตรวจจับฟอลต์ที่เกิดขึ้นบนสายส่ง

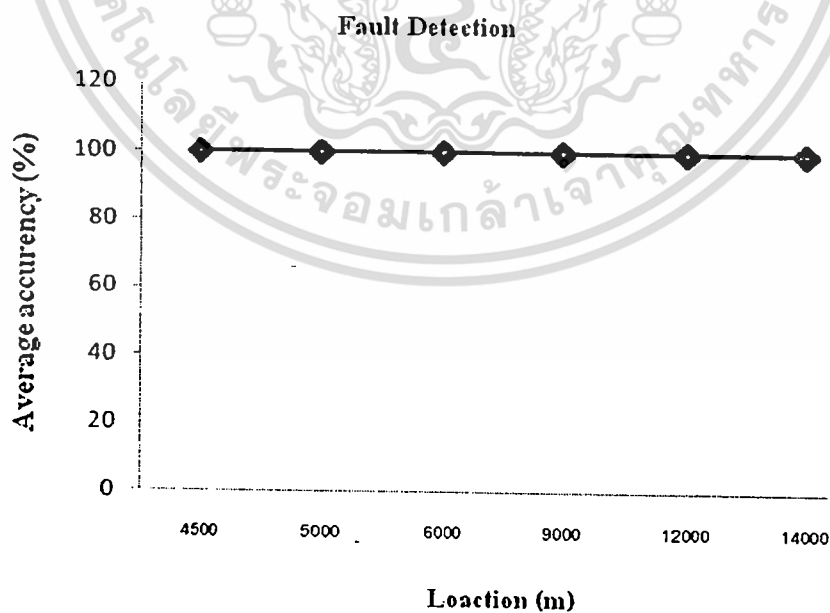
3. รูปแบบการวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจในการตรวจจับฟอลต์ที่เกิดขึ้นบนสายส่งนั้นทำได้โดยเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ของการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยขององค์ประกอบกระแสลำดับบวก ณ ปลายสายส่งในแต่ละด้านระหว่างก่อนและหลังเกิดฟอลต์ (ในช่วง  $\frac{1}{4}$  ไซเคิลหลังจากเกิดฟอลต์) โดยเป็นการเปรียบเทียบในสเกลที่ 1-5 จากนั้นเรียงลำดับค่าสัมประสิทธิ์ขององค์ประกอบกระแสลำดับบวก โดยจะนำค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดเพียงสองค่า ซึ่งเป็นข้อมูลของ

องค์ประกอบความถี่สูงในสเกลแรกที่สามารถตรวจจับพอลต์ได้ นำไปใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกับ ทฤษฎีคลื่นเดินทางเพื่อนำไปวิเคราะห์ในการหาตำแหน่งพอลต์ต่อไป

4. การทดสอบวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการทดลองด้วยการวิเคราะห์ สัญญาณพอลต์ที่ได้จากระบบจำลองสายส่งไฟฟ้าใต้ดิน ทางด้าน Sending end ไฟยังด้าน Receiving end โดยสายส่งมีความยาว 30 กิโลเมตร โดยข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบสำหรับการ ตรวจจับพอลต์ และ การระบุตำแหน่งและประเภทของพอลต์

#### 4.1 การตรวจจับพอลต์

ผลการตรวจจับพอลต์ด้วยวิธีการแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วยสามารถตรวจจับพอลต์ได้ทุก ประเภท และทุกตำแหน่งต่างๆ บนสายส่ง โดยมีค่าเฉลี่ยความถูกต้องสูงสุด 100% ตามรูปที่ 5.1 ซึ่ง ระยะทางที่เกิดพอลต์, ประเภทของพอลต์ที่เกิดขึ้น และมุมเริ่มเกิดพอลต์ ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ ในการตรวจจับพอลต์ เพราะเมื่อมีพอลต์เกิดขึ้นบนสายส่งเส้นใดเส้นหนึ่ง จะมีการเปลี่ยนแปลงของ องค์ประกอบความถี่สูงเกิดขึ้น เมื่อประยุกต์การแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วยวิเคราะห์จะสังเกตได้ว่า ก่อนสถานะมีพอลต์นั้นค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงเวฟเล็ดมีค่าต่ำมาก แต่ในสถานะหลังเกิดพอลต์ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์เกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ ทั้งสองสถานะนี้สามารถนำมาสู่ขั้นตอนของการวิเคราะห์ได้อย่างแม่นยำ โดยใช้เพียงผลของการ แปลงเวฟเล็ดในสเกลแรกเท่านั้น นอกจากนี้ในทางปฏิบัติการเกิดพอลต์บนสายส่งยังมีปัจจัยอื่นมา เกี่ยวข้อง ซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบความถี่สูงของสัญญาณพอลต์ด้วย แต่ใน รูปแบบการวิเคราะห์เวฟเล็ดที่มีหลายระดับความละเอียด จึงทำให้สามารถเห็นผลการเปลี่ยนแปลง ของแต่ละช่วงความถี่ได้

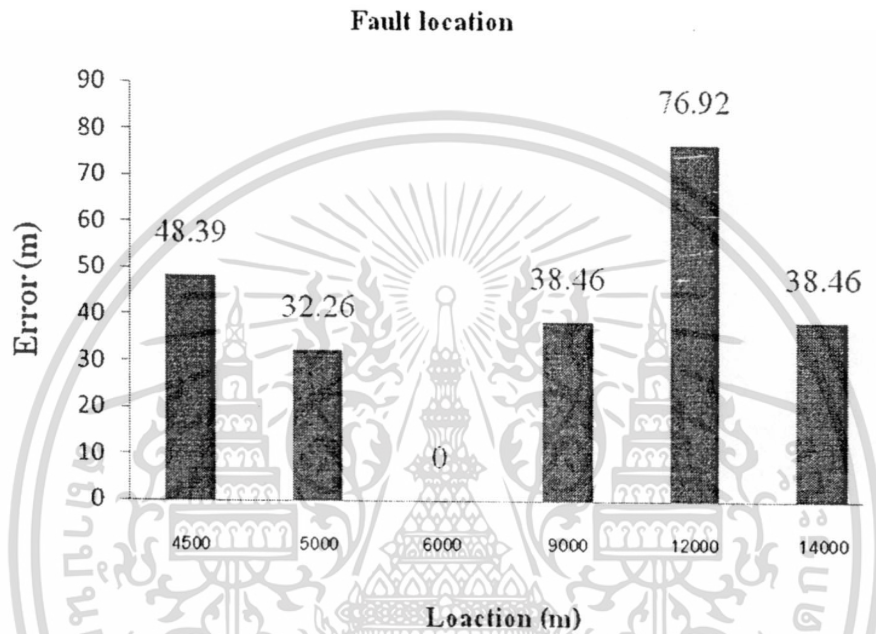


รูปที่ 5.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ยสำหรับการตรวจจับพอลต์ในแต่ละมุมเริ่มเกิดพอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

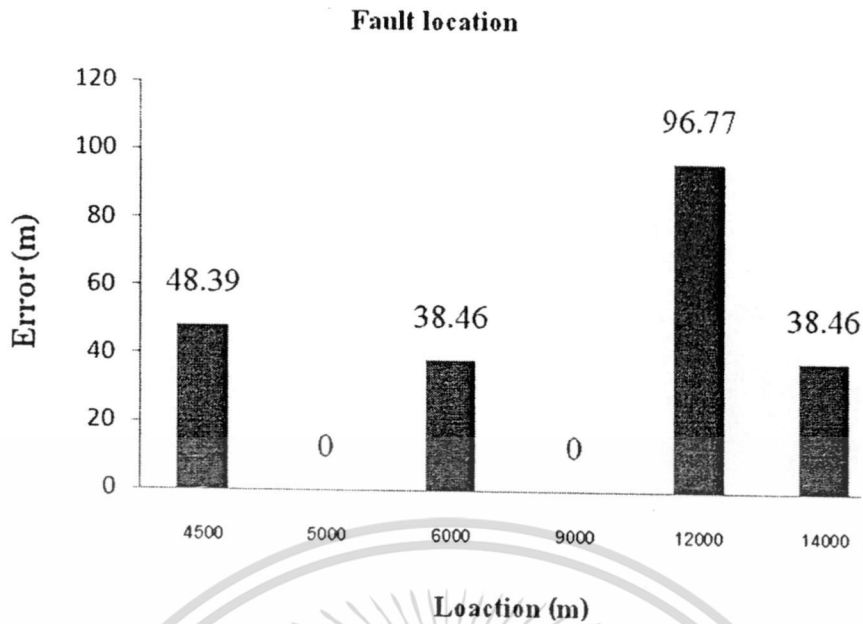
#### 4.2 การระบุตำแหน่งฟอลต์

จากรูปที่ 5.2 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนในการหาตำแหน่งฟอลต์ สามารถสรุปค่าความคลาดเคลื่อนหรือความคลาดเคลื่อนตามตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.2 แสดงค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสำหรับการระบุตำแหน่งฟอลต์ตำแหน่ง F1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 แสดงค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสำหรับการระบุตำแหน่งฟอลต์ตำแหน่ง F2

ตารางที่ 5.1 ความคลาดเคลื่อนในระบุตำแหน่งฟอลต์

ระยะทางที่เกิดฟอลต์ F1 (เมตร)	ระยะทางที่เกิดฟอลต์ F2 (เมตร)	ความคลาดเคลื่อนในระบุตำแหน่งจุด F1 (เมตร)	ความคลาดเคลื่อนในระบุตำแหน่งจุด F2 (เมตร)
4500	25500	48.39	48.39
5000	15000	32.26	0.00
6000	21000	0.00	38.46
9000	24000	38.46	0.00
12000	27000	76.92	96.77
14000	16000	38.46	38.46

### บทสรุป

จากวิธีการวิเคราะห์การระบุตำแหน่งฟอลต์โดยนำสัญญาณกระแสจากการจำลองระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วยโปรแกรม ATP/EMTP มาแยกองค์ประกอบ ลำดับบวก ลำดับลบ และ ลำดับศูนย์ ที่ได้มาแปลงเวฟเฟิร์ต หาค่าสูงสุดของรูปคลื่น บันทึกค่าเวลา  $T_a$  และ  $T_b$  แล้วนำมาวิเคราะห์หาจุดเกิดฟอลต์โดยใช้ทฤษฎีคลื่นเดินทาง และระบุชนิดฟอลต์โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์จากการแปลงเวฟเฟิร์ต ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อเกิดฟอลต์ในระบบสายส่งจะทำให้สัมประสิทธิ์คลื่นกระแสที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น
- เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่ามุมที่เริ่มเกิดฟอลต์พบว่าค่าเวลา  $T_a$  และ  $T_b$  ที่ตรวจจับได้มีค่าคงที่ แสดงว่า มุมเริ่มเกิดฟอลต์มีผลน้อยมากต่อระยะบุค่าแห่งฟอลต์
- เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดจากการแปลงเวฟเฟิร์ตมาใช้เพื่อสร้างข้อแม้ในการระบุชนิดฟอลต์พบว่าผลจากการตรวจสอบที่ได้เป็นที่น่าพอใจ โดยที่ฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน มีความถูกต้อง 100% และมีค่าเฉลี่ยความถูกต้องมากกว่า 90%

และผลจากการเปรียบเทียบในสองทฤษฎีการหาจุดเกิดฟอลต์พบว่า ค่าความผิดพลาดในแต่ละช่วง ความยาวสายมีค่าที่แตกต่างกันเล็กน้อย บางช่วงทฤษฎีคลื่นเดินทางอาจมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า บางช่วงมากกว่า แต่ทฤษฎีคลื่นเดินทางยังมีข้อเสียบางประการคือ ในสายส่งที่มีอายุใช้งานนานๆค่า เปอร์มิตติวิตี มักจะเปลี่ยนแปลงซึ่งมีโอกาสทำให้เกิดค่าความผิดพลาดที่เพิ่มมากขึ้น จึงมีแนวคิดที่จะนำระบบโครงข่ายประสาทเทียมเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ค่าความผิดพลาดที่น้อยลงกว่า ทฤษฎีการใช้ค่าเวลา [1] ในการระบุฟอลต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] E. C. Bascom, "Computerized underground cable fault location expertise," in *Proc. IEEE Power Eng. Soc. General Meeting*, Apr. 10–15, 1994, pp. 376–382.
- [2] E. Bungay and D. Macclister, *Electric Cable Handbook*, 2nd ed. Oxford, U.K.: BSP, 1990.
- [3] T. Tanaka and A. Greenwood, *Advanced Power Cable Technology*. Boca Raton, FL: CRC, vol. 1.
- [4] J.-H. Sun, "Fault location of underground cables using travelling wave," *KIEE Trans.*, pp. 1972–1974, Jul. 2000.
- [5] S. Potivejkul, P. Kerdonfag, S. Jamnian, and V. Kinnares, "Design of low voltage cable fault detector," in *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Winter Meeting*, Jan. 2000, vol. 1, pp. 724–729.
- [6] R. Salat, S. Osowski "Accurate Fault Location in the Power Transmission Line Using Support Vector Machine Approach", *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 19, no. 2, pp. 979–986. May 2004.
- [7] S. M. Brahma, A. A. Girgis, "Fault Location on a Transmission Line Using Synchronized Voltage Measurements", *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 19, no. 4, pp. 1619–1622. Oct. 2004.
- [8] Moshtagh, J.; Aggarwal, R.K., "A new approach to fault location in a single core underground cable system using combined fuzzy logic and wavelet Analysis," *IET Conferences. Developments in Power System Protection*, Vol.1, Page(s):228 – 231 2004.
- [9] Kanoh, K. Kanemaru, M. Kaneta, M. Nishiura, "A study on Practical Fault Location System for Power Transmission Line Using Neural Network", *IEEE Conference Proceedings of the Second International Forum on Applications of Neural Networks to Power Systems*, Page(s): 9 – 13 1993.
- [10] P. K. Dash, A. K. Phadhan, G. Panda. "Application of Minimal Radial Basis Function Neural Network to Distance Protection", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 16, No. 1, pp.68-74, 2001.
- [11] J. Gracia, A.J. Mazon, I. Zamora, *Best ANN Structures for Fault Location in Single-and Double-circuit Transmission Lines*, *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 20, no. 4, Oct. 2005, pp. 2389–2395.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] A. Ngaopitakkul and C. Pothisarn, "Discrete Wavelet Transform and Back-propagation Neural Networks algorithm for fault location on Single-circuit transmission line," *In Proceedings of 2004 International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2008)*, Thailand, February 2009, pp. 365-371.
- [13] R.Bualoti , P.Pugliese,F.Torelli and M.Trovato, " A generalized method for simultaneous fault analysis." *IEEE Trans. Power Delivery*,vol. 11, pp. 720–725, 1996.
- [14] S. Surisunthon, A. Ngaopitakkul, "Miscalculation Fault location due to behavior of Simultaneous Faults in Electrical Power Transmission Systems Using Discrete Wavelet Transform," *In Proceedings of the 32<sup>th</sup> Electrical Engineering Conference (EECON32)*, Vol. 1, 28-30 October 2009.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

### ผลงานที่ได้รับจากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สจล.

#### 1. ผลงานวิจัย/ผลผลิตที่ได้จากการทำวิจัย และมี Impact ต่อสังคม, ประเทศชาติ

1. โครงการวิจัยนี้เป็นการรวมกันของวิทยาการด้านต่างๆ คือ กระบวนการประมวลสัญญาณ ทฤษฎีระบบป้องกัน และ วิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง เข้าด้วยกัน ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ร่วมกันของนักวิจัยในสาขาดังกล่าว ทั้งในด้านการแลกเปลี่ยนความรู้ ความคิดเห็น นับเป็นการพัฒนายกระดับงานวิจัยของประเทศ
2. การศึกษาวิเคราะห์ฟอลต์ที่เกิดขึ้นในสายส่งที่นำเสนอในโครงการวิจัยนี้ สามารถนำรูปแบบการวิเคราะห์ไปประยุกต์ใช้กับหลักการของระบบป้องกันแบบต่างๆ นับได้ว่าจะเป็นประโยชน์สำหรับวิศวกร นักวิจัย นักศึกษา ตลอดจนผู้สนใจอื่นๆ เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาต่อไป
3. ได้องค์ความรู้ของเทคโนโลยีที่เป็นของประเทศเราเอง โดยไม่ต้องพึ่งเทคโนโลยีจากต่างประเทศ

#### 2. การนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้

1. วิธีวิเคราะห์ฟอลต์ที่เกิดขึ้นบนระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแนวใหม่โดยใช้ข้อมูลองค์ประกอบความถี่สูงที่ได้จากสัญญาณฟอลต์แบบทรานเซียนต์ ซึ่งช่วยลดช่วงของสัญญาณที่ทำการวิเคราะห์ให้สั้นลง จะส่งผลให้ระบบการวิเคราะห์และตัดสินใจใช้เวลาลดลงตามไปด้วย
2. หาดำแหน่งและสาเหตุที่แท้จริงของฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง เพื่อนำมาวางแผนป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังและซ่อมแซมบำรุงรักษาสายส่งต่อไป
3. สามารถนำรูปแบบการวิเคราะห์สัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ตและการใช้ทฤษฎีการแปลงเวฟเล็ตไปประยุกต์ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นได้โดยการนำปัญญาประดิษฐ์เข้ามาใช้ร่วมด้วย

#### 3. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการในประเทศ การเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ หนังสือ การจดสิทธิบัตร หรือผลงานตามที่คาดไว้ในโครงการวิจัย

##### 3.1 การนำเสนอในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ นำเสนอบทความในที่ประชุมวิชาการระดับนานาชาติ รวมทั้งสิ้น 1 บทความ (ภาคผนวก ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. C. Pothisarn, C. Jettanasen, A. Ngaopitakkul, and C. Apisit, "Identification of Fault Location for Simultaneous Fault in Distribution System using Discrete Wavelet transform" An International Journal of Research and Surveys ICIC Express Letters, Vol. 5, Issue 4(B), pp.1423-1428, April 2011.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Volume 5, Number 4(B), April 2011

ISSN 1881-803X

ICIC  
International

# ICIC Express Letters

*An International Journal of Research and Surveys*

Editors-in-Chief

Yan Shi, Tokai University, Japan

Junzo Watada, Waseda University, Japan

Yunfu Huo, Dalian University, China

Indexed by *Ei Compendex (Elsevier)*  
*Scopus (Elsevier)*  
*INSPEC (IET)*

Published by ICIC International  
<http://www.ijicic.org/icicel.htm>

# ICIC EXPRESS LETTERS

Volume 5, Number 4(B), April 2011

## CONTENTS (Continued)

Subspace Based Direct Closed-Loop Identification via Output Over-Sampling Scheme <i>Lianming Sun, Weihong Zhu, Yucui Zhu and Bo Hu</i>	1403
An Efficient Hybrid Clustering Algorithm for Customer Segmentation in Mobile E-Commerce <i>Xiaoyi Deng, Chun Jin, Yoshiyuki Higuchi and Jim C. Han</i>	1411
Fault Diagnosis for E-Seal Unreadability Using Learning Bayesian Networks <i>Chien-Wen Shen</i>	1417
Identification of Fault Location for Simultaneous Fault in Distribution System Using Discrete Wavelet Transform <i>C. Pothisarn, C. Jettanasen, A. Ngaopitakkul and C. Apisit</i>	1423
Harmonic Extraction by Efficient BSE Method <i>Keying Liu, Rui Li and Fasong Wang</i>	1429
A Hybrid Peak Extraction Algorithm for PHD Particle Filter <i>Lingling Zhao, Peijun Ma and Xiaohong Su</i>	1435
Secure Coexistence Proofs for RFID Tags <i>Yuan-Cheng Lai and Chih-Chung Lin</i>	1441
Linear-Quadratic Stochastic Differential Game: Infinite-Time Case <i>Huiying Sun, Meng Li and Weihai Zhang</i>	1449
Modeling and Recognition of Vehicle Behavior from Live Video <i>Jia Wen</i>	1455
Obtaining Accurate Frequencies of Sequential Patterns over a Single Sequence <i>Min Gan and Honghua Dai</i>	1461
Pinning Consensus of Multi-Agent Systems with Nonlinear Coupled and Exogenous Disturbances <i>Hongyong Yang, Shun Zhang and Xunlin Zhu</i>	1467
Fault Detection under Strong White Gaussian Noise Background in Power Systems <i>Yagang Zhang, Zengping Wang and Jinfang Zhang</i>	1473
Visual Tracking of Palms for Virtual Multi-Point Touch Screen Using Principal Component Analysis <i>Chen-Chiung Hsieh, Yao-De Chiu, Yun-Maw Cheng and Tai-Wen Yue</i>	1481
Generalized $H_2$ Control for Fast Sampling Discrete-Time Fuzzy Singularly Perturbed Systems <i>Ping Mei, Jingzhi Fu, Yiguang Gong and Zhongqiu Zhang</i>	1487
Contourlet-Based Feature Extraction for Bank Note Classification Using GMM <i>Ye Jin, Shan Gai, Peng Liu and Xianglong Tang</i>	1495

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## ภาคผนวก ข.

# ตัวอย่างบทความประชุมวิชาการระดับนานาชาติที่ได้นำเสนอในที่ ประชุมระดับนานาชาติ

1. C. Pothisarn, C. Jettanasen, A. Ngaopitakkul, and C. Apisit, "Identification of Fault Location for Simultaneous Fault in Distribution System using Discrete Wavelet transform" An International Journal of Research and Surveys ICIC Express Letters, Vol. 5, Issue 4(B), pp.1423-1428, April 2011.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## IDENTIFICATION OF FAULT LOCATION FOR SIMULTANEOUS FAULT IN DISTRIBUTION SYSTEM USING DISCRETE WAVELET TRANSFORM

C. POTHISARN, C. JETTANASEN, A. NGAOPITAKKUL AND C. APISIT

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Chalongkrung Road, Bangkok 10520, Thailand  
{ kpchaich; kjchaiya; knatthap }@kmitl.ac.th

Received June 2010; accepted September 2010

**ABSTRACT.** *Currently, the most effective technique for identifying fault location, based on a travelling wave, has been proposed in several research papers. However, the effects of simultaneous faults have been neglected. In order to overcome this problem, a new algorithm will be developed in order to predict fault location precisely. This paper presents a technique to detect fault locations, during simultaneous fault, in an underground distribution system using discrete wavelet transform (DWT). The DWT is used to detect the high frequency components. The time that the fault signal uses to reach the ends of the distribution line is considered, then, applied so that the distance of fault can be calculated. The result is found that the proposed algorithm gives satisfactory both in case of single fault and simultaneous fault.*

**Keywords:** Distribution, Cable, Wavelet transform, Simultaneous fault, Fault location

**1. Introduction.** It is an important issue to seek out the fault location on the distribution lines as fast as possible in order to maintain the stability of the power system. The most effective technique to locate fault location has been proposed based on travelling wave [1,2]. Although, travelling wave technique can give precise results in fault location, however, high sampling rate is required and, in addition, problem concerning distinguishing between travelling waves reflected from the fault point and from the remote end of the line. In the literature for fault location, most researches have only considered the fault location for overhead transmission system and underground distribution system with several algorithms [3-9]. A technique selection is available for fault locating; it depends on several factors such as length of circuit (or cable), type of fault (sustained or temporary), etc. The location of fault using wavelet transform was initially proposed by F. H. Magnago et al. [3]. Although the underground cable distribution system provides higher reliability than the overhead line system, it is hard to seek out the fault location. Bridge technique [5], Murry loop pulse radar [5] are used for identifying fault location in underground distribution system. Travelling wave theory [6,7] has been also reported in the literature for identifying underground system.

However, in previous research works [10], the first peak time that can detect fault obtained from all buses are compared and the two fastest first peak times obtained from comparison are used as an input data for traveling wave theory. It was concluded that in case of single fault, the accuracy of fault locations from the prediction of the travelling wave theory is highly satisfactory. However, during simultaneous fault, the travelling wave theory is not efficient in predicting the fault location in an electrical power transmission system. When carefully investigated, it is found that in case of single fault, the time that the fault signal used to reach the ends of the transmission lines is considered as an input data for traveling wave equation. From Figure 1(a), during single fault,  $T_{F1S}$  and  $T_{F1R}$  are

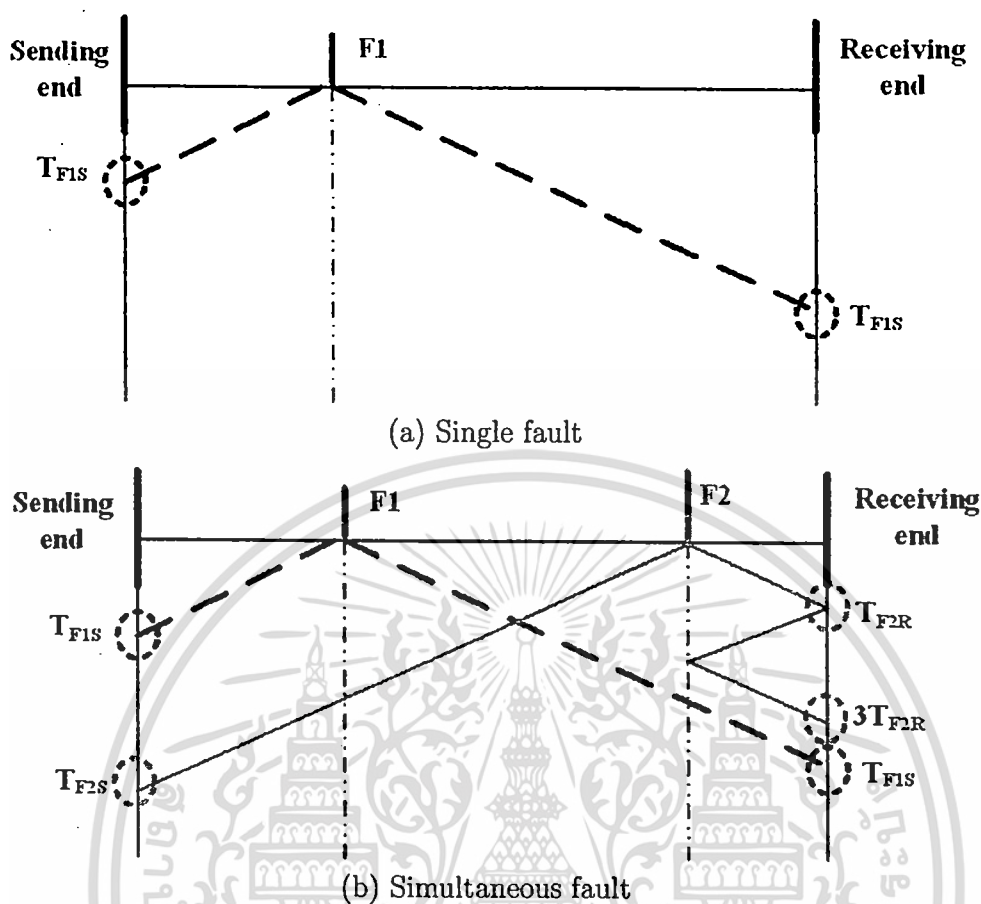


FIGURE 1. The arrival peak time on each end of line

the first peak time at both end of distribution line as an input data. On the other hand, during single fault,  $T_{F1S}$  and  $T_{F2R}$  are the first peak time at both end of distribution line as an input data as shown in Figure 1(b). It is noted that the simultaneous faults are detected faster than the single fault due to the fact that the time which the first fault (F1) at both end of transmission line should be calculated, however, in this case, there is an effect of second fault (F2). Consequently, travelling wave theory could give an error in predicting the fault location in case of simultaneous fault. In order to overcome this problem, a new algorithm should be developed in order to predict fault location precisely.

Therefore, this paper aims to present a development of a new decision algorithm used in the protective relays in order to detect fault locations, during simultaneous fault, in an underground distribution system using discrete wavelet transform (DWT). The simulations, analysis and diagnosis are performed using ATP/EMTP and MATLAB. The current waveforms obtained from ATP/EMTP are extracted to several scales with the wavelet transform, and the coefficients of the first scale from the wavelet transform that can detect fault are investigated.

**2. Simulations.** The ATP/EMTP is employed to simulate fault signals, at a sampling rate of 200 kHz. The system employed in case studies is chosen based on the underground distribution system as illustrated in Figure 2. In addition, a cross-sectional view of a cable is shown in Figure 3. To avoid complexity, the fault resistance is assumed to be 10  $\Omega$ . Fault patterns in the simulations are performed with various changes of system parameters as follows:

– Fault types are single line to ground, double lines to ground, line to line and three-phase fault.

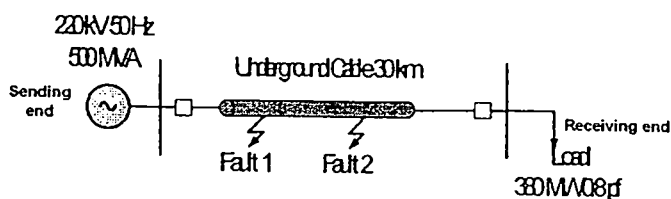


FIGURE 2. The system used in simulation studies [10]

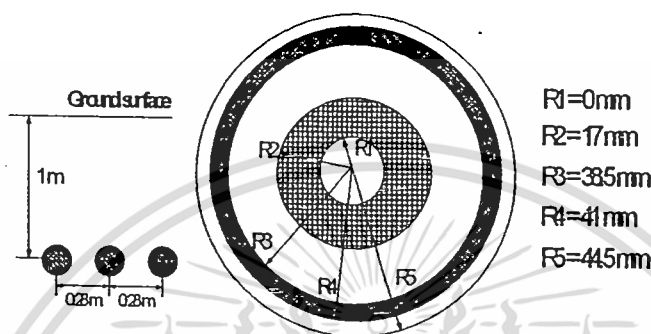


FIGURE 3. The configuration of cable in simulation studies

- For the single fault, fault locations are the distance of 4.5, 6, 9, 12 km measured from the sending end.
- For the simultaneous faults, the location of F1 on the underground distribution system is designated at the distance of 4.5, 6, 9, 12 km from the sending end.
- For the simultaneous faults, the location of F2 on the underground distribution system is designated at the distance of 15, 21, 24, 27 km from the sending end.
- Fault inception angles on the phase A voltage waveform were varied from  $0^\circ$  to  $150^\circ$  with a step of  $30^\circ$ .

**3. Decision Algorithm.** The fault detection decision [10] is processed using the positive sequence current signals. Fault signals generated by ATP/EMTP are used to calculate the positive sequence as well as the zero sequence of currents using the Clark's transformation matrix. The resulted current signals are extracted using the wavelet transform. The mother wavelet daubechies4 (db4) [10,11] is employed to decompose high frequency components from signals. The coefficients of the signals obtained from the wavelet transform are squared for a more explicit comparison. The fault detection decision algorithm is assumed that if coefficients of any scales are changed around five times before an occurrence of the faults, there are faults occurring on underground distribution line.

After the fault detection process, the time which the fault at both end of distribution line are detected fault, then, applied so that the distance of fault can be calculated with proposed algorithm as follows:

$$d = LT \times \frac{t_{diff\_FS}}{t_{diff\_FS} + t_{diff\_FR}} \quad (1)$$

where,

$d$  = the fault location measured from the sending end.

$LT$  = the length of the cable in which the fault is detected.

$T_{F1S}$  = the first peak time which can detect fault at sending end.

$3T_{F1S}$  = the second peak time which can detect fault at sending end.

$T_{F1R}$  = the first peak time which can detect fault at receiving end.

$3T_{F1R}$  = the second peak time which can detect fault at receiving end.

$t_{diff\_FS}$  = the different time by comparing the arrival peak time to reach the sending end as calculated in Equation (2).

$$t_{diff\_FS} = \left| \frac{T_{F1S} - 3T_{F1S}}{2} \right| \quad (2)$$

$t_{diff\_FR}$  = the different time by comparing the arrival peak time to reach the receiving end as calculated in Equation (3).

$$t_{diff\_FR} = \left| \frac{T_{F1R} - 3T_{F1R}}{2} \right| \quad (3)$$

The results obtained from the proposed algorithm in this paper are shown in Figure 4. Figure 4 illustrates examples of simultaneous fault when the first fault (F1) happening at 9 km from sending end while the second fault (F2) is at 24 km from sending end, and two types of faults occurring at the same time. Meanwhile, examples of single fault when the fault (F1) occurs at 9 km from sending end. The results obtained from the proposed algorithm are shown in Tables 1 – 3. It can be seen that in case of simultaneous fault, the proposed algorithm gives satisfactory results in locating faults as shown in Tables 1 and 2. Further, fault location for single fault is also calculated in order to shown the

TABLE 1. The results obtained from proposed algorithm for fault F1 of simultaneous fault

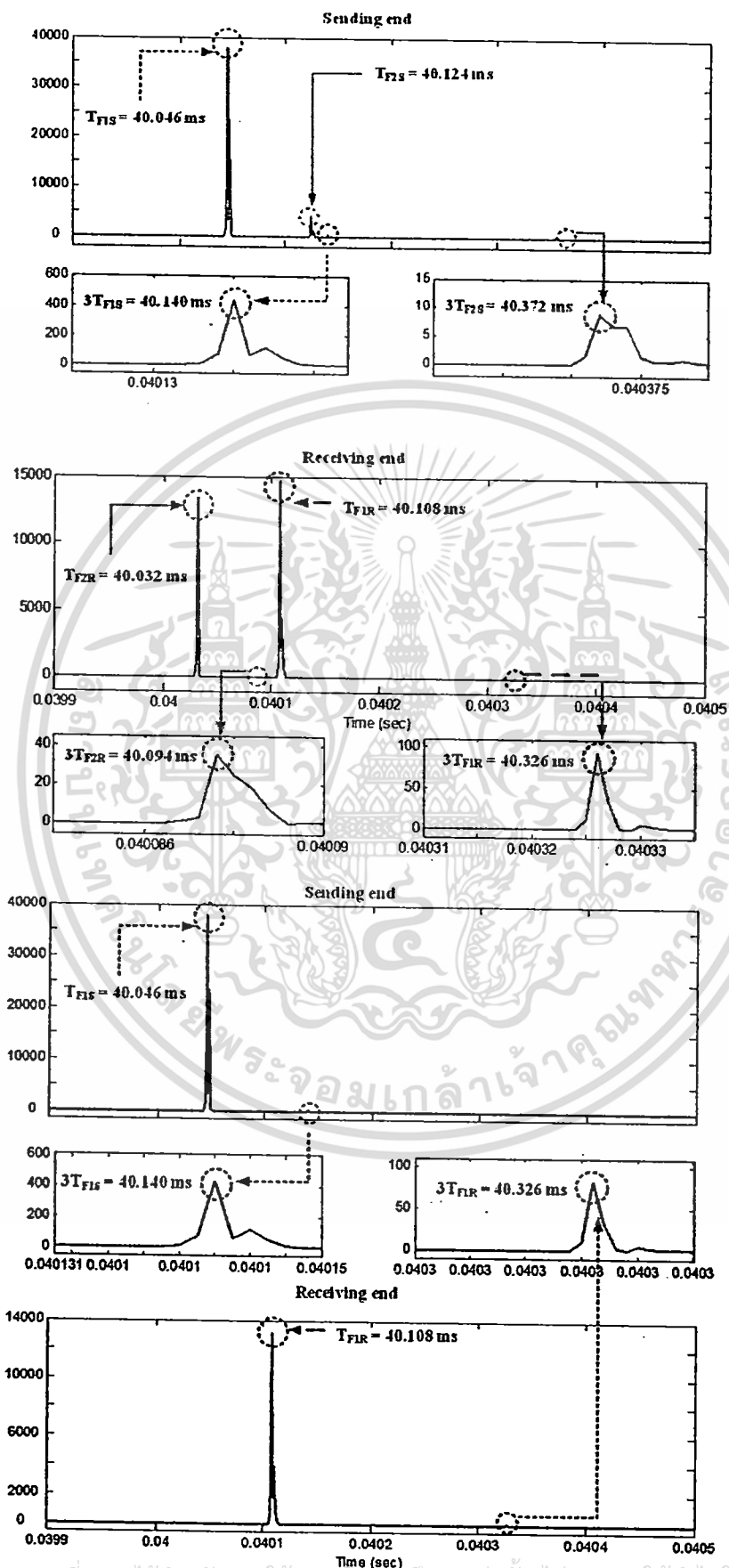
Real locate from sending end (km)		Fault location measured from the sending end (m)							
Fault F <sub>1</sub>	Fault F <sub>2</sub>	$T_{F1S}$	$3T_{F1S}$	$t_{diff\_FS}$	$T_{F1R}$	$3T_{F1R}$	$t_{diff\_FR}$	Calculation	Error
4.5	25.5	40.024	40.070	0.023	40.132	40.396	0.132	4451.61	48.39
5.0	15.0	40.026	40.078	0.026	40.130	40.388	0.129	5032.26	32.26
6.0	21.0	40.032	40.094	0.031	40.124	40.372	0.124	6000.00	0.00
9.0	24.0	40.046	40.140	0.047	40.108	40.326	0.109	9038.46	38.46
12.0	27.0	40.062	40.186	0.062	40.092	40.280	0.094	11923.08	76.92
14.0	16.0	40.072	40.218	0.073	40.082	40.248	0.083	14038.46	38.46

TABLE 2. The results obtained from proposed algorithm for fault F2 of simultaneous fault

Real locate from sending end (km)		Fault location measured from the sending end (m)							
Fault F <sub>1</sub>	Fault F <sub>2</sub>	$T_{F2S}$	$3T_{F2S}$	$t_{diff\_FS}$	$T_{F2R}$	$3T_{F2R}$	$t_{diff\_FR}$	Calculation	Error
4.5	25.5	40.132	40.396	0.132	40.024	40.070	0.023	25548.39	48.39
5.0	15.0	40.078	40.232	0.077	40.078	40.232	0.077	15000.00	0.00
6.0	21.0	40.112	40.330	0.109	40.046	40.140	0.047	20961.54	38.46
9.0	24.0	40.124	40.372	0.124	40.032	40.094	0.031	24000.00	0.00
12.0	27.0	40.140	40.420	0.140	40.016	40.046	0.015	27096.77	96.77
14.0	16.0	40.082	40.248	0.083	40.072	40.218	0.073	15961.54	38.46

TABLE 3. The results obtained from proposed algorithm for single fault

Real locate from sending end (km)		Fault location measured from the sending end (m)							
Fault F <sub>1</sub>	Fault F <sub>2</sub>	$T_{F2S}$	$3T_{F2S}$	$t_{diff\_FS}$	$T_{F2R}$	$3T_{F2R}$	$t_{diff\_FR}$	Calculation	Error
4.5	–	40.024	40.070	0.023	40.132	40.396	0.132	4451.61	48.39
5.0	–	40.026	40.078	0.026	40.130	40.388	0.129	5032.26	32.26
6.0	–	40.032	40.094	0.031	40.124	40.372	0.124	6000.00	0.00
9.0	–	40.046	40.140	0.047	40.108	40.326	0.109	9038.46	38.46
12.0	–	40.062	40.186	0.062	40.092	40.280	0.094	11923.08	76.92
14.0	–	40.072	40.218	0.073	40.082	40.248	0.083	14038.46	38.46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากศูนย์วิจัยและพัฒนาระบบสารสนเทศและการนำไฟฟ้า  
**FIGURE 4.** The time that can detect simultaneous fault in the scale 1 for the positive sequence of current signal

advantage of the proposed algorithm. It is found that the proposed algorithm still also gives satisfactory results in locating faults as shown in Table 3.

From Tables 1 – 3, the analysis of simultaneous faults and single faults is performed with this algorithm, and it can be seen that the accuracy of fault locations from the prediction of the proposed algorithm is highly satisfactory both single fault and simultaneous fault. As a result, this algorithm is an improvement of the fault location which is detected using the wavelet transform.

**4. Conclusions.** This paper proposes a technique using discrete wavelet transform in order to identify of fault locating, during simultaneous fault, in an underground distribution system. Daubechies4 (db4) is selected as a mother wavelet. Positive sequence current signals are used in fault detection. The time that the fault signal used to reach the ends of the distribution line is considered, then, applied so that the distance of fault can be calculated. It is shown that the proposed algorithm is a powerful tool because it gives satisfactory results both simultaneous fault and single fault as shown in Tables 1 – 3. It can be considered as first processing in fault location on transmission line. The further work will be the improvement of the algorithm so that locations of simultaneous fault along the loop structure of distribution network can be identified.

**Acknowledgment.** This work is partially supported by the faculty of engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Research fund. The authors also gratefully acknowledge the helpful comments and suggestions of the reviewers, which have improved the presentation.

#### REFERENCES

- [1] P. A. Crossley and P. G. McLaren, Distance protection based on travelling waves, *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, vol.PAS-102, no.9, pp.2581-2589, 1983.
- [2] A. O. Ibe and B. J. Cory, A travelling wave based fault locator for two- and three-terminal networks, *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol.1, no.2, pp.283-288, 1986.
- [3] F. H. Magnago and A. Abur, Fault location using wavelets, *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol.13, no.4, pp.1475-1480, 1998.
- [4] C. Fan, K. K. Li, W. L. Chan, W. Yu and Z. Zhang, Application of wavelet fuzzy neural network in locating single line to ground fault (SLG) in distribution lines, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol.29, no.6, pp.497-503, 2007.
- [5] E. C. Bascom and D. W. Von Dollen, Computerized underground cable fault location expertise, *IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference*, pp.376-382, 1994.
- [6] E. S. Tag El Din, M. Gilany, M. M. Abdel Aziz and D. K. Ibrahim, A wavelet base fault location technique for aged power cables, *IEEE Power Engineering Society*, vol.3, pp.2485-2491, 2005.
- [7] M.-S. Choi, D.-S. Lee and X. Yang, A line to ground fault location algorithm for underground cable system, *KIEE International Trans. on Power Engineering*, vol.54, pp.267-273, 2005.
- [8] R. Yusof, R. Z. A. Rahman and M. Khalid, Fault detection and diagnosis for process control rig using artificial intelligent, *ICIC Express Letters*, vol.4, no.5(B), pp.1811-1816, 2010.
- [9] Y. Zhang, Z. Wang, J. Zhang and J. Ma, Fault detection based on discriminant analysis theory in power systems, *ICIC Express Letters*, vol.4, no.3(A), pp.809-814, 2010.
- [10] A. Ngaopitakkul, C. Apisit, C. Pothisarn, C. Jettanasen and S. Jaikhan, Identification of fault locations in underground distribution system using discrete wavelet transform, *Proc. of the International Multi-Conference of Engineers and Computer Scientists 2010*, Hong Kong, China, vol.2a, pp.1188-1192, 2010.
- [11] P. Chiradeja and C. Pothisarn, Identification of the fault location for three-terminal transmission lines using discrete wavelet transform, *Proc. of IEEE International Conference on Transmission and Distribution (T&D Asia 2009)*, Korea, pp.1-4, 2009.

## ประวัติคณะผู้วิจัย

1. ชื่อ (ภาษาไทย) อาจารย์ชายชาญ โพธิสาร  
(ภาษาอังกฤษ) Lecturer Chaichan Pothisarn  
รหัสประจำตัวนักวิจัยแห่งชาติ (ถ้ามี)  
ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์  
หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้ พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 Email kpchaich@kmitl.ac.th  
ประวัติการศึกษา

1993 B.Eng.(EE) Prince of Songkla University

2003 M.Eng.(EE) King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

Power System, Electrical System Design, Grounding, Lightning Protection

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

ผู้ช่วยวิจัยในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทความและสิ่งตีพิมพ์

1. P. Chiradeja, and C. Pothisarn, "Discrete Wavelet Transform and Fuzzy Logic Algorithm for Identification of Fault Types on Transmission Line" In *Proceedings of the 8<sup>th</sup> IET International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management (APSCOM2009)*, Paper No. APSCOM2009-48, Hong Kong, November 2009.
2. C. Pothisarn, and A. Ngaopitakkul, "Application of Discrete Wavelet Transform for fault location on Transmission Network Systems" In *Proceedings of the 8<sup>th</sup> IET International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management (APSCOM2009)*, Paper No. APSCOM2009-47, Hong Kong, November 2009.
3. A. Ngaopitakkul, S. Jonpermpoonpol and C. Pothisarn, "Studies of Turn to turn Fault in Power Transformer Using Discrete Wavelet Transform," In *Proceedings of the 32<sup>th</sup> Electrical Engineering Conference (EECON32)*, Vol. 1, 28-30 October 2009. (in Thai)
4. C. Pothisarn, and A. Ngaopitakkul, "Discrete Wavelet Transform and Back-propagation Neural Networks Algorithm for Fault Classification on Transmission Line" In *Proceedings of IEEE International Conference on Transmission and Distribution (T&D Asia 2009)*, Korea, October 2009.
5. P. Chiradeja, and C. Pothisarn, "Identification of the Fault Location for Three-Terminal Transmission Lines using Discrete Wavelet Transform" In *Proceedings of IEEE International Conference on Transmission and Distribution (T&D Asia 2009)*, Korea, October 2009.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้