



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาพฤติกรรมของการเกิดฟอลต์พร้อมกันหลายจุดบนระบบจำหน่าย
กำลังไฟฟ้าแบบผสมที่ใช้สายจำหน่ายเหนือดินและใต้ดิน

Study of behavior of Simultaneous fault on the hybrid between
overhead and unground distribution system

ผศ. ชัยชาญ โพธิ์สาร

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาพฤติกรรมของการเกิดฟอลต์พร้อมกันหลายจุดบนระบบจำหน่าย
กำลังไฟฟ้าแบบผสมที่ใช้สายจำหน่ายเหนือดินและใต้ดิน

Study of behavior of Simultaneous fault on the hybrid between
overhead and unground distribution system

ผศ. ชัยชาญ โปธิสาร

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การศึกษาพฤติกรรมของการเกิดฟอลต์พร้อมกันหลายจุดบนระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า
แบบผสมที่ใช้สายจำหน่ายเหนือดินและใต้ดิน

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้

ประจำปีงบประมาณ 2558

จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2557 ถึง 30 กันยายน 2558

ผศ.ชายชาญ โพธิสาร

หัวหน้าโครงการ

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วย (DWT) ของรูปคลื่นสัญญาณกระแสที่เกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งแบบผสม ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม ATP/EMTP ในการจำลองสัญญาณฟอลต์ โดยใช้กรณีศึกษาในระบบแรงดันไฟฟ้า 115 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) รูปแบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบวงจรเดี่ยวสายไฟเดี่ยว (Single Circuit Single conductor) ของสายส่งแบบเหนือดิน (Overhead) และสายส่งใต้ดิน (Underground Cable) ทำการเปลี่ยนแปลงตามรูปแบบการเกิดฟอลต์คือ ตำแหน่ง ชนิด และมุมที่เกิดฟอลต์ หลังจากนั้นนำสัญญาณค่ากระแสเฟสและค่ากระแสลำดับบวกที่ได้มาผ่านวิธีการแปลงเวฟเล็ด พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้นั้นจะเปลี่ยนแปลงตามรูปแบบการเกิดฟอลต์คือ ตำแหน่ง ชนิด และมุมที่เกิดฟอลต์ โดยทำการศึกษาดูพฤติกรรมของฟอลต์แบบจุดเดี่ยวและแบบการเกิดฟอลต์พร้อมกันสองจุด (Simultaneous Fault) ซึ่งการเกิดฟอลต์แบบสองจุดพร้อมกันนั้นพฤติกรรมที่ได้จะแตกต่างจากฟอลต์แบบจุดเดี่ยวค่อนข้างมาก เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ที่ตรวจจับได้นั้นไม่ได้เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมของรูปคลื่นของเวฟเล็ดนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถนำแนวโน้มของพฤติกรรมการเปลี่ยนของค่าสัมประสิทธิ์และเวลาในการตรวจจับ ฯลฯ มาประยุกต์เพื่อใช้ในการตรวจจับและแบ่งแยกประเภทฟอลต์ได้ต่อไป

คำสำคัญ : การแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วย, สายส่งเหนือดิน, สายส่งใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Study of behavior of Simultaneous fault on the hybrid between overhead and unground distribution system

Researcher : Assist.Prof. Chaichan Pothisarn

Faculty : Engineering

Department : Electrical Engineering

University : King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This research aims to study the coefficients behavior of the current waveform from discrete wavelet transform (DWT). The fault signals had generated in hybrid transmission line. Current signal of hybrid transmission line are simulated by using alternative transient program/electromagnetic transients program (ATP/EMTP). The Case study had simulated in system voltage 115 kV of PEA. Hybrid transmission line model is single circuit single conductor in Overhead line and underground cable is same condition to overhead line. The simulations are performed with various changes of fault position, fault type and fault angle. After that, The DWT is used to decomposition fault signal of current waveform. Coefficients from the current signal are various according to fault parameter. This research is study the behavior of single fault and simultaneous fault condition. The behaviors of simultaneous fault have different from single fault due to coefficients of simultaneous fault do not change according to fault position. The behavior of the waveform is also significant because it can be apply to detect and classify Fault in further.

Keywords: Discrete Wavelet Transform (DWT), Overhead Line, Underground cable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ สำเร็จลุล่วงได้อย่างด้วยดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาที่มีคุณค่าจากบุคคลและเจ้าหน้าที่ภายในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง ที่ได้ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากเงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปี 2558 ตลอดจนเจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัยของสถาบันที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และได้ให้คำแนะนำในการจัดทำงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากโครงการวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้วิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 แนวโน้มงานวิจัยที่ผ่านมา.....	2
1.2 วัตถุประสงค์และจุดมุ่งหมายของการศึกษา.....	3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	4
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 การป้องกันแบบระยะทาง.....	6
2.2 การป้องกันแบบผลต่างค่ากระแสไฟฟ้า.....	9
2.3 คลื่นจร.....	10
2.4 การแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วย.....	16
บทที่ 3 การจำลองการเกิดความผิดพร่องด้วยโปรแกรม EMTP.....	21
3.1 การจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า.....	21
3.2 สัญญาณที่ได้จากการจำลองการเกิดฟอลต์.....	25
3.2.1 สัญญาณที่ได้จากการจำลองการเกิดฟอลต์แบบฟอลต์ชนิดเดียว.....	25
3.2.2 สัญญาณที่ได้จากการจำลองการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุด.....	40
บทที่ 4 การวิเคราะห์ด้วยวิธีการแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วย.....	48
4.1 พฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดชนิดฟอลต์จุดเดียว.....	56
4.2 พฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ด ชนิดฟอลต์พร้อมกันสองจุด.....	59
บทที่ 5 สรุปผล.....	65
เอกสารอ้างอิง.....	67
ประวัตินักวิจัย.....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดสเกลที่ 1 ของการเกิดฟอลต์แต่ละประเภทของสายส่งแบบเหนื่อดิน ของสายส่งแบบเหนื่อดิน.....	55
4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดสเกลที่ 1 ของการเกิดฟอลต์แต่ละประเภทของสายส่งแบบเหนื่อดิน ของสายส่งแบบใต้ดิน.....	55
4.3 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดสเกลที่ 1 ของการเกิดฟอลต์แต่ละประเภทของสายส่งแบบเหนื่อดิน ของสายส่งแบบผสม.....	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การป้องกันวงจรสายส่งไฟฟ้าด้วยรีเลย์ระยะทาง (Distance Relay).....	6
2.2 แสดงระนาบเชิงซ้อน (Complex plane) การทำงานของรีเลย์ระยะทาง.....	7
2.3 คุณลักษณะการทำงานของรีเลย์ผลต่างร้อยละ.....	10
2.4 ไฟผ่าลงบนสายส่งทำให้เกิดแรงดันเสิร์จเป็นคลื่นจร.....	10
2.5 ค่า L และ C กระจายตลอดสายส่ง.....	11
2.6 ค่าและทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นจร.....	13
2.7 คลื่นสะท้อนกลับและคลื่นส่งผ่าน.....	14
2.8 แสดงลักษณะของคลื่นเวฟเล็ตแบบ Morlet.....	16
2.9 แสดงคุณสมบัติการสเกลของฟังก์ชันเวฟเล็ต.....	17
2.10 แสดงคุณสมบัติการเลื่อนตำแหน่งของฟังก์ชันเวฟเล็ต.....	18
2.11 แสดงการกระจายสัญญาณสัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ต.....	18
2.12 แสดงการสร้างกลับสัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ต.....	19
2.13 แสดงลักษณะการแปลงเวฟเล็ตโดยใช้หลักการวิเคราะห์ด้วยตัวกรองสัญญาณ.....	20
3.1 แสดงโครงสร้างสายส่ง 115 kV วงจรเดี่ยว สายไฟเดี่ยว (Single circuit Single conductor) แบบเหนือดิน.....	22
3.2 แสดงโครงสร้างสายส่ง 115 kV วงจรเดี่ยว สายไฟเดี่ยว (Single circuit Single conductor) แบบใต้ดิน.....	22
3.3 ระบบจำลองฟอลต์บนสายส่งและสายเคเบิลไฟฟ้า.....	23
3.4 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% ของสายส่งแบบเหนือดิน.....	25
3.5 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% ของสายส่งแบบเหนือดิน.....	26
3.6 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบเหนือดิน.....	26
3.7 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบเหนือดิน.....	27
3.8 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรลงเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 40% ของสายส่งแบบเหนือดิน.....	28
3.9 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรลงเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 40% ของสายส่งแบบเหนือดิน.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.10 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรลงเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 60% ของสายส่งแบบเหนือดิน.....	29
3.11 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรลงเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 60% ของสายส่งแบบเหนือดิน.....	29
3.12 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% ของสายส่งแบบใต้ดิน.....	30
3.13 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% ของสายส่งแบบใต้ดิน.....	31
3.14 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบใต้ดิน.....	31
3.15 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบใต้ดิน.....	32
3.16 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรลงเฟส d (line to line fault) ที่ระยะ 40% ของสายส่งแบบใต้ดิน.....	33
3.17 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรลงเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 40% ของสายส่งแบบใต้ดิน.....	33
3.18 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรลงเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 60% ของสายส่งแบบใต้ดิน.....	34
3.19 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรลงเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 60% ของสายส่งแบบใต้ดิน.....	34
3.20 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% ของสายส่งแบบผสม.....	35
3.21 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% ของสายส่งแบบผสม.....	36
3.22 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบผสม.....	36
3.23 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบผสม.....	37
3.24 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรลงเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 40% ของสายส่งแบบผสม.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.25 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรลงเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 40% ของสายส่งแบบผสม.....	38
3.26 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรลงเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 60% ของสายส่งแบบผสม.....	39
3.27 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรลงเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 60% ของสายส่งแบบใต้ดิน.....	39
3.28 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 40% ของสายส่งแบบเหนือดิน.....	40
3.29 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 40% ของสายส่งแบบเหนือดิน.....	41
3.30 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 60% และเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบเหนือดิน.....	41
3.31 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 60% และเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบเหนือดิน.....	42
3.32 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 40% ของสายส่งแบบใต้ดิน.....	43
3.33 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 40% ของสายส่งแบบใต้ดิน.....	43
3.34 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 60% และเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบใต้ดิน.....	44
3.35 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 60% และเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบใต้ดิน.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.36 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 40% ของสายส่งแบบผสม.....	45
3.37 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 40% ของสายส่งแบบผสม.....	46
3.38 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 60% และเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบผสม.....	46
3.39 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 60% และเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบผสม.....	47
4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ฟอลต์โดยรวม.....	48
4.2 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตรกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% ของสายส่งแบบเหนือดิน.....	49
4.3 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตรกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบเหนือดิน.....	50
4.4 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตรกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 40% ของสายส่งแบบเหนือดิน.....	50
4.5 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตรกรณีการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 40% ของสายส่งแบบเหนือดิน.....	50
4.6 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตรกรณีการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 60% และเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบใต้ดิน.....	51
4.7 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตรกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% ของสายส่งแบบใต้ดิน.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.8 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเส้นกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบใต้ดิน	51
4.9 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเส้นกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 40% ของสายส่งแบบใต้ดิน	52
4.10 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเส้นกรณีการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 40% ของสายส่งแบบใต้ดิน	52
4.11 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเส้นกรณีการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 60% และเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบใต้ดิน	52
4.12 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเส้นกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% ของสายส่งแบบผสม	53
4.13 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเส้นกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบผสม	53
4.14 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเส้นกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 40% ของสายส่งแบบผสม	53
4.15 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเส้นกรณีการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 40% ของสายส่งแบบผสม	54
4.16 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเส้นกรณีการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 60% และเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบผสม	54
4.17 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.18 เวลาของค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง.....	57
4.19 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่มุมต่าง ๆ.....	58
4.20 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะต่าง 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง.....	59
4.21 เวลาของค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะต่าง 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง.....	60
4.22 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะต่าง 80% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง.....	61
4.23 เวลาของค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะต่าง 80% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง.....	62
4.22 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะต่าง 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 40% ที่มุมต่าง ๆ.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีความเจริญเติบโตทางด้านอุตสาหกรรม และมีประชากรอาศัยอยู่หนาแน่นมากขึ้น ความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้ามีปริมาณเพิ่มขึ้น ระบบไฟฟ้ากำลังจึงมีการขยายตัวอย่างมากเพื่อรองรับการใช้พลังงานภายในประเทศ ระบบไฟฟ้ากำลังจึงต้องมีอุปกรณ์ป้องกันที่นำเชื่อถือมากขึ้นด้วยเพื่อป้องกันการเกิดฟอลต์ ฟอลต์ที่เกิดขึ้นเป็นอันตรายต่อระบบไฟฟ้าเป็นอย่างมาก เนื่องจากหากเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง นอกจากจะทำให้อุปกรณ์หลักในระบบไฟฟ้าเกิดความเสียหายแล้ว ยังมีผลกระทบต่อระบบการผลิตและส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไปสู่แหล่งอุตสาหกรรมและชุมชน

จากเหตุผลข้างต้นระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจึงเป็นส่วนที่มีความสำคัญมาก ในปัจจุบันประเทศไทยมีระบบสายส่งทั้ง ระบบสายส่งอากาศ (Overhead line) และระบบสายส่งใต้ดิน (Underground cable) ซึ่งสายส่งในแต่ละแบบนี้จะมีการใช้งานในพื้นที่ที่แตกต่างกันออกไป สายส่งอากาศ (Overhead line) นั้นมักจะพบเห็นอยู่ทั่วไปซึ่งเป็นระบบสายส่งที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เพราะสายส่งอากาศนั้นมีการติดตั้งที่ง่าย และเสียค่าใช้จ่ายน้อยในการติดตั้ง จึงเป็นที่นิยม แต่ก็ยังมีข้อเสียอยู่บ้างคือ เป็นสายส่งที่มีความน่าเชื่อถือต่ำ อีกทั้งยังเกิดความเสียหายได้ง่ายกว่าแบบอื่น สายส่งอีกแบบที่มีการใช้ในประเทศไทยคือ สายส่งเคเบิลใต้ดิน สายส่งชนิดนี้ใช้ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าทั่วไป มีการติดตั้งที่ค่อนข้างลำบากกว่าสายส่งชนิดอื่นเนื่องจากต้องมีการวางสายใต้ดิน จึงมีการใช้งานสายส่งชนิดนี้ในบางพื้นที่เท่านั้น ปัจจุบันสายส่งใต้ดินได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะพื้นที่ ๆ มีความสำคัญหรือแหล่งสถานที่ท่องเที่ยวต่าง ๆ มีการติดตั้งใช้งานสายส่งใต้ดินเพิ่มมากขึ้น เพราะสายส่งใต้ดินนั้นจะสิ้นเปลืองพื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้งสายน้อยกว่า และยังมีความน่าเชื่อถือในระบบที่สูงกว่าสายส่งอากาศอย่างมาก แต่เนื่องจากสายส่งชนิดนี้มีการฝังสายเคเบิลไว้ใต้ดิน จึงมีข้อจำกัดที่สำคัญคือ การบำรุงรักษาสายส่ง อีกทั้งมีการใช้งานในชุมชนจึงยากต่อการบำรุงรักษา จากเหตุผลดังกล่าวการบำรุงรักษาสายส่งเคเบิลใต้ดินจึงเป็นสิ่งสำคัญมากที่ต้องมีความรวดเร็ว และความแม่นยำให้ได้มากที่สุด ในระบบสายส่งนั้น ไม่ว่าจะเป็นสายส่งแบบเหนือดินหรือ ใต้ดิน ย่อมมีความผิดปกติเกิดขึ้นได้ในสายส่ง คือมีโอกาสเกิดการลัดวงจรในสายส่ง หรือฟอลต์ (fault) เป็นต้น ซึ่งเมื่อเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง จะทำให้เกิดผลเสียต่อระบบอย่างมาก ดังนั้นเมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้นในสายส่งจึงเป็นปัญหาที่ต้องทำการแก้ไข ซ่อมแซมอย่างรวดเร็ว เพื่อจะได้ไม่ต้องเกิดความเสียหายรุนแรงต่อระบบ สิ่งที่สามารถตรวจจับฟอลต์ได้คือรีเลย์ (Relay) โดยรีเลย์มีหลากหลายชนิดหลากหลายหน้าที่ หากเป็นระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า รีเลย์ที่ทำหน้าที่หลักคือ รีเลย์ตรวจจับกระแสเกิน จะตรวจจับฟอลต์ประเภท หนึ่งเฟสลงดิน สามเฟสลงดิน เป็นต้น เมื่อกระแสไหลมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ตั้งไว้ รีเลย์ที่อยู่ใกล้จุดเกิดฟอลต์สามารถส่งปลดวงจรที่เกิดฟอลต์ได้ก่อน และจะต้องทำการระบุว่าสัญญาณฟอลต์ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นฟอลต์ชนิดใด เกิดขึ้นที่ตำแหน่งใดบนสายส่ง เมื่อทำการวิเคราะห์ทั้งหมดแล้ว ก็จะทำให้ง่ายในการที่จะส่งช่างเทคนิคไปทำการแก้ไข ซ่อมแซมได้อย่างรวดเร็ว และไม่ผิดพลาด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบที่ไม่ใช่ระบบเชื่อมโยงแบบโครงข่าย (Network) หรือ ระบบที่มีการเชื่อมต่อกัน เพราะหากเกิดฟอลต์ในระบบแบบนี้จะทำให้เกิดความเสียหายมากมายเพราะไม่มีกำลังไฟฟ้าจากระบบอื่นเข้ามาจ่ายพลังงานไฟฟ้าแทน ดังนั้น กล่าวโดยสรุป รีเลย์คืออุปกรณ์สำคัญในระบบไฟฟ้า เพื่อป้องกันอุปกรณ์ต่างๆ ด้วยเหตุนี้เอง การศึกษาพฤติกรรมของการเกิดฟอลต์เพื่อให้เข้าใจลักษณะสัญญาณที่บ่งชี้การเกิดฟอลต์ ซึ่งสามารถนำสัญญาณนั้นมาวิเคราะห์ว่า สัญญาณที่พบนั้นเป็นสัญญาณฟอลต์หรือไม่ เมื่อรู้ว่าเป็นสัญญาณฟอลต์ ชุดคำสั่งในการตัดสินใจที่แม่นยำขณะที่เกิดฟอลต์ต้องสามารถส่งปลดวงจรที่เกิดฟอลต์ได้

1.1 แนวโน้มงานวิจัยที่ผ่านมา

ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงได้ศึกษาพฤติกรรมของรูปคลื่นสัญญาณกระแสที่เกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งแบบผสมคือ มีสายอากาศ (Overhead-Line) และสายใต้ดิน (Underground Cable) เชื่อมต่อกัน โดยทำการจำลองการเกิดฟอลต์จะจำลองแบบเกิดฟอลต์พร้อมกันสองจุด (Simultaneous Fault) โดยทำการเปลี่ยนตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ ชนิดฟอลต์ และมุมมองของแรงดันขณะที่เกิดฟอลต์ ซึ่งตัวตรวจจับสัญญาณจะอ่านค่าสัญญาณที่ปลายทั้งสองด้านของสายส่ง จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง งานวิจัยนี้ พบวิธีในการระบุตำแหน่งฟอลต์หลายๆ วิธี เช่น การวัดค่าคลื่นจรที่ปลายทั้งสองด้านของสายส่งตาม [1] [2] [3] [4] การแปลงของพาร์ก (Park's Transformation) ใช้ในการแปลงกระแสสลับสามเฟสให้เป็นกระแสตรงสองเฟสเพื่อใช้หาผลต่างของคลื่นจรแสดงใน [2] การออกแบบกระบวนการระบุตำแหน่งฟอลต์จากคลื่นจรในระบบสายส่งที่มีคาปาซิเตอร์ต่ออนุกรมกับระบบเพื่อเพิ่มค่าพาเวอร์แฟคเตอร์ให้กับระบบ แต่ส่งผลให้เกิดปัญหามากมายกับระบบป้องกันแสดงใน [3] และการระบุตำแหน่งฟอลต์ในสายส่งแบบผสมที่มีทั้งสายส่งอากาศและสายส่งใต้ดินโดยใช้คลื่นจร เพื่อดูความแตกต่างระหว่างแบบผสมกับแบบสายอากาศอย่างเดียวว่าแบบใดมีค่าที่สูงที่ทำให้การระบุตำแหน่งฟอลต์แม่นยำกว่าได้แสดงใน [4] วิธีการใช้ ฟัชซีลอจิก (fuzzy logic) ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งฟอลต์แสดงใน [5] โดยระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ใช้วิเคราะห์เป็นระบบที่มีคาปาซิเตอร์ต่ออนุกรมกับระบบ วิธีการอ่านค่ากระแสและค่าแรงดันจากเครื่องกำเนิดแบบกระจาย (DG) หรือเป็นเวกเตอร์ของเครื่องกำเนิดจากวิธี การวัดแบบซิงโครฟาสเซอร์ (Synchrophasor Measurements) เพื่อระบุตำแหน่งฟอลต์ถูกแสดงใน [6] [7] ตามลำดับ หรือวิธีการนำค่ากระแสฟอลต์จากเครื่องมือวัดที่จุดต่างๆ มาวิเคราะห์เพื่อหาตำแหน่งฟอลต์แสดงอยู่ใน [8] [9] วิธีการนำค่าช่วงสภาวะคงตัว (Steady State) มาวิเคราะห์หาตำแหน่งฟอลต์ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีคาปาซิเตอร์ต่ออนุกรมกับระบบ เป็นอีกวิธีที่ใช้ระบุตำแหน่งฟอลต์ได้แม่นยำ แสดงอยู่ใน [10] หรือการหาค่าอิมพีแดนซ์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่มีสถานีไฟฟ้าหลายแห่ง เพื่อหาตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ แสดงใน [11] และการกระจายพารามิเตอร์จาก อิมพีแดน เบส แอลกอริทึม (Impedance based Algorithm) เพื่อสามารถใช้ได้ผลที่แม่นยำกับสายส่งกำลังไฟฟ้าแบบยาวได้ เพื่อนำค่าพารามิเตอร์ไปกำหนดค่ารีเลย์ที่สถานีไฟฟ้าให้มีค่าที่เหมาะสม แสดงใน [12]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะเสนอพฤติกรรมของรูปคลื่นสัญญาณ เพื่อนำไปปรับใช้กับอุปกรณ์ป้องกัน เพื่อให้มีประสิทธิภาพที่แม่นยำขึ้น และเป็นการลดผลกระทบทางพลังงานและผลกระทบทางเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า ทำให้การใช้พลังงานของประเทศเต็มประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้ประเทศได้พัฒนาไปอีกขั้นต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์และจุดมุ่งหมายของการศึกษา

- 1) เพื่อทำการจำลองสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดฟอลต์ขึ้นกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบเหนือนดิน แบบใต้ดิน และแบบผสม
- 2) เพื่อทำการจำลองการเกิดฟอลต์แบบสองจุดพร้อมกันในระบบส่งกำลังไฟฟ้าทั้งสามรูปแบบ
- 3) วิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ด้วยวิธีการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย
- 4) เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าทั้งสามรูปแบบ
- 5) ศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยของการเกิดฟอลต์แบบสองจุดพร้อมกันบนระบบส่งกำลังไฟฟ้า
- 6) เพื่อศึกษาพฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยของฟอลต์แต่ละประเภทเพราะจะมีประโยชน์ในการประยุกต์ใช้เพื่อตรวจจับและแบ่งแยกประเภทของฟอลต์ต่อไป

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ตั้งสมมติฐานของการศึกษาโดยอ้างอิงจากพฤติกรรมของสัญญาณฟอลต์คือ เมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้นจะมีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่ต่างๆ แทรกอยู่ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ จะมีความสัมพันธ์กับรูปแบบของฟอลต์ โดยข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงนี้เมื่อนำการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (DWT) มาใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ โดยทำการแยกองค์ประกอบความถี่สูง (Detail) และองค์ประกอบความถี่ต่ำ (Approximation) พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของในหลายสเกลหรือหลายช่วงความถี่ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตมาศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้น การเกิดฟอลต์ของระบบส่งกำลังไฟฟ้าแต่ละประเภทจะมีลักษณะและรูปแบบของลูกคลื่นและค่าที่ได้จากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงเวฟเล็ดแตกต่างกันออกไป ดังนั้นการเกิดฟอลต์บนสายส่งแบบผสม จึงต้องศึกษาพฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ทั้งสายส่งแบบเหนือดิน และสายส่งใต้ดิน ทั้งนี้หากเกิดฟอลต์แบบสองจุดพร้อมกันบนระบบส่งกำลังไฟฟ้า พฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จะต้องมีพื้นฐานมาจากการเกิดฟอลต์แบบจุดเดียว

1.4 ขอบเขตการศึกษา

- 1) สร้างแบบจำลองระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบเหนือดิน แบบใต้ดิน และแบบผสมด้วยโปรแกรม ATP/EMTP
- 2) จำลองสถานการณ์การเกิดฟอลต์ทั้ง 10 ประเภท (AG, BG, CG, AB, AC, BC, ABG, ACG, BCG, ABC) และแบ่งจุดเกิดฟอลต์ตามระยะทางตั้งแต่ 10% - 90% ด้วยโปรแกรม ATP/EMTP
- 3) จำลองการเกิดฟอลต์แบบสองจุดพร้อมกันบนระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า
- 4) นำสถานการณ์การเกิดฟอลต์ที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยวิธีการแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วยด้วยโปรแกรม MATLAB
- 5) เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วยของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าทั้งสามรูปแบบ
- 6) ศึกษาพฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดของฟอลต์แต่ละประเภท
- 7) ศึกษาพฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดของการเกิดฟอลต์แบบสองจุดพร้อมกัน

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

- 1) การศึกษารูปแบบของการแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วยที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์สัญญาณความผิดพร่อง
- 2) ทำการจำลองสัญญาณความผิดพร่องแบบจุดเดียวที่แตกต่างกัน 3,240 ตัวอย่างโดยโปรแกรม EMTP/ATPDraw สำหรับระบบส่งกำลังไฟฟ้าแบบเหนือดิน ใต้ดิน และแบบผสม (ระบบละ 1,080 ตัวอย่าง)
- 3) ทำการจำลองสัญญาณความผิดพร่องแบบสองจุดพร้อมกันที่แตกต่างกัน 3,240 ตัวอย่างโดยโปรแกรม EMTP/ATPDraw สำหรับระบบส่งกำลังไฟฟ้าแบบเหนือดิน ใต้ดิน และแบบผสม (ระบบละ 1,080 ตัวอย่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) นำสัญญาณความผิดพลาดมาทำการแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วย
- 5) ศึกษาพฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ท
- 6) เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ทของการเกิดพอลต์บนระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าทั้งสามรูปแบบ
- 7) ศึกษาพฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ทของการเกิดพอลต์แบบสองจุดพร้อมกัน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถนำพฤติกรรมที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อตรวจจับและแบ่งแยกประเภทของพอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าได้
- 2) สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์สัญญาณในรูปแบบอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับนักวิจัย และผู้ที่สนใจอื่นๆ เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาต่อไป



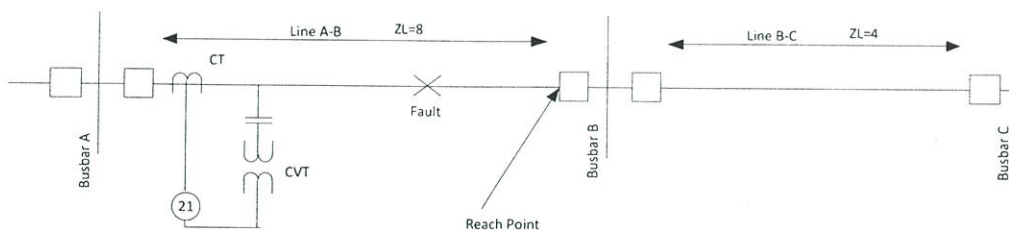
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การป้องกันสายส่งแรงสูงได้มีการพัฒนาโดยตลอด ซึ่งลักษณะของวงจรป้องกันสายส่งที่ดีควรมี ความน่าเชื่อถือในการทำงาน (Reliability) ความสามารถในการตรวจสอบทิศทางของตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ และสามารถในการแยกแยะฟอลต์ได้ว่าเกิดภายในขอบเขตป้องกันหรือไม่ (Selectivity) ความสามารถทำหน้าที่เป็นระบบป้องกันเสริมระยะไกล (Remote Back Up Protection) ให้กับรีเลย์ป้องกันอื่น ๆ ที่มีขอบเขตการป้องกันซึ่งอยู่ถัดไปและความสามารถทำงานประสาน (Coordination) ร่วมกับรีเลย์ป้องกันวงจรสายส่งไฟฟ้าอื่น ๆ ได้อีกด้วย ซึ่งรีเลย์ป้องกันที่ดีควรมีคุณสมบัติครบถ้วน รีเลย์ตรวจวัดระยะทางที่เกิดฟอลต์ (Distance Relay) ใช้เป็นการรีเลย์ป้องกันวงจรสายส่งไฟฟ้า แต่จะไม่เหมาะสมกับสายส่งไฟฟ้าที่มีระยะสั้นมาก ๆ และรีเลย์ป้องกันหลักที่จะนำมาใช้แทนคือ รีเลย์ผลต่างค่ากระแสไฟฟ้า (Line Current Differential Relay) หรือรีเลย์ผลต่างเฟสกระแสไฟฟ้า (Phase Comparison Differential Relay)

2.1 การป้องกันแบบระยะทาง (Distance protection)

โดยพื้นฐานแล้วรีเลย์ระยะทางนั้นจะทำงานเมื่อฟอลต์อยู่ภายในหรือภายนอกขอบเขตป้องกันก็ได้ คุณสมบัติที่สำคัญของรีเลย์ระยะทางคือจะไม่ขึ้นอยู่กับค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์แหล่งจ่าย (Source Impedance) หลักการตรวจสอบฟอลต์ของรีเลย์ระยะทางคือตรวจวัดค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรสายส่งไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ (ซึ่งจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทางหรือความยาวของสายส่งไฟฟ้านับจากรีเลย์ไปยังตำแหน่งที่เกิดฟอลต์) โดยจะต้องมีการใช้ทั้งค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าร่วมกันเพื่อคำนวณวัดตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ ดังแสดงในภาพที่ 2.1 แล้วนำค่ามาเปรียบเทียบกับอิมพีแดนซ์ในตำแหน่งของปลายวงจรสายส่งที่เรียกว่า Reach Point ถ้าอิมพีแดนซ์ที่รีเลย์คำนวณได้น้อยกว่าค่าที่ใช้อ้างอิง นั่นหมายความว่าฟอลต์เกิดขึ้นบนวงจรสายส่งไฟฟ้า ซึ่งไม่ใช่ฟอลต์เกิดขึ้นบนวงจรสายส่งไฟฟ้าที่อยู่ถัดไป รีเลย์จึงสามารถแยกแยะได้ว่าฟอลต์เกิดขึ้นภายในขอบเขตการป้องกันจริงหรือไม่



ภาพที่ 2.1 การป้องกันวงจรสายส่งไฟฟ้าด้วยรีเลย์ระยะทาง (Distance Relay)

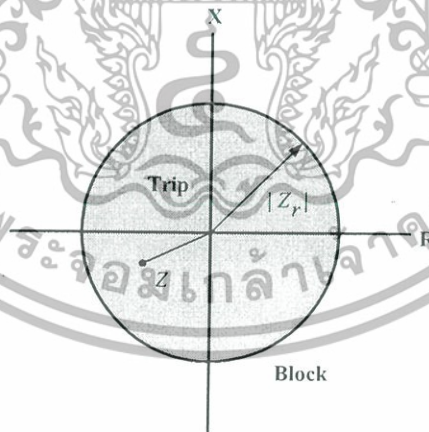
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทํางานของรีเลย์ระยะทางนั้นจำเป็นต้องตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าไปพร้อมกัน และนำค่าแรงดันไฟฟ้าไปหารด้วยค่ากระแสไฟฟ้าเพื่อให้ได้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งนั้นดังสมการที่ 2.1

$$Z = \frac{V}{I} \quad (2.1)$$

การทํางานของรีเลย์ระยะทางจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์คือ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และมุมระหว่างกระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้า ดังนั้นการวิเคราะห์การทํางานสำหรับ ฟอลต์ในแต่ละกรณี จากพารามิเตอร์ดังกล่าวจะทำได้ยากเนื่องจากค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าแปรไปตามกรณีการเกิดฟอลต์เพื่อเป็นการแก้ปัญหานี้ในการวิเคราะห์ผลการทำงานของรีเลย์ระยะทางจะใช้ ระนาบเชิงซ้อน (Complex plane) แสดงถึงค่าอิมพีแดนซ์ของระบบที่รีเลย์มองเห็นโดยเป็นค่าอิมพีแดนซ์ลำดับบวก (Positive Sequence Impedance) ขั้นตอนในการตัดสินใจของรีเลย์จะใช้การเปรียบเทียบค่าอิมพีแดนซ์ที่รีเลย์ตอบสนองเทียบกับค่าที่กำหนดไว้ (Z_r) ตามเงื่อนไขต่อไปนี้

$$\begin{aligned} |Z_r| > |Z| & \text{ trip} \\ |Z_r| < |Z| & \text{ block} \end{aligned} \quad (2.2)$$



ภาพที่ 2.2 แสดงระนาบเชิงซ้อน (Complex plane) การทํางานของรีเลย์ระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบค่าอิมพีแดนซ์นี้เองทำให้บางครั้งจะเรียกกริยาแบบนี้ว่า อิมพีแดนซ์รีเลย์ (Impedance Relay) จะใช้อุปกรณ์เปรียบเทียบขนาด (Amplitude Comparator) เปรียบเทียบขนาดแรงดันไฟฟ้ากับขนาดของกระแสไฟฟ้าคุณด้วยอิมพีแดนซ์เทียม (Replica Impedance (Z_r)) รีเลย์จะทำงานเมื่อ

$$V < IZ_r \quad (2.3)$$

หรืออาจมองได้ว่าเป็นการเปรียบเทียบขนาดของ

$$V/I = Z \quad (2.4)$$

นั่นคือรีเลย์จะทำงานเมื่อ

$$Z < Z_r \quad (2.5)$$

Z_r คืออิมพีแดนซ์ที่ตั้งค่าไว้

ผลการลดลงของอิมพีแดนซ์นี้สามารถนำมาเปรียบเทียบกับค่าอิมพีแดนซ์ในสภาวะปกติ และค่าอิมพีแดนซ์ต่อหน่วยความยาวก็สามารถที่จะคำนวณหาระยะทางหรือตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ได้ ดังสมการที่ 2.6

$$Location = \frac{Z}{m} = \frac{V}{mI} \quad (2.6)$$

เมื่อ m คือค่าอิมพีแดนซ์ต่อหน่วยความยาว (ohm/km)

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

แม้ว่ารีเลย์ระยะทางจะมีคุณสมบัติหลายประการที่เหมาะสมกับการป้องกันวงจรสายส่งไฟฟ้าแต่ก็มีข้อด้อยคือไม่สามารถให้สัญญาณความเร็ว (High-speed Trip) ได้พร้อม ๆ กันสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ทั้งสองด้านของวงจรสายส่งไฟฟ้า หากฟอลต์นั้นเกิดขึ้นบริเวณปลายด้านหนึ่งของสายส่งไฟฟ้าและสายส่งไฟฟ้านั้นมีระยะสั้น ๆ จะทำให้รีเลย์ระยะทางนั้นมีปัญหาในการตรวจวัดค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอลต์อิมพีแดนซ์ นอกจากนี้ในการออกแบบระบบป้องกันสำหรับสายเคเบิลใต้ดินแรงสูง (HV Underground Cable) วิศวกรระบบป้องกันมักจะเลือกใช้รีเลย์ผลต่างค่ากระแสไฟฟ้า (Line Current Differential Relay) เพราะมีความน่าเชื่อถือในการทำงานและสามารถกำหนดค่า (Setting) ได้ง่ายกว่าเนื่องจากสายส่งเคเบิลใต้ดินมีส่วนประกอบเป็นแบบ การต่ออนุกรมของค่าความต้านทานไฟฟ้าและค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Series Resistance-Inductance) บวกกับการต่อขนานกับค่าความจุไฟฟ้า (Shunt Capacitance)

2.2 การป้องกันแบบผลต่างค่ากระแสไฟฟ้า (Line Current Differential protection)

หลักการการทำงานของรีเลย์แบบผลต่างกระแสไฟฟ้ามี่พื้นฐานมาจากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff Current Law) ที่ผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าวงจรไฟฟ้าจะต้องเท่ากับศูนย์ ในกรณีที่มีการส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านวงจรสายส่งไฟฟ้าตามปกติ หรือเกิดฟอลต์ภายนอกวงจรสายส่งไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าเข้าวงจรสายส่งไฟฟ้าจะมีขนาดเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากวงจรสายส่งไฟฟ้านั้น แต่จะมีทิศทางตรงกันข้าม ทำให้ค่าผลรวมของเวกเตอร์กระแสไฟฟ้าทั้งสองเท่ากับศูนย์ เมื่อไม่มีผลต่างกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นจึงจะไม่มีกระแสไหลผ่านขดลวดทำงาน (Operating Coil) รีเลย์จึงไม่ทำงาน แต่ถ้าเกิดฟอลต์บนวงจรสายส่งไฟฟ้า ผลรวมของเวกเตอร์กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าวงจรสายส่งจะมีค่ามาก โดยกระแสไฟฟ้างี้จะไหลผ่านขดลวดทำงาน (Operating Coil) ทำให้รีเลย์ทำงาน การคำนวณค่าผลต่างกระแสไฟฟ้าอาจจะเกิดผิดพลาดจนกระทั่ง รีเลย์ทำงานโดยไม่จำเป็น เช่น การแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าไปเป็นข้อมูลโดยใช้การสุ่มค่าแบบคงที่ (Fixed Sampling Rate) จะทำให้ข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้เป็นค่าอย่างทันที (Instantaneous Value) จากรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าที่มีค่ากระแสไฟฟ้าตรง (DC offset) และฮาร์โมนิกต่าง ๆ รวมอยู่ด้วย จึงต้องมีการกรองสัญญาณเสียก่อน แต่ก็อาจจะมีค่าผิดพลาดบ้าง ดังนั้นเพื่อให้เกิดเสถียรภาพและความปลอดภัย รีเลย์ผลต่างค่ากระแสไฟฟ้า (Line Current Differential protection) จึงควรใช้แบบชนิด Percentage Restrain Differential Relay ซึ่งค่าผลต่างกระแสไฟฟ้าจะได้จากเวกเตอร์รวมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าวงจรสายส่งและค่ากระแสไฟฟ้าต้าน (Restraint Current) จะได้จากค่าเปอร์เซ็นต์ของค่าผลรวมของขนาดกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าวงจรสายส่ง

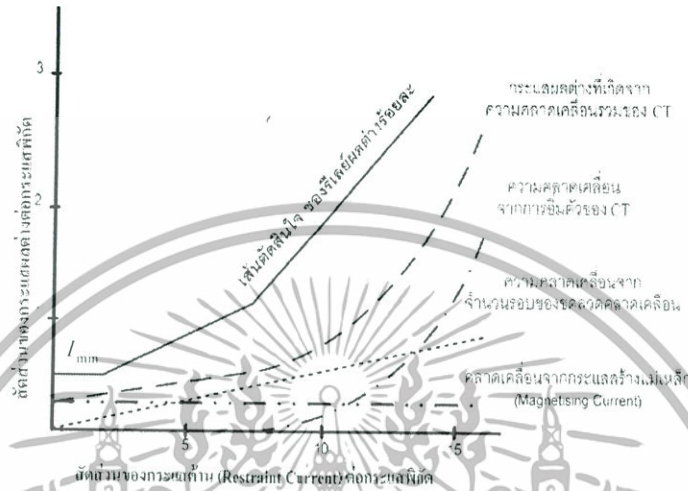
$$I_{operate} = |I_1 + I_2| \quad (2.7)$$

$$I_{restrain} = k \times [|I_1| + |I_2|] \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

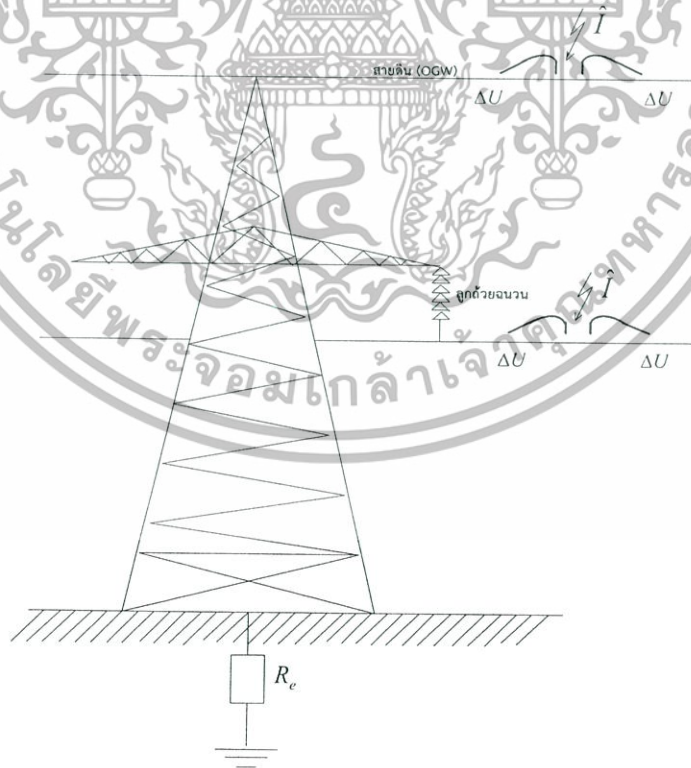
เงื่อนไขการทำงานของรีเลย์

$$I_{operate} > I_{min} + I_{restrain} \tag{2.9}$$



ภาพที่ 2.3 คุณสมบัติการทำงานของรีเลย์ผลต่างร้อยละ

2.3 คลื่นจร (Traveling wave)



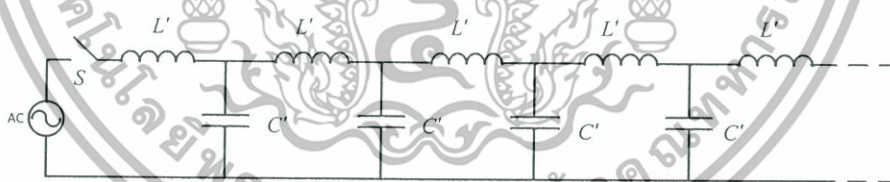
ภาพที่ 2.4 ฟาผ่าลงบนสายส่งทำให้เกิดแรงดันเสิร์จเป็นคลื่นจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 2.4 ได้แสดงถึงคลื่นจร คือเมื่อมีฟ้าผ่าลงบนวงจรสายส่งไฟฟ้าทำให้เกิดแรงดันเกิน เสรีจ และเคลื่อนที่หรือจรไปบนสายส่งทั้งสองด้านของจุดที่ฟ้าผ่าลง การจะพิจารณาเป็นคลื่นจร เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าทางไฟฟ้าในช่วงเวลาคิด เช่น คลื่นฟ้าผ่าคิดเวลาเป็นไมโครวินาที (μs) คลื่น กระแสสลับ 50 เฮิร์ตซ์ (Hz) เวลาเป็น มิลลิวินาที (ms) คลื่นทรานเซียนต์เร็ว (fast transient) เป็น ns เป็นต้น หรือการพิจารณาเป็นคลื่นจร เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงระยะทางที่พิจารณา เช่น ความยาวของสายเคเบิลวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าจะต้องมีการใส่ค่าความต้านทานสมคู่กัน (Matching Impedance) ที่ปลายสายเคเบิลวัด เพื่อขจัดคลื่นสะท้อนกลับ มิฉะนั้นจะทำให้ค่าที่วัด ผิดพลาด จึงต้องพิจารณาสัญญาณที่วัดเป็นคลื่นจร

คลื่นเคลื่อนที่ในอากาศ เช่นสายส่งแบบขึงในอากาศ คลื่นจะมีความเร็วประมาณความเร็ว แสง $v = 300m / \mu s$ ความเร็วในสายเคเบิล $v = 150m / \mu s$ การเคลื่อนที่ของคลื่นจรบนสายส่งซึ่ง อากาศระยะระหว่างเสาห่างกัน 300 เมตร จะใช้เวลา 1 ไมโครวินาที ถ้าคลื่นจรเคลื่อนที่บนสายส่งซึ่ง อากาศยาว 300 กิโลเมตร จะใช้เวลา 1 มิลลิวินาที คิดระยะทางจากความยาวคลื่นอิมพัลส์ฟ้าผ่า 100 ไมโครวินาที จะเป็นระยะทาง 30 กิโลเมตร ช่วงหน้าคลื่น 1 ไมโครวินาที จะเป็นระยะทาง 300 เมตร

พารามิเตอร์วงจรไฟฟ้า R, L, C, G ยังใช้ได้ถ้าหากค่าทางไฟฟ้าไม่ใช่คลื่นจร ในความเป็นจริง แล้วค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมิได้มีลักษณะเป็นก้อน (lump) หากแต่มีลักษณะกระจาย (distributed) ตลอดช่วงความยาวของสายส่งและเมื่อคิดเป็นคลื่นจรโดยทั่วไปจะพิจารณาเป็นสายส่งไร้กำลังไฟฟ้า สูญเสีย (lossless line) คือมีเพียง L กับ C กระจายตลอดความยาว ให้ค่าความเหนี่ยวนำและค่าเก็บ ประจุต่อความยาวสายส่ง 1 เมตรเป็น L' และ C' จะได้ว่าวงจรดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ค่า L และ C กระจายตลอดสายส่ง

ถ้าสับสวิตช์ S จะมีกระแสประจุไหลอัดประจุให้แก่ตัวเก็บประจุอย่างต่อเนื่อง สมมติว่าที่เวลา Δt หลังสับสวิตช์ สายส่งจะได้รับอัดประจุเป็นระยะ Δx ฉะนั้นประจุที่อัดเข้าสายส่ง

$$Q = C' \Delta x U \quad (2.10)$$

จะเกิดสนามไฟฟ้าระหว่างสายตัวนำทั้งสองเป็นระยะ Δx เมตร เวลาเดียวกันก็จะเกิดสนามแม่เหล็ก รอบสายตัวนำเนื่องจากการเคลื่อนที่ของประจุก็คือกระแส ($I = dQ / dt$) นั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I = C'U \frac{\Delta x}{\Delta t} = C'U \frac{dx}{dt} \quad (2.11)$$

ค่า dx/dt ก็คือ อัตราการเคลื่อนที่ตามสาย ที่อาจเขียนแทนด้วยความเร็ว v เป็น

$$I = C'Uv \quad (2.12)$$

จากค่าความเหนี่ยวนำ L' ต่อหน่วยความยาวเป็นเมตร เมื่อกระแสไหลผ่านไปเป็นระยะ Δx เมตร ฟลักซ์แม่เหล็กที่คล้องในช่วงระยะ Δx จะเป็น

$$\Phi = L' \Delta x \cdot I = L' \Delta x \cdot C'Uv \quad (2.13)$$

จะได้แรงดันเหนี่ยวนำ

$$\frac{d\Phi}{dt} = L' C'Uv \frac{\Delta x}{\Delta t} = L' C'Uv^2 \quad (2.14)$$

$$U = L' C'Uv^2 \quad (2.15)$$

จะได้แรงดันเหนี่ยวนำ

$$v = \frac{1}{\sqrt{L' C'}} \quad (2.16)$$

ความเร็วการเคลื่อนที่ของคลื่นกระแสและแรงดันตามสายส่งขึ้นอยู่กับมิติเชิงเรขาคณิต และคุณสมบัติทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของตัวกลางรอบ ๆ นั่นคือค่า L' และค่า C' หาได้จากสูตร

$$L' = \frac{\mu}{\pi} \ln \frac{d}{r} \quad \text{และ} \quad C' = \frac{\epsilon\pi}{\ln d/r} \quad (2.17)$$

เมื่อ d คือ ระยะระหว่างเฟส

r คือ รัศมีของตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการความเร็วคลื่น
$$v = \frac{1}{\sqrt{L'C'}} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

ในอากาศ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ และ $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} \text{ F/m}$

ฉะนั้นจะได้ความเร็วการเคลื่อนที่ของคลื่นในอากาศ $v = 300 \text{ m} / \mu\text{s}'$ (โดยประมาณ)

จากความสัมพันธ์
$$I = C'Uv = \frac{C'U}{\sqrt{L'C'}} = \frac{U}{\sqrt{L'/C'}}$$

$$U/I = \sqrt{L'/C'} = Z_w$$

อัตราส่วนของแรงดันต่อกระแสคือ อิมพีแดนซ์และก็คือเสิร์จอิมพีแดนซ์ Z_w นั่นเอง

ความสัมพันธ์ของคลื่นจรแรงดันกับกระแส เมื่อคลื่นแรงดันเคลื่อนที่ไปจะมีคลื่นกระแสปรากฏ คลื่นเหมือนกับแรงดันเคลื่อนที่ไปด้วยพร้อม ๆ กันด้วยขนาด $I = U/Z_w$ ถ้าคลื่นเคลื่อนที่ไปในทิศทางบวก ทั้งแรงดันและกระแสจะมีขั้วเหมือนกัน แต่ถ้าคลื่นเคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้าม (ทิศทางลบ) ขั้วของคลื่นกระแสจะเป็นขั้วตรงข้ามกับแรงดัน ดังในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ค่าและทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคลื่นสวนทางกันและพบกัน ค่าจะรวมกันเชิงคณิตศาสตร์เมื่อผ่านพ้นไปแต่ละคลื่นยังเคลื่อนที่ต่อไป และมีรูปลักษณ์คลื่นคงเดิมเหมือนกับก่อนที่จะพบกัน

คลื่นสะท้อนและคลื่นส่งผ่าน จะเคลื่อนที่ไปด้วยกันโดยมีความสัมพันธ์กันด้วยค่าเสรีจิมพีแดนซ์ของสายส่งที่คลื่นนั้นเคลื่อนที่อยู่ เมื่อมีการเปลี่ยนค่าเสรีจิมพีแดนซ์ เช่นคลื่นจรบนสายส่งซึ่งอากาศ เคลื่อนที่เข้าหาสายเคเบิล ค่าเสรีจิมพีแดนซ์จะเริ่มเปลี่ยนที่รอยต่อ ณ จุดรอยต่อจะเกิดคลื่นใหม่สองคู่ คู่หนึ่งคือแรงดันกับกระแสคลื่นที่สะท้อนกับ (Reflected wave) รวมกับคลื่นจรวิ่งเข้ามาเป็นคลื่นกระทบ (Incident wave) ส่วนอีกคู่หนึ่งเป็นคลื่นคู่แรงดันกับกระแสวิ่งผ่านจุดเปลี่ยนต่อไป ขนาดของคลื่นสะท้อนกลับและคลื่นวิ่งผ่านจะยังสัมพันธ์กันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าเสรีจิมพีแดนซ์ Z_0 โดยมีหลักเกณฑ์ว่า ณ จุดรอยต่อหลังจากคลื่นจรตกกระทบแล้ว ค่าแรงดันที่จุดรอยต่อไม่ว่าจะมองทางด้านตกกระทบ หรือมองทางด้านที่คลื่นจรส่งผ่านต่อไป ค่าแรงดันจะต้องเท่ากัน นั่นคือ คลื่นสะท้อนรวมกับคลื่นตกกระทบจะเท่ากับคลื่นส่งผ่าน

ณ รอยต่อของสายส่งซึ่งอากาศมีค่าเสรีจิมพีแดนซ์ Z_A กับสายเคเบิลมีค่าเสรีจิมพีแดนซ์ Z_B นั่นคือ $Z_A > Z_B$ ถ้าแรงดันเสรีจเป็นรูปขั้น ขนาด U_i จรอยู่บนสายซึ่งอากาศเข้าหา รอยต่อจะเกิดคลื่นสะท้อนกลับ U_r และคลื่นส่งผ่าน U_t ดังภาพ 2.7



ภาพที่ 2.7 คลื่นสะท้อนกลับและคลื่นส่งผ่าน

$$\text{โดยเงื่อนไขแรงดัน ณ จุดรอยต่อ} \quad U_i + U_r = U_t \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ $Ur = rUi$ เมื่อ r คือแฟกเตอร์สะท้อนกลับ

ฉะนั้น
$$Ui + rUi = (1 + r)Ui = Ut \quad (2.18)$$

จะได้คลื่นกระแสสะท้อนกลับ
$$Ir = Ur / Z_A \quad (2.19)$$

คลื่นกระแสส่งผ่าน
$$It = Ut / Z_B = \frac{(1 + r)Ui}{Z_B} \quad (2.20)$$

จากเงื่อนไข
$$Ii + Ir = It \quad (2.21)$$

$$\frac{Ui}{Z_A} - \frac{Ur}{Z_A} = \frac{Ut}{Z_B}$$

$$\frac{Ui}{Z_A} - \frac{rUi}{Z_A} = \frac{(1 + r)Ui}{Z_B}$$

$$\frac{r}{Z_A} = \frac{1}{Z_A} - \frac{1}{Z_B}$$

$$r(Z_B + Z_A) = \frac{Z_B - Z_A}{Z_A Z_B}$$

จะได้แฟกเตอร์สะท้อนกลับ
$$r = \frac{Z_B - Z_A}{Z_B + Z_A} \quad (2.22)$$

นั่นคือ
$$Ur = \frac{Z_B - Z_A}{Z_B + Z_A} Ui \quad (2.23)$$

$$Ut = (1 + r)Ui$$

$$Ut = \frac{2Z_B}{Z_B + Z_A} Ui = bUi \quad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

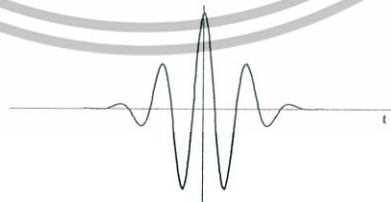
โดยที่ b คือ แฟกเตอร์ส่งผ่าน

$$b = 2 Z_B / (Z_B + Z_A)$$

2.4 การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (Wavelet Transform)

การแปลงเวฟเล็ตเป็นรูปแบบหนึ่งของกระบวนการประมวลผลสัญญาณ (Signal processing) ที่ได้มีการพัฒนาจากการแปลงสัญญาณพื้นฐานที่มีอยู่เดิม (การแปลงฟูเรียร์และการแปลงฟูเรียร์ช่วงสั้น) แต่ได้พัฒนารูปแบบให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานเฉพาะทางมากยิ่งขึ้นคือสามารถปรับเปลี่ยนช่วงเวลาให้เหมาะสมกับช่วงความถี่ที่วิเคราะห์ได้ โดยที่สัญญาณความถี่สูงมีช่วงคาบเวลาในการวิเคราะห์ที่น้อยลง ในขณะที่สัญญาณความถี่ต่ำลงมีช่วงคาบเวลาในการวิเคราะห์ที่กว้างขึ้น

ทฤษฎีเวฟเล็ต (Wavelet Theory) เป็นรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายโครงสร้างของระบบสัญญาณที่ประกอบด้วยกลุ่มของสัญญาณเฉพาะมารวมกันเป็นสัญญาณหนึ่ง โดยสัญญาณเฉพาะนี้จะเป็นคลื่นเล็ก ๆ ที่เรียกว่า “เวฟเล็ต” ลักษณะของเวฟเล็ตจะเป็นคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (Oscillatory) ตามแนวแกนนอนและขนาดของคลื่นลดลงสู่ศูนย์ทั้งทางด้านบวกและด้านลบอย่างรวดเร็วดังภาพที่ 2.8 ดังนั้นการอธิบายสัญญาณใด ๆ ด้วยกรแปลงเวฟเล็ตคือการนำกลุ่มของเวฟเล็ตที่มีโครงสร้างมาจากฟังก์ชันเดียวกันเป็นตัวอธิบาย ซึ่งฟังก์ชันนี้เป็นเวฟเล็ตต้นกำเนิดที่เรียกว่า “เวฟเล็ตแม่” (Mother Wavelets) โดยที่คลื่นเวฟเล็ตแต่ละอันในกลุ่มเกิดจากการสเกล (Scaling : a) หรือเป็นการยืดหรือหดตัวของเวฟเล็ตนั่นเอง และการเลื่อนตำแหน่ง (Translation or shifting : k) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนตำแหน่งบนแกนเวลา



ภาพที่ 2.8 แสดงลักษณะของคลื่นเวฟเล็ตแบบ Morlet

ถ้าให้ $\psi(t)$ เป็นฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่จะเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ของพจน์ต่างๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\psi_{a,k}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-k}{a}\right) \quad (2.25)$$

$\psi(t)$ เป็นฟังก์ชันเวฟเล็ดแม่ที่มีการปรับเปลี่ยนสเกลและตำแหน่งโดยพารามิเตอร์ a และ k ตามลำดับ โดยที่เวฟเล็ดแม่จะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะไปตามการเปลี่ยนแปลงของค่า a และ k

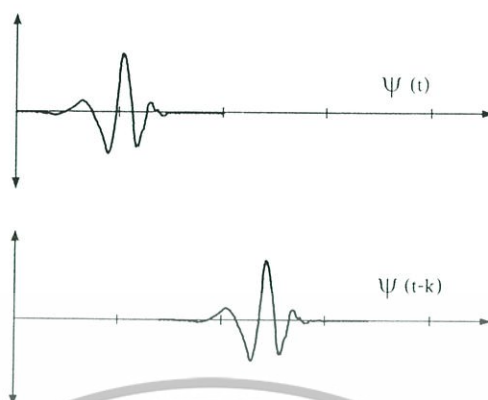
การสเกล (Scaling : a) การวิเคราะห์เวฟเล็ดจะแสดงให้เห็นถึงเวลาและขนาดของ สัญญาณการสเกล (Scaling) จะหมายถึงการหดเข้า (Compressing) หรือการขยายออก (Dilation) ซึ่งจะให้ “ a ” แทนด้วยพารามิเตอร์ของการหดหรือขยายซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนความถี่ของเวฟเล็ดแม่ นั้นเอง หรืออาจเรียก “ a ” ว่าเป็นตัวประกอบขนาด (scale factor) ยิ่งถ้าตัวประกอบขนาดน้อยลง เท่าใด เวฟเล็ดจะถูกบีบอัดมากขึ้นเท่านั้น เมื่อพิจารณาเวฟเล็ดที่มีตัวประกอบแตกต่างกันจะปรากฏ ลักษณะดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 แสดงคุณสมบัติการสเกลของฟังก์ชันเวฟเล็ด

การเลื่อนตำแหน่ง (Translation or shifting : k) การเลื่อนตำแหน่งของเวฟเล็ดจะมีความหมายง่ายๆ คือ การเลื่อนสัญญาณในทางคณิตศาสตร์ซึ่งการเลื่อนของฟังก์ชัน $\psi(t)$ ด้วย k จะแสดงได้โดย $\psi(t-k)$ การเลื่อนตำแหน่งจะกำหนดโดยพารามิเตอร์ “ k ” ซึ่งจะหมายถึง การเลื่อนตำแหน่งการเกิดคลื่นเวฟเล็ดบนแกน เมื่อพิจารณาเวฟเล็ดที่มีการเลื่อนที่ตำแหน่งใดๆ สามารถพิจารณาได้ดังภาพที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



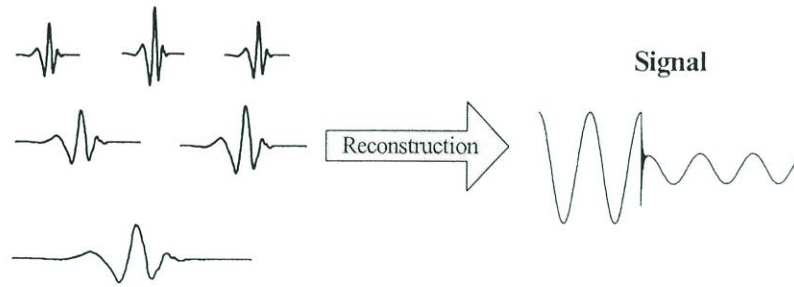
ภาพที่ 2.10 แสดงคุณสมบัติการเลื่อนตำแหน่งของฟังก์ชันเวฟเล็ต

และเมื่อนำสัญญาณใดๆ มาผ่านการแปลงเวฟเล็ตก็เปรียบเสมือนการแตกสัญญาณนั้น ออกมาอยู่ในรูปของฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ที่มีตำแหน่งทางเวลาและสเกลที่แตกต่างกันออกไป โดยที่ เวฟเล็ตแต่ละตัวจะมีค่าน้ำหนัก(Weight) ควบอยู่ ซึ่งรูปแบบในการแตกกระจายสัญญาณนี้เรียกว่า การ กระจายเวฟเล็ต (Wavelet decomposition) ดังแสดงอยู่ในภาพที่ 2.11 ในทางกลับกันการรวมกลุ่ม ของเวฟเล็ตแต่ละตัวมาประกอบขึ้นเป็นสัญญาณเดิมนั้นเรียกว่า การรวมกลับเวฟเล็ต (Wavelet reconstruction) ซึ่งก็คือการแปลงกลับเวฟเล็ต (Inverse wavelet transform) ดังแสดงอยู่ในภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.11 แสดงการกระจายสัญญาณสัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.12 แสดงการสร้างกลับสัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ต

การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform : DWT) มีลักษณะการวิเคราะห์โดยเปลี่ยนสเกลและการเลื่อนตำแหน่งในลักษณะเป็นช่วง ๆ ไม่ต่อเนื่องกัน โดยเป็นการวิเคราะห์สัญญาณที่สามารถเลือกระดับความละเอียดได้ โดยการนำสัญญาณเล็ก ๆ ที่ระดับความละเอียด a ซึ่งมี k หลาย ๆ ตำแหน่งมารวมกันให้เกิดเป็นสัญญาณที่ระดับความละเอียดที่เลือกไว้ และเมื่อนำสัญญาณที่ทุกระดับความละเอียดมารวมกันก็จะได้สัญญาณอินพุทจริง

ในรูปแบบของการวิเคราะห์หลายระดับความละเอียดแล้วโดยมีการเปลี่ยนแปลงสเกลในการวิเคราะห์ที่ลดลงครึ่งละ 2 เท่า ($a_0 = 2; b_0 = 1$) แล้วได้รูปแบบการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย ซึ่งมีชื่อเรียกเฉพาะว่า dyadic wavelet transform โดยมีสมการที่ใช้อธิบายดังต่อไปนี้

$$DWT(m, n) = \frac{1}{\sqrt{2^m}} \sum_k f(k) \psi \left[\frac{n - k 2^m}{2^m} \right] \quad (2.26)$$

m, n, k เป็นเลขจำนวนเต็มโดยที่

$$\psi \left[\frac{n - k 2^m}{2^m} \right] = \text{mother wavelet}$$

n คือ จำนวนข้อมูล

m คือ เลขแสดงการเปลี่ยนแปลงของสเกล

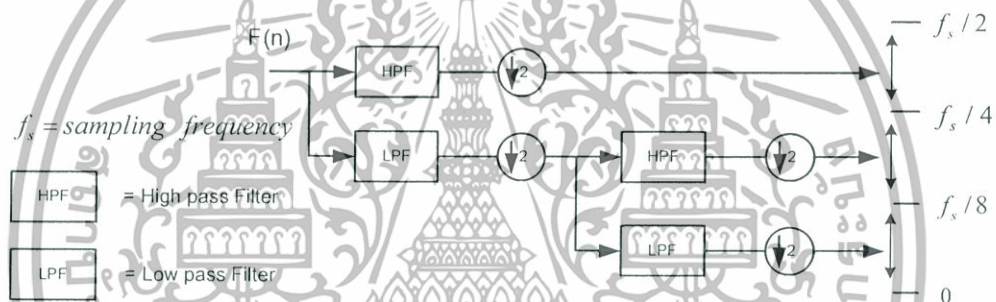
k คือ เลขแสดงการเลื่อนตำแหน่ง

การวิเคราะห์ด้วยตัวกรองสัญญาณ (Filter Bank Analysis) เมื่อนำสัญญาณอินพุทมาผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยสัญญาณถูกแยกองค์ประกอบ (Decomposition) โดยตัวกรองแบบ 2 ช่อง (Two channel filter banks) ซึ่งแยกความถี่ในแบนด์ที่ต้องการ ออกเป็น 2 ส่วน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- องค์ประกอบความถี่สูง ซึ่งผ่านตัวกรองความถี่สูง (High-Pass Filter : HPF) ที่เรียกว่า “Detail (cD)”
- องค์ประกอบความถี่ต่ำ ซึ่งผ่านตัวกรองความถี่ต่ำ (Low-Pass Filter : LPF) ที่เรียกว่า “Approximation (cA)”

ลักษณะของตัวกรองแบบ 2 ช่องสัญญาณในลักษณะของ dyadic wavelet transform เป็นการนำฟิลเตอร์แบบ 2 ช่องสัญญาณมาเรียงต่อกันในลักษณะโครงสร้างแบบต้นไม้ โดยใช้สัญญาณเอาท์พุทในส่วนความถี่ต่ำมาทำการแยกความถี่ออกอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งเป็นลักษณะของการวิเคราะห์แบบออกเทฟฟิลเตอร์แบงก์ (Octave analysis filter banks) โดยที่แต่ละขั้นตอนมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ในอัตราครึ่งละ 2 เท่า ดังแสดงในภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 แสดงลักษณะการแปลงเวฟเล็ตโดยใช้หลักการวิเคราะห์ด้วยตัวกรองสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

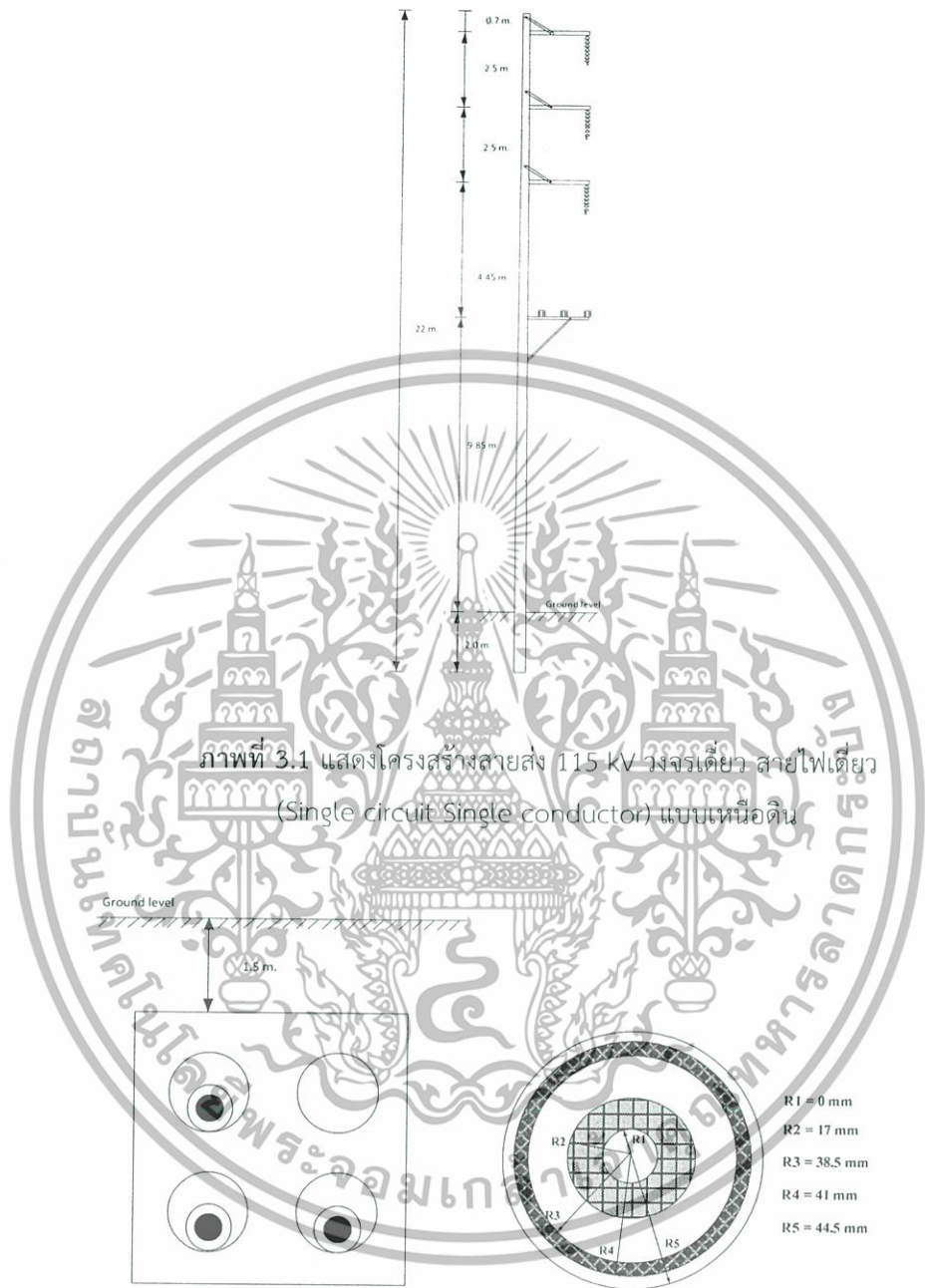
การจำลองการเกิดความผิดพลาดด้วยโปรแกรม EMTP

ในงานวิจัยนี้ได้จำลองปรากฏการณ์การเกิดฟอลต์บนสายส่งและสายเคเบิลไฟฟ้าโดยอาศัยโปรแกรม ATPDraw for Windows version 3.65 ที่ได้รับการพัฒนาจากโปรแกรม ATP/EMTP Alternative Transients Program / Electromagnetic Transients Program ซึ่งช่วยในการสร้างแบบจำลองในระบบไฟฟ้าโดยเฉพาะเพื่อใช้สำหรับการศึกษาพฤติกรรมตอบสนองทางด้านทรานเซียนต์เมื่อคุณสมบัติของระบบจำลองเปลี่ยนไป พร้อมทั้งใช้โปรแกรม MATLAB / Wavelet ในการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ โดยมีเนื้อหาและรายละเอียดของการจำลองฟอลต์และวิธีการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ดังต่อไปนี้

3.1 การจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้า

การจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าจะใช้กรณีศึกษาในระบบแรงดันไฟฟ้า 115 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) โดยใช้รูปแบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบวงจรเดี่ยวสายไฟเดี่ยว (Single circuit Single conductor) ทั้งสายส่งแบบเหนือดิน (Overhead) และสายส่งใต้ดิน (Underground Cable) ดังแสดงในภาพที่ 3.1 และ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 แสดงโครงสร้างสายส่ง 115 kV วงจรเดียว สายไฟเดี่ยว (Single circuit Single conductor) แบบเหนี่ยวน

ภาพที่ 3.2 แสดงโครงสร้างสายส่ง 115 kV วงจรเดียว สายไฟเดี่ยว (Single circuit Single conductor) แบบใต้ดิน

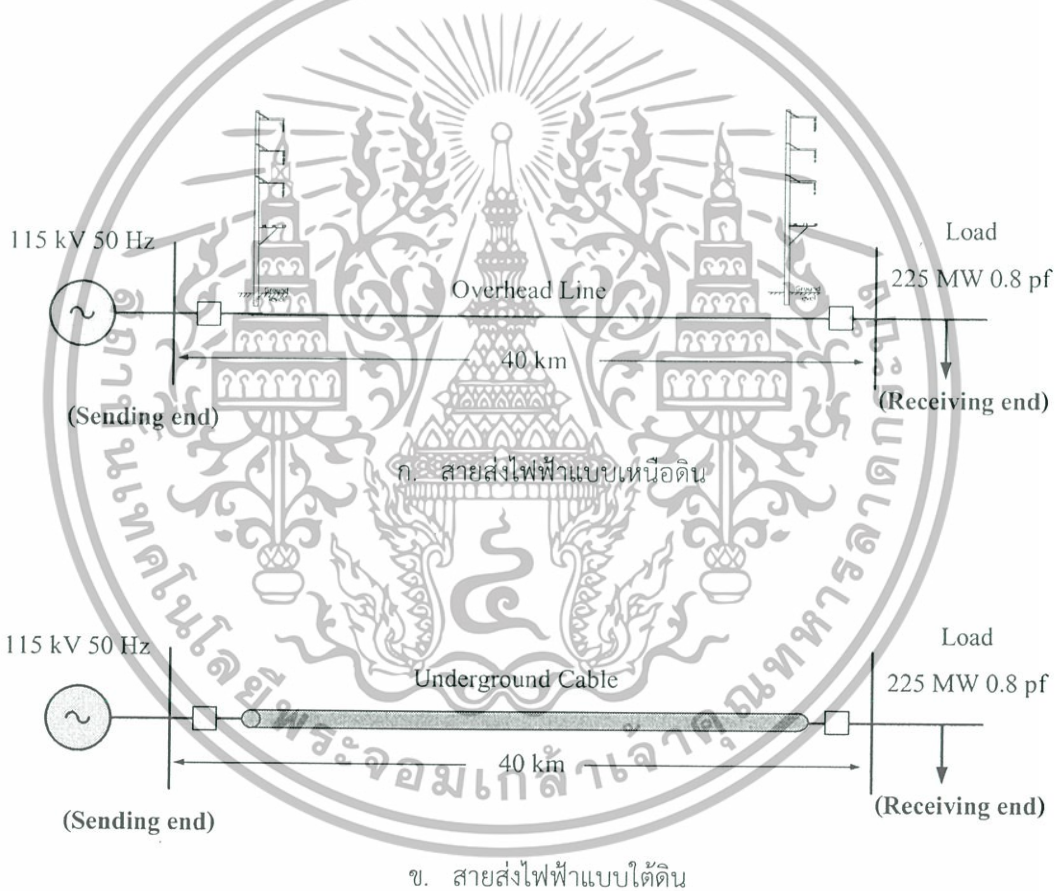
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองในการจำลองสัญญาณฟอลต์ เนื่องจากในสภาวะที่เกิดฟอลต์นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบของเหตุการณ์เกิดขึ้น ดังนั้นเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ฟอลต์ได้ครอบคลุมในหลายรูปแบบมากที่สุด จึงทำการสร้างระบบจำลองขึ้นดังแสดงในภาพที่ 3.3 โดยมีระยะทางรวมของสายส่งไฟฟ้าทั้งหมด 40 กิโลเมตร

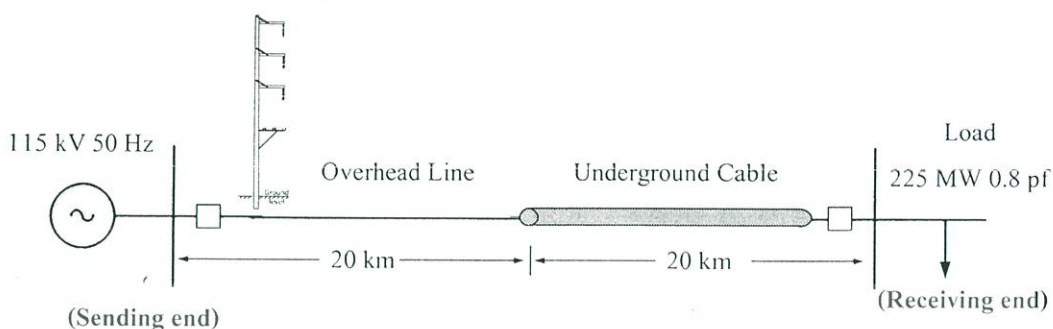
กรณีที่ 1 เป็นสายส่งเหนือดินระยะทาง 40 กิโลเมตร ดังภาพที่ 3.3 (ก.)

กรณีที่ 2 เป็นสายส่งใต้ดินระยะทาง 40 กิโลเมตร ดังภาพที่ 3.3 (ข.)

กรณีที่ 3 เป็นสายส่งแบบผสมระยะทางรวม 40 กิโลเมตร โดยแบ่งเป็นสายส่งเหนือดิน 20 กิโลเมตร และสายส่งใต้ดิน 20 กิโลเมตร ดังภาพที่ 3.3 (ค.)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค. สายส่งไฟฟ้าแบบผสม

ภาพที่ 3.3 ระบบจำลองฟอลต์บนสายส่งและสายเคเบิลไฟฟ้า

ข้อมูลจำเพาะของสายส่งมีดังนี้

สายส่งเหนือดิน

- เสาไฟฟ้าแบบคอนกรีตอัดแรงขนาด 22 เมตร
- ตัวนำไฟฟ้าเหนือดินชนิด AAC 400 มม.

สายส่งใต้ดิน

- ความลึกในการวางท่อร้อยสาย 1.5 เมตร จากผิวดิน
- ท่อร้อยสายขนาด 160 มม.
- สายเคเบิลใต้ดินขนาด 800 มม. ยนวนชนิด XLPE
- ร้อยสายเคเบิล 1 ท่อต่อสายเคเบิล 1 เส้น

ทำการจำลองการเกิดความผิดปกติโดยกำหนดเวลาเกิดฟอลต์ที่ 40 มิลลิวินาที ปรับระยะฟอลต์ และรูปแบบการเกิดฟอลต์ที่แตกต่างกันออกไปคือ

- ชนิดของฟอลต์ทั้งหมด 4 รูปแบบคือ ฟอลต์ลงดินเส้นเดียว (SLG), ฟอลต์สองสายลงดิน (DLG), ฟอลต์ระหว่างสาย (L-L) และ ฟอลต์สามเฟสสมดุล (3-P)
- มุมที่เริ่มเกิดฟอลต์ $0^\circ - 330^\circ$ เมื่อเทียบกับมุมเฟสของแรงดันสูงที่เฟส A (ช่วงละ 30°)
- ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ที่ 10% - 90% ของระยะทางรวมทั้งหมด

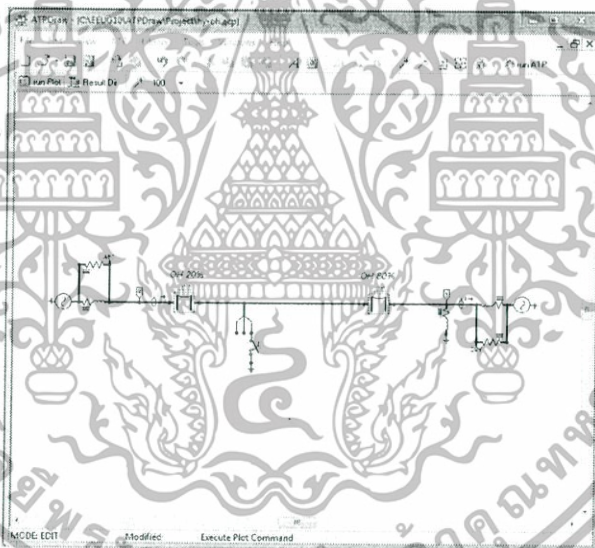
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2. สัญญาณที่ได้จากการจำลองการเกิดฟอลต์

สัญญาณที่ได้จากการจำลองการเกิดฟอลต์ด้วยโปรแกรม EMTP/ATPDraw โดยใช้อัตราสุ่ม (Sampling rate) 100 kHz และให้สวิทช์ทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดรูปแบบและเวลาของการเกิดฟอลต์ ซึ่งในที่นี้ได้กำหนดให้เริ่มเกิดฟอลต์ที่ $t = 0.04$ วินาที และทำการจำลองสัญญาณทั้งหมด 5 ไซเคิล (0 – 0.1 วินาที) โดยไม่มีการกำจัดฟอลต์ออก ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างของวงจรการจำลองฟอลต์ด้วยโปรแกรม ATPDraw และสัญญาณที่ได้จากการจำลองในกรณีต่าง ๆ ทั้งฟอลต์แบบชนิดเดียว (Single fault) และฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุด (Simultaneous Fault) ได้ดังหัวข้อที่ 3.2.1 และ 3.2.2 ตามลำดับ

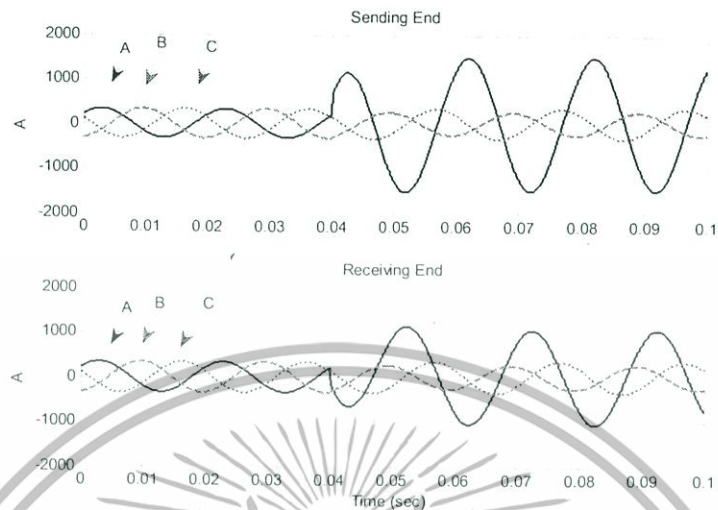
3.2.1 สัญญาณที่ได้จากการจำลองการเกิดฟอลต์แบบฟอลต์ชนิดเดียว (Single Fault)

สายส่งเหนือดิน



ภาพที่ 3.4 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบเฟส a ถัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% ของสายส่งแบบเหนือดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

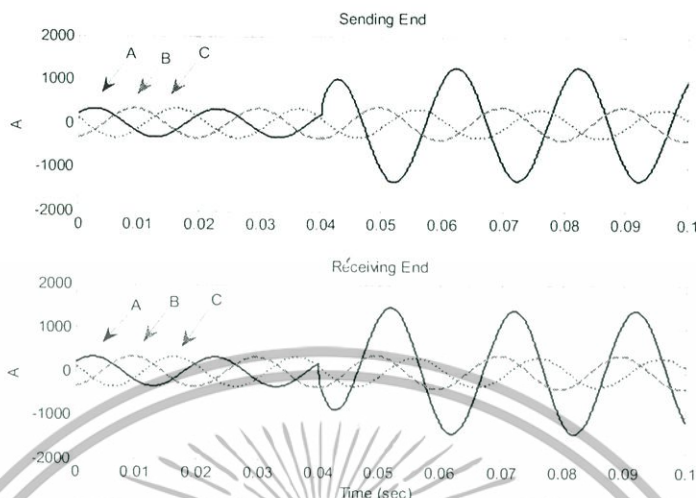


ภาพที่ 3.5 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% ของสายส่งแบบเหนือดิน



ภาพที่ 3.6 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบเหนือดิน

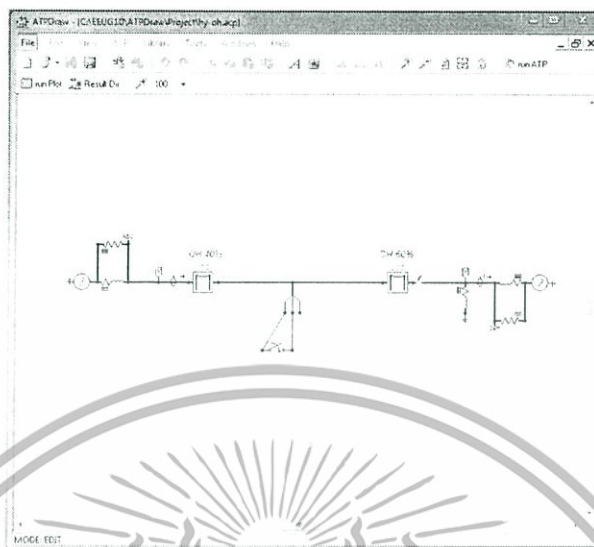
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.7 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบเฟส a สัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบเหนือดิน

จากภาพที่ 3.4 ถึง 3.7 เป็นการแสดงรูปของวงจรและสัญญาณที่ได้จากโปรแกรม EMTP/ATPDraw ซึ่งเป็นการแสดงกรณีการเกิดฟอลต์แบบสายส่งสัดวงจรลงดินแบบ 1 เฟส ของสายส่งแบบเหนือดิน ซึ่งเกิดที่ระยะ 20% และ 80% ของสายส่ง ลักษณะของกระแสไฟฟ้ามืดสูงขึ้นในเฟสที่เกิดฟอลต์และกระแสไฟฟ้าด้านฝั่งรับกลับเฟสไป 180 องศาหลังเกิดฟอลต์ และถ้าเกิดฟอลต์ที่ระยะ 20 % ค่ากระแสไฟฟ้ายอดฝั่งส่งจะมีค่ามากกว่าฝั่งรับ แต่ถ้าเกิดฟอลต์ที่ระยะ 80 % ค่ากระแสไฟฟ้ายอดฝั่งรับจะมีค่ามากกว่าฝั่งส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

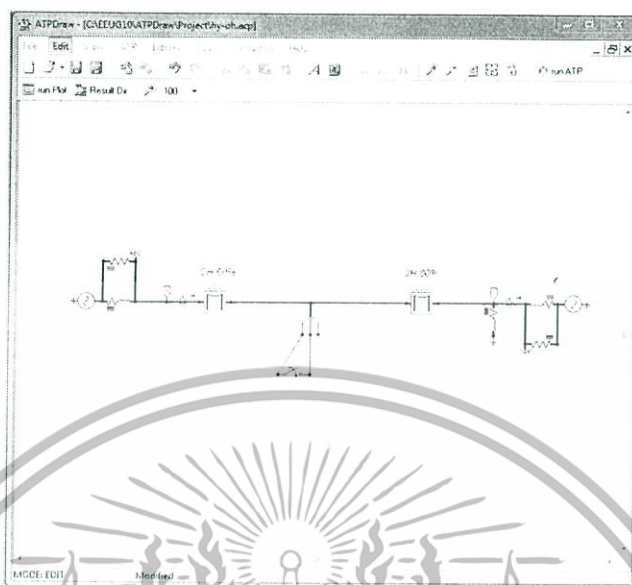


ภาพที่ 3.8 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 40% ของสายส่งแบบเหนือดิน

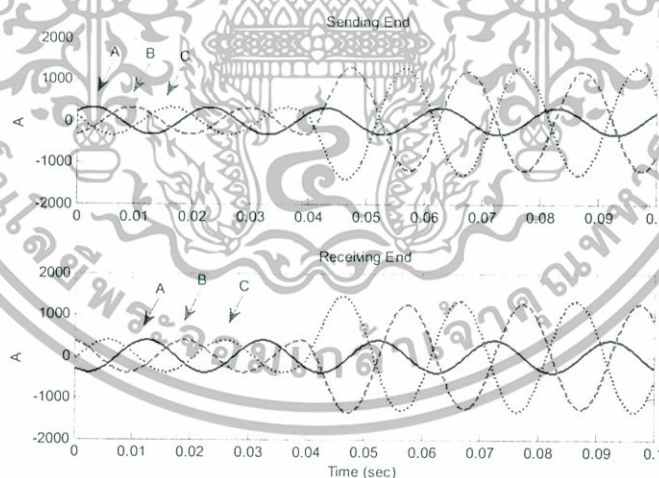


ภาพที่ 3.9 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 40% ของสายส่งแบบเหนือดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.10 แสดงวงจรการจำลองพอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 60% ของสายส่งแบบเหนือดิน



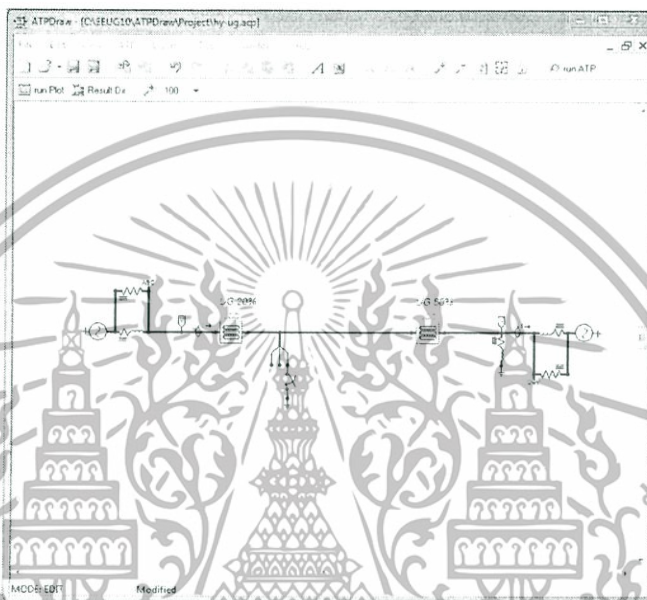
ภาพที่ 3.11 สัญญาณการเกิดพอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 60% ของสายส่งแบบเหนือดิน

จากภาพที่ 3.8 ถึง 3.11 เป็นการแสดงรูปของวงจรและสัญญาณที่ได้จากโปรแกรม EMTP/ATPDraw ซึ่งเป็นการแสดงกรณีการเกิดพอลต์แบบสายส่งลัดวงจรระหว่างเฟส ของสายส่งแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

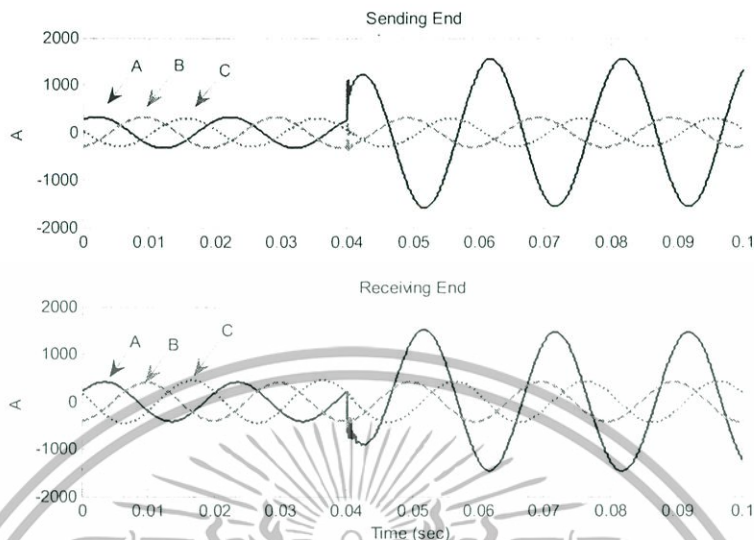
เหนือดิน ซึ่งเกิดที่ระยะ 40% และ 60% ของสายส่ง ลักษณะของกระแสไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นในเฟสที่เกิดฟอลต์ และมุมระหว่างเฟสที่เกิดฟอลต์เปลี่ยนเป็น 180 องศา

สายส่งใต้ดิน



ภาพที่ 3.12 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบเฟส a สัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% ของสายส่งแบบใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

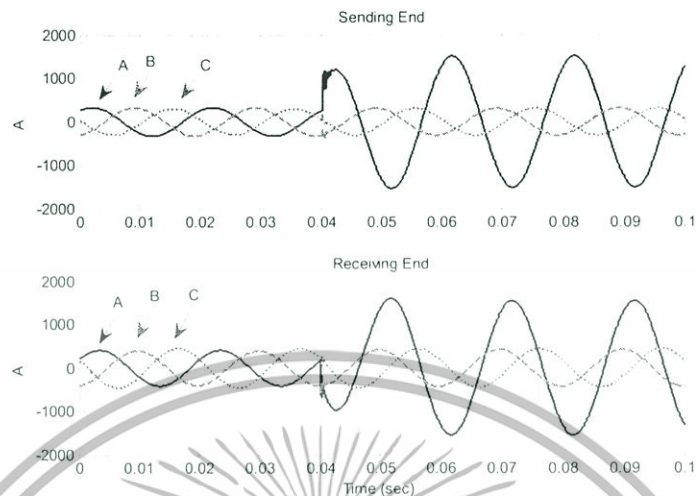


ภาพที่ 3.13 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% ของสายส่งแบบใต้ดิน



ภาพที่ 3.14 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบใต้ดิน

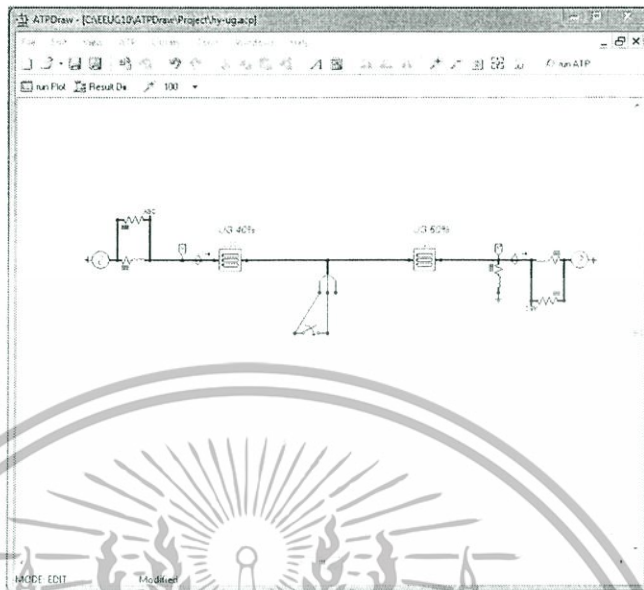
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



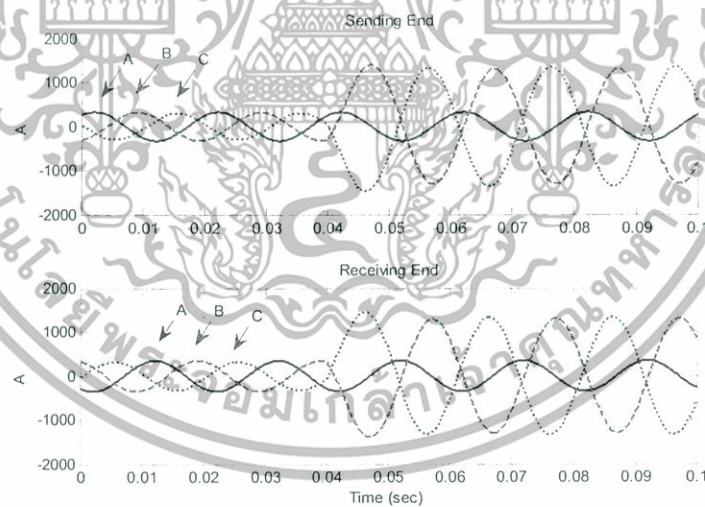
ภาพที่ 3.15 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบใต้ดิน

จากภาพที่ 3.12 ถึง 3.15 เป็นการแสดงรูปของวงจรและสัญญาณที่ได้จากโปรแกรม EMTP/ATPDraw ซึ่งเป็นการแสดงกรณีการเกิดฟอลต์แบบสายส่งลัดวงจรลงดินแบบ 1 เฟส ของสายส่งแบบใต้ดิน ซึ่งเกิดที่ระยะ 20% และ 80% ของสายส่ง ลักษณะของกระแสไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นในเฟสที่เกิดฟอลต์และกระแสไฟฟ้าด้านฝั่งรับกลับเฟสไป 180 องศาหลังเกิดฟอลต์ และถ้าเกิดฟอลต์ที่ระยะ 20 % ค่ากระแสไฟฟ้าด้านฝั่งส่งจะมีค่ามากกว่าฝั่งรับ แต่ถ้าเกิดฟอลต์ที่ระยะ 80 % ค่ากระแสไฟฟ้าด้านฝั่งรับจะมีค่ามากกว่าฝั่งส่ง ขณะเกิดฟอลต์จะมีความถี่สูงแทรกอยู่ทั้งฝั่งรับและฝั่งส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

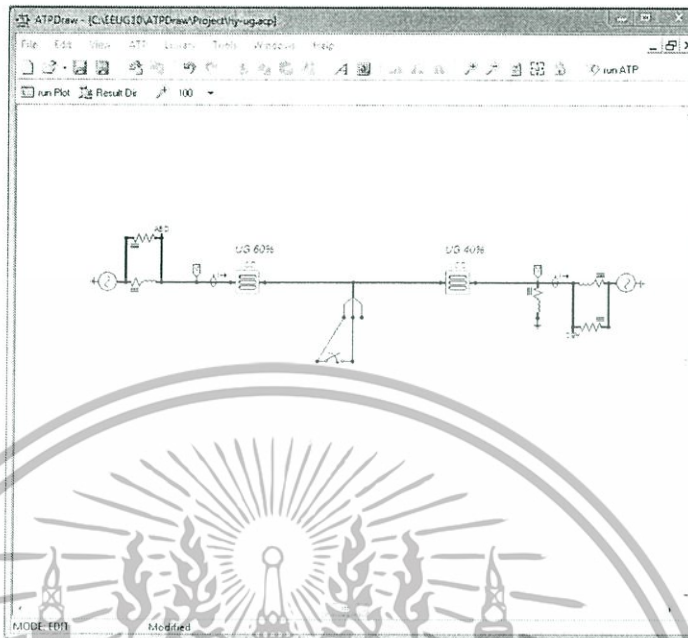


ภาพที่ 3.16 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 40% ของสายส่งแบบใต้ดิน

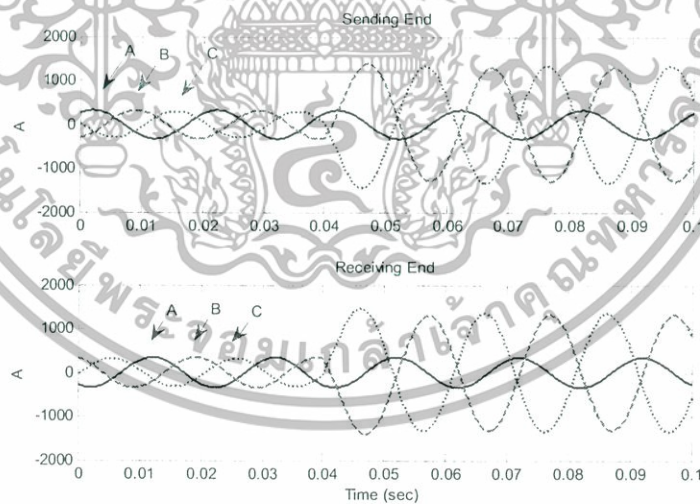


ภาพที่ 3.17 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 40% ของสายส่งแบบใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.18 แสดงวงจรการจำลองพล็อตแบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 60% ของสายส่งแบบได้ดิน

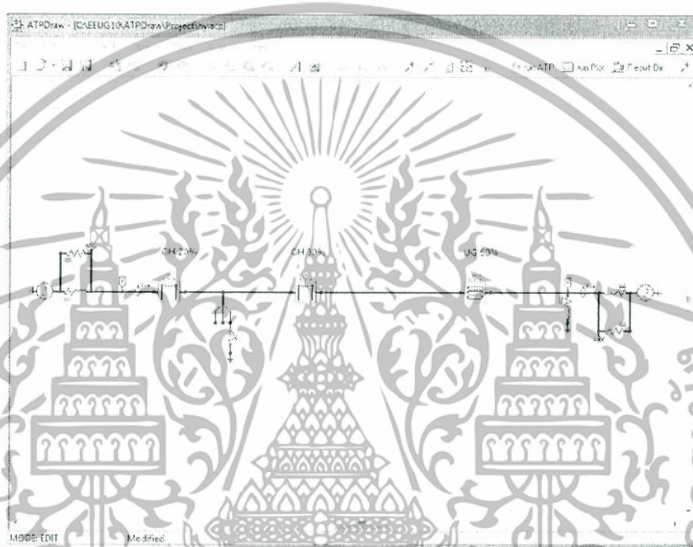


ภาพที่ 3.19 สัญญาณการเกิดพล็อตแบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 60% ของสายส่งแบบได้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

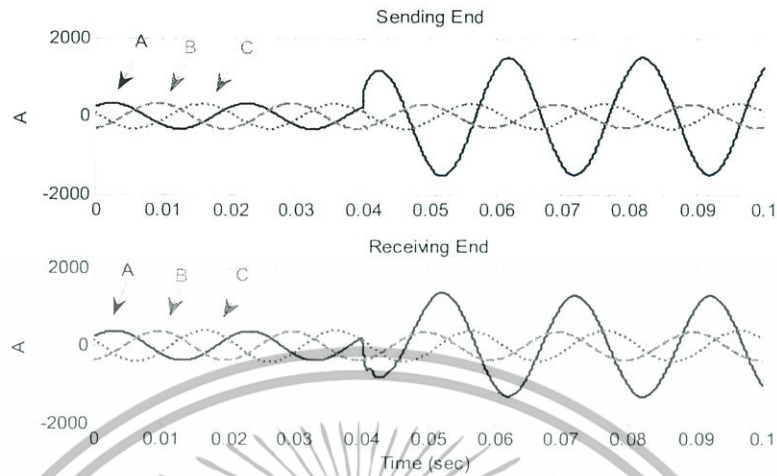
จากภาพที่ 3.16 ถึง 3.19 เป็นการแสดงรูปของวงจรและสัญญาณที่ได้จากโปรแกรม EMTP/ATPDraw ซึ่งเป็นการแสดงกรณีการเกิดฟอลต์แบบสายส่งลัดวงจรระหว่างเฟส ของสายส่งแบบใต้ดิน ซึ่งเกิดที่ระยะ 40% และ 60% ของสายส่ง ลักษณะของกระแสไฟฟ้ามักสูงขึ้นในเฟสที่เกิดฟอลต์ และมุมระหว่างเฟสที่เกิดฟอลต์เปลี่ยนเป็น 180 องศา

สายส่งแบบผสม



ภาพที่ 3.20 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% ของสายส่งแบบผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

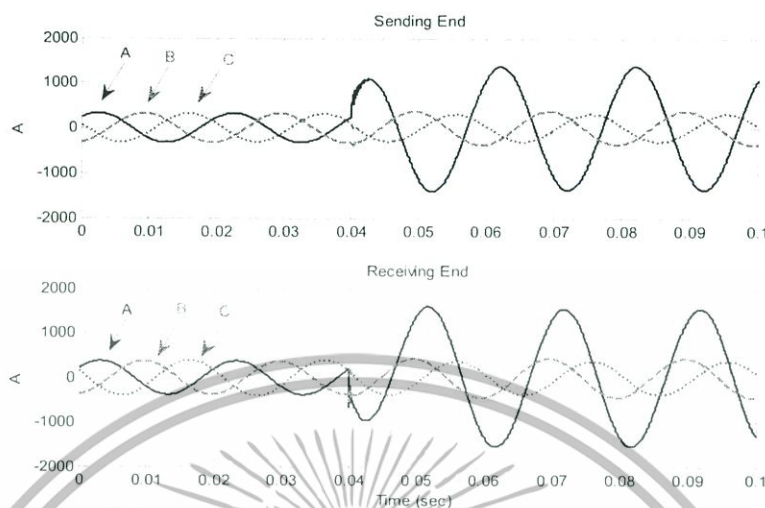


ภาพที่ 3.21 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% ของสายส่งแบบผสม



ภาพที่ 3.22 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบผสม

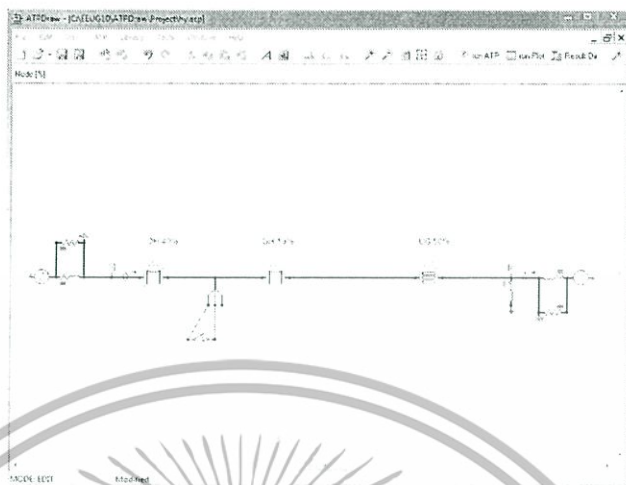
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



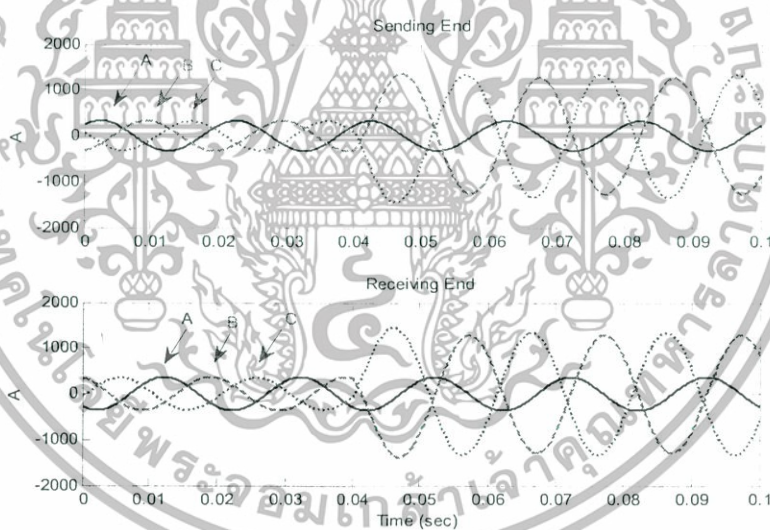
ภาพที่ 3.23 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบผสม

จากภาพที่ 3.20 ถึง 3.23 เป็นการแสดงรูปของวงจรและสัญญาณที่ได้จากโปรแกรม EMTP/ATPDraw ซึ่งเป็นการแสดงกรณีการเกิดฟอลต์แบบสายส่งลัดวงจรลงดินแบบ 1 เฟส ของสายส่งแบบผสม ซึ่งเกิดที่ระยะ 20% และ 80% ของสายส่ง ลักษณะของกระแสไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นในเฟสที่เกิดฟอลต์และกระแสไฟฟ้านฝั่งรับกลับเฟสไป 180 องศาหลังเกิดฟอลต์ และถ้าเกิดฟอลต์ที่ระยะ 20 % ค่ากระแสไฟฟ้าด้านฝั่งส่งจะมากกว่าฝั่งรับ แต่ถ้าเกิดฟอลต์ที่ระยะ 80 % ค่ากระแสไฟฟ้าด้านฝั่งรับจะมากกว่าฝั่งส่ง ขณะเกิดฟอลต์ที่ระยะ 80% จะมีความถี่สูงแทรกอยู่ที่ฝั่งรับและฝั่งส่ง ซึ่งจะมีลักษณะเดียวกับการเกิดฟอลต์ของสายส่งใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

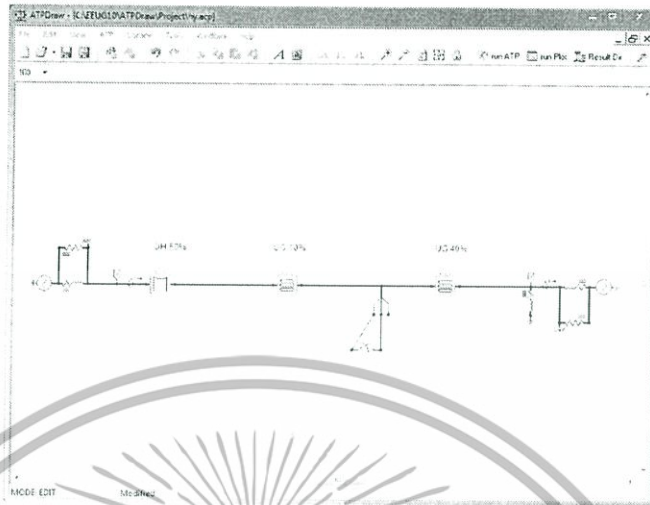


ภาพที่ 3.24 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 40% ของสายส่งแบบผสม

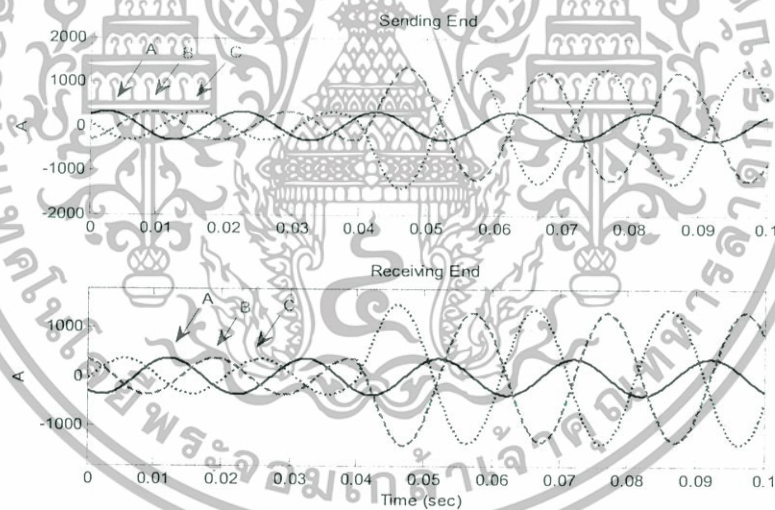


ภาพที่ 3.25 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 40% ของสายส่งแบบผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.26 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 60% ของสายส่งแบบผสม



ภาพที่ 3.27 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 60% ของสายส่งแบบผสม

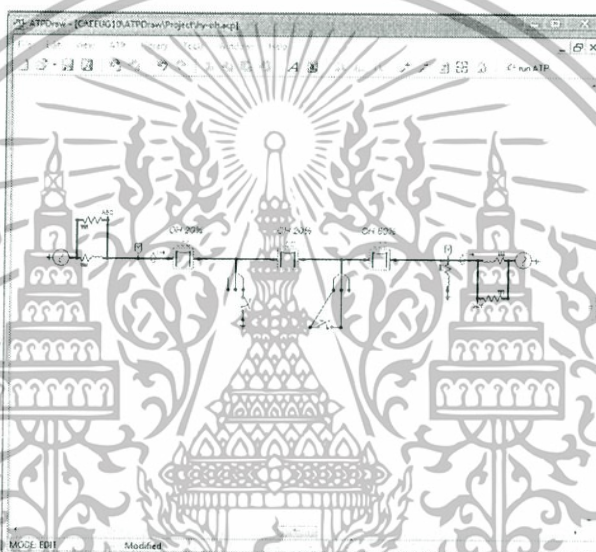
จากภาพที่ 3.24 ถึง 3.27 เป็นการแสดงรูปของวงจรและสัญญาณที่ได้จากโปรแกรม EMTP/ATPDraw ซึ่งเป็นการแสดงกรณีการเกิดฟอลต์แบบสายส่งลัดวงจรระหว่างเฟส ของสายส่งแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสม ซึ่งเกิดที่ระยะ 40% และ 60% ของสายส่ง ลักษณะของกระแสไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นในเฟสที่เกิดฟอลต์ และมุมระหว่างเฟสที่เกิดฟอลต์เปลี่ยนเป็น 180 องศา

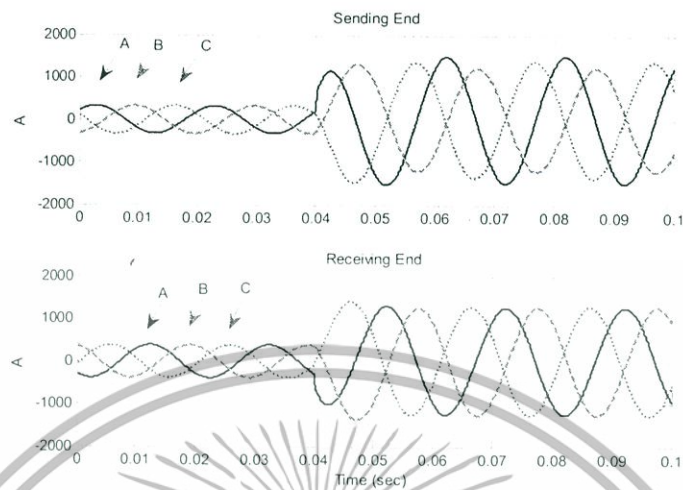
3.2.2 สัญญาณที่ได้จากการจำลองการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุด (Simultaneous Fault)

สายส่งแบบเหนือดิน



ภาพที่ 3.28 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 40% ของสายส่งแบบเหนือดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

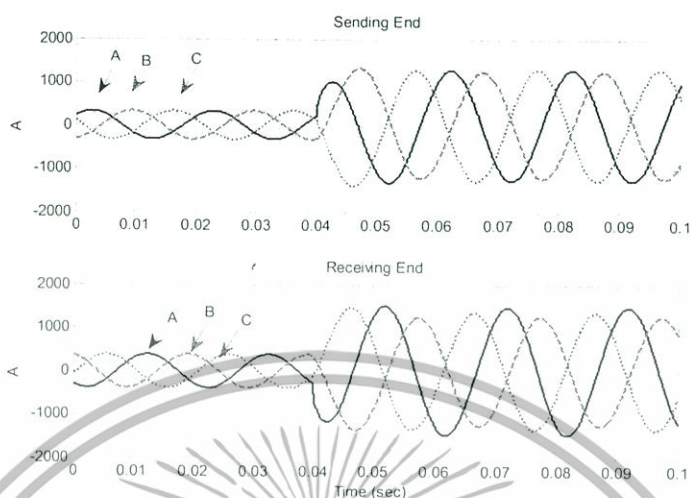


ภาพที่ 3.29 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 40% ของสายส่งแบบเหนือดิน



ภาพที่ 3.30 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 60% และเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบเหนือดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

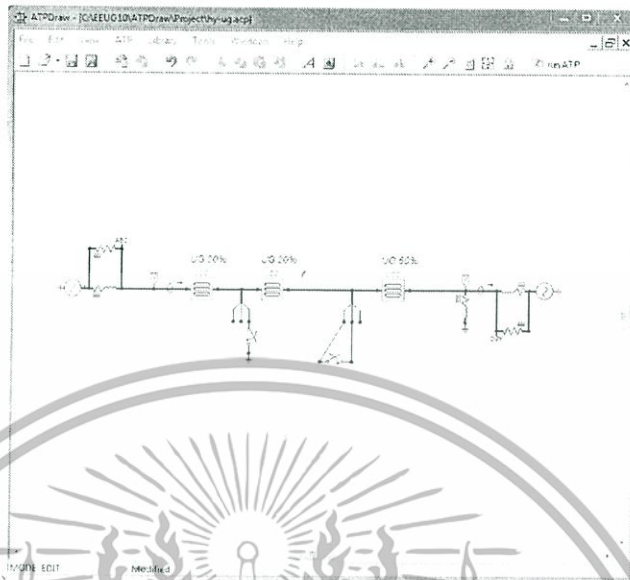


ภาพที่ 3.31 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 60% และเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบเหนือดิน

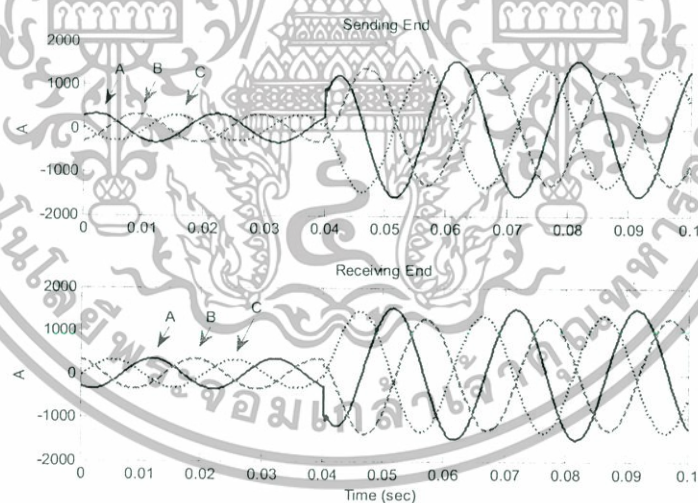
จากภาพที่ 3.28 ถึง 3.31 เป็นการแสดงรูปของวงจรและสัญญาณที่ได้จากโปรแกรม EMTP/ATPDraw ซึ่งเป็นการแสดงกรณีการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดแบบสายส่งลัดวงจรระหว่างเฟสและแบบสายส่งลัดวงจรลงดินแบบ 1 เฟส ของสายส่งแบบเหนือดิน กระแสไฟฟ้าที่เกิดฟอลต์จะมีลักษณะเช่นเดียวกับการเกิดฟอลต์แบบจุดเดียวนำมากรวมกันระหว่างการเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสกับการเกิดฟอลต์ลงดิน 1 เฟส ตามภาพที่ 3.29 เป็นการเกิดฟอลต์สองจุดแบบพร้อมกันของภาพที่ 3.5 และ 3.9 และ ภาพที่ 3.31 เป็นการเกิดฟอลต์สองจุดแบบพร้อมกันของภาพที่ 3.7 และ 3.11 (อ้างอิงตามภาพ 3.4 – 3.11)

สายส่งแบบใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

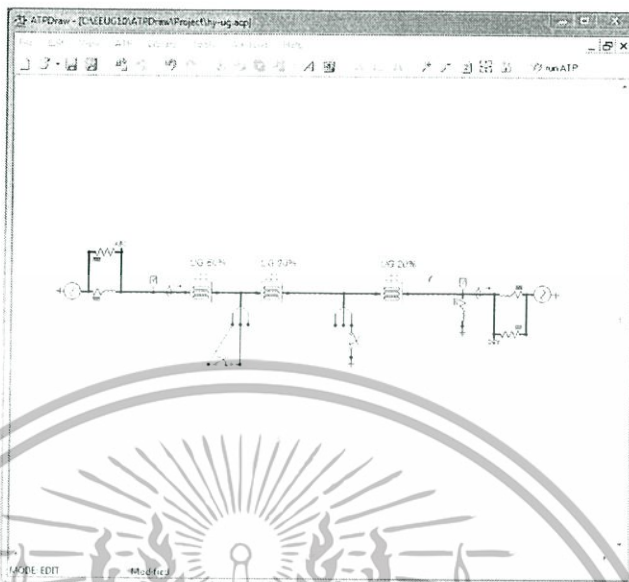


ภาพที่ 3.32 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 40% ของสายส่งแบบใต้ดิน

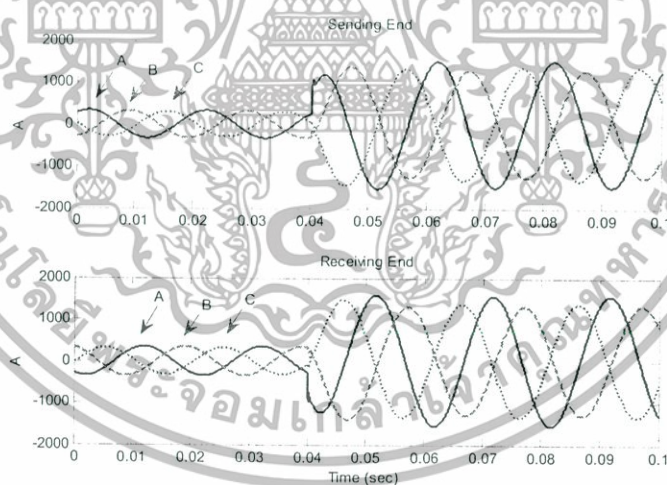


ภาพที่ 3.33 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 40% ของสายส่งแบบใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.34 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 60% และเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบใต้ดิน



ภาพที่ 3.35 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 60% และเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบใต้ดิน

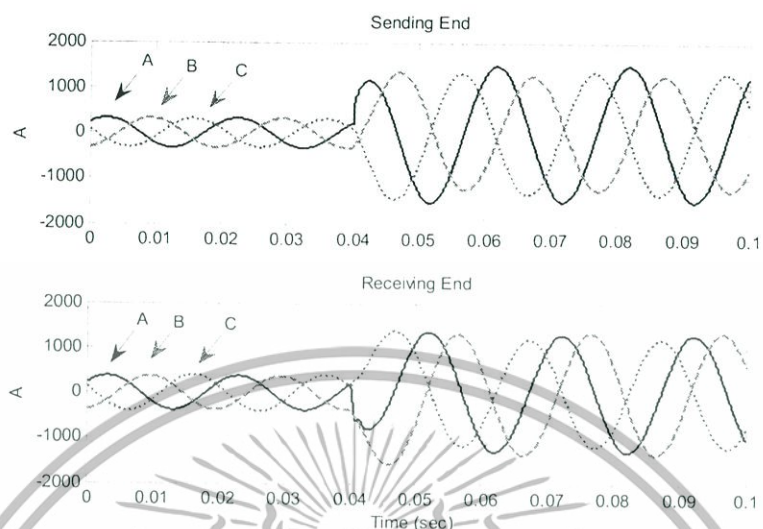
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 3.32 ถึง 3.35 เป็นการแสดงรูปของวงจรและสัญญาณที่ได้จากโปรแกรม EMTP/ATPDraw ซึ่งเป็นการแสดงกรณีการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดแบบสายส่งลัดวงจรระหว่างเฟสและแบบสายส่งลัดวงจรลงดินแบบ 1 เฟส ของสายส่งแบบใต้ดิน กระแสไฟฟ้าที่เกิดฟอลต์จะมีลักษณะเช่นเดียวกับการเกิดฟอลต์แบบจุดเดียวนำมารวมกันระหว่างการเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสกับการเกิดฟอลต์ลงดิน 1 เฟส ตามภาพที่ 3.33 เป็นการเกิดฟอลต์สองจุดแบบพร้อมกันของภาพที่ 3.13 และ 3.17 และ ภาพที่ 3.35 เป็นการเกิดฟอลต์สองจุดแบบพร้อมกันของภาพที่ 3.15 และ 3.15 (อ้างอิงตามภาพ 3.12 - 3.19)

สายส่งแบบผสม



ภาพที่ 3.36 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 40% ของสายส่งแบบผสม

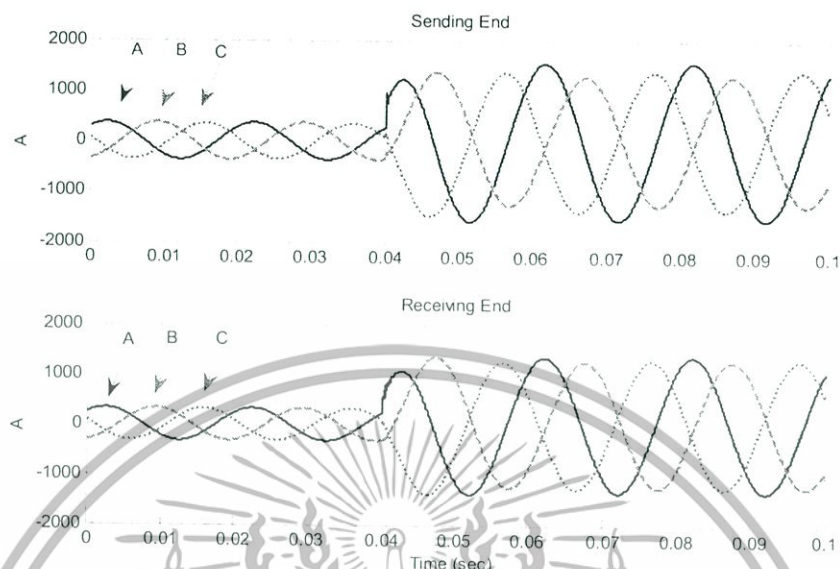


ภาพที่ 3.37 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 40% ของสายส่งแบบผสม



ภาพที่ 3.38 แสดงวงจรการจำลองฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 60% และเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.39 สัญญาณการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 60% และเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบผสม

จากภาพที่ 3.36 ถึง 3.39 เป็นการแสดงรูปของวงจรและสัญญาณที่ได้จากโปรแกรม EMTP/ATPDraw ซึ่งเป็นการแสดงกรณีการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดแบบสายส่งลัดวงจรระหว่างเฟสและแบบสายส่งลัดวงจรลงดินแบบ 1 เฟส ของสายส่งแบบผสม กระแสไฟฟ้าที่เกิดฟอลต์จะมีลักษณะเช่นเดียวกับการเกิดฟอลต์แบบจุดเดียวนำมารวมกันระหว่างการเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสกับการเกิดฟอลต์ลงดิน 1 เฟส ตามภาพที่ 3.37 เป็นการเกิดฟอลต์สองจุดแบบพร้อมกันของภาพที่ 3.21 และ 3.25 และภาพที่ 3.39 เป็นการเกิดฟอลต์สองจุดแบบพร้อมกันของภาพที่ 3.23 และ 3.27 (อ้างอิงตามภาพ 3.20 – 3.27)

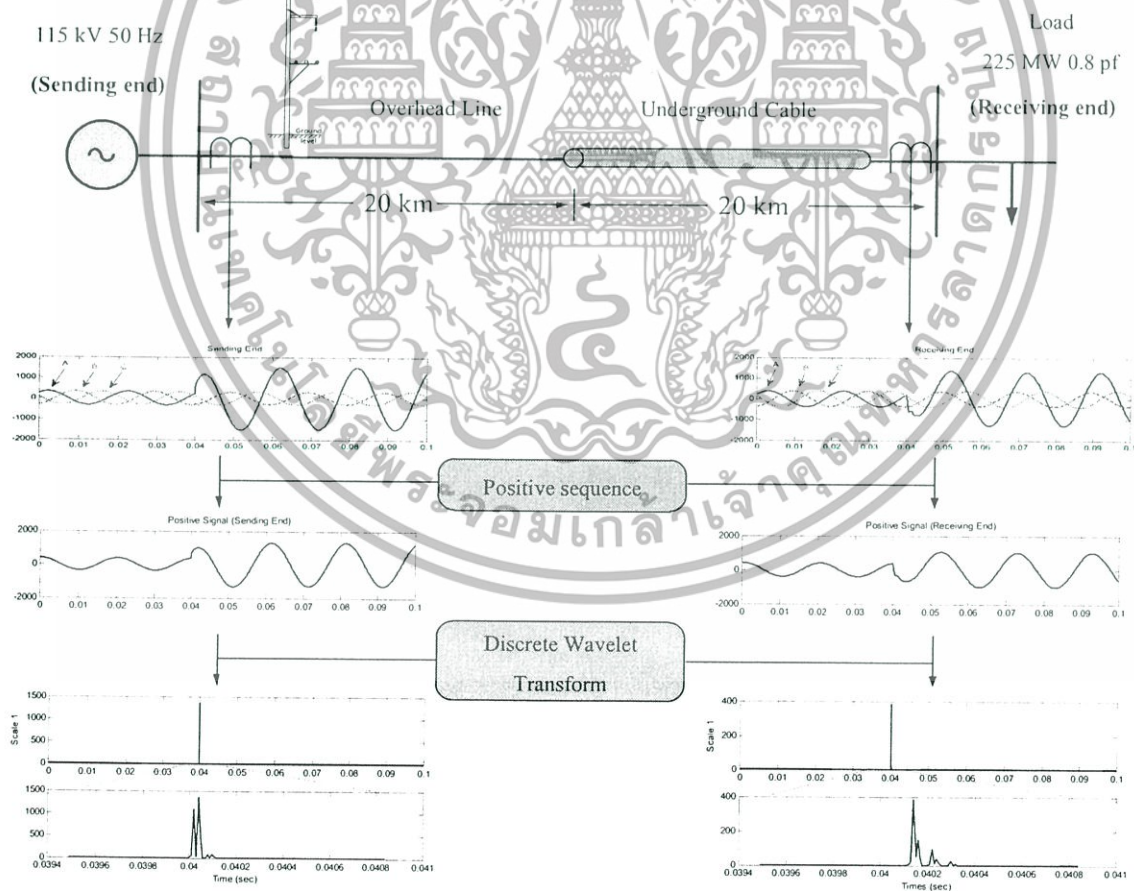
เมื่อได้ทำการจำลองระบบไฟฟ้าจนกระทั่งได้สัญญาณกระแสฟอลต์ของระบบไฟฟ้าโดยใช้เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าทั้งด้านส่ง (Sending End) และด้านรับ (Receiving End) จากโปรแกรม EMTP/ATPDraw แล้ว หลังจากนั้นจะนำสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยวิธีการแปลงเวฟเล็ดเพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดและสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการตรวจจับหรือการแบ่งแยกประเภทฟอลต์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย

เมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่ต่างๆ แทรกอยู่ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้มีความสัมพันธ์กับรูปแบบของฟอลต์ โดยข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงนี้เมื่อนำการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (DWT) มาใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ โดยทำการแยกองค์ประกอบความถี่สูง (Detail) พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของในหลายสเกลหรือหลายช่วงความถี่ เพื่อที่จะใช้เป็นข้อมูลของการประมวลผลตามหลักการที่มีอยู่ และวิธีการที่เพิ่มเติมเข้าไป ผลที่ได้สามารถนำมาใช้ในการตรวจจับเพื่อตรวจจับการเกิดฟอลต์ ระบุตำแหน่งของการเกิดฟอลต์ และการระบุชนิดฟอลต์ การศึกษาพฤติกรรมของลักษณะรูปคลื่นที่ได้จึงมีความสำคัญไม่น้อย

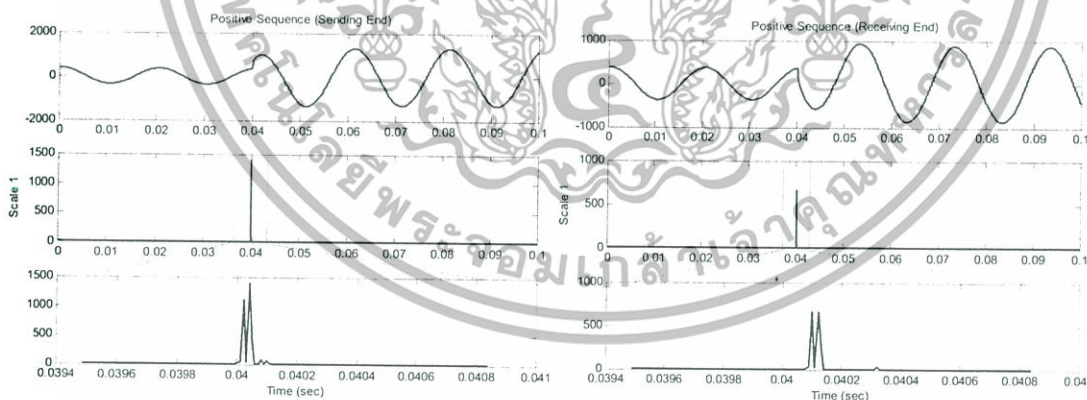


ภาพที่ 4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ฟอลต์โดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

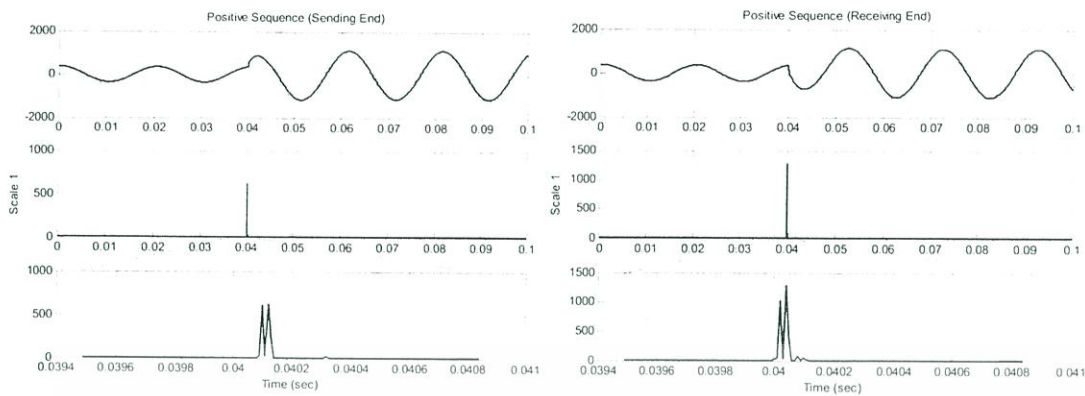
งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าจากสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากฝั่งส่ง (Sending End) และทางด้านฝั่งรับ (Receiving End) ของปลายสายทั้งสองด้าน นำสัญญาณทั้งสองที่ได้มาคำนวณหากระแสองค์ประกอบลำดับบวก (Positive Sequence) และวิเคราะห์สัญญาณตามสมมติฐานคือ ในสภาวะปกติสัญญาณกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าจะไม่มีองค์ประกอบความถี่สูงรวมอยู่ แต่ในสภาวะที่มีฟอลต์จะมีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่ที่เกิดขึ้น ซึ่งจะใช้สมมติฐานนี้ในการตรวจจับและแบ่งแยกประเภทฟอลต์ที่เกิดขึ้นโดยอาศัยวิธีการแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform, DWT) จากทฤษฎีพื้นฐานในบทที่ 2 เข้ามาวิเคราะห์ความถี่ที่แทรกเข้ามาในระบบ การแปลงเวฟเลตเป็นเทคนิคสำหรับการกรองสัญญาณออกเป็นช่วงความถี่ต่าง ๆ ซึ่งในการวิเคราะห์นี้จะทำการแยกองค์ประกอบความถี่สูงในสเกลที่ 1 ออกมาศึกษาพฤติกรรมของฟอลต์แต่ละรูปแบบ ซึ่งสามารถแสดงขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังภาพที่ 4.1

วิธีการคือทำการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ที่ปลายสายในแต่ละด้าน โดยนำข้อมูลของสัญญาณกระแสฟอลต์ที่ได้จากแบบจำลองด้วยโปรแกรม EMTP/ATPDraw มาทำการแปลงให้อยู่ในองค์ประกอบลำดับต่างๆ (Network Sequence) จากนั้นนำสัญญาณองค์ประกอบกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) มาดำเนินการแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วย (DWT) เพื่อแยกองค์ประกอบความถี่สูงในสเกลที่ 1 ออกมา โดยการใช้เวฟเลตแม่ชนิด Daubechies 4 (db4) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเลตจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.2-4.6 สำหรับสายส่งแบบเหนือดิน ภาพที่ 4.7-4.11 สำหรับสายส่งแบบใต้ดิน และภาพที่ 4.12-4.16 สำหรับสายส่งแบบผสม

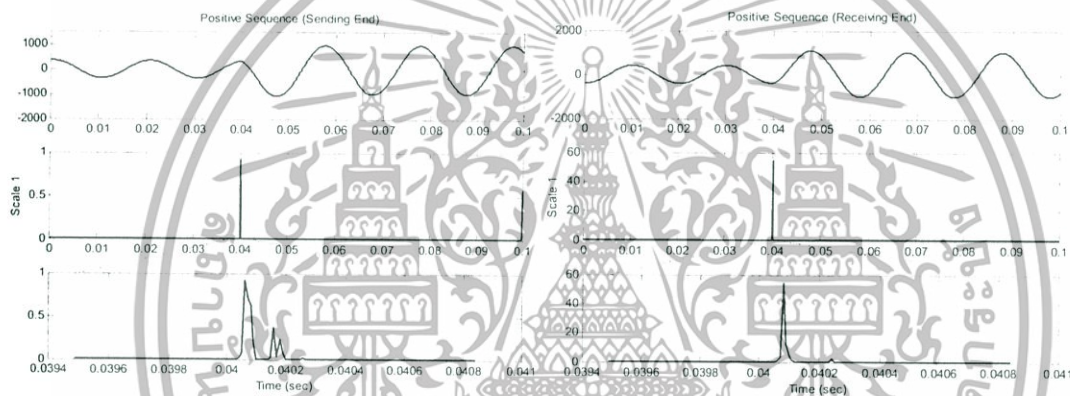


ภาพที่ 4.2 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเลตกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% ของสายส่งแบบเหนือดิน

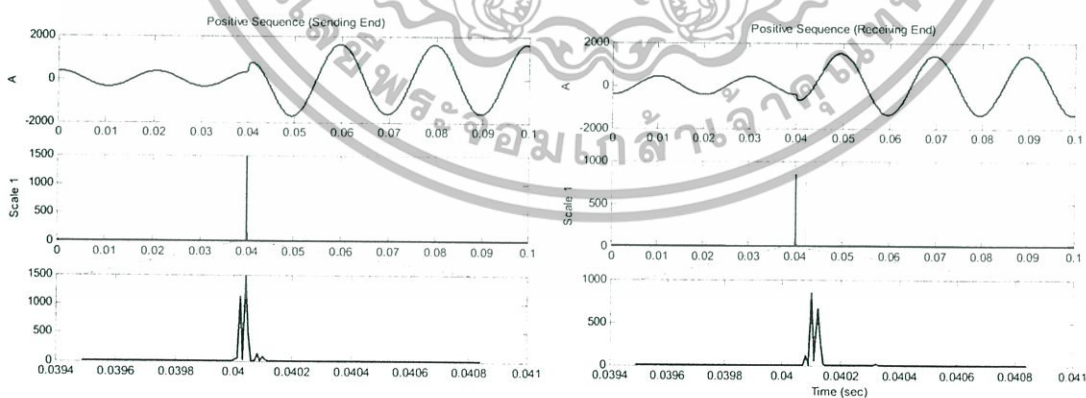
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่วารณิใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเส้นกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบเหนือดิน

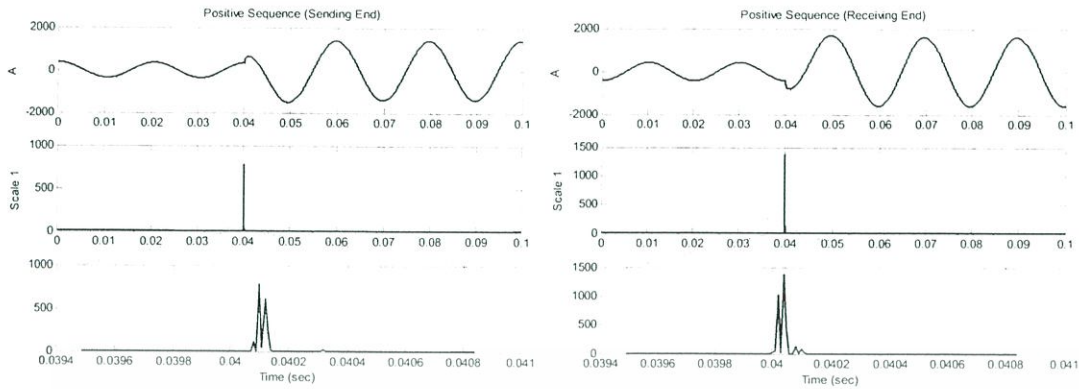


ภาพที่ 4.4 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเส้นกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 40% ของสายส่งแบบเหนือดิน

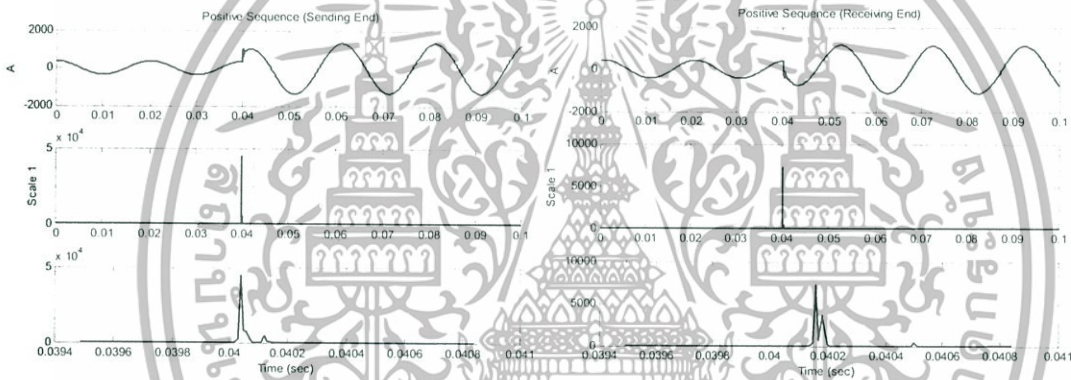


ภาพที่ 4.5 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเส้นกรณีการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 40% ของสายส่งแบบเหนือดิน

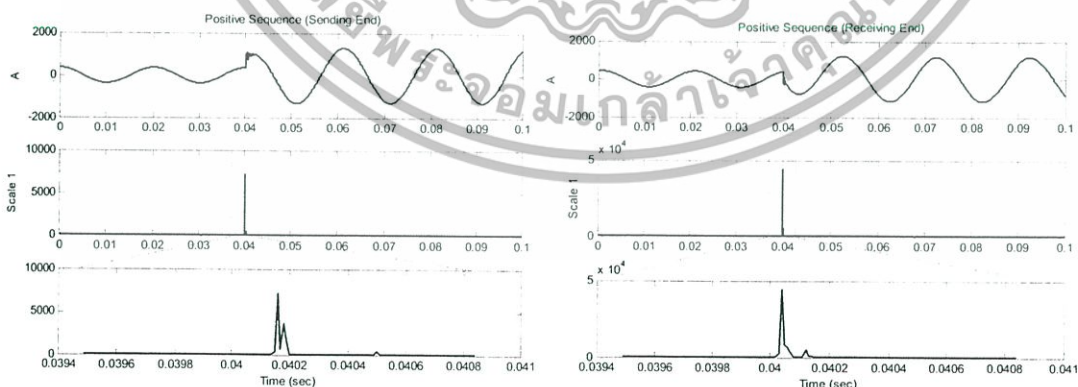
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตรณการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 60% และเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบเหนือดิน

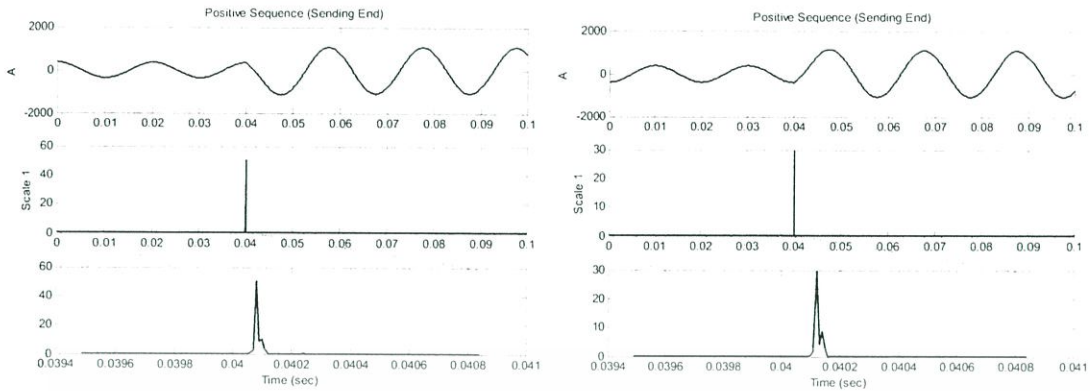


ภาพที่ 4.7 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตรณการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% ของสายส่งแบบใต้ดิน

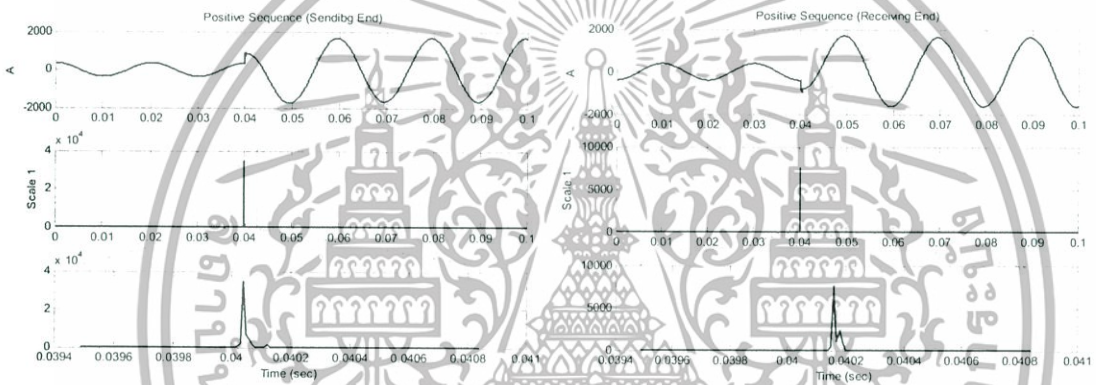


ภาพที่ 4.8 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตรณการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบใต้ดิน

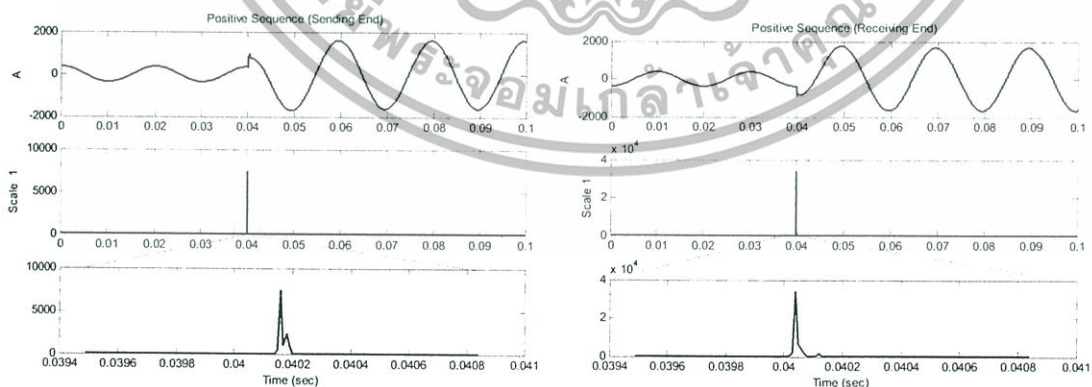
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเฟสลำดับการเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 40% ของสายส่งแบบใต้ดิน

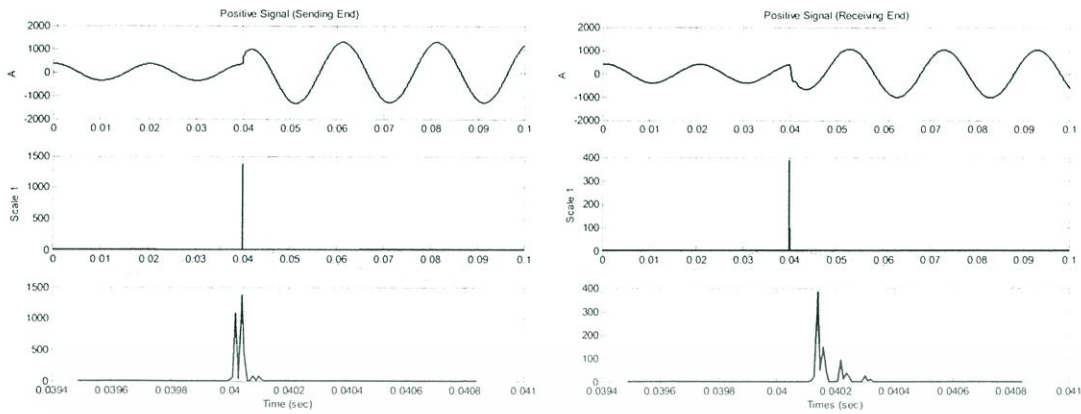


ภาพที่ 4.10 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเฟสลำดับการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 40% ของสายส่งแบบใต้ดิน

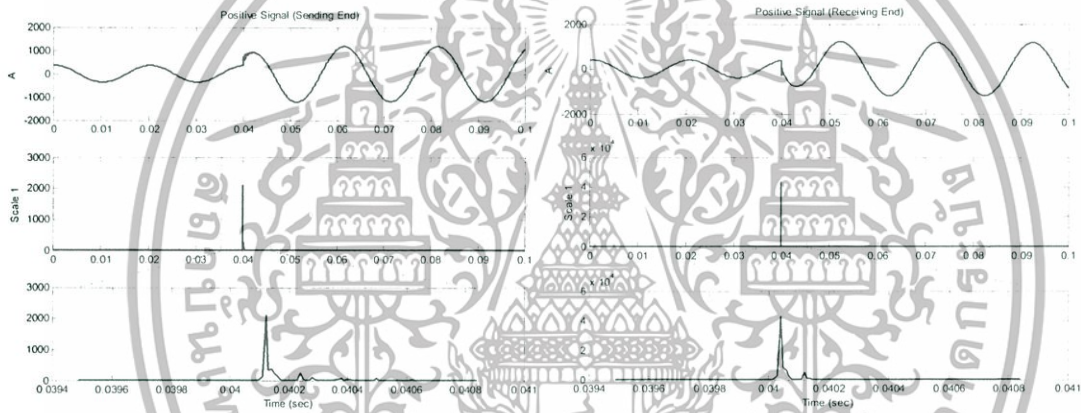


ภาพที่ 4.11 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเฟสลำดับการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 60% และเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบใต้ดิน

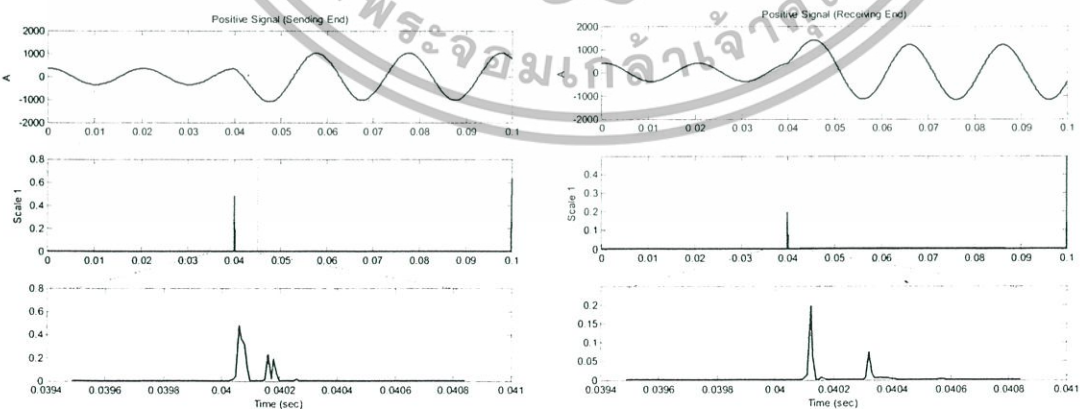
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.12 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็กรณการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% ของสายส่งแบบผสม

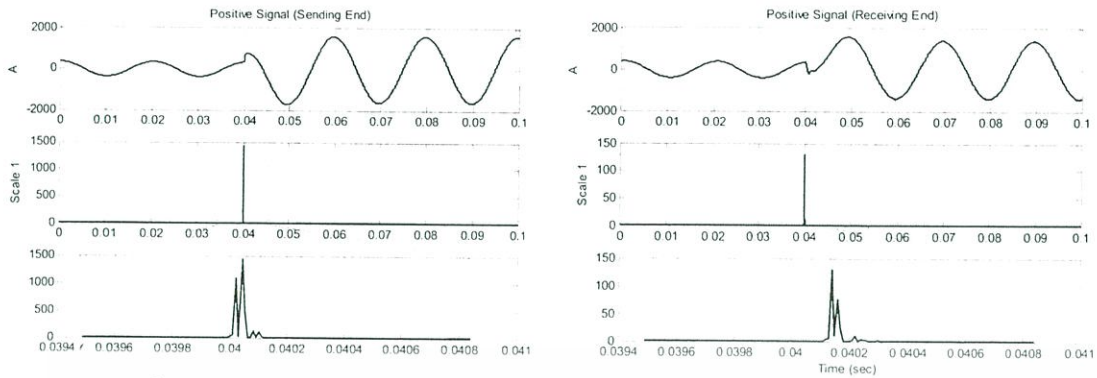


ภาพที่ 4.13 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็กรณการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบผสม

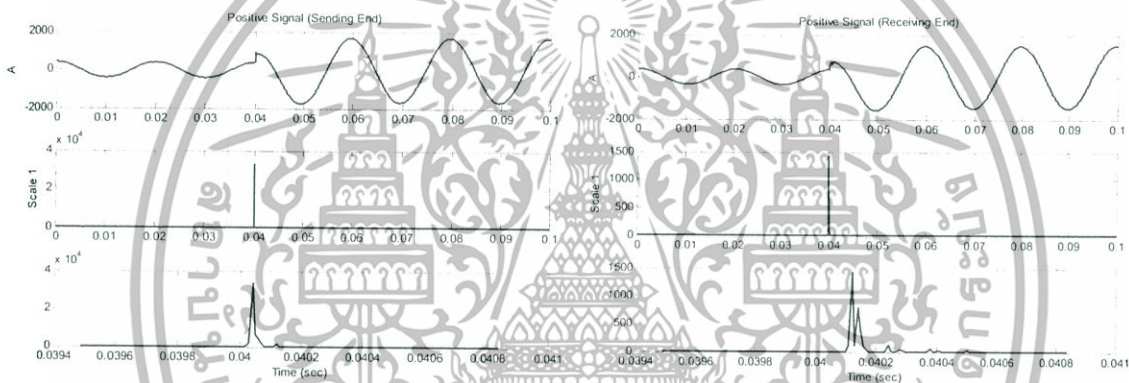


ภาพที่ 4.14 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็กรณการเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะ 40% ของสายส่งแบบผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.15 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็กรณการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 40% ของสายส่งแบบผสม



ภาพที่ 4.16 สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็กรณการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดกรณีแบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะทาง 60% และเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% ของสายส่งแบบผสม

จากภาพที่ 4.2 – 4.16 การแปลงเวฟเล็กรณการเกิดฟอลต์ที่ประกอบความถี่สูง จะสังเกตได้อย่างชัดเจนสำหรับสัญญาณที่เกิดฟอลต์มีลักษณะของสัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็กรณการเกิดฟอลต์ที่พุ่งขึ้นมามีเห็นได้ชัด โดยที่สัญญาณที่เกิดขึ้นจะมีค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดไม่เท่ากันและเวลาที่เกิดขึ้นก็ไม่เท่ากัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งและรูปแบบในการเกิดฟอลต์เช่นตารางที่ 4.1-4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดสเกลที่ 1 ของการเกิดฟอลต์แต่ละประเภทของสายส่งแบบเหนือนดิน

Case				Sending End		Receiving End	
Fault 1		Fault 2		Peak coefficient	Time (ms)	Peak coefficient	Time (ms)
AG	20%	-	-	1,399	40.05	666.76	40.11
AG	80%	-	-	618.83	40.13	1,290	40.05
BC	40%	-	-	0.924	40.07	54.84	40.09
AG	20%	BC	40%	1,481	40.05	846.01	40.11
BC	60%	AG	80%	784.04	40.11	1,382	40.05

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดสเกลที่ 1 ของการเกิดฟอลต์แต่ละประเภทของสายส่งแบบใต้ดิน

Case				Sending End		Receiving End	
Fault 1		Fault 2		Peak coefficient	Time (ms)	Peak coefficient	Time (ms)
AG	20%	-	-	45,070	40.05	7,301	40.17
AG	80%	-	-	7,154	40.17	44,429	40.05
BC	40%	-	-	50.64	40.09	29.95	40.13
AG	20%	BC	40%	3,488	40.05	7,559	40.17
BC	60%	AG	80%	7,429	40.17	3,419	40.05

ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดสเกลที่ 1 ของการเกิดฟอลต์แต่ละประเภทของสายส่งแบบผสม

Case				Sending End		Receiving End	
Fault 1		Fault 2		Peak coefficient	Time (ms)	Peak coefficient	Time (ms)
AG	20%	-	-	1,371.9	40.05	383.52	40.15
AG	80%	-	-	21,08.3	40.13	43,281	40.05
BC	40%	-	-	0.539	40.05	0.579	40.13
AG	20%	BC	40%	1,431	40.05	272.42	40.15
BC	60%	AG	80%	1,432	40.13	33,357	40.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 พฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดชนิดพอลต์จุดเดียว

พฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดนั้น จะมีความแตกต่างกันซึ่งจะขึ้นอยู่กับประเภทของการเกิดพอลต์ มุมที่เกิดพอลต์ และตำแหน่งการเกิดพอลต์ โดยทั้งนี้จะแสดงให้เห็นพฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากสายส่งแบบผสม แล้วนำมาเปรียบเทียบกับ สายส่งแบบเหนือดิน และแบบใต้ดิน เพื่อศึกษาลักษณะของความแตกต่างที่ได้ ซึ่งจะสามารถนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์การแบ่งแยกประเภทพอลต์ได้ต่อไป

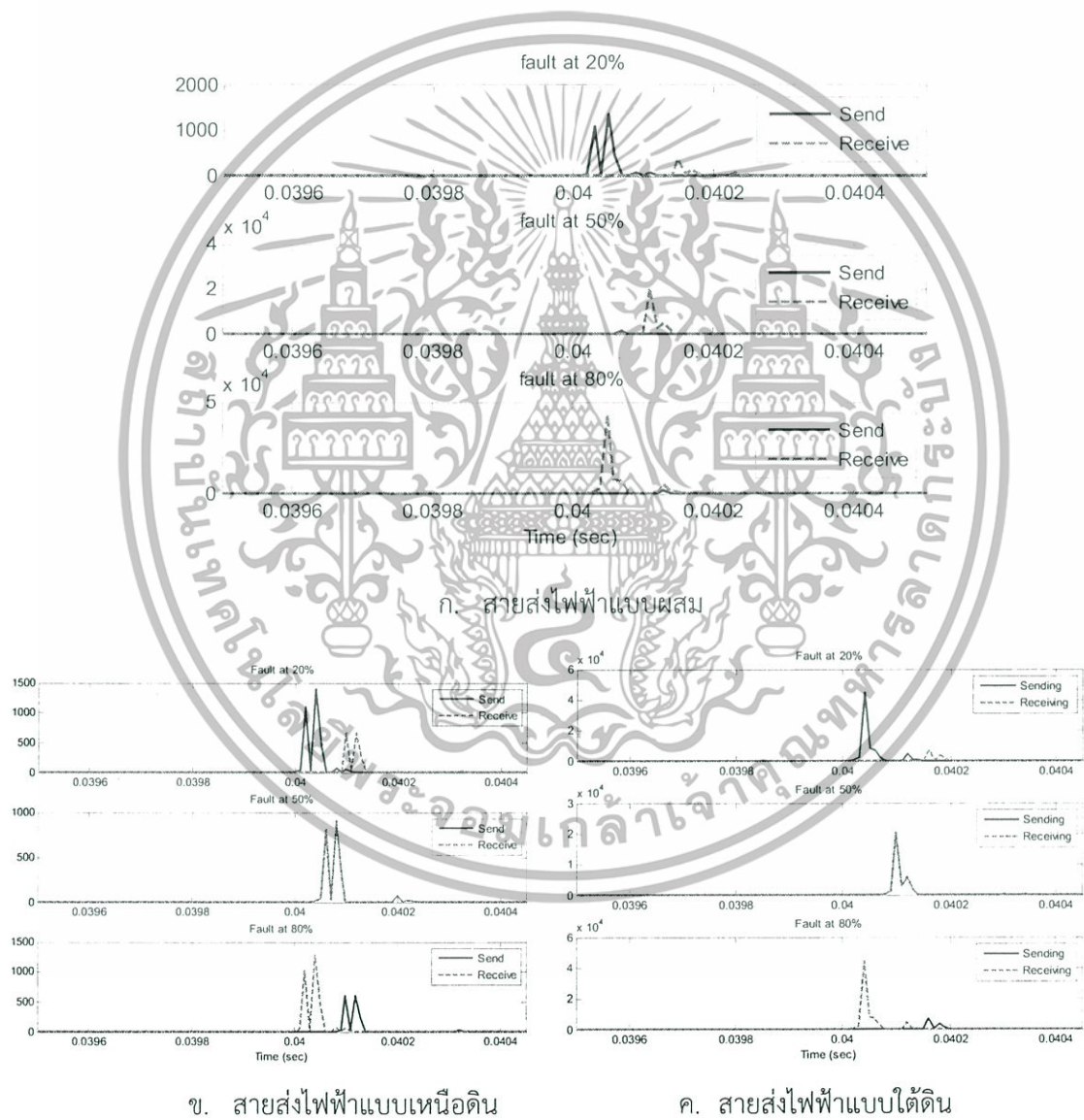


ภาพที่ 4.17 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดพอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.17 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดเมื่อระยะที่เกิดฟอลต์เปลี่ยนแปลงไป จะสังเกตเห็นว่าสายส่งแบบเหนือดินและสายส่งแบบใต้ดินนั้นจะมีลักษณะของพฤติกรรมที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน โดยที่สายส่งเหนือดินค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดจะมีที่ค่าประมาณ 200 ถึง 4,500 ส่วนค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดของสายส่งใต้ดินจะมีค่าตั้งแต่ 500 ถึง 60,000 ลักษณะกราฟที่เกิดขึ้นก็จะมี ความแตกต่างกัน แต่เมื่อฟอลต์นั้นเกิดขึ้นกับสายส่งแบบผสมก็จะมีลักษณะตามภาพที่ 4.17 ก. ซึ่งเป็นลักษณะของการนำสายส่งเหนือดินมาต่อกับสายใต้ดิน

ทั้งนี้จากภาพที่ 4.2-4.16 จะสังเกตเห็นว่าสัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดทั้งด้านฝั่งรับและด้านฝั่งส่งจะมีเวลาการเกิดค่าสูงสุดที่ไม่ตรงกัน หากเกิดฟอลต์ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่งจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้เปลี่ยนแปลงไปตามภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 เวลาของค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.18 แสดงเวลาของค่าสัมประสิทธิ์ที่เกิดขึ้นสูงสุดเมื่อระยะที่เกิดฟอลต์เปลี่ยนแปลงไป จะสังเกตเห็นว่าเวลาของค่าสัมประสิทธิ์ของสายส่งแบบเหนือดินและสายส่งแบบใต้ดินนั้นจะมีลักษณะของพฤติกรรมที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน โดยที่หากเกิดฟอลต์ที่ระยะ 20% ของระยะสายส่งหรือใกล้กับฝั่งส่ง (Sending End) จะเกิดค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดที่ฝั่งส่งก่อนที่จะเกิดที่ฝั่งรับ แต่หากเกิดฟอลต์ที่ระยะ 80% ของระยะสายส่งหรือใกล้กับฝั่งรับจะเกิดค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดที่ฝั่งรับก่อน

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงมุมเกิดฟอลต์ของกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดินที่ระยะ 20% ของสายส่ง ลักษณะของค่าสัมประสิทธิ์ที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามภาพที่ 4.19



ข. สายส่งไฟฟ้าแบบเหนือดิน

ค. สายส่งไฟฟ้าแบบใต้ดิน

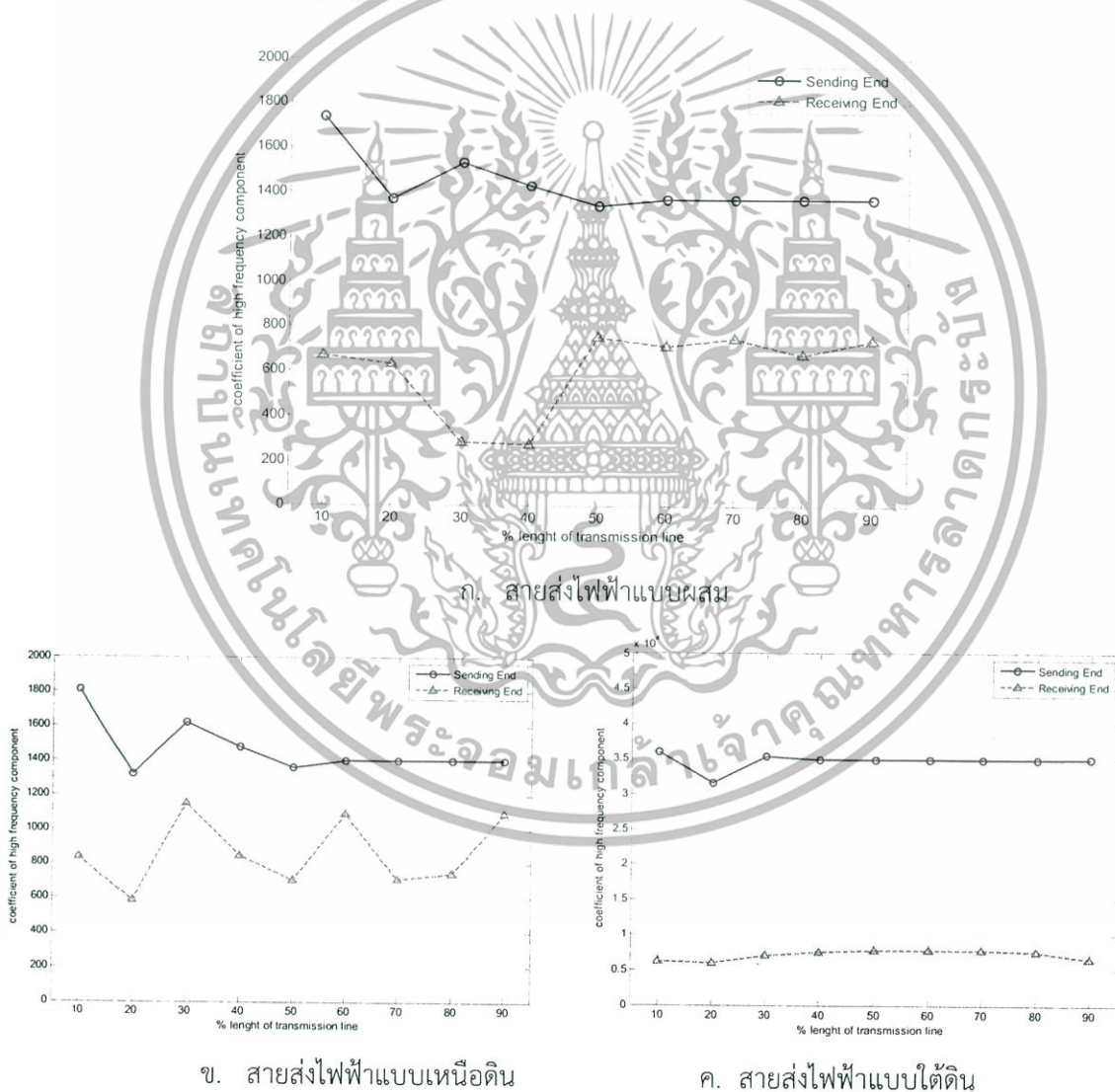
ภาพที่ 4.19 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่มุมต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงมุมเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% ของสายส่ง ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้มีค่าเปลี่ยนแปลงตามมุมที่เกิดฟอลต์ ซึ่งมีค่าสูงสุดที่มุม 0 องศา น้อยสุดที่ 90 องศา และที่มุม 180 - 330 องศา มีลักษณะค่าสัมประสิทธิ์ลักษณะเดียวกับมุมที่ 0-150 องศา เนื่องจากได้ยกกำลังสองค่าสัมประสิทธิ์จึงได้ค่าที่เป็นค่าบวก ลักษณะของค่าสัมประสิทธิ์ ระบบผสม ระบบเหนือดินและแบบใต้ดินจะมีรูปแบบเดียวกัน

4.2 พฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเลิตชนิดฟอลต์พร้อมกันสองจุด

ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเลิตของการเกิดฟอลต์แบบพร้อมกันสองจุดนั้น จะมีลักษณะของพฤติกรรมที่แตกต่างจากการเกิดฟอลต์แบบจุดเดียว ซึ่งการขึ้นอยู่กับรูปแบบการเกิดฟอลต์ ระยะทางการเกิดฟอลต์ เป็นต้น สามารถแสดงได้ดังนี้

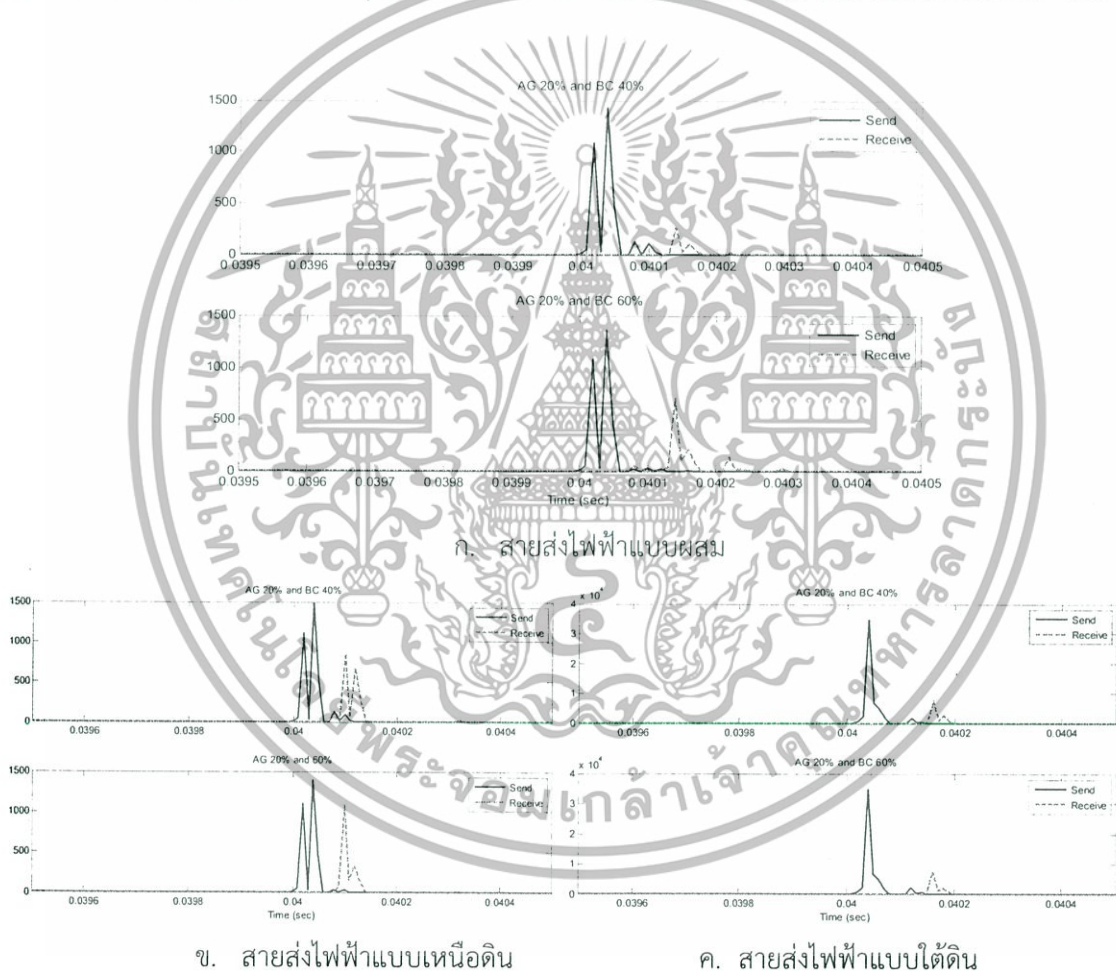


ภาพที่ 4.20 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.20 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดเมื่อระยะที่เกิดฟอลต์ที่สองเปลี่ยนแปลงไป โดยจะให้เกิดฟอลต์สองจุดในเวลาพร้อมกันคือ เกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดินที่ระยะ 20% ของสายส่งและเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง จะสังเกตเห็นว่าสายส่งแบบเหนื่อดิน สายส่งแบบใต้ดิน และสายส่งแบบผสมนั้นจะมีลักษณะของพฤติกรรมที่เกิดขึ้นคล้ายกันคือ ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดฝั่งส่งจะมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ฝั่งรับ ค่าสัมประสิทธิ์การเกิดฟอลต์ของสายส่งใต้ดินจะมีค่าสัมประสิทธิ์มากกว่าสายส่งเหนื่อดินและสายส่งแบบผสม ซึ่งสายส่งแบบผสมจะมีลักษณะพฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ที่ใกล้เคียงกับสายส่งแบบเหนื่อดิน

ทั้งนี้สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดทั้งด้านฝั่งรับและด้านฝั่งส่งจะมีเวลาการเกิดค่าสูงสุดที่ไม่ตรงกัน หากเกิดฟอลต์ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่งจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้เปลี่ยนแปลงไปตามภาพที่ 4.21

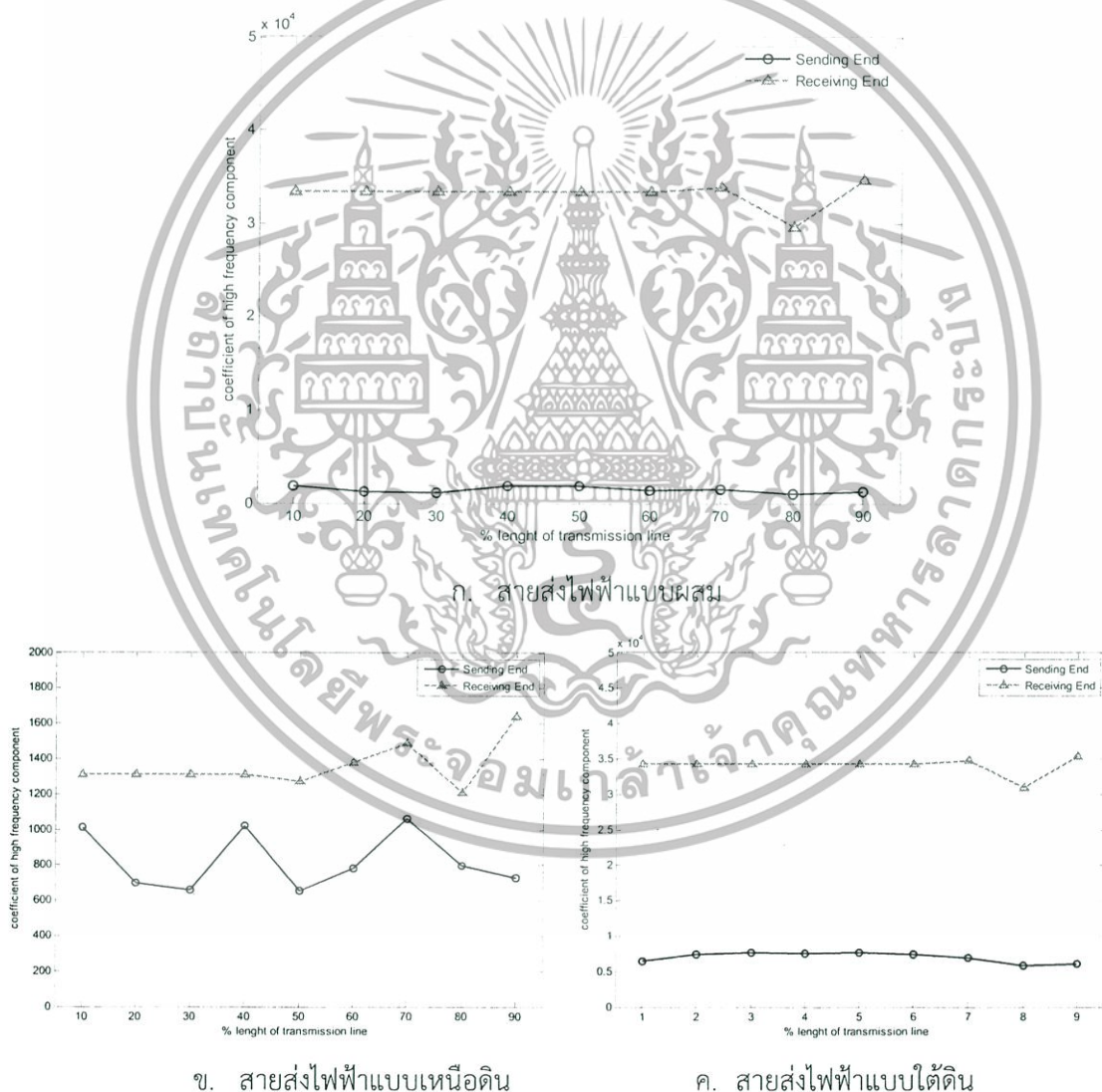


ภาพที่ 4.21 เวลาของค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.21 แสดงเวลาของค่าสัมประสิทธิ์ที่เกิดขึ้นสูงสุดเมื่อระยะที่เกิดฟอลต์เปลี่ยนแปลงไป จะสังเกตเห็นว่าเวลาของค่าสัมประสิทธิ์ของสายส่งแบบเหนือดิน สายส่งแบบใต้ดิน และสายส่งแบบผสมนั้นจะมีลักษณะของพฤติกรรมที่เกิดขึ้นคล้ายกัน โดยจะเกิดค่าสูงสุดที่ด้านฝั่งส่งก่อนและจะเกิดค่าสูงสุดที่ด้านฝั่งรับตอนหลัง ซึ่งเวลาที่เกิดค่าสูงสุดฝั่งส่งจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ด้านฝั่งรับจะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของระบบส่ง ระบบส่งเหนือดินจะเกิดค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดเร็วกว่าสายส่งแบบผสม และสายส่งแบบใต้ดิน เนื่องจากสายส่งแต่ละรูปแบบจะมีค่าความเร็วของคลื่นที่แตกต่างกันออกไป

ทั้งนี้เมื่อทำการเปลี่ยนรูปแบบการเกิดฟอลต์แบบสองจุดเป็นแบบการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดินที่ระยะ 80% ของสายส่งและเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง ลักษณะของค่าสัมประสิทธิ์ที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามภาพที่ 4.22

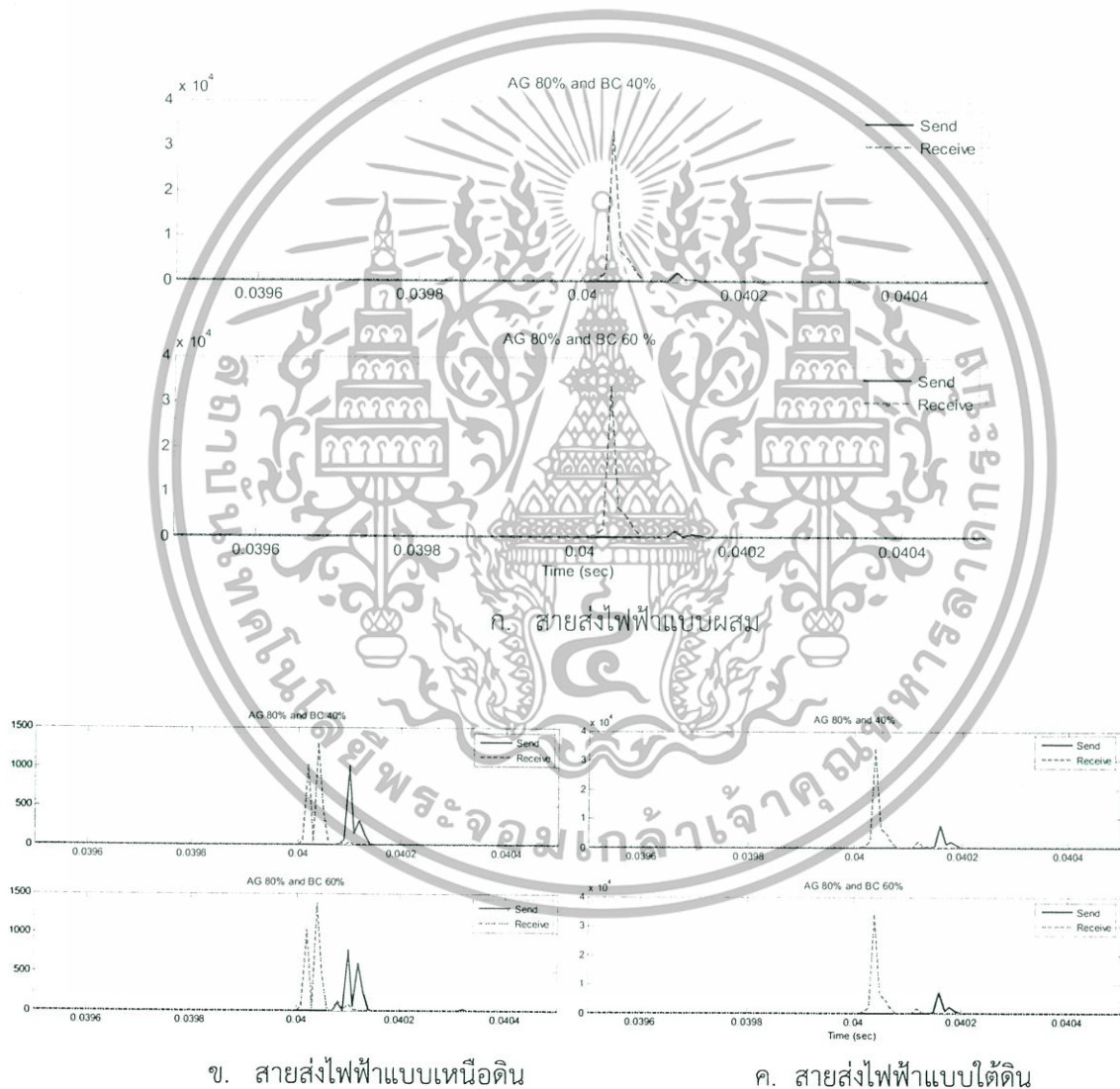


ภาพที่ 4.22 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.22 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดเมื่อระยะที่เกิดฟอลต์ที่สองเปลี่ยนแปลงไป โดยจะให้เกิดฟอลต์สองจุดในเวลาพร้อมกันคือ เกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดินที่ระยะ 80% ของสายส่งและเกิดฟอลต์แบบเฟส b ลัดวงจรเฟส c ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง จะสังเกตเห็นว่าสายส่งแบบเหนือดิน สายส่งแบบใต้ดิน และสายส่งแบบผสมนั้นจะมีลักษณะของพฤติกรรมที่เกิดขึ้นคล้ายกันคือ ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดฝั่งรับจะมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ฝั่งส่ง ค่าสัมประสิทธิ์การเกิดฟอลต์ของสายส่งใต้ดินและสายส่งแบบผสมจะมามีค่าสัมประสิทธิ์มากกว่าสายส่งเหนือดิน ส่วนสายส่งแบบผสมจะมามีค่าสัมประสิทธิ์ที่ใกล้เคียงกับสายส่งแบบใต้ดิน

ทั้งนี้สัญญาณที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ททั้งด้านฝั่งรับและด้านฝั่งส่งจะมีเวลาการเกิดค่าสูงสุดที่ไม่ตรงกัน หากเกิดฟอลต์ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่งจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้เปลี่ยนแปลงไปตามภาพที่ 4.23



ข. สายส่งไฟฟ้าแบบเหนือดิน

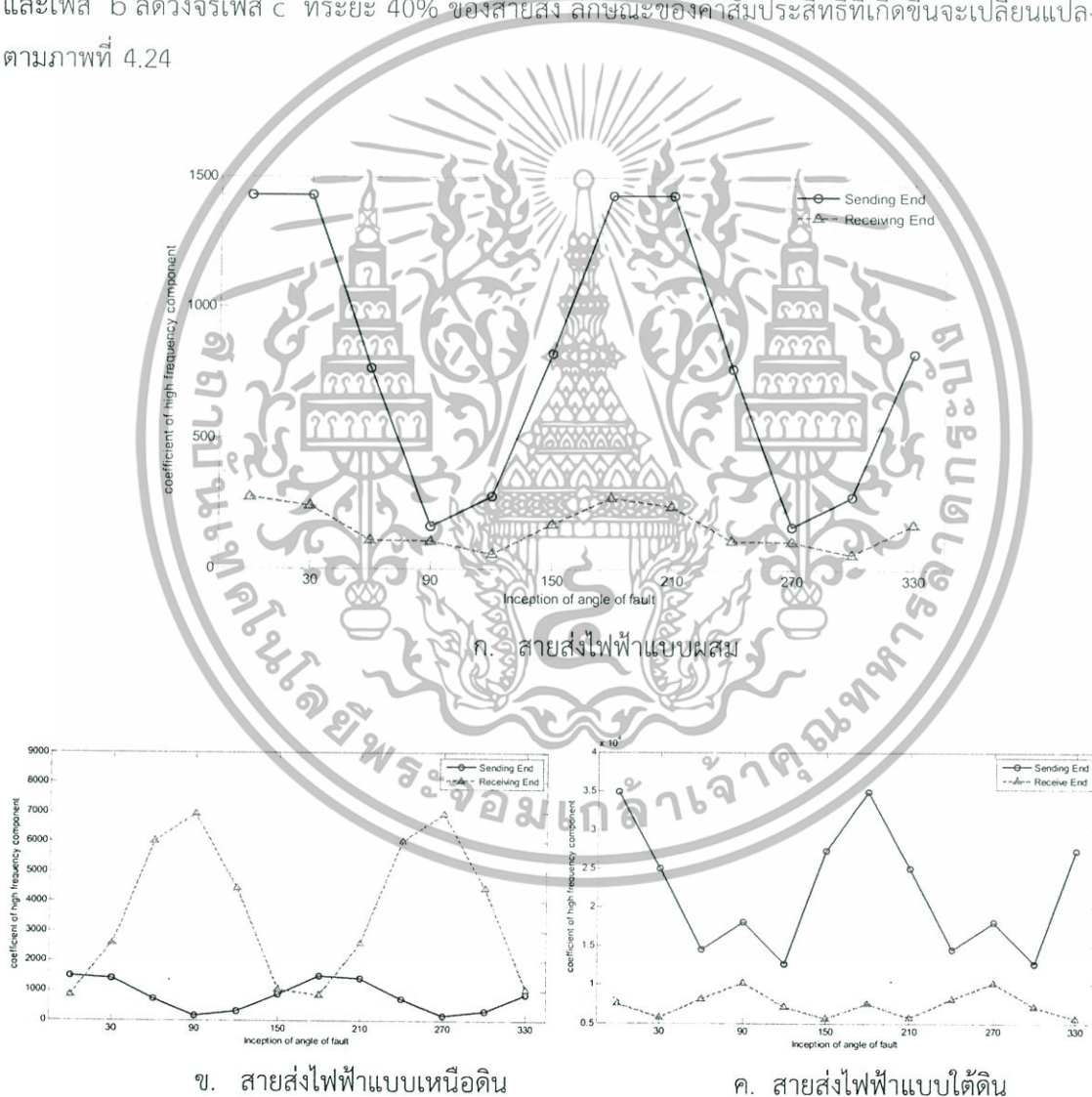
ค. สายส่งไฟฟ้าแบบใต้ดิน

ภาพที่ 4.23 เวลาของค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ที่ระยะ 80% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ที่ระยะต่าง ๆ ของสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.23 แสดงเวลาของค่าสัมประสิทธิ์ที่เกิดขึ้นสูงสุดเมื่อระยะที่เกิดฟอลต์เปลี่ยนแปลงไป จะสังเกตเห็นว่าเวลาของค่าสัมประสิทธิ์ของสายส่งแบบเหนือดินสายส่งแบบใต้ดิน และสายส่งแบบผสมนั้นจะมีลักษณะของพฤติกรรมที่เกิดขึ้นคล้ายกัน โดยจะเกิดค่าสูงสุดที่ด้านฝั่งรับก่อนและจะเกิดค่าสูงสุดที่ด้านฝั่งส่ง ต่อมา ซึ่งเวลาที่เกิดค่าสูงสุดฝั่งรับจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ด้านฝั่งส่งจะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของระบบส่ง ระบบส่งเหนือดินจะเกิดค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดเร็วกว่าสายส่งแบบผสม และสายส่งแบบใต้ดิน เนื่องจากสายส่งแต่ละรูปแบบจะมีค่าความเร็วของคลื่นที่แตกต่างกัน

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงมุมเกิดฟอลต์ของกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดินที่ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c ที่ระยะ 40% ของสายส่ง ลักษณะของค่าสัมประสิทธิ์ที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามภาพที่ 4.24



ภาพที่ 4.24 ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดขององค์ประกอบความถี่สูงกรณีการเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ระยะ 40% ที่มุมต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงมุมเกิดฟอลต์แบบเฟส a ลัดวงจรลงดิน (single line to ground fault) ระยะ 20% และเฟส b ลัดวงจรเฟส c (line to line fault) ระยะ 40% ของสายส่ง ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้มีค่าเปลี่ยนแปลงตามมุมที่เกิดฟอลต์ โดยระบบสายส่งผสมและสายส่งแบบใต้ดินจะมีค่าสัมประสิทธิ์ของฝั่งส่งมากกว่าฝั่งรับ แต่สายส่งแบบเหนือดินจะมีค่าสัมประสิทธิ์ฝั่งรับมากกว่าฝั่งส่ง ระบบสายส่งผสมมีค่าสูงสุดของฝั่งส่งที่มุม 0 น้อยสุดที่มุม 90 ส่วนฝั่งรับค่าสูงสุดที่มุม 0 น้อยสุดที่มุม 120 ระบบสายส่งเหนือดินมีค่าสูงสุดของฝั่งส่งที่มุม 120 น้อยสุดที่มุม 0 ส่วนฝั่งรับค่าสูงสุดที่มุม 0 น้อยสุดที่มุม 90 ระบบสายส่งใต้ดินมีค่าสูงสุดของฝั่งส่งมุม 0 น้อยสุดที่มุม 120 ส่วนฝั่งรับค่าสูงสุดที่มุม 90 น้อยสุดที่มุม 150



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการวิเคราะห์สัญญาณการเกิดฟอลต์บนสายส่งไฟฟ้าแบบผสมสามารถสรุปขั้นตอนได้ดังนี้

จำลองปรากฏการณ์การเกิดฟอลต์บนสายส่งและสายเคเบิลไฟฟ้าโดยอาศัยโปรแกรม ATPDraw for Windows version 3.65 ที่ได้รับการพัฒนามาจากโปรแกรม ATP/EMTP Alternative Transients Program / Electromagnetic Transients Program โดยใช้กรณีศึกษาในระบบแรงดันไฟฟ้า 115 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) ใช้รูปแบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบวงจรเดี่ยวสายไฟเดี่ยว (Single circuit Single conductor) ทั้งสายส่งแบบเหนือดิน (Overhead) และสายส่งใต้ดิน (Underground Cable) ทำการเปลี่ยนแปลงตามรูปแบบการเกิดฟอลต์คือ ตำแหน่ง ชนิด และมุมที่เกิดฟอลต์

นำสัญญาณกระแสไฟฟ้า 3 เฟสที่เกิดฟอลต์ทั้งฝั่งส่ง (Sending End) และฝั่งรับ (Receiving End) มาคำนวณค่าลำดับกระแสไฟฟ้าคือ ค่ากระแสลำดับบวก (Positive sequence) ค่ากระแสลำดับลบ (Negative sequence) และค่ากระแสลำดับศูนย์ (Zero sequence) จากนั้นนำค่ากระแสไฟฟ้าทั้งหมดมาวิเคราะห์สัญญาณที่เกิดขึ้นในสภาวะชั่วคราว (Transient) ด้วยวิธีการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (DWT) ตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากค่ากระแสลำดับบวกทั้งฝั่งส่งและฝั่งรับพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (DWT) นั้นจะมีค่าสัมประสิทธิ์เปลี่ยนแปลงตามรูปแบบการเกิดฟอลต์คือ ตำแหน่ง ชนิด และมุมที่เกิดฟอลต์ หากเกิดฟอลต์ที่สายส่งใต้ดินค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จะมีค่าสูงกว่าสายส่งเหนือดิน ส่วนฟอลต์ที่เกิดในระบบผสมจะมีพฤติกรรมตามประเภทของสายส่ง ณ จุดที่เกิดฟอลต์ และระยะเวลาในการเกิดค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ หากเกิดใกล้กับฝั่งส่งค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดของฝั่งส่งจะเกิดก่อนค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดของฝั่งรับ ถ้าหากเกิดใกล้กับฝั่งรับค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดของฝั่งรับจะเกิดก่อนค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดของฝั่งส่ง และมุมที่เกิดฟอลต์ก็จะผลต่อค่าสัมประสิทธิ์เช่นกัน โดยที่ค่าสูงสุดที่มุม 0 องศา น้อยสุดที่ 90 องศา และที่มุม 180 - 330 องศา มีลักษณะค่าสัมประสิทธิ์ลักษณะเดียวกับมุมที่ 0-150 องศา ในส่วนของพฤติกรรมการเกิดฟอลต์แบบสองจุดพร้อมกัน ค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดจะไม่เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งฟอลต์ที่เกิด และระยะเวลาในการเกิดค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ที่ใกล้กับฝั่งที่มีการตรวจจับ มุมที่เกิดฟอลต์จะมีค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดที่มุม 0 องศา น้อยสุดที่ 90 องศา และที่มุม 180 - 330 องศา มีลักษณะค่าสัมประสิทธิ์ลักษณะเดียวกับมุมที่ 0-150 องศา ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมของรูปคลื่นของเวฟเลิตนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถนำแนวโน้ม พฤติกรรมการเปลี่ยนของสัมประสิทธิ์ เวลาในการตรวจจับ ฯลฯ มาประยุกต์เพื่อใช้ในการตรวจจับและแบ่งแยกประเภทฟอลต์ หรือนำไปสร้างแนวคิด หรือทฤษฎีใหม่ๆ เพื่อนำมาพัฒนางานวิจัยได้ในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chen Ping and Wang KuixinP, "Fault location technology for high-voltage overhead lines combined with underground power cables based on travelling wave principle", *Advanced Power System Automation and Protection*. IEEE, Volume 1, 16-20 Oct. 2011, Page(s): 748 - 751.
- [2] F.V. Lopes, D. Fernandes and W.L.A. Neves, "A Traveling-Wave Detection/Generation Method Based on Park's Transformation for Fault Locators" *Power Delivery*, 2013.IEEE Transactions, Volume 28, July 2013, Page: 1626 - 1634.
- [3] M. Abedini, A. Hasani, A.H. Hajbabaie and V. Khaligh, "A new traveling wave fault location algorithm in series compensated transmission line", *21st Iranian Conference Electrical Engineering (ICEE)*, 14-16 May 2013, Page: 1 - 6.
- [4] Junyu Han and P.A. Crossley, "Fault location on mixed overhead line and cable transmission networks", *Grenoble PowerTech (POWERTECH)*, 2013 IEEE, 16-20 June 2013, Pages: 1 - 6.
- [5] H. Meyar-Naimi, "A new fuzzy fault locator for series compensated transmission lines", *11th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, 18-25 May 2012, Pages: 53 - 58.
- [6] A. Bedoya-Cadena, C. Orozco-Henao and J. Mora-Flórez, "Single Phase to Ground Fault Locator for Distribution Systems with Distributed Generation", *Transmission and Distribution: Latin America Conference and Exposition (T&D-LA)*, 2012 Sixth, 3-5 Sept. 2012, Pages: 1 - 7.
- [7] Tzu-Chiao Lin, Pei-Yin Lin, and Chih-Wen Liu, "An Algorithm for Locating Faults in Three-Terminal Multisection Nonhomogeneous Transmission Lines Using Synchrophasor Measurements", *Smart Grid Transactions*, Volume:5 , Issue: 1, Jan. 2014, Pages: 38 - 50.
- [8] Yadong Liu, Gehao Sheng, Xiaojun Shen and Xiuchen Jiang, "Distributed Fault Location Based on Comprehensive Analysis of Fault Current", *2012 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD)*, 23-27 Sept. 2012, Pages: 999 - 1002.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [9] M. Pustulka, J. Izykowski and M. Lukowicz, "Comparison of different approaches to arc fault location on power transmission lines", 12th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 5-8 May 2013, Pages: 145 - 149.
- [10] Matthieu Loos, Jean-Claude, MaunMatthias Kereit and Stefan Werben, "Fault Locator Comparison Tool and Designer for Distribution Network", Power and Energy Society General Meeting (PES), 2013 IEEE, 21-25 July 2013, Pages: 1 - 5.
- [11] Minn Thi Nguyet Dinh, M. Bahadornejad, A.S. Al Shahri, N.-K.C. Nair, "Protection schemes and fault location methods for multi-terminal lines: A comprehensive review", Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia), 2013 IEEE, 10-13 Nov. 2013, Pages: 1 - 6.
- [12] Ravindra Kumar and Sanjiv Kumar, "A Novel Technique for Impedance Relay to Locate Fault in Long Transmission Line", Recent Advances in Engineering and Computational Sciences (RAECS), 6-8 March 2014, Pages: 1-6.
- [13] เชาว์วัฒน์ อภิสัทธา. 2554. "การประยุกต์การแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วยสำหรับวิเคราะห์ฟอสต์ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าใต้ดิน." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [14] อรรถพล เก้าพิทักษ์กุล. 2550. "การประยุกต์การแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วยและโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับวินิจฉัยสภาวะผิดปกติในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [15] ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. 2551. การป้องกันระบบไฟฟ้า. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : จี.บี.พี. เซ็นเตอร์จำกัด.
- [16] ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. 2538. การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง. กรุงเทพฯ : ซีเอ็นยูเคชั่น.
- [17] สุชาติ ปรีชาธร. 2555. วิศวกรรมการป้องกันระบบไฟฟ้าแรงสูง (เล่ม1). กรุงเทพฯ : ซีเอ็นยูเคชั่น.
- [18] สุชาติ ปรีชาธร. 2556. วิศวกรรมการป้องกันระบบไฟฟ้าแรงสูง (เล่ม2). กรุงเทพฯ : ซีเอ็นยูเคชั่น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติคณะวิจัย

ประวัติ

ชื่อ-สกุล : ผศ. ชายชาญ โพธิสาร

หน้าที่การงานปัจจุบัน : อาจารย์

ตำแหน่ง : ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษาสูงสุด

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.บ.	วิศวกรรมไฟฟ้า	มอ.	2536
วศ.ม.	วิศวกรรมไฟฟ้า	สจล.	2546

สถานที่ติดต่อ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทร 02-329-8330 โทรสาร 02-329-8330

ประสบการณ์วิจัยหรือสาขาที่ชำนาญ Power System Protection, Application of Artificial Intelligent to power system protection, Lightning Protection

(a) International Conference Papers

1. C. Pothisarn, C. Jettanasen, A. Ngaopitakkul, and C. Apisit, "Identification of Fault Location for Simultaneous Fault in Distribution System using Discrete Wavelet Transform" *In Proceedings of the fifth International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC2010)*, China, December 2010.
2. A. Ngaopitakkul, C. Apisit, C. Jettanasen, and C. Pothisarn, "Identification of Simultaneous Fault Types in Electrical Power System using the comparisons technique of DWT coefficients" *In Proceedings of the fifth International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC2010)*, China, December 2010.
3. C. Pothisarn, A. Ngaopitakkul, W. Pongchaisrikul, C. Apisit, and S. Jonpermpoonpol, "Behavior of winding to ground fault in transformer windings using discrete wavelet transform" *In Proceedings of the fourth IASTED Asian Conference on Power and Energy Systems (AsiaPES2010)*, Thailand, November 2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. C. Pothisarn, S. Bunjongjit, A. Ngaopitakkul, P. Chiradeja, and B. Suechoey, "Application of Discrete Wavelet Transform and Back-propagation Neural Networks for detecting internal faults of Transformer" *In Proceedings of 16th International Conference on Electrical Engineering (ICEE2010)*, Korea, July 2010.
5. C. Pothisarn, and A. Ngaopitakkul, "Wavelet Transform and Fuzzy Logic Algorithm for Fault Location on Double Circuit Transmission Line" *In Proceedings of 16th International Conference on Electrical Engineering (ICEE2010)*, Korea, July 2010.
6. A. Ngaopitakkul, and C. Pothisarn, "Identification of Simultaneous Fault Types on Transmission Systems using Discrete Wavelet transform" *In Proceedings of 16th International Conference on Electrical Engineering (ICEE2010)*, Korea, July 2010.
7. A. Ngaopitakkul, C. Apisit, C. Pothisarn, C. Jettanasen and S. Jaikhan, "Identification of Fault Location in Underground Distribution System using Discrete Wavelet transform" *In Proceedings of 2010 International MultiConference on Engineering and Computer Scientists 2010(IMECS2010)*, Hong Kong, March 2010.
8. C. Pothisarn, and A. Ngaopitakkul, "Application of Discrete Wavelet Transform for fault location on Transmission Network Systems" *In Proceedings of the 8th IET International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management (APSCOM2009)*, Paper No. APSCOM2009-47, Hong Kong, November 2009.
9. 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.
10. 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 2008 International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2008)*, Thailand, February 2009.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้