

การออกแบบอัลกอริทึม สำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดปกติ
ระบบจำหน่าย 22 kV

DESIGN OF AN ALGORITHM FOR FAULTS LOCATION
ON 22 kV DISTRIBUTION SYSTEM

เสกสิทธิ์ เข็มทอง

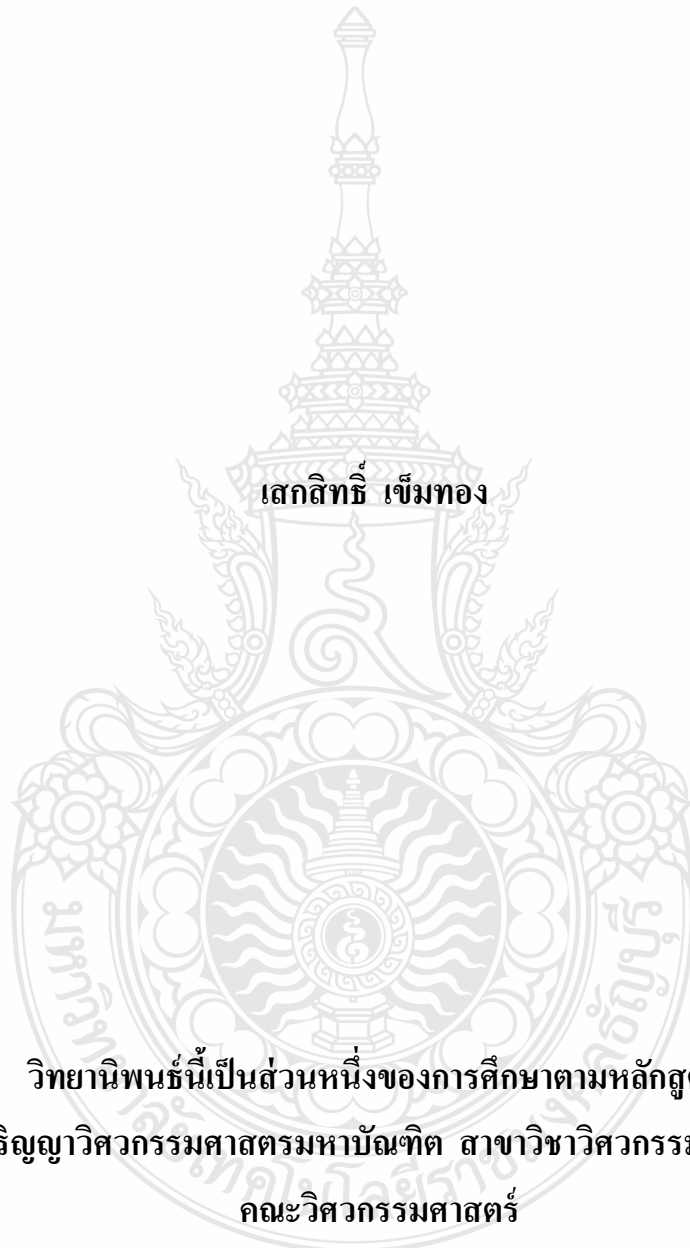
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษาที่ 2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การออกแบบอัลกอริทึม สำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดปกติ
ระบบจำหน่าย 22 kV



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษาที่ 2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบอัลกอริทึม สำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดปกติในระบบจำหน่าย 22 เควี
ชื่อ-นามสกุล	นายเสกสิทธิ์ เข้มทอง
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบอัลกอริทึม สำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ในการป้องกันสายส่งแรงสูงในระบบจำหน่ายไฟฟ้าใช้รีเลย์กระแสเกินเป็นตัวป้องกันเท่านั้น แต่ยังไม่มีการนำรีเลย์ระยะทางมาใช้เนื่องจากมีราคาแพงอีกทั้งระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีการขยายวงจรรายจ่ายไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ทำให้ต้องปรับตั้งค่ารีเลย์ระยะทางตามการขยายวงจรรายจ่ายไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น

การออกแบบอัลกอริทึมได้จำลองระบบไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม ATP-EMTP กำหนดให้มีค่าแรงดันไฟฟ้าขนาด 22 เควี ความถี่ไฟฟ้าขนาด 50 เฮิรตซ์ หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 50 เมกกะวัตต์ สายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแทนด้วยพารามิเตอร์ตัวต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำโดยไม่คำนึงถึงตัวเก็บประจุ สายจำหน่ายไฟฟ้าหลักยาว 40 กิโลเมตร และสายจำหน่ายไฟฟ้ากิ่งย่อยจำนวน 10 วงจร การจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าสามารถทดสอบตำแหน่งการเกิดความผิดปกติได้ 100 จุด และขณะเกิดความผิดปกติขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะวัดรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเพื่อนำมาวิเคราะห์หาตำแหน่งและชนิดของความผิดปกติโดยอาศัยความสัมพันธ์ของอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าต่อกระแสไฟฟ้า

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม เพื่อค้นหาตำแหน่งความผิดปกติทดสอบโดยการสุ่มตำแหน่งความผิดปกติ และสุ่มค่าความต้านทานผิดปกติจำนวน 300 ครั้ง พบว่าค่าความผิดพลาดสูงสุด เป็นความผิดปกติชนิดเฟสลงดิน มีค่าเท่ากับร้อยละ 4.9987 รองลงมาเป็นความผิดปกติระหว่างเฟสกับเฟส มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.8345 และต่ำสุดเป็นความผิดปกติสามเฟสมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.8344 และยืนยันผลการทดสอบภาคสนาม โดยใช้ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสำหรับทดสอบ เกิดความผิดพลาดในการคำนวณหาตำแหน่งความผิดปกติสูงสุดไม่เกิดร้อยละ 5 ดังนั้นอัลกอริทึมสามารถช่วยลดเวลาค้นหาตำแหน่งความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้

คำสำคัญ: รีเลย์ระยะทาง ตำแหน่งเกิดความผิดปกติ ดิสครีทฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม เอทีพี/อีเอ็มทีพี

Thesis Title	Design of an Algorithm for Faults Location on 22 kV Distribution System
Name – Surname	Mr. Seksit Kheamtong
Program	Master of Engineering
Study Program	Electrical Engineering
Thesis Advisor	Dr.Krischonme Bhumkittipich
Academic Year	2011

ABSTRACT

This thesis presents the design of an algorithm for fault locations on the power distribution system due to the over current relay that usually as the protection device. In general, distance relay is not used in distribution system because of its high cost and complexity. Therefore, this thesis propose to the calibration of the impedance value of distance relay based on the extended electrical circuits.

The proposed algorithm is simulated by using ATP-EMTP program with 22 kV, 50 Hz electrical system and 50 MVA transformer. The distribution system is modeled by using resistor and inductor as the system parameters, and ignores the capacitor effect. The 40 km main distribution line and 10 branch circuits of distribution line are simulated for 100 testing points of fault location. Moreover, when the fault occurred in the distribution system, the voltage waveform and current duplication are gained to analyze the fault location and fault type with the relation of proportion of voltage per current.

It is found that in terms of efficiency test of algorithm of fault location by randomly testing both fault location and fault resistor for 300 times. The maximum error value of three types of fault. Normally, the phase to ground type, phase to phase, and three-phase, are 4.9987%, 2.8345%, 2.8344%, respectively. The field test confirm the distribution system of Provincial Electricity Authority that the error of searching for the fault location is less than 5%. Therefore, the algorithm is able to reduce the time of searching for fault location in the electrical distribution system.

Keywords: distance relay, fault location, discrete fourier transform, ATP-EMTP

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูง จาก ดร. บุญยัง ปลั่งกลาง ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ฉัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.พินิจ ศรีธร ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 4 ท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้คำแนะนำและคำปรึกษาอันเป็น ประโยชน์ในการทำวิจัย ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 4 ท่าน ที่สละเวลาอันมีค่าสัมภาษณ์และซักถาม เป็นผลให้งานวิจัยมีความชัดเจน ครบถ้วนและสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้จริง ขอขอบคุณบุคลากร บัณฑิตวิทยาลัยทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือตลอดช่วงเวลาของการศึกษาและทำการ วิจัย ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาบ่มเพาะจนผู้วิจัยมีความสามารถ นำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้

คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

เสกสิทธิ์ เข้มทอง



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 สมมุติฐานการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	4
1.6 ข้อยกเว้นของการวิจัย.....	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.8 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	5
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ความผิดปกติในระบบไฟฟ้า.....	7
2.2 เฟสเซอร์ (Phasor).....	13
2.3 การคำนวณค่าเฟสเซอร์ด้วยวิธีดิสมิทฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม.....	24
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อออกแบบอัลกอริทึม.....	25
2.5 สรุปผลทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
3 วิธีดำเนินการ.....	32
3.1 การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับประมวลผล ติดตามค่าเฟสเซอร์ของรูปคลื่นกระแสและแรงดันไฟฟ้า.....	32
3.2 การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับคำนวณหาตำแหน่งเกิดความผิดปกติ.....	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การเลือกค่ารีแอกแตนต์ปรากฏ.....	42
3.4 การเลือกใช้อัลกอริทึมคำนวณหารีแอกแตนต์ปรากฏ	44
3.5 แนวทางในการแยกแยะตำแหน่งผิดพลาดที่เกิดขึ้นในสายจำหน่ายหลัก และสายจำหน่าย กิ่งย่อย.....	58
3.6 สรุป.....	54
4 ผลการทดลอง	55
4.1 รูปแบบและรายละเอียดการทดสอบอัลกอริทึม	55
4.2 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมสำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดพลาด.....	59
4.3 ผลการทดสอบความแม่นยำในการบอกตำแหน่งผิดพลาดชนิดเฟส-ดิน	64
4.4 ผลการทดสอบความแม่นยำในการบอกตำแหน่งผิดพลาดชนิดระหว่างเฟส.....	64
4.5 ผลการทดสอบความแม่นยำในการบอกตำแหน่งผิดพลาดชนิดสามเฟส.....	65
4.6 เปรียบเทียบค่าความแม่นยำในการบอกตำแหน่งผิดพลาดระหว่างความผิดพลาด 3 ชนิด.....	66
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	68
5.1 สรุปสาระสำคัญของงานวิจัย.....	68
5.2 สิ่งที่ควรจะทำงานวิจัยเพิ่มเติมในอนาคต	69
รายการอ้างอิง.....	70
ภาคผนวก.....	71
ก.1 หลักการและการใช้งานโปรแกรม ATP/EMTP เบื้องต้น.....	73
ก.2 ขั้นตอนการรันโปรแกรม ATP/EMTP ในงานวิจัย	96
ก.3 การเชื่อมต่อข้อมูลจากโปรแกรม ATP/EMTP กับ MATLAB	101
ข.1 ตารางแสดงข้อมูลสายตัวนำของผู้ผลิต	105
ข.2 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของสาย ระบบจำหน่ายแรงสูง 22 เควี	109
ค งานวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่	113
ประวัติผู้เขียน.....	140

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเลือกคู่แรงดันและกระแสไฟฟ้าเพื่อคำนวณหาตำแหน่งความผิดพลาด	27
3.1 แสดงการเลือกสัญญาณกระแส และแรงดันไฟฟ้า เพื่อนำมาคำนวณหาค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ X _{app} และขอบเขตของตำแหน่งผิดพลาด	42
4.1 ค่าพารามิเตอร์ของสายไฟในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบองค์ประกอบสมมาตร	57
4.2 ค่าพารามิเตอร์ของสายไฟจำหน่ายไฟฟ้าแบบระบบบิภาคเฟส	57
4.3 การเลือกสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดันไฟฟ้า เพื่อนำมาคำนวณหาค่ารีแอกแตนซ์ ปรากฏ X _{app} และขอบเขตของตำแหน่งผิดพลาดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า	60
4.4 การแจกแจงความถี่ ร้อยละของค่าความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดใน ระบบจำหน่ายไฟฟ้า ชนิดเฟส - ดิน	64
4.5 การแจกแจงความถี่ ร้อยละของค่าความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งความผิดพลาด ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ชนิดระหว่างเฟส	65
4.6 การแจกแจงความถี่ ร้อยละของค่าความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดใน ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ชนิดสามเฟส	66



สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 รูปแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าระบบ 22 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	1
1.2 ขั้นตอนการแก้กระแสไฟฟ้าขัดข้องของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	2
2.1 รูปคลื่นแรงดันเมื่อเกิดความผิดปกติแบบสมมาตร	9
2.2 การเกิดแรงดันไฟฟ้าไม่สมมาตรในระบบไฟฟ้า 3 เฟส	10
2.3 องค์ประกอบของความไม่สมมาตรของแรงดัน 3 เฟส	11
2.4 สัญญาณ โคลิซันซึ่งมีความถี่เดียวเป็น f_0	14
2.5 เฟสเซอร์ของสัญญาณ โคลิซัน	15
2.6 รูปคลื่นไซน์ของ $v(t)$	15
2.7 เวกเตอร์หมุน $\vec{v}(t)$	17
2.8 ผลรวมของแรงดัน $v_1(t)$ และ $v_2(t)$	20
2.9 รูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้า $v_1(t)$ และ $v_2(t)$	22
2.10 วงจรสมมูลแสดงการคำนวณหาตำแหน่งความผิดปกติ	27
3.1 โครงสร้างอัลกอริทึมแบบปรับตัวเองได้ สำหรับประมาณและติดตามค่าเฟสเซอร์	33
3.2 วงจรสมมูลสำหรับพิจารณาผลของกระแสไหลคที่ทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนในการ คำนวณหาตำแหน่งความผิดปกติ	38
3.3 วงจรสมมูลสำหรับพิจารณาผลของค่าความต้านทานผิดปกติที่ทำให้เกิดค่าความ คลาดเคลื่อนในการคำนวณหาตำแหน่งความผิดปกติ	41
3.4 สัญญาณกระแสและค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ	43
3.5 โครงสร้างอัลกอริทึมแบบปรับตัวเองได้แบบใหม่สำหรับปริมาณและติดตาม ค่าเฟสเซอร์	45
3.6 สัญญาณกระแสผิดปกติ และเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์	46
3.7 ผังการทำงานในการเลือกใช้อัลกอริทึมเพื่อคำนวณหาค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ	47
3.8 วงจรสมมูลของอิมพีแดนซ์รวม	49
3.9 ระบบจำหน่ายที่ใช้ทำการศึกษา	50
3.10 สัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าผิดปกติ	51
3.11 เวลาที่ฟิวส์หลอมละลายและค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ	51
3.12 แผ่นที่หาตำแหน่งของความผิดปกติชนิดเฟส – ดิน	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.13 แผนผังเวลาการทำงานของฟิวส์ขนาด 25 K.....	54
4.1 ระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษาความแม่นยำในการบอกตำแหน่งผิดพร่อง.....	56
4.2 การจำลองค่าความต้านทานผิดพร่อง R_f ชนิดต่างๆ.....	58
4.3 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าขณะเกิดความผิดพร่องชนิดเฟส c ลงดิน	59
4.4 สัญญาณกระแสไฟฟ้าขณะเกิดความผิดพร่องชนิดเฟส c ลงดิน	60
4.5 แผนภูมิแท่ง ร้อยละของความผิดพลาดสูงสุดในการบอกตำแหน่งความผิดพร่อง	67
4.6 แผนภูมิแท่ง ร้อยละของความผิดพลาดเฉลี่ยในการบอกตำแหน่งความผิดพร่อง.....	67



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$I_{\text{pre-fault}}$	กระแสก่อนเกิดความผิดปกติ
$I_{\text{during-fault}}$	กระแสด้านเกิดความผิดปกติ
$ \text{Error}(k) $	ขนาดของค่าความผิดพลาด
$ I_{\text{phasor}} $	ขนาดของเฟสเซอร์กระแสผิดปกติ
$\text{Error}_{\text{relative}}(k)$	เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์
Z_{Load}	ค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดก่อนเกิดความผิดปกติ
$V_{\text{Pre-fault}}$	เฟสเซอร์ของแรงดันก่อนเกิดความผิดปกติ
$I_{\text{Pre-fault}}$	เฟสเซอร์ของกระแสก่อนเกิดความผิดปกติ
Z_{Total}	ค่าอิมพีแดนซ์รวม
$V_{\text{During-fault}}$	เฟสเซอร์ของแรงดันขณะเกิดความผิดปกติ
$I_{\text{During-fault}}$	เฟสเซอร์ของกระแสด้านเกิดความผิดปกติ
r_0, x_0	ค่าความต้านทานลำดับศูนย์ และค่ารีแอกแตนซ์ลำดับศูนย์ตามลำดับ
r_1, r_2	ค่าความต้านทานลำดับบวก และค่าความต้านทานลำดับลบตามลำดับ
x_1, x_2	ค่ารีแอกแตนซ์ลำดับบวก และค่ารีแอกแตนซ์ลำดับลบตามลำดับ
r_s, x_s	ค่าความต้านทานเฟส (Self-resistance) และค่ารีแอกแตนซ์เฟส (Self-reactance) ตามลำดับ
r_m, x_m	ค่าความต้านทานเหนี่ยวนำระหว่างเฟส (Mutual Resistance) และค่ารีแอกแตนซ์เหนี่ยวนำระหว่างเฟส (Mutual Reactance) ตามลำดับ
V_a	ค่าแรงดันระหว่างเฟส A กับนิวตรอน
V_b	ค่าแรงดันระหว่างเฟส B กับนิวตรอน
V_c	ค่าแรงดันระหว่างเฟส C กับนิวตรอน
V_a^0, V_b^+, V_c^-	ค่าองค์ประกอบแรงดันลำดับศูนย์ ลำดับบวก และลำดับลบ ที่แสดงนี้เป็นแรงดันที่เฟส A
v_a^0, v_a^+, v_a^-	ค่าองค์ประกอบแรงดันลำดับศูนย์ ลำดับบวก และลำดับลบ ที่แสดงนี้เป็นแรงดันที่เฟส A

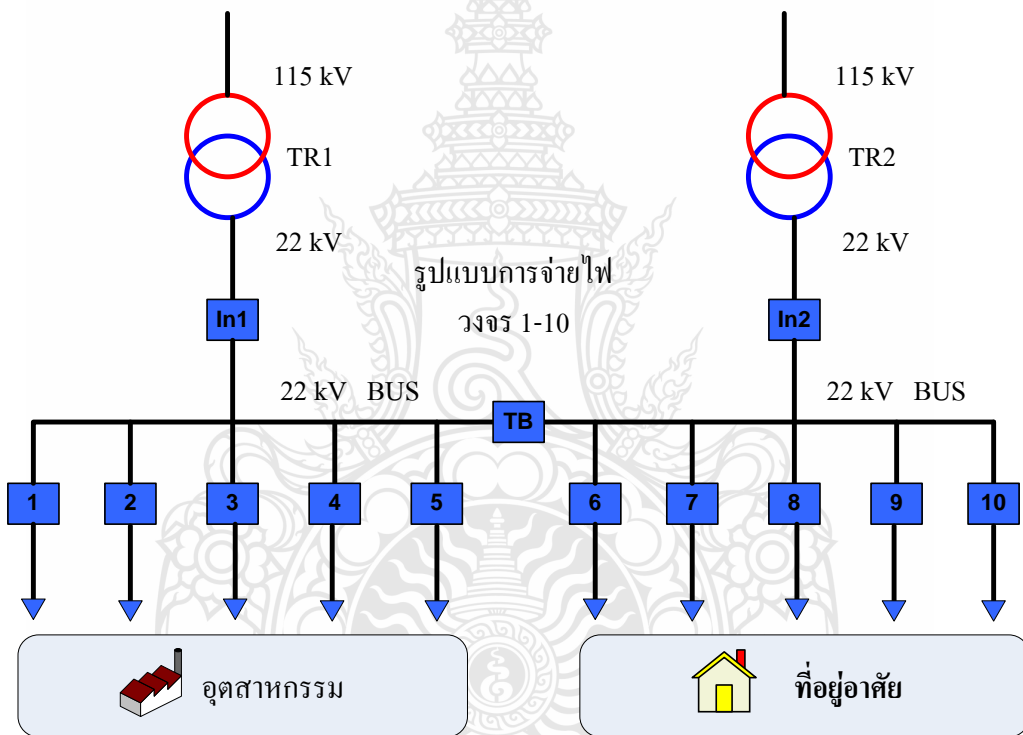
f	ความถี่ของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าซึ่งมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz)
ω_s	เป็นความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity)
$v(t)$	ค่าแรงดันฉับพลัน (Instantaneous Voltage) ซึ่งมีขนาดเปลี่ยนแปลงตามเวลา
$i(t)$	ค่ากระแสฉับพลัน (Instantaneous Current) ซึ่งมีขนาดเปลี่ยนแปลงตามเวลา
$\sqrt{2}V$	คือ ค่าแรงดันสูงสุดหรือยอด (Peak Voltage) ซึ่งมีขนาดไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา
$\sqrt{2}I$	ค่ากระแสสูงสุดหรือยอด (Peak Current) ซึ่งมีขนาดไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา
V	ค่าแรงประสิทธิผลหรือรากกำลังสองเฉลี่ย (Root - mean -square- ,rms Voltage) ซึ่งมีขนาดไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา
I	ค่ากระแสประสิทธิผล (rms Current) ซึ่งมีขนาดไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา
θ_v^0	มุมเฟสเริ่มต้นหรือตำแหน่งเริ่มต้น (Initial Phase Angle)
θ_i^0	มุมเฟสเริ่มต้นหรือตำแหน่งเริ่มต้นของกระแส
X_c^r	ส่วนประกอบสัญญาณที่เป็นส่วนจริง
X_s^r	ส่วนจินตภาพของสัญญาณ
x_k	สัญญาณขาเข้าที่ตำแหน่ง k ของหน้าต่างรับข้อมูล
N	จำนวนข้อมูลในหนึ่งคาบของสัญญาณ
Z_{OL}	ค่าอิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์ต่อหนึ่งความยาวสาย
Z_{1L}	ค่าอิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์ต่อหนึ่งความยาวสาย
m	ระยะทางที่เกิดความผิดพร่อง หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์
I_o	กระแสลำดับศูนย์

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มีหน้าที่จำหน่ายไฟฟ้าผ่านระบบสายส่งระดับแรงดันไฟฟ้า 115 กิโลโวลต์และระบบจำหน่ายไฟฟ้า ระดับแรงดันไฟฟ้า 69 , 33 , 22 กิโลโวลต์ และ 380/220 โวลต์ ปัญหากระแสไฟฟ้าขัดข้องกับระบบ 22 กิโลโวลต์ ซึ่งมีรูปแบบการจ่ายไฟดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 รูปแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าระบบ 22 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ปัจจุบันการบริหารจัดการเพื่อแก้ไขปัญหากระแสไฟฟ้าขัดข้อง ซึ่งมีขั้นตอนการแก้กระแสไฟฟ้าขัดข้องตามภาพที่ 1.2 ส่วนใหญ่อาศัยการรับแจ้งเหตุกระแสไฟฟ้าขัดข้องจากผู้ใช้ไฟฟ้า และมีบางส่วนรับแจ้งเหตุกระแสไฟฟ้าขัดข้องจากระบบคอมพิวเตอร์ SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) ของศูนย์ส่งจ่ายไฟ ข้อมูลที่ได้รับแจ้งกระแสไฟฟ้าขัดข้องจากผู้ใช้ไฟสามารถระบุพื้นที่ไฟฟ้าขัดข้องได้เพียงพื้นที่กว้างๆเท่านั้นไม่สามารถระบุตำแหน่งการเกิดความผิดปกติ

แน่นอนได้ ทำให้ชุดแก้กระแสไฟฟ้าขัดข้องต้องเสียเวลาไปกับการค้นหาตำแหน่งความผิดปกติเป็นอย่างมาก

วิธีการค้นหาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติของระบบไฟฟ้า โดยชุดแก้กระแสไฟฟ้าขัดข้อง เริ่มจากการตรวจสอบด้วยสายตา โดยใช้รตวิ้งอย่างซ้ำๆ ให้คนคอยสังเกตความผิดปกติของอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น ฟิวส์ , ลูกถ้วย , สายไฟ , กิ่งไม้ หรือสัตว์ เป็นต้น ที่เป็นสาเหตุของการเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้อง หากพบจุดเกิดความผิดปกติและสาเหตุก็จะทำการแก้ไข แต่ถ้าหากไม่พบสิ่งผิดปกติจะมีขั้นตอนการทำงานต่อไป



ภาพที่ 1.2 ขั้นตอนการแก้กระแสไฟฟ้าขัดข้องของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ยกตัวอย่างเช่น ทดลองเปิด-ปิดสวิตซ์ตัดตอนที่อยู่ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นช่วงๆ เพื่อต้องการระบุขอบเขตในการค้นหาตำแหน่งเกิดผิดปกติให้แคบลงหรือทดลองจ่ายไฟฟ้าคืนระบบซ้ำจนสามารถพบสาเหตุของการเกิดความผิดปกติ เช่น ลูกถ้วยไฟฟ้าเกิดอาร์คเสียหาย มองเห็นอย่างชัดเจน จึงดำเนินการแก้ไขต่อไป [1]

จากปัญหาการค้นหาตำแหน่งความผิดปกติของระบบไฟฟ้า ซึ่งต้องใช้ข้อมูลจากการรับแจ้งเหตุกระแสไฟฟ้าขัดข้องจากผู้ใช้ไฟเป็นส่วนใหญ่ และใช้การค้นหาของชุดแก้กระแสไฟฟ้าขัดข้องซึ่งใช้การตรวจสอบด้วยสายตา ทำให้เสียเวลาอย่างมากในการค้นหาจุดเกิดความผิดปกติ

ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการที่จะช่วยลดเวลาที่สูญเสียไปสำหรับค้นหาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติให้รวดเร็วขึ้น โดยการออกแบบอัลกอริทึมที่สามารถระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยอาศัยการวัดรูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าก่อนและขณะเกิดความผิดปกติเพื่อนำมาคำนวณหาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าต่อกระแสไฟฟ้านั้นก็คือค่า อิมพีแดนซ์ ของระบบ แล้วนำค่า อิมพีแดนซ์ ที่ได้มาคำนวณหาระยะทางที่เกิดความผิดปกติต่อไป

จากภาพที่ 1.2 เวลาที่สูญเสียไปสำหรับค้นหาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติในส่วนที่ 3 ถึง 4 สามารถลดลงได้ โดยการออกแบบอัลกอริทึมที่สามารถระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้าและสามารถพัฒนาเป็นเครื่องต้นแบบ สำหรับใช้ค้นหาตำแหน่งการเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้าอัตโนมัติได้ในอนาคตโดยไม่ต้องรอการรับแจ้งจากผู้ใช้ไฟ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณลักษณะรูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้า ขณะเกิดความผิดปกติขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้าระดับแรงดันไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์

1.2.2 เพื่อศึกษาอัลกอริทึมแบบต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดปกติในระบบไฟฟ้า

1.2.3 เพื่อออกแบบอัลกอริทึม ที่สามารถค้นหาตำแหน่งความผิดปกติ และแยกประเภทของความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ระดับแรงดันไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

ปัจจุบันการค้นหาตำแหน่งความผิดปกติที่เกิดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มีเพียงรีเลย์กระแสเกินสำหรับบอกปริมาณกระแสลัดวงจรที่เกินจากจุดที่ตั้งไว้ และประเภทของความผิดปกติเท่านั้น รีเลย์กระแสเกินไม่สามารถระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้าได้ การออกแบบอัลกอริทึมที่สามารถค้นหาตำแหน่งความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าขนาด 22 กิโลโวลต์ โดยอาศัยการวัดรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าก่อนและขณะเกิดความผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้า เพื่อนำมาคำนวณหาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าต่อกระแสไฟฟ้า นั่นก็คือค่า อิมพีแดนซ์ของระบบแล้วนำค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้มาคำนวณหาระยะทางที่เกิดความผิดปกติ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ศึกษาคุณลักษณะแรงดัน และกระแสไฟฟ้าในสภาวะปกติและเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า โดยใช้การจำลองผลผ่านโปรแกรม ATP/EMTP และโปรแกรม MATLAB

1.4.2 ออกแบบอัลกอริทึม สำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดปกติ และแยกประเภทของความผิดปกติ ชนิดความผิดปกติถาวรของระบบจำหน่ายไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการออกแบบอัลกอริทึม ที่ใช้สำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดัน 22 กิโลโวลต์ โดยอาศัยการจำลองผลการเกิดความผิดปกติชนิดต่างๆ ผ่านโปรแกรม ATP/EMTP (Alternative Transient Program) และใช้วิธีวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์โดยโปรแกรม MATLAB วิเคราะห์รูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าขณะเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้า มีขั้นตอนดังนี้

1.5.1 ศึกษาคุณลักษณะของรูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้า ในสภาวะปกติและเมื่อขณะเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า

1.5.2 ศึกษาหลักการออกแบบอัลกอริทึมและการทำงานของรีเลย์แบบระยะทางที่มีอยู่ในปัจจุบัน

1.5.3 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล การทำงานของอุปกรณ์บันทึกรูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้า

1.5.4 สร้างแบบจำลอง ระบบจำหน่ายไฟฟ้าระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์ โดยใช้โปรแกรม ATP/EMTP เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของรูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้า ในสภาวะปกติและเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

1.5.5 ใช้โปรแกรม MATLAB ในการออกแบบอัลกอริทึม สำหรับวิเคราะห์และคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ จากความสัมพันธ์ของอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขณะเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

1.5.6 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อน ของตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติที่เกิดขึ้นจริงกับค่าที่ได้จากการคำนวณได้จากอัลกอริทึมที่ออกแบบ

1.5.7 ทดสอบอัลกอริทึมพร้อมทั้งปรับปรุง

1.5.8 สรุปวิเคราะห์ผลการทดลองและอภิปรายผลการวิจัย

1.6 ข้อจำกัดของการวิจัย

อัลกอริทึมที่ออกแบบ สำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดพลาด ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า อาศัย การประมวลผลจากรูปคลื่นแรงดัน และกระแสไฟฟ้า จากจุดวัดด้านเดียวคือที่บัสจ่ายไฟ เนื่องจากการ ไฟฟ้าส่วนภูมิภาคยังไม่มีความพร้อมของอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้าและระบบสื่อสาร ถ้าในอนาคต อุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้าและระบบสื่อสารพัฒนาสมบูรณ์ขึ้น สามารถที่จะออกแบบอัลกอริทึม สำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดพลาด ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยประมวลผลจากรูปคลื่นแรงดัน และกระแสไฟฟ้า จากจุดวัดด้านโหลดร่วมด้วย จะทำให้ผลการคำนวณมีความถูกต้องแม่นยำและมีความ น่าเชื่อถือมากขึ้น

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ได้ทราบคุณลักษณะของรูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้า ในสภาวะปกติและเมื่อ ขณะเกิดความผิดพลาดขึ้นในระบบไฟฟ้า

1.7.2 ได้อัลกอริทึม สำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดพลาด และแยกประเภทของความผิด พว่องในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ระดับแรงดันไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์

1.7.3 ลดเวลาการค้นหาตำแหน่งความผิดพลาดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

1.8 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

การนำเสนอวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีด้วยกัน 5 บท โดยเนื้อหาที่สำคัญในแต่ละบทมีดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความล่าช้าของงานแก้ กระแสไฟฟ้าขัดข้องของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และแนวทางการแก้ไขโดยใช้งานวิจัยออกแบบ อัลกอริทึมที่สามารถค้นหาตำแหน่งความผิดพลาดและแยกประเภทของความผิดพลาดในระบบ จำหน่ายไฟฟ้า และมีเนื้อหาเกี่ยวกับความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย สมมุติฐานของการ วิจัย ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนการวิจัย ข้อจำกัดของการวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจาก งานวิจัย เป็นต้น

บทที่ 2 กล่าวถึงงานวิจัยที่มีมาก่อน เกี่ยวกับการหาตำแหน่งความผิดพลาด ที่เกิดกับระบบ ไฟฟ้า โดยเน้นในการออกแบบอัลกอริทึมที่ง่ายต่อการนำไปสร้างโปรแกรมค้นหาตำแหน่งความผิด พว่องในระบบไฟฟ้า หาวิธีการที่ลดความซับซ้อนของการคำนวณ ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดความ ผิดพลาดในการคำนวณ และกล่าวถึงทฤษฎีที่นำมาใช้ออกแบบอัลกอริทึม ซึ่งประกอบไปด้วยการ ประมาณการค่าเฟสเซอร์ หน้าต่างรับข้อมูล การคำนวณค่าเฟสเซอร์ด้วยวิธีดิครีทฟูเรียร์ทราน

ฟอร์ม และการวิเคราะห์ คุณลักษณะของแรงดันและกระแสไฟฟ้า เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า ชนิดต่าง ๆ

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบอัลกอริทึม สำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้าระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์ เริ่มจากกระบวนการจำลองผลการเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ผ่านโปรแกรม ATP/EMTP และบันทึกข้อมูลรูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ได้จากโปรแกรม ATP/EMTP ทั้งก่อนและขณะเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาเข้าโปรแกรม MATLAB ประมวลผลหาค่าเฟสเซอร์ของรูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้า แยกส่วนประกอบของเฟสเซอร์ส่วนจริงและส่วนจินตภาพของรูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้า เพื่อนำมาใช้สำหรับคำนวณหาค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ สำหรับคำนวณหาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้าต่อไป

บทที่ 4 ผลการทดลองค่าความแม่นยำในการบอกตำแหน่งความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ตามการออกแบบอัลกอริทึมในบทที่ 3 โดยมีการจำลองสถานการณ์เกิดความผิดปกติในจุดต่าง ๆ ของแบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า จำนวน 100 จุด และ วิเคราะห์หาค่าความแม่นยำตามชนิดของความผิดปกติออกเป็น 3 กรณีศึกษา ได้แก่ ความผิดปกติชนิดเฟส-ดิน ความผิดปกติชนิดระหว่างเฟส และ ความผิดปกติชนิดสามเฟส

บทที่ 5 สรุปสาระสำคัญของงานวิจัยในประเด็นต่างๆ และสิ่งที่ควรทำการวิจัยเพิ่มเติมในอนาคต



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความผิดปกติในระบบไฟฟ้า

ในปัจจุบันระบบไฟฟ้ากำลังจะผลิตและส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นแบบระบบ 3 เฟสสมดุล และกระแสของโหลดก็ใกล้เคียงกับกระแสพิกัด แต่เมื่อเกิดความผิดปกติ (Fault) ขึ้นในระบบ ซึ่งความผิดปกติสามารถเกิดได้เสมอโดยทั่วไปกระแสผิดปกติจะมีค่าสูงกว่ากระแสพิกัดหลายเท่าดังนั้นจึงจำเป็นต้องตัดส่วนที่ผิดปกติออกจากระบบโดยเร็วที่สุดซึ่งจะอาศัยระบบป้องกัน ปริมาณกระแสผิดปกติแปรไปตามตำแหน่งและชนิดของการผิดปกติ

การรบกวน (Disturbance) อาจทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังเปลี่ยนสถานการณ์ทำงานจากสภาวะปกติสู่สภาวะที่ไม่ปกติ เช่น เกิดกระแสไฟฟ้าจำนวนมากไหลผ่านลงดินเนื่องจากฉนวนของลูกถ้วยเสื่อมสภาพลง หรือเกิดกระแสไฟฟ้าจำนวนมากไหลข้ามระหว่างสายส่งเส้นหนึ่งไปยังอีกเส้นหนึ่งเมื่อสายส่งเหล่านั้นสัมผัสกัน หรือเกิดกระแสไฟฟ้าจำนวนมากไหลลงดินในขณะที่เกิดวาบไฟตามผิวของลูกถ้วย (Flashover) เนื่องจากฟ้าผ่า การเกิดกระแสจำนวนมากไหลในสภาวะที่ไม่ปกติเรียกว่าการลัดวงจร (Short circuit) หรือเกิดความผิดปกติ ความผิดปกตินี้สามารถแบ่งออกเป็นสองแบบได้แก่ ความผิดปกติแบบชั่วคราว (Temporary Fault) และความผิดปกติแบบถาวร (Permanent Fault) ความผิดปกติชั่วคราวสามารถขจัดโดยอาศัยเซอร์กิตเบรกเกอร์ เซอร์กิตเบรกเกอร์สำหรับระบบแรงดันไฟฟ้าสูงโดยส่วนใหญ่จะติดตั้งด้วยอุปกรณ์ปิดช้าความเร็วสูงหรือที่เรียกว่า รีโคลสเซอร์ (Recloser) เซอร์กิตเบรกเกอร์นี้จะแยกวงจรหรือเปิดวงจรออกชั่วคราวเพื่อตัดกระแส (Interrupting) ผิดพร้อมทันทีที่ได้รับคำสั่งจากรีเลย์ หลังจากนั้น เซอร์กิตเบรกเกอร์จะปิดเพื่อต่อวงจรไฟฟ้าใหม่อีกครั้ง เมื่อได้รับคำสั่งจากรีโคลสเซอร์ หากความผิดปกตินั้นหายไประบบไฟฟ้าจะกลับมาทำงานได้ปกติอีกครั้ง หากความผิดปกตินั้นยังคงอยู่และอาจกลายเป็นความผิดปกติแบบถาวร ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อสายส่งและอุปกรณ์ต่างๆ เซอร์กิตเบรกเกอร์จะเปิดวงจรไฟฟ้าออกอย่างถาวรจนกว่าจะมีคำสั่งจากผู้ปฏิบัติงาน การคำนวณหากระแสผิดปกติ จะตั้งสมมติฐานดังต่อไปนี้

1. เมื่อเกิดการลัดวงจรกระแสส่วนใหญ่จะไหลไปยังจุดที่เกิดความผิดปกติ ดังนั้นเพื่อที่จะลดความยุ่งยากในการคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ที่ต่อขนานระหว่างสายส่งไฟฟ้ากับดิน อาจไม่นำมาพิจารณา เช่น ค่าความจุของสายส่ง ค่าความต้านทานของหม้อแปลงซึ่งเกิดจากการสูญเสียในแกนเหล็ก และค่ารีแอคแตนซ์ร่วม (Mutual Reactance) ของหม้อแปลงไฟฟ้า รวมทั้งค่าอิมพีแดนซ์ต่างๆ ของโหลด

2. เนื่องจากกระแสผิดพลาดนั้นมีปริมาณมากกว่ากระแสโหลดมาก กระแสโหลดขณะก่อนเกิดความผิดพลาด (Prefault Current) อาจไม่นำมาพิจารณาในการคำนวณก็ได้ ดังนั้นขนาดของแรงดันก่อนเกิดความผิดพลาดที่บัสใด ๆ จึงมีค่าใกล้เคียงกับค่าพิกัด ในกรณีที่ผู้คำนวณต้องการพิจารณากระแสโหลดในขณะที่คำนวณหาค่ากระแสผิดพลาดก็สามารถทำได้โดยใช้ทฤษฎีการวางซ้อน (Superposition Theorem)

3. พิจารณาจุดแยก (Tap) ของหม้อแปลงไฟฟ้าว่าทำงานอยู่ที่จุดแยกที่ระบุ (Nominal Tap)

4. ค่าความต้านทานของสายส่งและหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบส่งแรงดันสูงจะไม่ถูกนำมาพิจารณาเนื่องจากมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่ารีแอกแตนซ์

5. ทันทีที่เกิดความผิดพลาดขึ้นในระบบไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งโครนัสจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา จากภาวะชั่วแวบไปสู่สถานะชั่วครู่และเข้าสู่ภาวะอยู่ตัวในที่สุด การคำนวณหาขนาดกระแสผิดพลาดหลังเกิดความผิดพลาดหรือในขณะที่เซอร์กิตเบรกเกอร์เริ่มทำงานเพื่อตัดกระแสผิดพลาดนั้น ค่ารีแอกแตนซ์ที่เลือกใช้ในการคำนวณกระแสผิดพลาดจะต้องมีความเหมาะสมและสอดคล้องกับช่วงเวลาเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงาน เช่น หากเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานภายในเวลา 2 ไซเคิล ค่ารีแอกแตนซ์ชั่วแวบ ควรนำมาใช้ในการคำนวณ เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเครื่องจักรกลไฟฟ้ายังคงทำงานอยู่ในภาวะสถานะชั่วแวบ หากเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานช้ามากถึง 10 ไซเคิล ก็ควรใช้ค่ารีแอกแตนซ์ชั่วครู่แทน เพราะสถานะชั่วแวบได้หมดลงแล้ว นอกจากนี้การคำนวณหากระแสไฟฟ้าผิดพลาดควรพิจารณาผลกระทบของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีต่อกระแสไฟฟ้าผิดพลาดในกรณีที่มอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งอยู่ในระบบไฟฟ้านั้น ๆ มีขนาดใหญ่มากกว่า 50 แอมป์ ขึ้นไป เนื่องจากขณะที่เกิดความผิดพลาด มอเตอร์จะยังคงหมุนอยู่อย่างต่อเนื่องโดยอาศัยความเฉื่อยของตัวโรเตอร์เองและความเฉื่อยของโหลดทางกลที่ต่ออยู่กับเพลลาของมอเตอร์ ด้วยเหตุนี้แรงเคลื่อนภายในของมอเตอร์จะยังคงมีอยู่ ซึ่งก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลออกจากภายในมอเตอร์ไปยังจุดที่เกิดความผิดพลาดซึ่งเป็นจุดที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าดังนั้นค่ารีแอกแตนซ์ชั่วแวบหรือชั่วครู่ของมอเตอร์ควรนำมาพิจารณาโดยส่วนใหญ่ค่ารีแอกแตนซ์ชั่วครู่ของมอเตอร์จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าวิสัยสามารถตัดกระแสของเซอร์กิตเบรกเกอร์

6. การคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าผิดพลาดนั้นจะใช้เฟสเซอร์เป็นเครื่องมือช่วยในการคำนวณ กระแสไฟฟ้าผิดพลาด ซึ่งคำนวณได้ในภาวะสถานะชั่วแวบหรือชั่วครู่จะมีเฉพาะองค์ประกอบกระแสสลับเพียงเท่านั้น เพราะองค์ประกอบกระแสตรงจะไม่สามารถคำนวณโดยใช้ทฤษฎีเฟสเซอร์ได้ด้วยเหตุนี้หากต้องการที่จะคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าผิดพลาดให้มีค่าถูกต้องมากขึ้นโดยพิจารณาองค์ประกอบกระแสตรงเข้าไปด้วยนั้นก็สามารทำได้โดยอาศัยวิธีการประมาณโดย

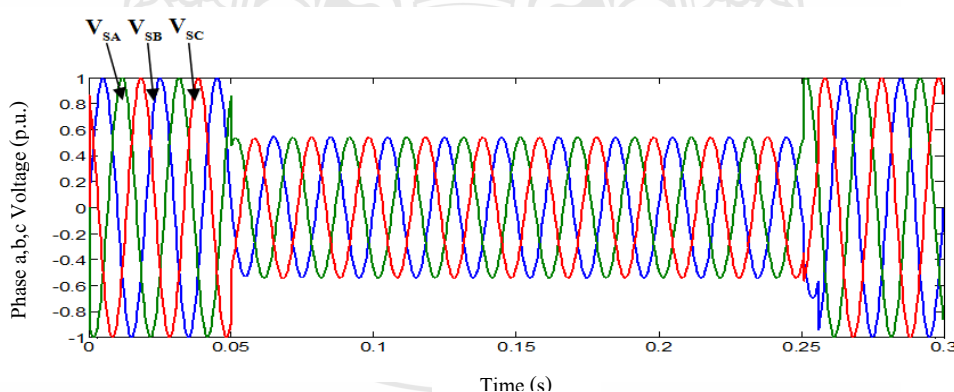
การนำตัวคูณที่เหมาะสมมาคูณกับค่าองค์ประกอบกระแสลับที่ทราบจากการคำนวณโดยใช้เฟสเซอร์

7. ในการคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าผิดพลาดนั้น หากต้องการทราบค่ากระแสไฟฟ้าที่มากที่สุดนั้นจะสามารถทำได้โดยการตั้งสมมติฐานว่าค่าอิมพีแดนซ์ผิดพลาด (Fault Location) นั้นมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งเรียกความผิดพลาดชนิดนี้ว่า “Bolted Fault” การตั้งสมมติฐานนี้จะมั่นใจได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่คำนวณได้มีขนาดมากที่สุด

จุดประสงค์ในการวิเคราะห์ความผิดพลาดแต่ละชนิดและความรุนแรง เพื่อเป็นพื้นฐานในการคำนวณหากระแสผิดพลาด (Fault Current) และการวิเคราะห์ความผิดพลาด (Fault Analysis) ใช้ในการพิจารณาออกที่สามารถค้นหาตำแหน่งความผิดพลาด และแยกประเภทของความผิดพลาดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ระดับแรงดัน 22 kV การศึกษาสถานะความผิดพลาดของระบบไฟฟ้า แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ ความผิดพลาดแบบสมมาตร (Symmetrical Faults) คือ ความผิดพลาด 3 เฟส (Three Phase Fault) และ ความผิดพลาดแบบไม่สมมาตร (Unsymmetrical Fault) คือ ความผิดพลาดเฟสเดียวลงดิน (Line to Ground Fault) ความผิดพลาด 2 เฟส (Line to Line Fault) และความผิดพลาด 2 เฟสลงดิน (Double Line to Ground Fault)

2.1.1 การวิเคราะห์ความผิดพลาดแบบสมมาตร

การเกิดความผิดพลาดแบบสมมาตรเป็นการเกิดความผิดพลาดถ่วงจรรแบบ 3 เฟสพร้อมกันซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมาก แต่ถ้าเกิดขึ้นจะทำให้เกิดปัญหาที่ระบบเหมือนกับความผิดพลาดชนิดอื่นๆ เช่นกัน

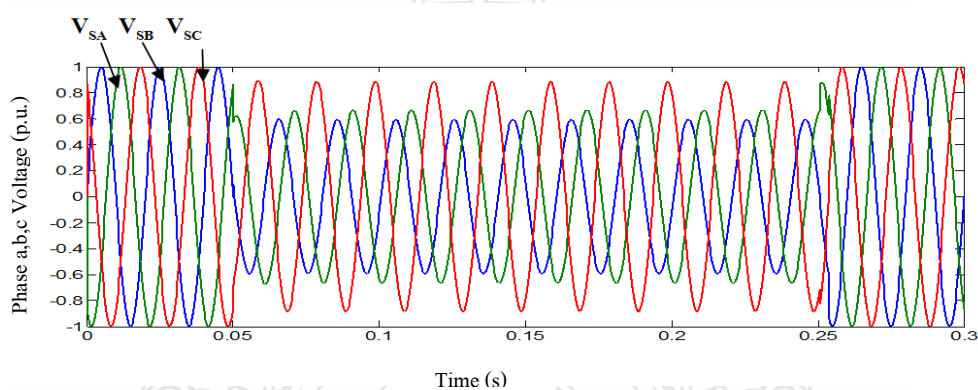


ภาพที่ 2.1 คลื่นแรงดันเมื่อเกิดความผิดพลาดแบบสมมาตร

2.1.2 การวิเคราะห์ความผิดปกติของแบบไม่สมมาตร

การวิเคราะห์ความผิดปกติในระบบไฟฟ้าแบบไม่สมมาตรเป็นการลัดวงจรระหว่างสายสองเส้น สายสองเส้นลัดวงจรแล้วลงดิน หรือสายเส้นเดียวกับดิน ความผิดปกติแบบนี้มีโอกาสเกิดขึ้นเยอะมาก ซึ่งอาจเกิดจากสายตัวนำเส้นใดเส้นหนึ่งขาด หรือ โหลดไม่สมดุลได้ ดังนั้นการเกิดความผิดปกติแบบนี้ทำให้กระแสไม่สมดุลไหลเข้าระบบ

ความไม่สมมาตรของแรงดันไฟฟ้า (Voltage Unbalance) คือ ความไม่สมมาตรกันในระบบไฟฟ้า 3 เฟส ไม่ว่าจะเป็นส่วนของขนาด มุมต่างเฟส (แต่ละเฟสห่างกัน 120°) องค์ประกอบของสัญญาณไฟฟ้า ทั้งลำดับบวก (Positive Sequence) ลำดับลบ (Negative Sequence) และลำดับศูนย์ (Zero Sequence) ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการเกิดความผิดปกติของระบบไฟฟ้าหรือการสาร์ทโหลดขนาดใหญ่เกิดขึ้น



ภาพที่ 2.2 การเกิดแรงดันไฟฟ้าไม่สมมาตรในระบบไฟฟ้า 3 เฟส

ระดับค่าแรงดันไฟฟ้าประสิทธิภาพไม่สมมาตรหาได้จากสมการดังนี้

$$\text{แรงดันไฟฟ้าไม่สมมาตร} = \frac{\text{ค่าสูงสุดของแรงดันเปลี่ยนแปลงจากค่าเฉลี่ยของแรงดันทั้ง 3 เฟส}}{\text{เฟส}} \quad (2.1)$$

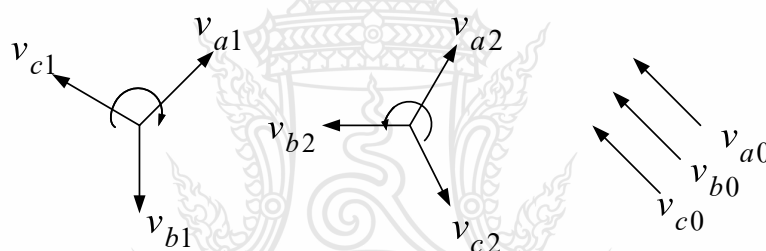
$$\text{เมื่อ ค่าแรงดันเฉลี่ย} = \frac{\text{ผลรวมของค่าแรงดันแต่ละเฟส}}{3} \quad (2.2)$$

การเกิดสถานะไม่สมมาตรของแรงดัน 3 เฟส (V_a, V_b , และ V_c) สามารถทำให้ องค์ประกอบของแรงดันมีความแตกต่างกันด้วย ดังนี้

- องค์ประกอบลำดับบวก (Positive – Sequence Components) นั่นคือ V_{a1}, V_{b1}, V_{c1} ซึ่ง ประกอบไปด้วยแรงดันทั้ง 3 เฟส มีขนาดแรงดันเท่ากัน มีมุมต่างกัน 120° ในแต่ละเฟส และมีการ ลำดับเฟสเหมือนกันกับแรงดันเริ่มต้น (Original)

- องค์ประกอบลำดับลบ (Negative – Sequence Components) นั่นคือ V_{a2}, V_{b2}, V_{c2} ซึ่ง ประกอบไปด้วยแรงดันทั้ง 3 เฟส มีขนาดแรงดันเท่ากัน มีมุมต่างกัน 120° ในแต่ละเฟส และมีการ ลำดับเฟสตรงกันข้ามกับ แรงดันเริ่มต้น

- องค์ประกอบลำดับศูนย์ (Zero - Sequence Components) นั่นคือ V_{a0}, V_{b0}, V_{c0} ซึ่ง ประกอบไปด้วยแรงดันทั้ง 3 เฟส มีขนาดแรงดันเท่ากัน และมีเฟสไปในทิศทางเดียวกัน



ภาพที่ 2.3 องค์ประกอบของความไม่สมมาตรของแรงดัน 3 เฟส

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \quad (2.3)$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \quad (2.4)$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \quad (2.5)$$

จากสมการด้านบนสามารถเขียนในรูปของเมทริกได้ดังสมการที่ 2.6

$$\begin{bmatrix} V_a 0 \\ V_a 1 \\ V_a 2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

โดยที่ V_a, V_b และ V_c คือ ค่าแรงดันระหว่าง เฟสกับนิวตรอน
 V_a^0, V_b^+, V_c^- หรือ v_a^0, v_a^+, v_a^- คือ ค่าองค์ประกอบแรงดันลำดับศูนย์ ลำดับบวก และ ลำดับลบ ที่แสดงนี้เป็นแรงดันที่เฟส A
 $\alpha = e^{j2\pi/3}$ คือ ตัวแปรของการเลื่อนเฟส (Phase - Shift)

ความผิดปกติแบบไม่สมมาตร (Unsymmetrical fault) ได้แก่

- ความผิดปกติเฟส a ลงดิน (a-g)
- ความผิดปกติเฟส b ลงดิน (b-g)
- ความผิดปกติเฟส c ลงดิน (c-g)
- ความผิดปกติระหว่างเฟส a และเฟส b (b-c)
- ความผิดปกติระหว่างเฟส b และเฟส c (b-c)
- ความผิดปกติระหว่างเฟส c และเฟส a (c-a)
- ความผิดปกติระหว่างเฟส a และเฟส b ลงดิน (a-b-g)
- ความผิดปกติระหว่างเฟส b และเฟส c ลงดิน (b-c-g)
- ความผิดปกติระหว่างเฟส c และเฟส a ลงดิน (c-a-g)

นอกจากนี้ สามารถแบ่งความผิดปกติตามลักษณะการเกิดออกเป็น 3 แบบด้วยกัน คือ

- ความผิดปกติชั่วคราว (Transient Fault) เป็นความผิดปกติที่เกิดชั่วคราวแล้วหายไป เช่น กิ่งไม้หรือใบไม้ถูกลมพัดมาแตะสัมผัสเข้ากับสายไฟฟ้าแล้วจากออกไป เป็นต้น ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเหนือพื้นดินของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ความผิดปกติชั่วคราวมีโอกาสเกิดขึ้นประมาณร้อยละ 90 ของความผิดปกติทั้งหมด

- ความผิดปกติถาวร (Permanent Fault) เป็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นแบบถาวรในระบบไฟฟ้าจำหน่ายไฟฟ้าเหนือพื้นดินของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ความผิดปกติถาวรมีโอกาสเกิดขึ้นประมาณ

ร้อยละ 10 ของความผิดปกติทั้งหมด สามเหตุที่ทำให้เกิดความผิดปกติถาวร เช่น สายไฟฟ้าหลุดออก จากลูกถ้วยไฟฟ้า ต้นไม้ล้มทับสายไฟฟ้า หรือรถชนเสาไฟฟ้า เป็นต้น

- ความผิดปกติอิมพีแดนซ์สูง (High Impedance Fault) เป็นความผิดปกติชนิดขบวนการที่มีขนาดของกระแสผิดปกติ ไม่สามารถจับด้วยรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน (Over Current Relay) โดยทั่วไป มีสาเหตุเกิดจากสายไฟฟ้าขาดตกลงบนพื้นผิวที่มีค่าความต้านทานสูง ความผิดปกติอิมพีแดนซ์สูง เป็นอันตรายต่อสิ่งที่มีชีวิตที่อยู่ใกล้มี โอกาสเกิดขึ้นได้น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับความผิดปกติชั่วคราว และความผิดปกติถาวร

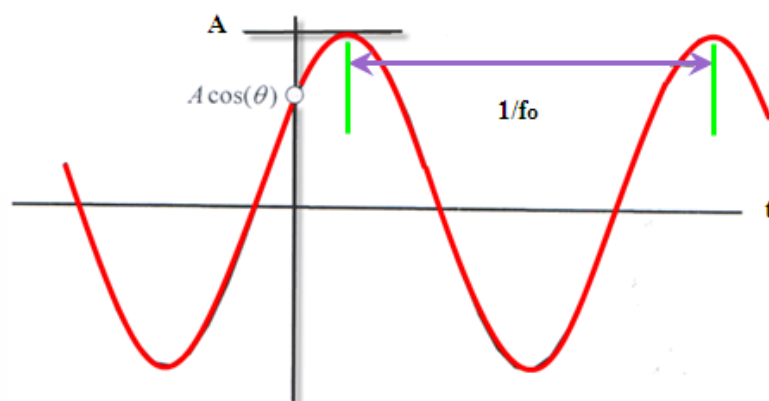
2.1.3 สาเหตุการเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเหนือพื้นดิน มีสาเหตุที่ก่อให้เกิดความผิดปกติได้หลายสาเหตุ ดังนี้

- สาเหตุเกิดจากต้นไม้แตะสายไฟฟ้า เช่น ต้นยางพารา ต้นปาล์ม น้ำมัน เป็นต้น
- สาเหตุเกิดจากการล้มเหลวของการฉนวนของอุปกรณ์ เช่น ลูกถ้วยแตก ร้าว กับดักเสิร์จ ชำรุด เป็นต้น
- สาเหตุเกิดจากสัตว์ เช่น งู ลิงลม กระจอก เป็นต้น
- สาเหตุเกิดจากมนุษย์ เช่น คนใช้ปืนยิงนกไป โคนลูกถ้วยไฟฟ้าแตก สายว่าวพาดเข้ากับสายไฟฟ้า เป็นต้น
- สาเหตุจากมลภาวะ เช่น ระบบจำหน่ายไฟฟ้าใกล้ชายทะเล มีคราบเกลือจับเกาะบนผิวลูกถ้วยจนทำให้เกิดความผิดปกติตามผิว เป็นต้น
- สาเหตุจากภัยธรรมชาติ เช่น ฟ้าผ่า ลมพายุทำให้สายไฟฟ้าแกว่งสัมผัสกับแผ่นโฆษณา เป็นต้น
- สาเหตุจากยานพาหนะ หรือรถชนต้นเสาไฟฟ้า
- สาเหตุอื่นๆ

2.2 เฟสเซอร์ (Phasor)

สัญญาณต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นสัญญาณแรงดัน หรือสัญญาณกระแสไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วจะเป็นสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตามเวลา และอาจจะประกอบด้วยหลายๆความถี่ อย่างไรก็ตาม เพื่อความสะดวกในการอธิบาย ขอยกตัวอย่างดังนี้ จงพิจารณาสัญญาณ โคไซน์ซึ่งมีความถี่เดียว มีค่าเป็น f_0 และความถี่เชิงมุมเป็น ω_0 ดังแสดงในภาพที่ 2.4



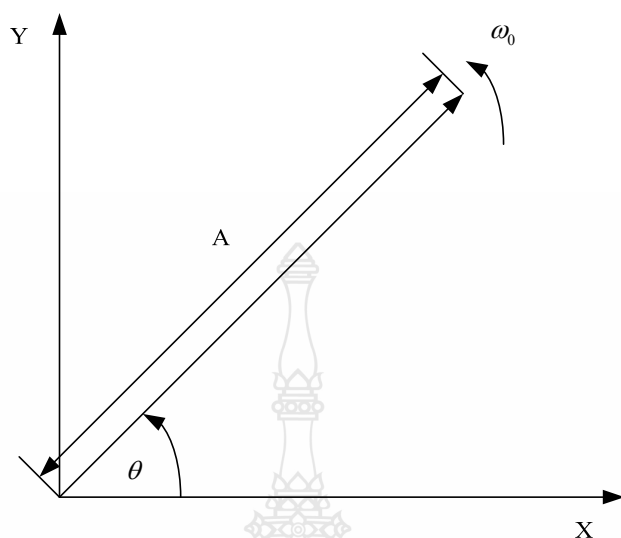
ภาพที่ 2.4 สัญญาณ โคไซน์ซึ่งมีความถี่เดียวเป็น f_0

สัญญาณในภาพที่ 2.4 สามารถเขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชันเวลาได้ตามสมการที่ (2.7) โดยที่ A คือขนาด หรือค่ายอดของสัญญาณ θ คือมุมเฟสของสัญญาณ

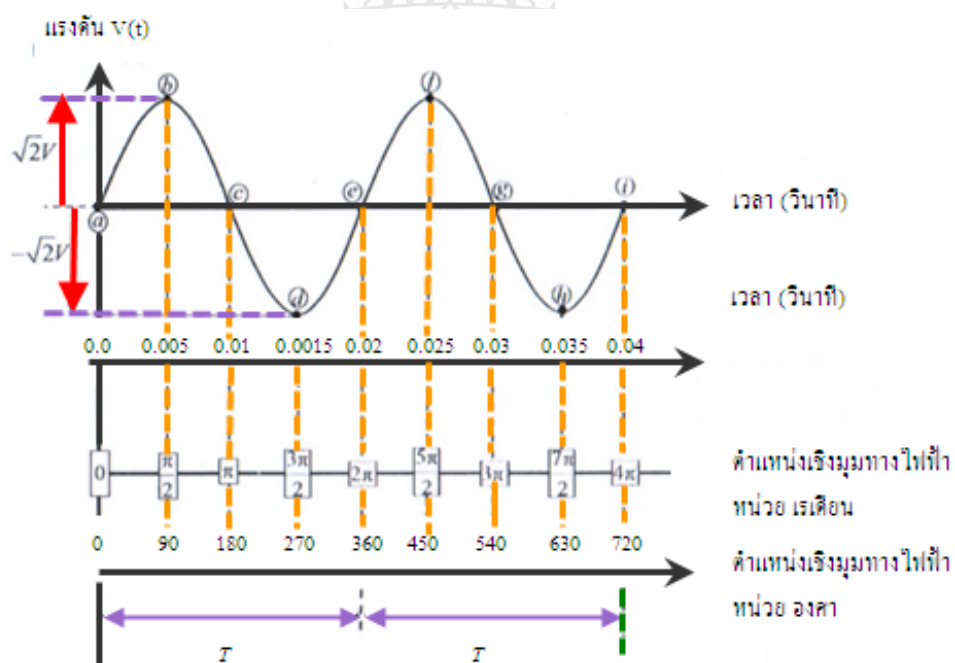
$$V(t) = A \cos(\omega_0 t + \theta) \quad (2.7)$$

จากสมการที่ (2.7) และภาพที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าการที่จะเขียนรูปสัญญาณของฟังก์ชันโคไซน์ได้อย่างถูกต้องนั้น จะต้องรู้ขนาด ความเร็วเชิงมุม และมุมเฟสของสัญญาณที่จุดอ้างอิง แต่การแสดงผลสัญญาณของฟังก์ชันไซน์ด้วยสมการที่ (2.7) นั้นไม่สะดวก ในการบวก ลบ คูณ หาร ระหว่างสัญญาณ ดังนั้น โดยทั่วไปนิยมใช้เครื่องมือทางคณิตศาสตร์เข้าช่วย โดยแสดงสัญญาณของฟังก์ชันโคไซน์ให้อยู่ในรูปของเฟสเซอร์ ดังภาพที่ 2.5

ปริมาณไฟฟ้า เช่น แรงดัน (Voltage) และกระแส (Current) ในระบบไฟฟ้ากำลัง (Power System) ส่วนใหญ่เป็นปริมาณกระแสสลับ (Alternation Current: AC) ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) ขนาดของปริมาณไฟฟ้าเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Time Dependent) ดังแสดงในภาพที่ 2.6 จากภาพปริมาณแรงดันไฟฟ้า $v(t)$ ในวงเล็บ (t) หมายถึงแรงดันดังกล่าวเป็นฟังก์ชันของเวลา t (Time Domain) ขนาดของแรงดันมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างค่าบวกและลบสลับกันจากจุดกำเนิดที่จุด a ถึงจุด i ใช้เวลาทั้งหมด 0.04 วินาที การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้มีลักษณะเป็นคาบเวลา (Time Period: T) ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จาก



ภาพที่ 2.5 เฟสเซอร์ของสัญญาณ โคไซน์



ภาพที่ 2.6 คลื่นไซน์ของ v(t)

$$T = \frac{1}{f} \tag{2.8}$$

โดยที่ f คือ ความถี่ของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าซึ่งมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz)

จากภาพที่ 2.6 จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้ามีความยาวทั้งหมดเท่ากับ 0.02 วินาที ดังนั้นความถี่ของแรงดันนี้จึงมีค่าเท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์ $f = \frac{1}{0.02}$ ซึ่งหาได้จากความถี่ของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้านี้สามารถหาได้จาก

$$\omega_s = 2\pi f \quad (2.9)$$

ความเร็ว ω_s เป็นความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity) ซึ่งมีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที (Rad / Sec) ตัวห้อย s หมายถึงความเร็วเชิงโคจร ความเร็ว ω_s ของสัญญาณไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าซึ่งทำงานที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ มีค่าเท่ากับ 314.1593 เรเดียนต่อวินาที การเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงดันไฟฟ้าระหว่าง $+\sqrt{2}V$ และ $-\sqrt{2}V$ ด้วยความเร็ว ω_s เป็นเวลา t วินาทีก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเชิงมุมทางไฟฟ้า $\theta(t)$ ซึ่งหาได้จากผลคูณของความเร็วกับเวลา ($\omega_s t$) ดังนั้นแรงดัน $v(t)$ ซึ่งมีความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ดังภาพที่ 2.6 เคลื่อนที่จากจุด a ถึงจุด i ภายในเวลา 0.04 วินาที จะมีตำแหน่งอยู่ที่ $\theta(t) = \omega_s t = 314.1593 \times 0.04 = 4\pi$ เรเดียน หรือ 720 องศา ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าดังในภาพที่ 2.6 จึงสามารถเขียนในรูปสมการคณิตศาสตร์ได้ $v(t) = \sqrt{2}V \sin(\omega_s t + 0^\circ)$ การกำเนิดรูปคลื่นไซน์ของสัญญาณไฟฟ้า สามารถอธิบายในเชิงคณิตศาสตร์ได้โดยอาศัยหลักการของเวกเตอร์ซึ่งหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω_s ยกตัวอย่างเช่น แรงดัน $v(t)$ กำเนิดขึ้นมาจากเวกเตอร์หมุน (Rotating Vector) $\vec{v}(t)$ ซึ่งหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมเท่ากับ ω_s อยู่บนระนาบเชิงซ้อน (Complex Plane) ซึ่งมีแกนอนเป็นแกนจริง (Real Axis, Re-Axis) และแกนตั้งเป็นแกนจินตภาพ (Imaginary Axis, Im-Axis) เวกเตอร์หมุนนี้มีขนาด (Amplitude) คงที่เท่ากับ V_{\max} หรือ $\sqrt{2}V$ และมีมุมเริ่มต้นของเวลา ($t = 0$) ซึ่งเวกเตอร์หมุน $\vec{v}(t)$ จะอยู่ที่จุดหรือตำแหน่ง a ก่อนที่จะเริ่มหมุน ด้วย 0 หมายถึงจุดเริ่มต้นของเวลา ($t = 0$) การเคลื่อนที่ของเวกเตอร์หมุน $\vec{v}(t)$ จากจุด a กลับไปยังจุด m หรือจุด a เรียกว่าหนึ่งคาบเวลาหรือหนึ่งรอบ (cycle) คาบเวลาจะสัมพันธ์กับความถี่ตามสมการที่ (2.8) เช่นในระบบไฟฟ้าซึ่งมีความถี่ 50 Hz เวลาที่ใช้ในการหมุนในรอบหนึ่งๆ จะมีค่าเท่ากับ $1/50 = 0.02$ วินาที และความเร็วเชิงมุมในการหมุนจะมีค่าเท่ากับ $2\pi f = 2\pi 50$ เรเดียนต่อวินาที เวกเตอร์หมุน $\vec{v}(t)$ ซึ่งใช้แสดงการกำเนิดของแรงดันไฟฟ้าสามารถเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

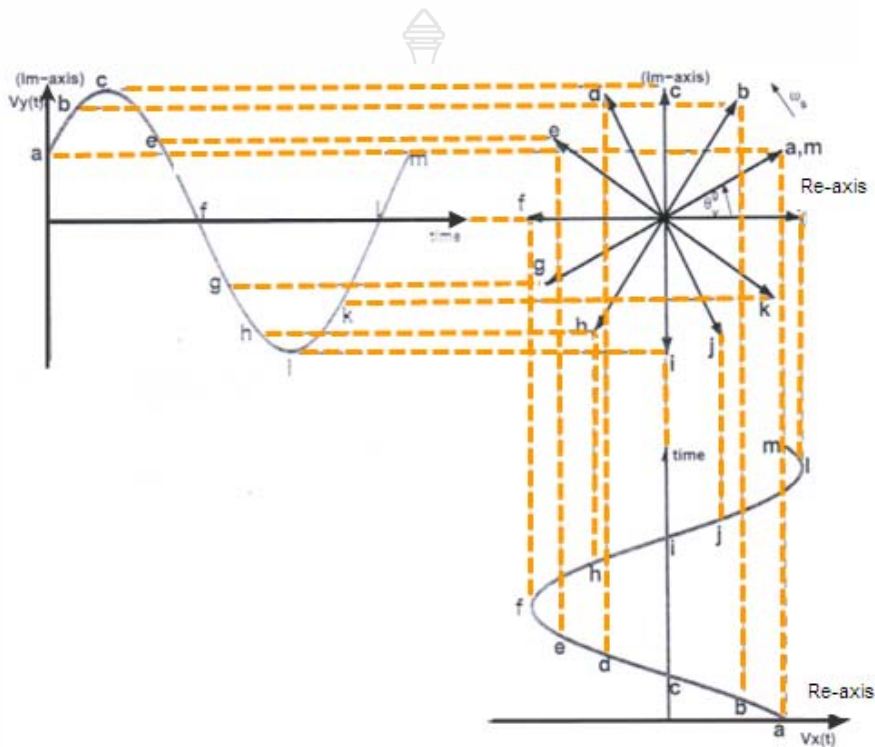
$$\vec{v}(t) = V_{\max} e^{j(\omega_s t + \theta_v^0)} = V_{\max} (\cos(\omega_s t + \theta_v^0) + j \sin(\omega_s t + \theta_v^0)) \quad (2.10)$$

หรือ

$$\vec{v}(t) = v_x(t) + jv_y(t) \quad (2.11)$$

โดยที่

$$v_x(t) = V_{\max} \cos(\omega_s t + \theta_v^0) = \text{Re}\{\vec{v}(t)\} \quad (2.12)$$



ภาพที่ 2.7 เวกเตอร์หมุน $\vec{v}(t)$

$$v_y(t) = V_{\max} \sin(\omega_s t + \theta_v^0) = \text{Im}\{\vec{v}(t)\} \quad (2.13)$$

ขนาดของ $\vec{v}(t)$ จะสามารถหาได้โดย

$$|\vec{v}(t)| = \sqrt{v_x(t)^2 + (v_y(t))^2} = V_{\max} \quad (2.14)$$

มุมเฟสของ $\vec{v}(t)$ จะสามารถหาได้โดย

$$\theta_v(t) = \omega_s t + \theta_v^0 \quad (2.15)$$

จากสมการที่ (2.11) จะเห็นได้ว่าเวกเตอร์หมุน $\vec{v}(t)$ ประกอบด้วยสององค์ประกอบซึ่งได้แก่องค์ประกอบในแกนจริง (Real Axis Component, $v_x(t)$) และองค์ประกอบในแกนจินตภาพ (Imaginary Axis Component $v_y(t)$) องค์ประกอบทั้งสองนี้จะมีมุมเฟสต่างกันอยู่ 90 องศา เมื่อเวกเตอร์ $\vec{v}(t)$ ในภาพที่ 2.7 หมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω_s จากจุด a ไปยังจุด m จะเกิดองค์ประกอบในแกนจริง $v_x(t)$ และองค์ประกอบในแกนจินตภาพ $v_y(t)$ ซึ่งเกิดจากการฉาย (Projecting) ขนาดของ $\vec{v}(t)$ ลงบนแกนจริงและแกนจินตภาพตามลำดับขององค์ประกอบทั้งสองมีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลาเท่ากับความเร็วเชิงมุม ω_s องค์ประกอบในแกนจริงเป็นฟังก์ชันของโคไซน์ (Cosine) ส่วนองค์ประกอบในแกนจินตภาพเป็นฟังก์ชันของไซน์ (Sine) ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทั้งสองมีดังนี้

$$\sin \theta = \cos\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) \quad (2.16)$$

$$\cos \theta = \sin\left(\theta + \frac{\pi}{2}\right) \quad (2.17)$$

การเขียนสมการคณิตศาสตร์เพื่อใช้แสดงสัญญาณรูปคลื่น ไซน์ของแรงดันและกระแสไฟฟ้าสามารถทำได้โดยการนำเอาเฉพาะค่าจริงหรือค่าจินตภาพของเวกเตอร์หมุนในสมการที่ (2.16) หรือ (2.17) มาประยุกต์ใช้เช่น

$$v(t) = \text{Im}\left\{\sqrt{2}ve^{j(\omega_s t - \theta_v^0)}\right\} = \sqrt{2}V \sin(\omega_s t + \theta_v^0) \quad (2.18)$$

$$i(t) = \text{Im}\left\{\sqrt{2}Ie^{j(\omega_s t - \theta_i^0)}\right\} = \sqrt{2}I \sin(\omega_s t + \theta_i^0) \quad (2.19)$$

โดยที่

- $v(t)$ คือ ค่าแรงดันฉับพลัน (Instantaneous Voltage) ซึ่งมีขนาดเปลี่ยนแปลงตามเวลา
- $i(t)$ คือ ค่ากระแสฉับพลัน (Instantaneous Current) ซึ่งมีขนาดเปลี่ยนแปลงตามเวลา
- $\sqrt{2}V$ คือ ค่าแรงดันสูงสุดหรือยอด (Peak Voltage)) ซึ่งมีขนาดไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา
- $\sqrt{2}I$ คือ ค่ากระแสสูงสุดหรือยอด (Peak Current)) ซึ่งมีขนาดไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา
- V คือ ค่าแรงประสิทธิผลหรือรากกำลังสองเฉลี่ย (Root - Mean-Square, Rms Voltage) ซึ่งมีขนาดไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา
- I คือ ค่ากระแสประสิทธิผล (Rms Current)) ซึ่งมีขนาดไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

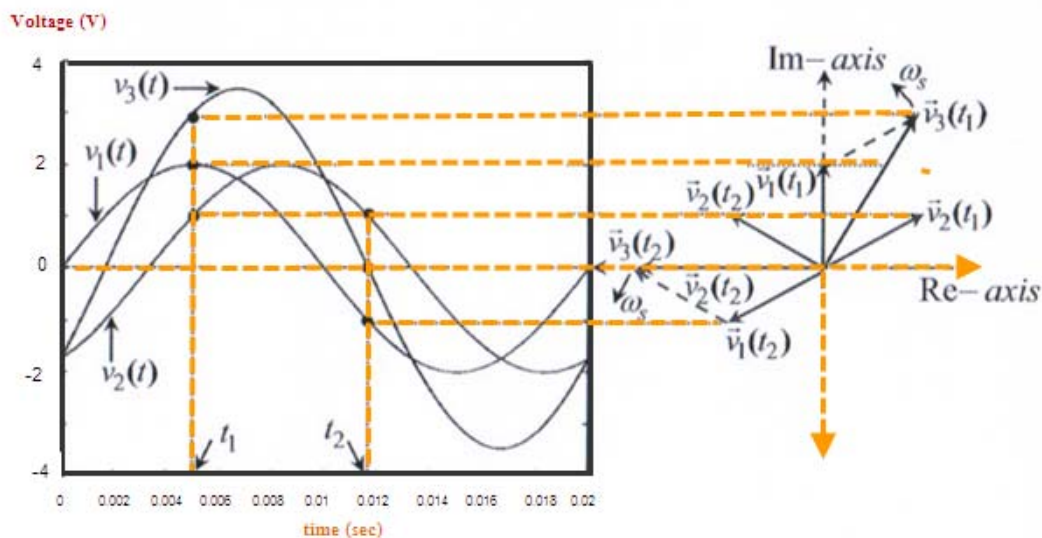
- ω_s คือ ความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity)
 θ_v^0 คือ มุมเฟสเริ่มต้นหรือตำแหน่งเริ่มต้น (Initial Phase Angle)
 θ_i^0 คือ มุมเฟสเริ่มต้นหรือตำแหน่งเริ่มต้นของกระแส

โดยทั่วไปแล้วสัญญาณไฟฟ้า เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังสอง อาจมีมุมเฟสเริ่มต้นที่แตกต่าง เช่น

$$v_1(t) = 2 \sin(2\pi 50t + 0^\circ) = \text{Im} \left\{ 2e^{j(2\pi 50t + 0^\circ)} \right\} \quad (2.20)$$

$$v_2(t) = 2 \sin(2\pi 50t - 60^\circ) = \text{Im} \left\{ 2e^{j(2\pi 50t - 60^\circ)} \right\} \quad (2.21)$$

จากสมการที่ (2.20) – (2.21) จะเห็นได้ว่ารูปคลื่นแรงดัน $v_1(t)$ และ $v_2(t)$ มีมุมเฟสเริ่มต้น (ณ ที่ $t=0$ วินาที) แตกต่างกันแต่มีความถี่และความเร็วเชิงมุมเท่ากัน แรงดัน $v_1(t)$ มีมุมเฟส เริ่มต้นเป็นศูนย์ ขณะที่แรงดัน $v_2(t)$ มีมุมเฟสเริ่มต้นล่าช้า (Lagging) มุมเฟสของแรงดัน $v_1(t)$ อยู่ 60 องศาซึ่งสังเกตได้จากเครื่องหมายลบซึ่งแสดงอยู่ด้านหน้ามุมของเฟส $v_2(t)$ ในกรณีที่เครื่องหมายนี้เป็นเครื่องหมายบวกจะหมายความว่า แรงดัน $v_2(t)$ มีมุมเฟสเริ่มต้นนำหน้า (Leading) อยู่ 60 องศาแรงดันทั้งสองนี้สามารถนำมาบวกลบคูณหารกันทางพีชคณิตโดยอาศัยหลักการของเวกเตอร์ เช่น แรงดันลัพธ์ $v_3(t)$ กำเนิดจากเวกเตอร์หมุนลัพธ์ $\vec{v}_3(t = 0.005 \text{ sec})$ ซึ่งเกิดจากผลรวมของเวกเตอร์หมุน $v_1(t)$ และ $v_2(t)$ ดังแสดงในภาพที่ 2.3 (ภาพส่วนด้านขวามือของภาพ) จากภาพจะเห็นว่าไม่ว่าจะพิจารณาที่เวลา t ใด ๆ เช่น $t = t_1$ หรือ $t = t_2$ แรงดันลัพธ์ $v_3(t = 0.005 \text{ sec})$ ก็ยังคงกำเนิดจากเวกเตอร์หมุนลัพธ์ $\vec{v}_1(t)$ ซึ่งเกิดจากผลรวมของเวกเตอร์หมุน $\vec{v}_2(t)$ และ $\vec{v}_2(t)$ เสมอ (นำเวกเตอร์หมุนทั้งสองมารวมกันก่อน จากนั้นฉายภาพเวกเตอร์หมุนลัพธ์ลงบนแกนจินตภาพ) อนึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีการที่สอดคล้องกับหลักการของเฟสเซอร์ (Phasor) ซึ่งสามารถนำมาใช้บวก ลบ คูณ หาร รูปคลื่นสัญญาณไซน์ที่มีความถี่เดียวกัน โดยไม่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของเวลา หรือหยุด



ภาพที่ 2.8 ผลรวมของแรงดัน $v_1(t)$ และ $v_2(t)$

เวลาไว้ที่เวลาใด ๆ หรือ ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง (Time Frozen) ดังนั้นเวกเตอร์หมุนนั้นก็หยุดหมุน อยู่ที่จุดใดจุดหนึ่งเวกเตอร์หมุนซึ่งหยุดที่เวลาใด ๆ จะถูกเรียกว่าเฟสเซอร์ สัญลักษณ์ “~” จะถูกนำมาใช้เพื่อแสดงถึงปริมาณที่เป็นเฟสเซอร์ เช่น เมื่อ พิจารณาเวลา ณ ที่ $t = t_1 = 0.005$ วินาที แรงดัน $v_3(t = 0.005 \text{ sec})$ กำเนิดจากการฉายเฟสเซอร์ลัพธ์ $\vec{v}_3(t = 0.005 \text{ sec})$ ลงบนระนาบเชิงซ้อน (แกนจินตภาพ) เฟสเซอร์ผลลัพธ์ $\vec{v}_3(t = 0.005 \text{ sec})$ ซึ่งเกิดจากผลรวมของเฟสเซอร์ $\vec{v}_1(t = 0.005 \text{ sec})$ และ $\vec{v}_2(t = 0.005 \text{ sec})$ ดังแสดงในภาพที่ 2.8 ดังนั้น เฟสเซอร์จึงถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการ บวก ลบ คูณ หาร รูปคลื่นสัญญาณไซน์บนระนาบเชิงซ้อน (Complex Plane) เมื่อได้ผลลัพธ์แล้วก็สามารถแปลง (Transform) กลับไปเป็นรูปคลื่นสัญญาณไซน์อีกครั้ง ดังนั้น ในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า จึงจำเป็นต้องแปลงรูปคลื่นสัญญาณไซน์ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา (Time Domain) ให้อยู่ในรูปของเฟสเซอร์ซึ่งมีขนาดไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Complex Number Domain or Frequency Domain) โดยใช้ทฤษฎีการแปลงเฟสเซอร์ดังนี้

$$\vec{v}(t) = V_{\max} e^{j(\omega t + \theta)} \Leftrightarrow \vec{v}(\omega) = V_{\max} e^{j\theta} \quad (2.22)$$

โดยที่

$$\vec{v}(\omega) = P[\vec{v}(t)] = V_{\max} e^{j\theta} \quad (2.23)$$

$$\tilde{v}(t) = P^{-1}[\tilde{v}(\omega)] = \tilde{v}(\omega)e^{j\omega t} \quad (2.24)$$

$P[]$ คือ การเฟสเซอร์ของ (Phasor Transform of)

ยกตัวอย่างเช่น สัญญาณแรงดัน $v(t) = V \cos(\omega_s t + \theta)$ สามารถแปลงให้อยู่ในรูปของเฟสเซอร์โดยใช้ทฤษฎีของเฟสเซอร์จะได้

$$\begin{aligned} \tilde{v}(\omega_s) &= P[v(t)] \\ &= P[\operatorname{Re}\{\tilde{v}(t)\}] \\ &= P[\operatorname{Re}\{Ve^{j(\omega_s t + \theta)}\}] \\ &= P[\operatorname{Re}\{V \cos(\omega_s t + \theta)\}] \\ &= Ve^{j\theta} \end{aligned}$$

$\tilde{v}(\omega_s)$ เป็นเฟสเซอร์แรงดันที่เป็นฟังก์ชันของความถี่หรือความเร็วเชิงมุม ω_s (Frequency Domain) ในทางกลับกัน หากต้องการแปลงกลับจากเฟสเซอร์ $\tilde{v}(\omega_s) = Ve^{j\theta}$ ให้เป็นแรงดันรูปคลื่นไซน์จะได้

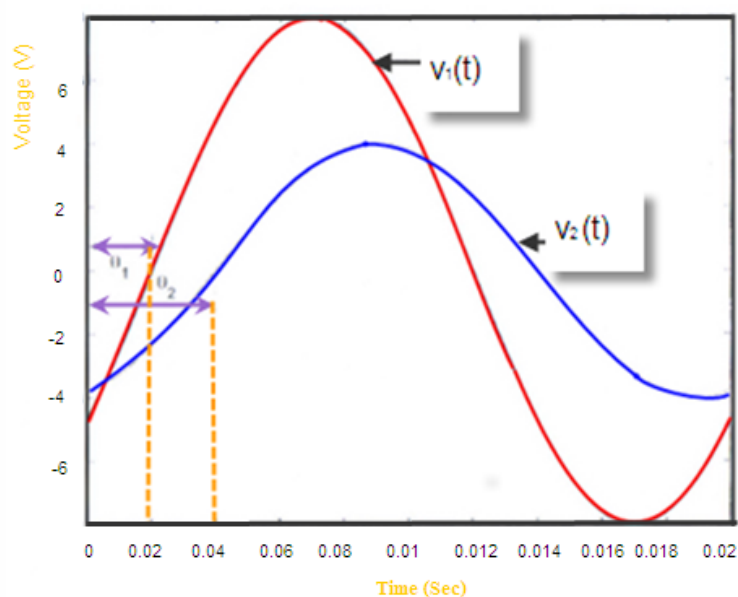
$$\begin{aligned} v(t) &= P^{-1}[\tilde{v}(\omega_s)] \\ &= P^{-1}[Ve^{j\theta}] \\ &= \operatorname{Re}\{Ve^{j\theta} e^{j\omega_s t}\} \\ &= V \cos(\omega_s t + \theta) \end{aligned}$$

การหาผลรวมแรงดันของไฟฟ้า $v_1(t)$ และ $v_2(t)$ ในภาพที่ 2.9 โดยใช้ทฤษฎีการแปลงเฟสเซอร์ จากภาพจะเห็นได้ว่าคาบเวลา (T) ของแรงดันไฟฟ้า $v_1(t)$ และ $v_2(t)$ มีค่าเท่ากับ 0.02 วินาที ดังนั้น จากสมการที่ 2.8 ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับ $f = 1/T = 1/0.02$ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ และความเร็วเชิงมุมมีค่าเท่ากับ $\omega = 2\pi f = 2\pi 50 = 314.1593$ เรเดียนต่อ วินาที นอกจากนี้ จะสังเกตเห็นได้จากรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้า $v_1(t)$ และ $v_2(t)$ มีการเปลี่ยนแปลงข้ามเส้นศูนย์ (Crossing Zero Line) จากค่าลบเป็นค่าบวก ณ ที่เวลา $t = 0.002$ และ 0.004 วินาที ตามลำดับ

โดยอ้างอิงจากจุดเริ่มต้นของเวลาที่ $t = 0$ วินาที ดังนั้น มุมเฟสเริ่มต้นหรือตำแหน่งเชิงมุมเริ่มต้นของแรงดันไฟฟ้า $v_1(t)$ และ $v_2(t)$ จะสามารถคำนวณได้จาก

$$\theta_1 = \omega t = (314.1593)(0.002) = 0.6283 \text{ เรเดียน หรือ } 36^\circ \text{ องศา}$$

$$\theta_2 = \omega t = (314.1593)(0.004) = 1.2566 \text{ เรเดียน หรือ } 72^\circ \text{ องศา}$$



ภาพที่ 2.9 คลื่นของแรงดันไฟฟ้า $v_1(t)$ และ $v_2(t)$

จากภาพจะเห็นได้ว่าค่ายอด (Peak) ของแรงดันไฟฟ้า $v_1(t)$ และ $v_2(t)$ มีค่าเท่ากับ 8 และตามลำดับ ดังนั้น สมการของแรงดันไฟฟ้าสามารถเขียนได้ดังนี้

$$v_1(t) = 8 \sin(\omega t - 36^\circ) = 8 \sin(314.1593t - 36^\circ)$$

$$v_2(t) = 4 \sin(\omega t - 72^\circ) = 4 \sin(314.1593t - 72^\circ)$$

แปลงแรงดันไฟฟ้า $v_1(t)$ และ $v_2(t)$ ให้อยู่ในรูปของเฟสเซอร์ โดยใช้สมการที่ (2.24) จะได้

$$\tilde{v}_1(\omega) = 8e^{j36^\circ}$$

$$\tilde{v}_2(\omega) = 4e^{j72^\circ}$$

คำนวณหาแรงดันลัพธ์ในรูปของเฟสเซอร์จะได้

$$\begin{aligned}
 \tilde{v}_3(\omega) &= \tilde{v}_1(\omega) + \tilde{v}_2(\omega) \\
 &= 8e^{-j36^\circ} + 4e^{-j72^\circ} \\
 &= \{8\cos(-36^\circ) + j8\sin(-36^\circ)\} + \{4\cos(-72^\circ) + j4\sin(-72^\circ)\} \\
 &= 7.7082 + j8.5065 \\
 &= 11.4794e^{-j47.8186^\circ}
 \end{aligned}$$

แปลงเฟสเซอร์แรงดันไฟฟ้า $\tilde{v}_3(\omega)$ กลับเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าอยู่ในรูปของเวลาโดยใช้สมการที่ (2.23)

$$\begin{aligned}
 v_3(t) &= \text{Im}\{11.4794e^{-j47.8186^\circ} e^{j\omega t}\} \\
 &= 11.4794\sin(\omega t - 47.8186^\circ)
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ ในการบวก ลบ คูณ หาร สัญญานรูปคลื่นไซน์ในระบบไฟฟ้ากำลัง ขนาดของเฟสเซอร์ $\tilde{V}(\omega_s)$ และกระแส $\tilde{I}(\omega_s)$ ซึ่งใช้แทนปริมาณแรงดันและกระแสไฟฟ้างวดสมการที่ (2.25) และ (2.26) จะถูกกำหนดให้ใช้เป็นค่ารากกำลังสองเฉลี่ยหรือค่าประสิทธิภาพ (Root-Mean-Square, Rms) เท่านั้นจะมีใช้ค่ายอดหรือค่าสูงสุด ค่าประสิทธิภาพของแรงดันและกระแส ได้แก่ V และ I ซึ่งได้จากการนำค่ายอดมาหารด้วย $\sqrt{2}$ ดังนั้น แรงดันและกระแสไฟฟ้างวดสมการที่ (2.20) และ (2.21) สามารถจะเขียนให้อยู่ในรูปประมาณเชิงซ้อนโดยอาศัยหลักทฤษฎีการแปลงเฟสเซอร์ได้ดังนี้

$$\tilde{V}(\omega_s) = \tilde{V} = V_e j\theta_v^0 \quad (2.25)$$

$$\tilde{I}(\omega_s) = \tilde{I} = I_e j\theta_i^0 \quad (2.26)$$

ค่ายอดของแรงดันและกระแสไฟฟ้าถูกหารด้วย $\sqrt{2}$ เพื่อเปลี่ยนเป็นค่าประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้ ค่าของ $\sqrt{2}$ จึงไม่ปรากฏในสมการที่ (2.25) และ (2.26)

2.3 การคำนวณค่าเฟสเซอร์ด้วยวิธีดิคริทฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม

ดิคริทฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม [2] เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่มีความสำคัญสามารถนำมาใช้คำนวณหาค่าเฟสเซอร์ของสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแสไฟฟ้าได้ ดิคริทฟูเรียร์ทรานสฟอร์มจะแยกส่วนประกอบของสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแสไฟฟ้า เพื่อให้ได้สัญญาณที่เป็นส่วนจริงและส่วนจินตภาพขึ้นมาโดยมีสมการดังต่อไปนี้

$$X_c^r = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_k \cos \frac{2\pi}{N} k + \frac{2}{N} \cos 2\pi(X_N - X_0) \quad (2.27)$$

$$X_s^r = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_k \sin \frac{2\pi}{N} k + \frac{2}{N} \sin 2\pi(X_N - X_0) \quad (2.28)$$

เมื่อ X_c^r และ X_s^r คือส่วนประกอบสัญญาณที่เป็นส่วนจริง และส่วนจินตภาพของสัญญาณที่ตำแหน่ง r ตามลำดับ ซึ่งเป็นตำแหน่งใหม่ที่สุดของสัญญาณขาเข้า x_k คือ สัญญาณขาเข้าที่ตำแหน่ง k ของหน้าค่ารับข้อมูล และ N คือ จำนวนข้อมูลในหนึ่งคาบของสัญญาณ

สำหรับการคำนวณรอบต่อมา สามารถลดการคำนวณลงได้ โดยนำเอาส่วนประกอบของสัญญาณที่ได้จากการคำนวณในรอบที่ผ่านมา มาทำการปรับปรุง โดยใช้สมการดังนี้

$$X_c^r = X_c^{r-1} + \frac{2}{N} \cos 2\pi(X_{N+r} - X_r) \quad (2.29)$$

$$X_s^r = X_s^{r-1} + \frac{2}{N} \sin 2\pi(X_{N+r} - X_r) \quad (2.30)$$

เมื่อ X_{N+1} และ X_r คือ สัญญาณขาเข้าที่ตำแหน่ง $N+r$ และ r ตามลำดับ โดยที่ r จะเป็นตำแหน่งใหม่ที่สุดของสัญญาณขาเข้า จากนั้นสามารถหามุมเฟสเซอร์ของสัญญาณ θ_r ได้จาก

$$\theta_r = \tan^{-1} \left(\frac{X_s^r}{X_c^r} \right) \quad (2.31)$$

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อออกแบบอัลกอริทึม

มีงานวิจัยมากมายที่เกี่ยวข้องกับการหาตำแหน่งความผิดปกติของระบบไฟฟ้า ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยเหล่านั้นโดยเน้นศึกษาแนวคิดที่นักวิจัยอื่นๆใช้ตรวจจับความผิดปกติ แยกแยะชนิดความผิดปกติและคำนวณหาตำแหน่งความผิดปกติ และได้พยายามมองหารูปแบบของอัลกอริทึมที่ง่ายต่อการนำไปสร้างโปรแกรมค้นหาตำแหน่งความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้า มองหาวิธีที่สามารถลดความซับซ้อนในการตรวจจับความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และศึกษาปัจจัยต่างๆที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการคำนวณหาตำแหน่งความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

2.4.1 อัลกอริทึมสำหรับรีเลย์แบบระยะทาง

งานวิศวกรรมการป้องกันระบบไฟฟ้า (Power System Protection) ที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการหาตำแหน่งความผิดปกติในระบบไฟฟ้า คือรีเลย์แบบระยะทาง (Distance Relay) ดังนั้นอัลกอริทึมทั้งหมดที่ใช้ในรีเลย์แบบระยะทางสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการหาตำแหน่งความผิดปกติในระบบไฟฟ้าได้ การศึกษาเชิงเปรียบเทียบอัลกอริทึม 2 กลุ่ม ที่ใช้ในรีเลย์แบบระยะทาง

Segui, T. and Bertrand,P.[3] อัลกอริทึมกลุ่มแรก คือ การแปลงฟูริเยร์ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier Transform) ,การแยกส่วนประกอบตั้งฉากของรูปคลื่น (Orthogonal Expansion), การแยกส่วนประกอบสมมาตร (Symmetrical Components) และตัวกรองคาล์มาน (Kalman Filtering) อัลกอริทึมเหล่านี้ ต้องการข้อมูลจากรูปคลื่นกระแส และแรงดัน อย่างน้อย 1 คาบ เพื่อนำมาคำนวณหาเฟสเซอร์ และระยะทาง อัลกอริทึมกลุ่มที่สองคือ ดิฟเฟอเรนเชียลรีเนียร์ไดนามิกโอเปอเรเตอร์ (Integral Linear Dynamic Operator: DLDO). อินทิกรัลรีเนียร์ไดนามิกโอเปอเรเตอร์ (Integral Linear Dynamic Operator: ILDO) และ ตัวกรองรีเนียร์ไดนามิกโอเปอเรเตอร์ (Filter Linear Dynamic Operator: FLDO) ใช้หลักการของสมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equation) สามารถคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์จากรูปคลื่นกระแส และแรงดันที่เกิดขึ้นน้อยกว่า 1 คาบ หรือรูปร่างของกระแสและแรงดันที่ผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นของฟังก์ชันไซน์ได้

มาตรฐาน IEEE Std C37.114-2004 [3] วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาจากบทความที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย สรุปได้ดังนี้ การหาตำแหน่งความผิดปกติในสายส่ง และระบบจำหน่ายไฟฟ้า กระแส โดยแบ่งอัลกอริทึมออกได้เป็น 2 กลุ่มด้วยกันคือ กลุ่มที่ 1 ใช้เทคนิคการตรวจจับเวลาในการเดินทางของคลื่นจร (Traveling Wave) วิธีนี้เหมาะกับสายส่งระยะไกลที่มีสายไฟฟ้าขนาด และชนิดเดียวกันตลอดสาย (Homogeneous Line) เป็นวิธีที่มีความแม่นยำ แต่ใช้อัตราการสุ่มรูปคลื่นที่สูง (High Sampling Rate) เนื่องจากคลื่นจรเป็นคลื่นความถี่สูง แต่ความกว้างแถบของความถี่วัดรูปคลื่น

(Bandwidth) ของหม้อแปลงแรงดัน (Voltage Transformer) ออกแบบมาเพื่อวัดรูปคลื่นความถี่ต่ำ (50 Hz) จึงเป็นอุปสรรค และปัจจัยอันหนึ่งที่ส่งผลต่อความแม่นยำของอัลกอริทึมดังกล่าว

กลุ่มที่ 2 ใช้เทคนิคการคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ปรากฏ (Apparent Impedance) ที่มองออกไปยังสายส่ง และประมาณหาตำแหน่งความผิดปกติโดยอาศัยความสัมพันธ์เชิงเส้น ระหว่างระยะทางและค่าอิมพีแดนซ์ต่อความยาวหนึ่งหน่วยของสาย โดยมีปัจจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการคำนวณหาตำแหน่งความผิดผิดดังต่อไปนี้

- ผลของกระแสไหลลด และค่าความต้านทานของจุดผิดปกติ (Fault Resistance)
- ความผิดพลาดจากการแยกแยะชนิดของความผิดปกติ
- ความไม่แน่นอนของค่าอิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานจำเพาะของดิน
- ความผิดพลาดจากการวัดรูปคลื่นแรงดัน และกระแส ซึ่งอาจจะไม่ละเอียดเพียงพอในการแปลงผันรูปคลื่นแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter) หรือค่าความคลาดเคลื่อนอื่นๆ ของเครื่องวัด

- ระบบกรองรูปคลื่น (Filtering System) ที่ไม่เหมาะสม

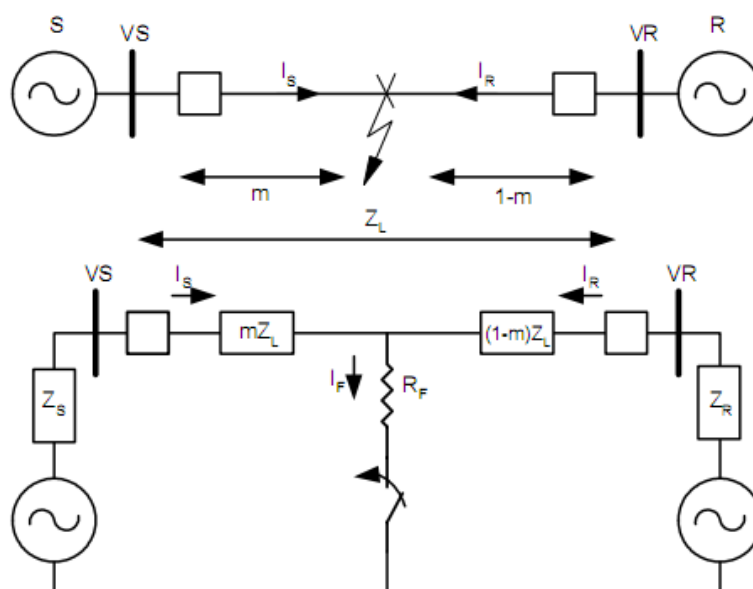
ดังนั้นวิธีของกลุ่มที่ 2 จึงเหมาะที่จะนำมาใช้งานกับระบบจำหน่ายมากกว่าวิธีที่ 1 เนื่องจากระบบจำหน่ายไม่ใช่สายไฟฟ้าที่มีขนาด และชนิดเดียวกันตลอดทั้งระบบ อีกทั้งมีสายจำหน่ายกิ่งย่อยเป็นจำนวนมาก หากนำวิธีที่ 1 มาใช้จะเกิดคลื่นสะท้อนกลับไปกลับมา จำนวนมากที่จุดต่อสาย เนื่องจากสายจำหน่ายกิ่งย่อยมีค่าเสถียรอิมพีแดนซ์แตกต่างจากสายจำหน่ายหลัก จึงยากที่จะนำไปวิเคราะห์หาตำแหน่งการเกิดความผิดปกติได้

Karl Ziminerman and David COstello. [4] บทความนี้เป็นการนำเสนอวิธีการคำนวณหาตำแหน่งความผิดปกติโดยใช้เทคนิคการคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ปรากฏ มีขั้นตอนดังนี้

- บันทึกรูปคลื่นแรงดัน และกระแส
- แยกส่วนประกอบมูลฐาน (Fundamental Component) ออกมา
- หาค่าเฟสเซอร์ และชนิดของความผิดปกติ
- คำนวณหาความผิดปกติโดยใช้วงจรสมมูลในภาพที่ 2.10 โดยกำหนดให้ค่าความต้านทานผิดปกติมีค่าเป็นศูนย์ ทำการประมวลจากรูปคลื่นของแรงดัน และกระแสไฟฟ้าตามชนิดของความผิดปกติตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การเลือกคู่แรงดันและกระแสไฟฟ้าเพื่อกำหนดตำแหน่งความผิดปกติ

ชนิดความผิดปกติ	ค่าอิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์ ($m \cdot Z_{1L} =$)
ผิดปกติเฟส a ลงดิน	$V_a / (I_a + k \cdot 3 \cdot I_0)$
ผิดปกติเฟส b ลงดิน	$V_b / (I_b + k \cdot 3 \cdot I_0)$
ผิดปกติเฟส c ลงดิน	$V_c / (I_c + k \cdot 3 \cdot I_0)$
ผิดปกติระหว่างเฟส a-b หรือระหว่าง a-b-g ลงดิน	V_{ab} / I_{ab}
ผิดปกติระหว่างเฟส b-c หรือระหว่าง b-c-g ลงดิน	V_{bc} / I_{bc}
ผิดปกติระหว่างเฟส c-a หรือระหว่าง c-a-g ลงดิน	V_{ca} / I_{ca}
ผิดปกติสามเฟส a-b-c	$V_{ab} / I_{ab}, V_{bc} / I_{bc}, V_{ca} / I_{ca}$



ภาพที่ 2.10 วงจรสมมูลแสดงการกำหนดตำแหน่งความผิดปกติ

เมื่อ k คือ $\frac{Z_{0L} - Z_{1L}}{3 \cdot Z_{1L}}$

Z_{0L} คือ ค่าอิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์ต่อหนึ่งความยาวสาย

Z_{1L} คือ ค่าอิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์ต่อหนึ่งความยาวสาย

m คือ ระยะทางที่เกิดความผิดพลาด หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (จากภาพที่ 2.10 ความยาวระบบเป็น 1 กิโลเมตร)

I_o คือ กระแสลำดับศูนย์

Karl Ziminerman and David COstello. [4] บทความนี้ได้เปรียบเทียบอัลกอริทึมสำหรับหาตำแหน่งความผิดพลาดโดยประมวลผลจากรูปคลื่นกระแสและแรงดันจากจุดวัดด้านเดียวไว้ 3 วิธีดังต่อไปนี้

วิธีที่ 1 รีแอกแตนซ์อย่างง่าย (Simple Reactance Method) คือ การคำนวณเริ่มต้นจากหาแรงดันที่โหนด S ตามสมการที่ (2.32)

$$V_s = m \cdot Z_{1L} \cdot I_s + R_F \cdot I_F \quad (2.32)$$

สมมติให้เกิดความผิดพลาดที่เฟส a ให้แทน $V_s = V_{a-g}$ และ $I_s = I_a + k \cdot 3 \cdot I_o$ ตามชนิดของความผิดพลาดในตารางที่ 2.1 เมื่อทำการหารสมการที่ (2.32) ด้วย I_s โดยละเลยเทอม $\frac{R_F \cdot I_F}{I_s}$ จะได้

$$\frac{V_s}{I_s} = m \cdot Z_{1L} \quad (2.33)$$

หาค่าจินตภาพจากสมการที่ (2.33) และคำนวณหาค่า m จะได้สมการที่ (2.34)

$$m = \frac{I_m \left(\frac{V_s}{I_s} \right)}{X_{1L}} \quad (2.34)$$

เมื่อ X_{1L} คือ ส่วนจินตภาพของค่าอิมพีแดนซ์ลำดับบวกต่อความยาวสายหนึ่งหน่วย จะเห็นว่าวิธีรีแอกแตนซ์อย่างง่ายจะมีค่าความผิดพลาดเป็นศูนย์ก็ต่อเมื่อค่าความต้านทานผิดพลาดเป็นศูนย์ หรือมุมของ $\angle I_s$ เท่ากับ $\angle I_F$

วิธีที่ 2 ใช้ข้อมูลของกระแสก่อนเกิดความผิดปกติ นำมาปรับปรุงวิธีรีแอกแตนซ์อย่างง่าย เพื่อลดค่าความผิดพลาดที่เกิดจากผลของกระแสโหลด และค่าความต้านทานผิดปกติ การคำนวณเริ่มจากสมการที่ (2.32) เหมือนกับวิธีรีแอกแตนซ์อย่างง่ายจากนั้นใช้หลักการทับซ้อน (Superposition) โดยกำหนดให้

$$V_s = m \cdot Z_{1L} \cdot I_s + R_F \cdot I_F \quad (2.35)$$

$$I_{sub} = I - I_{pre} \quad (2.36)$$

แทน I_{sub} ด้วยกระแสในขณะเกิดความผิดปกติ I ลบด้วยกระแสก่อนเกิดความผิดปกติ I_{pre} จากนั้นคูณสมการที่ (2.67) ด้วยค่าคอนจูเกต (Conjugate) ของ I_{sub} พร้อมทั้งหาค่าจินตภาพจะได้สมการที่ (2.68)

$$\text{Im} [V_s \cdot I_{sub}^*] = m \cdot \text{Im} (Z_{1L} \cdot I_s \cdot I_{sub}^*) + R_F \cdot \text{Im} (I_F \cdot I_{sub}^*) \quad (2.37)$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ (2-10) จะเห็นว่า หากกำหนดให้มุมของ $\angle I_{sub}^*$ เท่ากับ $\angle I_F$ จะสามารถคำนวณหาค่า m ได้จากสมการที่ (2-11)

$$m = \frac{\text{Im} [V_s \cdot I_{sub}^*]}{\text{Im} (Z_{1L} \cdot I_s \cdot I_{sub}^*)} \quad (2.38)$$

จะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดมีค่าเป็นศูนย์ก็ต่อเมื่อ มุมของ $\angle I_{sub}^*$ เท่ากับ $\angle I_F$ หรือค่าความต้านทานผิดปกติมีค่าเป็นศูนย์

วิธีที่ 3 ประยุกต์ทากากิ ด้วยค่ากระแสลำดับศูนย์ (Modified Takagi Zero Sequence Method) โดยการแทนค่า I_{sub} ด้วยกระแสลำดับศูนย์ $3 \cdot I_{0s}$ จากนั้นปรับค่ามุมของกระแสลำดับศูนย์ด้วยค่ามุม T เพื่อปรับปรุงค่าความแม่นยำ วิธีของทากากิ จะได้

$$m = \frac{I_m \left[V_s \cdot (3 \cdot I_{os})^* \cdot e^{-jt} \right]}{I_m (Z_{1L} \cdot I_s \cdot (3 \cdot I_{os})^* \cdot e^{-jt})} \quad (2.39)$$

ในการคำนวณหาค่ามุม T จำเป็นต้องทราบค่าอิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์ของแหล่งจ่ายทั้งสองด้านจึงยากที่จะนำไปใช้งานในทางปฏิบัติ เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์ของแหล่งจ่ายสามารถเปลี่ยนแปลงได้ เมื่อโครงสร้างของระบบสายส่ง (Transmission Line) มีการเปลี่ยนแปลง

Jun Zhu., David L. Lubkeman. And Adly A. Girgis. [5] บทความนี้เป็นการนำเสนอ การพัฒนาต้นแบบระบบค้นหาตำแหน่งความผิดปกติของอัตโนมัติ สำหรับระบบจำหน่ายได้ทดลองติดตั้งใช้งานในระบบจำหน่าย 13.8 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าบราซิล ระหว่างตุลาคมปี ค.ศ. 2000 ถึง มกราคม ปี ค.ศ. 2001 โดยใช้เทคนิคการแปลงฟูริเยร์ คำนวณค่าเฟสเซอร์ของแรงดันและกระแส เพื่อนำมาคำนวณหาตำแหน่งความผิดปกติของระบบไฟฟ้า จากผลการทดสอบภาคสนามรายงานว่า สามารถคำนวณหาตำแหน่งของความผิดปกติถาวร (Permanent Fault) ทั้ง 16 ครั้ง ได้อย่างแม่นยำ การพัฒนาต้นแบบระบบค้นหาตำแหน่งความผิดปกติอัตโนมัติ และวินิจฉัยตำแหน่งสำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยใช้เทคนิคการคำนวณค่าเฟสเซอร์ของแรงดันและกระแสไฟฟ้าเพื่อนำมาคำนวณหาตำแหน่งความผิดปกติ โดยได้เพิ่มการวินิจฉัย (Diagnosis) ตำแหน่ง จากข้อมูลของการจัดรูปแบบการป้องกันของระบบจำหน่าย (Protection Scheme) เพื่อนำมาใช้จัดลำดับความเป็นไปได้ของตำแหน่งความผิดปกติ ผลการทดสอบภาคสนามพบว่ามีค่าความผิดพลาดอยู่ระหว่าง 1.13 ถึง ร้อยละ 3.42 นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าสามารถหาตำแหน่งของความผิดปกติแบบชั่วคราว ซึ่งเกิดขึ้นภายในช่วงเวลาน้อยกว่า 1 ไมโครวินาทีได้โดยมีความผิดพลาดร้อยละ 1.67

Das, R., Sachdev, M.S. and Sidhu, T.S. [6] บทความนี้เป็นการนำเสนอ การหาตำแหน่งความผิดปกติสำหรับระบบส่ง และระบบจำหน่ายไฟฟ้า แบบเรเดียล (Radial System) โดยใช้เทคนิคการคำนวณหาตำแหน่งความผิดปกติของระบบไฟฟ้า จากองค์ประกอบความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency Component) ของรูปคลื่นกระแส และแรงดันไฟฟ้า สิ่งที่แตกต่างกันจากงานวิจัยอื่น คือ ได้ให้แนวทางการศึกษาความไวของตัวแปรต่าง ๆ (Sensitivity Cases) ที่มีผลต่อค่าความแม่นยำในการคำนวณหาตำแหน่งความผิดปกติ

Electric Power Research Institute [7] บทความนี้เป็นการนำเสนอรวมเอาแนวคิดในการแยกแยะตำแหน่งผิดปกติของระบบไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในสายจำหน่ายไฟฟ้าหลัก และสายจำหน่ายไฟฟ้ากิ่งย่อย โดยใช้เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินเข้ากับอัลกอริทึม สำหรับตรวจจับความผิดปกติ แยกชนิดของความผิดปกติ

2.5 สรุปผลทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 จากการศึกษาอัลกอริทึมโดยใช้เทคนิคการคำนวณค่าเฟสเซอร์ของแรงดันและกระแสไฟฟ้า เพื่อนำมาคำนวณหาค่าตำแหน่งความผิดพลาดของระบบไฟฟ้า สามารถประยุกต์ใช้ประโยชน์ในการออกแบบอัลกอริทึม สำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดพลาดของระบบไฟฟ้าและแยกประเภทของความผิดพลาดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์ ได้

2.5.2 เทคนิคการคำนวณหาตำแหน่งความผิดพลาดจากค่าอิมพีแดนซ์ปรากฏ มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า มากกว่าเทคนิคการตรวจจับเวลาในการเดินทางของคลื่นจร เนื่องจากระบบจำหน่ายไฟฟ้า ไม่ใช่สายไฟฟ้าชนิดเดียวกันทั้งระบบอีกทั้งมีสายจำหน่ายกิ่งย่อยเป็นจำนวนมาก หากนำเทคนิคการตรวจจับเวลาในการเดินทางของคลื่นจรมาใช้เมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า จะทำให้เกิดคลื่นสะท้อนกลับ ไปกลับมาจำนวนมากที่จุดต่อสายเนื่องจากสายไฟในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากิ่งย่อย มีค่าเสถียรอิมพีแดนซ์แตกต่างจากสายไฟในระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลัก หากที่จะนำไปวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดได้

2.5.3 งานวิจัยนี้ได้ออกแบบอัลกอริทึมสำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดพลาดของระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยประมาณผลจากรูปคลื่นกระแส และแรงดันไฟฟ้าจากจุดวัดด้านเดียว อัลกอริทึมนี้จะใช้ข้อมูลของกระแสและแรงดันไฟฟ้าก่อนเกิดความผิดพลาด แต่สิ่งที่แตกต่างและโดดเด่นกว่าคือได้คำนึงถึงค่าความผิดพลาดที่เกิดจากกระแสโหลด และค่าความต้านทานผิดพลาดลงดิน

2.5.4 จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับ และแยกแยะชนิดความผิดพลาดข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าเทคนิคการตรวจจับ และแยกแยะชนิดของความผิดพลาดมีขั้นตอนที่สำคัญอยู่ 2 ขั้นตอนด้วยกันคือ

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างดัชนีแยกชนิดความผิดพลาด ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวชี้บ่ง (Indicator)

ขั้นตอนที่ 2 คือกฎที่ใช้ในการตัดสินใจ เพื่อนำมาใช้แยกแยะชนิดความผิดพลาด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

เริ่มต้นออกแบบอัลกอริทึมสำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดพลาด ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ 1) อัลกอริทึมสำหรับประมวลผล ติดตามค่าเฟสเซอร์ของรูปคลื่นกระแสรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า 2) อัลกอริทึมสำหรับคำนวณหาตำแหน่งเกิดความผิดพลาด

3.1 การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับประมวลผล ติดตามค่าเฟสเซอร์ของรูปคลื่นกระแสและ แรงดันไฟฟ้า

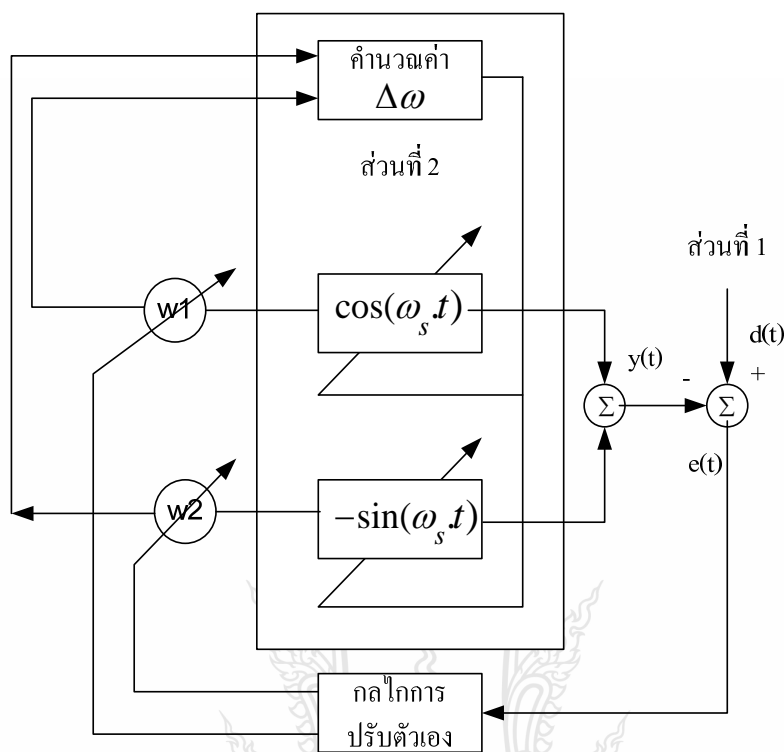
การแปลงฟูรีเยร์ไม่ต่อเนื่องหรือเรียกว่า ดิสครีทฟูรีเยร์ทรานสฟอร์ม (Discrete Fourier Transform) เป็นอัลกอริทึมสำหรับคำนวณค่าเฟสเซอร์ซึ่งเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย ปัจจัยอันหนึ่งที่ทำให้ ดิสครีทฟูรีเยร์ทรานสฟอร์ม คำนวณค่าเฟสเซอร์ผิดพลาดคือ ความถี่ของระบบไฟฟ้าที่มีค่าไม่คงที่ อาจเปลี่ยนแปลงไป ณ เวลาใด ๆ ทำให้มีความพยายามจะแก้ไขปัญหาดังกล่าวดังนี้ [8]

วิธีที่ 1 เริ่มต้นด้วยการประมาณค่าความถี่ของระบบไฟฟ้า และกำหนดค่าคงที่ความกว้างของหน้าต่างรับรู้ข้อมูล (Data Window) [9-10] เอาไว้ จากนั้นใช้เทคนิคซีโรคอสซิงเพื่อตรวจหาความถี่ที่แท้จริงอีกครั้งหนึ่ง แล้วจึงทำการปรับช่วงเวลาการสุ่มรูปคลื่น ΔT ตามการเปลี่ยนแปลงของความถี่ ข้อดีของวิธีนี้คือ สามารถปรับช่วงเวลาการสุ่มรูปคลื่นตามความถี่ของระบบไฟฟ้าได้ แต่ข้อเสียคือ การปรับช่วงเวลาการสุ่มรูปคลื่นตามความถี่ของระบบไฟฟ้าทำให้มีความยุ่งยากต่อการนำไปใช้งาน

วิธีที่ 2 เริ่มต้นด้วยการประมาณค่าความถี่ของระบบไฟฟ้า และใช้ช่วงเวลาการสุ่มรูปคลื่น ΔT คงที่ จากนั้นทำการปรับความกว้างของหน้าต่างรับรู้ข้อมูล N ตามการเปลี่ยนแปลงของความถี่ ข้อดีของวิธีนี้คือ ง่ายต่อการนำไปใช้งาน แต่ข้อเสียก็คือ ไม่สามารถทำให้ค่าความผิดพลาดในการวัดเป็นศูนย์ได้ทุก ๆ ค่าความถี่ เนื่องจากความกว้างของหน้าต่างรับรู้ข้อมูลจะต้องเป็นจำนวนเต็มเท่านั้น อีกทั้งยังต้องพึ่งพาเทคนิคอื่นๆ เช่น เทคนิคซีโรคอสซิงเพื่อตรวจหาความถี่ที่แท้จริงของระบบไฟฟ้า เทคนิคซีโรคอสซิงมีข้อเสียกล่าวคือ หากสัญญาณมีฮาร์โมนิกส์รวมอยู่อาจทำให้จุดที่สัญญาณผ่านศูนย์คลาดเคลื่อนไป ส่งผลให้วัดความถี่และเฟสเซอร์ผิดพลาด

การออกแบบอัลกอริทึมเพื่อนำมาคำนวณหาค่าเฟสเซอร์ อัลกอริทึมใหม่สามารถปรับตัวเองไปตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน กระแส และความถี่ของระบบไฟฟ้า มีโครงสร้างตามภาพที่ 3.1 โครงสร้างของอัลกอริทึมแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 คือ ส่วนที่อยู่ด้านนอกของเส้นประ

เป็นกระบวนการปรับค่าแวกเตอร์น้ำหนัก w_1 w_2 ซึ่งก็คือส่วนประกอบตั้งฉาก (Orthogonal) หรือเฟสเซอร์ของรูปคลื่นกระแสหรือแรงดันไฟฟ้า



ภาพที่ 3.1 โครงสร้างอัลกอริทึมแบบปรับตัวเองได้ สำหรับประมาณและติดตามค่าเฟสเซอร์

ส่วนที่ 2 คือส่วนที่อยู่ภายในเส้นประเป็นกระบวนการคำนวณหาค่าความเร็วเชิงมุมมูลฐานของระบบไฟฟ้า (Fundamental Angular Frequency) ที่เปลี่ยนแปลงไป $\Delta\omega$ ตามความถี่ของระบบไฟฟ้า ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงไป ณ เวลาใด ๆ ขั้นตอนของการออกแบบในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1 การออกแบบเริ่มต้นจากสมมติฐานที่ถูกตั้งขึ้นจากการสังเกต เนื่องจากระบบไฟฟ้ามีความถี่ไม่คงที่เท่ากับ 50 Hz ตลอดเวลา ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างระบบผลิต และโหลดรวมของระบบไฟฟ้า ณ เวลานั้น ๆ ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของรูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้า จึงเป็นรูปคลื่นฟังก์ชันโคไซน์ที่มีความเร็วเชิงมุมใกล้เคียงหรือเท่ากับความเร็วเชิงมุมมูลฐานของระบบไฟฟ้านั้น ๆ ตามสมการที่ (3.1)

$$y(t) = A \cdot \cos(\theta + \Delta\omega \cdot t + \omega_s \cdot t) \quad (3.1)$$

เมื่อ A คือ ค่ายอดของรูปคลื่นกระแสหรือแรงดัน

- ω_s คือ ค่ายอดของรูปคลื่นกระแสหรือแรงดัน
 $\Delta\omega$ คือ ความเร็วเชิงมุมของระบบไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าความเร็วเชิงมุมมูลฐาน
 t คือ เวลา
 θ คือ มุมเฟส
 $y(t)$ คือ รูปคลื่นด้านออกจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ประยุกต์ใช้คุณสมบัติผลรวมมุมของฟังก์ชันโคไซน์ $\cos(a+b) = \cos(a)\cos(b) - \sin(a)\sin(b)$ เข้ากับสมการที่ (3.1) โดยกำหนดให้ $a = \theta + \Delta\omega.t$ และ $b = \omega_s.t$ จะได้สมการที่ (3.2)

$$y(t) = A\cos(\theta + \Delta\omega.t)\cos(\omega_s.t) - A\sin(\theta + \Delta\omega.t)\sin(\omega_s.t) \quad (3.2)$$

นำสมการที่ (3.2) มาจัดรูปใหม่ ตามรูปแบบของเวกเตอร์ และเมตริกซ์ในสมการที่ (3.3)

$$\begin{bmatrix} y(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w(t) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x(t) \end{bmatrix}^T \quad (3.3)$$

จะได้เวกเตอร์และเมตริกซ์ใหม่ตามสมการที่ (3.4) ถึง สมการที่ (3.9) ตามลำดับ

$$\begin{bmatrix} X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\omega_s.t) & -\sin(\omega_s.t) \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$$\begin{bmatrix} w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A\cos(\theta + \Delta\omega.t) & -\sin(\omega_s.t) \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

$$\begin{bmatrix} W \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 & w_2 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$$w_1 = A\cos(\theta + \Delta\omega.t) \quad (3.7)$$

$$w_2 = A\sin(\theta + \Delta\omega.t) \quad (3.8)$$

$$y(t) = [W] \cdot [X]^T \quad (3.9)$$

การทำงานของอัลกอริทึมปรับค่าตัวเอง (Adaptation Rule) โดยนำเอาค่าของความผิดพลาด $e(t)$ ที่เกิดจากผลต่างระหว่างรูปคลื่นที่ต้องการหาเฟสเซอร์ $d(t)$ กับรูปคลื่นด้านออก จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ $y(t)$ ในสมการที่ (3.10) มาปรับเวกเตอร์น้ำหนัก

$$e(t) = d(t) - y(t) \quad (3.10)$$

เมื่อ $d(t)$ คือรูปคลื่นกระแสหรือแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการวัดหาเฟสเซอร์และความถี่ หลังจากแปลงสัญญาณอนาล็อก (Analog Signal) เป็นรูปคลื่นเชิงเวลาเต็มหน่วย (Discrete Time Signal) ค่าเวกเตอร์น้ำหนักสามารถปรับตัวเองเพื่อให้มีค่าขนาดของค่ามีนสแควร์เออเรอร์ให้มีค่าต่ำสุด $|e(k)|^2$ ลดลงตามกฎของ Widrow-Hoff Delta Rule [11] ในสมการที่ (3.11)

$$\begin{bmatrix} W(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W(k) \end{bmatrix} + \frac{a \cdot e(k) \cdot [X(k)]}{\begin{bmatrix} X(k) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X(k) \end{bmatrix}^T} \quad (3.11)$$

- เมื่อ k คือ รอบของการปรับค่าเวกเตอร์น้ำหนัก
 $W(k)$ คือ ค่าเวกเตอร์น้ำหนักรอบที่ k
 $W(k+1)$ คือ ค่าเวกเตอร์น้ำหนักที่ถูกปรับในรอบถัดไปที่ $k+1$
 a คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ (Learning Parameter)

เมื่อแทนค่า $\begin{bmatrix} W(k) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X(k) \end{bmatrix}^T = \cos^2(k) + \sin^2(k) = 1$ ลงในสมการที่ (3.11) จะได้สมการที่ (3.12)

$$\begin{bmatrix} W(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W(k) \end{bmatrix} + a \cdot e(k) \cdot \begin{bmatrix} X(k) \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

เนื่องจากเทอมของ $\begin{bmatrix} X(k) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X(k) \end{bmatrix}^T = \cos^2(k) + \sin^2(k)$ มีค่าเท่ากับ 1 เสมอ นั้นหมายถึงความมีเสถียรภาพในการคำนวณที่ไม่ต้องกังวลว่า $\begin{bmatrix} X \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \end{bmatrix}^T$ จะมีค่าเท่ากับศูนย์แล้วจะทำให้กลไกการปรับตัวเองในสมการที่ (3.11) สูญเสียเสถียรภาพไป ความมีเสถียรภาพในการคำนวณคือจุดเด่นอีกอย่างหนึ่งของอัลกอริธึมนี้

ส่วนที่ 2 กระบวนการคำนวณหาค่าความเร็วเชิงมุมมูลฐานของระบบไฟฟ้าที่อาจเปลี่ยนไปตามความถี่ ณ เวลาใด ๆ โดยเริ่มจากการนำส่วนประกอบตั้งฉากของรูปคลื่นแรงดันในสมการที่ (3.7) และสมการที่ (3.8) มาหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งเทียบกับเวลาตามสมการที่ (3.13) และสมการที่ (3.14)

$$\frac{dw_1}{dt} = -\Delta\omega \cdot A \cdot \sin(\Delta\omega t + \theta) \quad (3.13)$$

$$\frac{dw_2}{dt} = -\Delta\omega \cdot A \cdot \sin(\Delta\omega t + \theta) \quad (3.14)$$

นำส่วนประกอบตั้งฉากของรูปคลื่นแรงดันในสมการที่ (3.7) และสมการที่ (3.8) อนุพันธ์อันดับหนึ่งเทียบกับเวลาของส่วนประกอบตั้งฉากของรูปคลื่นแรงดัน ในสมการที่ (3.13) และสมการที่ (3.14) แทนค่าลงในสมการที่ (3.15) จะสามารถคำนวณค่าความเร็วเชิงมุมของระบบไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าความเร็วเชิงมุมมูลฐานได้

$$\frac{w_1 \cdot \frac{dw_2}{dt} - w_2 \cdot \frac{dw_1}{dt}}{w_1^2 + w_2^2} = \Delta\omega \quad (3.15)$$

ประมาณค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่งเทียบกับเวลาของส่วนประกอบตั้งฉากของรูปคลื่นแรงดันในสมการที่ (3.13) และสมการที่ (3.14) โดยใช้ผลต่างทางด้านหลังตามสมการที่ (3.16) และสมการที่ (3.17) ตามลำดับ

$$\frac{dw_1}{dt} = \frac{w_1(k) - w_1(k-1)}{\Delta t} \quad (3.16)$$

$$\frac{dw_2}{dt} = \frac{w_2(k) - w_2(k-1)}{\Delta t} \quad (3.17)$$

นำส่วนประกอบตั้งฉากของรูปคลื่นแรงดันในสมการที่ (3.7) และสมการที่ (3.8) ค่าประมาณของอนุพันธ์อันดับหนึ่งเทียบกับเวลาของส่วนประกอบตั้งฉากของรูปคลื่นแรงดัน ในสมการที่ (3.16) และสมการที่ (3.17) แทนค่าลงในสมการที่ (3.15) พร้อมทั้งแปลงรูปคลื่นอนาล็อกเป็นรูปคลื่นเชิงเวลาเต็มหน่วย จะได้สมการที่ (3.18)

$$\frac{w_1(k) \cdot \frac{(w_2(k) - w_2(k-1))}{\Delta t} - w_2(k) \cdot \frac{(w_1(k) - w_1(k-1))}{\Delta t}}{w_1^2(k) + w_2^2(k)} = \Delta\omega \quad (3.18)$$

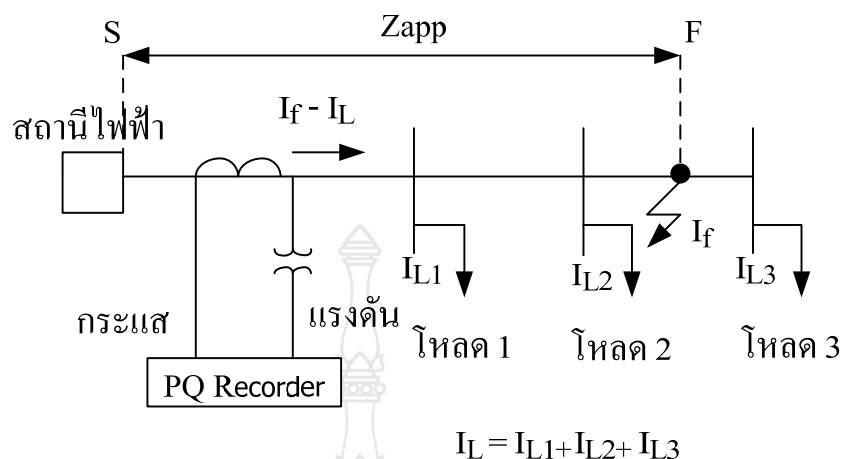
อัลกอริทึมจะปรับความเร็วเชิงมุมมูลฐาน $\omega_s(k+1)$ ไปตามความเร็วเชิงมุมมูลฐานหรือความถี่ที่แท้จริงของระบบไฟฟ้าตามสมการที่ (3.19)

$$\omega_s(k+1) = \omega_s(k) + \Delta\omega(k) \quad (3.19)$$

สมการที่ (3.12) และสมการที่ (3.19) เป็นกลไกที่ขับเคลื่อนให้อัลกอริทึมแบบใหม่นี้สามารถปรับตัวเอง เพื่อประมาณและติดตามค่าเฟสเซอร์จของรูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้า ไปตามการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของระบบไฟฟ้าได้

3.2 การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับคำนวณหาตำแหน่งเกิดความผิดปกติ

การคำนวณหาขอบเขตการค้นหาตำแหน่งผิดปกติของระบบจำหน่าย ได้เลือกใช้วิธีคำนวณระยะทางจากค่ารีแอดแดนซ์ปรากฏ (X_{app}) โดยประมวลผลจากรูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้า จากจุดวัดด้านเดียวคือที่สถานีไฟฟ้า ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเป็นระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบรัศมี (Radial System) การติดตั้งเครื่องบันทึกค่าแรงดันและกระแสไว้ที่สถานีไฟฟ้าทำให้กระแสที่วัดได้ขณะเกิดความผิดปกติเป็นผลรวมของกระแสไหลค (I_L) และกระแสผิดปกติ (I_f) สามารถแทนด้วยวงจรสมมูลตามภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 วงจรสมมูลสำหรับพิจารณาผลของกระแสโหลดที่ทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนในการคำนวณหาตำแหน่งความผิดปกติ

เมื่อพิจารณาผลของกระแสโหลดที่มีผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ปรากฏ สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่โหนด S กระแสโหลด และกระแสผิดปกติตามกฎของโอห์ม ได้ตามสมการที่ (3.20)

$$\frac{V_s}{I_f + I_L} = Z_{app} \quad (3.20)$$

คูณสมการที่ 3-20 ด้วยค่า $(I_f + I_L)$ จะได้สมการที่ 3.21

$$V_s = Z_{app} \cdot (I_f + I_L) \quad (3.21)$$

หารสมการที่ 3.21 ด้วย (I_f) จะได้สมการที่ 3.22

$$\frac{V_s}{I_f} = Z_{app} \left(1 + \frac{I_L}{I_f}\right) \quad (3.22)$$

กำหนดให้ $\frac{V_s}{I_f} = Z_f$ คือ ค่าอิมพีแดนซ์ผิดปกติปรากฏ

เมื่อพิจารณาสมการที่ (3.22) จะพบความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิมพีแดนซ์ผิวดำรงปรากฏ กระแสไหลด และกระแสผิวดำรง ผลของกระแสไหลดทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ผิวดำรงปรากฏมีค่าสูงขึ้นจากค่าอิมพีแดนซ์ปรากฏ (Z_{app}) ในระบบสายส่งอัตราส่วนของกระแสไหลดต่อกระแสผิวดำรง ($\frac{I_L}{I_f}$) มีค่าน้อยมากสามารถละเลยได้ ทำให้อิมพีแดนซ์ผิวดำรงปรากฏ มีค่าใกล้เคียงกับค่าอิมพีแดนซ์ปรากฏ (Z_{app}) แต่สำหรับระบบจำหน่ายอัตราส่วนของกระแสไหลดต่อกระแสผิวดำรง ไม่สามารถละเลยได้ เนื่องจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอาจมีความยาวถึง 30 กิโลเมตร ขนาดของกระแสผิวดำรงที่เกิดขึ้นที่ปลายสายจำหน่ายมีค่าประมาณ 300-500 แอมป์ เท่านั้น ในขณะที่กระแสไหลดอาจสูงถึง 100 แอมป์ และนี่คือข้อจำกัดทางเทคนิคของการคำนวณหาตำแหน่งผิวดำรงจากจุดวัดด้านเดียว เมื่อนำมาใช้กับระบบจำหน่ายเราไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงผลของกระแสไหลดได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้พยายามเปลี่ยนข้อจำกัดนี้ให้เกิดประโยชน์

โดยแนวคิดนี้เกิดจากการที่ผู้วิจัยได้มีโอกาสสัมผัสการทำงานจริงของทีมงานแก่กระแสไฟฟ้าขัดข้องของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดปราจีนบุรี โดยร่วมทำงานอยู่ในห้องเวรรับแจ้งเหตุไฟฟ้าขัดข้องเป็นเวลาหนึ่ง ทำให้ได้รู้ถึงความจริงแล้วสิ่งที่ทีมงานแก่กระแสไฟฟ้าขัดข้องต้องการไม่ใช่ตำแหน่งของจุดผิวดำรง เนื่องจากในสถานการณ์จริงสิ่งที่ทีมงานชุกแก่กระแสไฟฟ้าขัดข้องต้องการในการค้นหาจุดผิวดำรงคือจุดเริ่มต้นค้นหา จุดสิ้นสุดของการค้นหา หรือขอบเขตของตำแหน่งจุดผิวดำรงและชนิดของความผิวดำรง หากผลการคำนวณสามารถบอกได้เพียงตำแหน่งผิวดำรงจะทำให้ทีมงานชุกแก่กระแสไฟฟ้าขัดข้องเกิดความสับสนได้ เมื่อไม่พบสาเหตุของความผิวดำรงในการค้นหาครั้งแรกทำให้ไม่สามารถตัดสินใจได้ว่าจะค้นหาในทิศทางใดต่อไป

แต่หากสามารถระบุเป็นขอบเขตของตำแหน่งผิวดำรงได้แล้ว จะทำให้ทีมงานชุกแก่กระแสไฟฟ้าขัดข้องมีความมั่นใจที่จะทำงานภายใต้ขอบเขต ดังกล่าวเพื่อค้นหาจนพบตำแหน่งและสาเหตุของการเกิดความผิวดำรงได้ในที่สุด ผู้วิจัยจึงเริ่มทำการวิเคราะห์ต่อไปว่าจะสามารถคำนวณจุดเริ่มค้นหาและจุดสิ้นสุดของการค้นหาตำแหน่งผิวดำรงได้อย่างไร โดยเริ่มต้นจากกำหนดให้กระแสไหลดขณะเกิดความผิวดำรงมีค่าประมาณเท่ากับกระแสก่อนเกิดความผิวดำรงตามสมการที่ 3.23 และกระแสผิวดำรงมีค่าประมาณเท่ากับกระแสขนาดเกิดความผิวดำรงลบออกด้วยกระแสก่อนเกิดความผิวดำรงตามสมการที่ (3.24)

$$I_L \cong I_{\text{pre-fault}} \quad (3.23)$$

$$I_f \cong I_{\text{during-fault}} - I_{\text{pre-fault}} \quad (3.24)$$

เมื่อ

$I_{\text{pre-fault}}$ คือ กระแสก่อนเกิดความผิดปกติ

$I_{\text{during-fault}}$ คือ กระแสขนาดเกิดความผิดปกติ

เราสามารถประมาณอัตราส่วนของกระแสโหลดต่อกระแสผิดปกติได้จากสมการที่ (3.25)

$$\frac{I_L}{I_f} \cong \left| \frac{I_{\text{pre-fault}}}{I_{\text{during-fault}} - I_{\text{pre-fault}}} \right| = K \quad (3.25)$$

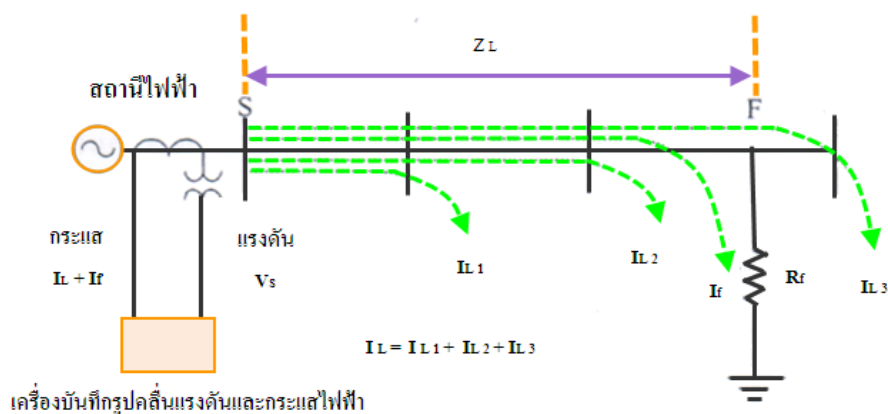
โดยนิยามตัวแปรใหม่เพิ่มขึ้นอีก 1 ตัว คือ ตัวแปร K หรือตัวคูณเพื่อประมาณหาขอบเขตของตำแหน่งจุดเกิดผิดปกติ เมื่อแทนค่า K จากสมการที่ (3.25) ลงในสมการที่ (3.22) จะได้สมการที่ (3.26)

$$\frac{V_s}{I_f} = Z_{\text{app}}(1+K) \quad (3.26)$$

หาค่าจินตภาพในสมการที่ (3.26) เพื่อนำมาคำนวณหาตำแหน่งผิดปกติจากค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏตามสมการที่ (3.27)

$$\text{imag} \left(\frac{V_s}{I_f} \right) = X_{\text{app}}(1+K) \quad (3.27)$$

วิธีการใหม่นี้นอกจากจะพิจารณาค่าความผิดพลาดที่เกิดจากผลของกระแสโหลดแล้ว ยังได้กำจัดค่าความผิดพลาดที่เกิดจากค่าความต้านทานผิดปกติด้วยตัวคูณ เพื่อประมาณหาขอบเขตของตำแหน่งจุดเกิดผิดปกติ K อีกด้วย สามารถพิสูจน์ได้ตามภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 วงจรสมมูลสำหรับพิจารณาผลของค่าความต้านทานผิดพลาดที่ก่อให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งผิดพลาด

จากวงจรสมมูลในภาพที่ (3.3) สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่โนด S ค่าอิมพีแดนซ์ของสาย Z_L จากโนด S ถึงตำแหน่งผิดพลาดที่โนด F กระแสไหล และกระแสผิดพลาดตามกฎของเคอร์ชอฟฟ์ได้ตามสมการที่ (3.28)

$$V_s = Z_L (I_f + I_L) + R_f \cdot I_f \quad (3.28)$$

เมื่อทำการหารสมการที่ (3.28) ด้วยค่า I_f จะได้

$$\frac{V_s}{I_f} = Z_L \left(1 + \frac{I_L}{I_f}\right) + R_f \quad (3.29)$$

เมื่อแทนค่า K จากสมการที่ (3.25) ลงในสมการที่ (3.29) จะได้สมการที่ (3.30)

$$\frac{V_s}{I_f} = Z_L (1 + K) + R_f \quad (3.30)$$

หาค่าจินตภาพในสมการที่ (3.30) เพื่อนำมาคำนวณหาตำแหน่งผิดพลาดจะได้สมการที่ (3.31)

$$\text{imag}\left(\frac{V_s}{I_f}\right) = X_L (1 + K) \quad (3.31)$$

จะเห็นได้ว่าสมการที่ (3.31) เป็นสมการเดียวกับสมการที่ (3.27) ที่ได้กำจัดค่าความผิดพลาด ที่เกิดจากค่าความต้านทานผิดพลาด ด้วยตัวคูณเพื่อประมาณหาขอบเขตของตำแหน่งจุดเกิดผิดพลาดทำให้ในทางปฏิบัติสามารถใช้ตัวคูณเพื่อประมาณหาขอบเขตของตำแหน่งความผิดพลาด ในสมการที่ (3.27) กำหนดจุดเริ่มต้นค้นหาตำแหน่งผิดพลาดและจุดสิ้นสุดการค้นหาตำแหน่งผิดพลาด แสดงตามตารางที่ 3.1 โดยค่ารีแอกแตนซ์คือค่าจินตภาพที่ได้จากผลหารที่เกิดจากแรงดันกระแสตามชนิดของความผิดพลาดตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงการเลือกสัญญาณกระแส และแรงดันไฟฟ้า เพื่อนำมาคำนวณหาค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ X_{app} และขอบเขตของตำแหน่งผิดพลาด

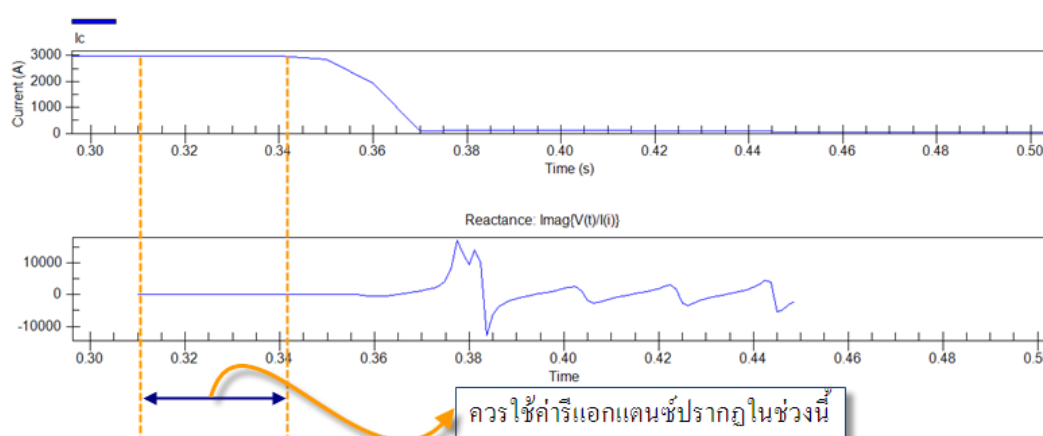
ชนิดความผิดพลาด	แรงดัน (V)	กระแส (A)	จุดเริ่มต้นค้นหา	จุดสิ้นสุดค้นหา
			SP (km)	EP (km)
a-g	V_a	I_a	$\frac{X_{app}}{X_s}$	$\frac{X_{app}(1+k)}{X_s}$
b-g	V_b	I_b	X_s	X_s
c-g	V_c	I_c	X_s	X_s
ab,ab-g	$V_a - V_b$	$I_a - I_b$	X_s	X_s
ac,ac-g	$V_a - V_c$	$I_a - I_c$	$\frac{X_{app}}{X_s - X_m}$	$\frac{X_{app} \cdot (1+k)}{X_s - X_m}$
bc,bc-g	$V_b - V_c$	$I_b - I_c$	$X_s - X_m$	$X_s - X_m$
a-b-c	$V_a - V_b$	$I_a - I_b$	X_s	X_s

เมื่อ X_s คือ ค่ารีแอกแตนซ์เฟสต่อความยาวสายไฟฟ้า 1 กิโลเมตร

X_m คือ ค่ารีแอกแตนซ์เหนี่ยวนำระหว่างเฟสต่อความยาวสายไฟฟ้า 1 กิโลเมตร

3.3 การเลือกค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ

การคำนวณหาขอบเขตการค้นหาตำแหน่งผิดพลาดในระบบจำหน่ายด้วยวิธีคำนวณค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ โดยประมวลผลจากรูปคลื่นกระแสและแรงดันที่ได้จากจุดวัดข้างเดียว แสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาที่เกิดความผิดพลาดความต้านทานสูงขึ้นในระบบจำหน่าย ผลการคำนวณค่ารีแอกแตนซ์ ปรากฏมีค่าไม่คงที่แสดงตามภาพที่ 3.4 โดยมีแนวโน้มที่จะแปรผกผันกับขนาดของกระแสผิดพลาด กล่าวคือเมื่อในขณะที่กระแสผิดพลาดมีค่าสูงค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏที่คำนวณได้มีค่าต่ำลง หรือในขณะที่กระแสไฟฟ้าผิดพลาดมีค่าต่ำ ค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏที่คำนวณได้มีค่าสูงขึ้น



ภาพที่ 3.4 สัญญาณกระแสและค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ

ดังนั้น จึงต้องมีวิธีการเลือกค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏที่เหมาะสม เพื่อนำไปคำนวณหาขอบเขตการค้นหาตำแหน่งผิดพลาดในระบบจำหน่าย ซึ่งจะช่วยให้ขอบเขตการค้นหาตำแหน่งผิดพลาดในระบบจำหน่ายแคบลง อธิบายได้ดังนี้ เมื่อย้อนกลับไปพิจารณาสมการ (3.27) จะเห็นได้ว่าขอบเขตการค้นหาตำแหน่งผิดพลาดจะแคบเมื่อค่าของตัวคูณเพื่อการประมาณหาขอบเขตของตำแหน่งผิดพลาด K มีค่าน้อยหรือค่าอัตราส่วนระหว่างกระแสโหลดและกระแสผิดพลาดมีค่าน้อย ดังนั้นในกรณีที่เกิดความผิดพลาดค่าความต้านทานสูง ขนาดของกระแสผิดพลาดมีค่าไม่คงที่จึงควรเลือกค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏในช่วงเวลาเดียวกันการเกิดกระแสผิดพลาดมีค่าสูง ในแนวเส้นประตัดผ่านตามภาพที่ 3.4 ซึ่งจะทำให้ค่าอัตราส่วนระหว่างกระแสโหลดและกระแสผิดพลาดมีค่าน้อยส่งผลให้ขอบเขตการค้นหาตำแหน่งผิดพลาดแคบลง ซึ่งจะง่ายต่อการทำงานของทีมงานชุดแก้ไขกระแสไฟฟ้าขัดข้อง

การค้นหาค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏที่เหมาะสม สามารถทำได้โดยกำหนดให้อัลกอริทึมทำการค้นหาจุดที่เป็นค่าสูงสุดสัมบูรณ์ (Absolute) ของขนาดสัญญาณกระแสผิดพลาด เนื่องจากความผิดพลาดความต้านทานสูง มีรูปร่างของสัญญาณกระแสผิดพลาดที่ไม่สมมาตร กล่าวคือรูปคลื่นด้านบวกของสัญญาณกระแสผิดพลาด ไม่สมมาตรกับรูปคลื่นด้านลบของสัญญาณกระแสผิดพลาดเวลาที่ค่าสัมบูรณ์ของขนาดสัญญาณกระแสไฟฟ้าผิดพลาดมีค่าสูงสุด จะเป็นเวลาที่อัลกอริทึม ให้ค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏที่เหมาะสม ค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏที่ได้จะนำไปใช้คำนวณหาขอบเขตของตำแหน่งผิดพลาดต่อไป

3.4 การเลือกใช้อัลกอริทึมคำนวณหารีแอกแตนซ์ปรากฏ

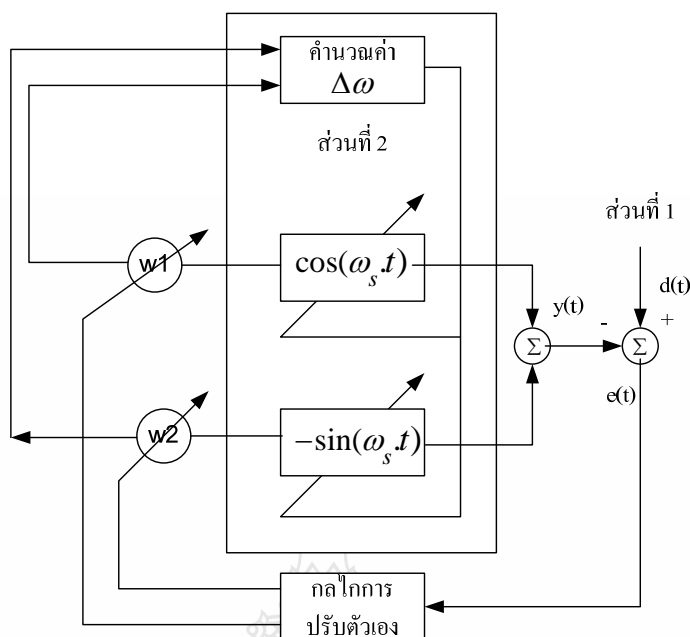
อัลกอริทึมสำหรับคำนวณหาขอบเขตตำแหน่งผิดพลาดของระบบจำหน่ายไฟฟ้า จากค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ ประกอบด้วย 2 ส่วนดังต่อไปนี้

- อัลกอริทึมส่วนที่ 1 คืออัลกอริทึมสำหรับประมวลผล เพื่อติดตามค่าเฟสเซอร์ของสัญญาณกระแส สัญญาณแรงดัน อิมพีแดนซ์ และความถี่ของระบบไฟฟ้า อัลกอริทึมนี้ เหมาะที่จะนำมาใช้คำนวณหาขอบเขตของตำแหน่งผิดพลาด เมื่อสัญญาณกระแสผิดพลาดมีรูปร่างคล้ายคลึงรูปร่างของฟังก์ชันไซน์ สัญญาณกระแสผิดพลาดที่มีรูปร่างคล้ายคลึงรูปร่างของฟังก์ชันไซน์ จะพบได้เกิดจากความผิดพลาด

- อัลกอริทึมส่วนที่ 2 คืออัลกอริทึมสำหรับคำนวณหาค่าความต้านทานปรากฏ และค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ จากคู่ของสัญญาณกระแส และสัญญาณแรงดันที่มีรูปร่างใดๆ อัลกอริทึมนี้ เหมาะที่จะนำมาใช้คำนวณหาขอบเขตของตำแหน่งผิดพลาด เมื่อสัญญาณกระแสผิดพลาด เมื่อสัญญาณกระแสผิดพลาดไม่มีความคล้ายคลึงรูปร่างของฟังก์ชันไซน์ จะพบได้จากการเกิดความผิดพลาดชั่วคราว และความผิดพลาดอิมพีแดนซ์สูง

ดังนั้นในการเลือกใช้อัลกอริทึมส่วนที่ 1 หรืออัลกอริทึมส่วนที่ 2 จึงต้องมีการตรวจสอบสัญญาณกระแสไฟฟ้าผิดพลาดว่ามีความคล้ายคลึงกับรูปร่างของฟังก์ชันไซน์เพียงพอหรือไม่ เพื่อที่สามารถเลือกใช้อัลกอริทึมได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม การตรวจสอบสัญญาณกระแสผิดพลาดว่ามีความคล้ายคลึงกับรูปร่างของฟังก์ชันไซน์เพียงพอหรือไม่สามารถพิจารณาจากค่าความผิดพลาด หรือค่ารัว ($e(t)$) ที่เกิดจากผลต่างระหว่าง สัญญาณกระแสผิดพลาด $d(t)$ กับสัญญาณด้านออกจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ $y(t)$ ค่าความผิดพลาด คือสัญญาณในเส้นประแสดงในภาพที่ 3.5 หากค่าความผิดพลาดมีค่าเป็นศูนย์ หรือใกล้เคียงศูนย์ หมายถึงสัญญาณกระแสผิดพลาดมีรูปร่างคล้ายคลึงรูปร่างของฟังก์ชันไซน์ ค่าเฟสเซอร์ที่คำนวณได้จากอัลกอริทึมสำหรับ ประมวลผล เพื่อติดตามค่าเฟสเซอร์ของสัญญาณกระแส สัญญาณแรงดัน อิมพีแดนซ์ และความถี่ของระบบไฟฟ้า

แต่หากค่าความผิดพลาด ไม่ใกล้เคียงศูนย์ หมายถึงสัญญาณกระแสผิดพลาดมีรูปร่างไม่คล้ายคลึงรูปร่างของฟังก์ชันไซน์ ค่าเฟสเซอร์ที่คำนวณได้จากอัลกอริทึมสำหรับประมวลผล เพื่อติดตามค่าเฟสเซอร์ของสัญญาณกระแส สัญญาณแรงดัน อิมพีแดนซ์ และความถี่ของระบบไฟฟ้า ไม่มีความน่าเชื่อถือ และไม่ควรมนำมาใช้ คำนวณหารีแอกแตนซ์ปรากฏ ควรสลับให้อัลกอริทึมสำหรับคำนวณหาค่าความต้านทานปรากฏและค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ จากคู่ของสัญญาณกระแส และสัญญาณแรงดันที่มีรูปร่างใดๆ ตามที่ได้ออกแบบไว้ คำนวณหารีแอกแตนซ์ปรากฏแทน



ภาพที่ 3.5 โครงสร้างอัลกอริทึมแบบปรับตัวเองได้แบบใหม่สำหรับปริมาณและติดตามค่าเฟสเซอร์

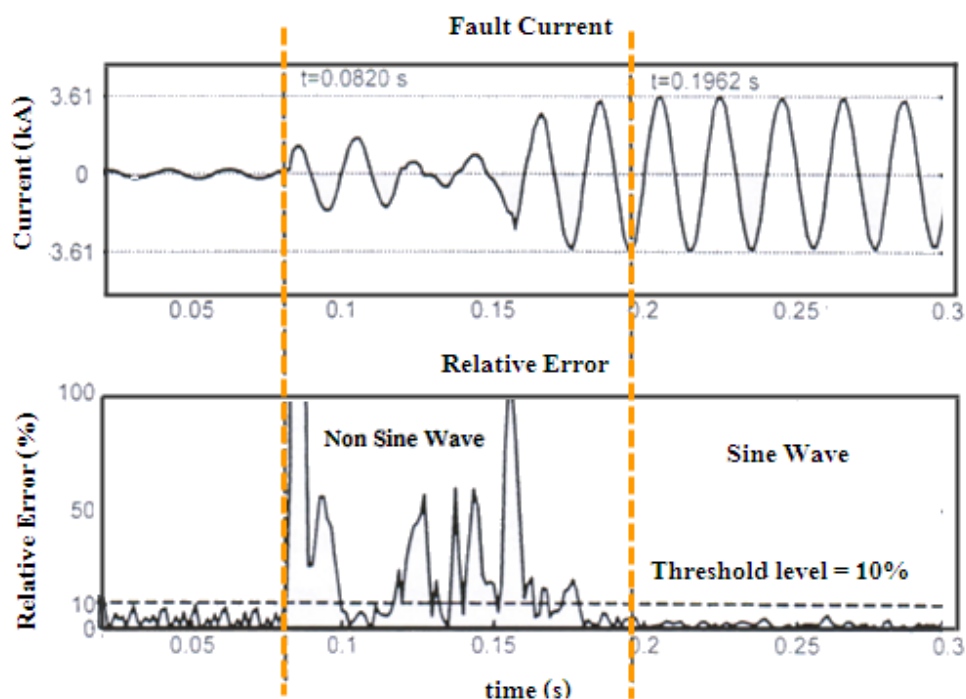
อัลกอริทึมที่ออกแบบได้ใช้เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์วัด เพื่อให้ อัลกอริทึมคำนวณหาค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.32)

$$\text{Error}_{\text{relative}}(k) = \frac{|\text{Error}(k)|}{|I_{\text{phasor}}|} \times 100 \quad (3.32)$$

เมื่อ

$ \text{Error}(k) $	คือ ขนาดของค่าความผิดพลาด
$ I_{\text{phasor}} $	คือ ขนาดของเฟสเซอร์กระแสไฟฟ้าผิดพ่วง
$\text{Error}_{\text{relative}}(k)$	คือ เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์

สัญญาณกระแสไฟฟ้าผิดพ่วงและเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ในภาพที่ 3.6 เป็น กรณีสึกษาที่น่าสนใจ สัญญาณดังกล่าวบันทึกได้จากผลการทดสอบภาคสนาม โดยใช้เส้นประตัดผ่าน ภาพย่อยทั้งสองที่เวลา 0.0820 วินาที และเวลา 0.1962 วินาที เพื่อแบ่งเหตุการณ์ออกเป็น 3 ช่วงเวลา ดังนี้



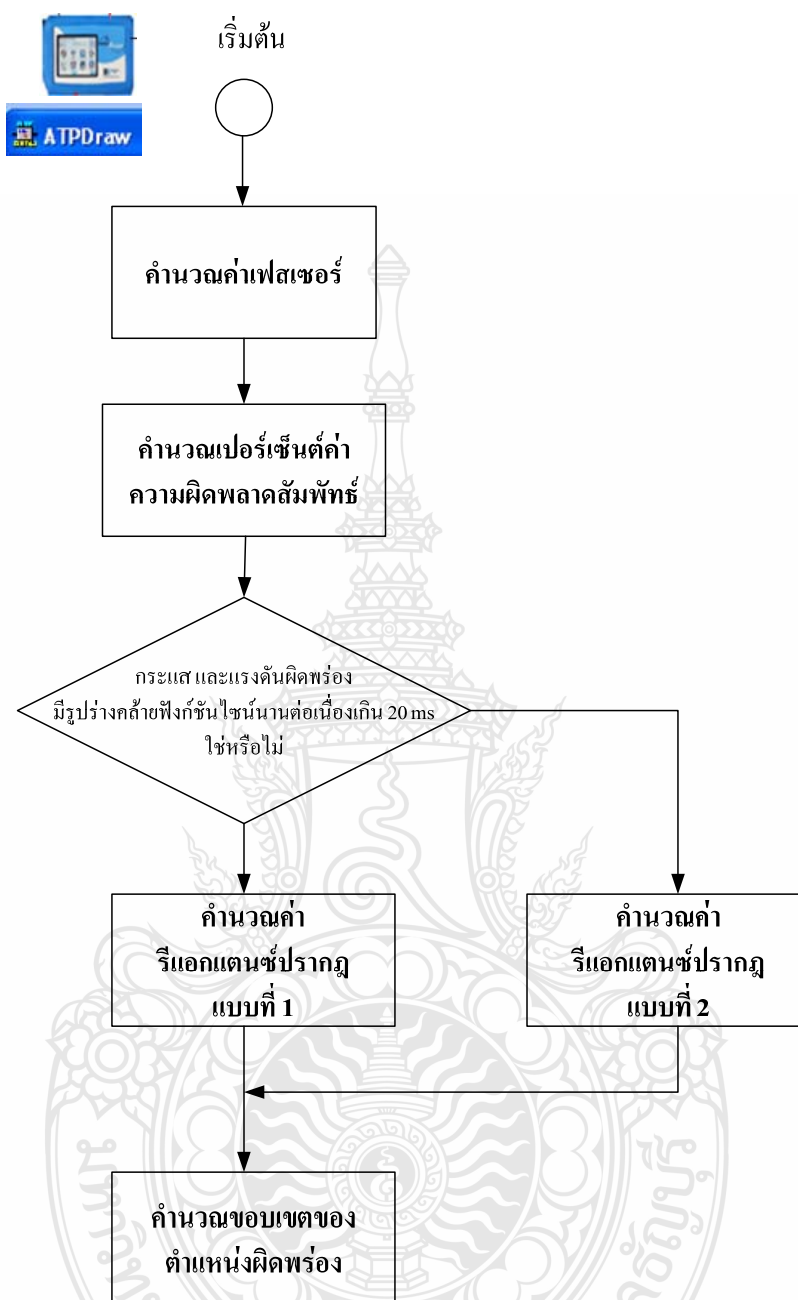
ภาพที่ 3.6 สัญญาณกระแสผิดพลาด และเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์

ช่วงที่ 1 ที่เวลา 0 วินาที ถึงเวลา 0.0820 วินาที เป็นช่วงเวลาก่อนเกิดความผิดพลาด ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 10

ช่วงที่ 2 ที่เวลา 0.0820 วินาที ถึงเวลา 0.1962 วินาที เป็นช่วงเวลาที่เกิดความผิดพลาด สัญญาณกระแสไฟฟ้าผิดพลาดมีรูปร่างไม่คล้ายคลึงรูปร่างของฟังก์ชันไซน์ บางเวลาขนาดของกระแสไฟฟ้าผิดพลาดมีขนาดลดต่ำลง ค่ายอดของกระแสไฟฟ้าด้านบวก ไม่สมมาตรกับค่ายอดของกระแสไฟฟ้าด้านลบ ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์โดยมากมีค่าสูงกว่าร้อยละ 10 ในช่วงเวลาสั้น ๆ ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 10

ช่วงที่ 3 ที่เวลา 0.1962 วินาที เป็นต้นไป เป็นช่วงเวลาที่เกิดความผิดพลาด สัญญาณกระแสไฟฟ้าผิดพลาดมีรูปร่างคล้ายคลึงรูปร่างของฟังก์ชันไซน์ ค่ายอดของกระแสไฟฟ้าด้านบวกมีค่าเท่ากับ 3.61 กิโลแอมป์ สมมาตรกับค่ายอดของกระแสด้านลบมีค่าเท่ากับ -3.61 กิโลแอมป์ ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 10 ต่อเนื่อง

ดังนั้นอัลกอริทึมจึงใช้เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ และเวลา ในการเลือกอัลกอริทึม เพื่อคำนวณหาค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏแสดงตามผังการทำงานในภาพที่ 3.7 อธิบายได้ดังนี้



ภาพที่ 3.7 ฟังก์ชันการทำงานในการเลือกใช้อัลกอริทึมเพื่อคำนวณหาค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ

- อัลกอริทึมสำหรับประมวลผล เพื่อติดตามค่าเฟสเซอร์ของสัญญาณกระแส สัญญาณแรงดัน อิมพีแดนซ์ และความถี่ของระบบ จะทำการคำนวณหาค่าเฟสเซอร์
- คำนวณเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์

- ตรวจสอบว่าสัญญาณกระแสผิดพลาดมีรูปร่างคล้ายคลึงรูปร่างของฟังก์ชันไซน์โดยหาค่าเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ และเวลา หากพบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์มีค่าต่ำกว่า 10% ($\text{Error}_{\text{Relative}} < 10\%$) และต่อเนื่องนานเกิน 20 ms ($\text{time} > 20\text{ms}$) ให้ใช้อัลกอริทึมสำหรับประมวลผล เพื่อติดตามค่าเฟสเซอร์ของ สัญญาณกระแส สัญญาณแรงดัน อิมพีแดนซ์ และความถี่ของระบบไฟฟ้าคำนวณหาค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ หากไม่ใช้ให้อัลกอริทึมสำหรับหาค่าความต้านทานปรากฏ และค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ จากคู่ของสัญญาณกระแส และสัญญาณแรงดันที่มีรูปร่างใดๆ ตามที่ได้ออกแบบไว้ คำนวณหาค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ

- นำค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏที่ได้มาคำนวณหาขอบเขตของตำแหน่งผิดพลาดต่อไป

3.5 แนวทางการแยกแยะตำแหน่งผิดพลาดที่เกิดขึ้นในสายจำหน่ายหลัก และสายจำหน่ายกิ่งย่อย

Electric Power Research Institute (EPRI) [12] ได้ให้แนวทางการแยกแยะตำแหน่งผิดพลาดที่เกิดขึ้นในสายจำหน่ายหลักและสายจำหน่ายกิ่งย่อย โดยอาศัยเวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิดที่ติดตั้งอยู่ในระบบจำหน่าย สรุปลงเป็นขั้นตอนโดยสังเขปดังนี้

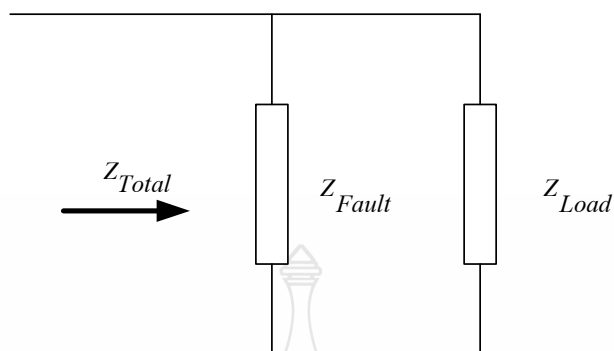
ขั้นตอนที่ 1 สร้างแบบจำลองของโหลดโดยใช้แบบจำลองอิมพีแดนซ์คงที่ (Constant Impedance) ตามสมการที่ 3.33

$$Z_{\text{Load}} = \frac{V_{\text{pre-fault}}}{I_{\text{pre-fault}}} \quad (3.33)$$

เมื่อ

Z_{Load}	คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดก่อนเกิดความผิดพลาด
$V_{\text{pre-fault}}$	คือ เฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้าก่อนเกิดความผิดพลาด
$I_{\text{pre-fault}}$	คือ เฟสเซอร์ของกระแสไฟฟ้าก่อนเกิดความผิดพลาด

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์รวมแสดงในภาพที่ 3.8 ซึ่งเกิดจากอิมพีแดนซ์ของโหลด ขนานกับค่าอิมพีแดนซ์ผิดพลาด โดยใช้แบบจำลองอิมพีแดนซ์คงที่ตามสมการที่ (3.34)



ภาพที่ 3.8 วงจรสมมูลของอิมพีแดนซ์รวม

$$Z_{Total} = \frac{V_{During-fault}}{I_{During-fault}} \quad (3.34)$$

เมื่อ

Z_{Total}

คือ ค่าอิมพีแดนซ์รวม

$V_{During-fault}$

คือ เฟสเซอร์ของแรงดันขณะเกิดความผิดปกติ

$I_{During-fault}$

คือ เฟสเซอร์ของกระแสขณะเกิดความผิดปกติ

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ผิดปกติจากค่าอิมพีแดนซ์ของโหลด และค่าอิมพีแดนซ์รวมตามสมการที่ (3.35)

$$Z_{Fault} = \frac{1}{\frac{1}{Z_{Total}} - \frac{1}{Z_{Load}}} \quad (3.35)$$

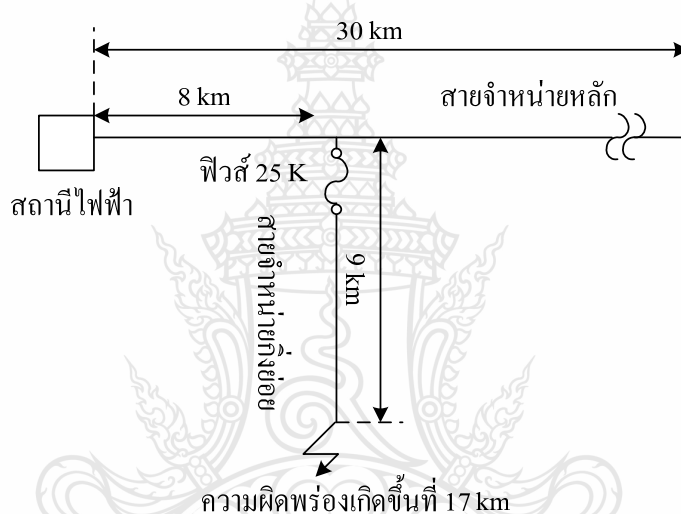
ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่ากระแสผิดปกติที่ไหลผ่านอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน ตามสมการที่ (3.36)

$$I_{Fault} = \frac{V_{During-fault}}{Z_{Fault}} \quad (3.36)$$

ขั้นตอนที่ 5 หาช่วงเวลาที่เกิดกระแสไฟฟ้าผิดปกติที่ไหลผ่านอุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินเปรียบเทียบกับแผนภูมิเวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินเพื่อระบุการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน

3.5.1 พิสูจน์แนวทางการแยกแยะตำแหน่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในสายจำหน่ายหลักและสายจำหน่ายกิ่งย่อย[13]

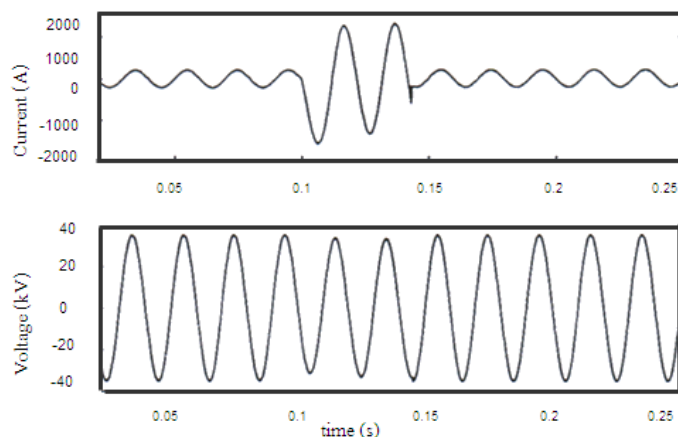
เพื่อพิสูจน์แนวคิดดังกล่าววิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้พัฒนาโมเดลของฟิวส์โดยใช้ TACS จำลองเหตุการณ์การเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ โดยใช้โปรแกรม ATP/EMTP



ภาพที่ 3.9 ระบบจำหน่ายที่ใช้ทำการศึกษา

ระบบจำหน่ายที่ใช้ทำการศึกษาประกอบด้วย สายจำหน่ายหลักยาว 30 กิโลเมตร และสายจำหน่ายกิ่งย่อยยาว 9 กิโลเมตร โดยสายจำหน่ายกิ่งย่อยติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินเป็นฟิวส์ขนาด 25 แอมป์ ตามภาพที่ 3.9 กำหนดให้เกิดความผิดปกติที่เวลา 0.1 วินาที ในสายจำหน่ายไฟฟ้ากิ่งย่อย ระยะทางห่างจากสถานีไฟฟ้า 17 กิโลเมตร สายไฟฟ้าเป็นชนิดสายหุ้มฉนวนไม่เต็มพิกัดขนาด 185 ตารางมิลลิเมตร มีอิมพีแดนซ์ของสายค่า $Z_x = 0.2130 + j0.7411$ โอห์มต่อกิโลเมตร สัญญาณกระแส และสัญญาณแรงดันไฟฟ้า วัดที่สถานีไฟฟ้าแสดงตามภาพที่ 3.10

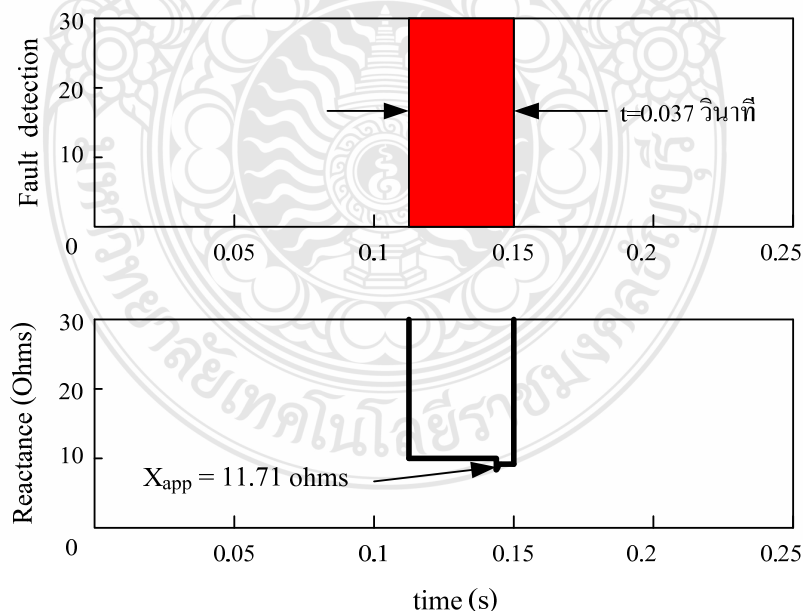
จะเห็นสังเกตได้จากสัญญาณกระแสในภาพที่ 3.10 ความผิดปกติเริ่มเกิดขึ้นที่เวลา 0.1 วินาที เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 37.9 มิลลิวินาที หรือประมาณ 2 คาบ ฟิวส์ขนาด 25 แอมป์ หลอมละลายขาด ตัดความผิดปกติออกจากระบบไฟฟ้า ทำให้นาฬิกาของกระแสคืนสู่สภาวะปกติ ในช่วงเวลาขณะเกิดความผิดปกติ จะสังเกตเห็นขนาดของแรงดันในรูปที่ 3.10 มีขนาดลดต่ำลงเล็กน้อย



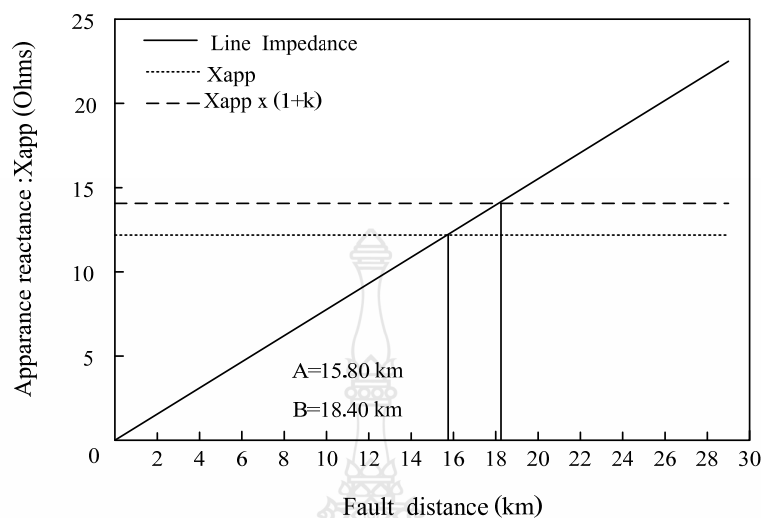
ภาพที่ 3.10 สัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าผิดปกติ

ใช้อัลกอริทึมสำหรับตรวจจับและแยกแยะชนิดของความผิดปกติในช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มเกิดความผิดปกติจนกระทั่งฟิวส์หลอมละลายขาด และคำนวณหาค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏได้ผลดังภาพที่ 3.11 จากภาพที่ 3.11 พบว่าช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มเกิดความผิดปกติจนกระทั่งฟิวส์ขนาด 25 แอมป์ หลอมละลายขาดกินเวลา 0.0379 วินาที ค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏมีค่าประมาณ 11.71 โอห์ม

ภาพที่ 3.12 แสดงแผนที่หาตำแหน่งของความผิดปกติชนิดเฟส-ดิน แกน x คือระยะทางของสายจำหน่ายจากสถานีไฟฟ้า แกน y คือค่ารีแอกแตนซ์ของสายไฟ



ภาพที่ 3.11 เวลาที่ฟิวส์หลอมละลายและค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ



ภาพที่ 3.12 แผนที่หาตำแหน่งของความผิดพลาดชนิดเฟส – ดิน

เมื่อคำนวณหาค่าตัวคูณเพื่อประมาณหาขอบเขตของตำแหน่งผิดพลาด และนำเอาค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏมาลงบนแผนที่หาตำแหน่งของความผิดพลาดชนิดเฟส – ดิน ในภาพที่ 3.12 พบว่าตำแหน่งมีโอกาสเกิดขึ้นที่สายจำหน่ายหลักและสายจำหน่ายกิ่งย่อย โดยมีจุดเริ่มต้นค้นหาตำแหน่งผิดพลาดที่ระยะทาง 15.80 กิโลเมตร จากสถานีไฟฟ้า (จุด A) และจุดสิ้นสุดการค้นหาตำแหน่งผิดพลาดที่ระยะทาง 18.40 กิโลเมตร จากสถานี (จุด B) จึงทำการแยกแยะตำแหน่งผิดพลาดที่เกิดขึ้นในสายจำหน่ายไฟฟ้าหลัก และสายจำหน่ายไฟฟ้ากิ่งย่อย โดยอาศัยเวลาทำงานของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างแบบจำลองโหลดโดยใช้แบบจำลองอิมพีแดนซ์คงที่ (Constant Impedance) ตามสมการที่ (3.33)

$$Z_{\text{Load}} = \frac{V_{\text{Pre-fault}}}{I_{\text{Pre-fault}}} = \frac{-8988.047 + j15194.503}{3.754 + j2.059e2} = 72.967 + j44.978 \ \Omega$$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาอิมพีแดนซ์รวมแสดงในภาพที่ 3.9 ซึ่งเกิดจากค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดขนานกับค่าอิมพีแดนซ์ผิดพลาด โดยใช้แบบจำลองชนิดคงที่อิมพีแดนซ์ตามสมการที่ (3.34)

$$Z_{\text{Total}} = \frac{V_{\text{During-fault}}}{I_{\text{During-fault}}} = \frac{-10468.045 + j13070.390}{6.581e2 + j1.150e3} = 4.637 + j11.754 \ \Omega$$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ผิดพลาดจากค่าอิมพีแดนซ์ของโหลด และค่าอิมพีแดนซ์รวมตามสมการที่ (3.35)

$$Z_{\text{Total}} = \frac{1}{\frac{1}{Z_{\text{Total}}} + \frac{1}{Z_{\text{Load}}}} = \frac{1}{\frac{1}{4.637 + j11.754} + \frac{1}{72.967 + j44.978}} = 3.883 + j13.716 \ \Omega$$

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่ากระแสผิดพลาดที่ไหลผ่านอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน ตามสมการที่ (3.36)

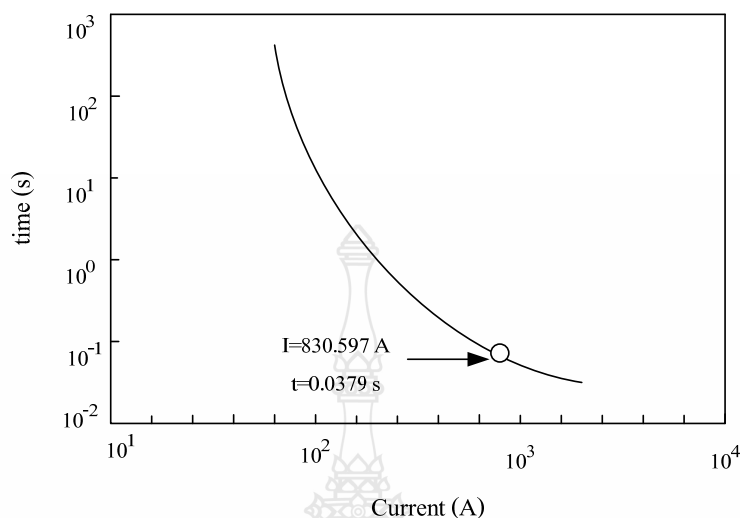
$$I_{\text{Fault}} = \frac{V_{\text{During-fault}}}{Z_{\text{Fault}}} = \frac{-1.046e4 + j1.307e4}{3.883 + j13.716} = 6.821e2 + j9.563e2 \ \text{A}$$

$$I_{\text{Fault (rms)}} = \frac{|6.821e2 + j9.563e2|}{\sqrt{2}} = 830.597 \ \text{A}$$

ขั้นตอนที่ 5 นำเอาขนาดของกระแสผิดพลาด 830.597 แอมป์ และช่วงเวลาที่เกิดขึ้น 0.0379 วินาที เปรียบเทียบกับแผนผังเวลาการทำงานของฟิวส์ต่าง ๆ พบว่าเหตุการณ์ดังกล่าวอยู่ภายใต้เงื่อนไขการทำงานของฟิวส์ขนาด 25 แอมป์ แสดงดังภาพที่ 3.13 ดังนั้นจึงทำให้สามารถระบุได้ว่าเกิดความผิดพลาดขึ้นหลังฟิวส์ขนาด 25 แอมป์ ในสายจำหน่ายไฟฟ้ากิ่งย่อย โดยมีจุดเริ่มต้นค้นหาตำแหน่งความผิดพลาดที่ระยะทาง 15.80 กิโลเมตร จากสถานีไฟฟ้าและมีจุดสิ้นสุดการค้นหาตำแหน่งความผิดพลาดที่ระยะทาง 18.40 กิโลเมตรจากสถานีไฟฟ้า

คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งความผิดพลาด เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งผิดพลาดสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (3.37) ดังนี้

$$\text{error(\%)} = \frac{|AP + SP|}{AP} \times 100 \quad (3.37)$$



ภาพที่ 3.13 แผนผังเวลาการทำงานของฟิวส์ขนาด 25 K

3.6 สรุป

แนวทางในการแยกแยะตำแหน่งผิดพลาดที่เกิดขึ้นในสายจำหน่ายและสายจำหน่ายกิ่งย่อยที่ Electric Power Research Institute ได้นำเสนอไว้ พิสูจน์แล้วว่าสามารถนำไปใช้ประยุกต์ร่วมกับอัลกอริทึมที่ออกแบบไว้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เป็นอย่างดี วิทยานิพนธ์นี้ได้มีการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับประมาณแล้วติดตามค่าเฟสเซอร์ของรูปคลื่นกระแสและแรงดันไฟฟ้า อิมพีแดนซ์และความถี่ของระบบไฟฟ้าไว้ จึงสามารถนำมาใช้คำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าผิดพลาดที่ไหลผ่านอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินตามสมการที่ (3.33) ถึงสมการที่ (3.36) ได้ และสามารถหาเวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินจากอัลกอริทึมสำหรับตรวจจับและแยกแยะชนิดของความผิดพลาด เมื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับแผนผังเวลาการทำงานของอุปกรณ์ ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินแล้ว จะช่วยให้มีข้อมูลเพิ่มเติมในการแยกแยะตำแหน่งผิดพลาด ที่เกิดขึ้นในสายจำหน่ายหลักและสายจำหน่ายกิ่งย่อย ดังนั้นเมื่อรวมเอาความสามารถของอัลกอริทึม และแนวทางในการแยกแยะตำแหน่งผิดพลาดที่เกิดขึ้นในสายจำหน่ายหลักและสายจำหน่ายย่อยของ Electric Power Research Institute มารวมกันแล้วทำให้งานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

บทที่ 4

ผลการทดลอง

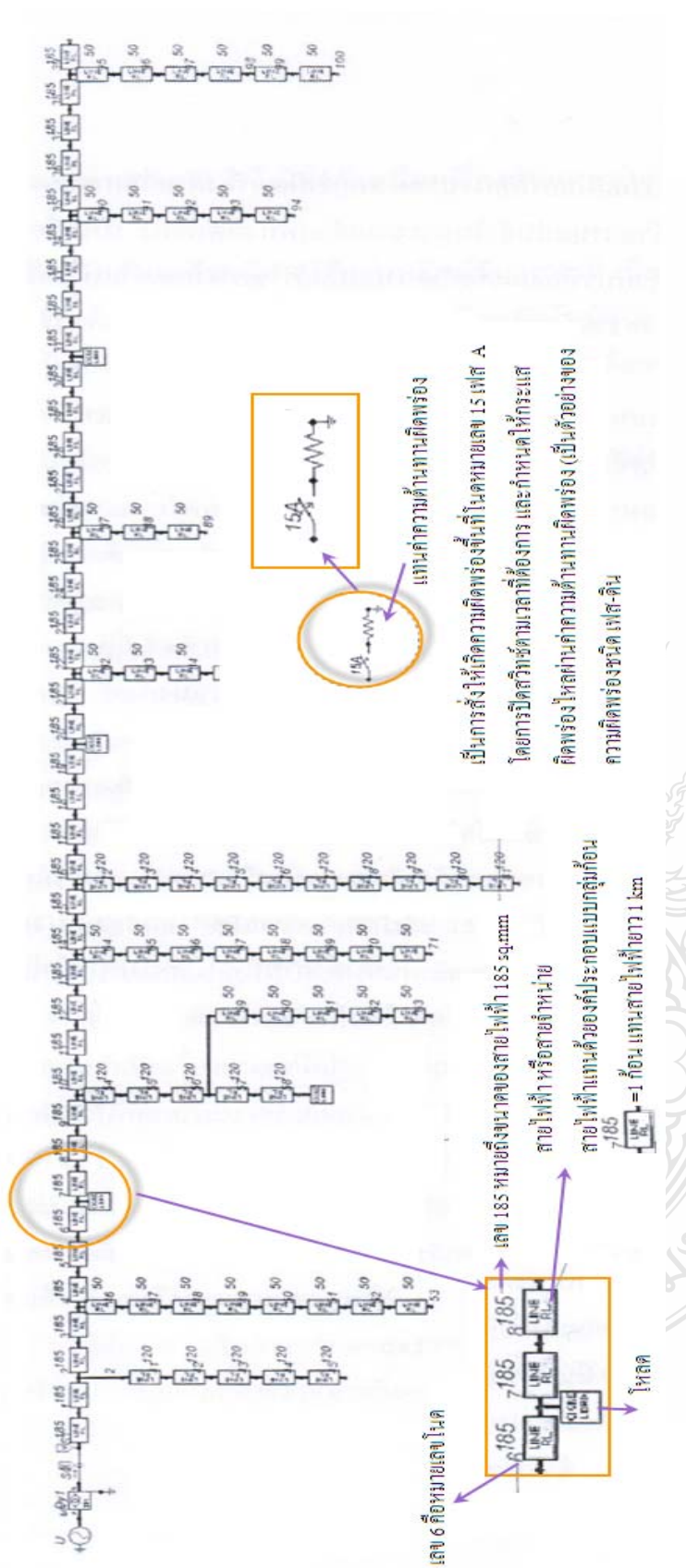
ค่าความแม่นยำในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดของระบบไฟฟ้าระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์ เป็นเรื่องที่มีความยุ่งยากและซับซ้อน เนื่องจากมีตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าความแม่นยำในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดของระบบไฟฟ้าหลายตัวแปรด้วยกัน เช่น ชนิดของความผิดพลาด ค่าความต้านทานผิดพลาด กระแสไหล ความยาวของสายไฟในระบบจำหน่าย เป็นต้น การวิเคราะห์ค่าความแม่นยำในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดของระบบไฟฟ้า โดยสามารถลดความยุ่งยากและซับซ้อนลงได้ โดยอาศัยเทคนิคการสร้างแบบจำลองจากระบบจริงแล้วนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาค่าความแม่นยำในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดเชิงสถิติ

4.1 รูปแบบและรายละเอียดการทดสอบอัลกอริทึม

การบอกตำแหน่งความผิดพลาดของระบบไฟฟ้า อัลกอริทึมได้จำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้สามารถแสดงตำแหน่งการเกิดความผิดพลาดของระบบไฟฟ้าได้ 100 จุด กำหนดให้สายจำหน่ายหลักเป็นสายชนิดหุ้มฉนวนไม่เต็มพิกัดขนาด 185 ตารางมิลลิเมตร ยาว 40 กิโลเมตร มีสายจำหน่ายไฟฟ้ากิ่งย่อย 10 วงจร ประกอบด้วยสายไฟชนิดหุ้มฉนวนไม่เต็มพิกัดขนาด 120 ตารางมิลลิเมตร และสายไฟฟ้าเปลือย ขนาด 50 ตารางมิลลิเมตร แสดงดังในภาพที่ 4.1 เป็นระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษาความแม่นยำในการบอกตำแหน่งความผิดพลาด โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้กับระบบไฟฟ้าในภาพที่ 4.1 และการสุ่มตัวเลขดังนี้

- ระบบไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ต
- หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 50 เมกกะวัตต์ มีค่าอิมพีแดนซ์ร้อยละ 12
- สายไฟในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแทนด้วยพารามิเตอร์องค์ประกอบแบบกลุ่มก่อน

ประกอบด้วยตัวต้านทานไฟฟ้าและตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า โดยละเลยตัวเก็บประจุไฟฟ้า ค่าอิมพีแดนซ์ของสายไฟขนาดและชนิดต่าง ๆ มีค่าตามตารางที่ 4.1 และ 4.2



ภาพที่ 4.1 ระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษาความแม่นยำในการบอกตำแหน่งดีพร้อม

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ของสายไฟในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบองค์ประกอบสมมาตร

ชนิดของสาย	ขนาดสาย (sq.mm)	r_0 (Ω /km)	x_0 (Ω /km)	r_1, r_2 (Ω /km)	x_1, x_2 (Ω /km)
สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน ไม่เต็มพิกัด	185	0.3919	1.5538	0.21435	0.3398
สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน ไม่เต็มพิกัด	120	0.4990	1.6021	0.3215	0.3354
สายไฟฟ้าเปลือย	50	0.7881	1.6067	0.6401	0.3798

ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ของสายไฟจำหน่ายไฟฟ้าแบบระบบพิกัดเฟส

ชนิดของสาย	ขนาดสาย (sq.mm)	r_s (Ω /km)	x_s (Ω /km)	r_m (Ω /km)	x_m (Ω /km)
สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน ไม่เต็มพิกัด	185	0.2735	0.7444	0.0592	0.4047
สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน ไม่เต็มพิกัด	120	0.3807	0.7576	0.0592	0.4222
สายไฟฟ้าเปลือย	50	0.6895	0.7888	0.0493	0.4089

เมื่อ

r_0, x_0 คือ ค่าความต้านทานลำดับศูนย์ และค่ารีแอกแตนซ์ลำดับศูนย์ตามลำดับ

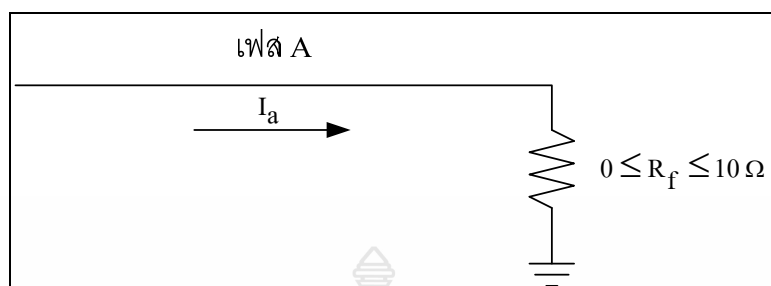
r_1, r_2 คือ ค่าความต้านทานลำดับบวก และค่าความต้านทานลำดับลบตามลำดับ

x_1, x_2 คือ ค่ารีแอกแตนซ์ลำดับบวก และค่ารีแอกแตนซ์ลำดับลบตามลำดับ

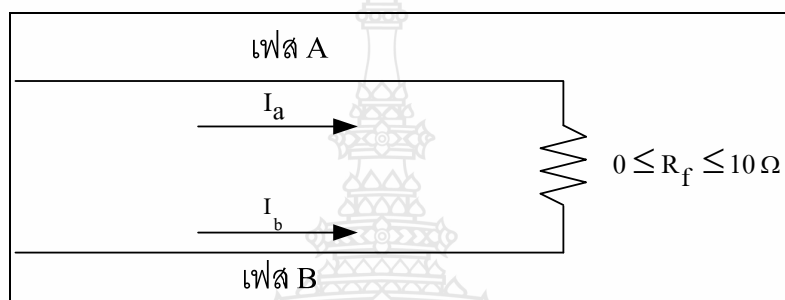
r_s, x_s คือ ค่าความต้านทานเฟส (Self-Resistance) และค่ารีแอกแตนซ์เฟส (Self-Reactance) ตามลำดับ

r_m, x_m คือ ค่าความต้านทานเหนี่ยวนำระหว่างเฟส (Mutual Resistance) และค่ารีแอกแตนซ์เหนี่ยวนำระหว่างเฟส (Mutual Reactance) ตามลำดับ

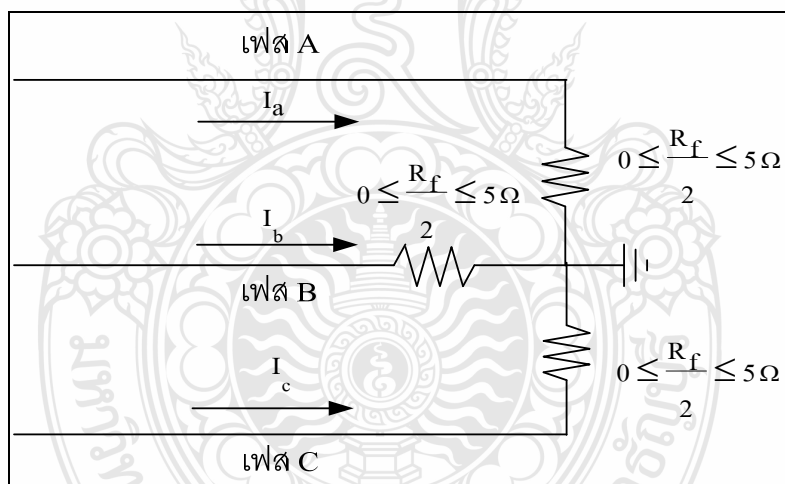
แบบจำลองความผิดพลาด มี 3 ประเภท ได้แก่ ความผิดพลาดชนิดเฟส-ดิน , ความผิดพลาดระหว่างเฟส และความผิดพลาดสามเฟส แสดงดังภาพที่ 4.2



(ก) ความผิดพลาดชนิดเฟส-ดิน



(ข) ความผิดพลาดชนิดระหว่างเฟส



(ค) ความผิดพลาดชนิดสามเฟส

ภาพที่ 4.2 การจำลองค่าความต้านทานผิดพลาด R_f ชนิดต่างๆ

กำหนดให้โหลดรวมมีขนาด 5 เมกกะวี่เอ , เพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับ 0.85 lag แบ่งโหลดออกเป็น 4 โหลดย่อยขนาดเท่า ๆ กัน ตำแหน่งของโหลดย่อยกระจายอยู่ในระบบไฟฟ้าตามภาพที่ 4.1 ให้การลู่ตำแหน่งเกิดความผิดพลาดในระบบไฟฟ้า มีความสำคัญเท่ากันทุกโนดตั้งแต่โนดที่ 1

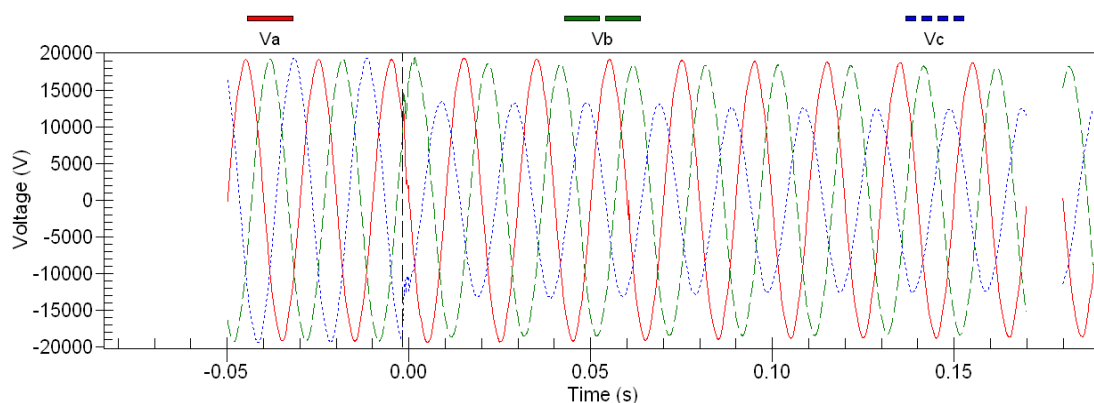
ถึง โหนดที่ 100 สุ่มค่าความต้านทานไฟฟ้าผิดปกติมีความสำคัญเท่ากัน โดยค่าความต้านไฟฟ้าผิดปกติรวมมีค่าอยู่ในช่วง 0-10 โอห์ม และสุ่มชนิดของความผิดปกติแบ่งการวิเคราะห์หาค่าความแม่นยำตามชนิดของความผิดปกติออกเป็น 3 กรณีศึกษา ได้แก่

- วิเคราะห์หาค่าความแม่นยำของความผิดปกติชนิดเฟส-ดิน
- วิเคราะห์หาค่าความแม่นยำของความผิดปกติชนิดระหว่างเฟส
- วิเคราะห์หาค่าความแม่นยำความผิดปกติชนิดสามเฟส

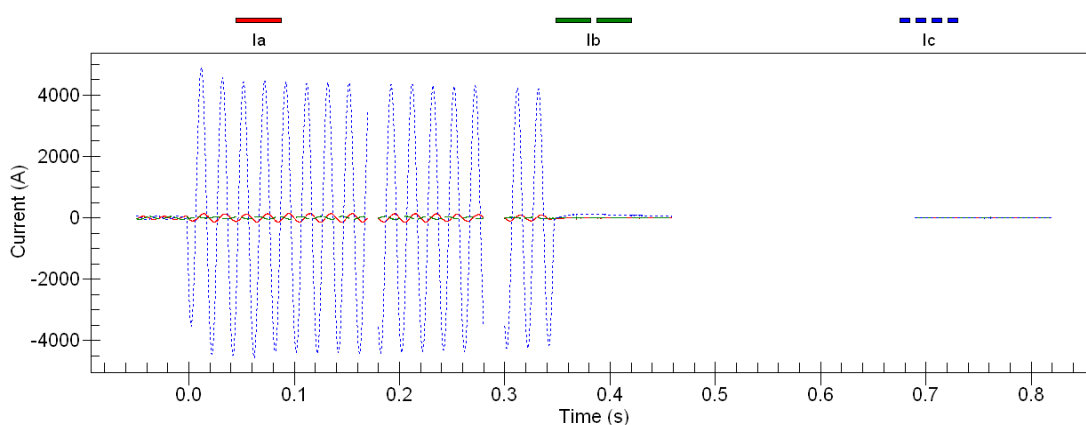
ทำการสุ่มตำแหน่งเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า ชนิดของความผิดปกติและค่าความต้านทานไฟฟ้าผิดปกติ จำนวน 300 ครั้งต่อ 1 กรณีศึกษา รวมทั้งสิ้น 900 ครั้งต่อ 3 กรณีศึกษา

4.2 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมสำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดปกติ

ขั้นตอนที่ 1 จำลองความผิดปกติโดยใช้โปรแกรม ATP/EMTP เพื่อนำสัญญาณกระแสผิดปกติและสัญญาณแรงดันที่ได้จากโปรแกรม ATP/EMTP มาตรวจจับและแยกแยะชนิดของความผิดปกติโดยใช้อัลกอริทึม เกิดความผิดพลาดที่โหนดหมายเลข 15 ของระบบไฟฟ้าในภาพที่ 4.1 เป็นความผิดปกติชนิด c ลงดินมีค่าความต้านทานไฟฟ้าผิดปกติเท่ากับ $R_f = 3$ โอห์ม



ภาพที่ 4.3 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าขณะเกิดความผิดปกติชนิดเฟส c ลงดิน



ภาพที่ 4.4 สัญญาณกระแสไฟฟ้าขณะเกิดความผิดปกติของชนิดเฟส c ลงดิน

ภาพที่ 4.3 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าขณะเกิดความผิดปกติลงดิน (สีแดง) แทนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเฟส A เส้นประใหญ่(สีเขียว) แทนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเฟส B และเส้นประเล็ก (สีน้ำเงิน)แทนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเฟส C และภาพที่ 4.4 แสดงสัญญาณกระแสไฟฟ้าขณะเกิดความผิดปกติลงดิน (สีแดง) แทนสัญญาณกระแสไฟฟ้าเฟส A เส้นประใหญ่ (สีเขียว) แทนสัญญาณกระแสไฟฟ้าเฟส B และเส้นประเล็ก (สีน้ำเงิน)แทนสัญญาณกระแสไฟฟ้าเฟส C

ตารางที่ 4.3 การเลือกสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดันไฟฟ้า เพื่อนำมาคำนวณหาค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ X_{app} และขอบเขตของตำแหน่งผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ชนิดความผิดปกติ	แรงดัน (V)	กระแส (A)	จุดเริ่มต้นค้นหา	จุดสิ้นสุดการค้นหา
			SP (km)	EP (km)
a-g	V_a	I_a	$\frac{X_{app}}{X_s}$	$\frac{X_{app}(1+k)}{X_s}$
b-g	V_b	I_b		
c-g	V_c	I_c		
ab,ab-g	$V_a - V_b$	$I_a - I_b$	$\frac{X_{app}}{X_s - x_m}$	$\frac{X_{app} \cdot (1+k)}{X_s - x_m}$
ac,ac-g	$V_a - V_c$	$I_a - I_c$		
bc,bc-g	$V_b - V_c$	$I_b - I_c$		
a-b-c	$V_a - V_b$	$I_a - I_b$		

เมื่อ X_s คือ ค่ารีแอกแตนซ์เฟสต่อความยาวสายไฟฟ้า 1 km

X_m คือ ค่ารีแอกแตนซ์เหนี่ยวนำระหว่างเฟสต่อความยาวสายไฟฟ้า 1 km

ขั้นตอนที่ 2 หลังจากสามารถแยกแยะชนิดของความผิดปกติได้สำเร็จแล้ว อัลกอริทึมจะทำการเลือกชนิดของความผิดปกติที่เกิดขึ้นเป็นเวลานานและต่อเนื่องที่สุด ชนิดของความผิดปกติที่ถูกเลือก จะนำไปใช้กำหนดค่าของสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้า เพื่อที่จะนำมาใช้คำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ปรากฏ X_{app} ตามตารางที่ 4.3 เช่น จากตัวอย่างในขั้นตอนที่ 1 ผลการตรวจจับและแยกแยะชนิดความผิดปกติพบว่า ความผิดปกติชนิดเฟสลงดิน c-g เกิดขึ้นเป็นเวลานานและต่อเนื่องที่สุด ดังนั้นจึงเลือก สัญญาณกระแสไฟฟ้าเฟส c และสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเฟส c มาใช้ในการคำนวณเป็นต้น

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่าเฟสเซอร์ของสัญญาณกระแสไฟฟ้า และค่าเฟสเซอร์ของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 โดยใช้อัลกอริทึมที่ออกแบบ จากนั้นอัลกอริทึมจะทำการค้นหาค่าเฟสเซอร์ของสัญญาณกระแสไฟฟ้า และเฟสเซอร์ของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าในสถานะคงตัวมา 6 ค่า โดยกำหนดให้เป็นตัวแปร 6 ตัว ดังต่อไปนี้

ตัวแปรที่ 1 คือส่วนจริงของเฟสเซอร์สัญญาณกระแสไฟฟ้า ในช่วงเวลาก่อนเกิดความผิดปกติแทนด้วยสัญลักษณ์ $\text{Re}(I_{\text{pre-fault}})$ ในสถานะคงตัวมีค่าเท่ากับ 90.1771 แอมป์

ตัวแปรที่ 2 คือส่วนจินตภาพของเฟสเซอร์สัญญาณกระแสไฟฟ้า ในช่วงเวลาก่อนเกิดความผิดปกติแทนด้วยสัญลักษณ์ $\text{Im}(I_{\text{pre-fault}})$ ในสถานะคงตัวมีค่าเท่ากับ -89.2304 A

ตัวแปรที่ 3 คือส่วนจริงของเฟสเซอร์สัญญาณกระแสไฟฟ้า ในช่วงเวลาก่อนเกิดความผิดปกติแทนด้วยสัญลักษณ์ $\text{Im}(I_{\text{during-fault}})$ ในสถานะคงตัวมีค่าเท่ากับ -494.1912 แอมป์

ตัวแปรที่ 4 คือส่วนจินตภาพของเฟสเซอร์สัญญาณกระแสไฟฟ้า ในช่วงเวลาก่อนเกิดความผิดปกติแทนด้วยสัญลักษณ์ $\text{Im}(I_{\text{during-fault}})$ ในสถานะคงตัวมีค่าเท่ากับ -1,252.3207 แอมป์

ตัวแปรที่ 5 คือส่วนจริงของเฟสเซอร์สัญญาณแรงดันไฟฟ้า ในช่วงเวลาก่อนเกิดความผิดปกติแทนด้วยสัญลักษณ์ $\text{Im}(V_{\text{during-fault}})$ ในสถานะคงตัวมีค่าเท่ากับ 10,541.1758 โวลต์

ตัวแปรที่ 6 คือส่วนจินตภาพของเฟสเซอร์สัญญาณแรงดันไฟฟ้า ในช่วงเวลาก่อนเกิดความผิดปกติแทนด้วยสัญลักษณ์ $\text{Im}(V_{\text{pre-fault}})$ ในสถานะคงตัวมีค่าเท่ากับ -12,758.6345 โวลต์

ขั้นตอนที่ 4 หลังจากได้ค่าตัวแปรทั้ง 6 ตัวแปรครบแล้ว จะคำนวณหาค่าตัวคูณเพื่อประมาณการหาขอบเขตของตำแหน่งความผิดปกติ K ค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ X_{app} และขอบเขตของตำแหน่งความผิดปกติ ตามลำดับ

ประโยชน์ของตัวแปรที่ 1 และตัวแปรที่ 2 ทำให้ทราบค่าเฟสเซอร์ของกระแสไฟฟ้าก่อนเกิดความผิดปกติ $I_{\text{pre-fault}} = 90.1771 - j89.2304$ แอมป์

ประโยชน์ของตัวแปรที่ 3 และตัวแปรที่ 4 ทำให้ทราบค่าเฟสเซอร์ของกระแสไฟฟ้าขณะเกิดความผิดปกติ $I_{\text{during-fault}} = -494.1912 - j1252.3207$ แอมป์

จากค่าเฟสเซอร์ของกระแสไฟฟ้าก่อนเกิดความผิดปกติ ($I_{\text{pre-fault}}$) และค่าเฟสเซอร์ของกระแสไฟฟ้าขณะเกิดความผิดปกติ ($I_{\text{during-fault}}$) สามารถนำมาคำนวณหาค่าตัวคูณเพื่อประมาณหาขอบเขตของตำแหน่งผิดปกติ K ตามสมการที่ 3.25 ดังนี้

$$K = \left| \frac{I_{\text{pre-fault}}}{I_{\text{during-fault}} - I_{\text{pre-fault}}} \right|$$

$$K = \left| \frac{90.1771 - j89.2304}{-494.1912 - j1252.3207 - 90.1771 + j89.2304} \right|$$

$$K = 0.0975$$

ค่าเฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้าขณะเกิดความผิดปกติ

$$V_{\text{during-fault}} = 10,541.1758 - j12,758.6345 \text{ V}$$

ค่าเฟสเซอร์ของกระแสไฟฟ้าขณะเกิดความผิดปกติ และค่าเฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้าขณะเกิดความผิดปกติ ($V_{\text{during-fault}}$) สามารถนำมาคำนวณหาค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ X_{app} ได้ ดังนี้

$$X_{\text{app}} = \text{Im} \left(\frac{V_{\text{during-fault}}}{I_{\text{during-fault}}} \right) \Omega$$

$$X_{\text{app}} = \text{Im} \left(\frac{10541.1758 - j12758.6345}{-494.1912 - j1252.3207} \right) \Omega$$

$$X_{\text{app}} = j10.7618 \Omega$$

เมื่อได้ค่าตัวคูณเพื่อประมาณหาขอบเขตของตำแหน่งผิดปกติ K และค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ X_{app} แล้ว จะเข้าสู่ขั้นตอนการคำนวณหาขอบเขตของตำแหน่งผิดปกติ ขอบเขตของตำแหน่งผิดปกติจะบอกเป็นระยะทางห่างจากสถานีไฟฟ้า โดยมีจุดเริ่มต้นค้นหาเรียกว่าจุด Starting Point ใช้ตัวย่อว่า SP และจุดสิ้นสุดการค้นหาเรียกว่าจุด Ending Point ใช้ตัวย่อว่า EP ส่วนระยะทาง

ของตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดขึ้นจริงเรียกว่า Actual Point ใช้ตัวย่อว่า AP ในตัวอย่างนี้โนดหมายเลข 15 ของระบบไฟฟ้าในภาพที่ 4.1 มีระยะทางห่างจากสถานีไฟฟ้า 15 กิโลเมตร ดังนั้น AP เท่ากับ 15 กิโลเมตร

จุดเริ่มต้นค้นหาตำแหน่งผิดพลาด SP และจุดสิ้นสุดการค้นหาตำแหน่งผิดพลาด EP สามารถคำนวณได้จากสมการในตารางที่ 4.2

$$SP = \frac{X_{app}}{X_s} = \frac{10.7618}{0.7444} = 14.4570 \text{ km}$$

$$EP = \frac{X_{app}}{X_s} (1 + K) = 14.4570 \cdot (1 + 0.0975) = 15.8666 \text{ km}$$

เมื่อ X_s คือ ค่ารีแอกแตนซ์เฟสของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวนไม่เต็มพิกัดขนาด 185 ตารางมิลลิเมตร ในตารางที่ 4.1 มีค่าเท่ากับ 0.7444 โอห์มต่อกิโลเมตร ทำการตรวจสอบตำแหน่งเกิดความผิดพลาดจริง AP อยู่ระหว่างจุดเริ่มต้นค้นหาตำแหน่งผิดพลาด SP และจุดสิ้นสุดการค้นหาตำแหน่งผิดพลาด EP หรือไม่ ในตัวอย่างนี้ตรวจสอบแล้วพบว่าตำแหน่งเกิดความผิดพลาดขึ้นจริง AP เท่ากับ 15 กิโลเมตร อยู่ระหว่างจุดเริ่มต้นค้นหาตำแหน่งผิดพลาด SP เท่ากับ 14.4570 กิโลเมตร และจุดสิ้นสุดการค้นหาตำแหน่งผิดพลาด EP เท่ากับ 15.8666 กิโลเมตร ถือได้ว่าอัลกอริทึมให้ผลการคำนวณถูกต้องตรงตามที่ได้ออกแบบไว้ หากพบว่ามีกรณีใดที่ตำแหน่งเกิดความผิดพลาดขึ้นจริง AP ไม่อยู่ระหว่างจุดเริ่มต้นค้นหาตำแหน่งผิดพลาด SP และจุดสิ้นสุดการค้นหาตำแหน่งผิดพลาด EP จะต้องมีการวิเคราะห์หาสาเหตุจากรูปคลื่นของกระแสและแรงดันไฟฟ้าและต้องเลือกค่าตัวแปรทั้ง 6 ใหม่

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งผิดพลาดตามสมการที่ 4.1 และบันทึกค่าความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งผิดพลาด

$$\text{Error}(\%) = \frac{|AP - SP|}{AP} \cdot 100$$

(4.1)

$$\text{Error}(\%) = \frac{|15.0000 - 14.4570|}{15.0000} = 3.6199\%$$

ขั้นตอนที่ 6 กลับไปทำซ้ำในขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 6 เพื่อให้ครบ 300 ครั้งต่อ 1 กรณีศึกษาโดยการเปลี่ยนชนิดความผิดพลาด

4.3 ผลการทดสอบความแม่นยำในการบอกตำแหน่งผิดพลาดชนิดเฟส-ดิน

ผลการทดสอบความแม่นยำในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดชนิดเฟส - ดิน ทดสอบโดยการสุ่มตำแหน่งความผิดพลาด และสุ่มค่าความต้านทานไฟฟ้าผิดพลาด จำนวน 300 ครั้ง ใช้ระบบไฟฟ้าในภาพที่ 4.1 เป็นระบบทดสอบ

ตารางที่ 4.4 การแจกแจงความถี่ ร้อยละของค่าความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ชนิดเฟส - ดิน

ร้อยละของความผิดพลาด (%)	ความถี่ (ครั้ง)
$0 \leq \text{Error} < 1$	192
$1 \leq \text{Error} < 2$	79
$2 \leq \text{Error} < 3$	19
$3 \leq \text{Error} < 4$	3
$4 \leq \text{Error} < 5$	7
รวม	300 ครั้ง

เมื่อพิจารณาผลการแจกแจงความถี่แบ่งค่าความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดชนิดเฟส-ดินออกเป็น 5 ระดับตามตารางที่ 4.4 พบว่า ร้อยละของค่าความผิดพลาด ในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดชนิดเฟส-ดิน ในตารางที่ 4.4 พบว่า ร้อยละของค่าความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดชนิดเฟส-ดิน โดยมากอยู่ในช่วงร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 1 คิดเป็น 192 ครั้ง

4.4 ผลการทดสอบความแม่นยำในการบอกตำแหน่งผิดพลาดชนิดระหว่างเฟส

ผลการทดสอบความแม่นยำในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดชนิดระหว่างเฟส ทดสอบโดยใช้วิธีการสุ่มตำแหน่งความผิดพลาด จำนวน 300 ครั้ง ใช้ระบบไฟฟ้าในภาพที่ 4.1 เป็นระบบทดสอบ

การทดสอบมีจุดประสงค์ เพื่อต้องการนำร้อยละของค่าความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดชนิดระหว่างเฟส 300 ครั้ง มาวิเคราะห์เชิงสถิติ ค่าร้อยละของความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดชนิดระหว่างเฟส

ตารางที่ 4.5 การแจกแจงความถี่ ร้อยละของค่าความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งความผิดพลาด
ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ชนิดระหว่างเฟส

ร้อยละของความผิดพลาด (%)	ความถี่ (ครั้ง)
$0 \leq \text{Error} < 1$	60
$1 \leq \text{Error} < 2$	34
$2 \leq \text{Error} < 3$	206
รวม	300 ครั้ง

เมื่อพิจารณาผลจากการแจกแจงความถี่แบ่ง ร้อยละของความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดชนิดระหว่างเฟสออกเป็น 3 ระดับ ตามตารางที่ 4.5 ทำการแจกแจงความถี่ และผลการคำนวณค่าความถี่สัมพัทธ์ ร้อยละของค่าความผิดพลาด ในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดชนิดระหว่างเฟส โดยมากอยู่ในช่วงร้อยละ 2 ถึงร้อยละ 3 คิดเป็น 206 ครั้ง

4.5 ผลการทดสอบความแม่นยำในการบอกตำแหน่งผิดพลาดชนิดสามเฟส

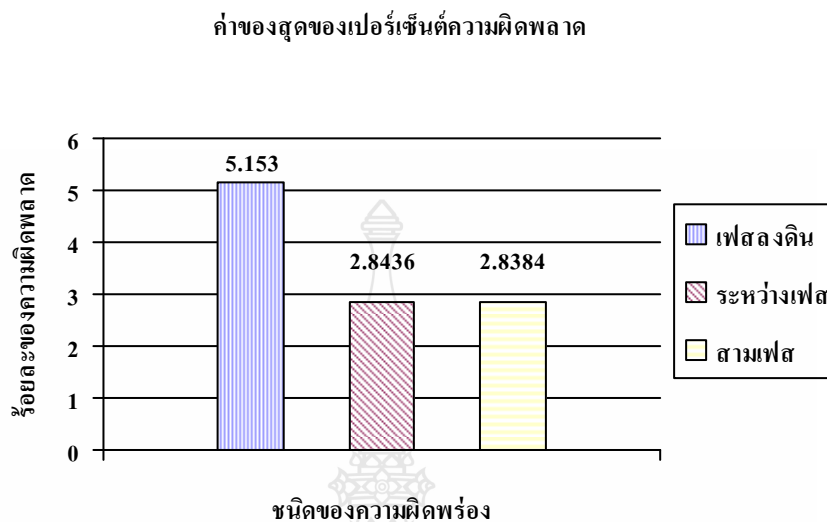
ผลการทดสอบความแม่นยำในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดชนิดสามเฟส ทดสอบโดยใช้วิธีการสุ่มตำแหน่งความผิดพลาด และสุ่มค่าความต้านทาน ไฟฟ้าผิดพลาด 300 ครั้ง ใช้ระบบไฟฟ้าในภาพที่ 4.1 เป็นระบบทดสอบ การทดสอบมีจุดประสงค์ เพื่อต้องการนำร้อยละค่าความผิดพลาด ในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดชนิดสามเฟส 300 ครั้ง มาวิเคราะห์เชิงสถิติ ค่าร้อยละความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดชนิดสามเฟส 300 ครั้ง เมื่อพิจารณาผลการแจกแจงความถี่แบ่งค่าร้อยละของค่าความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดชนิดสามเฟสออกเป็น 3 ระดับ ตามตารางที่ 4.6 ทำการแจกแจงความถี่และผลการคำนวณค่าความถี่สัมพัทธ์ ร้อยละของค่าความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดชนิดสามเฟส ในตารางที่ 4.6 พบว่า ร้อยละของค่าความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดชนิดสามเฟส โดยมากอยู่ในช่วงร้อยละ 2 ถึงร้อยละ 3 คิดเป็น 213 ครั้ง

ตารางที่ 4.6 การแจกแจงความถี่ ร้อยละของค่าความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ชนิดสามเฟส

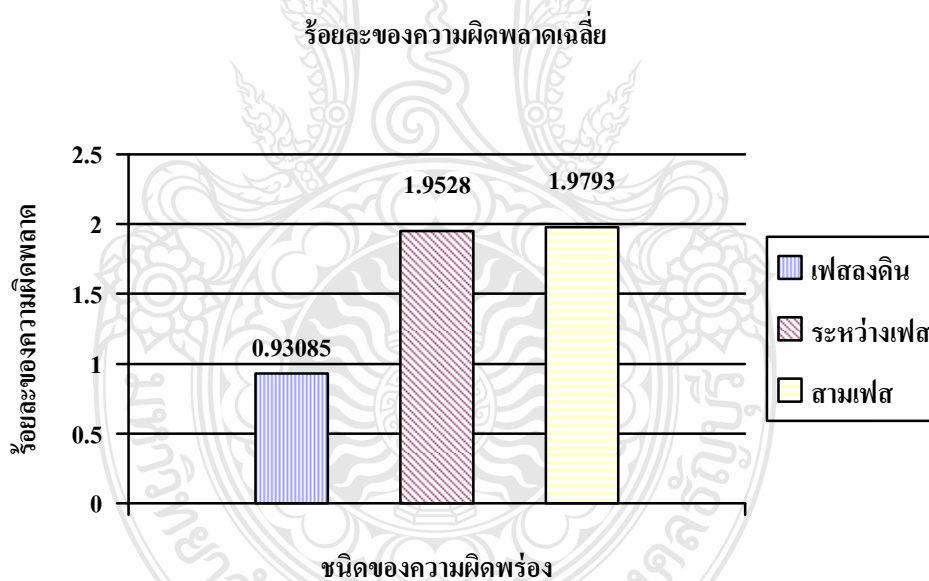
ร้อยละของความผิดพลาด (%)	ความถี่ (ครั้ง)
$0 \leq \text{Error} < 1$	51
$1 \leq \text{Error} < 2$	36
$2 \leq \text{Error} < 3$	213
รวม	300 (ครั้ง)

4.6 เปรียบเทียบค่าความแม่นยำในการบอกตำแหน่งผิดพลาดระหว่างความผิดพลาด 3 ชนิด

เมื่อนำค่าความแม่นยำในการบอกตำแหน่งผิดพลาดเชิงสถิติของความผิดพลาดทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ความผิดพลาดชนิดเฟส – ดิน ความผิดพลาดชนิดระหว่างเฟส และความผิดพลาดชนิดสามเฟส เปรียบเทียบกัน ผลเปรียบเทียบ ค่าสูงสุด ร้อยละของค่าความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งผิดพลาดของความผิดพลาดทั้ง 3 ชนิด ร้อยละของค่าความผิดพลาดสูงสุดในการบอกตำแหน่ง เป็นความผิดพลาดชนิดเฟส-ดิน มีค่าเท่ากับร้อยละ 5.1530 รองลงมาเป็นความผิดพลาดชนิดระหว่างเฟส มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.8436 และต่ำสุดเป็นความผิดพลาดชนิดสามเฟส มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.8384 ร้อยละของความผิดพลาดสูงสุดในการบอกตำแหน่งความผิดพลาด คือความผิดพลาดชนิดเฟส-ดิน ดังแสดงในภาพที่ 4.5 และผลการเปรียบเทียบ ค่าเฉลี่ย ร้อยละของค่าความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งผิดพลาดของทั้ง 3 ชนิด ค่าเฉลี่ยร้อยละของความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งผิดพลาดสูงสุด เป็นความผิดพลาดชนิดสามเฟส มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 1.9793 รองลงมาเป็นความผิดพลาดชนิดระหว่างเฟส มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.9528 และต่ำสุดเป็นความผิดพลาดชนิดเฟส-ดิน มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.93085 ค่าเฉลี่ยร้อยละของค่าความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งผิดพลาดชนิดระหว่างเฟส และชนิดสามเฟสมีค่าเคียงกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.5 แผนภูมิแท่ง ร้อยละของความผิดพลาดสูงสุดในการบอกตำแหน่งความผิดพลาด



ภาพที่ 4.6 แผนภูมิแท่ง ร้อยละของความผิดพลาดเฉลี่ยในการบอกตำแหน่งความผิดพลาด

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปสาระสำคัญของงานวิจัย

5.1.1 อัลกอริทึมที่ออกแบบ สามารถระบุตำแหน่งของความผิดพลาดชนิดถาวร ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์ โดยประมวลผลจากรูปคลื่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าจากจุดวัดด้านเดียว

5.1.2 อัลกอริทึมที่ออกแบบ สำหรับประมาณและติดตามค่าเฟสเซอร์ของรูปคลื่นกระแสและแรงดันไฟฟ้า อิมพีแดนซ์ และความถี่ของระบบไฟฟ้า โดยอัลกอริทึมสามารถปรับตัวเอง ไปตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน กระแส และความถี่ของระบบไฟฟ้าได้

5.1.3 อัลกอริทึมที่ออกแบบ สำหรับตรวจจับและแยกชนิดของความผิดพลาด โดยใช้กฎพื้นฐานอิมพีแดนซ์ (Impedance Rule Based) 3 ข้อ สามารถแยกแยะความผิดพลาดออกเป็น 7 ชนิด ได้แก่ ชนิดเฟส a ลงดิน (a-g) , เฟส b ลงดิน (b-g) , เฟส c ลงดิน (c-g) , ระหว่างเฟส a และเฟส b (a-b) และระหว่างเฟส a เฟส b และดิน (a-b-g) สามารถจัดเป็นกลุ่มเดียวกัน , ระหว่างเฟส b และเฟส c (b-c) และระหว่างเฟส b เฟส c และดิน (b-c-g) สามารถจัดเป็นกลุ่มเดียวกัน , ระหว่างเฟส c และเฟส a (c-a) และระหว่างเฟส c เฟส a และดิน (c-a-g) สามารถจัดเป็นกลุ่มเดียวกัน , ความผิดพลาดชนิดสามเฟส a-b-c

5.1.4 ข้อดีของอัลกอริทึมที่ออกแบบ คือ ได้คำนึงถึงค่าความผิดพลาดที่เกิดจากกระแสโหลด และค่าความต้านทานไฟฟ้าผิดพลาด โดยให้ผลการคำนวณแสดงออกมาเป็นขอบเขตของตำแหน่งจุดผิดพลาด

5.1.5 ได้ทำการทดสอบหาตำแหน่งความผิดพลาดภาคสนาม สถานที่ทดสอบคือระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระดับแรงดันไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมสำหรับตรวจจับความผิดพลาด แยกแยะชนิดความผิดพลาด และระบุขอบเขตการค้นหาตำแหน่งความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจริง ผลการทดสอบ เกิดความผิดพลาดในการคำนวณหาตำแหน่งความผิดพลาดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ไม่เกินร้อยละ 5

5.2 สิ่งที่จะควรจะทำงานวิจัยเพิ่มเติมในอนาคต

5.2.1 อัลกอริทึมสำหรับประมาณและติดตามค่าเฟสเซอร์ของรูปคลื่นกระแส และรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าสามารถนำมาพัฒนาเป็นหน่วยประมวลผลเฟสเซอร์แบบเวลาจริงได้

5.2.2 อัลกอริทึมที่ออกแบบ สำหรับหาตำแหน่งความผิดปกติที่ได้ออกแบบไว้สามารถพัฒนาให้เป็นรีเลย์แบบระยะทางได้

5.2.3 อัลกอริทึมสำหรับวัดค่าความต้านทานและค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ จากรูปคลื่นแรงดัน และกระแสไฟฟ้าที่มีรูปร่างใด ๆ สามารถนำไปศึกษาค่าต้านทานไม่เป็นเชิงเส้นแปรเปลี่ยนค่าไปตามเวลาของค่าความต้านทานไฟฟ้าผิดปกติได้

5.2.4 ปัจจุบันมีความจำเป็นต้องใช้งานอัลกอริทึม สำหรับหาตำแหน่งความผิดปกติของระบบไฟฟ้า โดยประมวลผลจากรูปคลื่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าจากจุดวัดด้านเดียว เนื่องจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคยังไม่มีความพร้อมของอุปกรณ์ป้องกันวงจรไฟฟ้าและระบบสื่อสาร ถ้าความพร้อมของระบบอุปกรณ์ป้องกันวงจรไฟฟ้าและระบบสื่อสารมีความพร้อมมากขึ้น จึงควรพัฒนาการทำงานวิจัย อัลกอริทึมสำหรับหาตำแหน่งผิดปกติ โดยประมวลผลจากรูปคลื่นกระแส และรูปคลื่นแรงดันจากจุดวัดหลายด้าน

5.2.5 ปัจจุบันระบบจำหน่ายไฟฟ้า ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีรูปแบบการจ่ายไฟฟ้าในระบบเรเดียล การปรับปรุงค่าความเชื่อถือของระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้มีค่าสูงขึ้นในอนาคตจำเป็นต้องมีการนำเอารูปแบบการจ่ายไฟแบบอื่น ๆ ที่มีค่าความเชื่อถือได้สูงกว่ามาใช้งาน เช่น ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีรูปแบบการจ่ายไฟแบบลูปปิด (Close Loop) หรือระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีรูปแบบการจ่ายไฟแบบลูปปิด ที่สามารถสั่งการให้ตัดต่อวงจรในระบบจำหน่ายอัตโนมัติ (Close Loop With Automation)

5.2.6 ควรจะทำการศึกษาวิจัยเชิงเปรียบเทียบความสามารถของอัลกอริทึมใหม่ที่มีความสามารถวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า และค่ารีแอกแตนซ์ปรากฏ จากคู่ของรูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่มีรูปร่างใดๆ กับอัลกอริทึมกลุ่มที่สองซึ่ง T.Segui และ P.Bertrand [2] ได้ศึกษาไว้

5.2.7 ควรศึกษาแนวคิดของ EPRI [7] ซึ่งได้ให้แนวทางในการแยกแยะตำแหน่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในสายจำหน่ายไฟฟ้าหลักและสายจำหน่ายไฟฟ้ากิ่งย่อย โดยประยุกต์ใช้เวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินเข้ากับอัลกอริทึมสำหรับตรวจจับความผิดปกติ แยกแยะชนิดของความผิดปกติ และระบุขอบเขตการค้นหาตำแหน่งผิดปกติ และรวบรวมกราฟเวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน เป็นต้น

รายการอ้างอิง

- [1] R. Billinton,R.N. Allan ; Reliability Evaluation of Poer system,Pitman Publishing 1984.
- [2] David Hart, Damir Novosel, Yi Hu,Bob Smith,Mike Egolf “A New Frequency Tracking and Phasor Estimation Algorithm for Generator Protection” IEEE Transactions on Power Delivery,Vol.12, No.3, (July 1997) :1064-1073.
- [3] T. Segui, P.Bertrand “Fundamental Basis for Distance Relaying with Parametrical Estimation.”IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.15,No.2, (April 2000): 659-664
- [4] Karl Zimmerman, David Costello “Impedance-Based Fault Location Experience.” Annual Conference for Protective Relay Engineers 58th,(April 2005):211-226
- [5] Jun Zhu,David L. Lubkeman,Adly A. Girgis “Automated Fault Location and Diagnosis on Electric Power Distribution Feeders.” IEEE Transaction on Power Delivery,Vol.12, No.2,(April 1997) :801-809.
- [6] R.Das,M.S. Sachdev, T.S. Sidhu “A fault location for radial subtransmission and distribution line” Power Engineering Society Summer Meeting Vol.1(July 2000):443-448.
- [7] Electric Power Research Institute (EPRI) “Automate Algorithms to Identify Operation of Over current Protective Devices: A Proof of Concept” Final Report,(March 2006)
- [8] David Hart,Damir Novosel,Yi Hu,Bob Smith,Mike Egolf “A New Frequency Tracking and Phasor Estimation Algorithm for Generator Protection” IEEE Transactions on Power Delivery,Vol.12,No.3, (July 1997):1064-1073.
- [9] C.Wattanasakpubal,T.Bunyagul “A Processing Unit for Tracking/Estimating Voltage-Current Phasor and Frequency in Power System” Proceedings of ECTI-CON 2008.
- [10] C.Wattanasakpubal,T.Bunyagul “Estimation and Tracking Current Phasor,Voltage Phasor Impedance and Local Frequency in Power Systems by Adaptive Algorithm. EECON 28
- [11] BERNARD WINROW,MICHAEL A,LEHR “30 Years of Adaptive Neural Networks Perceptron, Madaline, and Backpropagation.” Proc.IEEE,(1990):1415-1442.
- [12] Electric Power Research Institute (EPRI) “ Distribution Fault Location” Final Report , (December 2006)
- [13] H.W. Dommel “EMTP Theory Book” BPA. Portland ,August 1986.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

- ก.1 หลักการและการใช้งานโปรแกรม ATP/EMTP เบื้องต้น
- ก.2 ขั้นตอนการรันโปรแกรม ATP/EMTP ในงานวิจัย
- ก.3 การเชื่อมต่อข้อมูลจากโปรแกรม ATP/EMTP กับ MATLAB

ภาคผนวก ก.1

หลักการและการใช้งานโปรแกรม ATP/EMTP เบื้องต้น

ในช่วงต้น ค.ศ. 1960 ได้มีการนำคอมพิวเตอร์มาใช้งานอย่างกว้างขวางทั่วโลก การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าจึงมีการเปลี่ยนแปลงจากระบบอะนาล็อกมาใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณ Dr.Dommel แห่งมหาวิทยาลัย Munich ประเทศเยอรมันได้เริ่มพัฒนาโปรแกรมสำหรับการคำนวณสถานะชั่วครู่ (Transient State) ในระบบไฟฟ้าแบบดิจิทัลขึ้น โดยอาศัยหลักการของ Schnyder-Bergeron เป็นวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอกทาง Benneville Power Administration (BPA) ซึ่งจัดตั้งโดยกระทรวงพลังงานของสหรัฐที่มีความสนใจวิทยานิพนธ์นี้จึงเชิญ Dr. Dommel มาเป็นนักวิจัยเพื่อพัฒนาโปรแกรมดังกล่าว จนในปี ค.ศ. 1968 Transient Program Mode 1 ซึ่งมีประมาณ 4,000 บรรทัด ก็เสร็จสมบูรณ์ออกนำมาเผยแพร่

ในปี ค.ศ. Dr. Dommel ลาออกจาก BPA โดยมี Dr.W.Scott-Meyer เป็นผู้รับผิดชอบช่วงต่อในการพัฒนาโปรแกรม จนในปี ค.ศ. 1976 ก็มีนักวิจัยอีกหลายคนเข้าร่วมพัฒนาโปรแกรม เช่น Dr.Tse-Huei Liu และ Dr.Akihiro Ametani นอกจากนี้ Mr.L.Dube ผู้พัฒนา TACS/MODEL Dr.V.Brandwain ผู้พัฒนาโครงสร้างเครื่องจักรกลไฟฟ้า และ Prof.A.Semlyen ผู้พัฒนาโมเดลของสายส่งเข้าร่วมทำให้โปรแกรม EMTP แยกออกเป็น 3 กลุ่มด้วยกัน คือ EMTP ของ BPA, DCG/EPRI และ ATP-EMTP ของ Dr.Scott-Meyer

การใช้โปรแกรม EMTP เพื่อวิเคราะห์สถานะชั่วครู่ในระบบไฟฟ้าให้มีความถูกต้องและเชื่อถือได้นั้นจำเป็นต้องอาศัยการสร้างแบบจำลองคุณสมบัติของอุปกรณ์ และปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในระบบให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ในบางครั้งจึงมีความยุ่งยากและซับซ้อนทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการวิเคราะห์ด้วย

หลักการทั่วไป

การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง หากจัดกลุ่มตามลักษณะของผลลัพธ์ที่ได้ สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลัก คือ

1. การวิเคราะห์เชิงความถี่ (Frequency Domain Analysis)

เป็นการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังที่ได้ผลตอบสนองของแรงดันหรือกระแสเป็นขนาดและมุมเฟส โดยทั่วไปแล้วการวิเคราะห์ผลการตอบสนองเชิงความถี่จะใช้กับการวิเคราะห์ที่ระบบไฟฟ้าอยู่ในสภาวะปกติ เช่น การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow Analysis) หรือระบบไฟฟ้าที่กลับเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว (Steady State) ภายหลังจากที่เกิดสภาวะชั่วครู่ เช่น การคำนวณกระแสไฟฟ้าผิดปกติ (Fault Current Analysis) เพื่อใช้ในการประสานสัมพันธ์อุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้า

2. การวิเคราะห์เชิงเวลา (Time Domain Analysis)

เป็นการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังที่ได้ผลตอบสนองของแรงดันหรือกระแสเป็นขนาดในแต่ ละช่วงเวลา การวิเคราะห์ในลักษณะดังกล่าวเหมาะสมกับระบบไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่าง ทันทีทันใดหรืออยู่ในสถานะชั่วคราว เช่น การสับปลด(Switching Operation) การเกิดความผิดปกติ (Fault) หรือการรบกวนภายนอกอื่นๆ เช่น ไฟฟ้า ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถใช้แนวคิดของการ วิเคราะห์เชิงความถี่ในการวิเคราะห์หรือกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหาได้

ในอดีตที่ผ่านมาเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ยังไม่เจริญก้าวหน้า รูปแบบของผลลัพธ์ที่ได้ จากการวิเคราะห์ในเชิงเวลา มักจะเป็นสมการในเชิงคณิตศาสตร์ ที่ได้จากการแก้สมการทาง คณิตศาสตร์หากระบบไฟฟ้ามีขนาดใหญ่หรือปัญหามีความซับซ้อนก็จะต้องกำหนดสมมติฐานเป็น จำนวนมากจนทำให้ผลตอบที่ได้อาจไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ สถานะชั่วคราวอีกแบบหนึ่งที่มีนามก็คือ Transient Network Analyzer (TNA) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่จำลอง ระบบไฟฟ้า โดยการย่อระบบไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กกลงแล้วทำการจำลองระบบตาม ต้องการ แต่ TNA นั้นมีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก และการปรับเปลี่ยนระบบมีข้อจำกัด

การวิเคราะห์ชั่วคราวในปัจจุบันจึงได้ปรับเปลี่ยนไปสู่ดิจิทัลคอมพิวเตอร์มากขึ้น การวิเคราะห์ สถานะชั่วคราวโดยใช้ดิจิทัลคอมพิวเตอร์เริ่มขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 โดยใช้เทคนิค Bewley's Lattice Diagram และวิธีของ Bergeron เทคนิคเหล่านี้สามารถใช้กับวงจรข่ายที่มีขนาดเล็ก ที่มีพารามิเตอร์ ขององค์ประกอบเป็นแบบกระจาย (Distributed Parameter) หรือแบบกลุ่มก้อน (Lumped Parameter) ทั้งที่เป็นแบบเชิงเส้นและแบบไม่เชิงเส้นได้ ต่อมา H.W. Dommel ได้เสนอเทคนิคที่นำเอา Trapezoidal Rule และวิธีของ Bergeron สร้างเป็นอัลกอริทึมที่นำมาแก้ไขปัญหาภาวะชั่วคราว แม่เหล็กไฟฟ้า ที่สามารถใช้กับวงจรข่ายที่มีขนาดใหญ่ขึ้นวิธีดังกล่าวเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนา โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ภาวะชั่วคราวแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Transient Program : EMTP)

Trapezoidal Rule จะทำการแปลงสมการดิฟเฟอเรนเชียลขององค์ประกอบในวงจรข่ายให้ เป็นสมการทางพีชคณิต (Algebraic Equation) ที่เกี่ยวข้องกับแรงดัน กระแสที่มีการเปลี่ยนแปลงตาม เวลา ดังแสดงในสมการที่ (ก.1)

$$[G] [V(t)] = [I(t)] - [I] \quad (\text{ก.1})$$

- เมื่อ [G] คือ เมตริกของค่าความนำ (Conductance)
 [V(t)] คือ เวกเตอร์ของแรงดัน
 [I(t)] คือ เวกเตอร์ของแหล่งจ่ายกระแส
 [I] คือ เวกเตอร์ของค่าในอดีต

แหล่งจ่ายแรงดันของวงจรจ่ายส่วนมากจะต่อลงกราวด์ เพราะฉะนั้นจะสามารถแยกสมการออกเป็นสองส่วน คือแรงดันที่ไม่ทราบค่า [ส่วน A] และแรงดันที่ทราบค่า [ส่วน B] ดังสมการที่ ก.2

$$[V_A(t)] = [i_A(t)] - [I_A] - [G_{AB}][V_B] \quad (ก.2)$$

คำตอบของภาวะชั่วคราวจะหาได้โดยใช้ Triangular Factorization ซึ่งมีข้อดี คือ สามารถประยุกต์ใช้กับวงจรจ่ายที่มีขนาดใหญ่ให้อยู่ในรูปอย่างง่าย อย่างไรก็ตามพารามิเตอร์ในระบบจริงจะแปรตามความถี่ จึงต้องมีการสร้างแบบจำลองที่สามารถรองรับเงื่อนไขดังกล่าว และปัญหาอีกอย่างคือ คุณลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นและการแปรตามเวลาขององค์ประกอบ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า หรือกับดักไฟฟ้า การแก้ปัญหาคุณลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นดังกล่าวจะใช้การแทนแบบ Piecewise Linear

ในปัจจุบัน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างจาก Trapezoidal Rule นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการจำลองภาวะชั่วคราวแม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องจากสามารถเข้าใจอัลกอริทึมได้ง่ายแต่ข้อเสียของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างจาก Trapezoidal Rule คือ การใช้ขนาดของ Time Step ที่คงที่อาจทำให้เกิดการสั่นของสัญญาณ (Numerical oscillation) ได้ เนื่องจากค่า Time Step กำหนดมาจากความถี่ที่ใช้ในการจำลอง ความถี่ของปรากฏการณ์ภาวะชั่วคราวที่เกิดขึ้น อาจเกิดทั้งความถี่สูงและความถี่ต่ำในเวลาเดียวกันแต่ต่างโหนดเพราะฉะนั้นการใช้ค่า Time Step เพียงค่าเดียวอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งของการเกิดการแกว่งของสัญญาณในหลายกรณี เช่น การสวิตซ์ซิ่ง หรือการเปลี่ยนช่วงการทำงานในขั้นตอนของ Piecewise Linear อาจทำให้เกิดการแกว่งของสัญญาณได้ เทคนิคต่างๆ ถูกนำมาใช้ เช่น ต้องมีการเพิ่มอุปกรณ์หน่วง (Damping) เพื่อลดการเกิดการแกว่งของสัญญาณ โดยใช้ตัวต้านทานต่อขนานกับตัวเหนี่ยวนำและตัวอนุกรมกับตัวเก็บประจุต่อคร่อมอุปกรณ์สวิตซ์ซิ่ง ซึ่งเทคนิคที่ใช้กันมาก เช่น การต่อวงจร snubber เบอร์ (Snubber Circuit) ขนานกับสวิตซ์ ซึ่งวงจรดังกล่าวสามารถพบได้ทั่วไปในส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ส่วนวิธีการลดการแกว่งของสัญญาณแบบอื่นๆ อาจทำได้อีกหลายวิธี เช่น ใช้เทคนิค (Nodal admittance equation) ตามสมการที่ (ก.3)

$$\begin{bmatrix} Y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I \end{bmatrix} \quad (\text{ก.3})$$

เมื่อ [Y] คือ เมตริกของค่าแอดมิทแตนซ์ (Admittance)

[V] คือ เวกเตอร์ของแรงดัน

[I] คือ เวกเตอร์ของแหล่งจ่ายกระแส

การแทนองค์ประกอบของวงจรจ่าย

การวิเคราะห์ภาวะชั่วคราวในระบบไฟฟ้าให้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ จำเป็นต้องอาศัยการสร้างแบบจำลอง เพื่อจำลองคุณลักษณะและคุณสมบัติของอุปกรณ์และปรากฏการณ์ต่างๆ ในระบบไฟฟ้า ให้ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด แต่การแทนองค์ประกอบของวงจรจ่าย ให้มีความถูกต้องครอบคลุมทุกช่วงความถี่ทั้งหมดนั้นเป็นไปได้ยาก เนื่องจากคุณลักษณะทางกายภาพของแต่ละองค์ประกอบของวงจรจ่ายจะมีผลโดยตรงกับภาวะชั่วคราวของปรากฏการณ์ทางไฟฟ้า ดังนั้นจึงมีการจัดกลุ่มภาวะชั่วคราวทางไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง สำหรับการศึกษาด้วยวิธี Time Domain โดยแบ่งตามช่วงของความถี่ในแต่ละกลุ่มและความซับซ้อนที่เกิดขึ้น ดังแสดงใน ตารางที่ ก.1 ตามข้อเสนอแนะของ Cigre

ความสามารถของโปรแกรม ATP-EMTP

โปรแกรม ATP-EMTP พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการจำลองและวิเคราะห์เหตุการณ์ในสภาวะชั่วคราวและสภาวะอยู่ตัวในไฟฟ้ากำลัง โครงสร้างหลักของโปรแกรมประกอบไปด้วยส่วนที่ใช้ในการจำลอง (Simulation Part) และส่วนช่วยสนับสนุน (Supporting Programs) ในรูปแบบของการวิเคราะห์เชิง Time domain และ Frequency domain

ตารางที่ ก.1 การแบ่งภาวะชั่วคราวของปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าตามกลุ่มและช่วงของความถี่

กลุ่ม	ช่วงของความถี่	ลักษณะรูปคลื่น	ใช้สำหรับ
1	0.1 Hz – 3 kHz	Low frequency oscillation	แรงดันเกินชั่วคราว (Temporary overvoltage)
2	50/60 Hz – 20 kHz	Slow front transient	แรงดันเกินสวิตชิง (Switching overvoltage)
3	10 kHz – 3 MHz	Fast front transient	แรงดันเกินฟ้าผ่า (Lighting overvoltage)
4	100 kHz – 3 MHz	Very fast front transient	แรงดันเกินอาร์กซ้ำ (Restrike overvoltage)

โปรแกรม ATP-EMTP ได้จัดเตรียมแบบจำลองอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สำคัญหลายชนิดไว้ในโปรแกรมทำให้ผู้ใช้งานได้รับความสะดวกในการสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้ามากขึ้น อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิดที่มีมาให้ นั้น มีคุณสมบัติและเงื่อนไขการใช้งานที่ต่างกัน ผู้ใช้งานจำเป็นต้องเลือกใช้งานให้ถูกต้องมิเช่นนั้นจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ผิดจากความเป็นจริง

การใช้โปรแกรม ATP-EMTP

เมื่อผู้ใช้งานคลิกขวาที่เมาส์ที่พื้นที่ว่างของหน้าต่าง (Circuit Window) จะปรากฏ Component selection menu ซ่อนอยู่ ผู้ใช้งานสามารถเลือก Component ต่างๆ มาวางไว้บนหน้าต่าง Circuit window ได้ เช่น หากต้องการเลือกใส่อุปกรณ์ RLC สามารถคลิกขวาเลือก Branch Liner และเลือก RLC เพื่อใส่ค่าต่อไปได้ ดังภาพที่ ก.1

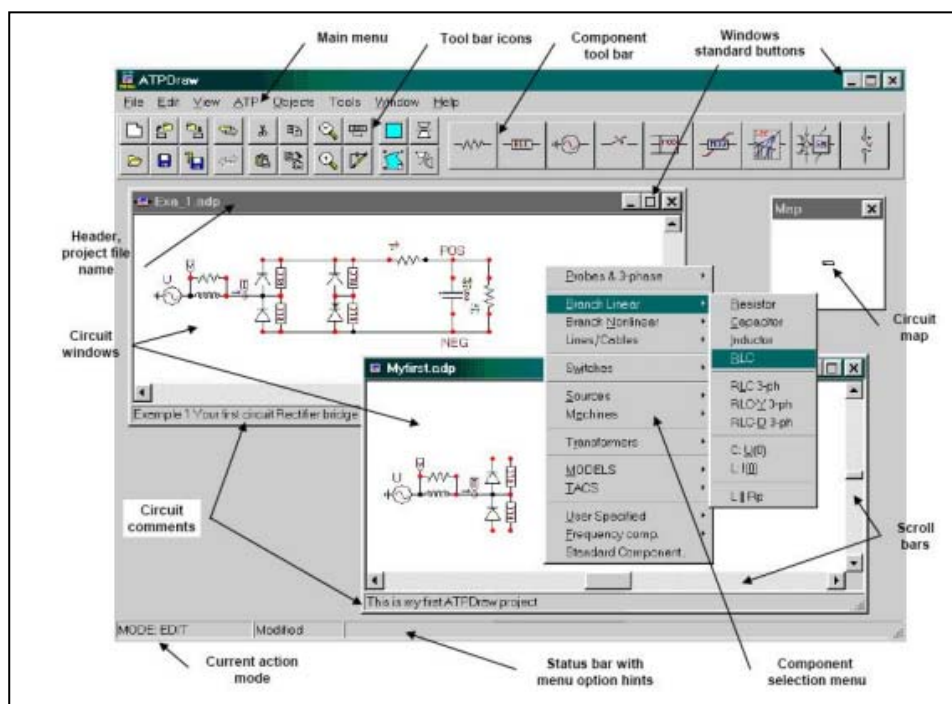
จากภาพที่ ก.1 แสดงให้เห็นหน้าต่างหลักของวงจรในสองหน้าต่าง ซึ่งผู้ใช้งานสามารถทำงานพร้อมๆ กันได้หลายหน้าต่าง และสามารถ copy ข้อมูลระหว่างวงจรทั้งสองหน้าต่างได้ โดยหน้าต่างหลัก (Main Window) มีส่วนประกอบดังนี้

1. Header + Frame

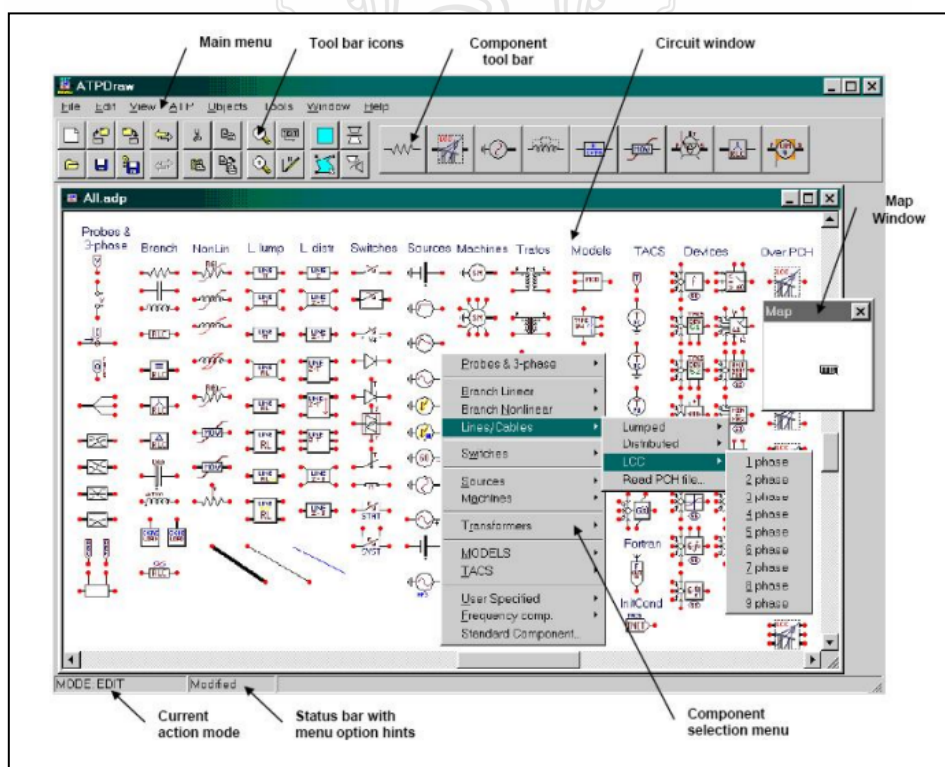
โปรแกรม ATPDraw มีรูปแบบเหมือนโปรแกรม Windows ทั่วไป กล่าวคือประกอบด้วย System menu (Close, Resize, Restore, Move, Minimize, Maximize, Resize และ Header text

2. Main menu

ประกอบด้วยคำสั่งทั่วไป เช่น File, Edit, View และคำสั่งที่จะใช้ในการรันโปรแกรม ATPDraw โดยเฉพาะ ดังภาพที่ ก.1

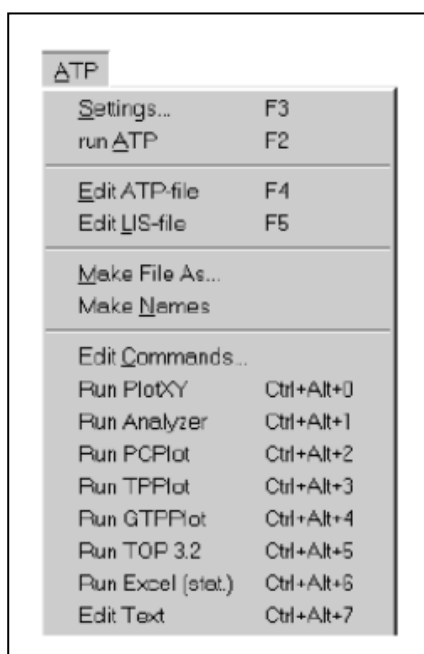


ภาพที่ ก.1 หน้าจอหลักของโปรแกรม ATPDraw และส่วนประกอบต่างๆ ของโปรแกรม



ภาพที่ ก.2 ส่วนประกอบสำคัญต่างๆ บนหน้าจอหลักของโปรแกรม ATPDraw

คำสั่งใน Main Menu เป็นคำสั่งที่มีใช้ในโปรแกรมทั่วไป ซึ่งง่ายต่อผู้ใช้งานอยู่แล้ว อย่างไรก็ตาม คำสั่งสำคัญที่ใช้ในโปรแกรม ATPDraw จะอยู่ในส่วน Menu ATP ซึ่งสามารถอธิบายการใช้งานได้ ดังภาพที่ ก.3



ภาพที่ ก.3 แสดง Menu ATP

3. Setting

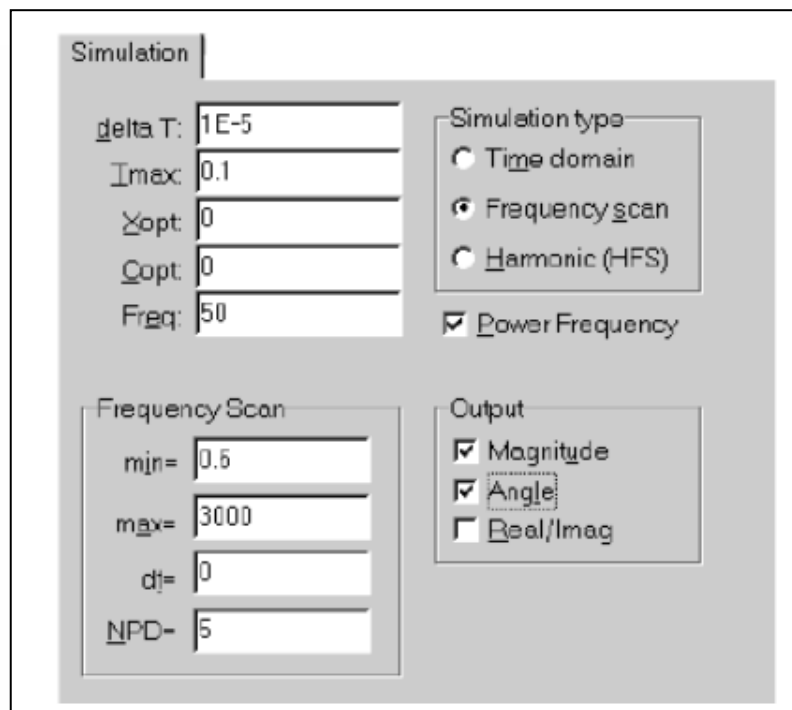
การเริ่มต้นการจำลองไฟฟ้า ผู้ใช้งานจำเป็นต้อง Setting โปรแกรมก่อน เพื่อสร้าง ATP input file โดยการ Setting นั้นประกอบด้วย 6 รายการ คือ Simulation, Output, Switch/UM, Format, Record และ Variables สำหรับคู่มือการใช้โปรแกรม ATPDraw ฉบับนี้จะกล่าวถึงส่วนสำคัญที่ใช้บ่อยในการจำลองระบบไฟฟ้า ดังนี้

3.1 Simulation settings

โดยส่วนใหญ่แล้วการจำลองโดยทั่วไปมักเลือก Simulation Type เป็น Time domain ซึ่งต้องป้อนข้อมูลตามภาพที่ ก.4 ดังนี้

- Delta T : Step time (Seconds) ที่โปรแกรมใช้ในการคำนวณ
- Tmax : เวลาทั้งหมดที่ต้องการให้โปรแกรมคำนวณ
- Xopt : ถ้าใส่ค่า "0" ค่า Inductance จะมีหน่วยเป็น mH
ถ้าใส่ค่า "1" หรือค่าอื่นๆ ค่า Inductance จะมีหน่วยเป็น Ohm
- Copt : ถ้าใส่ค่า "0" ค่า Capacitance จะมีหน่วยเป็น μF

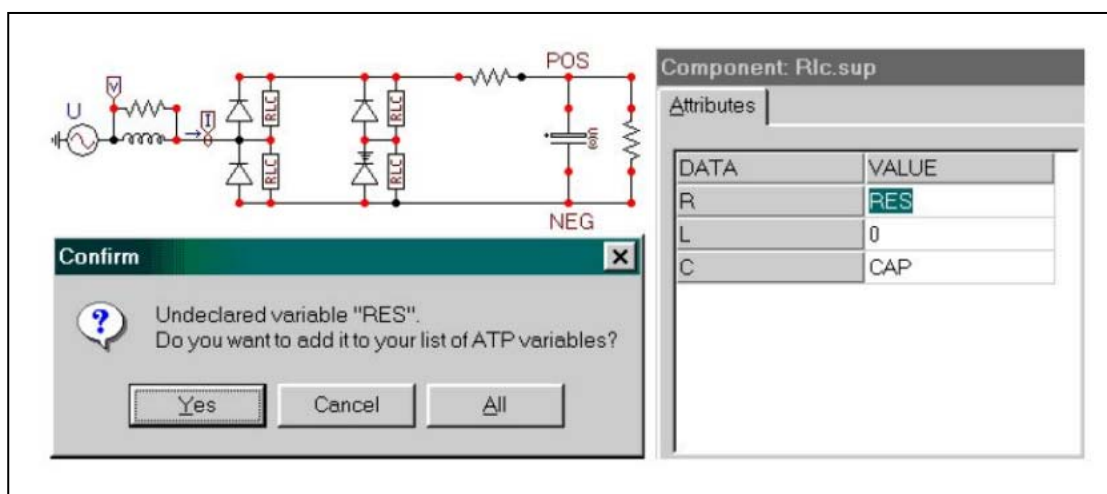
ถ้าใส่ค่า “1” หรือค่าอื่นๆ ค่า Capacitance จะมีหน่วยเป็น μMho
 Freq : ความถี่ของระบบ (Hz)



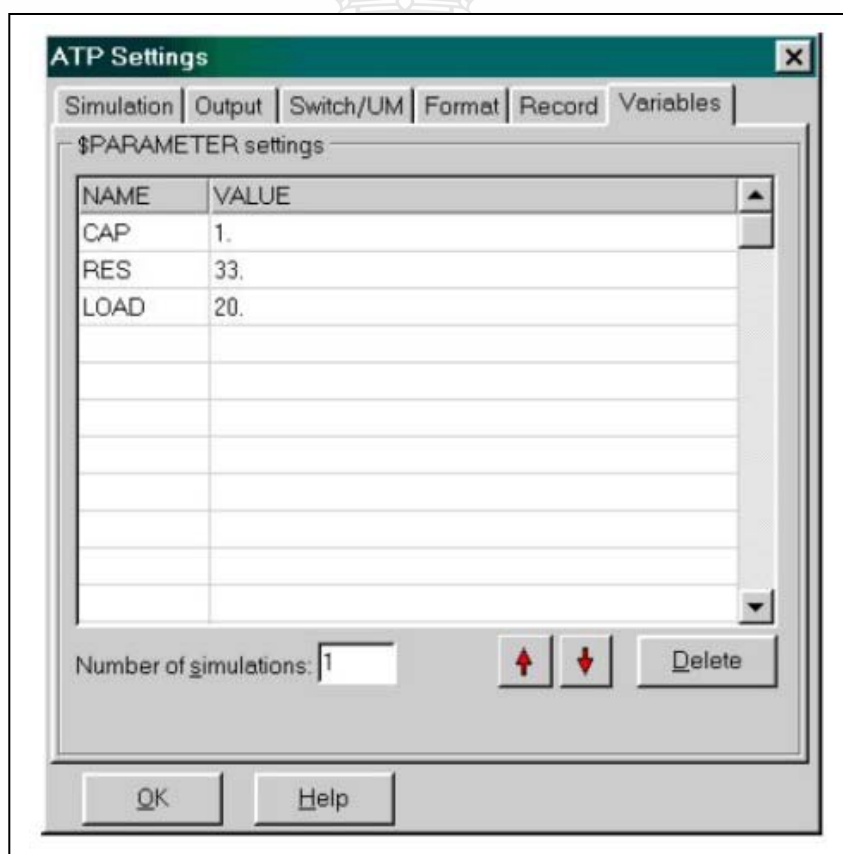
ภาพที่ ก.4 Simulation Tap

3.2 Variables

Variables เป็นรายการที่ผู้ใช้งานสามารถกำหนดตัวแปร (Parameter) เองได้เพื่อนำไปใช้ป้อนข้อมูลให้กับโปรแกรม โดยการตั้งชื่อตัวแปรสามารถตั้งได้ไม่เกิน 6 ตัวอักษรจากตัวอย่าง Exa_1.abp ตามภาพที่ ก.5 ประกอบด้วยไดโอด 4 ตัวประกอบเป็นวงจร Snubber ค่า RC ถูกกำหนดด้วยตัวแปร RES และ CAP ตามลำดับ เมื่อผู้ใช้งานกำหนดชื่อตัวแปรในครั้งแรกนั้น จะมี Message box ปรากฏ ให้ผู้ใช้งานยืนยันการประกาศตัวแปรแบบ Global ตามภาพที่ ก.6



ภาพที่ ก.5 การตั้งค่าตัวแปร RES และ CAP ใน Dialog box



ภาพที่ ก.6 การใส่ค่าตัวแปรใน Tap Variables

3.4 Run ATP

เป็นคำสั่งรันโปรแกรม ATP สามารถกดปุ่ม F2 เป็น Short cut สำหรับคำสั่ง Run ATP ได้ โดยโปรแกรมจะสร้าง ATP input file (.atp) ชื่อเดียวกับไฟล์ของวงจร (.atp) และ Save ใน ATP folder ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องใช้คำสั่ง Make Names หรือ Make File ก่อนการรันโปรแกรม ยกเว้นในกรณีที่ผู้ใช้งานมีการแก้ไขไฟล์ ATP file แบบ Manual นอกจากนี้ ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบผลการรันโปรแกรมได้ด้วย LIS file ซึ่งจะแสดงข้อความเตือน Error ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการรันโปรแกรม

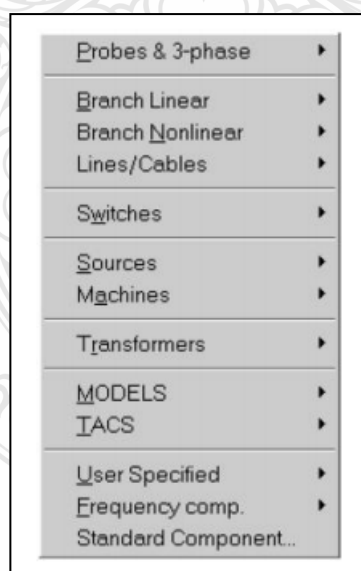
3.5 Edit Commands

Edit Commands เป็นคำสั่งที่ใช้เลือกไฟล์ (*.exe หรือ *.bat) สำหรับการรันโปรแกรม ATP หากผู้ใช้งานต้องเลือกไฟล์การรันโปรแกรมสามารถกดที่ปุ่ม New และ Browse หาไฟล์ที่ต้องการ จากนั้นเลือกชนิดของ Parameter ที่ต้องการส่งไฟล์ และกดปุ่ม Update

3.6 Run PlotXY เป็นคำสั่งแสดงผลด้วยกราฟจากการรันโปรแกรม ATP

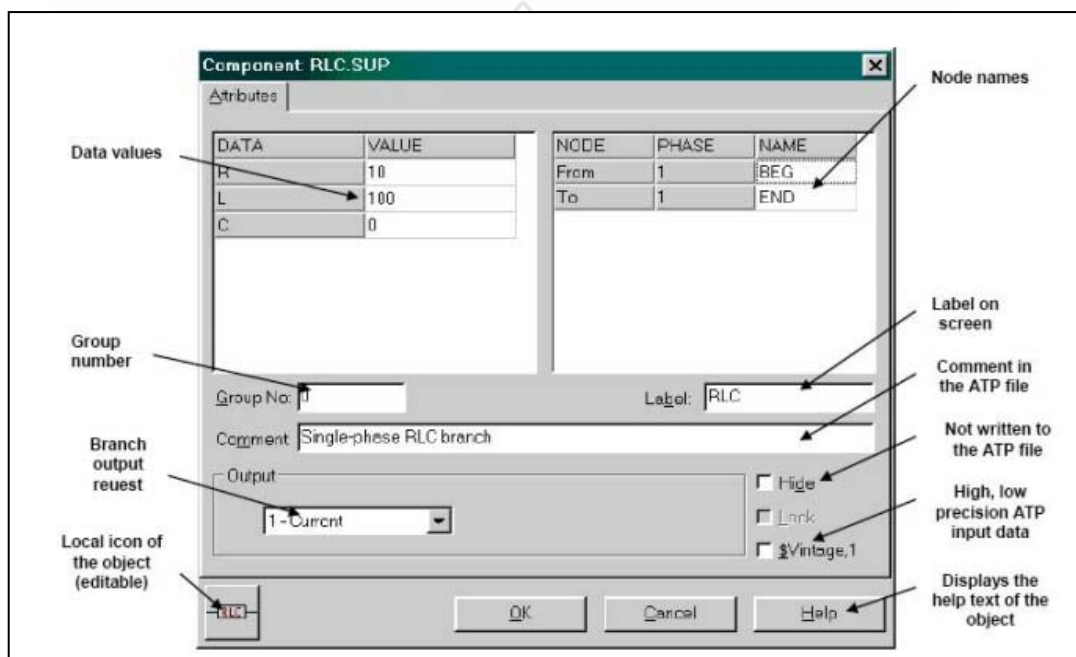
การใช้งาน Circuit objects ในโปรแกรม ATPDraw

เมื่อคลิกขวาบน Main circuit window จะปรากฏ Component selection menu ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ที่ต้องการได้ ดังภาพที่ ก.7



ภาพที่ ก.7 แสดง Component selection menu เมื่อคลิกขวาที่เมาส์

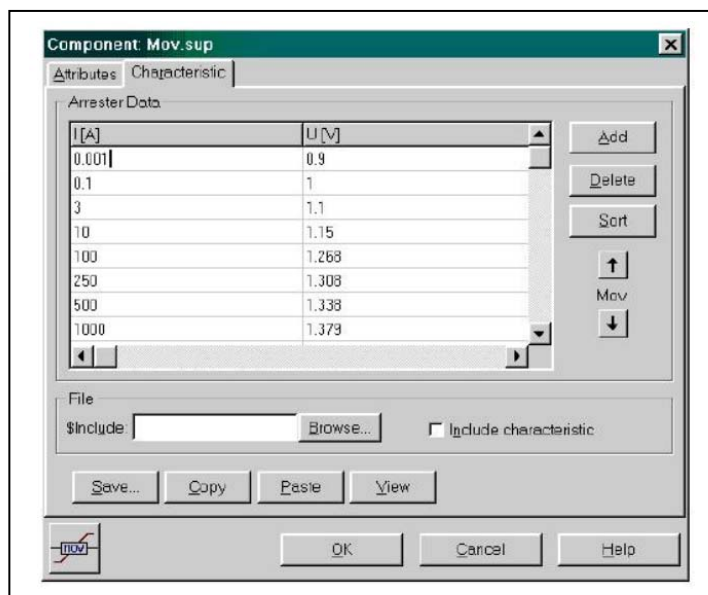
เมื่อเลือก Component ที่ต้องการแล้ว จะปรากฏ Icon ของอุปกรณ์ที่เลือก ผู้ใช้สามารถเคลื่อนย้ายไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้โดยการ Drag and drop หรืออุปกรณ์ให้เข้ากับวงจรที่สร้างไว้แล้ว โดยการคลิกขวาเพื่อหมุน เมื่อ Double click ที่อุปกรณ์จะปรากฏหน้าต่างสำหรับการป้อนข้อมูลให้กับอุปกรณ์ ดังภาพที่ ก.8



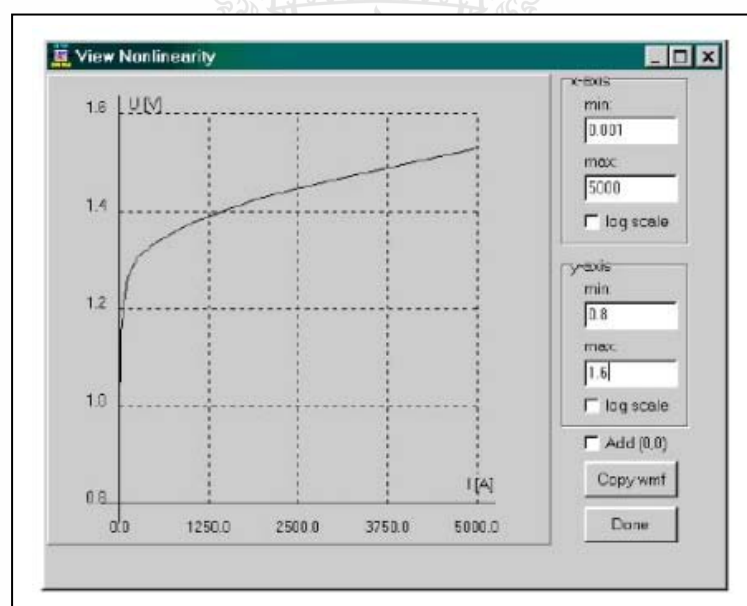
ภาพที่ ก.8 Component dialog box

จากภาพที่ ก.8 จะปรากฏ Attribute Tap ผู้ใช้สามารถป้อนข้อมูลต่างๆ เพื่อรันโปรแกรมได้ และสามารถเลือก Output ที่ต้องการจากอุปกรณ์ตัวนั้นๆ ได้ เช่น ต้องการทราบค่ากระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์นี้ ก็สามารถเลือก OutPut นอกจากนี้ ผู้ใช้ยังสามารถกำหนดการใช้งานอุปกรณ์ได้

ถ้าสำหรับ Component ที่เป็น Nonlinent จะปรากฏ Characteristic Tap เพิ่มขึ้น โดยผู้ใช้งานจะต้องป้อนข้อมูลที่มีลักษณะ Nonlinent ของอุปกรณ์นั้นๆ เช่น อุปกรณ์ MOV ใน Branch Nonlinear ผู้ใช้งานจะต้องป้อนค่า V-I Curve ดังภาพที่ ก.9



ภาพที่ ก.9 แสดงการป้อนค่า V-I Curve ของ MOV

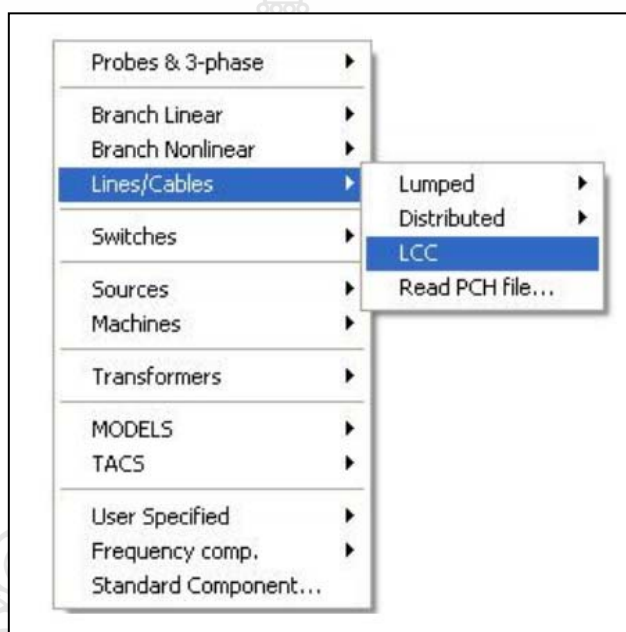


ภาพที่ ก.10 หน้าต่างแสดงกราฟ Nonlinear

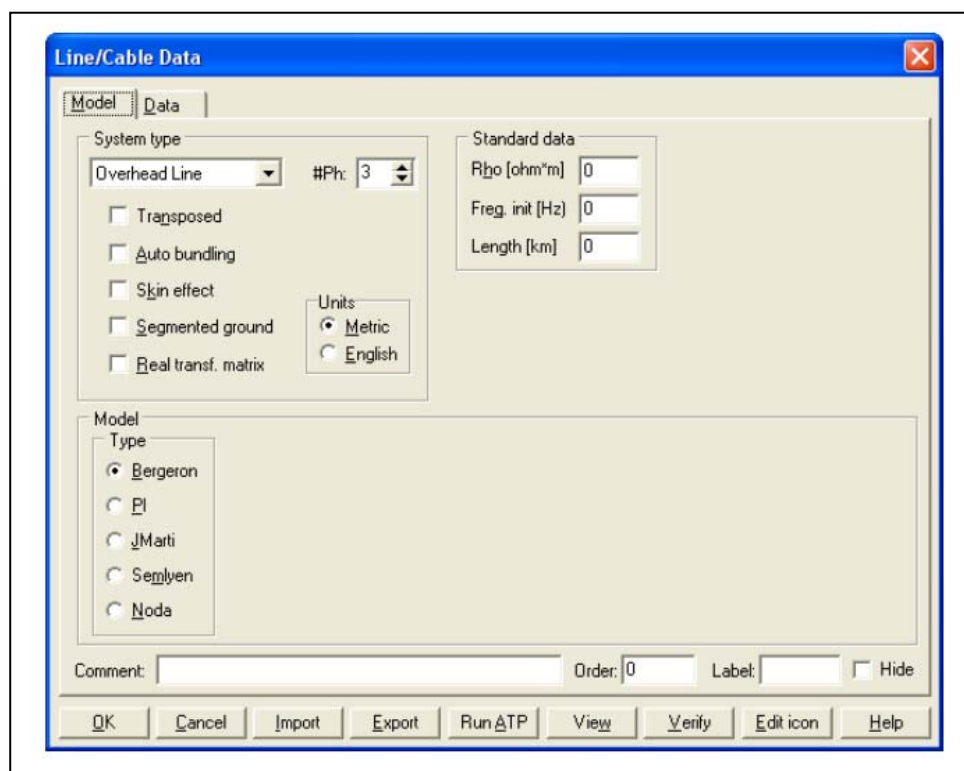
นอกจากนี้ เมื่อป้อนค่าคุณสมบัติความเป็น Nonlinear ให้กับอุปกรณ์แล้ว ผู้ใช้งานสามารถกดปุ่ม View เพื่อแสดงกราฟได้ ดังภาพที่ ก.10 นอกจากนี้ Component ที่มีการใช้งานบ่อย ได้แก่ Lines/Cable component ในส่วนของ LCC ซึ่ง ผู้ใช้งานสามารถป้อนข้อมูล Line constant, Cable

constants และค่า Parameter ต่างๆ สำหรับจำลองสายส่งสายจำหน่ายในระบบไฟฟ้าได้ ผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้งาน LCC ได้ ดังนี้

1. Click ขวาที่ Mouse เลือก Line/Cable เลือก LCC จะปรากฏ ภาพที่ ก.11
2. Double click ที่ Icon LCC เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ใน Dialog box ภาพที่ ก.12
3. เลือกชนิดของสายตัวนำที่จะทำการจำลองได้จาก Model System เลือก type โดยชนิดของสาย และรูปแบบของ Model มีให้เลือกดังตารางที่ 1.2



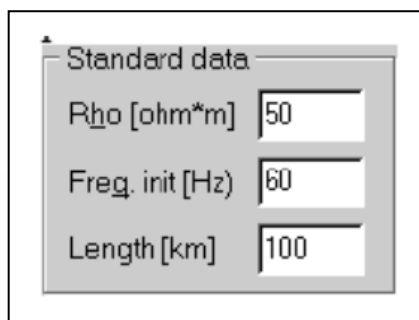
ภาพที่ ก.11 การเลือก Model LCC



ภาพที่ ก.12 หน้าต่างการป้อนข้อมูล Model LCC

ตารางที่ 1.2 ชนิดของสาย และรูปแบบของ Model

System type:	Model / Type
Overhead Line : LINE CONSTANTS	Bergeron : Constant parameter KCLee or Clark
Single Core Cables:	PI : Nominal PI-equivalent (short lines)
CABLE PARAMETER or	JMarti : Frequency dependent model with
CABLE CONSTANTS	constant transformation matrix
Enclosing Pipe :	Noda : Frequency dependent model (not
CABLE PARAMETERS or	supported in CABLE CONSTANTS)
CABLE CONSTANTS	Semlyen : Frequency dependent simple fitted
	model(not supported in CABLE
	PARAMETERS)

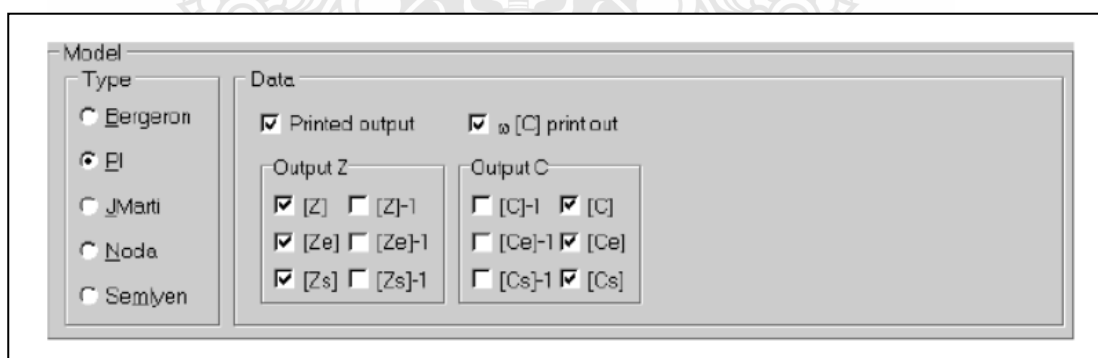


ภาพที่ ก.13 หน้าต่างการเลือกชนิดของสาย และรูปแบบของ Model

Overhead Line	คือ สายเหนือดิน
Single Core Cable	คือ สายเคเบิลแกนเดียว
Enclosing Pipe	คือ สายไฟเดินในท่อปิด
Rho	คือ ค่าความต้านทานดินในหน่วย โอห์มต่อเมตร
Freq	คือ ค่าความถี่เริ่มต้น
Length	คือ ค่าความยาวสาย

แบบจำลอง และการกำหนดค่าสำหรับสายส่งเหนือดิน ในส่วนของ Model type setting

ประกอบไปด้วย แบบ Bergeron ไม่มีส่วนใดๆ ให้กำหนดเพิ่มเติม และ แบบ PI การคำนวณแบบ PI-equivalent ระยะสั้น



ภาพที่ ก.14 หน้าต่างการป้อนข้อมูล Model PI

Printed output: แสดงผลของค่า Shunt capacitance, Series Impedance/admittance

$\omega[C]$: เลือกระหว่าง Capacitance / Susceptance

1. แบบ JMarti

NAME	DEFAULT	VALUE
Gmode	3e-8	3e-8
EpsToI(Zc)	0.3	0.3
NorMax(Zc)	30	30
IeCode(Zc)	0	0

ภาพที่ ก.15 หน้าต่างการป้อนข้อมูล Model JMarti

- Decade: จำนวน decade เท่าของความถี่เริ่มต้น
- Points/Dec: จำนวนจุดที่จะคำนวณ transformation matrix ในการคำนวณ Transient ต่อไป
- Freq.SS: ความถี่ในสถานะอยู่ตัว (Steady state)
- Model fitting: ข้อมูลที่ใช้ในการ Fitting

2. แบบ Noda

NAME	DEFAULT	VALUE
Tstep	-1.0	-1.0
HMin	4	4
HMax	16	16
YMin	1	1

ภาพที่ ก.16 หน้าต่างการป้อนข้อมูล Model Noda

- Decade: จำนวน decade เท่าของความถี่เริ่มต้น
- Points/Dec: จำนวนจุดที่จะคำนวณในแต่ละ decade
- Freq.matrix: ความถี่ที่คำนวณ transformation matrix ในการคำนวณ Transient ต่อไป

Freq. veloc: ความเร็วของ natural modes of propagation
 Model fitting data: ข้อมูลที่ใช้ในการ Fitting

3. แบบ Semlyen

NAME	DEFAULT	VALUE
eps(1)	0.005	0.005
eps1(2)	0.005	0.005
Fit27(3)	0.1	0.1
PIVTHR(4)	1e-5	1e-5

ภาพที่ ก.17 หน้าต่างการป้อนข้อมูล Model Semlyen

Decade: จำนวน decade เท่าของความถี่เริ่มต้น
 Points/Dec: จำนวนจุดที่จะคำนวณในแต่ละ decade
 Freq.matrix: ความถี่ที่คำนวณ transformation matrix ในการคำนวณ Transient ต่อไป
 Freq.SS: ความถี่ในสภาพอยู่ตัว (Steady state)
 Model fitting data: ข้อมูลที่ใช้ในการ Fitting

การป้อนข้อมูลใน Line Data ประกอบด้วย

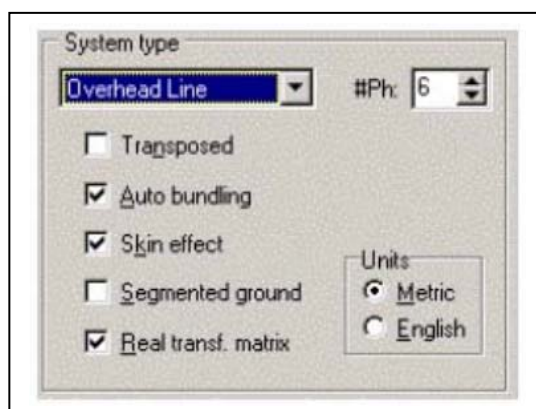
#	Ph.no.	Rin [cm]	Rout [cm]	Resis [ohm/km DC]	Horiz [m]	Vtower [m]	Vmid [m]	Separ [cm]	Alpha [deg]	NB
1	1	0.55	1.55	0.0585	-17.5	27.9	13	60	45	4
2	2	0.55	1.55	0.0585	0	27.9	13	60	45	4
3	3	0.55	1.55	0.0585	17.5	27.9	13	60	45	4
4	0	0.3	0.8	0.304	-13.2	41.05	26.15	0	0	0
5	0	0.3	0.8	0.304	13.2	41.05	26.15	0	0	0

Buttons: Add row, Delete last row, Insert row copy, Move (up/down arrows)

ภาพที่ ก.18 หน้าต่างการป้อนข้อมูล Configure การวางสายในระบบไฟฟ้า

Ph.no.:	จำนวนเฟส
Rin:	รัศมีภายในของสายตัวนำ
Rout:	รัศมีภายนอกของสายตัวนำ
Resis:	ค่าความต้านทานของสายตัวนำ ที่ DC หรือ ค่าความต้านทาน AC ที่ Frequency SS.
Horiz:	ระยะห่างในแนวระดับของสายตัวนำ
Vtower:	ความสูงของสายที่เสา Tower
Vmid:	ความสูงของสายที่กลาง Span
Separ:	ระยะห่างระหว่างสายในชุดสาย bundle
Alpha:	มุมของสายตัวนำในชุดสาย bundle

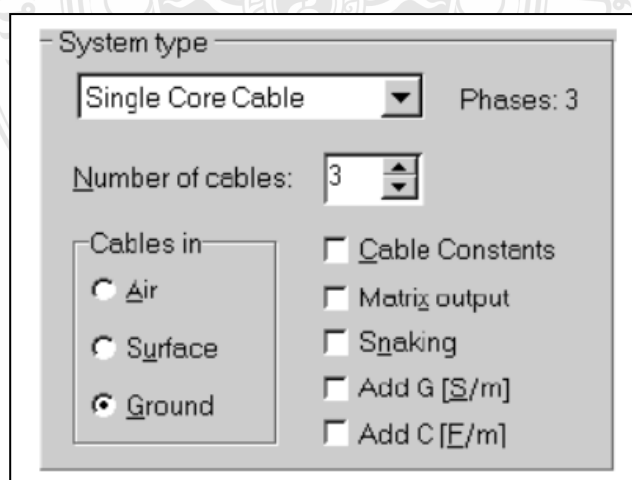
แบบจำลองและการกำหนดค่าของ Model Overhead Line



ภาพที่ ก.19 หน้าต่างการกำหนดค่าของ Model Overhead Line

#Ph:	จำนวนเฟส
Transposed:	สายเหนือดินมีการสลับสาย
Auto bundling:	กำหนดให้เป็นแบบ Bundle
Skin effect :	คำนวณผลของ Skin effect
Segmented ground:	ระบบต่อลงดินไม่ต่อเชื่อมถึงกัน
Real transf. matrix:	Transformation matrix ใช้ส่วนจริงในการคำนวณ ไม่คำนึงถึงส่วนจินตภาพ
Units:	หน่วยในการคำนวณแบบ Metric หรือ English

แบบจำลองและการกำหนดค่าของ Single Core Cable

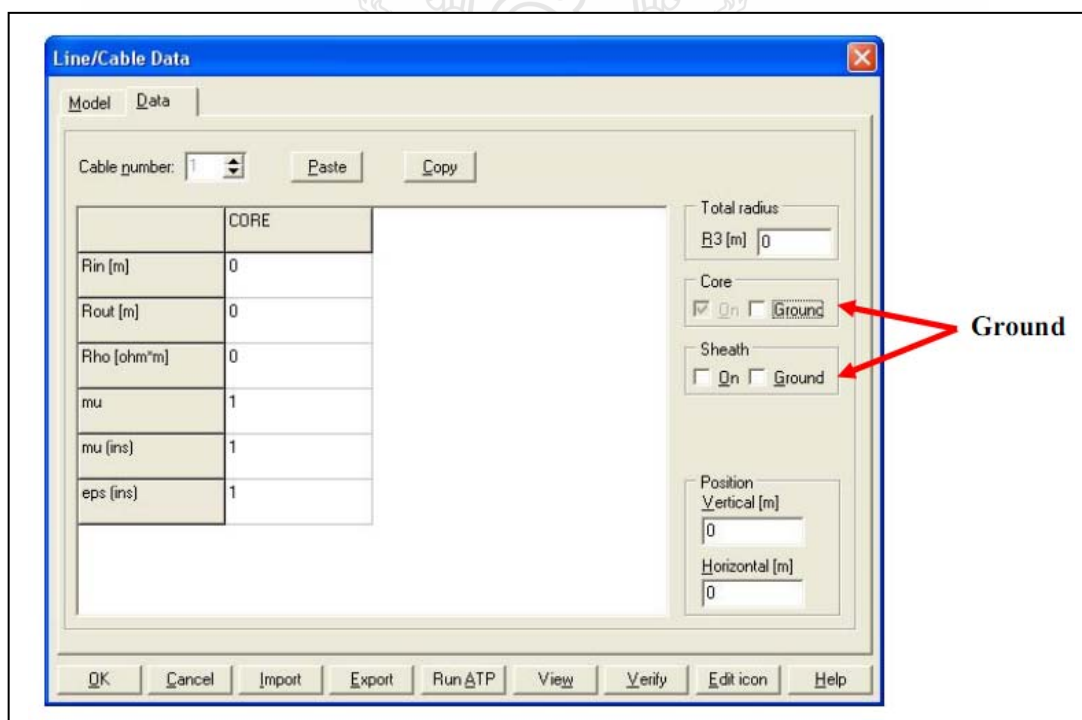


ภาพที่ ก.20 หน้าต่างการกำหนดค่าของ Single Core Cable

- Cable in: การติดตั้งสายเคเบิล (อากาศ/บนดิน/ใต้ดิน)
 Number of cable: จำนวนสายเคเบิล
 Matrix output: แสดงผลของ impedance/admittance matrix
 Cable constants: เป็นการเลือกใช้ข้อมูลระหว่างค่า Cable Constants
 และ Cable Parameters หากเลือก Cable

Constants จะไม่คำนึงถึงค่า Capacitance และจะคำนึงถึงผลของ Ground จากหน้าต่าง Cable data Tap สำหรับ Semlyen model จะรับรองเฉพาะกรณี Cable Constant เท่านั้น และสำหรับ Noda Model จะรองรับเฉพาะกรณี Cable Parameters เท่านั้น

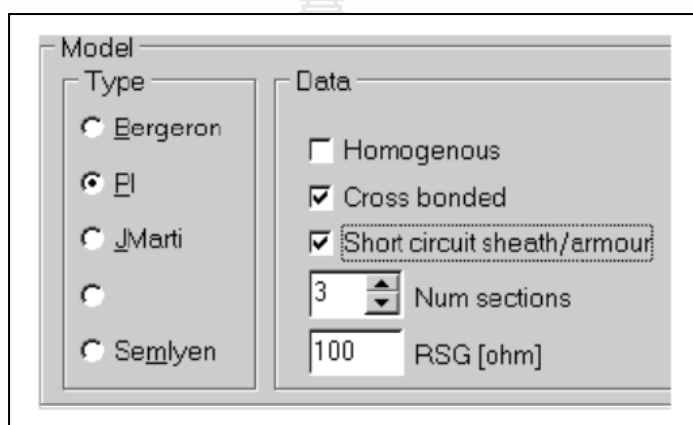
- Snaking: หากเลือก จะพิจารณาว่ามีการ Transposed สาย
 Add G: ค่าความนำไฟฟ้า (Conductance) ระหว่างสายตัวนำ
 (ไม่คำนึงถึงในกรณี Checked cable constants)
 Add C: ค่าความจุไฟฟ้า (Conductance) ระหว่างสายตัวนำ
 (ไม่คำนึงถึงในกรณี Checked cable constants)



ภาพที่ ก.21 หน้าต่างการป้อนข้อมูล Cable Data

Model Type settings for SC cables

Bergeron, JMarti, Noda และ Semlyen: การ Setting สำหรับ SC cable มีลักษณะเหมือนกับกรณีโมเดลในสาย Overhead line แต่ผู้ใช้งานควรระวังว่า โมเดลที่ขึ้นกับความถี่ (Frequency dependent) อาจจะให้ผลที่ไม่สมจริงเท่าไรนัก เนื่องจากใน Transformation matrix จะไม่คำนึงถึงความถี่ ดังนั้นโมเดลที่เกิดขึ้นกับความถี่จึงเหมาะสำหรับการจำลองใน Overhead line แต่ไม่เหมาะสำหรับสายเคเบิล



ภาพที่ ก.22 หน้าต่างการป้อนข้อมูล PI Model

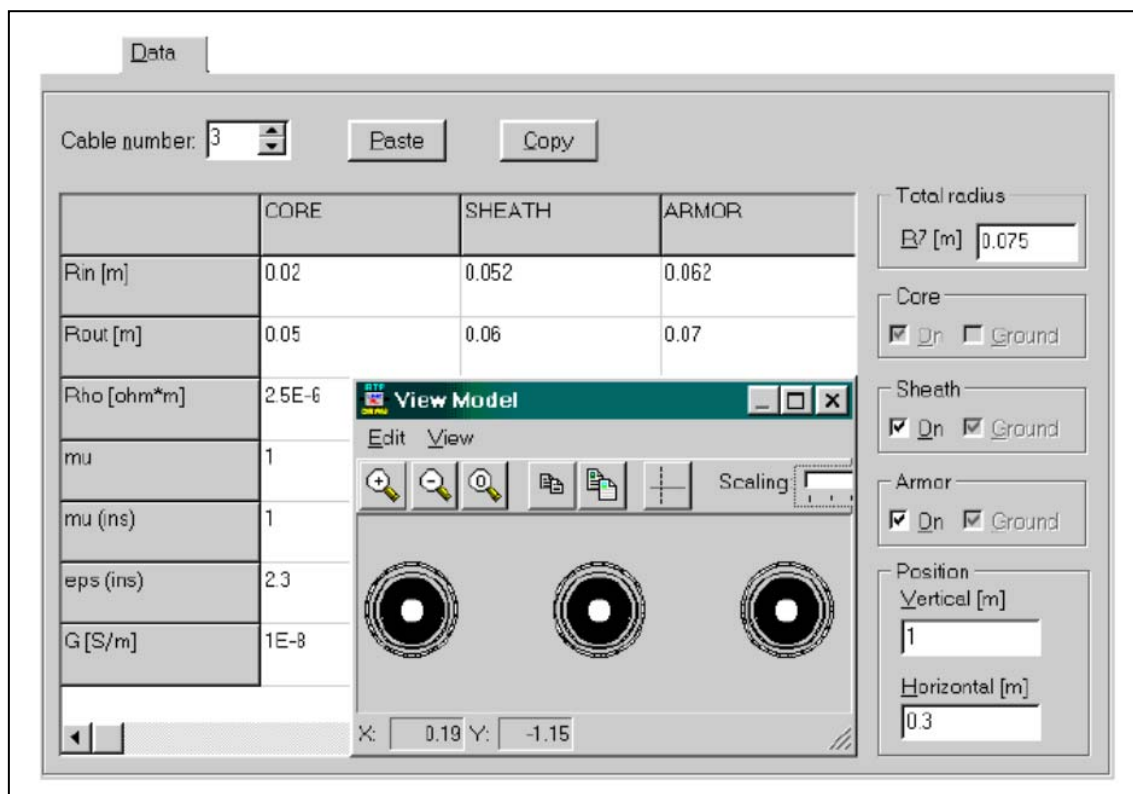
สำหรับการโมเดลชนิด PI Model นั้น หากเลือก Cable Constants แล้ว PI Model จะรองรับ Parameter เพิ่มเติมดังภาพที่ ก.22

Cable Data page Setting for SC cables

Tap Data setting เป็น Tap ที่ผู้ใช้งานต้องป้อนข้อมูล Geometrical และข้อมูลวัสดุของสายเคเบิล โดยผู้ใช้งานสามารถ copy ข้อมูลระหว่างสายเคเบิลได้

Cable Parameters (กรณีไม่เลือก Cable Constants) Ground option จะไม่ทำงาน และจำนวน Grounded conductors จะถูกคำนวณใน ATPDraw ขึ้นกับจำนวนตัวนำของระบบ

Cable Constants (กรณีเลือก Cable Constants) ผู้ใช้งานจะต้องระบุว่าตัวนำใดที่เป็นกราวด์ให้ชัดเจน โดยการเลือกที่ปุ่ม Ground



ภาพที่ ก.23 หน้าต่างการป้อนข้อมูล SC Cable Data 3 เฟส

Rin:	รัศมีในของตัวนำ [m]
Rout:	รัศมีนอกของตัวนำ [m]
Rho:	ค่าความต้านทานจำเพาะของตัวนำ
Mu:	ค่า Relative permeability ของวัสดุตัวนำ
Mu(ins):	ค่า Relative permeability ของวัสดุที่ใช้ทำฉนวนหุ้มตัวนำ
Eps(ins):	ค่า Relative permittivity ของวัสดุที่ใช้ทำฉนวนหุ้มตัวนำ
Total radius:	รัศมีรวมทั้งหมดของตัวนำ [m]
Sheath/Armor On:	กำหนดให้มิตัวนำมี Sheath หรือ Armor ป้องกัน
Position:	ตำแหน่งในการติดตั้ง Single core cable เทียบกับระดับพื้นดิน

Model and Data Page setting for Enclosing Pipe type cable

การจำลองสายเคเบิลที่ประกอบด้วยสาย Single core (SC) coaxial cables ที่ติดตั้งภายในท่อตัวนำ conducting pipe (Class-B ตาม ATP Rule Book) โดยสายเคเบิลอาจจะติดตั้งใต้ดิน หรือบนอากาศได้ สำหรับการเลือก Cable Constants จะไม่คำนึงถึงค่า shunt conductance และค่า capacitance เหมือนกับกรณี Single Core cable

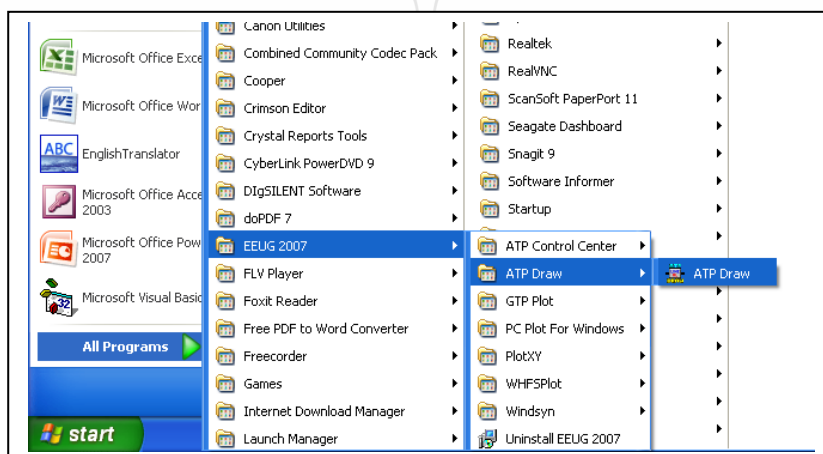
ภาพที่ ก.24 หน้าต่างการป้อนข้อมูล Enclosing Pipe Cable

Depth:	ความลึกระหว่างจุดศูนย์กลางของท่อกับผิวดิน
Rin:	รัศมีภายในของท่อ [m]
Rout:	รัศมีนอกของท่อ [m]
Rins:	รัศมีนอกของฉนวน (รัศมีรวมของสายเคเบิล) [m]
Rho:	ค่าความต้านทานเฉพาะของ pipe conductor
Mu:	ค่า Relative permeability ของ pipe conductor
Eps(in):	ค่า Relative permittivity ของฉนวนภายใน (ระหว่างท่อ กับสายเคเบิล)
G/C:	ค่า Shunt conductance และ Shunt capacitance ระหว่างท่อ กับสายเคเบิล
Infinite thickness:	ความหนาท่อเป็นอนันต์
Position:	ตำแหน่งของท่อในระบบ polar coordinate

ภาคผนวก ก.2

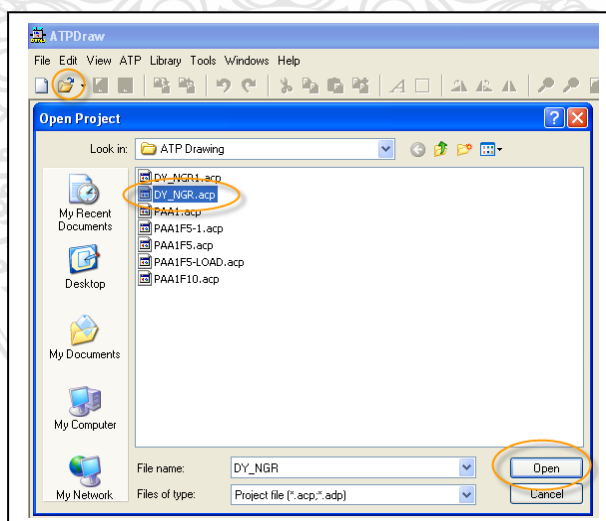
ขั้นตอนการแสดงผลโปรแกรม ATP/EMTP ในงานวิจัย

1. เมื่อทำการติดตั้งโปรแกรม ATP/EMTP แล้วจะปรากฏโปรแกรม EEUG 2007 ให้เลือก ATP Draw ตามภาพที่ ก.25

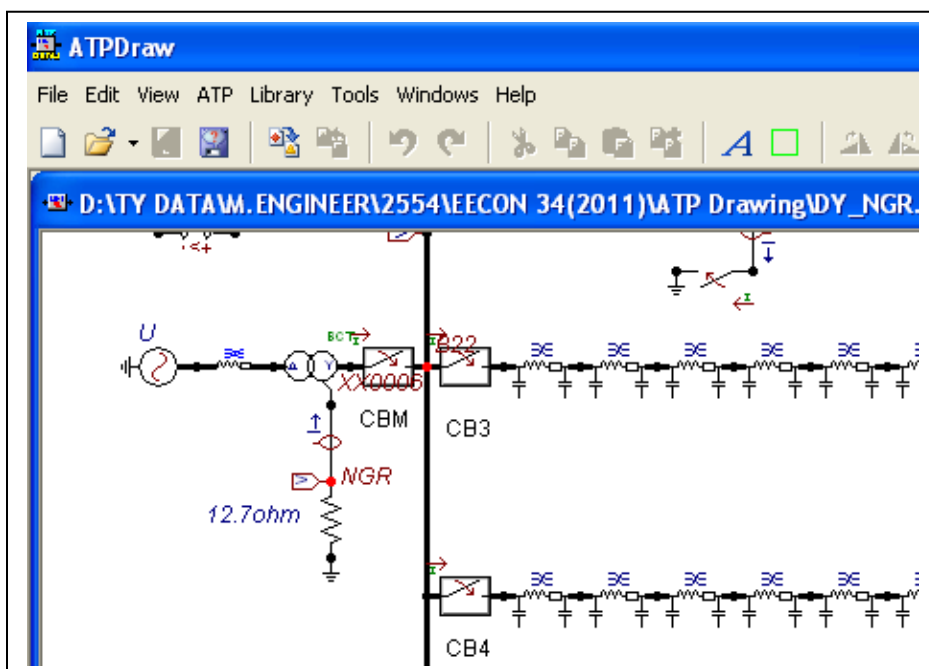


ภาพที่ ก.25 การเข้าโปรแกรม ATP/EMTP

2. เลือกเปิดข้อมูลที่ได้สร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้า สำหรับแสดงผล หารูปคลื่นแรงดันและกระแส ตามภาพที่ ก.26

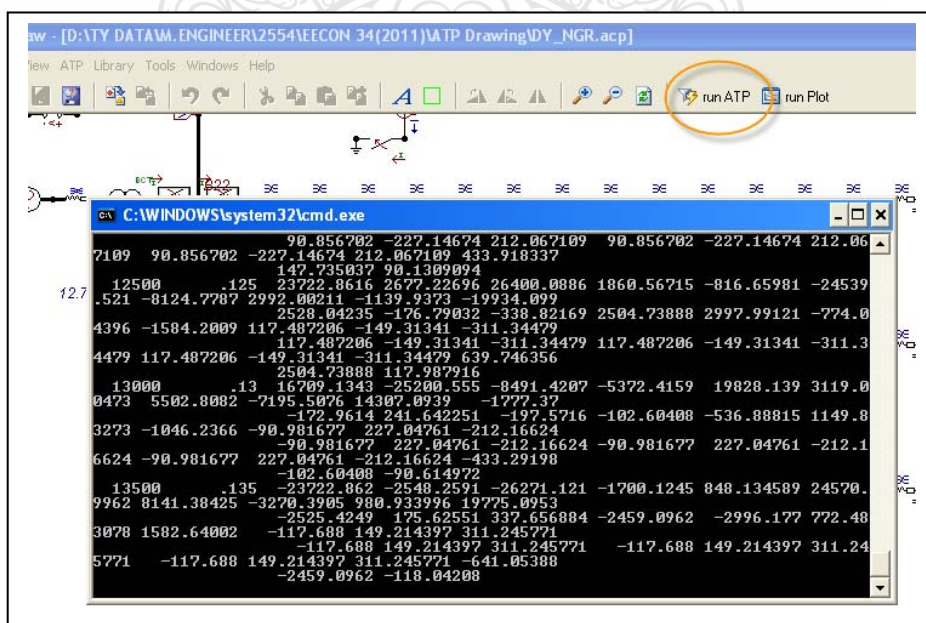


ภาพที่ ก.26 การเปิดแบบจำลองระบบไฟฟ้า ที่ได้สร้างไว้สำหรับทดสอบหารูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้า



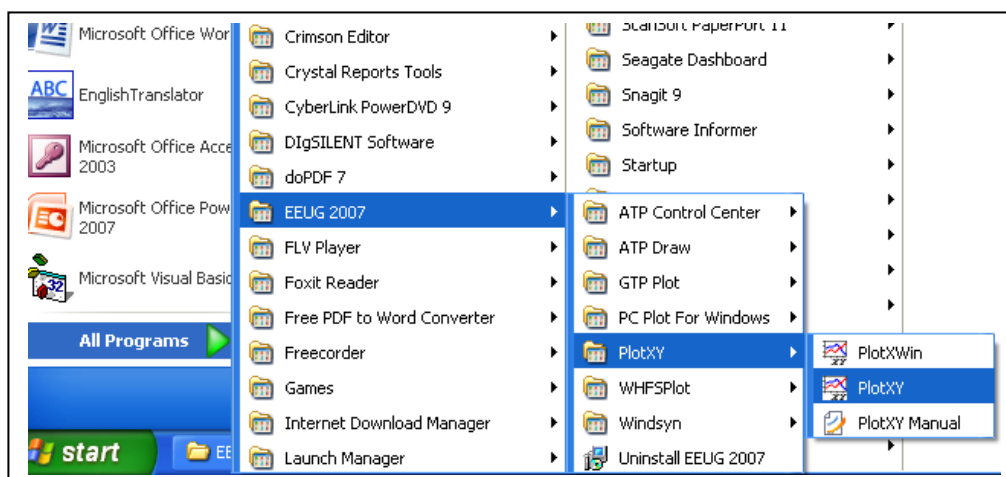
ภาพที่ ก.27 แบบจำลองระบบไฟฟ้า สำหรับทดสอบหารูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าขณะเกิด
ความผิดปกติในระบบไฟฟ้า

3. การแสดงผลการทดสอบแบบจำลองเพื่อหารูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้า

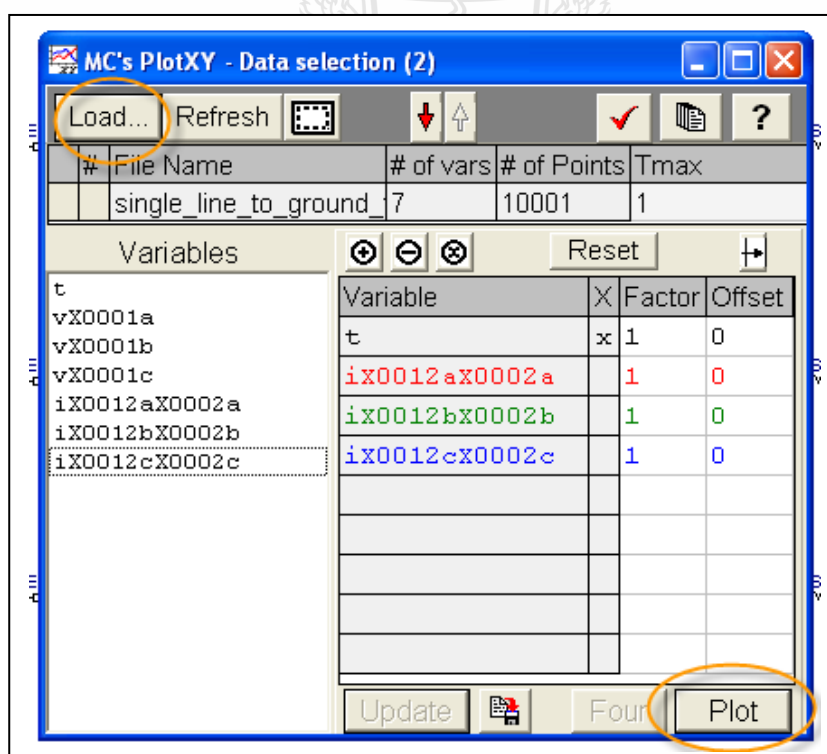


ภาพที่ ก.28 การ RUN โปรแกรมแบบจำลอง

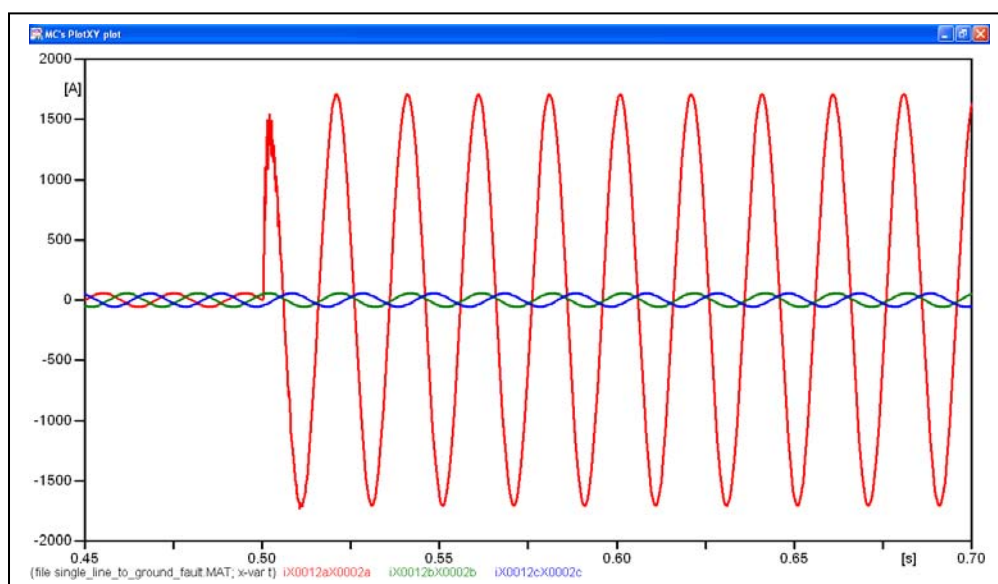
4. การพล็อตกราฟ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงแรงดันและกระแสไฟฟ้าขณะเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้า



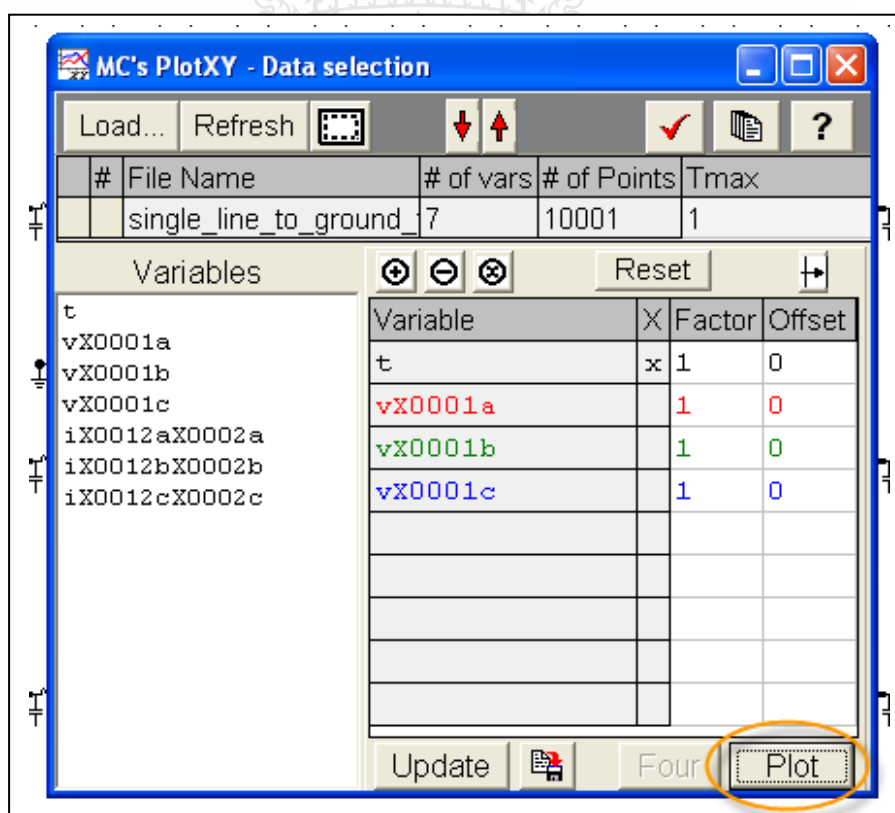
ภาพที่ ก.29 การเปิดโปรแกรมสำหรับพล็อตกราฟ



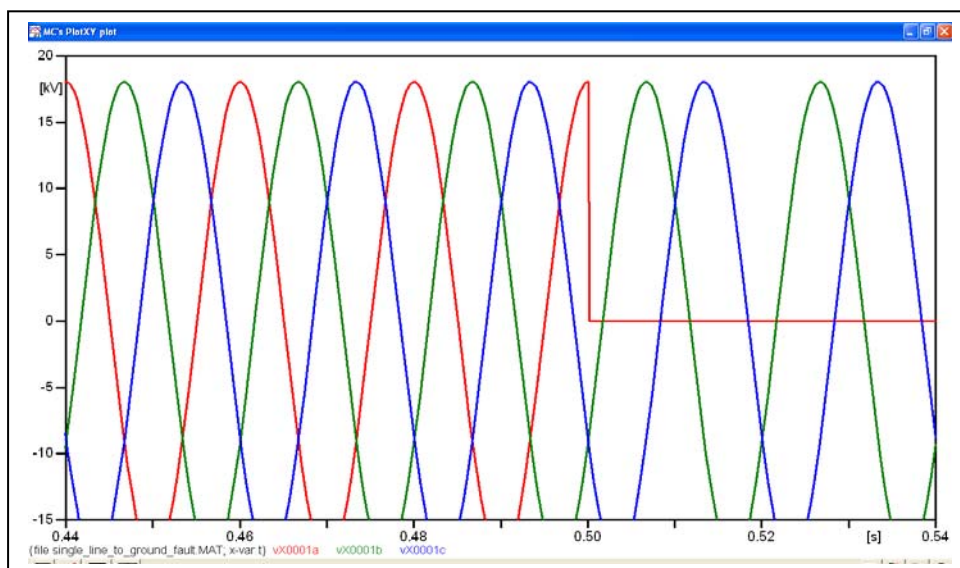
ภาพที่ ก.30 การเลือกพล็อตกราฟกระแส ขณะเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า



ภาพที่ ก.31 กราฟกระแสไฟฟ้า ขณะเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้าเฟส A กับ กราวด์



ภาพที่ ก.32 การเลือกพล็อตกราฟแรงดันไฟฟ้า ขณะเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า



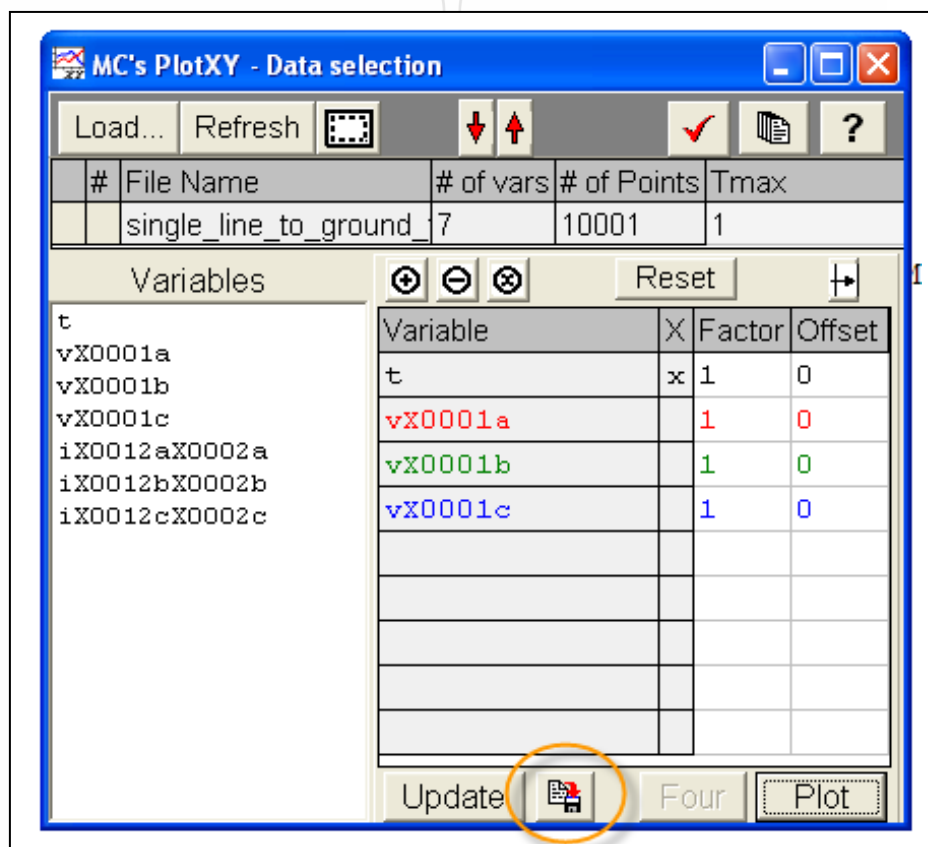
ภาพที่ ก.33 กราฟแรงดันไฟฟ้า ขณะเกิดความผิดปกติพ่วงในระบบไฟฟ้าเฟส A กับ กราวด์



ภาคผนวก ก.3

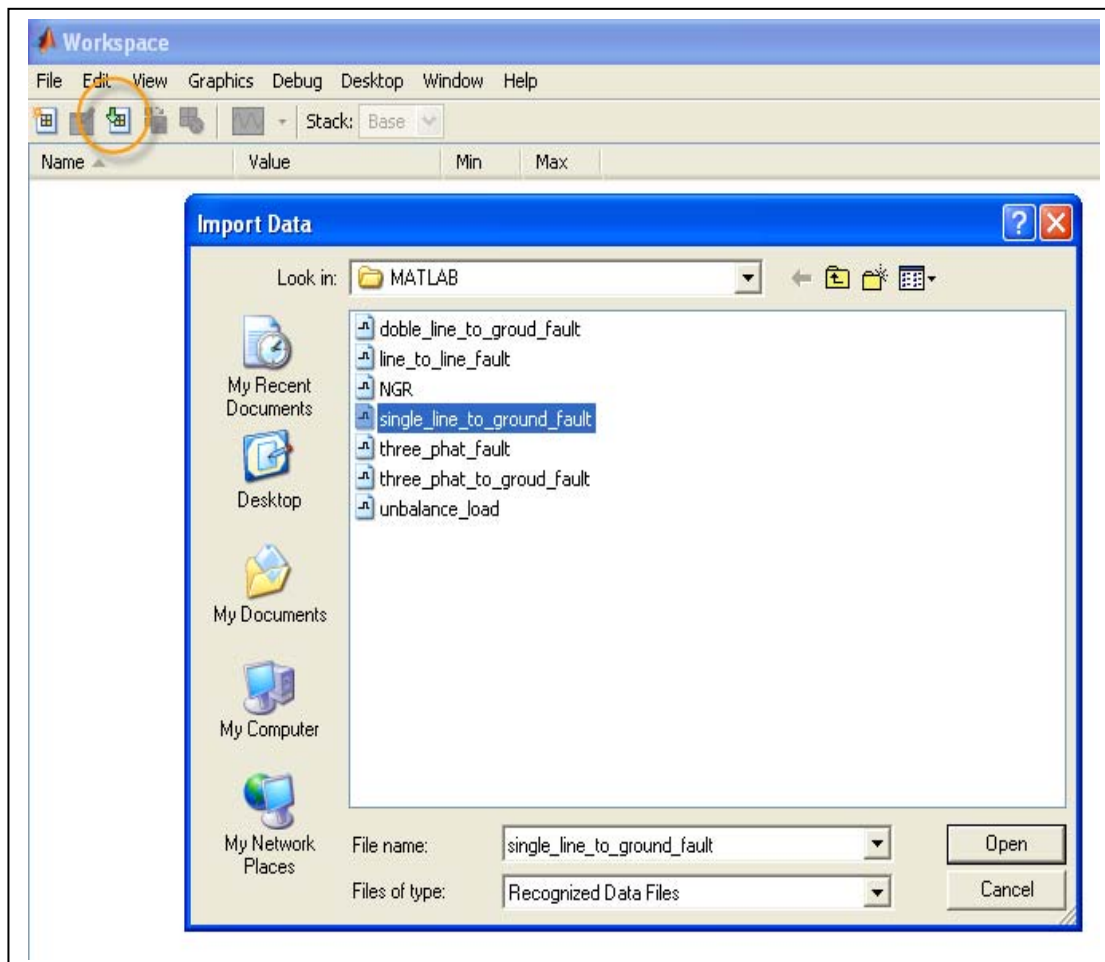
การเชื่อมต่อข้อมูลจากโปรแกรม ATP/EMTP กับ MATLAB

1. เลือกกดปุ่ม SAVE VARIABLES จากฟังก์ชัน PlotXY จากโปรแกรม ATP/EMTP เพื่อเก็บค่าตัวแปรทางไฟฟ้าสำหรับใช้เชื่อมต่อกับโปรแกรม MATLAB ดังภาพที่ 34



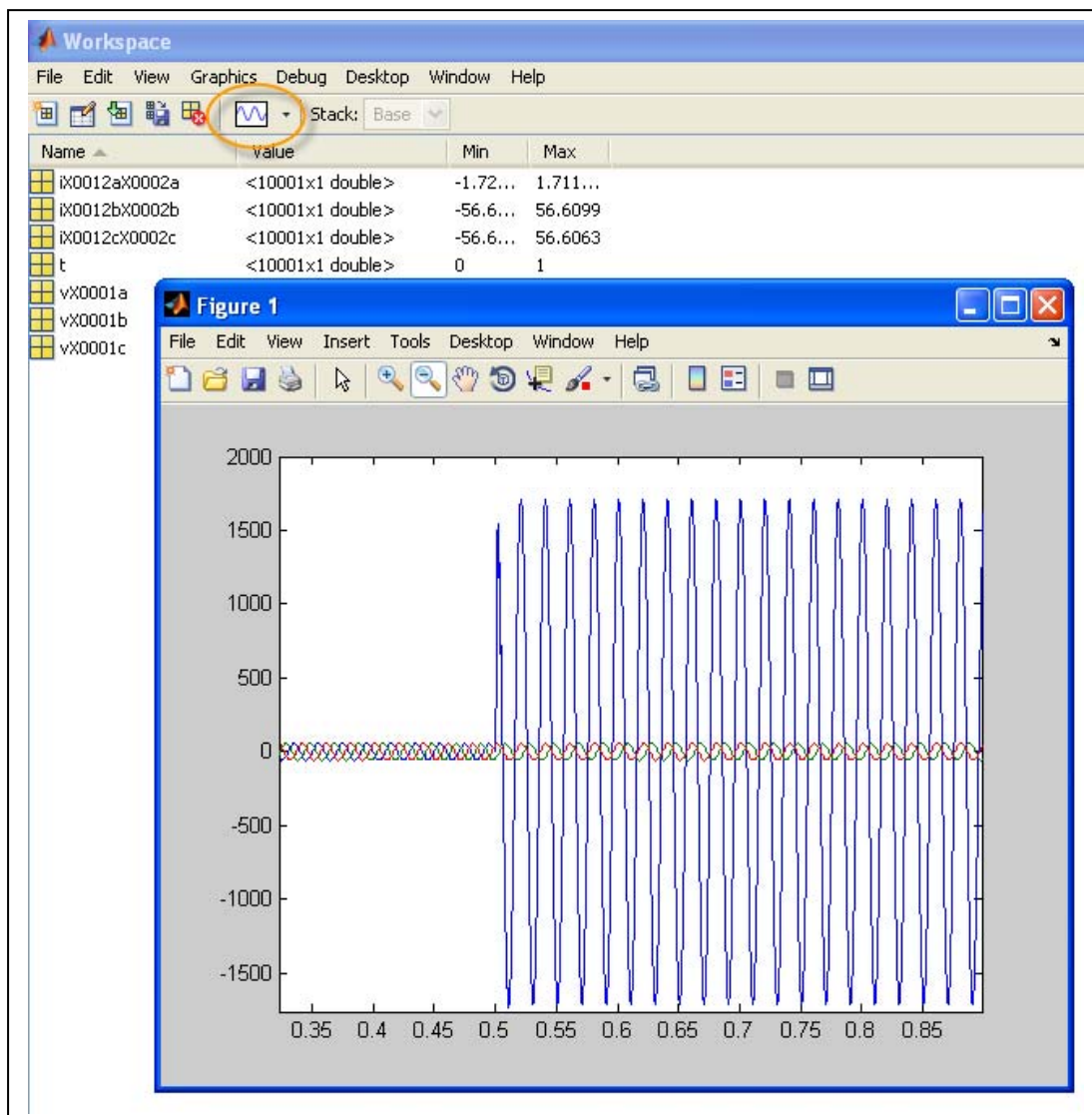
ภาพที่ ก.34 วิธีการบันทึกข้อมูล

2. เปิดโปรแกรม MATLAB เลือกแสดงหน้าจอแบบ VARIABLE กดปุ่ม IMPORT DATA เพื่อนำข้อมูลตัวแปรทางไฟฟ้า ที่บันทึกไว้ในหัวข้อที่ 1 นำมาแสดงผลในโปรแกรม MATLAB

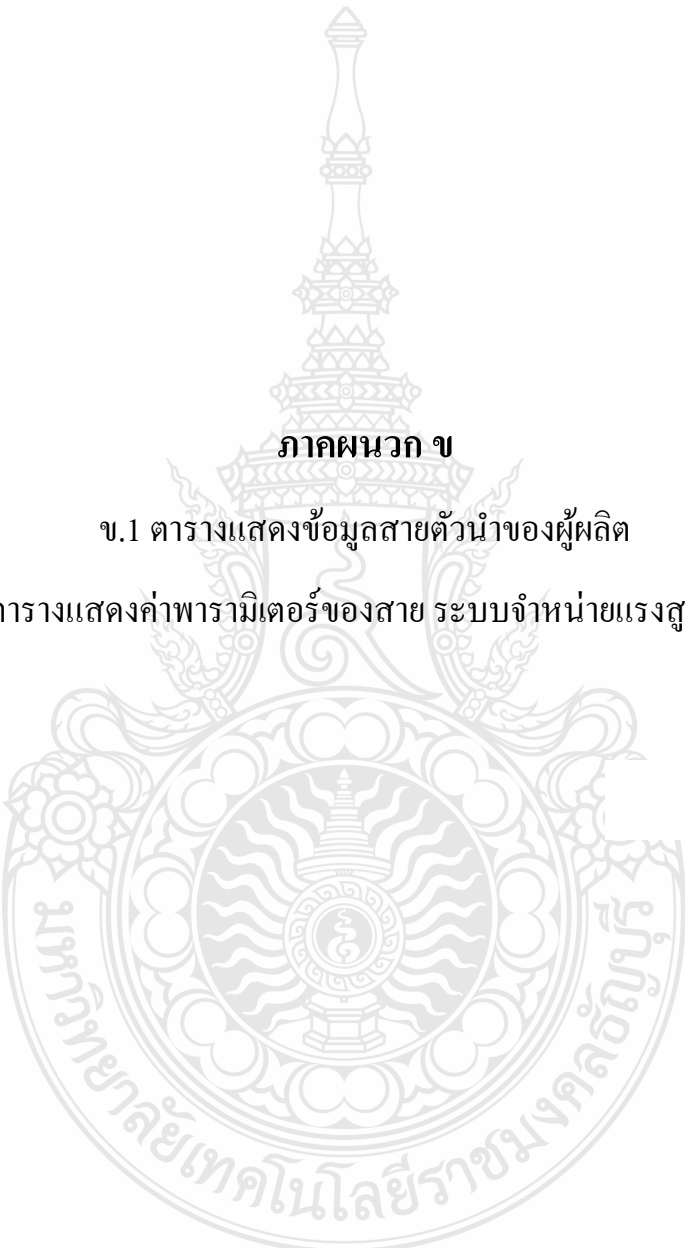


ภาพที่ ก.35 การนำเข้าข้อมูลจากโปรแกรม ATP/EMTP เชื่อมต่อกับ โปรแกรม MATLAB

3. การนำเข้าสู่ข้อมูลจากโปรแกรม ATP/EMTP มาแสดงผลในโปรแกรม MATLAB



ภาพที่ ก.36 กราฟรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าขณะเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า



ภาคผนวก ข

ข.1 ตารางแสดงข้อมูลสายตัวนำของผู้ผลิต

ข.2 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของสาย ระบบจำหน่ายแรงสูง 22 เควี

ภาคผนวก ข.1

ตารางแสดงข้อมูลสายตัวนำของผู้ผลิต

ตารางแสดงข้อมูลสายตัวนำของผู้ผลิต (AAC)

Nominal cross sectional area sq.mm	Actual cross sectional area sq.mm	No. & dia of wire No./mm	Overall diameter mm	Conductor resistance at 20°C max. ohm/km	Breaking Strength kfg	Ampacity in air A	Cable weight approx. kg/km	Standard Length m
16	15.89	7/1.70	5.1	1.802	290	110	44	3000/D
25	25.18	7/2.14	6.42	1.138	440	145	69	3000/D
35	34.91	7/2.52	7.56	0.82	585	180	96	3000/D
50	50.14	7/3.02	9.06	0.571	805	225	137	2500/D
50	49.97	19/1.83	9.15	0.5757	890	225	137	2500/D
70	68.98	19/2.14	10.75	0.4171	1205	270	190	2500/D
95	94.76	19/2.52	12.6	0.3036	1585	340	261	2500/D
120	121.21	19/2.85	14.25	0.2374	1980	390	333	2000/D
150	147.12	37/2.25	15.75	0.196	2570	455	406	2000/D
185	184.54	37/2.52	17.64	0.1563	3085	550	509	2000/D
240	242.54	61/2.25	20.25	0.1192	4015	625	670	1500/D
300	304.24	61/2.52	22.68	0.095	4820	710	840	1500/D
400	389.14	61/2.85	25.65	0.0743	6025	855	1075	1000/D
500	506.04	61/3.25	29.25	0.0571	7695	990	1398	1000/D
625	626.2	91/2.96	32.56	0.0463	9694	1140	1735	500/D
800	802.08	91/3.35	36.85	0.0361	12055	1340	2222	500/D
1000	999.71	91/3.74	41.14	0.029	14845	1540	2796	500/D

ตารางแสดงข้อมูลสายตัวนำของผู้ผลิต (ACSR)

Nominal cross sectional area	No. & dia of wire		Actual cross sectional area			Overall diameter	Conductor resistance at 20°C max.	Breaking Strength	Ampacity in air	Cable weight approx.	Standar Length
	No./mm		sq.mm								
sq.mm	Al	St	Al	St	ACSR	mm	ohm/km	kfg	A	kg/km	m
16/2.5	6/1.80	1/1.80	15.3	2.55	17.85	5.4	1.88	592	90	62	4000/D
25/4	6/2.25	1/2.25	23.8	4	27.8	6.8	1.203	916	125	97	4000/D
35/6	6/2.70	1/2.70	34.3	5.7	40	8.1	0.8353	1265	145	139	3000/D
50/8	6/3.20	1/3.20	48.3	8	56.3	9.6	0.5947	1716	170	195	3000/D
50/30	12/2.33	7/2.33	51.2	29.8	81	11.7	0.5644	4380	170	375	3000/D
70/12	26/1.85	7/1.44	69.9	11.4	81.3	11.7	0.4131	2676	290	282	3000/D
95/15	26/2.15	7/1.67	94.4	15.3	109.7	13.6	0.3058	3565	350	381	3000/D
95/55	12/3.20	7/3.20	96.5	56.3	152.8	16	0.2993	7965	350	708	3000/D
120/20	26/2.44	7/1.90	121.6	19.8	141.4	15.5	0.2375	4555	410	491	2000/D
120/70	12/3.60	7/3.60	122	71.3	193.3	18	0.2365	10034	410	896	2000/D
125/30	30/2.33	7/2.33	127.9	29.8	157.7	16.1	0.2259	5759	425	587	2000/D
150/25	26/2.70	7/2.70	148.9	24.2	173.1	17.1	0.1939	5513	470	601	2000/D
170/40	30/2.70	7/2.70	171.8	40.1	211.9	18.9	0.1683	7675	520	789	2000/D
185/30	26/3.00	7/2.33	183.8	29.8	213.6	19	0.1571	6618	535	741	2000/D
210/35	26/3.20	7/2.49	209.1	34.1	243.2	20.3	0.1381	7489	590	844	1500/D
210/50	30/3.00	7/3.00	212.1	49.5	261.6	21	0.1363	9390	610	974	1500/D
230/30	24/3.50	7/2.33	230.9	29.8	260.7	21	0.125	7313	630	871	1500/D
240/40	26/3.45	7/2.68	243	39.5	282.5	21.9	0.1188	8640	645	981	1500/D
265/35	24/3.74	7/2.49	263.7	34.1	297.8	22.4	0.1095	8307	680	995	1500/D
300/50	26/3.86	7/3.00	304.3	49.5	353.8	24.5	0.0949	10702	740	1228	1000/D
305/40	54/2.68	7/2.68	304.6	39.5	344.1	24.1	0.0949	9942	740	1152	1000/D
380/50	54/3.00	7/3.00	382	49.5	431.5	27	0.0758	12312	840	1443	1000/D
435/55	54/3.20	7/3.20	434.3	56.3	490.6	28.8	0.0666	13673	900	1642	1000/D
490/65	54/3.40	7/3.40	490.3	63.6	553.9	30.6	0.059	15343	960	1853	1000/D
550/70	54/3.60	7/3.60	550	71.3	621.3	32.4	0.0526	17096	1020	2078	500/D
680/85	54/4.00	19/2.40	678.8	86	764.8	36	0.0426	21040	1150	2552	500/D

http://www.bangkokcable.com/bcc2_files/aacen.html

ตารางแสดงข้อมูลสายตัวนำของผู้ผลิต (SAC)

Conductor		Insulation thickness	Jacket thickness	Overall diameter	Maximum Conductor resistance at 20°C	Minimum insulation resistance at 15.6°C	Cable weight approx.	Capacitance	Aluminium rod weight	Standard Length
Nominal cross-sectional area (sq.mm)	Number of wire Min.	nominal mm	nominal mm	approx. mm	ohm/km	Mohm-km	kg/km	approx. μ F/km	approx. kg/km	m
SAC 25 KV										
35	6	3.175	3.175	22.4	0.868	2564	398	0.143	94	500
50	6	3.175	3.175	23.6	0.641	2352	458	0.156	128	500
70	12	3.175	3.175	25.3	0.443	2107	548	0.174	185	500
95	15	3.175	3.175	27	0.32	1902	658	0.193	256	500
120	15	3.175	3.175	28.5	0.253	1760	759	0.209	324	500
150	15	3.175	3.175	29.9	0.206	1642	866	0.224	398	500
185	30	3.175	3.175	31.6	0.164	1531	1003	0.242	500	500
240	30	3.175	3.175	34	0.125	1372	1211	0.268	655	500
SAC 35 KV										
50	6	4.445	3.175	26.4	0.641	2647	549	0.139	128	500
70	12	4.445	3.175	28	0.443	2382	645	0.154	185	500
95	15	4.445	3.175	29.8	0.32	2160	762	0.17	256	500
120	15	4.445	3.175	31.2	0.253	2005	868	0.183	324	500
150	15	4.445	3.175	32.6	0.206	1876	980	0.196	398	500
185	30	4.445	3.175	34.4	0.164	1734	1123	0.212	500	500
240	30	4.445	3.175	36.8	0.125	1578	1341	0.233	655	500

ตารางแสดงข้อมูลสายตัวนำของผู้ผลิต (PIC)

Conductor		Insulation thickness (+Cond. screen) Min. mm	Overall diameter approx. mm	Maximum Conductor resistance at 20°C ohm/km	Minimum insulation resistance at 15.6°C Mohm-km	Cable weight approx. kg/km	Capacitance approx. µF/km	Aluminium rod weight approx. kg/km	Standard Length m
Nominal cross-sectional area (sq.mm)	Number of wire Min.								
PIC 25 KV									
35	6	2.22	12.8	0.868	1038	173	0.354	94	1000
50	6	2.35	14.3	0.641	990	225	0.371	128	1000
70	12	2.45	16.2	0.443	901	298	0.408	185	1000
95	15	2.55	18.2	0.32	832	392	0.442	256	1000
120	15	2.6	19.8	0.253	776	479	0.474	324	1000
150	15	2.65	21.3	0.206	728	571	0.505	398	1000
185	30	2.7	23.3	0.164	676	691	0.544	500	1000
240	30	2.8	25.9	0.125	630	880	0.584	655	1000
PIC 35 KV									
50	6	3.4	17	0.641	1429	276	0.257	128	1000
70	12	3.55	19	0.443	1309	358	0.281	185	1000
95	15	3.7	21.2	0.32	1213	463	0.303	256	1000
120	15	3.8	22.9	0.253	1139	559	0.323	324	1000
150	15	3.85	24.4	0.206	1069	658	0.344	398	1000
185	30	3.9	26.3	0.164	990	785	0.371	500	1000
240	30	3.95	28.8	0.125	901	980	0.408	655	1000

ภาคผนวก ข.2

ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของสาย ระบบจำหน่ายแรงสูง 22 เควี

Back

ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของสายระบบจำหน่ายแรงสูง (22 เควี.) หรือระบบสายส่ง(115 เควี.)

96

Parameter											Structure Name : 311M0000000		
No.	CircuitName	CondType	Code Cond	SAG	R1	X1	R0	X0	B1	B0			
				m	Ohm / km	Ohm / km	Ohm / km	Ohm / km	uS / km	uS / km			
1	31131M0200	120A	3C2120A__0	0.95	0.266851	0.423335	0.411528	1.653814	3.374000	1.319000			
2	31131M0200	185A	3C2185A__0	0.56	0.176348	0.409092	0.321088	1.639504	3.521000	1.347000			
3	31131M0200	240A	3C2240A__0	0.60	0.135138	0.400071	0.279908	1.630451	3.624000	1.364000			
4	31131M0200	185AA	3C2185AA_0	0.35	0.212022	0.409092	0.356654	1.639620	3.515000	1.336000			
5	31131M0200	185/30ACSR	3C2185ACR0	0.12	0.177270	0.422422	0.321915	1.652936	3.576000	1.345000			
6	31131M0200	120PIC25	3C2120PIC0	0.68	0.210655	0.414406	0.355401	1.644811	3.591000	1.357000			
7	31131M0200	185PIC25	3C2185PIC0	0.62	0.210655	0.414406	0.355401	1.644811	3.636000	1.364000			
8	31131M0200	120SAC25	3C2120SAC0	0.84	0.210655	0.414406	0.355472	1.644735	3.732000	1.384000			
9	31131M0200	185SAC25	3C2185SAC0	0.98	0.210655	0.414406	0.355472	1.644735	3.768000	1.389000			
X - Y Coordinate													
No.	CircuitName	XA	YA	XB	YB	XC	YC	XG	YG	Sep	Ang	Cond	
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm	deg		
1	31131M0200	1150	10205	400	10205	-1150	10205	0	0	0	0	1	Reference : Assembly No. 8242

ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของสายระบบจำหน่ายแรงสูง (22 เควี.) หรือระบบสายส่ง(115 เควี.)

97

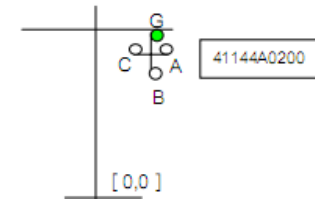
Parameter											Structure Name : 311C0000000		
No.	CircuitName	CondType	Code Cond	SAG m	R1 Ohm / km	X1 Ohm / km	R0 Ohm / km	X0 Ohm / km	B1 uS / km	B0 uS / km			
1	31141M0200	120A	3E2120A__0	0.95	0.266855	0.423335	0.448670	1.638360	3.374000	1.560000			
2	31141M0200	185A	3E2185A__0	0.56	0.176351	0.409092	0.357149	1.624350	3.522000	1.576000			
3	31141M0200	240A	3E2240A__0	0.60	0.135140	0.400071	0.315477	1.615434	3.624000	1.590000			
4	31141M0200	185AA	3E2185AA_0	0.35	0.212027	0.409092	0.394633	1.623934	3.516000	1.601000			
5	31141M0200	185/30ACSR	3E2185ACR0	0.12	0.177274	0.422422	0.359650	1.637317	3.577000	1.610000			
6	31141M0200	120PIC25	3E2120PIC0	0.68	0.210658	0.414406	0.391355	1.629687	3.592000	1.588000			
7	31141M0200	185PIC25	3E2185PIC0	0.62	0.210658	0.414406	0.391355	1.629687	3.637000	1.597000			
8	31141M0200	120SAC25	3E2120SAC0	0.84	0.210657	0.414406	0.390304	1.629925	3.733000	1.601000			
9	31141M0200	185SAC25	3E2185SAC0	0.98	0.210657	0.414406	0.390304	1.629925	3.769000	1.608000			
X - Y Coordinate													
No.	CircuitName	XA mm	YA mm	XB mm	YB mm	XC mm	YC mm	XG mm	YG mm	Sep cm	Ang deg	Cond	
1	31141M0200	1150	10200	400	10200	-1150	10200	-90	11650	0	0	1	Reference : Assembly No. 8242

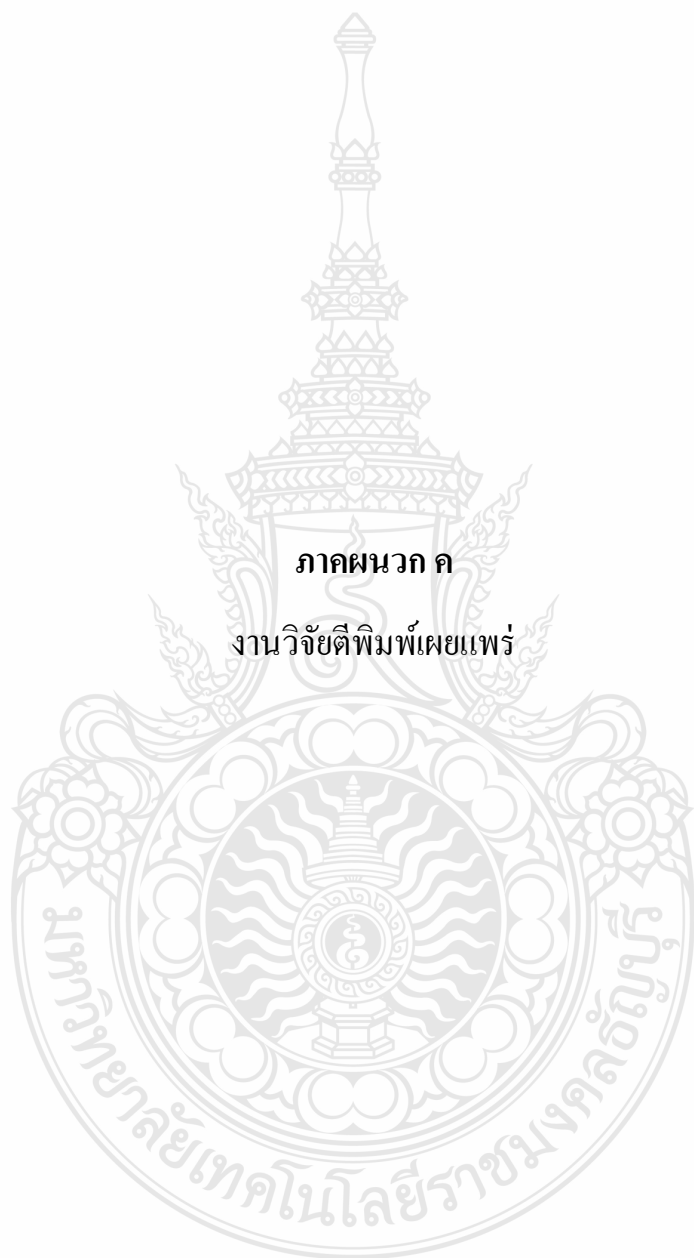


ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของสายระบบจำหน่ายแรงสูง (22 เควี.) หรือระบบสายส่ง(115 เควี.)

99

Parameter											Structure Name : 414R00000000		
No.	CircuitName	CondType	Code Cond	SAG m	R1 Ohm / km	X1 Ohm / km	R0 Ohm / km	X0 Ohm / km	B1 uS / km	B0 uS / km			
1	41144A0200	50SAC25	4C2050SAC0	0.62	0.821935	0.339519	1.019329	1.897538	5.122000	1.395000			
2	41144A0200	95SAC25	4C2095SAC0	0.76	0.410480	0.319530	0.606786	1.877820	5.496000	1.402000			
3	41144A0200	120SAC25	4C2120SAC0	0.84	0.324631	0.311795	0.518634	1.870657	5.627000	1.372000			
4	41144A0200	185SAC25	4C2185SAC0	0.98	0.210660	0.298586	0.402942	1.857875	5.950000	1.363000			
5	41144A0200	240SAC25	4C2240SAC0	1.12	0.160778	0.289488	0.352236	1.848982	6.174000	1.362000			
6	41144A0200	50PIC25	4C2050PIC0	0.97	0.821935	0.339519	1.019329	1.897538	5.251000	1.405000			
7	41144A0200	95PIC25	4C2095PIC0	0.74	0.410480	0.319530	0.606786	1.877820	5.605000	1.409000			
8	41144A0200	120PIC25	4C2120PIC0	0.68	0.324631	0.311795	0.518634	1.870657	5.772000	1.380000			
9	41144A0200	185PIC25	4C2185PIC0	0.62	0.210660	0.298586	0.402942	1.857875	6.040000	1.368000			
X - Y Coordinate													
No.	CircuitName	XA mm	YA mm	XB mm	YB mm	XC mm	YC mm	XG mm	YG mm	Sep cm	Ang deg	Cond	
1	41144A0200	1260	9490	1150	9299	1040	9490	1150	9725	0	0	1	Reference : Assembly No. 8253







<http://www.sega-03.com>; Email: segathailand2011@gmail.com

3 March 2012

Dear Seksit Kheamtong and Krischonme Bhumkittipich

On behalf of the organizing committee of the 3rd International Conference Sustainable Energy and Green Architecture (SEGA-03), we are happy to inform that your paper code "RE-26" title "**Design of an Algorithm for Faults Location in kV Distribution System**" has been accepted for SEGA-03 conference and we like to invite you to present your paper at SEGA-03 conference which is Chaophya Park Hotel, Bangkok, Thailand during March 14-16, 2012.

In order to present your paper at the SEGA-03 conference, you have to register for the SEGA-03 conference. For more detail, please see from our SEGA-03 website <http://www.sega-03.com> or you can email to segathailand2011@gmail.com.

We look forward to seeing you at SEGA-03 conference in Bangkok.

Best regards,

Pard Teekasap
SEGA-03 Conference Coordinator

SEGA 03

March 14-16, 2012.

Chaopraya Park Hotel - Bangkok, Thailand

CONFERENCE PROGRAM			
Day 1: 14th March 2012			
8.00-9.00	Registration		
9.00-9.20	Opening Ceremony		
9.20-9.50	Welcome Address by the Chairperson, Organizer		
9.50-10.10	Coffee Break		
10.10-10.40	Keynote Lecture 1: Stefanos Fotiou, Regional Coordinator at UNEP		
10.40-11.20	Keynote Lecture 2: Renewable Energy, Smart Grids and Green Communities by Prof. Dr. Yves Gagnon, Université de Montréal		
11.20-12.00	Keynote Lecture 3		
12.00-13.00	Lunch		
Session 1			
Room	Ratchada 1	Ratchada 2	Chaopya Ballroom
Chair	S. U-Cheul	B. Zeghmati	Y. Gagnon
Cochair	V. Boonyayothin	W. Puangsombut	K. Hussaro
13.00-13.20	BT-02 "Breathing Façades as a New Concept to Regulate Internal Temperature in Buildings Located in Hot Climates" by Elghawaby	TM-14 "Equivalent circuit for 1D electrochemical model of lithium ion battery" by Janchaichanakun et al.	RE-09 "Plastics Waste Management and Convert to Oil in Thailand" by Moonsatan et al.
13.20-13.40	BT-07 "Transient Natural Convection in Rectangular Cavity: The Roads to Chaos" by Aklouche-Benouagouef et al.	TM-04 "Thermal Efficiency of a New Stove Running with Ethanol Low Concentration without Pressuring" by Andrianantenaina	RE-11 "Performance of Various Adsorbent/Absorbent for Biogas Purification" by Monkum et al.
13.40-14.00	BT-08 "Double Diffusive Mixed Convection Heat and Moisture Transfer Inside a Ventilated and Planted Roof Square Enclosure" by Samah et al.	TM-06 "Numerical study of the thermal destruction of pollutant components of wastes smoke" by N'Wuitcha et al.	RE-17 "Investigation on Quantity and Property of Jatropha Oil from Various Extraction Method" by Asasutjarit et al.
14.00-14.20	BT-24 "Analysis of reduced cooling load by enforcing ventilation of multistory-type double skin façade with solar chimney channel" by Sung et al.	TM-01 "Urban spaces and thermal environments: Influence of urban trees on the cooling effect of air temperature. Case of cities of Aix en Provence and Marseille (France)" by Rodriguez	RE-18 "Wind Resource Assessment Using CFD Model for Simple Terrain in Southern Thailand" by Chiwamongkolkarn et al.
14.20-14.40	Coffee Break		
Session 2			
Track/Room	Ratchada 1	Ratchada 2	Chaopya Ballroom
Chair	H. Andrianantenaina	Y. Gagnon	S. Aklouche-Benouagouef
Cochair	W. Klinbun	P. Teekasap	T. Bunnag
14.40-15.00	TM-07 "Steam Sterilization Management to Electric Energy Saving. Case Study Center Supply Nonthavej Hospital" by Tangvonguthai et al.	PE-02 "A Transition Model toward Self Sufficient Clean Energy in Thailand Based on An Institution Economic Energy thought Denmark's Model" by Assanee et al.	BT-01 "Approach to classification and evaluation of naturally cooled buildings and analysis of what impact passive cooling systems have on architectural design" by Cadoni

SEGA 03

March 14-16, 2012.

Chaopraya Park Hotel - Bangkok, Thailand

15.00-15.20	TM-12 "The design of an Electronic Load and Measuring Technique for PEMFC Impedance Examinations" by Kaewmanee et al.	PE-04 "Towards Sustainable Renewable Energy Systems for Island in Thailand" by Waewsak et al.	BT-09 "Natural cooling systems in sustainable traditional architecture of Iran" by Aminian
15.20-15.40	TM-15 "Benefit Assessment After Clean Development Mechanism Implementation in Queen Tomato Processing" by Klangkongsup et al.	PE-11 "The Impact of Urban Form on Residential Energy Use in Asian Cities: A Case Study of Bandung, Indonesia" by Arfiwidodo et al.	BT-15 "Initial Field Investigation of the Use of Phase Change Materials (PCMs) to Reduce Heat Gain for Buildings in Thailand" by Wangpigul et al.
15.40-16.00	TM-23 "Increasing the heating value of tar by using catalytic" by Chantrawongphaisal et al.	PE-09 "The priorities of Thailand Strategic Energy by use Analysis Hierarchy Process (AHP)" by Shoram et al.	BT-31 "Prospective Framework for Exploitation of Agricultural Waste as Material for Energy Conservation Building" by Charoenval
16.00-17.00	Posters Presentation		
18.00-22.00 : Welcome Dinner			
Day 2: 15th March 2012			
8.00-9.00	Registration		
Session 3			
Track/Room	Ratchada 1	Ratchada 2	Ratchada 3
Chair	J. Waewsak	J. Khedari	J. Hirunlabh
Cochair	V. Boonyayothin	P. Teekasap	T. Tondee
9.00-9.20	BT-05 "Study of Thermal Comfort in Air Conditioned Room with Water Source" by Kesorn et al.	PE-03 "Establishment of Alternative Power Development Plan (PDP) 2010 Model by A Significant Incremental Renewable Fuel Mixture" by Assanee et al.	TM-02 "Decolorization of Cationic Yellow X-Gl 200% by nano-structured titanium dioxide (TiO ₂) films" by Hathaisamit et al.
9.20-9.40	BT-12 "Experimental Investigation of Cooling Load Reduction by Roof Solar Cells Attic Ventilation of House Model Under hot humid Climate of Bangkok" by Chantawong et al.	PE-06 "The Construction of Energy Community Network based on The Sufficiency Economy Philosophy" by Assanee et al.	TM-03 "Effect of Titanium Isopropoxide:Isopropanol Ratio and Thermal Treatment of TiO ₂ Powder on Structural Changes and Methylene Blue Degradation" by Pudwat et al.
9.40-10.00	BT-17 "Air Change Rate and Temperature Distribution of an Air Injector Enhanced Integrated Solar Chimney Façade" by Kaemthapthim et al.	PE-12 "Factors Affecting Consumer Attitude Toward the Use of Eco-Car Vehicles" by Sanitthangkul et al.	TM-25 "Theoretical Life Cycle Assessment of Environmental Impact of Construction Materials" by Sopapornamorn et al.
10.00-10.20	BT-27 "Flow Estimation and Temperature Distribution of an Integrated Solar Chimney Façade using Computational Fluid Dynamics" by Laongwan et al.	PE-10 "Critical Analysis of Thailand Energy Strategy" by Shoram et al.	TM-26 "Field-Based Evaluation of Environment Impact of Various Energy Saving Houses in Thailand" by Sopapornamorn et al.
10.20-10.40	Coffee Break		

SEGA 03

March 14-16, 2012.

Chaopraya Park Hotel - Bangkok, Thailand

Session 4			
Track/Room	Ratchada 1	Ratchada 2	Ratchada 3
Chair	P. Chantawong	J. Hirunlabh	S. Visitsak
Cochair	P. Teekasap	W. Puangsombut	T. Bunnag
10.40-11.00	RE-01 "Wind Resource Assessment using Linearized and CFD Models for Simple Terrain in Southern Thailand" by Chiwamongkolkarn et al.	TM-05 "Evaluation of Greenhouse Gas Emission from Small Scale Mixed Rice Husk-Glycerol Briquettes Gasified Power Plant" by Nutongkaew et al.	BT-10 "Solar Energy and Energy Efficient Integrated Resident for Tropical Climate of Southern Thailand" by Waewsak
11.00-11.20	RE-02 "Resource Assessment and VSPP Wind Farm Feasibility Along the Coast of Andaman Sea of Thailand" by Chancham et al.	TM-10 "The Feasible Study of Screw Archimedes Application in Thailand" by Jansuwan et al.	BT-11 "Experimental Study of a Glass block Double – Façade with Integrated Photovoltaic Panels with House Model Under Climate of Thailand" by Chantawong et al.
11.20-11.40	RE-03 "The Near-Shore Wind Resource Assessment at Huasai, Nakhon Si Thammarat, Southern Thailand" by Chancham et al.	TM-20 "A case study of compressed air saving in hydraulic and pneumatic motor systems" by Darawun et al.	BT-13 "A Simple Design and Development of a Multi-purpose Glazed Solar Chimney Water Collector" by Krajangsod et al.
11.40-12.00	RE-04 "The Development of 3-Km Resolution Offshore Wind Map for Central Southern Thai Gulf" by Naknun et al.	TM-24 "Test Performance of Pipe-Screw Pump Model" by Thepwoong et al.	BT-18 "Double Wall System from Bamboo Partitions for Building Heat Reduction" by Udomphoch et al.
12.00-13.00	Lunch		
Session 5			
Track/Room	Ratchada 1	Ratchada 2	Ratchada 3
Chair	J. Waewsak	J. Hirunlabh	J. Khedari
Cochair	K. Hussaro	T. Bunnag	P. Teekasap
13.00-13.20	RE-05 "Thermo-Hygroscopic Properties of Mixed Rice Husk-Glycerine Briquette" by Jittabut et al.	TM-08 "Intelligent Street Lighting Control" by Sriphan et al.	PE-01 "Dynamics of Economic Crisis and the Oil Price" by Teekasap
13.20-13.40	RE-06 "Near-Shore Wind Resource Assessment and 200 MW Wind Farm Feasibility in Huasai District of Nakhon Si Thammarat Province, Southern Thailand" by Kildrum et al.	TM-09 "A Develop of Photovoltaic / Generator hybrid energy system for vehicle operating expressway" by Sriphan et al.	PE-07 "A Novel Model of Science and Technology Research Center Employing Result-Base Approach" by Lekapat et al.
13.40-14.00	RE-07 "Feasibility of VSPP Onshore Wind Farm at Khao Prabaht, Huasai in Nakhon Si Thammarat Province, Southern Thailand" by Phetchoo et al.	TM-21 "The Social Indicators for Nuclear Power Plant: Does Thailand Ready for These?" by Promsiri et al.	PE-08 "Impact Assessment on Electronic Toll Collector System of Expressway in Thailand on Fuel Consumption and CO ₂ Emission" by Kheawubon et al.
14.00-14.20	RE-10 "Industrial Waste heat Thermoelectric Power Generator" by Moonsatan et al.	TM-22 "Study of Temperature and Enthalpy in Thailand Climates" by Suparos et al.	PE-13 "Clusters Growth and Energy Demand: A Reflection on Sustainable Cluster" by Soponkij et al.
14.20-14.40	Coffee Break		

SEGA 03

March 14-16, 2012.

Chaopraya Park Hotel - Bangkok, Thailand

Session 6			
Track/Room	Ratchada 1	Ratchada 2	Ratchada 3
Chair	S. Visitsak	J. Khedari	P. Chantawong
Cochair	T. Bunnag	K. Hussaro	W. Puangsombut
14.40-15.00	BT-03 "The Reduction of Building Cooling Load from Double Glass Skylight in Bangkok" by Bunnag	RE-12 "Potential Study of Bio-Oil Production from Agriculture Residues by Mean of Induction Pyrolysis" by Pluembumrer et al.	TM-16 "Thermal Energy Evaluation of the Incinerator Waste" by Watchrodorn et al.
15.00-15.20	BT-04 "A Study of Passive Energy Behavior of Split Type Air Conditioning" by Jumpadit et al.	RE-13 "Potential Study of Biogas Production from Animals Manure with Rice Straw in Thailand" by Soatou et al.	TM-17 "A Study of Asphalt Recycling Process of Microwave Pre-heating" by Minaboon et al.
15.20-15.40	BT-06 "Development of New light Weight Concrete Block with Biomass Composite" by Jantana et al.	RE-14 "Anaerobic Co-digestion of Cow Dung and Biomass Residues for Rural Household" by Keanoi et al.	TM-18 "Biodrying Process for Small Community to Produce RDF from Municipal Solid Waste" by Somsai et al.
15.40-16.00	BT-14 "Study of the Behavior of New design Rectangular Venturi Scrubber" by Bunnag	RE-19 "Potential and Perspectives of Biomass from Palm Oil Mill for Use as Renewable Energy in Thailand" by Kongpanya et al.	TM-19 "Pretreatment Technique of Water Hyacinths for Bioethanol Production -A Review" by Kuntawong et al.
16.00-17.00	Posters Presentation		
18:00 - 20:00 International Scientific Committee Meeting			
Day 3: 16th March 2012			
8.00-9.00	Registration		
Session 7			
Track/Room	Ratchada 1	Ratchada 2	Ratchada 3
Chair	S. Visitsak	J. Hirunlabh	P. Chantawong
Cochair	V. Boonyayothin	W. Puangsombut	T. Bunnag
9.00-9.20	BT-16 "Optimization of Vented Concrete Block Using Finite Element Method" by Klinbun et al.	BT-19 "Thermal Performance of Thai Modern Façade Wall" by Ananacha et al.	TM-13 "Integrated science curriculum for energy and sustainable environment" by Chavipa et al.
9.20-9.40	BT-23 "Development of an Energy-Efficient Ventilated Window Set (EVWS) for Hot and Humid Climate" by Koonsawasdikool et al.	BT-20 "Performance of Tile Ventilator" by Kongrit et al.	TM-27 "Energy Saving in Electro-Hydraulic System Using a Hybrid of Fuzzy Controller and PID Controller" by Sinthipsomboon et al.
9.40-10.00	BT-25 "Performance Analysis of Energy saving in Split Type Air-Conditioner" by Suparos et al.	BT-21 "Shading Effects of Thai Modern Façade Wall" by Ananacha et al.	TM-28 "Experimental Investigation of Enthalpy-Based Ventilation Control for Enhancing Energy Saving of Air conditioner and Improving Indoor Air Quality" by Panyavee et al.

SEGA 03

March 14-16, 2012.

Chaopraya Park Hotel - Bangkok, Thailand

10.00-10.20	BT-26 "Effect of Dewpoint Temperature on Energy saving in Air-Conditioning System" by Suparos et al.	BT-22 "Investigation the Thermal Performance of Roof Tiles Ventilated" by Amornleetrakul et al.	BT-32 "Test Performance of Side Lighting Through Light-Pipe Model for Buildings" by Thepwong et al.
10.20-10.40	Coffee Break		
Session 8			
Track/Room	Ratchada 1	Ratchada 2	Ratchada 3
Chair	P. Sohsalam	J. Khedari	S. Teekasap
Cochair	V. Boonyayothin	T. Tondee	P. Teekasap
10.40-11.00	BT-28 "Application of Computational Fluid Dynamics Technique for Air-Conditioning System Design in Electronics Clean Room" by Intanin et al.	RE-08 "A Survey of Solar PV for Factory Sector in Thailand. What were the Barriers to the Success?" by Kengchon et al.	PE-14 "The Status of Crude Palm Oil Industry in Thailand" by Kwandee et al.
11.00-11.20	BT-29 "A Field Study of the Thermal Comfort in School Buildings in Thailand" by Puangmalee et al.	RE-15 "Optimum Design of a Thai Sail Rotor through Wind Tunnel Experiments" by Thepwong et al.	PE-15 "The Overview of Renewable Energy Research Policy in Thailand" by Kwandee et al.
11.20-11.40	BT-30 "Comparison of Quality and Performance between Concrete Roof and Alternative Material -A Review" by Jitmanee et al.	RE-16 "Thai Sail Windmill : Technological Aspects" by Thepwong et al.	PE-21 "The Criticism of Strategy for Promotion Solar Energy in Thailand at Community Level" by Pakdeepol et al.
11.40-12.00	BT-33 "Development of Dynamic Voltage Restorer by Using the Topology of Diode-Clamped Three-Level Converter" by Chankhamrian et al.	TM-11 "The Reduction of Water Consumption in the Dyeing Process of Textile Industry" by Hemthanon et al.	PE-20 "Thailand Climate Data Analysis towards the Development of a New Energy Saving Approach for Air-conditioners " by Suparos et al.
12.00-13.00	Lunch		
Session 9			
Track/Room	Ratchada 1	Ratchada 2	Ratchada 3
Chair	P. Chantawong	P. Sohsalam	J. Waewsak
Cochair	V. Boonyayothin	T. Tondee	W. Puangsombut
13.00-13.20	BT-34 "Experimental Investigation of Energy Performance of Split type Air Conditioning under various indoor setpoint temperatures and different air flowrates through cooling coil" by Suparos et al.	TM-29 "The Design of Fin Heat Exchanger for Thermoelectric Power Generation from Waste Heat Recovery from the Manufacturing" by Puttarut et al.	RE-24 "Analysis Overvoltage Problem at Terminal of Induction Motors" by Yoosanong et al.
13.20-13.40	BT-35 "An Experimental Study of Energy Performance of Split Type Air-Conditioner at Different Apparatus Dew Point Temperatures" by Suparos et al.	TM-30 "Development of a Modular metallic Thermoelectric Roof Power Generator" by Labaiyusoh et al.	RE-25 "Modeling of Grid-connected with Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) by Using Vector Control" by Manmai et al.

SEGA 03

March 14-16, 2012.

Chaopraya Park Hotel : Bangkok, Thailand

13.40-14.00	RE-20 "Optimal Placement of Large-Scale PV Power Generation Systems in Radial Distribution Systems for Loss Reduction" by Pattayanun et al.	TM-31 " $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_{3.0}$ Thin Films by CO_2 Laser ablation" by Kosalathip et al.	PE-16 "Designing of 10 kW Wind Machine for Low Wind Speed Region Using Computational Fluid Dynamics (CFD)" by Roynarin et al.
14.00-14.20	RE-21 "Electricity by Waste Heat Recovery from Household Equipments" by Kumpeerapun et al.	TM-32 "In situ Classification of Agglomerated Thermoelectric Nanopowder" by Muangma et al.	RE-22 "Load-Frequency Control of Interconnected Power System by using Fuzzy Logic Controller" by Yukhalang et al.
14.20-14.40	Coffee Break		
Session 10			
Track/Room	Ratchada 1	Ratchada 2	Ratchada 3
Chair	J. Hirunlabh	J. Waewsak	P. Chantawong
Cochair	V. Boonyayothin	T. Bunnag	W. Puangsombut
14.40-15.00	PE-18 "Technique and Economic Analysis Last Stages of Reservoir Power & Hybrid System for Electricity Generation in Northern Thailand" by Pati et al.	TM-33 "Optimal Design of Archimedes Screw for Micro Hydropower" by Jansuwan et al.	RE-23 "Design and Analysis of Interleaved Boost Converter For Renewable Energy Applications" by Kamtip et al.
15.00-15.20	BT-36 "Cost-Effectiveness Based on Assessment of Energy Saving Roof and Wall Construction in Thailand" by Ratanachotinun et al.	TM-34 "Low-humidity Seasoning Thermoelectric Storage Cabinet" by Khoeng-in et al.	RE-26 "Design of an Algorithm for Faults Location on 22 kV Distribution System" by Kheamtong et al.
15.20-15.40	BT-37 "An Examination of Energy Conservation Material for the Construction of Bio Climatic House" by Thateenaranon et al.	TM-35 "Analytical of a Moderate-Temperature Difference Stirling Engine using Organic Substance as Working Fluids" by Tenissara et al.	RE-27 "SVPWM AC-DC Converter by DQ Frame Control Technique" by Mounghkhum
15.40-16.00			RE-28 "Simulation of Three-Level Power Back-to-Back Circuit for Renewable Energy Sources" by Yuktanon et al.

DESIGN OF AN ALGORITHM FOR FAULTS LOCATION ON 22 kV DISTRIBUTION SYSTEM

Seksit Kheamtong and Krischonme Bhumkittipich
Power System and Energy Research Center (PSRC) Department of Electrical Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
39 Muh1, Rangsit-Nakhonnayok Rd. Klong Hok, Thanyaburi Pathum Thani 12110
*Corresponding Author: Tel/Fax :+662 549 3571 , +662 549 3422
E-mail: krischonme.b@en.rmutt.ac.th

ABSTRACT

This paper proposes the design of an algorithm to detect

Identify, and locate faults on the distribution system.

The algorithm consists of two sequential processes.

First, the adaptive algorithm is used to track/estimate current phasor, voltage phasor, and impedance of power

System. Second, the impedance rule base is used to detect and identify the type of fault. The paper also shows the results from field tests and illustrates the effectiveness of the proposed fault location scheme. This work summarizes the issues involved in implementation for permanent fault, arcing fault distance estimation on PEA's power distribution feeders. The service restoration process will also be significantly speed up.

In addition, it has most important benefits as follows:

Considerably decrease in the time spent by maintenance crews to locate the faults. Fast and accurate estimation of the fault location speeds up crew work and reduces the total number of crews on stand by. Reduction of the operational maintenance costs and supply interruption. The algorithm search for permanent fault location, phase to ground fault type, Design and Test algorithm efficiency by MATLAB program from voltage-current signal of ATP/EMTP program. Research result confirmed on The Provincial Electricity Authority (PEA) power distribution feeders, Research result error are maximum 5%, Therefore search for fault location be correct and speed up.

INTRODUCTION

This paper is concerned with designing a new algorithm to detect, identify and location faults on

22 kV distribution feeders. A range of fault location techniques have been proposed in many literatures. However, they were mainly developed for transmission system. The methods can be divided into two categories, which are based on travelling waves and based on impedance calculation seen from the line terminal and estimate the distance of fault. Nonetheless, very few methods were

Proposed for distribution networks due to the following reasons.

Variety of configuration: Typical distribution feeders are arranged in various configurations. As a result, there is no linear relationship between line impedance and distance between a fault location and a substation.

Distributed load along the feeder: The current measured at a substation during fault occurrence is a sum of load current at each node. In contrast to transmission systems, fault currents in the distribution system is fairly low comparing with load current. Consequently, it is impossible to accurately determine fault current.

Incorrect fault type identification: Impedance-based fault location methods require fundamental voltage and current quantities corresponding to the fault for calculating for fault locations from the apparent impedance. According to field tests data, it is found that most of faults in PEA's distribution system are started as a single line to ground fault. Then, it can develop into other types, e.g. double line to ground fault. As a result, to improve the accuracy and ability of automated distribution system fault location the algorithm should be able to track the change in type of fault types.

Extract phaseor: Accurate tracking of the instantaneous phasor in power-disturbance waveforms is the most essential function of the automate fault location. There are special condition in a power system, e.g., small frequency

deviation, distortion of voltage and current waveforms from arcing fault, requirements with regards to accuracy, which have to be taken into consideration.

Basically, there are two different approaches for locating faults in distribution system. One is based on the algorithms that use measurements of voltage and current signals from a fault recorder at a substation. The latter is based on fault detector installed along a feeder. Both approaches can combine to determine the position of fault in distribution feeders. For example, the scheme is used to determine possible fault locations in the main line, while fault detectors at lateral branches are applied to locate possible fault locations between main and lateral line.

Provincial Electricity Authority (PEA) has the procedure to identify fault location of PEA is still based on customer calls, line visual inspection and trial and error method. After receiving customer calls feeder maps and protection design manuals will be used to identify an outage area. Afterward, the crews are sent out to fix the problems. As can be seen, fault locating in this manner is time-consuming.

This paper is concerned with the design of a new algorithm to detect, identify and locate faults on inhomogeneous distribution feeders. The algorithm is based on the previous work and applied the following techniques:

- Read voltage and current waveforms.
- The new fault classification and impedance rules based are used to detect and identify the type of fault.
- The algorithm applies one-ended method to calculate the apparent reactance.
- Find fault location.

The advancement of the algorithm is in addition, algorithm reduced error caused following factors:

- Effect of the load current.
- Effect of fault resistance.

FAULT LOCATION ALGORITHM

The flow chart in figure 1 shows the algorithm that consists of three sequential processes. The first block is adaptive algorithm used to track voltage-current phasor of the power system. The second block shows the impedance rule base used

to detect of fault. The third block evaluates possible fault location with one-ended method.

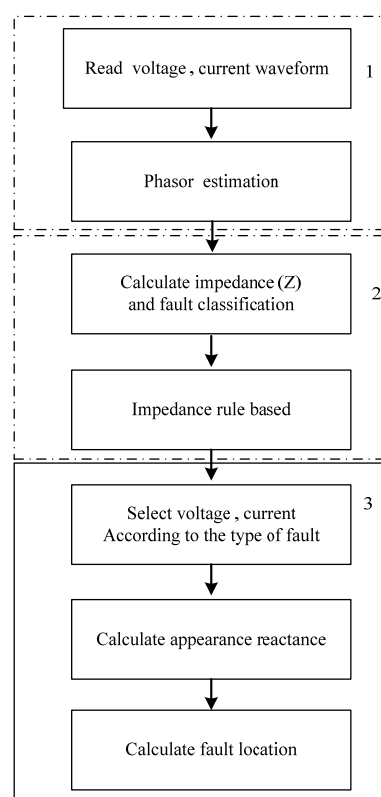


Figure 1 The fault location algorithm

Reactance evaluation immune to load current

One-ended method calculates the fault location from the appearance reactance seen by looking

in
fl
cu
ne
di
er.

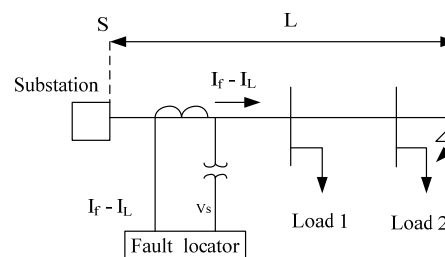


Figure 2 Effects of the load current to evaluation the fault current

impedance seen by looking into the line from the measuring point can be expressed by

$$\frac{V_S}{I_f + I_L} = Z_{app} = R_{app} + jX_{app} \tag{1}$$

We multiply (1) by $(I_f + I_L)$, then

$$V_S = Z_{app} \cdot I_f + Z_{app} \cdot I_L \tag{2}$$

We divide (2) by I_f , then

$$\frac{V_S}{I_f} = Z_{app} \left(1 + \frac{I_L}{I_f}\right) \tag{3}$$

Where

- I_f is the fault current.
- I_L is the load current during fault.
- Z_{app} is the appearance impedance.
- R_{app} is the appearance resistance.
- X_{app} is the appearance reactance.
- $I_{pre-fault}$ is the pre-fault current.
- $I_{during-fault}$ is the during-fault current.

Let us assume that

$$I_L \cong I_{pre-fault}$$

$$I_f \cong I_{during-fault} - I_{pre-fault}$$

Table 1

The ratio of the selected voltage to selected current

Fault Type	Voltage (select)	Current (select)	Fault Location (km)
a-g	V_a	I_a	X_{app}/X_s
b-g	V_b	I_b	
c-g	V_c	I_c	
ab	$V_a - V_b$	$I_a - I_b$	$X_{app}/(X_s - X_m)$
ab-g	$V_a - V_b$	$I_a - I_b$	
ac	$V_a - V_c$	$I_a - I_c$	
ac-g	$V_a - V_c$	$I_a - I_c$	
bc	$V_b - V_c$	$I_b - I_c$	
bc-g	$V_b - V_c$	$I_b - I_c$	
a-b-c	Same as phase-to-phase faults.		

Where x_s, X_m is self and mutual reactance of feeder line per kilometer.

In Table 1, the fault location was calculated from the imaginary part of the selected voltage divided by the selected current according to the fault type such as example a single line to ground fault in phase a, then selected voltage is V_a and selected current is I_a . Phase quantities are easier to understand when one has to calculate fault location. Assume the power system has been reduced to a three phase thevenin equivalent circuit, seen from the fault location, with the matrix equation.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = L \begin{bmatrix} Z_s & Z_m & Z_m \\ Z_m & Z_s & Z_m \\ Z_m & Z_m & Z_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \tag{4}$$

Where V_a, V_b, V_c are voltage phasor quantities, I_a, I_b, I_c are current phasor quantities, Z_s and Z_m are the self and mutual impedances per kilometer in phase quantities and L is fault location. For the example a single line to ground fault in phase a, one simply sets I_b is 0 and I_c is 0. The fault location which uncompensated by fault boundary factor then becomes.

$$\text{img} \left(\frac{V_a}{I_a} \right) = \text{img}(Z_s \cdot L) \tag{5}$$

Replace the term of $\text{img} \left(\frac{V_a}{I_a} \right)$ by apparent reactance (X_{app}) and the term of $\text{img}(Z_s \cdot L)$ by $\text{img}(X_s \cdot L)$ then

$$L = \frac{X_{app}}{X_s}$$

so, the phase to phase fault, the phase to phase ground fault and three phase fault are easy to find from (7)

$$L = \frac{X_{app}}{X_s - X_m} \tag{7}$$

Phasor calculate method

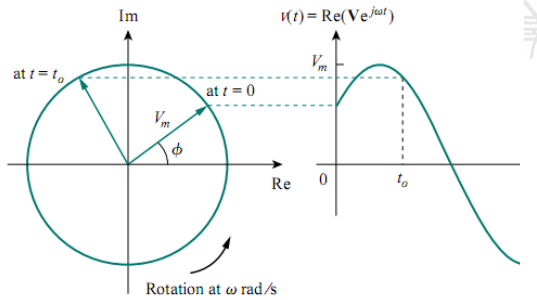


Figure 3 relation phasor domain and time domain

Phasor calculate method is used technique relation phasor domain and time domain show in Figure 3 real part and image part separate of voltage and current waveforms technique by discrete Fourier transform (DFT) with this equation.

$$X_c^r = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_k \cos \frac{2\pi}{N} k + \frac{2}{N} \cos 2\pi(x_N - x_0) \tag{8}$$

$$X_s^r = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_k \sin \frac{2\pi}{N} k + \frac{2}{N} \sin 2\pi(x_N - x_0) \tag{9}$$

$$\theta_r = \tan^{-1} \left(\frac{X_s^r}{X_c^r} \right) \tag{10}$$

When X_c^r, X_s^r is real part and image part of signal r position respectively. X_k is input signal in position k , N is total of data one period and θ_r is phasor angle of signal.

DISCUSSION AND TEST RESULTS

The distribution system line used for this study consists of a single source, a 20-kilometre main line and many branch lines, nominal voltage of 22 kV, 50 Hz. The detail of the system parameters are shown in figure.2 and 4, The fault current and voltage measured at substation is shown in figure.5-6

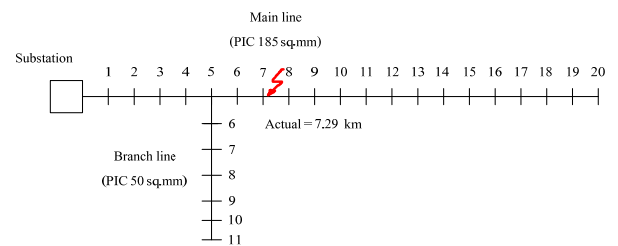


Figure 4 Example of a distribution feeder

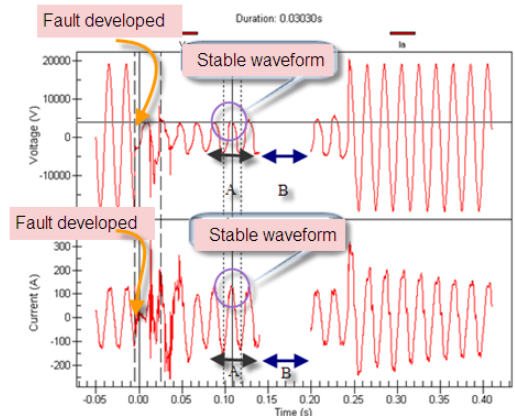


Figure 5 Event 1 fault type single line to ground Fault (c-g).

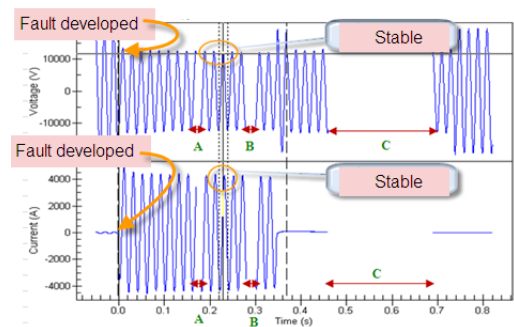


Figure 6 Event 2 fault type single line to ground Fault (a-g)

Table 2
Algorithm test results

Event	Fault type	Actual fault (km)	Calculated (km)	Error (%)
1	c-g	7.29	7.24	0.69
2	a-g	3.03	2.29	0.33
3	b-g	2.00	2.54	4.50
4	c-g	10.00	10.43	4.30
5	a-g	15.00	15.56	-3.73

From table 2 is show algorithm test results confirmed on The Provincial Electricity Authority (PEA) power distribution feeders ,Research result error are maximum 5%, Therefore search for fault location be correct and speed up.

CONCLUSION

The work presented a new algorithm to detect, identify

And locate on 22 kV distribution feeders. The field test results proved to be encouraging. The potential of algorithm is promising for practical use. error are maximum 5%. The service restoration process will also be significantly speed up. In addition, it has most important benefits as follows. First , considerably decrease in the time spent by maintenance crews to locate the fault , Second ,Fast and accurate estimation of the fault location speeds up crew work . Finally , receive good feed-back from the crews.

REFERENCES

Takagi, T.; Yamakoshi , Y.;Baba,J.;Uemura, K.;and

Sakaguchi,T.1982. A New Algorithm of an Accurate Fault Location for EHV/JHV Transmission-line s. IEEE Tran. Power Apparatus and Systems.Vol.PAS101,No.3,pp.564-573

Wright,W.1993 Fault location using fault location

Measurement of digital relays. In proc.12 th

Conf. Electricity Distribution London,

I.K., pp.4.20.1-4.

Wang,A. A. and Johns,M.B. April 1989. A Hybrid System for Faulted Section Identification,Fault Type Classification and Selection of Fault Location Algorithms. IEEE Transactions on Power Deliver. Vol.4,No.2.,pp.978-985.

Takagi,T.;Jamakoshi, T.;Yamaura,M.; Kondow,R.; and

Matshusima, T.1982. Development of a new type fault locator using one-terminal voltage and current data.IEEE Trans.Power App. Syst.Vol.PAS-101, pp.2892-2898.

Zhu, J.;Lubkeman,D.L. and Girgis,A.1997. Automatic fault Location and diagnosis on electric power distribution feeders.IEEE Trans.Power Del. Vol.12, pp.801-809.

C.Wattanasakpubal,T.Bunyagul “A Processing Unit for

Tracking/Estimating Voltage-Current Phasor and Frequency in Power System” Proceedings of ECTI-CON 2008.



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
Electrical Engineering Network of Rajamangala University, EENET2012
<http://dee.ea.rmuti.ac.th/eenet2012>



22 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555

เรื่อง ตอบรับบทความสำหรับการประชุมวิชาการ EENET2012

เรียน คุณเสกสิทธิ์ เข็มทอง และกฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์

ตามที่ท่านได้ส่งบทความเรื่อง “การออกแบบอัลกอริธึม สำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดพลาดในระบบจำหน่าย 22 kV” เพื่อเข้าร่วมประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 (EENET2012) ระหว่างวันที่ 3-5 เมษายน พ.ศ. 2555 ณ โรงแรมแกรนด์พาราไดซ์ จังหวัดหนองคาย นั้น

ในการนี้ คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการประจำเครือข่ายมีความยินดีที่จะเรียนให้ท่านทราบว่า บทความเรื่องดังกล่าวได้ ผ่านการพิจารณา โดยผู้ทรงคุณวุฒิให้นำเสนอในที่ประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 (EENET2012) แล้ว

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

ลงชื่อ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชววิช เกิดชื่น)

ประธานกรรมการดำเนินงาน

ประชุมวิชาการ EENET2012 ประจำเครือข่าย



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555

คณะกรรมการเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

รองศาสตราจารย์ ดร.โกศล โอนารโพโรจน์	ประธานกรรมการ
นายชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข	กรรมการ
ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์	กรรมการ
นายประหยัด กองสุข	กรรมการ
ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์	กรรมการ
ดร.อุเทน คำน่าน	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิสุทธิ พงศ์พฤษภานุ	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัช เกิดชื่น	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ระวี ระวีกุล	กรรมการ
ดร.สุรียา แก้วอาษา	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อุณหเลขกะ	กรรมการและเลขานุการ



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555

รายชื่อผู้พิจารณาบทความการประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4

รศ. ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน

รศ. ดร. วิจิตร กิณเรศ

รศ. ดร. มนต์วี ศรีปรัชญานันท์

รศ. ดร. เวทิน ปิยะรัตน์

รศ. ดร. เศชา พวงดาวเรือง

รศ. ดร. วิบูลย์ ชื่นแขก

รศ. ดร. เสถียร ธัญญศรีรัตน์

ผศ. ดร. เบนบุญ หุนเจริญ

ผศ. ดร. อภินันท์ อูรโสภณ

ผศ. ดร. วรวัฒน์ เสี่ยมวิบูล

ผศ. ดร. อาทิตย์ โสทรโยม

ผศ. ดร. เผลด็จ แก้วละออ

ผศ. ดร. กองพล อารีรักษ์

ดร. ยุทธนา ขำสุวรรณ

ดร. นิวัตร อังควศิษฐพันธ์

รศ. ดร. โกศล โอฬารไพโรจน์

ดร. อุเทน คำนำน

นายฉรงค์ นันททุกศก

ผศ. กฤษดา อึ้งขันธ์

นายเอกทัศน์ พฤษวรรณ

ดร. จิตคุฤทธิ ทองปรอน

ผศ. ชาญชัย เคชธรรมรงค์

ดร. จักรกฤษณ์ เกลือบวัง

นายสมนึก เครือสอน

นายทัศนะ อมทอง

นายฉรงค์ฤทธิ์ พิมพ์คำวงศ์

ผศ. อภิสักดิ์ ชันแก้วห้ำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาภาคพายัพ เชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาภาคพายัพ เชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาภาคพายัพ เชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาภาคพายัพ เชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาภาคพายัพ เชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาภาคพายัพ เชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555

ศส.สุรสิทธิ์ แสนทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายเอกลักษณ์ สุมนพันธุ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายปรีชา มหาไม้	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายก่อเกียรติ อื้อศุทธิชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.ธวัช เกิดชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.พินิจ ศรีธรรม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ศส.ประเสริฐ เผื่อนหมื่นไวย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ศส.พันธ์พงศ์ อภิชาติกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ศส.สุทธินันท์ ดั้นโพธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ศส.ศิริชัย ธาราสะระน้อย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ศส.กฤตวิทย์ บัวใหญ่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ศส.วุฒิชัย สงวนงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายกิตติวุฒิ จินณะบุตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายรุ่งเพชร ก่องนอก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายเอกจิต หุ้มนวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นางอุมา คงเมือง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายชิตีธรรม วิจิโต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.วรรณวิทย์ วงษ์ไกรรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายบุญช่วย เจริญผล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
นายวุฒิวัฒน์ คงรัตนประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
นายชูศักดิ์ กมลจินดิธร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
นายวินัย เมธาวิทิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
นายชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
นายประหยัด กองสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.ฉะเชิงเทรา
นายภัทรพงศ์ อัญชันภาติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.ฉะเชิงเทรา
นายสมพล โคศวี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.ฉะเชิงเทรา
นายศักดิ์พันธ์ สุวรรณศักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.ฉะเชิงเทรา
นายจตุรงค์ จตุรเชิดชัยสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
นายสุนศรี วรรณการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
ดร.ณัฐพงศ์ พันธุนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555

ดร.นัฐ โชติ รักไทยเจริญชีพ
 นายนิติพันธ์ คุณประเสริฐ
 นายธนารัตน์ คั่นมณีประเสริฐ
 นายศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว
 นายทอง ลานธารทอง
 นายสมเกียรติ ทองแก้ว
 ผศ.พิชญ์ คาราวงษ์
 นายมนัส บุญเกียรติทอง
 นายพนา คูดีคากร
 ผศ.กิจจา ตักมณีอำนาจการ
 ผศ.โกศล นิธิโสภา
 ผศ.จรินทร์ อุลวานิช
 นายนิลมิต นิลาศ
 นายเกรียงไกร เหลืองอำพล
 นายวณพันธ์ วิบูลย์
 นายณัฐรุจวินทร์ ทองวิเศษ
 ผศ.ศรีศักดิ์ น้อยไธภูมิ
 ผศ.ดร.ประมุข อุดมเลขกะ
 นางสาวพัชรนันท์ ศรีธนาอุทัยกร
 ผศ.สราวุธ ทองกุลภัทร์
 ผศ.วราวุฒิ ศรีสงคราม
 ดร.ยุทธนา กันทะพะเยา
 ผศ.เฉลิมพล เรืองพัฒนาวิวัฒน์
 ผศ.กระฉ่าง พิทักษ์วงษ์วิทยา
 ดร.ศรีสุดา ไชยทองสุข
 รศ.นภัทร วัฒนเทพินทร์
 รศ.สมพันธ์ อ่ำพาวิน
 ดร.ชูวงศ์ วัฒนศักดิ์ภูบาล
 ผศ.วิสุทธิ์ พงศ์พุดกษธาตุ
 ดร.สุริยา แก้วอาษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ.กรุงเทพฯ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.นนทบุรี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.สงขลา
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.สงขลา
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.สงขลา
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555

ดร.นิธิโรจน์ พรสุวรรณเจริญ

ดร.เมธา ทัศน

ดร.นำพน พิพัฒน์ไพบูรณ์

ผศ.วิชัย ทรงกิจศิริ

นายเอกวิทย์ หายักว้าง

นายวีระ ชันยภักดิ์

นายรัก สกุลพงษ์

นายนครินทร์ ศรีปัญญา

นายกฤตยา สมสัย

นายจงเจริญ คุ้มบุญ

นายถนอม บุญมีวิเศษ

นายจีระพงศ์ ศรีวิชัย

นายวีระชัย จรบูรณ

นายปฏิวัติ บุญมา

นายเฉลียว เกตุแก้ว

ผศ.ดร.ปรีชา ศากระวีรงค์

ดร.ภัทรวินน์ จันทร์ศรี

นายไพบูรณ์ เกียรติสุขเกษม

รศ.พันธ์ พิริยะวรรณ

ผศ.ประวิช เปรียบเหมือน

ผศ.ดร.ศักดิ์ระวี ระวังกุล

ผศ.ประยงค์ เสาร์แก้ว

ผศ.จักรวัฒน์ บุครบุญชู

ดร.สุระ ตันดี

ดร.ณรงค์ สีหาจ้อง

ผศ.ดร.สมชัย ทวีญูโรดม

ผศ.ดร.วันชัย ทรัพย์สิงห์

ผศ.วิชัย ผดุงศิลป์

ผศ.ศิริชัย แคนงอม

ผศ.ณัฐวุฒิ โสมะเกษรินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555

ดร.ฉัตรชัย	สุภพิทักษ์สกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.บุญยัง	ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.สุรินทร์	แหงมงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.กฤษณ์ชนม์	ภูมิภคดิพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.ณัฐภัทร	พันธ์คง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายพนิจ	จิตจริง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายสมชาย	เบือนสูงเนิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายพร้อมศักดิ์อภิรติกุล		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายนิติพงษ์	ปานกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายธีระพล	เหมือนขาว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายณัฐพล	หาอุปละ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ศส.จินตนา	นาคะสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ศส.ปราษฎ์	ดาบบัง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.จกวี	ศรีนนท์จิตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.อำนาจ	เรืองอำนาจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.ไพฑูรย์	รักเหลือ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายวิโรจน์	พิราจเนนชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายพงษ์ศักดิ์	อังกา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายบุญยัง	นบนอบ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายอภิรดา	นามแสง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.สุทิน	พรอนุรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.วินัย	วิชัยพาณิชย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.กิตติวัฒน์	นันทเกิดผล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ศส.อิฐอรรณู	ปิติมส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายฉัตรดิพงษ์	อุทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



กำหนดการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4			
วัน ที่ ๓ - ๕ เมษายน 2555			
08.00 - 09.00	ลงทะเบียน		
09.00 - 09.50	การประชุมภาคเช้า โดย คุณสุวิมล สีหะขันธ์ เรื่อง "ระบบโครงข่ายพลังงานทดแทนที่ใช้เทคโนโลยีกับภารกิจสนับสนุนภาค"		
09.50 - 10.00	พิธีเปิดประชุมภาคเช้า		
10.00 - 12.00	ห้องประชุม 1 PMM1001-05, 07, 08	ห้องประชุม 2 PEM1001-08	ห้องประชุม 3 TEM101-08
12.00 - 13.00	พักรับประทานอาหารกลางวัน		
13.00 - 15.00	ห้องประชุม 1 PMM209-16	ห้องประชุม 2 PEM209-16	ห้องประชุม 3 TEM209-16
15.00 - 15.10	พักรับประทานอาหารกลางวัน		
15.10 - 17.10	ห้องประชุม 1 PMM317-24	ห้องประชุม 2 TEM317-24	ห้องประชุม 3 PEM317,19-24
17.10 - 18.00	พิธีมอบเกียรติบัตร		
18.00 - 22.00	ร่วมรับประทานอาหาร		
วัน ที่ 4 เมษายน 2555			
09.00 - 09.50	การประชุมภาคเช้า โดย คุณศุภรณรงค์ ศ. วิเศษชัย เรื่อง "การส่งกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย"		
09.50 - 10.00	พิธีเปิดประชุมภาคเช้า		
10.00 - 12.00	ห้องประชุม 1 PMM425-32	ห้องประชุม 2 PEM425-32	ห้องประชุม 3 TEM425-32
12.00 - 13.00	พักรับประทานอาหารกลางวัน		
13.00 - 15.00	ห้องประชุม 1 PMM533-40	ห้องประชุม 2 PEM533-30+08(09-12)	ห้องประชุม 3 TEM533-40
15.00 - 15.10	พักรับประทานอาหารกลางวัน		
15.10 - 17.10	ห้องประชุม 1 PEM101-08	ห้องประชุม 2 PEM213-20	ห้องประชุม 3 TEM6(01-08)
17.10 - 18.00	พิธีมอบเกียรติบัตร		
18.00 - 22.00	ร่วมรับประทานอาหาร		
วัน ที่ 5 เมษายน 2555			
08.00 - 10.30	ห้องประชุม 1 PEM321-28	ห้องประชุม 2 GMM101-08	ห้องประชุม 3 CFM101-06+TE(09)
10.30 - 10.40	พักรับประทานอาหารกลางวัน		
10.40 - 12.40	ห้องประชุม 1 PEM209-36	ห้องประชุม 2 GMM209-16	ห้องประชุม 3 APM101-08
12.40 - 13.15	พักรับประทานอาหารกลางวัน		
13.15 - 15.15	ห้องประชุม 1 PEM537-59+99(05)+PE(18)	ห้องประชุม 2 GMM317-20	ห้องประชุม 3 GMM21-25
15.15 - 15.30	พักรับประทานอาหารกลางวัน		

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 วันที่ 3-5 เมษายน 2555

PW16	Optimal Reactive Power Control in Power System with Particle Swarm Optimization	212
PW17	การศึกษาและเปรียบเทียบการลดการใช้ไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก๊าซธรรมชาติ ด้วยอัตราปรับขึ้นระบบ TOD และ TOU	216
PW18	การศึกษาเสถียรภาพแรงดันของระบบ IEEE 6 BUS เชื่อมกับกังหันลม	220
PW19	การออกแบบอัลกอริธึม สำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดพลาดของระบบจำหน่าย 22 kV	224
PW20	การระบุตำแหน่งจุดลัดวงจรของสายส่งไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรงโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม	229
PW21	การเปรียบเทียบการลดความชื้นในอากาศระหว่างสนามไฟฟ้ากับขดลวดความร้อน	233
PW22	การเปรียบเทียบคุณภาพไฟฟ้าและประสิทธิภาพของหลอดประหยัดพลังงาน	237
PW23	การศึกษาผลของอุณหภูมิและบัลลาสต์ที่มีต่ออายุการใช้งานของหลอดฟลูออเรสเซนต์	241
PW24	การวางแผนเพื่อยกระดับเสถียรภาพแรงดันสำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในพื้นที่จังหวัดจันทบุรี	245
PW25	การควบคุมความถี่-โวลตจของระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงโดยใช้ตัวควบคุมพีชซีลอจิก	249
PW26	การควบคุมกำลังไฟฟารีแอกตีฟในย่านพลวัตด้วย SVC	253
PW27	การติดตั้งตัวเก็บประจุด้วยค่าที่เหมาะสมในระบบจำหน่าย 33 บัส แบบเรเดียลด้วยโปรแกรม PSO	257
PW28	การเพิ่มเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะด้วยสแตตคอม	261
PW29	การควบคุมวงจรแปลงผันตีสึเป็นตีสึด้วยสมการสถานะ	265
PW30	ตู้แม่ข่ายสวิตช์พลังงานแสงอาทิตย์	269
PW31	การวิเคราะห์การก่อกวนของแรงกราวด์กลับมะเฟืองเนื่องจากสภาพดินและฟ้าผ่าในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 ภาคกลาง	273
PW32	มูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟดับของผู้ใช้ไฟประเภทอุตสาหกรรมโรงสีข้าว	277
PW33	ตรวจจับแรงดันตกโดยวิธีการหาค่ายอด	281

การออกแบบอัลกอริทึม สำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดปกติในระบบจำหน่าย 22 kV

Design of an Algorithm for Faults Location on 22 kV Distribution System

เสกสิทธิ์ เข้มทอง¹ และกฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์²

ศูนย์วิจัยระบบไฟฟ้ากำลังและพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ : 0-2549-3571 โทรสาร:0-2549-3422

E-mail: krischonme.b@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงการออกแบบอัลกอริทึมที่ใช้สำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดปกติในระบบจำหน่าย 22 kV อัลกอริทึมประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ส่วนที่ 1 ใช้รูปคลื่นแรงดันและรูปคลื่นกระแส มาคำนวณหาค่ารีแอกแตนซ์ ส่วนที่ 2 ใช้หลักการพื้นฐานอิมพีแดนซ์มาคำนวณหาตำแหน่งความผิดปกติ อัลกอริทึมนี้ใช้สำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดปกติของถาวรชนิดเฟสลงดิน โดยใช้โปรแกรม MATLAB ออกแบบและทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม จากรูปคลื่นกระแสและแรงดัน ที่ได้จากการจำลองการเกิดความผิดปกติ ผ่านโปรแกรม ATP/EMTP และยืนยันผลการทดสอบภาคสนาม โดยใช้ระบบจำหน่ายของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ผลการทดสอบได้ยืนยันความถูกต้องของอัลกอริทึม ใช้งานได้ในทางปฏิบัติเกิดความผิดพลาดในการคำนวณหาตำแหน่งความผิดปกติสูงสุดไม่เกิน 5 %

คำสำคัญ : ความผิดปกติถาวร , ตำแหน่งความผิดปกติ, รูปคลื่นแรงดัน , รูปคลื่นกระแส , ความผิดปกติชนิดเฟสถึงกราวด์

Abstract

This paper describes the design of an algorithm for faults location on 22 kV distribution system type radius. The algorithm Consists of two sequential processes. First , the measured voltage- current signal to electrical parameter as reactance. Second, the impedance rule base is used applied to evaluate the fault location.

This algorithm search for permanent fault location , phase to ground fault type, Design and Test algorithm efficiency by MATLAB program from voltage- current signal of ATP/EMTP program. Research result confirmed on The Provincial Electricity

Authority (PEA) power distribution feeders ,Research result error are maximum 5% .

Keywords: permanent faults , fault location , voltage signal , current signal ,phase to ground fault

1. บทนำ

เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่าย 22 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ยังคงอาศัยการรับแจ้งกระแสไฟฟ้าขัดข้องจากผู้ใช้ไฟเป็นส่วนใหญ่ ข้อมูลที่ได้รับแจ้งจากผู้ใช้ไฟ สามารถนำมาใช้ระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติได้เพียงพื้นที่กว้าง ๆ เท่านั้น ทำให้ต้องใช้เวลาในการค้นหาตำแหน่งของความผิดปกติมาก เพราะระบบจำหน่ายมีพื้นที่จ่ายไฟค่อนข้างกว้าง มีความยาวสายระบบจำหน่ายหลายกิโลเมตร วิธีค้นหาตำแหน่งความผิดปกติเริ่มจากการตรวจสอบด้วยสายตาโดยขับรถสำรวจวิ่งไปอย่างช้าๆคอยสังเกตุสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า เช่น ลูกถ้วยชำรุด , ไฟฟ้าขาด , กิ่งไม้สัมผัสสายไฟ , ซากสัตว์สัมผัสสายไฟ เป็นต้น หากพบสาเหตุความผิดปกติ ก็จะทำการแก้ไข แต่หากไม่พบสิ่งผิดปกติก็จะใช้วิธีทดลองสุ่มเดา เช่น เปิด-ปิด อุปกรณ์ป้องกันตัดตอน ที่อยู่ในระบบจำหน่ายเป็นช่วงๆเพื่อทำให้สามารถระบุขอบเขตตำแหน่งการเกิดความผิดปกติให้แคบลง หรือการทดลองจ่ายไฟซ้ำหลายครั้ง จนกระทั่งอุปกรณ์ไฟฟ้าระเบิดเสียหายให้สามารถเห็นอย่างชัดเจน จึงทำการแก้ไขซ่อมแซมระบบจำหน่ายให้เป็นปกติต่อไป

หลักการที่นำมาใช้สำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดปกติในระบบจำหน่าย 22 kV สามารถแบ่งออกเป็น 2 หลักการด้วยกันดังต่อไปนี้

หลักการที่ 1 ใช้หลักการตรวจจับเวลาการเดินทางของคลื่นจร (Traveling Wave) หลักการนี้เหมาะที่จะใช้กับสายส่งระยะไกลที่มีสายไฟฟ้าชนิดเดียวกันตลอดสาย เป็นวิธีที่มีความแม่นยำสูง ใช้อัตราการสุ่มสัญญาณที่สูงเนื่องจากคลื่นจรเป็นคลื่นความถี่สูง

ส่วนหลักการที่ 2 ใช้หลักการคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ปรากฏ ที่มองออกไปยังสายส่งจากสัญญาณกระแสและแรงดัน และประมาณการหาตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยความสัมพันธ์เชิงเส้น ระหว่างระยะทางและค่าอิมพีแดนซ์ต่อความยาวหนึ่งหน่วยของสาย เมื่อนำหลักการทั้ง 2 มาเปรียบเทียบแล้วพบว่าหลักการคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ปรากฏ มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 kV มากกว่าหลักการตรวจจับเวลาการเดินทางของคลื่นจร เนื่องจากระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีสายไฟฟ้าหลายประเภท ,หลายขนาด อีกทั้งยังมีสายจำหน่ายแยกย่อยหลายวงจร หากนำหลักการตรวจจับเวลาของคลื่นจรมาใช้ เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นจะเกิดคลื่นสะท้อนกลับไปมา

จำนวนมากที่จุดต่อสาย เนื่องจากสายจำหน่ายมีหลายขนาดทำให้ค่าเสรีอิมพีแดนซ์แตกต่างกัน จึงยากที่จะนำไปวิเคราะห์หาตำแหน่งความผิดปกติของระบบจำหน่าย 22 kV ได้

อัลกอริธึมที่ออกแบบ จึงใช้หลักการพื้นฐานของอิมพีแดนซ์(Ohms Law)ในการออกแบบ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่นแรงดัน และกระแส ที่ได้มาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโปรแกรม ATP/EMTP โดยนำค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่นแรงดันและกระแส ขณะเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่าย เลือกใช้ช่วงที่ค่าคงที่ และอัลกอริธึมที่ออกแบบมีความพิเศษ โดยนำเอาเฉพาะค่ารีแอกแตนซ์มาใช้ในการคำนวณเพื่อลดความผิดพลาดจากปัญหาอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงจากสาเหตุ Arc Voltages เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้น โดยให้เลือกใช้ค่ารีแอกแตนซ์แทนค่าอิมพีแดนซ์ เพราะค่ารีแอกแตนซ์ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเกิดปัญหา Arc Voltages เมื่อได้ค่ารีแอกแตนซ์แล้วนำมาผ่านกระบวนการออกแบบโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการประมวลผลคำนวณหาตำแหน่งความผิดปกติของระบบจำหน่าย 22 kV

2. หลักการคำนวณหาตำแหน่งความผิดปกติ

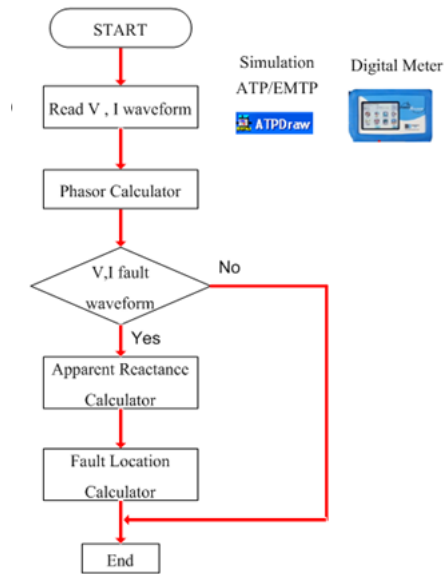
หลักการคำนวณหาตำแหน่งความผิดปกติโดยใช้ค่าอิมพีแดนซ์ปรากฏ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. บันทึกรูปคลื่นกระแสและแรงดัน
2. แยกส่วนประกอบมูลฐานออกมา
3. หาค่าเฟสเซอร์ และชนิดของความผิดปกติ
4. คำนวณหาตำแหน่งความผิดปกติ โดยใช้วงจร

สมมูลตาม

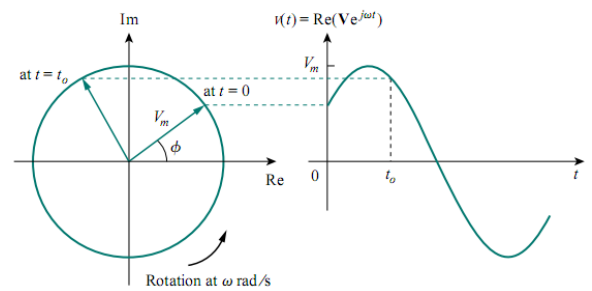
รูปที่ 3 โดยกำหนดให้ค่าความต้านทานผิดปกติมีค่าเป็นศูนย์ ทำการประมวลผลจากคู่ของสัญญาณกระแส

แรงดันเพื่อหาค่ารีแอกแตนซ์



รูปที่ 1 แผนผังหลักการคำนวณหาตำแหน่งความผิดปกติ [1-2]

2.1 การคำนวณเฟสเซอร์



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างเฟสเซอร์ โดเมน และ ทัมโดเมน

เทคนิคการเปลี่ยนค่ารูปคลื่นกระแสและแรงดันจากระบบ ทัมโดเมน (time domain) เป็นระบบ เฟสเซอร์ โดเมน (phasor domain)

ในบทความนี้ใช้การคำนวณหาค่าเฟสเซอร์ด้วยวิธีดิคริฟูเรียร์ทราน

สฟอรึม [1-2] เป็นเครื่องมือในการแยกส่วนประกอบของสัญญาณกระแสและแรงดัน เพื่อให้ได้สัญญาณที่เป็นส่วนจริง (real part) และส่วนจินตภาพ (image part) โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$X_c^r = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_k \cos \frac{2\pi}{N} k + \frac{2}{N} \cos 2\pi(x_N - x_0) \quad (1)$$

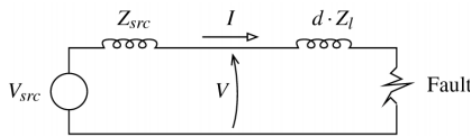
$$X_s^r = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_k \sin \frac{2\pi}{N} k + \frac{2}{N} \sin 2\pi(x_N - x_0) \quad (2)$$

เมื่อ X_c^r และ X_s^r คือ ส่วนประกอบสัญญาณที่เป็นส่วนจริงและส่วนจินตภาพของสัญญาณที่ตำแหน่ง r ตามลำดับ x_k คือสัญญาณขาเข้าที่ตำแหน่ง k และ N คือ จำนวนข้อมูลในหนึ่งคาบของสัญญาณ จากนั้นสามารถหามุมเฟสเซอร์ของสัญญาณได้จาก

$$\theta_r = \tan^{-1} \left(\frac{X_s^r}{X_c^r} \right) \quad (3)$$

เมื่อ θ_r คือมุมเฟสเซอร์ของสัญญาณ

2.2 การคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์



รูปที่ 3 วงจรสมมูลสำหรับคำนวณตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ

จากวงจรสมมูลตามรูปที่ 3 [4] ได้สมการสำหรับคำนวณหาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติพร้อมขึ้นดังต่อไปนี้

$$d = \frac{V}{I \cdot Z_1} \quad (4)$$

เมื่อ V คือแรงดันระหว่างเกิดความผิดปกติพร้อม หน่วยเป็นโวลต์

I คือกระแสระหว่างเกิดความผิดปกติพร้อม หน่วยเป็นแอมป์

Z_1 คืออิมพีแดนซ์ ของระบบจำหน่าย หน่วยเป็นโอห์มต่อกิโลเมตร

เมื่อ d คือ ระยะทางที่เกิดความผิดปกติพร้อม หน่วยเป็นเมตร

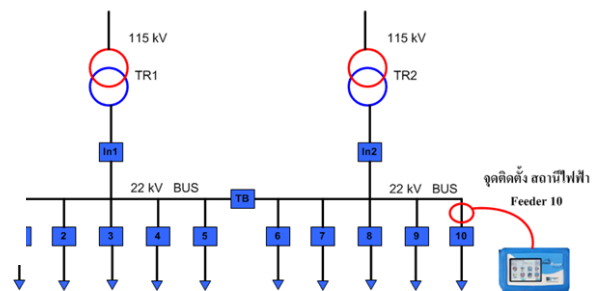
เพื่อลดความผิดพลาดจากปัญหา ค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลง เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมขึ้นที่จุดอาร์ค (Arc Impedance) โดยให้เลือกใช้ค่ารีแอกแตนซ์แทนค่าอิมพีแดนซ์ เพราะฉะนั้นจึงเกิดสมการอย่างง่ายขึ้นดังต่อไปนี้

$$d = \frac{\text{Im} \left(\frac{V}{I} \right)}{\text{Im} (Z_1)} \quad (5)$$

3. การออกแบบอัลกอริธึม

3.1 เทคนิคตรวจวัดรูปคลื่นแรงดันและกระแส

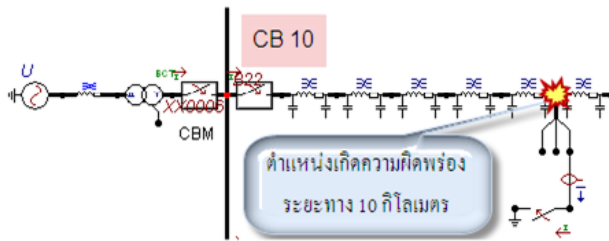
โดยใช้เครื่องมือวัดดิจิทัล



รูปที่ 4 จุดติดตั้งเครื่องมือวัดรูปคลื่นกระแสและแรงดัน

การตรวจวัดรูปคลื่นกระแสและแรงดัน โดยใช้เครื่องมือวัดดิจิทัล โดยมีตำแหน่งติดตั้งอยู่ที่ หลังเบรกเกอร์หมายเลข 10 ตามแสดงในรูปที่ 4 เพื่อนำค่าคุณลักษณะของรูปคลื่นกระแสและแรงดันขณะเกิดความผิดปกติพร้อม มาผ่านกระบวนการเพื่อนำไปคำนวณหาค่าเฟสเซอร์(Phasor) ของรีแอกแตนซ์ปรากฏ และหาค่าตำแหน่งการเกิดความผิดปกติพร้อมในระบบจำหน่ายต่อไป

3.2 เทคนิคตรวจวัดรูปคลื่นแรงดันและกระแส โดยใช้การจำลองผ่านโปรแกรม ATP/EMTP



รูปที่ 5 ตัวอย่างวงจรจำลองระบบจำหน่าย 22 kV โดยใช้โปรแกรม ATP/EMTP

การตรวจวัดรูปคลื่นกระแสและแรงดัน โดยใช้การจำลองผลผ่านโปรแกรม ATP/EMTP [3] มีตัวอย่างของวงจรตามรูปที่ 5 เพื่อนำค่าคุณลักษณะของรูปคลื่นกระแสและแรงดันที่ได้จากการจำลองผล ขณะเกิดความคิดพรัอง มาผ่านกระบวนการเพื่อนำไปคำนวณหาเฟสเซอร์ของรีแอกแตนซ์ปรากฏและหาตำแหน่งการเกิดความคิดพรัองในระบบจำหน่ายต่อไป

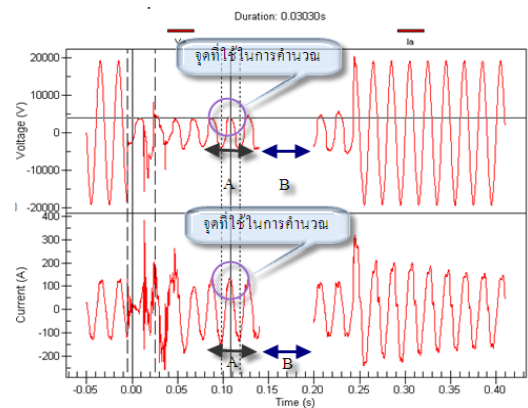
4. ผลการทดสอบอัลกอริธึม



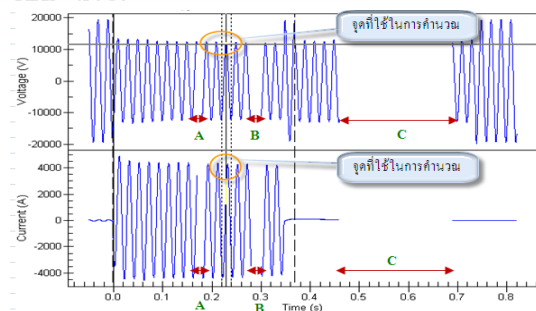
รูปที่ 6 ตัวอย่างระบบจำหน่ายที่ใช้ในการทดสอบอัลกอริธึม



รูปที่ 7 เหตุการณ์ที่ 1 ความคิดพรัองของระบบจำหน่ายแบบเฟสกราวด์ (c - g) ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้า 7.29 กิโลเมตร



รูปที่ 8 เหตุการณ์ที่ 1 ความคิดพรัองแบบเฟสถึงกราวด์ (c - g) ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้า 7.29 กิโลเมตร



รูปที่ 9 เหตุการณ์ที่ 2 ความคิดพรัองแบบเฟสถึงกราวด์ (a - g) ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้า 3.03 กิโลเมตร

รูปที่ 6 เป็นตัวอย่างระบบจำหน่าย 22 kV สำหรับใช้ทดสอบการเกิดความคิดพรัองในระบบจำหน่ายประกอบไปด้วยเบรกเกอร์ สถานีไฟฟ้า และสายไฟฟ้าของระบบจำหน่าย ชนิดหุ้มฉนวนไม่เต็มพิกัด (PIC) ขนาด 185 ตร.มม. มี 20 โนดในการทดสอบ ความยาวแต่ละ โนด 1 กม. ยาวรวม 20 กม. เป็นระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษาค่าความแม่นยำในการบอกตำแหน่งความคิดพรัอง โดยกำหนดพารามิเตอร์ แรงดันไฟฟ้า 22 kV ความถี่ 50Hz หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 50 MVA มีค่าเปอร์เซ็นต์

อิมพีแดนซ์ 12 % สายจำหน่ายประกอบด้วยตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ โดยละเลยตัวเก็บประจุ

รูปที่ 8 ผลการจำลองรูปคลื่นกระแสและแรงดัน ช่วงระยะ A คือช่วงคงที่ (steady state) ของรูปคลื่นกระแสและแรงดัน ส่วนช่วง B คือช่วงที่เบรกเกอร์ทำงานเปิดวงจรชั่วขณะ (Trip Reclose) ก่อนที่จะปิดวงจรใหม่อีกครั้ง และจุดที่อยู่ภายในวงกลมเป็นจุดที่ใช้สำหรับคำนวณหาค่า

รีแอกแตนซ์เพื่อใช้ในการคำนวณหาจุดเกิดความผิดพลาดโดยใช้สูตรตามสมการที่ 5

รูปที่ 9 ผลการจำลองรูปคลื่นกระแสและแรงดัน ช่วงระยะ A B และ C คือช่วงที่เบรกเกอร์ทำงานเปิดวงจรชั่วขณะ (Trip Reclose) ก่อนที่เบรกเกอร์จะปิดวงจรใหม่อีกครั้งและจุดที่อยู่ภายในวงกลมเป็นจุดที่ใช้สำหรับคำนวณหาค่ารีแอกแตนซ์เพื่อใช้ในการคำนวณหาจุดเกิดความผิดพลาดโดยใช้สูตรตามสมการที่ 5

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบอัลกอริทึมสำหรับค้นหาตำแหน่งความผิดพลาดของระบบจำหน่าย 22 kV

เหตุการณ์	ชนิดความผิดพลาด	ตำแหน่งจริง (กิโลเมตร)	ตำแหน่งคำนวณ (กิโลเมตร)	ความผิดพลาด (%)
1	c-g	7.29	7.24	0.69
2	a-g	3.03	2.29	0.33
3	b-g	2.00	2.54	4.50
4	c-g	10.00	10.43	4.30
5	a-g	15.00	13.56	5

จากผลการทดสอบอัลกอริทึมทั้ง 5 เหตุการณ์ สามารถนำมาสรุปเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งความผิดพลาดได้ตามตารางที่ 1 โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ 5 % และค่าเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดต่ำสุดที่ 0.33 %

5. สรุป

บทความนี้ได้ออกแบบอัลกอริทึม ที่สามารถระบุตำแหน่งของความผิดพลาดของระบบจำหน่าย 22 kV จ่ายไฟแบบเบรคเดียว ชนิดเฟสถึงกราวด์ โดยใช้รูปคลื่นกระแสและแรงดัน ในช่วงที่เกิดความผิดพลาดในระบบจำหน่ายขึ้น นำมาใช้

คำนวณหาค่ารีแอกแตนซ์และระยะทางที่เกิดความผิดพลาดได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว โดยมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดไม่เกิน 5% เป็นประโยชน์ต่องานบำรุงรักษาระบบจำหน่าย 22 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

เอกสารอ้างอิง

- [1] C.Wattanasakpubal,T.Bunyagul “A Processing Unit for Tracking/Estimating Voltage-Current Phasor and Frequency in Power System” Proceedings of ECTI-CON 2008.
- [2] C.Wattanasakpubal,T.Bunyagul “Estimation and Tracking Current Phasor, Voltage Phasor ,Impedance and Local Frequency in Power Systems by Adaptive Algorithm. ประชุมวิชาการทางไฟฟ้าครั้งที่ 28(ECON 28)
- [3] H.W. Dommel “EMTP Theory Book” BPA. Portland ,August 1986.
- [4] Electric Power Research Institute (EPRI) “ Distribution Fault Location” Final Report ,(December 2006).

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายเสกสิทธิ์ เข้มทอง
วัน เดือน ปีเกิด	2 มีนาคม 2522
ที่อยู่	5 หมู่ 5 ต.หนองหาน อ.หนองหาน จ.อุดรธานี 41130
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ปี 2545
ประสบการณ์การทำงาน	พ.ศ. 2550 – ปัจจุบัน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดปราจีนบุรี

