การวิเคราะห์ฟอลต์ในสายส่งด้วยการแปลงเวฟเล็ต

FAULT ANALYSIS IN TRAMSMISSION LINE USING WAVELET TRANSFORM

พงษ์ศักดิ์ มากมีง
PONGSAK MARKMING

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2545

ISBN 974-648-637-3

การวิเคราะห์ฟอลต์ในสายส่งด้วยการแปลงเวฟเล็ต

FAULT ANALYSIS IN TRAMSMISSION LINE USING WAVELET TRANSFORM

T 043285

พงษ์ศักดิ์ มากมิ่ง

PONGSAK MARKMING

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 43285
วัน, เดือน, ปี 21 ส.ค. 2545

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2545

ISBN 974-648-637-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAULT ANALYSIS IN TRAMSMISSION LINE USING WAVELET TRANSFORM

PONGSAK MARKMING

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2002

ISBN 974-648-637-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ฟอลต์ในสายส่งด้วยการแปลงเวฟเล็ต

FAULT ANALYSIS IN TRANSMISSION LINE USING WAVELET TRANSFORM

ชื่อนักศึกษา นายพงษ์ศักดิ์ มากมิ่ง

รหัสประจำตัว 43061007

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ศุลี บรรจงจิตร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ศิริวัฒน์	โพธิเวชกุล	
รศ.ดร.สุรพันธุ์	เอื้อไพบูลย์	
รศ.มณฑล	ลีลาจินดาไกรฤกษ์	
ดร.อานันทวัฒน์	คุณากร	
รศ.ศุลี	บรรจงจิตร	

วัน/เดือนปี ที่สอบ 22 กุมภาพันธ์ 2545 เวลา 10.30-12.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-404)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัตชู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 19 **เดือน** ..... **พ.ศ.** 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ฟอลต์ในสายส่งด้วยการแปลงเวฟเล็ต
นักศึกษา	นาย พงษ์ศักดิ์ มากมิ่ง
รหัสประจำตัว	43061007
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. ศุลี บรรจงจิตร

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีของอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันรูปแบบของการวิเคราะห์สัญญาณมีแนวโน้มที่เปลี่ยนไป จากรูปแบบเดิมที่อาศัยการวิเคราะห์สัญญาณองค์ประกอบความถี่พื้นฐานมาสู่การวิเคราะห์สัญญาณองค์ประกอบความถี่สูงในลักษณะการป้องกันแบบทรานเซียนต์(Transient based protection) โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันให้มีการทำงานที่ถูกต้องและรวดเร็วมากขึ้น ซึ่งการวิเคราะห์สัญญาณองค์ประกอบความถี่สูงจำเป็นต้องมีวิธีการที่เหมาะสมเพื่อให้ผลที่ได้มีความถูกต้องที่จะนำไปใช้งาน วิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอรูปแบบการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ที่เกิดขึ้นบนสายส่งด้วยการประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย(DWT) โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่สูงซึ่งอยู่ในสัญญาณฟอลต์ที่ปลายทั้ง 2 ด้านของสายส่งและนำผลที่ได้มาประมวลผลตามวิธีการที่กำหนด ผลที่ได้ถูกนำมาใช้ในการตรวจจับฟอลต์ การหาตำแหน่งฟอลต์ และการระบุประเภทของฟอลต์ที่เกิดขึ้น จากผลการทดสอบด้วยสัญญาณฟอลต์ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม ATP/EMTP โดยนำสัญญาณมาวิเคราะห์และประมวลผลบนโปรแกรมที่สร้างขึ้นบนโปรแกรม MATLAB พบว่าสามารถตรวจจับฟอลต์ได้ถูกต้องมากกว่า 98 % , การหาตำแหน่งฟอลต์มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำกว่า 1.2 กิโลเมตร และระบุประเภทของฟอลต์ได้ถูกต้องเฉลี่ยมากกว่า 83.3 % ซึ่งแสดงถึงความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนารูปแบบการวิเคราะห์สัญญาณในระบบไฟฟ้ากำลังได้ในทางปฏิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Fault Analysis in Transmission Line Using Wavelet Transform
Student	Mr. Pongsak Markming
Student ID.	43061007
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2002
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Sulee Bunjongjit

ABSTRACT

The development in power system protection technology has progressed, especially in recent years. The trend of power system signal analysis has been changed from the traditional scheme, the fundamental component analysis, to the new one, the high frequency transient components analysis or a transient based protection. The main objective of such a new is to increase in the performance of protection devices subjected to fast and precise operation . This thesis presents an application of the discrete wavelet transform (DWT) in signal analysis of transmission line faults. The variation of high frequency components of the fault signals in both ends of transmission line are considered. The variations is then, interpreted according to the determined procedure. The results obtained from the analysis are used to detect faults, to locate faults, and to identify faults .The simulations and analysis are performed using ATP/EMTP and MATLAB. It is found that the algorithm proposed in the thesis gives satisfactory results 98% accuracy in fault detection, 1.2 km error in the fault location and 83.3% accuracy in the fault identification. The effectiveness of the proposed schemes is verified so that the technique can be applied to develop the signal analysis of electrical power system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้อย่างด้วยดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจากที่มีคุณค่าจาก รศ. ศุลี บรรจงจิตร ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร. อานันทวัฒน์ คุณากร รวมถึงอาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คุณ พุทธิขจร บุญมี จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยสำหรับข้อมูลและความช่วยเหลือต่างๆ ที่ใช้วิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสำหรับความช่วยเหลือการติดต่อประสานงานในหลายๆ ด้าน

ขอขอบคุณ คุณ เกรียงไกร กิตติวราวุฒิ จากบริษัท ไทยออย จำกัด รุ่นพี่และเพื่อนนักศึกษาร่วมรุ่นปริญญาโทสำหรับความช่วยเหลือให้คำปรึกษาและเครื่อง CD-Writer ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณ ธิติ เอื้อมงคล และคุณ สุนทร ฝ่ายหมื่นไวย์ เพื่อนนักศึกษาที่ช่วยเหลือให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์

และขอขอบคุณ 2 ท่านสุดท้ายที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อข้าพเจ้าคือ บิดาและมารดาของข้าพเจ้าเอง ซึ่งเป็นผู้ที่ได้มอบ อดีต ปัจจุบัน และอนาคตให้กับผู้วิจัย รวมถึงทุกคนในครอบครัวสำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจที่มีให้กับผู้วิจัยตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พงษ์ศักดิ์ มากมิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง X

สารบัญรูป XII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 การพัฒนาเทคโนโลยีของการวิเคราะห์สัญญาณในระบบป้องกันสายส่ง 4

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 4

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา 4

1.4 ขอบเขตของการศึกษา 5

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา 5

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้นของการศึกษา 7

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 7

บทที่ 2 การวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์บนสายส่ง 8

2.1 ทฤษฎีของคลื่นเดินทาง (Traveling wave theory) 8

2.2 การประยุกต์ผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์กับระบบป้องกันสายส่ง 14

2.2.1 การป้องกันแบบกระแสเกิน (Over current protection) 14

2.2.2 การป้องกันแบบระยะทาง (Distance protection) 16

2.2.3 การป้องกันแบบใช้ระบบสื่อสาร (Pilot protection) 18

บทที่ 3 การแปลงเวฟเล็ต 20

3.1 ทฤษฎีพื้นฐานของการแปลงเวฟเล็ต 22

3.1.1 การแปลงฟูเรียร์ (Fourier transform :FT) 22

3.1.2 การแปลงกาบอร์ (Gabor Transform :GT) 24

3.1.3 การแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้น(Short –Time Fourier Transform :STFT) 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 การแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform : WT) 26

3.3 การแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง (Continuous Wavelet Transform :CWT) 29

3.4 การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform :DWT) 32

3.4.1 การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Multi-Resolution Analysis : MRA).....32

3.4.1.1 ทฤษฎีของสเปซเวคเตอร์ (Space vector theory) 32

3.4.2 การวิเคราะห์ด้วยตัวกรองสัญญาณ (Filter Bank Analysis) 36

3.5 เวฟเล็ตแม่ (Mother wavelet) 39

บทที่ 4 การประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ต 43

4.1 การประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ตสำหรับวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์บนสายส่ง 43

4.1.1 การกำหนดค่าขอบเขตการเปรียบเทียบ 44

4.1.2 การกำหนดลักษณะเด่นของการเปลี่ยนแปลงจากสัญญาณฟอลต์แต่ละแบบ 44

4.1.3 การกำหนดจำนวนสเกลหรือช่วงความถี่ที่เหมาะสม 44

4.1.4 การกำหนดช่วงของข้อมูลหรือสัญญาณที่ทำการพิจารณา 44

4.2 การตรวจจับฟอลต์ (Fault detection) 46

4.3 การหาตำแหน่งฟอลต์ (Fault location) 50

4.3.1 การคำนวณตำแหน่งฟอลต์ด้วยแรงดันลำดับบวกจากรูปที่ 4.3 52

4.3.2 การคำนวณตำแหน่งฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกจากรูปที่ 4.4 53

4.4 การระบุประเภทของฟอลต์ (Fault Identification) 55

4.4.1 การกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ประเภทของฟอลต์ 55

4.4.1.1 ตัวแปรค่าสูงสุดในช่วงก่อนเกิดฟอลต์ 55

4.4.1.2 ตัวแปรค่าสูงสุดในช่วงหลังเกิดฟอลต์ 55

4.4.1.3 ตัวแปรค่าสูงสุดเปรียบเทียบ 56

4.4.1.4 ตัวแปรค่าเปรียบเทียบ 56

4.4.1.5 ตัวแปรการตรวจสอบ 56

4.4.2 การวิเคราะห์สัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ต 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.3 การเตรียมข้อมูลก่อนการวิเคราะห์ 57

4.4.3.1 การหาค่าสูงสุดในการเปรียบเทียบขององค์ประกอบลำดับศูนย์ 57

4.4.3.2 การหาค่าสูงสุดเปรียบเทียบขององค์ประกอบในแต่ละเฟส 57

4.4.4 การหาค่าเปรียบเทียบ 58

4.4.5 การวิเคราะห์ในสเกลที่เหลือ 59

4.4.6 การวิเคราะห์เพื่อระบุเฟสที่เกิดฟอลต์ในแต่ละสเกล 59

4.4.6.1 การพิจารณาค่าเปรียบเทียบ 59

4.4.6.2 กรณีที่ไม่สามารถระบุได้ว่าเกิดฟอลต์ที่เฟสใด 60

4.4.7 ขั้นตอนการระบุฟอลต์ลงดิน 61

4.4.7.1 ผลจากข้อ 4.3.6 ระบุว่าเป็นฟอลต์เดียว 61

4.4.7.2 ผลจากข้อ 4.3.6 ระบุว่าเป็นฟอลต์ 3 เฟส 61

4.4.7.3 ผลจากข้อ 4.3.6 ระบุว่าเป็นฟอลต์ 2 เฟส 61

4.4.8 การสรุปข้อมูลจากสเกลที่ 1-5 62

4.4.8.1 สรุปเฟสที่เกิดฟอลต์ 62

4.4.8.2 การสรุปลักษณะของฟอลต์ลงดิน 62

4.4.9 ขั้นตอนการประมวลผลจากข้อมูลที่ปลายทั้ง 2 ด้านของสายส่ง 62

4.4.9.1 กรณีที่ข้อมูลการระบุประเภทของฟอลต์ที่ปลายแต่ละด้านอย่างน้อย 1 เฟส ตรงกัน 62

4.4.9.2 กรณีที่ไม่สามารถระบุได้ว่าเกิดฟอลต์ที่เฟสใด 62

4.4.10 ตัวอย่างการระบุประเภทของฟอลต์ 62

4.4.10.1 ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์สัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ต 63

4.4.10.2 ขั้นตอนที่ 2 การหาค่าสูงสุดเปรียบเทียบและค่าตรวจสอบการเปลี่ยนแปลง 66

4.4.10.3 ขั้นตอนที่ 3 การหาค่าเปรียบเทียบ 66

4.4.10.4 ขั้นตอนที่ 4 การระบุประเภทของฟอลต์ที่ปลายสายแต่ละด้าน 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.10.5 ขั้นตอนที่ 5 การสรุปการระบุประเภทของฟอลต์ 68
4.5 แผนภาพสรุปการประยุกต์ใช้งานการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย 69

บทที่ 5 การจำลองฟอลต์ 73
5.1 โครงสร้างของสายส่ง 500 kV 73
5.2 แบบจำลองสายส่ง 75
5.3 ระบบการจำลอง 76
5.3.1 แบบจำลองในการจำลองสัญญาณฟอลต์ 76
5.3.2 การปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ 77
5.3.3 ความเร็วของคลื่นเดินทาง (Traveling wave speed) และ เมตริกซ์การแปลง(Transformation matrix) 80
5.4 โปรแกรมการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ 85

บทที่ 6 ผลการทดลอง 91
6.1 รูปแบบการนำเสนอ 91
6.1.1 ระบบการทดลอง 91
6.1.2 รูปแบบการนำเสนอของแต่ละตาราง 91
6.1.3 รูปแสดงการสรุปผลการทดลองที่ได้จากตาราง 91
6.2 ผลการทดลองของระบบทดลองที่ 1 92
6.3 ผลการทดลองของระบบทดลองที่ 2 132
6.4 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลองของทั้ง 2 ระบบ 172

บทที่ 7 กรณีศึกษา 183
7.1 เงื่อนไขการศึกษา 183
7.2 กรณีศึกษาที่ 1 184
7.2.1 ลำดับเหตุการณ์ 184
7.2.1.1 เหตุการณ์แรก 184
7.2.1.2 เหตุการณ์ที่สอง 184

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง ทำซ้ำ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำไปหาประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

7.2.2 โครงสร้างของระบบในการศึกษา 186

7.2.3 การจำลองฟอลต์ 186

7.2.3.1 การสร้างแบบจำลองสายส่ง 186

7.2.3.2 การจำลองฟอลต์จากระบบในข้อ 7.2.2 186

7.2.4 การวิเคราะห์เหตุการณ์ช่วงที่ 1 188

7.2.4.1 การตรวจจับฟอลต์ช่วงที่ 1 189

7.2.4.2 การหาตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ในช่วงที่ 1 190

7.2.4.3 การระบุประเภทของฟอลต์ช่วงที่ 1 192

7.2.5 การวิเคราะห์เหตุการณ์ช่วงที่ 2 195

7.2.5.1 การตรวจจับฟอลต์ช่วงที่ 2 196

7.2.5.2 การหาตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ในช่วงที่ 2 197

7.2.5.3 การระบุประเภทของฟอลต์ช่วงที่ 2 197

7.3 กรณีศึกษาที่ 2 202

7.3.1 ลำดับของเหตุการณ์ 202

7.3.1.1 สายส่งวงจรที่ 1 202

7.3.1.2 สายส่งวงจรที่ 2 202

7.3.2 โครงสร้างของระบบในการศึกษา 203

7.3.3 การวิเคราะห์เหตุการณ์ในวงจรที่ 1 (BP2 #1 – SNO #1) 206

7.3.3.1 การตรวจจับฟอลต์ในสายส่งวงจรที่ 1 206

7.3.3.2 การหาตำแหน่งฟอลต์ในสายส่งวงจรที่ 1 207

7.3.3.3 การระบุประเภทของฟอลต์ในสายส่งวงจรที่ 1 208

7.3.4 การวิเคราะห์เหตุการณ์ในวงจรที่ 2 (BP2 #2 – SNO #2) 210

7.3.4.1 การตรวจจับฟอลต์ในสายส่งวงจรที่ 2 210

7.3.4.2 การหาตำแหน่งฟอลต์ในสายส่งวงจรที่ 2 211

7.3.4.3 การระบุประเภทฟอลต์ในสายส่งวงจรที่ 2 211

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ขาย หรือหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 8 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 214

เอกสารอ้างอิง 222

ภาคผนวก : บทวิเคราะห์ 226

ประวัติผู้เขียน 230

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 สัมประสิทธิ์ของตัวกรองสัญญาณของเวฟเล็ตตระกูล Daubechies ที่ N มีค่าเป็น 4, 6, 8, 10, 12,14, 16 และ 20 41

4.1 ความเร็วเฉลี่ยการเดินทางของคลื่น (Aerial mode) ในแต่ละช่วงความถี่ 52

4.2 การคำนวณหาตำแหน่งของฟอลต์จากแรงดันลำดับบวกในสเกลที่ 1-5 54

4.3 การคำนวณหาตำแหน่งของฟอลต์จากกระแสลำดับบวกในสเกลที่ 1-5 54

4.4 ค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์ในสภาวะปกติที่ปลายด้าน A 64

4.5 ค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์ในสภาวะปกติที่ปลายด้าน B 65

4.6 ค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์ในช่วง ¼ ไซเคิลหลังเกิดฟอลต์ที่ปลายด้าน A 65

4.7 ค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์ในช่วง ¼ ไซเคิลหลังเกิดฟอลต์ที่ปลายด้าน B 65

4.8 ค่าสูงสุดเปรียบเทียบพิจารณาที่ปลายด้าน A 66

4.9 ค่าสูงสุดเปรียบเทียบพิจารณาที่ปลายด้าน B 66

4.10 ค่าเปรียบเทียบที่พิจารณาจากปลายด้าน A 67

4.11 ค่าเปรียบเทียบที่พิจารณาจากปลายด้าน B 67

4.12 ผลการระบุประเภทฟอลต์ที่พิจารณาจากปลายด้าน A 67

4.13 ผลการระบุประเภทฟอลต์ที่พิจารณาจากปลายด้าน B 68

4.14 การสรุปผลการวิเคราะห์ทั้งหมด 68

5.1 การเปรียบเทียบพารามิเตอร์ห่วงค่าของ EGAT กับค่าจากโปรแกรม ATP-LCC 76

5.2 ความเร็วคลื่นและเมตริกซ์การแปลงที่ใช้ในสเกลที่ 1-5 ของระบบการทดลองที่ 1 82

5.3 ความเร็วคลื่นและเมตริกซ์การแปลงที่ใช้ในสเกลที่ 1-5 ของระบบการทดลองที่ 2 84

6.1 ผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 32.5 กิโลเมตร (10 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ความต้านทานฟอลต์ 10 โอห์ม ในระบบทดลองที่ 1 92-96

6.2 ผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 97.5 กิโลเมตร (30% ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ความต้านทานฟอลต์ 10 โอห์ม ในระบบทดลองที่ 1 100-104

6.3 ผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 162.5 กิโลเมตร (50% ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ความต้านทานฟอลต์ 10 โอห์ม ในระบบทดลองที่ 1.....108-112

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

6.4 ผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 227.5 กิโลเมตร (70 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ความต้านทานฟอลต์ 10 โอห์ม ในระบบทดลองที่ 1 116-120

6.5 ผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 292.5 กิโลเมตร (90%ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ความต้านทานฟอลต์ 10 โอห์ม ในระบบทดลองที่ 1 124-128

6.6 ผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 4 กิโลเมตร (10 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ความต้านทานฟอลต์ 10 โอห์ม ในระบบทดลองที่ 2 132-136

6.7 ผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอล ต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 12 กิโลเมตร (30 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ความต้านทานฟอลต์ 10 โอห์ม ในระบบทดลองที่ 2 140-144

6.8 ผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 20 กิโลเมตร (50 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ความต้านทานฟอลต์ 10 โอห์ม ในระบบทดลองที่ 2 148-152

6.9 ผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 28 กิโลเมตร (70 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ความต้านทานฟอลต์ 10 โอห์ม ในระบบทดลองที่ 2 156-160

6.10 ผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 36 กิโลเมตร (90% ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ความต้านทานฟอลต์ 10 โอห์ม ในระบบทดลองที่ 2 164-168

7.1 การเปรียบเทียบผลการคำนวณพารามิเตอร์สายส่งของกรณีศึกษาที่ 1 186

7.2 ความเร็วเฉลี่ยของคลื่นเดินทางในแต่ละช่วงความถี่ของกรณีศึกษาที่ 2 204

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 การพัฒนาเทคโนโลยีของอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลัง 2

1.2 การเปรียบเทียบการพัฒนาของเทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ 3

1.3 แผนภาพขั้นตอนการศึกษาของวิทยานิพนธ์ 6

2.1 แบบจำลองของส่วนย่อยของสายส่ง ณ เฟสใดๆ (v และi เป็นฟังก์ชั่นของ x และt) 8

2.2 คลื่นของแรงดันซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของ $(x - vt)$ ที่เวลา t_1 และ t_2 12

2.3 ลักษณะของคลื่นเดินทางในสภาวะที่เกิดฟอลต์บนสายส่ง 13

2.4 ขนาดของกระแสฟอลต์ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่แตกต่างกัน 14

2.5 การเปรียบเทียบกระแสฟอลต์ด้วยการแปลงฟูเรียร์ 14

2.6 ระนาบเชิงซ้อนของกระแสฟอลต์และกราฟเวลาการทำงานของรีเลย์กระแสเกิน 15

2.7 การติดตั้งรีเลย์ระยะทาง (Distance relay) 16

2.8 ระนาบเชิงซ้อน (Complex plane) การทำงานของรีเลย์ระยะทาง 16

2.9 การวิเคราะห์แรงดันและกระแสด้วยการแปลงฟูเรียร์ในสภาวะที่เกิดฟอลต์ 17

2.10 การแปลงฟูเรียร์ของกระแสแต่ละเฟสในกรณีฟอลต์ที่เฟส A 18

2.11 ลักษณะของการป้องกันโดยใช้ระบบสื่อสาร 19

3.1 การแยกขนาดเม็ดทรายโดยใช้การรวมทรายทุกขนาดเข้าด้วยกัน 20

3.2 การแยกทรายโดยแบ่งออกเป็นช่วงๆ ตามความยาว 21

3.3 การแยกทรายโดยโดยแบ่งช่วงที่แตกต่างกันตามขนาดของเม็ดทราย 21

3.4 การแปลงฟูเรียร์ (FFT) 23

3.5 การแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้น (STFT) 25

3.6 ลักษณะของคลื่นเวฟเล็ตแบบ Morlet 26

3.7 คุณสมบัติการสเกลและการเลื่อนตำแหน่งของฟังก์ชั่นเวฟเล็ต 27

3.8 การกระจายสัญญาณสัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ต 28

3.9 การสร้างกลับสัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ต 28

3.10 ขั้นตอนที่ 1ของการแปลงเวฟเล็ต 29

3.11 ขั้นตอนที่ 3 ของการแปลงเวฟเล็ต 30

3.12 ขั้นตอนที่ 4 ของการแปลงเวฟเล็ต 30

3.13 การแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง (CWT) 31

3.14 การเปรียบเทียบลักษณะการกระจาย (decomposition) 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.15 การแปลงแยกสัญญาณด้วยฟิลเตอร์แบบสองช่องสัญญาณ 36

3.16 แปลงกลับสัญญาณด้วยฟิลเตอร์แบบสองช่องสัญญาณ 37

3.17 ลักษณะการแปลงเวฟเล็ตโดยใช้หลักการของวิเคราะห์แบบออคเทฟฟิลเตอร์แบงค์ 37

3.18 การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (DWT) ในสเกลที่ 1-4 38

3.19 เวฟเล็ตแม่แบบไม่มีชนิดย่อย 39

3.20 เวฟเล็ตแม่แบบมีชนิดย่อย 40

4.1 ลักษณะของการนำระบบสื่อสารมาใช้กับป้องกันสายส่ง 43

4.2 สัญญาณฟอลต์ที่พิจารณาจากปลายสายส่งด้าน A (บัส A) 45

4.3 สัญญาณฟอลต์ที่พิจารณาจากปลายสายส่งด้าน B (บัส B) 46

4.4 ผลการแปลงเวฟเล็ตของแรงดันลำดับบวก (Positive sequence voltage) 47

4.5 ผลการแปลงเวฟเล็ตของกระแสลำดับบวก (Positive sequence current) 48

4.6 การตรวจจับฟอลต์ด้วยแรงดันลำดับบวกที่ปลายสายส่งทั้ง 2 ด้าน 49

4.7 การตรวจจับฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกที่ปลายสายส่งทั้ง 2 ด้าน 49

4.8 ค่าของยอดคลื่นแรกของปลายแต่ละด้านที่นำมาใช้ในการหาตำแหน่งฟอลต์ 50

4.9 การเปลี่ยนแปลงความเร็วของ Aerial mode และ Ground mode ที่ความถี่ต่างๆ กัน 51

4.10 พีกแรกที่วัดได้ของสัญญาณแรงดันที่ปลายสายส่งแต่ละด้านในสเกลที่ 1 52

4.11 พีกแรกที่วัดได้ของสัญญาณกระแสที่ปลายสายส่งแต่ละด้านในสเกลที่ 1 53

4.12 การแปลงเวฟเล็ตของกระแสฟอลต์ที่วัดได้จากปลายสายส่งด้าน A 63

4.13 การแปลงเวฟเล็ตของกระแสฟอลต์ที่วัดได้จากปลายสายส่งด้าน B 64

4.14 แผนภาพการตรวจจับฟอลต์ 69

4.15 แผนภาพการหาตำแหน่งฟอลต์ 70

4.16 แผนภาพการระบุประเภทของฟอลต์ 71

5.1 เสาแบบ SL ที่ใช้กับสายส่งวงจรเดี่ยว 500 kV 73

5.2 ระยะหย่อน(sag) ของสายตัวนำบนเสาแบบ SL ที่ใช้กับสายส่งวงจรเดี่ยว 500 kV 74

5.3 ระบบทดลองที่ 1 ความยาว 325 km 76

5.4 ระบบทดลองที่ 2 ความยาว 40 km 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.5 วงจรการจำลองของโปรแกรม ATP/EMTP ของระบบที่ 1 78

5.6 วงจรการจำลองของโปรแกรม ATP/EMTP ของระบบที่ 2 78

5.7 วงจรในการจำลองฟอลต์แบบ ABG ที่ 97.5 km ในระบบการทดลองที่ 1 79

5.8 สัญญาณฟอลต์ของแรงดันที่ได้จากการจำลองที่ปลายด้าน A 79

5.9 สัญญาณฟอลต์ของกระแสที่ได้จากการจำลองที่ปลายด้าน A 80

5.10 การเปลี่ยนแปลงของคลื่นเดินทางกับความถี่ของระบบการทดลองที่ 1 81

5.11 การเปลี่ยนแปลงของคลื่นเดินทางกับความถี่ของระบบการทดลองที่ 2 83

5.12 หน้าจอของโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ด้วยการแปลงเวฟเล็ต 85

5.13 หน้าจอของโปรแกรมในส่วนควบคุมและแสดงผลการวิเคราะห์ 86

5.14 หน้าจอของโปรแกรมขณะที่แสดงกราฟของกระแสฟอลต์ในแต่ละเฟส
ที่ปลายทั้ง 2 ด้านของสายส่ง 88

5.15 หน้าจอของโปรแกรมขณะที่แสดงกราฟของการแปลงเวฟเล็ตในแต่ละสเกล
ของปลายทั้ง 2 ด้านของสายส่ง 88

5.16 หน้าจอของโปรแกรมขณะที่แสดงกราฟของสัมประสิทธิ์ในสเกลที่ 1และเวลาที่เกิดค่า
ยอดคลื่นแรกของปลายทั้ง 2 ด้านของสายส่งที่ใช้ในการหาตำแหน่งของฟอลต์ที่เกิดขึ้น ...89

5.17 หน้าจอของโปรแกรมขณะที่แสดงกราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ในสเกลที่ 1-5 เพื่อใช้
ในการระบุประเภทของฟอลต์ที่ปลายด้านส่ง (ปลายด้าน A) 89

5.18 หน้าจอของโปรแกรมขณะที่แสดงกราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ในสเกลที่ 1-5 เพื่อใช้
ในการระบุประเภทของฟอลต์ที่ปลายด้านส่ง (ปลายด้าน B) 90

6.1 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 32.5
กิโลเมตร (10 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 1 97

6.2 ค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์จริงที่ระยะทาง 32.5
กิโลเมตร (10 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 1 97

6.3 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดัน เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง
32.5 กิโลเมตร (10 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 1 98

6.4 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแส เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง
32.5 กิโลเมตร (10 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 1 98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.5 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 97.5 กิโลเมตร (30 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 1 105

6.6 ค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์จริงที่ระยะทาง 97.5 กิโลเมตร (30 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 1 105

6.7 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดัน เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 97.5 กิโลเมตร (30 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 1 106

6.8 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแส เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 97.5 กิโลเมตร (30 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 1 106

6.9 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 162.5 กิโลเมตร (50 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 1 113

6.10 ค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์จริงที่ระยะทาง 162.5 กิโลเมตร (50 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 1 113

6.11 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดัน เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 162.5 กิโลเมตร (50 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 1 114

6.12 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแส เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 162.5 กิโลเมตร (50 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 1 114

6.13 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 227.5 กิโลเมตร (70 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 1 121

6.14 ค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์จริงที่ระยะทาง 227.5 กิโลเมตร (70 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 1 121

6.15 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดัน เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 227.5 กิโลเมตร (70 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 1 122

6.16 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแส เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 227.5 กิโลเมตร (70 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 1 122

6.17 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 292.5 กิโลเมตร (90 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 1 129

6.18 ค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์จริงที่ระยะทาง 292.5 กิโลเมตร (90 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 1 129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.19 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดัน เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 292.5 กิโลเมตร (90 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 1 130
6.20 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแส เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 292.5 กิโลเมตร (90 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 1 130
6.21 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 4 กิโลเมตร (10 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2 137
6.22 ค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์จริงที่ระยะทาง 4 กิโลเมตร (10 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2 137
6.23 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดัน เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 4 กิโลเมตร (10 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 2 138
6.24 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแส เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 4 กิโลเมตร (10 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 2 138
6.25 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 12 กิโลเมตร (30 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2 145
6.26 ค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์จริงที่ระยะทาง 12 กิโลเมตร (30 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2 145
6.27 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดัน เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 12 กิโลเมตร (30 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 2 146
6.28 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแส เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 12 กิโลเมตร (30 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 2 146
6.29 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 20 กิโลเมตร (50 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2 153
6.30 ค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์จริงที่ระยะทาง 20 กิโลเมตร (50 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2 153
6.31 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดัน เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 20 กิโลเมตร (50 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2 154
6.32 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแส เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 20 กิโลเมตร (50 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2 154

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.33 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 28 กิโลเมตร (70 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2 161

6.34 ค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์จริงที่ระยะทาง 28 กิโลเมตร (70 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2 161

6.35 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดัน เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 28 กิโลเมตร (70 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2 162

6.36 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแส เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 4 กิโลเมตร (70 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2 162

6.37 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 36 กิโลเมตร (90 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2 169

6.38 ค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์จริงที่ระยะทาง 36 กิโลเมตร (90 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2 169

6.39 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดัน เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 36 กิโลเมตร (90 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2 170

6.40 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแส เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 36 กิโลเมตร (10 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2 170

6.41 ค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์แต่ละประเภทของระบบทดลองที่ 1 172

6.42 ค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์แต่ละประเภทของระบบทดลองที่ 2 172

6.43 ค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์แต่ละระยะทางของระบบทดลองที่ 1 (#1) และระบบทดลองที่ 2 (#2) 173

6.44 ค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์ที่มุมเริ่มเกิดฟอลต์ต่างๆ กัน ในระบบทดลองที่ 1 (#1) และระบบทดลองที่ 2 (#2) 174

6.45 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนในการหาตำแหน่งฟอลต์แต่ละประเภทของระบบทดลองที่ 1 (#1) 175

6.46 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนในการหาตำแหน่งฟอลต์แต่ละประเภทของระบบทดลองที่ 2 (#2) 175

6.47 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนในการหาตำแหน่งฟอลต์ที่ระยะทางต่างๆ กันในระบบการทดลองที่ 1 (#1 : 325 กิโลเมตร) และระบบทดลองที่ 2 (#2 : 40 กิโลเมตร) 176

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.48 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนในการหาตำแหน่งฟอลต์ที่มุมต่างๆ กัน ของระบบการทดลองที่ 1 (#1 : 325 กิโลเมตร) และระบบทดลองที่ 2 (#2 : 40 กิโลเมตร) 177

6.49 ค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์แต่ละประเภทของระบบทดลองที่ 1 (#1) 178

6.50 ค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์แต่ละประเภทของระบบทดลองที่ 2 (#2) 178

6.51 ค่าเฉลี่ยความถูกต้องของการระบุประเภทฟอลต์ในแต่ละระยะทางของระบบทดลองที่ 1 (#1) 179

6.52 ค่าเฉลี่ยความถูกต้องของการระบุประเภทฟอลต์ในแต่ละระยะทางของระบบทดลองที่ 2 (#2) 180

6.53 ค่าเฉลี่ยความถูกต้องของการระบุประเภทฟอลต์ที่มุมเริ่มเกิดฟอลต์ต่างๆ กันของระบบทดลองที่ 1(#1) 181

6.54 ค่าเฉลี่ยความถูกต้องของการระบุประเภทฟอลต์ในแต่ละระยะทางของระบบทดลองที่ 2 (#2) 182

7.1 ลักษณะของเสาส่งแบบ SL และแบบ DL 185

7.2 วันไลน์ของระบบที่ทำการศึกษาในกรณีที่ 1 185

7.3 สัญญาณฟอลต์ที่ได้จากการจำลอง เมื่อพิจารณาจากปลายด้าน TTK 187

7.4 สัญญาณฟอลต์ที่ได้จากการจำลอง เมื่อพิจารณาจากปลายด้าน NCO 187

7.5 สัญญาณฟอต์ที่พิจารณาจากปลาย TTK ในช่วงที่ 1 188

7.6 สัญญาณฟอต์ที่พิจารณาจากปลาย NCO ในช่วงที่ 1 188

7.7 การตรวจจับฟอลต์ด้วยแรงดันลำดับบวกที่ปลายทั้ง 2 ด้านในช่วงที่ 1 189

7.8 การตรวจจับฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกที่ปลายทั้ง 2 ด้านในช่วงที่ 1 189

7.9 เวลาที่พบยอดคลื่นแรกในสเกลที่ 1 ของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน 190

7.10 เวลาที่พบยอดคลื่นแรกในสเกลที่ 1 ของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส 191

7.11 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดันที่ปลายด้าน TTK 192

7.12 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดันที่ปลายด้าน NCO 192

7.13 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแสที่ปลายด้าน TTK 193

7.14 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแสที่ปลายด้าน TTK 193

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

7.15 สัญญาณฟอต์ที่พิจารณาจากปลาย TTK ในช่วงที่ 2 195

7.16 สัญญาณฟอต์ที่พิจารณาจากปลาย NCO ในช่วงที่ 2 195

7.17 การตรวจจับฟอลต์ด้วยแรงดันลำดับบวกที่ปลายทั้ง 2 ด้าน 196

7.18 การตรวจจับฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกที่ปลายทั้ง 2 ด้าน 196

7.19 เวลาที่พบยอดคลื่นแรกในสเกลที่ 1 ของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน 197

7.20 เวลาที่พบยอดคลื่นแรกในสเกลที่ 1 ของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส 198

7.21 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดันที่ปลายด้าน TTK 199

7.22 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดันที่ปลายด้าน NCO 199

7.23 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแสที่ปลายด้าน TTK 200

7.24 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแสที่ปลายด้าน NCO 200

7.25 เสาส่งในระบบ 230 kV ที่ใช้ในการศึกษากรณีที่ 2 203

7.26 วันไลน์ของระบบที่ทำการศึกษาในกรณีที่ 2 204

7.27 สัญญาณกระแสและแรงดันเมื่อพิจารณาที่ปลายด้าน BP2 ของวงจรที่ 1 และ 2 205

7.28 สัญญาณกระแสและแรงดันเมื่อพิจารณาที่ปลายด้าน SNO ของวงจรที่ 1 และ 2 205

7.29 กระแสฟอลต์ของวงจรที่ 1 (BP2 # 1 – SNO # 1) 206

7.30 การตรวจจับฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกที่ปลายทั้ง 2 ด้าน 206

7.31 การหาตำแหน่งฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกที่ปลายทั้ง 2 ด้าน 207

7.32 การระบุประเภทของฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกที่ปลายด้าน BP2 # 1 208

7.33 การระบุประเภทของฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกที่ปลายด้าน SNO # 1 208

7.34 กระแสฟอลต์ของวงจรที่ 2 (BP2 # 2 – SNO # 2) 210

7.35 การตรวจจับฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกที่ปลายทั้ง 2 ด้าน 210

7.36 การหาตำแหน่งฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกที่ปลายทั้ง 2 ด้าน 211

7.37 การระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกที่ปลายด้าน BP2 # 2 212

7.38 การระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกที่ปลายด้าน SNO # 2 212

8.1 ค่าเฉลี่ยของการตรวจจับฟอลต์แต่ละประเภทของระบบทดลองที่ 1 และ 2 215

8.2 ค่าเฉลี่ยของการตรวจจับฟอลต์ด้วยแรงดันและกระแส 215

8.3 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของการหาตำแหน่งฟอลต์ในแต่ละระยะทาง 216

8.4 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของการหาตำแหน่งฟอลต์ด้วยแรงดันและกระแส 217

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

8.5 ค่าเฉลี่ยการระบุประเภทฟอลต์แต่ละประเภทของระบบทดลองที่ 1 217
8.6 ค่าเฉลี่ยการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดันและกระแสของระบบทดลองที่ 1 218
8.7 ค่าเฉลี่ยการระบุประเภทฟอลต์แต่ละประเภทของระบบทดลองที่ 2 218
8.8 ค่าเฉลี่ยการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดันและกระแสของระบบทดลองที่ 2 219
8.9 ระบบที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการตรวจจับฟอลต์ 220

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

สายส่งเป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้สำหรับส่งจ่ายพลังงานจากโรงไฟฟ้า (Power plant) ไปยังผู้ใช้โดยผ่านส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น สถานีไฟฟ้า (Substation) , เขตชุมชน, พื้นที่ทางการเกษตร เป็นต้น และในปัจจุบันความต้องการพลังงานไฟฟ้าได้เพิ่มสูงขึ้นจึงมีการเชื่อมโยงโครงข่าย (Network) ของระบบไฟฟ้าเข้าด้วยกันทำให้มีการขยายตัวของระบบสายส่งมากขึ้นตาม ส่งผลให้ต้องมีการเดินสายส่งผ่านไปยังพื้นที่ในหลายลักษณะทำให้มีโอกาสมากยิ่งขึ้นที่จะเกิดความผิดปกติต่างๆ กับสายส่งได้ เช่น การลัดวงจรหรือฟอลต์ (Fault) เป็นต้น ซึ่งความผิดปกติที่เกิดขึ้นบนสายส่งนี้เป็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับอุปกรณ์อื่นๆ ในระบบกำลังไฟ และเมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้นบนสายส่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ที่เกิดขึ้นโดยมีจุดประสงค์หลัก 3 ประการด้วยกันคือ

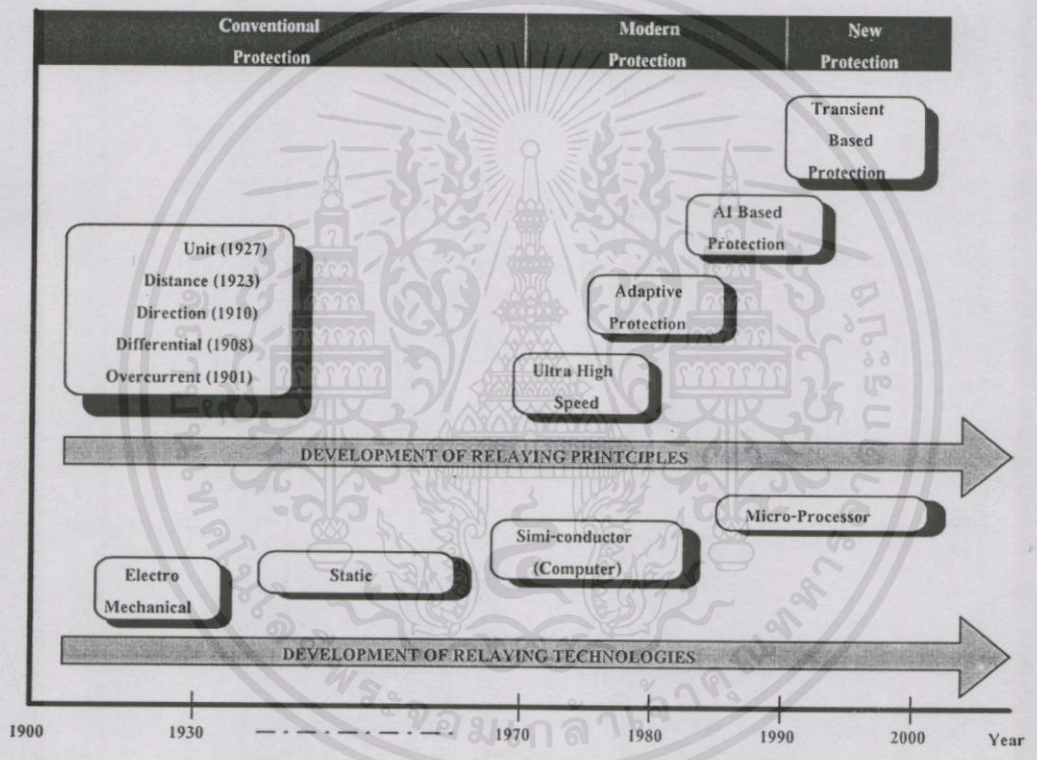
1. ตรวจจับว่าสัญญาณที่พบนั้นเป็นสัญญาณฟอลต์หรือไม่
2. เป็นสัญญาณฟอลต์รูปแบบใด
3. เกิดขึ้นที่ตำแหน่งใดบนสายส่ง

การวิเคราะห์ทั้ง 3 ลักษณะนี้จะมีประโยชน์คือ ในระบบการป้องกันการตรวจจับหาฟอลต์ที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและทราบรูปแบบที่ถูกต้อง รวมถึงตำแหน่งของฟอลต์ที่แม่นยำทำให้สามารถกำจัดฟอลต์ได้อย่างรวดเร็วซึ่งจะช่วยลดความเสียหายที่เกิดขึ้น ในส่วนของการซ่อมบำรุงรูปแบบและตำแหน่งที่เกิดฟอลต์จะช่วยทำให้การซ่อมแซมแก้ไขเพื่อให้สามารถนำสายส่งกลับเข้าใช้งานอย่างรวดเร็วมากยิ่งขึ้น ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงมุ่งพิจารณารูปแบบของการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ที่เกิดบนสายส่ง โดยมีรายละเอียดของการศึกษาดังต่อไปนี้

1.1 การพัฒนาเทคโนโลยีของการวิเคราะห์สัญญาณในระบบป้องกันสายส่ง [1]

จากรูปที่ 1.1 ได้แสดงแผนภาพการพัฒนาหลักการของระบบรีเลย์ป้องกันที่ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งมีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องนับตั้งแต่ปี 1901 โดยเป็นระบบการป้องกันพื้นฐานที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กที่เรียกว่า " แม่เหล็กทางกล " (Electro-mechanical) ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานที่ใช้กันมายาวนาน ต่อมาหลักการนี้ได้รับการพัฒนาเพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานกับรีเลย์ในหลายด้านด้วยกัน เช่น การป้องกันแบบระยะทาง(Distance protection) การป้องกันแบบผลต่าง (Differrential protection) การป้องแบบทิศทาง(Direction relay) เป็นต้น ในช่วงปี 1960 การพัฒนาเทคโนโลยีสมัยใหม่และความก้าวหน้าทางอุตสาหกรรมได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุปกรณ์ทางด้านสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ซึ่งทำให้มีการพัฒนาของอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด

(Transducer) สัญญาณต่างๆ ให้มีความสามารถมากยิ่งขึ้น และยังส่งผลโดยตรงต่อการพัฒนาเทคโนโลยีของอุปกรณ์หรือส่วนที่ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณในรูปแบบของรีเลย์แบบสถิตย์ (Static relay) หลังจากนั้นในช่วงปี 1970 ความก้าวหน้าของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้นำมาสู่การพัฒนาวงจรรวม (Intregated circuit : IC) ทำให้เกิดการพัฒนาอุปกรณ์ทางด้านคอมพิวเตอร์โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์ทางด้านไมโครโปรเซสเซอร์(Microprocessor) สามารถนำมาใช้ปรับปรุงการวิเคราะห์สัญญาณและการตัดสินใจของรีเลย์มีความรวดเร็วและถูกต้องทำให้รีเลย์มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น จึงนับเป็นการเริ่มเข้าสู่ยุคของรีเลย์แบบดิจิตอลหรือลักษณะของรีเลย์แบบนิวเมอร์ริคอล (Numerical relay) ที่มีการทำงานในลักษณะรีเลย์ป้องกันป้องกันความเร็วสูง (Ultra high speed) อย่างแท้จริง

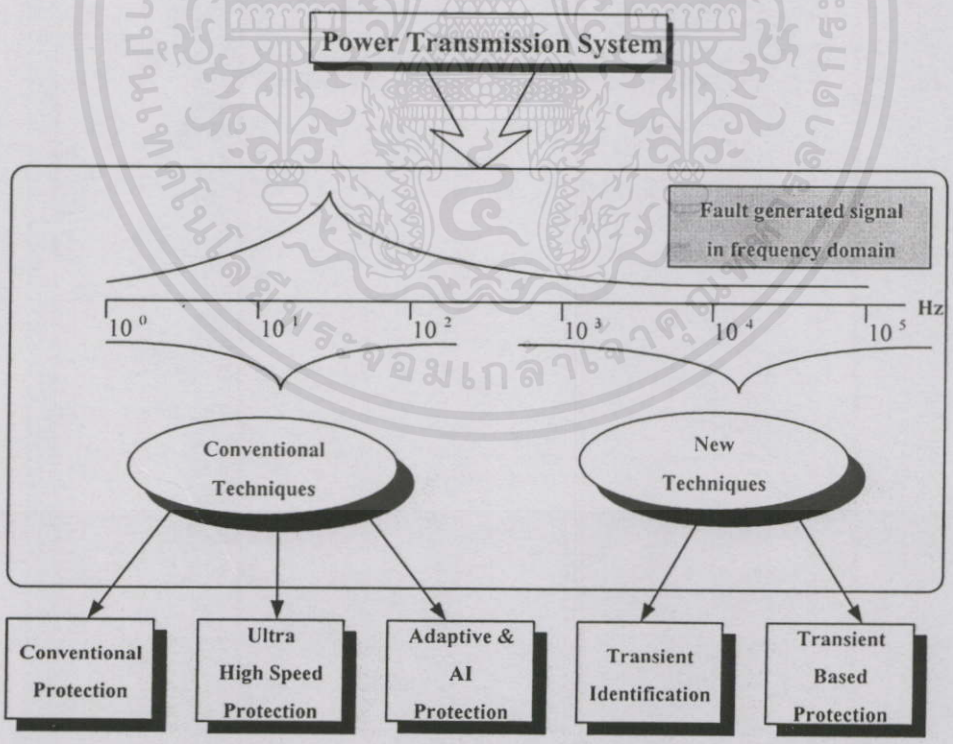


รูปที่ 1.1 แสดงการพัฒนาเทคโนโลยีของอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลัง [1]

นอกจากนี้ในช่วงต้นของทศวรรษที่ 90 ยังมีการนำเสนอแนวความคิดในการนำเทคนิคของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligent : AI) ในรูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการวิเคราะห์และตัดสินใจของรีเลย์ แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องการสอนและความหลากหลายของข้อมูลที่ซึ่งรูปแบบทั้งหมดที่กล่าวมานี้เป็นเพียงการพัฒนารูปแบบของอุปกรณ์และเทคนิคในการตัดสินใจของรีเลย์เพียงเท่านั้น แต่ยังคงอาศัยหลักการสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณด้วยการแปลงฟูเรียร์เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบความถี่พื้นฐานที่ 50 หรือ 60 เฮิร์ตอยู่ซึ่งจะต้องใช้ข้อมูลอย่างน้อย 1 ไซเคิล

เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์และตัดสินใจ เมื่อพิจารณาลักษณะของสัญญาณฟอลต์ที่เกิดขึ้น พบว่าจะมีองค์ประกอบของสัญญาณความถี่สูงรวมอยู่ด้วยซึ่งโดยทั่วไปจะถือว่าเป็นสัญญาณรบกวนและต้องกำจัดออก จึงทำให้ต้องพิจารณาถึงการกำจัดสัญญาณรบกวนเพื่อให้มีข้อมูลที่ถูกต้องในการวิเคราะห์ด้วย และเมื่อพิจารณาแล้วพบว่าในบางครั้งการใช้สัญญาณองค์ประกอบความถี่พื้นฐานเพียงอย่างเดียวอาจจะไม่เพียงพอกับการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ รวมทั้งการกำจัดสัญญาณองค์ประกอบความถี่สูงนั้นจะเป็นการทิ้งข้อมูลที่สำคัญของสัญญาณฟอลต์ออกไปอีกด้วย

ในช่วงปลายของทศวรรษที่ 90 ได้มีแนวความคิดใหม่เกิดขึ้นมาโดยเปลี่ยนแนวโน้มของการวิเคราะห์สัญญาณมาสู่การวิเคราะห์สัญญาณองค์ประกอบความถี่สูง เนื่องจากสัญญาณองค์ประกอบความถี่สูงนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับสัญญาณฟอลต์ที่มีความหลากหลายมากขึ้น และเมื่อพิจารณาความก้าวหน้าของเทคโนโลยีของอุปกรณ์การวัดและไมโครโปรเซสเซอร์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน พบว่าสามารถสนับสนุนแนวความคิดนี้ให้นำมาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติได้มากขึ้น จึงทำให้แนวความคิดนี้ได้รับความสนใจและมีการนำมาทำการศึกษาและวิจัยเพื่อใช้ในการพัฒนาหลักการวิเคราะห์สัญญาณของระบบป้องกันรูปแบบใหม่ในลักษณะการป้องกันด้วยสัญญาณทรานเซี้ยนต์ (Transient based protection) โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดช่วงของสัญญาณที่ทำการวิเคราะห์ให้สั้นลง ซึ่งจะส่งผลให้ระบบการวิเคราะห์และตัดสินใจใช้เวลาที่ลดลงตามไปด้วย



รูปที่ 1.2 แสดงการเปรียบเทียบการพัฒนาของเทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการศึกษาถึงรูปแบบของกระบวนการประมวลผลสัญญาณ(Signal-processing) ที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้สำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่สูงในสัญญาณฟอลต์เกิดขึ้นบนสายส่ง จากการศึกษาพบว่าการแปลงเวฟเล็ตมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณในลักษณะทรานเซี้ยนต์เช่น ฟอลต์ อันเนื่องมาจากคุณสมบัติการปรับระดับความละเอียดและการเลื่อนตำแหน่งในการวิเคราะห์ซึ่งรายละเอียดทางทฤษฎีนั้นได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 เท่าที่ผ่านมานั้นการแปลงเวฟเล็ตได้มีการนำมาใช้งานในหลายด้านด้วยกันเช่น การประมวลผลภาพ(Image processing) การตรวจวัดคลื่นหัวใจ เป็นต้น ต่อมามีผู้นำการแปลงเวฟเล็ตมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณทรานเซี้ยนต์ที่เกิดขึ้นในหลายๆ ส่วนของระบบไฟฟ้ากำลังเช่น หม้อแปลง เครื่องกำเนิดไฟฟ้า บัสบาร์ รวมถึงการวิเคราะห์ฮาร์มอนิก(Harmonic) ซึ่งการนำการแปลงเวฟเล็ตมาใช้ในการวิเคราะห์ปรากฏการณ์ต่างๆ ในระบบไฟฟ้ากำลังนี้นับได้ว่าเป็นการขยายขอบเขตงานวิจัยและเทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้ากำลังให้ดีขึ้นด้วย

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยเพื่อวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ที่เกิดขึ้นบนสายส่งและนำผลที่ได้มาใช้ใน 3 ลักษณะด้วยกันคือ

1. การตรวจจับฟอลต์ที่เกิดขึ้น
2. การหาตำแหน่งของฟอลต์ที่เกิดขึ้นว่าอยู่ที่ตำแหน่งใดบนสายส่ง
3. การระบุประเภทของฟอลต์ที่เกิดขึ้นว่าเป็นฟอลต์ที่เฟสใด

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้ได้ตั้งสมมุติฐานของการศึกษาโดยอ้างอิงจากพฤติกรรมของสัญญาณฟอลต์คือ เมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้นบนสายส่งจะมีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่ต่างๆ เกิดขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะมีความสัมพันธ์กับรูปแบบของฟอลต์โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่สูงจะมีค่าสูงขึ้นและยังสามารถให้ข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับฟอลต์ที่เกิดขึ้น โดยข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงนี้เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยเพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่สูงในหลายสเกลหรือหลายช่วงความถี่ และทำการประมวลผลโดยอ้างอิงหลักการที่ใช้กับการวิเคราะห์องค์ประกอบความถี่พื้นฐานที่มีอยู่เดิมรวมกับวิธีการที่เพิ่มเติมเข้าไป ผลที่ได้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการตรวจจับฟอลต์ การหาตำแหน่งฟอลต์ และการระบุประเภทของฟอลต์บนสายส่งต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1. ทำการศึกษารูปแบบของสัญญาณฟอลต์เมื่อนำมาผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยในสเกลที่ 1-5 เพื่อนำมาใช้สร้างขั้นตอนการวิเคราะห์ตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้

2.ทำการจำลองสัญญาณฟอลต์ด้วยโปรแกรม ATP/EMTP เพื่อศึกษารูปแบบของสัญญาณฟอลต์ที่แตกต่างกันโดยอาศัยแบบสายส่งวงจรเดี่ยวระหว่างโรงไฟฟ้าแม่เมาะถึงสถานีไฟฟ้าท่าตะโกเป็นแบบจำลองหลักที่ใช้ในการศึกษา

3.ทดสอบตัวอย่างสัญญาณฟอลต์กับขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ได้จากข้อที่ 1 ซึ่งอาศัยโปรแกรมที่สร้างขึ้นบนโปรแกรม MATLAB เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์เพื่อพิจารณาความถูกต้องของขั้นตอนที่นำเสนอ

4.ศึกษาเหตุการณ์ฟอลต์ที่เกิดจริงและนำมาทำการจำลองด้วยโปรแกรม ATP/EMTP นำสัญญาณที่ได้มาวิเคราะห์ตามขั้นตอนที่นำเสนอจากข้อ 1

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษาของวิทยานิพนธ์นี้ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. การศึกษารูปแบบของการแปลงเวฟเล็ตที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ และเวฟเล็ตแม่ที่เหมาะสมโดยอาศัยผลการศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมา

2. ทำการจำลองสัญญาณฟอลต์ที่แตกต่างกัน 200 ตัวอย่าง แล้วนำสัญญาณฟอลต์มาทำการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย เพื่อทำการพิจารณารูปแบบความเหมือนและแตกต่างของสัญญาณฟอลต์แต่ละแบบโดยอ้างอิงกับหลักการที่มีอยู่เดิม รวมถึงจำนวนสเกลและช่วงของข้อมูลที่เหมาะสมที่ควรใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ เพื่อนำมาสรุปเป็นขั้นตอนการวิเคราะห์และตัดสินใจที่จะนำเสนอต่อไป

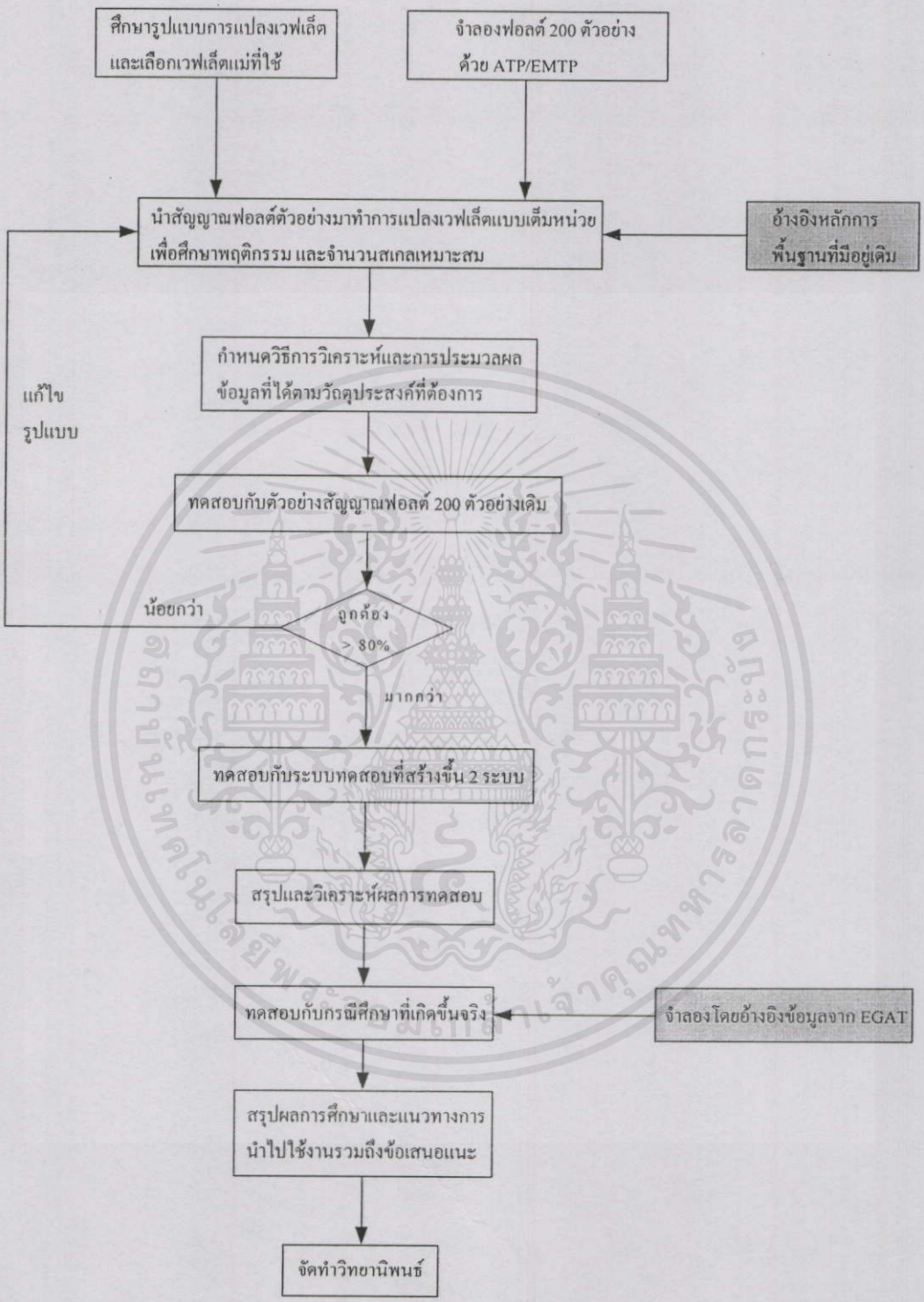
3. เมื่อได้ขั้นตอนที่เหมาะสมแล้วจึงนำมาทดสอบกับสัญญาณฟอลต์ที่ได้จากระบบทดสอบที่สร้างไว้นำผลที่ได้มาสรุปและประมวลผลความถูกต้องของขั้นตอนที่นำเสนอ

4. ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการนำวิธีการที่นำเสนอมาทดสอบกับกรณีศึกษาของเหตุการณ์ฟอลต์ที่เกิดขึ้นจริงเพื่อทดสอบความเป็นไปได้นำการนำมาใช้งานในทางปฏิบัติ

5. วิเคราะห์และสรุปผลการการทดลองและเสนอแนวทางการพัฒนาการศึกษาต่อไป

ซึ่งขั้นตอนที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถแสดงเป็นแผนภาพการทำงานได้ดังรูปที่ 1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 1.3 แสดงแผนภาพขั้นตอนการศึกษาของวิทยานิพนธ์

ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้นของการศึกษา

ในการศึกษานี้เป็นการศึกษารูปแบบของฟอลต์ที่มีสมมุติฐานว่าเป็นสัญญาณฟอลต์ที่เกิดระหว่างสายส่ง 2 บัสใดๆ ที่เกิดฟอลต์ขึ้นจริง โดยไม่พิจารณาถึงรูปแบบของสัญญาณรบกวนอื่นๆ ที่คล้ายคลึงกันเช่น ฟ้าผ่า สัญญาณฟอลต์ที่เกิดจากสายส่งเส้นอื่น และทิศทางของสัญญาณฟอลต์ที่เกิดขึ้น

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำการแปลงเวฟเล็ตไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ หรือสัญญาณในรูปแบบอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังได้

2. สามารถนำรูปแบบของการวิเคราะห์สัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ตและวิธีการประมวลผลที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้กับหลักการของระบบป้องกันแบบต่างๆ เช่น รีเลย์ป้องกันแบบดิจิตอล หรือเครื่องบันทึกฟอลต์แบบดิจิตอล เป็นต้น

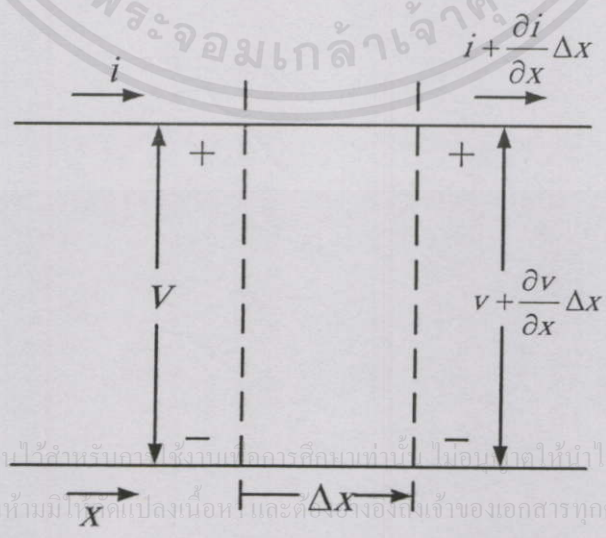
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์บนสายส่ง

ระบบป้องกันสายส่งที่ใช้ในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันหลายประเภทซึ่งได้รับการออกแบบและพัฒนามาให้เหมาะสมกับการป้องกันสายส่งที่มีความซับซ้อนมากขึ้นในปัจจุบัน แต่ส่วนใหญ่ยังคงอาศัยหลักการพื้นฐานเดิมอยู่คือ การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่พื้นฐานจากกระแสและแรงดัน โดยที่รูปแบบการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์แต่ละลักษณะนั้นจะมีหลักการและวิธีการที่แตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้งาน ในบทนี้จึงเป็นการกล่าวถึงรูปแบบการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์แบบเดิมเพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับความเข้าใจ ซึ่งก่อนที่จะกล่าวถึงหลักการทำงานนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องกล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้ในการอธิบายคลื่นเดินทางดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีของคลื่นเดินทาง (Traveling wave theory) [2]

การศึกษาเสิร์จ (Surge) บนสายส่งนั้นมีความซับซ้อนมาก ในที่นี้เราจะพิจารณาเฉพาะกรณีของสายส่งที่ไม่คิดความสูญเสียเนื่องจากเป็นแบบการศึกษาที่ดี โดยเฉพาะเมื่อความสูญเสียจากค่า ωL และ ωC มีค่ามากเมื่อเทียบกับค่า R และ G สำหรับเสิร์จฟ้าผ่า (Lighting surge) บนสายส่งนั้นเป็นการศึกษาสายส่งแบบความสูญเสียต่ำซึ่งเป็นแบบที่ง่ายต่อการศึกษาในขั้นพื้นฐาน และสามารถทำความเข้าใจในปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นโดยไม่ต้องศึกษาทฤษฎีที่มีความซับซ้อนได้ แต่ใช้การวิเคราะห์เช่นเดียวกับการพิสูจน์ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันสำหรับสายส่งแบบยาวด้วยการกระจายแบบคงที่ ซึ่งทำการวัดระยะทาง x ตามความยาวของสายส่งจากปลายด้านส่ง (sending ends) ไปยังส่วนย่อยของความยาวที่แตกต่างกัน Δx ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงแบบจำลองของส่วนย่อยของสายส่ง ณ เฟสใดๆ (v และ i เป็นฟังก์ชั่นของ x และ t)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1 แรงดัน v และกระแส i เป็นฟังก์ชั่นของทั้ง x และ t ดังนั้นต้องใช้การหาอนุพันธ์บางส่วน (partial derivative) โดยแรงดันอนุกรมที่ตกคร่อมส่วนย่อยของความยาวคือ

$$i(R\Delta x) + (L\Delta x)\frac{\partial i}{\partial t}$$

และสามารถเขียนได้เป็น

$$\frac{\partial v}{\partial x}\Delta x = -\left(Ri + L\frac{\partial i}{\partial t}\right)\Delta x \tag{2.1}$$

เครื่องหมายลบมีความจำเป็นเพราะว่าค่าของ $v + (\partial v / \partial t)\Delta x$ ต้องน้อยกว่าค่าของ v สำหรับค่าบวกของ v และ $\partial i / \partial t$ และในลักษณะเดียวกันจะได้ว่า

$$\frac{\partial i}{\partial x}\Delta x = -\left(Gv + C\frac{\partial v}{\partial t}\right)\Delta x \tag{2.2}$$

เมื่อหารสมการที่ 2.1 และ 2.2 ด้วย Δx โดยสมมุติว่าเป็นสายส่งที่มีความสูญเสียต่ำจึงกำหนดให้ค่า R และ G จึงมีค่าเท่ากับศูนย์ดังนั้นสมการที่ 2.1 และ 2.2 จึงมีค่าเป็น

$$\frac{\partial v}{\partial x} = -L\frac{\partial i}{\partial t} \tag{2.3}$$

และ

$$\frac{\partial i}{\partial x} = -C\frac{\partial v}{\partial t} \tag{2.4}$$

ในตอนนี้สามารถกำจัดเทอมของ i ด้วยการหาอนุพันธ์บางส่วนทั้ง 2 เทอมในสมการที่ 2.3 ด้วยตัวแปร x และสมการที่ 2.4 ด้วยตัวแปร t ดังนี้

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = -L\frac{\partial^2 i}{\partial x \partial t} \tag{2.5}$$

และ

$$\frac{\partial^2 i}{\partial x \partial t} = -C\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \tag{2.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากขั้นตอนนี้จะได้เทอมของ $\partial^2 i / \partial x \partial t$ ซึ่งมีอยู่ทั้ง 2 ข้างของสมการจะถูกกำจัดออก ดังนั้นจะได้สมการใหม่เป็น

$$\frac{1}{LC}\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \tag{2.7}$$

ซึ่งสมการที่ 2.7 นั้นเรียกว่า " สมการคลื่นเดินทางของสายส่งแบบความสูญเสียต่ำ " ผลลัพธ์ของสมการจะเป็นฟังก์ชั่นของ $x - vt$ และนิพจน์ของแรงดันดังเทอมต่อไปนี้

$$v = f(x - vt) \tag{2.8}$$

ซึ่งฟังก์ชั่นนี้ไม่ได้มีการอธิบายความหมายแต่ต้องมีค่าเดียว โดยที่ค่าคงที่ v ต้องมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที ถ้า x มีหน่วยเป็นเมตรและเวลา t มีหน่วยเป็นวินาที เราสามารถพิสูจน์คำตอบของสมการนี้ได้โดยแทนที่อนุพันธ์บางส่วนลำดับสองของ v ลงในสมการที่ 2.7 ในการหาค่า v ในขั้นแรกนั้นต้องทำการเปลี่ยนตัวแปรซึ่งจะได้

$$u = x - vt \tag{2.9}$$

และเขียนได้เป็น

$$v(x,t) = f(u) \tag{2.10}$$

แล้ว

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial f(u)}{\partial u}\frac{\partial u}{\partial t}$$

$$= -v\frac{\partial f(u)}{\partial u} \tag{2.11}$$

และ

$$\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = v^2\frac{\partial^2 f(u)}{\partial u^2} \tag{2.12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในลักษณะเดียวกันจะได้ว่า

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 f(u)}{\partial u^2} \tag{2.13}$$

แทนค่าอนุพันธ์บางส่วนอันดับ 2 ของ v ในสมการที่ 2.7 ซึ่งจะได้

$$\frac{1}{LC}\frac{\partial^2 f(u)}{\partial u^2} = v^2 \frac{\partial^2 f(u)}{\partial u^2} \tag{2.14}$$

และเมื่อพิจารณาจะพบว่าสมการที่ 2.8 เป็นคำตอบของสมการที่ 2.7 ถ้า

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \tag{2.15}$$

เทอมของแรงดันในสมการที่ 2.8 คือคลื่นเดินทางในทิศทาง x บวก จากรูปที่ 2.2 แสดงฟังก์ชั่นของ $x - vt$ ซึ่งคล้ายกับรูปร่างของคลื่นแรงดันคงที่ เดินทางตามความยาวสายส่งซึ่งเกิดจากฟ้าผ่า โดยฟังก์ชั่นนี้แสดงค่า 2 ค่าของเวลาคือ t_1 และ t_2 ซึ่ง $t_2 > t_1$ เมื่อผู้สังเกตเดินไปกับคลื่นและอยู่ ณ ตำแหน่งเดิมบนคลื่นนั้น ซึ่งพบว่ารูปร่างของคลื่นแรงดันที่เดินทางนี้จะยังคงรูปร่างเหมือนเดิมตามสมการที่ 2.16

$$x - vt = \text{a constant} \tag{2.16}$$

จากจุดนี้จะเป็นไปตามสมการที่ 2.17 คือ

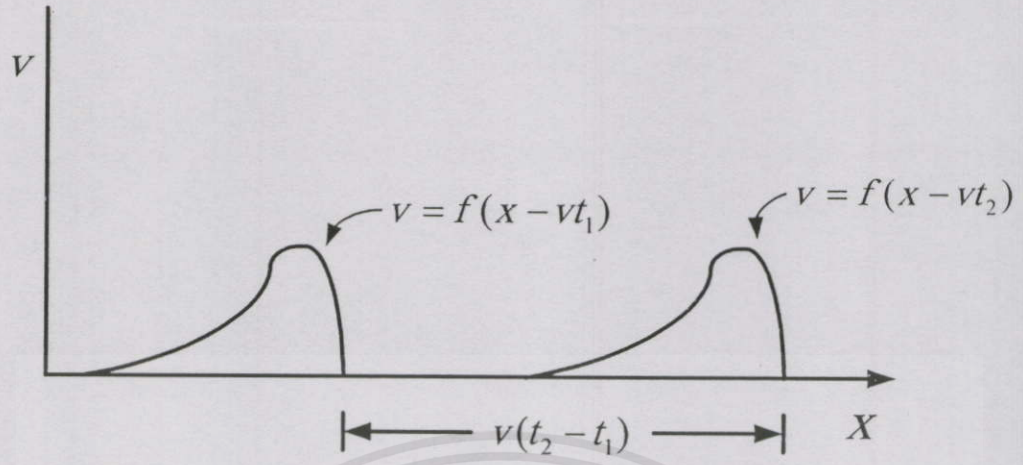
$$\frac{dx}{dt} = v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{m/s} \tag{2.17}$$

เมื่อ L และ C มีหน่วยเป็น เฮนรี่ต่อเมตร (H/m) และฟารัดต่อเมตร (F/m) ตามลำดับดังนั้นคลื่นของแรงดันที่เดินทางในทิศทางบวก x ด้วยความเร็ว v

ฟังก์ชั่นของ $x + vt$ สามารถแสดงเป็นคำตอบของสมการที่ 2.8 และด้วยเหตุผลเดียวกันนี้สามารถแปลงคลื่นเดินทางในทิศทางลบ x โดยมีสมการคำตอบทั่วไป เป็น

$$v = f_1(x - vt) + f_2(x + vt) \tag{2.18}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงคลื่นของแรงดันซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของ $x - vt$ ที่เวลา t_1 และ t_2 [2]

ซึ่งสมการคำตอบนี้เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นพร้อมกันทั้งส่วนที่เดินทางไปด้านหน้า และส่วนที่เดินทางไปด้านหลังบนสายส่ง โดยกำหนดค่าเริ่มต้นและค่าขอบเขตเฉพาะสำหรับส่วนประกอบแต่ละส่วนไว้ ถ้าเราแสดงคลื่นที่เคลื่อนไปข้างหน้า (Forward traveling wave) ซึ่งเรียกว่า คลื่น อินซิเดนซ์ (incident) ดังสมการที่ 2.19

$$v^+ = f_1(x - vt) \tag{2.19}$$

คลื่นที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลจากการเคลื่อนที่ของประจุและสามารถนิยามได้เป็น

$$i^+ = \frac{1}{\sqrt{L/C}} f_1(x - vt) \tag{2.20}$$

สามารถพิสูจน์ได้โดยแทนที่ค่าของกระแสและแรงดันในสมการที่ 2.3 โดยให้ v เท่ากับ $1/\sqrt{LC}$ ในลักษณะเดียวกันคลื่นที่เคลื่อนไปข้างหลัง (Backward traveling wave) ของแรงดันจะมีสมการดังนี้

$$v^- = f_2(x + vt) \tag{2.21}$$

และลักษณะของกระแส คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i^- = -\frac{1}{\sqrt{L/C}} f_2(x + vt) \tag{2.22}$$

จากสมการที่ 2.19 และ 2.20 จะได้ว่า

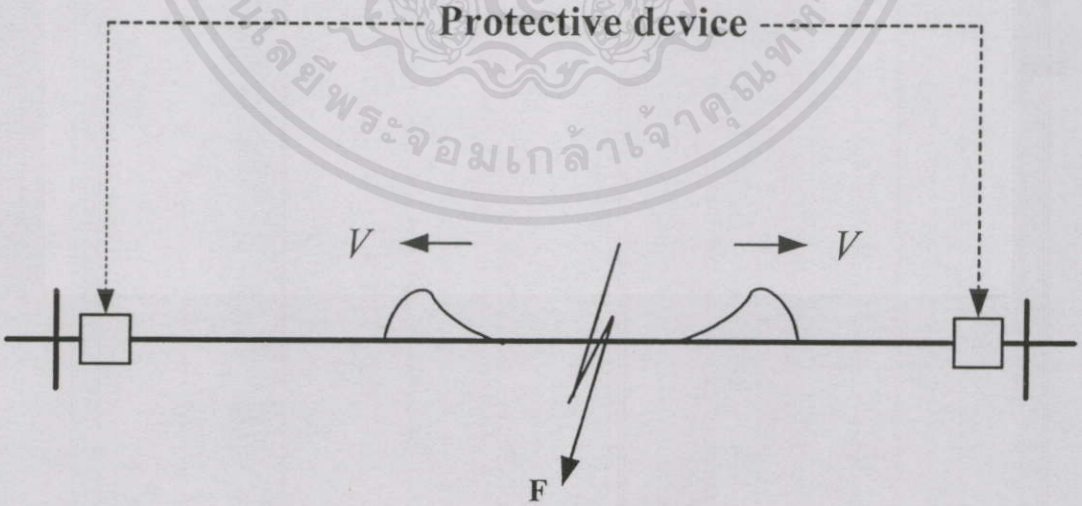
$$\frac{v^+}{i^+} = \sqrt{\frac{L}{C}} \tag{2.23}$$

และจากสมการที่ 2.21 และ 2.22 จะได้

$$\frac{v^-}{i^-} = -\sqrt{\frac{L}{C}} \tag{2.24}$$

ถ้าสมมติให้กระแสทิศทางบวกของ i^- อยู่ในทิศทาง การเคลื่อนที่ของคลื่นเดินทางถอยหลัง (back-ward) แล้วเครื่องหมายลบจะเปลี่ยนเป็นเครื่องหมายบวกในสมการที่ 2.22 และ 2.24 เพื่อเลือกที่จะรักษาทิศทางตำแหน่ง x ให้เป็นกระแสบวกทั้งคลื่นที่เคลื่อนไปข้างหน้า (Forward moving wave) และเคลื่อนที่ถอยหลัง (Backward moving wave)

อัตราส่วนของ v^+ และ i^+ เราเรียกว่า อิมพิแดนซ์คุณลักษณะของสายส่ง (Characteristic Impedance : Z_c) เมื่อ R และ G มีค่าเป็นศูนย์ จากหลักการของคลื่นเดินทางนี้สามารถนำมาใช้ในการอธิบายลักษณะของสัญญาณฟอลต์ได้ดังนี้ คือ เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้น ณ จุดใดๆ บนสายส่งจะมีสัญญาณฟอลต์เดินทางจากจุดที่เกิดฟอลต์ไปยังปลายทั้ง 2 ด้านของสายส่งด้วยความเร็วซึ่งถูกกำหนดด้วยสมการที่ 2.17 ซึ่งสามารถนำปรากฏการณ์นี้มาใช้ประโยชน์กับการหลักการของอุปกรณ์ป้องกันสายส่งโดยเฉพาะส่วนที่ทำการวิเคราะห์สัญญาณ



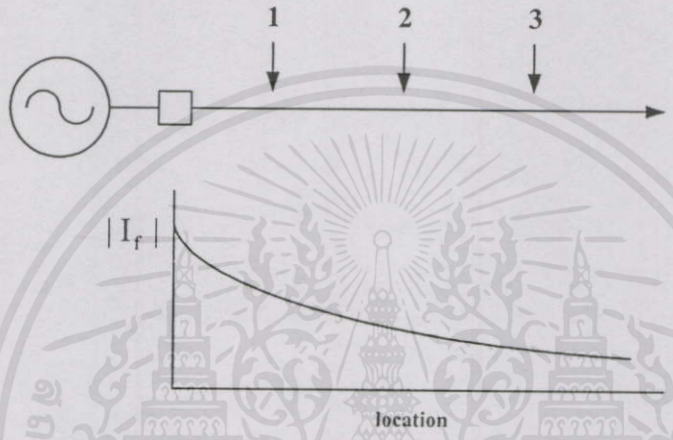
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของคลื่นเดินทางในสภาวะที่เกิดฟอลต์บนสายส่ง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

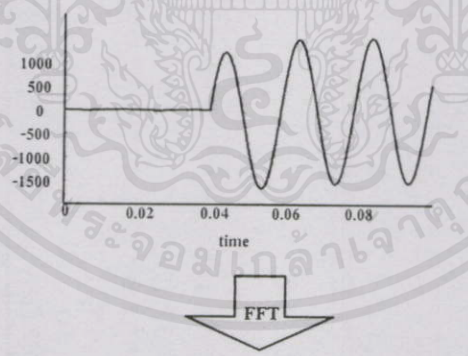
2.2 การประยุกต์ผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์กับระบบป้องกันสายส่ง

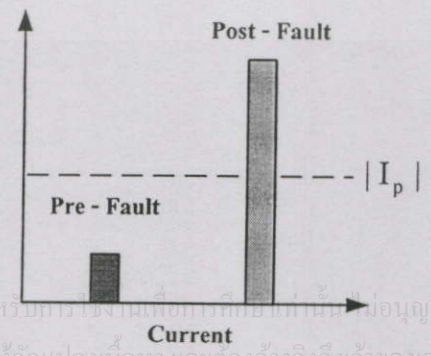
2.2.1 การป้องกันแบบกระแสเกิน (Over current protection) [2]

เป็นระบบการป้องกันพื้นฐานโดยอาศัยหลักการทำงานคือการตรวจวัดกระแสฟอลต์ที่ 50 หรือ 60 เฮิร์ต ที่ปรากฏบนสายส่งในสภาวะที่มีฟอลต์เกิดขึ้น ซึ่งกระแสฟอลต์นี้จะมีขนาดที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับประเภทของฟอลต์ จำนวนเครื่องกำเนิดที่มีอยู่ในระบบ และตำแหน่งที่เกิดฟอลต์เมื่อวัดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงขนาดของกระแสฟอลต์ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่แตกต่างกัน



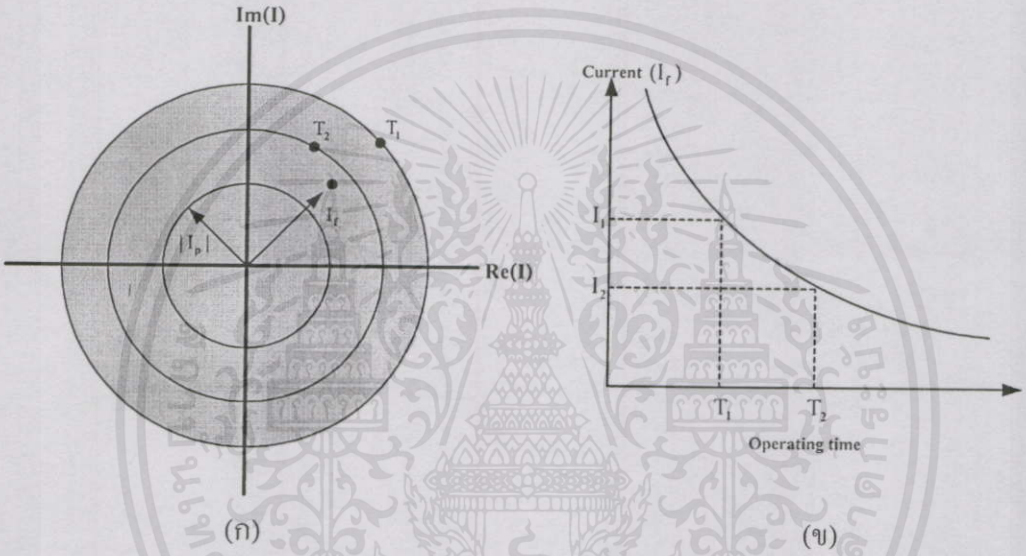


รูปที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบกระแสฟอลต์ด้วยการแปลงฟูเรียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในระบบการป้องกันแบบกระแสเกินจะอาศัยการเปรียบเทียบขนาดของกระแสที่วัดได้ ($|I_f|$) จากหม้อแปลงกระแส(CT) กับค่ากระแสที่กำหนดเป็นเกณฑ์ ($|I_p|$) ซึ่งรีเลย์ที่ทำหน้าที่ในการวิเคราะห์ในรูปแบบนี้คือ รีเลย์กระแสเกิน (Over current relay) โดยมีฟังก์ชั่นการทำงานดังนี้คือ ถ้ากระแสที่วัดได้มีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ให้รีเลย์จะสั่งปลดวงจร แต่ถ้ากระแสที่วัดได้มีค่าน้อยกว่ารีเลย์จะไม่ทำงานดังแสดงในสมการที่ 2.25 และรูปที่ 2.6 (ก)

$$\begin{aligned} |I_f| > |I_p| \quad & \text{trip} \\ |I_f| < |I_p| \quad & \text{block} \end{aligned} \tag{2.25}$$



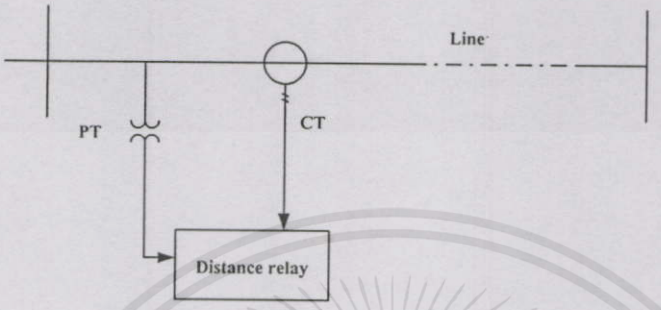
รูปที่ 2.6 แสดงระนาบเชิงซ้อนของกระแสฟอลต์และกราฟเวลาการทำงานของรีเลย์กระแสเกิน

เนื่องมาจากขนาดที่แตกต่างกันของกระแสฟอลต์จำเป็นให้ต้องมีการกำหนดความเร็วในการทำงานของรีเลย์กระแสเกินซึ่งจะแปรผกผันกับขนาดของกระแสคือ กระแสฟอลต์มากแสดงว่าฟอลต์มีความรุนแรงมากและอยู่ใกล้จุดที่ติดตั้งรีเลย์มากกว่าจึงต้องมีการทำงานที่รวดเร็วกว่า ในขณะที่กระแสฟอลต์ที่ต่ำลงมาแสดงว่าฟอลต์มีความรุนแรงต่ำกว่าและอยู่ไกลออกไปจะมีการทำงานที่ช้ากว่า ซึ่งเวลาในการทำงานนี้ผู้ใช้จะต้องกำหนด(setting) ให้รีเลย์ ตามรูปที่ 2.6 (ข) นอกจากนี้ยังมีการพัฒนารีเลย์กระแสเกินให้สามารถพิจารณาถึงทิศทางของฟอลต์ได้อีกด้วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ดีขึ้น ในทางปฏิบัติรีเลย์กระแสเกินนี้นิยมใช้กับการป้องกันสายส่งวงจรย่อย (Subtransmision line) และสายป้อน(Feeder) เป็นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การป้องกันแบบระยะทาง (Distance protection)

การทำงานของรีเลย์ชนิดนี้อาศัยการตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของอิมพิแดนซ์ของสายส่ง โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่พื้นฐาน (50/60 Hz) จากกระแสและแรงดันด้วยการแปลงฟูเรียร์ตามหลักการของคลื่นเดินทาง ณ ตำแหน่งที่ติดตั้งรีเลย์ซึ่งปกติจะอยู่ที่ปลายของสายส่งดังแสดงในรูปที่ 2.7



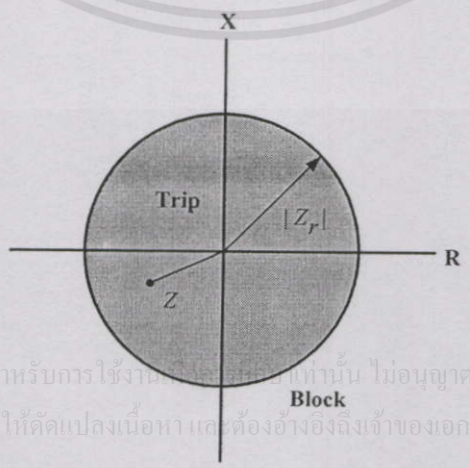
รูปที่ 2.7 แสดงการติดตั้งรีเลย์ระยะทาง (Distance relay)

ซึ่งค่าอิมพิแดนซ์ของสายส่งนั้นได้มาจากอัตราส่วนระหว่างแรงดันและกระแสดังสมการที่ 2.26

$$Z = \frac{V}{I} \tag{2.26}$$

ขั้นตอนในการตัดสินใจของรีเลย์จะใช้การเปรียบเทียบค่าอิมพิแดนซ์ที่รีเลย์ตอบสนองเทียบกับค่าที่กำหนดไว้ (Z_r) ตามเงื่อนไขต่อไปนี้ [2,3]

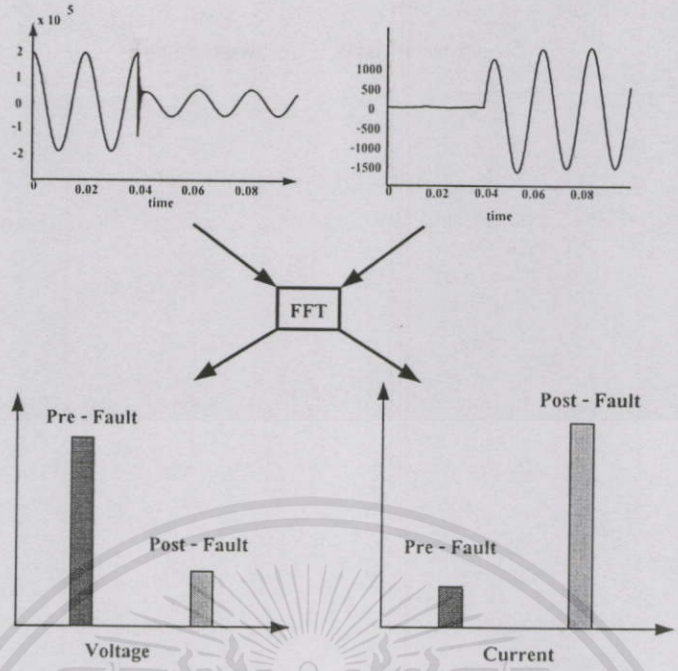
$$\begin{aligned} |Z_r| > |Z| \quad & \text{trip} \\ |Z_r| < |Z| \quad & \text{block} \end{aligned} \tag{2.27}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.8 แสดงระนาบเชิงซ้อน (Complex plane) การทำงานของรีเลย์ระยะทาง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.9 แสดงการวิเคราะห์แรงดันและกระแสด้วยการแปลงฟูเรียร์ในสภาวะที่เกิดฟอลต์

และจากการเปรียบเทียบค่าอิมพิแดนซ์นี้เองทำให้บางครั้งจะเรียกรีเลย์รูปแบบนี้ว่า อิมพิแดนซ์ รีเลย์ และถ้าพิจารณาในระนาบเชิงซ้อนทางเดินของโลกัส (locus) จะมีลักษณะเป็นวงกลมมีรัศมี $|Z_r|$ ดังรูปที่ 2.8 ค่าอิมพิแดนซ์ที่หาได้จากสมการที่ 2.26 ซึ่งจะเป็นอัตราส่วนของแรงดันและกระแสที่พิจารณาจากรีเลย์ ณ ตำแหน่งที่ติดตั้งในรูปที่ 2.7 ในสภาวะปกตินั้นรีเลย์จะมองค่าอิมพิแดนซ์ของสายส่งอยู่นอกวงกลมรัศมี $|Z_r|$ ดังนั้นจะไม่มีการสั่งให้เบรคเกอร์ปลดวงจร แต่ในสภาวะที่เกิดความผิดปกติขึ้นนั้นค่าของแรงดันจะลดลงในขณะที่ค่าของกระแสเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.9 ถ้าพิจารณาจากสมการที่ 2.26 พบว่าค่าอิมพิแดนซ์จะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับสภาวะปกติตามรูปที่ 2.5 และถ้าค่าอิมพิแดนซ์ลดต่ำลงมากกว่ารัศมี $|Z_r|$ รีเลย์ก็จะเริ่มทำงานตามที่ได้กำหนดไว้ (โหลดของรีเลย์ คือ อิมพิแดนซ์ของสายส่ง) ซึ่งอาศัยการเปลี่ยนแปลงของอิมพิแดนซ์ที่เกิดขึ้นนี้เพื่อใช้สำหรับการตรวจจับว่ามีฟอลต์เกิดขึ้นหรือไม่

และผลการลดลงของอิมพิแดนซ์นี้สามารถนำมาเปรียบเทียบกับค่าอิมพิแดนซ์ในสภาวะปกติและค่าอิมพิแดนซ์ต่อหน่วยความยาวก็สามารถที่จะคำนวณหาระยะทางหรือตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ได้ดังสมการที่ 2.29

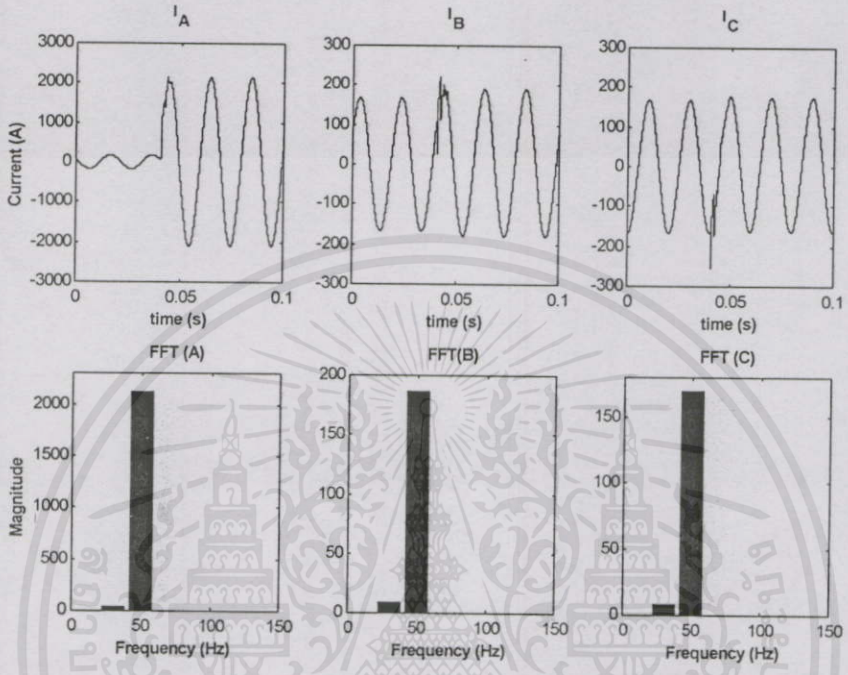
$$Location = \frac{Z}{m} = \frac{V}{mI} \qquad (2.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ m คือค่าอิมพิแดนซ์ต่อหน่วยความยาว (ohm/km)

43285

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



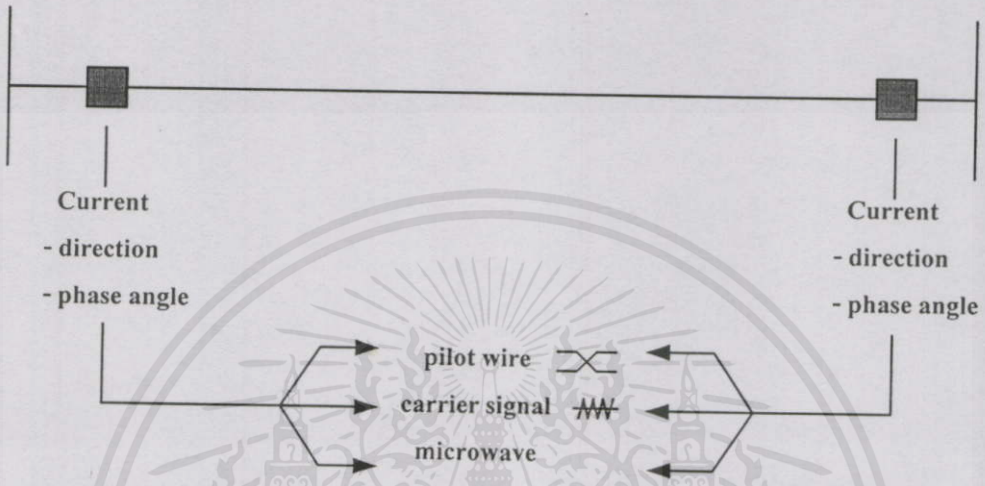
รูปที่ 2.10 แสดงการแปลงฟูเรียร์ของกระแสแต่ละเฟสในกรณีฟอลต์ที่เฟส A

2.2.3 การป้องกันแบบใช้ระบบสื่อสาร (Pilot protection) [3]

เนื่องจากการใช้รีเลย์ระยะทางนั้นพบปัญหาด้านการตอบสนองที่ล้าช้า โดยเฉพาะในกรณีที่สายส่งมีความยาวมากหรือจุดที่เกิดฟอลต์อยู่ใกล้ปลายสายส่งมากๆ ซึ่งจะส่งผลให้รีเลย์ตัวที่อยู่ไกลจุดที่เกิดฟอลต์มีการตอบสนองที่ค่อนข้างช้ากว่าเมื่อเทียบกับรีเลย์ตัวที่อยู่ใกล้จุดที่เกิดฟอลต์ ในทางปฏิบัติเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในสายส่งวงจรใดๆ ก็ตามรีเลย์ที่ปลายทั้ง 2 ด้านควรที่จะทำการตอบสนองอย่างรวดเร็วเพื่อกำจัดฟอลต์ที่เกิดขึ้นออกจากระบบ ดังนั้นในระบบการป้องกันสายส่งแรงสูงแบบใหม่จึงมีการนำระบบสื่อสารมาใช้เชื่อมโยงข้อมูลของปลายสายส่งทั้ง 2 ด้านเข้าด้วยกัน ซึ่งระบบที่ใช้กันอยู่มีด้วยกันหลายประเภทเช่น ระบบรีเลย์สื่อสาร(Pilot relay) ระบบป้องกันแบบคลื่นพาหะ (Carrier protection) ระบบสัญญาณไมโครเวฟ เป็นต้น โดยที่แต่ละแบบจะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปทำให้การนำไปใช้งานต้องพิจารณาความเหมาะสมทางด้านเทคนิคและราคาเป็นหลัก

จุดประสงค์ของการนำระบบสื่อสารเข้ามาใช้งานในระบบป้องกันสายส่งคือ การเชื่อมโยงข้อมูลของปลายสายส่งแต่ละด้านเพื่อให้ทราบว่าในสภาวะที่มีฟอลต์เกิดขึ้นนั้นเกิดขึ้นในช่วงใด ถ้าฟอลต์เกิดขึ้นในช่วง (Internal fault) ที่ทำการพิจารณาก็จะสั่งปลดวงจรเพื่อกำจัดฟอลต์ไม่ว่าจะ

เกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งใด แต่ถ้าเกิดฟอลต์อยู่นอกช่วง(External fault) ที่พิจารณาก็สั่งบล็อคไม่ให้มีการปลดวงจร ซึ่งการระบุว่าเกิดฟอลต์ในช่วงที่พิจารณาหรือไม่นั้นทำได้โดยการเปรียบเทียบทิศทาง (Direction comparison) การไหลของกระแสฟอลต์ที่ปลายทั้ง 2 ด้าน หรือการเปรียบเทียบมุมเฟส (Phase comparison) ของกระแสฟอลต์ที่ปลายทั้ง 2 ด้าน โดยข้อมูลทั้งหมดจะเชื่อมโยงผ่านระบบสื่อสารที่กล่าวมาแล้ว



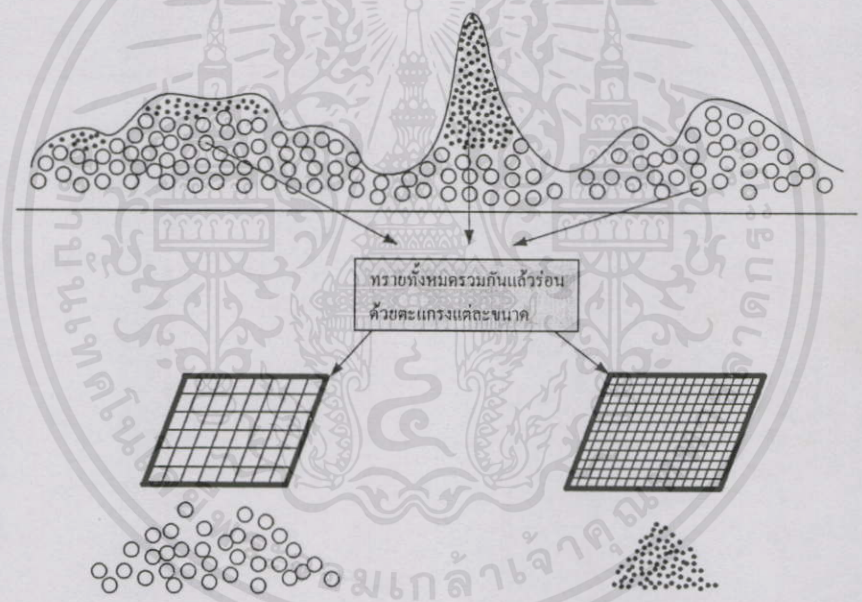
รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของการป้องกันโดยใช้ระบบสื่อสาร

จากรูปแบบของการวิเคราะห์สัญญาณบนพื้นฐานของรีเลย์ป้องกันแบบเดิมนั้นพบว่าเป็นการวิเคราะห์เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของนำองค์สัญญาณองค์ประกอบความถี่พื้นฐานมาใช้งานเป็นหลัก รวมถึงการนำระบบสื่อสารเข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความเร็วในการตอบสนองของการวิเคราะห์ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาสัญญาณฟอลต์พบว่านอกจากจะมีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่พื้นฐานแล้วยังมีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่ที่สูงกว่ารวมอยู่และยังให้ข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับฟอลต์อีกด้วย ซึ่งถ้าสามารถนำการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่สูงที่เกิดขึ้นมาพิจารณาโดยอ้างอิงกับหลักการของการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่พื้นฐานร่วมกับการนำหลักการระบบสื่อสารเข้ามาเชื่อมโยงข้อมูลก็สามารถนำข้อมูลนั้นมาใช้ประโยชน์ต่อไปได้ และจากลักษณะของสัญญาณองค์ประกอบความถี่สูงที่มีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วจึงสามารถที่จะทำให้ลดช่วงของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้ โดยจะช่วยลดเวลาในการวิเคราะห์และตัดสินใจซึ่งสามารถนำไปสู่การพัฒนารีเลย์ในรูปแบบใหม่ได้ในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การแปลงเวฟเล็ต

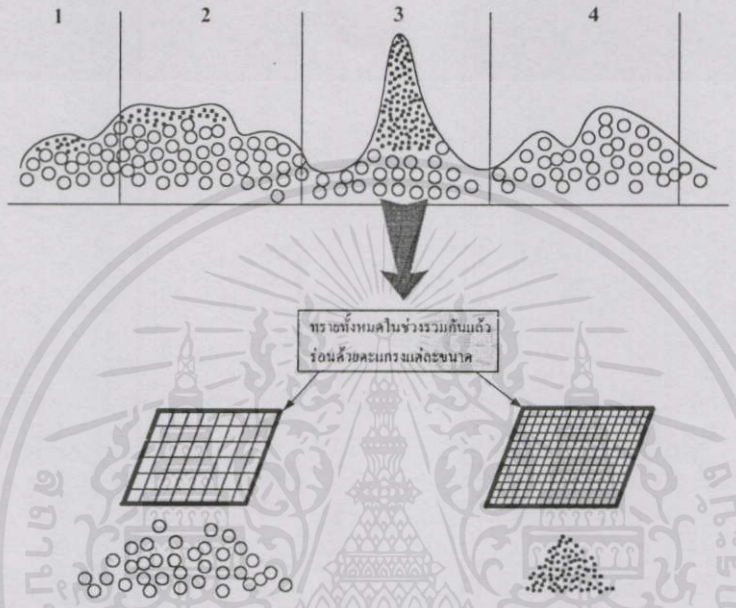
เพื่ออธิบายทฤษฎีของการแปลงเวฟเล็ตให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจและเป็นแนวทางสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานจึงทำการยกตัวอย่างของการแยกขนาดเม็ดทรายดังต่อไปนี้ เมื่อพิจารณากองทรายกองหนึ่งซึ่งสมมุติให้มีเม็ดทรายขนาดเล็กและใหญ่ปนกัน โดยกำหนดให้ทรายที่มีขนาดใหญ่อยู่ด้านล่างส่วนทรายที่มีขนาดเล็กอยู่ด้านบน และมีการกระจายตัวของทรายแต่ละขนาดตามความยาวของกองทรายตามรูปที่ 3.1 เมื่อต้องการแยกทรายแต่ละขนาดออกจากกันวิธีทั่วไปสามารถทำได้โดยนำทรายทั้งหมดมารวมกันและใช้ตะแกรงหลายๆ ขนาดร่อนแยกทรายแต่ละขนาดออกมาซึ่งปริมาณทรายแต่ละขนาดนั้นจะเป็นค่าที่บอกว่ากองทรายตลอดช่วงความยาวทั้งหมดมีทรายขนาดนั้นอยู่มากน้อยเพียงใด



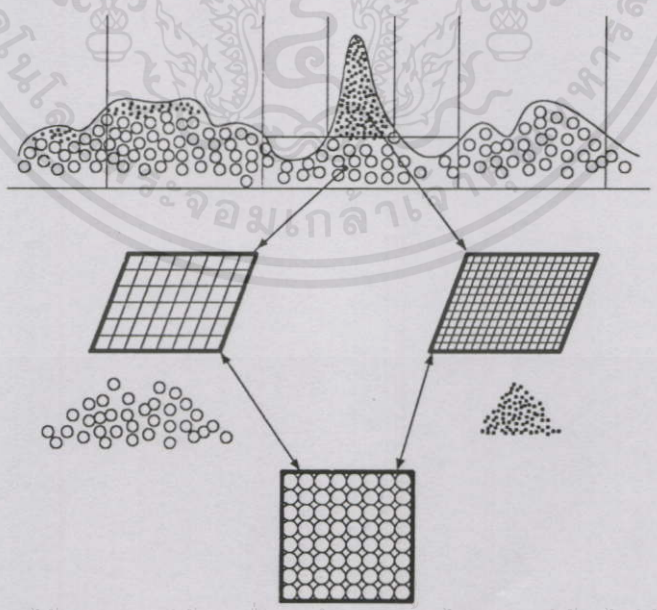
รูปที่ 3.1 แสดงการแยกขนาดเม็ดทรายโดยใช้การรวมทรายทุกขนาดเข้าด้วยกัน

สิ่งหนึ่งที่ขาดหายไปคือไม่สามารถทราบได้เลยว่าแต่ละช่วงของกองทรายนั้นมีทรายแต่ละขนาดอยู่มากน้อยเพียงใด ทางแก้ไขที่ช่วยลดข้อบกพร่องดังกล่าวคือการแบ่งกองทรายนี้ออกเป็นช่วงๆ ตามความยาวดังรูปที่ 3.2 แล้วทำการร่อนทรายในแต่ละช่วงออกมา ซึ่งจะทำให้ทราบว่าแต่ละช่วงหรือตำแหน่งของกองทรายมีปริมาณทรายแต่ละขนาดอยู่เท่าใดบ้าง และเมื่อพิจารณาในช่วงที่ 3 ซึ่งมีทรายขนาดเล็กอยู่เพียงช่วงสั้นๆ แต่การแบ่งช่วงที่กว้างนั้นทำให้ผลการร่อนทรายที่ได้บอกว่ามีทรายขนาดเล็กอยู่ตลอดช่วงที่ 3 ซึ่งไม่ถูกต้องนัก ดังนั้นเพื่อให้สามารถทราบปริมาณทรายแต่ละขนาดในแต่ละ

ตำแหน่งที่ถูกต้องควรมีการแบ่งช่วงของกองทรายให้มีความกว้างที่แตกต่างกันคือช่วงที่แคบสำหรับการร่อนทรายขนาดเล็กและช่วงที่กว้างสำหรับการร่อนทรายขนาดที่ใหญ่ขึ้นดังรูปที่ 3.3 และการร่อนจะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นถ้าสามารถเลือกรูปแบบของตะแกรงที่เหมาะสมกับเม็ดทรายที่จะนำมาร่อนเช่น ถ้าเม็ดทรายเป็นทรงกลมก็ควรใช้ตะแกรงที่มีตาเป็นวงกลม หรือถ้าเม็ดทรายเป็นทรงสี่เหลี่ยมก็ควรใช้ตะแกรงที่มีตาเป็นตารางสี่เหลี่ยม เป็นต้น



รูปที่ 3.2 แสดงการแยกทรายโดยแบ่งออกเป็นช่วงๆ ตามความยาว



รูปที่ 3.3 แสดงการแยกทรายโดยโดยแบ่งช่วงที่แตกต่างกันตามขนาดของเม็ดทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างการแยกเม็ดทรายที่กล่าวมาแล้วในขั้นต้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบลักษณะของกองทรายกับลักษณะของสัญญาณทรานเซี้ยนต์เช่น สัญญาณฟอลต์พบว่ามีลักษณะที่คล้ายคลึงกันคือ กองทรายมีเม็ดทรายที่มีหลายขนาดและกระจายออกไปตัวตามแนวยาวในปริมาณที่แตกต่างกัน ในขณะที่สัญญาณทรานเซี้ยนต์จะมีองค์ประกอบของความถี่ที่แตกต่างกันรวมอยู่ด้วยกันและกระจายกันอยู่ในขนาดที่ไม่เท่ากันตามแกนเวลา ดังนั้นถ้าสามารถนำรูปแบบของการแยกทรายตามรูปที่ 3.3 มาประยุกต์ใช้กับการแยกองค์ประกอบของสัญญาณในแต่ละความถี่ของสัญญาณทรานเซี้ยนต์ออกจากกัน รวมทั้งการเลือกฟังก์ชั่นสำหรับการวิเคราะห์ที่เหมาะสมก็จะทำให้ผลการวิเคราะห์ของแตกละความถี่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการศึกษากระบวนการประมวลผลสัญญาณที่มีลักษณะการวิเคราะห์ตามรูปแบบที่ได้กล่าวมาเพื่อที่จะนำมาใช้วิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ ซึ่งพบว่าการแปลงเวฟเล็ตเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานโดยมีรายละเอียดทางทฤษฎีดังต่อไปนี้

3.1 ทฤษฎีพื้นฐานของการแปลงเวฟเล็ต

การแปลงเวฟเล็ตเป็นรูปแบบหนึ่งของกระบวนการประมวลผลสัญญาณ (Signal processing) ที่ได้มีการพัฒนามาจากการแปลงสัญญาณพื้นฐานที่มีอยู่เดิม แต่ได้พัฒนารูปแบบให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานเฉพาะทางมากยิ่งขึ้น ในหัวข้อจะนี้เป็นการอธิบายความหมายและความแตกต่างของการแปลงเวฟเล็ตกับการแปลงสัญญาณในแบบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจและนำไปใช้งานต่อไป

3.1.1 การแปลงฟูเรียร์ (Fourier transform : FT)

เป็นรูปแบบการวิเคราะห์สัญญาณที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเป็นการแปลงสัญญาณจากโดเมนเวลา(Time-domain) ไปเป็นโดเมนความถี่(Frequency-domain) หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าเป็นการหาสเปกตรัม(Spectrum) ของสัญญาณนั้นเอง บางครั้งสามารถกล่าวได้ว่าเป็นการวิเคราะห์สัญญาณโดยอาศัยฟังก์ชั่นพื้นฐาน (basic function) ในรูปของฟังก์ชั่นเอกซ์โพเนนเชียล ผลการวิเคราะห์จะออกมาในรูปของการแตกองค์ประกอบของสัญญาณใดๆ ให้อยู่ในรูปของฟังก์ชั่นโคไซน์และไซน์ที่มีขนาดและความถี่ที่แตกต่างกันตลอดย่านความถี่ $-\infty$ ถึง ∞ ดังแสดงในสมการที่ 3.1 [4]

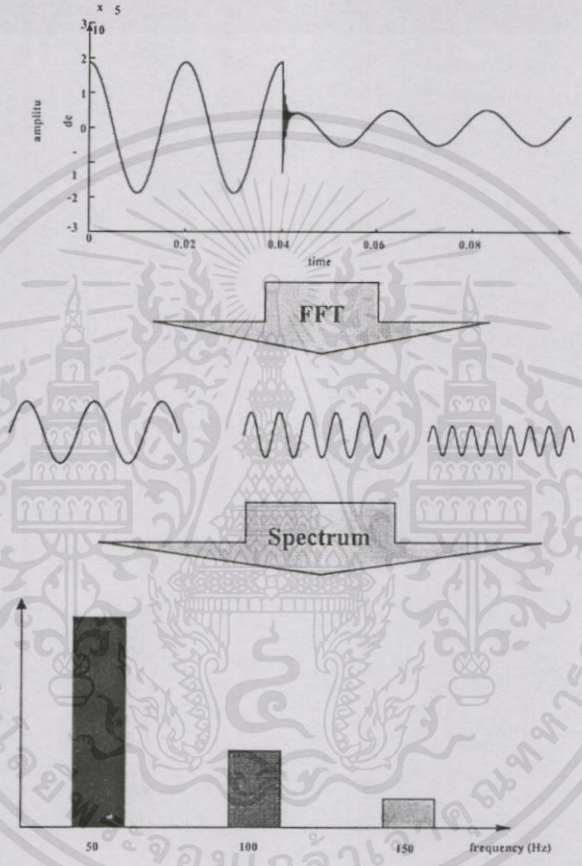
$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t}\, dt \qquad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีสมการในเทอมของการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสุ่ม (sampling data) ที่เรียกว่า การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform : FFT) ดังสมการที่ 3.2 [4]

$$F(n) = \sum_{k=0}^{N-1} f(k) \cdot e^{-\left(\frac{j2\pi kn}{N}\right)} \tag{3.2}$$

เมื่อ n= 1,2,….N



รูปที่ 3.4 แสดงการแปลงฟูเรียร์ (FFT)

ผลการวิเคราะห์สัญญาณด้วยการแปลงฟูเรียร์ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 3.4 (เทียบได้กันการร่อนทรายรูปที่3.1) ซึ่งการวิเคราะห์ด้วยการแปลงฟูเรียร์จะมีแม่นยำด้านความถี่ และเหมาะสมในการวิเคราะห์สัญญาณที่มีลักษณะเป็นคาบเวลาที่แน่นอน (Stationary signal) แต่ข้อจำกัดของการแปลงฟูเรียร์คือ ในกรณีที่สัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงไม่คงที่(Non –stationary signal) เช่น สัญญาณทรานเซี้ยนต์รูปแบบต่างๆ การวิเคราะห์ด้วยการแปลงฟูเรียร์จะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นรวมทั้งข้อมูลทางด้านเวลาที่ขาดหายไป ซึ่งข้อมูลทางด้านเวลาเป็นสิ่งที่สำคัญมากในการวิเคราะห์สัญญาณในลักษณะทรานเซี้ยนต์

3.1.2 การแปลงกาบอร์ (Gabor Transform : GT)

เป็นการแปลงสัญญาณที่ได้พัฒนาขึ้นเป็นแบบแรกเพื่อแก้ปัญหาของการแปลงฟูเรียร์ โดยทำการแปลงฟูเรียร์เฉพาะช่วงเวลาและช่วงความถี่ที่กำหนดผ่านฟังก์ชั่นหน้าต่าง (Windows function) ซึ่งจะเป็นลักษณะของฟังก์ชั่นแบบเกาส์เซียน (Gaussian function) ซึ่งแสดงอยู่ในสมการที่ 3.3 [5]

$$g_a(t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi a}} e^{\frac{-t^2}{4a}} \tag{3.3}$$

ซึ่งมีสมการการแปลงกาบอร์ดังนี้ [5]

$$(G_b^a f)(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j\omega t} f(t) g_a(t-b) dt \tag{3.4}$$

จากสมการที่ 3.4 เป็นสมการของการแปลงกาบอร์จะเห็นได้ว่าการแปลงในรูปแบบนี้สามารถเลือกตำแหน่งในการวิเคราะห์ได้โดยการกำหนดพารามิเตอร์ b ซึ่งจะให้ผลของข้อมูลทางเวลา และเลือกช่วงความถี่ด้วยพารามิเตอร์ a แต่เนื่องจากการแปลงกาบอร์ให้ฟังก์ชั่นหน้าต่างแบบเดียว จึงอาจจะไม่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานในการวิเคราะห์สัญญาณในทุกรูปแบบได้

3.1.3 การแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้น (Short – Time Fourier Transform : STFT)

จากข้อจำกัดของการแปลงฟูเรียร์และการแปลงกาบอร์ จึงมีการพัฒนารูปแบบการวิเคราะห์สัญญาณมาสู่การแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้น ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่ใช้ฟังก์ชั่นหน้าต่างเหมือนการแปลงกาบอร์ แต่สามารถเลือกฟังก์ชั่นหน้าต่างที่ใช้ได้จึงทำให้มีความยืดหยุ่นในการวิเคราะห์สัญญาณมากยิ่งขึ้น สมการการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้นสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.5 [6]

$$STFT(f,\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) w(t-\tau) e^{-j2\pi ft} dt \tag{3.5}$$

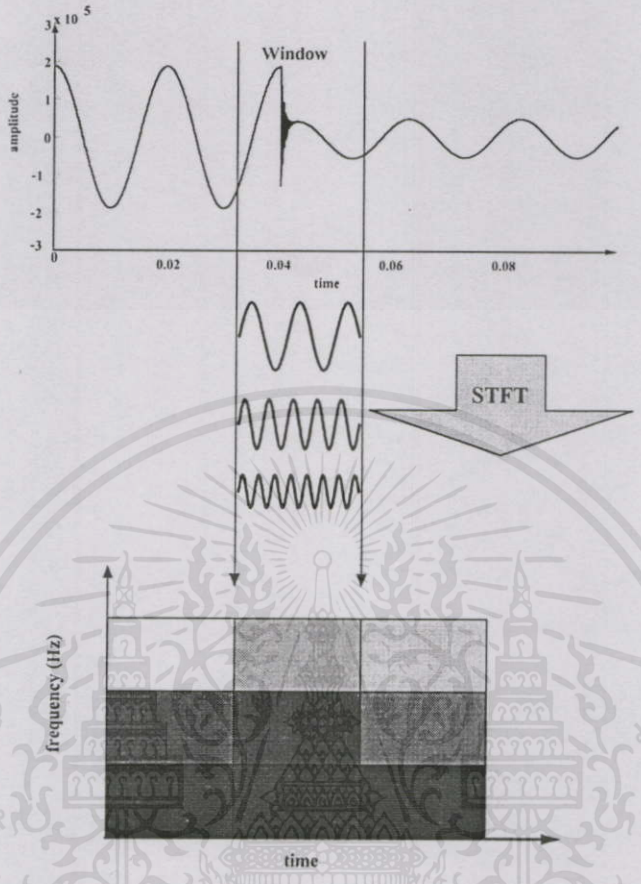
เมื่อ

$w(t-\tau)$ = Window function ที่ใช้ในการวิเคราะห์

โดยที่ตำแหน่งเวลาในการวิเคราะห์ถูกกำหนดโดยค่า τ และช่วงความถี่ในการวิเคราะห์กำหนดด้วยความถี่หรือความกว้างของฟังก์ชั่นหน้าต่างนั้นๆ ผลการวิเคราะห์จะอยู่ในรูปของการแตกองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณในลักษณะการแปลงฟูเรียร์ในช่วงเวลาที่ทำการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 3.5 (เทียบได้กับการร่อนทรายในรูปที่ 3.2)



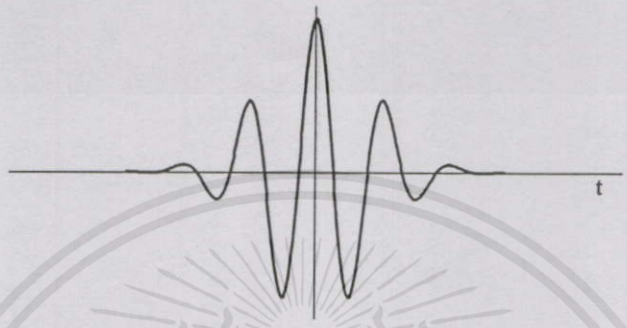
รูปที่ 3.5 แสดงการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้น (STFT)

สังเกตได้ว่าทั้งการแปลงกาบอร์และการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้น มีลักษณะของช่วงเวลาการวิเคราะห์ที่คงที่ (Fixed resolution transform) ดังนั้นการใช้ช่วงการวิเคราะห์สัญญาณที่คงที่ในการวิเคราะห์สัญญาณทุกๆ ช่วงความถี่จึงอาจไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ เนื่องจากสัญญาณที่มีความถี่สูงจะมีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วกว่าจึงควรจะใช้ช่วงเวลาที่แคบในการวิเคราะห์ ในขณะที่สัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ช้าจึงควรจะใช้ช่วงเวลาที่กว้างกว่าในการวิเคราะห์ (เทียบได้กับการร่อนทรายรูปที่ 3.3) จากเหตุผลนี้จึงได้มีการพัฒนารูปแบบการวิเคราะห์สัญญาณที่มีการปรับระดับความละเอียดในการวิเคราะห์ซึ่งเรียกว่า “การแปลงเวฟเล็ต” ซึ่งความหมายและรูปแบบทางทฤษฎีของเวฟเล็ตนั้นได้แสดงอยู่ในหัวข้อถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform : WT) [7,8]

ทฤษฎีเวฟเล็ต (Wavelet Theory) เป็นรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายโครงสร้างของระบบสัญญาณที่ประกอบด้วยกลุ่มของสัญญาณเฉพาะมารวมกันเป็นสัญญาณหนึ่ง โดยสัญญาณเฉพาะนี้จะเป็นคลื่นเล็กๆ ที่เรียกว่า "เวฟเล็ต" ลักษณะของเวฟเล็ตจะเป็นคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (Oscillatary) และขนาดของคลื่นจะลดลงสู่ศูนย์อย่างรวดเร็วดังรูปที่ 3.6



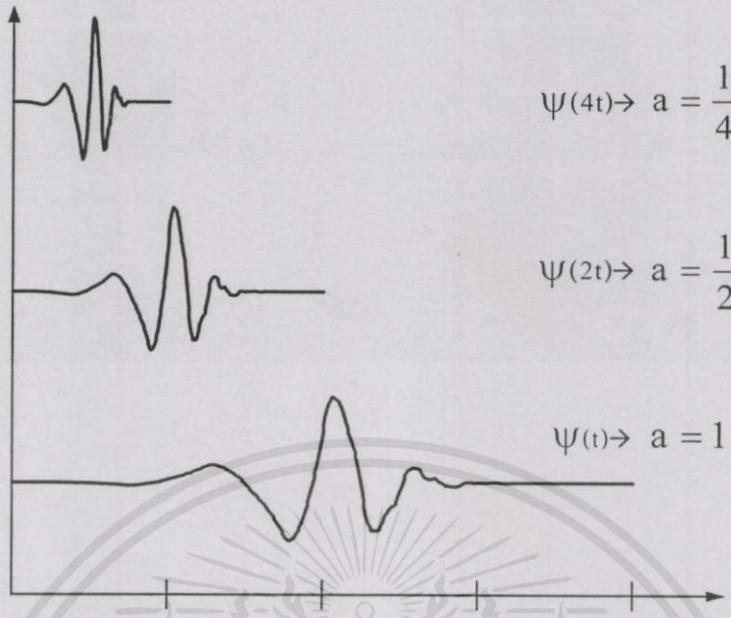
รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของคลื่นเวฟเล็ตแบบ Morlet

ดังนั้นการอธิบายสัญญาณใดๆ ด้วยการแปลงเวฟเล็ตคือการนำกลุ่มของเวฟเล็ตที่มีโครงสร้างมาจากฟังก์ชั่นเดียวกันเป็นตัวอธิบาย ซึ่งฟังก์ชั่นนี้จะเป็นเวฟเล็ตต้นกำเนิดที่เรียกว่า "เวฟเล็ตแม่" (Mother Wavelets) โดยที่คลื่นเวฟเล็ตแต่ละอันในกลุ่มจะเกิดจากการสเกล (Scaling : a) หรือเป็นการยืดหรือหดตัวของเวฟเล็ตแม่นั้นเอง และการเลื่อนตำแหน่ง (Translation or shifting: b) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนตำแหน่งบนแกนเวลาดัง ดังนั้นถ้าให้ $\psi(t)$ เป็นฟังก์ชั่นเวฟเล็ตแม่จะสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ของพจน์ต่างๆ ได้ดังนี้

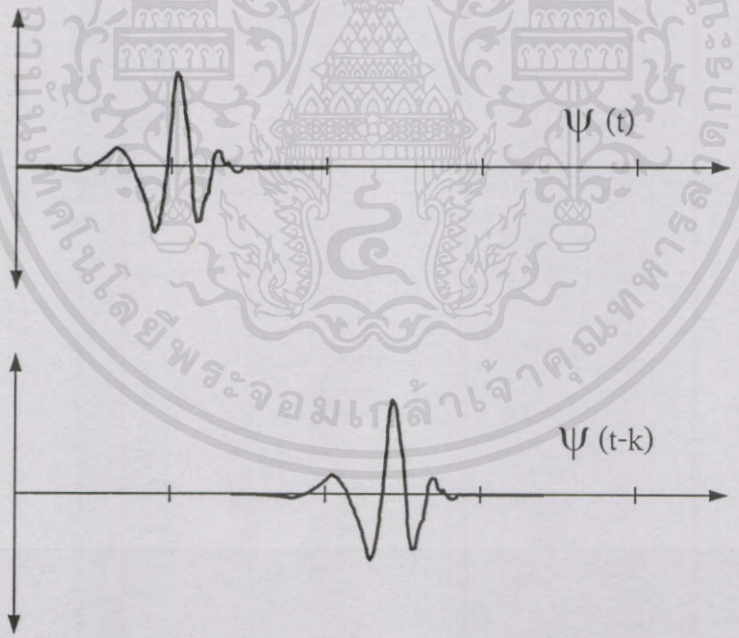
$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}}\psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \tag{3.6}$$

$\psi(t)$ เป็นฟังก์ชั่นเวฟเล็ตแม่ที่มีการปรับเปลี่ยนสเกลและตำแหน่งโดยพารามิเตอร์ a และ b ตามลำดับ โดยที่เวฟเล็ตแม่จะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะไปตามการเปลี่ยนแปลงของค่า a และ b แต่ยังคงอยู่ในเซตหรือมีความสัมพันธ์กับเวฟเล็ตแม่เดิมอยู่ดังแสดงในรูปที่ 3.7 และเพื่อให้เวฟเล็ตที่ถูกสเกลไปมีพลังงานเท่ากับเวฟเล็ตแม่จึงต้องทำการนอมอร์ไลซ์ (Normalize) ด้วย $\frac{1}{\sqrt{a}}$ เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) คุณสมบัติการเปลี่ยนสเกล (Scaling)

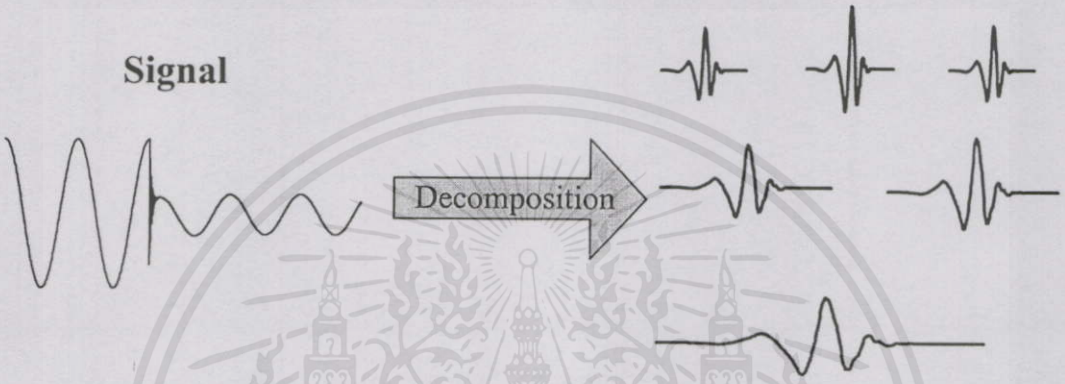


(ข) คุณสมบัติการเลื่อนตำแหน่ง (Shifting)

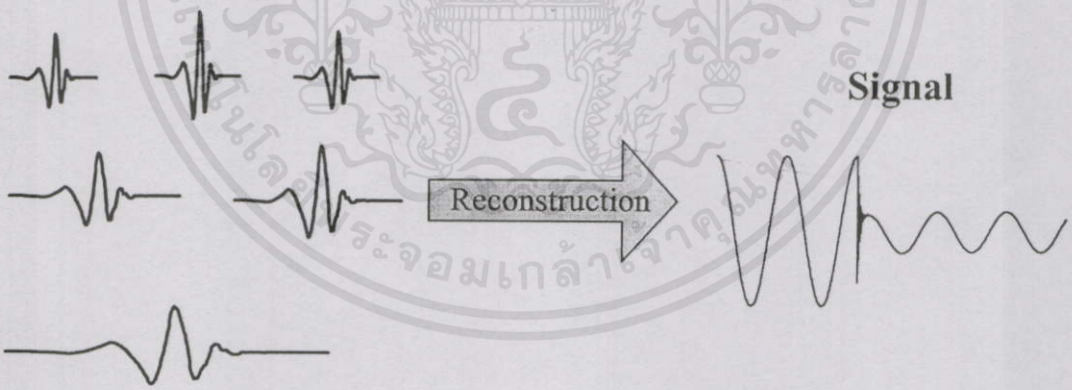
รูปที่ 3.7 แสดงคุณสมบัติการสเกลและการเลื่อนตำแหน่งของฟังก์ชั่นเวฟเล็ต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อนำสัญญาณใดๆ มาผ่านการแปลงเวฟเล็ตก็เปรียบเสมือนการแตกสัญญาณนั้นออกมาอยู่ในรูปของฟังก์ชั่นเวฟเล็ตแม่ที่มีตำแหน่งทางเวลาและสเกลที่แตกต่างกันออกไป โดยที่เวฟเล็ตแต่ละตัวจะมีค่าน้ำหนัก(Weight) คูณอยู่ ซึ่งรูปแบบในการแตกกระจายสัญญาณนี้เรียกว่า การกระจายเวฟเล็ต (Wavetet decomposition) ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 3.8 ในทางกลับกันการรวมกลุ่มของเวฟเล็ตแต่ละตัวมาประกอบขึ้นเป็นสัญญาณเดิมนั้นเรียกว่า การรวมกลับเวฟเล็ต (Wavelet reconstruction) ซึ่งก็คือการแปลงกลับเวฟเล็ต (Inverse wavelet transform) ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 แสดงการกระจายสัญญาณสัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ต



รูปที่ 3.9 แสดงการสร้างกลับสัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ต

โดยทั่วไปแล้วรูปแบบของการแปลงเวฟเล็ตสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง (Continuous Wavelet Transform :CWT)

รูปแบบของการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่องนั้นมีลักษณะการวิเคราะห์สัญญาณโดยอาศัยการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของเวฟเล็ตแม่ที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ที่แคบในการวิเคราะห์องค์ประกอบความถี่สูง และช่วงในการวิเคราะห์ที่กว้างในการวิเคราะห์องค์ประกอบความถี่ต่ำ ซึ่งก็เป็นการปรับระดับความละเอียดในการวิเคราะห์อย่างต่อเนื่องให้เหมาะสมกับความถี่ที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถแสดงสมการสำหรับการวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้ [9]

$$CWT(a,b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\psi(\frac{t-b}{a})dt \tag{3.7}$$

เมื่อ

$f(t)$ = สัญญาณที่ทำการแปลง

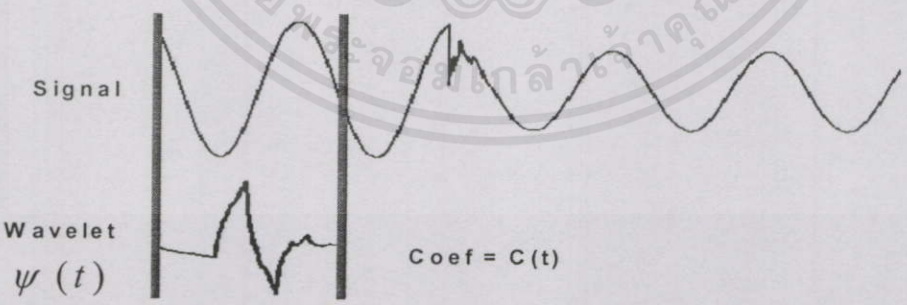
$\psi(t)$ = เวฟเล็ตแม่

a = แฟคเตอร์สเกล (scale)

b = แฟคเตอร์การเลื่อนตำแหน่ง (shifting)

จากสมการที่ 3.7 เมื่อพิจารณาเทอมของ $\psi(t)$ ซึ่งเป็นเทอมของเวฟเล็ตแม่ที่เทียบได้กับเทอมของฟังก์ชั่นหน้าต่างในการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลานั้นเอง แต่เมื่อพิจารณาเทอมของ $\psi(t)$ จะมีการเปลี่ยนคุณสมบัติไปตามพารามิเตอร์ a และ b ซึ่งสามารถแสดงลักษณะในการวิเคราะห์ได้ดังนี้ [10]

1. นำเวฟเล็ตแม่มาเปรียบเทียบกับส่วนแรกซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของสัญญาณในสเกลแรก

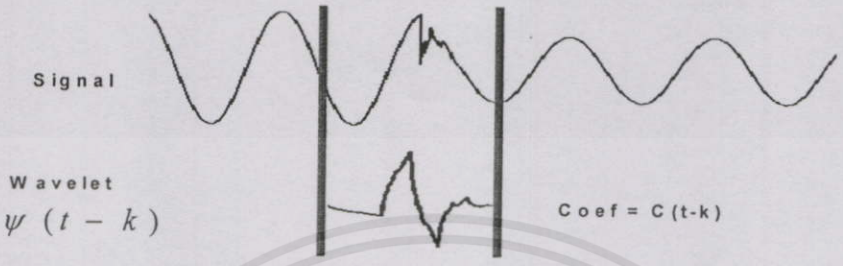


รูปที่ 3.10 แสดงขั้นตอนที่ 1 และ2 ของการแปลงเวฟเล็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

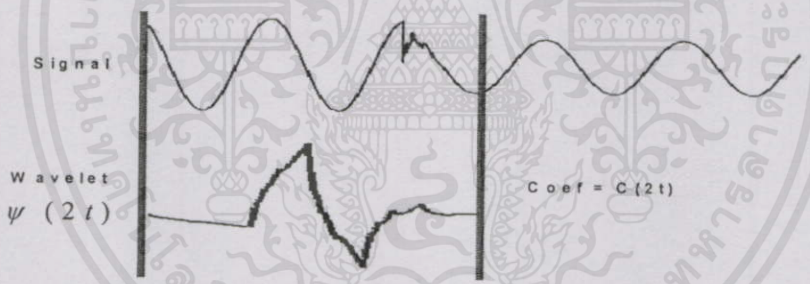
2. คำนวณสัมประสิทธิ์ (C) ซึ่งผลการวิเคราะห์จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวฟเล็ตแม่ในสเกลแรกกับสัญญาณในส่วนแรก ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์นี้ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้รูปร่างของเวฟเล็ตแม่ด้วย

3. เลื่อนตำแหน่งการวิเคราะห์ไปทางขวาและทำซ้ำในขั้นตอนที่ 1 และ 2 จนกระทั่งครอบคลุมช่วงสัญญาณทั้งหมด ซึ่งจากขั้นตอนที่ 1 - 3 นี้เป็นการแปลงเวฟเล็ตตลอดช่วงสัญญาณในสเกลแรก



รูปที่ 3.11 แสดงขั้นตอนที่ 3 ของการแปลงเวฟเล็ต

4. เปลี่ยนสเกลในการวิเคราะห์โดยการขยายสเกลและทำตามขั้นตอนที่ 1 – 3 ใหม่

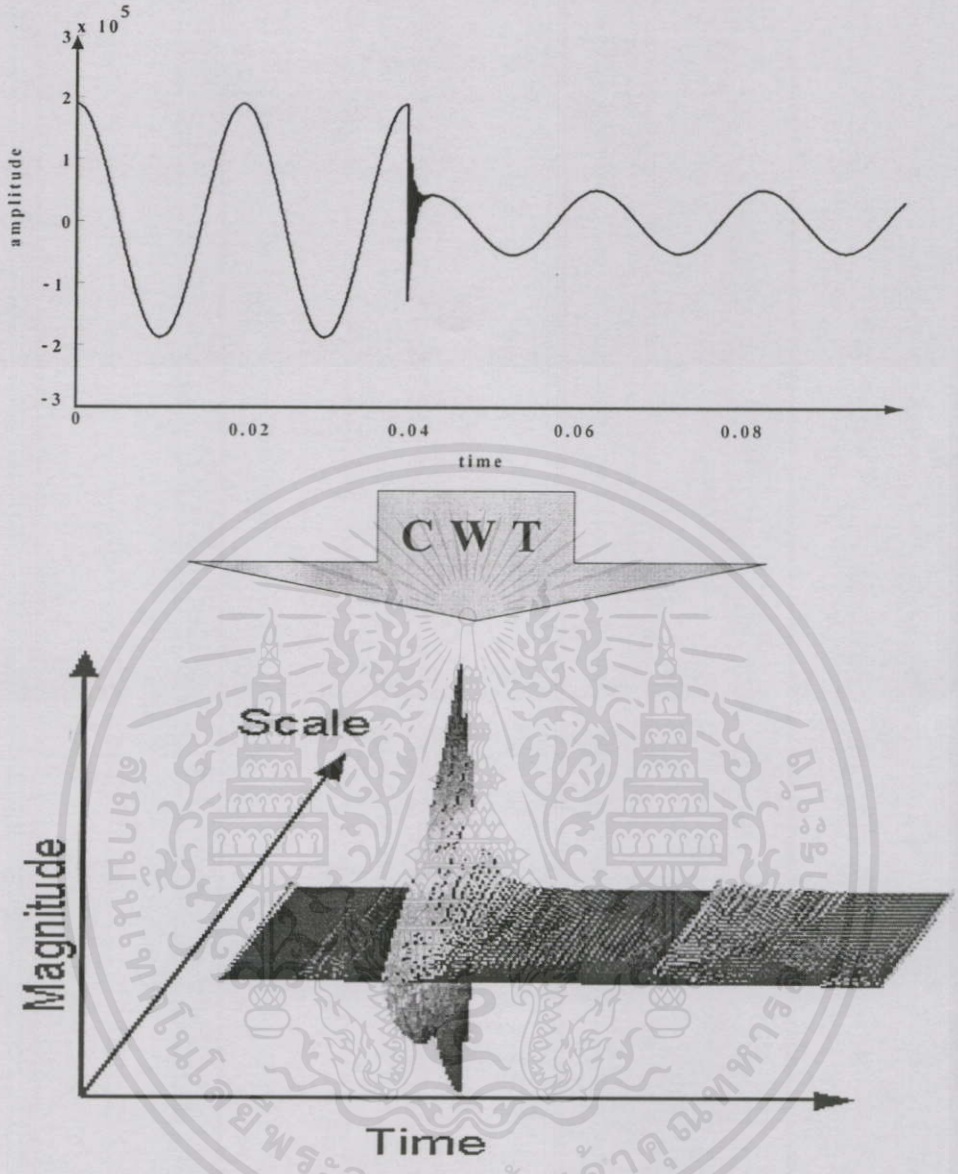


รูปที่ 3.12 แสดงขั้นตอนที่ 4 ของการแปลงเวฟเล็ต

5. ทำตามขั้นตอนที่ 1 – 4 จนกระทั่งครบทุกสเกล

จากขั้นตอนทั้งหมดผลการวิเคราะห์จะออกมาในรูปสัมประสิทธิ์ที่ได้การวิเคราะห์ของแต่ละสเกลในแต่ละส่วนของสัญญาณ และเนื่องจากการแปลงเป็นไปในลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงสเกลและการเลื่อนตำแหน่งในการวิเคราะห์อย่างต่อเนื่อง เมื่อนำผลการวิเคราะห์ทั้งหมดมาแสดงรูปแบบความสัมพันธ์ของเวลาและความถี่ (Time - Scale) ได้ดังรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง (CWT)

จากรูปที่ 3.10 แสดงให้เห็นว่าผลการวิเคราะห์เมื่อนำมาเขียนเป็นกราฟจะออกมาในรูปของพื้นผิวที่ต่อเนื่องกันซึ่งการปรับเปลี่ยนเสกลในการวิเคราะห์ที่ต่อเนื่อง ซึ่งจะให้ความแม่นยำทางด้านเวลาและความถี่ที่ดีแต่จะมีข้อเสียคือ ในการนำไปใช้งานที่ต้องการความรวดเร็วในการวิเคราะห์การแปลงเวฟเล็ตต่อเนื่องอาจจะไม่เหมาะสม เนื่องจากต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์ที่ค่อนข้างมากและบางครั้งให้ข้อมูลที่ซ้ำซ้อนมากเกินความจำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform :DWT) [11]

จากข้อจำกัดของการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่องจึงมีการพัฒนารูปแบบการแปลงเวฟเล็ตมาสู่การแปลงเฟเล็ตแบบเต็มหน่วย ที่มีลักษณะการวิเคราะห์โดยเปลี่ยนสเกลและการเลื่อนตำแหน่งในลักษณะเป็นช่วงๆ ไม่ต่อเนื่องกัน และก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดของการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยจำเป็นที่ต้องกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการอธิบายก่อน

3.4.1 การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Multi-Resolution Analysis : MRA)

การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด คือการวิเคราะห์สัญญาณที่สามารถเลือกระดับความละเอียดได้ โดยการนำสัญญาณเล็กๆ ที่ระดับความละเอียด a ซึ่งมี b หลายๆ ตำแหน่งมารวมกันให้เกิดเป็นสัญญาณที่ระดับความละเอียดที่เลือกไว้ และเมื่อนำสัญญาณที่ทุกระดับความละเอียดมารวมกันก็จะได้สัญญาณอินพุทจริง ซึ่งหลักการของการวิเคราะห์สัญญาณหลายระดับความละเอียดนั้นสามารถอธิบายได้โดยอาศัยทฤษฎีของสเปซเวกเตอร์

3.4.1.1 ทฤษฎีของสเปซเวกเตอร์ (Space vector theory)

ความหมายของสเปซของเวกเตอร์ในการวิเคราะห์สัญญาณ คือ สเปซของสัญญาณที่เกิดจากการรวมกันของสัญญาณพื้นฐานย่อยๆ ที่เรียกว่า " ฟังก์ชั่นพื้นฐาน (Basic function) " โดยสมมติว่า V เป็นสเปซเวกเตอร์ที่มี j แสดงถึงระดับความละเอียดและจำนวนของฟังก์ชั่นพื้นฐานที่ประกอบขึ้นเป็นฟังก์ชั่นนั้น ซึ่งถ้า j มีค่าสูงขึ้นก็แสดงว่าที่ระดับความละเอียดสูงขึ้นและมีจำนวนฟังก์ชั่นพื้นฐานมากขึ้น ทำให้สัญญาณที่ได้เกิดจากการประกอบกันจากฟังก์ชั่นมีความละเอียดมากขึ้นด้วย ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า j เป็นค่าแสดงถึงระดับความละเอียดของสัญญาณนั้นเอง โดยสามารถสรุปคุณสมบัติของการวิเคราะห์สัญญาณที่ระดับความละเอียดต่างๆ ได้ดังนี้

1. $V^{-\infty} \ldots \subset V^{-1} \subset V^{1} \ldots \subset V^{\infty}$
2. $\text{Close}_{L^2}\left(\bigcup_{j \in ZZ} V^j\right) = L^2(IR)$; IR = เซตของจำนวนจริง
3. $\left(\bigcap_{j=Z} V^j\right) = \{0\}$
4. $V^j + W^j = V^{j+1}$; $j \in ZZ$; ZZ = เซตของจำนวนจริง
5. $f(x) \in V^j \Leftrightarrow f(2x) \in V^{j+1}$; $j \in ZZ$

จากการที่ฟังก์ชั่นพื้นฐาน ประกอบกันเป็นสัญญาณที่ระดับความละเอียด j ภายในสเปซ V จะเรียกฟังก์ชั่นนี้ว่าเป็น " ฟังก์ชั่นสเกลลิ่ง (Scaling function : $\Phi(t)$)) " และฟังก์ชั่นสเกลลิ่งที่ระดับสูงจะ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความถี่สูงและระดับที่ต่ำลงมาจะมีความถี่ที่ต่ำกว่า ตามความสัมพันธ์ที่แสดงในคุณสมบัติข้อที่ 4 : ซึ่งทำให้สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชั่นสเกลในสเปซใดๆ ได้ดังนี้

$$\Phi_{j,k} = 2^{\frac{j}{2}} \Phi(2^j t - k) \quad ; j,k \in ZZ \tag{3.8}$$

จากสมการจะพบว่าถ้าระดับความละเอียดลดลงมาหนึ่งระดับ ฟังก์ชั่นพื้นฐานจะมีความถี่ลดลงมาครั้งละ 2 เท่า และอาศัยคุณสมบัติ MRA จะทำให้สามารถทำการประมาณสัญญาณ $f(t) \in L^2(IR)$ ไปอยู่ในสเปซที่ระดับความละเอียด j ใดๆ ได้ดังนี้

$$f_j(t) = \sum_k c_k^j \Phi_{j,k}(t) \tag{3.9}$$

โดย c_k^j ที่เป็นสัมประสิทธิ์หรือน้ำหนักที่คูณกับฟังก์ชั่นสเกลลิ่งที่ตำแหน่ง k ใดๆ แล้วประกอบขึ้นเป็น f(t) ที่ระดับความละเอียด j

จากคุณสมบัติข้อ 4 ของ MRA การวิเคราะห์สัญญาณที่ระดับความละเอียดต่ำลงมาจะทำให้พลังงานหรือสัญญาณบางส่วนหายไปอยู่อีกสเปซหนึ่งซึ่งเรียกว่า " สเปซของเวกเตอร์เวฟเล็ต (Wavelet vector space :W^j) " ซึ่งจะประกอบด้วยฟังก์ชั่นพื้นฐานที่เรียกว่า " ฟังก์ชั่นเวฟเล็ต (Wavelet function: $\psi(t)$) " โดยสามารถเขียนสมการฟังก์ชั่นเวฟเล็ตได้ดังต่อไปนี้

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{\frac{j}{2}} \psi(2^j t - k) \tag{3.10}$$

ถ้ากำหนดให้ $g_j(t)$ เป็นสัญญาณที่เกิดจากฟังก์ชั่นพื้นฐาน ($\psi_{j,k}(t)$) ภายในสเปซเดียวกันมารวมเป็นสัญญาณใดๆ จะได้ว่า

$$g_j(t) = \sum_k d_k^j \psi_{j,k}(t) \tag{3.11}$$

โดยที่ d_k^j เป็นสัมประสิทธิ์หรือค่าน้ำหนักที่คูณกับฟังก์ชั่นเวฟเล็ตที่ตำแหน่งนั้นๆ เพื่อเกิดเป็นสัญญาณ g(t) ดังนั้นจากความสัมพันธ์ $V^j + W^j = V^{j+1}$ จะได้ว่า

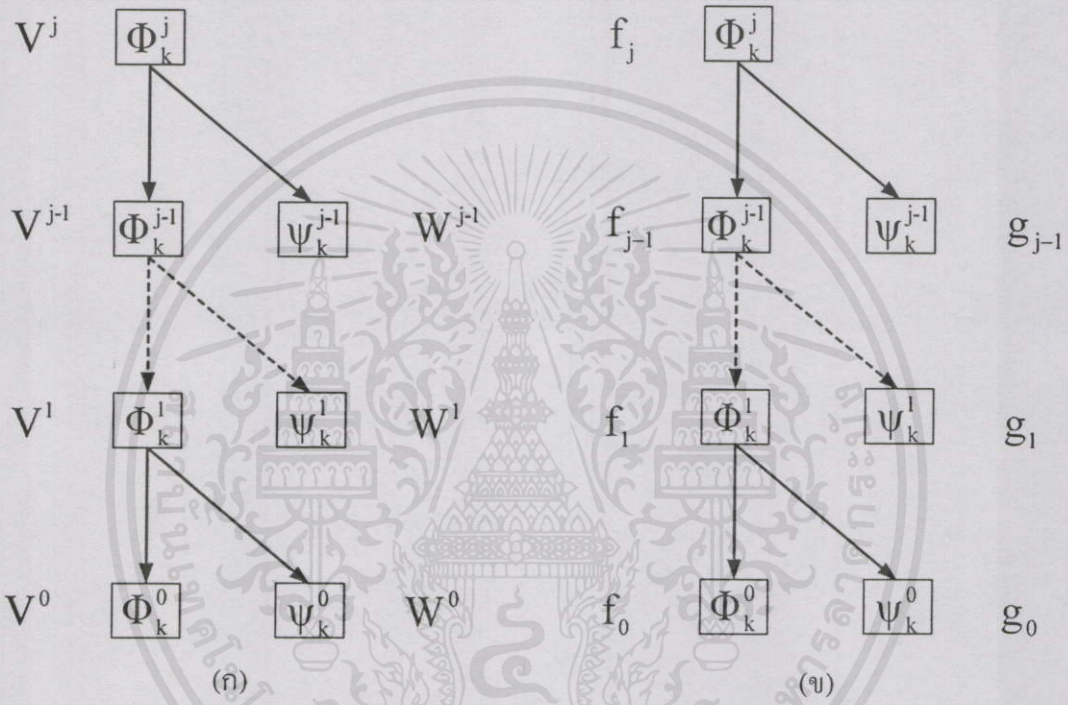
$$f_{j+1} = f_j + g_j \tag{3.12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสมมติให้ $f(t) \in V^{j+1}$ จะสามารถแตกกระจายให้ $f(t)$ ให้มีความละเอียดน้อยลงได้จากความสัมพันธ์ของ $V^j + W^j = V^{j+1}$ ในขณะเดียวกัน V^j สามารถแตกต่อไปอีกได้เรื่อยจนกระทั่ง $j = 0$ ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ว่า

$$V^{j+1} = V^0 + W^0 + W^1 + \ldots + W^j \tag{3.13}$$

ในทำนองเดียวกัน $f_{j+1} = f_j + g_j$ สามารถแตกกระจายเป็น f_j และ g_j ได้ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะการกระจาย (decomposition) [11] ของ

(ก) สเปซของเวคเตอร์

(ข) สัญญาณที่ความละเอียดต่างๆ

ดังนั้นสามารถแสดงลักษณะของสัญญาณ $f(t)$ ในรูปของฟังก์ชั่นสเกลลิ่งและฟังก์ชั่นเวฟเล็ต ได้ดังนี้

$$f(t) = f_j + g_j + g_{j+1} + g_{j+2} + \ldots + g_\infty \tag{3.14}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการแตกกระจายสัญญาณ f(t) ใดๆ ในสเปซ V^0 ไปจนถึงระดับความละเอียดที่ j ในรูปของสัมประสิทธิ์ $c_j(m)$ และ $d_j(m)$ นี้เรียกว่า " การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform :DWT) " โดยมีสมการที่ใช้อธิบายดังต่อไปนี้ [12]

$$DWT(m,n) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\psi(\frac{t - nb_0 a_0^m}{a_0^m})dt \qquad (3.15)$$

โดยที่ a_0^m คือ การสเกล

$nb_0 a_0^m$ คือ การเลื่อนตำแหน่ง

m, n คือ เลขจำนวนเต็มบวก

และในทางปฏิบัติการนำมาใช้งานจริง สัญญาณที่เข้ามาจะอยู่ในรูปของการสุ่ม (sample) ดังนั้นสมการที่ (14) จึงพัฒนามาสู่สมการที่ (15) [12]

$$DWT(m,n) = \frac{1}{\sqrt{a_0{}^m}} \sum_k f(k)\psi[\frac{n - kb_0 a_0{}^m}{a_0{}^m}] \qquad (3.16)$$

เมื่อ m, n, k เป็นเลขจำนวนเต็มโดยที่

n คือ จำนวนข้อมูล

m คือ เลขแสดงการเปลี่ยนแปลงของสเกล

k คือ เลขแสดงการเลื่อนตำแหน่ง

เมื่อพิจารณาในรูปแบบของการวิเคราะห์หลายระดับความละเอียดแล้วโดยมีการเปลี่ยนแปลงสเกลในการวิเคราะห์ให้ลดลงครั้งละ 2 เท่า ($a_0 = 2; b_0 = 1$) แล้วจะได้รูปแบบการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย ซึ่งมีชื่อเรียกเฉพาะว่า dyadic wavelet transform ดังสมการต่อไปนี้ [13]

$$DWT(m,n) = \frac{1}{\sqrt{2^m}} \sum_k f(k)\psi[\frac{n - k2^m}{2^m}] \qquad (3.17)$$

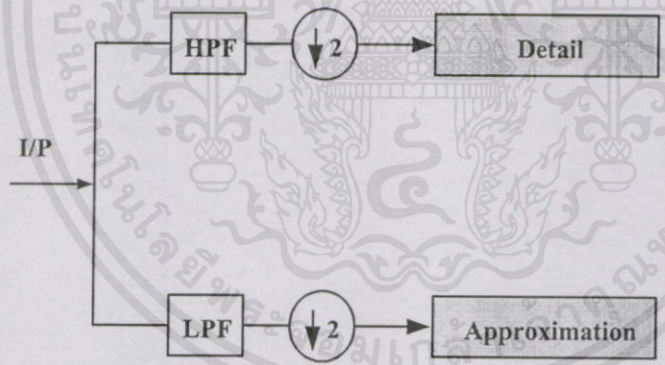
ซึ่งสามารถอธิบายหลักการทำงานได้โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ของฟิลเตอร์แบงค์ดังนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การวิเคราะห์ด้วยตัวกรองสัญญาณ (Filter Bank Analysis)

ก่อนที่จะอธิบายการสร้างการแปลงเวฟเล็ตในลักษณะฟิลเตอร์แบงค์นั้น ขออธิบายหลักการพื้นฐานของฟิลเตอร์แบงก์ก่อนฟิลเตอร์แบบ 2 ช่องสัญญาณ (two channel filter banks) จะเป็นการแยกสัญญาณอินพุทออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของความถี่ต่ำและส่วนของความถี่สูงสัญญาณ โดยจะถูกวิเคราะห์ด้วยคู่ชุดกรองซึ่งมีการลดความถี่ออกมาครึ่งหนึ่งดังรูปที่ 3.15 ซึ่งเทอมของ $\downarrow 2$ แสดงการลดอัตราสุ่มลง (down sampling) ด้วย 2 หรือลดผลการวิเคราะห์จากตัวกรองออกครึ่งหนึ่งในแต่ละขั้นตอนของการวิเคราะห์ เมื่อนำสัญญาณอินพุทมาผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยสัญญาณจะถูกแยกองค์ประกอบ (Decomposition) โดยตัวกรองแบบ 2 ช่อง (Two channel filter banks) ซึ่งจะแยกความถี่ในแบนด์ที่ต้องการ ออกเป็น 2 ส่วน คือ

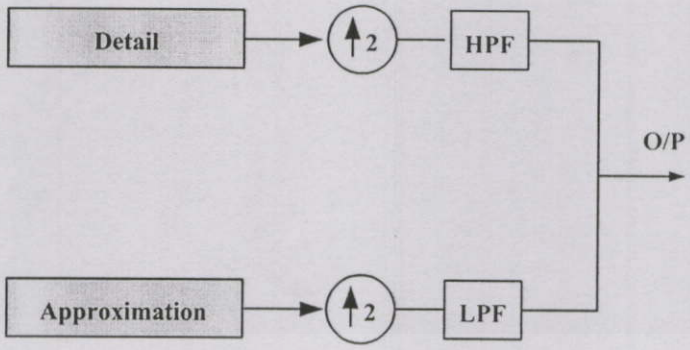
- องค์ประกอบความถี่สูง ซึ่งจะผ่านตัวกรองความถี่สูง (High-Pass Filter : HPF) ที่เรียกว่า "Detail (cD)"
- องค์ประกอบความถี่ต่ำ ซึ่งจะผ่านตัวกรองความถี่ต่ำ (Low-Pass Filter : LPF) ที่เรียกว่า "Approximation (cA)"



รูปที่ 3.15 แสดงการแปลงแยกสัญญาณด้วยฟิลเตอร์แบบสองช่องสัญญาณ

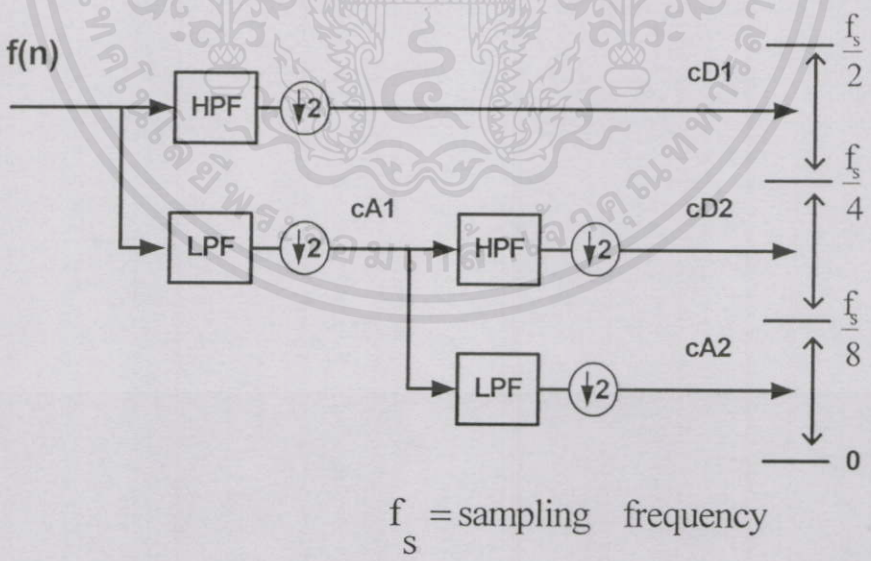
และในทางกลับกันก็สามารถสังเคราะห์เพื่อสร้างกลับฟิลเตอร์แบบสองช่องสัญญาณโดยการนำส่วนของความถี่ต่ำและความถี่สูงมารวมกันเป็นสัญญาณเดิมได้ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.16 จะสังเกตได้ว่าเทอม $\uparrow 2$ แสดงการเพิ่มอัตราสุ่มขึ้น (Upsamping) เป็น 2 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดงการแปลงกลับสัญญาณด้วยฟิลเตอร์แบบสองช่องสัญญาณ

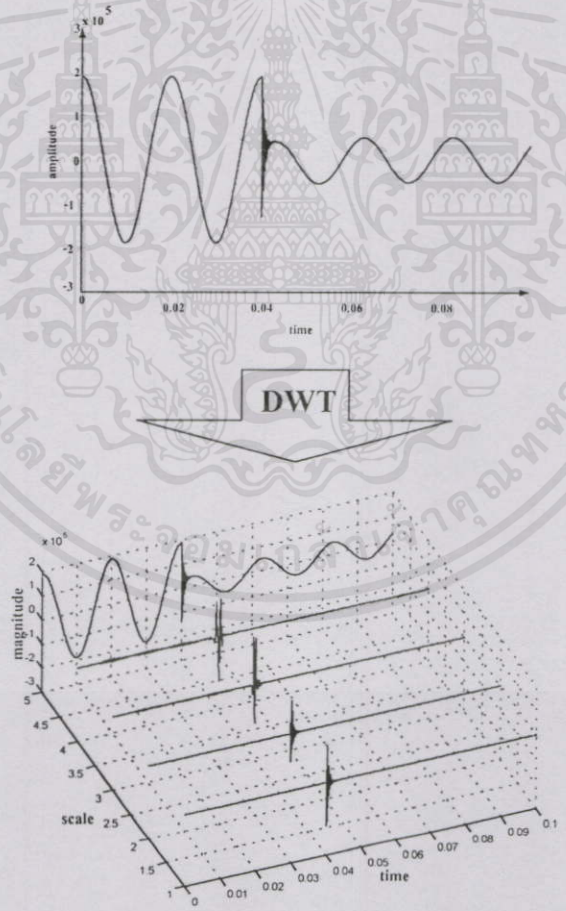
ลักษณะของตัวกรองแบบ 2 ช่องสัญญาณในลักษณะนี้เรียกว่า " Quadrature mirror filters (QMF) " ในลักษณะของ dyadic wavelet transform จะเป็นการนำฟิลเตอร์แบบ 2 ช่องสัญญาณมาเรียงต่อกันในลักษณะโครงสร้างแบบต้นไม้ โดยใช้สัญญาณเอาท์พุทในส่วนความถี่ต่ำมาทำการแยกความถี่ออกอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งเป็นลักษณะของการวิเคราะห์แบบออคเทฟฟิลเตอร์แบงค์ (Octave analysis filter banks) โดยที่แต่ละขั้นตอนจะมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ในอัตราครั้งละ 2 เท่า ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้



รูปที่ 3.17 แสดงลักษณะการแปลงเวฟเล็ตโดยใช้หลักการของวิเคราะห์แบบออคเทฟฟิลเตอร์แบงค์ [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.17 ซึ่งเป็นลักษณะของการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยในลักษณะของ dyadic tree structure โดยมีสัญญาณอินพุทซึ่งเป็นสัญญาณที่ถูกสุ่มด้วยความถี่การสุ่ม = f_s (sampling rate) จะถูกวิเคราะห์ด้วยฟิลเตอร์ 2 ช่องสัญญาณในสเกลที่ 1 (2^1) ซึ่งสัญญาณจะถูกแยกออกเป็น 2 ช่วงความถี่ คือส่วนความถี่สูงหรือ detail 1 มีความถี่อยู่ในช่วง $\frac{f_s}{2} - \frac{f_s}{4}$ Hz และส่วนความถี่ต่ำ หรือ Approximation 1 มีความถี่ในช่วง $\frac{f_s}{4} - 0$ Hz และในการวิเคราะห์ในสเกลที่ 2 (2^2) ก็ทำได้โดยการคู่กรองชุดเดิมมาวิเคราะห์ต่อจาก Approximation 1 ซึ่งผลการวิเคราะห์จะออกมาเป็น ส่วนความถี่สูงสเกลที่ 2 หรือ detail 2 ซึ่งมีความถี่ในช่วง $\frac{f_s}{4} - \frac{f_s}{8}$ Hz และส่วนความถี่ต่ำสเกลที่ 2 หรือ Approximation 2 มีความที่อยู่ในช่วง $\frac{f_s}{8} - 0$ Hz ถ้าทำการวิเคราะห์ต่อในสเกลที่ 3 ก็สามารถทำซ้ำในลักษณะเดิม ในทางกลับกันก็สามารถที่จะรวมสัญญาณที่ทำการกระจายในหลายๆ ช่วงความถี่ให้กลับมาเป็นสัญญาณเดิมได้ ซึ่งผลการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยได้แสดงอยู่ในรูปที่ 3.18

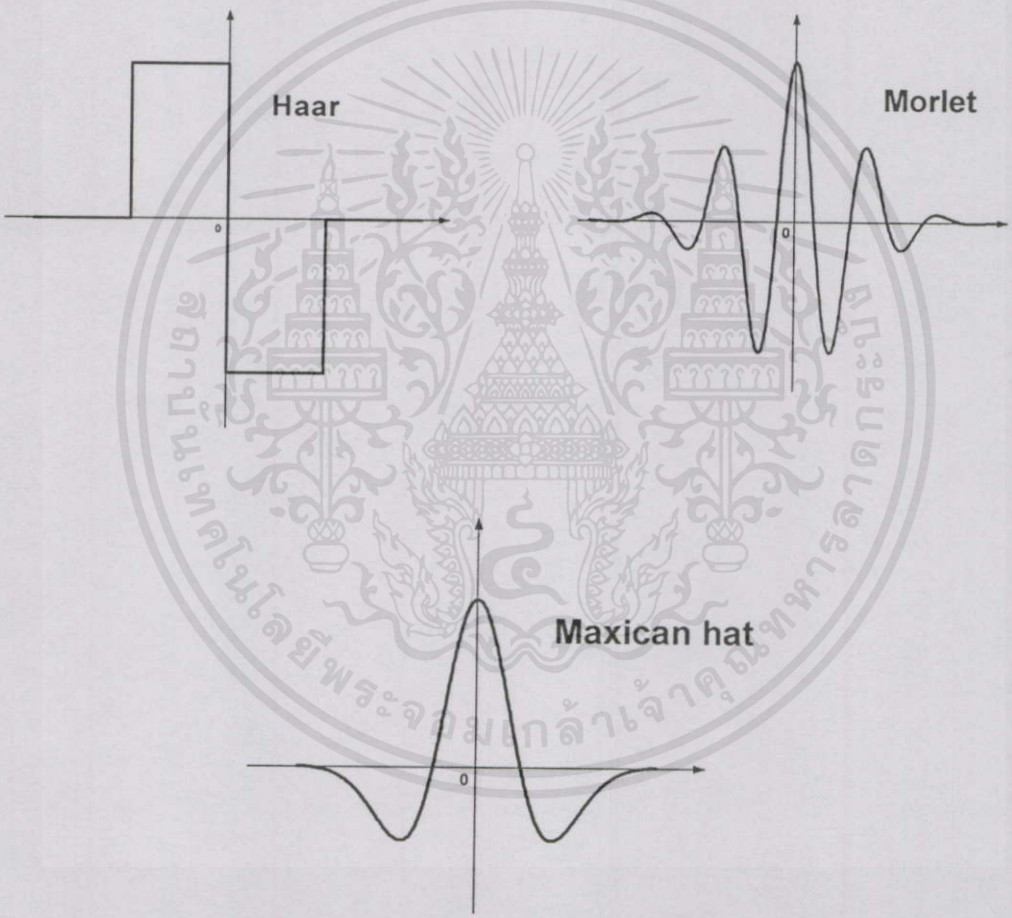


รูปที่ 3.18 แสดงการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (DWT) ในสเกลที่ 1-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

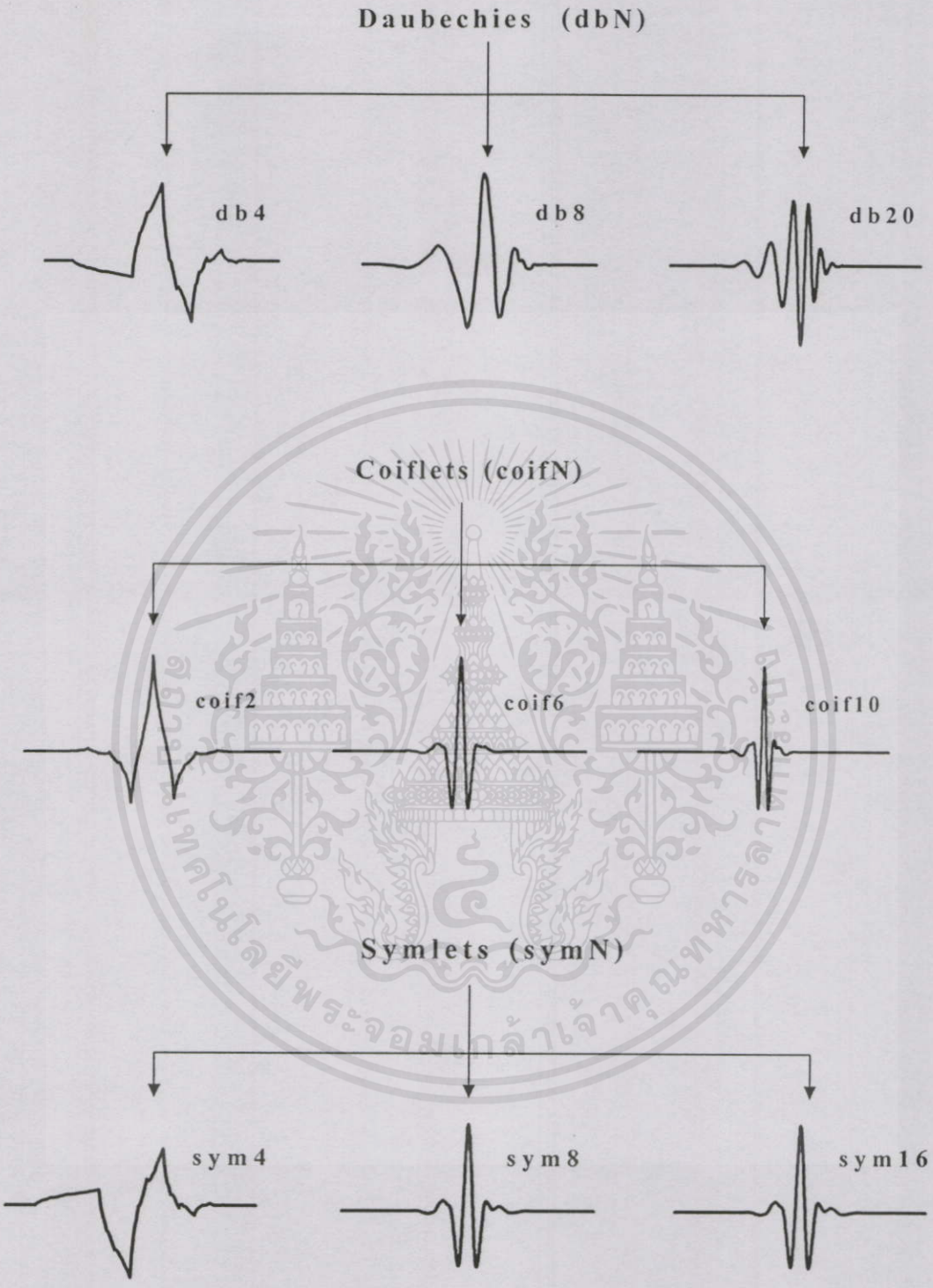
3.5 เวฟเล็ตแม่ (Mother wavelet)

ในการวิเคราะห์สัญญาณใดๆ ก็ตามนอกจากการเลือกรูปแบบในการวิเคราะห์ที่เหมาะสมแล้วยังมีความจำเป็นที่ต้องเลือกลักษณะของตัวกรองสัญญาณนั้นๆ ให้เหมาะสมด้วย สำหรับการแปลงเวฟเล็ตนั้นตัวกรองสัญญาณที่ใช้คือเวฟเล็ตแม่นั้นเอง ซึ่งจะมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบและแต่ละแบบยังมีชนิดย่อยๆ ลงไปอีก และเนื่องจากรูปแบบของเวฟเล็ตแม่ที่หลากหลายนี้เองจึงทำให้การแปลงเวฟเล็ตมีความยืดหยุ่นและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานโดยเลือกเวฟเล็ตแม่ให้เหมาะสมกับสัญญาณที่การวิเคราะห์ ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างของเวฟเล็ตแม่ได้ดังรูปที่ 3.19 - 3.20



รูปที่ 3.19 แสดงเวฟเล็ตแม่แบบไม่มีชนิดย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 แสดงเวฟเล็ตแม่แบบมีชนิดย่อย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงสัมประสิทธิ์ของตัวกรองสัญญาณของเวฟเล็ตตระกูล Daubechies ที่ N มีค่าเป็น 4, 6, 8, 10, 12,14, 16 และ 20 , [14]

Order	n	Filter coefficients	Order	n	Filter coefficients	Order	n	Filter coefficients
N=4	0	0.4829629131	N=14	0	0.0778520541	N=18	0	0.0380779474
	1	0.8365163037		1	0.3965393195		1	0.2438346746
	2	0.2241438680		2	0.7291320908		2	0.6048231237
	3	-0.1294095226		3	0.4697822874		3	0.6572880781
N=6	0	0.3326705530		4	-0.1439060039		4	0.1331973858
	1	0.8068915093		5	-0.2240361850		5	-0.2932737833
	2	0.4598775021		6	0.0713092193		6	-0.0968407832
	3	-0.1350110200		7	0.0806126092		7	0.1485407493
	4	-0.0854412739		8	-0.0380299369		8	0.0307256815
	5	0.0352262919		9	-0.0165745416		9	-0.0676328291
N=8	0	0.2303778133		10	0.0125509986		10	0.0002509471
	1	0.7148465706		11	0.0004295780		11	0.0223616621
	2	0.6308807679		12	-0.0018016407		12	-0.0047232048
	3	-0.0279837694		13	0.0003537138		13	-0.0042815037
	4	-0.1870348117	N=16	0	0.0544158422		14	0.0018476469
	5	0.0308413818		1	0.3128715909		15	0.0002303858
	6	0.0328830117		2	0.6756307363		16	-0.0002519632
	7	-0.0105974018		3	0.5853546837		17	0.0000393473
N=10	0	0.1601023980		4	-0.0158291053	N=20	0	0.0266700579
	1	0.6038292698		5	-0.2840155430		1	0.1881768001
	2	0.7243085284		6	0.0004724846		2	0.5272011889
	3	0.1384281459		7	0.1287474266		3	0.6884590395
	4	-0.2422948871		8	-0.0173693010		4	0.2811723437
	5	-0.0322448696		9	-0.0440882539		5	-0.2498464243
	6	0.0775714938		10	0.0139810279		6	-0.1959462744
	7	-0.0062414902		11	0.0087460940		7	0.1273693403
	8	-0.0125807520		12	-0.0048703530		8	0.0930573646
	9	0.0033357253		13	-0.0003917404		9	-0.0713941472
N=12	0	0.1115407434		14	0.0006754494		10	-0.0294575368
	1	0.4946238904		15	-0.0001174768		11	0.0332126741
	2	0.7511339080					12	0.0036065536
	3	0.3152503517					13	-0.0107331755
	4	-0.2262646940					14	0.0013953517
	5	-0.1297668676					15	0.0019924053
	6	0.0975016056					16	-0.0006858567
	7	0.0275228655					17	-0.0001164669
	8	-0.0315820393					18	0.0000935887
	9	0.0005538422					19	-0.0000132642
	10	0.0047772575						
	11	-0.0010773011						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.20 ค่า N เป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่แสดงถึงลำดับ (Order) ของเวฟเล็ตแม่ชนิดนั้นๆ ในบางครั้งได้มีความจำกัดความว่า N เป็นตัวเลขที่ใช้แสดงจำนวนของสัมประสิทธิ์ตัวกรอง (Filter) ของเวฟเล็ตแม่ตัวนั้นๆ และยังแสดงความราบเรียบ(Smooth) ของเวฟเล็ตแม่ตัวนั้นๆ อีกด้วย เช่น db4 หมายถึงเวฟเล็ตแม่แบบ daubechies ที่มีสัมประสิทธิ์การกรอง 4 ตัว , db20 หมายถึงเวฟเล็ตแม่แบบ daubechies ที่มีสัมประสิทธิ์การกรอง 20 ตัว โดยที่ db20 จะมีรูปร่างที่ราบเรียบกว่า db4 ซึ่งค่าของสัมประสิทธิ์ได้แสดงในตารางที่ 3.1

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยมาใช้สำหรับการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ที่เกิดขึ้นบนสายส่ง ซึ่งทำการแยกองค์ประกอบความถี่สูงออกมาหลายช่วงความถี่ (สเกล) แล้วพิจารณาข้อมูลที่ได้จากสัมประสิทธิ์เพื่อนำไปวิเคราะห์และแปรความหมายต่อไป และสำหรับการเลือกเวฟเล็ตนั้นได้เลือกใช้เป็นแบบ daubechies 4 (db4) เนื่องจากมีความเหมาะสมในการวิเคราะห์สัญญาณในลักษณะทรานเซี้ยนต์ เช่น ฟอลต์ และให้ความแม่นยำทางเวลาที่ดี [15] เนื่องจากมีสัมประสิทธิ์ที่น้อยเพียง 4 ตัว โดยแบ่งการนำการแปลงเวฟเล็ตมาใช้วิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ออกเป็น 2 ขั้นตอนด้วยกันคือ

1) การแยกองค์ประกอบของสัญญาณ (wavelet decomposition)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการแยกองค์ประกอบความถี่สูงของสัญญาณกระแสและแรงดันออกมาในสเกลที่ 1- 5 ซึ่งในที่นี้เราจะเลือกพิจารณาเฉพาะองค์ประกอบความถี่สูง(detail) เท่านั้น

2) การรวมกลับสัญญาณ (Wavelet Reconstruction)

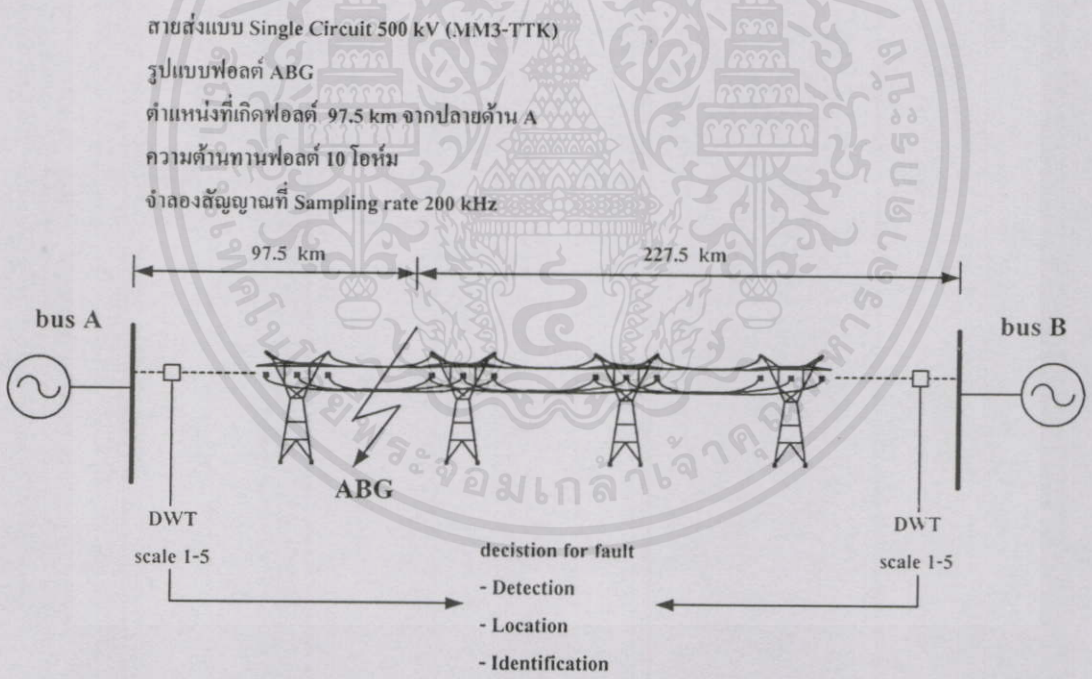
เพื่อทำการเปรียบเทียบข้อมูลให้มีขนาดเดียวกันหรืออยู่บนฐานเวลาเดียวกันจึงต้องทำการรวมกลับสัญญาณในแต่ละสเกลให้มีจำนวนสัมประสิทธิ์เท่ากับสัญญาณต้นแบบที่ทำการวิเคราะห์ และนอกจากนี้เพื่อให้การพิจารณาเห็นความแตกต่างมากขึ้นจึงยกกำลังสองสัมประสิทธิ์ในแต่ละสเกล ซึ่งสัมประสิทธิ์ทั้งหมดก็จะอยู่ในด้านบวก [16] โดยที่รายละเอียดทั้งหมดจะได้กล่าวอยู่ในบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ต

4.1 การประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ตสำหรับวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์บนสายส่ง

จากทฤษฎีพื้นฐานของการแปลงเวฟเล็ตที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 วิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (DWT) มาวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ที่เกิดขึ้นบนสายส่ง โดยทำการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ที่ปลายทั้ง 2 ด้านของสายส่ง ผลการวิเคราะห์ที่ปลายแต่ละด้านถูกนำมาประมวลผลอีกครั้งเพื่อใช้ในการตัดสินใจและแสดงรายละเอียดของสัญญาณฟอลต์ต่อไป ซึ่งลักษณะการนำข้อมูลที่ปลายทั้ง 2 ด้านมาใช้งานนี้เป็นการนำหลักการของระบบป้องกันแบบสื่อสาร (Tele-protection) [17] มาประยุกต์ใช้นั่นเอง ในปัจจุบันระบบการสื่อสารที่มีหลายประเภทด้วยกัน เช่น ระบบ power line carier (PLC) , ระบบไมโครเวฟ, ระบบไฟเบอร์ออฟติค ,ระบบดาวเทียม GPS เป็นต้น



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของการนำระบบสื่อสารมาใช้กับป้องกันสายส่ง

สมมุติฐานที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์คือ ในสภาวะปกติสัญญาณกระแสและแรงดันจะไม่มีองค์ประกอบความถี่สูงรวมอยู่ แต่ในสภาวะที่มีฟอลต์จะมีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่สูงเกิดขึ้นและควรจะเปลี่ยนแปลงตามรูปแบบของฟอลต์ที่เกิดขึ้นด้วย[18,19] เช่น มุมที่เริ่มเกิดฟอลต์ ตำแหน่งที่เกิด หรือเฟสที่เกิดฟอลต์ เป็นต้น วิทยานิพนธ์นี้จึงทำการศึกษารูป

แบบของฟอลต์ที่แตกต่างกันเพิ่มเติมจำนวน 200 ตัวอย่าง ซึ่งสัญญาณฟอลต์แต่ละแบบจะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยในหลายสเกลเพื่อศึกษาพฤติกรรมและลักษณะที่สำคัญ โดยนำมาพิจารณาร่วมกับหลักการและเทคนิคพื้นฐานที่มีอยู่เดิมเข้ามาประกอบและพยายามหลีกเลี่ยงรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน รวมถึงการปรับค่าขอบเขตการวิเคราะห์ต่างๆ จนกว่าจะได้ผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ตัวอย่างที่ถูกต้องมากกว่า 80 % แล้วจึงสามารถที่จะสรุปเป็นวิธีการที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ในรูปแบบทั่วไปนอกเหนือจากสัญญาณฟอลต์ตัวอย่างที่ทำการพิจารณาในเบื้องต้นได้และผลที่ได้จะถูกนำมาใช้กำหนดค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.1.1 การกำหนดค่าขอบเขตการเปรียบเทียบ

เพื่อใช้กำหนดค่าขอบเขตในการตัดสินใจต่างๆ เช่น ควรจะบอกว่าเกิดฟอลต์หรือไม่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นจากสภาวะปกติและเปลี่ยนแปลงเท่าใด หรือเมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 3 เฟส ควรจะมีอัตราส่วนเป็นเช่นไร เป็นต้น ซึ่งการกำหนดค่าขอบเขตนี้จะส่งผลโดยตรงต่อความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ ซึ่งจากการศึกษาพฤติกรรมของสัญญาณฟอลต์ตัวอย่างนี้ได้กำหนดค่าขอบเขตการเปรียบเทียบไว้ที่ 5 เท่า โดยรายละเอียดนั้นจะกล่าวอยู่ในขั้นตอนการวิเคราะห์

4.1.2 การกำหนดลักษณะเด่นของการเปลี่ยนแปลงจากสัญญาณฟอลต์แต่ละแบบ

เนื่องจากลักษณะของฟอลต์แต่ละประเภทจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันและฟอลต์ประเภทเดียวกันก็ยังสามารถมีลักษณะที่แตกต่างกันตามปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดฟอลต์ด้วย แต่อย่างไรก็ตามควรจะมีลักษณะที่บางประการที่สอดคล้องกันหรือมีแนวโน้มเดียวกันซึ่งสามารถนำมาใช้ในการระบุความแตกต่างของฟอลต์แต่ละประเภทได้

4.1.3 การกำหนดจำนวนสเกลหรือช่วงความถี่ที่เหมาะสม

จำนวนสเกลหรือช่วงความถี่ที่นำมาใช้นั้นมีความสำคัญต่อผลการวิเคราะห์เนื่องจากการใช้จำนวนสเกลหรือช่วงความถี่ที่มีความหลากหลายนั้นจะทำให้มีข้อมูลในการวิเคราะห์ที่มากขึ้นการตัดสินใจทำได้ง่ายขึ้น แต่จะทำให้ต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์มากตามไปด้วย ดังนั้นการพิจารณาจำนวนสเกลที่เหมาะสมนั้นควรจะอยู่บนพื้นฐานที่ว่าจำนวนสเกลที่น้อยที่สุดที่ให้ความถูกต้องในการวิเคราะห์ตามเงื่อนไขที่สามารถยอมรับได้ จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่าสเกลที่ 1-5 มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์โดยให้ผลที่ถูกต้องเฉลี่ยมากกว่า 80 %

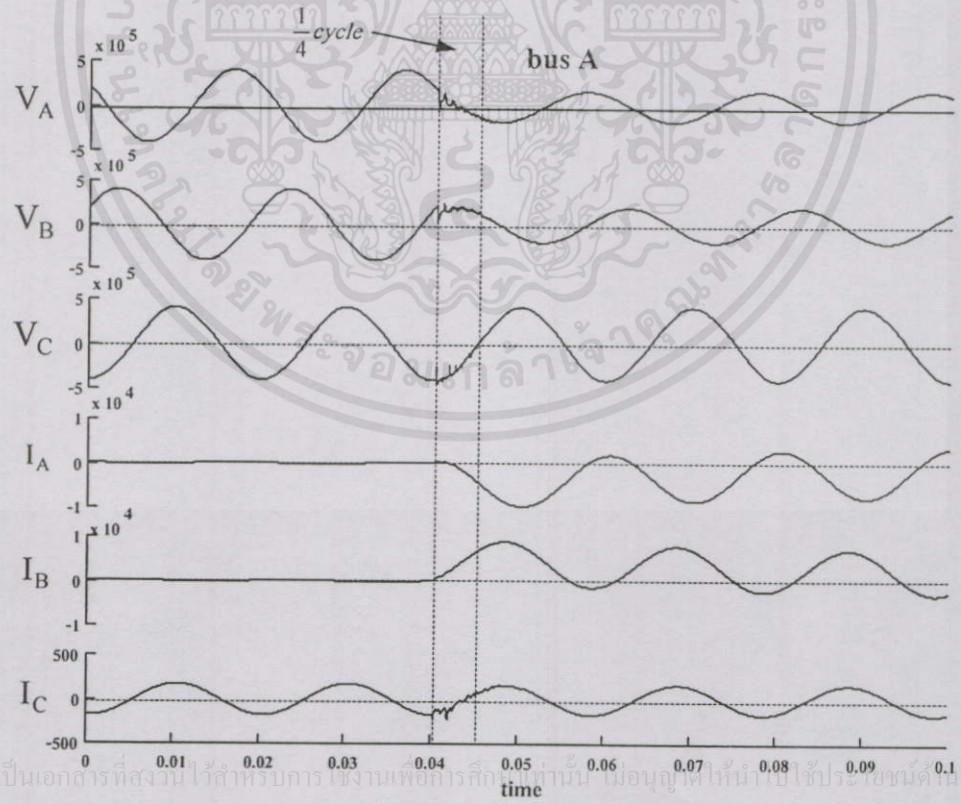
4.1.4 การกำหนดช่วงของข้อมูลหรือสัญญาณที่ทำการพิจารณา

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่สูงนั้นมีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับองค์ประกอบความถี่พื้นฐาน โดยยังคงข้อมูลที่สำคัญต่างๆ ไว้ ดังนั้นการพิจารณาองค์ประกอบความถี่สูงจึงสามารถที่จะลดขนาดของช่วงข้อมูลที่ใช้ได้ด้วย จากการศึกษานี้ได้กำหนดช่วงของข้อมูลพื้นฐานที่ใช้วิเคราะห์โดยใช้ช่วง ¼ ไซเคิลหลังจากเริ่มเกิดฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

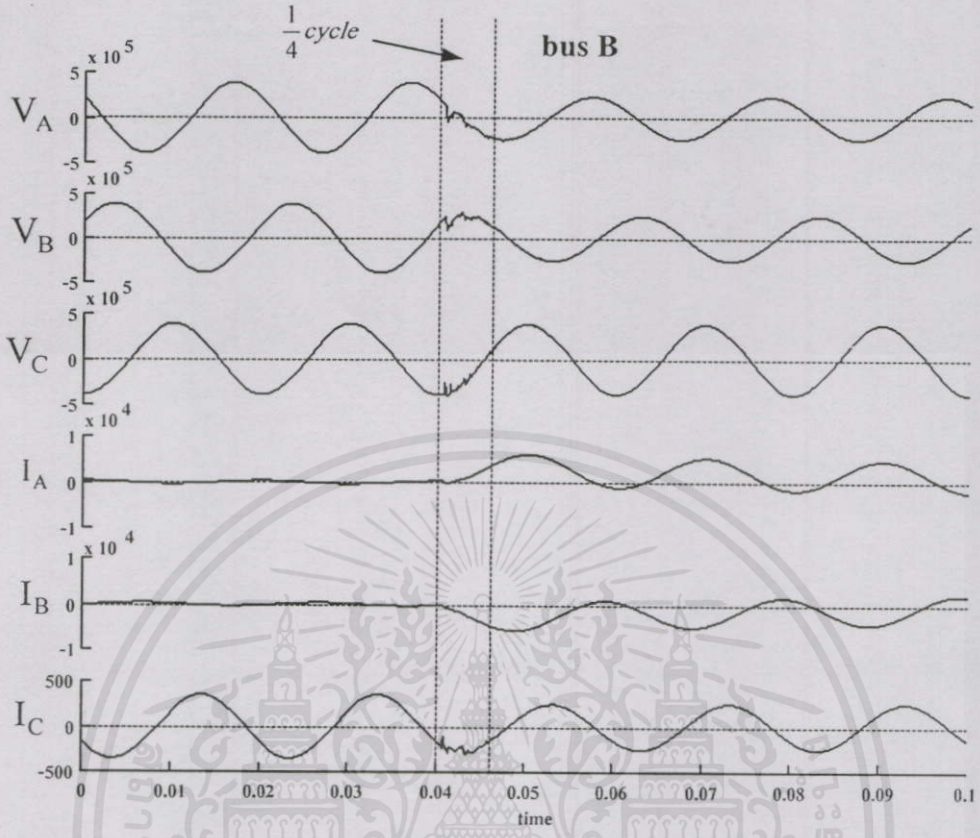
** **หมายเหตุ** รูปแบบของการเลือกเกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้ได้มาจากการทดสอบและศึกษาผลจากการแปลงเวฟเล็ตของสัญญาณฟอลต์ตัวอย่าง (200 ตัวอย่างแรก) โดยเป็นการปรับค่าเกณฑ์ต่างๆเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ต้องการซึ่งรายละเอียดนั้นได้กล่าวไว้ในภาคผนวก

เพื่อความสะดวกในการอธิบายขั้นตอนการวิเคราะห์จึงได้นำตัวอย่างของสัญญาณฟอลต์กระแสและแรงดันที่ได้จากการจำลองด้วยความถี่การสุ่ม (Sampling frequency rate) 200 kHz (รายละเอียดได้กล่าวในบทที่ 5) มาทำการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยเพื่อทำการแยกองค์ประกอบความถี่สูงในสเกลที่ 1-5 ออกมา แล้วพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของแต่ละช่วงความถี่จากสัมประสิทธิ์ที่ได้ในแต่ละสเกล ผลที่ได้จะนำมาใช้ใน 3 ลักษณะคือ การตรวจจับหาฟอลต์ที่เกิดขึ้น, การหาตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ และการระบุประเภทของฟอลต์ โดยเลือกใช้ข้อมูลในช่วง ¼ ไซเคิลหลังจากที่เริ่มเกิดฟอลต์(แสดงเป็นเส้นประ) ซึ่งสั้นกว่าเมื่อเทียบกับหลักการเดิมที่ใช้การแปลงฟูเรียร์ที่ต้องใช้ช่วงของข้อมูลในการวิเคราะห์อย่างน้อย 1 ไซเคิล ในการอธิบายการประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ตนี้จึงได้ยกตัวอย่างของสัญญาณฟอลต์ตามระบบในรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นฟอลต์ที่เฟส A และ B ลงดิน (ABG) ที่ระยะทาง 97.5 กิโลเมตร วัดจากปลายด้าน A (30 % ของระยะทางเต็ม 325 กิโลเมตร) เป็นสัญญาณที่ถูกนำมาวิเคราะห์ โดยมีรายละเอียดของการประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ตดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณฟอลต์ที่พิจารณาจากปลายสายส่งด้าน A (บัส A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณฟอลต์ที่พิจารณาจากปลายสายส่งด้าน B (บัส B)

4.2 การตรวจจับฟอลต์ (Fault detection)

รูปแบบของการตรวจจับฟอลต์ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำกระแสและแรงดันในแต่ละเฟส มาทำการแปลงใหม่ให้อยู่ในองค์ประกอบลำดับต่างๆ โดยอาศัยการแปลงด้วยเมตริกซ์การแปลง (Transformation matrix) ซึ่งสมการการแปลงได้แสดงอยู่ในสมการที่ 4.1 และ 4.2

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = [T] \cdot \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \tag{4.1}$$

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = [T] \cdot \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \tag{4.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ V_0, I_0 = Ground mode หรือ Zero sequence

V_1, I_1 = Aerial mode หรือ Positive sequence

V_2, I_2 = Aerial mode หรือ Negative sequence

T = เมตริกซ์การแปลงซึ่งในตัวอย่างที่นี้ใช้เมตริกการแปลงของคาร์ก (Clarke:รายละเอียดได้กล่าวในบทที่ 5)

หลังจากที่ทำการแปลงองค์ประกอบในแต่ละเฟสให้อยู่ในรูปองค์ประกอบลำดับต่างๆ แล้ว การตรวจจับฟอลต์ทำได้โดยการนำองค์ประกอบลำดับบวก มาผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย เพื่อแยกองค์ประกอบความถี่สูงออกมา 5 สเกลด้วยกัน ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ซึ่งแต่ละสเกลจะแสดงค่าของช่วงความถี่ดังนี้

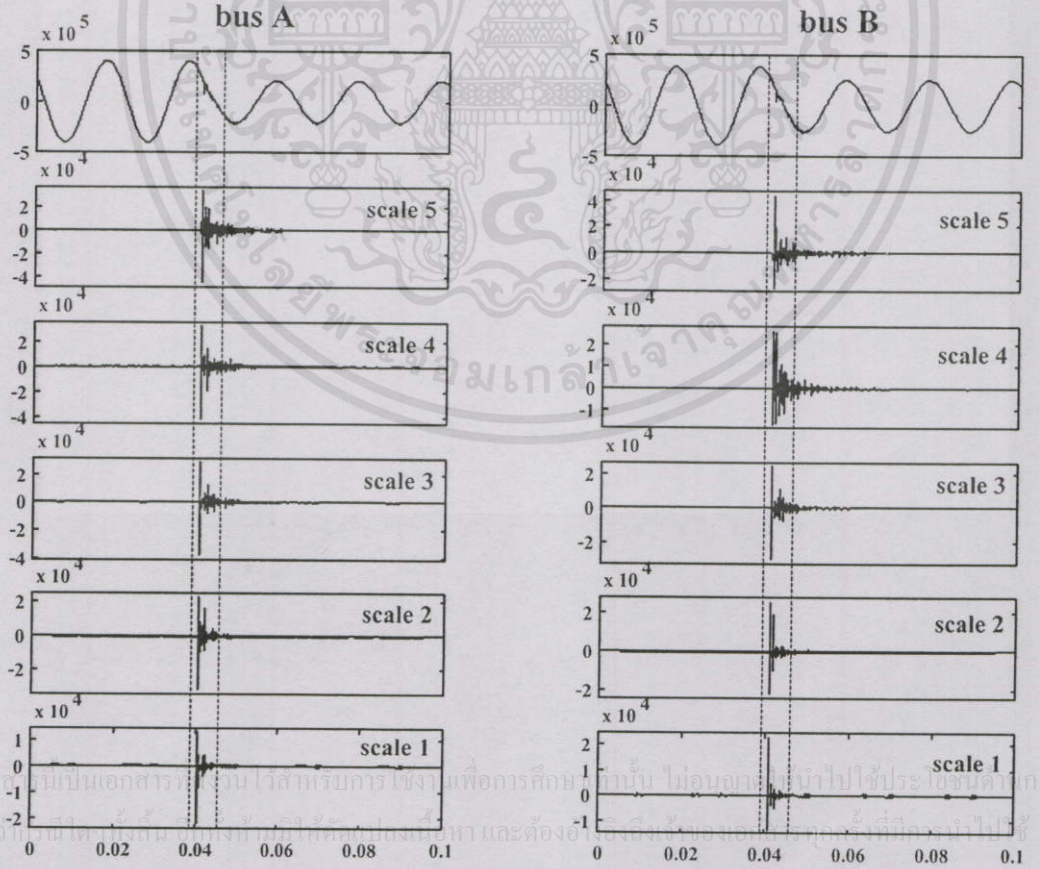
สเกลที่ 1 มีความถี่ในช่วง 50-100 kHz

สเกลที 2 มีความถี่ในช่วง 25-50 kHz

สเกลที่ 3 มีความถี่ในช่วง 12.5-25 kHz

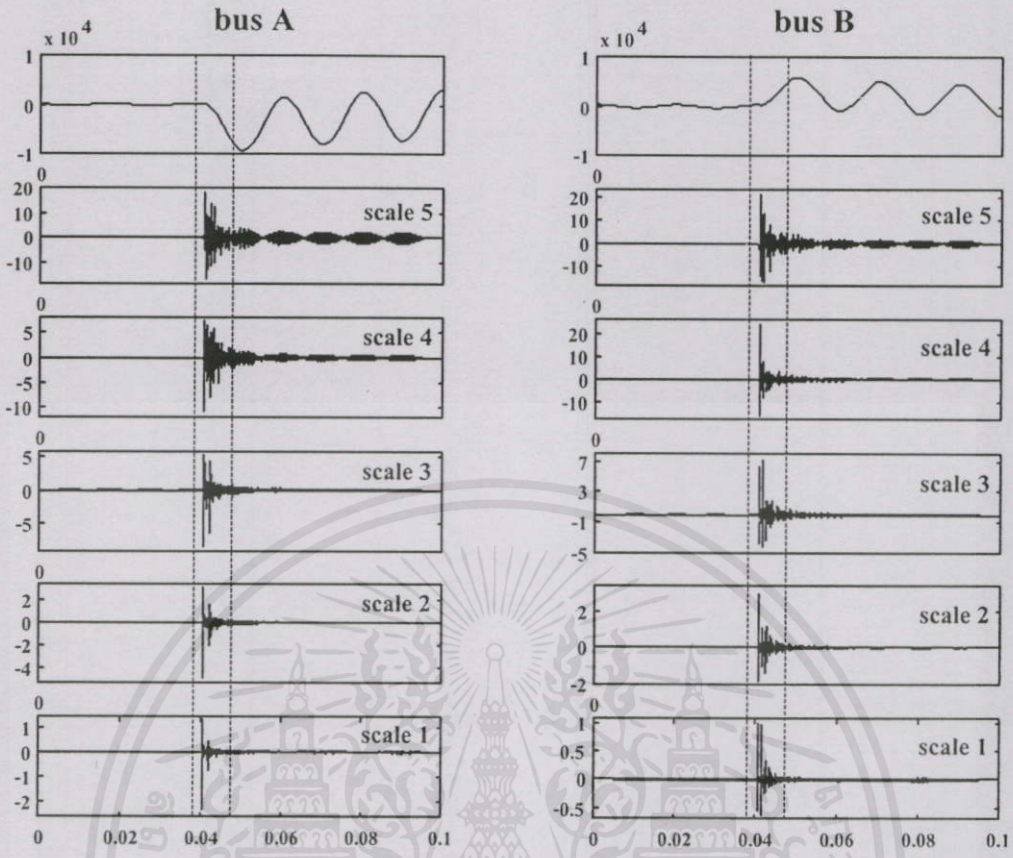
สเกลที่ 4 มีความถี่ในช่วง 6.25-12.5 kHz

สเกลที 5 มีความถี่ในช่วง 3.125-6.25 kHz



รูปที่ 4.4 แสดงผลการแปลงเวฟเล็ตของแรงดันลำดับบวก (Positive sequence voltage)

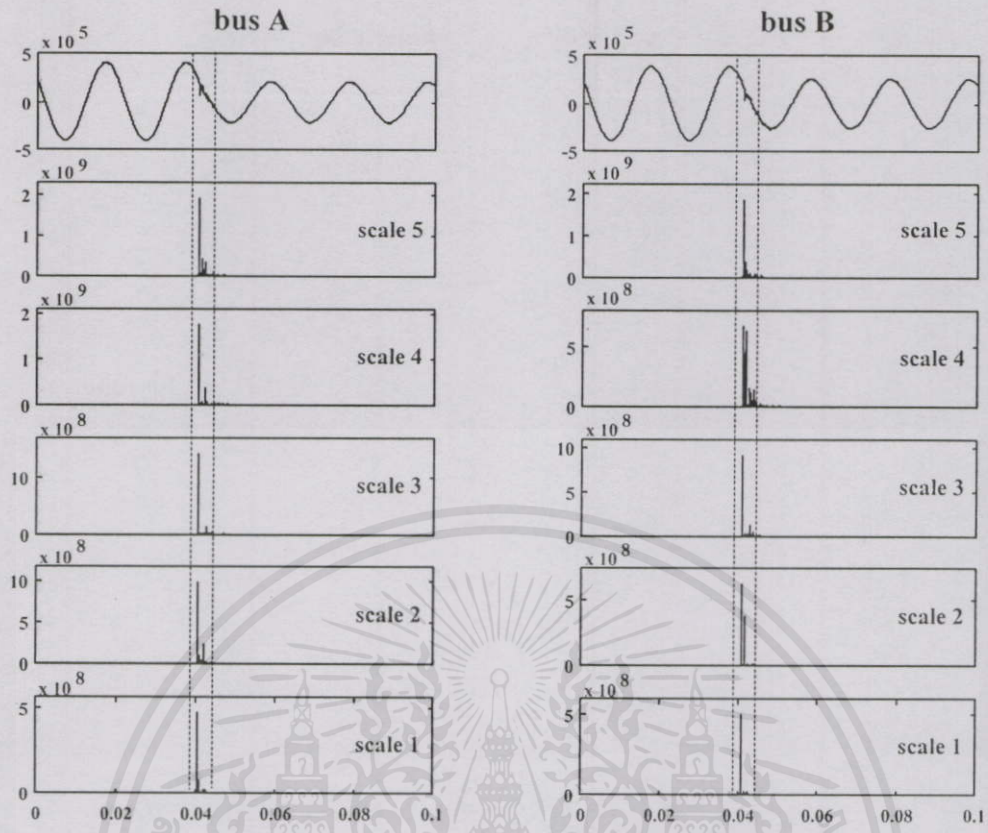
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



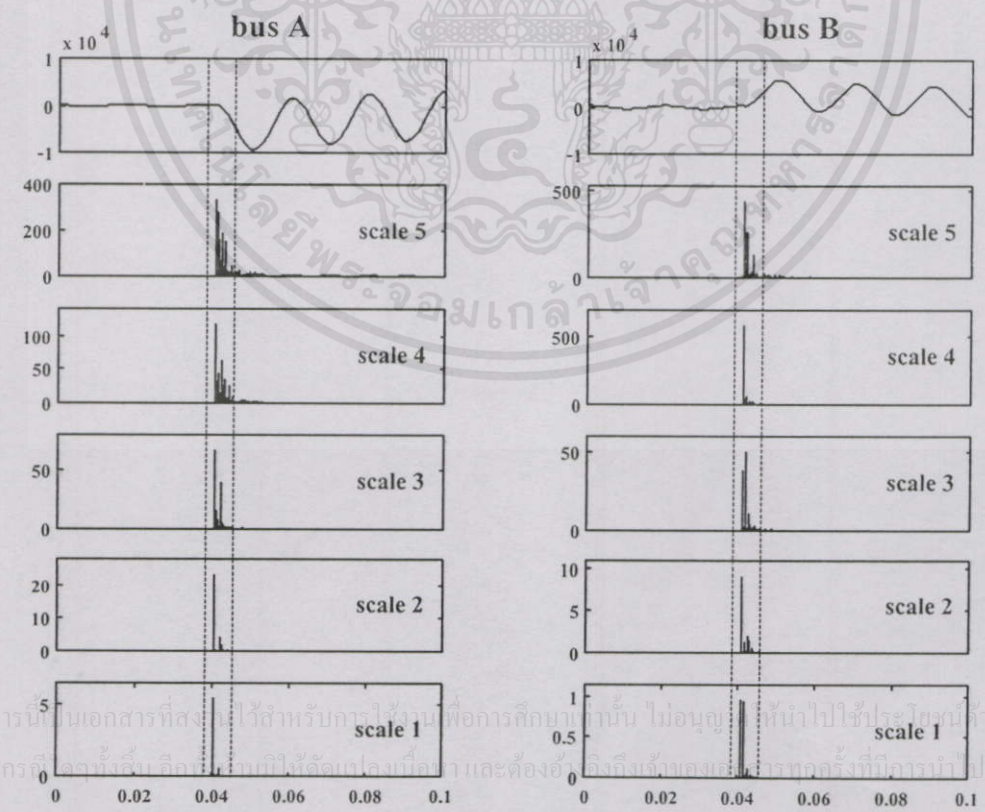
รูปที่ 4.5 แสดงผลการแปลงเวฟเล็ตของกระแสลำดับบวก (Positive sequence current)

จากผลการแปลงเวฟเล็ตสามารถสังเกตได้ว่าก่อนมีฟอลต์เกิดขึ้น ($t<0.04$ s) สัมประสิทธิ์ของการแปลงเวฟเล็ตจะมีต่ำมากๆ ประมาณศูนย์ แต่ในสภาวะที่เริ่มมีฟอลต์ ($t \geq 0.04$ s) พบว่าค่าของสัมประสิทธิ์ในสเกลที่ 1 – 5 จะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และเพื่อให้การพิจารณาง่ายขึ้นจึงนำสัมประสิทธิ์มายกกำลังสองเพื่อให้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้นดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 ซึ่งในวิทยานิพนธ์ได้กำหนดการเปรียบเทียบระหว่างค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์ในช่วง ¼ ไซเคิลหลังจากเกิดฟอลต์และค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์ในสภาวะก่อนเกิดฟอลต์เป็นจำนวนเท่า ซึ่งพิจารณาในสเกลใดสเกลหนึ่งโดยตั้งสมมติฐานไว้ว่า “ **ถ้าสัมประสิทธิ์ในสเกลใดมีการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นมากกว่า 5 เท่าจากสภาวะปกติแสดงว่ามีฟอลต์เกิดขึ้นในสายส่งวงจรนั้น** ” นอกจากนี้ในทางปฏิบัติการเกิดฟอลต์บนสายส่งยังมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง องค์ประกอบความถี่ของสัญญาณฟอลต์ด้วย แต่ในรูปแบบการวิเคราะห์ด้วยการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยที่มีการวิเคราะห์แบบหลายระดับความละเอียด จึงทำให้สามารถเห็นผลการเปลี่ยนแปลงของแต่ละช่วงความถี่ได้ ในบางครั้งอาจจะไม่พบการเปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เป็นไปตามสมมติฐานของการตรวจจับฟอลต์ในสเกลที่ 1 แต่ก็สามารถพบการเปลี่ยนแปลงในสเกลถัดไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงการตรวจจับฟอลต์ด้วยแรงดันลำดับบวกที่ปลายสายส่งทั้ง 2 ด้าน



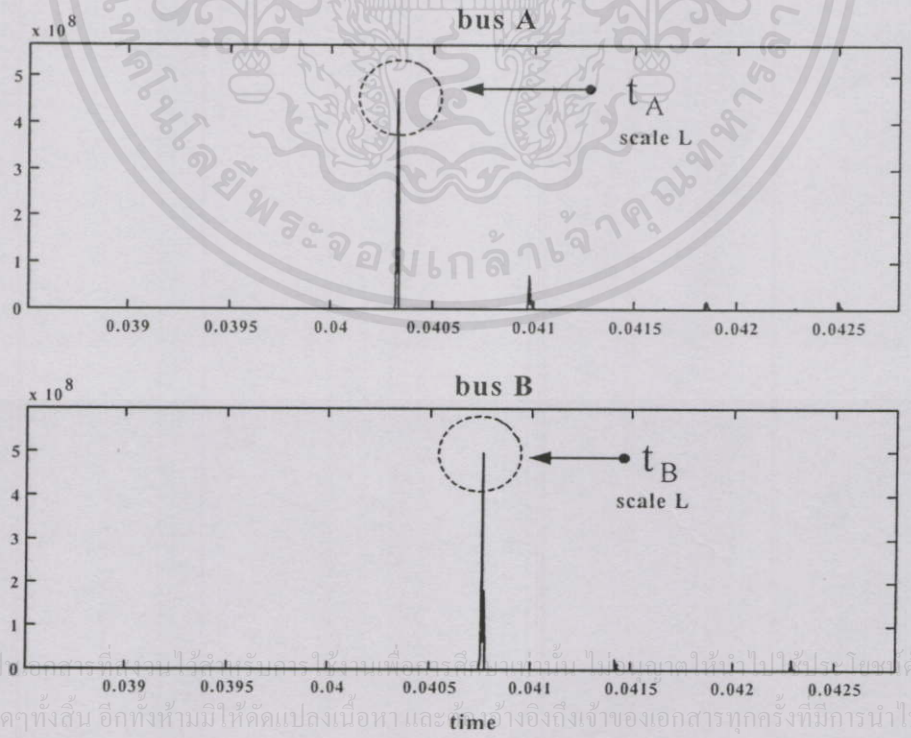
รูปที่ 4.7 แสดงการตรวจจับฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกที่ปลายสายส่งทั้ง 2 ด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขั้นตอนสุดท้ายของจากตรวจจับฟอลต์คือการตัดสินว่าเกิดฟอลต์หรือไม่นั้นวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้การพิจารณาข้อมูลที่ปลายทั้ง 2 ด้านของสายส่งมาใช้ดังนี้คือ " **ถ้าผลการพิจารณาสัมประสิทธิ์เพื่อตรวจจับฟอลต์ทั้ง 2 ด้านบอกว่ามีฟอลต์เกิดขึ้นแล้วให้ถือว่าสายส่งวงจรนั้นมีฟอลต์เกิดขึ้น** " ซึ่งจากรูปที่ 4.6 และ 4.7 พบว่าเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตจากแรงดันลำดับบวกที่ปลายทั้ง 2 ด้านแล้วสามารถระบุได้ว่ามีฟอลต์เกิดขึ้น และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตจากกระแสลำดับบวกพบว่าผลที่ได้นั้นมีลักษณะเดียวกัน และนอกจากจะทราบข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของแต่ละช่วงความถี่แล้วยังสามารถทราบว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเริ่มต้น ณ เวลาใด ซึ่งข้อมูลทางเวลานี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้

4.3 การหาตำแหน่งฟอลต์ (Fault location)

จากผลการแปลงเวฟเล็ตขององค์ประกอบลำดับบวกของกระแสและแรงดันที่ปลายทั้ง 2 ด้านของสายส่งนอกจากจะทราบข้อมูลการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่ในแต่ละสเกลแล้ว สิ่งหนึ่งที่เราสามารถสังเกตได้คือ การเปลี่ยนแปลงนั้นเริ่มเกิดที่เวลาใดบ้างในแต่ละสเกล ซึ่งเวลานี้คือเวลาที่เริ่มเกิดฟอลต์นั่นเอง จากทฤษฎีคลื่นเดินทางเมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้น ณ จุดใดๆ บนสายส่งจะเกิดสัญญาณฟอลต์เดินทางจากจุดที่เกิดฟอลต์ไปยังปลายทั้ง 2 ด้านของสายส่ง ซึ่งถ้าสามารถจับเวลาที่คลื่นแต่ละลูกเดินทางมาที่ปลายทั้ง 2 ด้านได้ ก็สามารถนำเวลาที่ได้มาแทนในสมการที่ 4.3 เพื่อคำนวณหาตำแหน่งของฟอลต์ที่เกิดขึ้น [20]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 แสดงค่าของยอดคลื่นแรกของปลายแต่ละด้านที่นำมาใช้ในการหาตำแหน่งฟอลต์

$$d = \frac{(L - v \times (t_B - t_A))}{2} \tag{4.3}$$

เมื่อ

d = ระยะทางของจุดที่เกิดฟอลต์วัดจากปลาย สายส่งด้าน A

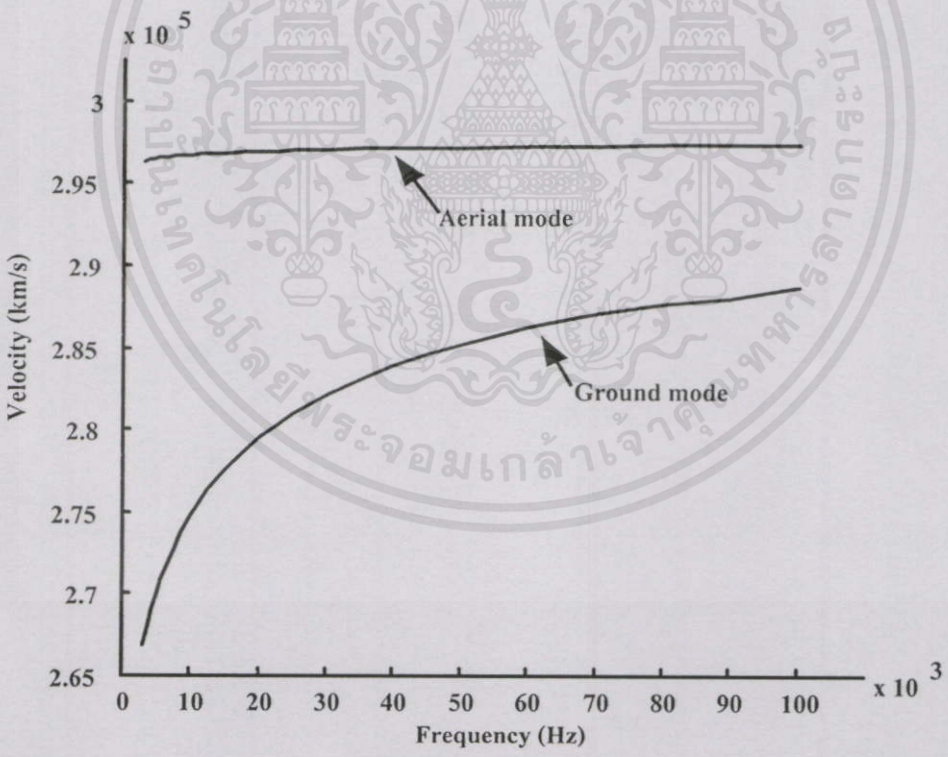
L = ความยาวของสายส่ง

t_A = เวลาที่สัญญาณฟอลต์มาถึงปลายด้าน A

t_B = เวลาที่สัญญาณฟอลต์มาถึงปลายด้าน B

v = ความเร็วการเดินทางของคลื่น

ซึ่งสมการที่ 4.3 สามารถใช้ได้กับฟอลต์ทุกรูปแบบและมีความแม่นยำที่ดีแต่ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ว่าข้อมูลทางเวลาของปลายทั้ง 2 ด้านต้องอยู่บนฐานเวลาเดียวกัน (Time synchronized) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาเทอมของความเร็วของคลื่นเดินทางพบว่าจะแปรไปตามความถี่ของคลื่นนั้นๆ ด้วยดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วของ Aerial mode และ Ground mode ที่ความถี่ต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

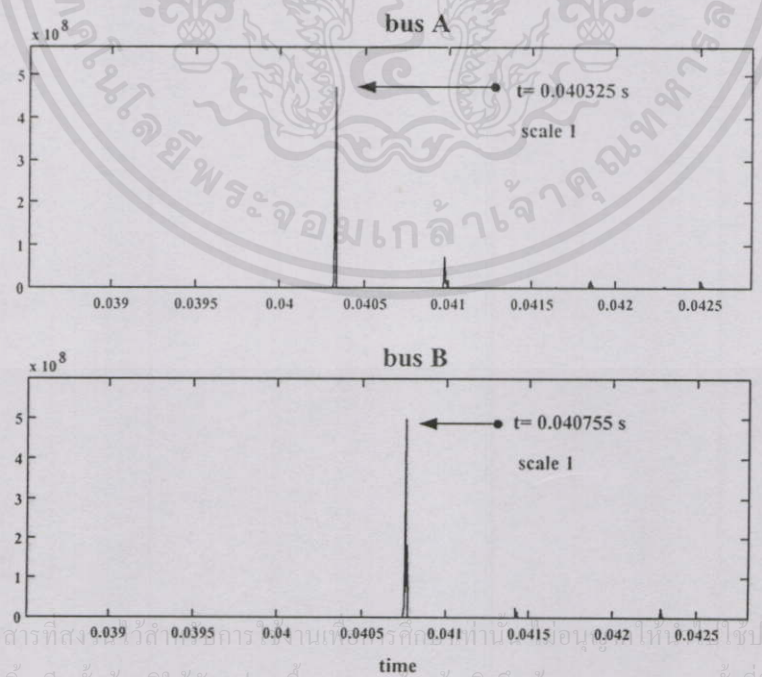
และเนื่องจากในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการวิเคราะห์ในหลายช่วงความถี่ ดังนั้นจึงทำการคำนวณความเร็วเฉลี่ยในแต่ละช่วงความถี่ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นค่าของระบบในรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงความเร็วเฉลี่ยการเดินทางของคลื่น (Aerial mode) ในแต่ละช่วงความถี่

เวฟเล็ต สเกลที่	ความถี่ (kHz)	ความเร็วเฉลี่ย km/s
1	50 - 100	297322
2	25 - 50	297105
3	12.5 - 25	296896
4	6.25 - 12.5	296688
5	3.125 - 6.25	296466

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กำหนดเกณฑ์ในการหาตำแหน่งฟอลต์ไว้โดยใช้ข้อมูลในสเกลแรกที่พบการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์มากกว่า 5 เท่าจากสภาวะปกติทั้ง 2 ด้านของสายส่ง และในลักษณะเดียวกันกับการตรวจจับฟอลต์ที่ในบางครั้งอาจจะไม่พบในสเกลที่ 1 หรือมีการเปลี่ยนแปลงไม่เป็นไปตามเกณฑ์ทั้ง 2 ด้านก็จะเลื่อนไปใช้ในสเกลที่สูงกว่า (2, 3, 4 และ 5) ได้ โดยสามารถแสดงการคำนวณตำแหน่งฟอลต์โดยใช้สัมประสิทธิ์จากการแปลงเวฟเล็ตของแรงดันและกระแสฟอลต์ในสเกลที่ 1 ซึ่งเป็นฟอลต์ที่เฟส A และ B ลงดินที่ระยะทาง 97.5 กิโลเมตร จากความยาวสายส่งมีความยาว 325 กิโลเมตร ได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

4.3.1 การคำนวณตำแหน่งฟอลต์ด้วยแรงดันลำดับบวกจากรูปที่ 4.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 แสดงพีกแรกที่วัดได้ของสัญญาณแรงดันที่ปลายสายส่งแต่ละด้านในสเกลที่ 1

เมื่อ L = 325 กิโลเมตร

t_A = 0.040325 วินาที

t_B = 0.040755 วินาที

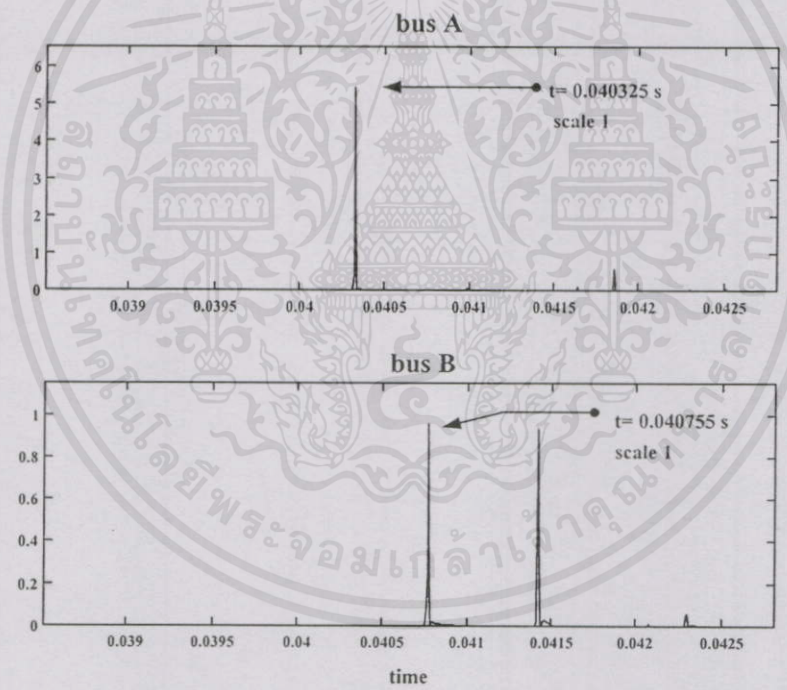
v = 297322 กิโลเมตร/วินาที (km/s)

$$d = \frac{(325 - 297322 \times (0.040755 - 0.040325))}{2} \quad (4.4)$$

$$d = 98.575 \text{ กิโลเมตร}$$

คลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริง (97.5 กิโลเมตร) ที่เกิดฟอลต์เท่ากับ 1.075 กิโลเมตร

4.3.2 การคำนวณตำแหน่งฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกจากรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.11 แสดงพีกแรกที่วัดได้ของสัญญาณกระแสที่ปลายสายส่งแต่ละด้านในสเกลที่ 1

เมื่อ L = 325 กิโลเมตร

t_A = 0.040325 วินาที

t_B = 0.040755 วินาที

v_m = 297322 กิโลเมตร/วินาที (km/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d = \frac{(325 - 297322 \times (0.040755 - 0.040325))}{2} \quad (4.5)$$

$$d = 98.575 \text{ กิโลเมตร}$$

คลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริง (97.5 กิโลเมตร) ที่เกิดฟอลต์เท่ากับ 1.075 กิโลเมตร

ในทางปฏิบัติสามารถใช้ในสเกลที่สูงขึ้นไปได้ (สเกลที่ 2-5) ขึ้นอยู่กับว่าจะพบการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนที่สเกลใดแต่จากการศึกษาพบว่าส่วนใหญ่สเกลที่ต่ำ (ความถี่สูง) จะให้ความแม่นยำที่ดีกว่าโดยสามารถแสดงผลการคำนวณในแต่ละสเกลได้ดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงการคำนวณหาตำแหน่งของฟอลต์จากแรงดันลำดับบวกในสเกลที่ 1-5

เวฟเล็ตสเกลที่	ความเร็ว (km/s)	t_A (วินาที)	t_B (วินาที)	ระยะทางจริง (กิโลเมตร)	ระยะทางคำนวณ (กิโลเมตร)	error (กิโลเมตร)
1	297322	0.040325	0.040755	97.5	98.575	1.075
2	297105	0.040315	0.040735	97.5	100.108	2.608
3	296896	0.040275	0.040695	97.5	100.152	2.652
4	296688	0.040190	0.040655	97.5	93.52	-3.98
5	296466	0.040075	0.040495	97.5	100.242	2.742

ตารางที่ 4.3 แสดงการคำนวณหาตำแหน่งของฟอลต์จากกระแสลำดับบวกในสเกลที่ 1-5

เวฟเล็ตสเกลที่	ความเร็ว (km/s)	t_A (วินาที)	t_B (วินาที)	ระยะทางจริง (กิโลเมตร)	ระยะทางคำนวณ (กิโลเมตร)	error (กิโลเมตร)
1	297322	0.040325	0.040757	97.5	98.575	1.075
2	297105	0.040295	0.040735	97.5	97.136	-0.364
3	296896	0.040255	0.040710	97.5	94.956	-2.544
4	296688	0.040175	0.040655	97.5	91.295	-6.205
5	296466	0.040075	0.040495	97.5	100.242	2.742

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การระบุประเภทของฟอลต์ (Fault Identification)

ลักษณะของฟอลต์แต่ละประเภทจะมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดันที่แตกต่างกัน ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้นำการแปลงเวฟเล็ตมาพิจารณาเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นแต่ละเฟส ด้วยการพิจารณาเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดันลำดับศูนย์ เพื่อทำให้ค่าขององค์ประกอบในแต่ละเฟสมีฐานอ้างอิงเดียวกัน(จากการศึกษาตัวอย่างสัญญาณฟอลต์ในเบื้องต้นพบว่าการอ้างอิงกับค่าขององค์ประกอบลำดับศูนย์จะให้ความถูกต้องมากกว่าการใช้องค์ประกอบอื่นๆ) ซึ่งจะทำให้ง่ายและสะดวกต่อการเปรียบเทียบมากยิ่งขึ้น โดยมีรูปแบบการวิเคราะห์เพื่อระบุประเภทของฟอลต์ดังต่อไปนี้

4.4.1 การกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ประเภทของฟอลต์

เพื่อสะดวกในการอธิบายขั้นตอนทั้งหมดจึงทำการกำหนดตัวแปรต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.4.1.1 ตัวแปรค่าสูงสุดในช่วงก่อนเกิดฟอลต์

$Z^{L}_{max\,(pre)}$ = ค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตขององค์ประกอบลำดับศูนย์ในช่วงก่อนเกิดฟอลต์ที่สเกล L

$A^{L}_{max\,(pre)}$ = ค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์จากการแปลงเวฟเล็ตขององค์ประกอบที่เฟส A ในช่วงก่อนเกิดฟอลต์ที่สเกล L

$B^{L}_{max\,(pre)}$ = ค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์จากการแปลงเวฟเล็ตขององค์ประกอบที่เฟส B ในช่วงก่อนเกิดฟอลต์ที่สเกล L

$C^{L}_{max\,(pre)}$ = ค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์จากการแปลงเวฟเล็ตขององค์ประกอบที่เฟส A ในช่วงก่อนเกิดฟอลต์ที่สเกล L

4.4.1.2 ตัวแปรค่าสูงสุดในช่วงหลังเกิดฟอลต์

$Z^{L}_{max\,(post)}$ = ค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์จากการแปลงเวฟเล็ตขององค์ประกอบลำดับศูนย์ในช่วง $\frac{1}{4}$ ไซเคิลหลังเกิดฟอลต์ที่สเกล L

$A^{L}_{max\,(post)}$ = ค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์จากการแปลงเวฟเล็ตขององค์ประกอบที่เฟส A ในช่วง $\frac{1}{4}$ ไซเคิลหลังเกิดฟอลต์ที่สเกล L

$B^{L}_{max\,(post)}$ = ค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์จากการแปลงเวฟเล็ตขององค์ประกอบที่เฟส B ในช่วง $\frac{1}{4}$ ไซเคิลหลังเกิดฟอลต์ที่สเกล L

$C^{L}_{max\,(post)}$ = ค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์จากการแปลงเวฟเล็ตขององค์ประกอบที่เฟส C ในช่วง $\frac{1}{4}$ ไซเคิลหลังเกิดฟอลต์ที่สเกล L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.3 ตัวแปรค่าสูงสุดเปรียบเทียบ

Z^{L}_{max} = ค่าสูงสุดเปรียบเทียบขององค์ประกอบดับศูนย์ในสเกลที่ L

A^{L}_{max} = ค่าสูงสุดเปรียบเทียบขององค์ประกอบที่เฟส A ในสเกลที่ L

B^{L}_{max} = ค่าสูงสุดเปรียบเทียบขององค์ประกอบที่เฟส B ในสเกลที่ L

C^{L}_{max} = ค่าสูงสุดเปรียบเทียบขององค์ประกอบที่เฟส C ในสเกลที่ L

4.4.1.4 ตัวแปรค่าเปรียบเทียบ

Z^{L}_{com} = ค่าเปรียบเทียบขององค์ประกอบลำดับศูนย์ซึ่งอ้างอิงกับค่าสูงสุดขององค์ประกอบลำดับศูนย์ในสเกลที่ L ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 เสมอ

A^{L}_{com} = ค่าเปรียบเทียบขององค์ประกอบที่เฟส A ซึ่งอ้างอิงกับค่าสูงสุดขององค์ประกอบลำดับศูนย์ในสเกลที่ L

B^{L}_{com} = ค่าเปรียบเทียบขององค์ประกอบที่เฟส B ซึ่งอ้างอิงกับค่าสูงสุดขององค์ประกอบลำดับศูนย์ในสเกลที่ L

C^{L}_{com} = ค่าเปรียบเทียบขององค์ประกอบที่เฟส C ซึ่งอ้างอิงกับค่าสูงสุดขององค์ประกอบลำดับศูนย์ในสเกลที่ L

4.4.1.5 ตัวแปรการตรวจสอบ

Z^{L}_{chk} = ค่าตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์จากการแปลงเวฟเล็ตขององค์ประกอบลำดับศูนย์ระหว่างก่อนเกิดฟอลต์และหลังเกิดฟอลต์ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 1 หรือ 0 เท่านั้น

Ph^{L}_{max} = ค่าสูงที่สุดของค่าเปรียบเทียบทั้ง 3 เฟส (A^{L}_{com} B^{L}_{com} และ C^{L}_{com}) ในสเกลที่ L

Ph^{L}_{min} = ค่าต่ำที่สุดของค่าเปรียบเทียบทั้ง 3 เฟส (A^{L}_{com} B^{L}_{com} และ C^{L}_{com}) ในสเกลที่ L

และเนื่องจากขั้นตอนทั้งหมดเป็นลักษณะการเปรียบเทียบของค่าต่างๆ ซึ่งบางครั้งการอธิบายด้วยการลักษณะของคำพูดนั้นอาจจะทำให้เข้าใจยาก ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงใช้ลักษณะการอธิบายเชิงบรรยายร่วมกับการอธิบายด้วยลักษณะของการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแบบสากลคือ if ... Then ...else ... end ซึ่งจะช่วยทำให้สามารถทำความเข้าใจได้ง่ายมากยิ่งขึ้น โดยขั้นตอนการระบุประเภทของฟอลต์สามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

4.4.2 การวิเคราะห์สัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ต

ขั้นตอนนี้เป็นการนำสัญญาณของกระแสหรือแรงดันที่เฟส A เฟส B และ เฟส C รวมทั้งสัญญาณขององค์ประกอบลำดับศูนย์ (zero sequence) มาทำการวิเคราะห์ด้วยการแปลงเวฟเล็ตแบบ

เต็มหน่วยเพื่อแยกองค์ประกอบความถี่สูงในสเกลที่ 1-5 ออกมาและทำการยกกำลัง 2 สัมประสิทธิ์ในทุกสเกล

4.4.3 การเตรียมข้อมูลก่อนการวิเคราะห์

จากขั้นตอนที่ 4.3.2 เพื่อให้ข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์มีรูปแบบที่ชัดเจน จึงจำเป็นต้องทำการจัดข้อมูลก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ โดยเป็นการพิจารณาในแต่ละสเกลดังต่อไปนี้

4.4.3.1 การหาค่าสูงสุดในการเปรียบเทียบขององค์ประกอบลำดับศูนย์

พิจารณาค่าสูงสุดเปรียบเทียบขององค์ประกอบลำดับศูนย์ซึ่งจะเท่ากับค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์ในช่วง $\frac{1}{4}$ ไซเคิลหลังเกิดฟอลต์ดังแสดงในสมการที่ 2

$$Z^{L}_{max} = Z^{L}_{max\,(post)} \tag{4.6}$$

และพิจารณาการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบลำดับศูนย์ดังนี้คือ ถ้าค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์จากการแปลงเวฟเล็ตขององค์ประกอบลำดับศูนย์ในช่วง $\frac{1}{4}$ ไซเคิลหลังเกิดฟอลต์มีค่ามากกว่า 5 เท่าของค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์ในช่วงก่อนเกิดฟอลต์แล้ว ค่าตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 1 แต่ถ้าน้อยกว่ากำหนดให้เท่ากับ 0 ดังลักษณะของโปรแกรมต่อไปนี้

if $Z^{L}_{max\,(post)} \geq 5 \times Z^{L}_{max\,(pre)}$

then

$$Z^{L}_{chk} = 1 \tag{4.7}$$

else

$$Z^{L}_{chk} = 0 \tag{4.8}$$

end

4.4.3.2 การหาค่าสูงสุดเปรียบเทียบขององค์ประกอบในแต่ละเฟส

การพิจารณาค่าสูงสุดเปรียบเทียบขององค์ประกอบแต่ละเฟสมีรูปแบบดังนี้ คือ ถ้าค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์จากองค์ประกอบเฟสใดในช่วง $\frac{1}{4}$ ไซเคิลหลังเกิดฟอลต์มีค่ามากกว่า 5 เท่าของค่าสูงสุดจากสัมประสิทธิ์ในช่วงก่อนเกิดฟอลต์หรือค่า $Z^{L}_{chk} = 0$ แล้ว ค่าสูงสุดเปรียบเทียบในเฟสนั้นจะเท่ากับค่าสูงสุดในช่วง $\frac{1}{4}$ ไซเคิลหลังเกิดฟอลต์ กรณีอื่นๆ นอกจากนี้จะกำหนดให้เท่ากับศูนย์ โดยสามารถแสดงรูปแบบการพิจารณาได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาที่เฟส A

if $(A^{L}_{max\,(post)} \geq 5 \times A^{L}_{max\,(pre)})$ or $(Z^{L}_{chk} = 0)$

then

$$A^{L}_{max} = A^{L}_{max\,(post)} \tag{4.9}$$

else

$$A^{L}_{max} = 0 \tag{4.10}$$

end

<u>พิจารณาที่เฟส B</u>

if $(B^{L}_{max\,(post)} \geq 5 \times B^{L}_{max\,(pre)})$ or $(Z^{L}_{chk} = 0)$

then

$$B^{L}_{max} = B^{L}_{max\,(post)} \tag{4.11}$$

else

$$B^{L}_{max} = 0 \tag{4.12}$$

end

<u>พิจารณาที่เฟส C</u>

if

then

$$C^{L}_{max} = C^{L}_{max\,(post)} \tag{4.13}$$

else

$$C^{L}_{max} = 0 \tag{4.14}$$

end

จากขั้นตอนที่ 4.3.3 นั้นทำให้ได้ค่าสูงสุดเปรียบเทียบของเฟส A เฟส B เฟส C และองค์ประกอบลำดับศูนย์ในสเกลที่ L ใด ๆ

4.4.4 การหาค่าเปรียบเทียบ

ขั้นตอนนี้เป็นการหาค่าเปรียบเทียบโดยนำค่าสูงสุดเปรียบเทียบทั้งหมดที่ได้จากขั้นตอนที่ 4.3.3 แล้วนำมาหารด้วยค่าสูงสุดเปรียบเทียบขององค์ประกอบลำดับศูนย์ดังนี้

<u>พิจารณาค่าเปรียบเทียบที่องค์ประกอบลำดับศูนย์</u>

$$Z^{L}_{com} = \frac{Z^{L}_{max}}{Z^{L}_{max}} = 1 \tag{4.15}$$

<u>พิจารณาค่าเปรียบเทียบที่เฟส A</u>

$$A^{L}_{com} = \frac{A^{L}_{max}}{Z^{L}_{max}} \tag{4.16}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาค่าเปรียบเทียบที่เฟส B

$$B^{L}_{com} = \frac{B^{L}_{max}}{Z^{L}_{max}} \tag{4.17}$$

พิจารณาค่าเปรียบเทียบที่เฟส C

$$C^{L}_{com} = \frac{C^{L}_{max}}{Z^{L}_{max}} \tag{4.18}$$

และ

Ph^{L}_{max} = ค่าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง A^{L}_{com} B^{L}_{com} และ C^{L}_{com} (4.19)

Ph^{L}_{min} = ค่าที่ต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง A^{L}_{com} B^{L}_{com} และ C^{L}_{com} (4.20)

จากขั้นตอนนี้ทำให้ได้ค่าเปรียบเทียบของ เฟส A เฟส B เฟส C และองค์ประกอบลำดับศูนย์ในสเกล L ใดๆ รวมทั้งค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของค่าเปรียบเทียบทั้ง 3 เฟส ซึ่งค่าทั้งหมดนี้จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อระบุประเภทของฟอลต์ต่อไป

4.4.5 การวิเคราะห์ในสเกลที่เหลือ

ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 4.3.3 และ 4.3.4 จนครบทุกสเกลซึ่งทำให้ได้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ในสเกลที่ 1 – 5 โดยข้อมูลนี้จะเป็นข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการระบุประเภทของฟอลต์ต่อไป

4.4.6 การวิเคราะห์เพื่อระบุเฟสที่เกิดฟอลต์ในแต่ละสเกล

โดยพิจารณาแต่ละเฟสในสเกลเดียวกันตามรูปแบบต่อไปนี้

4.4.6.1 การพิจารณาค่าเปรียบเทียบ (A^{L}_{com}, B^{L}_{com}, C^{L}_{com}) โดยเฟสที่สามารถระบุว่าเกิดฟอลต์ได้นั้นจะต้องมีรูปแบบตามข้อใดข้อหนึ่งใน 2 ข้อต่อไปนี้

1) ต้องมีค่าเปรียบเทียบมากกว่า 1 และมีค่ามากกว่า 40 % ของค่า Ph^{L}_{max} หรือมีค่ามากกว่า 5
2) หรือมีค่ามากกว่า 5 เท่าของค่า Ph^{L}_{min}

ซึ่งสามารถแสดงลักษณะการพิจารณาในรูปแบบของการเขียนโปรแกรมได้ดังต่อไปนี้

พิจารณาฟอลต์ที่เฟส A

```
if    [(A^L_com >1)and ((A^L_com > 0.4×Ph^L_max) or (A^L_com >5))] or [(A^L_com > 5×Ph^L_min)]
then
        phase A fault
else
        phase A unfault
end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาฟอลต์ที่เฟส B

if $[(B^{L}_{com} > 1)$ and $((B^{L}_{com} > 0.4 \times Ph^{L}_{max})$ or $(B^{L}_{com} > 5))]$ or $[(B^{L}_{com} > 5 \times Ph^{L}_{min})]$

then

phase B fault

else

phase B unfault

end

พิจารณาฟอลต์ที่เฟส C

if $[(C^{L}_{com} > 1)$ and $((C^{L}_{com} > 0.4 \times Ph^{L}_{max})$ or $(C^{L}_{com} > 5))]$ or $[(C^{L}_{com} > 5 \times Ph^{L}_{min})]$

then

phase C fault

else

phase C unfault

end

4.4.6.2 กรณีที่ไม่สามารถระบุได้ว่าเกิดฟอลต์ที่เฟสใด เมื่อพิจารณาตามข้อ 4.4.6.1 แล้วไม่สามารถระบุได้ว่าเกิดฟอลต์ที่เฟสใด การระบุประเภทของฟอลต์นั้นจะใช้รูปแบบใหม่ในการพิจารณาดังนี้ คือ เฟสที่เกิดฟอลต์ต้องมีค่าการเปรียบเทียบมากกว่า 50% ของค่า Ph^{L}_{max} ซึ่งสามารถแสดงลักษณะของการพิจารณาในรูปแบบของโปรแกรมได้ดังนี้

if {ไม่สามารถระบุผลจากข้อ 4.3.6.1 ได้}

then

พิจารณาฟอลต์ที่เฟส A

if $(A^{L}_{com} > 0.5 \times Ph^{L}_{max})$

then

phase A fault

else

phase A unfault

end

พิจารณาฟอลต์ที่เฟส B

if $(B^{L}_{com} > 0.5 \times Ph^{L}_{max})$

then

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

phase B fault

else

phase B unfault

end

พิจารณาฟอลต์ที่เฟส C

if $(C^{L}_{com} > 0.5 \times Ph^{L}_{max})$

then

phase C fault

else

phase C unfault

end

end

4.4.7 ขั้นตอนการระบุฟอลต์ลงดิน (Ground fault identification) การระบุว่าฟอลต์ที่เกิดขึ้นเป็นฟอลต์ลงดินหรือไม่นั้น สามารถแบ่งการพิจารณาออกเป็น

4.4.7.1 ผลจากข้อ 4.3.6 ระบุว่าเป็นฟอลต์เดียว แสดงว่าฟอลต์ที่เกิดขึ้นเป็นฟอลต์ลงดินซึ่งก็คือ ฟอลต์เฟสเดียวลงดินนั้นเอง

4.4.7.2 ผลจากข้อ 4.3.6 ระบุว่าเป็นฟอลต์ 3 เฟส ซึ่งในที่นี้ได้กำหนดว่าเป็นเป็นฟอลต์ไม่ลงดิน (พิจารณาจากค่ากระแสลำดับศูนย์)

4.4.7.3 ผลจากข้อ 4.3.6 ระบุว่าเป็นฟอลต์ 2 เฟส ในที่นี้จะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 แบบด้วยกันคือ

1. ค่า $0 < Ph^{L}_{min} < 1$ และ $Z^{L}_{chk} \neq 0$ แสดงว่าเป็นฟอลต์ 2 เฟสลงดิน
2. ค่า $Ph^{L}_{min} = 0$ หรือ $Ph^{L}_{min} > 1$ หรือ $Z^{L}_{chk} = 0$ ในกรณีจะเป็นลักษณะของฟอลต์ระหว่างเฟส

โดยสามารถอธิบายในลักษณะของการเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

if $(0 < Ph^{L}_{min} < 1)$ and $(Z^{L}_{chk} \neq 0)$

then

double line to ground fault

else $\{(Ph^{L}_{min} = 0)$ or $(Ph^{L}_{min} > 1)$ or $(Z^{L}_{chk} = 0)\}$

line to line fault

end

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.8 การสรุปข้อมูลจากสเกลที่ 1-5

เมื่อทำตามขั้นตอนที่ 4.3.6 และ 4.3.7 จนครบทุกสเกลแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายคือการสรุปข้อมูลจากสเกลที่ 1-5 ดังต่อไปนี้

4.4.8.1 สรุปเฟสที่เกิดฟอลต์

1. ในกรณีที่มีเฟสอย่างน้อย 1 เฟสไม่ถูกระบุว่าเกิดฟอลต์เลยในทุกสเกล ดังนั้นเฟสที่มีการระบุว่าเกิดฟอลต์มากกว่า 2 สเกลขึ้นไปสามารถสรุปได้ว่าเฟสนั้นเกิดฟอลต์

2. ในกรณีที่ทุกเฟสมีอย่างน้อย 1 สเกลถูกระบุว่าเกิดฟอลต์ ดังนั้นเฟสที่มีการระบุว่าเกิดฟอลต์มากกว่า 3 สเกลขึ้นไปสามารถสรุปได้ว่าเฟสนั้นเกิดฟอลต์

4.4.8.2 การสรุปลักษณะของฟอลต์ลงดิน

ในกรณีที่มีการระบุว่าเป็นฟอลต์ลงดินมากกว่า 3 สเกลขึ้นไปสามารถสรุปได้ว่าฟอลต์ที่เกิดขึ้นเป็นฟอลต์ลงดิน แต่ถ้าน้อยกว่า 3 สเกลสรุปได้ว่าเป็นฟอลต์ไม่ลงดิน

4.4.9 ขั้นตอนการประมวลผลจากข้อมูลที่ปลายทั้ง 2 ด้านของสายส่ง

จากขั้นตอนในข้อ 4.4.8 จะได้การระบุประเภทของฟอลต์ที่ปลายด้านใดด้านหนึ่งเท่านั้น ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้การเชื่อมโยงข้อมูลที่ปลายทั้ง 2 ด้านของสายส่ง ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.1 เทคนิคนี้จะช่วยทำให้ผลการวิเคราะห์มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ดังนั้นในขั้นตอนสุดท้ายนี้จึงนำข้อมูลในการระบุประเภทของฟอลต์ที่ปลายแต่ละด้านมาวิเคราะห์รวมกันเพื่อประมวลผลในการตัดสินใจตามหลักเกณฑ์ต่อไปนี้

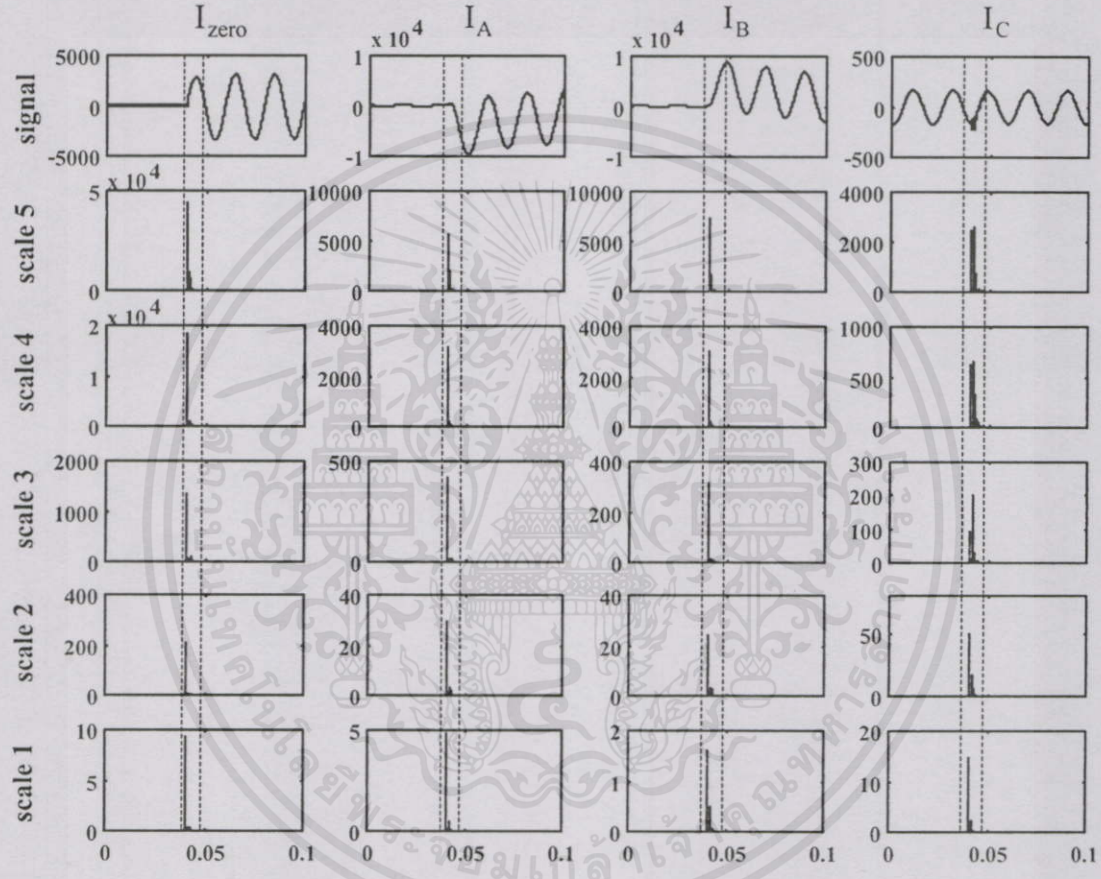
4.4.9.1 กรณีที่ข้อมูลการระบุประเภทของฟอลต์ที่ปลายแต่ละด้านอย่างน้อย 1 เฟส ตรงกัน การประมวลผลข้อมูลทำได้ดังนี้คือ เฟสที่มีการระบุว่าเกิดฟอลต์เหมือนกันทั้ง 2 ด้านจะสรุปว่าเฟสนั้นเกิดฟอลต์ และลักษณะของฟอลต์ลงดินจะใช้การพิจารณาในรูปแบบเดียว กัน

4.4.9.2 กรณีที่ไม่สามารถระบุได้ว่าเกิดฟอลต์ที่เฟสใด เนื่องจากข้อมูลของปลายแต่ละด้านระบุประเภทไม่ตรงกันในทุกเฟส การประมวลผลจะอาศัยข้อมูลของปลายที่อยู่ใกล้จุดที่เกิดฟอลต์มากที่สุดเป็นข้อมูลในการสรุปประเภทของฟอลต์ที่เกิดขึ้น ซึ่งข้อมูลด้านระยะทางนี้ได้มาจากการหาตำแหน่งของฟอลต์ในหัวข้อที่ 4.3

4.4.10 ตัวอย่างการระบุประเภทของฟอลต์ เพื่อแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ชัดเจน จึงขอยกตัวอย่างของสัญญาณของฟอลต์ที่เฟส A และ B ลงดิน (ABG) ที่เกิดบนสายส่งตามระบบในรูปที่ 4.1 โดยนำสัญญาณกระแสที่ปลายทั้ง 2 ด้านมาทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งหมด โดยสามารถแสดงการวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

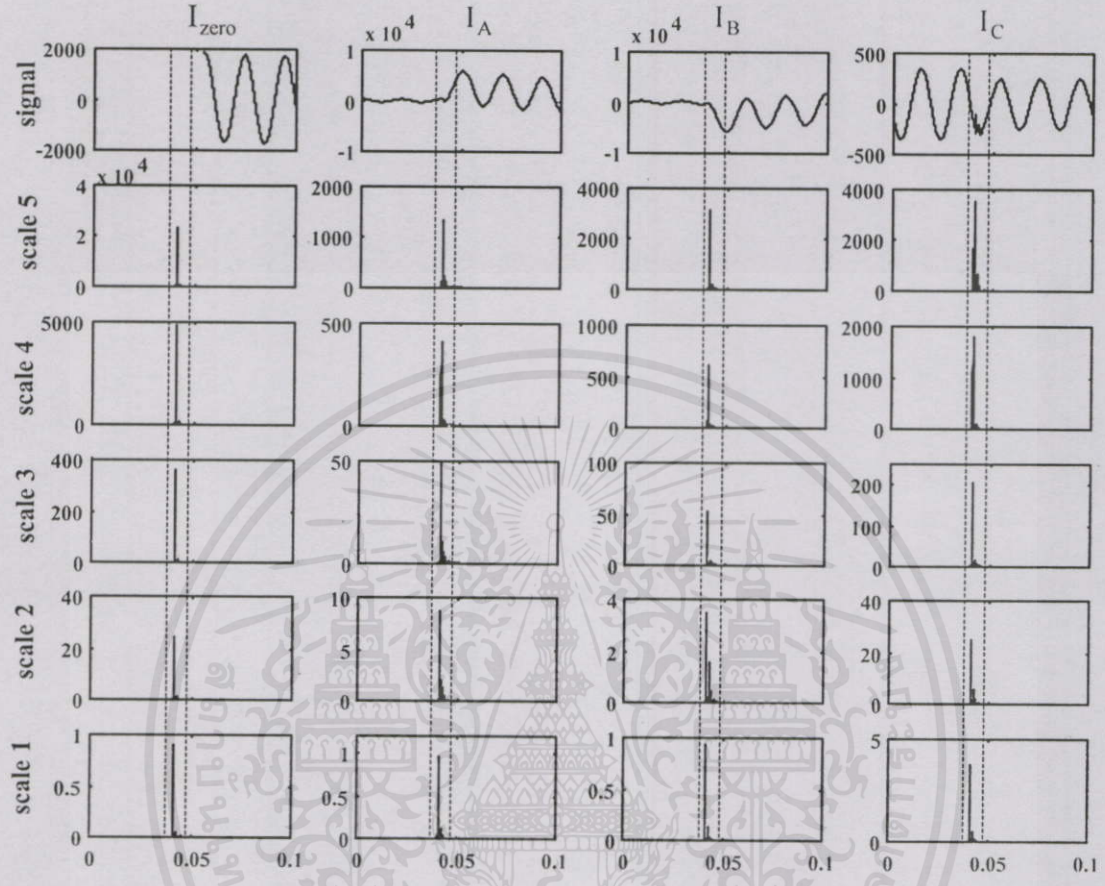
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.10.1 ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์สัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ต โดยนำสัญญาณของกระแสในแต่ละเฟสและกระแสลำดับศูนย์มาทำการแปลงเวฟเล็ตในสเกลที่ 1-5 ตามข้อ ซึ่งจะทำการแปลงทั้ง 2 ด้านดังรูปที่ 4.12 และ 4.13 ซึ่งสามารถแสดงค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์ในช่วงก่อนเกิดฟอลต์และช่วง ¼ ไซเคิลหลังจากเกิดฟอลต์ดังตารางที่ 4.4 – 4.7



รูปที่ 4.12 แสดงการแปลงเวฟเล็ตของกระแสฟอลต์ที่วัดได้จากปลายสายส่งด้าน A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงการแปลงเวฟเล็ตของกระแสฟอลต์ที่วัดได้จากปลายสายส่งด้าน B

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์ในสภาวะปกติที่ปลายด้าน A

เวฟเล็ต สเกลที่ (L)	$Z^{L}_{max(pre)}$	$A^{L}_{max(pre)}$	$B^{L}_{max(pre)}$	$C^{L}_{max(pre)}$
5	5.357E-06	6.978E-03	6.748E-03	7.068E-03
4	1.107E-05	4.917E-04	4.764E-04	5.054E-04
3	2.810E-05	7.746E-05	8.883E-05	7.706E-05
2	4.618E-05	2.385E-05	6.565E-05	4.187E-05
1	4.886E-05	1.770E-05	5.134E-05	5.134E-05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์ในสภาวะปกติที่ปลายด้าน B

เวฟเล็ตสเกลที่ (L)	$Z^{L}_{max(pre)}$	$A^{L}_{max(pre)}$	$B^{L}_{max(pre)}$	$C^{L}_{max(pre)}$
5	6.695E-06	2.673E-02	2.634E-02	2.633E-02
4	1.864E-05	1.749E-03	1.657E-03	1.652E-03
3	4.372E-05	1.443E-04	1.824E-04	1.585E-04
2	8.230E-05	5.975E-05	6.641E-05	5.871E-05
1	7.940E-05	2.798E-05	2.798E-05	2.176E-05

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์ในช่วง ¼ ไซเคิลหลังเกิดฟอลต์ที่ปลายด้าน A

เวฟเล็ตสเกลที่ (L)	$Z^{L}_{max(post)}$	$A^{L}_{max(post)}$	$B^{L}_{max(post)}$	$C^{L}_{max(post)}$
5	4.403E+04	5.595E+03	7.327E+03	2.581E+03
4	1.851E+04	3.156E+03	3.025E+03	6.536E+02
3	1.361E+03	4.164E+02	3.176E+02	2.033E+02
2	2.100E+03	2.969E+01	2.410E+01	4.989E+01
1	9.400E+00	4.860E+00	1.590E+00	1.480E+01

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์ในช่วง ¼ ไซเคิลหลังเกิดฟอลต์ที่ปลายด้าน B

เวฟเล็ตสเกลที่ (L)	$Z^{L}_{max(post)}$	$A^{L}_{max(post)}$	$B^{L}_{max(post)}$	$C^{L}_{max(post)}$
5	2.308E+04	1.338E+03	3.112E+03	3.546E+03
4	4.815E+03	4.090E+02	6.070E+02	1.792E+03
3	3.607E+02	4.972E+02	5.180E+01	2.030E+02
2	2.410E+01	8.678E+01	3.480E+00	2.483E+01
1	9.090E-01	9.590E-01	9.339E-01	3.713E+00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.10.2 ขั้นตอนที่ 2 การหาค่าสูงสุดเปรียบเทียบและค่าตรวจสอบการเปลี่ยนแปลง จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 เมื่อนำมาวิเคราะห์ตามเกณฑ์ข้อ 4.4.3 จะได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.8 และ 4.9

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าสูงสุดเปรียบเทียบพิจารณาที่ปลายด้าน A

เวฟเล็ตสเกลที่ (L)	Z^L_{max}	A^L_{max}	B^L_{max}	C^L_{max}	Z^L_{chk}
5	4.403E+04	5.595E+03	7.327E+03	2.581E+03	1
4	1.851E+04	3.156E+03	3.025E+03	6.536E+02	1
3	1.361E+03	4.164E+02	3.176E+02	2.033E+02	1
2	2.100E+03	2.969E+01	2.410E+01	4.989E+01	1
1	9.400E+00	4.860E+00	1.590E+00	1.480E+01	1

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าสูงสุดเปรียบเทียบพิจารณาที่ปลายด้าน B

เวฟเล็ตสเกลที่ (L)	Z^L_{max}	A^L_{max}	B^L_{max}	C^L_{max}	Z^L_{chk}
5	2.308E+04	1.338E+03	3.112E+03	3.546E+03	1
4	4.815E+03	4.090E+02	6.070E+02	1.792E+03	1
3	3.607E+02	4.972E+02	5.180E+01	2.030E+02	1
2	2.410E+01	8.678E+01	3.480E+00	2.483E+01	1
1	9.090E-01	9.590E-01	9.339E-01	3.713E+00	1

4.4.10.3 ขั้นตอนที่ 3 การหาค่าเปรียบเทียบ โดยนำผลจากข้อ 4.4.10.2 มาวิเคราะห์ตามเกณฑ์ข้อ 4.4.4 ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.10 และ 4.11

4.4.10.4 ขั้นตอนที่ 4 การระบุประเภทของฟอลต์ที่ปลายสายแต่ละด้าน โดยพิจารณาตามเกณฑ์ในข้อ 4.4.6 - 4.4.8 ซึ่งผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.12 และ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าเปรียบเทียบที่พิจารณาจากปลายด้าน A

เวฟเล็ตสเกลที่ (L)	Z^L_{com}	A^L_{com}	B^L_{com}	C^L_{com}
5	1	0.1270	0.1665	0.0586
4	1	0.1704	0.1634	0.0353
3	1	0.3083	0.2335	0.1494
2	1	0.1414	0.1147	0.2375
1	1	0.5175	0.1698	1.5789

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าเปรียบเทียบที่พิจารณาจากปลายด้าน B

เวฟเล็ตสเกลที่ (L)	Z^L_{com}	A^L_{com}	B^L_{com}	C^L_{com}
5	1	0.0580	0.1348	0.1537
4	1	0.0849	0.1261	0.3722
3	1	0.1378	0.1436	0.5630
2	1	0.3594	0.1444	1.0281
1	1	1.0549	1.0256	4.1451

ตารางที่ 4.12 ผลการระบุประเภทฟอลต์ที่พิจารณาจากปลายด้าน A

เวฟเล็ตสเกลที่(L)	เฟส A	เฟส B	เฟส C	ฟอลต์ลงดิน
1	F	F	-	F
2	F	F	-	F
3	F	F	-	F
4	F	-	F	F
5	-	-	F	F
สรุป	F	F	-	F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ผลการระบุประเภทฟอลต์ที่พิจารณาจากปลายด้าน B

เวฟเล็ตสเกลที่ (L)	เฟส A	เฟส B	เฟส C	ฟอลต์ลงดิน
1	-	F	F	F
2	-	-	F	F
3	-	-	F	F
4	-	-	F	F
5	-	-	F	F
สรุป	-	-	F	F

เมื่อ

พิจารณาตามเฟส

" F " = เกิดฟอลต์

" - " = ไม่เกิดฟอลต์

พิจารณาฟอลต์ลงดิน

" F " = เกิดฟอลต์

" - " = ไม่เกิดฟอลต์

4.4.10.5 ขั้นตอนที่ 5 การสรุปการระบุประเภทของฟอลต์ ในขั้นตอนสุดท้ายนี้ได้นำผลการวิเคราะห์จากตารางที่ 4.12 และ 4.13 มาทำการประมวลผลตามเกณฑ์ข้อ 4.39 ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วพบว่าสัญญาณฟอลต์ที่นำมาวิเคราะห์ของทั้ง 2 ด้านให้ผลไม่ตรงกันเลยในทุกเฟส ดังนั้นจึงพิจารณาจากด้านที่อยู่ใกล้จุดที่เกิดฟอลต์คือบัส A ซึ่งถูกระบุว่าฟอลต์ที่เฟส A และ B ลงดิน (ABG)

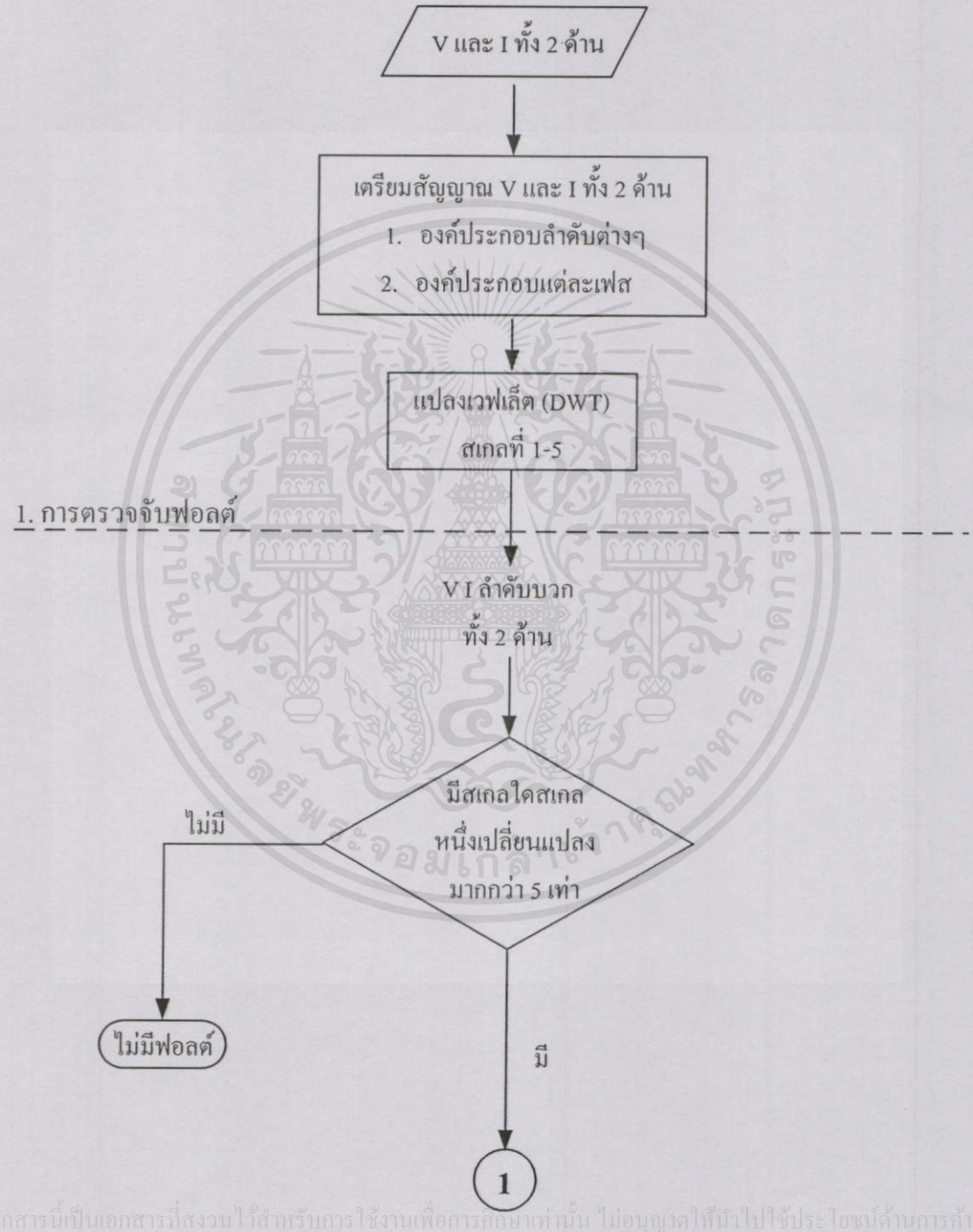
ตารางที่ 4.14 แสดงการสรุปผลการวิเคราะห์ทั้งหมด

บัส	ระยะทางวัดจากจุดที่เกิดฟอลต์ (km)	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กราวน์ฟอลต์ G
A	98.575	F	F	-	F
B	226.425	-	-	F	F
สรุป	98.575	F	F	-	F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

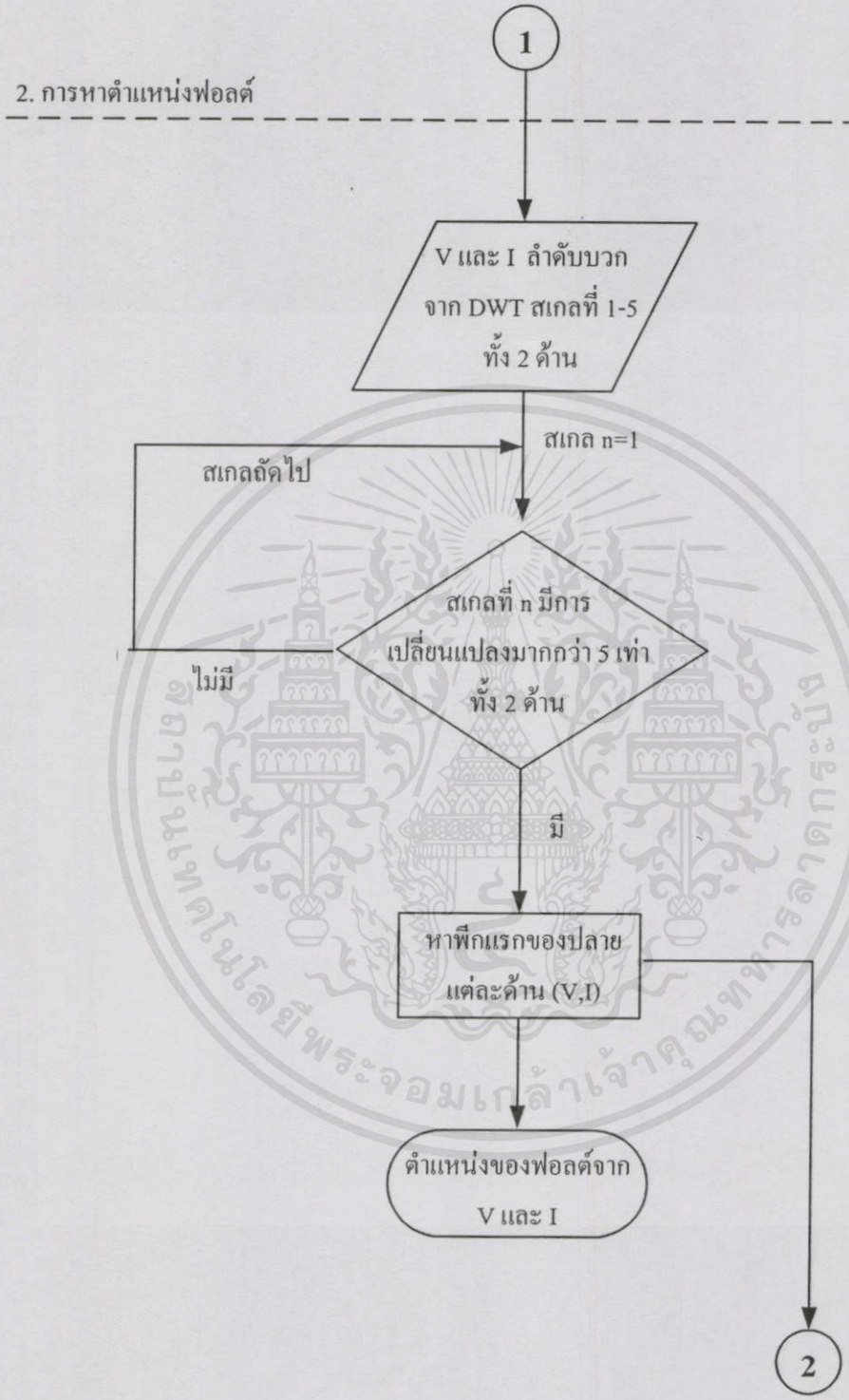
4.5 แผนภาพสรุปการประยุกต์ใช้งานการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย

จากรูปแบบและวิธีการที่ได้นำเสนอนั้นสามารถแสดงสรุปเป็นแผนภาพ (Flow chart) การทำงานได้ดังรูปที่ 4.14 - 4.16



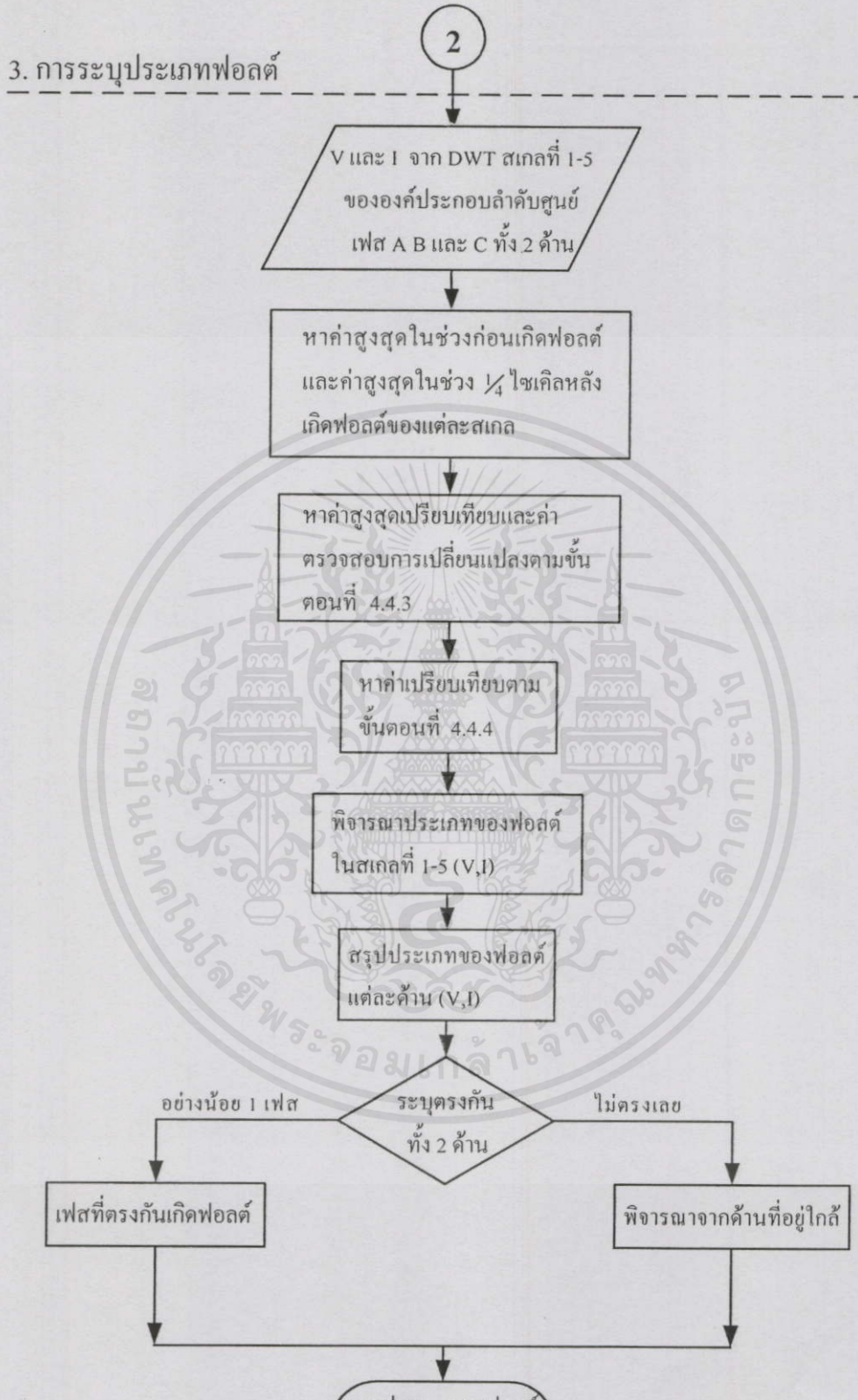
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 แสดงแผนภาพการตรวจจับฟอลต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.15 แสดงแผนภาพการหาตำแหน่งฟอลต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.16 แสดงแผนภาพการระบุประเภทของฟอลต์

จากขั้นตอนการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ด้วยการพิจารณาผลจากการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น จะสังเกตได้ว่าส่วนใหญ่เป็นการเปรียบเทียบค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์ซึ่งจะอยู่ในช่วง ¼ ไซเคิลหลังจากเกิดฟอลต์เป็นจำนวนเท่า (5 เท่า) และเป็นการเปรียบเทียบค่าที่ก่อนและหลังเกิดฟอลต์ รวมถึงการเปรียบเทียบโดยอ้างอิงค่าองค์ประกอบลำดับศูนย์ ซึ่งเกณฑ์การเปรียบเทียบและตัดสินใจที่นำเสนอนี้ได้มาจากการศึกษาพฤติกรรมของสัญญาณฟอลต์ตัวอย่าง โดยที่รูปแบบการวิเคราะห์รูปแบบนี้จะเป็นแนวทางให้สามารถนำไปวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ในในรูปแบบและระบบแรงดันของสายส่งอื่นๆ ได้ และเพื่อทดสอบถึงสมมุติฐานของวิธีการดังกล่าวจึงทำการจำลองสัญญาณฟอลต์ที่มีลักษณะที่แตกต่างจากสัญญาณฟอลต์ตัวอย่างและนำมาวิเคราะห์ตามขั้นตอนโดยอาศัยโปรแกรมที่สร้างขึ้นบนโปรแกรม MATLAB เพื่อกำจัดปัญหาความผิดผลาดที่เกิดจากการวิเคราะห์ด้วยมนุษย์ ซึ่งรูปแบบของการจำลองฟอลต์และโปรแกรมการวิเคราะห์รวมถึงผลการทดลองนั้นได้แสดงไว้ในบทที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

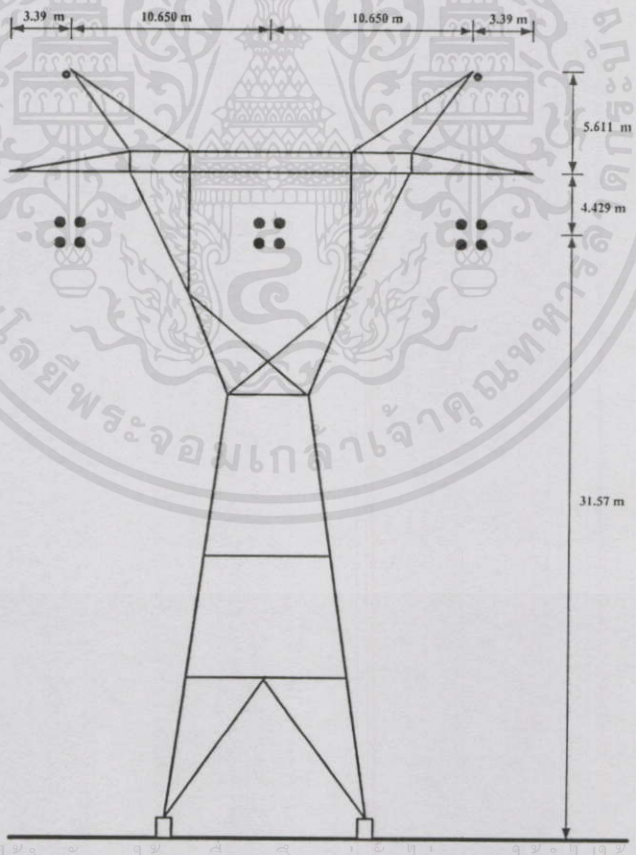
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การจำลองฟอลต์

เพื่อเป็นการทดสอบสมมติฐานที่ได้กล่าวมาทั้งหมดวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการจำลองฟอลต์บนสายส่งด้วยโปรแกรม ATP/EMTP [21,22] ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นิยมใช้ในการจำลองทรานเซี้ยนต์ในระบบกำลังไฟฟ้ารวมถึงสัญญาณฟอลต์ด้วยโดยมีรายละเอียดในการจำลองฟอลต์ดังต่อไปนี้

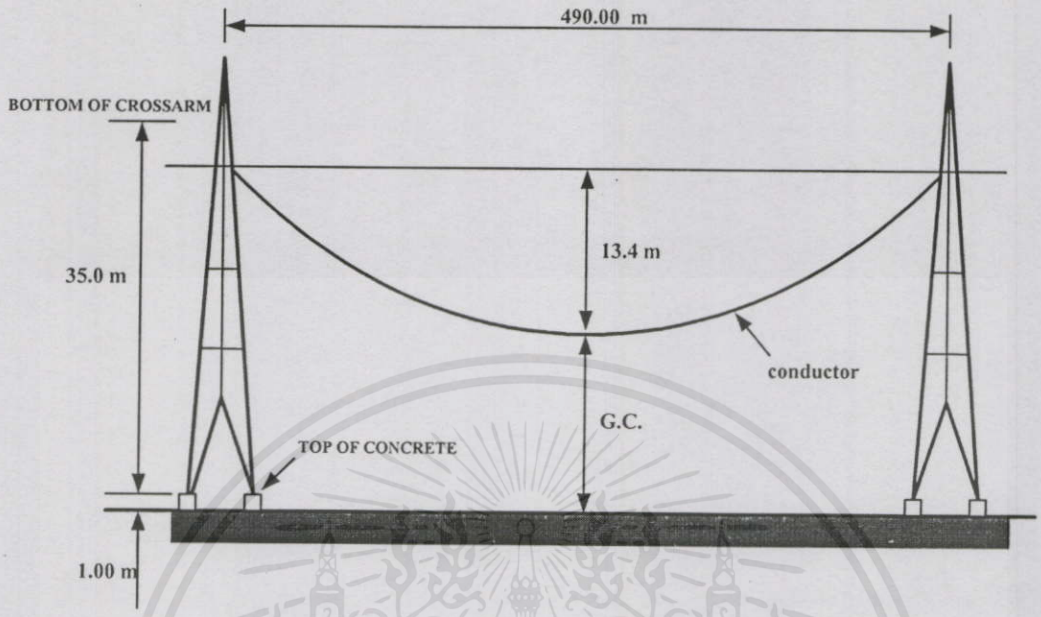
5.1 โครงสร้างของสายส่ง 500 kV [23]

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้แบบจำลองสายส่งระบบ 500 kV แบบวงจรเดี่ยว (Single circuit) ซึ่งเป็นสายส่งที่มีใช้งานจริงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT) จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะถึงสถานีไฟฟ้าท่าตะโก(MM3 – TTK) และจากสถานีไฟฟ้าท่าตะโกถึงสถานีไฟฟ้าหนองจอก (TTK-NCO) โดยสามารถแสดงลักษณะโครงสร้างของเสา (Tower) ที่ใช้ได้ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงเสาแบบ SL ที่ใช้กับสายส่งวงจรเดี่ยว 500 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 แสดงระยะหย่อน(sag) ของสายตัวนำบนเสาแบบ SL ที่ใช้กับสายส่งวงจรเดี่ยว 500 kV

โดยมีข้อมูลจำเพาะของสายส่งดังนี้

- โครงสร้างเสาส่ง (Tower) แบบ SL tangent 3 ^{o}
- จำนวนตัวนำต่อเฟส 4 ตัวนำ (4 bundle)
- ประเภทสาย ACSR 795 cmil (Al42/St7)
- ประเภทของสายล่อฟ้า (Over head ground wire) 3/8 inch ,EHS GALV (St7)
- ความต้านทานของสายตัวนำ 0.0716 โอห์มต่อกิโลเมตร
- ความต้านทานของสายล่อฟ้า 4.19 โอห์มต่อกิโลเมตร
- ระยะห่างของตัวนำระหว่างเฟส 10.65 เมตร
- ความสูงของตัวนำที่เสาส่ง(วัดจากพื้น) 31.571 เมตร
- ความสูงของสายล่อฟ้าที่เสา(วัดจากพื้น) 41.611 เมตร
- ความสูงของตัวนำที่บริเวณกึ่งกลางระหว่างเสา(Sag) (วัดจากพื้น) 18.16 เมตร
- ความสูงของสายล่อฟ้าที่บริเวณกึ่งกลางระหว่างเสา(Sag) (วัดจากพื้น) 31.611 เมตร
- ระยะห่างของเสาส่งระหว่างต้น (Span) 490 เมตร
- ความต้านทานของดิน 100 โอห์ม. เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 แบบจำลองสายส่ง [24 ,25]

ในการศึกษาฟอลต์ที่เกิดบนสายส่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายส่งให้ถูกต้องเพื่อนำไปใช้สำหรับการจำลองฟอลต์ ดังนั้นจึงต้องเลือกรูปแบบในการคำนวณให้เหมาะสมด้วย การคำนวณพารามิเตอร์ของสายส่งนั้นมีให้เลือกใช้อยู่ด้วยกันหลายรูปแบบเช่น แบบวงจรพาย (Pi-model) ซึ่งเป็นแบบจำลองอย่างง่ายในการคำนวณ แต่รูปแบบของวงจรพายจะเหมาะสมสำหรับการศึกษาการไหลของพลังงาน (Load flow) , การเกิดแรงดันเกิน(Over voltage) ในสภาวะโหลดน้อย เป็นต้น สำหรับการศึกษาทฤษฎีของคลื่นเดินทางหรือการศึกษาสภาวะทรานเซี้ยนต์ เช่น ฟอลต์บนสายส่งนั้นการใช้วงจรพายจะไม่เหมาะสมนัก โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องการความถูกต้องในการจำลองฟอลต์นั้นจะต้องแบ่งวงจรพายให้สั้นลงและใช้วงจรพายจำนวนมากมาเรียงต่อกัน(Cascade) และเนื่องจากสัญญาณฟอลต์จะมีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่ที่สูงกว่าความถี่พื้นฐานอยู่มาก ดังนั้นถ้าต้องการแสดงผลของความถี่สูงมากขึ้นเท่าใดก็ต้องใช้วงจรพายขนาดที่สั้นมาเรียงต่อกันมากขึ้น ในบางครั้งสายส่งระยะทางสั้นๆ อาจต้องใช้วงจรพายถึง 100 วงจรด้วยกันจึงทำให้ยุ่งยาก และวงจรในการจำลองฟอลต์มีขนาดที่ใหญ่เกินไป

จากข้อจำกัดของวงจรพายจึงมีการนำรูปแบบการคำนวณพารามิเตอร์ของสายส่งในรูปแบบของพารามิเตอร์ขึ้นอยู่ความถี่ (Frequency – dependent parameter) [26] หรือนิยมเรียกกันว่า J. marti ซึ่งจะมีการคำนวณอย่างละเอียดโดยพารามิเตอร์ในการคำนวณจะเปลี่ยนไปตามความถี่ที่ใช้คำนวณ รูปแบบของ J. marti นี้จะเหมาะสมกับการศึกษาผลของคลื่นเดินทาง และสามารถนำไปใช้ในการศึกษาสภาวะทรานเซี้ยนต์ต่างๆ รวมถึงการจำลองฟอลต์บนสายส่งโดยไม่ต้องการแบ่งช่วงของวงจรด้วย ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเลือกใช้รูปแบบของ J. marti ในการสร้างแบบจำลองของสายส่ง

สำหรับการคำนวณพารามิเตอร์ของแบบจำลองสายส่งนั้นเนื่องจากในทางปฏิบัติระยะห่างของเสา (Span) และระยะหย่อน (Sag)นั้นจะมีลักษณะไม่สม่ำเสมอ (Non – uniform) ขึ้นอยู่กับสถานที่ในการติดตั้ง แต่เพื่อความสะดวกในการคำนวณในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้กำหนดให้ระยะห่างของเสาและระยะหย่อนของสายตัวนำและสายล่อฟ้ามีค่าสม่ำเสมอ(Uniform) ตลอดช่วงระยะทางทั้งหมด และเพื่อเป็นการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม รวมทั้งการกำหนดระยะห่างและระยะหย่อนให้คงที่ว่าผลที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าใกล้เคียงกับผลการคำนวณของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตเพียงใด จึงทำการคำนวณพารามิเตอร์ของสายส่งจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะถึงสถานีไฟฟ้าท่าตะโก(MM3 – TTK) ซึ่งในระบบจริงนั้นมีการไขว้สลับสายแบบสมบูรณ์ (Complete transposition) ที่ความยาว 325.6 กิโลเมตร โดยอาศัยโปรแกรมคือATP–LCC [21,24] ในการคำนวณพารามิเตอร์ของสายส่ง และเลือกใช้การคำนวณแบบพารามิเตอร์คงที่ (Parameter constant) [22] ที่ความถี่ 50 Hz เพื่อหาค่าขององค์ประกอบต่างโดยผลการคำนวณที่ได้แสดงอยู่ในตารางที่ 5.1 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบกับค่าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต (EGAT) [27]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบพารามิเตอร์หว่างค่าของ EGAT กับค่าจากโปรแกรม ATP-LCC

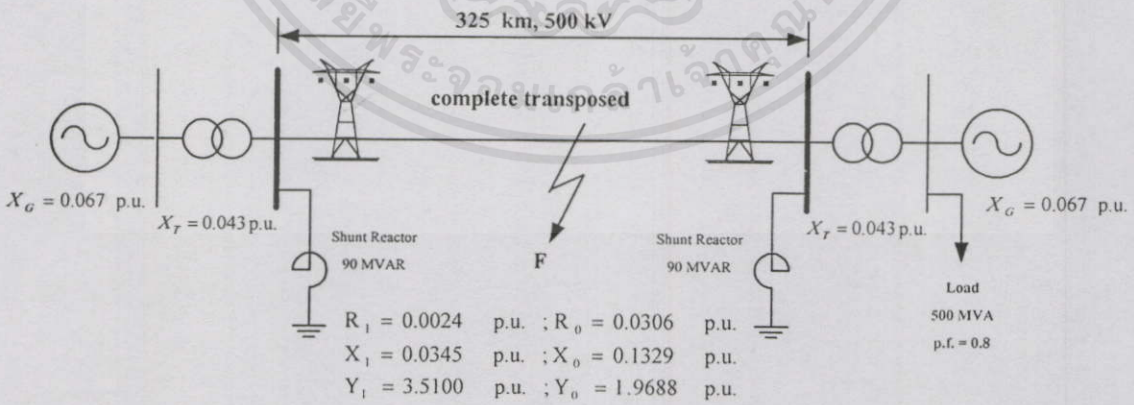
MM3-TTK	Positive sequence (p.u.)			Zero sequence (p.u.)		
325.6 km	R1	X1	Y1	R0	X0	Y0
EGAT	0.00267	0.03590	3.34380	0.03296	0.13002	2.09302
ATP-LCC	0.00239	0.03449	3.41000	0.03060	0.13297	1.96880

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณด้วยโปรแกรม ATP--LCC และการคำนวณของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยแล้วพบว่ามีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ว่าจะไม่สามารถกำหนดพารามิเตอร์ได้ตามสภาพความเป็นจริงได้ทั้งหมด แต่ผลการคำนวณก็มีที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยซึ่งสามารถยอมรับได้

5.3 ระบบการจำลอง

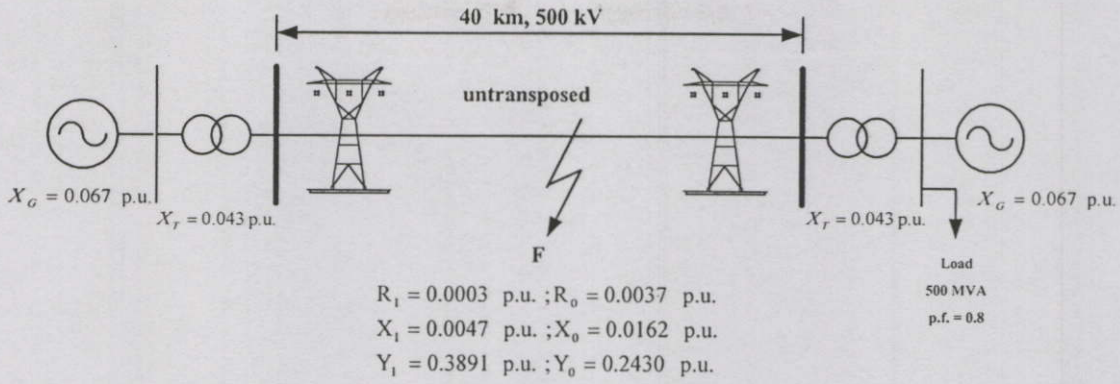
5.3.1 แบบจำลองในการจำลองสัญญาณฟอลต์

เนื่องจากในสภาวะที่เกิดฟอลต์นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบของเหตุการณ์เกิดขึ้นดังนั้นเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ฟอลต์ได้ครอบคลุมในหลายรูปแบบมากที่สุด จึงทำการสร้างระบบจำลองแบบ 2 บัส ขึ้นมา 2 ระบบ ดังรูปที่ 5.3 และ 5.4



รูปที่ 5.3 แสดงระบบทดลองที่ 1 ความยาว 325 km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 แสดงระบบทดลองที่ 2 ความยาว 40 km

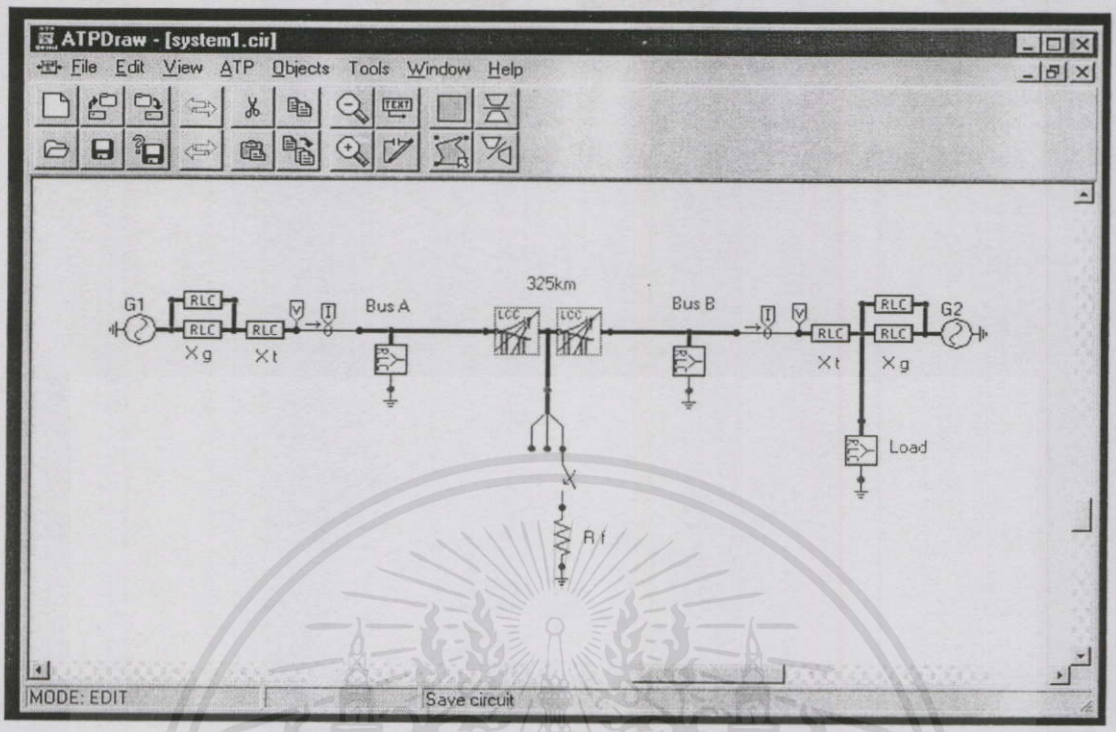
ระบบจำลองที่ 1 เป็นสายส่งแบบยาว (Long line) ซึ่งในทางปฏิบัติจะมีการไขว้สลับสายเพื่อทำให้มีค่าอิมพิแดนซ์ในแต่ละเฟสเท่ากันและมีติดตั้งรีแอคเตอร์ขนาน(Shunt reactor) ซึ่งในที่นี้ได้อ้างอิงระบบจากสายส่งแม่เมาะถึงท่าตะโก(325.6 กิโลเมตร) ที่มีการติดตั้งรีแอคเตอร์ขนานขนาด 90 MVAR และระบบจำลองที่ 2 เป็นสายส่งแบบสั้น (Short line) ซึ่งในทางปฏิบัติไม่จำเป็นต้องมีการไข้วสลับสาย เนื่องจากมีระยะทางที่สั้น (แต่จากการศึกษาพบว่าจะยังคงมีผลทำให้ค่าอิมพิแดนซ์ในแต่ละเฟสไม่เท่ากันอยู่เพียงเล็กน้อย) และเนื่องความยาวสายส่งที่สั้นจึงไม่ต้องติดตั้งรีแอคเตอร์แบบขนาน

5.3.2 การปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์

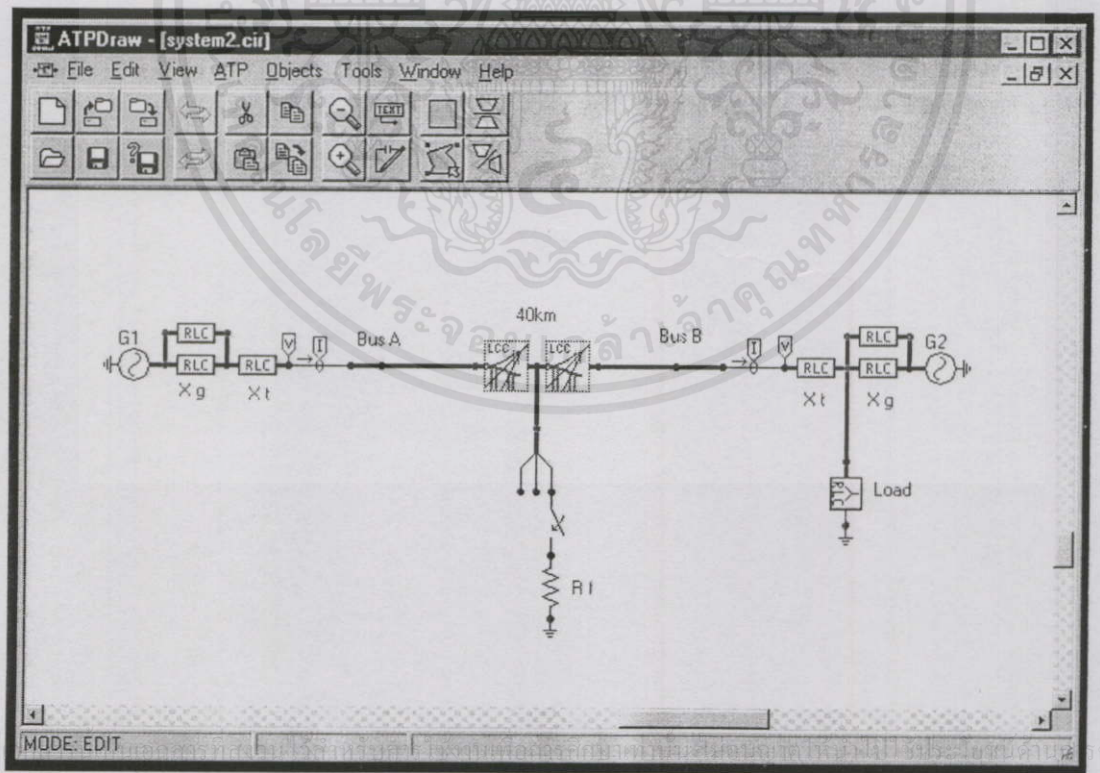
ในการจำลองฟอลต์นั้นเพื่อศึกษาของฟอลต์ที่แตกต่างกันจึงทำการการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ที่มีผลเกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

- ประเภทของฟอลต์ 10 ประเภทได้แก่ AG, BG, CG, ABG, BCG, CAG, AB, BC, CA และ ABC
- ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ 10%, 30%, 50%, 70% และ 90% ของระยะทางทั้งหมด
- ขนาดของโหลดระบบที่ 1 และ 2 เท่ากับ 500 MVA (p.f. = 0.8)
- มุมที่เริ่มเกิดฟอลต์ 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°, 210°, 240°, 270°, 300° และ 330° เมื่อเทียบกับมุมเฟสของแรงดันที่เฟส A
- ความต้านทานของฟอลต์ 10 โอห์ม

โดยใช้สวิทช์ทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดรูปแบบและเวลาของการเกิดฟอลต์ ซึ่งในที่นี้ได้กำหนดให้เริ่มเกิดฟอลต์ที่ t = 0.04 วินาที และทำการจำลองสัญญาณทั้งหมด 5 ไซเคิล(0 – 0.1 วินาที) โดยไม่มีการกำจัดฟอลต์ออก ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างของสัญญาณที่ได้จากการจำลองในรูปที่ 5.7-5.9

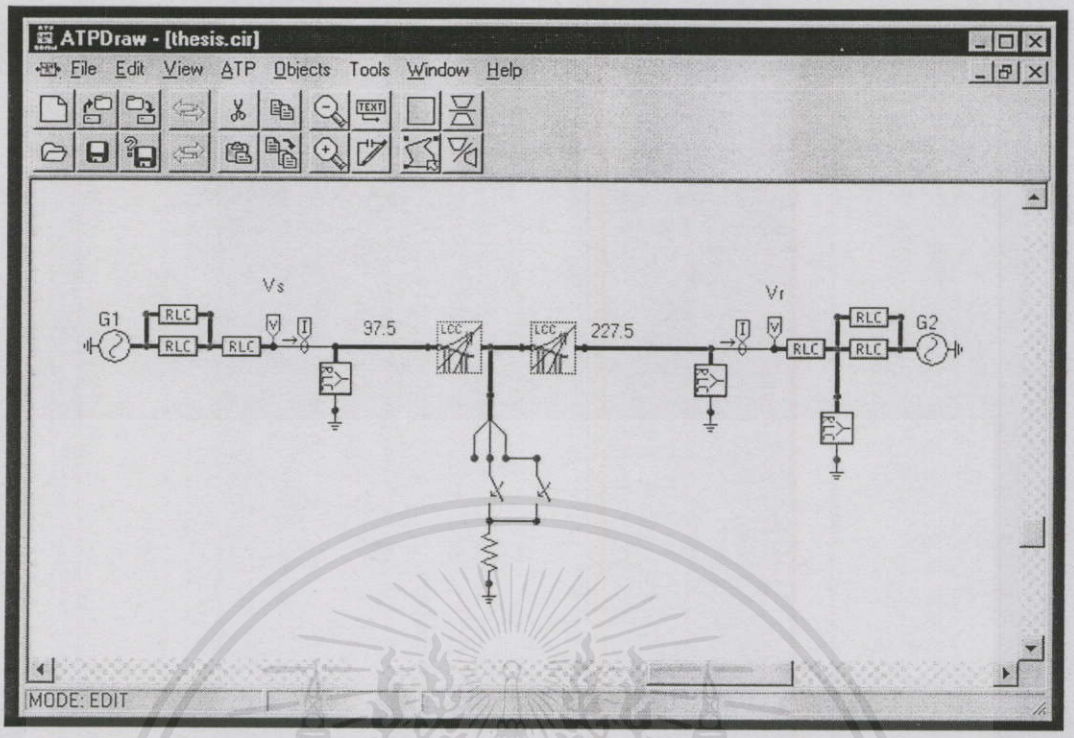


รูปที่ 5.5 แสดงวงจรการจำลองของโปรแกรม ATP/EMTP ของระบบที่ 1

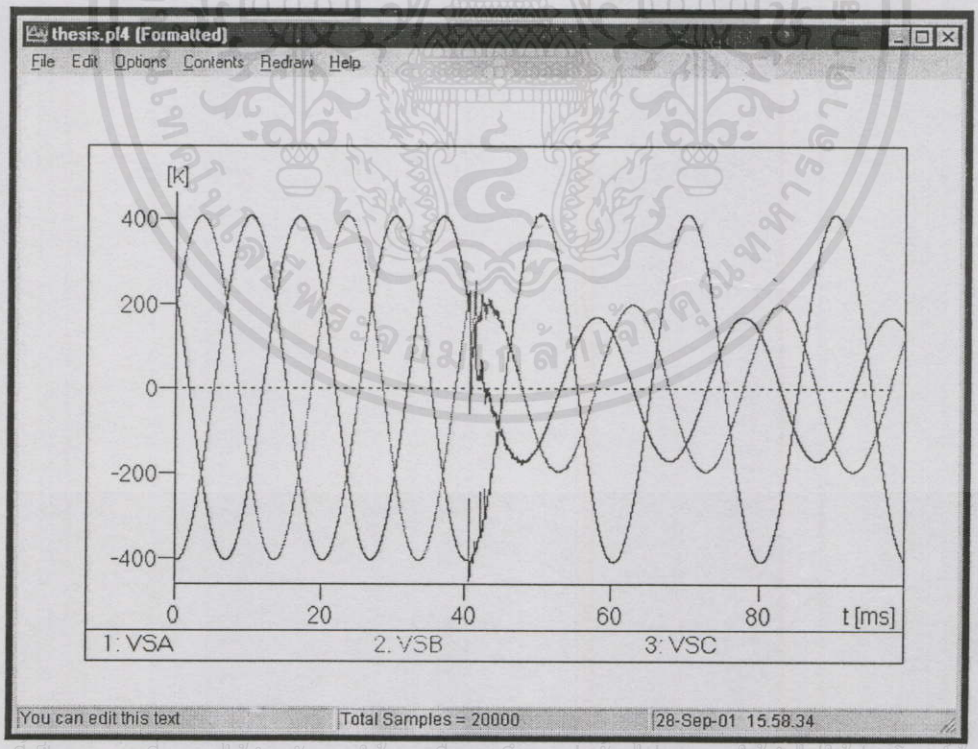


รูปที่ 5.6 แสดงวงจรการจำลองของโปรแกรม ATP/EMTP ของระบบที่ 2

ไม่กรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

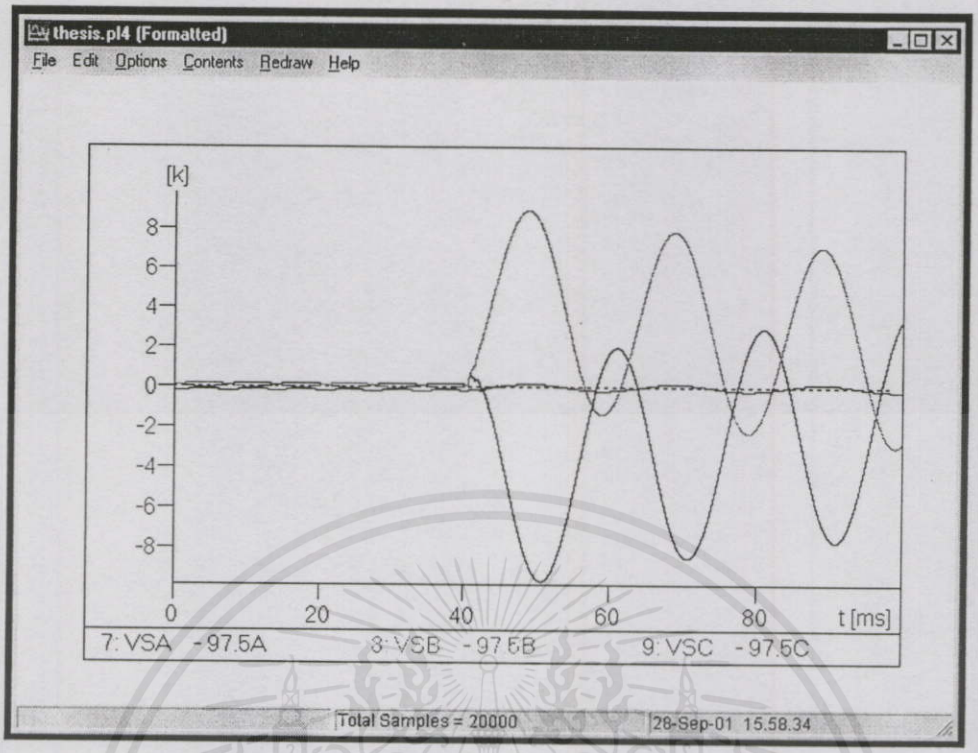


รูปที่ 5.7 แสดงวงจรในการจำลองฟอลต์แบบ ABG ที่ 97.5 km ของระบบการทดลองที่ 1



รูปที่ 5.8 แสดงสัญญาณฟอลต์ของแรงดันที่ได้จากการจำลองที่ปลายด้าน A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 แสดงสัญญาณฟอลต์ของกระแสที่ได้จากการจำลองที่ปลายด้าน A

5.3.3 ความเร็วของคลื่นเดินทาง (Traveling wave speed) และเมตริกซ์การแปลง (Transformation matrix)

เนื่องจากบางส่วนของวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการนำค่าองค์ประกอบลำดับต่างๆ มาใช้งาน ดังนั้นจึงต้องทำการหาเมตริกซ์การแปลงที่ใช้ในการแปลงค่าของกระแสและแรงดันในแต่ละเฟส ให้มาอยู่ในเทอมขององค์ประกอบลำดับต่างๆ ดังแสดงในสมการที่ 5.1 [24 ,28]

$$\begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \end{bmatrix} = [T] \bullet \begin{bmatrix} Sa \\ Sb \\ Sc \end{bmatrix} \tag{5.1}$$

เมื่อ

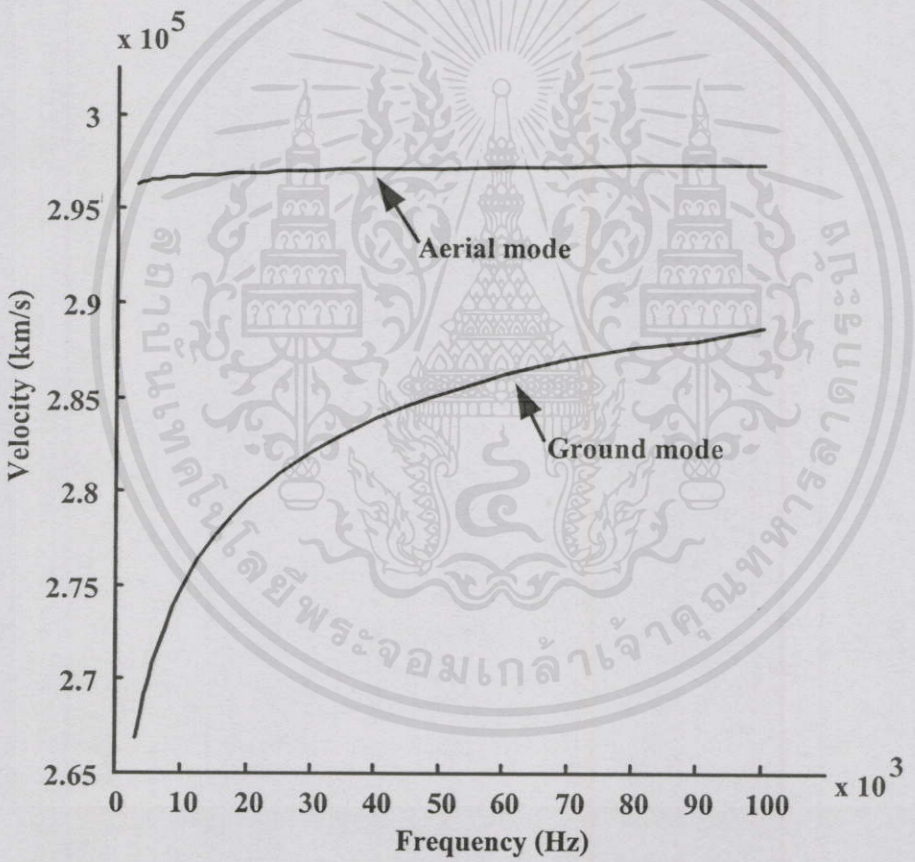
S_A ,S_B ,S_C = องค์ประกอบของกระแสหรือแรงดันที่เฟส A B และ C ตามลำดับ

S_0 = ground mode (โหมด 0)

S_1 , S_2 = Aerial mode (โหมด 1 และ 2 ตาม ลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณพารามิเตอร์สายส่งด้วยโปรแกรม ATP – LCC โดยใช้รูปแบบของ J. marti จะมีการคำนวณเมตริกซ์การแปลงนี้ออกมาซึ่งเมตริกซ์นี้จะมีค่าเปลี่ยนไปตามรูปแบบของสายส่ง ในกรณีที่ไม่มีการไขว้สลับสายเมตริกซ์นี้จะเปลี่ยนไปตามความถี่ที่ใช้ในการคำนวณด้วย ในส่วนของวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้เมตริกซ์การแปลงของคาร์ก (Clarke's transformation matrix) กับระบบการทดลองที่ 1 เนื่องจากสามารถใช้ได้กับสายส่งทั้งแบบมีการไขว้สลับสายแบบสมบูรณ์และแบบไม่มีการไขว้สลับสายภายใต้เงื่อนไขที่ว่าลักษณะการจัดวางของสายส่งต้องอยู่ในแนวตั้งได้ทุกๆ ช่วงความถี่ [28] นอกจากนี้ความเร็วของคลื่นเดินทางในแต่ละช่วงความถี่จะมีค่าที่แตกต่างกันออกไปซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.10 และค่าความเร็วคลื่นเดินทางและเมตริกซ์การแปลงของระบบทดลองที่ 1 ได้แสดงดังตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความเร็วคลื่นเดินทางกับความถี่ของระบบการทดลองที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

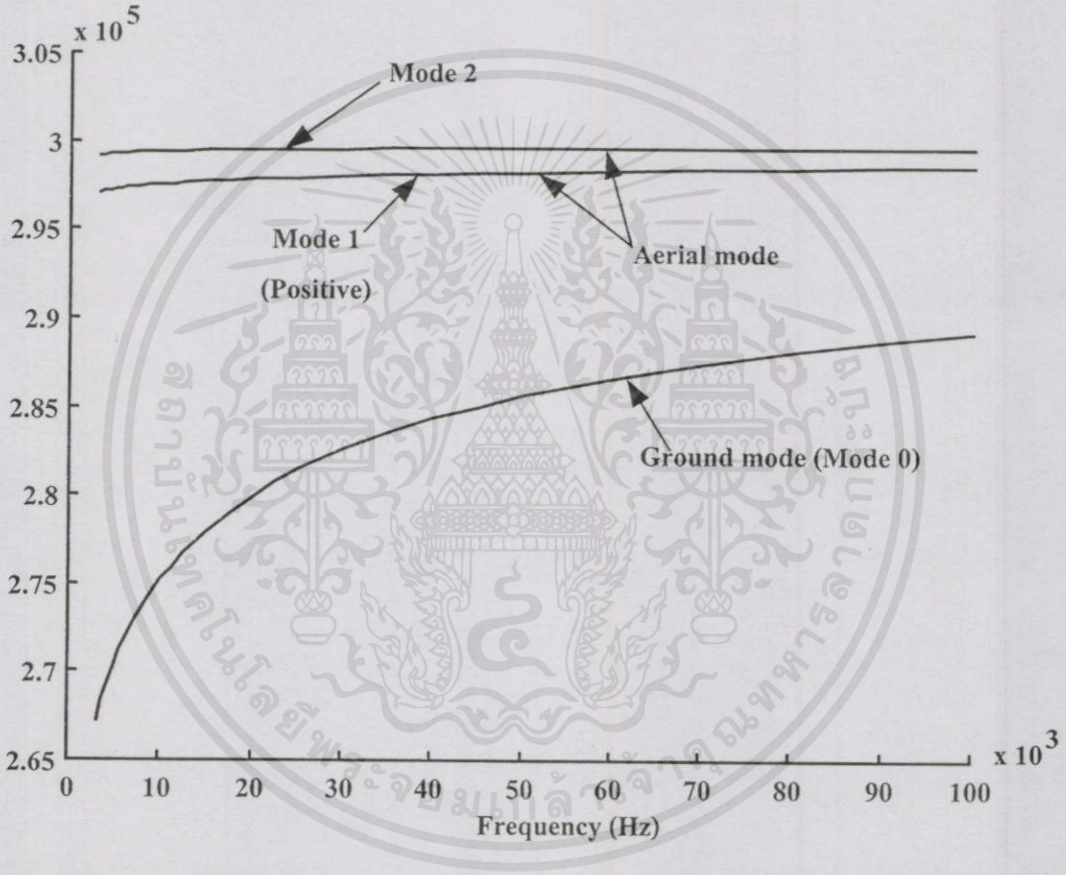
ตารางที่ 5.2 แสดงความเร็วคลื่นเดินทางและเมตริกซ์การแปลงที่ใช้ในสเกลที่ 1-5 ของระบบการทดลองที่ 1

Scale	Frequency range (kHz)	Traveling wave speed (km/s)	Transformation matrix
1	50 - 100	297322	$\frac{1}{\sqrt{3}}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \sqrt{2} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} & -\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}$
2	25 - 100	297105	
3	12.5 - 25	296897	
4	6.25 - 12.5	296688	$\begin{bmatrix} 0.5773 & 0.5773 & 0.5773 \\ 0.8165 & -0.4082 & -0.4082 \\ 0.0000 & 0.7071 & -0.7071 \end{bmatrix}$
5	3.125 - 6.25	296467	

สำหรับการหาค่าความเร็วเฉลี่ยของคลื่นในแต่ละความถี่นั้นได้มาจากการคำนวณพารามิเตอร์สายส่งด้วยโปรแกรม ATP-LCC ซึ่งในที่นี้ได้ทำการคำนวณพารามิเตอร์ ณ ความถี่ที่แตกต่างกัน โดยผลการคำนวณพารามิเตอร์ของสายส่งในโปรแกรมนี้จะออกมาในรูปของ 2 ค่าด้วยกันคือ อิมพิแดนซ์คุณลักษณะ(Characteristic Impedance) และ ค่าความเร็วของคลื่น ณ ความถี่นั้นๆ (ซึ่งรายละเอียดทางทฤษฎีได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2) ดังนั้นในการคำนวณความเร็วเฉลี่ยจะนำค่าความเร็วของแต่ละความถี่มาทำการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงนั่นเอง แต่สำหรับค่าเมตริกซ์การแปลงในระบบการทดลองที่1 นั้นจะคงที่ตลอดย่านความถี่ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของระบบการทดลองที่ 2 ซึ่งไม่มีการไขว้สลับสายค่าความเร็วของคลื่นเดินก็จะเปลี่ยนไปตามความถี่ด้วยเช่นกันดังแสดงในรูปที่ 5.11 ซึ่งจะสังเกตได้ว่าค่าความเร็วของโหมด 1 และ 2 ใน Aerial mode จะมีค่าที่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับ Aerial mode ของระบบการทดลองที่ 1 ซึ่งจะมีค่าเท่ากัน และในลักษณะเดียวกันนอกจากความเร็วของคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงตามความถี่แล้ว ค่าเมตริกซ์การแปลงก็จะเปลี่ยนไปตามความถี่ที่ใช้คำนวณด้วย โดยสามารถแสดงค่าความเร็วคลื่นเดินทางและเมตริกซ์การแปลงของระบบการทดลองที่ 2 ได้ดังตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความเร็วคลื่นเดินทางกับความถี่ของระบบการทดลองที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

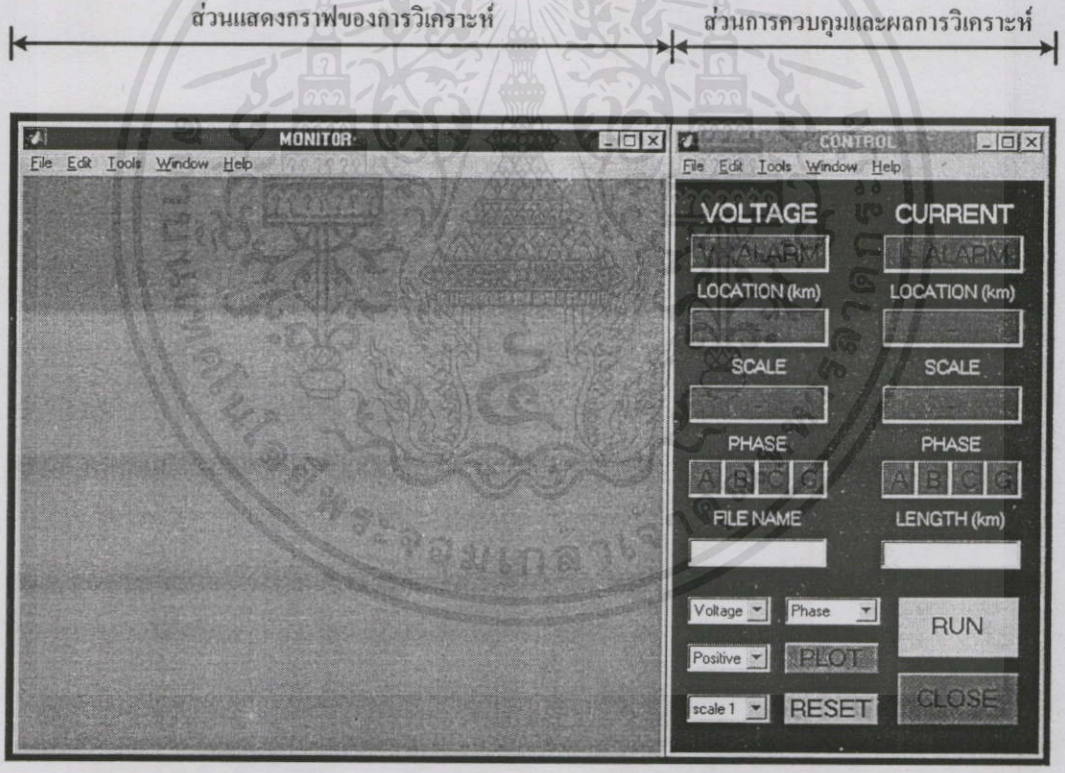
ตารางที่ 5.3 แสดงความเร็วคลื่นเดินทางและเมตริกซ์การแปลงที่ใช้ในสเกลที่ 1-5 ของระบบการทดลองที่ 2

Scale	Frequency range (kHz)	Traveling wave speed (km/s)	Transformation matrix
1	50 - 100	298397	$\begin{bmatrix} 0.5885 & 0.5734 & 0.5734 \\ 0.8470 & -0.3785 & -0.3785 \\ 0.000 & 0.7071 & -0.7071 \end{bmatrix}$
2	25 - 100	298072	$\begin{bmatrix} 0.5871 & 0.5743 & 0.5743 \\ 0.8492 & -0.3763 & -0.3763 \\ 0.0000 & 0.7071 & -0.7071 \end{bmatrix}$
3	12.5 - 25	297758	$\begin{bmatrix} 0.5855 & 0.5752 & 0.5752 \\ 0.8513 & -0.3741 & -0.3741 \\ 0.0000 & 0.7071 & -0.7071 \end{bmatrix}$
4	6.25 - 12.5	297468	$\begin{bmatrix} 0.5841 & 0.5761 & 0.5761 \\ 0.8533 & -0.3719 & -0.3719 \\ 0.0000 & 0.7071 & -0.7071 \end{bmatrix}$
5	3.125 - 6.25	297190	$\begin{bmatrix} 0.5828 & 0.5768 & 0.5768 \\ 0.8551 & -0.3701 & -0.3701 \\ 0.0000 & 0.7071 & -0.7071 \end{bmatrix}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

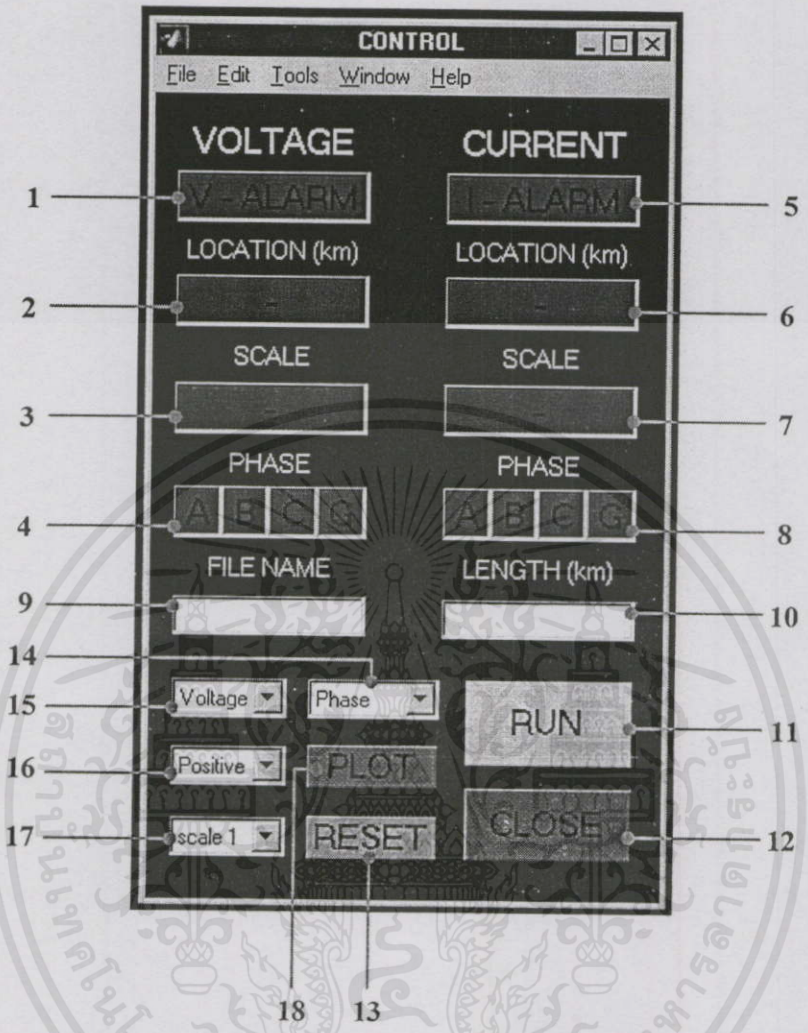
5.4 โปรแกรมการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์

เมื่อทำการตัวอย่างของสัญญาณฟอลต์ด้วยโปรแกรม ATP/EMTP แล้ว สัญญาณฟอลต์ที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย ดังนั้นเพื่อให้รูปแบบของการวิเคราะห์นั้นสอดคล้องกับการนำไปประยุกต์ใช้งานกับหลักการของรีเลย์ในทางปฏิบัติได้ วิทยานิพนธ์นี้จึงทำการสร้างโปรแกรมย่อย(M-file) สำหรับวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ขึ้นบนโปรแกรม MATLAB [29] โดยลักษณะของโปรแกรมนี้จะทำหน้าที่ในการวิเคราะห์และตัดสินใจตามขั้นตอนในบทที่ 4 นอกจากเพื่อให้สะดวกในการใช้งานนี้โครงสร้างของโปรแกรมยังเป็นลักษณะของการเชื่อมโยงทางกราฟฟิคกับผู้ใช้(Graphic User Interface :GUI) ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนแสดงกราฟการวิเคราะห์ และส่วนการควบคุมและผลการวิเคราะห์โดยสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังรูปที่ 5.12 –5.18



รูปที่ 5.12 แสดงหน้าจอของโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ด้วยการแปลงเวฟเล็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 แสดงหน้าจอของโปรแกรมในส่วนควบคุมและแสดงผลการวิเคราะห์

จากรูปที่ 5.13 สามารถอธิบายรายละเอียดของหน้าจอในส่วนควบคุมและแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

หมายเลข 1-13 เป็นส่วนของการประมวลผลการวิเคราะห์และการควบคุม โดยที่

1 , 5 คือ ส่วนแสดงผลการตรวจจับฟอลต์ด้วยแรงดันและกระแสตามลำดับ

2 , 6 คือ ส่วนแสดงผลการคำนวณตำแหน่งฟอลต์ด้วยแรงดันและกระแสตามลำดับ

3 , 7 คือ ส่วนแสดงผลสเกลแรกที่พบการเปลี่ยนแปลงและนำมาใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งฟอลต์ของแรงดันและกระแสตามลำดับ

4 , 8 คือ ส่วนแสดงผลการระบุประเภทของฟอลต์ด้วยแรงดันและกระแสตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9 คือ ช่องสำหรับใส่ชื่อไฟล์ของสัญญาณฟอลต์ที่ทำการวิเคราะห์

10 คือ ช่องสำหรับใส่ความยาวของสายส่งที่ใช้จำลองฟอลต์

11 คือ ปุ่มสำหรับการเริ่มต้นวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์

12 คือ ปุ่มสำหรับปิดหน้าจอแสดงผลทั้งหมด

13 คือ ปุ่มสำหรับลบค่าของข้อมูลทั้งหมด

และหมายเลข 14-18 เป็นส่วนที่ใช้สร้างกราฟต่างๆ ตามโหมดที่กำหนดเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยที่

14 คือ ปุ่มสำหรับการเลือกโหมดการสร้างกราฟของสัญญาณที่กำหนดซึ่งมีให้เลือกดังนี้

Phase คือ การสร้างกราฟของสัญญาณในแต่ละเฟสที่ปลายทั้ง 2 ด้าน

Detect คือ การสร้างกราฟของการตรวจจับฟอลต์ในสเกลที่ 1-5

Location คือ การสร้างกราฟของการตรวจหาตำแหน่งฟอลต์ในสเกลที่กำหนด

Identify-S คือ การสร้างกราฟของการระบุประเภทฟอลต์ที่ปลายด้านส่ง (Bus A)

Identify-R คือ การสร้างกราฟของการระบุประเภทฟอลต์ที่ปลายด้านรับ (Bus B)

15 คือ ปุ่มสำหรับการเลือกสัญญาณการสร้างกราฟซึ่งมีให้เลือกดังนี้

Voltage คือ สัญญาณของแรงดัน

Current คือ สัญญาณของกระแส

16 คือ ปุ่มสำหรับการเลือกองค์ประกอบลำดับต่างๆ ในการสร้างกราฟซึ่งมีให้เลือกดังนี้

Positive คือ องค์ประกอบลำดับบวก

Negative คือ องค์ประกอบลำดับลบ

Zero คือ องค์ประกอบลำดับศูนย์

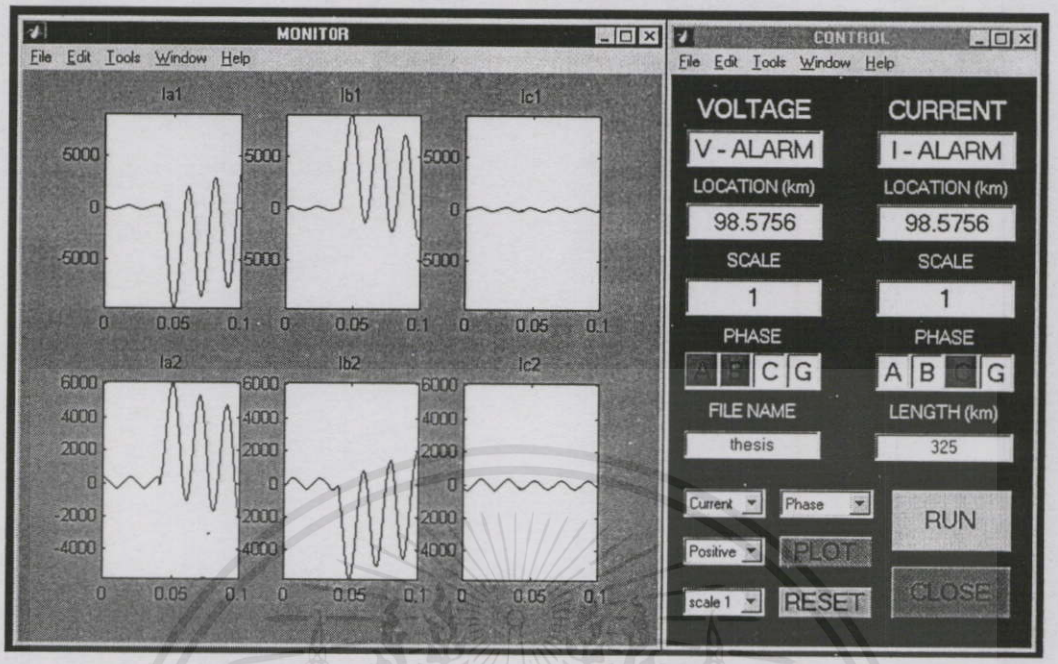
17 คือ ปุ่มสำหรับเลือกสเกลที่ทำการสร้างกราฟเพื่อคำนวณหาตำแหน่งฟอตล์

18 คือ ปุ่มสำหรับเริ่มสร้างกราฟหลังจากเลือกโหมดการทำงานแล้ว

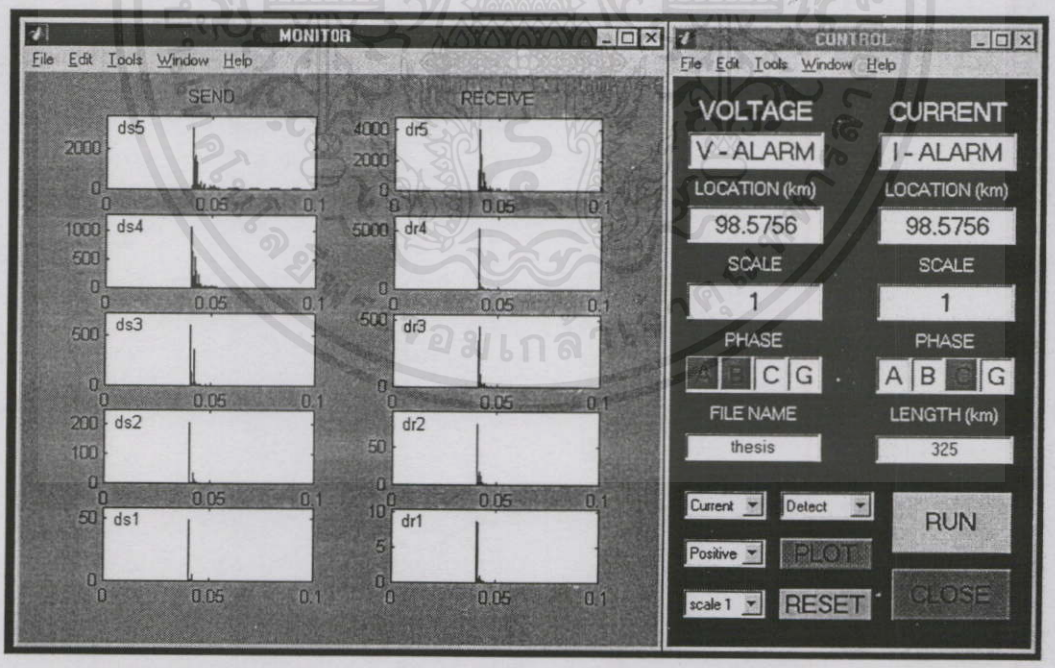
<u>โดยข้อมูลที่ต้องป้อนเป็นอินพุท(Input)ให้โปรแกรมนี้ประกอบไปด้วย</u>

1. ข้อมูลสัญญาณฟอลต์ที่ได้จากการจำลองซึ่งจะประกอบไปด้วยข้อมูลของกระแสและแรงดันที่วัดได้จากปลายสายส่งแต่ละด้าน
2. ความยาวของสายส่ง (หน่วย: กิโลเมตร) ที่ทำการจำลองสัญญาณฟอลต์นั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

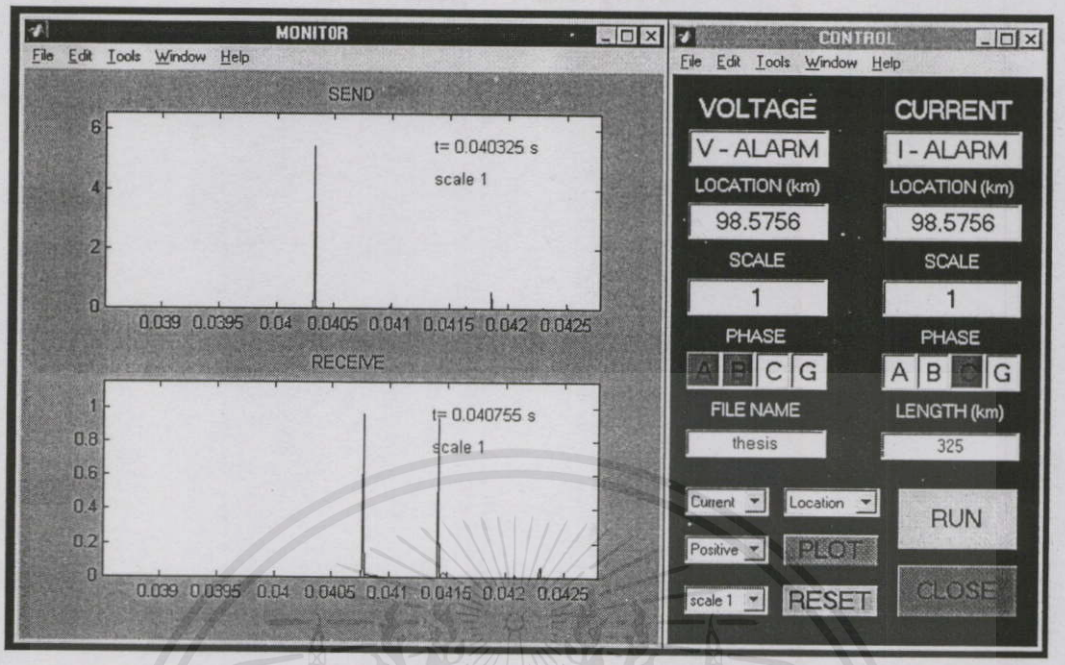


รูปที่ 5.14 แสดงหน้าจอของโปรแกรมขณะที่แสดงกราฟของกระแสฟอลต์ในแต่ละเฟสที่ปลายทั้ง 2 ด้านของสายส่ง

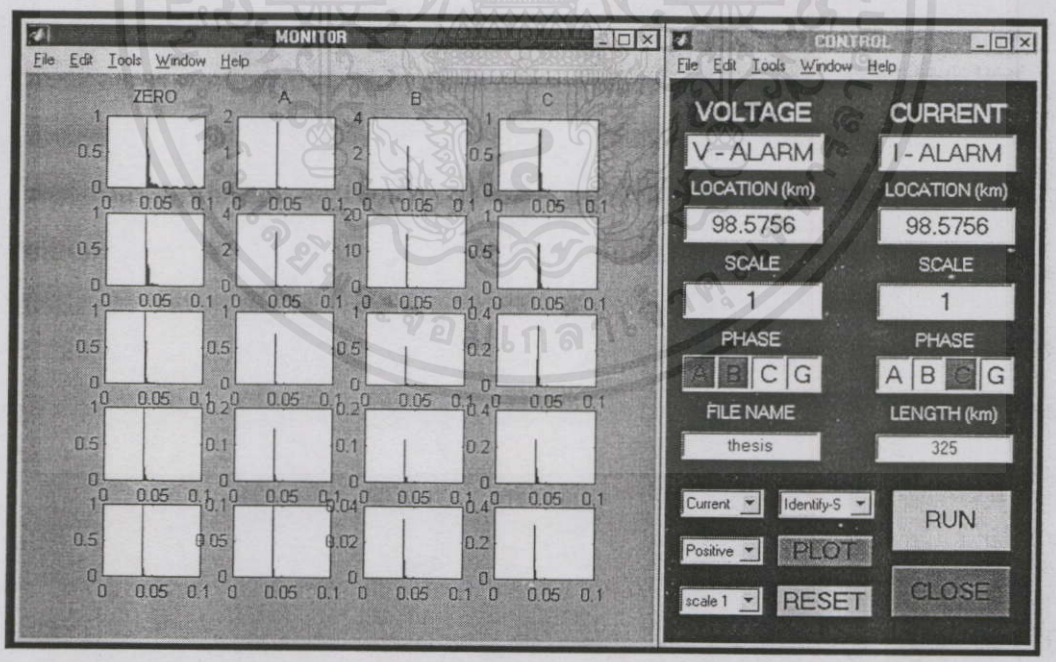


รูปที่ 5.15 แสดงหน้าจอของโปรแกรมขณะที่แสดงกราฟของการแปลงเวฟเล็ตในแต่ละสเกลของปลายทั้ง 2 ด้านของสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

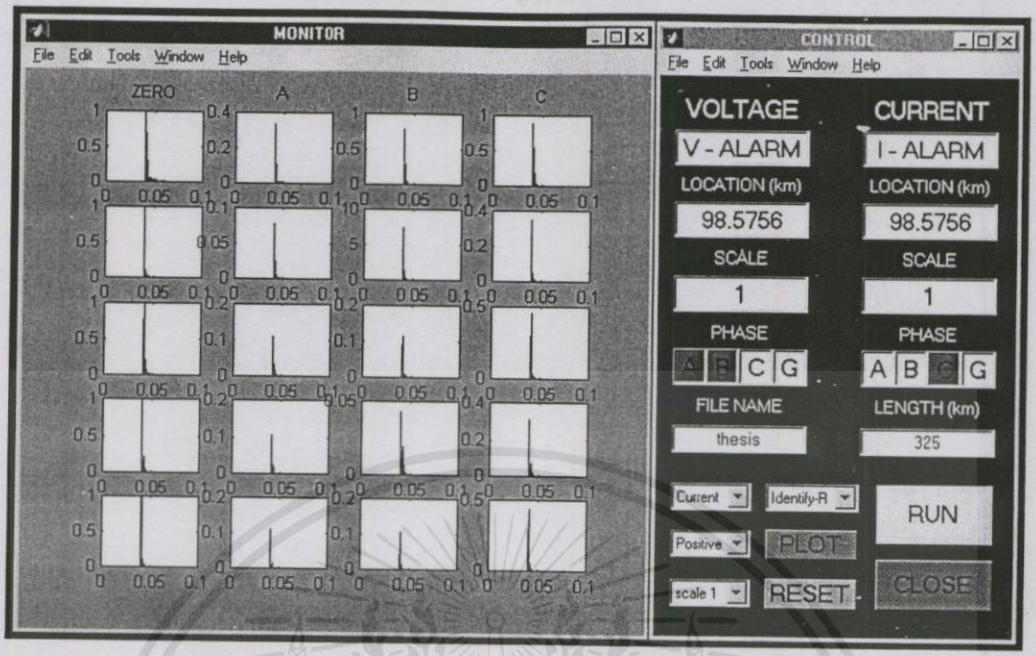


รูปที่ 5.16 แสดงหน้าจอของโปรแกรมขณะที่แสดงกราฟของสัมประสิทธิ์ในสเกลที่ 1และเวลาที่เกิดค่ายอดคลื่นแรกของปลายทั้ง 2 ด้านของสายส่งที่ใช้ในการหาตำแหน่งของฟอลต์ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 5.17 แสดงหน้าจอของโปรแกรมขณะที่แสดงกราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ในสเกลที่ 1-5 เพื่อใช้ในการระบุประเภทของฟอลต์ที่ปลายด้านส่ง (ปลายด้าน A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 แสดงหน้าจอของโปรแกรมขณะที่แสดงกราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ในสเกลที่ 1-5 เพื่อใช้ในการระบุประเภทของฟอลต์ที่ปลายด้านส่ง (ปลายด้าน B)

จากรูปที่ 5.14-5.18 เป็นการแสดงการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ 2 เฟสลงดินของเฟส A และ B (ABG) ซึ่งเป็นตัวอย่างเดียวกันกับสัญญาณฟอลต์ที่ถูกยกมาวิเคราะห์ในตอนท้ายของบทที่ 4 (แสดงการจำลองฟอลต์ในรูปที่ 5.7-5.9) ซึ่งการการแสดงผลในลักษณะกราฟฟิคนี้จะช่วยให้สามารถเข้าใจพฤติกรรมที่ชัดเจนของสัญญาณฟอลต์ที่นำมาผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย และยังสามารถตรวจสอบผลความถูกต้องของการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ด้วย ซึ่งรายละเอียดผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ของทั้ง 2 ระบบการทดลองที่ได้แสดงอยู่ในบทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ผลการทดลอง

บทนี้เป็นนำเสนอผลการทดลองซึ่งได้จากการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม ATP/EMTP ตามรูปแบบและวิธีการที่นำเสนอในบทที่ 4 และ 5 ซึ่งจะแบ่งรูปแบบในการนำเสนอดังต่อไปนี้

6.1 รูปแบบการนำเสนอ

6.1.1 ระบบการทดลอง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ระบบดังนี้

6.1.1.1 ระบบทดลองที่ 1 ความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตรแสดงอยู่ในตารางที่ 6.1-6.5 และรูปที่ 6.1- 6.20

6.1.1.2 ระบบทดลองที่ 2 ความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตรแสดงอยู่ในตารางที่ 6.6-6.10 และรูปที่ 6.21- 6.40

6.1.2 รูปแบบการนำเสนอของแต่ละตาราง

การแสดงผลของตารางจะเรียงตามตำแหน่งที่เกิดฟอลต์คือ 10% , 30% , 50% , 70% และ 90% ของความยาวสายส่ง(วัดจากปลายด้าน A) ในแต่ละระบบทดลองซึ่งรายละเอียดของแต่ละตารางจะประกอบไปด้วย

6.1.2.1 สเกลแรกที่สามารถตรวจจับฟอลต์ได้ที่ปลายทั้ง 2 ด้านของการวิเคราะห์ผลการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยของกระแสและแรงดันกระแสและแรงดัน

6.1.2.2 ตำแหน่งของฟอลต์ที่ได้จากการคำนวณและความคลาดเคลื่อน (Error) ที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ด้วยผลการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยของกระแสและแรงดัน

6.1.2.3 การระบุประเภทของฟอลต์จากการวิเคราะห์ผลการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยของกระแสและแรงดันที่ปลายทั้ง 2 ด้าน

6.1.2.4 การเรียงลำดับจะเรียงตามประเภทของฟอลต์ คือ AG, BG,CG, AB, BC, CA, AB, BC, CA และ ABC ตามลำดับและฟอลต์แต่ละประเภทจะเรียงลำดับตามมุมเฟสที่เริ่มเกิดฟอลต์เมื่อเทียบกับเฟส A ของแรงดัน

6.1.3 รูปแสดงการสรุปผลการทดลองที่ได้จากตาราง

เป็นการแสดงค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่ได้ในแต่ละตารางตามประเภทของฟอลต์ และมีการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ผลการทดลองของระบบทดลองที่ 1

ตารางที่ 6.1 แสดงผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 32.5 กิโลเมตร (10 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ความต้านทานฟอลต์ 10 โอห์ม ในระบบทดลองที่ 1

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
AG	0	1	1	33.164	0.664	32.421	-0.079	AG	AG
	30	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AG	AG
	60	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AG	AG
	90	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AG	AG
	120	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AG	AG
	150	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AG	AG
	180	1	1	33.164	0.664	32.421	-0.079	AG	AG
	210	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AG	AG
	240	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AG	AG
	270	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AG	AG
	300	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AG	AG
	330	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AG	AG
BG	0	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BG	BG
	30	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BG	BG
	60	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BG	BG
	90	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BG	BG
	120	1	1	33.164	0.664	31.678	-0.822	BG	BG
	150	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BG	BG
	180	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BG	BG
	210	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BG	BG
	240	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BG	BG
	270	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BG	BG
	300	1	1	33.164	0.664	31.678	-0.822	BG	BG
	330	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BG	BG

เอกสารนี้เป็นการเผยแพร่งานวิจัยไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานวิจัยทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
CG	0	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CG	CG
	30	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CG	CG
	60	1	1	33.164	0.664	31.678	-0.822	CG	CG
	90	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CG	CG
	120	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CG	CG
	150	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CG	CG
	180	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CG	CG
	210	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CG	CG
	240	1	1	33.164	0.664	31.678	-0.822	CG	CG
	270	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CG	CG
	300	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CG	CG
	330	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CG	CG
ABG	0	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	ABG	ABG
	30	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	ABG	ABG
	60	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	ABG	ABG
	90	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	ABG	ABG
	120	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	ABG	ABG
	150	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CG	ABG
	180	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	ABG	ABG
	210	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	ABG	ABG
	240	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AB	ABG
	270	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	ABG	ABG
	300	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	ABG	ABG
	330	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CG	ABG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
BCG	0	1	1	33.164	0.664	31.678	-0.822	BC	BCG
	30	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BCG	BCG
	60	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BCG	BCG
	90	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AG	BCG
	120	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BCG	BCG
	150	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BCG	BCG
	180	1	1	33.164	0.664	31.678	-0.822	BCG	BCG
	210	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BCG	BCG
	240	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BCG	BCG
	270	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AG	BCG
	300	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BCG	BCG
	330	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BCG	BCG
CAG	0	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CAG	CAG
	30	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BG	CAG
	60	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CAG	CAG
	90	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CAG	CAG
	120	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CA	CAG
	150	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CAG	CAG
	180	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CAG	CAG
	210	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BG	CAG
	240	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CAG	CAG
	270	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CAG	CAG
	300	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CAG	CAG
	330	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CAG	CAG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 (ต่อ)

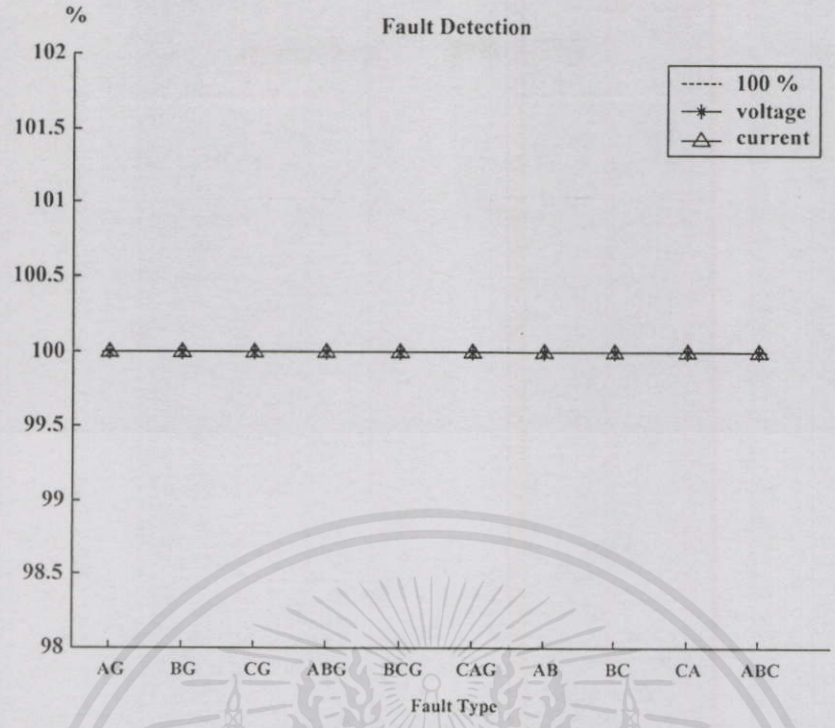
ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
AB	0	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AB	AB
	30	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AB	AB
	60	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AB	AB
	90	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AB	AB
	120	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AB	AB
	150	1	1	33.908	1.408	33.164	0.664	AB	AB
	180	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AB	AB
	210	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AB	AB
	240	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AB	AB
	270	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AB	AB
	300	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AB	AB
	330	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	AB	AB
BC	0	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BC	BC
	30	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BC	BC
	60	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BC	BC
	90	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BC	BC
	120	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BC	BC
	150	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BC	BC
	180	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BC	BC
	210	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BC	BC
	240	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BC	BC
	270	1	1	33.908	1.408	33.164	0.664	BC	BC
	300	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BC	BC
	330	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	BC	BC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

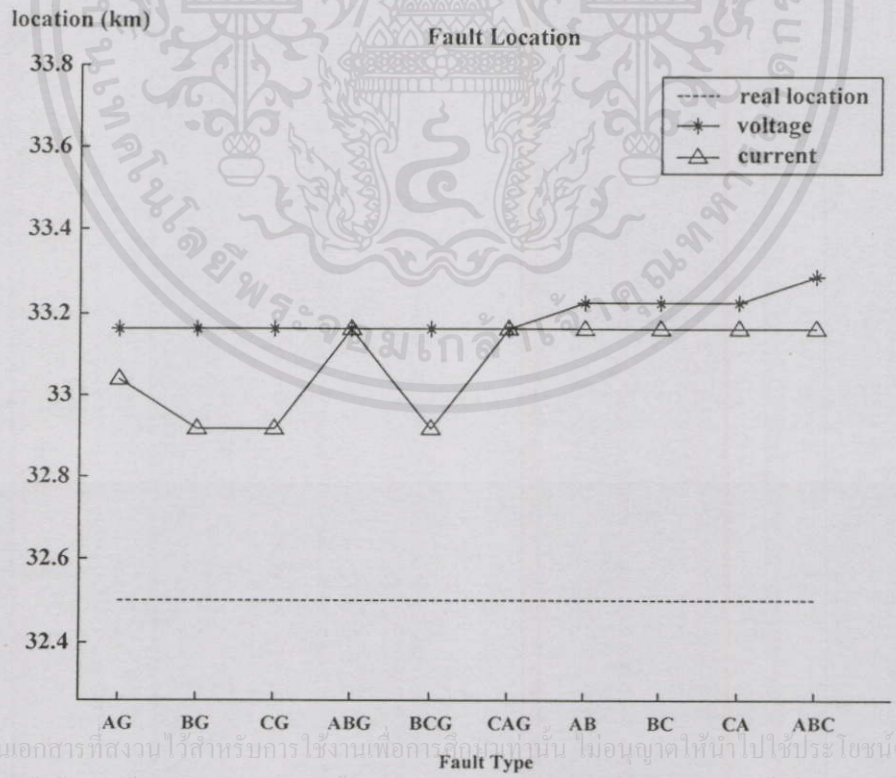
ตารางที่ 6.1 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
CA	0	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CA	CA
	30	1	1	33.908	1.408	33.164	0.664	CA	CA
	60	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CA	CA
	90	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CA	CA
	120	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CA	CA
	150	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CA	CA
	180	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CA	CA
	210	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CA	CA
	240	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CA	CA
	270	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CA	CA
	300	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CA	CA
	330	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	CA	CA
ABC	0	1	1	33.908	1.408	33.164	0.664	ABC	ABC
	30	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	ABC	ABC
	60	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	ABC	ABC
	90	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	ABC	ABC
	120	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	ABC	ABC
	150	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	ABC	ABC
	180	1	1	33.908	1.408	33.164	0.664	ABC	ABC
	210	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	ABC	ABC
	240	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	ABC	ABC
	270	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	ABC	ABC
	300	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	ABC	ABC
	330	1	1	33.164	0.664	33.164	0.664	ABC	ABC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

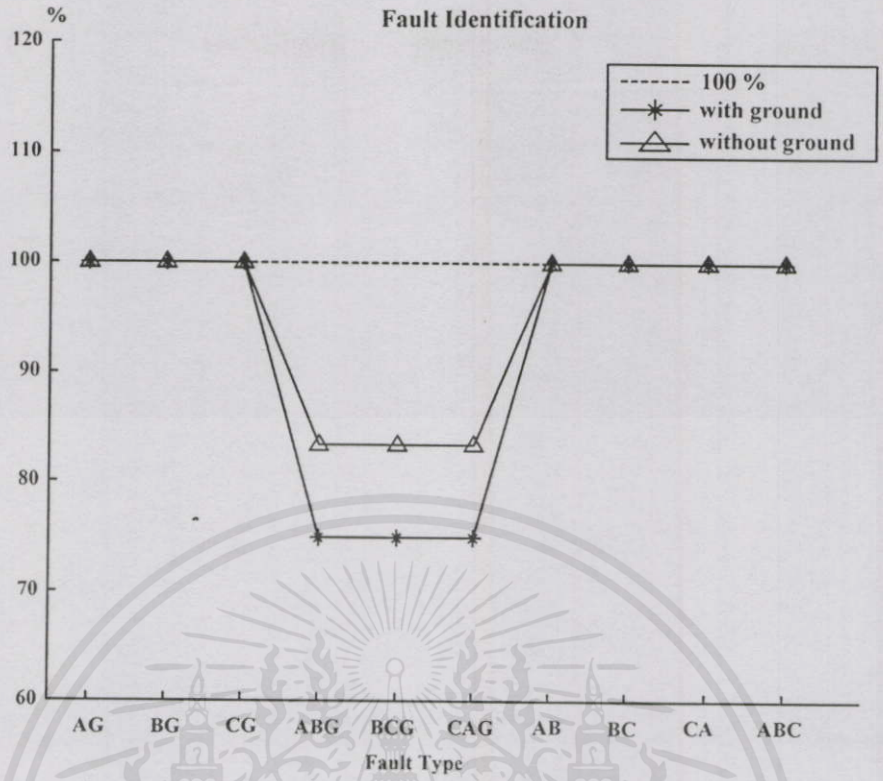


รูปที่ 6.1 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 32.5 กิโลเมตร (10 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 1

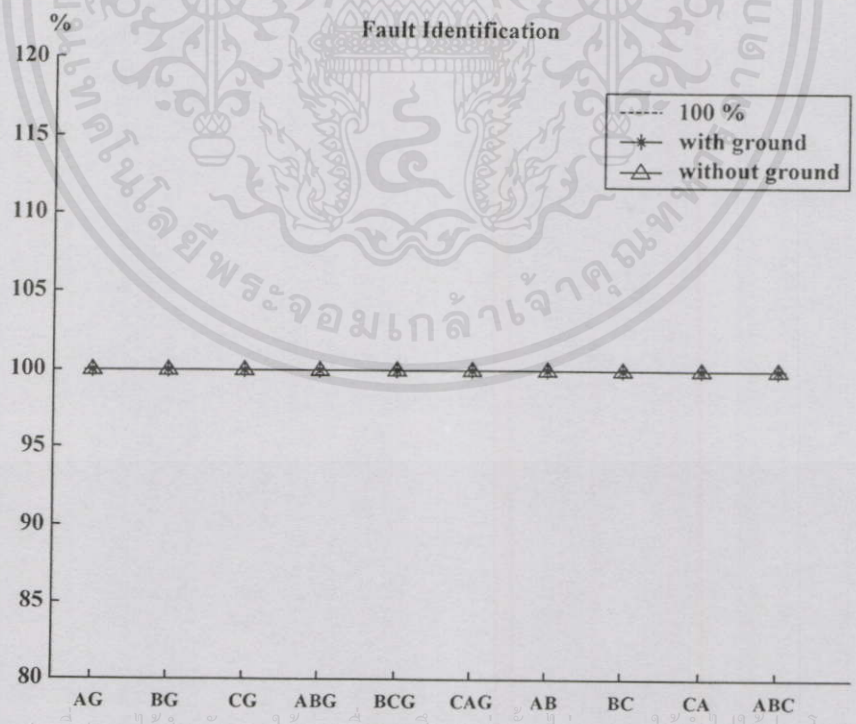


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.2 แสดงค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์จริงที่ระยะทาง 32.5 กิโลเมตร (10 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 1



รูปที่ 6.3 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดัน เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 32.5 กิโลเมตร (10 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 6.4 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแส เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 32.5 กิโลเมตร (10 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 1

จากผลการทดลองในตารางที่ 6.1และรูปที่ 6.1-6.4 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

การตรวจจับฟอลต์ สามารถตรวจจับฟอลต์จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแสและแรงดันได้ถูกต้อง 100%

การหาตำแหน่งฟอลต์ (ระยะทางจริง 32.5 กิโลเมตรวัดจากบัส A)

จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน การหาตำแหน่งฟอลต์ทั้งหมดจะใช้ในสเกลที่ 1 โดยระยะทางที่คำนวณได้ส่วนใหญ่คือ 33.164 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.664 กิโลเมตร) ซึ่งเป็นระยะทางต่ำสุด และระยะทางสูงสุดที่คำนวณได้คือ 33.908 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 1.408 กิโลเมตร) และจากรูปที่ 6.2 ระยะทางเฉลี่ยต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 33.164 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.664 กิโลเมตร) ระยะทางเฉลี่ยสูงสุดที่คำนวณได้คือ 33.288 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.788 กิโลเมตร)

จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส การหาตำแหน่งฟอลต์ทั้งหมดจะใช้ในสเกลที่ 1 โดยระยะทางที่คำนวณได้ส่วนใหญ่คือ 33.164 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.664 กิโลเมตร) ซึ่งเป็นระยะทางสูงสุด และระยะทางต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 31.678 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.822 กิโลเมตร) และจากรูปที่ 6.2 ระยะทางเฉลี่ยต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 32.916 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.416 กิโลเมตร) ระยะทางเฉลี่ยสูงสุดที่คำนวณได้คือ 33.164 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.664 กิโลเมตร)

เมื่อเปรียบค่าเฉลี่ยจากรูปที่ 6.2 พบว่า ผลการหาตำแหน่งฟอลต์ด้วยกระแสจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับระยะทางจริงมากกว่าผลการหาตำแหน่งฟอลต์ด้วยแรงดัน

การระบุประเภทของฟอลต์

จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน จากรูปที่ 6.3 พบว่าสามารถระบุประเภทของฟอลต์เฟสเดียวลงดิน , ฟอลต์ระหว่างเฟสและฟอลต์ 3 เฟส (AG, BG, CG, AB, BC, CA, ABC) ได้ถูกต้อง 100 % ส่วนฟอลต์ 2 เฟสลงดิน (ABG, BCG, CAG) เมื่อพิจารณาเฟสที่เกิดฟอลต์และลักษณะของฟอลต์ลงดินสามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ย 75 % แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะเฟสที่เกิดฟอลต์เพียงอย่างเดียวพบว่าค่าเฉลี่ยสูงขึ้นมาเป็น 83.333 %

จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส จากรูปที่ 6.4 พบว่าสามารถระบุประเภทของฟอลต์ทุกประเภทได้ถูกต้อง 100 % และเมื่อเปรียบเทียบกันพบว่าผลการระบุประเภทด้วยกระแสจะให้ความถูกต้องมากกว่าผลการระบุประเภทด้วยแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 แสดงผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 97.5 กิโลเมตร (30% ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ความต้านทานฟอลต์ 10 โอห์ม ในระบบทดลองที่ 1

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
AG	0	1	1	98.575	1.075	97.832	0.332	AG	AG
	30	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AG	AG
	60	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AG	AG
	90	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AG	AG
	120	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AG	AG
	150	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AG	AG
	180	1	1	98.575	1.075	97.832	0.332	AG	AG
	210	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AG	AG
	240	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AG	AG
	270	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AG	AG
	300	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AG	AG
	330	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AG	AG
BG	0	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BG	BG
	30	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BG	BG
	60	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BG	BG
	90	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BG	BG
	120	1	1	98.575	1.075	97.089	-0.411	BG	BG
	150	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BG	BG
	180	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BG	BG
	210	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BG	BG
	240	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BG	BG
	270	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BG	BG
	300	1	1	98.575	1.075	97.089	-0.411	BG	BG
	330	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BG	BG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
CG	0	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CG	CG
	30	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CG	CG
	60	1	1	98.575	1.075	97.089	-0.411	CG	CG
	90	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CG	CG
	120	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CG	CG
	150	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CG	CG
	180	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CG	CG
	210	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CG	CG
	240	1	1	98.575	1.075	97.089	-0.411	CG	CG
	270	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CG	CG
	300	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CG	CG
	330	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CG	CG
ABG	0	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AB	ABG
	30	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AB	ABG
	60	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	ABG	ABG
	90	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AB	ABG
	120	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AB	ABG
	150	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CG	ABG
	180	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AB	ABG
	210	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AB	ABG
	240	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AB	ABG
	270	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AB	ABG
	300	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AB	ABG
	330	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CG	ABG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
BCG	0	1	1	98.575	1.075	97.089	-0.411	BC	BCG
	30	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BC	BCG
	60	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BC	BCG
	90	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AG	BCG
	120	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BC	BCG
	150	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BC	BCG
	180	1	1	98.575	1.075	97.089	-0.411	BCG	BCG
	210	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BC	BCG
	240	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BC	BCG
	270	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AG	BCG
	300	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BC	BCG
	330	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BC	BCG
CAG	0	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CA	CAG
	30	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BG	CAG
	60	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CA	CAG
	90	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CA	CAG
	120	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CA	CAG
	150	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CA	CAG
	180	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CA	CAG
	210	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BG	CAG
	240	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CA	CAG
	270	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CA	CAG
	300	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CAG	CAG
	330	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CA	CAG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 (ต่อ)

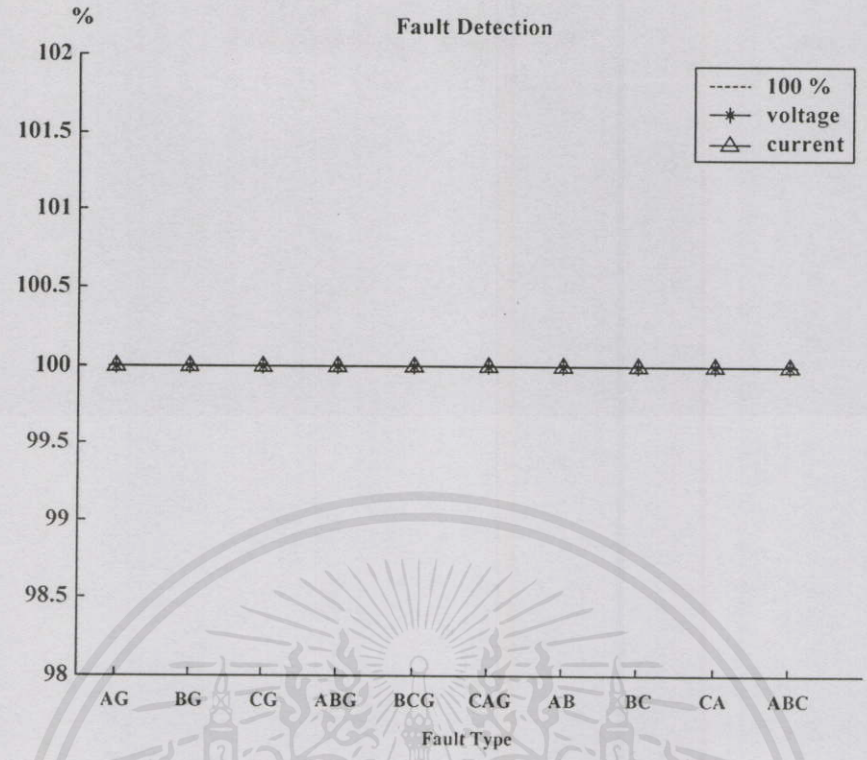
ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
AB	0	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AB	AB
	30	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AB	AB
	60	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AB	AB
	90	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AB	AB
	120	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AB	AB
	150	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AB	AB
	180	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AB	AB
	210	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AB	AB
	240	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AB	AB
	270	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AB	AB
	300	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AB	AB
	330	1	1	98.575	1.075	97.832	0.332	AB	AB
BC	0	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BC	BC
	30	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BC	BC
	60	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BC	BC
	90	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BC	BC
	120	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BC	BC
	150	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BC	BC
	180	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BC	BC
	210	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BC	BC
	240	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BC	BC
	270	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BC	BC
	300	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BC	BC
	330	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	BC	BC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

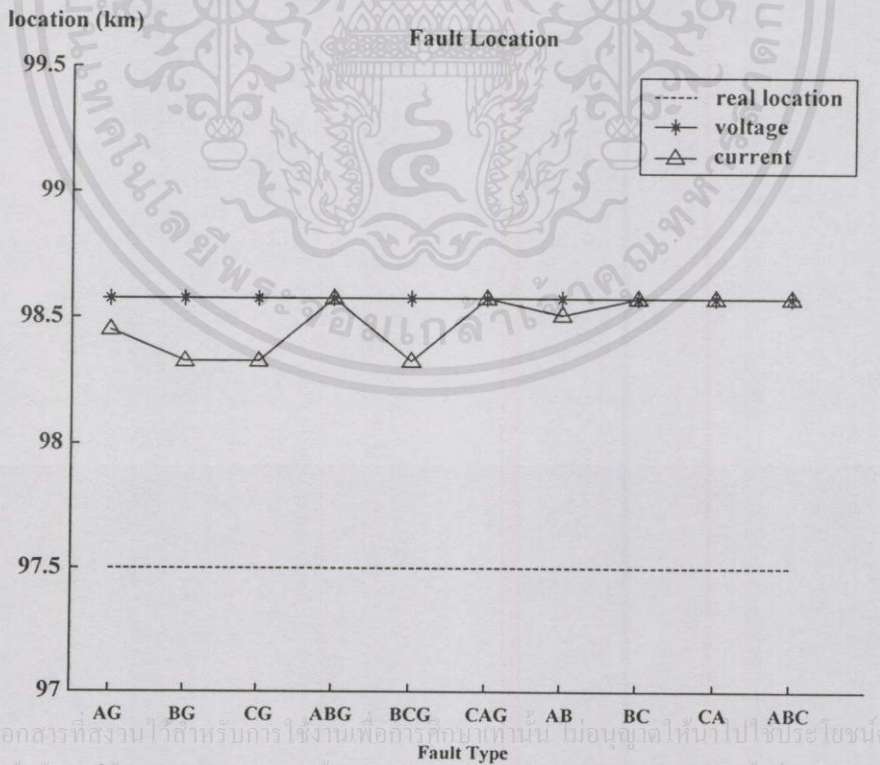
ตารางที่ 6.2 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
CA	0	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CA	CA
	30	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CA	CA
	60	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CA	CA
	90	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CA	CA
	120	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CA	CA
	150	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CA	CA
	180	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CA	CA
	210	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CA	CA
	240	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CA	CA
	270	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CA	CA
	300	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CA	CA
	330	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CA	CA
ABC	0	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	ABC	ABC
	30	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	ABC	ABC
	60	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	ABC	ABC
	90	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	ABC	ABC
	120	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	ABC	ABC
	150	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	CG	ABC
	180	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	ABC	ABC
	210	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	ABC	ABC
	240	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	ABC	ABC
	270	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	AG	ABC
	300	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	ABC	ABC
	330	1	1	98.575	1.075	98.575	1.075	ABC	ABC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

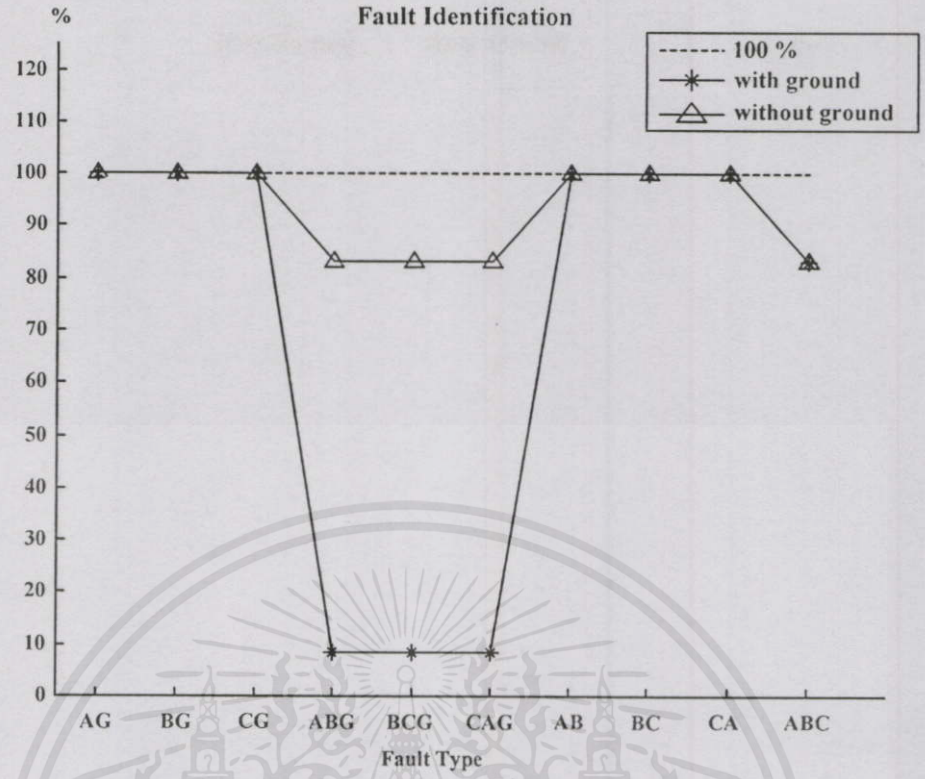


รูปที่ 6.5 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 97.5 กิโลเมตร (30 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 1

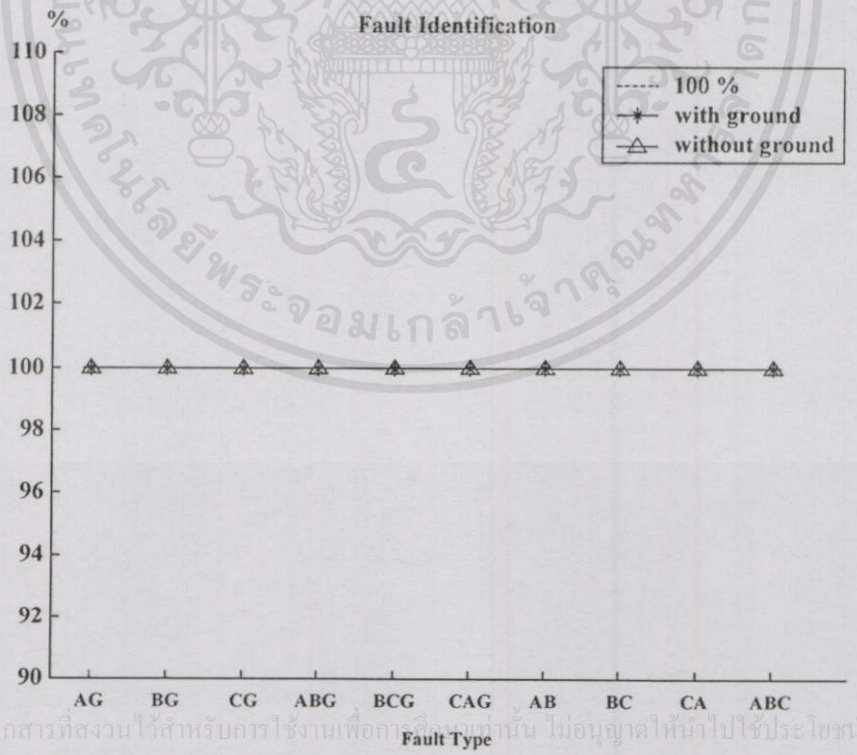


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 6.6 แสดงค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์จริงที่ระยะทาง 97.5 กิโลเมตร (30 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 1



รูปที่ 6.7 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดัน เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 97.5 กิโลเมตร (30 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 6.8 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแส เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 97.5 กิโลเมตร (30 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 1

จากผลการทดลองในตารางที่ 6.2 และรูปที่ 6.5-6.8 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

การตรวจจับฟอลต์ จากรูปที่ 6.5 พบว่าสามารถตรวจจับฟอลต์จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแสและแรงดันได้ถูกต้อง 100%

การหาตำแหน่งฟอลต์ (ระยะทางจริง 97.5 กิโลเมตร)

<u>จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน</u> การหาตำแหน่งฟอลต์ทั้งหมดจะใช้ในสเกลที่ 1 และจากรูปที่ 6.6 ระยะทางทั้งหมดที่คำนวณได้คือ 98.575 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 1.075 กิโลเมตร)

<u>จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส</u> การหาตำแหน่งฟอลต์ทั้งหมดจะใช้ในสเกลที่ 1 โดยระยะทางที่คำนวณได้ส่วนใหญ่คือ 98.575 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 1.075 กิโลเมตร) ซึ่งเป็นระยะทางสูงสุด และระยะทางต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 97.089 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.411 กิโลเมตร) และจากรูปที่ 6.6 ระยะทางเฉลี่ยต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 98.327 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.827 กิโลเมตร) ระยะทางเฉลี่ยสูงสุดที่คำนวณได้คือ 98.575 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 1.075 กิโลเมตร)

และเมื่อเปรียบค่าเฉลี่ยจากรูปที่ 6.6 พบว่า ผลการหาตำแหน่งฟอลต์ด้วยกระแสจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับระยะทางจริงมากกว่าผลการหาตำแหน่งฟอลต์ด้วยแรงดัน

การระบุประเภทของฟอลต์

<u>จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน</u> จากรูปที่ 6.7 พบว่าสามารถระบุประเภทของฟอลต์เฟสเดียวลงดินและฟอลต์ระหว่างเฟส (AG, BG, CG, AB, BC, CA) ได้ถูกต้อง 100 % ส่วนฟอลต์ 2 เฟสลงดิน (ABG, BCG, CAG) เมื่อพิจารณาเฟสที่เกิดฟอลต์และลักษณะของฟอลต์ลงดินสามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ยเพียง 8.333 % แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะเฟสที่เกิดฟอลต์เพียงอย่างเดียวพบว่าค่าเฉลี่ยสูงขึ้นมาเป็น 83.333 % และในกรณีของฟอลต์ 3 เฟสสามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ย 83.333 %

<u>จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส</u> จากรูปที่ 6.8 พบว่าสามารถระบุประเภทของฟอลต์ทุกประเภทได้ถูกต้อง 100 % และเมื่อเปรียบเทียบกันพบว่าผลการระบุประเภทด้วยกระแสจะให้ความถูกต้องมากกว่าผลการระบุประเภทด้วยแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 แสดงผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 162 .5 กิโลเมตร (50% ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ความต้านทานฟอลต์ 10 โอห์ม ในระบบทดลองที่ 1

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
AG	0	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AG	AG
	30	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AG	AG
	60	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AG	AG
	90	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AG	AG
	120	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AG	AG
	150	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AG	AG
	180	1	1	163.243	0.743	162.500	0.000	AG	AG
	210	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AG	AG
	240	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AG	AG
	270	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AG	AG
	300	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AG	AG
	330	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AG	AG
BG	0	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BG	BG
	30	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BG	BG
	60	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BG	BG
	90	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BG	BG
	120	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BG	BG
	150	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BG	BG
	180	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BG	BG
	210	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BG	BG
	240	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BG	BG
	270	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BG	BG
	300	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BG	BG
	330	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BG	BG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
CG	0	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CG	CG
	30	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CG	CG
	60	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CG	CG
	90	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CG	CG
	120	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CG	CG
	150	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CG	CG
	180	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CG	CG
	210	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CG	CG
	240	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CG	CG
	270	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CG	CG
	300	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CG	CG
	330	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CG	CG
ABG	0	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AB	ABG
	30	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AB	ABG
	60	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AB	ABG
	90	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AB	ABG
	120	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AB	ABG
	150	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	ACG	ACG
	180	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AB	ABG
	210	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AB	ABG
	240	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AB	ABG
	270	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AB	ABG
	300	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AB	ABG
	330	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	ACG	ACG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
BCG	0	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BC	BCG
	30	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BC	BCG
	60	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BC	BCG
	90	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	ABG	ABG
	120	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BC	BCG
	150	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BC	BCG
	180	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BC	BCG
	210	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BC	BCG
	240	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BC	BCG
	270	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	ABG	ABG
	300	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BC	BCG
	330	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BC	BCG
CAG	0	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CA	CAG
	30	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BCG	BCG
	60	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CA	CAG
	90	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CA	CAG
	120	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CA	CAG
	150	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CA	CAG
	180	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CA	CAG
	210	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BCG	BCG
	240	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CA	CAG
	270	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CA	CAG
	300	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CA	CAG
	330	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CA	CAG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 (ต่อ)

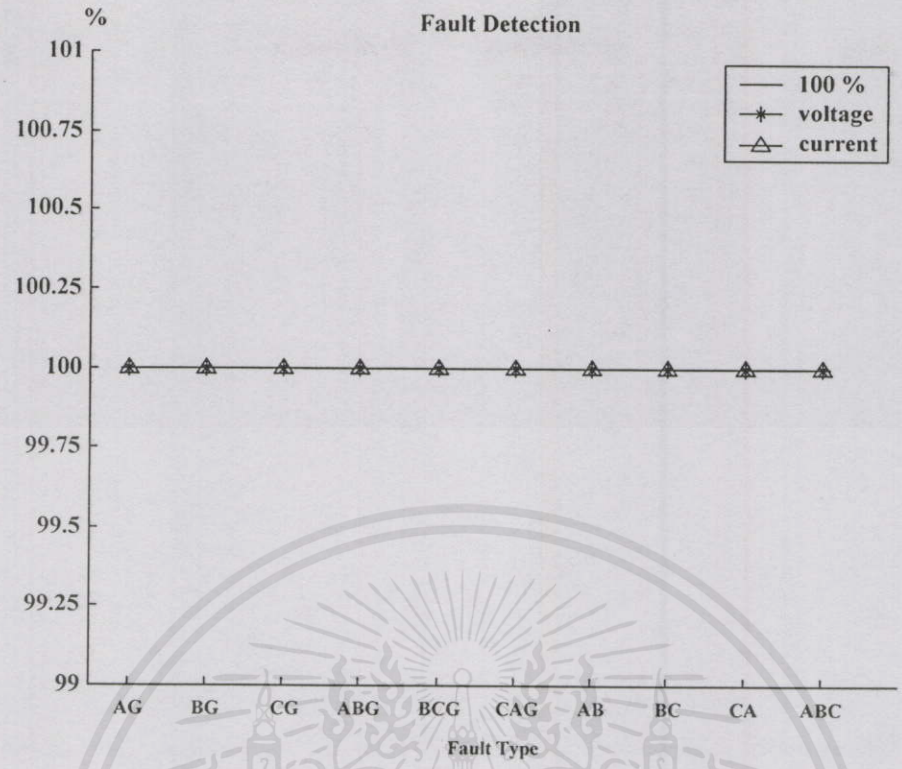
ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
AB	0	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AB	AB
	30	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AB	AB
	60	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AB	AB
	90	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AB	AB
	120	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AB	AB
	150	1	1	161.756	-0.744	162.500	0.000	AB	AB
	180	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AB	AB
	210	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AB	AB
	240	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AB	AB
	270	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AB	AB
	300	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AB	AB
	330	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	AB	AB
BC	0	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BC	BC
	30	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BC	BC
	60	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BC	BC
	90	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BC	BC
	120	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BC	BC
	150	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BC	BC
	180	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BC	BC
	210	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BC	BC
	240	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BC	BC
	270	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BC	BC
	300	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BC	BC
	330	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	BC	BC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

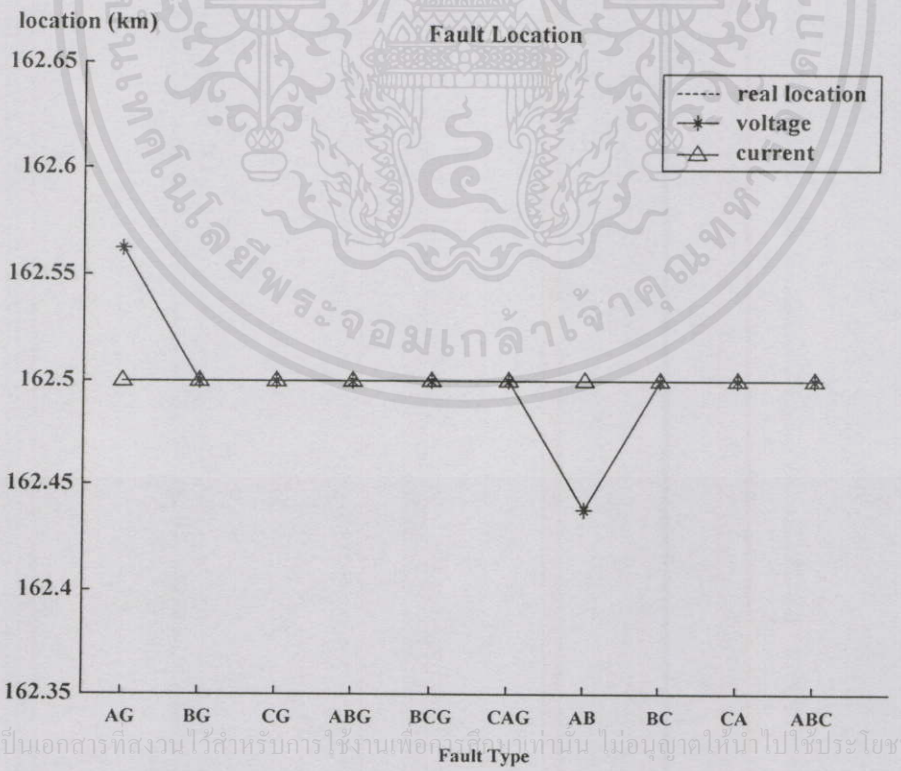
ตารางที่ 6.3 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
CA	0	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CA	CA
	30	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CA	CA
	60	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CA	CA
	90	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CA	CA
	120	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CA	CA
	150	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CA	CA
	180	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CA	CA
	210	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CA	CA
	240	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CA	CA
	270	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CA	CA
	300	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CA	CA
	330	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	CA	CA
ABC	0	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	ABC	ABC
	30	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	ABC	ABC
	60	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	ABC	ABC
	90	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	ABC	ABC
	120	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	ABC	ABC
	150	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	ABC	ABC
	180	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	ABC	ABC
	210	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	ABC	ABC
	240	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	ABC	ABC
	270	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	ABC	ABC
	300	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	ABC	ABC
	330	1	1	162.500	0.000	162.500	0.000	ABC	ABC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

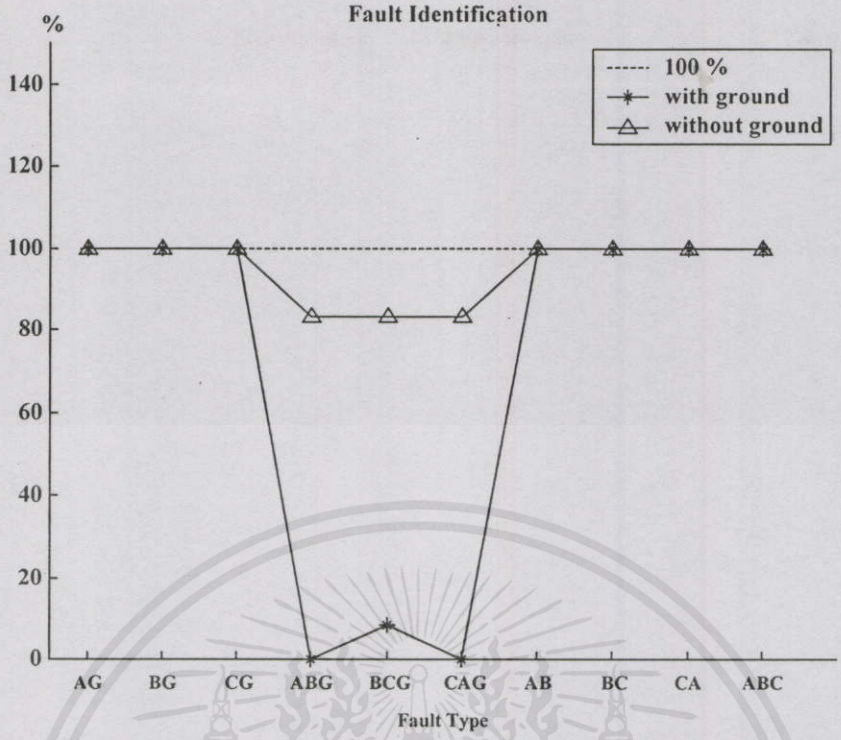


รูปที่ 6.9 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 162.5 กิโลเมตร (50 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 1

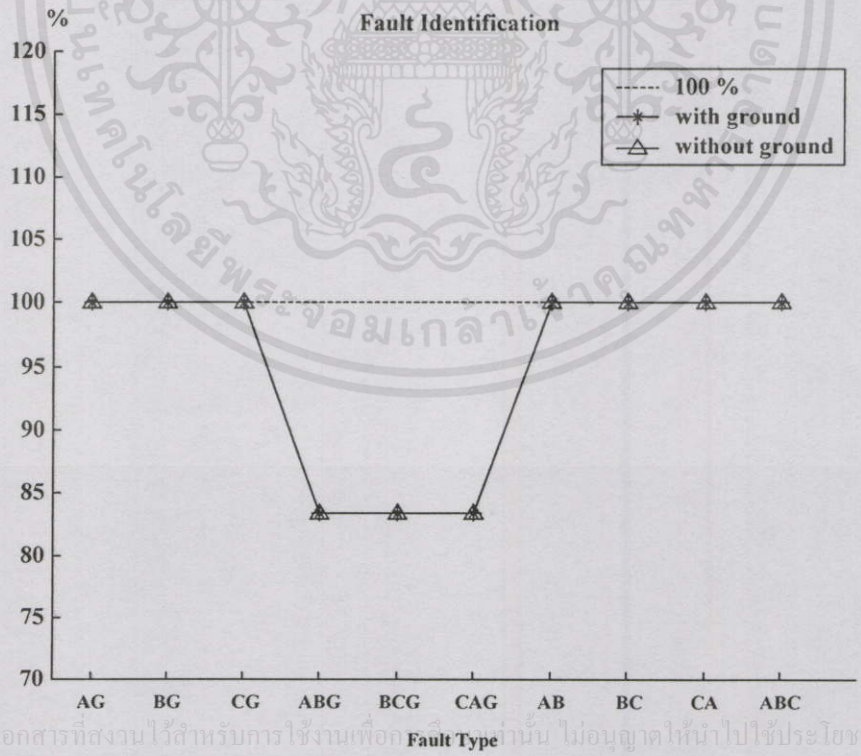


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 6.10 แสดงค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์จริงที่ระยะทาง 162.5 กิโลเมตร (50 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 1



รูปที่ 6.11 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดัน เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 162.5 กิโลเมตร (50 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 6.12 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแส เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 162.5 กิโลเมตร (50 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 1

จากผลการทดลองในตารางที่ 6.3 และรูปที่ 6.9-6.12 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

การตรวจจับฟอลต์ สามารถตรวจจับฟอลต์จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแสและแรงดันได้ถูกต้อง 100%

การหาตำแหน่งฟอลต์ (ระยะทางจริง 162.5 กิโลเมตร)

<u>จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน</u> การหาตำแหน่งฟอลต์ทั้งหมดจะใช้ในสเกลที่ 1 ระยะทางที่คำนวณได้ส่วนใหญ่คือ 162.5 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.0 กิโลเมตร) โดยระยะทางต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 161.76 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.740 กิโลเมตร) และระยะทางสูงสุดที่คำนวณได้คือ 163.24 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน .0740 กิโลเมตร) และจากรูปที่ 6.2 ระยะทางเฉลี่ยต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 162.44 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.06 กิโลเมตร) ระยะทางเฉลี่ยสูงสุดที่คำนวณได้คือ 162.56 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.06 กิโลเมตร)

<u>จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส</u> การหาตำแหน่งฟอลต์ทั้งหมดจะใช้ในสเกลที่ 1 ซึ่งระยะทางที่คำนวณได้ทั้งหมดใหญ่คือ 162.5 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.0 กิโลเมตร)

เมื่อเปรียบค่าเฉลี่ยจากรูปที่ 6.9 พบว่า ผลการหาตำแหน่งฟอลต์ด้วยกระแสจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับระยะทางจริงมากกว่าผลการหาตำแหน่งฟอลต์ด้วยแรงดัน

การระบุประเภทของฟอลต์

<u>จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน</u> จากรูปที่ 6.11 พบว่าสามารถระบุประเภทของฟอลต์เฟสเดียวลงดิน , ฟอลต์ระหว่างเฟส และฟอลต์ 3 เฟส (AG, BG, CG, AB, BC, CA, ABC) ได้ถูกต้อง 100 % ในกรณีของฟอลต์ 2 เฟสลงดิน (ABG, BCG, CAG) เมื่อพิจารณาเฟสที่เกิดฟอลต์และลักษณะของฟอลต์ลงดินสามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ยต่ำสุดที่ 0 % และค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 8.333 % ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมาก แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะเฟสที่เกิดฟอลต์เพียงอย่างเดียว พบว่าค่าเฉลี่ยสูงขึ้นมาอยู่ที่ 83.333 %

<u>จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส</u> จากรูปที่ 6.12 พบว่าสามารถระบุประเภทของฟอลต์เฟสเดียวลงดิน , ฟอลต์ระหว่างเฟส และฟอลต์ 3 เฟส (AG, BG, CG, AB, BC, CA, ABC) ได้ถูกต้อง 100 % ในกรณีของฟอลต์ 2 เฟสลงดิน (ABG, BCG, CAG) สามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ย 83.333 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 แสดงผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 227.5 กิโลเมตร (70 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ความต้านทานฟอลต์ 10 โอห์ม ในระบบทดลองที่ 1

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
AG	0	1	1	226.424	-1.076	227.167	-0.333	AG	AG
	30	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AG	AG
	60	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AG	AG
	90	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AG	AG
	120	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AG	AG
	150	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AG	AG
	180	1	1	226.424	-1.076	227.167	-0.333	AG	AG
	210	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AG	AG
	240	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AG	AG
	270	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AG	AG
	300	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AG	AG
	330	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AG	AG
BG	0	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BG	BG
	30	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BG	BG
	60	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BG	BG
	90	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BG	BG
	120	1	1	226.424	-1.076	227.911	0.411	BG	BG
	150	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BG	BG
	180	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BG	BG
	210	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BG	BG
	240	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BG	BG
	270	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BG	BG
	300	1	1	226.424	-1.076	227.911	0.411	BG	BG
	330	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BG	BG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
CG	0	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CG	CG
	30	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CG	CG
	60	1	1	226.424	-1.076	227.167	-0.333	CG	CG
	90	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CG	CG
	120	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CG	CG
	150	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CG	CG
	180	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CG	CG
	210	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CG	CG
	240	1	1	226.424	-1.076	227.167	-0.333	CG	CG
	270	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CG	CG
	300	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CG	CG
	330	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CG	CG
ABG	0	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AB	ABG
	30	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AB	ABG
	60	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AB	ABG
	90	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AB	ABG
	120	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AB	ABG
	150	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CG	AG
	180	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AB	ABG
	210	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AB	ABG
	240	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	ABG	ABG
	270	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AB	ABG
	300	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AB	ABG
	330	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CG	AG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
BCG	0	1	1	226.424	-1.076	227.911	0.411	BCG	BCG
	30	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BC	BCG
	60	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BC	BCG
	90	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AG	BG
	120	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BC	BCG
	150	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BC	BCG
	180	1	1	226.424	-1.076	227.911	0.411	BC	BCG
	210	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BC	BCG
	240	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BC	BCG
	270	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AG	BG
	300	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BC	BCG
	330	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BC	BCG
CAG	0	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CA	CAG
	30	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BG	CG
	60	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CA	CAG
	90	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CA	CAG
	120	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CAG	CAG
	150	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CA	CAG
	180	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CA	CAG
	210	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BG	CG
	240	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CA	CAG
	270	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CA	CAG
	300	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CA	CAG
	330	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CA	CAG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 (ต่อ)

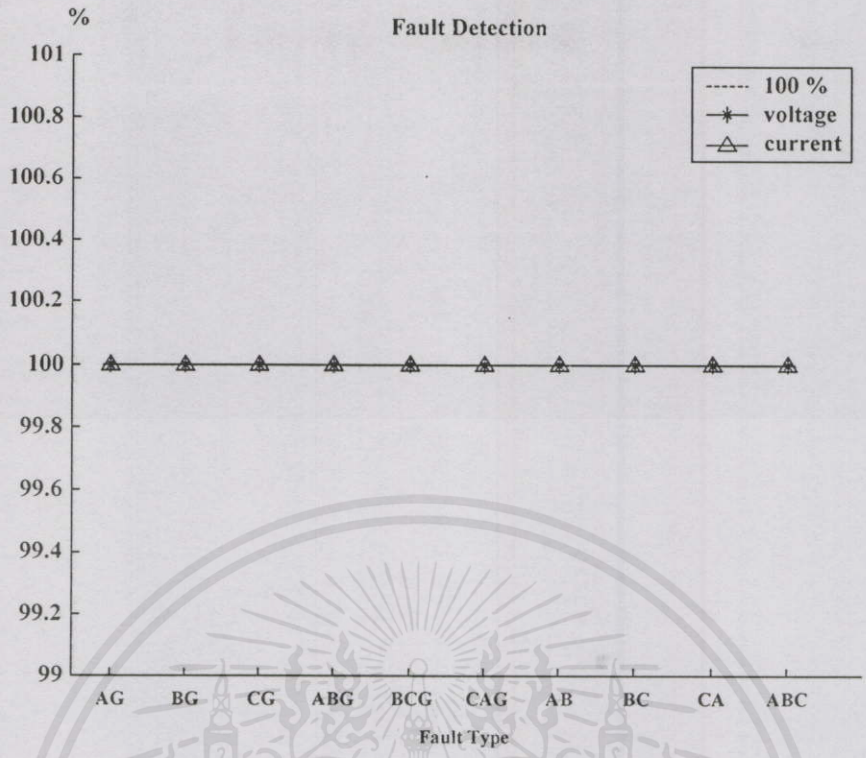
ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
AB	0	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AB	AB
	30	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AB	AB
	60	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AB	AB
	90	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AB	AB
	120	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AB	AB
	150	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AB	AB
	180	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AB	AB
	210	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AB	AB
	240	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AB	AB
	270	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AB	AB
	300	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AB	AB
	330	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	AB	AB
BC	0	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BC	BC
	30	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BC	BC
	60	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BC	BC
	90	1	1	225.681	-1.819	226.424	-1.076	BC	BC
	120	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BC	BC
	150	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BC	BC
	180	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BC	BC
	210	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BC	BC
	240	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BC	BC
	270	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BC	BC
	300	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BC	BC
	330	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	BC	BC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

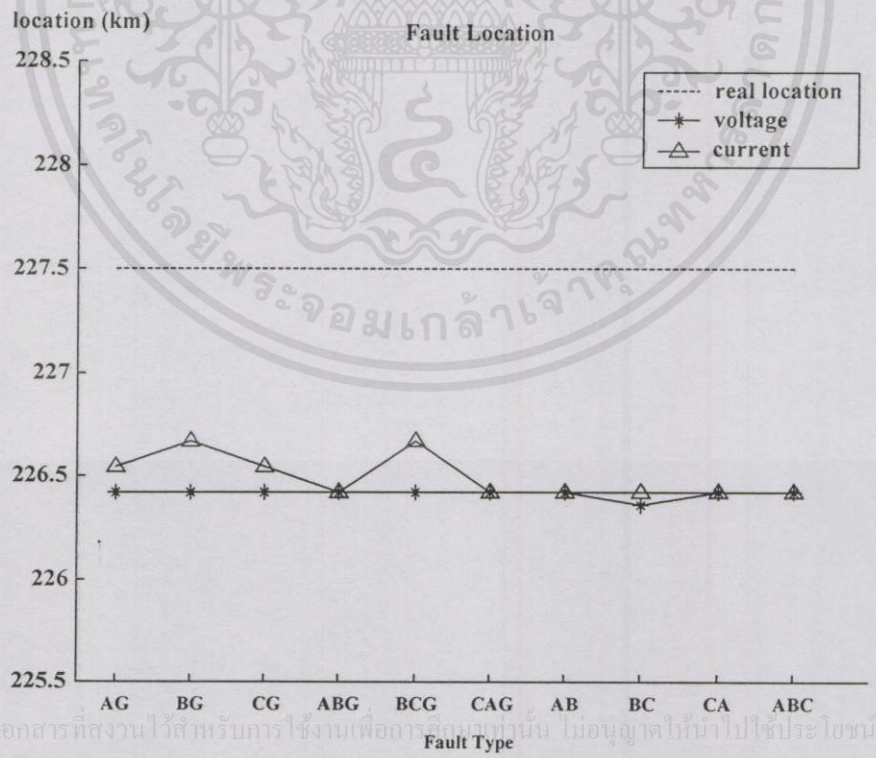
ตารางที่ 6.4 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
CA	0	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CA	CA
	30	1	1	227.167	-0.333	226.424	-1.076	CA	CA
	60	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CA	CA
	90	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CA	CA
	120	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CA	CA
	150	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CA	CA
	180	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CA	CA
	210	1	1	225.681	-1.819	226.424	-1.076	CA	CA
	240	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CA	CA
	270	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CA	CA
	300	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CA	CA
	330	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	CA	CA
ABC	0	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	ABC	ABC
	30	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	ABC	ABC
	60	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	ABC	ABC
	90	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	ABC	ABC
	120	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	ABC	ABC
	150	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	ABC	ABC
	180	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	ABC	ABC
	210	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	ABC	ABC
	240	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	ABC	ABC
	270	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	ABC	ABC
	300	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	ABC	ABC
	330	1	1	226.424	-1.076	226.424	-1.076	ABC	ABC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

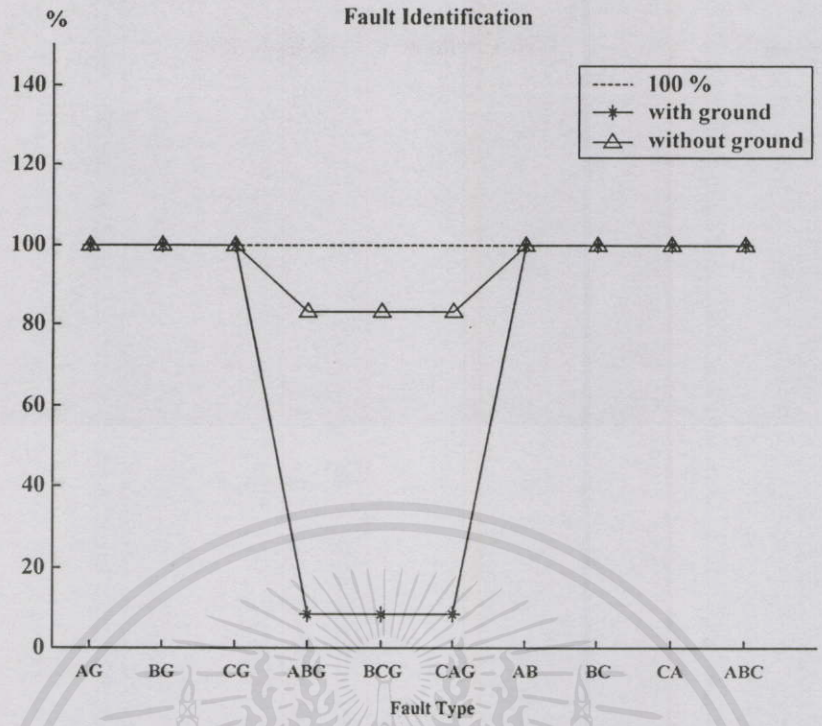


รูปที่ 6.13 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 227.5 กิโลเมตร (70 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 1

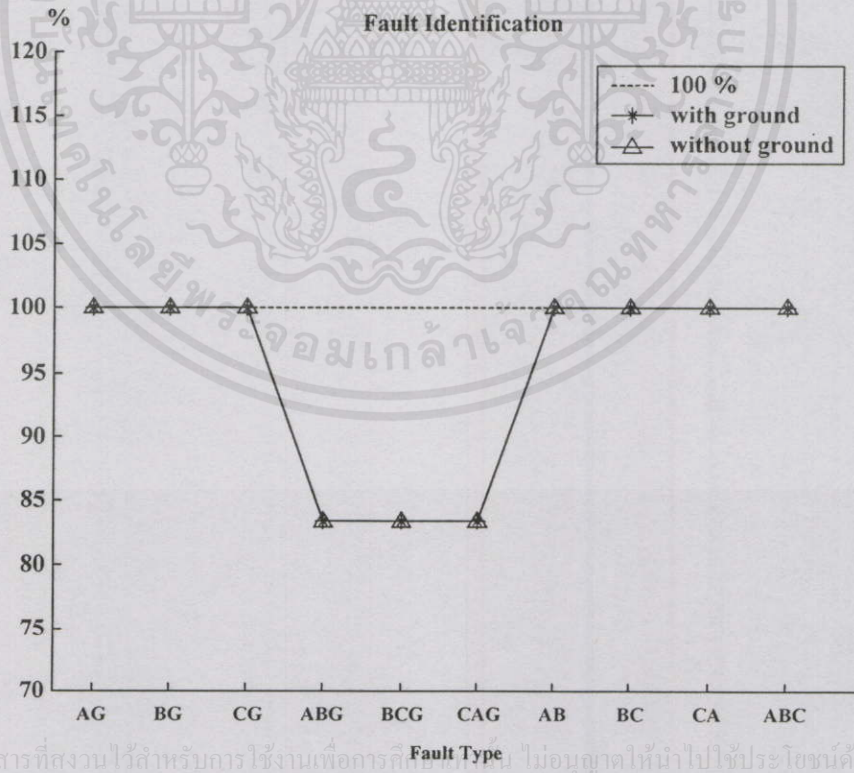


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 6.14 แสดงค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์จริงที่ระยะทาง 227.5 กิโลเมตร (70 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 1



รูปที่ 6.15 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดัน เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 227.5 กิโลเมตร (70 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 6.16 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแส เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 227.5 กิโลเมตร (70 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 1

จากผลการทดลองในตารางที่ 6.4 และรูปที่ 6.13-6.16 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

การตรวจจับฟอลต์ สามารถตรวจจับฟอลต์จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแสและแรงดันได้ถูกต้อง 100%

การหาตำแหน่งฟอลต์ (ระยะทางจริง 227.5 กิโลเมตร)

<u>จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน</u> การหาตำแหน่งฟอลต์ทั้งหมดจะใช้ในสเกลที่ 1 ระยะทางที่คำนวณได้ส่วนใหญ่คือ 226.424 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 1.076 กิโลเมตร) โดยระยะทางต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 225.681 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 1.819 กิโลเมตร) และระยะทางสูงสุดที่คำนวณได้คือ 227.167 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.333 กิโลเมตร) และจากรูปที่ 6.14 ระยะทางเฉลี่ยต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 226.36 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 1.140 กิโลเมตร) ระยะทางเฉลี่ยสูงสุดที่คำนวณได้คือ 226.424 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 1.076 กิโลเมตร)

<u>จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส</u> การหาตำแหน่งฟอลต์ทั้งหมดจะใช้ในสเกลที่ 1 ซึ่งระยะทางที่คำนวณได้ส่วนใหญ่คือ 226.424 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 1.076 กิโลเมตร) ซึ่งเป็นระยะทางต่ำสุด และระยะทางสูงสุดที่คำนวณได้คือ 227.91 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.41 กิโลเมตร) และจากรูปที่ 6.14 ระยะทางเฉลี่ยต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 224.424 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 1.076 กิโลเมตร) ระยะทางเฉลี่ยสูงสุดที่คำนวณได้คือ 226.67 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.830 กิโลเมตร)

เมื่อเปรียบค่าเฉลี่ยจากรูปที่ 6.14 พบว่า ผลการหาตำแหน่งฟอลต์ด้วยกระแสจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับระยะทางจริงมากกว่าผลการหาตำแหน่งฟอลต์ด้วยแรงดัน

การระบุประเภทของฟอลต์

<u>จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน</u> จากรูปที่ 6.15 พบว่าสามารถระบุประเภทของฟอลต์เฟสเดียวลงดิน , ฟอลต์ระหว่างเฟส และฟอลต์ 3 เฟส (AG, BG, CG, AB, BC, CA, ABC) ได้ถูกต้อง 100 % ในกรณีของฟอลต์ 2 เฟสลงดิน (ABG, BCG, CAG) เมื่อพิจารณาเฟสที่เกิดฟอลต์และลักษณะของฟอลต์ลงดินสามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ยอยู่ที่ 8.333 % แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะเฟสที่เกิดฟอลต์เพียงอย่างเดียวพบว่าค่าเฉลี่ยสูงขึ้นมาเป็น 83.333 %

<u>จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส</u> จากรูปที่ 6.16 พบว่าสามารถระบุประเภทของฟอลต์เฟสเดียวลงดิน , ฟอลต์ระหว่างเฟส และฟอลต์ 3 เฟส (AG, BG, CG, AB, BC, CA, ABC) ได้ถูกต้อง 100 % ในกรณีของฟอลต์ 2 เฟสลงดิน (ABG, BCG, CAG) สามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ยที่ 83.333 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.5 แสดงผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 292.5 กิโลเมตร (90%ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ความต้านทานฟอลต์ 10 โอห์ม ในระบบทดลองที่ 1

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
AG	0	1	1	291.092	-1.408	291.835	-0.665	AG	AG
	30	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	AG	AG
	60	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	AG	AG
	90	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	AG	AG
	120	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	AG	AG
	150	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	AG	AG
	180	1	1	291.092	-1.408	291.835	-0.665	AG	AG
	210	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	AG	AG
	240	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	AG	AG
	270	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	AG	AG
	300	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	AG	AG
	330	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	AG	AG
BG	0	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BG	BG
	30	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BG	BG
	60	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BG	BG
	90	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BG	BG
	120	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BG	BG
	150	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BG	BG
	180	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BG	BG
	210	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BG	BG
	240	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BG	BG
	270	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BG	BG
	300	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BG	BG
	330	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BG	BG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.5 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
CG	0	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CG	CG
	30	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CG	CG
	60	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CG	CG
	90	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CG	CG
	120	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CG	CG
	150	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CG	CG
	180	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CG	CG
	210	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CG	CG
	240	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CG	CG
	270	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CG	CG
	300	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CG	CG
	330	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CG	CG
ABG	0	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	ABG	ABG
	30	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	ABG	ABG
	60	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	ABG	ABG
	90	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	ABG	ABG
	120	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	ABG	ABG
	150	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	AG	AG
	180	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	ABG	ABG
	210	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	ABG	ABG
	240	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	ABG	ABG
	270	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	ABG	ABG
	300	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	ABG	ABG
	330	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	AG	AG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.5 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
BCG	0	1	1	291.835	-0.665	292.578	0.078	BCG	BCG
	30	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BCG	BCG
	60	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BCG	BCG
	90	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BG	BG
	120	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BCG	BCG
	150	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BCG	BCG
	180	1	1	291.835	-0.665	292.578	0.078	BCG	BCG
	210	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BCG	BCG
	240	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BCG	BCG
	270	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BG	BG
	300	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BCG	BCG
	330	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BCG	BCG
CAG	0	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CAG	CAG
	30	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CG	CG
	60	1	1	291.092	-1.408	291.835	-0.665	CAG	CAG
	90	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CAG	CAG
	120	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CAG	CAG
	150	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CAG	CAG
	180	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CAG	CAG
	210	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CG	CG
	240	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CAG	CAG
	270	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CAG	CAG
	300	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CAG	CAG
	330	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CAG	CAG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.5 (ต่อ)

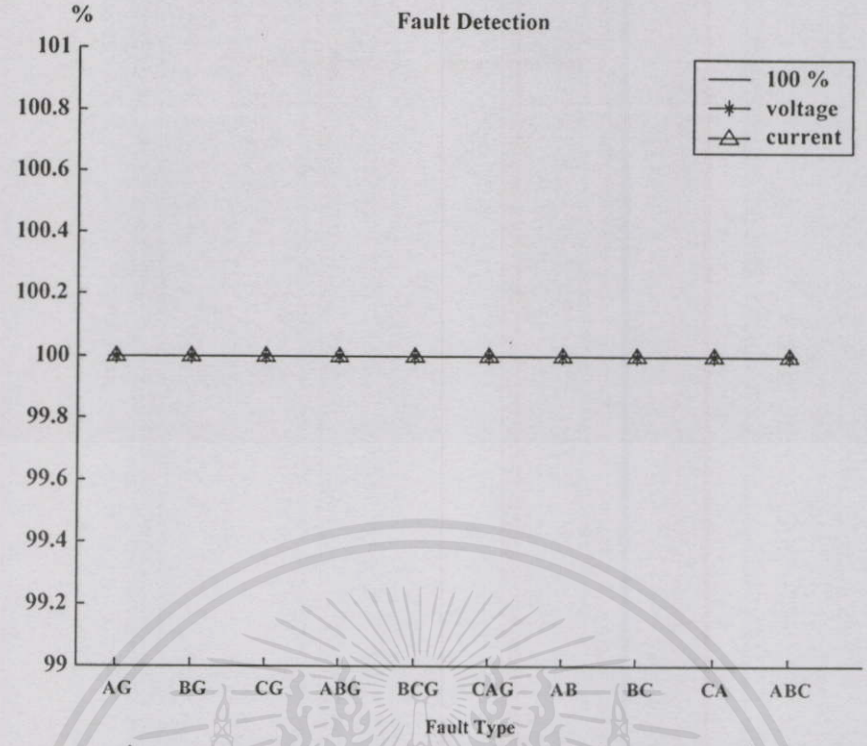
ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
AB	0	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	AB	AB
	30	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	AB	AB
	60	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	AB	AB
	90	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	AB	AB
	120	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	AB	AB
	150	1	1	291.092	-1.408	291.835	-0.665	AB	AB
	180	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	AB	AB
	210	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	AB	AB
	240	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	AB	AB
	270	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	AB	AB
	300	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	AB	AB
	330	1	1	291.092	-1.408	291.835	-0.665	AB	AB
BC	0	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BC	BC
	30	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BC	BC
	60	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BC	BC
	90	1	1	291.092	-1.408	291.835	-0.665	BC	BC
	120	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BC	BC
	150	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BC	BC
	180	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BC	BC
	210	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BC	BC
	240	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BC	BC
	270	1	1	291.092	-1.408	291.835	-0.665	BC	BC
	300	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BC	BC
	330	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	BC	BC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

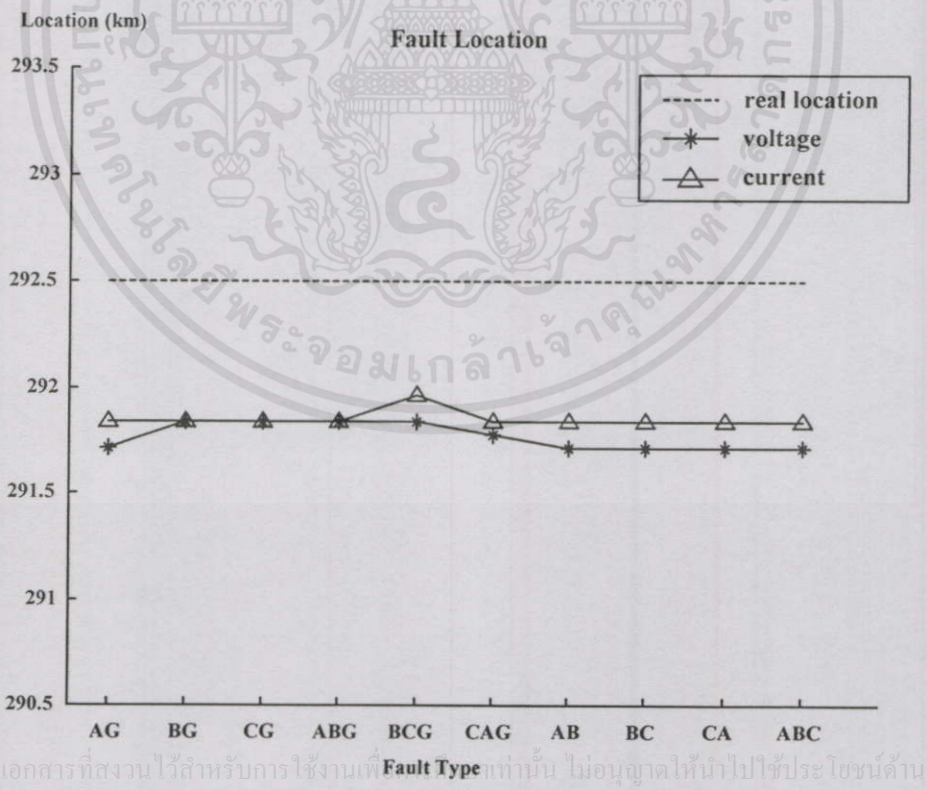
ตารางที่ 6.5 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
CA	0	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CA	CA
	30	1	1	291.092	-1.408	291.835	-0.665	CA	CA
	60	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CA	CA
	90	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CA	CA
	120	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CA	CA
	150	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CA	CA
	180	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CA	CA
	210	1	1	291.092	-1.408	291.835	-0.665	CA	CA
	240	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CA	CA
	270	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CA	CA
	300	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CA	CA
	330	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	CA	CA
ABC	0	1	1	291.092	-1.408	291.835	-0.665	ABC	ABC
	30	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	ABC	ABC
	60	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	ABC	ABC
	90	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	ABC	ABC
	120	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	ABC	ABC
	150	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	ABC	ABC
	180	1	1	291.092	-1.408	291.835	-0.665	ABC	ABC
	210	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	ABC	ABC
	240	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	ABC	ABC
	270	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	ABC	ABC
	300	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	ABC	ABC
	330	1	1	291.835	-0.665	291.835	-0.665	ABC	ABC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

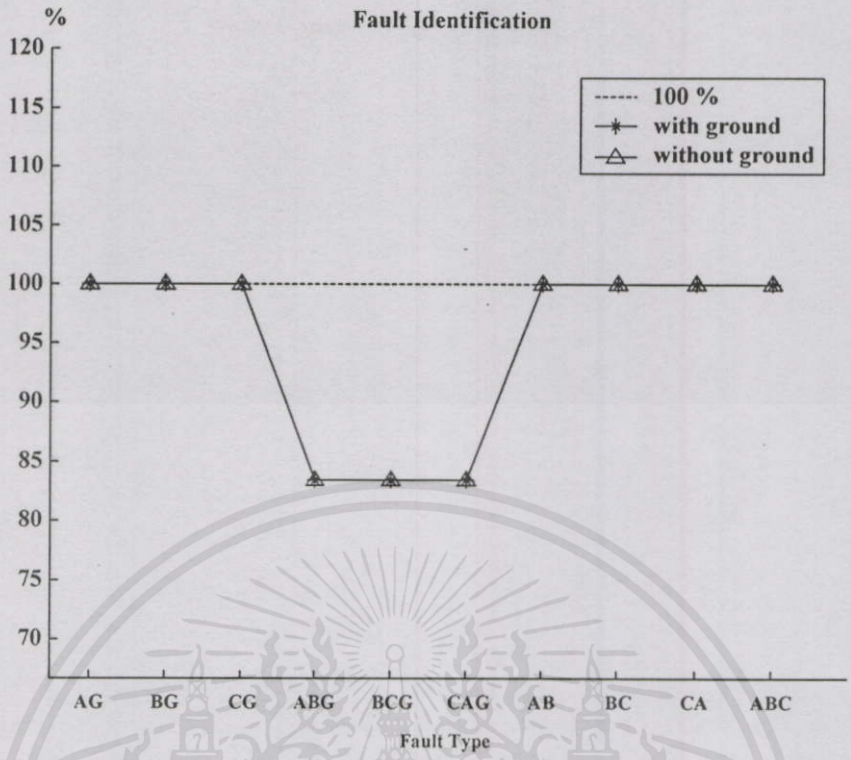


รูปที่ 6.17 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 292.5 กิโลเมตร (90 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 1

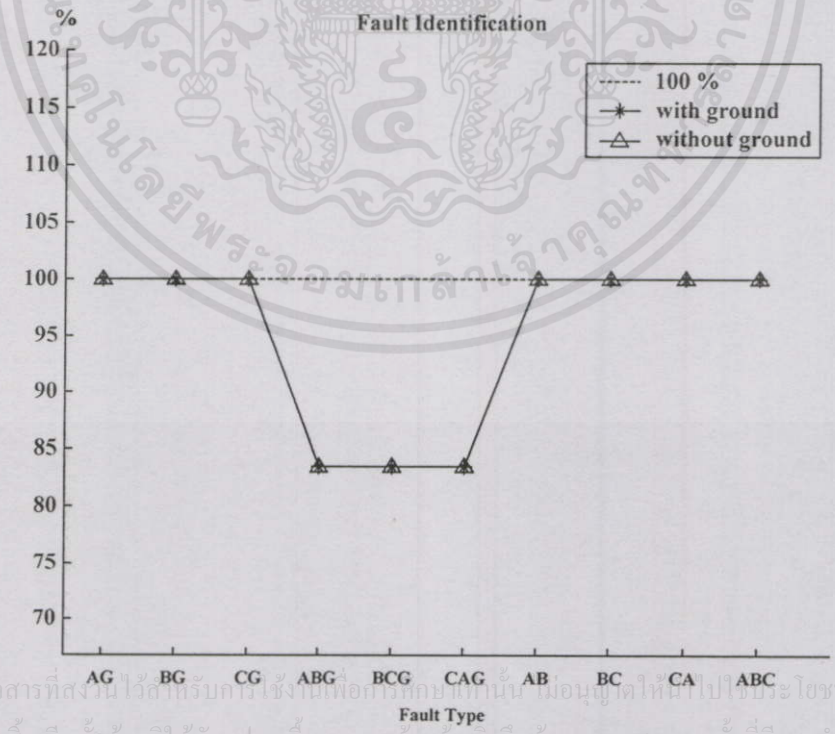


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.18 แสดงค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์จริงที่ระยะทาง 292.5 กิโลเมตร (90 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 1



รูปที่ 6.19 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดัน เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 292.5 กิโลเมตร (90 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.20 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแส เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 292.5 กิโลเมตร (90 % ของความยาวสายส่ง 325 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 1

จากผลการทดลองในตารางที่ 6.5 และรูปที่ 6.17-6.20 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

การตรวจจับฟอลต์ สามารถตรวจจับฟอลต์จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแสและแรงดันได้ถูกต้อง 100%

การหาตำแหน่งฟอลต์ (ระยะทางจริง 292.5 กิโลเมตร)

<u>จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน</u> การหาตำแหน่งฟอลต์ทั้งหมดจะใช้ในสเกลที่ 1 ระยะทางที่คำนวณได้ส่วนใหญ่คือ 291.835 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.665 กิโลเมตร) ซึ่งเป็นระยะสูงสุด โดยระยะทางต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 291.092 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 1.408 กิโลเมตร) และจากรูปที่ 6.18 ระยะทางเฉลี่ยต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 291.71 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.790 กิโลเมตร) ระยะทางเฉลี่ยสูงสุดที่คำนวณได้คือ 291.835 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.665 กิโลเมตร)

<u>จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส</u> การหาตำแหน่งฟอลต์ทั้งหมดจะใช้ในสเกลที่ 1 ระยะทางที่คำนวณได้ส่วนใหญ่คือ 291.835 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.665 กิโลเมตร) ซึ่งเป็นระยะทางต่ำสุด โดยระทางสูงสุดที่คำนวณได้คือ 292.58 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.08 กิโลเมตร) และจากรูปที่ 6.18 ระยะทางเฉลี่ยต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 291.71 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.790 กิโลเมตร) ระยะทางเฉลี่ยสูงสุดที่คำนวณได้คือ 291.835 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.665 กิโลเมตร)

เมื่อเปรียบค่าเฉลี่ยจากรูปที่ 6.18 พบว่า ผลการหาตำแหน่งฟอลต์ด้วยกระแสจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับระยะทางจริงมากกว่าผลการหาตำแหน่งฟอลต์ด้วยแรงดัน

การระบุประเภทของฟอลต์

<u>จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน</u> จากรูปที่ 6.19 พบว่าสามารถระบุประเภทของฟอลต์เฟสเดียวลงดิน , ฟอลต์ระหว่างเฟส และฟอลต์ 3 เฟส (AG, BG, CG, AB, BC, CA, ABC) ได้ถูกต้อง 100 % ในกรณีส่วนฟอลต์ 2 เฟสลงดิน(ABG, BCG, CAG) สามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ย 83.333 %

<u>จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส</u> จากรูปที่ 6.20 พบว่าสามารถระบุประเภทของฟอลต์เฟสเดียวลงดิน , ฟอลต์ระหว่างเฟส และฟอลต์ 3 เฟส (AG, BG, CG, AB, BC, CA, ABC) ได้ถูกต้อง 100 % ในกรณีฟอลต์ 2 เฟสลงดิน(ABG, BCG, CAG) สามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ยที่ 83.333 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 ผลการทดลองของระบบทดลองที่ 2

ตารางที่ 6.6 แสดงผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 4 กิโลเมตร (10 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ความต้านทานฟอลต์ 10 โอห์ม ในระบบทดลองที่ 2

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
AG	0	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AG	AG
	30	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AG	AG
	60	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AG	AG
	90	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AG	AG
	120	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AG	AG
	150	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AG	AG
	180	1	1	3.588	-0.412	4.334	0.334	AG	AG
	210	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AG	AG
	240	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AG	AG
	270	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AG	AG
	300	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AG	AG
	330	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AG	AG
BG	0	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BG	BG
	30	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BG	BG
	60	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BG	BG
	90	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BG	BG
	120	1	1	3.588	-0.412	5.080	1.080	BG	BG
	150	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BG	BG
	180	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BG	BG
	210	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BG	BG
	240	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BG	BG
	270	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BG	BG
	300	1	1	3.588	-0.412	5.080	1.080	BG	BG
	330	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BG	BG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.6 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
CG	0	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CG	CG
	30	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CG	CG
	60	1	1	3.588	-0.412	4.334	0.334	CG	CG
	90	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CG	CG
	120	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CG	CG
	150	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CG	CG
	180	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CG	CG
	210	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CG	CG
	240	1	1	3.588	-0.412	4.334	0.334	CG	CG
	270	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CG	CG
	300	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CG	CG
	330	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CG	CG
ABG	0	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	ABG	BG
	30	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	ABG	ABG
	60	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AB	AB
	90	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AB	ABG
	120	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	ABG	ABG
	150	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	ABG	ABG
	180	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	ABG	BG
	210	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	ABG	ABG
	240	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AB	AB
	270	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AB	ABG
	300	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	ABG	ABG
	330	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	ABG	ABG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.6 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
BCG	0	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BC	BC
	30	1	1	4.334	0.334	3.588	-0.412	BCG	BCG
	60	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BCG	BG
	90	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BCG	BCG
	120	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BCG	BCG
	150	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BCG	BCG
	180	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BC	BC
	210	1	1	4.334	0.334	3.588	-0.412	BCG	BCG
	240	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BCG	BG
	270	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BCG	BCG
	300	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BCG	BCG
	330	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BCG	BCG
CAG	0	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CAG	CG
	30	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CG	CAG
	60	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CAG	AG
	90	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CAG	CAG
	120	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CA	CAG
	150	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CAG	CAG
	180	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CAG	CG
	210	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CG	CAG
	240	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CAG	AG
	270	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CAG	CAG
	300	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CA	CAG
	330	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CAG	CAG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.6 (ต่อ)

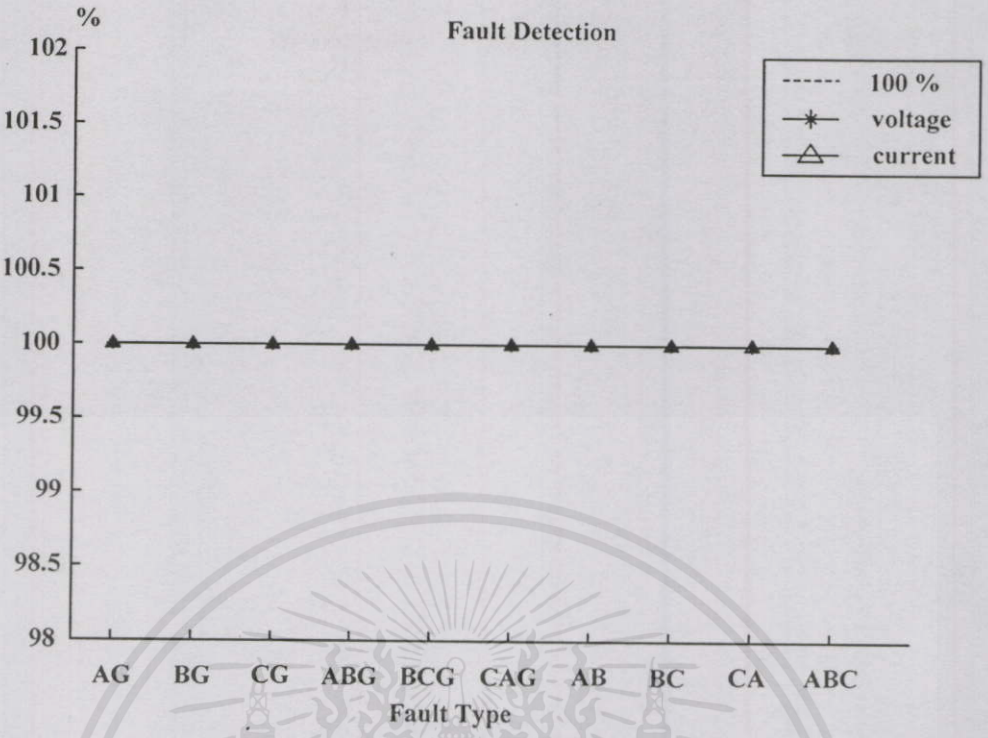
ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
AB	0	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AB	AB
	30	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AB	AB
	60	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AB	AB
	90	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AB	AB
	120	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AB	AB
	150	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	ABC	AB
	180	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AB	AB
	210	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AB	AB
	240	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AB	AB
	270	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AB	AB
	300	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AB	AB
	330	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	AB	AB
BC	0	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BC	BC
	30	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BC	BC
	60	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BC	BC
	90	1	1	2.842	-1.158	2.096	-1.904	BC	BC
	120	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BC	BC
	150	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BC	BC
	180	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BC	BC
	210	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BC	BC
	240	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BC	BC
	270	1	1	2.842	-1.158	5.826	1.826	BC	BC
	300	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BC	BC
	330	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	BC	BC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

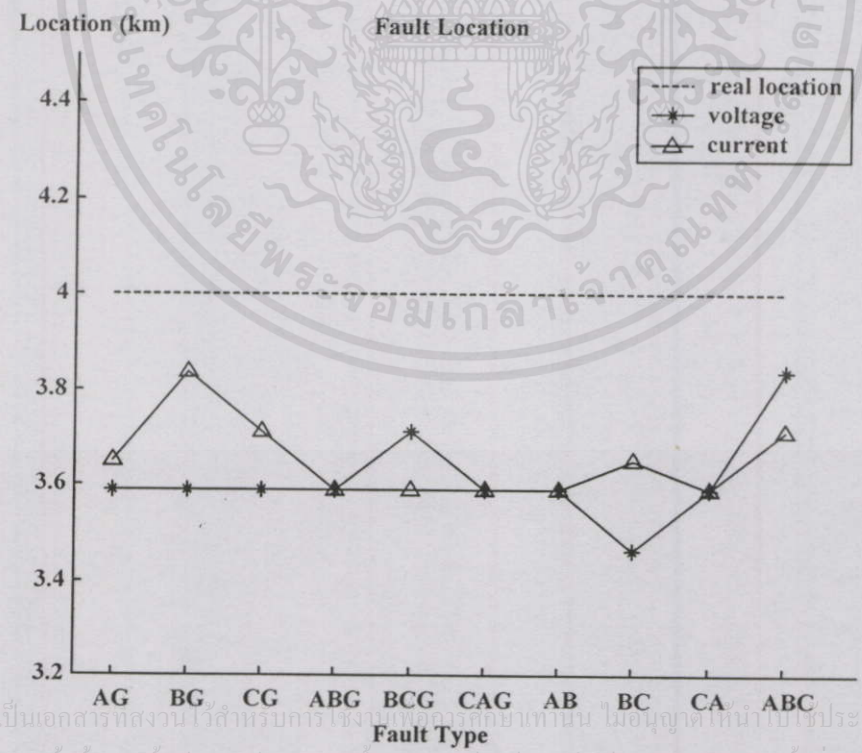
ตารางที่ 6.6 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
CA	0	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CA	CA
	30	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CA	CA
	60	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CA	CA
	90	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CA	CA
	120	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CA	CA
	150	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CA	CA
	180	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CA	CA
	210	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CA	CA
	240	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CA	CA
	270	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CA	CA
	300	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CA	CA
	330	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	CA	CA
ABC	0	1	1	5.080	1.080	4.334	0.334	ABC	ABC
	30	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	ABC	ABC
	60	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	ABC	ABC
	90	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	ABC	ABC
	120	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	ABC	ABC
	150	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	ABC	ABC
	180	1	1	5.080	1.080	4.334	0.334	ABC	ABC
	210	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	ABC	ABC
	240	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	ABC	ABC
	270	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	ABC	ABC
	300	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	ABC	ABC
	330	1	1	3.588	-0.412	3.588	-0.412	ABC	ABC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

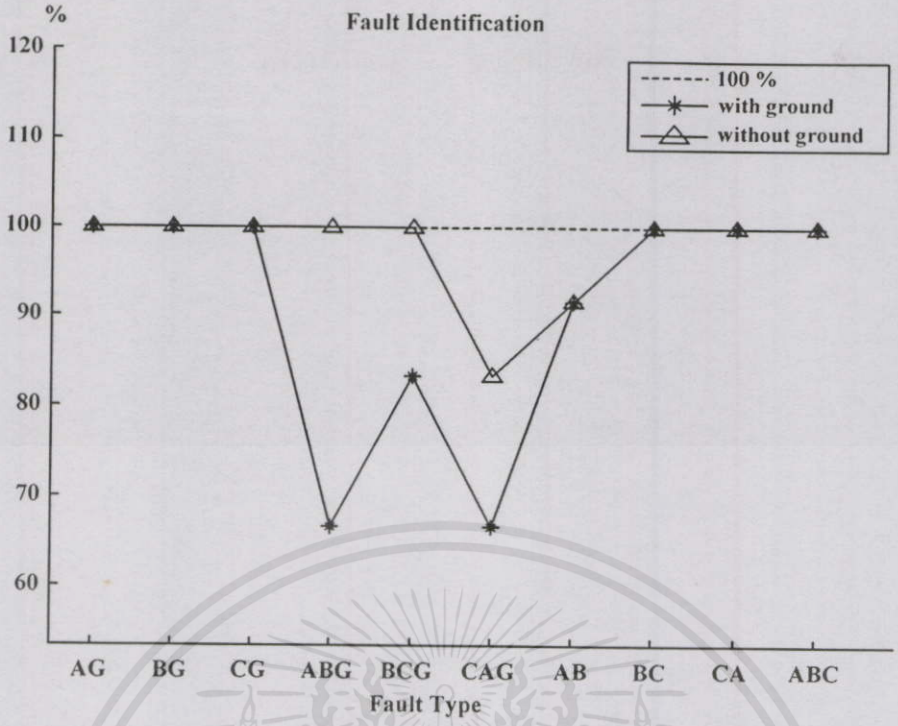


รูปที่ 6.21 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 4 กิโลเมตร (10 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2

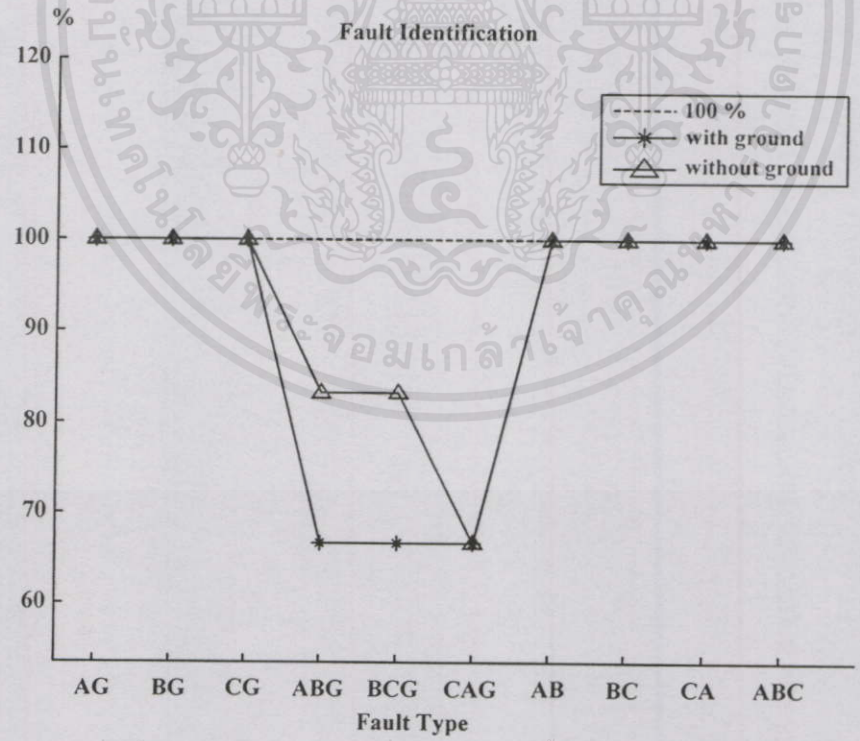


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.22 แสดงค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์จริงที่ระยะทาง 4 กิโลเมตร (10 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2



รูปที่ 6.23 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดัน เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 4 กิโลเมตร (10 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 2



รูปที่ 6.24 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแส เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 4 กิโลเมตร (10 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 2

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในตารางที่ 6.6 และรูปที่ 6.21-6.24 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

การตรวจจับฟอลต์ สามารถตรวจจับฟอลต์จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแสและแรงดันได้ถูกต้อง 100%

การหาตำแหน่งฟอลต์ (ระยะทางจริง 4 กิโลเมตร)

<u>จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน</u> การหาตำแหน่งฟอลต์ทั้งหมดจะใช้ในสเกลที่ 1 ระยะทางที่คำนวณได้ส่วนใหญ่คือ 3.588 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.412 กิโลเมตร) โดยระยะทางต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 2.842 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 1.158 กิโลเมตร) ระยะทางสูงสุดที่คำนวณได้คือ 5.08 (คลาดเคลื่อน 1.08 กิโลเมตร) และจากรูปที่ 6.22 ระยะทางเฉลี่ยต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 3.464 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.536 กิโลเมตร) ระยะทางเฉลี่ยสูงสุดที่คำนวณได้คือ 3.837 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.163 กิโลเมตร)

<u>จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส</u> การหาตำแหน่งฟอลต์ทั้งหมดจะใช้ในสเกลที่ 1 ระยะทางที่คำนวณได้ส่วนใหญ่คือ 3.588 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.412 กิโลเมตร) โดยระยะทางต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 2.096 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 1.904 กิโลเมตร) ระยะทางสูงสุดที่คำนวณได้คือ 5.826 (คลาดเคลื่อน 1.826 กิโลเมตร) และจากรูปที่ 6.22 ระยะทางเฉลี่ยต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 3.588 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.412 กิโลเมตร) ระยะทางเฉลี่ยสูงสุดที่คำนวณได้คือ 3.836 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.163 กิโลเมตร)

การระบุประเภทของฟอลต์

<u>จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน</u> จากรูปที่ 6.23 พบว่าสามารถระบุประเภทของฟอลต์เฟสเดียวลงดินและฟอลต์ 3 เฟส (AG, BG, CG, ABC) ได้ถูกต้อง 100 % ,ฟอลต์ระหว่างเฟสระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ยต่ำสุดที่ 91.667 % สูงสุดที่ 100 % ในกรณีของฟอลต์ 2 เฟสลงดิน (ABG, BCG, CAG)) เมื่อพิจารณาเฟสที่เกิดฟอลต์และลักษณะของฟอลต์ลงดินสามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ยต่ำสุดที่ 66.667 % และค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 83.333 % แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะเฟสที่เกิดฟอลต์เพียงอย่างเดียวพบว่าค่าเฉลี่ยต่ำสุดเพิ่มขึ้นมาเป็น 83.333 % และค่าเฉลี่ยสูงสุดเพิ่มขึ้นเป็น 100%

<u>จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส</u> จากรูปที่ 6.24 พบว่าสามารถระบุประเภทของฟอลต์เฟสเดียวลงดิน , ฟอลต์ระหว่างเฟส และฟอลต์ 3 เฟส (AG, BG, CG, AB, BC, CA, ABC) ได้ถูกต้อง 100 % ในกรณีของฟอลต์ 2 เฟสลงดิน (ABG, BCG, CAG)) เมื่อพิจารณาเฟสที่เกิดฟอลต์และลักษณะของฟอลต์ลงดินสามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ยอยู่ที่ 66.667 % แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะเฟสที่เกิดฟอลต์เพียงอย่างเดียวพบว่าค่าเฉลี่ยสูงสุดเพิ่มขึ้นเป็น 83.333%

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.7 แสดงผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอล ต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 12 กิโลเมตร (30 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ความต้านทานฟอลต์ 10 โอห์ม ในระบบทดลองที่ 2

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
AG	0	1	1	12.540	0.540	11.794	-0.206	AG	AG
	30	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	AG	AG
	60	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	AG	AG
	90	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	AG	AG
	120	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	AG	AG
	150	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	AG	AG
	180	1	1	12.540	0.540	11.794	-0.206	AG	AG
	210	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	AG	AG
	240	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	AG	AG
	270	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	AG	AG
	300	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	AG	AG
	330	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	AG	AG
BG	0	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	BG	BG
	30	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	BG	BG
	60	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	BG	BG
	90	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	BG	BG
	120	1	1	12.540	0.540	11.048	-0.952	BG	BG
	150	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	BG	BG
	180	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	BG	BG
	210	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	BG	BG
	240	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	BG	BG
	270	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	BG	BG
	300	1	1	12.540	0.540	11.794	-0.206	BG	BG
	330	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	BG	BG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.7 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
CG	0	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CG	CG
	30	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CG	CG
	60	1	1	12.540	0.540	11.048	-0.952	CG	CG
	90	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CG	CG
	120	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CG	CG
	150	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CG	CG
	180	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CG	CG
	210	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CG	CG
	240	1	1	12.540	0.540	11.048	-0.952	CG	CG
	270	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CG	CG
	300	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CG	CG
	330	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CG	CG
ABG	0	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	ABG	ABG
	30	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	ABG	ABG
	60	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	AB	AB
	90	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	ABG	ABG
	120	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	ABG	ABG
	150	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	ABG	ABG
	180	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	ABG	ABG
	210	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	ABG	ABG
	240	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	AB	AB
	270	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	ABG	ABG
	300	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	ABG	ABG
	330	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	ABG	ABG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.7 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
BCG	0	1	1	11.048	-0.952	12.540	0.540	BC	BC
	30	1	1	13.286	1.286	12.540	0.540	BCG	BCG
	60	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	BCG	BCG
	90	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	BCG	BCG
	120	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	BCG	BCG
	150	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	BCG	BCG
	180	1	1	11.048	-0.952	12.540	0.540	BC	BC
	210	1	1	13.286	1.286	12.540	0.540	BCG	BCG
	240	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	BCG	BCG
	270	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	BCG	BCG
	300	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	BCG	BCG
	330	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	BCG	BCG
CAG	0	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CAG	CAG
	30	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CG	CAG
	60	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CAG	CAG
	90	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CAG	CAG
	120	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CA	CAG
	150	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CAG	CAG
	180	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CAG	CAG
	210	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CG	CAG
	240	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CAG	CAG
	270	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CAG	CAG
	300	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CA	CAG
	330	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CAG	CAG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.7 (ต่อ)

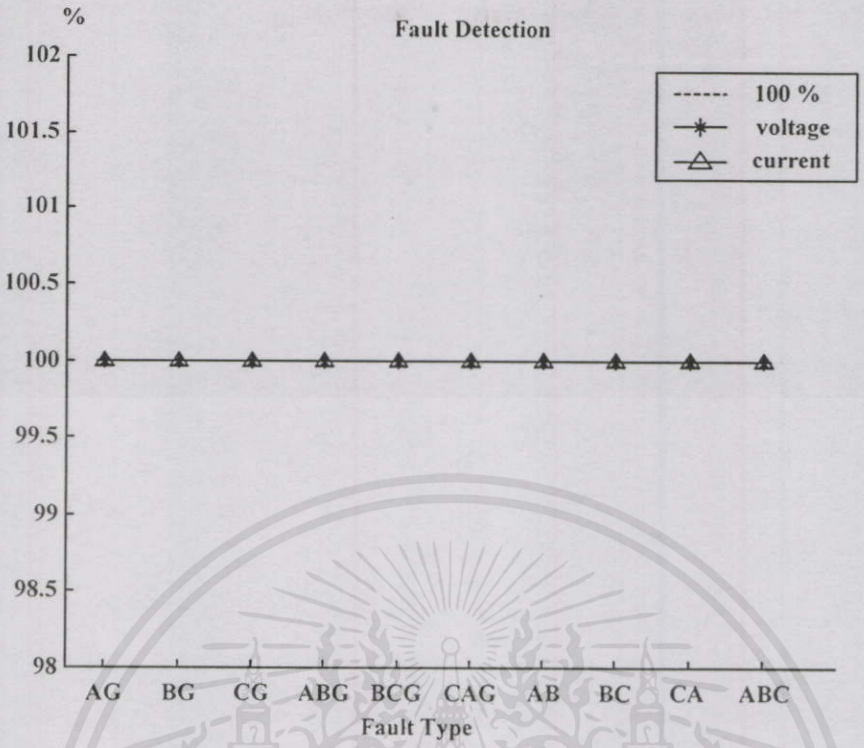
ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
AB	0	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	AB	AB
	30	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	AB	AB
	60	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	AB	AB
	90	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	AB	AB
	120	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	AB	AB
	150	1	1	12.540	0.540	11.048	-0.952	AB	AB
	180	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	AB	AB
	210	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	AB	AB
	240	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	AB	AB
	270	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	AB	AB
	300	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	AB	AB
	330	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	AB	AB
BC	0	1	1	11.048	-0.952	12.540	0.540	BC	BC
	30	1	1	11.048	-0.952	12.540	0.540	BC	BC
	60	1	1	11.048	-0.952	11.048	-0.952	BC	BC
	90	1	1	12.540	0.540	11.794	-0.206	BC	BC
	120	1	1	11.048	-0.952	12.540	0.540	BC	BC
	150	1	1	11.048	-0.952	12.540	0.540	BC	BC
	180	1	1	11.048	-0.952	12.540	0.540	BC	BC
	210	1	1	11.048	-0.952	12.540	0.540	BC	BC
	240	1	1	11.048	-0.952	12.540	0.540	BC	BC
	270	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	BC	BCG
	300	1	1	10.032	-1.968	12.540	0.540	BC	BC
	330	1	1	11.048	-0.952	12.540	0.540	BC	BC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

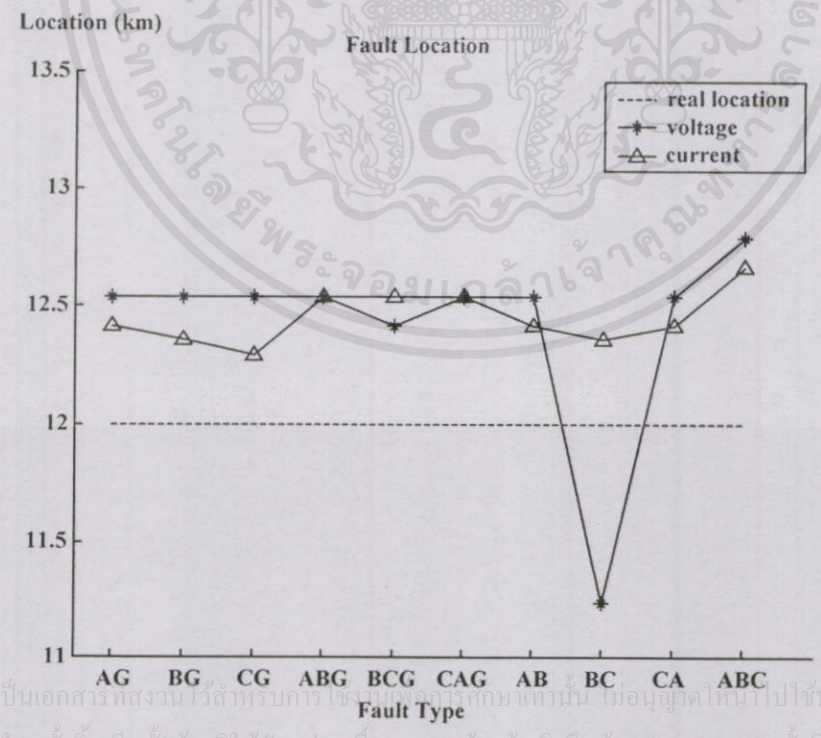
ตารางที่ 6.7 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
CA	0	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CA	CA
	30	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CA	CA
	60	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CA	CA
	90	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CA	CA
	120	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CA	CA
	150	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CA	CA
	180	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CA	CA
	210	1	1	12.540	0.540	11.048	-0.952	CA	CA
	240	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CA	CA
	270	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CA	CA
	300	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CA	CA
	330	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	CA	CA
ABC	0	1	1	14.032	2.032	13.286	1.286	ABC	ABC
	30	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	ABC	ABC
	60	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	ABC	ABC
	90	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	ABC	ABC
	120	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	ABC	ABC
	150	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	ABC	ABC
	180	1	1	14.032	2.032	13.286	1.286	ABC	ABC
	210	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	ABC	ABC
	240	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	ABC	ABC
	270	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	ABC	ABC
	300	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	ABC	ABC
	330	1	1	12.540	0.540	12.540	0.540	ABC	ABC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

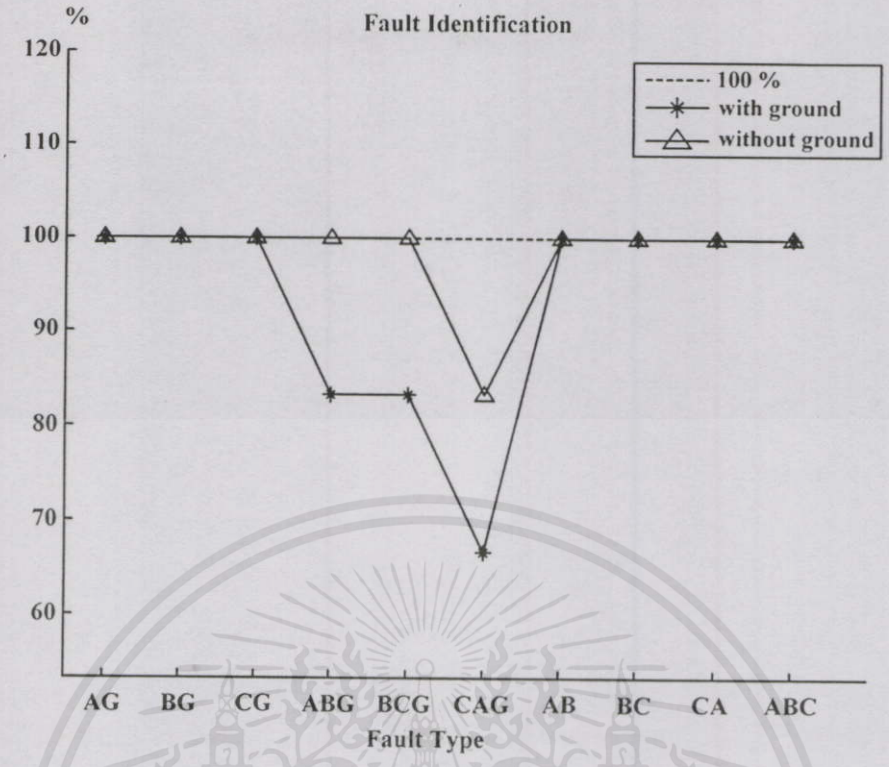


รูปที่ 6.25 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 12 กิโลเมตร (30 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2

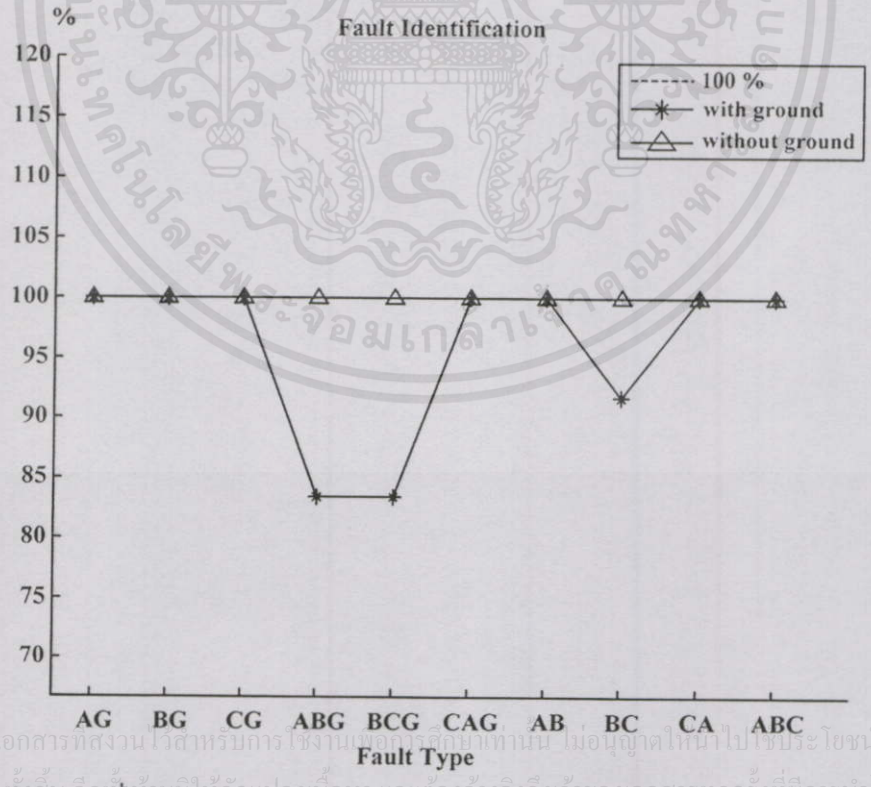


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.26 แสดงค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์จริงที่ระยะทาง 12 กิโลเมตร (30 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2



รูปที่ 6.27 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดัน เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 12 กิโลเมตร (30 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 2



รูปที่ 6.28 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแส เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 12 กิโลเมตร (30 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร)ในระบบทดลองที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในตารางที่ 6.7 และรูปที่ 6.25-6.28 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

การตรวจจับฟอลต์ สามารถตรวจจับฟอลต์จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแสและแรงดันได้ถูกต้อง 100%

การหาตำแหน่งฟอลต์ (ระยะทางจริง 12 กิโลเมตร)

จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน การหาตำแหน่งฟอลต์ทั้งหมดจะใช้ในสเกลที่ 1 ระยะทางที่คำนวณได้ส่วนใหญ่คือ 12.540 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.540 กิโลเมตร) โดยระยะทางต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 10.302 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 1.698 กิโลเมตร) ระยะทางสูงสุดที่คำนวณได้คือ 14.032 (คลาดเคลื่อน 2.032 กิโลเมตร) และจากรูปที่ 6.26 ระยะทางเฉลี่ยต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 11.234 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.766 กิโลเมตร) ระยะทางเฉลี่ยสูงสุดที่คำนวณได้คือ 12.789 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.789 กิโลเมตร)

จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส การหาตำแหน่งฟอลต์ทั้งหมดจะใช้ในสเกลที่ 1 ระยะทางที่คำนวณได้ส่วนใหญ่คือ 12.540 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.540 กิโลเมตร) โดยระยะทางต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 11.048 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.952 กิโลเมตร) ระยะทางสูงสุดที่คำนวณได้คือ 13.286 (คลาดเคลื่อน 1.286 กิโลเมตร) และจากรูปที่ 6.26 ระยะทางเฉลี่ยต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 12.291 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.291 กิโลเมตร) ระยะทางเฉลี่ยสูงสุดที่คำนวณได้คือ 12.664 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.664 กิโลเมตร)

การระบุประเภทของฟอลต์

จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน จากรูปที่ 6.27 พบว่าสามารถระบุประเภทของฟอลต์เฟสเดียวลงดิน , ฟอลต์ระหว่างเฟสและฟอลต์ 3 เฟส (AG, BG, CG, AB, BC, CA, ABC) ได้ถูกต้อง 100 % ในกรณีของฟอลต์ 2 เฟสลงดิน (ABG, BCG, CAG)) เมื่อพิจารณาเฟสที่เกิดฟอลต์และลักษณะของฟอลต์ลงดินสามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ยต่ำสุดที่ 66.667 % และค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 83.333 % แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะเฟสที่เกิดฟอลต์เพียงอย่างเดียวพบว่าค่าเฉลี่ยต่ำสุดเพิ่มขึ้นมาเป็น 83.333 % และค่าเฉลี่ยสูงสุดเพิ่มขึ้นเป็น 100%

จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส จากรูปที่ 6.28 พบว่าสามารถระบุประเภทของฟอลต์เฟสเดียวลงดินและฟอลต์ 3 เฟส (AG, BG, CG, ABC) ได้ถูกต้อง 100 % ,ฟอลต์ระหว่างเฟสระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ยต่ำสุดที่ 91.667 % และสูงสุดที่ 100 % ในกรณีของฟอลต์ 2 เฟสลงดิน(ABG, BCG, CAG)) เมื่อพิจารณาเฟสที่เกิดฟอลต์และลักษณะของฟอลต์ลงดินสามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ยต่ำสุดที่ 83.333 % และค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 100 % แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะเฟสที่เกิดฟอลต์เพียงอย่างเดียวพบว่าค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 100%

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.8 แสดงผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 20 กิโลเมตร (50 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ความต้านทานฟอลต์ 10 โอห์ม ในระบบทดลองที่ 2

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
AG	0	5	1	22.228	2.228	18.508	-1.492	AB	AG
	30	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AG	AG
	60	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AG	AG
	90	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AG	AG
	120	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AG	AG
	150	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AG	AG
	180	5	1	20.000	0.000	18.508	-1.492	AG	AG
	210	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AG	AG
	240	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AG	AG
	270	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AG	AG
	300	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AG	AG
	330	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AG	AG
BG	0	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BG	BG
	30	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BG	BG
	60	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BG	BG
	90	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BG	BG
	120	-	1	-	-	18.508	-1.492	-	BG
	150	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BG	BG
	180	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BG	BG
	210	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BG	BG
	240	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BG	BG
	270	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BG	BG
	300	5	1	19.257	-0.743	18.508	-1.492	AB	BG
	330	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BG	BG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.8 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
CG	0	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CG	CG
	30	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CG	CG
	60	5	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BC	CG
	90	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CG	CG
	120	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CG	CG
	150	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CG	CG
	180	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CG	CG
	210	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CG	CG
	240	5	1	21.485	1.485	20.000	0.000	CA	CG
	270	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CG	CG
	300	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CG	CG
	330	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CG	CG
ABG	0	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	ABG	ABG
	30	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	ABG	ABG
	60	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AB	AB
	90	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AB	ABG
	120	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	ABG	ABG
	150	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	ABG	ABG
	180	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	ABG	ABG
	210	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	ABG	ABG
	240	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AB	AB
	270	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AB	ABG
	300	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	ABG	ABG
	330	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	ABG	ABG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.8 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
BCG	0	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BC	BC
	30	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BCG	BCG
	60	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BCG	BCG
	90	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BCG	BCG
	120	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BCG	BCG
	150	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BC	BCG
	180	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BC	BC
	210	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BCG	BCG
	240	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BCG	BCG
	270	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BCG	BCG
	300	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BCG	BCG
	330	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BC	BCG
CAG	0	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CAG	CAG
	30	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CG	CAG
	60	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CAG	CAG
	90	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CAG	CAG
	120	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CA	CAG
	150	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CAG	CAG
	180	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CAG	CAG
	210	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CAG	CAG
	240	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CAG	CAG
	270	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CAG	CAG
	300	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CA	CAG
	330	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CAG	CAG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.8 (ต่อ)

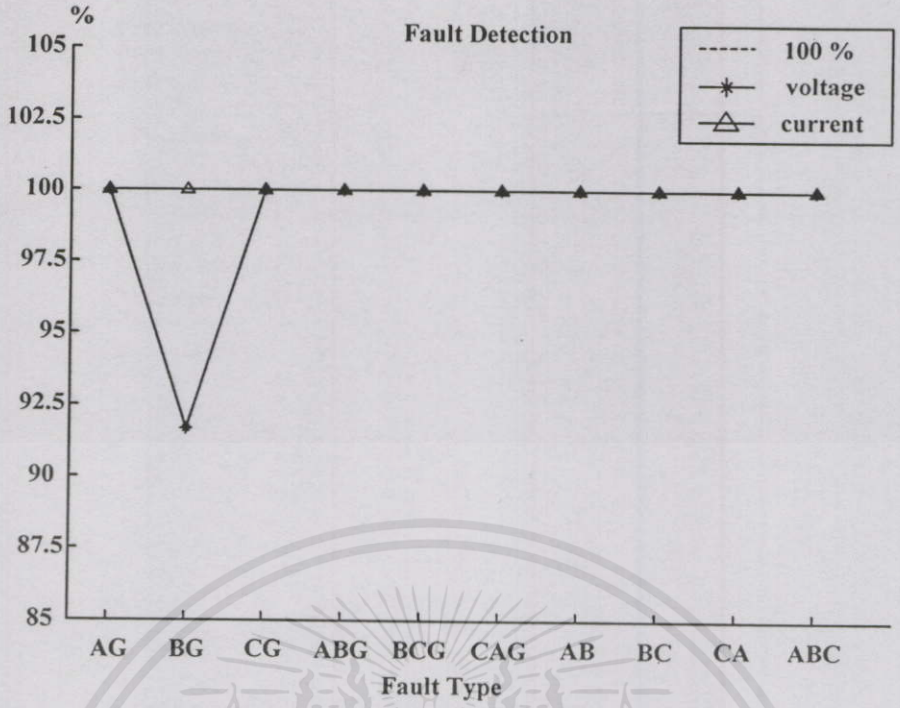
ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
AB	0	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AB	AB
	30	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AB	AB
	60	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AB	AB
	90	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AB	AB
	120	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AB	AB
	150	4	1	19.256	-0.744	20.000	0.000	ABC	AB
	180	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AB	AB
	210	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AB	AB
	240	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AB	AB
	270	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AB	AB
	300	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AB	AB
	330	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AB	AB
BC	0	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BC	BC
	30	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BC	BC
	60	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BC	BC
	90	1	1	20.000	0.000	0.604	-19.396	BC	BCG
	120	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BC	BC
	150	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BC	BC
	180	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BC	BC
	210	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BC	BC
	240	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BC	BC
	270	1	1	20.000	0.000	19.254	-0.746	BC	BC
	300	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BC	BC
	330	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	BC	BC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

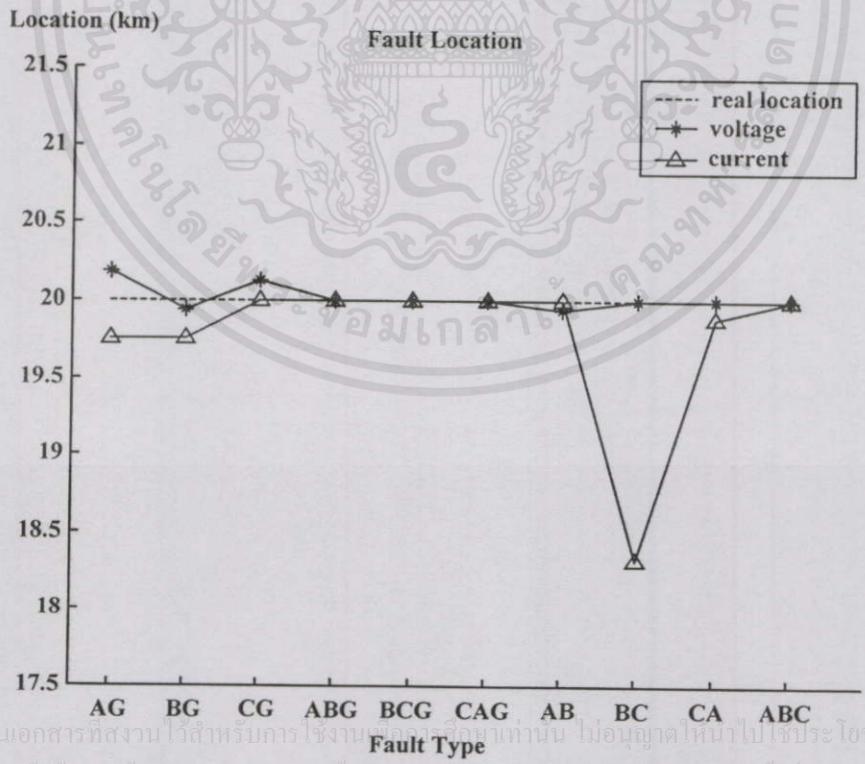
ตารางที่ 6.8 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
CA	0	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CA	CA
	30	4	1	20.000	0.000	19.254	-0.746	CA	CA
	60	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CA	CA
	90	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CA	CA
	120	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CA	CA
	150	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CA	CA
	180	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CA	CA
	210	3	1	20.000	0.000	19.254	-0.746	CA	CA
	240	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CA	CA
	270	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CA	CA
	300	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CA	CA
	330	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	CA	CA
ABC	0	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	ABC	ABC
	30	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	ABC	ABC
	60	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	ABC	ABC
	90	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	ABC	ABC
	120	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AC	AC
	150	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	ABC	ABC
	180	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	ABC	ABC
	210	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	ABC	ABC
	240	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	ABC	ABC
	270	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	ABC	ABC
	300	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	AC	AC
	330	1	1	20.000	0.000	20.000	0.000	ABC	ABC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

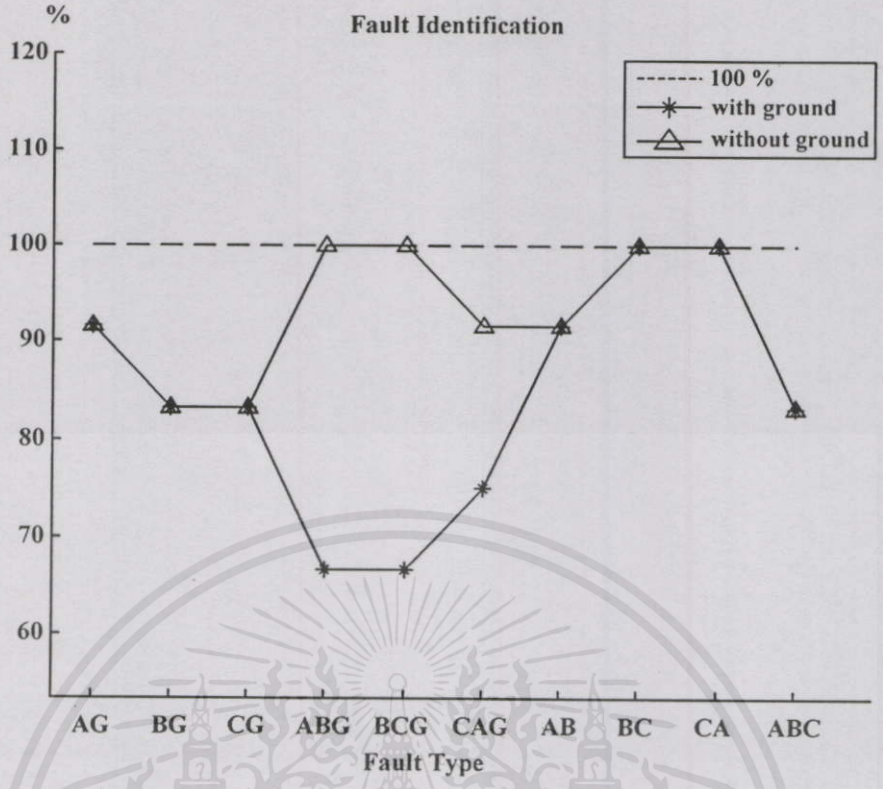


รูปที่ 6.29 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 20 กิโลเมตร (50 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2

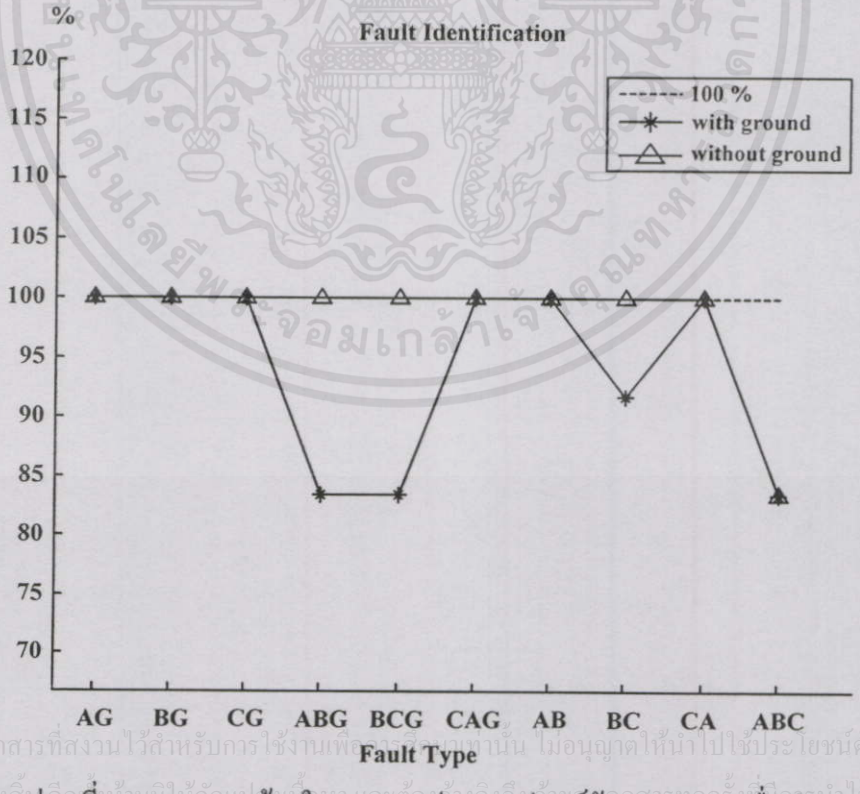


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.30 แสดงค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์จริงที่ระยะทาง 20 กิโลเมตร (50 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2



รูปที่ 6.31 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดัน เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 20 กิโลเมตร (50 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 6.32 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแส เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 20 กิโลเมตร (50 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2

จากผลการทดลองในตารางที่ 6.8 และรูปที่ 6.29-6.32 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

การตรวจจับฟอลต์ สามารถตรวจจับฟอลต์จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดันได้ถูกต้องเฉลี่ยต่ำสุด 91.667 % (จากแรงดัน) และเฉลี่ยสูงสุด 100 % (ทั้งกระแสและแรงดัน)

การหาตำแหน่งฟอลต์ (ระยะทางจริง 20 กิโลเมตร)

จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน การหาตำแหน่งฟอลต์เกือบทั้งหมดจะใช้ในสเกลที่ 1 ระยะทางที่คำนวณได้ส่วนใหญ่คือ 20 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.0 กิโลเมตร) โดยระยะทางต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 19.256 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.744 กิโลเมตร) ระยะทางสูงสุดที่คำนวณได้คือ 22.228 (คลาดเคลื่อน 2.228 กิโลเมตร) และจากรูปที่ 6.30 ระยะทางเฉลี่ยต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 19.938 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.062 กิโลเมตร) ระยะทางเฉลี่ยสูงสุดที่คำนวณได้คือ 20.186 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.186 กิโลเมตร)

จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส การหาตำแหน่งฟอลต์ทั้งหมดจะใช้ในสเกลที่ 1 ระยะทางที่คำนวณได้ส่วนใหญ่คือ 20 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.0 กิโลเมตร) ซึ่งเป็นระยทางสูงสุด โดยระยะทางต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 0.604 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 19.396 กิโลเมตร) และจากรูปที่ 6.30 ระยะทางเฉลี่ยต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 18.321 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 1.679 กิโลเมตร) ระยะทางเฉลี่ยสูงสุดที่คำนวณได้คือ 20 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.0 กิโลเมตร)

การระบุประเภทของฟอลต์

จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน จากรูปที่ 6.31 พบว่าสามารถระบุประเภทของฟอลต์เฟสเดียวลงดิน (AG, BG, CG) ได้ถูกต้องเฉลี่ยต่ำสุด 83.333 % และเฉลี่ยสูงสุด 91.667% , ฟอลต์ระหว่างเฟส (AB, BC, CA) สามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ยต่ำสุด 91.677 % และเฉลี่ยสูงสุด 100 % ,ฟอลต์ 3 เฟสสามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ยต่ำสุด 83.333 % ในกรณีของฟอลต์ 2 เฟสลงดิน (ABG, BCG, CAG)) เมื่อพิจารณาเฟสที่เกิดฟอลต์และลักษณะของฟอลต์ลงดินสามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ยต่ำสุดที่ 66.667 % และค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 75 % แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะเฟสที่เกิดฟอลต์เพียงอย่างเดียวพบว่าค่าเฉลี่ยต่ำสุดเพิ่มขึ้นมาเป็น 91.667 % และค่าเฉลี่ยสูงสุดเพิ่มขึ้นเป็น 100%

จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส จากรูปที่ 6.32 พบว่าสามารถระบุประเภทของฟอลต์เฟสเดียวลงดิน (AG, BG, CG) ได้ถูกต้อง 100 % ,ฟอลต์ระหว่างเฟส(AB, BC, CA) สามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ยต่ำสุดที่ 91.667 % และเฉลี่ยสูงสุดที่ 100 % ,ฟอลต์ 3 เฟสสามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ยที่ 83.333 % ในกรณีของฟอลต์ 2 เฟสลงดิน (ABG, BCG, CAG) เมื่อพิจารณาเฟสที่เกิดฟอลต์และลักษณะของฟอลต์ลงดินสามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ยต่ำสุดที่ 91.667 % และค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 100 % แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะเฟสที่เกิดฟอลต์เพียงอย่างเดียวพบว่าค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 100%

ตารางที่ 6.9 แสดงผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 28 กิโลเมตร (70 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ความต้านทานฟอลต์ 10 โอห์ม ในระบบทดลองที่ 2

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
AG	0	1	1	27.459	-0.541	28.205	0.205	AG	AG
	30	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	AG	AG
	60	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	AG	AG
	90	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	AG	AG
	120	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	AG	AG
	150	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	AG	AG
	180	1	1	27.459	-0.541	28.205	0.205	AG	AG
	210	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	AG	AG
	240	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	AG	AG
	270	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	AG	AG
	300	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	AG	AG
	330	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	AG	AG
BG	0	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	BG	BG
	30	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	BG	BG
	60	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	BG	BG
	90	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	BG	BG
	120	1	1	27.459	-0.541	28.951	0.951	BG	BG
	150	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	BG	BG
	180	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	BG	BG
	210	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	BG	BG
	240	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	BG	BG
	270	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	BG	BG
	300	1	1	27.459	-0.541	28.951	0.951	BG	BG
	330	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	BG	BG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.9 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
CG	0	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CG	CG
	30	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CG	CG
	60	-	1	-	-	28.951	0.951	-	CG
	90	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CG	CG
	120	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CG	CG
	150	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CG	CG
	180	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CG	CG
	210	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CG	CG
	240	1	1	27.459	-0.541	28.951	0.951	CG	CG
	270	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CG	CG
	300	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CG	CG
	330	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CG	CG
ABG	0	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	ABG	ABG
	30	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	ABG	ABG
	60	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	AB	AB
	90	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	ABG	ABG
	120	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	ABG	ABG
	150	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	ABG	ABG
	180	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	ABG	ABG
	210	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	ABG	ABG
	240	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	AB	AB
	270	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	ABG	ABG
	300	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	ABG	ABG
	330	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	ABG	ABG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.9 (ต่อ)

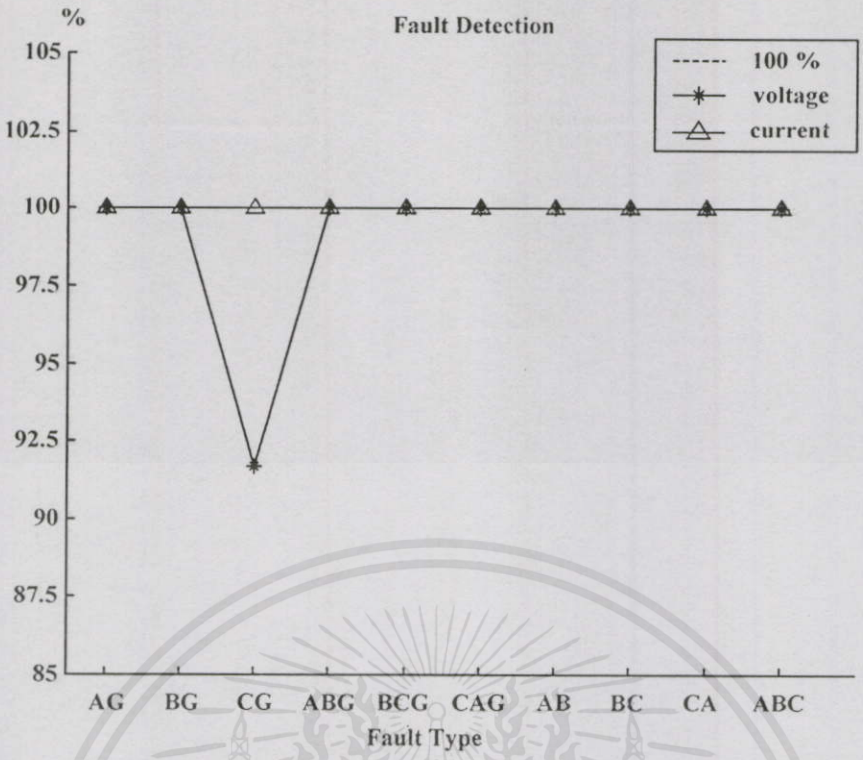
ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
BCG	0	1	1	28.951	0.951	27.459	-0.541	BC	BC
	30	1	1	26.713	-1.287	27.459	-0.541	BCG	BCG
	60	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	BCG	BCG
	90	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	BCG	BCG
	120	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	BCG	BCG
	150	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	BCG	BCG
	180	1	1	28.951	0.951	27.459	-0.541	BC	BC
	210	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	BCG	BCG
	240	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	BCG	BCG
	270	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	BCG	BCG
	300	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	BCG	BCG
	330	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	BCG	BCG
CAG	0	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CAG	CAG
	30	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CG	CAG
	60	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CAG	CAG
	90	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CAG	CAG
	120	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CA	CAG
	150	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CAG	CAG
	180	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CAG	CAG
	210	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CG	CAG
	240	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CAG	CAG
	270	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CAG	CAG
	300	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CA	CAG
	330	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CAG	CAG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

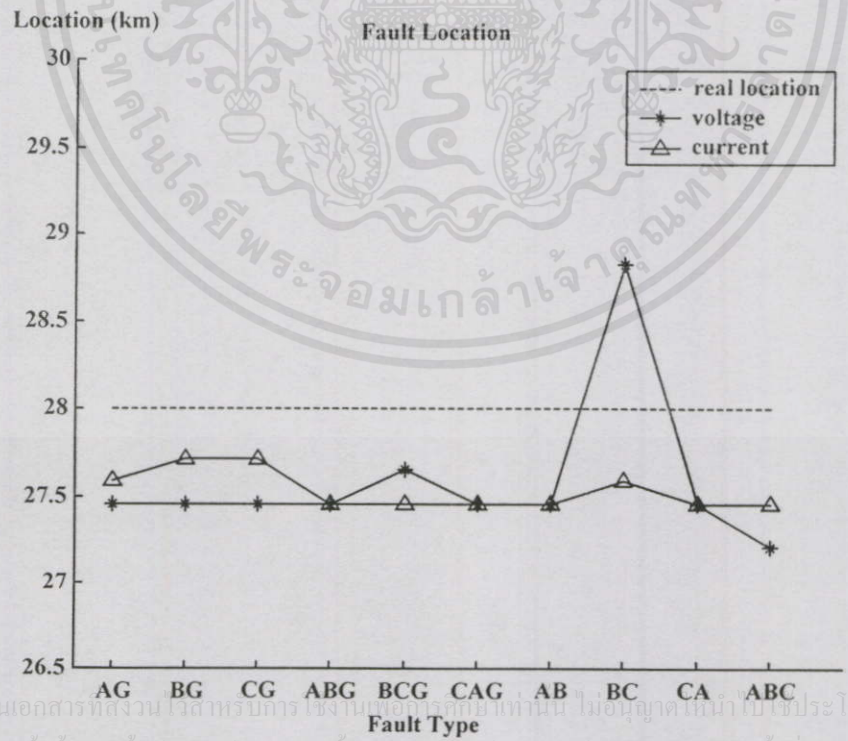
ตารางที่ 6.9 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
CA	0	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CA	CA
	30	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CA	CA
	60	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CA	CA
	90	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CA	CA
	120	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CA	CA
	150	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CA	CA
	180	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CA	CA
	210	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CA	CA
	240	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CA	CA
	270	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CA	CA
	300	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CA	CA
	330	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	CA	CA
ABC	0	1	1	25.967	-2.033	27.459	-0.541	ABC	ABC
	30	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	ABC	ABC
	60	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	ABC	ABC
	90	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	ABC	ABC
	120	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	ABC	ABC
	150	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	ABC	ABC
	180	1	1	25.967	-2.033	27.459	-0.541	ABC	ABC
	210	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	ABC	ABC
	240	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	ABC	ABC
	270	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	ABC	ABC
	300	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	ABC	ABC
	330	1	1	27.459	-0.541	27.459	-0.541	ABC	ABC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

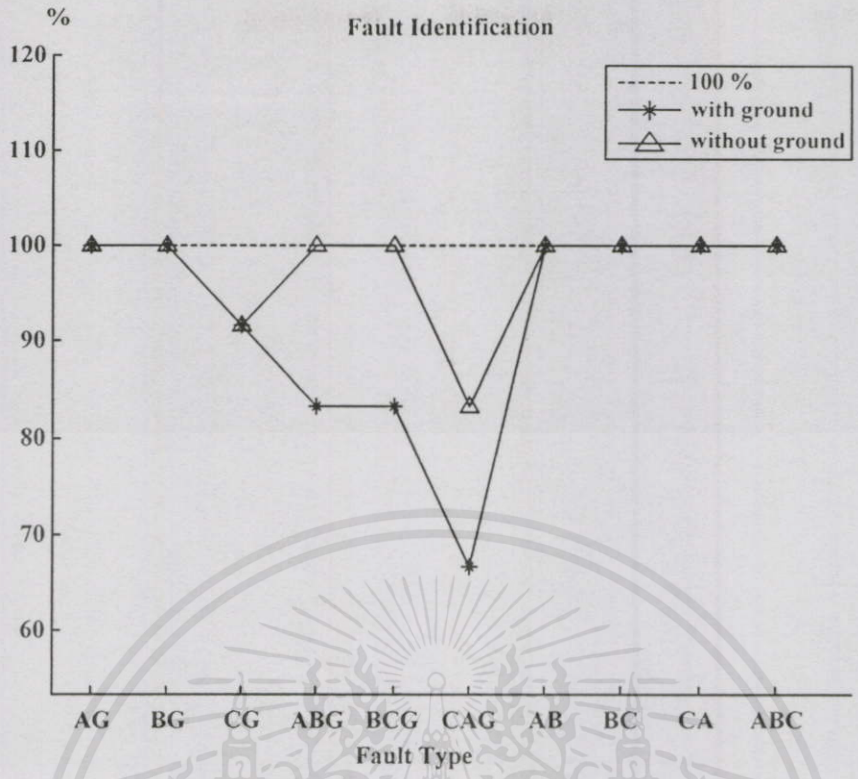


รูปที่ 6.33 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 28 กิโลเมตร (70 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2

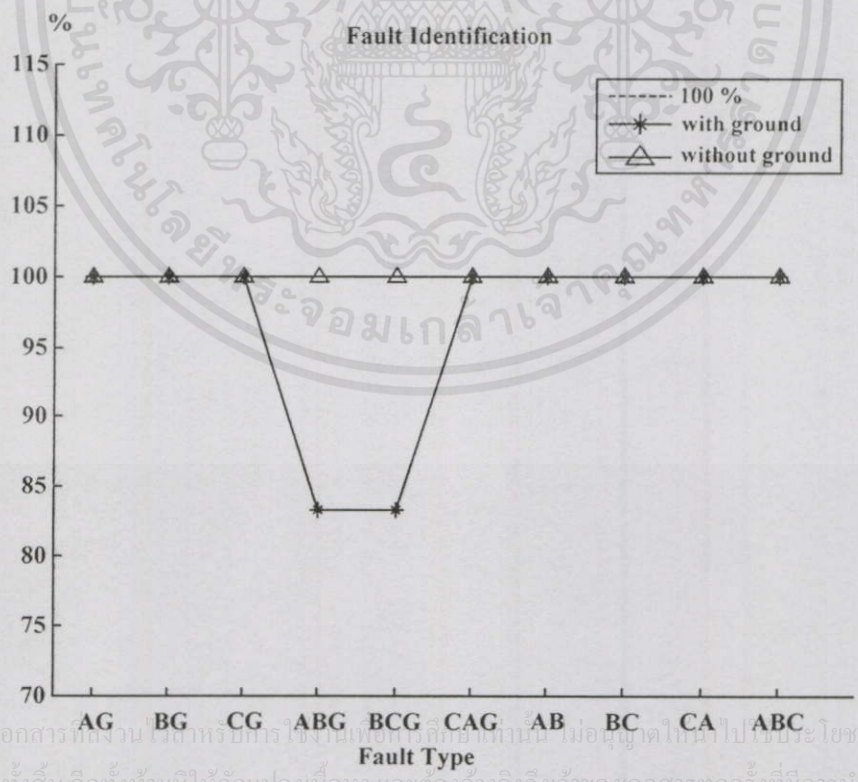


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.34 แสดงค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์จริงที่ระยะทาง 28 กิโลเมตร (70 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2



รูปที่ 6.35 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดัน เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 28 กิโลเมตร (70 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.36 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแส เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 4 กิโลเมตร (70 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2

จากผลการทดลองในตารางที่ 6.9 และรูปที่ 6.33-6.36 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

การตรวจจับฟอลต์ สามารถตรวจจับฟอลต์จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดันได้ถูกต้องเฉลี่ยต่ำสุด 91.667 % (จากแรงดัน) และเฉลี่ยสูงสุด 100 % (ทั้งกระแสและแรงดัน)

การหาตำแหน่งฟอลต์ (ระยะทางจริง 28 กิโลเมตร)

จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน การหาตำแหน่งฟอลต์ทั้งหมดจะใช้ในสเกลที่ 1 ระยะทางที่คำนวณได้ส่วนใหญ่คือ 27.459 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.541 กิโลเมตร) โดยระยะทางต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 25.967 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 2.033 กิโลเมตร) ระยะทางสูงสุดที่คำนวณได้คือ 28.951 (คลาดเคลื่อน 0.951 กิโลเมตร) และจากรูปที่ 6.34 ระยะทางเฉลี่ยต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 27.210 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.790 กิโลเมตร) ระยะทางเฉลี่ยสูงสุดที่คำนวณได้คือ 28.827 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.827 กิโลเมตร)

จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส การหาตำแหน่งฟอลต์ทั้งหมดจะใช้ในสเกลที่ 1 ระยะทางที่คำนวณได้ส่วนใหญ่คือ 27.459 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.541 กิโลเมตร) ซึ่งเป็นระยะทางต่ำสุด โดยระยะทางสูงสุดที่คำนวณได้คือ 28.951 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.951 กิโลเมตร) และจากรูปที่ 6.34 ระยะทางเฉลี่ยต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 27.459 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.541 กิโลเมตร) ระยะทางเฉลี่ยสูงสุดที่คำนวณได้คือ 27.708 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.292 กิโลเมตร)

การระบุประเภทของฟอลต์

จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน จากรูปที่ 6.35 พบว่าสามารถระบุประเภทของฟอลต์เฟสเดียวลงดิน (AG, BG, CG) ได้ถูกต้องเฉลี่ยต่ำสุด 91.667 % และเฉลี่ยสูงสุด 100 % , ฟอลต์ระหว่างเฟส และฟอลต์ 3 เฟส(AB, BC, CA, ABC) สามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ย 100 % ในกรณีของฟอลต์ 2 เฟสลงดิน (ABG, BCG, CAG) เมื่อพิจารณาเฟสที่เกิดฟอลต์และลักษณะของฟอลต์ลงดินสามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ยต่ำสุดที่ 66.667 % และค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 83.333 % แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะเฟสที่เกิดฟอลต์เพียงอย่างเดียวพบว่าค่าเฉลี่ยต่ำสุดเพิ่มขึ้นมาเป็น 83.333 % และค่าเฉลี่ยสูงสุดเพิ่มขึ้นเป็น 100%

จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส จากรูปที่ 6.36 พบว่าสามารถระบุประเภทของฟอลต์เฟสเดียวลงดิน ฟอลต์ระหว่างเฟสและฟอลต์ 3 เฟส (AG, BG, CG, AB, BC, CA, ABC) ได้ถูกต้อง 100 % ในกรณีของฟอลต์ 2 เฟสลงดิน (ABG, BCG, CAG) เมื่อพิจารณาเฟสที่เกิดฟอลต์และลักษณะของฟอลต์ลงดินสามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ยต่ำสุดที่ 83.333 % และค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 100 % แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะเฟสที่เกิดฟอลต์เพียงอย่างเดียวพบว่าค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.10 แสดงผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 36 กิโลเมตร (90% ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ความต้านทานฟอลต์ 10 โอห์ม ในระบบทดลองที่ 2

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
AG	0	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AG	AG
	30	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AG	AG
	60	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AG	AG
	90	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AG	AG
	120	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AG	AG
	150	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AG	AG
	180	-	2	-	-	32.668	-3.332	-	AG
	210	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AG	AG
	240	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AG	AG
	270	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AG	AG
	300	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AG	AG
	330	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AG	AG
BG	0	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BG	BG
	30	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BG	BG
	60	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BG	BG
	90	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BG	BG
	120	1	1	36.411	0.411	34.919	-1.081	BG	BG
	150	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BG	BG
	180	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BG	BG
	210	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BG	BG
	240	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BG	BG
	270	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BG	BG
	300	1	1	36.411	0.411	34.919	-1.081	BG	BG
	330	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BG	BG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.10 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
CG	0	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CG	CG
	30	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CG	CG
	60	1	1	36.411	0.411	35.665	-0.335	CG	CG
	90	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CG	CG
	120	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CG	CG
	150	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CG	CG
	180	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CG	CG
	210	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CG	CG
	240	1	1	36.411	0.411	35.665	-0.335	CG	CG
	270	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CG	CG
	300	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CG	CG
	330	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CG	CG
ABG	0	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	ABG	BG
	30	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	ABG	ABG
	60	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AB	AB
	90	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AB	ABG
	120	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	ABG	ABG
	150	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	ABG	ABG
	180	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BG	BG
	210	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	ABG	ABG
	240	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AB	AB
	270	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AB	ABG
	300	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	ABG	ABG
	330	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	ABG	ABG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.10 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
BCG	0	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BC	BC
	30	1	1	35.665	-0.335	36.411	0.411	BCG	BCG
	60	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BCG	BG
	90	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BCG	BCG
	120	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BCG	BCG
	150	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BCG	BCG
	180	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BC	BC
	210	1	1	35.665	-0.335	36.411	0.411	BCG	BCG
	240	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BCG	BG
	270	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BCG	BCG
	300	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BCG	BCG
	330	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BCG	BCG
CAG	0	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CAG	CG
	30	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CG	CAG
	60	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CAG	AG
	90	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CAG	CAG
	120	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CA	CAG
	150	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CAG	CAG
	180	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CAG	CG
	210	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CG	CAG
	240	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CAG	AG
	270	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CAG	CAG
	300	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CA	CAG
	330	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CAG	CAG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.10 (ต่อ)

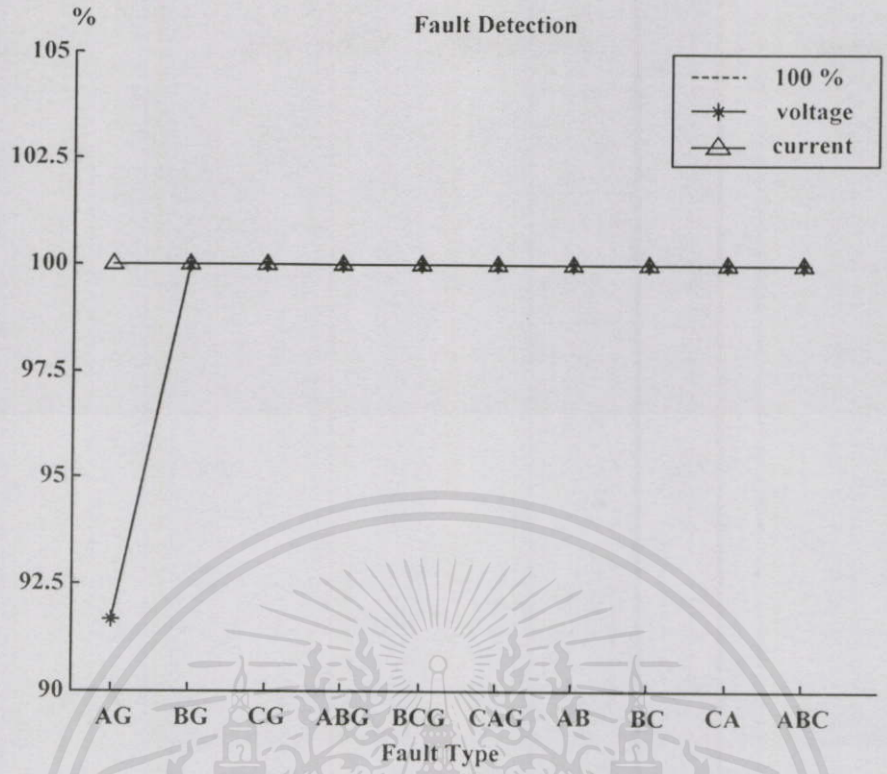
ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
AB	0	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AB	AB
	30	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AB	AB
	60	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AB	AB
	90	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AB	AB
	120	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AB	AB
	150	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AB	AB
	180	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AB	AB
	210	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AB	AB
	240	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AB	AB
	270	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AB	AB
	300	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AB	AB
	330	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	AB	AB
BC	0	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BC	BC
	30	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BC	BC
	60	1	1	36.411	0.411	34.919	-1.081	BC	BC
	90	1	1	37.157	1.157	36.411	0.411	BC	BC
	120	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BC	BC
	150	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BC	BC
	180	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BC	BC
	210	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BC	BC
	240	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BC	BC
	270	1	3	37.157	1.157	37.865	1.865	BC	BC
	300	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BC	BC
	330	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	BC	BC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

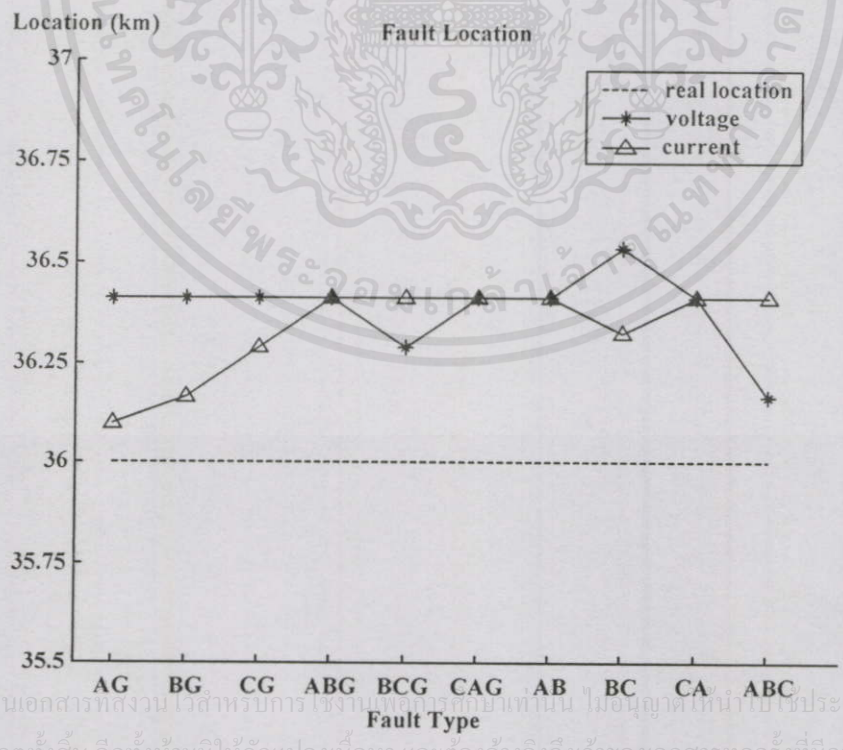
ตารางที่ 6.10 (ต่อ)

ประเภทฟอลต์	มุมองศา	ตรวจจับ (สเกล)		ตำแหน่งฟอลต์ (กิโลเมตร)				ระบุประเภท	
		แรงดัน	กระแส	แรงดัน		กระแส		แรงดัน	กระแส
				คำนวณ	error	คำนวณ	error		
CA	0	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CA	CA
	30	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CA	CA
	60	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CA	CA
	90	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CA	CA
	120	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CA	CA
	150	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CA	CA
	180	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CA	CA
	210	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CA	CA
	240	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CA	CA
	270	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CA	CA
	300	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CA	CA
	330	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	CA	CA
ABC	0	1	1	34.919	-1.081	36.411	0.411	ABC	ABC
	30	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	ABC	ABC
	60	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	ABC	ABC
	90	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	ABC	ABC
	120	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	ABC	ABC
	150	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	ABC	ABC
	180	1	1	34.919	-1.081	36.411	0.411	ABC	ABC
	210	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	ABC	ABC
	240	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	ABC	ABC
	270	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	ABC	ABC
	300	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	ABC	ABC
	330	1	1	36.411	0.411	36.411	0.411	ABC	ABC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

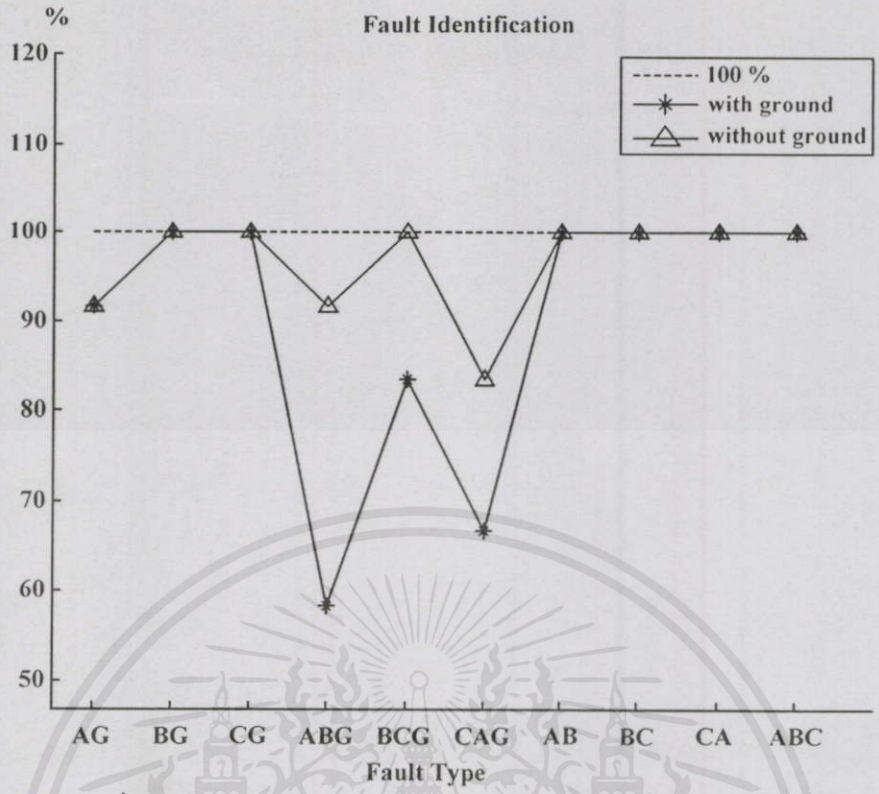


รูปที่ 6.37 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 36 กิโลเมตร (90 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2

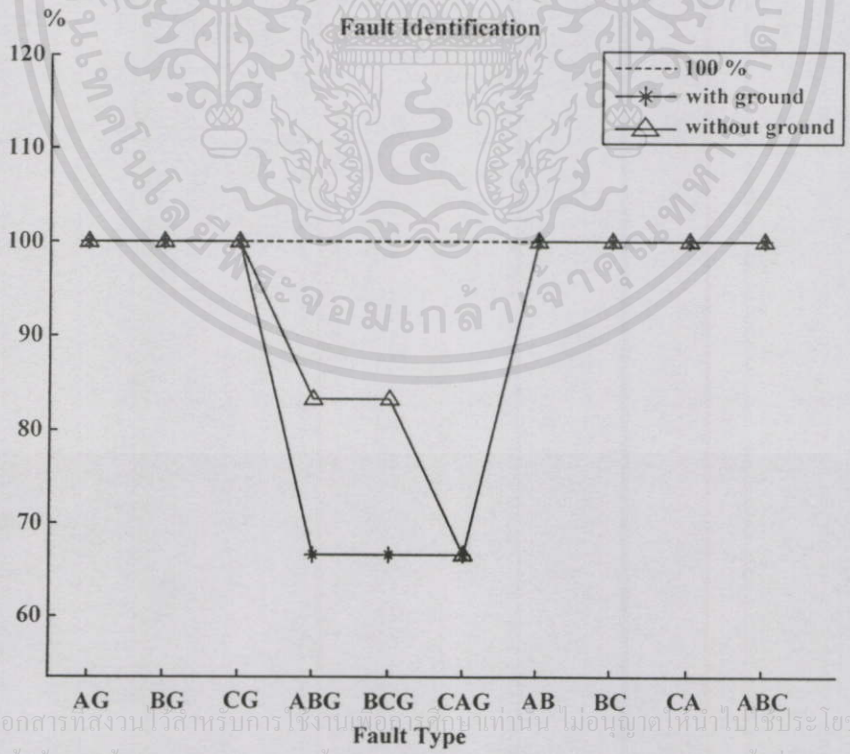


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.38 แสดงค่าเฉลี่ยของตำแหน่งฟอลต์จากการคำนวณ เมื่อเกิดฟอลต์จริงที่ระยะทาง 36 กิโลเมตร (90 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2



รูปที่ 6.39 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดัน เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 36 กิโลเมตร (90 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.40 แสดงค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแส เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระยะทาง 36 กิโลเมตร (10 % ของความยาวสายส่ง 40 กิโลเมตร) ในระบบทดลองที่ 2

จากผลการทดลองในตารางที่ 6.10 และรูปที่ 6.37-6.40 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

การตรวจจับฟอลต์ สามารถตรวจจับฟอลต์จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดันได้ถูกต้องเฉลี่ยต่ำสุด 91.667 % (จากแรงดัน) และเฉลี่ยสูงสุด 100 % (ทั้งกระแสและแรงดัน)

การหาตำแหน่งฟอลต์ (ระยะทางจริง 36 กิโลเมตร)

จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน การหาตำแหน่งฟอลต์ทั้งหมดจะใช้ในสเกลที่ 1 ระยะทางที่คำนวณได้ส่วนใหญ่คือ 36.411 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.411 กิโลเมตร) โดยระยะทางต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 34.919 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 1.081 กิโลเมตร) ระยะทางสูงสุดที่คำนวณได้คือ 37.157 (คลาดเคลื่อน 1.157 กิโลเมตร) และจากรูปที่ 6.38 ระยะทางเฉลี่ยต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 36.162 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.162 กิโลเมตร) ระยะทางเฉลี่ยสูงสุดที่คำนวณได้คือ 36.535 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.535 กิโลเมตร)

จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส การหาตำแหน่งฟอลต์เกือบทั้งหมดจะใช้ในสเกลที่ 1 ระยะทางที่คำนวณได้ส่วนใหญ่คือ 36.411 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.411 กิโลเมตร) โดยระยะทางต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 32.668 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 3.332 กิโลเมตร) ระยะทางสูงสุดที่คำนวณได้คือ 36.865 (คลาดเคลื่อน 0.865 กิโลเมตร) และจากรูปที่ 6.38 ระยะทางเฉลี่ยต่ำสุดที่คำนวณได้คือ 36.099 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.099 กิโลเมตร) ระยะทางเฉลี่ยสูงสุดที่คำนวณได้คือ 36.411 กิโลเมตร(คลาดเคลื่อน 0.411 กิโลเมตร)

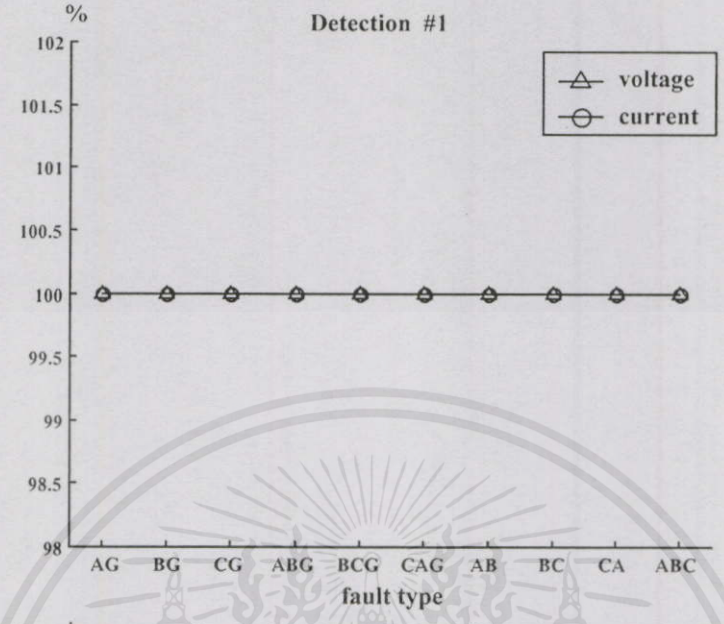
การระบุประเภทของฟอลต์

จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน จากรูปที่ 6.39 พบว่าสามารถระบุประเภทของฟอลต์เฟสเดียวลงดิน (AG, BG, CG) ได้ถูกต้องเฉลี่ยต่ำสุด 91.667 % และเฉลี่ยสูงสุด 100 % , ฟอลต์ระหว่างเฟส และฟอลต์ 3 เฟส(AB, BC, CA, ABC) สามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ย 100 % ในกรณีของฟอลต์ 2 เฟสลงดิน (ABG, BCG, CAG) เมื่อพิจารณาเฟสที่เกิดฟอลต์และลักษณะของฟอลต์ลงดินสามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ยต่ำสุดที่ 58.333 % และค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 83.333 % แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะเฟสที่เกิดฟอลต์เพียงอย่างเดียวพบว่าค่าเฉลี่ยต่ำสุดเพิ่มขึ้นมาเป็น 83.333 % และค่าเฉลี่ยสูงสุดเพิ่มขึ้นเป็น 100%

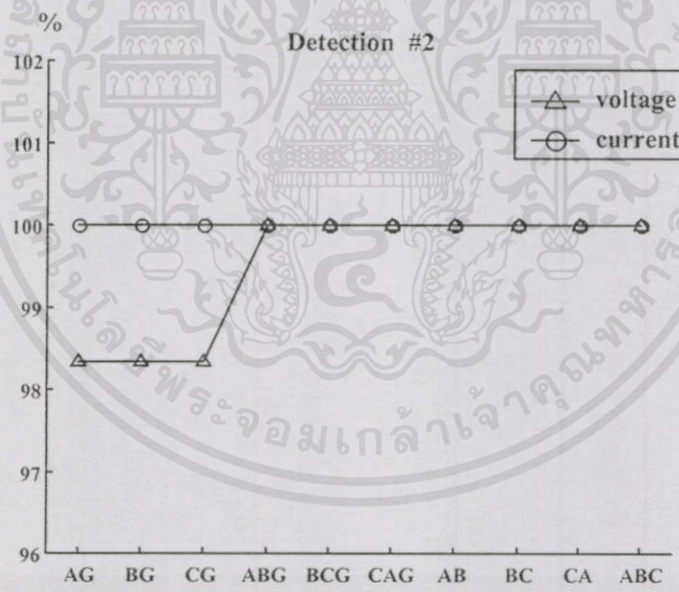
จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส จากรูปที่ 6.40 พบว่าสามารถระบุประเภทของฟอลต์เฟสเดียวลงดิน ฟอลต์ระหว่างเฟสและฟอลต์ 3 เฟส (AG, BG, CG, AB, BC, CA, ABC) ได้ถูกต้อง 100 % ในกรณีของฟอลต์ 2 เฟสลงดิน(ABG, BCG, CAG) เมื่อพิจารณาเฟสที่เกิดฟอลต์และลักษณะของฟอลต์ลงดินสามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ยที่ 66.667 % แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะเฟสที่เกิดฟอลต์เพียงอย่างเดียวพบว่าค่าเฉลี่ยสูงสุดเพิ่มขึ้นเป็น 83.333 %

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลองของทั้ง 2 ระบบ



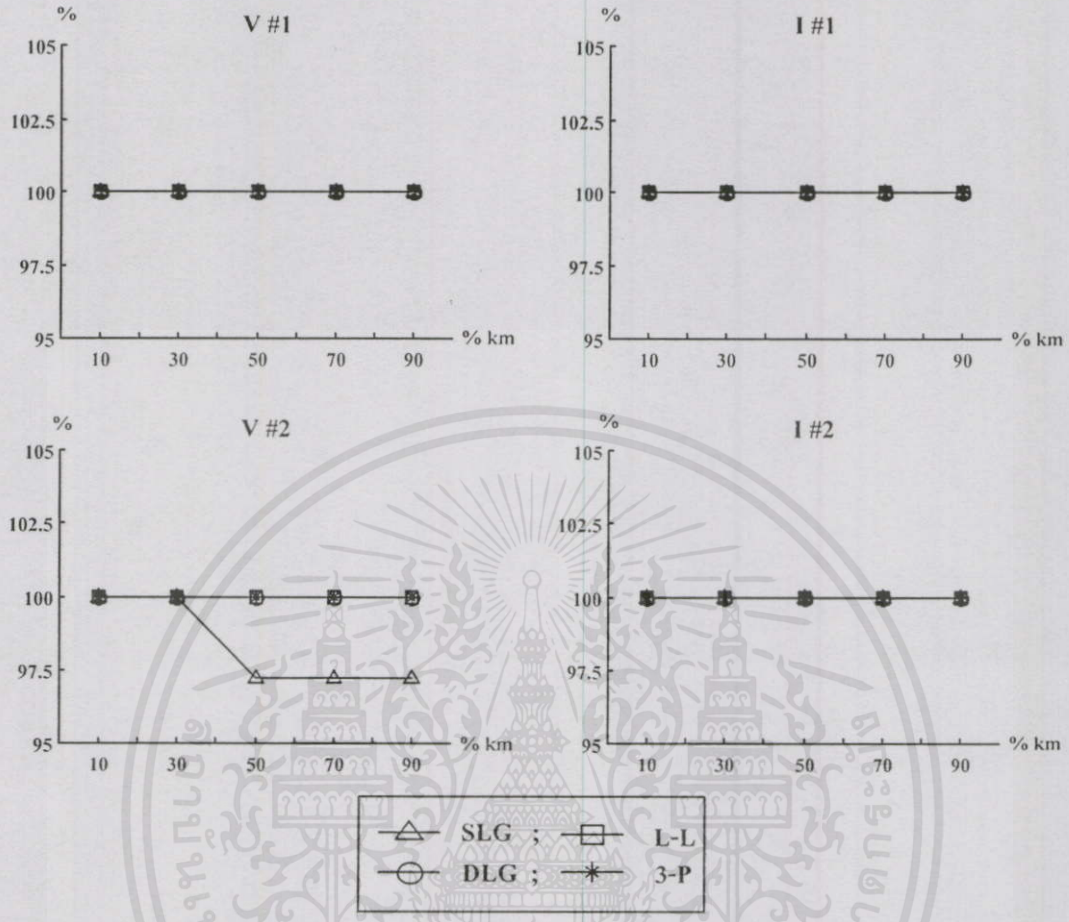
รูปที่ 6.41 แสดงค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์แต่ละประเภทของระบบทดลองที่ 1



รูปที่ 6.42 แสดงค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์แต่ละประเภทของระบบทดลองที่ 2

จากรูปที่ 6.41 และ 6.42 ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์เมื่อเทียบกับประเภทของฟอลต์พบว่า ในระบบทดลองที่ 1 สามารถตรวจจับฟอลต์ได้ทุกประเภท ในขณะที่ระบบทดลองที่ 2 นั้นการตรวจจับฟอลต์จากกระแสจะให้ผลถูกต้อง 100 % แต่เมื่อพิจารณาจากแรงดันพบว่ากรณีของฟอลต์เฟสเดียวลงดินจะมีค่าลดต่ำลงมาประมาณ 98.5 % ส่วนฟอลต์แบบอื่นนั้นสามารถตรวจจับได้ทั้งหมด

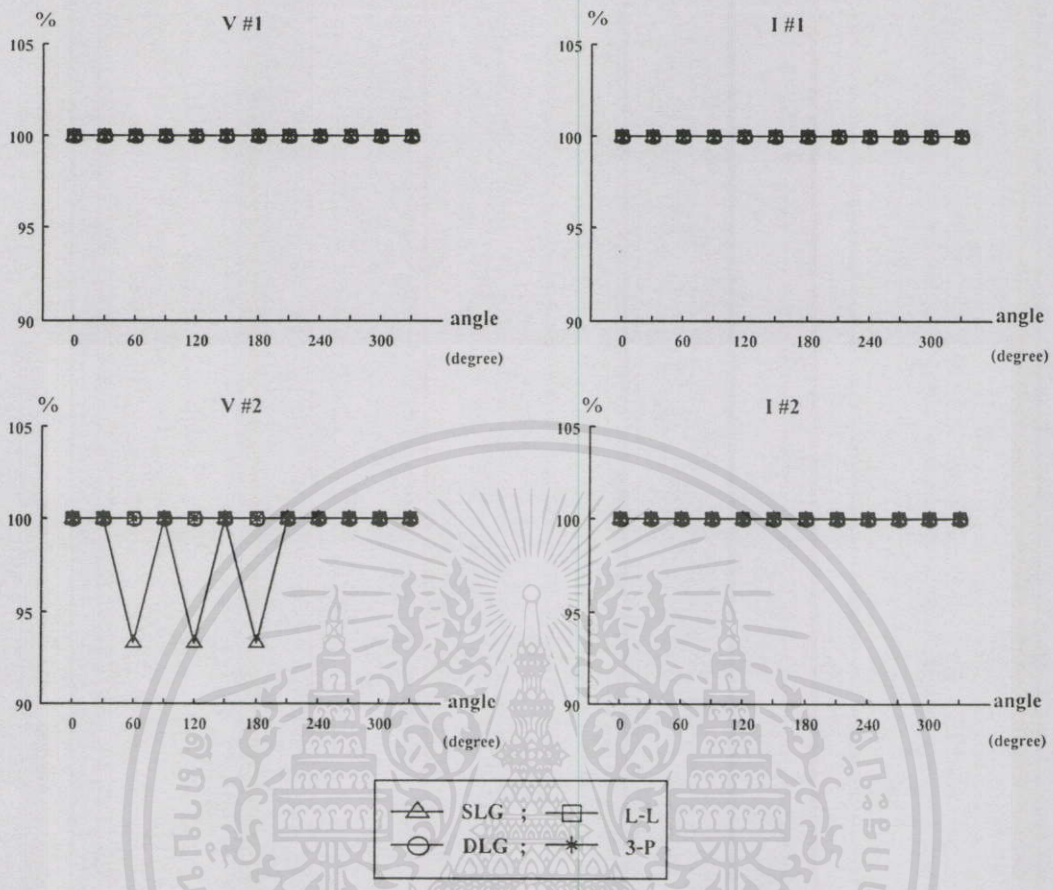
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.43 แสดงค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์แต่ละระยะทางของระบบทดลองที่ 1 (#1) และระบบทดลองที่ 2 (#2)

จากรูปที่ 6.43 ค่าเฉลี่ยความของถูกต้องในการตรวจจับโดยเปรียบเทียบกับระยะทางที่เกิดฟอลต์พบว่าในระบบทดลองที่ 1 นั้นสามารถตรวจจับฟอลต์ได้ทั้งหมดเช่นเดียวกับการตรวจจับด้วยกระแสในระบบทดลองที่ 2 แต่เมื่อพิจารณาการตรวจจับด้วยแรงดันในระบบทดลองที่ 2 พบว่าการตรวจจับฟอลต์เฟสเดียวลงดินที่ระยะทางมากกว่า 50 % (วัดจากปลายด้าน A) ค่าเฉลี่ยจะลดลงมาเหลือประมาณ 97.5 % ส่วนฟอลต์ประเภทอื่นนั้นสามารถตรวจจับได้ทั้งหมด

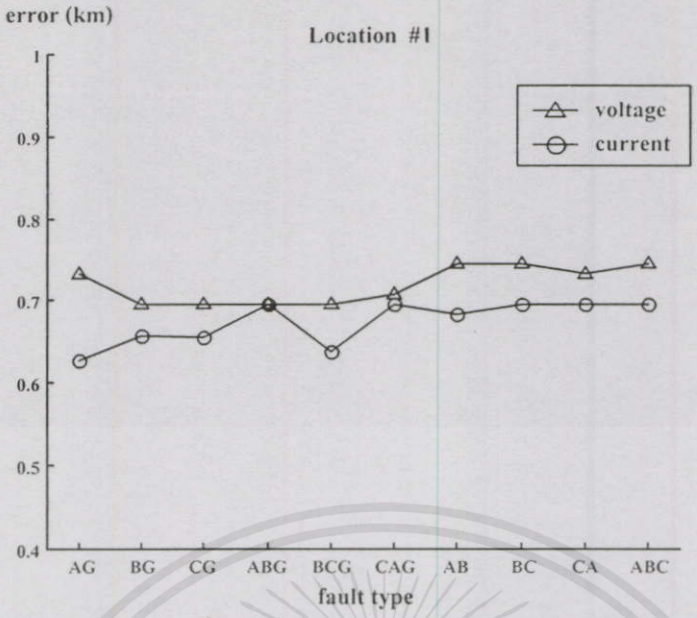
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



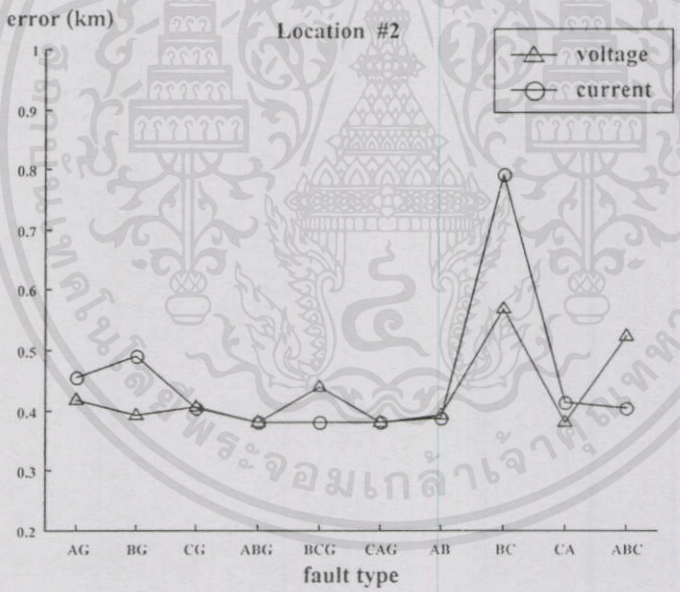
รูปที่ 6.44 แสดงค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์ที่มุมเริ่มเกิดฟอลต์ต่างๆ กัน ในระบบทดลองที่ 1 (#1) และระบบทดลองที่ 2 (#2)

จากรูปที่ 6.44 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการตรวจจับฟอลต์เทียบกับมุมที่เริ่มเกิดฟอลต์ (มุมเฟส A) พบว่าในระบบทดลองที่ 1 สามารถตรวจจับฟอลต์ได้ถูกต้องทั้งหมด ในขณะที่ระบบทดลองที่ 2 การตรวจจับด้วยแรงดันของฟอลต์แบบเฟสเดียวลงดินที่มุม 60^0 , 120^0 และ 180^0 ค่าเฉลี่ยความถูกต้องจะลดลงมาเหลือประมาณ 92.5 % ส่วนฟอลต์ประเภทอื่นสามารถตรวจจับได้ถูกต้องทั้งหมดเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ด้วยกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



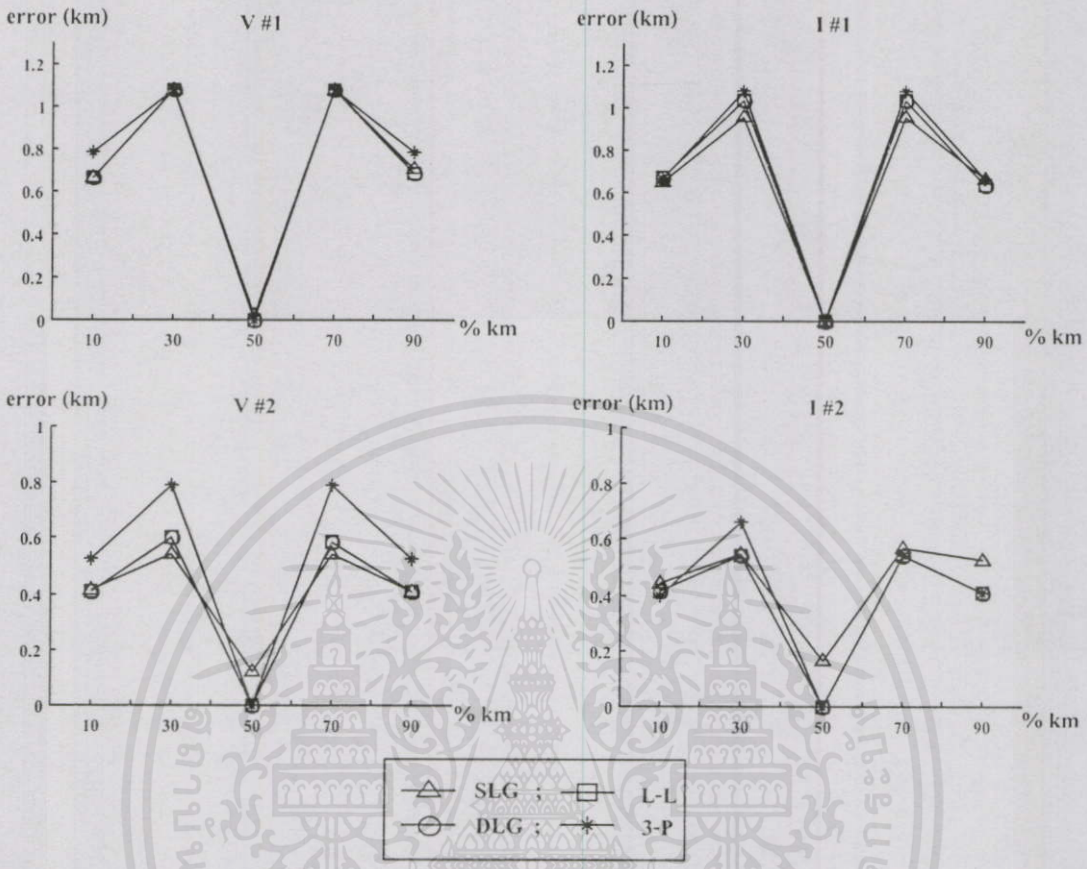
รูปที่ 6.45 แสดงค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนในการหาตำแหน่งฟอลต์แต่ละประเภทของระบบทดลองที่ 1 (#1)



รูปที่ 6.46 แสดงค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนในการหาตำแหน่งฟอลต์แต่ละประเภทของระบบทดลองที่ 2 (#2)

จากรูปที่ 6.45 และ 6.46 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนในการหาตำแหน่งฟอลต์เทียบกับประเภทของฟอลต์พบว่าในระบบทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.6-0.8 กิโลเมตร และโดยส่วนใหญ่ผลการวิเคราะห์จากกระแสจะให้ค่าที่ต่ำมากกว่า ในขณะที่ระบบทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.4-0.5 กิโลเมตร แต่ในกรณีของฟอลต์แบบ BC นั้นค่าเฉลี่ยจะสูงขึ้นมาที่ 0.8 และ 0.55 กิโลเมตร เมื่อพิจารณาจากกระแสและแรงดันตามลำดับ

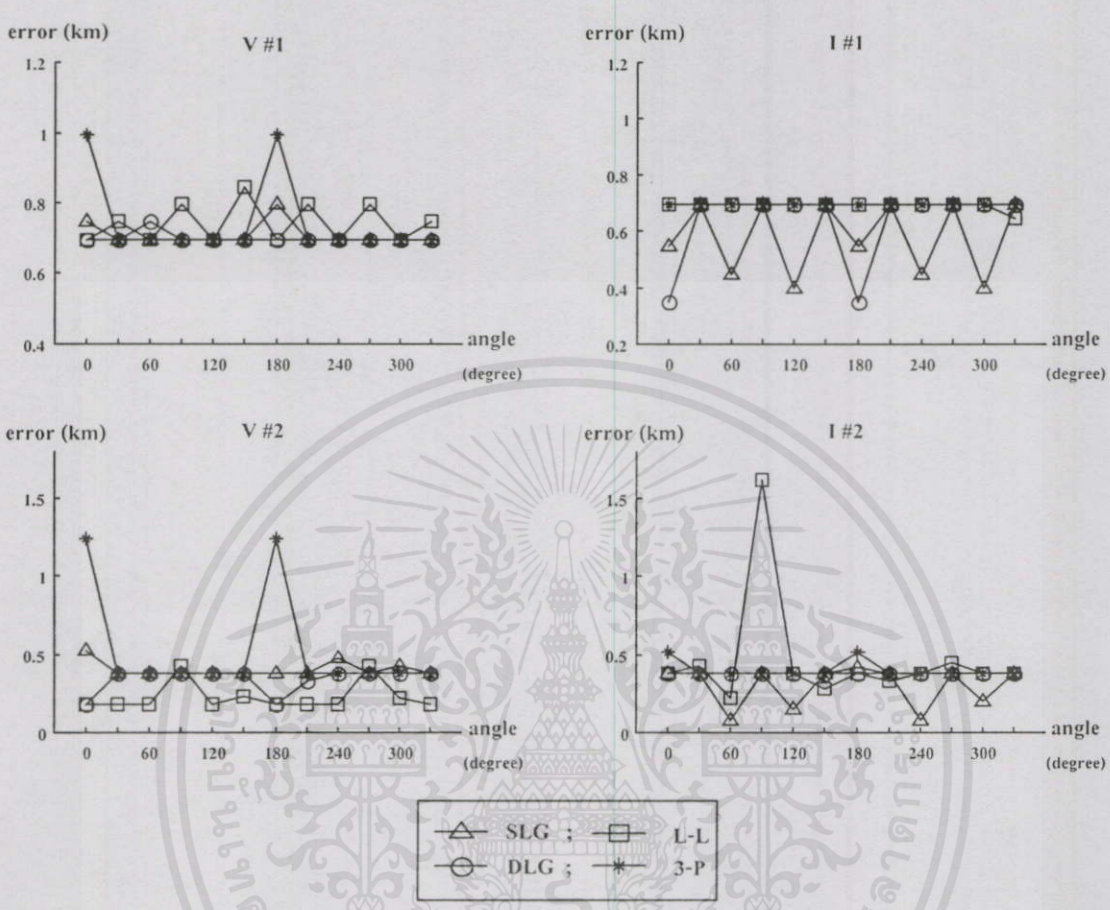
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.47 แสดงค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนในการหาตำแหน่งฟอลต์ที่ระยะทางต่างๆ กันใน ระบบทดลองที่ 1 (#1 : 325 กิโลเมตร) และระบบทดลองที่ 2 (#2 : 40 กิโลเมตร)

จากรูปที่ 6.47 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนในการหาตำแหน่งฟอลต์เทียบกับระยะทางที่เกิดฟอลต์พบว่าค่าเฉลี่ยของฟอลต์ทุกประเภทจากทั้ง 2 ระบบอยู่ในช่วง 0-1.1 กิโลเมตร และเป็นที่น่าสังเกตว่าที่ตำแหน่งกึ่งกลางสายส่ง(50%) ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนส่วนมากจะลดลงเป็นศูนย์หรือกล่าวได้ว่าการคำนวณหาตำแหน่งฟอลต์เมื่อเกิดฟอลต์ที่กลางสายส่งจะมีความแม่นยำมากที่สุด

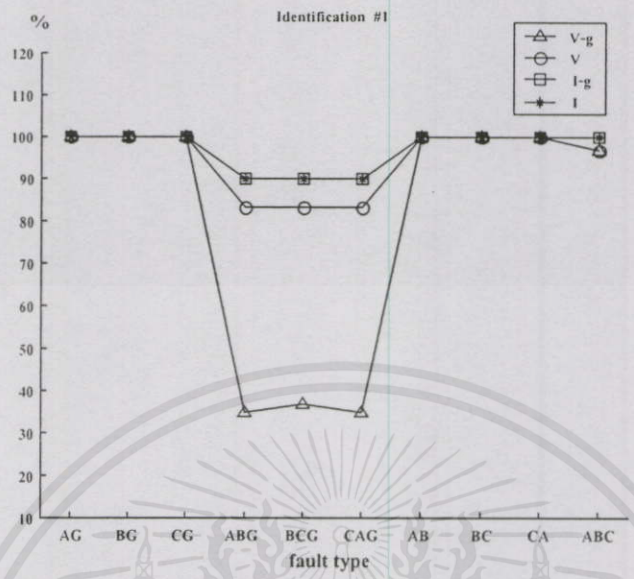
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



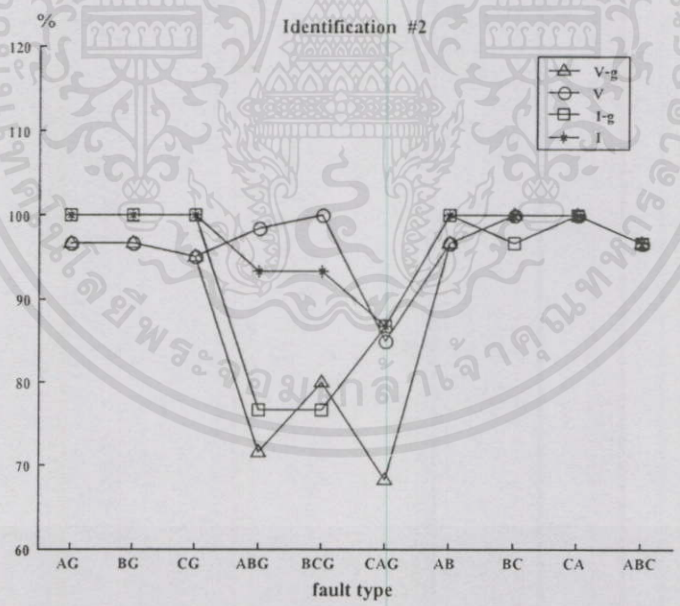
รูปที่ 6.48 แสดงค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนในการหาตำแหน่งฟอลต์ที่มุมต่างๆ กัน ของระบบทดลองที่ 1 (#1 : 325 กิโลเมตร) และระบบทดลองที่ 2 (#2 : 40 กิโลเมตร)

จากรูปที่ 6.48 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนในการหาตำแหน่งฟอลต์เทียบกับมุมที่เริ่มเกิดฟอลต์ (มุมเฟส A) พบว่า ในระบบทดลองที่ 1 ค่าเฉลี่ยเมื่อพิจารณาจากแรงดันจะอยู่ในช่วง 0.5-1 กิโลเมตร และค่าเฉลี่ยเมื่อพิจารณาจากกระแสจะอยู่ในช่วง 0.35-0.7 กิโลเมตร ในขณะที่ระบบทดลองที่ 2 ค่าเฉลี่ยเมื่อพิจารณาจากแรงดันส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 0.2-0.5 กิโลเมตร ยกเว้นที่มุม 0^0 และ 180^0 ของฟอลต์ 3 เฟสที่ค่าเฉลี่ยสูงขึ้นเป็น 1.25 กิโลเมตร และค่าเฉลี่ยเมื่อพิจารณาจากกระแสจะอยู่ในช่วง 0.1-0.5 กิโลเมตร ยกเว้นที่มุม 90^0 ของฟอลต์ระหว่างเฟส(L-L) ที่ค่าเฉลี่ยสูงขึ้นเป็น 1.7 กิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.49 แสดงค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์แต่ละประเภทของระบบทดลองที่ 1 (#1)

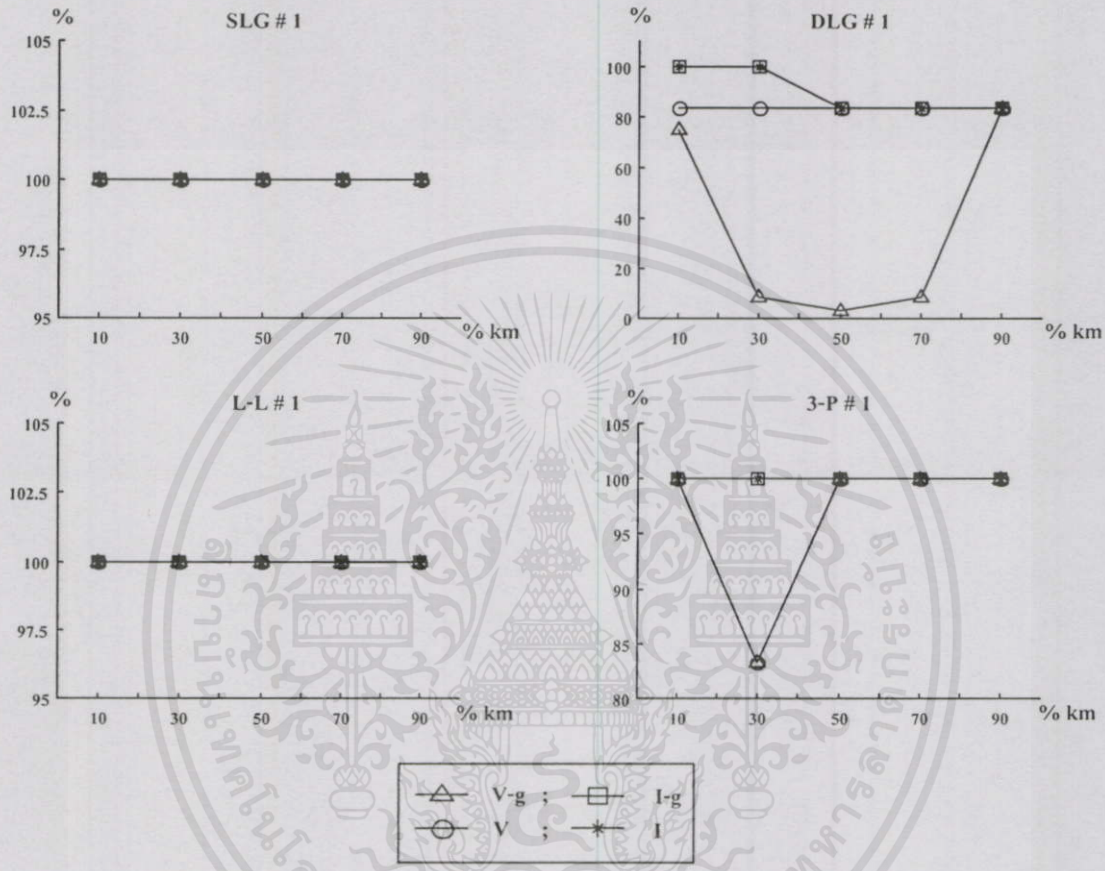


รูปที่ 6.50 แสดงค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์แต่ละประเภทของระบบทดลองที่ 2 (#2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

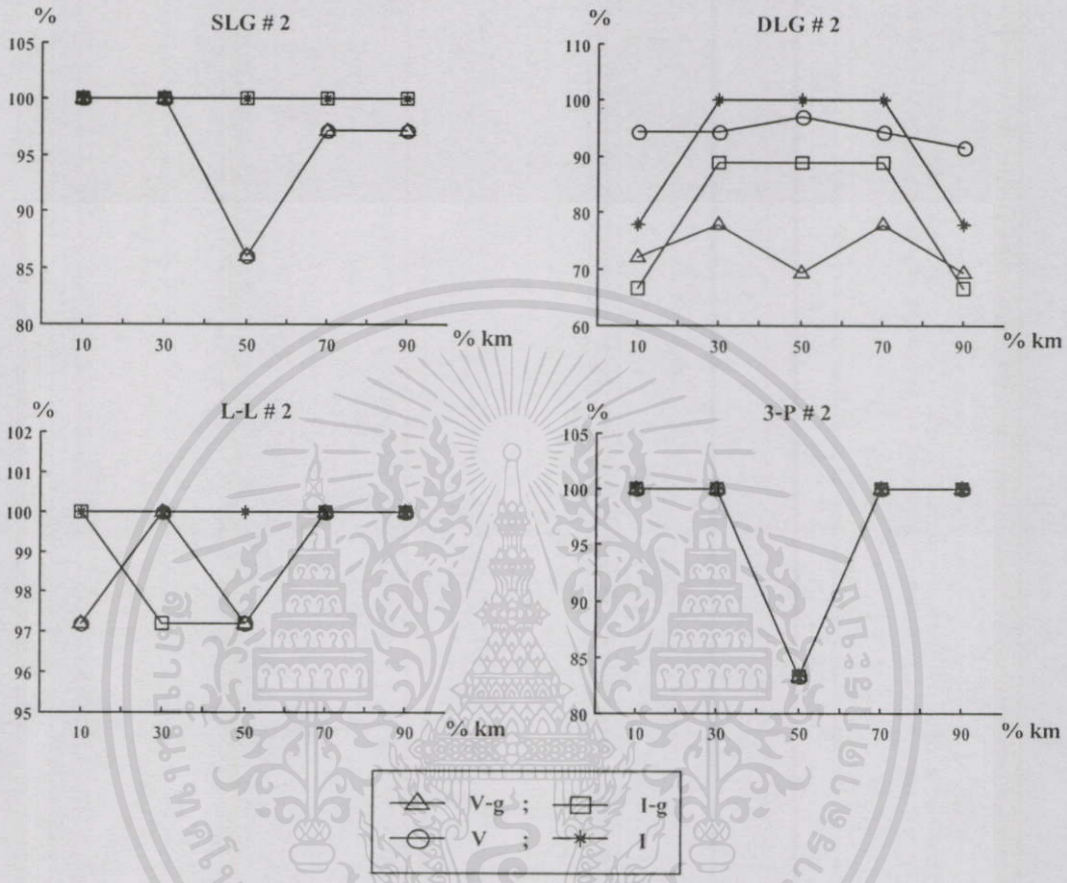
จากรูปที่ 6.49 และ6.50 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์เทียบกับประเภทของฟอลต์พบว่า เมื่อพิจารณาประเภทของฟอลต์เฟสเดียวลงดิน ฟอลต์ระหว่างเฟส และ ฟอลต์ 3 เฟส ของทั้ง 2 ระบบนั้นสามารถระบุประเภทของฟอลต์ได้ถูกต้องเฉลี่ยมากกว่า 95 %

ในขณะที่ฟอลต์ 2 เฟสลงดินเมื่อพิจารณารูปแบบของฟอลต์ลงดิน(V-g , I-g) ค่าเฉลี่ยจะลดต่ำลงมา แต่ถ้าพิจารณาเฉพาะเฟสที่เกิดฟอลต์เพียงอย่างเดียว(V , I) พบว่าค่าเฉลี่ยความถูกต้องจะมีค่าสูงมากกว่าเดิม และโดยทั่วไปการระบุประเภทของฟอลต์จากกระแสจะให้ค่าเฉลี่ยความถูกต้องที่ดีกว่าการระบุประเภทด้วยแรงดัน



รูปที่ 6.51 แสดงค่าเฉลี่ยความถูกต้องของการระบุประเภทฟอลต์ในแต่ละระยะทางของระบบทดลองที่ 1 (#1)

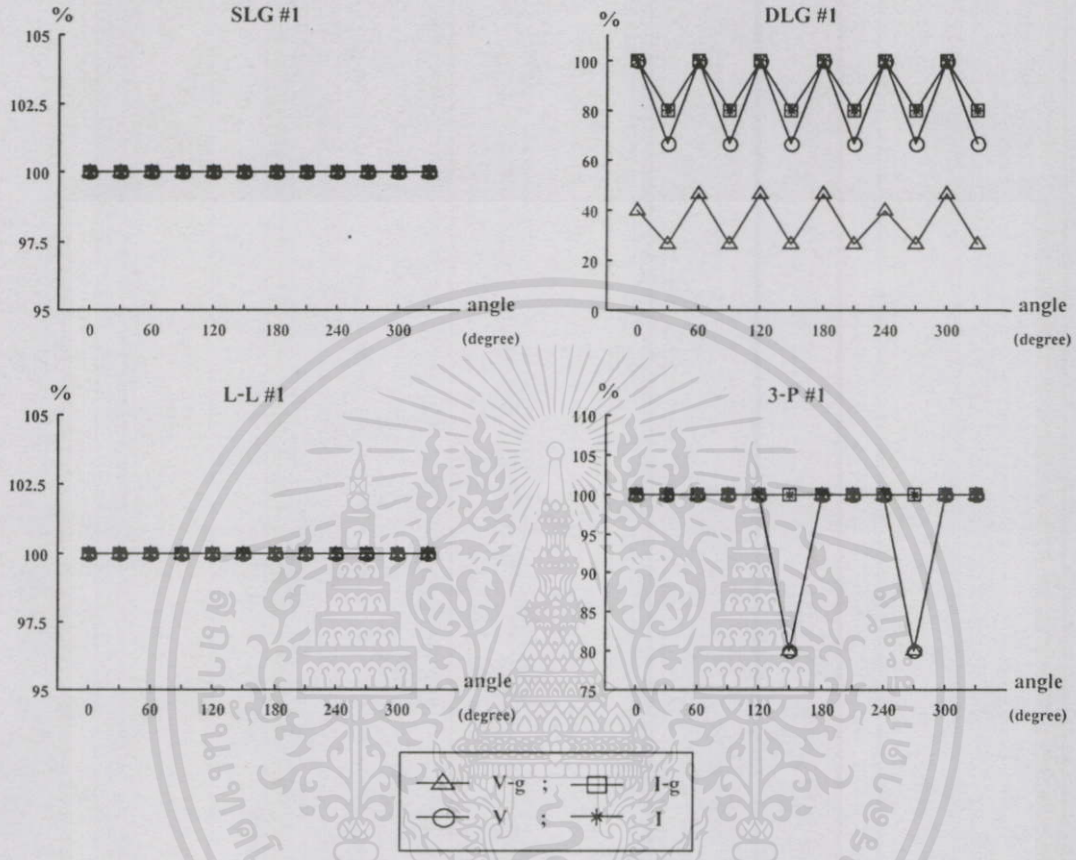
จากรูปที่ 6.51 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์เทียบกับระยะทางที่เกิดฟอลต์ (วัดจากบัส A) จากระบบทดลองที่ 1 พบว่า กรณีของฟอลต์เฟสเดียวลงดิน(SLG #1) ฟอลต์ระหว่างเฟส(L-L #1) และฟอลต์ 3 เฟส(3-P #1) สามารถระบุประเภทได้ถูกต้องทั้งหมด (100%) ยกเว้นในกรณีของฟอลต์ 3 เฟสที่พิจารณาจากแรงดันที่ระยะทาง 30 % ค่าเฉลี่ยลดลงมาเหลือประมาณ 83% ในขณะที่ฟอลต์ 2 เฟสลงดินค่าเฉลี่ยเมื่อวิเคราะห์จากแรงดันที่พิจารณาผลของฟอลต์ลงดิน(V-g) จะมีค่าที่ค่อนข้างต่ำ แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะเฟสที่เกิดฟอลต์เพียงอย่างเดียว (V) ค่าเฉลี่ยจะสูงขึ้นมากกว่า 80% เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ด้วยกระแส (I-g , I)



รูปที่ 6.52 แสดงค่าเฉลี่ยความถูกต้องของการระบุประเภทฟอลต์ในแต่ละระยะทางของระบบทดลองที่ 2 (#2)

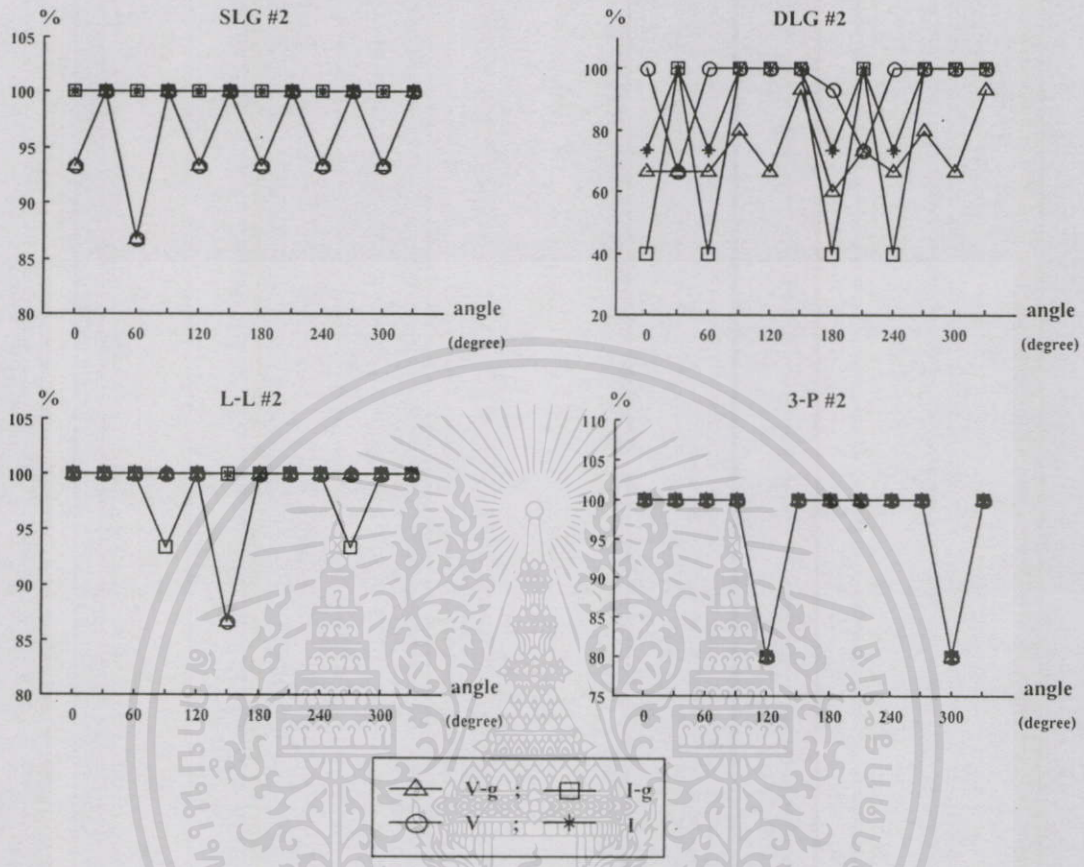
จากรูปที่ 6.52 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์เทียบกับระยะทางที่เกิดฟอลต์ (วัดจากบัส A) จากระบบทดลองที่ 2 พบว่า กรณีของฟอลต์เฟสเดียวลงดิน(SLG# 2) ฟอลต์ระหว่างเฟส(L-L #2) และฟอลต์ 3 เฟส (3-P #2) สามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ยมากกว่า 83% ในขณะที่ฟอลต์ 2 เฟสลงดิน(DLG#2) นั้นผลการวิเคราะห์จากกระแสและแรงดันที่พิจารณาผลของฟอลต์ลงดิน(V-g , I-g) ค่าเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 65%-90% แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะเฟสที่เกิดฟอลต์เพียงอย่างเดียว (V,I) ค่าเฉลี่ยจะสูงขึ้นอยู่ในช่วง 78%-100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.53 แสดงค่าเฉลี่ยความถูกต้องของการระบุประเภทฟอลต์ที่มุมเริ่มเกิดฟอลต์ต่างๆ กันของระบบทดลองที่ 1(#1)

จากรูปที่ 6.53 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์เทียบกับมุมที่เริ่มเกิดฟอลต์ (วัดมุมที่เฟส A) จากระบบทดลองที่ 1 พบว่า กรณีของฟอลต์เฟสเดียวลงดิน(SLG #1) ฟอลต์ระหว่างเฟส(L-L #1) และฟอลต์ 3 เฟส(3-P #1) สามารถระบุประเภทได้ถูกต้องทั้งหมด (100%) ยกเว้นในกรณีของฟอลต์ 3 เฟสที่พิจารณาจากแรงดันที่มุม 150^0 และ 270^0 ค่าเฉลี่ยจะลดลงมาเหลือ 80% ในขณะที่ฟอลต์ 2 เฟสลงดินค่าเฉลี่ยความถูกต้องเมื่อพิจารณาจากกระแส(I-g , I) จะอยู่ในช่วง 80%-100% และเมื่อพิจารณาจากแรงดันที่รวมผลของฟอลต์ลงดิน(V-g) ค่าเฉลี่ยจะมีค่าที่ค่อนข้างต่ำคืออยู่ในช่วง 25%-50% แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะเฟสที่เกิดฟอลต์เพียงอย่างเดียว (V) ค่าเฉลี่ยจะสูงขึ้นมาอยู่ในช่วง 65%-100% และสิ่งหนึ่งที่สังเกตได้คือกรณีของฟอลต์ 2 เฟส ลงดินค่าเฉลี่ยจะมีค่าลดลง ณ มุมที่ขนาดของกระแสหรือแรงดันของ 2เฟสใดๆ ที่เกิดฟอลต์มีค่าเท่ากัน



รูปที่ 6.54 แสดงค่าเฉลี่ยความถูกต้องของการระบุประเภทฟอลต์ในแต่ละระยะทางของระบบทดลองที่ 2 (#2)

จากรูปที่ 6.54 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการระบุประเภทฟอลต์เทียบกับมุมที่เริ่มเกิดฟอลต์ (วัมุมเฟส A) จากระบบทดลองที่ 2 พบว่า กรณีของฟอลต์เฟสเดียวลงดิน(SLG #1) ฟอลต์ระหว่างเฟส(L-L #1) และฟอลต์ 3 เฟส(3-P #1) สามารถระบุประเภทได้ถูกต้องเฉลี่ยมากกว่า 80% ในขณะที่ฟอลต์ 2 เฟสลงดินเมื่อพิจารณาจากกระแสที่รวมผลของฟอลต์ลงดิน(I-g) ค่าเฉลี่ยส่วนใหญ่จะอยู่ที่ 100% ยกเว้นที่มุม 0^0,60^0,180^0 และ 240^0 ซึ่งค่าเฉลี่ยจะลดลงมาอยู่ที่ 40% ถ้าพิจารณาเฉพาะเฟสที่เกิดฟอลต์เพียงอย่างเดียว (I) ค่าเฉลี่ยจะสูงขึ้นเป็น 75%-100 (ส่วนใหญ่อยู่ที่ 100%) และเมื่อพิจารณาจากแรงดันที่รวมผลของฟอลต์ลงดิน(V-g) ค่าเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 60%-80% แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะเฟสที่เกิดฟอลต์เพียงอย่างเดียว (V) ค่าเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 65%-100% (ส่วนใหญ่อยู่ที่ 100%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
กรณีศึกษา

เนื่องจากลักษณะของฟอลต์แต่ละประเภทที่เกิดขึ้นบนสายส่งจะมีลักษณะของความรุนแรงที่แตกต่างกันออกไป และบ่อยครั้งที่ลักษณะของฟอลต์ที่เกิดขึ้นเป็นฟอลต์ที่มีความรุนแรงต่ำก่อนแล้วเปลี่ยนมาสู่ฟอลต์ที่มีความรุนแรงมากขึ้นในช่วงเวลาที่ต่อเนื่องกัน ในบางครั้งพบว่ารูปแบบของฟอลต์ที่เกิดขึ้นจะมีความซับซ้อนมากขึ้นตามโครงสร้างของระบบ นอกจากนี้ลักษณะของฟอลต์ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่เข้ามาเกี่ยวข้องอีก เช่น ลักษณะของระบบป้องกันที่ใช้ โครงสร้างของเสาส่ง และอุปกรณ์ชดเชยในแบบต่างๆ ซึ่งล้วนแล้วแต่มีผลต่อรูปแบบของฟอลต์ทั้งสิ้น ดังนั้นการศึกษารูปแบบของฟอลต์ที่มีลักษณะเฉพาะจึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็น ในบทนี้จึงได้การนำเสนอกรณีศึกษาของเหตุการณ์ฟอลต์ที่เกิดขึ้นจริงในสายส่ง โดยอ้างอิงจากเหตุการณ์จริงที่เกิดขึ้นและทำการวิเคราะห์ตามวิธีการที่ได้นำเสนอในบทที่ 4 ซึ่งมีรายละเอียดในการศึกษาดังต่อไปนี้

7.1 เงื่อนไขการศึกษา

1. อาศัยลักษณะของเหตุการณ์ฟอลต์ที่เกิดขึ้นจริงมาเป็นเหตุการณ์อ้างอิง

2. โครงสร้างของระบบยึดตามโครงสร้างจริง เช่น รูปแบบเสาส่งที่ใช้ ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันและอุปกรณ์ชดเชย แต่ได้มีการกำหนดเงื่อนไขบางประการเพิ่มเติมในการศึกษาเพื่อให้เกิดความเหมาะสม เช่น ระยะห่างของเสาส่ง ความต้านทานของดิน ซึ่งได้กำหนดให้มีค่าที่สม่ำเสมอ(Uniform) ตลอดช่วงความยาว

3. ลักษณะของเหตุการณ์และโครงสร้างของระบบถูกนำมาใช้สร้างแบบจำลองแบบ 2 บัส และทำการจำลองฟอลต์ด้วยโปรแกรม ATP/EMTP

4. ทำการจำลองที่อัตราการสุ่ม (Sampling rate) 200 kHz เพื่อให้สอดคล้องกับความถี่ที่ทำการวิเคราะห์

5.รูปแบบการวิเคราะห์เหตุการณ์ทำได้โดยการนำสัญญาณฟอลต์มาวิเคราะห์ โดยแสดงถึงการตรวจจับฟอลต์ การหาตำแหน่งฟอลต์ และการระบุประเภทของฟอลต์

6.รูปแบบของกรณีศึกษาเหตุการณ์จริงที่นำมาศึกษานี้มี 2 เหตุการณ์คือ

6.1 เหตุการณ์ฟอลต์ในสายส่งระหว่างสถานีไฟฟ้าท่าตะโกกับสถานีไฟฟ้าหนองจอก

6.2 เหตุการณ์ฟอลต์ในสายส่งระหว่างสถานีไฟฟ้าบ้านโป่ง-2 กับสถานีไฟฟ้าไทรน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดของเหตุการณ์และการวิเคราะห์ได้ดังนี้

7.2 กรณีศึกษาที่ 1

กรณีแรกเป็นเหตุการณ์ของฟอลต์ในสายส่ง 500 kV วงจรที่ 1 ระหว่างสถานีไฟฟ้าท่าตะโก (TTK) ถึงสถานีไฟฟ้าหนองจอก (NCO) เมื่อวันที่ 31 ธ.ค. 2543 เวลา 17.01 น. ซึ่ง มีรายละเอียดของเหตุการณ์ตามลำดับต่อไปนี้

7.2.1 ลำดับเหตุการณ์ [30,31]

7.2.1.1 เหตุการณ์แรก อุปกรณ์ที่จับยึดสายล่อฟ้า (Over head ground wire) หลุดจากจุดที่ติดตั้งบนเสาส่งทำให้สายล่อฟ้าหล่นลงมาพาดที่เฟส A ส่งผลให้เกิดฟอลต์ที่เฟส A ณ เสาส่งต้นที่ 181/1 และ 181/2 ซึ่งเป็นจุดที่มีการเปลี่ยนลักษณะการจัดวางของสายส่ง จากที่ติดตั้งอยู่บนเสาแบบ SLV มาเป็นเสาแบบ DL เหตุการณ์ในช่วงนี้เกิดนานเป็นเวลา 40 ms (2 ไซเคิล) หลังจากนั้นรีเลย์ระยะทางสั่งปลดวงจรที่เฟส A ออกจากระบบ ทำให้ระบบจ่ายพลังงานที่เฟส B และ C เท่านั้น

7.2.1.2 เหตุการณ์ที่สอง หลังจากปลดวงจรที่เฟส A ออกแล้วเป็นเวลา 0.50 s (25 ไซเคิล) สายล่อฟ้าจึงหลุดจากเฟส A แล้วลงมาพาดที่เฟส B จึงทำให้เกิดฟอลต์ที่เฟส B เป็นเวลา 40 ms จากเหตุการณ์ในช่วงนี้รีเลย์ระยะทางจึงสั่งปลดวงจรของเฟส B และ C ออก ส่งผลให้สายส่งทั้งหมดถูกตัดออกจากระบบ ซึ่งมีข้อมูลเหตุการณ์ทั้งหมดจากรีเลย์ระยะทางของทั้ง 2 สถานีดังนี้

สถานีไฟฟ้าหนองจอก (NCO-Sub)

Relay Pri show : Distance Relay Zone 1, Phase B

Relay B/U show : Distance Relay Zone 2, Phase AB

สถานีไฟฟ้าท่าตะโก (TTK-Sub)

Relay Pri show : Distance Relay Zone 1, Phase B

Relay B/U show : Distance Relay Zone 1, Phase AB

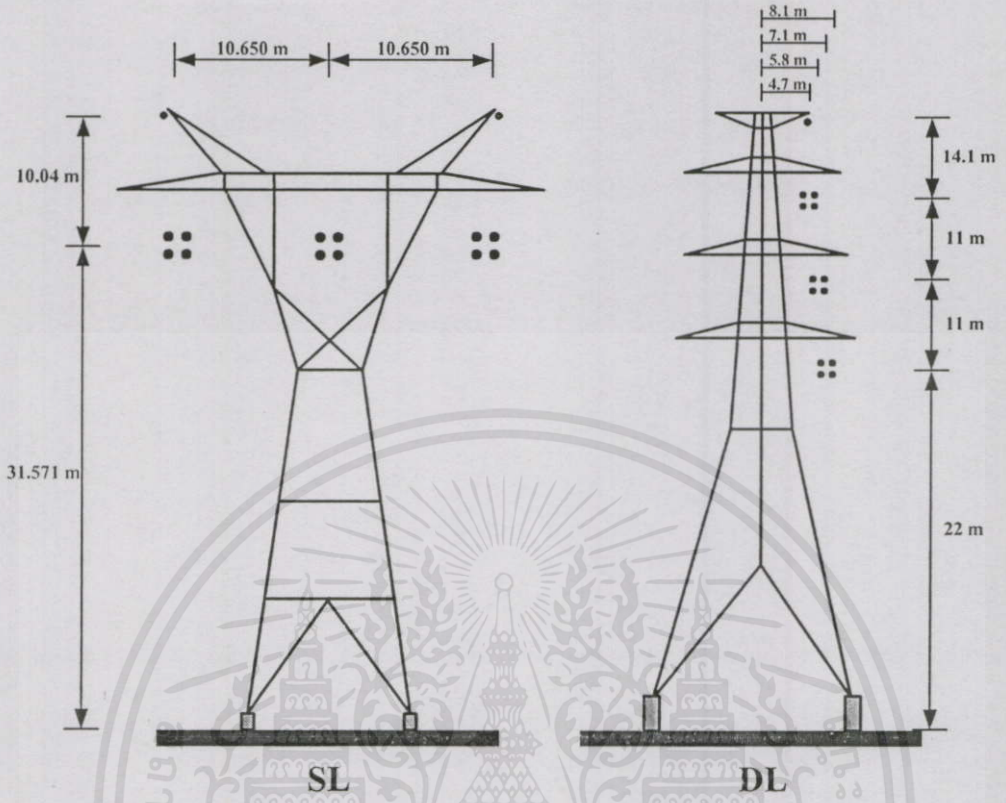
LFL Show : Phase B ที่ 180.9 (ระยะทางเต็ม 207.6 กิโลเมตร เกิดขึ้นจริงที่ 181.25 กิโลเมตร)

โดยสามารถแสดงรายละเอียดของระบบได้ดังต่อไปนี้

7.2.2 โครงสร้างของระบบในการศึกษา

1. สายส่งวงจรเดี่ยวระบบ 500 kV ระหว่างสถานีไฟฟ้าท่าตะโก (TTK) ถึงสถานีหนองจอก (NCO) ความยาว 207.6 กิโลเมตร โดยแบ่งโครงสร้างออกเป็น 2 ช่วงด้วยกัน [30] คือ

- ช่วงแรกความยาว 181.20 กิโลเมตร เป็นสายส่งวงจรเดี่ยวติดตั้งอยู่บนเสาแบบ SL
- ช่วงที่สองความยาว 26.40 กิโลเมตร เป็นสายส่งวงจรเดี่ยวติดตั้งอยู่บนเสาแบบ DL



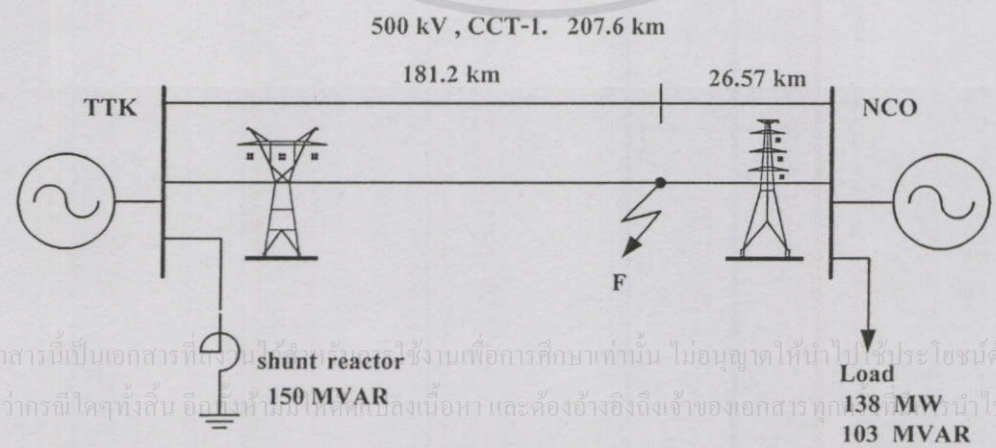
รูปที่ 7.1 แสดงลักษณะของเสาส่งแบบ SL และแบบ DL

2. ตัวนำแบบ 4×795 K CMIL ,ACSR (Al 54/ St 7)

3. สายล่อฟ้าแบบ 3/8 inch ,EHS GALV (St 7)

4. รีแอคเตอร์ขนาน (ที่ TTK) ขนาด 150 MVAR

5. โหลด 138 MW และ 103 MVAR



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.2 แสดงวันไลน์ของระบบที่ทำการศึกษาในกรณีที่ 1

7.2.3 การจำลองฟอลต์

เพื่อทำการศึกษาพฤติกรรมของฟอลต์จากระบบที่แสดงในรูปที่ 2 จึงทำการจำลองฟอลต์ด้วยโปรแกรม ATP/EMTP โดยอ้างอิงจากเหตุการณ์จริง ซึ่งแบ่งขั้นตอนการจำลองเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ

7.2.3.1 การสร้างแบบจำลองสายส่ง ซึ่งสามารถสร้างได้โดยใช้โปรแกรม ATP-LCC เนื่องจากระบบจริงมีการไขว้สลับสายจึงใช้รูปแบบของสายส่งแบบมีการไขว้สลับสายแบบสมบูรณ์ (complete transpose) และกำหนดระยะระหว่างเสา (span) ที่เท่ากัน โดยคำนวณพารามิเตอร์สายส่งแบบพารามิเตอร์คงที่ (Constant Parameter) ซึ่งสามารถแสดงผลการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการคำนวณของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต (EGAT) ได้ดังตารางที่ 7.1

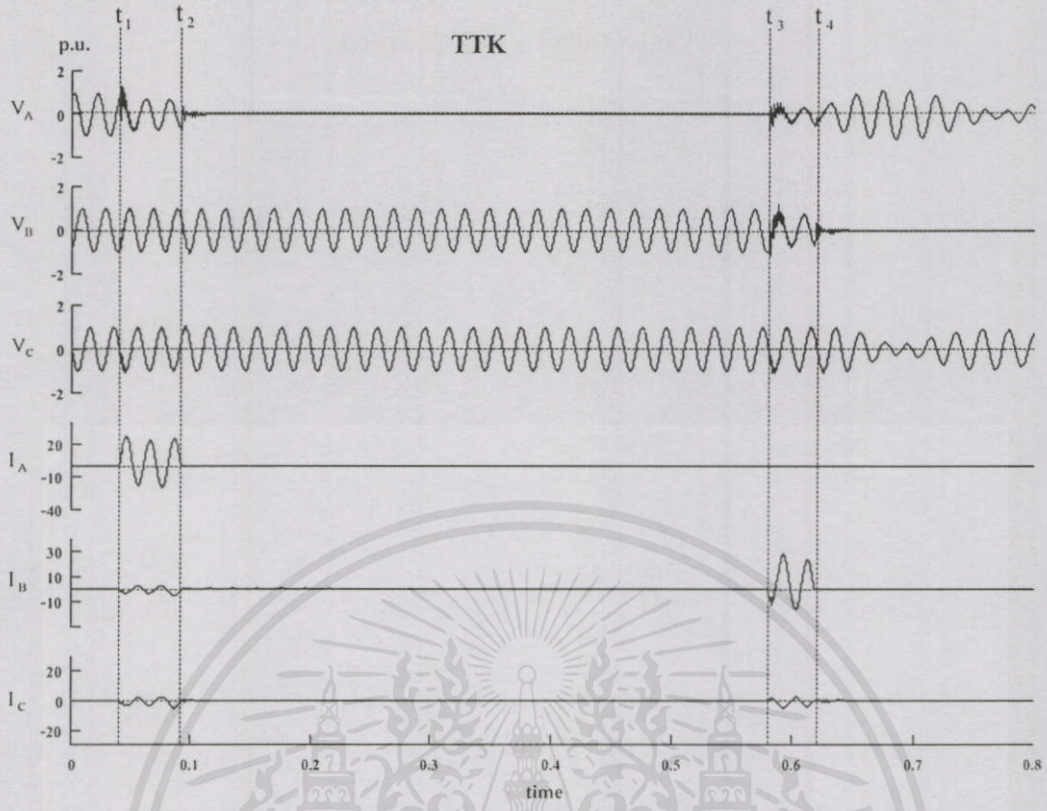
ตารางที่ 7.1 แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณพารามิเตอร์สายส่งของกรณีศึกษาที่ 1

TTK-NCO	positive sequence (p.u.)			zero sequence (p.u.)		
207.6 km	R 1	X 1	Y 1	R 0	X 0	Y 0
EGAT	0.00170	0.02226	2.19994	0.02074	0.08446	1.27482
ATP_LCC	0.00153	0.02203	2.24248	0.01958	0.08494	1.25773

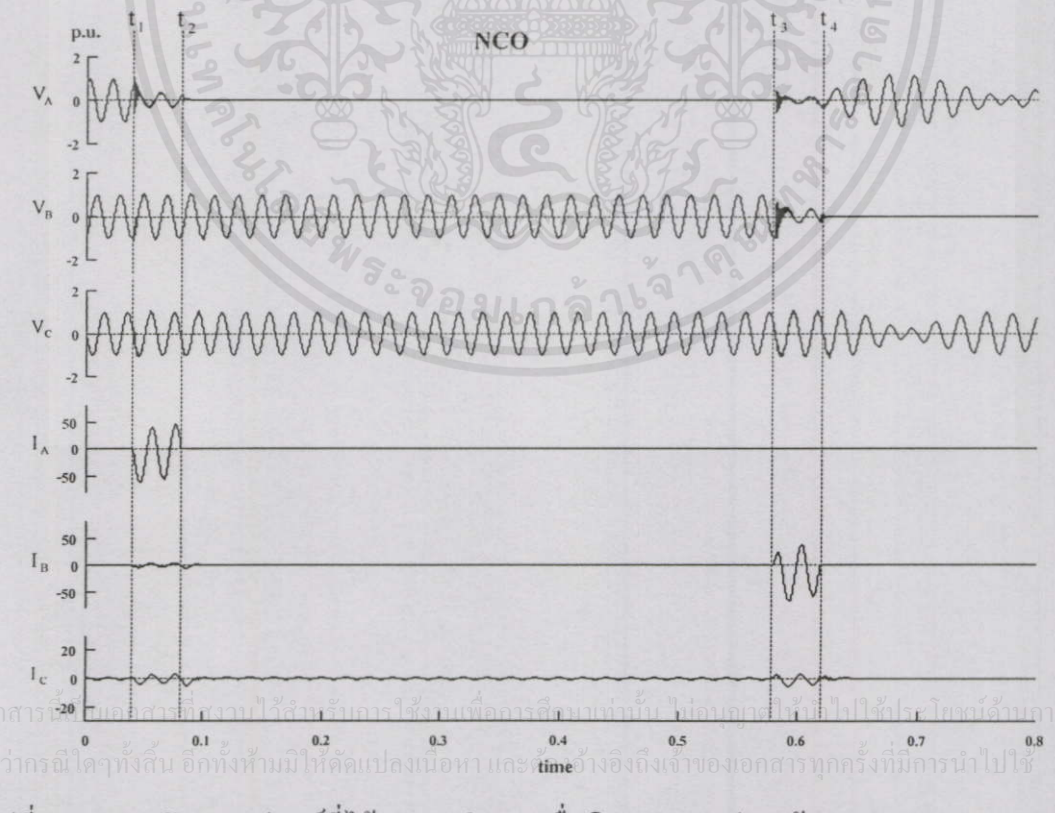
จากตารางที่ 7.1 ใช้ค่าฐาน 500 kV ,100 MVA พบว่าผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในการจำลองฟอลต์นั้นจะใช้การคำนวณพารามิเตอร์สายส่งแบบ J. marti ซึ่งมีความเหมาะสมมากกว่าในการศึกษาลักษณะของทรานเซี้ยนต์หรือลักษณะของฟอลต์ และเนื่องจากลักษณะของสายส่งเหมือนกับสายส่งที่ใช้ในวงจรทดสอบดังนั้นความเร็วของคลื่นเดินทางในแต่ละช่วงความถี่และเมตริกซ์การแปลงสามารถใช้ค่าเดียวกันกับที่ใช้ในระบบการทดลองที่ 1 ซึ่งได้แสดงในตารางที่ 5.1

7.2.3.2 การจำลองฟอลต์จากระบบในข้อ 7.2.2 โดยอาศัยเหตุการณ์จริงในการกำหนดลักษณะของฟอลต์ และทำการจำลองด้วยโปรแกรม ATP/EMTP โดยใช้แบบจำลองสายส่งแบบ J. marti ที่ได้จากข้อ 7.2.3.1 ที่อัตราการสุ่ม 200 kHz ผลการจำลองที่ได้แสดงในรูปที่ 7.3 และ 7.4 ซึ่งสามารถอธิบายเหตุการณ์ได้ดังนี้คือ ช่วงแรกเกิดฟอลต์ที่เฟส A ที่เวลา $t = t_1$ และทำการปลดเฟส A เพื่อกำจัดฟอลต์ที่เวลา $t = t_2$ ช่วงที่สองเกิดฟอลต์ที่เฟส B ที่เวลา $t = t_3$ และทำการปลดเฟส B และ C เพื่อกำจัดฟอลต์ที่เวลา $t = t_4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.3 แสดงสัญญาณฟอลต์ที่ได้จากการจำลอง เมื่อพิจารณาจากปลายด้าน TTK

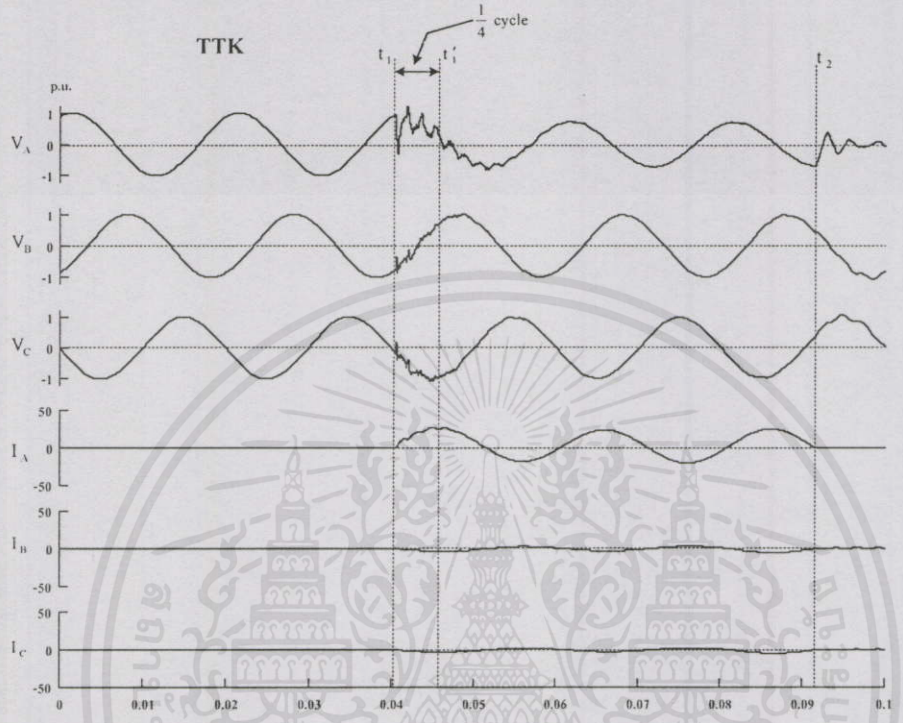


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

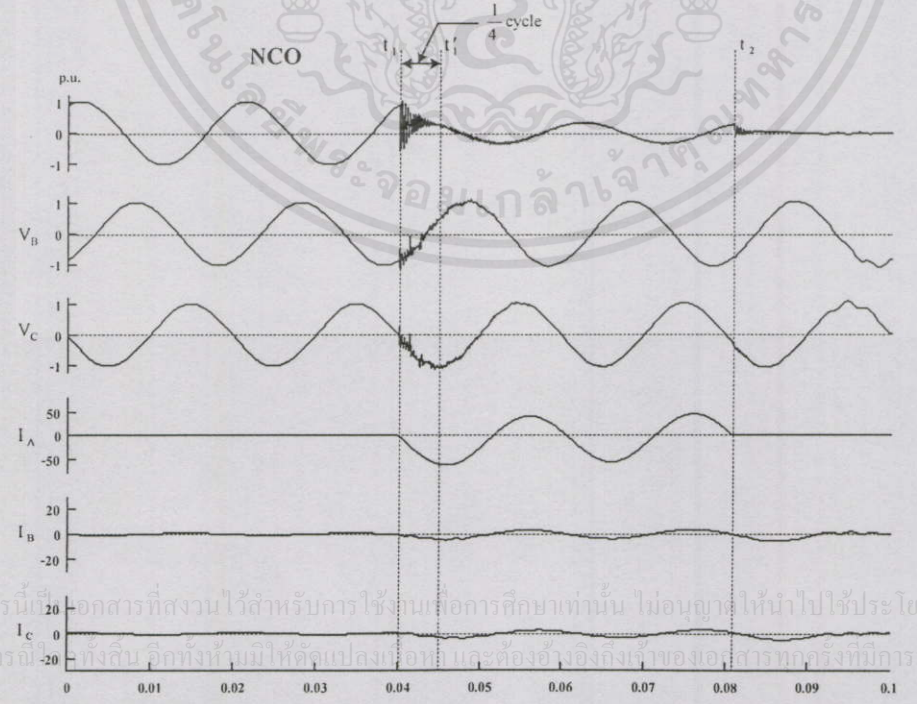
รูปที่ 7.4 แสดงสัญญาณฟอลต์ที่ได้จากการจำลอง เมื่อพิจารณาจากปลายด้าน NCO

7.2.4 การวิเคราะห์เหตุการณ์ช่วงที่ 1

เมื่อพิจารณาในช่วงแรกเป็นลักษณะของฟอลต์ที่เฟส A ซึ่งระบบมีการจ่ายโหลดทั้ง 3 เฟส จึงถือว่าเป็นฟอลต์ที่เกิดมาจากระบบที่มีสภาวะปกติ ดังนั้นสามารถแสดงการวิเคราะห์เหตุการณ์ได้ดังต่อไปนี้



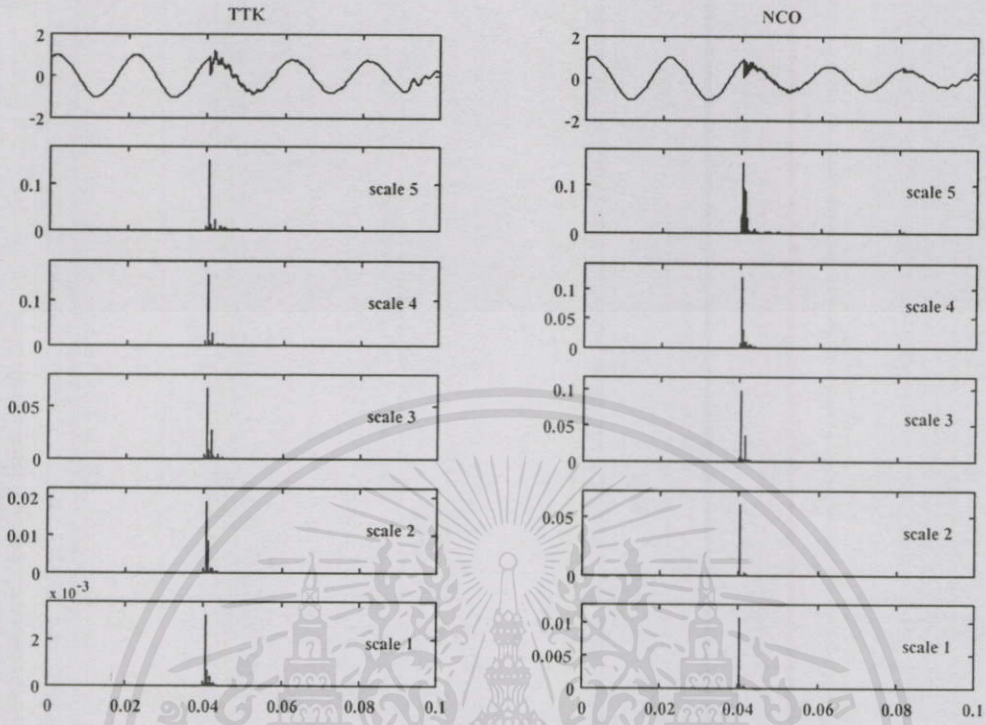
รูปที่ 7.5 แสดงสัญญาณฟอต์ที่พิจารณาจากปลาย TTK ในช่วงที่ 1



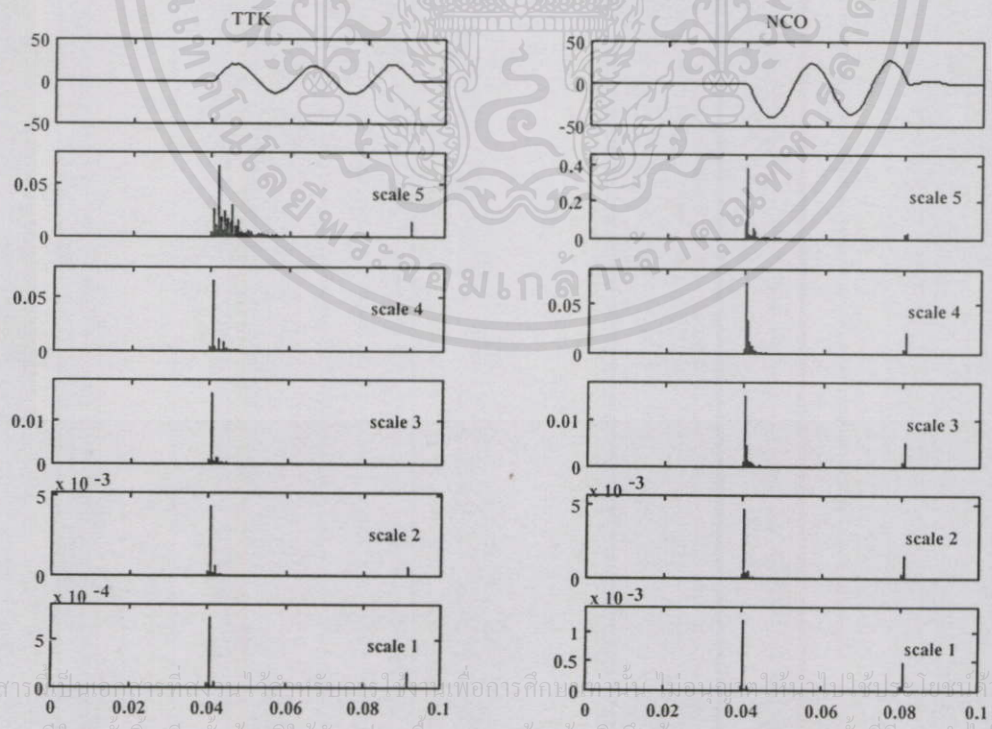
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.6 แสดงสัญญาณฟอต์ที่พิจารณาจากปลาย NCO ในช่วงที่ 1

7.2.4.1 การตรวจจับฟอลต์ช่วงที่ 1



รูปที่ 7.7 แสดงการตรวจจับฟอลต์ด้วยแรงดันลำดับบวกที่ปลายทั้ง 2 ด้านในช่วงที่ 1



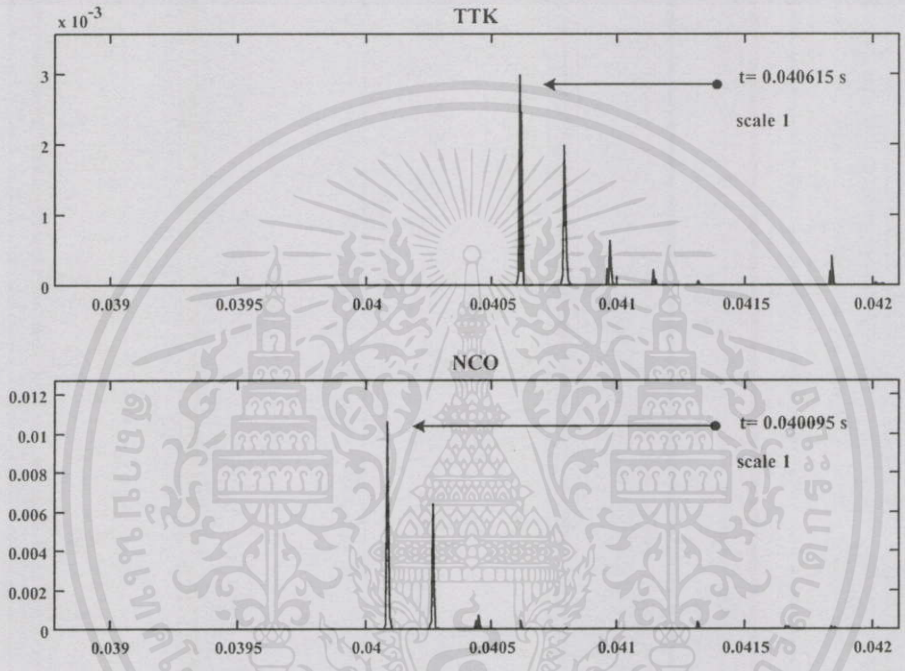
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.8 แสดงการตรวจจับฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกที่ปลายทั้ง 2 ด้านในช่วงที่ 1

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 7.7 และ 7.8 ตามเกณฑ์ในการตรวจจับฟอลต์พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์มากกว่า 5 เท่าเมื่อเทียบกับสภาวะปกติในทุกสเกล และลักษณะดังกล่าวปรากฏที่ปลายทั้ง 2 ด้าน ดังจึงสามารถสรุปได้ว่ามีฟอลต์เกิดขึ้นในสายส่งวงจรนี้

7.2.4.2 การหาตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ในช่วงที่ 1

เนื่องจากพบการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์มากกว่า 5 เท่าที่ปลายทั้ง 2 ด้านในทุกสเกล ดังนั้นจึงเลือกใช้สเกลที่ 1 สำหรับการหาตำแหน่งฟอลต์ดังต่อไปนี้



รูปที่ 7.9 แสดงเวลาที่พบยอดคลื่นแรกในสเกลที่ 1 ของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน

เมื่อ L = 207.6 กิโลเมตร (เกิดจริงที่ 181.25 กิโลเมตร)

t_{TTK} = 0.040615 วินาที

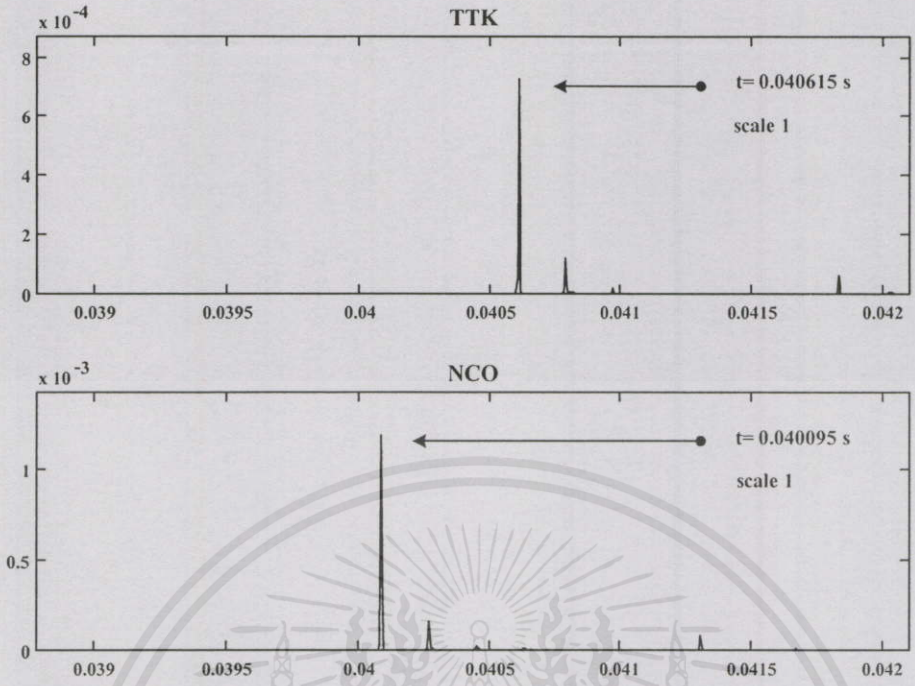
t_{NCO} = 0.040095 วินาที

v = 297322 กิโลเมตร/วินาที

$$d = \frac{(207.6 - 297322 \times (0.040095 - 0.040615))}{2} \qquad (7.1)$$

$$d = 181.104 \text{ กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.146 กิโลเมตร)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.10 แสดงเวลาที่พบยอดคลื่นแรกในสเกลที่ 1 ของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส

เมื่อ L = 207.6 กิโลเมตร (เกิดจริงที่ 181.25 กิโลเมตร)

t_{TTK} = 0.040615 วินาที

t_{NCO} = 0.040095 วินาที

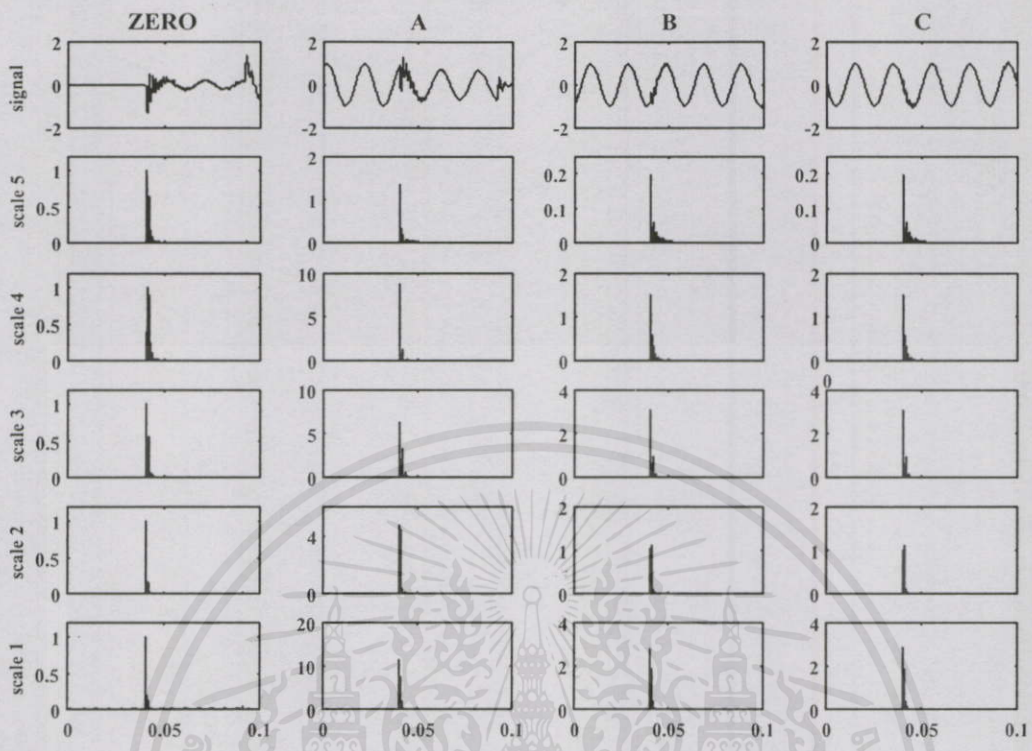
V = 297322 กิโลเมตร/วินาที

$$d = \frac{(207.6 - 297322 \times (0.040095 - 0.040615))}{2} \qquad (7.2)$$

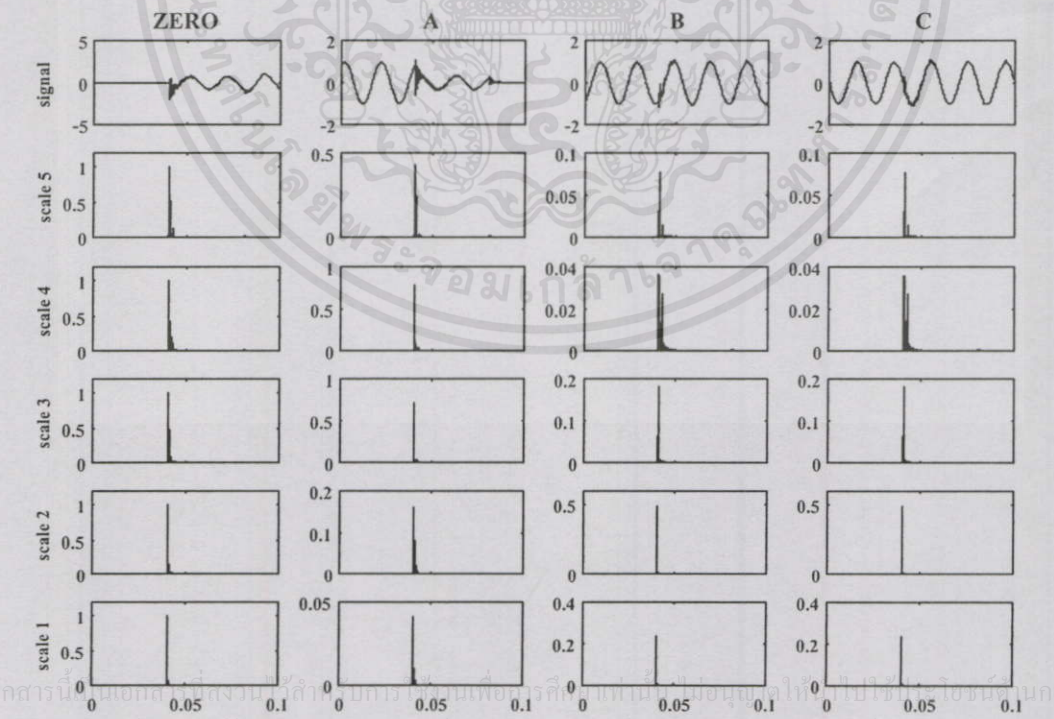
d = 181.104 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.146 กิโลเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.4.3 การระบุประเภทของฟอลต์ช่วงที่ 1

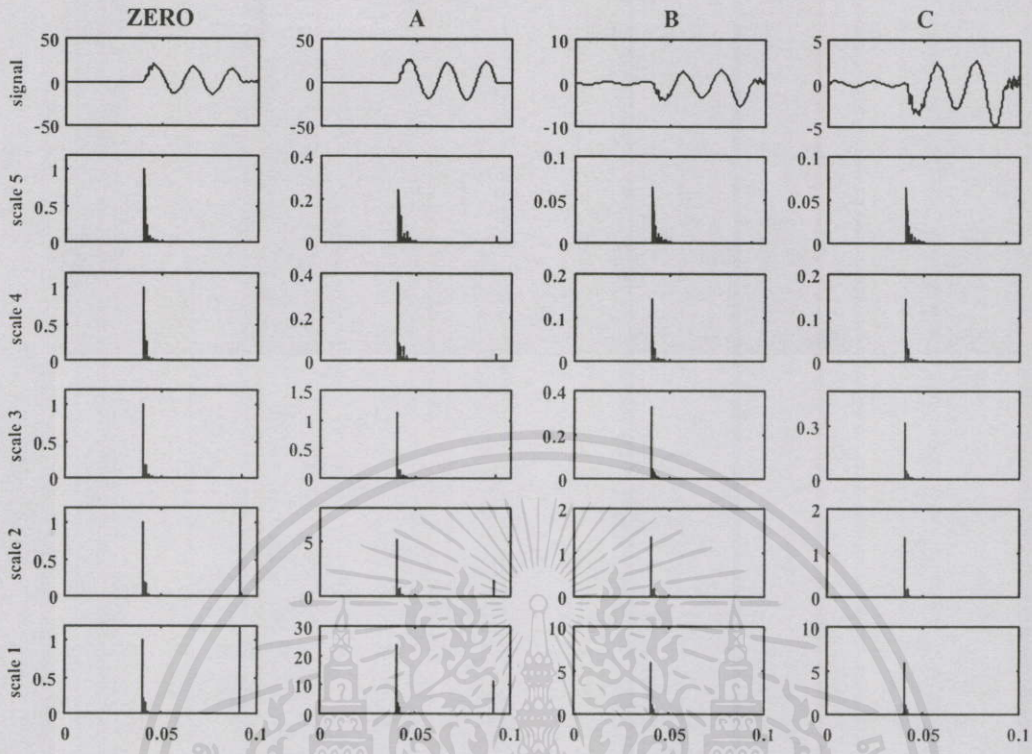


รูปที่ 7.11 แสดงการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดันที่ปลายด้าน TTK

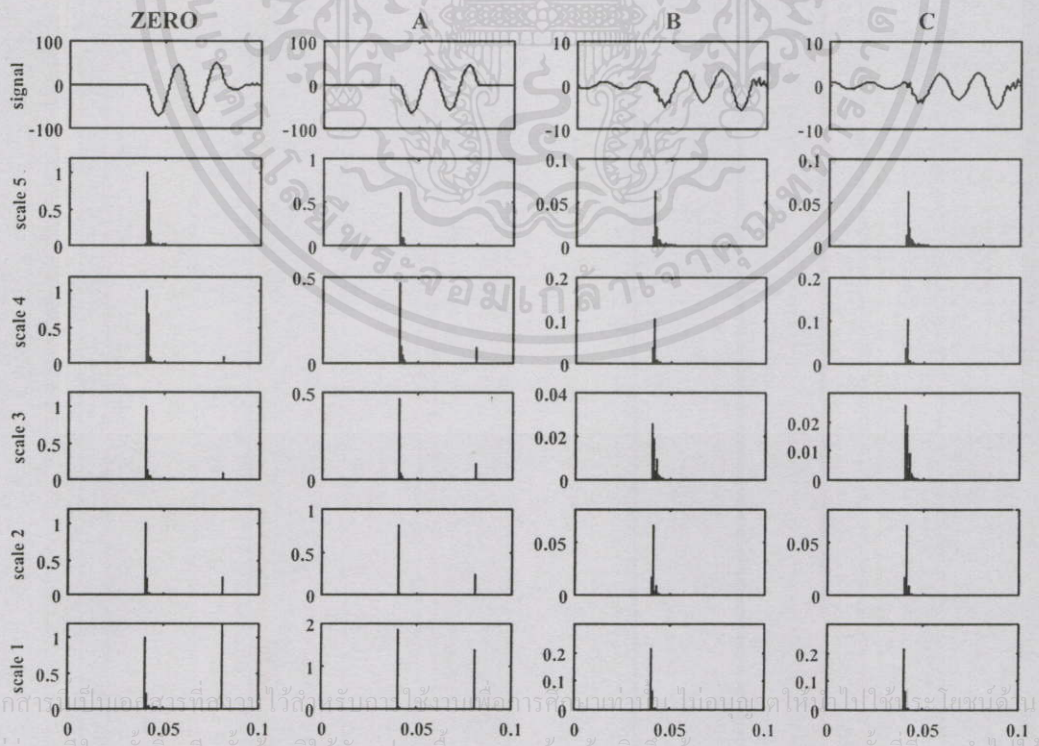


รูปที่ 7.12 แสดงการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดันที่ปลายด้าน NCO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.13 แสดงการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแสที่ปลายด้าน TTK



รูปที่ 7.14 แสดงการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแสที่ปลายด้าน TTK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 7.11-7.14 สามารถสรุปการระบุประเภทของฟอลต์ได้ดังนี้

วิเคราะห์จากแรงดันช่วงที่ 1 (ฟอลต์ที่ตำแหน่ง 181.104 กิโลเมตร จากปลาย TTK)

สเกลที่	TTK	NCO
5	AG	AG
4	AG	AG
3	ABC	AG
2	AG	BCG
1	AG	BCG
สรุปแต่ละด้าน	AG	AG
สรุปทั้ง 2 ด้าน	**AG**	

วิเคราะห์จากกระแสช่วงที่ 1 (ฟอลต์ที่ตำแหน่ง 181.104 กิโลเมตร จากปลาย TTK)

สเกลที่	TTK	NCO
5	AG	AG
4	AG	AG
3	AG	AG
2	AG	AG
1	ABC	AG
สรุปแต่ละด้าน	AG	AG
สรุปทั้ง 2 ด้าน	**AG**	

สรุปผลการวิเคราะห์เหตุการณ์ในช่วงที่ 1

1. สามารถตรวจจับฟอลต์ได้ทั้งจากแรงดันและกระแสในทุกสเกล

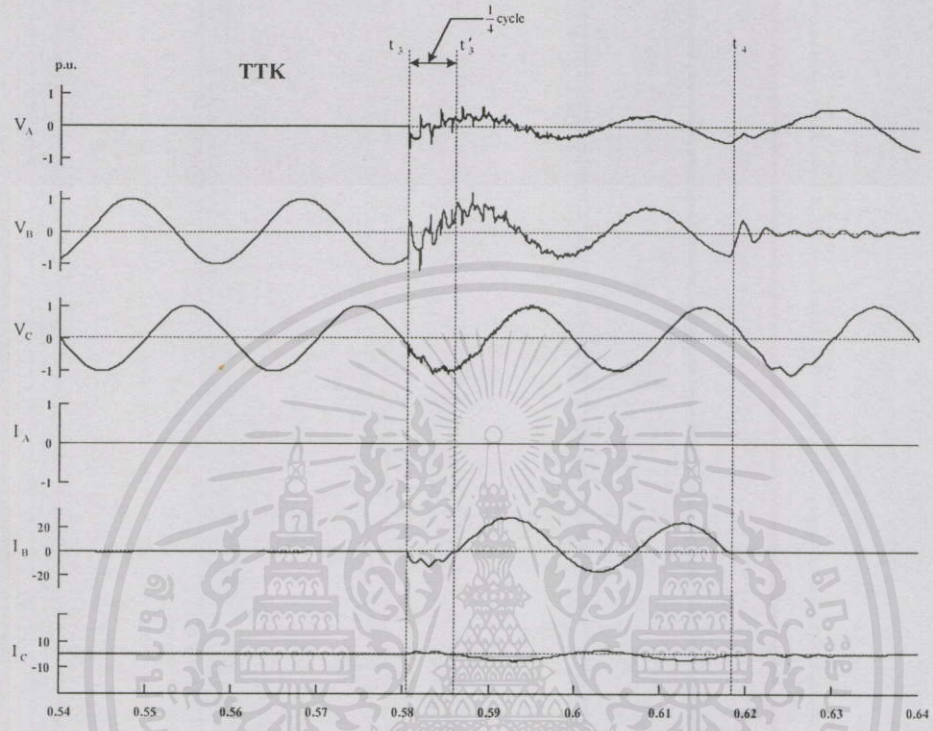
2.คำนวณตำแหน่งฟอลต์จากแรงดันและกระแสได้ที่ระยะทาง 181.104 กิโลเมตร เมื่อวัดจากปลายด้าน TTK ซึ่งคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริง 0.146 กิโลเมตร

3. ประเภทของฟอลต์ที่ถูกระบุจากแรงดันและกระแสคือ AG

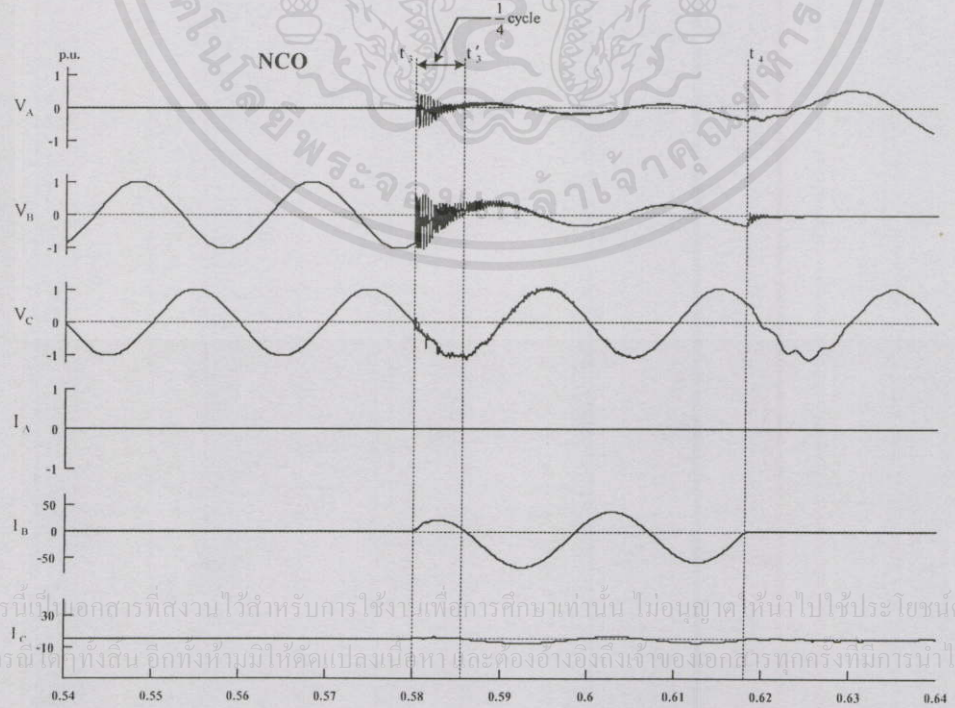
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.5 การวิเคราะห์เหตุการณ์ช่วงที่ 2

เมื่อพิจารณาในช่วงที่ 2 ซึ่งเป็นฟอลต์ที่เฟส B โดยระบบจ่ายโหลดเพียง 2 เฟส จึงถือว่าเป็นฟอลต์ที่เกิดมาจากระบบที่มีสภาวะผิดปกติอยู่ก่อนแล้ว ดังนั้นสามารถแสดงการวิเคราะห์เหตุการณ์ได้ดังต่อไปนี้



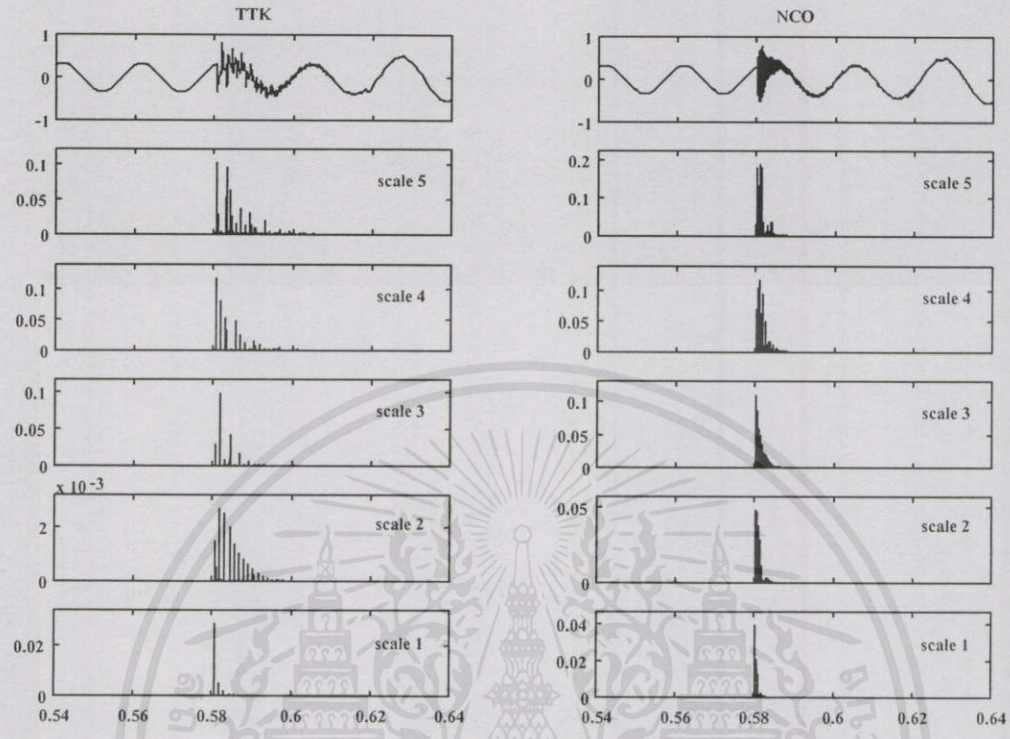
รูปที่ 7.15 แสดงสัญญาณฟอต์ที่พิจารณาจากปลาย TTK ในช่วงที่ 2



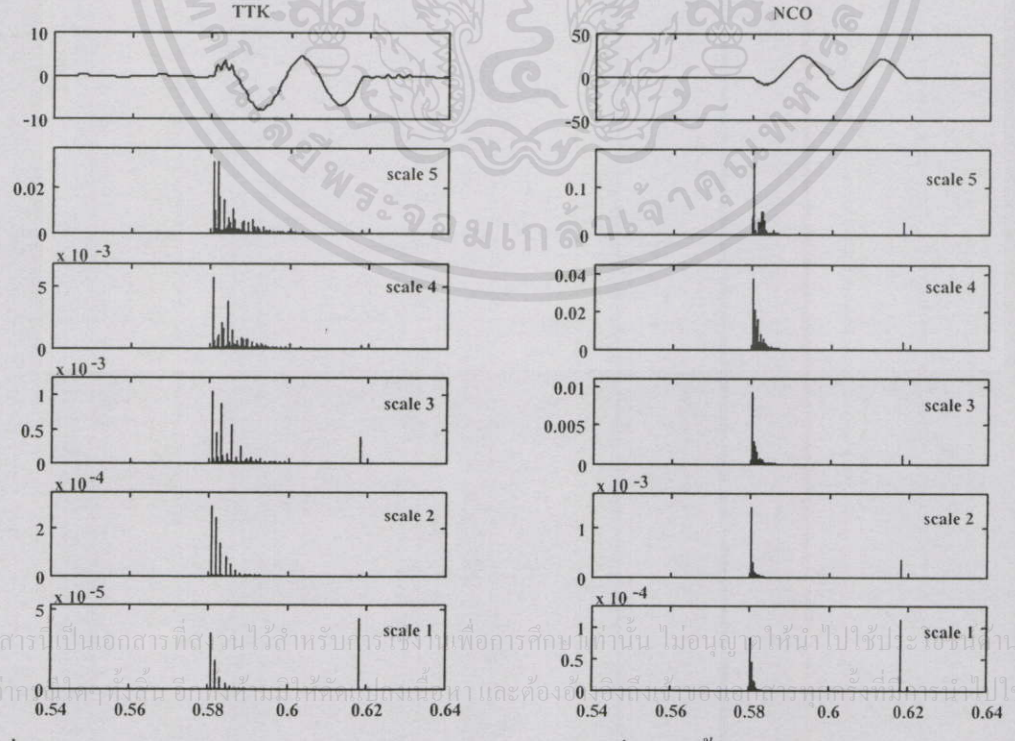
รูปที่ 7.16 แสดงสัญญาณฟอต์ที่พิจารณาจากปลาย NCO ในช่วงที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.5.1 การตรวจจับฟอลต์ช่วงที่ 2



รูปที่ 7.17 แสดงการตรวจจับฟอลต์ด้วยแรงดันลำดับบวกที่ปลายทั้ง 2 ด้าน



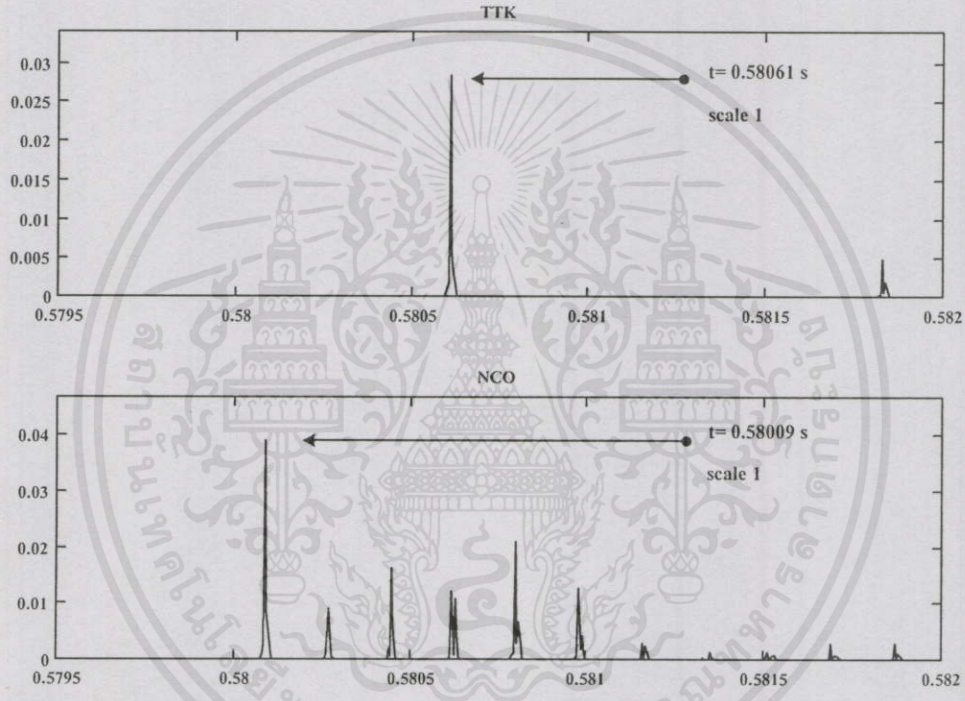
รูปที่ 7.18 แสดงการตรวจจับฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกที่ปลายทั้ง 2 ด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 7.17 และ 7.18 ตามเกณฑ์ในการตรวจจับฟอลต์พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์มากกว่า 5 เท่าเมื่อเทียบกับสภาวะปกติในทุกสเกล และลักษณะดังกล่าวนี้ปรากฏที่ปลายทั้ง 2 ด้าน ดังจึงสามารถสรุปได้ว่ามีฟอลต์เกิดขึ้นในสายส่ง

7.2.5.2 การหาตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ในช่วงที่ 2

เนื่องจากพบการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์มากกว่า 5 เท่าที่ปลายทั้ง 2 ด้านในทุกสเกล ดังนั้นจึงเลือกใช้สเกลที่ 1 ในการหาตำแหน่งฟอลต์ดังต่อไปนี้



รูปที่ 7.19 แสดงเวลาที่พบยอดคลื่นแรกในสเกลที่ 1 ของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดัน

เมื่อ L = 207.6 กิโลเมตร (เกิดจริงที่ 181.25 กิโลเมตร)

t_{TTK} = 0.58061 วินาที

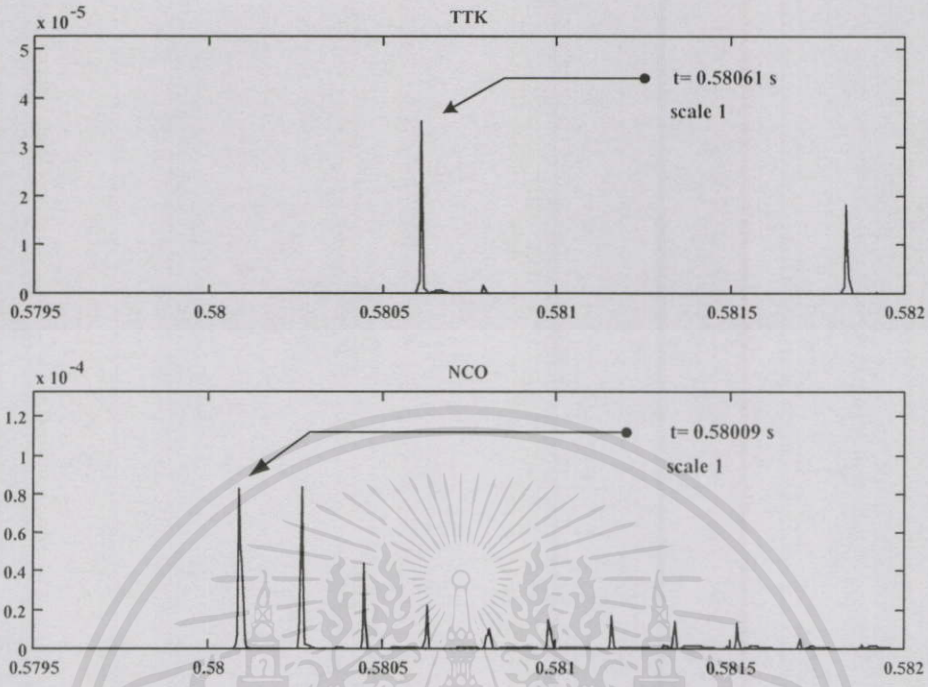
t_{NCO} = 0.58009 วินาที

v = 297322 กิโลเมตร/วินาที

$$d = \frac{(207.6 - 297322 \times (0.58009 - 0.58061))}{2} \quad (7.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d = 181.104 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.146 กิโลเมตร)



รูปที่ 7.20 แสดงเวลาที่พบยอดคลื่นแรกในสเกลที่ 1 ของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแส

เมื่อ L = 207.6 กิโลเมตร (เกิดจริงที่ 181.25 กิโลเมตร)

t_{TTK} = 0.58061 วินาที

t_{NCO} = 0.58009 วินาที

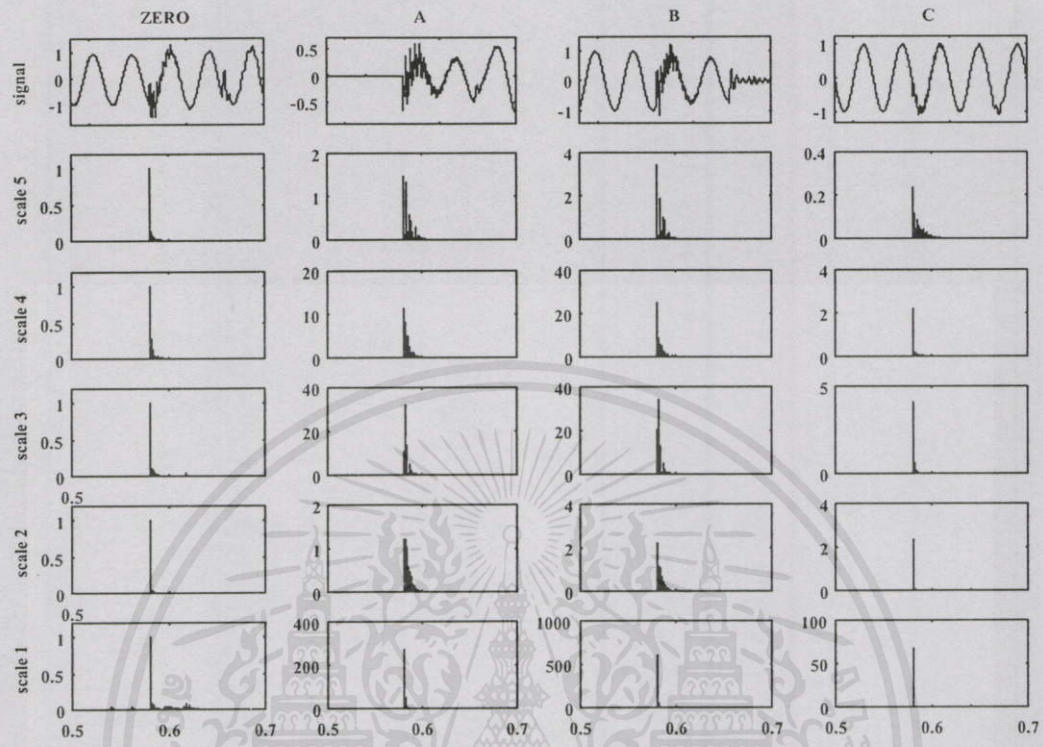
v = 297322 กิโลเมตร/วินาที

$$d = \frac{(207.6 - 297322 \times (0.58009 - 0.58061))}{2} \tag{7.4}$$

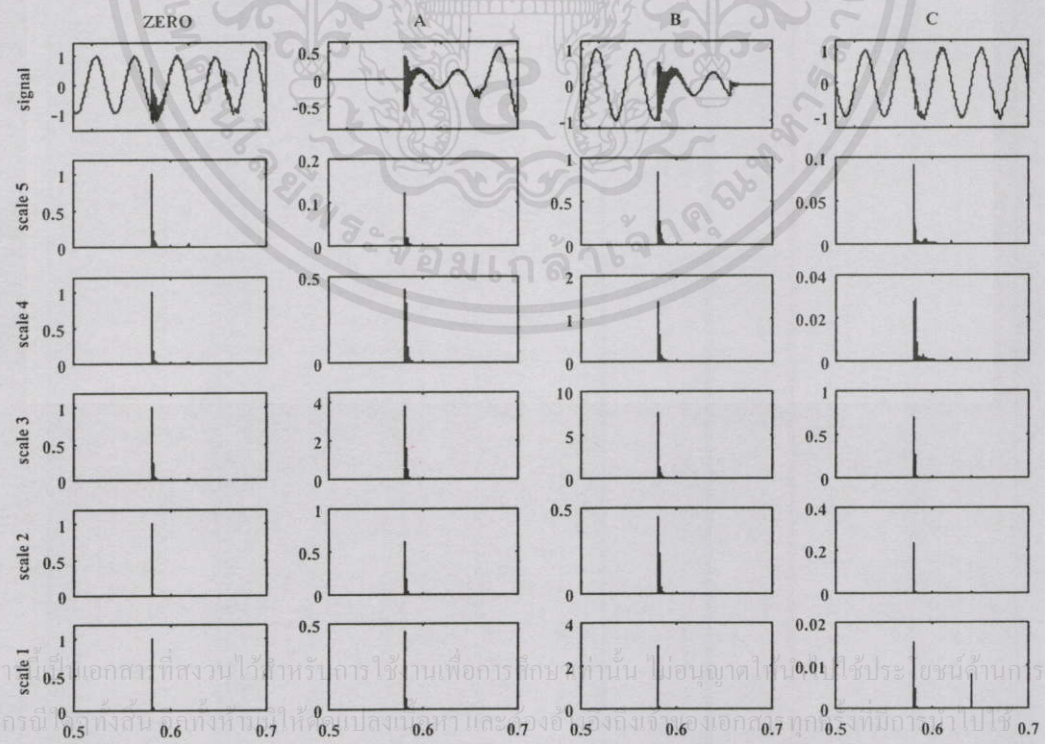
$d = 181.104$ กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.146 กิโลเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.5.3 การระบุประเภทของฟอลต์ช่วงที่ 2

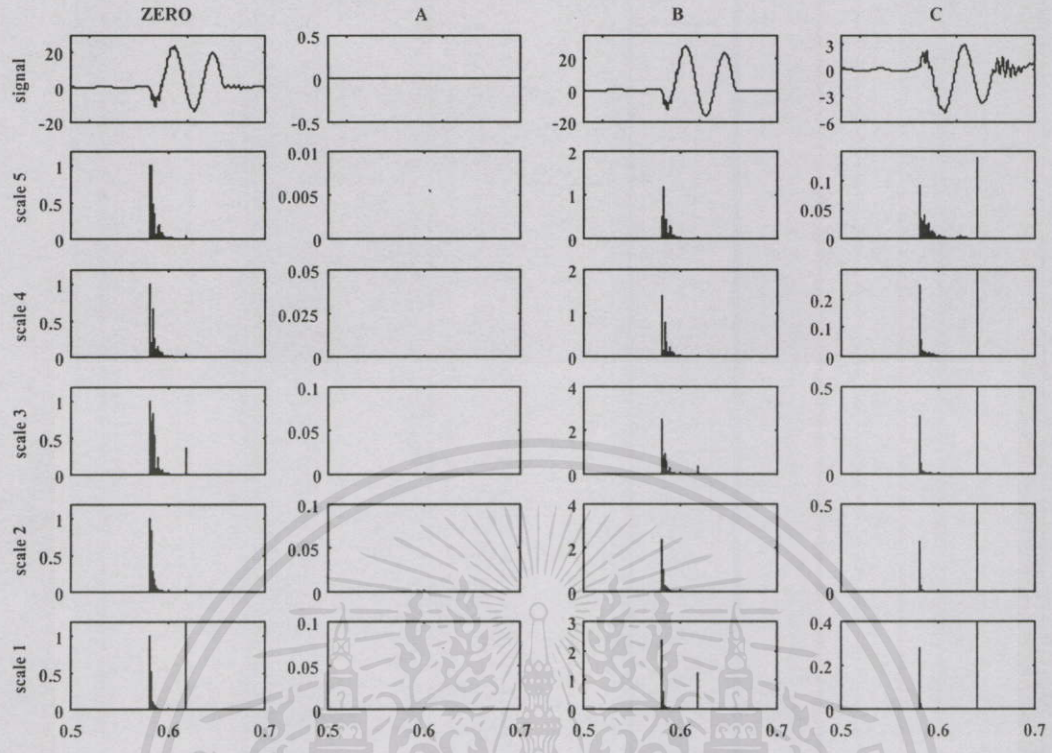


รูปที่ 7.21 แสดงการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดันที่ปลายด้าน TTK

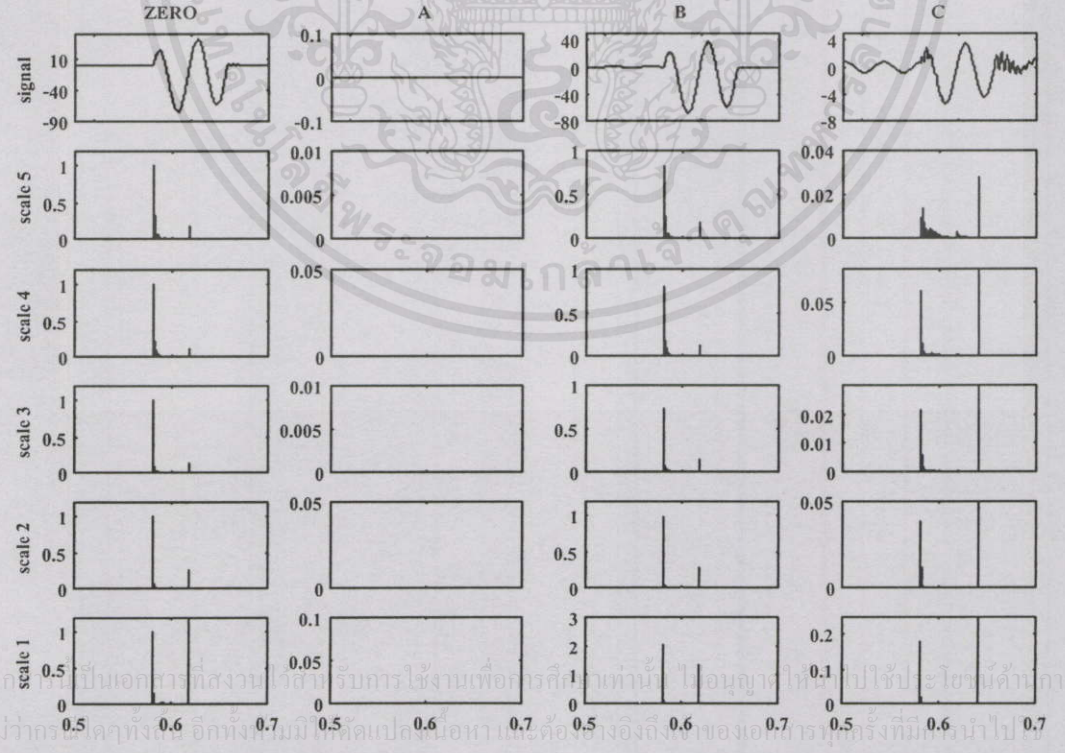


รูปที่ 7.22 แสดงการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแรงดันที่ปลายด้าน NCO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.23 แสดงการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแสที่ปลายด้าน TTK



รูปที่ 7.24 แสดงการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแสที่ปลายด้าน NCO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 7.21 - 7.24 สามารถสรุปการระบุประเภทของฟอลต์ได้ดังนี้

เมื่อวิเคราะห์จากแรงดันช่วงที่ 2 (ฟอลต์ที่ตำแหน่ง 181.104 กิโลเมตร จากปลาย TTK)

สเกลที่	TTK	NCO
5	ABG	BG
4	AB	ABG
3	AB	ABG
2	ABC	ABG
1	ABC	ABG
สรุปแต่ละด้าน	AB	ABG
สรุปทั้ง 2 ด้าน	**ABG**	

เมื่อวิเคราะห์จากกระแสช่วงที่ 2 (ฟอลต์ที่ตำแหน่ง 181.104 กิโลเมตร จากปลาย TTK)

สเกลที่	TTK	NCO
5	BG	BG
4	BG	BG
3	BG	BG
2	BG	BG
1	BG	BG
สรุปแต่ละด้าน	BG	BG
สรุปทั้ง 2 ด้าน	**BG**	

สรุปผลการวิเคราะห์เหตุการณ์ในช่วงที่ 2

1. สามารถตรวจจับฟอลต์ได้ทั้งจากแรงดันและกระแสในทุกสเกล

2.คำนวณตำแหน่งฟอลต์จากแรงดันและกระแสได้ที่ระยะทาง 181.104 กิโลเมตร เมื่อวัดจากปลายด้าน TTK ซึ่งคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริง 0.146 กิโลเมตร

3. ประเภทของฟอลต์ที่ถูกระบุจากแรงดันคือ ABG และจากกระแสคือ BG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการศึกษาที่ได้จากกรณีศึกษาที่ 1 ทั้ง 2 ช่วงเหตุการณ์นั้นได้แสดงความเป็นไปได้ในการนำวิธีการที่นำเสนอมาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติได้มากยิ่งขึ้น ถึงแม้ว่าฟอลต์ที่เกิดขึ้นจะมีรูปแบบที่แตกต่างและความซับซ้อนมากขึ้นก็ตาม

7.3 กรณีศึกษาที่ 2

กรณีที่ 2 เป็นเหตุการณ์ของฟอลต์ในสายส่งวงจรคู่ (Double circuit) ระบบ 230 kV ระหว่างสถานีไฟฟ้าบ้านโป่ง-2 (BP2) กับสถานีไฟฟ้าไทรน้อย(SNO) เมื่อวันที่ 3 มีนาคม 2538 เวลา 5.12 น. ซึ่งเหตุการณ์นี้ทำให้เกิดไฟดับเป็นบริเวณกว้าง โดยมีรายละเอียดของเหตุการณ์ดังนี้

7.3.1 ลำดับของเหตุการณ์ [32]

7.3.1.1 สายส่งวงจรที่ 1 เมื่อเวลา 5.12 น. ได้เกิดฟอลต์ที่เฟส B ลงดิน Directional OCG Carrier relay ที่สถานีไฟฟ้าบ้านโป่ง-2 และ Distance relay โซนที่ 1 ที่สถานีไทรน้อยทำงานโดยสั่งปลดเบรคเกอร์ของสายส่งวงจร 1 เพื่อกำจัดฟอลต์หลังจากเกิดฟอลต์ด้วยเวลา 0.08 และ 0.05 วินาที ตามลำดับ หลังจากนั้นประมาณ 0.4 วินาทีระบบ Auto reclose ที่สถานีไฟฟ้าบ้านโป่ง-2 สั่งปิดเบรคเกอร์ (วงจร 1) และชาร์จไลน์สำเร็จ แต่จากนั้นประมาณ 2 วินาทีได้เกิดฟอลต์ที่เฟส B อีกครั้งจึงทำให้ Directional OCG Carrier relay ที่สถานีไฟฟ้าบ้านโป่ง-2 สั่งปลดวงจร 1 ออกหลังจากเกิดฟอลต์ด้วยเวลา 0.09 วินาที อีกครั้งหนึ่ง

7.3.1.2 สายส่งวงจรที่ 2 ได้เกิดฟอลต์ที่เฟส A ลงดิน โดยฟอลต์ดังกล่าวเกิดขึ้นหลังจากที่ได้เกิดฟอลต์ครั้งแรกบนสายส่งวงจร 1ประมาณ 0.4 วินาที Directional OCG Carrier relay ที่สถานีไฟฟ้าบ้านโป่ง-2 และ Distance relay โซนที่ 1 ที่สถานีไทรน้อยทำงานโดยสั่งปลดเบรคเกอร์ของสายส่งวงจร 2 เพื่อกำจัดฟอลต์หลังจากเกิดฟอลต์ด้วยเวลา 0.1 และ 0.05 วินาทีตามลำดับหลังจากนั้นประมาณ 0.4 วินาทีระบบ Auto reclose ที่สถานีไฟฟ้าบ้านโป่ง-2 สั่งปิดเบรคเกอร์ (วงจร 2) และชาร์จไลน์สำเร็จ

จากทั้งเหตุการณ์ของทั้ง 2 วงจรพบจะไม่มีการสั่งปิดวงจรด้วยระบบ Auto reclose เนื่องจากการสั่งปิดวงจรดังกล่าวนั้นต้องผ่าน Synchro-check relay ซึ่งได้ตั้งค่าไว้ให้ทำงาน เมื่อค่าแรงดันแตกต่างกันน้อยกว่า 20% ค่ามุมแตกต่างกันน้อยกว่า 25 องศา และค่า Slip frequency ของระบบแตกต่างกันน้อยกว่า 0.125 Hz การปลดวงจรของสายส่ง 230 kV BP2-SNO ซึ่งมีพลังงานไหลอยู่ประมาณ 750 MW ทั้ง 2 วงจรนี้ทำให้เกิดการไหลเกินพิกัด (Over flow) ในสายส่งวงจรอื่นๆ ส่งผลให้เกิดการปลดวงจรตามมาอย่างต่อเนื่องจึงทำให้มีไฟดับเป็นบริเวณกว้าง ซึ่งสามารถสรุปข้อมูลของทั้งหมดของเหตุการณ์ได้ดังนี้

สายส่ง 230 kV บ้านโป่ง 2 –ไทรน้อย วงจรที่ 1 ถูกปลดวงจรทั้ง 2 ด้าน ด้วยรีเลย์

สถานีไฟฟ้าบ้านโป่ง 2 ปลดด้วย Directional OCG Carrier relay และ Recloser relay ทำงาน 1 ครั้งแตะสับไม่ติด (Lock out)

สถานีไฟฟ้าไทรน้อย ปลดด้วย Distance relay เฟส B ลงดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายส่ง 230 kV บ้านโป่ง 2 –ไทรน้อย วงจรที่ 1 ถูกปลดวงจรทั้ง 2 ด้าน ด้วยรีเลย์

สถานีไฟฟ้าบ้านโป่ง 2 ปลดด้วย Directional OCG Carrier relay และ Recloser relay ทำงานสับติดด้านเดียว

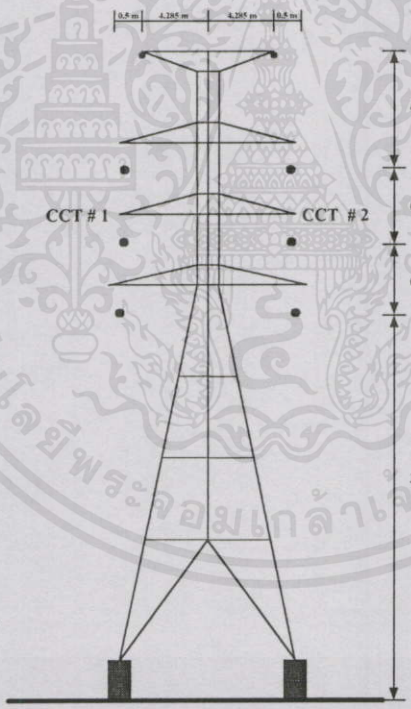
สถานีไฟฟ้าไทรน้อย ปลดด้วย Distance relay เฟส A ลงดิน

สาเหตุ

จากการตรวจสอบพบว่าที่เสาต้นที่ T 48/2 ,T48/3 ในสายส่ง 230 kV บ้านโป่ง 2-ไทรน้อย วงจร 1,2 ลูกถ้วยมีรอย Flash over ที่เฟส A และ B

7.3.2 โครงสร้างของระบบในการศึกษา [33]

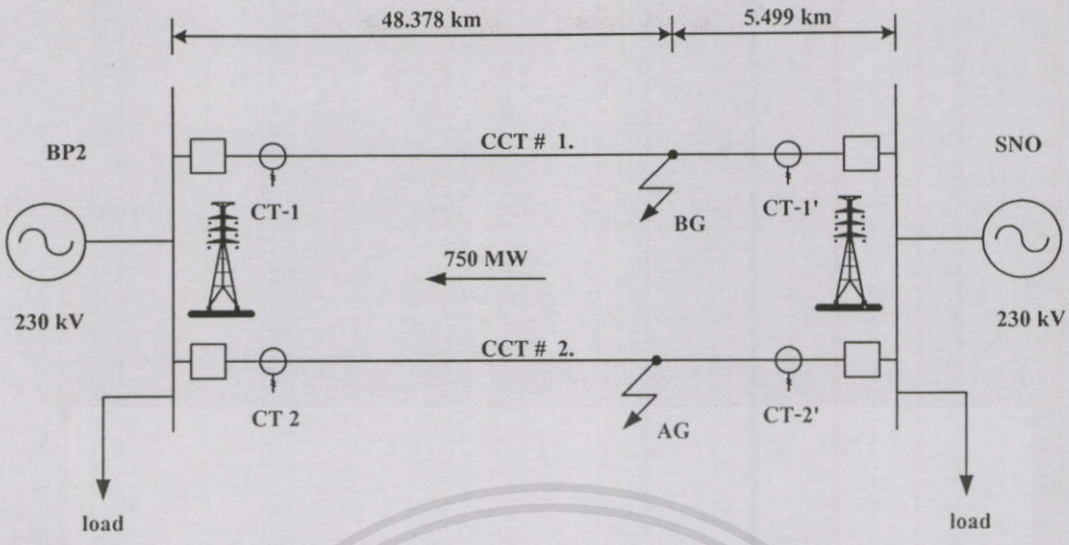
1. สายส่งวงจรคู่ความยาว 53.877 กิโลเมตร โดยกำหนดให้เกิดฟอลต์ให้เกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 48.378 กิโลเมตร จากสถานีบ้านโป่ง 2 โดยกำหนดให้เป็นสายส่งที่มีการไข้วสลับสายแบบสมบูรณ์



รูปที่ 7.25 แสดงเสาส่งในระบบ 230 kV ที่ใช้ในการศึกษากรณีที่ 2

2. ตัวนำเป็นแบบ 1272 MCM ,ACSR (Al 42/ St 7)
3. สายล่อฟ้าแบบ 3/8 inch, EHS GALV (St7)
4. แรงดันของระบบ 230 kV
5. ขนาดโหลด 750 MW
6. ระบบการปลดวงจรเป็นแบบ 3 โพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



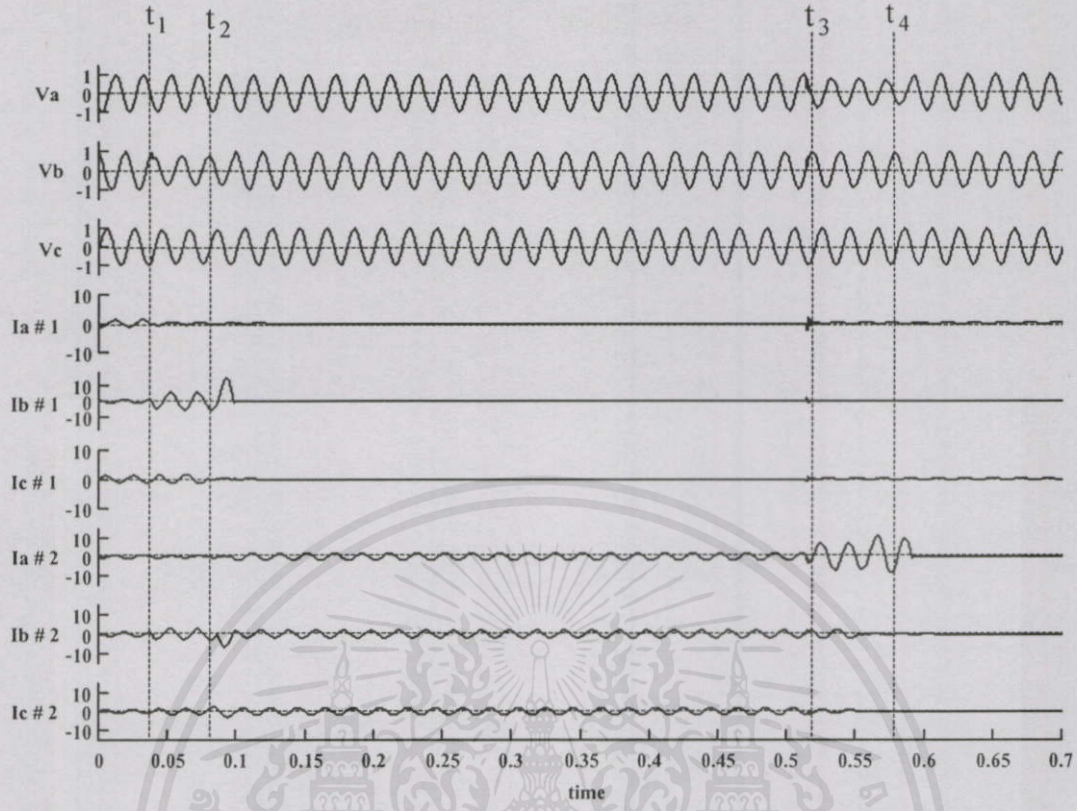
รูปที่ 7.26 แสดงวันไลน์ของระบบที่ทำการศึกษาในกรณีที่ 2

การจำลองเหตุการณ์ของฟอลต์ในกรณีศึกษาที่ 2 นั้นมีรูปแบบเหมือนกับกรณีศึกษาที่ 1 แต่เปลี่ยนแบบจำลองสายส่งมาเป็นสายส่งวงจรคู่ ซึ่งลักษณะของเหตุการณ์ฟอลต์ที่เกิดขึ้นในช่วงที่ 1 และ 2 มีรูปแบบที่คล้ายกันรวมทั้งวิธีการวิเคราะห์ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการวิเคราะห์ในวงจร 3 เฟสวงจรเดี่ยวใดๆ ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์เหตุการณ์เฉพาะกระแสของช่วงที่ 1 โดยแยกการวิเคราะห์ออกเป็น 2 วงจร และเนื่องจากโครงสร้างของสายส่งที่เปลี่ยนไปทำให้ต้องคำนวณความเร็วของคลื่นเดินทางในแต่ละช่วงความถี่ดังแสดงในตารางที่ 7.2 และเมตริกซ์การแปลงนั้นยังคงใช้เมตริกซ์การแปลงของคาร์กเนื่องจากเป็นสายส่งที่มีการไขว้สลับสายแบบสมบูรณ์

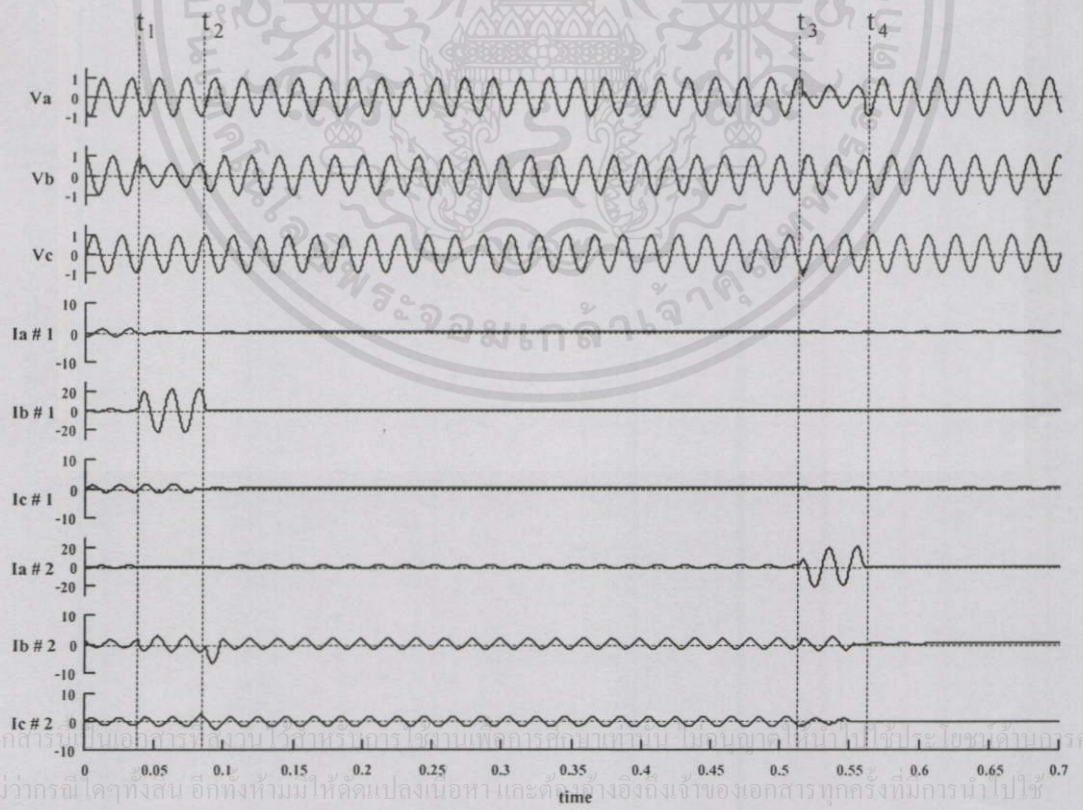
ตารางที่ 7.2 แสดงความเร็วเฉลี่ยของคลื่นเดินทางในแต่ละช่วงความถี่ของกรณีศึกษาที่ 2

เวฟเล็ตสเกลที่	ความถี่ (kHz)	ความเร็วเฉลี่ km/s
1	50 - 100	297213
2	25 - 50	296988
3	12.5 - 25	296748
4	6.25 - 12.5	296464
5	3.125 - 6.25	296411

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.27 แสดงสัญญาณกระแสและแรงดันเมื่อพิจารณาที่ปลายด้าน BP2 ของวงจรที่ 1 และ 2

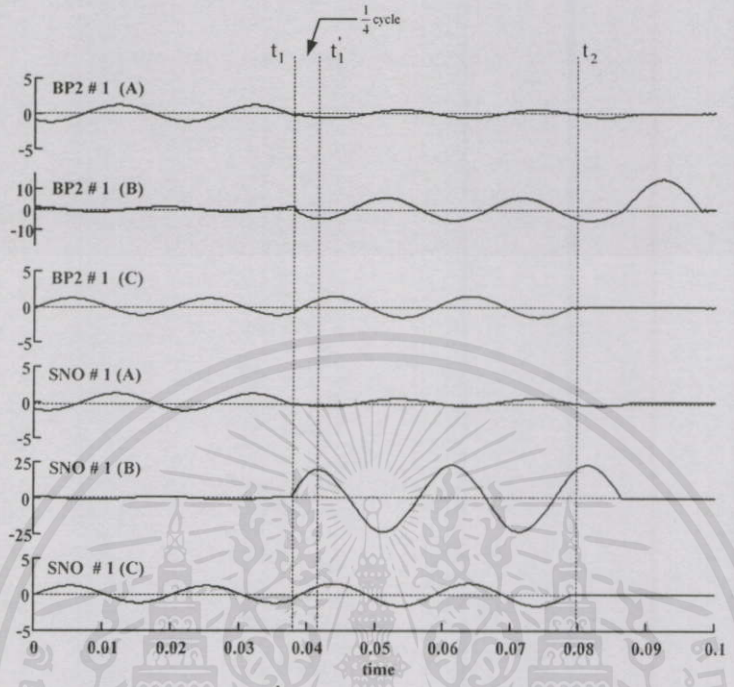


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.28 แสดงสัญญาณกระแสและแรงดันเมื่อพิจารณาที่ปลายด้าน SNO ของวงจรที่ 1 และ 2

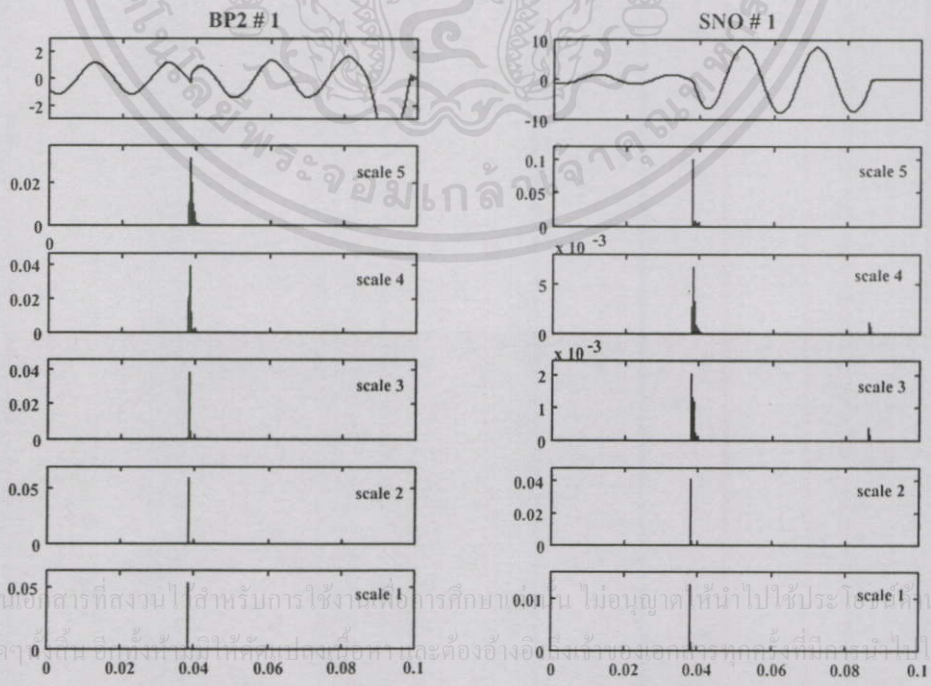
7.3.3 การวิเคราะห์เหตุการณ์ในวงจรที่ 1 (BP2 #1 – SNO #1)

เมื่อพิจารณาสัญญาณฟอลต์ในวงจรที่ 1 ซึ่งเป็นฟอลต์ที่เฟส B ลงดิน ที่ระยะทาง 48.378 กิโลเมตรจากปลายด้าน BP2 ซึ่งสามารถแสดงการวิเคราะห์เหตุการณ์ได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 7.29 แสดงกระแสฟอลต์ของวงจรที่ 1 (BP2 # 1 – SNO # 1)

7.3.3.1 การตรวจจับฟอลต์ในสายส่งวงจรที่ 1

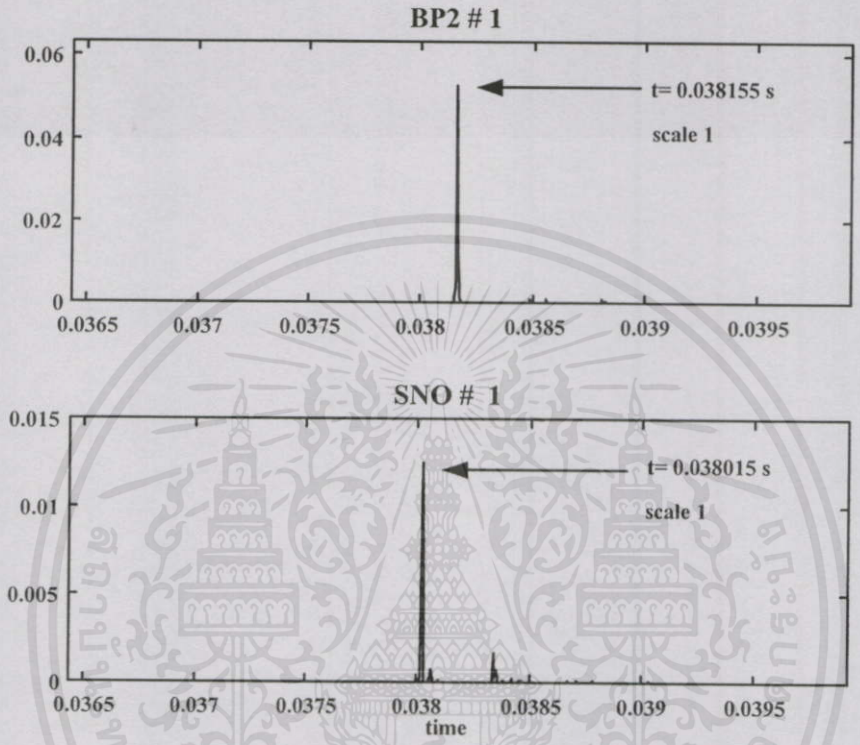


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.30 แสดงการตรวจจับฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกที่ปลายทั้ง 2 ด้าน

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 7.30 ตามเกณฑ์ในการตรวจจับฟอลต์พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์มากกว่า 5 เท่าเมื่อเทียบกับสภาวะปกติในทุกสเกล และลักษณะดังกล่าวนี้ปรากฏที่ปลายทั้ง 2 ด้าน ดังจึงสามารถสรุปได้ว่ามีฟอลต์เกิดขึ้นในสายส่งวงจรที่ 1

7.3.3.2 การหาตำแหน่งฟอลต์ในสายส่งวงจรที่ 1



รูปที่ 7.31 แสดงการหาตำแหน่งฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกที่ปลายทั้ง 2 ด้าน

เมื่อ L = 53.877 กิโลเมตร (เกิดจริงที่ 48.378 กิโลเมตร)

t_{BP2} = 0.038155 วินาที

t_{SNO} = 0.038015 วินาที

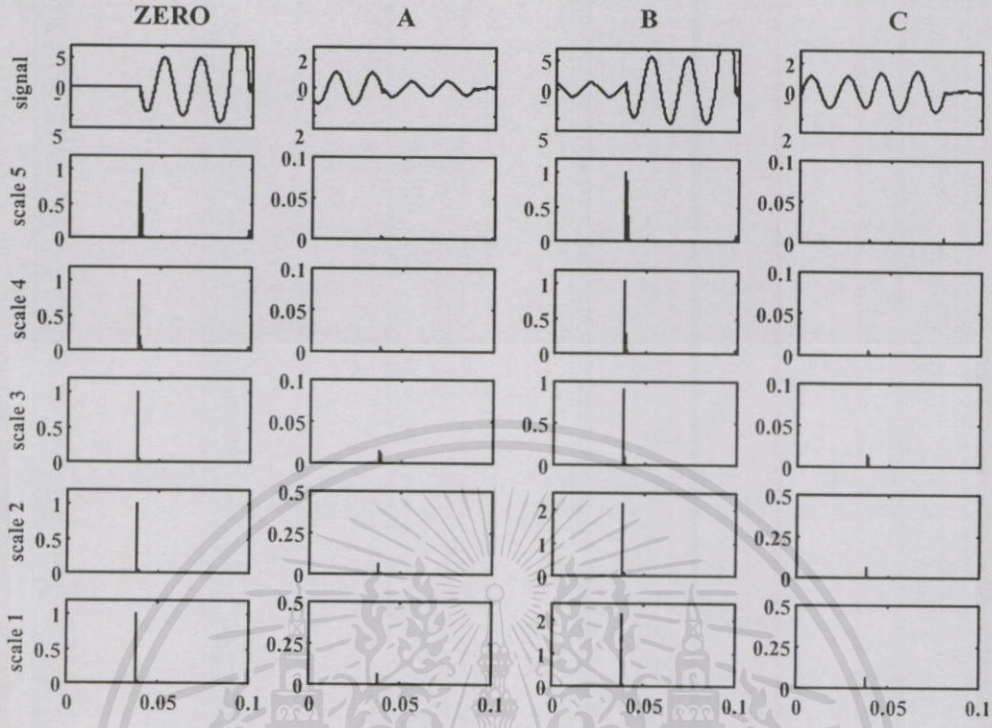
v = 297213 กิโลเมตร/วินาที

$$d = \frac{(53.877 - 297213 \times (0.038015 - 0.038155))}{2} \qquad (7.5)$$

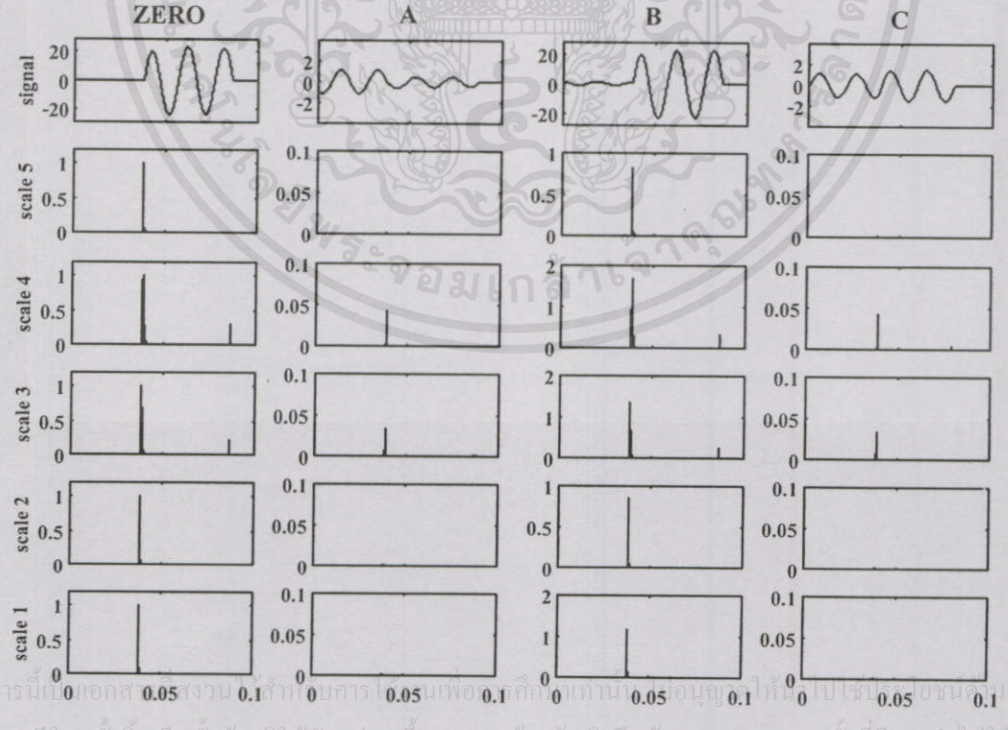
$d = 47.743$ กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.635 กิโลเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.3.3 การระบุประเภทของฟอลต์ในสายส่งวงจรที่ 1



รูปที่ 7.32 แสดงการระบุประเภทของฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกที่ปลายด้าน BP2 # 1



รูปที่ 7.33 แสดงการระบุประเภทของฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกที่ปลายด้าน SNO # 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง ทำซ้ำ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 7.32 - 7.33 สามารถสรุปการระบุประเภทของฟอลต์ได้ดังนี้

เมื่อวิเคราะห์จากกระแสของวงจรที่ 1 (ฟอลต์ที่ตำแหน่ง 47.743 กิโลเมตร จากปลาย BP2)

สเกลที่	BP2 #1	SNO # 1
5	BG	BG
4	BG	BG
3	BG	BG
2	BG	BG
1	BG	BG
สรุปแต่ละด้าน	BG	BG
สรุปทั้ง 2 ด้าน	**BG**	

สรุปผลการวิเคราะห์เหตุการณ์ของวงจรที่ 1

1. สามารถตรวจจับฟอลต์ได้ทั้งจากแรงดันและกระแสในทุกสเกล

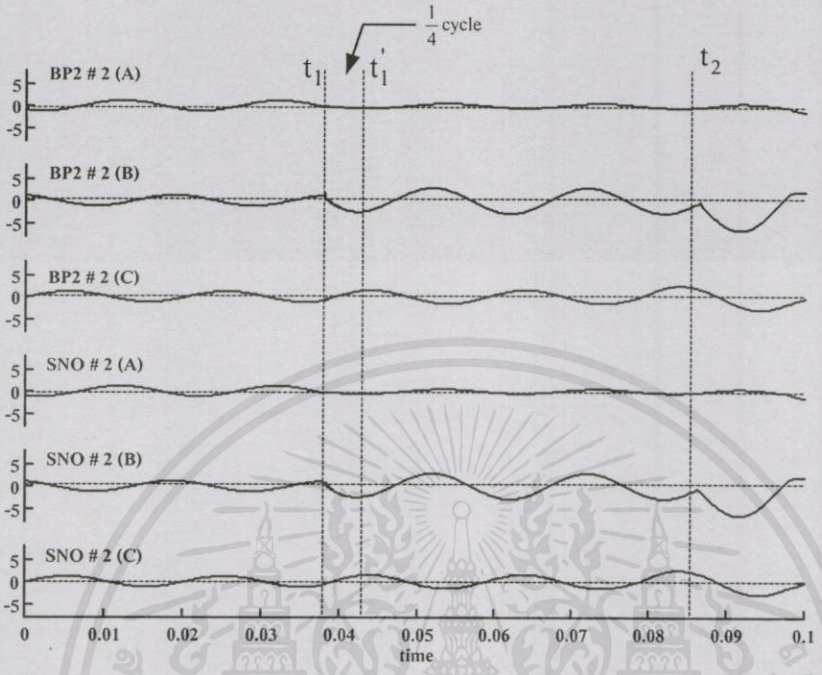
2.คำนวณตำแหน่งฟอลต์จากแรงดันและกระแสได้ที่ระยะทาง 47.743 กิโลเมตร เมื่อวัดจากปลายด้าน BP ซึ่งคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริง 0.635 กิโลเมตร

3. ประเภทของฟอลต์ที่ถูกระบุจากกระแสคือ BG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

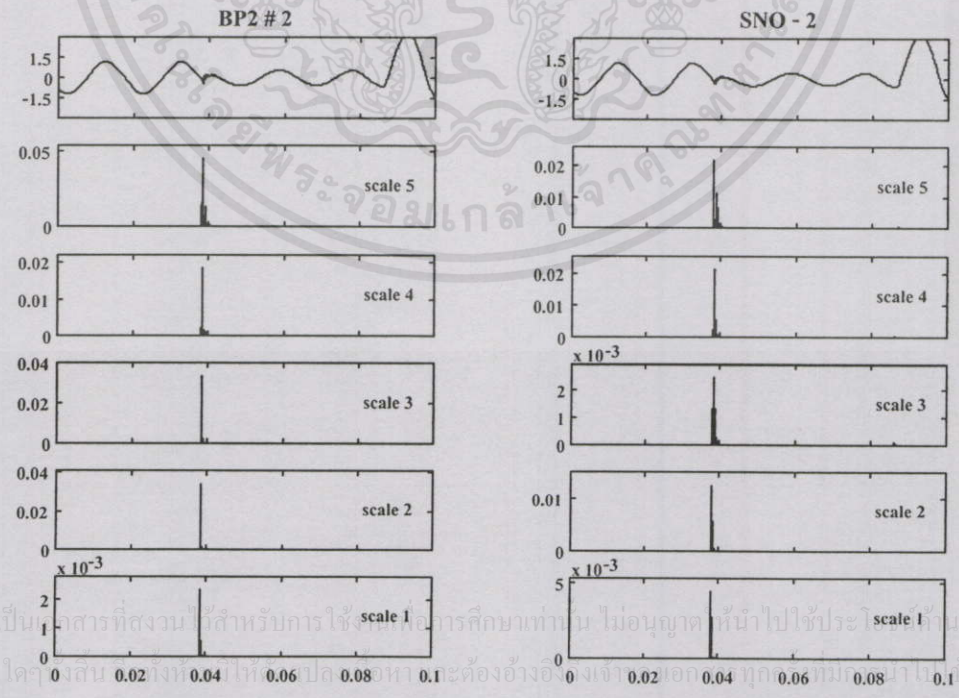
7.3.4 การวิเคราะห์เหตุการณ์ในวงจรที่ 2 (BP2 #2 – SNO #2)

สายส่งวงจรที่ 2 เป็นสายส่งที่จ่ายโหลดขนานกับสายส่งจงจรที่ 1 แต่ไม่มีส่วนที่เกี่ยวข้องกับฟอลต์ที่เกิดขึ้นโดยสามารถแสดงผลการวิเคราะห์สัญญาณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ดังนี้



รูปที่ 7.34 แสดงกระแสฟอลต์ของวงจรที่ 2 (BP2 # 2 – SNO # 2)

7.3.4.1 การตรวจจับฟอลต์ในสายส่งวงจรที่ 2

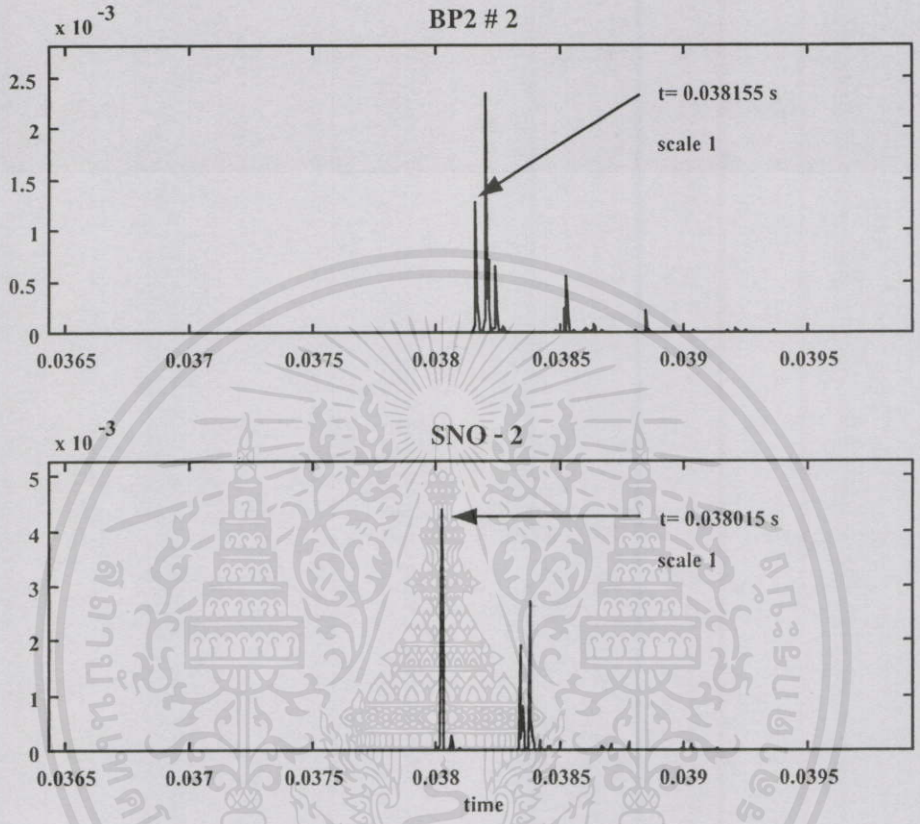


รูปที่ 7.35 แสดงการตรวจจับฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกที่ปลายทั้ง 2 ด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 7.35 ตามเกณฑ์ในการตรวจจับฟอลต์พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์มากกว่า 5 เท่าเมื่อเทียบกับสภาวะปกติในทุกสเกล และลักษณะดังกล่าวนี้ปรากฏที่ปลายทั้ง 2 ด้าน ดังจึงสามารถสรุปได้ว่ามีฟอลต์เกิดขึ้นในสายส่งวงจรที่ 2

7.3.4.2 การหาตำแหน่งฟอลต์ในสายส่งวงจรที่ 2



รูปที่ 7.36 แสดงการหาตำแหน่งฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกที่ปลายทั้ง 2 ด้าน

เมื่อ L = 53.877 กิโลเมตร (เกิดจริงที่ 48.378 กิโลเมตร)

t_{BP2} = 0.038155 วินาที

t_{SNO} = 0.038015 วินาที

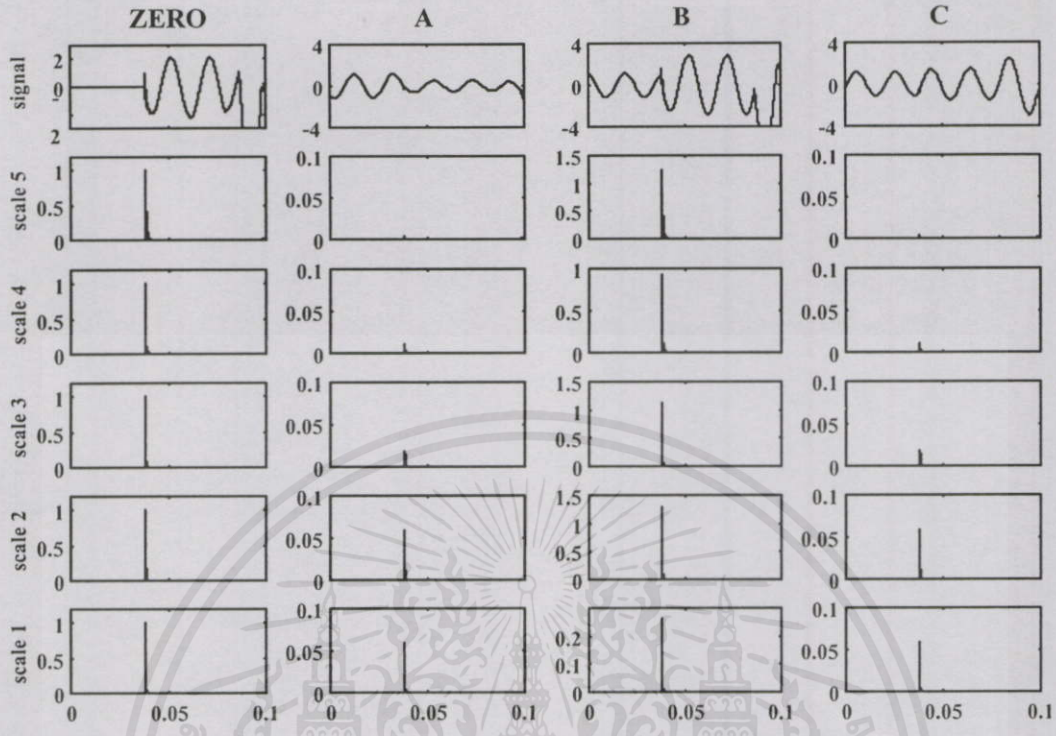
v = 297213 กิโลเมตร/วินาที

$$d = \frac{(53.877 - 297213 \times (0.038015 - 0.038155))}{2} \qquad (7.6)$$

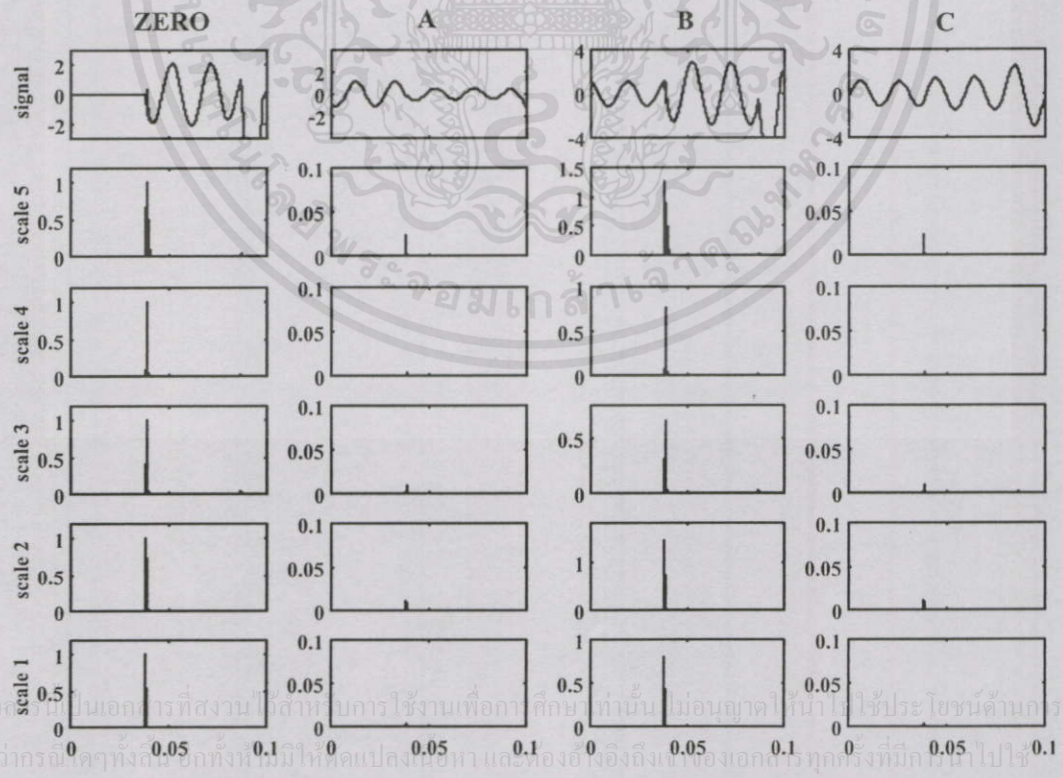
d = 47.743 กิโลเมตร (คลาดเคลื่อน 0.635 กิโลเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.4.3 การระบุประเภทฟอลต์ในสายส่งวงจรที่ 2



รูปที่ 7.37 แสดงการระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกที่ปลายด้าน BP2 # 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.38 แสดงการระบุประเภทฟอลต์ด้วยกระแสลำดับบวกที่ปลายด้าน SNO # 2

จากรูปที่ 7.37 - 7.38 สามารถสรุปการระบุประเภทของฟอลต์ได้ดังนี้

เมื่อวิเคราะห์จากกระแสของวงจรที่ 2 (ฟอลต์ที่ตำแหน่ง 47.743 กิโลเมตร จากปลาย BP2)

สเกลที่	BP2 #2	SNO # 2
5	BG	BG
4	BG	BG
3	BG	BG
2	BG	BG
1	BG	BG
สรุปแต่ละด้าน	BG	BG
สรุปทั้ง 2 ด้าน	**BG**	

สรุปผลการวิเคราะห์เหตุการณ์ของวงจรที่ 2

1. สามารถตรวจจับฟอลต์ได้ทั้งจากแรงดันและกระแสในทุกสเกล

2.คำนวณตำแหน่งฟอลต์จากแรงดันและกระแสได้ที่ระยะทาง 47.743 กิโลเมตร เมื่อวัดจากปลายด้าน BP2 ซึ่งคลาดเคลื่อนจากระยะจริง 0.635 กิโลเมตร

3. ประเภทของฟอลต์ที่ถูกระบุจากกระแสคือ BG

จากการวิเคราะห์ผลของสัญญาณฟอลต์ที่มีต่อสายส่งทั้ง 2 วงจรพบว่า ในกรณีของวงจรที่ 1 ซึ่งเป็นวงจรที่เกิดฟอลต์ขึ้นจริงนั้นเมื่อวิเคราะห์ตามวิธีการที่นำเสนอสามารถวิเคราะห์ผลได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ที่เกิดในสายส่งวงจรคู่ได้ ส่วนในกรณีของสายส่งวงจรที่ 2 พบว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้เหมือนกับผลการวิเคราะห์จากสายส่งวงจรที่ 1 ซึ่งไม่ถูกต้องเพราะความเป็นจริงแล้ววงจรที่ 2 ไม่มีฟอลต์เกิดขึ้น แต่สัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงในวงจรที่ 2 นั้นเกิดขึ้นจากสัญญาณฟอลต์จากวงจรที่ 1 ที่เดินทางมาถึงปลายทั้ง 2 ด้านของสายส่ง และเนื่องจากปลายแต่ละด้านของวงจรที่ 1 และวงจรที่ 2 ได้ต่ออยู่บนบัสเดียวกันจึงทำสามารถตรวจจับสัญญาณฟอลต์ดังกล่าวได้ทั้ง 2 วงจร จากความผิดผลาดที่เกิดขึ้นนี้เป็นสิ่งที่ควรได้รับการแก้ไขและปรับปรุงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากรูปแบบการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ด้วยการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย และนำผลที่ได้มาประมวลผลตามขั้นตอนที่ได้นำเสนอมาแล้วนั้นสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. รูปแบบการวิเคราะห์อาศัยการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่สูงที่อยู่ในสัญญาณฟอลต์ ซึ่งองค์ประกอบความถี่สูงนี้ถูกแยกออกมาด้วยการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย โดยใช้เวฟเล็ตแม่แบบ Daubechies 4 (db4) ในการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ โดยทำการแยกองค์ประกอบความถี่สูงออกมาในสเกลที่ 1-5 หรือช่วงความถี่ต่อไปนี้

สเกลที่ 1 แสดงสัญญาณที่มีความถี่ในช่วง 50-100 kHz
สเกลที่ 2 แสดงสัญญาณที่มีความถี่ในช่วง 25-50 kHz
สเกลที่ 3 แสดงสัญญาณที่มีความถี่ในช่วง 12.5-25 kHz
สเกลที่ 4 แสดงสัญญาณที่มีความถี่ในช่วง 12.5-6.25 kHz
สเกลที่ 5 แสดงสัญญาณที่มีความถี่ในช่วง 6.25-3.125 kHz

และผลการวิเคราะห์ที่ได้นั้นถูกนำมาประมวลผลเพื่อใช้ในการตรวจจับฟอลต์ , การหาตำแหน่งของฟอลต์ และการระบุประเภทของฟอลต์ที่เกิดขึ้นบนสายส่ง

2. สัญญาณฟอลต์ที่ใช้ในการศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้ได้มาจากการจำลองด้วยโปรแกรม ATP/EMTP ซึ่งอาศัยแบบจำลองสายส่งวงจรเดี่ยวระหว่างโรงไฟฟ้าแม่เมาะ (MM-3)ถึงสถานีไฟฟ้าท่าตะโก(TTK) และจากสถานีไฟฟ้าท่าตะโก(TTK) ถึงสถานีไฟฟ้าหนองจอก (NCO) เป็นแบบสายส่งที่ใช้ในการศึกษา โดยทำการจำลองด้วยการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อศึกษาลักษณะของฟอลต์ในหลายรูปแบบที่อัตราการสุ่ม 200 kHz

3. รูปแบบการวิเคราะห์เพื่อตัดสินในการตรวจจับ, การหาตำแหน่ง, และการระบุประเภทของฟอลต์นั้นทำได้โดยเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยในช่วง ¼ ไซเคิลหลังจากเกิดฟอลต์ โดยเป็นการเปรียบเทียบข้อมูลดังต่อไปนี้

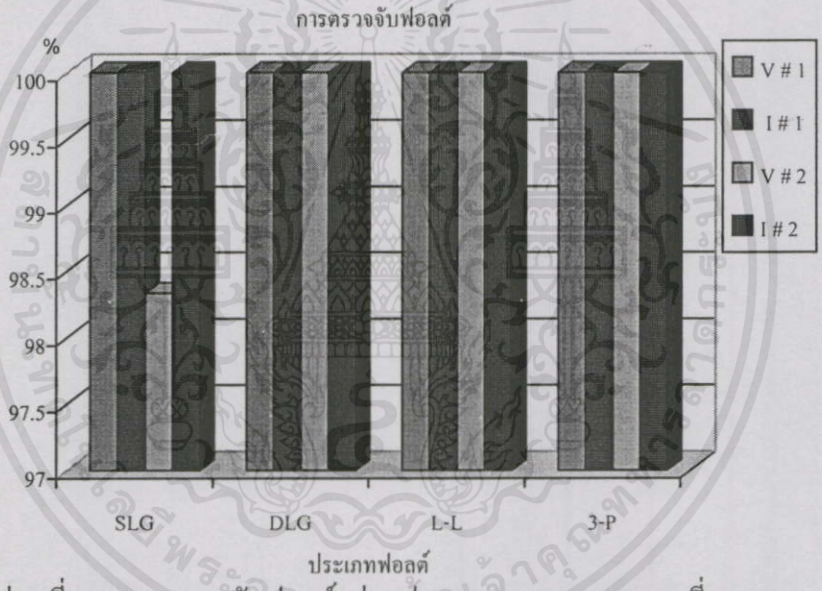
- การเปลี่ยนแปลงขนาดของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตขององค์ประกอบลำดับบวกระหว่างก่อนและหลังเกิดฟอลต์เพื่อใช้สำหรับตรวจจับฟอลต์
- การเปรียบเทียบข้อมูลทางเวลาที่เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ที่ปลายทั้ง 2 ด้านของสายส่งเพื่อใช้คำนวณหาตำแหน่งของฟอลต์ที่ตรวจจับได้
- การเปรียบเทียบค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์ระหว่างเฟส A, B และ C กับองค์ประกอบลำดับศูนย์ เพื่อใช้สำหรับการระบุประเภทของฟอลต์

เอกสารนี้เป็นการ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ... ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

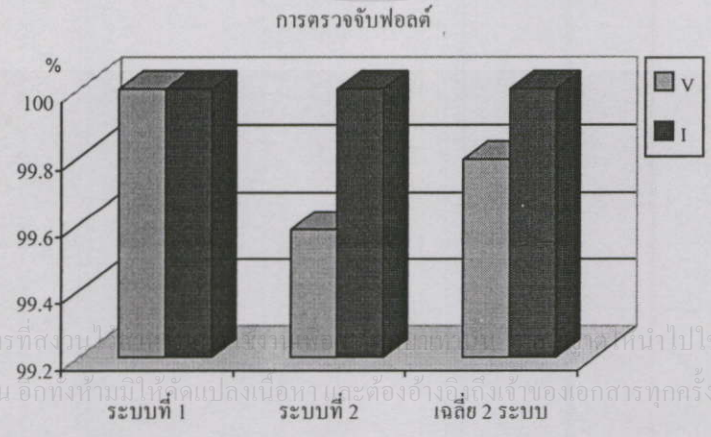
โดยทำการเปรียบเทียบในสเกลที่ 1-5 และเป็นการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ปลายสายส่งทั้ง 2 ด้าน และสร้างโปรแกรมวิเคราะห์และตัดสินใจบนโปรแกรม MATLAB นอกจากนี้ยังมีการพิจารณาลักษณะโครงสร้างของสายส่งเพื่อนำมาใช้ในการกำหนดค่าความเร็วการเดินทางของคลื่นและเมตริกซ์การแปลงในแต่ละช่วงความถี่ด้วย

4. การทดลองวิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการทดลองวิธีการด้วยการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ที่ได้จากระบบการทดลอง 2 ระบบคือระบบทดลองที่ 1 ความยาว 325 กิโลเมตรซึ่งสายส่งมีการไข้วสลับสายแบบสมบูรณ์ และระบบทดลองที่ 2 ความยาว 40 กิโลเมตร ซึ่งสายส่งไม่มีการไขว้สลับสาย นอกจากนี้ยังทำทดลองเพื่อศึกษาการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ที่ได้จากการจำลองโดยอ้างอิงจากเหตุการณ์ฟอลต์ที่เกิดขึ้นจริงมาเป็นกรณีศึกษา 2 กรณีด้วยกัน ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

4.1 การตรวจจับฟอลต์



รูปที่ 8.1 แสดงค่าเฉลี่ยของการตรวจจับฟอลต์แต่ละประเภทของระบบทดลองที่ 1 และ 2



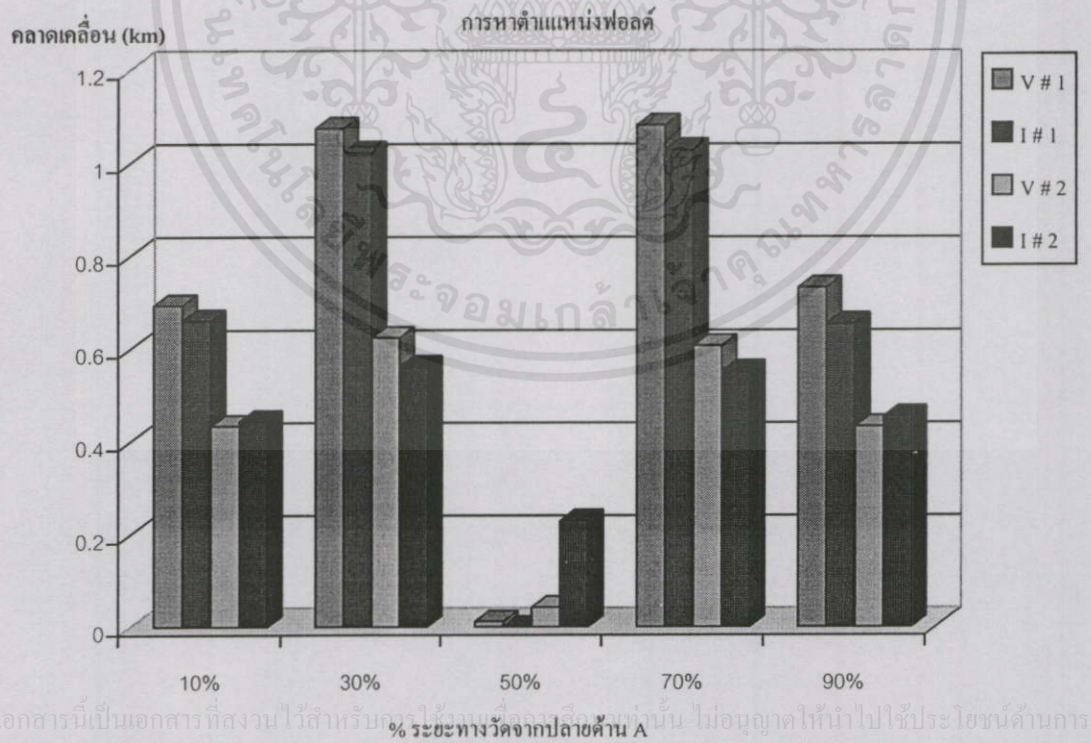
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 8.2 แสดงค่าเฉลี่ยของการตรวจจับฟอลต์ด้วยแรงดันและกระแส

ผลการตรวจจับฟอลต์ตามวิธีการที่ได้นำเสนอนั้นสามารถตรวจจับฟอลต์ทุกประเภทโดยเฉลี่ยได้ถูกต้องมากกว่า 98 % ตามรูปที่ 8.1 และมีบางกรณีของระบบทดลองที่ 2 ซึ่งเกิดฟอลต์เฟสเดียวลงดินที่ไม่สามารถตรวจจับฟอลต์จากการวิเคราะห์ด้วยแรงดันได้ จากการตรวจสอบพบว่าเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่ซึ่งต่ำกว่าขอบเขตที่กำหนดไว้ถึงแม้จะมีฟอลต์เกิดขึ้นจริง และถ้าพิจารณาความสามารถในการตรวจจับฟอลต์ของเมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่สูงจากกระแสและแรงดันพบว่าในระบบทดลองที่ 1 จะให้ผลที่เท่ากัน แต่ในระบบทดลองที่ 2 การวิเคราะห์ด้วยกระแสจะความถูกต้องที่ดีกว่าดังแสดงในรูปที่ 8.2

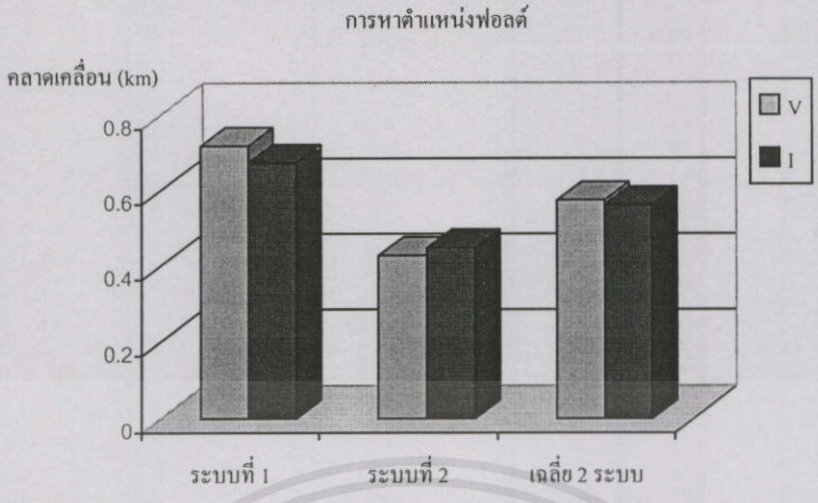
4.2 การหาตำแหน่งฟอลต์

ผลการหาตำแหน่งฟอลต์ด้วยวิธีการที่นำเสนอมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 0-1.1 กิโลเมตรซึ่งในทางปฏิบัตินั้นเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ โดยที่ระบบทดลองที่ 1 จะมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมากกว่าระบบทดลองที่ 2 ยกเว้นเมื่อเกิดฟอลต์ที่กึ่งกลางสายส่งซึ่งเป็นจุดที่สามารถคำนวณหาตำแหน่งของฟอลต์ได้แม่นยำมากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 8.3 และเมื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการหาตำแหน่งฟอลต์จากกระแสและแรงดันตามรูปที่ 8.4 พบว่า ระบบทดลองที่ 1 การวิเคราะห์จากกระแสให้ผลที่ดีกว่า ในขณะที่ระบบทดลองที่ 2 การวิเคราะห์จากแรงดันให้ผลที่ดีกว่า แต่ถ้าพิจารณาโดยรวมแล้วจะมีค่าที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



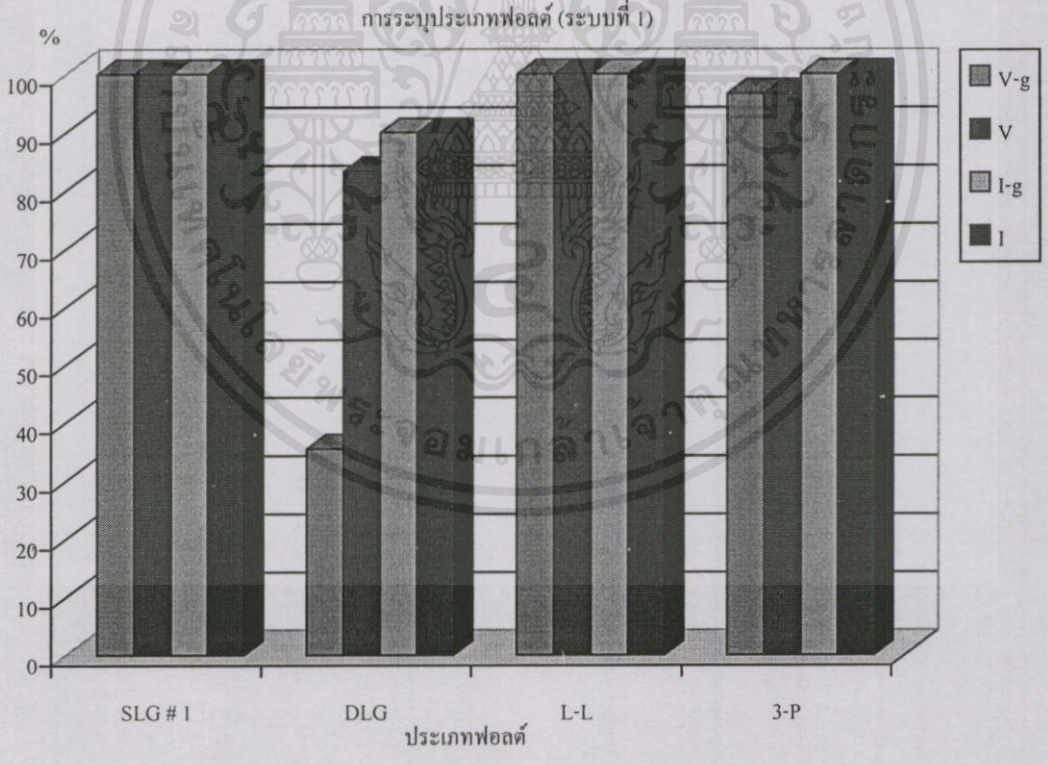
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 8.3 แสดงค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของการหาตำแหน่งฟอลต์ในแต่ละระยะทาง



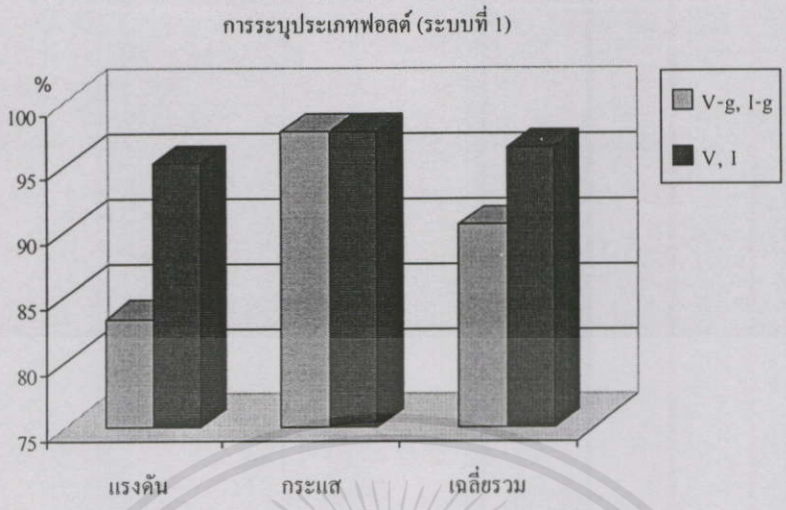
รูปที่ 8.4 แสดงค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของการหาตำแหน่งฟอลต์ด้วยแรงดันและกระแส

4.3 การระบุประเภทของฟอลต์

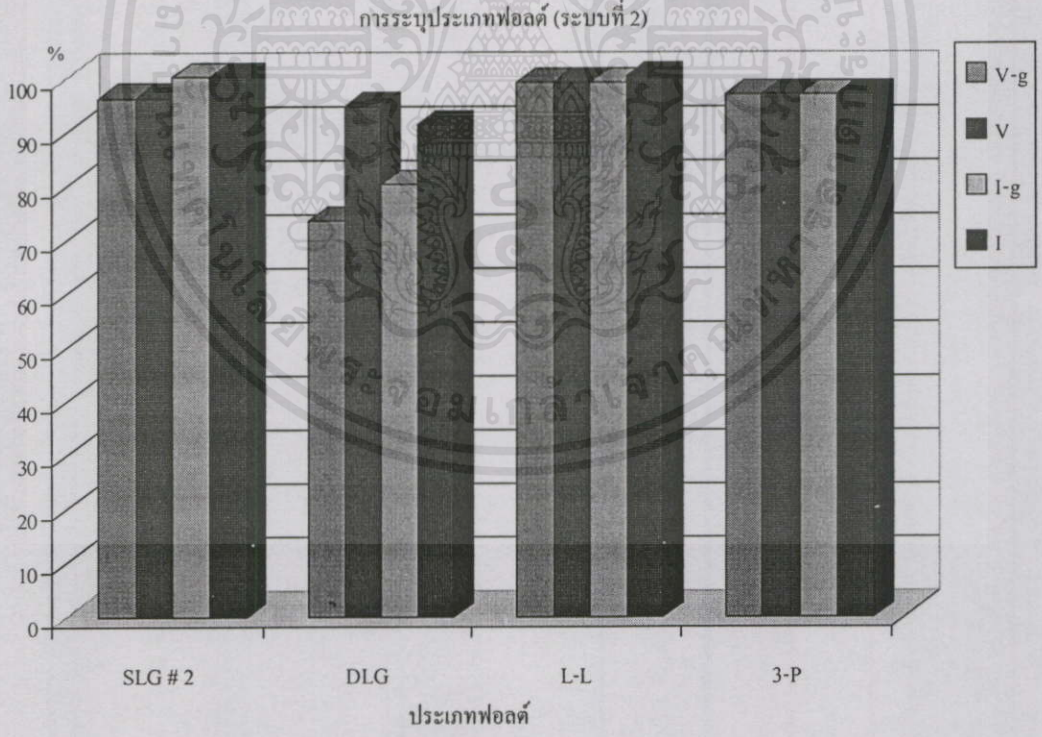


รูปที่ 8.5 แสดงค่าเฉลี่ยการระบุประเภทฟอลต์แต่ละประเภทของระบบทดลองที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

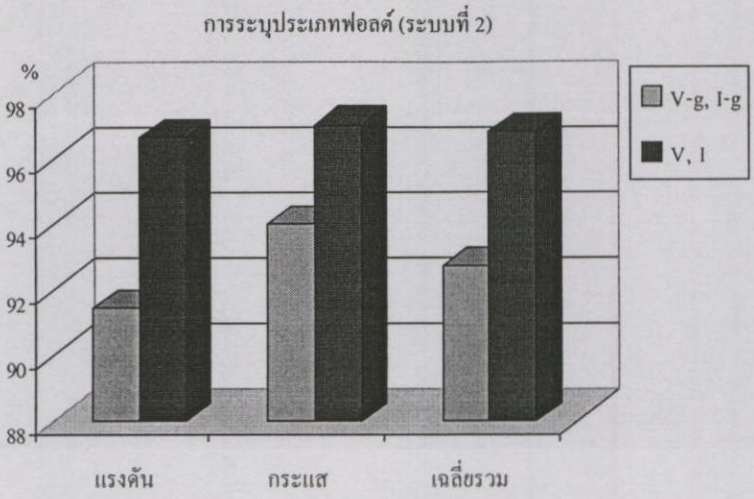


รูปที่ 8.6 แสดงค่าเฉลี่ยการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดันและกระแสของระบบทดลองที่ 1



รูปที่ 8.7 แสดงค่าเฉลี่ยการระบุประเภทฟอลต์แต่ละประเภทของระบบทดลองที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



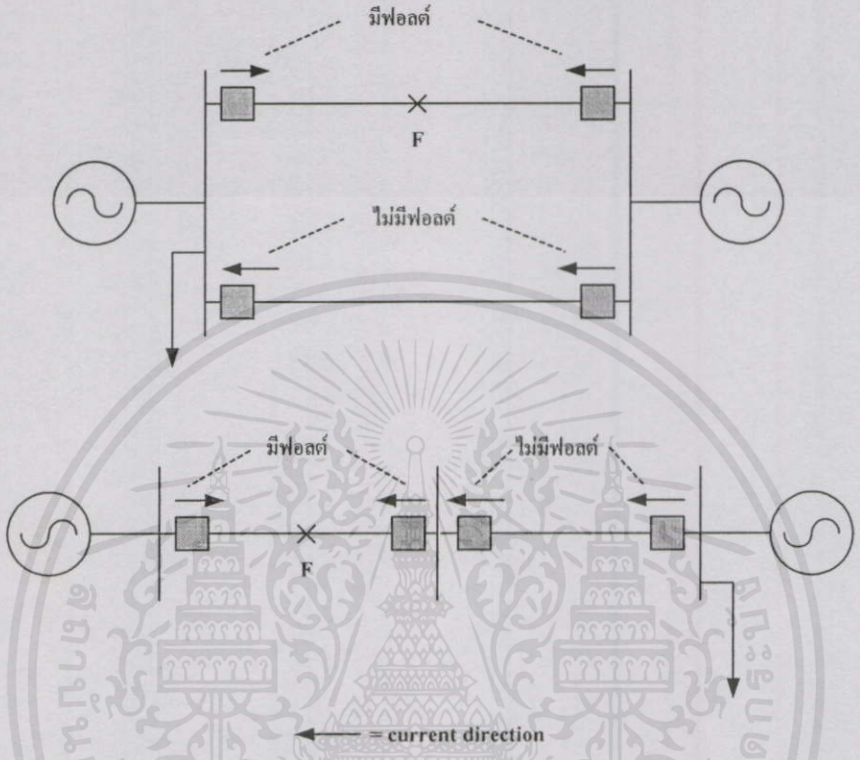
รูปที่ 8.8 แสดงค่าเฉลี่ยการระบุประเภทฟอลต์ด้วยแรงดันและกระแสของระบบทดลองที่ 2

จากรูปที่ 8.5 และ 8.7 เมื่อพิจารณาผลการระบุประเภทของฟอลต์ของทั้ง 2 ระบบพบว่ามีลักษณะที่คล้ายคลึงกันคือ สามารถระบุประเภทของฟอลต์เฟสเดียวลงดิน, ฟอลต์ระหว่างเฟสและฟอลต์ 3 เฟสได้ถูกต้องมากกว่าเฉลี่ย 95 % ในขณะที่การระบุประเภทของฟอลต์ 2 เฟสลงดินนั้นจะมีค่าเฉลี่ยที่ต่ำกว่า โดยผลการระบุประเภทพิจารณาเฟสที่เกิดฟอลต์และลักษณะของฟอลต์ลงดิน (V-g และ I-g) ค่าเฉลี่ยความถูกต้องจะลดลงมา แต่ถ้าพิจารณาเฉพาะเฟสที่เกิดฟอลต์เพียงอย่างเดียว(V และ I) ค่าเฉลี่ยความถูกต้องจะมีค่าสูงขึ้นมากกว่า 83.3 % ยกเว้นกรณีของระบบทดลองที่ 1 ที่ผลวิเคราะห์ด้วยกระแสจะมีค่าเท่ากันโดยถูกต้องเฉลี่ยมากกว่า 85 % ทั้ง 2 กรณี (I-g , I) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลการระบุประเภทของกระแสและแรงดันของทั้ง 2 ระบบตามรูปที่ 8.6 และ 8.8 พบว่าผลการวิเคราะห์ประเภทของฟอลต์จากกระแสจะให้ค่าเฉลี่ยความถูกต้องที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับการวิเคราะห์จากแรงดัน

สำหรับผลการทดลองที่ได้จากกรณีศึกษาทั้ง 2 แบบนั้นพบว่า ในกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งเป็นเหตุการณ์ฟอลต์ในสายส่งระบบ 500 kV ระหว่างสถานีไฟฟ้าท่าตะโก(TTK) กับสถานีไฟฟ้าหนองจอก (NCO) โดยเป็นฟอลต์ที่เกิดบนสายส่งวงจรเดี่ยว ผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดสามารถตรวจจับ หาตำแหน่ง และระบุประเภทของฟอลต์ได้อย่างถูกต้อง จึงเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถนำไปใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ และในกรณีศึกษาที่ 2 ซึ่งเป็นการนำวิธีการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับสายส่งวงจรคู่ในระบบ 230 kV หว่างสถานีไฟฟ้าบ้านโป่ง-2 (BP2) กับสถานีไฟฟ้าไทรน้อย ผลการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ที่ได้นั้นสามารถวิเคราะห์เหตุการณ์ได้อย่างถูกต้องซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสายส่งรูปแบบอื่นและระบบแรงดันที่แตกต่างกันได้ แต่มีสิ่งที่น่าสังเกตคือการตรวจจับฟอลต์ในสายส่งวงจรที่ไม่เกิดฟอลต์ซึ่งขนานกับสายส่งวงจรที่เกิดฟอลต์นั้นจะมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากสัญญาณฟอลต์ในวงจรที่เกิดฟอลต์ได้เดินทางเข้าสู่วงจรที่ไม่เกิดฟอลต์ด้วยทั้งนี้เนื่องจากวิธีการที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเสนอนี้ยังไม่ได้พิจารณาทิศทางฟอลต์ที่เกิดขึ้นนั้นเอง ซึ่งประเด็นนี้สามารถเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะคือ 1. สายส่งที่ขนานกันโดยที่ปลายทั้ง 2 ด้านต่ออยู่บนบัสเดียวกัน และ 2. เมื่อสายส่ง 2 วงจรที่ต่อเชื่อมโยงกันโดยมีปลายด้านใดด้านหนึ่งต่ออยู่บนบัสเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 8.9



รูปที่ 8.9 แสดงระบบที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการตรวจจับฟอลต์

เมื่อพิจารณาจากภาพรวมของการประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย(DWT) เพื่อวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่สูงที่เกิดขึ้นในสัญญาณฟอลต์ โดยใช้ช่วงของข้อมูลในช่วง ¼ ไซเคิล ผลการศึกษาที่ได้แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบความถี่สูงนั้นสามารถให้ข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับสัญญาณฟอลต์ได้อย่างถูกต้องและลดจำนวนข้อมูลที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ ซึ่งวิธีการที่นำเสนอนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการพัฒนารูปแบบการวิเคราะห์สัญญาณที่ใช้กับระบบป้องกันสายส่งเช่น อุปกรณ์รีเลย์ , เครื่องบันทึกฟอลต์แบบดิจิตอล(DFR) ,ระบบปิดวงจรซ้ำ(Auto-recloser) ซึ่งรูปแบบของวิธีการที่นำเสนอนี้ยังสอดคล้องกับแนวโนมของเทคโนโลยีที่กำลังดำเนินอยู่ในปัจจุบันได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำการแปลงเวฟเล็ตไปประยุกต์ใช้ในทางวิศวกรรมไฟฟ้ากำลังได้อีกหลายอย่างด้วยกัน เช่น การวิเคราะห์การเริ่มเกิดฟอลต์ในหม้อแปลง การวัดพลังงานและการทำนายโหลด เป็นต้น ซึ่งเป็นการขยายขอบเขตของงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านไฟฟ้ากำลังให้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ไปหาประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 . สิ่งที่ควรได้รับการพัฒนาต่อไป

5.1 พัฒนารูปแบบการตรวจจับฟอลต์โดยพิจารณาลักษณะของทิศทางของฟอลต์เข้ามาประกอบเพื่อให้สามารถตรวจจับให้มีประสิทธิภาพสูงมากยิ่งขึ้น

5.2 พัฒนาการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์โดยพิจารณาผลกระทบจากสัญญาณรบกวนที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับสัญญาณฟอลต์ เช่น การสัญญาณการสวิทชิ่งแบบต่างๆ , สัญญาณหลอกที่เกิดจากฟ้าผ่า และผลกระทบจากสภาวะการแกว่งของพลังงานที่เกิดขึ้นในระบบ (Power oscilation) เป็นต้น

5.3 ปรับปรุงการพิจารณาลักษณะของฟอลต์ลงดินโดยเฉพาะในกรณีของฟอลต์ 2 เฟสลงดิน (DLG) ให้สามารถระบุประเภทได้ถูกต้องมากขึ้น

5.4 พิจารณาผลกระทบของการชดเชย(Compensation) ในรูปแบบต่างๆ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์

5.5 พัฒนารูปแบบการวิเคราะห์มาสู่การวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลสายส่งเพียงด้านเดียวเพื่อให้สามารถนำมาใช้กับอุปกรณ์รีเลย์ได้มากขึ้น

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Bo Z.Q., Jiang F., Chen Z., Dong X.Z., Weller G., Redfern M.A. , "Transient based protection for power transmission systems. " IEEE Power Engineering Society Winter Meeting , vol. 3, 2000, pp. 1832 –1837.

[2] William. D. Stevenson Jr. , **Elements of Power System Analysis** ,Fourth Edition. McGraw - Hill,Inc. Singapore, 1982 ,

[3] B. Ravindranath and M. Chander , **Power System Protection and Swithgear.**, Fourth reprint, Wiley Eastern Limit, February 1982

[4] Driesen, J., Van Craenenbroeck T., Reekmans R. and Van Dommelen D., "Analysing time-varying power system harmonics using wavelet transform. " , Proc. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Quality Measurements : The Indispensable Bridge between Theory and Reality., vol. 1, June 4-6 1966 ., pp. 474 -479 .

[5] Lazzaroni N., Ragaini E., " Gabor-like transforms for transient analysis in electrical systems." Proc. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Quality Measurements: The Indispensable Bridge between Theory and Reality., vol. 2, June4-6 1996., pp. 885 –890.

[6] Robertson D.C. , Camps O.I. , Mayer J.S. and Gish W.B., " Wavelets and electromagnetic power system transients." , IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 11., Issue: 2 , April 1996.pp. 1050 –1058.

[7] Albert Cohen and Jellena Kovacevic, "Wavelet: The Mathematical Background." , Proc. IEEE vol. 84, No. 4, April 1996, pp. 514-522.

[8] วรรัตน์ ภัทรอมรกุล , " การลดขนาดข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจซึ่งมีพื้นฐานอยู่บนเวฟเล็ตแพ็คเกต (ECG compression based on wavelet packet)." , วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาด-กระบัง. 2544

[9] Pham V.L. and Wong K.P., " Wavelet-transform-based algorithm for harmonic analysis of power system waveforms .", Proc. IEE Generation, Transmission and Distribution, vol. 146,Issue: 3 , May 1999, pp. 249 –254.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] Michel Misiti, Yves Misiti, Georges Oppenheim and Jean-Michel Poggi, **Wavelet Toolbox User's Guide Version 1.** , First Printing, MathWorks, Inc. March 1996.

[11] วรรัตน์ ภัทรอมรกุล , รศ. ดร . มนัส สังวรศิลป์ , **คู่มือการใช้ MATLAB ฉบับสมบูรณ์**, พิมพ์ครั้งที่ 1 , สำนักพิมพ์ Info press , เมษายน 2543.

[12] Chul Hwan Kim and Raj aggarwal, " Wavelet transforms in power systems: Part. 1 General introduction to the wavelet transform.", Proc. IEEE Power Enginering Journal ,2000, pp. 81-87.

[13] Santoso S., Powers E.J. and Grady W.M., " Power quality disturbance data compression using wavelet transform methods. ", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 12, Issue: 3, July 1997 , pp. 1250 -1257

[14] C. Sidney Burrus, Ramesh A. Gopinath and Haitao Guo, **Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms** . , Prentice-Hall, Inc. New Jercy, 1998.

[15] Brito, N.S.D., Souza, B.A.and Pires F.A.C., "Daubechies wavelets in quality of electrical power.", Proc. IEEE /PES 8th International Conference on Harmonics and Quality of Power. , vol. 1 , 1998 ,pp. 511 -515 .

[16] Santoso S., Powers E.J., Grady W.M. and Hofmann P.," Power Quality Assessment Via Wavelet Transform Analysis ," IEEE Trans. on Power Delivery , Vol.11, No. 2 , April 1996. pp. 924-930.

[17] Dewe M.B., Sankar S. and Arrillaga J., " The application of satellite time references to HVDC fault location .", IEEE Trans on Power Delivery, vol. 8, Issue: 3 , July 1993, pp. 1295 –1302.

[18] IEEE Std 1159-1995 , "Recommended practice for monitoring electric power quality .", November 1995.

[19] J. Arrillaga , N.R. Watson and S. Chen, **Power System Quality Assessment** , John Wiley & Sons, Inc. Singapore, 2000, pp. 120-130.

[20] Bo Z.Q., Weller G., Jiang F. and Yang Q.X. , " Application of GPS based fault location scheme for distribution system .", Proc. IEEE International Conference on Power System Technology, vol. 1 , 1998, pp. 53 -57 .

[21] Laszlo Prikler and Hans Kr. Holdalen, **ATPdraw for Windows 3.1/95/NT version 1.0 User's Manual**. , Release 1.0.1, Nov 1998.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[22] D. Van, **Alternative Transient Program Rule Book**,U. Leuven EMTP Center, Belgium, 1991.

[23] ระบบสายส่ง 500 kV ปี 2000 ,ฝ่ายวิศวกรรมระบบส่ง , การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

[24] Hermann W. Dommel, **Electromagnetic Transients Program (EMTP) Theory Book**. , University of British Columbia , Vancouver Canada, August 1986.

[25] สรพล ดำรงกิตติกุล ,ดร. , ประดิษฐ์พงษ์ สุขสิริถาวรกุล, เอกสารการอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง " **Application of Electromagnetic Transients Program for Electrical Transients in Power System**." , 18-22 พฤษภาคม 2541.

[26] C. Dufour and H. Le-Huy, "Highly Accurate Modeling of Frequency-Dependent Balanced Transmission Lines. ", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 15 , No. 2, April. 2000, pp. 610 –615.

[27] ข้อมูลอิมพิแดนซ์สายส่งระบบ 500 kV ปี 2000 ,ฝ่ายวิศวกรรมระบบส่ง , การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

[28] Tavares M.C., Pissolato J.and Portela C.M., "Mode domain multiphase transmission line model-use in transient studies ." , IEEE Trans on Power Delivery, Vol. 14 , Issue: 4 , Oct. 1999, pp. 1533 –1544.

[29] **MATLAB User's Guide version 5.** ,MathWorks, Inc. September 1998.

[30] รายงานเหตุการณ์ในระบบประจำวันที่ 31 ธันวาคม 2543 , ศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้าเขตนครหลวง , การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

[31] รายงานเหตุการณ์จาก DFR ,ฝ่ายบำรุงรักษาระบบส่ง , การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

[32] รายงานเหตุการณ์ข้อขัดข้องในระบบประจำวันที่ 3 มีนาคม 2538 , ศูนย์ควบคุมระบบกำลัง ฝ่ายบำรุงรักษาสายส่ง, ฝ่ายปฏิบัติการเขตนครหลวง , การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

[33] ข้อมูลสายส่งระบบ 230 kV ,ฝ่ายวิศวกรรมระบบส่ง , การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

บทวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ตกับระบบไฟฟ้ากำลัง

รูปแบบของงานวิจัยที่ได้นำการแปลงเวฟเล็ตมาประยุกต์ใช้กับงานทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าในปัจจุบันได้มีการแตกแขนงออกไปในหลายด้านด้วยกัน เช่น

1.1 การวิเคราะห์สัญญาณต่างๆ บนสายส่ง

- การวิเคราะห์สัญญาณฟอลต์ เพื่อนำมาใช้ในการตรวจจับหาฟอลต์ในรูปแบบต่างๆ การหาตำแหน่งของฟอลต์ที่เกิดขึ้น และการแบ่งแยกประเภทของฟอลต์ที่เกิดขึ้น
- การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างฟอลต์ถาวร(Permanent fault) และฟอลต์แบบชั่วคราว (Temporary fault)
- การวิเคราะห์หาทิศทางของฟอลต์ที่เกิดขึ้น
- การวิเคราะห์รูปแบบการเกิดอาร์คชิ่งฟอลต์ (Arching fault)

1.2 การวิเคราะห์สัญญาณในหม้อแปลง

- การตรวจจับการเริ่มเกิดฟอลต์ในหม้อแปลง
- การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกระแสอินรัชกับกระแสฟอลต์ในหม้อแปลง

1.3 ฉนวน

- การตรวจจับและวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วน(Partial discharge) ในฉนวน

1.4 การวิเคราะห์สัญญาณในส่วนอื่นๆ

- การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างสัญญาณการสวิทชิ่ง(Switching) และสัญญาณฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า
- การทำนายและวิเคราะห์การเปลี่ยนของโหลดในระบบไฟฟ้า
- งานด้านคุณภาพของแรงดันและกระแสไฟฟ้าหรือคุณภาพพลังงาน (Power quality) เช่น การวิเคราะห์ฮาร์มอนิก
- การวิเคราะห์สัญญาณต่างๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ที่ใช้ขับเคลื่อน
- งานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง(Power electrical)

สำหรับรูปแบบการวิเคราะห์ได้มุ่งเน้นการพิจารณาความถี่สูงที่เกิดขึ้นในสัญญาณเป็นหลัก โดยมีการนำเสนอวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์และตัดสินใจที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับมุมมองของผู้ที่ทำการศึกษาในแต่ละด้านซึ่งจะมีอยู่หลายวิธีการด้วยกัน เช่น

- การหาสเปคตรัมของพลังงาน(Energy spectrum) โดยส่วนใหญ่จะนำมาใช้ในการหาตำแหน่งของฟอลต์ , การแบ่งแยกความแตกต่างระหว่างฟอลต์ถาวรและฟอลต์ชั่วคราว, รวมถึงการหาทิศทางของฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเปรียบเทียบตำแหน่งการเปลี่ยนขององค์ประกอบความถี่สูงเพื่อหาตำแหน่งของฟอลต์, การตรวจจับการเกิดกระแสอินรัช และการวิเคราะห์การเกิดดิสชาร์จบางส่วน

- การนำรูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียมหรือหลักในการตัดสินใจเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์และการประมวลผลสัญญาณที่ได้

- การนำหลักทางสถิติเข้ามาประกอบเช่น การหาค่าเฉลี่ย(Mean) และการหาค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน(Standard deviation)

- การเปรียบเทียบความถูกต้องในการวิเคราะห์สัญญาณต่างๆ เมื่อเทียบกับการแปลงฟูเรียร์

จากการศึกษาพบว่าจุดประสงค์หลักที่มีการนำการแปลงเวฟเล็ตมาประยุกต์ใช้คือ ต้องการที่จะเพิ่มความถูกต้องในการวิเคราะห์และลดเวลาหรือช่วงของข้อมูลที่ใช้ ซึ่งในส่วนของวิทยานิพนธ์นี้ก็เช่นกันจะสังเกตได้ว่าสิ่งที่นำเสนอเป็นรูปแบบการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่สูง โดยมุ่งเน้นการพิจารณาไปที่รูปแบบของการเปลี่ยนแปลง ณ ตำแหน่งเวลาใดๆ เป็นหลักและทำการตัดสินใจด้วยการเปรียบเทียบอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว

2. การกำหนดขั้นตอนและเกณฑ์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ในแต่ละขั้นตอน

- เนื่องจากรูปแบบของการดำเนินงานของวิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาลักษณะของฟอลต์ที่เกิดขึ้นบนสายส่งวงจรเดี่ยวในระบบ 2 บัสใดๆ โดยกำหนดรูปแบบของฟอลต์ให้เป็นเหตุการณ์ของฟอลต์อย่างเดียวเท่านั้นไม่มีการพิจารณาผลกระทบจากสัญญาณรบกวนใดๆ เพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาในเบื้องต้น

- สำหรับเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณารูปแบบของฟอลต์ในวิทยานิพนธ์นี้เช่น การกำหนดจำนวน 5 เท่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณความถี่สูง หรือค่าเปอร์เซนต์ที่ใช้ในการระบุประเภทของฟอลต์ รวมถึงรูปแบบที่ใช้ในการตัดสินใจต่างที่ได้นำเสนอมาแล้วนั้นได้มาจากการศึกษาพฤติกรรมของสัญญาณฟอลต์ 200 ตัวอย่างแรกตามที่ได้กล่าวอยู่ในบทนำ ซึ่งสัญญาณฟอลต์ดังกล่าวมีรูปแบบที่แตกต่างกันทั้ง ประเภท ตำแหน่งที่เกิด และความยาวสายส่งที่ใช้ในการจำลองฟอลต์ ซึ่งเมื่อนำมาทำการแปลงเวฟเล็ตเพื่อมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่สูงที่เกิดขึ้นแล้วจึงมาทำการกำหนดรูปแบบ ,ขอบเขต , จำนวนสเกล และเกณฑ์ต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์จากภาพรวมที่สังเกตได้ ซึ่งอาจจะต้องมีการกำหนดค่าเบื้องต้นในการเปรียบเทียบขึ้นมาค่าหนึ่งในลักษณะของการลองผิดลองถูก(Trial and error) หลังจากนั้นจะทำการปรับค่าต่างๆ รวมทั้งรูปแบบที่ใช้จนกระทั่งได้ผลการวิเคราะห์ตามที่ต้องการ(วิเคราะห์ได้ถูกต้องเฉลี่ยมากกว่า 80%) และนำมาทดสอบกับสัญญาณฟอลต์ที่ได้จากการจำลองจากระบบทดสอบที่สร้างขึ้น 2 ระบบ ซึ่งมีจำนวนทั้งสิ้น 1200 ตัวอย่าง (แตกต่างจากสัญญาณฟอลต์ 200 ตัวอย่างแรก) ซึ่งรูปแบบของวิธีการที่นำเสนอนี้อาจจะไม่ใช้รูปแบบที่ดีที่สุด แต่สิ่งที่ต้องการนำเสนอเป็นเพียงอีกหนึ่งแนวคิดที่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์สัญญาณฟอลต์แล้วให้ผลการทดลองตามที่ต้องการ

- รูปแบบในการระบุประเภทของฟอลต์ที่ได้นำเสนอนี้เป็นการอ้างอิงรูปแบบทั่วไปที่ใช้กับการระบุประเภทของฟอลต์(เมื่อวิเคราะห์ด้วยองค์ประกอบความถี่พื้นฐาน) แต่ในส่วนของวิทยานิพนธ์นี้ได้มุ่งเน้นมาที่การพิจารณาองค์ประกอบความถี่สูงแทน จึงทำให้ขั้นตอนการวิเคราะห์ที่นำเสนอมีส่วนที่เพิ่มเติมเข้ามา ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดนี้ได้มาจากการศึกษารูปแบบของฟอลต์ 200 ตัวอย่างแรกรวมกับการปรับเกณฑ์ในรูปแบบการลองผิดลองถูกเช่นเดียวกัน และสำหรับการนำค่าองค์ประกอบลำดับศูนย์(Zero sequence) มาใช้ในการปรับค่าต่างๆ นั้น มีเหตุผลแรกคือต้องการที่จะอ้างอิงรูปแบบที่ใช้โดยทั่วไป และเหตุผลที่สองคือจากการทดสอบในเบื้องต้นพบว่าการใช้องค์ประกอบลำดับศูนย์หรือใน Ground mode จะให้ผลที่ดีกว่าการใช้ Aerial mode ซึ่งถึงแม้ว่ารูปแบบของฟอลต์จะเป็นลักษณะของฟอลต์ไม่ลงดินก็ตาม แต่จากการศึกษาพบว่าจะพบการการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่สูงที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้

- การกำหนดจำนวนสเกลที่เลือกใช้นั้นได้มาจากการศึกษาความเหมาะสมที่จะให้ผลการวิเคราะห์ตามที่ต้องการคือ ในสเกลที่ต่ำ(ความถี่สูง)จะให้ผลในการหาตำแหน่งของฟอลต์ที่เกิดขึ้นได้ดี แต่ก็อาจจะมีความผิดพลาดในการระบุประเภทของฟอลต์ที่เกิดขึ้น ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับการใช้สเกลที่สูงขึ้น(ความถี่ต่ำ) จะให้ผลการระบุประเภทของฟอลต์ที่ดีมากขึ้นแต่ความแม่นยำของการหาตำแหน่งฟอลต์ก็จะลดลงตามไปด้วย ดังนั้นในการเลือกสเกลและจำนวนสเกลจึงได้พิจารณาเพื่อให้สามารถได้ผลการวิเคราะห์ตามค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้เป็นสำคัญ

จากสิ่งที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้ถึงแม้ว่ารูปแบบของขั้นตอนที่นำเสนอจะเป็นการใช้การสังเกตและการนำรูปแบบของวิธีการลองผิดลองถูกมาใช้เป็นส่วนมากแต่ก็ได้ยึดแนวทางการวิเคราะห์เดิมเป็นหลัก และจากผลการทดลองที่ได้เมื่อทดสอบกับสัญญาณฟอลต์ที่แตกต่างจากสัญญาณฟอลต์ที่ใช้ในการกำหนดรูปแบบของการวิเคราะห์พบว่าสามารถให้ผลเป็นที่น่าพอใจ รวมถึงจากกรณีศึกษาที่สัญญาณฟอลต์ที่นำมาวิเคราะห์ถูกทำให้เป็นเปอร์ยูนิตก็สามารถที่จะให้ผลการวิเคราะห์อย่างถูกต้องเช่นกัน ในส่วนของเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นเนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้ได้มุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์ที่ใช้ช่วงของข้อมูลที่ลดลงและรูปแบบการตัดสินใจมากกว่าจึงไม่ได้พิจารณาผลจากเวลาเท่าใดนัก แต่ในทางปฏิบัตินั้นผลทางเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเป็นสิ่งที่จำเป็นซึ่งควรที่ได้รับการพัฒนาเพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การจำลองฟอล์และแบบจำลองที่ทำการศึกษา

เนื่องจากระบบทดลองที่ใช้ในการจำลองฟอลต์ในสายส่งที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นระบบที่มีเพียง 2 บัส เท่านั้นจึงอาจมีข้อสงสัยที่ตามมาเกี่ยวกับความเหมาะสมในการนำไปใช้จริงในทางปฏิบัติ เพราะว่าในปัจจุบันระบบไฟฟ้ามีการเชื่อมโยงในลักษณะที่เป็นโครงข่ายซึ่งจะมีความซับซ้อนของระบบมากขึ้น และจะมีผลกระทบจากสัญญาณต่างๆ ที่เกิดขึ้นมากมายเช่น การสวิทชิ่งในระบบการชดเชย , การปรับแท็ปหม้อแปลง , การปลดโหลด , การออสซิเลทของระบบ เป็นต้น ซึ่งทั้งหมดนี้ได้ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบความถี่สูงเช่นเดียวกับรูปแบบของสัญญาณฟอลต์จึงมีโอกาสที่ทำให้เกิดความสับสนเกิดขึ้น ซึ่งในที่นี้ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ได้ตระหนักถึงประเด็นดังกล่าวเป็นอย่างดี แต่เนื่องจากการศึกษาของวิทยานิพนธ์ได้เลือกพิจารณารูปแบบของการตรวจจับ การหาตำแหน่ง และ การระบุประเภทของฟอลต์ตามสมมุติฐานและขอบเขตการศึกษาที่ได้กำหนดไว้แล้วเท่านั้น ดังนั้นการศึกษาระบบ 2 บัสใดๆ จึงเป็นพื้นฐานเบื้องต้นและเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปในการศึกษาฟอลต์บนสายส่งในลักษณะต่างๆ แต่ถ้าต้องการพิจารณาผลกระทบดังกล่าวเพิ่มเข้าไปจำเป็นที่ต้องมีการศึกษาหาแนวทางใหม่เพิ่มเติมเพื่อให้ครอบคลุมกรณีต่างเพิ่มมากขึ้นเช่น การนำลักษณะขององค์ประกอบความถี่พื้นฐานเข้ามาพิจารณาประกอบด้วย เป็นต้น

และอีกประการหนึ่งคือ ข้อจำกัดของโปรแกรม ATP/EMTP (ในเวอร์ชั่น 1.4 ที่ใช้อยู่) เนื่องจากแบบจำลองสายส่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้อาศัยแบบจำลองที่มีความละเอียดสูง ดังนั้นการที่จะศึกษาระบบที่มีความซับซ้อนมากกว่า 3 บัสขึ้นไปจะพบปัญหาไม่สามารถรันโปรแกรมให้ผ่านได้ และในส่วนการนำแบบจำลองสายส่งในลักษณะของโดเมนความถี่แบบ J.Marti มาใช้ในการศึกษาร่วมกับแบบจำลองธรรมดาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า , หม้อแปลง และรีแอคเตอร์ขนานนั้น จากการศึกษาบทความและงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสามารถนำมาใช้ได้ เนื่องจากเป็นการศึกษาระบบจากสภาวะคงตัวก่อนจึงมีฟอลต์เกิดขึ้นจึงมุ่งพิจารณาผลจากพารามิเตอร์ของสายส่งมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นาย พงษ์ศักดิ์ มากมิ่ง เกิดเมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม 2520 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2542

เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทในปี 2543 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีผลงานวิชาการตีพิมพ์ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าระหว่างศึกษาปริญญาโท 4 บทความคือ วิศวสารลาดกระบังจำนวน 3 เรื่อง และในวารสารประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 24 จำนวน 1 เรื่อง

ผลงานทางวิชาการ

1. พงษ์ศักดิ์ มากมิ่ง, พุฒิขจร บุญมี , ศุลี บรรจงจิตร, นิทัศน์ กฤษณจินดา, "การประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ตเพื่อหาตำแหน่งฟอลต์ในสายส่ง." , วิศวสารลาดกระบัง,ปีที่ 18, ฉบับที่ 1, มีนาคม 2544 , หน้า 92-97.
2. พงษ์ศักดิ์ มากมิ่ง, สิทธิโชค กิตติรักษ์ตระกูล, ศุลี บรรจงจิตร, นิทัศน์ กฤษณจินดา , สมชาติ จิริวิภากร, " การระบุประเภทของฟอลต์บนสายส่งด้วยการแปลงเวฟเล็ต : ตอนที่ 1 ขั้นตอนการวิเคราะห์." , วิศวสารลาดกระบัง,ปีที่ 18, ฉบับที่ 1, กันยายน 2544 , หน้า 1-6.
3. พงษ์ศักดิ์ มากมิ่ง, สิทธิโชค กิตติรักษ์ตระกูล, ศุลี บรรจงจิตร, นิทัศน์ กฤษณจินดา , สมชาติ จิริวิภากร, " การระบุประเภทของฟอลต์บนสายส่งด้วยการแปลงเวฟเล็ต : ตอนที่ 2 กรณีศึกษา. " , วิศวสารลาดกระบัง,ปีที่ 18, ฉบับที่ 1, กันยายน 2544 , หน้า 7-12.
4. พงษ์ศักดิ์ มากมิ่ง , สมชาติ จิริวิภากร , ศุลี บรรจงจิตร , " การระบุประเภทของฟอลต์บนสายส่งด้วยการแปลงเวฟเล็ต." , การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 24 (EECON24) , พฤศจิกายน 2544 ,หน้า 42-47.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้