

การวิเคราะห์ฟ้าผ่าและฟอลต์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า  
โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย

ANALYSIS OF LIGHTNING AND FAULTS IN A TRANSMISSION SYSTEM  
USING DISCRETE WAVELET TRANSFORM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-020-161

การวิเคราะห์ฟ้าผ่าและฟอลต์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า  
โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย

ANALYSIS OF LIGHTNING AND FAULTS IN A TRANSMISSION SYSTEM  
USING DISCRETE WAVELET TRANSFORM



พรายกนก เลิศวนิชโรจน์  
PRAIKANOK LERTWANITROT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-020-161

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANALYSIS OF LIGHTNING AND FAULT IN A TRANSMISSION SYSTEM  
USING DISCRETE WAVELET TRANSFORM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2016  
KMITL-2016-EN-M-020-161

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2016**

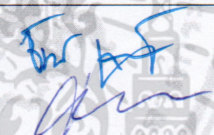

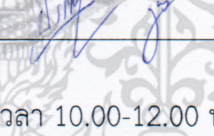
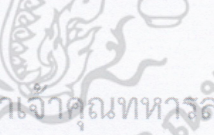
**FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

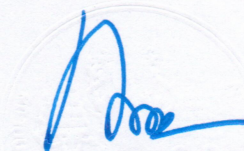
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ฟ้าผ่าและฟอลต์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้าโดยใช้การแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วย  
Thesis Title Analysis of Lightning and Faults in a Transmission System using Discrete Wavelet Transform  
นักศึกษา นางสาวพรายกนก เลิศวณิชโรจน์  
รหัสประจำตัว 58601255  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.อรรถพล เเงาพิทักษ์กุล  
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M-020-161

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชัยยันต์	เจตนาเสน	
รศ.ศุภี	บรรจงจิตร	
ผศ.ดร.นิรุช	จิรสวรรณกุล	
รศ.ดร.อรรถพล	เเงาพิทักษ์กุล	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เวลา 10.00-12.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ ห้อง HM-303

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ฟ้าผ่าและฟอลต์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย
นักศึกษา	นางสาว พรายกนก เลิศวณิชโรจน์
รหัสประจำตัว	58601255
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ. ดร. อรรถพล เ่งพิทักษ์กุล

## บทคัดย่อ

ปัจจุบันการใช้พลังงานไฟฟ้าในชีวิตประจำวันมากขึ้น ทำให้มีการเพิ่มกำลังผลิตและขยายระบบไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการพลังงาน ส่งผลให้โอกาสการเกิดเหตุการณ์ฟ้าผ่าและฟอลต์ในระบบไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงทำการวิเคราะห์ฟ้าผ่าและฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบส่งกำลังไฟฟ้า โดยแบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนการจำลองผล โดยทำการจำลองเหตุการณ์ฟ้าผ่าและฟอลต์ที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า เพื่อศึกษาผลกระทบของมุมแรงดัน สายเฟสและตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติต่อสัญญาณกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยวิธีการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยและส่วนการวิเคราะห์ โดยนำสัญญาณเวฟเล็ตที่เกิดจากแปลงของสัญญาณกระแสไฟฟ้ามาวิเคราะห์ขนาดสัมประสิทธิ์ เพื่อออกแบบอัลกอริทึมจำแนกชนิดความผิดปกติ และนำค่าเวลาที่เกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตมาวิเคราะห์ เพื่อคำนวณตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยนำเสนอวิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ จำนวน 3 วิธี ประกอบด้วย วิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 วิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทางและวิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจสอบ

ผลการศึกษาพบว่า อัลกอริทึมที่นำเสนอมีประสิทธิภาพในการจำแนกชนิดความผิดปกติ โดยมีความถูกต้องเฉลี่ยเท่ากับ 96.88% และด้านการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติพบว่าวิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทางมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 0.0121 กิโลเมตร วิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจสอบมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.1120 กิโลเมตรและวิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเท่ากับ 0.2241 กิโลเมตร นอกจากนี้ยังพบว่ากระแสไฟฟ้าแปรตามชนิด มุมแรงดัน สายเฟสและตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ ส่งผลให้อัลกอริทึมจำแนกชนิดความผิดปกติโดยอาศัยขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตจึงมีความถูกต้องสูง เนื่องจากสัมประสิทธิ์มีขนาดแตกต่างกัน ด้านการระบุตำแหน่งความผิดปกติพบว่า เวลาของคลื่นที่เดินทางในสายส่งแปรตามระยะทางการเดินทางเท่านั้น ดังนั้นความถูกต้องของเวลาจึงมีผลโดยตรงต่อความถูกต้องของตำแหน่งที่ระบุได้ วิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทางมีความถูกต้องมากที่สุด เนื่องจากได้รับผลกระทบของเวลาน้อยที่สุด

<b>Thesis Title</b>	Analysis of Lightning and Faults in a Transmission System using Discrete Wavelet Transform
<b>Student</b>	Ms. Praikanok Lertwanitrot
<b>Student ID.</b>	58601255
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Electrical Engineering
<b>Year</b>	2016
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Atthapol Ngaopitakkul

## ABSTRACT

The ever-growing demand of electricity has led to the recent increase in the rate of power generation and expansion of transmission networks frequented by power outages and lightning strike incidents. In light of such problems presented by the high demand of electricity, use of the discrete wavelet transform for the analysis of lightning and fault in transmission system is demonstrated in this thesis.

There are 2 procedures involved, simulation of both the lightning strike and fault in transmission line. This step involves the investigation of parameters such as inception angle, phase line affected, origin of lightning, and effects of the incident on the characteristics of currents, by relying on the use of the discrete wavelet transform. Subsequent analysis must investigate the coefficient of wavelet forms simulated after the current data to provide design algorithms for discriminating types and times at the maximum coefficient of wavelet forms of the same data; that also offers 3 methods for specifying positions of incidents. The first method makes use of time at the first and third maximum coefficients of the wavelet method, the second method requires the use of the travelling wave method, and the third method requires the use of the section area.

Results of this thesis indicate that proposed algorithms have high efficiency, 96.88%, and average error of the first method is minimal, 0.0121 km, average error of second method is 0.1120 km and average error of third method is maximal, 0.2241 km. In addition, the behavior of each current depends on the type, inception angle, phase of transmission lines, and origin position of accidents, leading to a different coefficient for each accident. Furthermore, the locating position indicates that the time of the coefficient is only dependant on the position of incidents, and the accuracy of locating methods used are only dependant on time, suggesting that the method used in the travelling wave is most accurate since the time of impact is minimal.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีต้องขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อรรถพล เก่าพิทักษ์กุล ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้ความรู้, คำปรึกษาและคำแนะนำในการแก้ปัญหาตลอดจน ประสบการณ์ที่ดีแก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ นายจิตติพงษ์ กล่อมจิตต์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้ความรู้และคำปรึกษาเกี่ยวกับระบบ ไฟฟ้า รวมทั้งเทคนิคการใช้โปรแกรม ATPDraw

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ทุนสนับสนุนในระหว่าง การทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณ บิดาและมารดา ผู้ให้ชีวิตอันมีค่า, ความรักและการดูแลเอาใจใส่ ที่ดีเสมอมา ขอขอบคุณท่านทั้งสองที่ให้โอกาสที่มีค่าอย่างยิ่งในการศึกษา ขอขอบคุณสมาชิกในครอบครัว สำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจที่มีให้กับผู้วิจัยตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดามารดาตลอดจน อาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัย

พรายกนก เลิศวณิชโรจน์

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	9
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	10
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	11
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	11
1.6 ข้อตกลงเบื้องต้นของการศึกษา.....	11
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	12
บทที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างเสาไฟฟ้าและสัญญาณเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้า.....	13
2.1 วิธีการคำนวณที่สถาบันวิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (IEEE) และองค์การซีจีเอ (CIGRE) แนะนำ.....	14
2.2 การแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform).....	16
2.2.1 การแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง.....	16
2.2.2 การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย.....	19
2.3 ความเร็วคลื่นเดินทางและตำแหน่งฟอลต์.....	21
2.3.1 ความเร็วคลื่นเดินทาง.....	22
2.3.2 ตำแหน่งฟอลต์.....	24
บทที่ 3 การจำลองและการวิเคราะห์สัญญาณกระแส.....	26
3.1 วงจรจำลองระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า.....	26
3.2 การตรวจวัดกระแสสัญญาณ.....	32
3.2.1 ฟิวส์ลางสายเฟส.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 พอลต์หนึ่งเฟสลงดิน .....	39
3.2.3 พอลต์ระหว่างเฟส.....	46
3.2.4 พอลต์ระหว่างเฟสลงดิน.....	53
3.2.5 พอลต์สามเฟส.....	60
3.3 การแปลงเวฟเล็ทของสัญญาณกระแส .....	68
3.3.1 ฟิวส์ลางสายเฟส.....	74
3.3.2 พอลต์หนึ่งเฟสลงดิน .....	97
3.3.3 พอลต์ระหว่างเฟส.....	120
3.3.4 พอลต์ระหว่างเฟสลงดิน.....	143
3.3.5 พอลต์สามเฟส.....	166
บทที่ 4 การแยกแยะและระบุตำแหน่งฟิวส์และพอลต์.....	191
4.1 การแยกแยะความผิดปกติระหว่างฟิวส์และพอลต์ .....	191
4.1.1 ตัวแปรของฟิวส์และพอลต์ .....	194
4.1.1.1 ฟิวส์ลางสายเฟส.....	194
4.1.1.2 พอลต์หนึ่งเฟสลงดิน .....	197
4.1.1.3 พอลต์ระหว่างเฟส.....	199
4.1.1.4 พอลต์ระหว่างเฟสลงดิน.....	202
4.1.1.5 พอลต์สามเฟส.....	205
4.2 อัลกอริทึมในการแยกประเภทความผิดปกติ.....	208
4.3 การระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ.....	214
4.4 ผลการทดลอง .....	224
4.4.1 วิเคราะห์ที่ตำแหน่ง 10% ของความยาวสายส่งหรือที่ระยะทาง 8.85 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG).....	225
4.4.2 วิเคราะห์ที่ตำแหน่ง 20% ของความยาวสายส่งหรือที่ระยะทาง 17.7 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG).....	227
4.4.3 วิเคราะห์ที่ตำแหน่ง 30% ของความยาวสายส่งหรือที่ระยะทาง 26.55 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG).....	229
4.4.4 วิเคราะห์ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งหรือที่ระยะทาง 35.40 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG).....	231

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังบุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.5 วิเคราะห์ที่ตำแหน่ง 50% ของความยาวสายส่งหรือที่ระยะทาง 44.25 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG).....	233
4.4.6 วิเคราะห์ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งหรือที่ระยะทาง 53.1 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG).....	235
4.4.7 วิเคราะห์ที่ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่งหรือที่ระยะทาง 61.95 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG).....	237
4.4.8 วิเคราะห์ที่ตำแหน่ง 80% ของความยาวสายส่งหรือที่ระยะทาง 70.8 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG).....	239
4.4.9 วิเคราะห์ที่ตำแหน่ง 90% ของความยาวสายส่งหรือที่ระยะทาง 79.65 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG).....	241
4.5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	243
4.5.1 การจำแนกประเภทความผิดปกติ.....	244
4.5.2 การระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ.....	248
บทที่ 5 การสรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	254
5.1 การจำแนกความผิดปกติระหว่างฟ้าผ่าและพอลต์ชนิดต่าง ๆ.....	254
5.2 การระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ.....	255
เอกสารอ้างอิง.....	258
ภาคผนวก ก.....	263
ประวัติผู้เขียน.....	271

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ข้อมูลของเสาส่งกำลังไฟฟ้า .....	27
3.2 ขนาดทางกายภาพของเสาส่งไฟฟ้า.....	27
3.3 พารามิเตอร์สำหรับเสาส่งไฟฟ้าแบบมัลติสตอรี่.....	29
3.4 เงื่อนไขการศึกษา.....	31
3.5 ขนาดกระแสไฟฟ้า 3 เฟสของระบบไฟฟ้า เมื่อเกิดฟ้าผ่า .....	38
3.6 ขนาดกระแสไฟฟ้า 3 เฟสเมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน .....	45
3.7 ขนาดกระแสไฟฟ้า 3 เฟสเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส.....	52
3.8 ขนาดกระแสไฟฟ้า 3 เฟสเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน.....	59
3.9 ขนาดกระแสไฟฟ้า 3 เฟสเมื่อเกิดฟอลต์สามเฟส .....	66
3.10 สัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวก เมื่อเกิดฟ้าผ่า.....	92
3.11 สัญญาณเวฟเล็ทของกระแส 3 เฟส เมื่อเกิดฟ้าผ่า .....	93
3.12 เวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 เมื่อเกิดฟ้าผ่า .....	94
3.13 เวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ของฟ้าผ่าเมื่อตำแหน่งเปลี่ยนแปลง.....	96
3.14 สัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวก เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน .....	115
3.15 สัญญาณเวฟเล็ทของกระแส 3 เฟส เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน .....	116
3.16 เวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน .....	117
3.17 เวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ของฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน เมื่อตำแหน่ง เปลี่ยนแปลง.....	119
3.18 สัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวก เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส.....	138
3.19 สัญญาณเวฟเล็ทของกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส .....	139
3.20 เวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส.....	140
3.21 เวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ของฟอลต์ระหว่างเฟส เมื่อตำแหน่ง เปลี่ยนแปลง.....	142
3.22 สัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวก เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน .....	161
3.23 สัญญาณเวฟเล็ทของกระแส 3 เฟส เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน .....	162
3.24 เวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน.....	163
3.25 เวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ของฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน เมื่อตำแหน่ง เปลี่ยนแปลง.....	165
3.26 สัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวก เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟส.....	184
3.27 สัญญาณเวฟเล็ทของกระแส 3 เฟส เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟส.....	185

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.28 เวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 เมื่อเกิดพอลต์สามเฟส.....	186
3.29 เวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ของพอลต์ระหว่างเฟส เมื่อตำแหน่ง เปลี่ยนแปลง.....	188
4.1 พารามิเตอร์และตัวแปรของการวิเคราะห์.....	193
4.2 ตัวแปรของสภาวะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติ.....	194
4.3 ตัวแปรด้านสถานีส่ง เมื่อเกิดฟ้าผ่าลงสายเฟส.....	195
4.4 ตัวแปรด้านสถานีส่ง เมื่อเกิดพอลต์หนึ่งเฟสลงดิน.....	198
4.5 ตัวแปรเมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟส.....	200
4.6 ตัวแปรด้านสถานีส่ง เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟสลงดิน.....	203
4.7 ตัวแปรด้านสถานีส่ง เมื่อเกิดพอลต์สามเฟส.....	206
4.8 การจำแนกฟ้าผ่าและพอลต์.....	211
4.9 การจำแนกเฟสที่เกิดฟ้าผ่า.....	212
4.10 การจำแนกพอลต์สามเฟส.....	212
4.11 การระบุเฟสที่เกิดพอลต์.....	213
4.12 ความเร็วคลื่นเดินทางเฉลี่ยในแต่ละสเกลหรือแต่ละช่วงความถี่.....	217

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของประเทศไทย .....	1
2.1 ลักษณะทางกายภาพของเสาส่งไฟฟ้า .....	13
2.2 โมเดลเสาไฟฟ้าแบบมัลติสตอรี .....	14
2.3 สัญญาณการแปลงเวฟเส้นแบบต่อเนื่อง .....	18
2.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์สัญญาณโดยการกรองความถี่ของการแปลงเวฟเส้น .....	19
2.5 การวิเคราะห์สัญญาณการแปลงเวฟเส้นแบบเต็มหน่วยในแต่ละช่วงความถี่ .....	20
2.6 รูปคลื่นกระแสอิมพัลส์ .....	21
2.7 วงจรสมมูลของสายส่งระยะสั้น .....	22
2.8 แผนภาพคุณลักษณะการสะท้อนของคลื่นชั่วขณะ .....	24
3.1 ไดอะแกรมเส้นเดียวของวงจรจำลอง .....	26
3.2 เสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงแบบมัลติสตอรี (Multistory transmission tower model) [48] .....	28
3.3 วงจรจำลองระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดัน 115 กิโลโวลต์ .....	30
3.4 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	33
3.5 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	35
3.6 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง .....	37
3.7 เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	40
3.8 เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	42
3.9 เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง .....	44
3.10 เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	47
3.11 เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	49
3.12 เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง .....	51
3.13 เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ABG มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	54
3.14 เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ABG มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	56
3.15 เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ABG มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง .....	58
3.16 เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	61
3.17 เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.18 เมื่อฟอลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง.....	65
3.19 ส่วนประกอบสมมาตรของกระแสไฟฟ้า สภาวะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติ.....	69
3.20 ส่วนประกอบสมมาตรของกระแสไฟฟ้า สภาวะเกิดความผิดปกติ.....	70
3.21 ลักษณะขนาดและเวลาของสัญญาณเวฟเล็ทแบบยกกำลังสอง เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า .....	72
3.22 ลักษณะขนาดและเวลาของสัญญาณเวฟเล็ทแบบไม่ยกกำลังสอง เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า .....	73
3.23 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง.....	75
3.24 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง.....	77
3.25 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง.....	79
3.26 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	81
3.27 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	83
3.28 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	85
3.29 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง.....	87
3.30 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง.....	89
3.31 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง.....	91
3.32 สัญญาณเวฟเล็ทของฟ้าผ่าเฟส A เมื่อตำแหน่งเปลี่ยนแปลง .....	94
3.33 สัญญาณเวฟเล็ทของฟ้าผ่าเฟส A เมื่อมุมแรงดันเปลี่ยนแปลง.....	95
3.34 เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	98
3.35 เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	100
3.36 เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	102
3.37 เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	104
3.38 เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	106
3.39 เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.40 เมื่อเกิดพอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง .....	110
3.41 เมื่อเกิดพอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง .....	112
3.42 เมื่อเกิดพอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง .....	114
3.43 สัญญาณเวฟเล็ทของพอลต์หนึ่งเฟสลงดิน เมื่อตำแหน่งเปลี่ยนแปลง .....	118
3.44 สัญญาณเวฟเล็ทของพอลต์หนึ่งเฟสลงดิน เมื่อมุมแรงดันเปลี่ยนแปลง.....	119
3.45 เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง.....	121
3.46 เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง.....	123
3.47 เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง.....	125
3.48 เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง.....	127
3.49 เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง.....	129
3.50 เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง.....	131
3.51 เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง.....	133
3.52 เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง.....	135
3.53 เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง.....	137
3.54 สัญญาณเวฟเล็ทของพอลต์ระหว่างเฟส เมื่อตำแหน่งเปลี่ยนแปลง.....	141
3.55 สัญญาณเวฟเล็ทของพอลต์ระหว่างเฟส เมื่อมุมแรงดันเปลี่ยนแปลง .....	142
3.56 เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ABG มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	144
3.57 เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ABG มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	146
3.58 เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ABG มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	148
3.59 เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ABG มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	150
3.60 เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ABG มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	152
3.61 เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ABG มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	154

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.62 เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ABG มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง .....	156
3.63 สัญญาณเวฟเล็ตเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่เฟส A และเฟส B มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง .....	158
3.64 เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ABG มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง .....	160
3.65 สัญญาณเวฟเล็ตของฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน เมื่อตำแหน่งเปลี่ยนแปลง .....	163
3.66 สัญญาณเวฟเล็ตของฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน เมื่อมุมแรงดันเปลี่ยนแปลง .....	164
3.67 เมื่อฟอลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	167
3.68 เมื่อฟอลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	169
3.69 เมื่อฟอลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	171
3.70 เมื่อฟอลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	173
3.71 เมื่อฟอลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	175
3.72 เมื่อฟอลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	177
3.73 สัญญาณของกระแสลำดับบวก เมื่อฟอลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง .....	179
3.74 สัญญาณของกระแสลำดับบวก เมื่อฟอลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง .....	181
3.75 เมื่อฟอลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง .....	183
3.76 สัญญาณเวฟเล็ตของฟอลต์สามเฟส เมื่อตำแหน่งเปลี่ยนแปลง .....	187
3.77 สัญญาณเวฟเล็ตของฟอลต์สามเฟส เมื่อมุมแรงดันเปลี่ยนแปลง .....	188
4.1 สัมประสิทธิ์ค่าสูงสุดของช่วงที่เกิดความผิดปกติและตัวแปรเปรียบเทียบด้านสถานีส่ง .....	192
4.2 อัลกอริทึมการแยกประเภทฟ้าผ่าและฟอลต์ .....	201
4.3 คุณลักษณะการเดินทางของคลื่นในสายส่ง .....	214
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นเดินทางและความถี่ .....	217
4.5 ไดอะแกรมเส้นเดียวของวงจรจำลองที่มีการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับ .....	219
4.6 คุณลักษณะการเดินทางของคลื่นในสายส่ง เมื่อเกิดความผิดปกติที่พื้นที่ส่วนที่ 1 .....	219
4.7 คุณลักษณะการเดินทางของคลื่นในสายส่ง เมื่อเกิดความผิดปกติที่พื้นที่ส่วนที่ 2 .....	220
4.8 คุณลักษณะการเดินทางของคลื่นในสายส่ง เมื่อเกิดความผิดปกติที่พื้นที่ส่วนที่ 3 .....	221
4.9 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่ง 10% ของความยาวสายส่ง .....	225
4.10 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่ง 20% ของความยาวสายส่ง .....	227

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

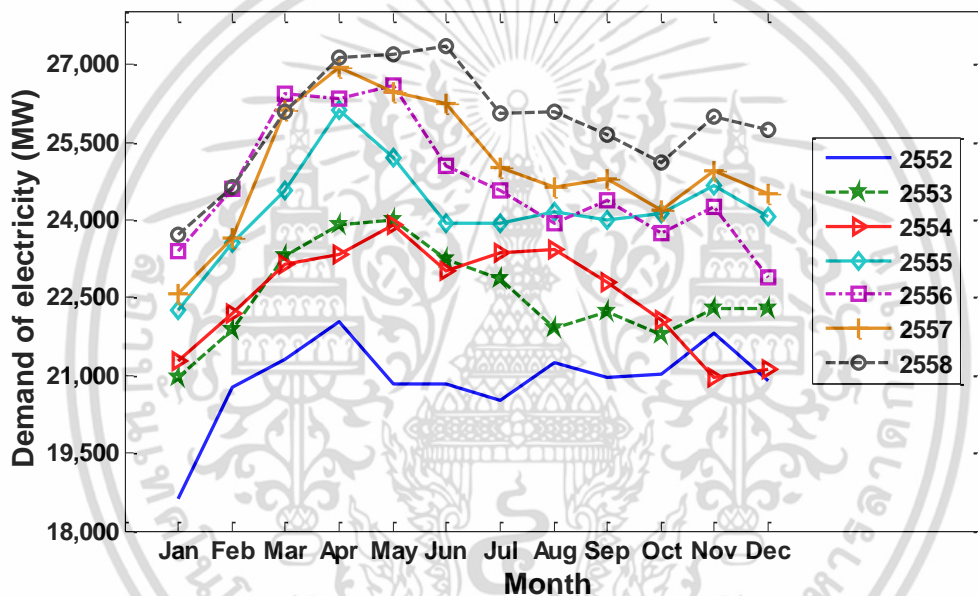
รูปที่	หน้า
4.11 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่ง 30% ของความยาวสายส่ง .....	229
4.12 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง .....	231
4.13 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่ง 50% ของความยาวสายส่ง .....	233
4.14 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง .....	235
4.15 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง .....	237
4.16 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่ง 80% ของความยาวสายส่ง .....	239
4.17 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่ง 90% ของความยาวสายส่ง .....	241
4.18 ประสิทธิภาพเฉลี่ยของการจำแนกความผิดปกติ .....	244
4.19 ประสิทธิภาพเฉลี่ยของการจำแนกความผิดปกติแต่ละชนิด .....	246
4.20 ประสิทธิภาพเฉลี่ยของการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ .....	248
4.21 ประสิทธิภาพเฉลี่ยของการจำแนกความผิดปกติแต่ละชนิด .....	251



# บทที่ 1 บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและการเติบโตของเศรษฐกิจ ส่งผลให้พลังงานไฟฟ้ามีบทบาทมากขึ้นทั้งด้านอุตสาหกรรมและการดำเนินชีวิตประจำวัน อีกทั้งจากข้อมูลสถิติการใช้พลังงานของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ในระหว่างปีพ.ศ. 2554-2558 ดังแสดงในรูปที่ 1.1 พบว่าแนวโน้มการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.5 ต่อปี โดยความต้องการไฟฟ้าสูงสุดอยู่ระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายนของทุกปี



รูปที่ 1.1 ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของประเทศไทย

ดังนั้นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการที่เพิ่มขึ้น การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้ดำเนินโครงการปรับปรุงและขยายระบบไฟฟ้าที่เสื่อมสภาพตามอายุการใช้งานที่ระดับแรงดัน 230 กิโลโวลต์ และ 115 กิโลโวลต์ โดยมีกำหนดการแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2560 เพื่อให้ระบบไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสามารถรองรับการเพิ่มขึ้นของกำลังการผลิตได้ ต่อมาการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้ดำเนินแผนพัฒนาพลังงาน พ.ศ. 2558-2579 (PDP2015) ซึ่งในแผนนี้ทำการเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้าจาก 37612 เมกะวัตต์ (ปี 2557) เป็น 70355 เมกะวัตต์ (ปี 2579) โดยการดำเนินการประกอบไปด้วยโครงการต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ คือ โครงการพัฒนาระบบส่งกำลังไฟฟ้าเพื่อตอบสนองต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ซึ่งได้ทำการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าแรงดันสูงแห่งใหม่ เพื่อเป็นจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่การไฟฟ้านครหลวง (กฟน) อีกทั้งยังมีการปรับปรุงขนาดของสถานีไฟฟ้าเดิมให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อสามารถรองรับการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้น โครงการเพิ่มศักยภาพของระบบส่งกำลังไฟฟ้าให้

สามารถรองรับการเชื่อมต่อของโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกตามนโยบายรัฐบาลได้อย่างมีประสิทธิภาพและรองรับการซื้อไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้าน เช่น กัมพูชา มาเลเซีย เป็นต้น

นอกจากนี้การไฟฟ้านครหลวง (กฟน) ได้จัดทำแผนปรับปรุงและขยายระบบจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า ฉบับที่ 11 ปี 2555-2559 เพื่อปรับปรุงและขยายระบบไฟฟ้าให้รองรับความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในปี 2555-2559 ให้เพียงพอ ดังต่อไปนี้

1. แผนพัฒนาระบบสถานีไฟฟ้าต้นทางและสถานีไฟฟ้าย่อย ได้มีการเพิ่มขนาดสถานีไฟฟ้าต้นทางและสร้างสถานีไฟฟ้าย่อยเพิ่ม เพื่อรองรับภาระไฟฟ้ามากขึ้น

2. แผนพัฒนาสายส่งไฟฟ้า โดยมีการสร้างสายส่งไฟฟ้าใหม่และปรับปรุงสายส่งไฟฟ้าเก่า เช่น เปลี่ยนสายส่งไฟฟ้าจาก 1 เส้นต่อเฟสเป็น 2 เฟสต่อเส้น

3. แผนดำเนินงานเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 12 กิโลโวลต์เป็น 24 กิโลโวลต์ เป็นต้น ซึ่งจากการพัฒนาเหล่านี้แม้จะรองรับพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นนี้ทำให้โครงสร้างของระบบไฟฟ้ามีความซับซ้อนขึ้น โดยความซับซ้อนของโครงสร้างระบบไฟฟ้า อาจส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ามีอัตราการเกิดความผิดปกติเพิ่มขึ้น เช่น ระบบไฟฟ้าที่มีโครงสร้างความซับซ้อน มีโอกาสเกิดการลัดวงจร เนื่องจากการพาดผ่านของสิ่งมีชีวิตได้ง่ายกว่าระบบไฟฟ้าที่มีโครงสร้างพื้นฐานปกติ เป็นต้น ซึ่งความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้ามีหลายสาเหตุและส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าในระดับความเสียหายที่แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงและลดความเสียหายนี้จึงจำเป็นต้องศึกษาและทราบคุณลักษณะของความผิดปกตินั้น ๆ

ความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้านั้นแบ่งตามลักษณะการเกิดได้ 2 ประเภท คือ ความผิดปกติที่เกิดขึ้นโดยมีสาเหตุการเกิดจากธรรมชาติและความผิดปกติที่มีสาเหตุมาจากโครงสร้างของระบบไฟฟ้า โดยความผิดปกติที่มีสาเหตุมาจากธรรมชาติ เช่น เหตุการณ์ฟ้าผ่ากระทำกับส่วนต่าง ๆ ของระบบไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นสายดินล่อฟ้าวางเหนือระบบ (Overhead ground wire) เสาไฟฟ้า (Transmission tower) สายเฟส (Phase line) และฉนวน (Insulator) จากสถิติการเก็บข้อมูลระยะเวลา 5 ปีของกรมอุตุนิยมวิทยาที่เผยแพร่ในปี 2556 พบว่า ประเทศไทยมีอัตราผู้เสียชีวิตเนื่องจากฟ้าผ่าเพิ่มขึ้นทุก ๆ ปี โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีผู้เสียชีวิตสูงสุดถึงร้อยละ 58.8 และมีอัตราเกิดฝนฟ้าคะนองเฉลี่ยสูงสุดร้อยละ 155.76 วันต่อปี

ดังนั้นจากสถิติดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า เหตุการณ์ฟ้าผ่าเนื่องจากฝนฟ้าคะนองเป็นเหตุการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดเป็นประจำและไม่สามารถยับยั้งการเกิดได้ หากเกิดการกระทำระหว่างฟ้าผ่าต่อระบบไฟฟ้าขึ้นแล้วจะสร้างความเดือดร้อนแก่ประชากรอย่างมากทั้งด้านชีวิตและด้านเศรษฐกิจ เช่น เหตุการณ์ฟ้าผ่าที่กระทำกับระบบไฟฟ้า ส่งผลให้ 14 จังหวัดบริเวณภาคใต้ของประเทศไทยเกิดไฟฟาดับ จากรายงานของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยระบุว่า เหตุการณ์นี้มีสาเหตุจากฟ้าผ่าลงบริเวณสายเฟสที่ส่งกำลังไฟฟ้าจากภาคกลางลงสู่ภาคใต้ ทำให้ไฟฟ้าขัดข้องและจ่ายกำลังไฟฟ้าเกินพิกัด จนในที่สุดทำให้ระบบไฟฟ้าล้มเหลว ไม่สามารถส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง นายธนิต โสรัตน์ รักษาการประธานสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ประเมินว่า ไฟฟ้าดับครั้งนี้สร้างความเสียหายแก่อุตสาหกรรมภาคใต้เป็นเงินประมาณ 10,000 ล้านบาท

ทางด้านความผิดปกติเนื่องจากโครงสร้างของระบบไฟฟ้า สามารถสร้างความเสียหายไม่น้อยไปกว่าฟ้าผ่า ตัวอย่างเหตุการณ์เช่น เหตุการณ์ไฟฟาดับที่นครนิวยอร์ก เมื่อวันที่ 14 สิงหาคม พ.ศ. 2546 โดยสาเหตุหลักเกิดจากการไม่สมดุลของระบบไฟฟ้าที่เริ่มจากความผิดปกติของโรงไฟฟ้าและระบบสายส่งในรัฐโอไฮโอ ก่อนจะส่งผลลามไปสู่รัฐมิชิแกนและท้ายที่สุดทำให้ระบบไฟฟ้าล้มเหลว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผลกระทบต่อไปยังรัฐข้างเคียงอื่น ๆ รวมถึงเมืองใหญ่ ๆ เช่น นิวยอร์ก เป็นต้น โดยจากเหตุการณ์นี้ ได้สร้างความเสียหายทางเศรษฐกิจกว่า 240,000 ล้านบาทและสร้างความเสียหายแก่ประชากร ประมาณ 40 ล้านคน จากเหตุการณ์ที่ยกตัวอย่างเห็นได้ว่า เมื่อเกิดความเสียหายไม่ว่าลักษณะใดก็ตามล้วนแต่สร้างความเดือดร้อนต่อประชากรและสร้างความสูญเสียทางด้านเศรษฐกิจทั้งสิ้น ดังนั้นระบบไฟฟ้าจึงควรมีประสิทธิภาพสามารถรองรับการเกิดเหตุการณ์ความผิดปกติในรูปแบบต่าง ๆ และสามารถทำการแก้ไขให้ระบบไฟฟ้ากลับคืนสู่สภาวะปกติได้โดยเร็ว เพื่อลดระยะเวลาความเดือดร้อนของประชากรผู้ใช้ไฟฟ้าและความเสียหายทางด้านเศรษฐกิจ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการติดตั้งระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 2 แบบ คือ

แบบการติดตั้งระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเหนือดิน (Overhead line system) ซึ่งพบเห็นได้ทั่วไปของประเทศไทย ระบบไฟฟ้านี้มีปัญหาการเกิดความขัดข้องบ่อย ซึ่งมีสาเหตุมาจากการพาดผ่านของต้นไม้และสิ่งมีชีวิต การพาดระหว่างกันของสายตัวนำ ความเสื่อมสภาพของฉนวนและอุปกรณ์ต่าง ๆ

แบบการติดตั้งระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าใต้ดิน (Underground cable system) โดยระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าใต้ดินนั้น ทำการติดตั้งในพื้นที่ส่วนน้อย เช่น สีลม พญาไท ปทุมวัน พหลโยธิน และสุขุมวิท โดยความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้านี้มีลักษณะเช่นเดียวกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเหนือดิน ยกเว้นไม่เกิดกรณีความผิดปกติที่มีสาเหตุมาจากต้นไม้หรือสิ่งมีชีวิตพาดผ่าน

เนื่องด้วยพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยเป็นการติดตั้งระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเหนือดิน ซึ่งสายส่งของระบบไฟฟ้านี้มีความน่าเชื่อถือต่ำ เกิดความเสียหายได้ง่าย ดังนั้นการศึกษาวิเคราะห์ความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเหนือดินจึงเป็นสิ่งจำเป็น

เมื่อทำการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีผู้ที่ทำการศึกษาผลกระทบของฟ้าผ่าและฟอลต์ที่เกิดขึ้นในด้านต่าง ๆ ของระบบไฟฟ้าจำนวนมาก ในที่นี้จำแนกออกเป็น 2 ด้านคือ ด้านงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับฟ้าผ่าและด้านงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับฟอลต์ดังแสดงต่อไปนี้

งานวิจัยด้านฟ้าผ่า สามารถจำแนกวัตถุประสงค์การศึกษาได้ 4 ด้านคือ ด้านสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ด้านลักษณะสัญญาณ ด้านการระบุตำแหน่งและด้านผลกระทบของฟ้าผ่าที่มีต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า เมื่อเกิดฟ้าผ่าขึ้น สนามแม่เหล็กบริเวณรอบ ๆ ตำแหน่งฟ้าผ่ามีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งทำการศึกษาผลกระทบของฟ้าผ่าต่อสนามแม่เหล็ก เช่น งานวิจัยลำดับที่ 1 นำเสนอวิธีการประเมินสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในแนวระนาบของช่องฟ้าผ่า (Lightning channel) แสดงผลในรูปของโดเมนเวลา โดยอาศัยการแปลงฟูเรียร์ผกผันแบบกึ่งวิเคราะห์ (Semianalytical Inverse Fourier Transform) ซึ่งมีแนวคิดพื้นฐานมาจากผลตอบสนองของโดเมนความถี่ที่เกิดจากการรวมกันของฟังก์ชันลูกบาศก์คู่ของฟังก์ชันเอสพีไลน์ (Spline Function) เมื่อทำการเปรียบเทียบกับกรแปลงฟูเรียร์ผกผันแบบดั้งเดิมพบว่า วิธีที่นำเสนอสามารถลดระยะเวลาการประมวลผลลงได้ 50 ช่วงเวลา งานวิจัยลำดับที่ 2 ทำการวิเคราะห์การแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าเนื่องจากฟ้าผ่าจากก่อนเมฆลงสู่พื้นดิน โดยใช้การแปลงฟูเรียร์ กำหนดให้ความถี่สเปกตรัมอยู่ในช่วง 20 กิโลเฮิร์ตซ์ ถึง 20 เมกะเฮิร์ตซ์ สเปกตรัมที่ใช้ในการวิเคราะห์อยู่ในช่วง 10 มิลลิวินาทีแรกเมื่อเกิดฟ้าผ่า โดยมีอัตราความถี่สุ่มเท่ากับ 10 นาโนวินาที ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าวิธีการวิเคราะห์การแผ่กระจายสนามแม่เหล็ก โดยใช้การแปลงฟูเรียร์ให้ผลลัพธ์สอดคล้องกับวิธีการประเมินโดยใช้แต่ละพัลส์ของฟ้าผ่า งานวิจัยลำดับที่ 3 ทำการเก็บข้อมูลฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นที่ค่ายเบลนดิง ประเทศสหรัฐอเมริกาในปี 2004-2005 เพื่อนำมาวิเคราะห์สนามแม่เหล็กที่แผ่กระจายเนื่องจากไดโพลไฟฟ้า โดยใช้วิธีรูปแบบเชิงซ้อนแบบเต็มหน่วย (The Discrete Complex Images Method)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อพิจารณาคุณลักษณะกระแสไฟฟ้าโดยเปรียบเทียบค่าที่ตรวจวัดจริงกับค่าการคำนวณพบว่าเกิดความคลาดเคลื่อนมาก ซึ่งมีสาเหตุจากรูปแบบอิมพัลส์ฟ้าผ่าและฟังก์ชันการคำนวณ งานวิจัยลำดับที่ 4 นำเสนอโมเดลสำหรับประเมินสนามแม่เหล็กที่กระจายอยู่ในระบบป้องกันฟ้าผ่า (LPS) ที่มีสาเหตุจากเกิดฟ้าผ่าโดยตรง โมเดลจำลองอ้างอิงจากระบบไฟฟ้าวงจรตัวนำคู่ที่สามารถรวมเข้ากับโมเดลจำลองหรือสามารถลดรูปให้อยู่ในรูปวงจรสมมูลสองพอร์ต ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอมีประสิทธิภาพในการประเมินสนามแม่เหล็กเฉพาะเมื่อเกิดฟ้าผ่าขนาดกระแสต่ำเท่านั้น หากขนาดฟ้าผ่าเพิ่มขึ้น แรงดันทรานเซียนจากพื้นเพิ่มขึ้นตาม ส่งผลให้การวิเคราะห์คลาดเคลื่อนเนื่องจากไม่ได้คำนึงถึงระบบการต่อลงดิน

ต่อมาเมื่อพิจารณาด้านคุณลักษณะสัญญาณต่าง ๆ เมื่อเกิดฟ้าผ่า เช่น งานวิจัยลำดับที่ 5 นำเสนอการตรวจจับกระแสระยะไกล เพื่อแสดงรูปแบบสัญญาณกระแสฟ้าผ่าย้อนกลับโดยใช้วิธีการสังเคราะห์ตัวเลขของสนามแม่เหล็ก ทำการวิเคราะห์ด้วยโดเมนเวลาของสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กเนื่องจากฟ้าผ่า ต่อมาทำการแปลงสัญญาณดังกล่าวให้อยู่ในรูปฮาร์มอนิกโดยใช้การแปลงฟูเรียร์ เปรียบเทียบผลพบว่า การนำสัญญาณทั้งสองมาประยุกต์ร่วมกันจะให้ประสิทธิภาพการตรวจสอบดีขึ้น งานวิจัยลำดับที่ 6 ทำการวิเคราะห์แรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในท่อความยาว 1 กิโลเมตรของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเหนือดินคู่ขนาน เนื่องจากฟ้าผ่าหรือการสวิตชิงของอุปกรณ์ ผลการศึกษาพบว่า แรงดันเหนี่ยวนำเนื่องจากฟ้าผ่ามีขนาดมากกว่าสวิตชิงและถึงแม้ว่าแรงดันของ สวิตชิงน้อยกว่าฟ้าผ่าแต่ก็มีขนาดมากพอที่จะสร้างความเสียหายแก่อุปกรณ์อื่น ๆ ในระบบไฟฟ้า นอกจากนี้ยังพบว่าความต้านทานดินแปรผันตามแรงดันเหนี่ยวนำ งานวิจัยลำดับที่ 7 ทำการศึกษาคุณลักษณะกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างอาคารเสริมเหล็ก เมื่อเกิดฟ้าผ่าจากก้อนเมฆลงสู่พื้นดิน ศึกษาความสัมพันธ์ของความสูงอาคารและจำนวนเสาต่อฟ้าที่มีต่อกระแสฟ้าผ่าเหนี่ยวนำ อีกทั้งยังศึกษาลักษณะหลังคาของสิ่งปลูกสร้างว่ามีผลต่อขนาดกระแสฟ้าผ่าเหนี่ยวนำหรือไม่ ผลพบว่า ขนาดตัวนำของเสาต่อฟ้าและวัสดุที่ใช้ไม่มีผลต่อขนาดและคุณลักษณะของกระแสฟ้าผ่าเหนี่ยวนำ งานวิจัยลำดับที่ 8 นำเสนอฟังก์ชันกระแสฟ้าผ่ารูปแบบใหม่ ซึ่งมีรูปแบบซับซ้อนมากกว่ากระแสฟ้าผ่าอุดมคติ แต่ให้ความถูกต้องของรูปแบบกระแสมากกว่า ผลการตรวจสอบเบื้องต้นพบว่ารูปแบบกระแสที่นำเสนอสามารถแทนที่รูปแบบสัญญาณกระแสฟ้าผ่าอุดมคติได้โดยไม่มีผลต่อเวลาในการประมวลผล

ในบางครั้งวิธีการวิเคราะห์วิธีเดียวอาจไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งทำการประยุกต์วิธีต่าง ๆ ร่วมกัน เพื่อนำคุณลักษณะเด่นของแต่ละวิธีมาใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด เช่น งานวิจัยลำดับที่ 9 นำเสนอฟังก์ชันกระแสฟ้าผ่ารูปแบบใหม่ โดยการนำวิธีสมการเชิงอนุพันธ์ อินทิกรัลและการแปลงฟูเรียร์มาประยุกต์ร่วมกันเพื่อวิเคราะห์กระแสลำดับบวกแรกของสัญญาณกระแสฟ้าผ่าย้อนกลับและองค์ประกอบย่อยของสัญญาณ ซึ่งวิธีการนี้สามารถนำไปปรับใช้กับรูปแบบฟ้าผ่าย้อนกลับอื่น ๆ ได้ และงานวิจัยลำดับที่ 10 นำเสนอการวิเคราะห์เวลาที่เกิดกระแสทรานเซียนสูงสุดที่อยู่ในแนวระนาบของอิเล็กทรอนิกส์ทรานส์มิสเซอร์ที่มีระยะทางจำกัด วิเคราะห์ผลของพื้นดินและอากาศจากสัมประสิทธิ์การสะท้อน โดยใช้การแปลงลาปลาซและทฤษฎีบทตกค้าง เป็นต้น ต่อมาเนื่องจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยี เริ่มมีผู้วิจัยนำประโยชน์ของความก้าวหน้านี้เข้ามาปรับใช้กับงานวิจัยของตนเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่น งานวิจัยลำดับที่ 11 นำข้อมูลฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นในปี 1999-2007 ที่ประเทศสวีตเซอร์แลนด์จากองค์การความร่วมมือระหว่างสหภาพยุโรปด้านการตรวจจับฟ้าผ่า (EUCLID) มาวิเคราะห์ด้วยกฎของเบนฟอร์ด (Benford's Law) ผลพบว่า กฎของเอกสาร์นี้เป็นเอกสาร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบนฟอร์ดไม่เหมาะที่จะนำมาวิเคราะห์ลักษณะกระแสฟ้าผ่า เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์คุณลักษณะกระแสฟ้าผ่าขนาดต่ำเท่านั้น แต่วิธีนี้กลับเหมาะสมที่จะนำไปวิเคราะห์ตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่ามากกว่า งานวิจัยลำดับที่ 12 ทำการติดตั้งเซนเซอร์ในระบบไฟฟ้า เพื่อศึกษาคุณลักษณะสนามแม่เหล็ก นำค่าเวลาที่ตรวจวัดจากเซนเซอร์ไปประเมินการแผ่กระจายของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากฟ้าผ่า แยกแยะและประมาณการดีสชาร์จ เป็นต้น

เนื่องจากฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่ไม่สามารถหยุดยั้งและมีพลังงานทำลายล้างสูงถึงแม้ว่าไม่สามารถระงับการเกิดฟ้าผ่าได้ แต่สามารถลดระดับความเสียหายได้ถ้าทราบตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่า ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนมากศึกษาเรื่องการระบุตำแหน่งด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น งานวิจัยลำดับที่ 13 มีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกและระบุตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่า โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของสายส่ง (Principal component transmission line analysis: PCA) ผลลัพธ์พบว่า วิธีที่นำเสนอมีประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งมากกว่าวิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยอิมพีแดนซ์ฟ้าผ่า งานวิจัยลำดับที่ 14 นำเสนอการระบุตำแหน่งการวาปไฟและฟ้าผ่า โดยใช้ทฤษฎีเวฟเล็ทแพ็กเก็ตร่วมกับความเร็วคลื่นเดินทาง ซึ่งนอกจากมีประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งแล้วยังสามารถวิเคราะห์คุณลักษณะกระแสฟ้าผ่า ตัวแปรที่มีผลกระทบและชั่วคราวไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากการวาปไฟและฟ้าผ่าอีกด้วย นอกจากนี้ทฤษฎีและแนวคิดของวิธีการระบุตำแหน่งฟ้าผ่าที่มีประสิทธิภาพแล้ว ประสิทธิภาพของการปฏิบัติจริงยังเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ เช่น งานวิจัยลำดับที่ 15 นำเสนอวิธีการตรวจจับตำแหน่งเพลิงไหม้เนื่องจากฟ้าผ่า โดยอาศัยตัวตรวจจับเพลิงไหม้ (MODIS) ผลพบว่า ตัวตรวจจับสามารถตรวจวัดและประมวลผลได้รวดเร็ว โดยมีความคลาดเคลื่อนเพียง 625 ตารางกิโลเมตรต่อ 5 กลุ่มเพลิงเท่านั้น แต่เนื่องจากตัวตรวจวัดนี้ไม่สามารถทำงานตรวจจับได้ต่อเนื่อง ดังนั้นจึงไม่สามารถตรวจสอบกลุ่มเพลิงไหม้ขนาดใหญ่ได้ งานวิจัยลำดับที่ 16 วิเคราะห์คุณลักษณะกระแสฟ้าผ่าย้อนกลับที่ตรวจวัดได้จากระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS) ซึ่งจะแสดงผลของเวลาที่เกิดฟ้าผ่าทันที สามารถนำไปศึกษาความสัมพันธ์ของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าได้ ผลพบว่า ทั้งสองมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น เนื่องจากผลของสนามแม่เหล็กและกระแสไฟฟ้าสูงสุด นอกจากนี้ยังสามารถนำความสัมพันธ์ดังกล่าวไปใช้ในการตรวจจับกระแสฟ้าผ่าย้อนกลับและแก้ปัญหาแหล่งจ่ายผกผัน (Inverse source) งานวิจัยลำดับที่ 17 ทำการตรวจวัดเวลาและตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่า โดยอาศัยระบบตรวจจับฟ้าผ่าทั่วโลก (WWLL) ซึ่งมีหลักการทำงาน คือ อาศัยคลื่นความถี่ต่ำมาก (VLF) ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ตรวจวัดได้จากเซนเซอร์ในการวิเคราะห์ ผลพบว่า มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 30 ไมโครวินาทีเท่านั้น อีกทั้งเซนเซอร์ยังสามารถตรวจวัดคลื่นอิมพัลส์อื่น ๆ ของฟ้าผ่า โดยทำการปรับเปลี่ยนค่าเริ่มต้นการตรวจจับทุก 3 วินาที งานวิจัยลำดับที่ 18 ทำการตรวจจับและระบุตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่า โดยอ้างอิงจากข้อมูลฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นจริง ในปี 2005 ที่อาคารแห่งชาติแคนาดา ผลพบว่า วิธีดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่ง โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเพียง 0.395 กิโลเมตรเท่านั้น นอกจากนี้ยังพบว่า ขนาดฟ้าผ่าสูงสุดสามารถนำไปประเมินความสูงของอาคารได้ งานวิจัยลำดับที่ 19 นำเสนอแนวทางการป้องกันฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าแบบใหม่ สามารถระบุหน่วยเริ่มต้น ขอบเขต ทิศทางและชั่วคราวกระแสไฟฟ้า โดยอาศัยค่าเวลาจากอุปกรณ์ตัวจับดิจิทัล (RTDS) และอุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง (HVDC) ผลการศึกษาพบว่า นอกจากสามารถตรวจจับฟอลต์ที่เกิดขึ้นในสายส่งได้ทันทีแล้วยังสามารถตรวจจับฟอลต์อิมพีแดนซ์สูงของพื้นดินและการรบกวนของฟ้าผ่าในฟอลต์ลัตวเจอร์ ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงการเริ่มต้นใหม่ของระบบไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง งานวิจัยลำดับที่ 20 ทำการศึกษาการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจายของสนามแม่เหล็กเมื่อเกิดฟ้าผ่าโดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ตัวจับ (GPS) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าที่ทำการศึกษานี้อ้างอิงที่พื้นที่ต่างกัน 4 แบบ สถานีรับของแต่ละพื้นที่แยกจากกัน โดยมีสถานีภายในชั้นกลาง วิธีการนี้มีข้อดีคือ ถึงแม้ไม่ได้มีการเชื่อมต่อกันในแต่ละสถานีแต่ยังสามารถให้ข้อมูลเวลาและตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าได้ถูกต้อง ดังนั้นจึงสามารถนำแนวทางของวิธีนี้ไปใช้ในการตรวจจับฟ้าผ่าในพื้นที่บริเวณกว้าง

ฟ้าผ่านอกจากสร้างความเสียหายโดยตรงต่อตำแหน่งที่เกิดแล้ว สภาพแวดล้อมโดยรอบยังได้รับความเสียหายไม่แพ้กัน เช่น งานวิจัยลำดับที่ 21 ทำการศึกษาผลกระทบของฟ้าผ่าที่มีต่อเมทัลออกไซด์อะเรสเตอร์ ซึ่งเป็นหนึ่งในอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการป้องกันระบบไฟฟ้าจากฟ้าผ่า โดยพิจารณาผลกระทบการปนเปื้อนของพื้นผิวและแสงอัลตราไวโอเล็ตที่มีต่อกระแสรั่วไหลในอุปกรณ์ ผลการศึกษาพบว่า การปนเปื้อนของพื้นผิวสัมผัสและมลภาวะโดยรอบมีผลต่อฮาร์มอนิกพื้นฐานมากกว่าแสงอัลตราไวโอเล็ต งานวิจัยลำดับที่ 22 ทำการวิเคราะห์ความร้อนที่เกิดขึ้นในอะเรสเตอร์ซึ่งคือออกไซด์และวิเคราะห์หาสาเหตุ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) ผลพบว่า ปริมาณความร้อนที่ตรวจจับได้จากภาพถ่ายสามารถจำแนกชนิดความผิดปกติได้ถูกต้อง 99.4% แต่ยังคงมีความคลาดเคลื่อนบางส่วน ดังนั้นจึงต้องอาศัยโครงข่ายการวิเคราะห์ที่ละเอียดขึ้น เช่น โครงข่ายประสาทเทียมแบบฟังก์ชันฐานหลักที่มีการรัศมี (RBF) งานวิจัยลำดับที่ 23 ศึกษาการทำงานและผลการตรวจจับของเมทัลออกไซด์วาเรสเตอร์ (MOV) โดยการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวถูกออกแบบให้ขึ้นอยู่กับพีคความร้อนเท่านั้น ในสภาวะปกติเกิดแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์ แต่เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้น เช่น การลัดวงจร เกิดการเปิดวงจร กระแสและแรงดันมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุที่ว่าทำไมวาเรสเตอร์จึงสามารถทำงานได้เฉพาะความผิดปกติที่มีการเปิดวงจรเท่านั้น

หลังจากทำการศึกษางานวิจัยด้านฟ้าผ่าแล้วอันดับต่อไปทำการศึกษางานวิจัยด้านฟอลต์ต่อ ซึ่งงานวิจัยด้านฟอลต์สามารถจำแนกวัตถุประสงค์การศึกษาได้ 4 ด้านคือ ด้านการวิเคราะห์สัญญาณเมื่อเกิดฟอลต์ ด้านการตรวจจับและระบุตำแหน่งฟอลต์ ด้านการประยุกต์วิธีการระบุตำแหน่งเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและการระบุตำแหน่งโดยอาศัยเทคโนโลยีร่วม ดังกล่าวต่อไปนี้

ด้านการวิเคราะห์สัญญาณ เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบไฟฟ้า แรงดันและกระแสเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งทำการศึกษาคูณลักษณะและผลกระทบที่มีต่อกระแสและแรงดันไฟฟ้า เช่น งานวิจัยลำดับที่ 24 ทำการศึกษาความแตกต่างของกระแสไหลลด แรงดันแหล่งจ่ายและระยะแกปในสภาวะปกติและสภาวะฟอลต์ โดยอาศัยการตรวจจับเวลาและความถี่ งานวิจัยลำดับที่ 25 ทำการวิเคราะห์สัญญาณกระแสเมื่อเกิดฟอลต์ โดยอาศัยการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (DWT) พิจารณาผลกระทบของรูปแบบสัญญาณเวฟเล็ตแม่ ระดับของเวฟเล็ต ความถี่สูงและมุมแรงดันฟอลต์ ผลพบว่า พารามิเตอร์ดังกล่าวล้วนมีผลกระทบต่อคุณลักษณะกระแสที่ผ่านการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย โดยเฉพาะระดับของเวฟเล็ต คือ ถ้าระดับเพิ่ม ขนาดสัมประสิทธิ์ของสัญญาณเวฟเล็ตลดลง บางครั้งในการตรวจจับต้องการพิจารณาจากขนาดสัมประสิทธิ์ หากสัมประสิทธิ์มีขนาดน้อยเกิน อาจทำให้การตรวจจับคลาดเคลื่อน ดังนั้นจึงควรพิจารณาและเลือกระดับเวฟเล็ตให้เหมาะสมต่อสัญญาณ เพื่อให้การวิเคราะห์มีประสิทธิภาพ โดยในงานวิจัยลำดับที่ 26 นำเสนอวิธีการป้องกันสายส่งระยะยาวที่มีการติดตั้งตัวชดเชย โดยเลือกใช้เวฟเล็ตแม่ที่ต่างกัน 2 ชนิดมาวิเคราะห์สัญญาณ ทำการจำลองและประมวลผลด้วยโปรแกรม PSCAD/EMTDC และโปรแกรม MATLAB ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาด้านการตรวจจับและระบุตำแหน่งฟอลต์ ดังเช่นการศึกษาในงานวิจัยลำดับที่ 27 นำเสนอวิธีการตรวจจับและระบุตำแหน่งฟอลต์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยอาศัยการแปลงกระแสในแต่ละฟีดเดอร์ให้อยู่ในรูปสัญญาณเวฟเล็ต ทำการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า 282 บัสแบบไม่ควบสายส่งด้วยโปรแกรม ATP/EMTP ผลการศึกษาพบว่า วิธีที่นำเสนอมีประสิทธิภาพในการวินิจฉัยฟอลต์ลัดวงจรทุกประเภท งานวิจัยลำดับที่ 28 นำเสนอแนวทางการป้องกันระบบไฟฟ้า โดยการพิจารณาพื้นที่ที่เกิดฟอลต์และจำแนกชนิดฟอลต์ ซึ่งอาศัยพารามิเตอร์กระแสเพียง 1 เฟสจากระบบไฟฟ้า 3 เฟส แปลงกระแสวิเคราะห์ด้วยวิธีการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า วิธีนำเสนอมีประสิทธิภาพในการจำแนกพื้นที่ ทิศทางและชนิดฟอลต์ ดังนั้นวิธีดังกล่าวจึงสามารถป้องกันสายส่งได้ในระดับปฐมภูมิ ป้องกันสำรองสายส่งเส้นถัดไป อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบไฟฟ้าแรงสูงและแรงสูงพิเศษ งานวิจัยลำดับที่ 29 นำเสนอการตรวจจับและระบุตำแหน่งฟอลต์ของระบบไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยการแปลงเวฟเล็ตเต็มหน่วยแบบซ้อนทับสูงสุด (Maximal Overlap Discrete Wavelet Transform) อ่างอิงระบบไฟฟ้าของประเทศบราซิลแรงดัน 500 กิโลโวลต์ ระยะทางสายส่ง 400 กิโลเมตร ทำการจำลองเหตุการณ์ฟอลต์ 1,000 เหตุการณ์ โดยแบ่งออกเป็นเหตุการณ์ฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน 67% ฟอลต์ระหว่างเฟส 25% ฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน 3% และฟอลต์สามเฟส 5% ทำการสุ่มเงื่อนไขการเกิดฟอลต์ต่อไปนี้เป็น ความต้านฟอลต์ที่มีค่าระหว่าง 0-50 โอห์ม มุมแรงดันฟอลต์ 0-180 องศา ตำแหน่งฟอลต์ที่ 15-385 กิโลเมตร นอกจากการศึกษาฟอลต์ที่เกิดขึ้นกับระบบสายส่งไฟฟ้าแล้ว ฟอลต์ยังมีโอกาสเกิดกับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ เช่น หม้อแปลงและมอเตอร์ ดังงานวิจัยต่อไปนี้เป็น งานวิจัยลำดับที่ 30 ทำการศึกษาฟอลต์ที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงเหนี่ยวนำ พิจารณาตัวแปรเวลาและความถี่ของกระแสสเตเตอร์ โดยการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย ผลพบว่า สามารถนำไปตรวจจับชนิดฟอลต์ ความเสียหายที่เกิดขึ้นในโรเตอร์บาร์และส่วนปลายของวงแหวน ความสูญเสียของสเตเตอร์ขณะทำงาน งานวิจัยลำดับที่ 31 พิจารณาฟอลต์ในมอเตอร์ โดยอาศัยขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแสสเตเตอร์ ผลพบว่า วิธีที่นำเสนอสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับความไม่สมดุลของโรเตอร์ที่เกิดจากกระแสฮาร์มอนิกสูงและวิเคราะห์องค์ประกอบอื่น ๆ เช่น สลิตฮาร์โมนิก (PSH) งานวิจัยลำดับที่ 32 นำเสนอวิธีการตรวจจับความเสียหายที่เกิดขึ้นในโรเตอร์บาร์ของหม้อแปลงเหนี่ยวนำกรงกระรอก โดยใช้สลิปในการประมาณองค์ประกอบความถี่ที่สเปกตรัมต่าง ๆ จากการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย ผลพบว่า วิธีที่นำเสนอสามารถนำไปวิเคราะห์กระแสสเตเตอร์ ขนาดของสเปกเตอร์และขนาดกระแสสเตเตอร์ชั่วขณะที่เกิดจากความเสียหายของโรเตอร์

จากข้างต้นเห็นได้ว่า วิธีการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยสามารถนำมาใช้ในกาวิเคราะห์ฟอลต์ที่เกิดขึ้นทั้งในระบบสายส่งไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การแปลงเวฟเล็ตยังมีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถตรวจจับฟอลต์ที่มีความหน่วงมาก (Overdamp) ดังนั้นเพื่อหาทางแก้ปัญหานี้ งานวิจัยลำดับที่ 33 จึงทำการตรวจจับฟอลต์ที่มีความหน่วง โดยการประยุกต์วิธีการแปลงเวฟเล็ตร่วมกับขอบเขตพลังงาน ขอบเขตพลังงานนี้สามารถกำจัดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตไม่พึงประสงค์เนื่องจากความหน่วงได้ ดังนั้นจึงสามารถตรวจจับฟอลต์ได้มีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับฟอลต์หน่วงต่ำ (Underdamp) และหน่วงวิกฤติ (Critical damp)

นอกเหนือจากวิธีการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ฟอลต์แล้ว ยังมีงานวิจัยอื่น ๆ ที่นำเสนอแนวคิดวิเคราะห์ที่แตกต่างออกไป เช่น งานวิจัยลำดับที่ 34 นำเสนอการตรวจจับฟอลต์ในสายส่งไฟฟ้า จากการประยุกต์ร่วมกันของวิธีการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการแบ่งจำนวนเฉพาะ (SVD) โดยนำสัมประสิทธิ์แปลงเวฟเล็ทแบบไม่ต่อเนื่องของสัญญาณพอลต์ มาวิเคราะห์ต่อด้วยวิธีการแบ่งจำนวนเฉพาะ ซึ่งทำให้สามารถจำแนกพอลต์หนึ่งเฟสลงดิน พอลต์ ระหว่างเฟสลงดินและพอลต์สามเฟส วิธีการที่นำเสนอนี้สามารถลดความซับซ้อนของการคำนวณและลดระยะเวลาการประมวลผล งานวิจัยลำดับที่ 35 นำเสนอวิธีการตรวจจับพอลต์ โดยใช้วิธีการแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วย เวฟเล็ทแพ็กเกจและโครงข่ายประสาทเทียมร่วมกัน ในการวิเคราะห์นำขนาดสัมประสิทธิ์สูงสุดที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ทไปหาตำแหน่งพอลต์ต่อด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ผลพบว่า มีประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่ง โดยมีความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.35% และความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเพียง 0.25% ตัวแปรของชนิดพอลต์ มุมแรงดันที่เกิดพอลต์ ความต้านทานและตำแหน่งพอลต์ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการวิเคราะห์ตำแหน่ง งานวิจัยลำดับที่ 36 นำเสนอวิธีการตรวจจับพื้นที่ที่เกิดพอลต์ ด้วยวิธีการแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วยและซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (SVM) ทำการวิเคราะห์พื้นที่จากกระแสพอลต์ในช่วง 1 ไซเคิลแรกเท่านั้น ทำการศึกษาจากระบบไฟฟ้า 2 แบบ คือแบบสายส่งระยะทางยาว 300 กิโลเมตรและแบบระยะทาง 400 กิโลเมตร ศึกษาเหตุการณ์พอลต์จำนวน 25,000 เหตุการณ์ โดยมีเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานพอลต์ มุมแรงดันพอลต์ อัตราการถ่ายโอนพลังงานก่อนเกิดพอลต์ เปอร์เซนต์ของขดเคี้ยวของสายส่งและอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย ผลการศึกษาพบว่า วิธีการตรวจจับพื้นที่พอลต์โดยใช้วิธีการแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วย มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน งานวิจัยลำดับที่ 37 จึงทำการตรวจจับพื้นที่ที่เกิดพอลต์เช่นเดียวกับงานวิจัยลำดับที่ 36 แต่มีการนำทฤษฎีความเร็วคลื่นเดินทางจากแผนภาพบิวเลย์ แล็กทิส (Bewley's Lattice diagram) มาประยุกต์ร่วม ทำการศึกษาจากระบบไฟฟ้าผสมระหว่างสายส่งเหนือดินและเคเบิลใต้ดิน ผลพบว่า มุมแรงดัน ความต้านทานและอิมพีแดนซ์ของพอลต์ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการตรวจจับพื้นที่พอลต์ ต่อมางานวิจัยลำดับที่ 38 ทำการวิเคราะห์ตำแหน่งพอลต์ต่อ ด้วยวิธีการแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วย วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนและทฤษฎีความเร็วคลื่นเดินทางเช่นเดียวกัน แต่พิจารณาที่ระบบไฟฟ้า 3 ปลาย (Three terminal line) แทน งานวิจัยลำดับที่ 39 นำเสนอการตรวจจับพอลต์ลัดวงจรอัตโนมัติ โดยใช้วิธีการแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วยร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียมและตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy logic) ซึ่งผลของวิธีการนี้มีความถูกต้องสูง หลังเกิดพอลต์สามารถช่วยให้ระบบไฟฟ้ากลับสู่สภาวะปกติได้เร็ว งานวิจัยลำดับที่ 40 ทำการพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการตรวจวัด จำแนกและระบุตำแหน่งพอลต์ที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าแรงดัน 13.8 กิโลโวลต์ จำนวน 134 บัสและโหลดขนาด 7.065 เมกะโวลต์แอมแปร์ เปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของความต้านทาน มุมแรงดันและตำแหน่งที่เกิดพอลต์ โดยอาศัยวิธีการต่าง ๆ ประยุกต์ร่วมกัน ประกอบด้วยวิธีการวิเคราะห์สัญญาณหลายระดับ วิธีพลังงานของสัญญาณ วิธีโครงข่ายประสาทเทียมและตรรกศาสตร์คลุมเครือ ผลพบว่าวิธีการนี้สามารถทำงานได้อย่างชาญฉลาด ตรวจจับได้รวดเร็วและมีความถูกต้องสูง งานวิจัยลำดับที่ 41 นำเสนอการตรวจจับพอลต์อิมพีแดนซ์สูงที่เกิดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เช่น การสวิตชิงโหลดและหม้อแปลง พอลต์ในฟีดเดอร์ กระแสรั่วไหลภายในฉนวนและฮาร์มอนิกของโหลด เป็นต้น โดยอาศัยโครงข่ายประสาทเทียมและลักษณะเกรเดียนท์ แต่ในการวิเคราะห์ต้องใช้ข้อมูลถึง 3.5 ไซเคิลของสัญญาณพอลต์จึงจะมีประสิทธิภาพในการตรวจจับ ส่งผลให้ระยะเวลาการประมวลผลและการตรวจจับนาน ดังนั้นจึงนำอุปกรณ์เทคโนโลยีสูงเข้ามาใช้งาน เพื่อลดระยะเวลาการตรวจจับโดยไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพ เช่น งานวิจัยลำดับที่ 42 นำอุปกรณ์บอกตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS) มาใช้ในการตรวจจับเวลาของคลื่นเดินทางและวิเคราะห์หาตำแหน่งต่อด้วยการแปลงเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็ดแบบเต็มหน่วย และงานวิจัยลำดับที่ 43 นำค่าเวลาที่ตรวจจับได้จากตัวตรวจจับไร้สาย (Wireless sensor) ที่ติดตั้งกระจายอยู่ทั่วไปในระบบไฟฟ้ามาวิเคราะห์ขนาดสัมประสิทธิ์ด้วยการแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วย เพื่อระบุพื้นที่ที่เกิดฟอลต์

จากการศึกษางานวิจัยทั้งด้านฟ้าผ่าและฟอลต์พบว่า มีผู้ทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าด้านต่าง ๆ เช่น ด้านคุณลักษณะของสัญญาณหลังเกิดความผิดปกติของฟ้าผ่าหรือฟอลต์ ผลกระทบของอุปกรณ์และนำเสนอวิธีการตรวจจับตำแหน่งที่เกิด ด้วยขั้นตอนและวิธีการแตกต่างกันออกไป เช่น วิธีการแปลงฟูเรียร์ วิธีการแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วยและวิธีโครงข่ายประสาทเทียม และตรรกศาสตร์คลุมเครือ เมื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของวิธีการแต่ละชนิดพบว่า การแปลงฟูเรียร์มีคุณสมบัติเด่นด้านการวิเคราะห์ในโดเมนความถี่และโดเมนเวลา แต่ไม่สามารถวิเคราะห์พารามิเตอร์ของเวลาและความถี่ได้พร้อมกัน ซึ่งในการพิจารณาฟ้าผ่าและฟอลต์ ต้องการพารามิเตอร์ทั้งเวลาและความถี่ที่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นการแปลงฟูเรียร์จึงไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่เกิดฟ้าผ่าหรือฟอลต์ได้อย่างสมบูรณ์ วิธีการแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วยมีลักษณะการวิเคราะห์คล้ายคลึงกับการแปลงฟูเรียร์แต่สามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของเวลาและความถี่ได้พร้อมกัน โดยการแบ่งสัญญาณที่ต้องการวิเคราะห์ออกเป็นช่วงความถี่ต่าง ๆ ทำการวิเคราะห์ขนาดสัมประสิทธิ์และเวลาในช่วงความถี่ที่ต้องการได้โดยไม่ต้องมีการสูญหายของข้อมูล วิธีโครงข่ายประสาทเทียมและตรรกศาสตร์คลุมเครือมีประสิทธิภาพสูงในการวิเคราะห์ฟ้าผ่าและฟอลต์ แต่มีวิธีการซับซ้อนมากกว่าวิธีการแปลงฟูเรียร์และการแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการนำไปใช้วิเคราะห์ระบบไฟฟ้าที่มีความซับซ้อน

งานวิจัยข้างต้น แม้มีผู้ทำการศึกษาการระบุตำแหน่งฟ้าผ่าและฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจำนวนมาก แต่การศึกษาเหตุการณ์ฟ้าผ่าและฟอลต์ที่เกิดขึ้นภายในสภาพแวดล้อมเดียวกันยังมีน้อย ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างความผิดปกติทั้งสองชนิด อีกทั้งจำนวนตัวอย่างที่วิเคราะห์ยังไม่เพียงพอ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงทำการศึกษาวิเคราะห์ฟ้าผ่าและฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบส่งจ่ายไฟฟ้า สายส่งเหนือดินแบบสองปลาย (Two terminal line) ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ทำการจำลองผลด้วยโปรแกรม ATP/EMTP ศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อคุณลักษณะกระแสไฟฟ้า โดยตัวแปรดังกล่าวคือ มุมแรงดันที่เกิดฟ้าผ่าและฟอลต์ สายเฟสและตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าและฟอลต์ นำทฤษฎีการแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วยมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจจับองค์ประกอบความถี่สูงที่เกิดขึ้นเนื่องจากฟ้าผ่าและฟอลต์ นำขนาดองค์ความถี่สูงที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วยไปออกแบบอัลกอริทึมเพื่อจำแนกชนิดและระบุเฟสที่เกิดฟ้าผ่าและฟอลต์ อีกทั้งยังนำเสนอวิธีการระบุตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าและฟอลต์ โดยอาศัยค่าเวลาและความเร็วของคลื่นที่เดินทางในสายส่ง

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ปัจจุบันสามารถตรวจจับตำแหน่งฟ้าผ่าได้ด้วยระบบตรวจจับตำแหน่งฟ้าผ่า (LLS) ซึ่งอาศัยหลักการการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กมาวิเคราะห์หาตำแหน่ง ซึ่งข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กได้จากเซนเซอร์ตรวจจับที่ติดตั้งกระจายอยู่ภายในระบบไฟฟ้า แต่การตรวจจับตำแหน่งฟอลต์ ทำได้โดยอาศัยรีเลย์ระยะทางที่ติดตั้งภายในระบบไฟฟ้า ซึ่งวิเคราะห์ตำแหน่งโดยอาศัยหลักการการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ จากหลักการทั้งสองเห็นได้ว่า ความผิดปกติทั้งสองชนิดล้วนก่อให้เกิดความเสียหายแก่ระบบไฟฟ้า เมื่อเกิดขึ้นแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าเช่นเดียวกัน แต่การวิเคราะห์เพื่อหาตำแหน่งกลับตั้งอยู่บนพื้นฐานการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับมีความซับซ้อนกัน คือ ติดตั้งทั้งเซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กและรีเลย์ระยะทาง อีกทั้งเมื่อวิเคราะห์ด้านราคาพบว่าเซนเซอร์ที่ตรวจจับและซอฟต์แวร์ในการประมวลผลในระบบตรวจจับฟ้าผ่ายังมีราคาสูง ถ้าสามารถวิเคราะห์ฟ้าผ่าและฟอลต์ที่เกิดขึ้นด้วยระบบตรวจจับเดียวกันจะสามารถลดต้นทุนการติดตั้งอุปกรณ์และความซับซ้อนของระบบไฟฟ้าลงได้ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาคุณลักษณะของกระแสฟ้าผ่าและกระแสลัดวงจรหรือฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า
2. ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อกระแสฟ้าผ่าและกระแสลัดวงจรหรือฟอลต์
3. ศึกษาการแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วยและคุณลักษณะของสัญญาณการแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วย เพื่อนำมาวิเคราะห์ขนาดสัมประสิทธิ์ความถี่สูงที่เกิดขึ้นเนื่องจากฟ้าผ่าและการลัดวงจรหรือฟอลต์
4. ศึกษาทฤษฎีความเร็วคลื่นเดินทาง เพื่อเข้าใจพฤติกรรมของคลื่นที่เดินทางในสายส่งเมื่อเกิดฟ้าผ่า
5. ศึกษาวิธีการระบุตำแหน่งฟ้าผ่าหรือฟอลต์

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เมื่อเกิดความผิดปกติเนื่องจากฟ้าผ่าหรือฟอลต์ เกิดองค์ประกอบเพิ่มขึ้นในช่วงความถี่สูง ทำให้สัญญาณกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าลดลง ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าเท่านั้น เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงชัดเจนกว่าแรงดันไฟฟ้า โดยขนาดกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นมีสาเหตุจากการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบในช่วงความถี่ที่เกิดฟ้าหรือฟอลต์ เพื่อให้สามารถทราบขนาดขององค์ประกอบดังกล่าว จึงนำวิธีการแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วยมาใช้ในการตรวจวัด ซึ่งการแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วยเป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่สามารถแบ่งสัญญาณต้นแบบออกเป็นสัญญาณย่อยในช่วงความถี่ต่าง ๆ สามารถเห็นขนาดที่เกิดขึ้นแต่ละช่วงความถี่ ดังนั้นจึงสามารถตรวจวัดขนาดสัมประสิทธิ์ที่เกิดในช่วงความถี่ฟ้าผ่าและฟอลต์ การวิเคราะห์ขนาดสัมประสิทธิ์อ้างอิงจากขนาดสัมประสิทธิ์ในสภาวะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติ

การออกแบบอัลกอริทึมจำแนกชนิดความผิดปกติ พิจารณาจากขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในช่วงถี่ที่เกิดความผิดปกติ โดยเมื่อเกิดฟ้าผ่าขนาดกระแสที่เพิ่มในระบบไฟฟ้าควรสอดคล้องกับปริมาณกระแสฟ้าผ่า ในขณะเดียวกันถ้าเกิดฟอลต์จำนวนเฟสที่เกิดการลัดวงจรมีผลต่อปริมาณกระแส เช่น ฟอลต์สามเฟสเกิดการลัดวงจรของสายเฟสจำนวน 3 เส้น ดังนั้นขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทควรมากกว่าขนาดสัมประสิทธิ์ของฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน เนื่องจากมีการลัดวงจรของสายเฟสเพียง 1 เส้น เป็นต้น นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงผลของความต้านทานสายส่งซึ่งแปรผกผันกับขนาดกระแส

การระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ อ้างอิงจากคุณลักษณะของคลื่นเดินทางในสายส่ง โดยตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าหรือฟอลต์มีการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก มีพลังงานเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดคลื่นอิมพัลส์ชั่วขณะ คลื่นดังกล่าวคลื่นที่ออกจากจุดที่เกิดไปตามสายส่งด้วยพลังงานที่เกิดขึ้น ความเร็วของคลื่นในสายส่งนี้อ้างอิงจากทฤษฎีความเร็วคลื่นเดินทาง โดยแปรผันตามคุณลักษณะของสายส่ง นำค่าเวลาที่ตรวจจับพบคลื่นอิมพัลส์และความเร็วของคลื่นมาใช้ในการประเมินตำแหน่งโดยอ้างอิงจากทฤษฎีตำแหน่งฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ฟ้าผ่าและฟอลต์ชนิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เพื่อออกแบบอัลกอริทึมจำแนกชนิดและระบุตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าหรือฟอลต์ งานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 ศึกษาาระบบส่งกำลังไฟฟ้าระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ประกอบด้วย สถานีส่งและสถานีรับ ลักษณะทางกายภาพของเสาส่งไฟฟ้า เนื่องจากเป็นระบบอ้างอิงของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ศึกษาสภาพแวดล้อมของระบบไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย สภาพอากาศ ขนาดกระแสฟ้าผ่าและขนาดความต้านทานดิน ต่อมาศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย ทฤษฎีการแปลงคาร์ก ทฤษฎีการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย เพื่อใช้ในการออกแบบอัลกอริทึมจำแนกชนิดความผิดปกติและศึกษาทฤษฎีความเร็วคลื่นเดินทางและตำแหน่งฟอลต์ เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ

ส่วนที่ 2 จำลองระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 115 กิโลโวลต์ โดยอาศัยข้อมูลการศึกษาส่วนที่ 1 ด้วยโปรแกรม ATP/EMTP โดยมีเงื่อนไขการศึกษาคือ มุมแรงดันที่เกิดฟ้าผ่าหรือฟอลต์ สายเฟสและตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าหรือฟอลต์มีผลต่อกระแสไฟฟ้าและการระบุตำแหน่งอย่างไร

ส่วนที่ 3 ออกแบบอัลกอริทึมการจำแนกชนิด โดยอ้างอิงจากขนาดของข้อมูลการจำลองด้านการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยอ้างอิงจากเวลาและความเร็วคลื่นเดินทางจากข้อมูลการจำลอง

## 1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1. ศึกษางานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับเหตุการณ์ฟ้าผ่าและฟอลต์ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า
2. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย ทฤษฎีการแปลงคาร์ก ทฤษฎีการแปลงเวฟเล็ต ทฤษฎีความเร็วคลื่นเดินทางและตำแหน่งฟอลต์
3. ศึกษาการใช้งานโปรแกรม ATP/EMTP และโปรแกรม MATLAB เพื่อใช้ในการจำลองและวิเคราะห์ผลการจำลอง
4. จำลองเหตุการณ์ฟ้าผ่าและฟอลต์ชนิดต่าง ๆ ด้วยโปรแกรม ATP/EMTP โดยมีเงื่อนไขการศึกษา คือ มุมแรงดัน สายเฟสและตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าหรือฟอลต์
5. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ต่อด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อศึกษาคุณลักษณะขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตและเวลาที่ตรวจพบคลื่นชั่วขณะเมื่อเกิดฟ้าผ่าและฟอลต์ชนิดต่าง ๆ
6. นำข้อมูลด้านขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตและเวลาที่ตรวจพบคลื่นชั่วขณะมาออกแบบอัลกอริทึมเพื่อแยกแยะและระบุตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าและฟอลต์
7. บันทึกและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึมที่ออกแบบและวิธีการระบุตำแหน่งที่นำเสนอ เพื่อนำมาทำการสรุปผล
8. สรุปผลการศึกษาและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

## 1.6 ข้อตกลงเบื้องต้นของการศึกษา

ในการศึกษานี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์คุณลักษณะกระแสไฟฟ้าเมื่อเกิดฟ้าผ่าหรือฟอลต์ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า โดยอ้างอิงจากระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 115 กิโลโวลต์ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและเสาส่งไฟฟ้าแบบมัลติสตอร์ที่ทำการประเมินพารามิเตอร์ของเสาส่งและเสิร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใบเขียวระบุเงื่อนไขการคัดค้านไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิมพีแดนซ์ด้วยวิธีการคำนวณที่สถาบันวิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (IEEE) และองค์การซีเกอร์ (CIGRE)

ทำการจำลองผลด้วยโปรแกรม ATP/EMTP โดยมีตัวแปรศึกษา 3 ตัวแปร คือ มุมแรงดัน สายเฟสและตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ ซึ่งความผิดปกตินี้คือ ฟาผ่า ฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน ฟอลต์ระหว่างเฟส ฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินและฟอลต์สามเฟส โดยทั้งหมดเกิดที่เวลาเท่ากันคือ 2 มิลลิวินาทีและกระแสฟ้าผ่ามีลักษณะเป็นรูปคลื่นอิมพัลส์มาตรฐาน 1.2/50 ไมโครวินาที ขนาด 20 กิโลแอมแปร์

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ด้าน คือด้านวิศวกรรมไฟฟ้าและด้านการพัฒนาระบบไฟฟ้า

### ด้านวิศวกรรมไฟฟ้า

1. การนำทฤษฎีการแปลงคาร์กและทฤษฎีการแปลงเวฟเล็ตมาวิเคราะห์สัญญาณกระแสไฟฟ้า เป็นการสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่เกิดจากการประยุกต์หลักการทางคณิตศาสตร์ร่วมกับหลักการทางวิศวกรรมไฟฟ้า
2. ผลของสัญญาณกระแสไฟฟ้าทำให้ทราบคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า เมื่อเกิดความผิดปกติเนื่องจากฟ้าผ่าและฟอลต์ชนิดต่าง ๆ

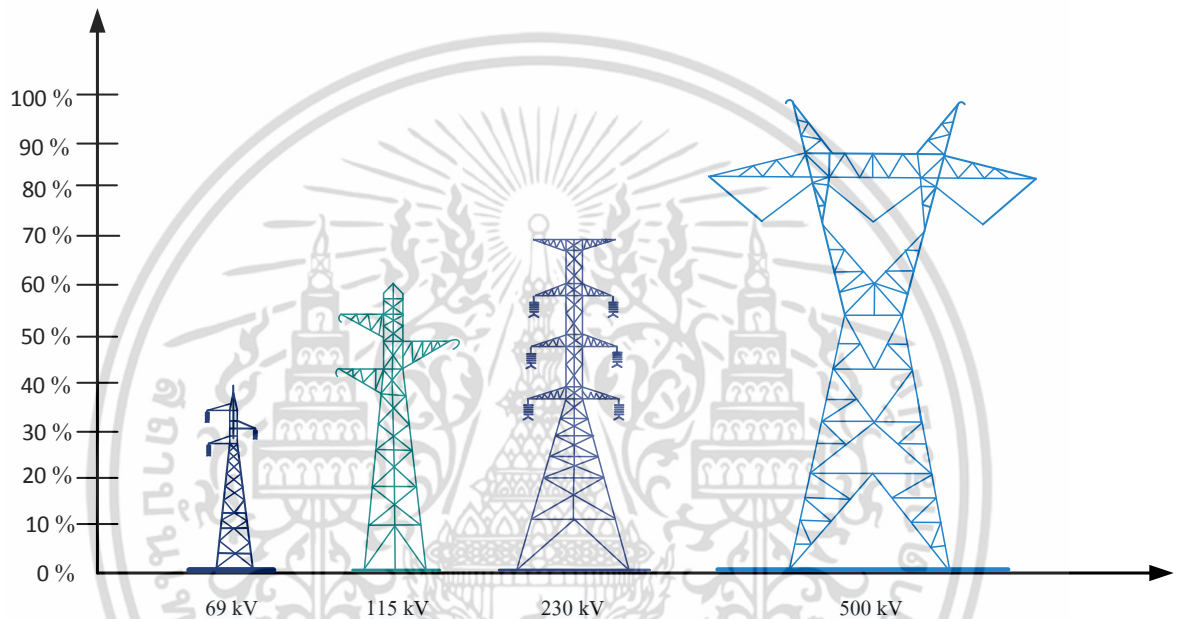
### ด้านการพัฒนาระบบไฟฟ้า

1. นำเสนอวิธีการตรวจจับฟ้าผ่าและฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า โดยอ้างอิงที่หลักการพิจารณาเดียวกัน เพื่อทำไปพัฒนาระบบตรวจจับที่มีอยู่ในปัจจุบันให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดความซ้ำซ้อนของการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ
2. เพื่อให้สามารถนำไปเป็นแนวทางการสร้างระบบตรวจจับแบบใหม่และลดต้นทุนการนำเข้าอุปกรณ์ตรวจจับจากต่างประเทศ

## บทที่ 2

# การวิเคราะห์โครงสร้างเสาไฟฟ้าและสัญญาณ เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้า

ปัจจุบันการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ) มีระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันสูง 4 ระดับแรงดัน คือ 69, 115, 230 และ 500 กิโลโวลต์ โดยลักษณะของเสาส่งแต่ละระดับแรงดันจะมีรูปร่างที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 2.1

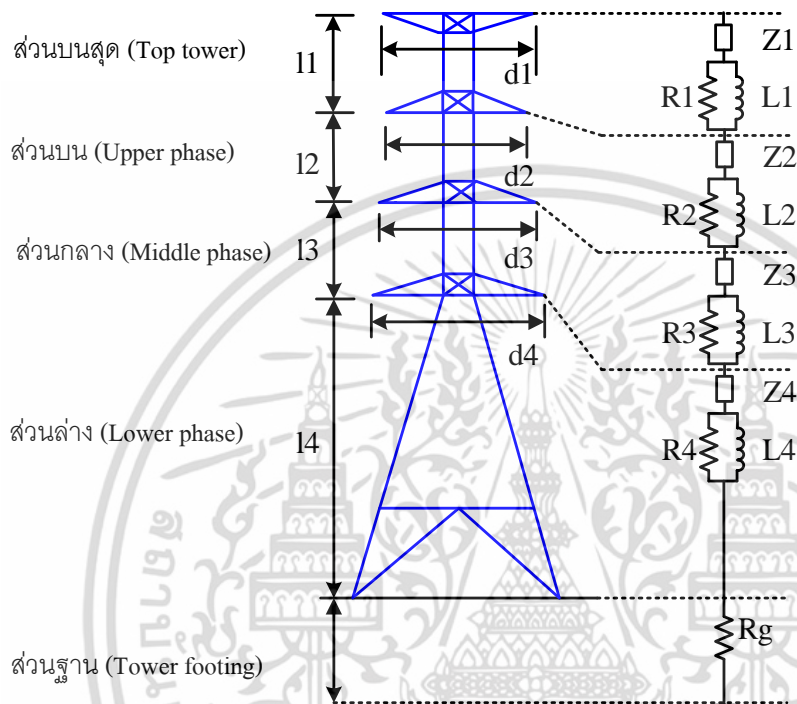


รูปที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพของเสาส่งไฟฟ้า

ปัจจุบันมีผู้นำเสนอวิธีการคำนวณค่าอิมพีแดนซ์เสาส่งไฟฟ้ามากมาย เช่น วิธีการคำนวณของจอร์แดน, วิธีการคำนวณของแวกเนอร์และฮิลล์แมน, วิธีการคำนวณของชาร์เจนท์และดาเวนิซาและวิธีการคำนวณของสถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (IEEE) และองค์การซีเกิร์ (CIGRE) โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกพิจารณาวิธีของสถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (IEEE) และองค์การซีเกิร์ เนื่องจากเป็นวิธีที่นำเสนอล่าสุดเมื่อปี ค.ศ 1991 โดยปัจจุบันยังไม่มีผู้ใดนำเสนอวิธีการที่แตกต่างจากนี้ อีกทั้งจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีงานวิจัยจำนวนมากที่ประเมินค่าอิมพีแดนซ์จากวิธีดังกล่าวและพบว่ามีประสิทธิภาพสูง

## 2.1 วิธีการคำนวณที่สถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (IEEE) และ องค์การซีเกอร์ (CIGRE) แนะนำ [44-45]

การคำนวณเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงนี้ ต้องทำการพิจารณาเสาส่งไฟฟ้าให้อยู่ใน  
รูปแบบโมเดลเสาส่งแบบมัลติสตอรี่ (Multistory transmission tower model) ดังแสดงในรูปที่  
2.2 และคำนวณตัวแปรในส่วนต่าง ๆ ดังสมการต่อไปนี้



รูปที่ 2.2 โมเดลเสาไฟฟ้าแบบมัลติสตอรี่

การคำนวณอิมพีแดนซ์สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Z_i = 60 \ln \left\{ \cot \left[ 0.5 \tan^{-1} \left( \frac{d_i}{2h_i} \right) \right] \right\} \quad (2.1)$$

โดย

$Z_i$  คือ อิมพีแดนซ์ในส่วนต่าง ๆ ของเสาส่งไฟฟ้า

$d_i$  คือ ระยะความยาวระหว่างแขนเสาส่งไฟฟ้าทั้งสองข้าง

$h_i$  คือ ความสูงที่ระดับต่าง ๆ ของเสาส่งไฟฟ้า โดยอ้างอิงจากพื้นดิน

$i$  คือ ส่วนต่าง ๆ ของเสาส่งไฟฟ้า

โดยแบ่งออกเป็นส่วนบนสุด = 1, ส่วนบน = 2, ส่วนกลาง = 3 และส่วนฐาน = 4  
ความต้านทานสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$R_1 = \left[ \frac{2 \cdot Z_1}{(l_1 + l_2 + l_3)} \ln\left(\frac{1}{\alpha_1}\right) \right] \cdot l_1 \quad (2.2)$$

$$R_2 = \left[ \frac{2 \cdot Z_1}{(l_1 + l_2 + l_3)} \ln\left(\frac{1}{\alpha_1}\right) \right] \cdot l_2 \quad (2.3)$$

$$R_3 = \left[ \frac{2 \cdot Z_1}{(l_1 + l_2 + l_3)} \ln\left(\frac{1}{\alpha_1}\right) \right] \cdot l_3 \quad (2.4)$$

$$R_4 = \left[ \frac{2 \cdot Z_4}{(H)} \ln\left(\frac{1}{\alpha_4}\right) \right] \cdot l_4 \quad (2.5)$$

โดย

กำหนดให้  $\alpha_1$  และ  $\alpha_2$  คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 0.8144

$Z_1$  คือ อิมพีแดนซ์ในส่วนบนสุดของเสาส่งไฟฟ้า (Top tower)

$Z_2$  คือ อิมพีแดนซ์ในส่วนบนของเสาส่งไฟฟ้า (Upper phase)

$Z_3$  คือ อิมพีแดนซ์ในส่วนกลางของเสาส่งไฟฟ้า (Middle phase)

$Z_4$  คือ อิมพีแดนซ์ในส่วนฐานของเสาส่งไฟฟ้า (Tower footing)

$l_1$  คือ ระยะความสูงที่ส่วนบนสุดของเสาส่งไฟฟ้า (Top tower)

$l_2$  คือ ระยะความสูงที่ส่วนบนของเสาส่งไฟฟ้า (Upper phase)

$l_3$  คือ ระยะความสูงที่ส่วนกลางของเสาส่งไฟฟ้า (Middle phase)

$l_4$  คือ ระยะความสูงที่ส่วนฐานของเสาส่งไฟฟ้า (Tower footing)

$R_1$  คือ ความต้านทานในส่วนบนสุดของเสาส่งไฟฟ้า (Top tower)

$R_2$  คือ ความต้านทานในส่วนบนของเสาส่งไฟฟ้า (Upper phase)

$R_3$  คือ ความต้านทานในส่วนกลางของเสาส่งไฟฟ้า (Middle phase)

$R_4$  คือ ความต้านทานในส่วนฐานของเสาส่งไฟฟ้า (Tower footing)

$H$  คือ ความสูงทั้งหมดของเสาส่งไฟฟ้า

ความเหนี่ยวนำสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$L_1 = \left( \frac{2H}{v} \right) \cdot R_1 \quad (2.6)$$

$$L_2 = \left( \frac{2H}{v} \right) \cdot R_2 \quad (2.7)$$

$$L_3 = \left( \frac{2H}{v} \right) \cdot R_3 \quad (2.8)$$

$$L_4 = \left( \frac{2H}{v} \right) \cdot R_4 \quad (2.9)$$

โดย

- $L_1$  คือ ความเหนียวนำที่ส่วนบนสุดของเสาส่งไฟฟ้า (Top tower)
- $L_2$  คือ ความเหนียวนำที่ส่วนบนของเสาส่งไฟฟ้า (Upper phase)
- $L_3$  คือ ความเหนียวนำที่ส่วนกลางของเสาส่งไฟฟ้า (Middle phase)
- $L_4$  คือ ความเหนียวนำที่ส่วนฐานของเสาส่งไฟฟ้า (Tower footing)
- $R_1$  คือ ความต้านทานในส่วนบนสุดของเสาส่งไฟฟ้า (Top tower)
- $R_2$  คือ ความต้านทานในส่วนบนของเสาส่งไฟฟ้า (Upper phase)
- $R_3$  คือ ความต้านทานในส่วนยอดของเสาส่งไฟฟ้า (Middle phase)
- $R_4$  คือ ความต้านทานในส่วนยอดของเสาส่งไฟฟ้า (Tower footing)
- $v$  คือ ความเร็วคลื่นเดินทาง
- $H$  คือ ความสูงทั้งหมดของเสาส่งไฟฟ้า

## 2.2 การแปลงเวฟเลต (Wavelet Transform)

การแปลงเวฟเลตเป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์รูปแบบหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์และสังเคราะห์สัญญาณใด ๆ ให้อยู่ในรูปแบบสัญญาณที่ใช้งานได้ ทางปฏิบัติส่วนใหญ่ สัญญาณอยู่ในรูปแบบแกนเวลา ซึ่งหมายถึงลักษณะสัญญาณมีแกนหนึ่งคือเวลาและอีกแกนคือขนาด สัญญาณรูปแบบเวลานี้ไม่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์เสมอไป บางครั้งการวิเคราะห์ต้องการข้อมูลความถี่ ดังนั้นการแปลงเวฟเลตนี้จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านนี้ โดยสามารถให้ข้อมูลด้านขนาด เวลา และความถี่ของสัญญาณใด ๆ ได้

การแปลงเวฟเลตนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ การแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่องและการแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วย แสดงได้ดังต่อไปนี้

### 2.2.1 การแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่อง (Continuous Wavelet Transform) [46]

การแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่อง เป็นการพัฒนาต่อมาจากการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Short-Time Fourier Transform) โดยสามารถแปลงสัญญาณเริ่มต้นให้อยู่ในรูปแบบสัญญาณใด ๆ ด้วยการสเกล (Scaling :  $a$ ) และเลื่อนตำแหน่งเวลา (Shifting :  $b$ ) ต่อ ๆ กันและทำการรวมสัญญาณย่อย ๆ ทั้งหมดเข้าด้วยกัน ในขณะที่เดียวกันสามารถแปลงสัญญาณใด ๆ นี้กลับไปอยู่ในรูปแบบสัญญาณเริ่มต้นด้วยวิธีการแปลงเวฟเลตต่อเนื่องแบบผกผัน (Inverse Continuous Wavelet Transform) ซึ่งฟังก์ชันเวฟเลตแบบต่อเนื่องสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2.10)$$

การแปลงเวฟเลตเป็นการนำฟังก์ชันเริ่มต้นหรือเวฟเลตแม่ในสมการที่ 2.10 มาวิเคราะห์ โดยปรับเปลี่ยนคุณสมบัติ กำหนดการสเกลและเลื่อนตำแหน่งของเวลา ซึ่งสามารถแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$\text{CWT}(a,b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (2.11)$$

โดย

$f(t)$  คือ สัญญาณที่ทำการแปลง

$\Psi(t)$  คือ เวฟเล็ทแม่

$a$  คือ แฟคเตอร์การสเกล

$b$  คือ แฟคเตอร์การเลื่อนตำแหน่ง

หลักการสเกลของการแปลงเวฟเล็ทนี้แปรตามความถี่และให้ผลลัพธ์สัญญาณแตกต่างกัน คือ ถ้าสเกลสูง สัญญาณจะอยู่ในช่วงความถี่ต่ำซึ่งให้ผลลัพธ์ข้อมูลกว้าง ไม่ละเอียด ในทางตรงข้ามถ้าสเกลต่ำ สัญญาณจะอยู่ในช่วงความถี่สูงและให้ผลลัพธ์ข้อมูลละเอียด ในการวิเคราะห์ถ้าสัญญาณมีองค์ประกอบสเปกตรัมความถี่และมีการกำหนดสเกลเหมาะสม ผลลัพธ์การแปลงเวฟเล็ทบนแกนความถี่มีขนาดสูงขึ้น หากไม่มีองค์ประกอบสเปกตรัม จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

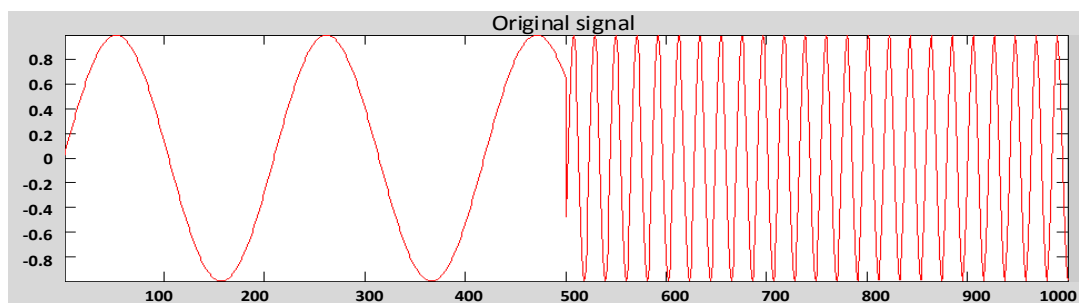
เมื่อพิจารณารูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงการแปลงเวฟเล็ทแบบต่อเนื่องของสัญญาณที่สเกลต่างกัน 4 สเกล กำหนดให้แกนนอนคือ แกนเวลา หน่วย วินาที และแกนตั้งคือ ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท เกิดองค์ประกอบสเปกตรัมความถี่สูงขึ้นที่เวลา 500 วินาที ดังนั้นที่เวลาดังกล่าวเกิดขนาดสัมประสิทธิ์เพิ่มขึ้นในทุกสเกลสัญญาณ

เมื่อทำการพิจารณาแต่ละสเกล โดยเริ่มพิจารณารูปที่ 2.3(ข) แสดงสัญญาณสเกล 1 ความถี่เท่ากับ 0.1 เห็นได้ว่า ที่เวลา ก่อน 500 วินาที ลักษณะสัญญาณที่แสดงไม่ละเอียด ไม่สามารถเห็นคุณลักษณะและรูปร่างของสัญญาณได้ชัดเจน ที่เวลา 500 วินาทีเกิดขนาดสัมประสิทธิ์สูงสุด หลังจากนั้นขนาดลดลงแต่ไม่เท่าขนาดเริ่มต้น

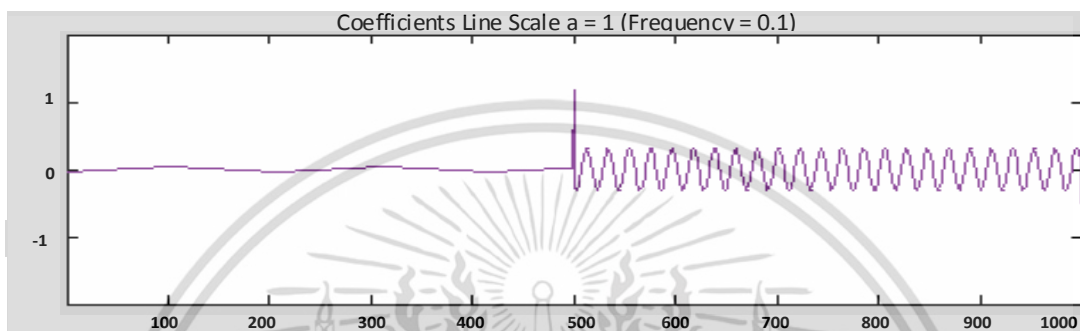
เมื่อพิจารณารูปที่ 2.3(ค) สเกล 5 ความถี่เท่ากับ 0.02 เห็นได้ว่า สอดคล้องกับที่กล่าวข้างต้น คือ เมื่อสเกลเพิ่มขึ้น ความถี่ของสัญญาณลดลง จากรูปเห็นได้ว่า มีลักษณะคล้ายคลึงกับสัญญาณสเกล 1 เนื่องจากทำการแปลงจากสัญญาณต้นแบบเดียวกัน เมื่อพิจารณาลักษณะก่อนและหลังเกิดองค์ประกอบความถี่สูงพบว่า ก่อนเวลา 500 วินาที ลักษณะคล้ายกับรูปที่ 2.3(ข) แต่หลัง 500 วินาทีพบว่าเห็นลักษณะสัญญาณและขนาดชัดเจนมากขึ้น

เมื่อพิจารณารูปที่ 2.3(ง) สเกล 50 ความถี่เท่ากับ 0.002 เห็นได้ว่า มีลักษณะเช่นเดียวกับสัญญาณสเกลก่อนหน้า คือ สเกลเพิ่มขึ้น ขนาดความถี่ลดลง แต่เมื่อพิจารณาลักษณะสัญญาณพบว่าแตกต่างจากสัญญาณก่อนหน้า โดยสามารถสังเกตเห็นรูปร่างสัญญาณก่อนเวลา 500 วินาทีได้อย่างชัดเจน ที่เวลา 500 สัมประสิทธิ์มีขนาดเพิ่มเล็กน้อย หลังจากนั้นขนาดสัมประสิทธิ์กลับมีขนาดลดลงต่ำกว่าขนาดก่อนเกิดองค์ประกอบความถี่สูง ซึ่งขัดแย้งกับสัญญาณก่อนหน้า

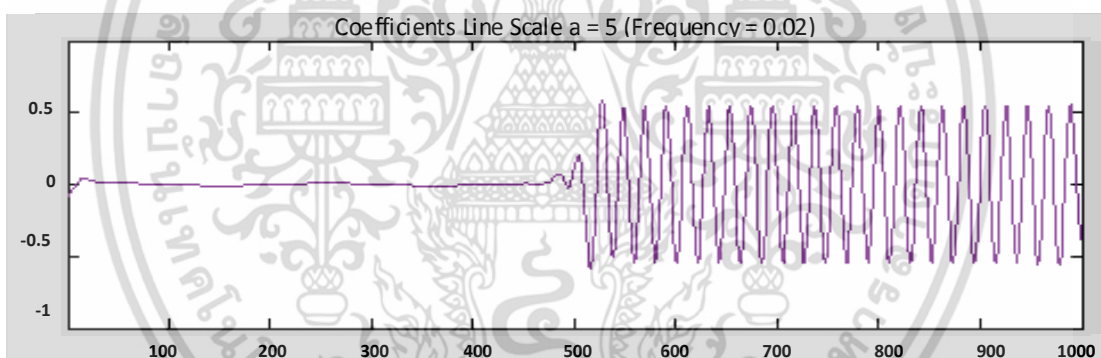
จากที่กล่าวมาเห็นได้ว่า ถึงแม้สัญญาณต้นแบบเดียวกัน แต่ขนาดสเกลมีผลต่อผลลัพธ์ของสัญญาณที่แปลงได้ หากสเกลมีขนาดน้อยเกินไป ดังเช่นสัญญาณยกตัวอย่างรูปที่ 2.3(ข) สเกล 1 ผลลัพธ์ของสัญญาณ ไม่ละเอียด ไม่สามารถวิเคราะห์สัญญาณได้ครบถ้วน แต่ขนาดสเกลที่มากเกินไป ก็มีผลทำให้ลักษณะสัญญาณผิดพลาด ดังแสดงในรูปที่ 2.3(ง) ดังนั้นการวิเคราะห์ของสัญญาณเวฟเล็ทแบบต่อเนื่องจึงต้องทำการหาสเกลที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้สามารถวิเคราะห์สัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเหตุผลนี้ถือเป็นข้อจำกัดของการแปลงเวฟเล็ทแบบต่อเนื่องดังนั้นจึงมีการพัฒนาเวฟเล็ทแบบไม่ต่อเนื่องขึ้นมา เพื่อให้สามารถวิเคราะห์สัญญาณได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของสเกล



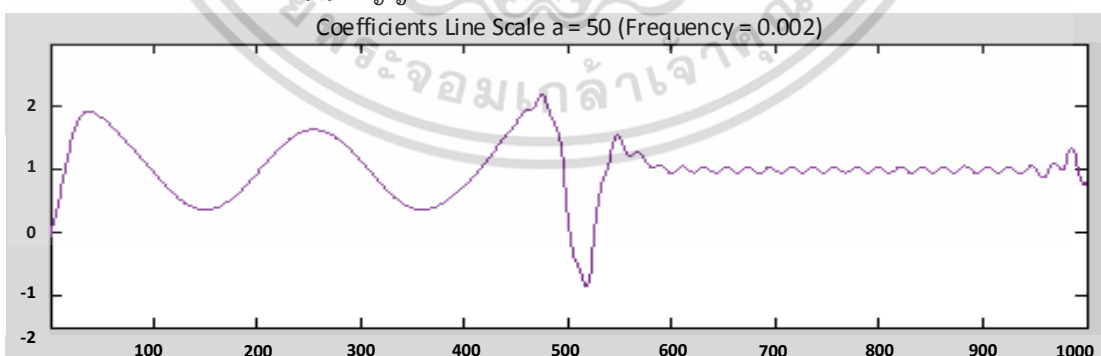
(ก) สัญญาณต้นแบบ



(ข) สัญญาณเวฟเล็ดแบบต่อเนื่อง สเกลที่ 1



(ค) สัญญาณเวฟเล็ดแบบต่อเนื่อง สเกลที่ 5



(ง) สัญญาณเวฟเล็ดแบบต่อเนื่อง สเกลที่ 50

รูปที่ 2.3 สัญญาณการแปลงเวฟเล็ดแบบต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.2 การแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วย

การแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วยเป็นการพัฒนาต่อเนื่องมาจากการแปลงเวฟเล็ทแบบต่อเนื่อง ถึงแม้ว่าการแปลงเวฟเล็ทแบบต่อเนื่องสามารถวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลสัญญาณได้ดี แต่การดำเนินการของเวฟเล็ทแบบต่อเนื่องมีความซ้ำซ้อนของข้อมูลและใช้เวลาในการประมวลผลมาก อีกทั้งความถูกต้องของข้อมูลยังขึ้นอยู่กับขนาดสเกล ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามรูปแบบสัญญาณต่าง ๆ ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงมีการพัฒนาเวฟเล็ทแบบไม่ต่อเนื่องขึ้นและฟังก์ชันของเวฟเล็ทแบบไม่ต่อเนื่องแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$DWT(m,n) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_k f(k) \Psi \left[ \frac{n - kb_0 a_0^m}{a_0^m} \right] \tag{2.12}$$

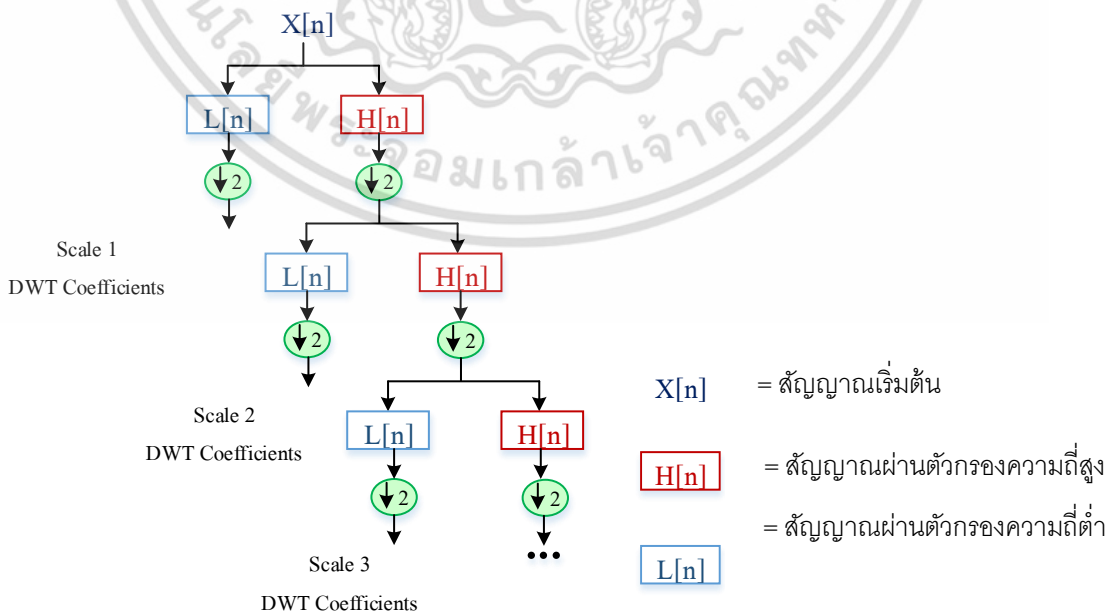
โดย

n คือ จำนวนข้อมูล

m คือ ตัวเลขแสดงการเปลี่ยนการสเกล

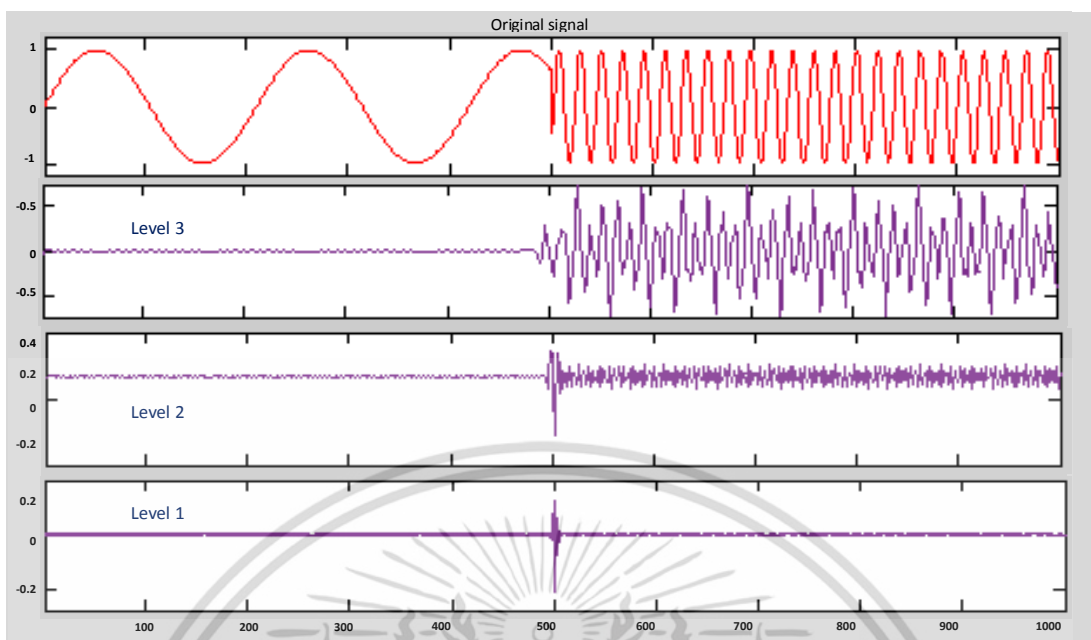
k คือ ตัวเลขแสดงการเปลี่ยนการเลื่อนตำแหน่ง

การดำเนินการของการแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วยทำได้โดยการแบ่งความถี่ของสัญญาณวิเคราะห์ออกเป็นช่วงต่าง ๆ โดยผ่านตัวกรองความถี่สูงและความถี่ต่ำ สัญญาณที่ผ่านตัวกรองความถี่สูงจะใช้สำหรับการวิเคราะห์ในช่วงความถี่สูงและสัญญาณที่ผ่านตัวกรองความถี่ต่ำจะใช้วิเคราะห์ในช่วงความถี่ต่ำ นำสัญญาณที่ผ่านตัวกรองมาผ่านตัวกรองความถี่สูงและความถี่ต่ำซ้ำต่อไปจนกระทั่งถึงค่าที่กำหนดไว้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งสัญญาณที่ผ่านการกรองนี้ มีลักษณะเช่นเดิมแต่พิจารณาในช่วงความถี่ที่แตกต่าง ดังนั้นการวิเคราะห์สัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ทนี้จึงมีประสิทธิภาพมาก เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ขนาดองค์ประกอบสเปกตรัมที่เกิดขึ้นได้ทุกช่วงความถี่ โดยไม่มีการสูญหายของข้อมูลสัญญาณ อีกทั้งยังใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าการแปลงเวฟเล็ทแบบต่อเนื่อง



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์สัญญาณโดยการกรองความถี่ของการแปลงเวฟเล็ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การวิเคราะห์สัญญาณการแปลงเวฟเล็ตแบบเติมหน่วยในแต่ละช่วงความถี่

รูปที่ 2.5 แสดงการประมวลผลสัญญาณโดยอาศัยการแปลงเวฟเล็ตแบบเติมหน่วย ข้อมูลและรูปแบบของสัญญาณมีลักษณะเช่นเดียวกับรูปที่ 2.3 การแปลงสัญญาณนี้ทำได้โดยการลดทอนความถี่ลดทีละครึ่งดังแผนภาพรูปที่ 2.4 ซึ่งในรูปที่ 2.5 แสดงการลดทอนความถี่ของสัญญาณลง 3 ระดับเมื่อพิจารณาแต่ละสัญญาณ โดยเริ่มที่สัญญาณระดับที่ 1 (Level 1) สัญญาณดังกล่าวคือสัญญาณที่ผ่านตัวกรองความถี่สูงและต่ำเพียงครั้งเดียว ดังนั้นช่วงความถี่ของสัญญาณนี้จะสูงกว่าสัญญาณที่ผ่านการกรองต่อ ๆ ไป ลักษณะของสัญญาณระดับ 1 สามารถเห็นขนาดสัมประสิทธิ์การเพิ่มชัดเจนที่ตำแหน่งเวลา 500 วินาที เนื่องจากพิจารณาใกล้ช่วงความถี่ที่เกิดองค์ประกอบสเปกตรัมความถี่สูงแต่เวลาก่อนและหลังจาก 500 วินาทีกลับไม่พบขนาดสัมประสิทธิ์อีกเลย เนื่องจากไม่เกิดองค์ประกอบสเปกตรัม

เมื่อพิจารณาสัญญาณระดับที่ 2 พบว่า สัญญาณดังกล่าวมีช่วงความถี่ที่ลดลง ดังนั้นนอกจากจะเกิดขนาดสัมประสิทธิ์ที่ตำแหน่งเวลา 500 วินาทีแล้ว ช่วงเวลาหลังจาก 500 วินาทียังสามารถตรวจพบขนาดสัมประสิทธิ์เล็กน้อยได้ เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวได้รับผลกระทบขององค์ประกอบสเปกตรัมที่เวลา 500 วินาที

เมื่อพิจารณาสัญญาณระดับที่ 3 พบว่า สัญญาณช่วงหลังจาก 500 วินาทีเริ่มมีลักษณะคล้ายคลึงกับสัญญาณต้นแบบ เพราะช่วงความถี่ของสัญญาณที่วิเคราะห์มีขนาดลดลงใกล้เคียงกับสัญญาณต้นแบบ ทำให้ขนาดสัมประสิทธิ์ที่เกิดที่เวลา 500 วินาทีเริ่มไม่ชัดเจนเนื่องจากมีขนาดใกล้เคียงกับสัมประสิทธิ์ผลกระทบที่เพิ่มขึ้นหลังจากเวลา 500 วินาที

จากข้างต้นเห็นได้ว่า สัญญาณการแปลงเวฟเล็ตแบบเติมหน่วยสามารถวิเคราะห์สัญญาณ โดยไม่มีผลของการสเกล แต่ถ้าพิจารณาช่วงความถี่ที่ไม่เหมาะสมกับสัญญาณวิเคราะห์ก็จะทำให้วิเคราะห์

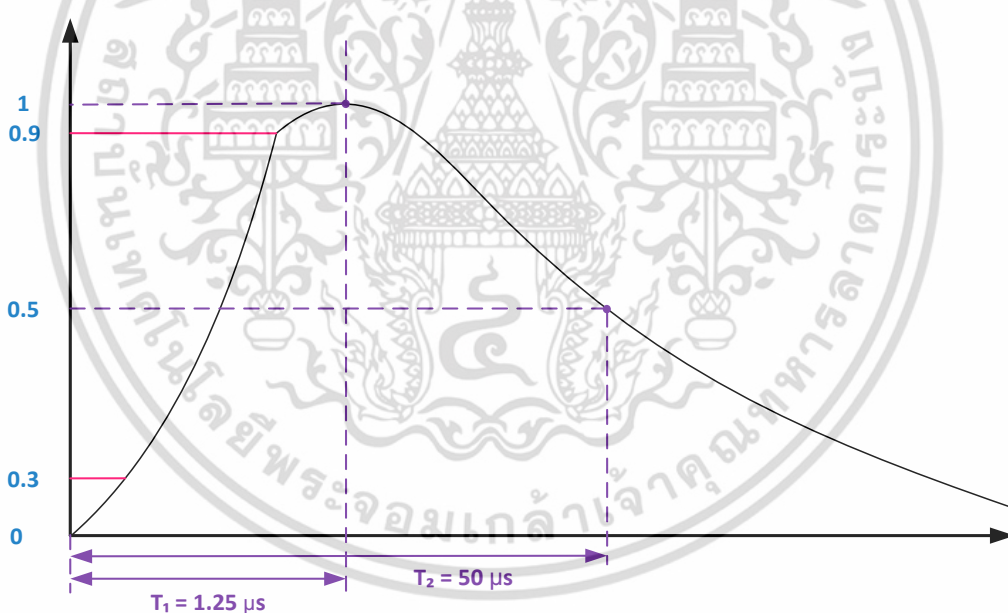
สัญญาณคลาดเคลื่อน ดังนั้นจึงต้องมีความเข้าใจสัญญาณและเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสม เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

## 2.3 ความเร็วคลื่นเดินทางและตำแหน่งฟอลต์[47-48]

เมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้นในระบบส่งกำลังไฟฟ้า จะทำให้สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้เกิดคลื่นชั่วขณะขึ้น โดยคลื่นนี้มีช่วงความถี่ระหว่างกิโละเฮิรตซ์-เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงหน้าคลื่นอย่างรวดเร็วและหลังคลื่นมีการลดลงอย่างช้า ๆ คลื่นชั่วขณะที่เกิดขึ้นนี้มีลักษณะไม่คงที่ ดังนั้นจึงมีการกำหนดรูปแบบคลื่นมาตรฐานขึ้น โดยคลื่นมาตรฐานนี้คือ คลื่นแรงดันอิมพัลส์มาตรฐาน

องค์ประกอบของคลื่นแรงดันอิมพัลส์มาตรฐานแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนหน้าคลื่นและส่วนหลังคลื่น โดยหน้าคลื่นทำการวัดจากเวลาที่จุดเริ่มต้นของคลื่นไปยังเวลาที่คลื่นมีขนาดสูงสุด และหลังคลื่นนั้นวัดจากเวลาที่จุดเริ่มต้นไปยังกึ่งกลางของขนาดรูปคลื่น โดยต้องผ่านจุดสูงสุดของขนาดคลื่นไป ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งคือรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์มาตรฐานที่มีขนาด 1.2/50 ไมโครวินาที

ดังนั้นคลื่นมาตรฐานนี้เปรียบเสมือนคลื่นตัวแทนที่เกิดขึ้น เมื่อเกิดเหตุการณ์ฟ้าผ่าและฟอลต์ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้



รูปที่ 2.6 รูปคลื่นกระแสมพัลส์

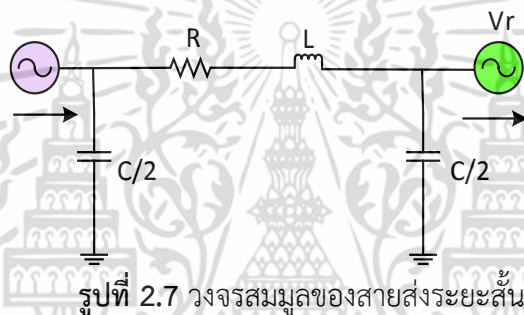
ในอดีตทำการตรวจวัดตำแหน่งฟอลต์โดยอาศัยพัลส์เรดาร์ (Pulsed radar) ซึ่งอาศัยการสะท้อนของพลังงานเรดาร์ วิธีนี้นิยมและเหมาะสมในการคำนวณหาตำแหน่งฟอลต์ถาวรที่เกิดขึ้นในสายส่งกำลังไฟฟ้าชนิดเคเบิล ต่อมามีการพัฒนามาใช้วิธีตรวจวัดตำแหน่งโดยอาศัยอิมพีแดนซ์ฟอลต์ (Impedance-base fault locators) ซึ่งพบว่า เหมาะสมสำหรับการตรวจหาตำแหน่งฟอลต์ที่เกิดขึ้นในสายส่งแบบปลายคู่ (Double end terminal) มากกว่าปลายเดี่ยว (Single end terminal) ในเวลาต่อมามีการคิดค้นวิธีการตรวจวัดตำแหน่งฟอลต์ โดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทางและพบว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถระบุตำแหน่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงเริ่มมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย วิธีการนี้นิยมใช้กับสายส่งกำลังไฟฟ้าระยะกลางและระยะยาว สายส่งกำลังไฟฟ้าที่เข้าถึงยาก สายส่งกำลังไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรงและสายส่งกำลังไฟฟ้าที่มีการติดตั้งตัวชดเชยแบบอนุกรม (series-compensated line)

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเลือกนำวิธีการตรวจจับตำแหน่งฟอลต์โดยใช้ความเร็วคลื่นเดินทางมาใช้ในการวิเคราะห์ หลักการและทฤษฎีแสดงได้ดังต่อไปนี้

### 2.3.1 ความเร็วคลื่นเดินทาง

ความเร็วของคลื่นที่เดินทางในสายส่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะตัวของสายส่งไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วย ความต้านทานไฟฟ้า (R) ความนำไฟฟ้า (G) ความจุไฟฟ้า (C) และความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L) เพื่อง่ายแก่การเข้าใจจึงทำการพิจารณาที่สายส่งระยะสั้น ซึ่งทำการพิจารณาดังแสดงในรูปที่ 2.7 ในทางปฏิบัติแล้ว ขณะที่คลื่นเคลื่อนที่ไปตามสายส่งไฟฟ้า จะเกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากคุณสมบัติของสายส่งดังแสดงต่อไปนี้



การประเมินความเร็วของคลื่นเดินทาง ทำการพิจารณาที่คลื่นเดินทางในสายส่งด้วยระยะทาง  $\Delta x$  โดยได้รับผลกระทบเนื่องจากคุณสมบัติของสายส่งเท่ากับ  $R\Delta x, G\Delta x, L\Delta x, C\Delta x$

จากกฎของแรงดันไฟฟ้า (Kirchhoff's voltage law : KVL) และกฎของกระแสไฟฟ้า (Kirchhoff's current law : KCL) สามารถประมาณแรงดันและกระแสที่เกิดขึ้นในช่วงระยะทาง  $\Delta x$  เท่ากับ

$$\frac{dV(x)}{dx} = zI(x) \quad (2.13)$$

$$\frac{dI(x)}{dx} = yV(x) \quad (2.14)$$

เมื่อนำสมการทั้งสองมาทำการดิฟเฟอเรนเชียลเทียบ  $x$  จะได้เท่ากับ

$$\frac{d^2V(x)}{dx^2} = z \frac{dI(x)}{dx} \quad (2.15)$$

$$\frac{d^2I(x)}{dx^2} = y \frac{dV(x)}{dx} \quad (2.16)$$

แทนค่าสมการที่ 2.13 ลงในสมการที่ 2.15 จะได้เท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{d^2V(x)}{dx^2} = z[yV(x)] \quad (2.17)$$

แทนค่าสมการที่ 2.14 ลงในสมการที่ 2.16 จะได้เท่ากับ

$$\frac{d^2I(x)}{dx^2} = y[zI(x)] \quad (2.18)$$

ทำการแก้สมการหาคำตอบของสมการที่ 2.17 และสมการที่ 2.18 โดยวิธีสมการเอกพันธ์เชิงเส้น คำตอบของสมการมีค่าเท่ากับ

$$V(x) = V_1 e^{(\sqrt{yz})x} + V_2 e^{-(\sqrt{yz})x} \quad (2.19)$$

$$I = \frac{1}{z} [I_1 \sqrt{yz} e^{(\sqrt{yz})x} - I_2 \sqrt{yz} e^{-(\sqrt{yz})x}] \quad (2.20)$$

จัดรูปสมการที่ 2.20 ใหม่ได้เท่ากับ

$$I = \frac{1}{\sqrt{z/y}} [I_1 e^{(\sqrt{yz})x} - I_2 e^{-(\sqrt{yz})x}] \quad (2.21)$$

จากสมการที่ 2.19 และ 2.21 จะได้อิมพีแดนซ์สายส่งเท่ากับ

$$Z_{tr} = \frac{z}{y} = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}} \quad (2.22)$$

แต่ในทางทฤษฎี เพื่อให้เข้าใจหลักการพื้นฐานของคลื่นจึงไม่นำความสูญเสียดังกล่าวมาพิจารณา หรือสภาวะอุดมคติ ค่า R และ G เท่ากับ 0 จะได้สมการอิมพีแดนซ์สายส่งใหม่เท่ากับ

$$Z_{tr} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.23)$$

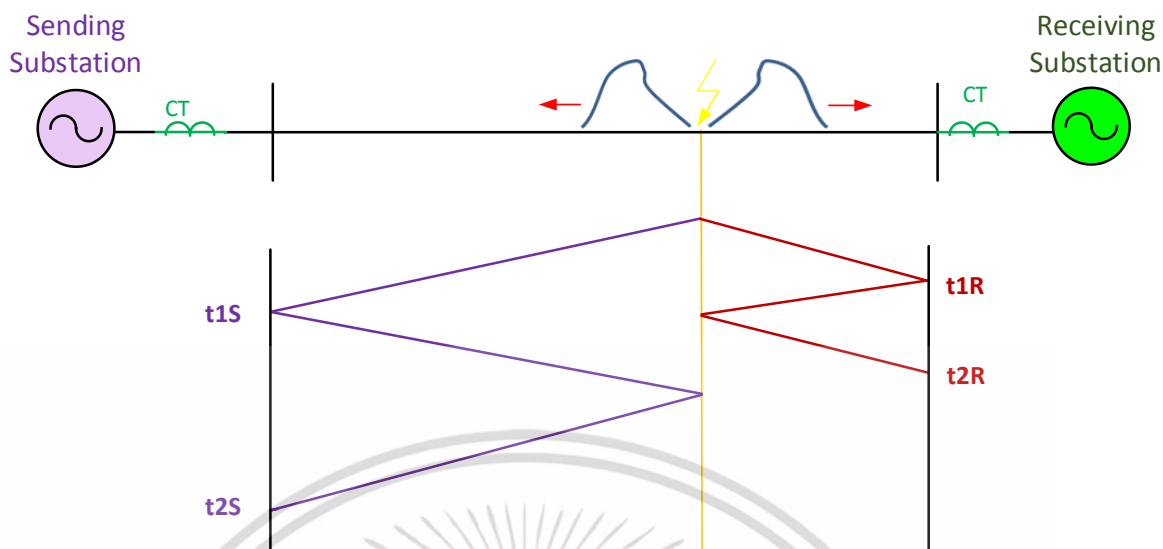
และความเร็วคลื่นเดินทางที่เดินทางในสายส่ง โดยไม่พิจารณาความสูญเสียเท่ากับ

$$v = \frac{1}{\sqrt{yz}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.24)$$

คลื่นชั่วขณะที่เกิดขึ้นเนื่องจากฟลัดจะเคลื่อนที่ไปด้านหน้าและด้านหลังจากจุดที่เกิดฟลัดด้วยความเร็วที่น้อยกว่าความเร็วแสงเล็กน้อยหรือประมาณความเร็วได้เท่ากับสมการที่ 2.24 เคลื่อนที่ไปยังปลายสายส่งด้านสถานีส่ง (Sending substation) และสถานีรับ (Receiving substation) ด้วยเวลา  $t_{1s}$  และ  $t_{1R}$  ตามลำดับและเกิดการสะท้อนกลับไป ณ จุดที่เกิดฟลัดและสะท้อนย้อนกลับมา ปลายสายส่งไฟฟ้าด้านสถานีส่งและสถานีรับเดิมด้วยเวลา  $t_{2s}$  และ  $t_{2R}$  ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่

2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แผนภาพคุณลักษณะการสะท้อนของคลื่นชั่วขณะ

ปัจจุบันมีการพัฒนาโดยใช้เทคโนโลยีระบบบอกตำแหน่งบนพื้นผิวโลก (GPS) เพื่อให้สามารถตรวจจับค่าเวลาได้ถูกต้องมากขึ้น สามารถคำนวณตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ โดยอาศัยผลต่างของเวลาที่ตรวจพบคลื่นชั่วขณะจากปลายสายส่งไฟฟ้าทั้งสองด้าน, ระยะทางของสายส่งไฟฟ้า และความเร็วคลื่นเดินทาง ดังต่อไปนี้

### 2.3.2 ตำแหน่งฟอลต์

ชนิด A แบบเทคนิคปลายเดียว (Single-ended)

วิธีการระบุตำแหน่งฟอลต์ชนิดนี้อาศัยค่าเวลาของคลื่นชั่วขณะด้านปลายสายส่งและค่าเวลาของคลื่นสะท้อนกลับจากปลายใดปลายหนึ่งของสถานีเท่านั้น

เมื่อพิจารณาด้านสถานีส่ง สามารถคำนวณตำแหน่งฟอลต์ได้เท่ากับ

$$D_s = \frac{v (t_{2S} - t_{1S})}{2} \quad (2.25)$$

เมื่อพิจารณาด้านสถานีรับ สามารถคำนวณตำแหน่งฟอลต์ได้เท่ากับ

$$D_R = \frac{v (t_{2R} - t_{1R})}{2} \quad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$D_S$  คือ ตำแหน่งฟอลต์ที่อ้างอิงจากสถานีส่ง

$D_R$  คือ ตำแหน่งฟอลต์ที่อ้างอิงจากสถานีรับ

$L$  คือ ความยาวทั้งหมดของสายส่ง

$v$  คือ ความเร็วของคลื่นที่เดินทางในสายส่ง

$t_{1S}$  คือ เวลาที่ตรวจพบคลื่นชั่วขณะด้านสถานีส่ง

$t_{2S}$  คือ เวลาที่ตรวจพบคลื่นสะท้อนชั่วขณะด้านสถานีส่ง

$t_{1R}$  คือ เวลาที่ตรวจพบคลื่นชั่วขณะด้านสถานีรับ

$t_{2R}$  คือ เวลาที่ตรวจพบคลื่นสะท้อนชั่วขณะด้านสถานีรับ

ชนิด D แบบเทคนิคปลายคู่ (A Passive Method Double-Ended Fault Locator)

วิธีนี้มีลักษณะคล้ายกับตำแหน่งฟอลต์ชนิด A แบบเทคนิคปลายเดี่ยว แต่ตัวแปรคำนวณซับซ้อนน้อยกว่า ทำการคำนวณตำแหน่งฟอลต์โดยอาศัยค่าเวลาของคลื่นชั่วขณะลำดับแรกของแต่ละด้านของปลายสายส่ง ไม่พิจารณาคลื่นสะท้อน ดังสมการต่อไปนี้

$$D = \frac{L - v \times (t_{1R} - t_{1S})}{2} \quad (2.27)$$

เมื่อ

$D$  คือ ตำแหน่งฟอลต์

$L$  คือ ความยาวทั้งหมดของสายส่ง

$v$  คือ ความเร็วคลื่นเดินทาง

$t_{1S}$  คือ เวลาที่ตรวจพบคลื่นชั่วขณะด้านสถานีส่ง

$t_{1R}$  คือ เวลาที่ตรวจพบคลื่นชั่วขณะด้านสถานีรับ

จากทฤษฎีที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ถูกลำบากเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์สัญญาณฟ้าผ่าและฟอลต์ในบทต่อไป ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์โดยนำรูปคลื่นสัญญาณที่ตรวจจับได้เมื่อเกิดเหตุการณ์ผิดปกติ (ฟ้าผ่าหรือฟอลต์) มาแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่องและการระบุตำแหน่งที่เกิดเหตุการณ์ผิดปกติต่อไป

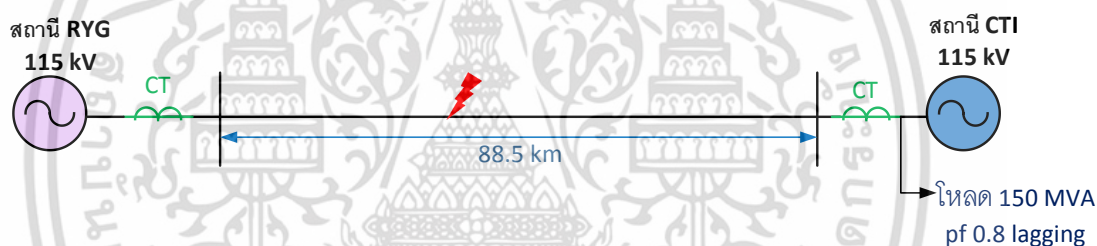
### บทที่ 3

## การจำลองและการวิเคราะห์สัญญาณกระแส

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการจำลองเหตุการณ์ผิดปกติที่เกิดขึ้นกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 2 แบบคือ เหตุการณ์การเกิดฟ้าผ่าและเหตุการณ์ฟลลต์บนสายส่ง ด้วยโปรแกรม ATP/EMTP และโปรแกรม MATLAB / Wavelet ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณกระแส เพื่อศึกษาคุณลักษณะของกระแสในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและสร้างอัลกอริทึมเพื่อจำแนกความแตกต่างระหว่างฟ้าผ่าและฟลลต์ โดยมีเนื้อหาและรายละเอียดของการจำลองและการวิเคราะห์สัญญาณกระแสดังต่อไปนี้

### 3.1 วงจรจำลองระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

วงจรจำลองฟ้าผ่าและฟลลต์ประกอบด้วย สถานีส่งจ่ายแรงดันซึ่งในที่นี้กำหนดให้ชื่อว่า ระบายอง (RYG) ส่งจ่ายแรงดันขนาด 115 กิโลโวลต์ไปยังสถานีรับชื่อว่าจันทบุรี (CTI) และโหลดขนาด 150 เมกะโวลต์แอมแปร์ โดยระยะห่างระหว่างสถานีทั้งสองมีค่าระยะทางเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร ซึ่งสามารถแสดงไดอะแกรมเส้นเดียวได้ดังรูปที่ 3.1 และโครงสร้างเสาส่งไฟฟ้าของวงจรจำลองอ้างอิงจากข้อมูลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT) แสดงข้อมูลเฉพาะของเสาไฟฟ้านี้ดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมเส้นเดียวของวงจรจำลอง

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลของเสาส่งกำลังไฟฟ้า

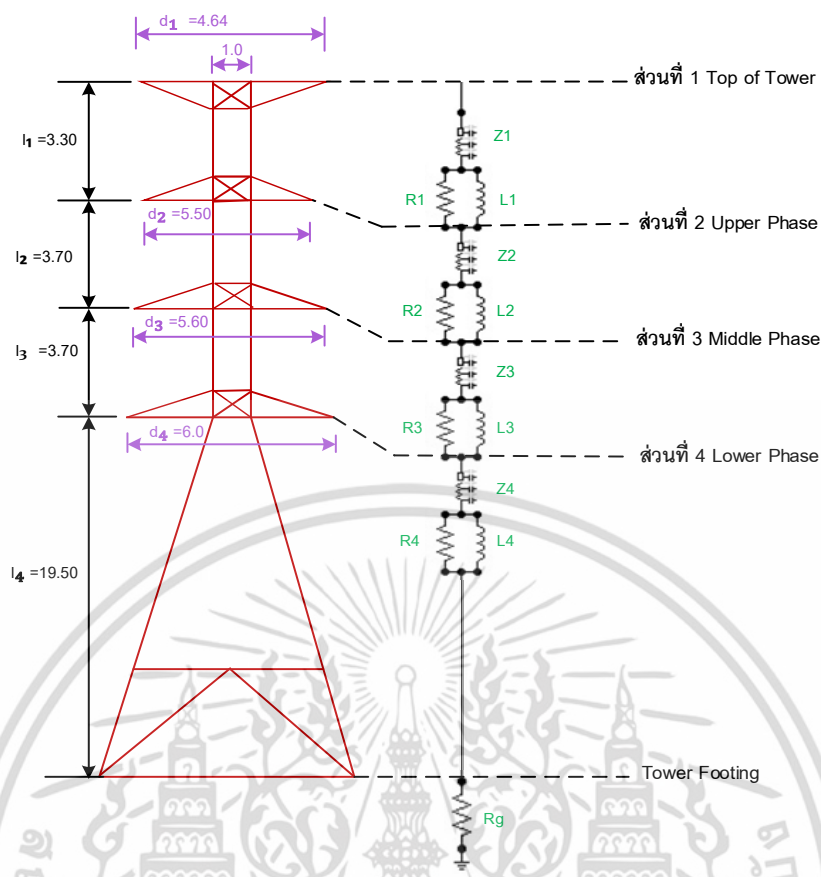
ข้อมูลเสาไฟฟ้า แรงดัน 115 กิโลโวลต์	ข้อมูล
ชื่อเสาไฟฟ้า	DA1
ขนาดตัวนำ	795 MCM ACSR/GA
ระยะห่างสาย	330 เมตร (ระยะห่างระหว่างเสาไฟฟ้า)
<b>คุณลักษณะของตัวนำ</b>	
ขนาด	795 MCM ACSR/GA
เส้นผ่าศูนย์กลาง	26.80 มิลลิเมตร
จำนวนตัวนำ	1 ตัวนำต่อ 1 คู่ควบ
ความจุกระแสไฟฟ้า	845 แอมแปร์ต่อ 1 ตัวนำ
ระยะหย่อนของตัวนำสูงสุด	10.55 เมตร
<b>คุณลักษณะของสายส่งเหนือดิน</b>	
ขนาด	3/8" (HS) เหล็กกล้าไนซ์
เส้นผ่าศูนย์กลาง	9.144 มิลลิเมตร
จำนวนตัวนำ	1 ตัวนำ
ความจุกระแสไฟฟ้า	-
ระยะหย่อนของตัวนำสูงสุด	

โครงเสาไฟฟ้าและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบเสาส่งแสดงดังตารางที่ 3.2 และแบบโครงเสาส่งไฟฟ้ามีลักษณะแบบมัลติสตอรี (Multistory transmission tower model) ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ในการจำลองเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงในโปรแกรม ATP/EMTP โดยเสาส่งนี้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนบนสุดของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (Top tower) ส่วนบนของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (Upper phase) ส่วนกลางของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (Middle phase) ส่วนล่างของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (Lower phase) และฐานของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (Tower footing) ในแต่ละส่วนประกอบด้วยค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ (Surge impedance; Z) ค่าความต้านทาน (Resistance; R) และค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance; L) และในส่วนของเสาไฟฟ้าประกอบด้วยค่าความต้านทานดิน (Footing resistance;  $R_f$ ) ดังรูปที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ขนาดทางกายภาพของเสาส่งไฟฟ้า

ส่วนของเสาไฟฟ้า	1	2	3	4
ความยาวระหว่างแขนเสาไฟฟ้า (เมตร)	4.64	5.50	5.60	6.00
ความสูงของเสาไฟฟ้าระหว่างส่วนต่าง ๆ ถึงพื้น (เมตร)	30.20	26.90	23.20	19.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 เสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงแบบมัลติสตอรี่ (Multistory transmission tower model) [48]

วิธีการคำนวณเสิร์จอิมพีแดนซ์ที่สถาบันวิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (IEEE) และองค์การซีเกอร์ (CIGRE) แนะนำ

การคำนวณเสิร์จอิมพีแดนซ์นี้ใช้สำหรับเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงที่มีลักษณะเป็นกรวยหัวกลับ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$Z_i = 60 \log_e \cot \left\{ 0.5 \tan^{-1} \left( \frac{d_i}{2h_i} \right) \right\} \quad (3.1)$$

$$\Delta R_i \begin{cases} \frac{2Z_1}{(l_1 + l_2 + l_3)} \ln \left( \frac{1}{0.8144} \right) & ; (i = 123) \\ \frac{2Z_4}{(l_4)} \ln \left( \frac{1}{0.8144} \right) & ; (i = 4) \end{cases} \quad (3.2)$$

$$R_i = \Delta R_i l_i \quad (3.3)$$

$$L_i = \frac{4H}{v} \cdot R_i \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย

$Z_i$  คือ เสรีจิมพีแดนซ์ ( $\Omega$ )

$R_i$  คือ ความต้านทาน ( $\Omega$ )

$L_i$  คือ ความเหนี่ยวนำ (mH)

$d_i$  คือ ระยะห่างระหว่างแขนเสาทั้งสองด้าน (m)

$l_i$  คือ ความสูงของเสาแต่ละส่วน (m)

$h_i$  คือ ความสูงระหว่างส่วนต่าง ๆ ของเสาและพื้นดิน (m)

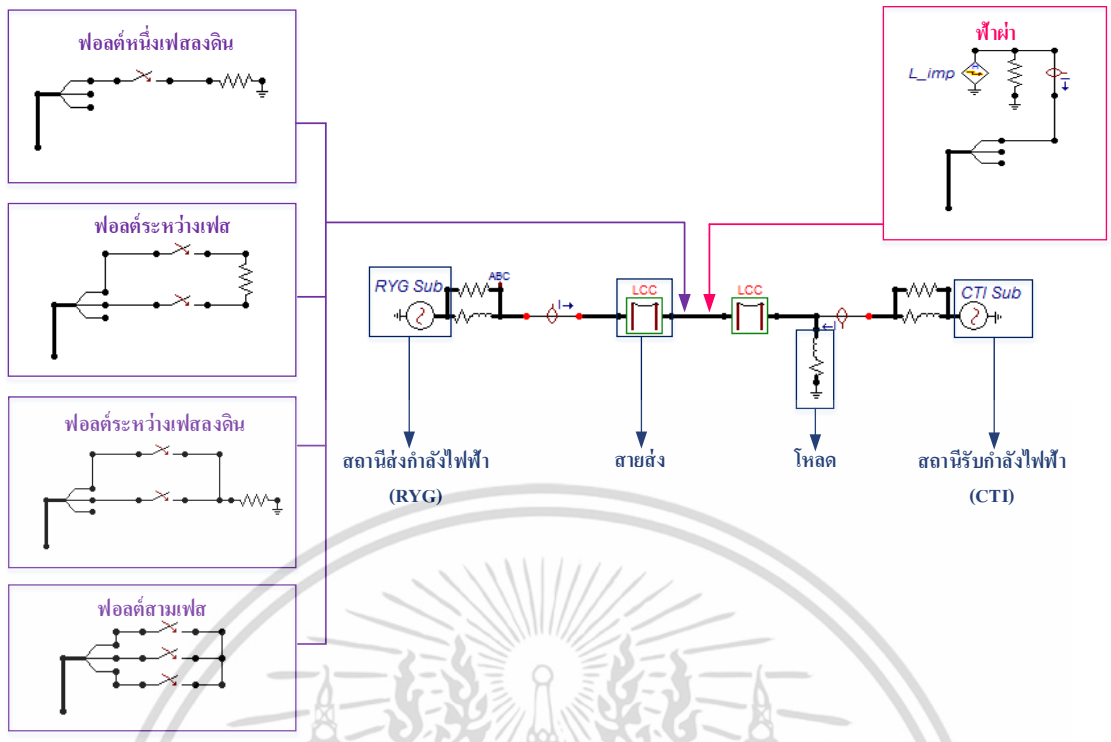
$v$  คือ ความเร็วคลื่นเดินทาง (กำหนดให้เท่ากับความเร็วแสง หรือ 300 m/ $\mu$ s)

เมื่อทำการคำนวณค่าพารามิเตอร์ส่วนต่าง ๆ ของเสาส่งไฟฟ้าตามสมการที่ 3.1-3.4 แล้วค่าดังกล่าวแสดงได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์สำหรับเสาส่งไฟฟ้าแบบมัลติสตอรี่

พารามิเตอร์	$v = 300 \text{ m}/\mu\text{s}$
$R_1 (\Omega)$	12.39092700
$R_2 (\Omega)$	13.89290800
$R_3 (\Omega)$	13.89290800
$R_4 (\Omega)$	31.24855500
$L_1 (\text{mH})$	0.002494712
$L_2 (\text{mH})$	0.002797101
$L_3 (\text{mH})$	0.002797101
$L_4 (\text{mH})$	0.006291365
$Z_1 (\Omega)$	180
$Z_2 (\Omega)$	180
$Z_3 (\Omega)$	180
$Z_4 (\Omega)$	140

นำพารามิเตอร์จากตารางดังกล่าวนี้มาสร้างแบบจำลองระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในโปรแกรม ATP/EMTP เพื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณกระแส โดยลักษณะของวงจรจำลองแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจรจำลองระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดัน 115 กิโลโวลต์

อุปกรณ์และการตั้งค่าโปรแกรมการจำลองเหตุการณ์ฟ้าผ่าและฟอลต์ที่เกิดขึ้นบริเวณสายส่งในโปรแกรม ATPDraw ดังรูปที่ 3.3 แสดงในภาคผนวก ก การจำลองนี้เพื่อศึกษาคุณลักษณะกระแสไฟฟ้าภายใต้สภาวะความผิดปกติฟ้าผ่าและฟอลต์ชนิดต่าง ๆ โดยกำหนดตัวแปรคงที่ คือ ระดับแรงดันระบบส่งกำลังไฟฟ้า ระยะทางของสายส่ง ขนาดโหลด ความต้านทานดิน เวลาที่เกิดฟ้าผ่าและฟอลต์ ขนาดกระแสฟ้าผ่า และเปลี่ยนแปลงตัวแปรศึกษา 3 ชนิด คือ มุมแรงดันของสถานีรับ ตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าหรือฟอลต์บนสายส่งไฟฟ้า และสายเฟสที่เกิดความผิดปกติของระบบไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 3.4

## ตารางที่ 3.4 เงื่อนไขการศึกษา

สถานีส่งกำลังไฟฟ้า	ระยอง (RYG)			
สถานีรับกำลังไฟฟ้า	จันทบุรี (CTI)			
โหลด	150 เมกะวัตต์แอมแปร์			
ความยาวของสายส่ง	88.50 กิโลเมตร			
ความต้านทานดินระบบไฟฟ้า	10 โอห์ม			
เวลาเริ่มเกิดความผิดปกติ	2 มิลลิวินาที			
ขนาดกระแสฟ้าผ่า	20 กิโลแอมแปร์			
จำลองประเภทความผิดปกติ	เงื่อนไขศึกษา			
1	ฟ้าผ่าลงสายเฟส	มุมแรงดันของสถานีรับ	0-150 องศา	162 กรณี
		ตำแหน่งที่เกิดบนสายส่ง	10%-90% กิโลเมตร	
		สายเฟสของระบบไฟฟ้า	A B C	
2	พอลต์หนึ่งเฟสลงดิน	มุมแรงดันของสถานีส่ง	0-150 องศา	162 กรณี
		ตำแหน่งที่เกิดบนสายส่ง	10%-90% กิโลเมตร	
		สายเฟสของระบบไฟฟ้า	A B C	
3	พอลต์ระหว่างเฟส	มุมแรงดันของสถานีส่ง	0-150 องศา	162 กรณี
		ตำแหน่งที่เกิดบนสายส่ง	10%-90% กิโลเมตร	
		สายเฟสของระบบไฟฟ้า	A B C	
4	พอลต์ระหว่างเฟสลงดิน	มุมแรงดันของสถานีส่ง	0-150 องศา	162 กรณี
		ตำแหน่งที่เกิดบนสายส่ง	10%-90% กิโลเมตร	
		สายเฟสของระบบไฟฟ้า	A B C	
5	พอลต์สามเฟส	มุมแรงดันของสถานีส่ง	0-150 องศา	54 กรณี
		ตำแหน่งที่เกิดบนสายส่ง	10%-90% กิโลเมตร	
		สายเฟสของระบบไฟฟ้า	A B C	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 การตรวจวัดกระแสสัญญาณ

วงจรการจำลองการเกิดฟ้าผ่าและฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้านี้ ทำการจำลองโดยอ้างอิงที่ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ระยะทางสายส่ง 88.50 กิโลเมตร ความต้านทานดินเสาไฟฟ้า 10 โอห์ม และโหลดขนาด 150 เมกะโวลต์แอมแปร์ กำหนดให้เกิดฟ้าผ่าและฟอลต์ชนิดต่าง ๆ ที่เวลา 2 มิลลิวินาทีและกระแสฟ้าผ่ามีลักษณะเป็นคลื่นอิมพัลส์มาตรฐานขนาด 20 กิโลแอมแปร์

ทำการศึกษาคูณลักษณะกระแสไฟฟ้า เนื่องจากเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้น ขนาดกระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าแรงดัน เนื่องจากจำนวนเหตุการณ์ที่ศึกษามีจำนวนมาก ดังนั้นในบทนี้ทำการยกตัวอย่างลักษณะกระแสสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดของโปรแกรม ATP/EMTP ของเหตุการณ์ฟ้าผ่าและฟอลต์บางกรณีเท่านั้น เพื่อแสดงให้เห็นคุณลักษณะและแนวโน้มของสัญญาณกระแส โดยแสดงได้ดังต่อไปนี้

### 3.2.1 ฟ้าผ่าลงสายเฟส

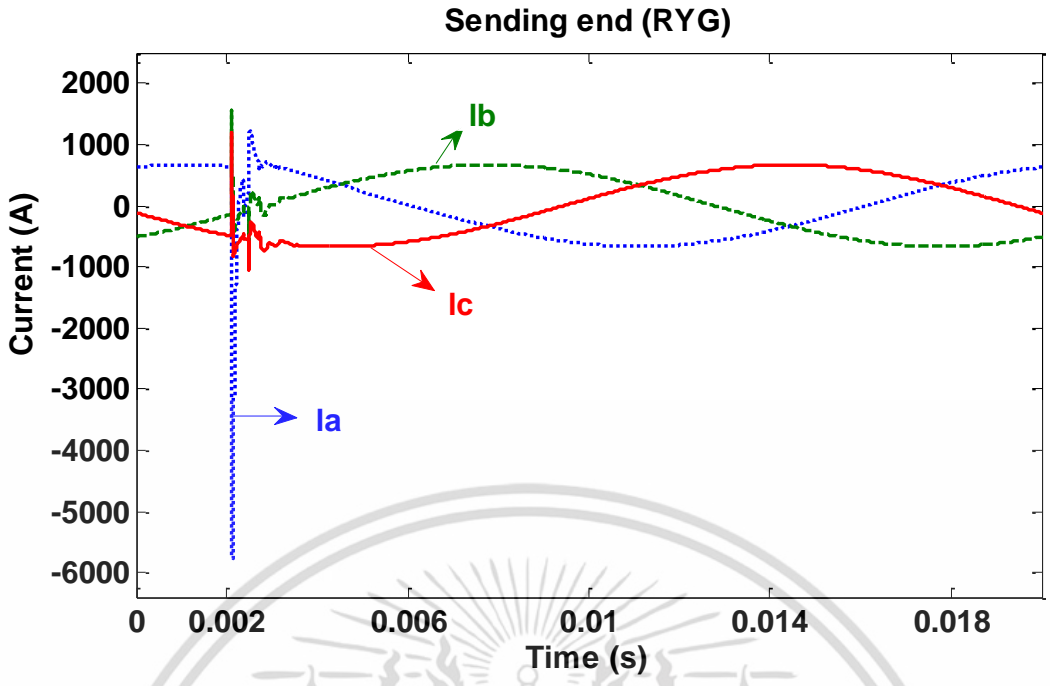
เพื่อศึกษาคูณลักษณะกระแสไฟฟ้าเมื่อเกิดฟ้าผ่า จึงทำการยกตัวอย่างกรณีศึกษา 3 กรณีคือ กรณีที่ 1 เกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง กรณีที่ 2 เกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา โดยเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง กรณีที่ 3 เกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวส่ง

กำหนดให้

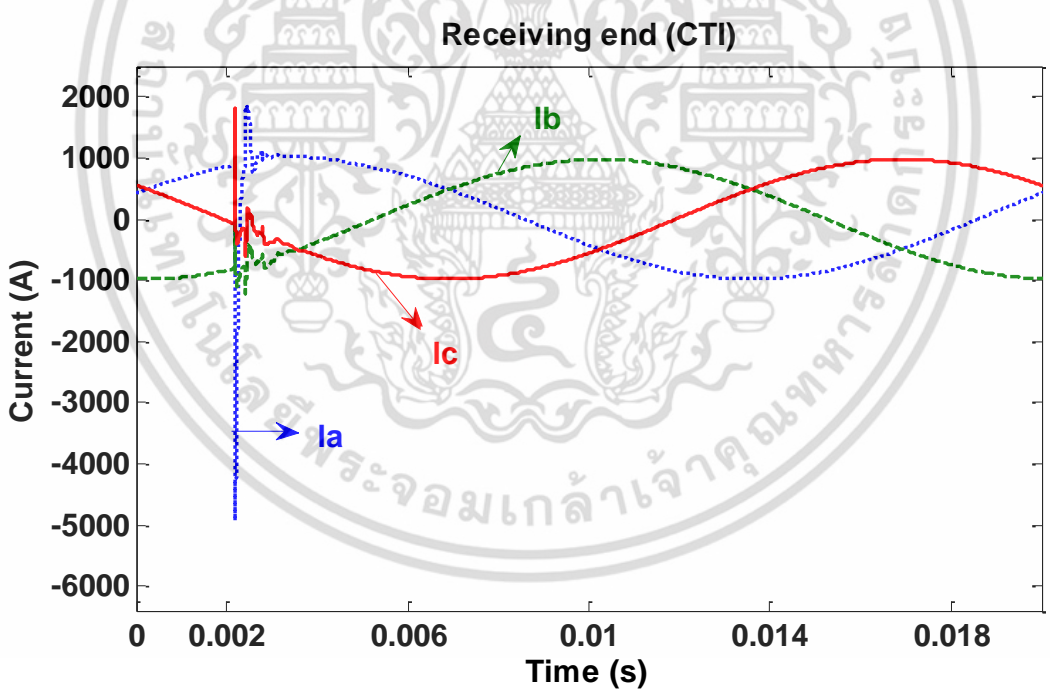
กราฟ ----- คือ กระแสเฟส A  
 กราฟ ----- คือ กระแสเฟส B  
 กราฟ ----- คือ กระแสเฟส C  
 แกนนอน คือ เวลา หน่วยวินาที  
 แกนตั้ง คือ กระแส หน่วยแอมแปร์

กรณีที่ 1 จำลองเกิดฟ้าผ่าที่มุมแรงดัน 0 องศา เฟส A ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

ทำการจำลองการเกิดฟ้าผ่าที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 0 องศา สายส่งเฟส A ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 35.4 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)



(ก) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.4 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า ณ เวลาที่เกิดฟ้าผ่ารูปคลื่นกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากกำหนดให้กระแสไฟฟ้ามีขนาดเท่ากับ 20 กิโลแอมแปร์ เมื่อเกิดฟ้าผ่าขึ้น ในที่นี้คือเฟส A กระแสไฟฟ้าเฟสที่เกิดฟ้าผ่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยขนาดที่เพิ่มขึ้นเท่ากับขนาดกระแสของฟ้าผ่า

เมื่อพิจารณาทิศทางพบว่า กระแสไฟฟ้าเฟส A เพิ่มขึ้นอย่างมากทางทิศลบ เนื่องจากเมื่อเกิดฟ้าผ่า จะเกิดลำฟ้าผ่าย้อนกลับ (Return stroke) อย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 0.1 – 10 ไมโครวินาที และค่อย ๆ ลดลง และหายไปเมื่อเวลา 100 ไมโครวินาที แต่เนื่องจากจากการจำลองกำหนดให้เกิดฟ้าผ่าขึ้นที่ 2 มิลลิวินาทีถึง 4 มิลลิวินาทีเท่านั้น ดังนั้นจึงเห็นหลังจากเวลา 4 มิลลิวินาทีลักษณะกระแสไฟฟ้าจึงกลับสู่สภาวะเดิม

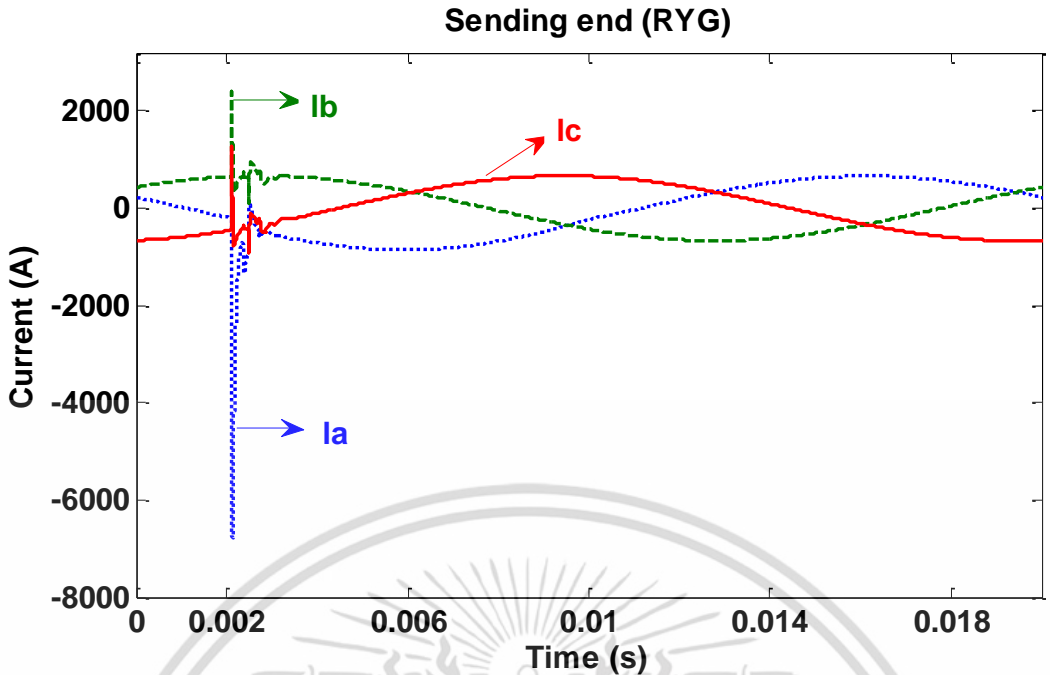
เมื่อพิจารณาเฟสอื่นที่ไม่เกิดฟ้าผ่า (เฟส B และเฟส C) แม้ไม่เกิดฟ้าผ่าขึ้นในเฟสดังกล่าว แต่เมื่อเกิดฟ้าผ่าขึ้น เกิดการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น โดยสนามแม่เหล็กแปรผันตรงต่อกระแสไฟฟ้า ดังนั้นกระแสไฟฟ้าของเฟสอื่น ๆ ได้รับผลของการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กทำให้ขนาดกระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น แต่มีขนาดไม่มากเท่าขนาดกระแสเฟสที่เกิดฟ้าผ่าโดยตรง และเมื่อพิจารณาด้านทิศทางพบว่า กระแสไฟฟ้าเฟสที่ไม่เกิดฟ้าผ่ามีทิศตรงข้ามกับฟ้าผ่า เนื่องจากเฟสดังกล่าวไม่ได้เกิดฟ้าผ่าโดยตรง จึงไม่ได้รับผลของลำฟ้าผ่าย้อนกลับ

พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า ลักษณะรูปคลื่นกระแสไฟฟ้ามีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง โดยขนาดของกระแสไฟฟ้าเฟสที่เกิดฟ้าผ่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและมากที่สุด เนื่องจากเหตุผลที่กล่าวไปข้างต้น

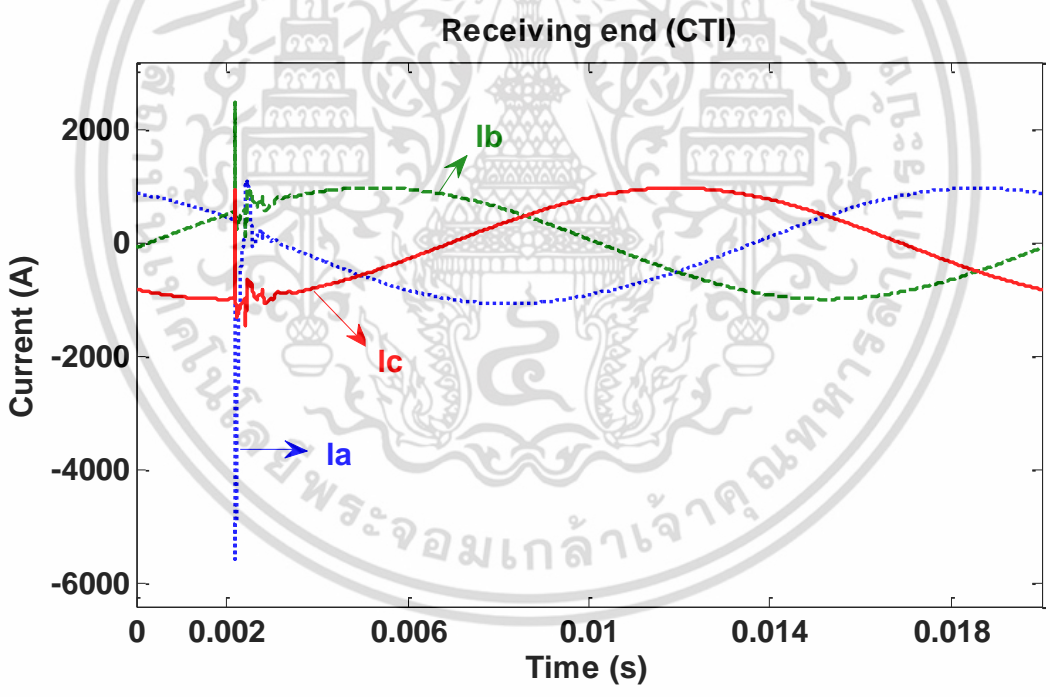
เมื่อเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ถึงแม้กระแสทั้งสองมีลักษณะเช่นเดียวกัน แต่ขนาดกระแสไฟฟ้าด้านสถานีรับมีขนาดน้อยกว่าสถานีส่ง เนื่องจากอิมพีแดนซ์ของสายส่ง โดยระยะทางสายส่งจากจุดที่เกิดฟ้าผ่าถึงสถานีรับมากกว่า ขนาดอิมพีแดนซ์สายส่งจึงมากกว่าเช่นเดียวกัน อิมพีแดนซ์แปรผกผันกับขนาดกระแสไฟฟ้า ดังนั้นส่งผลให้ขนาดกระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัดจากสถานีรับมีขนาดน้อยกว่าสถานีส่ง

กรณีที่ 2 จำลองเกิดฟ้าผ่าที่มุมแรงดัน 90 องศา เฟส A ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

ทำการจำลองการเกิดฟ้าผ่าที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 90 องศา สายส่งเฟส A ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 35.4 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)



(ก) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.5 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า กระแสไฟฟ้ามีลักษณะคล้ายกับกระแสไฟฟ้ากรณีเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง เมื่อพิจารณาด้านขนาดกระแสไฟฟ้าพบว่า ขนาดกระแสไฟฟ้าเฟสที่เกิดฟ้าผ่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในทิศทางข้ามกับทิศกระแสฟ้าผ่า โดยขนาดกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากขนาดกระแสไฟฟ้ามีค่ามากและเปลี่ยนแปลงทิศทางเนื่องจากได้รับผลกระทบของการเกิดลัมฟ้าผ่าย้อนกลับ หลังจากนั้นกระแสไฟฟ้าลดลงกลับสู่สภาวะเดิม

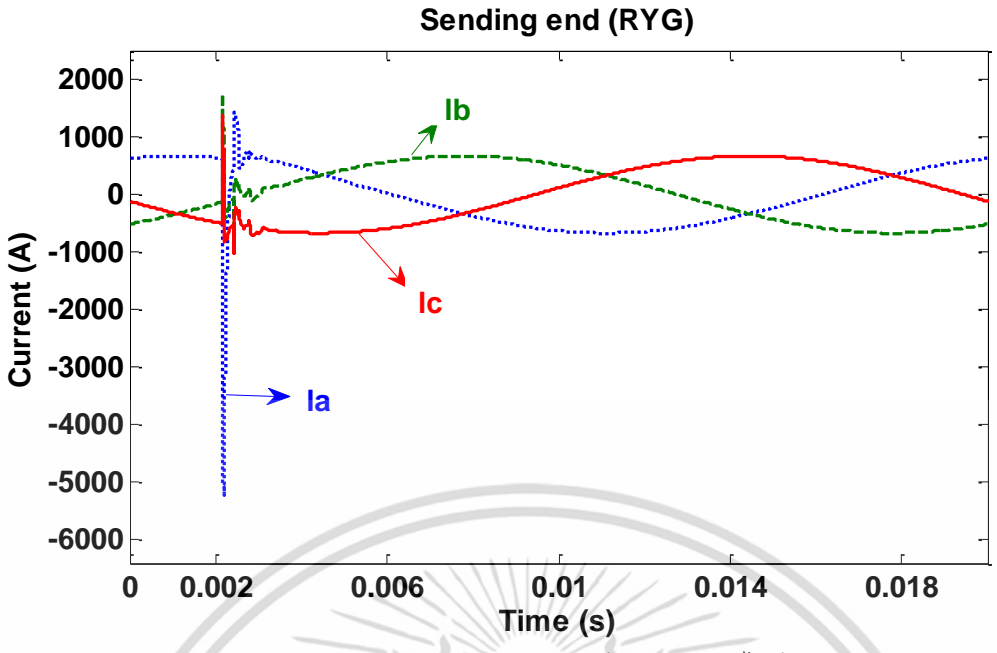
พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า ขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้ามีลักษณะเช่นเดียวกับกระแสด้านสถานีส่ง เนื่องจากเหตุผลเดียวกันข้างต้น

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.4(ก) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.5(ก) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า ขนาดกระแสไฟฟ้าเฟสฟ้าผ่าเมื่อมุมแรงดัน 90 องศามากกว่ากระแสเมื่อเกิดฟ้าผ่าที่มุม 0 องศาเล็กน้อย โดยมุมแรงดันเปลี่ยน ลักษณะสัญญาณแรงดันและกระแสมีการเลื่อนตำแหน่งตามมุมที่เปลี่ยนไป อีกทั้งกระแสไฟฟ้ามีลักษณะไขว่ขอยด์ มีการเปลี่ยนแปลงทิศบวกและทิศลบ ดังนั้นขนาดกระแสเฟสที่เกิดฟ้าผ่ามีการเปลี่ยนแปลงกลับทิศจากบวกไปลบและผลของมุมสัญญาณกระแสไฟฟ้าอยู่ในทิศลบเช่นเดียวกัน จึงเสริมให้ขนาดกระแสเฟสที่เกิดฟ้าผ่ามีขนาดเพิ่มขึ้นในทิศลบ

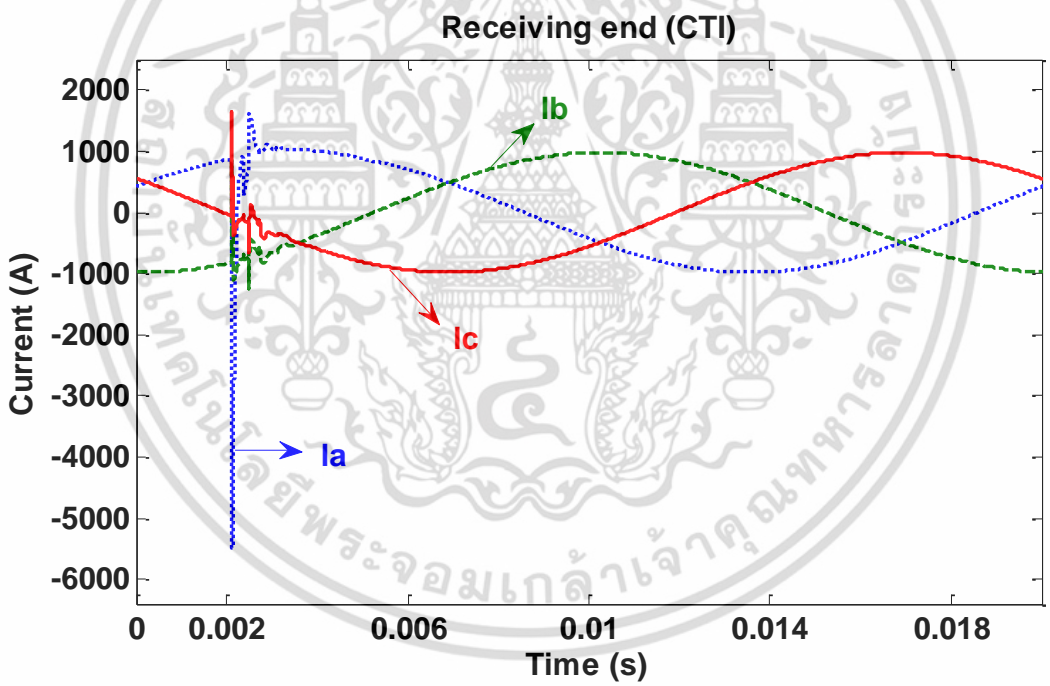
พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.4(ข) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.5(ข) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า ขนาดกระแสไฟฟ้าของเฟสที่เกิดฟ้าผ่ามีขนาดเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับสถานีส่ง เนื่องจากเหตุผลเดียวกันที่กล่าวในข้างต้น

กรณีที่ 3 จำลองเกิดฟ้าผ่าที่มุมแรงดัน 0 องศา เฟส A ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

ทำการจำลองการเกิดฟ้าผ่าที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 0 องศา สายส่งเฟส A ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 53.1 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)



(ก) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.6 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า กระแสไฟฟ้ามีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีเกิดฟ้าผ่าก่อนหน้า คือ กระแสไฟฟ้าเฟสที่เกิดฟ้าผ่า มีการกลับทิศทางของกระแสและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลของเหตุการณ์ฟ้าผ่าดังกล่าวก่อนหน้าและเมื่อกระแสฟ้าผ่าหายไป ขนาดกระแสเฟสที่เกิดฟ้าผ่าจึงลดลง กลับสู่สภาวะเดิม และขนาดกระแสไฟฟ้าเฟสอื่น ๆ ที่ไม่เกิดฟ้าผ่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากผลของการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก แต่ไม่มีการกลับทิศของกระแส เนื่องจากไม่ได้เกิดฟ้าผ่าที่เฟสดังกล่าวโดยตรง

พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า ขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้ามีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ขนาดกระแสไฟฟ้าระหว่างทั้งสองสถานีแตกต่างกัน เนื่องจากระยะทางระหว่างจุดที่เกิดฟ้าผ่าถึงสถานีทั้งสองไม่เท่ากัน โดยฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งนี้ ระยะทางระหว่างจุดที่เกิดฟ้าผ่าถึงสถานีรับมากกว่าระยะทางอ้างอิงจากสถานีส่ง ดังนั้นขนาดอิมพีแดนซ์ของทั้งสองจึงแตกต่างกัน ส่งผลให้ขนาดกระแสมีความแตกต่างกัน ดังเช่นกรณีฟ้าผ่าก่อนหน้า

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.4(ก) เมื่อฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.6(ก) เมื่อฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง พบว่า ตำแหน่งฟ้าผ่ามีผลต่อขนาดกระแสไฟฟ้า โดยตำแหน่งฟ้าผ่าเพิ่มขึ้น เปรียบเสมือนระยะทางระหว่างจุดที่เกิดฟ้าผ่าถึงสถานีส่งเพิ่มขึ้น มีผลให้อิมพีแดนซ์สายส่งเพิ่มขึ้น ทำให้ขนาดกระแสไฟฟ้าลดลง แต่เนื่องจากขนาดกระแสฟ้าผ่ามีค่าสูงมาก ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสจึงเห็นเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยทางด้านทิศการเพิ่มของกระแสไฟฟ้าพบว่ามีลักษณะเช่นเดิม คือมีการเพิ่มขึ้นในทิศทางลบ เนื่องจากผลของฟ้าผ่าดังกล่าวไปข้างต้น

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.4(ข) เมื่อฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.6(ข) เมื่อฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า ลักษณะกระแสไฟฟ้าทั้งสองกรณีมีลักษณะคล้ายคลึงกัน คือมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าอย่างรวดเร็วในทิศทางลบ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้านี้ เนื่องจากผลของฟ้าผ่าดังกล่าวไปก่อนหน้า

ตารางที่ 3.5 ขนาดกระแสไฟฟ้า 3 เฟสของระบบไฟฟ้า เมื่อเกิดฟ้าผ่า

ตำแหน่งความยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	สถานีส่ง (RYG)			สถานีรับ (CTI)		
		เฟส A	เฟส B	เฟส C	เฟส A	เฟส B	เฟส C
40%	0	-5769	1550	1195	-4935.4	1072.5	1805
	90	-6798.5	2388	1286.14	-5574.2	2484.46	953.44
60%	0	-5220	1754.8	1378.75	-5499.7	870.88	1632.1

ตารางที่ 3.5 แสดงขนาดการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าสูงสุด 3 เฟสจากรูปที่ 3.4 – 3.12 โดยอ้างอิงกระแสไฟฟ้าของสายส่งเฟส A พบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงกระแสเป็นไปตามที่อธิบายไปข้างต้น เมื่อพิจารณาค่าจากตารางดังกล่าวเห็นการเปลี่ยนแปลงชัดเจนมากขึ้น คือ ขนาดกระแสไฟฟ้าเฟสที่เกิดฟ้าผ่าทั้งสามกรณีแตกต่างกันทั้งสิ้น แต่ทิศทางกระแสเหมือนกัน เนื่องจากมุมแรงดันและตำแหน่งมีผลต่อขนาดกระแสไฟฟ้าเท่านั้น ไม่มีผลต่อทิศทาง ทิศทางกระแสไฟฟ้ามีสาเหตุจากฟ้าผ่าผ่าย้อนกลับ ในขณะที่เฟสอื่น ๆ มีขนาดกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในทิศทางเดิม เนื่องจากผลของสนามแม่เหล็กดังกล่าวไปข้างต้น และเนื่องจากกระแสไฟฟ้าแต่ละเฟสมีมุมต่างกัน 120 องศา จึงทำให้ขนาดกระแสไฟฟ้าแต่ละเฟสมีค่ามากน้อยต่างกัน

เมื่อพิจารณาด้านเวลาพบว่า ฟ้าผ่าเกิดขึ้นที่เวลา 2 มิลลิวินาที ณ เวลาดังกล่าวขนาดกระแสไฟฟ้าเริ่มมีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในทิศทางตรงข้ามเดิมและมีขนาดมากที่สุดค่าหนึ่งและเมื่อกระแสฟ้าผ่าหมดไป (เวลา 4 มิลลิวินาที) ขนาดกระแสเฟสที่เกิดฟ้าผ่าลดลงกลับสู่สภาวะเสถียรภาพ เนื่องจากขนาดกระแสมีการเปลี่ยนแปลงที่ต่างกันทั้ง 3 เฟสและมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทิศบวกและทิศลบ ทำให้การตรวจวัดขนาดกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากผลของฟ้าผ่าและเวลาที่เกิดขนาดกระแสไฟฟ้าสูงสุดลำบาก เนื่องจากเห็นการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เด่นชัด

### 3.2.2 พอลต์หนึ่งเฟสลงดิน

พอลต์หนึ่งเฟสลงดินเป็นกรณีความผิดปกติของระบบส่งกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบ่อย วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการยกตัวอย่างกรณีศึกษา 3 กรณีคือ

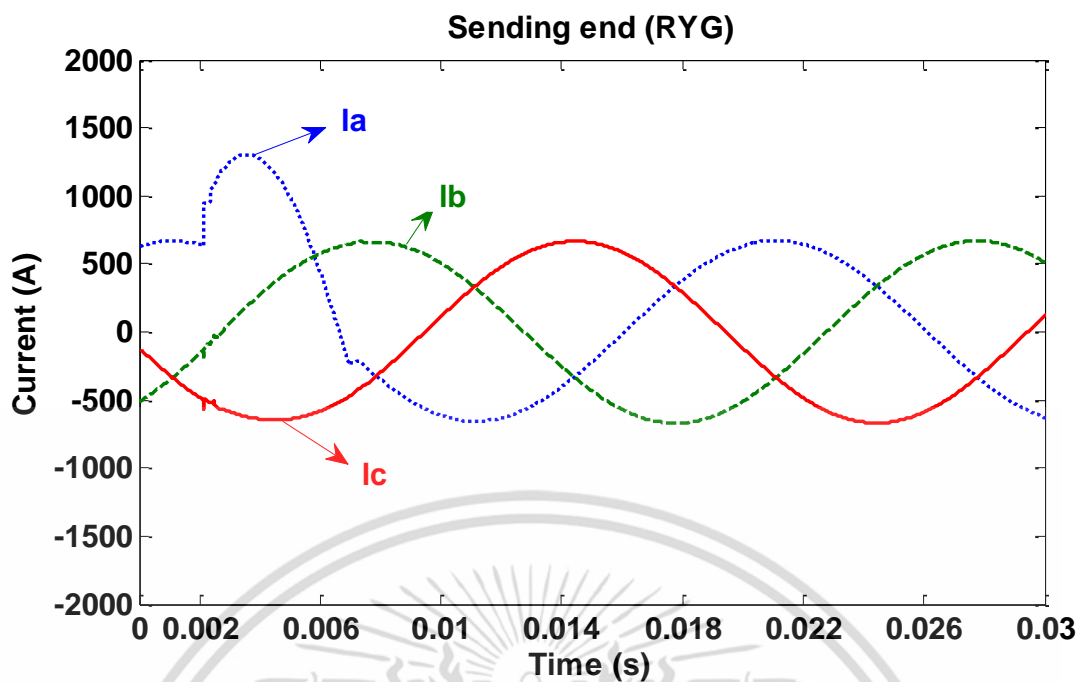
- กรณีที่ 1 เกิดพอลต์ที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดพอลต์ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง
- กรณีที่ 2 เกิดพอลต์ที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา โดยเกิดพอลต์ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง
- กรณีที่ 3 เกิดพอลต์ที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดพอลต์ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวส่ง

กำหนดให้

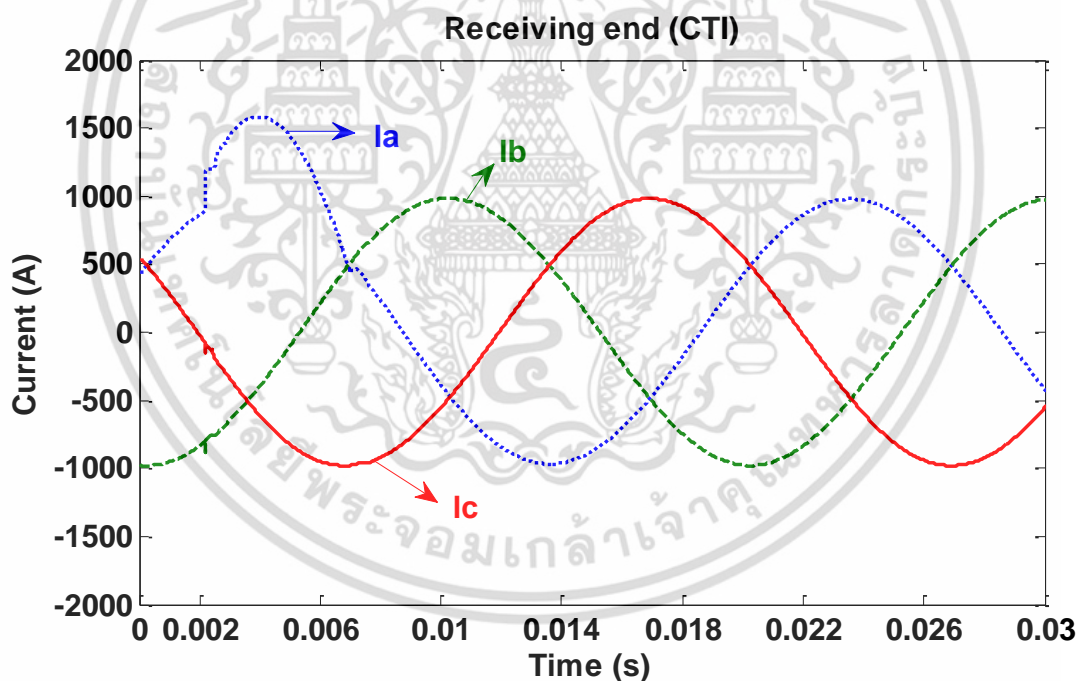
- กราฟ ----- คือ กระแสเฟส A
- กราฟ - - - - - คือ กระแสเฟส B
- กราฟ ——— คือ กระแสเฟส C
- แกนนอน คือ เวลา หน่วยวินาที
- แกนตั้ง คือ กระแส หน่วยแอมแปร์

กรณีที่ 1 เกิดพอลต์ที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

ทำการจำลองการเกิดพอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 0 องศา สายส่งเฟส A ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 35.4 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)



(ก) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.7 เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

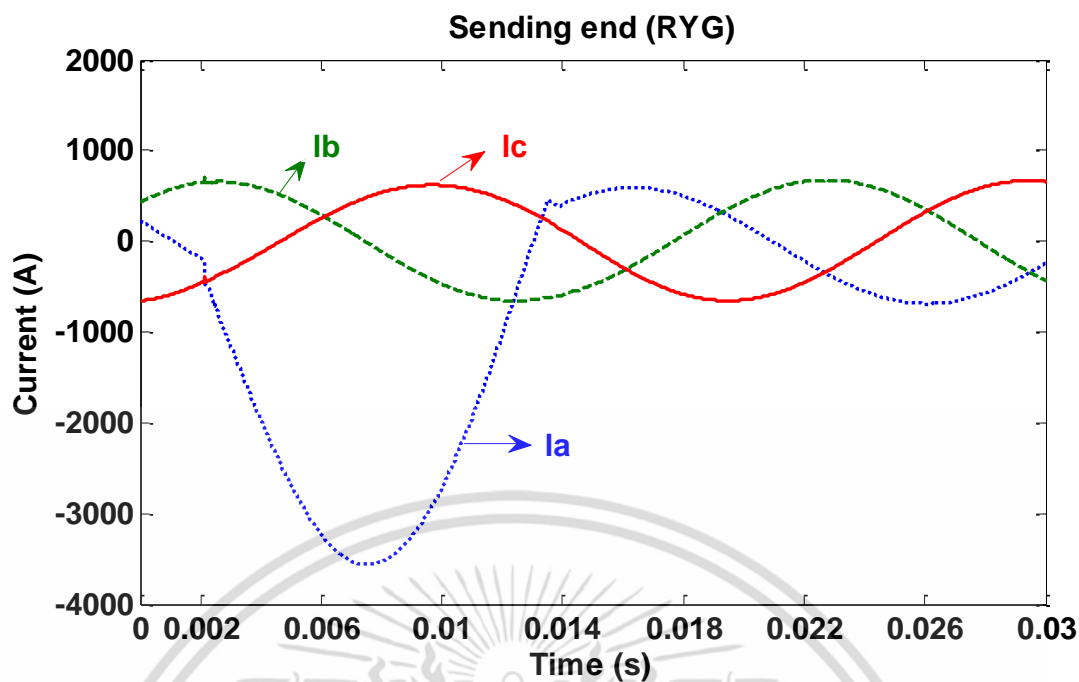
พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า ณ เวลาที่เกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าเฟสที่เกิดฟอลต์ (เฟส A) มีขนาดเพิ่มขึ้นในทิศทางบวก และกระแสไฟฟ้าเฟสที่ไม่เกิดฟอลต์ (เฟส B และเฟส C) มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่เนื่องจากขนาดกระแสฟอลต์ไม่สูง สนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไม่มาก ทำให้ขนาดกระแสมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ด้านทิศทางการเปลี่ยนแปลงพบว่า ลักษณะกระแสไฟฟ้าเฟสที่เกิดฟอลต์ต่างจากกระแสเฟสที่เกิดฟ้าผ่า โดยขนาดกระแสเฟสที่เกิดฟอลต์เพิ่มขึ้นทิศทางบวก เช่นเดิม เนื่องจากไม่มีสาเหตุที่ส่งผลต่อทิศทางการเปลี่ยนแปลงของกระแสเช่นกรณีฟ้าผ่า ดังนั้นจากลักษณะเป็นแบบไซนูซอยด์ ณ เวลาที่เกิดฟอลต์ขึ้นรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าง่ายกว่าเคลื่อนมายังทิศทางบวก กระแสไฟฟ้าจึงมีการเพิ่มขึ้นในทิศทางบวกเช่นเดิม

พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงรูปคลื่นกระแสไฟฟ้ามีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง โดยอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันข้างต้น

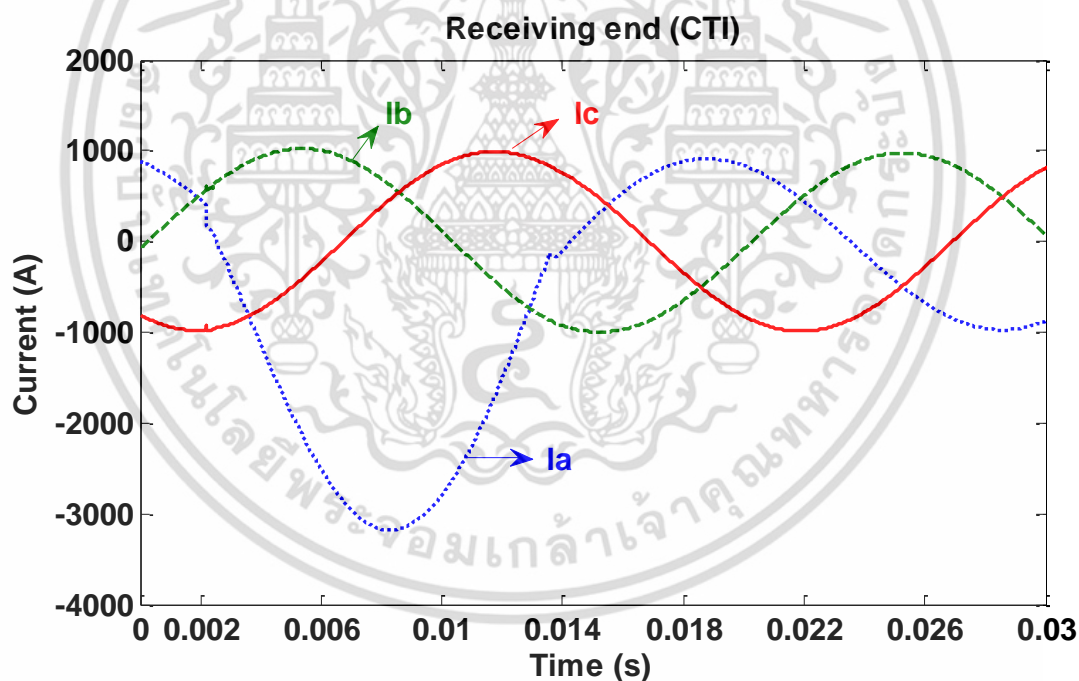
เมื่อเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า แม้กระแสไฟฟ้าทั้งสองมีลักษณะเช่นเดียวกัน แต่ขนาดของกระแสไฟฟ้าของสถานีทั้งสองต่างกัน โดยขนาดกระแสไฟฟ้าด้านสถานีรับมากกว่าสถานีส่ง ทั้งสภาวะชั่วขณะและเสถียร เนื่องจากเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้น เกิดการลัดวงจรทำให้แรงดันมีขนาดลดลงและกระแสไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

กรณีที่ 2 เกิดฟอลต์ที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา โดยเกิดที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

ทำการจำลองการเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 0 องศา สายส่งเฟส A ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 35.4 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)



(ก) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.8 เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า ขนาดกระแสไฟฟ้าเฟสที่เกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินเพิ่มขึ้น โดยทิศทางการเพิ่มขึ้นของกระแสตรงข้ามกับกรณีเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ คือมีการเปลี่ยนแปลงทางทิศลบ เนื่องจากขนาดมุมแรงดันมีผลต่อลักษณะสัญญาณกระแสไฟฟ้า ณ เวลาที่ฟอลต์เกิดขึ้น สัญญาณกระแสดังกล่าวอยู่ในช่วงทิศลบ ดังนั้นขนาดกระแสจึงมีการเพิ่มขึ้นตามทิศของกระแสไฟฟ้าเดิม ไม่มีการกลับทิศเช่นกรณีฟ้าผ่า และเมื่อพิจารณาเฟสอื่น ๆ ที่ไม่เกิดฟอลต์พบว่า มีขนาดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยมาก ณ เวลาที่เกิดฟอลต์ เนื่องจากผลขนาดกระแสฟอลต์ไม่มาก การเปลี่ยนแปลงขนาดสนามแม่เหล็กน้อย จึงเกิดการเหนี่ยวนำให้กระแสเฟสอื่น ๆ เปลี่ยนแปลงน้อย

พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า กระแสไฟฟ้ามีลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับสถานีส่ง คือกระแสไฟฟ้าเฟสที่เกิดฟอลต์มีขนาดกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทิศทางลบ เนื่องจากกระแสไฟฟ้ามีลักษณะไซนูซอยด์ดังกล่าวข้างต้น และกระแสเฟสที่ไม่เกิดฟอลต์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จนแทบไม่เห็นการเปลี่ยนแปลง

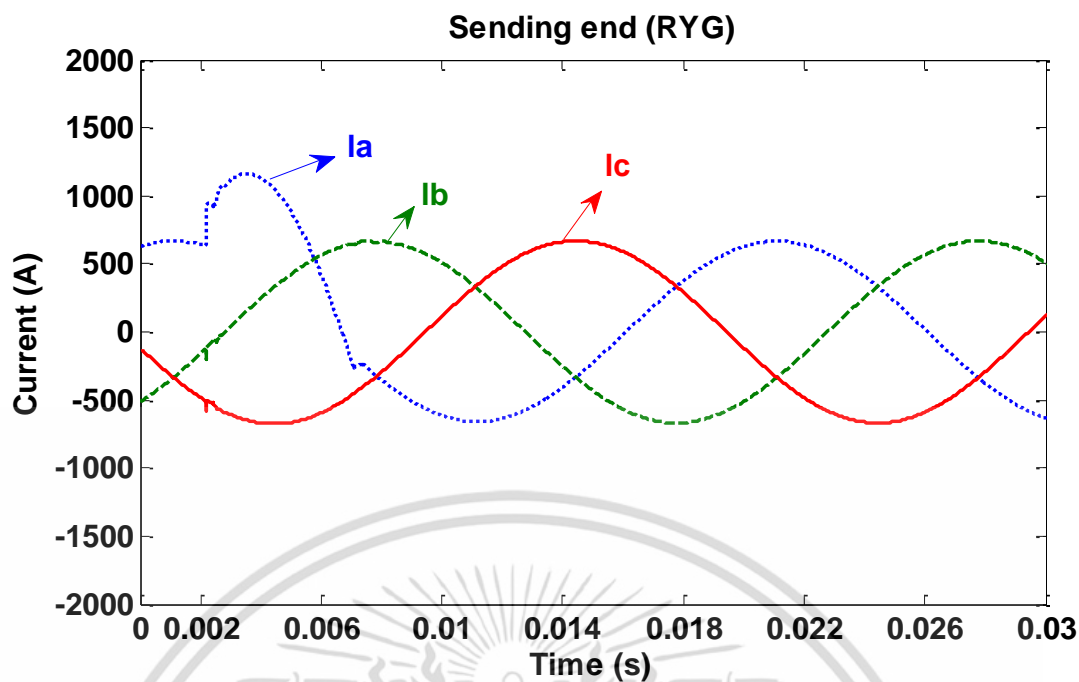
เมื่อเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัดจากสถานีทั้งสองมีลักษณะเช่นเดียวกัน คือมีขนาดเพิ่มขึ้นในทิศทางเดิมของสัญญาณกระแสไฟฟ้า ไม่มีการกลับทิศ

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.7(ก) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.9(ก) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า เมื่อมุมแรงดันเปลี่ยนแปลง 90 องศา ส่งผลให้ลักษณะรูปคลื่นกระแสไฟฟ้ามีการเลื่อนไป 90 องศาจากรูปคลื่นกระแสเมื่อมุมแรงดัน 0 องศา ซึ่งการเลื่อนตำแหน่งที่ตรวจวัดสัญญาณส่งผลขนาดกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากกระแสไฟฟ้ามีลักษณะไซนูซอยด์ดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นลักษณะกระแสไฟฟ้าของกรณีมุม 0 องศาและ 90 องศาจึงมีความแตกต่างกัน

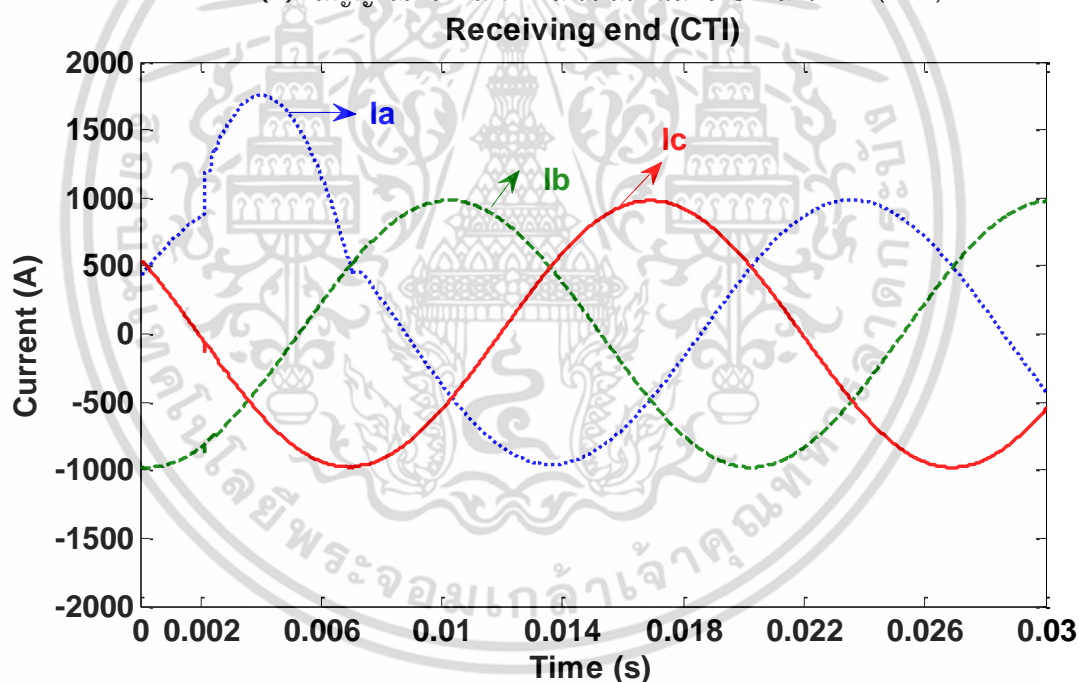
พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.7(ข) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.9(ข) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า การเปลี่ยนแปลงมุมแรงดันมีผลให้ขนาดและทิศทางการเพิ่มขึ้นของกระแสเปลี่ยนแปลง

กรณีที่ 3 เกิดฟอลต์ที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

ทำการจำลองการเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 0 องศา สายส่งเฟส A ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งหรือที่ระยะทาง 53.1 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)



(ก) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.9 เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า กระแสไฟฟ้ามีลักษณะเดียวกับกรณีเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งข้างต้น คือมีการเพิ่มขึ้นของกระแสที่ศบวทเช่นเดียวกัน เนื่องจากสัญญาณกระแสไฟฟ้า ณ เวลาที่เกิดฟอลต์อยู่ในช่วงที่ศบวท ส่งผลขนาดกระแสเพิ่มขึ้นในศบวทตามลักษณะกระแสไฟฟ้าเฟสอื่น ๆ มีลักษณะเช่นเดิม คือ ณ เวลาที่เกิดฟอลต์ ขนาดกระแสมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากผลของสนามแม่เหล็กไม่มาก

พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า ขนาดและทิศทาง การเพิ่มของกระแสไฟฟ้ามีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง โดยสามารถอธิบายได้ด้วยหลักการและเหตุผลเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า แม้กระแสไฟฟ้าทั้งสองมีลักษณะเช่นเดียวกัน แต่ขนาดของกระแสไฟฟ้าด้านสถานีรับมีขนาดมากกว่าสถานีส่ง ทั้งสภาวะชั่วขณะและเสถียร เนื่องจากเมื่อเกิดฟอลต์ เกิดกระแสฟอลต์เพิ่มขึ้นในระบบไฟฟ้า ส่งผลให้ขนาดกระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.7(ก) เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.11(ก) เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า ลักษณะกระแสไฟฟ้าทั้งสองกรณีมีลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่กระแสไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งมีขนาดลดลง โดยมีสาเหตุมาจากการระยะทางระหว่างจุดที่เกิดฟอลต์ถึงสถานีส่งเพิ่มขึ้น ขนาดอิมพีแดนซ์จึงเพิ่มขึ้น และกระแสซึ่งแปรผกผันกับอิมพีแดนซ์จึงมีขนาดลดลง

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.7(ข) เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.11(ข) เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า ขนาดกระแสมีแนวโน้มตรงข้ามกับขนาดกระแสด้านสถานีส่ง โดยมีขนาดเพิ่มขึ้นจากเดิม เมื่อตำแหน่งฟอลต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากระยะทางระหว่างจุดที่เกิดฟอลต์ถึงสถานีรับลดลง ค่าอิมพีแดนซ์ลดลงเช่นเดียวกัน กระแสไฟฟ้าจึงมีขนาดเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3.6 ขนาดกระแสไฟฟ้า 3 เฟสเมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน

ตำแหน่งความยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	สถานีส่ง (RYG)			สถานีรับ (CTI)		
		เฟส A	เฟส B	เฟส C	เฟส A	เฟส B	เฟส C
40%	0	1302.92	42	-580	1565	-494	-519
	90	-3550	14	466	-3178	620	450
60%	0	1148.5	100	-630	1746.5	428	-545.7

ตารางที่ 3.6 แสดงขนาดการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าสูงสุด 3 เฟสจากรูปที่ 3.7 - 3.16 โดยอ้างอิงที่กระแสไฟฟ้าเฟส A พบว่า กระแสทั้ง 3 เฟสมีขนาดที่แตกต่างกัน เนื่องจากกระแสเป็นลักษณะไซน์ซอซายด์ มีขนาดกระแสที่ศบวทและที่ศบข อีกทั้งขนาดกระแสทั้ง 3 เฟสมีมุมต่างกัน 120 องศา ทำให้จุดเริ่มต้นและการเปลี่ยนแปลงของทั้งสามแตกต่างกัน

จากข้อมูลของตารางข้างต้นพบว่า กระแสไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนแปลงได้ทั้งสองทิศทาง แต่ทิศทางการเพิ่มของกระแสไฟฟ้า อ้างอิงจากทิศของสัญญาณ ณ เวลาที่เกิดฟอลต์ ดังเช่น กรณีฟอลต์หนึ่งเฟสเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลงดินที่มุมแรงดัน 90 องศา กระแสเฟสที่เกิดฟอลต์มีขนาดลบเพียงกรณีเดียว คือ -3550 แอมแปร์ ในขณะที่เฟสอื่น ๆ มีขนาดเป็นบวก ขนาดกระแสลบนี้ มีสาเหตุมาจากทิศของสัญญาณ ณ เวลาที่เกิดฟอลต์เป็นทิศลบ ดังนั้นจึงเปลี่ยนแปลงทิศลบตาม

เมื่อพิจารณาด้านเวลาพบว่า ณ เวลาที่เกิดฟอลต์ (2 มิลลิวินาที) ลักษณะกระแสไฟฟ้าแต่ละเฟสมีการเปลี่ยนแปลง โดยกระแสเฟสที่เกิดฟอลต์มีขนาดเพิ่มขึ้นชัดเจนกว่าเฟสอื่น ๆ และเมื่อเวลาที่ฟอลต์ถูกแก้ไขออกไป (4 มิลลิวินาที) สัญญาณกระแสลดลงและกลับสู่ลักษณะเดิม

### 3.2.3 ฟอลต์ระหว่างเฟส

เพื่อทำการศึกษาคูณลักษณะของกระแสเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส จึงทำการยกตัวอย่าง 3 กรณีศึกษาคือ

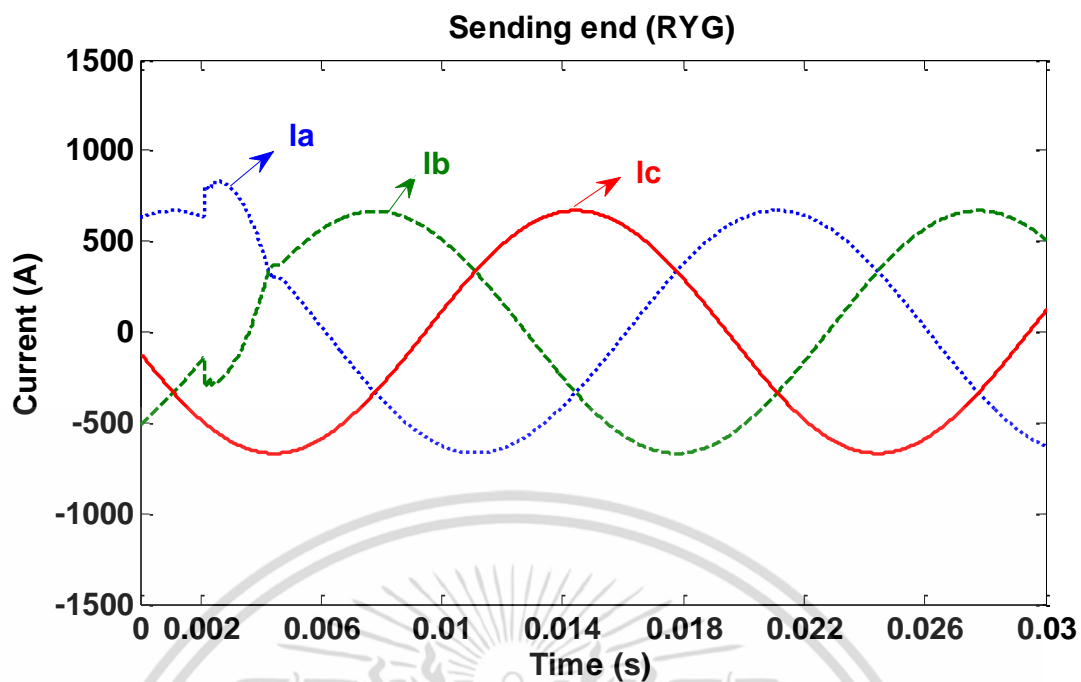
กรณีที่ 1 เกิดฟอลต์ที่เฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง  
 กรณีที่ 2 เกิดฟอลต์ที่เฟส AB มุมแรงดัน 90 องศา โดยเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง  
 กรณีที่ 3 เกิดฟอลต์ที่เฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวส่ง

กำหนดให้

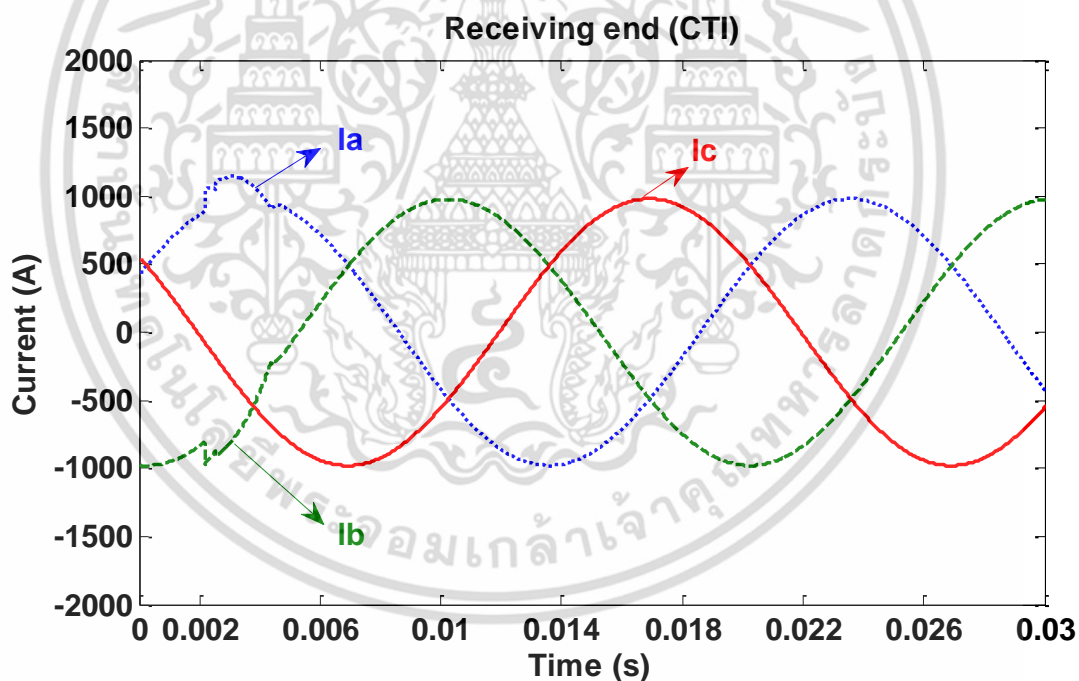
กราฟ ----- คือ กระแสเฟส A  
 กราฟ ----- คือ กระแสเฟส B  
 กราฟ ----- คือ กระแสเฟส C  
 แกนนอน คือ เวลา หน่วยวินาที  
 แกนตั้ง คือ กระแส หน่วยแอมแปร์

กรณีที่ 1 เกิดฟอลต์ที่เฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

ทำการจำลองการเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 0 องศา สายส่งเฟส AB ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 35.4 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)



(ก) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.10 เมื่อเกิดฟลัดระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

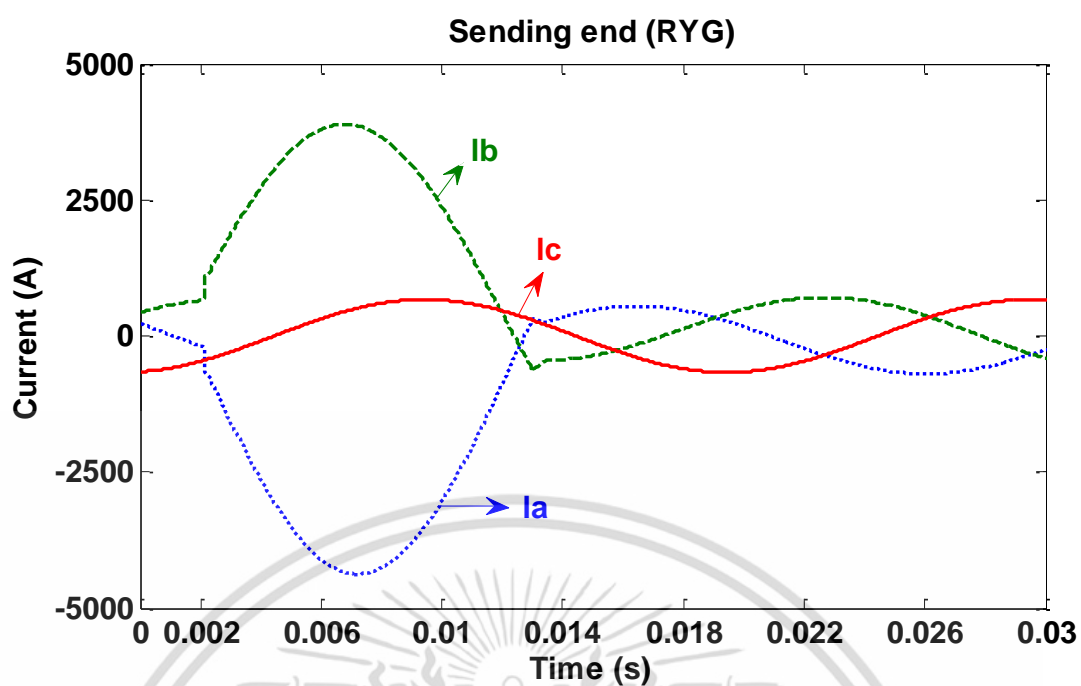
พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า ณ เวลาที่เกิดฟอลต์ระหว่างเฟส กระแสไฟฟ้าเฟสที่เกิดฟอลต์มีขนาดเพิ่มขึ้น (เฟส A และเฟส B) เนื่องจากมีการลัดวงจรที่เฟสดังกล่าว ส่งผลให้ขนาดกระแสเพิ่มขึ้นทางด้านทิศทางพบว่า กระแสเฟส A และเฟส B มีทิศทางการเปลี่ยนแปลงตรงข้ามกัน คือเฟส A เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางบวก และเฟส B เปลี่ยนแปลงด้านทิศทางลบ ทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าขึ้นอยู่กับทิศของสัญญาณกระแสไฟฟ้า ณ เวลาที่เกิดฟอลต์ ซึ่ง ณ เวลาที่เกิดฟอลต์ กระแสเฟส A อยู่ในช่วงทิศบวก ดังนั้นขนาดกระแสฟอลต์จึงเพิ่มทิศบวกตามและขณะเดียวกันกระแสเฟส B อยู่ช่วงทิศลบ กระแสจึงมีการเพิ่มขึ้นทิศลบ เมื่อพิจารณาเฟส C ซึ่งไม่ได้เกิดฟอลต์พบว่าสัญญาณกระแสมีลักษณะเป็นไซนูซอยด์ดังเดิม

พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า กระแสไฟฟ้ามีลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับสถานีส่ง คือกระแสฟอลต์มีขนาดเพิ่มขึ้นตามทิศของสัญญาณกระแสเฟสที่เกิดฟอลต์ และกระแสเฟสที่ไม่เกิดฟอลต์มีลักษณะเช่นเดิม

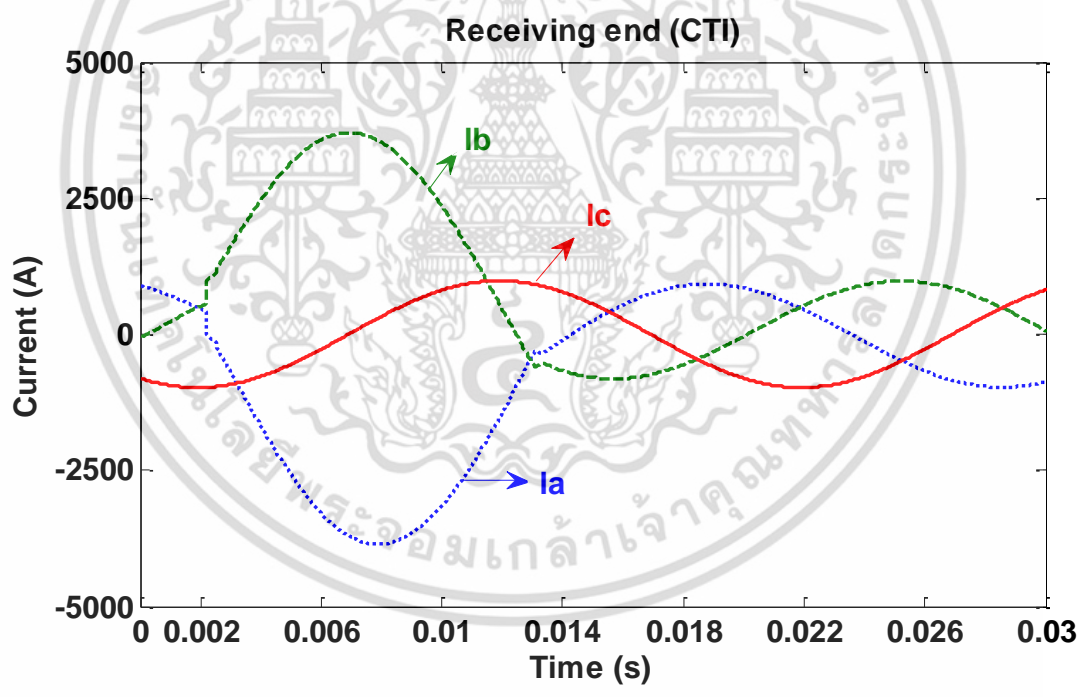
เมื่อเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า กระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้จากสถานีทั้งสองมีลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสเดียวกัน เนื่องจาก ณ เวลาที่เกิดฟอลต์ ทิศทางของสัญญาณกระแสเฟส A และเฟส B อยู่ในทิศบวกและทิศลบเช่นเดียวกัน ตามลำดับ แต่ขนาดกระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัดจากสถานีทั้งสองแตกต่างกัน โดยกระแสที่ตรวจวัดจากสถานีรับมีขนาดมากกว่าสถานีส่ง เช่นเดียวกับกรณีฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินก่อนหน้า เนื่องจากเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้น แรงดันของระบบไฟฟ้าลดลง ทำให้ขนาดกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

กรณีที่ 2 จำลองเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส ที่มุมแรงดัน 90 องศา เฟส AB ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

ทำการจำลองการเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 90 องศา สายส่งเฟส AB ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 35.4 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)



(ก) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.11 เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า กระแสไฟฟ้าเฟสที่เกิดฟอลต์ (เฟส A และเฟส B) มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น โดยมีทิศทางการเปลี่ยนแปลงตรงข้ามกันกับกรณีเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง ซึ่งทิศทางการเพิ่มของกระแสฟอลต์ขึ้นอยู่กับทิศของสัญญาณ ณ เวลาที่เกิดฟอลต์ว่ามีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางใด กรณียกตัวอย่างดังกล่าวนี้ เนื่องจาก ณ เวลาที่เกิดฟอลต์ สัญญาณกระแสไฟฟ้าเฟส A มีการเปลี่ยนแปลงในทิศลบและสัญญาณกระแสไฟฟ้าเฟส B มี มีการเปลี่ยนแปลงทิศบวก ดังนั้นกระแสไฟฟ้าทั้งสองเฟสนี้ จึงมีการเพิ่มขึ้นในทิศลบและทิศบวกตามลำดับ และเฟส C มีลักษณะคงเดิม เนื่องจากไม่มีกระแสฟอลต์เกิดขึ้น

พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า ลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสมีลักษณะเช่นเดียวกับด้านส่ง เนื่องจากหลักการและเหตุผลเดียวกันข้างต้น

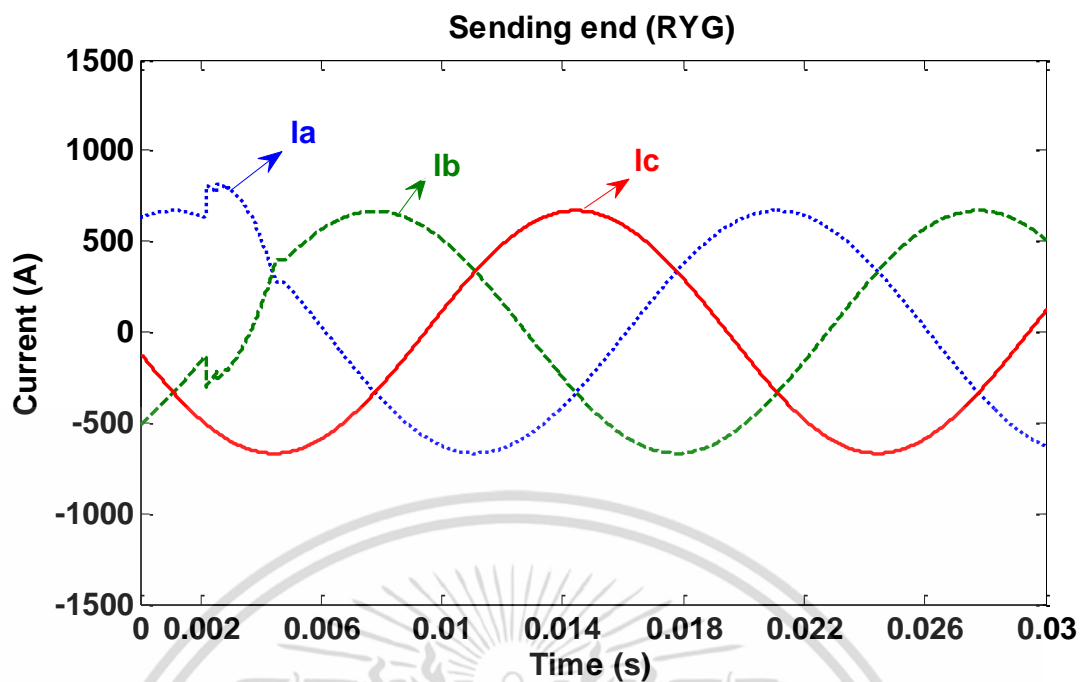
เมื่อเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า กระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้จากสถานีทั้งสองมีลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าเหมือนกัน แต่เมื่อพิจารณาด้านขนาดกระแสไฟฟ้าพบว่า ขนาดกระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัดจากสถานีรับมากกว่าสถานีส่ง เช่นเดียวกับกรณีฟอลต์ที่อธิบายไปก่อนหน้านี้ โดยขนาดกระแสไฟฟ้าที่มากกว่าของสถานีรับ มีสาเหตุมาจาก กระแสฟอลต์ที่เพิ่มขึ้นในระบบไฟฟ้า เนื่องจากการลัดวงจร

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.10(ก) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.11(ก) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า ตำแหน่งของสัญญาณกระแสไฟฟ้าเลื่อนออกไปตามขนาดมุมแรงดันที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงมุมส่งผลต่อลักษณะสัญญาณกระแสไฟฟ้าและทิศการเพิ่มของกระแสฟอลต์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า มุมแรงดันมีผลต่อตำแหน่งบนสัญญาณกระแสไฟฟ้า โดยลักษณะสัญญาณกระแสไฟฟ้าแปรตามขนาดมุมแรงดัน

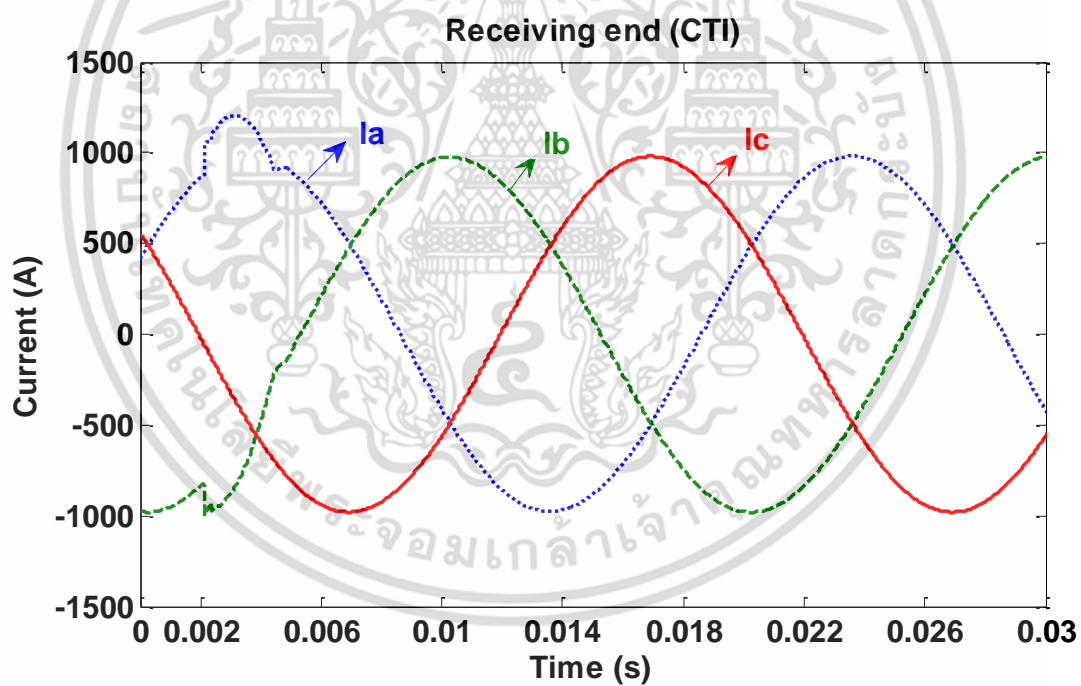
พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.10(ข) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.11(ข) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า มีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง คือ ลักษณะกระแสไฟฟ้ามีการเลื่อนออกไป 90 องศาจากเดิม (0 องศา) ส่งผลให้ทิศการเพิ่มของกระแสฟอลต์เปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับสถานีส่ง

กรณีที่ 3 จำลองเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส ที่มุมแรงดัน 0 องศา เฟส AB ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

ทำการจำลองการเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 0 องศา สายส่งเฟส AB ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 53.1 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)



(ก) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.12 เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า กระแสไฟฟ้าเฟสที่เกิดฟอลต์ระหว่างเฟสนี้มีการเปลี่ยนแปลงขนาด และทิศทางเช่นเดียวกับกรณีเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสที่มุม 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง โดยเฟสที่เกิดฟอลต์มีกระแสเพิ่มขึ้นและเฟสที่ไม่เกิดฟอลต์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก อีกทั้งเนื่องจากตำแหน่งเริ่มตรวจวัดของสัญญาณกระแสทั้งสองกรณีเริ่มต้นที่จุดเดียวกัน ดังนั้น ณ เวลาที่ฟอลต์เกิดขึ้น ทิศของสัญญาณจึงมีทิศเดียวกัน ส่งผลให้ทิศการเพิ่มของกระแสฟอลต์คงเดิม

พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า ลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้ามีลักษณะเช่นเดียวกันสถานีส่ง เนื่องจากเหตุผลที่อธิบายไปข้างต้น

เมื่อเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า กระแสที่ตรวจวัดจากสถานีทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางเดียวกัน แต่เมื่อพิจารณาขนาดกระแสไฟฟ้าพบว่า ขนาดกระแสที่ตรวจวัดจากสถานีรับมากกว่าสถานีส่ง เนื่องจากมีกระแสฟอลต์เพิ่มขึ้นในสายส่ง ส่งผลให้ขนาดเพิ่มขึ้นจากเดิม

พิจารณาเปรียบเทียบระหว่างด้านสถานีส่ง รูปที่ 3.10(ก) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.12(ก) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า ทั้งสองกรณีนี้มีทิศทางการเพิ่มของกระแสฟอลต์เช่นเดียวกัน แต่ตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ค่าอิมพีแดนซ์สายส่งเปลี่ยนแปลงตาม การเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ของสายส่ง มีผลต่อขนาดกระแสไฟฟ้า โดยจากกรณีดังกล่าว เมื่อเกิดฟอลต์ที่ 60% ของความยาวสายส่ง ระยะทางระหว่างจุดเกิดฟอลต์ถึงสถานีอ้างอิงเพิ่มขึ้นจากระยะทางของกรณีตำแหน่งฟอลต์ที่ 40% ความยาวสายส่ง ส่งผลให้ขนาดกระแสไฟฟ้าลดลง

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.10(ข) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.12(ข) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า ลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าตรงข้ามกับกระแสที่ตรวจวัดจากสถานีส่ง เนื่องจากเหตุผลเดียวกันข้างต้น

ตารางที่ 3.7 ขนาดกระแสไฟฟ้า 3 เฟสเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส

ตำแหน่งความยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	สถานีส่ง (RYG)			สถานีรับ (CTI)		
		เฟส A	เฟส B	เฟส C	เฟส A	เฟส B	เฟส C
40%	0	826.9	-290.7	-538	1146	830.1	-323.9
	90	-4350	3890	460	-3704	3700	-3.2
60%	0	803.7	-287.3	-506	1171	-960.5	-71

ตารางที่ 3.7 แสดงขนาดการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าสูงสุด 3 เฟสจากรูปที่ 3.10 – 3.19 โดยอ้างอิงที่กระแสไฟฟ้าเฟส A พบว่า ค่าข้อมูลจากตารางดังกล่าวทำให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงกระแสชัดเจนขึ้น โดยขนาดกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสมีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีอื่น ๆ ก่อนหน้า คือ มีขนาดลบและบวกไม่เท่ากันทั้ง 3 เฟส เนื่องจากกระแสทั้งสามมีมุมต่างกัน 120 องศา ซึ่งทิศทางของสัญญาณกระแสดังกล่าวเป็นตัวกำหนดทิศการเปลี่ยนแปลงกระแสฟอลต์ เช่น เมื่อมุมแรงดันเปลี่ยนจาก 0 องศาเป็น 90 องศาพบว่า ทิศทางการเพิ่มของกระแสเปลี่ยนแปลงไป จากทิศบวกเป็นทิศลบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาด้านขนาดพบว่า ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์มีผลต่อขนาดกระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัดจากสถานีส่ง และสถานีรับ เช่น ขนาดกระแสเฟส A ลดลง 23.2 แอมแปร์ เมื่อตำแหน่งฟอลต์เปลี่ยนจาก 40% เป็น 60% ของความยาวสายส่ง

เมื่อพิจารณาด้านเวลาพบว่า มีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีก่อนหน้าคือ เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้น ขนาดกระแสเฟสที่เกิดฟอลต์จะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของกระแสจะเริ่มเพิ่ม ณ เวลาที่เกิดฟอลต์ (2 มิลลิวินาที) และเมื่อเวลาผ่านไปฟอลต์ได้รับแก้ไข กระแสไฟฟ้าของระบบจะกลับสู่สภาวะเดิม

### 3.2.4 ฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน

เพื่อศึกษาคุณลักษณะของกระแสเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน จึงทำการยกตัวอย่าง 3 กรณีศึกษาคือ

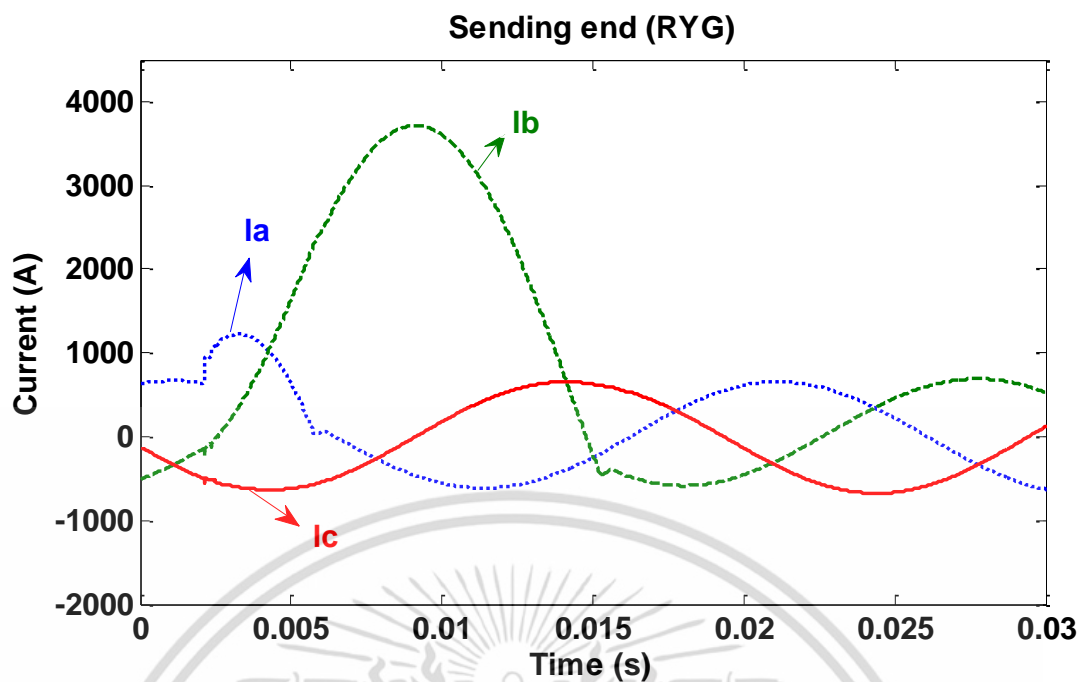
- กรณีที่ 1 เกิดฟอลต์ที่เฟส ABG มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง
- กรณีที่ 2 เกิดฟอลต์ที่เฟส ABG มุมแรงดัน 90 องศา โดยเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง
- กรณีที่ 3 เกิดฟอลต์ที่เฟส ABG มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวส่ง

กำหนดให้

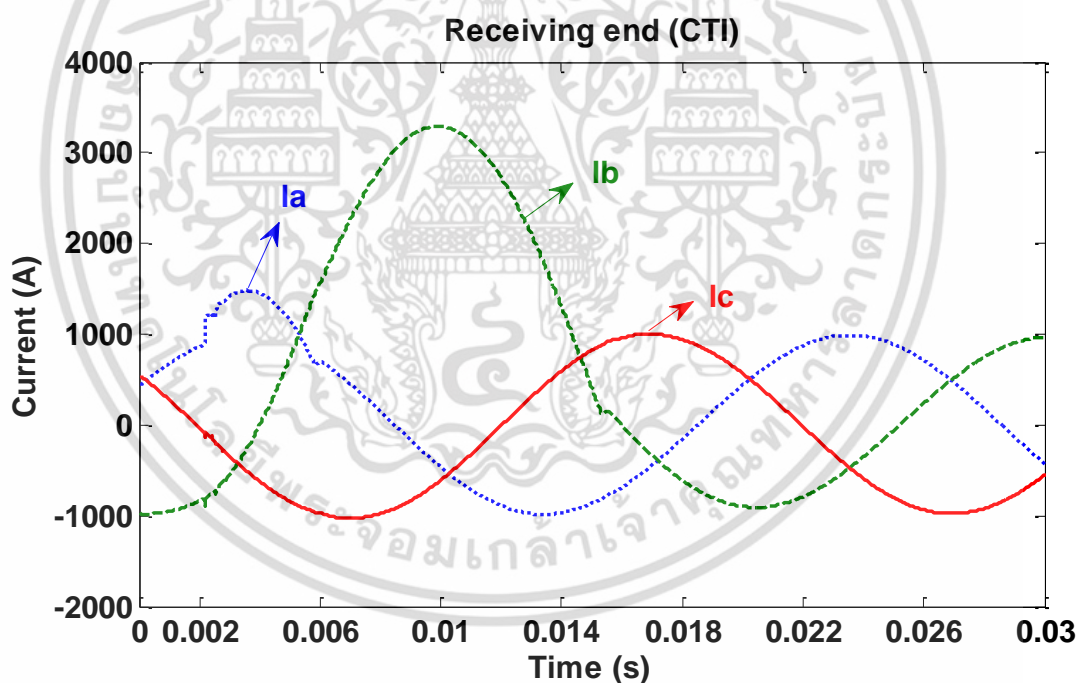
- กราฟ ----- คือ กระแสเฟส A
- กราฟ - - - - - คือ กระแสเฟส B
- กราฟ ————— คือ กระแสเฟส C
- แกนนอน คือ เวลา หน่วยวินาที
- แกนตั้ง คือ กระแส หน่วยแอมแปร์

กรณีที่ 1 จำลองเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ที่มุมแรงดัน 0 องศา เฟส ABG ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

ทำการจำลองการเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 0 องศา สายส่งเฟส ABG ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 35.4 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)



(ก) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.13 เมื่อเกิดฟลลต์ระหว่างเฟสลงดิน ABG มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

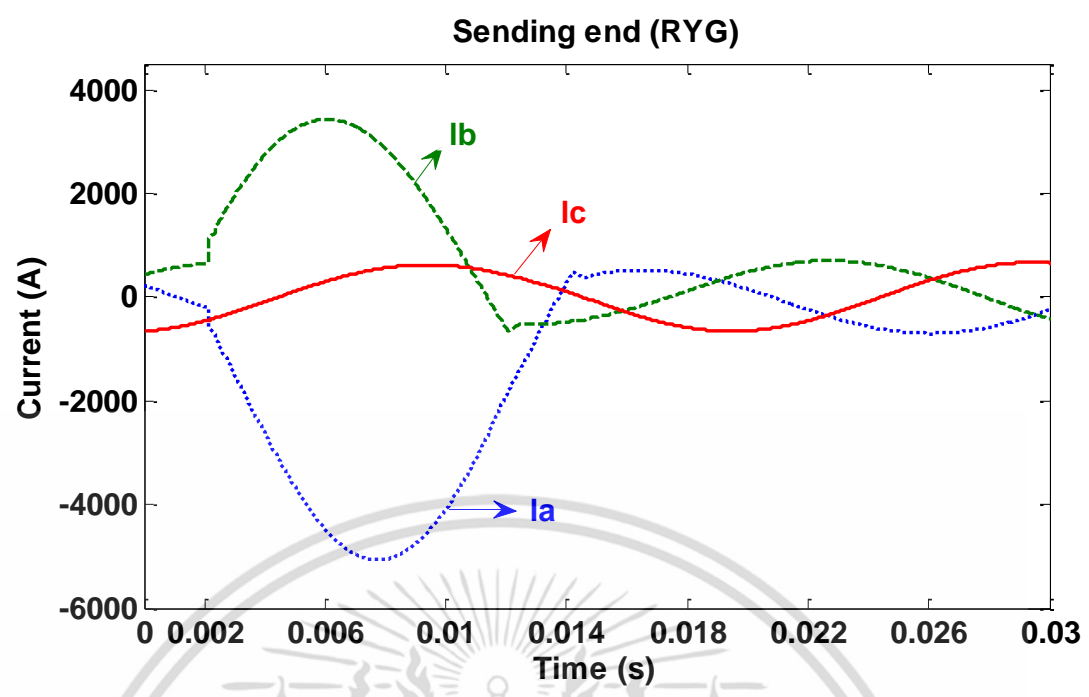
พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า ขนาดกระแสเฟสที่เกิดฟอลต์เพิ่มขึ้นทั้งสองเฟส โดยกระแสไฟฟ้าเฟส B มีขนาดมากกว่าเฟส A ในทิศทางบวกเดียวกัน เนื่องจากกระแสมีลักษณะไซน์ซอซด์ ณ จุดที่เกิดฟอลต์สัญญาณกระแสเฟส A และเฟส B อยู่ในทิศบวกเช่นเดียวจึงมีการเพิ่มขนาดกระแสในทิศบวกทั้งคู่ แต่เนื่องจากกระแสทั้งสองมีมุมต่างกัน 120 องศา โดยเฟส B อยู่ในทิศบวก ณ ช่วงมุม 0-90 องศาของสัญญาณกระแสส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงขนาดมากกว่าเฟส A ที่อยู่ในทิศบวกช่วง 90-180 องศา และกระแสไฟฟ้าเฟส C มีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากผลของการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กน้อย

พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า ลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้ามีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง คือกระแสเฟสที่เกิดฟอลต์เพิ่มขึ้นทิศบวกเดียวกันและกระแสเฟสที่ไม่เกิดฟอลต์มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ซึ่งสาเหตุการเปลี่ยนแปลงลักษณะกระแสไฟฟ้าสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกับสถานีส่งข้างต้น

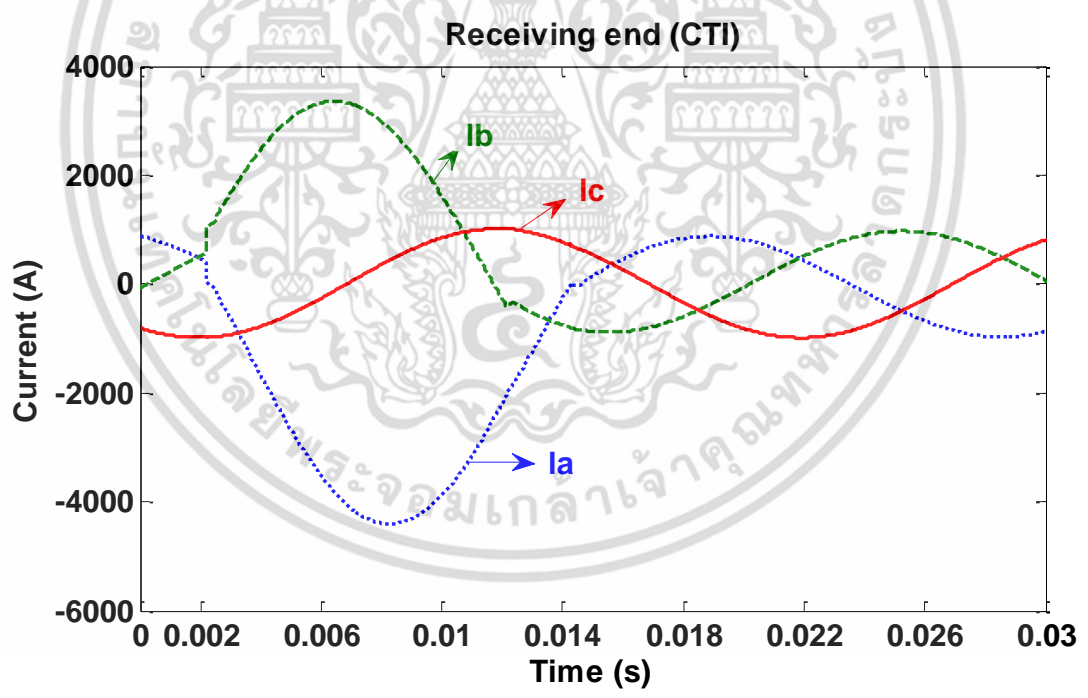
เมื่อเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ลักษณะสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัดจากสถานีทั้งสองคล้ายคลึงกัน คือกระแสเฟส A และเฟส B เพิ่มขึ้นอย่างมาก เมื่อเทียบกับเฟส C เมื่อพิจารณาด้านขนาดกระแสไฟฟ้าพบว่า มีขนาดเช่นเดียวกับกรณีฟอลต์ที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ คือ ขนาดกระแสที่ตรวจวัดจากสถานีรับมากกว่าสถานีส่ง ซึ่งมีสาเหตุจากการเพิ่มขึ้นของกระแสในเฟสที่เกิดฟอลต์ ส่งผลให้ขนาดกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

กรณีที่ 2 จำลองเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ที่มุมแรงดัน 90 องศา เฟส ABG ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

ทำการจำลองการเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 90 องศา สายส่งเฟส ABG ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 35.4 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)



(ก) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.14 เมื่อเกิดฟลลต์ระหว่างเฟสลงดิน ABG มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า ขนาดกระแสไฟฟ้าเฟสที่เกิดฟอลต์เพิ่มขึ้นมาก เมื่อเทียบกับขนาดกระแสเฟสที่ไม่เกิดฟอลต์ และเมื่อพิจารณาด้านทิศทางการพบว่า กระแสเฟส A และเฟส B มีทิศการเพิ่มกระแสไฟฟ้าตรงข้ามกัน โดยกระแสไฟฟ้าเฟส A เพิ่มขึ้นในทิศลบ กระแสไฟฟ้าเฟส B เปลี่ยนแปลงในทิศบวก ซึ่งการทิศทางการเพิ่มขึ้นของสัญญาณขึ้นอยู่กับทิศของสัญญาณ ณ เวลาที่เกิดฟอลต์ดังกล่าวไปก่อนหน้านี้

พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า ลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้ามีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง คือ ณ เวลาที่เกิดฟอลต์กระแสไฟฟ้าเฟส A และเฟส B มีการเพิ่มขึ้นในทิศทางการตรงข้ามกันและเฟส C ลักษณะเป็นสัญญาณไซนูซอยด์เดิม มีการเปลี่ยนแปลงลงกระแสเล็กน้อยซึ่งสาเหตุมาจากทิศของสัญญาณกระแสเช่นเดียวกับสถานีส่ง

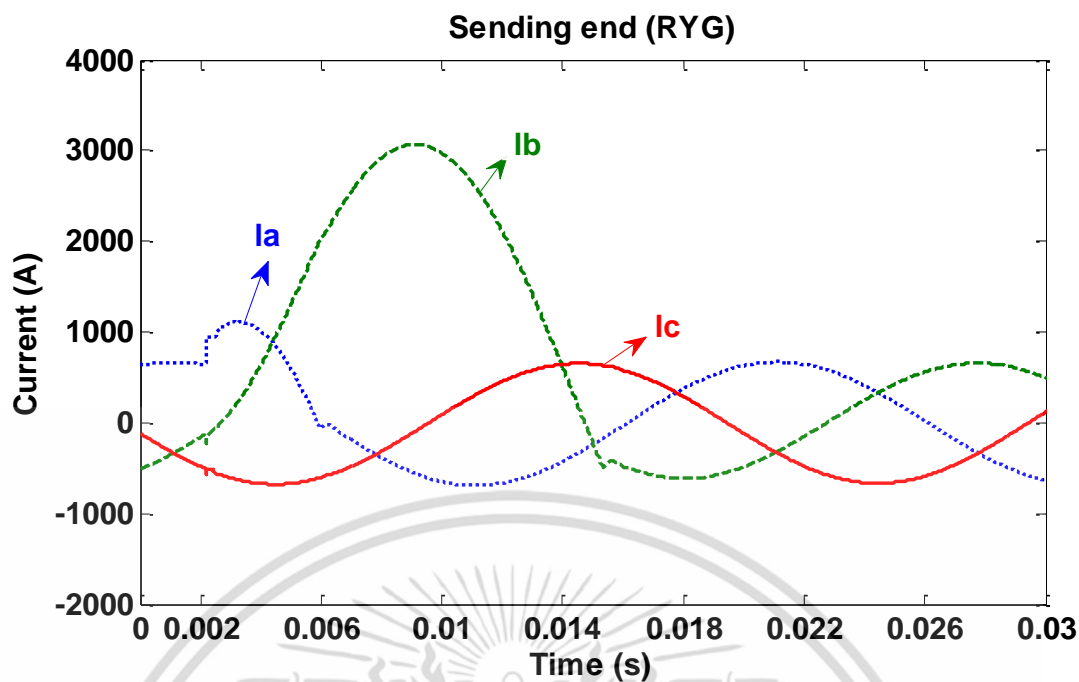
เมื่อเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า กระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัดจากสถานีทั้งสองมีลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสเดียวกัน เนื่องจากทั้งสองมีมุมเริ่มของสัญญาณเดียวกัน แต่ขนาดกระแสต่างกัน เนื่องจากกระแสฟอลต์ที่เกิดขึ้นดังกล่าวไปก่อนหน้านี้

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.13(ก) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.14(ก) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า เมื่อมุมแรงดันเปลี่ยนไป ทิศการเพิ่มของกระแสเฟสที่เกิดฟอลต์เปลี่ยนแปลง คือ ทิศการเพิ่มกระแสเฟส A เปลี่ยนจากเดิมทิศบวกเป็นทิศลบ และทิศกระแสเฟส B เปลี่ยนจากทิศลบเป็นทิศบวก ซึ่งจากลักษณะดังกล่าวเห็นได้ว่า ลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าแปรผันตามมุมแรงดัน เมื่อมุมแรงดันเปลี่ยนแปลง จุดตรวจวัดสัญญาณเปลี่ยนแปลง จุดสัญญาณนี้ส่งผลต่อขนาดกระแสไฟฟ้า เนื่องจากกระแสไฟฟ้าเป็นสัญญาณไซนูซอยด์ดังที่กล่าวไปข้างต้น

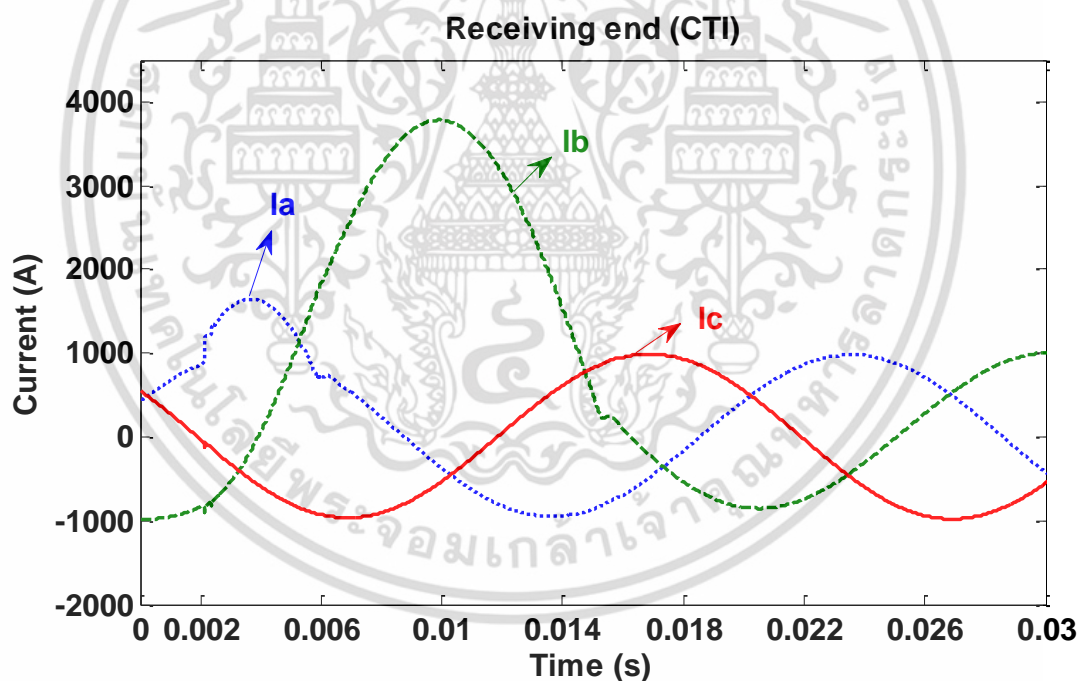
พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.13(ข) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.14(ข) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า ลักษณะและทิศทางการกระแสไฟฟ้ามีลักษณะเช่นเดียวกันสถานีส่ง เนื่องจากเหตุผลเดียวกันข้างต้น

กรณีที่ 3 จำลองเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ที่มุมแรงดัน 0 องศา เฟส ABG ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

ทำการจำลองการเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 0 องศา สายส่งเฟส ABG ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 35.4 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)



(ก) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.15 เมื่อเกิดฟลลต์ระหว่างเฟสลงดิน ABG มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า กระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสมีลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลง เช่นเดียวกับกรณีฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่มุม 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง คือ กระแสไฟฟ้าเฟสที่เกิดฟอลต์มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการลัดวงจร และกระแสไฟฟ้าเฟสที่ไม่เกิดฟอลต์มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจากผลของสนามแม่เหล็ก กระแสไฟฟ้าทั้งสองเฟสมีการเพิ่มขึ้นทิศบวกเช่นเดิม เนื่องจากมุมเริ่มต้นของสัญญาณกระแสไม่เปลี่ยนแปลง

พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า กระแสไฟฟ้ามีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง ซึ่งอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันข้างต้น

เมื่อเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า กระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้จากสถานีทั้งสองมีลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสเดียวกัน แต่ขนาดกระแสต่างกัน เนื่องจากผลของกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.13(ก) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.15(ก) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า กระแสไฟฟ้ามีทิศการเพิ่มขึ้นกระแสเดียวกัน แต่ขนาดต่างกัน เนื่องจากผลของการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ต่ออิมพีแดนซ์สายส่ง ทำให้ขนาดกระแสเปลี่ยนแปลง โดยเมื่ออ้างอิงที่สถานีส่ง ตำแหน่งฟอลต์ที่เพิ่มขึ้นขนาดกระแสไฟฟ้าลดลง

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.13(ข) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.15(ข) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า ลักษณะและทิศทางกระแสไฟฟ้ามีลักษณะเช่นเดียวกับกระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัดจากสถานีส่ง แต่ขนาดกระแสไฟฟ้าต่างกันเนื่องจากเหตุผลเดียวกันข้างต้น

### ตารางที่ 3.8 ขนาดกระแสไฟฟ้า 3 เฟสเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน

ตำแหน่งความยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	สถานีส่ง (RYG)			สถานีรับ (CTI)		
		เฟส A	เฟส B	เฟส C	เฟส A	เฟส B	เฟส C
40%	0	1224	372.3	-585.7	1482.6	-161	-435.1
	90	-5067	3001	535.6	-4406.1	3117.7	373.8
60%	0	1106.7	145.6	-577.7	1644.26	-299.4	-486.26

ตารางที่ 3.8 แสดงขนาดการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าสูงสุด 3 เฟสจากรูปที่ 3.13 – 3.15 โดยอ้างอิงที่กระแสไฟฟ้าเฟส A พบว่า ขนาดกระแสแต่ละเฟสแตกต่างกัน โดยมีขนาดกระแสทิศบวกและทิศลบ ซึ่งมีสาเหตุมาจากมุมกระแสที่ต่างกัน 120 องศา จากข้อมูลตารางข้างต้นเห็นว่า มุมแรงดันและตำแหน่งที่เกิดฟอลต์มีผลต่อขนาดกระแสไฟฟ้า โดยพิจารณาข้อมูลระหว่างกรณีฟอลต์มุม 0 และ 90 องศาเห็นว่า ทิศการเพิ่มกระแสดตรงข้ามกัน ซึ่งทิศทางกระแสกำหนดจากทิศสัญญาณ ณ เวลาที่เกิดฟอลต์ และเมื่อพิจารณาข้อมูลการเปลี่ยนตำแหน่งที่เกิดฟอลต์พบว่า ขนาดกระแสเปลี่ยนตามอิมพีแดนซ์ของสายส่ง เช่น ขนาดกระแสที่ตรวจวัดจากสถานีส่งลดลงเมื่อตำแหน่งเปลี่ยนจาก 40% เป็น 60% ของความยาวสายส่ง

เมื่อพิจารณาด้านเวลาพบว่า เวลาที่กระแสเริ่มมีขนาดเพิ่มขึ้นเท่ากับเวลาการเพิ่มกระแสไฟฟ้าของกรณีฟ้าผ่าและฟอลต์อื่น ๆ ก่อนหน้า โดย ณ เวลาที่ขนาดกระแสเริ่มเพิ่มขึ้น คือ เวลาที่เกิดฟอลต์นั่นเอง

### 3.2.5 ฟอลต์สามเฟส

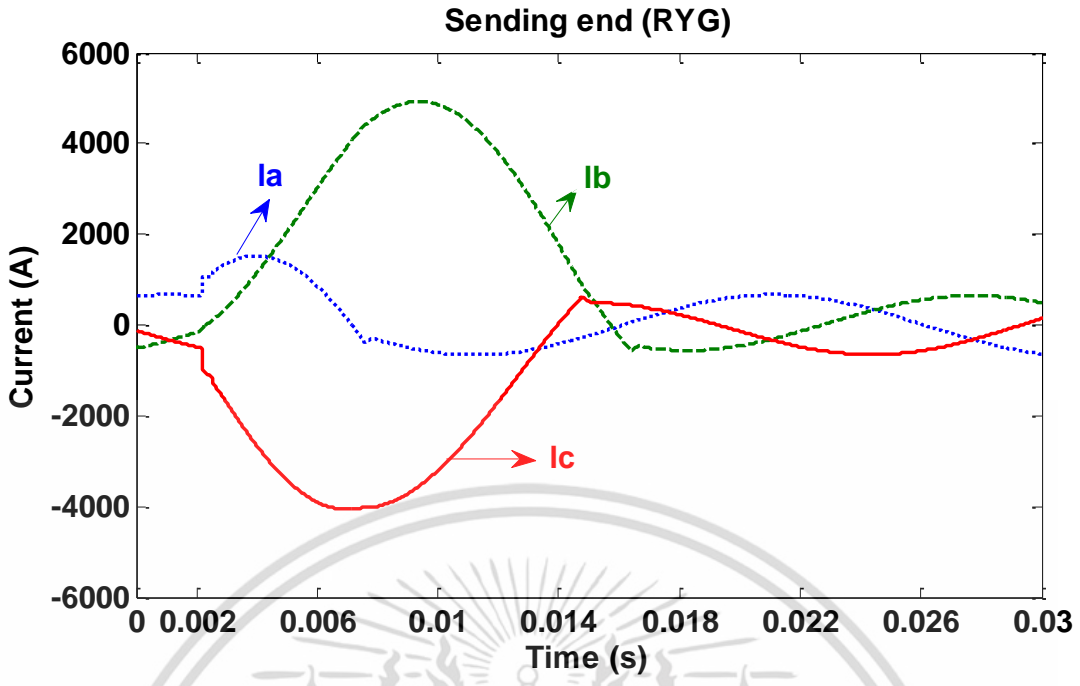
เพื่อศึกษาคุณลักษณะของกระแสเมื่อเกิดฟอลต์สามเฟส จึงทำการยกตัวอย่าง 3 กรณีศึกษาคือ กรณีที่ 1 เกิดฟอลต์ที่เฟส ABC มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสาย กรณีที่ 2 เกิดฟอลต์ที่เฟส ABC มุมแรงดัน 90 องศา โดยเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสาย กรณีที่ 3 เกิดฟอลต์ที่เฟส ABC มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสาย

กำหนดให้

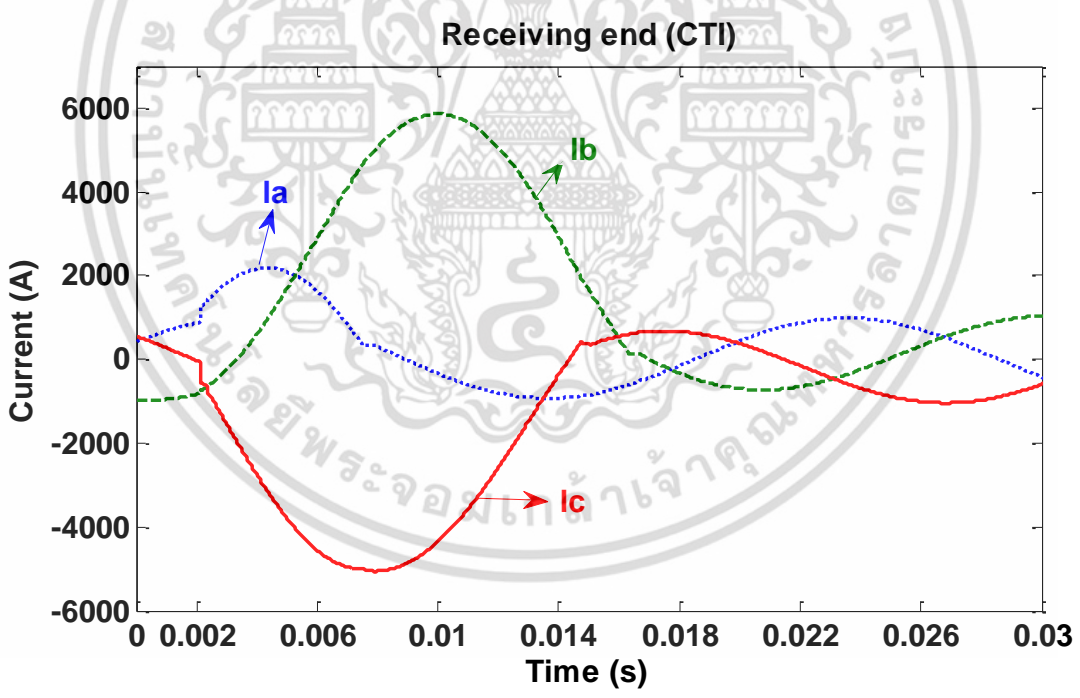
กราฟ ----- คือ กระแสเฟส A  
 กราฟ - - - - - คือ กระแสเฟส B  
 กราฟ ————— คือ กระแสเฟส C  
 แกนนอน คือ เวลา หน่วยวินาที  
 แกนตั้ง คือ กระแส หน่วยแอมแปร์

กรณีที่ 1 จำลองเกิดฟอลต์สามเฟส มุมแรงดัน 0 องศา เฟส ABC ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

ทำการจำลองการเกิดฟอลต์สามเฟสที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 0 องศา สายส่งเฟส AB ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 35.4 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)



(ก) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.16 เมื่อฟอลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

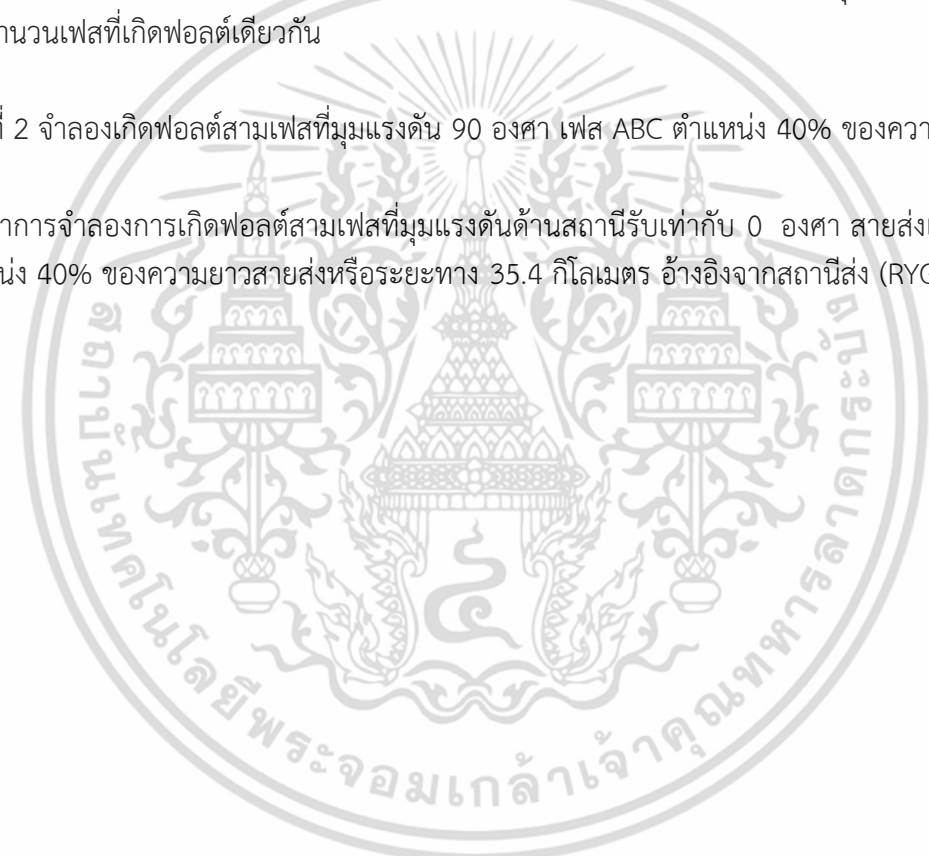
พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า กระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเกิดการลัดวงจร ทั้ง 3 เฟส โดยกระแสไฟฟ้าเฟส A และเฟส B มีขนาดกระแสเพิ่มขึ้นทิศบวก เฟส C มีขนาดกระแสเพิ่มขึ้นทิศลบ ซึ่งทิศการเพิ่มขึ้นของกระแสขึ้นอยู่กับทิศของสัญญาณกระแสเฟสที่เกิดฟอลต์ว่าอยู่ใน ทิศบวกหรือทิศลบ ทางด้านขนาดกระแสไฟฟ้า สามารถเรียงลำดับขนาดกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง จากมากไปน้อยได้ว่า เฟส B เฟส C และเฟส A ตามลำดับ เนื่องจากกระแสไฟฟ้ามักมีลักษณะไขว้ชอยด์ มีขนาดสองทิศทาง แต่ละเฟสมีมุมกระแสต่างกัน 120 องศา จึงส่งผลให้ขนาดกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสมี ขนาดไม่เท่ากัน

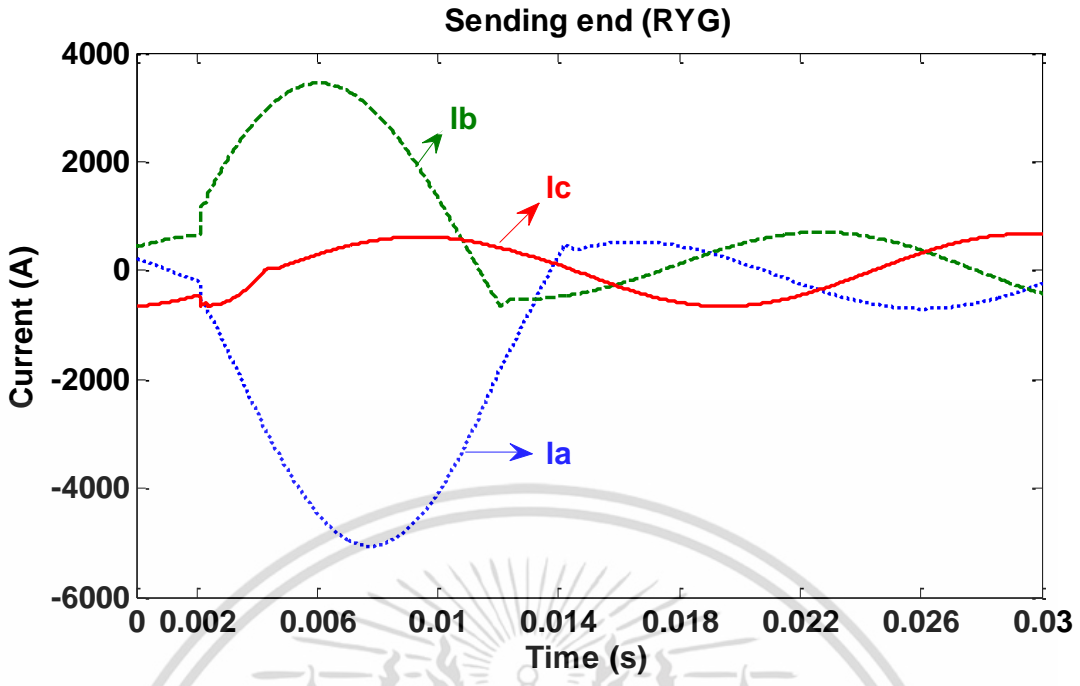
พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า กระแสไฟฟ้ามีขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับสถานี ส่ง เนื่องจากเหตุผลเดียวกันข้างต้น

เมื่อเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า กระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้จาก สถานีทั้งสองมีลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสเช่นเดียวกัน เนื่องจากมีมุมเริ่มต้นสัญญาณ และจำนวนเฟสที่เกิดฟอลต์เดียวกัน

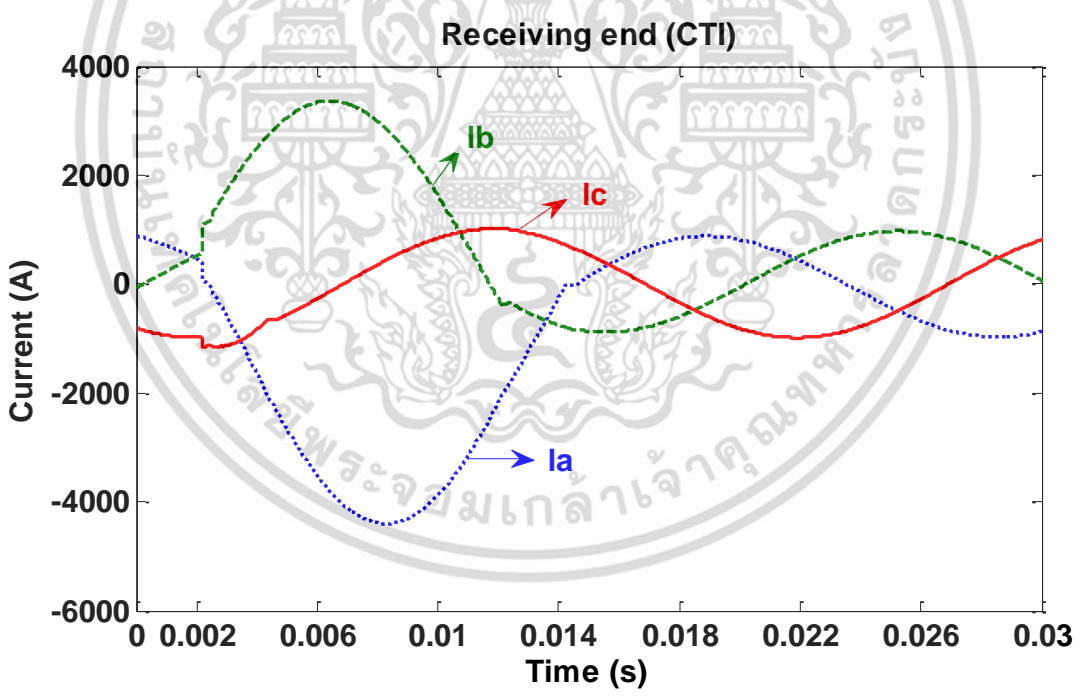
กรณีที่ 2 จำลองเกิดฟอลต์สามเฟสที่มุมแรงดัน 90 องศา เฟส ABC ตำแหน่ง 40% ของความยาวสาย ส่ง

ทำการจำลองการเกิดฟอลต์สามเฟสที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 0 องศา สายส่งเฟส ABG ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 35.4 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)





(ก) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.17 เมื่อฟอลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า ทิศการเพิ่มของกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสมีการเปลี่ยนแปลง โดยกระแสไฟฟ้าเฟส B และเฟส C มีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการบวก และเฟส A มีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการลบ เนื่องจากกระแสแต่ละเฟสมีมุมกระแสเท่ากับ 0 องศา 120 องศา และ 240 องศา ซึ่งทิศของกระแสเมื่อเท่ากับ 0 องศา 120 องศา คือทิศบวกและที่มุม 240 องศาคือทิศลบ ดังนั้นจึงสอดคล้องกับทิศการเพิ่มของกระแสทั้ง 3 เฟสเมื่อเกิดฟอลต์ เมื่อพิจารณาด้านขนาดกระแสสามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ว่า กระแสไฟฟ้าเฟส A เฟส B และเฟส C ตามลำดับ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงขนาดลักษณะนี้เป็นผลมาจากลักษณะของสัญญาณกระแสไฟฟ้างกล่าวไปก่อนหน้านี้

พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า ขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้ามีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง เนื่องจากเหตุผลที่กล่าวไปข้างต้น

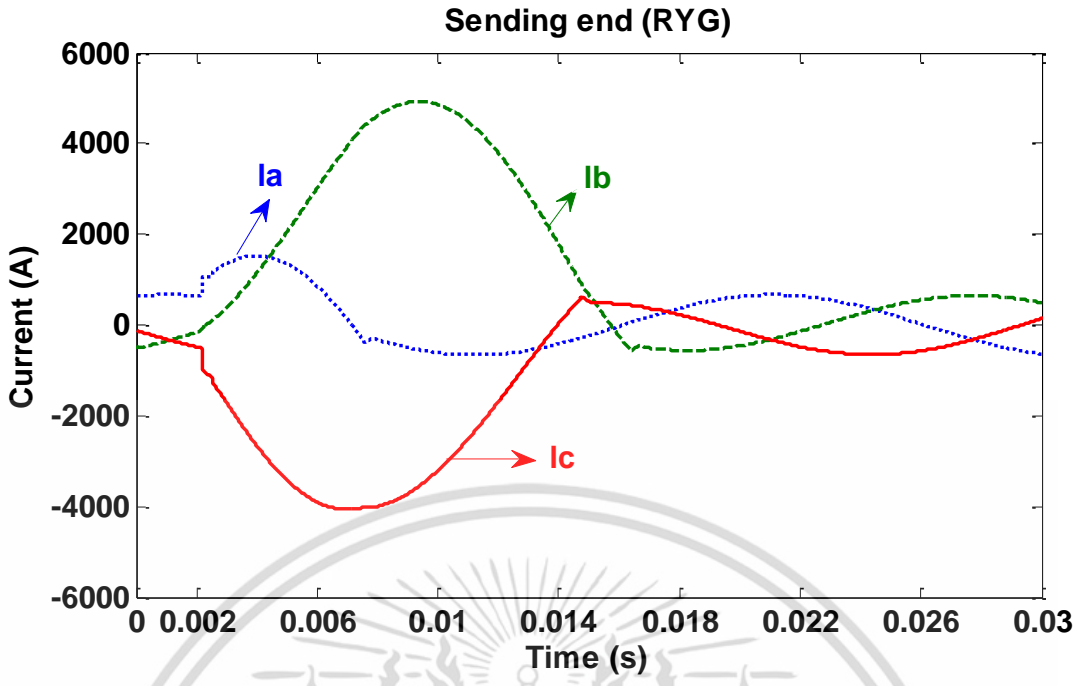
เมื่อเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า กระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้จากสถานีทั้งสองมีลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสเดียวกัน คือกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสมีขนาดเพิ่มขึ้น แต่ขนาดการเพิ่มต่างกัน

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.16(ก) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.17(ก) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า การเปลี่ยนแปลงมุมแรงดัน ส่งผลต่อขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้างกล่าวไปก่อนหน้านี้ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของมุมส่งผลต่อตำแหน่งบนสัญญาณกระแสไฟฟ้า ซึ่งตำแหน่งบนสัญญาณส่งผลต่อขนาดกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง

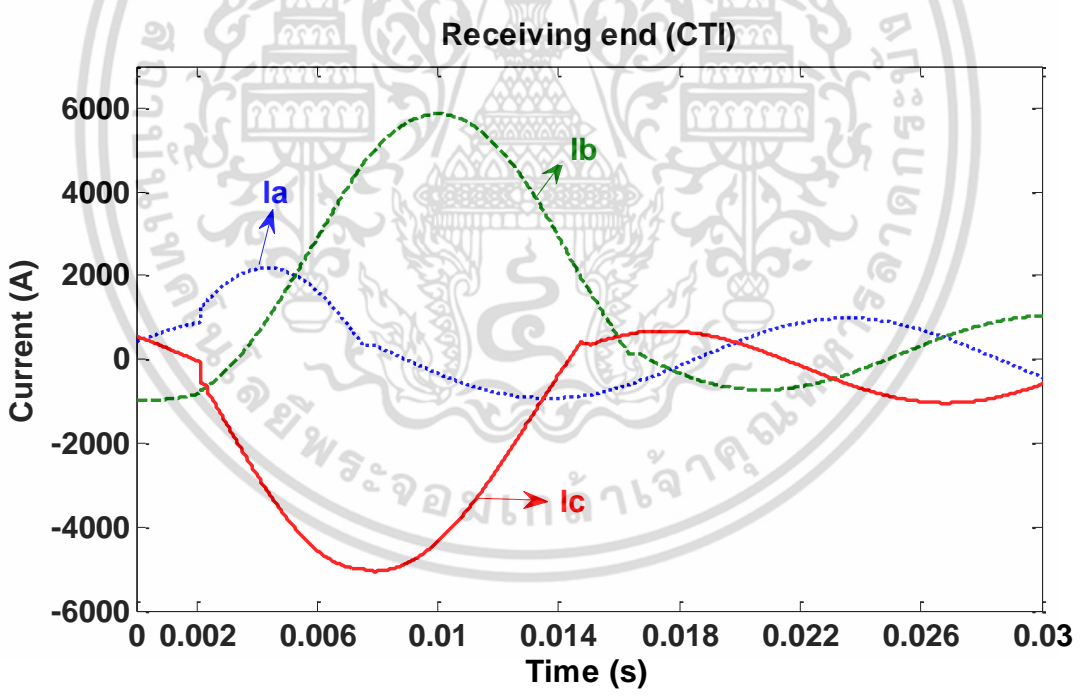
พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.16(ข) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.17(ข) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า ลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้ามีลักษณะเช่นเดียวกันสถานีส่ง เนื่องจากเหตุผลเดียวกัน

กรณีที่ 3 จำลองเกิดฟอลต์สามเฟส ที่มุมแรงดัน 0 องศา เฟส ABC ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

ทำการจำลองการเกิดฟอลต์สามเฟสที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 0 องศา สายส่งเฟส ABG ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 53.1 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)



(ก) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณกระแส 3 เฟส ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.18 เมื่อฟอลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า ลักษณะกระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงทั้ง 3 เฟสเช่นเดียวกับกรณีพอลต์สามเฟสที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง เนื่องจากเกิดการลัดวงจรทั้ง 3 เฟส โดยขนาดการเพิ่มของกระแสทั้งสามเฟสไม่เท่ากัน เนื่องจากผลของมุมกระแสทั้งสามแตกต่างกันดังกล่าวไปข้างต้น

พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า กระแสไฟฟ้ามีลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกันสถานีส่ง เนื่องจากเหตุผลเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า กระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้จากสถานีทั้งสองมีลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสเดียวกัน

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.16(ก) เมื่อเกิดพอลต์สามเฟสที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.18(ก) เมื่อเกิดพอลต์สามเฟส ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า ขนาดกระแสของเฟสที่เกิดพอลต์มีลดลง เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์สายส่ง ที่มาจากระยะระหว่างจุดที่เกิดพอลต์ถึงสถานีส่งเปลี่ยนแปลง

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.16(ข) เมื่อเกิดพอลต์สามเฟสที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.18(ข) เมื่อเกิดพอลต์สามเฟสที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า ลักษณะของกระแสมีการเปลี่ยนแปลงตรงข้ามกับสถานีส่ง โดยกระแสพอลต์กรณีตำแหน่งพอลต์เกิดใกล้สถานีรับมีขนาดมากกว่าตำแหน่งพอลต์ที่อยู่ไกล เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์ที่แปรตามระยะทาง

ตารางที่ 3.9 ขนาดกระแสไฟฟ้า 3 เฟสเมื่อเกิดพอลต์สามเฟส

ตำแหน่งความยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	สถานีส่ง (RYG)			สถานีรับ (CTI)		
		เฟส A	เฟส B	เฟส C	เฟส A	เฟส B	เฟส C
40%	0	1625	797.9	-2418.5	1932.82	393.94	-1838
	90	-5058	3011.8	536.54	-4357	3108.2	295.7
60%	0	1485	670.65	-2176	2012.3	100.22	-2054

ตารางที่ 3.9 แสดงขนาดการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าสูงสุด 3 เฟสจากรูปที่ 3.16 – 3.25 โดยอ้างอิงที่กระแสไฟฟ้าเฟส A ซึ่งจากตารางดังกล่าวเห็นขนาดการเปลี่ยนแปลงกระแสชัดเจนมากขึ้นเมื่อพิจารณาข้อมูลขนาดกระแสไฟฟ้าจากตารางข้างต้นพบว่า เมื่อเกิดพอลต์ชนิดนี้ ขนาดกระแสทั้ง 3 เฟสเพิ่มขึ้น โดยขนาดกระแสแต่ละเฟสไม่เท่ากันเช่นเดียวกับกรณีอื่น ๆ ที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ ขนาดกระแสของแต่ละเฟสสามารถมีทั้งขนาดลบและบวก เนื่องจากผลของมุมกระแสไฟฟ้าของทั้ง 3 เฟสนี้แตกต่างกัน ความแตกต่างของมุมนี้ส่งผลให้ตำแหน่งมุมบนสัญญาณแตกต่างกัน ซึ่งตำแหน่งมุมบนสัญญาณกระแส ณ เวลาที่เกิดพอลต์จะเป็นตัวกำหนดทิศทางการเพิ่มของกระแส และเมื่อพิจารณาขนาดกระแสจากตารางดังกล่าวพบว่า มุมแรงดันและตำแหน่งที่เกิดพอลต์มีผลต่อขนาดการเพิ่มกระแส ดังเช่น เมื่อมุมแรงดันเปลี่ยนจาก 0 องศาเป็น 90 องศาส่งผลให้ขนาดกระแสเฟส A เปลี่ยนจาก 1625 แอมแปร์เป็น -5058 แอมแปร์ ซึ่งการเปลี่ยนเป็นขนาดกระแสทิศลบ เนื่องจากผลของตำแหน่งมุมบนสัญญาณดังกล่าวข้างต้น เมื่อตำแหน่งที่เกิดพอลต์เปลี่ยนแปลงจาก 40% เป็น 60% เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของความยาวสายส่ง โดยมุมคงเดิมพบว่า ขนาดกระแสเฟส A ที่ตรวจวัดจากสถานีส่งลดลง แต่ขนาดกระแสที่ตรวจวัดจากสถานีรับเพิ่มขึ้น ซึ่งขนาดกระแสที่แตกต่างกันมีสาเหตุมาจากอิมพีแดนซ์ที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาด้านเวลาพบว่า มีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีความผิดปกติชนิดต่าง ๆ ก่อนหน้า โดยเมื่อเกิดฟอลต์ ณ เวลา 2 มิลลิวินาที ขนาดกระแสเฟสที่เกิดฟอลต์เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ทั้ง 3 เฟสและเมื่อฟอลต์ถูกแก้ไขออกไป กระแสไฟฟ้าจะกลับสู่สภาวะการส่งจ่ายเดิม

ดังนั้นจากลักษณะกระแสไฟฟ้า 3 เฟสเมื่อเกิดความผิดปกติ 5 ชนิด คือ ฟ้าผ่า ฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน ฟอลต์ระหว่างเฟส ฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน และฟอลต์สามเฟสพบว่า ลักษณะรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัดจากสถานีส่งและสถานีรับของฟ้าผ่าแตกต่างจากฟอลต์ทั้ง 4 ชนิด โดยฟ้าผ่ามีการเปลี่ยนแปลงกระแสอย่างรวดเร็วและมีขนาดสูงกว่าฟอลต์มาก และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีฟอลต์ 4 ชนิดด้วยกันพบว่า ขนาดการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ต่าง ๆ สามารถเรียงจากมากไปน้อยได้คือ ฟอลต์สามเฟส ฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ฟอลต์ระหว่างเฟสและฟอลต์หนึ่งเฟสตามลำดับ เนื่องจากจำนวนเฟสที่เกิดฟอลต์แปรตามขนาดกระแส ถ้ามีเฟสที่เกิดฟอลต์มาก ขนาดกระแสไฟฟ้าจะมากตาม โดยขนาดกระแสนี้ส่งผลต่อความรุนแรงที่อาจสร้างความเสียหายแก่ระบบไฟฟ้า

นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ข้างต้นพบว่า สัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้จากโปรแกรม ATP/EMTP ยังไม่เหมาะสมแก่การนำไปวิเคราะห์ในด้านขนาดการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าและด้านเวลาที่เกิดความผิดปกติ เนื่องจากขนาดกระแสเปลี่ยนแปลงสองทิศทาง คือทิศบวกและทิศลบ ซึ่งแปรตามตำแหน่งมุมของสัญญาณกระแส ณ เวลาที่เกิดฟอลต์ ทำให้ไม่สามารถตรวจวัดขนาดกระแสที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะการส่งจ่ายปกติและเมื่อเกิดฟ้าผ่าหรือฟอลต์ชนิดต่าง ๆ ได้อย่างเด่นชัด อีกทั้งยังไม่สามารถตรวจวัดเวลาที่เกิดความผิดปกติได้ชัดเจน เนื่องจากขนาดกระแสไม่ชัดเจน หากนำเวลาดังกล่าวไปวิเคราะห์ จะส่งผลให้การวิเคราะห์คลาดเคลื่อน ดังนั้นจึงควรนำสัญญาณกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปผ่านกระบวนการวิเคราะห์อื่น ๆ ต่อไป เพื่อให้สามารถตรวจวัดขนาดและเวลาของคลื่นสูงสุดได้ชัดเจนและแม่นยำมากขึ้น

### 3.3 การแปลงเวฟเส้นของสัญญาณกระแส

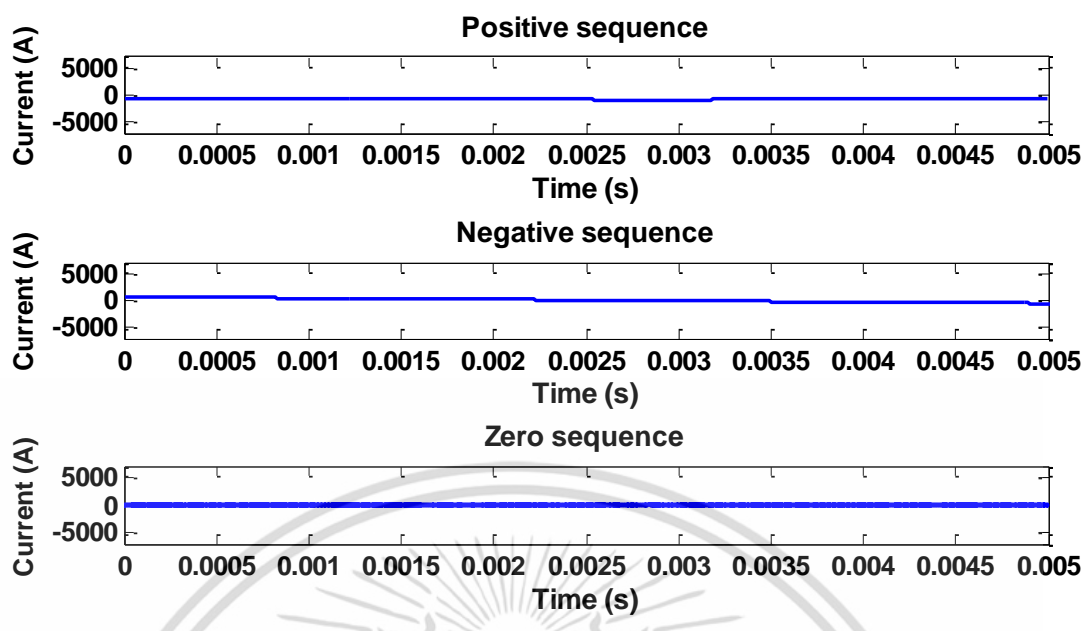
หลังจากได้สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากโปรแกรม ATP/EMTP แล้วนำ กระแสไฟฟ้างกล่าวทั้ง 3 เฟสผ่านการแปลงคาร์ก เพื่อแปลงกระแส 3 เฟสให้อยู่ในรูปของส่วนประกอบสมมาตร เนื่องจากเมื่อเกิดฟ้าผ่าและฟอลต์ขึ้น ทำให้ระบบไม่สมดุล ดังนั้นจึงต้องใช้ส่วนประกอบดังกล่าวเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ ส่วนประกอบสมมาตรแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. ส่วนประกอบลำดับบวก (Positive sequence)  
วงจรของส่วนประกอบดังกล่าวประกอบด้วยแรงดันเหนี่ยวนำต่ออนุกรมกับอิมพีแดนซ์ลำดับบวกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
2. ส่วนประกอบลำดับลบ (Negative sequence)  
วงจรของส่วนประกอบลำดับลบมีลักษณะคล้ายกับส่วนประกอบลำดับศูนย์ แต่ไม่มีแรงดันเหนี่ยวนำ มีเฉพาะอิมพีแดนซ์ลำดับลบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่านั้น
3. ส่วนประกอบลำดับศูนย์ (Zero sequence)  
วงจรของส่วนประกอบลำดับศูนย์ประกอบด้วยอิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ไม่มีแรงดันเหนี่ยวนำ

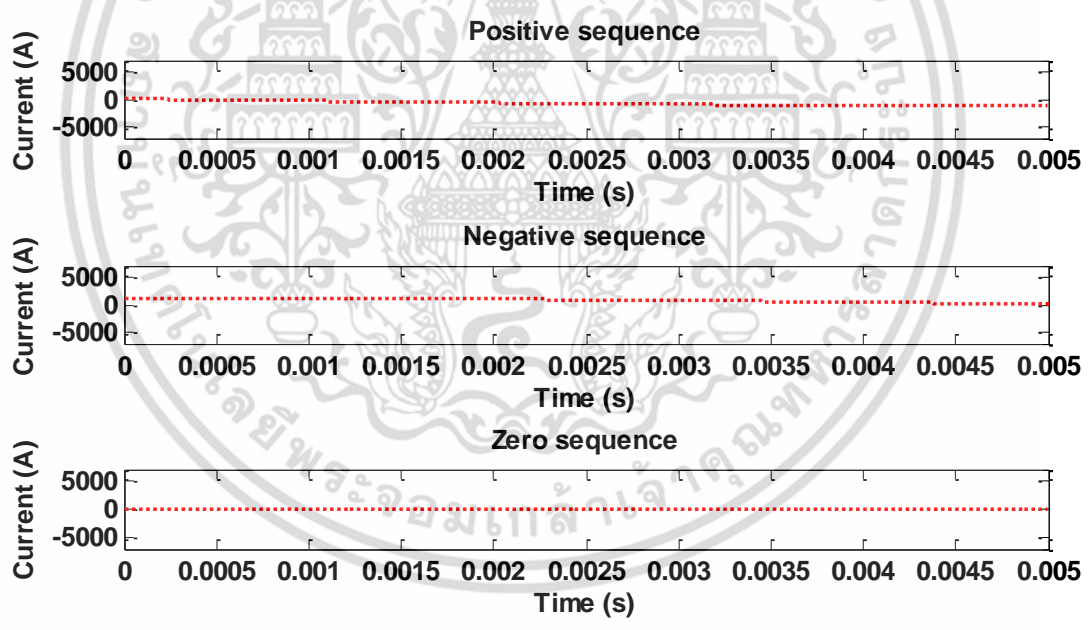
สถานะการส่งจ่ายไฟฟ้าปกติ ระบบไฟฟ้ามีความสมดุล ส่วนประกอบลำดับบวกและส่วนประกอบลบมีขนาดเท่ากันแต่มุมเฟสแตกต่างกันและส่วนประกอบลำดับศูนย์มีค่าเท่ากับศูนย์ไม่มีความแตกต่างเฟส เมื่อพิจารณารูปที่ 3.19 ซึ่งแสดงส่วนประกอบสมมาตรทั้งสามลำดับ ที่สถานะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติ โดยรูปที่ 3.19(ก) แสดงส่วนประกอบสมมาตรที่ตรวจวัดด้านสถานีส่ง (RYG) และรูปที่ 3.19(ข) แสดงส่วนประกอบสมมาตรที่ตรวจวัดด้านสถานีรับ (CTI) พบว่า ส่วนประกอบที่ตรวจวัดด้านสถานีส่งและสถานีรับมีลักษณะคล้ายคลึงกัน ขนาดกระแสไฟฟ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลง

แต่ในสถานะที่เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (ฟ้าผ่าหรือฟอลต์) ระบบไฟฟ้าจะเสียสมดุล ส่วนประกอบสมมาตรมีขนาดเปลี่ยนแปลง โดยพิจารณาได้จากรูปที่ 3.20 ซึ่งแสดงส่วนประกอบสมมาตรทั้งสามลำดับ ที่สถานะเกิดความผิดปกติ โดยรูปที่ 3.20(ก) แสดงส่วนประกอบสมมาตรที่ตรวจวัดด้านสถานีส่ง (RYG) และรูปที่ 3.20(ข) แสดงส่วนประกอบสมมาตรที่ตรวจวัดด้านสถานีรับ (CTI)

การวิเคราะห์กระแสของระบบไม่สมดุลหรือกระแสไฟฟ้าเมื่อเกิดฟ้าผ่าหรือฟอลต์ จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ส่วนประกอบสมมาตรแบบต่าง ๆ ซึ่งแรงดันไฟฟ้าปรากฏเฉพาะในส่วนประกอบสมมาตรลำดับบวกเท่านั้น และการลัดวงจรลงดินพิจารณาจากส่วนประกอบลำดับศูนย์ ดังนั้นในการคำนวณที่จะกล่าวต่อไปจึงพิจารณาโดยอาศัยส่วนประกอบสมมาตรลำดับบวกและลำดับศูนย์เป็นหลัก



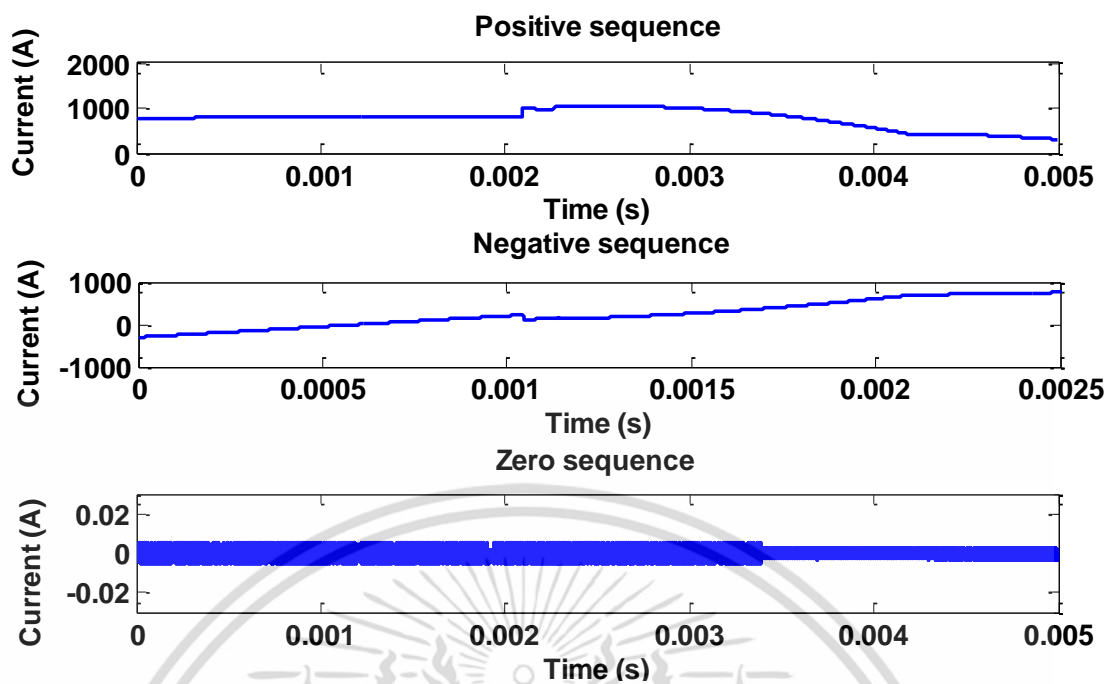
(ก) กระแสที่ตรวจวัดด้านสถานีส่งกำลังไฟฟ้า (RYG)



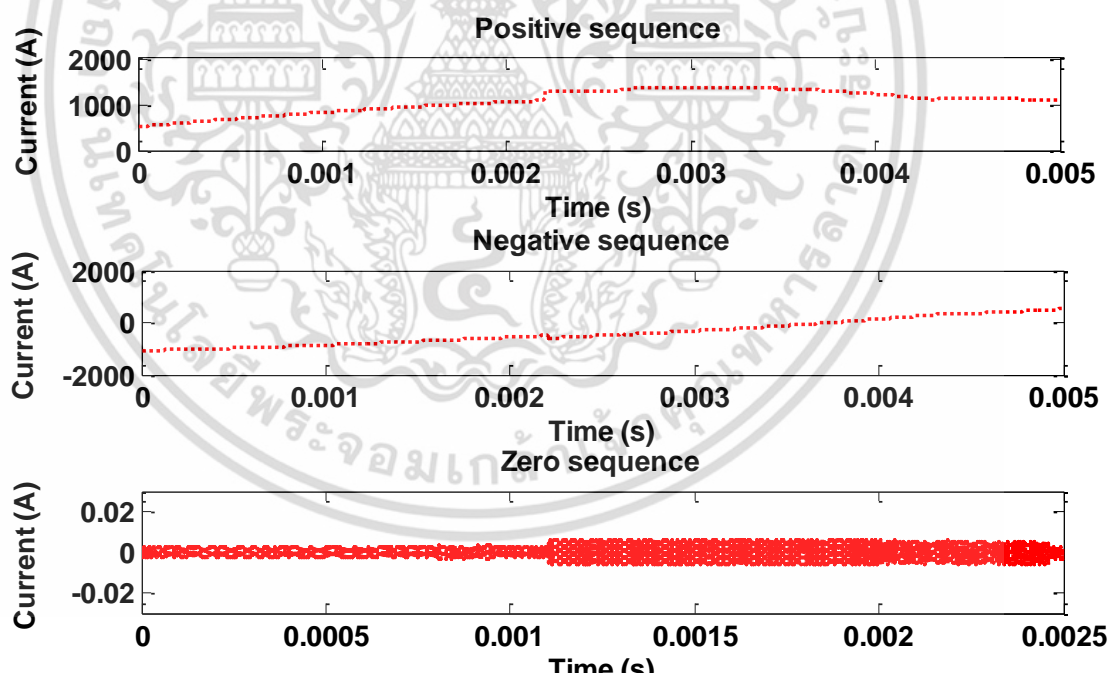
(ข) กระแสที่ตรวจวัดด้านสถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.19 ส่วนประกอบสมมาตรของกระแสไฟฟ้า สภาวะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) กระแสที่ตรวจวัดด้านสถานีส่งกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) กระแสที่ตรวจวัดด้านสถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.20 ส่วนประกอบสมมาตรของกระแสไฟฟ้า สภาวะเกิดความผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

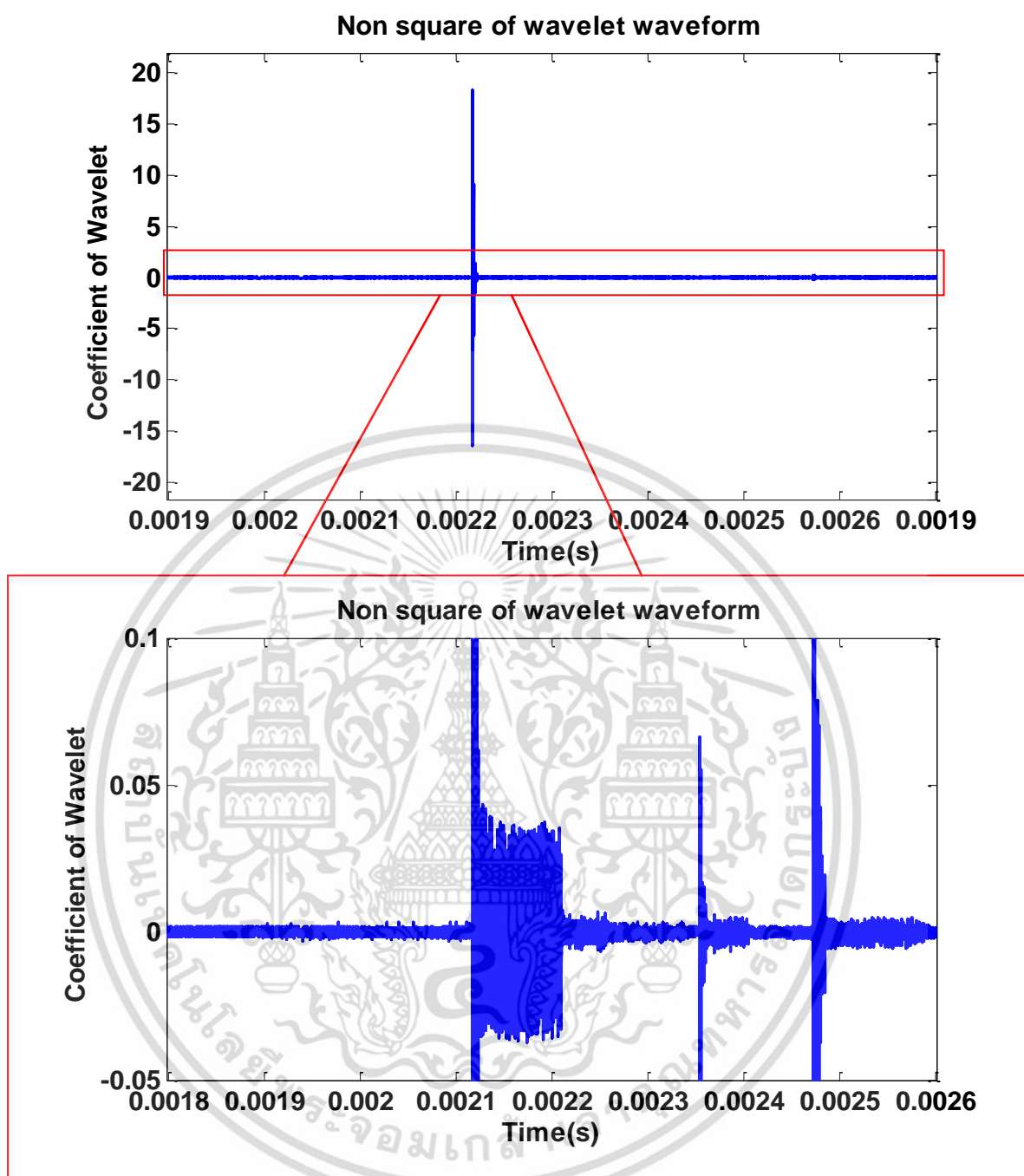
เพื่อให้สามารถตรวจวัดขนาดกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดฟ้าผ่าและฟอลต์ชนิดต่าง ๆ ได้ จึงนำข้อมูลกระแสที่ได้จากโปรแกรม ATP/EMTP ไปแปลงเวฟเล็ทแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งเป็นทฤษฎีทางคณิตศาสตร์แขนงหนึ่งที่สามารถแยกสัญญาณต้นแบบออกเป็นสัญญาณลักษณะเดิมในช่วงความถี่ต่าง ๆ โดยเมื่อเกิดฟ้าผ่าหรือฟอลต์ขึ้น กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในช่วงความถี่แตกต่างจากสภาวะการส่งจ่ายปกติ ในสภาวะการส่งจ่ายปกติกระแสอยู่ในช่วงความถี่ต่ำ แต่เมื่อเกิดฟ้าผ่าหรือฟอลต์ กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มในช่วงความถี่สูงแทน

หัวข้อต่อไปนี้แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้าของส่วนประกอบสมมาตรลำดับบวก (กระแสลำดับบวก) ส่วนประกอบสมมาตรลำดับศูนย์ (กระแสลำดับศูนย์) และกระแสไฟฟ้าที่ผ่านการแปลงเวฟเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

ในรูปที่ 3.21-3.21 แสดงลักษณะของสัญญาณเวฟเล็ทแบบยกกำลังสองและสัญญาณเวฟเล็ทแบบไม่ยกกำลังสอง ซึ่งทั้งสองสัญญาณเกิดจากสัญญาณเวฟเล็ทต้นกำเนิดเดียวกันแต่แสดงในรูปแบบสัญญาณแตกต่างกัน เพื่อพิจารณาขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทและเวลาที่เกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท โดยแสดงตัวอย่างสัญญาณเวฟเล็ทเมื่อเกิดฟ้าผ่าขึ้นที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง กำหนดให้รูปบนคือสัญญาณเวฟเล็ทปกติ รูปล่างคือสัญญาณเวฟเล็ทแบบขยาย

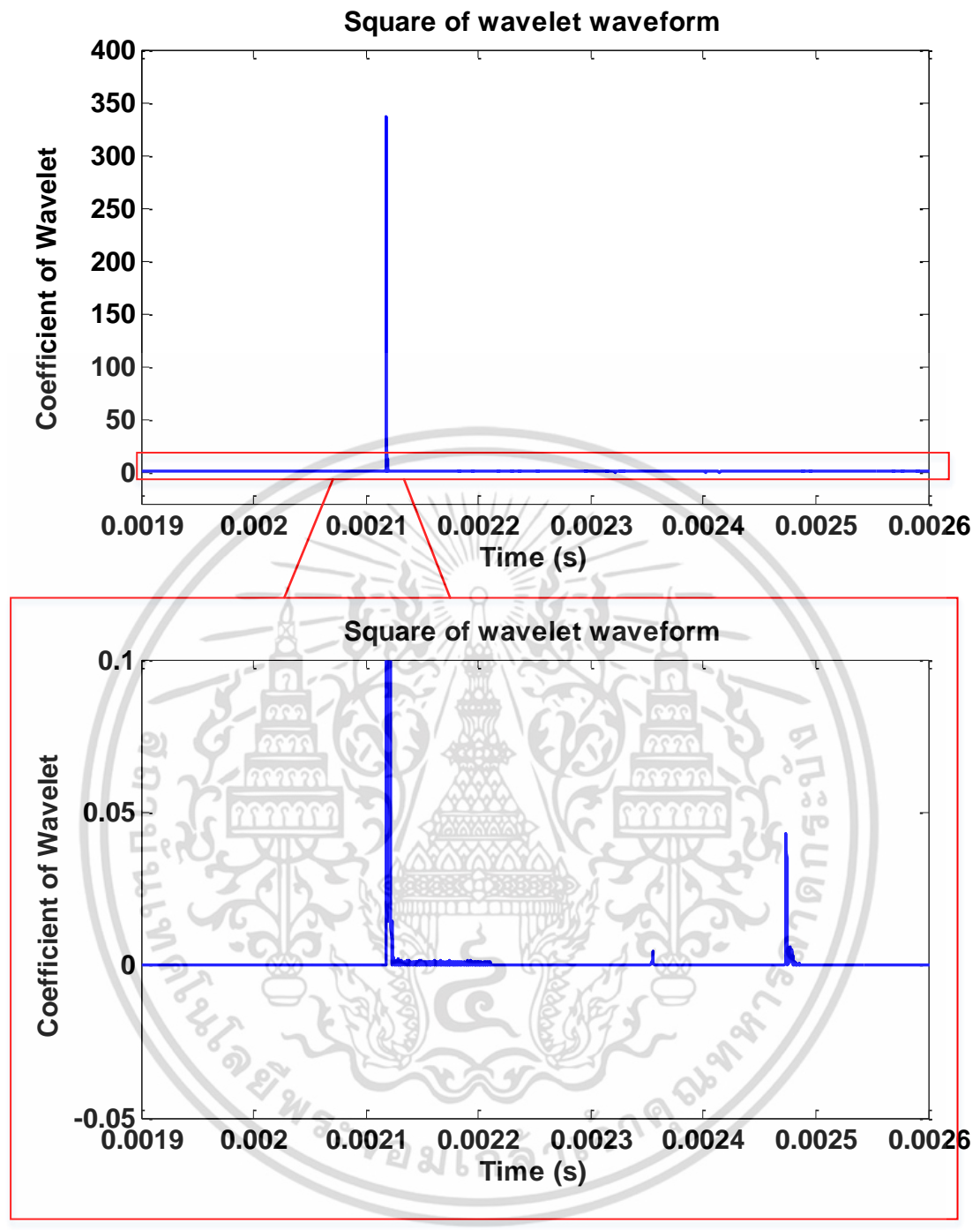
จากรูปที่ 3.21 แสดงลักษณะสัญญาณเวฟเล็ทแบบยกกำลังสอง เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เมื่อพิจารณารูปบนพบว่า สามารถตรวจวัดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทได้อย่างเด่นชัดเพียง 1 ค่าเท่านั้น ที่เวลา 0.0021 วินาที แต่เมื่อพิจารณาด้วยรูปล่างซึ่งทำการขยายสัญญาณเวฟเล็ท ณ ช่วงเวลาที่เกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทพบว่า นอกจากที่เวลา 0.0021 วินาทีที่มีขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเพิ่มขึ้นแล้ว ที่เวลา 0.00235 วินาทีต่อมาเกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเล็กน้อย แทบไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงและที่เวลา 0.00248 วินาทีขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเพิ่มขึ้นอีกครั้ง แต่ขนาดน้อยกว่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทที่เกิดขึ้นครั้งแรก

พิจารณารูปที่ 3.22 ซึ่งแสดงลักษณะสัญญาณเวฟเล็ทแบบไม่ยกกำลังสอง เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เมื่อพิจารณาสัญญาณรูปบนพบว่า ที่เวลา 0.0021 วินาที เกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สามารถตรวจวัดได้เด่นชัด หลังจากนั้นสัมประสิทธิ์ลดลง จนกระทั่งที่เวลา 0.00235 วินาทีและที่เวลา 0.00248 วินาที เกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทอีกครั้ง โดยขนาดที่เกิดขึ้นทั้งสองน้อยกว่าขนาดสัมประสิทธิ์ที่เกิดขึ้นครั้งแรก



รูปที่ 3.21 ลักษณะขนาดและเวลาของสัญญาณเวฟเล็ตแบบยกกำลังสอง เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 ลักษณะขนาดและเวลาของสัญญาณเวฟเล็ตแบบไม่ยกกำลังสอง เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

เมื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะสัญญาณระหว่างรูปที่ 3.21 และรูปที่ 3.22 พบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ของสัญญาณเวฟเล็ตแบบยกกำลังสองมากกว่าสัมประสิทธิ์ของสัญญาณเวฟเล็ตแบบไม่ยกกำลังสอง สามารถเห็นสัมประสิทธิ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างเด่นชัด แต่เมื่อพิจารณาด้านเวลาพบว่า สัญญาณทั้งสองรูปแบบเกิดขนาดสัมประสิทธิ์เพิ่มขึ้นที่เวลาเดียวกันคือ เวลา 0.0021, 0.00235 และเวลา 0.00248 วินาทีตามลำดับ แต่ขนาดสัมประสิทธิ์ของสัญญาณเวฟเล็ตแบบยกกำลังสองที่เกิดขึ้นที่เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายประชาสัมพันธ์ โทร. 0-2324-8400 หรือ 0-2324-8401

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.00235 วินาที มีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับขนาดสัมประสิทธิ์ที่เวลาเดียวกันนี้ของสัญญาณเวฟเล็ดแบบไม่ยกกำลังสอง ดังนั้นจึงพบว่า สัญญาณเวฟเล็ดแบบยกกำลังสองสามารถตรวจวัดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดชัดเจนมากกว่าสัญญาณเวฟเล็ดแบบไม่ยกกำลังสอง แต่ในขณะเดียวกัน สัญญาณเวฟเล็ดแบบไม่ยกกำลังสองกลับให้ข้อมูลด้านเวลาที่เกิดขนาดสัมประสิทธิ์ได้ดีกว่า สัญญาณเวฟเล็ดแบบยกกำลังสอง

วิทยานพินธ์ฉบับนี้จึงเลือกสัญญาณทั้งสองรูปแบบมาทำการวิเคราะห์ โดยเลือกสัญญาณเวฟเล็ดแบบยกกำลังสอง มาวิเคราะห์ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดของสัญญาณกระแสไฟฟ้าเวฟเล็ด เพื่อทำการจำแนกชนิดความผิดปกติ และเลือกสัญญาณเวฟเล็ดแบบไม่ยกกำลังสอง ซึ่งสามารถตรวจวัดเวลาที่เกิดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดได้ชัดเจน มาใช้ในการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ

อันดับต่อไปเพื่อให้เข้าใจคุณลักษณะของสัญญาณเวฟเล็ดแต่ละแบบมากขึ้นจึงทำการแสดงสัญญาณเวฟเล็ดแบบยกกำลังสองและสัญญาณเวฟเล็ดแบบไม่ยกกำลังสองตามลำดับ โดยอาศัยข้อมูลสัญญาณกระแสไฟฟ้าจากกรณียกตัวอย่างฟ้าผ่าและฟอลต์ชนิดต่าง ๆ เช่นเดียวกับก่อนหน้า

### 3.3.1 ฟ้าผ่าลงสายเฟส

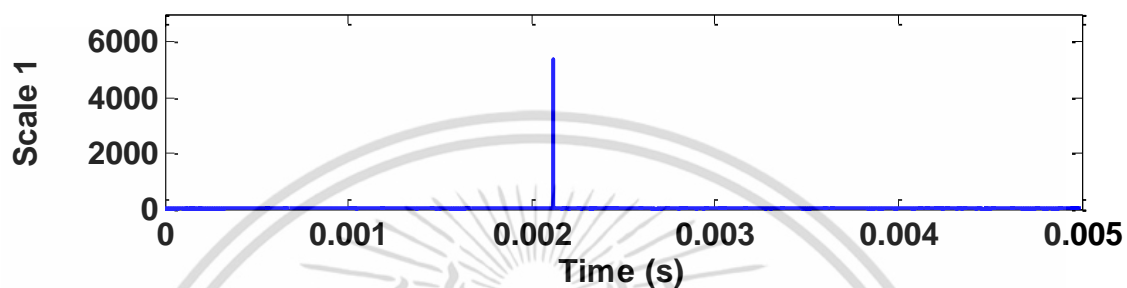
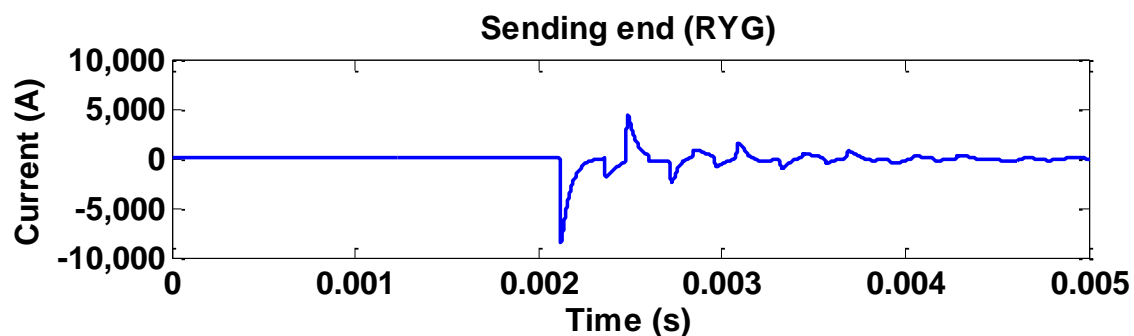
เพื่อศึกษาคุณลักษณะกระแสเมื่อเกิดฟ้าผ่า จึงทำการยกตัวอย่างกรณีศึกษา 3 กรณีคือ กรณีที่ 1 เกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง กรณีที่ 2 เกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา โดยเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง กรณีที่ 3 เกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวส่ง

กรณีที่ 1 สัญญาณเวฟเล็ดเมื่อเกิดฟ้าผ่าที่มุมแรงดัน 0 องศา เฟส A ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

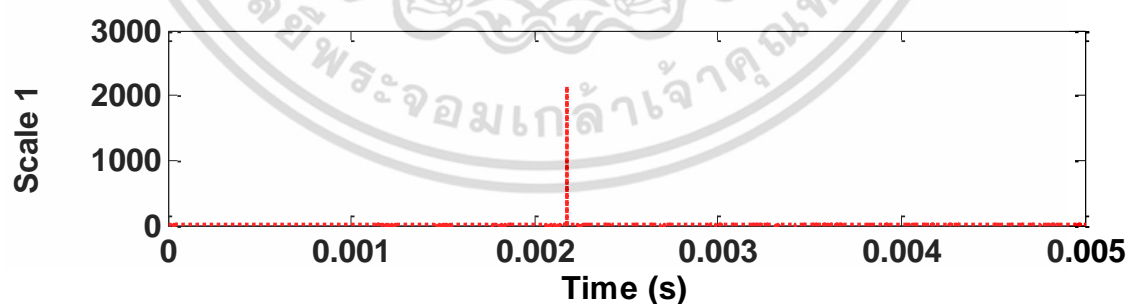
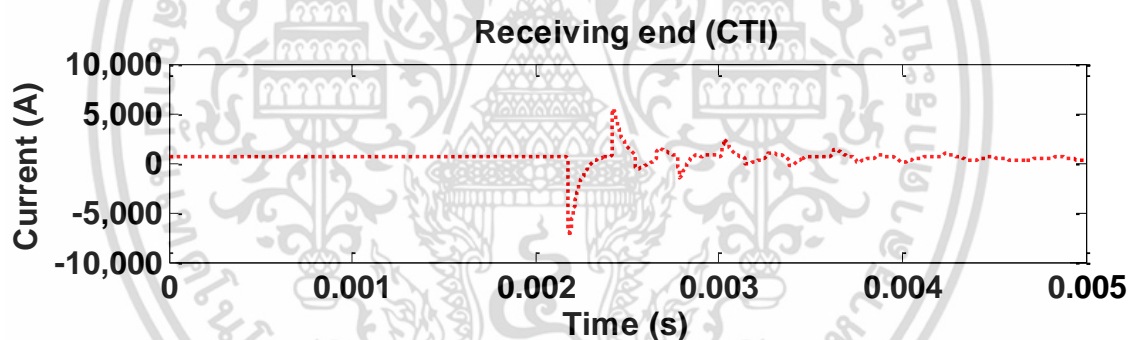
สัญญาณที่แสดงในกรณีนี้ ประกอบด้วยสัญญาณ 2 ชนิด คือ สัญญาณกระแสไฟฟาลำดับบวก และสัญญาณเวฟเล็ดของกระแสลำดับบวก โดยสัญญาณทั้งสองเกิดจากการแปลงคาร์กและการแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วยของสัญญาณกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อฟ้าผ่ามุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 0 องศา สายส่งเฟส A ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 35.4 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)

พิจารณาด้านขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดกำหนดให้

รูปบน	แสดงกระแสไฟฟาลำดับบวก
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ขนาดกระแส หน่วยแอมแปร์
รูปล่าง	แสดงสัญญาณเวฟเล็ดของกระแสไฟฟาลำดับบวก
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ด



(ก) สัญญาณแอมแปร์ที่เกิดกระแสลำดับบวก ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณแอมแปร์ที่เกิดกระแสลำดับบวก ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.23 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.23(ก) พบว่า กระแสไฟฟ้าลำดับบวกมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในทิสลบแล้วค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงลดลงก่อนเข้าสู่ภาวะเสถียร ซึ่งการเพิ่มขึ้นทิสลบนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับกระแสไฟฟ้า 3 เฟสในหัวข้อก่อนหน้า เนื่องจากการกระแสไฟฟ้าลำดับบวกเกิดจากการแปลงของกระแสไฟฟ้า 3 เฟสให้อยู่ในรูปส่วนประกอบลำดับศูนย์

เมื่อเปรียบเทียบขนาดของรูปที่ 3.23(ก) สัญญาณกระแสไฟฟ้าลำดับบวกกับรูปที่ 3.4(ก) สัญญาณกระแสไฟฟ้า 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีส่ง เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งพบว่า กระแสไฟฟ้าลำดับบวกมีทิศทางการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับกระแสไฟฟ้า 3 เฟส แต่สามารถสังเกตเห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายและชัดเจนกว่า เนื่องจากไม่มีความต่างของเฟสและมุมสัญญาณกระแส

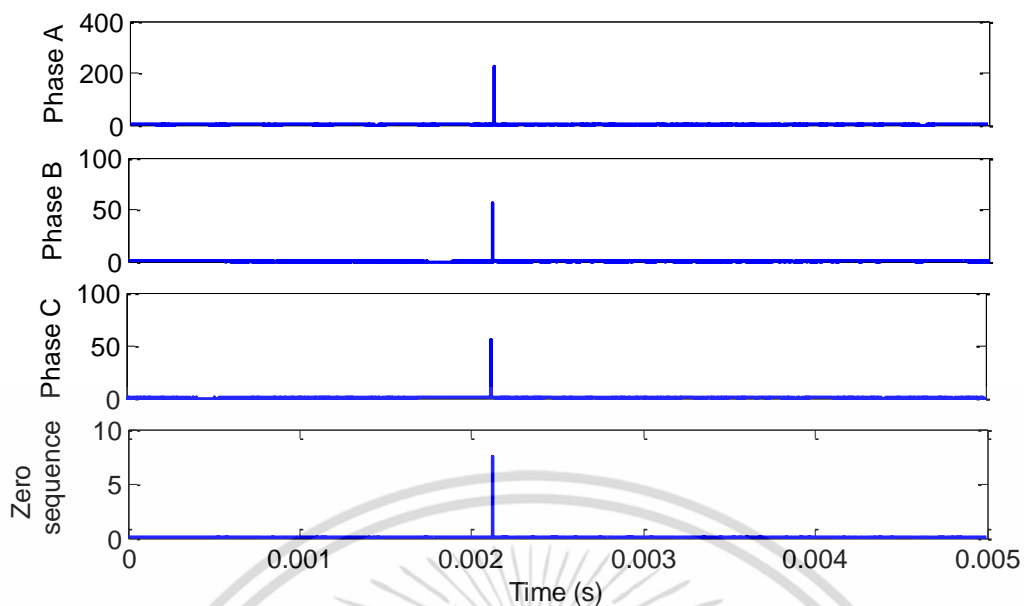
เมื่อเปรียบเทียบเวลาของรูปที่ 3.23(ก) สัญญาณแวลฟ์เล็ทกระแสลำดับบวกกับรูปที่ 3.4(ก) สัญญาณกระแสไฟฟ้า 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีส่ง เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งพบว่า ค่าเวลาที่ตรวจวัดจากสัญญาณแวลฟ์เล็ทกระแสลำดับบวกมีความชัดเจนมากกว่า เนื่องจากเกิดขนาดสัมประสิทธิ์สูงสุดชัดเจนเพียงหนึ่งค่าเท่านั้น

พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.23(ข) พบว่า ทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าลำดับบวกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทางทิสลบเช่นเดียวกับสถานีส่ง เนื่องจากเหตุผลที่กล่าวข้างต้น

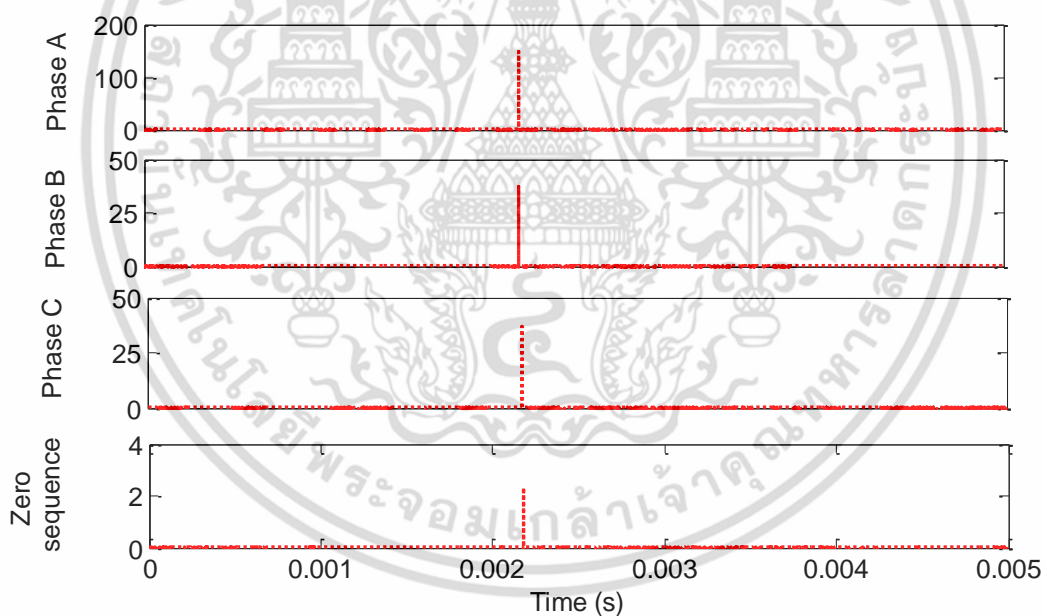
เมื่อพิจารณาสัญญาณแวลฟ์เล็ทกระแสลำดับบวกพบว่า เกิดค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดเพียงค่าเดียว ณ เวลาที่เกิดฟ้าผ่าเช่นเดียวกับสถานีส่ง การเพิ่มขนาดของสัมประสิทธิ์การแปลงแวลฟ์เล็ทแสดงให้เห็นว่า ณ เวลาดังกล่าวเกิดกระแสเพิ่มขึ้นในช่วงความถี่ที่พิจารณา

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ขนาดของสัญญาณด้านสถานีรับน้อยกว่าสถานีส่ง เนื่องจากผลของความแตกต่างระหว่างระยะทางจุดที่เกิดฟอลต์ถึงสถานีตรวจวัด ส่งผลต่ออิมพีแดนซ์ ทำให้การเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าไม่เท่ากัน โดยจุดที่เกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง ระยะทางระหว่างจุดที่เกิดฟ้าผ่าถึงสถานีส่งมีระยะทางน้อยกว่าจุดที่เกิดฟอลต์ถึงสถานีรับ ดังนั้นขนาดอิมพีแดนซ์จึงมีค่าน้อยกว่า ส่งผลให้ขนาดกระแสไฟฟ้าน้อยตาม

จากที่กล่าวมาข้างต้นเห็นได้ว่า สัญญาณแวลฟ์เล็ทสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงมากกว่ากระแสลำดับบวกและกระแสไฟฟ้า 3 เฟส ต่อไปทำการศึกษารูปการเปลี่ยนแปลงของแต่ละเฟสเมื่อเกิดฟ้าผ่าได้ดังรูปต่อไปนี้



(ก) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีรับจ่ายกำลังไฟฟ้า (CTI)  
รูปที่ 3.24 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.24(ก) สัญญาณเวฟเล็แต่แต่ละเฟสด้านสถานีส่งเมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งพบว่า ที่เวลา 2 มิลลิวินาทีเกิดขนาดค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็แต่ทั้ง 3 เฟส โดยแต่ละเฟสมีขนาดต่างกัน โดยเฟส A มีขนาดสัมประสิทธิ์สูงที่สุด เฟส B และเฟส C มีขนาดสัมประสิทธิ์เกิดขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเฟส A ซึ่งขนาดสัมประสิทธิ์นี้แสดงให้เห็นว่า ที่เวลา 2 มิลลิวินาที เฟส A เฟส B และเฟส C มีการเพิ่มในช่วงความถี่สูง การเพิ่มขึ้นนี้คือกระแสที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากฟ้าผ่านั่นเอง

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีส่งพบว่า เกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็แต่เพิ่มขึ้นลักษณะเดียวกับเฟส A เฟส B และเฟส C เนื่องจากที่เวลาดังกล่าวนอกจากเกิดองค์ประกอบความถี่สูงในแต่ละเฟสแล้ว ส่วนประกอบลำดับศูนย์ยังเกิดการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบความถี่สูง ซึ่งเป็นผลกระทบเนื่องจากฟ้าผ่าอีกด้วย

จากรูปที่ 3.24(ข) สัญญาณเวฟเล็แต่แต่ละเฟสด้านสถานีรับเมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งพบว่า พบว่า มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกันสถานีส่ง คือ เกิดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็แต่สูงสุดทั้งสามเฟสที่เวลาเดียวกันทั้งหมด ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกับสถานีส่งข้างต้น

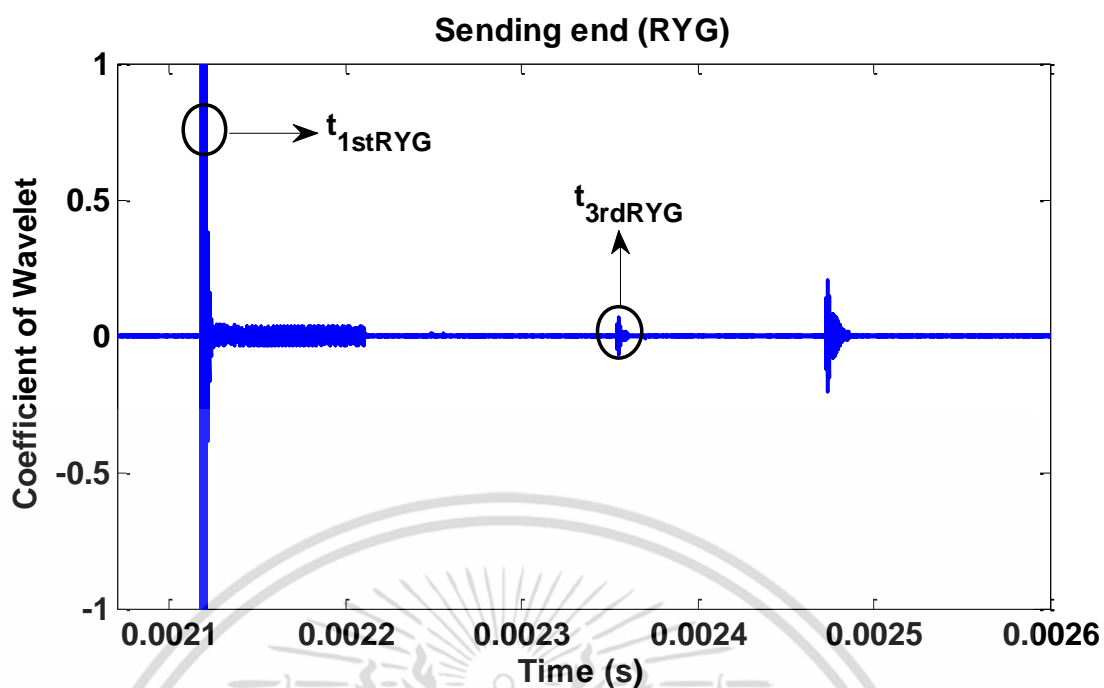
เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีส่งพบว่า เกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็แต่เพิ่มขึ้นเวลาเดียวกับสัญญาณทั้งสามเฟส เนื่องจากได้รับผลกระทบขององค์ประกอบความถี่สูงจากฟ้าผ่า

เมื่อเปรียบเทียบสัญญาณเวฟเล็แต่กระแสไฟฟ้า 3 เฟสในรูปที่ 3.24 กับสัญญาณกระแสไฟฟ้า 3 เฟสในรูปที่ 3.4 พบว่า มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเหมือนกัน คือ เฟสที่เกิดฟ้าผ่า (เฟส A) มีขนาดเพิ่มขึ้นมาก ขนาดของเฟส B และเฟส C เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากผลของการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กดังกล่าวไปก่อนหน้านี้ แม้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณทั้งสองเหมือนกัน แต่สัญญาณเวฟเล็แต่เห็นการเปลี่ยนแปลงชัดเจนมากกว่า ไม่มีขนาดที่สควกและที่สลับ

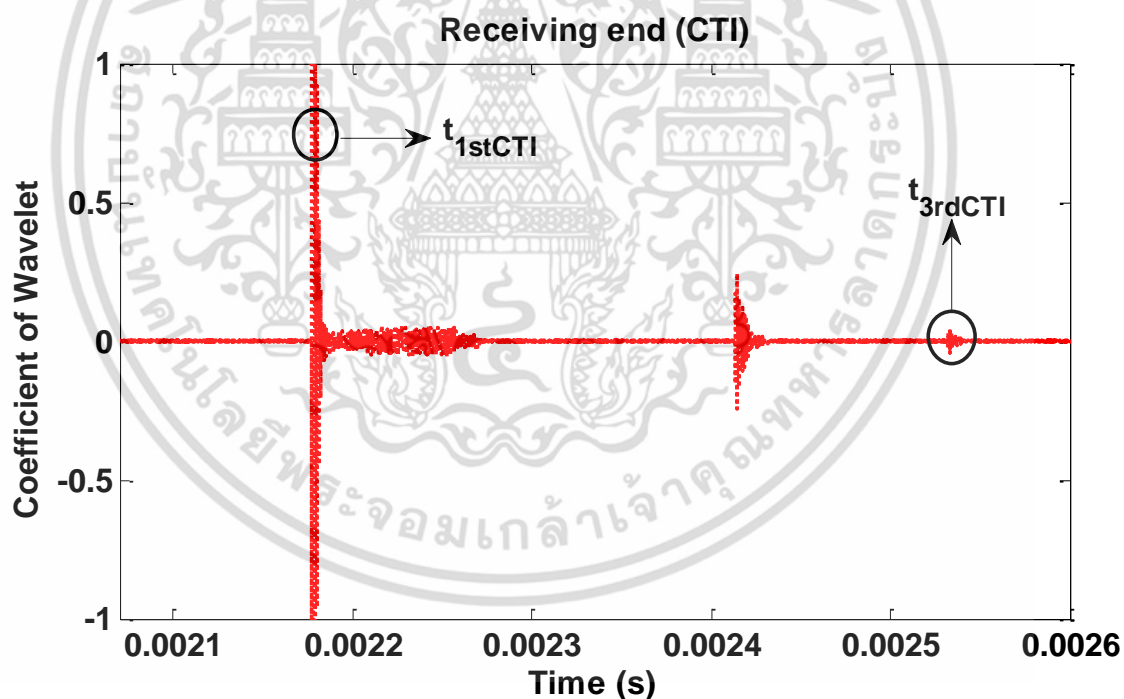
พิจารณาด้านเวลาของขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็แต่

กำหนดให้

แกนนอน	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่น หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็แต่
$t_{1stRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{3rdRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{1stCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีรับ (CTI)
$t_{3rdCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีรับ (CTI)



(ก) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีส่งกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.25 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งรูปที่ 3.25(ก) พบว่า สามารถตรวจพบคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ได้อย่างชัดเจน ในเวลาถัดมาตรวจพบคลื่นสะท้อนจากฝั่งสถานีรับ ซึ่งขนาดของคลื่นลำดับต่าง ๆ ที่ตรวจจับได้มีขนาดแตกต่างกัน โดยคลื่นลำดับที่ 1 มีขนาดมากกว่าลำดับที่ 3 เนื่องจาก ณ จุดที่เกิดฟ้าผ่าเกิดคลื่นกระแสไฟฟ้า ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานเพิ่มขึ้น ซึ่งขนาดคลื่นกระแสไฟฟ้านี้ขึ้นอยู่กับอิมพีแดนซ์สายส่ง คลื่นดังกล่าวจะเคลื่อนที่ไปยังปลายสายส่งแต่ละด้าน การเคลื่อนที่ของคลื่นนี้เป็นผลให้พลังงานที่เกิดขึ้นลดลง แต่เมื่อไปยังปลายสายส่งยังคงมีพลังงานหลงเหลืออยู่ จึงเกิดการสะท้อนไปและกลับมาไปยังปลายสายอีกครั้ง ซึ่งการสะท้อนไปและกลับนี้เป็นผลให้พลังงานที่หลงเหลือจากคลื่นลำดับที่ 1 มีขนาดลดลงจากเดิม ส่งผลให้ขนาดของคลื่นลำดับที่ 3 มีขนาดเล็กกว่า

พิจารณาด้านสถานีรับรูปที่ 3.25(ข) พบว่า สามารถตรวจจับคลื่นลำดับที่ 1 ลำดับที่ 3 ได้เช่นเดียวกับสถานีส่ง อีกทั้งในช่วงเวลาระหว่างตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ยังตรวจพบคลื่นสะท้อนจากฝั่งสถานีส่ง ซึ่งมีขนาดมากกว่าคลื่นลำดับที่ 3 แต่น้อยกว่าคลื่นลำดับที่ 1 ซึ่งขนาดของคลื่นนี้สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกับสถานีส่งข้างต้น

เมื่อเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ค่าเวลาคลื่นลำดับต่าง ๆ แตกต่างกัน โดยคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีส่งและสถานีรับสามารถตรวจพบได้ก่อนคลื่นลำดับที่ 3 เนื่องจากคลื่นลำดับที่ 3 เกิดจากการสะท้อนของคลื่นลำดับที่ 1 แต่ช่วงเวลาก่อนหรือหลังคลื่นลำดับที่ 3 อาจตรวจพบคลื่นสะท้อนจากสถานีตรงข้าม ซึ่งค่าเวลาของคลื่นแตกต่างกันเป็นผลเนื่องจากระยะทางการเดินทางของคลื่น

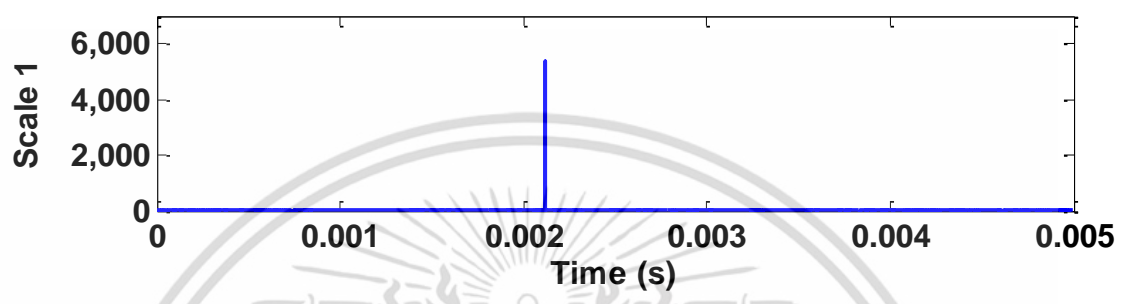
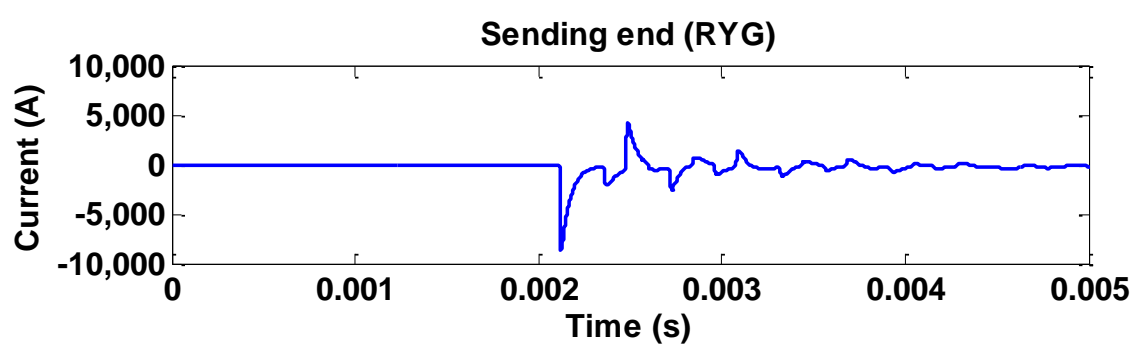
กรณีที่ 2 เกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา โดยเกิดที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

สัญญาณที่แสดงในกรณีนี้ ประกอบด้วยสัญญาณ 2 ชนิด คือ สัญญาณกระแสไฟฟ้าลำดับบวก และสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวก โดยสัญญาณทั้งสองเกิดจากการแปลงคาร์กและการแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วยของสัญญาณกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อฟ้าผ่ามุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 90 องศา สายส่งเฟส A ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 35.4 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)

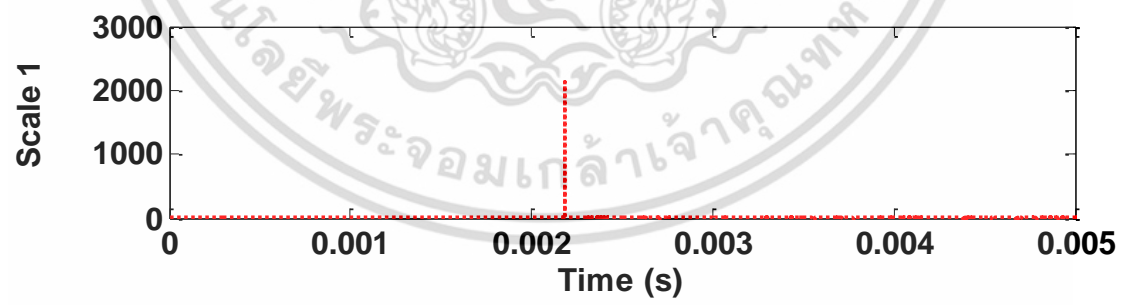
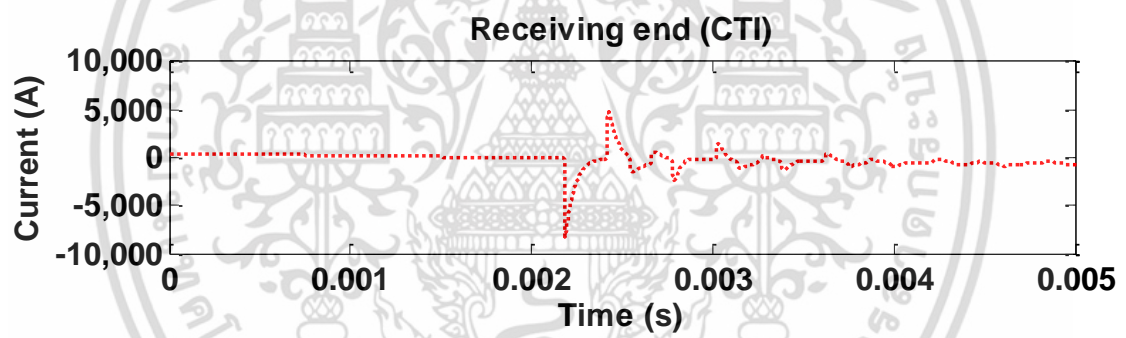
พิจารณาด้านขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท

กำหนดให้

รูปบน	แสดงกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ขนาดกระแส หน่วยแอมแปร์
รูปล่าง	แสดงสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท



(ก) สัญญาณแอมพลิจูดกระแสลำดับบวก ณ สถานีส่งกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณแอมพลิจูดกระแสลำดับบวก ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.26 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.26(ก) พบว่า ลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้า ลำดับบวกและสัญญาณเวฟเล็ท มีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีเกิดฟ้าผ่าที่ 40% มุมแรงดัน 0 องศา โดย ลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงสามารถอธิบายด้วยเหตุผลเดียวกันดังกล่าวข้างต้น

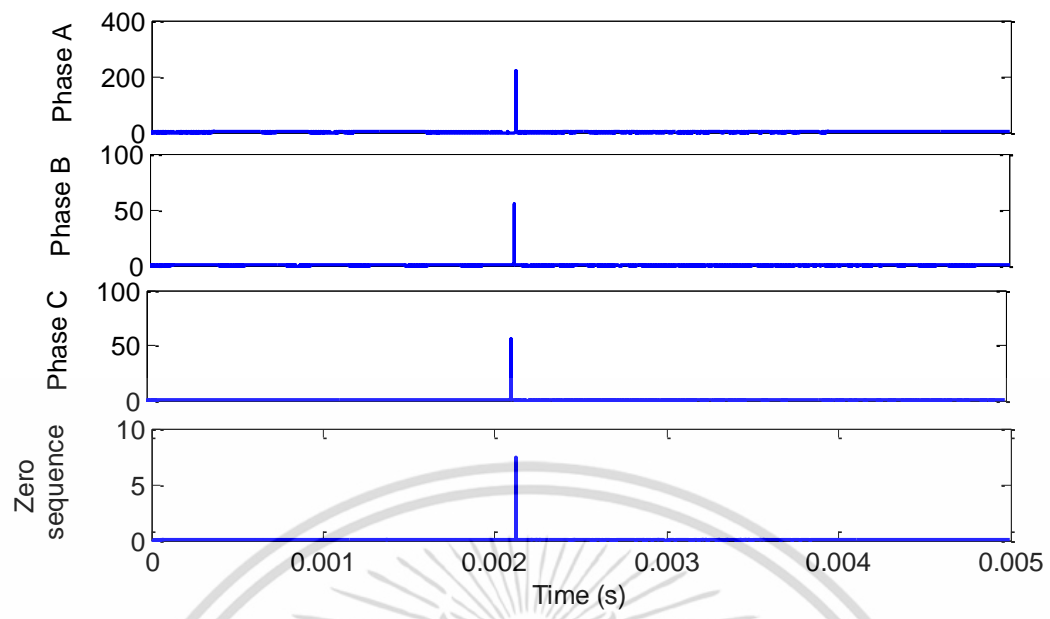
พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.26(ข) พบว่า ลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงของ กระแสไฟฟ้าลำดับบวกและสัญญาณเวฟเล็ท มีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีเกิดฟ้าผ่าก่อนหน้า โดย ลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงสามารถอธิบายด้วยเหตุผลเดียวกันดังกล่าวข้างต้น

เมื่อเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ขนาดการเปลี่ยนแปลงของ กระแสไฟฟ้าลำดับบวกด้านสถานีรับมากกว่าสถานีส่ง เนื่องจากผลของความแตกต่างระหว่าง ระยะทางจุดที่เกิดฟ้าผ่าถึงสถานีตรวจวัด ซึ่งมีต่ออิมพีแดนซ์สายส่งดังกล่าวข้างต้น

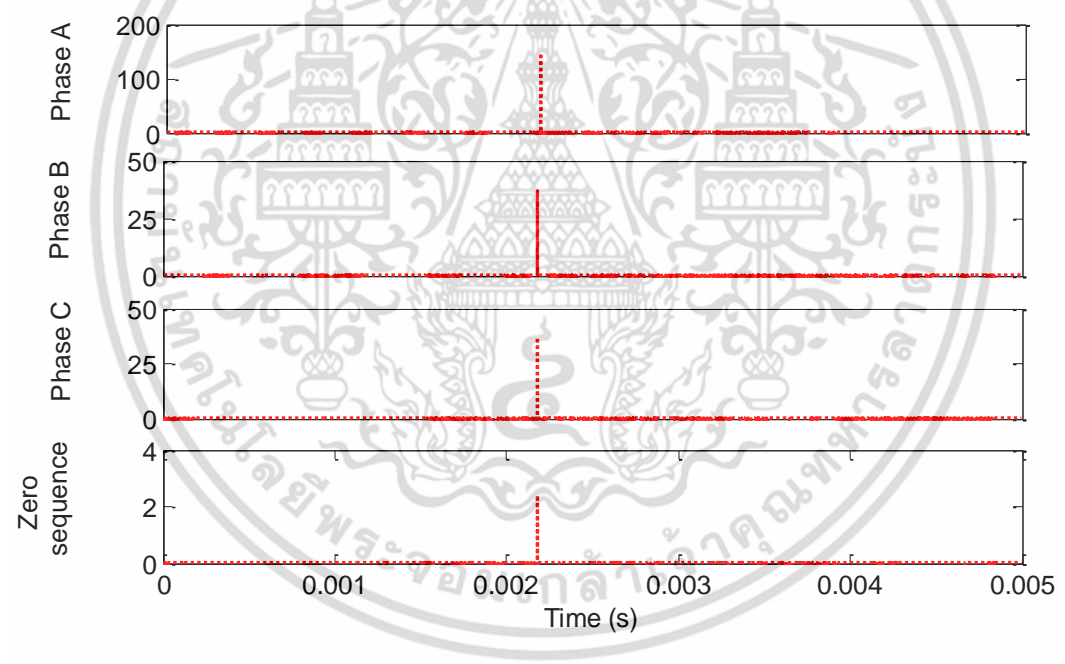
พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.23(ก) เมื่อมุมของแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.26(ก) เมื่อมุมของแรงดัน 90 องศาพบว่า ทั้งสองกรณีมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน ทั้งนี้ เนื่องจากตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าไม่เปลี่ยนแปลง ค่าอิมพีแดนซ์สายส่งจึงไม่เปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ขนาด กระแสไฟฟ้ามีค่าคงเดิม แต่เนื่องจากสัญญาณเป็นไซน์ซวยด์มีการเปลี่ยนแปลงด้านทิศบวกและทิศลบ ดังนั้นเมื่อมุมแรงดันเปลี่ยนแปลงจึงส่งผลให้ขนาดกระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัดเปลี่ยนแปลง หากผลการ เปลี่ยนแปลงไม่มากเท่ากับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่า

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.23(ข) เมื่อมุมของแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.26(ข) เมื่อมุมของแรงดัน 90 องศาพบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสเช่นเดียวกันสถานี ส่ง เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์สายส่งและสัญญาณไซน์ซวยด์ดังกล่าวข้างต้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นได้ทำการแสดงคุณลักษณะของกระแสลำดับบวกและสัญญาณเวฟเล็ทของ กระแสลำดับบวกแล้ว อันดับต่อไปเพื่อศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงขนาดของแต่ละเฟสชัดเจน ยิ่งขึ้น จึงนำกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความ ยาวสายส่งมาแปลงเวฟเล็ท โดยรูปที่ 3.27(ก) แสดงสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสไฟฟ้า 3 เฟสที่ ตรวจวัดจากสถานีส่งและรูปที่ 3.27(ข) แสดงสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสไฟฟ้า 3 เฟสที่ตรวจวัดจาก สถานีรับ



(ก) สัญญาณเวฟเล็ดแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณเวฟเล็ดแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีรับจ่ายกำลังไฟฟ้า (CTI) รูปที่ 3.27 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.27(ก) ซึ่งแสดงสัญญาณเวฟเล็ทของกระแส 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีส่งพบว่า เกิดค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสูงสุดที่เวลาเดียวกันทั้งสามเฟส โดยสัมประสิทธิ์ของเฟส A มีค่ามากที่สุด ขนาดของเฟส B และเฟส C เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีส่งพบว่า มีขนาดเพิ่มขึ้นในเวลาเดียวกับสัญญาณเวฟเล็ท 3 เฟส แต่มีขนาดน้อยกว่า เนื่องจากขนาดที่เพิ่มขึ้นในส่วนประกอบลำดับศูนย์คือองค์ประกอบความถี่สูงที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากผลกระทบของฟ้าผ่าที่ทำให้ระบบเสียดุล

พิจารณาเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทด้านสถานีส่งระหว่างรูปที่ 3.22(ก) เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.24(ก) เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่มุมแรงดันของสถานีส่งเท่ากับ 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์แต่ละเฟสใกล้เคียงกัน เปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องจากผลกระทบของมุมแรงดันต่อขนาดกระแสศูนย์

จากรูปที่ 3.27(ข) แสดงสัญญาณเวฟเล็ทของกระแส 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีรับพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเหมือนกับสถานีส่ง โดยเกิดขนาดสัมประสิทธิ์สูงสุดในเวลาที่เกิดฟ้าผ่าพร้อมกันทั้งสามเฟส

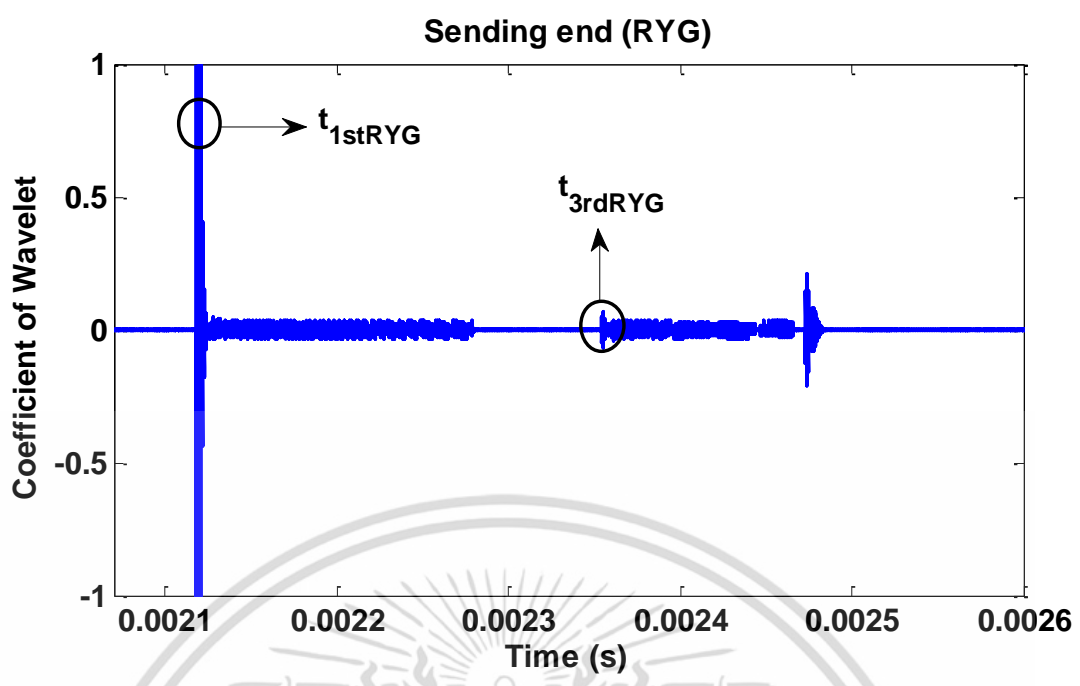
เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีรับพบว่า เกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเพิ่มขึ้นที่เวลาเดียวกับขนาดสัมประสิทธิ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละเฟส แต่มีขนาดน้อยกว่า เนื่องจากผลกระทบของฟ้าผ่าที่ทำให้ระบบเสียดุล ดังนั้นส่วนประกอบลำดับศูนย์จึงมีขนาดเกิดขึ้น

พิจารณาเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทด้านสถานีรับระหว่างรูปที่ 3.24(ข) เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.27(ข) เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่มุมแรงดันของสถานีรับเท่ากับ 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งพบว่า มีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันข้างต้น

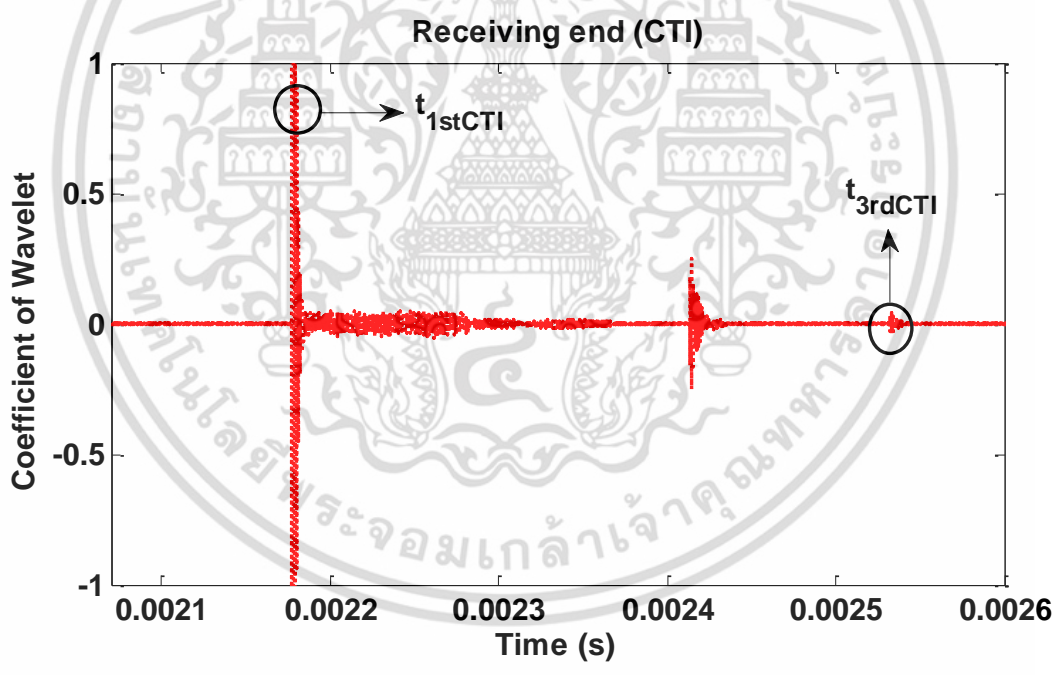
#### พิจารณาด้านเวลาของขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท

กำหนดให้

แกนนอน	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่น หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท
$t_{1stRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{3rdRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{1stCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีรับ (CTI)
$t_{3rdCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีรับ (CTI)



(ก) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีส่งกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.28 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3./ค(ก) พบว่า สามารถตรวจพบคลื่นลักษณะเดียวกับกรณีก่อนหน้า แต่เกิดคลื่นรบกวนตามหลังคลื่นสูงสุดลำดับต่าง ๆ ค่อยข้างมาก ส่งผลให้ขนาดสัญญาณที่ตรวจจับได้ไม่ชัดเจน ซึ่งขนาดของคลื่นลำดับต่าง ๆ เป็นผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานดังกล่าวข้างต้น

พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.28(ข) พบว่า สามารถตรวจจับคลื่นลำดับที่ 1 ลำดับที่ 3 และคลื่นสะท้อนจากสถานีรับเช่นเดียวกับสถานีส่ง และเกิดคลื่นรบกวนตามหลังคลื่นลำดับที่ 1 แต่ไม่เป็นอุปสรรคในการตรวจจับเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 เนื่องจากมีขนาดการเปลี่ยนแปลงมาก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงขนาดนี้เป็นผลเนื่องมาจากพลังงานเช่นเดียวกับสถานีส่ง

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า สามารถตรวจพบคลื่นลำดับต่าง ๆ ได้เช่นเดียวกัน แต่ด้านสถานีรับเกิดคลื่นรบกวนมากกว่าสถานีส่ง ซึ่งคลื่นรบกวนเป็นผลกระทบเนื่องจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งในระบบไฟฟ้า

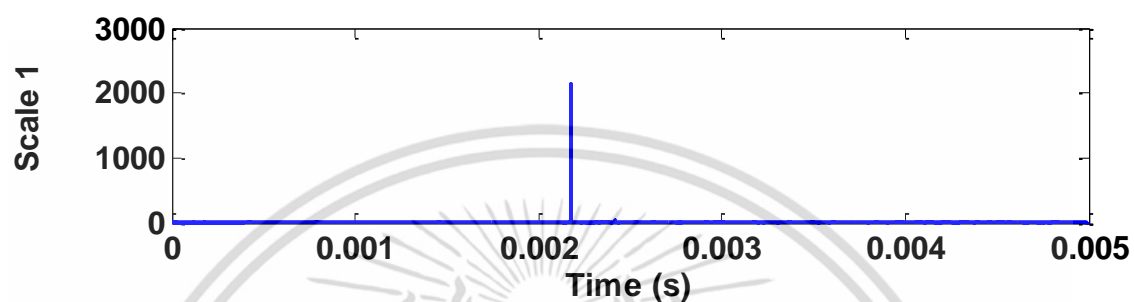
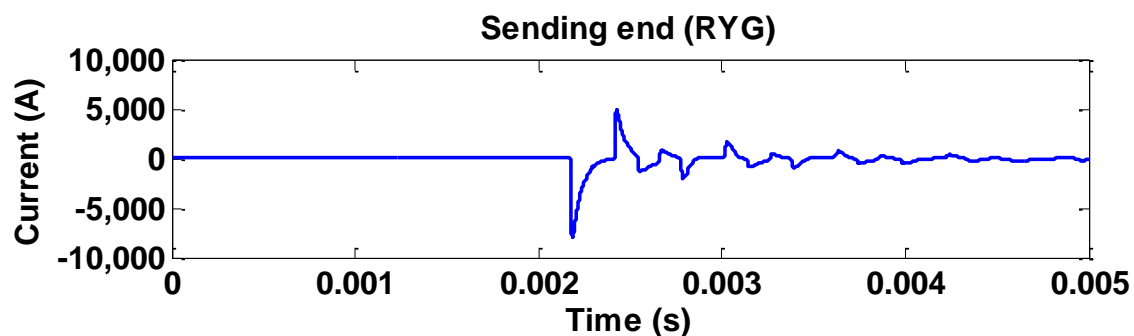
พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.25(ก) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.28(ก) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ลำดับที่ 3 และคลื่นสะท้อนจากสถานีรับมีขนาดเท่าเดิม เนื่องจากระยะทางระหว่างจุดที่เกิดฟ้าผ่าถึงสถานีส่งไม่เปลี่ยนแปลง  
พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.25(ข) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.28(ข) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับต่าง ๆ มีลักษณะเช่นเดียวกัน เนื่องจากระยะทางระหว่างจุดที่เกิดฟ้าผ่าถึงสถานีรับไม่เปลี่ยนแปลง  
กรณีที่ 3 สัญญาณเวฟเล็ทเมื่อเกิดฟ้าผ่าที่มุมแรงดัน 0 องศา เฟส A ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

สัญญาณที่แสดงในกรณีนี้ ประกอบด้วยสัญญาณ 2 ชนิด คือ สัญญาณกระแสไฟฟ้าลำดับบวก และสัญญาณเวฟเล็ทลำดับบวก โดยสัญญาณทั้งสองเกิดจากการแปลงคาร์กและการแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วยของสัญญาณกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อฟ้าผ่ามุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 0 องศา สายส่งเฟส A ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 53.1 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)

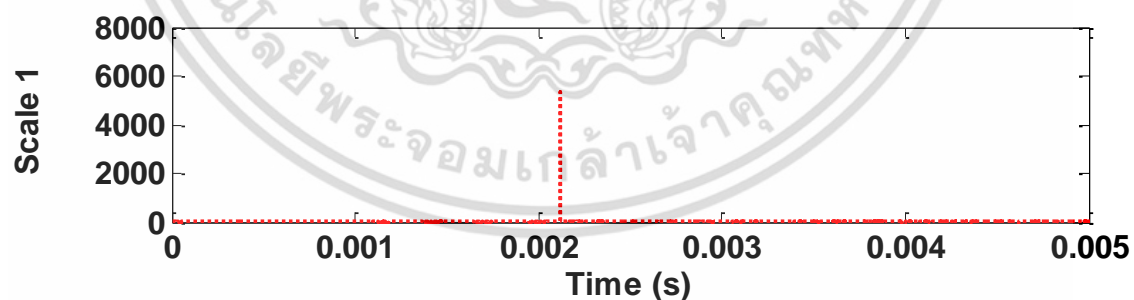
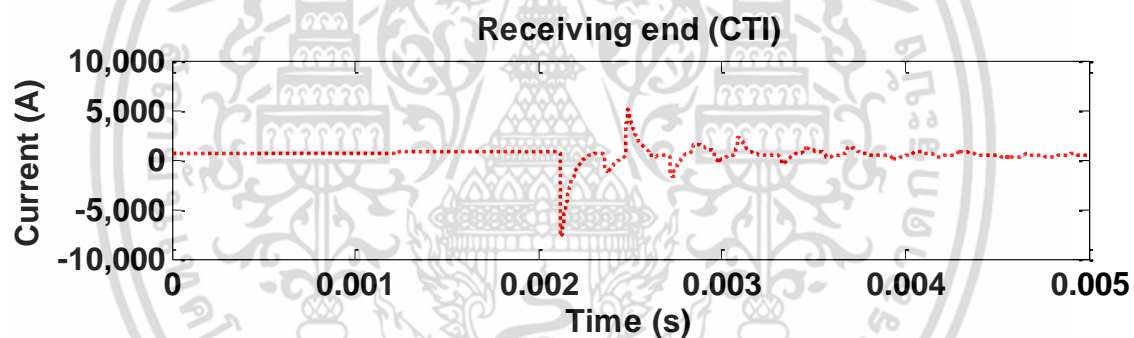
พิจารณาด้านขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท

กำหนดให้

รูปบน	แสดงกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ขนาดกระแส หน่วยแอมแปร์
รูปล่าง	แสดงสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท



(ก) สัญญาณแวลฟ์เล็ตกระแสลำดับบวก ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณแวลฟ์เล็ตกระแสลำดับบวก ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.29 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.29(ก) พบว่า กระแสไฟฟ้าลำดับบวกมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ณ เวลาที่เกิดฟ้าผ่า มีการเปลี่ยนแปลงขนาดในทิศทางลบเช่นเดียวกับกระแสไฟฟ้าลำดับบวกเมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาทิศทางการเปลี่ยนแปลงขนาดสัมประสิทธิ์พบว่า กระแสไฟฟ้าลำดับบวกมีทิศทางการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับกระแสไฟฟ้า 3 เฟสเมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง เนื่องจากกระแสไฟฟ้าลำดับบวกเป็นการรวมกระแสไฟฟ้า 3 เฟสเข้าด้วยกัน ดังนั้นเนื่องจากกระแสไฟฟ้า 3 เฟสมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางลบมากที่สุด จึงส่งผลให้กระแสไฟฟ้าลำดับบวกมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางลบเช่นเดียวกัน

พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.28(ข) พบว่า ลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าลำดับบวกมีลักษณะเช่นเดียวกับกระแสไฟฟ้าลำดับบวกเมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาทิศทางการเปลี่ยนแปลงขนาดสัมประสิทธิ์พบว่า ทิศทางการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสไฟฟ้าลำดับบวกเหมือนกับทิศของกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เนื่องจากเหตุผลที่อธิบายไปข้างต้น

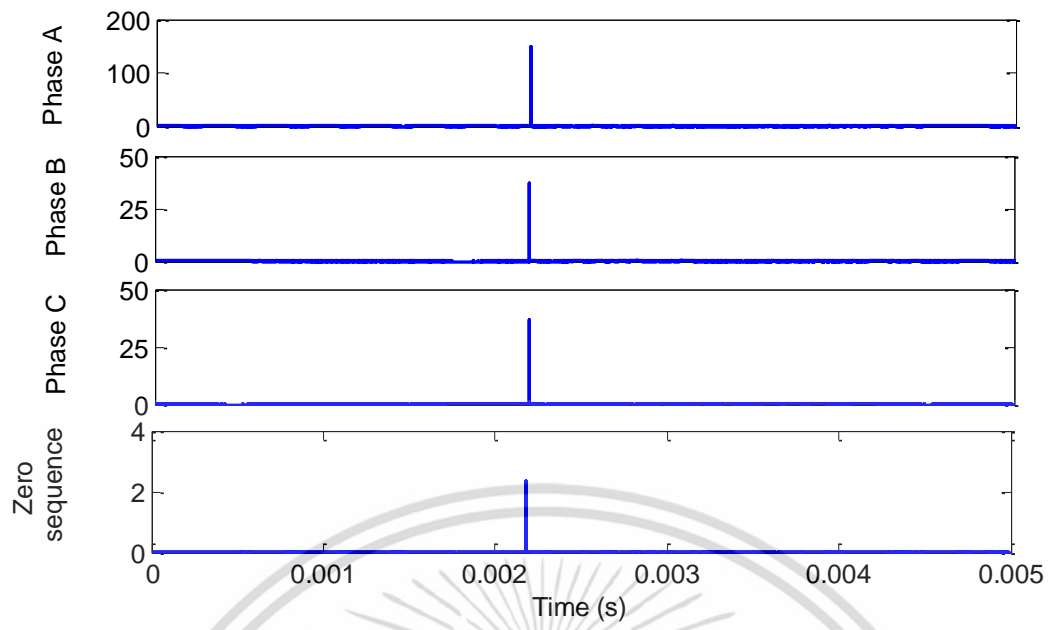
เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ขนาดการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าลำดับบวกด้านสถานีรับมากกว่าสถานีส่ง เนื่องจากผลของความแตกต่างระหว่างระยะทางจุดที่เกิดฟอลต์ถึงสถานีตรวจวัด ซึ่งมีต่ออิมพีแดนซ์สายส่งดังกล่าวข้างต้น

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.23(ก) เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.29(ก) เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า เมื่อตำแหน่งฟ้าผ่าเปลี่ยนแปลงนั้นหมายถึงระยะทางระหว่างจุดที่เกิดฟ้าผ่าถึงสถานีตรวจวัดเปลี่ยนแปลง โดยระยะทางนี้ส่งผลต่อขนาดอิมพีแดนซ์ของสายส่ง ทำให้ขนาดของกระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง

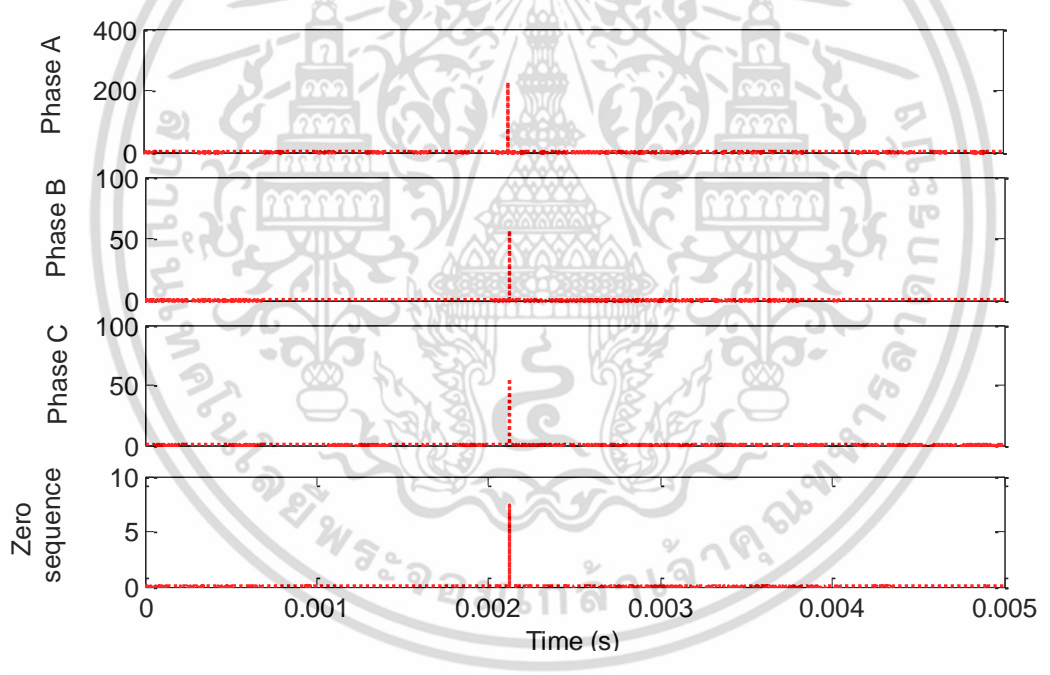
นอกจากนี้เนื่องจากกระแสไฟฟ้าลำดับบวกเปรียบเสมือนตัวแทนของกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส ดังนั้นเมื่อกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอิมพีแดนซ์ของสายส่ง ส่งผลให้ขนาดกระแสไฟฟ้าลำดับบวกย่อมมีการเปลี่ยนแปลงตาม ซึ่งจากการเปรียบเทียบระหว่างสองกรณีนี้ อ้างอิงด้านสถานีส่งพบว่า เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น ขนาดอิมพีแดนซ์ของสายส่งเพิ่มขึ้นตาม ส่งผลให้ขนาดกระแสไฟฟ้า 3 เฟส และกระแสไฟฟ้าลำดับบวกจึงลดลงตาม

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.23(ข) เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.29(ข) เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า กระแสไฟฟ้าลำดับบวกมีลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงเดียวกัน คือขนาดเริ่มเพิ่มขึ้นในทิศลบ เมื่อพิจารณาด้านขนาดพบว่า แม้ลักษณะสัญญาณเพิ่มขึ้นในทิศลบเช่นเดียวกัน แต่เมื่อตำแหน่งฟ้าผ่าเปลี่ยนแปลงที่ 60% ของความยาวสายส่ง ขนาดกระแสไฟฟ้าลำดับบวกมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากผลกระทบของอิมพีแดนซ์สายส่งที่เกิดจากการเปลี่ยนตำแหน่งฟ้าผาดังกล่าวข้างต้น

อันดับต่อไปเพื่อให้เข้าใจการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสไฟฟ้าของแต่ละเฟสมากขึ้น จึงทำการแสดงสัญญาณการแปลงเวฟเล็ทของกระแส 3 เฟสของกรณีฟ้าผาดังกล่าวต่อไปนี้



(ก) สัญญาณเวฟเล็ดแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณเวฟเล็ดแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีรับจ่ายกำลังไฟฟ้า (CTI) รูปที่ 3.30 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.30(ก) แสดงสัญญาณแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้า 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีส่งพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์มีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีทั้งสองก่อนหน้า โดยที่เวลา 2 มิลลิวินาที ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดของเฟส A มากที่สุด เฟส B และเฟส C มีขนาดใกล้เคียงกันและน้อยกว่าเฟส A มาก

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีส่งพบว่า ลักษณะสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดที่เกิดขึ้นคล้ายกับสัมประสิทธิ์ที่เกิดขึ้นเฟส A เฟส B และเฟส C โดยเกิดที่เวลาเดียวกันทั้งหมดแต่ส่วนประกอบลำดับศูนย์มีขนาดน้อยกว่าเช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่าก่อนหน้า

พิจารณาเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดด้านสถานีส่งระหว่างรูปที่ 3.24(ก) เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.30(ก) เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่มุมแรงดันของสถานีส่งเท่ากับ 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า สัมประสิทธิ์ทั้งสามเฟสมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน แต่เมื่อพิจารณาด้านขนาดพบว่า เมื่อตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าห่างไกลจากสถานีส่งมากขึ้น ขนาดสัมประสิทธิ์ลดลงทั้งสามเฟส การลดลงของขนาด มีสาเหตุมาจากอิมพีแดนซ์สายส่งเพิ่มขึ้น เนื่องจากระยะทางที่ไกลสถานีส่งออกไป

จากรูปที่ 3.30(ข) ซึ่งแสดงสัญญาณแอมพลิจูดของกระแส 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีรับพบว่า เกิดค่าสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดสูงสุดที่เวลาเดียวกันทั้งสามเฟส โดยเฟส A มีขนาดมากกว่าเฟส B และเฟส C เช่นเดิม เนื่องจากเหตุผลที่อธิบายไปข้างต้น

เมื่อพิจารณาเมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีรับพบว่า เกิดขนาดสัมประสิทธิ์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่าก่อนหน้า คือ สัญญาณแอมพลิจูดทั้งสามเฟสและสัญญาณส่วนประกอบลำดับศูนย์เกิดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดพร้อมกันที่เวลา 0.0021 วินาที แต่ขนาดสัมประสิทธิ์ของส่วนประกอบลำดับศูนย์มีขนาดน้อยกว่า เนื่องจากไม่ได้รับผลกระทบของฟ้าผ่าโดยตรงแต่เป็นผลเนื่องจากระบบเสียดสมดุล ส่วนประกอบสมมาตรจึงเปลี่ยนแปลง

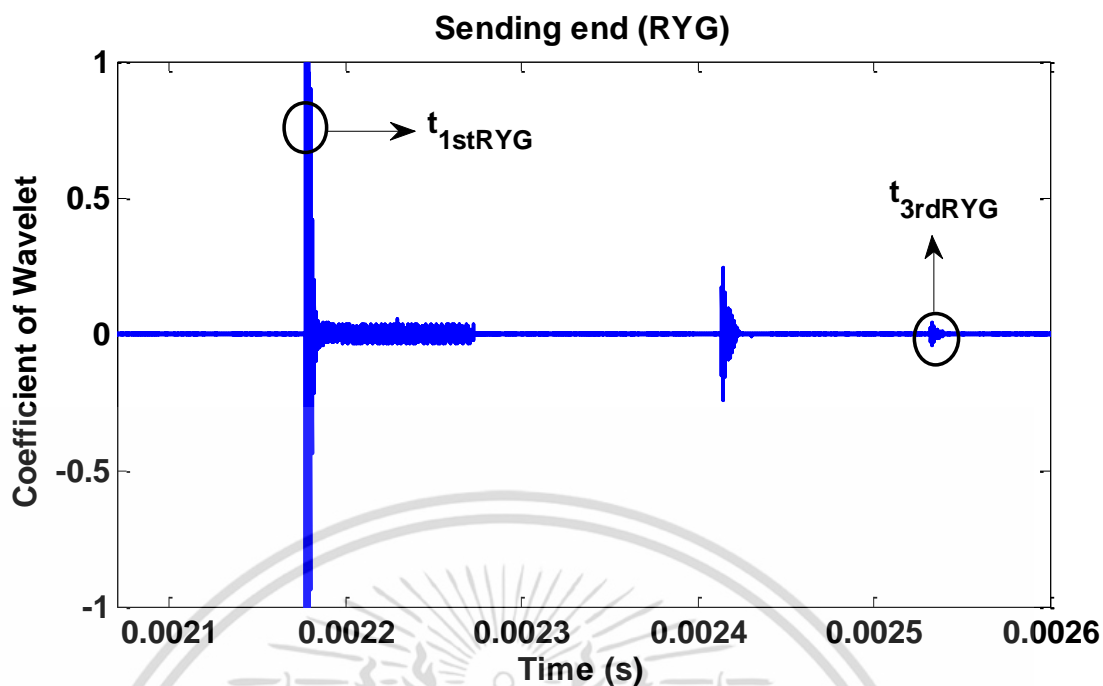
พิจารณาเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดด้านสถานีรับระหว่างรูปที่ 3.24(ข) เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.30(ข) เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่มุมแรงดันของสถานีรับเท่ากับ 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มขนาดของสัมประสิทธิ์นี้เป็นผลเนื่องจากอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับสถานีส่ง

พิจารณาด้านเวลาของขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูด

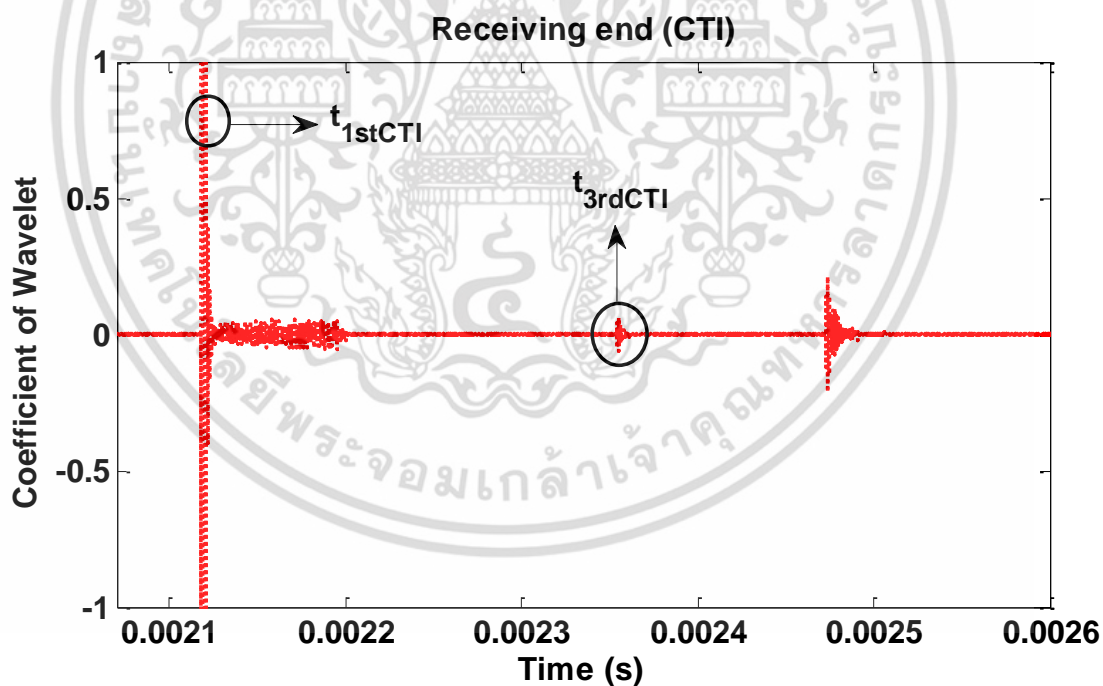
กำหนดให้

แกนนอน	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่น หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูด
$t_{1stRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{3rdRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{1stCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีรับ (CTI)
$t_{3rdCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีรับ (CTI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีส่งกำลังไฟฟ้า (RYG) เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง



(ข) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI) รูปที่ 3.31 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปแบบที่ 3.31(ก) พบว่า ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ลำดับที่ 3 และคลื่นสะท้อนจากสถานีรับ โดยตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 คลื่นสะท้อนจากสถานีรับ และคลื่นลำดับที่ 3 ตามลำดับ อีกทั้งขนาดของคลื่นทั้งสามนี้มีขนาดแตกต่างกัน เนื่องจากผลของพลังงานที่เปลี่ยนแปลงดังกล่าวข้างต้น

พิจารณาด้านสถานีรับในรูปแบบที่ 3.31(ข) พบว่า มีการตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 คลื่นลำดับที่ 3 และคลื่นสะท้อนจากสถานีส่ง ตามลำดับ โดยค่าขนาดของคลื่นทั้งสามนี้เป็นผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานเช่นเดียวกับสถานีส่ง

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับต่าง ๆ แตกต่างกัน เนื่องจากผลของระยะทางดังกล่าวข้างต้น

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.25(ก) เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.31(ก) เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า เวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ลำดับที่ 3 และคลื่นสะท้อนจากสถานีรับเปลี่ยนแปลงไป โดยค่าเวลาระหว่างกรณีทั้งสองสลับกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.14 ค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ของสถานีส่งเปลี่ยนไปเป็นค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ของสถานีรับแทน เนื่องจากระยะผลของระยะทางดังกล่าวข้างต้น

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.25(ข) เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.31(ข) เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับสถานีส่ง คือค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงสลับกัน เนื่องจากระยะทางเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 3.10 และตารางที่ 3.11 แสดงขนาดและเวลาที่เกิดค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทที่ตรวจวัดได้จากสถานีส่งและสถานีรับ เมื่อเกิดฟ้าผ่าโดยตารางที่ 3.10 แสดงข้อมูลที่ได้จากสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวก ตารางที่ 3.11 แสดงข้อมูลของสัญญาณเวฟเล็ทจากกระแส 3 เฟส

ตารางที่ 3.10 สัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวก เมื่อเกิดฟ้าผ่า

ตำแหน่งความยาวสายส่ง	เฟสที่เกิด	มุมแรงดัน	สัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวก			
			สถานีส่ง (RYG)		สถานีรับ (CTI)	
			ขนาด	เวลา (วินาที)	ขนาด	เวลา (วินาที)
40%	A	0	335.3307	0.002118	221.4964	0.002178
40%	A	90	331.0721	0.002118	219.1404	0.002178
60%	A	0	221.5084	0.002178	335.1976	0.002118

จากตารางที่ 3.10 แสดงขนาดและเวลาของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมีจากสัญญาณกระแสลำดับบวกของกรณีฟ้าผ่าข้างต้นพบว่า เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงชัดเจนกว่า เช่น ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของกรณีฟ้าผ่าที่มุมแรงดันของสถานีรับเท่ากับ 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งมีขนาดลดลงจากขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทกรณีมุมแรงดัน 0 องศาที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งเดียวกันเพียง 4.2586 ซึ่งเป็นการยากที่จะทราบการเปลี่ยนแปลงที่แท้จริง หากไม่พิจารณาด้วยค่าจากการแปลงเวฟเล็ท และเมื่อพิจารณาขนาดสัมประสิทธิ์เมื่อตำแหน่งฟ้าผ่าเปลี่ยนแปลงจาก 40% เป็น 60% ของความยาวสายส่งพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ลดลงอย่างมาก จากเดิม 335.3307 เป็น 221.5084 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งส่งผลต่อขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมากกว่าการเปลี่ยนมุมแรงดัน

ตารางที่ 3.11 สัญญาณเวฟเล็ทของกระแส 3 เฟส เมื่อเกิดฟ้าผ่า

สัญญาณเวฟเล็ทด้านสถานีส่ง (RYG)					
ตำแหน่งความยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กระแสลำดับศูนย์
40%	0	224.5902	56.1444	56.1840	9.0682
40%	90	221.7621	55.4655	55.3990	9.0210
60%	0	148.3791	37.1047	37.0651	2.7200
สัญญาณเวฟเล็ทด้านสถานีรับ (CTI)					
ตำแหน่งความยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กระแสลำดับศูนย์
40%	0	148.3373	37.1164	37.0849	2.6956
40%	90	146.8026	36.7036	36.6632	2.7589
60%	0	224.5436	56.1022	56.1374	8.8989

ตารางที่ 3.11 แสดงขนาดและเวลาที่ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสูงสุดของกระแส 3 เฟสเมื่อเกิดฟ้าผ่า ทำการพิจารณาขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทพบว่า เมื่อมุมแรงดันเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเป็น 90 องศาจากเดิม 0 องศา ขนาดสัมประสิทธิ์ทั้งสามเฟสของสถานีส่งลดลงเล็กน้อยทั้งหมด โดยส่วนประกอบลำดับศูนย์มีขนาดลดลงเล็กน้อยเช่นกัน แต่เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าพบว่า เมื่อตำแหน่งฟ้าผ่าเปลี่ยนจาก 40% เป็น 60% ของความยาวสายส่ง ขนาดสัมประสิทธิ์ที่ตรวจวัดจากสถานีส่งลดลงแต่ขนาดที่ตรวจวัดจากสถานีรับเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงขนาดสัมประสิทธิ์เมื่อตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าเปลี่ยนแปลงมีสาเหตุมาจาก ตำแหน่งที่เปลี่ยนไปส่งผลกระทบต่อระยะทางระหว่างจุดที่เกิดฟ้าผ่าถึงสถานีตรวจวัดเปลี่ยนแปลง ส่งผลต่ออิมพีแดนซ์สายส่ง ดังนั้นขนาดสัมประสิทธิ์จึงมีการเปลี่ยนแปลง

ดังนั้นจากการศึกษาคุณลักษณะของกรณีฟ้าผ่าได้ข้อสรุปว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของสัญญาณกระแสลำดับบวก สัญญาณเวฟเล็ทของกระแส 3 เฟส และสัญญาณส่วนประกอบลำดับศูนย์มีลักษณะเดียวกัน คือ มุมแรงดันและตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่ามีผลต่อขนาดสัมประสิทธิ์ของสัญญาณเวฟเล็ท โดยการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งส่งผลให้ขนาดสัมประสิทธิ์เปลี่ยนแปลงมากกว่ามุมแรงดัน

ตารางที่ 3.12 เวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 เมื่อเกิดฟ้าผ่า

ตำแหน่งความยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	สถานีส่ง (RYG)		สถานีรับ (CTI)	
		t1st (วินาที)	t3rd (วินาที)	t1st (วินาที)	t3rd (วินาที)
40%	0	0.002118	0.002355	0.002178	0.002533
40%	90	0.002118	0.002355	0.002178	0.002533
60%	0	0.002178	0.002533	0.002118	0.002355

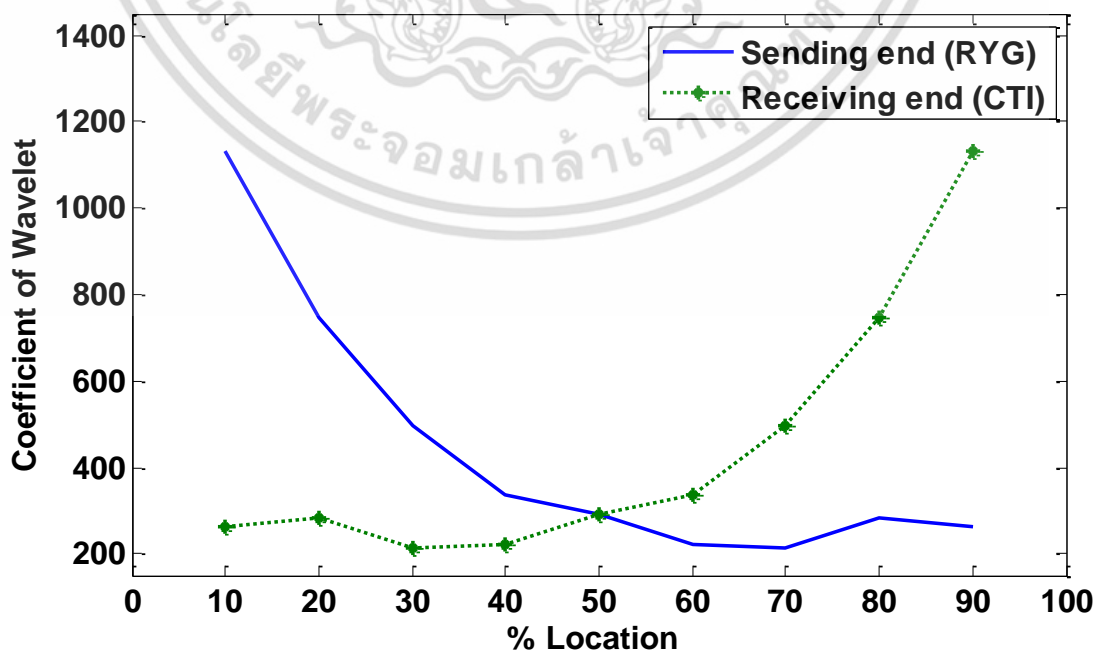
จากตารางที่ 3.12 ซึ่งแสดงค่าเวลาของคลื่นที่เดินทางมาถึงปลายสายส่งแต่ละด้านของกรณี 1 - กรณีที่ 3 ของฟ้าผ่าที่แสดงไปข้างต้นพบว่า ค่าเวลาที่คลื่นเดินทางมาถึงปลายสายส่งแปรผันตามระยะทางระหว่างจุดที่เกิดความผิดปกติถึงสถานีอ้างอิงเท่านั้น การเปลี่ยนแปลงมุมที่เกิดความผิดปกติไม่ส่งผลต่อค่าเวลาของคลื่นเดินทาง

จากลักษณะดังกล่าวข้างต้นเมื่อทราบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเวฟเส้นตรงกระแสลำดับบวกและกระแสไฟฟ้า 3 เฟสเหมือนกัน ดังนั้นเพื่อให้ง่ายแก่วิเคราะห์คุณลักษณะฟ้าผ่าต่อไป จึงเลือกนำสัญญาณเวฟเส้นตรงจากกระแสลำดับบวกมาพิจารณา อันดับต่อไปทำการศึกษาแนวโน้มขนาดของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเส้นตรงของสถานีส่งและสถานีรับ เมื่อเกิดฟ้าผ่า มุม 0 องศา เฟส A ที่ตำแหน่ง 10%-90% ของความยาวสายส่ง

กำหนดให้

- กราฟ — แสดงสัญญาณเวฟเส้นตรงของกระแสลำดับบวกที่ตรวจวัดได้จากสถานีส่ง
- กราฟ - - - แสดงสัญญาณเวฟเส้นตรงของกระแสลำดับบวกที่ตรวจวัดได้จากสถานีรับ
- แกนนอน คือ % ตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่า
- แกนตั้ง คือ สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเส้นตรงของสัญญาณเวฟเส้นตรง

Lightning A , Inception angle 0



รูปที่ 3.32 สัญญาณเวฟเส้นตรงของฟ้าผ่าเฟส A เมื่อตำแหน่งเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้เขียนได้เห็นใบเซอร์โชนด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.32 พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า การเปลี่ยนแปลงระหว่างสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวกและตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่ามีแนวโน้มสอดคล้องกับกรณีฟ้าผ่าที่ 40% และ 60% ของความยาวสายส่งที่ยกตัวอย่างมา เนื่องจากตำแหน่งฟ้าผ่าเปลี่ยนแปลงเปรียบเสมือนระยะทางระหว่างจุดที่เกิดฟ้าผ่าถึงสถานีส่งมีการเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงระยะทางนี้ส่งผลต่ออิมพีแดนซ์สายส่ง ทำให้กระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง ทางด้านสถานีส่ง เมื่อตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าเพิ่มขึ้น อิมพีแดนซ์สายส่งเพิ่มขึ้นตาม ส่งผลให้ขนาดกระแสไฟฟ้ามีค่าลดลง ดังนั้นสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทจึงมีแนวโน้มลดลง

พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระหว่างสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวกและตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับกรณียกตัวอย่างฟ้าผ่าที่ 40% และ 60% ของความยาวสายส่ง เนื่องจากอิมพีแดนซ์สายส่งลดลง เพราะระยะทางระหว่างจุดที่เกิดฟ้าผ่าถึงสถานีรับลดลง ดังนั้นกระแสไฟฟ้าจึงลดลงตาม ดังนั้นเห็นได้ว่า ตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่ามีผลต่อขนาดกระแสไฟฟ้า เนื่องจากอิมพีแดนซ์สายส่ง

เมื่อพิจารณาขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเมื่อเกิดฟ้าผ่า มุมแรงดัน 0-330 องศา ที่ตำแหน่ง 10% ของความยาวสายส่ง

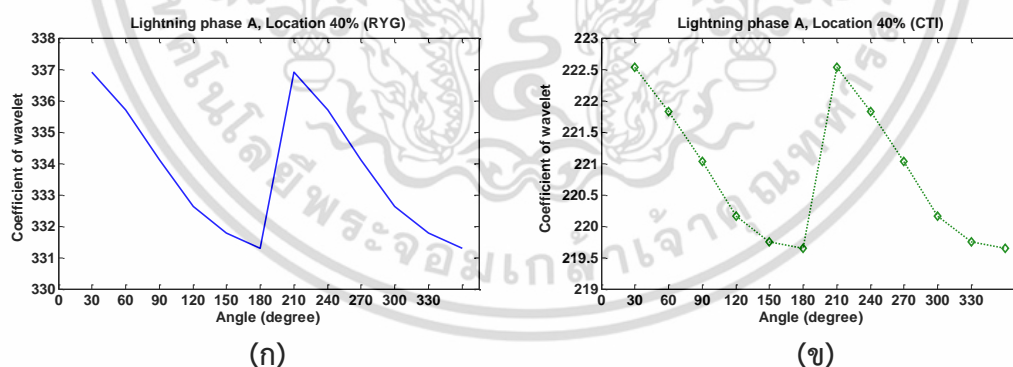
กำหนดให้

กราฟ — แสดงสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวกที่ตรวจวัดได้จากสถานีส่ง

กราฟ - - - แสดงสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวกที่ตรวจวัดได้จากสถานีรับ

แกนนอน คือ มุมแรงดันอ้างอิงจากสถานีรับ (องศา)

แกนตั้ง คือ สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของสัญญาณเวฟเล็ท



รูปที่ 3.33 สัญญาณเวฟเล็ทของฟ้าผ่าเฟส A เมื่อมุมแรงดันเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 3.33 พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า แนวโน้มระหว่างสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทและมุมแรงดันมีลักษณะเป็นไซน์ซอไซด์ คือเปลี่ยนแปลงทิศบวกและทิศลบ แม้มุมแรงดันเปลี่ยนแปลงที่มุมต่าง ๆ แต่สัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นไซน์ซอไซด์ ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงเป็นคาบ ทิศบวกและทิศลบ และเมื่อการเปลี่ยนแปลงครบรอบ 0-330 องศา ส่งผลให้กลับมาที่จุดเริ่มเช่นเดิม

พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงมีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง เนื่องจากหลักการและเหตุผลเดียวกัน ดังนั้นเห็นได้ว่า มุมมีผลต่อขนาดกระแสไฟฟ้า เนื่องจากสัญญาณมีลักษณะเป็นไซนูซอยด์

อันดับต่อไปทำการศึกษาแนวโน้มค่าเวลาที่เกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของสถานีส่งและสถานีรับ เมื่อเกิดฟ้าผ่า มุม 0 องศา เฟส A ที่ตำแหน่ง 10%-90% ของความยาวสายส่ง

**ตารางที่ 3.13** เวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ของฟ้าผ่าเมื่อตำแหน่งเปลี่ยนแปลง

ตำแหน่งความยาวสายส่ง	สถานีส่ง (RYG)		สถานีรับ (CTI)	
	t1st (วินาที)	t3rd (วินาที)	t1st (วินาที)	t3rd (วินาที)
10%	0.002030	0.002088	0.002266	0.002799
20%	0.002059	0.002177	0.002237	0.002710
30%	0.002089	0.002265	0.002207	0.002621
40%	0.002118	0.002355	0.002178	0.002533
50%	0.002148	0.002444	0.002148	0.002444
60%	0.002178	0.002533	0.002118	0.002355
70%	0.002207	0.002621	0.002089	0.002265
80%	0.002237	0.002710	0.002059	0.002177
90%	0.002266	0.002798	0.002030	0.002088

ตารางที่ 3.13 แสดงค่าเวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ของสถานีส่งและสถานีรับ โดยเกิดที่มุมแรงดันคงที่ที่ 0 องศา ตำแหน่งฟ้าผ่าเปลี่ยนแปลง 10%-90% ของความยาวสายส่ง อ้างอิงด้านสถานีส่ง

เมื่อพิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า สามารถตรวจวัดคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 ก่อนคลื่นลำดับที่ 3 เสมอ และเมื่อตำแหน่งฟ้าผ่าเกิดไกลสถานีส่งออกไป ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่าเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากตำแหน่งที่ไกลสถานีส่ง ทำให้ระยะทางการเดินทางของคลื่นจากจุดที่เกิดฟ้าผ่าถึงสถานีส่งเพิ่มขึ้น คลื่นจึงต้องใช้เวลามากขึ้นในการเดินทางมายังสถานีส่ง

เมื่อพิจารณาด้านสถานีรับพบว่า ค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และคลื่นลำดับที่ 3 มีแนวโน้มเช่นเดียวกับสถานีส่งคือ ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ก่อนคลื่นลำดับที่ 3 แต่เมื่อตำแหน่งที่เพิ่มขึ้น แม้ไกลสถานีส่งมากขึ้นแต่กลับมีระยะทางใกล้สถานีรับมากขึ้น ดังนั้นระยะทางการเดินทางของคลื่นจากจุดที่เกิดฟ้าผ่าถึงสถานีรับจึงลดลง เวลาที่ตรวจพบคลื่นทั้งสองจึงเร็วขึ้นและที่ฟ้าผ่าตำแหน่ง 50% ของความยาวสายส่ง ระยะทางระหว่างจุดที่เกิดฟ้าผ่าถึงสถานีส่งและสถานีรับเท่ากัน ดังนั้นจึงตรวจพบคลื่นด้วยเวลาที่เท่ากัน

### 3.3.2 ฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน

ฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินเป็นกรณีความผิดปกติของระบบส่งกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบ่อย วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการยกตัวอย่างกรณีศึกษา 3 กรณีคือ

- กรณีที่ 1 เกิดฟอลต์ที่เฟส AG มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง
- กรณีที่ 2 เกิดฟอลต์ที่เฟส AG มุมแรงดัน 90 องศา โดยเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง
- กรณีที่ 3 เกิดฟอลต์ที่เฟส AG มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวส่ง

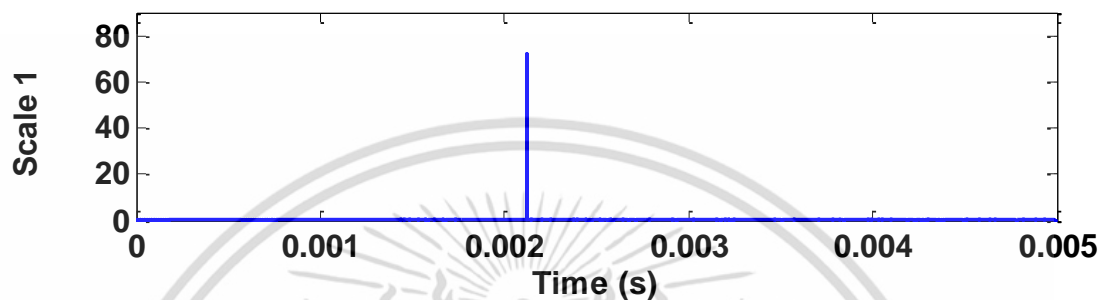
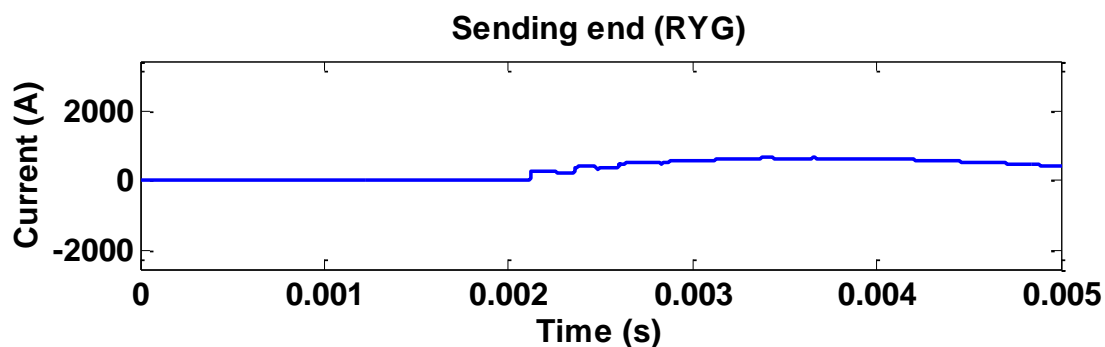
กรณีที่ 1 เกิดฟอลต์ที่เฟส AG มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

สัญญาณที่แสดงในกรณีนี้ ประกอบด้วยสัญญาณ 2 ชนิด คือ สัญญาณกระแสไฟฟ้าลำดับบวก และสัญญาณแวลต์ของกระแสลำดับบวก โดยสัญญาณทั้งสองเกิดจากการแปลงคาร์กและการแปลงแวลต์แบบเต็มหน่วยของสัญญาณกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน ที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 0 องศา เฟส A ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 35.4 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)

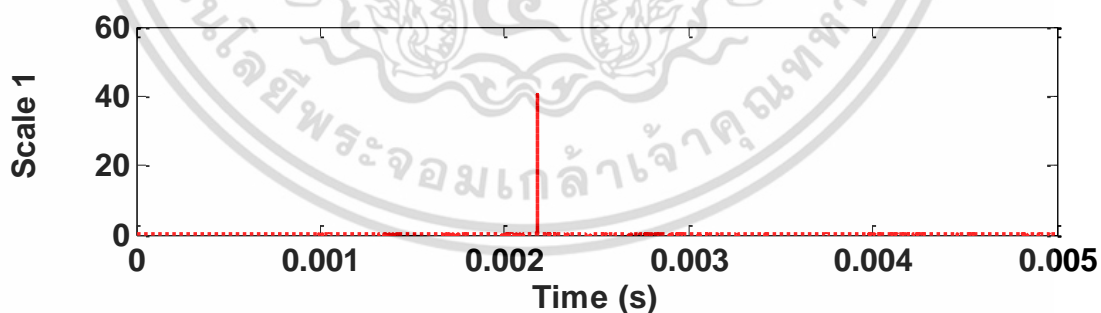
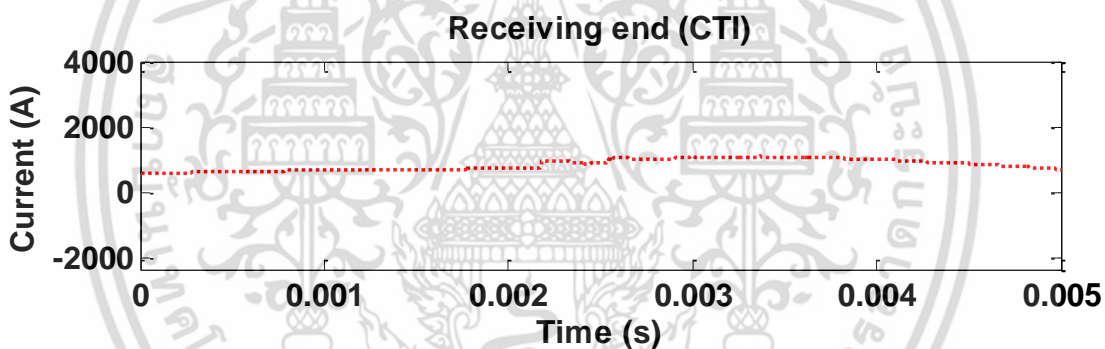
พิจารณาด้านขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแวลต์

กำหนดให้

รูปบน	แสดงกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ขนาดกระแส หน่วยแอมแปร์
รูปล่าง	แสดงสัญญาณแวลต์ของกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ สัมประสิทธิ์การแปลงแวลต์



(ก) สัญญาณเวฟเล็ตรกระแสลำดับบวก ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณเวฟเล็ตรกระแสลำดับบวก ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.34 เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.34(ก) พบว่า ณ เวลาที่เกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินกระแสไฟฟ้าลำดับบวกมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นในทิศทางบวกเล็กน้อย สังเกตการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน และ ณ เวลาเดียวกันค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจน ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสามารถวิเคราะห์ขนาดการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าได้มีประสิทธิภาพมากกว่ากระแสไฟฟ้า 3 เฟสและกระแสไฟฟ้าลำดับบวก

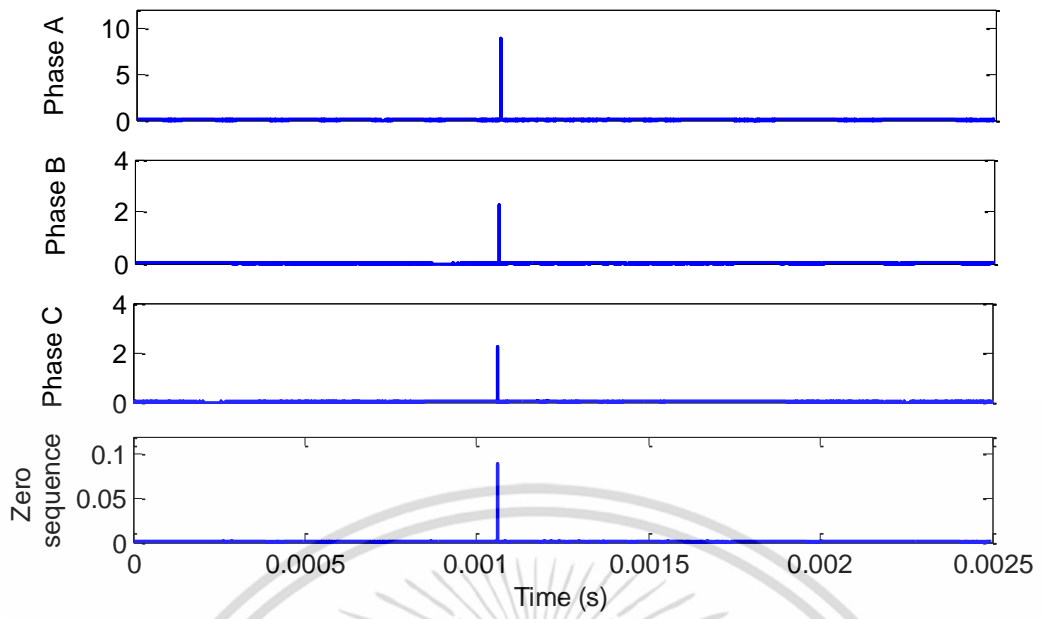
โดยการเปลี่ยนแปลงนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่า แต่ขนาดการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทน้อยกว่าฟ้าผ่ามาก เนื่องจากฟ้าผ่ามีความรุนแรงกว่า ขนาดการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้ามาก ส่งผลให้กระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงมาก

พิจารณาด้านสถานีรับ 3.41(ข) พบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่งเนื่องจากเหตุผลเดียวกันข้างต้น

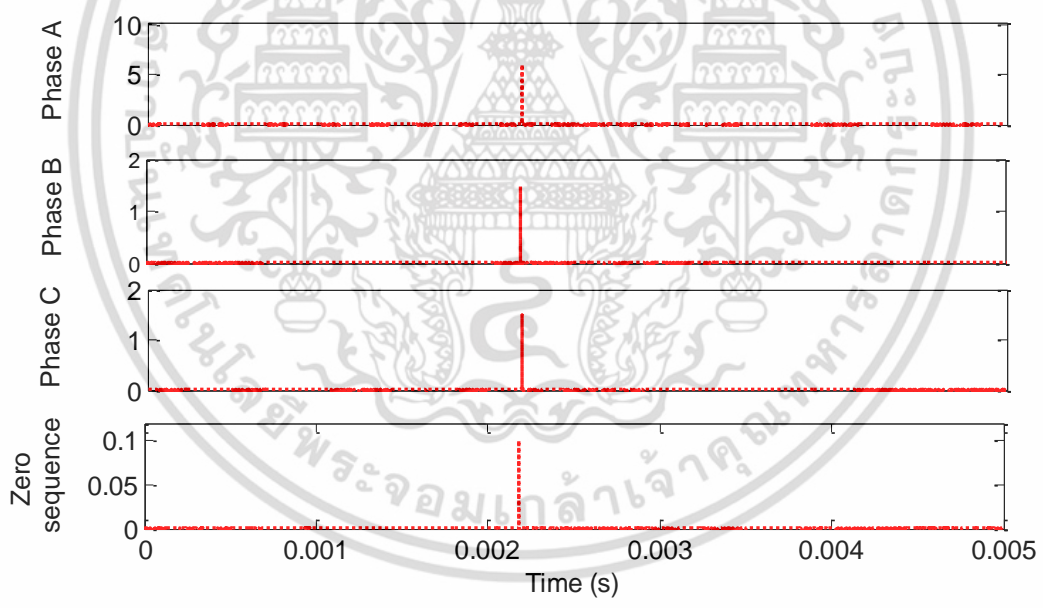
เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ขนาดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าด้านสถานีรับน้อยกว่าสถานีส่ง เนื่องจากผลของความแตกต่างระหว่างระยะทางจุดที่เกิดฟอลต์ถึงสถานีตรวจวัด ส่งผลต่ออิมพีแดนซ์สายส่งเช่นเดียวกับกรณีเกิดฟ้าผ่า

นอกจากศึกษาพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงของกระแสลำดับบวกและสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวกแล้ว อันดับต่อไปทำศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดของแต่ละเฟส โดยนำสัญญาณกระแสไฟฟ้า 3 เฟสเมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินมาแปลงเวฟเล็ทโดยตรง ไม่ผ่านการแปลงคาร์กและส่วนประกอบลำดับศูนย์ที่ผ่านการแปลงเวฟเล็ทดังแสดงในรูปที่ 3.35(ก) แสดงสัญญาณเวฟเล็ทที่ตรวจวัดจากสถานีส่งและรูปที่ 3.35(ข) แสดงสัญญาณเวฟเล็ทที่ตรวจวัดจากสถานีรับ





(ก) สัญญาณเวฟเลิตแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณเวฟเลิตแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีรับจ่ายกำลังไฟฟ้า (CTI)  
รูปที่ 3.35 เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณารูปที่ 3.35(ก) ซึ่งแสดงสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสไฟฟ้า 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีส่งพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ทั้งสามเฟสมีขนาดเพิ่มขึ้นที่เวลาเดียวกัน ขนาดสัมประสิทธิ์มีการเปลี่ยนแปลงทั้งสามเฟส โดยเฟส A มีขนาดมากที่สุด เฟส B และเฟส C ขนาดเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีส่งพบว่า มีขนาดสัมประสิทธิ์เกิดขึ้นที่เวลาเดียวกับสัญญาณเวฟเล็ท 3 เฟส แต่มีขนาดน้อยกว่า เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์ที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลเนื่องจากระบบไฟฟ้าเสี่ยสมดุล ไม่ใช่องค์ประกอบความถี่สูงที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากฟ้าผ่า ดังนั้นจึงมีขนาดน้อยกว่า

เมื่อพิจารณารูปที่ 3.35(ข) ซึ่งแสดงสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสไฟฟ้า 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีรับพบว่า มีแนวโน้มเช่นเดียวกับสถานีส่ง คือเกิดค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสูงสุดที่เวลาเดียวกันทั้งสามเฟส โดยสัมประสิทธิ์ของเฟส A มีค่ามากที่สุด ขนาดของเฟส B และเฟส C เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

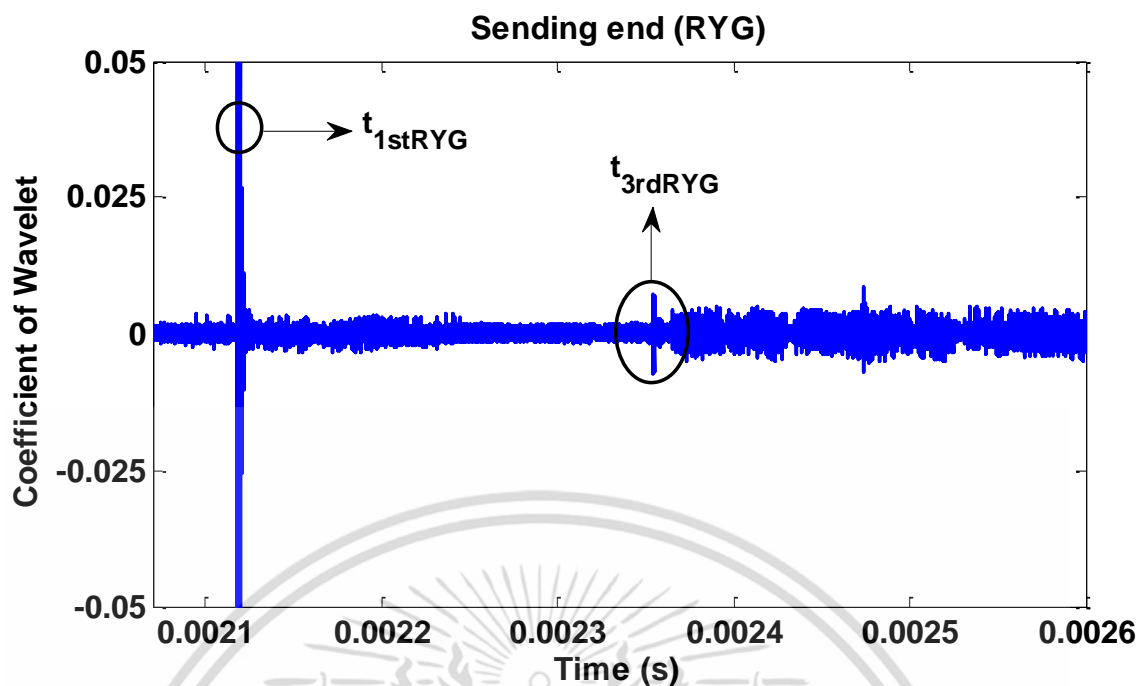
เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีรับพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ทั้งสามเฟสและขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของส่วนประกอบลำดับศูนย์มีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง เนื่องจากได้รับผลกระทบจากการที่ระบบไฟฟ้าเสี่ยสมดุลดังที่อธิบายไปข้างต้น

เมื่อเปรียบเทียบสัญญาณเวฟเล็ททั้งสามเฟสระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์เวฟเล็ทด้านสถานีรับน้อยกว่าสถานีส่ง แต่ในรูปที่ 3.7 ก่อนหน้านั้นเมื่อพิจารณาด้วยกระแสไฟฟ้า 3 เฟสพบว่าขนาดกระแสด้านสถานีรับมากกว่าสถานีส่ง เห็นว่าทั้งสองมีความขัดแย้งกันโดยขนาดกระแสที่เพิ่มขึ้นของกระแส 3 เฟสเป็นผลเนื่องจากการกระแสฟอลต์และตำแหน่งมุมของสัญญาณกระแสที่อยู่ในทิศบวก เสริมให้ขนาดกระแสมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเกิดจากการพิจารณาเฉพาะช่วงความถี่สูงเท่านั้น ดังนั้นขนาดสัมประสิทธิ์ที่แสดงในช่วงดังกล่าว จึงเป็นขนาดการเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดฟอลต์ที่แท้จริง

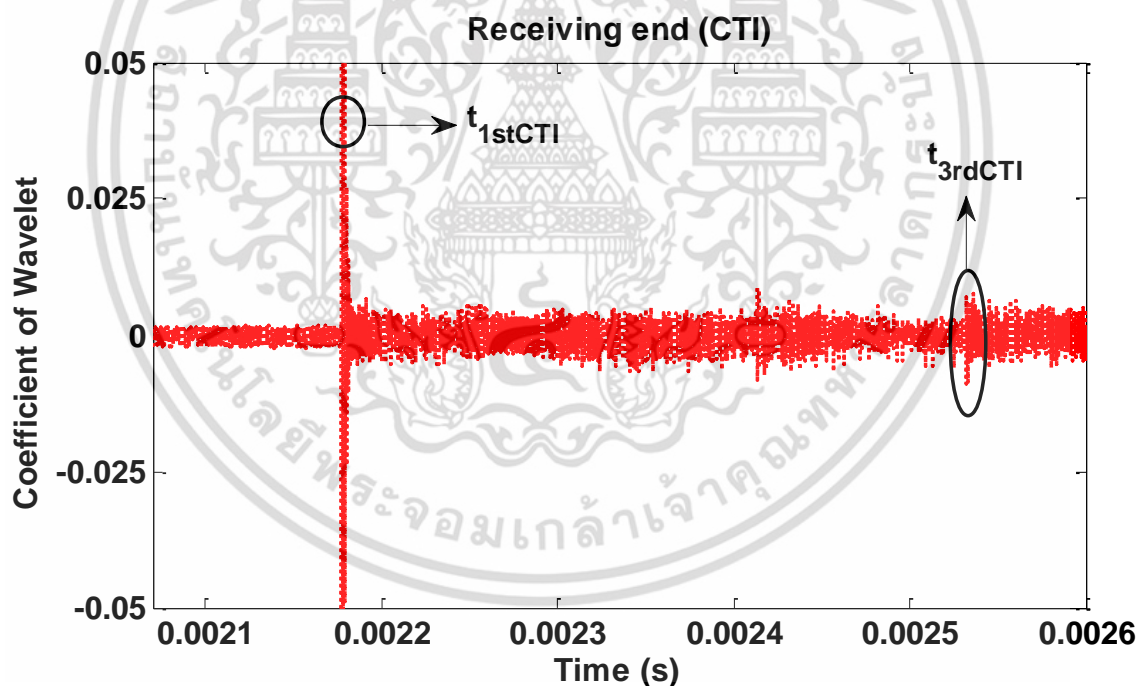
พิจารณาด้านเวลาของขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท

กำหนดให้

แกนนอน	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่น หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท
$t_{1stRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{3rdRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{1stCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีรับ (CTI)
$t_{3rdCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีรับ (CTI)



(ก) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีส่งกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.36 เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปแบบที่ 3.36(ก) พบว่า ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ลำดับที่ 3 และคลื่นสะท้อนจากสถานีรับได้ตามลำดับ ซึ่งหลังจากคลื่นลำดับที่ 1 ไปเกิดคลื่นรบกวน แต่ยังสามารถตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ได้ เนื่องจากขนาดที่เป็นผลจากเปลี่ยนแปลงพลังงานดังกล่าวข้างต้น

พิจารณาด้านสถานีรับในรูปแบบที่ 3.36(ข) พบว่า ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 คลื่นสะท้อนจากสถานีรับ และคลื่นลำดับที่ 3 ได้ตามลำดับ แต่เกิดสัญญาณรบกวนค่อนข้างมาก ทำให้ตรวจจับคลื่นลำดับที่ 3 ยากและไม่ชัดเจน ซึ่งขนาดของคลื่นที่ตรวจจับได้เป็นผลเนื่องจากพลังงานเช่นเดียวกับสถานีส่ง

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า สัญญาณด้านสถานีรับเกิดคลื่นรบกวนมากกว่าสถานีส่ง ส่งผลให้ขนาดการเปลี่ยนแปลงขนาดของคลื่นลำดับที่ 3 ไม่ชัดเจน อีกทั้งค่าเวลาที่ตรวจจับคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ได้มีความแตกต่างเนื่องจากผลของระยะทางดังกล่าวข้างต้น

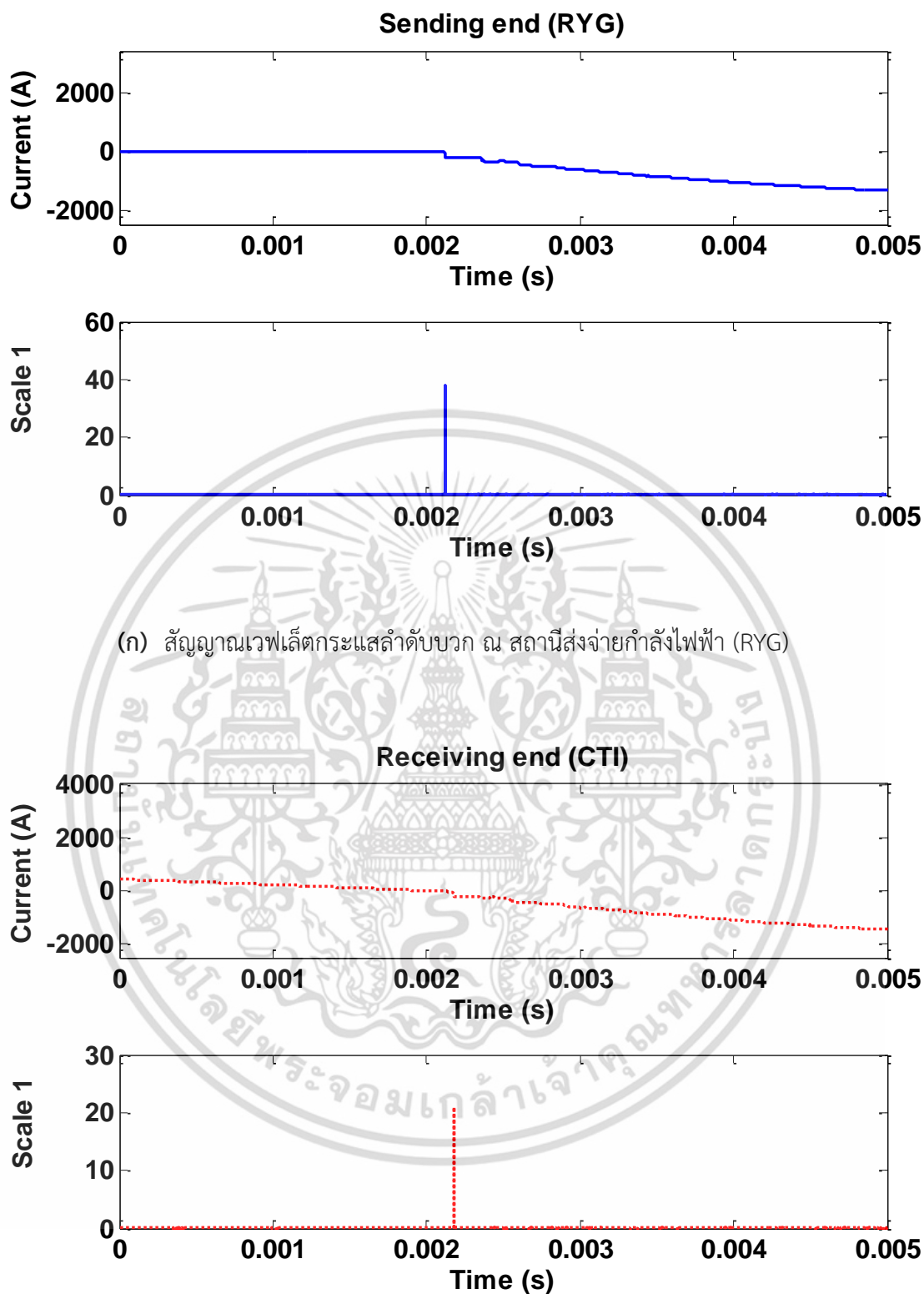
กรณีที่ 2 เกิดฟอลต์ที่เฟส AG มุมแรงดัน 90 องศา โดยเกิดที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

สัญญาณที่แสดงในกรณีนี้ ประกอบด้วยสัญญาณ 2 ชนิด คือ สัญญาณกระแสไฟฟ้าลำดับบวก และสัญญาณเวฟเล็ต โดยสัญญาณทั้งสองเกิดจากการแปลงคาร์กและการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยของสัญญาณกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน ที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 0 องศา เฟส A ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 35.4 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)

พิจารณาด้านขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต

กำหนดให้

รูปบน	แสดงกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ขนาดกระแส หน่วยแอมแปร์
รูปล่าง	แสดงสัญญาณเวฟเล็ตของกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
โดยแกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต



(ข) สัญญาณเวฟเล็ตรกระแสลำดับบวก ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.37 เมื่อเกิดพอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.37(ก) พบว่า กระแสไฟฟ้าลำดับบวกมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในทิศทางลบ เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงขนาดได้ชัดเจนมากขึ้น ทิศทางการเปลี่ยนแปลงขนาดนี้เป็นผลมาจากทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ตรวจวัด ซึ่งมีทั้งด้านบวกและด้านลบดังกล่าวข้างต้น

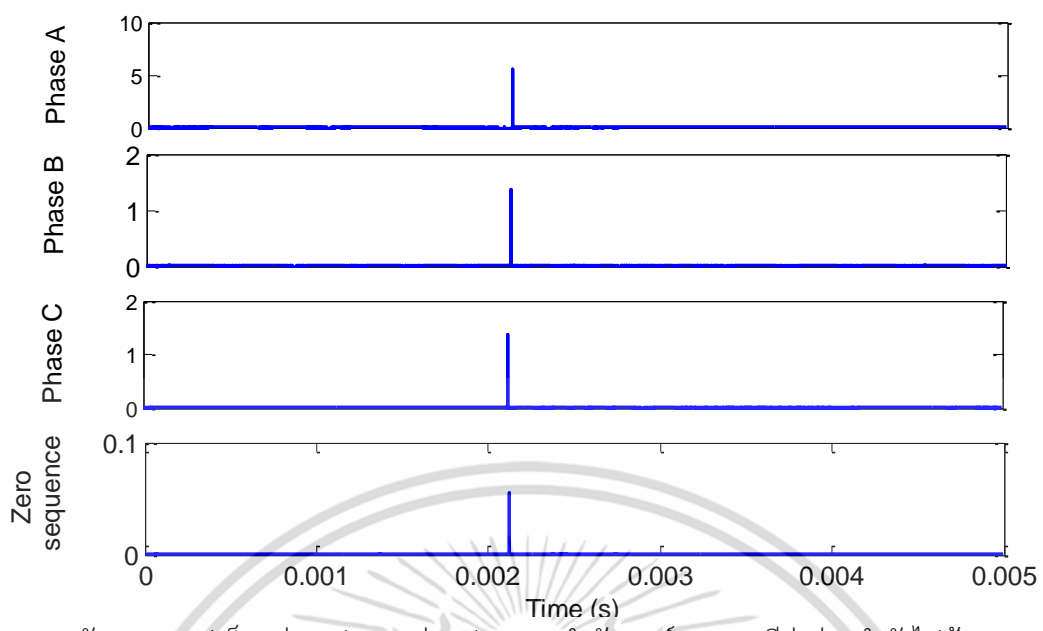
พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.37(ข) พบว่า ลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าลำดับบวกและสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมีแนวโน้มเช่นเดียวกับสถานีส่ง เนื่องจากเหตุผลเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ขนาดการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าด้านสถานีรับน้อยกว่าสถานีส่ง เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์ของสายส่งดังกล่าวข้างต้น

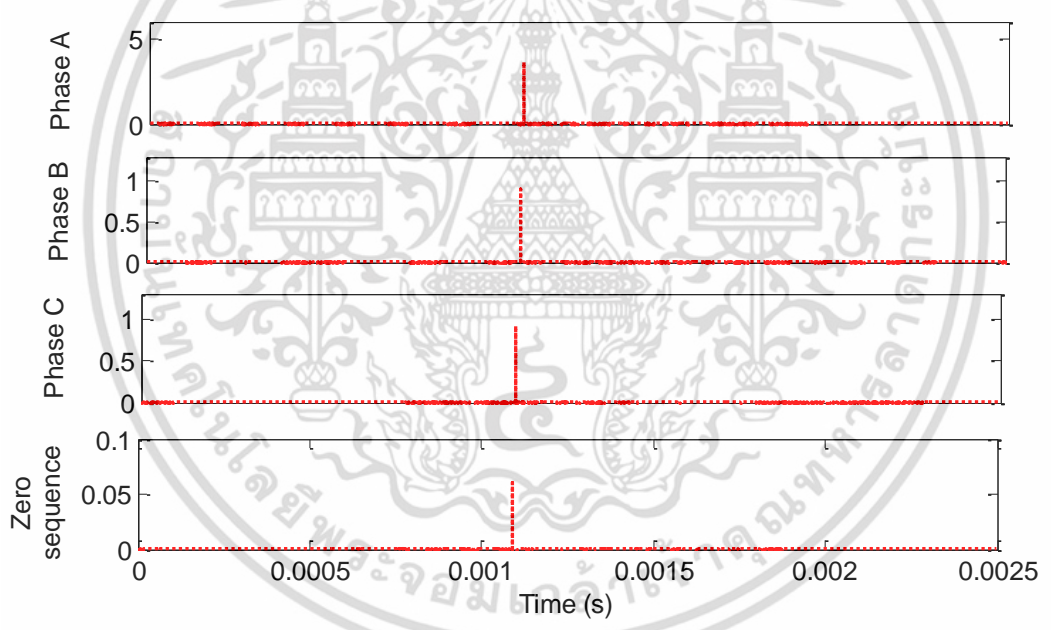
พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.34(ก) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.37(ก) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า มีขนาดการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกัน เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์สายส่งไม่เปลี่ยนแปลง ขนาดกระแสไฟฟ้าจึงควรมีค่าเท่าเดิม แต่การเปลี่ยนแปลงมุมแรงดันมีผลต่อขนาดกระแสไฟฟ้า เนื่องจากมีกระแสไฟฟ้ามี่ลักษณะไซนูซอยด์ ดังนั้นขนาดกระแสไฟฟ้าจึงมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.34(ข) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.37(ข) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสเช่นเดียวกันสถานีส่ง เนื่องจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น

อันดับต่อไปเพื่อศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงขนาดของแต่ละเฟส โดยนำกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง มาแปลงเวฟเล็ทและลักษณะส่วนประกอบลำดับศูนย์ โดยรูปที่ 3.38(ก) แสดงสัญญาณเวฟเล็ทที่ตรวจวัดจากสถานีส่งและรูปที่ 3.38(ข) แสดงสัญญาณเวฟเล็ทที่ตรวจวัดจากสถานีรับ



(ก) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีรับจ่ายกำลังไฟฟ้า (CTI)  
รูปที่ 3.38 เมื่อเกิดฟลลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.38(ก) ซึ่งแสดงสัญญาณแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้า 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีส่งพบว่า ลักษณะสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดคล้ายกับกรณีพอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่มุม 0 องศา ก่อนหน้า โดยเกิดค่าสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดสูงสุดที่เวลาเดียวกันทั้งสามเฟส ค่าสัมประสิทธิ์ของเฟส A มีค่ามากที่สุด ขนาดของเฟส B และเฟส C เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีส่งพบว่า ลักษณะขนาดสัมประสิทธิ์ที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเช่นเดียวกับกรณีพอลต์หนึ่งเฟสลงดินก่อนหน้า คือมีขนาดเกิดขึ้นที่เวลาเดียวกับขนาดสัมประสิทธิ์เฟส A เฟส B และเฟส C แต่มีขนาดน้อยกว่า เนื่องจากผลกระทบของระบบไฟฟ้าไม่สมดุลดังอธิบายไปข้างต้น

พิจารณาเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดด้านสถานีส่งระหว่างรูปที่ 3.35(ก) เมื่อเกิดพอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.38(ก) เมื่อเกิดพอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดทั้งสองกรณีคล้ายคลึงกัน โดยเฟส A มีขนาดมากที่สุด เนื่องจากเฟสดังกล่าวเกิดการลัดวงจร

จากรูปที่ 3.38(ข) ซึ่งแสดงสัญญาณแอมพลิจูดของกระแส 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีรับพบว่า มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับสถานีส่ง โดยที่ขนาดสัมประสิทธิ์สูงสุดทั้งสามเฟสเกิดขึ้นที่เวลาเดียวกันทั้งหมด เวลาที่เกิดขึ้นนี้เท่ากับเวลาที่เริ่มเกิดพอลต์หนึ่งเฟสลงดิน

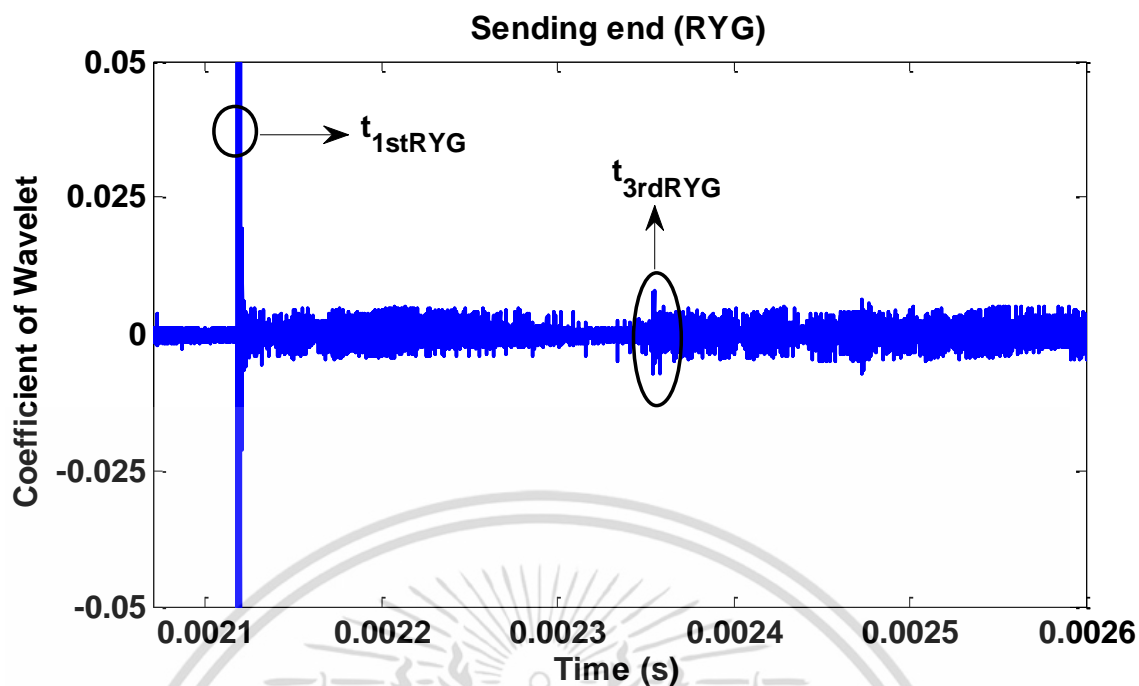
เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีรับพบว่า มีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง คือเกิดขึ้นพร้อมกับสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้าทั้งสามเฟส แต่มีขนาดน้อยกว่า เนื่องจากเหตุผลข้างต้น

พิจารณาเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดด้านสถานีรับระหว่างรูปที่ 3.35(ข) เมื่อเกิดพอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่มุมแรงดัน 0 องศา เฟส A ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.38(ข) เมื่อเกิดพอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่มุมแรงดันของสถานีรับเท่ากับ 90 องศา เฟส A ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งพบว่า มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหมือนกัน คือเฟสที่เกิดพอลต์มีขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดมากที่สุด แต่มีขนาดน้อยกว่าเฟสที่เกิดพอลต์ของกรณีมุมแรงดัน 0 องศา เนื่องจากผลกระทบของมุมแรงดันดังกล่าวไปก่อนหน้า

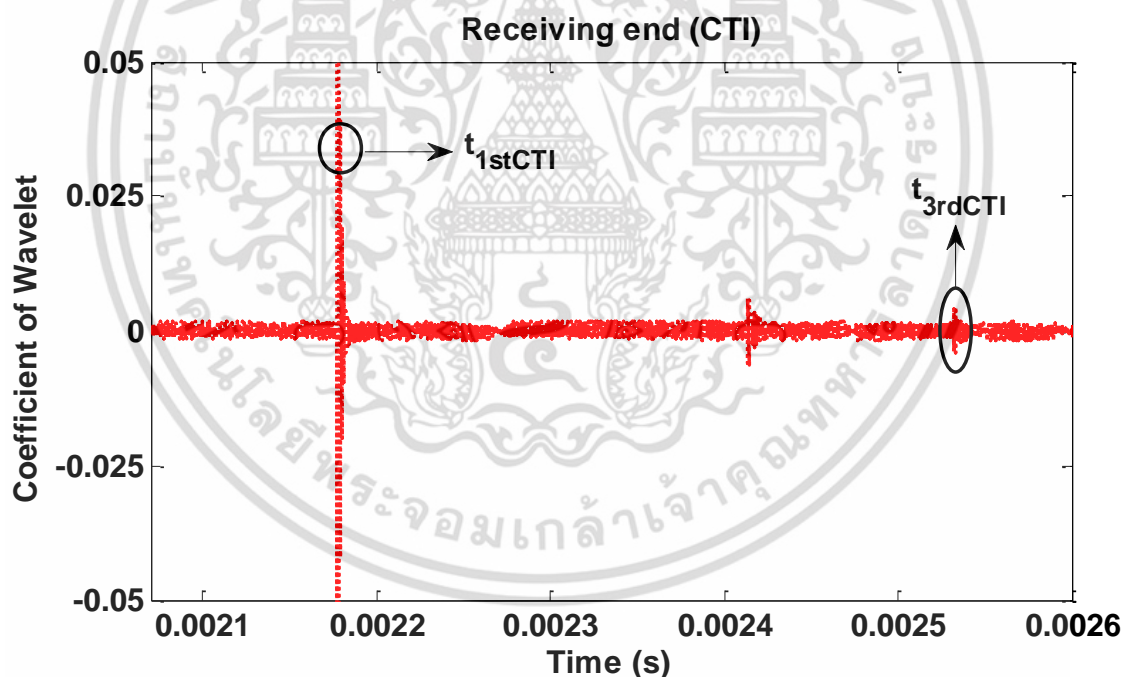
พิจารณาด้านเวลาของขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูด

กำหนดให้

แกนนอน	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่น หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูด
$t_{1stRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{3rdRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{1stCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีรับ (CTI)
$t_{3rdCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีรับ (CTI)



(ก) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีส่งกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.39 เมื่อเกิดฟลลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.39(ก) พบว่า สามารถเห็นขนาดการเปลี่ยนแปลงของคลื่นได้ถึงแม้เกิดคลื่นรบกวนก็ตาม โดยขนาดของคลื่นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานตั้งที่กล่าวไปข้างต้น

พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.39(ข) พบว่า ขนาดการเปลี่ยนแปลงของคลื่นลำดับที่ 1 มีขนาดใหญ่กว่าคลื่นลำดับที่ 3 มาก เนื่องจากผลการเปลี่ยนแปลงพลังงานเช่นเดียวกับสถานีส่ง

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า สถานีด้านรับเกิดคลื่นรบกวนมากกว่าสถานีส่ง โดยคลื่นสะท้อนมีเป็นผลเนื่องจากอุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบไฟฟ้า อีกทั้งค่าเวลาที่ตรวจจับคลื่นได้มีความแตกต่างกัน เนื่องจากระยะทางระหว่างจุดที่เกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินถึงสถานีอ้างอิงแตกต่างกัน

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.36(ก) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.39(ก) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 มีขนาดเท่าเดิมไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากระยะทางระหว่างจุดที่เกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินถึงสถานีส่งไม่เปลี่ยนแปลง เช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่า

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.36(ข) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.39(ข) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า มีลักษณะแนวโน้มเช่นเดียวกับสถานีส่ง เนื่องจากเหตุผลเดียวกัน

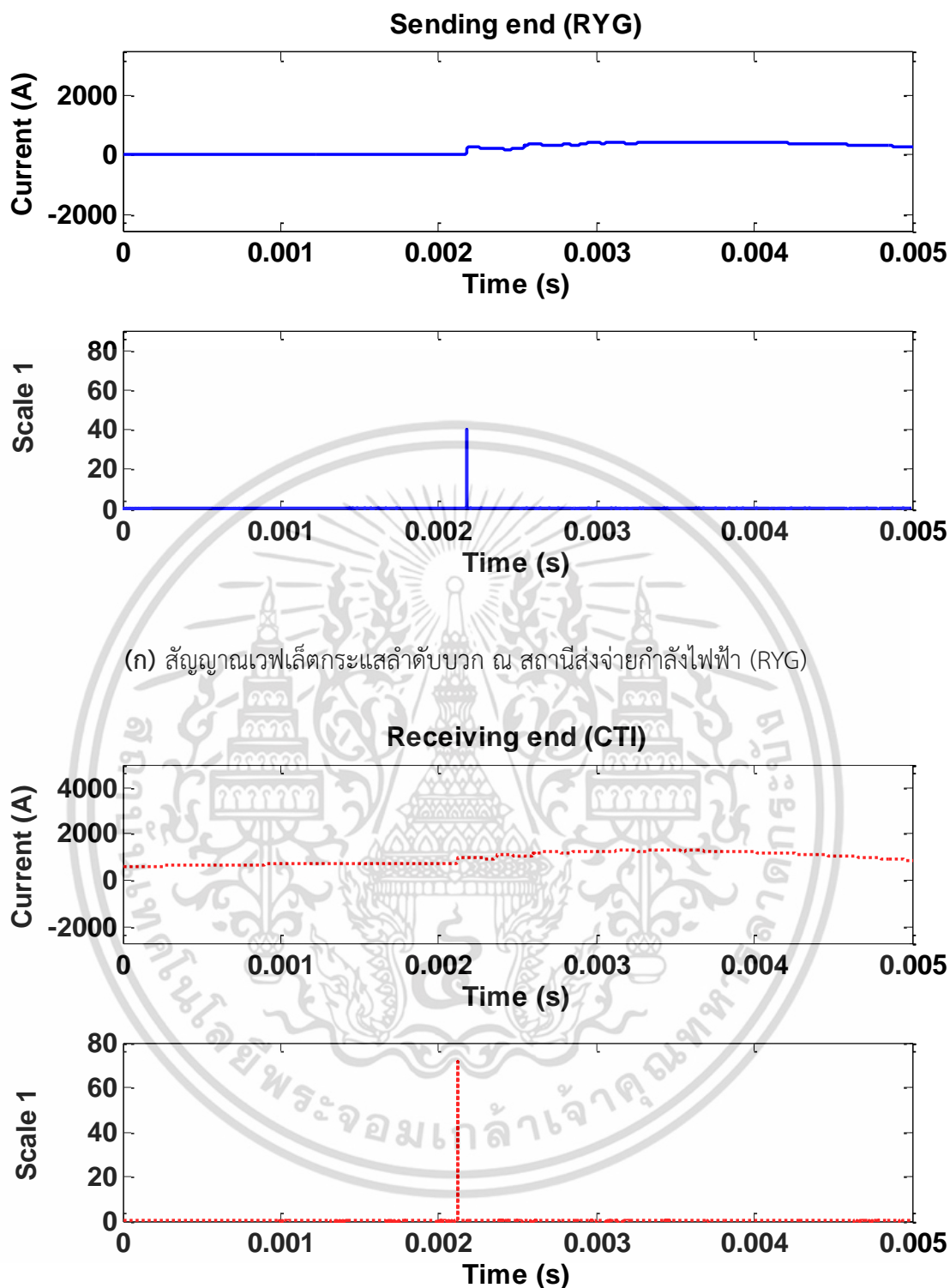
กรณีที่ 3 เกิดฟอลต์ที่เฟส AG มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

สัญญาณที่แสดงในกรณีนี้ ประกอบด้วยสัญญาณ 2 ชนิด คือ สัญญาณกระแสไฟฟ้าลำดับบวกละสัญญาณแวลล์ โดยสัญญาณทั้งสองเกิดจากการแปลงคาร์กและการแปลงแวลล์แบบเต็มหน่วยของสัญญาณกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน ที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 0 องศา เฟส A ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 53.1 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)

พิจารณาด้านขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแวลล์

กำหนดให้

รูปบน	แสดงกระแสไฟฟ้าลำดับบวกล
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ขนาดกระแส หน่วยแอมแปร์
รูปล่าง	แสดงสัญญาณแวลล์ของกระแสไฟฟ้าลำดับบวกล
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ สัมประสิทธิ์การแปลงแวลล์



(ข) สัญญาณเวฟเล็ทกระแสลำดับบวก ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.40 เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.40(ก) พบว่า กระแสไฟฟ้าลำดับบวกมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ในทิศทางบวก หากวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงขนาดได้ชัดเจนมากขึ้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงขนาดสัมประสิทธิ์สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเกี่ยวกับกรณีเกิดฟ้าผ่า

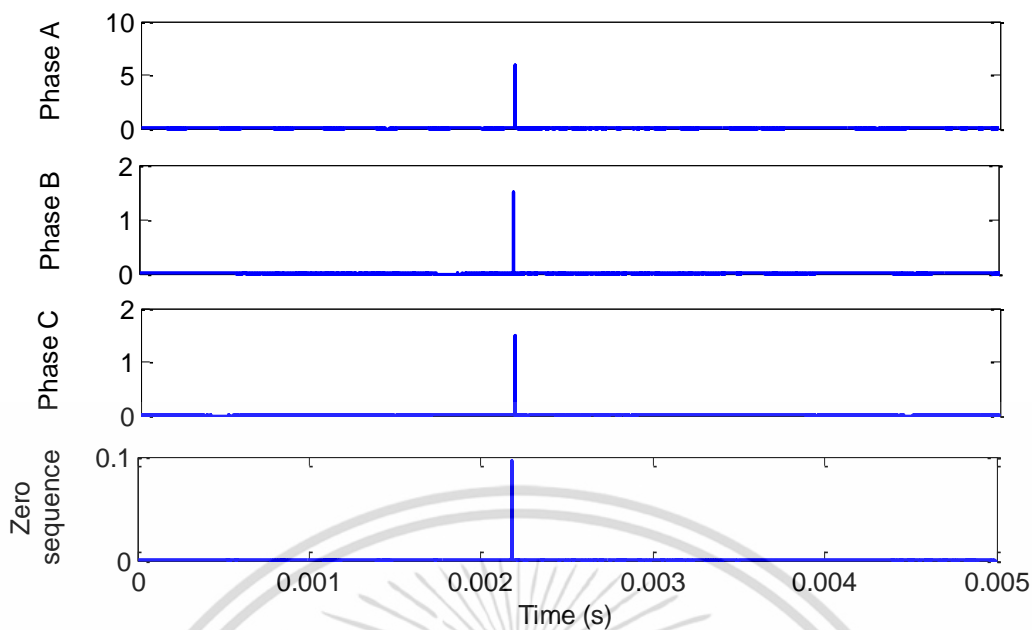
พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.40(ข) พบว่าลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้า ลำดับบวกและสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมีแนวโน้มเช่นเดียวกับสถานีส่งดังกล่าวข้างต้น

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ขนาดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ ด้านสถานีรับมากกว่าสถานีส่ง เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์สายส่งที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้า

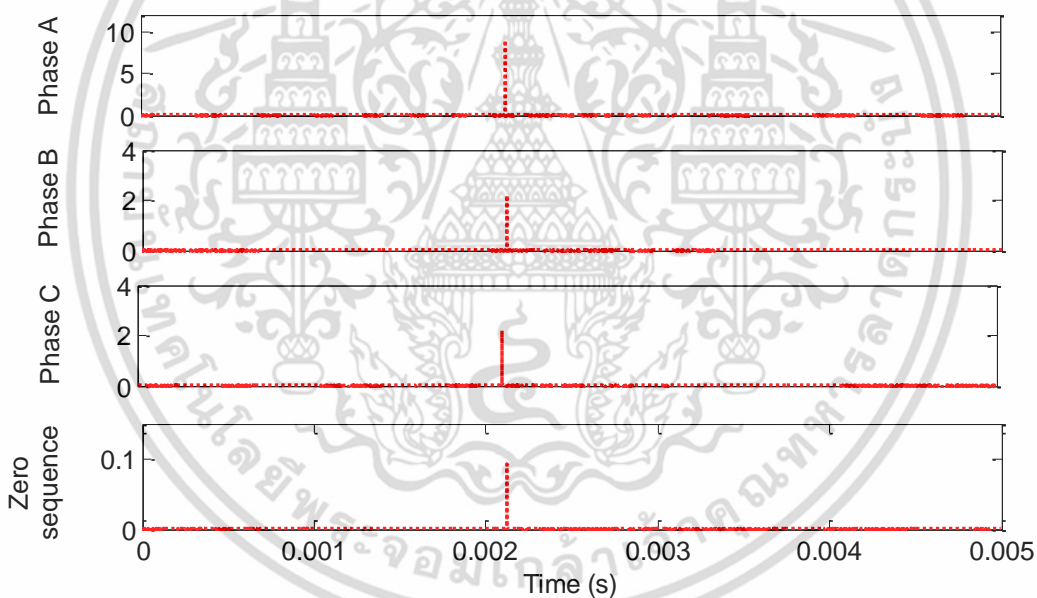
พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.34(ก) เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.40(ก) เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสลดลงเมื่อตำแหน่งที่เกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์ดังกล่าวข้างต้น

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.34(ข) เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.40(ข) เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสเพิ่มขึ้นเมื่อตำแหน่งที่เกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์เช่นเดียวกับสถานีส่ง

เมื่อพิจารณาคูณลักษณะของกระแสลำดับบวกและสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวกแล้ว อันดับต่อไปทำการวิเคราะห์คุณลักษณะสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสไฟฟ้า 3 เฟสและส่วนประกอบ ลำดับศูนย์ เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.41(ก) แสดงสัญญาณเวฟเล็ทที่ตรวจวัดจากสถานีส่งและรูปที่ 3.41(ข) แสดงสัญญาณเวฟเล็ทที่ตรวจวัดจากสถานีรับ



(ก) สัญญาณเวฟเล็ดแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณเวฟเล็ดแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีรับจ่ายกำลังไฟฟ้า (CTI)  
รูปที่ 3.41 เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

จากรูปที่ 3.41(ก) ซึ่งแสดงสัญญาณแอมพลิจูดของกระแส 3 เฟสด้านสถานีส่งพบว่า เกิดค่าสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดสูงสุดที่เวลาเดียวกันทั้งสามเฟส โดยขนาดสัมประสิทธิ์เฟสที่เกิดฟอลต์มากกว่าเฟสที่ไม่เกิดฟอลต์มาก

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีส่งพบว่า เกิดขนาดสัมประสิทธิ์ขึ้นพร้อมกับขนาดสัมประสิทธิ์แต่ละเฟส แต่มีขนาดน้อยกว่าเนื่องจากผลการเปลี่ยนแปลงของระบบไฟฟ้าไม่สมดุล

พิจารณาเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดด้านสถานีส่งระหว่างรูปที่ 3.35(ก) เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่มุมแรงดัน 0 องศา เฟส A ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.41(ก) เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่มุมแรงดันของสถานีส่งเท่ากับ 0 องศา เฟส A ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ทั้งสามเฟสมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเป็นผลเนื่องจากอิมพีแดนซ์ของระยะทางเช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่า

จากรูปที่ 3.41(ข) ซึ่งแสดงสัญญาณแอมพลิจูดของกระแส 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีรับพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดสูงสุดทั้งสามเฟสเกิดขึ้นที่เวลาเดียวกัน แต่ละเฟสมีแนวโน้มเช่นเดียวกับกรณีฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินสองกรณีที่กำลังกล่าวไปก่อนหน้านี้

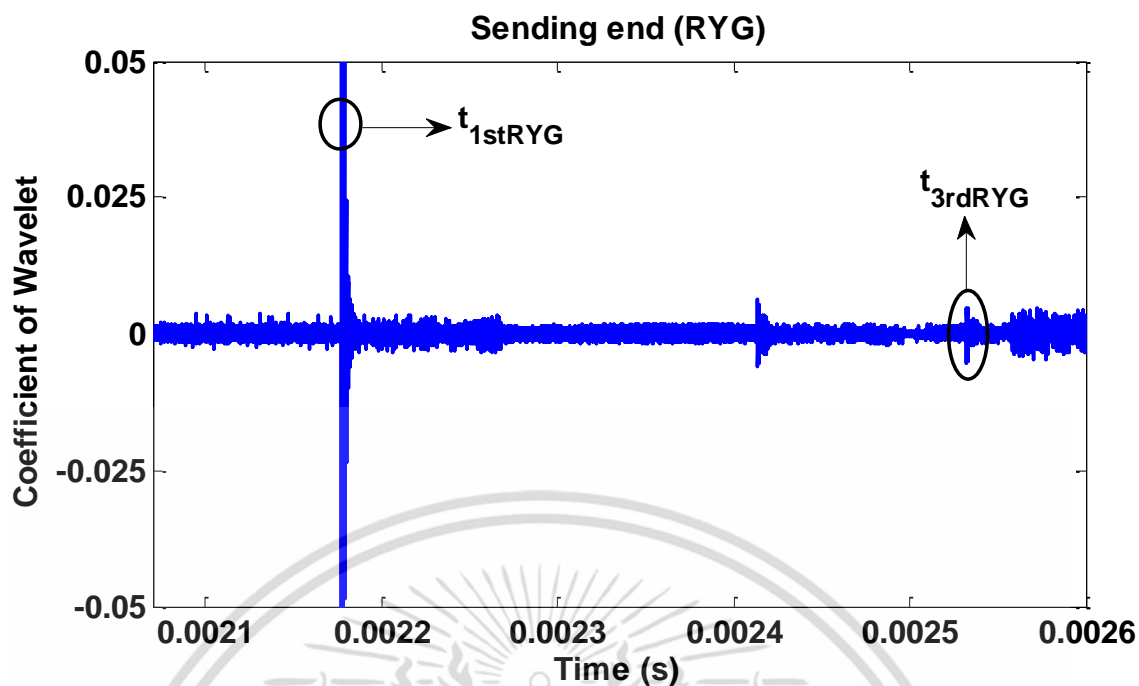
เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีรับพบว่า สัมประสิทธิ์ที่เกิดขึ้นคล้ายกับสถานีส่ง โดยเกิดสัมประสิทธิ์ที่เวลาเดียวกับสัมประสิทธิ์ทั้งสามเฟส เนื่องจากที่เวลาดังกล่าวเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน ระบบไฟฟ้าเกิดความไม่สมดุล มีการลัดวงจรลงดิน ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดของส่วนประกอบลำดับศูนย์มีขนาดเกิดขึ้น

พิจารณาเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดด้านสถานีรับระหว่างรูปที่ 3.35(ข) เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่มุมแรงดัน 0 องศา เฟส A ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.41(ข) เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่มุมแรงดันของสถานีรับเท่ากับ 0 องศา เฟส A ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า ทั้งสองกรณีเกิดขนาดสูงสุดที่เวลาเดียวกัน แต่ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดแต่ละเฟสของฟอลต์ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งมากกว่าขนาดสัมประสิทธิ์ของฟอลต์ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

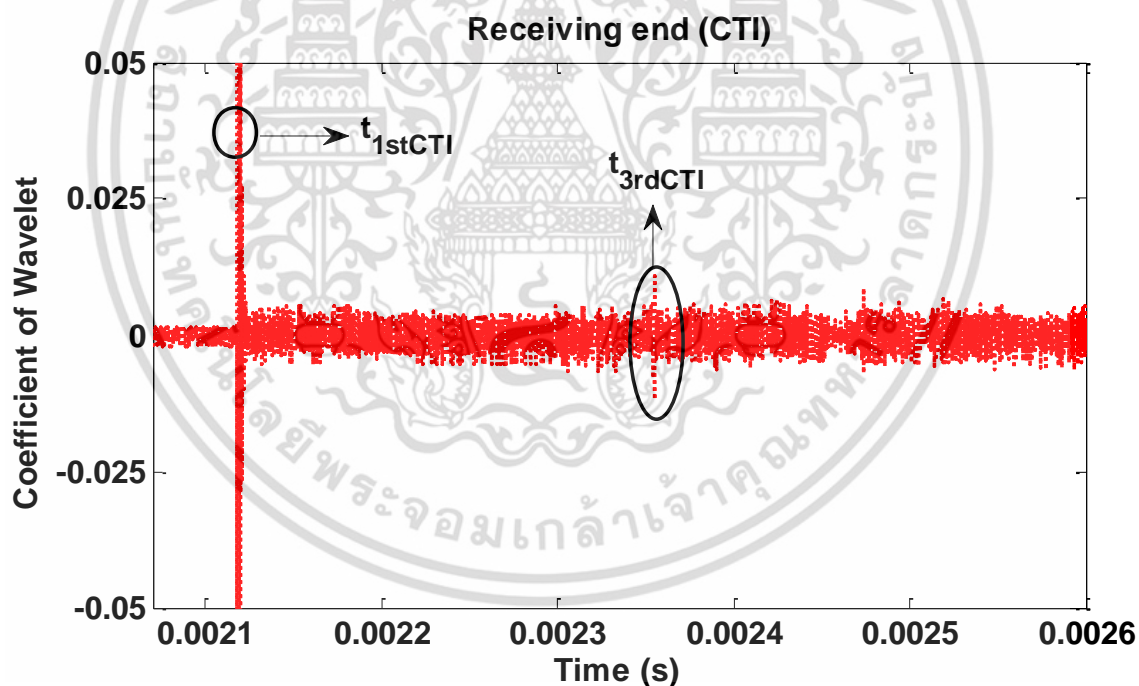
พิจารณาด้านเวลาของขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูด

กำหนดให้

แกนนอน	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่น หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูด
$t_{1stRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{3rdRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{1stCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีรับ (CTI)
$t_{3rdCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีรับ (CTI)



(ก) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีส่งกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.42 เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.42(ก) พบว่า ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 คลื่นสะท้อนและคลื่นลำดับที่ 3 ตามลำดับ อีกทั้งมีคลื่นรบกวนเกิดขึ้นแต่ไม่เป็นผลต่อการตรวจจับคลื่นลำดับต่าง ๆ เนื่องจากขนาดการเปลี่ยนแปลงของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 มีขนาดมากกว่าคลื่นรบกวน ซึ่งขนาดของคลื่นลำดับต่าง ๆ เป็นผลเนื่องจากพลังงานดังกล่าวข้างต้น

พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.42(ข) พบว่า เกิดคลื่นรบกวนค่อนข้างมาก ทำให้การตรวจจับคลื่นลำดับต่าง ๆ ยาก สามารถตรวจจับคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 เท่านั้น ไม่พบคลื่นสะท้อนจากสถานีส่ง เนื่องจากพลังงานที่หลงเหลือจากการสะท้อนของคลื่นลำดับที่ 1 จากสถานีส่งมีไม่มากพอที่จะสะท้อนมายังสถานีรับ

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ค่าเวลาที่ตรวจจับคลื่นลำดับต่าง ๆ แตกต่างกัน เนื่องจากระยะทางแตกต่างกัน

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.36(ก) เมื่อเกิดพอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.42(ก) เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง พบว่า เวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลง โดยค่าเวลาของคลื่นลำดับต่าง ๆ มีการสลับกันระหว่างสถานีส่งและสถานีรับเช่นเดียวกันกรณีฟ้าผ่า โดยมีสาเหตุมาจากระยะทางเช่นเดียวกัน

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.36(ข) เมื่อเกิดพอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.42(ข) เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง พบว่า เวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับสถานีส่ง สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันข้างต้น

ตารางที่ 3.14 และตารางที่ 3.15 แสดงขนาดและเวลาที่เกิดค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทที่ตรวจวัดได้จากสถานีส่งและสถานีรับ เมื่อเกิดฟ้าผ่าโดยตารางที่ 3.14 แสดงข้อมูลที่ได้จากสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวก ตารางที่ 3.15 แสดงข้อมูลของสัญญาณเวฟเล็ทจากกระแสไฟฟ้า 3 เฟสละส่วนประกอบลำดับศูนย์

ตารางที่ 3.14 สัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวก เมื่อเกิดพอลต์หนึ่งเฟสลงดิน

ตำแหน่งความยาวสายส่ง	เฟสที่เกิด	มุมแรงดัน	สัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวก			
			สถานีส่ง (RYG)		สถานีรับ (CTI)	
			ขนาด	เวลา (วินาที)	ขนาด	เวลา (วินาที)
40%	AG	0	13.2708	0.002118	8.832	0.002177
40%	AG	90	8.1842	0.002118	5.4584	0.002177
60%	AG	0	8.8614	0.002177	13.2725	0.002118

จากตารางที่ 3.14 แสดงขนาดและเวลาเมื่อสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสูงสุดของกระแสลำดับบวกของกรณีพอลต์หนึ่งเฟสลงดินข้างต้น เมื่อพิจารณาด้านเวลาพบว่า เวลาที่เกิดค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดมีลักษณะเดียวกับกรณีฟ้าผ่าก่อนหน้า เนื่องจากระยะทางระหว่างจุดที่เกิดฟ้าผ่าและพอลต์ถึงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานีอ้างอิงเท่าเดิม คลื่นเคลื่อนที่ไปตามสายส่งด้วยความเร็วเท่าเดิม เนื่องจากความเร็วของคลื่นแปรตามคุณลักษณะสายส่ง ดังนั้นเมื่อระยะทางและความเร็วเท่าเดิม คลื่นจึงเดินทางมายังปลายสายด้วยระยะเวลาคงเดิม

ตารางที่ 3.15 สัญญาณเวฟเล็ทของกระแส 3 เฟส เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน

สัญญาณเวฟเล็ทด้านสถานีส่ง (RYG)					
ตำแหน่งความยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กระแสลำดับศูนย์
40%	0	8.8806	2.2321	2.2195	0.1111
40%	90	5.4707	1.3709	1.3830	0.0701
60%	0	5.9283	1.4941	1.4793	0.0982
สัญญาณเวฟเล็ทด้านสถานีรับ (CTI)					
ตำแหน่งความยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กระแสลำดับศูนย์
40%	0	5.9171	1.4766	1.4804	0.1023
40%	90	3.6516	0.9132	0.9203	0.0616
60%	0	8.8922	2.2200	2.2232	0.1094

ตารางที่ 3.15 แสดงขนาดและเวลาที่เกิดค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสูงสุดในแต่ละเฟส เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน โดยมีมุมแรงดันและตำแหน่งเปลี่ยนแปลง

จากตารางดังกล่าวพบว่า มีขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเกิดขึ้นทุกเฟส โดยเฟสที่เกิดฟอลต์เกิดขนาดสัมประสิทธิ์สูงกว่าเฟสอื่น ๆ พิจารณาด้านขนาดเมื่อมุมแรงดันพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ขึ้นอยู่กับมุมแรงดัน โดยเมื่อมุมแรงดันเปลี่ยนแปลง ขนาดสัมประสิทธิ์แต่ละเฟสมีขนาดเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาขนาด โดยตำแหน่งที่เกิดฟอลต์เปลี่ยนแปลงพบว่า เมื่อตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ไกลจากสถานีส่ง ขนาดสัมประสิทธิ์แต่ละเฟสลดลง ดังนั้นตำแหน่งฟอลต์มีผลต่อขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเช่นกัน

เมื่อพิจารณาขนาดของส่วนประกอบลำดับศูนย์ที่ผ่านการแปลงเวฟเล็ทพบว่า การพิจารณาจากรูป 3.42-3.48 ก่อนหน้านี้ไม่เห็นขนาดสัมประสิทธิ์ของส่วนประกอบลำดับศูนย์ แต่เมื่อพิจารณาเชิงตัวเลขจากตารางที่ 3.15 พบว่า มีสัมประสิทธิ์ของส่วนประกอบลำดับศูนย์เกิดขึ้น ณ เวลาที่เกิดฟอลต์ แต่มีขนาดน้อยมากเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแต่ละเฟส การเปลี่ยนแปลงมุมแรงดันและตำแหน่งฟอลต์มีผลต่อขนาดสัมประสิทธิ์ของส่วนประกอบลำดับศูนย์ไม่มาก เนื่องจากมีขนาดน้อย

ตารางที่ 3.16 เวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน

ตำแหน่งความยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	สถานีส่ง (RYG)		สถานีรับ (CTI)	
		t1st (วินาที)	t3rd (วินาที)	t1st (วินาที)	t3rd (วินาที)
40%	0	0.002118	0.002355	0.002177	0.002533
40%	90	0.002118	0.002355	0.002177	0.002532
60%	0	0.002177	0.002532	0.002118	0.002355

ตารางที่ 3.16 แสดงคุณลักษณะของคลื่นเดินทางลำดับต่าง ๆ เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินทั้ง 3 กรณีที่กล่าวไป ผลจากตารางดังกล่าวเห็นได้ว่า ค่าเวลาที่คลื่นเดินทางในสายส่งแปรตามระยะทาง เช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่าและเวลาของความผิดปกติทั้งสองเท่ากัน โดยที่ระยะทางเท่าเดิมเวลาของคลื่นที่ตรวจจับได้เท่าเดิม แม้มุมแรงดันที่เกิดความผิดปกติเปลี่ยนแปลงก็ตาม

จากลักษณะดังกล่าวข้างต้นเห็นได้ว่า ลักษณะสัญญาณเวฟเล็ตของกระแสลำดับบวกและสัญญาณเวฟเล็ตของกระแสไฟฟ้า 3 เฟสมีคุณลักษณะเหมือนกัน ดังนั้นเพื่อลดจำนวนตัวแปรศึกษาอันดับต่อไปจึงทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตและตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ต่าง ๆ ซึ่งสัญญาณเวฟเล็ตที่แสดงคือสัญญาณเวฟเล็ตจากกระแสไฟฟ้าลำดับบวกเมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน มุม 0 องศา เฟส AG ที่ตำแหน่ง 10%-90% ของความยาวสายส่ง

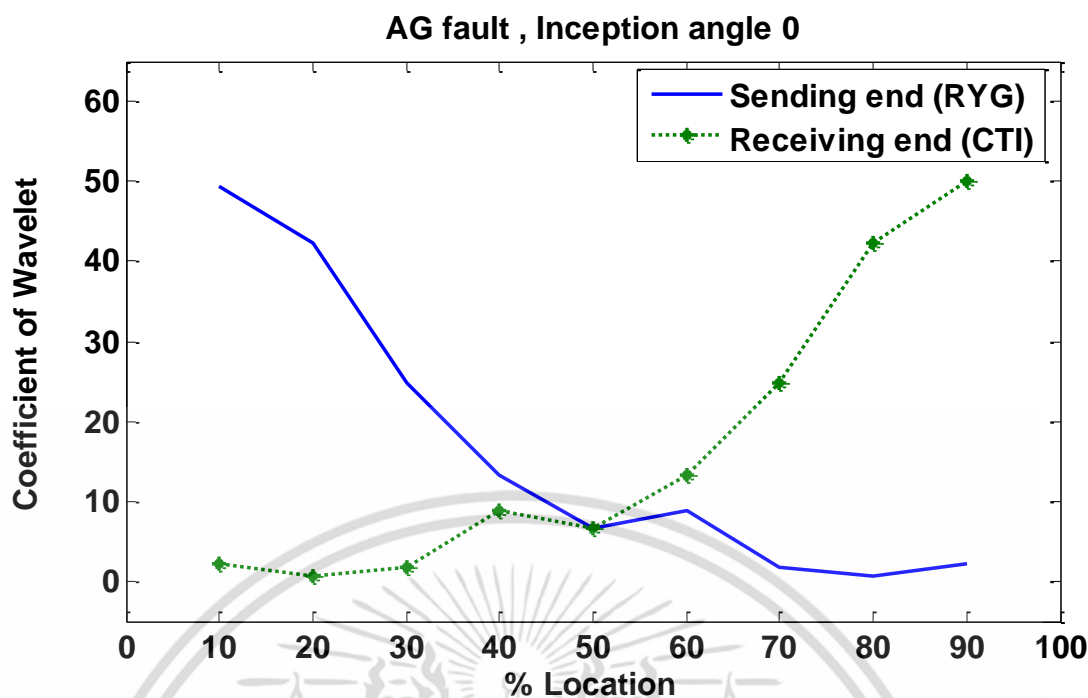
กำหนดให้

กราฟ — แสดงสัญญาณเวฟเล็ตที่ตรวจวัดได้จากสถานีส่ง

กราฟ - - - แสดงสัญญาณเวฟเล็ตที่ตรวจวัดได้จากสถานีรับ

แกนนอน คือ % ตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่า

แกนตั้ง คือ สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของสัญญาณเวฟเล็ต



รูปที่ 3.43 สัญญาณเวฟเล็ตของฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน เมื่อตำแหน่งเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 3.43 พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระหว่างสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตและตำแหน่งที่เกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินเช่นเดียวกับกรณียกตัวอย่างฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่ตำแหน่ง 40% และ 60% ของความยาวสายส่ง เนื่องจากเหตุผลเดียวกัน

พิจารณาด้านสถานีรับ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระหว่างสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตและตำแหน่งที่เกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินเช่นเดียวกับกรณียกตัวอย่างฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่ 40% และ 60% ของความยาวสายส่ง เนื่องจากเหตุผลที่กล่าวไปข้างต้น

เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตระหว่างฟาร์มและฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกรณีฟาร์มมีค่ามากกว่า เนื่องจากมีรุนแรงมีการเกิดมากกว่า ส่งผลให้ขนาดกระแสไฟฟ้า 3 เฟสมาก ดังนั้นกระแสไฟฟ้าลำดับบวกและค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตจึงมีค่ามากตาม เนื่องจากมีต้นกำเนิดเดียวกัน

เมื่อพิจารณาสัญญาณเวฟเล็ตเมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน มุมแรงดัน 0-330 องศา ที่ตำแหน่ง 10 % ของความยาวสายส่ง

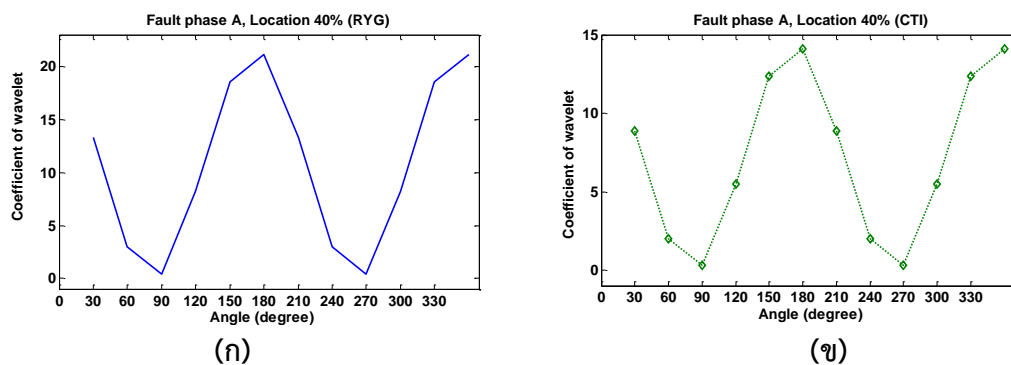
กำหนดให้

กราฟ — แสดงสัญญาณเวฟเล็ตที่ตรวจวัดได้จากสถานีส่ง

กราฟ - - ◆ แสดงสัญญาณเวฟเล็ตที่ตรวจวัดได้จากสถานีรับ

แกนนอน คือ มุมแรงดัน

แกนตั้ง คือ สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของสัญญาณเวฟเล็ต



รูปที่ 3.44 สัญญาณเวฟเล็ตของฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน เมื่อมุมแรงดันเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 3.44 พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า แนวนอนระหว่างสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตและมุมแรงดันมีลักษณะเป็นไซน์ซอไซด์ เนื่องจากสัญญาณกระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงเป็นคาบ ด้านบวกและด้านลบ และเมื่อเปลี่ยนแปลงครบรอบ 0-330 องศา ส่งผลให้กลับมาที่จุดเริ่มเช่นเดิม เช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่า แต่มีขนาดน้อยกว่าดังอธิบายไปข้างต้น

พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า แนวนอนการเปลี่ยนแปลงมีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง เนื่องจากหลักการและเหตุผลเดียวกัน

อันดับต่อไปทำการศึกษาแนวนอนค่าเวลาที่เกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของสถานีส่งและสถานีรับ เมื่อเกิดฟ้าผ่า มุม 0 องศา เฟส A ที่ตำแหน่ง 10%-90% ของความยาวสายส่ง

ตารางที่ 3.17 เวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ของฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน เมื่อตำแหน่งเปลี่ยนแปลง

ตำแหน่งความยาวสายส่ง	สถานีส่ง (RYG)		สถานีรับ (CTI)	
	t1st (วินาที)	t3rd (วินาที)	t1st (วินาที)	t3rd (วินาที)
10%	0.002029	0.002088	0.002266	0.002799
20%	0.002059	0.002177	0.002236	0.002711
30%	0.002088	0.002265	0.002207	0.002622
40%	0.002118	0.002355	0.002177	0.002533
50%	0.002148	0.002444	0.002148	0.002444
60%	0.002177	0.002532	0.002118	0.002355
70%	0.002207	0.002621	0.002088	0.002265
80%	0.002236	0.002710	0.002059	0.002177
90%	0.002266	0.002883	0.002029	0.002088

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.17 แสดงค่าเวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ของสถานีส่งและสถานีรับ โดยเกิดที่มุมแรงดันคงที่ที่ 0 องศา ตำแหน่งพอลต์หนึ่งเฟสลงดินเปลี่ยนแปลง 10%-90% ของความยาวสายส่งอ้างอิงด้านสถานีส่ง

เมื่อพิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า เวลาที่ตรวจพบคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 น้อยกว่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 เสมอนั้นหมายถึง คลื่นลำดับที่ 1 เดินทางมาถึงปลายสถานีตรวจวัดก่อนคลื่นลำดับที่ 3 เสมอและเมื่อตำแหน่งพอลต์เกิดไกลสถานีส่งออกไป ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังเช่น เมื่อตำแหน่งพอลต์เปลี่ยนจาก 10% เป็น 90% ของความยาวสายส่ง เวลาที่ตรวจวัดคลื่นด้านสถานีส่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาด้านสถานีรับพบว่า ค่าเวลาของคลื่นจะมีแนวโน้มตรงข้ามกับสถานีส่ง เนื่องจากตำแหน่งที่เกิดพอลต์อ้างอิงด้านสถานีส่ง ตำแหน่งพอลต์ที่เพิ่มขึ้นเปรียบเสมือนระยะทางระหว่างจุดเกิดพอลต์ถึงสถานีรับลดลง ดังนั้นเวลาที่ตรวจพบคลื่นทั้งสองจึงเร็วขึ้นและที่ตำแหน่งพอลต์ 50% ของความยาวสายส่ง ระยะทางระหว่างจุดที่เกิดพอลต์ถึงสถานีส่งและสถานีรับเท่ากัน ดังนั้นจึงตรวจพบคลื่นด้วยเวลาที่เท่ากัน

### 3.3.3 พอลต์ระหว่างเฟส

เพื่อทำการศึกษาคูณลักษณะของกระแสเมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟส จึงทำการยกตัวอย่าง 3 กรณีศึกษาคือ

- กรณีที่ 1 เกิดพอลต์ที่เฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดพอลต์ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง
- กรณีที่ 2 เกิดพอลต์ที่เฟส AB มุมแรงดัน 90 องศา โดยเกิดพอลต์ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง
- กรณีที่ 3 เกิดพอลต์ที่เฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดพอลต์ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวส่ง

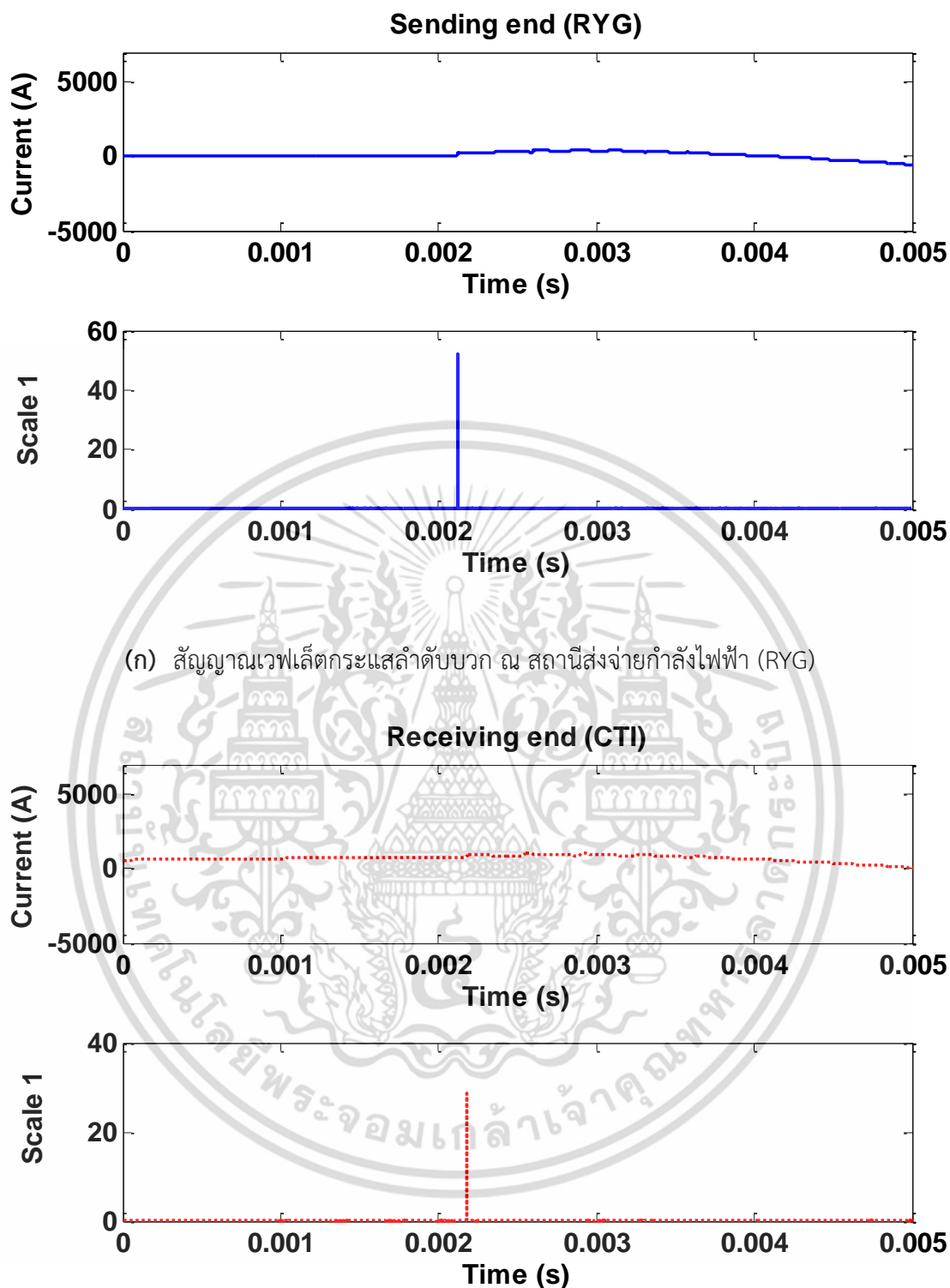
กรณีที่ 1 เกิดพอลต์ที่เฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

สัญญาณที่แสดงในกรณีนี้ ประกอบด้วยสัญญาณ 2 ชนิด คือ สัญญาณกระแสไฟฟ้าลำดับบวก และสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวก โดยสัญญาณทั้งสองเกิดจากการแปลงคาร์กและการแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วยของสัญญาณกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟส ที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 0 องศา เฟส A และเฟส B ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 35.4 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)

พิจารณาด้านขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท

กำหนดให้

- รูปบน แสดงกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
- แกนนอน คือ เวลา หน่วยวินาที
- แกนตั้ง คือ ขนาดกระแส หน่วยแอมแปร์
- รูปล่าง แสดงสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
- แกนนอน คือ เวลา หน่วยวินาที
- แกนตั้ง คือ สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท



(ก) สัญญาณแวลต์กระแสลำดับบวก ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)

(ข) สัญญาณแวลต์กระแสลำดับบวก ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

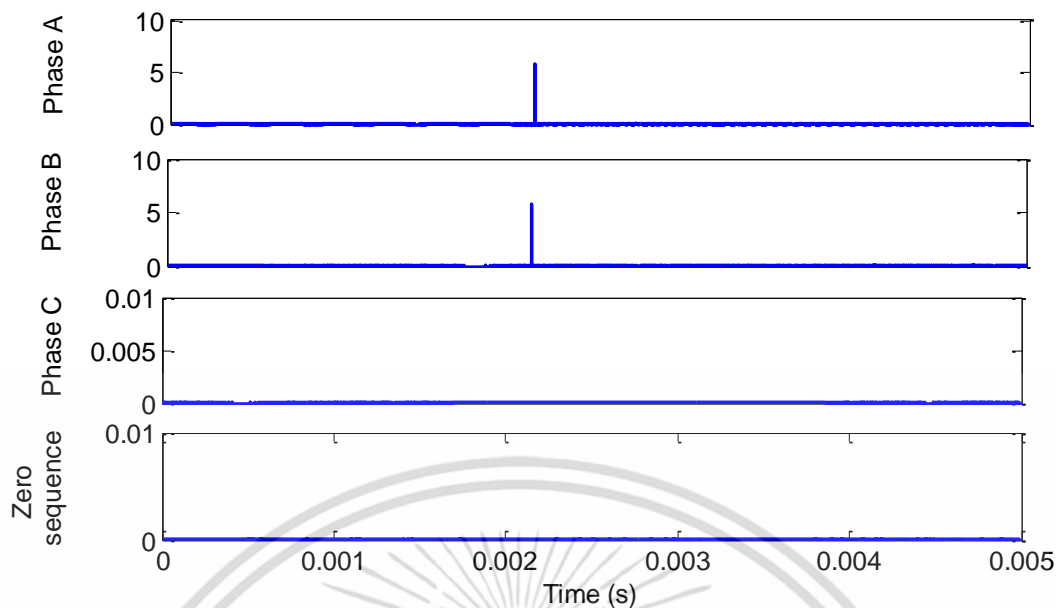
รูปที่ 3.45 เมื่อเกิดฟลัดระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.45(ก) พบว่า กระแสไฟฟาลำดับบวก ณ เวลาที่เกิดฟอลต์ระหว่างเฟส มีลักษณะการเพิ่มขึ้นที่คืบคลานเช่นเดียวกับกรณีฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ แต่ไม่ชัดเจนเท่าการสังเกตการเปลี่ยนแปลงด้วยสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต โดยทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสนี้เป็นผลเนื่องจากกระแสไฟฟ้ามีลักษณะไขว้ขอยด์เช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่าและกรณีฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน

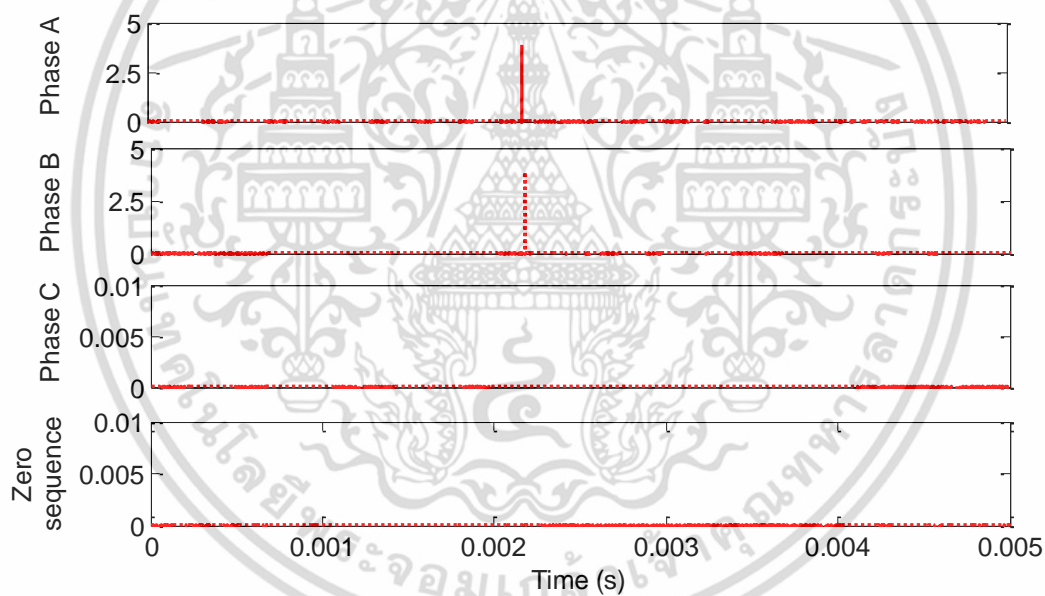
พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.45(ข) พบว่า กระแสไฟฟาลำดับบวกมีลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับด้านสถานีส่ง เนื่องจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ขนาดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกระแสไฟฟ้าด้านสถานีรับน้อยกว่าสถานีส่ง เนื่องจากผลของความแตกต่างระหว่างระยะทางจุดที่เกิดฟอลต์ถึงสถานีตรวจวัด ส่งผลต่ออิมพีแดนซ์สายส่งเช่นเดียวกับกรณีเกิดฟ้าผ่าและฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน

จากข้างต้นได้ทำการแสดงคุณลักษณะของกระแสลำดับบวกและสัญญาณเวฟเล็ตของกระแสลำดับบวก เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสขึ้นที่เฟส A และเฟส B โดยมุมแรงดันของสถานีรับเท่ากับ 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งแล้วพบว่า สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตสูงสุด เกิดขึ้นสอดคล้องกับขนาดการเพิ่มขึ้นมากที่สุดของกระแสลำดับบวก ขนาดสูงสุดของสัญญาณทั้งสองเกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน อันดับต่อไปทำการศึกษานามสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแต่ละเฟสและขนาดสัมประสิทธิ์ของส่วนประกอบลำดับศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 3.46(ก) แสดงสัญญาณเวฟเล็ตที่ตรวจวัดจากสถานีส่งและรูปที่ 3.46(ข) แสดงสัญญาณเวฟเล็ตที่ตรวจวัดจากสถานีรับ



(ก) สัญญาณเวฟเล็ิตแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณเวฟเล็ิตแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีรับจ่ายกำลังไฟฟ้า (CTI)  
รูปที่ 3.46 เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.46(ก) ซึ่งแสดงสัญญาณแอมพลิจูดของกระแส 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีส่งพบว่า เนื่องจากกรณีดังกล่าวเกิดฟอลต์พร้อมกันจำนวน 2 เฟส คือเฟส A และเฟส B ดังนั้นขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดจึงมีค่ามากที่สุดทั้งสองเฟสที่เกิดฟอลต์นี้ เฟส C ไม่ได้เกิดฟอลต์จึงมีขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดน้อยเมื่อเทียบกับเฟส A และเฟส B

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีส่งพบว่า กรณีฟอลต์ดังกล่าวนี้ไม่เกิดส่วนประกอบลำดับศูนย์ เนื่องจาก กรณีดังกล่าวเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟสของสายไฟฟ้า โดยไม่มีการเส้นทางการลัดวงจรกระแสลงสู่ดิน กระแสฟอลต์ที่เกิดขึ้นไหลวนอยู่ภายในระบบเท่านั้น ดังนั้นจึงไม่เกิดขนาดสัมประสิทธิ์ลำดับศูนย์

เมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 3.46 แสดงสัญญาณแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้า 3 เฟสและรูปที่ 3.10 กระแสไฟฟ้า 3 เฟสเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสที่เฟส A และเฟส B มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง พบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณทั้งสองเหมือนกัน คือเฟส A และเฟส B เห็นการเปลี่ยนแปลงชัดเจนมากกว่าเฟส C แต่ไม่สามารถตรวจวัดค่าเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าเนื่องจากฟอลต์ได้ เนื่องจากกระแสมีการเปลี่ยนแปลงแบบไซน์ซอซด์ ดังกล่าวไปก่อนหน้านี้ แต่สัญญาณแอมพลิจูดทำการพิจารณาเฉพาะช่วงความถี่สูงเท่านั้น ไม่พิจารณาช่วงความถี่ต่ำของการส่งจ่ายไฟฟ้าปกติ ดังนั้นจึงสามารถตรวจวัดขนาดและเวลาที่เกิดการเพิ่มขึ้นของกระแสฟอลต์

จากรูปที่ 3.46(ข) แสดงสัญญาณแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้า 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีรับพบว่า มีแนวโน้มเช่นเดียวกับสถานีส่ง เนื่องจากหลักการและเหตุผลเดียวกัน

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีรับพบว่า มีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง คือแม้เกิดฟอลต์ขึ้นภายในระบบไฟฟ้า ส่วนประกอบลำดับศูนย์ไม่มีขนาดสัมประสิทธิ์ขึ้น เนื่องจากเหตุผลข้างต้น

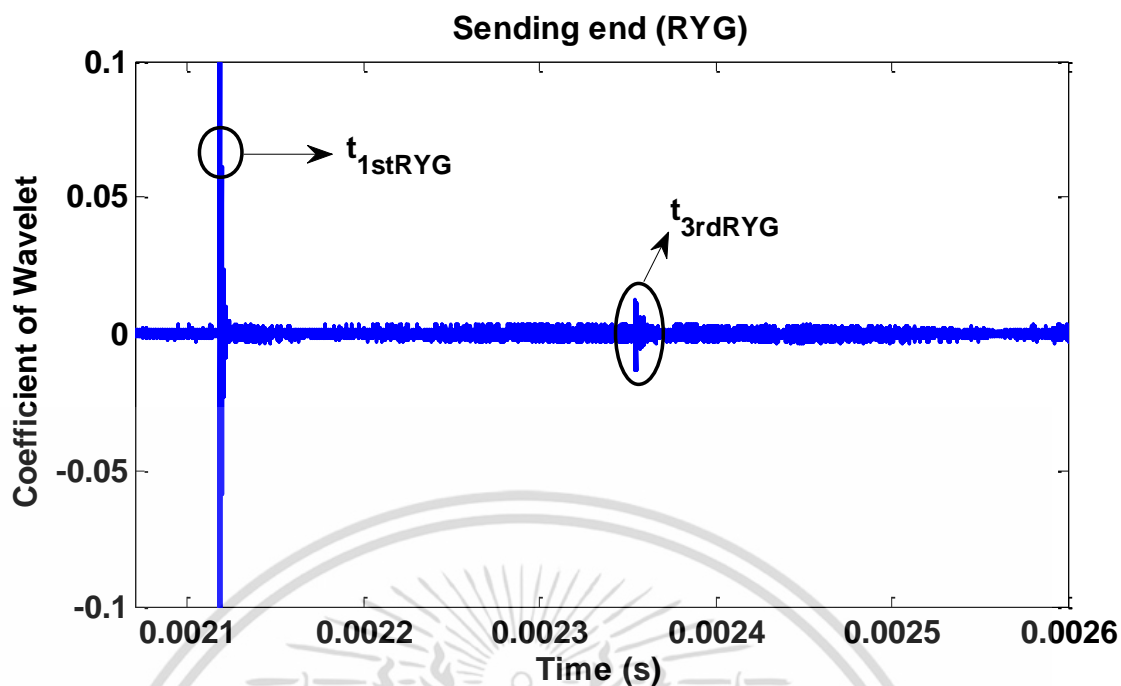
เมื่อเปรียบเทียบสัญญาณแอมพลิจูดทั้งสามเฟสระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดด้านสถานีรับน้อยกว่าสถานีส่งเช่นเดียวกับฟอลต์ที่อธิบายไปก่อนหน้านี้ ซึ่งขนาดที่น้อยกว่าเป็นผลเนื่องจากความแตกต่างของอิมพีแดนซ์ระหว่างสถานีทั้งสอง ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าและขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลง

พิจารณาด้านเวลาของขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูด

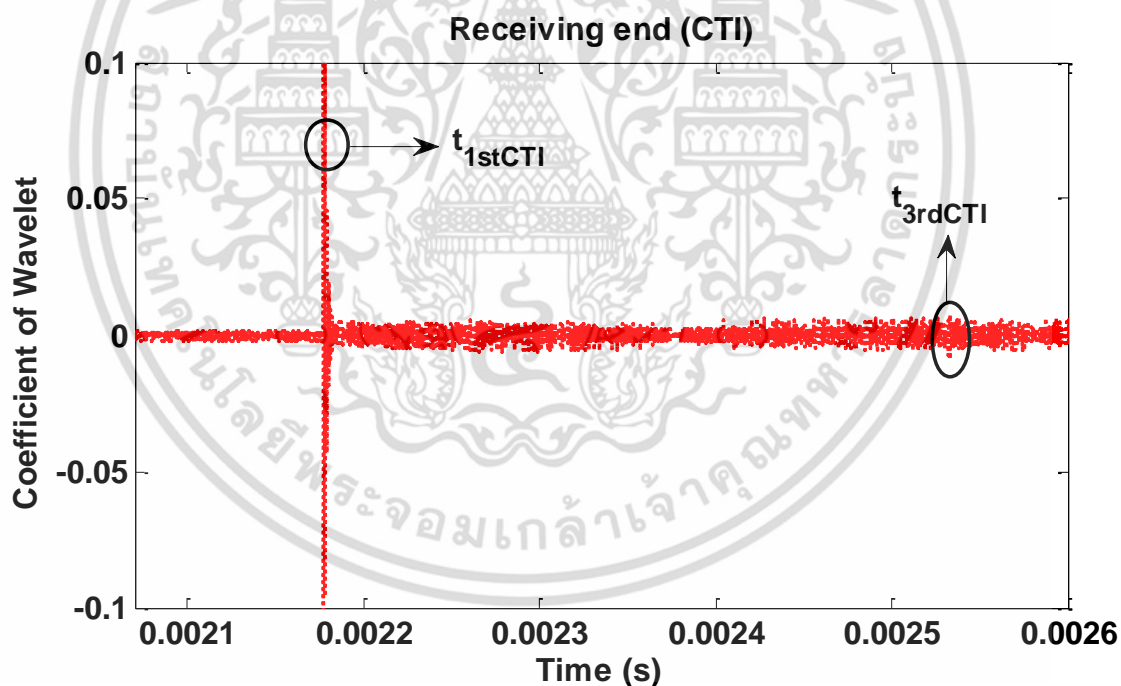
กำหนดให้

แกนนอน	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่น หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูด
$t_{1stRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{3rdRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{1stCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีรับ (CTI)
$t_{3rdCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีรับ (CTI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีส่งกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.47 เมื่อเกิดฟลัดระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.47(ก) พบว่า คลื่นรบกวนที่เกิดขึ้นมีขนาดไม่มาก สามารถตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 และคลื่นลำดับที่ 3 ได้อย่างเด่นชัด แต่ไม่พบคลื่นสะท้อนจากสถานีรับ เนื่องจากผลของพลังงานไม่เพียงพอตั้งที่กล่าวไปก่อนหน้านี้

พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.47(ข) พบว่า สามารถตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ได้อย่างชัดเจน และในเวลาต่อมาตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 แต่เนื่องจากคลื่นลำดับที่ 3 มีขนาดเล็กและเกิดคลื่นรบกวน ส่งผลให้คลื่นลำดับที่ 3 ตรวจพบได้ยากกว่าคลื่นลำดับที่ 1 ซึ่งขนาดของคลื่นลำดับต่าง ๆ สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกับสถานีส่ง

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ด้วยเวลาที่แตกต่างกัน เนื่องจากผลของระยะทางการเดินทางของคลื่นแตกต่างกันดังที่กล่าวไปข้างต้น

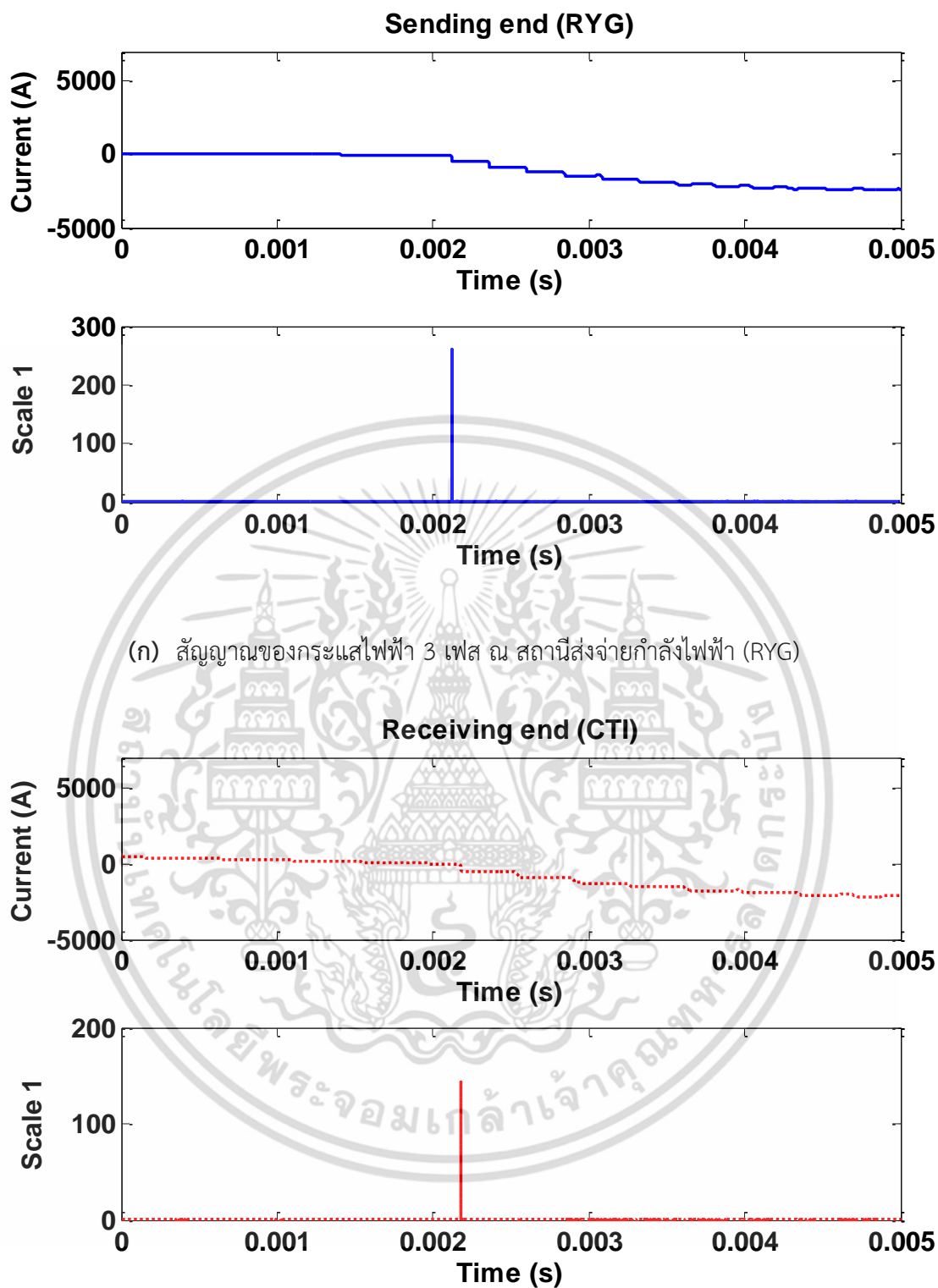
กรณีที่ 2 เกิดฟอลต์ที่เฟส AB มุมแรงดัน 90 องศา โดยเกิดที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

สัญญาณที่แสดงในกรณีนี้ ประกอบด้วยสัญญาณ 2 ชนิด คือ สัญญาณกระแสไฟฟ้าลำดับบวก และสัญญาณแวลต์กระแสลำดับบวก โดยสัญญาณทั้งสองเกิดจากการแปลงคาร์กและการแปลงแวลต์แบบเต็มหน่วยของสัญญาณกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส ที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 90 องศา เฟส A และเฟส B ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 35.4 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)

พิจารณาด้านขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแวลต์

กำหนดให้

รูปบน	แสดงกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ขนาดกระแส หน่วยแอมแปร์
รูปล่าง	แสดงสัญญาณแวลต์ของกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ สัมประสิทธิ์การแปลงแวลต์



(ก) สัญญาณของกระแสไฟฟ้า 3 เฟส ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)

Receiving end (CTI)

(ข) สัญญาณแวลต์กระแสลำดับบวก ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.48 เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.48(ก) พบว่า กระแสไฟฟ้าลำดับบวกมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในทิศทางลบ หากพิจารณาโดยค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงขนาดได้ชัดเจนมากขึ้น ทิศทางการเปลี่ยนแปลงขนาดนี้เป็นผลมาจากลักษณะสัญญาณกระแสไฟฟ้า เช่นเดียวกับกรณีที่กำลังกล่าวไปก่อนหน้านี้

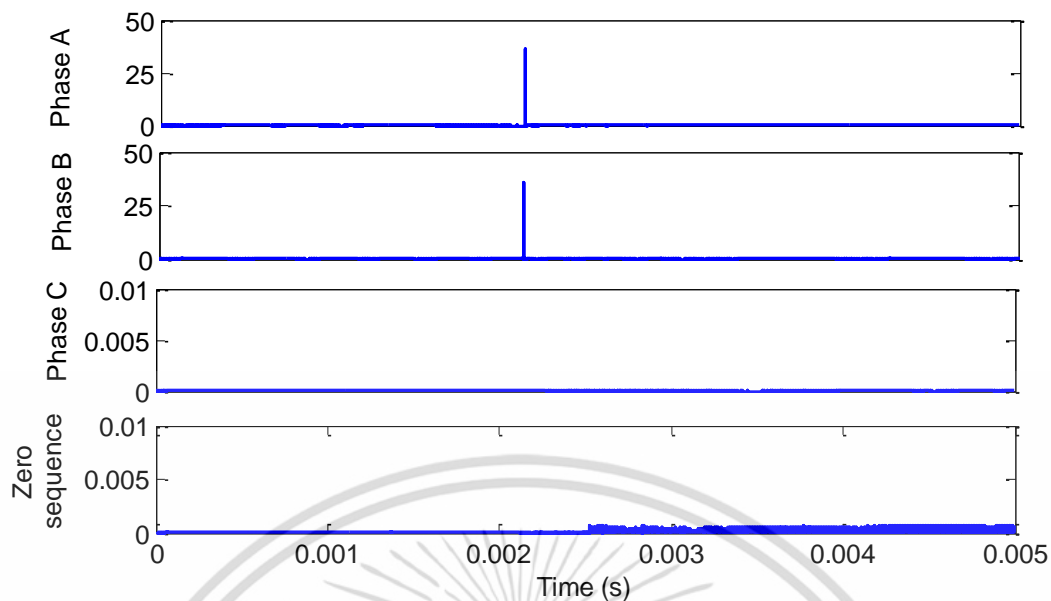
พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.48(ข) พบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าลำดับบวกและสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมีแนวโน้มเช่นเดียวกับสถานีส่ง ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ขนาดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณด้านสถานีรับน้อยกว่าสถานีส่ง เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์ของสายส่งดังกล่าวข้างต้น

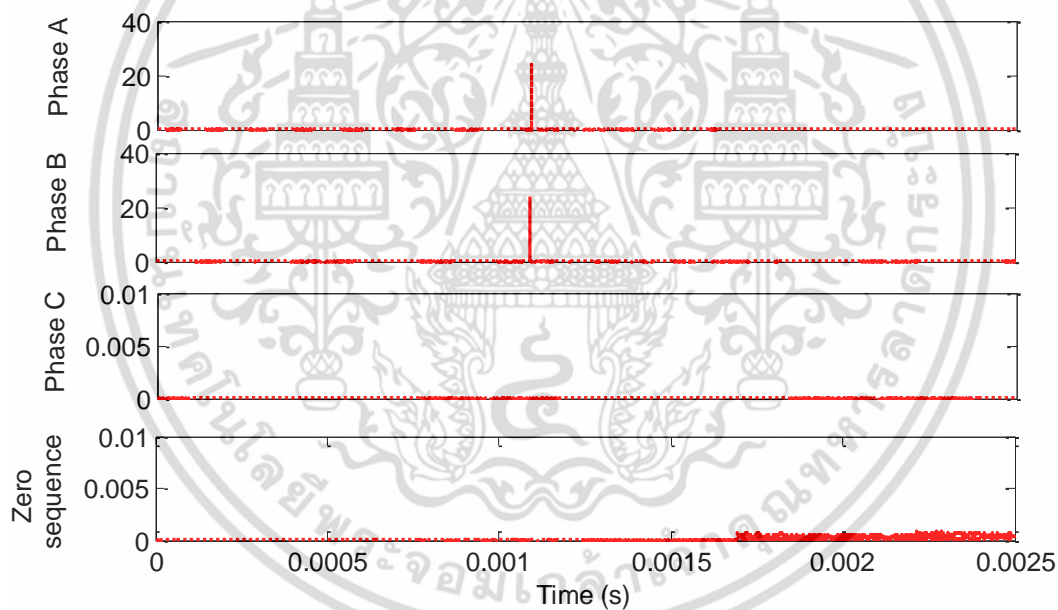
พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.45(ก) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.48(ก) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับกรณีฟอลต์ระหว่างเฟสที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง เนื่องจากผลของการเปลี่ยนแปลงมุมแรงดันต่อขนาดกระแสไฟฟ้า

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.45(ข) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.48(ข) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า มีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง คือมุมแรงดันเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสไฟฟ้าลำดับบวกและสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเท่านั้น

หลังจากทำการศึกษาคูณลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแสลำดับบวกและสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวกแล้ว อันดับต่อไปศึกษาคูณลักษณะการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณเวฟเล็ทที่ได้จากการแปลงกระแสไฟฟ้า 3 เฟสและสัญญาณเวฟเล็ทของส่วนประกอบลำดับศูนย์ ดังรูปที่ 3.49(ก) แสดงสัญญาณเวฟเล็ทที่ตรวจวัดจากสถานีส่งและรูปที่ 3.49(ข) แสดงสัญญาณเวฟเล็ทที่ตรวจวัดจากสถานีรับ



(ก) สัญญาณเวฟเล็ิตแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณเวฟเล็ิตแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีรับจ่ายกำลังไฟฟ้า (CTI)  
รูปที่ 3.49 เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.49(ก) ซึ่งแสดงสัญญาณแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้า 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีส่งพบว่า สัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดของเฟสที่เกิดพอลต์ เกิดค่าสูงสุดที่เวลาเดียวกัน ในที่นี้เฟส A และเฟส B เกิดพอลต์ ดังนั้นจึงเกิดค่าสัมประสิทธิ์สูงสุด

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์พบว่า มีลักษณะเช่นเดียวกับพอลต์ระหว่างเฟสก่อนหน้า ณ เวลาที่เกิดพอลต์ระหว่างเฟส ขนาดสัมประสิทธิ์ของส่วนประกอบลำดับศูนย์เปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องจากเกิดพอลต์ระหว่างสายเฟสสองเส้นเท่านั้น ไม่มีเส้นทางการลัดวงจรกระแสไฟฟ้าลงสู่ดิน

พิจารณาเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดด้านสถานีส่งระหว่างรูปที่ 3.46(ก) เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟส ที่มุมแรงดัน 0 องศา เฟส A และเฟส B ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง และรูปที่ 3.49(ก) เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟส ที่มุมแรงดันของสถานีรับเท่ากับ 90 องศา เฟส A และเฟส B ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งพบว่า เมื่อมุมแรงดันเปลี่ยนแปลงเป็น 90 องศา ขนาดสัมประสิทธิ์เฟสที่เกิดพอลต์เพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นนี้เป็นผลเนื่องจากสัญญาณดั้งเดิมมีลักษณะไซน์ซอยด์

จากรูปที่ 3.49(ข) ซึ่งแสดงสัญญาณแอมพลิจูดของกระแส 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีรับพบว่า มีแนวโน้มเช่นเดียวกับสถานีส่งคือ เฟสที่เกิดพอลต์มีขนาดสัมประสิทธิ์สูงสุดใกล้เคียงกันและเกิดขึ้นที่เวลาเดียวกัน

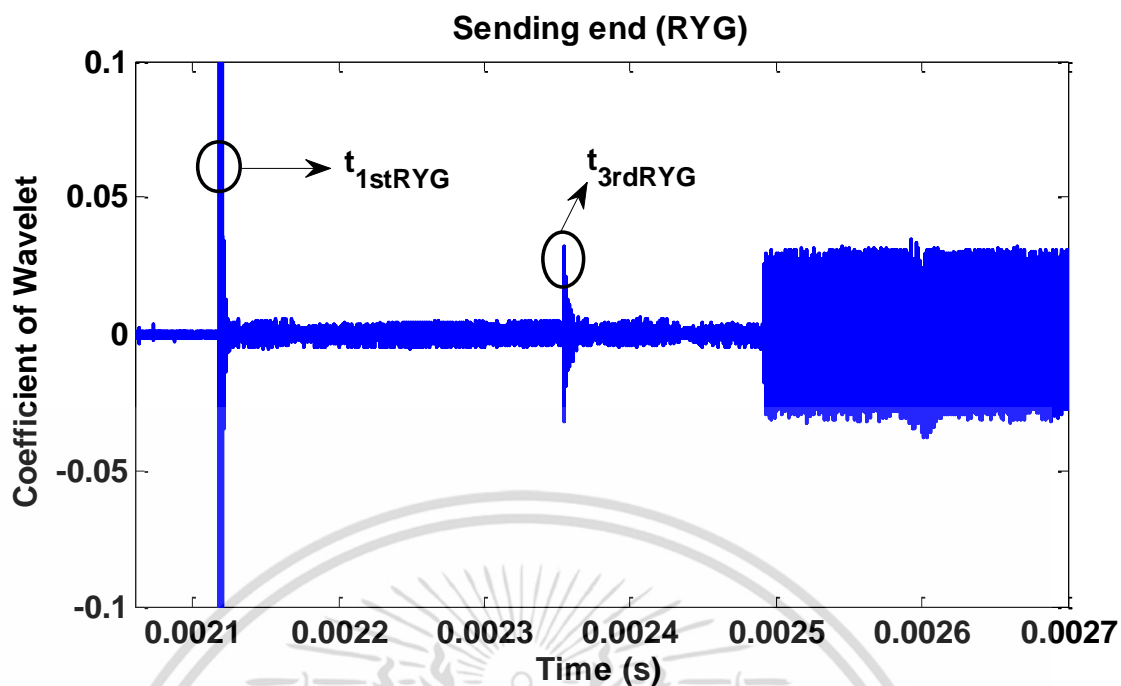
เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์พบว่า แนวโน้มขนาดสัมประสิทธิ์เช่นเดียวกับสถานีส่ง เนื่องจากหลักการและเหตุผลเดียวกันข้างต้น

พิจารณาเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดด้านสถานีรับระหว่างรูปที่ 3.46(ข) เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟส ที่มุมแรงดัน 0 องศา เฟส A และเฟส B ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง และรูปที่ 3.49(ข) เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟส ที่มุมแรงดันของสถานีรับเท่ากับ 90 องศา เฟส A และเฟส B ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการเปรียบเทียบระหว่างกันด้านสถานีส่ง

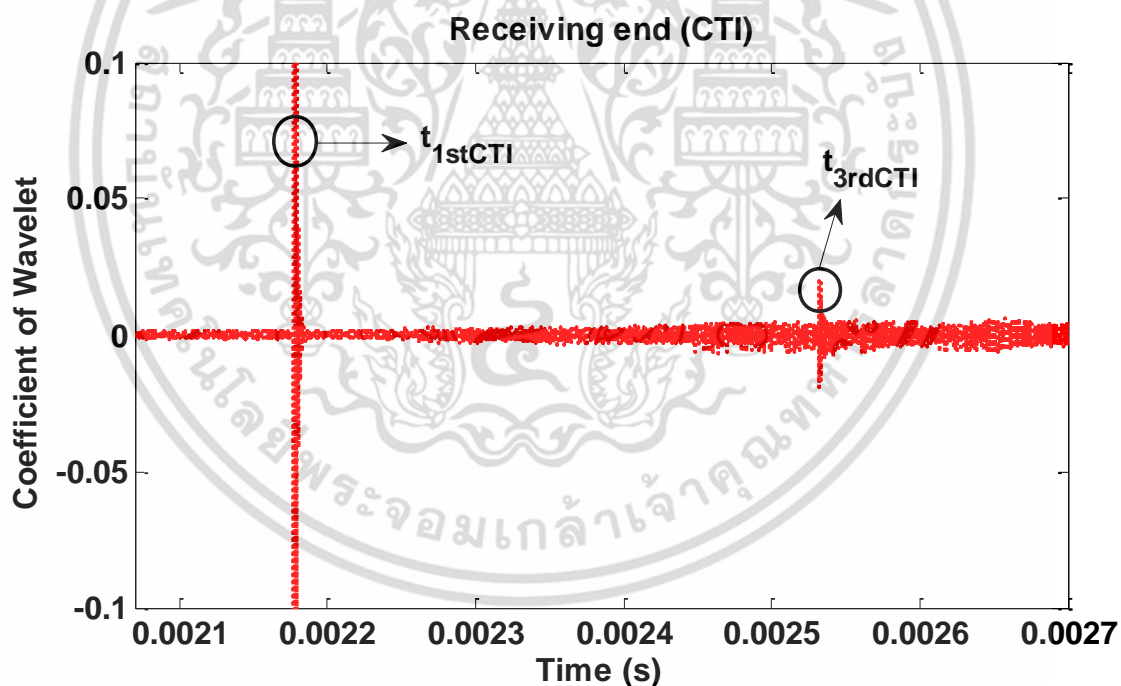
พิจารณาด้านเวลาของขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูด

กำหนดให้

แกนนอน	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่น หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูด
$t_{1stRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{3rdRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{1stCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีรับ (CTI)
$t_{3rdCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีรับ (CTI)



(ก) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีส่งกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.50 เมื่อเกิดฟลัดระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.50(ก) พบว่า ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ลำดับที่ 3 และคลื่นสะท้อนจากสถานีรับตามลำดับ หลังจากคลื่นสะท้อนเกิดคลื่นรบกวนค่อนข้างมาก ซึ่งขนาดของคลื่นสามารถอธิบายจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานดังกล่าวข้างต้น

พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.50(ข) พบว่า ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ชัดเจนเนื่องจากมีขนาดใหญ่และคลื่นรบกวนน้อย ซึ่งขนาดของคลื่นอธิบายได้เช่นเดียวกับสถานีส่ง

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า สามารถตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ได้ชัดเจนแต่เวลาที่ตรวจพบแตกต่างกัน เนื่องจากระยะเวลาการเดินทางของคลื่นแตกต่างกันดังกล่าวข้างต้น

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.47(ก) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.50(ก) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 เท่าเดิมไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากผลของระยะทางเช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่าและฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.47(ข) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.50(ข) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับสถานีส่ง คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับต่าง ๆ ไม่เปลี่ยนแปลง แม้มุมแรงดันเปลี่ยนแปลงก็ตาม เนื่องจากค่าเวลาที่ตรวจจับคลื่นลำดับต่าง ๆ แปรผันตามระยะทางเท่านั้น

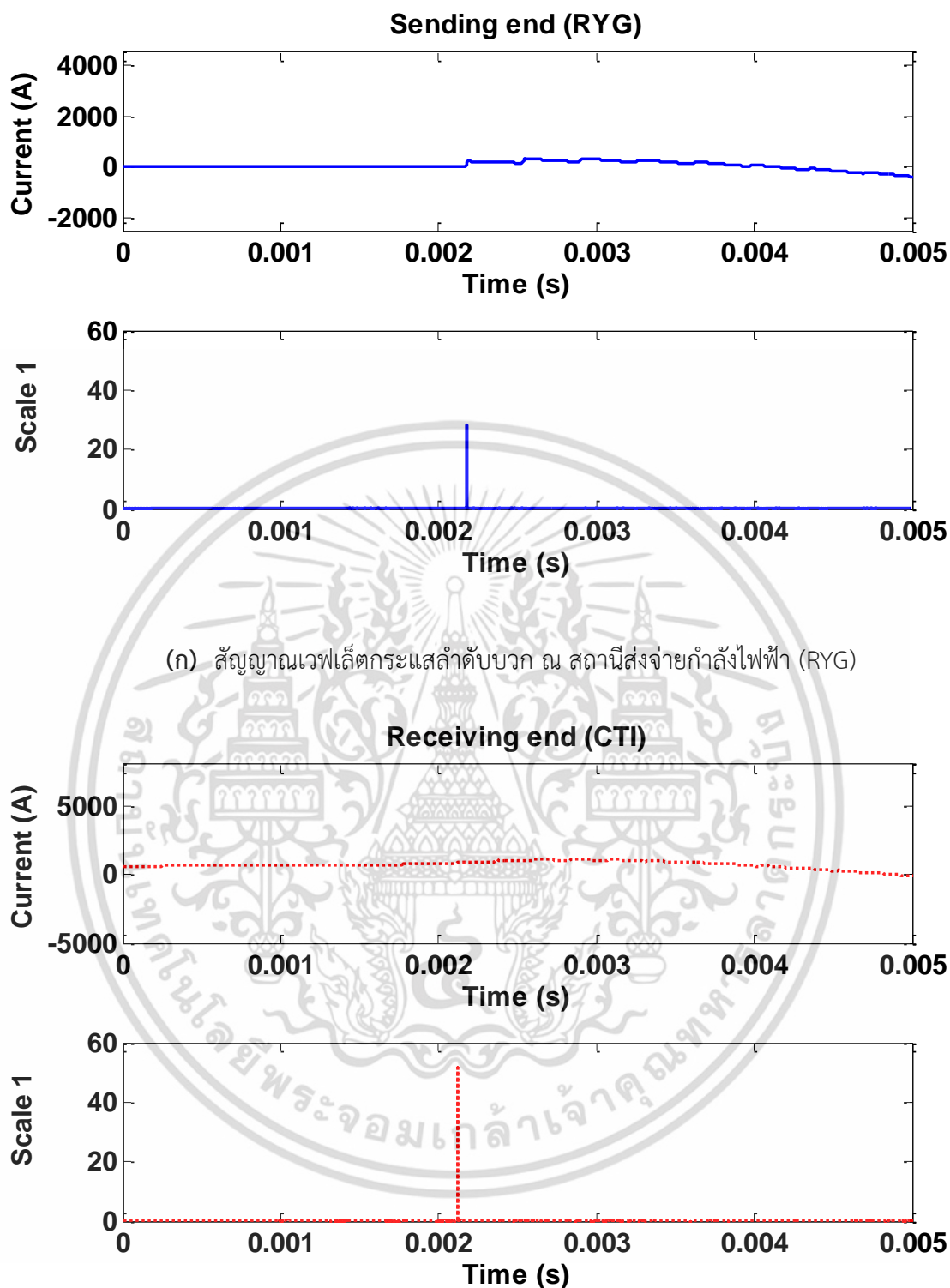
กรณีที่ 3 เกิดฟอลต์ที่เฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวส่ง

สัญญาณที่แสดงในกรณีนี้ ประกอบด้วยสัญญาณ 2 ชนิด คือ สัญญาณกระแสไฟฟ้าลำดับบวก และสัญญาณแวลต์กระแสลำดับบวก โดยสัญญาณทั้งสองเกิดจากการแปลงคาร์กและการแปลงแวลต์แบบเต็มหน่วยของสัญญาณกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส ที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 0 องศา เฟส A และเฟส B ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 53.1 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)

พิจารณาด้านขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแวลต์

กำหนดให้

รูปบน	แสดงกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ขนาดกระแส หน่วยแอมแปร์
รูปล่าง	แสดงสัญญาณแวลต์ของกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ สัมประสิทธิ์การแปลงแวลต์



(ก) สัญญาณแรงฟลิตกระแสดำดับบวก ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)

(ข) สัญญาณแรงฟลิตกระแสดำดับบวก ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.51 เมื่อเกิดฟลิตระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.51(ก) พบว่า กระแสไฟฟ้าลำดับบวกมีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดและทิศทางนี้สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันข้างต้น และเมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนมากกว่าเช่นเดียวกัน

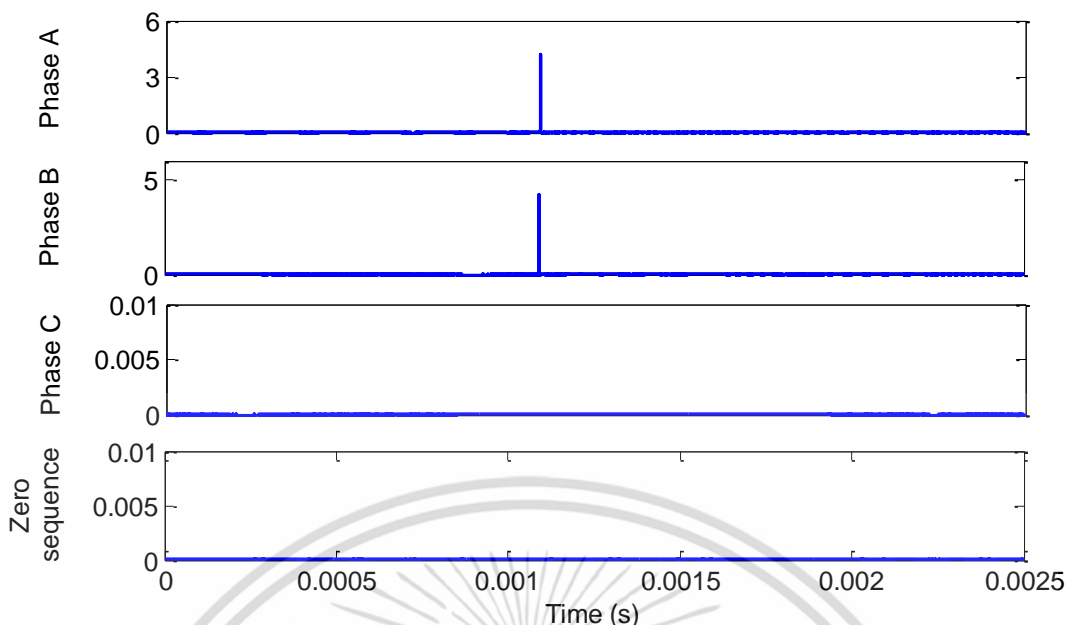
พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.51(ข) พบว่า ลักษณะและทิศทางกระแสไฟฟ้าลำดับบวกและสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมีแนวโน้มเช่นเดียวกับสถานีส่ง ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันข้างต้น

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ขนาดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกระแสไฟฟ้าด้านสถานีรับมากกว่าสถานีส่ง เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์ของสายส่งที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าดังได้อธิบายไปข้างต้น

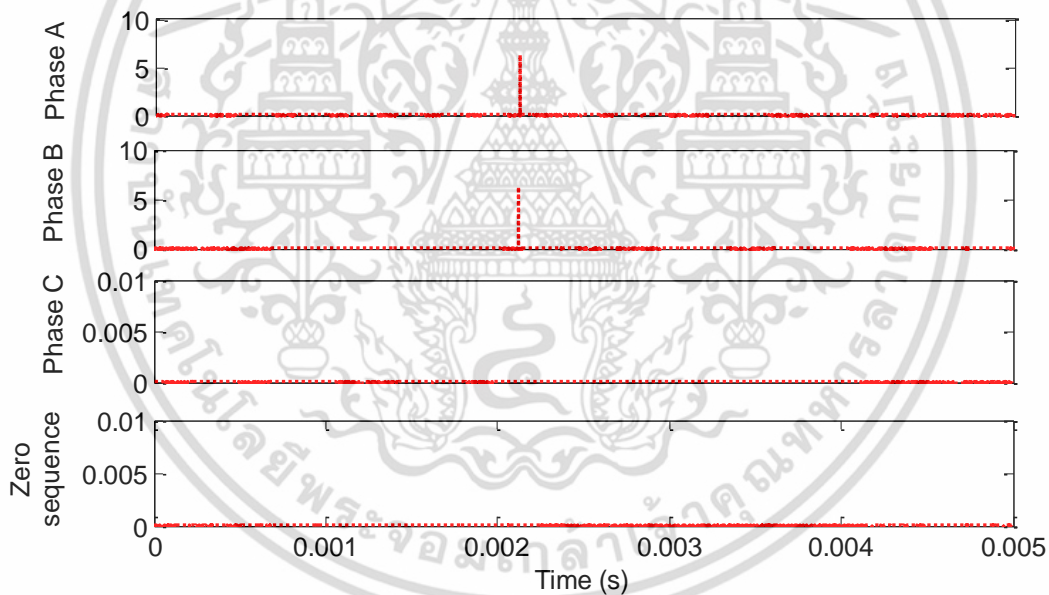
พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.45(ก) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.51(ก) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสลดลงเมื่อตำแหน่งที่เกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์เช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่าและฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินดังกล่าวข้างต้น

พิจารณาเปรียบเทียบสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.45(ข) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.51(ข) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสไฟฟ้านี้ตรงข้ามกับสถานีส่ง เนื่องจากผลของตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ระหว่างเฟสต่ออิมพีแดนซ์สายส่งดังกล่าวไปข้างต้น

หลังจากวิเคราะห์คุณลักษณะของกระแสลำดับบวกและสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวกแล้ว อันดับต่อไปวิเคราะห์คุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงขนาดของแต่ละเฟส โดยอาศัยสัญญาณเวฟเล็ทจากการแปลงกระแสไฟฟ้า 3 เฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส ที่เฟส A และเฟส B มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง ดังรูปที่ 3.52(ก) แสดงสัญญาณเวฟเล็ทที่ตรวจวัดจากสถานีส่งและรูปที่ 3.52(ข) แสดงสัญญาณเวฟเล็ทที่ตรวจวัดจากสถานีรับ



(ก) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีรับจ่ายกำลังไฟฟ้า (CTI) รูปที่ 3.52 เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.52(ก) ซึ่งแสดงสัญญาณแอมพลิจูดของกระแส 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีส่งพบว่า แนวโน้มการขนาดของแต่ละเฟสมีลักษณะเช่นเดียวกับพอลต์ระหว่างเฟสสองกรณีที่กำลังกล่าวไปก่อนหน้านี้ คือเฟส A และเฟส B มีค่าสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดสูงสุดเกิดขึ้น เฟส C มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนแทบไม่เห็นการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเฟสดังกล่าวไม่เกิดพอลต์

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีส่งพบว่า ไม่เกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดขึ้นที่ ณ เวลาที่เกิดพอลต์หรือเกิดขนาดสัมประสิทธิ์เล็กน้อยมากเช่นเดียวกับกรณีพอลต์ระหว่างเฟสก่อนหน้า เนื่องจากไม่ได้รับผลกระทบของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรลงสู่ดินดังกล่าวไปข้างต้น

พิจารณาเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดด้านสถานีส่งระหว่างรูปที่ 3.46(ก) เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟส ที่มุมแรงดัน 0 องศา เฟส A และเฟส B ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง และรูปที่ 3.52(ก) เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟส ที่มุมแรงดันของสถานีรับเท่ากับ 0 องศา เฟส A และเฟส B ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า ขนาดของค่าสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดลดลงเมื่อตำแหน่งที่เกิดพอลต์เปลี่ยนจาก 40% เป็น 60% ของความยาวสายส่ง ซึ่งเป็นผลเนื่องจากอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงดังกล่าวไปก่อนหน้านี้ แต่เมื่อพิจารณาด้านเวลาพบว่า ค่าเวลาที่เกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูด เปลี่ยนแปลง เนื่องจากเวลาแปรผันตามตำแหน่งและระยะทางที่เกิดพอลต์

จากรูปที่ 3.52(ข) ซึ่งแสดงสัญญาณแอมพลิจูดของกระแส 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีรับพบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดมีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันข้างต้น

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีรับพบว่า มีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง เนื่องจากหลักการและเหตุผลเดียวกัน

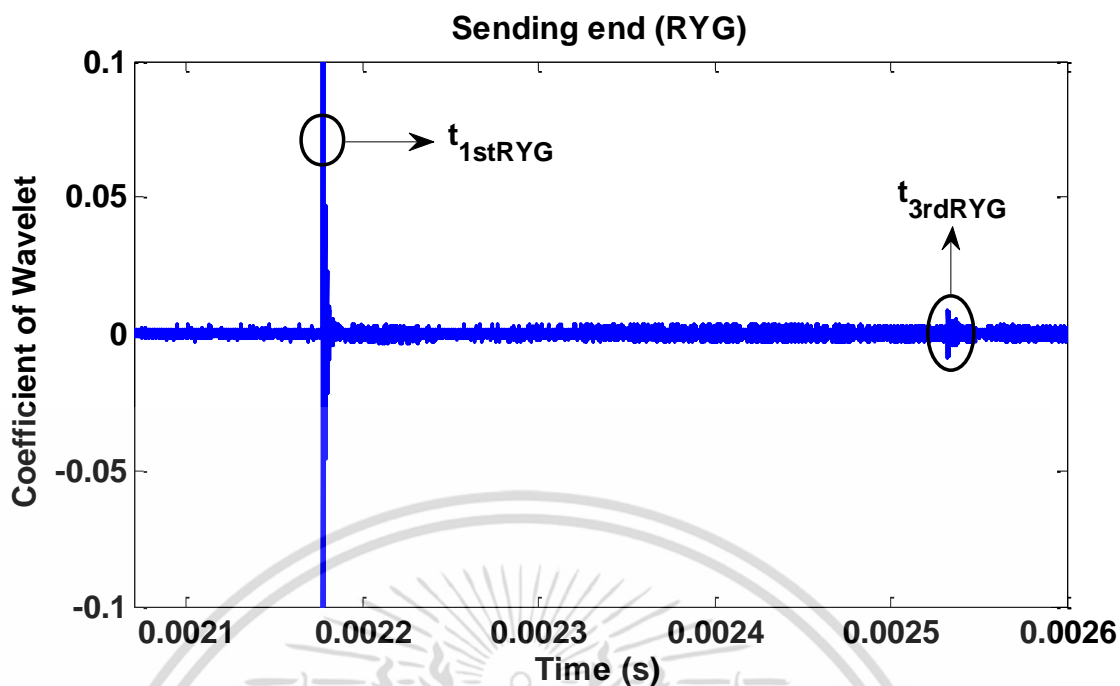
พิจารณาเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดด้านสถานีรับระหว่างรูปที่ 3.46(ข) เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟส ที่มุมแรงดัน 0 องศา เฟส A และเฟส B ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง และรูปที่ 3.52(ข) เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟส ที่มุมแรงดันของสถานีรับเท่ากับ 0 องศา เฟส A และเฟส B ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า ขนาดของสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตรงข้ามกับสถานีส่ง คือ เมื่อตำแหน่งเปลี่ยนเป็น 60% ของความยาวสายส่ง ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดและค่าเวลาที่เกิดค่าสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากขนาดแปรตามอิมพีแดนซ์ ซึ่งตำแหน่งที่เกิดพอลต์นี้อ้างอิงจากสถานีส่ง ดังนั้นเมื่อตำแหน่งที่เกิดพอลต์มากขึ้นจาก 40% เป็น 60% ของความยาวสายส่ง หมายถึงระยะทางระหว่างจุดที่เกิดพอลต์ถึงสถานีรับสั้นลง ดังนั้นค่าเวลาที่ตรวจวัดพบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดจึงเร็วกว่าสถานีส่ง

พิจารณาด้านเวลาของขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูด

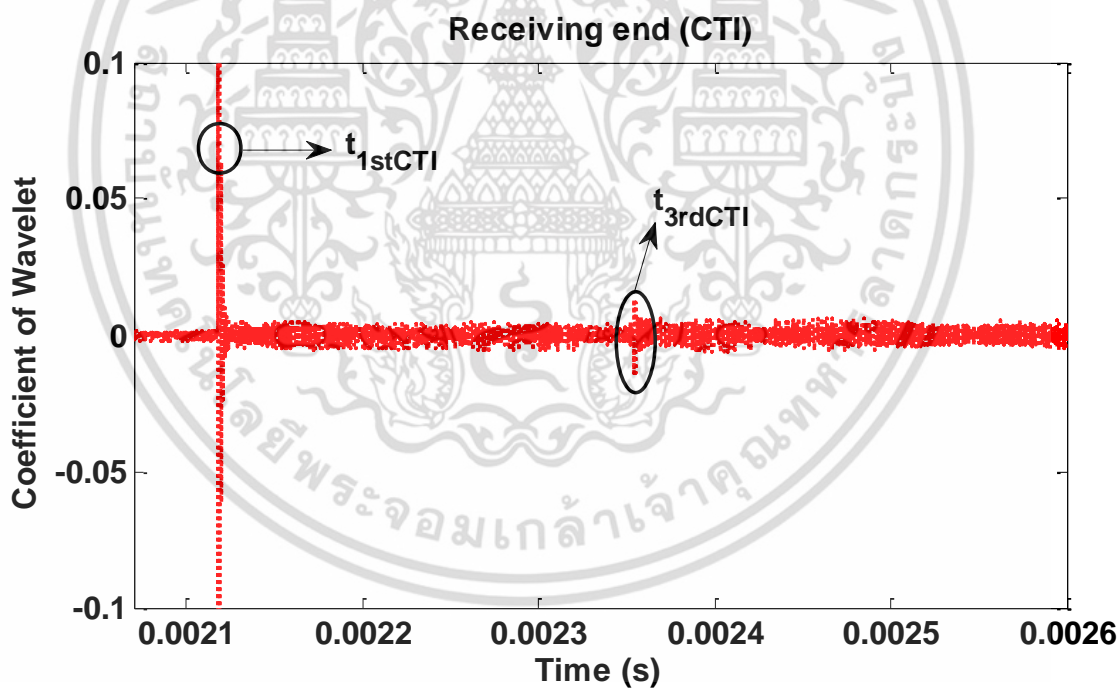
กำหนดให้

แกนนอน	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่น หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูด
$t_{1stRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{3rdRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{1stCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีรับ (CTI)
$t_{3rdCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีรับ (CTI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีส่งกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.53 เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.53(ก) พบว่า สัญญาณที่ตรวจจับนี้มีขนาดคลื่นรบกวนไม่มาก สามารถตรวจจับคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ชัดเจนแต่ไม่พบคลื่นสะท้อนจากสถานีรับ เนื่องจากผลของพลังงานดังที่กล่าวไปก่อนหน้านี้

พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.53(ข) พบว่า สามารถตรวจจับคลื่นลำดับที่ 1 และคลื่นลำดับที่ 3 อย่างชัดเจนแม้ได้รับผลกระทบของคลื่นรบกวนก็ตาม เนื่องจากขนาดของคลื่นที่ตรวจพบมีขนาดใหญ่กว่าคลื่นรบกวน ซึ่งขนาดของคลื่นสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกับสถานีส่งข้างต้น

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า การตรวจจับคลื่นลำดับต่าง ๆ มีลักษณะเช่นเดียวกันแต่ค่าเวลามีความแตกต่างกัน เนื่องจากผลของระยะทาง

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.47(ก) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.53(ก) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 มีลักษณะเช่นเดียวกันกรณีฟ้าผ่า และฟอลต์หนึ่งเฟสที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ โดยสาเหตุสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกัน

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.47(ข) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.53(ข) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับสถานีส่ง ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันดังกล่าวข้างต้น

ตารางที่ 3.18 และตารางที่ 3.19 แสดงขนาดและเวลาที่เกิดค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตที่ตรวจวัดได้จากสถานีส่งและสถานีรับ เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส โดยตารางที่ 3.18 แสดงข้อมูลที่ได้จากสัญญาณเวฟเล็ตของกระแสลำดับบวก ตารางที่ 3.19 แสดงข้อมูลของสัญญาณเวฟเล็ตจากกระแส 3 เฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์

ตารางที่ 3.18 สัญญาณเวฟเล็ตของกระแสลำดับบวก เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส

ตำแหน่งความยาวสายส่ง	เฟสที่เกิด	มุมแรงดัน	สัญญาณเวฟเล็ตของกระแสลำดับบวก			
			สถานีส่ง (RYG)		สถานีรับ (CTI)	
			ขนาด	เวลา (วินาที)	ขนาด	เวลา (วินาที)
40%	AB	0	9.8719	0.002118	6.5764	0.002177
40%	AB	90	61.4495	0.002118	40.9065	0.002177
60%	AB	0	7.1836	0.002177	10.7555	0.002118

จากตารางที่ 3.18 แสดงขนาดและเวลาเมื่อสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตมีค่าสูงสุดของกรณีฟอลต์ระหว่างเฟสข้างต้น เมื่อพิจารณาด้านเวลาพบว่า ลักษณะของเวลาที่ตรวจวัดได้มีลักษณะเช่นเดียวกับฟ้าผ่าและฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินก่อนหน้านี้ โดยเวลาที่ตรวจวัดได้จากสถานีส่งและสถานีรับแปรตามระยะทางเท่านั้น

ตารางที่ 3.19 สัญญาณเวฟเล็ทของกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส

สัญญาณเวฟเล็ทด้านสถานีส่ง (RYG)					
ตำแหน่งความยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กระแสลำดับศูนย์
40%	0	5.7834	5.8019	$2.6 \times 10^{-5}$	0.0607
40%	90	35.9467	35.9813	$1.8 \times 10^{-5}$	0.3696
60%	0	4.2050	4.2077	$2.6 \times 10^{-5}$	0.0444
สัญญาณเวฟเล็ทด้านสถานีรับ (CTI)					
ตำแหน่งความยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กระแสลำดับศูนย์
40%	0	3.8529	3.8376	$4.4 \times 10^{-5}$	0.0399
40%	90	23.9764	23.9793	$1.8 \times 10^{-5}$	0.2462
60%	0	6.3066	6.3164	$4.4 \times 10^{-5}$	0.0643

ตารางที่ 3.19 แสดงขนาดและเวลาของค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส (เฟส A และเฟส B) ดังอธิบายไปข้างต้น

จากตารางพบว่า มีคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับฟอลต์ชนิดอื่น ๆ ก่อนหน้า คือ ขนาดของค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทขึ้นอยู่กับมุมแรงดันและตำแหน่ง เช่น เมื่อเปรียบเทียบขนาดของค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างกรณีฟอลต์มุมแรงดันของสถานีรับเท่ากับ 0 องศา กับ 90 องศาพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องจากลักษณะของสัญญาณตั้งต้น หากสัญญาณตั้งต้นมีมุมแรงดันที่เหมาะสม ขนาดของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมีโอกาสเพิ่มขนาดเสริมขึ้นได้

เมื่อพิจารณาด้านตำแหน่งพบว่า มีลักษณะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่าและฟอลต์ที่กล่าวไปก่อนหน้า เนื่องจากผลของระยะทางและอิมพีแดนซ์

ในลักษณะเดียวกันเมื่อพิจารณาขนาดของส่วนประกอบลำดับศูนย์พบว่า เกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท ณ เวลาที่เกิดฟอลต์ แต่มีขนาดไม่มากเนื่องจากไม่ได้รับผลกระทบของการลัดวงจรกระแสไฟฟ้าลงสู่ดินดังกล่าวไปข้างต้น การเปลี่ยนแปลงมุมแรงดันและตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ส่งผลกระทบต่อขนาดสัมประสิทธิ์ของส่วนประกอบลำดับศูนย์เล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์ดังกล่าวไม่มาก

ตารางที่ 3.20 เวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส

ตำแหน่งความยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	สถานีส่ง (RYG)		สถานีรับ (CTI)	
		t1st (วินาที)	t3rd (วินาที)	t1st (วินาที)	t3rd (วินาที)
40%	0	0.002118	0.002355	0.002177	0.002533
40%	90	0.002118	0.002355	0.002177	0.002532
60%	0	0.002177	0.002533	0.002118	0.002353

ตารางที่ 3.20 แสดงค่าเวลาที่คลื่นเดินทางมาถึงปลายสถานีของกรณีฟอลต์ระหว่างเฟสทั้งสามกรณีข้างต้นพบว่า ค่าเวลาของคลื่นมีลักษณะเช่นเดียวกับฟ้าผ่าและฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่กล่าวไปข้างต้น โดยผลของค่าเวลาจะแปรตามระยะทางเท่านั้น

จากลักษณะดังกล่าวข้างต้นเห็นได้ว่า ขนาดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเวฟเล็ตั้งแต่ละเฟสมีลักษณะคล้ายคลึงกับสัญญาณเวฟเล็ตของกระแสลำดับบวก โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดเนื่องจากผลของมุมแรงดันและตำแหน่งที่เกิด อีกทั้งเมื่อพิจารณาด้านเวลาพบว่า เวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดสูงสุดแปรผันตามระยะทาง ดังนั้นต่อไปจึงเลือกนำสัญญาณกระแสลำดับบวกมาพิจารณาต่อ โดยทำการพิจารณาสัญญาณเวฟเล็ตของกระแสลำดับบวกเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส มุม 0 องศา เฟส A และเฟส B ที่ตำแหน่ง 10%-90% ของความยาวสายส่ง

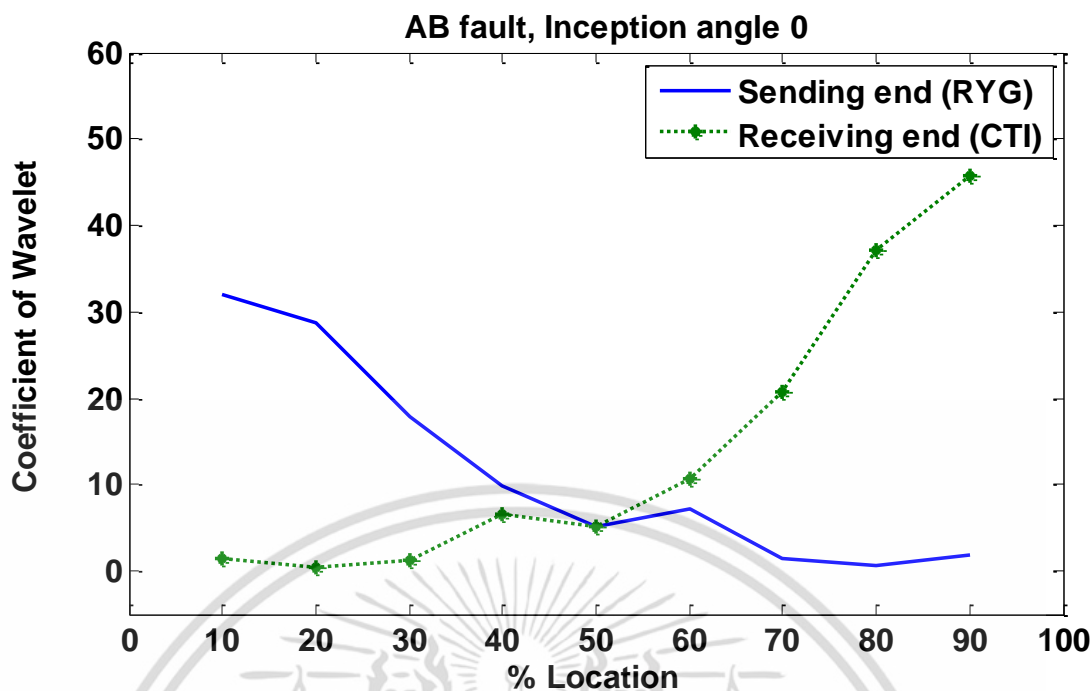
กำหนดให้

กราฟ — แสดงสัญญาณเวฟเล็ตที่ตรวจวัดได้จากสถานีส่ง

กราฟ - - - แสดงสัญญาณเวฟเล็ตที่ตรวจวัดได้จากสถานีรับ

แกนนอน คือ % ตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่า

แกนตั้ง คือ สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของสัญญาณเวฟเล็ต



รูปที่ 3.54 สัญญาณเวฟเล็ตของฟอลต์ระหว่างเฟส เมื่อตำแหน่งเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 3.54 พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตและตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ระหว่างเฟสมีแนวโน้มสอดคล้องกับกรณีตัวอย่างฟอลต์ระหว่างเฟสที่ 40% และ 60% ของความยาวสายส่ง คือ มีแนวโน้มลดลงเมื่อตำแหน่งที่เกิดฟอลต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ระหว่างเฟสเปลี่ยนแปลง เปรียบเสมือนระยะทางระหว่างจุดที่ฟอลต์ถึงสถานีส่งมีการเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงระยะทางนี้ส่งผลต่ออิมพีแดนซ์สายส่ง ทำให้กระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับฟ้าผ่าและฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินดังที่ได้กล่าวไปก่อนหน้านี้

พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตและตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ระหว่างเฟสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับสถานีส่งเนื่องจากอิมพีแดนซ์สายส่งเช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณาสัญญาณเวฟเล็ตเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส มุมแรงดัน 0-330 องศา ที่ตำแหน่ง 10 % ของความยาวสายส่ง

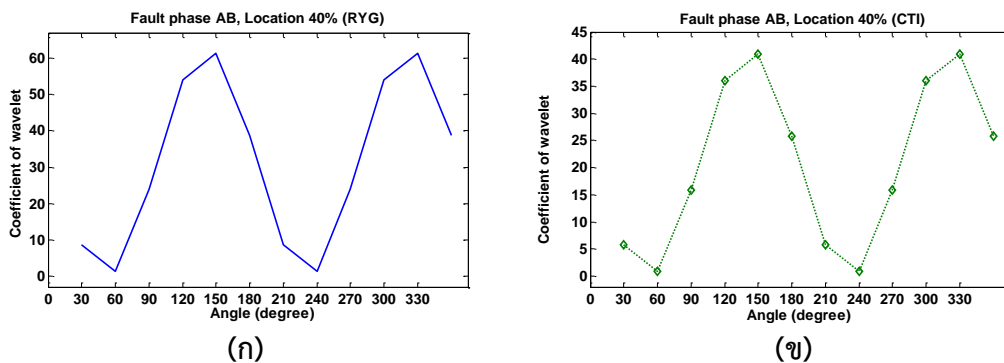
กำหนดให้

กราฟ — แสดงสัญญาณเวฟเล็ตที่ตรวจวัดได้จากสถานีส่ง

กราฟ - -♦ แสดงสัญญาณเวฟเล็ตที่ตรวจวัดได้จากสถานีรับ

แกนนอน คือ มุมแรงดัน

แกนตั้ง คือ สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของสัญญาณเวฟเล็ต



รูปที่ 3.55 สัญญาณเวฟเล็ตของฟอลต์ระหว่างเฟส เมื่อมุมแรงดันเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 3.55 พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตมีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีความผิดพลาดก่อนหน้า คือมีเปลี่ยนแปลงทั้งที่ชดบวกลบและที่คลบ แม้มุมแรงดันมีการเปลี่ยนแปลง แต่สัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นไซน์ชอยด์ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเป็นคาบ ด้านบวกลบและด้านลบ เมื่อเปลี่ยนแปลงครบรอบ 0-330 องศา ส่งผลให้กลับมาที่จุดเริ่มเช่นเดิม

พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงมีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง เนื่องจากหลักการและเหตุผลเดียวกัน

ตารางที่ 3.21 เวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ของฟอลต์ระหว่างเฟส เมื่อตำแหน่งเปลี่ยนแปลง

ตำแหน่งความยาวสายส่ง	สถานีส่ง (RYG)		สถานีรับ (CTI)	
	t1st (วินาที)	t3rd (วินาที)	t1st (วินาที)	t3rd (วินาที)
10%	0.002029	0.002088	0.002266	0.002799
20%	0.002059	0.002177	0.002236	0.002727
30%	0.002088	0.002265	0.002207	0.002621
40%	0.002118	0.002355	0.002177	0.002533
50%	0.002148	0.002444	0.002148	0.002444
60%	0.002177	0.002533	0.002118	0.002353
70%	0.002207	0.002620	0.002088	0.002265
80%	0.002236	0.002718	0.002059	0.002177
90%	0.002266	0.002798	0.002029	0.002088

ตารางที่ 3.21 แสดงค่าเวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ของสถานีส่งและสถานีรับ โดยเกิดที่มุมแรงดันคงที่ที่ 0 องศา ตำแหน่งฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินเปลี่ยนแปลง 10%-90% ของความยาวสายส่งอ้างอิงด้านสถานีส่ง

เมื่อพิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า เวลาที่ตรวจพบคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 น้อยกว่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 เสมอนั้นหมายถึง คลื่นลำดับที่ 1 เดินทางมาถึงปลายสถานีตรวจวัดก่อนคลื่นลำดับที่ 3 เสมอและเมื่อตำแหน่งพอลต์เกิดไกลสถานีส่งออกไป ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังเช่น เมื่อตำแหน่งพอลต์เปลี่ยนจาก 10% เป็น 90% ของความยาวสายส่ง เวลาที่ตรวจวัดคลื่นด้านสถานีส่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาด้านสถานีรับพบว่า ค่าเวลาของคลื่นจะมีแนวโน้มตรงข้ามกับสถานีส่ง เนื่องจากตำแหน่งที่เกิดพอลต์อ้างอิงด้านสถานีส่ง ตำแหน่งพอลต์ที่เพิ่มขึ้นเปรียบเสมือนระยะทางระหว่างจุดเกิดพอลต์ถึงสถานีรับลดลง ดังนั้นเวลาที่ตรวจพบคลื่นทั้งสองจึงเร็วขึ้นและที่ตำแหน่งพอลต์ 50% ของความยาวสายส่ง ระยะทางระหว่างจุดที่เกิดพอลต์ถึงสถานีส่งและสถานีรับเท่ากัน ดังนั้นจึงตรวจพบคลื่นด้วยเวลาที่เท่ากัน

### 3.3.4 พอลต์ระหว่างเฟสลงดิน

เพื่อศึกษาคุณลักษณะของกระแสเมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟสลงดิน จึงทำการยกตัวอย่าง 3 กรณีศึกษาคือ

กรณีที่ 1 เกิดพอลต์ที่เฟส ABG มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดพอลต์ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง  
 กรณีที่ 2 เกิดพอลต์ที่เฟส ABG มุมแรงดัน 90 องศา โดยเกิดพอลต์ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง  
 กรณีที่ 3 เกิดพอลต์ที่เฟส ABG มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดพอลต์ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวส่ง

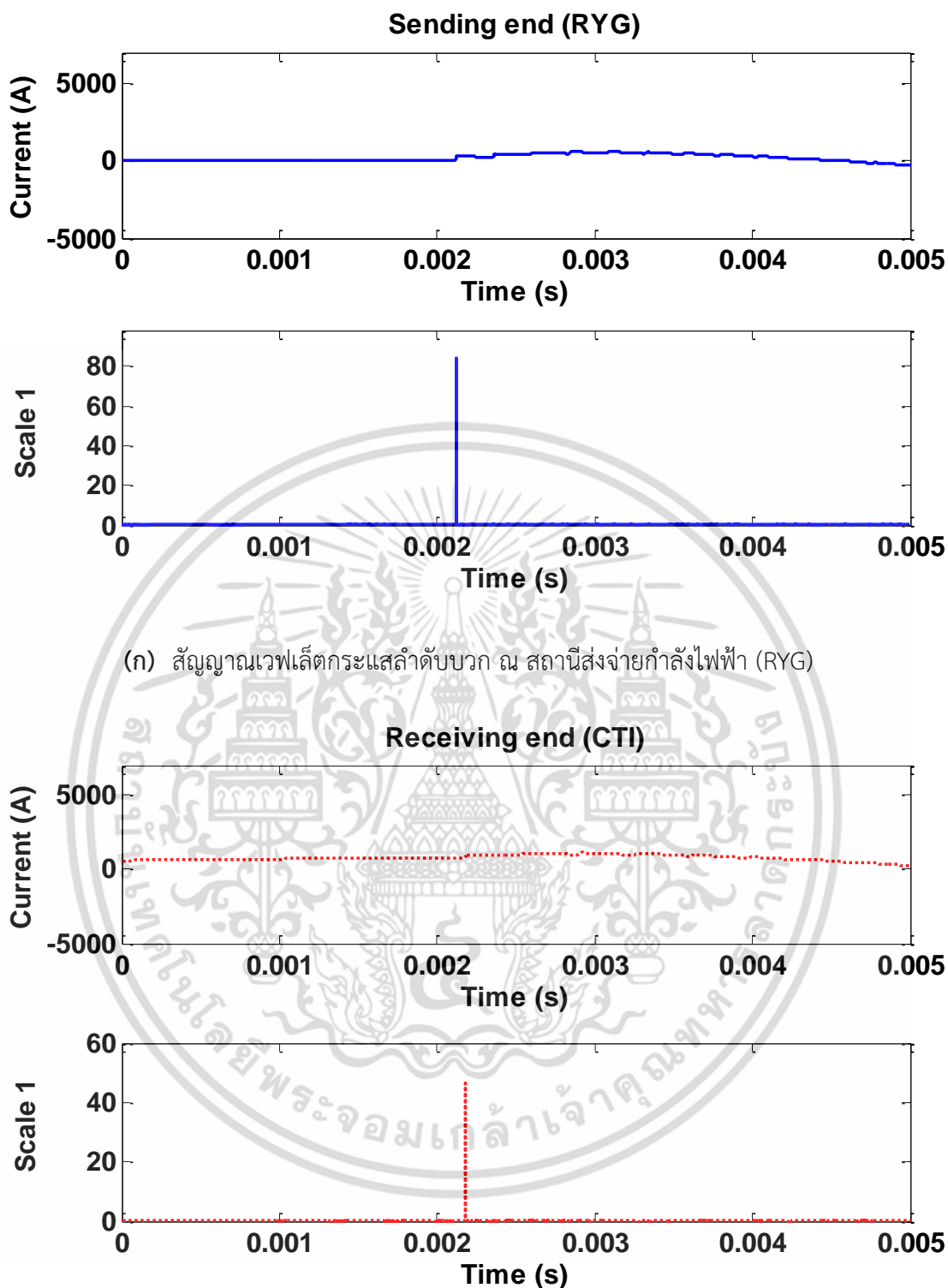
กรณีที่ 1 เกิดพอลต์ที่เฟส ABG มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

สัญญาณที่แสดงในกรณีนี้ ประกอบด้วยสัญญาณ 2 ชนิด คือ สัญญาณกระแสไฟฟ้าลำดับบวก และสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวกโดยสัญญาณทั้งสองเกิดจากการแปลงคาร์กและการแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วยของสัญญาณกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 0 องศา เฟส A และเฟส B ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 35.4 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)

พิจารณาด้านขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท

กำหนดให้

รูปบน	แสดงกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ขนาดกระแส หน่วยแอมแปร์
รูปล่าง	แสดงสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท



(ข) สัญญาณเวฟเล็ดกระแสลำดับบวก ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.56 เมื่อเกิดฟลัดระหว่างเฟสลงดิน ABG มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

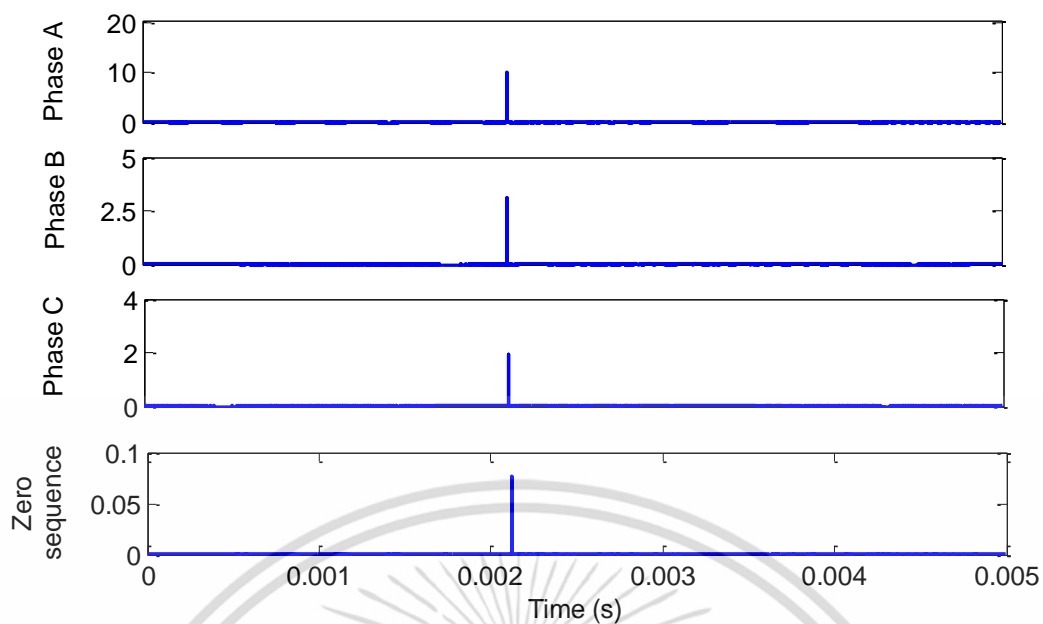
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มขึ้นในทีศบว ก ณ เวลาที่เกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน โดยการเพิ่มขึ้นนี้สามารถสังเกตขนาด การเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนมากขึ้นหากพิจารณาด้วยค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต ซึ่งการเพิ่มขึ้น ของกระแสไฟฟ้าลำดับบว กและค่าสัมประสิทธิ์การแปลงนี้สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกับกรณี ความผิดปกติที่กล่าวไปก่อนหน้านี้

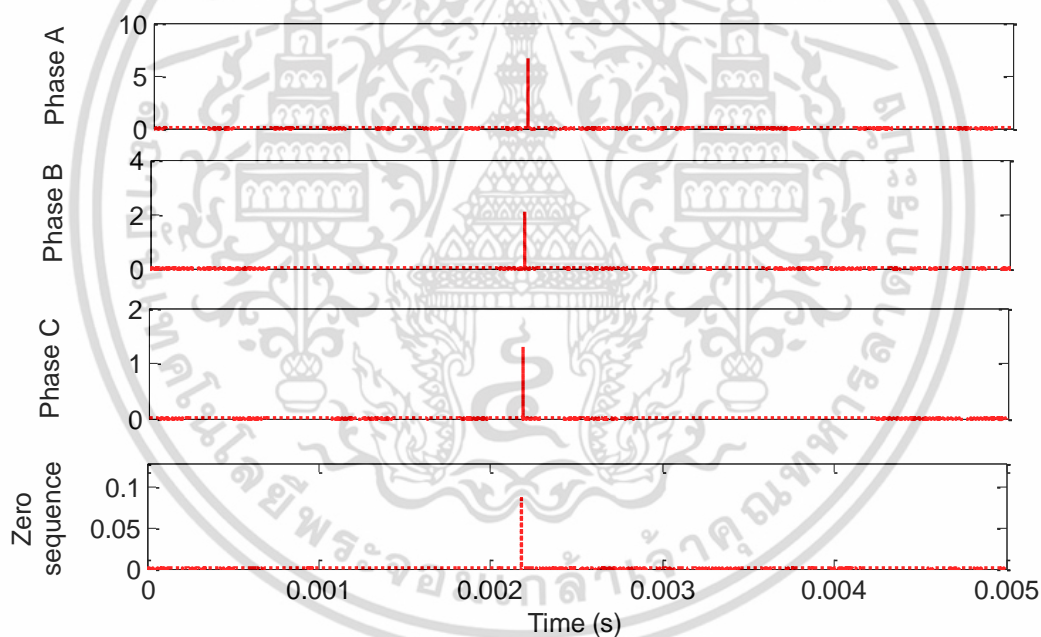
พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.56(ข) พบว่า ลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้า ลำดับบว กและค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตมีลักษณะเช่นเดียวกันสถานีส่ง เนื่องจากเหตุผล เดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ขนาดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ ด้านสถานีรับน้อยกว่าสถานีส่ง เนื่องจากระยะทางระหว่างจุดที่เกิดฟอลต์ถึงสถานีทั้งสองต่างกัน ผลต่างของระยะทาง มีผลทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างสถานีทั้งสองต่างกันตาม ที่ตำแหน่งฟอลต์ 40% ของความยาวสายส่งอ้างอิงด้านสถานีส่ง เมื่อวิเคราะห์ระยะทางพบว่า จุดที่เกิดฟอลต์ใกล้กับสถานีส่ง มากกว่าสถานีรับ ดังนั้นค่าอิมพีแดนซ์ของสถานีส่งย่อมมากกว่าสถานีรับ ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าที่ ตรวจวัดจากสถานีรับมากกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตด้านรับจึงมากกว่าเนื่องจาก กระแสไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์แปรผันตรงข้ามกันดังกล่าวไปในกรณีฟ้าผ่าและฟอลต์ก่อนหน้า

จากข้างต้นทำการแสดงคุณลักษณะของกระแสลำดับบว กและสัญญาณเวฟเล็ตของกระแสลำดับ บว กแล้วเห็นได้ว่า สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตสามารถตรวจวัดขนาดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเกิดฟอลต์ ได้ อันดับต่อไปเพื่อศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสไฟฟ้าของแต่ละเฟส และ ส่วนประกอบลำดับศูนย์ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่เฟส A และเฟส B มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งมาแปลงเวฟเล็ต ดังแสดงในรูป ที่ 3.57(ก) แสดงสัญญาณเวฟเล็ตที่ตรวจวัดจากสถานีส่งและรูปที่ 3.57(ข) แสดงสัญญาณเวฟเล็ตที่ ตรวจวัดจากสถานีรับ



(ก) สัญญาณเวฟเล็ดแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณเวฟเล็ดแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีรับจ่ายกำลังไฟฟ้า (CTI)  
รูปที่ 3.57 เมื่อเกิดฟลลต์ระหว่างเฟสลงดิน ABG มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

จากรูปที่ 3.57(ก) พบว่า สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดทั้งสามเฟสเกิดขึ้นที่เวลาเกิดฟอลต์เล็กน้อย (ฟอลต์เกิดที่เวลา 2 มิลลิวินาที) โดยขนาดสัมประสิทธิ์ของแต่ละเฟสไม่เท่ากัน สามารถเรียงลำดับขนาดสัมประสิทธิ์จากมากไปน้อยได้คือ เฟส A เฟส B และเฟส C ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีส่งพบว่า เกิดขนาดสัมประสิทธิ์ขึ้นที่เวลาเดียวกับสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดของกระแสไฟฟ้า 3 เฟส แต่มีขนาดน้อยกว่า เนื่องจากกรณีฟอลต์ดังกล่าว เกิดการลัดวงจรของกระแสไฟฟ้า 2 เฟสและไหลลงสู่ดิน การลัดวงจรของกระแสไฟฟ้าลงสู่ดินส่งผลให้ขนาดสัมประสิทธิ์ลำดับศูนย์มีขนาดเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 3.57(ข) พบว่า เฟส A เฟส B และเฟส C เกิดค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดสูงสุดที่เวลาเดียวกันหลังเกิดฟอลต์ขึ้นและขนาดของแต่ละเฟส มีแนวโน้มเช่นเดียวกับสถานีส่ง คือ เฟส A และเฟส B มีขนาดสัมประสิทธิ์มากกว่าเฟส C ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดทั้งสองเฟสที่มากที่สุดสาเหตุมาจากเกิดการลัดวงจรที่เฟสโดยตรง

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีรับพบว่า มีลักษณะสัมประสิทธิ์เช่นเดียวกับสถานีส่ง โดยเกิดขนาดสัมประสิทธิ์ลำดับศูนย์ขึ้นในเวลาที่เกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน

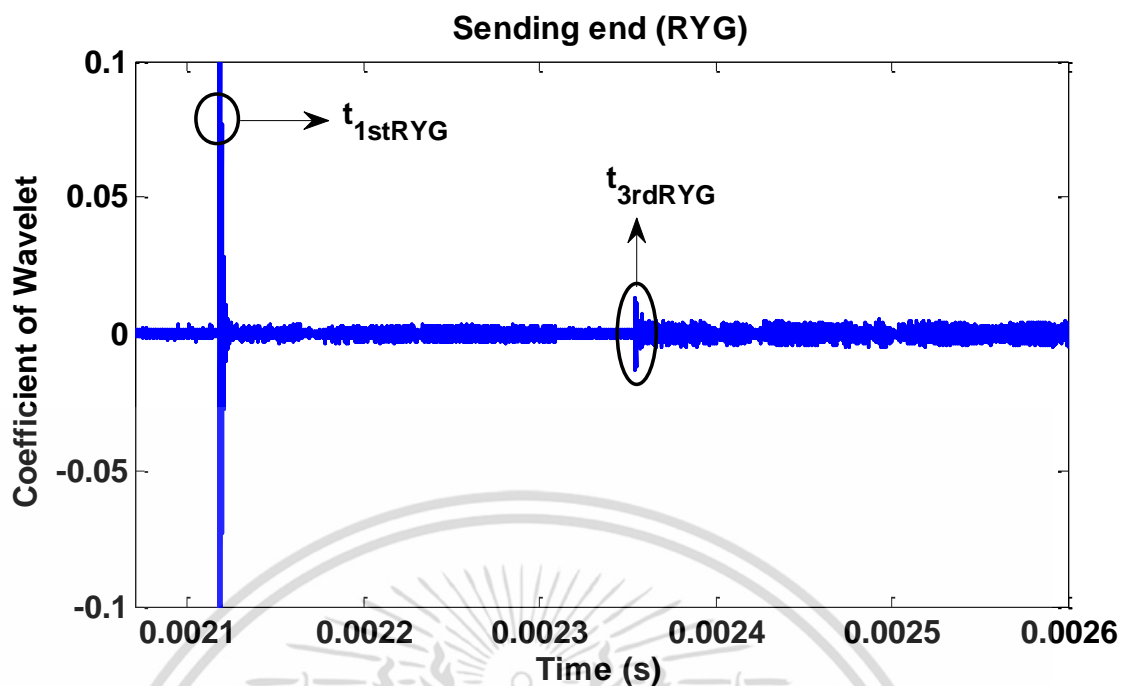
เมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 3.57 ซึ่งสัญญาณเวฟเล็ดของกระแสไฟฟ้า 3 เฟสและรูปที่ 3.13 ซึ่งกระแสไฟฟ้า 3 เฟสที่ไม่ผ่านการแปลงเวฟเล็ดของกรณีฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินของเฟส A และเฟส B มุมแรงดันเท่ากับ 0 องศาที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งพบว่า แนวโน้มขนาดของแต่ละเฟสมีลักษณะเดียวกัน แต่การพิจารณาการขนาดการเปลี่ยนแปลงจากสัญญาณที่ผ่านการแปลงเวฟเล็ดสามารถระบุขนาดและเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนกว่า

เมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 3.57 ซึ่งแสดงสัญญาณเวฟเล็ดของกระแสไฟฟ้า 3 เฟสกับรูปที่ 3.56 ซึ่งสัญญาณเวฟเล็ดของกระแสไฟฟ้าลำดับบวกเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ที่เฟส มุมแรงดันและตำแหน่งเดียวกันพบว่า เกิดขนาดสัมประสิทธิ์สูงสุดที่เวลาหลังเกิดฟอลต์เล็กน้อยเช่นเดียวกัน แต่ขนาดสัมประสิทธิ์ของสัญญาณเวฟเล็ดกระแสลำดับบวกมากกว่าสัญญาณเวฟเล็ดจากกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เนื่องจากกระแสลำดับบวกคือผลรวมของขนาดทั้ง 3 เฟส

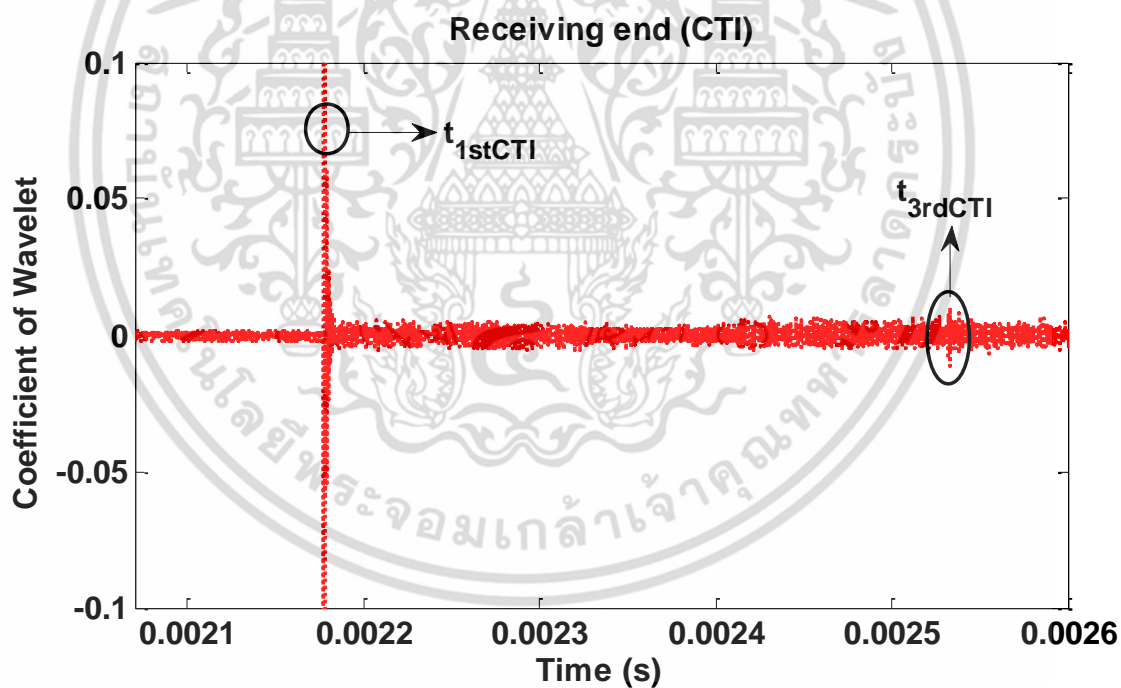
พิจารณาด้านเวลาของขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ด

กำหนดให้

แกนนอน	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่น หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ด
$t_{1stRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{3rdRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{1stCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีรับ (CTI)
$t_{3rdCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีรับ (CTI)



(ก) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีส่งกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.58 เมื่อเกิดฟลลต์ระหว่างเฟสลงดิน ABG มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปแบบที่ 3.58 พบว่า สามารถตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 คลื่นลำดับที่ 3 อย่างชัดเจน ซึ่งลักษณะการตรวจจับนี้เป็นผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานเช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่าและฟอลต์ที่กล่าวไปก่อนหน้านี้

พิจารณาด้านสถานีรับในรูปแบบที่ 3.58 พบว่า สามารถตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ได้อย่างชัดเจนเนื่องจากคลื่นมีขนาดใหญ่ เปลี่ยนแปลงมากและในเวลาต่อมาตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 แต่คลื่นลำดับที่ 3 มีขนาดเล็ก ดังนั้นส่งผลให้ตรวจพบได้ไม่ชัดเจนเท่าที่ควร ซึ่งขนาดของคลื่นลำดับต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับพลังงานดังกล่าวข้างต้น

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า สามารถตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ด้วยเวลาที่แตกต่างกัน อีกทั้งไม่พบคลื่นสะท้อนจากสถานีทั้งสอง ซึ่งค่าเวลาที่แตกต่างกันเป็นผลเนื่องจากระยะทาง และการไม่พบคลื่นสะท้อนเป็นเนื่องจากผลของพลังงานสะสมไม่เพียงพอ ดังกล่าวข้างต้น

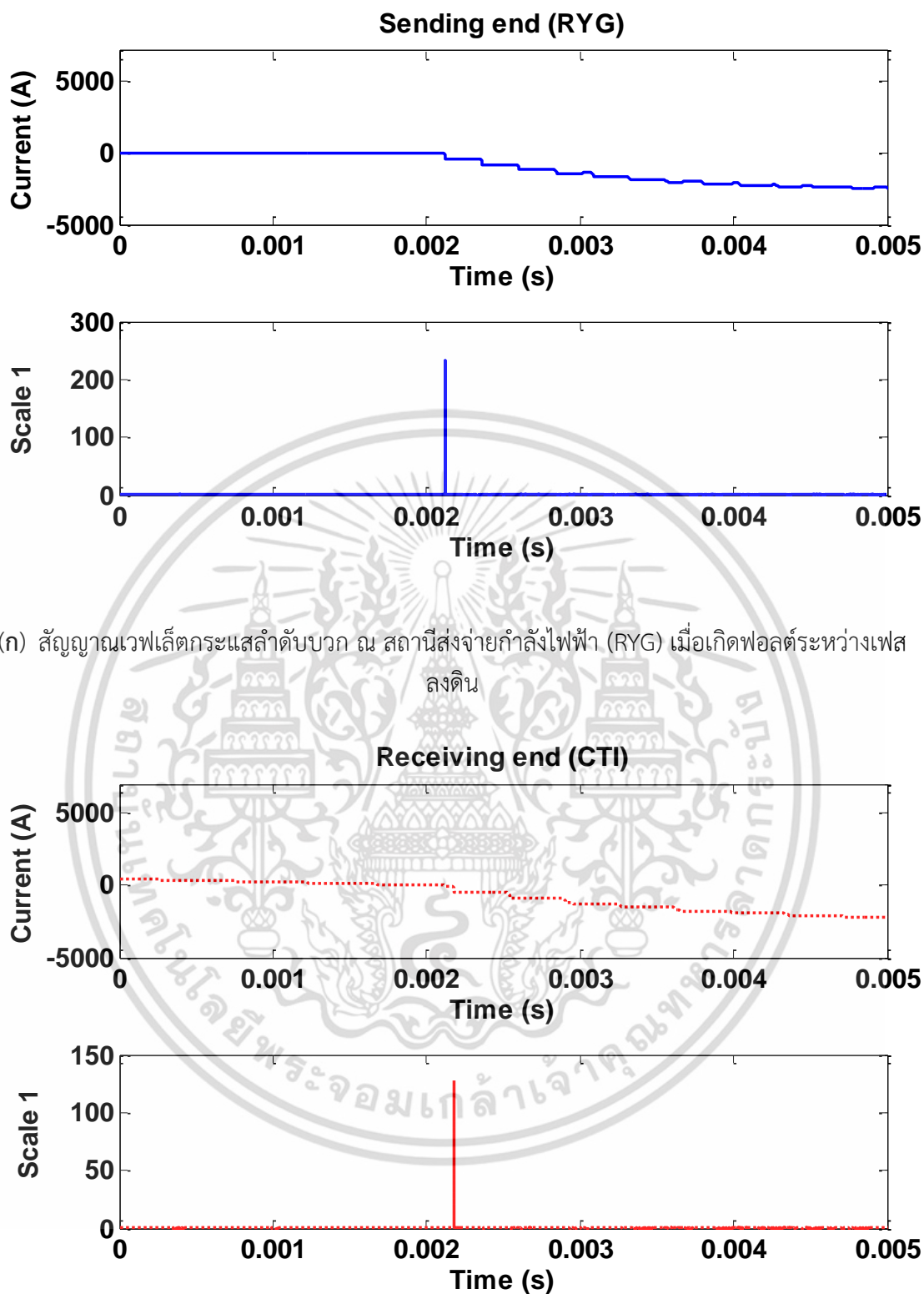
กรณีที่ 2 เกิดฟอลต์ที่เฟส ABG มุมแรงดัน 90 องศา โดยเกิดที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

สัญญาณที่แสดงในกรณีนี้ ประกอบด้วยสัญญาณ 2 ชนิด คือ สัญญาณกระแสไฟฟ้าลำดับบวก และสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวก โดยสัญญาณทั้งสองเกิดจากการแปลงคาร์กและการแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วยของสัญญาณกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 90 องศา ของสายส่ง เฟส A และเฟส B ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 35.4 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)

พิจารณาด้านขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท

กำหนดให้

รูปบน	แสดงกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ขนาดกระแส หน่วยแอมแปร์
รูปล่าง	แสดงสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท



(ข) สัญญาณแอมเพอเล็ทกระแสลำดับบวก ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.59 เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ABG มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.59(ก) พบว่า กระแสไฟฟ้าลำดับบวกมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นในทิศทางลบ ทิศทางการเปลี่ยนแปลงขนาดนี้เป็นผลมาจากลักษณะสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นแบบไซน์ฮอว์ค ดังได้อธิบายไปก่อนหน้านี้ ถ้าพิจารณาด้วยค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงขนาดได้ชัดเจนมากกว่ากระแสไฟฟ้าลำดับบวก

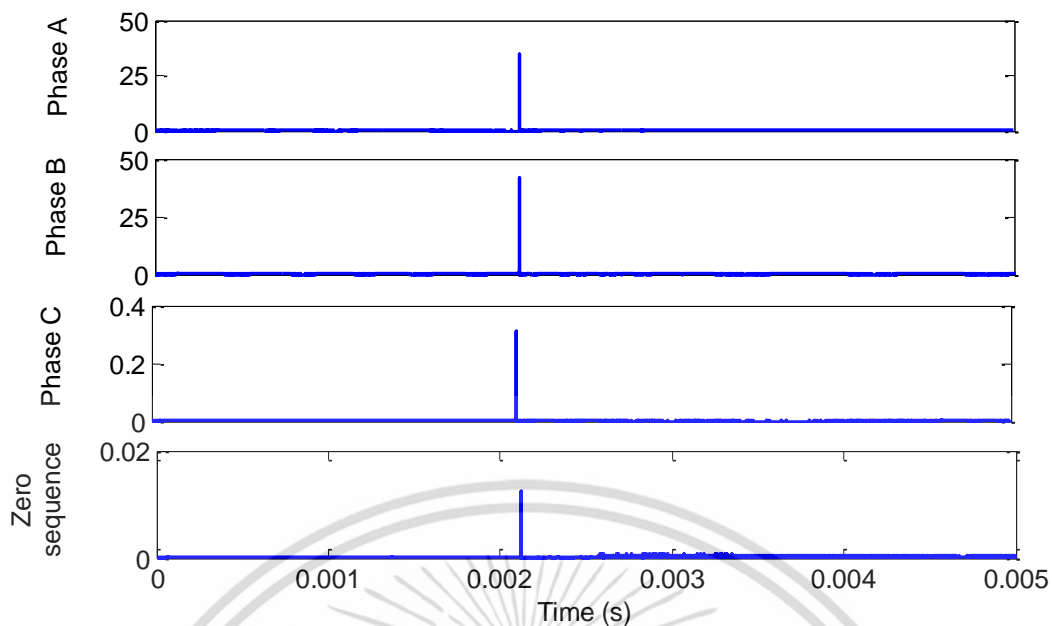
พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.59(ข) พบว่า ลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าลำดับบวกและสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมีแนวโน้มเช่นเดียวกับสถานีส่ง เนื่องจากเหตุผลเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ขนาดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณด้านสถานีรับน้อยกว่าสถานีส่ง เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์ของสายส่งดังกล่าวข้างต้น

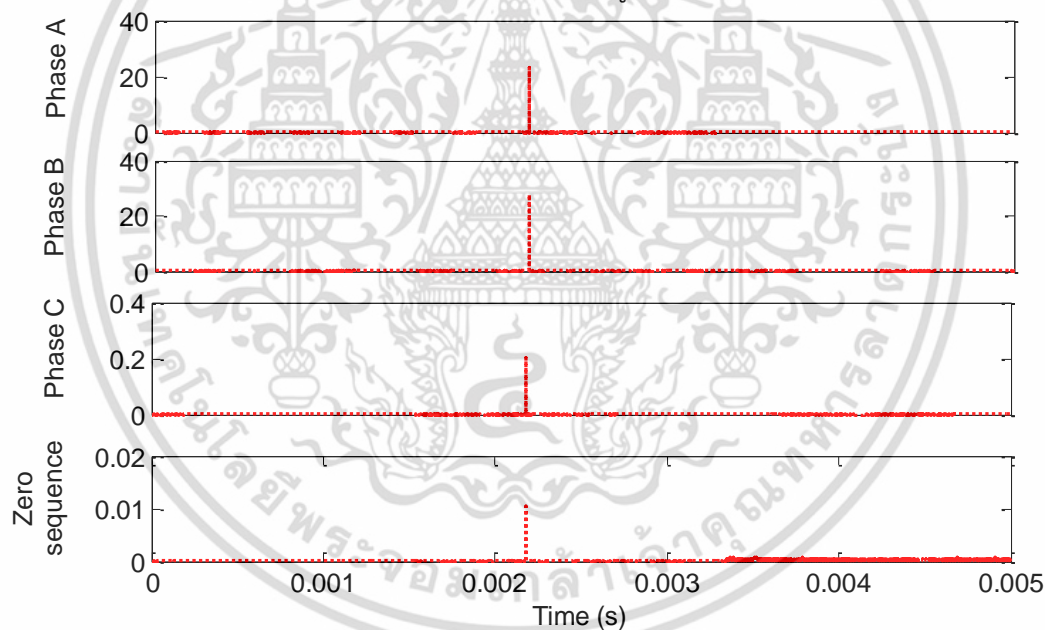
พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.56(ก) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.59(ก) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับกรณีฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง เนื่องจากอิมพีแดนซ์สายส่งไม่เปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงมูจึงมีผลต่อขนาดเล็กน้อยเท่านั้น

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.56(ข) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.59(ข) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า มีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง คือมุมแรงดันเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสไฟฟ้าลำดับบวกและสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันข้างต้น

ต่อมาทำการศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงขนาดของเฟส A เฟส B และเฟส C ต่อ โดยการนำกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่เฟส A และเฟส B มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งมาทำการแปลงให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณเวฟเล็ทและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 3.60(ก) แสดงสัญญาณเวฟเล็ทที่ตรวจวัดจากสถานีส่งและรูปที่ 3.60(ข) แสดงสัญญาณเวฟเล็ทที่ตรวจวัดจากสถานีรับ



(ก) สัญญาณเวฟเล็ดแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณเวฟเล็ดแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีรับจ่ายกำลังไฟฟ้า (CTI)  
รูปที่ 3.60 เมื่อเกิดฟลลต์ระหว่างเฟสลงดิน ABG มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

จากรูปที่ 3.60(ก) พบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ของเฟส A และเฟส B มีขนาดมากกว่าเฟส C และขนาดสัมประสิทธิ์สูงสุดเกิดที่เวลาหลังเกิดฟอลต์เล็กน้อย

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีส่งพบว่า เกิดขนาดสัมประสิทธิ์เพิ่มขึ้นที่เวลาเกิดฟอลต์เช่นเดียวกับกรณีฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินก่อนหน้า การเพิ่มขึ้นของขนาดสัมประสิทธิ์มีสาเหตุมาจากเกิดการลัดวงจรกระแสไฟฟ้าไหลลงสู่ดิน ทำให้องค์ประกอบลำดับสูงมีขนาดเกิดขึ้น

พิจารณาเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทด้านสถานีส่งระหว่างรูปที่ 3.57(ก) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่เฟส A และเฟส B มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.60(ก) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่เฟส A และเฟส B มุมแรงดันของสถานีรับเท่ากับ 90 องศา เฟส A ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งพบว่า เฟส A และเฟส C มีขนาดลดลง แต่เฟส B มีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อมุมแรงดันเปลี่ยนจาก 0 องศาเป็น 90 องศา ซึ่งขนาดที่เปลี่ยนแปลงเกิดจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงมุม ซึ่งขนาดสัมประสิทธิ์มีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตำแหน่งมุมของสัญญาณกระแสไฟฟ้า ณ เวลาที่เกิดฟอลต์ดังที่ได้อธิบายไปก่อนหน้านี้

จากรูปที่ 3.60(ข) ซึ่งแสดงสัญญาณเวฟเล็ทของกระแส 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีส่งพบว่า แนวโน้มของค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเหมือนกับสถานีส่งทั้งด้านเวลาที่เกิดและเฟสที่เกิดค่าสัมประสิทธิ์สูงสุด ถึงแม้เฟสที่เกิดค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดมีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง แต่ขนาดของมีค่าน้อยมากกว่าสถานีส่งทั้งสามเฟส เนื่องจากผลของระยะทางระหว่างสถานีทั้งสองไม่เท่ากัน

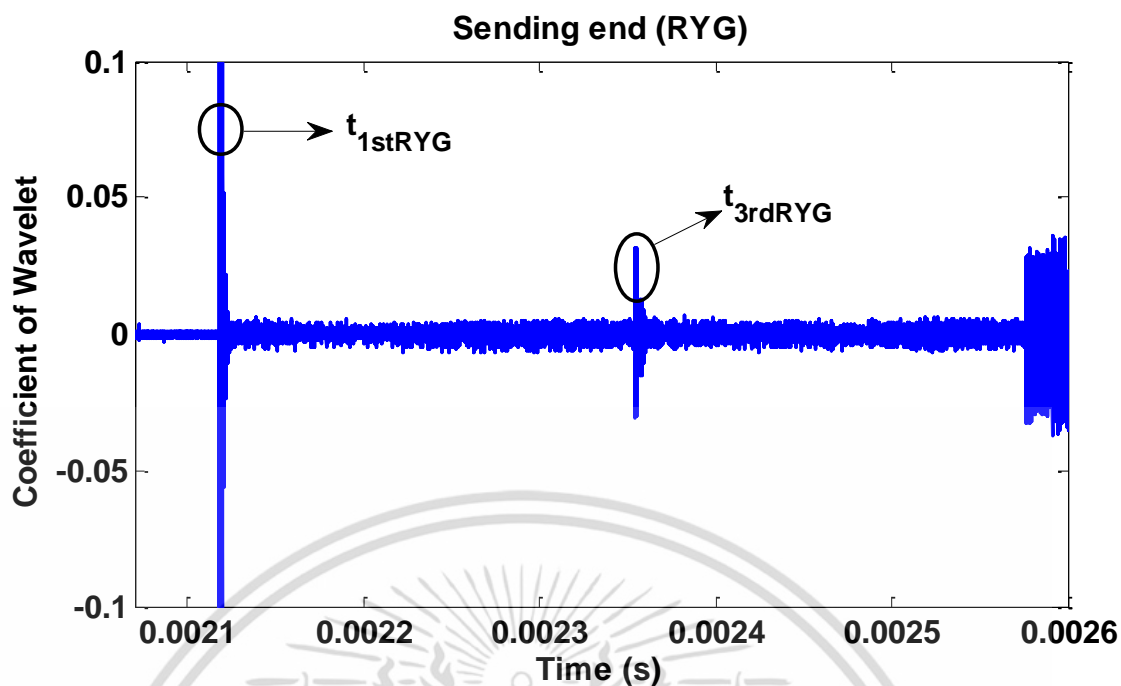
เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีรับพบว่า เกิดขนาดสัมประสิทธิ์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับสัมประสิทธิ์ของกระแสไฟฟ้า 3 เฟสแต่มีขนาดน้อยกว่า โดยขนาดการเพิ่มขึ้นของสัมประสิทธิ์ส่วนประกอบลำดับศูนย์ สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกับสถานีส่งข้างต้น

พิจารณาเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทด้านสถานีรับระหว่างรูปที่ 3.57(ข) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่เฟส A และเฟส B มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.60(ข) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่เฟส A และเฟส B มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งพบว่า ขนาดของเฟส A เฟส C ลดลง แต่เฟส B มีเพิ่มขึ้นจากเดิม

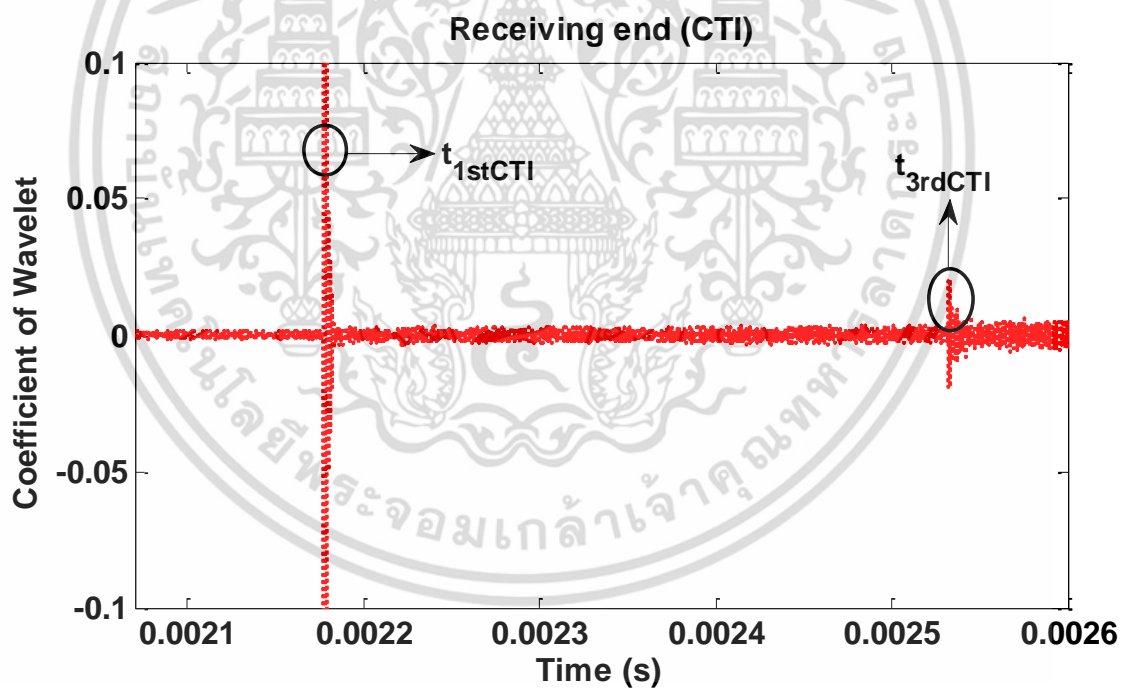
พิจารณาด้านเวลาของขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท

กำหนดให้

แกนนอน	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่น หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท
$t_{1stRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{3rdRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{1stCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีรับ (CTI)
$t_{3rdCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีรับ (CTI)



(ก) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีส่งกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.61 เมื่อเกิดฟลลต์ระหว่างเฟสลงดิน ABG มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.61(ก) พบว่า สามารถตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ลำดับที่ 3 และคลื่นสะท้อนชัดเจน หลังจากคลื่นสะท้อนนี้เกิดคลื่นรบกวนค่อนข้างมาก

พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.61(ข) พบว่า เกิดคลื่นรบกวนเล็กน้อย สามารถตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ตามลำดับ แต่ไม่พบคลื่นสะท้อนจากสถานีส่ง

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ด้านสถานีส่งตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ลำดับที่ 3 และคลื่นสะท้อนจากสถานีรับ แต่ด้านสถานีส่งตรวจพบเพียงคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 เท่านั้น ดังนั้นเห็นได้ว่า คลื่นสะท้อนมีโอกาสตรวจพบหรือไม่ก็ได้ โดยขึ้นอยู่กับพลังงานดังกล่าวก่อนหน้า

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.58(ก) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.61(ก) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับต่าง ๆ มีลักษณะเช่นเดิม ไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากผลของระยะทางตั้งได้กล่าวไปก่อนหน้านี้

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.58(ข) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.61(ข) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า มีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยหลักการและเหตุผลเดียวกัน

กรณีที่ 3 เกิดฟลัดที่เฟส ABG มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวส่ง

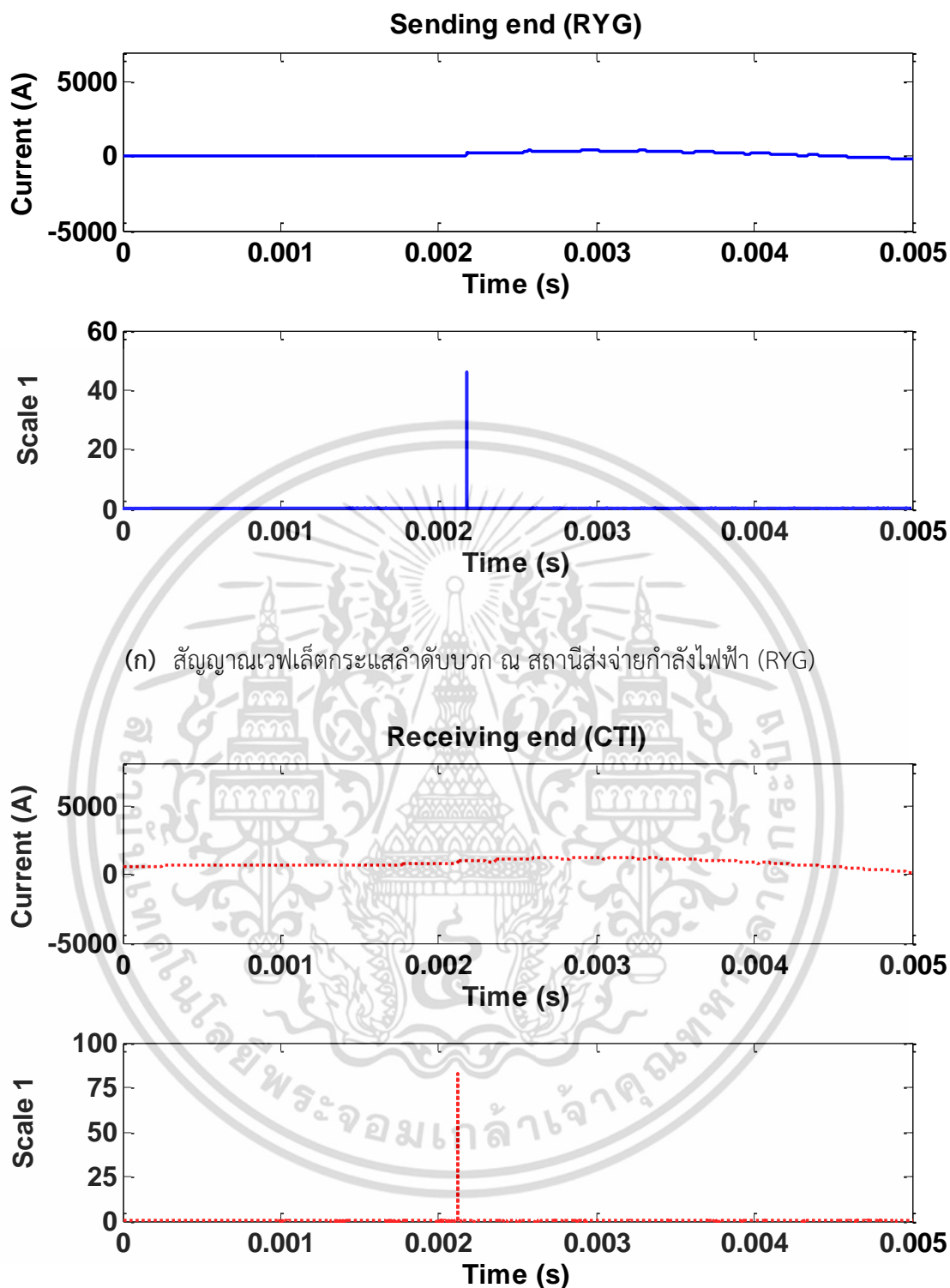
สัญญาณที่แสดงในกรณีนี้ ประกอบด้วยสัญญาณ 2 ชนิด คือ สัญญาณกระแสไฟฟ้าลำดับบวก และสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวก โดยสัญญาณทั้งสองเกิดจากการแปลงคาร์กและการแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วยของสัญญาณกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อเกิดฟลัดระหว่างเฟสลงดิน ที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 0 องศา เฟส A และเฟส B ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 53.1 กิโลเมตร อ่างอิงจากสถานีส่ง (RYG)

พิจารณาด้านขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท

กำหนดให้

รูปบน	แสดงกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ขนาดกระแส หน่วยแอมแปร์
รูปล่าง	แสดงสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สัญญาณเวฟเล็ตกระแสลำดับบวก ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)

(ข) สัญญาณเวฟเล็ตกระแสลำดับบวก ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.62 เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ABG มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.62(ก) พบว่า กระแสไฟฟ้าลำดับบวกมีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่ 40% ของความยาวสายส่ง โดยขนาดกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงในทิศทางบวก ซึ่งสาเหตุการเปลี่ยนแปลงสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันข้างต้น และเมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนมากกว่ากระแสไฟฟ้าลำดับบวก

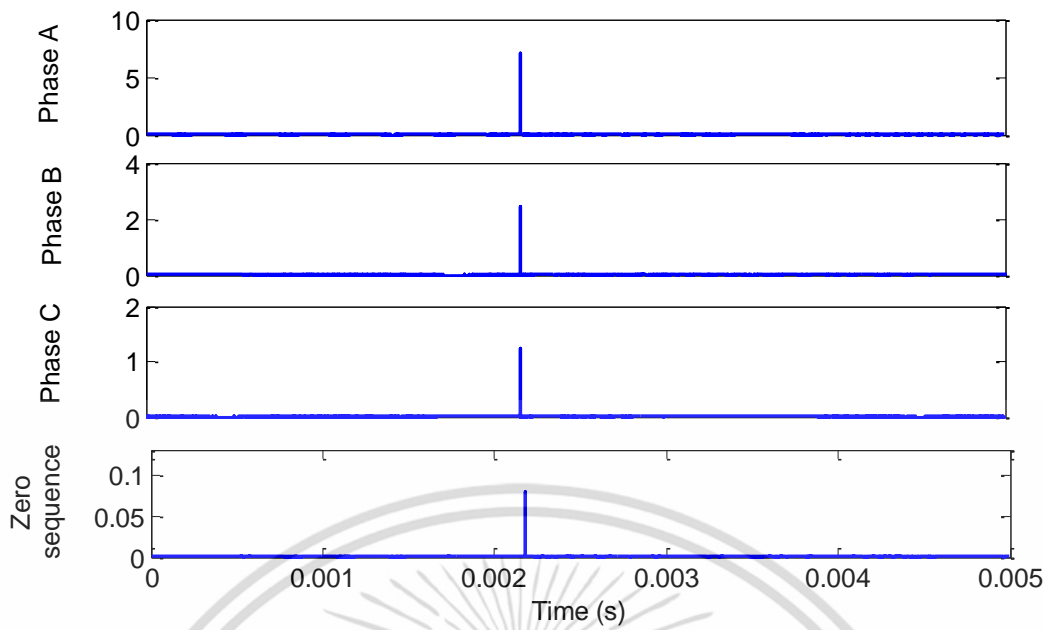
พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.62(ข) พบว่า ลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าลำดับบวกและสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมีแนวโน้มเช่นเดียวกับสถานีส่งดังกล่าวข้างต้น

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ขนาดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณด้านสถานีรับมากกว่าสถานีส่ง เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์ของสายส่ง ซึ่งมีผลต่อขนาดกระแสไฟฟ้าเช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่าและฟอลต์ต่าง ๆ ที่ได้อธิบายไปก่อนหน้านี้

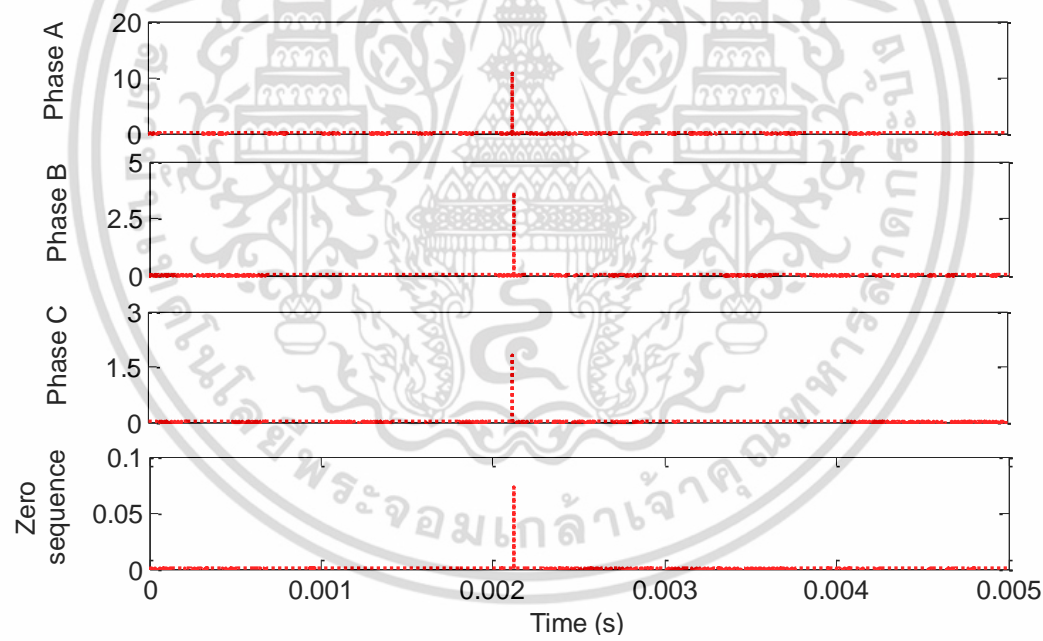
พิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง รูปที่ 3.56(ก) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.62(ก) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสไฟฟ้าลดลงเมื่อตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์เช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่าและฟอลต์ชนิดอื่น ๆ ดังได้กล่าวไปข้างต้น

พิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง รูปที่ 3.56(ข) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.62(ข) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสไฟฟ้าตรงข้ามกับสถานีส่ง เนื่องจากระยะทางจากจุดที่เกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินถึงสถานีรับตรงข้ามกัน ส่งผลให้อิมพีแดนซ์สายส่งเปลี่ยน ขนาดกระแสไฟฟ้าจึงเปลี่ยนแปลงตาม เช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่าและกรณีฟอลต์อื่น ๆ ก่อนหน้านี้

จากที่กล่าวมาข้างต้นได้ทำการแสดงคุณลักษณะของกระแสลำดับบวกและสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวกแล้ว อันดับต่อไปเพื่อศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงขนาดของแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงนำสัญญาณกระแสไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่เฟส A และเฟส B มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งมาแปลงเวฟเล็ท ดังแสดงในรูปที่ 3.63(ก) แสดงสัญญาณเวฟเล็ทที่ตรวจวัดจากสถานีส่งและรูปที่ 3.63(ข) แสดงสัญญาณเวฟเล็ทที่ตรวจวัดจากสถานีรับ



(ก) สัญญาณเวฟเล็ิตแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณเวฟเล็ิตแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีรับจ่ายกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.63 สัญญาณเวฟเล็ิตเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่เฟส A และเฟส B มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.63(ก) แสดงสัญญาณเวฟเล็ทของกระแส 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีส่งพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของเฟส A มีขนาดมากกว่าเฟส B และเฟส C ตามลำดับ โดยทั้งสามเฟสเกิดขนาดสูงสุดที่เวลาหลังจาก 2 มิลลิวินาทีเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีส่งพบว่า สัญญาณเวฟเล็ทส่วนประกอบลำดับศูนย์และสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของกระแสไฟฟ้า 3 เฟสเกิดการเพิ่มขึ้นของสัมประสิทธิ์ที่เวลาเดียวกัน เนื่องจากได้รับผลกระทบของการลัดวงจรลงดินดังกล่าวไปก่อนหน้านี้

พิจารณาเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทด้านสถานีส่งระหว่างรูปที่ 3.57(ก) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่เฟส A และเฟส B มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.63(ก) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่เฟส A และเฟส B ที่มุมแรงดันของสถานีรับเท่ากับ 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า ขนาดของสัมประสิทธิ์ทั้งสามเฟสมีแนวโน้มลดลงเมื่อมุมแรงดันเปลี่ยนแปลงจาก 40% เป็น 60% ของความยาวสายส่ง โดยขนาดที่ลดลงเมื่อตำแหน่งเปลี่ยนไป เนื่องจากผลของระยะทางต่ออิมพีแดนซ์ที่กล่าวไปก่อนหน้านี้

จากรูปที่ 3.63(ข) ซึ่งแสดงสัญญาณเวฟเล็ทของกระแส 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีส่งพบว่า สัมประสิทธิ์ทั้งสามเฟสเกิดที่เวลาหลังเกิดฟอลต์เช่นเดียวกับสถานีส่ง โดยมีขนาดแตกต่างกัน เฟส A มีขนาดมากกว่าเฟส B และเฟส C

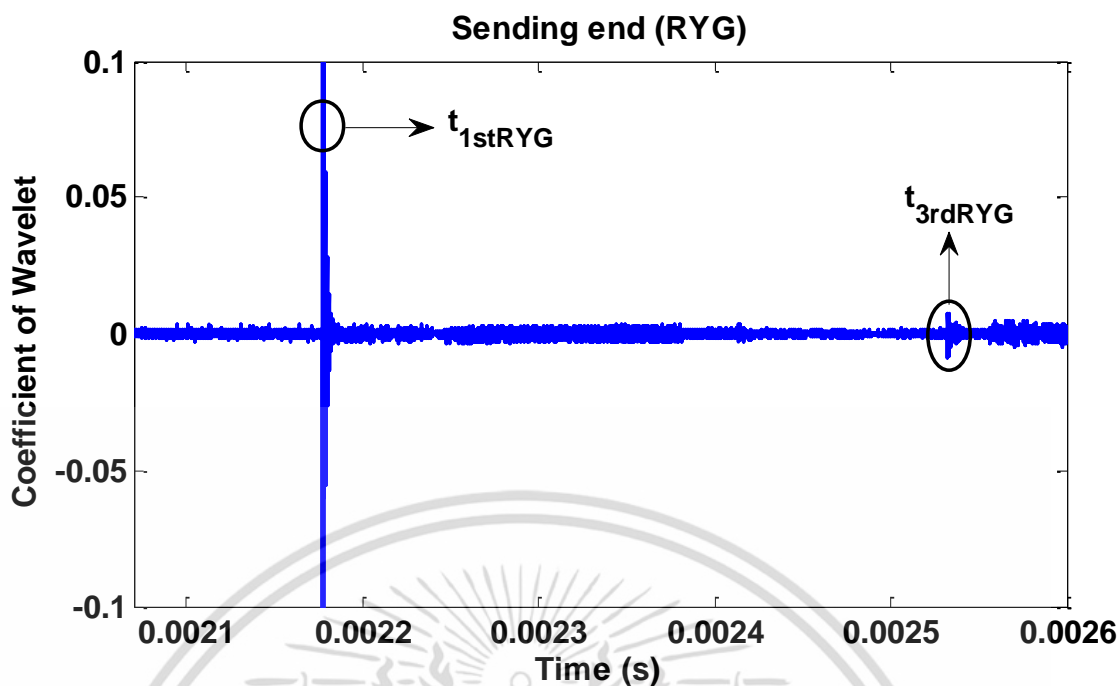
เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีรับพบว่า มีลักษณะสัมประสิทธิ์เช่นเดียวกับสถานีส่ง ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันข้างต้น

พิจารณาเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทด้านสถานีรับระหว่างรูปที่ 3.57(ข) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่เฟส A และเฟส B ที่มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.63(ข) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่เฟส A และเฟส B มุมแรงดันของสถานีรับเท่ากับ 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า ขนาดของสัมประสิทธิ์ของสถานีรับเปลี่ยนแปลงตรงข้ามกับสถานีส่งทั้งสามเฟส คือเมื่อตำแหน่งเปลี่ยนแปลงไกลสถานีส่งออกไป ขนาดสัมประสิทธิ์ของสถานีรับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งสามเฟส เนื่องจากผลของระยะทางต่ออิมพีแดนซ์ดังกล่าวไปข้างต้น

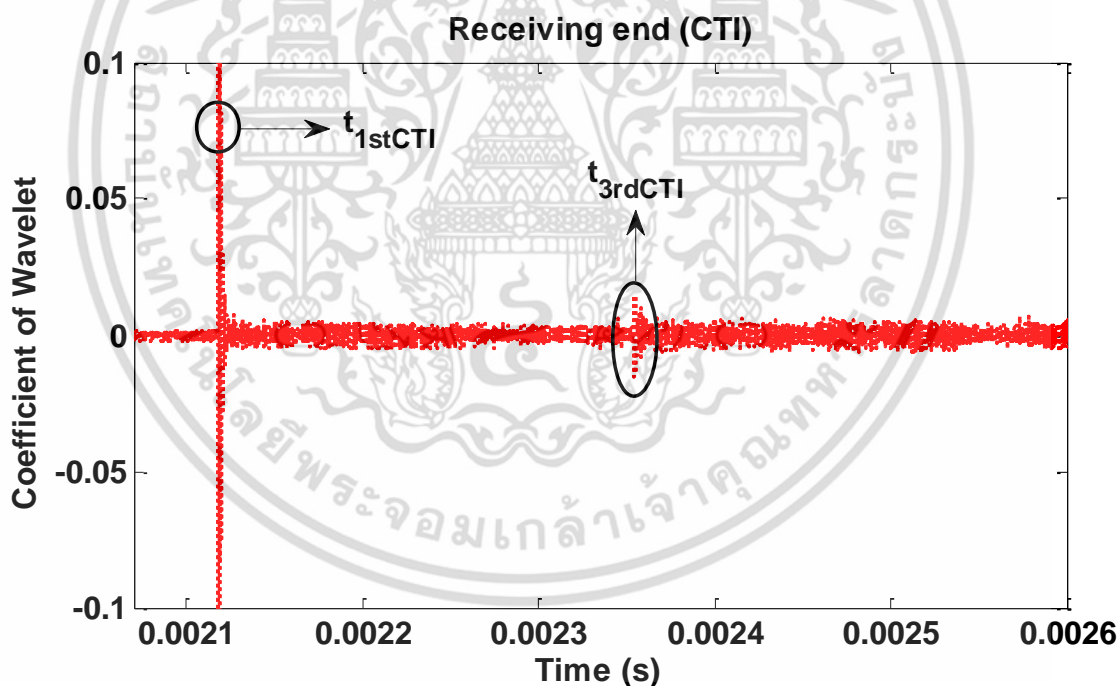
พิจารณาด้านเวลาของขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท

กำหนดให้

แกนนอน	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่น หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท
$t_{1stRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{3rdRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{1stCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีรับ (CTI)
$t_{3rdCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีรับ (CTI)



(ก) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีส่งกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.64 เมื่อเกิดฟลัดระหว่างเฟสลงดิน ABG มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.64(ก) พบว่า มีคลื่นรบกวนน้อย สามารถตรวจจับคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ได้อย่างชัดเจนด้วยเวลาตามลำดับ อีกทั้งยังพบคลื่นสะท้อนจากสถานีรับ เนื่องจากผลของพลังงานเช่นเดียวกับกรณีความผิดปกติก่อนหน้า

พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.64(ข) พบว่า สามารถตรวจจับคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ได้ แต่เนื่องจากขนาดของคลื่นลำดับที่ 3 มีขนาดเล็กส่งผลให้ตรวจจับได้ไม่ชัดเจนเท่าคลื่นลำดับที่ 1 เนื่องจากพลังงานดังกล่าวก่อนหน้า

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ทั้งสองสถานีตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ด้วยเวลาที่ต่างกัน เนื่องจากระยะทางการเดินทางของคลื่นแตกต่างกัน

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.58 (ก) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.64(ก) เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 มีลักษณะเช่นเดียวกันกรณีฟ้าผ่าและฟอลต์ที่กล่าวไป โดยสาเหตุสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกัน

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.58(ข) เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.64(ข) เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับสถานีส่ง ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกัน

ตารางที่ 3.22 และตารางที่ 3.23 แสดงขนาด เวลาที่เกิดค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทและส่วนประกอบลำดับศูนย์ที่ตรวจวัดได้จากสถานีส่งและสถานีรับ เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน โดยตารางที่ 3.22 แสดงข้อมูลที่ได้จากสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวก ตารางที่ 3.23 แสดงข้อมูลของสัญญาณเวฟเล็ทจากกระแส 3 เฟส

ตารางที่ 3.22 สัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวก เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน

ตำแหน่งความยาวสายส่ง	เฟสที่เกิด	มุมแรงดัน	สัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวก			
			สถานีส่ง (RYG)		สถานีรับ (CTI)	
			ขนาด	เวลา (วินาที)	ขนาด	เวลา (วินาที)
40%	ABG	0	15.1566	0.002118	10.1094	0.002177
40%	ABG	90	56.7509	0.002118	37.8313	0.002177
60%	ABG	0	10.7257	0.002177	16.0925	0.002118

จากตารางที่ 3.22 แสดงขนาดและเวลาเมื่อสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมีค่าสูงสุดของกรณีฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินข้างต้น เมื่อพิจารณาด้านเวลาพบว่า คุณลักษณะของเวลาที่ตรวจวัดจากสถานีทั้งสองมีลักษณะเช่นเดิม คือค่าเวลามีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากตำแหน่งเท่านั้น การเปลี่ยนแปลงมุมแรงดันไม่มีผลต่อเวลา

ตารางที่ 3.23 สัญญาณเวฟเล็ดของกระแส 3 เฟส เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน

สัญญาณเวฟเล็ดด้านสถานีส่ง (RYG)					
ตำแหน่งความยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กระแสลำดับศูนย์
40%	0	10.0600	3.1513	1.9474	0.1204
40%	90	34.7021	41.6175	0.3119	0.3224
60%	0	7.0922	2.4129	1.2307	0.0842
สัญญาณเวฟเล็ดด้านสถานีรับ (CTI)					
ตำแหน่งความยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กระแสลำดับศูนย์
40%	0	6.7041	2.1058	1.3010	0.0880
40%	90	23.1252	27.7302	0.2048	0.2165
60%	0	10.6373	3.6363	1.8354	0.1264

จากตารางที่ 3.23 พบว่า เมื่อพิจารณาด้านสถานีส่ง มุมแรงดันเปลี่ยนแปลงจาก 0 องศาเป็น 90 องศา โดยตำแหน่งที่เกิดฟอลต์คงเดิมที่ 40% ของความยาวสายส่งพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ทั้งสามเฟสมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มและลดดังที่อธิบายไปก่อนหน้านี้ และเมื่อพิจารณาด้านสถานีรับที่กรณีเดียวกันนี้พบว่า มีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง ดังนั้นจากขนาดเปลี่ยนแปลงนี้ แสดงให้เห็นว่า มุมแรงดันมีผลต่อขนาดของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ด

เมื่อพิจารณาผลของตำแหน่งพบว่า เมื่อตำแหน่งเปลี่ยนแปลงไกลจากสถานีส่งออกไป 60% ของความยาวสายส่ง ขนาดแต่ละเฟสของสถานีด้านส่งมีแนวโน้มลดลง แต่ขนาดของสถานีด้านรับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้เมื่อทำการพิจารณาขนาดส่วนประกอบสมมาตรลำดับศูนย์ด้านสถานีส่งพบว่า การเปลี่ยนแปลงมุมแรงดันและตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ยังส่งผลกระทบต่อขนาดสัมประสิทธิ์ แต่การเปลี่ยนแปลงขนาดไม่มาก เนื่องจากมีขนาดสัมประสิทธิ์มีขนาดเล็ก

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างตารางที่ 3.22 และตารางที่ 3.23 พบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ของกรณีต่าง ๆ ในตารางที่ 3.22 มากกว่าตารางที่ 3.23 เนื่องจากสัญญาณกระแสลำดับบวกคือผลรวมของกระแส 3 เฟส แต่เวลาที่เกิดค่าสัมประสิทธิ์ตารางทั้งสองใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 3.24 เวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน

ตำแหน่งความยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	สถานีส่ง (RYG)		สถานีรับ (CTI)	
		t1st (วินาที)	t3rd (วินาที)	t1st (วินาที)	t3rd (วินาที)
40%	0	0.002118	0.002355	0.002177	0.002533
40%	90	0.002118	0.002355	0.002177	0.002532
60%	0	0.002177	0.002533	0.002118	0.002354

จากตารางที่ 3.24 แสดงคุณลักษณะของคลื่นเดินทางลำดับต่าง ๆ เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินกรณีต่างๆ ข้างต้นพบว่า ค่าเวลาของคลื่นมีลักษณะเช่นเดียวกับฟ้าผ่าและฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่กล่าวไปข้างต้น โดยผลของค่าเวลาจะแปรตามระยะทางเท่านั้น

จากลักษณะดังกล่าวข้างต้นเห็นได้ว่า สัญญาณเวฟเล็ตกระแสลำดับบวกคล้ายกับสัญญาณเวฟเล็ตกระแสไฟฟ้า 3 เฟส ดังนั้นเพื่อง่ายต่อการศึกษาดำเนินไปจึงนำสัญญาณเวฟเล็ตของกระแสลำดับบวกมาพิจารณา โดยกรณีทีพิจารณา คือ ข้อมูลเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน มุม 0 องศา เฟส A และเฟส B ที่ตำแหน่ง 10%-90% ของความยาวสายส่ง

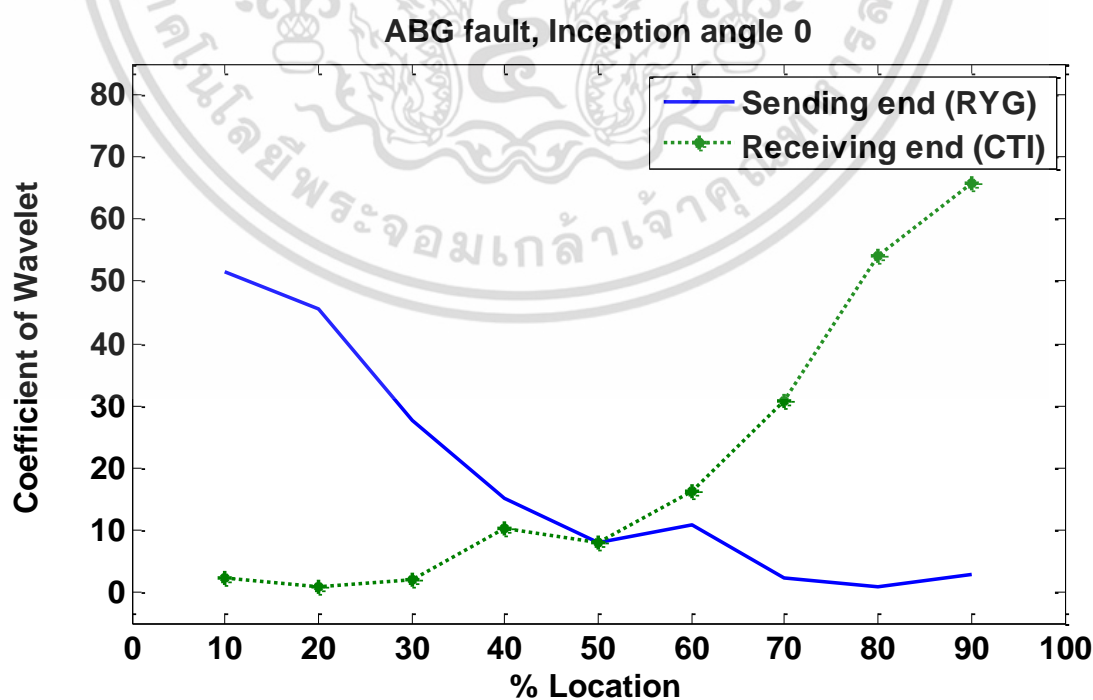
กำหนดให้

กราฟ — แสดงสัญญาณเวฟเล็ตที่ตรวจวัดได้จากสถานีส่ง

กราฟ - - - แสดงสัญญาณเวฟเล็ตที่ตรวจวัดได้จากสถานีรับ

แกนนอน คือ % ตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่า

แกนตั้ง คือ สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของสัญญาณเวฟเล็ต



รูปที่ 3.65 สัญญาณเวฟเล็ตของฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน เมื่อตำแหน่งเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

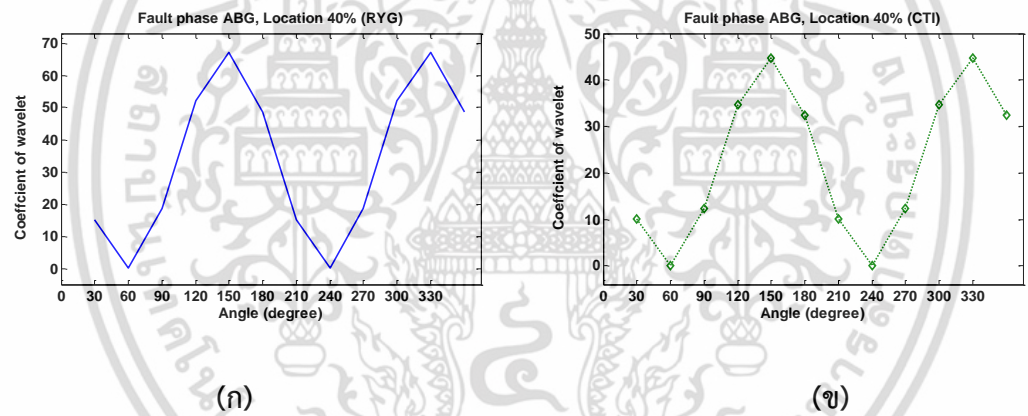
จากรูปที่ 3.65 พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมีแนวโน้มลดลง เมื่อตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินเพิ่มขึ้น ซึ่งแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับกรณียกตัวอย่าง เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่ตำแหน่ง 40% และ 60% ของความยาวสายส่ง การลดลงของค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเป็นผลเนื่องมาจากกระแสไฟฟ้าลดลง และกระแสไฟฟ้าที่ลดลงนี้เป็นผลจากอิมพีแดนซ์สายส่งเพิ่มขึ้น ดังที่ได้อธิบายไปก่อนหน้านี้

พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับสถานีส่ง ทั้งนี้เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์เช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณาสัญญาณเวฟเล็ทเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส มุมแรงดัน 0-330 องศา ที่ตำแหน่ง 10 % ของความยาวสายส่ง

กำหนดให้

- กราฟ — แสดงสัญญาณเวฟเล็ทที่ตรวจวัดได้จากสถานีส่ง
- กราฟ - - - แสดงสัญญาณเวฟเล็ทที่ตรวจวัดได้จากสถานีรับ
- แกนนอน คือ มุมแรงดัน
- แกนตั้ง คือ สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของสัญญาณเวฟเล็ท



รูปที่ 3.66 สัญญาณเวฟเล็ทของฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน เมื่อมุมแรงดันเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 3.66 พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระหว่างสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทและมุมแรงดันมีลักษณะเป็นไซน์ซอไซด์ เช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่าและฟอลต์ชนิดอื่น ๆ ก่อนหน้า เนื่องจากเหตุผลเดียวกันที่ได้อธิบายไปก่อนหน้านี้

พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงมีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง เนื่องจากหลักการและเหตุผลเดียวกัน

ตารางที่ 3.25 เวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ของพอลต์ระหว่างเฟสลงดิน เมื่อตำแหน่งเปลี่ยนแปลง

ตำแหน่งความยาวสายส่ง	สถานีส่ง (RYG)		สถานีรับ (CTI)	
	t1st (วินาที)	t3rd (วินาที)	t1st (วินาที)	t3rd (วินาที)
10%	0.002029	0.002088	0.002266	0.002798
20%	0.002059	0.002176	0.002236	0.00271
30%	0.002088	0.002265	0.002207	0.002621
40%	0.002118	0.002355	0.002177	0.002533
50%	0.002148	0.002443	0.002148	0.002444
60%	0.002177	0.002533	0.002118	0.002354
70%	0.002207	0.002651	0.002088	0.002261
80%	0.002236	0.002710	0.002059	0.002176
90%	0.002266	0.002881	0.002029	0.002088

ตารางที่ 3.25 แสดงค่าเวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ของสถานีส่งและสถานีรับ โดยเกิดที่มุมแรงดันคงที่ที่ 0 องศา ตำแหน่งพอลต์ระหว่างเฟสลงดินเปลี่ยนแปลง 10%-90% ของความยาวสายส่งอ้างอิงด้านสถานีส่ง

เมื่อพิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นมีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่า และพอลต์ก่อนหน้า คือ ตรวจพบคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 ได้ก่อนคลื่นลำดับที่ 3 เสมอนั้น เมื่อตำแหน่งที่เกิดพอลต์เกิดห่างไกลสถานีส่งออกไป ทำให้เวลาที่ตรวจพบคลื่นทั้งสองลำดับนานขึ้น เนื่องจากระยะทางการเดินทางของคลื่นในสายส่งเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาด้านสถานีรับพบว่า ค่าเวลาของคลื่นจะมีแนวโน้มตรงข้ามกับสถานีส่ง คือเมื่อตำแหน่งพอลต์ไกลสถานีส่งออกไป จะมีระยะเข้าใกล้สถานีรับมากขึ้น ดังนั้นจึงตรวจพบคลื่นทั้งสองได้เร็วขึ้นและที่ตำแหน่งพอลต์ 50% ของความยาวสายส่ง ระยะทางระหว่างจุดที่เกิดพอลต์ถึงสถานีส่งและสถานีรับเท่ากัน ดังนั้นจึงตรวจพบคลื่นด้วยเวลาที่เท่ากัน

### 3.3.5 ฟอลต์สามเฟส

เพื่อศึกษาคุณลักษณะของกระแสเมื่อเกิดฟอลต์สามเฟส จึงทำการยกตัวอย่าง 3 กรณีศึกษาคือ  
กรณีนี้ที่ 1 เกิดฟอลต์สามเฟสที่เฟส ABC มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

กรณีนี้ที่ 2 เกิดฟอลต์สามเฟสที่เฟส ABC มุมแรงดัน 90 องศา โดยเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

กรณีนี้ที่ 3 เกิดฟอลต์สามเฟสที่เฟส ABC มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวส่ง

กรณีนี้ที่ 1 เกิดฟอลต์ที่เฟส ABC มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

สัญญาณที่แสดงในกรณีนี้ ประกอบด้วยสัญญาณ 2 ชนิด คือ สัญญาณกระแสไฟฟ้าลำดับบวก และสัญญาณแวลต์กระแสลำดับบวก โดยสัญญาณทั้งสองเกิดจากการแปลงคาร์กและการแปลงแวลต์แบบเต็มหน่วยของสัญญาณกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟส ที่มุมแรงดันด้านสถานีรับ เท่ากับ 0 องศา เฟส A เฟส B และเฟส C ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 35.4 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)

พิจารณาด้านขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแวลต์

กำหนดให้

รูปบน แสดงกระแสไฟฟ้าลำดับบวก

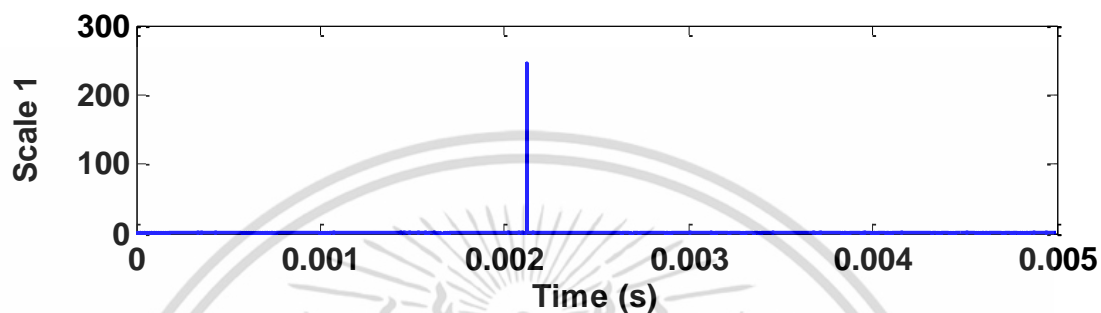
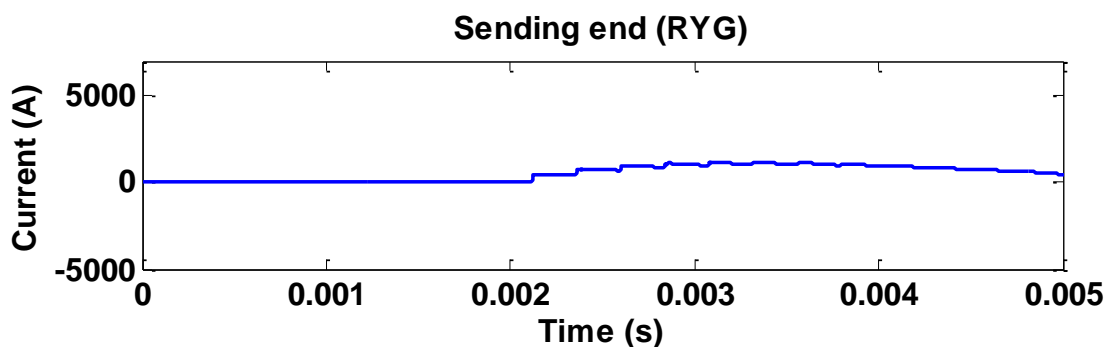
แกนนอน คือ เวลา หน่วยวินาที

แกนตั้ง คือ ขนาดกระแส หน่วยแอมแปร์

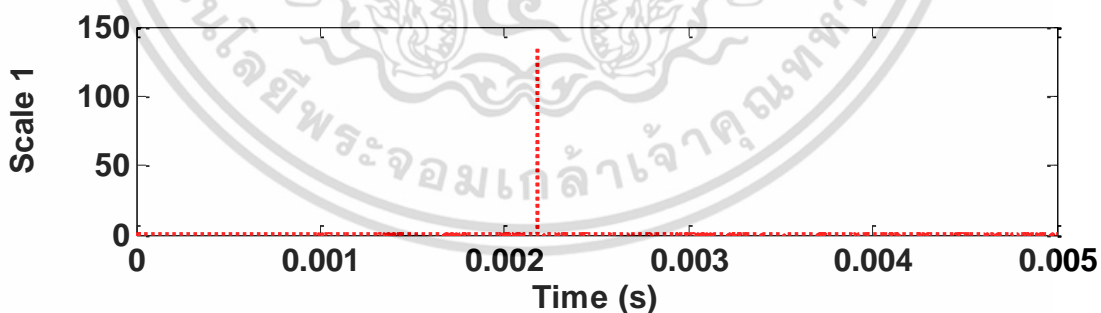
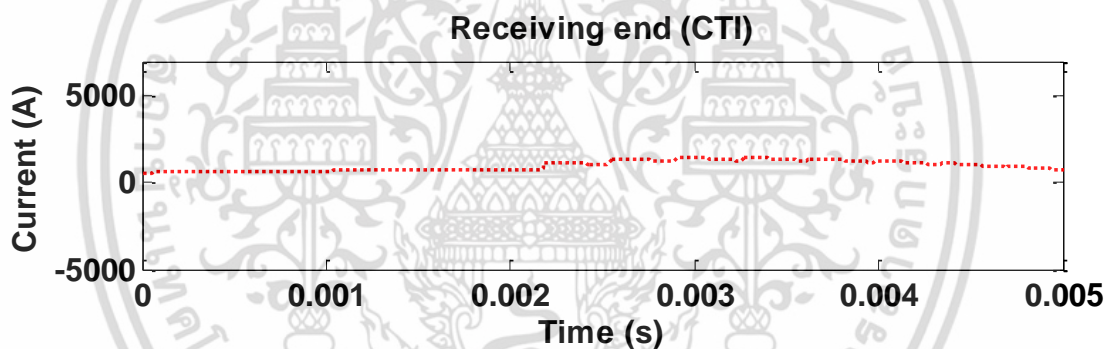
รูปล่าง แสดงสัญญาณแวลต์ของกระแสไฟฟ้าลำดับบวก

แกนนอน คือ เวลา หน่วยวินาที

แกนตั้ง คือ สัมประสิทธิ์การแปลงแวลต์



(ก) สัญญาณเวฟเล็ทกระแสลำดับบวก ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณเวฟเล็ทของกระแสไฟฟ้า 3 เฟส ณ สถานีรับจ่ายกำลังไฟฟ้า (CTI)

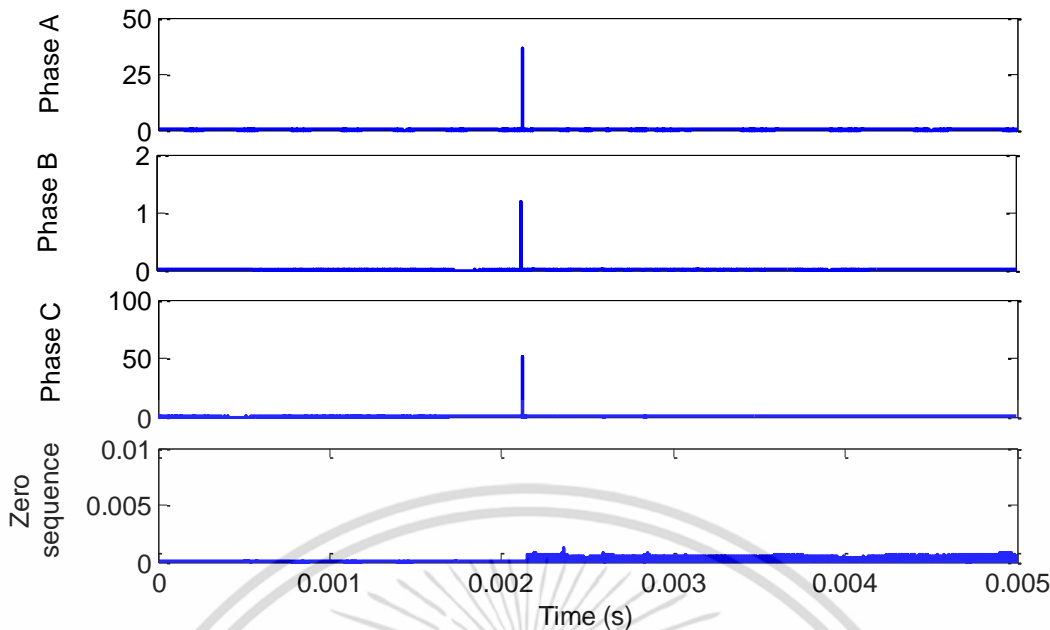
รูปที่ 3.67 เมื่อฟอลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.67(ก) พบว่า กระแสไฟฟ้าลำดับบวก ณ เวลาที่เกิดฟอลต์สามเฟส มีขนาดเพิ่มขึ้นที่ศบวก ณ เวลาหลังเกิดฟอลต์เล็กน้อย สาเหตุการเพิ่มขึ้นของทิศทางสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันกับกรณีฟ้าผ่าและฟอลต์อื่น ๆ ที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดยังมีประสิทธิภาพสำหรับการพิจารณาขนาดการเปลี่ยนแปลงมากกว่ากระแสไฟฟ้าลำดับบวก เนื่องจากแม้กระแสไฟฟ้าลำดับบวกเกิดจากการรวมกันของกระแสไฟฟ้าทั้งสามเฟสเข้าด้วยกัน สามารถจัดความแตกต่างของมุมเฟสกระแสไฟฟ้าแล้ว แต่การรวมกันนี้ยังเป็นการนำเอากระแสไฟฟ้าในสภาวะปกติรวมกับกระแสฟอลต์ที่เกิดขึ้นดังนั้นจึงเป็นการยากในตรวจวัดขนาดกระแสฟอลต์ที่เพิ่มขึ้นอย่างแท้จริง แต่การแปลงเวฟเล็ดยังแบบเต็มหน่วย เป็นวิธีทางคณิตศาสตร์ที่สามารถแยกข้อมูลสัญญาณแต่ละความถี่ออกจากกัน โดยแสดงในรูปของขนาดและเวลา ดังนั้นจึงเหมาะสมในการตรวจวัดขนาดกระแสฟอลต์ที่เกิดขึ้นมากกว่ากระแสลำดับบวก

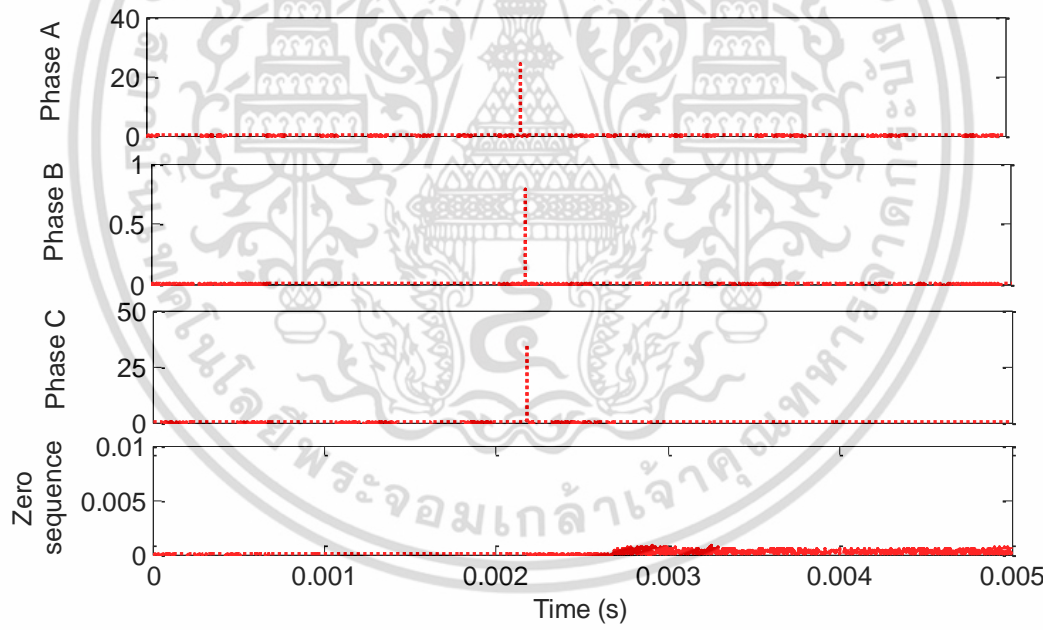
พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 2.74(ข) พบว่า กระแสไฟฟ้าลำดับบวกมีลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับด้านสถานีส่ง เนื่องจากเหตุผลเดียวกันข้างต้น

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ขนาดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าด้านสถานีรับน้อยกว่าสถานีส่ง เนื่องจากผลของความแตกต่างระหว่างระยะทางจุดที่เกิดฟอลต์ถึงสถานีตรวจวัด ในที่นี้เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟสที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง ระยะทางระหว่างจุดที่เกิดฟอลต์ถึงสถานีส่งมากกว่าสถานีรับ ส่งผลให้อิมพีแดนซ์และขนาดกระแสเปลี่ยนแปลงดังอธิบายไปก่อนหน้านี้

จากที่กล่าวมาข้างต้นได้ทำการแสดงคุณลักษณะของกระแสลำดับบวกและสัญญาณเวฟเล็ดยของกระแสลำดับบวกแล้ว อันถัดต่อไปเพื่อศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงขนาดของแต่ละเฟสและองค์ประกอบลำดับศูนย์ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงนำกระแสไฟฟ้า เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟสที่เฟส A เฟส B และเฟส C มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งมาวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 3.68(ก) แสดงสัญญาณเวฟเล็ดยที่ตรวจวัดจากสถานีส่งและรูปที่ 3.68(ข) แสดงสัญญาณเวฟเล็ดยที่ตรวจวัดจากสถานีรับ



(ก) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีรับจ่ายกำลังไฟฟ้า (CTI) รูปที่ 3.68 เมื่อฟอลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.68ก) ซึ่งแสดงสัญญาณแอมพลิจูดของกระแส 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีส่งพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดมีขนาดแตกต่างกันทั้งสามเฟส โดยสัมประสิทธิ์ของเฟส C มีค่ามากกว่าขนาดของเฟส A และเฟส B ตามลำดับ โดยทั้งสามเฟสนี้เกิดค่าสัมประสิทธิ์ที่เวลาหลังเกิดฟอลต์เดียวกัน เนื่องจากได้รับผลกระทบของฟอลต์พร้อมกัน

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีส่งพบว่า ไม่เกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดขึ้น เนื่องจากฟอลต์ดังกล่าวเกิดการลัดวงจรระหว่างสายเฟส 3 สายเท่านั้น กระแสไฟฟ้าไหลภายในวงจรไฟฟ้า ไม่มีการลัดวงจรลงสู่ดิน ดังนั้นจึงไม่เกิดส่วนประกอบลำดับศูนย์

จากรูปที่ 3.68ข) ซึ่งแสดงสัญญาณแอมพลิจูดของกระแส 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีส่งพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดของแต่ละเฟสมีความแตกต่างกันเช่นเดียวกับสถานีส่ง คือเฟส C มีค่ามากกว่าขนาดของเฟส A และเฟส B ตามลำดับ โดยทั้งสามเฟสเกิดขนาดสูงสุดที่เวลาเดียวกัน

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีรับพบว่า มีลักษณะเช่นเดียวกันสถานีส่ง คือไม่เกิดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดขึ้น โดยสาเหตุสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันข้างต้น

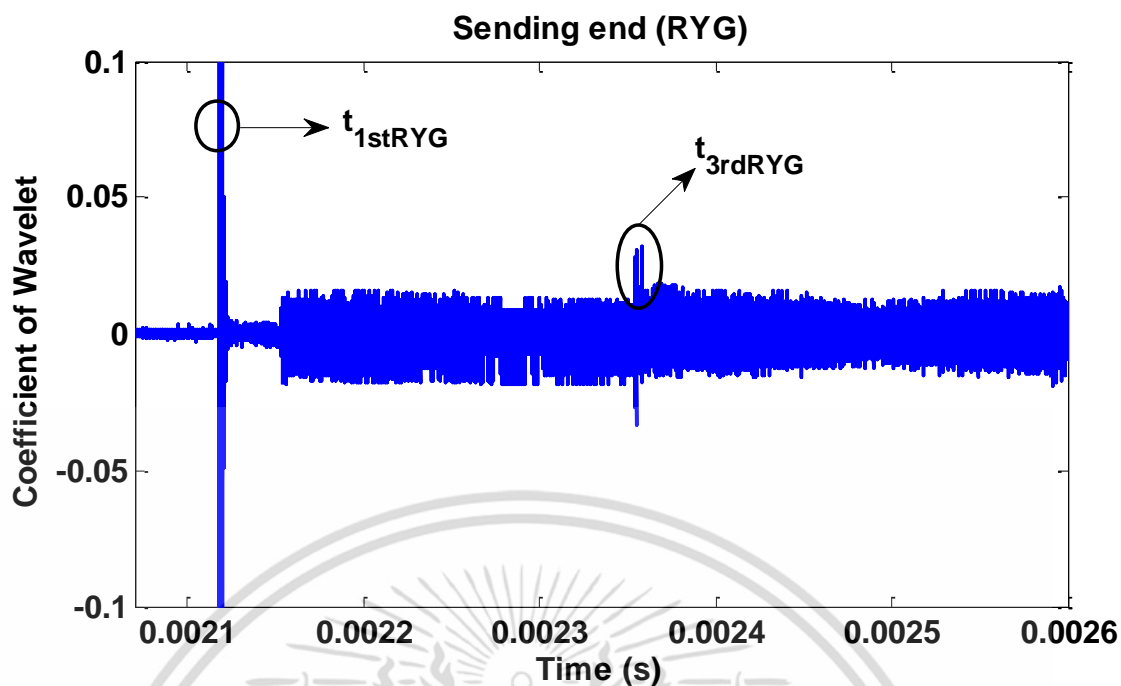
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสัญญาณแอมพลิจูดจากกระแสไฟฟ้า 3 เฟสกับกระแสไฟฟ้า 3 เฟสที่ไม่ผ่านการแปลงแอมพลิจูดพบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทั้งสองเหมือนกัน คือขนาดเฟส C มีค่ามากกว่าขนาดของเฟส A และเฟส B ตามลำดับ แต่ขนาดของแต่ละเฟสเมื่อพิจารณาด้วยสัญญาณแอมพลิจูดชัดเจนกว่ากระแสไฟฟ้า 3 เฟส เนื่องจากสัญญาณแอมพลิจูดไม่คำนึงถึงขนาดกระแสในสภาวะการส่งจ่ายปกติ ดังนั้นขนาดสัมประสิทธิ์ที่เกิดขึ้นจึงเป็นขนาดที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากฟอลต์เท่านั้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสัญญาณแอมพลิจูดจากกระแสไฟฟ้า 3 เฟสกับสัญญาณแอมพลิจูดจากกระแสลำดับบวกพบว่า สัญญาณทั้งสองมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน คือหลังเวลาที่เกิดฟอลต์เล็กน้อยมีขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดเกิดขึ้น โดยขนาดของสัญญาณจากกระแสลำดับบวกมากกว่าสัญญาณแอมพลิจูดจากกระแสไฟฟ้า 3 เฟส

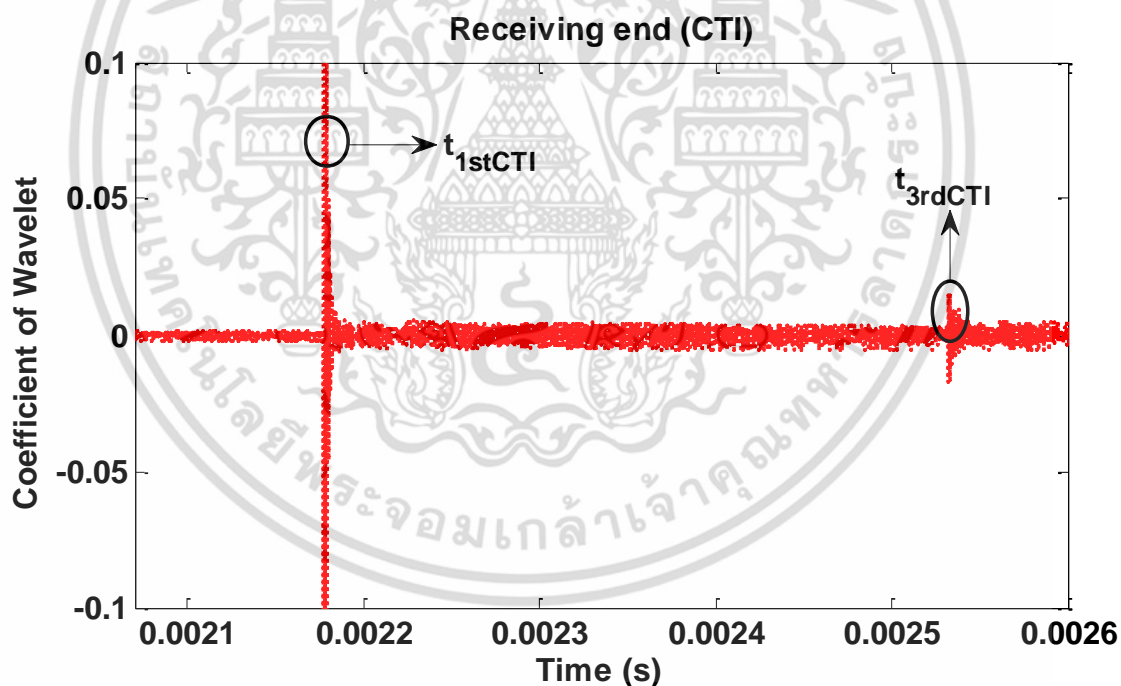
พิจารณาด้านเวลาของขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูด

กำหนดให้

แกนนอน	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่น หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูด
$t_{1stRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{3rdRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{1stCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีรับ (CTI)
$t_{3rdCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีรับ (CTI)



(ก) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีส่งกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.69 เมื่อฟอลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.69(ก) พบว่า แม้เกิดคลื่นรบกวนมากแต่สามารถตรวจจับคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ได้ เนื่องจากมีขนาดมากกว่าคลื่นรบกวน ซึ่งขนาดของคลื่นเป็นผลเนื่องจากพลังงานดังกล่าวก่อนหน้า

พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.70(ข) พบว่า เกิดคลื่นรบกวนเล็กน้อย สามารถตรวจจับคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ได้ตามลำดับและไม่พบคลื่นสะท้อน เนื่องจากผลกระทบของพลังงานเช่นเดียวกับสถานีส่ง

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ด้านสถานีส่งเกิดคลื่นรบกวนมากกว่าสถานีรับ แต่สามารถตรวจจับคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ได้ด้วยเวลาที่แตกต่างกัน เนื่องจากผลของระยะทางดังกล่าวข้างต้น

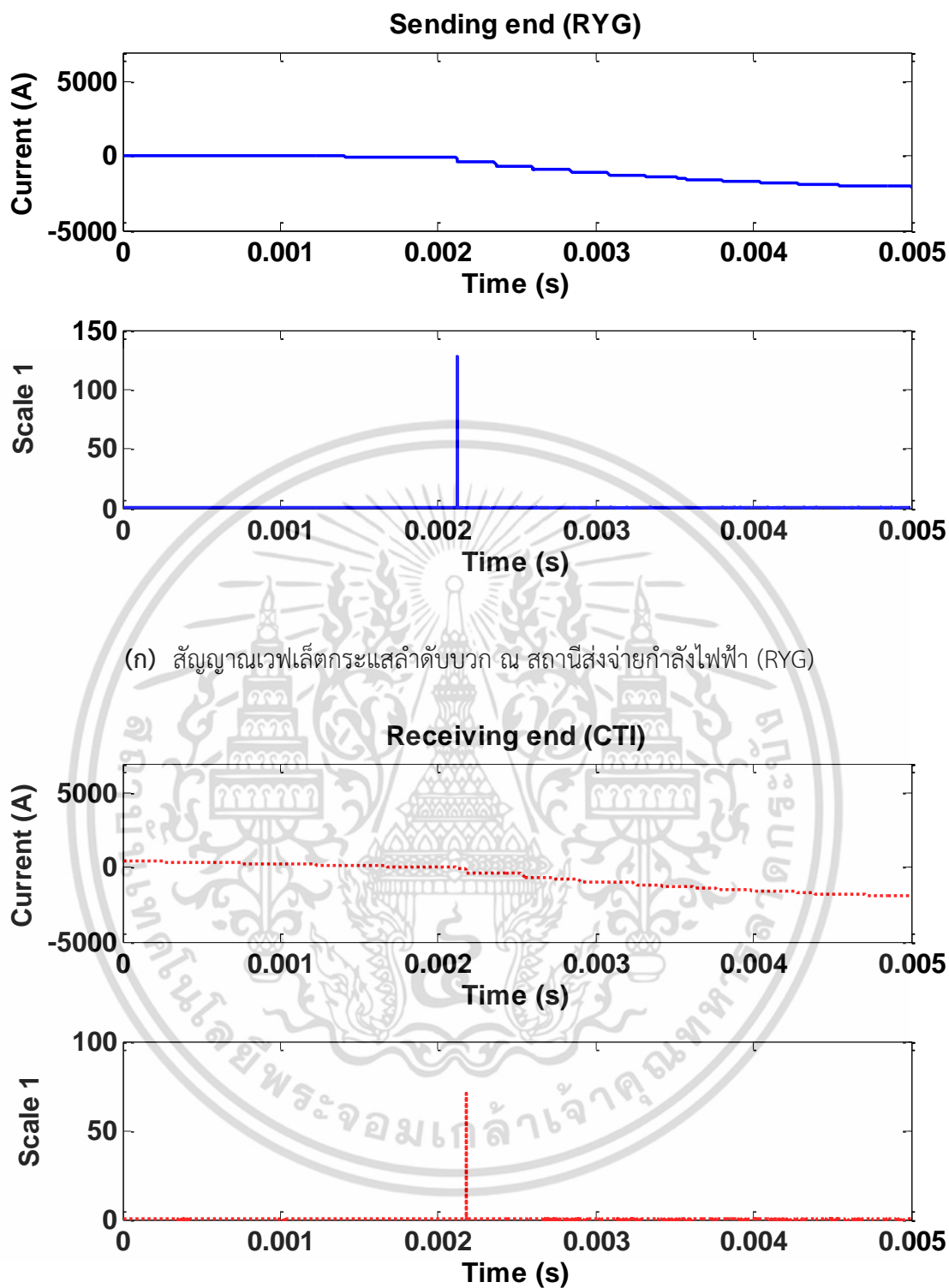
กรณีที่ 2 เกิดพอลต์ที่เฟส ABC มุมแรงดัน 90 องศา โดยเกิดที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

สัญญาณที่แสดงในกรณีนี้ ประกอบด้วยสัญญาณ 2 ชนิด คือ สัญญาณกระแสไฟฟ้าลำดับบวก และสัญญาณเวฟเล็ดกระแสลำดับบวก โดยสัญญาณทั้งสองเกิดจากการแปลงคาร์กและการแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วยของสัญญาณกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อเกิดพอลต์สามเฟสที่เฟส A เฟส B และเฟส C มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 35.4 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)

พิจารณาด้านขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ด

กำหนดให้

รูปบน	แสดงกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ขนาดกระแส หน่วยแอมแปร์
รูปล่าง	แสดงสัญญาณเวฟเล็ดของกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ด



(ก) สัญญาณเวฟleiterกระแสลำดับบวก ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)

#### Receiving end (CTI)

(ข) สัญญาณเวฟleiterกระแสลำดับบวก ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.70 เมื่อฟอลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.70(ก) พบว่า เมื่อเกิดฟลด์สามเฟสขึ้น ขนาดกระแสไฟฟ้าลำดับบวกมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางลบ ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงขนาดและทิศทางกระแสไฟฟ้ามีสาเหตุมาจากการลัดวงจรและลักษณะกระแสไฟฟ้าเป็นแบบไซนูซอยด์ ดังอธิบายไปก่อนหน้านี้

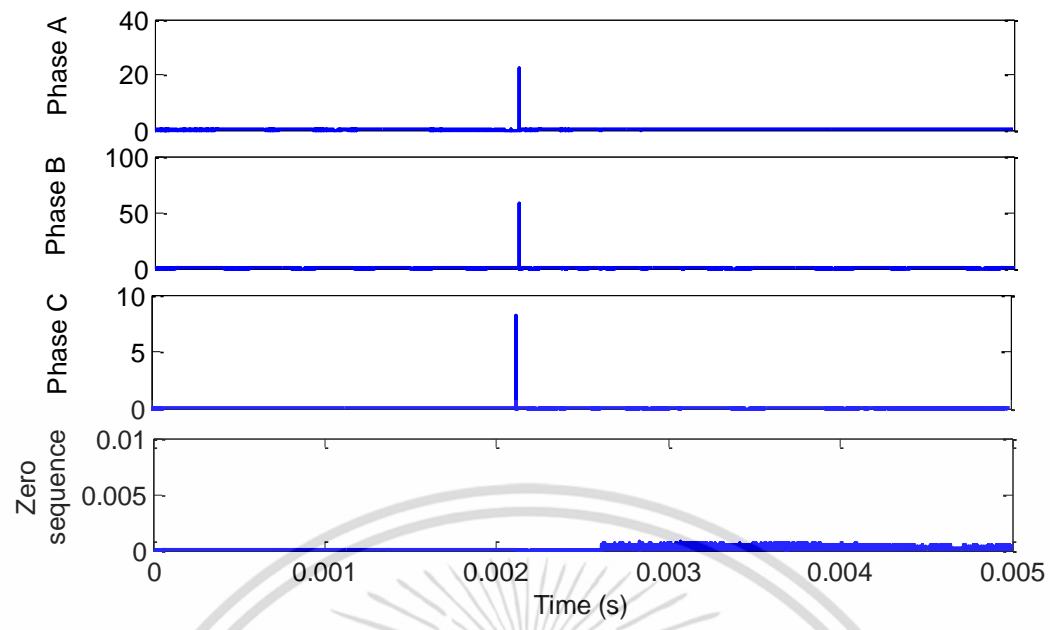
พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.70(ข) พบว่า ลักษณะของกระแสไฟฟ้าลำดับบวกและค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง โดยสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันข้างต้น

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ขนาดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกระแสไฟฟ้าด้านสถานีรับน้อยกว่าสถานีส่ง เช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่าและฟลด์ชนิดอื่น ๆ ก่อนหน้า เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์ของสายส่งดังที่ได้กล่าวไป

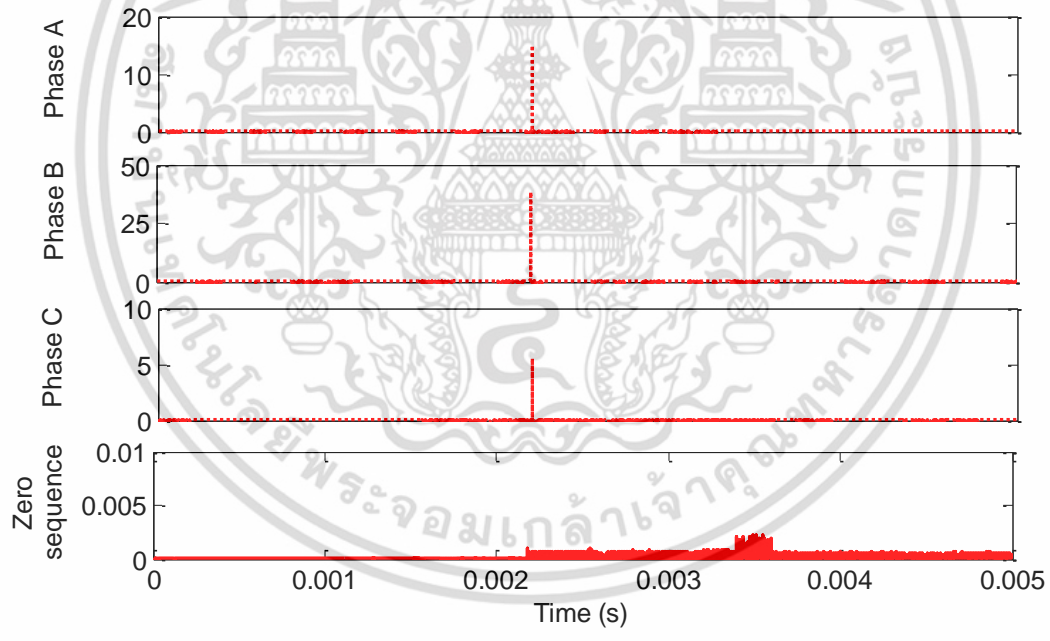
พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.67(ก) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.70(ก) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับกรณีฟลด์สามเฟสที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง เนื่องจากอิมพีแดนซ์สายส่งไม่เปลี่ยนแปลง แต่เนื่องจากผลกระทบของมุมดังที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ จึงส่งผลให้ขนาดกระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.67(ข) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.70(ข) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า ขนาดกระแสลำดับบวกและสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเช่นเดียวกับสถานีส่ง เนื่องจากเหตุผลเดียวกันที่อธิบายในข้างต้น

อันดับต่อไปหลังจากแสดงคุณลักษณะของกระแสลำดับบวกและสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวกแล้ว ทำการศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงขนาดของแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ของสัญญาณเวฟเล็ท เมื่อเกิดฟลด์สามเฟสที่เฟส A เฟส B และเฟส C มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.71(ก) แสดงสัญญาณเวฟเล็ทที่ตรวจวัดจากสถานีส่งและรูปที่ 3.71(ข) แสดงสัญญาณเวฟเล็ทที่ตรวจวัดจากสถานีรับ



(ก) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีรับจ่ายกำลังไฟฟ้า (CTI)  
รูปที่ 3.71 มีอพลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.71(ก) ซึ่งแสดงสัญญาณแอมพลิจูดของกระแส 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีส่งพบว่า เฟส A เฟส B และเฟส C เกิดค่าสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดสูงสุดที่เวลาเดียวกันหลังเกิดฟอลต์ โดยขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดของเฟส B มีค่ามากกว่าเฟส A และเฟส C ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีส่งพบว่า มีแนวโน้มเช่นเดียวกับกรณีฟอลต์สามเฟสก่อนหน้า คือไม่เกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดหรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องจากกรณีฟอลต์ดังกล่าว ไม่มีการลัดวงจรกระแสไฟฟ้าลงสู่ดิน ดังนั้นจึงไม่เกิดส่วนประกอบลำดับศูนย์

พิจารณาเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดด้านสถานีส่งระหว่างรูปที่ 3.68(ก) เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟสที่เฟส A เฟส B และเฟส C มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.71(ก) เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟสที่เฟส A เฟส B และเฟส C มุมแรงดันของสถานีรับเท่ากับ 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งพบว่า ขนาดของเฟส A และเฟส C มีแนวโน้มลดลง แต่เฟส B เพิ่มขึ้น โดยที่ค่าเวลาที่เกิดค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดไม่เปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 3.71(ข) ซึ่งแสดงสัญญาณแอมพลิจูดของกระแส 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีรับพบว่า เกิดค่าสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดสูงสุดที่เวลาเดียวกันทั้งสามเฟส โดยขนาดแต่ละเฟสมีแนวโน้มเช่นเดียวกับสถานีส่ง

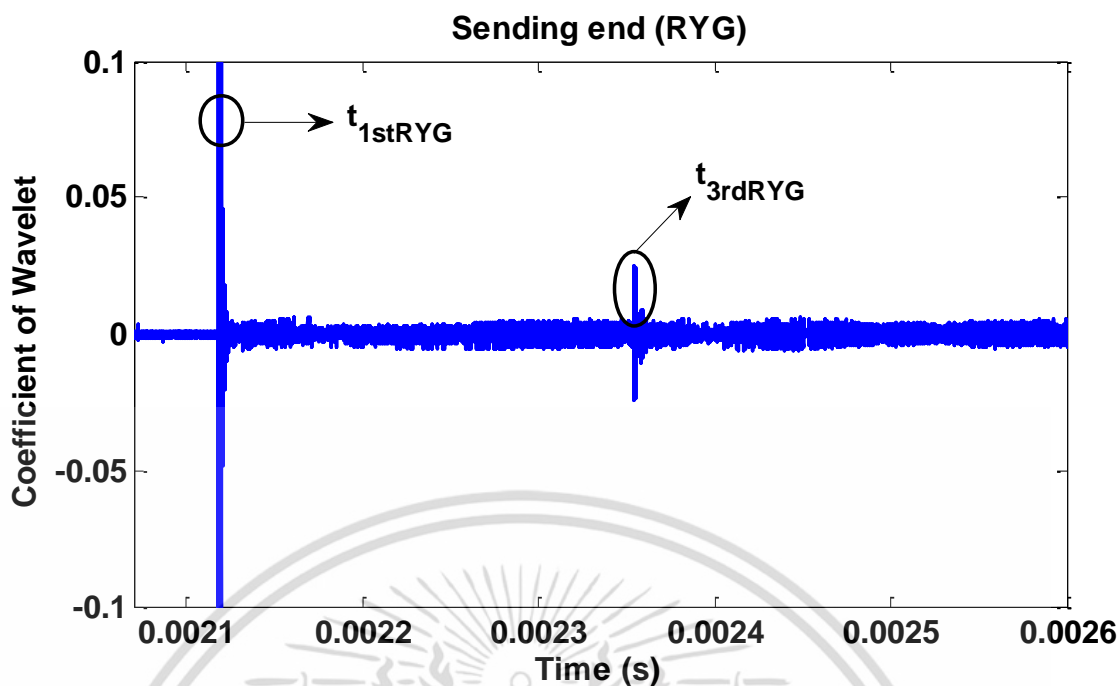
เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีรับพบว่า ไม่มีสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดเกิดขึ้นเช่นเดียวกับสถานีส่ง ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันข้างต้น

พิจารณาเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดด้านสถานีรับระหว่างรูปที่ 3.68(ข) เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟสที่เฟส A เฟส B และเฟส C มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.71(ข) เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟสที่เฟส A เฟส B และเฟส C ที่มุมแรงดันของสถานีรับเท่ากับ 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งพบว่า ขนาดมีแนวโน้มลดลงในเฟส A และเฟส C แต่ขนาดของเฟส B มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลของมุมกระแสที่แตกต่างกัน 120 องศาที่กล่าวไปก่อนหน้านี้

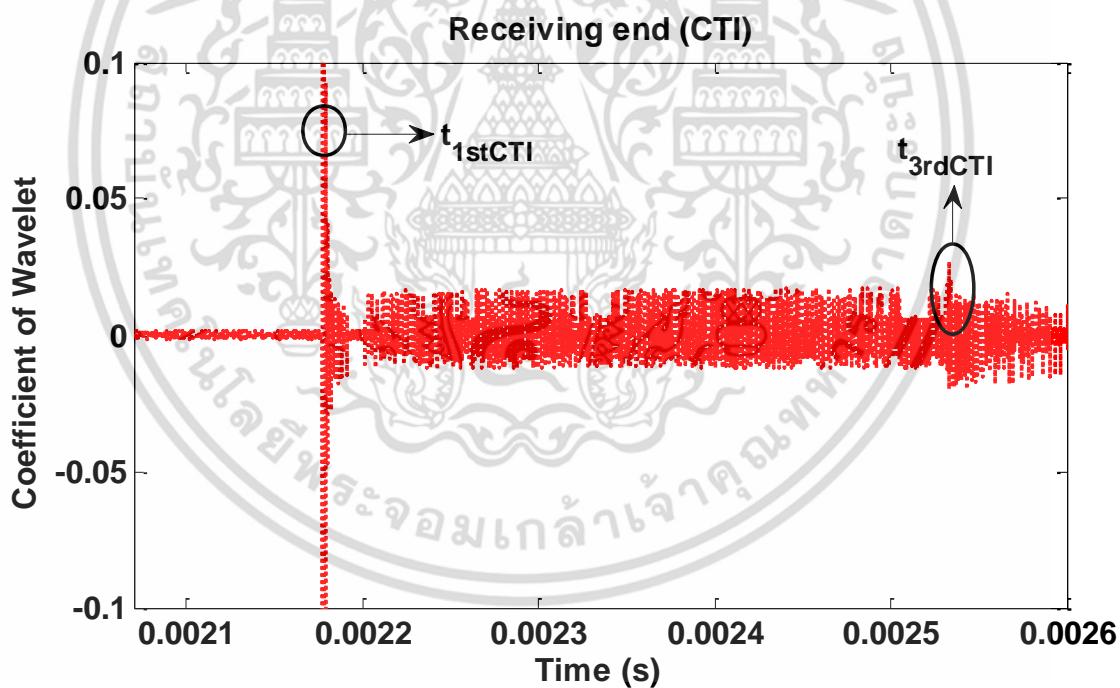
พิจารณาด้านเวลาของขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูด

กำหนดให้

แกนนอน	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่น หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูด
$t_{1stRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{3rdRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{1stCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีรับ (CTI)
$t_{3rdCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีรับ (CTI)



(ก) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีส่งกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)  
รูปที่ 3.72 เมื่อฟอลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.72(ก) พบว่า เกิดคลื่นรบกวนน้อยและขนาดคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 มาก ส่งผลให้สามารถตรวจจับคลื่นทั้งสองได้อย่างชัดเจน อีกทั้งไม่พบคลื่นสะท้อนจากสถานีรับ ซึ่งลักษณะการตรวจจับนี้เป็นผลเนื่องจากพลังงานดังกล่าวก่อนหน้า

พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.72(ข) พบว่า ตรวจพบเพียงคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 เท่านั้น และเนื่องจากเกิดคลื่นรบกวนมาก คลื่นลำดับที่ 3 ซึ่งมีขนาดเล็กจึงตรวจจับได้ไม่ชัดเจน โดยขนาดของคลื่นนี้อธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกับสถานีส่งข้างต้น

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ด้านสถานีรับเกิดคลื่นรบกวนมากกว่าสถานีส่ง ส่งผลให้การตรวจจับคลื่นลำดับที่ 3 ของด้านสถานีรับไม่ชัดเจน โดยเวลาของคลื่นลำดับต่าง ๆ แตกต่างกันเช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่าและฟอลต์ก่อนหน้า เนื่องจากระยะทางเช่นเดียวกัน

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.69(ก) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.72(ก) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า เวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ไม่เปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่าและฟอลต์ชนิดต่าง ๆ ก่อนหน้า เนื่องจากผลของระยะทางการเดินทางของคลื่นในสายส่ง

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.69(ข) เมื่อมุมแรงดัน 0 องศาและรูปที่ 3.72(ข) เมื่อมุมแรงดัน 90 องศาพบว่า คุณลักษณะเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับต่าง ๆ มีลักษณะเช่นเดียวกันสถานีส่ง ซึ่งสามารถอธิบายได้เนื่องจากเหตุผลเดียวกันข้างต้น

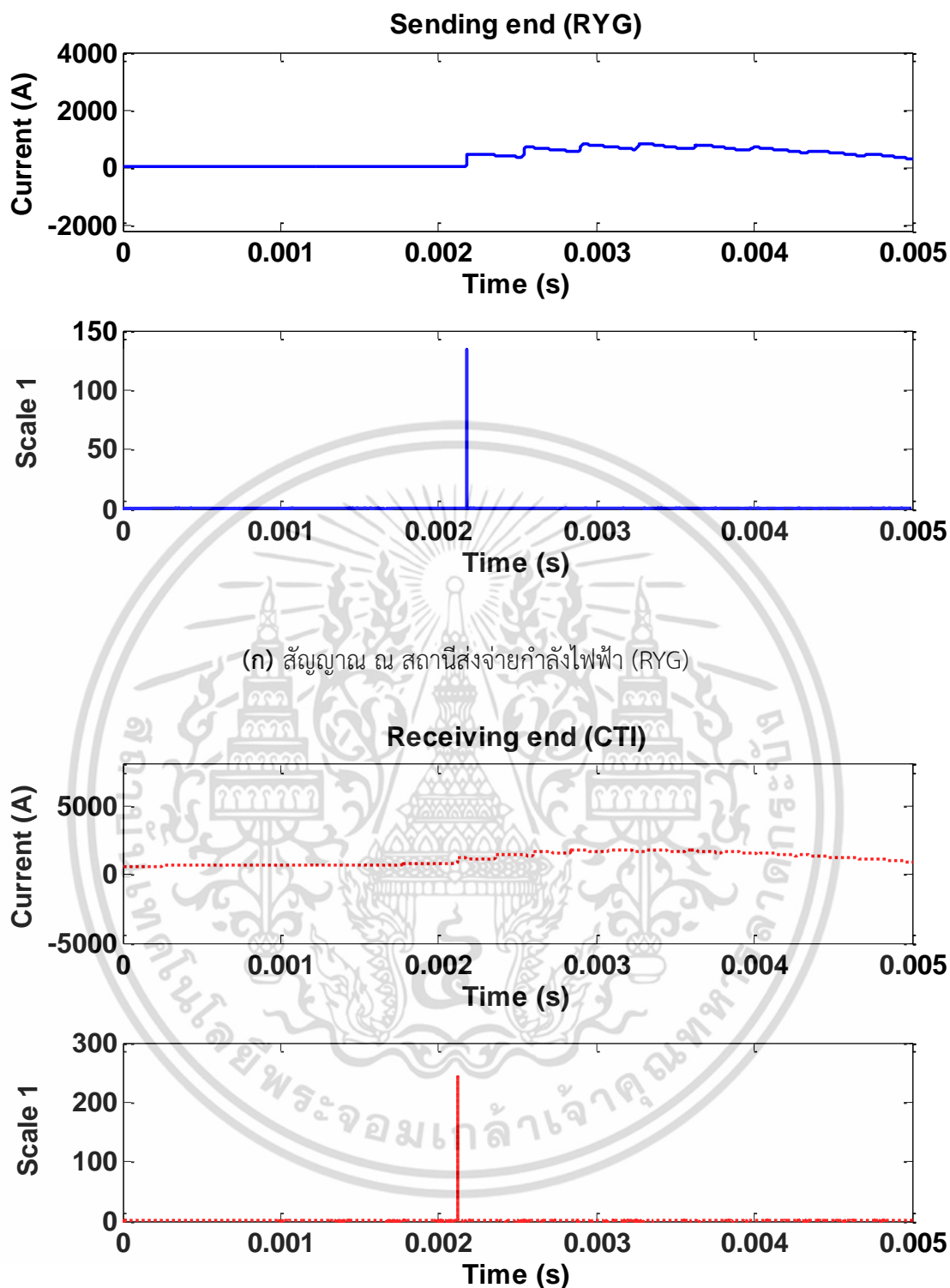
กรณีที่ 3 เกิดฟอลต์ที่เฟส ABC มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

สัญญาณที่แสดงในกรณีนี้ ประกอบด้วยสัญญาณ 2 ชนิด คือ สัญญาณกระแสไฟฟ้าลำดับบวก และสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวก โดยสัญญาณทั้งสองเกิดจากการแปลงคาร์กและการแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วยของสัญญาณกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟสที่มุมแรงดันด้านสถานีรับเท่ากับ 0 องศา เฟส A เฟส B และเฟส C ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งหรือระยะทาง 53.1 กิโลเมตร อ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)

พิจารณาด้านขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท

กำหนดให้

รูปบน	แสดงกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ขนาดกระแส หน่วยแอมแปร์
รูปล่าง	แสดงสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสไฟฟ้าลำดับบวก
แกนนอน	คือ เวลา หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท



(ก) สัญญาณ ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)

Receiving end (CTI)

(ข) สัญญาณ ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.73 สัญญาณของกระแสลำดับบวก เมื่อฟอลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.73(ก) พบว่า กระแสไฟฟ้าลำดับบวกมีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีเกิดฟอลต์สามเฟสที่ 40% ของความยาวสายส่ง โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดและทิศทางนี้สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันข้างต้น และเมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนมากกว่าเช่นเดียวกัน

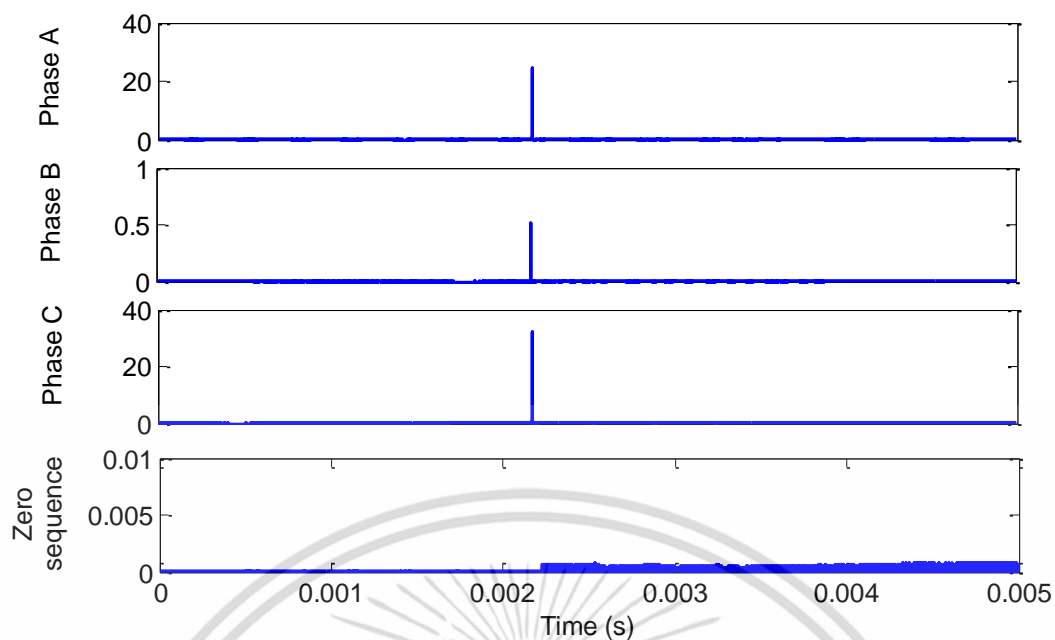
พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.73(ข) พบว่า ลักษณะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าลำดับบวกและสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมีแนวโน้มเช่นเดียวกับสถานีส่งดังกล่าวข้างต้น

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ขนาดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกระแสไฟฟ้าด้านสถานีรับมากกว่าสถานีส่ง เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์ของสายส่งที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าดังได้อธิบายไปข้างต้น

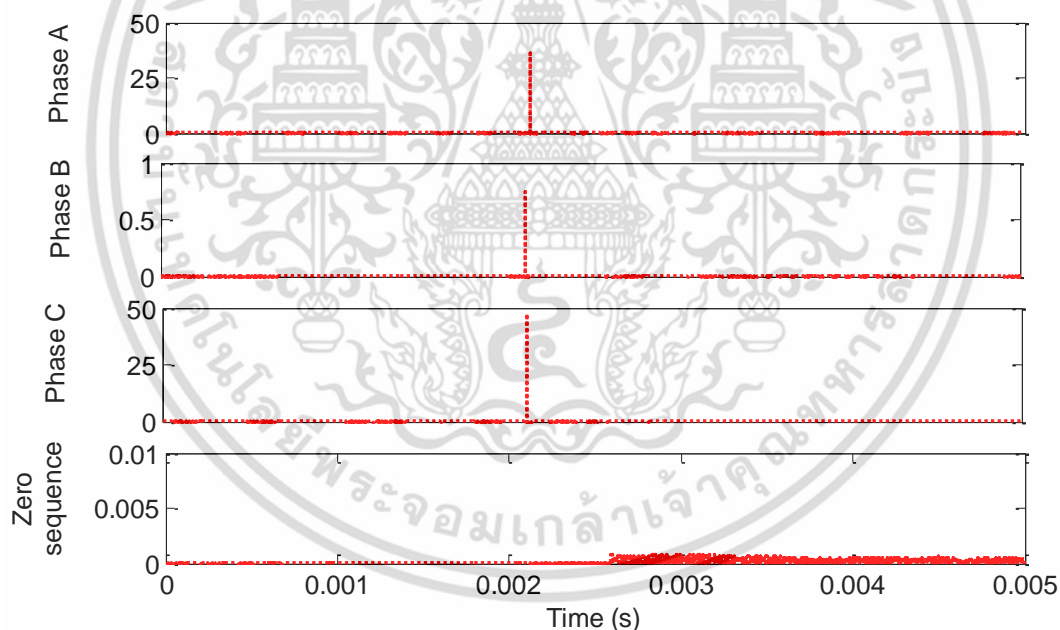
พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.67(ก) เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟสที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.73(ก) เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟส ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสไฟฟาลดลงเมื่อตำแหน่งที่เกิดฟอลต์สามเฟสเพิ่มขึ้น ซึ่งอธิบายได้เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์เช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่าและฟอลต์ชนิดอื่น ๆ ที่กล่าวไปก่อนหน้านี้

พิจารณาเปรียบเทียบด้านรับระหว่าง รูปที่ 3.67(ข) เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟสที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.73(ข) เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟสที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า กระแสไฟฟ้าลำดับบวกและค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมีแนวโน้มลดลง เช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่าและฟอลต์อื่น ๆ ก่อนหน้า ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกัน

จากการศึกษาคุณลักษณะของกระแสลำดับบวกและสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวกแล้ว อันดับต่อนำสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสไฟฟ้า 3 เฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟสที่เฟส A เฟส B และเฟส C มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งมาวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 3.74(ก) แสดงสัญญาณเวฟเล็ทที่ตรวจวัดจากสถานีส่งและรูปที่ 3.74(ข) แสดงสัญญาณเวฟเล็ทที่ตรวจวัดจากสถานีรับ



(ก) สัญญาณเวฟเลิตแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) สัญญาณเวฟเลิตแต่ละเฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์ ณ สถานีรับจ่ายกำลังไฟฟ้า (CTI)

รูปที่ 3.74 สัญญาณของกระแสลำดับบวก เมื่อฟอลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

จากรูปที่ 3.74(ก) ซึ่งแสดงสัญญาณเวฟเล็ทของกระแส 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีส่งพบว่า ขนาดแต่ละเฟสมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับฟอลต์สามเฟสสองกรณีก่อนหน้านี้ คือแต่ละเฟสมีการขนาดไม่เท่ากัน แต่เกิดขึ้นที่เวลาหลังเกิดฟอลต์เล็กน้อยเดียวกัน

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีส่งพบว่า ไม่มีขนาดสัมประสิทธิ์เกิดขึ้น เนื่องจากกรณีฟอลต์ดังกล่าวไม่มีการลัดวงจรกระแสไฟฟ้าลงสู่ดิน ขนาดสัมประสิทธิ์ลำดับศูนย์จึงไม่เกิดขึ้น

พิจารณาเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทด้านสถานีส่งระหว่างรูปที่ 3.68 (ก) เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟสที่เฟส A เฟส B และเฟส C มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.74(ก) เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟสที่เฟส A เฟส B และเฟส C มุมแรงดันของสถานีรับเท่ากับ 0 องศา เฟส A ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า เมื่อตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ไกลจากสถานีส่งออกไป ขนาดแต่ละเฟสลดลงเช่นเดียวกับฟอลต์ 3 ชนิดก่อนหน้านี้ เนื่องจากผลของระยะทางที่แปรตามอิมพีแดนซ์ที่กล่าวไปข้างต้น อีกทั้งเมื่อพิจารณาด้านเวลาพบว่า เวลาที่เกิดค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดทั้งสามเฟสเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ เนื่องจากผลของระยะทางเช่นเดียวกัน

จากรูปที่ 3.74(ข) ซึ่งแสดงสัญญาณเวฟเล็ทของกระแส 3 เฟสที่ตรวจวัดจากสถานีรับพบว่า มีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่งคือ เกิดค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสูงสุดที่เวลาเดียวกันทั้งสามเฟส โดยสัมประสิทธิ์ของเฟส C มีค่ามากกว่าเฟส A และเฟส B ตามลำดับ

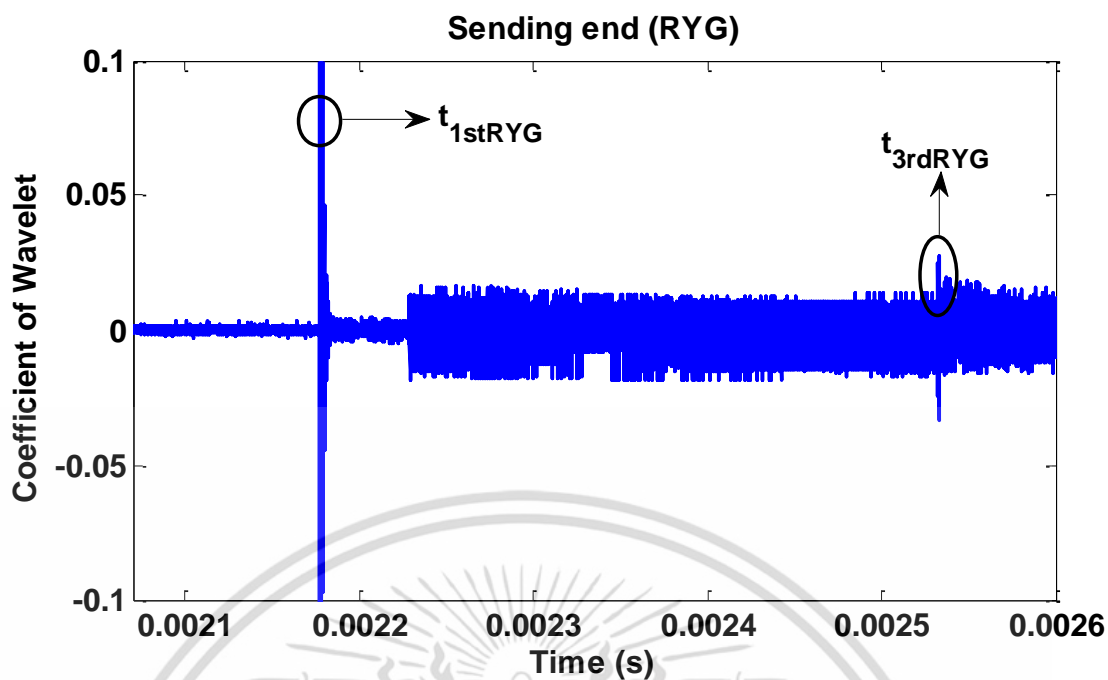
เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์ด้านสถานีรับพบว่า มีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง คือไม่มีขนาดสัมประสิทธิ์เกิดขึ้น เนื่องจากไม่มีการลัดวงจรของกระแสไฟฟ้าลงสู่ดิน

พิจารณาเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทด้านสถานีรับระหว่างรูปที่ 3.68(ข) เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟสที่เฟส A เฟส B และเฟส C มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.81(ข) เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟสที่เฟส A เฟส B และเฟส C มุมแรงดันของสถานีรับเท่ากับ 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง ระยะเวลาระหว่างจุดที่เกิดฟอลต์ถึงสถานีรับลดลง ดังนั้นค่าอิมพีแดนซ์สายส่งลดลงตาม ส่งผลให้ขนาดกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ดังนั้นขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

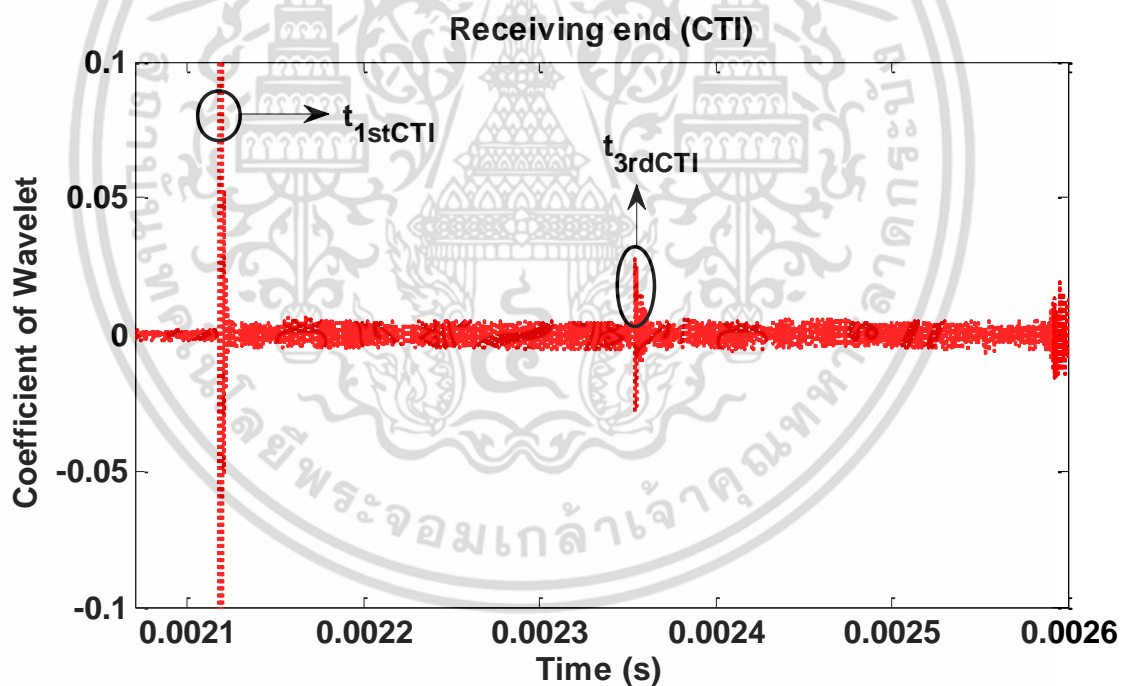
พิจารณาด้านเวลาของขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท

กำหนดให้

แกนนอน	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่น หน่วยวินาที
แกนตั้ง	คือ ค่าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท
$t_{1stRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{3rdRYG}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีส่ง (RYG)
$t_{1stCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีรับ (CTI)
$t_{3rdCTI}$	คือ ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีรับ (CTI)



(ก) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีส่งกำลังไฟฟ้า (RYG)



(ข) เวลาที่เกิดคลื่นสูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ณ สถานีรับกำลังไฟฟ้า (CTI)  
รูปที่ 3.75 เมื่อฟอลต์สามเฟส ABC มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาด้านสถานีส่งในรูปที่ 3.75(ก) พบว่า ตรวจจับคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ด้วยเวลาตามลำดับ โดยเกิดคลื่นรบกวนมาก แต่เนื่องจากขนาดที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถตรวจจับคลื่นดังกล่าวได้อย่างชัดเจน ซึ่งขนาดเป็นผลเนื่องจากพลังงานดังกล่าวข้างต้น

พิจารณาด้านสถานีรับในรูปที่ 3.75(ข) พบว่า คลื่นที่ตรวจจับได้มีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง คือตรวจพบ คลื่นลำดับที่ 1 ลำดับที่ 3 และคลื่นสะท้อนด้วยเวลาตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ด้านสถานีส่งเกิดคลื่นรบกวนมากกว่าสถานีรับ คลื่นรบกวนนี้เป็นผลเนื่องจากอุปกรณ์ดังที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ โดยคลื่นรบกวนมีผลต่อความชัดเจนของการตรวจจับคลื่นลำดับที่ 3 ดังเช่นกรณีดังกล่าวนี้

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีส่งระหว่าง รูปที่ 3.69(ก) เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟส ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.75(ก) เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า ค่าเวลาที่ตรวจจับคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 เกิดการสลับกันระหว่างสถานีส่งและสถานีรับ เนื่องจากผลของระยะทางดังกล่าวก่อนหน้านี้

พิจารณาเปรียบเทียบด้านสถานีรับระหว่าง รูปที่ 3.69(ข) เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟส ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งและรูปที่ 3.75(ข) เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า มีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง คือ เวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 สลับกัน เนื่องจากเหตุผลเดียวกันดังกล่าวก่อนหน้านี้

ตารางที่ 3.26 และตารางที่ 3.27 แสดงขนาดและเวลาที่เกิดค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทที่ตรวจวัดได้จากสถานีส่งและสถานีรับ เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟส โดยตารางที่ 3.26 แสดงข้อมูลที่ได้จากสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวก ตารางที่ 3.27 แสดงข้อมูลของสัญญาณเวฟเล็ทจากกระแส 3 เฟสและส่วนประกอบลำดับศูนย์

ตารางที่ 3.26 สัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวก เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟส

ตำแหน่งความยาวสายส่ง	เฟสที่เกิด	มุมแรงดัน	สัญญาณเวฟเล็ท			
			สถานีส่ง (RYG)		สถานีรับ (CTI)	
			ขนาด	เวลา (วินาที)	ขนาด	เวลา (วินาที)
40%	ABC	0	48.7735	0.002118	32.5165	0.002177
40%	ABC	90	39.6288	0.002118	26.4006	0.002177
60%	ABC	0	32.7457	0.002177	49.1672	0.002118

จากตารางที่ 3.26 แสดงขนาดและเวลาเมื่อสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมีค่าสูงสุดของกรณีฟอลต์สามเฟสข้างต้น เมื่อพิจารณาด้านเวลาพบว่า เวลาที่ตรวจวัดได้จากสถานีเปลี่ยนแปลงในลักษณะเช่นเดียวกับกรณีความผิดปกติก่อนหน้านี้ โดยหากตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติเปลี่ยน ค่าเวลาที่ตรวจวัดจากสถานีทั้งสองเปลี่ยนแปลงตาม

ตารางที่ 3.27 สัญญาณเวฟเล็ดของกระแส 3 เฟส เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟส

สัญญาณเวฟเล็ดด้านสถานีส่ง (RYG)					
ตำแหน่งความยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กระแสลำดับศูนย์
40%	0	36.4360	1.1842	50.7806	0.6002
40%	90	22.5003	57.7497	8.1564	0.1566
60%	0	24.3223	0.5118	31.8999	0.3948
สัญญาณเวฟเล็ดด้านสถานีรับ (CTI)					
ตำแหน่งความยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กระแสลำดับศูนย์
40%	0	24.2864	0.7860	33.8393	0.4009
40%	90	14.9940	38.4859	5.4462	0.1035
60%	0	36.4962	0.7530	47.8040	0.5960

จากตารางที่ 3.27 แสดงขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดกรณีเกิดฟอลต์สามเฟส พบว่า แนวโน้มค่าสัมประสิทธิ์แต่ละเฟสของสถานีส่งและสถานีรับสอดคล้องกัน โดยตัวแปรที่ทำให้ขนาดสัมประสิทธิ์เกิดการเปลี่ยนแปลงคือ มุมแรงดันและตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ ซึ่งมุมแรงดันมีผลต่อขนาดเนื่องจากสัญญาณกระแสไฟฟ้าต้นแบบมีลักษณะเป็นไซน์ซวยด์ แม้สัญญาณจะผ่านการแปลงเวฟเล็ดแล้ว ผลของมุมต่อการเปลี่ยนแปลงสองทิศทางยังคงอยู่ไม่เปลี่ยนแปลง

เมื่อพิจารณาค่าตำแหน่งที่เกิดฟอลต์พบว่า มีผลต่อขนาดเช่นเดียวกัน โดยเมื่อตำแหน่งไกลสถานีส่งมากขึ้น ขนาดสัมประสิทธิ์ที่ตรวจวัดจากสถานีส่งลดลงแต่ขนาดที่ตรวจวัดจากสถานีรับมากขึ้น ซึ่งมีสาเหตุจากตำแหน่งที่เกิดฟอลต์มีผลต่อระยะทางและขนาดอิมพีแดนซ์ดังกล่าวไปก่อนหน้า

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบลำดับศูนย์พบว่า มีแนวโน้มเช่นเดียวกับสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดของกระแสไฟฟ้า 3 เฟส โดยขนาดขึ้นอยู่กับมุมแรงดันและตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ แต่เนื่องด้วยกรณีฟอลต์ดังกล่าว ไม่เกิดการลัดวงจรกระแสไฟฟ้าลงสู่ดิน ขนาดสัมประสิทธิ์ของส่วนประกอบลำดับศูนย์มีขนาดน้อยมาก ดังนั้นผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงมุมแรงดันและตำแหน่งจึงส่งผลกระทบต่อ

ตารางที่ 3.28 เวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 เมื่อเกิดพอลต์สามเฟส

ตำแหน่งความยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	สถานีส่ง (RYG)		สถานีรับ (CTI)	
		t1st (วินาที)	t3rd (วินาที)	t1st (วินาที)	t3rd (วินาที)
40%	0	0.002118	0.002325	0.002177	0.002533
40%	90	0.002118	0.002354	0.002177	0.002533
60%	0	0.002177	0.002532	0.002118	0.002354

จากตารางที่ 3.28 แสดงคุณลักษณะของคลื่นเดินทางลำดับต่าง ๆ เมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟสลงดินกรณีต่างๆ ข้างต้นพบว่า ค่าเวลาของคลื่นมีลักษณะเช่นเดียวกับฟ้าผ่าและพอลต์ชนิดอื่น ๆ ที่กล่าวไปข้างต้น โดยผลของค่าเวลาจะแปรตามระยะทางเท่านั้น เช่น ที่ตำแหน่งพอลต์ 40% ของความยาวสายส่ง ระยะทางระหว่างจุดเกิดพอลต์ถึงสถานีส่งน้อยกว่าจุดเกิดพอลต์ถึงสถานีรับ ดังนั้นค่าเวลาที่ตรวจจับจากสถานีส่งจึงตรวจวัดค่าเวลาได้น้อยกว่าสถานีรับ ในลักษณะเดียวกันที่ตำแหน่งพอลต์ 60% ของความยาวสายส่ง ระยะระหว่างจุดเกิดพอลต์ถึงสถานีตรวจวัดเปลี่ยนแปลง ค่าเวลาที่ตรวจวัดได้ย่อมเปลี่ยนแปลงตาม

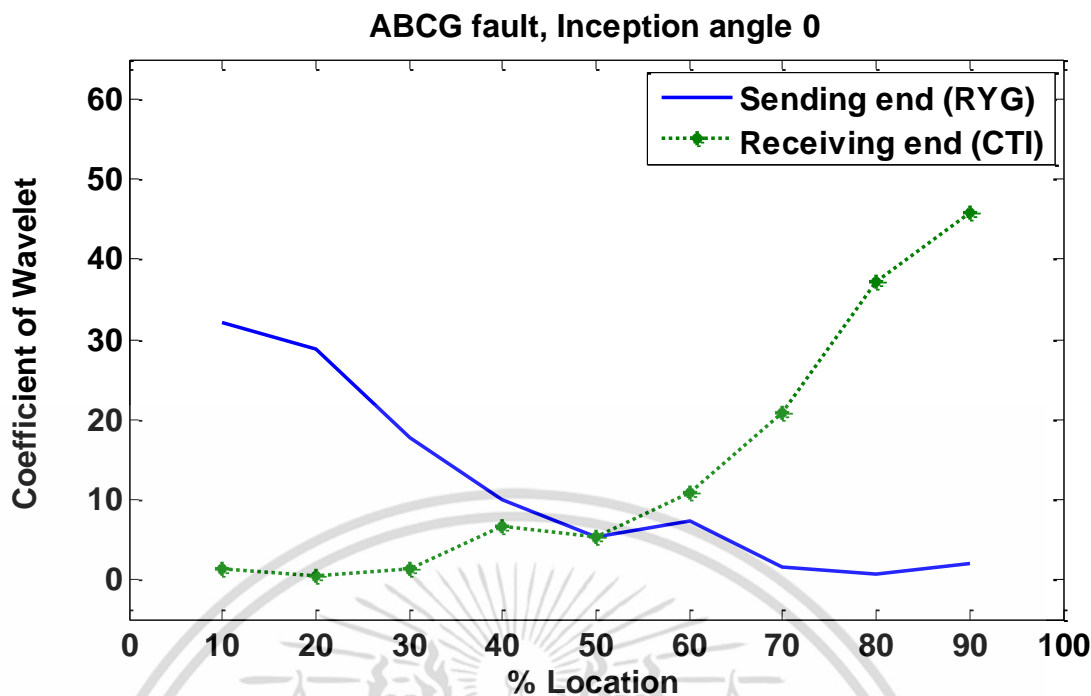
จากลักษณะดังกล่าวข้างต้นเห็นได้ว่าลักษณะของสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวกและสัญญาณเวฟเล็ทจากกระแส 3 เฟสมีลักษณะคล้ายคลึงกันเช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่าและพอลต์ก่อนหน้า ดังนั้นจึงเลือกพิจารณาจากสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวกแทน เนื่องจากมีจำนวนตัวแปรน้อยกว่า ทำการพิจารณาสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวกเมื่อเกิดพอลต์สามเฟส มุม 0 องศา เฟส A เฟส B และเฟส C ที่ตำแหน่ง 10%-90% ของความยาวสายส่ง กำหนดให้

กราฟ — แสดงสัญญาณเวฟเล็ทที่ตรวจวัดได้จากสถานีส่ง

กราฟ - - - แสดงสัญญาณเวฟเล็ทที่ตรวจวัดได้จากสถานีรับ

แกนนอน คือ % ตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่า

แกนตั้ง คือ สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของสัญญาณเวฟเล็ท



รูปที่ 3.76 สัญญาณเวฟเล็ตของฟอลต์สามเฟส เมื่อตำแหน่งเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 3.76 พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตและตำแหน่งที่เกิดฟอลต์สามเฟสมีแนวโน้มสอดคล้องกับกรณีตัวอย่างฟอลต์สามเฟสที่ 40% และ 60% ของความยาวสายส่ง โดยขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตลดลงเมื่อตำแหน่งที่เกิดฟอลต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์สายส่ง

พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตและตำแหน่งที่เกิดฟอลต์สามเฟสตรงข้ามกับสถานีส่ง เนื่องจากอิมพีแดนซ์สายส่งเช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณาสัญญาณเวฟเล็ตเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส มุมแรงดัน 0-330 องศา ที่ตำแหน่ง 10 % ของความยาวสายส่ง

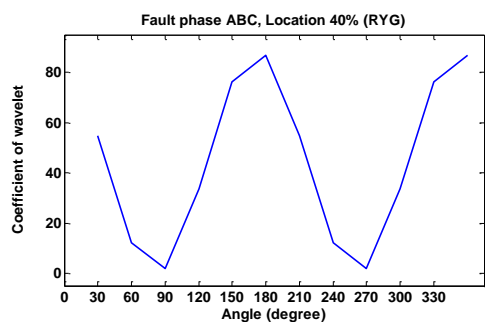
กำหนดให้

กราฟ — แสดงสัญญาณเวฟเล็ตที่ตรวจวัดได้จากสถานีส่ง

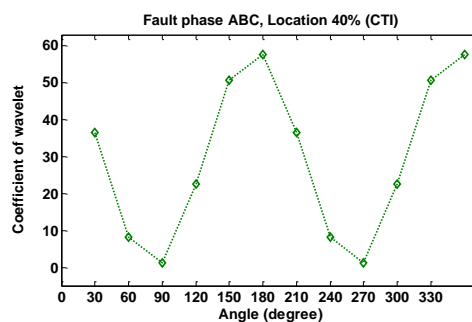
กราฟ - -♦- แสดงสัญญาณเวฟเล็ตที่ตรวจวัดได้จากสถานีรับ

แกนนอน คือ มุมแรงดัน

แกนตั้ง คือ สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของสัญญาณเวฟเล็ต



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.77 สัญญาณเวฟเล็ตของฟอลต์สามเฟส เมื่อมุมแรงดันเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 3.77 พิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระหว่างสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตและมุมแรงดันมีลักษณะเป็นไซน์ซอซยด์ มีการเปลี่ยนแปลงด้านบวกและด้านลบ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสองทิศทางนี้เป็นผลจากสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นไซน์ซอซยด์ มีการเปลี่ยนแปลงเป็นคาบ ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงครบรอบจะวนกลับมาที่จุดเริ่มเช่นเดิม

พิจารณาด้านสถานีรับพบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงมีลักษณะเช่นเดียวกับสถานีส่ง เนื่องจากหลักการและเหตุผลเดียวกัน

ตารางที่ 3.29 เวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ของฟอลต์ระหว่างเฟส เมื่อตำแหน่งเปลี่ยนแปลง

ตำแหน่งความยาวสายส่ง	สถานีส่ง (RYG)		สถานีรับ (CTI)	
	t1st (วินาที)	t3rd (วินาที)	t1st (วินาที)	t3rd (วินาที)
10%	0.002029	0.002088	0.002266	0.002799
20%	0.002059	0.002176	0.002236	0.00271
30%	0.002088	0.002265	0.002207	0.002621
40%	0.002118	0.002325	0.002177	0.002533
50%	0.002148	0.002443	0.002148	0.002443
60%	0.002177	0.002532	0.002118	0.002354
70%	0.002207	0.002612	0.002088	0.002264
80%	0.002236	0.002726	0.002059	0.002176
90%	0.002266	0.002798	0.002029	0.002088

ตารางที่ 3.29 แสดงค่าเวลาของคลื่นเดินทางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ของสถานีส่งและสถานีรับ โดยเกิดที่มุมแรงดันคงที่ที่ 0 องศา ตำแหน่งพอลต์สามเฟสเปลี่ยนแปลง 10%-90% ของความยาวสายส่งอ้างอิงด้านสถานีส่ง

เมื่อพิจารณาด้านสถานีส่งพบว่า ค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 มีแนวโน้ม เช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่าและพอลต์ก่อนหน้า คือตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ก่อนคลื่นลำดับที่ 3 และเมื่อ ตำแหน่งพอลต์เกิดไกลสถานีส่งออกไป เวลาที่ตรวจวัดคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 จะนานขึ้น เนื่องจากระยะทางการเดินทางของคลื่นเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาด้านสถานีรับพบว่า ค่าเวลาของคลื่นจะมีแนวโน้มตรงข้ามกับสถานีส่ง เนื่องจาก ตำแหน่งที่ไกลสถานีส่ง ระยะทางระหว่างจุดเกิดพอลต์ถึงสถานีรับลดลง ดังนั้นเวลาที่ตรวจพบคลื่นทั้งสองจึงเร็วขึ้นและที่ตำแหน่งพอลต์ 50% ของความยาวสายส่ง ระยะทางระหว่างจุดที่เกิดพอลต์ถึง สถานีส่งและสถานีรับเท่ากัน ดังนั้นจึงตรวจพบคลื่นด้วยเวลาที่เท่ากัน

จากการวิเคราะห์ลักษณะกระแสไฟฟ้า 3 เฟส กระแสไฟฟาลำดับบวก สัญญาณเวฟเล็ทของ กระแสลำดับบวกและสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสไฟฟ้า 3 เฟสสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. พิจารณากระแสไฟฟ้า 3 เฟสพบว่า เมื่อเกิดความผิดปกติ (ฟ้าผ่าหรือพอลต์) ขึ้นในสายส่ง เฟสใด กระแสไฟฟ้าในเฟสนั้นมีการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งกระแสไฟฟ้าสามารถ เพิ่มขึ้นสองทิศทาง คือ ทิศทางบวกและทิศทางลบ เนื่องจากสัญญาณกระแสไฟฟ้ามีลักษณะเป็นไซน์ ซอยด์ นอกจากนี้กระแสไฟฟ้าเมื่อเกิดฟ้าผ่ายังมีขนาดมากกว่าพอลต์ เนื่องจากขนาดกระแสฟ้าผ่ามาก สามารถสร้างความเสียหายแก่ระบบได้ง่าย

2. พิจารณากระแสไฟฟาลำดับบวกพบว่า เมื่อเกิดฟ้าผ่าหรือพอลต์ขึ้นส่งผลให้ระบบเสีย สมดุล ดังนั้นจึงแปลงกระแสไฟฟ้า 3 เฟส จึงทำการรวมกระแสไฟฟ้า 3 เฟสเข้าด้วยกัน และให้ กระแสไฟฟาลำดับบวกเปรียบเสมือนตัวแทนของกระแสไฟฟ้า 3 เฟส ซึ่งจากกระแสไฟฟาลำดับบวก สามารถตรวจวัดจากเพิ่มขึ้นได้ดีกว่ากระแสไฟฟ้า 3 เฟสแต่ยังไม่ชัดเจนพอสำหรับการวิเคราะห์ เนื่องจากยังไม่สามารถตรวจวัดขนาดกระแสที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากฟ้าผ่าและพอลต์

3. พิจารณาสัญญาณเวฟเล็ทพบว่า มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดขนาดกระแสที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดฟ้าผ่าและพอลต์ชนิดต่าง ๆ มากกว่าสัญญาณกระแสไฟฟ้า 3 เฟสและกระแสลำดับบวก เนื่องจากสัญญาณกระแส 3 เฟสและกระแสลำดับบวกมีการรวมกันของกระแสในสภาวะส่งจ่ายปกติ และกระแสที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดฟ้าผ่าหรือพอลต์ แต่การแปลงเวฟเล็ทเป็นวิธีทางคณิตศาสตร์ที่สามารถแยกข้อมูลสัญญาณต้นแบบให้อยู่ในช่วงความถี่ต่าง ๆ ได้โดยสัญญาณที่แยกออกมามี ลักษณะเหมือนสัญญาณต้นแบบ ดังนั้นจากคุณสมบัติเวฟเล็ทข้างต้นจึงมีความเหมาะสมในนำมา ตรวจวัดขนาดกระแสที่เพิ่มขึ้น โดยทำการพิจารณาขนาดที่เพิ่มในช่วงความถี่สูงเท่านั้น

นำสัญญาณกระแสลำดับบวกและกระแสไฟฟ้า 3 เฟสมาทำการแปลงเวฟเล็ทพบว่า ขนาด สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทจากกระแสลำดับบวกเมื่อเกิดจากฟ้าผ่ามากกว่าพอลต์มาก เนื่องจาก กระแสฟ้าผ่ามีขนาดและความรุนแรงสูง และเมื่อพิจารณาขนาดของพอลต์ 4 ชนิดพบว่า การ เปลี่ยนแปลงขนาดกระแสไฟฟ้าขึ้นอยู่กับจำนวนเฟสที่เกิดพอลต์ หากจำนวนเฟสที่เกิดพอลต์มาก ขนาดกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นมีค่ามากตาม สามารถเรียงลำดับขนาดกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงจาก มากไปน้อยได้ดังต่อไปนี้ คือ ฟ้าผ่า พอลต์สามเฟส พอลต์ระหว่างเฟสลงดิน พอลต์ระหว่างเฟส และพอลต์หนึ่งเฟสลงดิน เมื่อพิจารณาสัญญาณเวฟเล็ทจากกระแสไฟฟ้า 3 เฟสพบว่า แม้แนวโน้ม การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเวฟเล็ทนี้เหมือนกับแนวโน้มของกระแสไฟฟ้าที่ไม่ผ่านการแปลงเวฟเล็ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่การพิจารณาขนาดการเพิ่มกระแสไฟฟ้าด้วยสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ชชัดเจนมากกว่า เนื่องจากเหตุผลที่กล่าวไปข้างต้น อีกทั้งจากการศึกษาผลกระทบต่อสัญญาณกระแสไฟฟ้าพบว่า มุมแรงดันและตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าและฟอลต์มีผลต่อขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ช โดยขนาดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอิมพีแดนซ์และทิศทางของสัญญาณกระแสไฟฟ้า

4. พิจารณาทางด้านเวลาสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้คือ

- เวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ลำดับที่ 3 และคลื่นสะท้อนขึ้นอยู่กับระยะทางการเดินทางของคลื่นเท่านั้น โดยชนิดและมุมแรงดันไม่เป็นผลต่อการเปลี่ยนแปลงเวลา หากระยะทางมาก เวลาที่ตรวจจับมากตาม ดังเช่นคลื่นลำดับที่ 1 ตรวจพบได้ก่อนลำดับที่ 3 เสมอ เนื่องจากคลื่นลำดับที่ 1 เคลื่อนที่ด้วยระยะทางจากจุดที่เกิดฟ้าผ่าหรือฟอลต์มายังปลายสายเท่านั้น แต่คลื่นลำดับที่ 3 จะสะท้อนไปและกลับต่อจากระยะทางของคลื่นลำดับที่ 1 ส่งผลให้เวลาที่ตรวจจับของคลื่นลำดับที่ 3 นานกว่าลำดับที่ 1

- ขนาดการเปลี่ยนแปลงของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ขึ้นอยู่กับพลังงานที่เกิดขึ้น โดยพลังงานแปรผกผันกับระยะทาง คือ เมื่อคลื่นเดินทางด้วยระยะทางที่เพิ่มขึ้น พลังงานที่สะสมจะลดลง ดังเช่น คลื่นลำดับที่ 1 เดินทางมายังปลายสายด้วยระยะทางที่น้อยกว่าคลื่นลำดับที่ 3 คลื่นลำดับที่ 1 นี้จะมีพลังงานมากกว่าส่งผลให้มีขนาดมากกว่าตาม

หลังจากวิเคราะห์คุณลักษณะของสัญญาณกระแสไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ แล้ว ในหัวข้อต่อไปจะนำเสนอการแยกแยะชนิดและตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ



## บทที่ 4

### การแยกแยะและระบุตำแหน่งฟ้าผ่าและฟอลต์

ในบทนี้ทำการวิเคราะห์ 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การแยกแยะความผิดปกติระหว่างฟ้าผ่าและฟอลต์ ส่วนที่ 2 การระบุตำแหน่งฟ้าผ่าและฟอลต์ การวิเคราะห์นี้อาศัยขนาดและเวลาของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตจากบทที่ 3 ซึ่งการวิเคราะห์ต่าง ๆ แสดงได้ดังต่อไปนี้

#### 4.1 การแยกแยะความผิดปกติระหว่างฟ้าผ่าและฟอลต์

จากการวิเคราะห์คุณลักษณะกระแสไฟฟ้าและสัญญาณเวฟเล็ตพบว่า เมื่อเกิดความผิดปกติของฟ้าผ่าหรือฟอลต์ขึ้น กระแสไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ามีขนาดเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้านี้ส่งผลให้ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตเปลี่ยนแปลง ซึ่งขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตขึ้นอยู่กับชนิดความผิดปกติที่เกิดขึ้น ดังได้กล่าวในบทที่แล้ว

ในบทนี้จึงนำขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตมาออกแบบอัลกอริทึมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และแยกแยะสัญญาณดังกล่าวเป็นความผิดปกติชนิดใด พารามิเตอร์และตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย 3 ประเภท คือ ตัวแปรเริ่มต้น ตัวแปรเปรียบเทียบและตัวแปรตรวจสอบดังแสดงต่อไปนี้

##### 1. ตัวแปรเริ่มต้น

ตัวแปรเริ่มต้น คือ ตัวแปรขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของสัญญาณเวฟเล็ตด้านสถานีส่งที่ได้จากการจำลองฟ้าผ่าและฟอลต์จากโปรแกรม ATP/EMTP ดังแสดงในตารางที่ 4.1

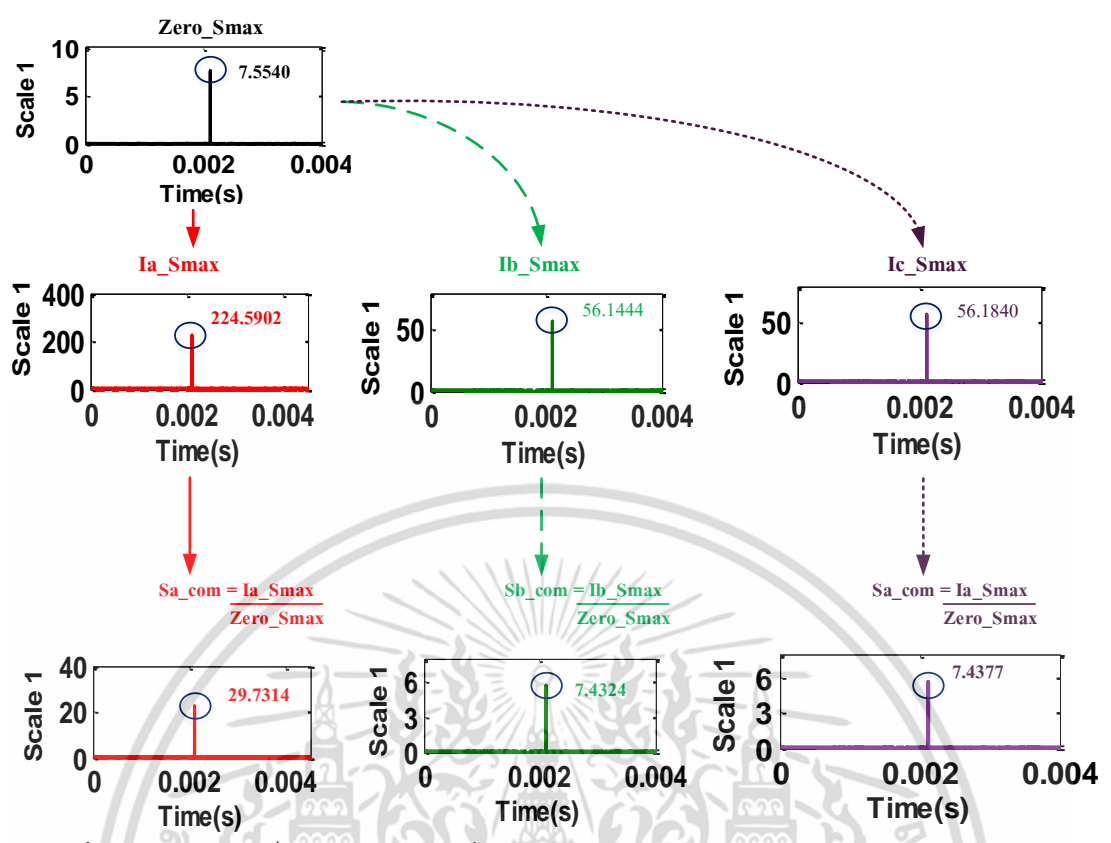
##### 2. ตัวแปรเปรียบเทียบ

ตัวแปรเปรียบเทียบได้จากการเปรียบเทียบระหว่างตัวแปรเริ่มต้นดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยนำขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแสไฟฟ้าเฟสต่าง ๆ เทียบกับขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตลำดับศูนย์ ดังแสดงในสมการที่ 4.1 – สมการที่ 4.3 และรูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างการคำนวณขนาดตัวแปรเปรียบเทียบโดยอาศัยสมการข้างต้น

$$S_{Acom} = \frac{Ia_{Smax}}{Zero_{Smax}} \quad (4.1)$$

$$S_{Bcom} = \frac{Ib_{Smax}}{Zero_{Smax}} \quad (4.2)$$

$$S_{Ccom} = \frac{Ic_{Smax}}{Zero_{Smax}} \quad (4.3)$$



รูปที่ 4.1 สัมประสิทธิ์ค่าสูงสุดของช่วงที่เกิดความผิดปกติและตัวแปรเปรียบเทียบด้านสถานีส่ง

### 3. ตัวแปรตรวจสอบ

ตัวแปรตรวจสอบเกิดจากการนำค่าสูงสุดและต่ำสุดของตัวแปรเปรียบเทียบมาพิจารณา ซึ่งขนาดตัวแปรทั้งสามส่วนนี้แสดงได้ดังตารางที่ 4.1 เมื่อได้ตัวแปรเปรียบเทียบและตัวแปรตรวจสอบค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของสถานีส่งแล้ว อันดับต่อไปจึงนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์คุณลักษณะเพื่อออกแบบอัลกอริทึมให้เหมาะสมกับระบบไฟฟ้า โดยการวิเคราะห์นี้มีเป้าหมายเพื่อสร้างอัลกอริทึมแยกแยะความผิดปกติระหว่างฟ้าผ่าและฟอลต์ชนิดต่าง ๆ การวิเคราะห์ที่จะกล่าวต่อไป อ้างอิงโดยใช้ตัวแปรเริ่มต้น ตัวแปรเปรียบเทียบและตัวแปรตรวจสอบดังกล่าวข้างต้น

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์และตัวแปรของการวิเคราะห์

ประเภท	พารามิเตอร์	ความหมาย
ตัวแปรเริ่มต้น	Pos_S <sub>max</sub>	ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสูงสุดของกระแสลำดับบวกด้านสถานีส่ง
	Zero_S <sub>max</sub>	ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสูงสุดของกระแสลำดับศูนย์ด้านสถานีส่ง
	Pos_R <sub>max</sub>	ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสูงสุดของกระแสลำดับบวกด้านสถานีรับ
	Zero_R <sub>max</sub>	ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสูงสุดของกระแสลำดับศูนย์ด้านสถานีรับ
	Ia_S <sub>max</sub>	ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสูงสุดของกระแสเฟส A ด้านสถานีส่ง
	Ib_S <sub>max</sub>	ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสูงสุดของกระแสเฟส B ด้านสถานีส่ง
	Ic_S <sub>max</sub>	ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสูงสุดของกระแสเฟส C ด้านสถานีส่ง
ตัวแปรเปรียบเทียบ	S <sub>Acom</sub>	ค่าเปรียบเทียบระหว่างขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเฟส A กับขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทลำดับศูนย์ด้านสถานีส่ง
	S <sub>Bcom</sub>	ค่าเปรียบเทียบระหว่างขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเฟส B กับขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทลำดับศูนย์ด้านสถานีส่ง
	S <sub>Ccom</sub>	ค่าเปรียบเทียบระหว่างขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเฟส C กับขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทลำดับศูนย์ด้านสถานีส่ง
ตัวแปรตรวจสอบ	S <sub>Phmax</sub>	ค่าสูงสุดระหว่าง S <sub>Acom</sub> S <sub>Bcom</sub> S <sub>Ccom</sub> ด้านสถานีส่ง
	S <sub>Phmin</sub>	ค่าต่ำสุดระหว่าง S <sub>Acom</sub> S <sub>Bcom</sub> S <sub>Ccom</sub> ด้านสถานีส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.1 ตัวแปรของฟ้าผ่าและฟอลต์

การสร้างอัลกอริทึมแยกแยะฟ้าผ่าและฟอลต์ที่อาศัยตัวแปร 3 ประเภท คือ ตัวแปรเริ่มต้น ตัวแปรเปรียบเทียบและตัวแปรตรวจสอบ อ้างอิงด้วยขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของตัวแปรสถานะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตัวแปรของสถานะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติ

สถานะการ ส่งจ่าย กำลังไฟฟ้า ปกติ	ตัวแปรเริ่มต้น					
	Pos_S <sub>max</sub>	Pos_R <sub>max</sub>	Ia_S <sub>max</sub>	Ib_S <sub>max</sub>	Ic_S <sub>max</sub>	Zero_S <sub>max</sub>
	$3.1 \times 10^{-5}$	$9.8 \times 10^{-5}$	$2.6 \times 10^{-5}$	$9.5 \times 10^{-5}$	$2.6 \times 10^{-5}$	$2.4 \times 10^{-5}$
	ตัวแปรเปรียบเทียบ					
	S_A <sub>com</sub>	S_B <sub>com</sub>	S_C <sub>com</sub>			
	1.0552	0.0385	1.0552			
	ตัวแปรตรวจสอบ					
S_Ph <sub>max</sub>	S_Ph <sub>min</sub>					
1.0552	0.0385					

จากตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาขนาดตัวแปรเริ่มต้นพบว่า ในสถานะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติไม่มีการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าในช่วงความถี่สูง ดังนั้นจึงมีขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแต่ละเฟสและขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแสลำดับบวกน้อยมาก ซึ่งขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของตัวแปรเริ่มต้นน้อย ส่งผลให้ขนาดตัวแปรเปรียบเทียบและตัวแปรตรวจสอบน้อยตาม

ดังนั้นจากข้อมูลที่แสดงนี้แสดงให้เห็นว่า ในสถานะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติ ขนาดตัวแปรทั้งสามประเภทมีค่าน้อย ในการวิเคราะห์ฟ้าผ่า และฟอลต์จึงใช้ข้อมูลขนาดของตัวแปรตารางที่ 4.2 เป็นเกณฑ์อ้างอิง ถ้าขนาดมากกว่าสถานะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติ คาดการณ์ได้ว่าอาจเกิดความผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้า เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสในช่วงความถี่สูง

ในวิเคราะห์นำขนาดตัวแปรเริ่มต้น ตัวแปรเปรียบเทียบและตัวแปรตรวจสอบของฟ้าผ่าและฟอลต์ชนิดต่าง ๆ มาวิเคราะห์เพื่อสร้างอัลกอริทึมแยกแยะ ซึ่งตัวแปรทั้งสามนี้ได้จากกรณียกตัวอย่างฟ้าผ่าและฟอลต์เช่นเดียวกับที่กล่าวไปในบทที่ 3

##### 4.1.1.1 ฟ้าผ่าลงสายเฟส

เพื่อทำการศึกษาค้นคุณลักษณะขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตเมื่อเกิดฟ้าผ่าจึงทำการยกตัวอย่างกรณีศึกษา 3 กรณีคือ

กรณีที่ 1 เกิดฟ้าผ่าเฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

กรณีที่ 2 เกิดฟ้าผ่าเฟส A มุมแรงดัน 90 องศา ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

กรณีที่ 3 เกิดฟ้าผ่าเฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวส่ง

โดยขนาดของตัวแปรเริ่มต้น ตัวแปรเปรียบเทียบและตัวแปรตรวจสอบเมื่อเกิดฟ้าผ่า

ข้อ 3 กรณียกตัวอย่างนี้ แสดงได้ดังตารางที่ 4.3 ศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตัวแปรด้านสถานีส่ง เมื่อเกิดฟ้าผ่าลงสายเฟส

ตัวแปรเริ่มต้น							
ตำแหน่ง ของความ ยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	Pos_S <sub>max</sub>	Pos_R <sub>max</sub>	Ia_S <sub>max</sub>	Ib_S <sub>max</sub>	Ic_S <sub>max</sub>	Zero_S <sub>max</sub>
40%	0 °	336.9104	222.5332	224.5902	56.1444	56.1840	7.5540
40%	90 °	332.6186	220.1640	221.7621	55.4655	55.3990	7.4775
60%	0 °	222.5435	336.7751	148.3791	37.1047	37.0651	2.3471
ตัวแปรเปรียบเทียบ							
ตำแหน่ง ของความ ยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	S_A <sub>com</sub>	S_B <sub>com</sub>	S_C <sub>com</sub>			
40%	0 °	29.7314	7.4324	7.4377			
40%	90 °	29.6571	7.4176	7.4087			
60%	0 °	63.2192	15.8090	15.7922			
ตัวแปรตรวจสอบ							
ตำแหน่ง ของความ ยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	S_Ph <sub>max</sub>	S_Ph <sub>min</sub>				
40%	0 °	29.7314	7.4324				
40%	90 °	29.6571	7.4087				
60%	0 °	63.2192	15.7922				

กรณีที่ 1 เกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

ตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณากรณีฟ้าผ่ามุมแรงดัน 0 องศา ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งสังเกตได้ว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ของตัวแปรเริ่มต้นเฟส A มีขนาดมากกว่าเฟสอื่น ๆ เมื่อพิจารณาตัวแปรเปรียบเทียบพบว่า ขนาดตัวแปรเปรียบเทียบเฟส A มีค่ามากที่สุด คือ 24.7668 ในขณะที่เฟส B และเฟส C มีค่าน้อยกว่า คือ 6.1914 และ 6.1957 ตามลำดับ ดังนั้นจากขนาดตัวแปรเปรียบเทียบดังกล่าวจะได้ขนาดตัวแปรตรวจสอบสูงสุด (S\_Ph<sub>max</sub>) และต่ำสุด (S\_Ph<sub>min</sub>) มีค่าเท่ากับ 24.7668 และ 6.1914 ตามลำดับ จากขนาดตัวแปรทั้งสามประเภทนี้เห็นได้ว่า ตัวแปรเฟส A มีขนาดการมากกว่าตัวแปรเฟส B และตัวแปรเฟส C ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแต่ละเฟสเกิดขึ้นเนื่องจากมีองค์ประกอบความถี่สูงเกิดขึ้นในช่วงความถี่สูงที่พิจารณา องค์ประกอบความถี่สูงที่เกิดขึ้นคือขนาดกระแสที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากฟ้าผ่านั่นเอง ดังนั้นจากขนาดสัมประสิทธิ์ของตัวแปรข้างต้นเห็นได้ว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของเฟส A มากกว่าเฟส B และเฟส C หมายความว่า เฟส A มีขนาดกระแสฟ้าผ่าเพิ่มขึ้นมากกว่าเฟส B และเฟส C ดังนั้นจึงคาดการณ์ว่าเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A และ

ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของเฟส B และเฟส C เกิดจากการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้า เนื่องจากเกิดฟ้าผ่า ทำให้สนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลง

เมื่อเปรียบเทียบขนาดตัวแปรดังกล่าวกับตัวแปรของสภาวะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติในตารางที่ 4.2 พบว่า ขนาดตัวแปรเริ่มต้นเฟส A เฟส B และเฟส C ของกรณีเกิดฟ้าผ่าที่มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งนี้มากกว่าตัวแปรเริ่มต้นของสภาวะการส่งจ่ายปกติประมาณ  $86 \times 10^5$  เท่า  $5.84 \times 10^5$  เท่า และ  $0.04 \times 10^5$  เท่าตามลำดับ ส่งผลให้ขนาดตัวแปรเปรียบเทียบมีค่ามากกว่าเช่นเดียวกัน ขนาดที่เพิ่มขึ้นมากนี้แสดงให้เห็นว่า สัญญาณเมื่อเกิดฟ้าผ่าเกิดกระแสไฟฟ้าเพิ่มสูงมากในช่วงความถี่สูง ทำให้ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมากกว่าขนาดสัมประสิทธิ์ของสภาวะการส่งจ่ายปกติ

กรณีที่ 2 เกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา โดยเกิดที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

เมื่อพิจารณากรณีฟ้าผ่ามุมแรงดัน 90 องศาที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งพบว่า ขนาดตัวแปรเริ่มต้นของเฟส A มีขนาดมากกว่าเฟส B และเฟส C เช่นเดียวกรณีเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง แต่ขนาดสัมประสิทธิ์ทั้งสามนี้น้อยกว่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรเริ่มต้นทั้งสามของกรณีฟ้าผ่าตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง เนื่องจากผลกระทบของลักษณะกระแสไฟฟ้าต่อมุมที่เปลี่ยนแปลง ดังกล่าวในบทก่อนหน้า

เมื่อเปรียบเทียบขนาดตัวแปรดังกล่าวกับตัวแปรของสภาวะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติพบว่า แม้ขนาดสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต่าง ๆ ในกรณีฟ้าผ่า มุมแรงดัน 90 องศาที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งมีขนาดน้อยกว่ากรณีฟ้าผ่ามุม 0 องศาตำแหน่งเดียวกัน แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบกับขนาดตัวแปรของสภาวะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ที่เกิดฟ้าผ่ายังคงมีขนาดมากกว่าขนาดของตัวแปรสภาวะการส่งจ่ายปกติ ดังนั้นเห็นได้ว่า แม้มุมแรงดันเปลี่ยนไป ขนาดสัมประสิทธิ์มีการเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของตัวแปรสภาวะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติ

กรณีที่ 3 เกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา โดยเกิดที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวส่ง

เมื่อพิจารณากรณีฟ้าผ่ามุมแรงดัน 0 องศาที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ของตัวแปรเริ่มต้นแต่ละเฟสมีแนวโน้มเช่นเดียวกับฟ้าผ่าสองกรณีก่อนหน้า คือขนาดสัมประสิทธิ์ของตัวแปรเฟส A มากที่สุด ส่งผลให้ขนาดตัวแปรเปรียบเทียบเฟส A มีค่ามากที่สุดเช่นเดียวกัน โดยแนวโน้มขนาดของตัวแปรนี้มีลักษณะเช่นกรณีฟ้าผ่ามุมแรงดัน 0 องศาที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง แต่มีขนาดแตกต่างกัน เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์สายส่งที่เปลี่ยนแปลงตามระยะทาง ทำให้ขนาดกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมีขนาดเปลี่ยนแปลงตาม

เมื่อเปรียบเทียบขนาดตัวแปรดังกล่าวกับตัวแปรของสภาวะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติพบว่า ขนาดของตัวแปรเริ่มต้นและตัวแปรเปรียบเทียบทั้งสามเฟสของกรณีฟ้าผ่าที่ 60% ของความยาวสายส่งนี้มากกว่าตัวแปรต่าง ๆ ของสภาวะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติมาก ซึ่งขนาดที่แตกต่างกันมากนี้ทำให้พิจารณาได้ว่า การเกิดฟ้าผ่าทำให้ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมีขนาดมากกว่าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของสภาวะการส่งจ่ายปกติ

ดังนั้นจากลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับข้อสรุปคุณลักษณะฟ้าผ่าในบทที่ 3 คือ เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่สายส่งเฟสใด ขนาดกระแสไฟฟ้าเฟสนั้นเพิ่มขึ้นอย่างมาก ในขณะที่เฟสอื่น ๆ มีขนาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากผลของการเหนี่ยวนำ ดังนั้นจากการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 เห็นได้ว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ตัวแปรของกรณีฟ้าผ่าทั้งสามกรณีมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน คือ เฟส A มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดและเมื่อทำการเปรียบเทียบกับขนาดสัมประสิทธิ์ของตัวแปรสถานะการส่งจ่ายปกติพบว่า เมื่อเกิดฟ้าผ่า ขนาดสัมประสิทธิ์แต่ละเฟสมีขนาดเพิ่มขึ้นมาก แต่เฟสที่เกิดฟ้าผ่ามีขนาดเพิ่มขึ้นมากที่สุด การเปลี่ยนแปลงมุมแรงดันและตำแหน่งฟ้าผ่าส่งผลให้อัตราการเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับขนาดสัมประสิทธิ์ของสถานะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติ้น้อยมาก เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์มาก

#### 4.1.1.2 พอลต์หนึ่งเฟสลงดิน

เพื่อทำการศึกษาคคุณลักษณะขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลิตเมื่อเกิดพอลต์หนึ่งเฟสลงดิน จึงทำการยกตัวอย่างกรณีศึกษา 3 กรณีคือ

กรณีที่ 1 เกิดพอลต์หนึ่งเฟสลงดิน A มุมแรงดัน 0 องศา ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

กรณีที่ 2 เกิดพอลต์หนึ่งเฟสลงดิน A มุมแรงดัน 90 องศา ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

กรณีที่ 3 เกิดพอลต์หนึ่งเฟสลงดิน A มุมแรงดัน 0 องศา ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวส่ง

โดยขนาดของตัวแปรเริ่มต้น ตัวแปรเปรียบเทียบและตัวแปรตรวจสอบเมื่อเกิดฟ้าผ่าของ 3 กรณียกตัวอย่างนี้ แสดงได้ดังตารางที่ 4.4



ตารางที่ 4.4 ตัวแปรด้านสถานีส่ง เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน

ตัวแปรเริ่มต้น							
ตำแหน่ง ของความ ยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	Pos_S <sub>max</sub>	Pos_R <sub>max</sub>	Ia_S <sub>max</sub>	Ib_S <sub>max</sub>	Ic_S <sub>max</sub>	Zero_S <sub>max</sub>
40%	0 °	13.3318	8.8739	8.8806	2.2321	2.2195	0.0893
40%	90 °	8.2243	5.4850	5.4707	1.3709	1.3830	0.0553
60%	0 °	8.9014	13.3351	5.9283	1.4941	1.4793	0.0963
ตัวแปรเปรียบเทียบ							
ตำแหน่ง ของความ ยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	S_A <sub>com</sub>	S_B <sub>com</sub>	S_C <sub>com</sub>			
40%	0 °	99.4347	24.9921	24.8515			
40%	90 °	98.9979	24.8073	25.0271			
60%	0 °	61.5517	15.5127	15.3587			
ตัวแปรตรวจสอบ							
ตำแหน่ง ของความ ยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	S_Ph <sub>max</sub>	S_Ph <sub>min</sub>				
40%	0 °	99.4347	24.8515				
40%	90 °	98.9979	24.8073				
60%	0 °	61.5517	15.3587				

กรณีที่ 1 เกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

จากตารางที่ 4.4 แสดงตัวแปร 3 ประเภทเมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินสังเกตได้ว่า กรณีฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน มุมแรงดัน 0 องศา ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง ขนาดสัมประสิทธิ์ตัวแปรเริ่มต้นที่เฟส A มีขนาดมากกว่าเฟส B และเฟส C โดยค่าของตัวแปรเริ่มต้นนี้ส่งผลให้ขนาดตัวแปรเปรียบเทียบมีแนวโน้มเดียวกัน คือ เฟส A มากที่สุด และเฟส B และเฟส C มีขนาดใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบตัวแปรกรณีดังกล่าวนี้กับขนาดสัมประสิทธิ์ของตัวแปรสภาวะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติพบว่า ตัวแปรเริ่มต้นทั้งสามเฟสของกรณีเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่ 40% ของความยาวสายส่งมีขนาดมากกว่าขนาดของตัวแปรเริ่มต้นทั้งสามเฟสของกรณีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสภาวะปกติ โดยเฟส A มีขนาดมากที่สุด แสดงให้เห็นว่า เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน เกิดการเพิ่มขึ้นของกระแสฟอลต์ในช่วงความถี่สูง ส่งผลให้ตรวจพบขนาดสัมประสิทธิ์ดังกล่าว แต่ในสภาวะการส่ง

จ่ายกำลังไฟฟ้าปกติ ไม่มีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นในช่วงความถี่สูง ดังนั้นขนาดสัมประสิทธิ์ที่ตรวจพบจึงมีขนาดน้อยมาก ประมาณ  $10^{-5}$

กรณีที่ 2 เกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

เมื่อพิจารณาตัวแปรเริ่มต้นพบว่า มีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีฟ้าผ่าที่มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง คือเฟส A หรือเฟสที่เกิดฟอลต์มีขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดสูงที่สุด ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดที่เกิดขึ้นมีสาเหตุจากการเกิดกระแสฟอลต์ขึ้นในช่วงความถี่ นอกเหนือจากการส่งจ่ายปกติหรือความถี่สูงนั่นเอง แต่ขนาดสัมประสิทธิ์มีความแตกต่างจากกรณีฟอลต์ที่มุม 0 องศา ตำแหน่งเดียวกัน เนื่องจากผลของลักษณะสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ต่างกันทั้งสามเฟสต่อการเปลี่ยนแปลงมุมแรงดันดังที่กล่าวไปในบทก่อนหน้า

เมื่อเปรียบเทียบตัวแปรกรณีดังกล่าวนี้กับตัวแปรการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสภาวะปกติพบว่า เมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดแต่ละเฟสมีขนาดเพิ่มขึ้นมาก โดยเฟส A หรือเฟสที่เกิดฟอลต์มีขนาดมากที่สุด ในขณะที่เฟสอื่น ๆ มีการเพิ่มขึ้นจากสภาวะการส่งจ่ายปกติน้อยกว่า การเพิ่มขึ้นที่แตกต่างกันนี้ เนื่องจากเฟสที่เกิดฟอลต์ เกิดการลัดวงจรกระแสไฟฟ้าโดยตรง ส่งผลให้มีขนาดกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงมาก ในขณะที่ขนาดสัมประสิทธิ์ของเฟสอื่น ๆ เพิ่มขึ้นน้อยกว่า เนื่องจากผลของสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสไฟฟ้าน้อยกว่าผลของการลัดวงจรโดยตรง

กรณีที่ 3 เกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวส่ง

เมื่อพิจารณากรณีฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน มุมแรงดัน 0 องศา ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ของตัวแปรแต่ละเฟสมีแนวโน้มเช่นเดียวกับฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินสองกรณีก่อนหน้า แต่มีขนาดสัมประสิทธิ์ไม่เท่ากัน โดยฟอลต์ที่เกิดที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งมีขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดน้อยกว่าฟอลต์ที่เกิดที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์จากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งฟอลต์ ส่งผลให้ขนาดกระแสไฟฟ้าและขนาดสัมประสิทธิ์แต่ละเฟสเปลี่ยนแปลง

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบตัวแปรกรณีดังกล่าวนี้กับตัวแปรของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสภาวะปกติพบว่า แม้การเปลี่ยนตำแหน่งของฟอลต์ส่งผลต่อขนาดกระแสไฟฟ้าและขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ด แต่เนื่องจากขนาดระหว่างตัวแปรของฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินและตัวแปรของสภาวะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติแตกต่างกันมาก ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงมุมแรงดันและตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ส่งผลต่ออัตราความแตกต่างขนาดสัมประสิทธิ์ระหว่างตัวแปรเมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินและตัวแปรของสภาวะการส่งจ่ายปกติน้อยมาก

#### 4.1.1.3 ฟอลต์ระหว่างเฟส

เพื่อทำการศึกษาคุนลักษณะขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสจึงทำการยกตัวอย่างกรณีศึกษา 3 กรณีคือ

กรณีที่ 1 เกิดฟอลต์ระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

กรณีที่ 2 เกิดฟอลต์ระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 90 องศา ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

กรณีที่ 3 เกิดฟอลต์ระหว่างเฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวส่ง

โดยขนาดของตัวแปรเริ่มต้น ตัวแปรเปรียบเทียบและตัวแปรตรวจสอบเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสของ 3 กรณียกตัวอย่างนี้ แสดงได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ตัวแปรเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส

ตัวแปรเริ่มต้น							
ตำแหน่งของความยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	Pos_S <sub>max</sub>	Pos_R <sub>max</sub>	Ia_S <sub>max</sub>	Ib_S <sub>max</sub>	Ic_S <sub>max</sub>	Zero_S <sub>max</sub>
40%	0 °	8.6927	5.7714	5.7834	5.8019	0.0000	0.0000
40%	90 °	53.9538	35.9598	35.9467	35.9813	0.0000	0.0007
60%	0 °	6.3100	9.4653	4.2050	4.2077	0.0000	0.0000
ตัวแปรเปรียบเทียบ							
ตำแหน่งของความยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	S_A <sub>com</sub>	S_B <sub>com</sub>	S_C <sub>com</sub>			
40%	0 °	$2.2 \times 10^5$	$2.2 \times 10^5$	0.9970			
40%	90 °	$4.8 \times 10^4$	$4.81 \times 10^4$	0.0237			
60%	0 °	$1.61 \times 10^5$	$1.62 \times 10^5$	1.0083			
ตัวแปรตรวจสอบ							
ตำแหน่งของความยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	S_Ph <sub>max</sub>	S_Ph <sub>min</sub>				
40%	0 °	$2.2 \times 10^5$	0.9970				
40%	90 °	$4.81 \times 10^4$	0.0237				
60%	0 °	$1.62 \times 10^5$	1.0083				

กรณีที่ 1 เกิดฟอลต์ระหว่างเฟสที่เฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

เมื่อพิจารณาตัวแปรเริ่มต้นของกรณีฟอลต์ระหว่างเฟส มุมแรงดัน 0 องศา ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งของตารางที่ 4.5 พบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ของตัวแปรเริ่มต้นที่เฟส A และเฟส B ใกล้เคียงกัน และมากกว่าเฟส C ซึ่งขนาดตัวแปรเริ่มต้นนี้ ทำให้ขนาดตัวแปรเปรียบเทียบมีลักษณะเช่นเดียวกัน

จากขนาดสัมประสิทธิ์ของทั้งสามเฟสนี้แสดงให้เห็นได้ว่า เฟส A และเฟส B มีองค์ประกอบความถี่สูงเกิดขึ้น ทำให้ตรวจพบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต ในขณะที่เฟส C ไม่มีองค์ประกอบเกิดขึ้นในช่วงความถี่สูง จึงไม่มีขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตเกิดขึ้น องค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อผู้ใดเห็นใบเซปาระหว่างการดำเนินการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่สูงที่เกิดขึ้นในช่วงความถี่สูงคือ กระแสฟลัดด์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าเมื่อเกิดการลัดวงจร เมื่อพิจารณาขนาดสัมประสิทธิ์ที่เกิดขึ้นของเฟส A และเฟส B พบว่ามีขนาดใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากอิมพีแดนซ์สายส่งของทั้งคู่มีขนาดเท่ากัน เพราะเกิดการลัดวงจรระหว่างสายส่งเฟส A และเฟส B ที่ตำแหน่งเดียวกัน ดังที่แสดงในตารางที่ 4.5

เมื่อเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์ตัวแปรของกรณีฟลัดด์ระหว่างเฟสที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งกับขนาดสัมประสิทธิ์ตัวแปรของสภาวะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของกรณีฟลัดด์ระหว่างเฟสมากกว่าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของสภาวะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติ เนื่องจากที่สภาวะปกติ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงความถี่สูง ดังนั้นสัญญาณเวฟเล็ทของกระแสไฟฟ้าในสภาวะการส่งจ่ายปกติ จึงไม่มีขนาดสัมประสิทธิ์เกิดขึ้นหรือขนาดน้อยมาก ประมาณ  $10^{-5}$

กรณีที่ 2 เกิดฟลัดด์ระหว่างเฟสที่เฟส AB มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

เมื่อพิจารณากรณีฟลัดด์ระหว่างเฟสที่ มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งพบว่า แนวโน้มขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทแต่ละเฟสมีลักษณะคล้ายกับกรณีฟลัดด์ระหว่างเฟสก่อนหน้า คือเฟส A และเฟส B มีขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเกิดขึ้น โดยมีขนาดใกล้เคียงกัน เนื่องจากเกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่งบนสายส่งเดียวกัน ขนาดอิมพีแดนซ์ ณ จุดที่เกิดฟลัดด์จึงมีขนาดเท่ากัน แต่เมื่อเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์ดังกล่าวกับกรณีฟลัดด์ระหว่างเฟสก่อนหน้าพบว่า การเปลี่ยนแปลงมุมแรงดันมีผลกระทบต่อขนาดกระแสฟลัดด์และขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทดังกล่าวไปก่อนหน้านี้

เมื่อเปรียบเทียบตัวแปรของกรณีฟลัดด์ระหว่างเฟสนี้กับตัวแปรของสภาวะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติพบว่า ขนาดตัวแปรเริ่มต้นเฟส A และเฟส B ของฟลัดด์ระหว่างเฟสมีขนาดเพิ่มขึ้นจากสภาวะปกติมาก แต่เฟส C แทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเกิดการลัดวงจรเฉพาะเฟส A และเฟส B ดังนั้นจึงเกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเฉพาะเฟสที่เกิดลัดวงจรเท่านั้น เฟสที่ไม่เกิดฟลัดด์ ไม่มีขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเกิดขึ้น เนื่องจากไม่มีกระแสฟลัดด์เกิดขึ้น ดังนั้นจึงมีขนาดสัมประสิทธิ์ใกล้เคียงกันกับขนาดสัมประสิทธิ์ของสภาวะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติ

กรณีที่ 3 เกิดฟลัดด์ระหว่างเฟสที่เฟส AB มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

เมื่อพิจารณาตัวแปรจากตารางที่ 4.5 พบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรเริ่มต้นและตัวแปรเปรียบเทียบของกรณีฟลัดด์ระหว่างเฟสที่ตำแหน่ง 60 % ของความยาวสายส่งนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับตำแหน่งที่ 40% ของความยาวสายส่ง เนื่องจากเกิดฟลัดด์ชนิดเดียวกัน แต่ขนาดของตัวแปรมีการเปลี่ยนแปลงไม่เท่ากัน เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์ดังกล่าวก่อนหน้านี้

เมื่อเปรียบเทียบตัวแปรกรณีฟลัดด์ระหว่างเฟสดังกล่าวนี้นี้กับตัวแปรของสภาวะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติพบว่า มีแนวโน้มเช่นเดียวกับฟลัดด์ระหว่างเฟสที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ คือสัมประสิทธิ์ของตัวแปรเริ่มต้นเฟส A และเฟส B มีขนาดเพิ่มขึ้น เฟส C มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อเทียบกับเฟส A และเฟส B เนื่องจากหลักการและเหตุผลเดียวกันข้างต้น

เมื่อเปรียบเทียบขนาดตัวแปรระหว่างกรณีฟลัดด์ระหว่างเฟสและฟลัดด์หนึ่งเฟสลงดินพบว่า ทั้งสองกรณีตรวจพบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทในช่วงความถี่นอกเหนือจากการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติหรือความถี่สูง เนื่องจากเกิดการลัดวงจรทำให้เกิดกระแสฟลัดด์ขึ้น กระแสฟลัดด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผลต่อขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท โดยถ้าเกิดพอลต์ที่เฟสใด เฟสนั้นจะพบขนาดสัมประสิทธิ์ จากตารางข้อมูลขนาดสัมประสิทธิ์ของตัวแปรพอลต์หนึ่งเฟสและพอลต์ระหว่างเฟสข้างต้นเห็นได้ว่า พอลต์ระหว่างเฟสเกิดการลัดวงจรของสายเฟสพร้อมกันสองเส้น ทำให้เกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทที่เฟสที่เกิดการลัดวงจรทั้งสองนั้น โดยมีขนาดเท่ากันเนื่องจากเหตุผลที่กล่าวไปข้างต้น แต่พอลต์หนึ่งเฟสลงดินเกิดการลัดวงจรที่สายส่งเพียงหนึ่งเส้นเท่านั้น ดังนั้นจึงเกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมากที่สุดเพียงหนึ่งค่าเช่นกัน

#### 4.1.1.4 พอลต์ระหว่างเฟสลงดิน

เพื่อทำการศึกษาคูณลักษณะขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟสลงดิน จึงทำการยกตัวอย่างกรณีศึกษา 3 กรณีคือ

กรณีที่ 1 เกิดพอลต์ระหว่างเฟสลงดินเฟส ABG มุมแรงดัน 0 องศา ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง  
 กรณีที่ 2 เกิดพอลต์ระหว่างเฟสลงดินเฟส ABG มุมแรงดัน 0 องศา ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวส่ง  
 กรณีที่ 3 เกิดพอลต์ระหว่างเฟสลงดินเฟส ABG มุมแรงดัน 90 องศา ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

ขนาดของตัวแปรเริ่มต้น ตัวแปรเปรียบเทียบและตัวแปรตรวจสอบ แสดงได้ดังตาราง 4.6



ตารางที่ 4.6 ตัวแปรด้านสถานีส่ง เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน

ตัวแปรเริ่มต้น							
ตำแหน่ง ของความ ยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	Pos_S <sub>max</sub>	Pos_R <sub>max</sub>	Ia_S <sub>max</sub>	Ib_S <sub>max</sub>	Ic_S <sub>max</sub>	Zero_S <sub>max</sub>
40%	0 °	15.0862	10.0624	10.0600	3.1513	1.9474	0.0771
40%	90 °	52.0627	34.7089	34.7021	41.6175	0.3119	0.0126
60%	0 °	10.6370	15.9562	7.0922	2.4129	1.2307	0.0799
ตัวแปรเปรียบเทียบ							
ตำแหน่ง ของความ ยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	S_A <sub>com</sub>	S_B <sub>com</sub>	S_C <sub>com</sub>			
40%	0 °	130.4178	40.8532	25.2466			
40%	90 °	2764.2493	3315.102 4	24.8445			
60%	0 °	88.7681	30.2009	15.4040			
ตัวแปรตรวจสอบ							
ตำแหน่ง ของความ ยาวสายส่ง	มุมแรงดัน	S_Ph <sub>max</sub>	S_Ph <sub>min</sub>				
40%	0 °	130.4178	25.2466				
40%	90 °	3315.1024	24.8445				
60%	0 °	88.7681	15.4040				

กรณีที่ 1 เกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่เฟส ABG มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

เมื่อพิจารณาตัวแปรเริ่มต้นของกรณีฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน มุมแรงดัน 0 องศา ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งจากตารางที่ 4.6 พบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของตัวแปรเริ่มต้นเฟส A เฟส B และเฟส C มีขนาดแตกต่างกัน สามารถเรียงลำดับจากขนาดมากไปน้อยได้ดังนี้ คือ เฟส A เฟส B และเฟส C ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาขนาดตัวแปรเปรียบเทียบพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์มีแนวโน้มเช่นเดียวกับขนาดของตัวแปรเริ่มต้น โดยขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของตัวแปรแต่ละเฟสเกิดขึ้น เนื่องจากเกิดกระแสฟอลต์เพิ่มขึ้นในช่วงความถี่สูง

เมื่อเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตกรณีดังกล่าวกับขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของสภาวะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ของตัวแปรฟอลต์ระหว่างเฟสเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลงดินมากกว่าขนาดสัมประสิทธิ์ของตัวแปรสภาวะการส่งจ่ายปกติ เนื่องจากเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้น กระแสไฟฟ้าของเฟสที่เกิดฟอลต์มีขนาดเพิ่มขึ้น ขนาดที่เพิ่มขึ้นนี้ส่งผลให้เกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท

กรณีที่ 2 เกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่เฟส ABG มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

เมื่อพิจารณาตัวแปรเริ่มต้นของกรณีดังกล่าวนี้จากตารางที่ 4.6 พบว่า มีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่มุม 0 องศาตำแหน่ง 40% โดยขนาดตัวแปรเริ่มต้นเฟส A และเฟส B มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เฟส C มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ของตัวแปรทั้งสามเฟสแตกต่างจากกรณีมุมแรงดัน 0 องศาที่ตำแหน่งฟอลต์เดียวกัน ดังนั้นจึงเห็นได้ การเปลี่ยนแปลงมุมแรงดันส่งผลต่อขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท เนื่องจากผลของมุมกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกันทั้งสามเฟสดังกล่าวไปก่อนหน้านี้

เมื่อเปรียบเทียบตัวแปรของฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินนี้กับตัวแปรการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสภาวะปกติพบว่า มีแนวโน้มเช่นเดียวกับกรณีฟอลต์ก่อนหน้านี้ คือ ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของตัวแปรเฟสที่เกิดฟอลต์มากกว่าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของสภาวะการส่งจ่ายปกติ เนื่องจากเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นเกิดการลัดวงจรของกระแสไฟฟ้าทำให้มีขนาดกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท

กรณีที่ 3 เกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่เฟส ABG มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวส่ง

เมื่อพิจารณาตัวแปรของกรณีฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินจากตารางที่ 4.6 พบว่า ขนาดของตัวแปรเริ่มต้นและตัวแปรเปรียบเทียบมีการเปลี่ยนแปลงทั้งสามเฟสเช่นเดียวกับฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินสองกรณีก่อนหน้านี้ เนื่องจากทั้งสองกรณีเกิดฟอลต์ชนิดเดียวกัน ขนาดสัมประสิทธิ์จึงมีแนวโน้มเช่นเดียวกัน แต่ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของแต่ละเฟสต่างกัน เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทแต่ละเฟสขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ ส่งผลให้อิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลง ขนาดสัมประสิทธิ์จึงมีการเปลี่ยนแปลงตาม

เมื่อเปรียบเทียบตัวแปรของกรณีฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินดังกล่าวนี้กับขนาดสัมประสิทธิ์ของตัวแปรสภาวะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของแต่ละเฟสมากกว่าขนาดสัมประสิทธิ์ของสภาวะการส่งจ่ายปกติ เนื่องจากเกิดกระแสฟอลต์ขึ้นดังกล่าวไปก่อนหน้านี้

เมื่อเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทระหว่างกรณีฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินกับฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินพบว่า แนวโน้มขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของแต่ละเฟสแตกต่างกันตามชนิดของฟอลต์ คือฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน เกิดการลัดวงจรของกระแสไฟฟ้าที่สายส่งหนึ่งเฟส ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทจึงเกิดขึ้นเพียงหนึ่งเฟสที่เกิดการลัดวงจรเท่านั้น เฟสอื่น ๆ ที่ไม่เกิดการลัดวงจรมีขนาดสัมประสิทธิ์ที่น้อยกว่า ฟอลต์ระหว่างเฟสเกิดการลัดวงจรของกระแสไฟฟ้าสองเฟส ดังนั้นจึงมีขนาดสัมประสิทธิ์มากในสองเฟสที่เกิดฟอลต์และอีกหนึ่งเฟสที่ไม่เกิดฟอลต์ ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทน้อยมาก

เมื่อเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็กระหว่างกรณีฟอลต์ระหว่างเฟสและกรณีฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินพบว่า แม้ฟอลต์ทั้งสองชนิดเกิดการลัดวงจรของจำนวนเฟสที่เท่ากัน แต่เนื่องจากผลของการลัดวงจรลงดิน ทำให้แนวโน้มขนาดของแต่ละเฟสมีความแตกต่างกัน โดยผลของการลัดวงจรลงดิน ทำให้กระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสไม่เท่ากัน ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตจึงไม่เท่ากันตาม

#### 4.1.1.5 ฟอลต์สามเฟส

เพื่อทำการศึกษาคุนลักษณะขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตเมื่อเกิดฟอลต์สามเฟส จึงทำการยกตัวอย่างกรณีศึกษา 3 กรณีคือ

กรณีที่ 1 เกิดฟอลต์สามเฟสที่เฟส ABCG มุมแรงดัน 0 องศา ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

กรณีที่ 2 เกิดฟอลต์สามเฟสที่เฟส ABCG มุมแรงดัน 0 องศา ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวส่ง

กรณีที่ 3 เกิดฟอลต์สามเฟสที่เฟส ABCG มุมแรงดัน 90 องศา ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง โดยขนาดของตัวแปรเริ่มต้น ตัวแปรเปรียบเทียบและตัวแปรตรวจสอบเมื่อเกิดฟอลต์สามเฟสของ 3 กรณียกตัวอย่างนี้ แสดงได้ดังตารางที่ 4.7

กรณีที่ 1 เกิดฟอลต์สามเฟสที่เฟส ABCG มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

เมื่อพิจารณากรณีฟอลต์สามเฟส มุมแรงดัน 0 องศา ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งจากตารางที่ 4.7 พบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของตัวแปรเริ่มต้นทั้งสามเฟสมีขนาดแตกต่างกัน สามารถเรียงลำดับขนาดจากมากไปน้อยได้ดังนี้ คือ เฟส C เฟส A เฟส B ตามลำดับ และลักษณะขนาดของตัวแปรเริ่มต้นนี้ส่งผลให้ขนาดของตัวแปรเปรียบเทียบมีแนวโน้มเช่นเดียวกัน คือ เฟส C มีขนาดมากที่สุดและเฟส B มีขนาดน้อยที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์ของตัวแปรกรณีฟอลต์สามเฟสกับขนาดสัมประสิทธิ์ของตัวแปรกรณีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสภาวะปกติพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของตัวแปรเมื่อเกิดฟอลต์สามเฟสมากกว่าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของสภาวะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสภาวะปกติมาก เนื่องจากฟอลต์สามเฟสเกิดการลัดวงจรกระแสไฟฟ้าทั้งสามเฟส ดังนั้นจึงเกิดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตที่ทุกสายเฟส โดยแต่ละเฟสมีขนาดแตกต่างกันเนื่องจากผลของมุมกระแสไฟฟ้าที่ต่างกันดังกล่าวไปก่อนหน้า

ตารางที่ 4.7 ตัวแปรด้านสถานีส่ง เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟส

ตัวแปรเริ่มต้น							
ตำแหน่งของ ความยาวสาย ส่ง	มุมแรงดัน	Pos_S <sub>max</sub>	Pos_R <sub>max</sub>	Ia_S <sub>max</sub>	Ib_S <sub>max</sub>	Ic_S <sub>max</sub>	Zero_S <sub>max</sub>
40%	0 °	54.6624	36.4407	36.4360	1.1842	50.7806	0.0013
40%	90 °	33.7493	22.4819	22.5003	57.7497	8.1564	0.0008
60%	0 °	36.4867	54.7736	24.3223	0.5118	31.8999	0.0008
ตัวแปรเปรียบเทียบ							
ตำแหน่งของ ความยาวสาย ส่ง	มุมแรงดัน	S_A <sub>com</sub>	S_B <sub>com</sub>	S_C <sub>com</sub>			
40%	0 °	$2.87 \times 10^4$	$9.34 \times 10^2$	$4.01 \times 10^4$			
40%	90 °	$2.86 \times 10^4$	$7.33 \times 10^4$	$1.04 \times 10^4$			
60%	0 °	$2.86 \times 10^4$	$6.02 \times 10^2$	$3.75 \times 10^4$			
ตัวแปรตรวจสอบ							
ตำแหน่งของ ความยาวสาย ส่ง	มุมแรงดัน	S_Ph <sub>max</sub>	S_Ph <sub>min</sub>				
40%	0 °	$4.01 \times 10^4$	$9.34 \times 10^2$				
40%	90 °	$7.33 \times 10^4$	$1.04 \times 10^4$				
60%	0 °	$3.75 \times 10^4$	$6.02 \times 10^2$				

กรณีที่ 2 เกิดฟอลต์สามเฟสที่เฟส ABCG มุมแรงดัน 90 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวส่ง

เมื่อพิจารณากรณีฟอลต์สามเฟส มุมแรงดัน 90 องศา ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง พบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดของตัวแปรแต่ละเฟสมีแนวโน้มเช่นเดียวกับกรณีฟอลต์สามเฟสที่มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งก่อนหน้า คือ ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดแตกต่างกันทั้งสามเฟส โดยเฟส C มีขนาดมากที่สุด และเฟส B มีขนาดน้อยที่สุด แต่เนื่องจากผลของมุมแรงดันที่เปลี่ยนไป ส่งผลให้ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดของแต่ละเฟสแตกต่างกัน ดังนั้นแม้เกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งเดียวกันแต่ขนาดสัมประสิทธิ์ไม่เท่ากัน

เมื่อเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดของตัวแปรกรณีฟอลต์สามเฟสนี้กับขนาดสัมประสิทธิ์ของตัวแปรสภาวะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสภาวะปกติพบว่า สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดแต่ละเฟสของกรณีเกิดฟอลต์สามเฟสมีขนาดมากกว่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดที่สภาวะการส่งจ่ายปกติ เนื่องจากที่สภาวะการส่งจ่ายปกติ ไม่เกิดการลัดวงจรจึงไม่มีกระแสฟอลต์ เกิดขึ้น ดังนั้นจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจไม่พบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ด แต่พอลต์สามเฟส เกิดการลัดวงจรของกระแสไฟฟ้าทุกเฟส ดังนั้นจึงตรวจพบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดทั้งสามเฟส

กรณีที่ 3 เกิดพอลต์สามเฟสที่เฟส ABCG มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 60% ของความยาวสาย

เมื่อพิจารณากรณีพอลต์สามเฟส มุมแรงดัน 0 องศา ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งพบว่า แนวโน้มขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดของเฟส A เฟส B และเฟส C มีลักษณะเช่นเดียวกับพอลต์สามเฟสสองกรณีก่อนหน้า เนื่องจากทั้งสามกรณีนี้เกิดพอลต์ชนิดเดียวกัน แต่ขนาดเปลี่ยนแปลงไม่เท่ากัน เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์ต่อขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดดังกล่าวก่อนหน้า

เมื่อเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดของตัวแปรกรณีพอลต์สามเฟสนี้กับขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดของตัวแปรกรณีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสภาวะปกติพบว่า แต่ละเฟสมีขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดเพิ่มขึ้นจากสภาวะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าปกติมาก เนื่องจากทั้งสามเฟสเกิดการลัดวงจรกระแสไฟฟ้า เกิดการเพิ่มของกระแสไฟฟ้าในช่วงความถี่พอลต์ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าในช่วงความถี่พอลต์ส่งผลให้ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดของตัวแปรกรณีพอลต์สามเฟสนี้กับขนาดสัมประสิทธิ์ของตัวแปรกรณีพอลต์หนึ่งเฟสลงดิน พอลต์ระหว่างเฟสและพอลต์ระหว่างเฟสลงดินพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดของพอลต์ 4 ชนิดแตกต่างกัน โดยพอลต์หนึ่งเฟสลงดินตรวจพบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดเพียงหนึ่งเฟสที่เกิดพอลต์ พอลต์ระหว่างเฟสและพอลต์ระหว่างเฟสลงดิน แม้มีจำนวนเฟสที่เกิดการลัดวงจรเท่ากันแต่ขนาดสัมประสิทธิ์ของแต่ละเฟสแตกต่างกัน โดยพอลต์ระหว่างเฟสเกิดการลัดวงจรของกระแสไฟฟ้าสองเฟส ดังนั้นขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดจึงเกิดขึ้นที่สองเฟสที่เกิดการลัดวงจรเท่านั้น อีกเฟสไม่เกิดการลัดวงจร จึงไม่พบขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ด แต่พอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ได้รับผลกระทบของการลัดวงจรลงดิน ทำให้ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดแต่ละเฟสมีขนาดเปลี่ยนแปลง โดยมีขนาดสัมประสิทธิ์เกิดขึ้นทั้งสามเฟสลักษณะเดียวกับพอลต์สามเฟส แต่มีขนาดน้อยกว่าเนื่องจากมีจำนวนเฟสลัดวงจรน้อยกว่า

ดังนั้นจากการวิเคราะห์ข้างต้นเห็นได้ว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดขึ้นอยู่กับชนิดที่เกิดพอลต์ มุมแรงดันและตำแหน่งที่เกิดพอลต์ โดยชนิดของพอลต์เป็นตัวกำหนดแนวโน้มขนาดสัมประสิทธิ์ของแต่ละเฟส เฟสใดเกิดพอลต์ เฟสนั้นเกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดสูงสุด มุมแรงดันและตำแหน่งที่เกิดพอลต์มีผลต่อขนาดสัมประสิทธิ์แต่ละเฟส เนื่องจากผลของมุมกระแสไฟฟ้าทั้งสามเฟสแตกต่างกันและผลของอิมพีแดนซ์ตามลำดับ

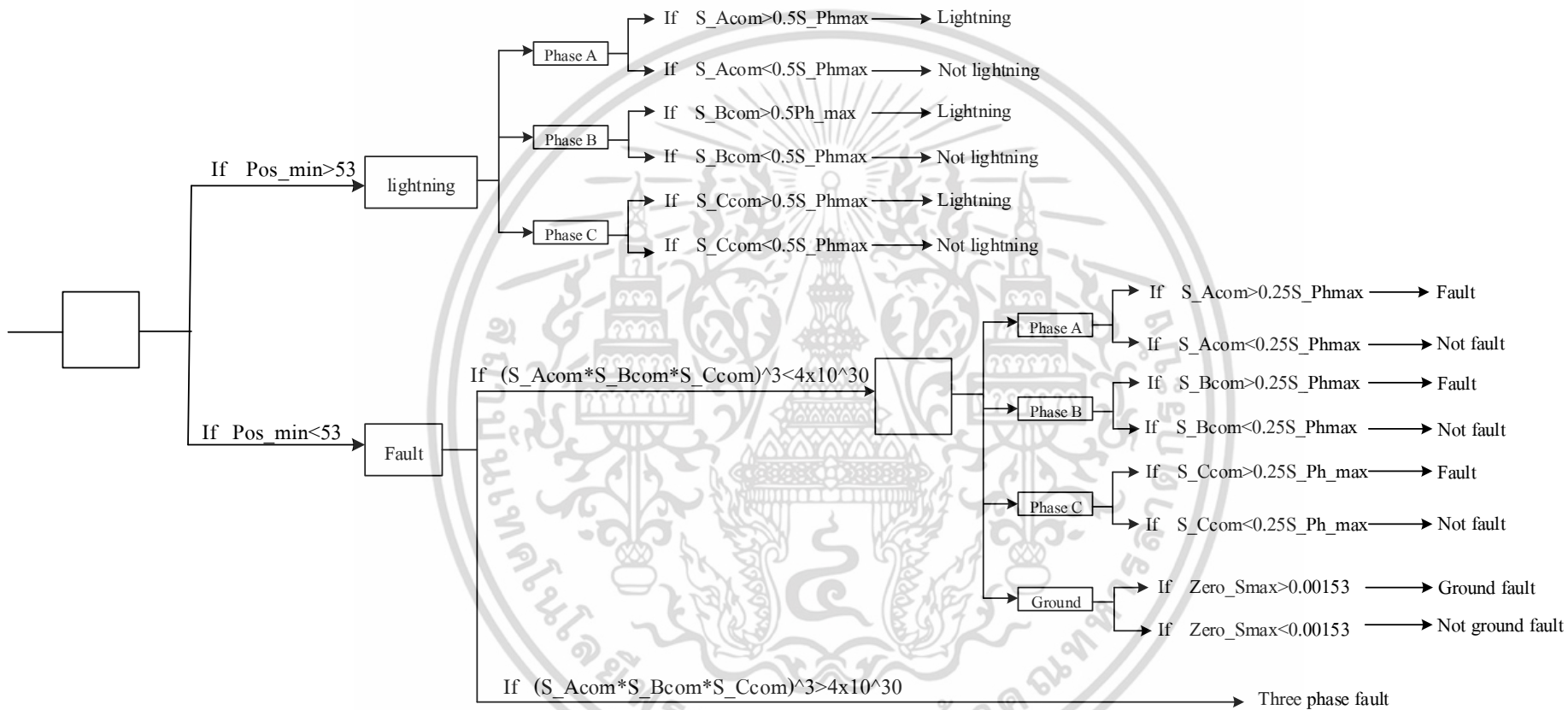
เมื่อทำการวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวแปรแต่ละชนิดแล้ว อันดับต่อไปจะนำตัวแปรดังกล่าวนี้ไปวิเคราะห์ต่อ เพื่อออกแบบอัลกอริทึมในการแยกแยะฟ้าผ่าและพอลต์ชนิดต่าง ๆ

## 4.2 อัลกอริทึมในการแยกประเภทความผิดปกติ

ทำการรวบรวมข้อมูลตัวแปรต่าง ๆ ของสัญญาณเวฟเล็ทจากการจำลองเหตุการณ์ฟ้าผ่า และพอลต์มาวิเคราะห์เพื่อออกแบบอัลกอริทึมแยกแยะ จากวิเคราะห์พบว่า การแยกแยะฟ้าผ่า และพอลต์ชนิดต่าง ๆ ออกจากกันนั้นสามารถจำแนกได้ดังรูปที่ 4.2 โดยพารามิเตอร์และตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังแสดงต่อไปนี้

กำหนดให้

- Pos\_min** คือ ค่าน้อยที่สุดของขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสูงสุดของกระแสลำดับบวกด้านสถานีส่ง ( $Pos_{S_{max}}$ ) กับขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสูงสุดของกระแสลำดับบวกด้านสถานีรับ ( $Pos_{R_{max}}$ )
- Zero\_S<sub>max</sub>** คือ ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสูงสุดของกระแสลำดับศูนย์ด้านสถานีส่ง
- Zero\_R<sub>max</sub>** คือ ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสูงสุดของกระแสลำดับศูนย์ด้านสถานีรับ
- S<sub>Acom</sub>** คือ ค่าเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเฟส A กับขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงฯ ลำดับศูนย์ด้านสถานีส่ง
- S<sub>Bcom</sub>** คือ ค่าเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเฟส B กับขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงฯ ลำดับศูนย์ด้านสถานีส่ง
- S<sub>Ccom</sub>** คือ ค่าเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเฟส C กับขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงฯ ลำดับศูนย์ด้านสถานีส่ง
- S<sub>Phmax</sub>** คือ ค่าสูงสุดระหว่าง  $S_{Acom}$   $S_{Bcom}$   $S_{Ccom}$  ด้านสถานีส่งหรือตัวแปรตรวจสอบสูงสุดด้านสถานีส่ง
- S<sub>Phmin</sub>** คือ ค่าต่ำสุดระหว่าง  $S_{Acom}$   $S_{Bcom}$   $S_{Ccom}$  ด้านสถานีส่งหรือตัวแปรตรวจสอบต่ำสุดด้านสถานีส่ง



รูปที่ 4.2 อัลกอริทึมการแยกประเภทฟ้าผ่าและฟอลต์

จากรูปที่ 4.2 แสดงเงื่อนไขการแยกประเภทของฟ้าผ่าและฟอลต์ชนิดต่าง ๆ โดยอาศัยตัวแปรเริ่มต้น ตัวแปรเปรียบเทียบและตัวแปรตรวจสอบ ขั้นตอนของเงื่อนไขที่นำเสนอแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

### 1. การจำแนกฟ้าผ่าและฟอลต์

ขั้นตอนนี้ทำการเปรียบเทียบค่าน้อยที่สุดของขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวกด้านสถานีส่ง ( $Pos\_S_{max}$ ) และขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวกด้านสถานีรับ ( $Pos\_R_{max}$ ) เพื่อสร้างเงื่อนไขการแยกฟ้าผ่าและฟอลต์

จากการศึกษาคุณลักษณะก่อนหน้าพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของฟ้าผ่ามีขนาดมากกว่าฟอลต์ เนื่องจากฟ้าผ่ามีขนาดกระแสไฟฟ้าสูงกว่า ดังนั้นจากคุณลักษณะดังกล่าวจึงนำมาสร้างเงื่อนไขการจำแนกได้ว่า ถ้าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวกที่น้อยที่สุดระหว่างสถานีส่งและสถานีรับ ( $Pos_{min}$ ) มีค่ามากกว่า 53 แสดงว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ที่วิเคราะห์คือขนาดสัมประสิทธิ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากฟ้าผ่า ถ้ามีค่าน้อยกว่า 53 แสดงว่าเกิดฟอลต์

หลังจากที่สามารถจำแนกได้ว่าสัญญาณที่ตรวจสอบเกิดจากฟ้าผ่าแล้ว ในส่วนของการระบุเฟสที่เกิดฟ้าผ่าอาศัยคุณลักษณะขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทที่ว่า ถ้าเกิดฟ้าผ่าที่เฟสใด เฟสนั้นเกิดการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าในช่วงความถี่สูง ดังนั้นจึงเกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทที่เฟสดังกล่าวและเฟสอื่น ๆ แม้ไม่เกิดฟ้าผ่าแต่มีสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทขนาดน้อยกว่าเฟสฟ้าผ่า เนื่องจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก จากคุณลักษณะดังกล่าว จึงทำการสร้างเงื่อนไขโดยอาศัยตัวแปรตรวจสอบแต่ละเฟสด้านสถานีส่ง คือ ค่าเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเฟส A กับขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทลำดับศูนย์ด้านสถานีส่ง ( $S_{A_{com}}$ ) ค่าเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเฟส B กับขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทลำดับศูนย์ด้านสถานีส่ง ( $S_{B_{com}}$ ) และค่าเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเฟส C กับขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทลำดับศูนย์ด้านสถานีส่ง ( $S_{C_{com}}$ ) ทำการเปรียบเทียบโดยอ้างอิงที่ขนาด 0.5 เท่าของตัวแปรตรวจสอบสูงสุดด้านสถานีส่ง ( $S_{Ph_{max}}$ ) ถ้าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเฟสใดมีค่ามากกว่า 0.5 เท่าของตัวแปรตรวจสอบสูงสุด แสดงว่าเฟสนั้นเกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมาก ซึ่งเป็นผลเนื่องจากเฟสดังกล่าวเกิดฟ้าผ่า ถ้าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเฟสที่พิจารณาน้อยกว่า 0.5 เท่าแสดงว่า สัมประสิทธิ์ที่เกิดขึ้นนี้ไม่มากพอที่จะแสดงได้ว่าเกิดฟ้าผ่า

### 2. การจำแนกฟอลต์สามเฟส

ขั้นตอนการแยกฟอลต์สามเฟสนี้ อาศัยคุณลักษณะขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟสในการวิเคราะห์ เมื่อเกิดฟอลต์สามเฟส ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเกิดขึ้นทั้งสามเฟส โดยแต่ละเฟสมีขนาดสัมประสิทธิ์แตกต่างกัน ซึ่งความแตกต่างของสัมประสิทธิ์แต่ละเฟสนี้ คล้ายกับขนาดสัมประสิทธิ์ของฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินมาก แต่เนื่องจากฟอลต์สามเฟส มีจำนวนเฟสที่เกิดการลัดวงจรมากกว่าฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ดังนั้นขนาดสัมประสิทธิ์จึงมีค่ามากกว่า เพื่อแสดงว่าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของฟอลต์สามเฟสมากกว่าฟอลต์ชนิดอื่น ๆ จึงนำตัวแปรเปรียบเทียบทั้งสามเฟสมาทำการยกกำลังสาม เพื่อให้ขนาดสัมประสิทธิ์มีความเด่นชัดขึ้น จากเงื่อนไขจำแนกได้ว่า ถ้าขนาดการยกกำลังสามของตัวแปรเปรียบเทียบสามเฟสของสถานีส่งมีค่ามากกว่า  $4 \times 10^{30}$  แสดงว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากฟอลต์สามเฟส ถ้ามีค่าน้อยกว่า  $4 \times 10^{30}$  แสดงว่าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเกิดจากฟอลต์ชนิดอื่น ๆ โดยอาจเกิดจาก

ฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน ฟอลต์ระหว่างเฟส หรือฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ดังนั้นเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ได้ครอบคลุม จึงเข้าสู่เงื่อนไขการแยกในส่วนที่ 3 ต่อ

### 3. การระบุเฟสที่เกิดฟอลต์

การระบุเฟสที่เกิดฟอลต์นี้ เนื่องจากฟอลต์มีโอกาสเกิดได้ในเฟสต่าง ๆ (เฟส A เฟส B และเฟส C) หลายลักษณะ เช่น การเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส หรือการเกิดฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ดังนั้นในการวิเคราะห์เพื่อให้สามารถระบุเฟสและชนิดของฟอลต์ได้แม่นยำ ในส่วนที่ 3 นี้จึงทำการวิเคราะห์เพื่อระบุเฟสที่เกิดฟอลต์และระบุการลัดวงจรลงดิน

การวิเคราะห์เพื่อระบุเฟสที่เกิดฟอลต์ อาศัยคุณลักษณะขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตแต่ละเฟสเช่นเดียวกับฟ้าผ่า เนื่องจากเหตุผลเดียวกันข้างต้น แต่เพราะขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของฟอลต์น้อยกว่าฟ้าผ่า ดังนั้นขนาดอ้างอิงจึงน้อยกว่าฟ้าผ่า กำหนดให้อ้างอิงที่ขนาด 0.3 เท่าของตัวแปรตรวจสอบสูงสุดด้านสถานีส่ง ( $S_{Ph_{max}}$ ) ถ้าขนาดสัมประสิทธิ์ตัวแปรเปรียบเทียบเฟสใดมีขนาดมากกว่า 0.3 เท่าของตัวแปรตรวจสอบสูงสุด แสดงว่าเฟสนั้นเกิดฟอลต์ และถ้าน้อยกว่าแสดงว่าไม่เกิดฟอลต์

การวิเคราะห์เพื่อระบุการลัดวงจรลงดิน เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นส่งผลให้ระบบไฟฟ้าไม่สมดุล เกิดขนาดส่วนประกอบสมมาตรลำดับลบและลำดับศูนย์ขึ้น ซึ่งการวิเคราะห์การลัดวงจรลงดินนำขนาดตัวแปรเริ่มต้น คือ ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตสูงสุดของกระแสลำดับศูนย์ด้านสถานีส่ง ( $Zero_{S_{max}}$ ) มาวิเคราะห์ โดยมีเงื่อนไขว่า ถ้าขนาดของ ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตสูงสุดของกระแสลำดับศูนย์ด้านสถานีส่งมากกว่า 0.00153 แสดงว่าสัญญาณที่วิเคราะห์เกิดการลัดวงจรลงดิน ถ้าน้อยกว่าค่าที่กำหนดแสดงว่า ขนาดของส่วนประกอบลำดับศูนย์น้อยมาก ไม่เกิดการลัดวงจรลงดิน

อันดับต่อไป เพื่อให้เข้าใจเงื่อนไขการแยกแยะฟ้าผ่าและฟอลต์ในรูปที่ 4.2 มากขึ้น จึงทำการยกตัวอย่างการจำแนกฟ้าผ่าและฟอลต์ ของกรณีที่เกิดที่มุมแรงดันเท่ากับ 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

#### 1. การจำแนกฟ้าผ่าและฟอลต์

ขนาดสัมประสิทธิ์ของตัวแปรเริ่มต้นเมื่อเกิดฟ้าผ่า ฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน ฟอลต์ระหว่างเฟส ฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินและฟอลต์สามเฟส ที่มุมแรงดัน 0 องศา เกิดที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง ในตารางที่ 4.3 – ตารางที่ 4.7 มีค่าเท่ากับ

#### ตารางที่ 4.8 การจำแนกฟ้าผ่าและฟอลต์

ชนิด	Pos_S <sub>max</sub>	Pos_R <sub>max</sub>	Pos_min	ข้อสรุป
ฟ้าผ่า	336.9104	222.5332	222.5332	Lightning
ฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน	13.3318	8.8739	8.8739	Fault
ฟอลต์ระหว่างเฟส	8.6927	5.7714	5.7714	Fault
ฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน	15.0862	10.0624	10.0624	Fault
ฟอลต์สามเฟส	54.6624	36.4407	36.4407	Fault

ทำการเปรียบเทียบเพื่อหาค่าที่น้อยที่สุดระหว่าง  $Pos_{S_{max}}$  และ  $Pos_{R_{max}}$  เพื่อหาค่า  $Pos_{min}$  และพบว่า  $Pos_{min}$  ของฟ้าผ่า ฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน ฟอลต์ระหว่างเฟส ฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน และฟอลต์สามเฟสมีค่าเท่ากับ 222.5332, 8.8738, 5.7714, 10.0624, 36.4407 ตามลำดับ จากเงื่อนไขการจำแนกฟ้าผ่าและฟอลต์ในรูปที่ 4.2 ว่า ถ้า  $Pos_{min} > 53$  แสดงว่าเกิดฟ้าผ่า และถ้า  $Pos_{min} < 53$  แสดงว่าเกิดฟอลต์ ทำให้สามารถจำแนกชนิดได้ตั้งข้อสรุปตารางข้างต้น

การระบุเฟสที่เกิดฟ้าผ่า อาศัยขนาดสัมประสิทธิ์ตัวแปรเปรียบเทียบแต่ละเฟสในการวิเคราะห์ จากการศึกษาคุณลักษณะก่อนหน้าพบว่า เมื่อเกิดฟ้าผ่าขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเกิดขึ้นทุกเฟส โดยเฟสที่เกิดฟ้าผ่ามีขนาดสัมประสิทธิ์มากกว่าเฟสที่ไม่เกิดฟ้าผ่า จากลักษณะดังกล่าวจึงนำมาออกแบบอัลกอริทึมในการระบุเฟสที่เกิดฟ้าผ่า ซึ่งเงื่อนไขการตัดสินใจที่ขนาดครึ่งหนึ่งของตัวแปรตรวจสอบสูงสุด ถ้าเฟสใดมีขนาดสัมประสิทธิ์มากกว่าขนาดอ้างอิง เฟสนั้นเกิดฟ้าผ่า ถ้ามีขนาดน้อยกว่าขนาดอ้างอิงแสดงว่าขนาดสัมประสิทธิ์ไม่มากพอที่ตัดสินว่าเกิดฟ้าผ่าแต่เป็นขนาดที่เพิ่มเนื่องจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก

#### ตารางที่ 4.9 การจำแนกเฟสที่เกิดฟ้าผ่า

ชนิด	$S_{A_{com}}$	$S_{B_{com}}$	$S_{C_{com}}$	$0.5S_{Ph_{max}}$	ข้อสรุป
ฟ้าผ่า	29.7314	7.4324	7.4377	14.8657	Lightning phase A

จากตารางข้างต้นเห็นได้ว่า มีเพียงเฟส A เท่านั้นที่มีขนาดตัวแปรเปรียบเทียบมากกว่า 0.5 เท่าของตัวแปรตรวจสอบสูงสุด ในขณะที่เฟส B และเฟส C มีขนาดเพียง 0.2499 และ 0.2501 เท่าของตัวแปรตรวจสอบสูงสุดเท่านั้น ดังนั้นจึงตัดสินได้ว่าเฟส A เกิดฟ้าผ่า

#### 2. การจำแนกฟอลต์สามเฟส

ขนาดของตัวแปรตรวจสอบสูงสุดและต่ำสุดด้านสถานีส่งเมื่อเกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน ฟอลต์ระหว่างเฟส ฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินและฟอลต์สามเฟส ที่มีมูเมนต์ 0 องศา เกิดที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งจากตารางที่ 4.3 – ตารางที่ 4.7 มีค่าเท่ากับ

#### ตารางที่ 4.10 การจำแนกฟอลต์สามเฟส

ชนิด	$S_{A_{com}}$	$S_{B_{com}}$	$S_{C_{com}}$	เงื่อนไข	ข้อสรุป
ฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน	99.4347	24.9921	24.8515	$2.36 \times 10^{14}$	Fault
ฟอลต์ระหว่างเฟส	21972.30	22043.27	0.9970	$1.13 \times 10^{26}$	Fault
ฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน	130.4178	40.8532	25.2466	$2.43 \times 10^{15}$	Fault
ฟอลต์สามเฟส	28739.21	934.06	40053.65	$1.24 \times 10^{36}$	Three phase fault

การจำแนกฟอลต์สามเฟส อาศัยผลคูณของขนาดสัมประสิทธิ์ตัวแปรเปรียบเทียบสามเฟสดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยมีเงื่อนไขการจำแนกฟอลต์สามเฟสว่า ถ้า  $(S_{Acom} * S_{Bcom} * S_{Ccom})^3 > 4 \times 10^{30}$  แสดงว่าเกิดฟอลต์สามเฟส ถ้า  $(S_{Acom} * S_{Bcom} * S_{Ccom})^3 < 4 \times 10^{30}$  แสดงว่าเกิดฟอลต์ชนิดอื่น ๆ

นำขนาดสัมประสิทธิ์ตัวแปรเปรียบเทียบสามเฟสของสัญญาณแอมพลิจูดเมื่อเกิดฟอลต์ชนิดต่าง ๆ ที่มุมแรงดัน 0 องศา เกิดที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งมาวิเคราะห์ดังตารางข้างต้น พบว่า ผลคูณระหว่างตัวแปรเปรียบเทียบของกรณีตัวอย่างนี้มีเพียงฟอลต์สามเฟสเท่านั้นที่มีขนาดมากกว่า  $4 \times 10^{30}$  ในขณะที่ฟอลต์ชนิดอื่น ๆ มีขนาดน้อยกว่า  $4 \times 10^{30}$  เนื่องจากฟอลต์สามเฟสมีขนาดกระแสฟอลต์เกิดขึ้นสูงกว่าเฟสอื่น ๆ ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดจึงมีขนาดมากกว่าเฟสอื่น ๆ เช่นเดียวกัน ดังนั้นการนำขนาดสัมประสิทธิ์ของตัวแปรแต่ละเฟสคูณกัน สามารถแสดงความแตกต่างของขนาดสัมประสิทธิ์ระหว่างกรณีฟอลต์สามเฟสและกรณีฟอลต์ชนิดอื่น ๆ ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

### 3. การระบุเฟสที่เกิดฟอลต์

ขั้นตอนการระบุเฟสนี้มีหลักการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการระบุเฟสที่เกิดฟ้าผ่า จากการศึกษาคุณลักษณะของฟ้าผ่าและฟอลต์ก่อนหน้าพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดเมื่อเกิดฟ้าผ่ามีขนาดมากกว่าฟอลต์ ดังนั้นเงื่อนไขการตัดสินใจจึงมีขนาดน้อยกว่า โดยกำหนดเกณฑ์การระบุเฟสที่เกิดฟอลต์ที่ขนาดสัมประสิทธิ์มากกว่า 0.3 เท่าของตัวแปรตรวจสอบสูงสุดด้านสถานีส่งและการระบุเฟสที่เกิดการลัดวงจรลงดินวิเคราะห์โดยอ้างอิงที่ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดสูงสุดของกระแสลำดับศูนย์ด้านสถานีส่ง ( $Zero\_S_{max}$ ) มากกว่า 0.00153

#### ตารางที่ 4.11 การระบุเฟสที่เกิดฟอลต์

ชนิด	$S_{Acom}$	$S_{Bcom}$	$S_{Ccom}$	$0.3S_{Ph_{max}}$	$Zero\_S_{ma}$	ข้อสรุป	
ฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน	99.4347	24.9921	24.8515	29.8304	0.0893	Fault A	Ground
ฟอลต์ระหว่างเฟส	$2.2 \times 10^5$	$2.2 \times 10^5$	0.9970	66129.3	0	Fault A	Unground
ฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน	130.4178	40.8532	25.2466	39.1253	0.0771	Fault A	Ground

จากตารางข้างต้นในการระบุเฟสที่เกิดฟอลต์พบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดด้านสถานีส่ง (ขนาดสัมประสิทธิ์ตัวแปรเปรียบเทียบด้านสถานีส่ง) ของเฟสที่เกิดฟอลต์มากกว่า 0.3 เท่าของตัวแปรตรวจสอบสูงสุดด้านสถานีส่งและเฟสที่ไม่เกิดฟอลต์ ขนาดสัมประสิทธิ์ดังกล่าวมีขนาดน้อยกว่า 0.3 เท่าของตัวแปรตรวจสอบสูงสุด

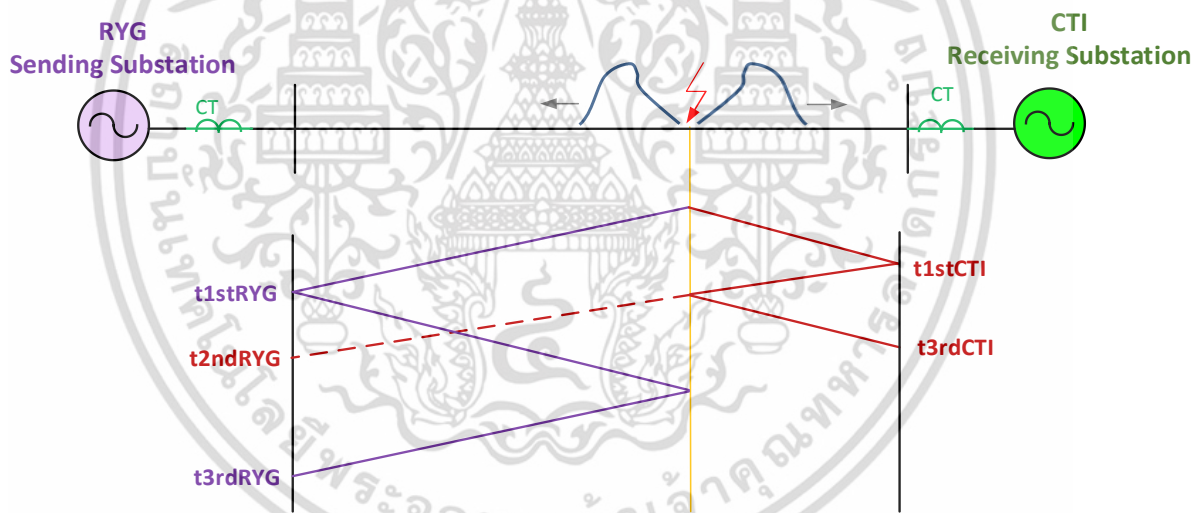
เมื่อพิจารณาการระบุการลัดวงจรลงดินพบว่า เมื่อเกิดฟอลต์ลัดวงจรลงดิน คือ ฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน และฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน จะเกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงแอมพลิจูดสูงสุดของกระแสลำดับศูนย์ด้านสถานีส่ง โดยทำการพิจารณาที่ขนาดมากกว่า 0.00153 ดังแสดงข้างต้น

หลังจากที่สามารถแยกชนิดและระบุเฟสที่เกิดความผิดปกติแล้ว หัวข้อต่อไปของวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติระหว่างฟ้าผ่าและฟอลต์ชนิดต่าง ๆ

### 4.3 การระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ

การระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกตินี้ อาศัยพารามิเตอร์แตกต่างจากการจำแนกและระบุเฟสที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแยกแยะและระบุเฟสนั้นอาศัยการเปลี่ยนแปลงของขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท แต่การระบุตำแหน่งอาศัยค่าเวลาของการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท จากที่กล่าวไปในบทที่แล้วถึงคุณลักษณะของสัญญาณเวฟเล็ทแบบยกกำลังสองและสัญญาณเวฟเล็ทแบบปกติว่ามีคุณสมบัติสำหรับการนำไปวิเคราะห์ต่างกัน โดยสัญญาณเวฟเล็ทแบบปกติเหมาะสำหรับการนำไปวิเคราะห์ขนาดสัมประสิทธิ์มากกว่า เนื่องจากสามารถตรวจวัดขนาดที่เกิดขึ้นได้ชัดเจนและสัญญาณเวฟเล็ทแบบยกกำลังสองเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ด้านเวลาที่เกิดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมากกว่า เนื่องจากมีความละเอียดของเวลามากกว่า ในหัวข้อนี้วิเคราะห์ตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยอาศัยเวลาของคลื่นเดินทางเป็นหลัก ดังนั้นจึงทำการตรวจวัดค่าเวลาของคลื่นเดินทางลำดับ ๆ จากสัญญาณเวฟเล็ทแบบปกติ

เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นไม่ว่าจะเป็นฟ้าผ่าหรือฟอลต์ก็ตาม จุดที่เกิดความผิดปกติมีการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้ามักเกิดจากจุดดังกล่าวเกิดคลื่นกระแสไฟฟ้า คลื่นกระแสไฟฟ้างกล่าวเดินทางไปยังปลายสายส่งไฟฟ้าแต่ละด้าน ทำให้ขนาดกระแสไฟฟ้าลดลงและเข้าสู่สภาวะเสถียรภาพ



รูปที่ 4.3 คุณลักษณะการเดินทางของคลื่นในสายส่ง

จากรูปที่ 4.3 เห็นได้ว่า เมื่อเกิดความผิดปกติจะมีคลื่นเกิดขึ้น ณ จุดดังกล่าวและเดินทางไปยังปลายสายส่งแต่ละด้านด้วยความเร็วค่าหนึ่ง ซึ่งประมาณเท่ากับความเร็วแสง

เมื่อพิจารณาด้านสถานีส่ง คลื่นเดินทางมายังปลายสายส่งลำดับที่ 1 ด้วยเวลาเท่ากับ  $t_{1stRYG}$  และเกิดการสะท้อนกลับไปยังจุดที่เกิดความผิดปกติและสะท้อนกลับมายังปลายสถานีส่งอีกครั้งด้วยเวลา  $t_{3rdRYG}$  ซึ่งคลื่นที่สะท้อนไปและกลับนี้คือ คลื่นเดินทางลำดับที่ 3

เมื่อพิจารณาด้านสถานีรับ คลื่นมีลักษณะการเดินทางเช่นเดียวกับสถานีส่งดังที่กล่าวไปข้างต้น แต่บางครั้งอาจเกิดการสะท้อนของคลื่นลำดับแรกมายังจุดที่เกิดความผิดปกติและสะท้อนต่อไปยัง

ปลายสายส่งด้านตรงข้าม ซึ่งคลื่นนี้ คือคลื่นเดินทางลำดับที่ 2 และเดินทางมายังปลายสายส่งด้วยเวลา  $t_{2ndRYG}$  หรือคลื่นสะท้อนจากสถานีรับนั่นเอง

ค่าเวลาที่มาถึงของคลื่นแต่ละด้านแปรตามระยะทางระหว่างจุดที่เกิดความผิดปกติถึงสถานีอ้างอิง ดังนั้นจึงควรเข้าใจคุณลักษณะการเดินทางของคลื่นในสายส่ง เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่า คลื่นที่ตรวจพบเป็นคลื่นลำดับที่ 1 ลำดับที่ 2 หรือลำดับที่ 3 และนำค่าเวลาดังกล่าวนี้ไปวิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติต่อไป

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยตัวแปรของเวลาที่ตรวจจบบคลื่นลำดับต่าง ๆ ข้างต้นมาวิเคราะห์ จำนวน 3 วิธี ดังต่อไปนี้

1. วิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยค่าเวลาคลื่นลำดับที่ 1 และคลื่นลำดับที่ 3
2. วิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทาง
3. วิธีการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจวัด

ทั้งสามวิธีล้วนอาศัยพารามิเตอร์เวลาในการวิเคราะห์ แต่คุณลักษณะของเวลาของแต่ละวิธีมีความแตกต่างกันดังที่จะอธิบายต่อไป

วิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และคลื่นลำดับที่ 3

การระบุตำแหน่งความผิดปกติโดยวิธีดังกล่าว อาศัยตัวแปรเวลาที่ตรวจจบบคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 เป็นหลัก ซึ่งสามารถคำนวณตำแหน่งความผิดปกติได้ดังสมการที่ 4.4

$$D = \frac{Lx\Delta T_{RYG}}{\Delta T_{RYG} + \Delta T_{CTI}} \quad (4.4)$$

โดย

$$\Delta T_{RYG} = \frac{|t_{3rdRYG} - t_{1stRYG}|}{2} \quad (4.5)$$

และ

$$\Delta T_{CTI} = \frac{|t_{3rdCTI} - t_{1stCTI}|}{2} \quad (4.6)$$

เมื่อ

$D$  = ตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยอ้างอิงจากปลายสถานีส่งหรือ RYG (กิโลเมตร)

$L$  = ความยาวทั้งหมดของสายส่ง (กิโลเมตร)

$\Delta T_{RYG}$  = ผลต่างของเวลาที่ยอดคลื่นฟ้าผ่าลำดับที่ 3 และลำดับที่ 1 มาถึงปลายสถานีส่ง (วินาที)

$\Delta T_{CTI}$  = ผลต่างของเวลาที่ยอดคลื่นฟ้าผ่าลำดับที่ 3 และลำดับที่ 1 มาถึงปลายสถานีรับ (วินาที)

$t_{1stRYG}$  = เวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ด้านสถานีส่ง (วินาที)

$t_{3rdRYG}$  = เวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ด้านสถานีส่ง (วินาที)

$t_{1stCTI}$  = เวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ด้านสถานีรับ (วินาที)

$t_{3rdCTI}$  = เวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 ด้านสถานีรับ (วินาที)

เพื่อให้เข้าใจลักษณะการระบุตำแหน่งความผิดปกติด้วยวิธีดังกล่าวนี้ จึงทำการยกตัวอย่างการระบุตำแหน่งความผิดปกติ เนื่องจากค่าเวลาที่ตรวจจับคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ขึ้นอยู่กับระยะทางการเดินทางของคลื่นเท่านั้น ดังนั้นจึงยกตัวอย่างกรณีศึกษาฟ้าผ่าที่เฟส A มุม 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งเพียง 1 กรณีเพื่อเป็นตัวอย่างในการคำนวณ

จากข้อมูลค่าเวลาที่ตรวจจับคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ของสถานีส่งและสถานีรับ เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุม 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งมีค่าดังต่อไปนี้

$$t_{1stRYG} = 0.002118 \text{ วินาที}$$

$$t_{3rdRYG} = 0.002355 \text{ วินาที}$$

$$t_{1stCTI} = 0.002178 \text{ วินาที}$$

$$t_{3rdCTI} = 0.002533 \text{ วินาที}$$

เมื่อแทนค่าเวลาดังกล่าวในสมการที่ 4.5 และสมการที่ 4.6 จะได้ว่า

$$\Delta T_{RYG} = \frac{|0.002355 - 0.002118|}{2} = 0.0001185 \text{ วินาที}$$

$$\Delta T_{CTI} = \frac{|0.002533 - 0.002178|}{2} = 0.0001775 \text{ วินาที}$$

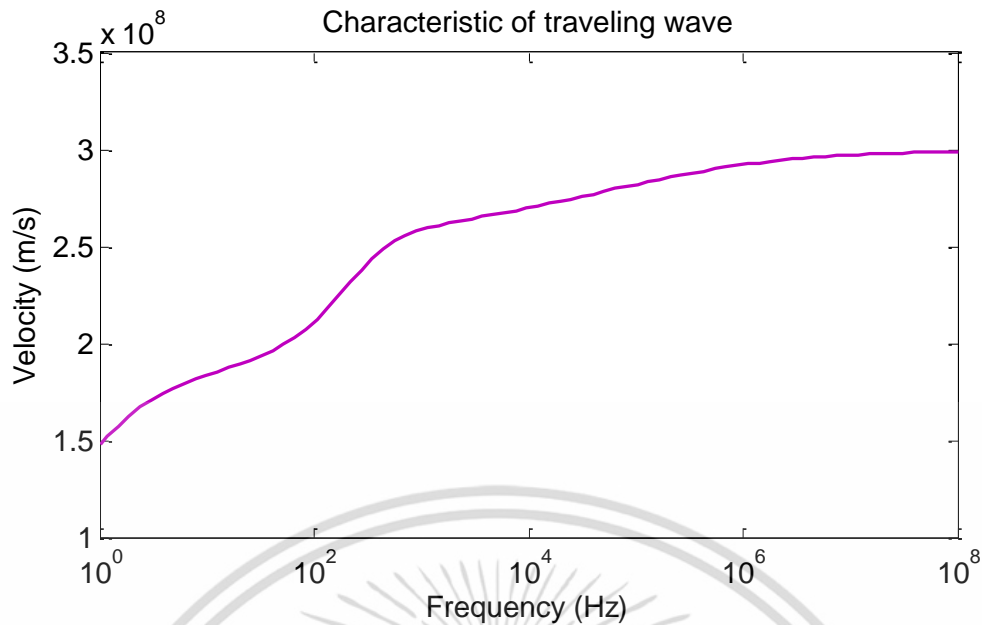
นำผลต่างของเวลาทั้งสองแทนค่าในสมการที่ 4.4 จะได้ว่า กำหนดให้ สายส่งมีความยาวทั้งหมด 88.5 กิโลเมตร

$$D = \frac{88.5 \times 0.0001185}{0.0001185 + 0.0001775} = 35.43 \text{ กิโลเมตร}$$

จากการคำนวณข้างต้นเห็นได้ว่า ตำแหน่งความผิดปกติที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 35.43 กิโลเมตร แต่ตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติจริงเท่ากับ 35.4 กิโลเมตร ซึ่งเกิดความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง 0.03 กิโลเมตร

การระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทาง

การระบุตำแหน่งความผิดปกติโดยวิธีดังกล่าว อาศัยตัวแปรเวลาที่ตรวจจับคลื่นลำดับที่ 1 ดังกล่าวข้างต้นและความเร็วคลื่นเดินทางในสายส่งเป็นหลัก โดยความเร็วคลื่นเดินทางในสายส่งแปรผันตามความถี่ที่เกิดขึ้น ซึ่งลักษณะดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นเดินทางและความถี่

การแปลงเวฟเลิตแบบเต็มหน่วยเป็นวิธีทางคณิตศาสตร์แขนงหนึ่งซึ่งมีคุณสมบัติในการแยกองค์ประกอบความถี่สูงและองค์ประกอบความถี่ต่ำออกจากกัน แต่ละสเกลการแยกเป็นการลดทอนความถี่ลงครึ่งหนึ่ง การลดทอนความถี่ของแต่ละสเกลทำให้ได้สัญญาณต้นแบบเดิมในช่วงความถี่ที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบที่เกิดขึ้นในช่วงความถี่นั้น ๆ โดยไม่มีการสูญหายของข้อมูล เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจคุณลักษณะความเร็วคลื่นเดินทางและการแปลงเวฟเลิตในแต่ละสเกลหรือช่วงความถี่ จึงทำการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงความถี่และความเร็วของคลื่นเดินทางโดยยกตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงจำนวน 3 สเกล ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ความเร็วคลื่นเดินทางเฉลี่ยในแต่ละสเกลหรือแต่ละช่วงความถี่

สเกลการแปลงเวฟเลิต	ช่วงความถี่ (เมกะเฮิรตซ์)	ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตร/วินาที)
1	50 - 100	298782
2	25 - 50	298354
3	12.5 - 25	297749

จากตารางที่ 4.12 เห็นได้ว่า เมื่อมีการเพิ่มสเกลขึ้น ช่วงความถี่ลดลงเป็นจำนวนเท่าของความถี่เริ่มต้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความถี่นี้เป็นผลให้ความเร็วคลื่นเดินทางเปลี่ยนแปลง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการจำลองเหตุการณ์ฟ้าผ่าและพอลต์ชนิดต่าง ๆ แต่เนื่องจากฟ้าผ่าเกิดขึ้นในช่วงความถี่ที่สูงกว่าพอลต์ ดังนั้นเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ได้อย่างครอบคลุม ดังนั้นการวิเคราะห์จึงอ้างอิงช่วงความถี่ของฟ้าผ่าเป็นหลัก ซึ่งช่วงความถี่ที่ใช้ในการจำลองนี้มีค่าเท่ากับ 100 เมกะเฮิรตซ์ จึงเลือกความเร็วคลื่น

เดินทางเฉลี่ยของการแปลงเวฟเล็ทสเกลที่ 1 หรือในช่วงความถี่ 50 ถึง 100 เมกะเฮิร์ตซ์ในการคำนวณเพื่อระบุตำแหน่งความผิดปกติ

การระบุตำแหน่งฟ้าผ่าโดยวิธีดังกล่าว สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$D = \frac{L - v(t_{1stCTI} - t_{1stRYG})}{2} \quad (4.7)$$

เมื่อ

- D = ตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยอ้างอิงจากปลายสถานีส่งหรือ RYG (กิโลเมตร)  
 L = ความยาวทั้งหมดของสายส่ง (กิโลเมตร)  
 $t_{1stRYG}$  = เวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ด้านสถานีส่ง (วินาที)  
 $t_{1stCTI}$  = เวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 1 ด้านสถานีรับ (วินาที)  
 $v$  = ความเร็วคลื่นเดินทางเฉลี่ย (กิโลเมตร/วินาที)

เพื่อให้เข้าใจการระบุตำแหน่งความผิดปกติของวิธีดังกล่าว จึงทำการยกตัวอย่างกรณีศึกษาฟ้าผ่าที่เฟส A มุม 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งเช่นเดียวกับวิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติก่อนหน้านี้

ค่าเวลาเมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง และความเร็วคลื่นเดินทางเฉลี่ยมีค่าดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} t_{1stRYG} &= 0.002118 \text{ วินาที} \\ t_{1stCTI} &= 0.002178 \text{ วินาที} \\ v &= 298782 \text{ กิโลเมตร/วินาที} \end{aligned}$$

เมื่อแทนค่าเวลาดังกล่าวในสมการที่ 4.7 จะได้ว่า กำหนดให้ สายส่งมีความยาวทั้งหมด 88.5 กิโลเมตร

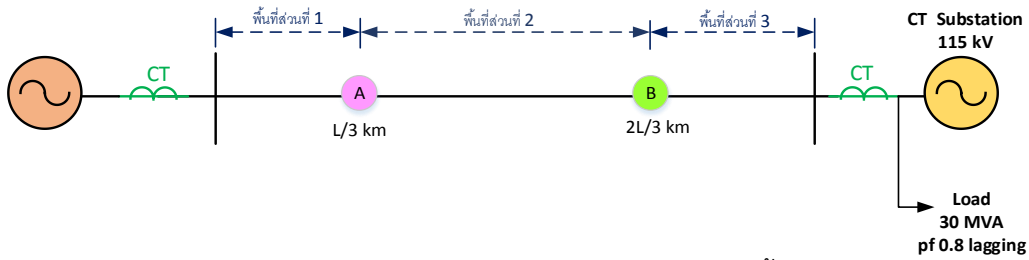
$$D = \frac{88.5 - 298782(0.002178 - 0.002118)}{2} = 35.2865 \text{ กิโลเมตร}$$

จากการคำนวณดังกล่าวข้างต้นเห็นได้ว่า ตำแหน่งความผิดปกติที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 35.2865 กิโลเมตร หากแต่ตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติจริงนั้นมีค่าเท่ากับ 35.4 กิโลเมตร ซึ่งเกิดความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง 0.1135 กิโลเมตร

วิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจวัด

วิธีการระบุตำแหน่งนี้แตกต่างจากวิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติสองวิธีก่อนหน้านี้ โดยมีการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับ 2 ตัวเพิ่มในสายส่งที่ตำแหน่ง  $\frac{L}{3}$  และ  $\frac{2L}{3}$  ของความยาวสายส่งดังแสดงในรูปที่

4.5



รูปที่ 4.5 ไดอะแกรมเส้นเดี่ยวของวงจรจำลองที่มีการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับ

วงจรจำลองข้างต้นมีการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับ 2 ตัว กำหนดชื่อว่า เซนเซอร์ A และเซนเซอร์ B ติดตั้งที่ตำแหน่ง  $\frac{L}{3}$  และ  $\frac{2L}{3}$  ของความยาวสายส่งตามลำดับ จากการติดตั้งเซนเซอร์ทำให้สามารถแบ่งพื้นที่ที่ตรวจวัดได้ 3 ส่วน คือ

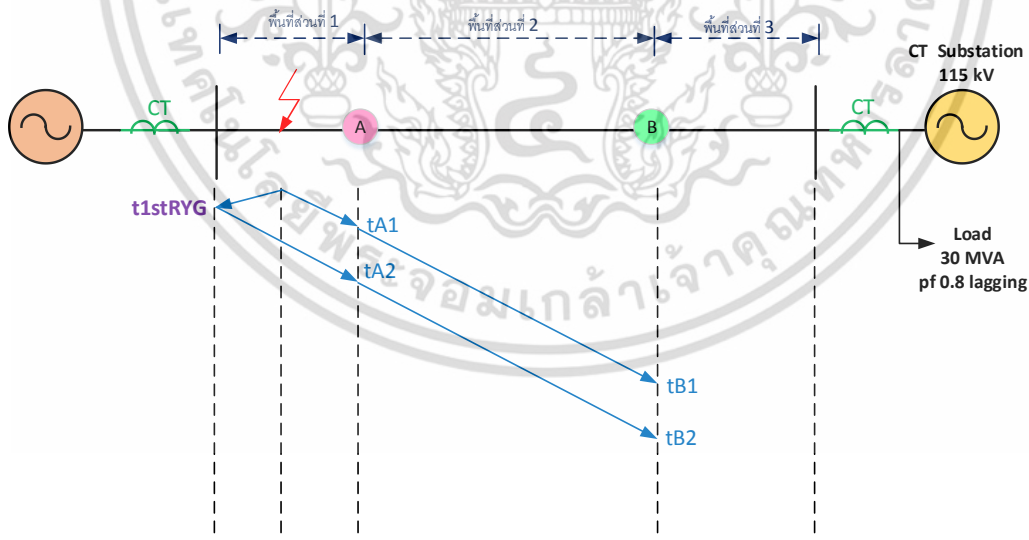
พื้นที่ส่วนที่ 1 มีระยะทางระหว่างสถานีส่ง (RYG) ถึงเซนเซอร์ A

พื้นที่ส่วนที่ 2 มีระยะทางระหว่างเซนเซอร์ A ถึงเซนเซอร์ B

พื้นที่ส่วนที่ 3 มีระยะทางระหว่างสถานีรับ (CTI) ถึงเซนเซอร์ B

คุณลักษณะการเดินทางของคลื่นเมื่อเกิดความผิดปกติในพื้นที่ต่างกันจะมีลักษณะแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4.6-4.8 ที่ทำการแสดงคุณลักษณะการเดินทางของคลื่นเมื่อเกิดความผิดปกติในพื้นที่ส่วนที่ 1 ส่วนที่ 2 และพื้นที่ส่วนที่ 3 ตามลำดับ

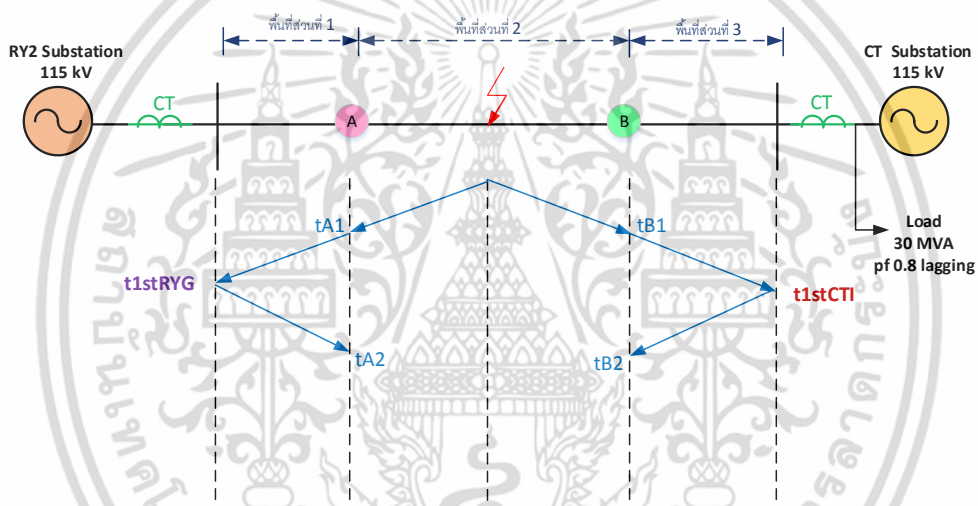
เมื่อเกิดความผิดปกติในพื้นที่ส่วนที่ 1 ของระบบส่งกำลังไฟฟ้าที่มีการติดตั้งเซนเซอร์ A และเซนเซอร์ B



รูปที่ 4.6 คุณลักษณะการเดินทางของคลื่นในสายส่ง เมื่อเกิดความผิดปกติในพื้นที่ส่วนที่ 1

เมื่อเกิดความผิดปกติไม่ว่าเป็นฟ้าผ่าหรือฟอลต์ เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานเพิ่มขึ้น เกิดคลื่นเดินทางในสายส่ง คลื่นที่เกิดขึ้นเคลื่อนที่ไปยังปลายสายส่งทั้งสองด้านด้วยความเร็วค่าหนึ่งประมาณ เท่ากับความเร็วแสงดังกล่าวไปก่อนหน้า หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (CT) ด้านสถานีส่ง (RYG) และ เซนเซอร์ A ตรวจพบคลื่นเดินทางที่เวลาเท่ากับ  $t_{1stRYG}$  และ  $t_{A1}$  ตามลำดับ คลื่นที่เซนเซอร์ A ตรวจพบเดินทางต่อไปยังปลายสายส่งด้านสถานีรับต่อ ทำให้เซนเซอร์ B ตรวจพบคลื่นเดินทางที่เวลา  $t_{B1}$  ในลักษณะเดียวกันเนื่องจากคลื่นเดินทางด้านสถานีส่งยังคงมีพลังงานสะสมคงเหลือจึงเกิดการสะท้อนกลับไปยังจุดที่เกิดความผิดปกติและสะท้อนต่อไปยังเซนเซอร์ A ทำให้เซนเซอร์ A ตรวจวัดคลื่นเดินทางอีกครั้งที่เวลา  $t_{A2}$  และสะท้อนต่อไปยังเซนเซอร์ B ที่เวลาเท่ากับ  $t_{B2}$  ดังแสดงในรูปที่ 4.6

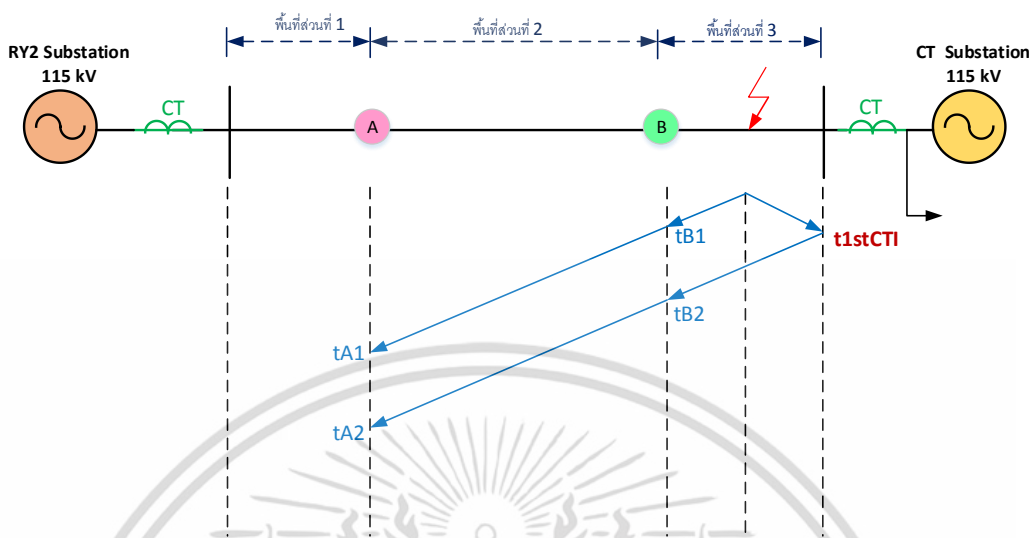
เมื่อเกิดความผิดปกติในพื้นที่ส่วนที่ 2 ของระบบส่งกำลังไฟฟ้าที่มีการติดตั้งเซนเซอร์ A และเซนเซอร์ B



รูปที่ 4.7 คุณลักษณะการเดินทางของคลื่นในสายส่ง เมื่อเกิดความผิดปกติในพื้นที่ส่วนที่ 2

เมื่อเกิดความผิดปกติในสายส่ง จะมีคลื่นเดินทางเกิดขึ้น ณ จุดที่เกิดความผิดปกติและเดินทางไปยังปลายสายส่งทั้งสองด้าน เนื่องจากในพื้นที่ส่วนที่ 2 เซนเซอร์ A และเซนเซอร์ B ติดตั้งอยู่ระหว่างจุดที่เกิดความผิดปกติทั้งสองด้าน ก่อนหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าของสถานีส่งและสถานีรับ ดังนั้นเซนเซอร์ A และเซนเซอร์ B สามารถตรวจพบคลื่นเดินทางในสายส่งได้ก่อนหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าของสถานีส่งและสถานีรับ ด้วยเวลาเท่ากับ  $t_{A1}$  และ  $t_{B1}$  หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าตรวจพบคลื่นเดินทางหลังจากเซนเซอร์ที่เวลาเท่ากับ  $t_{1stRYG}$  และ  $t_{1stCTI}$  คลื่นเดินทางที่เดินทางมายังปลายสถานีทั้งสองสะท้อนกลับไปยังจุดที่เกิดความผิดปกติ เนื่องจากพลังงานสะสมคงเหลือ ทำให้เซนเซอร์ A และเซนเซอร์ B ตรวจพบคลื่นเดินทางอีกครั้งที่เวลา  $t_{A2}$  และ  $t_{B2}$  ดังแสดงในรูปที่ 4.7

เมื่อเกิดความผิดปกติในพื้นที่ส่วนที่ 3 ของระบบส่งกำลังไฟฟ้าที่มีการติดตั้งเซนเซอร์ A และเซนเซอร์ B



รูปที่ 4.8 คุณลักษณะการเดินทางของคลื่นในสายส่ง เมื่อเกิดความผิดปกติในพื้นที่ส่วนที่ 3

คลื่นที่เดินทางในสายส่งเมื่อเกิดความผิดปกติในส่วนที่ 3 มีลักษณะคล้ายกับคลื่นที่เดินทางในสายส่งเมื่อเกิดความผิดปกติในพื้นที่ส่วนที่ 1 แต่เนื่องจากความผิดปกติที่เกิดในส่วนที่ 3 อยู่ใกล้เซนเซอร์ B และสถานีรับ จึงทำให้สามารถทั้งสองสามารถตรวจพบคลื่นเดินทางในสายส่งก่อนอุปกรณ์อื่น ๆ ที่เวลาเท่ากับ  $t_{1stCTI}$  และ  $t_{B1}$  คลื่นเดินทางเกิดการสะท้อนต่อไป เนื่องจากยังคงมีพลังงานสะสมจากพลังงานที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดความผิดปกติ คลื่นที่ตรวจวัดได้จากสถานีรับสะท้อนกลับไปยังจุดที่เกิดความผิดปกติและสะท้อนต่อไปยังเซนเซอร์ B ทำให้เซนเซอร์ B ตรวจพบคลื่นเดินทางอีกครั้งที่เวลา  $t_{B1}$  คลื่นเดินทางที่เซนเซอร์ B ตรวจพบสองครั้งนี้เดินทางต่อไปยังปลายสายส่งด้านสถานีส่ง ทำให้เซนเซอร์ A ตรวจพบคลื่นเดินทางที่เวลา  $t_{A1}$  และ  $t_{A2}$  ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4.8

สมการในการระบุตำแหน่งของวิธีการนี้มีลักษณะแตกต่างจากวิธีก่อนหน้า โดยความผิดปกติที่เกิดในพื้นที่ต่างกัน สมการในการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติแตกต่างกัน ดังแสดงต่อไปนี้ สมการการระบุตำแหน่งเมื่อเกิดความผิดปกติในพื้นที่ส่วนที่ 1

$$v_1 = \frac{L}{3|t_{A1} - t_{B1}|} \tag{4.8}$$

$$D = v_1 \left( \frac{t_{A2} - t_{A1}}{2} \right) \tag{4.9}$$

สมการการระบุตำแหน่งเมื่อเกิดความผิดปกติในพื้นที่ส่วนที่ 2

$$v_2 = \frac{\left(\frac{\frac{L}{3}}{t_{A2}-t_{A1}}\right) + \left(\frac{\frac{L}{3}}{t_{B2}-t_{B1}}\right)}{2} \quad (4.10)$$

$$D = \frac{L+v_2(t_{A1}-t_{B1})}{2} \quad (4.11)$$

สมการการระบุตำแหน่งเมื่อเกิดความผิดปกติในพื้นที่ส่วนที่ 3

$$v_3 = \frac{L}{3|t_{B1}-t_{A1}|} \quad (4.12)$$

$$D = L - \frac{v_1(t_{B2}-t_{B1})}{2} \quad (4.13)$$

เมื่อ

D = ตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยอ้างอิงจากปลายสถานีส่งหรือ RYG (กิโลเมตร)

L = ความยาวทั้งหมดของสายส่ง (กิโลเมตร)

$v_1$  = ความเร็วคลื่นเดินทาง เมื่อเกิดความผิดปกติในพื้นที่ส่วนที่ 1 (กิโลเมตร/วินาที)

$v_2$  = ความเร็วคลื่นเดินทาง เมื่อเกิดความผิดปกติในพื้นที่ส่วนที่ 1 (กิโลเมตร/วินาที)

$v_3$  = ความเร็วคลื่นเดินทาง เมื่อเกิดความผิดปกติในพื้นที่ส่วนที่ 1 (กิโลเมตร/วินาที)

$t_{A1}$  = เวลาที่เซนเซอร์ A ตรวจพบคลื่นเดินทางครั้งที่ 1 (วินาที)

$t_{A2}$  = เวลาที่เซนเซอร์ A ตรวจพบคลื่นเดินทางครั้งที่ 2 (วินาที)

$t_{B1}$  = เวลาที่เซนเซอร์ B ตรวจพบคลื่นเดินทางครั้งที่ 1 (วินาที)

$t_{B2}$  = เวลาที่เซนเซอร์ B ตรวจพบคลื่นเดินทางครั้งที่ 2 (วินาที)

เพื่อให้เข้าใจวิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติของวิธีการที่การแบ่งพื้นที่ตรวจวัดจึงทำการยกตัวอย่างการระบุตำแหน่งวิธีการนี้ โดยอ้างอิงกรณีศึกษาฟ้าผ่าที่เฟส A มุม 0 องศา ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งเช่นเดียวกับวิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติก่อนหน้านี้

เนื่องจากสายส่งมีระยะทางทั้งหมดเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร กำหนดให้เซนเซอร์ A และเซนเซอร์ B ติดตั้งที่ตำแหน่ง  $\frac{L}{3}$  และ  $\frac{2L}{3}$  ของความยาวสายส่งตามลำดับ หรือเท่ากับที่ระยะทาง 29.5, 59 กิโลเมตรจากสถานีส่ง ฟ้าผ่าเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งหรือที่ระยะทาง 35.4 กิโลเมตรจากสถานีส่ง จากการวิเคราะห์ข้างต้นเห็นได้ว่า ฟ้าผ่าเกินขึ้นระหว่างเซนเซอร์ทั้งสอง จึงทำการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยอาศัยวิธีของพื้นที่ส่วนที่ 2

ค่าเวลาของเซนเซอร์ A และ B เท่ากับ

$$t_{A1} = 0.0020201 \text{ วินาที}$$

$$t_{A2} = 0.0022195 \text{ วินาที}$$

$$t_{B1} = 0.0020799 \text{ วินาที}$$

$$t_{B2} = 0.0022785 \text{ วินาที}$$

$$t_{A2} - t_{A1} = 0.0001994 \text{ วินาที}$$

$$t_{B2} - t_{B1} = 0.0001986 \text{ วินาที}$$

จากสมการความเร็วคลื่นเดินทางในสมการที่ 4.10

แทนค่า

$$v_2 = \frac{\left(\frac{\frac{88.5}{3}}{0.0001994}\right) + \left(\frac{\frac{88.5}{3}}{0.0001986}\right)}{2}$$

$$v_2 = 296483.61 \text{ กิโลเมตร/วินาที}$$

แทนค่าความเร็วของคลื่นเดินทางในพื้นที่ส่วนที่ 2 หรือ  $v_2$  ในสมการที่ 4.11

$$D = \frac{88.5 + 296483.61(0.0020201 - 0.0020799)}{2} = 35.3851 \text{ กิโลเมตร}$$

จากการคำนวณดังกล่าวข้างต้นเห็นได้ว่า ตำแหน่งความผิดปกติที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 35.3851 กิโลเมตร หากแต่ตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติจริงนั้นมีค่าเท่ากับ 35.4 กิโลเมตร ซึ่งเกิดความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง 0.0149 กิโลเมตร

จากวิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติทั้งสามวิธีที่กล่าวไปก่อนหน้านี้พบว่า แม้ข้อมูลของตำแหน่งฟ้าผ่าเดียวกัน แต่ผลการระบุตำแหน่งต่างกัน

#### 4.4 ผลการทดลอง

หลังจากนำเสนออัลกอริทึมการจำแนกชนิดและระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติแล้ว อันดับต่อไปเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพและความเหมาะสมของแต่ละวิธี จึงนำข้อมูลขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตเมื่อเกิดฟ้าผ่าและฟอลต์จากโปรแกรม ATP/EMTP จำนวน 702 เหตุการณ์มาวิเคราะห์การจำแนกและระบุตำแหน่งฟ้าผ่าและฟอลต์ โดยข้อมูลการจำลองมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

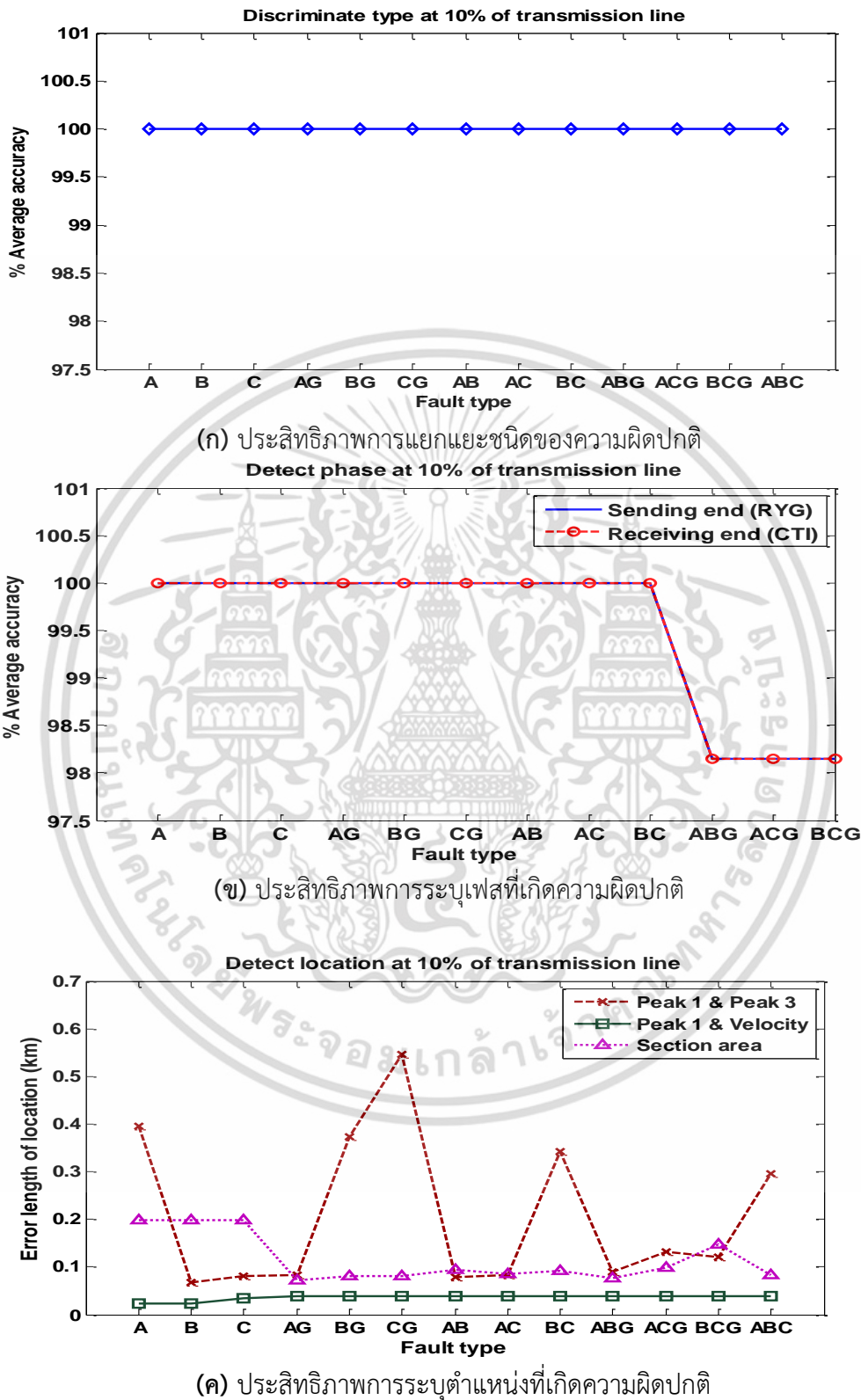
1. สายเฟสที่เกิดฟ้าผ่าหรือฟอลต์ จำนวน 3 เฟส คือเฟส A เฟส B และเฟส C
2. มุมแรงดันที่เกิดฟ้าผ่าหรือฟอลต์ โดยอ้างอิงจากมุมของสถานีรับ (CTI) จำนวน 6 มุม คือ 0, 30, 60, 90, 120 และ 150 องศา
3. ตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าหรือฟอลต์ โดยอ้างอิงจากระยะทางด้านสถานีส่ง (RYG) จำนวน 6 มุม คือ 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% ของความยาวสายส่ง

กำหนดให้

A B C	คือ ฟ้าผ่า
AG BG CG	คือ ฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน
AB AC BC	คือ ฟอลต์ระหว่างเฟส
ABG ACG BCG	คือ ฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน
ABC	คือ ฟอลต์สามเฟส
Peak 1 & Peak 3	คือ วิธีการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยอาศัยเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3
Peak 1 & Velocity	คือ วิธีการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทาง
Section area	คือ วิธีการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจสอบ
รูป(ก)	คือ ประสิทธิภาพการแยกแยะชนิดของความผิดปกติ
แกนนอน	คือ ชนิดความผิดปกติ
แกนตั้ง	คือ เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
รูป(ข)	คือ ประสิทธิภาพการระบุเฟสที่เกิดความผิดปกติ
แกนนอน	คือ ชนิดความผิดปกติ
แกนตั้ง	คือ เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
รูป(ค)	คือ ประสิทธิภาพของการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ
แกนนอน	คือ ชนิดความผิดปกติ
แกนตั้ง	คือ ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง หน่วย กิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 วิเคราะห์ที่ตำแหน่ง 10% ของความยาวสายส่งหรือที่ระยะทาง 8.85 กิโลเมตรอ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)



รูปที่ 4.9 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่ง 10% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์ในรูปที่ 4.9 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังต่อไปนี้

พิจารณารูปที่ 4.9(ก) ด้านประสิทธิภาพการแยกแยะชนิดความผิดปกติพบว่า อัลกอริทึมการแยกแยะชนิดความผิดปกติที่นำเสนอมีประสิทธิภาพในการจำแนกชนิดความผิดปกติชนิดต่าง ๆ โดยถึงแม้มีการเปลี่ยนแปลงมุมแรงดันแต่สามารถจำแนกชนิดของความผิดปกติได้ถูกต้อง 100%

พิจารณารูปที่ 4.9(ข) ด้านประสิทธิภาพการระบุเฟสที่เกิดความผิดปกติพบว่า การระบุเฟสต่าง ๆ ที่เกิดฟ้าผ่า พอลต์หนึ่งเฟสลงดินและพอลต์ระหว่างเฟสลงดินมีความถูกต้อง 100% แต่พอลต์ระหว่างเฟสลงดินมีความถูกต้องน้อยกว่า โดยระบุได้ถูกต้อง 98.15% ซึ่งความคลาดเคลื่อนของการระบุเฟสเมื่อเกิดพอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ขนาดกระแสไฟฟ้าแต่ละเฟสเพิ่มขึ้นไม่เท่ากัน เพราะมีมุมต่างกัน 120 องศาตั้งกล่าวไปก่อนหน้า ส่งผลให้ขนาดสัมประสิทธิ์แต่ละเฟสมีขนาดมากน้อยไม่เท่ากัน นอกจากนี้ในบางตำแหน่งมุมส่งผลให้ขนาดกระแสไฟฟ้าเฟสที่เกิดพอลต์ลดลงต่ำกว่าเฟสที่ไม่เกิดพอลต์ ดังเช่น เหตุการณ์พอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่เฟส A และเฟส B ที่มีมุมแรงดัน 30 องศา โดยทางทฤษฎีแล้วเกิดพอลต์พร้อมกันที่เฟส A และเฟส B ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดของเฟส A และเฟส B ควรจะมีขนาดมากและเฟส C ไม่เกิดพอลต์ จึงไม่ควรเกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดขึ้น แต่เนื่องจากผลของมุมในบางตำแหน่งส่งผลให้ขนาดสัมประสิทธิ์เฟส A น้อยและเฟส C มีขนาดมาก ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนไปว่าเกิดพอลต์ที่เฟส B และเฟส C แทน

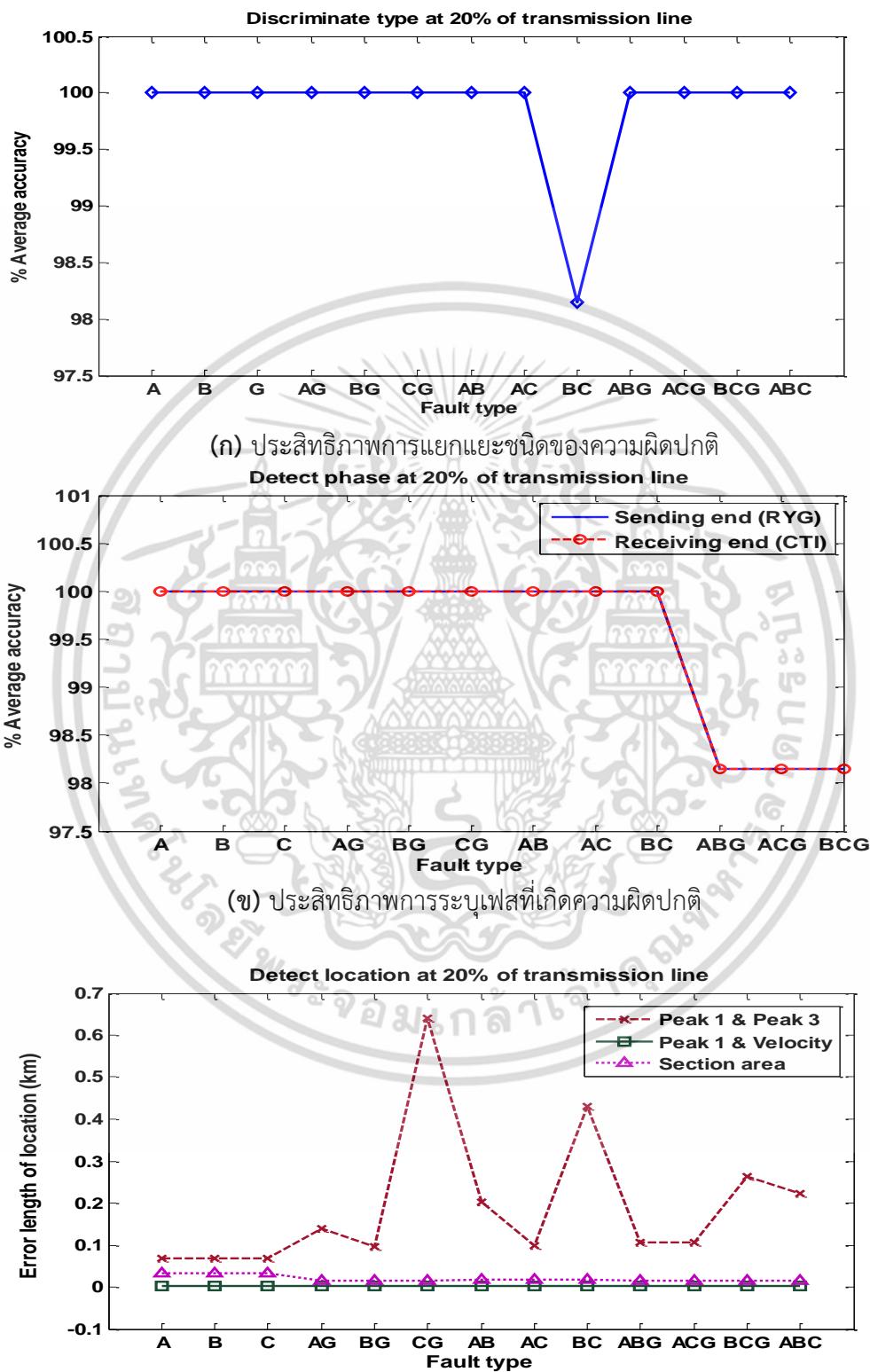
พิจารณารูปที่ 4.9(ค) ด้านประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยทำการระบุตำแหน่งความผิดปกติโดยอาศัยวิธีที่แตกต่างกัน 3 วิธี โดยจากรูปแสดงได้ว่า วิธีการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติโดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทางมีประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งมากที่สุด โดยผลการระบุตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ประมาณ 0.0365 กิโลเมตรและสามารถระบุตำแหน่งของความผิดปกติชนิดต่าง ๆ ได้ใกล้เคียงกันและวิธีการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยอาศัยเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 มีความแม่นยำน้อยที่สุด มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 0.2069 กิโลเมตร เมื่อทำการวิเคราะห์แต่ละวิธีพบว่า

วิธีการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยอาศัยเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด เนื่องจากในการวิเคราะห์อาศัยค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 เป็นหลักในการวิเคราะห์ คลื่นลำดับที่ 1 มีขนาดมากและชัดเจนแต่คลื่นลำดับที่ 3 มีขนาดเล็กเนื่องจากพลังงานสะสมในขณะที่เกิดพอลต์ลดลง ทำให้การตรวจวัดคลื่นดังกล่าวลำบาก ส่งผลให้การตรวจวัดค่าเวลาของคลื่นคลาดเคลื่อนส่งผลต่อการระบุตำแหน่งคลาดเคลื่อน

วิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทาง ระบุตำแหน่งโดยอาศัยค่าเวลาลำดับที่ 1 เท่านั้น ดังนั้นการระบุตำแหน่งของวิธีนี้จึงไม่ได้รับผลกระทบของคลื่นลำดับที่ 3 ที่มีขนาดเล็กตรวจวัดยาก ผลการระบุตำแหน่งจึงมีความคลาดเคลื่อนน้อยลง

วิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจวัดพบว่า วิธีนี้เปรียบเสมือนการรวมกันของวิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 และวิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทาง เนื่องจากมีการนำเอาค่าเวลาของคลื่นสะท้อนจากตัวเซนเซอร์ (ซึ่งเหมือนกับคลื่นลำดับที่ 3 ที่เกิดจากการสะท้อนไปและกลับของคลื่นลำดับที่ 1) และค่าความเร็วคลื่นเดินทางมาวิเคราะห์ตำแหน่ง โดยผลของวิธีนี้มีประสิทธิภาพอยู่ระหว่างวิธีทั้งสองก่อนหน้า เนื่องจากถึงแม้มีความคลาดเคลื่อนทางเวลาแต่มีความถูกต้องของความเร็วคลื่นเดินทางเสริม ทำให้ขนาดความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งลดลง

4.4.2 วิเคราะห์ที่ตำแหน่ง 20% ของความยาวสายส่งหรือที่ระยะทาง 17.7 กิโลเมตรอ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)



รูปที่ 4.10 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่ง 20% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์ในรูปแบบที่ 4.10 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังต่อไปนี้

พิจารณารูปที่ 4.10(ก) ด้านประสิทธิภาพการแยกแยะชนิดความผิดปกติ ทำการแยกชนิดของความผิดปกติที่เกิดจากฟ้าผ่า พอลต์ระหว่างเฟส พอลต์ระหว่างเฟสลงดินและพอลต์สามเฟสผลพบว่า อัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถแยกแยะชนิดของฟ้าผ่า พอลต์ระหว่างเฟสลงดินและพอลต์สามเฟสได้ถูกต้อง 100% แต่สามารถแยกแยะพอลต์ระหว่างเฟสได้ถูกต้องเพียง 98.15% โดยเกิดความคลาดเคลื่อนที่พอลต์เฟส B และเฟส C มุมแรงดัน 60 องศา ตรวจวัดขนาดสัมประสิทธิ์กระแสลำดับศูนย์ เท่ากับ 0.00175 ซึ่งมีขนาดมากกว่าค่าอ้างอิงการเกิดการลัดวงจรลงดิน จึงทำให้การแยกแยะคลาดเคลื่อนเป็นการเกิดพอลต์ลัดวงจรลงดิน แต่เมื่อพิจารณาขนาดพบว่าสัมประสิทธิ์กระแสลำดับศูนย์ที่เกิดขึ้นมีขนาดมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดเพียง  $2.2 \times 10^{-4}$  เท่านั้น ดังนั้นจึงวิเคราะห์ได้ว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ที่คลาดเคลื่อนดังกล่าวนี้ย่อมมาก

พิจารณารูปที่ 4.10(ข) ด้านประสิทธิภาพการระบุเฟสที่เกิดความผิดปกติพบว่า แนวโน้มความถูกต้องของการระบุเฟสมีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่ง 10% ของความยาวสายส่ง โดยสามารถระบุเฟสที่เกิดฟ้าผ่า เฟสที่เกิดพอลต์หนึ่งเฟสลงดินและพอลต์ระหว่างเฟสได้ถูกต้อง 100% แต่สามารถระบุเฟสที่เกิดพอลต์ระหว่างเฟสลงดินได้ถูกต้องเพียง 98.15% โดยมีสาเหตุความคลาดเคลื่อนเดียวกับกรณีก่อนหน้า คือขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของเฟสที่เกิดพอลต์มีขนาดน้อยกว่าเฟสที่ไม่เกิดพอลต์ จึงทำให้อัลกอริทึมที่นำเสนอการระบุเฟสที่เกิดพอลต์คลาดเคลื่อน โดยมีความคลาดเคลื่อน 3 กรณีคือ กรณีพอลต์เฟส A และเฟส B มุมแรงดัน 30 องศา ซึ่งเกิดขนาดสัมประสิทธิ์เฟส C มากกว่าเฟส A ที่เกิดพอลต์แทน กรณีพอลต์เฟส A และเฟส C มุมแรงดัน 90 องศา เกิดขนาดสัมประสิทธิ์เฟส B มากกว่าเฟส C ที่เกิดพอลต์และกรณีพอลต์เฟส B และเฟส C มุมแรงดัน 150 องศา เกิดขนาดสัมประสิทธิ์เฟส A มากกว่าเฟส B ที่เกิดพอลต์

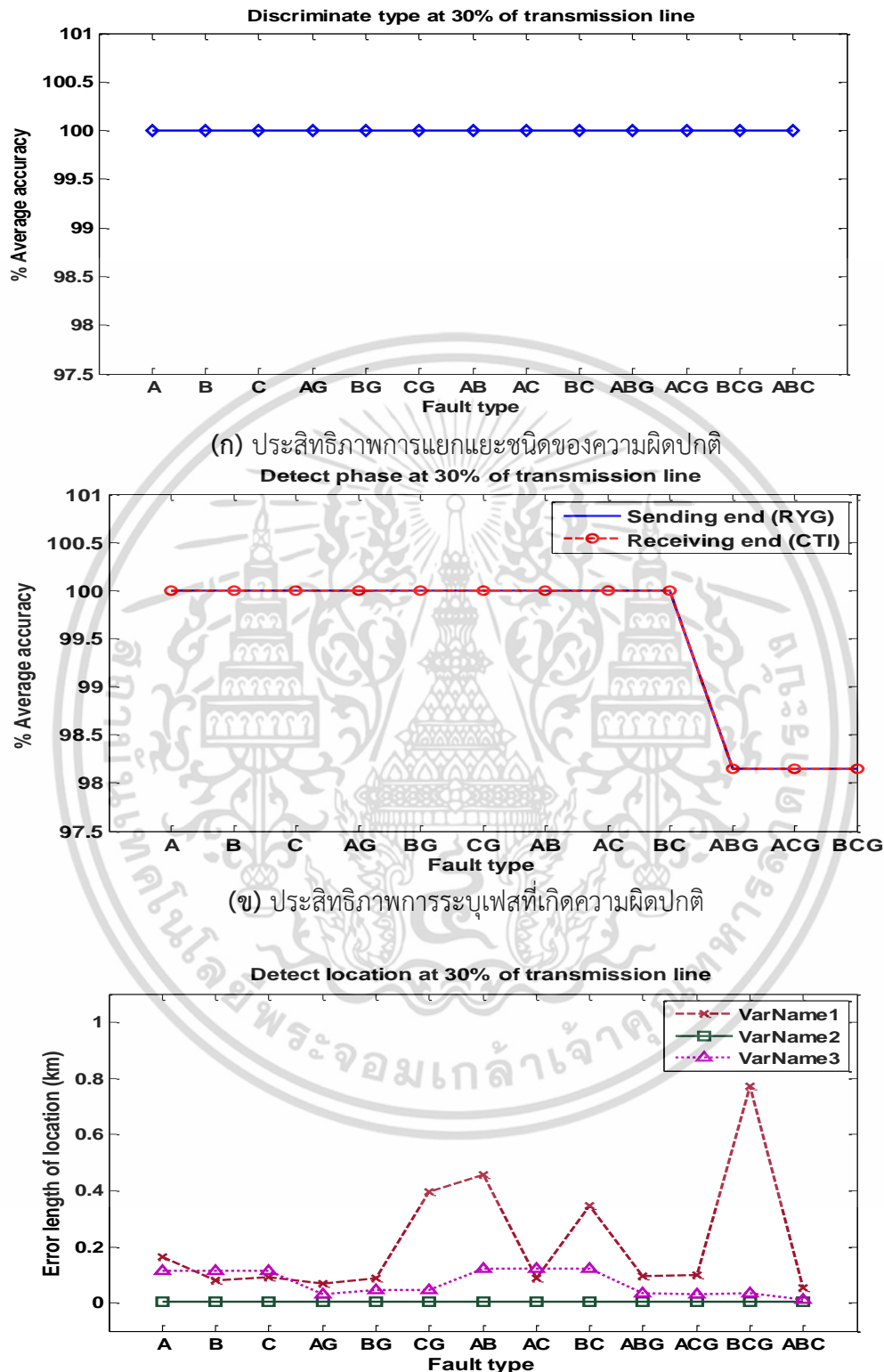
พิจารณารูปที่ 4.10(ค) ด้านประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยทำการระบุตำแหน่งความผิดปกติโดยอาศัยวิธีที่แตกต่างกัน 3 วิธี เมื่อทำการวิเคราะห์แต่ละวิธีพบว่า

วิธีการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยอาศัยเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 พบว่าความผิดปกติทั้ง 13 ชนิดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง 20% ของความยาวสายส่งเดียวกัน แต่ตำแหน่งที่ระบุคลาดเคลื่อนต่างกัน พอลต์หนึ่งเฟสลงดินคลาดเคลื่อนมากกว่าพอลต์ระหว่างเฟสและพอลต์ระหว่างเฟสลงดินตามลำดับ เนื่องจากค่าเวลาที่เกิดคลื่นลำดับที่ 3 คลาดเคลื่อนดังกล่าวไปข้างต้น

วิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทางพบว่า ตำแหน่งของความผิดปกติชนิดต่าง ๆ ระบุได้ใกล้เคียงกันไม่เหมือนกับกรณีการระบุตำแหน่งก่อนหน้า โดยมีขนาดความคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่า ประมาณ 0.0032 กิโลเมตรหรือเพียง 3.2 เมตรเท่านั้น ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นน้อยเป็นผลเนื่องจากวิธีดังกล่าวไม่นำค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 3 ที่มีขนาดเล็กตรวจวัดลำบากมาพิจารณา

วิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจวัดพบว่า ความคลาดเคลื่อนของวิธีนี้มีแนวโน้มใกล้เคียงกับวิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทาง แต่มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นมากกว่าเล็กน้อยโดยเฉพาะที่กรณีฟ้าผ่าทั้งสามเฟส ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลเนื่องจากวิธีการดังกล่าวทำการระบุตำแหน่งโดยอาศัยค่าเวลาของคลื่นที่ลำดับที่ 2 ที่ตรวจวัดจากเซนเซอร์ ซึ่งคลื่นดังกล่าวเกิดการสะท้อนไปและกลับในสายส่ง ระดับพลังงานสะสมเมื่อเกิดพอลต์ลดลง ขนาดสัมประสิทธิ์จึงลดลง ดังนั้นจึงทำให้ตรวจวัดได้ไม่ชัดเจนเท่ากับคลื่นลำดับที่ 1 ค่าเวลาที่ตรวจวัดได้จึงมีความคลาดเคลื่อน

4.4.3 วิเคราะห์ที่ตำแหน่ง 30% ของความยาวสายส่งหรือที่ระยะทาง 26.55 กิโลเมตรอ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)



(ก) ประสิทธิภาพการแยกแยะชนิดของความผิดปกติ

(ข) ประสิทธิภาพการระบุเฟสที่เกิดความผิดปกติ

(ค) ประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ

รูปที่ 4.11 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่ง 30% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์ในรูปที่ 4.11 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังต่อไปนี้

พิจารณารูปที่ 4.11(ก) ด้านประสิทธิภาพการแยกแยะชนิดความผิดปกติ ทำการแยกชนิดของความผิดปกติที่เกิดจากฟ้าผ่า พอลต์ระหว่างเฟส พอลต์ระหว่างเฟสลงดินและพอลต์สามเฟสผลพบว่า อัลกอริทึมสามารถจำแนกชนิดความผิดปกติได้ถูกต้อง 100% โดยความแตกต่างของชนิดความผิดปกติ มุมแรงดัน ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการตรวจจับ เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์การเวฟ เล็ตแตกต่างกัน

พิจารณารูปที่ 4.11(ข) ด้านประสิทธิภาพการระบุเฟสที่เกิดความผิดปกติพบว่า แนวโน้มความถูกต้องมีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่ง 10% และ 20% ของความยาวสายส่ง ก่อนหน้า โดยสามารถระบุเฟสที่เกิดฟ้าผ่า พอลต์หนึ่งเฟสลงดินและพอลต์ระหว่างเฟสได้ถูกต้อง 100% เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์ของเฟสที่เกิดความผิดปกติมากกว่าเฟสที่เกิดพอลต์มาก แต่ขนาดสัมประสิทธิ์ของกรณีพอลต์ระหว่างเฟสลงดินมีลักษณะแตกต่างจากพอลต์ชนิดอื่น ๆ โดยสัมประสิทธิ์แต่ละเฟสมีขนาดแตกต่างกัน เหมือนแนวโน้มสัมประสิทธิ์แต่ละเฟสของพอลต์สามเฟส แต่มีขนาดน้อยกว่า ขนาดของสัมประสิทธิ์ที่แตกต่างกันเนื่องจากผลของการลัดวงจรลงดินดังกล่าวไปก่อนหน้า เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความคลาดเคลื่อนพบว่า เกิดความคลาดเคลื่อนที่มุมแรงดัน 30, 90 และ 150 องศาเช่นเดียวกับกรณีก่อนหน้า

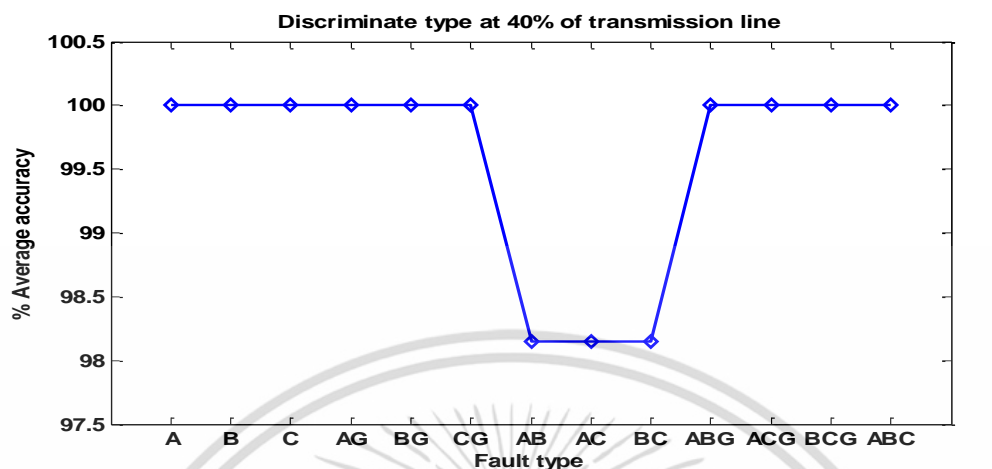
พิจารณารูปที่ 4.11(ค) ด้านประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยทำการระบุตำแหน่งความผิดปกติโดยอาศัยวิธีที่แตกต่างกัน 3 วิธี เมื่อทำการวิเคราะห์แต่ละวิธีพบว่า

วิธีการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยอาศัยเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 พบว่า มีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งมากกว่าวิธีนำเสน่ออื่น ๆ โดยเกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุดที่พอลต์ระหว่างเฟสลงดิน พอลต์หนึ่งเฟสลงดินและพอลต์ระหว่างเฟสตามลำดับ กรณีความผิดปกติเนื่องจากฟ้าผ่า สามารถระบุตำแหน่งได้แม่นยำมากกว่าพอลต์ เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์มากกว่า ทำให้ขนาดของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 มากกว่า ส่งผลให้ค่าเวลาถูกต้องมากขึ้น ทำให้ระบุตำแหน่งได้ใกล้เคียงตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติจริงมากขึ้นตาม

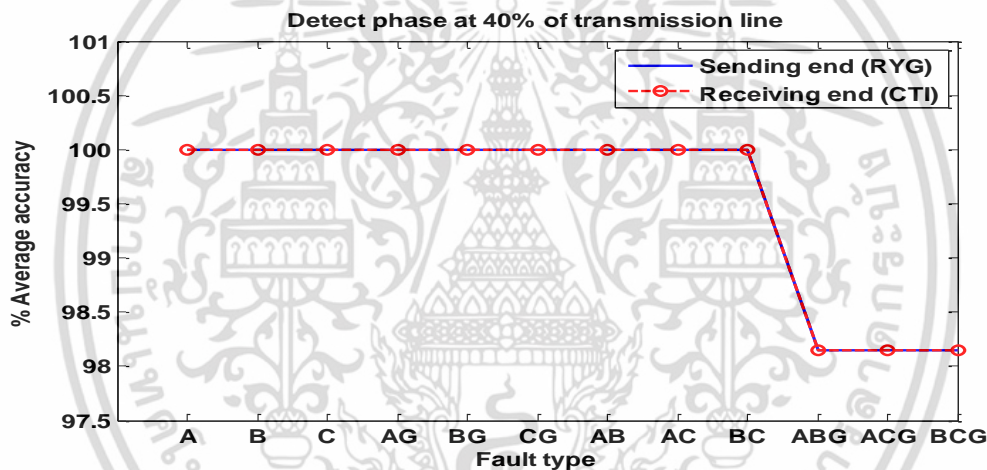
วิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทางพบว่า สามารถระบุตำแหน่งได้แม่นยำมากที่สุด โดยสามารถระบุตำแหน่งของความผิดปกติชนิดต่าง ๆ ได้ใกล้เคียงกัน ดังนั้นเห็นได้ว่า ชนิดความผิดปกติและมุมแรงดันไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของการระบุตำแหน่งของวิธีดังกล่าวนี้

วิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจวัดพบว่า ความแม่นยำของวิธีดังกล่าวขึ้นอยู่กับระหว่างวิธีการระบุตำแหน่งทั้งสองก่อนหน้า เนื่องจากวิธีนี้อาศัยตัวแปรที่คล้ายคลึงกับวิธีอื่น ๆ คือ ตัวแปรเวลาของคลื่นลำดับที่ 2 ที่ตรวจวัดจากเซนเซอร์ ซึ่งคล้ายกับค่าเวลาลำดับที่ 3 เนื่องจากมีการสะท้อนไปและกลับจากจุดที่เกิดความผิดปกติ ค่าเวลาของคลื่นส่งผลให้มีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากขนาดของคลื่นมีขนาดเล็ก ตรวจวัดไม่ชัดเจน และตัวแปรของความเร็วคลื่นเดินทาง ซึ่งแตกต่างจากวิธีการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติโดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทาง เนื่องจากความเร็วของคลื่นขึ้นอยู่กับค่าเวลาของคลื่นเดินทาง ดังนั้นความถูกต้องทางตำแหน่งของวิธีนี้จึงขึ้นอยู่กับค่าเวลาและความเร็วคลื่นเดินทาง

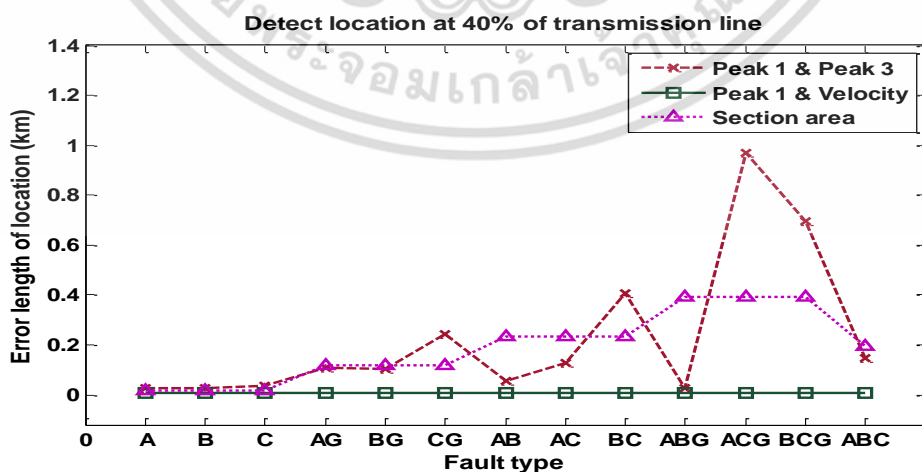
4.4.4 วิเคราะห์ที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่งหรือที่ระยะทาง 35.40 กิโลเมตรอ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)



(ก) ประสิทธิภาพการแยกแยะชนิดของความผิดปกติ



(ข) ประสิทธิภาพการระบุเฟสที่เกิดความผิดปกติ



(ค) ประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ

รูปที่ 4.12 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์ในรูปที่ 4.12 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังต่อไปนี้

พิจารณารูปที่ 4.12(ก) ด้านประสิทธิภาพการแยกแยะชนิดความผิดปกติ ทำการแยกชนิดของความผิดปกติที่เกิดจากฟ้าผ่า พอลต์ระหว่างเฟส พอลต์ระหว่างเฟสลงดินและพอลต์สามเฟสผลพบว่า อัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถจำแนกชนิดของฟ้าผ่า พอลต์ระหว่างเฟสลงดินและพอลต์สามเฟสได้ถูกต้อง 100% แต่เกิดความคลาดเคลื่อนในการจำแนกพอลต์ระหว่างเฟสที่เฟส AB เฟส AC และเฟส BC มุมแรงดัน 150, 30 และ 60 องศาตามลำดับ ซึ่งความคลาดเคลื่อนเกิดจากสัมประสิทธิ์กระแสลำดับศูนย์มีขนาดมากกว่าเกณฑ์กำหนดการเกิดการลัดวงจรลงดิน ดังนั้นจึงทำให้การจำแนกชนิดคลาดเคลื่อนเป็นพอลต์ที่มีการลัดวงจรลงดินแทน

พิจารณารูปที่ 4.12(ข) ด้านประสิทธิภาพการระบุเฟสที่เกิดความผิดปกติพบว่า สามารถระบุเฟสที่เกิดฟ้าผ่า พอลต์หนึ่งเฟสลงดินและพอลต์ระหว่างเฟสได้ถูกต้อง 100% แต่มีความคลาดเคลื่อนในการระบุเฟสของพอลต์ระหว่างเฟสลงดินจำนวน 3 กรณี โดยเกิดที่เฟสและมุมแรงดันเดียวกับความผิดปกติก่อนหน้านี้ เนื่องจากสัมประสิทธิ์เฟสที่เกิดพอลต์มีขนาดน้อยกว่าเฟสที่ไม่เกิดพอลต์ ส่งผลให้ขนาดสัมประสิทธิ์ต่ำกว่าเกณฑ์ตัดสิน จึงทำให้อัลกอริทึมตัดสินว่าเฟสดังกล่าวไม่เกิดพอลต์ และขนาดสัมประสิทธิ์เฟสที่ไม่เกิดพอลต์มีขนาดเพิ่มขึ้น ซึ่งมากกว่าเกณฑ์ตัดสิน จึงตัดสินว่าเฟสดังกล่าวเกิดพอลต์แทน ทำให้การระบุเฟสของทั้งสามกรณีคลาดเคลื่อน

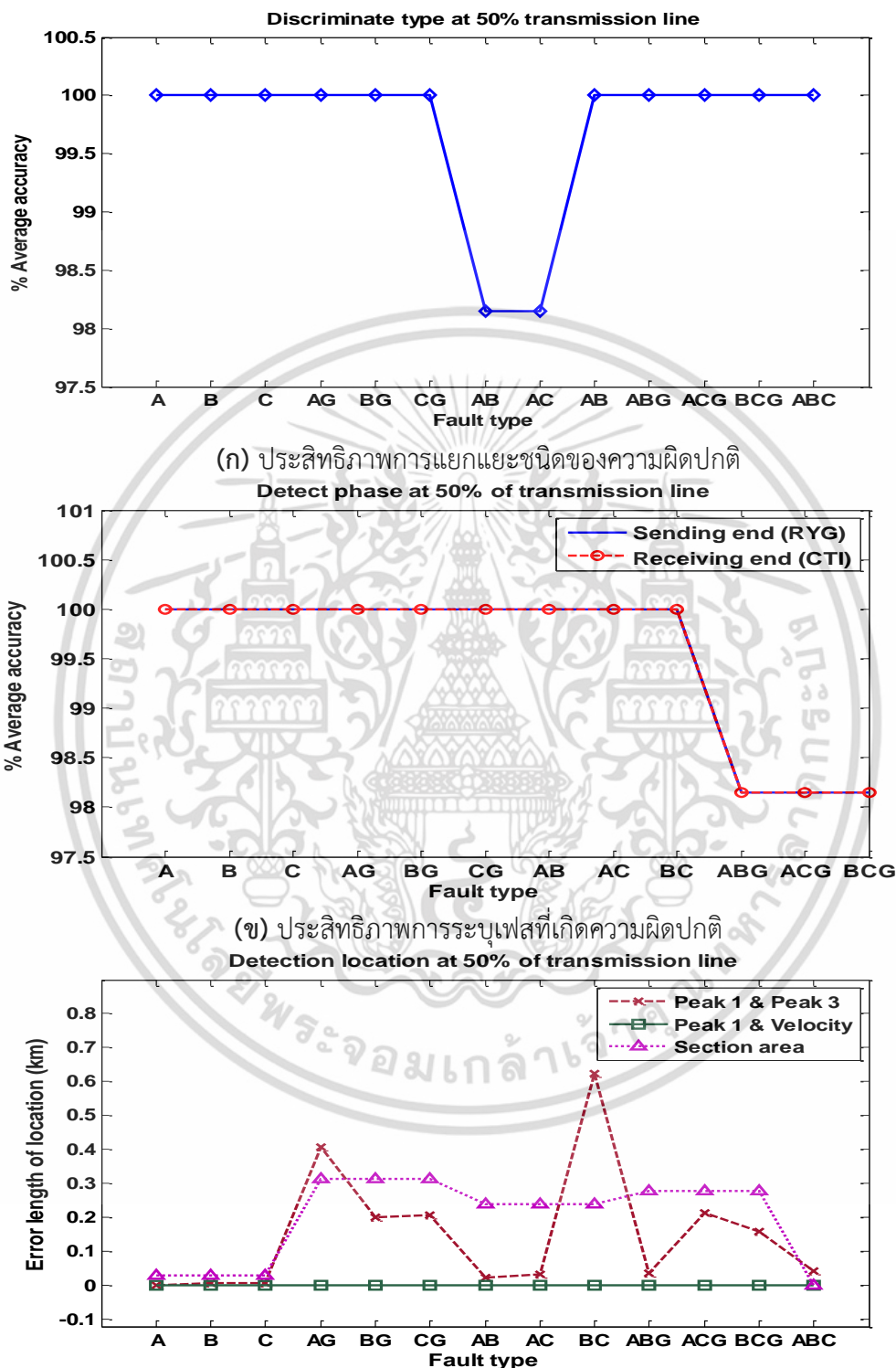
พิจารณารูปที่ 4.12(ค) ด้านประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยทำการระบุตำแหน่งความผิดปกติโดยอาศัยวิธีที่แตกต่างกัน 3 วิธี เมื่อทำการวิเคราะห์แต่ละวิธีพบว่า

วิธีการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยอาศัยเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 มีความคลาดเคลื่อนมากกว่าวิธีอื่น ๆ โดยเกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุดที่พอลต์ระหว่างเฟสลงดิน พอลต์ระหว่างเฟสและพอลต์หนึ่งเฟสลงดินตามลำดับ และความผิดปกติเนื่องจากฟ้าผ่ามีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งน้อยที่สุด แนวโน้มความคลาดเคลื่อนมีสาเหตุจากค่าเวลาที่ตรวจวัดคลื่นลำดับที่ 3 เช่นเดียวกับกรณีความผิดปกติที่ตำแหน่งต่าง ๆ ก่อนหน้า โดยขนาดสัมประสิทธิ์ของคลื่นเนื่องจากฟ้าผ่ามีขนาดมากกว่าพอลต์ ดังนั้นขนาดคลื่นลำดับที่ 3 ของฟ้าผ่าจึงมีขนาดมากกว่าพอลต์ ทำให้สังเกตเห็นได้ชัดเจนมากขึ้น ค่าเวลาที่ตรวจวัดและความถูกต้องทางตำแหน่งจึงเพิ่มขึ้น

วิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทางพบว่า สามารถระบุตำแหน่งได้แม่นยำมากกว่าวิธีอื่น ๆ ที่นำเสนอ โดยตำแหน่งที่ระบุได้มีค่าใกล้เคียงกันแม้มีการเปลี่ยนแปลงชนิดความผิดปกติและมุมแรงดัน เนื่องจากความถูกต้องทางตำแหน่งของวิธีนี้ขึ้นอยู่กับค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 เท่านั้น ความเร็วของคลื่นถูกกำหนดให้คงที่

วิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจวัดพบว่า ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับวิธีการระบุตำแหน่ง โดยอาศัยเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 แต่มีขนาดน้อยกว่า เนื่องจากการติดตั้งเซนเซอร์ทำให้ระยะทางการเดินทางของคลื่นลดลง ค่าเวลาที่ตรวจวัดจึงมีความถูกต้องมากขึ้น นอกจากนี้ความเร็วของคลื่นเดินทางยังแปรตามค่าเวลาที่ตรวจวัดได้ ดังนั้นจึงทำให้สามารถระบุตำแหน่งได้ถูกต้องมากขึ้น

4.4.5 วิเคราะห์ที่ตำแหน่ง 50% ของความยาวสายส่งหรือที่ระยะทาง 44.25 กิโลเมตรอ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)



(ก) ประสิทธิภาพการแยกแยะชนิดของความผิดปกติ

(ข) ประสิทธิภาพการระบุเฟสที่เกิดความผิดปกติ

(ค) ประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ

รูปที่ 4.13 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่ง 50% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์ในรูปที่ 4.13 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังต่อไปนี้

พิจารณารูปที่ 4.13(ก) ด้านประสิทธิภาพการแยกแยะชนิดความผิดปกติ ทำการแยกชนิดของความผิดปกติที่เกิดจากฟ้าผ่า พอลต์ระหว่างเฟส พอลต์ระหว่างเฟสลงดินและพอลต์สามเฟสผลพบว่า สามารถแยกแยะความผิดปกติของฟ้าผ่า พอลต์หนึ่งเฟสลงดิน พอลต์ระหว่างเฟสลงดินได้ถูกต้อง 100% แต่เกิดความคลาดเคลื่อนในการแยกแยะพอลต์ระหว่างเฟสที่เฟส AB และเฟส AC เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์กระแสลำดับศูนย์ของพอลต์สองกรณีนี้มีขนาดมากกว่า 0.00153 ดังนั้นจึงทำให้อัลกอริทึมแยกแยะคลาดเคลื่อนเป็นพอลต์ระหว่างเฟสลงดินแทนที่จะเป็นพอลต์ระหว่างเฟส

พิจารณารูปที่ 4.13(ข) ด้านประสิทธิภาพการระบุเฟสที่เกิดความผิดปกติพบว่า สามารถระบุเฟสที่เกิดฟ้าผ่าและพอลต์ชนิดต่าง ๆ ได้ถูกต้อง 100% ทั้งหมดยกเว้นความผิดปกติของพอลต์ระหว่างเฟสลงดิน โดยเกิดความคลาดเคลื่อนทั้งสามเฟสที่มุมแรงดัน 30, 90 และ 150 องศา เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์แต่ละเฟสของกรณีพอลต์ดังกล่าวมีขนาดแตกต่างจากพอลต์ชนิดอื่นคือ เกิดการลัดวงจรของสายส่งไฟฟ้าพร้อมกันสองเส้น แต่ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดเกิดขึ้นทุกเฟสโดยมีขนาดต่างกัน ที่บางมุมแรงดันที่เกิดพอลต์ ขนาดสัมประสิทธิ์ของเฟสที่ไม่เกิดพอลต์มีขนาดมากกว่าเฟสที่เกิดพอลต์ ดังเช่นกรณีคลาดเคลื่อนทั้งสามนี้ ส่งผลให้อัลกอริทึมระบุเฟสคลาดเคลื่อน

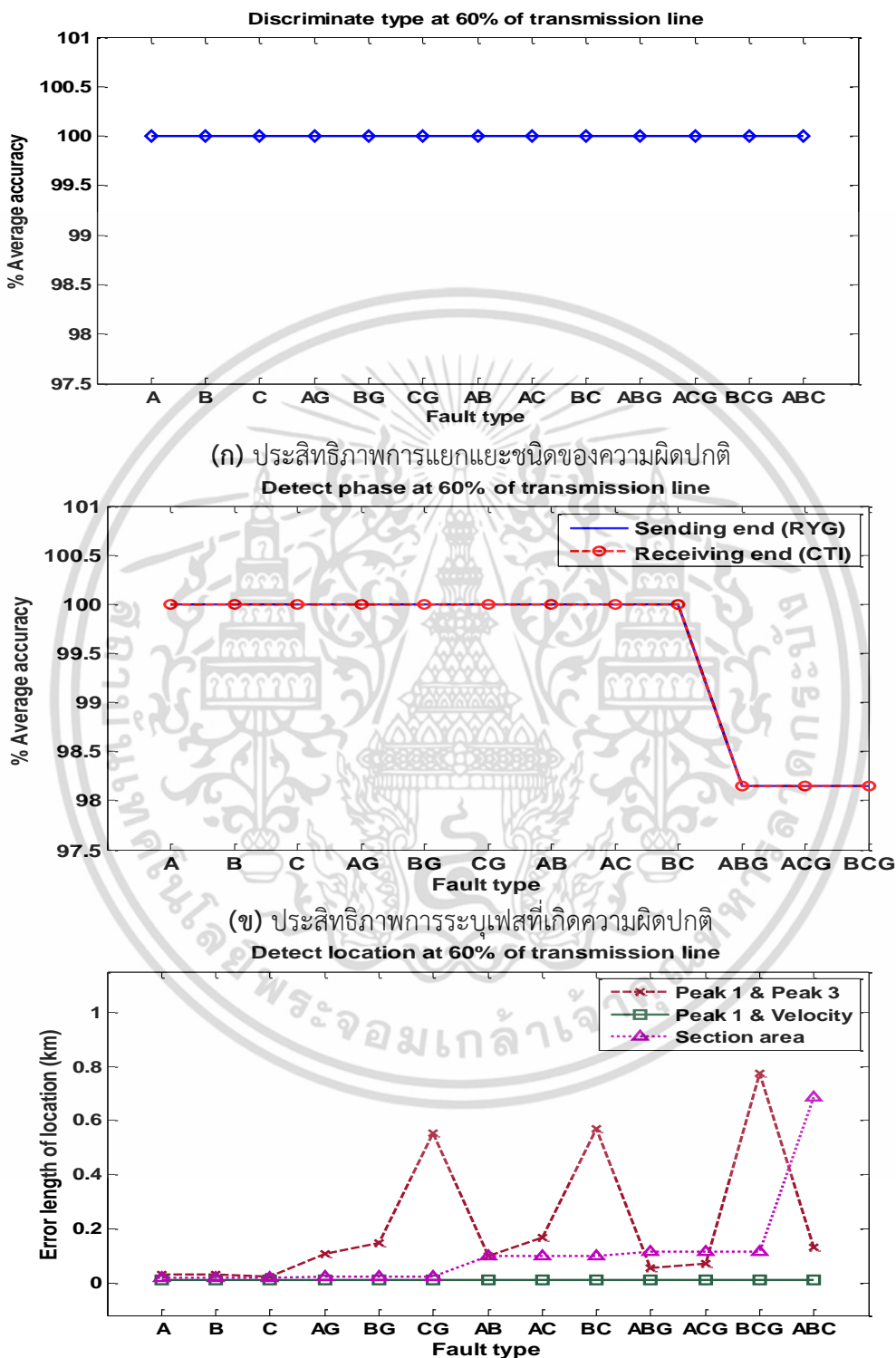
พิจารณารูปที่ 4.13(ค) ด้านประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยทำการระบุตำแหน่งความผิดปกติโดยอาศัยวิธีที่แตกต่างกัน 3 วิธี เมื่อทำการวิเคราะห์แต่ละวิธีพบว่า

วิธีการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยอาศัยเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 พบว่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งขึ้นอยู่กับชนิดของความผิดปกติ โดยพอลต์ระหว่างเฟสมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าพอลต์หนึ่งเฟสลงดินและพอลต์ระหว่างเฟสตามลำดับ พอลต์สามเฟสและฟ้าผ่ามีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์ของฟ้าผ่าและพอลต์สามเฟสมากกว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ที่มากกว่าทำให้สามารถตรวจวัดค่าเวลา ณ ตำแหน่งที่เกิดสัมประสิทธิ์สูงสุดลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ง่ายและชัดเจนมากกว่า เมื่อค่าเวลาที่ตรวจวัดถูกต้องมาก ตำแหน่งที่ระบุได้ย่อมถูกต้องมากขึ้นตาม เพราะวิธีระบุตำแหน่งนี้อาศัยเพียงค่าเวลาในการวิเคราะห์เท่านั้น

วิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทางพบว่า ตำแหน่งที่ระบุค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากวิธีนี้อาศัยค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และความเร็วคลื่นเดินทางที่มีขนาดคงที่ในการวิเคราะห์ ค่าเวลาของคลื่นแปรตามระยะทางที่เดินทางเท่านั้น ชนิดความผิดปกติและมุมแรงดันที่แตกต่างกันไม่ส่งผลให้ค่าเวลาเปลี่ยนแปลง

วิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจวัดพบว่า การระบุตำแหน่งของพอลต์มีความคลาดเคลื่อนมากกว่าฟ้าผ่า ซึ่งฟ้าผ่ามีขนาดสัมประสิทธิ์มากกว่าพอลต์ดังกล่าวก่อนหน้า ส่งผลให้ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งน้อยดังกล่าวไปก่อนหน้า แต่เมื่อพิจารณาความคลาดเคลื่อนของพอลต์พบว่า พอลต์สามเฟสมีความคลาดเคลื่อนน้อยมากเมื่อเทียบกับพอลต์ชนิดอื่น ๆ เพราะขนาดสัมประสิทธิ์มากกว่าเช่นเดียวกับฟ้าผ่า กรณีพอลต์หนึ่งเฟสลงดิน พอลต์ระหว่างเฟสและพอลต์ระหว่างเฟสลงดินมีความคลาดเคลื่อนขึ้นเนื่องจากค่าเวลาลำดับที่ 2 ที่ตรวจวัดจากเซนเซอร์ ค่าเวลาลำดับที่ 2 มีคุณลักษณะคล้ายคลึงกับคลื่นลำดับที่ 3 เนื่องจากเป็นคลื่นที่เกิดจากการสะท้อนไปและกลับมายังจุดเดิมส่งผลให้ระดับพลังงานสะสมเมื่อเกิดพอลต์ลดลง ส่งผลให้ขนาดสัมประสิทธิ์ลดลง ทำให้ความชัดเจนของเวลาที่เกิดสัมประสิทธิ์ลดลง ความถูกต้องของตำแหน่งจึงลดลงตาม

4.4.6 วิเคราะห์ที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งหรือที่ระยะทาง 53.1 กิโลเมตรอ้างอิง จากสถานีส่ง (RYG)



(ค) ประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ  
รูปที่ 4.14 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์ในรูปที่ 4.14 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังต่อไปนี้

พิจารณารูปที่ 4.14(ก) ด้านประสิทธิภาพการแยกแยะชนิดความผิดปกติ ทำการแยกชนิดของความผิดปกติที่เกิดจากฟ้าผ่า พอลต์ระหว่างเฟส พอลต์ระหว่างเฟสลงดินและพอลต์สามเฟสผลพบว่าสามารถแยกแยะชนิดความผิดปกติฟ้าผ่าและพอลต์ชนิดต่าง ๆ ได้ถูกต้อง 100% เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์ของความผิดปกติแต่ละชนิดต่างกัน อีกทั้งขนาดสัมประสิทธิ์กระแสลำดับศูนย์ที่ใช้ในการแยกแยะพอลต์ลัดวงจรลงดินยังอยู่ในเกณฑ์ คือพอลต์หนึ่งเฟสลงดินและพอลต์ระหว่างเฟสลงดิน เกิดการลัดวงจรกระแสไฟฟ้าลงสู่ดิน จึงเกิดขนาดสัมประสิทธิ์กระแสลำดับศูนย์ พอลต์ระหว่างเฟสไม่มีการลัดวงจรลงสู่ดิน จึงไม่เกิดขนาดสัมประสิทธิ์กระแสลำดับศูนย์

พิจารณารูปที่ 4.14(ข) ด้านประสิทธิภาพการระบุเฟสที่เกิดความผิดปกติพบว่า ความถูกต้องของการระบุเฟสมีแนวโน้มเช่นเดียวกับกรณีความผิดปกติที่ตำแหน่งต่าง ๆ ก่อนหน้า คือความผิดปกติทุกชนิดระบุเฟสได้ถูกต้อง 100% ยกเว้นความผิดปกติเนื่องจากพอลต์ระหว่างเฟสลงดิน โดยกรณีดังกล่าวเกิดความคลาดเคลื่อนที่มุมแรงดัน 30, 90 และ 150 องศาที่เฟส AB เฟส AC และเฟส BC เช่นเดิม เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์เฟสที่เกิดพอลต์มีขนาดลดลงหนึ่งเฟสและเฟสที่ไม่เกิดพอลต์มีขนาดสัมประสิทธิ์มากขึ้นแทน ขนาดสัมประสิทธิ์ของเฟสที่ไม่เกิดพอลต์เพิ่มขึ้นเกินเกณฑ์ที่กำหนด ทำให้อัลกอริทึมระบุเฟสตัดสินคลาดเคลื่อนว่าเฟสดังกล่าวเกิดพอลต์

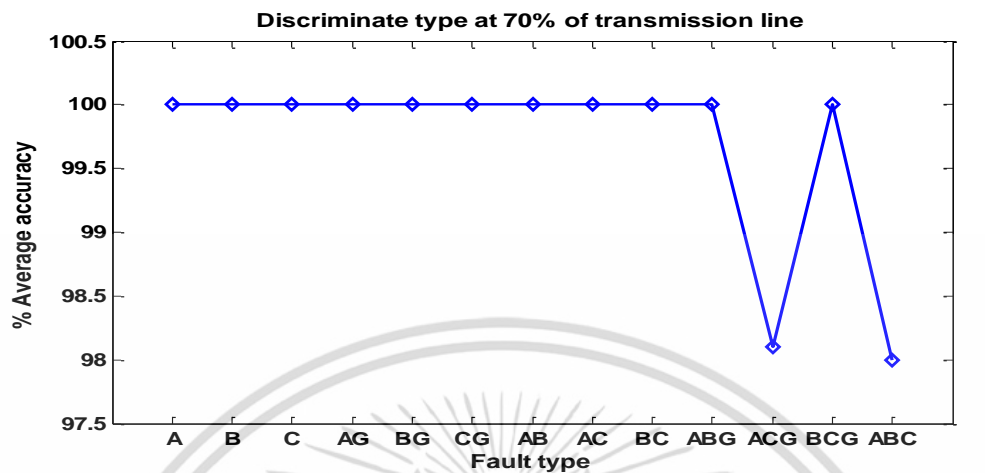
พิจารณารูปที่ 4.14(ค) ด้านประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยทำการระบุตำแหน่งความผิดปกติโดยอาศัยวิธีที่แตกต่างกัน 3 วิธี เมื่อทำการวิเคราะห์แต่ละวิธีพบว่า

วิธีการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยอาศัยเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 พบว่า มีความคลาดเคลื่อนมากกว่าวิธีอื่น ๆ เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนของเวลา ความถูกต้องของค่าเวลาขึ้นอยู่กับขนาดสัมประสิทธิ์ของคลื่น ดังเช่นกรณีเมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่งมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าพอลต์ชนิดต่าง ๆ และพอลต์สามเฟสมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับพอลต์ชนิดอื่น ๆ ความคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่าเป็นผลเนื่องจากฟ้าผ่ามีขนาดสัมประสิทธิ์มากกว่าพอลต์ พอลต์สามเฟสมีขนาดสัมประสิทธิ์มากกว่าพอลต์ชนิดอื่น ๆ ส่งผลให้สามารถตรวจวัดค่าเวลาที่เกิดคลื่นลำดับต่าง ๆ ได้ชัดเจนมากขึ้น ความถูกต้องของตำแหน่งจึงมากขึ้น

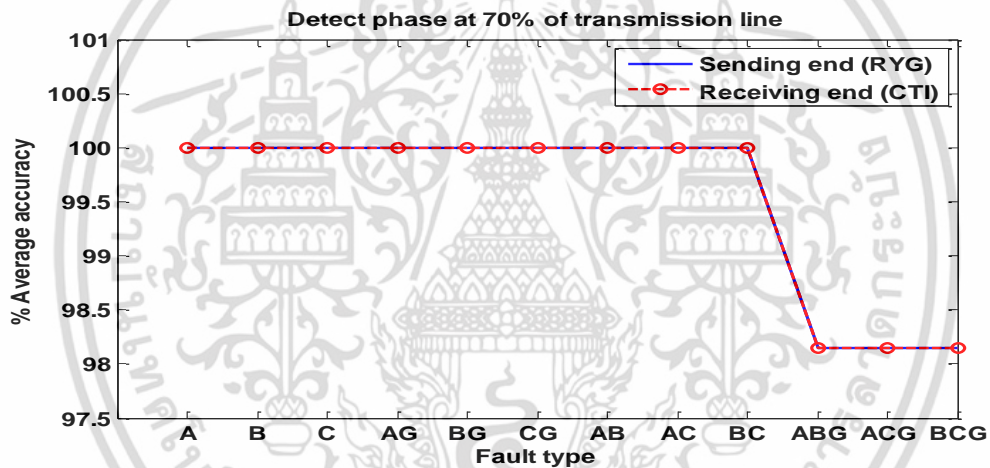
วิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทางพบว่า มีแนวโน้มเช่นเดียวกับความผิดปกติที่ตำแหน่งต่าง ๆ ก่อนหน้า เนื่องจากตำแหน่งของวิธีการนี้ขึ้นอยู่กับค่าเวลาลำดับที่ 1 เท่านั้น ค่าความเร็วคลื่นเดินทางคงที่ ดังนั้นหากค่าเวลาที่เกิดคลื่นลำดับ 1 ใกล้เคียงกัน ตำแหน่งที่ระบุได้ย่อมใกล้เคียง จากการศึกษาคุณลักษณะของคลื่นเดินทางลำดับต่าง ๆ ในบทก่อนหน้าพบว่าค่าเวลาของคลื่นแปรตามระยะทางที่คลื่นเดินทางเท่านั้น ชนิดความผิดปกติและมุมแรงดันไม่มีผลต่อเวลาของ ดังนั้นตำแหน่งของความผิดปกติชนิดต่าง ๆ จึงสามารถระบุได้ใกล้เคียงกันดังแสดงในรูปที่ 4.14(ค)

วิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจวัดพบว่า พอลต์สามเฟสเกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุดและฟ้าผ่าเกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยความคลาดเคลื่อนของพอลต์สามเฟสเกิดจากค่าเวลาของคลื่นที่ตรวจวัดได้และความเร็วคลื่นเดินทาง จากข้อกำหนดของวิธีการระบุนี้ วิเคราะห์ได้ว่าตำแหน่งความผิดปกติ 60% ของความยาวสายส่งคือการเกิดความผิดปกติในพื้นที่ส่วน 2 สมการการประมาณค่าความเร็วคลื่นเดินทางและการระบุตำแหน่งขึ้นอยู่กับค่าเวลาลำดับที่ 1 และลำดับที่ 2 ของเซนเซอร์ทั้งสอง ซึ่งคลื่นลำดับที่ 2 มีขนาดเล็กและตรวจวัดไม่ชัดเจนเช่นเดียวกับคลื่นลำดับที่ 3 ที่ตรวจวัดได้จากปลายสายส่งทั้งสองด้าน ดังนั้นจึงส่งผลให้ตำแหน่งที่ระบุได้มีความคลาดเคลื่อนตาม

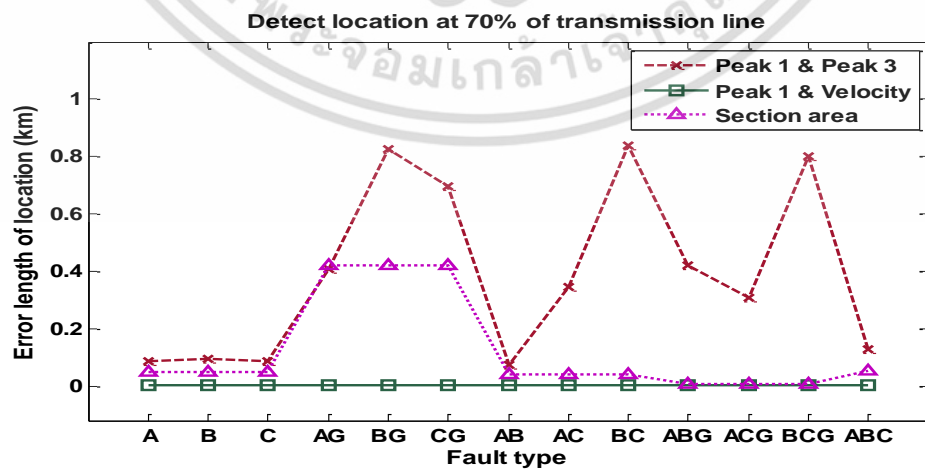
4.4.7 วิเคราะห์ที่ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่งหรือที่ระยะทาง 61.95 กิโลเมตรอ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)



(ก) ประสิทธิภาพการแยกแยะชนิดของความผิดปกติ



(ข) ประสิทธิภาพการระบุเฟสที่เกิดความผิดปกติ



(ค) ประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ

รูปที่ 4.15 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์ในรูปที่ 4.15 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังต่อไปนี้

พิจารณารูปที่ 4.15(ก) ด้านประสิทธิภาพการแยกแยะชนิดความผิดปกติพบว่า สามารถจำแนกความผิดปกติชนิดต่าง ๆ ได้ถูกต้อง 100% ยกเว้นฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินและฟอลต์สามเฟส โดยฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินเกิดความคลาดเคลื่อนที่เฟส AC เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์กระแสลำดับศูนย์มีค่าเท่ากับ 0.00151 ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ตัดสินว่าเกิดการลัดวงจรลงดิน ดังนั้นจึงทำให้การจำแนกคลาดเคลื่อนเป็นฟอลต์ระหว่างเฟสแทนฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน แต่เมื่อพิจารณาขนาดพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์กระแสลำดับศูนย์ที่เกิดขึ้นมีขนาดน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดเพียง  $2 \times 10^{-5}$  เท่านั้น ซึ่งมีขนาดน้อยมากเกิดการคลาดเคลื่อนเนื่องจากกระบวนการคำนวณของเลขทศนิยม

เมื่อพิจารณาฟอลต์สามเฟสพบว่า ความถูกต้องของการจำแนกเท่ากับ 98.14% สาเหตุจากขนาดสัมประสิทธิ์ลดลงเนื่องจากตำแหน่งฟอลต์เกิดใกล้สถานีส่งจ่าย ทำให้ขนาดอิมพีแดนซ์เพิ่มขึ้นกระแสไฟฟ้าจึงมีแนวโน้มลดลง ส่งผลให้สัมประสิทธิ์ของฟอลต์สามเฟสที่เกิดใกล้สถานีส่งจ่ายมีขนาดใกล้เคียงกับสัมประสิทธิ์ของฟอลต์ระหว่างเฟสที่เกิดขึ้นในตำแหน่งใกล้สถานีส่งจ่าย ดังนั้นจึงส่งผลให้อัลกอริทึมวิเคราะห์คลาดเคลื่อน

พิจารณารูปที่ 4.15(ข) ด้านประสิทธิภาพการระบุเฟสที่เกิดความผิดปกติพบว่า เกิดความคลาดเคลื่อนที่ฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินเช่นเดียวกับกรณีก่อนหน้า เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์แต่ละเฟสมีการเปลี่ยนแปลงไม่เท่ากัน โดยคุณลักษณะปกติแต่ละเฟสของฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินมีขนาดที่แตกต่างกันทั้งสามเฟส โดยเฟสที่เกิดฟอลต์มีขนาดมากกว่าเฟสที่ไม่เกิดฟอลต์ แต่กรณีคลาดเคลื่อนนี้เฟสที่ไม่เกิดฟอลต์มีขนาดสัมประสิทธิ์เท่ากับ 1 เฟสที่เกิดฟอลต์และอีกหนึ่งเฟสที่เกิดฟอลต์มีขนาดสัมประสิทธิ์ต่ำมาก ทำให้อัลกอริทึมระบุเฟสวิเคราะห์คลาดเคลื่อน

พิจารณารูปที่ 4.15(ค) ด้านประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยทำการระบุตำแหน่งความผิดปกติโดยอาศัยวิธีที่แตกต่างกัน 3 วิธี เมื่อทำการวิเคราะห์แต่ละวิธีพบว่า

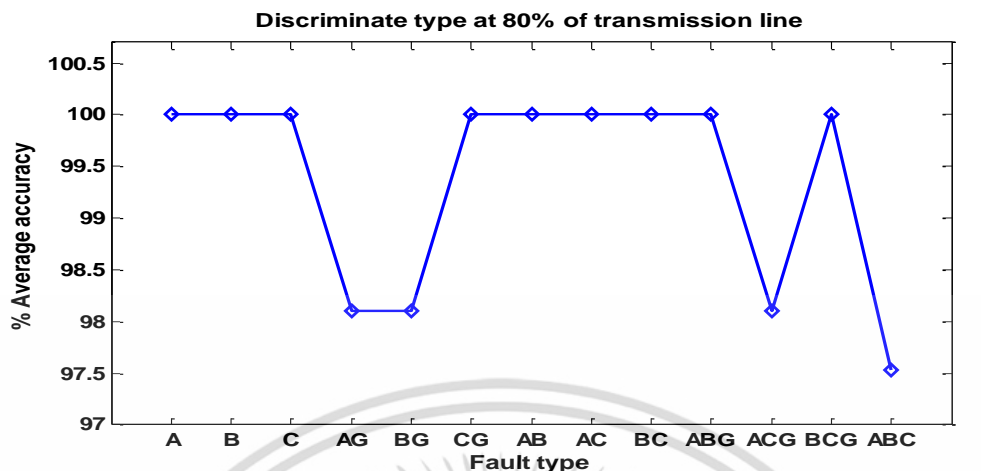
วิธีการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยอาศัยเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 พบว่าเกิดความคลาดเคลื่อนมากกว่าวิธีอื่น ๆ ที่นำเสนอ โดยเกิดความคลาดเคลื่อนของฟอลต์มากกว่าฟ้าผ่า เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์ของฟ้าผ่าแตกต่างกับฟอลต์ เมื่อเกิดฟ้าผ่า กระแสไฟฟ้าภายในระบบไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงมาก ส่งผลให้ขนาดสัมประสิทธิ์เกิดขึ้นมาก เป็นผลให้ขนาดสัมประสิทธิ์ของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 มากเช่นเดียวกัน ทำให้สามารถตรวจพบคลื่นทั้งสองได้ชัดเจนและแม่นยำมากกว่า การระบุตำแหน่งจึงมีความแม่นยำมากกว่า เมื่อพิจารณาฟอลต์ในลักษณะเดียวกันพบว่า ฟอลต์สามเฟสถูกต้องมากกว่าฟอลต์ชนิดอื่น ๆ เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์มากกว่า สามารถตรวจจับค่าเวลาของคลื่นได้ชัดเจน จึงสามารถระบุตำแหน่งได้แม่นยำมากกว่า

วิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทางพบว่า มีความถูกต้องทางตำแหน่งสูงกว่าวิธีนำเสนออื่น ๆ เนื่องจากทำการระบุตำแหน่งโดยอาศัยค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 ซึ่งมีขนาดมากตรวจวัดได้ชัดเจน อีกทั้งตำแหน่งที่ระบุได้ของความผิดปกติชนิดต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน เนื่องจากเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่งเดียวกัน ระยะทางการเดินทางของคลื่นความผิดปกติชนิดต่าง ๆ มายังปลายทางส่งเท่ากัน ดังนั้นค่าเวลาที่ใช้ในการคำนวณเท่ากัน ตำแหน่งที่ระบุได้ย่อมมีขนาดเท่ากัน

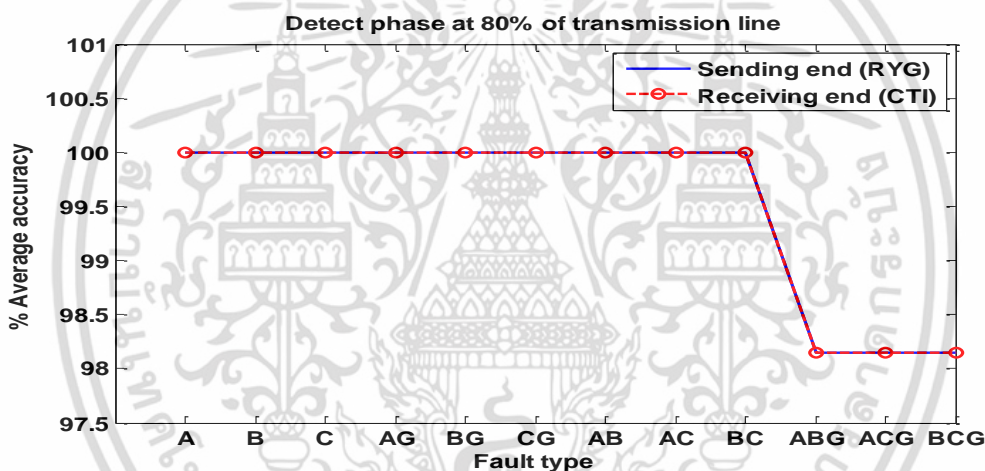
วิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจวัดพบว่า มีประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งใกล้เคียงกับวิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทางก่อนหน้า แต่เกิดความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นที่ฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน สาเหตุเกิดจากค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 2 ที่ตรวจวัดจากเซนเซอร์ B คลาดเคลื่อน เนื่องจากคลื่นดังกล่าวมีขนาดเล็กตรวจวัดได้ยากดังกล่าวไปก่อนหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

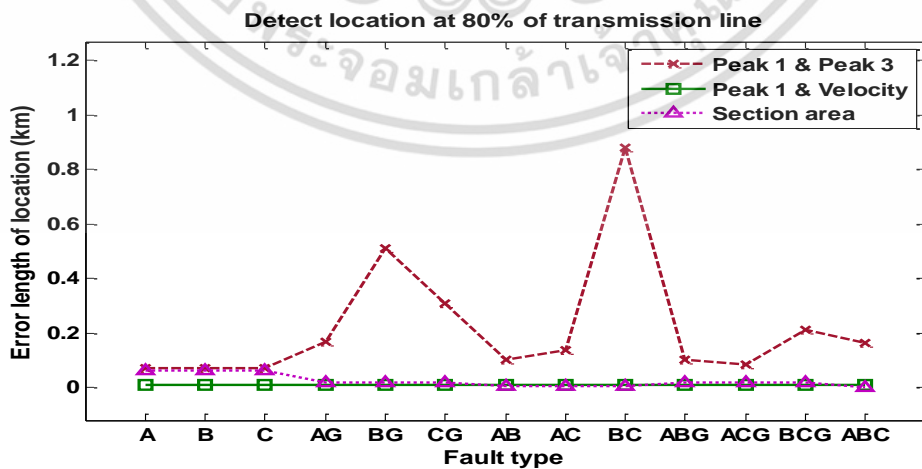
4.4.8 วิเคราะห์ที่ตำแหน่ง 80% ของความยาวสายส่งหรือที่ระยะทาง 70.8 กิโลเมตรอ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)



(ก) ประสิทธิภาพการแยกแยะชนิดของความผิดปกติ



(ข) ประสิทธิภาพการระบุเฟสที่เกิดความผิดปกติ



(ค) ประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ

รูปที่ 4.16 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่ง 80% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์ในรูปที่ 4.16 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังต่อไปนี้

พิจารณารูปที่ 4.16(ก) ด้านประสิทธิภาพการแยกแยะชนิดความผิดปกติพบว่า เกิดความคลาดเคลื่อนที่พอลต์หนึ่งเฟสลงดิน พอลต์ระหว่างเฟสลงดินและพอลต์สามเฟส โดยพอลต์หนึ่งเฟสลงดินและพอลต์ระหว่างเฟสลงดินมีความถูกต้องการจำแนกเท่ากับ 98.14% โดยความผิดปกติทั้งสองชนิดนี้เกิดการลัดวงจรลงดิน ดังนั้นจึงควรเกิดขนาดสัมประสิทธิ์กระแสลำดับศูนย์ แต่กรณีคลาดเคลื่อนนี้ขนาดสัมประสิทธิ์กระแสลำดับศูนย์มีขนาดน้อยกว่าเกณฑ์อ้างอิง หรือที่ 0.00153 ดังนั้นจึงทำให้อัลกอริทึมวิเคราะห์กรณีคลาดเคลื่อนเหล่านี้ว่าพอลต์ที่ไม่มีการลัดวงจรลงดินแทน แต่เมื่อพิจารณาขนาดกระแสลำดับศูนย์พบว่า ขนาดเฉลี่ยกระแสลำดับศูนย์ของกรณีพอลต์ระหว่างเฟสลงดินเท่ากับ 0.00151 และขนาดเฉลี่ยกระแสลำดับศูนย์ของพอลต์หนึ่งเฟสลงดินเท่ากับ 0.00137 ซึ่งมีขนาดน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดเพียง  $2 \times 10^{-5}$  และ  $1.6 \times 10^{-4}$  ตามลำดับเท่านั้น ความคลาดเคลื่อนนี้มีสาเหตุเนื่องจากการคำนวณเลขทศนิยมและเมื่อพิจารณาพอลต์เฟสพบว่า มีความถูกต้องการจำแนกเท่ากับ 97.53% เนื่องจากตำแหน่งที่เกิดพอลต์อยู่ใกล้สถานีส่งจ่าย (สถานีอ้างอิง) ส่งผลให้อิมพีแดนซ์เพิ่มขึ้นขนาดกระแสไฟฟ้าลดลง ขนาดสัมประสิทธิ์แต่ละเฟสจึงลดลงตาม ทำให้มีขนาดใกล้เคียงกับสัมประสิทธิ์แต่ละเฟสของกรณีพอลต์ระหว่างเฟสที่อยู่ใกล้กับสถานีส่งจ่าย อัลกอริทึมที่นำเสนอจึงวิเคราะห์คลาดเคลื่อน

พิจารณารูปที่ 4.16(ข) ด้านประสิทธิภาพการระบุเฟสที่เกิดความผิดปกติพบว่า ประสิทธิภาพการระบุเฟสที่เกิดฟ้าผ่ามีลักษณะเช่นเดียวกับความผิดปกติก่อนหน้า โดยเกิดความคลาดเคลื่อนที่พอลต์ระหว่างเฟสลงดิน มุมแรงดัน 30, 90 และ 150 องศา เนื่องจากที่มุมแรงดันดังกล่าว ขนาดสัมประสิทธิ์เฟสที่เกิดพอลต์มีขนาดลดต่ำลง 1 เฟสและเฟสที่ไม่เกิดพอลต์มีขนาดสัมประสิทธิ์เพิ่มขึ้นแทน ส่งผลให้อัลกอริทึมที่นำเสนอวิเคราะห์คลาดเคลื่อน

พิจารณารูปที่ 4.16(ค) ด้านประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยทำการระบุตำแหน่งความผิดปกติโดยอาศัยวิธีที่แตกต่างกัน 3 วิธี เมื่อทำการวิเคราะห์แต่ละวิธีพบว่า

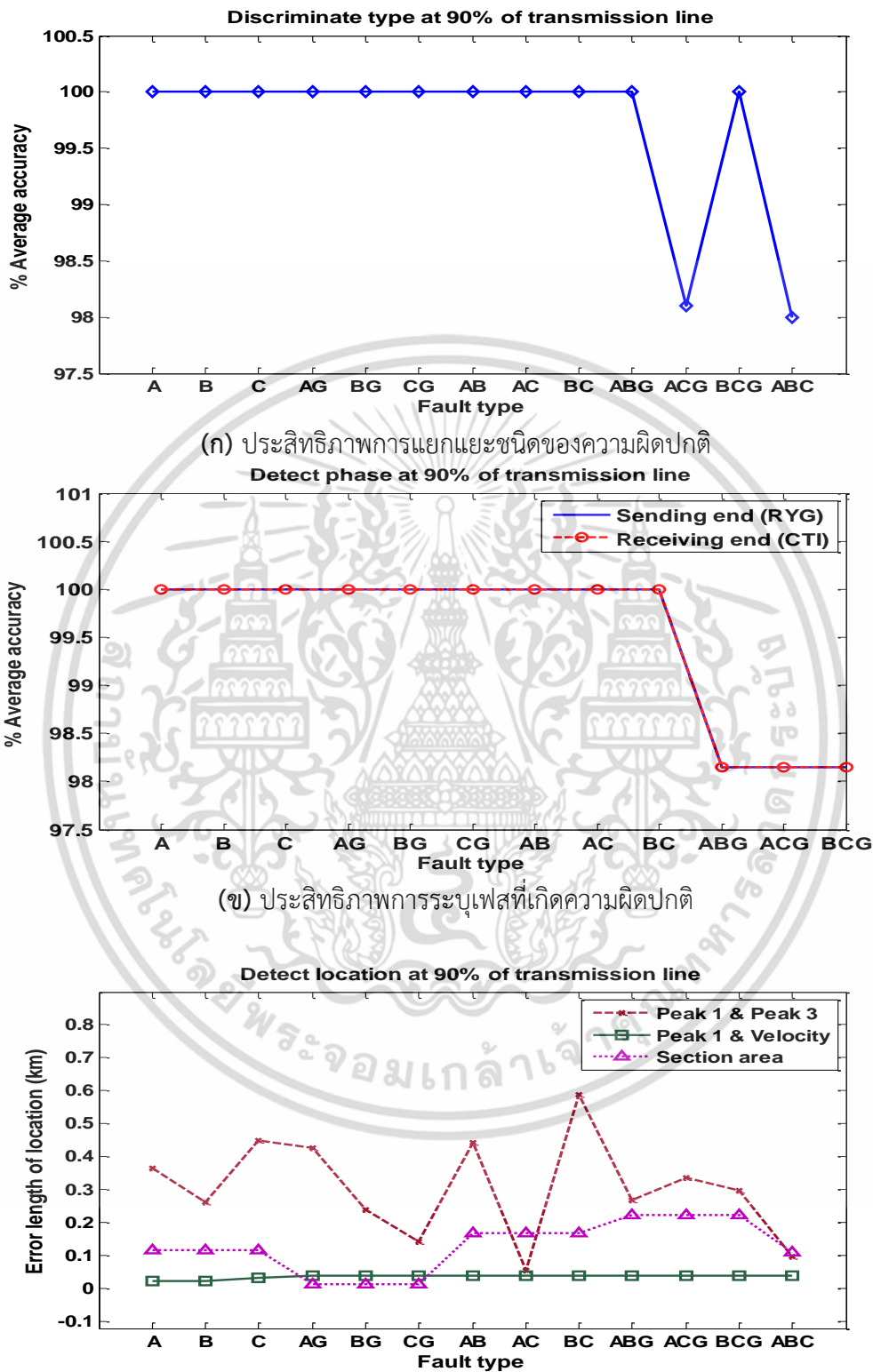
วิธีการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยอาศัยเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 พบว่า มีความคลาดเคลื่อนมากกว่าวิธีอื่น ๆ ที่นำเสนอ โดยเกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุดที่พอลต์ระหว่างเฟส พอลต์หนึ่งเฟสลงดิน พอลต์ระหว่างเฟสลงดิน พอลต์สามเฟสและฟ้าผ่าตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนของวิธีการระบุตำแหน่งนี้เกิดจากค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 3 ตรวจวัดคลาดเคลื่อน คลื่นดังกล่าวเกิดการสะท้อนไปและกลับในสายส่งด้วยระยะทางที่มากกว่าคลื่นลำดับที่ 1 ส่งผลให้พลังงานสะสมน้อยกว่า ขนาดคลื่นซึ่งแปรตามระดับพลังงานจึงลดลง ทำให้ตรวจวัดไม่ชัดเจน

วิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทางพบว่า มีความแม่นยำมากกว่าวิธีอื่น ๆ เนื่องจากวิธีดังกล่าวคำนวณตำแหน่งโดยอาศัยค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 เท่านั้น จึงไม่ได้รับผลคลาดเคลื่อนของคลื่นลำดับที่ 3 อีกทั้งความเร็วคลื่นเดินทางยังมีขนาดคงที่ ทำให้ตำแหน่งความผิดปกติชนิดต่าง ๆ ระบุได้ใกล้เคียงกัน

วิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจวัดพบว่า มีประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งใกล้เคียงกับวิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทาง แต่เกิดความคลาดเคลื่อนมากกว่าเล็กน้อยที่กรณีความผิดปกติฟ้าผ่า ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีสาเหตุเนื่องจากวิธีดังกล่าวคำนวณตำแหน่งโดยอาศัยค่าเวลาของคลื่นสะท้อนเช่นเดียวกับวิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 แต่มีความคลาดเคลื่อนทางเวลาน้อยกว่า เนื่องจากมีการติดตั้งเซนเซอร์เพิ่มทำให้ระยะทางการตรวจวัดน้อยลง สามารถตรวจวัดได้ละเอียดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.9 วิเคราะห์ที่ตำแหน่ง 90% ของความยาวสายส่งหรือที่ระยะทาง 79.65 กิโลเมตรอ้างอิงจากสถานีส่ง (RYG)



รูปที่ 4.17 เมื่อเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่ง 90% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์ในรูปที่ 4.17 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังต่อไปนี้

พิจารณารูปที่ 4.17(ก) ด้านประสิทธิภาพการแยกแยะชนิดความผิดปกติ ทำการแยกชนิดของความผิดปกติที่เกิดจากฟ้าผ่า พอลต์ระหว่างเฟส พอลต์ระหว่างเฟสลงดินและพอลต์สามเฟสผลพบว่าสามารถจำแนกความผิดปกติชนิดต่าง ๆ ได้ถูกต้อง 100% ยกเว้นกรณีพอลต์ระหว่างเฟสลงดินและพอลต์สามเฟส โดยความคลาดเคลื่อนกรณีพอลต์ระหว่างเฟสลงดินเกิดจากการคำนวณเลขทศนิยม โดยขนาดสัมประสิทธิ์กระแสลำดับศูนย์มีขนาดน้อยกว่าเกณฑ์ตัดสินการลัดวงจรลงดินเพียง  $2 \times 10^{-5}$  เท่านั้น และพอลต์สามเฟสเกิดความคลาดเคลื่อน เนื่องจากตำแหน่งพอลต์ที่ใกล้สถานีอ้างอิงส่งผลให้อิมพีแดนซ์เพิ่มขึ้น กระแสไฟฟ้าและขนาดสัมประสิทธิ์ลดลง โดยการลดลงของสัมประสิทธิ์แต่ละเฟสมีขนาดใกล้เคียงกับสัมประสิทธิ์ของกรณีพอลต์ระหว่างเฟสที่เกิดที่ตำแหน่งใกล้สายส่ง ดังนั้นจึงทำให้อัลกอริทึมวิเคราะห์ผิดพลาด

พิจารณารูปที่ 4.17(ข) ด้านประสิทธิภาพการระบุเฟสที่เกิดความผิดปกติพบว่า มีแนวโน้มความผิดปกติเกิดขึ้นที่พอลต์ระหว่างเฟสที่มุมแรงดัน 30, 90 และ 150 องศาเช่นเดิม ที่มุมแรงดันดังกล่าวขนาดสัมประสิทธิ์แต่ละเฟสมีการเปลี่ยนแปลง โดยขนาดสัมประสิทธิ์ 1 เฟสที่เกิดพอลต์มีขนาดน้อยและเฟสที่ไม่เกิดพอลต์มีขนาดมาก ทำให้อัลกอริทึมวิเคราะห์หาพอลต์สองเฟสที่มีขนาดมากเป็นเฟสที่เกิดพอลต์

พิจารณารูปที่ 4.17(ค) ด้านประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยทำการระบุตำแหน่งความผิดปกติโดยอาศัยวิธีที่แตกต่างกัน 3 วิธี เมื่อทำการวิเคราะห์แต่ละวิธีพบว่า

วิธีการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยอาศัยเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 มีความคลาดเคลื่อนมากกว่าวิธีอื่น ๆ ที่นำเสนออีกทั้งตำแหน่งความผิดปกติแต่ละชนิดที่ระบุได้ยังแตกต่างกัน ค่าเวลาลำดับที่ 1 ของความผิดปกติชนิดต่าง ๆ มีขนาดใกล้เคียงกันมาก แต่ค่าเวลาลำดับที่ 3 แตกต่างกัน เนื่องจากมีขนาดเล็ก สันเกตยาก ดังนั้นตำแหน่งที่ระบุได้จึงขึ้นอยู่กับค่าเวลาลำดับที่ 3 เป็นหลัก ดังนั้นความถูกต้องของวิธีดังกล่าวจึงขึ้นอยู่กับค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 3

วิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทางพบว่า มีประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งดีกว่าวิธีอื่น ๆ ที่นำเสนอ เนื่องจากพิจารณาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยอาศัยค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 เท่านั้น ไม่คำนึงถึงค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 3 ดังนั้นจึงมีความถูกต้องทางตำแหน่งมากกว่า นอกจากนี้ตำแหน่งความผิดปกติแต่ละชนิดระบุได้ใกล้เคียงกัน เนื่องจากค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 ของความผิดปกติแต่ละชนิดมีขนาดใกล้เคียงกันและความเร็วคลื่นเดินทางคงที่

วิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจวัดพบว่า ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของความผิดปกติแต่ละชนิดแตกต่างกัน โดยพอลต์หนึ่งเฟสมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและพอลต์ระหว่างเฟสลงดินมีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด เมื่อพิจารณาตัวแปรที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของวิธีดังกล่าวนี้พบว่า ค่าวนโดยอาศัยตัวแปรเวลาของคลื่นที่มีการสะท้อนไปและกลับในสายส่ง เช่นเดียวกับคลื่นลำดับที่ 3 ดังนั้นจึงได้รับผลกระทบความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเวลานี้ แต่มีขนาดน้อยกว่า เนื่องจากการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดเวลา ทำให้ขอบเขตการตรวจวัดแคบลง สามารถตรวจวัดละเอียดขึ้น ค่าเวลาของคลื่นสะท้อนจากเซนเซอร์จึงมีความถูกต้องมากกว่าการตรวจจับที่ปลายสายส่ง

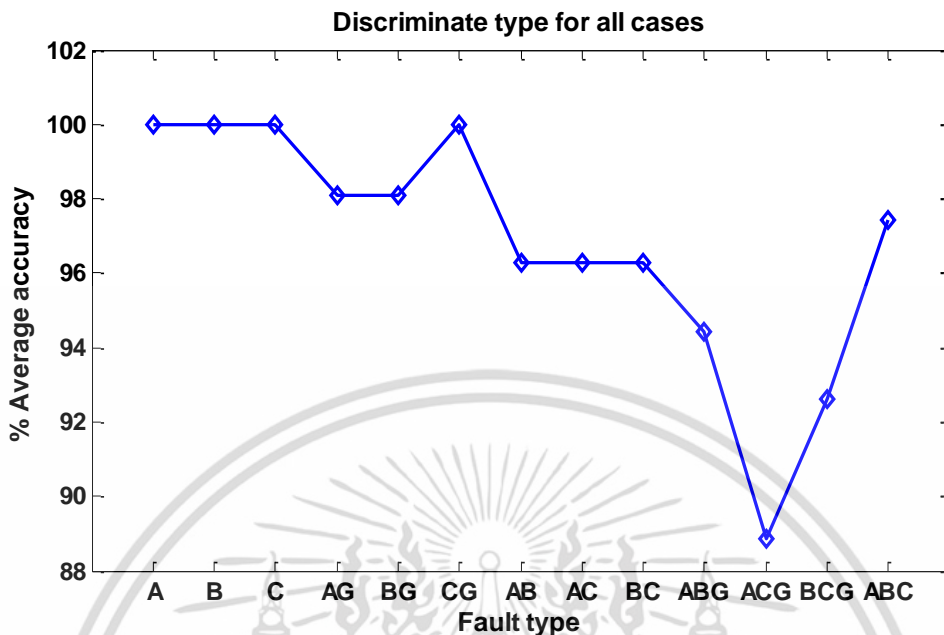
#### 4.5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

หลังจากวิเคราะห์คุณลักษณะความถูกต้องของความผิดปกติแต่ละตำแหน่งแล้ว ในหัวข้อต่อไปนี้จะทำการสรุปประสิทธิภาพในจำแนกชนิดและการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติของอัลกอริทึมที่นำเสนอ

ผลการการจำแนกชนิดความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า จำนวน 702 เหตุการณ์ประกอบด้วย

1. กรณีฟ้าผ่า
  - เกิดที่เฟส A จำนวน 54 เหตุการณ์
  - เกิดที่เฟส B จำนวน 54 เหตุการณ์
  - เกิดที่เฟส C จำนวน 54 เหตุการณ์
2. กรณีฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน
  - เกิดที่เฟส A จำนวน 54 เหตุการณ์
  - เกิดที่เฟส B จำนวน 54 เหตุการณ์
  - เกิดที่เฟส C จำนวน 54 เหตุการณ์
3. กรณีฟอลต์ระหว่างเฟส
  - เกิดที่เฟส A และเฟส B จำนวน 54 เหตุการณ์
  - เกิดที่เฟส A และเฟส C จำนวน 54 เหตุการณ์
  - เกิดที่เฟส B และเฟส C จำนวน 54 เหตุการณ์
4. กรณีฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน
  - เกิดที่เฟส A และเฟส B จำนวน 54 เหตุการณ์
  - เกิดที่เฟส A และเฟส C จำนวน 54 เหตุการณ์
  - เกิดที่เฟส B และเฟส C จำนวน 54 เหตุการณ์
5. กรณีฟอลต์ระหว่างเฟส
  - เกิดที่เฟส A เฟส B และเฟส C จำนวน 54 เหตุการณ์

4.5.1 การจำแนกประเภทความผิดปกติ



รูปที่ 4.18 ประสิทธิภาพเฉลี่ยของการจำแนกความผิดปกติ

รูปที่ 4.18 แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยของการจำแนกชนิดความผิดปกติของเหตุการณ์จำลองทั้งหมด โดยจากรูปแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถจำแนกฟ้าผ่าแม่นยำมากกว่าฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน ฟอลต์ระหว่างเฟส ฟอลต์สามเฟสและฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินตามลำดับ

เมื่อพิจารณาความผิดปกติแต่ละชนิด ความผิดปกติกรณีฟ้าผ่ามีความแม่นยำในการจำแนกชนิดมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยความถูกต้อง 100% หรือสามารถจำแนกเหตุการณ์ฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นที่สายส่งเฟส A เฟส B และเฟส C มุมแรงดันและตำแหน่งต่าง ๆ ได้ถูกต้องทั้งหมด เนื่องจากฟ้าผ่าทำให้เกิดองค์ประกอบความถี่สูงหรือกระแสในช่วงความถี่ฟ้าผ่ามาก จึงทำให้ตรวจพบขนาดสัมประสิทธิ์มากในเฟสที่เกิดฟ้าผ่า ขนาดสัมประสิทธิ์ของแต่ละเฟสจึงมีขนาดแตกต่างกันอย่างเด่นชัด ดังนั้นจึงสามารถจำแนกชนิดและเฟสที่เกิดฟ้าผ่าได้อย่างถูกต้อง

เมื่อพิจารณาความผิดปกติกรณีฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินพบว่า ฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่เกิดที่เฟส A และเฟส B สามารถจำแนกชนิดได้ถูกต้อง 98.14% เฟส C สามารถจำแนกชนิดได้ถูกต้อง 100% ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นที่เฟส A และเฟส B เกิดขึ้นที่ตำแหน่งฟอลต์ 80% ของความยาวสายส่ง โดยอัลกอริทึมทำการระบุคลาดเคลื่อนว่าทั้งสองกรณีไม่เกิดการลัดวงจรลงดิน เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์กระแสลำดับศูนย์น้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนด แต่เมื่อพิจารณาขนาดพบว่า มีขนาดน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดเล็กน้อย เป็นผลจากการคำนวณเลขทศนิยมดังกล่าวไปก่อนหน้านี้

เมื่อพิจารณาความผิดปกติกรณีฟอลต์ระหว่างเฟสพบว่า ความถูกต้องการจำแนกเท่ากันทุกเฟส โดยมีค่าเท่ากับ 96.3% ความคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่งฟอลต์ 20% 40% และ 50% ของความยาวสายส่ง มีสาเหตุจากสัมประสิทธิ์กระแสลำดับศูนย์มีขนาดมากกว่าเกณฑ์ตัดสินใจการลัดวงจร ซึ่งในทางทฤษฎีฟอลต์ระหว่างเฟสไม่เกิดการลัดวงจรลงดิน ขนาดสัมประสิทธิ์กระแสลำดับศูนย์ควรมีขนาดน้อย แต่ขนาดสัมประสิทธิ์กระแสลำดับศูนย์ที่เกิดขึ้นของกรณีคลาดเคลื่อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.00167

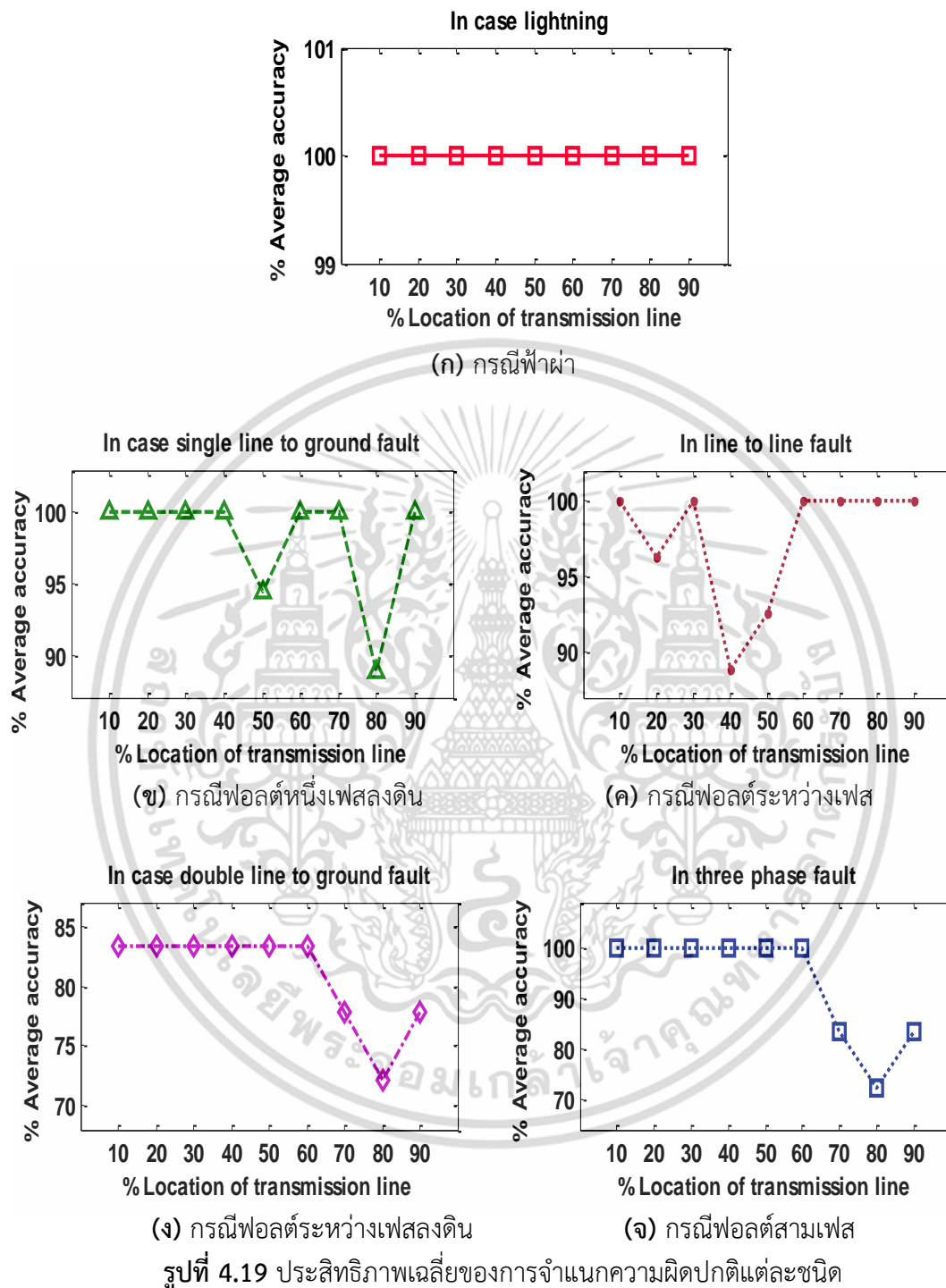
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์อ้างอิงพบว่าเกิดความคลาดเคลื่อนเพียง  $1.4 \times 10^{-4}$  ซึ่งมีขนาดน้อย มีสาเหตุเกิดจากความคลาดเคลื่อนของการคำนวณทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวไปก่อนหน้า

เมื่อพิจารณาความผิดปกติกรณีฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินพบว่า ความถูกต้องของการจำแนกฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน เฟส AB เฟส AC และเฟส BC เท่ากับ 94.44% 88.88% และ 92.6% ตามลำดับ โดยเกิดความคลาดเคลื่อนที่มุมแรงดัน 30, 90 และ 150 องศาดังกล่าวไปก่อนหน้า เนื่องจากที่มุมดังกล่าวส่งผลให้ขนาดสัมประสิทธิ์เฟสที่เกิดฟอลต์ลดลงและเฟสที่ไม่เกิดฟอลต์มีขนาดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัลกอริทึมวิเคราะห์ว่า ขนาดของเฟสที่ไม่เกิดฟอลต์ซึ่งมีขนาดเพิ่มขึ้นนี้คือเฟสที่เกิดฟอลต์แทน ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของขนาดสัมประสิทธิ์นี้เป็นผลเนื่องจากกระแสไฟฟ้า 3 เฟสของระบบไฟฟ้ามีมุมกระแสต่างกัน 120 องศา ความต่างนี้ส่งผลให้กระแสไฟฟ้า 2 เฟสมีทิศทางการเปลี่ยนแปลงเดียวกันและอีกหนึ่งเฟสแตกต่าง นอกจากนี้ความคลาดเคลื่อนยังเกิดจากการได้รับผลกระทบของการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ส่งผลให้ขนาดกระแสลำดับศูนย์มีขนาดน้อยกว่าเกณฑ์การลัดวงจรเล็กน้อย อัลกอริทึมที่นำเสนอจึงทำการจำแนกความคลาดเคลื่อนว่าขนาดสัมประสิทธิ์ของสัญญาณที่พิจารณาเป็นสัญญาณฟอลต์ที่ไม่มีการลัดวงจรลงดิน

เมื่อพิจารณาฟอลต์สามเฟสพบว่า มีความถูกต้องเท่ากับ 97.41% โดยเกิดความคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่งฟอลต์ 70% 80% และ 90% ของความยาวสายส่ง สังเกตได้ว่าส่วนมากเกิดความคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่งฟอลต์ปลายสายส่ง เนื่องจากตำแหน่งของฟอลต์ที่เกิดขึ้นอ้างอิงระยะทางจากสถานีส่ง ดังนั้นตำแหน่งฟอลต์ที่เพิ่มขึ้น ระยะทางระหว่างสถานีส่งถึงตำแหน่งฟอลต์มากขึ้น อิมพีแดนซ์จึงมากขึ้นตาม ส่งผลให้ขนาดกระแสไฟฟ้าและขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตลดลงดังกล่าวไปก่อนหน้า ขนาดสัมประสิทธิ์ที่ลดลงช่วงปลายสายส่งนี้มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดสัมประสิทธิ์ของกรณีฟอลต์ระหว่างเฟส ดังนั้นอัลกอริทึมที่นำเสนอจึงทำการจำแนกความผิดปกติคลาดเคลื่อนในกรณีที่ขนาดสัมประสิทธิ์ต่ำกว่าเกณฑ์อ้างอิงการเกิดฟอลต์สามเฟสหรือเท่ากับ  $4 \times 10^{-30}$

การจำแนกประเภทความผิดปกติแต่ละชนิด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.19 แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยของการจำแนกความผิดปกติแต่ละชนิด โดยสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.19(ก) ซึ่งแสดงประสิทธิภาพของการจำแนกฟ้าผ่าที่ตำแหน่งต่าง ๆ พบว่า อัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถจำแนกชนิดและเฟสที่เกิดฟ้าผ่าได้อย่างแม่นยำ เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์แต่ละเฟสเมื่อเกิดฟ้าผ่า มีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยเฟสที่เกิดฟ้าผ่ามีขนาดสัมประสิทธิ์มากที่สุดเมื่อเทียบกับเฟสอื่น ๆ ที่ไม่เกิดฟ้าผ่า ขนาดสัมประสิทธิ์สองเฟสที่เหลือ แม้ไม่ได้เกิดฟ้าผ่าโดยตรง แต่ได้รับผลกระทบของสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำให้เกิดกระแส ดังนั้นจึงมีขนาดสัมประสิทธิ์เกิดขึ้นแต่น้อยกว่าเฟสฟ้าผ่า

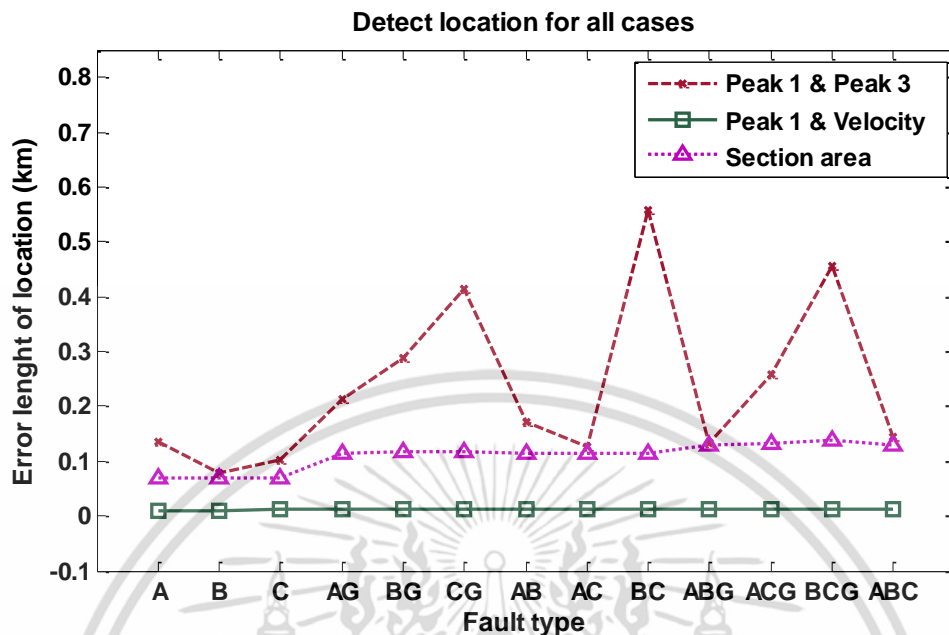
เมื่อพิจารณารูปที่ 4.19(ข) ซึ่งแสดงประสิทธิภาพของการจำแนกฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่ตำแหน่งต่าง ๆ พบว่า สามารถจำแนกชนิดและระบุเฟสที่เกิดฟอลต์ได้ถูกต้อง 100% ยกเว้นที่ตำแหน่งฟอลต์ 50% และ 80% ของความยาวสายส่ง ความคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่งดังกล่าวมีสาเหตุจากขนาดสัมประสิทธิ์กระแสลำดับศูนย์ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดการลัดวงจรลงดินเล็กน้อย ความคลาดเคลื่อนของขนาดสัมประสิทธิ์กระแสลำดับศูนย์เป็นผลเนื่องจากความคลาดเคลื่อนทางกระบวนการคำนวณทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวไปก่อนหน้า

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.19(ค) ซึ่งแสดงประสิทธิภาพของการจำแนกฟอลต์ระหว่างเฟสที่ตำแหน่งต่าง ๆ พบว่า เกิดความคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่งฟอลต์ 20% 40% และ 50% ของความยาวสายส่งเท่านั้น ที่ตำแหน่งฟอลต์อื่น ๆ สามารถจำแนกชนิดและระบุเฟสที่เกิดฟอลต์ได้ถูกต้อง 100% เมื่อพิจารณากรณีคลาดเคลื่อนพบว่า สาเหตุเกิดจากขนาดสัมประสิทธิ์กระแสลำดับศูนย์ ซึ่งมีขนาดมากกว่าเกณฑ์กำหนด ทำให้อัลกอริทึมจำแนกคลาดเคลื่อนเป็นฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินแทนฟอลต์ระหว่างเฟส

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.19(ง) ซึ่งแสดงประสิทธิภาพของการจำแนกฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่ตำแหน่งต่าง ๆ พบว่า สามารถจำแนกชนิดการลัดวงจรลงดินและระบุเฟสที่เกิดฟอลต์ได้ถูกต้อง 100% ทุกตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ ยกเว้นที่ตำแหน่ง 70% 80% และ 90% ของความยาวสายส่ง โดยความคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่งดังกล่าว สามารถระบุเฟสที่เกิดฟอลต์ได้ถูกต้องเนื่องจากเมื่อเกิดฟอลต์สายเฟสที่เกิดฟอลต์มีขนาดเพิ่มขึ้น แตกต่างจากเฟสที่เกิดฟอลต์ แต่ไม่สามารถจำแนกการลัดวงจรลงดินได้ถูกต้องเนื่องจาก ขนาดสัมประสิทธิ์กระแสลำดับศูนย์ต่ำกว่าเกณฑ์ที่ตัดสินว่าเกิดการลัดวงจรลงดิน

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.19(จ) ซึ่งแสดงประสิทธิภาพของการจำแนกฟอลต์สามเฟสที่ตำแหน่งต่าง ๆ พบว่า มีแนวโน้มความถูกต้องคล้ายคลึงกับกรณีฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน โดยความถูกต้องของการจำแนกชนิดการลัดวงจรลงดินและระบุเฟสที่เกิดฟอลต์เท่ากับ 100% ทุกตำแหน่ง ยกเว้นที่ตำแหน่งฟอลต์ 70% 80% และ 90% ของความยาวสายส่ง ความคลาดเคลื่อนนี้เกิดขึ้นเนื่องจากตำแหน่งที่เกิดฟอลต์อยู่ใกล้สถานีอ้างอิง ขนาดอิมพีแดนซ์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าและขนาดสัมประสิทธิ์ลดลง โดยขนาดสัมประสิทธิ์ที่ลดลงนี้มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดสัมประสิทธิ์กรณีฟอลต์ระหว่างเฟส ดังนั้นจึงเกิดความคลาดเคลื่อนของการจำแนกชนิดฟอลต์ที่เกิดใกล้เคียงมากกว่าฟอลต์ที่เกิดต้นสายส่ง

#### 4.5.2 การระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ



รูปที่ 4.20 ประสิทธิภาพเฉลี่ยของการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ

รูปที่ 4.20 แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยของการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติของเหตุการณ์จำลองทั้งหมด ทำการระบุตำแหน่งด้วยวิธีการทั้งหมด 3 วิธีดังต่อไปนี้

วิธีการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ โดยอาศัยเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 (Peak 1 & Peak 3)

ผลพบว่า ตำแหน่งความผิดปกติแต่ละชนิดที่ระบุได้มีความคลาดเคลื่อนมาก โดยเกิดความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมากที่สุดที่พอลต์ระหว่างเฟส พอลต์ระหว่างเฟสลงดิน พอลต์หนึ่งเฟสลงดินพอลต์สามเฟสและฟ้าผ่า ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความผิดปกติแต่ละชนิดพบว่า

พอลต์ระหว่างเฟสที่เฟส BC เกิดความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมาก ประมาณ 0.5588 กิโลเมตร ในขณะที่เฟส AB และเฟส AC คลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยกว่า ประมาณ 0.1707 และ 0.1263 กิโลเมตรตามลำดับ เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์ของคลื่นลำดับที่ 3 มีขนาดเล็กมาก อีกทั้งยังเกิดการรบกวนของคลื่นสะท้อนจากปลายสายส่งตรงข้าม ส่งผลให้ตรวจจับค่าเวลาที่เกิดคลื่นลำดับที่ 3 คลาดเคลื่อน ความถูกต้องของตำแหน่งที่ระบุได้ขึ้นอยู่กับค่าเวลา ดังนั้นเมื่อเวลาที่ตรวจจับคลาดเคลื่อน ตำแหน่งที่ระบุได้จึงคลาดเคลื่อนเช่นเดียวกัน

พอลต์ระหว่างเฟสลงดิน ความคลาดเคลื่อนมากเป็นอันดับ 2 รองจากพอลต์ระหว่างเฟส เกิดความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมากที่สุดที่เฟส BC เช่นเดียวกันโดยมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.4548 กิโลเมตร ในขณะที่เฟส AB และเฟส AC มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยกว่า เท่ากับ 0.1330 และ 0.2581 กิโลเมตรตามลำดับ เนื่องจากค่าเวลาที่ตรวจจับได้เกิดความคลาดเคลื่อน แต่น้อยกว่าพอลต์ระหว่างเฟส จึงทำให้ตำแหน่งที่ระบุได้มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า

พอลต์หนึ่งเฟสลงดิน คลาดเคลื่อนมากเป็นอันดับ 3 ของการระบุตำแหน่งทั้งหมด โดยคลาดเคลื่อนมากที่สุด เฟส C ระยะเวลาคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.4144 กิโลเมตร ในขณะที่เฟส A และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟส B ระยะเวลาคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.2129 และ 0.2879 กิโลเมตรตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้มีสาเหตุมาจากการตรวจจับค่าเวลาลำดับที่ 3 คลาดเคลื่อนดังกล่าวไปก่อนหน้า

พอลต์สามเฟส คลาดเคลื่อนมากเป็นอันดับ 4 ของการระบุตำแหน่งทั้งหมด โดยมีระยะทางคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.1430 กิโลเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับระยะคลาดเคลื่อนกับพอลต์ชนิดอื่น ๆ ก่อนหน้าพบว่า พอลต์สามเฟสมีระยะคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ซึ่งเป็นผลจากขนาดสัมประสิทธิ์ของคลื่นลำดับที่ 3 ของพอลต์สามเฟสมีขนาดมากกว่าพอลต์ชนิดอื่น ๆ ทำให้สามารถสังเกตค่าเวลาที่เกิดคลื่นลำดับที่ 3 ชัดเจนมากขึ้น ตำแหน่งที่ระบุได้จึงถูกต้องมากขึ้น

ฟ้าผ่า คลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุด โดยเฟส A เฟส B และเฟส C มีระยะทางคลาดเคลื่อนเพียง 0.1345 0.079 และ 0.1015 กิโลเมตรตามลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีสาเหตุเกิดจากค่าเวลาของคลื่นที่ตรวจจับได้คลาดเคลื่อนเช่นเดียวกับพอลต์ชนิดต่าง ๆ ข้างต้น แต่เนื่องจากการเกิดฟ้าผ่ามีขนาดและความรุนแรงมากกว่าพอลต์ จึงเกิดการเพิ่มขึ้นของกระแสในช่วงความถี่ฟ้าผ่ามากกว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ที่ตรวจวัดในช่วงความถี่สูงจึงมีขนาดมากตาม ขนาดสัมประสิทธิ์ที่มากขึ้นส่งผลให้คลื่นลำดับที่ 3 ซึ่งมีขนาดเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถสังเกตและตรวจวัดค่าเวลาของคลื่นดังกล่าวชัดเจนมากกว่า จึงสามารถระบุตำแหน่งได้แม่นยำมากขึ้น

จากการวิเคราะห์ความผิดปกติทั้ง 5 ชนิดข้างต้นพบว่า มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นทุกชนิดของความผิดปกติ แต่มีขนาดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าเวลาของคลื่น 3 ถ้าขนาดของคลื่นสามารถเห็นได้ชัดเจน การตรวจจับเวลาที่เกิดคลื่นดังกล่าวย่อมมีความถูกต้องมากขึ้น ส่งผลให้ระบุตำแหน่งได้ถูกต้องมากขึ้นเช่นเดียวกัน

วิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทาง (Peak 1 & Velocity)

ผลพบว่า ชนิดความผิดปกติไม่มีผลกระทบต่อวิธีการระบุตำแหน่ง โดยความผิดปกติแต่ละชนิดสามารถระบุตำแหน่งได้ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาความผิดปกติแต่ละชนิดพบว่า

พอลต์ที่เกิดขึ้นที่เฟสต่าง ๆ ทั้ง 4 ชนิดคือ พอลต์หนึ่งเฟสลงดิน พอลต์ระหว่างเฟส พอลต์ระหว่างเฟสลงดินและพอลต์สามเฟสมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.0126 กิโลเมตร ความคลาดเคลื่อนที่เท่ากันมีสาเหตุมาจากตำแหน่งที่ระบุได้จากวิธีดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 เท่านั้น ความเร็วคลื่นเดินทางกำหนดให้มีค่าเท่ากับค่าคงที่ค่าหนึ่ง คลื่นลำดับที่ 1 คือคลื่นที่เดินทางจากจุดที่เกิดความผิดปกติไปตามปลายสายส่งทั้งสองด้าน เมื่อความเร็วของคลื่นถูกกำหนดให้คงที่ ความผิดปกติแต่ละชนิดเกิดขึ้นที่ตำแหน่งเดียวกันบนสายส่ง ระยะทางการเดินทางของคลื่นย่อมเท่ากัน ดังนั้นคลื่นจึงเดินทางยังปลายสายส่งทั้งสองด้านด้วยระยะเวลาเท่ากัน ตำแหน่งที่ระบุได้จึงเท่ากันทั้งหมด ถึงแม้ชนิดความผิดปกติแตกต่างกันก็ตาม

ฟ้าผ่า มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าพอลต์เช่นเดียวกับวิธีการระบุตำแหน่งก่อนหน้า โดยเฟส A เฟส B และเฟส C มีระยะทางคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.0093, 0.0093 และ 0.0115 กิโลเมตรตามลำดับ ตำแหน่งฟ้าผ่าที่ระบุได้มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าพอลต์ เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์แตกต่างกัน โดยฟ้าผ่ามีขนาดสัมประสิทธิ์มากกว่าพอลต์ ส่งผลให้ขนาดของคลื่นมากกว่า ตรวจวัดได้ชัดเจนมากกว่า เวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และตำแหน่งที่ระบุได้จึงมีความถูกต้องมากขึ้น

วิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจวัด (Section area)

ผลพบว่า ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งอยู่ระหว่างวิธีการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาด โดยอาศัยเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 และวิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทาง เนื่องจากวิธีการระบุตำแหน่งดังกล่าวอาศัยค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 ลำดับที่ 2 และความเร็วคลื่นเดินทาง เมื่อพิจารณาคูณลักษณะของคลื่นลำดับที่ 2 พบว่ามีลักษณะคล้ายกับคลื่นลำดับที่ 3 ซึ่งเป็นตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อตำแหน่งที่ระบุได้มีความคลาดเคลื่อน แต่ค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 2 คลาดเคลื่อนน้อยกว่า เพราะระยะทางการเดินทางของคลื่นมาถึงจุดตรวจวัดสั้นกว่า อีกทั้งความเร็วคลื่นเดินทางยังมีขนาดไม่เท่ากัน แปรผันตามเวลา ดังนั้นตำแหน่งที่ระบุได้ของความผิดพลาดแต่ละชนิดจึงไม่เท่ากัน และเมื่อพิจารณาความผิดพลาดแต่ละชนิดพบว่า

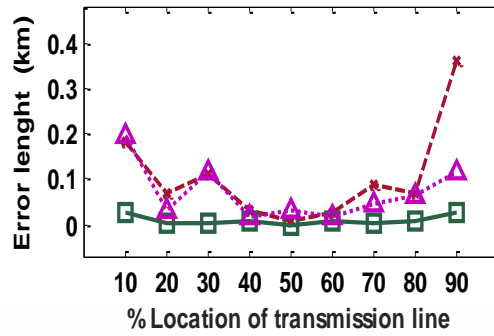
พอลต์ระหว่างเฟสลงดินมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมากกว่าพอลต์สามเฟส พอลต์หนึ่งเฟสลงดิน และพอลต์ระหว่างเฟส โดยความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของพอลต์แต่ละชนิดเท่ากับ 0.1322, 0.1283, 0.1158 และ 0.1134 กิโลเมตรตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของพอลต์แต่ละชนิดเกิดจากความคลาดเคลื่อนของค่าเวลาลำดับ 2 ที่ตรวจวัดได้จากเซนเซอร์ตรวจจับ โดยตำแหน่งที่ระบุมีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด ถ้าเกิดพอลต์ในพื้นที่ส่วนที่ 2 เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าว อาศัยค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 2 จากเซนเซอร์ทั้งสอง ในขณะที่พอลต์ที่เกิดขึ้นที่พื้นที่ 1 และพื้นที่ 3 อาศัยค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 2 จากเซนเซอร์เพียงหนึ่งตัวเท่านั้น

ฟ้าผ่า ที่เกิดขึ้นในแต่ละเฟสมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.0703 กิโลเมตร ความคลาดเคลื่อนของฟ้าผ้าน้อยกว่าพอลต์ชนิดต่าง ๆ เช่นเดียวกับวิธีการระบุตำแหน่งทั้งสองวิธีก่อนหน้า เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์ของฟ้าผ่ามากกว่าพอลต์ จึงทำให้ตรวจวัดค่าเวลาที่เกิดคลื่นลำดับต่าง ๆ ได้ชัดเจนและถูกต้องมากขึ้น ตำแหน่งที่ระบุได้จึงมีความแม่นยำ

ดังนั้นจากวิธีการระบุตำแหน่งทั้งสามวิธีที่กล่าวมาพบว่า วิธีการระบุตำแหน่ง โดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทางมีประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งมากที่สุด เนื่องจากไม่มีผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนด้านเวลาของคลื่นลำดับที่ 2 และลำดับที่ 3 และเมื่อพิจารณาผลลัพธ์การระบุตำแหน่งของวิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจสอบพบว่า วิธีดังกล่าวแม้ได้รับผลกระทบของคลื่นลำดับที่ 2 แต่เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวิธีการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาด โดยอาศัยเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ความคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่าเป็นผลเนื่องจากการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับ ทำให้ระยะทางการเดินทางของคลื่นลำดับที่ 2 ลดลง การตรวจจับจึงมีความละเอียดขึ้น ความคลาดเคลื่อนด้านเวลาลดลง ตำแหน่งที่ระบุได้จึงมีความแม่นยำมากขึ้น

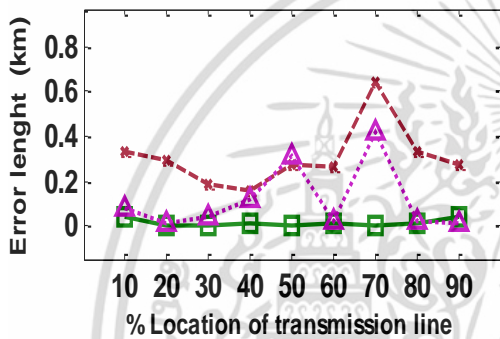
การระบุตำแหน่งของความผิดพลาดแต่ละชนิด

In case lightning



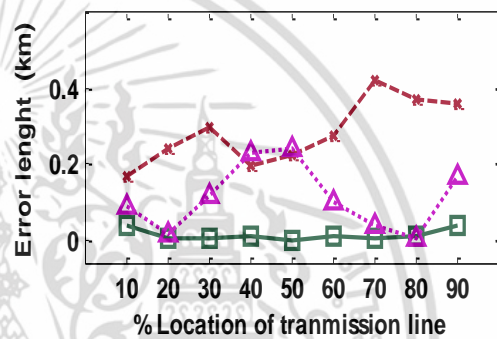
(ก) กรณีฟ้าผ่า

In single line to ground fault



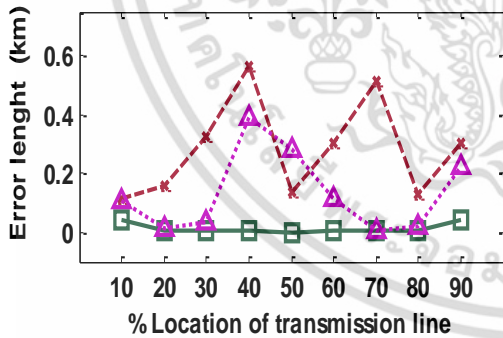
(ข) กรณีฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน

In case line to line fault



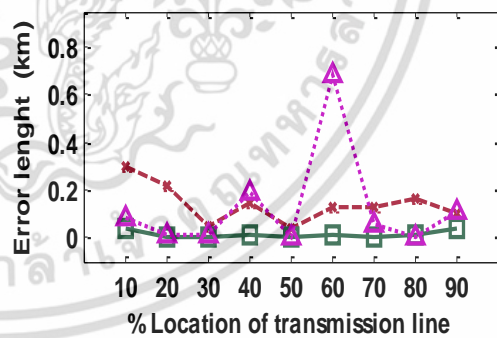
(ค) กรณีฟอลต์ระหว่างเฟส

In case double line to ground fault



(ง) กรณีฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน

In case three phase fault



(จ) กรณีฟอลต์สามเฟส

รูปที่ 4.21 ประสิทธิภาพเฉลี่ยของการจำแนกความผิดพลาดแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.21 แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยของการระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดแต่ละชนิด โดยสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.21(ก) ซึ่งแสดงประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งของฟ้าผ่าที่ตำแหน่งต่าง ๆ พบว่า วิธีการระบุตำแหน่งโดยอาศัยเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 มีแนวโน้มคลาดเคลื่อน เช่นเดียวกับวิธีการระบุตำแหน่ง โดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจสอบ แต่มีความคลาดเคลื่อนมากกว่า โดยเกิดขึ้นมากที่สุดที่ตำแหน่ง 10%, 30%, 70% และ 90% ของความยาวสายส่ง

ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งดังกล่าวเป็นผลเนื่องจากค่าเวลาที่ตรวจวัดคลื่นลำดับที่ 3 มีความคลาดเคลื่อนและเนื่องจากการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับ ทำให้สามารถตรวจจับค่าเวลาได้ละเอียดกว่าการตรวจจับจากปลายสายส่ง ค่าเวลาของคลื่นลำดับ 2 จึงมีความถูกต้องมากกว่า ตำแหน่งที่ระบุได้จึงแม่นยำมากกว่า วิธีการระบุตำแหน่ง โดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทางพิจารณาเฉพาะค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 เท่านั้น ดังนั้นจึงไม่มีผลกระทบความคลาดเคลื่อนด้านเวลา ตำแหน่งที่ระบุได้จึงถูกต้องมากที่สุด

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.21(ข) ซึ่งแสดงประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งของฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินที่ตำแหน่งต่าง ๆ พบว่า แนวโน้มความคลาดเคลื่อนของวิธีการระบุตำแหน่งต่าง ๆ เช่นเดียวกับฟ้าผ่า โดยเกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุดที่ตำแหน่ง 10%, 20%, 70% และ 90% ของความยาวสายส่ง ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งที่เกิดขึ้นมีสาเหตุจากค่าเวลาของคลื่นสะท้อน (คลื่นลำดับที่ 2 และคลื่นลำดับที่ 3) คลาดเคลื่อน แต่เนื่องจากการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับ ทำให้ระยะทางการเดินทางของคลื่นสะท้อนลดลง ขอบเขตการตรวจจับเวลาของอุปกรณ์ตรวจจับลดลง ทำให้สามารถตรวจจับละเอียดขึ้น ดังนั้นค่าเวลาที่ตรวจจับจากเซนเซอร์จึงมีความถูกต้องมากกว่าค่าเวลาที่ตรวจจับจากปลายสายส่งทั้งสองด้าน ตำแหน่งที่ระบุได้จึงมีความถูกต้องมากกว่า และวิธีการระบุตำแหน่ง โดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทางมีความแม่นยำทางตำแหน่งมากที่สุดเช่นเดียวกับฟ้าผ่า เนื่องจากไม่ได้รับผลกระทบของคลื่นสะท้อนดังกล่าวไปข้างต้น

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.21(ค) ซึ่งแสดงประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งของฟอลต์ระหว่างเฟสที่ตำแหน่งต่าง ๆ พบว่า วิธีการระบุตำแหน่ง โดยอาศัยเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 มีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งมากที่สุด เมื่อเทียบกับวิธีอื่น ๆ ยกเว้นที่ตำแหน่ง 40% และ 50% ของความยาวสายส่ง ที่ตำแหน่งดังกล่าววิธีการระบุตำแหน่ง โดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจสอบมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าเล็กน้อย โดยความคลาดเคลื่อนของวิธีการระบุตำแหน่ง โดยอาศัยเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ที่ตำแหน่ง 40% และ 50% ของความยาวสายส่งเท่ากับ 0.1974 และ 0.2265 กิโลเมตรตามลำดับ แต่ความคลาดเคลื่อนของวิธีการระบุตำแหน่ง โดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจสอบที่ตำแหน่งเดียวกันมีค่าเท่ากับ 0.2320 และ 0.2415 กิโลเมตรตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งเกิดจากค่าเวลาที่ตรวจจับคลื่นสะท้อนคลาดเคลื่อนดังกล่าวไปข้างต้นและลักษณะเดียวกัน วิธีการระบุตำแหน่ง โดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทางไม่นำค่าเวลาของคลื่นสะท้อนมาพิจารณาดำเนินการ ดังนั้นความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจึงมีขนาดน้อยกว่า

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.21(ง) ซึ่งแสดงประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งของฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินที่ตำแหน่งต่าง ๆ พบว่า วิธีการระบุตำแหน่ง โดยอาศัยเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ยังคงมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าวิธีการระบุตำแหน่งอื่น ๆ ยกเว้นที่ตำแหน่งฟอลต์ 50% ของความยาวสายส่ง ระยะคลาดเคลื่อนของวิธีการระบุตำแหน่ง โดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจสอบมากกว่า เพราะค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 2 มีความคลาดเคลื่อนมากกว่าคลื่นลำดับที่ 3 ดังนั้นตำแหน่งที่ระบุได้จึงมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลาดเคลื่อนมากกว่า และวิธีการระบุตำแหน่ง โดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทางพิจารณาเพียงคลื่นลำดับที่ 1 เท่านั้นจึงมีความถูกต้องทางตำแหน่งมากกว่า

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.21(จ) ซึ่งแสดงประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งของพอลต์สามเฟสที่ตำแหน่งต่าง ๆ พบว่า วิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติทั้งสามวิธีมีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะวิธีการระบุตำแหน่ง โดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทางและวิธีการระบุตำแหน่ง โดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจสอบ เนื่องจากพอลต์สามเฟส เกิดการลัดวงจรของสายเฟสมากกว่าพอลต์ชนิดอื่น ๆ ขนาดสัมประสิทธิ์จึงมีมากกว่าพอลต์ชนิดอื่นเช่นกัน คลื่นลำดับที่ 1 คลื่นลำดับที่ 2 และคลื่นลำดับที่ 3 ที่นำไปใช้ในการระบุตำแหน่งของทั้งสามวิธีจึงมีความถูกต้องมากกว่าขึ้น เนื่องจากสามารถตรวจวัดได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ยกเว้นที่ตำแหน่ง 40% และ 60% ของความยาวสายส่ง ค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 2 ตรวจวัดได้ไม่ชัดเจน เนื่องจากมีคลื่นรบกวนเกิดขึ้นซ้อนทับกับคลื่นลำดับ 2 ทำให้ค่าเวลาที่ตรวจวัดได้มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นมาก ตำแหน่งที่ระบุได้จึงมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นตาม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### การสรุปผลและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาคุณลักษณะของฟ้าผ่าและฟอลต์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย ซึ่งการศึกษาครั้งนี้อ้างอิงระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า แรงดัน 115 กิโลโวลต์ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ทำการศึกษาจำลองผลโดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ATP/EMTP และประมวลผลวิเคราะห์โดยโปรแกรม MATLAB

ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าศึกษานี้ประกอบด้วย สถานีส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า กำหนดชื่อว่า ระยอง(RYG) สถานีรับกำลังไฟฟ้า กำหนดชื่อว่าจันทบุรี (CTI) โหลดขนาด 150 เมกะโวลต์แอมแปร์ ทั้งสองสถานีเชื่อมต่อด้วยสายส่งระยะทาง 88.5 กิโลเมตร

ศึกษาคุณลักษณะกระแสไฟฟ้าเมื่อเกิดฟ้าผ่าและฟอลต์ชนิดต่าง ๆ ที่ตรวจจับจากปลายสถานีส่งและสถานีรับ เนื่องจากเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้น กระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงชัดเจนมากกว่าแรงดัน

เมื่อทำการศึกษาระแสไฟฟ้าที่ได้จากโปรแกรม ATP/EMTP พบว่า กระแสไฟฟ้าที่ตรวจจับได้ ยังไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ เนื่องจากมีผลกระทบด้านผลต่างของขนาดการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้า 3 เฟส ไม่ทราบขนาดกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากฟ้าผ่าและฟอลต์ที่แท้จริง ดังนั้นจึงนำเข้าสู่การแปลงคาร์ก เพื่อขจัดปัญหาความต่างเฟสและเข้าสู่การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย เพื่อทำการพิจารณาขนาดการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าเมื่อเกิดฟ้าผ่าและฟอลต์ โดยอาศัยสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต

ในการวิเคราะห์ด้วยสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของวิทยานิพนธ์นี้ ทำการวิเคราะห์ 2 ส่วน คือ

1. วิเคราะห์ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต เพื่อออกแบบอัลกอริทึมการจำแนกชนิดความผิดปกติที่เกิดขึ้นระหว่างฟ้าผ่าและฟอลต์ชนิดต่าง ๆ
2. วิเคราะห์ค่าเวลาที่เกิดค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตสูงสุด เพื่อระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ

จากการศึกษาและวิเคราะห์การจำแนกชนิดและระบุตำแหน่งตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

#### 5.1 การจำแนกความผิดปกติระหว่างฟ้าผ่าและฟอลต์ชนิดต่าง ๆ

การจำแนกความผิดปกติอาศัยขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตในการพิจารณา ดังนั้นจากที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ เพื่อให้ขนาดสัมประสิทธิ์มีขนาดเด่นชัดขึ้นจึงนำสัญญาณเวฟเล็ตแบบยกกำลังสองมาพิจารณา โดยขั้นตอนการจำแนกความผิดปกติแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

1. การจำแนกความแตกต่างระหว่างฟ้าผ่าและฟอลต์พบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ของฟ้าผ่ามากกว่าฟอลต์ เนื่องจากพลังงานสะสมขณะเกิดฟ้าผ่ามากกว่าฟอลต์ ซึ่งขนาดที่มากกว่านี้ทำให้สามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างฟ้าผ่าและฟอลต์ได้อย่างสมบูรณ์ ถูกต้อง 100% เมื่อทำการจำแนกชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ว่า สัญญาณที่เกิดขึ้นมีสาเหตุจากฟ้าผ่าแล้ว อันดับต่อไปทำการระบุเฟสที่เกิดฟ้าผ่า โดยอาศัยขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทที่แตกต่างกันทั้งสามเฟสมาพิจารณา ถ้าเฟสใดเกิดฟ้าผ่าขนาดสัมประสิทธิ์มีค่ามากกว่าเฟสอื่น เนื่องจากมีองค์ประกอบความถี่สูงเกิดขึ้นและเฟสอื่น ๆ ที่ไม่ได้เกิดฟ้าผ่ามีขนาดเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันแต่เพิ่มขึ้นด้วยขนาดที่น้อยกว่า เนื่องจากได้รับผลกระทบของสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ ซึ่งผลการระบุเฟสพบว่า สามารถระบุเฟสที่เกิดฟ้าผ่าได้ถูกต้อง 100%

2. การจำแนกฟอลต์สามเฟสพบว่า ฟอลต์สามเฟสมีขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมากกว่าฟอลต์ชนิดอื่น ๆ แต่ไม่มากเท่ากับฟ้าผ่า ดังนั้นเพื่อให้ขนาดมีความแตกต่างกันชัดเจนยิ่งขึ้น จึงนำขนาดสัมประสิทธิ์สูงสุดแต่ละเฟสมาทำการยกกำลังสาม หลังจากทำการยกกำลังสามแล้วขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของฟอลต์สามเฟสมีขนาดมากกว่าฟอลต์ชนิดอื่น ๆ อย่างชัดเจน จึงสามารถจำแนกความแตกต่างของฟอลต์สามเฟสและฟอลต์ชนิดอื่น ๆ ได้ ผลการจำแนกพบว่าสามารถจำแนกฟอลต์สามเฟสได้ถูกต้อง 97.41% โดยเกิดความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยที่ตำแหน่งฟอลต์ 80%, 90% ของความยาวสายส่ง เนื่องจากตำแหน่งที่เกิดฟอลต์เพิ่มขึ้น อิมพีแดนซ์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทลดลง โดยขนาดสัมประสิทธิ์ของฟอลต์สามเฟสด้านปลายสายส่งมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดสัมประสิทธิ์ที่เกิดต้นทางของฟอลต์ระหว่างเฟส ดังนั้นจึงส่งผลให้อัลกอริทึมจำแนกชนิดคลาดเคลื่อน

3. การระบุเฟสที่เกิดฟอลต์และการลัดวงจรลงดินพบว่า การระบุเฟสที่เกิดการลัดวงจรอย่างเดียวยังไม่สามารถระบุชนิดความผิดปกติได้สมบูรณ์เนื่องจากฟอลต์ระหว่างเฟสและฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน มีขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของเฟสที่เกิดฟอลต์เช่นเดียวกัน ดังนั้นหากสามารถระบุการลัดวงจรลงดินเพิ่ม จะสามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างฟอลต์ทั้งสองชนิดนี้ได้ การระบุเฟสที่เกิดฟอลต์อาศัยหลักการเช่นเดียวกับการระบุเฟสที่เกิดฟ้าผ่า แต่มีขนาดอ้างอิงน้อยกว่า เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของฟอลต์น้อยกว่าฟ้าผ่า การระบุการลัดวงจรลงดินอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบสมมาตรลำดับศูนย์ คือ ในสภาวะปกติ ระบบไฟฟ้าสมดุลขนาดส่วนประกอบสมมาตรลำดับศูนย์มีขนาดน้อยมาก ประมาณศูนย์ แต่เมื่อเกิดฟอลต์ ระบบไฟฟ้าเกิดความไม่สมดุล ส่งผลให้ส่วนประกอบสมมาตรมีขนาดเกิดขึ้น จากหลักการดังกล่าวจึงนำมาใช้ในการระบุการลัดวงจรลงดิน ซึ่งผลหลักการดังกล่าวเมื่อนำมาออกแบบอัลกอริทึมระบุเฟสและการลัดวงจรลงดินพบว่า ฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินมีความถูกต้องมากที่สุดคือ 98.76% ฟอลต์สามเฟสมีความถูกต้อง 97.41% ฟอลต์ระหว่างเฟสมีความถูกต้อง 96.3% และฟอลต์ระหว่างเฟสลงดินมีความถูกต้องน้อยกว่าฟอลต์ชนิดอื่น ๆ โดยมีความถูกต้องเท่ากับ 91.97%

## 5.2 การระบุตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ

การระบุตำแหน่งอาศัยตัวแปรเวลาในขณะที่เกิดขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสูงสุด จากที่แสดงไปในบทก่อนหน้าว่า สัญญาณเวฟเล็ทแบบปกติ สามารถตรวจวัดค่าเวลาได้ชัดเจนมากกว่าสัญญาณเวฟเล็ทแบบยกกำลังสองที่ใช้ในการจำแนกชนิดความผิดปกติ ดังนั้นในการระบุตำแหน่งนี้จึงอาศัยการวิเคราะห์ค่าเวลาจากสัญญาณเวฟเล็ทแบบปกติเป็นหลัก ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติจำนวน 3 วิธี คือ

1. วิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3
2. วิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทาง
3. วิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการวิจัยเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการระบุตำแหน่งความผิดปกติวิธีต่าง ๆ แสดงได้ดังต่อไปนี้

1. วิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3

วิธีนี้มีความคลาดเคลื่อนมากกว่าวิธีอื่น ๆ ความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งด้วยวิธีดังกล่าว แสดงได้ดังนี้ คือ ฟ้ำผ่ามีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 0.105 กิโลเมตร พอลต์สามเฟสมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.1430 กิโลเมตร พอลต์ระหว่างเฟสลงดินมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.2820 กิโลเมตร พอลต์ระหว่างเฟสมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.2853 กิโลเมตรและพอลต์หนึ่งเฟสลงดินมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.3051 กิโลเมตร

2. วิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทาง

ผลการระบุตำแหน่งพบว่า ฟ้ำผ่ามีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าพอลต์ โดยมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.0100 กิโลเมตร พอลต์หนึ่งเฟสลงดิน พอลต์ระหว่างเฟส พอลต์ระหว่างเฟสลงดิน และพอลต์สามเฟสมีความคลาดเคลื่อนเท่ากันคือ 0.0126 กิโลเมตร

3. วิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจสอบ

ผลการระบุตำแหน่งพบว่าฟ้ำผ่ามีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือ 0.0703 กิโลเมตร พอลต์ระหว่างเฟสมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.1134 กิโลเมตร พอลต์หนึ่งเฟสลงดินมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.1158 กิโลเมตร พอลต์สามเฟสมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.1283 กิโลเมตรและพอลต์ระหว่างเฟสลงดินมีค่าเท่ากับ 0.1322 กิโลเมตร

จากผลการระบุตำแหน่งความผิดปกติทั้งสามวิธีสรุปได้ว่า ความถูกต้องของวิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติของทั้งสามวิธีขึ้นอยู่กับค่าเวลาและความเร็วคลื่นเดินทาง โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 และวิธีการระบุตำแหน่ง โดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทางพบว่า ตัวแปรที่ส่งผลต่อความถูกต้องทางตำแหน่งคือค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นลำดับที่ 3 เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของคลื่นลำดับที่ 3 มีขนาดเล็ก ไม่ชัดเจน อีกทั้งยังมีผลกระทบของคลื่นสะท้อนจากปลายสายส่งอีกด้าน ส่งผลให้ค่าเวลาที่มีความคลาดเคลื่อน ตำแหน่งที่ระบุได้จึงคลาดเคลื่อนตาม

เมื่อทำการพิจารณาวิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทางและวิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยการแบ่งพื้นที่ตรวจสอบพบว่า ทั้งสองวิธีนี้ คำนวณตำแหน่งโดยอาศัยตัวแปรของเวลาและความเร็วคลื่นเดินทางเช่นเดียวกัน โดยผลการระบุตำแหน่งพบว่า วิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยการแบ่งพื้นที่ตรวจสอบมีความแม่นยำน้อยกว่าวิธีที่การระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทาง เนื่องจากผลของค่าเวลาลำดับที่ 2 ที่ตรวจวัดจากเซนเซอร์ ซึ่งผลของค่าเวลาลำดับที่ 2 สามารถเทียบเท่ากับค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 3 เนื่องจากคลื่นมีการสะท้อนไปและกลับมายังจุดตรวจวัด ส่งผลให้ความถูกต้องทางตำแหน่งลดลง แต่ไม่มากเท่าวิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 เพราะมีผลของความเร็วจลื่นเดินทางเข้ามาเกี่ยวข้อง เนื่องจากความเร็วคลื่นเดินทางของวิธีกำหนดให้เป็นตัวแปรไม่คงที่ จึงส่งผลให้ตำแหน่งที่ระบุได้มีความถูกต้องเพิ่มขึ้น ดังนั้นความถูกต้องทางตำแหน่งของวิธีการนี้จึงอยู่ระหว่างวิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยค่าเวลาของคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 และวิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ โดยอาศัยความเร็วคลื่นเดินทาง

นอกจากนี้ยังพบว่า มุมแรงดันและชนิดความผิดปกติที่เปลี่ยนแปลง ไม่ส่งผลต่อค่าเวลาที่ตรวจพบของคลื่นลำดับที่ 1 ลำดับที่ 2 และลำดับที่ 3 แต่ค่าเวลาดังกล่าวเปลี่ยนแปลงเมื่อตำแหน่งที่เกิด

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Boyuan Zhang, Jiansheng Yuan, Jun Zou, Jaebok Lee, and Mun-No Ju, “Semianalytical Approach to the Inverse Fourier Transform and Its Application in Evaluating Lightning Horizontal Electric Field”, IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility, Vol. 58, No. 2, April 2016
- [2] Upul Sonnadara, Vernon Cooray, and Mahendra Fernando, “The Lightning Radiation Field Spectra of Cloud Flashes in the Interval From 20 kHz to 20 MHz”, IEEE IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility, VOL. 48, NO. 1, February 2006
- [3] Lin Li and Vladimir A. Rakov, “Distribution of Currents in the Lightning Protective System of a Residential Building—Part II: Numerical Modeling”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 23, No. 4, October 2008
- [4] Jun Zou, Jaebok Lee, Yafei Ji, Sughun Chang, Bo Zhang, and Jinliang He, “Transient Simulation Model for a Lightning Protection System Using the Approach of a Coupled Transmission Line Network”, IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility Vol. 49, No. 3, August 2007
- [5] Andrei Ceclan , Vasile Topa , Dan D. Micu , and Amedeo Andreotti, “Lightning-Inverse Reconstruction by Remote Sensing and Numerical-Field Synthesis”, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 49, No. 5, May 2013
- [6] Ian Cotton, Konstantinos Kopsidas, and Yang Zhang, “Comparison of Transient and Power Frequency-Induced Voltages on a Pipeline Parallel to an Overhead Transmission Line”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 22, No. 3, July 2007
- [7] Vishwanath Hegde and Vinoda Shivanand, “On the Influence of Steel Geometry on the Induced Currents in Steel Reinforced Concrete Building due to a Nearby Lightning Strike to Ground”, IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility, Vol. 57, No. 3, June 2015
- [8] Amedeo Andreotti, and Luigi Verolino, “A New Channel-Base Current Function for Lightning Studies”, IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility, Vol. 57, No. 6, December 2015
- [9] Vesna Javor and Predrag D. Rancic, “A Channel-Base Current Function for Lightning Return-Stroke Modeling”, IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility, Vol. 53, No. 1, February 2011
- [10] Silvestar ˇ Sesni´c, Dragan Poljak, and Sergey V. Tkachenko, “Analytical Modeling of a Transient Current Flowing Along the Horizontal Grounding Electrode”, IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility, Vol. 55, No. 6, December 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความผิดปกติเปลี่ยนแปลง ดังนั้นสรุปได้ว่า ค่าเวลาของคลื่นลำดับต่าง ๆ แปรตามระยะทางการเดินทางของคลื่นเท่านั้น

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาครั้งนี้ พิจารณาเงื่อนไขของการเปลี่ยนแปลงมุมแรงดัน สายเฟสและตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติเท่านั้น โดยอ้างอิงค่าความต้านทานดินมีค่าคงที่เท่ากับ 10 โอห์มและระยะทางสายส่งเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร ซึ่งในทางปฏิบัติเนื่องจากผลของสภาพภูมิศาสตร์ ทำให้ค่าความต้านทานดินและระยะทางสายส่งในแต่ละพื้นที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นในการวิจัยต่อไปควรศึกษาเรื่องความต้านทานดินและขนาดกระแสไฟฟ้าเพิ่มเติม เพื่อให้ได้การวิเคราะห์ที่ละเอียดและครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

2. ขนาดกระแสไฟฟ้าของการศึกษานี้อ้างอิงเท่ากับ 1.2/50 ไมโครวินาที ซึ่งทางปฏิบัติกระแสไฟฟ้ามีค่าไม่คงที่ ดังนั้นในการวิจัยต่อไปควรพิจารณาขนาดกระแสไฟฟ้าชนิดอื่นร่วมด้วยเพื่อพิจารณาคูณลักษณะกระแสไฟฟ้าของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าชัดเจนยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [11] Pooyan Manoochehrnia, Farhad Rachidi, Marcos Rubinstein, Wolfgang Schulz, and Gerhard Diendorfer, “Benford’s Law and Its Application to Lightning Data”, IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility, Vol. 52, No. 4, November 2010
- [12] Marcos Rubinstein, Jos’e-Luis Berm’udez, Vlad Rakov, Farhad Rachidi, and Ali Hussein, “Compensation of the Instrumental Decay in Measured Lightning Electric Field Waveforms”, IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility, Vol. 54, No. 3, June 2012
- [13] J. A. Morales and E. A. Orduña, “Patterns Extraction for Lightning Transmission Lines Protection Based on Principal Component Analysis”, IEEE Latin America Transactions, Vol. 11, No. 1, February 2013
- [14] Chenguo Yao, Hao Wu, Yi Long, Yan Mi, Yi Ma, Yuan Shen, Lei Wang, “A Novel Method to Locate a Fault of Transmission Lines by Shielding Failure”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 21, August 2014
- [15] Avi Bar-Massada, Todd J. Hawbaker, Susan I. Stewart, and Volker C. Radeloff, “Combining Satellite-Based Fire Observations and Ground-Based Lightning Detections to Identify Lightning Fires Across the Conterminous USA”, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, Vol. 5, No. 5, October 2012
- [16] Ali M. Hussein, Mariusz Milewski, and Wasyl Janischewskyj, “Correlating the Characteristics of the CN Tower Lightning Return-Stroke Current with Those of Its Generated Electromagnetic Pulse”, IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility, Vol. 50, No. 3, August 2008
- [17] Richard L. Dowden and others, “World-Wide Lightning Location Using VLF Propagation in the Earth –Ionosphere Waveguide”, IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 50, No. 5, October 2008
- [18] Alexandru Lafkovic, Ali M. Hussein, Wasyl Janischewskyj, and Kenneth L. Cummins, “Evaluation of the Performance Characteristics of the North American Lightning Detection Network Based on Tall-Structure Lightning”, IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility, Vol. 50, No. 3, August 2008
- [19] Fei Kong, Zhiguo Hao, Song Zhang, and Baohui Zhang, “Development of a Novel Protection Device for Bipolar HVDC Transmission Lines”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 29, No. 5, October 2014
- [20] Rachel M. Harris, Martin D. Judd, Philip J. Moore, and James Livie, “Radiometric Detection and Analysis of Arcing Faults”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 22, No. 3; June 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [22] Masume Khodsuz, Mohammad Mirzaie, “Evaluation of ultraviolet ageing, pollution and varistor degradation effects on harmonic contents of surge arrester leakage current”, IET Science, Measurement & Technology, vol.9, November 2015
- [23] E. T. Wanderley Neto, E. G. da Costa, and M. J. A. Maia, “Artificial Neural Networks Used for ZnO Arresters Diagnosis”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 24, No. 3, July 2009
- [24] S. Ioannou, E. K. Stefanakos, and P. H. Wiley, “New MOV Failure Mode Identification Invention”, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 53, No. 3, AUGUST 2007
- [25] Xiu YaoLuis Herrera, Shengchang Ji, Ke Zou, and Jin Wang, “Characteristic Study and Time-Domain Discrete-Wavelet-Transform Based Hybrid Detection of Series DC Arc Faults”, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 29, No. 6, JUNE 2014
- [26] Hatem A. Darwish, Mohammad Hesham, Abdel-Maksoud I. Taalab, and Naema M. Mansour, “Close Accord on DWT Performance and Real-Time Implementation for Protection Applications”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 25, No. 4, October 2010
- [27] Ashraf I. Megahed, A. Monem Moussa, and A. E. Bayoumy, “Usage of Wavelet Transform in the Protection of Series-Compensated Transmission Lines”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 21, No. 3, July 2006
- [28] H. N. Alves and R. N. B. Fonseca Junior, “An Algorithm Based on Discrete Wavelet Transform for Fault Detection and Evaluation of the Performance of Overcurrent Protection in Radial Distribution Systems”, IEEE Latin America Transactions, Vol. 12, No. 4, June 2014
- [29] F.E. Perez, R. Aguilar, E. Orduna, J. Jager, G. Guidi, “High-speed non-unit transmission line protection using single-phase measurements and an adaptive wavelet: zone detection and fault classification”, IET Generation, Transmission & Distribution, Vol. 6, August 2011
- [30] Ahcene Bouzida, Omar Touhami, Rachid Ibtouen, Adel Belouchrani, Maurice Fadel, and A. Rezzoug, “Fault Diagnosis in Industrial Induction Machines Through Discrete Wavelet Transform”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 58, No. 9, September 2011
- [31] M. Riera-Guasp, Jose A. Antonino-Daviu, M. Pineda-Sanchez, R. Puche-Panadero, and J. Perez-Cruz, “A General Approach for the Transient Detection of Slip-Dependent Fault Components Based on the Discrete Wavelet Transform”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 55, No. 12, December 2008


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [32] Shahin Hedayati Kia, Humberto Henao, and Gerard-Andre Capolino, “Diagnosis of Broken-Bar Fault in Induction Machines Using Discrete Wavelet Transform Without Slip Estimation”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 45, No. 4, July/August 2009
- [33] Flavio B. Costa, “Fault-Induced Transient Detection Based on Real-Time Analysis of the Wavelet Coefficient Energy”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 29, No. 1, February 2014
- [34] Daniel Guillen, Mario Roberto Arrieta Paternina, Alejandro Zamora, Juan Manuel Ramirez, Gina Idarraga, “Detection and classification of faults in transmission lines using the maximum wavelet singular value and Euclidean norm”, IET Generation, Transmission & Distribution, Vol. 9, November 2014
- [35] Papiya Ray, Bijaya Ketan Panigrahi, Nilanjan Senroy, “Hybrid methodology for fault distance estimation in series compensated transmission line”, IET Generation, Transmission & Distribution, Vol. 7, October 2012
- [36] Urmil B. Parikh, Biswarup Das, and Rudra Prakash Maheshwari, “Combined Wavelet-SVM Technique for Fault Zone Detection in a Series Compensated Transmission Line”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 23, No. 4, October 2008
- [37] Hanif Livani, and C. Yaman Evrenosoglu, “A Machine Learning and Wavelet-Based Fault Location Method for Hybrid Transmission Lines”, IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 5, No. 1, January 2014
- [38] Hanif Livani, and Cansin Yaman Evrenosoglu, “A Fault Classification and Localization Method for Three-Terminal Circuits Using Machine Learning”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 28, No. 4, October 2013
- [39] J.G.M.S. Decanini, M.S. Tonelli-Neto, C.R. Minussi, “Robust fault diagnosis in power distribution systems based on fuzzy ARTMAP neural network-aided evidence theory”, IET Generation, Transmission & Distribution, Vol. 6, January 2012
- [40] A. A. P. Biscaro, R. A. F. Pereira, M. Kezunovic, and J. R. S. Mantovani, “Integrated Fault Location and Power-Quality Analysis in Electric Power Distribution Systems”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 31, No. 2, April 2016
- [41] M. Sarlak S.M. Shahrtash, “High impedance fault detection using combination of multi-layer perceptron neural networks based on multi-resolution morphological gradient features of current waveform”, IET Generation, Transmission & Distribution, Vol. 5, January 2011

## เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [42] Mert Korkali, Hanoch Lev-Ari, and Ali Abur, “Traveling-Wave-Based Fault-Location Technique for Transmission Grids Via Wide-Area Synchronized Voltage Measurements”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 27, No. 2, May 2012
- [43] Nagy I. Elkalashy, Matti Lehtonen, Hatem A. Darwish, Abdel-Maksoud I. Taalab, and Mohamed A. Izzularab, “DWT-Based Detection and Transient Power Direction-Based Location of High-Impedance Faults Due to Leaning Trees in Unearthed MV Networks”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 23, No. 1, January 2008
- [44] “Estimating Lightning Performance of Transmission Lines II Updates to Analytical models”, IEEE Working Group Report, 92 SM 453-1 PWRD
- [45] “Guide to Procedure for Estimating the Lightning Performance of Transmission Lines”, CIGRE SC33-WG01 Report, Oct. 1991
- [46] Robi Polokar, “Fundamental concepts an overview of the wavelet theory”, Second edition, Rowan university
- [47] William. D. Stevenson Jr, “Elements of Power System Analysis”, Fourth edition. Mc Graw-Hill, Inc Singapore, 1982
- [48] Q.H. Wu, Z. Lu, T.Y. Ji, “Protective Relaying of Power Systems Using Mathematical Morphology”, London, New York: Springer, 2009
- [49] พงษ์ศักดิ์ มากมิ่ง. (2545), “การวิเคราะห์ฟอลต์ในสายส่งด้วยการแปลงเวฟเล็ต”, **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**, 2545



ภาคผนวก ก  
ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและระยะความยาวสายส่งต่อ  
ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกบทนี้กล่าวถึงความสัมพันธ์ของขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ด 2 แบบ คือ

1. ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าที่มีต่อขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วย
2. ความสัมพันธ์ของระยะทางที่มีต่อขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วย

ดังแสดงต่อไปนี้

### 1. ความสัมพันธ์ของระดับแรงดันไฟฟ้าและขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ด

ทำการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า 3 ระดับ คือ 115, 230 และ 500 กิโลโวลต์ เมื่อเกิดเหตุการณ์ฟ้าผ่าขึ้นที่สายส่งเฟส A โดยเกิดที่มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 30% ของความยาวสายส่งทั้งหมด 88.5 กิโลเมตร

ตารางที่ ก. 1 ข้อมูลความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ฟ้าผ่าที่สายส่งเฟส A

ระดับแรงดัน	Pos_S <sub>max</sub>	Pos_L <sub>max</sub>	Zero_S <sub>max</sub>	Ia_S <sub>max</sub>	Ib_S <sub>max</sub>	Ic_S <sub>max</sub>
115	495.2892	214.6807	20.48303	331.7209	82.9446	83.0105
230	493.848	214.0199	17.98550	329.2050	82.3162	82.3101
500	493.6779	214.0050	17.73265	329.2133	82.2398	82.2456

จากตารางที่ ก. 1 พบว่า ระดับแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดของกระแสลำดับบวกด้านสถานีส่งและสถานีรับลดลงเล็กน้อย เมื่อพิจารณาขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดของกระแสลำดับศูนย์พบว่า ระดับแรงดันของระบบไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดของกระแสลำดับศูนย์มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดของกระแสแต่ละเฟสด้านสถานีส่งพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ของแต่ละเฟสมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย โดยเฟส A คือเฟสที่เกิดฟ้าผ่ามีขนาดมากที่สุด ในขณะที่เฟสอื่น ๆ ไม่เกิดฟ้าผ่า จึงมีขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดน้อยกว่า

ทำการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า 3 ระดับ คือ 115, 230 และ 500 กิโลโวลต์ เมื่อเกิดเหตุการณ์ฟอลต์ระหว่างเฟสที่เฟส A และเฟส B โดยเกิดที่มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 30% ของความยาวสายส่งทั้งหมด 88.5 กิโลเมตร

ตารางที่ ก. 2 ข้อมูลความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ฟอลต์ระหว่างเฟส AB

ระดับแรงดัน	Pos_S <sub>max</sub>	Pos_L <sub>max</sub>	Zero_S <sub>max</sub>	Ia_S <sub>max</sub>	Ib_S <sub>max</sub>	Ic_S <sub>max</sub>
115	16.81087	1.2397	0.10395	10.4145	10.4373	2.67E-05
230	20.8338	1.5484	0.0011	13.8874	13.8891	2.62E-05
500	98.7888	7.2661	0.0008	65.6106	65.6788	0.00177

จากตารางที่ ก. 2 พบว่า เมื่อระดับแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมีการเปลี่ยนแปลง โดยเมื่อพิจารณาด้านสถานีส่งและสถานีรับพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของกระแสลำดับศูนย์มีแนวโน้มลดลง แต่มีขนาดน้อยมากเนื่องจากไม่เกิดการลัดวงจรลงดิน

เมื่อพิจารณาขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของกระแสแต่ละเฟสพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของแต่ละเฟสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฟส A และเฟส B เกิดการลัดวงจรขึ้น จึงมีขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทสูงกว่าเฟส C ซึ่งไม่เกิดการลัดวงจร

## 2. ความสัมพันธ์ของระดับแรงดันไฟฟ้าและขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท

ทำการเปลี่ยนแปลงระยะทางสายส่ง 3 ระยะ คือ ระยะความยาวสายส่ง 45, 88.5 และ 90 กิโลเมตร โดยเกิดเหตุการณ์ฟ้าผ่าที่เฟส A และฟอลต์ระหว่างเฟส A และเฟส B มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 30% ของความยาวสายส่ง ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์

ตารางที่ ก. 3 ข้อมูลความสัมพันธ์ของระบบไฟฟ้าแรงดัน 115 กิโลโวลต์

ชนิด	ระยะทาง (km)	Pos_S <sub>max</sub>	Pos_L <sub>max</sub>	Zero_S <sub>max</sub>	Ia_S <sub>max</sub>	Ib_S <sub>max</sub>	Ic_S <sub>max</sub>
ฟ้าผ่า	45	512.5667	223.2657	36.7641	397.9889	100.447	98.455
	88.5	495.2892	214.6807	20.4830	331.7209	82.9446	83.010
	90	441.2554	202.4267	18.8774	302.3265	78.5673	79.879
ฟอลต์ระหว่างเฟส	45	12.6350	2.3326	0.0000	0.4248	0.4246	1.77E-05
	88.5	16.8109	1.2397	0.1040	10.4145	10.4373	2.67E-05
	90	5.6643	2.1508	0.0000	3.7783	3.7747	1.77E-05

จากตารางที่ ก. 3 เมื่อพิจารณาเหตุการณ์ฟ้าผ่าพบว่า ระยะความยาวสายส่งเปลี่ยนแปลง มีผลกระทบต่อขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวก กระแสลำดับศูนย์และขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของแต่ละเฟส โดยขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวกของสถานีส่งและสถานีรับมีแนวโน้มลดลง ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของกระแสลำดับศูนย์ด้านสถานีส่งมีแนวโน้มลดลง และเมื่อพิจารณาขนาดสัมประสิทธิ์ในแต่ละเฟสพบว่า มีแนวโน้มลดลงทั้งสามเฟส เมื่อความยาวสายส่งเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาข้อมูลของเหตุการณ์ฟอลต์ระหว่างเฟสพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทด้านสถานีส่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจาก 45 กิโลเมตรเป็น 88.5 กิโลเมตรและเมื่อระยะความยาวสายส่งเท่ากับ 90 กิโลเมตรขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมีแนวโน้มลดลง ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทด้านสถานีรับแตกต่างจากสถานีส่งคือ เมื่อระยะความยาวสายส่งเพิ่มขึ้นขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทลดลงที่ระยะความยาวสายส่งเท่ากับ 88.5 กิโลเมตรและเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ความยาวสายส่ง 90 กิโลเมตร เมื่อพิจารณาขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทกระแสลำดับศูนย์พบว่า มีขนาดเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากไม่เกิดการลัดวงจรลงดิน และเมื่อพิจารณาขนาดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทแต่ละเฟสพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของเฟส A และเฟส B มีขนาดใกล้เคียงกัน เนื่องจากเกิดการลัดวงจรที่เฟสทั้งสองพร้อมกัน ในขณะที่เฟส C มีขนาดน้อยมาก

ทำการเปลี่ยนแปลงระยะทางสายส่ง 3 ระยะ คือ ระยะความยาวสายส่ง 45, 88.5 และ 90 กิโลเมตร โดยเกิดเหตุการณ์ฟ้าผ่าที่เฟส A และฟอลต์ระหว่างเฟส A และเฟส B มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 30% ของความยาวสายส่ง ระดับแรงดัน 230 กิโลโวลต์

ตารางที่ ก. 4 ข้อมูลความสัมพันธ์ของระบบไฟฟ้าแรงดัน 230 กิโลโวลต์

ชนิด	ระยะทาง (km)	Pos_S <sub>max</sub>	Pos_L <sub>max</sub>	Zero_S <sub>max</sub>	Ia_S <sub>max</sub>	Ib_S <sub>max</sub>	Ic_S <sub>max</sub>
ฟ้าผ่า	45	510.5464	221.1824	25.5057	391.118	98.743	97.692
	88.5	493.848	214.0199	17.9855	329.205	82.316	82.310
	90	471.5274	204.193	16.9034	300.422	76.543	73.568
ฟอลต์ระหว่างเฟส	45	19.5499	5.3052	0.0006	1.6988	1.7052	0.00177
	88.5	20.8338	1.5484	0.0000	13.8874	13.8891	2.62E-05
	90	22.6706	8.5825	0.0000	15.1053	15.1267	0.00011

จากตารางที่ ก. 4 เมื่อพิจารณาเหตุการณ์ฟ้าผ่าพบว่า ระยะความยาวสายส่งมีผลต่อขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท โดยเมื่อระยะความยาวสายส่งเพิ่มขึ้น ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวกด้านสถานีส่งและสถานีรับมีแนวโน้มเดียวกัน คือ ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวกมีแนวโน้มลดลง และเมื่อพิจารณาขนาดสัมประสิทธิ์ของกระแสลำดับศูนย์พบว่า มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกัน และเมื่อพิจารณาในแต่ละเฟสพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทลดลงทั้งสามเฟส

เมื่อพิจารณาเหตุการณ์ฟอลต์ระหว่างเฟสพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของกระแสลำดับบวกด้านสถานีส่งและสถานีรับมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นผลเนื่องจากระยะความยาวสายส่งเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ขนาดอิมพีแดนซ์และขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทเปลี่ยนแปลง และเมื่อพิจารณาขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของแต่ละเฟส ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของเฟส A และเฟส B มีขนาดสัมประสิทธิ์มากกว่าเฟส C และมีขนาดใกล้เคียงกันทั้งสองเฟส เนื่องจากเกิดการลัดวงจรที่เฟสดังกล่าว

ทำการเปลี่ยนแปลงระยะทางสายส่ง 3 ระยะ คือ ระยะความยาวสายส่ง 45, 88.5 และ 90 กิโลเมตร โดยเกิดเหตุการณ์ฟ้าผ่าที่เฟส A และฟอลต์ระหว่างเฟส A และเฟส B มุมแรงดัน 0 องศา ตำแหน่ง 30% ของความยาวสายส่ง ระดับแรงดัน 500 กิโลโวลต์

ตารางที่ ก. 5 ข้อมูลความสัมพันธ์ของระบบไฟฟ้าแรงดัน 500 กิโลโวลต์

ชนิด	ระยะทาง (km)	Pos_S <sub>max</sub>	Pos_L <sub>max</sub>	Zero_S <sub>max</sub>	Ia_S <sub>max</sub>	Ib_S <sub>max</sub>	Ic_S <sub>max</sub>
ฟ้าผ่า	45	513.7914	222.4895	24.1127	391.024	98.6927	97.492
	88.5	493.6779	214.0050	17.73265	329.213	82.2398	82.245
	90	474.8969	208.3298	16.7202	174.429	76.1764	74.598
ฟอลต์ระหว่างเฟส	45	25.1635	12.1023	0.0024	8.0363	8.0160	0.00177
	88.5	98.7888	7.2661	0.0008	65.6106	65.6788	0.00177
	90	107.0999	40.4737	0.0008	71.3881	71.3515	0.00177

จากตารางที่ ก. 5 เมื่อพิจารณาเหตุการณ์ฟ้าผ่าพบว่า การเปลี่ยนแปลงความยาวสายส่งมีผลกระทบต่อขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต โดยระยะความยาวสายส่งเพิ่มขึ้น ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตกระแสลำดับบวกด้านสถานีส่งและสถานีรับมีแนวโน้มลดลง ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแสลำดับศูนย์มีแนวโน้มลดลง และเมื่อพิจารณาขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตแต่ละเฟสพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์ทั้งสามเฟสมีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะความยาวสายส่งเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาข้อมูลของเหตุการณ์ฟอลต์ระหว่างเฟสพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตด้านสถานีส่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะความยาวสายส่งเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตด้านสถานีรับพบว่า มีแนวโน้มแตกต่างจากสถานีรับคือ เมื่อความยาวสายส่งเพิ่มขึ้นจาก 45 กิโลเมตรเป็น 88.5 กิโลเมตร ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตมีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น 90 กิโลเมตร ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตกระแสลำดับศูนย์พบว่า มีขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตน้อยมาก เนื่องจากไม่เกิดการลัดวงจรลงดิน ดังนั้นขนาดสัมประสิทธิ์ของลำดับดังกล่าวจึงมีขนาดน้อยมากและเมื่อพิจารณาขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของกระแสแต่ละเฟสพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของเฟส A และเฟส B มีขนาดใกล้เคียงกัน เนื่องจากเกิดการลัดวงจรที่เฟสดังกล่าวทั้งคู่ ในขณะที่เฟส C ไม่เกิดการลัดวงจร จึงเกิดขนาดสัมประสิทธิ์น้อยมาก ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงความยาวสายส่งจึงมีผลกระทบต่อขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของเฟสที่เกิดฟอลต์มากกว่าเฟสที่ไม่เกิดฟอลต์

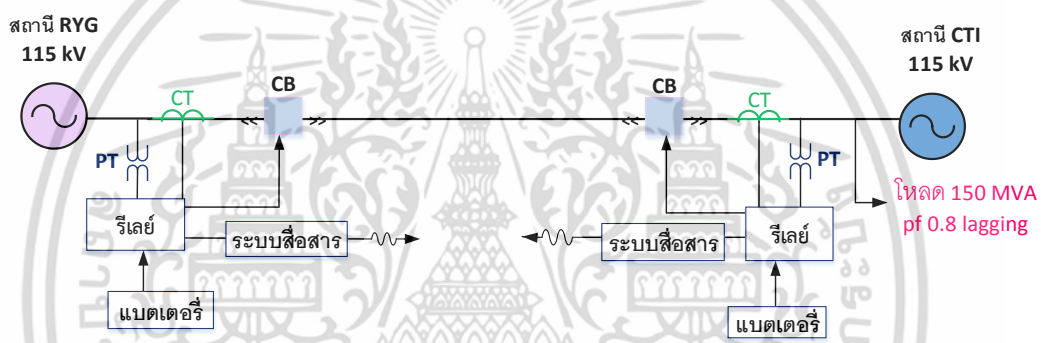
ดังนั้นจากผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันและระยะความยาวสายส่งพบว่า การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ทั้งสองมีผลต่อขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตที่ตรวจวัดด้านสถานีส่งและสถานีรับ ซึ่งส่งผลให้ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตแต่ละเฟสเปลี่ยนแปลงตาม

เมื่อพิจารณาข้อมูลจากตารางที่ ก. 3 - ตารางที่ ก. 5 พบว่า ถึงแม้การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าและระยะความสายส่งมีผลต่อขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ท และเมื่อทำการแยกแยะชนิดความผิดปกติด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอพบว่า

การแยกแยะฟ้าผ่าและฟอลต์ชนิดต่าง ๆ

เมื่อเกิดฟ้าผ่าขึ้น ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทต่ำสุดระหว่างสถานีส่งและสถานีรับของระดับแรงดัน 115, 230 และ 500 กิโลโวลต์มีขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทมากกว่า 53 และขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของกรณีเกิดฟอลต์มีขนาดต่ำกว่า 53 ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วระบบไฟฟ้ามีการติดตั้งรีเลย์ป้องกัน เมื่อเกิดความผิดปกติเนื่องจากฟ้าผ่าหรือฟอลต์ รีเลย์จะส่งสัญญาณให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรไฟฟ้าส่วนที่เสียหายออกจากระบบด้วยความเร็วสูง ทั้งนี้เพื่อลดอันตรายและลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบ

นอกจากนี้ยังมีระบบสื่อสารสำหรับส่งข้อมูลระหว่างกันของรีเลย์ เพื่อแสดงสถานการณ์ทำงานและค่าการตรวจจับ ดังแสดงในรูป ก. 1



รูป ก. 1 ระบบส่งกำลังไฟฟ้า โดยมีการติดตั้งรีเลย์ระยะทาง

จากรูป ก. 1 แสดงรูปแบบของระบบส่งกำลังไฟฟ้าที่มีการติดตั้งรีเลย์ป้องกัน หม้อแปลงกระแส (CT) และหม้อแปลงแรงดัน (PT) บริเวณสถานีส่งและสถานีรับ ซึ่งในการทำงานของรีเลย์จะอาศัยการถ่ายทอดกระแสและแรงดันจากหม้อแปลงกระแสและแรงดัน โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวป้อนกำลังงานไฟฟ้า หากกระแสและแรงดันเกินกว่าค่าที่รีเลย์กำหนด รีเลย์จะส่งสัญญาณให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงาน ตัดวงจรส่วนที่เกิดความผิดปกติออก อีกทั้งรีเลย์ยังสามารถส่งสัญญาณถึงกันด้วยระบบสื่อสาร ซึ่งช่วยให้รีเลย์ด้านปลายสายส่งทั้งสอง สามารถทำงานร่วมกันได้

การระบุเฟสที่เกิดฟ้าผ่า

จากข้อมูลตารางข้างต้น เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอพบว่า เมื่อระดับแรงดันและความยาวสายส่งเปลี่ยนแปลง ขนาดสัมประสิทธิ์ของเฟสที่เกิดฟ้าผ่ามีขนาดมากกว่า 0.5 เท่าของตัวแปรเปรียบเทียบและเฟสอื่น ๆ ที่ไม่เกิดฟ้าผ่ามีขนาดน้อยกว่า 0.5 เท่าของตัวแปรเปรียบเทียบ

การแยกแยะฟอลต์สามเฟส

ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของแต่ละเฟสยกกำลังสาม มีขนาดน้อยกว่า  $4 \times 10^{30}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแยแยะเฟสที่เกิดฟอลต์และการลัดวงจรลงดิน

จากข้อมูลข้างต้น เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอพบว่า ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของเฟสที่เกิดฟอลต์มีขนาดมากกว่า 0.25 เท่าของตัวแปรเปรียบเทียบและขนาดของเฟสอื่น ๆ ที่ไม่เกิดฟอลต์มีขนาดน้อยกว่า 0.25 เท่าของตัวแปรเปรียบเทียบ

เมื่อทำการพิจารณาการลัดวงจรลงดินพบว่า การลัดวงจรลงดินพิจารณาจากขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของกระแสลำดับศูนย์ ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยอัลกอริทึมที่นำเสนอแล้วพบว่า ถึงแม้ระดับแรงดันและระยะความยาวสายส่งเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเกิดการลัดวงจรลงดิน ขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทของกระแสลำดับศูนย์ยังคงมีขนาดมากกว่า 0.00153 และขนาดสัมประสิทธิ์ของสัญญาณที่ไม่เกิดการลัดวงจรลงดินมีขนาดน้อยกว่า 0.00153

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ถึงแม้ระดับแรงดันและความยาวสายส่งเปลี่ยนแปลง แต่อัลกอริทึมที่นำเสนอยังมีประสิทธิภาพในการแยกแยะชนิดความผิดปกติที่เกิดขึ้น

เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่นำเสนอกับอัลกอริทึมที่นำเสนอโดยนายพงษ์ศักดิ์ มากมิ่ง [49] แสดงได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก. 6 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม

ชนิด	% ความถูกต้องเฉลี่ย	
	อัลกอริทึมที่นำเสนอ	อัลกอริทึมนายพงษ์ศักดิ์ มากมิ่ง
ฟ้าผ่า	100	100
ฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน	98.76	100
ฟอลต์ระหว่างเฟส	96.3	100
ฟอลต์ระหว่างเฟสลงดิน	91.97	66.67
ฟอลต์สามเฟส	97.41	68.51

ตารางที่ ก. 6 เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของความผิดปกติแต่ละชนิดพบว่า กรณีเกิดฟ้าผ่า

อัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถแยกแยะว่าสัญญาณที่วิเคราะห์คือสัญญาณที่เกิดขึ้นเนื่องจากฟ้าผ่าหรือฟอลต์ อีกทั้งยังสามารถระบุเฟสที่เกิดฟ้าผ่าได้ถูกต้อง 100%

อัลกอริทึมนายพงษ์ศักดิ์ มากมิ่ง ไม่สามารถระบุได้ว่าสัญญาณที่วิเคราะห์คือสัญญาณฟ้าผ่าหรือฟอลต์ แต่สามารถระบุเฟสที่เกิดความผิดปกติได้ถูกต้อง 100% เช่นเดียวกัน

กรณีฟอลต์หนึ่งเฟสลงดิน

อัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถระบุเฟสที่เกิดฟอลต์หนึ่งเฟสลงดินถูกต้อง 98.76% โดยความคลาดเคลื่อน 1.24% เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการระบุการลัดวงจรลงดินคลาดเคลื่อน

อัลกอริทึมนายพงษ์ศักดิ์ มากมิ่ง สามารถระบุเฟสได้ถูกต้อง 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### กรณีพอลต์ระหว่างเฟส

อัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถระบุเฟสที่เกิดพอลต์ได้ถูกต้อง 96.3% โดยเกิดความคลาดเคลื่อนของการระบุการลัดวงจรลงดินประมาณ 3.7%

อัลกอริทึมนายพงษ์ศักดิ์ มากมิ่ง เมื่อพิจารณาเฟสที่เกิดพอลต์จะมีความถูกต้องเท่ากับ 100%

#### กรณีพอลต์ระหว่างเฟสลงดิน

อัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถระบุเฟสที่เกิดพอลต์ได้ถูกต้อง 91.97% โดยเกิดความคลาดเคลื่อนประมาณ 8.03% เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทที่มุมแรงดันที่ 30, 90 และ 150 องศาคลาดเคลื่อน

อัลกอริทึมนายพงษ์ศักดิ์ มากมิ่ง เมื่อพิจารณาเฟสที่เกิดพอลต์จะมีความถูกต้องเท่ากับ 66.67%

#### กรณีพอลต์สามเฟส

อัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถระบุเฟสที่เกิดพอลต์ได้ถูกต้อง 97.41% โดยเกิดความคลาดเคลื่อนประมาณ 2.59% เนื่องจากขนาดสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ทที่ตำแหน่งพอลต์ปลายสายส่งด้านสถานีรับคลาดเคลื่อน

อัลกอริทึมนายพงษ์ศักดิ์ มากมิ่ง เมื่อนำมาระบุเฟสที่เกิดพอลต์และตรวจสอบการลัดวงจรลงดินพบว่ามีความถูกต้องเพียง 68.51%

จากตาราง ก. 6 สรุปได้ว่า ทั้งสองอัลกอริทึมสามารถนำมาแยกแยะชนิดและระบุความผิดปกติได้ โดยอัลกอริทึมของนายพงษ์ศักดิ์ มากมิ่ง มีประสิทธิภาพในการระบุเฟสที่เกิดฟ้าผ่า พอลต์หนึ่งเฟสลงดิน และพอลต์ระหว่างเฟสมากกว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอ แต่อัลกอริทึมที่นำเสนอมีประสิทธิภาพในการระบุเฟสที่เกิดพอลต์ระหว่างเฟสลงดินและพอลต์สามเฟสมากกว่า

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	พรายกนก เลิศวณิชโรจน์
วัน เดือน ปีเกิด	15 สิงหาคม พ.ศ. 2535 ภูมิลำเนา จังหวัด กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	98/16 ม. กรองทอง ต.บางแก้ว อ. บางพลี จ.สมุทรปราการ 10540
ประวัติการศึกษา	2557 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานวิจัย	ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการและวารสารวิชาการ ระดับนานาชาติทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าระหว่างศึกษาปริญญาโท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้