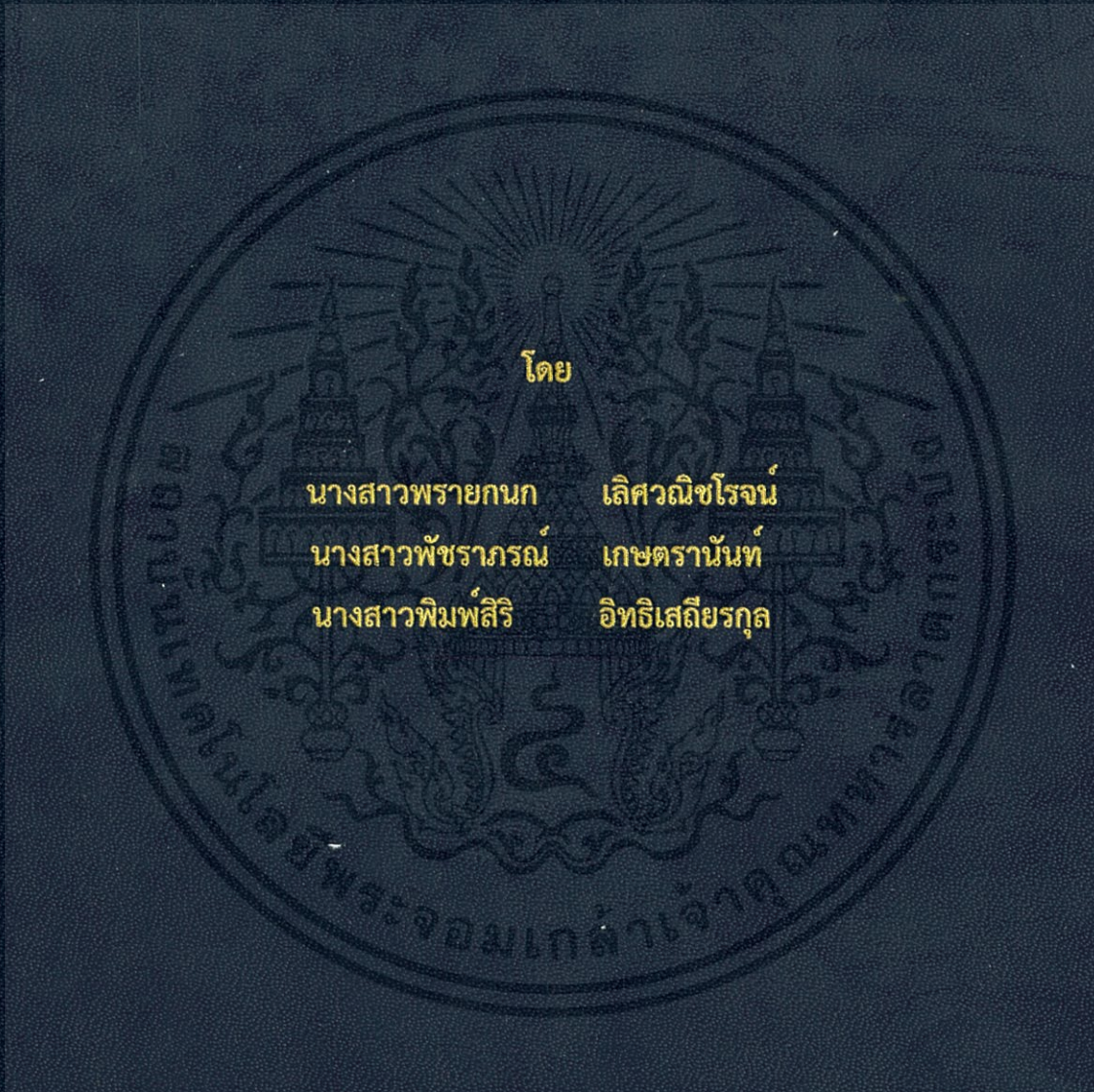


การระบุตำแหน่งฟ้าผ่าในระบบส่งกำลังไฟฟ้าโดยใช้การแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วย
Lightning Location in Transmission system using Discrete Wavelet Transform

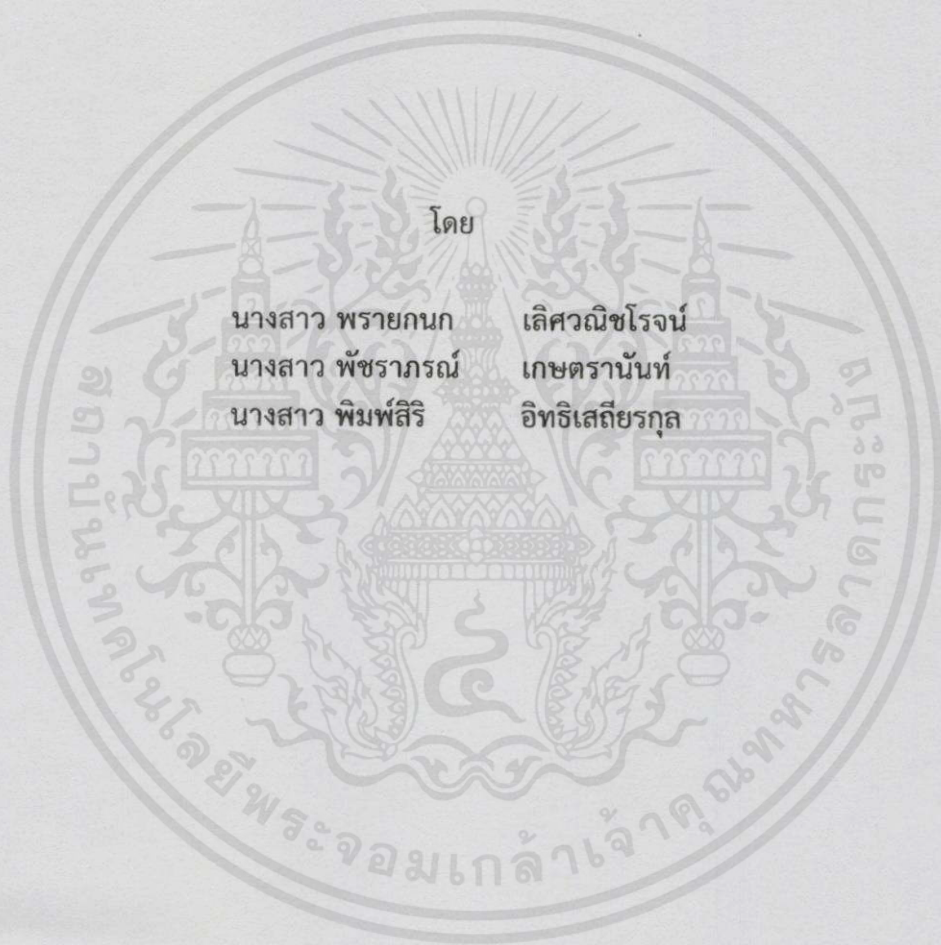


โดย

นางสาวพรายกนก	เลิศฉวนิชโรจน์
นางสาวพัชราภรณ์	เกษตรานันท์
นางสาวพิมพ์ลลิตา	อิทธิเสถียรกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การระบุตำแหน่งฟ้าผ่าในระบบส่งกำลังไฟฟ้าโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย
Lightning Location in Transmission system using Discrete Wavelet Transform



โดย
นางสาว พรายกนก เลิศวณิชโรจน์
นางสาว พัชราภรณ์ เกษตรานันท์
นางสาว พิมพ์ลิรี อธิธิเสถียรกุล

เอกสารนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิชาโครงข่ายไฟฟ้า
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

Lightning Location in Transmission system using Discrete Wavelet Transform



A PAPER SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT S INSTIUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

ปีการศึกษา 2557

การระบุตำแหน่งฟ้าผ่าในระบบส่งกำลังไฟฟ้าโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย
Lightning Location in Transmission system using Discrete Wavelet Transform



อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรศ.ดร.อรรถพล เจริญพิทักษ์กุล ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเผยแพร่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ผศ.ชายชาญ โปธิสาร

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การระบุตำแหน่งฟ้าผ่าในระบบส่งกำลังไฟฟ้าโดยใช้การแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วย

ผู้จัดทำ

1. นางสาว พรายกนก เลิศวณิชโรจน์
2. นางสาว พิชราภรณ์ เกษตรานันท์
3. นางสาว พิมพ์สิริ อธิธิเสถียรกุล



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถพล เเง้าพิทักษ์กุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชายชาญ โพธิสาร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การระบุตำแหน่งฟ้าผ่าในสายส่งโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย

นางสาว พรายกนก เลิศวณิชโรจน์
นางสาว พัชราภรณ์ เกษตรานันท์
นางสาว พิมพ์สิริ อธิเสถียรกุล
รศ.ดร. อรรถพล เก่าพิทักษ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ. ชายชาญ โพธิสาร อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาคุณลักษณะของกระแสในสายส่งของระบบไฟฟ้า เมื่อเกิดฟ้าผ่าลงบนสายส่ง โดยทำการเปรียบเทียบลักษณะของกระแสขณะปกติ และกระแสเมื่อเกิดฟอลต์ฟ้าผ่า โดยขั้นแรกทำการคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 115 กิโลโวลต์ หลังจากนั้นทำการจำลองการเกิดฟ้าผ่าลงบนเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงโดยใช้โปรแกรม ATPDraw ด้วยโมเดลเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงแบบมัลติสตอรี เพื่อทำการระบุตำแหน่งฟ้าผ่าบนเสาส่ง ที่หน้าคลื่นเท่ากับ $1.2/50$ ไมโครวินาที และมีความเร็วของคลื่นเท่ากับ 300 เมตรต่อไมโครวินาที ทำการจำลองทั้งหมด 7 กรณี โดยทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ เพื่อทำการศึกษาพฤติกรรมของกระแสฟ้าผ่าและผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อกระแสเมื่อเกิดฟ้าผ่า นำทฤษฎีการแปลงเวฟเล็ตและทฤษฎีความเร็วคลื่นเดินทางมาใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งฟ้าผ่า โดยทำการเปรียบเทียบวิธีการคำนวณหาตำแหน่งฟ้าผ่าระหว่างวิธีคำนวณโดยใช้ความเร็วคลื่นเดินทาง และ วิธีคำนวณโดยใช้ค่าเวลาสูงสุดลำดับที่หนึ่งและสาม เพื่อเปรียบเทียบวิธีการที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lightning Location in Transmission system using Discrete Wavelet Transform

Ms.Praikanok	Lertwanitrot	
Ms.Pacharaporn	Kettranan	
Ms.Pimsiri	Itthisathienkul	
Assoc.Prof.Dr.Atthapol	Ngaopitakkul	Advisor
Asst.Prof.Chaichan	Pothisarn	Advisor
Year 2014		

ABSTRACT

This thesis studies the characteristics of current when lightning striking occurs in transmission line by comparing of normal and abnormal (fault) states. The first, it concerns calculation the impedance of high-voltage transmission towers at voltage level of 115 kV. The second step is to simulate lightning striking occurrence on high-voltage transmission towers by using a Multistory model lightning on transmission towers in ATP program. The purpose of this study is to mainly specify the position of lightning striking on transmission lines. The standard impulse voltage with waveforms is 1.2/50 and the speed of the traveling wave is 300 m/ms. By changing the variables in the simulation of 7 case studies, the behaviors of lightning and the effects of variables on current can be studied. The wavelet transforming theory and the traveling wave theory are used to calculate the position of lightning strikes. The traveling wave method finds the first and third maxima and use them to calculate the approximate point of lightning strikes, and then, they are compared to obtain the best results.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อรรถพล เก่าพิทักษ์กุล อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งให้ความรู้และคำแนะนำในการใช้โปรแกรม ATPDraw พร้อมทั้งเอกสารต่าง ๆ และเทคนิคการนำเสนอ ตลอดจนการทำปฏิญานិพนธ์เล่มนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ชายชาญ โภธิสาร อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งให้ความรู้และคำแนะนำเกี่ยวกับทฤษฎีความต้านทานดิน และโครงสร้างของวงจรไฟฟ้า

ขอขอบพระคุณ นายจิตติพงษ์ กล่อมจิตต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งช่วยให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการจำลองทางไฟฟ้าของปฏิญานิพนธ์นี้ รวมไปถึงเทคนิคการใช้โปรแกรม ATPDraw

ขอขอบพระคุณ คุณปิยะณัฐ แก้วทอง คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งช่วยให้คำปรึกษาเกี่ยวกับค่าอิมพีแดนซ์ของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง และการจำลองทางไฟฟ้าของปฏิญานิพนธ์นี้ รวมไปถึงเทคนิคการใช้โปรแกรม ATPDraw

ขอขอบพระคุณ คุณภาณุ ศรีสุขใส คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งช่วยให้คำปรึกษาเกี่ยวกับใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่างๆ และทฤษฎีต่างๆ

ท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ผู้เป็นที่รัก ผู้ให้กำลังใจและให้โอกาสที่มีค่าอย่างยิ่งในการศึกษา

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	5
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	5
1.4 วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	6
1.5 แผนการดำเนินงาน	7
1.6 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย	8
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 เสรีจิมพีแดนซ์ (Surge impedance)	9
2.1.1 วิธีการคำนวณของจอร์แดน (Jordan)	10
2.1.2 วิธีการคำนวณของแวกเนอร์และฮิลล์แมน (Wagner and Hileman)	11
2.1.3 วิธีการคำนวณของซาร์เจนต์และดาเวนิซา (Sargent and Darveniza)	11
2.1.4 วิธีการคำนวณที่สถาบันวิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (IEEE) และองค์การซีเกอร์ (CIGRE) แนะนำ	12
2.2 ทฤษฎีคลื่นเดินทาง (Traveling wave theory)	13
2.3 ทฤษฎีตำแหน่งฟอลต์ (Principles of Fault Location)	18
2.4 การแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform)	22
บทที่ 3 การจำลองในโปรแกรม ATPDraw	24
3.1 โครงสร้างและข้อมูลของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงที่ได้จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)	24
3.2 โมเดลที่ใช้ในการจำลองโปรแกรม ATP	26
3.3 ผลการจำลอง (Simulate)	28
3.3.1 กรณีที่ 1 เกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีมุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันสถานีส่งจ่ายต่างกัน	29
3.3.2 กรณีที่ 2 เกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่งต่างๆถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ	31
3.3.3 กรณีที่ 3 เกิดฟ้าผ่าที่สายเฟสต่างกัน	37
3.3.4 กรณีที่ 4 เกิดฟ้าผ่าที่มีขนาดกระแสฟ้าผ่าต่างกัน	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.5 กรณีที่ 5 เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีแรงดันต่างกัน	40
3.3.6 กรณีที่ 6 เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีความต้านทานดินต่างกัน	42
3.3.7 กรณีที่ 7 เกิดฟ้าผ่าที่ความยาวของสายส่งต่างกัน	44
บทที่ 4 การระบุตำแหน่งฟ้าผ่า	48
4.1 การแปลงคลาร์ก (Clarke s Transformation)	50
4.2 การแปลงเวฟเล็ต (Wavelet transforms)	52
4.2.1 พฤติกรรมการแปลงเวฟเล็ต	54
4.3 การระบุตำแหน่งฟ้าผ่าในสายส่ง	90
4.3.1 ระบุตำแหน่งฟ้าผ่าโดยใช้ความเร็วคลื่นเดินทาง	91
4.3.2 ระบุตำแหน่งฟ้าผ่าโดยเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ลำดับที่ 3	93
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	97
5.1 สรุปผลการทดลอง	97
5.2 ข้อเสนอแนะ	98
เอกสารอ้างอิง	99
ภาคผนวก	103
ภาคผนวก ก. บทความทางวิชาการ	104
ภาคผนวก ข. การใช้โปรแกรม ATPDraw	109
ภาคผนวก ค. ผลการทดลองจากโปรแกรม ATPDraw	117
ภาคผนวก ง. การระบุตำแหน่งฟ้าผ่า เวลาไม่ผ่านการแปลงเวฟเล็ต	183
ภาคผนวก จ. ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 จากการแปลงเวฟเล็ตสเกลที่ 1 กรณีตำแหน่งฟ้าผ่าเปลี่ยนแปลง	189
ประวัติผู้เขียน	200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เหตุการณ์ฟ้าผ่าลงที่ส่วนบนของเสาส่งไฟฟ้าแรงสูงที่มีกระแสเท่ากันแต่มีมุมต่างกัน 3 มุม	4
1.2 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้น โดยกระแสฟ้าผ่าลงเสาหล่อฟ้า	4
2.1 การประมาณโครงเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (Steel lattice) แบบกรวย (Conical) และทรงกระบอก (Cylindrical)	9
2.2 โมเดลของเสาส่งแบบมัลติสตอรี (Multistory transmission tower model)	10
2.3 รัศมีสมมูลของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (Tower equivalent radius)	12
2.4 รูปคลื่นกระแสเสิร์จหรือรูปคลื่น 1.2/50 ไมโครวินาที (μs)	13
2.5 แบบจำลองของส่วนย่อยของสายส่ง ณ เฟสใดๆ โดย v และ x เป็นฟังก์ชันของ x และ t	14
2.6 คลื่นของแรงดันซึ่งเป็นฟังก์ชันของ $x-vt_1$ ที่เวลา t_1 และ t_2	16
2.7 ลักษณะของคลื่นเดินทางในสภาวะที่เกิดฟลลด์บนสายส่ง	17
2.8 ซิงเกิ้ลไลน์ไดอะแกรมและบิลลี-แลคทิสไดอะแกรมของระบบส่งจ่าย 400 กิโลโวลต์ เมื่อเกิดฟลลด์	19
2.9 ซิงเกิ้ลไลน์ไดอะแกรมและบิลลี-แลคทิสไดอะแกรมของระบบส่งจ่าย 400 กิโลโวลต์ เมื่อเกิดฟลลด์ที่มีความต้านทานฟลลด์ต่ำมาก	20
2.10 ซิงเกิ้ลไลน์ไดอะแกรมและบิลลี-แลคทิสไดอะแกรมของระบบส่งจ่าย 400 กิโลโวลต์ เมื่อเกิดฟลลด์ถาวร	22
3.1 โครงสร้างของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง 115 กิโลโวลต์	24
3.2 โมเดลเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงแบบมัลติสตอรี (Multistory transmission tower model)	25
3.3 แบบจำลองเสาส่งแรงดัน 115 กิโลโวลต์	27
3.4 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีมุมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา	29
3.5 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีมุมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 90 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 100 องศา	30
3.6 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีมุมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 135 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 145 องศา	30
3.7 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 10% ของความยาวสายส่ง	32
3.8 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 20% ของความยาวสายส่ง	32
3.9 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 30% ของความยาวสายส่ง	33
3.10 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง	33
3.11 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 50% ของความยาวสายส่ง	34
3.12 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง	34
3.13 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง	35
3.14 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 80% ของความยาวสายส่ง	35
3.15 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 90% ของความยาวสายส่ง	36

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.16 กระแสฟ้าผ่าที่สายเฟส A	37
3.17 กระแสฟ้าผ่าที่สายเฟส B	37
3.18 กระแสฟ้าผ่าที่สายเฟส C	38
3.19 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีขนาดกระแสฟ้าผ่า 10 กิโลแอมแปร์	39
3.20 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีขนาดกระแสฟ้าผ่า 20 กิโลแอมแปร์	39
3.21 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีขนาดกระแสฟ้าผ่า 30 กิโลแอมแปร์	40
3.22 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีแรงดัน 115 กิโลโวลต์	41
3.23 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีแรงดัน 230 กิโลโวลต์	41
3.24 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีแรงดัน 500 กิโลโวลต์	42
3.25 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดิน 1 โอห์ม	43
3.26 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดิน 10 โอห์ม	43
3.27 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดิน 100 โอห์ม	44
3.28 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีความยาวสายส่งเท่ากับ 30 กิโลเมตร	45
3.29 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีความยาวสายส่งเท่ากับ 50 กิโลเมตร	45
3.30 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีความยาวสายส่งเท่ากับ 70 กิโลเมตร	46
3.31 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีความยาวสายส่งเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร	46
4.1 ขั้นตอนการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า	49
4.2 องค์ประกอบลำดับบวก (Positive Sequence Current) จากการแปลงคลาร์ก	51
4.3 การแปลงเวฟเฟิร์ตของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current)	52
4.4 ความเร็วคลื่นเดินทางในแต่ละความถี่	53
4.5 การแปลงเวฟเฟิร์ตสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีมุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดัน 0 องศา (ด้านส่ง), 10 องศา (ด้านรับ)	55
4.6 การแปลงเวฟเฟิร์ตสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีมุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดัน 90 องศา (ด้านส่ง), 100 องศา (ด้านรับ)	56
4.7 การแปลงเวฟเฟิร์ตสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีมุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดัน 135 องศา (ด้านส่ง), 145 องศา (ด้านรับ)	57
4.8 การแปลงเวฟเฟิร์ตสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 10 % ของความยาวของสายส่ง	59
4.9 การแปลงเวฟเฟิร์ตสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 20 % ของความยาวของสายส่ง	60
4.10 การแปลงเวฟเฟิร์ตสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 30 % ของความยาวของสายส่ง	61
4.11 การแปลงเวฟเฟิร์ตสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 40 % ของความยาวของสายส่ง	62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 50 % ของความยาวของสายส่ง	63
4.13 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 60 % ของความยาวของสายส่ง	64
4.14 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวของสายส่ง	65
4.15 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 80% ของความยาวของสายส่ง	66
4.16 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 90% ของความยาวของสายส่ง	67
4.17 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส A	69
4.18 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส B	70
4.19 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส C	71
4.20 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีขนาดกระแสฟ้าผ่า 10 กิโลแอมแปร์	73
4.21 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีขนาดกระแสฟ้าผ่า 20 กิโลแอมแปร์	74
4.22 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีขนาดกระแสฟ้าผ่า 30 กิโลแอมแปร์	75
4.23 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีขนาดแรงดันของระบบ 115 กิโลโวลต์	77
4.24 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีขนาดแรงดันของระบบ 230 กิโลโวลต์	78
4.25 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีขนาดแรงดันของระบบ 500 กิโลโวลต์	79
4.26 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีความต้านทานดิน 1 โอห์ม	81
4.27 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีความต้านทานดิน 10 โอห์ม	82
4.28 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีความต้านทานดิน 100 โอห์ม	83

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.29 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีความยาวของสายส่ง 30 กิโลเมตร	85
4.30 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีความยาวของสายส่ง 50 กิโลเมตร	86
4.31 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีความยาวของสายส่ง 70 กิโลเมตร	87
4.32 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีความยาวของสายส่ง 88.5 กิโลเมตร	88
4.33 ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 ของทั้งสองสถานี กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง	90
4.34 แผนภาพคุณลักษณะการสะท้อนของคลื่น เมื่อเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 70% ของสายส่ง	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ระยะเวลาสำหรับเสาส่งไฟฟ้าแรงสูง 115 กิโลโวลต์ (อ้างอิงระยะจากรูปที่ 3.1)	24
3.2 ค่าพารามิเตอร์และวิธีการคำนวณเสิร์จอิมพีแดนซ์	26
3.3 พารามิเตอร์สำหรับเสาส่งไฟฟ้าแรงสูงแบบมัลติสตอรี	28
3.4 ค่ากระแสและเวลาของสภาวะชั่วคราวสูงสุด กรณีที่เกิดฟ้าที่ระบบมีมุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันสถานีส่งจ่ายต่างกัน	31
3.5 ค่ากระแสและเวลาของสภาวะชั่วคราวสูงสุด กรณีที่เกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่งต่างๆ	36
3.6 ค่ากระแสและเวลาของสภาวะชั่วคราวสูงสุด กรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟสต่างกัน	38
3.7 ค่ากระแสและเวลาของสภาวะชั่วคราวสูงสุด กรณีเกิดฟ้าผ่าที่มีขนาดกระแสฟ้าผ่าต่างกัน	40
3.8 ค่ากระแสและเวลาของสภาวะชั่วคราวสูงสุด กรณีเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีแรงดันต่างกัน	42
3.9 ค่ากระแสและเวลาของสภาวะชั่วคราวสูงสุด กรณีเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีความต้านทานดินต่างกัน	44
3.10 ค่ากระแสและเวลาของสภาวะชั่วคราวสูงสุด กรณีเกิดฟ้าผ่าที่ความยาวของสายส่งต่างกัน	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้ามีความสำคัญและมีความต้องการมากขึ้น โดยการดำเนินงานต่างๆ ล้วนแต่มีความต้องการทางไฟฟ้าทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นสถานศึกษา, โรงพยาบาล, สถานที่ราชการ หรือแม้กระทั่งบนท้องถนนก็เช่นกัน ดังนั้นความต่อเนื่องและเสถียรภาพของไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งสำคัญ ระบบควบคุมและส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจึงต้องมีประสิทธิภาพ สามารถส่งจ่ายไฟฟ้าได้โดยไม่ติดขัด แม้อาจเกิดความผิดปกติของระบบบริเวณสายส่งที่กระจายอยู่ทั่วไปก็ตาม จากเหตุการณ์ไฟฟ้าดับสามารถแยกสาเหตุหลักๆ ได้ 2 ประการ คือไฟฟ้าดับเนื่องจากธรรมชาติและเนื่องจากระบบไฟฟ้า ซึ่งเหตุการณ์ไฟฟ้าดับเนื่องจากธรรมชาติ เช่น เนื่องจากฟ้าผ่า ซึ่งฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถควบคุมและยับยั้งได้ จากเหตุการณ์ฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นทั้งในประเทศและต่างประเทศนั้นแสดงให้เห็นว่าเหตุการณ์ฟ้าผ่าลงในระบบไฟฟ้าแล้วทำให้ไฟฟ้าดับ ได้สร้างความเสียหายมากมายทางด้านชีวิตและทรัพย์สิน แม้ว่าเหตุการณ์ดังกล่าวไม่สามารถยับยั้งได้ แต่สามารถลดความเสียหายให้เหลือน้อยลงได้ หากสามารถระบุตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าในระบบได้อย่างถูกต้อง, แม่นยำและรวดเร็ว เมื่อทราบตำแหน่งที่เกิดความเสียหายก็สามารถส่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเข้าไปแก้ไขได้ในเวลาอันรวดเร็ว ระบบก็จะสามารถกลับคืนสู่ภาวะปกติได้ในเวลาอันสั้น ทำให้ลดความเสียหายและความเดือดร้อนลงได้

ฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นในบรรยากาศ อันเป็นผลของการคายประจุหรือดีสชาร์จของประจุไฟฟ้าที่สมบรูณ์อยู่ในก้อนเมฆ การสะสมของประจุที่มีขั้วต่างกันเป็นผลทำให้เกิดสนามไฟฟ้าระหว่างกลุ่มประจุเหล่านั้น ทำให้เกิดความเครียดเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสูงเกินค่าวิกฤตความคงทนของอากาศก็จะเกิดการดีสชาร์จขึ้น ดีสชาร์จอาจเกิดขึ้นระหว่างก้อนเมฆด้วยกันหรือระหว่างก้อนเมฆกับพื้นโลก ซึ่งกรณีการเกิดการดีสชาร์จระหว่างก้อนเมฆกับพื้นโลกก็คือการเกิดฟ้าผ่านั่นเอง [1] สิ่งที่ต้องพิจารณาในการเกิดฟ้าผ่าจะต้องคำนึงถึงโอกาสการเกิดฟ้าผ่า, จำนวนครั้งที่ฟ้าผ่าลงสู่สายส่งรวมทั้งลักษณะของสายส่ง Armstrong [2] ได้นำเสนอโอกาสการเกิดฟ้าผ่า (probability density function) นอกจากนี้ Eriksson [4] ยังได้นำเสนอวิธีการหาจำนวนครั้งที่ฟ้าผ่าลงสู่สายส่งรวมทั้งพิจารณาในเรื่องลักษณะของเสาซึ่งได้รับการยอมรับจากองค์การซีเกอร์ (CIGRE) และสถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (IEEE) นอกจากนี้ Eriksson แล้ว IEEE Working Group [5] ก็ได้เสนอสมการในการหาจำนวนครั้งที่ฟ้าผ่าลงสู่สายส่งเช่นกัน ฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นนั้นเมื่อพิจารณาตามขั้วของกระแสจะพบว่า มีฟ้าผ่าแบบลบและแบบบวก จากข้อมูลที่บันทึกได้ในต่างประเทศพบว่า ประมาณ 80-85% เป็นฟ้าผ่าแบบลบ ซึ่งฟ้าผ่าแบบลบมักจะเป็นการเกิดฟ้าผ่าซ้ำๆ กันหลายๆ ลำ แต่ฟ้าผ่าบวกมักจะเป็นฟ้าผ่าลำเดียว [6] ซึ่งในการเกิดฟ้าผ่านั้นรูปคลื่นอิมพัลส์ฟ้าผ่าอาจมีรูปร่างแตกต่างกันออกไป ตามมาตรฐาน IEC [7] ขนาดของกระแสฟ้าผ่าก็เป็นอีกกรณีหนึ่งที่ควรพิจารณา โดยขนาดกระแสฟ้าผ่าจะมีค่ามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณการดีสชาร์จของประจุ ซึ่งขึ้นอยู่กับขั้วของฟ้าผ่า, ลักษณะการเกิดฟ้าผ่า ว่าเป็นแบบผ่าลงหรือผ่าขึ้นเกิดจากรูปแบบการเกิดฟ้าผ่าในสายส่ง [8] ซึ่งสามารถแยกลักษณะการเกิดฟ้าผ่าได้เป็น 3 กรณี โดยขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่า กรณีแรกคือการเกิดฟ้าผ่าลงดินและเกิดการเหนี่ยวนำในสายเฟส [9] ซึ่งแรงดันเหนี่ยวนำนี้จึงมีผลน้อยมากในระดับแรงดันของสายส่ง กรณีที่สองคือการเกิดฟ้าผ่าลงในสายเฟส

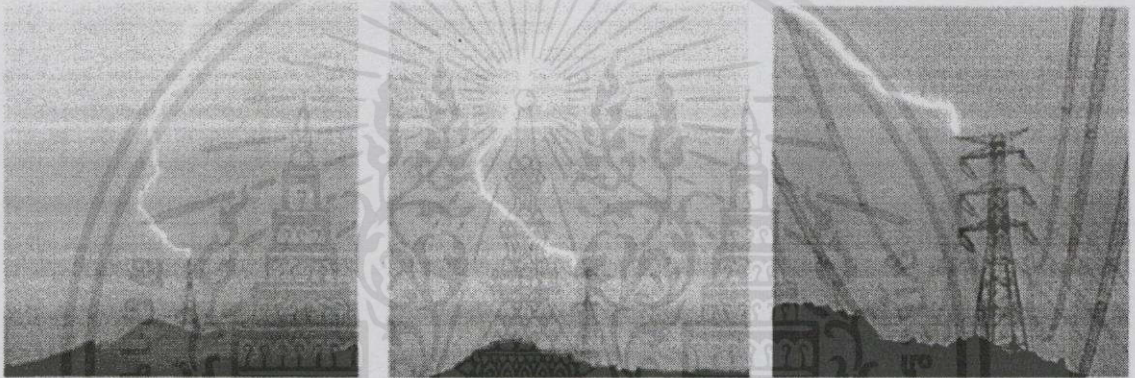
ถึงแม้จะมีสายล่อฟ้าที่เป็นระบบป้องกัน แต่อาจมีการชิลด์ล้มเหลว (Shielding Failure) ทำให้แรงดันของสายเฟสเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้เกิดเสิร์จบนสายเฟสซึ่งกรณีนี้จะมีแรงดันเกินเกิดขึ้นมากที่สุด กรณีสุดท้ายคือการเกิดฟ้าผ่าโดยตรงที่สายล่อฟ้า (Overhead Ground Wire หรือ OHGW) ซึ่งกรณีนี้จะเกิดบ่อยที่สุด จากรูปแบบการเกิดฟ้าผ่าพบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดไฟฟ้าดับส่วนมากมีสาเหตุมาจากกรณีที่สอง โดยจากเหตุการณ์ฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นในประเทศไทยล่าสุดคือไฟฟ้าดับ ทั่วภาคใต้ 14 จังหวัด ในช่วงค่ำวันที่ 21 พฤษภาคม พ.ศ. 2556 เมื่อเวลา 18.52 นาฬิกา ได้แก่ จังหวัดชุมพร, นครศรีธรรมราช, นราธิวาส, ปัตตานี, พังงา, พัทลุง, ภูเก็ต, กระบี่, ระนอง, สตูล, สงขลา, สุราษฎร์ธานี, ตรังและยะลา สาเหตุมาจากสายส่งขนาด 500 กิโลโวลต์ ซึ่งเป็นสายส่งจอมบึง-ประจวบคีรีขันธ์ ที่เป็นสายส่งหลักที่ส่งไฟฟ้าจากภาคกลางไปภาคใต้เกิดขัดข้อง ซึ่งปกติสายส่งไฟฟ้าไปยังภาคใต้มี 4 วงจร คือ สายส่ง 500 กิโลโวลต์ จำนวน 2 วงจร และ 230 กิโลโวลต์ จำนวน 2 วงจร แต่เมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2556 ได้มีการปลดสายส่ง 500 กิโลโวลต์ เพื่อซ่อมบำรุง ส่วนในช่วงเย็นสายส่ง 500 กิโลโวลต์ อีกเส้นก็เกิดชำรุด ซึ่งสาเหตุมาจากเกิดฟ้าผ่าลงสายเฟสทำให้ต้องจ่ายไฟผ่านสายส่ง 230 กิโลโวลต์ แต่ไม่เพียงพอที่จะจ่ายไฟฟ้างานภาคใต้ ทำให้สายส่ง 230 กิโลโวลต์ จ่ายกำลังไฟฟ้าเกินพิกัด จนในที่สุดระบบไฟฟ้าล้มเหลว ทำให้ไม่สามารถส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ (ไฟดับ) โดยรวมระยะเวลาที่ไฟฟ้าดับประมาณ 3 ชั่วโมง และจากเหตุการณ์ในครั้งนี้ ได้สร้างความเสียหายทางด้านทรัพย์สินกว่า 500 ล้านบาท นอกจากนี้ประเทศไทยยังเคยเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับครั้งใหญ่ที่สุดเมื่อ 18 มีนาคม พ.ศ. 2521 โดยไฟฟ้าดับทั่วประเทศไทย เป็นระยะเวลา นานกว่า 9 ชั่วโมง ในต่างประเทศเองก็เช่นกัน เคยเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ เนื่องจากฟ้าผ่า ยกตัวอย่างเช่น กรณีไฟฟ้าดับนครนิวยอร์ก เมื่อวันที่ 14 สิงหาคม พ.ศ. 2546 นั้นถือได้ว่าเป็นไฟฟ้าดับครั้งใหญ่ที่สุดในประวัติศาสตร์ของสหรัฐฯ ที่กระทบต่อประชากรประมาณ 40 ล้านคน สาเหตุหลักเกิดจากการไม่สมดุลของระบบไฟฟ้าที่เริ่มจากความผิดปกติของโรงไฟฟ้าและระบบสายส่งในรัฐโอไฮโอ ก่อนจะส่งผลลามไปสู่รัฐมิชิแกนในเวลาเพียงหนึ่งชั่วโมง หลังจากนั้นในเวลาเพียงไม่กี่นาทีก็ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าส่งผลกระทบต่อรัฐข้างเคียงอื่นๆ รวมถึงเมืองใหญ่ๆ เช่น นิวยอร์ก สร้างความเสียหายทางไฟฟ้าคิดเป็นขนาดรวมของระบบกว่า 71,000 เมกะวัตต์ (ขนาดเสียหายจำนวนนี้เทียบเท่ากับระบบไฟฟ้าประมาณเกือบ 4 เท่าของประเทศไทย) และจากผลของไฟฟ้าดับครั้งนี้ได้มีการประเมินความเสียหายทางเศรษฐกิจกว่า 240,000 ล้านบาท โดยใช้ระยะเวลา รวมกว่า 2 วันจึงจะสามารถกู้ไฟฟ้ากลับได้อย่างสมบูรณ์

เหตุการณ์ไฟฟ้าดับ (Blackout) หมายถึง การสูญเสียพลังงานไฟฟ้าซึ่งส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟจำนวนมาก ครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้างและตลอดช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งนานพอสมควร ฟ้าผ่านอกจากจะทำให้สายส่งของระบบไฟฟ้าเสียหายแล้ว ยังมีผลต่อระบบการต่อลงดิน ระบบการต่อลงดินมีความสำคัญมากในเรื่องการรักษาความปลอดภัย ทั้งต่อสิ่งมีชีวิตและทรัพย์สิน จากมาตรฐานของการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยและการออกแบบไฟฟ้า ของ ว.ส.ท [10] ได้กำหนดให้ค่าความต้านทานของหลักดินควรมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 โอห์ม L.Grev [11] ได้นำเสนอวงจรสมมูลของระบบการต่อลงดินแบบแนวตั้ง โดยเขียนวงจรสมมูลได้ด้วยความต้านทานหนึ่งตัว ปัญหาที่พบบ่อยที่สุดในระบบส่งจ่ายไฟฟ้านั้น คือปัญหาการชิลด์ล้มเหลว ซึ่งส่งผลกระทบต่อด้านเสถียรภาพของระบบและด้านเศรษฐกิจ P. N. Mikropoulos [12] ได้ทำการศึกษาทฤษฎีการวิเคราะห์การชิลด์ (Shielding Analysis) ในรูปกระแสฟ้าผ่าต่างๆ ด้วยโมเดลที่แตกต่างกัน โมเดลสำหรับฟ้าผ่าในปัจจุบันนั้นได้มีผู้ทำการเสนอรูปแบบไว้มากมาย เช่น Suzuki's model [13], Borghetti [14], Anderson [15], Eriksson [16], Armstrong [17], Wagner [18] และ Mousa

[19] เมื่อพิจารณาในเรื่องกระแสฟ้าผ่า พบว่าในปัจจุบันส่วนมากจะทำการคำนวณเพียงค่าแอมพลิจูดของกระแสเพียงอย่างเดียว และจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ก็ยังไม่เพียงพอที่จะแสดงแนวโน้มที่ชัดเจน และไม่ได้ทำการศึกษาคณลักษณะรูปคลื่นกระแสฟ้าผ่าที่สำคัญมาก J.Takami [21] เสนอว่ารูปคลื่นกระแสฟ้าผ่าประกอบไปด้วยพารามิเตอร์แอมพลิจูดของกระแส, หนาคคลื่น (front duration), อัตราเพิ่มขึ้น (rate of rise) โดยพารามิเตอร์เหล่านี้จะมีผลต่อแรงดันเกินที่เกิดขึ้นในสถานีไฟฟ้าและ C. Yao [22] ยังได้ทำการศึกษารูปของกระแสฟ้าผ่าที่ต่างกัน ว่าส่งผลอย่างไรต่อระบบ และทำการจำลองผลผ่านโปรแกรม ATP เพื่อทำการศึกษาระแสฟ้าผ่าที่ผ่าลงที่ต่างๆ ของเสาไฟฟ้าว่าส่งผลอย่างไรกับระบบ นอกจากนี้ยังมีผู้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อรูปแบบ, ขนาดและจำนวนครั้งของกระแสฟ้าผ่า, ความต้านทานดิน, ระยะห่างของเสา, เวลาที่ถึงของคลื่น มีผลต่อตำแหน่งฟ้าผ่า[23-24] ในช่วงปี ค.ศ 1980 สหรัฐฯได้เริ่มมีการนำระบบตรวจจับตำแหน่งฟ้าผ่า(Lightning Location Systems : LLS) มาใช้ในระบบควบคุม โดยในอดีตนั้นระบบตรวจจับตำแหน่งฟ้าผ่าถูกจำกัดด้วยเรื่องเทคโนโลยี และด้านราคา[25] ค่าเวลาและสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้นอาศัยเซนเซอร์ในการตรวจจับ[26-27] อีกทั้งยังมีการพัฒนาโดยมีโมดูลสำหรับจัดเก็บข้อมูลของกระแสฟ้าผ่า เพื่อสามารถนำมาศึกษาต่อในอนาคตได้[28] เทคโนโลยีตรวจจับตำแหน่งฟ้าผ่าก็ได้พัฒนาและมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก [29-31] นอกจากนี้แล้วยังได้มีการนำเอาเทคโนโลยีระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (GPS) และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เข้ามาประยุกต์ใช้ร่วมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งฟ้าผ่าให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น[32] อีกทั้งยังมีผู้ที่ทำการศึกษาโดยจำลองผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่างๆ

ด้านการศึกษาถึงเสถียรภาพของระบบ โดย J. Sadeh [33] กล่าวว่าเมื่อมีการขยายตัวของระบบไฟฟ้า สายส่งเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีผลต่อดัชนีความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้า ดังนั้นจึงมีการคิดค้นวิธีการต่างๆ เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของฉนวนกันความรื้อน Z. Luo [34] นำเสนอเทคโนโลยีขั้นสูงแบบใหม่ที่สามารถตรวจจับเวลา, ตำแหน่ง, กระแสสูงสุดและชั่วของฟ้าผ่า มีการแสดงการเตือนก่อนที่จะเกิดฟ้าผ่าอย่างมีนัยสำคัญ โดยระบบทั้งหมดประกอบด้วยส่วนองค์ประกอบสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและการวิเคราะห์ฟ้าผ่าของวงจรไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กของระบบตรวจจับตำแหน่งฟ้าผ่า นอกจากนี้เสถียรภาพของระบบจะใช้ระบุตำแหน่งฟอลต์แล้วยังเป็นตัวบ่งชี้ว่าระบบมีความน่าเชื่อถือหรือไม่ R.Das [35] ได้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาวิธีการหาตำแหน่งฟอลต์จากการประมาณฟอลต์ขนานของระบบสายส่งแบบเบเรียดล โดยพิจารณาเพียงแค่การลัดวงจรสายเฟสเส้นเดียวลงกราวด์ (SLG) เนื่องจากเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดในระบบไฟฟ้า ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการหาตำแหน่งฟอลต์นั้น ใช้ความถี่ก่อนเกิดฟอลต์, กระแสและแรงดันเมื่อเกิดฟอลต์ E.A. Mohamed [36] ได้นำโครงข่ายประสาทเทียมชนิดการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ (back propagation) มาใช้ในการวิเคราะห์ฟอลต์ โดยหลักการคือ ตรวจจับการเกิดฟอลต์, ระบุตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ และแยกประเภทของฟอลต์ ซึ่งนี้มีความถูกต้องมากกว่า 96% อีกทั้ง R.Salat และ Z.Jin ได้นำเสนอการใช้ซอฟต์แวร์เวกเตอร์แมชชีนในการหาตำแหน่งฟอลต์ โดย R.Salat [37] หาตำแหน่งฟอลต์ในสายส่งไฟฟ้าแรงสูง โดยวิธีการใช้ซอฟต์แวร์เวกเตอร์แมชชีนประมาณตำแหน่งฟอลต์ โดยอาศัยแรงดันและกระแสที่วัดได้ และวิธีการใช้ความถี่สูงในการหาตำแหน่งฟอลต์ ส่วน Z.Jin [38] หาตำแหน่งฟอลต์โดยใช้อัลกอริทึมในการประมาณพารามิเตอร์ของสายส่ง ซึ่งอัลกอริทึมที่ใช้ ประกอบด้วยมุมความถี่ของอิมพีแดนซ์ของสายและเสิร์จอิมพีแดนซ์เป็นข้อมูลอินพุต จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่ามีงานวิจัยทางด้านฟอลต์จำนวนมาก หากแต่งานวิจัยทางด้านฟ้าผ่ายังมีคงมีไม่มากนัก Chowdhuri [39]

นำเสนอพารามิเตอร์ของกระแสฟ้าผ่าและผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า โดยทำการศึกษาลักษณะการเกิดฟ้าผ่า 3 ชนิด คือ การเกิดฟ้าผ่าลงบนสายซีลด์, การเกิดฟ้าผ่าลงบนสายเฟสและการเกิดฟ้าผ่าลงดิน ซึ่งทั้งสามชนิดนี้ส่งผลทำให้เกิดแรงดันเกินชั่วคราว โดยแรงดันเกินชั่วคราวขึ้นอยู่กับเวลาหน้าคลื่น ส่วนกระแสย้อนกลับที่ฟ้าลงดินจะขึ้นอยู่กับความเร็วของคลื่น IEEE working Group [40] ทำการศึกษาผลของการฉนวนกับแรงดันเกิน เนื่องจากฟ้าผ่าพบว่าเมื่อเกิดฟ้าผ่าลงบนสายส่ง จะเกิดคลื่นเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและด้านหลังตามสายส่ง (Traveling wave) และเกิดเสิร์จอิมพีแดนซ์ขึ้น kaygusuz [41] ได้ทำการศึกษารูปคลื่นเมื่อเกิดฟ้าผ่าลงบนสายซีลด์และสายเฟส ซึ่งทำการวิเคราะห์โดยอาศัยวิธีการแปลงลาปลาซและการแปลงลาปลาซย้อนกลับเพื่อดูผลตอบสนอง ผ่านโปรแกรม ATPDraw จากที่กล่าวมาข้างต้น เห็นได้ว่าฟ้าผ่านั้นเป็นเหตุการณ์ที่ไม่สามารถหยุดยั้งได้ และเมื่อเกิดขึ้นแล้วจะทำลายทุกสิ่งอย่าง อาทิเช่น รูปที่ 1.1 แสดงเหตุการณ์ฟ้าผ่าลงที่ส่วนบนของเสาส่งไฟฟ้าแรงสูง ที่มีกระแสเท่ากันแต่มีมุมต่างกัน 3 มุม และรูปที่ 1.2 เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น โดยกระแสฟ้าผ่าลงเสาต่อฟ้า



รูปที่ 1.1 เหตุการณ์ฟ้าผ่าลงที่ส่วนบนของเสาส่งไฟฟ้าแรงสูง ที่มีกระแสเท่ากันแต่มีมุมต่างกัน 3 มุม



รูปที่ 1.2 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้น โดยกระแสฟ้าผ่าลงเสาต่อฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น จากที่ได้กล่าวมานั้นพบว่า การเกิดฟ้าผ่านั้นส่งผลเสียต่อระบบไฟฟ้าอย่างมาก ทั้งด้านเสถียรภาพการส่งจ่าย ด้านเศรษฐกิจ และส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าอีกด้วย ดังนั้นปริญญานิพนธ์นี้จึง

นำเสนอวิธีการระบุตำแหน่งฟ้าผ่าโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ATP/EMTP [42-43] จำลองผล เพื่อตรวจสอบว่าวิธีการที่นำเสนอมีความถูกต้องแม่นยำเพียงใดในการระบุตำแหน่งฟ้าผ่าในสายส่ง โดยทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นบนสายส่งไฟฟ้าแรงดันสูงระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ที่ระยะต่างๆ ตั้งแต่ที่ระยะ 10%-90% ของสถานีส่งจ่ายไฟฟ้า นอกจากนี้ยังทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อตำแหน่งฟ้าผ่าอื่นๆ อีก 6 กรณี คือ มุมของฟ้าผ่า, เฟสที่เกิดฟ้าผ่า, ขนาดของกระแสฟ้าผ่า, แรงดัน, ความต้านทานดิน, และระยะทางของสายส่ง ทำเปรียบเทียบกราฟคุณลักษณะของกระแสเมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ระยะต่างๆ โดยใช้เวลานำคลื่นมาตรฐานฟ้าผ่า อีกทั้งยังมีการศึกษาและนำเสนอวิธีการคำนวณหาพารามิเตอร์ต่างๆ ของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง [44-49] เพื่อนำมาใช้ในการจำลองในโปรแกรม ATP และใช้หลักการของทฤษฎีคลื่นเดินทาง (traveling wave) ในการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น โดยจะพบว่าเวลาที่ถึงของคลื่นเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของตำแหน่งฟ้าผ่า ดังนั้นจึงนำเอาหลักการทางคณิตศาสตร์ ด้านการแปลงเวฟเล็ตเข้ามาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับหาเวลาที่แท้จริงเมื่อเกิดฟอลต์ฟ้าผ่า ซึ่งปริญญานิพนธ์นี้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการระบุตำแหน่งฟ้าผ่าที่แตกต่างกัน จำนวน 2 วิธี คือ ระบุตำแหน่งฟ้าผ่า โดยใช้ความเร็วคลื่นเดินทาง [50] และวิธีระบุตำแหน่งฟ้าผ่า โดยใช้เวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 [51] เพื่อนำเอาไปประยุกต์ใช้กับระบบส่งจ่ายไฟฟ้าและสามารถให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถเข้าไปแก้ไขบริเวณที่เกิดฟ้าผ่าได้รวดเร็ว เพื่อลดความเสียหายให้เหลือน้อยลงได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณลักษณะของระบบส่งจ่ายไฟฟ้า เมื่อเกิดฟ้าผ่าในระบบส่งจ่ายที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 115 กิโลโวลต์
2. ศึกษาการวิเคราะห์สัญญาณของระบบด้วยวิธีการแปลงเวฟเล็ต
3. สามารถระบุตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าในสายส่งได้ถูกต้องและแม่นยำ โดยการจำลองเหตุการณ์และอุปกรณ์ผ่านโปรแกรม ATPDraw

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ขอบเขตการศึกษาของปริญญานิพนธ์เล่มนี้แบ่งออกเป็นสามส่วนหลัก ได้แก่ ศึกษาโครงสร้างและค่าพารามิเตอร์ของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 115 กิโลโวลต์ เสาส่งประเภท DA1 ชนิด 1 ตัวนำ ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยทำการศึกษาเสิร์จอิมพีแดนซ์ และพารามิเตอร์ของเสาส่งไฟฟ้าแรงสูงแต่ละช่วงเพื่อใช้ในการจำลองในโปรแกรม ATPDraw, จำลองเหตุการณ์ฟ้าผ่าที่สถานการณ์ต่างๆ ทั้งหมด 7 กรณี โดยในแต่ละกรณีทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ ทำศึกษาพฤติกรรมของกระแสและเวลาที่คลื่นเดินทาง และส่วนสุดท้ายคือ การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคำนวณตำแหน่งฟ้าผ่าระหว่างวิธีที่ใช้คลื่นเดินทางคำนวณ และวิธีการที่ใช้ลำดับเวลาสูงสุดลำดับแรกและลำดับสาม

1.4 วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาการใช้โปรแกรม ATPDraw
3. ทำการศึกษาและคำนวณหาอิมพีแดนซ์ของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง
4. สร้างแบบจำลองและจำลองเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง โดยโปรแกรม ATPDraw ในกรณีผ่าลงบนสายเฟสของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง
5. ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะของกระแสที่ได้จากการจำลอง
6. ศึกษาทฤษฎีการแปลงเวฟเล็ต, ทฤษฎีคลื่นเดินทางและทฤษฎีตำแหน่งพอลต์
7. คำนวณและวิเคราะห์ตำแหน่งฟ้าผ่า
8. สรุปผลการทำโครงการและจัดทำรูปเล่มทำโครงการ
9. นำเสนอโครงการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	พ.ศ. 2557																				พ.ศ. 2558																	
	ส.ค.				ก.ย.				ต.ค.				พ.ย.				ธ.ค.				ม.ค.				ก.พ.				มี.ค.				เม.ษ.				พ.ค.	
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2				
1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←-----→				←-----→				←-----→																													
2. ศึกษาการใช้โปรแกรม ATPDraw					←-----→				←-----→																													
3. ศึกษาและทำการหาวิธีการคำนวณค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์									←-----→				←-----→																									
4. สร้างแบบจำลองและจำลองเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง													←-----→				←-----→																					
5. ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะของกระแสที่ได้จากการจำลอง																	←-----→				←-----→																	
6. ศึกษาทฤษฎีการแปลงเวฟเลิต, ทฤษฎีคลื่นเดินทางและทฤษฎีตำแหน่งพอลต์																					←-----→				←-----→													
7. คำนวณและวิเคราะห์ตำแหน่งฟ้าผ่า																									←-----→													
8. สรุปผลการทำโครงการและจัดทำรูปเล่มทำโครงการ																									←-----→				←-----→									
9. นำเสนอโครงการ																																	←-----→					

←-----→ แผนการดำเนินงาน
 ←-----→ การดำเนินงานจริง

1.6 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย

ด้านพลังงาน

1. สามารถระบุตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าได้ถูกต้องแม่นยำ เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถเข้าไปซ่อมแซมได้อย่างรวดเร็ว
2. เพิ่มเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า
3. สามารถพัฒนาระบบไฟฟ้าให้มีความสามารถในการรองรับพลังงานได้มากขึ้น
4. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบไฟฟ้าในประเทศให้สามารถนำเอาพลังงานทดแทนมาใช้ร่วมกับไฟฟ้าหลัก

ด้านวิศวกรรมไฟฟ้า

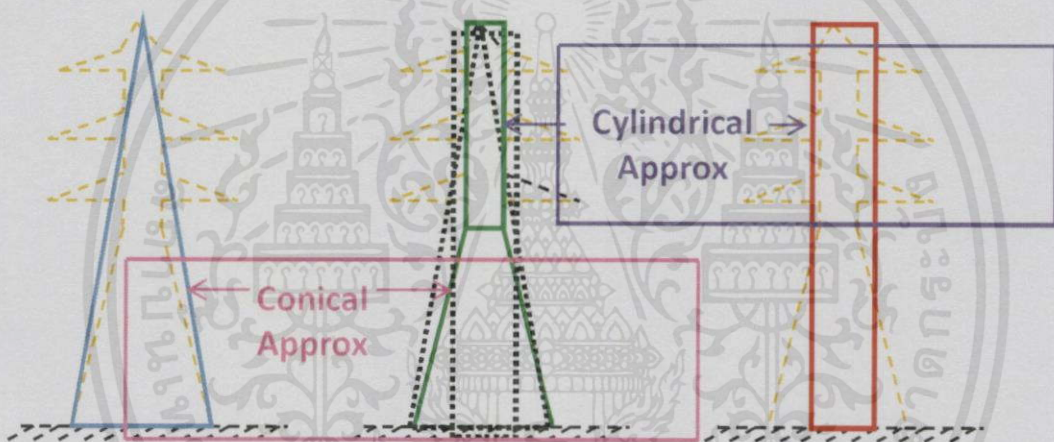
1. ทำให้ทราบว่าค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 115 กิโลโวลต์ เสาส่งไฟฟ้าประเภท DA1 ชนิด 1 ตัวนำ ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เมื่อเกิดฟ้าผ่าลงที่เสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง
2. สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเสาส่งของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในพื้นที่ต่างๆ ได้
3. สามารถนำเอาไปประยุกต์ใช้ในการป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้า
4. สามารถนำเอาไปประยุกต์พัฒนาระบบส่งจ่ายไฟฟ้าในประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

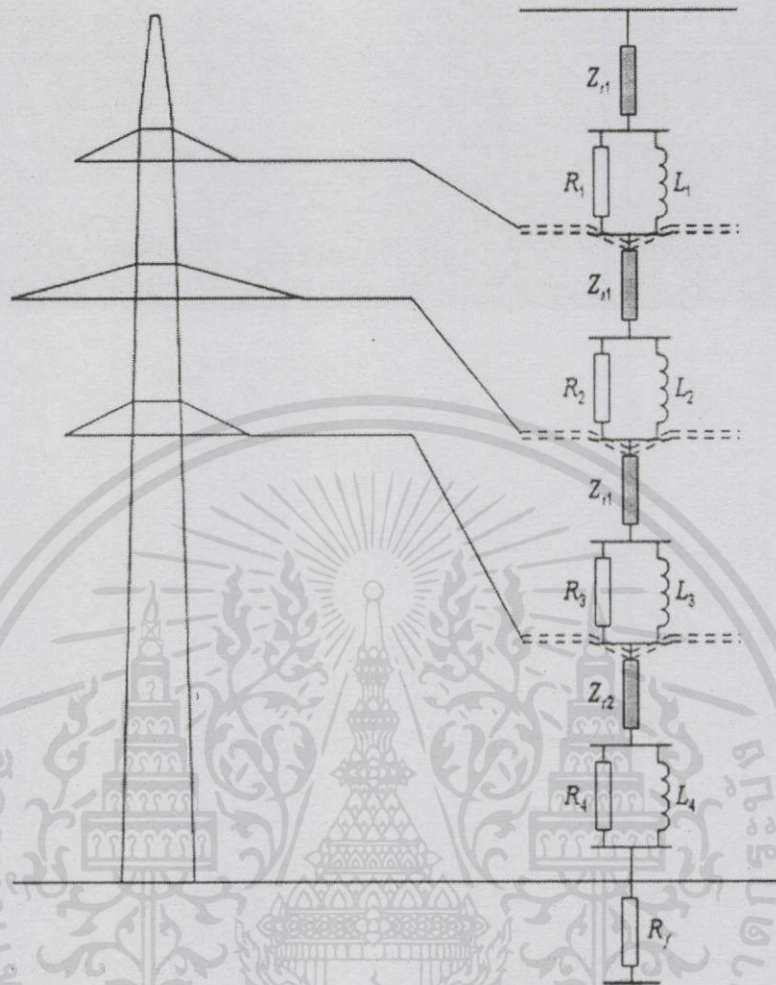
2.1 เสรีจิมพีแดนซ์ (Surge impedance)

การคำนวณเสรีจิมพีแดนซ์ของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง สามารถทำได้โดยอาศัยทฤษฎีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic field) ซึ่งสามารถประมาณเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงเป็นรูปทรงกระบอกและกรวย แสดงได้ดังรูปที่ 2.1 และในรูปที่ 2.2 แสดงโมเดลของเสาส่งแบบมัลติสตอรี่ (Multistory transmission tower model) โดย $Z_{t1}, Z_{t2}, Z_{t3}, Z_{t4}$ คือ ค่าเสรีจิมพีแดนซ์ R_1, R_2, R_3, R_4 คือค่าความต้านทานที่ส่วนต่างๆ ของเสาส่งไฟฟ้าแรงสูง L_1, L_2, L_3, L_4 คือค่าความเหนี่ยวนำที่ส่วนต่างๆ ของเสาส่งไฟฟ้าแรงสูง และ R_f คือค่าความต้านทานดินของเสาส่งไฟฟ้าแรงสูง



รูปที่ 2.1 การประมาณโครงเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (Steel lattice) แบบกรวย (Conical) และทรงกระบอก (Cylindrical)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 โมเดลของเสาส่งแบบมัลติสตอรี่ (Multistory transmission tower model)

สมการที่ใช้ในการคำนวณเสิร์จอิมพีแดนซ์ (Surge impedance)

เสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง เป็นค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการคำนวณค่าของแรงดันสูง, แรงดันสูงพิเศษและอัตราการเกิดไฟฟ้าดับ (HV and EHV lightning outage rates) โดยศึกษาที่เสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงแบบเต็มสเกล (Full scale tower) โดยมีวิธีการคำนวณหลายวิธี ดังนี้

2.1.1 วิธีการคำนวณของจอร์แดน (Jordan)

วิธีการนี้อาศัยกระบวนการคำสั่งและตัวแปร (Static-field method) ในการหาค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง โดยมีสมการเท่ากับ [44]

$$Z = (60 \ln \frac{H}{r}) + (90 \frac{r}{H}) - 60 \quad (2.1)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

Z = เสรีจิมพีแดนซ์ของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (Ω)

H = ความสูงของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (m)

r = รัศมีสมมูลของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (m)

2.1.2 วิธีการคำนวณของแวกเนอร์และฮิลล์แมน (Wagner and Hileman)

วิธีการนี้ได้จากการวิเคราะห์ผลตอบสนองของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงทรงกระบอก (Cylindrical tower) เนื่องจากกระแสของรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Rectangular wave) ได้ผลลัพธ์ว่าค่าเสรีจิมพีแดนซ์สำหรับเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงทรงกระบอก สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2

$$Z=60\ln\left[\sqrt{2}\frac{vt}{r}\right] \quad (2.2)$$

โดยที่

v = ความเร็วของแสง (m/s)

t = เวลา (s)

H = ความสูงของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (m)

r = รัศมีของทรงกระบอก (m)

สำหรับกระแสจากรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Rectangular wave) บนเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงทรงกระบอก (Cylindrical tower) ค่าสูงสุดที่ส่วนบนของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงจะเกิดที่เวลา $t=\frac{2H}{v}$ และค่าเสรีจิมพีแดนซ์ในแนวตั้งของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงทรงกระบอก (Cylindrical tower) มีค่าประมาณสมการที่ 2.3 [45]

$$Z=60\ln\left[\sqrt{2}\frac{2H}{r}\right] \quad (2.3)$$

2.1.3 วิธีการคำนวณของซาร์เจนท์และดาร์เวนนิซา (Sargent and Darveniza)

ใช้กระบวนการตัวแปร (Field method) ในการคำนวณค่าเสรีจิมพีแดนซ์สำหรับเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงกรวย (Conical tower) [46]

$$Z=60\ln\left[\frac{\sqrt{2(H^2+r^2)}}{r}\right] \quad (2.4)$$

โดยที่

Z = เสรีจิมพีแดนซ์ของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (Ω)

H = ความสูงของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 วิธีการคำนวณที่สถาบันวิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (IEEE) และองค์การซีเกอร์ (CIGRE) แนะนำ

โดยการคำนวณเส้นรัศมีที่แดนซ์ของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงนี้ จะใช้สมการที่สถาบันวิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (IEEE) [47] และองค์การซีเกอร์ (CIGRE) [48] แนะนำตามสมการด้านล่างนี้ ซึ่งสมการนี้จะใช้สำหรับเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงที่เป็นกรวยหัวกลับ

$$Z=60\log_e \cot\{0.5\tan^{-1}\left(\frac{R'}{H}\right)\} \quad (2.5)$$

โดยที่

R' = รัศมีสมมูลของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (m)

H = ความสูงของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (m)

ค่า R' สามารถคำนวณจากสมการที่ 2.6

$$R' = \frac{(r_1 h_2 + r_2 H + r_3 h_1)}{H} \quad (2.6)$$

โดยที่

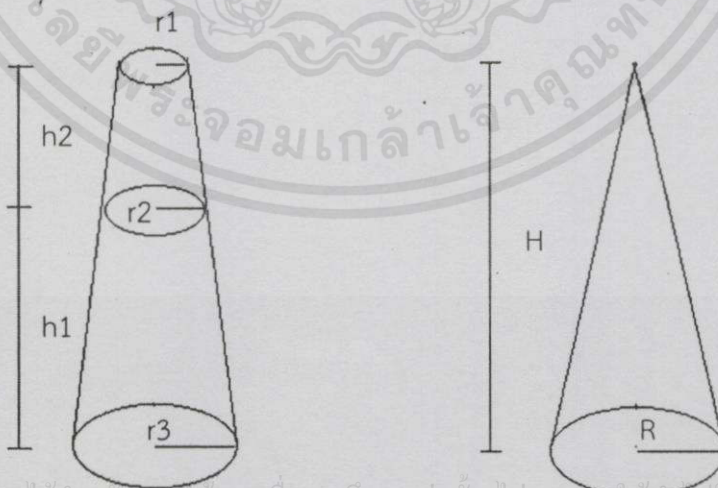
r_1 = รัศมีที่หัวเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (m)

r_2 = รัศมีที่กึ่งกลางของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (m)

r_3 = รัศมีที่ฐานเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (m)

h_1 = ความสูงจากฐานถึงกึ่งกลางเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (m)

h_2 = ความสูงจากกึ่งกลางเสาดังหัวเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (m)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 รัศมีสมมูลของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (Tower equivalent radius) [49]

คำนวณค่าความต้านทาน (R)

คำนวณค่า R_1, R_2, R_3, R_4 ได้โดยสมการที่ 2.9 โดยทำการหาค่า ΔR_i จากสมการที่ 2.7 และ 2.8 ก่อน

$$\Delta R_1 = \Delta R_2 = \Delta R_3 = \frac{2 \cdot Z_{t1}}{(h_1 + h_2 + h_3)} \ln\left(\frac{1}{\alpha_1}\right) \quad (2.7)$$

$$\Delta R_4 = \frac{2Z_{t4}}{h_4} \ln\left(\frac{1}{\alpha_4}\right) \quad (2.8)$$

$$R_i = \Delta R_i \cdot h_i \quad (2.9)$$

เมื่อ

$Z_{t1}, Z_{t2}, Z_{t3}, Z_{t4}$ คือ ค่าเสรีจิมพีแดนซ์

α_1 และ α_2 คือ ค่าคงที่ มีความเท่ากับ 0.8144

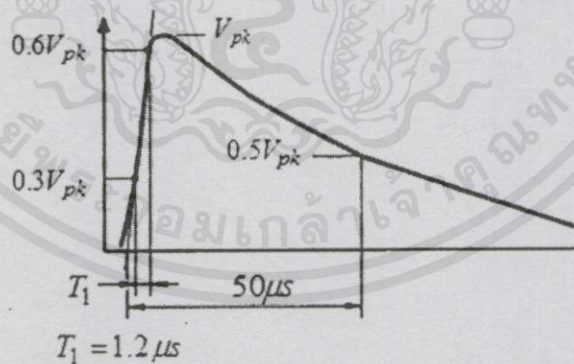
คำนวณค่าความเหนี่ยวนำ (L)

คำนวณค่า L_1, L_2, L_3, L_4 โดยสมการที่ 2.10 เมื่อ $\tau = \frac{2H}{v}$

$$L_i = 2\tau \cdot R_i \quad (2.10)$$

2.2 ทฤษฎีคลื่นเดินทาง (Traveling wave theory)

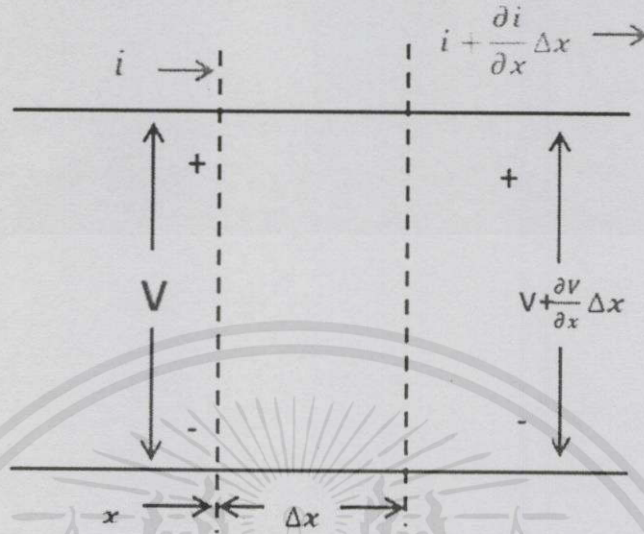
เมื่อเกิดฟ้าผ่าขึ้น จะได้รูปคลื่นดังแสดงได้ในรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นรูปคลื่นกระแสเสรีจที่มีเวลาหน้าคลื่น 1.2 ไมโครวินาที (μs) และเวลาหลังคลื่นเท่ากับ 50 ไมโครวินาที (μs)



รูปที่ 2.4 รูปคลื่นกระแสเสรีจหรือรูปคลื่น 1.2/50 ไมโครวินาที (μs)

การศึกษาเสรีจ (Surge) บนสายส่งนั้นมีความซับซ้อนมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการง่ายในการศึกษา ปริมาณพหุนามอันดับนี้จะพิจารณาเฉพาะกรณีของสายส่งที่ไม่มีการสูญเสีย เนื่องจากค่า ωL และค่า ωC มีค่ามากเมื่อเทียบกับ R และ G สำหรับเสรีจฟ้าผ่า (Surge lightning) บนสายส่ง ในที่นี้จะทำการวิเคราะห์โดยใช้สายส่งระยะยาวที่มีการกระจายคงที่ ซึ่งทำการวัดระยะตามความยาว

ของสายส่งนับจากด้านปลายของสาย โดยให้มีระยะทางเท่ากับ x และมีระยะทางเปลี่ยนแปลงเท่ากับ Δx ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แบบจำลองของส่วนย่อยของสายส่ง ๓ เฟสใดๆ โดย v และ x เป็นฟังก์ชันของ x และ t

เมื่อแรงดัน v และ i เป็นฟังก์ชันของ x และ t ดังนั้นต้องใช้วิธีการหาอนุพันธ์บางส่วน (Partial derivative) ในการหาคำตอบ โดยแรงดันอนุกรมที่ตกคร่อมส่วนย่อยของความยาวคือ $i(R\Delta x) + (L\Delta x)\frac{\partial i}{\partial t}$ และสามารถเขียนได้เป็น

$$\frac{\partial v}{\partial x} \Delta x = -(R_i + L \frac{\partial i}{\partial t}) \Delta x \quad (2.11)$$

เครื่องหมายลบหมายถึงค่าของ $v + \frac{\partial v}{\partial x} \Delta x$ จะต้องน้อยกว่าค่าของ v สำหรับ v ที่มีค่าเป็นบวกและ $\frac{\partial i}{\partial t}$ สามารถเขียนในลักษณะเดียวกันจะได้ว่า

$$\frac{\partial i}{\partial x} \Delta x = -(Gv + C \frac{\partial v}{\partial t}) \Delta x \quad (2.12)$$

เมื่อสมมติให้เป็นสายส่งที่มีความสูญเสียต่ำ (R และ G มีค่าเท่ากับศูนย์) ดังนั้นสมการที่ 2.11 และ 2.12 มีค่าเป็น

$$\frac{\partial v}{\partial x} = -L \frac{\partial i}{\partial t} \quad (2.13)$$

และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial i}{\partial x} = -C \frac{\partial v}{\partial t} \quad (2.14)$$

กำจัดเทอมของ i ในสมการที่ 2.13 ด้วยการทำอนุพันธ์อันดับสองเทียบตัวแปร x และ ทำอนุพันธ์อันดับสองเทียบตัวแปร t ในสมการที่ 2.14 จะสามารถกำจัดเทอมของ $\frac{\partial^2 i}{\partial x \partial t}$ ได้สมการใหม่เป็น

$$\frac{L}{C} \frac{\partial^2 i}{\partial x \partial t} = \frac{\partial v^2}{\partial t^2} \quad (2.15)$$

จะได้ว่าสมการที่ 2.18 คือ สมการคลื่นเดินทางของสายส่งแบบความสูญเสียต่ำ ซึ่งคำตอบของสมการนี้จะอยู่ในรูปของฟังก์ชัน $x-vt$ สามารถเขียนได้เป็น

$$v = f(x-vt) \quad (2.16)$$

ในการหาคำตอบของสมการที่ 2.16 หาได้โดยการแทนอนุพันธ์บางส่วนลำดับสองของ v ลงในสมการที่ 2.15 เมื่อ x มีหน่วยเป็นเมตรและเวลา t มีหน่วยเป็นวินาที

ขั้นแรกทำการสมมติตัวแปรให้ $u=x-vt$ ทำให้สมการที่ 2.16 สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$v(x,t) = f(u) \quad (2.17)$$

และเมื่อนำสมการที่ 2.17 มาเทียบกับเวลา t จะได้ สมการที่ 2.18 โดยค่า $\frac{\partial u}{\partial t} = -v$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial f(u)}{\partial u} (-v) \quad (2.18)$$

นำสมการที่ 2.18 มาทำการเทียบกับเวลา t อีกครั้ง จะได้สมการที่ 2.19

$$\frac{\partial v^2}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 f(u)}{\partial u^2} \cdot (v^2) \quad (2.19)$$

ในลักษณะเดียวกันเมื่อนำสมการที่ 2.17 มาเทียบกับ x สองครั้งจะได้

$$\frac{\partial v^2}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 f(u)}{\partial u^2} \quad (2.20)$$

เมื่อแทนค่าอนุพันธ์บางส่วนลำดับสองของ v ในสมการที่ 2.15 จะได้

$$\frac{1}{LC} \frac{\partial^2 f(u)}{\partial u^2} = v^2 \frac{\partial^2 f(u)}{\partial u^2} \quad (2.21)$$

เมื่อพิจารณาพบว่าสมการที่ 2.16 จะเป็นคำตอบของสมการที่ 2.15 ถ้า v มีค่าเท่ากับสมการที่ 2.22

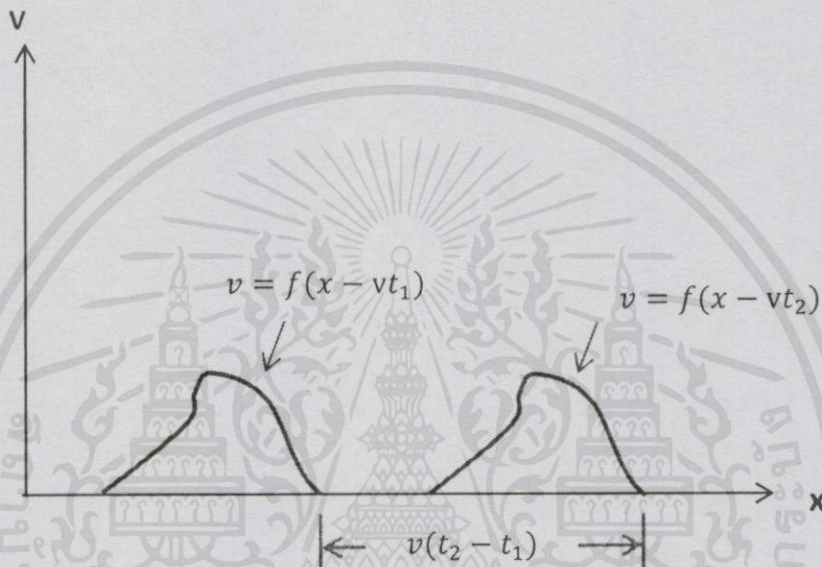
$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.22)$$

เทอมของแรงดันในสมการที่ 2.16 คือ คลื่นเดินทางในทิศทาง $+x$ จากรูปที่ 2.7 แสดงฟังก์ชันของ $x-vt$ ซึ่งคล้ายกับคลื่นแรงดันคงที่ ที่เดินทางตามความยาวของสายส่ง ซึ่งคลื่นนี้เกิดจากฟ้าผ่า โดยฟังก์ชันนี้จะแสดงค่าสองค่าของเวลาคือ t_1 และ t_2 ซึ่ง $t_2 > t_1$ และเมื่อผู้สังเกตเดินไปพร้อมกับคลื่นจะอยู่ ณ ตำแหน่งเดิมบนคลื่นนั้น โดยรูปร่างของคลื่นแรงดันที่เดินทางนี้จะคงรูปร่างเหมือนเดิม $(x-vt) =$ ค่าคงที่ ดังนั้นจึงจะเป็นไปตามสมการที่ 2.26 คือ

$$\frac{dx}{dt} = v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{m/s} \quad (2.23)$$

เมื่อ L มีหน่วยเป็นเฮนรี่ต่อเมตร (H/m) และ C หน่วยเป็นฟารัดต่อเมตร (F/m) ดังนั้นคำตอบของสมการที่ 2.16 ที่คลื่นเดินทางในทิศทาง $+x$ ด้วยความเร็ว v โดยที่ V ฟังก์ชันของ $x+vt$ และด้วยเหตุผลเดียวกันสามารถแปลงคลื่นเดินทางในทิศทาง $-x$ ได้ โดยมีสมการคำตอบทั่วไปคือ

$$v = f_1(x-vt) + f_2(x+vt) \quad (2.24)$$



รูปที่ 2.6 คลื่นของแรงดันซึ่งเป็นฟังก์ชันของ $x-vt$ ที่เวลา t_1 และ t_2

ซึ่งสมการคำตอบนี้เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นพร้อมกันทั้งส่วนที่ไปข้างหน้าและข้างหลังบนสายส่ง โดยกำหนดค่าเริ่มต้นและค่าขอบเขตเฉพาะ สำหรับส่วนประกอบแต่ละส่วนของคลื่นที่เดินทางไปข้างหน้า (Forward Traveling Wave) เรียกว่า คลื่นอินซิเดนซ์ (Incident) ดังสมการที่ 2.25

$$v^+ = f_1(x-vt) \quad (2.25)$$

คลื่นที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลจากการเคลื่อนที่ของประจุมีค่าเท่ากับ

$$i^+ = \frac{1}{\sqrt{L/C}} f_1(x-vt) \quad (2.26)$$

ซึ่งพิสูจน์ได้โดยแทนค่าแรงดันและกระแสในสมการที่ 2.13 โดยให้ v เท่ากับ $\frac{1}{\sqrt{L/C}}$

ในลักษณะเดียวกันคลื่นที่เคลื่อนที่ไปข้างหลัง (Backward Traveling Wave) ของแรงดันจะมีสมการ

$$v^- = f_2(x+vt) \quad (2.27)$$

และกระแสเท่ากับ

$$i^- = -\frac{1}{\sqrt{L/C}} f_2(x+vt) \quad (2.28)$$

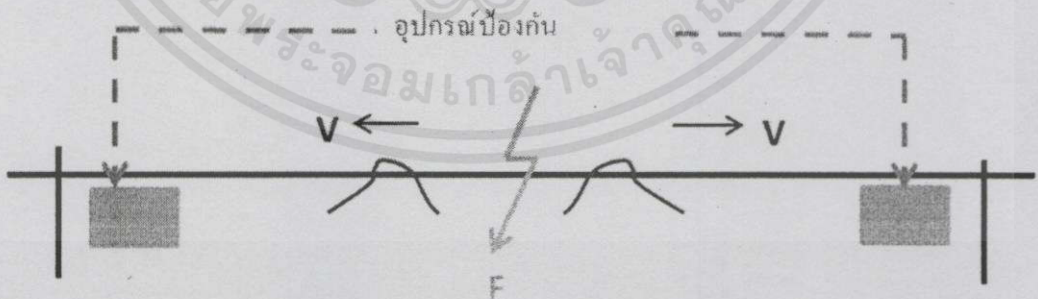
เมื่อทำการหารสมการที่ 2.25 และ 2.26 จะได้

$$\frac{v^+}{i^+} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.29)$$

และทำการหารสมการที่ 2.27 และ 2.28 เช่นเดียวกันจะได้

$$\frac{v^-}{i^-} = -\sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.30)$$

ถ้าให้ทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแส i^- เป็นทิศทางบวกเครื่องหมายลบในสมการที่ 2.28 และ 2.29 จะเปลี่ยนเป็นเครื่องหมายบวก เพื่อรักษาตำแหน่ง x ให้เป็นกระแสบวกทั้งคลื่นที่เดินทางไปข้างหน้า (Forward moving wave) และคลื่นที่เคลื่อนที่ไปข้างหลัง (Backward moving wave) อัตราส่วนของ V^+ และ i^+ เรียกว่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่ง (Characteristic Impedance : Z_c) เมื่อ R และ G มีค่าเท่ากับศูนย์ จากหลักการของคลื่นที่เดินทางนี้สามารถนำมาใช้อธิบายลักษณะของสัญญาณฟอลต์ได้โดยเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้น ณ จุดใดๆ บนสายส่งจะมีสัญญาณฟอลต์เดินทางออกจากจุดที่เกิดฟอลต์ไปยังปลายทั้งสองด้านด้วยความเร็วสูง ซึ่งกำหนดได้จากสมการที่ 2.23 หรือเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ในอากาศ เช่น ในสายส่งแบบชิงในอากาศ คลื่นจะมีความเร็วประมาณความเร็วแสง 300 เมตรต่อไมโครวินาที (m/ μ s) การจะพิจารณาเป็นคลื่นเดินทางนั้นพิจารณาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าทางไฟฟ้าในช่วงเวลาที่คิด เช่น คลื่นฟ้าผ่าคิดเวลาเป็นแบบคลื่นกระแสลับ 50 เฮิร์ตซ์ (Hz) จะมีเวลาเป็นมิลลิวินาที (ms), คลื่นทรานเซียนเร็ว (Fast transient) คิดเวลาเป็นนาโนวินาที (ns) เป็นต้น ซึ่งสามารถนำปรากฏการณ์นี้มาใช้ประโยชน์กับหลักการของอุปกรณ์ป้องกันสายส่งโดยเฉพาะส่วนที่ทำการวิเคราะห์สัญญาณ



รูปที่ 2.7 ลักษณะของคลื่นเดินทางในสภาวะที่เกิดฟอลต์บนสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีตำแหน่งฟอลต์ (Principles of Fault Location)

ตำแหน่งทรานเซียนฟอลต์สามารถแบ่งตามขั้นตอนการเกิดได้เป็น 4 ชนิด ได้แก่ ชนิด A, B, C และ D

ชนิด A แบบเทคนิคปลายเดี่ยว (Single-ended)

วิธีนี้ใช้ค่าเวลาที่ตรวจวัดได้จากจุดที่เกิดฟอลต์ เดินทางมายังบัสบาร์ด้านปลายและสะท้อนกลับ โดยแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ

1. A Fault on the Second Half of the line

จากรูปที่ 2.8 แสดงการเกิดฟอลต์บนสายส่ง ในระบบสายส่งที่มีแหล่งจ่ายคู่ (Double-source transmission line system) เรียกว่า บิลลี-แลคทิส ไดอะแกรม (Bewley-Lattice diagram) รูปคลื่นกระแสทรานเซียนและแรงดันนั้น ก่อให้เกิดฟอลต์ที่จุด F โดยเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v และถึงด้านปลายของสายที่บัสบาร์ R และ S โดยถูกคลื่นผ่านเข้าไปในบางส่วนของส่วนพื้นที่ที่ติดกัน ส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับไป กระบวนการทฤษฎีของชนิด A พัฒนาจากทรานเซียนความถี่สูง ที่วัดจากจุดตรวจวัด โดยอ้างอิงจากทรานเซียนลำดับแรกและซ้ำของทรานเซียน ระยะทางของฟอลต์จากปลายของสายแต่ละด้าน แสดงในรูป สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

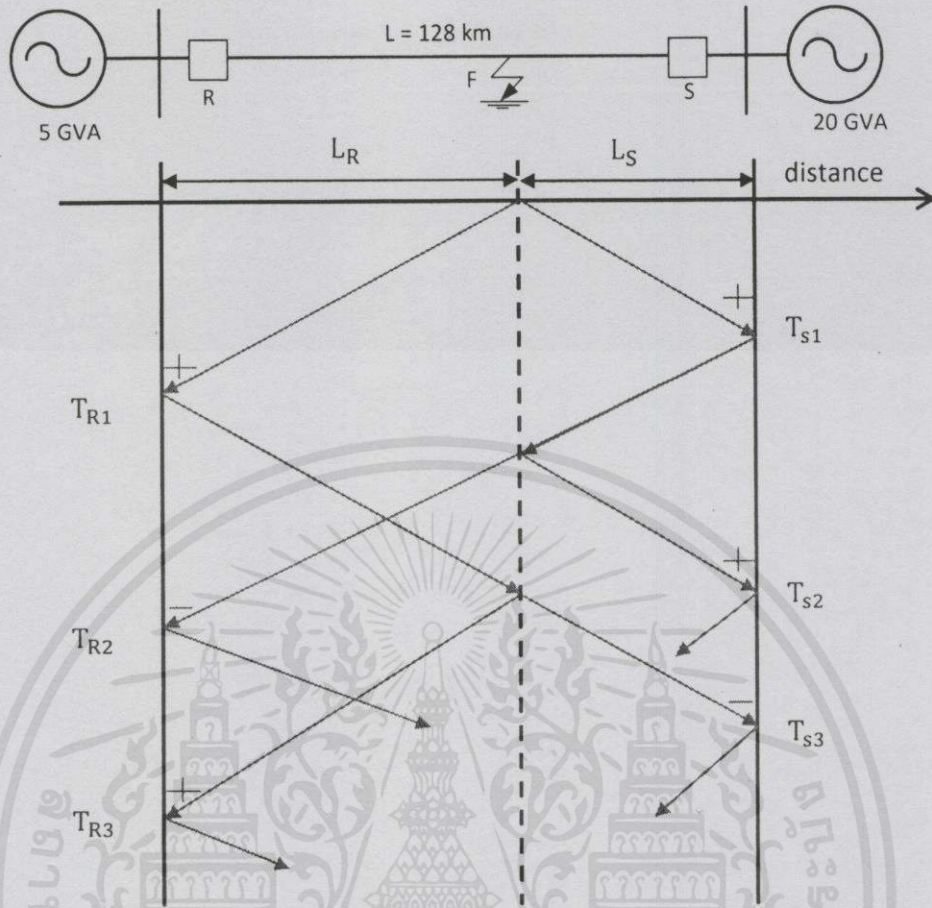
$$L_R = \frac{v (T_{R2} - T_{R1})}{2} \quad (2.31)$$

$$L_S = \frac{v (T_{S2} - T_{S1})}{2} \quad (2.32)$$

เมื่อ

L_R และ L_S คือ ตำแหน่งฟอลต์ที่วัดจากจุดเกิดฟอลต์ถึงบัสบาร์ R และ S ตามลำดับ
 T_{R1} , T_{R2} , T_{S1} , T_{S2} คือ เวลาที่ตรวจจับได้จากแต่ละด้านของสายส่ง
 v คือ ความเร็วของคลื่นที่เดินทางในสายส่ง
 L คือ ความยาวทั้งหมดของสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ซิงเกิ้ลไลน์ไดอะแกรมและบิลลี-แลคทิสไดอะแกรมของระบบส่งจ่าย 400 กิโลโวลต์ เมื่อเกิดฟอลต์

เพื่อที่จะลดข้อผิดพลาดทางตำแหน่งของสมการที่ 2.31 และ 2.32 ที่เกิดจากความเร็วคลื่นและเวลาที่ตรวจจับได้ของทรานเซียนเพียง 2 ลำดับ จึงนำสมการดังกล่าวมาเขียนใหม่ได้เป็น

$$L_R = \frac{L(T_{R3}-T_{R1})}{(T_{R2}-T_{R1})+(T_{R3}-T_{R1})} \quad (2.33)$$

$$L_S = \frac{L(T_{S2}-T_{S1})}{(T_{S2}-T_{S1})+(T_{S3}-T_{S1})} \quad (2.34)$$

จากสมการที่ 2.33 และ 2.34 มีการคำนวณโดยใช้ลำดับทรานเซียน 3 ลำดับของรูปคลื่น เป็นเหตุให้เทคนิคแบบปลายเดี่ยวต้องการรูปคลื่นที่มีประสิทธิภาพ ในการคำนวณนั้นทำไปได้ยาก เนื่องจากรูปคลื่นทรานเซียนฟอลต์นั้นเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการคำนวณที่แตกต่างกันออกไป

2. A Fault on the First Half of the line

เมื่อเกิดฟอลต์บนครึ่งหนึ่งของสายส่ง สมการที่ 2.31-2.34 ถูกดัดแปลงใหม่ให้ขึ้นกับขั้วของลำดับที่ 2 และ 3 ของรูปคลื่น เช่น (+,+) และ (+,-) ของฟอลต์บนลำดับที่ 1 และ 2 ของครึ่งหนึ่งของสายในแต่ละจุดตรวจจับ

3. A Fault with a Low Fault Resistance

ในสถานการณ์ที่เกิดอาร์กฟอลต์ สมมติให้ยังคงมีไอออนสำหรับการขยายคาบของเวลาและมีความต้านทานที่ต่ำมาก สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$K_R = \frac{Z_{OSF}^* - Z_{ORF}}{Z_{OSF}^* + Z_{ORF}} \quad (2.35)$$

$$Z_{OSF}^* = \frac{Z_{OSF} R_F}{Z_{OSF} + R_F} \quad (2.36)$$

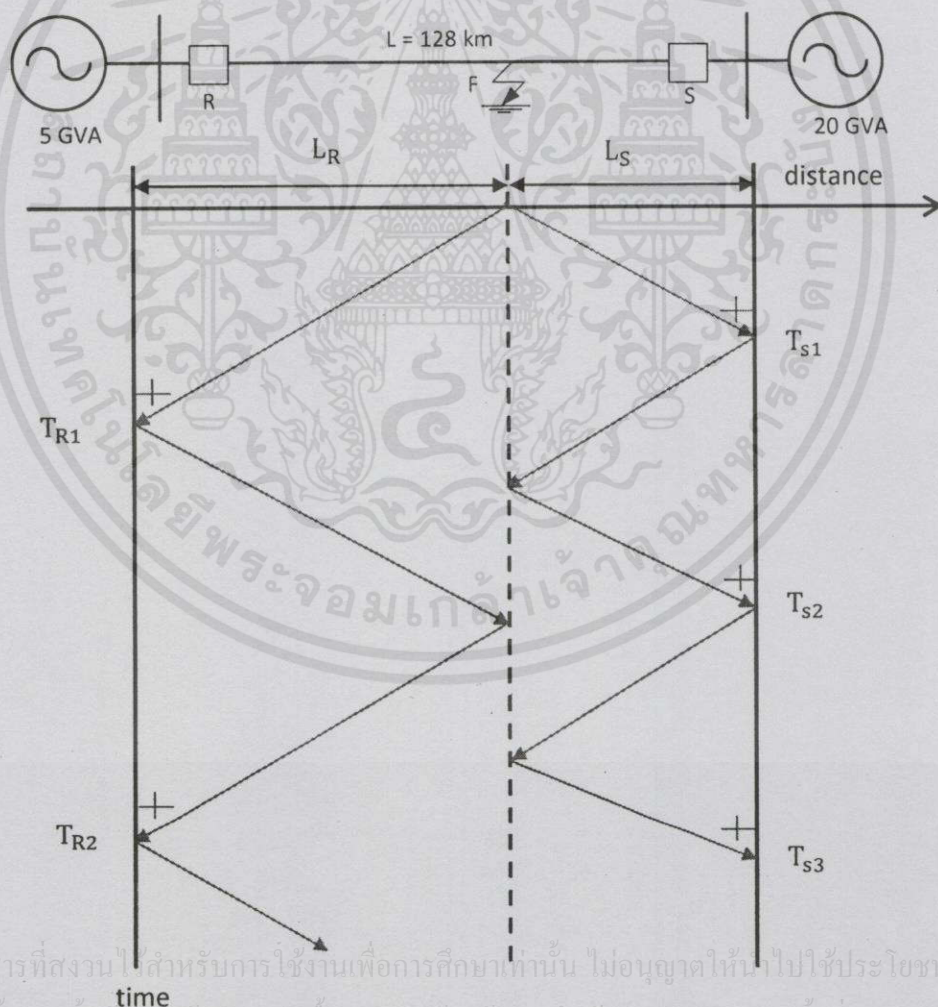
เมื่อ

Z_{ORF} และ Z_{OSF} คือ เสรีจิมพีแดนซ์สมมูลจากจุดที่เกิดฟอลต์ F ถึงบัสบาร์ R และ S ตามลำดับ

R_F คือ ฟอลต์ต้านทานสมมูล (กำหนดให้ $R_F = 0$)

K_R คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อน (กำหนดให้ $K_R = -1$)

พลังงานทั้งหมดของทรานเซียนที่มีขั้วเหมือนกันทั้งหมด แสดงในรูป 2.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังไม่มีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.9 ซึ่งเกิดไลนไต่อะแกรมและบิลลี-แลคทีสไดอะแกรมของระบบส่งจ่าย 400 กิโลโวลต์

เมื่อเกิดฟอลต์ที่มีความต้านทานฟอลต์ต่ำมาก

สถานการณ์นี้สามารถคำนวณได้จากรูปคลื่น 3 ลำดับ ที่มีเวลาและชั่วเดียวกัน คือ T_{s1} , T_{s2} , T_{s3} ในรูปที่ 2.9 ระยะทางของฟอลต์คำนวณคล้ายกับสมการที่ 2.32

ชนิด B แบบเทคนิคปลายคู่ (Double-ended)

วิธีนี้ใช้เวลาที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ตรวจจับเสิร์จในแต่ละด้านของสาย ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. ชนิด B1 อาศัยคลื่นวิทยุของเวลาพัลส์ (Radio timing pulse) ที่ได้จากคลื่นไมโครเวฟ
2. ชนิด B2 อาศัยกำลังสายพหุ (Power line carrier)
3. ชนิด B3 อาศัยการเพิ่มดีซีพัลส์ (DC pulse) เข้าไปในสาย

ชนิด C แบบเทคนิคปลายเดี่ยว (Single-ended)

วิธีนี้ใช้พัลส์ประยุกต์เข้ากับสาย โดยอาศัยเวลาที่มีการเคลื่อนที่จากจุดที่เกิดฟอลต์และสะท้อนกลับ

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

วิธีนี้สามารถคำนวณโดยอาศัยรูปคลื่นลำดับแรกของแต่ละด้านของปลายสายส่ง โดยข้อดีของชนิดนี้ คือ สามารถหลีกเลี่ยงการคำนวณการสะท้อนของคลื่น อย่างไรก็ตามเวลาที่ถูกต้องที่ได้จากระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System หรือ GPS) ยังคงมีความจำเป็น ระยะทางของฟอลต์ถึงบัสบาร์ R และ S แสดงดังรูปที่ 2.8 คำนวณจากเวลาที่ถึงลำดับแรกของแต่ละฝั่ง T_{R1} , T_{S1} ดังสมการต่อไปนี้

$$L_R = \frac{L+v(T_{R1}-T_{S1})}{2} \quad (2.37)$$

$$L_S = \frac{L+v(T_{S1}-T_{R1})}{2} \quad (2.38)$$

ชนิด E แบบเทคนิคปลายเดี่ยว (An Active Method Single-Ended Fault Locator)

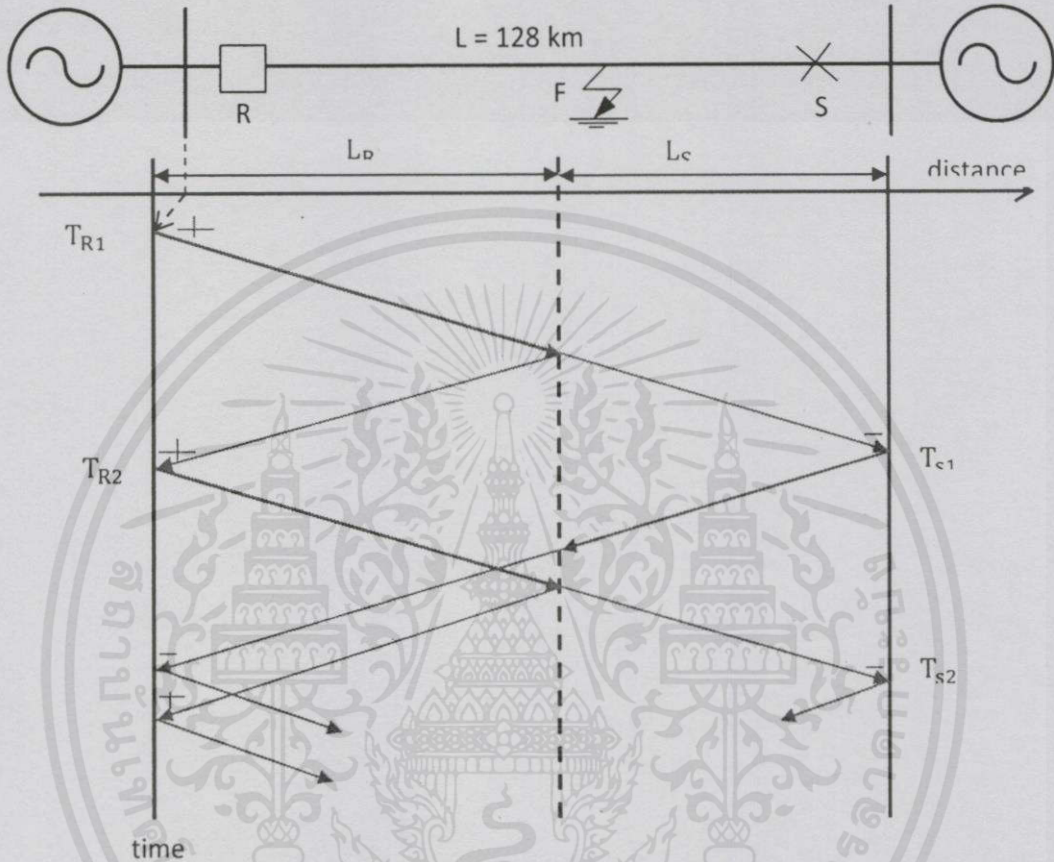
วิธีการนี้คล้ายกับแบบชนิด A แต่มีประโยชน์ต่อสายรีโคลสเซอร์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์เมื่อเกิดฟอลต์ถาวรขึ้น เมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์ต้องวงจรเข้ามาใหม่ ในขณะที่ยังคงเกิดฟอลต์หรือเกิดฟอลต์ถาวรขึ้นบนสายส่ง โดยกระแสทรานเซียนหรือแรงดันเริ่มจากจุดที่แหล่งจ่ายส่งจ่ายไฟฟ้าเข้าไปในสาย สมมติให้หม้อแปลงกระแสติดตั้งใกล้บัสบาร์ R ทรานเซียนลำดับแรกที่ได้จากจุดตรวจวัดจะสะท้อนจากแต่ละตำแหน่งของฟอลต์ หากมีฟอลต์อยู่หรืออยู่อีกด้าน (บัสบาร์ S) เซอร์กิตเบรกเกอร์สามารถเปิดวงจร เซอร์กิตเบรกเกอร์หรือบัสบาร์ด้าน S เปิดวงจร แสดงได้ในรูปที่ 2.10 ในบางสถานการณ์ที่จุด S ไม่ต่อเนื่อง สัมประสิทธิ์การสะท้อนคำนวณได้จาก

$$K_R = \frac{Z_{OS}-Z_{ORS}}{Z_{OS}+Z_{ORS}} \quad (2.39)$$

เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง Z_{OS} มี คือ เสรีจิมพีแดนซ์ที่คำนวณจากภายนอกของบัสบาร์ S ($Z_{OS}=\infty$) ให้นำไปใช้

K_R มีค่าเท่ากับ 1 คือ เกิดการสะท้อนแบบสมบูรณ์ โดยมีขั้วเหมือนกับขั้วของบัสบาร์ R เช่น ขั้วที่ตรวจจับได้จากคลื่นรูปแรกของบัสบาร์ R คือ (+, +, -) แสดงดังรูปที่ 2.10 หากเซอร์กิสเบรกเกอร์ ด้านตรงข้ามเปิดวงจร สัมประสิทธิ์การสะท้อน K_R จะมีค่าติดลบ และขั้วจะมีค่าเท่ากับ (+, +, +) ดังนั้น สำหรับฟอลต์ถาวรชนิด E สามารถนำไปใช้ในการรับรองระยะทางฟอลต์ ของชนิด A และ D ใน สมการที่ 2.31-2.34 และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณระยะทางฟอลต์ในชนิด E



รูปที่ 2.10 ซิงเกิ้ลไลน์ไดอะแกรมและบิลลี-แลคทิสไดอะแกรมของระบบส่งจ่าย 400 กิโลโวลต์ เมื่อเกิดฟอลต์ถาวร

2.4 การแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform)

การแปลงเวฟเล็ตเป็นกระบวนการประมวลผลสัญญาณ (Signal processing) รูปแบบหนึ่ง โดยเป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการอธิบายโครงสร้างของสัญญาณที่เกิดจากการรวมกันของสัญญาณเฉพาะหลายๆสัญญาณเข้าด้วยกัน โดยสัญญาณเฉพาะนี้เป็นจะเป็นคลื่นเล็กๆ เรียกว่า “เวฟเล็ต” ในการวิเคราะห์สัญญาณนั้นจะเป็นการนำเอากลุ่มของเวฟเล็ตที่มีโครงสร้างเดียวกันมาเป็นตัวอธิบาย โดยเรียกสัญญาณต้นกำเนิดนี้ว่า “เวฟเล็ตแม่ (Mother Wavelets)” โดยคลื่นนั้นจะมีการสเกล (Scaling : a) และเลื่อนตำแหน่ง (Shifting : b) ไปตามแกนเวลา ดังนั้นฟังก์ชันเวฟเล็ตสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2.40)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องขออนุญาตเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่อง (Continuous Wavelet Transform : CWT)

การแปลงเวฟเลตนั้นเป็นการนำเวฟเลตแม่มาปรับเปลี่ยนคุณสมบัติ โดยจะต้องปรับความละเอียดในการวิเคราะห์ให้เหมาะสมกับช่วงความถี่ที่วิเคราะห์ ซึ่งสามารถแสดงสมการได้ดังต่อไปนี้

$$\text{CWT}(a,b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (2.41)$$

โดย

$f(t)$ คือ สัญญาณที่ทำการแปลง

$\Psi(t)$ คือ เวฟเลตแม่

a คือ แฟคเตอร์การสเกล

b คือ แฟคเตอร์การเลื่อนตำแหน่ง

การแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform : DWT)

การแปลงเวฟเลตนั้นมีข้อจำกัดหลายอย่าง จึงได้มีการพัฒนาอยู่ในรูปการแปลงแบบเต็มหน่วย ซึ่งมีลักษณะการวิเคราะห์โดยการสเกลและการเลื่อนตำแหน่งเป็นช่วงๆแบบไม่ต่อเนื่อง โดยมีทฤษฎีพื้นฐานเบื้องต้น คือ การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Multi-Resolution Analysis : MRA) โดยจะเป็นการนำเอาสัญญาณเล็กๆ ที่ระดับความละเอียดที่ a ที่หลายๆ ตำแหน่ง b มารวมกันเกิดเป็นสัญญาณความละเอียดนั้น และทำเช่นนี้กับสัญญาณทุกๆ ความละเอียดและนำมาวมกัน ก็จะได้สัญญาณอินพุตจริง และในทางปฏิบัตินั้นสัญญาณที่จะวิเคราะห์นั้นจะอยู่ในรูปของการสุ่ม (Sampling) แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{DWT}(m,n) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_k f(k) \Psi\left[\frac{n - kb_0 a_0^m}{a_0^m}\right] \quad (2.42)$$

โดย

n คือ จำนวนข้อมูล

m คือ ตัวเลขแสดงการเปลี่ยนการสเกล

k คือ ตัวเลขแสดงการเปลี่ยนการเลื่อนตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การจำลองในโปรแกรม ATPDraw

สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงการจำลองฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นกับระบบด้วยโปรแกรม ATPDraw เพื่อนำข้อมูลที่เกิดขึ้นกับระบบนำไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่งฟ้าผ่า

3.1 โครงสร้างและข้อมูลของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงที่ได้จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)

ในปฏิญานีพนธ์ฉบับนี้ได้อ้างอิง ระบบเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า จากสถานีระยอง (RY2) ไปยัง สถานีจันทบุรี (CT) เป็นระยะทาง 88.5 กิโลเมตร ด้วยระบบแรงดันไฟฟ้า 115 กิโลโวลต์ โครงเสาเป็นชนิด DA1 โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบเสาส่งแสดงดังตารางที่ 3.1 และแบบโครงสร้าง เสาส่งได้ดังรูปที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ระยะสำหรับเสาส่งไฟฟ้าแรงสูง 115 กิโลโวลต์ (อ้างอิงระยะจากรูปที่ 3.1)

No.	1	2	3	4
d (m)	4.64	5.50	5.60	6.00
r (m)	2.32	2.75	2.80	3.00
h (m)	30.20	26.90	23.20	19.50

เสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง 115 กิโลโวลต์

Information of 115 kV transmission line

Tower Name : DA1

Conductor size : 795 MCM ACSR/GA

Ruling span : 330 m. (Distance from tower to tower)

Conductor characteristic

Size : 795 MCM ACSR/GA

Diameter : 26.80 mm.

Number of conductor : 1 conductors per bundle

Current capacity : 845 A per conductor

Max. sag of conductor : 10.55 m.

Overhead ground wire characteristic

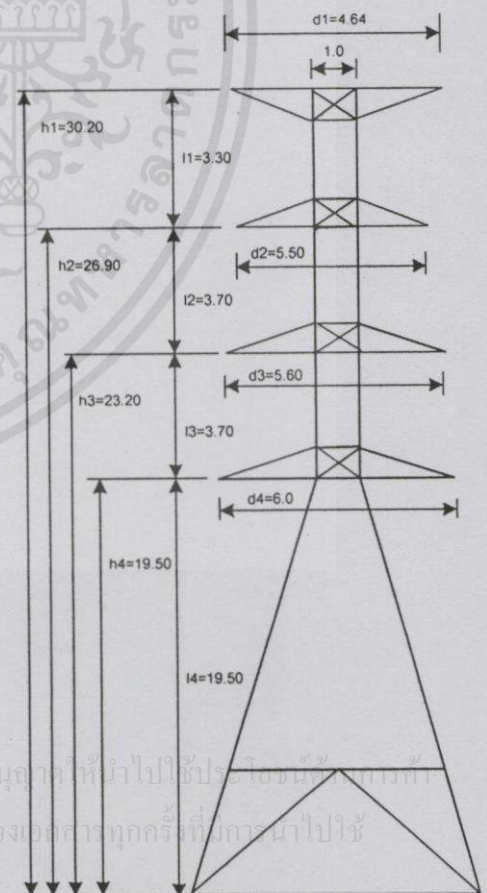
Size : 3/8" (HS) Galvanized

หมายเหตุ: steel เสาที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ที่การที่

Diameter : 9.144 mm

Number of conductor : 1 conductor

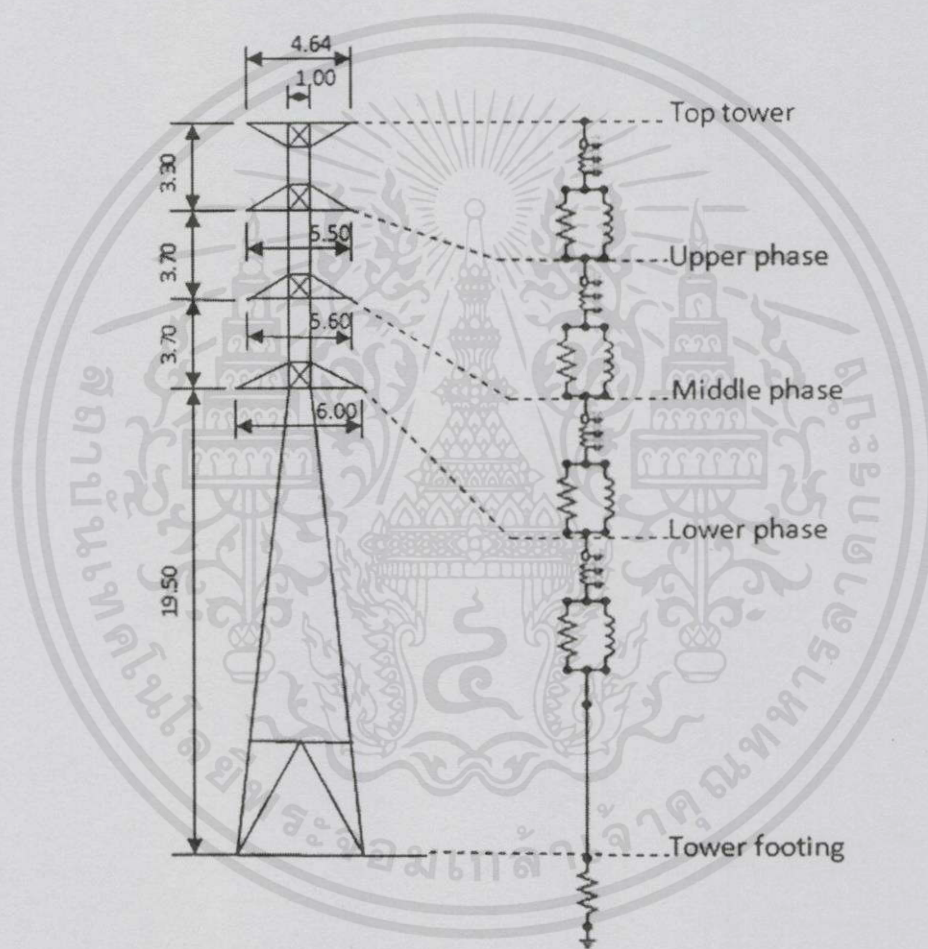
Current capacity : -



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง 115 กิโลโวลต์ [49]

โมเดลเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงแบบมัลติสตอรี (Multistory tower model)

ในการจำลองเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยในโปรแกรม ATPDraw จะใช้โมเดลเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงแบบมัลติสตอรี ซึ่งแสดงเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงเป็นระดับดังรูปที่ 3.2 ส่วนบนสุดของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (Top tower), ส่วนบนของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (Upper phase), ส่วนกลางของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (Middle phase), ส่วนล่างของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (Lower phase) และฐานของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (Tower footing) ในแต่ละส่วนจะประกอบด้วยค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ (Surge impedance; Z_f) รวมกับค่าความต้านทาน (Resistance; R) และค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance; L) ส่วนค่าความต้านทานในดินจะอยู่ข้างล่างฐานของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง (Footing resistance; R_f)



รูปที่ 3.2 โมเดลเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงแบบมัลติสตอรี (Multistory transmission tower model)

[48]

เสิร์จอิมพีแดนซ์ สามารถคำนวณได้หลายวิธีตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมา โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

วิธีการต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.2

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์และวิธีการคำนวณเสิร์จอิมพีแดนซ์

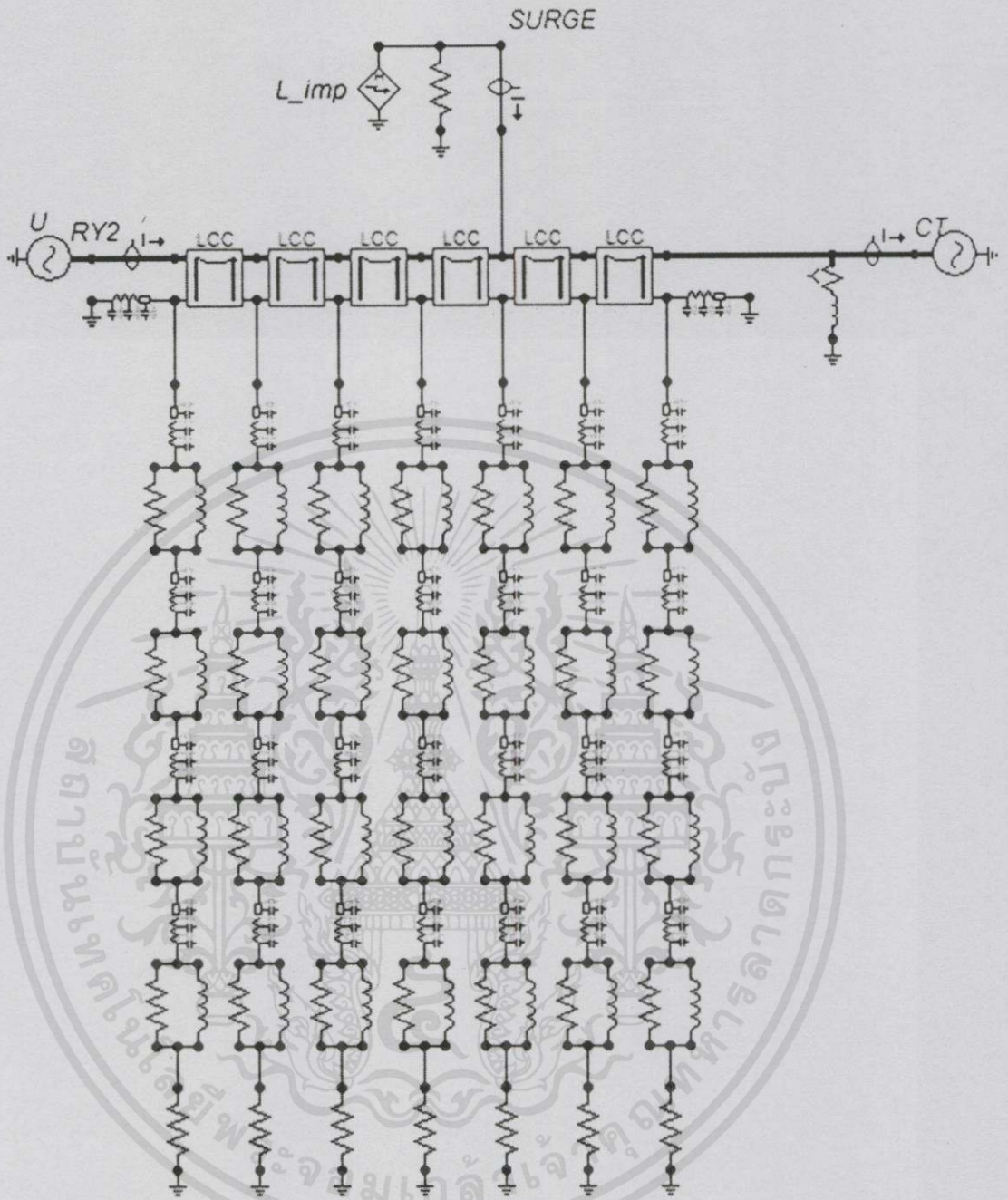
วิธีการ	สูตรที่ใช้ในการคำนวณ	แรงดันไฟฟ้า 115 กิโลโวลต์
Jordan	$Z = (60 \ln \frac{H}{r}) + (90 \frac{r}{H}) - 60$	r = 1.75 m H = 30.2 m
Wagner and Hileman	$Z = 60 \ln [\sqrt{2} \frac{vt}{r}]$	r = 1.75 m H = 30.2 m
Sargent and Darveniza	$Z = 60 \ln [\frac{\sqrt{2(H^2 + r^2)}}{r}]$	r = 2.45 m H = 30.2 m
IEEE และ CIGRE	$Z = 60 \log_e \cot \{ 0.5 \tan^{-1} (\frac{R'}{H}) \}$	R = 2.45 H = 30.2 m

ซึ่งในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เลือกนำใช้วิธีการที่นำเสนอโดย IEEE และ CIGRE ในการคำนวณหาเสิร์จอิมพีแดนซ์แดนซ์

3.2 โมเดลที่ใช้ในการจำลองโปรแกรม ATP

โดยในการจำลองระบบนี้ สามารถแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ของวงจรได้ดังนี้ ระบบเสาส่งแรงดันสูงส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยังสถานี CT (ด้านรับ) ส่งจ่ายผ่านสายส่งแรงดันสูง แบบสายส่งวงจรคู่ ตัวนำเดี่ยว (Double Circuit Single Conductor) เสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงแบบมัลติสตอรี่ มีแหล่งจ่ายกระแสฟ้าผ่าเพื่อจำลองฟ้าผ่าขึ้นกับสายส่ง ทางด้านสถานี CT (ด้านรับ) มีการจ่ายโหลด และที่ปลายสายส่งของสถานีทั้งสองติดตั้งหม้อแปลงกระแส ซึ่งสามารถตรวจวัดรูปคลื่นกระแสที่เกิดขึ้นกับระบบได้ โดยลักษณะวงจรที่ใช้ในการศึกษาแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 และพารามิเตอร์ต่างๆ ในการตั้งค่าวงจรสามารถศึกษาได้จากภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แบบจำลองเสาส่งแรงดัน 115 กิโลโวลต์

จากรูปที่ 3.3 เป็นแบบจำลองการเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบเสาส่งไฟฟ้าแรงดัน 115 กิโลโวลต์ โดยเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงที่ใช้กับระบบเป็นแบบมัลติสตอร์ ซึ่งสามารถแสดงพารามิเตอร์ต่างๆ ของวงจรเสาส่งแบบมัลติสตอร์ ดังรูปที่ 3.2 ได้จากตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์สำหรับเสาส่งไฟฟ้าแรงสูงแบบมัลติสตอร์

Parameter	$v = 300 \text{ m}/\mu\text{s}$
R1	12.39092700
R2	13.89290800
R3	13.89290800
R4	31.24855500
L1	0.002494712
L2	0.002797101
L3	0.002797101
L4	0.006291365
Z_{t1}	180
Z_{t2}	180
Z_{t3}	180
Z_{t4}	140

ซึ่งจากวงจรดังกล่าวจะนำไปศึกษากรณีเหตุการณ์ที่เกิดฟ้าผ่า ทั้งหมด 7 กรณี อันประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบดังนี้ มุมเริ่มต้นของสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ), ตำแหน่งต่างๆ ที่เกิดฟ้าผ่า, สายเฟสที่เกิดฟ้าผ่า, ขนาดกระแสฟ้าผ่า, ขนาดแรงดันของระบบ, ความต้านทานดิน และความยาวของสายส่ง โดยในแต่ละกรณีจะต้องทำการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของวงจรให้สอดคล้องกับกรณีที่จะทำการศึกษา

3.3 ผลการจำลอง (Simulate)

ในการจำลองระบบฟ้าผ่าด้วยโปรแกรม ATPDraw ตามวงจรดังรูปที่ 3.3 ทำการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆ มีผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าหรือไม่

เพื่อความง่ายในการอธิบายให้เกิดความเข้าใจ กำหนดให้มีกรณีหลักเพื่อใช้อธิบายในส่วนต่างๆ ต่อไป ดังนี้ เกิดฟ้าผ่ากับระบบสายส่งแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยัง สถานี CT (ด้านรับ) ซึ่งมีการจ่ายโหลดขนาด 30 เมกะโวลต์แอมแปร์ ทางด้านสถานี CT (ด้านรับ) ความยาวของสายส่งมีค่าเท่ากับ 88.50 กิโลเมตร มุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และมุมเริ่มต้นของสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา เกิดฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ ที่สายเฟส A ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง (61.95 กิโลเมตร) และค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษารูปแบบของสัญญาณกระแสฟ้าผ่าที่จะเกิดขึ้นกับระบบเมื่อเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆ จากกรณีหลักที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยกรณีการศึกษารหัสไม่ว่ากรณี และผลการจำลองของทั้ง 7 กรณีที่ทำการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบ สามารถแสดงได้ดังนี้

1. มุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันสถานี RY2 (ด้านส่ง) 3 มุม (0 องศา, 90 องศาและ 135 องศา) อธิบายได้จากหัวข้อ 3.3.1
2. ตำแหน่งต่างๆ ที่เกิดฟ้าผ่า (10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% และ 90% ของความยาวสายส่ง) อธิบายได้จากหัวข้อ 3.3.2
3. สายเฟสที่เกิดฟ้าผ่า (เฟส A, เฟส B และ เฟส C) อธิบายได้จากหัวข้อ 3.3.3
4. ขนาดกระแสฟ้าผ่า (10 กิโลแอมแปร์, 20 กิโลแอมแปร์ และ 30 กิโลแอมแปร์) อธิบายได้จากหัวข้อ 3.3.4
5. ขนาดแรงดันของแหล่งจ่าย (115 กิโลโวลต์, 230 กิโลโวลต์ และ 500กิโลโวลต์) อธิบายได้จากหัวข้อ 3.3.5
6. ค่าความต้านทานดิน (1 โอห์ม, 10 โอห์ม และ 100 โอห์ม) อธิบายได้จากหัวข้อ 3.3.6
7. ความยาวของสายส่ง (30 km, 50km, 70km และ 88.5km) อธิบายได้จากหัวข้อ 3.3.7

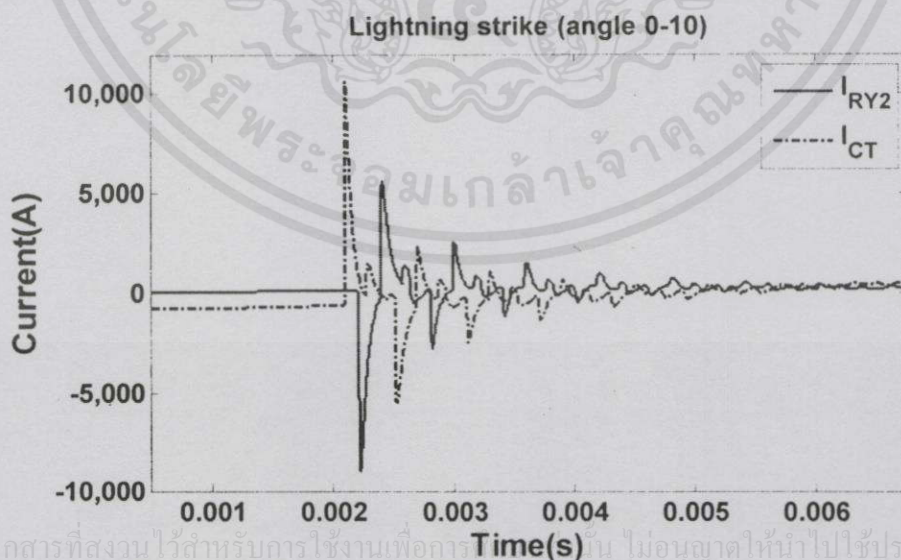
3.3.1 กรณีที่ 1 เกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีมุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันสถานีส่งจ่ายต่างกัน

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงมุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันที่มีผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า ซึ่งการจำลองจะเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบสายส่งแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ความยาวของสายส่งจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยัง สถานี CT (ด้านรับ) มีค่าเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร เกิดฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ ที่สายเฟส A ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง (61.95 กิโลเมตร) และค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม โดยจากการเปลี่ยนแปลงมุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันของสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ) 3 มุม ดังนี้

มุมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา, มุมเริ่มต้นสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา

สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)

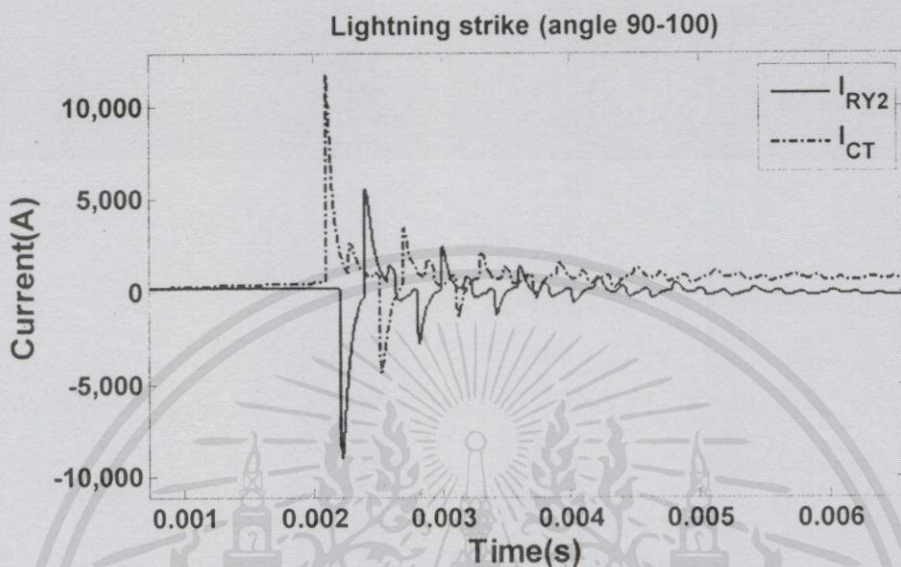
ดังรูปที่ 3.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ Time(s) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

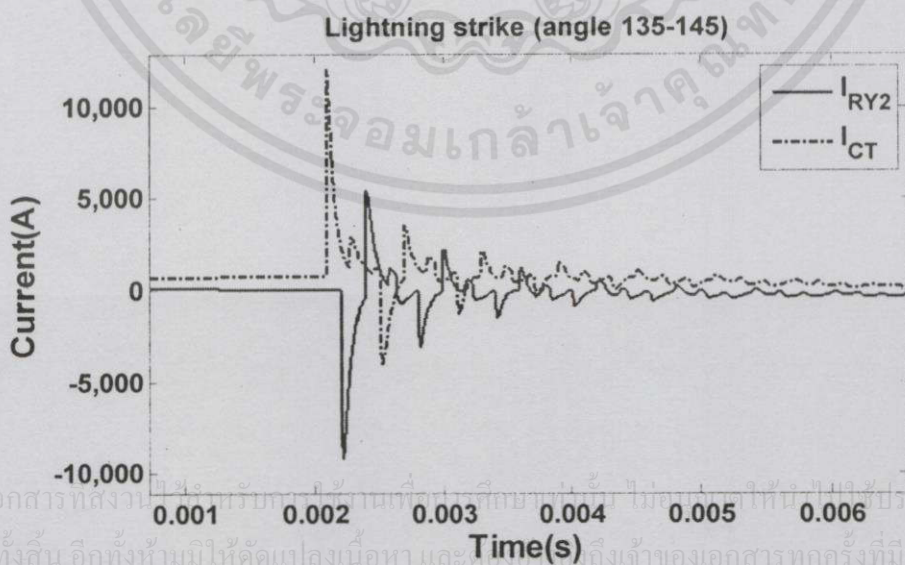
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกที่รูปที่ 3.4 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีมุมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และการนำไปใช้ และสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา

มุมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 90 องศา, มุมเริ่มต้นสถานี CT (ด้านรับ) 100 องศา
สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)
ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีมุมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 90 องศา
และสถานี CT (ด้านรับ) 100 องศา

มุมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 135 องศา, มุมเริ่มต้นสถานี CT (ด้านรับ) 145 องศา
สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)
ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีมุมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 135 องศา
และสถานี CT (ด้านรับ) 145 องศา

ตารางที่ 3.4 ค่ากระแสและเวลาของสภาวะชั่วคราวสูงสุด กรณีที่เกิดฟ้าที่ระบบมีมุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันสถานีส่งจ่ายต่างกัน

Phase Angle (degree)		Peak Current (kA)		Time at Peak (ms)	
RY2	CT	RY2 (Phase A)	CT (Phase A)	RY2 (Phase A)	CT (Phase A)
0	10	-9.0247	10.5882	2.2193	2.0959
90	100	-8.9638	11.7384	2.2193	2.0959
135	145	-9.1504	12.0033	2.2193	2.0960

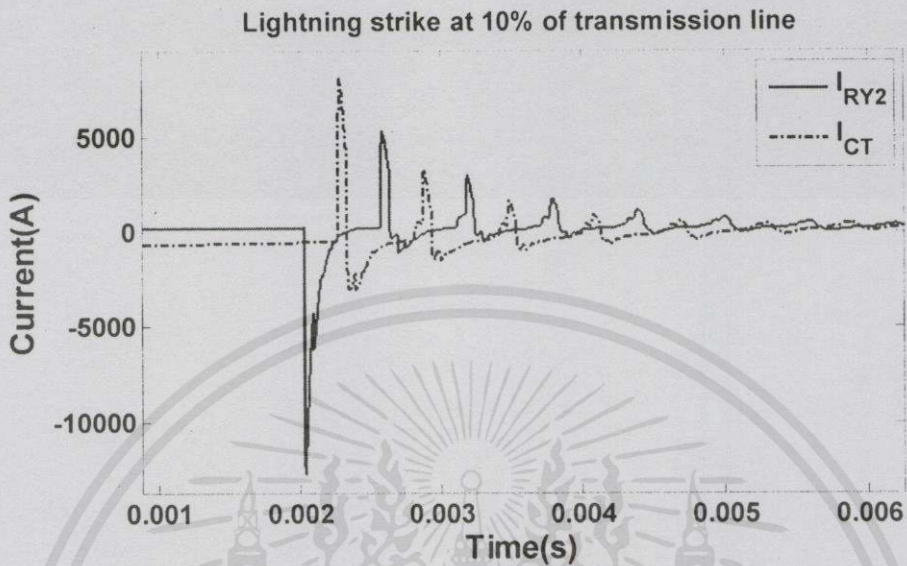
จากการบันทึกผลแสดงได้ดังตารางที่ 3.4 พบว่าที่ระบบมีมุมเริ่มต้นของแรงดันด้านสถานี RY2 (ด้านส่ง) เปลี่ยนไป (0, 90, 135 องศา) และเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส A พบว่า เมื่อมุมเริ่มต้นเปลี่ยนไปจะมีผลต่อค่ากระแสเนื่องจากฟ้าผ่าสูงสุดที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนไปด้วยเช่นกัน แต่นั่นเป็นผลเนื่องจากค่ากระแสอยู่ในรูปของฟังก์ชันของไซน์นูซอด์เดิล ซึ่งเมื่อมีมุมเริ่มต้นที่เปลี่ยนไป แต่ ณ เวลาที่เกิดฟ้าผ่าเท่าเดิม จะมีผลต่อค่าแอมพลิจูดเปลี่ยนไปด้วยเช่นกัน

3.3.2 กรณีที่ 2 เกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่งต่างๆ

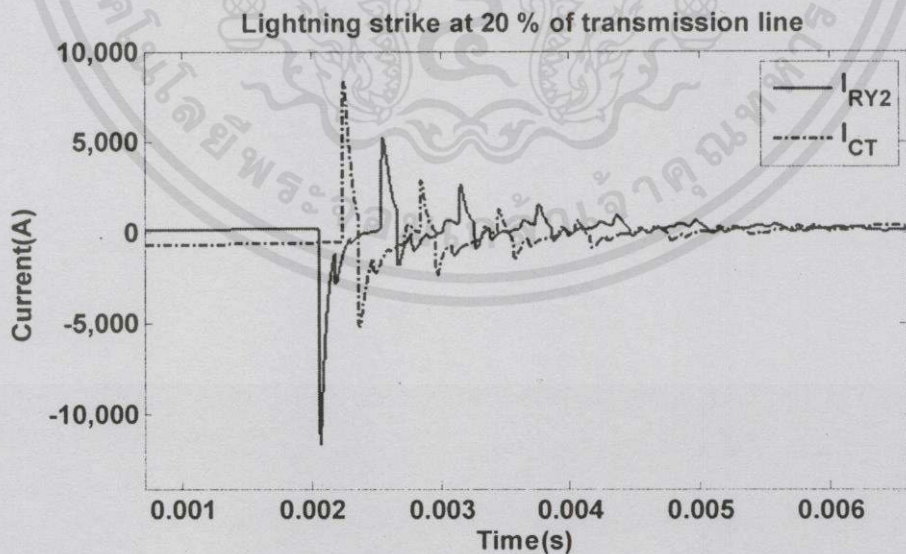
ศึกษาการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งฟ้าผ่าที่มีผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า ซึ่งการจำลองจะเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบสายส่งแรงดัน 115 กิโลโวลต์ มุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันของสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา ความยาวของสายส่งจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยัง สถานี CT (ด้านรับ) มีค่าเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร เกิดฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ ที่สายเฟส A และค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม โดยทำการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งต่างๆ ที่เกิดฟ้าผ่า 9 ตำแหน่ง ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 10% ของความยาวสายส่ง หรือ 8.85 กิโลเมตร
สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)
ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 10% ของความยาวสายส่ง
เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 20% ของความยาวสายส่ง หรือ 17.70 กิโลเมตร
สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)
ดังรูปที่ 3.8

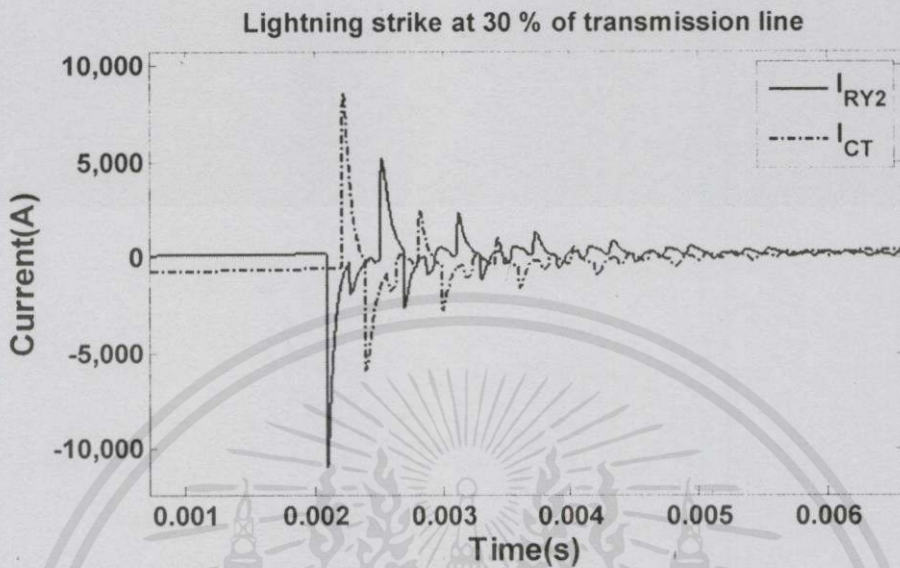


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 3.8 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 20% ของความยาวสายส่งไว้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 30% ของความยาวสายส่ง หรือ 26.55 กิโลเมตร

สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)

ดังรูปที่ 3.9

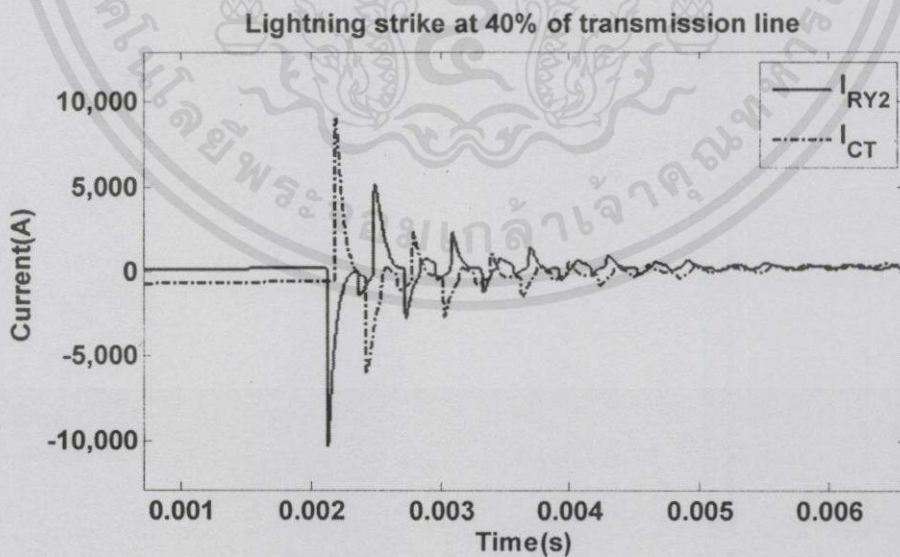


รูปที่ 3.9 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 30% ของความยาวสายส่ง

เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง หรือ 35.40 กิโลเมตร

สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)

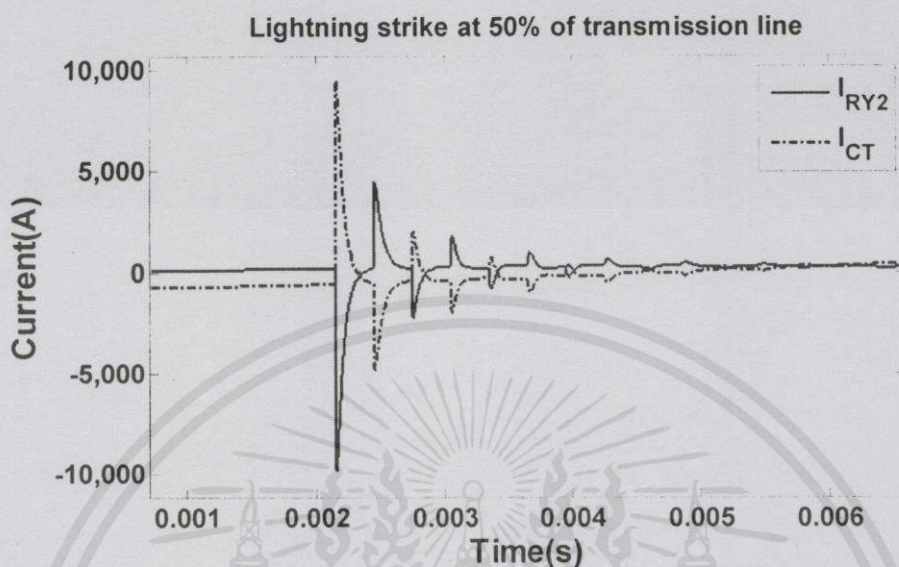
ดังรูปที่ 3.10



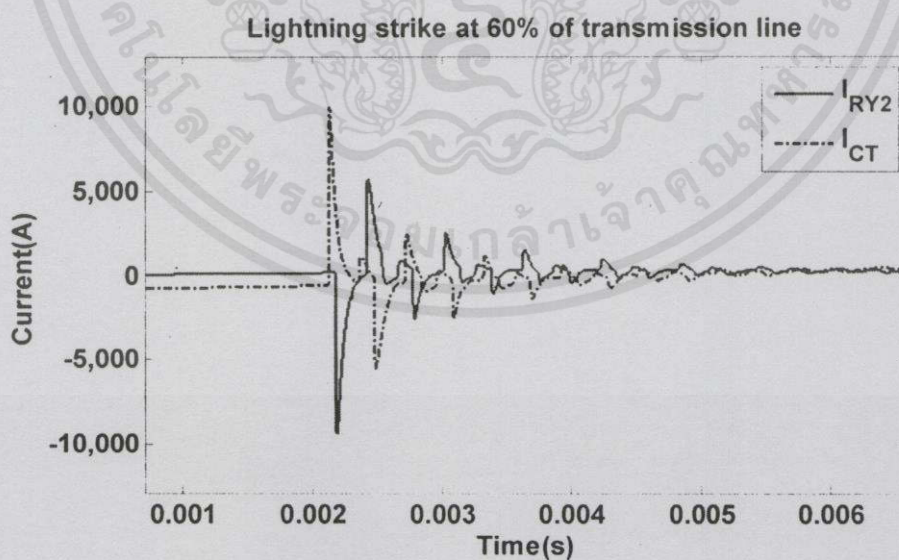
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 3.10 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 50% ของความยาวสายส่ง หรือ 44.25 กิโลเมตร
สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)
ดังรูปที่ 3.11

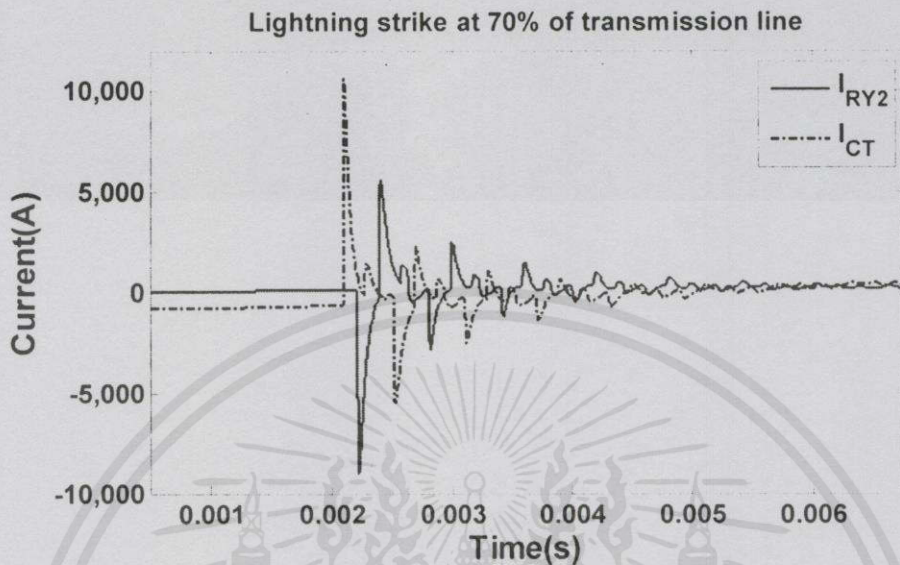


รูปที่ 3.11 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 50% ของความยาวสายส่ง
เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง หรือ 53.10 กิโลเมตร
สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)
ดังรูปที่ 3.12



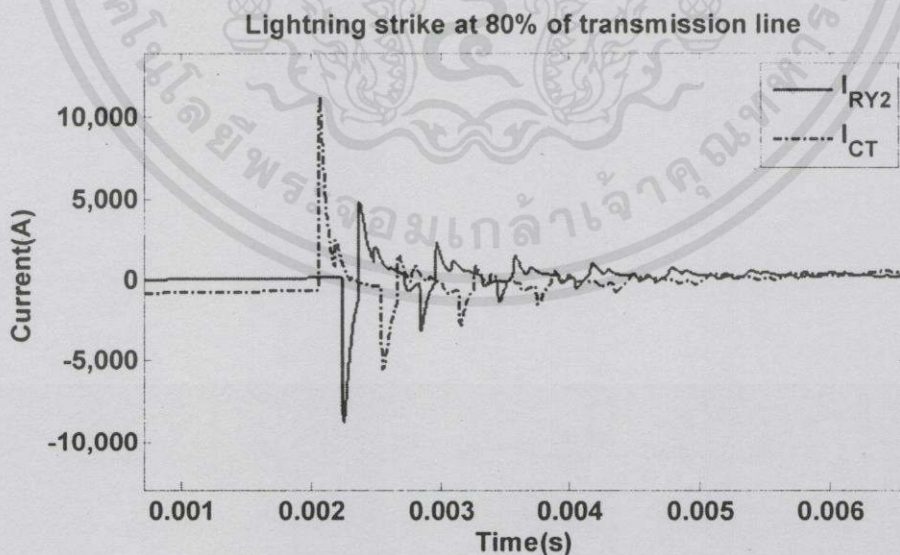
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 3.12 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 70 % ของสายส่ง หรือ 61.95 กิโลเมตร
สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)
ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง

เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 80 % ของความยาวสายส่ง หรือ 70.80 กิโลเมตร
สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)
ดังรูปที่ 3.14



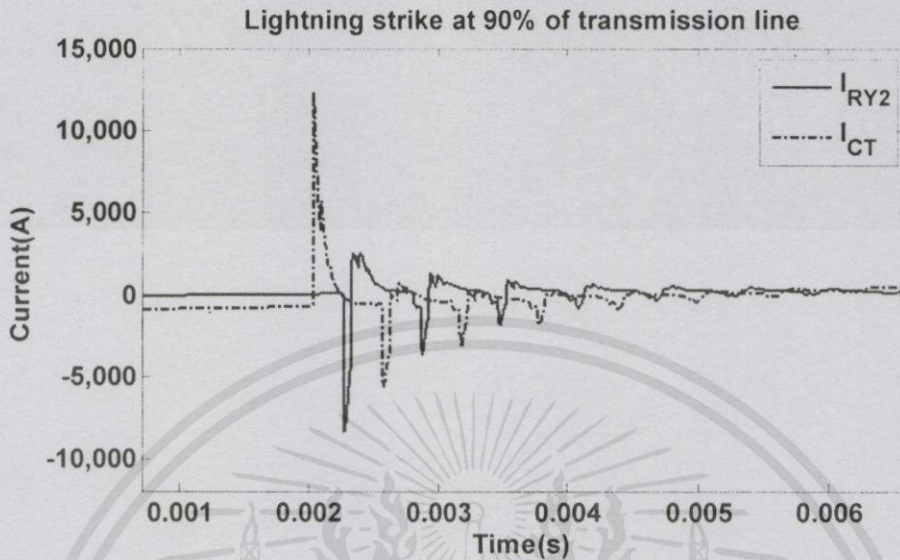
รูปที่ 3.14 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 80% ของความยาวสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 90 % ของความยาวสายส่ง หรือ 79.65 กิโลเมตร

สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)

ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 90% ของความยาวสายส่ง

ตารางที่ 3.5 ค่ากระแสและเวลาของสภาวะชั่วครู่สูงสุด กรณีที่เกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่งต่างๆ

Fault at (% of transmission line)	Peak Current (kA)		Time at Peak (ms)	
	RY2 (Phase A)	CT (Phase A)	RY2 (Phase A)	CT (Phase A)
10%	-12.7080	8.0139	2.0332	2.2806
20%	-11.6530	8.3269	2.0648	2.2500
30%	-10.9180	8.6604	2.0962	2.2195
40%	-10.3210	9.0440	2.1273	2.1887
50%	-9.8357	9.4707	2.1580	2.1580
60%	-9.4013	9.9683	2.1886	2.1271
70%	-9.0247	10.5882	2.2193	2.0959
80%	-8.7114	11.2829	2.2498	2.0648
90%	-8.3514	12.3062	2.2796	2.0332

จากการบันทึกผลแสดงได้ดังตารางที่ 3.5 พบว่าเมื่อตำแหน่งฟ้าผ่าเปลี่ยนไป จะมีผลต่อค่าเวลาและค่าแอมพลิจูดที่วัดได้จากสถานีด้านส่งและสถานีด้านรับ ซึ่งคือเมื่อเกิดตำแหน่งฟ้าผ่าใกล้กับสถานีฝั่งใด สถานีฝั่งนั้นจะมีค่าแอมพลิจูดของกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าสูงขึ้นและเวลาที่วัดได้จะมีค่าใกล้เคียงกับเวลาที่เกิดฟ้าผ่า

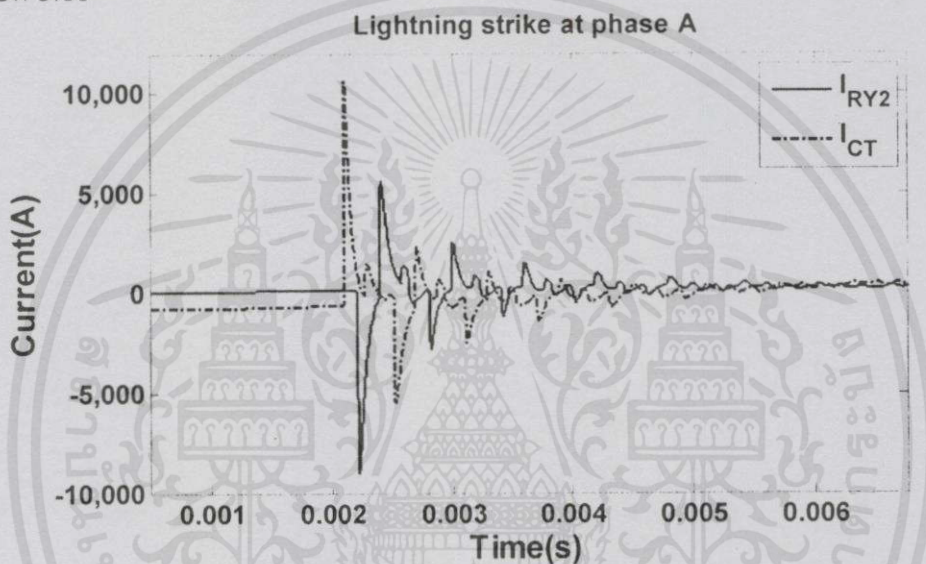
3.3.3 กรณีที่ 3 เกิดฟ้าผ่าที่สายเฟสต่างกัน

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสายเฟสที่เกิดฟ้าผ่ามีผลต่อภาระบุตำแหน่งฟ้าผ่า ซึ่งการจำลองจะเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบสายส่งแรงดัน 115 กิโลโวลต์ มุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันของสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา ความยาวของสายส่ง มีค่าเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร เกิดกระแสฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง (61.95 กิโลเมตร) และค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม โดยทำการเปลี่ยนแปลงสายเฟสที่เกิดฟ้าผ่า 3 สายเฟส ดังนี้

เกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส A

สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)

ดังรูปที่ 3.16

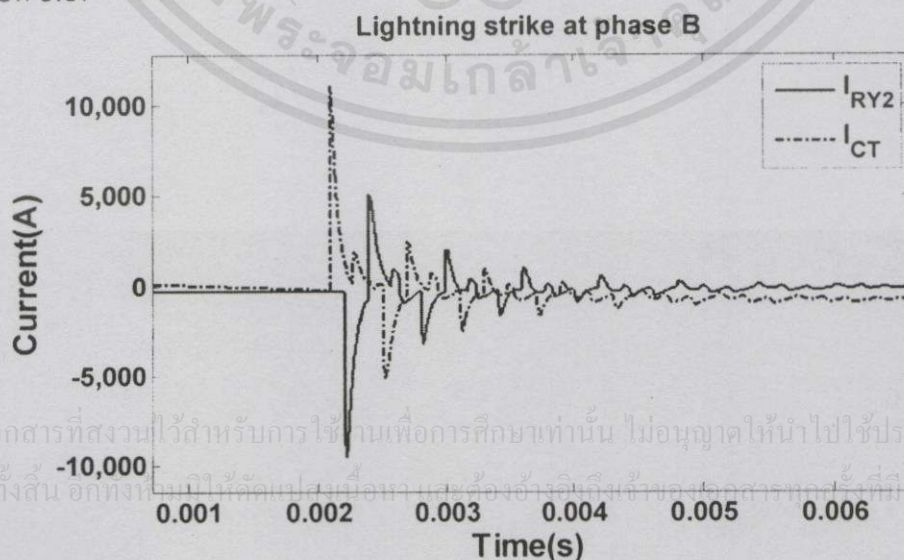


รูปที่ 3.16 กระแสฟ้าผ่าที่สายเฟส A

เกิดฟ้าผ่าที่เฟส B

สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)

ดังรูปที่ 3.17

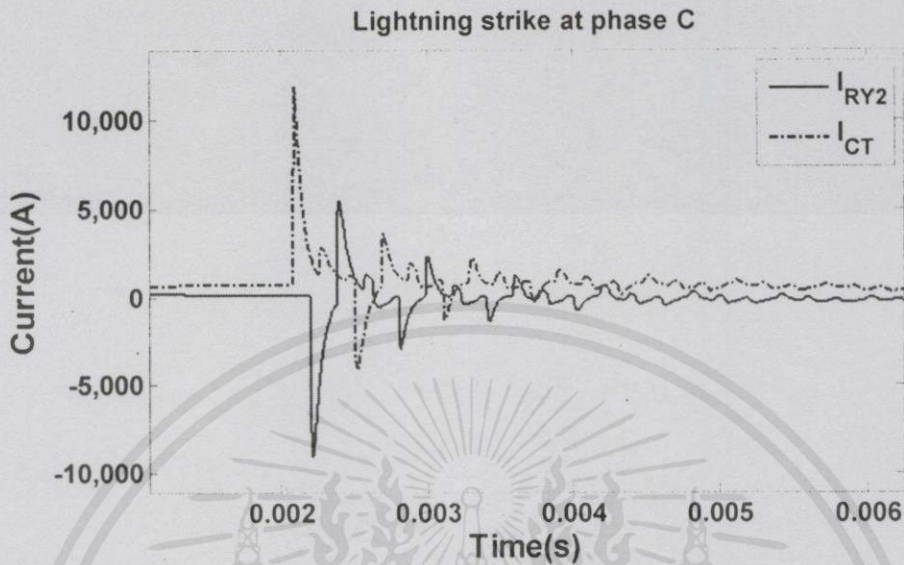


รูปที่ 3.17 กระแสฟ้าผ่าที่สายเฟส B

เกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส C

สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)

ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 กระแสฟ้าผ่าที่สายเฟส C

ตารางที่ 3.6 ค่ากระแสและเวลาของสภาวะชั่วคราวสูงสุด กรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟสต่างกัน

Fault at (phase)	Peak Current (kA)		Time at Peak (ms)	
	RY2 (Phase A)	CT (Phase A)	RY2 (Phase A)	CT (Phase A)
A	-9.0247	10.5882	2.2193	2.0959
B	-9.4767	11.0158	2.4003	2.5217
C	-9.0790	11.9658	2.4003	2.5216

จากการบันทึกผลแสดงได้ดังตารางที่ 3.4. พบว่าเมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟสใดๆ จะส่งผลให้กระแสที่เกิดฟ้าผ่าในเฟสนั้นมีค่าแอมพลิจูดของกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าสูงขึ้นกว่าเฟสอื่น

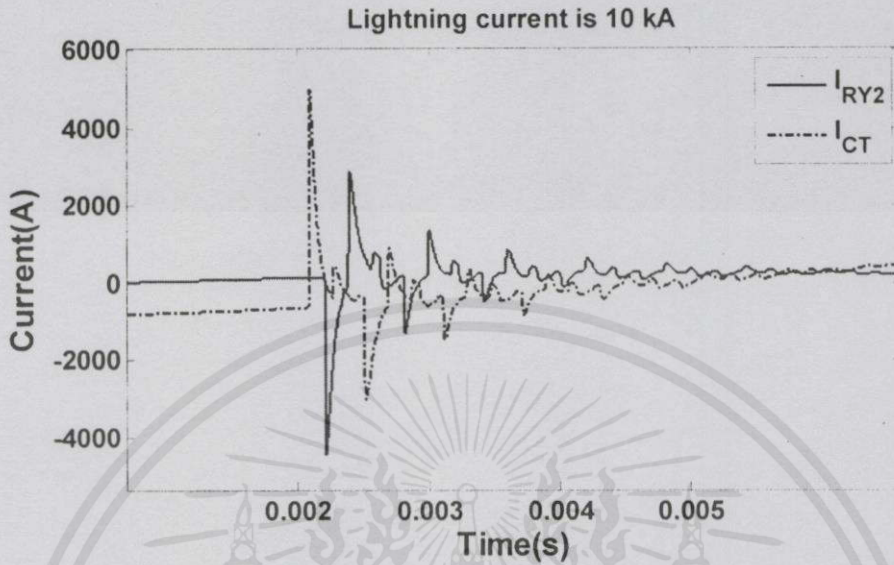
3.3.4 กรณีที่ 4 เกิดฟ้าผ่าที่มีขนาดกระแสฟ้าผ่าต่างกัน

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสฟ้าผ่าที่มีผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า ซึ่งการจำลองจะเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบสายส่งแรงดัน 115 กิโลโวลต์ มุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันของสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา ความยาวของสายส่งจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยัง สถานี CT (ด้านรับ) มีค่าเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร เกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส A ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง (61.95 กิโลเมตร) และค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม โดยทำการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสฟ้าผ่า 3 ขนาดดังนี้

เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบโดยมีขนาดกระแสฟ้าผ่าเท่ากับ 10 กิโลแอมแปร์

สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)

ดังรูปที่ 3.19

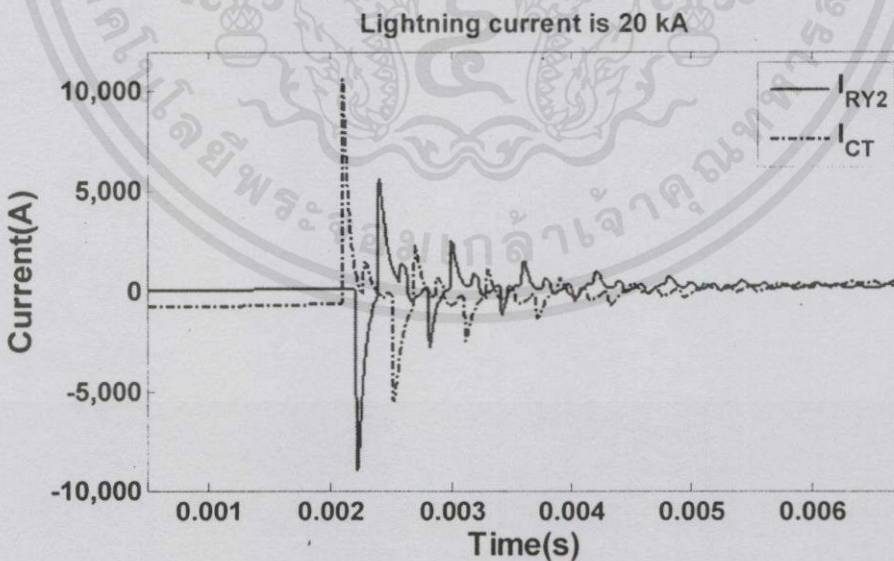


รูปที่ 3.19 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีขนาดกระแสฟ้าผ่า 10 กิโลแอมแปร์

เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบโดยมีขนาดกระแสฟ้าผ่าเท่ากับ 20 กิโลแอมแปร์

สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)

ดังรูปที่ 3.20



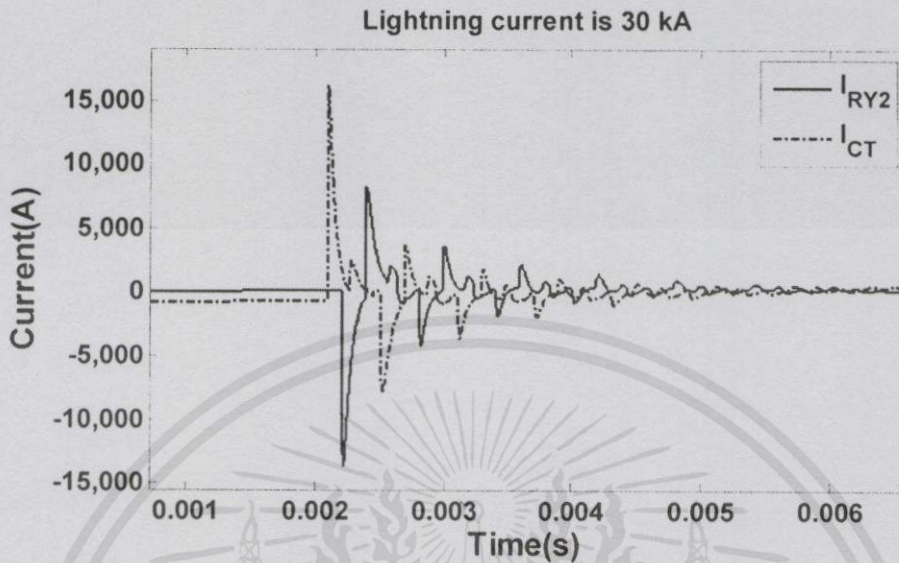
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่ง รูปที่ 3.20 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีขนาดกระแสฟ้าผ่า 20 กิโลแอมแปร์ ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบโดยมีขนาดกระแสฟ้าผ่าเท่ากับ 30 กิโลแอมแปร์

สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)

ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีขนาดกระแสฟ้าผ่า 30 กิโลแอมแปร์

ตารางที่ 3.7 ค่ากระแสและเวลาของสภาวะชั่วครู่สูงสุด กรณีเกิดฟ้าผ่าที่มีขนาดกระแสฟ้าผ่าต่างกัน

Amplitude of Surge (kA)	Peak Current (kA)		Time at Peak (ms)	
	RY2 (Phase A)	CT (Phase A)	RY2 (Phase A)	CT (Phase A)
10	-4.4280	4.9932	2.2193	2.0960
20	-9.0247	10.5882	2.2193	2.0959
30	-13.6210	16.1832	2.2191	2.0960

จากการบันทึกผลแสดงได้ดังตารางที่ 3.7 พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนค่าแอมพลิจูดของกระแสฟ้าผ่า จะส่งผลให้ค่าแอมพลิจูดของกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าที่ทั้งสถานีด้านส่งและสถานีด้านรับเปลี่ยนแปลงไปด้วย ในลักษณะที่เป็นแนวโน้มเดียว คือ ค่ากระแสเนื่องจากฟ้าผ่าจะเพิ่มเป็นจำนวนเท่าเดียวกันกับจำนวนเท่าของกระแสฟ้าผ่าที่เพิ่มขึ้น

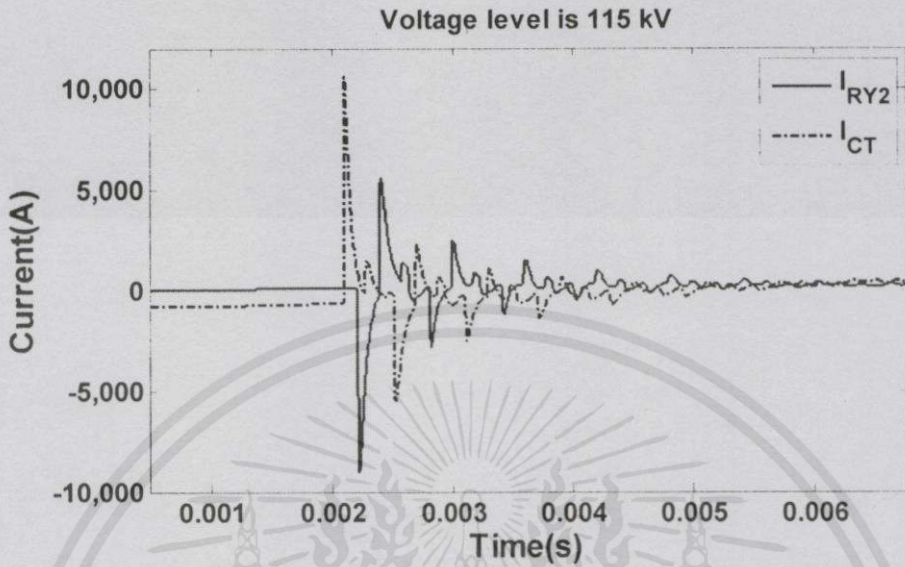
3.3.5 กรณีที่ 5 เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีแรงดันต่างกัน

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดแรงดันของระบบมีผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า ซึ่งการจำลองจะเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบสายส่ง มุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันของสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา ความยาวของสายส่งจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยัง สถานี CT (ด้านรับ) มีค่าเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร เกิดฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ ที่สายเฟส A ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง (61.95 กิโลเมตร) และค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม โดยทำการเปลี่ยนแปลงขนาดแรงดันของระบบเสาส่ง 3 ระดับดังนี้

เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีแรงดัน 115 กิโลโวลต์

สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)

ดังรูปที่ 3.22

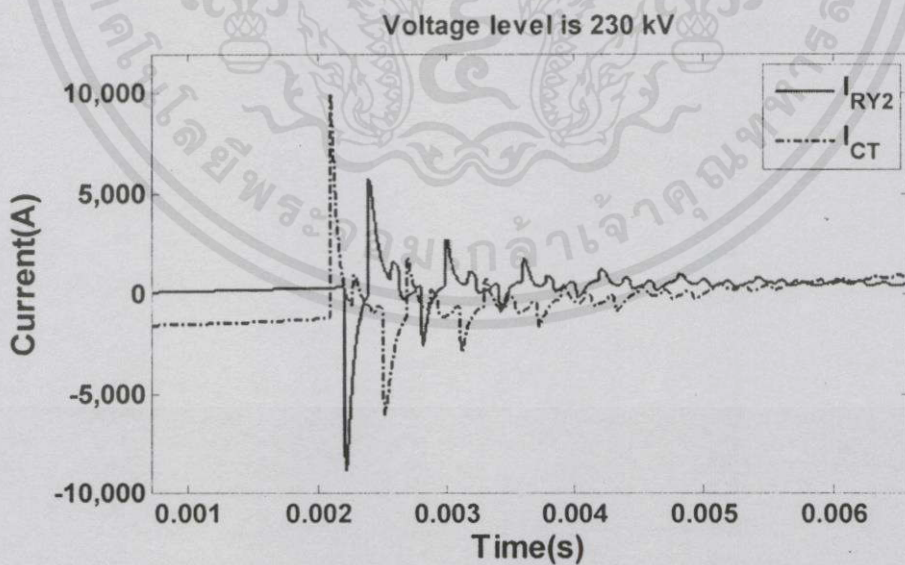


รูปที่ 3.22 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีแรงดัน 115 กิโลโวลต์

เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีแรงดัน 230 กิโลโวลต์

สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)

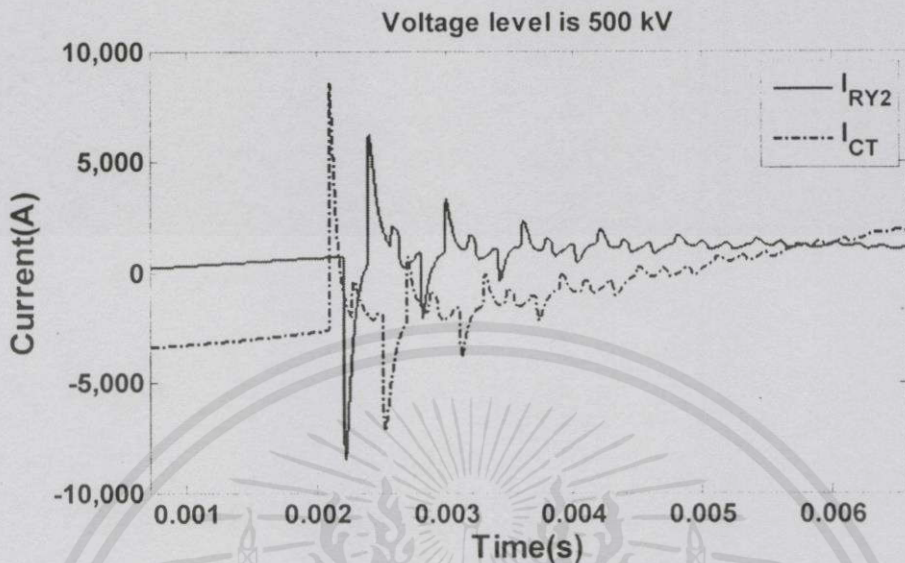
ดังรูปที่ 3.23



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.23 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีแรงดัน 230 กิโลโวลต์ ไปที่ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีแรงดัน 230 กิโลโวลต์
สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)
ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีแรงดัน 500 กิโลโวลต์

ตารางที่ 3.8 ค่ากระแสและเวลาของสภาวะชั่วคราวสูงสุด กรณีเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีแรงดันต่างกัน

Voltage of Substation (kV)	Peak Current (kA)		Time at Peak (ms)	
	RY2 (Phase A)	CT (Phase A)	RY2 (Phase A)	CT (Phase A)
115	-9.0247	10.5882	2.2193	2.0959
230	-8.8559	9.9865	2.2192	2.0960
500	-8.4597	8.5737	2.2192	2.0960

จากการบันทึกผลแสดงได้ดังตารางที่ 3.8 พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดแรงดันของสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ) จะส่งผลต่อค่ากระแสเนื่องจากฟ้าผ่าด้วย ซึ่งเป็นผลมาจากเมื่อระบบมีการจ่ายโหลดคงที่แต่แรงดันของระบบมีการเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลทำให้ค่ากระแสที่สภาวะปกติของระบบเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

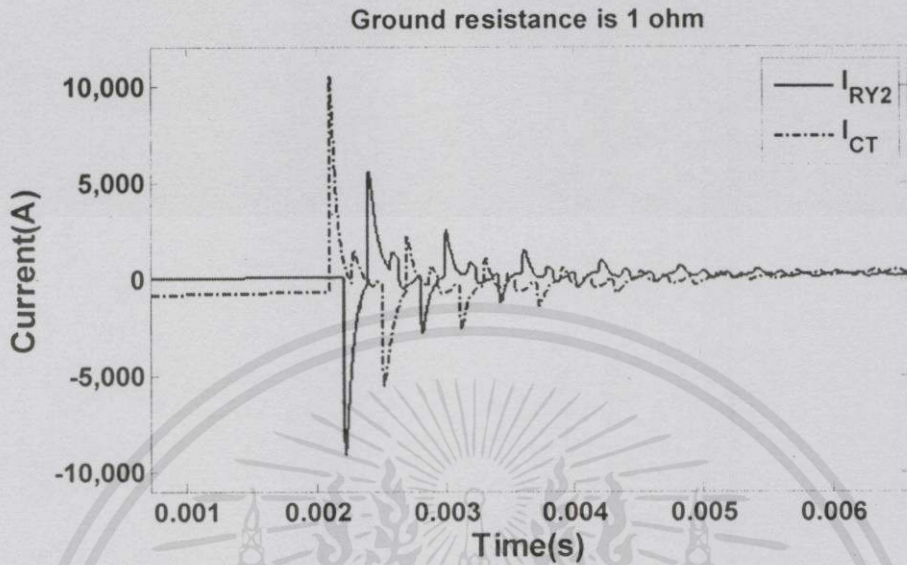
3.3.6 กรณีที่ 6 เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีความต้านทานดินต่างกัน

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความต้านทานดินมีผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า ซึ่งการจำลองจะเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบแรงดัน 115 กิโลโวลต์ มุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันของสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา ความยาวของสายส่งจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยัง สถานี CT (ด้านรับ) มีค่าเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร เกิดฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ ที่สายเฟส A ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง (61.95 กิโลเมตร) และค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานดิน 3 ค่าดังนี้

เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีความต้านดินเท่ากับ 1 โอห์ม

สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)

ดังรูปที่ 3.25

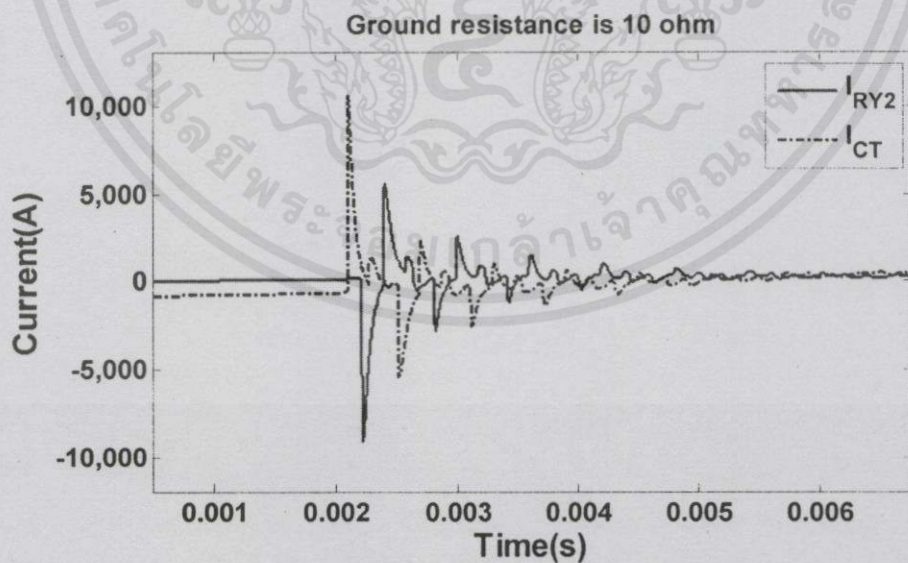


รูปที่ 3.25 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดิน 1 โอห์ม

เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีความต้านดินเท่ากับ 10 โอห์ม

สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)

ดังรูปที่ 3.26



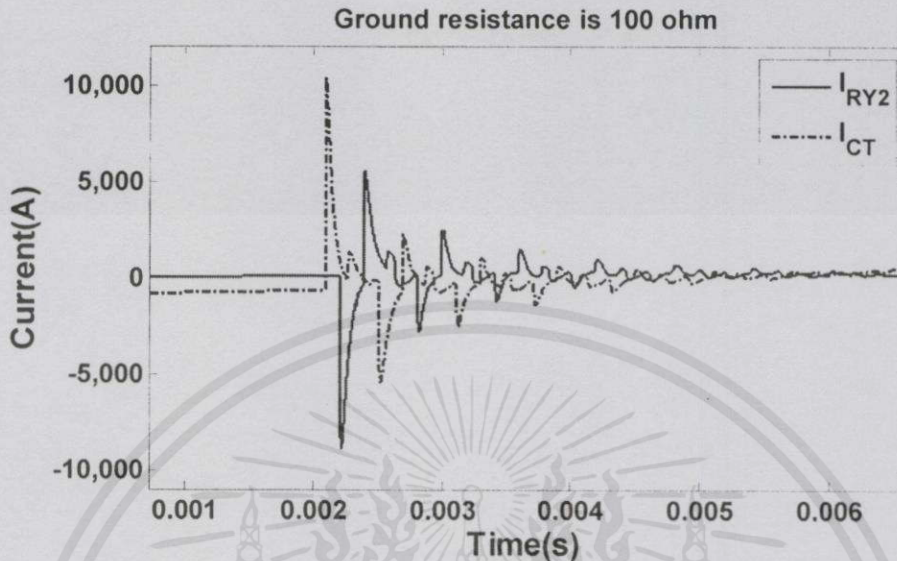
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน รูปที่ 3.26 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดิน 10 โอห์ม ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีความต้านทานเท่ากับ 100 โอห์ม

สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)

ดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดิน 100 โอห์ม

ตารางที่ 3.9 ค่ากระแสและเวลาของสภาวะชั่วครู่สูงสุด กรณีเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีความต้านทานดินต่างกัน

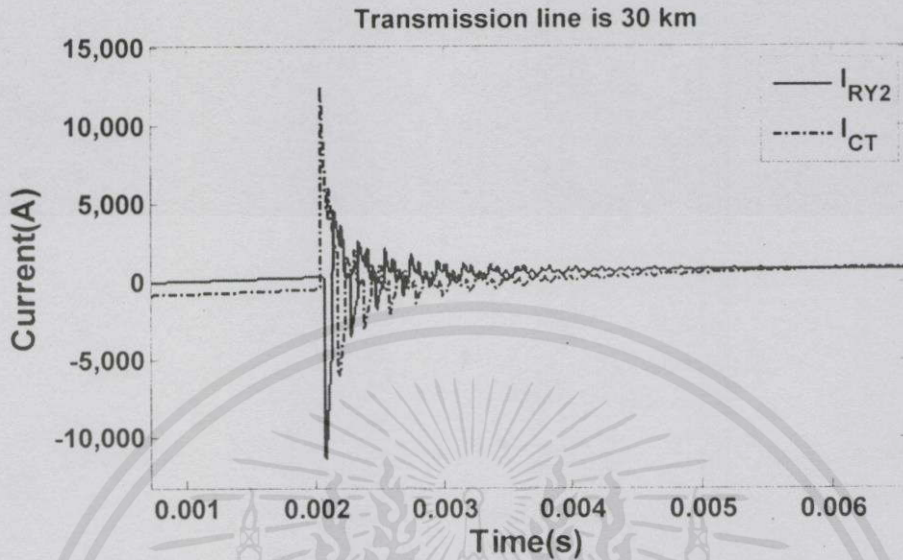
Ground Resistance (ohm)	Peak Current (kA)		Time at Peak (ms)	
	RY2 (Phase A)	CT (Phase A)	RY2 (Phase A)	CT (Phase A)
1	-11.3160	12.5731	2.0764	2.0336
10	-10.3870	11.7416	2.1254	2.0551
100	-9.9993	11.4033	2.1497	2.0658

จากการบันทึกผลแสดงได้ดังตารางที่ 3.9 พบว่าเมื่อเปลี่ยนค่าความต้านทานของดิน จะไม่ส่งผลต่อเวลาที่เกิดกระแสสูงสุดเนื่องจากฟ้าผ่า แต่จะพบว่าเมื่อค่าความต้านทานดินมีค่ามากขึ้นจะทำให้กระแสที่ไหลในเสาแรงดันมีค่าน้อยกว่าในกรณีที่ดินมีความต้านทานดินต่ำ

3.3.7 กรณีที่ 7 เกิดฟ้าผ่าที่ความยาวของสายส่งต่างกัน

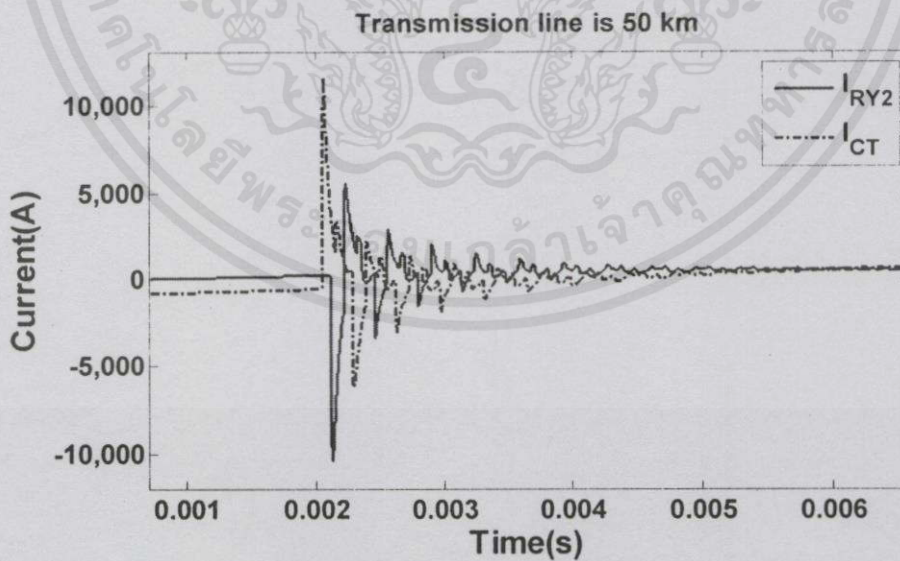
ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความยาวของสายส่งมีผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า ซึ่งการจำลองจะเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบแรงดัน 115 กิโลโวลต์ มุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันของสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา เกิดฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ ที่สายเฟส A ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง (61.95 กิโลเมตร) และค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของสายส่งจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยัง สถานี CT (ด้านรับ) 3 ระยะดังนี้

เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีความยาวสายส่งเท่ากับ 30 กิโลเมตร
สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)
ดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีความยาวสายส่งเท่ากับ 30 กิโลเมตร

เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีความยาวสายส่งเท่ากับ 50 กิโลเมตร
สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)
ดังรูปที่ 3.29



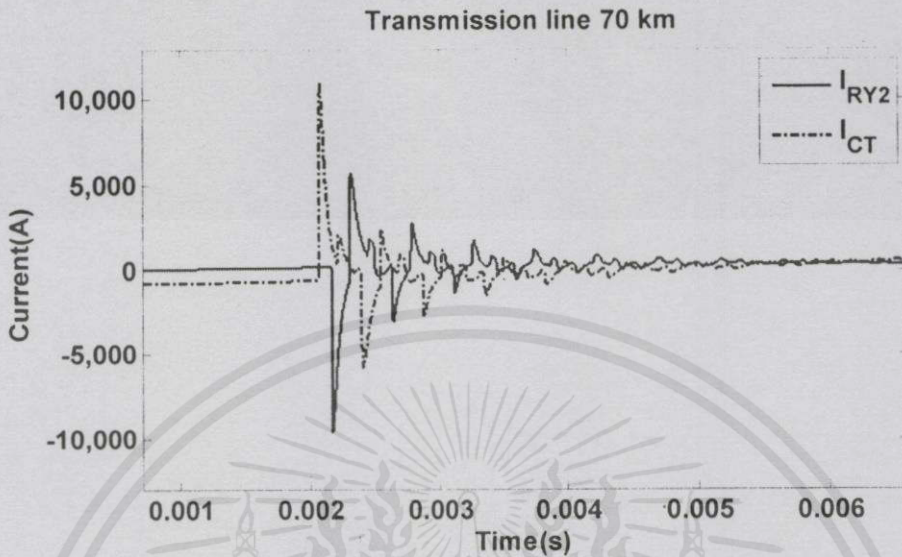
รูปที่ 3.29 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีความยาวสายส่งเท่ากับ 50 กิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ซึ่งห้ามมิให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีความยาวสายส่งเท่ากับ 70 กิโลเมตร

สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)

ดังรูปที่ 3.30

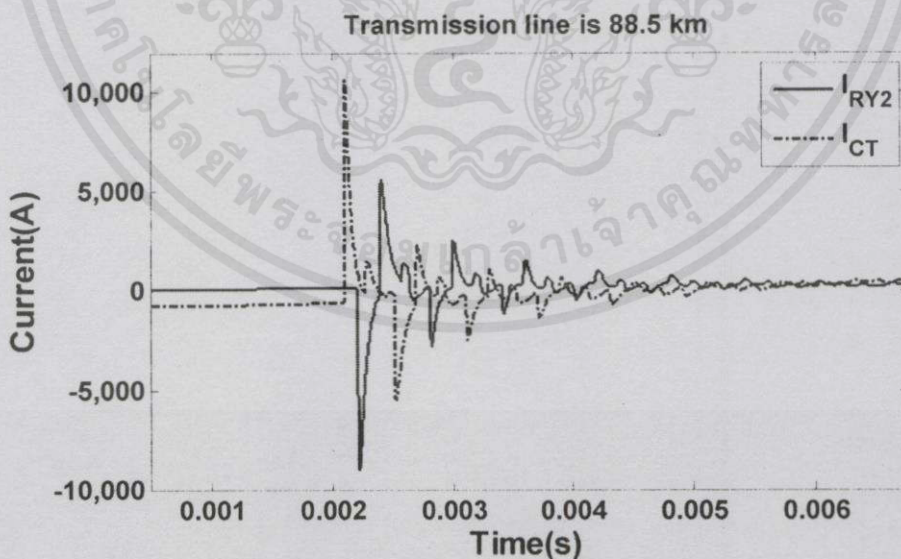


รูปที่ 3.30 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีความยาวสายส่งเท่ากับ 70 กิโลเมตร

เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีความยาวสายส่งเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร

สามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ)

ดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีความยาวสายส่งเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร

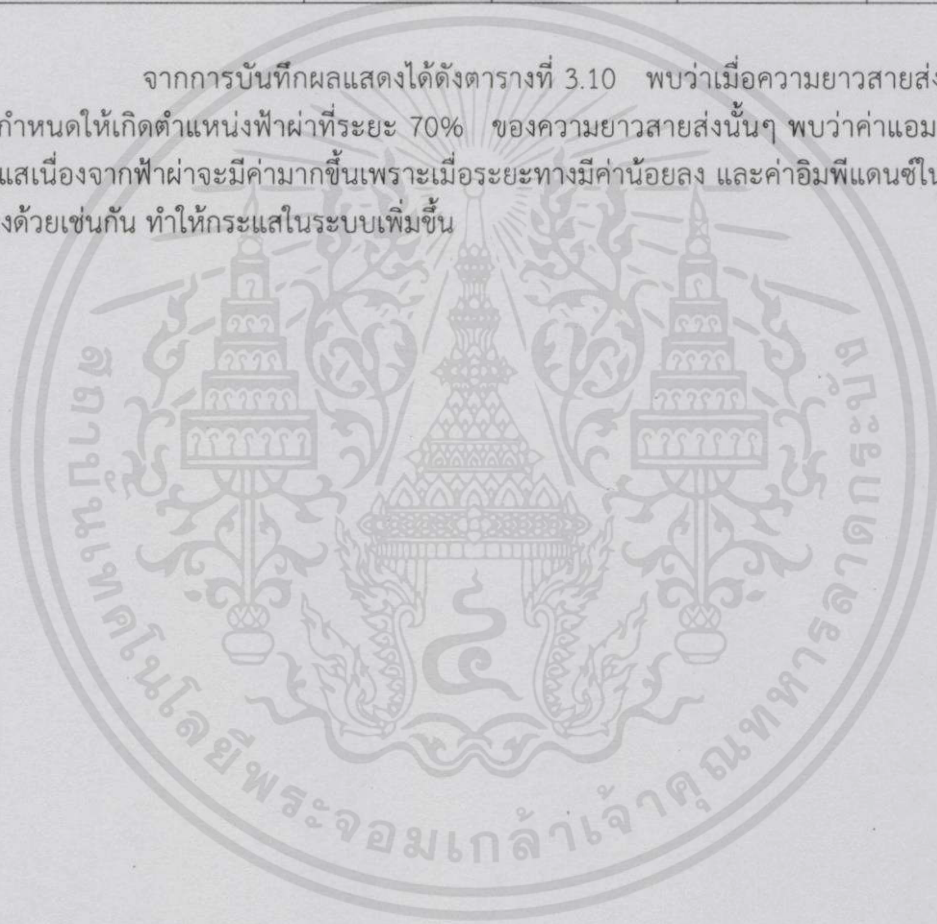
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิฉะนั้นผู้ใดที่นำเอกสารไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.10 ค่ากระแสและเวลาของสภาวะชั่วคราวสูงสุด กรณีเกิดฟ้าผ่าที่ความยาวของสายส่งต่างกัน

Length of Transmission Line (km)	Peak Current (kA)		Time at Peak (ms)	
	RY2 (Phase A)	CT (Phase A)	RY2 (Phase A)	CT (Phase A)
30	-11.820	11.937	2.055	2.055
50	-11.053	10.865	2.091	2.091
70	-9999.3	10588.2	2.2194	2.0959
88.5	-9.819	9.470	2.158	2.158

จากการบันทึกผลแสดงได้ดังตารางที่ 3.10 พบว่าเมื่อความยาวสายส่งเปลี่ยนไป โดยกำหนดให้เกิดตำแหน่งฟ้าผ่าที่ระยะ 70% ของความยาวสายส่งนั้นๆ พบว่าค่าแอมพลิจูดของกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าจะมีค่ามากขึ้นเพราะเมื่อระยะทางมีค่าน้อยลง และค่าอิมพีแดนซ์ในสายส่งจะลดลงด้วยเช่นกัน ทำให้กระแสในระบบเพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การระบุตำแหน่งฟ้าผ่า

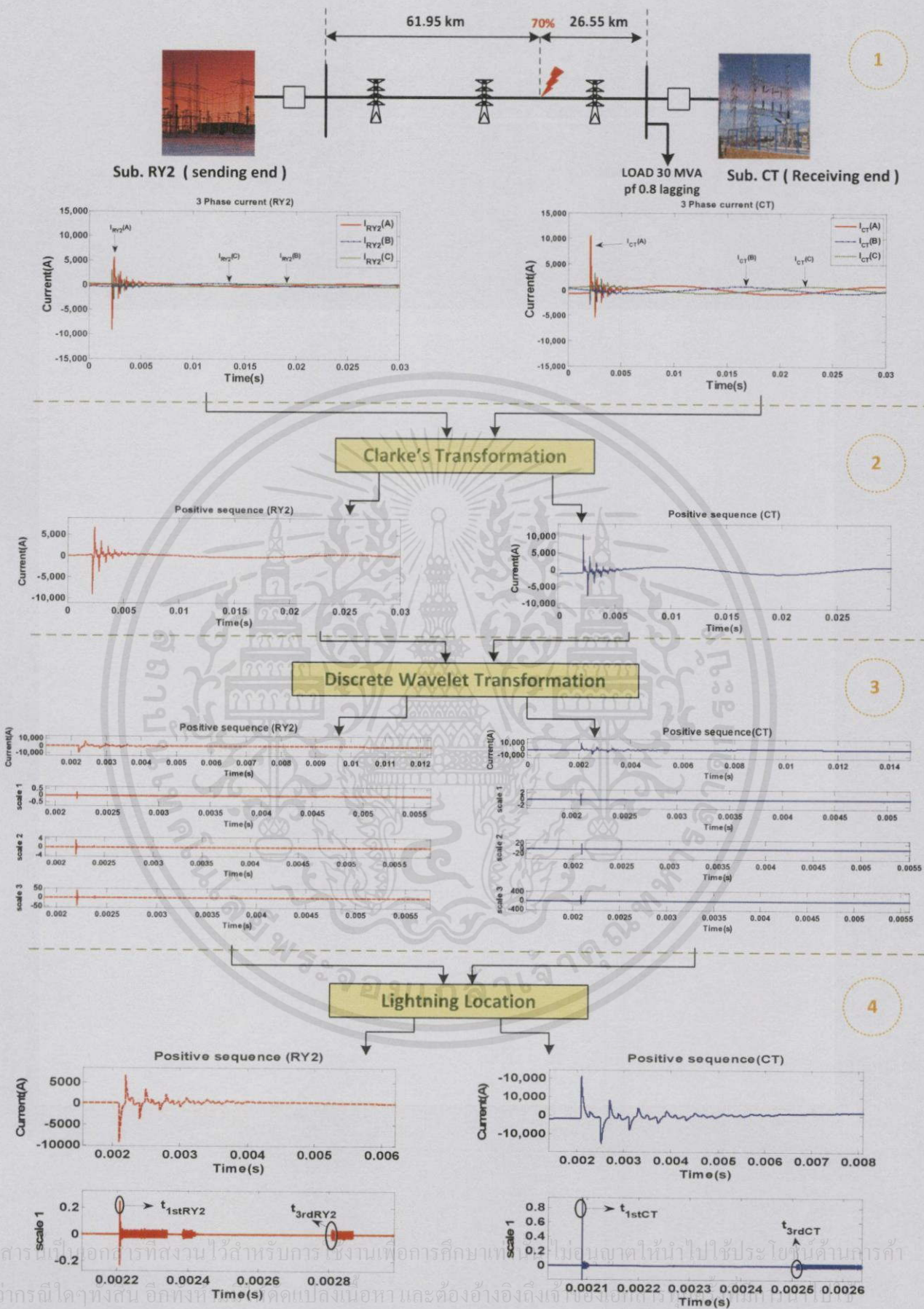
จากผลการรายงานในบทที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าข้อมูลจากการจำลองระบบด้วยโปรแกรม ATPDraw โดยสามารถตรวจพบกระแสฟ้าผ่าสูงสุดจากปลายสายส่งของสถานีทั้งสองด้าน และตรวจพบเวลาที่เกิดกระแสสูงสุดด้วยเช่นกัน ซึ่งเวลาดังกล่าวนั้นอาจเป็นค่าเวลาจากเฟสอื่นที่ไม่ใช่เฟสที่เกิดฟ้าผ่า ทำให้เกิดการผิดพลาดในการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า

จึงหลีกเลี่ยงเหตุการณ์ดังกล่าว โดยการระบุตำแหน่งฟ้าผ่าในระบบสายส่งระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ จากสถานีไฟฟ้า RY2 (ด้านส่ง) ไปยังสถานีไฟฟ้า CT (ด้านรับ) ระยะทาง 88.5 กิโลเมตร สามารถการระบุตำแหน่งฟ้าผ่าได้โดยใช้โปรแกรม MATLAB ประยุกต์ทฤษฎีการแปลงคลาร์ก ทฤษฎีการแปลงเวฟเคลื่อนที่และทฤษฎีคลื่นเดินทาง เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า

ขั้นตอนการระบุตำแหน่งฟ้าผ่าในสายส่ง แสดงได้ดังรูปที่ 4.1 และเพื่อให้เข้าใจง่ายถึงขั้นตอนการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า จะแสดงตัวอย่างวงจร เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบสายส่งไฟฟ้าแรงดันสูง 115 กิโลโวลต์ จากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยังสถานี CT (ด้านรับ) ความยาวสายส่ง 88.5 กิโลเมตร เกิดฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ ที่สายเฟส A ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง และเมื่อตรวจวัดกระแสฟ้าผ่าจากปลายสถานีทั้งสองของสายส่ง จะได้ค่าเวลาที่ตรวจพบกระแสฟ้าผ่าสูงสุด

โดยสามารถอธิบายลำดับขั้นตอนการระบุตำแหน่งฟ้าผ่าในสายส่ง ได้ดังนี้ ในขั้นตอน 1 เป็นตัวอย่างของการจำลองฟ้าผ่ากับระบบสายส่งแรงดันไฟฟ้า 115 กิโลโวลต์ เกิดขึ้นที่เฟส A ณ ตำแหน่ง 70% ของสายส่ง จากโปรแกรม ATPDraw ซึ่งจากข้อมูลที่ได้จะพบค่าความเร็วคลื่นเดินทางที่เกิดขึ้นในระบบสายส่ง จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการระบุตำแหน่งฟ้าผ่าซึ่งจะกล่าวถึงขั้นตอนทั้งหมดได้ต่อจากนี้ คือ นำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยการนำข้อมูลโปรแกรม MATLAB ซึ่งจะเริ่มการวิเคราะห์โดยในขั้นตอนที่ 2 เป็นการนำข้อมูลมาเข้าสู่การแปลงคลาร์ก เพื่อเป็นการลดความซับซ้อนในการวิเคราะห์สัญญาณสามเฟส โดยให้ได้กระแสฟ้าผ่าสองเฟสหยุดนิ่ง ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อที่ 4.1 จากนั้นในขั้นตอนที่ 3 คือ การนำค่ากระแสสองเฟสหยุดนิ่งมาวิเคราะห์เข้าสู่การแปลงเวฟเคลื่อนที่แบบเต็มหน่วย เพื่อแยกองค์ประกอบความถี่สูงออกจากความถี่ต่ำ ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อที่ 4.2 เพื่อนำข้อมูลค่าเวลาที่แยกองค์ประกอบความถี่สูงออกมา เพื่อวิเคราะห์ระบุตำแหน่งฟ้าผ่าต่อไปในขั้นตอนที่ 4 นั้นคือใช้ทฤษฎีคลื่นเดินทางช่วยในระบุตำแหน่งฟ้าผ่า และขั้นตอนสุดท้าย นั้นคือ การวิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่งฟ้าผ่าโดยวิธีต่างๆ จะกล่าวถึงในหัวข้อ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า

4.1 การแปลงคลาร์ก (Clarke s Transformation) [25]

การแปลงคลาร์ก (Clarke s Transformation) คือ การแปลงทางคณิตศาสตร์ที่ช่วยลดความซับซ้อนในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส (a, b, c) ให้เป็นกระแสไฟฟ้าสองเฟสหยุดนิ่ง ($\alpha\beta 0$) การแปลงคลาร์กเป็นเมทริกซ์การแปลงที่ใช้ในการวิเคราะห์สายส่งสามเฟสที่มีการไขว้สลับสาย (Transposed) หรือสายส่งสามเฟสที่ไม่ได้มีการไขว้สลับสาย (Un-transposed) โดยสมมติให้กระแสสามเฟสเป็น ดังนี้

$$i_a(n) = I_a \cos(n\omega T + \phi_a) \quad (4.1)$$

$$i_b(n) = I_b \cos(n\omega T + \phi_b) \quad (4.2)$$

$$i_c(n) = I_c \cos(n\omega T + \phi_c) \quad (4.3)$$

โดย T คือ คาบเวลาในการสุ่ม (Sampling period)

เมื่อแปลงให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ จะได้

$$\begin{bmatrix} i_\alpha(n) \\ i_\beta(n) \\ i_0(n) \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(-\frac{2\pi}{3}\right) \\ 0 & \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(-\frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_a(n) \\ i_b(n) \\ i_c(n) \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

$$\begin{bmatrix} i_\alpha(n) \\ i_\beta(n) \\ i_0(n) \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_a(n) \\ i_b(n) \\ i_c(n) \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

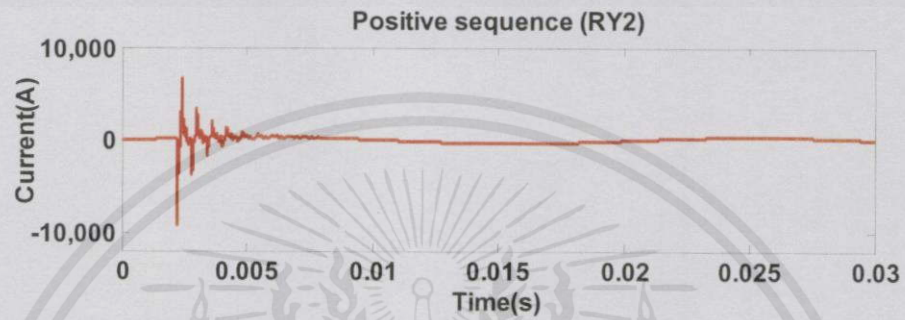
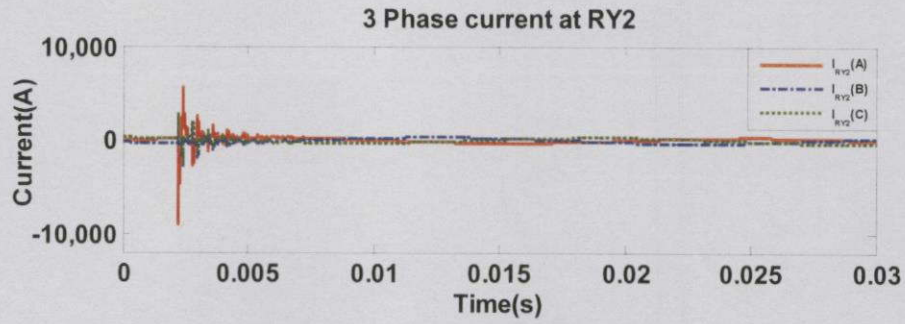
จากเมทริกซ์ดังกล่าว สามารถสรุปอย่างย่อได้เป็น

$$i_{\alpha\beta 0} = A \times i_{abc} \quad (4.6)$$

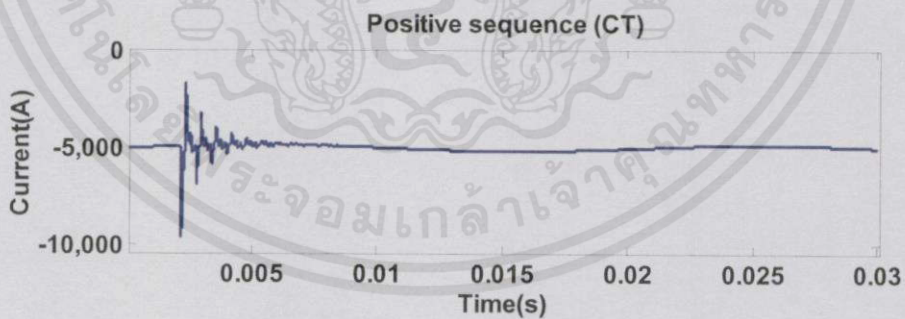
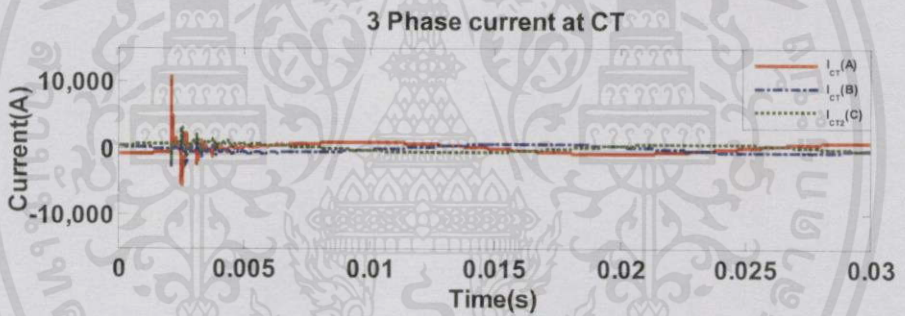
เมื่อ A คือ เมทริกซ์การแปลงคลาร์ก

จากทฤษฎีการแปลงคลาร์กจะนำเมทริกซ์ A มาใช้ในการคำนวณ เนื่องจากสามารถใช้ได้กับสายส่งแบบที่มีการไขว้สลับสายอย่างสมบูรณ์และสายส่งแบบที่ไม่มีการไขว้สลับสาย เพื่อใช้ในการหาค่าองค์ประกอบลำดับบวก (Positive Sequence Component) และองค์ประกอบลำดับศูนย์ (Zero Sequence Component) ของกระแสสามเฟส โดยแปลงให้กระแสหยุดนิ่ง เพื่อให้ง่ายในการวิเคราะห์ ผลลัพธ์จากการแปลงคลาร์กจะได้ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. สถานี RY2 (ด้านส่ง)



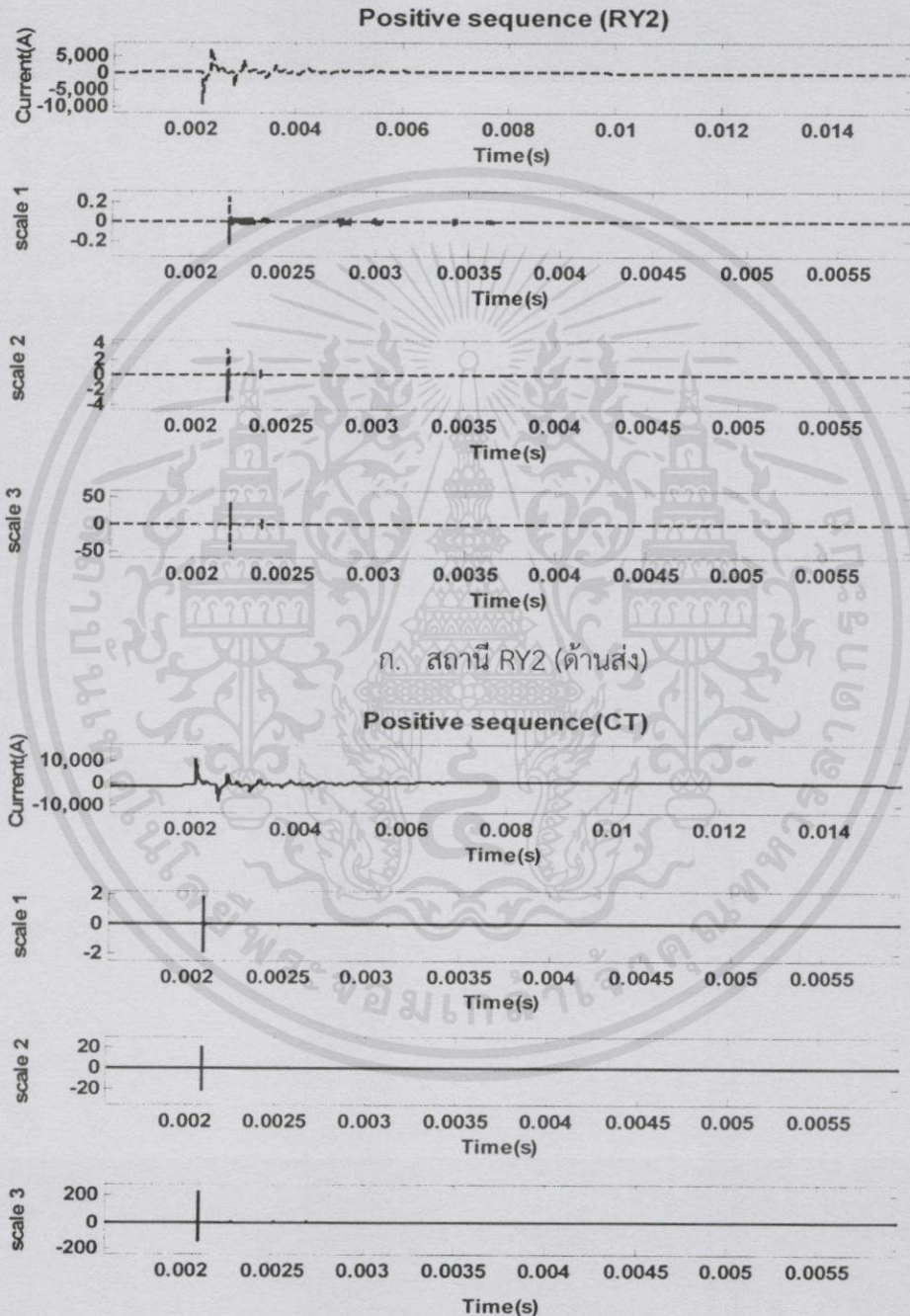
ข. สถานี CT (ด้านรับ)

รูปที่ 4.2 องค์ประกอบลำดับบวก (Positive Sequence Current) จากการแปลงคลาร์ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การแปลงเวฟเลต (Wavelet transforms)

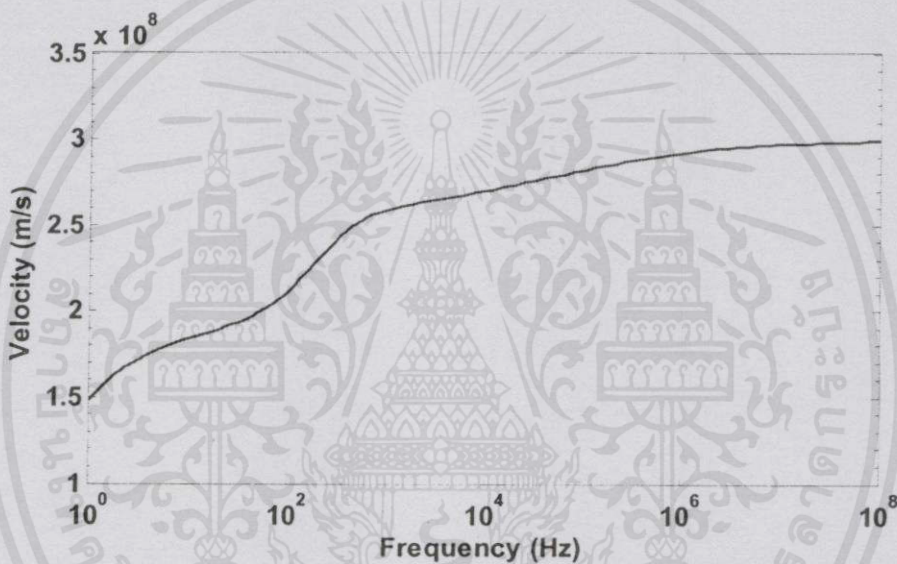
หลังจากการแปลงคลาร์กโดยใช้เมทริกซ์ A จะได้กระแสฟ้าม่าที่ตรวจวัดได้อยู่ในรูปขององค์ประกอบลำดับบวก (Positive Sequence Component) นำมาแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform : DWT) เพื่อแยกองค์ประกอบความถี่สูงออกจากความถี่ต่ำ แสดงดังรูปที่ 4.3 ซึ่งได้แสดงแปลงเวฟเลต 3 ลำดับสเกล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานของสถานี CT (ด้านรับ) มอนิเตอร์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่จำกัดวงจรรูปที่ 4.3 การแปลงเวฟเลตของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current)

ความเร็วคลื่นเดินทาง (Travelling wave)

ระบบสายส่งแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ส่งแรงดันจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยัง สถานี CT (ด้านรับ) ตรวจจับกระแสฟ้าผ่าในสายส่งหลังจากเริ่มเกิดฟ้าผ่าขึ้นที่ปลายสายส่งทั้งสองด้านของ สถานี จะได้เวลาที่ตรวจจับกระแสฟ้าผ่าสูงสุดได้ เมื่อพิจารณาถึงทฤษฎีความเร็วคลื่นเดินทาง (Travelling wave) สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อเกิดฟ้าผ่าขึ้นในสายส่งที่จุดใดจุดหนึ่ง จะทำให้คลื่น ฟ้าผ่าที่เคลื่อนที่ในสายส่งเดินทางจากจุดที่เกิดฟ้าผ่าไปยังปลายสายส่งของทั้งสองด้าน นั่นคือ สถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ) ซึ่งทั้งสองด้านได้ติดตั้งชุดตรวจวัดกระแสฟ้าผ่าไว้ สามารถ ตรวจจับเวลาที่คลื่นฟ้าผ่าเคลื่อนที่ถึงปลายสายส่งทั้งสองด้านส่งและด้านรับ และค่าความเร็วคลื่นเดินทาง วัดได้จากระบบแสดงได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความเร็วคลื่นเดินทางในแต่ละความถี่

จากการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยจะแยกองค์ประกอบความถี่สูงออกจากความถี่ต่ำ โดยในแต่ละสเกลจะเป็นการลดถอนความถี่ลงครึ่งหนึ่ง โดยในปริภูมิอนุพันธ์เล่มนี้ทำการวิเคราะห์ที่ความถี่ 100 เมกะเฮิร์ตซ์ ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจพฤติกรรมความเร็วคลื่นเดินทาง และการแปลงเวฟเล็ตในแต่ละสเกลหรือช่วงความถี่ โดยแสดงการแปลงเวฟเล็ต 3 ลำดับสเกล สามารถแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละลำดับสเกลกับช่วงย่านความถี่ดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ความเร็วคลื่นเดินทางเฉลี่ยในแต่ละสเกล หรือแต่ละช่วงความถี่

เวฟเล็ทสเกลที่	ช่วงความถี่ (MHz)	ความเร็วเฉลี่ย (km/s)
1	50 - 100	298,782
2	25 - 50	298,354
3	12.5 - 25	297,749

เนื่องจากฟ้าผ่าที่นั่นเกิดในช่วงย่านความถี่สูงมากๆ ซึ่งจากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าสเกลที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ทที่เพิ่มขึ้นแต่ละลำดับนั้นค่าช่วงความถี่จะลดลงเป็นครึ่งหนึ่ง ดังนั้นจึงเลือกการแปลงเวฟเล็ทจากสเกลที่ 1 หรือที่ช่วงความถี่ 50 - 100 เมกกะเฮิรตซ์ ไปใช้ในการคำนวณเพื่อระบุตำแหน่งฟ้าผ่าเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องและแม่นยำที่สุด โดยพฤติกรรมกรรมการแปลงเวฟเล็ทของกรณีศึกษาการเกิดฟ้าผ่าต่างๆ จะกล่าวถึงในหัวข้อ 4.2.1

4.2.1 พฤติกรรมการแปลงเวฟเล็ท

จากการแปลงเวฟเล็ทสเกลที่ 1 ของค่าเวลาที่ตรวจจับคลื่นฟ้าผ่าที่ตรวจวัดได้จากปลายสายของสถานีระยอง RY2 (ด้านส่ง) และ สถานีจันทบุรี CT (ด้านรับ) สามารถแสดงถึงค่าเวลายอดคลื่นลำดับ 1 และ ลำดับ 3 ของกรณีการศึกษาการเกิดฟ้าผ่าทั้ง 7 กรณี แสดงดังรูปที่ 4.5 ถึง รูปที่ 4.11 และค่าเวลายอดคลื่นดังกล่าวนี้แสดงดังตารางที่ 4.2

กรณีที่ 1 มุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันสถานีส่งจ่ายต่างกัน

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงมุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันที่มีผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า โดยทำการเปลี่ยนแปลงมุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันของสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ) 3 มุม ดังนี้

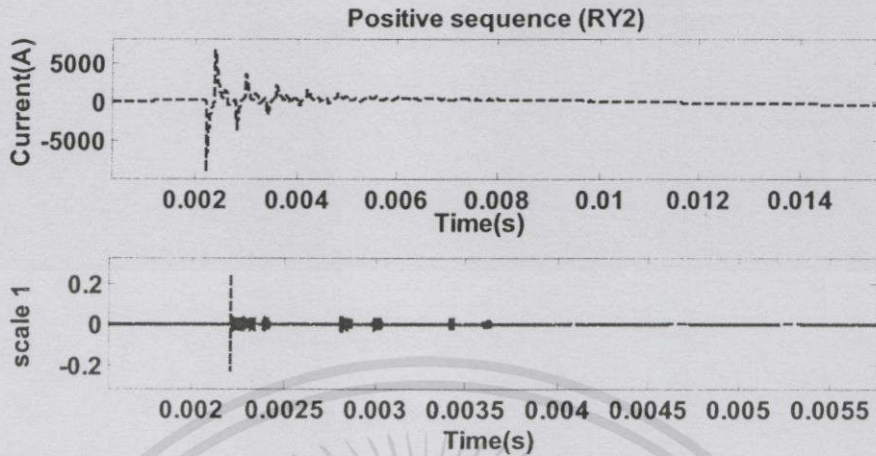
- มุมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา มุมเริ่มต้นสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา
- มุมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 90 องศา มุมเริ่มต้นสถานี CT (ด้านรับ) 100 องศา
- มุมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 135 องศา มุมเริ่มต้นสถานี CT (ด้านรับ) 145 องศา

ซึ่งฟ้าผ่าเกิดขึ้นที่ระบบสายส่งแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ความยาวของสายส่งจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยัง สถานี CT (ด้านรับ) มีค่าเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร เกิดฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ ที่สายเฟส A ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง (61.95 กิโลเมตร) และค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม ซึ่ง

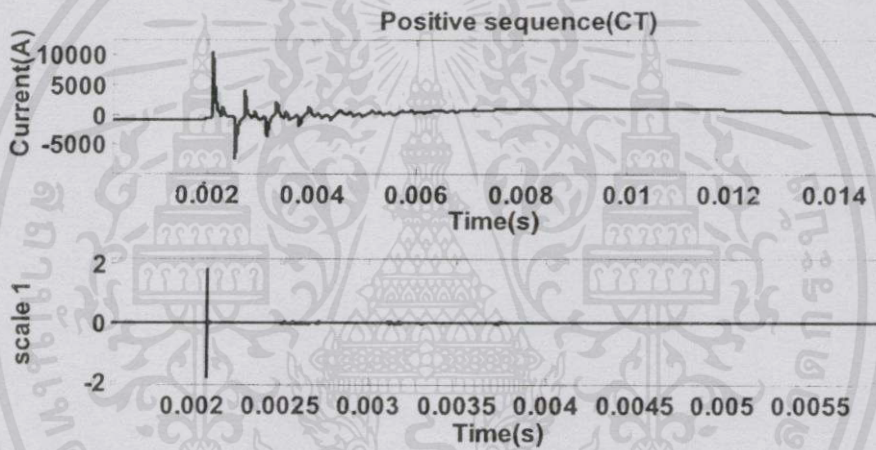
เอกสารสามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าลำดับบวกและการแปลงเวฟเล็ทสเกลที่ 1 ดังรูปที่ 4.5 ถึงรูปที่ 4.7 หน้าที่ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ มุมเริ่มต้นแรงดันสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา



ก. สถานี RY2 (ด้านส่ง)

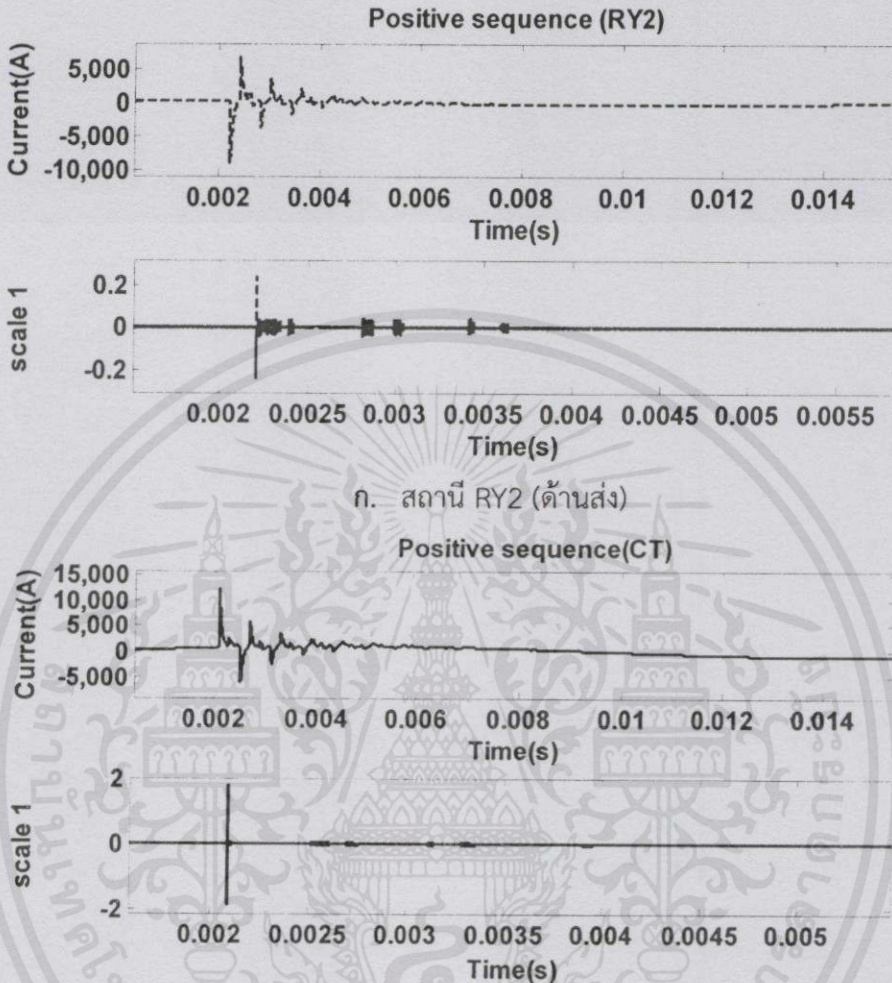


ข. สถานี CT (ด้านรับ)

รูปที่ 4.5 การแปลงเวฟเส้นสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีมุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดัน 0 องศา (ด้านส่ง), 10 องศา(ด้านรับ)

จากรูปที่ 4.5 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง โดยกำหนดให้เริ่มเกิดฟ้าผ่าที่เวลา 2 มิลลิวินาที จะเห็นได้ว่าหลังจากเวลาที่ 2 มิลลิวินาที ตรวจพบกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) มีค่าสูงกว่ากระแสปกติ และเมื่อนำเข้าสู่การแปลงเวฟเส้น สามารถตรวจจับค่าสัมประสิทธิ์การแปลงสูงสุดได้ที่เวลาเดียวกัน โดยค่าเวลาที่ตรวจพบกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าทางด้านสถานี CT (ด้านรับ) จะมีค่าเวลาเร็วกว่าเวลาที่ตรวจจับได้ที่สถานี RY2 (ด้านส่ง) และค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้จากทางด้านสถานี CT (ด้านรับ) มีค่ามากกว่า สถานี RY2 (ด้านส่ง) โดยค่าเวลาและแอมพลิจูดที่ตรวจวัดได้นั้น เป็นผลเนื่องจากตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่ามีระยะทางใกล้กับสถานี CT (ด้านรับ) มากกว่าสถานี RY2 (ด้านส่ง) จึงได้รับผลของฟ้าผ่าสูงกว่า และคลื่นกระแสฟ้าผ่าเดินทางถึงสถานี CT (ด้านรับ) ได้เร็วกว่า และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเส้นสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสองแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

กำหนดให้ มุมเริ่มต้นแรงดันสถานี RY2 (ด้านส่ง) 90 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 100 องศา



ก. สถานี RY2 (ด้านส่ง)

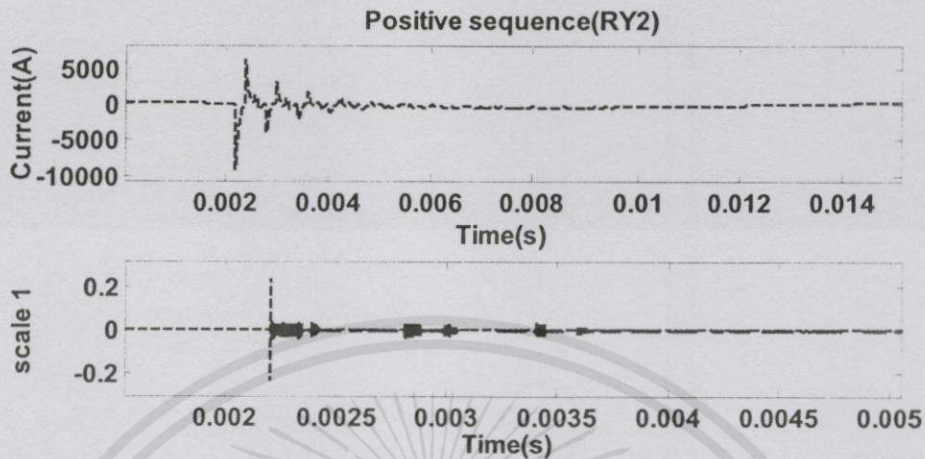
ข. สถานี CT (ด้านรับ)

รูปที่ 4.6 การแปลงเฟสเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีมุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดัน 90 องศา (ด้านส่ง), 100 องศา(ด้านรับ)

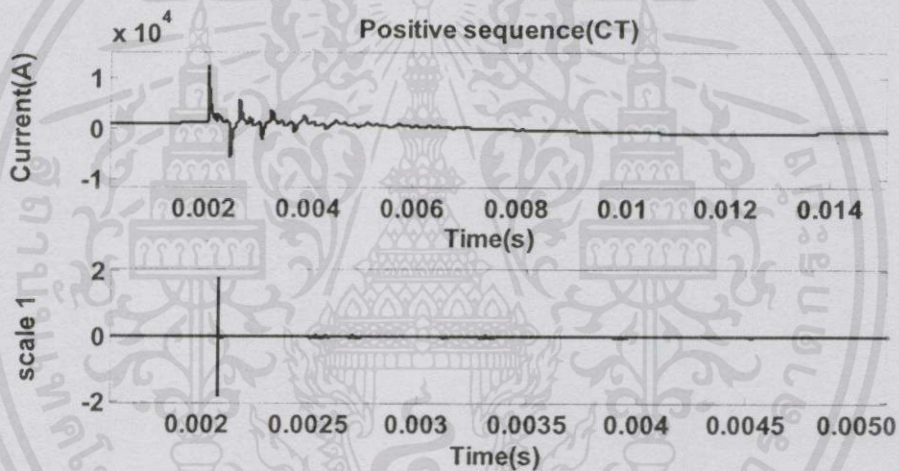
จากรูปที่ 4.6 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่ากรณีมุมเริ่มต้นแรงดัน สถานี RY2 (ด้านส่ง) 90 องศา และมุมเริ่มต้นแรงดันสถานี CT (ด้านรับ) 100 องศา ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับกรณีมุมเริ่มต้นแรงดัน สถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา (จากรูปที่ 4.5)

โดยค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่มุมเริ่มต้นของสถานี RY2 (ด้านส่ง) 90 องศา สถานี CT (ด้านรับ) 100 องศา จะมีค่ามากกว่า แอมพลิจูดที่มุมเริ่มต้นของสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา สถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา เพราะค่ากระแสอยู่ในรูปของฟังก์ชันของไซน์นูซายด์เดิล ซึ่งเมื่อมีมุมเริ่มต้นที่เปลี่ยนไป ณ เวลาที่เกิดฟ้าผ่าเท่าเดิม จะมีผลทำให้ค่าแอมพลิจูดเปลี่ยนไป โดยค่าแอมพลิจูดดังกล่าว แสดงได้ในภาคผนวก ค. และค่าเวลาจากการแปลงเฟสเล็ดสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสองแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

กำหนดให้ มุมเริ่มต้นแรงดันสถานี RY2 (ด้านส่ง) 135 องศา และสถานี CT (ด้านรับ)
145 องศา



ก. สถานี RY2 (ด้านส่ง)



ข. สถานี CT (ด้านรับ)

รูปที่ 4.7 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีมุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดัน 135 องศา (ด้านส่ง), 145 องศา (ด้านรับ)

จากรูปที่ 4.7 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่ากรณีมุมเริ่มต้นแรงดัน สถานี RY2 (ด้านส่ง) 135 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 145 องศา ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกับกรณีมุมเริ่มต้นแรงดัน สถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 และ 90 องศา สถานี CT (ด้านรับ) 10 และ 100 องศา (จากรูปที่ 4.5 และ จากรูปที่ 4.5) ตามลำดับ

โดยค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่มุมเริ่มต้นของสถานี RY2 (ด้านส่ง) 135 องศา สถานี CT (ด้านรับ) 145 องศา จะมีค่ามากกว่า แอมพลิจูดที่มุมเริ่มต้นของสถานี RY2 (ด้านส่ง) 90 องศา สถานี CT (ด้านรับ) 100 องศา เพราะค่ากระแสอยู่ในรูปของฟังก์ชันของไซน์นูซอยด์เดิล ซึ่งเมื่อมีมุมเริ่มต้นที่เปลี่ยนไป ณ เวลาที่เกิดฟ้าผ่าเท่าเดิม จะมีผลทำให้ค่าแอมพลิจูดเปลี่ยนไป โดยค่าแอมพลิจูดดังกล่าวแสดงได้ในภาคผนวก ค. และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเล็ดสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสองแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

จากรูปที่ 4.5 ถึง รูปที่ 4.7 เป็นการแปลงเวฟเส้นตีสเกลที่ 1 จากกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) ของค่าเวลาที่ตรวจจับคลื่นฟ้าผ่าที่ตรวจวัดได้จากปลายสายของ สถานี RY2 (ด้านส่ง) และ สถานี CT (ด้านรับ) และแสดงค่าเวลายอดคลื่นลำดับ 1 และ ลำดับ 3 ของ กรณีการศึกษามุมเริ่มต้นของสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ) ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ) กรณีมุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันสถานีส่งจ่ายต่างกัน

มุมเริ่มต้นแรงดัน		Time of arrival RY2		Time of arrival CT	
RY2	CT	$t_{1st_{RY2}}$ (ms)	$t_{3rd_{RY2}}$ (ms)	$t_{1st_{CT}}$ (ms)	$t_{3rd_{CT}}$ (ms)
0 °	10 °	2.2096	2.3886	2.0898	2.2694
90 °	100 °	2.2097	2.3889	2.0898	2.2695
135 °	145 °	2.2097	2.4049	2.0900	2.2694

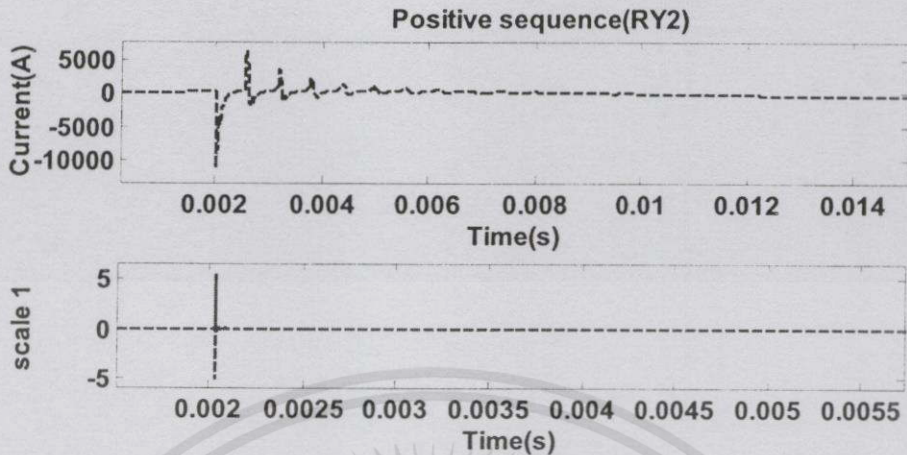
จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าค่าเวลายอดคลื่นที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของ การเปลี่ยนแปลงมุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันของสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ) ค่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

กรณีที่ 2 เกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่งต่างๆ

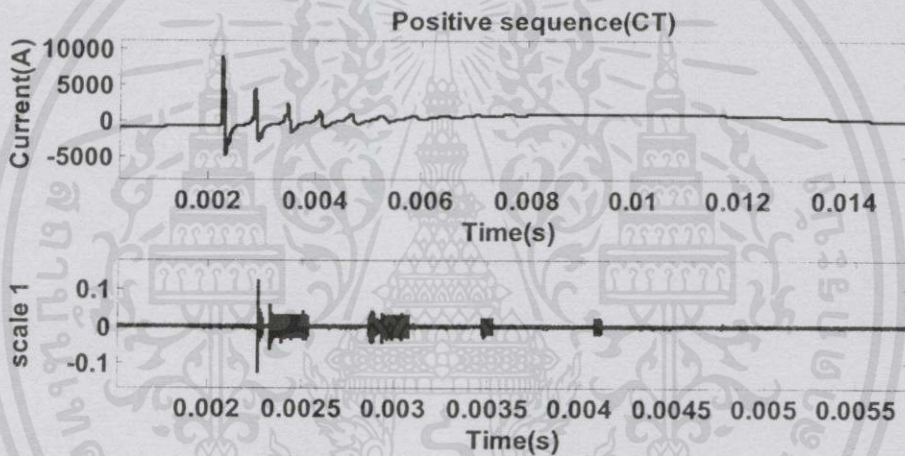
ศึกษาการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งฟ้าผ่าบนสายส่งที่มีผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า โดยทำการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งฟ้าผ่า 9 ตำแหน่งของสายส่ง ดังนี้ เกิดฟ้าผ่า ณตำแหน่งฟ้าผ่า 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 80% และ 90% ของความยาวสายส่ง ซึ่งฟ้าผ่าเกิดขึ้นที่ระบบสายส่งแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ความยาวของสายส่งจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยัง สถานี CT (ด้านรับ) มีค่าเท่ากับ 88.5กิโลเมตร เกิดฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ ที่สายเฟส A และค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม ซึ่งสามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าลำดับบวกและการแปลงเวฟเส้นตีสเกลที่ 1 ดังรูปที่ 4.8 ถึงรูปที่ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 10% ของความยาวสายส่ง



ก. สถานี RY2 (ด้านส่ง)

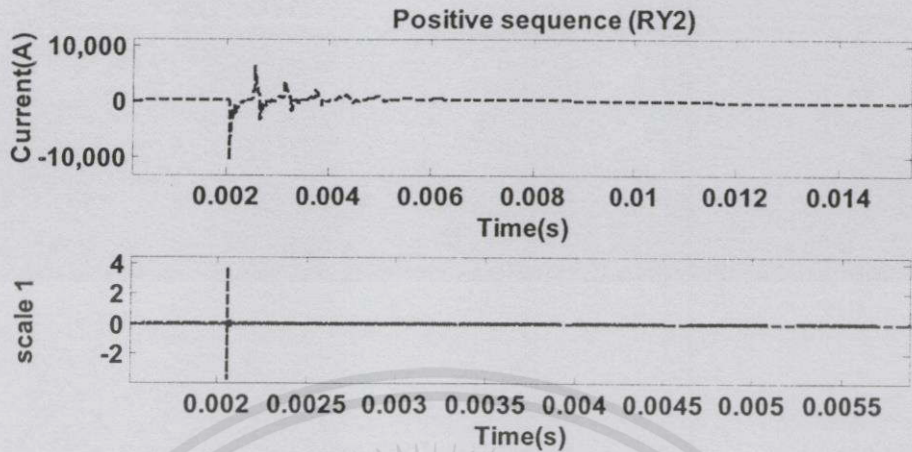


ข. สถานี CT (ด้านรับ)

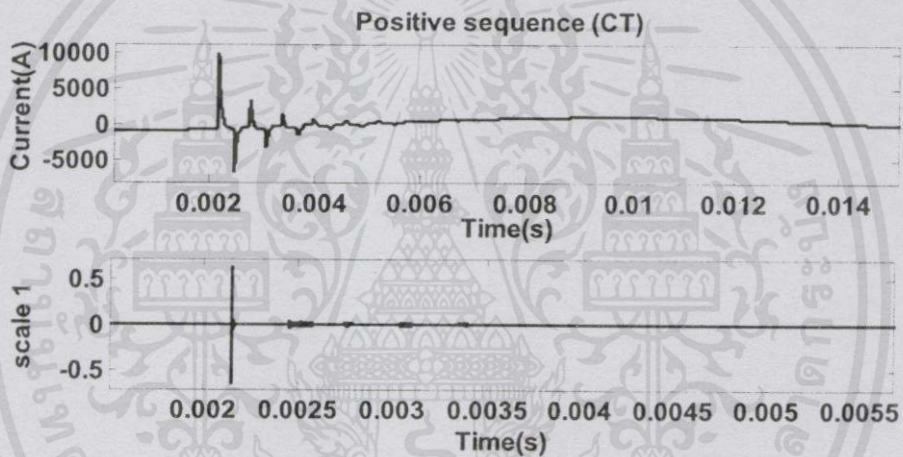
รูปที่ 4.8 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 10 % ของความยาวของสายส่ง

จากรูปที่ 4.8 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 10% ของความยาวสายส่ง โดยกำหนดให้เริ่มเกิดฟ้าผ่าที่เวลา 2 มิลลิวินาที จะเห็นได้ว่าหลังจากเวลาที่ 2 มิลลิวินาที ที่ตรวจพบกระแสลำดับบวก มีค่าสูงกว่ากระแสปกติ และเมื่อนำเข้าสู่การแปลงเวฟเล็ด สามารถตรวจจับค่าสัมประสิทธิ์การแปลงสูงสุดได้ที่เวลาเดียวกัน โดยค่าเวลาที่ตรวจพบกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าทางด้านสถานี RY2 (ด้านส่ง) จะมีค่าเวลาเร็วกว่าที่สถานี CT (ด้านรับ) และค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้จากทางด้านสถานี RY2 (ด้านส่ง) มีค่ามากกว่า สถานี CT (ด้านรับ) โดยค่าเวลาและแอมพลิจูดที่ตรวจวัดได้นั้น เป็นผลจากตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่ามีระยะทางใกล้กับสถานี RY2 (ด้านส่ง) มากกว่าสถานี CT (ด้านรับ) จึงทำให้ได้รับกระแสฟ้าผ่าสูงกว่า และคลื่นกระแสฟ้าผ่าเดินทางถึงสถานี RY2 (ด้านส่ง) ได้เร็วกว่า จึงได้รับผลของฟ้าผ่าสูงกว่า และคลื่นกระแสฟ้าผ่าเดินทางถึงสถานี RY2 (ด้านส่ง) ได้เร็วกว่า และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเล็ดสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสองแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 20% ของความยาวสายส่ง



(a) สถานี RY2 (ด้านส่ง)



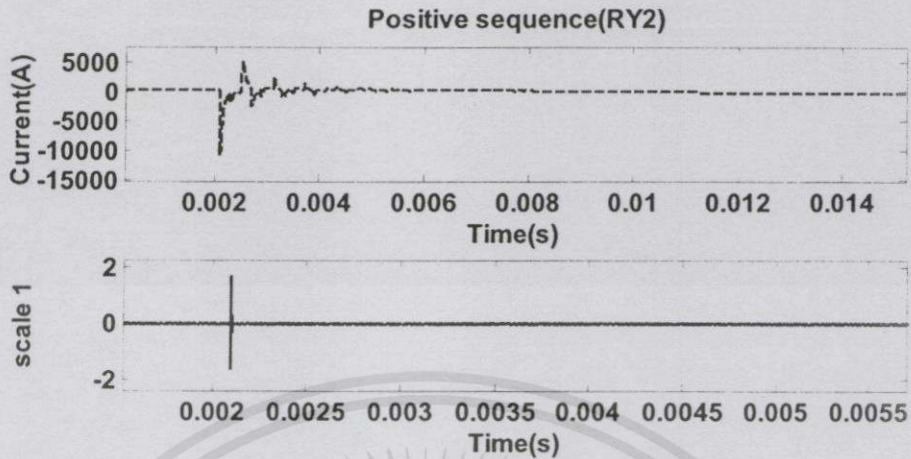
(b) สถานี CT (ด้านรับ)

รูปที่ 4.9 การแปลงเวฟเส้นสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 20 % ของความยาวของสายส่ง

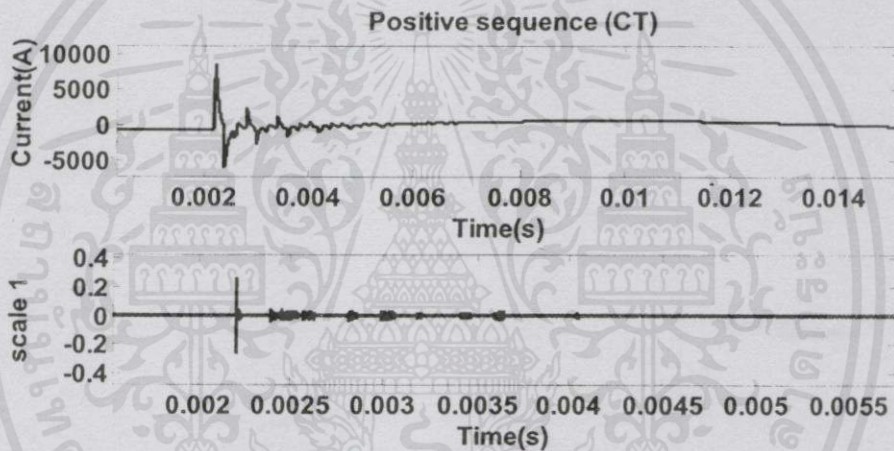
จากรูปที่ 4.9 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่ากรณีเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 20% ของความยาวสายส่ง ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับกรณีเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 10% ของความยาวสายส่ง (จากรูปที่ 4.7)

โดยค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้จากด้านสถานี RY2 (ด้านส่ง) ของตำแหน่ง 20% มีค่าต่ำกว่าที่ตำแหน่ง 10% และค่าเวลาที่ตรวจพบกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าที่วัดได้จากด้านสถานี RY2 (ด้านส่ง) ตำแหน่ง 20% มีค่าช้ากว่าที่ตำแหน่ง 10% สรุปได้ว่าเกิดตำแหน่งฟ้าผ่าใกล้กับสถานีใด เมื่อตรวจวัดที่สถานีนั้น จะได้ค่าแอมพลิจูดของกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าสูงขึ้นและค่าเวลาจะมีค่าใกล้เคียงกับเวลาที่เริ่มเกิดฟ้าผ่า โดยค่าแอมพลิจูดดังกล่าวแสดงได้ในภาคผนวก ค. และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเส้นสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสองแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 30% ของความยาวสายส่ง



ก. สถานี RY2 (ด้านส่ง)



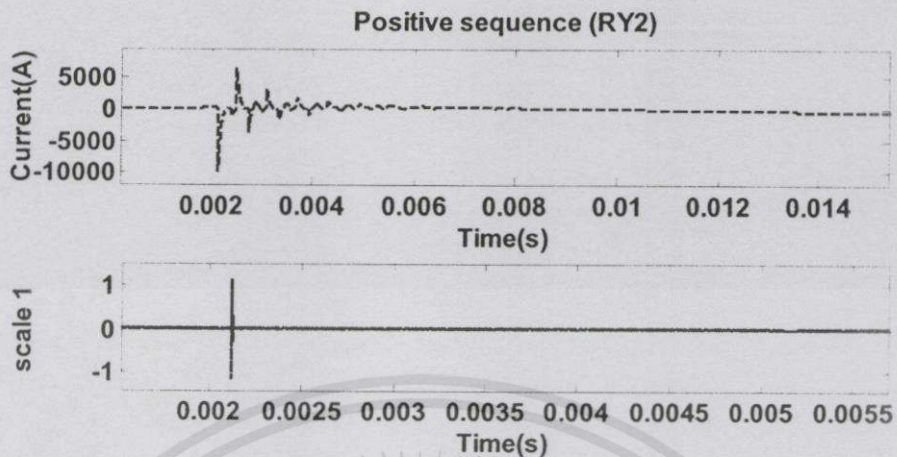
ข. สถานี CT (ด้านรับ)

รูปที่ 4.10 การแปลงเวฟเส้นสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 30 % ของความยาวของสายส่ง

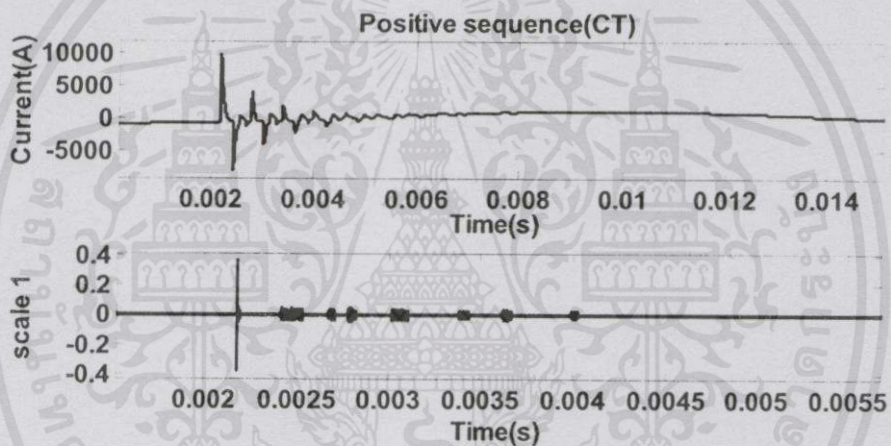
จากรูปที่ 4.10 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่ากรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 30% ของความยาวสายส่ง ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับกรณีเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 10% และ 20% ของความยาวสายส่ง (จากรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9) ตามลำดับ

โดยค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้จากด้านสถานี RY2 (ด้านส่ง) ของกรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 30% มีค่าต่ำกว่าที่ตำแหน่ง 20% และค่าเวลาที่ตรวจพบกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าที่วัดได้จากด้านสถานี RY2 (ด้านส่ง) ตำแหน่ง 30% มีค่าช้ากว่าที่ตำแหน่ง 20% สรุปได้ว่าเกิดตำแหน่งฟ้าผ่าใกล้กับสถานีใด เมื่อตรวจวัดที่สถานีนั้น จะได้ค่าแอมพลิจูดของกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าสูงขึ้นและค่าเวลาจะมีค่าใกล้เคียงกับเวลาที่เริ่มเกิดฟ้าผ่า โดยค่าแอมพลิจูดดังกล่าวแสดงได้ในภาคผนวก ค. และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเส้นสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสองแสดงได้ดังตารางที่ 4.3 เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง



ก. สถานี RY2 (ด้านส่ง)



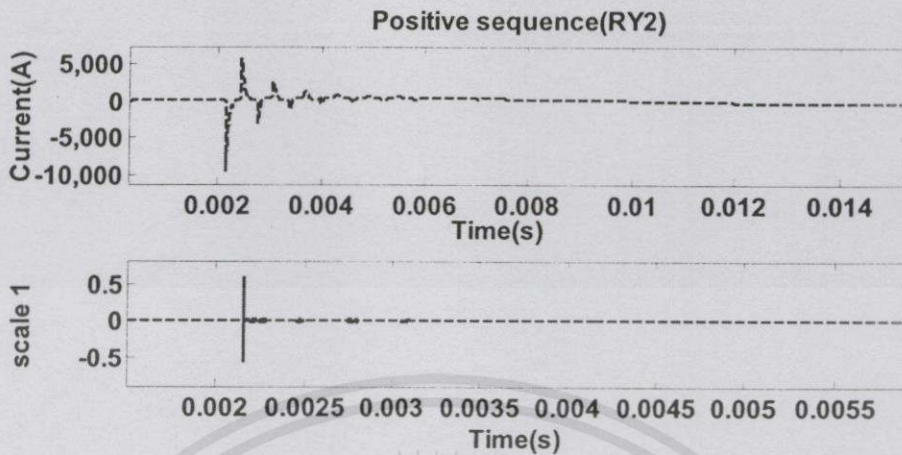
ข. สถานี CT (ด้านรับ)

รูปที่ 4.11 การแปลงเวฟเส้นตีสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 40 % ของความยาวของสายส่ง

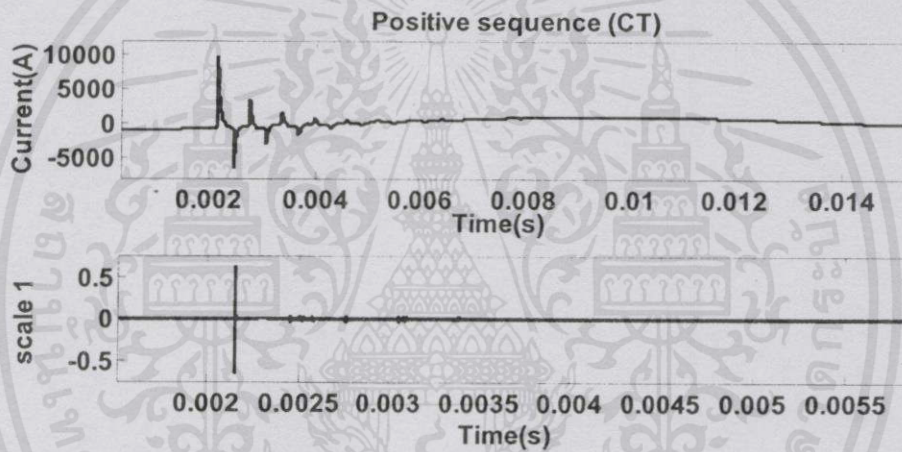
จากรูปที่ 4.11 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่ากรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับกรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 10% ถึง 40% ของความยาวสายส่ง (จากรูปที่ 4.8 ถึงรูปที่ 4.10) ตามลำดับ

โดยค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้จากด้านสถานี RY2 (ด้านส่ง) ของกรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 40% มีค่าต่ำกว่าที่ตำแหน่ง 30% (จากรูปที่ 4.10) และค่าเวลาที่ตรวจพบกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าที่วัดได้จากด้านสถานี RY2 (ด้านส่ง) ณ ตำแหน่ง 40% มีค่าเวลาช้ากว่า ณ ตำแหน่ง 30% สรุปได้ว่าเกิดตำแหน่งฟ้าผ่าใกล้กับสถานีใด เมื่อตรวจวัดที่สถานีนั้น จะได้ค่าแอมพลิจูดของกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าสูงขึ้นและค่าเวลาจะมีค่าใกล้เคียงกับเวลาที่เริ่มเกิดฟ้าผ่า โดยค่าแอมพลิจูดดังกล่าวแสดงได้ในภาคผนวก ค. และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเส้นตีสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสองแสดงได้ดังตารางที่ 4.3 ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 50% ของความยาวสายส่ง



ก. สถานี RY2 (ด้านส่ง)

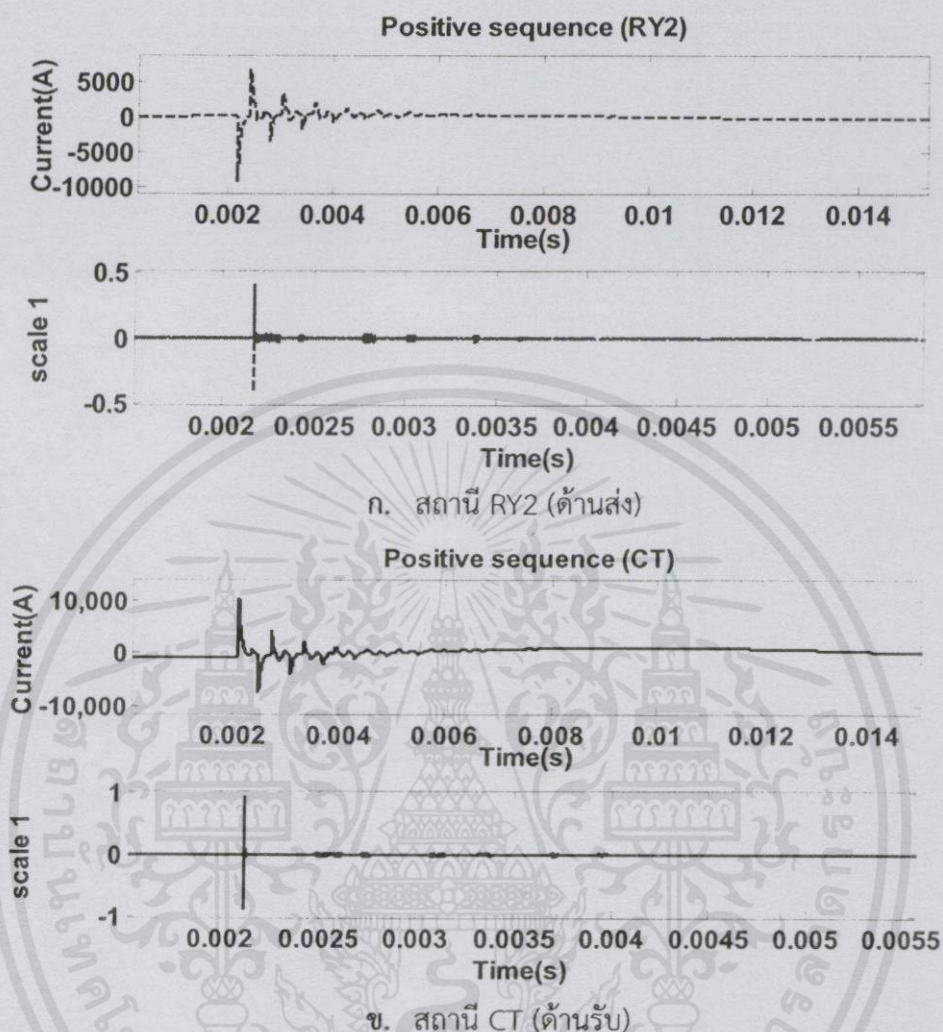


ข. สถานี CT (ด้านรับ)

รูปที่ 4.12 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 50 % ของความยาวของสายส่ง

จากรูปที่ 4.12 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 50% ของความยาวสายส่ง โดยกำหนดให้เริ่มเกิดฟ้าผ่าที่เวลา 2 มิลลิวินาที จะเห็นได้ว่าหลังจากเวลาที่ 2 มิลลิวินาที ตรวจพบกระแสลำดับบวก มีค่าสูงกว่ากระแสปกติ และเมื่อนำเข้าสู่การแปลงเวฟเล็ด สามารถตรวจจับค่าสัมประสิทธิ์การแปลงสูงสุดได้ที่เวลาเดียวกัน โดยค่าเวลาที่ตรวจพบกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าทางด้านสถานี RY2 (ด้านส่ง) จะมีค่าเท่ากับสถานี CT (ด้านรับ) และค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้จากทางด้านสถานี RY2 (ด้านส่ง) มีค่าเท่ากับสถานี CT (ด้านรับ) โดยค่าเวลาและแอมพลิจูดที่ตรวจวัดได้นั้น เป็นผลจากตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าอยู่กึ่งกลางระหว่างสถานีทั้งสอง จึงทำให้ได้รับกระแสฟ้าผ่าเท่ากัน และคลื่นกระแสฟ้าผ่าเดินทางถึงสถานี ทั้งสองได้เท่ากัน โดยค่าแอมพลิจูดดังกล่าวแสดงได้ในภาคผนวก ค. และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเล็ดสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสองแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

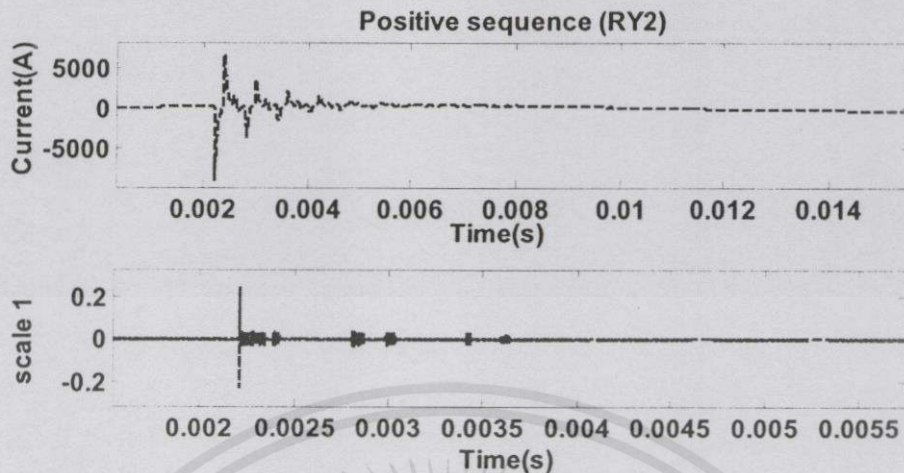
กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง



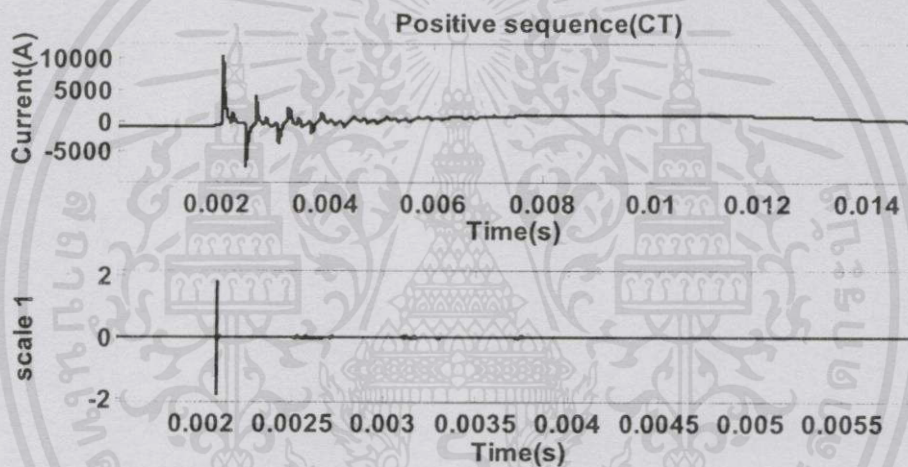
รูปที่ 4.13 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 60 % ของความยาวของสายส่ง

จากรูปที่ 4.13 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง โดยกำหนดให้เริ่มเกิดฟ้าผ่าที่เวลา 2 มิลลิวินาที จะเห็นได้ว่าหลังจากเวลาที่ 2 มิลลิวินาที ตรวจพบกระแสลำดับบวก มีค่าสูงกว่ากระแสปกติ และเมื่อนำเข้าสู่การแปลงเวฟเล็ด สามารถตรวจจับค่าสัมประสิทธิ์การแปลงสูงสุดได้ที่เวลาเดียวกัน โดยค่าเวลาที่ตรวจพบกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าทางด้านสถานี CT (ด้านรับ) จะมีค่าเวลาเร็วกว่าที่สถานี RY2 (ด้านส่ง) และค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้จากทางด้านสถานี CT (ด้านรับ) มีค่าสูงกว่าสถานี RY2 (ด้านส่ง) โดยค่าเวลาและแอมพลิจูดที่ตรวจวัดได้นั้น เป็นผลจากตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่ามีระยะทางใกล้กับสถานี CT (ด้านรับ) มากกว่าสถานี RY2 (ด้านส่ง) จึงทำให้ได้รับกระแสฟ้าผ่าสูงกว่า และคลื่นกระแสฟ้าผ่าเดินทางถึงสถานี CT (ด้านรับ) ได้เร็วกว่า และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเล็ดสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสองแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง



ก. สถานี RY2 (ด้านส่ง)



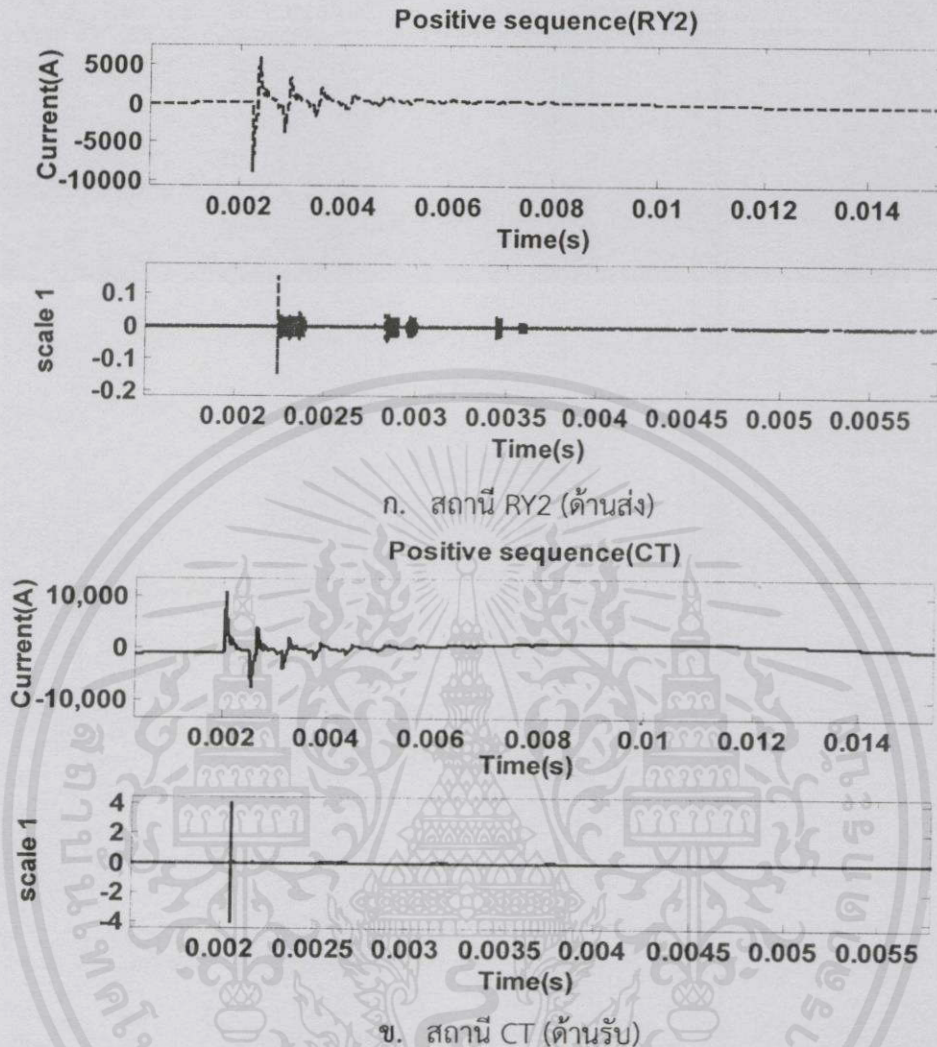
ข. สถานี CT (ด้านรับ)

รูปที่ 4.14 การแปลงเวฟเส้นตสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวของสายส่ง

จากรูปที่ 4.14 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่ากรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับกรณีเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง (จากรูปที่ 4.13)

โดยค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้จากด้านสถานี CT (ด้านรับ) ของกรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 70% มีค่าสูงกว่า ณ ตำแหน่ง 60% (จากรูปที่ 4.13) และค่าเวลาที่ตรวจพบกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าที่วัดได้จากด้านสถานี CT (ด้านรับ) ตำแหน่ง 70% มีค่าเวลาเร็วกว่าที่ตำแหน่ง 60% สรุปได้ว่าเกิดตำแหน่งฟ้าผ่าใกล้กับสถานีใด เมื่อตรวจวัดที่สถานีนั้น จะได้ค่าแอมพลิจูดของกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าสูงขึ้นและค่าเวลาจะมีค่าใกล้เคียงกับเวลาที่เริ่มเกิดฟ้าผ่า โดยค่าแอมพลิจูดดังกล่าวแสดงได้ในภาคผนวก ค. และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเส้นตสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสองแสดงได้ดังตารางที่ 4.3 ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 80% ของความยาวสายส่ง

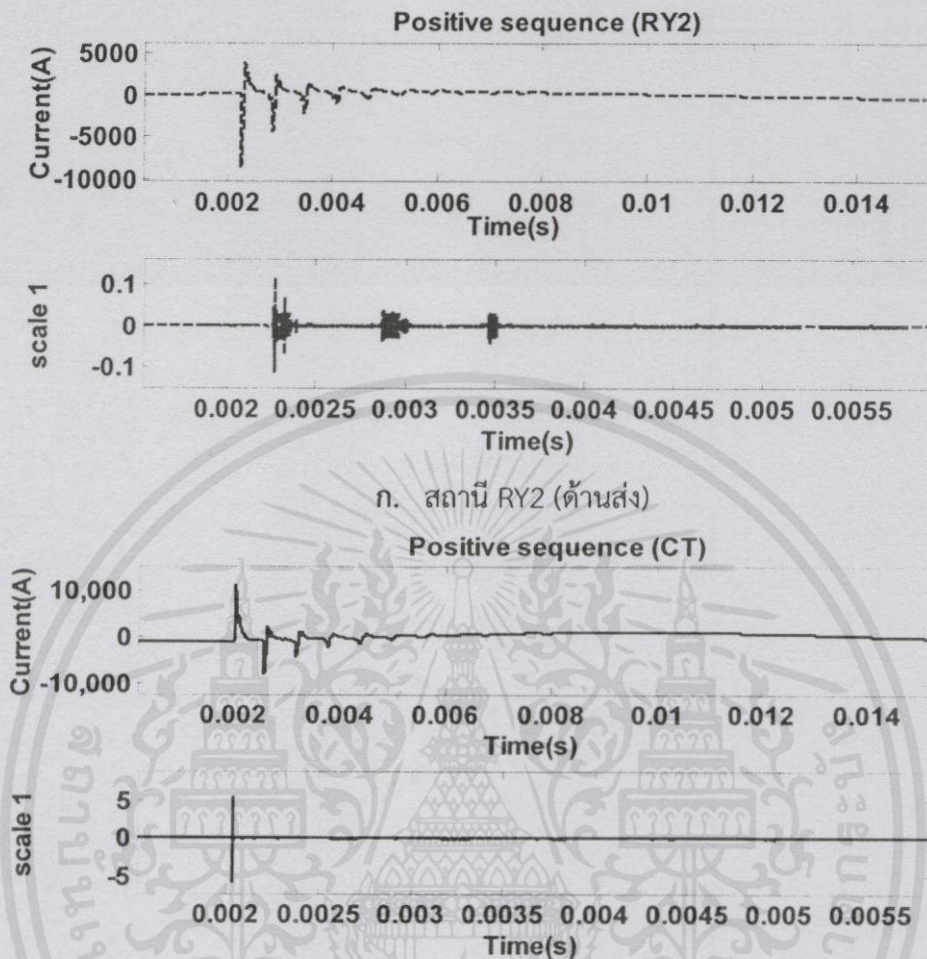


รูปที่ 4.15 การแปลงเวฟเส้นสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 80% ของความยาวของสายส่ง

จากรูปที่ 4.15 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่ากรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 80% ของความยาวสายส่ง ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับกรณีเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 60% และ 70% ของความยาวสายส่ง (จากรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14) ตามลำดับ

โดยค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้จากด้านสถานี CT (ด้านรับ) ของกรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 80% มีค่าสูงกว่า ณ ตำแหน่ง 70% (จากรูปที่ 4.14) และค่าเวลาที่ตรวจพบกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าที่วัดได้จากด้านสถานี CT (ด้านรับ) ตำแหน่ง 80% มีค่าเวลาเร็วกว่า ณ ตำแหน่ง 70% สรุปได้ว่าเกิดตำแหน่งฟ้าผ่าใกล้กับสถานีใด เมื่อตรวจวัดที่สถานีนั้น จะได้ค่าแอมพลิจูดของกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าสูงขึ้นและค่าเวลาจะมีค่าใกล้เคียงกับเวลาที่เริ่มเกิดฟ้าผ่า โดยค่าแอมพลิจูดดังกล่าวแสดงได้ในภาคผนวก ค และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเส้นสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสองแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 90% ของความยาวสายส่ง



ก. สถานี RY2 (ด้านส่ง)

ข. สถานี CT (ด้านรับ)

รูปที่ 4.16 การแปลงเวฟเส้นตสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 90% ของความยาวของสายส่ง

จากรูปที่ 4.16 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่ากรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 90% ของความยาวสายส่ง ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับกรณีเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 60% ถึง 90% ของความยาวสายส่ง (จากรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.15) ตามลำดับ

โดยค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้จากด้านสถานี CT (ด้านรับ) ของกรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 90% มีค่าสูงกว่า ณ ตำแหน่ง 80% (จากรูปที่ 4.14) และค่าเวลาที่ตรวจพบกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าที่วัดได้จากด้านสถานี CT (ด้านรับ) ตำแหน่ง 90% มีค่าเวลาเร็วกว่า ณ ตำแหน่ง 80% สรุปได้ว่าเกิดตำแหน่งฟ้าผ่าใกล้กับสถานีใด เมื่อตรวจวัดที่สถานีนั้น จะได้ค่าแอมพลิจูดของกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าสูงขึ้นและค่าเวลาจะมีค่าใกล้เคียงกับเวลาที่เริ่มเกิดฟ้าผ่า โดยค่าแอมพลิจูดดังกล่าวแสดงได้ใน ภาคผนวก ค. และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเส้นตสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสองแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8 ถึง รูปที่ 4.16 เป็นการแปลงเวฟเล็ดสเกลที่ 1 จากกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) ของค่าเวลาที่ตรวจจับคลื่นฟ้าผ่าที่ตรวจวัดได้จากปลายสายของ สถานี RY2 (ด้านส่ง) และ สถานี CT (ด้านรับ) และแสดงค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของกรณีการศึกษาการเกิดฟ้าผ่าตำแหน่งต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ) กรณีเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่งต่างๆ

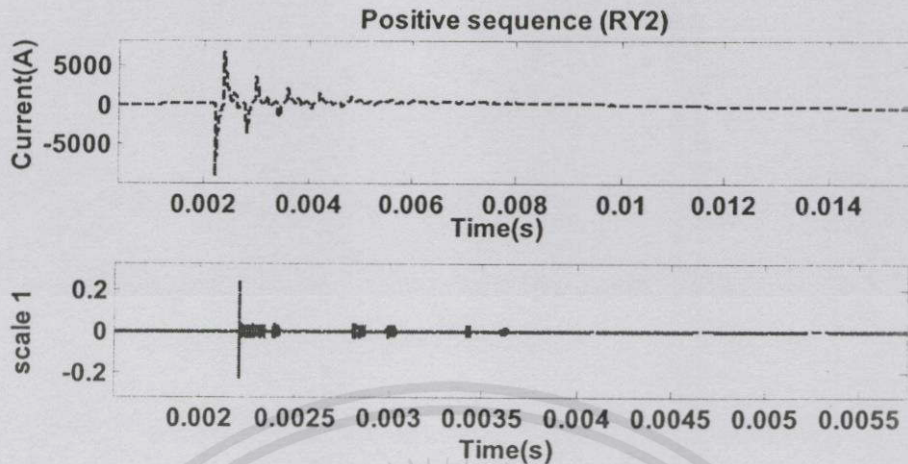
ตำแหน่งฟ้าผ่า	Time of arrival RY2		Time of arrival CT	
	t_{1stRY2} (ms)	t_{3rdRY2} (ms)	t_{1stCT} (ms)	t_{3rdCT} (ms)
10% ของสายส่ง	2.0299	2.0899	2.2695	2.8700
20% ของสายส่ง	2.0601	2.1748	2.2396	2.7188
30% ของสายส่ง	2.0897	2.2700	2.2093	2.6282
40% ของสายส่ง	2.1199	2.3632	2.1795	2.5390
50% ของสายส่ง	2.1495	2.4498	2.1495	2.4498
60% ของสายส่ง	2.1798	2.5529	2.1199	2.3593
70% ของสายส่ง	2.2093	2.6429	2.0897	2.2694
80% ของสายส่ง	2.2396	2.7216	2.0602	2.1798
90% ของสายส่ง	2.2686	2.8096	2.0301	2.0898

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าค่าเวลายอดคลื่นที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งต่างๆ ที่เกิดฟ้าผ่า ค่าเวลามีการเปลี่ยนแปลงต่างกันออกไป นั่นคือ เมื่อเกิด ฟ้าผ่าบนสายส่งที่ตำแหน่งใกล้เคียงกับสถานีใด ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 ที่ตรวจวัดได้จะมีเวลา ใกล้เคียงกับเวลาที่เริ่มเกิดฟ้าผ่า และค่ายอดคลื่นลำดับที่ 3 จะมีความมากกว่าค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1

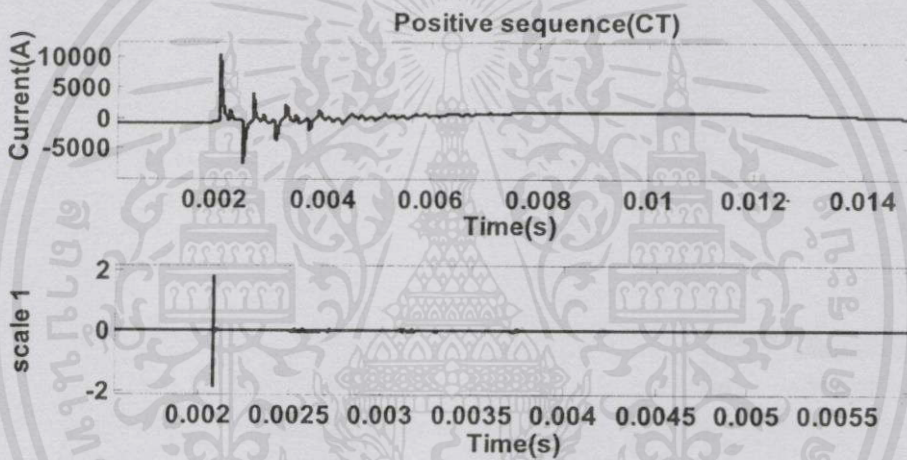
กรณีที่ 3 เกิดฟ้าผ่าที่สายเฟสต่างกัน

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสายเฟสที่เกิดฟ้าผ่าที่มีผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า โดยทำ การเปลี่ยนแปลงสายเฟสที่เกิดฟ้าผ่า 3 เส้น ดังนี้ เฟส A, เฟส B และ เฟส C ซึ่งฟ้าผ่าเกิดขึ้นที่ระบบ สายส่งแรงดัน 115 กิโลโวลต์ โดยมีมุมเริ่มต้นแรงดันจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และ สถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา ความยาวของสายส่งจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยัง สถานี CT (ด้านรับ) มีค่า เท่ากับ 88.5 กิโลเมตร กระแสฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง (61.95 กิโลเมตร) และค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม ซึ่งสามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าลำดับบวกและ การแปลงเวฟเล็ดสเกลที่ 1 ดังรูปที่ 4.17 ถึงรูปที่ 4.19

กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส A



ก. สถานี RY2 (ด้านส่ง)

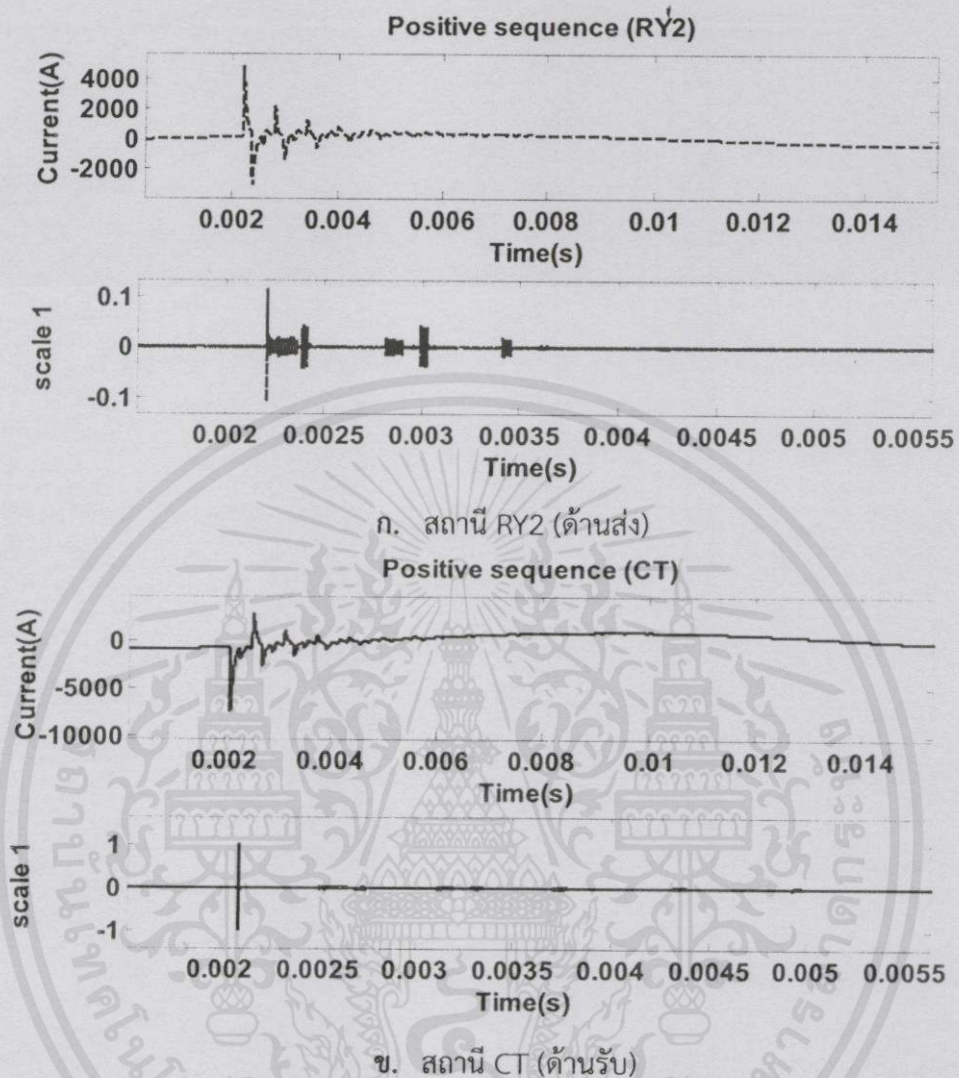


ข. สถานี CT (ด้านรับ)

รูปที่ 4.17 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส A

จากรูปที่ 4.17 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่าสายเฟส A ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง โดยกำหนดให้เริ่มเกิดฟ้าผ่าที่เวลา 2 มิลลิวินาที จะเห็นได้ว่าหลังจากเวลาที่ 2 มิลลิวินาที ตรวจพบกระแสลำดับบวก มีค่าสูงกว่ากระแสปกติ และเมื่อนำเข้าสู่การแปลงเวฟเล็ดสามารถตรวจจับค่าสัมประสิทธิ์การแปลงสูงสุดได้ที่เวลาเดียวกัน โดยค่าเวลาที่ตรวจพบกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าทางด้านสถานี CT (ด้านรับ) จะมีค่าเวลาเร็วกว่าเวลาที่ตรวจจับได้ที่สถานี RY2 (ด้านส่ง) และค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้จากทางด้านสถานี CT (ด้านรับ) มีค่ามากกว่าสถานี RY2 (ด้านส่ง) ซึ่งพบว่าค่าแอมพลิจูดที่เฟส A มากที่สุด โดยค่าเวลาและแอมพลิจูดที่ตรวจวัดได้นั้น เป็นผลเนื่องจากตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่ามีระยะทางใกล้กับสถานี CT (ด้านรับ) มากกว่าสถานี RY2 (ด้านส่ง) จึงได้รับผลของฟ้าผ่าสูงกว่า และคลื่นกระแสฟ้าผ่าเดินทางถึงสถานี CT (ด้านรับ) ได้เร็วกว่า และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเล็ดสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสองแสดงได้ดังตารางที่ 4.4

กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส B



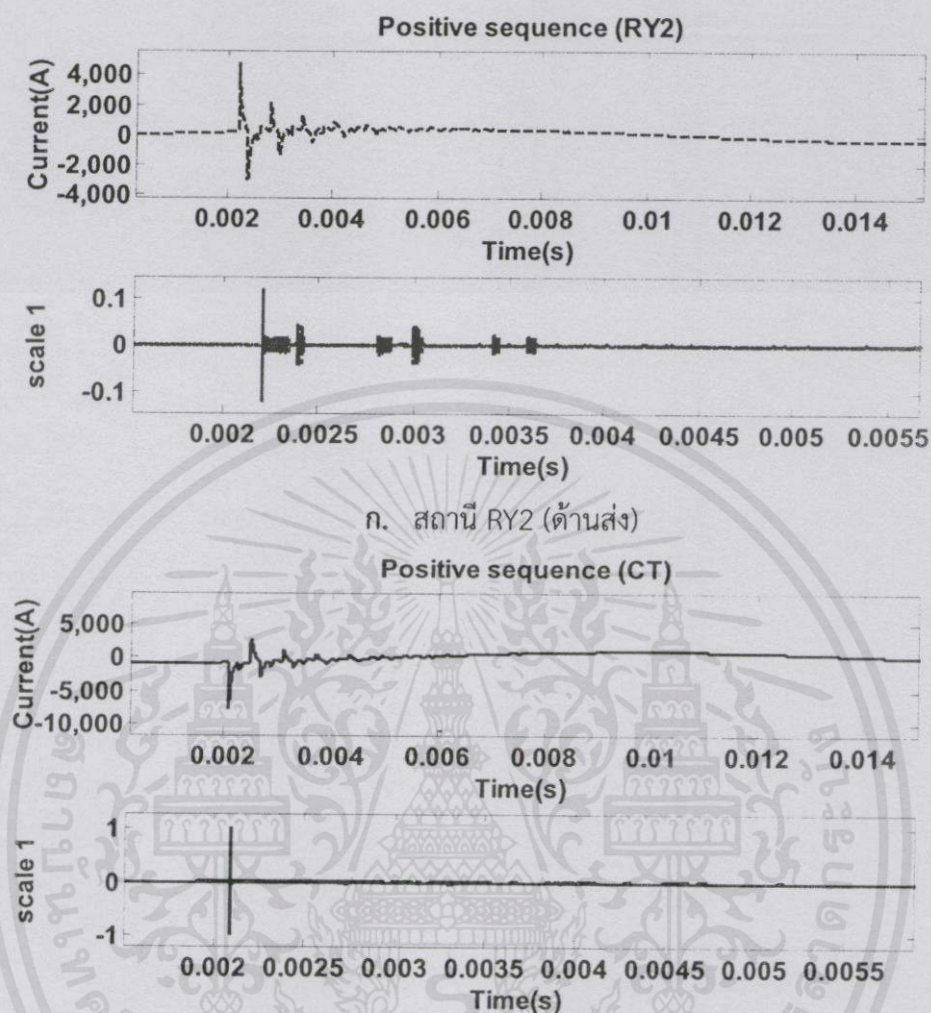
รูปที่ 4.18 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส B

จากรูปที่ 4.18 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่ากรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส B ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับกรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส A (จากรูปที่ 4.17)

โดยค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้จากเฟสที่เกิดฟ้าผ่าผ่านนั้นจะมีค่าสูงกว่าเฟสอื่นที่ไม่เกิดฟ้าผ่า นั่นคือ จากกรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส B ทำให้แอมพลิจูดที่เฟส B มากที่สุด และจากค่าแอมพลิจูดที่ตรวจวัดได้ในกรณีเกิดฟ้าผ่าที่เฟส B จะมีค่าต่างไปจากกรณีเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A เป็นผลมาจากกระแสเป็นฟังก์ชันของไซน์ซอซายด์เดิล เมื่อแต่ละเฟสมีมุมเริ่มต้นต่างกัน ณ เวลาที่เกิดฟ้าผ่าเท่าเดิม จะมีผลทำให้ค่าแอมพลิจูดเปลี่ยนไป โดยค่าแอมพลิจูดดังกล่าวแสดงได้ในภาคผนวก ค. และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเล็ดสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสองแสดงได้ดังตารางที่ 4.4

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส C



ก. สถานี RY2 (ด้านส่ง)

Positive sequence (CT)

ข. สถานี CT (ด้านรับ)

รูปที่ 4.19 การแปลงเวฟเส้นตลกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส C

จากรูปที่ 4.19 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่ากรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส C ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับกรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส A และ เฟส B (จากรูปที่ 4.17 และ รูปที่ 4.18) ตามลำดับ

โดยค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้จากเฟสที่เกิดฟ้าผ่าผ่านั้นจะมีค่าสูงกว่าเฟสอื่นที่ไม่เกิดฟ้าผ่า นั่นคือ จากกรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส ทำให้แอมพลิจูดที่เฟส C มากที่สุด และจากค่าแอมพลิจูดที่ตรวจวัดได้ในกรณีเกิดฟ้าผ่าที่เฟส C จะมีค่าต่างไปจากกรณีเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A และ เฟส B เป็นผลมาจากกระแสเป็นฟังก์ชันของไซน์ซุชอยด์เดิล เมื่อแต่ละเฟสมีมุมเริ่มต้นต่างกัน ณ เวลาที่เกิดฟ้าผ่าเท่าเดิม จะมีผลทำให้ค่าแอมพลิจูดเปลี่ยนไป โดยค่าแอมพลิจูดดังกล่าวแสดงได้ในภาคผนวก ค. และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเส้นตลกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสองแสดงได้ดังตารางที่ 4.4

จากรูปที่ 4.17 ถึง รูปที่ 4.19 เป็นการแปลงเวฟเล็ตสเกลที่ 1 จากกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) ของค่าเวลาที่ตรวจจับคลื่นฟ้าผ่าที่ตรวจวัดได้จากปลายสายของสถานี RY2 (ด้านส่ง) และ สถานี CT (ด้านรับ) และแสดงค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ลำดับที่ 3 ของสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ) กรณีการศึกษาสายเฟสที่เกิดฟ้าผ่าเปลี่ยนแปลง ได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ) กรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟสต่างกัน

สายเฟสที่เกิดฟ้าผ่า	Time of arrival RY2		Time of arrival CT	
	t_{1stRY2} (ms)	t_{3rdRY2} (ms)	t_{1stCT} (ms)	t_{3rdCT} (ms)
เฟส A	2.2093	2.3886	2.0897	2.2694
เฟส B	2.2093	2.3890	2.0897	2.2694
เฟส C	2.2093	2.3886	2.0896	2.2695

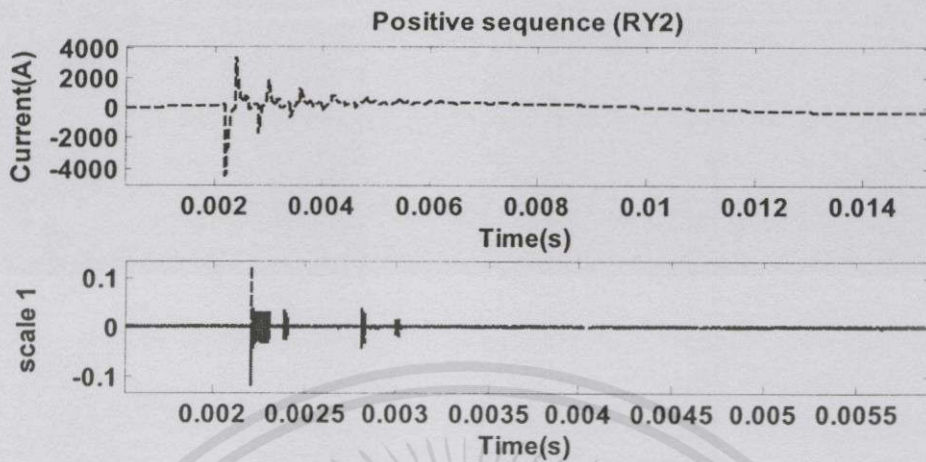
จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าค่าเวลายอดคลื่นที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของการเปลี่ยนแปลงสายเฟสที่เกิดฟ้าผ่า ค่าเวลายอดคลื่นที่ตรวจวัดได้จากสถานีทั้ง 2 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

กรณีที่ 4 เกิดฟ้าผ่าที่ขนาดกระแสฟ้าผ่าต่างกัน

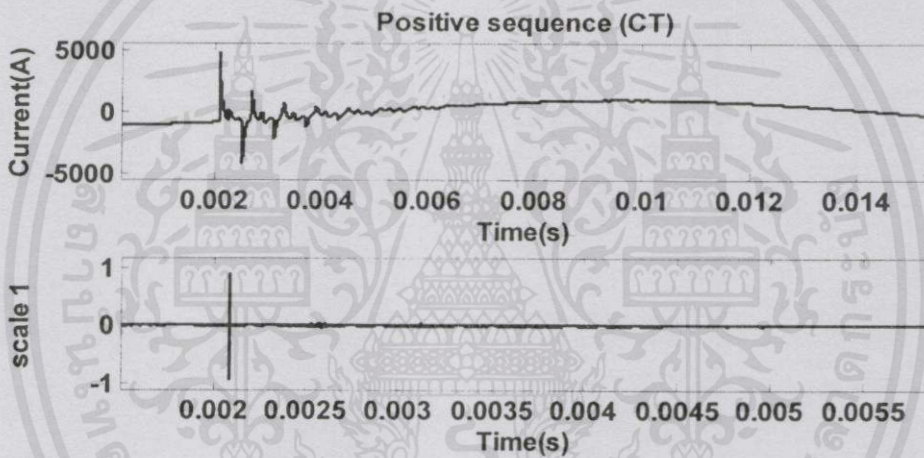
ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสฟ้าผ่ามีผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า โดยเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสฟ้าผ่า 3 ขนาด ดังนี้ จากกรณีปกติ 20 กิโลแอมแปร์ เป็น 10 กิโลแอมแปร์ และ 30 กิโลแอมแปร์ ซึ่งฟ้าผ่าเกิดขึ้นกับระบบสายส่งแรงดัน 115 กิโลโวลต์ มุมเริ่มต้นแรงดันจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา ความยาวของสายส่งจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยัง สถานี CT (ด้านรับ) 88.5 กิโลเมตร ฟ้าผ่าบนสายเฟส A ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง (61.95 กิโลเมตร) และค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม ซึ่งสามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าลำดับบวกและการแปลงเวฟเล็ตสเกลที่ 1 ดังรูปที่ 4.20 ถึงรูปที่ 4.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบโดยมีขนาดกระแสฟ้าผ่า 10 กิโลแอมแปร์



ก. สถานี RY2 (ด้านส่ง)

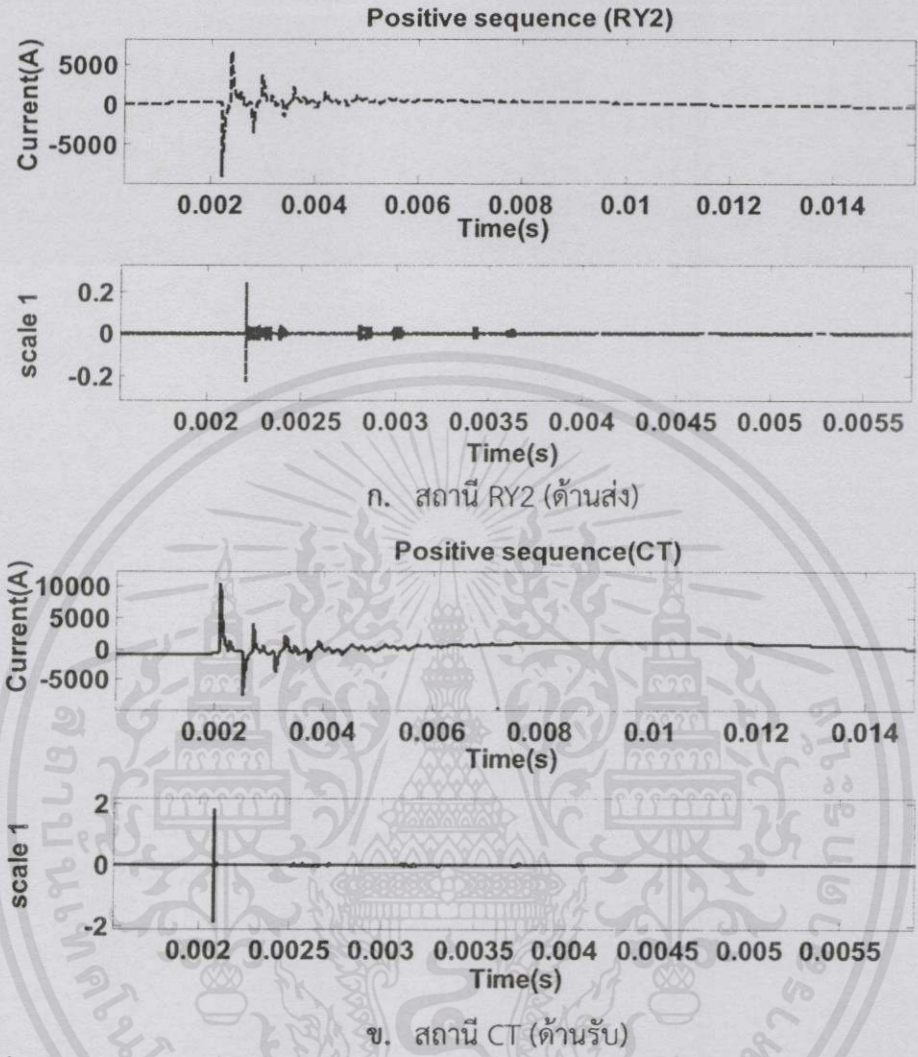


ข. สถานี CT (ด้านรับ)

รูปที่ 4.20 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีขนาดกระแสฟ้าผ่า 10 กิโลแอมแปร์

จากรูปที่ 4.20 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่าขนาด 10 กิโลแอมแปร์ที่ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง โดยกำหนดให้เริ่มเกิดฟ้าผ่าที่เวลา 2 มิลลิวินาที จะเห็นได้ว่าหลังจากเวลา ที่ 2 มิลลิวินาที ตรวจพบกระแสลำดับบวก มีค่าสูงกว่ากระแสปกติ และเมื่อนำเข้าสู่การแปลงเวฟเล็ด สามารถตรวจจับค่าสัมประสิทธิ์การแปลงสูงสุดได้ที่เวลาเดียวกัน โดยค่าเวลาที่ตรวจพบกระแส เนื่องจากฟ้าผ่าทางด้านสถานี CT (ด้านรับ) จะมีค่าเวลาเร็วกว่าเวลาที่ตรวจจับได้ที่สถานี RY2 (ด้านส่ง) และค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้จากทางด้านสถานี CT (ด้านรับ) มีค่ามากกว่าสถานี RY2 (ด้านส่ง) โดยค่าเวลาและแอมพลิจูดที่ตรวจวัดได้นั้น เป็นผลเนื่องมาจากตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่ามีระยะทาง ใกล้กับสถานี CT (ด้านรับ) มากกว่าสถานี RY2 (ด้านส่ง) จึงได้รับผลของฟ้าผ่าสูงกว่า และคลื่น กระแสฟ้าผ่าเดินทางถึงสถานี CT (ด้านรับ) ได้เร็วกว่า และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเล็ดสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสองแสดงได้ดังตารางที่ 4.5 ไปด้วย

กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบโดยมีขนาดกระแสฟ้าผ่า 20 กิโลแอมแปร์



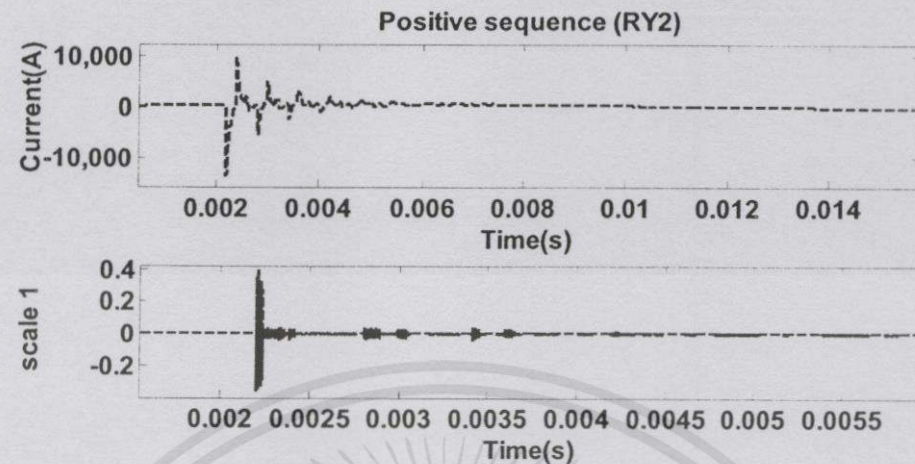
รูปที่ 4.21 การแปลงเวฟเส้นสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีขนาดกระแสฟ้าผ่า 20 กิโลแอมแปร์

จากรูปที่ 4.21 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่ากรณีเกิดฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกับกรณีเกิดฟ้าผ่าขนาด 10 กิโลแอมแปร์ (จากรูปที่ 4.20)

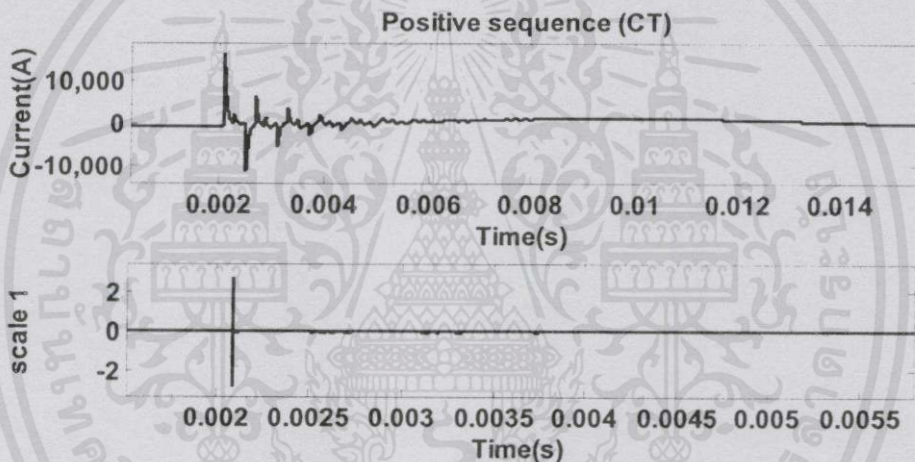
โดยค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้กรณีเกิดฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ มีค่ามากกว่ากรณีเกิดฟ้าผ่าขนาด 10 กิโลแอมแปร์ เป็นผลมาจากเมื่อเปลี่ยนค่าขนาดกระแสฟ้าผ่า จะส่งผลให้ค่าแอมพลิจูดของกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าที่สถานีทั้งสองเปลี่ยนแปลงไป ในลักษณะเป็นแนวโน้มเดียวกัน คือ ค่ากระแสเนื่องจากฟ้าผ่าจะเพิ่มเป็นจำนวนเท่าเดียวกับจำนวนเท่าของกระแสฟ้าผ่าที่เพิ่มขึ้น โดยค่าแอมพลิจูดดังกล่าวแสดงได้ในภาคผนวก ค. และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเส้นสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสองแสดงได้ดังตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกร ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบโดยมีขนาดกระแสฟ้าผ่า 30 กิโลแอมแปร์



ก. สถานี RY2 (ด้านส่ง)



ข. สถานี CT (ด้านรับ)

รูปที่ 4.22 การแปลงเวฟเส้นตลกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีขนาดกระแสฟ้าผ่า 30 กิโลแอมแปร์

จากรูปที่ 4.22 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่ากรณีเกิดฟ้าผ่าขนาด 30 กิโลแอมแปร์ ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับกรณีเกิดฟ้าผ่าขนาด 10 กิโลแอมแปร์ และ 20 กิโลแอมแปร์ (จากรูปที่ 4.20 และรูปที่ 4.21) ตามลำดับ

โดยค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้กรณีเกิดฟ้าผ่าขนาด 30 กิโลแอมแปร์ มีค่ามากกว่ากรณีเกิดฟ้าผ่าขนาด 10 กิโลแอมแปร์ และ 20 กิโลแอมแปร์ เป็นผลมาจากเมื่อเปลี่ยนค่าขนาดกระแสฟ้าผ่า จะส่งผลให้ค่าแอมพลิจูดของกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าที่สถานีทั้งสองเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะเป็นแนวโน้มเดียวกันคือค่ากระแสเนื่องจากฟ้าผ่าจะเพิ่มเป็นจำนวนเท่าเดียวกันกับจำนวนเท่าของกระแสฟ้าผ่าที่เพิ่มขึ้น โดยค่าแอมพลิจูดดังกล่าวแสดงได้ในภาคผนวก ค. และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเส้นตลกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสอง แสดงได้ดังตารางที่ 4.5

จากรูปที่ 4.20 ถึง รูปที่ 4.22 เป็นการแปลงเวฟเส้นตสเกลที่ 1 จากกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) ของค่าเวลาที่ตรวจจับคลื่นฟ้าผ่าที่ตรวจวัดได้จากปลายสายของ สถานี RY2 (ด้านส่ง) และ สถานี CT (ด้านรับ) และแสดงค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของกรณีการศึกษามุมเริ่มต้นของสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ) ได้ดัง ตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ) กรณีเกิดฟ้าผ่าที่ขนาดกระแสฟ้าผ่าต่างกัน

ขนาดกระแสฟ้าผ่า (kA)	Time of arrival RY2		Time of arrival CT	
	t_{1stRY2} (ms)	t_{3rdRY2} (ms)	t_{1stCT} (ms)	t_{3rdCT} (ms)
10	2.2093	2.3886	2.0896	2.2695
20	2.2093	2.3886	2.0897	2.2694
30	2.2092	2.3887	2.0896	2.2695

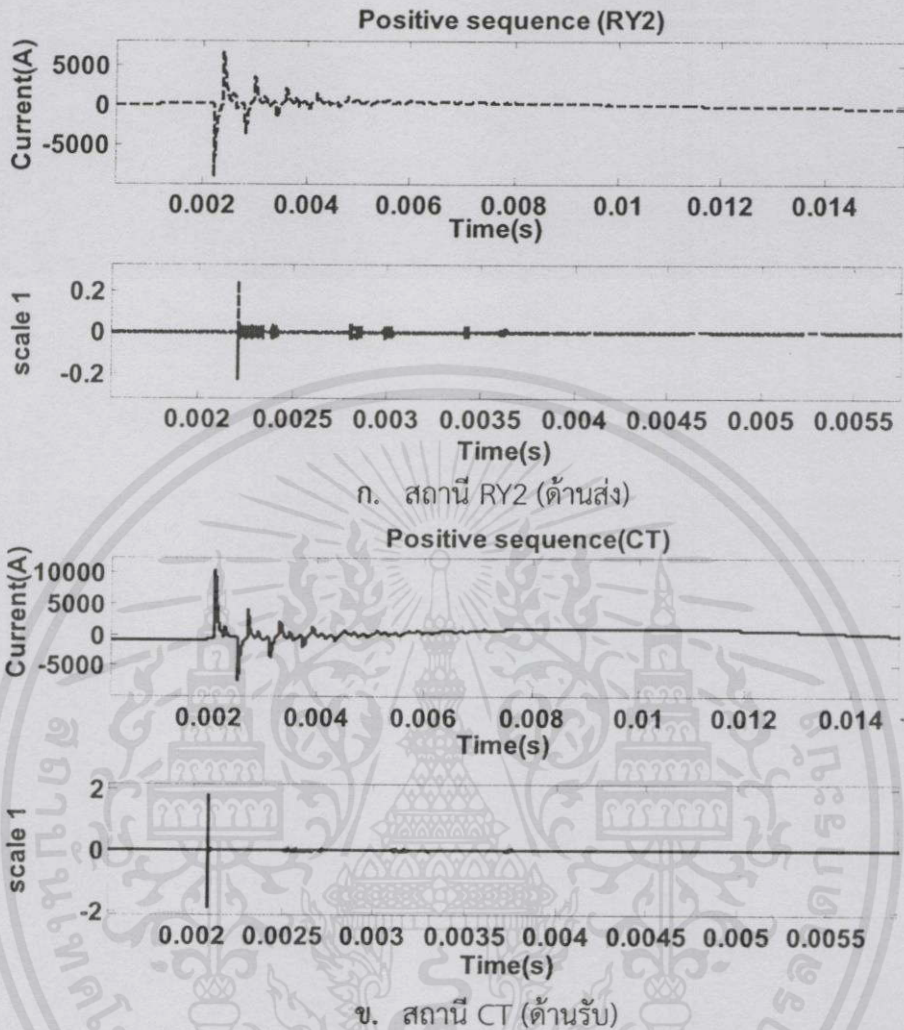
จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าค่าเวลายอดคลื่นที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของ การเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสฟ้าผ่า ค่าเวลายอดคลื่นที่ตรวจวัดได้จากสถานีทั้งสอง ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

กรณีที่ 5 เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีแรงดันต่างกัน

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดแรงดันสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ) มี ผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า โดยเปลี่ยนแปลงขนาดแรงดันสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ) 3 ขนาด ดังนี้ จากกรณีปกติ 115 กิโลโวลต์ เป็น 230 กิโลโวลต์ และ 30 กิโลโวลต์ ซึ่งฟ้าผ่า เกิดขึ้นกับระบบที่มีมุมเริ่มต้นแรงดันจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา ความยาวของสายส่งจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยังสถานี CT (ด้านรับ) 88.5 กิโลเมตร เกิด ฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ ที่สายเฟส A ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง (61.95 กิโลเมตร) และค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม ซึ่งสามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าลำดับบวกและการแปลงเวฟเส้นตสเกลที่ 1 ดังรูปที่ 4.23 ถึงรูปที่ 4.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

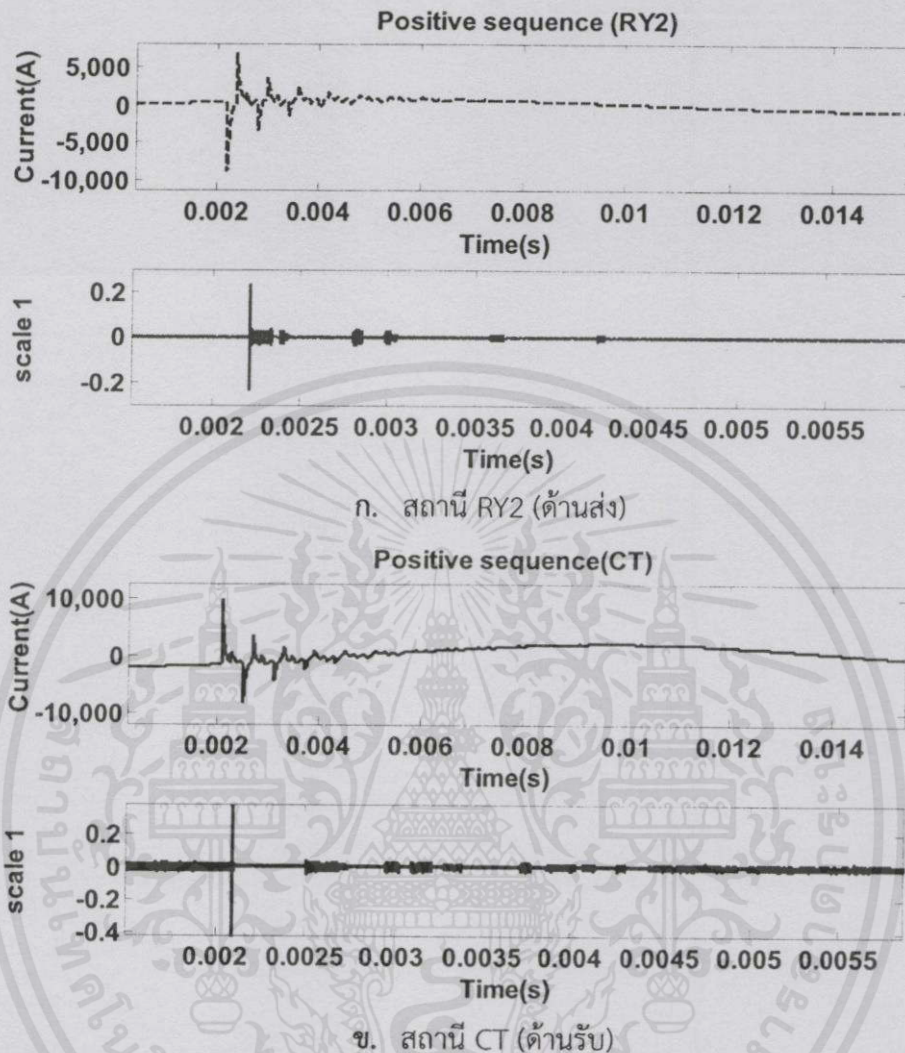
กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีแรงดัน 115 กิโลโวลต์



รูปที่ 4.23 การแปลงเวฟเส้นสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีขนาดแรงดันของระบบ 115 กิโลโวลต์

จากรูปที่ 4.23 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่ากับระบบแรงดัน 115 กิโลโวลต์ที่ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง โดยกำหนดให้เริ่มเกิดฟ้าผ่าที่เวลา 2 มิลลิวินาที จะเห็นได้ว่า หลังจากเวลาที่ 2 มิลลิวินาที ตรวจพบกระแสลำดับบวก มีค่าสูงกว่ากระแสปกติ และเมื่อนำเข้าสู่การ แปลงเวฟเส้น สามารถตรวจจับค่าสัมประสิทธิ์การแปลงสูงสุดได้ที่เวลาเดียวกัน โดยค่าเวลาที่ตรวจ พบกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าทางด้านสถานี CT (ด้านรับ) จะมีค่าเวลาเร็วกว่าเวลาที่ตรวจจับได้ที่สถานี RY2 (ด้านส่ง) และค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้จากทางด้านสถานี CT (ด้านรับ) มีค่ามากกว่าสถานี RY2 (ด้านส่ง) โดยค่าเวลาและแอมพลิจูดที่ตรวจวัดได้นั้น เป็นผลเนื่องจากตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่ามี ระยะทางใกล้กับสถานี CT (ด้านรับ) มากกว่าสถานี RY2 (ด้านส่ง) จึงได้รับผลของฟ้าผ่าสูงกว่า และ คลื่นกระแสฟ้าผ่าเดินทางถึงสถานี CT (ด้านรับ) ได้เร็วกว่า และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเส้นสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสอง แสดงได้ดังตารางที่ 4.6

กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีแรงดัน 230 กิโลโวลต์



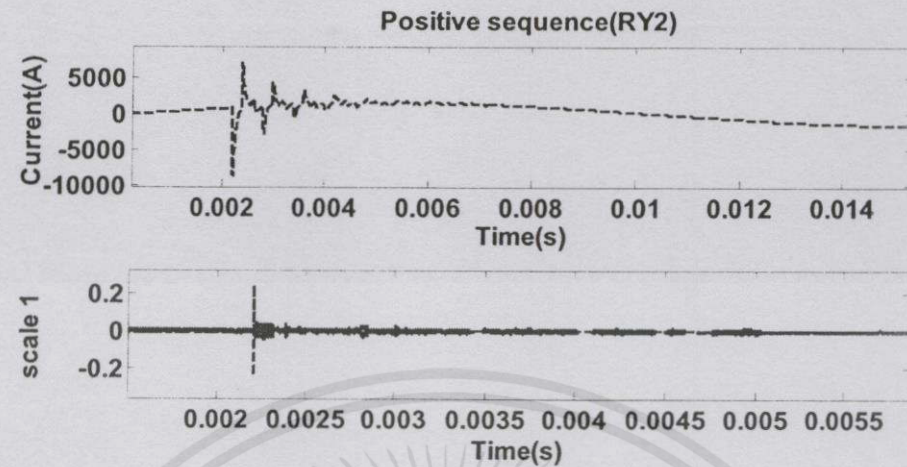
รูปที่ 4.24 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีขนาดแรงดันของระบบ 230 กิโลโวลต์

จากรูปที่ 4.24 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่าที่ระบบแรงดัน 230 กิโลโวลต์ ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับกรณีเกิดฟ้าผ่ากับระบบแรงดัน 115 กิโลโวลต์ (จากรูปที่ 4.23)

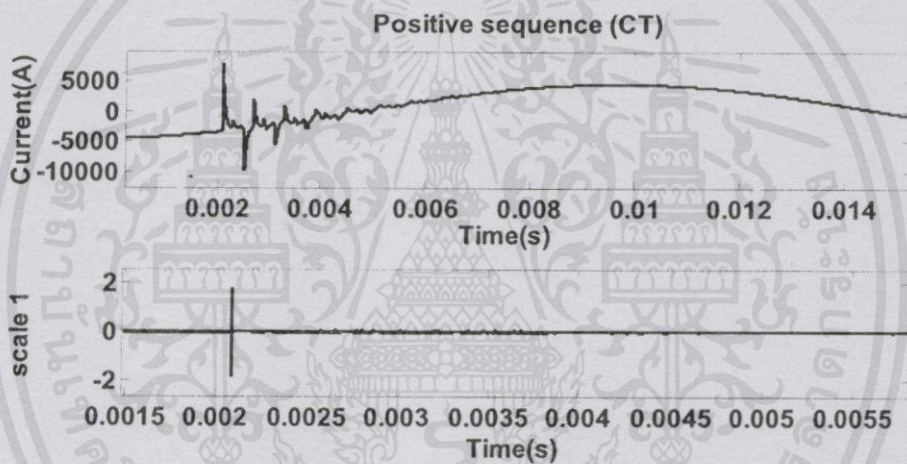
โดยค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้กรณีเกิดฟ้าผ่าที่ระบบแรงดัน 230 กิโลโวลต์ มีค่าต่ำกว่ากรณีเกิดฟ้าผ่ากับระบบแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เป็นผลมาจากเมื่อระบบมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าคงที่ แต่แรงดันของระบบเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้ค่ากระแสของระบบและกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยค่าแอมพลิจูดดังกล่าวแสดงได้ในภาคผนวก ค. และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเล็ดสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสองแสดงได้ดังตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีแรงดัน 500 กิโลโวลต์



ก. สถานี RY2 (ด้านส่ง)



ข. สถานี CT (ด้านรับ)

รูปที่ 4.25 การแปลงเวฟเส้นตลกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีขนาดแรงดันของระบบ 500 กิโลโวลต์

จากรูปที่ 4.25 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบแรงดัน 500 กิโลโวลต์ ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับกรณีเกิดฟ้าผ่ากับระบบแรงดัน 115 กิโลโวลต์ และ 230 กิโลโวลต์ (จากรูปที่ 4.23 และรูปที่ 4.24) ตามลำดับ

โดยค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้กรณีเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบแรงดัน 500 กิโลโวลต์ มีค่าต่ำกว่ากรณีเกิดฟ้าผ่ากับระบบแรงดัน 115 กิโลโวลต์ และ 230 กิโลโวลต์ เป็นผลมาจากเมื่อระบบมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าคงที่ แต่แรงดันของระบบเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้ค่ากระแสของระบบและกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยค่าแอมพลิจูดดังกล่าวแสดงได้ในภาคผนวก ค. และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเส้นตลกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสองแสดงได้ดังตารางที่ 4.6

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.23 ถึง รูปที่ 4.25 เป็นการแปลงเวฟเล็ตสเกลที่ 1 จากกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) ของค่าเวลาที่ตรวจจับคลื่นฟ้าผ่าที่ตรวจวัดได้จากปลายสายของ สถานี RY2 (ด้านส่ง) และ สถานี CT (ด้านรับ) และแสดงค่าเวลายอดคลื่นลำดับ 1 และ ลำดับ 3 ของ กรณีการศึกษามุมเริ่มต้นของสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ) ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ) กรณีเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีแรงดันต่างกัน

ขนาดแรงดันระบบ (kV)	Time of arrival RY2		Time of arrival CT	
	$t_{1st_{RY2}}$ (ms)	$t_{3rd_{RY2}}$ (ms)	$t_{1st_{CT}}$ (ms)	$t_{3rd_{CT}}$ (ms)
115	2.2093	2.3886	2.0897	2.2694
230	2.2093	2.3887	2.0896	2.2694
500	2.2093	2.3887	2.0898	2.2694

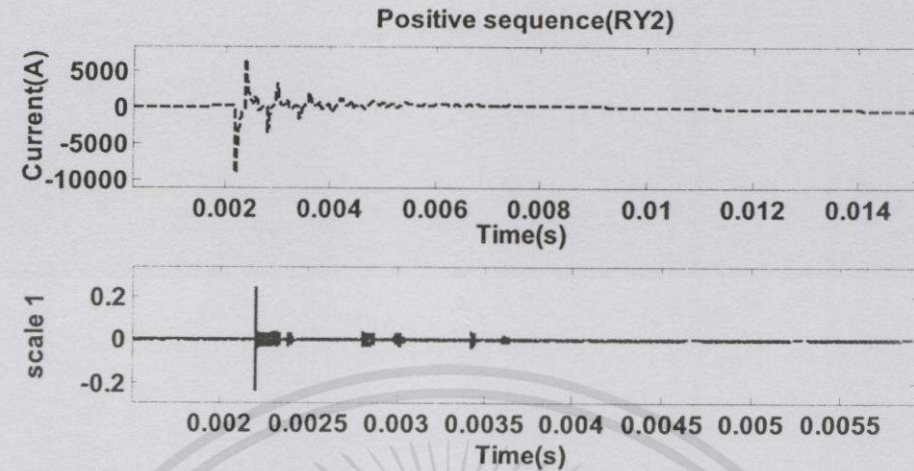
จากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าค่าเวลายอดคลื่นที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของ การเปลี่ยนแปลงขนาดแรงดันระบบ ค่าเวลายอดคลื่นที่ตรวจวัดได้จากสถานีทั้งสอง ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

กรณีที่ 6 เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีความต้านทานดินต่างกัน

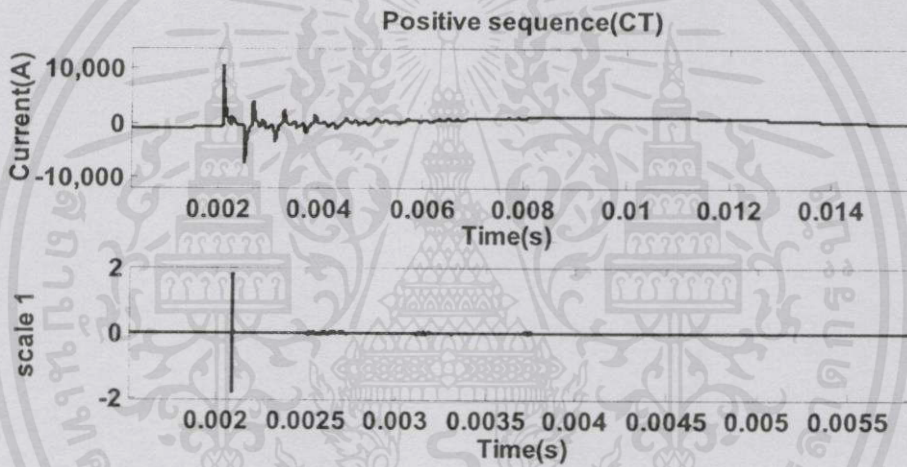
ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความต้านทานดินมีผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า โดย เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานดิน 3 ค่า ดังนี้ จากกรณีปกติ 10 โอห์ม เป็น 1 โอห์ม และ 100 โอห์ม ซึ่งฟ้าผ่าเกิดขึ้นกับระบบสายส่งแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ที่มีมุมเริ่มต้นแรงดันจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และ สถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา ความยาวของสายส่งจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยัง สถานี CT (ด้านรับ) 88.5 กิโลเมตร ฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ ที่สายเฟส A ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง (61.95 กิโลเมตร) ซึ่งสามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าลำดับบวกและการแปลงเวฟเล็ตสเกลที่ 1 ดังรูปที่ 4.26 ถึงรูปที่ 4.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีความต้านดิน 1 โอห์ม



ก. สถานี RY2 (ด้านส่ง)

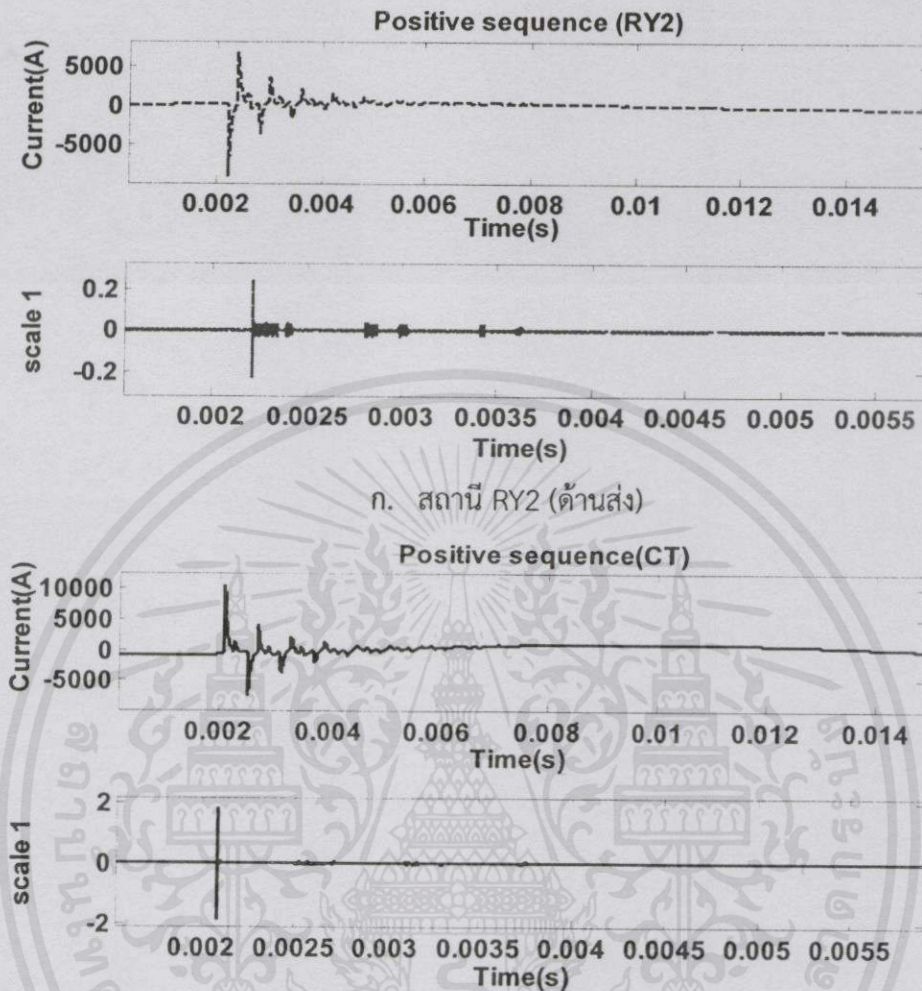


ข. สถานี CT (ด้านรับ)

รูปที่ 4.26 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีความต้านทานดิน 1 โอห์ม

จากรูปที่ 4.26 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่ากับระบบที่มีความต้านทานดิน 1 โอห์ม ที่ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง โดยกำหนดให้เริ่มเกิดฟ้าผ่าที่เวลา 2 มิลลิวินาที จะเห็นได้ว่าหลังจากเวลาที่ 2 มิลลิวินาที ตรวจพบกระแสลำดับบวก มีค่าสูงกว่ากระแสปกติ และเมื่อนำเข้าสู่การแปลงเวฟเล็ด สามารถตรวจจับค่าสัมประสิทธิ์การแปลงสูงสุดได้ที่เวลาเดียวกัน โดยค่าเวลาที่ตรวจพบกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าทางด้านสถานี CT (ด้านรับ) จะมีค่าเวลาเร็วกว่าเวลาที่ตรวจจับได้ที่สถานี RY2 (ด้านส่ง) และค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้จากทางด้านสถานี CT (ด้านรับ) มีค่ามากกว่าสถานี RY2 (ด้านส่ง) โดยค่าเวลาและแอมพลิจูดที่ตรวจวัดได้นั้น เป็นผลเนื่องมาจากตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่ามีระยะทางใกล้กับสถานี CT (ด้านรับ) มากกว่าสถานี RY2 (ด้านส่ง) จึงได้รับผลของฟ้าผ่าสูงกว่า และคลื่นกระแสฟ้าผ่าเดินทางถึงสถานี CT (ด้านรับ) ได้เร็วกว่า และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเล็ดสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสองแสดงได้ดังตารางที่ 4.7

กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่าที่ขึ้นกับระบบที่มีความต้านดิน 10 โอห์ม



ก. สถานี RY2 (ด้านส่ง)

ข. สถานี CT (ด้านรับ)

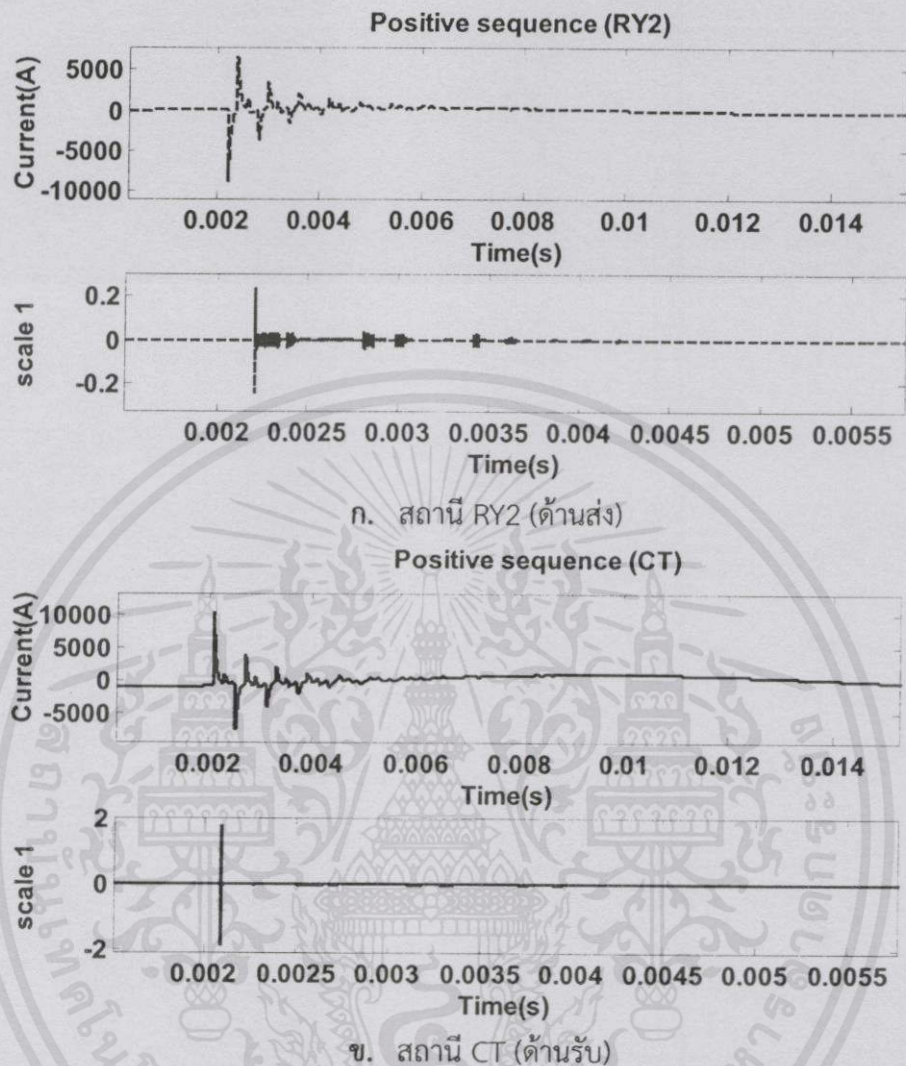
รูปที่ 4.27 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีความต้านทานดิน 10 โอห์ม

จากรูปที่ 4.27 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดิน 10 โอห์ม ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับกรณีเกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดิน 1 โอห์ม (จากรูปที่ 4.26)

โดยค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้กรณีเกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดิน 10 โอห์ม มีค่าเท่ากับกรณีเกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดิน 1 โอห์ม เนื่องจากเมื่อค่าความต้านทานของดินมีค่ามากขึ้นจะทำให้กระแสไหลในเสาไลน์มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ดินมีค่าความต้านทานดินน้อย ซึ่งไม่ส่งผลต่อกระแสสูงสุดเนื่องจากฟ้าผ่า โดยค่าแอมพลิจูดดังกล่าวแสดงได้ในภาคผนวก ค. และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเล็ดสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสองแสดงได้ดังตารางที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีความต้านดิน 100 โอห์ม



รูปที่ 4.28 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีความต้านทานดิน 100 โอห์ม

จากรูปที่ 4.28 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดิน 100 โอห์ม ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับกรณีเกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดิน 1 โอห์ม และ 10 โอห์ม (จากรูปที่ 4.26 และรูปที่ 4.27) ตามลำดับ

โดยค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้กรณีเกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดิน 100 โอห์ม มีค่าเท่ากับกรณีเกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดิน 1 โอห์ม และ 10 โอห์ม เนื่องจากเมื่อค่าความต้านทานของดินมีค่ามากขึ้นจะทำให้กระแสไหลในเสาของดินมีค่าน้อยกว่ากรณีที่ดินมีค่าความต้านทานน้อย ซึ่งไม่ส่งผลต่อกระแสสูงสุดเนื่องจากฟ้าผ่า โดยค่าแอมพลิจูดดังกล่าวแสดงได้ในภาคผนวก ค. และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเล็ดสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสองแสดงได้ดังตารางที่ 4.7

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.26 ถึง รูปที่ 4.28 เป็นการแปลงเวฟเล็ตสเกลที่ 1 จากกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) ของค่าเวลาที่ตรวจจับคลื่นฟ้าผ่าที่ตรวจวัดได้จากปลายสายของ สถานี RY2 (ด้านส่ง) และ สถานี CT (ด้านรับ) และแสดงค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่น ลำดับ ที่ 3 ของกรณีการศึกษาค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง ได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ) กรณีเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีความต้านทานดินต่างกัน

ความต้านทานดิน (Ω)	Time of arrival RY2		Time of arrival CT	
	$t_{1st_{RY2}}$ (ms)	$t_{3rd_{RY2}}$ (ms)	$t_{1st_{CT}}$ (ms)	$t_{3rd_{CT}}$ (ms)
1	2.2094	2.3887	2.0897	2.2695
10	2.2093	2.3886	2.0897	2.2694
100	2.2094	2.3886	2.0898	2.2695

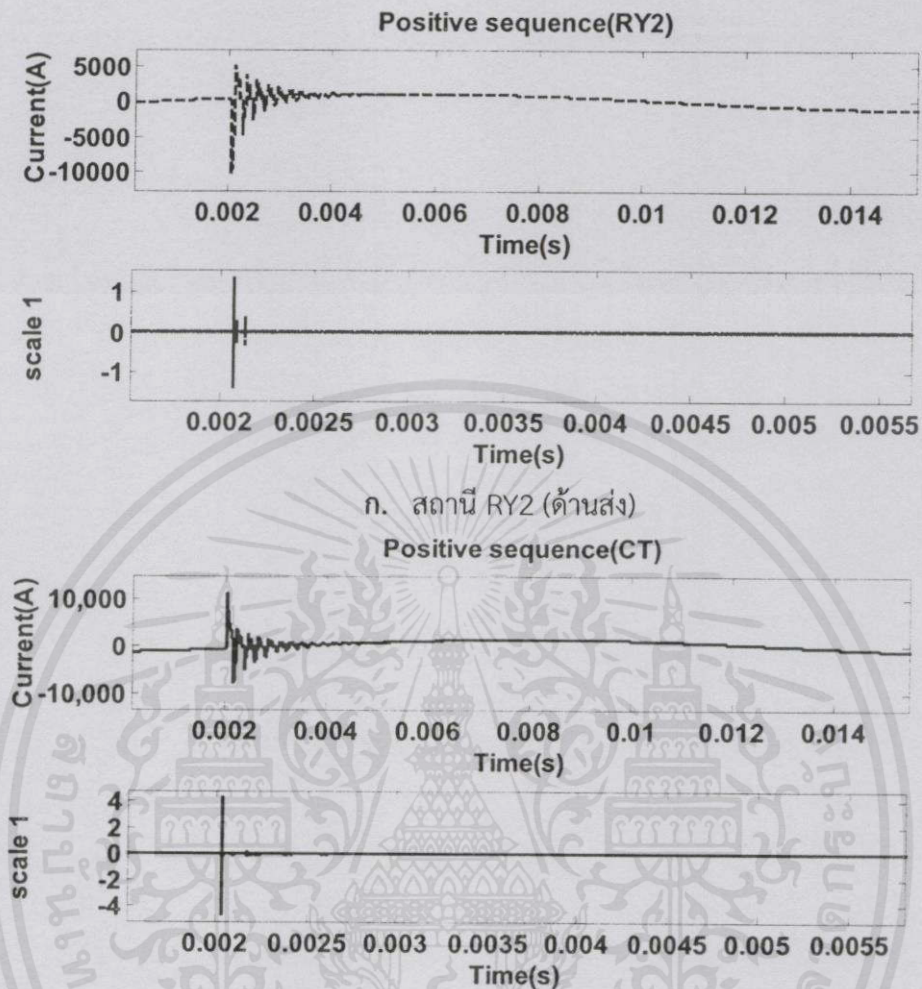
จากตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานดิน ค่าเวลายอดคลื่นที่ตรวจวัดได้จากสถานีทั้งสอง ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

กรณีที่ 7 เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีความยาวของสายส่งต่างกัน

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความยาวสายส่งมีผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า โดยเปลี่ยนแปลงความยาวสายส่ง 4 ความยาว ดังนี้ จากกรณีปกติ 88.50 กิโลเมตร เป็น 30 กิโลเมตร 50 กิโลเมตร และ 70 กิโลเมตร ซึ่งฟ้าผ่าเกิดขึ้นกับระบบสายส่งแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ที่มีมุมเริ่มต้นแรงดันจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และ สถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา เกิดฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ ที่สายเฟส A ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่งที่กำหนด ซึ่งสามารถแสดงกระแส ฟ้าผ่าลำดับบวกและการแปลงเวฟเล็ตสเกลที่ 1 ดังรูปที่ 4.29 ถึงรูปที่ 4.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีความยาวสายส่ง เป็นระยะทาง 30 กิโลเมตร



ก. สถานี RY2 (ด้านส่ง)

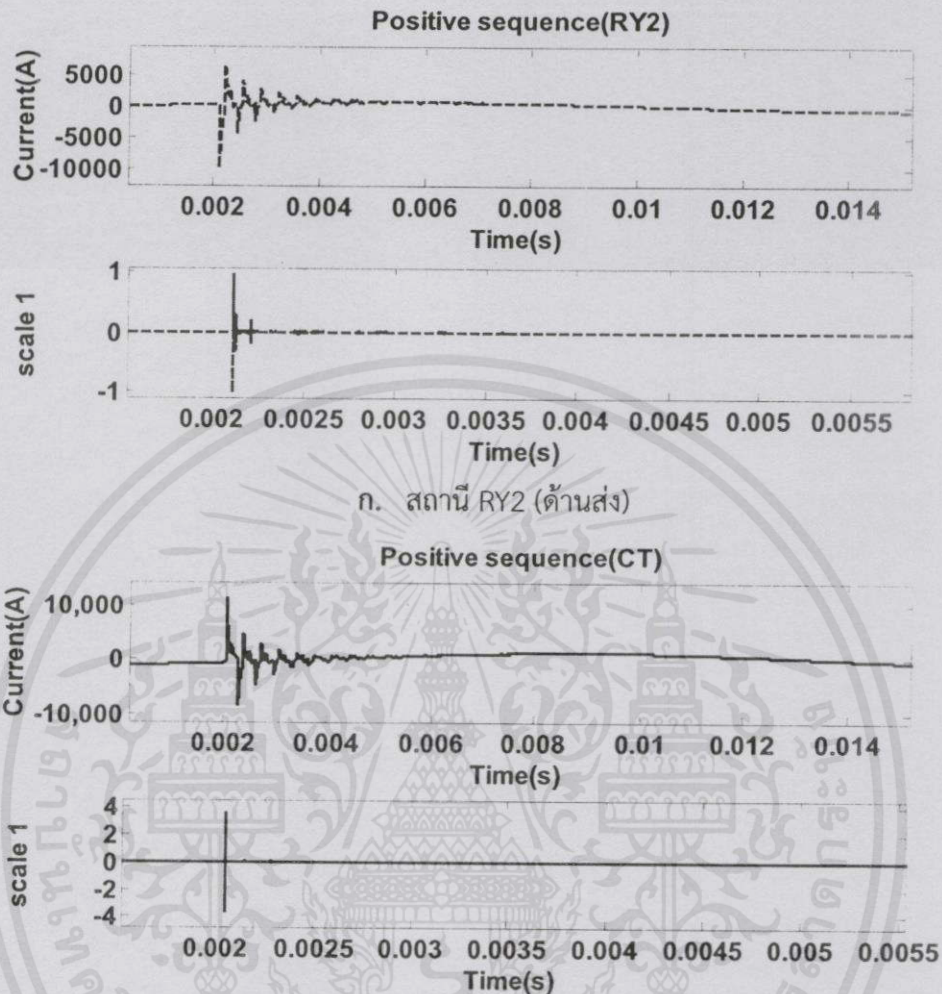
Positive sequence(CT)

ข. สถานี CT (ด้านรับ)

รูปที่ 4.29 การแปลงเวฟเส้นตลกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีความยาวของสายส่ง 30 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.29 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่ากรณีความยาวสายส่ง 30 กิโลเมตร ที่ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง โดยกำหนดให้เริ่มเกิดฟ้าผ่าที่เวลา 2 มิลลิวินาที จะเห็นได้ว่า หลังจากเวลาที่ 2 มิลลิวินาที ตรวจพบกระแสลำดับบวก มีค่าสูงกว่ากระแสปกติ และเมื่อนำเข้าสู่การแปลงเวฟเส้นตลกล สามารถตรวจจับค่าสัมประสิทธิ์การแปลงสูงสุดได้ที่เวลาเดียวกัน โดยค่าเวลาที่ตรวจพบกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าทางด้านสถานี CT (ด้านรับ) จะมีค่าเวลาเร็วกว่าเวลาที่ตรวจจับได้ที่สถานี RY2 (ด้านส่ง) และค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้จากทางด้านสถานี CT (ด้านรับ) มีค่าสูงกว่าสถานี RY2 (ด้านส่ง) โดยค่าเวลาและแอมพลิจูดที่ตรวจวัดได้นั้น เป็นผลเนื่องจากตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่ามีระยะทางใกล้กับสถานี CT (ด้านรับ) มากกว่าสถานี RY2 (ด้านส่ง) จึงได้รับผลของฟ้าผ่าสูงกว่า และคลื่นกระแสฟ้าผ่าเดินทางถึงสถานี CT (ด้านรับ) ได้เร็วกว่า และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเส้นตลกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสอง แสดงได้ดังตารางที่ 4.8

กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีความยาวสายส่ง เป็นระยะทาง 50 กิโลเมตร



ก. สถานี RY2 (ด้านส่ง)

ข. สถานี CT (ด้านรับ)

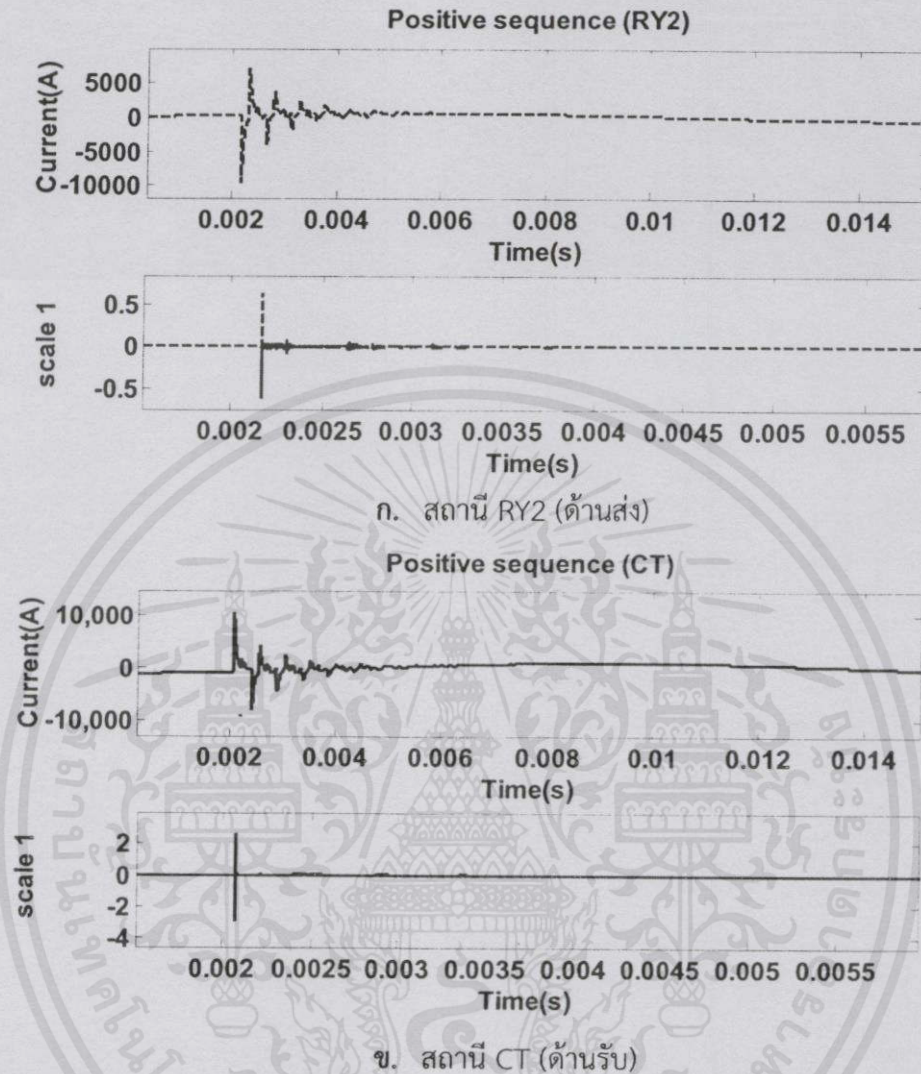
รูปที่ 4.30 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีความยาวของสายส่ง 50 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.30 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่ากรณีความยาวสายส่ง 50 กิโลเมตร ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับกรณีเกิดฟ้าผ่าที่ความยาวสายส่ง 30 กิโลเมตร (จากรูปที่ 4.29)

โดยค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้กรณีเกิดฟ้าผ่าความยาวสายส่ง 50 กิโลเมตร มีค่าต่ำกว่ากรณีเกิดฟ้าผ่าที่ความยาวสายส่ง 30 กิโลเมตร เป็นผลจากเมื่อความยาวสายส่งมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าอิมพีแดนซ์ในสายส่งจะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ทำให้กระแสของระบบมีค่าลดลง โดยค่าแอมพลิจูดดังกล่าวแสดงได้ในภาคผนวก ค. และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเล็ดสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสอง แสดงได้ดังตารางที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีความยาวสายส่ง เป็นระยะทาง 70 กิโลเมตร



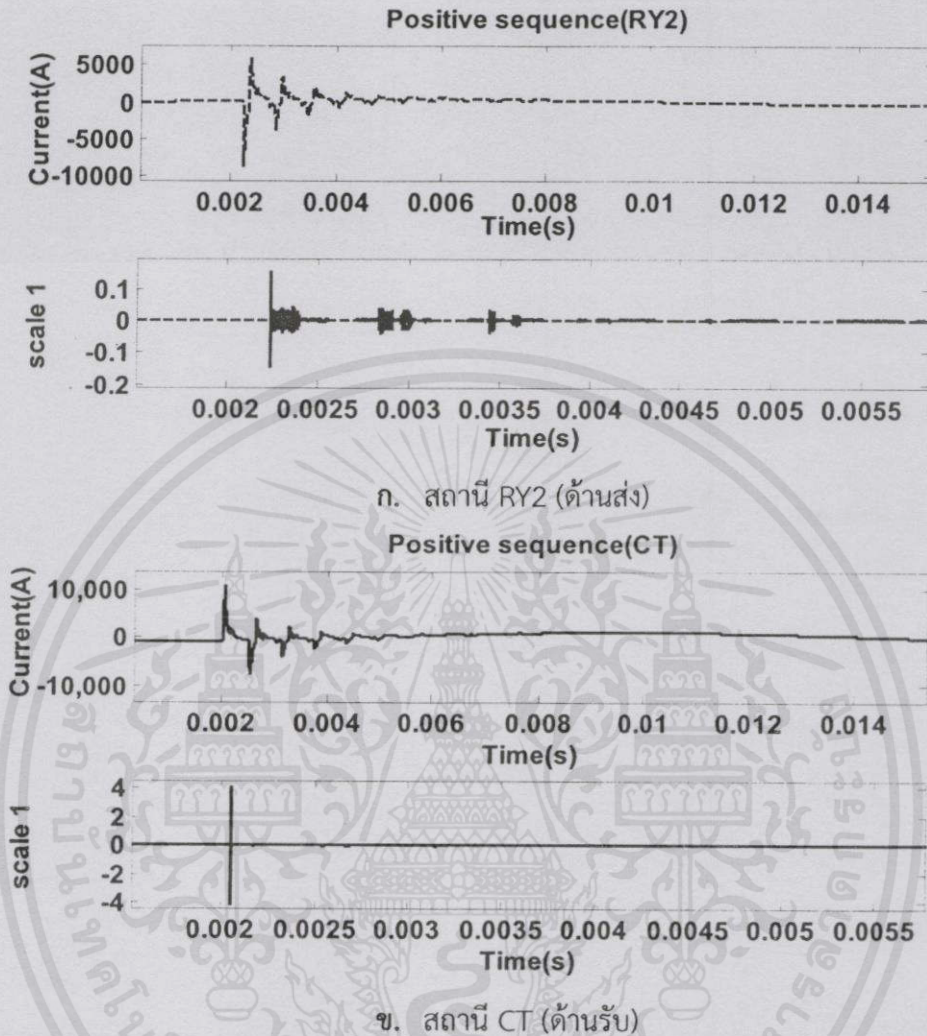
รูปที่ 4.31 การแปลงเวฟเส้นสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีความยาวของสายส่ง 70 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.31 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่ากับระบบที่มีความยาวสายส่ง 70 กิโลเมตร ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับกรณีเกิดฟ้าผ่าที่ความยาวสายส่ง 30 กิโลเมตร และ 50 กิโลเมตร (จากรูปที่ 4.29 และ รูปที่ 4.30) ตามลำดับ

โดยค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้กรณีเกิดฟ้าผ่ากับระบบที่มีความยาวสายส่ง 70 กิโลเมตร มีค่าต่ำกว่ากรณีเกิดฟ้าผ่ากับระบบที่มีความยาวสายส่ง 30 กิโลเมตร และ 50 กิโลเมตร เป็นผลจากเมื่อความยาวสายส่งมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าอิมพีแดนซ์ในสายส่งจะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ทำให้กระแสของระบบมีค่าลดลง โดยค่าแอมพลิจูดดังกล่าวแสดงได้ในภาคผนวก ค. และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเส้นสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสอง แสดงได้ดังตารางที่ 4.8

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีความยาวสายส่งเป็นระยะทาง 88.5 กิโลเมตร



รูปที่ 4.32 การแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 ของกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) กรณีความยาวของสายส่ง 88.5 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.32 เป็นผลการจำลองการเกิดฟ้าผ่ากับระบบที่มีความยาวสายส่ง 88.5 กิโลเมตร ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับกรณีเกิดฟ้าผ่าที่ความยาวสายส่ง 30 กิโลเมตร, 50 กิโลเมตร และ 70 กิโลเมตร (จากรูปที่ 4.29, รูปที่ 4.30 และ รูปที่ 4.31) ตามลำดับ

โดยค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่วัดได้กรณีเกิดฟ้าผ่ากับระบบที่มีความยาวสายส่ง 100 กิโลเมตร มีค่าต่ำกว่ากรณีเกิดฟ้าผ่ากับระบบความยาวสายส่ง 30 กิโลเมตร, 50 กิโลเมตร และ 100 กิโลเมตร เป็นผลจากเมื่อความยาวสายส่งมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าอิมพีแดนซ์ในสายส่งจะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ทำให้กระแสของระบบมีค่าลดลง โดยค่าแอมพลิจูดดังกล่าวแสดงได้ในภาคผนวก ค. และค่าเวลาจากการแปลงเวฟเล็ดสเกลที่ 1 ของค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสอง แสดงได้ดังตารางที่ 4.8

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.29 ถึง รูปที่ 4.32 เป็นการแปลงเวฟเล็ตสเกลที่ 1 จากกระแสลำดับบวก (Positive Sequence Current) ของค่าเวลาที่ตรวจจับคลื่นฟ้าผ่าที่ตรวจวัดได้จากปลายสายของ สถานี RY2 (ด้านส่ง) และ สถานี CT (ด้านรับ) และแสดงค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับ ที่ 3 ของกรณีการศึกษามุมเริ่มต้นของสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ) ได้ดัง ตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ) กรณีเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีความยาวของสายส่งต่างกัน

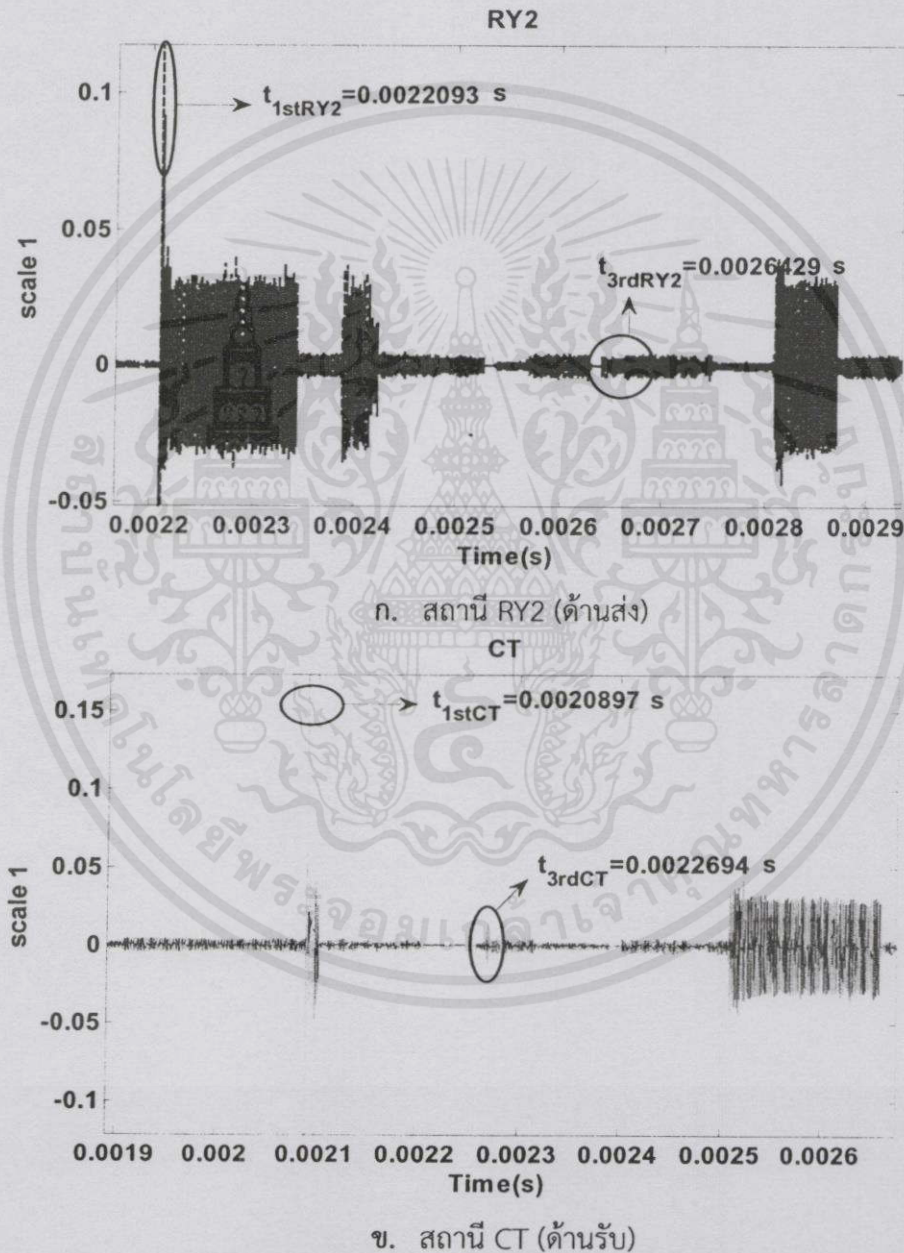
ความยาวสายส่ง (km)	Time of arrival RY2		Time of arrival CT	
	$t_{1st_{RY2}}$ (ms)	$t_{3rd_{RY2}}$ (ms)	$t_{1st_{CT}}$ (ms)	$t_{3rd_{CT}}$ (ms)
30	2.0711	2.1319	2.0305	2.0914
50	2.1184	2.2197	2.0509	2.1522
70	2.1657	2.3075	2.0711	2.2129
88.5	2.2093	2.3886	2.0897	2.2694

จากตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าค่าเวลายอดคลื่นที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของ การเปลี่ยนแปลงความยาวสายส่ง ค่าเวลายอดคลื่นที่ตรวจวัดได้จากสถานีทั้งสอง ไม่มีการ เปลี่ยนแปลง

ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบมีผลต่อการระบุตำแหน่ง ฟ้าผ่า ที่ได้แสดงมาข้างต้น และจากสรุปผลการจำลองดังตารางที่ 4.2 ถึง ตารางที่ 4.8 เห็นได้ว่าค่า เวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของกรณีที่ 1 เปลี่ยนแปลงมุมเริ่มต้นของแหล่งจ่าย แรงดัน, กรณีที่ 3 เปลี่ยนแปลงสายเฟสที่เกิดฟ้า, กรณีที่ 4 เปลี่ยนแปลงขนาดกระแสฟ้าผ่า, กรณีที่ 5 เปลี่ยนแปลงขนาดแรงดันของระบบ, กรณีที่ 6 เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานดิน, กรณีที่ 7 เปลี่ยนแปลงความยาวสายส่ง ที่ตรวจจับจากสถานีทั้งสองด้านของระบบสายส่ง ค่าเวลายอดคลื่น ลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ของสถานีทั้งสองนั้นเท่ากันทั้งหมด ทำให้สรุปได้ว่ากรณีการศึกษา ดังกล่าวไม่มีผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า ซึ่งมีเพียงกรณีที่ 2 คือกรณีตำแหน่งฟ้าผ่าเปลี่ยนแปลง เพียงกรณีเดียวที่เวลามีการเปลี่ยนแปลง นั้นแสดงถึง มีผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า จึงถูกนำข้อมูล เวลาที่เปลี่ยนแปลงนั้นไปวิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่งฟ้าผ่าในหัวข้อที่ 4.3 โดยสามารถแสดงค่าเวลา ยอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตสเกลที่ 1 เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ ระบุตำแหน่งฟ้าผ่าจากกรณีที่ 2 ได้จากภาคผนวก จ. อย่างไรก็ตามการนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้วิเคราะห์ระบุตำแหน่งฟ้าผ่าจากกรณีที่ 2 ได้จากภาคผนวก จ. อย่างไรก็ตามการนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้

4.3 การระบุตำแหน่งฟ้าผ่าในสายส่ง

กรณีที่ 2 การเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่งต่างๆ ของความยาวสายส่ง จะเป็นข้อมูลที่นำมาพิจารณาเพื่อระบุตำแหน่งฟ้าผ่า โดยนอกจากเวลาที่ตรวจพบคลื่นฟ้าผ่าสูงสุดทั้งสองด้านของสายส่งแล้ว ยังคำนึงถึงความเร็วคลื่นเดินทางที่เกิดขึ้นในระบบด้วยเช่นกัน การระบุตำแหน่งฟ้าผ่าในปริภูมยานิพนธ์เล่มนี้ จะเลือกใช้ค่าเวลาที่ตรวจจับสัมพันธ์กับการแปลงเวฟเล็ตของกระแสฟ้าผ่าสูงสุดที่ 1 (สเกล 1) แสดงดังรูปที่ 4.33 เนื่องจากเป็นค่าที่ชัดเจนที่สุดและสามารถระบุตำแหน่งฟ้าผ่าได้แม่นยำที่สุด นำมาวิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่งฟ้าผ่า โดยวิธีที่ใช้วิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่งฟ้าผ่า 2 วิธีด้วยกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.33 ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 ประโยชน์ด้านการค้าของทั้งสองสถานี กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่บนสื่อใดๆ และต้องสงวนลิขสิทธิ์ของเอกสารนี้ไว้ทั้งหมด ห้ามการนำไปใช้

4.3.1 ระบุตำแหน่งฟ้าผ่าโดยใช้ความเร็วคลื่นเดินทาง

การระบุตำแหน่งฟ้าผ่าโดยวิธีดังกล่าว สามารถคำนวณได้จากค่าความเร็วคลื่นเดินทาง และค่าเวลาที่ตรวจพบคลื่นฟ้าผ่าที่ปลายของด้านสายส่งทั้งสอง โดยค่าเวลานั้นเป็นค่าเวลา ยอดคลื่นที่ 1 ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตสเกลที่ 1 ซึ่งจะใช้สมการที่ 4.7

$$d = \frac{(L - v \times (t_{1stCT} - t_{1stRY2}))}{2} \quad (4.7)$$

เมื่อ

d = ระยะทางจากจุดที่เกิดฟ้าผ่าวัดจากปลายสายส่งด้านส่งหรือแหล่งจ่าย (km)

L = ความยาวของสายส่ง (km)

t_{1stRY2} = เวลาที่ตรวจพบกระแสฟ้าสูงสุดมาถึงปลายสายส่งด้านส่งหรือแหล่งจ่าย (s)

t_{1stCT} = เวลาที่ตรวจพบกระแสฟ้าสูงสุดมาถึงปลายสายส่งด้านรับหรือโหลด (s)

v = ความเร็วคลื่นเดินทางเฉลี่ย (km/s)

เพื่อความเข้าใจถึงการระบุตำแหน่งฟ้าผ่าโดยวิธีความเร็วคลื่นเดินทาง สามารถอธิบายอย่างง่ายด้วยตัวอย่างกรณีเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบแรงจ่ายแรงดัน 115 กิโลโวลต์ มีความเร็วคลื่นเดินทางในสายส่งเท่ากับ 298,782 กิโลเมตรต่อวินาที (km/s) มุมเริ่มต้นแหล่งจ่ายแรงดันสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา สายส่งยาว 88.5 กิโลเมตร เกิดฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ ที่เฟส A ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง (61.95 กิโลเมตร) และค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม ซึ่งจากการตรวจจับค่าเวลาที่พบกระแสสูงสุดที่สถานีทั้งสอง จากนั้นเมื่อนำเข้าสู่การแปลงเวฟเล็ตจะได้ค่าเวลาที่ใช้ในการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า นั่นคือ ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และค่าต่างๆ ที่นำมาใช้ระบุตำแหน่งดังนี้

$$L = 88.5 \text{ km}$$

$$t_{1stRY2} = 0.0022093 \text{ s}$$

$$t_{1stCT} = 0.0020897 \text{ s}$$

$$v = 298,782 \text{ km/s}$$

$$d = \frac{(88.5 - 298,782 \times (0.0020897 - 0.0022093))}{2}$$

$$d = 62.1172 \text{ km}$$

นั่นคือ ตำแหน่งฟ้าผ่าที่ระบุได้ คือระยะ 62.1172 กิโลเมตร ห่างจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ซึ่งสามารถหาค่าความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริงได้ตามสมการที่ 4.7

$$\text{ตำแหน่งคลาดเคลื่อน} = | \text{ตำแหน่งจริง} - \text{ตำแหน่งทดลอง} |$$

$$= | 61.9500 - 62.1172 |$$

$$= 0.1672 \text{ km}$$

ตำแหน่งฟ้าผ่าที่ระบุได้มีความคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งจริงเป็นระยะ 0.1672 กิโลเมตร หรือ 167.2 เมตร โดยตำแหน่งที่ระบุได้เมื่อวัดจากปลายสายส่งของสถานี RY2 (ด้านส่ง) นั้นจะระบุได้ก่อนตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าจริง ซึ่งถือได้ว่าวิธีระบุตำแหน่งโดยความเร็วคลื่นเดินทางนั้นสามารถระบุตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าได้แม่นยำ ดังนั้น การระบุตำแหน่งฟ้าผ่าจากกรณีเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่งต่างๆ สามารถแสดงค่าตำแหน่งที่ระบุได้จากการคำนวณและค่าตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งจริง ได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ตำแหน่งฟ้าผ่าที่ระบุได้โดยวิธีความเร็วคลื่นเดินทาง จากกรณีที่ 2 ตำแหน่งฟ้าผ่าเปลี่ยนแปลง

ตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่า	ตำแหน่งจริง (km)	Time of arrival		ตำแหน่งคำนวณ (km)	คลาดเคลื่อน (km)
		$t_{1st_{RY2}}$ (ms)	$t_{1st_{CT}}$ (ms)		
10% ของสายส่ง	8.85	2.0299	2.2695	8.4559	-0.3941
20% ของสายส่ง	17.70	2.0601	2.2396	17.4343	-0.2657
30% ของสายส่ง	26.55	2.0897	2.2093	26.3828	-0.1672
40% ของสายส่ง	35.40	2.1199	2.1795	35.3463	-0.0537
50% ของสายส่ง	44.25	2.1495	2.1495	44.2500	0.0000
60% ของสายส่ง	53.10	2.1798	2.1199	53.1985	0.0985
70% ของสายส่ง	61.95	2.2093	2.0897	62.1172	0.1672
80% ของสายส่ง	70.80	2.2396	2.0602	71.0507	0.2507
90% ของสายส่ง	79.65	2.2686	2.0301	79.8798	0.2298
ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน (km)					0.1808

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ระบุตำแหน่งฟ้าผ่าโดยเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ลำดับที่ 3

การระบุตำแหน่งฟ้าผ่าโดยวิธีดังกล่าว ได้จากเวลาที่ตรวจพบคลื่นฟ้าผ่าที่ปลายของ ด้านสายส่งทั้งสอง โดยค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 ได้จากการแปลงเวฟเล็ด สเกลที่ 1 สามารถคำนวณระบุตำแหน่งฟ้าผ่าจากสมการที่ 4.8

$$d = \frac{L \times t_{\text{diff RY2}}}{t_{\text{diff RY2}} + t_{\text{diff CT}}} \quad (4.8)$$

โดย

$$t_{\text{diff RY2}} = \frac{|t_{3\text{rd RY2}} - t_{1\text{st RY2}}|}{2} \quad (4.9)$$

และ

$$t_{\text{diff CT}} = \frac{|t_{3\text{rd CT}} - t_{1\text{st CT}}|}{2} \quad (4.10)$$

เมื่อ

d = ระยะทางจากจุดที่เกิดฟ้าผ่าวัดจากปลายสายส่งด้านส่งหรือแหล่งจ่าย (km)

L = ความยาวของสายส่ง (km)

$t_{\text{diff RY2}}$ = ผลต่างของเวลาที่ยอดคลื่นฟ้าผ่าลำดับที่ 3 กับลำดับที่ 1 มาถึงปลายสายส่ง ด้านส่ง (s)

$t_{\text{diff CT}}$ = ผลต่างของเวลาที่ยอดคลื่นฟ้าผ่าลำดับที่ 3 กับลำดับที่ 1 มาถึงปลายสายส่ง ด้านรับ (s)

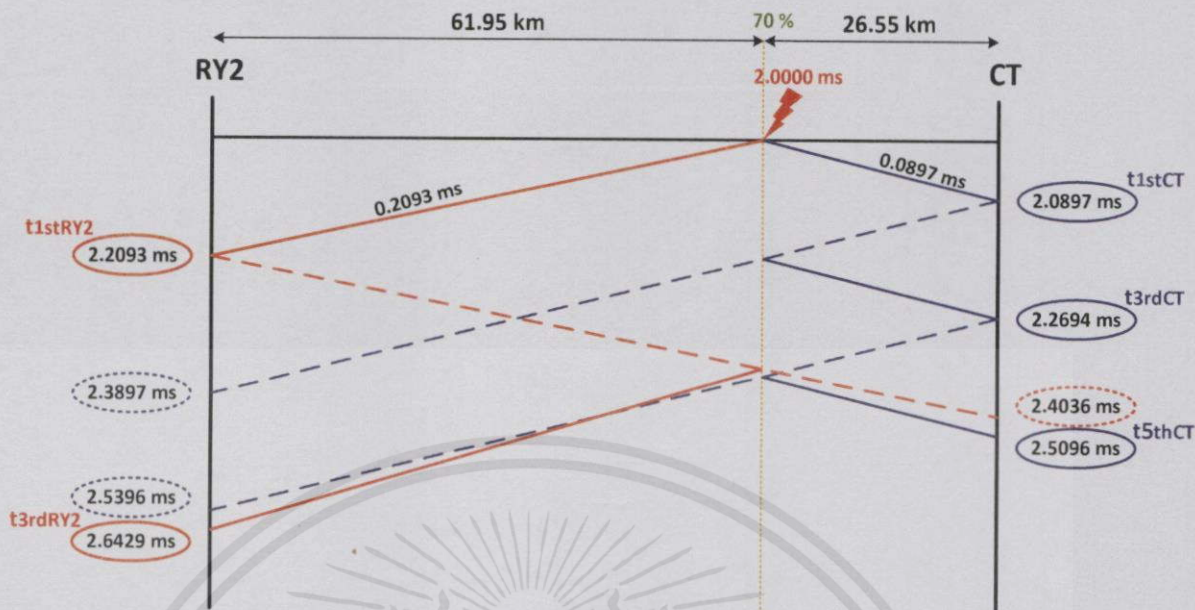
$t_{1\text{st RY2}}$ = เวลาที่คลื่นฟ้าผ่ามาถึงปลายสายส่งด้านส่งของค่ายอดคลื่นลำดับที่ 1 (s)

$t_{1\text{st CT}}$ = เวลาที่คลื่นฟ้าผ่ามาถึงปลายสายส่งด้านรับของค่ายอดคลื่นลำดับที่ 1 (s)

$t_{3\text{rd RY2}}$ = เวลาที่คลื่นฟ้าผ่ามาถึงปลายสายส่งด้านส่งของค่ายอดคลื่นลำดับที่ 3 (s)

$t_{3\text{rd CT}}$ = เวลาที่คลื่นฟ้าผ่ามาถึงปลายสายส่งด้านรับของค่ายอดคลื่นลำดับที่ 3 (s)

เพื่อความเข้าใจถึงการระบุตำแหน่งฟ้าผ่าโดยวิธีใช้เวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอด คลื่นลำดับที่ 3 จะอธิบายอย่างง่ายถึงการระบุตำแหน่งฟ้าผ่าจากกรณีเช่นเดียวกับตัวอย่างโดยวิธี ความเร็วคลื่นเดินทาง นั่นคือ เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบแรงจ่ายแรงดัน 115 กิโลโวลต์ มุมเริ่มต้น แหล่งจ่ายแรงดันสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา สายส่งยาว 88.5 กิโลเมตร เกิดฟ้าผ่าขนาด 20 กิโล แอมแปร์ ที่สายเฟส A ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง (61.95 กิโลเมตร) และค่าความ ต้านทานดิน 10 โอห์ม ซึ่งจากการตรวจจับค่าเวลาที่พบกระแสสูงสุดที่สถานีทั้งสอง จากนั้นเมื่อนำเข้า สู่อุปกรณ์แปลงเวฟเล็ดจะได้ค่าเวลาที่ใช้ในการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า นั่นคือ ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ยอดคลื่นลำดับที่ 3 วิเคราะห์เขียนเป็นแผนภาพคุณลักษณะการสะท้อนของคลื่น เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ ตำแหน่ง 70% ของสายส่งได้ดังรูป 4.34



รูปที่ 4.34 แผนภาพคุณลักษณะการสะท้อนของคลื่น เมื่อเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 70% ของสายส่ง จากแผนภาพได้ค่าต่างๆ ที่นำมาใช้ระบุตำแหน่งดังนี้

$L = 88.5 \text{ km}$

$t_{1st\ RY2} = 0.0022093 \text{ s}$

$t_{1st\ CT} = 0.0020897 \text{ s}$

$t_{3rd\ RY2} = 0.0026429 \text{ s}$

$t_{3rd\ CT} = 0.0022694 \text{ s}$

เมื่อ

$$t_{diff\ RY2} = \frac{|0.0026429 - 0.0022093|}{2}$$

$t_{diff\ RY2} = 0.0002168 \text{ s}$

และ

$$t_{diff\ CT} = \frac{|0.0022694 - 0.0020897|}{2}$$

$t_{diff\ CT} = 0.00008985 \text{ s}$

ดังนั้น

$$d = \frac{(88.5 \times 0.0002168)}{0.00002168 + 0.00008985}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$d = 62.5691 \text{ km}$

นั่นคือ ตำแหน่งฟ้าผ่าที่ระบุได้ คือระยะ 62.5691 กิโลเมตร ห่างจากสถานีระยอง RY2 (ด้านส่ง) ซึ่งสามารถหาค่าความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริงได้ตามสมการที่ 4.7

$$\begin{aligned} \text{ตำแหน่งคลาดเคลื่อน} &= | \text{ตำแหน่งจริง} - \text{ตำแหน่งทดลอง} | \\ &= | 61.9500 - 62.5691 | \\ &= 0.6191 \text{ km} \end{aligned}$$

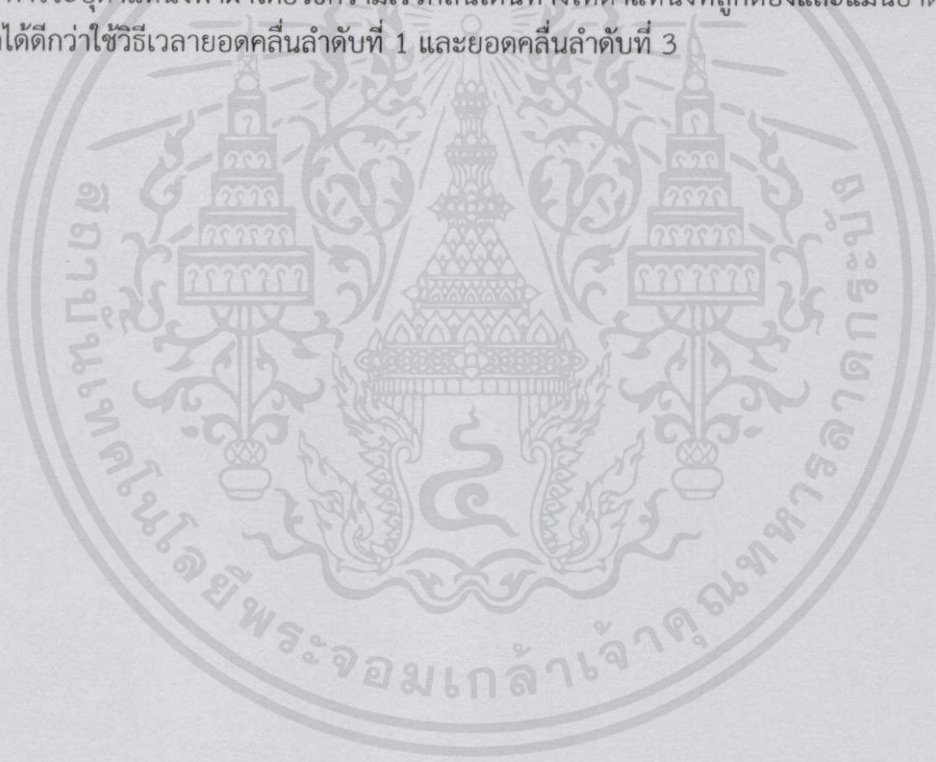
ตำแหน่งฟ้าผ่าที่ระบุได้มีความคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งจริงเป็นระยะ 0.6191 กิโลเมตร หรือ 619.1 เมตร โดยตำแหน่งที่ระบุได้เมื่อวัดจากปลายสายส่งของสถานี RY2 (ด้านส่ง) นั้นจะระบุได้ก่อนตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าจริง ซึ่งถือได้ว่าวิธีระบุตำแหน่งโดยใช้วิธีเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 สามารถระบุตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าได้แม่นยำ ดังนั้น การระบุตำแหน่งฟ้าผ่าจากกรณีเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่งต่างๆ สามารถแสดงค่าตำแหน่งที่ระบุได้จากการคำนวณและค่าตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งจริง ได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ตำแหน่งฟ้าผ่าที่ระบุได้โดยวิธีค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 จากกรณีที่ 2 ตำแหน่งฟ้าผ่าเปลี่ยนแปลง

ตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่า	ตำแหน่งจริง (km)	Time of arrival RY2		Time of arrival CT		ตำแหน่งคำนวณ (km)	คลาดเคลื่อน (km)
		$t_{1st_{RY2}}$ (ms)	$t_{3rd_{RY2}}$ (ms)	$t_{1st_{CT}}$ (ms)	$t_{3rd_{CT}}$ (ms)		
10% ของสายส่ง	8.85	2.0299	2.0899	2.2695	2.8700	8.0394	-0.8106
20% ของสายส่ง	17.70	2.0601	2.1748	2.2396	2.7188	17.0920	-0.6080
30% ของสายส่ง	26.55	2.0897	2.2700	2.2093	2.6282	26.6298	0.0798
40% ของสายส่ง	35.40	2.1199	2.3632	2.1795	2.5390	35.7201	0.3201
50% ของสายส่ง	44.25	2.1495	2.4498	2.1495	2.4498	44.2500	0
60% ของสายส่ง	53.10	2.1798	2.5529	2.1199	2.3593	53.9091	0.8091
70% ของสายส่ง	61.95	2.2093	2.6429	2.0897	2.2694	62.5691	0.6191
80% ของสายส่ง	70.80	2.2396	2.7216	2.0602	2.1798	70.9059	0.1059
90% ของสายส่ง	79.65	2.2686	2.8096	2.0301	2.0898	79.7045	0.0545
ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน (km)							0.3786

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งฟ้าผ่าที่ระบุได้แสดงดังตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10 ซึ่งตารางที่ 4.9 นั้นเป็นตำแหน่งฟ้าผ่าที่ระบุได้โดยวิธีความเร็วคลื่นเดินทาง และจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ระบบสายส่งแรงดันสูง 115 กิโลโวลต์ มีความเร็วคลื่นเดินทางในสายส่งเท่ากับ 298,782 กิโลเมตรต่อวินาที (km/s) เมื่อนำค่าดังกล่าวมาวิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่งฟ้าผ่าจากกรณีที่ 2 กรณีเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่งต่างๆ ได้แก่ 10%, 20%, 30%, 40% 50%, 60%, 70%, 80% และ 90% ของความยาวของสายส่ง และจากตารางดังกล่าวแสดงค่าตำแหน่งที่ระบุได้ของตำแหน่งฟ้าผ่าต่างๆ จากวิธีความเร็วคลื่นเดินทาง พบว่ามีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.1808 กิโลเมตร หรือ 180.8 เมตร นอกจากวิธีความเร็วคลื่นเดินทางแล้ว ตารางที่ 4.10 ยังแสดงถึงตำแหน่งฟ้าผ่าที่ระบุได้โดยใช้ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 พบว่ามีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.3786 กิโลเมตร หรือ 378.6 เมตร ซึ่งทั้งสองวิธีให้ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 1 กิโลเมตร ถือได้ว่าค่าดังกล่าวอยู่ในระดับที่ยอมรับได้นั้นแสดงถึงการระบุตำแหน่งมีความแม่นยำและถูกต้อง หากแต่ความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งโดยวิธีความเร็วคลื่นเดินทางจะมีค่าน้อยกว่าวิธีใช้ค่าเวลายอดคลื่นที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 สรุปได้ว่า การระบุตำแหน่งฟ้าผ่าโดยวิธีความเร็วคลื่นเดินทางให้ตำแหน่งที่ถูกต้องและแม่นยำต่อตำแหน่งฟ้าผ่าได้ดีกว่าใช้วิธีเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการจำลองวงจรส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ระยะทาง 88.5 กิโลเมตร และจ่ายโหลดขนาด 30 เมกะโวลต์แอมแปร์ด้วยโปรแกรม ATPDraw เพื่อทำการศึกษาการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า โดยขั้นตอนการวิเคราะห์นี้แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนการจำลองการเกิดฟ้าผ่า โดยทำการจำลองเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆ จำนวน 7 กรณี โดยผลของการจำลองพบว่า มีเพียงการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าเท่านั้น ที่ส่งผลต่อเวลาสูงสุดที่ตรวจจับ ดังนั้นจึงนำกรณีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งฟ้าผ่าเพียงกรณีเดียวมาคำนวณเพื่อหาตำแหน่งฟ้าผ่าในขั้นตอนต่อไป

2. เมื่อทราบข้อมูลด้านเวลาที่เกิดยอดคลื่นสูงสุดจากโปรแกรม ATPDraw แล้ว นำทฤษฎีการแปลงคลาร์กและทฤษฎีการแปลงเวฟเล็ตมาประยุกต์ใช้ เพื่อตรวจจับค่าเวลาให้มีค่าถูกต้องมากขึ้น เนื่องจากเป็นระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 3 เฟส ค่าเวลาที่ตรวจจับได้นี้ อาจไม่ใช่เวลาที่เป็นผลจากเฟสที่โดนฟ้าผ่าโดยตรง ซึ่งหากนำไปคำนวณหาตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่า จะเกิดค่าความคลาดเคลื่อนโดยผลการคำนวณตำแหน่งฟ้าผ่าจากเวลาดังกล่าว แสดงไว้ในภาคผนวก ง. จะเห็นว่ามีความคลาดเคลื่อนเป็นไปตามที่ตั้งสมมติฐานไว้ ดังนั้นจึงนำค่าเวลาที่ได้จากการจำลองมาผ่านการแปลงเวฟเล็ตก่อน เพื่อให้ได้ค่าเวลาที่ถูกต้องมากขึ้น

3. เมื่อทำการแปลงเวฟเล็ตแล้ว จะทราบค่าเวลาที่ยอดคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 จากนั้นจึงนำค่าเวลาไปคำนวณหาตำแหน่งฟ้าผ่า โดยในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้วิธีในการคำนวณ 2 วิธี เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า วิธีที่ 1 คือการระบุตำแหน่งฟ้าผ่าโดยความเร็วคลื่นเดินทาง และวิธีที่ 2 คือการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า โดยเวลายอดคลื่นลำดับที่หนึ่งและลำดับที่สาม จากการจำลองการเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่งต่างๆ ของสายส่ง

จากผลการจำลองพบว่าวิธีที่ 1 การระบุตำแหน่งฟ้าผ่า โดยความเร็วคลื่นเดินทาง ในกรณีที่เกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 10% จะมีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดคือ -0.3941 กิโลเมตร หรือตำแหน่งฟ้าผ่ามีค่ามากกว่าความจริง 0.3941 กิโลเมตร และเมื่อเปลี่ยนตำแหน่งฟ้าผ่าไปที่ 20% ของสายส่ง ค่าความคลาดเคลื่อนจะลดลง โดยมีค่าเท่ากับ -0.2657 กิโลเมตร ซึ่งหมายความว่าตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าความจริง 0.2657 กิโลเมตร ซึ่งจะมีแนวโน้มเช่นนี้ไปจนกระทั่ง ณ ตำแหน่งฟ้าผ่าที่ 50% ของสายส่ง ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับ 0 กิโลเมตรหรือไม่มีค่าความคลาดเคลื่อน และเมื่อตำแหน่งเปลี่ยนไปเป็นที่ ฟ้าผ่าตำแหน่ง 60% ของสายส่งจะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนจะมีค่าใกล้เคียงกับตำแหน่งฟ้าผ่าที่ 40% ของสายส่ง โดยวิธีที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.1808 กิโลเมตร

จากผลการจำลองพบว่าวิธีที่ 2 ณ ตำแหน่งฟ้าผ่า 10% ของสายส่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือเท่ากับ -0.8106 กิโลเมตร หรือ มีค่าตำแหน่งที่มากกว่าความจริง 0.8106 กิโลเมตร และค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งฟ้าผ่าที่ 90% ของสายส่งมีค่าน้อยที่สุด คือเท่ากับ 0.0545 กิโลเมตร หรือมีค่าตำแหน่งน้อยกว่าความจริง 0.0545 กิโลเมตร และไม่มีค่าความ

คลาดเคลื่อนเลยที่ตำแหน่งฟ้าผ่า 50% ของสายส่ง โดยวิธีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.3786 กิโลเมตร

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า วิธีที่ 1 การระบุตำแหน่งฟ้าผ่า โดยความเร็วคลื่นเดินทาง มีประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งฟ้าผ่ามากกว่าวิธีที่ 2 เพราะแม้ว่าวิธีที่ 2 จะใช้ค่าเวลายอดคลื่นลำดับแรก ที่เห็นได้ชัดในการคำนวณ แต่ก็ยังใช้ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 ซึ่งมีขนาดเล็กและไม่ชัดเจนร่วมด้วย ส่งผลให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนที่มากกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นแต่ละครั้ง ขนาดของหน้าคลื่นจะไม่เท่ากัน ซึ่งในการศึกษาทำการศึกษาเพียงหน้าคลื่นมาตรฐานของการเกิดฟ้าผ่า ($1.2/50 \mu\text{s}$) เท่านั้น ซึ่งหากหน้าคลื่นเปลี่ยนแปลงไป อาจส่งผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่าได้ ดังนั้นในการศึกษาต่อไปควรทำการศึกษามวลของหน้าคลื่นฟ้าผ่าด้วย

2. เนื่องจากเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ที่ใช้ในการคำนวณตำแหน่งฟ้าผ่าโดยวิธีที่ 2 ได้จากการการสังเกตกราฟด้วยสายตา ซึ่งอาจทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อน ดังนั้นในการศึกษาต่อไป ควรที่จะมีวิธีการในการตรวจจับเวลายอดคลื่น เพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำและถูกต้องมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำรวย สังข์สะอาด, “วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง”, กรุงเทพมหานคร, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์, 2528
- [2] Armstrong.H.R, Whitehead.E.R., “Field and Analytical Studies of Transmission Line Shielding”, IEEE Transactions. On Power Apparatus and Systems., Vol.PAS-104, No.1, pp.270-281, 1968
- [3] IEEE Working Group, “A Simplified Method for Estimating Lightning Performance of Transmission Lines”, IEEE Transactions. On Power Apparatus and System., Vol.PAS-104, No.4, pp.919-932, 1985
- [4] Eriksson, A.J, “The Incidence of Lightning Strikes to Transmission Line”, IEEE Transactions. On Power Delivery., pp.859-870, July 1987
- [5] IEEE Working Group, “Estimating Lightning Performance of Transmission Lines II Updates to Analytical Models”, IEEE Transactions. On Power Delivery., Vol.8, No.3, pp.1254-1267, July 1993
- [6] William Rison, Charles B.Moore, Graydon D.Aulich, “Lightning Air Terminals-Is Shape Important?”, Electromagnetic Compatibility, 2004.,International Symposium on Volume 1, 9-13 Aug, 2004
- [7] IEC 60-1, High Voltage Test Techniques-Past2:Measuring System., 1994-11.
- [8] ภาธร สิริจันทร์สว่าง, ณัฐพงศ์ สุวรรณโชติ, เวทรินทร์ ธัญสิประเสริฐ, นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ, “การประเมินสมรรถนะฟ้าผ่าในระบบจำหน่าย 24 kV”, บทความวิจัยการประชุมเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่5,2556
- [9] IEEE Std. C62.22., “IEEE Guide for the Application of Metal-Oxide Surge Arresters for Alternating-Current Systems”, 1997
- [10] คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, “มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ .ศ.2556”, พิมพ์ครั้งที่ 2 , กรกฎาคม, 2557
- [11] Leonid Grcev, “On High-Frequency Circuit Equivalents of a Vertical Ground Rod,” IEEE Transactions On Power Delivery., VOL. 20, NO. 2, April 2005
- [12] P. N. Mikropoulos and T. E. Tsovilis, “Estimation of the Shielding Performance of Overhead Transmission Lines: The Effects of Lightning Attachment Model and Lightning Crest Current Distribution”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. Vol. 19, No. 6, December 2012
- [13] T. Suzuki, K. Miyake and T. Shindo, “Discharge path model in model test of lightning strokes to tall mast”, IEEE Transactions On Power Apparatus and System., Vol. 100, pp. 3553-3562, 1981
- [14] A. Borghetti, C. A. Nucci, and M. Paolone, “Estimation of the statistical distributions of lightning current parameters at ground level from the data recorded by instrumented towers”, IEEE Transactions On Power Delivery., Vol. 19, pp. 1400-1409, 2004

- [15] J. G. Anderson, *Transmission Line Reference Book – 345 kV and Above*, 2nd ed. Palo Alto, CA: **Electric Power Research Institute.**, ch. 12., 1982
- [16] A. J. Eriksson, “An improved electrogeometric model for transmission line shielding analysis”, *IEEE Transactions On Power Delivery.*, Vol. 2, pp. 871-886, 1987
- [17] H. R. Armstrong and E. R. Whitehead, “Field and analytical studies of transmission line shielding”, *IEEE Transactions On Power Apparatus and System.*, Vol. 87, pp. 270-281, 1968
- [18] C. F. Wagner and A. R. Hileman, “The lightning stroke-II”, *AIEE Transactions On Power Apparatus and System.*, Vol. 80, pp. 622-642, 1961
- [19] A. M. Mousa and K. D. Srivastava, “A revised electrogeometric model for the termination of lightning strokes on ground objects”, *International. Aerospace and Ground Conference. Lightning and Static Electricity.*, Oklahoma City, OK, USA, pp. 324-352, 1988
- [20] R. H. Golde, “Lightning Protection”, London U.K., *Academic Press.*, Vol. 2, pp.545-564, 1977
- [21] Jun Takami, “Observational Results of Lightning Current on Transmission Towers”, *IEEE Transactions On Power Delivery.*, Vol. 22, No. 1, January 2007
- [22] C. Yao, H. Wu, Y. Long, Y. Mi, “A Novel Method to Locate a Fault of Transmission Lines by Shielding Failure”, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation.*, Vol. 21, No. 4, August 2014
- [23] S. Chen, J. Hu, B. Zhang, Y. Yin, M. Hua, “Discussion on Tower Shunt Coefficient of UHV DC Transmission Line under Lightning Stroke”, *International Conference on Lightning Protection.*, pp. 1983-1986, 2014.
- [24] G. Ling, Y. Jun, L. Jie, Y. Guohua, X. Mingxin, “Intellegent Lightning Monitoring System for Wind Turbine Generator”, *International Conference on Lightning Protection.*, pp. 606-613, 2014.
- [25] K.L. Cummins, M.J. Murphy, “An Overview of Lightning Locating Systems: History, Techniques, and Data Uses, With an In-Depth Look at the U.S. NLDN”, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility.*, Vol. 51, No. 3, pp. 499-518, 2009.
- [26] A.R. de Paiva, M.M.F. Saba, K.P. Naccarato, M.A. da Silva Ferro, T.A. Warner, “Detection of Upward Lightning by Lightning Location Systems”, *International Conference on Lightning Protection.*, pp. 1824-1826, 2014.
- [27] N. Honma, Y. Hongo, N. Suzuki, T. Konno, “Comparison of Tohoku LLS Data and Lightning Current Waveforms in Winter”, *International Conference on Lightning Protection.*, pp. 1661-1670, 2014.
- [28] Z. Yang, S. Jiang, “Design of Lightning Detection System Based on ARM”, *International Conference on Lightning Protection.*, pp. 346-350, 2014.

- [29] V. March, J. Montanya, N. Pineda, "Negative lightning current parameters and detection efficiency for two operational LLS in Catalonia (NE Spain)", **International Conference on Lightning Protection.**, pp. 966-973, 2014.
- [30] K. L. Cummins, E. P. Krider, and M. D. Malone, "The US National Lightning Detection Network™ and applications of cloud-to-ground lightning data by electric power utilities," **Electromagnetic Compatibility IEEE Transactions.**, Vol. 40, No. 4, pp. 465-480, 1998.
- [31] K. L. Cummins, "A review of lightning information for power systems analysis," in 2003 **IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition.** (IEEE Cat. No.03CH37495), 2003, vol. 3, pp. 1072-1076.
- [32] J. Takami, S. Okabe, E. Zaima, "Study of Lightning Surge Overvoltages at Substations Due to Direct Lightning Strokes to Phase Conductors", **IEEE Transactions on Power Deliver.**, Vol. 25, No. 1, pp. 425-433, 2010.
- [33] J. Sadeh, Member, Y. Damchi, "Maximum Lightning Overvoltage Location and Reliability Indices in Power System with Combined Transmission Line", 2010 **IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America**
- [34] Zhao Nan Luo, Xiang Cui, Zhibin Zhao, Lei Liu, "Measurement and Analysis of the Frequency Response Characteristics of Lightning Location System", **Automation Congress.**, 2008. WAC 2008. World, 28 September 2008-2 October 2008
- [35] R. Das, M.S. Sachdev and T.S. Sidhu, "A fault locator for radial Subtransmission and distribution lines", **Proceeding of the IEEE/PES SM**, Vol.1, Seattle, WA, Jul.2000, pp.443-448
- [36] E.A. Mohamed and N.D.Rao, "Artificial neural network based fault diagnostic system for electric power distribution feeders", **Electric Power Systems Research** 35, 1995, pp.1-10
- [37] R.Salat and S.Osowski, "Accurate fault location in the power transmission line using support vector machine approach", **IEEE Transaction Power Systems.**, Vol.19, No.2, May 2004, pp.979-986
- [38] Zhang Jin and He Renmu, "A new algorithm of improving fault location based on SVM", **Developments in Power System Protection**, 2004, Eight IEEE International
- [39] Chowdhuri, P., "Parameters of Lightning Strokes and Their Effect on Power Systems", **IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition** , November 2001, Vol.2, pp.1047-1417
- [40] IEEE working Group on The Insulation Coordination, "IEEE Guide for The Application of Insulation", IEEE Standand 1313.2-1999, June
- [41] Kaygusuz, A., Salih, M.M. and Akin, E., "s-Domain Analysis of Lightning Surge Response of a Transmission Tower with Phase Conductors", **International Conference on Power Systems Transients, IPST 2003**, New Orleans, Louisiana, USA, 28 September - 2 October, 2003, pp.1-10

- [42] Manual, Laszlo Prikler, Hans Kr. Hoidalen, "ATPDraw for Windows 3.1x/95NT Version 1.0" , 1998
- [43] ปิโยรส เอกจิตร, สิทธิรัตน์ บุญประกอบ, "การศึกษาใช้งานโปรแกรมATPDrawเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541
- [44] Jordan C. A., "Lightning computation for transmission line with overhead ground wires." *General Electric review.*, 1934, Vol. 37: 130-137
- [45] C.F. Wagner, A.R. Hileman, "A new approach to the calculation of lightning performance of transmission line", *AIEE Transactions.*, 1960, Vol.79: 589-603
- [46] Michael A. Sargent and Mat Darveniza, "Tower surge impedance", *IEEE Transactions On Power Apparatus and System.*, Vol. PAS-88, No. 5, MAY 1969, pp. 680-687.
- [47] "Estimating Lightning Performance of Transmission Lines II Updates to Analytical models", *IEEE Working Group Report*, 92 SM 453-1 PWRD
- [48] "Guide to Procedure for Estimating the Lightning Performance of Transmission Lines", *CIGRE SC33-WG01 Report*, Oct. 1991
- [49] T. Yamada, A. Mochizuki, J. Sawada, E. Zaima, T. Kawamura, A. Ametani, M. Ishii and S. Kato, "Experimental evaluation of a UHV tower model for lightning surge analysis", *IEEE Transactions. on Power Delivery.*, Vol. 10, No. 1, January 1995, pp. 393-402.
- [50] Q.H. Wu, Z. Lu, T.Y. Ji., "Protective Relaying of Power Systems Using Mathematical Morphology", London, New York: Springer, 2009
- [51] เชาว์วัฒน์ อภิสิทธิ์. (2554), "การประยุกต์การแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วยสำหรับวิเคราะห์ฟอลต์ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าใต้ดิน", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การระบุตำแหน่งฟ้าผ่าในระบบส่งกำลังไฟฟ้าโดยใช้การแปลงเวฟเล็ดแบบเต็มหน่วย

Lightning Location in Transmission system using Discrete wavelet Transform

พรายกนก เลิศวิชโรจน์¹ พัชรภรณ์ เกษทรานันท์¹ และ พิมพ์สิริ อิทธิเสถียรกุล¹

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: prailkanok@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้เป็นการศึกษาคุณลักษณะของกระแสเมื่อเกิดฟ้าผ่าลงบนสายส่ง เพื่อนำไปสู่การระบุตำแหน่งฟ้าผ่า โดยขั้นแรกทำการคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 115 กิโลโวลต์ หลังจากนั้นทำการจำลองการเกิดฟ้าผ่าลงบนเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงโดยใช้โปรแกรม ATPDraw ด้วยโมเดลเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงแบบมัลติสตอรี ที่หน้าคลื่นเท่ากับ 1.2/50 ไมโครวินาที โดยในบทความนี้ทำการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่า จากนั้นนำทฤษฎีการแปลงเวฟเล็ดและทฤษฎีความเร็วคลื่นเดินทางมาใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งฟ้าผ่า ทำการเปรียบเทียบวิธีการคำนวณหาตำแหน่งฟ้าผ่าระหว่างวิธีที่ 1 โดยใช้ความเร็วคลื่นเดินทาง และ วิธีที่ 2 โดยใช้ค่าออกคลื่นลำดับที่หนึ่งและสาม พบว่าจากค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 เท่ากับ 0.1808 กิโลเมตร, 0.3786 กิโลเมตร ตามลำดับ ซึ่งจากค่าดังกล่าวแสดงได้ว่าวิธีที่ 1 สามารถระบุตำแหน่งฟ้าผ่าได้แม่นยำกว่าวิธีที่ 2

คำสำคัญ: แบบจำลองเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงแบบมัลติสตอรี, การแปลงเวฟเล็ด, ความเร็วคลื่นเดินทาง, ตำแหน่งฟ้าผ่า

Abstract

This paper study about characteristic of current when lightning striking occur in transmission line use to locate lightning point. First step is to calculate the impedance of high-voltage transmission towers at voltage levels 115 kV. Then simulated lightning striking occur on high-voltage transmission towers by using a Multistory model, using wave front is 1.2/50 microsecond, in ATP program. Do the simulate in 7 cases by variable a parameter. In this paper is offer a case of lightning strike at 70% of transmission line. The wavelet transforming and the traveling wave theory are used to calculate the position of lightning. The traveling wave method and the first and third maximums of time are used to calculate for the approximate point of lightning strikes. Subsequently, the best results are compared

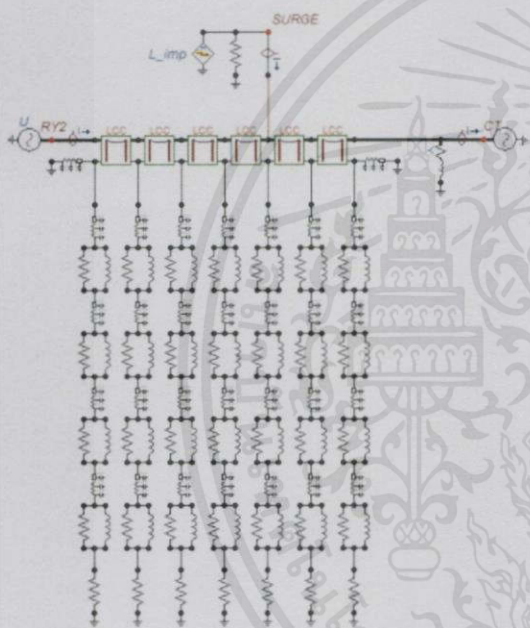
1. บทนำ

บทความฉบับนี้ได้ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคำนวณตำแหน่งฟ้าผ่า ระหว่างวิธีการคำนวณโดยความเร็วคลื่นเดินทางและวิธีใช้เวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 จากการศึกษาจะทราบพฤติกรรมของกระแสและตัวแปรที่มีผลต่อระบบไฟฟ้าเมื่อเกิดฟ้าผ่า ซึ่งเหตุการณ์ฟ้าผ่านั้นเป็นเหตุการณ์ทางธรรมชาติที่ไม่สามารถหยุดยั้งได้ โดยส่วนมากนั้นจะเกิดฟ้าผ่าลงบนสายล่อฟ้า ส่วนฟ้าผ่าลงบนสายเฟสนั้นถึงแม้จะมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยแต่หากเกิดขึ้นแล้วจะสร้างความเสียหายอย่างมาก แก่ชีวิตและทรัพย์สิน เช่น เหตุการณ์ฟ้าผ่าลงสายเฟสที่ส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสู่ภาคใต้ของประเทศไทย ได้สร้างความเสียหายและเดือดร้อนเป็นวงกว้าง เป็นต้น โดยที่ผ่านมามีผู้ที่ทำการศึกษาฟ้าผ่าลงบนโครงสร้างและสายล่อฟ้าจำนวนมาก [1-3] แต่การศึกษาเรื่องฟ้าผ่าลงบนสายเฟสยังมีน้อย อีกทั้งยังพบว่าวิธีการแปลงฟูเรียร์เหมาะในการวิเคราะห์สัญญาณแบบไซนูซอยด์, สัญญาณที่มีคาบเวลา และสัญญาณแบบนิ่ง นอกจากนี้การแปลงฟูเรียร์นั้นสามารถตรวจจับได้เฉพาะย่านความถี่เท่านั้น[4] เช่นเดียวกับการแปลงลาปลาซที่สามารถตรวจจับได้เฉพาะความถี่ [5] หากแต่วิธีการแปลงเวฟเล็ดนั้นสามารถตรวจจับเวลาและย่านความถี่ได้ โดยมีผู้ทำการศึกษาโดยนำวิธีการแปลงเวฟเล็ดมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับฟอลต์ [6] ดังนั้นบทความนี้จึงทำการศึกษาและนำเสนอผลการจำลองเหตุการณ์ฟ้าผ่าลงบนสายเฟสที่ตำแหน่งต่างๆของสายส่ง โดยขั้นแรกทำการศึกษาโครงสร้างระบบไฟฟ้าและวงจรสมมูลของเสาไฟฟ้า [7] ที่ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เพื่อใช้ในการจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ATPDraw ผลการจำลองจะได้ค่าเวลาสูงสุดที่ตรวจจับได้ที่ฝั่งปลายของสายทั้งสองด้าน เนื่องจากระบบที่ทำการจำลองเป็นระบบ 3 เฟส ค่าเวลาที่ตรวจจับได้อาจไม่ได้เกิดจากเฟสที่โดนฟ้าผ่าโดยตรง ซึ่งหากนำไปคำนวณตำแหน่ง จะทำให้เกิดความผิดพลาด ดังนั้นจึงนำทฤษฎีการแปลงคลาร์กมาประยุกต์ เพื่อทำการรวมกระแสทั้ง 3 เฟสเข้าด้วยกัน และนำไปแปลงเวฟเล็ด ซึ่งเป็นการแยกย่านความถี่สูงออกจากย่านความถี่ต่ำ โดยเมื่อเกิดฟ้าผ่าขึ้นจะมีผลในย่านความถี่สูง ดังนั้นจึงนำเอาทฤษฎีการแปลงเวฟเล็ดใช้เพื่อพิจารณาเฉพาะในย่านความถี่สูงเท่านั้น เพื่อให้ได้ค่าเวลาที่ถูกต้องมากขึ้น

และนำไปคำนวณหาตำแหน่งฟิวส์ต่อไป นอกจากนี้ในบทความนี้ ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคำนวณทั้งสองวิธี คือ วิธีระบุตำแหน่งฟิวส์ โดยความเร็วคลื่นเดินทาง [8] และวิธีระบุตำแหน่งฟิวส์ โดยเวลาชอคคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 [9]

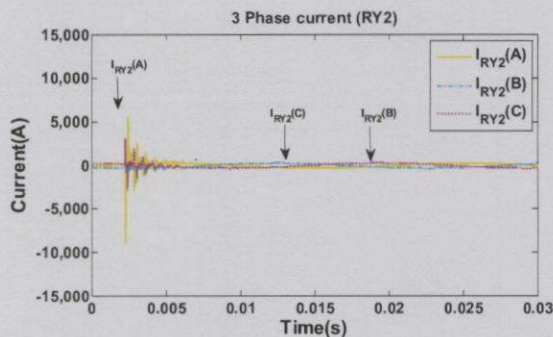
2. แบบจำลองของวงจรจำลองการเกิดฟ้าผ่า

กำหนดให้วงจรจำลองระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ที่มีสถานีด้านส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (RY2) ส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังสถานีด้านรับ (CT) พร้อมจ่ายโหลดขนาด 30 เมกะโวลต์แอมแปร์ โดยมีระยะทางเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร และความต้านทานดินเท่ากับ 10 โอห์ม จากข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปสร้างวงจรจำลองในโปรแกรม ATPDraw ได้ดังรูปที่ 1

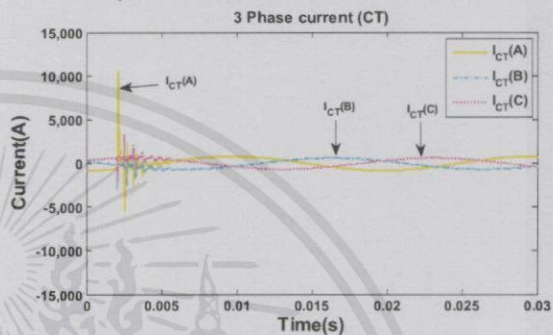


รูปที่ 1 แบบจำลองการเกิดฟ้าผ่าใน โปรแกรม ATPDraw

จากข้อมูลข้างต้นเมื่อทำการจำลองฟ้าผ่าที่ตำแหน่ง 70% ของสายส่งจากวงจรรูปที่ 1 จะได้กราฟรูปคลื่นกระแส 3 เฟส (เฟส A, เฟส B และเฟส C) ของสถานีด้านส่งและสถานีรับ ดังแสดงได้ในรูปที่ 2 และรูปที่ 3 ตามลำดับ



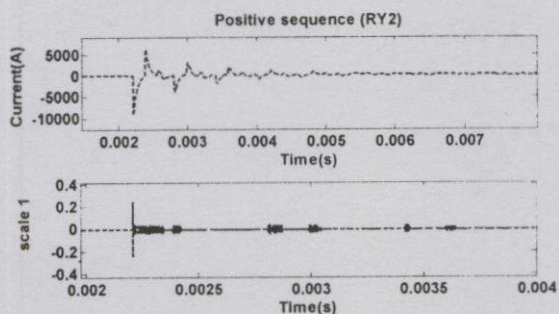
รูปที่ 2 คลื่นกระแสของสถานีด้านส่ง (RY2)



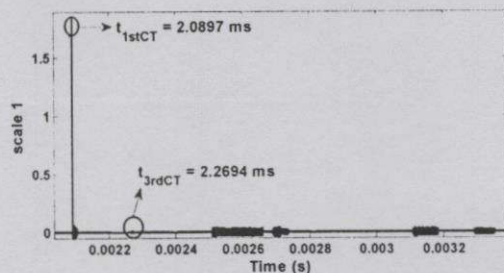
รูปที่ 3 คลื่นกระแสของสถานีด้านรับ (CT)

จากรูปที่ 2 ซึ่งแสดงกระแส 3 เฟสของสถานีด้านส่ง (RY2) พบว่ามีค่าแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ -9.0247 กิโลแอมแปร์ ที่เวลา 2.2193 มิลลิวินาที และจากรูปที่ 3 แสดงกระแส 3 เฟสของสถานีด้านรับ (CT) พบว่ามีค่าแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 10.5882 กิโลแอมแปร์ ที่เวลา 2.0959 มิลลิวินาที จากข้อมูลดังกล่าว จะเห็นได้ว่าการจำลองจากโปรแกรม ATPDraw นั้นสามารถตรวจพบขนาดกระแสสูงสุดและเวลาที่เกิดกระแสสูงสุดได้จากปลายทั้งสองของสาย หากแต่ไม่ได้ระบุขนาดของกระแสสูงสุดนั้น เป็นขนาดที่ตรวจวัดได้จากสายเฟสที่โดนฟ้าผ่าโดยตรงหรือไม่ ซึ่งอาจเป็นกระแสของเฟสอื่นได้ (เฟส B หรือเฟส C) หากนำไปคำนวณหาตำแหน่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงเหตุการณ์ดังกล่าว จึงนำทฤษฎีการแปลงคลาร์กและทฤษฎีการแปลงเวฟเคลื่อนมาประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าเวลาที่เกิดกระแสสูงสุดของเฟสที่โดนฟ้าผ่าจริง โดยใช้โปรแกรม MATLAB อีกทั้งยังนำทฤษฎีคลื่นเดินทางมาประยุกต์ร่วมเพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า ซึ่งรูปคลื่นของกระแส จากรูปที่ 2 เมื่อผ่านการแปลงแล้วจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 และรูปที่ 3 เมื่อผ่านการแปลงแล้วจะแสดงได้ดังรูปที่ 5

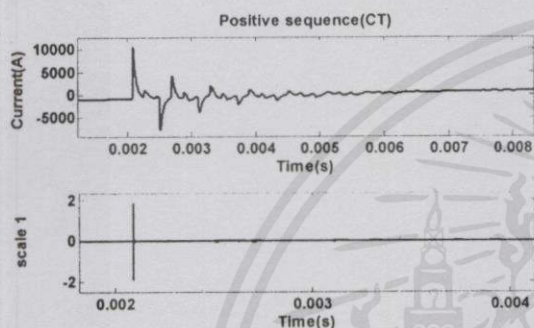
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 คลื่นกระแสลำดับบวกและกระแสเมื่อผ่านการแปลงเฟสที่เกิดที่ สกล ของสถานีด้านส่ง (RY2)

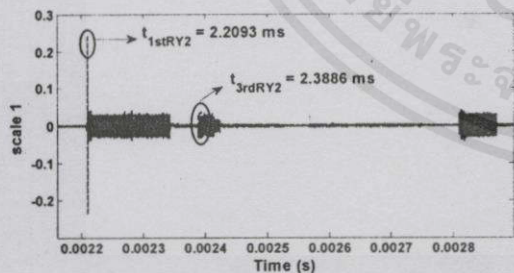


รูปที่ 7 คลื่นกระแสที่ผ่านการแปลงเฟสที่เกิดของสถานีด้านรับ (CT) ลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3



รูปที่ 5 คลื่นกระแสลำดับบวกและกระแสเมื่อผ่านการแปลงเฟสที่เกิดที่ สกล ของสถานีรับ (CT)

จากรูปที่ 4 และรูปที่ 5 แสดงรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้า ค่าแรงที่ 70% ของสายส่ง เมื่อผ่านการแปลงเฟสแล้ว จะสามารถทราบค่าเวลาที่ขดคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ซึ่งลักษณะของขดคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ของสถานีด้านส่ง (RY2) และสถานีด้านรับ (CT) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6 และรูปที่ 7 ตามลำดับ โดยค่า t_{1st} คือค่าเวลาของขดคลื่นลำดับที่ 1 และ t_{3rd} คือ ค่าเวลาของขดคลื่นลำดับที่ 3



รูปที่ 6 คลื่นกระแสที่ผ่านการแปลงเฟสที่เกิดของสถานีด้านส่ง (RY2) ลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3

3. การระบุตำแหน่งไฟฟ้า

เมื่อทราบค่าเวลาที่ขดคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 จากหัวข้อที่ผ่านมา สามารถนำไปใช้ในการคำนวณตำแหน่งไฟฟ้าได้ โดยในบทความฉบับนี้จะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการระบุตำแหน่งไฟฟ้า ระหว่างวิธีการระบุตำแหน่งไฟฟ้าโดยความเร็วคลื่นเดินทาง และวิธีการระบุตำแหน่งไฟฟ้าโดยเวลาขดคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3

วิธีที่ 1 ระบุตำแหน่งไฟฟ้า โดยความเร็วคลื่นเดินทาง (ที่ความถี่ 100 เมกะเฮิรตซ์ ความเร็วคลื่นเดินทางมีค่าเท่ากับ 298,782 กิโลเมตรต่อวินาที)

จาก
$$d = \frac{L \cdot v \times (t_{1stCT} - t_{1stRY2})}{2} \tag{1}$$

วิธีที่ 2 ระบุตำแหน่งไฟฟ้า โดยเวลาขดคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3

จาก
$$d = \frac{L \times t_{diff RY2}}{t_{diff RY2} + t_{diff CT}} \tag{2}$$

$$t_{diff RY2} = \frac{|t_{3rd RY2} - t_{1st RY2}|}{2} \tag{3}$$

$$t_{diff CT} = \frac{|t_{3rd CT} - t_{1st CT}|}{2} \tag{4}$$

เมื่อ: d = ระยะทางจากจุดที่เกิดไฟฟ้าอ้างอิงที่สถานีส่ง RY2 (กิโลเมตร, km)

L = ความยาวทั้งหมดของสายส่ง (กิโลเมตร, km)

v = ความเร็วคลื่นเดินทาง (กิโลเมตรต่อวินาที, km/s)

t_{1stRY2} = เวลาที่ตรวจพบกระแสไฟฟ้าสูงสุดเมื่อมาถึงปลายสายส่ง ด้านส่ง หรือ แหล่งจ่าย ลำดับที่ 1 (มิลลิวินาที, ms)

t_{3rdRY2} = เวลาที่ตรวจพบกระแสไฟฟ้าสูงสุดเมื่อมาถึงปลายสายส่ง ด้านส่ง หรือ แหล่งจ่าย ลำดับที่ 3 (มิลลิวินาที, ms)

t_{1stCT} = เวลาที่ตรวจพบกระแสไฟฟ้าสูงสุดเมื่อมาถึงปลายสายส่ง ด้านรับ หรือ โหลด (มิลลิวินาที, ms)

t_{3rdCT} = เวลาที่ตรวจพบกระแสไฟฟ้าสูงสุดเมื่อมาถึงปลายสายส่ง ด้านรับ หรือ โหลด (มิลลิวินาที, ms)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ในสื่ออื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสำนักพิมพ์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงที่มาของเอกสารทุกครั้งที่จะนำไปใช้

จากสมการที่ 1 และ 2 สามารถคำนวณตำแหน่งฟ้าผ่าได้ ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบตำแหน่งฟ้าผ่าฟ้าผ่าระหว่างวิธีที่ 1 และ 2

ตำแหน่ง 70% ของ สายส่ง	ด้านส่ง (RY2)		ด้านรับ (CT)		ตำแหน่ง (km)	ค่าความ ผิดพลาด
	r_{1m} (ms)	r_{3m} (ms)	r_{1m} (ms)	r_{3m} (ms)		
วิธีที่ 1	2.2093	2.3886	2.0897	2.2694	62.1172	0.1672
วิธีที่ 2	2.2093	2.3886	2.0897	2.2694	62.5691	0.6191

จากตารางที่ 1 พบว่า ตำแหน่งที่คำนวณได้จากวิธีที่ 1 โดยความเร็วเคลื่อนที่เดินทางนั้นจะแม่นยำมากกว่าวิธีที่ 2 โดยเวลาชดชดคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 และเมื่อพิจารณาการคำนวณตำแหน่งฟ้าผ่าที่ตำแหน่งอื่นๆ แสดงได้ในตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของวิธีที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.1808 กิโลเมตร และวิธีที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.3786 กิโลเมตร จากค่าดังกล่าวแสดงได้ว่าวิธีที่ 1 ระบุตำแหน่งฟ้าผ่าได้แม่นยำกว่าวิธีที่ 2

ตารางที่ 2 ตำแหน่งฟ้าผ่าที่ระบุได้ กรณีตำแหน่งฟ้าผ่าเปลี่ยนแปลง

ตำแหน่งที่เกิด ฟ้าผ่า	วิธีที่ 1		วิธีที่ 2	
	ตำแหน่ง (km)	คลาด เคลื่อน (km)	ตำแหน่ง (km)	คลาด เคลื่อน (km)
10% ของสายส่ง	8.4559	-0.3941	8.0394	-0.8106
20% ของสายส่ง	17.4343	-0.2657	17.0920	-0.6080
30% ของสายส่ง	26.3828	-0.1672	26.6298	0.0798
40% ของสายส่ง	35.3463	-0.0537	35.7201	0.3201
50% ของสายส่ง	44.2500	0	44.2500	0
60% ของสายส่ง	53.1985	0.0985	53.9091	0.8091
70% ของสายส่ง	62.1172	0.1672	62.5691	0.6191
80% ของสายส่ง	71.0507	0.2507	70.9059	0.1059
90% ของสายส่ง	79.8798	0.2298	79.7045	0.0545
ค่าเฉลี่ยความ คลาดเคลื่อน (km)	0.1808		0.3786	

4. สรุปผล

จากการศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า โดยอาศัยความเร็วเคลื่อนที่เดินทาง และใช้เวลาที่ชดชดคลื่นลำดับที่ 1 และลำดับที่ 3 ของวงจรส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ระยะทาง 88.5 กิโลเมตร และจ่ายโหลดขนาด 30 เมกะโวลต์แอมแปร์ ด้วยโปรแกรม ATPDraw โดยทำการจำลองให้เกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่งต่างๆ นำทฤษฎีการแปลงคลาร์กและทฤษฎีการแปลงเวฟเสด็จมาประยุกต์โดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อหาค่าเวลาที่เกิดกระแสสูงสุดจริง อีกทั้งยังนำทฤษฎีเคลื่อนที่เดินทางมาประยุกต์ร่วม เพื่อใช้ในการคำนวณตำแหน่งฟ้าผ่า ผลการจำลองพบว่า วิธีที่ 1 โดยใช้ความเร็ว

เคลื่อนที่เดินทางมีประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งฟ้าผ่ามากกว่าวิธีที่ 2 เนื่องจากใช้ค่าเวลาชดชดคลื่นลำดับแรก ซึ่งเห็นได้ชัดเจนมาใช้ในการคำนวณ และในวิธีที่ 2 นำเวลาชดชดคลื่นลำดับที่ 3 มาใช้คำนวณร่วม ซึ่งค่าเวลาชดชดคลื่นลำดับที่ 3 มีขนาดเล็กและไม่ชัดเจน จึงส่งผลให้เกิดค่าความผิดพลาดที่มากกว่า

อ้างอิง

- [1] P. N. Mikropoulos and T. E. Tsovilis, "Estimation of the shielding performance of overhead transmission lines: the effects of lightning attachment model and lightning crest current distribution," IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 19, no. 6, pp. 2155-2164, Dec. 2012.
- [2] Jun Takami, "Observational Results of Lightning Current on Transmission Towers," IEEE Trans. Power Del., vol. 22, no. 1, Jan 2007.
- [3] J. He, Y. Tu, R. Zeng, J. B. Lee, S. H. Chang, and Z. Guan, "Numerical analysis model for shielding failure of transmission line under lightning stroke," IEEE Trans. Power Del., Vol. 20, no. 2, pp. 815-822, Apr 2005.
- [4] C. Yao, H. Wu, Y. Long, Y. Mi, Y. Ma, Y. Shen, L. Wang, "A Novel Method to Locate a Fault of Transmission Lines by Shielding Failure", IEEE Trans. on Diel. and El., pp. 1573-1583, Aug 2014
- [5] Kaygusuz, A., Salih, M.M. and Akin, E., "s-Domain Analysis of Lightning Surge Response of a Transmission Tower with Phase Conductors", Int Conf on Power Sys Tran, IPST 2003, New Orleans, Louisiana, USA, 28 September - 2 October, 2003, pp.1-10
- [6] พงษ์ศักดิ์ มากมิ่ง. (2545). การวิเคราะห์ฟอลต์ในสายส่งด้วยการแปลงเวฟเสด็จ. วิทยานิพนธ์ วศ. ม., สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- [7] "Guide to Procedure for Estimating the Lightning Performance of Transmission Lines", CIGRE SC33-WG01 Report, Oct. 1991
- [8] Q.H. Wu, Z. Lu, T.Y. Ji., "Protective Relaying of Power Systems Using Mathematical Morphology", London, New York: Springer, 2009
- [9] เชาวัฒน์ อภิสิทธิ์. (2554). การประยุกต์การแปลงเวฟเสด็จแบบเต็มหน่วยสำหรับวิเคราะห์ฟอลต์ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าได้คิน. วิทยานิพนธ์ วศ. ม., สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.



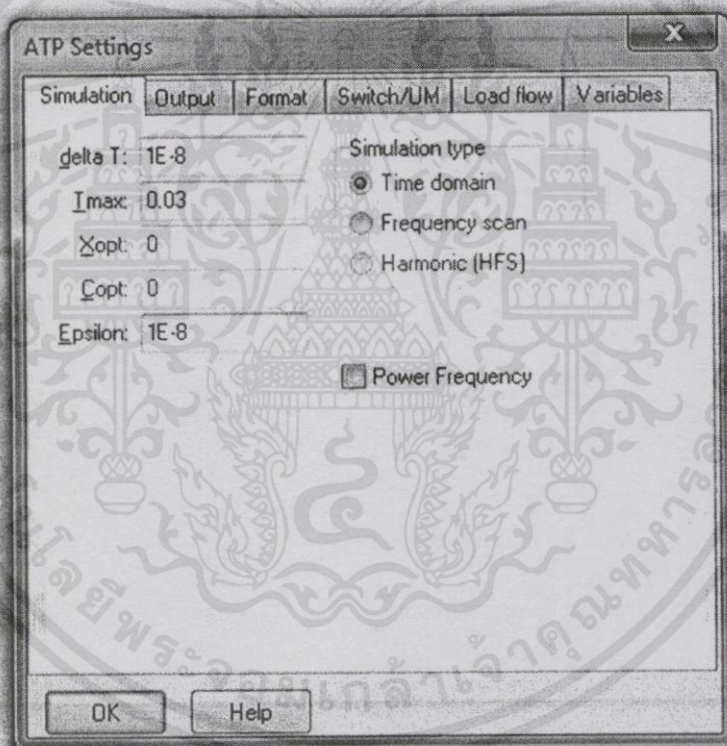
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้โปรแกรม ATPDraw ในการจำลองการเกิดฟ้าผ่าลงบนสายซึ่งเหนือศีรษะ

Alternative Transient Program – Electromagnetic Transient Program (ATP-EMTP) โปรแกรมนี้ถูกใช้อย่างแพร่หลายในการจำลองระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อการศึกษาปรากฏการณ์ในภาวะชั่วคราวนอกจากนี้ยังสามารถใช้จำลองระบบที่ประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังและระบบที่มีระบบควบคุมต่าง ๆ ได้อีกด้วย ATP-EMTP จึงเหมาะสมในการจำลองปรากฏการณ์การเกิดฟ้าผ่าซึ่งมีสภาวะชั่วคราว (Transient)

ตั้งค่าโปรแกรม ATPDraw

โดยกำหนดขอบเขตเวลาในการ simulation (T_{max}) ซึ่งต้องมีความสัมพันธ์กับค่าความถี่ของคลื่นฟ้าผ่าที่จำลองขึ้นมาเพื่อจะได้สังเกตกราฟได้ในระยะที่เหมาะสมและชัดเจนมากขึ้น และกำหนด step time ในการ simulation (ΔT) เพื่อกำหนดความละเอียดของกราฟที่ได้จากการ simulation โดยให้ Time step = $1E-8$, $T_{max} = 60E-3$



รูปที่ ข.1 การตั้งค่าเวลาในการ simulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RY2

Component: ACSOURCE

Attributes

DATA	UNIT	VALUE	NODE	PHASE	NAME
AmplitudeA	Volt	115000	AC	ABC	
Frequency	Hz	50			
PhaseAngleA	degrees	0			
StartA	sec	-1			
StopA	sec	1			

Copy Paste entire data grid Reset Order: 0 Label: RY2

Comment:

Type of source: Current Voltage

Num phases: Single 3-phase 3*1-phase

Angle units: Degrees Seconds

Amplitude: Peak L-G RMS L-G RMS L-L

Grounding: Grounded Ungrounded Hide

Edit definitions OK Cancel Help

รูปที่ ข.2 การกำหนดค่าแรงดันสถานี RY2 (ด้านส่ง)

CT

Component: ACSOURCE

Attributes

DATA	UNIT	VALUE	NODE	PHASE	NAME
AmplitudeA	Volt	115000	AC	ABC	
Frequency	Hz	50			
PhaseAngleA	degrees	10			
StartA	sec	-1			
StopA	sec	1			

Copy Paste entire data grid Reset Order: 0 Label: CT

Comment:

Type of source: Current Voltage

Num phases: Single 3-phase 3*1-phase

Angle units: Degrees Seconds

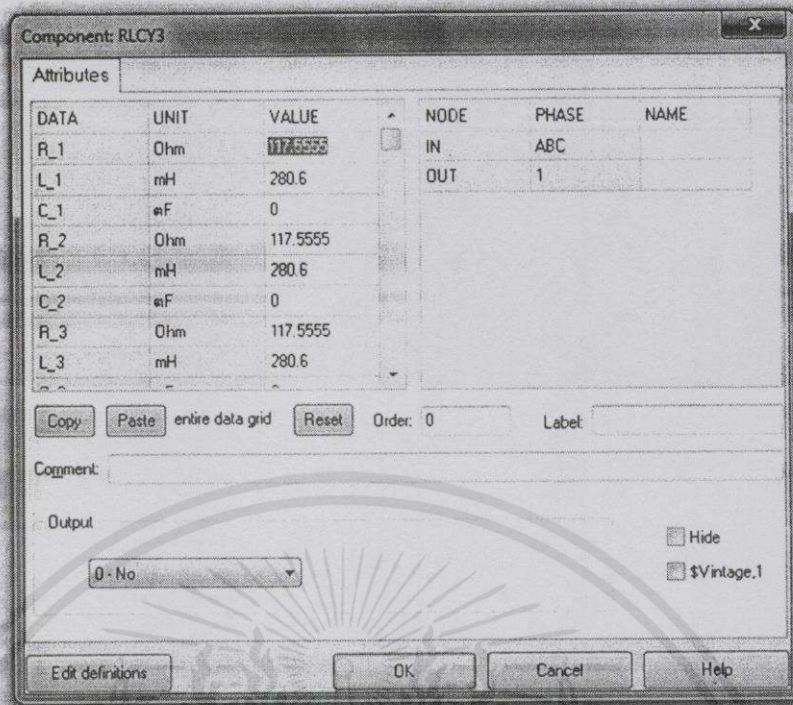
Amplitude: Peak L-G RMS L-G RMS L-L

Grounding: Grounded Ungrounded Hide

Edit definitions OK Cancel Help

รูปที่ ข.3 การกำหนดค่าแรงดันสถานี CT (ด้านรับ)

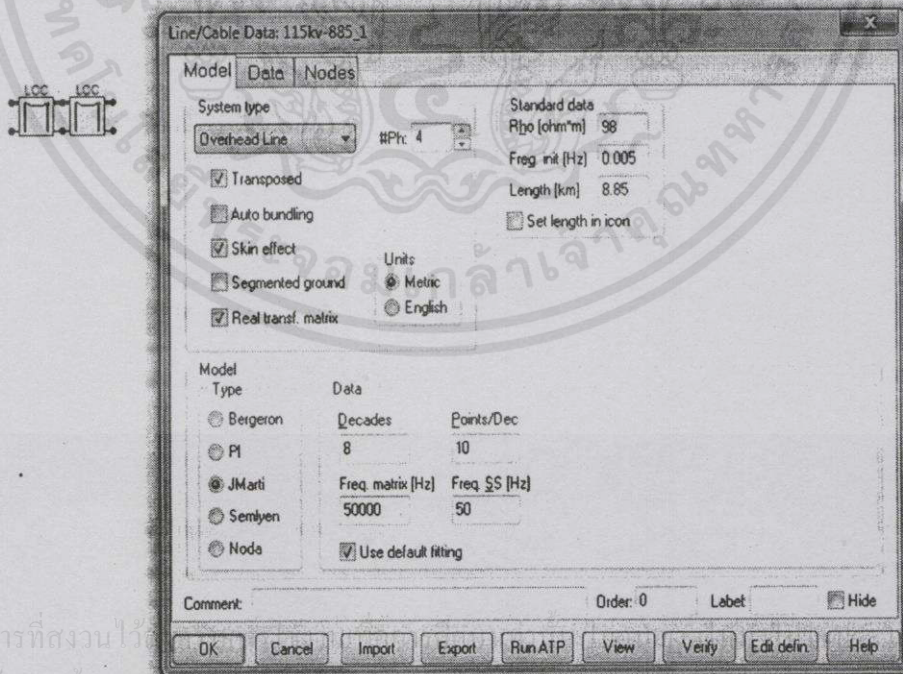
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.4 การกำหนดค่าโหลดที่สถานี CT

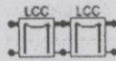
การจำลองฟ้าผ่าลงบนสายซึ่งเหนือศีรษะ

เลือกใช้ LCC แทนช่วง span ของแต่ละช่วงเสา ซึ่งป้อนค่าดังนี้



รูปที่ ข.5 ใส่ค่า Model แบบ JMarti ของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง

หลังจากป้อนค่า Model แล้วนักศึกษาเลือกตรง Data จากนั้นป้อนค่าของระบบ 3 เฟส 4 สาย 2 วงจรให้ครบทุกช่อง สามารถกดปุ่ม View เพื่อดูมิติต่าง ๆ ของสายส่ง กำหนดให้ #4 คือ สายซึ่งเหนือศีรษะและสาย Conductor มีระยะ Sag 2 เมตร โดยที่ R out คือรัศมีภายนอกของ Conductor



Line/Cable Data: 115kv-885_1

Model	Data	Nodes					
#	Pft.no.	Rin	Rout	Rsis	Horiz	Vtower	Vmid
		[cm]	[cm]	[ohm/km DC]	[m]	[m]	[m]
1	0	0	1.34	0.07189	2.75	25.5	15
2	1	0	1.34	0.07189	2.8	21.8	11.3
3	3	0	1.34	0.07189	3	18.1	7.6
4	4	0	0.4572	4	2.32	28.65	18.15
5	3	0	1.34	0.07189	-2.75	25.5	15
6	1	0	1.34	0.07189	-2.8	21.8	11.3
7	2	0	1.34	0.07189	-3	18.1	7.6
8	4	0	0.4572	4	-2.32	28.65	18.15

Buttons: Add row, Delete last row, Insert row copy, Move (up/down arrows), OK, Cancel, Import, Export, Run.ATP, View, Verify, Edit delin, Help

รูปที่ ข.6 ใส่ค่าพารามิเตอร์ของสายส่งระดับแรงดัน 115 kV

สูตรการคำนวณค่าพารามิเตอร์ของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงดังนี้

สำหรับเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง 115 kV

$$Z_1=Z_2=Z_3=180\Omega \quad , \quad Z_4=140\Omega$$

สำหรับเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง 230 kV

$$Z_1=Z_2=Z_3=200\Omega \quad , \quad Z_4=150\Omega$$

$$\tau = \frac{2H}{v} \mu s \quad , \quad \gamma = 0.8944$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

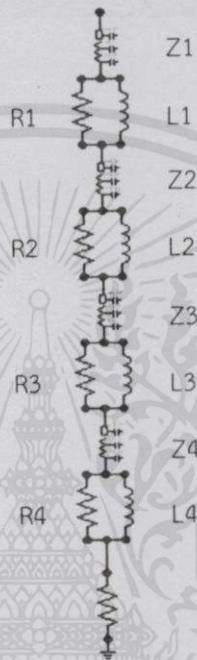
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิง(Incy) ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$r_1 = -2 \times Z_1 \times \frac{(In\gamma)}{l_1 + l_2 + l_3} \Omega/m$$

$$r_2 = -2 \times Z_4 \times \frac{(\ln \gamma)}{l_4} \Omega/m$$

$$R_1 = r_1 \times l_1 \quad , \quad R_2 = r_2 \times l_2 \quad , \quad R_3 = r_1 \times l_3 \quad , \quad R_4 = r_2 \times l_4$$

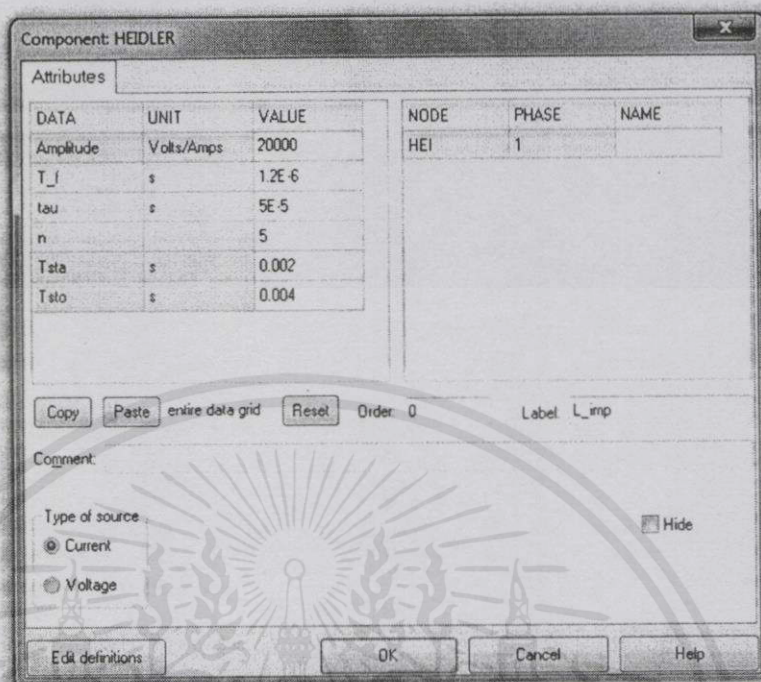
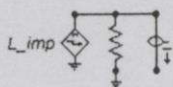
$$L_1 = R_1 \times \tau \quad , \quad L_2 = R_2 \times \tau \quad , \quad L_3 = R_3 \times \tau \quad , \quad L_4 = R_4 \times \tau$$



รูปที่ ข.7 โมเดลในส่วนของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง

ตารางที่ ข.1 ค่าพารามิเตอร์ของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง

พารามิเตอร์	200 m / μs		300 m / μs	
	115 kV	230 kV	115 kV	230 kV
R1	12.39092700	10.42902000	12.39092700	10.42900000
R2	13.89290800	17.10580000	13.89290800	17.10580000
R3	13.89290800	17.10580000	13.89290800	17.10580000
R4	31.24855500	33.48160000	31.24855500	33.48160000
L1	0.003742074	0.00534195	0.002494712	0.004273562
L2	0.004195658	0.00876193	0.002797101	0.007009550
L3	0.004195658	0.00876193	0.002797101	0.007009550
L4	0.009437064	0.01714861	0.006291365	0.013719956

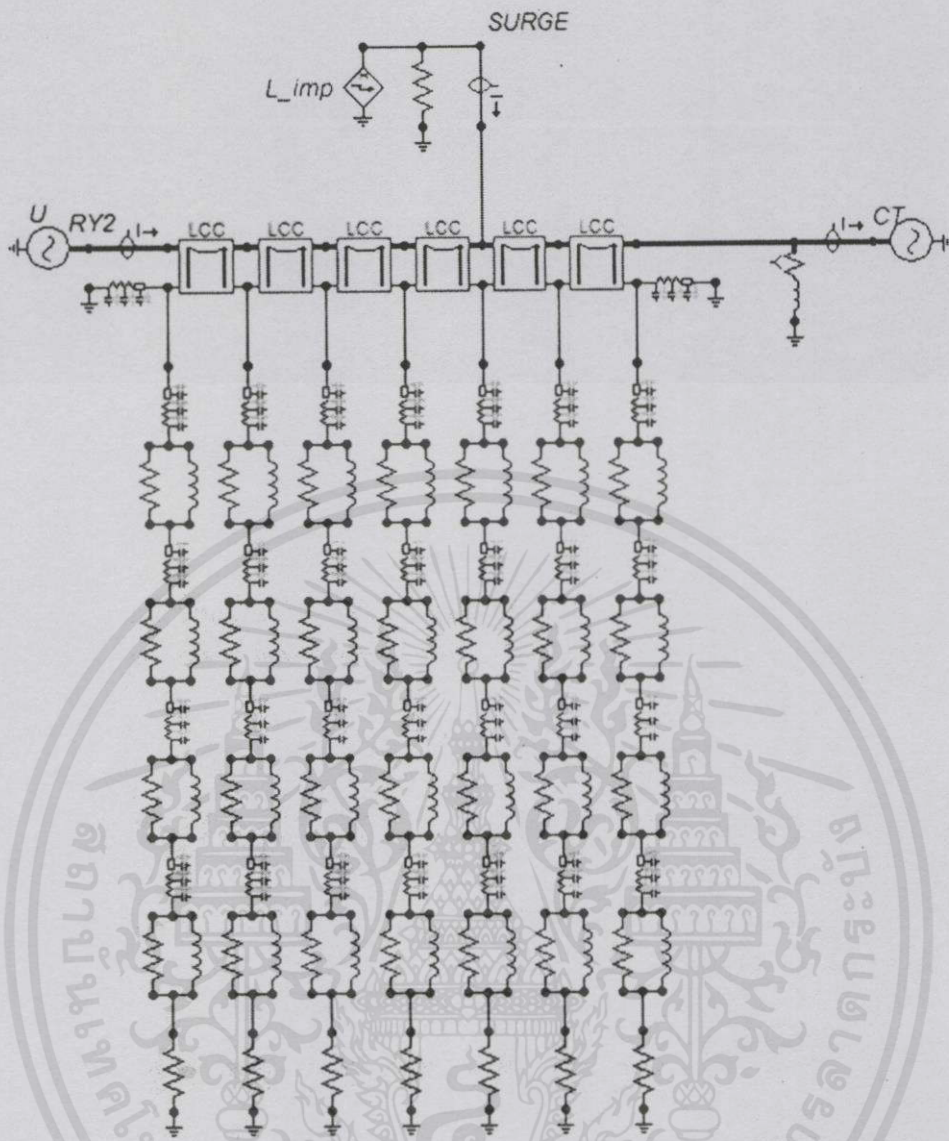


รูปที่ ข.8 Heidler source และการตั้งค่ารูปคลื่นฟ้าผ่า

Model ที่ใช้จำลองใน ATPDraw

การจำลองประกอบไปด้วย ระบบส่งแบบ Double Circuit Single Conductor, เสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง และแหล่งจ่ายฟ้าผ่าจำลอง (Surge source) โดยจะทำการจำลองเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูงจำนวน 9 เสา เพื่อศึกษาผลกระทบของแรงดันฟ้าผ่าต่อเสาที่โดนฟ้าผ่าและเสาข้างเคียง ส่วนแหล่งจ่ายฟ้าผ่าจำลองจะมีหลายลักษณะ โดยจำลองฟ้าผ่าตามมาตรฐาน ANSI/IEEE Std. C62.41 และทำการวัดค่าแรงดันที่ส่วนบน ส่วนกลางและส่วนล่างของเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง เพื่อสังเกตลักษณะของแรงดันสะท้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.9 Model ATPDraw สำหรับเสาส่งไฟฟ้าแรงดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



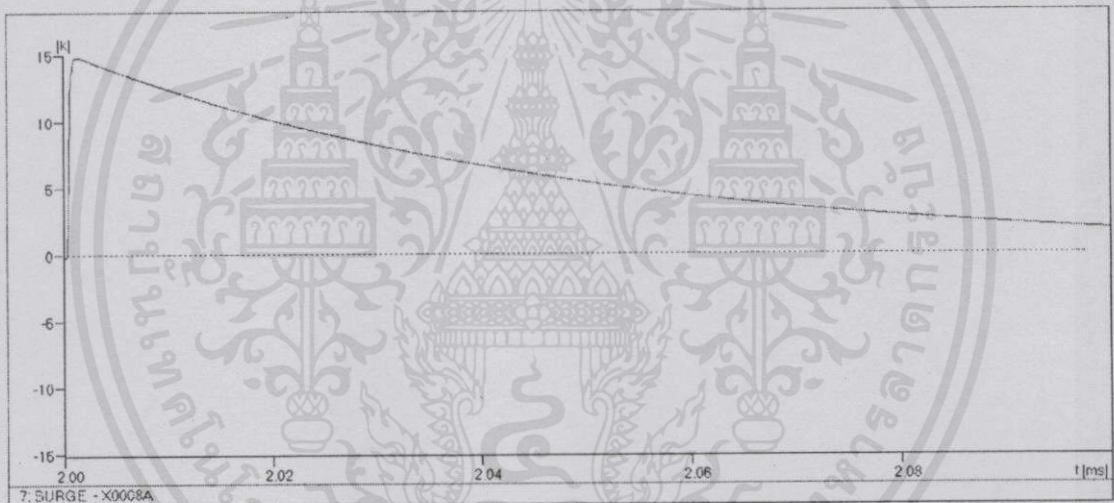
ภาคผนวก ค.
ผลการทดลองจากโปรแกรม ATPDraw

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BASE CASE

กำหนด

- ระดับแรงดัน 115 kV
- ความยาวสายส่ง 88.5 km
- Source ฟิวส์ 20 kA
- ฟิวส์ที่เฟส A
- ฟิวส์ที่ระยะ 70% ของความยาวสายส่ง (44.25 กิโลเมตร)
- ความต้านทานดิน Pure Resistance 10 โอห์ม
- Phase Shift ของ 2 Sub. 10 degree
- Load 30 MVA

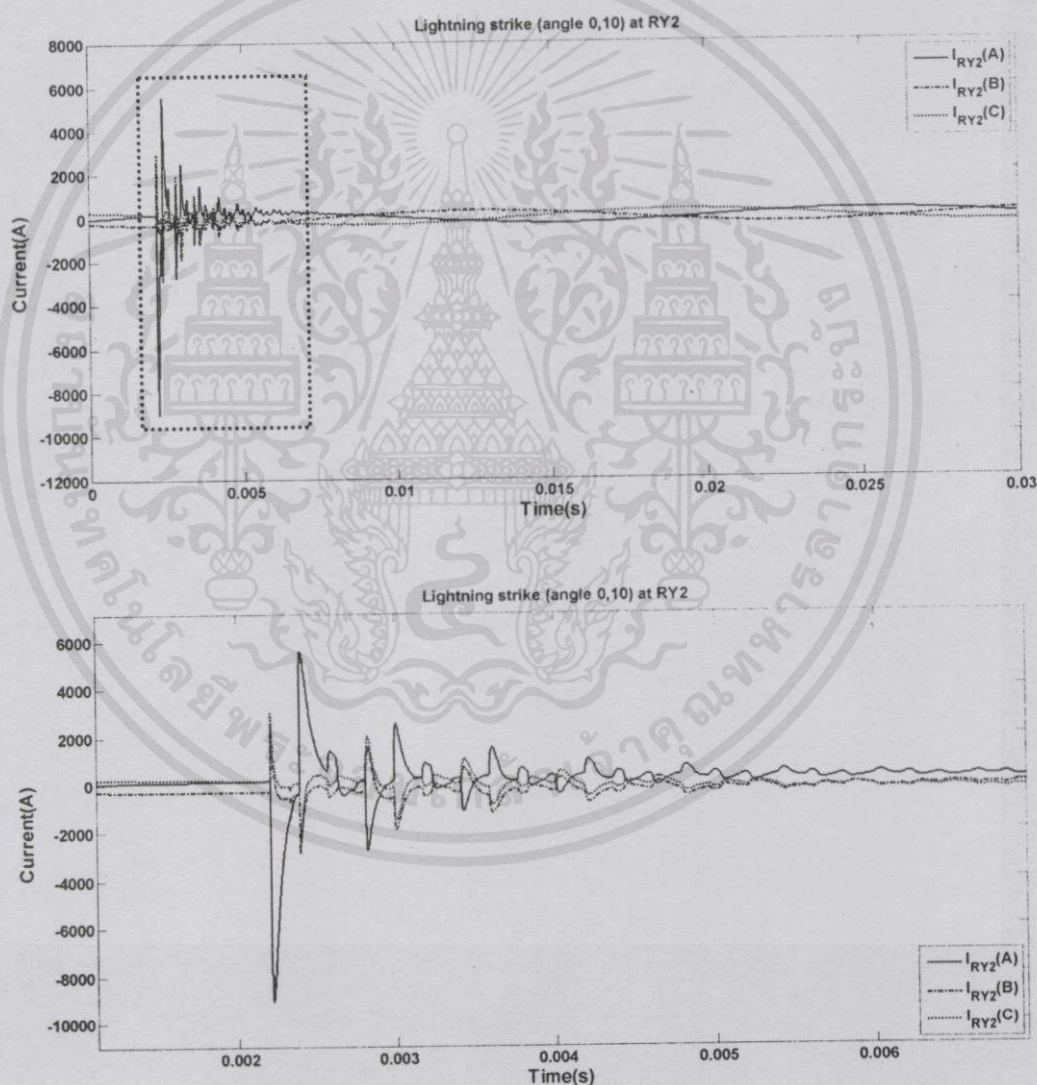
คลื่นฟิวส์ 1.2/50 μ sรูปที่ ค.1 คลื่นฟิวส์ 1.2/50 μ s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 1 เกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีมุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันสถานีส่งจ่ายต่างกัน

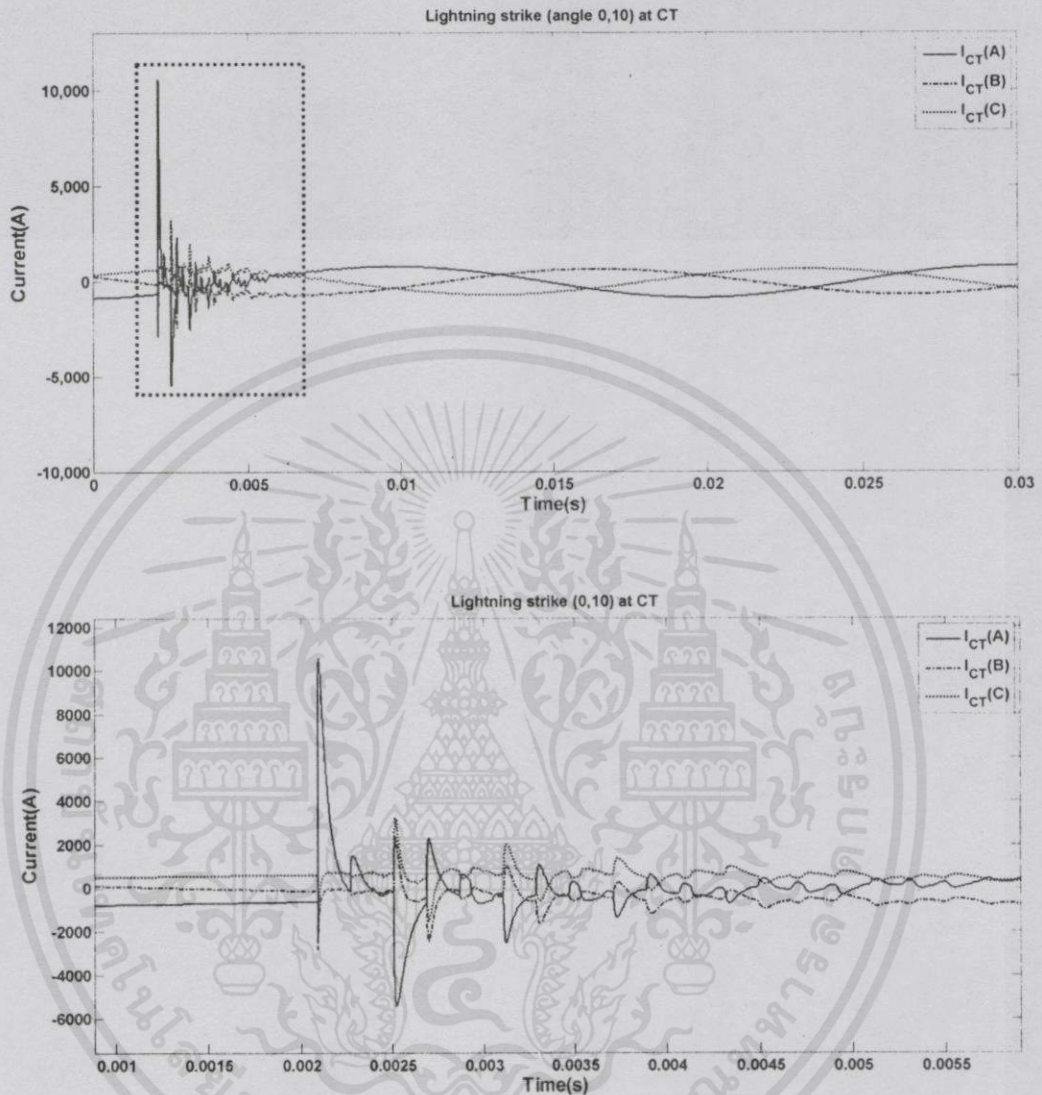
ศึกษาการเปลี่ยนแปลงมุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันที่มีผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า ซึ่งการจำลองจะเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบสายส่งแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ความยาวของสายส่งจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยัง สถานี CT (ด้านรับ) มีค่าเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร เกิดฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ ที่สายเฟส A ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง (61.95 กิโลเมตร) และค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม โดยจากการเปลี่ยนแปลงมุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันของสถานี RY2 (ด้านส่ง) และสถานี CT (ด้านรับ) 3 มุม ดังนี้

มุมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา, มุมเริ่มต้นสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ ค.2 กระแสฟ้าผ่า 3 เฟสของด้านส่ง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลึกทั้งห้ามิให้ลัดเป็นสมมุติและต้องอ้างอิงถึงจากเอกสารอ้างอิงที่เอามาใช้
ที่ระบบมีมุมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา

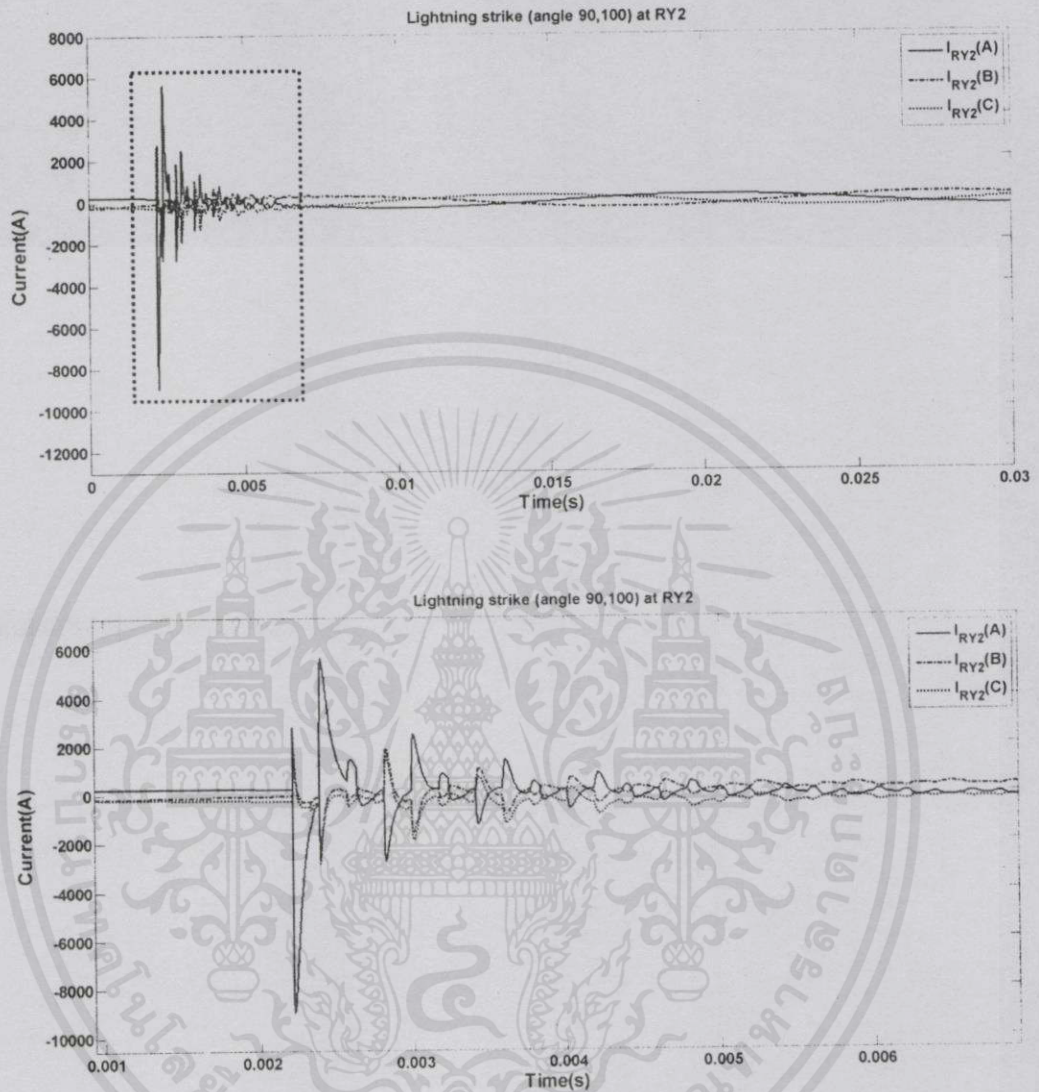
มุมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา, มุมเริ่มต้นสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.3



รูปที่ ค.3 กระแสไฟฟ้า 3 เฟสของด้านรับ
ที่ระบบมีมุมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 90 องศา, มุมเริ่มต้นสถานี CT (ด้านรับ) 100 องศา
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.4

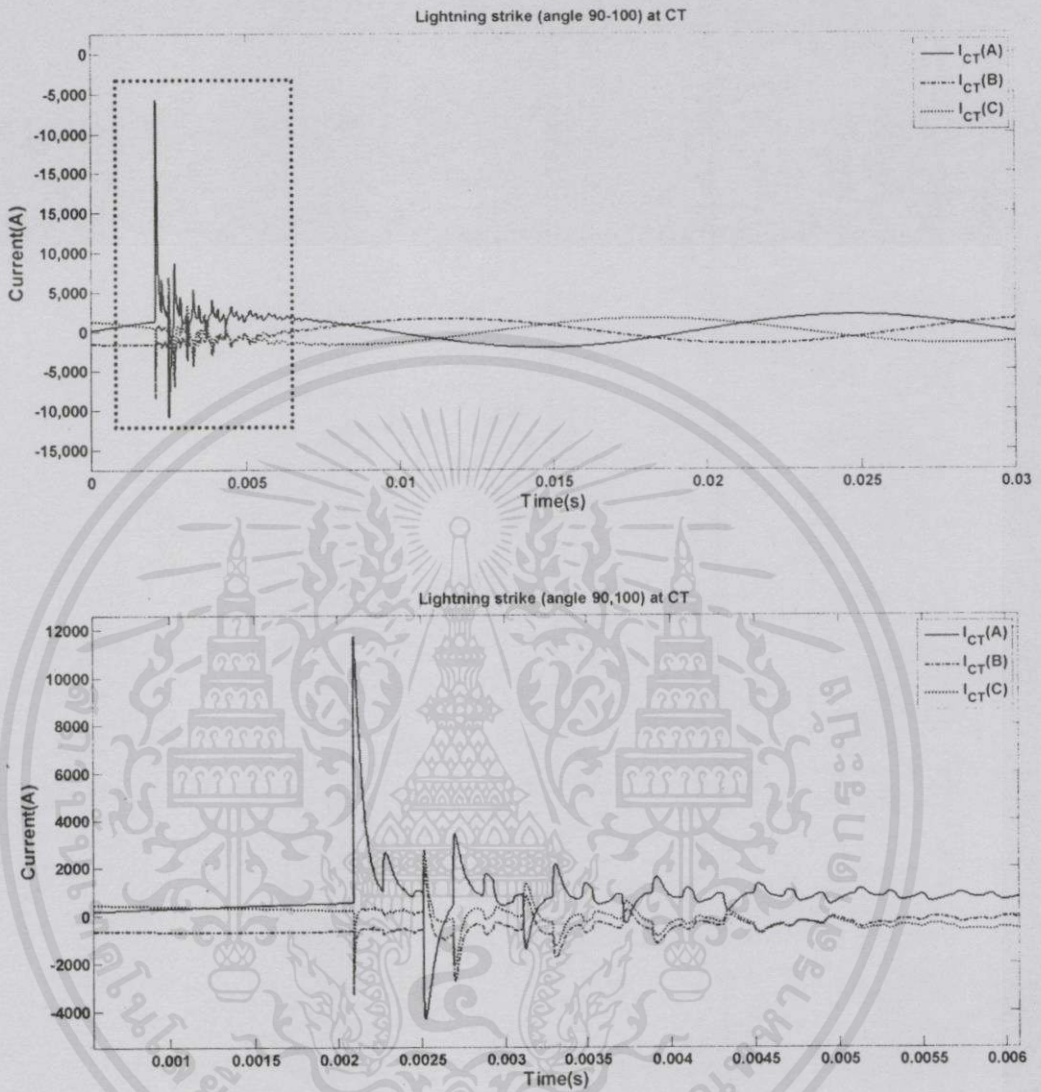


รูปที่ ค.4 กระแสไฟฟ้า 3 เฟสของด้านส่ง

ที่ระบบมีมุมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 90 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 100 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มูมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 90 องศา, มูมเริ่มต้นสถานี CT (ด้านรับ) 100 องศา
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.5

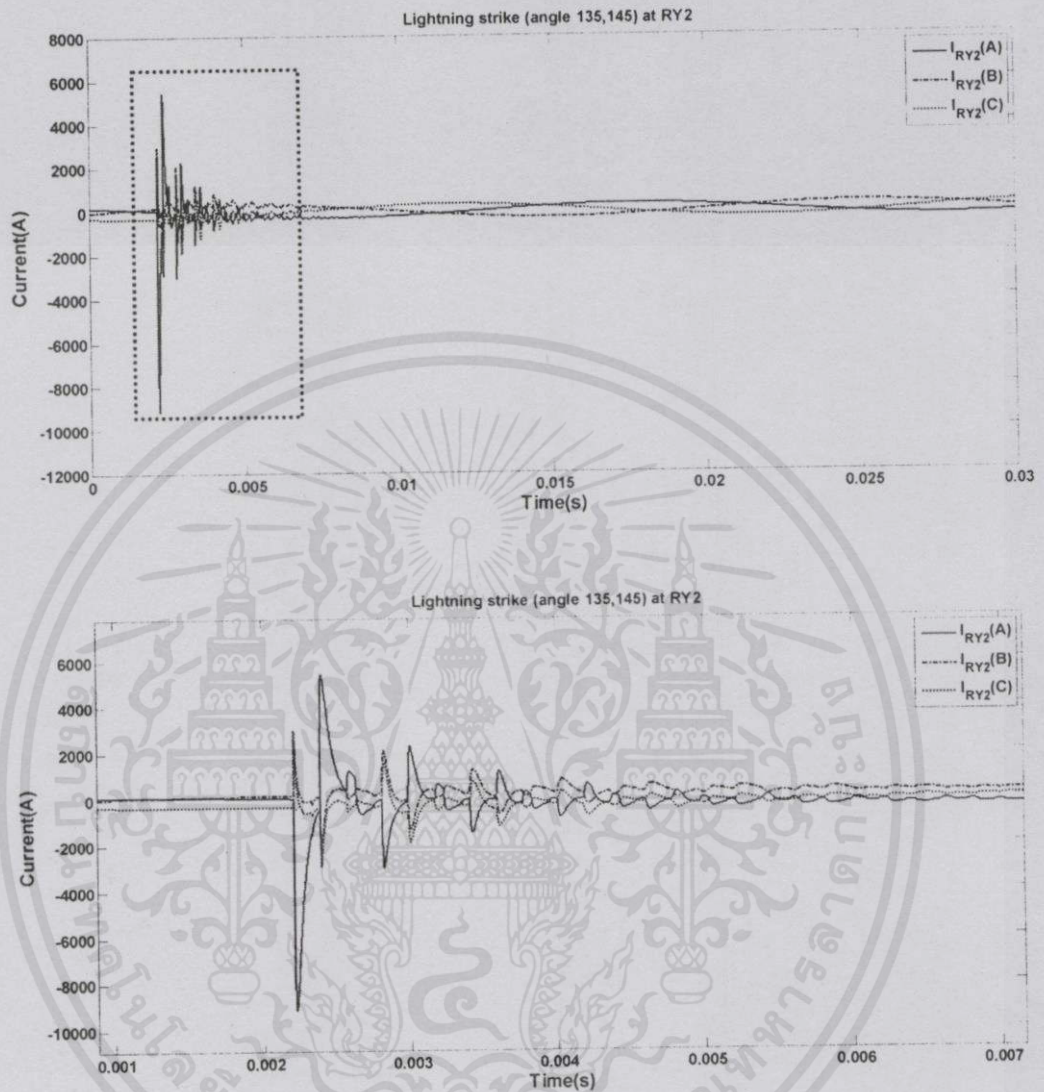


รูปที่ ค.5 กระแสฟ้าผ่า 3 เฟสของด้านรับ

ที่ระบบมีมูมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 90 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 100 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

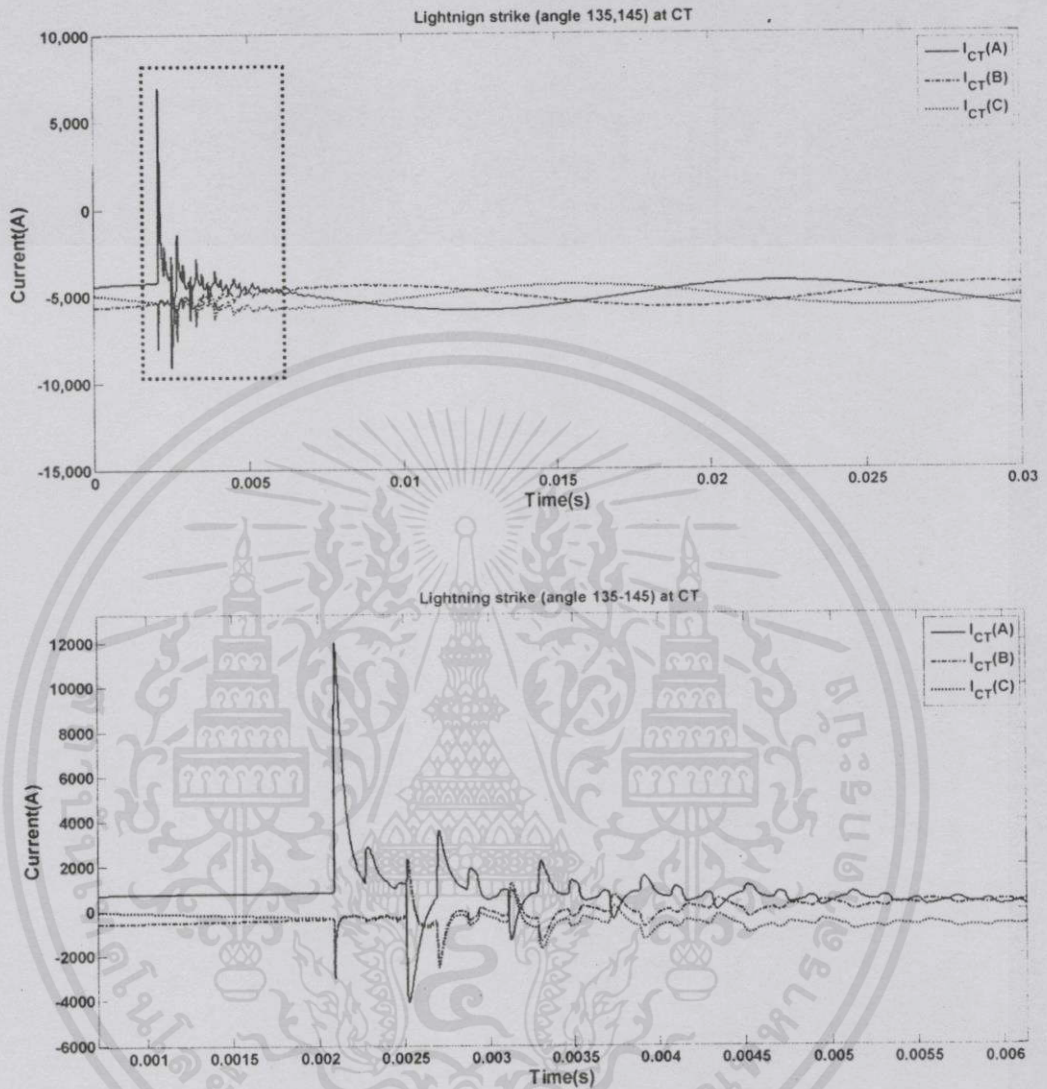
มุมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 135 องศา, มุมเริ่มต้นสถานี CT (ด้านรับ) 145 องศา
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.6



รูปที่ ค.6 กระแสฟ้าผ่า 3 เฟสของด้านส่ง
ที่ระบบมีมุมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 135 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 145 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 135 องศา, มุมเริ่มต้นสถานี CT (ด้านรับ) 145 องศา
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.7



รูปที่ ค.7 กระแสฟ้าผ่า 3 เฟสของด้านรับ

ที่ระบบมีมุมเริ่มต้นสถานี RY2 (ด้านส่ง) 135 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 145 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอมพลิจูดของกระแสสภาวะชั่วคราว

กรณี	สภาวะชั่วคราว						
	RY2 (A)			CT (A)			เสร็จ (A)
	A	B	C	A	B	C	
มม 0,10	-9024.7	-2866.9	2996.51	10588.2	-2821.1	3260.2	14826.7
มม 90,100	-8963.8	2778.81	-2817.6	11738.4	-3324.8	2732.17	15148.2
มม 135,145	-9150.4	3002.84	-2861.5	12003.3	-3040.2	-2982.4	15224.2

แอมพลิจูดของกระแสสภาวะคงตัว

กรณี	สภาวะคงตัว						
	RY2 (A)			CT (A)			เสร็จ (A)
	A	B	C	A	B	C	
มม 0,10	285.036	304.07	304.344	814.242	655.291	654.73	227.78
มม 90,100	285.059	304.074	304.346	814.26	655.294	654.719	227.79
มม 135,145	284.989	304.076	304.348	814.27	655.295	654.72	227.79

เวลาที่เกิดค่ากระแสสภาวะชั่วคราวสูงสุดและกระแสฟ้าผ่า

กรณี	Time of arrival (ms)		
	RY2	CT	เสร็จ
มม 0,10	2.2193	2.0959	2.0012
มม 90,100	2.2193	2.0959	2.0012
มม 135,145	2.2193	2.0959	2.0012

จากการบันทึกผล พบว่าที่มุมเริ่มต้นของแรงดันด้านสถานีส่งเปลี่ยนไป (0, 90, 135 องศา) และเกิดฟ้าผ่าที่เฟส A พบว่า เมื่อมุมเริ่มต้นเปลี่ยนไปจะมีผลต่อค่ากระแส เนื่องจากฟ้าผ่าสูงสุดที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนไปด้วยเช่นกัน แต่นั่นเป็นผลเนื่องจากค่ากระแสอยู่ในรูปของฟังก์ชันของไซน์นูนขอยด์เต็ม ซึ่งเมื่อมีมุมเริ่มต้นที่เปลี่ยนไป แต่ ณ เวลาที่เกิดฟ้าผ่าเท่าเดิม จะมีผลต่อค่าแอมพลิจูดเปลี่ยนไป

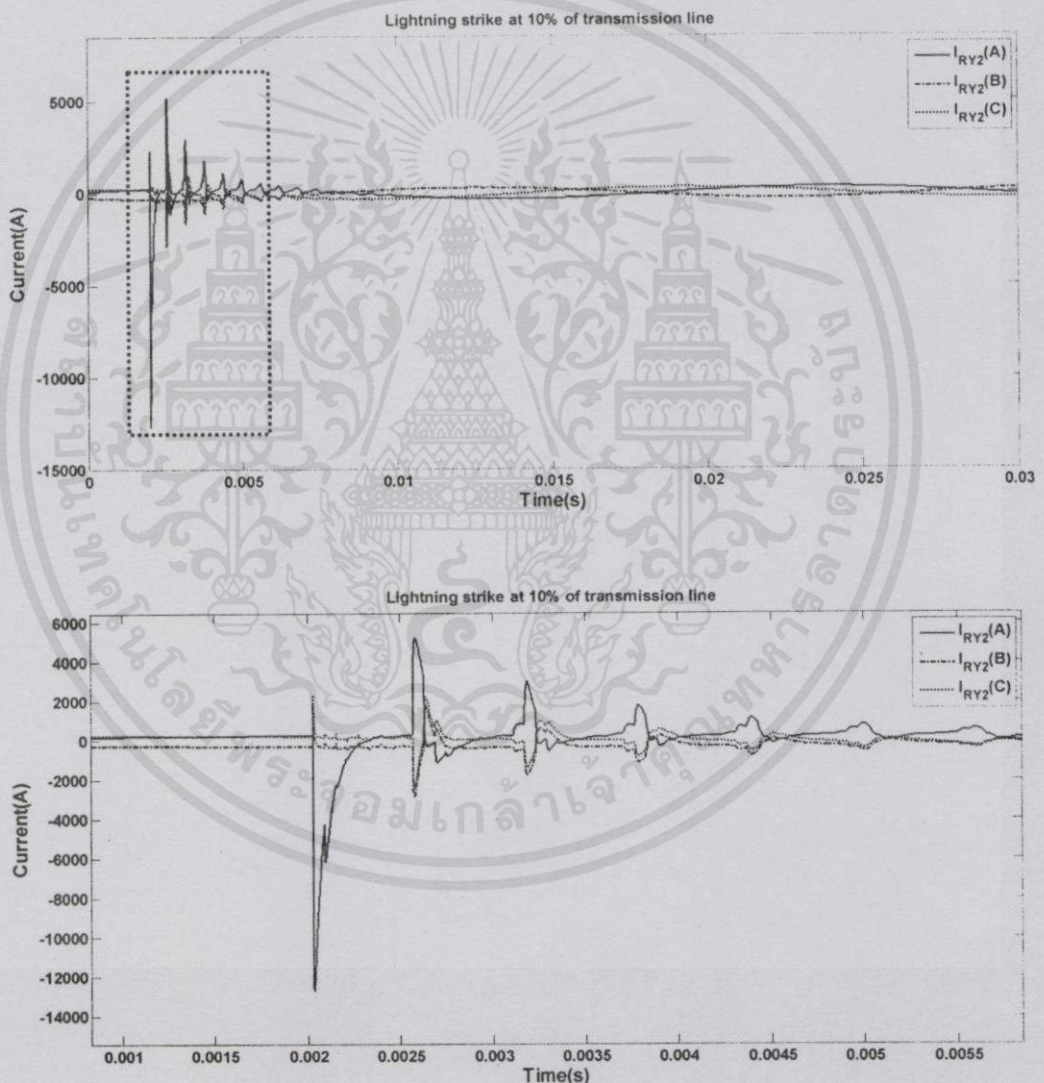
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2 เกิดฟ้าผ่าที่สายเฟสต่างกัน

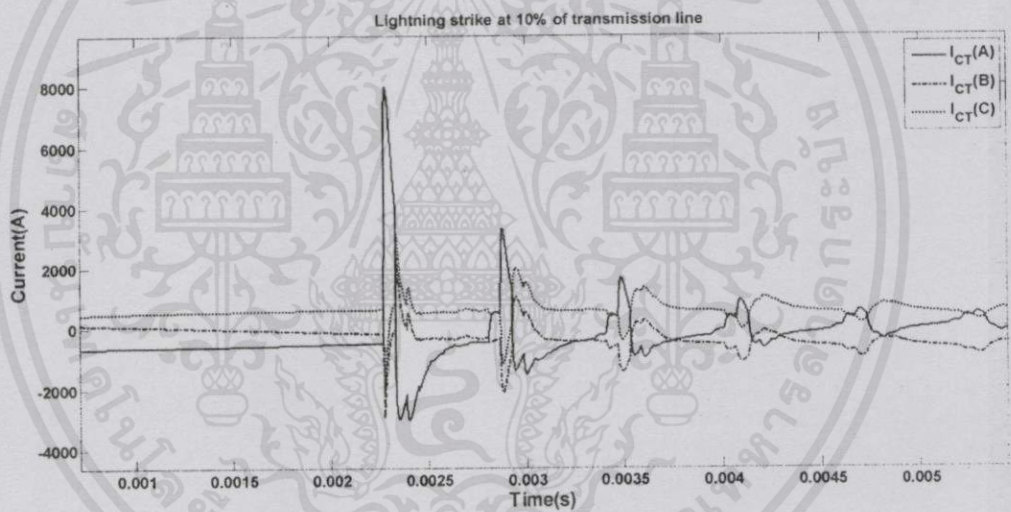
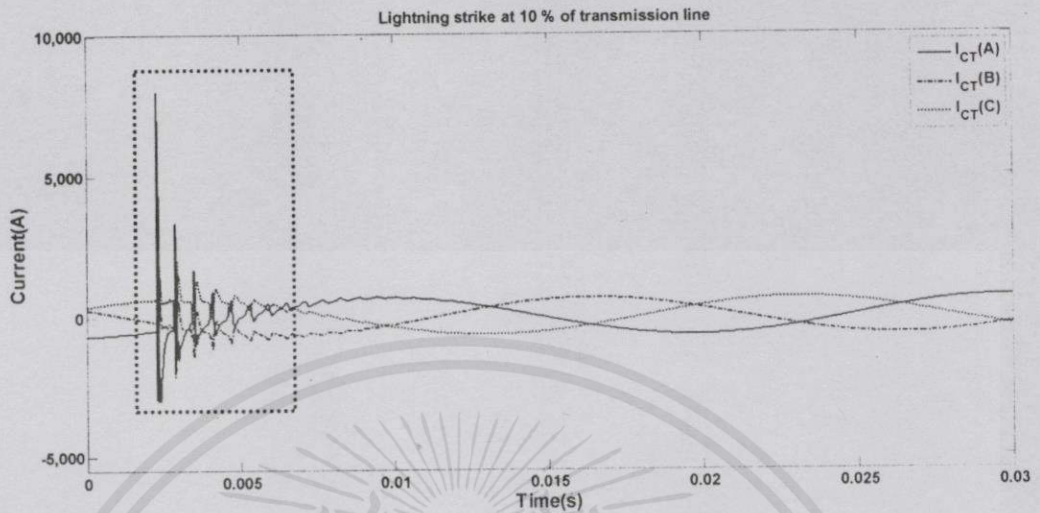
ศึกษาการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งฟ้าผ่าที่มีผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า ซึ่งการจำลองจะเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบสายส่งแรงดัน 115 กิโลโวลต์ มุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันของสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา ความยาวของสายส่งจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยัง สถานี CT (ด้านรับ) มีค่าเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร เกิดฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ ที่สายเฟส A และค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม โดยทำการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งต่างๆ ที่เกิดฟ้าผ่า 9 ตำแหน่ง ดังนี้

เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 10% ของความยาวสายส่ง หรือ 8.85 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน **รูปที่ ค.8** กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 10 % ของสายส่ง (ด้านส่ง) ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

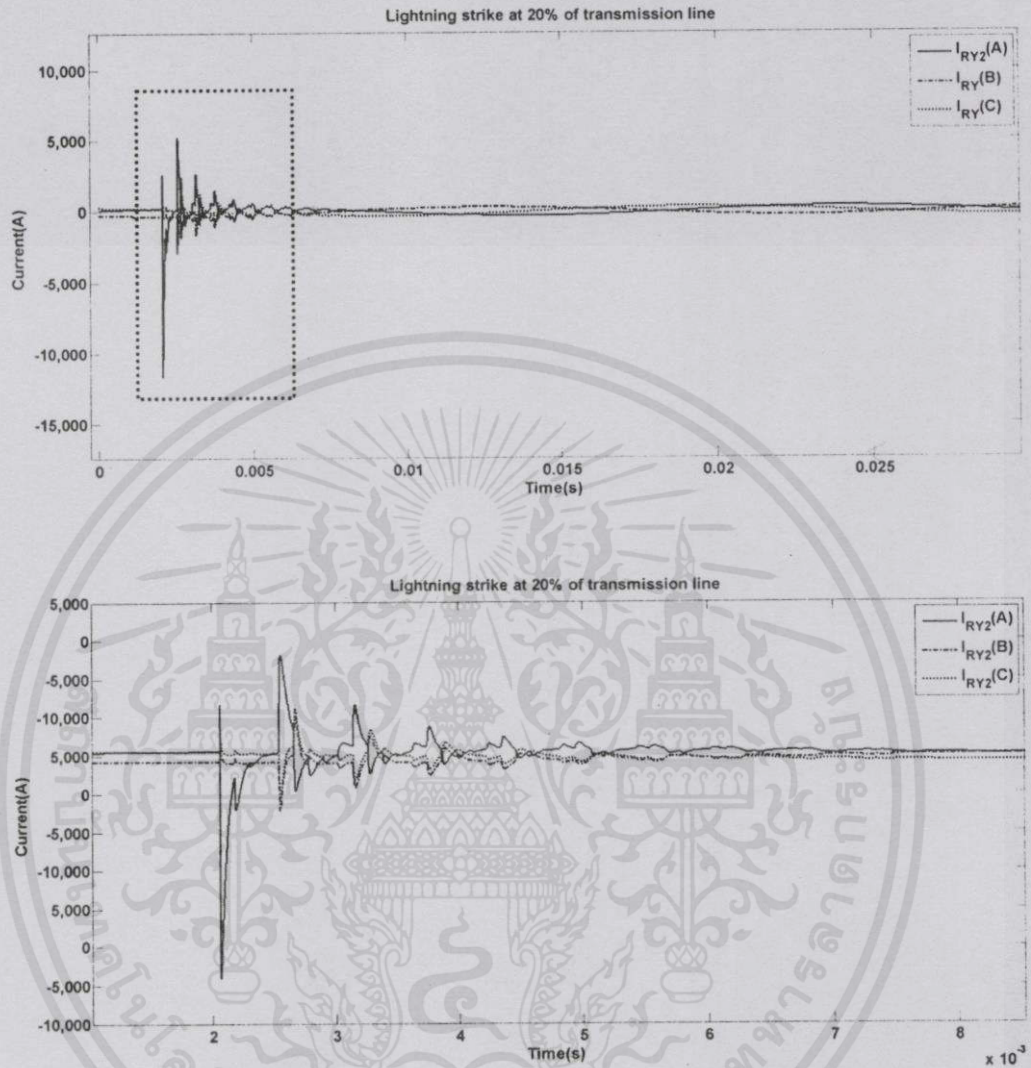
เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 10% ของความยาวสายส่ง หรือ 8.85 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.9



รูปที่ ค.9 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 10 % ของสายส่ง (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

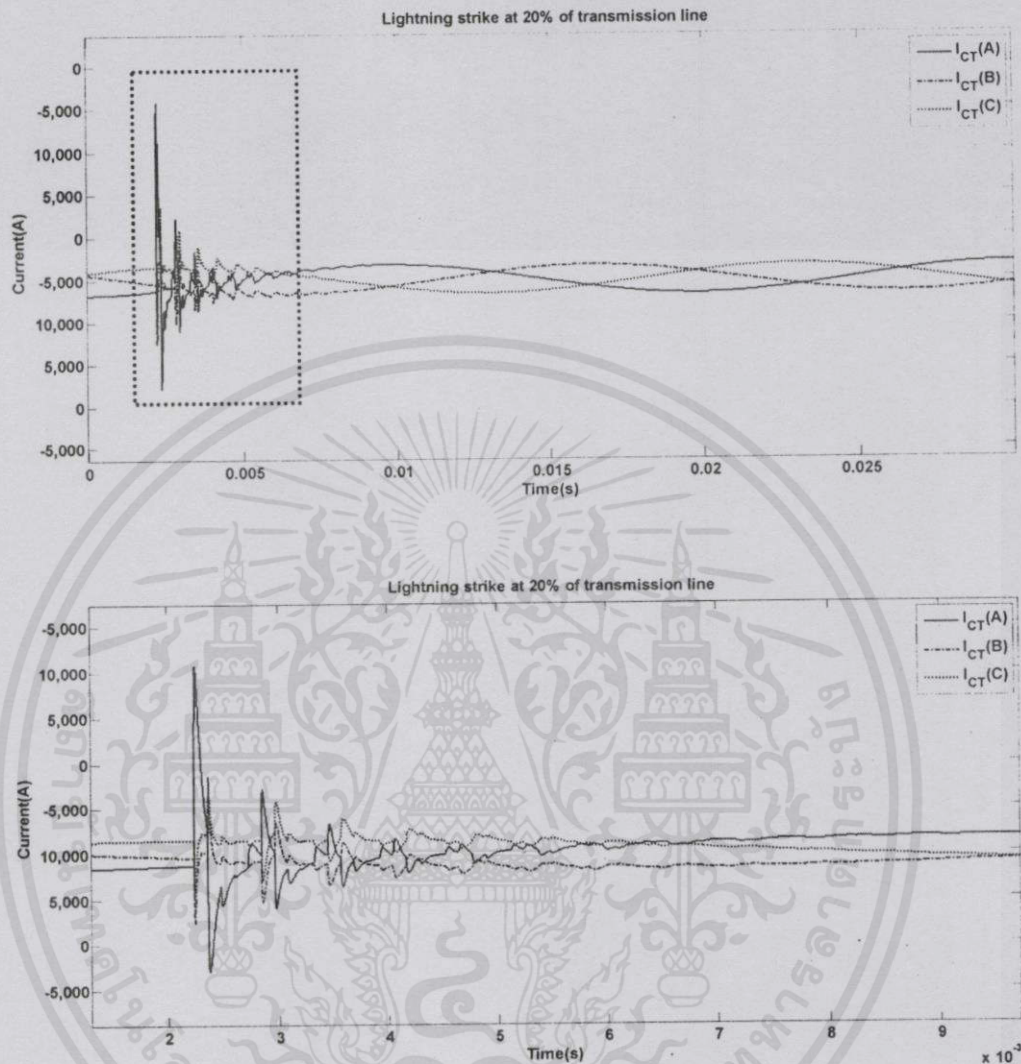
เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 20% ของความยาวสายส่ง หรือ 17.70 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.10



รูปที่ ค.10 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 20 % ของสายส่ง (ด้านส่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

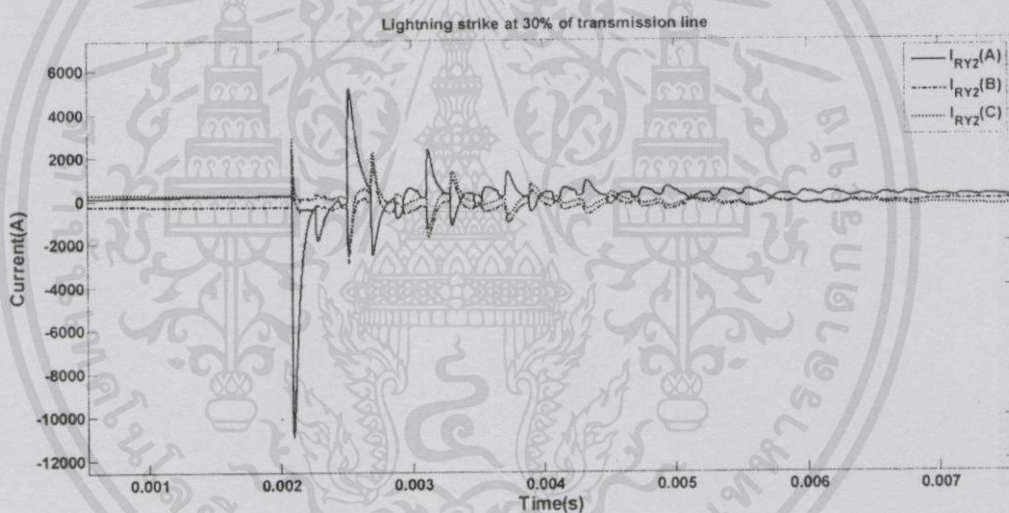
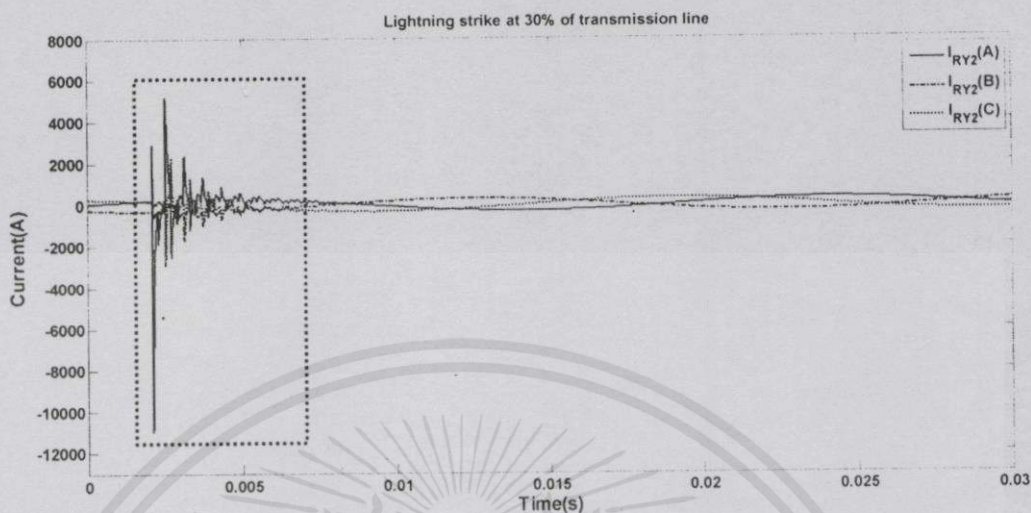
เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 20% ของความยาวสายส่ง หรือ 17.70 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.11



รูปที่ ค.11 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 20 % ของสายส่ง (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

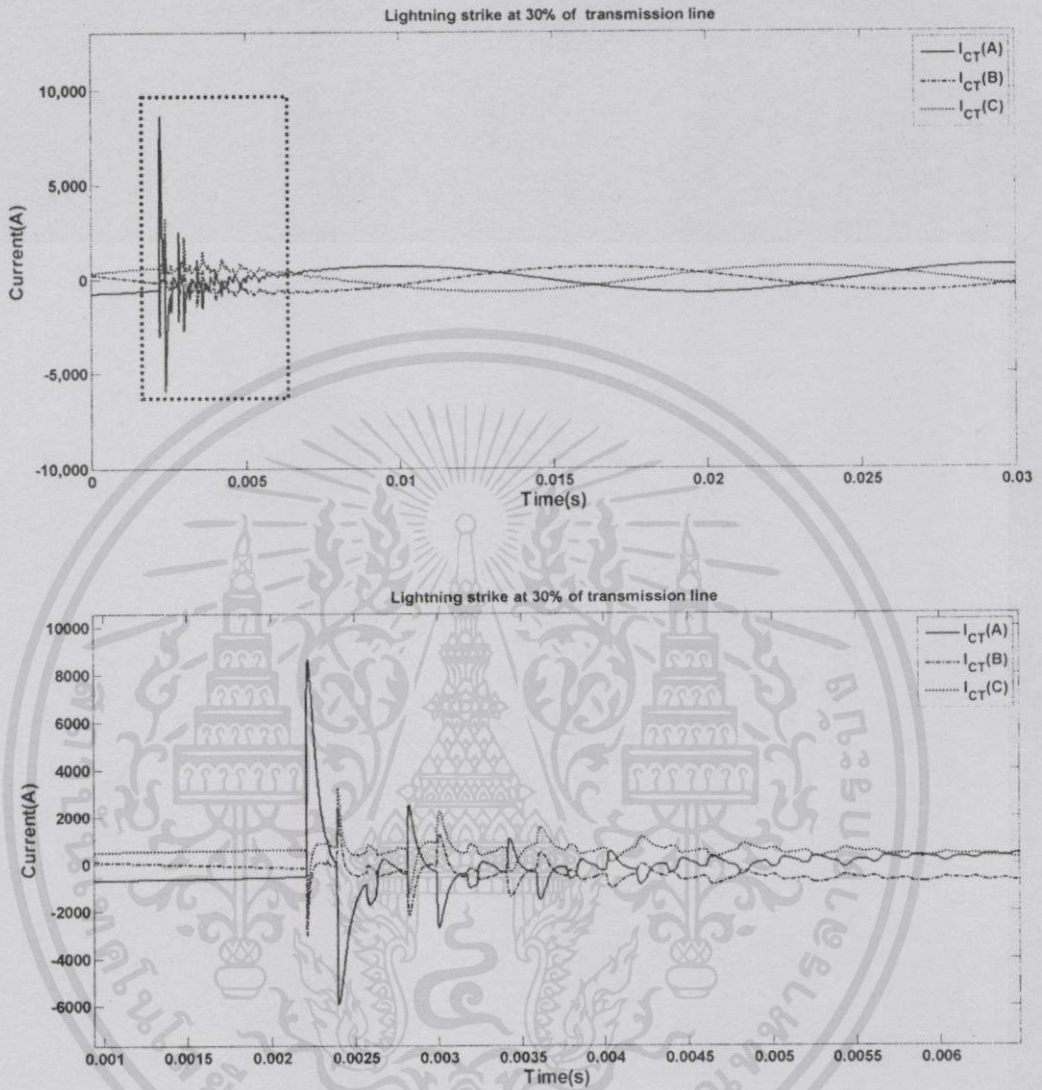
เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 30% ของความยาวสายส่ง หรือ 26.55 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.12



รูปที่ ค.12 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 30 % ของสายส่ง (ด้านส่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

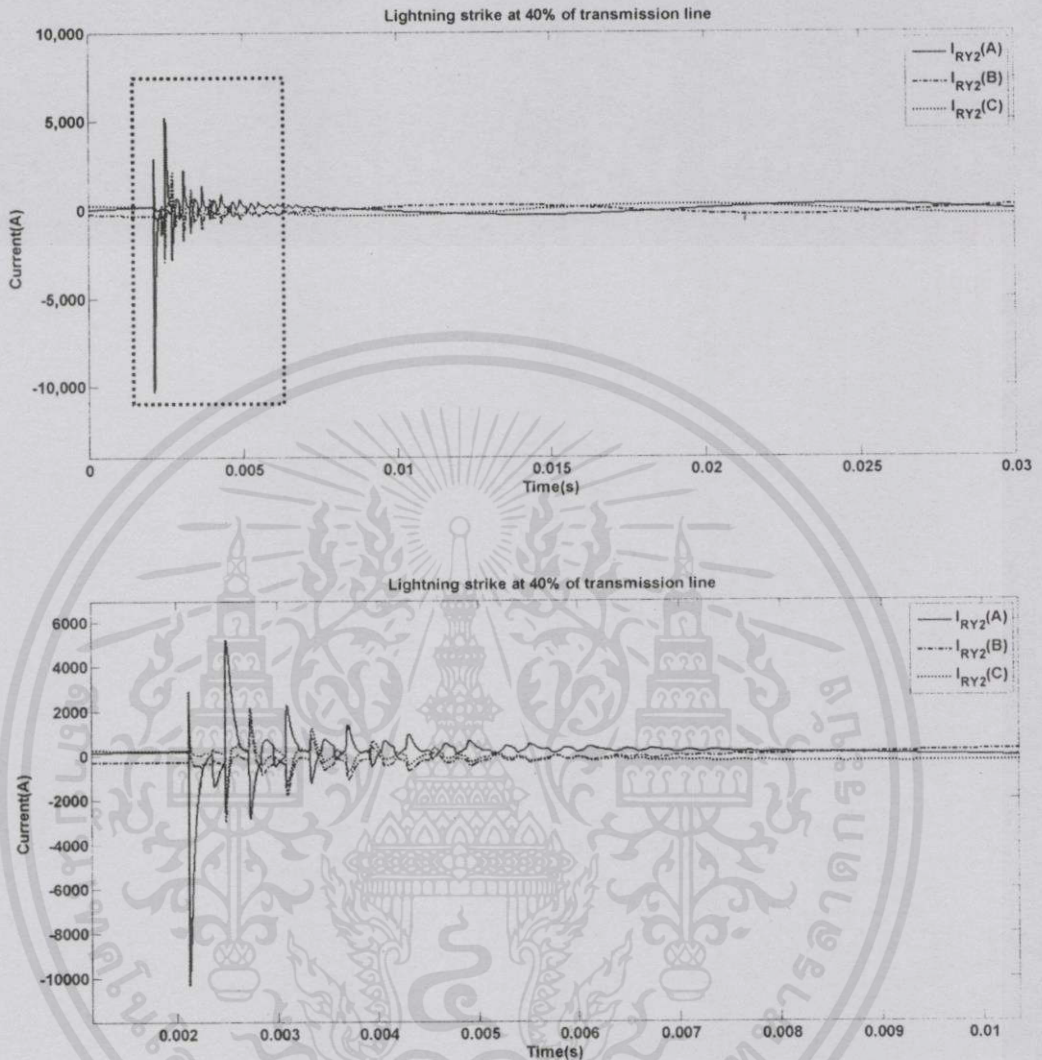
เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 30% ของความยาวสายส่ง หรือ 26.55 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.13



รูปที่ ค.13 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 30 % ของสายส่ง (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

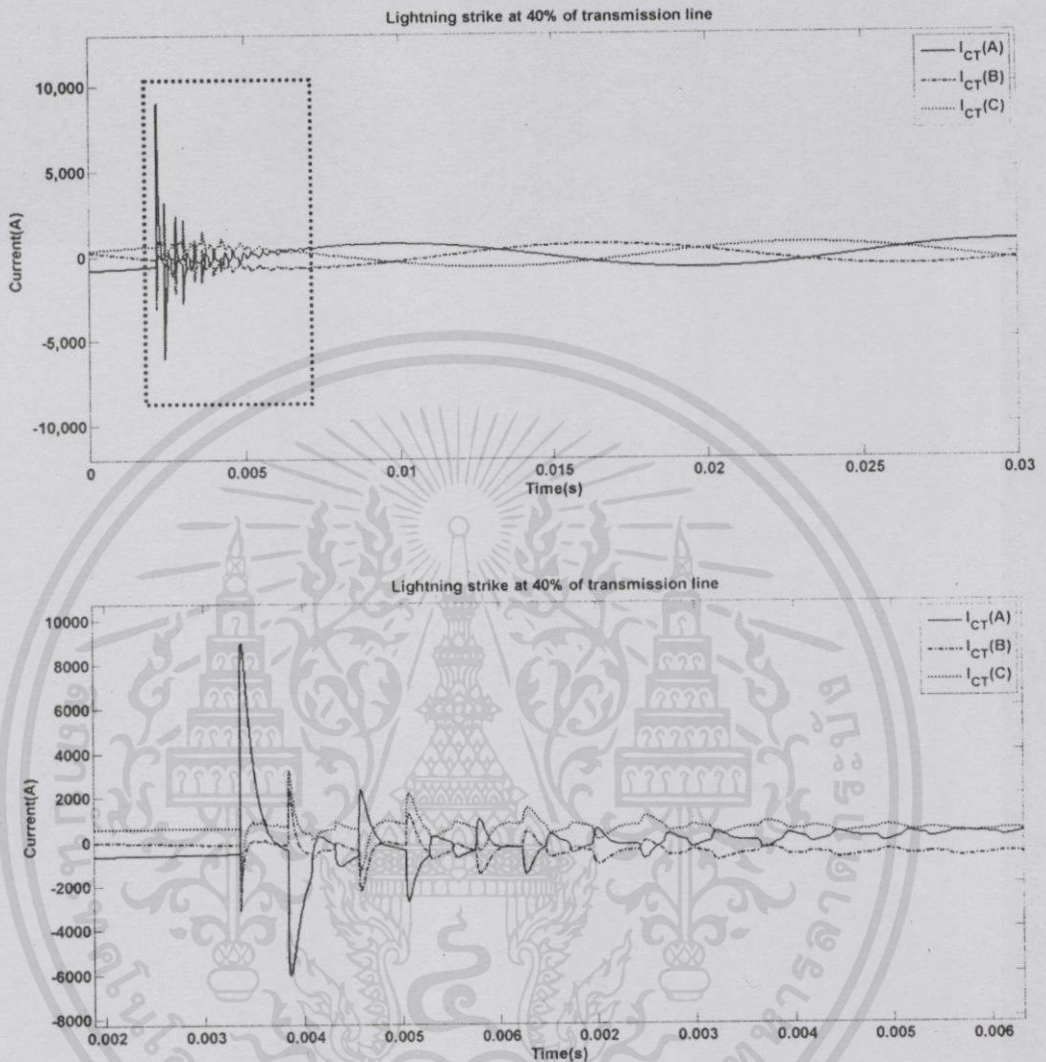
เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง หรือ 35.40 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.14



รูปที่ ค.14 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 40 % ของสายส่ง (ด้านส่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

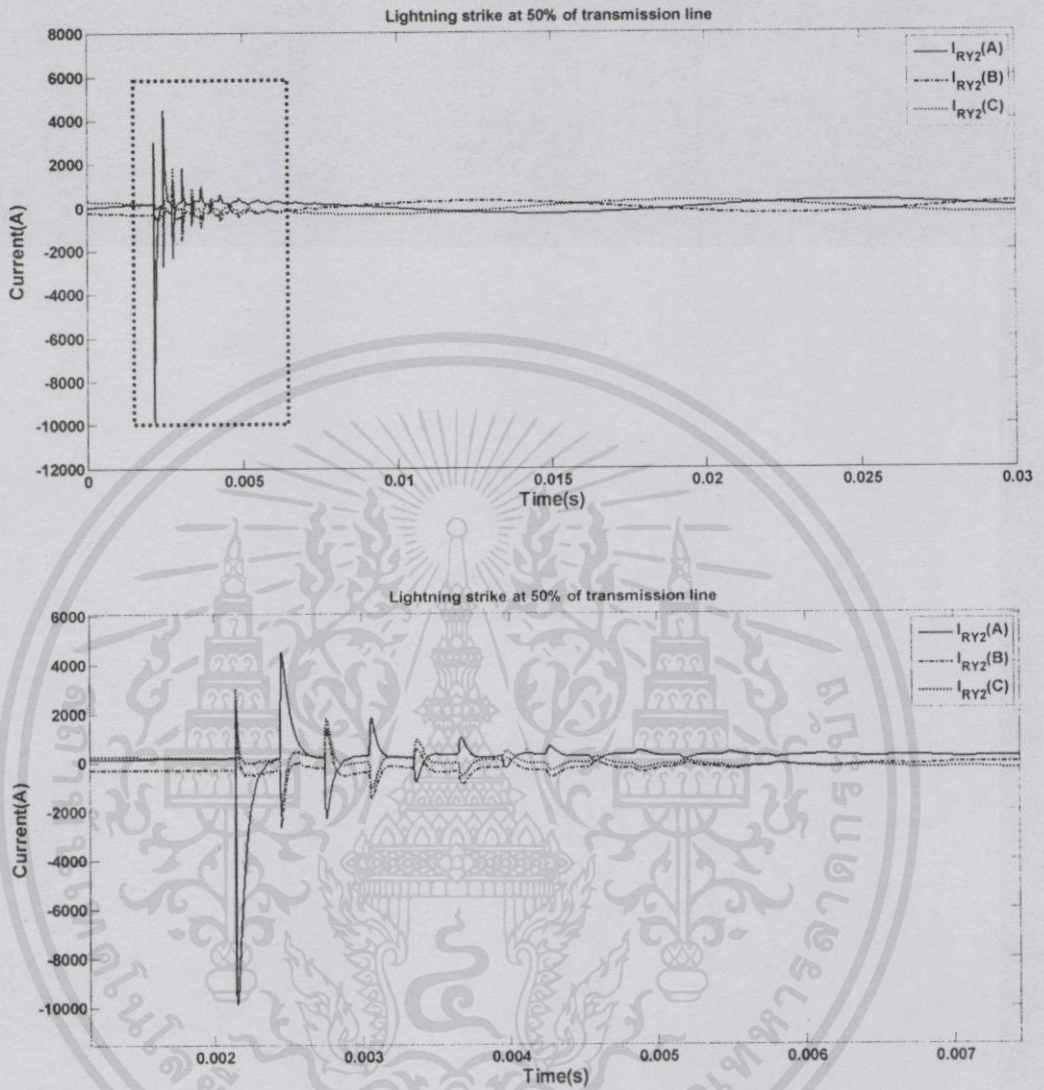
เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง หรือ 35.40 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.15



รูปที่ ค.15 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 40 % ของสายส่ง (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

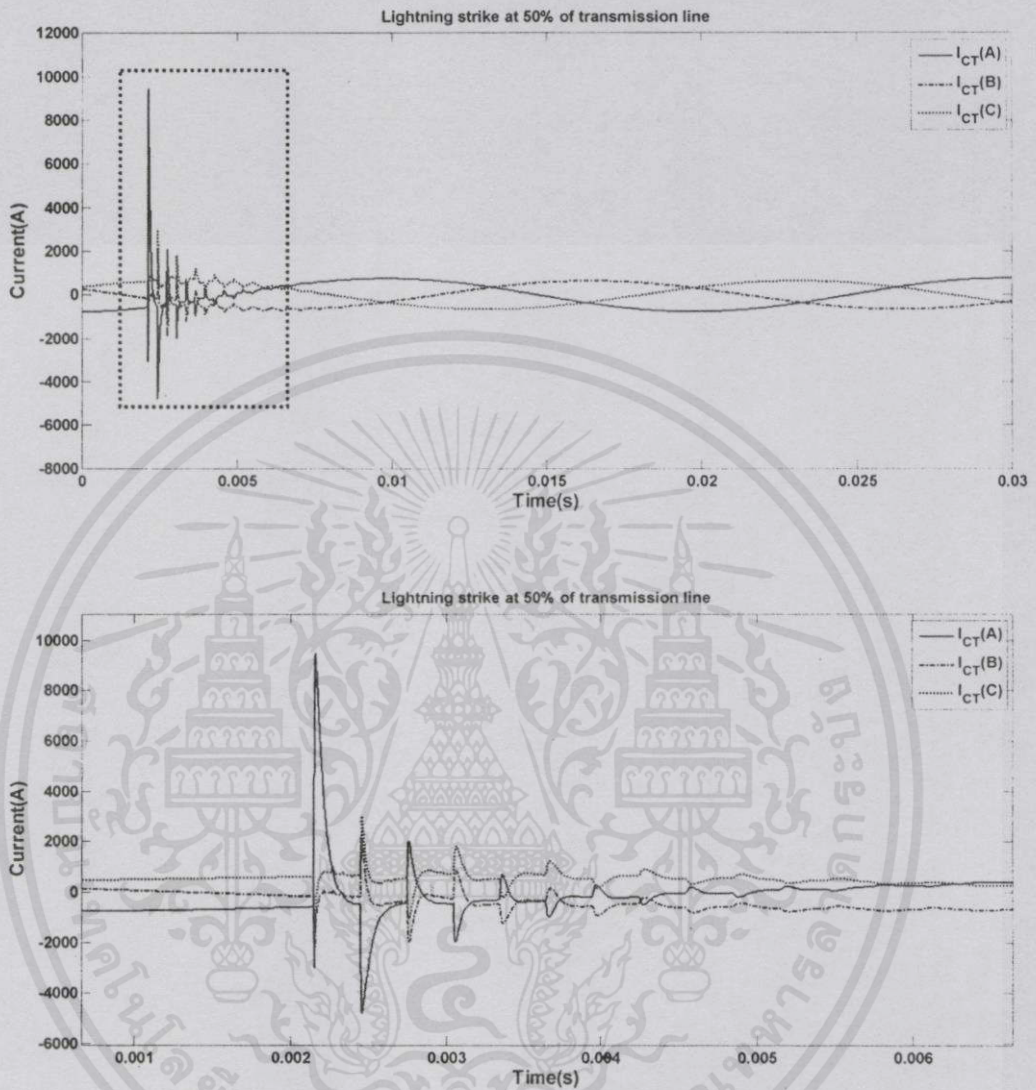
เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 50% ของความยาวสายส่ง หรือ 44.25 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.16



รูปที่ ค.16 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 50 % ของสายส่ง (ด้านส่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

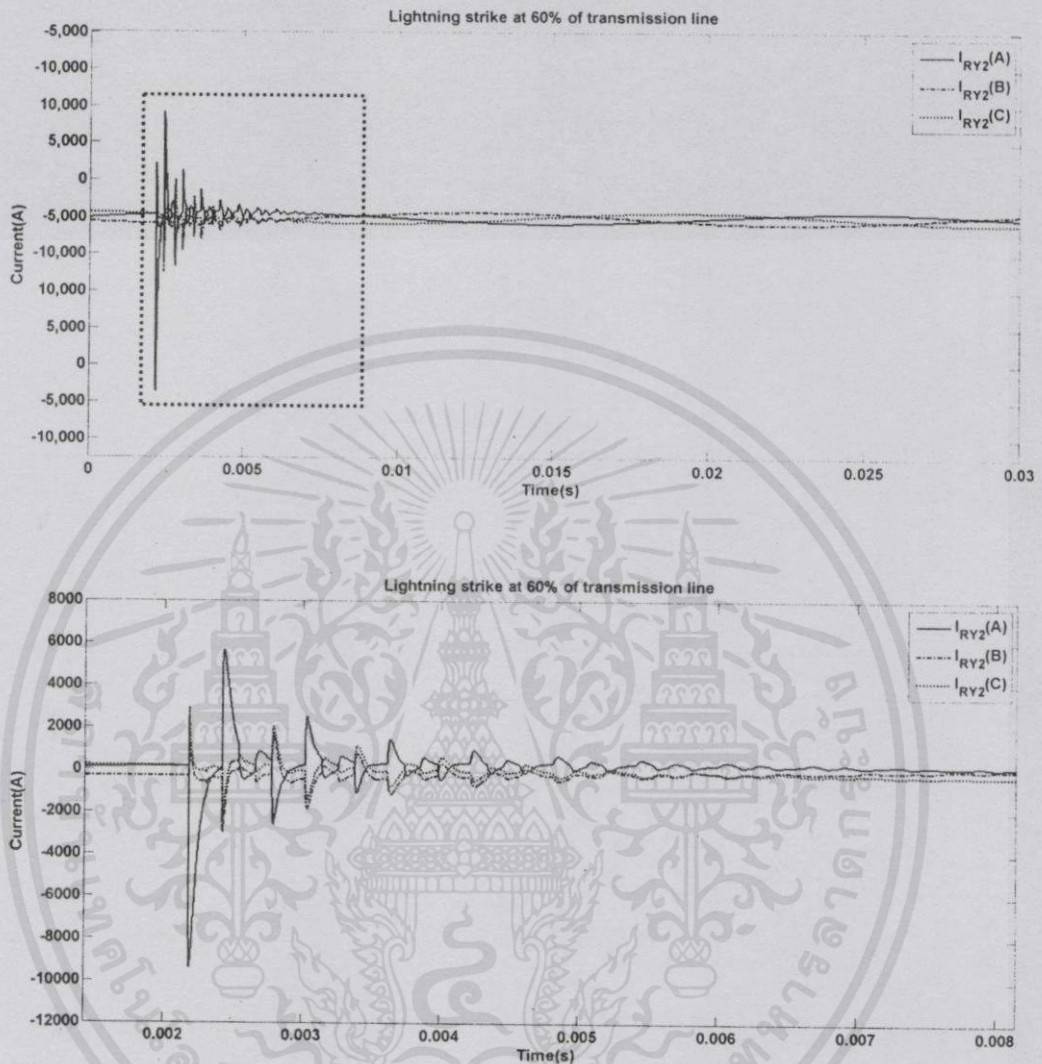
เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 50% ของความยาวสายส่ง หรือ 44.25 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.17



รูปที่ ค.17 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 50 % ของสายส่ง (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

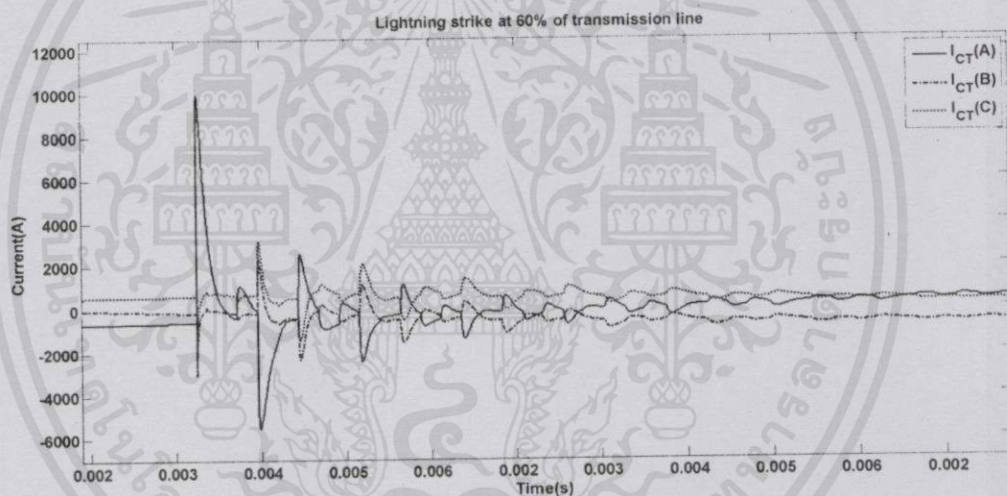
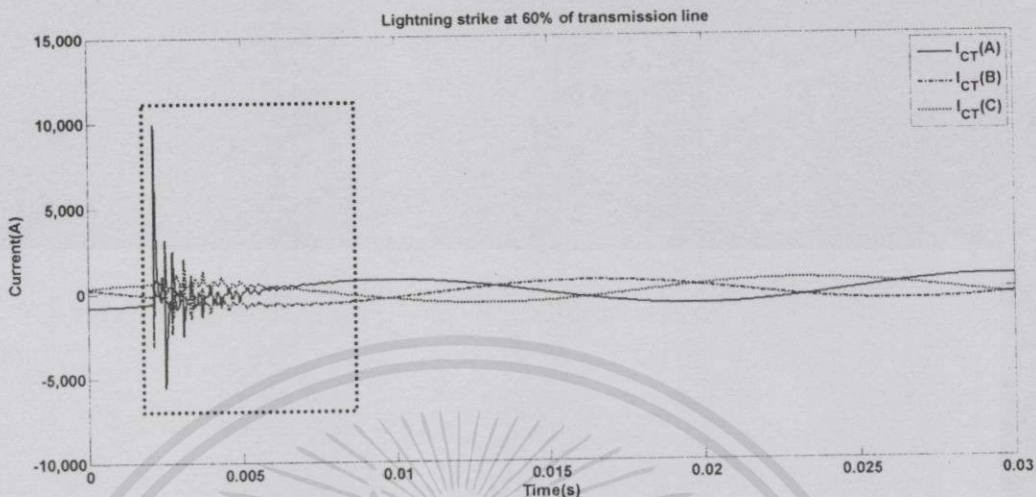
เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง หรือ 53.10 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.18



รูปที่ ค.18 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 60 % ของสายส่ง (ด้านส่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

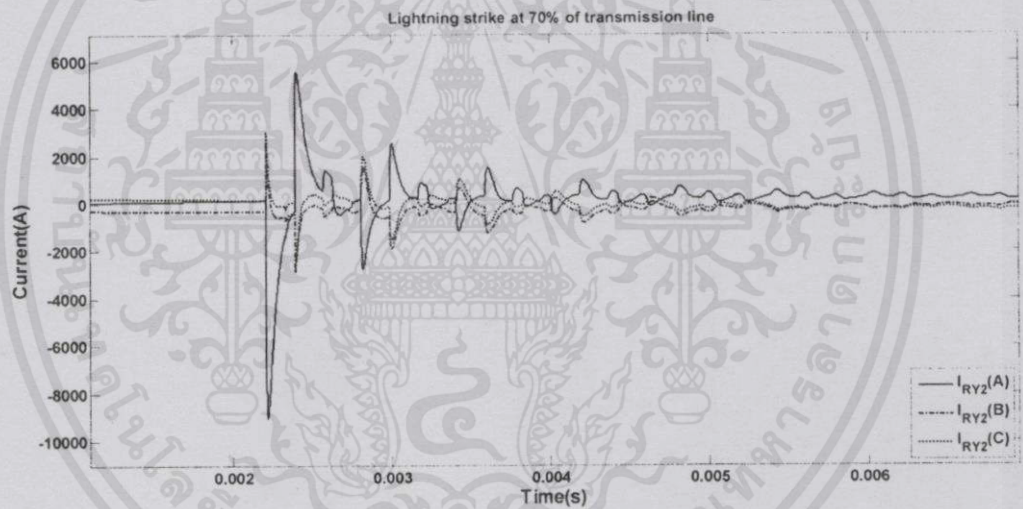
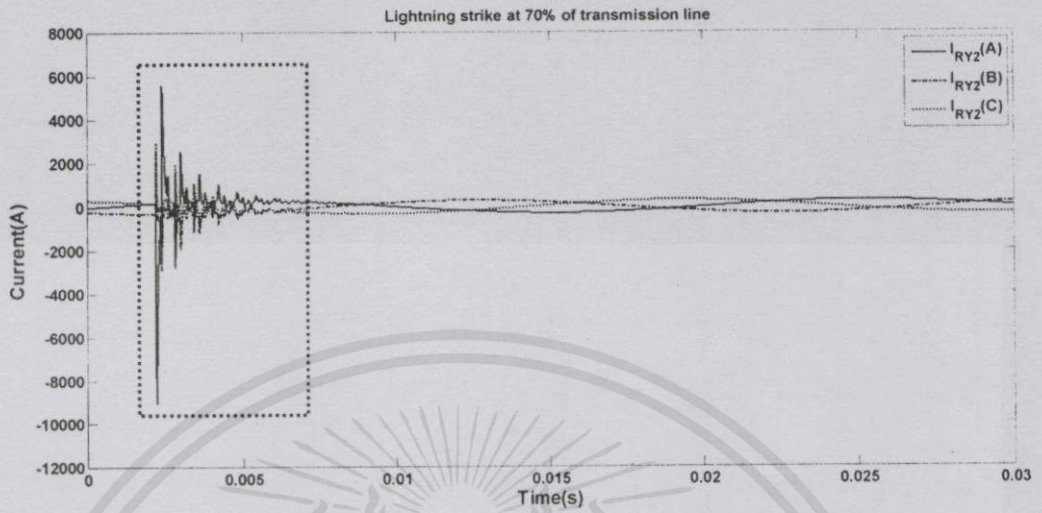
เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง หรือ 53.10 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.19



รูปที่ ค.19 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 60 % ของสายส่ง (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

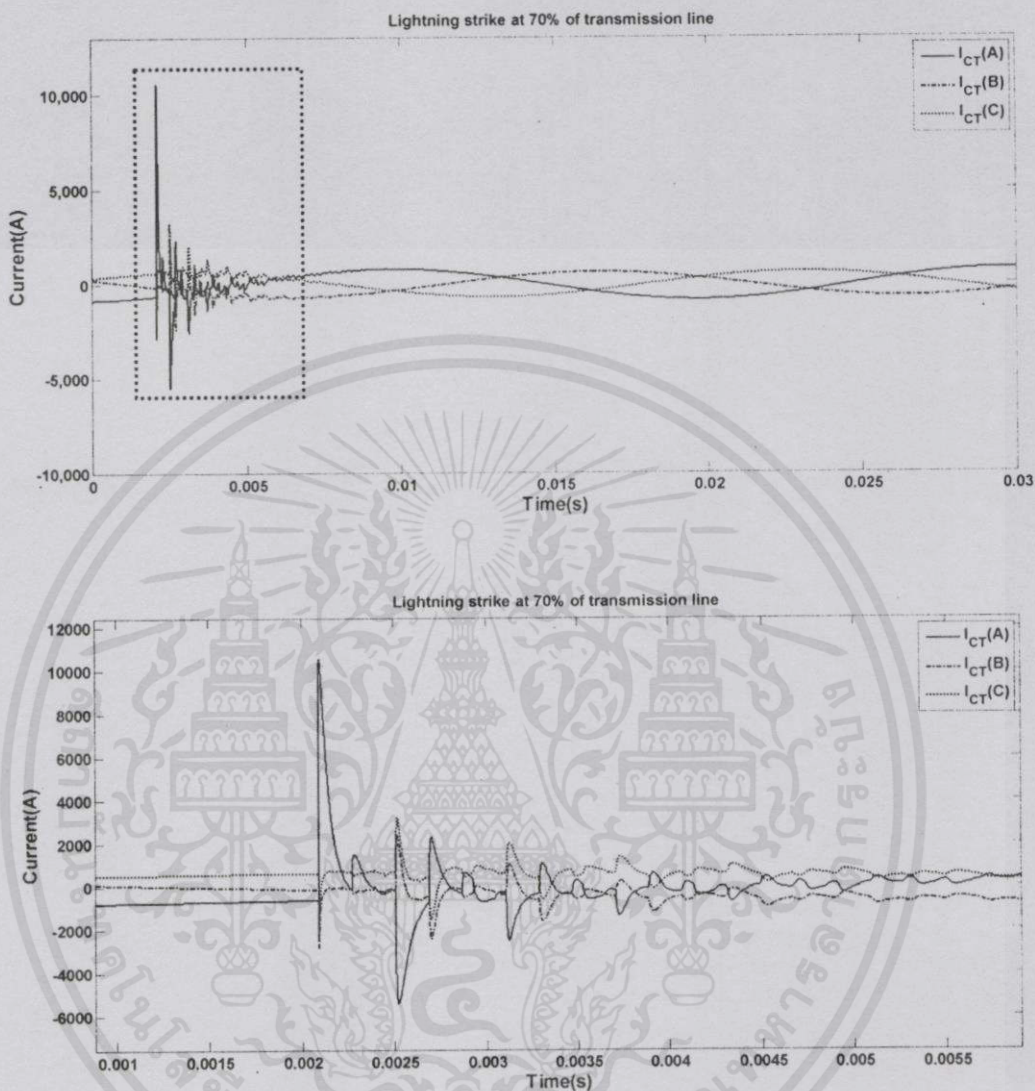
เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง หรือ 61.95 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.20



รูปที่ ค.20 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 70 % ของสายส่ง (ด้านส่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

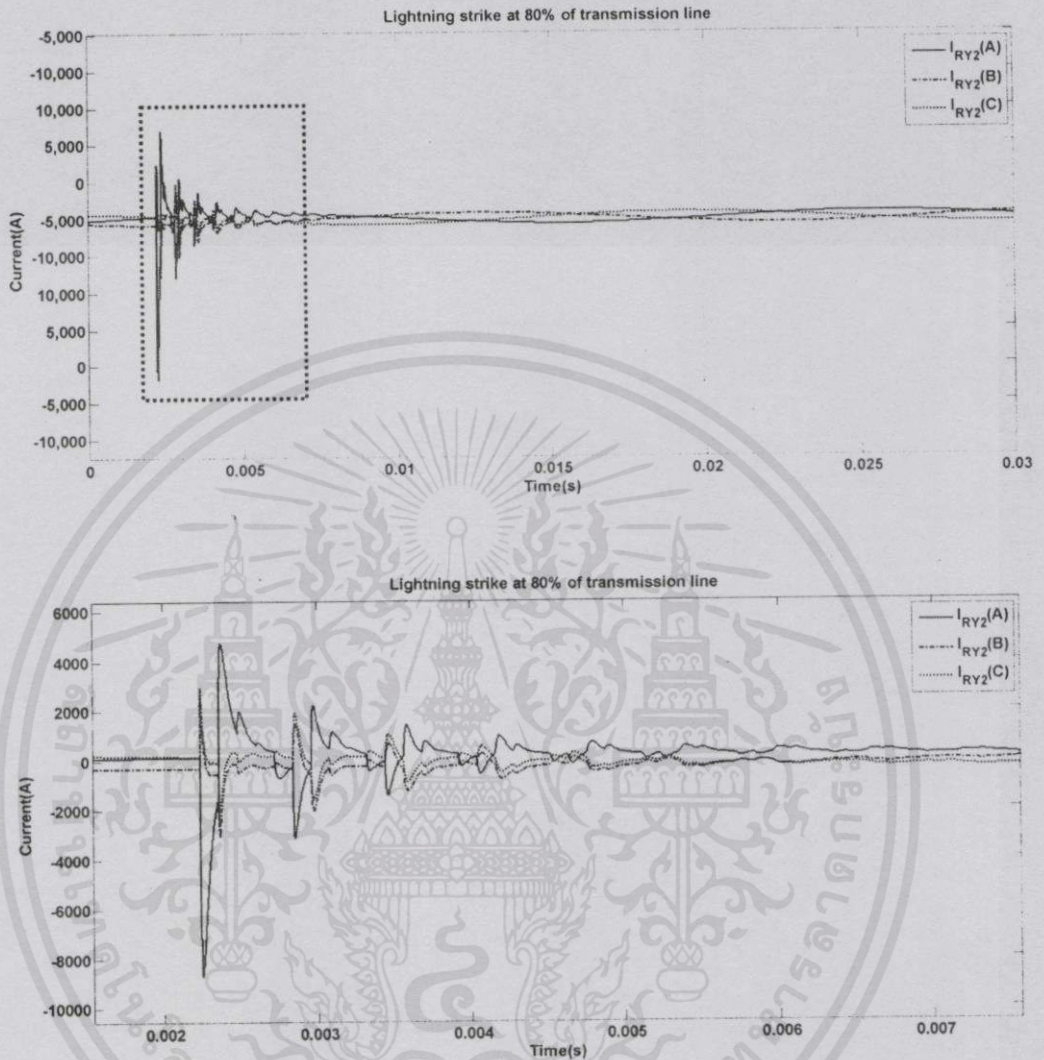
เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง หรือ 61.95 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.21



รูปที่ ค.21 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 70 % ของสายส่ง (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

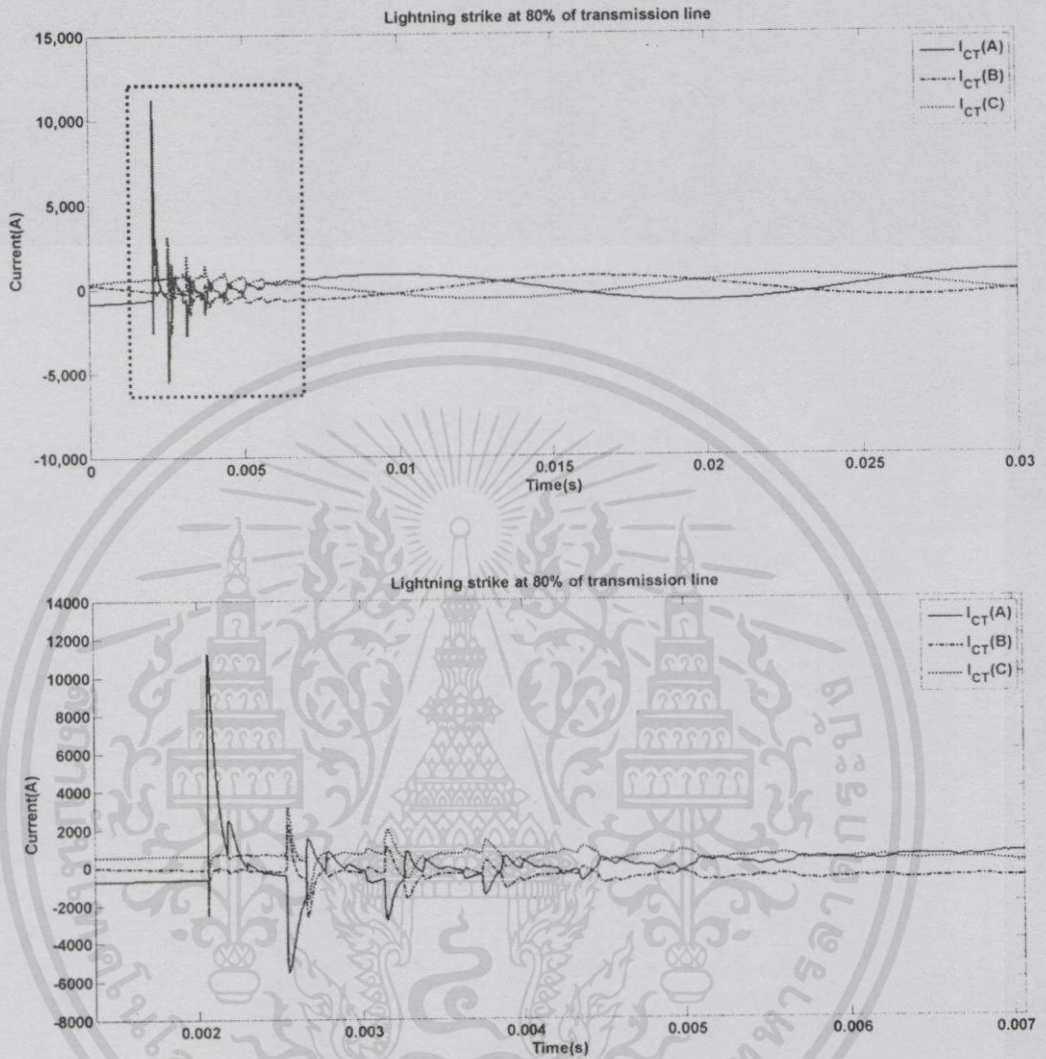
เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 80% ของความยาวสายส่ง หรือ 70.80 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.22



รูปที่ ค.22 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 80 % ของสายส่ง (ด้านส่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

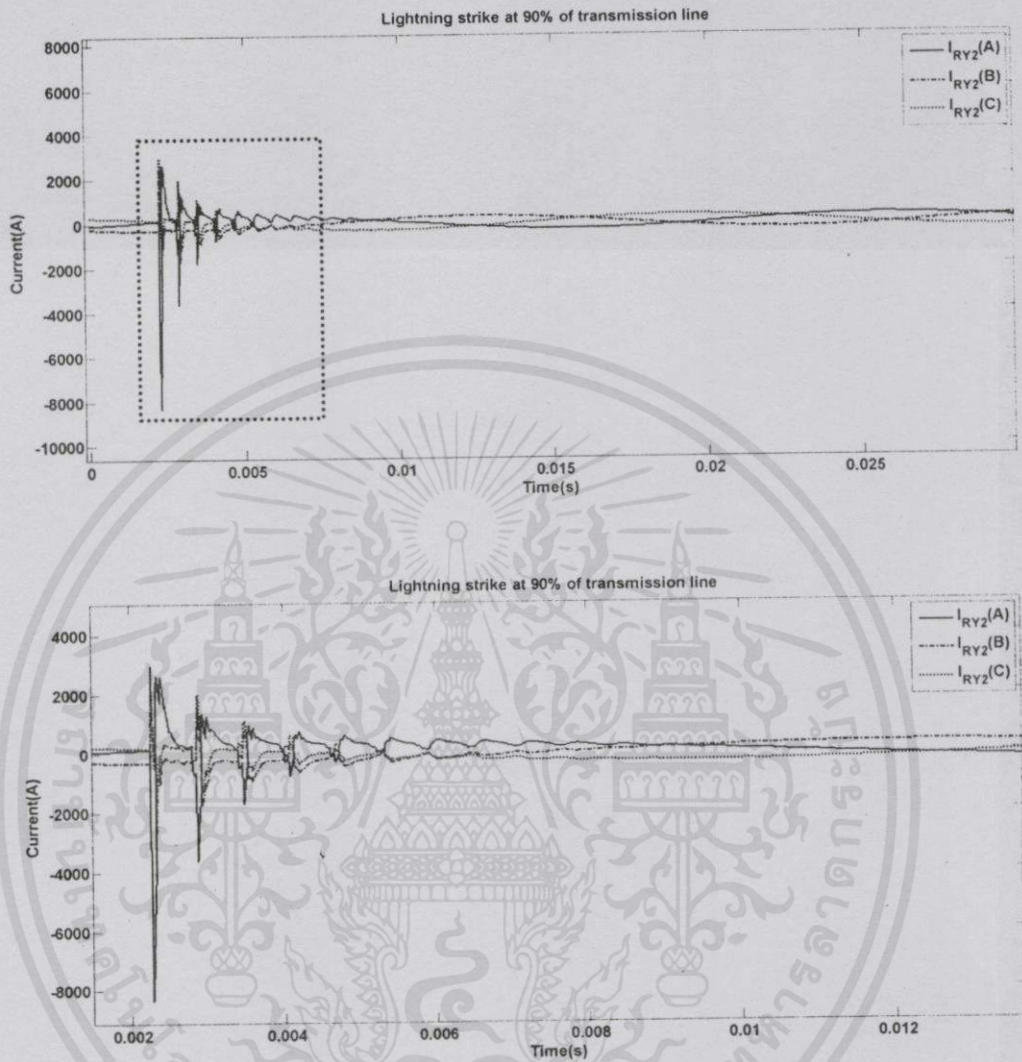
เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 80% ของความยาวสายส่ง หรือ 70.80 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.23



รูปที่ ค.23 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 80 % ของสายส่ง (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

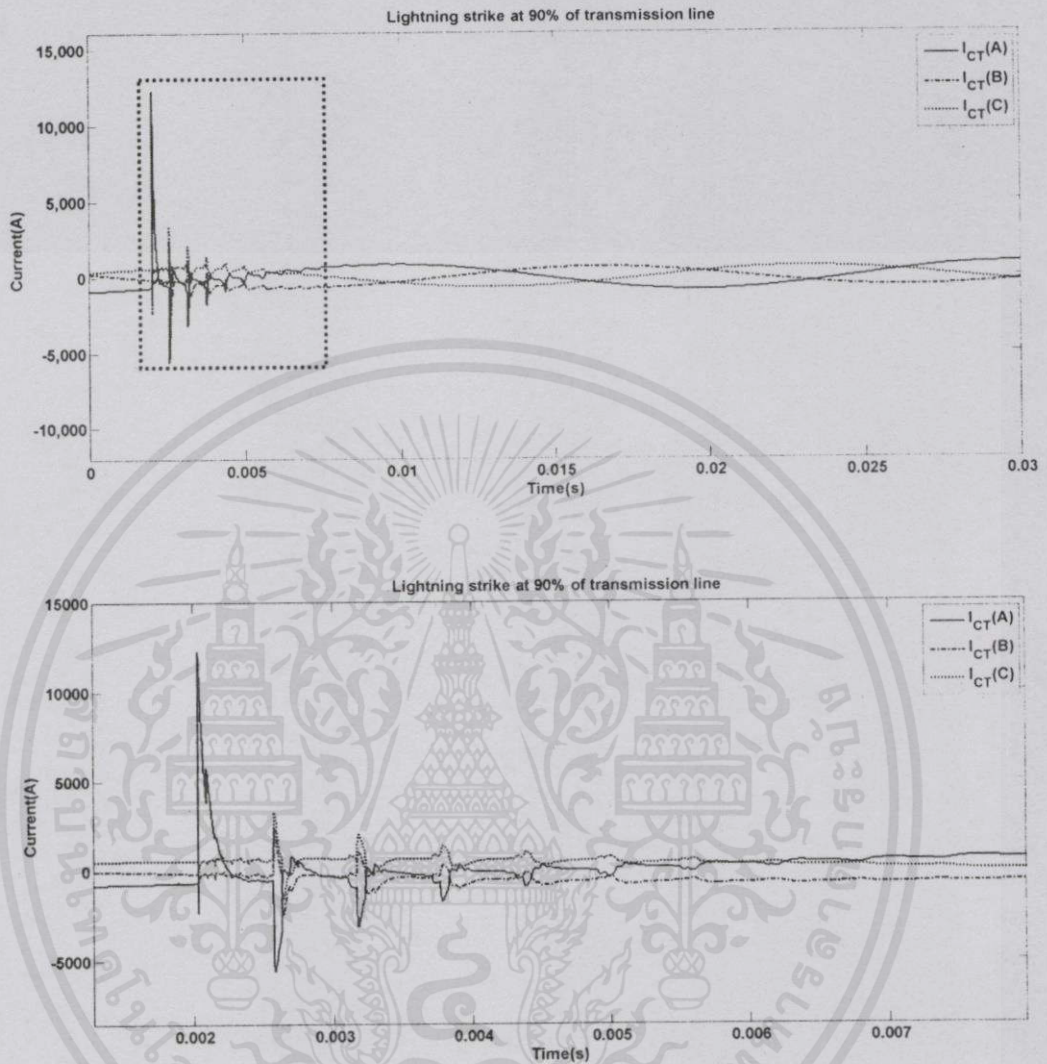
เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 90% ของความยาวสายส่ง หรือ 79.65 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.24



รูปที่ ค.24 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 90 % ของสายส่ง (ด้านส่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 90% ของความยาวสายส่ง หรือ 79.65 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.25



รูปที่ ค.25 กระแสฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 90 % ของสายส่ง (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอมพลิจูดของกระแสภาวะชั่วคราว

กรณี	สภาวะชั่วคราว						
	RY2 (A)			CT (A)			เสร็จ (A)
	A	B	C	A	B	C	
10%	-12708	-2864.2	-2407.80	8013.87	-2967.9	3222.67	14810.3
20%	-11653	-2881.7	2632.53	8326.91	-3000.4	3433.16	14813.5
30%	-10918	-2883.9	2920.02	8660.35	-3014.9	3238.33	14816.5
40%	-10321	-2923.9	2915.00	9044.02	-3050.9	3204.49	14819.2
50%	-9835.7	-2631.4	3010.91	9470.74	-3019.8	3005.27	14821.9
60%	-9401.3	-2960.0	2975.04	9968.33	-3047.7	3183.77	14824.3
70%	-9024.7	-2866.9	2996.51	10588.2	-2821.1	3260.20	14826.7
80%	-8711.4	-3105	2969.02	11282.9	-2639.1	3195.72	14829.0
90%	-8351.4	-2962.6	3017.49	12306.2	-2488.63	3370.47	14835.1

แอมพลิจูดของกระแสภาวะคงตัว

กรณี	สภาวะคงตัว						
	RY2 (A)			CT (A)			เสร็จ (A)
	A	B	C	A	B	C	
10%	315.130	304.220	303.460	678.580	654.480	654.810	231.696
20%	305.025	303.330	304.030	700.724	654.470	655.458	229.493
30%	296.560	304.000	303.720	723.520	654.550	654.910	227.790
40%	290.652	303.100	303.230	745.570	654.560	655.646	226.851
50%	286.145	303.984	304.020	768.240	654.880	654.794	226.480
60%	284.824	303.020	304.480	790.898	654.860	655.657	226.829
70%	285.036	304.070	304.344	814.242	655.291	654.730	227.780
80%	288.395	304.570	303.880	838.453	655.170	654.226	229.416
90%	294.826	304.270	303.880	866.528	658.020	658.102	231.787

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาที่เกิดค่ากระแสสภาวะชั่วคราวสูงสุดและกระแสฟ้าผ่า

กรณี	Time of arrival (ms)		
	RY2	CT	เสร็จ
10%	2.0332	2.2806	2.0012
20%	2.0648	2.2500	2.0012
30%	2.0962	2.2195	2.0012
40%	2.1273	2.1887	2.0012
50%	2.1580	2.1580	2.0012
60%	2.1886	2.1271	2.0012
70%	2.2193	2.0959	2.0012
80%	2.2498	2.0648	2.0012
90%	2.2796	2.0332	2.0012

จากการบันทึกผล พบว่าเมื่อตำแหน่งฟ้าผ่าเปลี่ยนไป จะมีผลต่อค่าเวลาและค่าแอมพลิจูดที่วัดได้จากสถานีด้านส่งและสถานีด้านรับ ซึ่งคือเมื่อเกิดตำแหน่งฟ้าผ่าใกล้กับสถานีฝั่งใด สถานีฝั่งนั้นจะมีค่าแอมพลิจูดของกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าสูงขึ้นและเวลาที่วัดได้จะมีค่าใกล้เคียงกับเวลาที่เกิดฟ้าผ่า

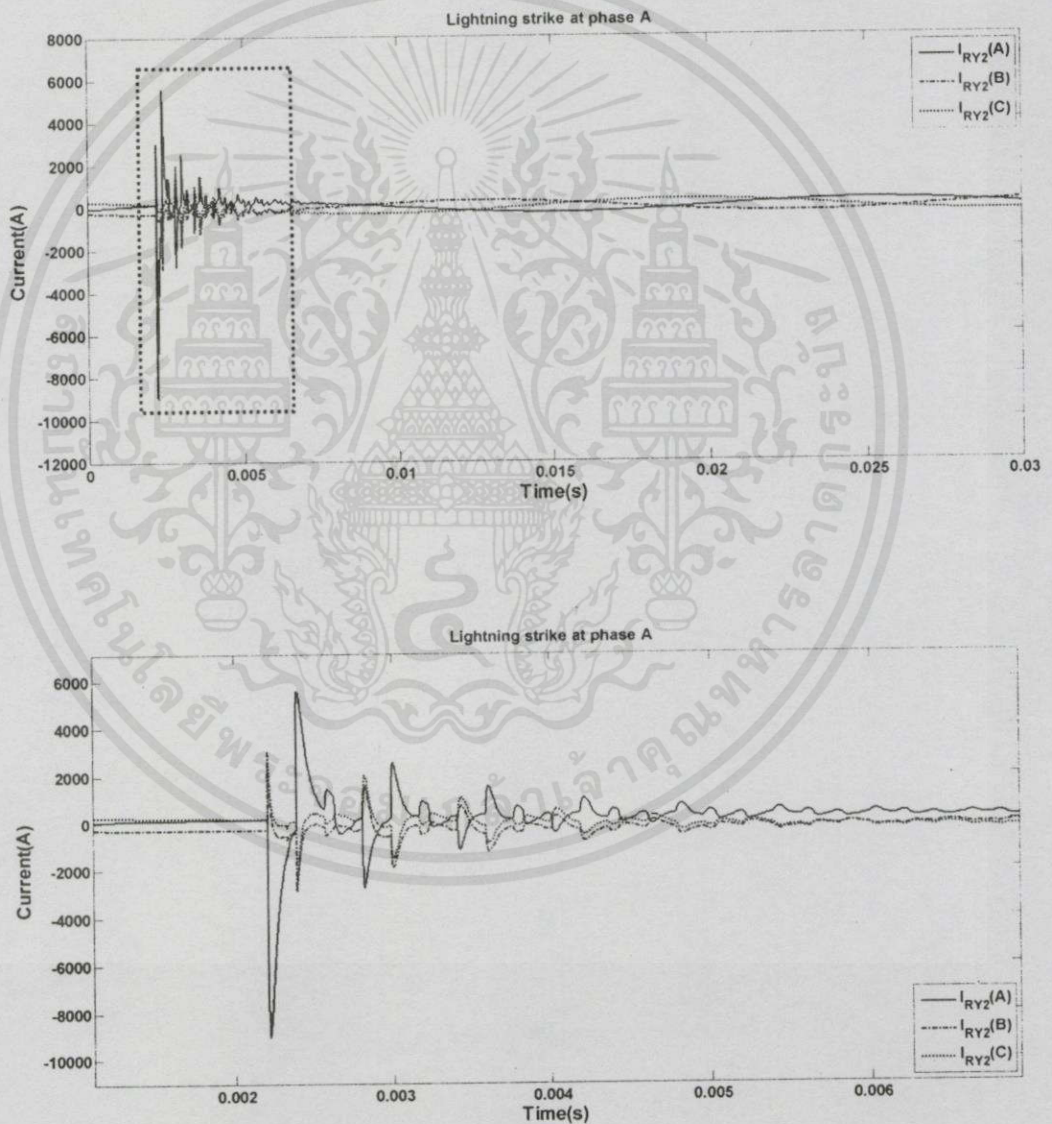
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 3 เกิดฟ้าผ่าที่สายเฟสต่างกัน

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสายเฟสที่เกิดฟ้าผ่ามีผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า ซึ่งการจำลองจะเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบสายส่งแรงดัน 115 กิโลโวลต์ มุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันของสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา ความยาวของสายส่ง มีค่าเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร เกิดกระแสฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง (61.95 กิโลเมตร) และค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม โดยทำการเปลี่ยนแปลงสายเฟสที่เกิดฟ้าผ่า 3 สายเฟส ดังนี้

เกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส A

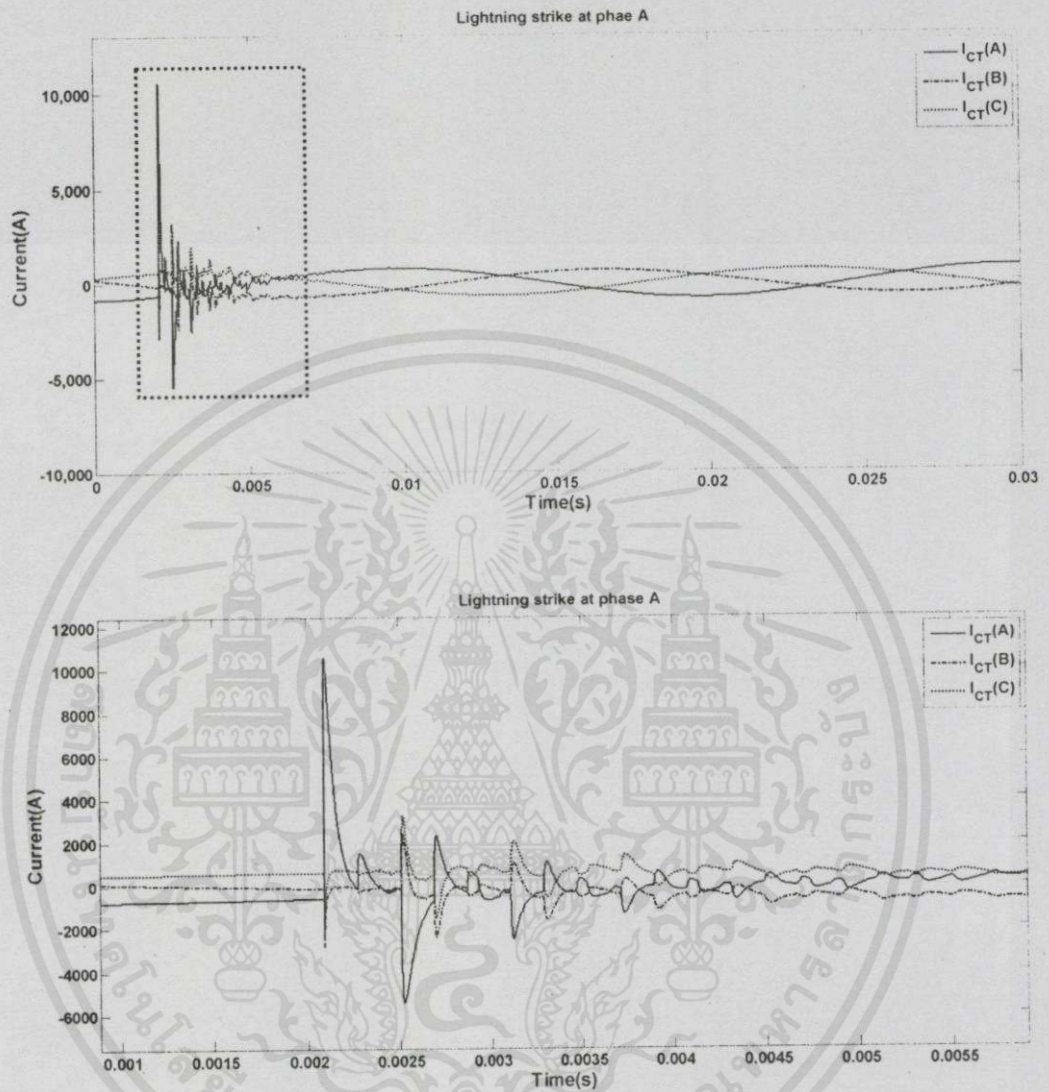
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.26



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากศูนย์ฯ ทั้งนี้ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏอยู่ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส A

แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.27

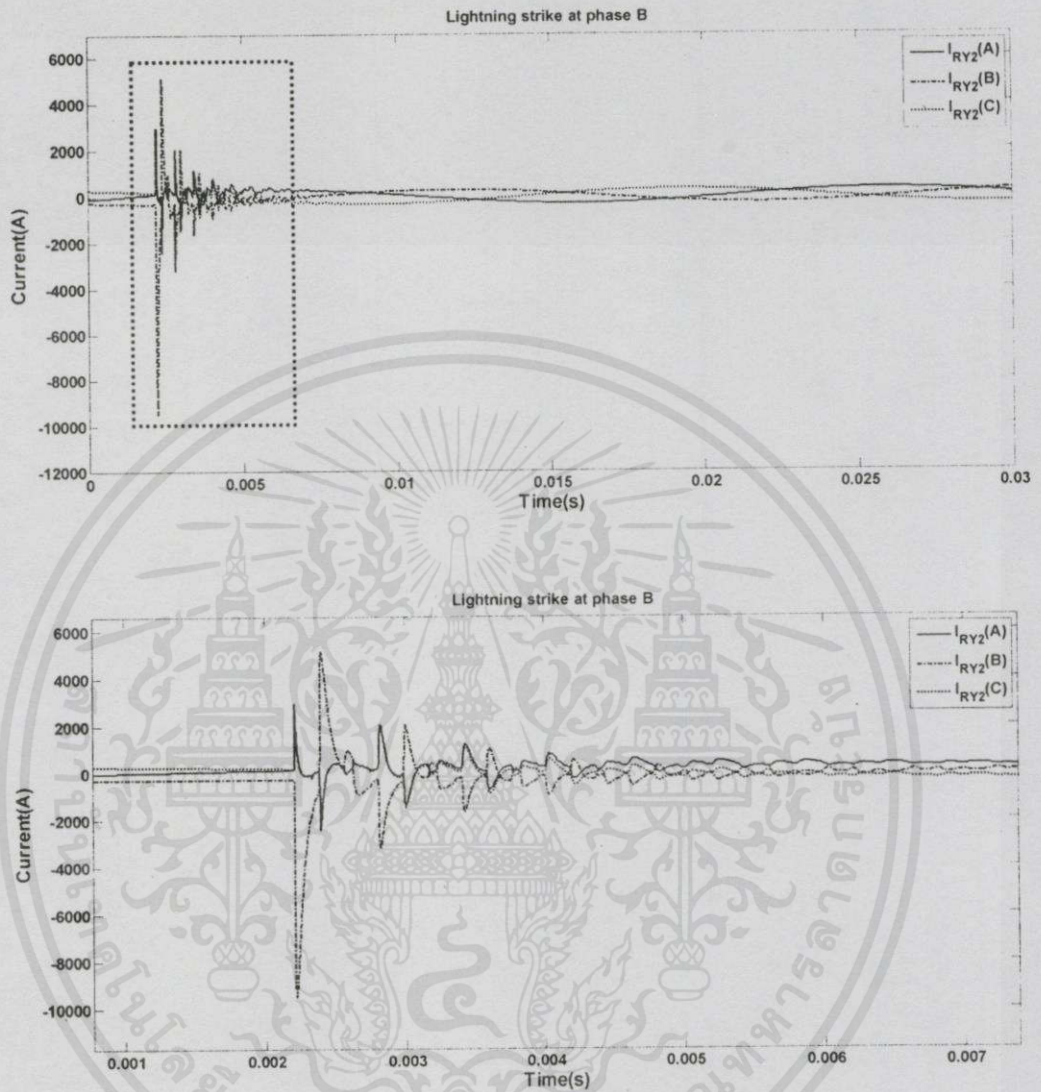


รูปที่ ค.27 กระแสฟ้าผ่าที่สายเฟส A (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส B

แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.28

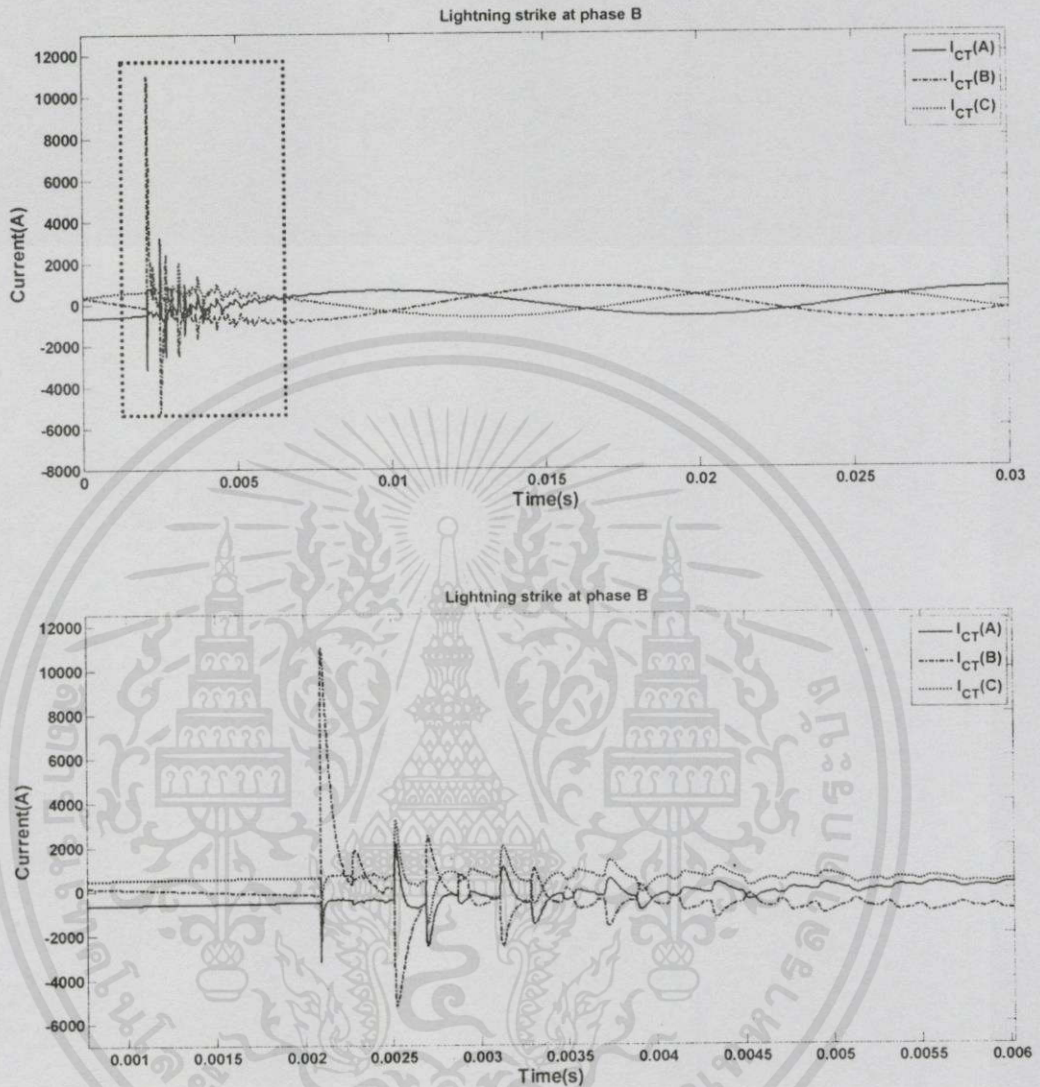


รูปที่ ค.28 กระแสฟ้าผ่าที่สายเฟส B (ด้านส่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส B

แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.29

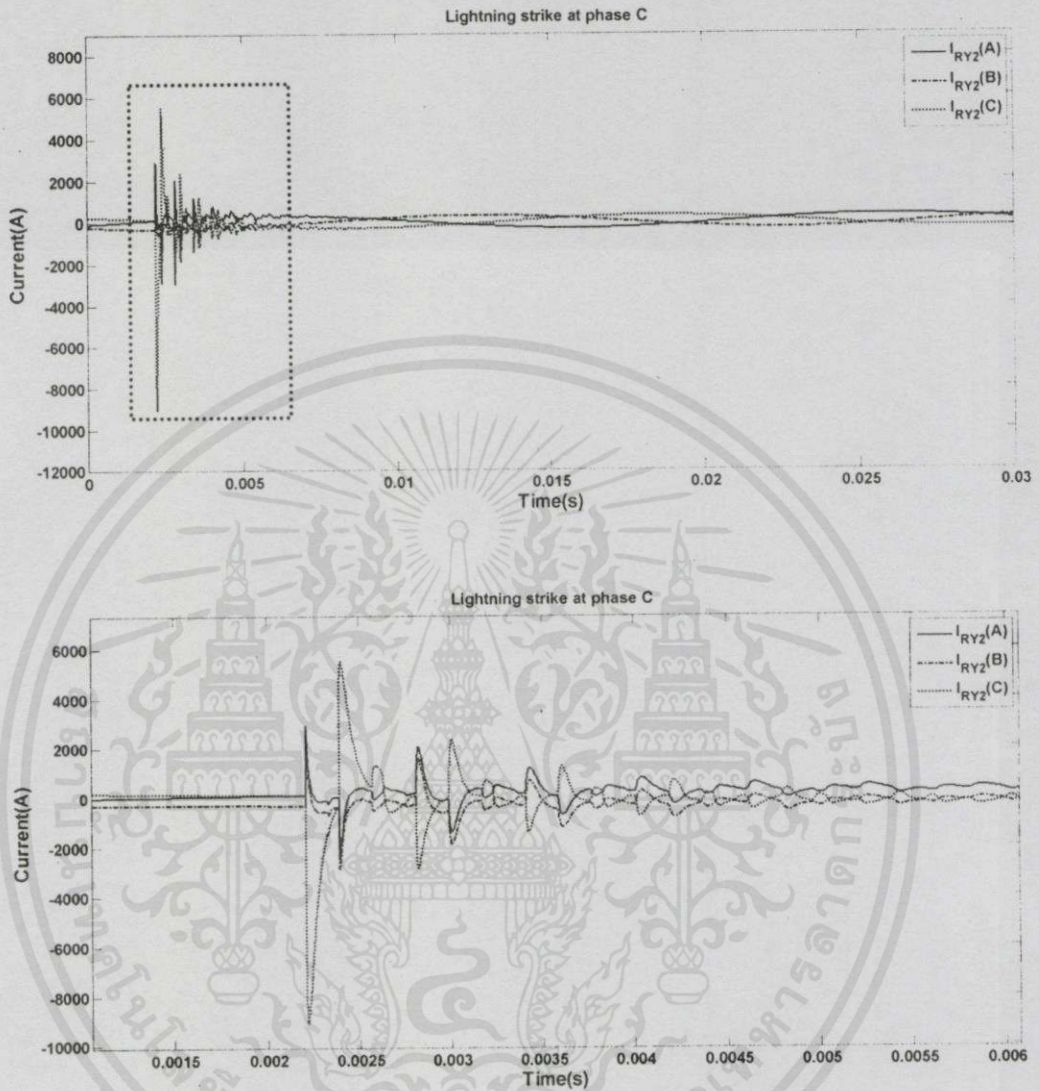


รูปที่ ค.29 กระแสฟ้าผ่าที่สายเฟส B (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส C

แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.30

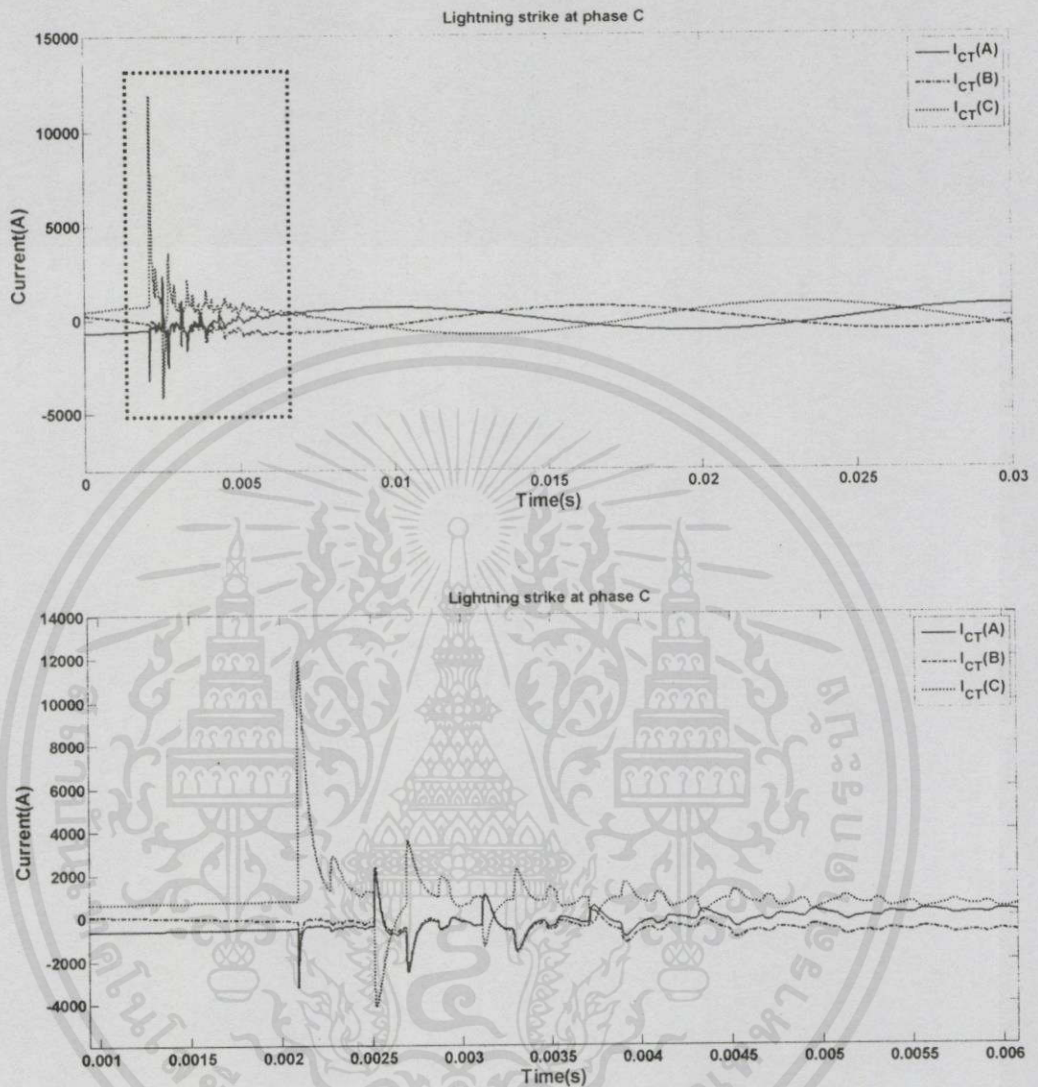


รูปที่ ค.30 กระแสฟ้าผ่าที่สายเฟส C (ด้านส่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส C

แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.31



รูปที่ ค.31 กระแสฟ้าผ่าที่สายเฟส C (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอมพลิจูดของกระแสสภาวะชั่วคราว

กรณี	สภาวะชั่วคราว						เสิร์จ (A)
	RY2 (A)			CT (A)			
	A	B	C	A	B	C	
ฟ้าผ่าเฟส A	-9024.70	-2866.9	2996.51	10588.2	-2821.1	3260.2	14826.7
ฟ้าผ่าเฟส B	2935.47	-9476.7	2997.02	-3169.7	11015.8	3260.69	14950.8
ฟ้าผ่าเฟส C	2934.58	-2867.2	-9079.00	-3170.4	-2821.4	11965.8	15213

แอมพลิจูดของกระแสสภาวะคงตัว

กรณี	สภาวะคงตัว						เสิร์จ (A)
	RY2 (A)			CT (A)			
	A	B	C	A	B	C	
ฟ้าผ่าเฟส A	285.036	304.070	304.344	814.242	655.291	654.730	227.78
ฟ้าผ่าเฟส B	304.353	285.009	304.067	654.723	814.222	655.302	227.79
ฟ้าผ่าเฟส C	304.075	304.347	284.986	655.295	654.719	814.267	227.79

เวลาที่เกิดค่ากระแสสภาวะชั่วคราวสูงสุดและกระแสฟ้าผ่า

กรณี	Time of arrival (ms)		
	RY2	CT	เสิร์จ
ฟ้าผ่าเฟส A	2.2193	2.0959	2.0012
ฟ้าผ่าเฟส B	2.2193	2.0959	2.0012
ฟ้าผ่าเฟส C	2.2193	2.0959	2.0012

จากการบันทึกผล พบว่าเมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เฟสใดๆ จะส่งผลให้กระแสที่เกิดฟ้าผ่าในเฟสนั้นมีค่าแอมพลิจูดของกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าสูงขึ้นกว่าเฟสอื่น

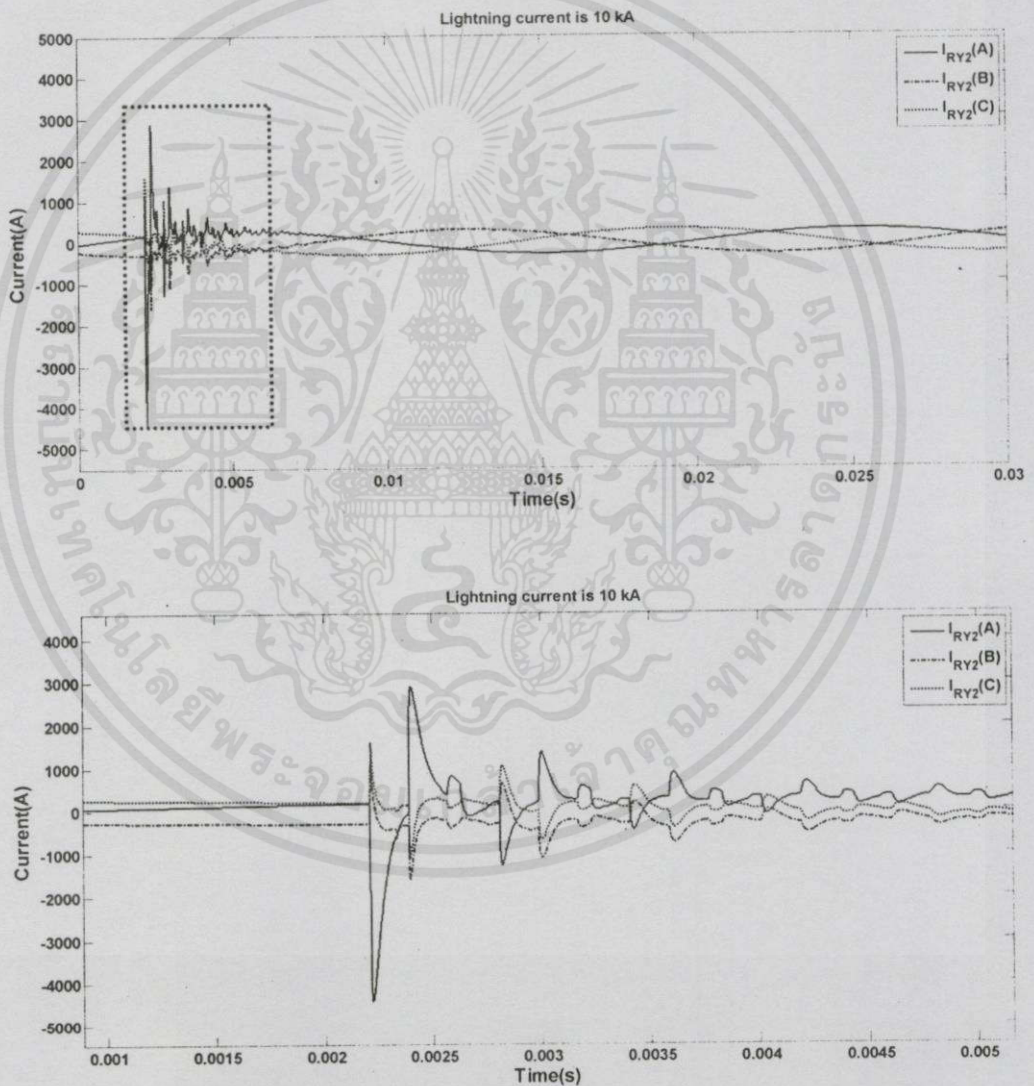
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 4 เกิดฟ้าผ่าที่มีขนาดกระแสฟ้าผ่าต่างกัน

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสฟ้าผ่าที่มีผลต่อภาระระบุตำแหน่งฟ้าผ่า ซึ่งการจำลองจะเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบสายส่งแรงดัน 115 กิโลโวลต์ มุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันของสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา ความยาวของสายส่งจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยัง สถานี CT (ด้านรับ) มีค่าเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร เกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส A ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง (61.95 กิโลเมตร) และค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม โดยทำการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสฟ้าผ่า 3 ขนาดดังนี้

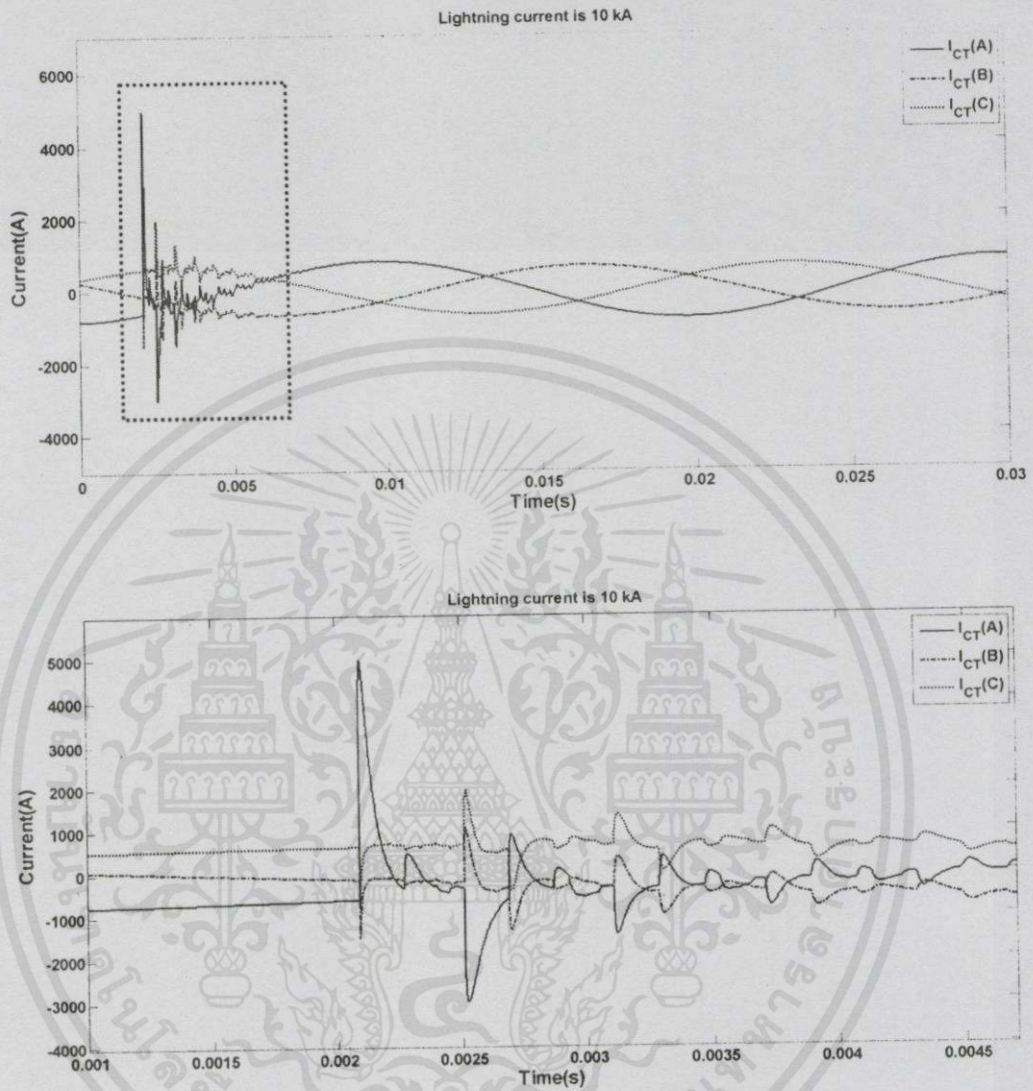
เกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีขนาดกระแสฟ้าผ่าเท่ากับ 10 กิโลแอมแปร์

แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สนับสนุนไว้สำหรับลูกค้าใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ ค.32 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีขนาดกระแสฟ้าผ่า 10 กิโลแอมแปร์ (ด้านส่ง)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

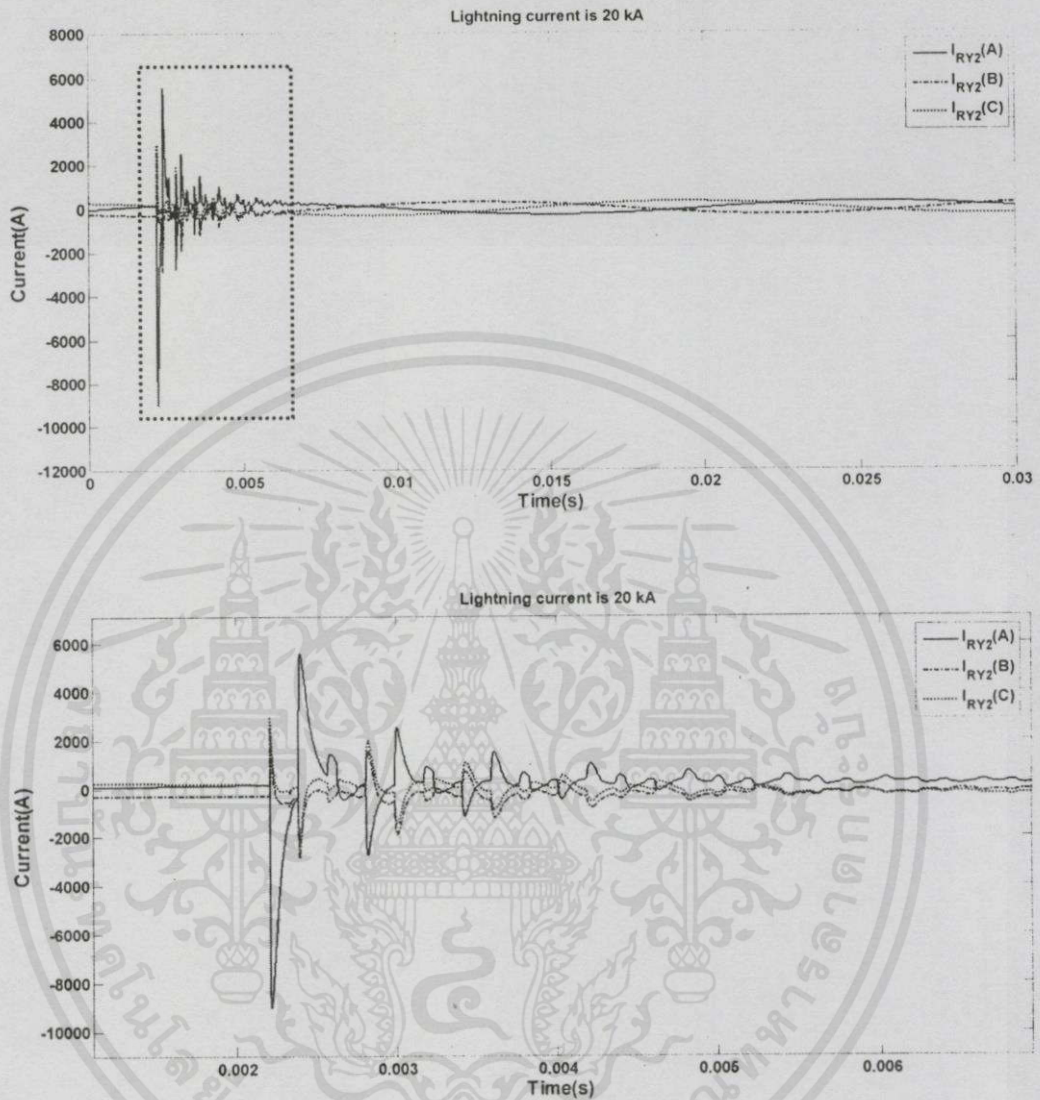
เกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีขนาดกระแสฟ้าผ่าเท่ากับ 10 กิโลแอมแปร์
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.33



รูปที่ ค.33 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีขนาดกระแสฟ้าผ่า 10 กิโลแอมแปร์ (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

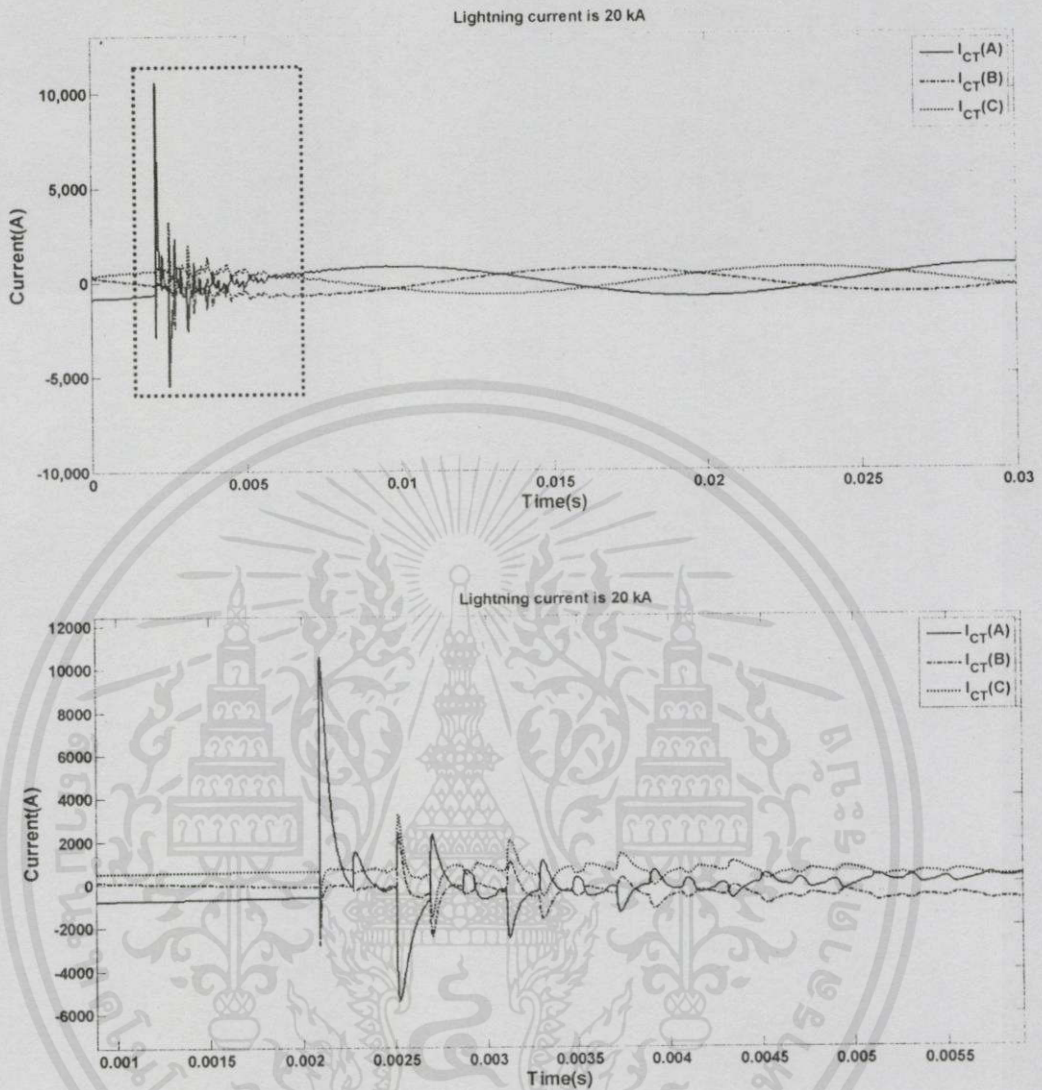
เกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีขนาดกระแสฟ้าผ่าเท่ากับ 20 กิโลแอมแปร์
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.34



รูปที่ ค.34 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีขนาดกระแสฟ้าผ่า 20 กิโลแอมแปร์ (ด้านส่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีขนาดกระแสฟ้าผ่าเท่ากับ 20 กิโลแอมแปร์
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.35

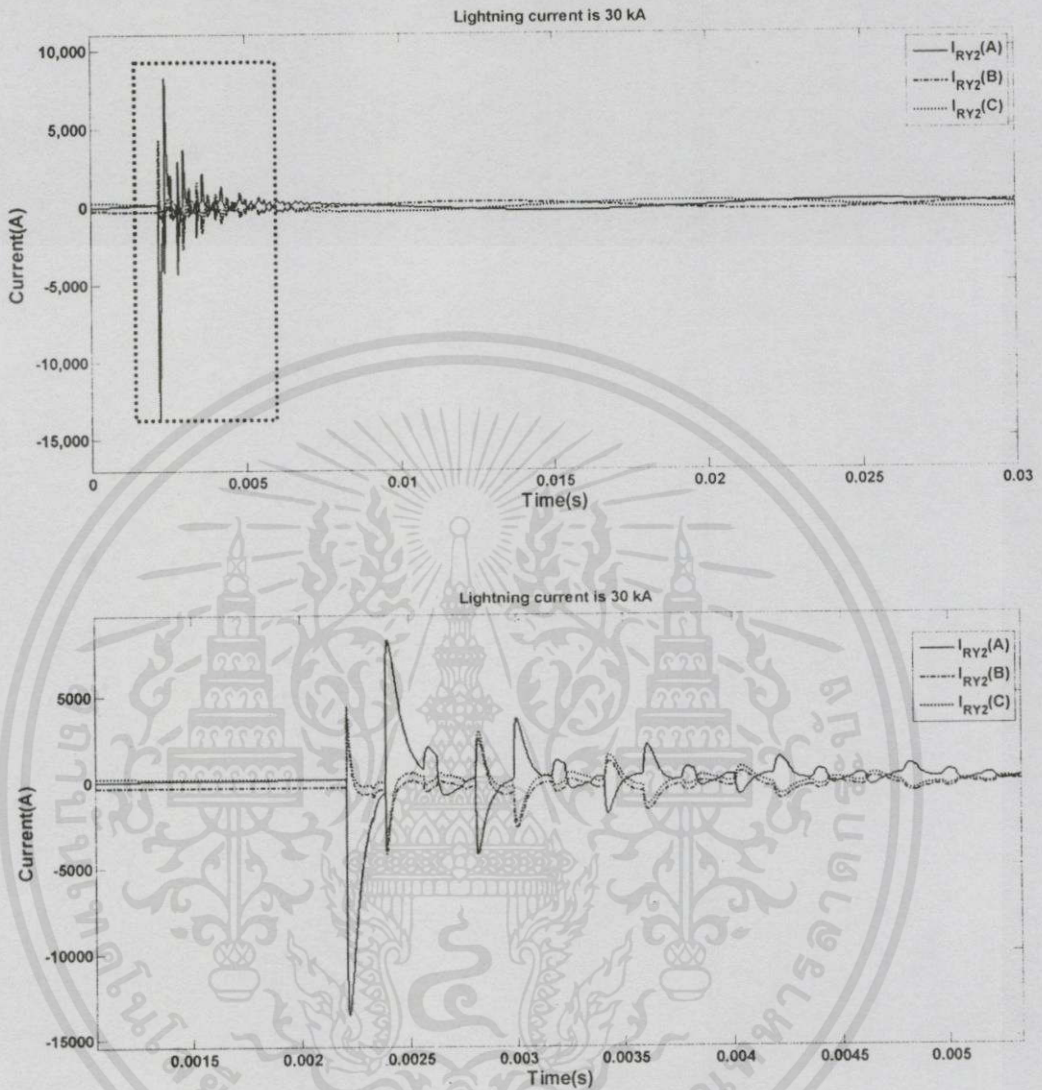


รูปที่ ค.35 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีขนาดกระแสฟ้าผ่า 20 กิโลแอมแปร์ (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีขนาดกระแสฟ้าผ่าเท่ากับ 30 กิโลแอมแปร์

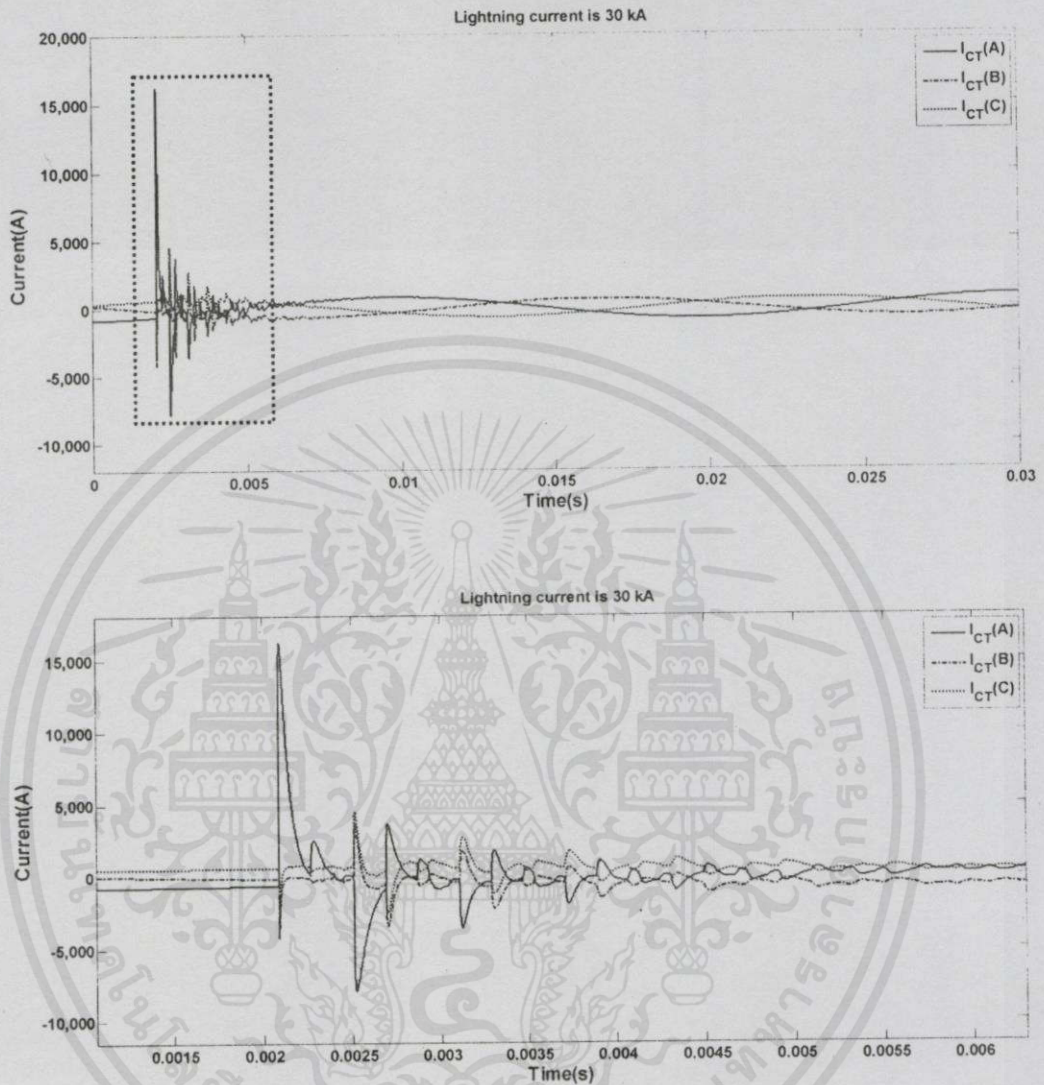
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.36



รูปที่ ค.36 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีขนาดกระแสฟ้าผ่า 30 กิโลแอมแปร์ (ด้านส่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีขนาดกระแสฟ้าผ่าเท่ากับ 30 กิโลแอมแปร์
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.37



รูปที่ ค.37 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีขนาดกระแสฟ้าผ่า 30 กิโลแอมแปร์ (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอมพลิจูดของกระแสสภาวะชั่วคราว

กรณี	สภาวะชั่วคราว						
	RY2 (A)			CT (A)			เสิร์จ (A)
	A	B	C	A	B	C	
10 kA	-4428	-1585.2	1589.08	4993.24	-1479.1	1952.24	7328.25
20 kA	-9024.7	-2866.9	2996.51	10588.2	-2821.1	3260.2	14826.7
30 kA	-13621	-4148.6	4403.94	16183.2	-4163.1	4568.16	22325.1

แอมพลิจูดของกระแสสภาวะคงตัว

กรณี	สภาวะคงตัว						
	RY2 (A)			CT (A)			เสิร์จ (A)
	A	B	C	A	B	C	
10 kA	284.998	304.052	304.328	814.217	655.275	654.708	227.78
20 kA	285.036	304.070	304.344	814.242	655.291	654.73	227.78
30 kA	285.075	304.087	304.36	814.267	655.307	654.752	227.78

เวลาที่เกิดค่ากระแสสภาวะชั่วคราวสูงสุดและกระแสฟ้าผ่า

กรณี	Time of arrival (ms)		
	RY2	CT	เสิร์จ
10 kA	2.2193	2.0959	2.001
20 kA	2.2193	2.0959	2.001
30 kA	2.2193	2.0959	2.001

จากการบันทึกผล พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนค่าแอมพลิจูดของกระแสฟ้าผ่า จะส่งผลให้ค่าแอมพลิจูดของแอสเนื่องจากฟ้าผ่าที่สถานีทั้งด้านรับและสถานีด้านส่งเปลี่ยนแปลงไปด้วย ในลักษณะที่เป็นแนวโน้มเดียว คือ ค่ากระแสเนื่องจากฟ้าผ่าจะเพิ่มเป็นจำนวนเท่าเดียวกันกับจำนวนเท่าของกระแสฟ้าผ่าที่เพิ่มขึ้น

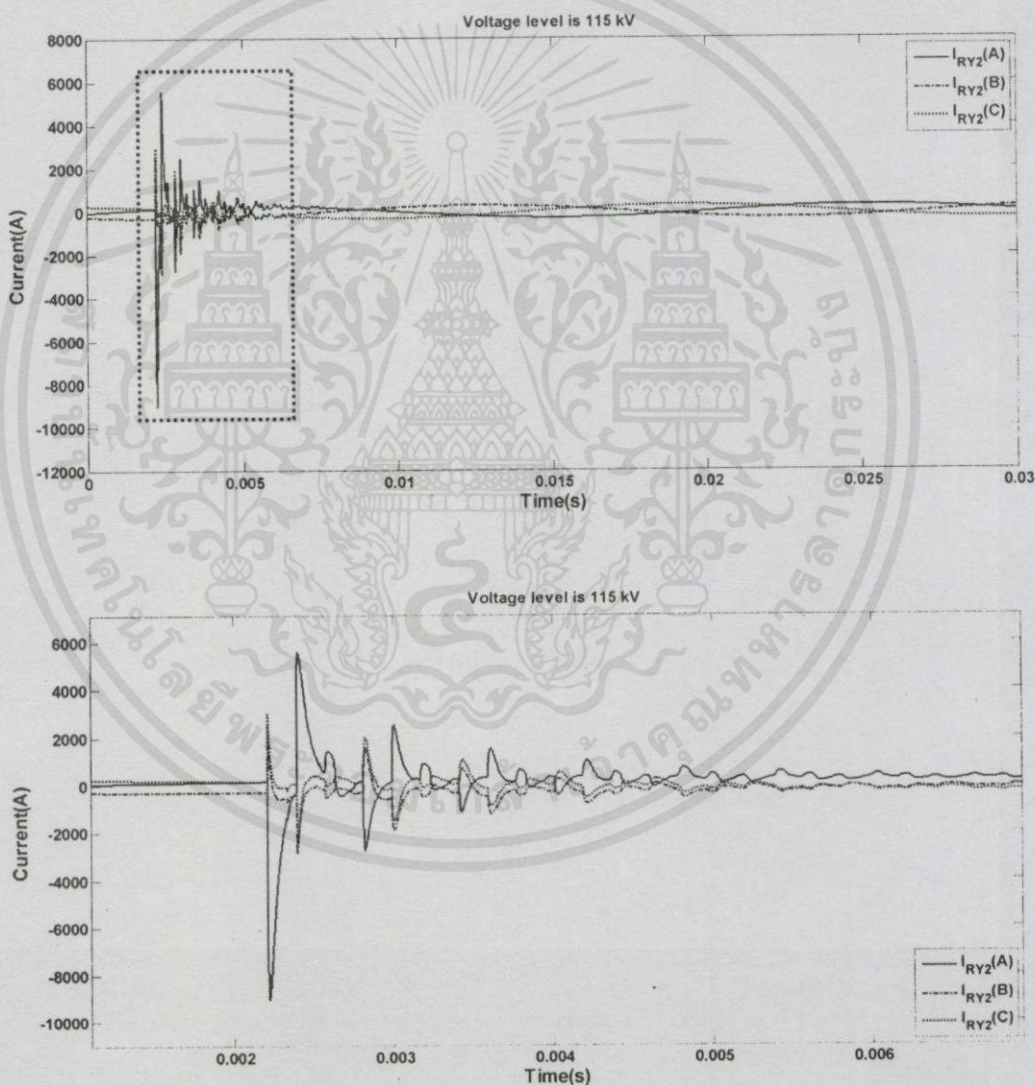
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 5 เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีแรงดันต่างกัน

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดแรงดันของระบบมีผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า ซึ่งการจำลองจะเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบสายส่ง มุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันของสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา ความยาวของสายส่งจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยังสถานี CT (ด้านรับ) มีค่าเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร เกิดฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ ที่สายเฟส A ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง (61.95 กิโลเมตร) และค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม โดยทำการเปลี่ยนแปลงขนาดแรงดันของระบบเสาส่ง 3 ระดับดังนี้

เกิดฟ้าผ่าที่ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์

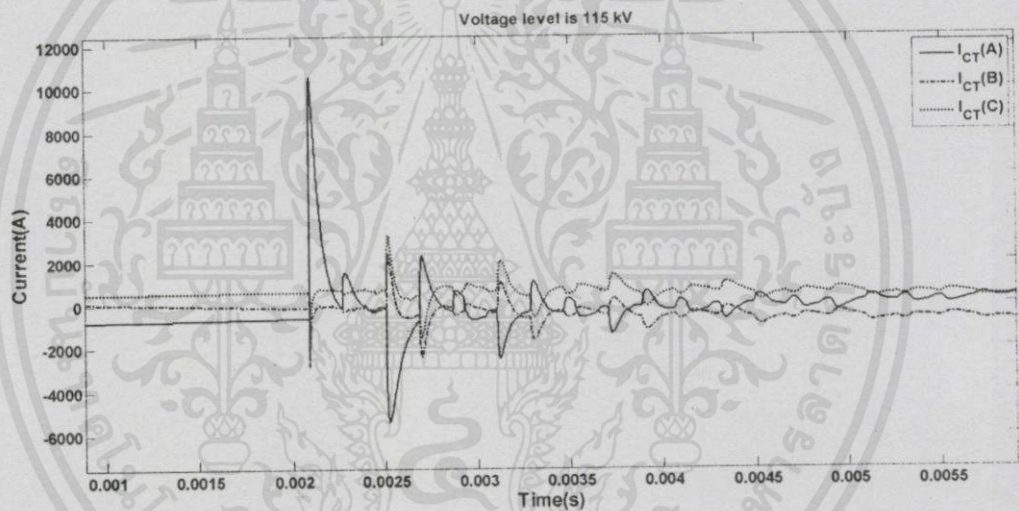
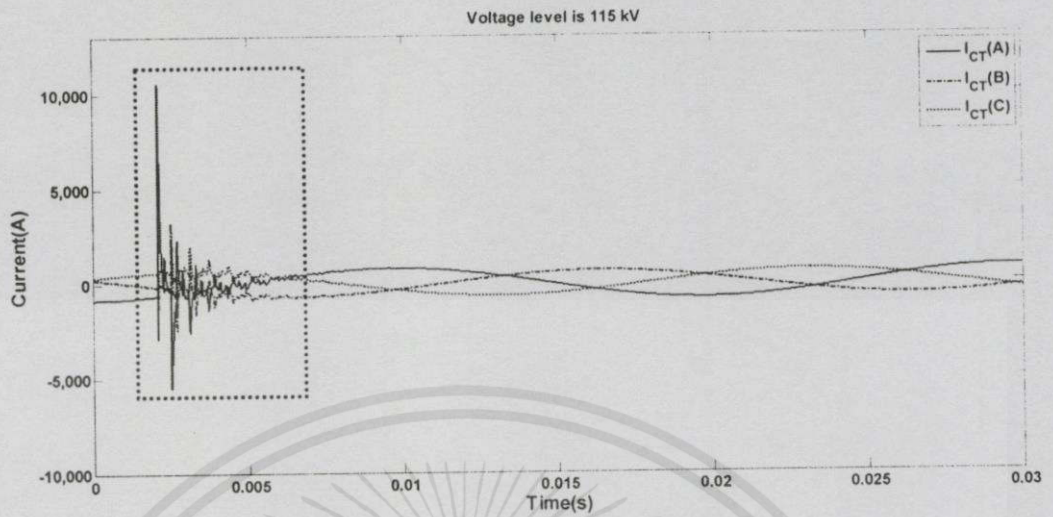
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ได้นำมาใช้ในเชิงพาณิชย์
รูปที่ ค.38 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบแรงดัน 115 กิโลโวลต์ (ด้านส่ง)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่าที่ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์

แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.39

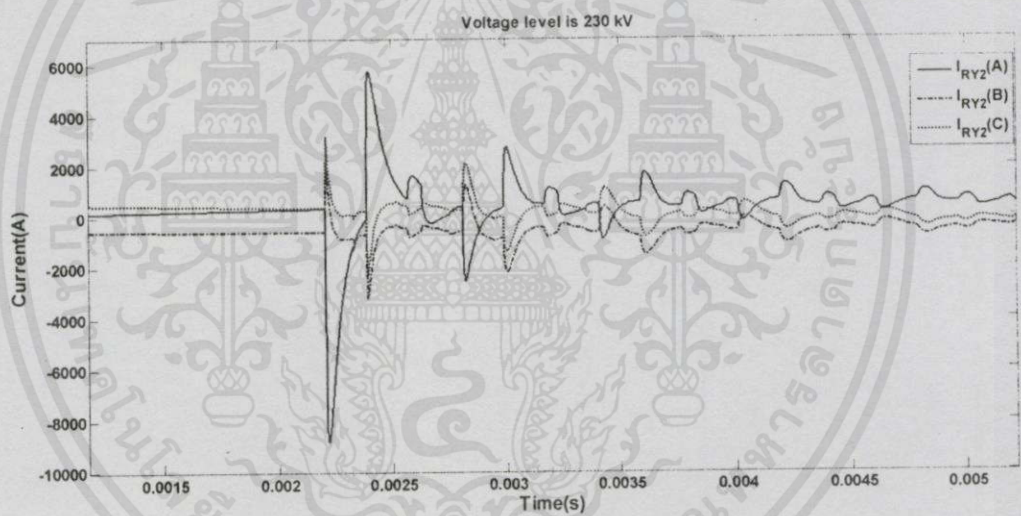
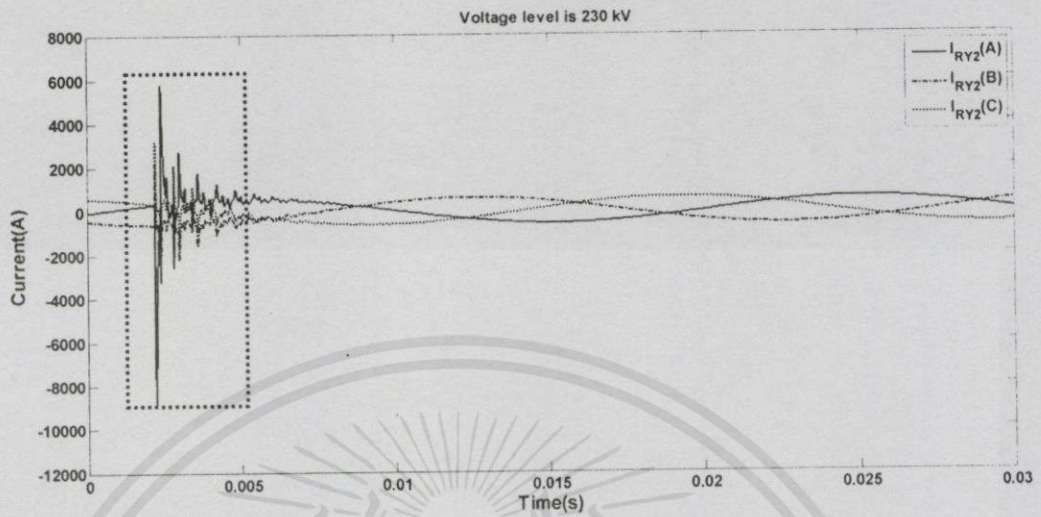


รูปที่ ค.39 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบแรงดัน 115 กิโลโวลต์ (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่าที่ระดับแรงดัน 230 กิโลโวลต์

แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.40

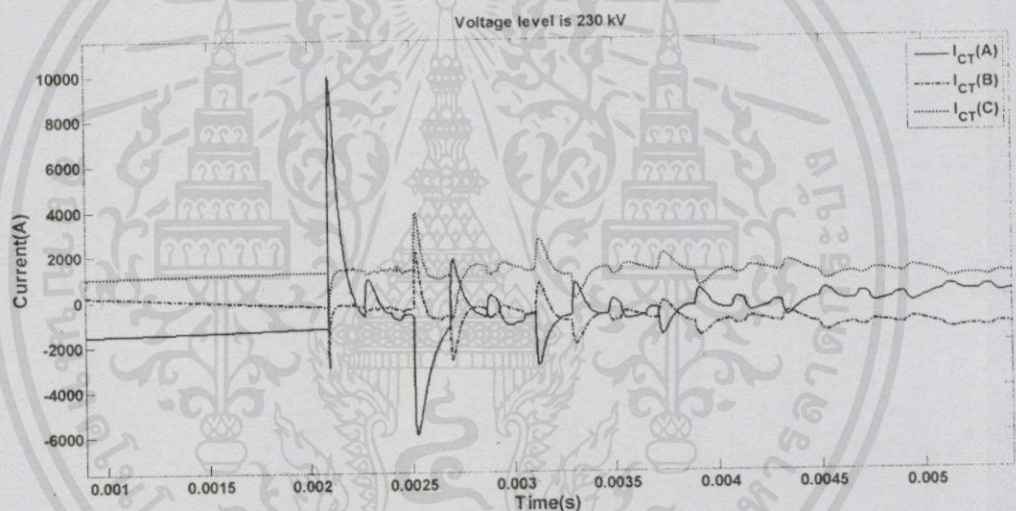
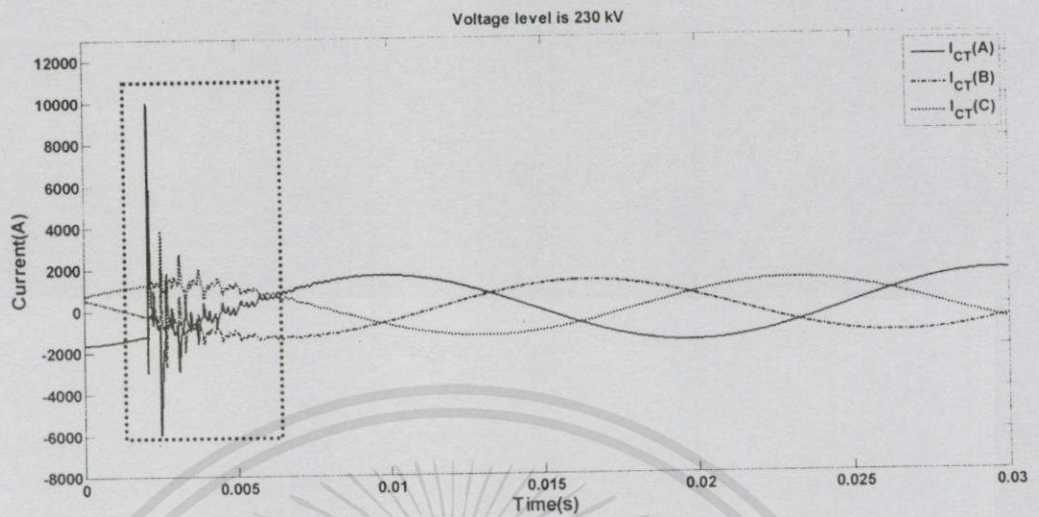


รูปที่ ค.40 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบแรงดัน 230 กิโลโวลต์ (ด้านส่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่าที่ระดับแรงดัน 230 กิโลโวลต์

แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.41

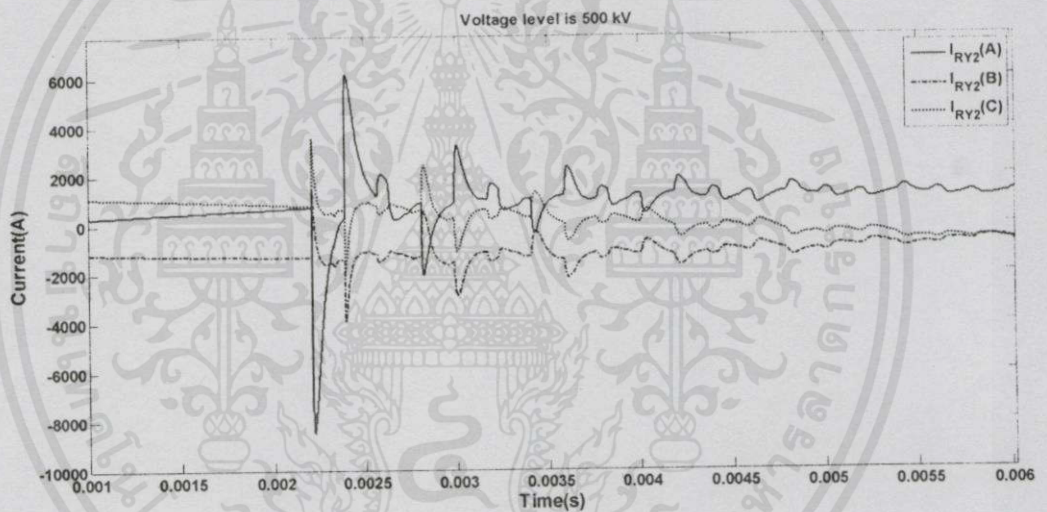
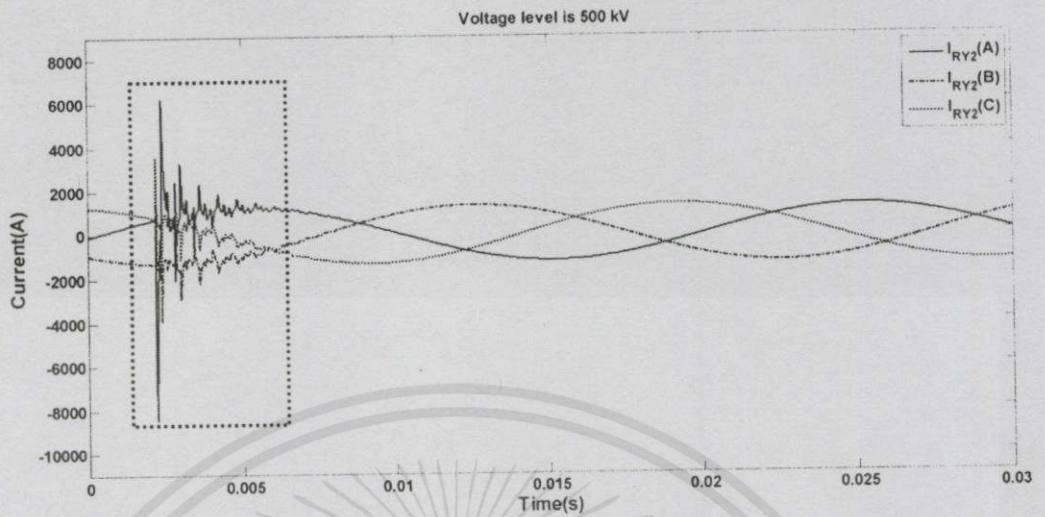


รูปที่ ค.41 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบแรงดัน 230 กิโลโวลต์ (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่าที่ระดับแรงดัน 500 กิโลโวลต์

แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.42

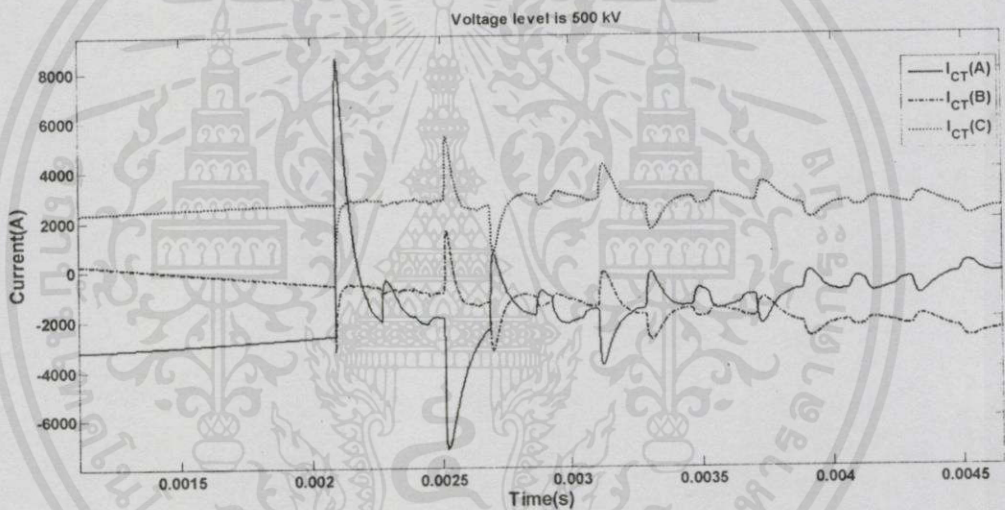
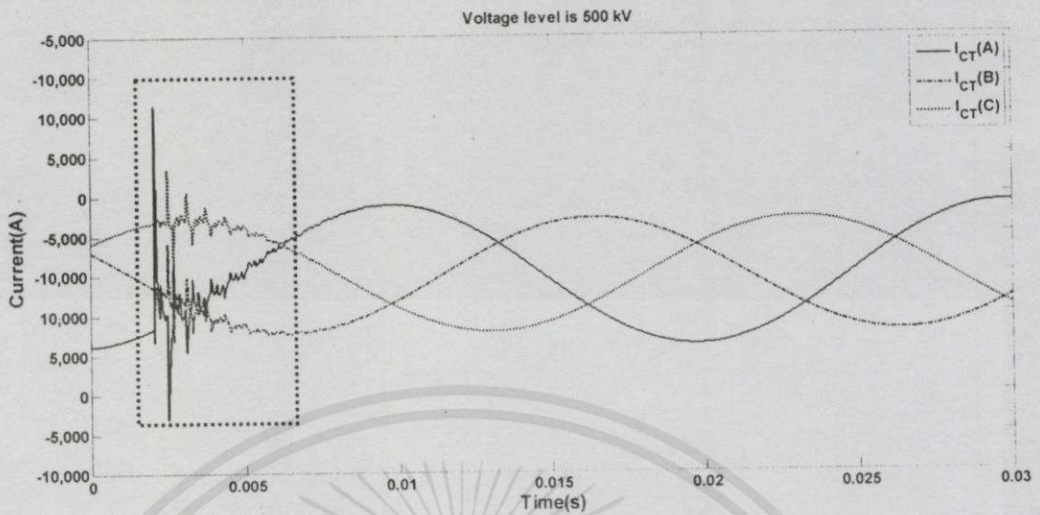


รูปที่ ค.42 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบแรงดัน 500 กิโลโวลต์ (ด้านส่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่าที่ระดับแรงดัน 500 กิโลโวลต์

แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.43



รูปที่ ค.43 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบแรงดัน 500 กิโลโวลต์ (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 'ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอมพลิจูดของกระแสสภาวะชั่วคราว

กรณี	สภาวะชั่วคราว						
	RY2 (A)			CT (A)			เสร็จ (A)
	A	B	C	A	B	C	
115 kV	-9024.7	-2866.9	2996.51	10588.2	-2821.1	3260.2	14826.7
230 kV	-8855.9	-3170.3	3178.17	9986.48	-2958.1	3904.48	14656.5
500 kV	-8459.7	-3882.8	3604.66	8573.74	-3279.9	5417.14	14257

แอมพลิจูดของกระแสสภาวะคงตัว

กรณี	สภาวะคงตัว						
	RY2 (A)			CT (A)			เสร็จ (A)
	A	B	C	A	B	C	
115 kV	285.036	304.07	304.344	814.242	655.291	654.73	227.78
230 kV	569.995	608.105	608.656	1628.43	1310.55	1309.42	455.56
500 kV	1239.03	1321.93	1323.13	3540.01	2848.98	2846.51	990.35

เวลาที่เกิดค่ากระแสสภาวะชั่วคราวสูงสุดและกระแสฟ้าผ่า

กรณี	Time of arrival (ms)		
	CT	RY2	Surge
115 kV	2.2193	2.0959	2.0012
230 kV	2.2193	2.0959	2.0012
500 kV	2.2193	2.0959	2.0012

จากการบันทึกผล พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดแรงดันของสถานีด้านส่งและสถานีด้านรับ จะส่งผลต่อค่ากระแสเนื่องจากฟ้าผ่าด้วย ซึ่งเป็นผลมาจากเมื่อระบบมีโหลดคงที่แต่แรงดันของระบบเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลทำให้ค่ากระแสที่สภาวะปกติของระบบเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

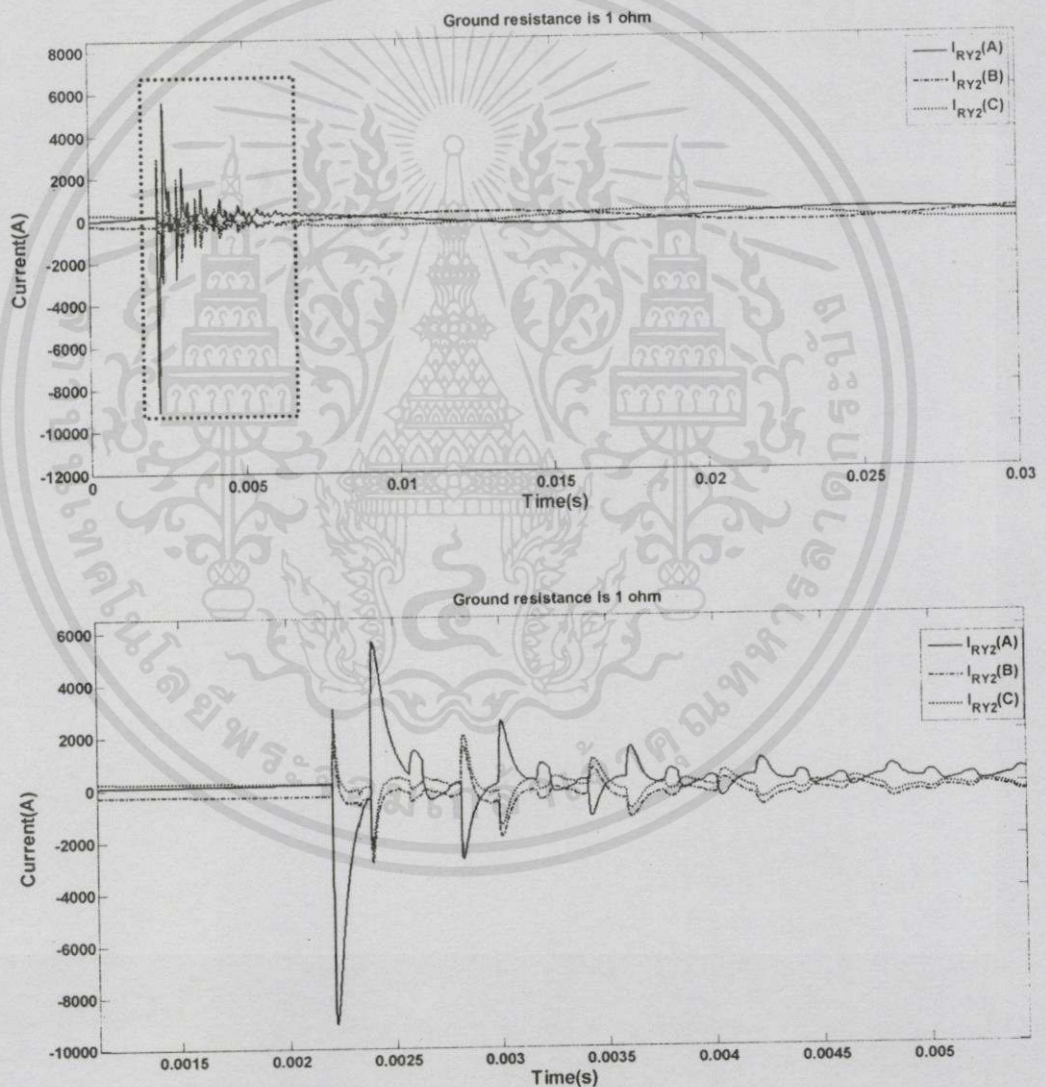
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 6 เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่มีความต้านทานดินต่างกัน

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความต้านทานดินมีผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า ซึ่งการจำลองจะเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบแรงดัน 115 กิโลโวลต์ มุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันของสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา ความยาวของสายส่งจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยัง สถานี CT (ด้านรับ) มีค่าเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร เกิดฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ ที่สายเฟส A ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง (61.95 กิโลเมตร) และค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานดิน 3 ค่าดังนี้

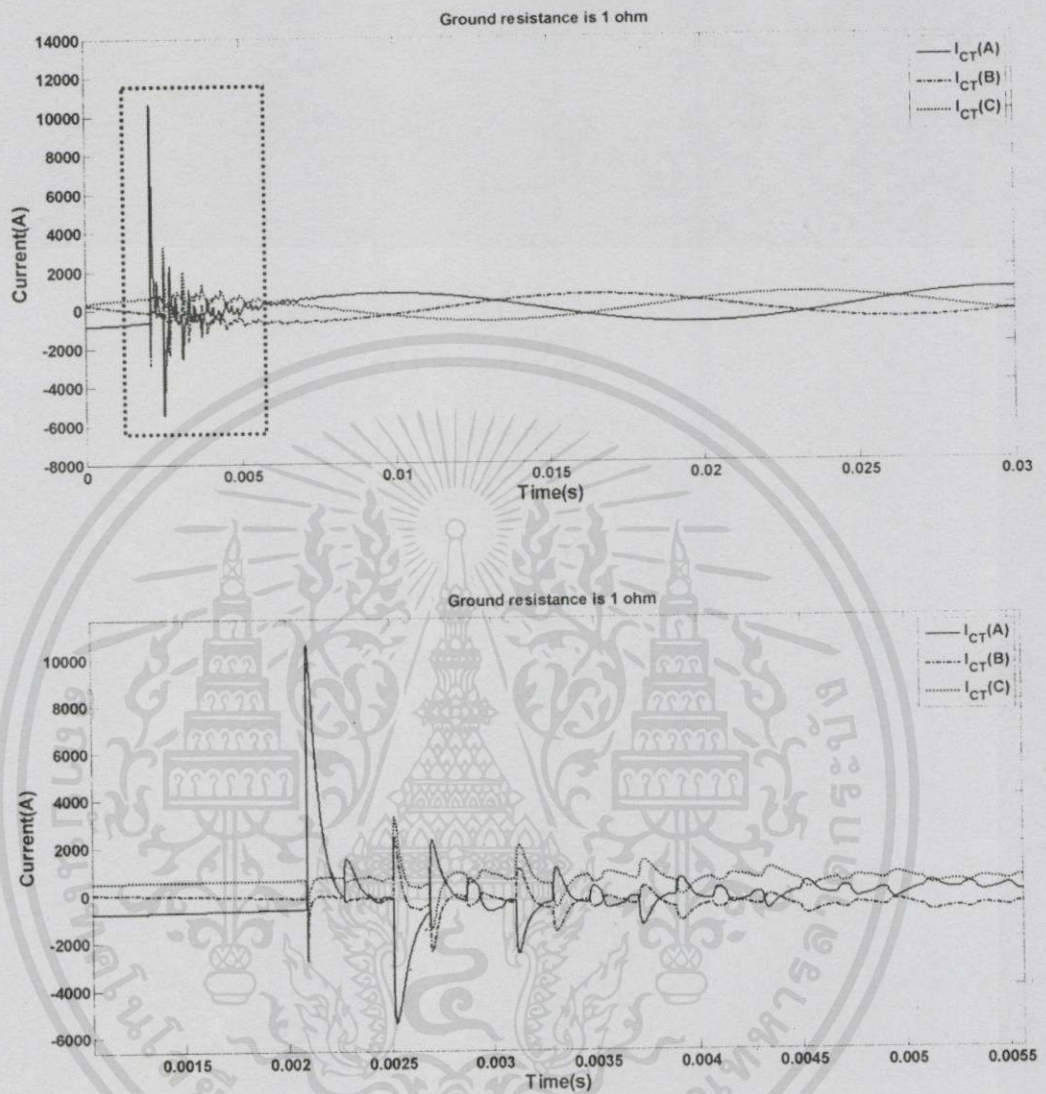
เกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดินเท่ากับ 1 โอห์ม

แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ ค.44 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดิน 1 โอห์ม (ด้านส่ง)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

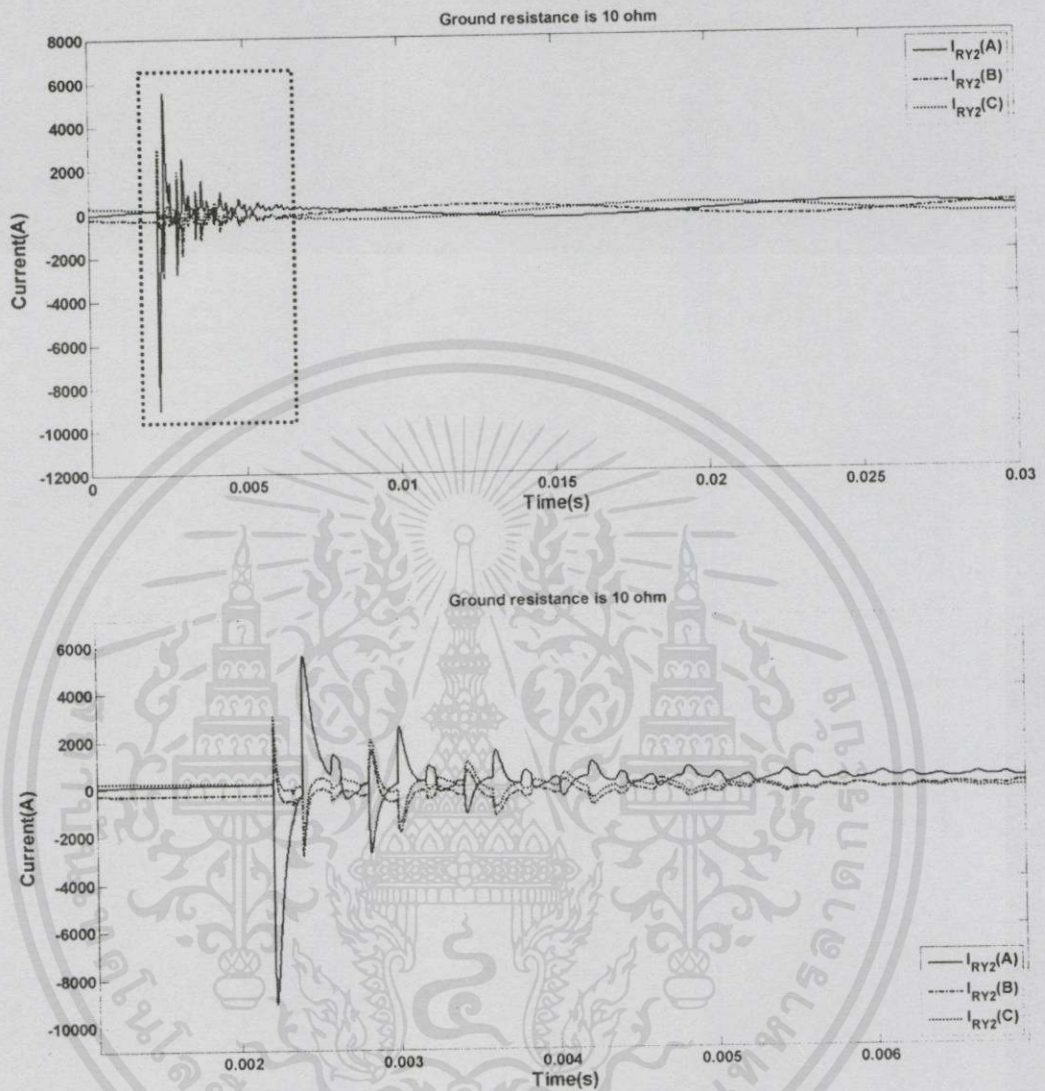
เกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดินเท่ากับ 1 โอห์ม
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.45



รูปที่ ค.45 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดิน 1 โอห์ม (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

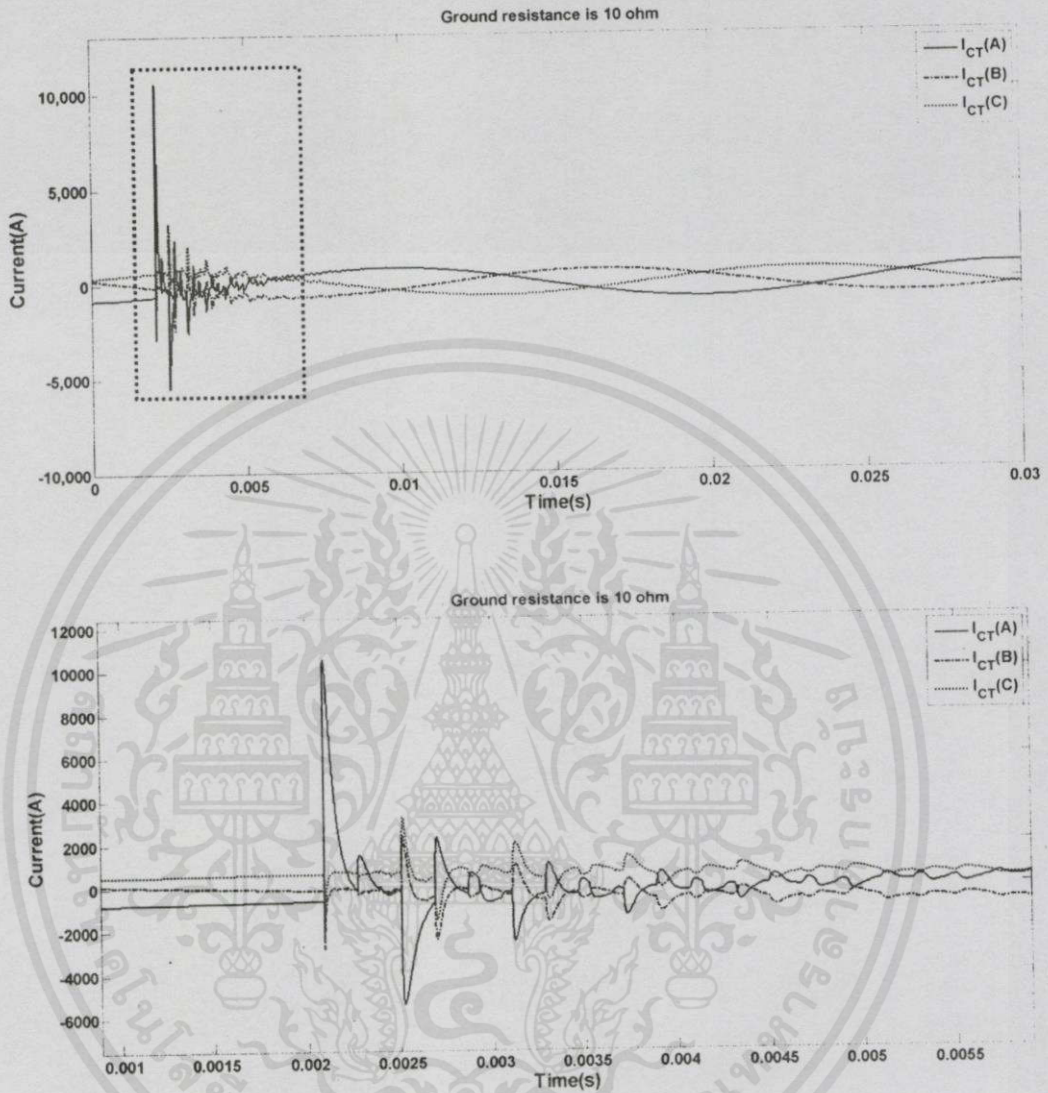
เกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดินเท่ากับ 10 โอห์ม
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.46



รูปที่ ค.46 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดิน 10 โอห์ม (ด้านส่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

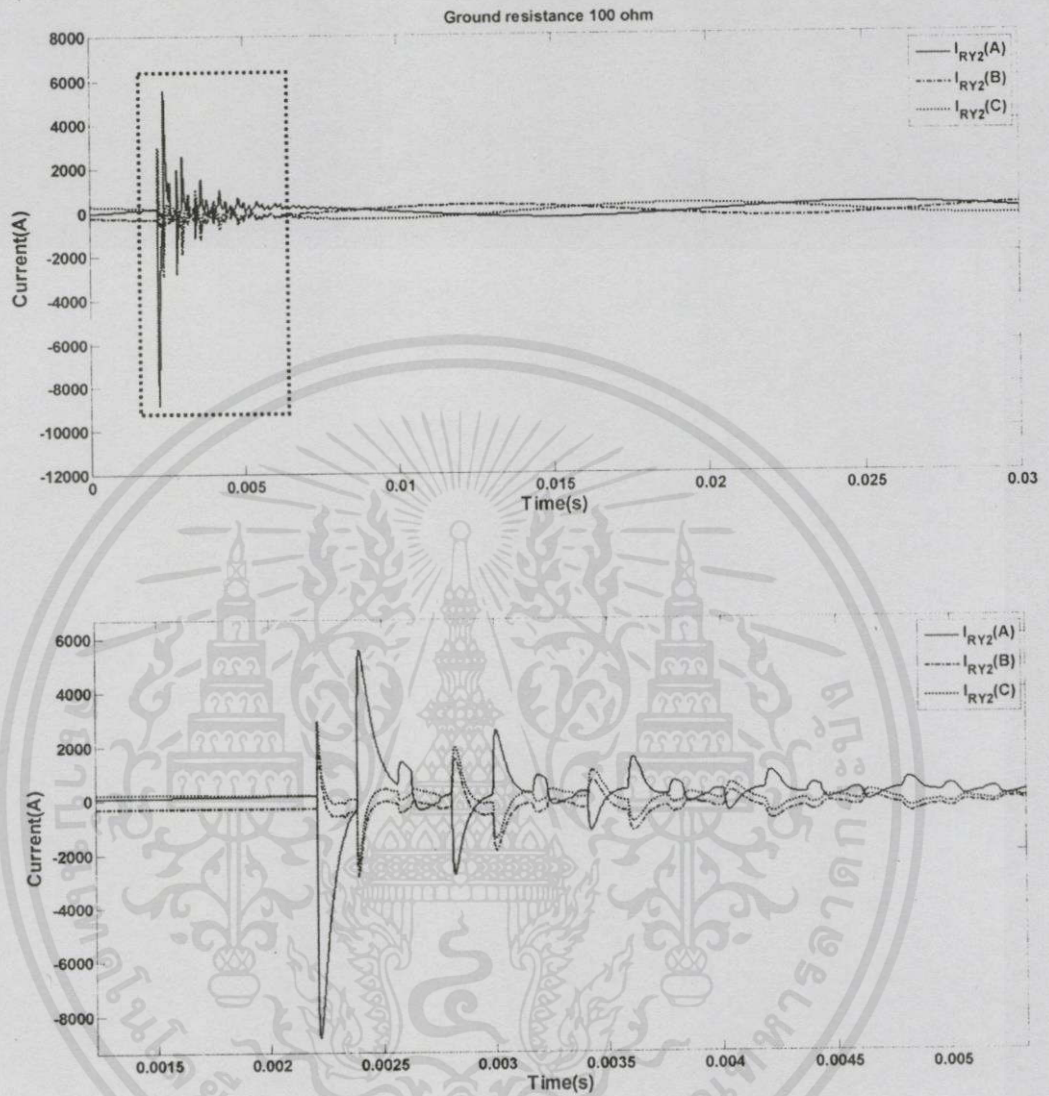
เกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดินเท่ากับ 10 โอห์ม
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.47



รูปที่ ค.47 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดิน 10 โอห์ม (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

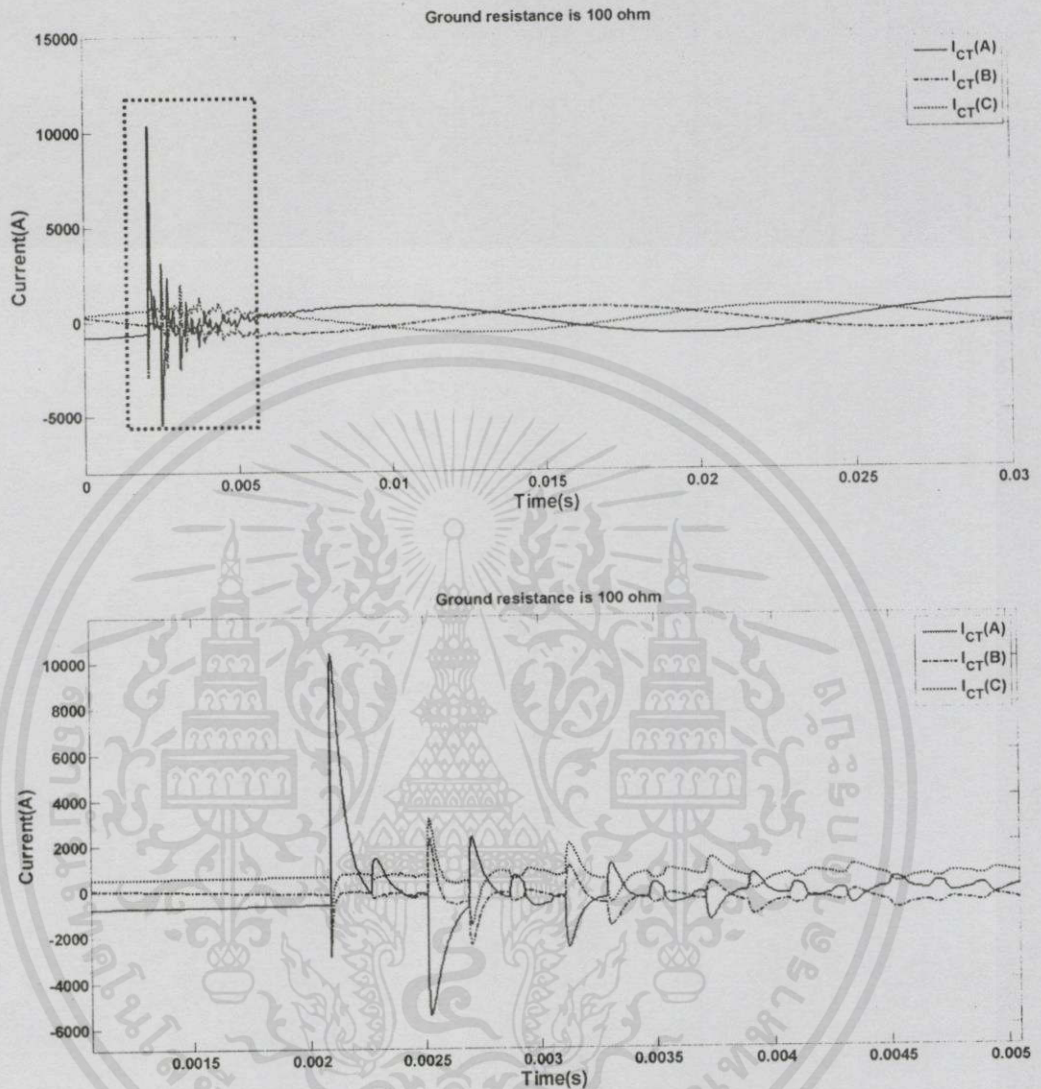
เกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดินเท่ากับ 100 โอห์ม
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.48



รูปที่ ค.48 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดิน 100 โอห์ม (ด้านส่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดินเท่ากับ 100 โอห์ม
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.49



รูปที่ ค.49 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบมีความต้านทานดิน 100 โอห์ม (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอมพลิจูดของกระแสสภาวะชั่วคราว

กรณี	สภาวะชั่วคราว						
	RY2 (A)			RY2 (A)			เสร็จ (A)
	A	B	C	A	B	C	
1 โอห์ม	-9050.8	-2869.1	3007.03	10620.6	-2811.6	3270.06	14840.3
10 โอห์ม	-9024.7	-2866.9	2996.51	10588.2	-2821.1	3260.2	14826.7
100 โอห์ม	-8830.3	-2843.2	2934.03	10365.5	-2898.2	3189.74	14732.9

แอมพลิจูดของกระแสสภาวะคงตัว

กรณี	สภาวะคงตัว						
	RY2 (A)			CT (A)			เสร็จ (A)
	A	B	C	A	B	C	
1 โอห์ม	285.007	304.086	304.356	814.226	655.318	654.71	227.77
10 โอห์ม	285.036	304.07	304.344	814.242	655.291	654.73	227.78
100 โอห์ม	285.203	303.965	304.294	814.308	655.142	654.859	227.85

เวลาที่เกิดค่ากระแสสภาวะชั่วคราวสูงสุดและกระแสฟ้าผ่า

กรณี	Time of arrival (ms)		
	CT	RY2	Surge
1 โอห์ม	2.2193	2.0959	2.0012
10 โอห์ม	2.2193	2.0959	2.0012
100 โอห์ม	2.2193	2.0959	2.0012

จากการบันทึกผล พบว่าเมื่อเปลี่ยนค่าความต้านทานของดิน จะไม่ส่งผลต่อเวลาที่เกิดกระแสสูงสุด เนื่องจากฟ้าผ่า แต่จะพบว่าเมื่อค่าความต้านทานดินมีค่ามากขึ้นจะทำให้กระแสที่ไหลในเสาตงดินมีค่าน้อยกว่าในกรณีที่ดินมีค่าความต้านทานดินต่ำ

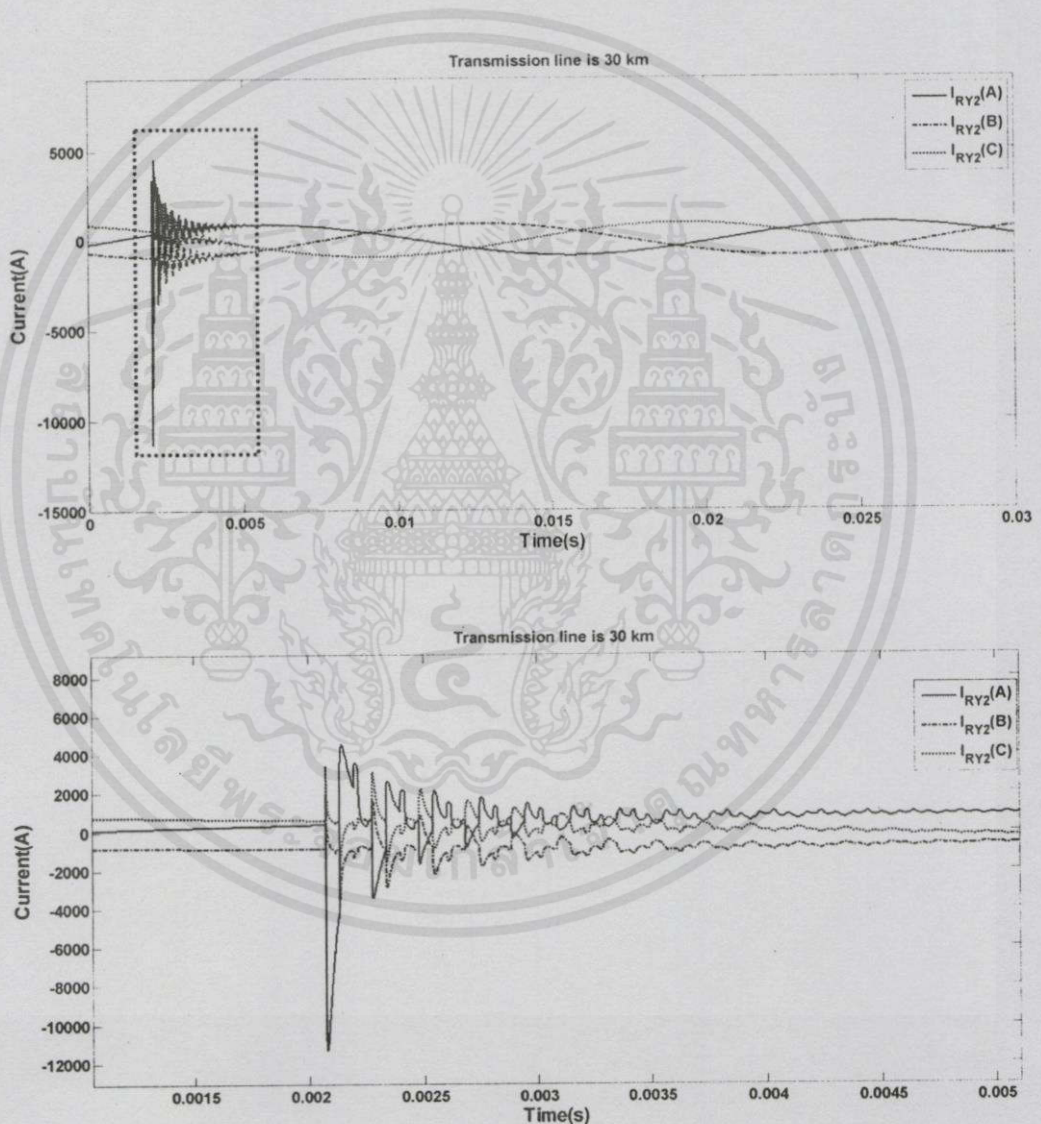
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 7 เกิดฟ้าผ่าที่ความยาวของสายส่งต่างกัน

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความยาวของสายส่งมีผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า ซึ่งการจำลองจะเกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบแรงดัน 115 กิโลโวลต์ มุมเริ่มต้นของแหล่งจ่ายแรงดันของสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศา และสถานี CT (ด้านรับ) 10 องศา เกิดฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ ที่สายเฟส A ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง (61.95 กิโลเมตร) และค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวของสายส่งจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยัง สถานี CT (ด้านรับ) 3 ระยะดังนี้

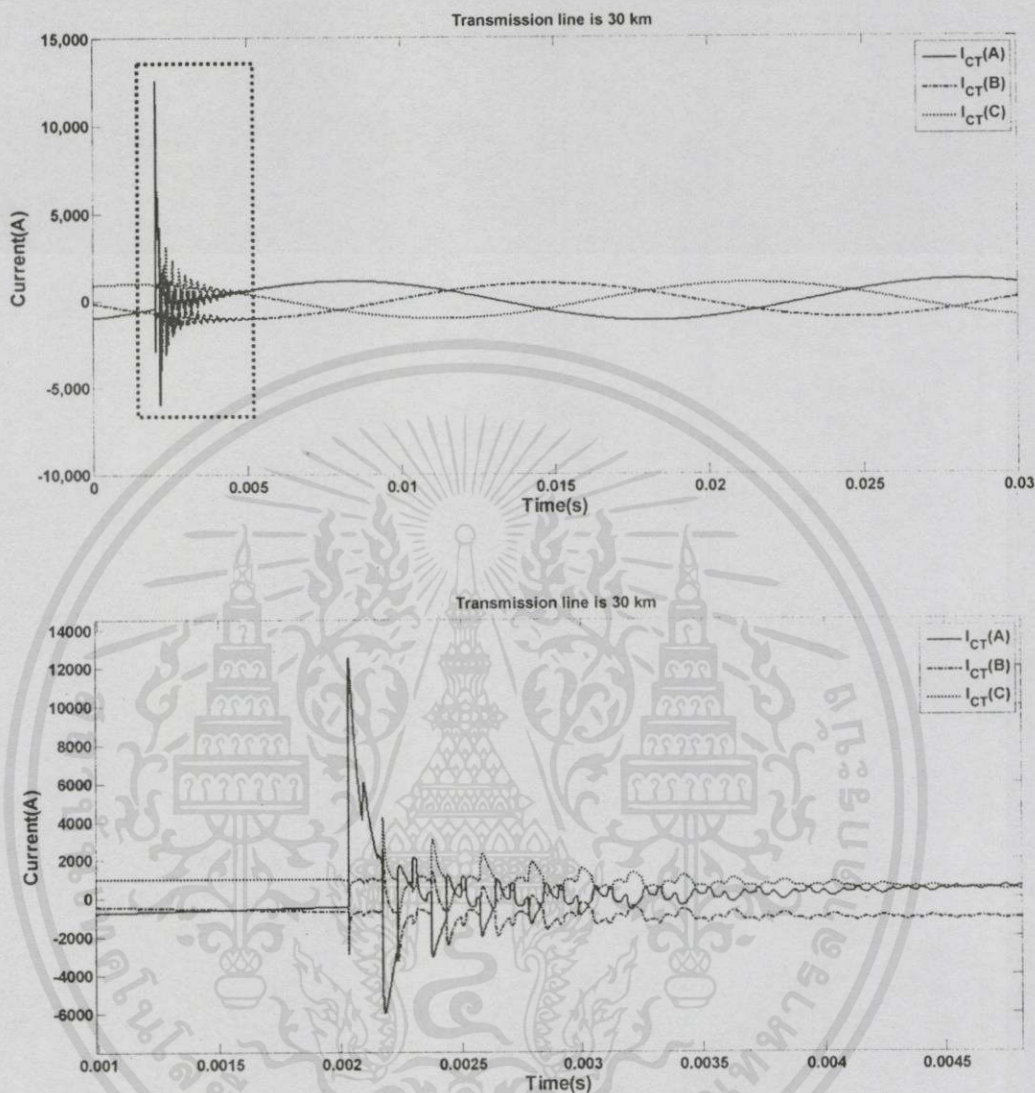
เกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีความยาวสายส่งเท่ากับ 30 กิโลเมตร

แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.50



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ ค.50 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบที่มีความยาวสายส่งเท่ากับ 30 กิโลเมตร (ด้านส่ง) หนึ่งด้านการคำนวณ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

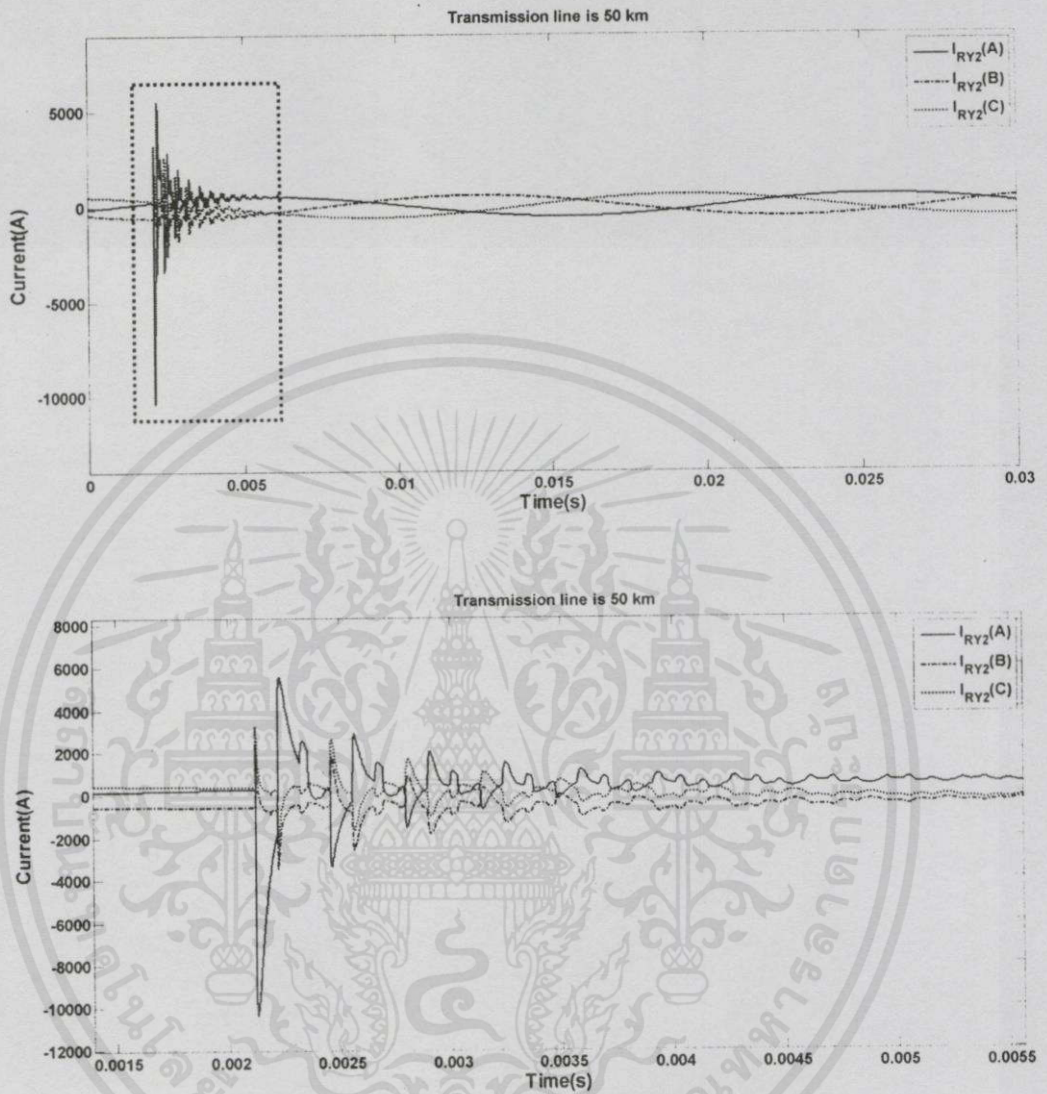
เกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีความยาวสายส่งเท่ากับ 30 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.51



รูปที่ ค.51 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบที่มีความยาวสายส่งเท่ากับ 30 กิโลเมตร (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

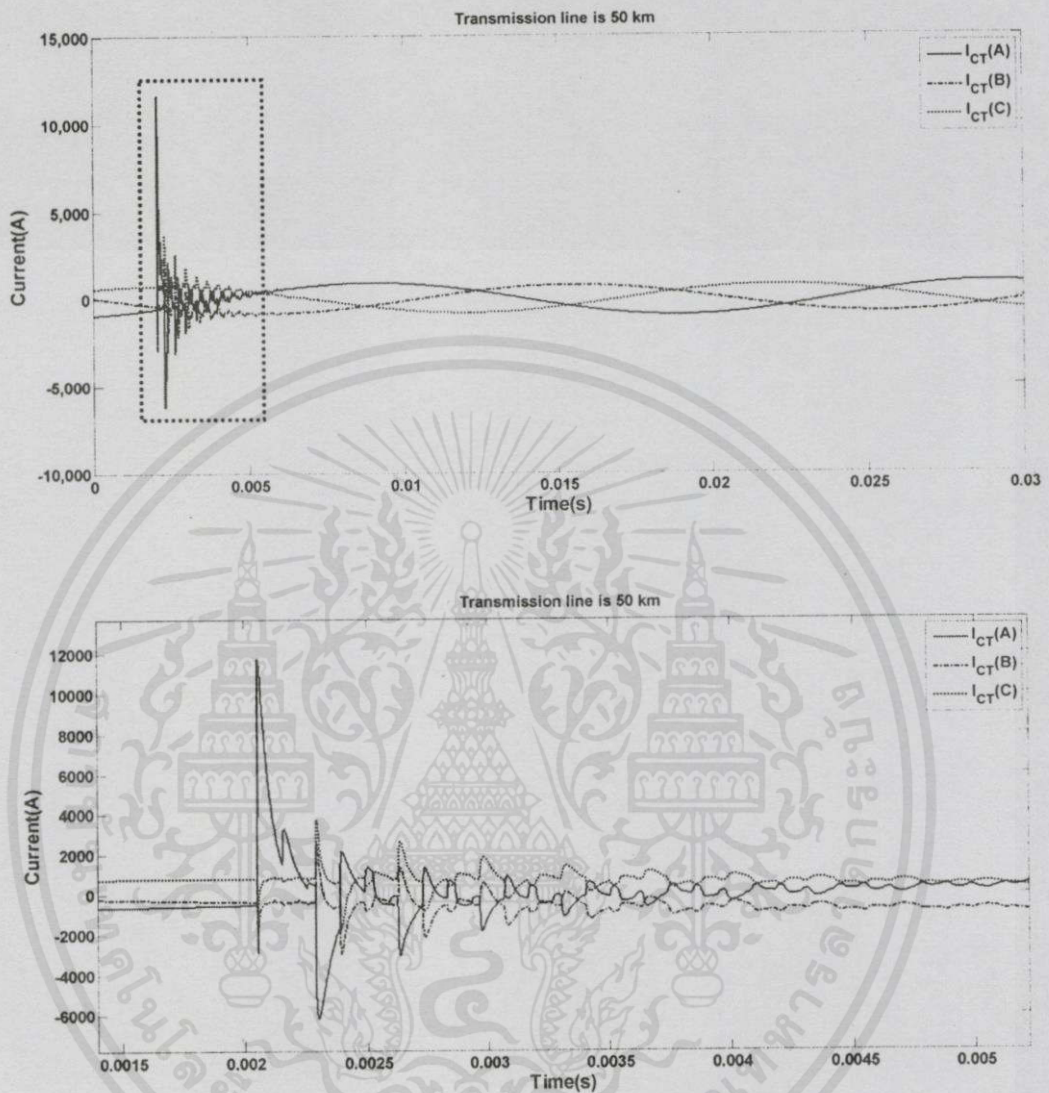
เกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีความยาวสายส่งเท่ากับ 50 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.52



รูปที่ ค.52 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบที่มีความยาวสายส่งเท่ากับ 50 กิโลเมตร (ด้านส่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีความยาวสายส่งเท่ากับ 50 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.53

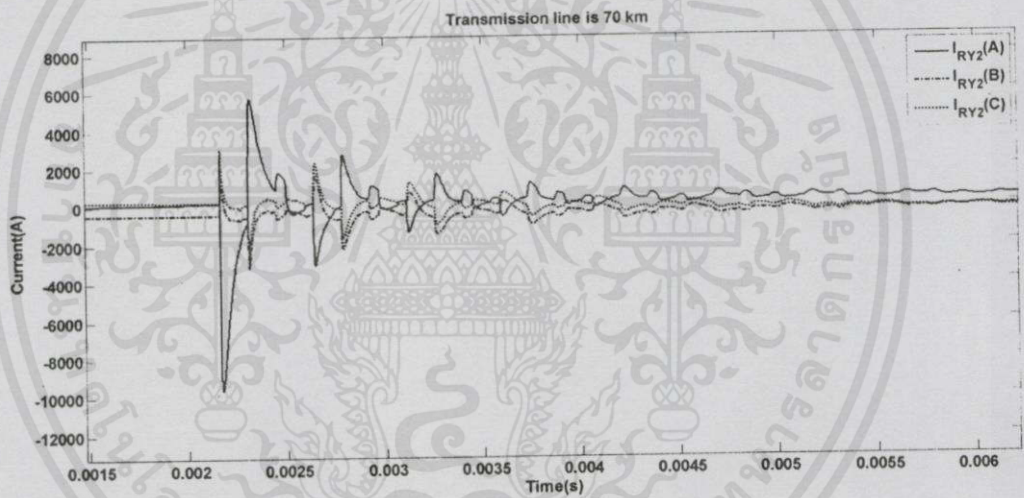
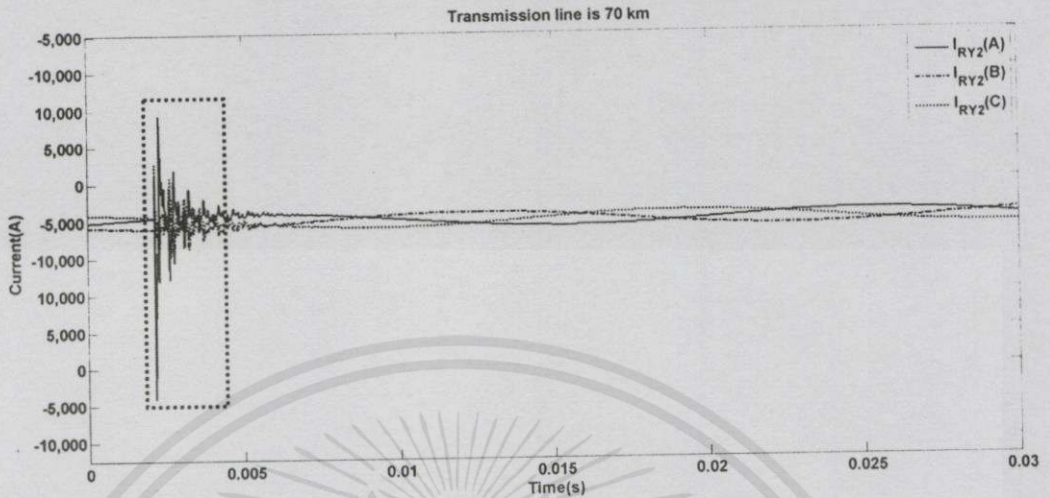


รูปที่ ค.53 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบที่มีความยาวสายส่งเท่ากับ 50 กิโลเมตร (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีความยาวสายส่งเท่ากับ 70 กิโลเมตร

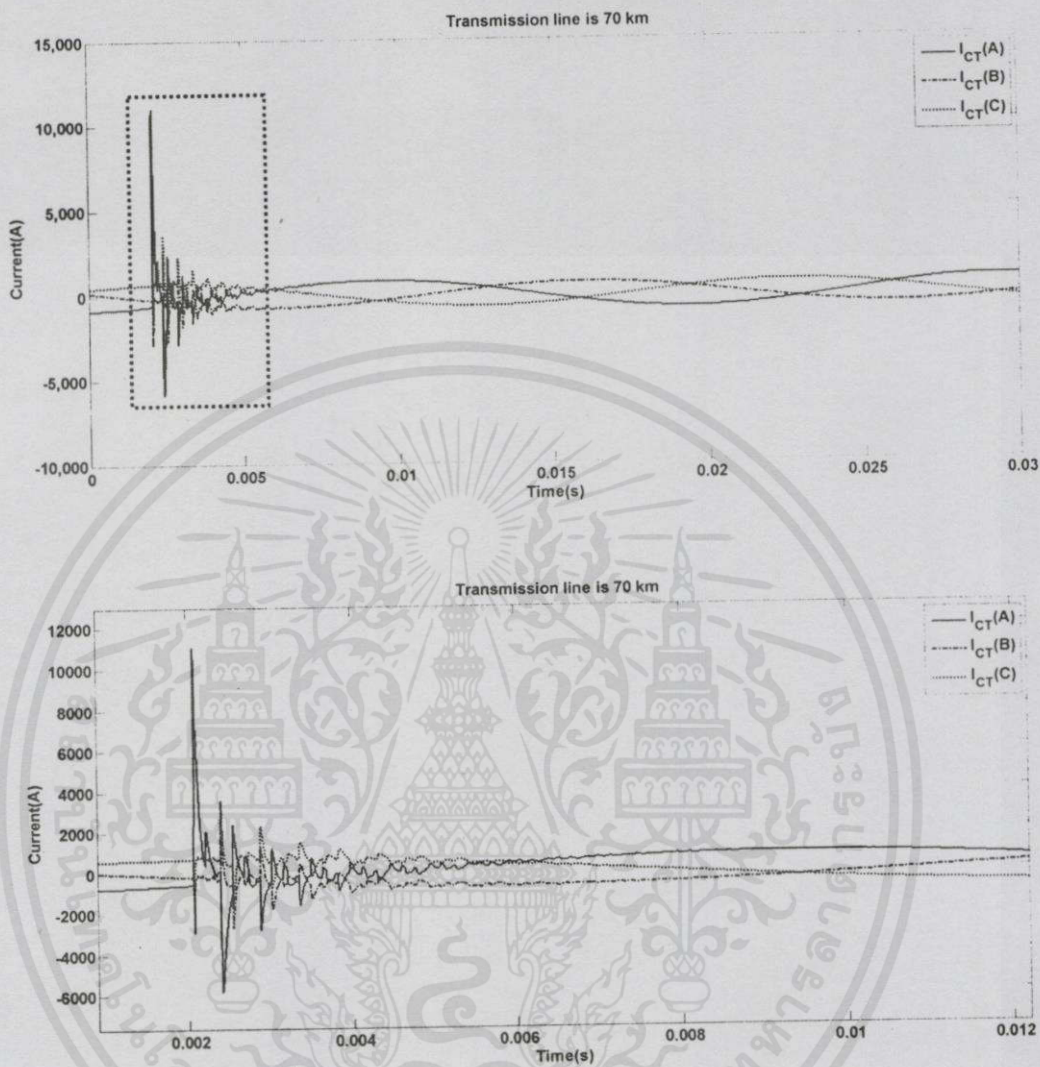
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.54



รูปที่ ค.54 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบที่มีความยาวสายส่งเท่ากับ 70 กิโลเมตร (ด้านส่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

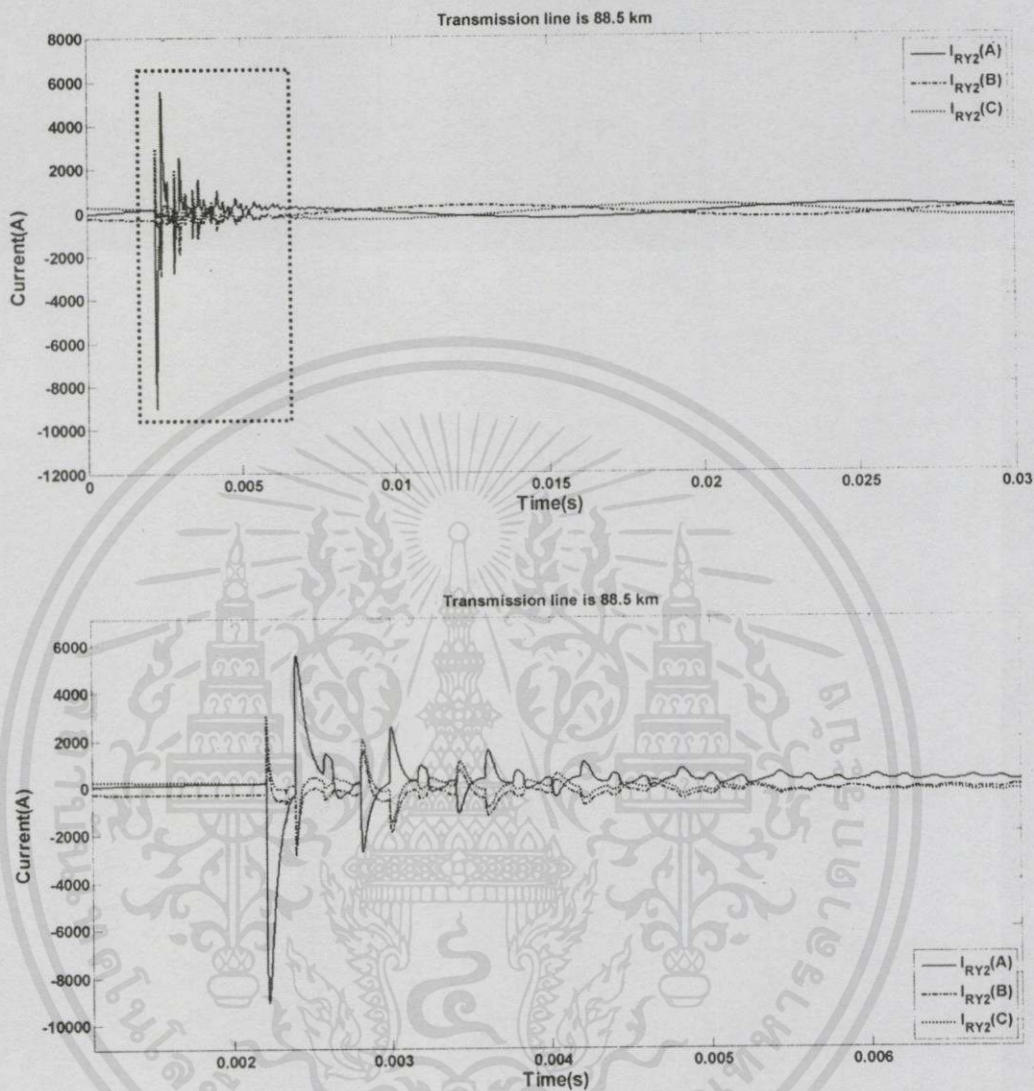
เกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีความยาวสายส่งเท่ากับ 70 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.55



รูปที่ ค.55 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบที่มีความยาวสายส่งเท่ากับ 70 กิโลเมตร (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

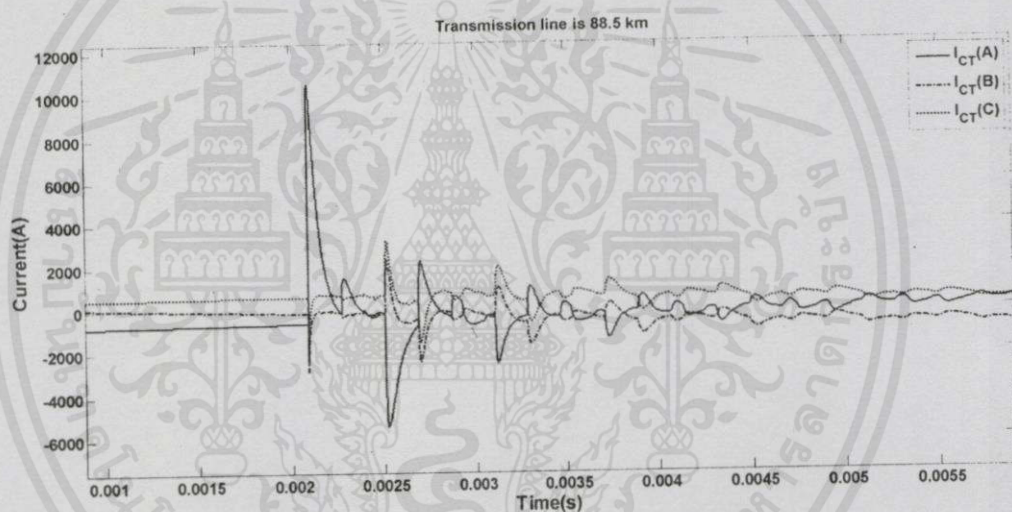
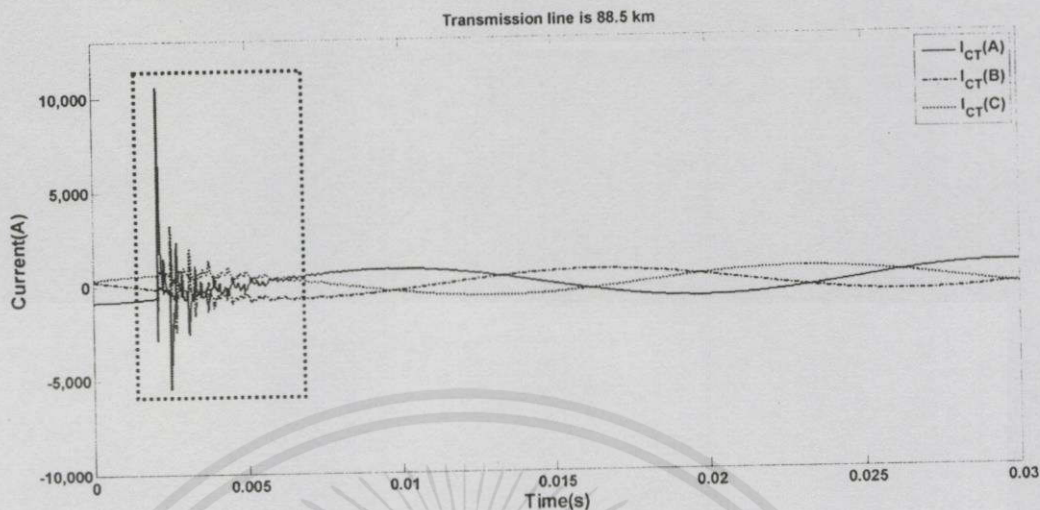
เกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีความยาวสายส่งเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านส่งกำลังไฟฟ้า (RY2) ดังรูปที่ ค.56



รูปที่ ค.56 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบที่มีความยาวสายส่งเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร (ด้านส่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดฟ้าผ่าที่ระบบมีความยาวสายส่งเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร
แสดงกระแส 3 เฟสของด้านรับกำลังไฟฟ้า (CT) ดังรูปที่ ค.57



รูปที่ ค.57 กระแสฟ้าผ่าที่ระบบที่มีความยาวสายส่งเท่ากับ 88.5 กิโลเมตร (ด้านรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอมพลิจูดของกระแสสภาวะชั่วคราว

กรณี	สภาวะชั่วคราว						
	RY2 (A)			CT (A)			เสร็จ
	A	B	C	A	B	C	
30 km	-11316.0	-3908.9	3450.25	12573.1	-3310.5	4225.65	14825.9
50 km	-10387.0	-3442.4	3300.12	11741.6	-2982.8	3785.48	14826.3
70 km	10588.2	-3265.1	3194.58	11403.3	-2874.0	3645.89	14826.4
88.5 km	-9024.7	-2866.9	2996.51	10588.2	-2821.1	3260.20	14826.7

แอมพลิจูดของกระแสสภาวะคงตัว

กรณี	สภาวะคงตัว						
	RY2 (A)			CT (A)			เสร็จ
	A	B	C	A	B	C	
30 km	885.366	911.020	910.490	1161.17	1019.50	1019.00	231.842
50 km	553.706	576.590	576.800	941.497	784.900	784.460	230.454
70 km	445.372	467.487	467.195	883.229	724.312	723.816	229.783
88.5 km	285.036	304.070	304.344	814.242	655.291	654.730	227.780

เวลาที่เกิดค่ากระแสสภาวะชั่วคราวสูงสุดและกระแสฟ้าผ่า

กรณี	Time of arrival (ms)		
	CT	RY2	Surge
30 km	2.0764	2.0336	2.0012
50 km	2.1254	2.0551	2.0012
70 km	2.1497	2.0658	2.0012
88.5 km	2.2193	2.0959	2.0012

เอกสารนี้เป็นจากการบันทึกผล พบว่าเมื่อระยะสายส่งเปลี่ยนไป โดยกำหนดให้เกิดตำแหน่งฟ้าผ่าที่ระยะ 50% ของความยาวสายส่งนั้นๆ พบว่าค่าแอมพลิจูดของกระแสเนื่องจากฟ้าผ่าจะมีค่ามากขึ้นเพราะเมื่อระยะทางมีค่าน้อยลง และค่าอิมพีแดนซ์ในสายส่งจะลดลงด้วยเช่นกัน ทำให้กระแสในระบบเพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการจำลองฟ้าผ่าระบบส่งจ่ายแรงดันจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยัง สถานี CT (ด้านรับ) ระดับแรงดัน 115 kV ด้วยโปรแกรม ATPDraw โดยตรวจจับกระแสฟ้าผ่าในสายส่ง หลังจากเริ่มเกิดฟ้าผ่าขึ้นที่ปลายสายส่งทั้งสองด้านของสถานี จะได้กระแสฟ้าผ่าสูงสุดและเวลาที่ตรวจจับกระแสฟ้าผ่าสูงสุดได้ดังตาราง

ค่าแอมพลิจูดกระแสฟ้าผ่าสูงสุดและเวลาที่ตรวจจับกระแสฟ้าผ่าสูงสุด

No	Case	RY2		CT	
		Amplitude (A)	Time of arrival (ms)	Amplitude (A)	Time of arrival (ms)
1	มุมเริ่มต้น 0° (ด้านส่ง) ,10° (ด้านรับ)	-9024.70	2.2192	10588.20	2.0959
	มุมเริ่มต้น 90° (ด้านส่ง) ,100° (ด้านรับ)	-8963.80	2.2192	11738.40	2.0959
	มุมเริ่มต้น 135° (ด้านส่ง) ,145° (ด้านรับ)	-9150.40	2.2193	12003.30	2.0960
2	ตำแหน่ง 10% ของสายส่ง	-12708.0	2.0332	8013.9	2.2806
	ตำแหน่ง 20% ของสายส่ง	-11653.0	2.0648	8326.9	2.2500
	ตำแหน่ง 30% ของสายส่ง	-10918.0	2.0962	8660.4	2.2195
	ตำแหน่ง 40% ของสายส่ง	-10321.0	2.1273	9044.0	2.1887
	ตำแหน่ง 50% ของสายส่ง	-9835.7	2.1580	9470.7	2.1580
	ตำแหน่ง 60% ของสายส่ง	-9401.3	2.1886	9968.3	2.1271
	ตำแหน่ง 70% ของสายส่ง	-9024.7	2.2193	10588.2	2.0959
	ตำแหน่ง 80% ของสายส่ง	-8711.4	2.2498	11282.9	2.0648
	ตำแหน่ง 90% ของสายส่ง	-8351.4	2.2796	12306.2	2.0332
3	เฟส A	-9024.70	2.2193	10588.20	2.0959
	เฟส B	-9476.70	2.2193	11015.80	2.0959
	เฟส C	-9079.00	2.2193	11965.80	2.0959

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าแอมพลิจูดกระแสฟ้าผ่าสูงสุดและเวลาที่ตรวจจับกระแสฟ้าผ่าสูงสุด (ต่อ)

No	Case	RY2		CT	
		Amplitude	Time of arrival (ms)	Amplitude	Time of arrival (ms)
4	กระแสฟ้าผ่า 10 กิโลแอมแปร์	-4428.00	2.2193	4993.24	2.0960
	กระแสฟ้าผ่า 20 กิโลแอมแปร์	-9024.70	2.2193	10588.20	2.0959
	กระแสฟ้าผ่า 30 กิโลแอมแปร์	-13621.00	2.2191	16183.20	2.0960
5	แรงดันด้านส่ง 115 กิโลโวลต์	-9024.70	2.2193	10588.20	2.0959
	แรงดันด้านส่ง 230 กิโลโวลต์	-8855.90	2.2192	9986.48	2.0960
	แรงดันด้านส่ง 500 กิโลโวลต์	-8459.70	2.2192	8573.74	2.0960
6	ความต้านทานดิน 1 โอห์ม	-9050.80	2.2193	10620.60	2.0959
	ความต้านทานดิน 10 โอห์ม	-9024.70	2.2193	10588.20	2.0959
	ความต้านทานดิน 100 โอห์ม	-8830.30	2.2188	10365.50	2.0962
7	สายส่งยาว 30 กิโลเมตร	-11316.00	2.0764	12573.10	2.0336
	สายส่งยาว 50 กิโลเมตร	-10387.00	2.1254	11741.60	2.0551
	สายส่งยาว 70 กิโลเมตร	-9999.30	2.1497	11403.30	2.0658
	สายส่งยาว 88.5 กิโลเมตร	-9024.70	2.2193	10588.20	2.0959

จากตารางดังกล่าวจะเห็นได้ว่า กรณีการเกิดฟ้าผ่า กรณีที่ 1, 3, 4, 5, 6, 7 เวลาที่ตรวจพบกระแสฟ้าผ่าสูงสุดดังกล่าวนั้นมีค่าเวลาที่เท่ากัน ซึ่งแสดงถึงกรณีดังกล่าวนี้ไม่มีผลการคำนวณเพื่อระบุตำแหน่งฟ้าผ่า นั้นหมายถึง กรณีที่ 2 คือ กรณีเปลี่ยนแปลงตำแหน่งฟ้าผ่า จะมีผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า ดังนั้นกรณีที่ 2 จึงถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่งฟ้าผ่าต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การระบุตำแหน่งฟ้าผ่าโดยวิธีความเร็วคลื่นเดินทาง โดยเวลาที่ใช้ในการระบุดังกล่าวไม่ผ่านการแปลงเวฟเล็ต สามารถระบุได้จากสูตรคำนวณดังนี้

$$d = \frac{(L - v \times (t_{PCT} - t_{PRY2}))}{2}$$

เมื่อ

d = ระยะทางจากจุดที่เกิดฟ้าผ่าวัดจากปลายสายส่งด้านส่งหรือแหล่งจ่าย (km)

L = ความยาวของสายส่ง (km)

t_{PRY2} = เวลาที่ตรวจพบกระแสฟ้าสูงสุดมาถึงปลายสายส่งด้านส่งหรือแหล่งจ่าย ไม่ผ่านการแปลงเวฟเล็ต (s)

t_{PCT} = เวลาที่ตรวจพบกระแสฟ้าสูงสุดมาถึงปลายสายส่งด้านรับหรือโหลด ไม่ผ่านการแปลงเวฟเล็ต (s)

v = ความเร็วคลื่นเดินทางเฉลี่ย (km/s)

ตัวอย่างการคำนวณ

เพื่ออำนวยความสะดวกทำความเข้าใจจะยกกรณีการเกิดฟ้าผ่ากับระบบแรงดัน 115 kV มุมเริ่มต้นแหล่งจ่ายแรงดันสถานี RY2 (ด้านส่ง) 0 องศาและสถานี CT (ด้านรับ) ค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม สายส่งยาว 88.5 km เกิดฟ้าผ่าขนาดกระแส 20 กิโลแอมแปร์ ที่เฟส A ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง (61.95 กิโลเมตร) และระบบดังกล่าวมีค่าความเร็วคลื่นเดินทางในสายส่ง 298,782 กิโลเมตรต่อวินาที (km/s) โดยค่าเวลาที่พบกระแสสูงสุดที่ตรวจจับได้ที่ปลายสายส่งทั้งสองของสถานีได้จากตารางข้างต้น

ค่าต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณแสดงได้ดังนี้

$$L = 88.5 \text{ km}$$

$$t_{PRY2} = 0.0022193 \text{ s}$$

$$t_{PCT} = 0.0020959 \text{ s}$$

$$v = 298,782 \text{ km/s}$$

ดังนั้น

$$d = \frac{(88.5 - 298,782 \times (0.0020959 - 0.0022193))}{2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d = 62.6848 \text{ km}$$

นั่นคือ ตำแหน่งฟ้าผ่าที่ระบุได้ คือระยะ 62.6954 กิโลเมตร ห่างจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ซึ่งสามารถหาค่าความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริงได้ตามสมการที่ 4.7

$$\begin{aligned} \text{ตำแหน่งคลาดเคลื่อน} &= | \text{ตำแหน่งจริง} - \text{ตำแหน่งทดลอง} | \\ &= | 61.9500 - 62.6848 | \\ &= 0.7348 \text{ km} \end{aligned}$$

ตำแหน่งฟ้าผ่าที่ระบุได้มีความคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งจริงเป็นระยะ 0.7348 กิโลเมตร หรือ 734.8 เมตร โดยตำแหน่งที่ระบุได้เมื่อวัดจากปลายสายส่งของสถานี RY2 (ด้านส่ง) นั้นจะระบุตำแหน่งได้หลังตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าจริง ซึ่งถือได้ว่าวิธีระบุตำแหน่งโดยความเร็วคลื่นเดินทาง จากค่าเวลาที่ไม่ผ่านการแปลงเวฟเล็ท นั้นระบุตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่ายังไม่แม่นยำเนื่องจากค่าความผิดพลาดถือได้ว่ามีค่ามาก ดังนั้น การระบุตำแหน่งฟ้าผ่าจากกรณีเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่งต่างๆ สามารถแสดงค่าตำแหน่งที่ระบุได้จากการคำนวณและค่าตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งจริงได้ ดังตาราง

ตำแหน่งฟ้าผ่าที่ระบุได้โดยวิธีความเร็วคลื่นเดินทาง ค่าเวลาไม่ผ่านการแปลงเวฟเล็ท จากกรณีที่ 2 ตำแหน่งฟ้าผ่าเกิดการเปลี่ยนแปลง

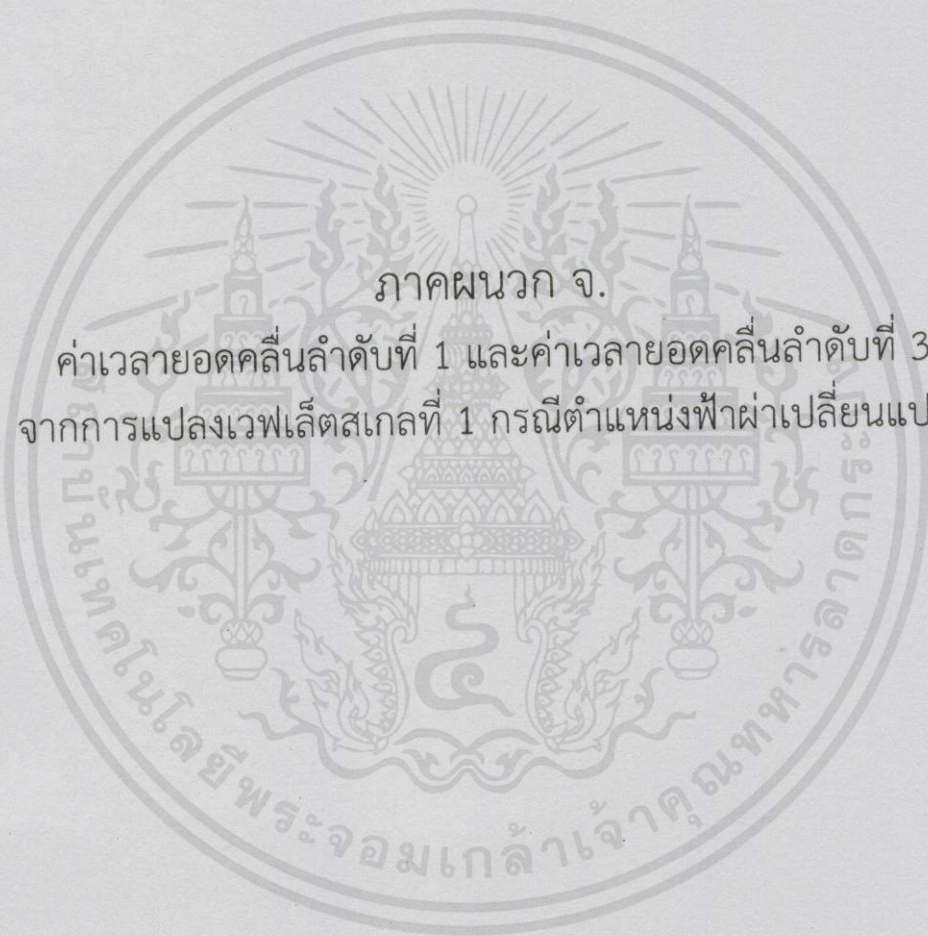
ตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่า	ตำแหน่งจริง (km)	Time 1st of arrival (ms)		ตำแหน่งคำนวณ (km)	คลาดเคลื่อน (km)
		RY2	CT		
10% ของสายส่ง	8.85	2.0332	2.2806	7.29	-1.5593
20% ของสายส่ง	17.70	2.0648	2.2500	16.58	1.1172
30% ของสายส่ง	26.55	2.0962	2.2195	25.83	0.7199
40% ของสายส่ง	35.40	2.1273	2.1887	35.08	0.3226
50% ของสายส่ง	44.25	2.1580	2.1580	44.25	0
60% ของสายส่ง	53.10	2.1886	2.1271	53.44	-0.3375
70% ของสายส่ง	61.95	2.2193	2.0959	62.68	-0.7348
80% ของสายส่ง	70.80	2.2498	2.0648	71.89	-1.0873
90% ของสายส่ง	79.65	2.2796	2.0332	81.06	-1.4099
ค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน (km)					0.8099

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางข้างต้น แสดงถึงตำแหน่งฟ้าผ่าที่ระบุได้ โดยวิธีความเร็วคลื่นเดินทาง โดยเวลาไม่ผ่านการแปลงเวฟเล็ท และจากปริภูมยานิพนธ์ฉบับนี้ระบบสายส่งแรงดันสูง 115 กิโลโวลต์ มีความเร็วคลื่นเดินทางในสายส่งเท่ากับ 298,782 กิโลเมตรต่อวินาที (km/s) เมื่อนำค่าดังกล่าวมาวิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่งฟ้าผ่าจากกรณีที่ 2 กรณีเกิดฟ้าผ่าที่ตำแหน่งต่างๆ ได้แก่ 10%, 20%, 30%, 40% 50%, 60%, 70%, 80% และ 90% ของความยาวของสายส่ง จะพบได้ว่ามีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.8099 กิโลเมตร หรือ 809.9 เมตร ซึ่งจากค่าตำแหน่งคลาดเคลื่อนผิดไปจากตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าจริงมาก นั้นแสดงถึงการระบุตำแหน่งโดยวิธีดังกล่าวไม่มีความแม่นยำและไม่ถูกต้อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The seal of Rajabhat Buriram University is a circular emblem. It features a central sun with rays, flanked by two traditional Thai stupas. Below the sun is a multi-tiered umbrella (parasol) supported by two mythical creatures. The entire emblem is surrounded by a decorative border. The text 'ภาคผนวก จ.' is centered over the seal, and the text 'ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 จากการแปลงเวฟเล็ตสเกลที่ 1 กรณีตำแหน่งฟ้าผ่าเปลี่ยนแปลง' is written across the middle of the seal.

ภาคผนวก จ.
ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3
จากการแปลงเวฟเล็ตสเกลที่ 1 กรณีตำแหน่งฟ้าผ่าเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

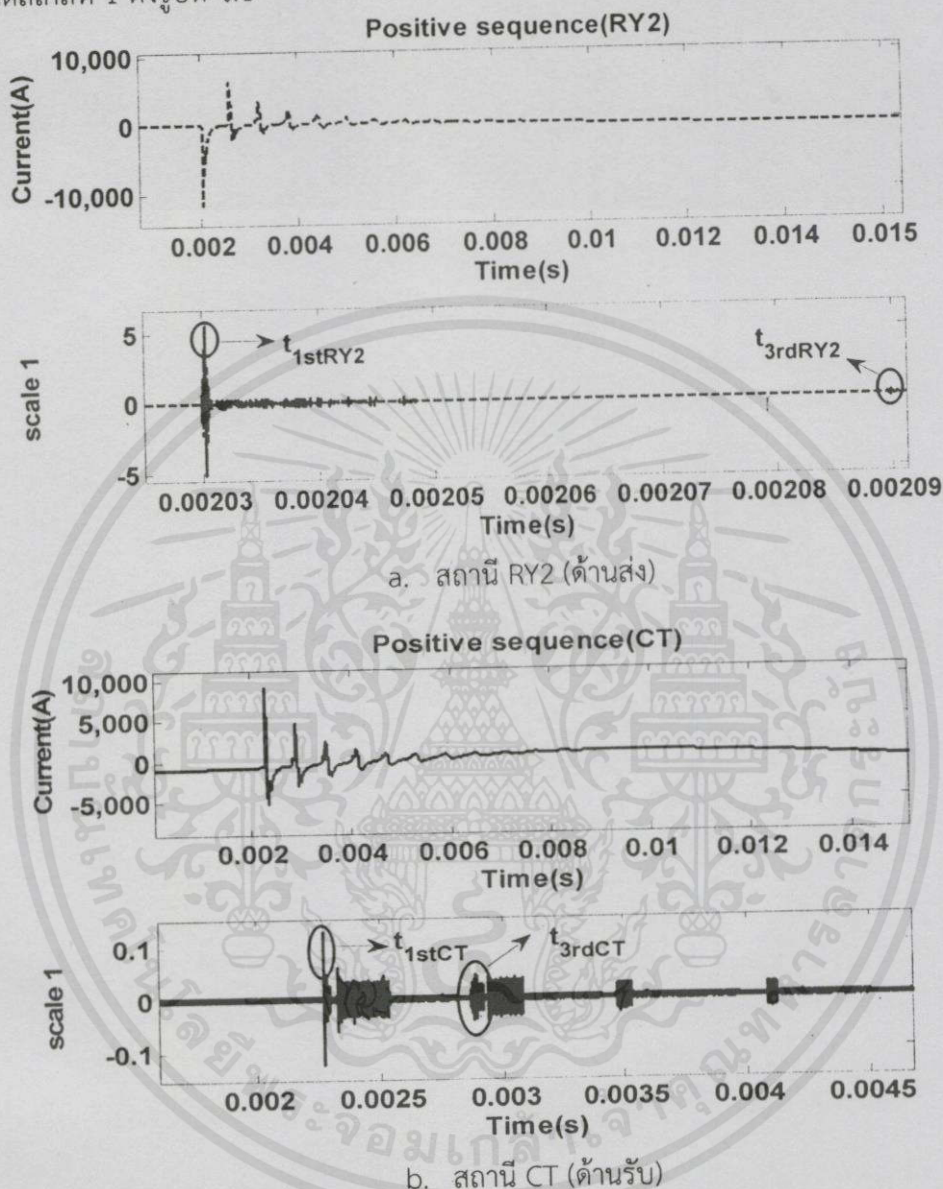
ค่าเวลาที่ได้จากการแปลงเวฟเลิตสเกลที่ 1 เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์การเพื่อบรรณตำแหน่งฟ้าผ่าจากกรณีศึกษาการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งฟ้าผ่าบนสายส่งที่มีผลต่อการระบุตำแหน่งฟ้าผ่า โดยทำการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งฟ้าผ่า 9 ตำแหน่งของสายส่ง ดังนี้ 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% และ 90% ของความยาวสายส่ง ซึ่งฟ้าผ่าเกิดขึ้นที่ระบบสายส่งไฟฟ้าแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ความยาวของสายส่งจากสถานี RY2 (ด้านส่ง) ไปยัง สถานี CT (ด้านรับ) มีค่าเท่ากับ 88.50 กิโลเมตร เกิดฟ้าผ่าขนาด 20 กิโลแอมแปร์ ที่สายเฟส A และมีค่าความต้านทานดิน 10 โอห์ม ซึ่งสามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าลำดับบวกและค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 จากการแปลงเวฟเลิตสเกลที่ 1 ดังรูปที่ จ.1 ถึง จ.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งฟ้าที่ 10% ของความยาวสายส่ง

กำหนดให้เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่ตำแหน่ง 10% ของความยาวสาย โดยสามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าลำดับบวกและค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และยอดคลื่นลำดับที่ 3 จากการแปลงเวฟเล็ตสเกลที่ 1 ดังรูปที่ จ.1

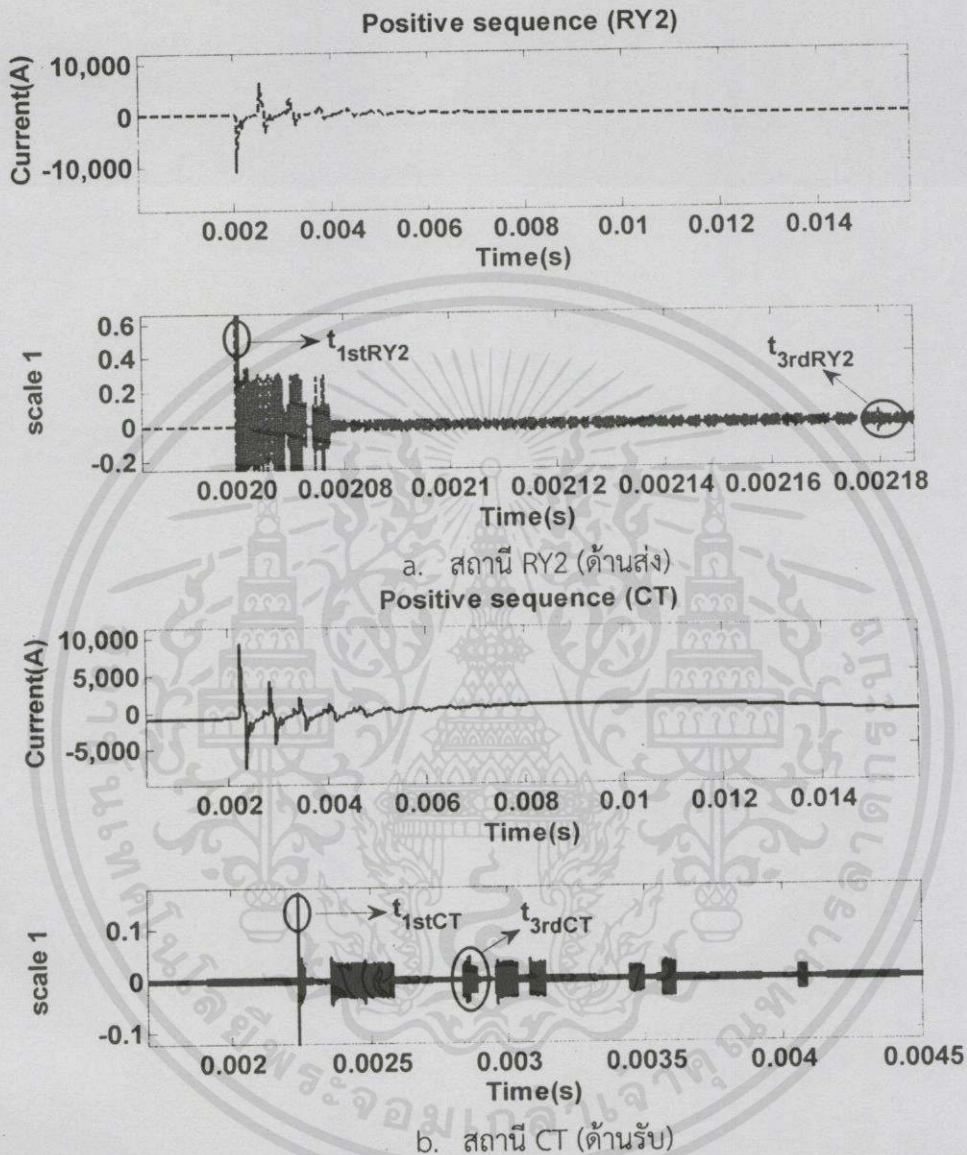


รูปที่ จ.1 ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 จากการแปลงเวฟเล็ตสเกล 1 กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 10% ของความยาวสายส่ง

จากรูปที่ จ.1 จะแสดงให้เห็นถึงค่ากระแสฟ้าผ่าลำดับบวกของทั้งสองสถานีจากกรณีเกิดฟ้าผ่าตำแหน่ง 10 % ของความยาวสายส่ง จากนั้นผ่านการแปลงเวฟเล็ตสเกลที่ 1 ได้เวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีด้านส่งและสถานีด้านรับ (t_{1stRY2} , t_{1stCT}) มีค่าเท่ากับ 2.0299 มิลลิวินาที และ 2.2695 มิลลิวินาที ตามลำดับ และเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 (t_{3rdRY2} , t_{3rdCT}) มีค่าเท่ากับ 2.0899 มิลลิวินาที และ 2.8700 มิลลิวินาที ตามลำดับ ซึ่งค่าทั้งสองจะนำไปใช้วิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่งฟ้าผ่าโดยวิธีความเร็วคลื่นเดินทาง และวิธีค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 ต่อไปตามหัวข้อ 4.3 ที่ได้กล่าวผ่านมา

ตำแหน่งฟ้าที่ 20% ของความยาวสายส่ง

กำหนดให้เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่ตำแหน่ง 20% ของความยาวสายส่ง โดยสามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าลำดับบวกและค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 จากการแปลงเวฟเล็ดสเกลที่ 1 ดังรูปที่ จ.2

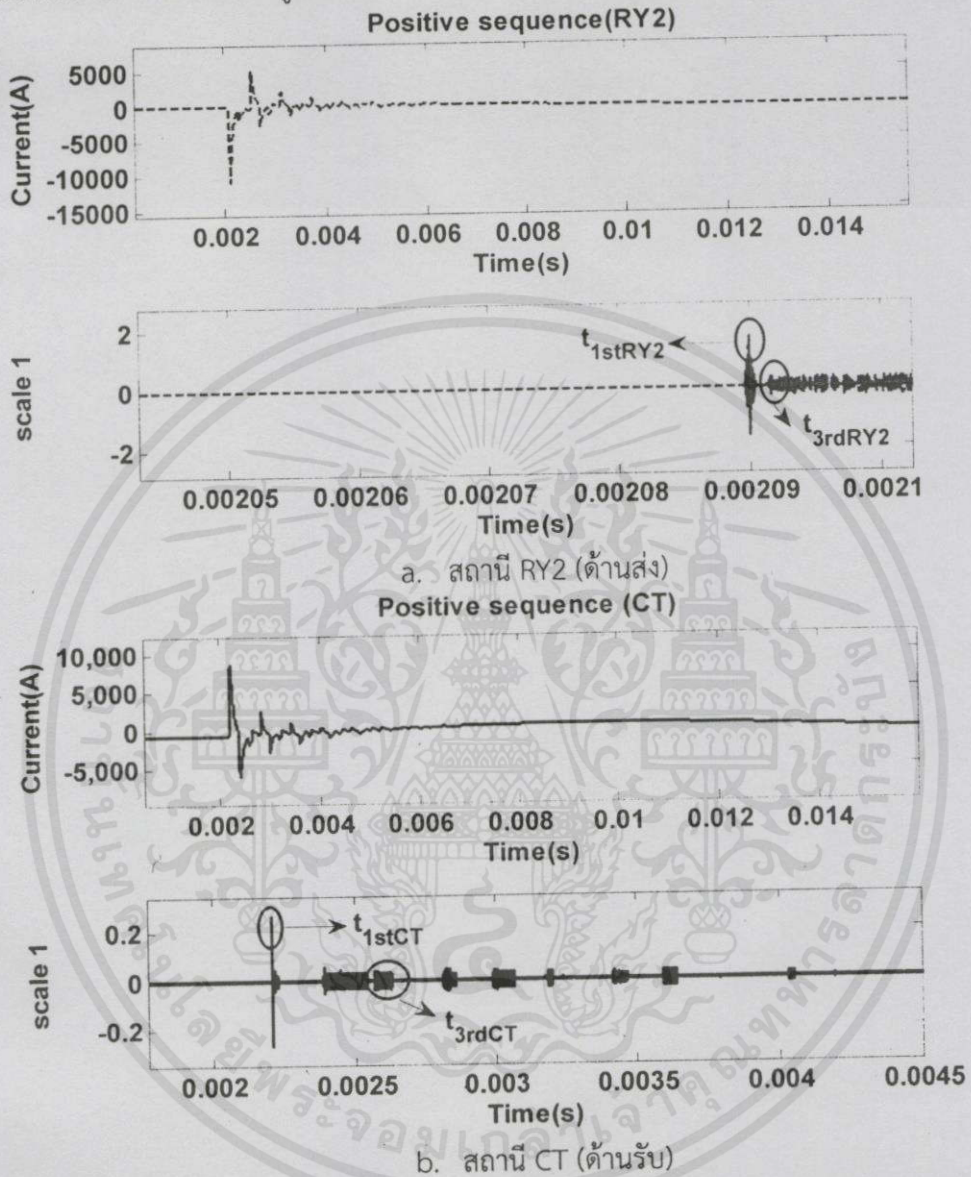


รูปที่ จ.2 ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 จากการแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 20% ของความยาวสายส่ง

จากรูปที่ จ.2 จะแสดงให้เห็นถึงค่ากระแสฟ้าผ่าลำดับบวกของทั้งสองสถานีจากกรณีเกิดฟ้าผ่าตำแหน่ง 20 % ของความยาวสายส่ง จากนั้นผ่านการแปลงเวฟเล็ดสเกลที่ 1 ได้เวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีด้านส่งและสถานีด้านรับ (t_{1stRY2} , t_{1stCT}) มีค่าเท่ากับ 2.0601 มิลลิวินาที และ 2.2396 มิลลิวินาที ตามลำดับ และ เวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 (t_{3rdRY2} , t_{3rdCT}) มีค่าเท่ากับ 2.1748 มิลลิวินาที และ 2.7188 มิลลิวินาที ตามลำดับ ซึ่งค่าทั้งสองจะนำไปใช้วิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่งฟ้าผ่าโดยวิธีความเร็วคลื่นเดินทาง และวิธีค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 ต่อไปตามหัวข้อ 4.3 ที่ได้กล่าวผ่านมา

ตำแหน่งฟ้าที่ 30% ของความยาวสายส่ง

กำหนดให้เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่ตำแหน่ง 30% ของความยาวสายส่ง โดยสามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าลำดับบวกและค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 จากการแปลงเวฟเล็ตสเกลที่ 1 ดังรูปที่ จ.3

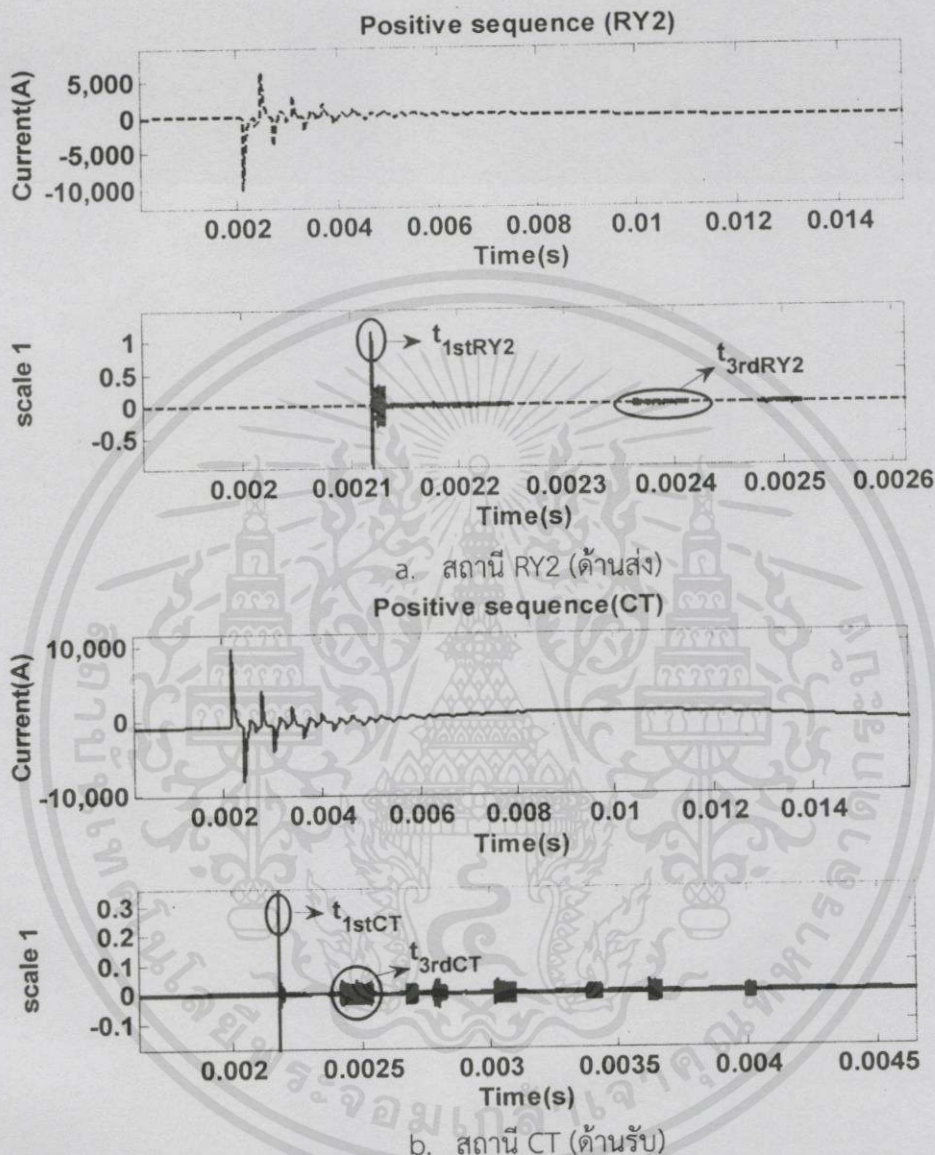


รูปที่ จ.3 ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 จากการแปลงเวฟเล็ตสเกล 1 กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 30% ของความยาวสายส่ง

จากรูปที่ จ.3 จะแสดงให้เห็นถึงค่ากระแสฟ้าผ่าลำดับบวกของทั้งสองสถานีจากกรณีเกิดฟ้าผ่าตำแหน่ง 30 % ของความยาวสายส่ง จากนั้นผ่านการแปลงเวฟเล็ตสเกลที่ 1 ได้เวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีด้านส่งและสถานีด้านรับ (t_{1stRY2} , t_{1stCT}) มีค่าเท่ากับ 2.0897 มิลลิวินาที และ 2.2093 มิลลิวินาที ตามลำดับ และค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 (t_{3rdRY2} , t_{3rdCT}) มีค่าเท่ากับ 2.2700 มิลลิวินาที และ 2.6282 มิลลิวินาที ตามลำดับ ซึ่งค่าทั้งสองจะนำไปใช้วิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่งฟ้าผ่าโดยวิธีความเร็วคลื่นเดินทาง และวิธีค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และค่าเวลาลำดับที่ 3 ต่อไปตามหัวข้อ 4.3 ที่ได้กล่าวผ่านมา

ตำแหน่งฟ้าที่ 40% ของความยาวสายส่ง

กำหนดให้เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง โดยสามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าลำดับบวกและค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 จากการแปลงเวฟเล็ดสเกลที่ 1 ดังรูปที่ จ.4

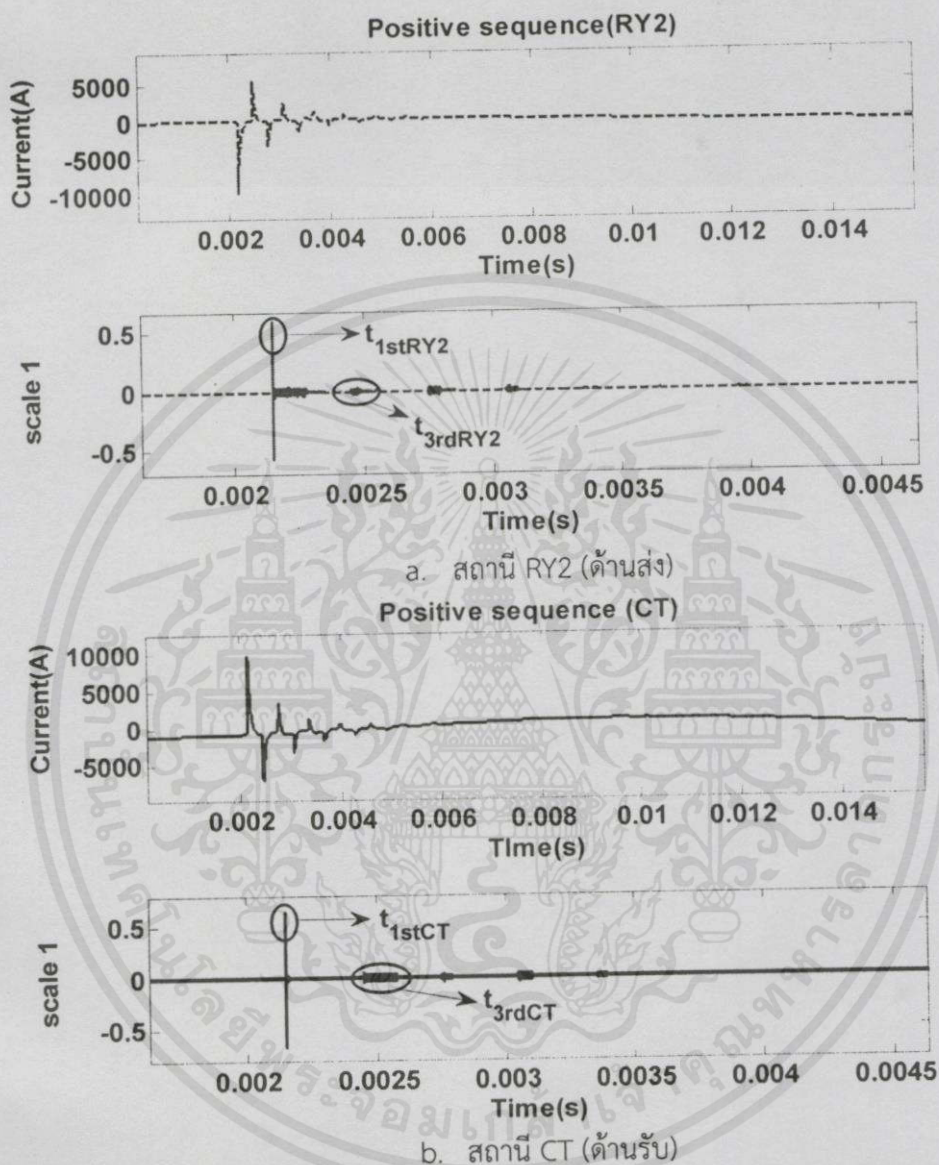


รูปที่ จ.4 ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 จากการแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 40% ของความยาวสายส่ง

จากรูปที่ จ.4 จะแสดงให้เห็นถึงค่ากระแสฟ้าผ่าลำดับบวกของทั้งสองสถานีจากกรณีเกิดฟ้าผ่าตำแหน่ง 40 % ของความยาวสายส่ง จากนั้นผ่านการแปลงเวฟเล็ดสเกลที่ 1 ได้เวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีด้านส่งและสถานีด้านรับ (t_{1stRY2} , t_{1stCT}) มีค่าเท่ากับ 2.1199 มิลลิวินาที และ 2.1795 มิลลิวินาที ตามลำดับ และ เวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 (t_{3rdRY2} , t_{3rdCT}) มีค่าเท่ากับ 2.3632 มิลลิวินาที และ 2.5390 มิลลิวินาที ตามลำดับ ซึ่งค่าทั้งสองจะนำไปใช้วิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่งฟ้าผ่าโดยวิธีความเร็วคลื่นเดินทาง และวิธีค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และค่าเวลาลำดับที่ 3 ต่อไปตามหัวข้อ 4.3 ที่ได้กล่าวผ่านมา

ตำแหน่งฟ้าที่ 50% ของความยาวสายส่ง

กำหนดให้เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่ตำแหน่ง 50% ของความยาวสาย โดยสามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าลำดับบวกและค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 จาก การแปลงเวฟเล็ดสเกลที่ 1 ดังรูปที่ จ.5

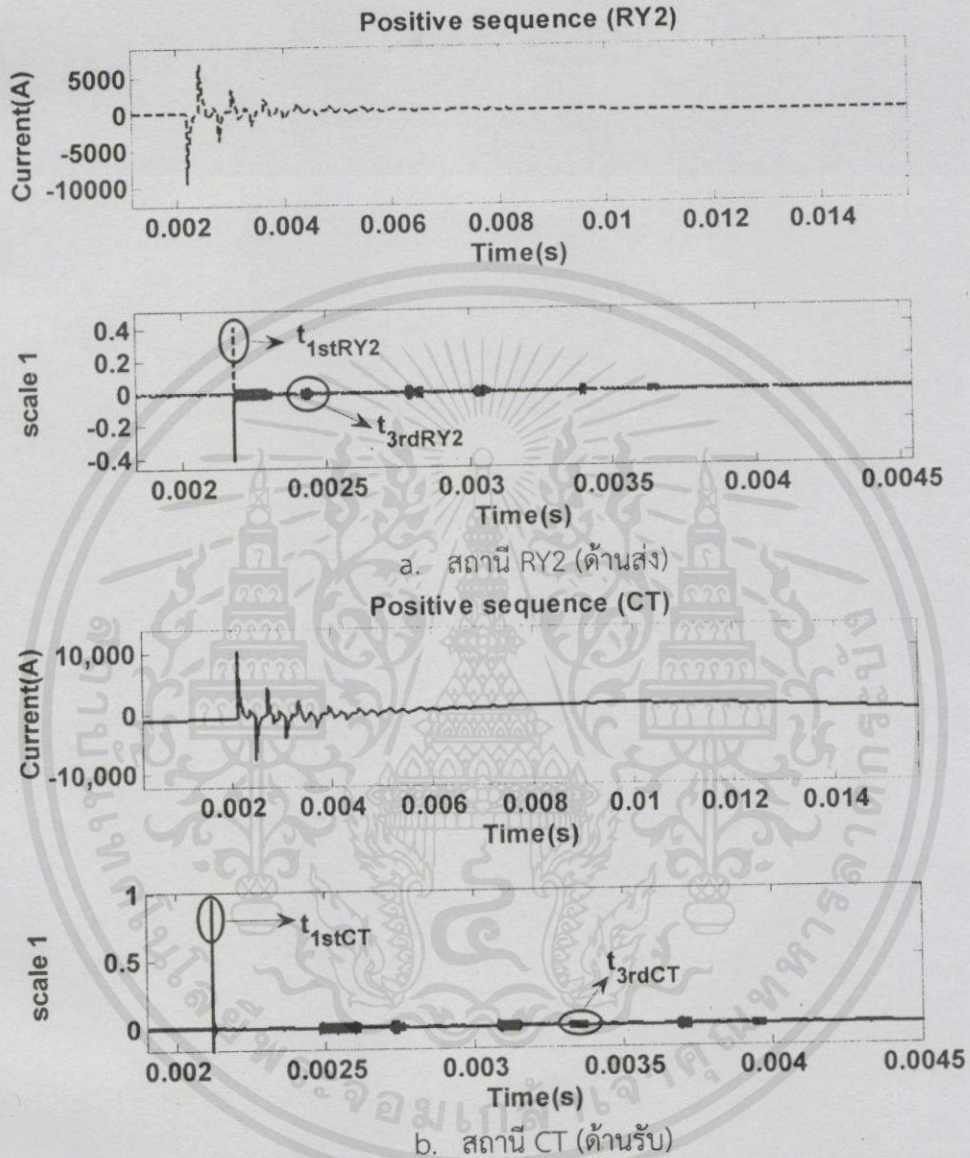


รูปที่ จ.5 ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 จากการแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 50% ของความยาวสายส่ง

จากรูปที่ จ.5 จะแสดงให้เห็นถึงค่ากระแสฟ้าผ่าลำดับบวกของทั้งสองสถานีจากกรณีเกิดฟ้าผ่า ตำแหน่ง 50 % ของความยาวสายส่ง จากนั้นผ่านการแปลงเวฟเล็ดสเกลที่ 1 ได้เวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีด้านส่งและสถานีด้านรับ (t_{1stRY2} , t_{1stCT}) มีค่าเท่ากับ 2.1495 มิลลิวินาที และ 2.1495 มิลลิวินาที ตามลำดับ และ เวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 (t_{3rdRY2} , t_{3rdCT}) มีค่าเท่ากับ 2.4498 มิลลิวินาที และ 2.4498 มิลลิวินาที ตามลำดับ ซึ่งค่าทั้งสองจะนำไปใช้วิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่ง ฟ้าผ่าโดยวิธีความเร็วคลื่นเดินทาง และวิธีค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 ต่อไป ตามหัวข้อ 4.3 ที่ได้กล่าวผ่านมา

ตำแหน่งฟ้าที่ 60% ของความยาวสายส่ง

กำหนดให้เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง โดยสามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าลำดับบวกและค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 จากการแปลงเวฟเล็ทสเกลที่ 1 ดังรูปที่ จ.6

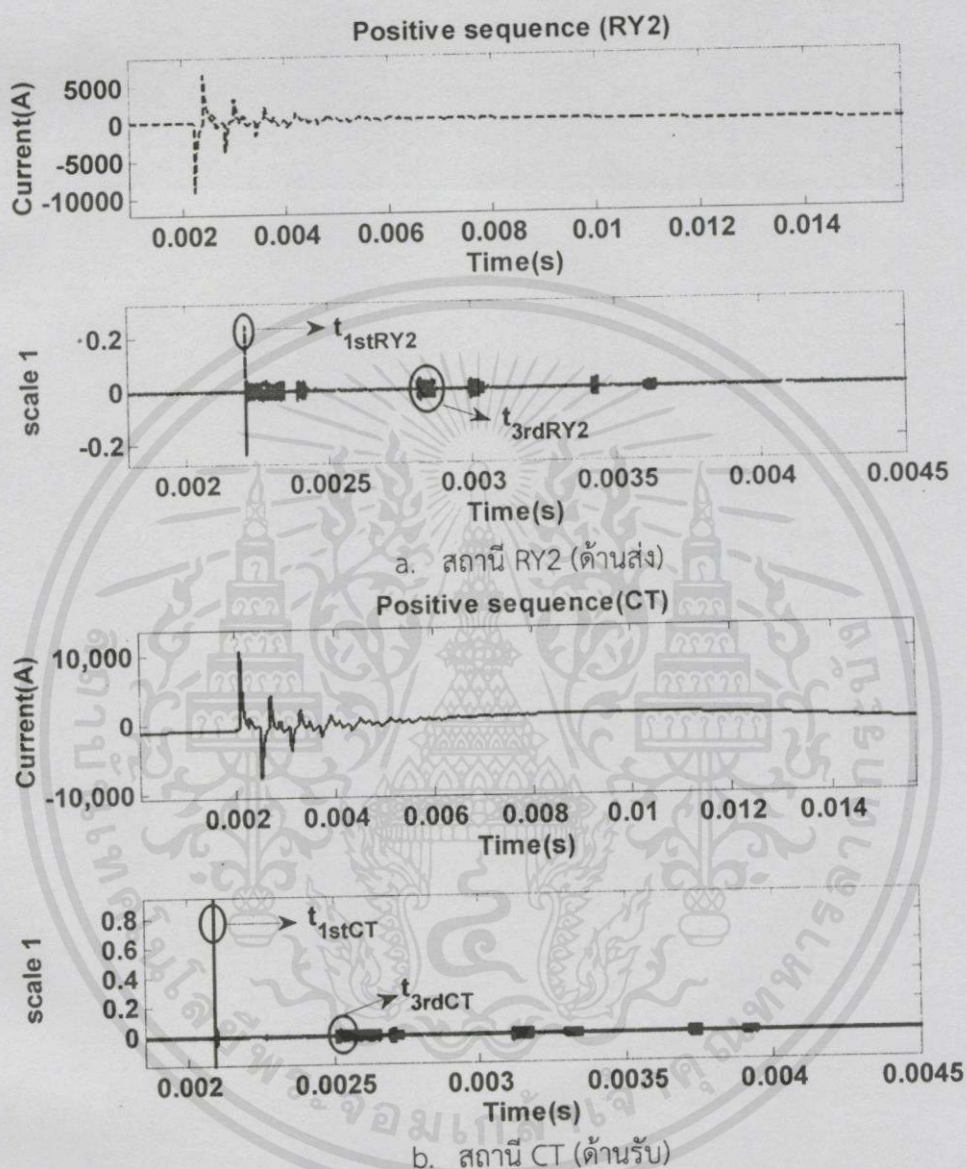


รูปที่ จ.6 ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 จากการแปลงเวฟเล็ทสเกล 1 กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 60% ของความยาวสายส่ง

จากรูปที่ จ.6 จะแสดงให้เห็นถึงค่ากระแสฟ้าผ่าลำดับบวกของทั้งสองสถานีจากกรณีเกิดฟ้าผ่าตำแหน่ง 60 % ของความยาวสายส่ง จากนั้นผ่านการแปลงเวฟเล็ทสเกลที่ 1 ได้เวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีด้านส่งและสถานีด้านรับ (t_{1stRY2} , t_{1stCT}) มีค่าเท่ากับ 2.1798 มิลลิวินาที และ 2.1199 มิลลิวินาที ตามลำดับ และ เวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 (t_{3rdRY2} , t_{3rdCT}) มีค่าเท่ากับ 2.5529 มิลลิวินาที และ 2.3593 มิลลิวินาที ตามลำดับ ซึ่งค่าทั้งสองจะนำไปใช้วิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่งฟ้าผ่าโดยวิธีความเร็วจลื่นเดินทาง และวิธีค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และค่าเวลาลำดับที่ 3 ต่อไปตามหัวข้อ 4.3 ที่ได้กล่าวผ่านมา

ตำแหน่งฟ้าที่ 70% ของความยาวสายส่ง

กำหนดให้เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง โดยสามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าลำดับบวกและค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 จากการแปลงเวฟเล็ตสเกลที่ 1 ดังรูปที่ จ.7

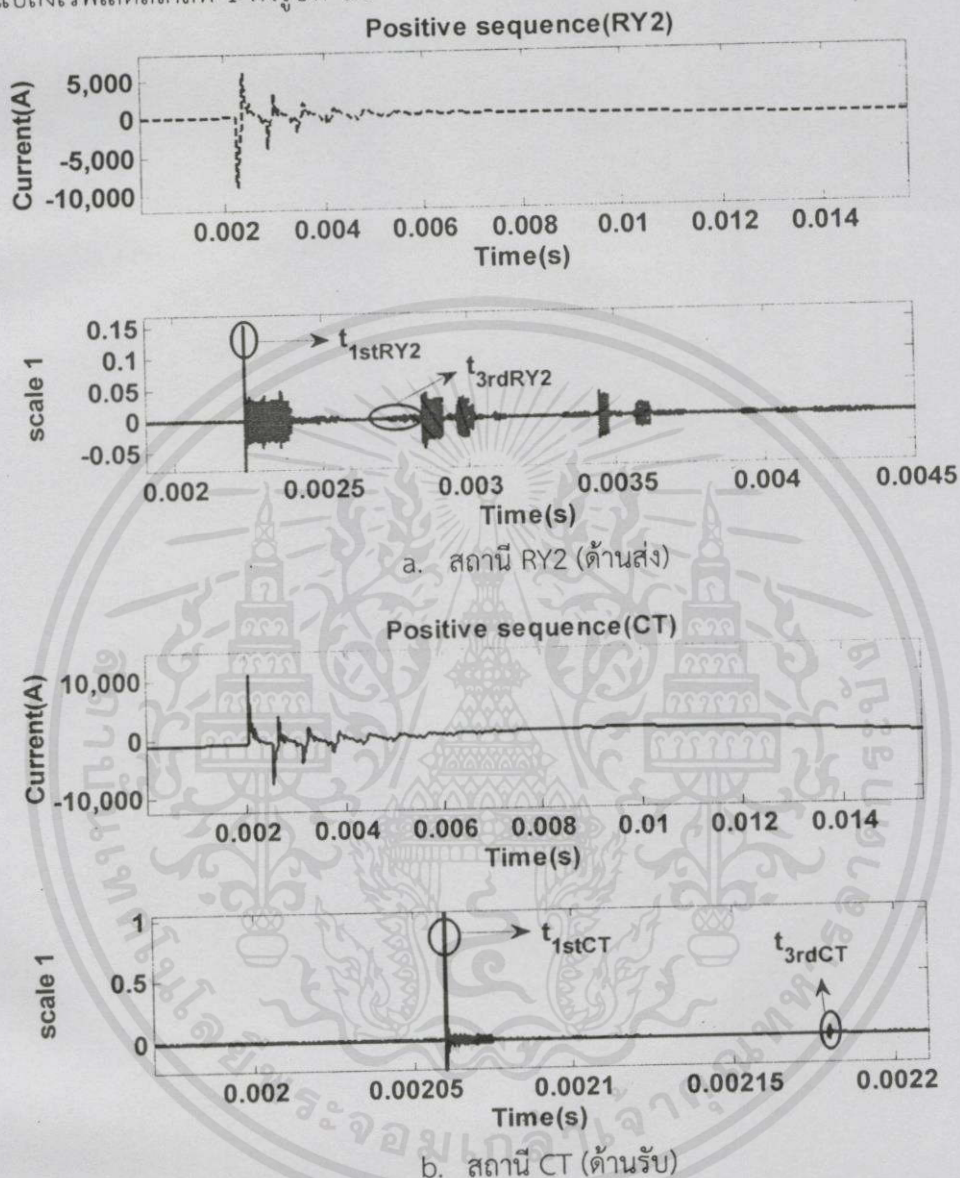


รูปที่ จ.7 ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 จากการแปลงเวฟเล็ตสเกล 1 กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง

จากรูปที่ จ.7 จะแสดงให้เห็นถึงค่ากระแสฟ้าผ่าลำดับบวกของทั้งสองสถานีจากกรณีเกิดฟ้าผ่าตำแหน่ง 70 % ของความยาวสายส่ง จากนั้นผ่านการแปลงเวฟเล็ตสเกลที่ 1 ได้เวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีด้านส่งและสถานีด้านรับ (t_{1stRY2} , t_{1stCT}) มีค่าเท่ากับ 2.2093 มิลลิวินาที และ 2.0897 มิลลิวินาที ตามลำดับ และ เวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 (t_{3rdRY2} , t_{3rdCT}) มีค่าเท่ากับ 2.6429 มิลลิวินาที และ 2.2694 มิลลิวินาที ตามลำดับ ซึ่งค่าทั้งสองจะนำไปใช้วิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่งฟ้าผ่าโดยวิธีความเร็วคลื่นเดินทาง และวิธีค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 ต่อไปตามหัวข้อ 4.3 ที่ได้กล่าวผ่านมา

ตำแหน่งฟ้าที่ 80% ของความยาวสายส่ง

กำหนดให้เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง โดยสามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าลำดับบวกและค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 จากการแปลงเวฟเล็ตสเกลที่ 1 ดังรูปที่ จ.8

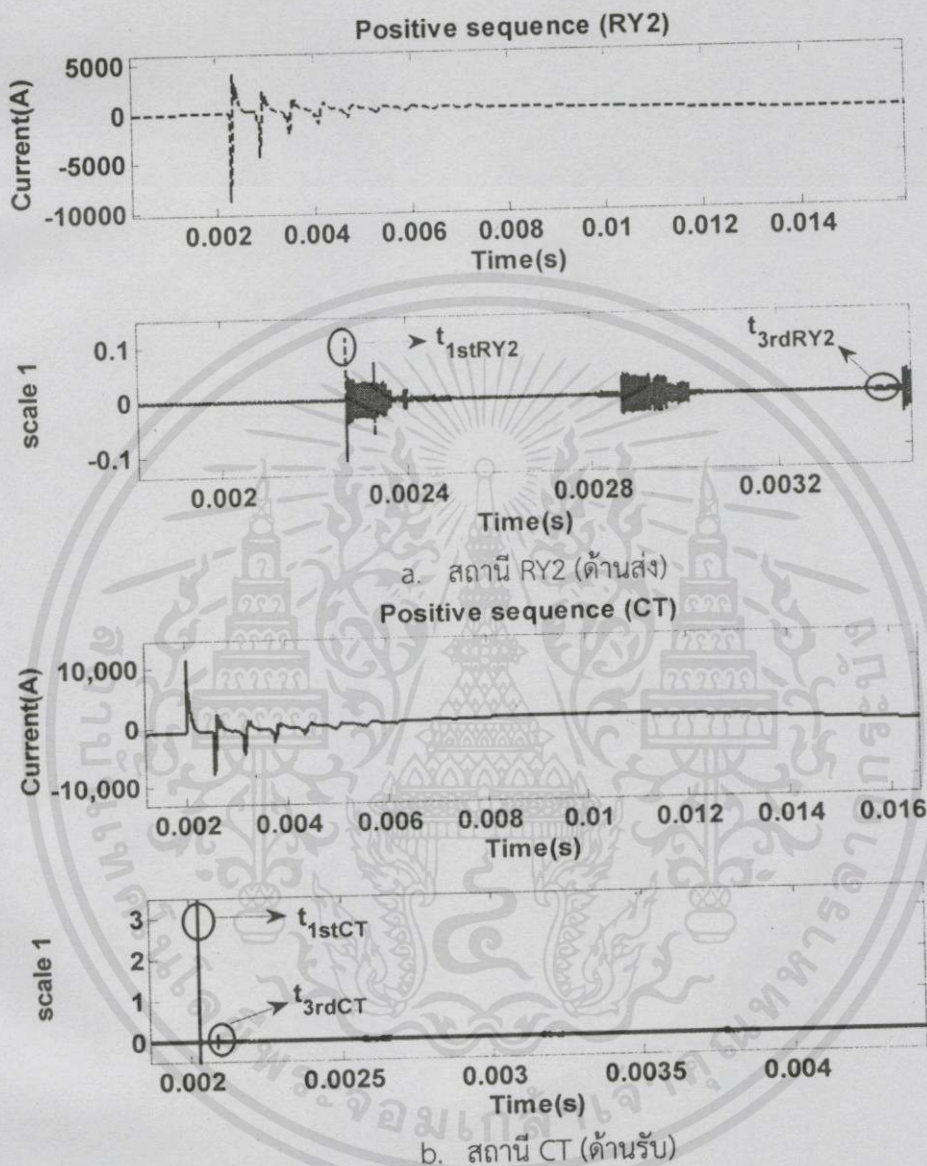


รูปที่ จ.8 ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 จากการแปลงเวฟเล็ตสเกล 1 กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 80% ของความยาวสายส่ง

จากรูปที่ จ.8 จะแสดงให้เห็นถึงค่ากระแสฟ้าผ่าลำดับบวกของทั้งสองสถานีจากกรณีเกิดฟ้าผ่าตำแหน่ง 80 % ของความยาวสายส่ง จากนั้นผ่านการแปลงเวฟเล็ตสเกลที่ 1 ได้เวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีด้านส่งและสถานีด้านรับ (t_{1stRY2} , t_{1stCT}) มีค่าเท่ากับ 2.2396 มิลลิวินาที และ 2.0602 มิลลิวินาที ตามลำดับ และ เวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 (t_{3rdRY2} , t_{3rdCT}) มีค่าเท่ากับ 2.7216 มิลลิวินาที และ 2.1798 ตามลำดับ ซึ่งค่าทั้งสองจะนำไปใช้วิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่งฟ้าผ่าโดยวิธีความเร็วคลื่นเดินทาง และวิธีค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และค่าเวลาลำดับที่ 3 ต่อไปตามหัวข้อ 4.3 ที่ได้กล่าวผ่านมา

ตำแหน่งฟ้าที่ 90% ของความยาวสายส่ง

กำหนดให้เกิดฟ้าผ่าขึ้นกับระบบที่ตำแหน่ง 70% ของความยาวสายส่ง โดยสามารถแสดงกระแสฟ้าผ่าลำดับบวกและค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 จากการแปลงเวฟเล็ดสเกลที่ 1 ดังรูปที่ จ.9



รูปที่ จ.9 ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และ ค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 จากการแปลงเวฟเล็ดสเกล 1 กรณีเกิดฟ้าผ่า ณ ตำแหน่ง 90% ของความยาวสายส่ง

จากรูปที่ จ.9 จะแสดงให้เห็นถึงค่ากระแสฟ้าผ่าลำดับบวกของทั้งสองสถานีจากกรณีเกิดฟ้าผ่าตำแหน่ง 90 % ของความยาวสายส่ง จากนั้นผ่านการแปลงเวฟเล็ดสเกลที่ 1 ได้เวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 ของสถานีด้านส่งและสถานีด้านรับ (t_{1stRY2} , t_{1stCT}) มีค่าเท่ากับ 2.2686 มิลลิวินาที และ 2.0301 มิลลิวินาที ตามลำดับ และ เวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 (t_{3rdRY2} , t_{3rdCT}) มีค่าเท่ากับ 2.8096 มิลลิวินาที และ 2.0898 มิลลิวินาที ตามลำดับ ซึ่งค่าทั้งสองจะนำไปใช้วิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่งฟ้าผ่าโดยวิธีความเร็วคลื่นเดินทาง และวิธีค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 1 และค่าเวลายอดคลื่นลำดับที่ 3 ต่อไปตามหัวข้อ 4.3 ที่ได้กล่าวผ่านมา

ประวัติผู้เขียน



นางสาว พรายกนก เลิศวนิชโรจน์
 เกิดวันที่ 15 สิงหาคม พ.ศ. 2535 ภูมิลำเนาอยู่ จังหวัด สมุทรปราการ
 ศึกษาในระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียน สายน้ำผึ้งในพระอุปถัมภ์ฯ
 ศึกษาในระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 โดยสนใจงานวิจัย ระบบไฟฟ้ากำลัง
 อีเมล : prailkanok@gmail.com



นางสาว พัชราภรณ์ เกษตรานันท์
 เกิดวันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2536 ภูมิลำเนาอยู่ จังหวัด จันทบุรี
 ศึกษาในระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียน ศรียานุสรณ์
 ศึกษาในระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 โดยสนใจงานวิจัย ระบบไฟฟ้ากำลัง
 อีเมล : jah.kmitl@gmail.com



นางสาว พิมพ์สิริ อิทธิเสถียรกุล
 เกิดวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2536 ภูมิลำเนาอยู่ จังหวัด กรุงเทพมหานคร
 ศึกษาในระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียน บดินทรเดชา(สิงห์ สิงหเสนี) 2
 ศึกษาในระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 โดยสนใจงานวิจัย ระบบไฟฟ้ากำลัง
 อีเมล : pim.itthi@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

