

การศึกษสาเหตุการชำรุดเนื่องจากฟ้าผ่าของมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติของ
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

A STUDY ON DEFECTIVE CAUSES FOR ENERGY METER IN AMR
SYSTEM OF PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY



นิวัฒน์ อินทโชติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษาสาเหตุการชำรุดเนื่องจากฟ้าผ่าของมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ
ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

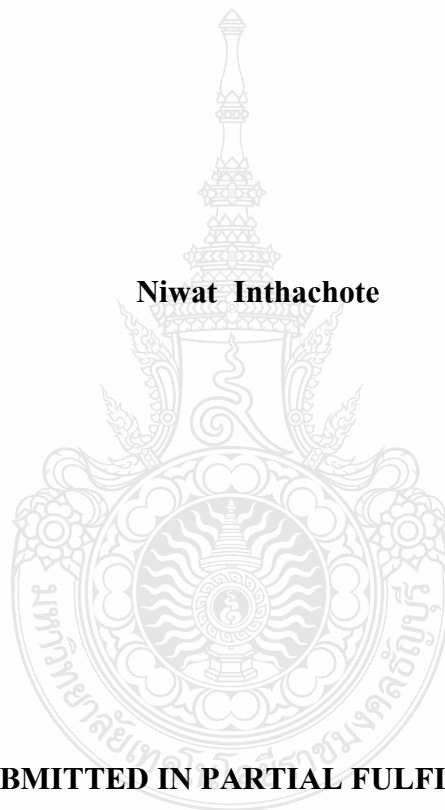
นิวัฒน์ อินทโชติ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

**A Study on defective causes for energy meter in AMR system of
Provincial Electricity Authority**

Niwat Inthachote



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
PROGRAM IN ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ELECTRICAL
ENGINEERING**

RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

ACADEMIC YEAR 2011

COPYRIGHT OF RAJAMANGALA UNIVERSITY

OF TECHNOLOGY THANYABURI

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาศาเหตุการชำรุดเนื่องจากฟ้าผ่าของมิเตอร์อ่านหน่วย อัตโนมัติของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
ชื่อ – นามสกุล	นายนิวัฒน์ อินทโชติ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ได้นำเทคโนโลยีระบบการอ่านหน่วยอัตโนมัติมาใช้งานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 จากรายงานของ กฟภ. พบว่ามีมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติจำนวนไม่น้อยชำรุดเสียหายอันเนื่องมาจากแรงดันเกินฟ้าผ่า หากสามารถหาแนวทางเพื่อบรรเทาปัญหาการชำรุดของมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ ซึ่งจะทำให้ประหยัดงบประมาณในการจัดซื้อมิเตอร์ทดแทนของเดิมที่ชำรุดลงได้

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาปัญหาจากการเกิดแรงดันเกินฟ้าผ่าในระบบจำหน่ายระดับแรงดันปานกลาง 22 กิโลโวลต์ และการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้มิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคชำรุดเสียหาย โดยจำลองระบบขณะเกิดฟ้าผ่าด้วยโปรแกรม ATP-EMTP เพื่อช่วยวิเคราะห์แรงดันที่เกิดขึ้น ณ จุดต่างๆ ที่สนใจ

ผลการศึกษาพบว่าเส้นทางการไหลของกระแสฟ้าผ่าที่ทำให้มิเตอร์ชำรุดเสียหายจะเกิดจากฟ้าผ่าลงระบบสายดินซึ่งอากาศของเสาต้นที่อยู่ข้างเคียงสู่ระบบรากสายดินแล้วย้อนกลับขึ้นสู่จุดติดตั้งมิเตอร์ผ่านทางหลักดิน และยังสามารถสรุปได้ว่ายิ่งฟ้าผ่าใกล้จุดติดตั้งมิเตอร์หรือขนาดกระแสฟ้าผ่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความรุนแรงจากฟ้าผ่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสาเหตุที่คาดว่าทำให้มิเตอร์ชำรุดเสียหายและไหม้เกิดจากแรงดันจุดต่อลงดิน ณ ตำแหน่งติดตั้งมิเตอร์มีค่าสูงกว่าพิกัดแรงดันคงทนของอุปกรณ์ระบายพลังงานฟ้าผ่าของมิเตอร์อยู่ถึง 12.78 กิโลโวลต์ หรือ 3.55 เท่า ที่ระดับกระแสฟ้าผ่า 40 กิโลแอมแปร์

คำสำคัญ: แรงดันเกินฟ้าผ่า มิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ สาเหตุการชำรุด

Thesis Title	A study on Defective Causes for Energy Meter in AMR System of Provincial Electricity Authority
Name-Surname	Mr. Niwat Inthachote
Program	Electrical Engineering
Thesis Adviser	Dr. Chatchai Suppitaksakul
Academic Year	2011

ABSTRACT

Automatic Meter Reading (AMR) technology has been introduced to use for collecting data from electronic energy meter by Provincial Electricity Authority (PEA) since 2007. According to the PEA report, it is found that a lot of AMR energy meters were damaged due to lightning over voltage. If the number of damaged meters from this cause can be reduced, it will help to save cost of replacement.

This thesis presents a study of lightning over voltage problems in 22 kV medium voltage distribution system and analyzes the damage causes of AMR Energy meter PEA. ATP-EMTP program is used to determine the over voltage at the interested positions.

From the simulation results, it is found that the conducting path of lightning current, which cause of the damage, occurs from the lightning discharge into the Overhead Ground Wire (OHGW) at top pole nearby then passes through the grounding system loop back to the AMR energy meter installation position. In conclusion, that if the lightning discharges near the meter installation point or the magnitude of lightning current is increased, it will cause more damage to the meter. Thus, it can expect that the defective cause might come from the voltage across grounding point, where the meter is installed, is higher than withstand voltage rating of the varistors in the meter around 12.78 kV or 3.55 times at the lightning current of 40 kA.

Keywords: Lightning over voltage, AMR energy meter, Defective Cause for AMR

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำเริง อินทาม่า กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฌรัฐดี โสมะเกษตริินทร์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาการอ่านหน่วยอัตโนมัติ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลที่ใช้ในวิเคราะห์ปัญหาในงานวิจัยชิ้นนี้ ขอขอบคุณกองวิจัย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่ให้คำชี้แนะ และแนะนำการจำลองโดยการใช้โปรแกรม ATP-EMTP ขอขอบคุณผู้วิจัยทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์บทความและงานวิจัยที่ใช้อ้างอิงในงานวิจัยชิ้นนี้ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา บ่มเพาะจนผู้วิจัยสามารถนำเอาความรู้และหลักการมาประยุกต์ใช้ในการวิจัย ขอขอบพระคุณบิดามารดาของข้าพเจ้า และขอขอบคุณครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้ามีความพยายาม มุมานะในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี ขอขอบคุณเพื่อนๆ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ขอขอบคุณหัวหน้า และเพื่อนร่วมงาน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ทุกท่านที่ให้โอกาสและสนับสนุนการศึกษาต่อปริญญาโทในครั้งนี้ และให้ความอนุเคราะห์ด้วยดีตลอดมา

คุณค่าอันพึงจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณ บิดา มารดา ครู อาจารย์ ร่วมถึงผู้มีอุปการคุณทุกท่าน

นิวัฒน์ อินทโชติ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฐ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	3
1.3 สมมติฐานการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย	4
1.5 ขั้นตอนการวิจัย	4
1.6 ข้อยกเว้นการทำวิจัย	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.2 ปรากฏการณ์และพฤติกรรมของฟ้าผ่า	10
2.3 ทรานเซียนต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง	15
2.4 การใช้งานโปรแกรม ATP-EMTP	22
2.5 การสร้างแบบจำลองอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้ในโปรแกรม ATP-EMTP	31
2.6 สรุปผลการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	44
3 วิธีดำเนินการวิจัย	45
3.1 การตั้งสมมติฐานและวิเคราะห์ทางกายภาพเพื่อหาสาเหตุการชำรุดของมิเตอร์	45
3.2 การเก็บรวบรวมสถิติการชำรุดของมิเตอร์	48

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.3	เก็บรวบรวมพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการจำลองระบบไฟฟ้ากำลัง 48
3.4	แนวทางการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าเกินที่จุดต่อลงดินของมิเตอร์จากการจำลองแบบด้วยโปรแกรม ATP-EMTP 63
3.5	สรุปเสนอแนวทาง วิธีแก้ไขหรือวิธีลดปัญหาจากการวิเคราะห์ 63
3.6	สรุปผลวิธีการดำเนินการวิจัย 63
4	ผลการศึกษาและจำลองด้วยโปรแกรม ATP-EMTP 65
4.1	ขนาดกระแสฟ้าผ่ามีค่าแตกต่างกันตั้งแต่ 15-40 กิโลแอมแปร์ 65
4.2	ระหว่างตำแหน่งฟ้าผ่าลงหัวเสาสายดินซึ่งอากาศที่ไกลออกไปจากเสาที่ติดตั้งมิเตอร์..... 66
4.3	ศึกษาระยะห่างที่เปลี่ยนแปลงของเสาที่ใกล้ที่สุดที่ติดตั้งสายดินซึ่งอากาศที่ฟ้าผ่าลงถึงตำแหน่งเสาที่ติดตั้งมิเตอร์..... 68
4.4	ศึกษาผลกระทบกรณีที่ค่าความต้านทานการต่อลงดินของเสาต้นที่ติดตั้งมิเตอร์มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน..... 71
4.5	เส้นทางการไหลของกระแสฟ้าผ่าที่ผ่านจุดต่อลงดินของมิเตอร์ 73
4.6	การวิเคราะห์ผลจากการศึกษาและจำลองด้วยโปรแกรม ATP-EMTP 74
4.7	สรุป 78
5	สรุปผลการวิจัย 79
5.1	สรุปผลการศึกษาและวิเคราะห์ 79
5.2	ข้อเสนอแนะ 81
รายการอ้างอิง 83
ภาคผนวก 85
ภาคผนวก ก	เส้นทางการไหลของกระแส และแรงดัน 86
ภาคผนวก ข	ข้อมูลพารามิเตอร์ 90
ภาคผนวก ค	ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ 112
ประวัติผู้เขียน 133

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของฟ้าผ่า	12
2.2 รูปร่างแรงดันเกิน และรูปร่างของแรงดันมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ ที่ความถี่ต่างๆ ตามมาตรฐาน IEC 60071-1	16
2.3 การแบ่งภาวะชั่วครู่ของปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าตามกลุ่มและช่วงของความถี่	24
2.4 ค่าความจุไฟฟ้าของลูกถ้วยต่อหนึ่งลูก	35
2.5 ค่าคาปาซิแตนซ์ของหม้อแปลงกระแส (Current Transformers)	43
2.6 ค่าคาปาซิแตนซ์ของหม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformers)	43
3.1 ค่าในการคำนวณหาค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาคอนกรีตขนาด 12 เมตร ความถี่ 25 kHz	52
3.2 ค่าในการคำนวณหาค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาคอนกรีตขนาด 12 เมตร ความถี่ 50 kHz	52
3.3 ค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาคอนกรีตขนาด 12 เมตร	53
3.4 สรุปข้อมูลตัวแปรที่ใช้สร้างแบบจำลองสาย	54
3.5 ตำแหน่งการจัดวางสาย	54
3.6 ค่าความจุไฟฟ้าของลูกถ้วยต่อหนึ่งลูกที่ กฟภ. ใช้งาน	57
3.7 ตัวนำลงดินที่ใช้ในระบบ 22 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	59
3.8 สรุปค่าพารามิเตอร์อุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้าระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์	63
4.1 แรงดันที่จุดต่อลงดินของมิเตอร์ที่ตำแหน่งฟ้าผ่าลงระยะต่าง ๆ	74
4.2 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ที่ระยะห่างระหว่างเสาต้นที่ 1-7 กำหนดให้ฟ้าผ่าที่เสาต้นแรก	76
4.3 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ 1 - 30 โอห์ม กระแสฟ้าผ่า 15-40 กิโลแอมแปร์	77

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การกระจายของประจุภายในเมฆฝนฟ้าคะนอง	10
2.2 รูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า	14
2.3 ความชัน $\frac{di(t)}{dt}$ ของกระแสน้ำคลื่น	14
2.4 แรงดันเกินจากฟ้าผ่าลงที่สายส่ง	17
2.5 แรงดันเกินจากฟ้าผ่าลงที่สายดิน	17
2.6 แรงดันเกินจากฟ้าผ่าที่พื้นดินบริเวณข้างเคียง	17
2.7 กระแสฟ้าผ่า I ลงสายส่งทำให้เกิดกระแสไหลไปสองทาง และเกิดแรงดันสูงในสาย ...	18
2.8 วงจรสมมูลเทวินินสำหรับฟ้าผ่าลงสายดิน	19
2.9 ประจุเหนี่ยวนำที่เกิดบนสายดิน และสายเฟสก่อนเกิดฟ้าผ่า	20
2.10 หลังจากเกิดฟ้าผ่าบริเวณข้างเคียง	20
2.11 EMTP module	23
2.12 ส่วนประกอบต่างๆ ของโปรแกรม ATPDraw	25
2.13 หน้าต่าง ATPDraw	25
2.14 หน้าต่างเขียนวงจร	26
2.15 การเปิดเมนูอุปกรณ์	26
2.16 หน้าต่างสำหรับกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของอุปกรณ์	27
2.17 การเชื่อมต่อ โน้ตระหว่างอุปกรณ์	27
2.18 หน้าต่าง Node data	28
2.19 หน้าต่าง ATP Settings	28
2.20 หน้าต่างสำหรับการบันทึกไฟล์	29
2.21 หน้าต่างดอแสดงการคำนวณ	29
2.22 หน้าต่างเลือกแสดงกราฟของ โปรแกรม PlotXY	30
2.23 หน้าต่างแสดงกราฟของ โปรแกรม PlotXY	30
2.24 แบบจำลองของสายส่ง และเสาที่ศึกษาผลของฟ้าผ่า	31
2.25 เสาไฟฟ้าคอนกรีตตัวนำเดี่ยวแทนด้วยเสารูปทรงกระบอก.....	33
2.26 การจัดเรียงเหล็กเสริมภายในเสาไฟฟ้าคอนกรีต	34
2.27 รากสายดินติดตั้งในแนวตั้ง และแนวเอียง	36

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.28 รากสายดินแนวรัศมี	37
2.29 รากสายดินวงแหวนรอบอาคาร	37
2.30 การวัดความต้านทานดิน 1 ลูกบาศก์เมตร	38
2.31 ลักษณะการเสียดสภาพความเป็นฉนวนของดินรอบ ๆ แท่งตัวนำลงดิน	39
2.32 วงจรสมมูลของตัวนำลงดิน เนื่องจากผลของกระแสไฟฟ้าผ่า	39
2.33 การหาค่ากระแสที่แบ่งไหลไปยังเสาข้างเคียง	40
2.34 วงจรสมมูลสำหรับหาค่ากระแสที่จะไหลลงดิน ณ เสาต้นที่ถูกไฟฟ้าผ่า	41
3.1 การติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ	46
3.2 วงจรการต่อมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ	46
3.3 มิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติที่ชำรุด	47
3.4 สถิติจำนวนมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติชำรุด	48
3.5 ระบบไฟฟ้ากำลังระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์	49
3.6 วงจรสมมูลระบบไฟฟ้ากำลังระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์	49
3.7 การจัดวางสายดิน และเหล็กเสริมแรงภายในเสาไฟฟ้าคอนกรีต	50
3.8 เสาไฟฟ้าคอนกรีตที่ใช้ในการคำนวณ	50
3.9 ภาพตัดขวางเสาไฟฟ้าคอนกรีต	51
3.10 แบบจำลองเสาในโปรแกรม ATP-EMTP	53
3.11 การจัดวางสายโครงสร้างระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ ของ กฟภ.	54
3.12 การใส่ข้อมูลแบบจำลองสาย	55
3.13 รูปแบบการจัดวางสายที่ได้จากการป้อนข้อมูลสร้างแบบจำลอง	55
3.14 ลักษณะลูกถ้วยที่ กฟภ. ใช้งานในระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์	56
3.15 การสร้างแบบจำลองลูกถ้วยโดยใช้คาปาซิเตอร์	56
3.16 แบบจำลองแทนหม้อแปลงกระแส	57
3.17 แบบจำลองแทนหม้อแปลงแรงดันสำหรับเครื่องวัด	58
3.18 วงจรสมมูลความต้านทานอิมพัลส์	58

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.19 กราฟคุณสมบัติกระแส และแรงดันของกับดักเสิร์จ	60
3.20 การกำหนดค่าตัวแปรของกับดักเสิร์จแบบไม่มีเก็บใน ATPDraw	60
3.21 การกำหนดค่าคุณสมบัติกระแส และแรงดันของกับดักเสิร์จแบบไม่มีเก็บ	60
3.22 แบบจำลองแหล่งจ่ายระบบ 22 กิโลโวลต์	61
3.23 แบบจำลองกระแสฟ้าผ่าของ HEIDLER	62
3.24 หน้าต่างค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองกระแสฟ้าผ่า ของ HEIDLER	62
3.25 รูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า 8/20 μ S ตามแบบจำลองของ HEIDLER ขนาด 15-40 kA	62
4.1 ค่าแรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ ที่การจำลองค่ากระแสฟ้าผ่า 15-40 kA	65
4.2 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อฟ้าผ่าลงหัวเสาชั้นที่ 1-7 ที่กระแสฟ้าผ่า 15 กิโลแอมแปร์	66
4.3 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อฟ้าผ่าลงหัวเสาชั้นที่ 1-7 ที่กระแสฟ้าผ่า 20 กิโลแอมแปร์	66
4.4 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อฟ้าผ่าลงหัวเสาชั้นที่ 1-7 ที่กระแสฟ้าผ่า 25 กิโลแอมแปร์	67
4.5 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อฟ้าผ่าลงหัวเสาชั้นที่ 1-7 ที่กระแสฟ้าผ่า 30 กิโลแอมแปร์	67
4.6 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อฟ้าผ่าลงหัวเสาชั้นที่ 1-7 ที่กระแสฟ้าผ่า 35 กิโลแอมแปร์	67
4.7 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อฟ้าผ่าลงหัวเสาชั้นที่ 1-7 ที่กระแสฟ้าผ่า 40 กิโลแอมแปร์	68
4.8 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อระยะห่างระหว่างเสาจุดติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ อยู่ห่างจากเสาต้นสุดท้าย 3-40 เมตร กระแสฟ้าผ่า 15 กิโลแอมแปร์	68
4.9 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อระยะห่างระหว่างเสาจุดติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ อยู่ห่างจากเสาต้นสุดท้าย 3-40 เมตร กระแสฟ้าผ่า 20 กิโลแอมแปร์	69
4.10 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อระยะห่างระหว่างเสาจุดติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ อยู่ห่างจากเสาต้นสุดท้าย 3-40 เมตร กระแสฟ้าผ่า 25 กิโลแอมแปร์	69
4.11 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อระยะห่างระหว่างเสาจุดติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ อยู่ห่างจากเสาต้นสุดท้าย 3-40 เมตร กระแสฟ้าผ่า 30 กิโลแอมแปร์	69
4.12 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อระยะห่างระหว่างเสาจุดติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ อยู่ห่างจากเสาต้นสุดท้าย 3-40 เมตร กระแสฟ้าผ่า 35 กิโลแอมแปร์	70
4.13 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อระยะห่างระหว่างเสาจุดติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ อยู่ห่างจากเสาต้นสุดท้าย 3-40 เมตร กระแสฟ้าผ่า 40 กิโลแอมแปร์	70

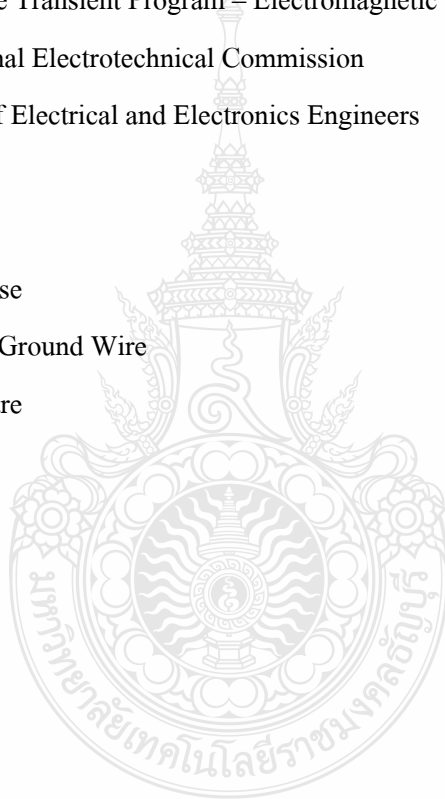
สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.14 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ 5 - 30 โอห์ม กระแสฟ้าผ่า 15 kA	71
4.15 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ 5 - 30 โอห์ม กระแสฟ้าผ่า 20 kA	71
4.16 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ 5 - 30 โอห์ม กระแสฟ้าผ่า 25 kA	72
4.17 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ 5 - 30 โอห์ม กระแสฟ้าผ่า 30 kA	72
4.18 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ 5 - 30 โอห์ม กระแสฟ้าผ่า 35 kA	72
4.19 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ 5 - 30 โอห์ม กระแสฟ้าผ่า 40 kA	73
4.20 เส้นทางการไหลของกระแสฟ้าผ่าลงสู่ระบบบรากสายดิน	73
4.21 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อฟ้าผ่าลงหัวเสาต้นที่ 1-2 ที่กระแสฟ้าผ่า 10 กิโลแอมแปร์	75
4.22 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อฟ้าผ่าลงหัวเสาต้นที่ 1 ที่กระแสฟ้าผ่า 5 กิโลแอมแปร์	75
5.1 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ ระยะห่าง 3 เมตร ด้วยกระแสฟ้าผ่า 40 กิโลแอมแปร์	79
5.2 กระแสฟ้าผ่า 15-40 กิโลแอมแปร์ ที่ความต้านทานดินตั้งแต่ 1-30 โอห์ม	80
5.3 กระแสฟ้าผ่า 15-40 กิโลแอมแปร์ ที่ระยะห่างตั้งแต่ 3-40 เมตร	80

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย
ϵ_0	ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของอากาศ = 8.854×10^{-12} farad/meter
ϵ_r	ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุของไดอิเล็กตริก
σ	ความนำไฟฟ้าของตัวกลาง, semen/meter
ω	ความถี่เชิงมุมของคลื่น, radian/second
C	ค่าคาปาซิแตนซ์
d	เส้นผ่านศูนย์กลางรวมเหล็กเสริมแรงของเสาคอนกรีต
d_{st1}	เส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมแรงของเสาคอนกรีตกลุ่มที่ 1
d_{st2}	เส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมแรงของเสาคอนกรีตกลุ่มที่ 2
E_0	สนามไฟฟ้า
f	ความถี่
J	ความหนาแน่นของกระแส
l	ความยาวของรากสายดินแนวดิ่ง (เมตร)
L	ความเหนี่ยวนำ
h	ความสูงของเสา
R	ความหนาของคอนกรีต
r_1	รัศมีหัวเสา
r_2	รัศมีโคนเสา
r_g	รัศมีตัวนำลงดินภายในเสาคอนกรีต
r_{st}	รัศมีเหล็กเสริมแรงแต่ละเส้นภายในเสาคอนกรีต
R_{pole}	รัศมีเฉลี่ยของเสาคอนกรีต
R_{GMR}	รัศมีเฉลี่ยของเหล็กเสริมแรงและตัวนำลงดินภายในเสาคอนกรีต
$R_{GMR,st}$	รัศมีเฉลี่ยของเหล็กเสริมแรงภายในเสาคอนกรีต
t	ช่วงเวลา
Z_{pole}	ค่าอิมพีแดนซ์ของเสาคอนกรีต
τ_1	ค่าคงที่ทางเวลาทางหน้าคลื่น
τ_2	ค่าคงที่ทางเวลาทางหางคลื่น

สัญลักษณ์	ความหมาย
ΔU	ความต่างศักย์ไฟฟ้า
$\frac{di(t)}{dt}$	อัตราการเพิ่มขึ้นของกระแส (ความชัน)
คำย่อ	ความหมาย
กฟภ.	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
AMR	Automatic Meter Reading
ATP-EMTP	Alternative Transient Program – Electromagnetic Transient Program
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
T_1	Front time
T_2	Tail time
TOU	Time of use
OHW	Overhead Ground Wire
kA	kilo Ampere
kV	kilo Volt



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้นำเทคโนโลยีระบบการอ่านหน่วยการใช้ไฟฟ้าอัตโนมัติเข้ามาใช้งาน ซึ่งระบบการอ่านหน่วยการใช้ไฟฟ้าอัตโนมัติจะประกอบไปด้วย มิเตอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Energy Meter) อุปกรณ์สื่อสารข้อมูล (Modem) และเสาอากาศ (Antenna) โดยปกติมาตรฐานการติดตั้งมิเตอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะทำการติดตั้งไว้ภายนอกอาคาร และมีการต่อลงดินแยกจากระบบป้องกันฟ้าผ่าบนสายส่ง ซึ่งระบบป้องกันฟ้าผ่าบนสายส่งจะประกอบด้วยสายดินป้องกันเหนือหัว (Overhead Groundwire) ตัวนำลงดิน (Down Conductor) และระบบรากสายดิน (Earth Electrode) เพื่อให้สามารถป้องกันความเสียหายจากการเกิดฟ้าผ่าลงสู่เสาส่ง เสาจำหน่าย และอุปกรณ์ต่างๆ และมีอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเสิร์จติดตั้งทั้งด้านแรงสูง และแรงต่ำ แต่ยังมีมิเตอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าระบบ AMR จำนวนมากที่เกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากแรงดันเกินฟ้าผ่า ระบบป้องกันฟ้าผ่าที่มีอยู่ไม่สามารถป้องกันความเสียหายที่เกิดต่อมิเตอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล (Modem) ได้ ซึ่งการวิเคราะห์หาสาเหตุความเสียหายสามารถทำได้โดยการแยกวิเคราะห์การเกิดฟ้าผ่าลงบนเสา และสายจำหน่ายเป็นกรณีไป

ปัจจุบันความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อมิเตอร์ระบบ AMR เป็นปัญหาที่เกิดจากการที่มีกระแสชั่วคราว (Transient Current) ในระบบไฟฟ้า โดยปัญหาที่ทำให้เกิดแรงดันเกิน (Over Voltage) ในระบบไฟฟ้ามีแหล่งที่มาดังนี้ [1]

ก. แรงดันเกินสวิตซ์ (Switching Surge) เป็นแรงดันเกินที่เกิดจากการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ในการตัดต่อวงจรไฟฟ้า

ข. แรงดันเกินชั่วคราว (Temporary Overvoltage) เป็นแรงดันเกินชั่วขณะที่เกิดจากความผิดปกติในระบบไฟฟ้า

ค. แรงดันเกินเสิร์จฟ้าผ่า (Lightning Surge) เป็นแรงดันเกินที่เกิดจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า

โดยบริเวณที่ได้รับกระแสฟ้าผ่าจะเกิดความเสียหายเช่น การระเบิด เนื่องจากพลังงานของลำฟ้าผ่ามีค่าสูง นอกจากนี้แล้วอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าเทียบกับเวลาก็มีค่าสูง จึงทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากระจายออกไปรบกวนระบบสื่อสาร เกิดแรงดันเหนี่ยวนำในระบบวงจรไฟฟ้าเป็นแรงดันเสิร์จ (Surge Voltage) และเป็นแรงดันเกินวิ่งไปตามสายไฟเข้าสู่อุปกรณ์เครื่องวัดไฟฟ้า

1. แรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่าลงสายตัวนำไฟฟ้าโดยตรง แรงดันเกินที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงมาก อาจเกิดการวาบไฟขึ้นที่ฉนวน เพราะฉนวนไม่สามารถทนแรงดันเกินที่เกิดขึ้นได้ เป็นผลทำให้อุปกรณ์ชำรุดเสียหายเนื่องจากได้รับแรงดันไฟฟ้าเกิน การกำจัดแรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่าลงสายตัวนำไฟฟ้าโดยตรงนั้น สามารถกำจัดได้โดยใช้ขดลวดลดขนาดอาร์ค หรือต่ออุปกรณ์ป้องกัน (Protector Tube) หรือต่ออุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า (Surge Arrester)

2. แรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่าลงสายดินป้องกันเหนือหัว ทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำที่สายเฟส โดยแรงดันเหนี่ยวนำนี้มีขนาดเล็กลง ซึ่งสายดินที่ติดตั้งไว้เหนือสายเฟสช่วยป้องกันไม่ให้ฟ้าผ่าลงสายเฟสโดยตรง และแรงดันที่เกิดขึ้นในระบบสายส่งมักเกิดเนื่องจากกรณีดังกล่าว ถ้าความต้านทานดินที่เสามีค่าต่ำกว่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาถือว่าเป็นการออกแบบที่ดี เพราะเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ลงไปทีจุดต่อระหว่างเสากับดิน ก็จะสะท้อนกลับด้วยสัญญาณที่มีขั้วตรงข้าม และเมื่อคลื่นสะท้อนกลับขึ้นมาถึงจะหักล้างกับแรงดันเกินที่หัวเสาขณะนั้น ทำให้ความชันหน้าคลื่น และแรงดันที่หัวเสาตกลงได้มาก หากเวลาหน้าคลื่นยาวกว่าเวลาที่คลื่นสะท้อนใช้ในการเดินทางกลับขึ้นมา คลื่นสะท้อนก็จะกลับขึ้นมาถึงก่อนที่สัญญาณจะขึ้นถึงค่ายอด และช่วยทำให้ขนาดของคลื่นลดลงเนื่องจากผลของค่าความต้านทานดินที่เสาน้อยกว่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสา

3. ฟ้าผ่าลงอุปกรณ์ประกอบโดยตรง เมื่อมีเหตุการณ์ฟ้าผ่าและมีกระแสฟ้าผ่าไหลลงสู่ตัวอุปกรณ์โดยตรง กระแสฟ้าผ่าจะเข้าสู่อุปกรณ์เครื่องวัดโดยผ่านสายคอนโทรลเคเบิลจากอุปกรณ์หม้อแปลงวัดกระแส และหม้อแปลงวัดแรงดัน หากสายคอนโทรลเคเบิลไม่มีการชิลด์ หรือท่อร้อยสายโลหะ อาจมีแรงดันเกินเข้าสู่อุปกรณ์เครื่องวัดโดยตรงได้ ทำให้อุปกรณ์เครื่องวัดเกิดความเสียหาย

4. ฟ้าผ่าลงดินในบริเวณใกล้เคียง เมื่อพายุฝนฟ้าคะนอง ประจุบนก้อนเมฆจะทำให้เกิดประจุเหนี่ยวนำที่พื้นดินและที่สายส่ง และเมื่อเกิดฟ้าผ่าลงบริเวณใกล้เคียงทำให้มีแรงดันเกินเกิดขึ้นทั้งที่สายดิน และสายเฟส เมื่อประจุบนก้อนเมฆหายไป ประจุบวกที่อยู่บนสายดิน และสายส่งก็เป็นอิสระ และพร้อมที่จะวิ่งกระจายไปทั้งสองข้าง ทำให้เกิดอิมพัลส์บวกขึ้น คลื่นไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเท่ากันทั้งสามเฟส โดยปกติจะเป็นขั้วบวก และมีความชันหน้าคลื่นประมาณ 10 ไมโครวินาที ขนาด

ถึงแม้ว่าจะมีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกิน ในระบบไฟฟ้าแรงสูงและระบบไฟฟ้าแรงต่ำอยู่แล้วก็ตาม แต่ก็ยังไม่สามารถป้องกันได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ซึ่งมีสาเหตุเนื่องจากแรงดันเกินที่เกิดจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า ที่ส่งผลกระทบต่อระบบและอุปกรณ์ต่างๆ มีหลายลักษณะ และมีช่องทางเข้าได้หลายช่องทาง และปัญหาจากการที่ระบบรากสายดินไม่เหมาะสมกับอุปกรณ์เครื่องวัดแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งภายนอกอาคาร และไม่ได้ประสานให้สัณฐานเท่ากันทั้งหมด ทำให้เกิดระดับแรงดันที่ต่างกันในระบบไฟฟ้า ก่อให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์เครื่องวัดแบบอิเล็กทรอนิกส์

ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อมิเตอร์ระบบ AMR ส่งผลให้ปัจจุบันมีมิเตอร์ระบบ AMR ชำรุดเนื่องจากฟ้าผ่าเป็นจำนวนมาก และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคต้องจัดทำงบประมาณจัดซื้อมิเตอร์ระบบ AMR สำรองเพิ่มขึ้น วิทยานิพนธ์นี้ จึงทำการศึกษาถึงลักษณะการเกิดแรงดันเกินในระบบไฟฟ้ากำลัง และวิเคราะห์หาสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อมิเตอร์ระบบ AMR ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพื่อนำเสนอแนวทางปรับปรุงระบบการต่อลงดิน และระบบการป้องกันแม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่าที่เหมาะสม เพื่อลดผลจากแรงดันเกินฟ้าผ่า ซึ่งมีผลต่อมิเตอร์ระบบ AMR ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้มิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ (Automatic Meter Reading AMR) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เสียหาย

1.2.2 เพื่อเสนอแนวทางปรับปรุงป้องกันแรงดันเกินจากฟ้าผ่าที่เหมาะสมสำหรับมิเตอร์ระบบ AMR ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

1.3 สมมติฐานการวิจัย

เนื่องจากแรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่าส่งผลกระทบต่อมิเตอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า และอุปกรณ์ต่อพ่วงทำให้เกิดการชำรุดเสียหายเป็นจำนวนมาก ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงได้มีการรวมเอาสาเหตุ และช่องทางต่าง ๆ ที่น่าจะทำให้เกิดการชำรุดของอุปกรณ์ ซึ่งเกิดจากฟ้าผ่า มาจำลองเหตุการณ์ และหาค่าแรงดันสูงสุดในขณะฟ้าผ่า ณ บริเวณที่มีมิเตอร์อ่านค่าพลังงานไฟฟ้า และอุปกรณ์ต่อพ่วงติดตั้งอยู่ โดยใช้โปรแกรม ATP-EMTP เพื่อการวิเคราะห์หาสาเหตุหลัก และนำเสนอแนวทางการปรับปรุงระบบการป้องกันฟ้าผ่า และระบบการต่อลงดินที่เหมาะสมสำหรับมิเตอร์วัดค่า

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ศึกษา และวิเคราะห์หาสาเหตุความเสียหายอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่าสำหรับมิเตอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าระบบ AMR ระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์

1.4.2 สร้างแบบจำลองส่วนประกอบต่างๆ ของระบบไฟฟ้า และระบบการต่อลงดินโดยใช้โปรแกรม ATP-EMTP

1.4.3 ทดสอบแบบจำลองส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบไฟฟ้า และนำเสนอแนวทางป้องกันความเสียหายสำหรับมิเตอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าระบบ AMR ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จากการเกิดฟ้าผ่า เพื่อใช้ในการปรับปรุงระบบการป้องกันฟ้าผ่า และระบบการต่อลงดิน ของมิเตอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าระบบ AMR โดยใช้โปรแกรม ATP-EMTP

1.5 ขั้นตอนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์หาสาเหตุความเสียหายอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่าต่อมิเตอร์ระบบ AMR โดยพิจารณาหาแนวทางป้องกันจากสาเหตุความเสียหายแบบต่างๆที่เกิดขึ้น อาทิเช่น แรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่าบนสายส่ง แรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่าบนสายกราวด์เหนือดิน ปรากฏการณ์ฟ้าผ่าลงบนหม้อแปลงเครื่องวัด (CT,VT) และปรากฏการณ์ฟ้าผ่าบริเวณใกล้เคียงกับอุปกรณ์เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า โดยการสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลัง และจำลองการเกิดแรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่า เพื่อศึกษา และวิเคราะห์แรงดันเกินที่เกิดขึ้นที่จุดติดตั้งมิเตอร์ และพฤติกรรมการกระจายกระแสอิมพัลส์ฟ้าผ่า ของรากสายดิน นำไปเป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบจำลอง และทดสอบหาความเหมาะสมในการติดตั้งระบบการต่อลงดิน และรากสายดิน สำหรับมิเตอร์ระบบ AMR เพื่อลดความเสียหายอันเกิดจากแรงดันเกินฟ้าผ่า และวิเคราะห์ผลจากเมื่อมีการปรับลดค่าความต้านทานดิน โดยมีหัวข้อที่ทำการศึกษาดังนี้

1.5.1 ศึกษาความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อมิเตอร์ระบบ AMR ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นปัญหาที่เกิดจากการที่มีกระแสชั่วคราวในระบบไฟฟ้า การออกแบบ และหาความเหมาะสมของระบบการต่อลงดิน และรากสายดิน เพื่อลดผลจากแรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่า ซึ่งในงานวิจัยจะศึกษาถึงลักษณะการเกิดแรงดันเกินในระบบไฟฟ้าและความเสียหายที่เกิดจากแรงดันชั่วคราว วิเคราะห์หาสาเหตุหลักที่ทำให้

1.5.2 ศึกษาทฤษฎีเบื้องต้น

- 1) ศึกษาทฤษฎีของการเกิดแรงดันเกินในระบบไฟฟ้า
- 2) ศึกษาปัญหาที่เกิดจากแรงดันเกินในระบบไฟฟ้า
- 3) ศึกษาวิธีการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำการติดตั้งภายนอกอาคาร
- 4) ศึกษาพฤติกรรมของการเกิดแรงดันชั่วครู่ ของรากลสายดินภายใต้กระแสลมพัลส์ฟ้าผ่า
- 5) ศึกษาการต่อลงดินของระบบอิเล็กทรอนิกส์
- 6) ศึกษาการสร้างแบบจำลองส่วนประกอบต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้า

1.5.3 ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดจากแรงดันเกินในระบบไฟฟ้า
- 2) วิเคราะห์หาสาเหตุหลักที่ทำให้มีเตอร์ระบบ AMR ชำรุด
- 3) สร้างแบบจำลองส่วนประกอบต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้า และจำลองการเกิดแรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่า โดยใช้โปรแกรม ATP-EMTP
- 4) จำลองกระแสฟ้าผ่าขนาดต่างๆ ตั้งแต่ 15-40 กิโลแอมแปร์ ที่ระยะการติดตั้งตั้งแต่ 3 – 40 เมตร
- 5) พิจารณาระบบการต่อลงดินและระบบรากลสายดินเดิม โดยพิจารณาค่าความต้านทานดินทั้งตามมาตรฐาน เกินมาตรฐาน และไม่เกินมาตรฐานของ กฟภ. ก่อนการหาค่าความต้านทานดินที่เหมาะสมในการติดตั้ง
- 6) วิเคราะห์พฤติกรรมของการเกิดแรงดันชั่วครู่ และการกระจายกระแสลมพัลส์ฟ้าผ่า เพื่อหาขนาดของแรงดัน และกระแสที่จุดติดตั้งมิเตอร์ โดยใช้โปรแกรม ATP-EMTP

1.5.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง ในแต่ละขั้นตอนการทดลอง

1.5.5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.6 ข้อจำกัดการทำวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้วิเคราะห์และหาแรงดันเกินที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เพื่อนำไปสู่แนวทางป้องกันในอนาคต ซึ่งในการทดสอบวัดผลไม่สามารถทดสอบได้โดยการจำลองในภาคสนาม เพื่อทำการ

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.7.1 ทราบช่องทางหลักที่ทำให้แรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่าไหลเข้าสู่มิเตอร์
- 1.7.2 สามารถนำเสนอแนวทางการปรับปรุงป้องกันแรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่าได้
- 1.7.3 ลดการชำรุดเสียหายของมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า
- 1.7.4 ลดงบประมาณในการจัดซื้อมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติสำรอง



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เป็นการนำเสนอหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่นำมาใช้ในการวิจัย รวมถึง การศึกษาบทความที่มีเนื้อหาใกล้เคียงกับงานวิจัย เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ และพัฒนางานวิจัยให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นงานวิจัยที่มีแนวทางการสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้าสำหรับการศึกษาคลื่นที่มีความชันสูงรวมถึงวิธีการวิเคราะห์ผล จากแรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่า และการวิเคราะห์ผลการจำลองที่มีประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์นี้ ในการ วิเคราะห์แรงดันเกินฟ้าผ่า ซึ่งส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบสามารถใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยข้อมูล ทางสถิติได้ โสภกา แซ่เฮ้ง และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของแรงดันเกินฟ้าผ่าต่ออุปกรณ์ สื่อสารของการรถไฟแห่งประเทศไทย แนวทางในการวิเคราะห์ความเสียหายโดยการใช้วิธีทางสถิติ ซึ่งต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยอาศัยข้อมูลสถิติความเสียหาย ข้อมูลการเกิดฟ้าผ่า หรือข้อมูล การเกิดฝนตกฟ้าคะนองในปีนั้นๆ และหาโอกาสที่จะเกิดฟ้าผ่าลงบนระบบสื่อสารของการรถไฟ แห่งประเทศไทย แล้วการวิเคราะห์หาเส้นทางที่แรงดันเกินสามารถเข้าสู่ระบบสื่อสาร พร้อมทั้งเสนอ แนวทางป้องกัน เพื่อพัฒนาระบบเดิมให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันดีขึ้น เส้นทางที่แรงดันเกินเข้า สู่ระบบสื่อสาร อาทิเช่น ตามสายส่ง (AC Power) สายส่งข้อมูลระบบโทรศัพท์ ความยาวของสาย ระบบบรากลสายดิน และกระแสฟ้าผ่าที่มีความชันไม่สูงมาก ในแนวทางและวิธีการวิเคราะห์ด้วยข้อมูล ทางสถิติ มีข้อดีของการใช้วิธีวิเคราะห์จากข้อมูลทางสถิติ คือ ไม่จำเป็นต้องสร้างแบบจำลองในการ วิเคราะห์ ไม่ต้องหาค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ และใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้น ช็อบกพร่องของการใช้วิธีวิเคราะห์จากข้อมูลทางสถิตินั้น อาจทำการแก้ไขหรือป้องกันได้ไม่ถูกต้อง หากการวิเคราะห์ช่องทางการรบกวนของแรงดันเกินฟ้าผ่าไม่ครบถ้วน อาจต้องใช้ระยะเวลาในการ เก็บข้อมูลทางสถิตินาน ในการวิเคราะห์จะไม่ทราบขนาดแรงดันเกินฟ้าผ่า ณ จุดที่ต้องการทราบ

ยังมีวิธีการหนึ่งซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบันซึ่งมีความแม่นยำในการวิเคราะห์ คือ การใช้ โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการวิเคราะห์และศึกษาการตอบสนองของระบบต่อคลื่นฟ้าผ่าที่มีความชัน หน้าคลื่นสูง เช่น PSCAD, MATLAB และ ATP-EMTP เป็นต้น ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้เลือกใช้

โปรแกรม ATP-EMTP ในการวิเคราะห์เนื่องมีการใช้งานไม่ซับซ้อนเกินไป และยังมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั้งในภาครัฐ และเอกชน รวมถึงองค์กรชั้นนำด้านพลังงานในประเทศไทย

การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมีประโยชน์ต่อวิศวกร และผู้ที่ทำการวิจัยเป็นอย่างมาก จุดเด่นของการวิธีวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ คือ ทำให้ทราบค่ากระแส และแรงดัน ณ จุดที่ต้องการศึกษา อีกทั้งยังสามารถหาวิธีแก้ไข และแนวทางป้องกันได้ถูกจุดที่ต้องการศึกษา ทั้งนี้ยังสามารถกำหนดค่าเพื่อสร้างเงื่อนไขในการทดสอบได้ตามต้องการ ข้อดีเหล่านี้สามารถทำให้วิศวกร หรือผู้ที่ทำการวิจัยทราบถึงผลที่เกิดขึ้นในช่วงสภาวะชั่วขณะ ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมยังสามารถนำผลการทดสอบไปแสดงผลในรูปแบบกราฟ เพื่อดูค่าในแต่ละช่วงเวลาได้อีกด้วย แม้จะมีข้อดีดังที่กล่าวไว้ในข้างต้น ด้วยความซับซ้อนในการใช้งานแต่ละโปรแกรม ยังเป็นข้อด้อยในการใช้งานด้วยวิธีวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ทั้งนี้ความถูกต้องในการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับแบบจำลองที่นำมาใช้ในการทดลอง

บทความและงานวิจัยที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาซึ่งมีการใช้งานโปรแกรม ATP-EMTP โดยการสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้าและการวิเคราะห์ผลจากการจำลอง ผู้วิจัยได้นำแบบจำลองที่มีอยู่ในงานวิจัยต่างๆ นำมาใช้ในการจำลอง ซึ่งมีผู้นำโปรแกรมดังกล่าวไปใช้งานอย่างแพร่หลาย พรชัย เศรษฐสมบัติ และคณะ [3] ได้นำโปรแกรม ATP-EMTP มาใช้งานในการปรับปรุงสมรรถนะการป้องกันฟ้าผ่าของระบบสายส่งของการไฟฟ้านครหลวง โดยการเพิ่มสายตัวนำลงดินนอกเสา และทำการสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้าระดับแรงดัน 69 กิโลโวลต์ และจำลองการเกิดฟ้าผ่า สามารถลดค่าแรงดันจากยอดเสาได้ 36% และอัตราการวابلลดลง 54% ที่ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ 5 โอห์ม (ค่าความต้านทานดินที่ความถี่ต่ำ 10 โอห์ม) Juan A.Martinez และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาระบวนการสำหรับการคำนวณอัตราการวابلของสายส่งโดยใช้วิธี Monte Carlo ซึ่งมีอยู่ใน ATP-EMTP การศึกษาตัวแปรที่ใช้ในขั้นตอนนี้ยังสามารถแสดงความเร็วของอัตราการวابل ซึ่งเกี่ยวกับพารามิเตอร์สายส่ง และคลื่นสะท้อนกลับ บทความนี้ยังจัดทำขั้นตอนเกี่ยวกับแนวทางการสร้างแบบจำลอง การวิเคราะห์ค่าความต้านทานที่ฐานรากของเสาส่ง คุณลักษณะการสะท้อนกลับ กิตติ เลียงเครือ และคณะ [5] ใช้โปรแกรม ATP-EMTP ในการศึกษาหาแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นเนื่องจากฟ้าผ่าในระบบ 22 กิโลโวลต์ ซึ่งอยู่บนเสาต้นเดียวกับระบบ 115 กิโลโวลต์ ได้มีการสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้าระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ และการสร้างแบบจำลองโดยจำลองเสาแบบแบ่งเป็นช่วง จำนวน 5 ช่วง เพื่อในการวิเคราะห์แรงดันเหนี่ยวนำเนื่องจากฟ้าผ่า ซึ่งผลที่ได้จากบทความวิจัยข้างต้นสามารถสรุปได้พอสังเขปดังนี้ เมื่อเกิดฟ้าผ่าลงบนสายดินป้องกันในระบบ 115 กิโลโวลต์ จะส่งผลกระทบต่อให้เกิดแรงดันในสายดินป้องกันระบบ 22 กิโลโวลต์ หากแรงดัน

ตกพร้อมลูกถ้วยที่เกิดขึ้นมีค่ามากพอ อาจทำให้เกิดการวบไฟย้อนกลับสู่ระบบ 22 กิโลโวลต์ ได้จากการศึกษาบทความวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยสามารถนำรูปแบบการจำลองที่ใช้ในโปรแกรม ATP-EMTP ประยุกต์ใช้กับการสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้าระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์ บนเสาต้นเดียว

ซึ่งในการสร้างแบบจำลองที่ใช้ในโปรแกรม ATP-EMTP ของระบบไฟฟ้าระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์ มีอุปกรณ์ในระบบที่ต้องสร้างแบบจำลองประกอบไปด้วย ดังต่อไปนี้

1. แบบจำลองสาย
2. แบบจำลองเสาคอนกรีต
3. แบบจำลองลูกถ้วย
4. แบบจำลองหม้อแปลงเครื่องวัด
5. แบบจำลองรากสายดิน และความต้านทานดินอิมพัลส์
6. แบบจำลองกับดักฟ้าผ่า

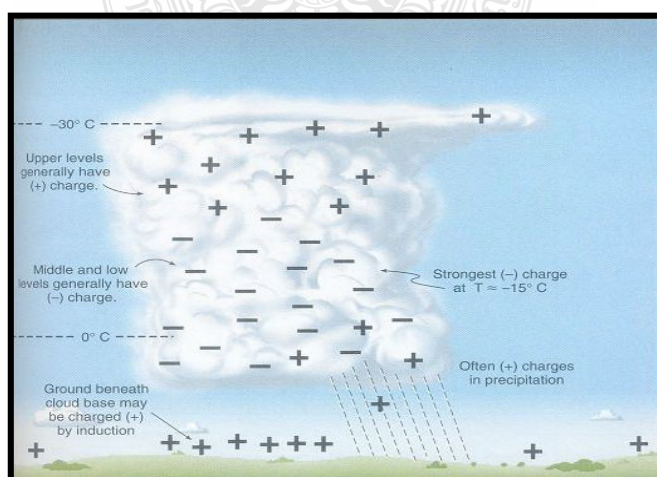
IEEE Working Group [6] ได้ศึกษาและแนะนำแบบจำลองที่ใช้สำหรับสภาวะการเกิดแรงดันทรานเซียนต์หน้าคลื่นชั้น โดยนำเสนอแนวทางการสร้างแบบจำลองสำหรับจำลองสถานะและศึกษาการตอบสนองของระบบที่มีต่อคลื่นฟ้าผ่าที่มีความชันหน้าคลื่นสูง (คลื่นที่มีช่วงความถี่ 10kHz – 1MHz) ในการจำลองสายส่งแบบหลายตัวนำไปพิจารณาตามการใช้งานจริง สายดินและสายตัวนำควรแยกจากกันระหว่างเสาและโครงสร้าง ข้อเสนอในการสร้างแบบจำลองควรทำการศึกษายอย่างน้อย 3-4 ช่วงเสา ตัวอย่างการนำไปใช้เช่น การเลือกสถานที่ตั้งของ Surge Arrester และระยะป้องกันของสายส่ง Air – Insulation Substation และ Gas-Insulation Substation ด้วยเหตุนี้บทความวิจัยนี้จึงนำไปข้อกำหนดใช้สำหรับเป็นเอกสารอ้างอิงในการวิเคราะห์วิจัยสำหรับวิศวกรที่เกี่ยวข้องกับการจำลองแรงดันเกินจากฟ้าผ่าในสภาวะชั่วขณะ ของการส่ง และระบบจำหน่าย จากการศึกษาบทความวิจัยนี้ ทำให้ผู้วิจัยสามารถนำเอาแบบจำลองที่ได้ทำการศึกษาจากบทความวิจัยนี้มาประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น แบบจำลองสาย แบบจำลองลูกถ้วย และแบบจำลองหม้อแปลงเครื่องวัด

สำหรับแบบจำลองเสาคอนกรีต สำเรึง อินทามไม้ [7] ได้ศึกษาเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาคอนกรีต อันเนื่องมาจากผลของคุณสมบัติทางไฟฟ้าของคอนกรีต ได้นำเสนอการวิเคราะห์เสาคอนกรีตเสริมเหล็กในสภาวะแรงดันเกินจากฟ้าผ่า โดยใช้ทฤษฎีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ศึกษาผลของทิศทางของรูปคลื่นกระแส และความเร็วของรูปคลื่นกระแสสะท้อนกลับ โครงสร้างของเสา และคุณสมบัติทางไฟฟ้าของคอนกรีต มีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของคอนกรีต ผลการศึกษาพบว่าความเร็วในการแพร่กระจายกระแสของเสาขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของคอนกรีต และค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์

ของเสาคอนกรีตขึ้นอยู่กับค่าไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant) ของคอนกรีต ค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถคำนวณได้โดยใช้ทฤษฎีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยอาศัยตัวแปร เช่น ทิศทางของกระแส ความเร็วของรูปคลื่นกระแสสะท้อนกลับ เหล็กเสริมแรงภายในเสาคอนกรีต และคุณสมบัติทางไฟฟ้าของคอนกรีต ผู้วิจัยได้ใช้ประโยชน์จากงานวิจัยนี้โดยนำแบบจำลองเสาไฟฟ้าคอนกรีตที่เหมาะสมกับประเทศไทยมาใช้ในการสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์

2.2 ปรากฏการณ์และพฤติกรรมของฟ้าผ่า

ฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เกิดจากการปล่อยประจุหรือดิสชาร์จของประจุไฟฟ้าที่สะสมอยู่ในก้อนเมฆ (Cloud Charges) [1] การสะสมประจุในก้อนเมฆมีปริมาณมากทำให้ก้อนเมฆมีศักย์ไฟฟ้าสูงตั้งแต่ 10 เมกะโวลต์ ถึง 100 เมกะโวลต์ และเกิดการดิสชาร์จระหว่างก้อนเมฆกับพื้นโลกเป็นวาบฟ้าผ่า (Ground Flash) หรือระหว่างก้อนเมฆกับก้อนเมฆ หรือภายในก้อนเมฆเดียวกันเป็น ฟ้าแลบ (Air Discharge) ฟ้าผ่าและฟ้าแลบมีโอกาสเกิดขึ้นพร้อมกัน การปลดปล่อยประจุไฟฟ้าในอากาศ ซึ่งอาจเกิดร่วมกับปรากฏการณ์อื่นๆ เช่น ฝนฟ้าคะนอง พายุฝุ่น และภูเขาไฟระเบิด อย่างไรก็ตาม ฟ้าผ่าที่เกี่ยวข้องกับคนส่วนใหญ่เกิดจากการปลดปล่อยประจุไฟฟ้าออกจากเมฆฝนฟ้าคะนอง (Thunder Cloud) หรือที่นักอุตุนิยมวิทยาเรียกว่า เมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) [8] กระแสฟ้าผ่ามีลักษณะเป็นอิมพัลส์เสิร์จ โดยแรงดันเกินที่เกิดขึ้นอาจมีค่าสูงถึง 4-6 เท่าของแรงดันเฟสค่ายอดของระบบไฟฟ้า และมีความถี่อยู่ในช่วง 10 kHz – 1 MHz สำหรับประเทศไทยฟ้าผ่าลบมีถึง 95 – 98% และฟ้าผ่าบวกมีเพียง 2 – 5%



ภาพที่ 2.1 การกระจายของประจุภายในเมฆฝนฟ้าคะนอง [8]

2.2.1 กระบวนการการเกิดฟ้าผ่า

เมฆฝนฟ้าคะนองมีลักษณะเป็นก้อนขนาดใหญ่มีประจุสะสม ที่ระดับความสูง 1.5-10 กิโลเมตร ภายในก้อนเมฆมีการไหลเวียนของกระแสอากาศอย่างรวดเร็วและรุนแรง ทำให้หยดน้ำและก้อนน้ำแข็งในเมฆเสียดสีกันจนเกิดประจุไฟฟ้า โดยกลุ่มประจุบวกมักจะอยู่บริเวณยอดเมฆ ส่วนประจุลบจะอยู่บริเวณฐานเมฆ ซึ่งประจุลบที่บริเวณฐานเมฆ อาจจะเหนี่ยวนำให้พื้นผิวของโลกที่อยู่ใต้เงาของก้อนเมฆ มีประจุเป็นบวก และหยาดน้ำฝนมักมีประจุเป็นบวก จุดเริ่มต้นของฟ้าผ่าส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่กลุ่มประจุลบ บริเวณฐานก้อนเมฆใกล้พื้นโลก เมื่อความเครียดสนามไฟฟ้ามีค่าถึงจุดวิกฤต (E_c) ในก้อนเมฆประมาณ 10 kV/cm (ในบรรยากาศที่ระดับพื้นโลก $E_c \approx 30 \text{ kV/cm}$) จะเกิดการไอออไนเซชัน ลักษณะของประจุภายในและรอบก้อนเมฆ มีดังภาพที่ 2.1

เมื่อมีการสะสมประจุมากพอจนทำให้อากาศเกิดการไอออไนเซชัน โดยประจุจะมีการเคลื่อนที่เป็นลักษณะหัวนำร่อง (Leader) ที่มีทิศทางลงสู่พื้นโลก ในลักษณะจังหวะก้าว (Stepped Leader) โดยกระแสแต่ละช่วงก้าวจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 50 เมตร มีการแตกตัวออกไปในทิศทางที่ไปได้ง่ายที่สุด ซึ่งแต่ละช่วงก้าวจะมีการหยุดเป็นระยะเวลาประมาณ 10-50 ไมโครวินาที ก่อนที่จะก้าวต่อไป

เมื่อกระแสช่วงก้าวเคลื่อนที่ลงมาใกล้พื้นโลก จะเกิดการเหนี่ยวนำประจุจากพื้นโลก เช่น จากสิ่งปลูกสร้าง ต้นไม้ เป็นต้น ทำให้เกิดการไอออไนเซชันสตรีมเมอร์ (Streamer) ที่มีความยาวเฉลี่ย 20 เมตร วิ่งเข้าหาหัวนำร่อง เมื่อกระแสทั้งสองพบกัน ประจุลบจะเคลื่อนที่ลงสู่พื้นโลก และจะมีประจุบวกไหลสวนทางขึ้นไปตามทางที่ประจุลบเคลื่อนที่ลงมา เกิดเป็นลำฟ้าผ่า (Main Stroke) มีแสงสว่างจ้าจากพื้นโลก วิ่งไปหาก้อนเมฆ ด้วยความเร็วสูงประมาณ 50×10^3 กิโลเมตร/วินาที ดังนั้นการเคลื่อนที่ของประจุในลำฟ้าผ่าก็คือกระแสฟ้าผ่า

ระยะสุดท้ายที่หัวนำร่องกระโดดเข้าหากระแสสตรีมเมอร์ เรียกว่า ระยะฟ้าผ่า (Striking Distance) ซึ่งมีระยะเฉลี่ยประมาณ 50 เมตร

2.2.2 ลักษณะของการเกิดฟ้าผ่า

การเกิดฟ้าผ่าคือการเชื่อมโยงระหว่าง 2 แห่งที่มีประจุต่างกัน มีลักษณะ 4 แบบ ดังนี้

1) ฟ้าผ่าภายในก้อนเมฆ

ฟ้าผ่าภายในก้อนเมฆ เป็นการเชื่อมต่อประจุลบด้านล่างกับประจุบวกด้านบนเข้าด้วยกัน ฟ้าผ่าลักษณะนี้ มีโอกาสในการเกิดมากที่สุด

2) ฟ้าผ่าระหว่างก้อนเมฆ

ฟ้าผ่าระหว่างก้อนเมฆ คือ การเกิดฟ้าผ่าจากเมฆก้อนหนึ่งไปยังเมฆอีกก้อนหนึ่งที่อยู่ใกล้เคียงกัน เช่น จากประจุลบในเมฆก้อนหนึ่งไปยังประจุบวกในเมฆอีกก้อนหนึ่ง

3) ฟ้าผ่าจากฐานเมฆลงสู่พื้น

ฟ้าผ่าจากฐานเมฆลงสู่พื้น เป็นการปลดปล่อยประจุลบออกจากก้อนเมฆลงสู่พื้นโลก เรียกว่า ฟ้าผ่าแบบลบ (Negative Lightning)

4) ฟ้าผ่าจากยอดเมฆลงสู่พื้น

ฟ้าผ่าจากยอดเมฆลงสู่พื้น เป็นการปลดปล่อยประจุบวกออกจากก้อนเมฆ เรียกว่า ฟ้าผ่าแบบบวก (Positive Lightning)

ฟ้าผ่าภายในก้อนเมฆและฟ้าผ่าระหว่างก้อนเมฆ เป็นการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าผ่านก้อนเมฆ ทำให้เกิดแสงกระพริบที่เราเรียกว่าฟ้าแลบ ส่วนฟ้าผ่าที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งปลูกสร้างจะเป็นฟ้าผ่าแบบลบและฟ้าผ่าแบบบวกโดยที่ฟ้าผ่ากว่า 85% เป็นฟ้าผ่าลบคือการที่ประจุลบจากก้อนเมฆลงสู่พื้น มักจะเป็นฟ้าผ่าซ้ำหลายลำ อีก 15% ที่เหลือจะเป็นประจุบวกจากก้อนเมฆลงสู่พื้น เรียกว่าฟ้าผ่าบวก มักเป็นฟ้าผ่าลำเดี่ยว และมีความรุนแรงมากกว่าฟ้าผ่าลบประมาณ 9 เท่า จากข้อมูลตารางที่ 2.1 ซึ่งอธิบายได้จากภาพที่ 2.1 การกระจายตัวของประจุไฟฟ้า ซึ่งประจุไฟฟ้าบวกจะอยู่บริเวณส่วนบนของก้อนเมฆ ที่อยู่ห่างจากพื้นโลกมากกว่าประจุลบที่กระจายอยู่บนฐานเมฆ ประจุบวกจึงต้องสะสมประจุให้มีจำนวนมากพอที่จะทำให้เกิดการเบรกดาวน์ (Break Down)

2.2.3 กระแสฟ้าผ่า

ขนาดของกระแสฟ้าผ่าคือค่ายอดของรูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า ซึ่งขนาดของกระแสฟ้าผ่าจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของประจุที่ดิสชาร์จ ขึ้นอยู่กับช่วงของกระแสฟ้าผ่าว่าเป็นบวกหรือลบ และขึ้นอยู่กับลักษณะของการเกิดฟ้าผ่า

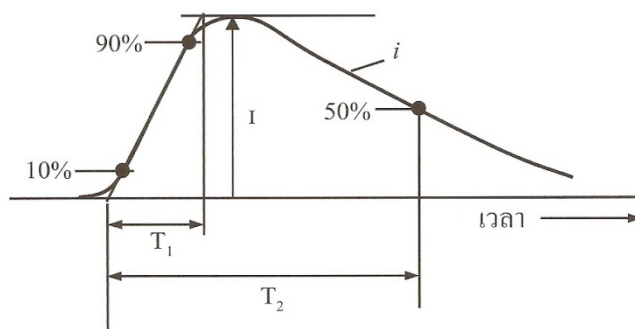
ตารางที่ 2.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของฟ้าผ่า [9]

จำนวนฟ้าผ่า	พารามิเตอร์	หน่วย	ความน่าจะเป็นร้อยละ		
			95	50	5
99	ค่ายอดกระแสฟ้าผ่า				
	กระแสฟ้าผ่าลบลำแรก	kA	14	30	80
	กระแสฟ้าผ่าลบลำต่อมา	kA	4.6	12	30
28	กระแสฟ้าผ่าบวก	kA	4.6	35	250
91	ประจุไฟฟ้า				
	ประจุฟ้าผ่าลบลำแรก	C	1.1	5.2	24

ตารางที่ 2.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของฟ้าผ่า (ต่อ)

จำนวนฟ้าผ่า	พารามิเตอร์	หน่วย	ความน่าจะเป็นร้อยละ		
			95	50	5
124	ประจุฟ้าผ่าลบลำฟ้าตาม	C	0.2	1.4	11
88	ประจุฟ้าผ่าลบทั้งหมด	C	1.3	7.5	40
26	ประจุฟ้าผ่าบวก	C	20	80	350
	ประจุไฟฟ้าอิมพัลส์				
88	ประจุไฟฟ้าอิมพัลส์ลำแรก	C	1.1	4.5	20
119	ประจุไฟฟ้าอิมพัลส์ลำฟ้าตาม	C	0.22	0.95	4.0
25	ประจุไฟฟ้าอิมพัลส์บวก	C	2.0	16	150
	เวลาช่วงหน้าคลื่น				
87	ฟ้าผ่าลบลำแรก	μs	1.8	5.5	18
120	ฟ้าผ่าลบลำฟ้าตาม	μs	0.22	1.1	4.5
19	ฟ้าผ่าบวก	μs	3.5	22	200
	เวลาช่วงหางคลื่น				
78	ฟ้าผ่าลบลำแรก	μs	30	75	200
104	ฟ้าผ่าลบลำฟ้าตาม	μs	6.5	32	140
16	ฟ้าผ่าบวก	μs	25	230	2,000
	ความชัน $\frac{di(t)}{dt}$				
90	ฟ้าผ่าลบลำแรก	kA/μs	5.5	12	32
124	ฟ้าผ่าลบลำฟ้าตาม	kA/μs	12	40	120
21	ฟ้าผ่าบวก	kA/μs	0.20	2.4	32
133	ช่วงเวลาระหว่างลำฟ้าผ่าลบ	ms	7	35	150

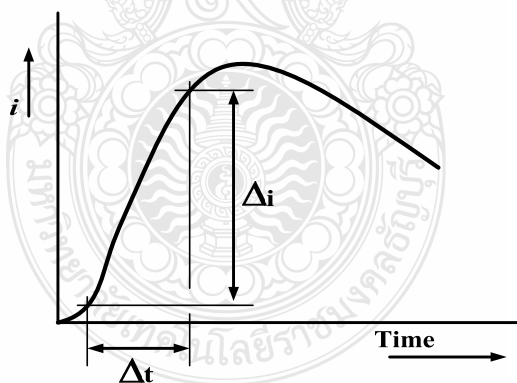
ช่วงเวลาน้ำคลื่น (Front Time T_1) หมายถึง ช่วงเวลา 1.25 เท่าของเวลาในช่วงที่กระแสอิมพัลส์เพิ่มค่าจาก 10% ถึง 90% ของค่ายอด ซึ่งจุดเริ่มต้นของกระแสอิมพัลส์คือจุดตัดระหว่างแกนนอนกับเส้นตรงที่ลากผ่านจุด 10% และ 90% ของค่ายอดที่ด้านหน้าคลื่น และช่วงเวลายางคลื่น (Tail Time T_2) หมายถึง เวลาตั้งแต่จุดเริ่มต้นของรูปคลื่น จนถึงค่าที่กระแสลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของค่ายอด โดยที่ I คือกระแสค่ายอด ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 รูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า [9]

ลักษณะของกระแสน้ำเคลื่อนดังภาพที่ 2.3 คือ อัตราการเพิ่มขึ้นของกระแส เรียกว่า ความชัน $\frac{di(t)}{dt}$ เป็นกิโลแอมแปร์ต่อไมโครวินาที (kA/ μ s) ซึ่งมีผลสำคัญที่ทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำในสายตัวนำ ที่มีความเหนี่ยวนำ เป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการออกแบบระบบสายล่อฟ้า คือ

$$\Delta U = L \frac{di(t)}{dt} \quad (2.1)$$



ภาพที่ 2.3 ความชัน $\frac{di(t)}{dt}$ ของกระแสน้ำเคลื่อน [10]

2.2.4 รูปคลื่นของกระแสเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ [11]

ในการวิเคราะห์ระบบป้องกันฟ้าผ่า จะใช้ค่าของรูปคลื่นกระแสจากฟ้าผ่าที่ 8/20 ไมโครวินาที หรือคลื่นแรงดัน 1.2/50 ไมโครวินาที ซึ่งได้กำหนดไว้ใน IEC 60-2, ANSI/IEEE Std 4-1998 และ ANSIC62.1-1984 อาจแทนได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$I(t) = AI_p t^3 \times e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2.2)$$

พารามิเตอร์ในสมการที่ 2.2 เป็นดังนี้
โดยที่

t = เวลา หน่วยเป็น μs ($t \geq 0$)

I_p = ค่ายอดกระแส

τ = $\frac{1}{\alpha} = 3.911 \mu\text{s}$

A = $0.01243(\mu\text{s})^{-3}$

2.3 ทรานเซียนต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง

ในระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจะมีทรานเซียนต์ไฟฟ้า (Electrical Transients) เกิดขึ้นซึ่งอาจเป็นต้นเหตุนำไปสู่การเกิดผลผิดพลาด (Fault) ขึ้นในระบบได้ อันจะทำให้เกิดความเสียหายตั้งแต่เล็กน้อยไปจนถึงประเมินค่ามิได้

ทรานเซียนต์ไฟฟ้า คือ การเปลี่ยนแปลงค่าทางไฟฟ้า แรงดัน หรือ กระแสไฟฟ้าอย่างกะทันหันรวดเร็ว อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะอย่างทันทีทันใดในวงจร เช่น การเปิด และ ปิดวงจร หรือเกิด ผิดพร้อมขึ้นในระบบช่วงเวลาที่เกิดทรานเซียนต์จะมีช่วงเวลาสั้นมาก ในช่วงเวลาที่เกิดทรานเซียนต์จะมีความสำคัญมาก เพราะในช่วงเวลาสั้นๆ ดังกล่าว องค์ประกอบต่างๆ ของวงจรจะได้รับความเครียด (Stress) ทั้งทางไฟฟ้าและทางกลสูงมากอันเป็นผลจากแรงดันเกินหรือกระแสที่มีค่าสูงมากเกินปกติ

ต้นกำเนิดของแรงดันเกินแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

1. ต้นกำเนิดภายนอกในระบบ ซึ่งเป็นต้นกำเนิดมาจากบรรยากาศ คือ ปรากฏการณ์ฟ้าผ่า
2. ต้นกำเนิดภายในระบบ เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการทำงานปิดเปิดวงจร หรือเกิดการผิดพลาดในระบบ

เมื่อพิจารณาจากขนาดและช่วงระยะเวลาที่เกิดขึ้นของแรงดันเกินอาจแบ่งได้ 3 ประเภท คือ แรงดันเกินฟ้าผ่า (Lightning Overvoltage), แรงดันเกินสวิตซ์ (Switching Overvoltage) และ แรงดันเกินชั่วคราว (Temporary Overvoltage)

แรงดันเกินในระบบสายส่ง และระบบสายจำหน่ายเกิดขึ้นได้หลายกรณีตามมาตรฐาน IEC 60071-1 ได้แบ่งตามความถี่เป็น 2 ชนิดคือ Low Frequency และ Transient ตามตารางที่ 2.2 ซึ่งแสดงรูปร่างแรงดันเกิน และรูปร่างของแรงดันมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบที่ความถี่ต่างๆ

การเกิดฟ้าผ่าลงสายส่ง หรือสายจำหน่ายโดยตรง ซึ่งในกรณีนี้จะมีแรงดันเกินสูงที่สุด และฉนวนในระบบไฟฟ้ากำลังไม่สามารถทนแรงดันดังกล่าวได้ นอกจากนี้แรงดันเกินที่เกิดขึ้นในสายส่ง อาจเกิดเนื่องจากฟ้าผ่าลงสายดินเหนือสายส่งแล้วเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันในสายส่ง หรือเกิดฟ้าผ่าลงดินบริเวณใกล้เคียง ทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำในสายส่งได้ [12]

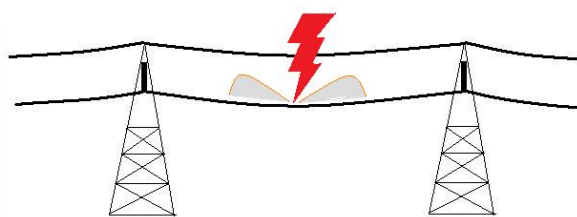
ตารางที่ 2.2 รูปร่างแรงดันเกิน และรูปร่างของแรงดันมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบที่ความถี่ต่างๆ

ตามมาตรฐาน IEC 60071-1 [13]

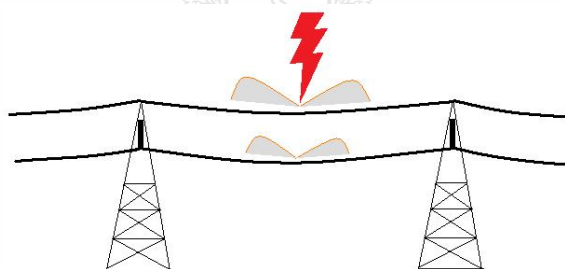
Class	Low frequency		Transient		
	Continuous	Temporary	Slow-front	Fast-front	Very-fast-front
Voltage or over-voltage shapes					
Range of voltage or over-voltage shapes	$f = 50 \text{ Hz}$ or 60 Hz $T_t \geq 300 \text{ s}$	$10 \text{ Hz} < f < 500 \text{ Hz}$ $0,02 \text{ s} \leq T_t \leq 300 \text{ s}$	$20 \mu\text{s} < T_p \leq 5000 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 20 \text{ ms}$	$0,1 \mu\text{s} < T_1 \leq 20 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 300 \mu\text{s}$	$T_f \leq 100 \text{ ns}$ $0,3 \text{ MHz} < f_1 < 100 \text{ MHz}$ $30 \text{ kHz} < f_2 < 300 \text{ kHz}$
Standard voltage shapes	 $f = 50 \text{ Hz}$ or 60 Hz T_t^a	 $48 \text{ Hz} \leq f \leq 62 \text{ Hz}$ $T_t = 60 \text{ s}$	 $T_p = 250 \mu\text{s}$ $T_2 = 2500 \mu\text{s}$	 $T_1 = 1,2 \mu\text{s}$ $T_2 = 50 \mu\text{s}$	a
Standard withstand voltage test	a	Short-duration power frequency test	Switching impulse test	Lightning impulse test	a

^a To be specified by the relevant apparatus committees.

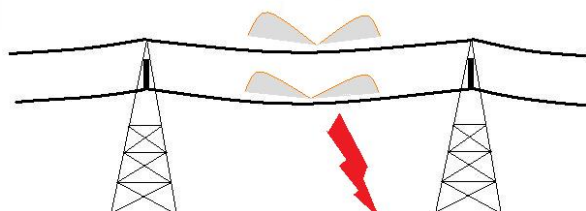
แรงดันเกินที่เกิดขึ้นในสายส่งเนื่องจากฟ้าผ่าในกรณีต่างๆ โดยภาพที่ 2.4 แสดงการเกิดแรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่าลงสายเฟสโดยตรง แรงดันเกินที่เกิดขึ้นมีค่าสูงมาก และมักทำให้เกิดการวาบไฟที่ฉนวน ส่วนภาพที่ 2.5 เกิดฟ้าผ่าลงที่สายดินแล้วทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำที่สายเฟส โดยแรงดันเหนี่ยวนำนี้มีขนาดเล็กลง ซึ่งสายดินที่ติดตั้งไว้เหนือสายเฟสช่วยป้องกันไม่ให้ฟ้าผ่าลงสายเฟสโดยตรง และแรงดันเกินที่เกิดขึ้นในระบบสายส่งมักเกิดเนื่องจากกรณีดังกล่าว ภาพที่ 2.6 เกิดฟ้าผ่าลงที่พื้นดินบริเวณข้างเคียงทำให้มีแรงดันเกินเกิดขึ้นทั้งที่สายดิน และสายเฟส



ภาพที่ 2.4 แรงดันเกินจากฟ้าผ่าลงที่สายส่ง [14]



ภาพที่ 2.5 แรงดันเกินจากฟ้าผ่าลงที่สายดิน [14]



ภาพที่ 2.6 แรงดันเกินจากฟ้าผ่าที่พื้นดินบริเวณข้างเคียง [14]

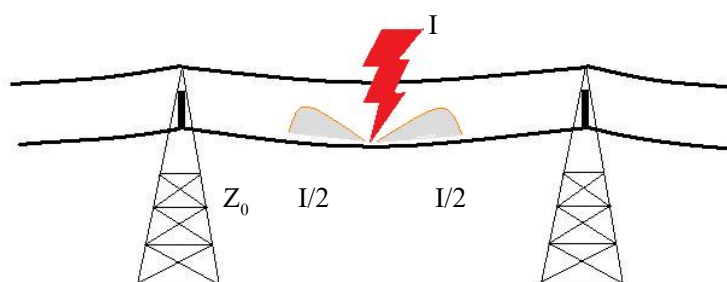
2.3.1 ฟีด้าลงสายตัวนำโดยตรง

สำหรับฟีด้าที่ลงสายตัวนำโดยตรงจะทำให้เกิดแรงดันเกินสูงที่สุด พิจารณาภาพที่ 2.7 เมื่อมีกระแสฟีด้าลงสายส่งทำให้เกิดกระแสไหลไปสองทาง เมื่อมีกระแสฟีด้า (I) ลงสายตัวนำที่มีค่าเสรีจิมพีแดนซ์ (Z_0) จะเกิดกระแสไหลไปสองทาง และเกิดแรงดันที่มีค่าตามสมการที่ 2.3

$$V = \frac{1}{2} I Z_0 \quad (2.3)$$

เมื่อ

V	แรงดันในสายเฟส (kV)
I	ขนาดกระแสฟีด้า (kA)
Z_0	เสรีจิมพีแดนซ์ของสายเฟส (โอห์ม)



ภาพที่ 2.7 กระแสฟีด้า I ลงสายส่งทำให้เกิดกระแสไหลไปสองทาง และเกิดแรงดันสูงในสาย [14]

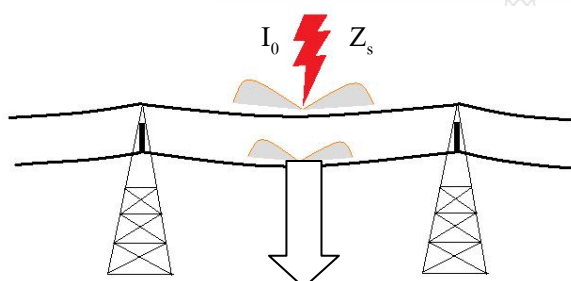
กระแสฟีด้าอาจต่ำเพียง 10 กิโลแอมแปร์ เมื่อค่าทั่วไปของเสรีจิมพีแดนซ์ เท่ากับ 500 โอห์ม จะทำให้เกิดแรงดัน 2,500 กิโลแอมแปร์ ซึ่งมีเพียงสายหุ้มฉนวนในระบบ UHV เท่านั้นที่สามารถทนได้ แต่ถ้าเป็นแรงดันในระดับแรงดันระบบอื่นจะเกิดวาวไฟขึ้นที่ฉนวน เพราะฉนวนไม่สามารถทนแรงดันขนาดดังกล่าวได้ การเกิดการวาวไฟสามารถกำจัดได้โดยใช้ชุดลดขนาดอาร์กหรือต่ออุปกรณ์ป้องกัน (Protection Tube) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ต่างกันแต่ได้ผลเหมือนกัน คือช่วยดับกระแสที่ไหลได้

กระแสฟีด้า (I) หาได้จากแหล่งกำเนิดกระแสลงที่ (I_0) ขนานกับเสรีจิมพีแดนซ์ของช่องทางฟีด้า (Z_s) แรงดัน ณ จุดฟีด้า หาได้ตามสมการที่ 2.4

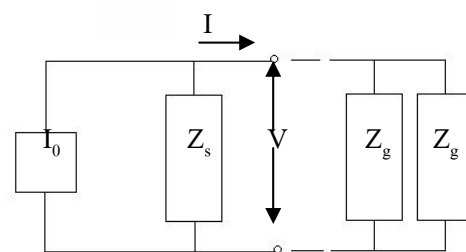
$$V = IZ = I_0 \times \frac{Z_s}{\left(1 + \frac{2Z_g}{Z_s}\right)} \quad (2.4)$$

เมื่อ

- V แรงดันหัวเสา (kV)
 I_0 ขนาดกระแสฟ้าผ่า (kA)
 Z_s เสรีจิมพีแดนซ์ของช่องทางฟ้าผ่า (Ω)
 Z_g เสรีจิมพีแดนซ์ของสายดินป้องกัน (Ω)
 Z เสรีจิมพีแดนซ์ของจุดทางเข้าที่ฟ้าผ่าลง (Ω)



(ก) การเกิดฟ้าผ่าลงสายดิน



(ข) วงจรสมมูล

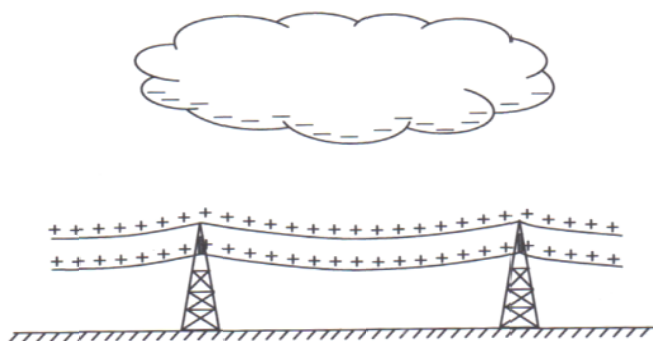
เมื่อ

- I_0 = กระแสฟ้าผ่าเริ่มต้น (แหล่งกำเนิดกระแสคงที่)
 I = กระแสฟ้าผ่าที่จุดทางเข้า
 Z_s = เสรีจิมพีแดนซ์ของช่องทางฟ้าผ่า
 Z_g = เสรีจิมพีแดนซ์ของสายดินป้องกัน
 V = แรงดันของวัตถุที่ถูกฟ้าผ่า

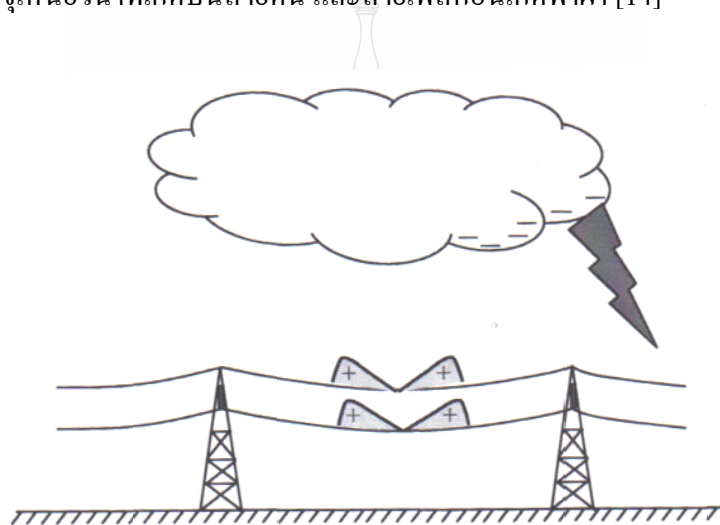
ภาพที่ 2.8 วงจรสมมูลเทวินินสำหรับฟ้าผ่าลงสายดิน [14]

2.3.2 ฟ้าผ่าลงดินในบริเวณใกล้เคียง

เมื่อเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง ประจุบนก้อนเมฆจะทำให้เกิดประจุเหนี่ยวนำที่พื้นดิน และที่สายส่งดังแสดงในภาพที่ 2.9 เมื่อเกิดฟ้าผ่าลงบริเวณใกล้เคียงทำให้ประจุบนก้อนเมฆหายไป ประจุบวกที่อยู่บนสายดิน และสายส่งก็เป็นอิสระ และพร้อมที่จะวิ่งกระจายไปทั้งสองข้าง ทำให้เกิดอิมพัลส์บวกดังแสดงในภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.9 ประจุเหนี่ยวนำที่เกิดบนสายดิน และสายเฟสก่อนเกิดฟ้าผ่า [14]



ภาพที่ 2.10 หลังจากเกิดฟ้าผ่าบริเวณข้างเคียง [14]

คลื่นไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเท่ากันทั้งสามเฟส โดยปกติจะเป็นชั่วคราว และมีความชันหน้าคลื่น 10 ไมโครวินาที ขนาดยอดคลื่นจะขึ้นอยู่กับกระแสฟ้าผ่า ระยะห่างจากจุดที่ฟ้าผ่า ความสูงของตัวนำ และผลของสายดินป้องกัน ถ้าแรงดันเกินนี้มีค่าประมาณ 200 กิโลโวลต์ การรวบไฟจากประจุไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะไม่มีผลต่อระบบที่มีระดับแรงดันสูงกว่า 33 กิโลโวลต์ ขึ้นไป

2.3.3 ฟ้าผ่าลงสายดินป้องกัน

1) แรงดันที่กลางสายเมื่อฟ้าผ่าที่กลางสาย

เมื่อฟ้าผ่าลงสายดินที่ระยะห่างพอประมาณ เช่น กลางสายระหว่างเสา จะสามารถคำนวณหาแรงดันบนสายดินจากสมการที่ 2.5 โดยเสิร์จอิมพีแดนซ์รวมเท่ากับครึ่งหนึ่งของเสิร์จอิมพีแดนซ์ของสายดิน

$$V_M = \frac{1}{2} I_0 \frac{Z_g}{\left(1 + \frac{Z_g}{2Z_s}\right)} \quad (2.5)$$

แรงดันบนสายเฟสที่อยู่ใกล้กับสายดินมากที่สุดคือ KV_M และแรงดันคร่อมฉนวนลูกถ้วยคือ $(1 + K)V_M$ ซึ่งช่องว่างอากาศระหว่างสายเฟสและสายดินยังสามารถทนได้แรงดันที่ช่องว่างอากาศสามารถทนได้นี้จะต้องมีค่าสูงกว่าแรงดันใด ๆ ที่คร่อมฉนวนลูกถ้วยไม่ว่าจะเป็นแรงดันที่เกิดจากฟ้าผ่าที่หัวเสา หรือที่กลางสายก็ตาม

เวลาในการเคลื่อนที่ไปกลับสำหรับคลื่นสะท้อนใด ๆ ที่มากที่สุดเกิดเมื่อฟ้าผ่าลงมาที่กลางสายพอดิ เช่น 1 ไมโครวินาที เมื่อฟ้าผ่าห่างจากเสา 150 เมตร สำหรับเสาคันที่ใกล้ที่สุด เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงมักจะเพิ่มระยะห่างระหว่างสายเฟส กับสายดินที่กลางระยะเสา (Span) โดยให้สายดินตกท้องช้างน้อยกว่าสายเฟส เพื่อให้ระยะห่างระหว่างสายเฟส และสายดินมากที่สุดที่กึ่งกลางระยะเสา เมื่อแรงดันระหว่างสายดินกับสายเฟสเข้าใกล้ค่าเสียหายจะเกิดกระแสเริ่มต้นไหลข้ามอากาศ และเป็นผลให้ความแตกต่างของแรงดันระหว่างสายเฟส และสายดินลดลงอาจต้องใช้เวลาชั่วคราวในการรอคลื่นสะท้อนจากเสาข้างเคียงที่มีขั้วตรงข้ามกลับมาหักล้าง เพื่อป้องกันการเสียหายของฉนวนที่อาจเกิดขึ้น ดังนั้นในการออกแบบจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงแรงดันเกินเมื่อเกิดฟ้าผ่าลงที่กลางสายด้วย

2) แรงดันคร่อมฉนวนเมื่อฟ้าผ่ากลางสาย

หากไม่เกิดการวาวไฟที่กลางสายแรงดัน V_M ที่สายดินและแรงดัน KV_M ที่สายเฟสอ้างอิงจะเคลื่อนไปยังเสาข้างเคียงทำให้มีผลของคลื่นสะท้อน ซึ่งสามารถคำนวณหาแรงดันที่เสาได้ตามสมการที่ 2.6

$$V'_T = V_M \frac{Z_T}{\left(Z_T + \frac{1}{2}Z_g\right)} \quad (2.6)$$

เมื่อ	V'_T	แรงดันที่หัวเสาเมื่อฟ้าผ่ากลางสายดินป้องกัน
	V_M	แรงดันที่สายดินเมื่อฟ้าผ่ากลางสายดินป้องกัน
	Z_T	เสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสา
	Z_g	เสิร์จอิมพีแดนซ์ของสายดิน

แรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นบนสายเฟสจะลดลงตามสัดส่วน K ดังนั้นแรงดันคร่อมฉนวนลูกถ้วยจะเป็นไปตามสมการที่ 2.7

$$V_i' = (1 - K)V_M \frac{1}{\left(1 + \frac{Z_g}{2Z_T}\right)} \quad (2.7)$$

เมื่อ

V_i' แรงดันคร่อมฉนวนเมื่อฟ้าผ่ากลางสายดินป้องกัน

ในกรณีฟ้าผ่าลงที่หัวเสา แรงดันที่หัวเสาจะถูกหักล้างด้วยคลื่นที่สะท้อนกลับมาจากฐานเสาเมื่อความต้านทานดินที่เสามีค่าต่ำ

แรงดันสูงสุดที่คร่อมฉนวนเมื่อฟ้าผ่าลงที่กลางสายมีขนาดใกล้เคียงกับแรงดันสูงสุดที่คร่อมฉนวนเมื่อฟ้าผ่าลงที่หัวเสาโดยตรง แสดงให้เห็นว่าการเกิดฟ้าผ่าลงที่กลางสายอาจทำให้เกิดวาทไฟที่หัวเสาได้ แม้จะไม่เกิดวาทไฟที่กลางสายก็ตาม [14]

2.4 การใช้งานโปรแกรม ATP-EMTP [13]

ในช่วงต้น ค.ศ.1960 ได้มีการนำคอมพิวเตอร์มาใช้งานอย่างกว้างขวางทั่วโลก การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าจึงเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงจากระบบอนาล็อกมาใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณ Dr.Dommel แห่งมหาวิทยาลัยมิวนิค ประเทศเยอรมันได้เริ่มพัฒนาโปรแกรมสำหรับการคำนวณทรานเซียนต์ในระบบไฟฟ้าขึ้น

ในปี ค.ศ.1976 ก็มีนักวิจัยอีกหลายคนเข้าร่วมในการพัฒนาโปรแกรม เช่น Dr.Tse-Huei Liu และ Dr.Akihiro Ametani นอกจากนี้ Mr.L.Dube ผู้พัฒนา TACS/MODEL Dr.V.Brandwain ผู้พัฒนาโครงสร้างเครื่องจักรกลไฟฟ้า Prof.A.Semlyen ผู้พัฒนาโมเดลของสายส่งเข้าร่วมทำให้โปรแกรม EMTP ให้มีความสามารถมากยิ่งขึ้น จนในช่วงต้นทศวรรษ 1980 โปรแกรม EMTP ก็เสร็จสมบูรณ์ และมีการนำไปใช้งานในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ทั่วโลก การพัฒนาโปรแกรมดำเนินเรื่อยมา จนปัจจุบัน โปรแกรม EMTP แยกออกเป็น 3 กลุ่มด้วยกัน คือ EMTP ของ BPA DCG/EPRI และ ATP-EMTP ของ Dr.Scott-Meyer

โปรแกรม ATP-EMTP พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการจำลองและวิเคราะห์เหตุการณ์ในสภาวะ Transient และสภาวะ Steady State ในระบบไฟฟ้ากำลังและสามารถนำผลที่ได้ไปปรับปรุง แก้ไขปัญหาได้ผลเป็นอย่างดีในหลายประเทศและหลายหน่วยงาน เช่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.), การไฟฟ้านครหลวง(กฟน.), การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และมหาวิทยาลัยต่างๆ เป็นต้น โครงสร้างหลักของโปรแกรมประกอบไปด้วยส่วนที่ใช้ในการจำลอง (Simulation Part) และส่วนช่วย

สนับสนุน (Supporting Programs) ในรูปแบบของการวิเคราะห์เชิง Domain และ Frequency Domain ดังภาพที่ 3.1

โปรแกรม ATP-EMTP ได้จัดเตรียมแบบจำลองอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สำคัญหลายชนิดไว้ในโปรแกรม ทำให้ผู้ใช้งานได้รับความสะดวกในการสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้ามากขึ้น อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้งานต้องเลือกใช้งานให้ถูกต้อง มิเช่นนั้นจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ผิดจากความเป็นจริง

การใช้โปรแกรม ATP-EMTP วิเคราะห์สภาวะทรานเซียนต์ในระบบไฟฟ้าให้มีความถูกต้องและเชื่อถือได้นั้นจำเป็นต้องอาศัยการสร้างแบบจำลองคุณสมบัติของอุปกรณ์ และปรากฏการณ์ต่างๆ ในระบบให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ในบางครั้งจึงมีความยุ่งยากและซับซ้อนทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการวิเคราะห์ด้วย



การวิเคราะห์สภาวะชั่วคราวในระบบไฟฟ้าให้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ จำเป็นต้องอาศัยการสร้างแบบจำลอง เพื่อจำลองคุณลักษณะและคุณสมบัติของอุปกรณ์และปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้า ให้ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด แต่การแทนองค์ประกอบของวงจรจ่าย ให้มีความถูกต้องครอบคลุมทุกช่วงความถี่ทั้งหมดนั้นเป็นไปได้ยาก เนื่องจากคุณลักษณะทางกายภาพของแต่ละองค์ประกอบของวงจรจ่าย จะมีผลโดยตรงกับภาวะชั่วคราวของปรากฏการณ์ทางไฟฟ้า ดังนั้นจึงมีการจัดกลุ่มภาวะชั่วคราวทางไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง สำหรับการศึกษาด้วยวิธี Time Domain โดยแบ่งตามช่วงของความถี่ในแต่ละกลุ่มและความชันหน้าคลื่นที่เกิดขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การแบ่งภาวะชั่วคราวของปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าตามกลุ่มและช่วงของความถี่ [13]

กลุ่ม	ช่วงของความถี่	ลักษณะรูปคลื่น	ใช้สำหรับ
I	0.1 Hz - 3 kHz	Low Frequency Oscillation	แรงดันเกินชั่วคราว (Temporary Overvoltage)
II	50/60 Hz - 20 kHz	Slow Front Transient	แรงดันเกินสวิตชิง (Switching Overvoltage)
III	10 kHz - 3 MHz	Fast Front Transient	แรงดันเกินฟ้าผ่า (Lightning overvoltage)
IV	100 kHz - 50 MHz	Very Fast Front Transient	แรงดันเกินอาร์กซ้ำ (Restrike Overvoltage)

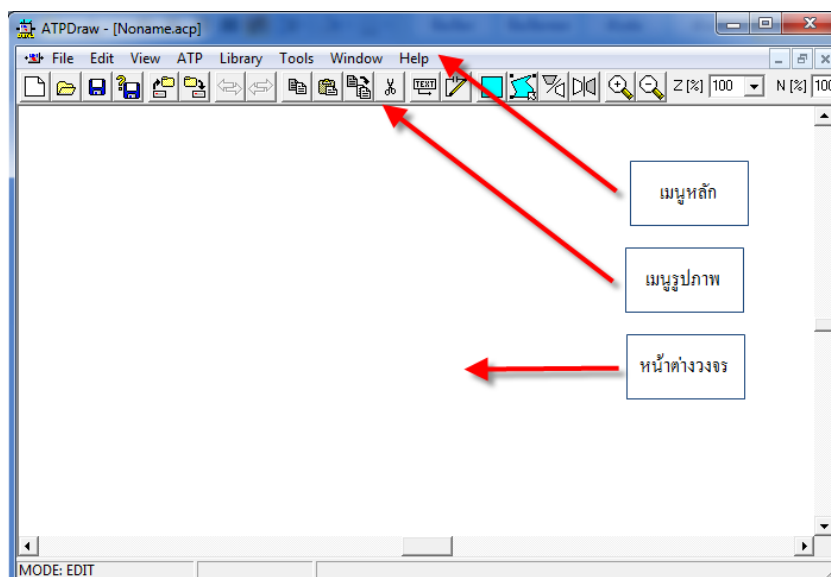
การใช้งานโปรแกรม ATP-EMTP จะต้องประกอบไปด้วย 3 โปรแกรมย่อย จึงจะทำให้การใช้งานเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ซึ่งประกอบไปด้วย

ATPDraw ส่วนใช้ในการสร้างแบบจำลอง และสร้างวงจรทางไฟฟ้า โดยจะมีอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบไฟฟ้าให้ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

PlotXY ส่วนที่ใช้ในการแสดงผลการคำนวณในรูปแบบของกราฟ ซึ่งต้องใช้ร่วมกับ ATPDraw

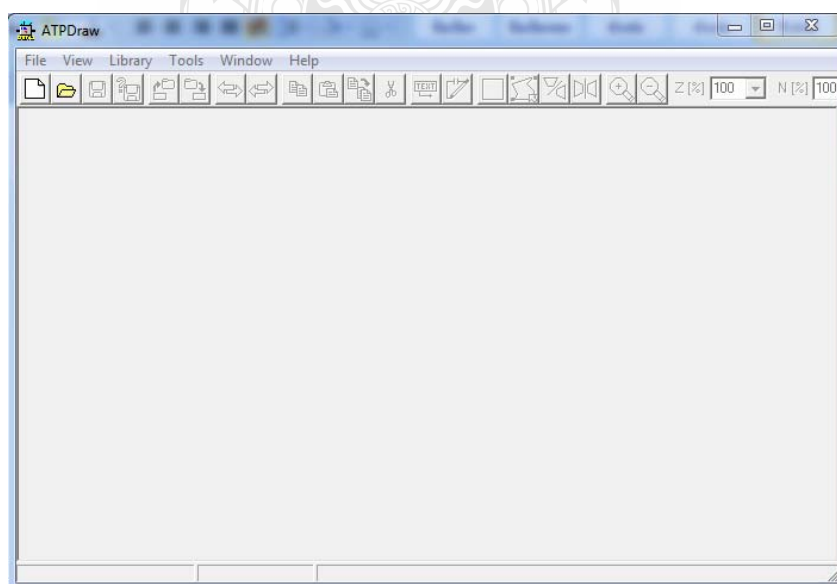
Watcom ส่วนที่ใช้ในการแปลภาษาระดับสูง โดยแปลงแบบจำลองจาก ATPDraw ให้เป็น ภาษาฟอร์แทรน (Fortran) ในส่วนนี้จะทำการประมวลผลในดอส (DOS)

ส่วนประกอบต่างๆ บนหน้าต่างของโปรแกรม ATPDraw ซึ่งจะประกอบไปด้วย เมนูหลัก
เมนูรูปภาพ และหน้าต่างวงจร ดังภาพที่ 2.12



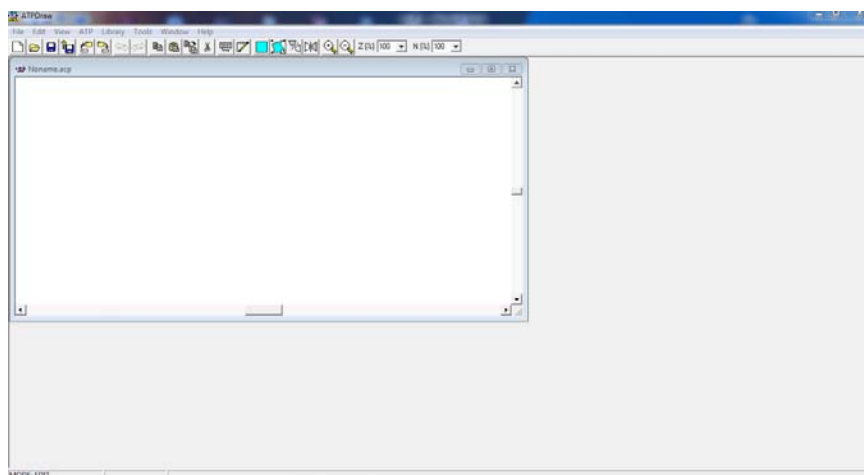
ภาพที่ 2.12 ส่วนประกอบต่างๆ ของโปรแกรม ATPDraw

เมื่อผู้ใช้งานคลิกเลือก โปรแกรม ATPDraw จะปรากฏหน้าต่าง ATPDraw ดังภาพที่ 2.13



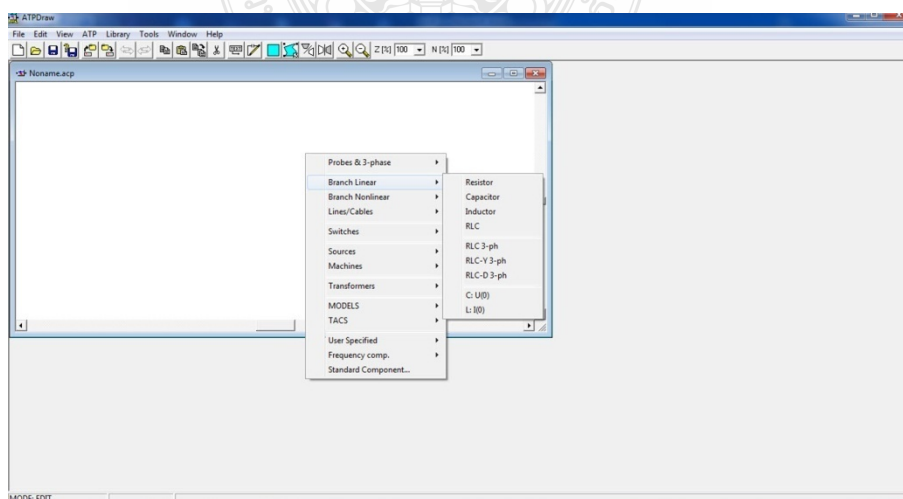
ภาพที่ 2.13 หน้าต่าง ATPDraw

เมื่อต้องการสร้างวงจรใหม่สามารถทำได้โดยการคลิกซ้ายที่เมนู File → New หรือคลิกซ้ายที่  บนเมนูรูปภาพ ดังภาพที่ 2.14

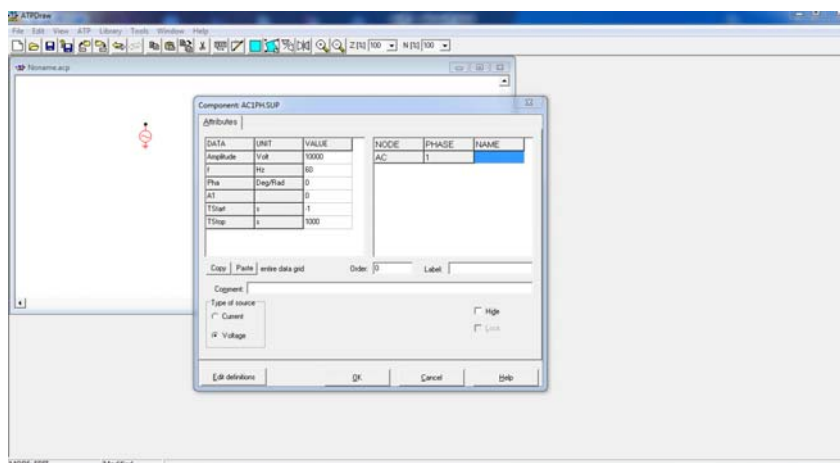


ภาพที่ 2.14 หน้าต่างเขียนวงจร

การนำอุปกรณ์มาต่อเป็นวงจรมานั้นสามารถเลือกได้จากเมนูอุปกรณ์ ดังนั้นต้องเปิดเมนูอุปกรณ์ก่อน โดยการคลิกขวาบนพื้นที่ว่างบนหน้าต่างเขียนวงจร สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ ได้ โดยการคลิกซ้ายเลือกลงบนชื่ออุปกรณ์ที่ต้องการเลือกดังภาพที่ 2.15

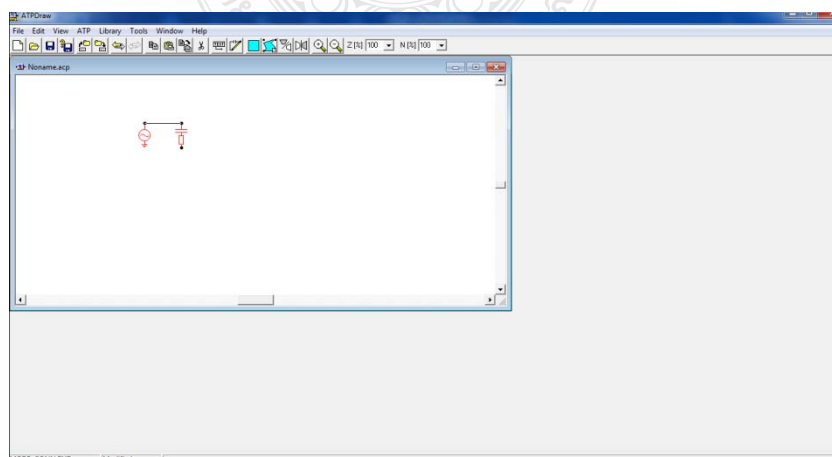


ภาพที่ 2.15 การเปิดเมนูอุปกรณ์



ภาพที่ 2.16 หน้าต่างสำหรับกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของอุปกรณ์

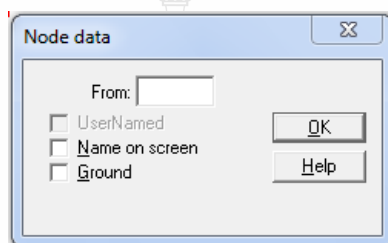
เมื่อทำการเลือกอุปกรณ์ที่ต้องการแล้ว ผู้ใช้สามารถปรับหมุนเปลี่ยนทิศทางการวางอุปกรณ์ได้โดยคลิกขวานตัวอุปกรณ์ เมื่อได้ทิศทางที่ต้องการให้คลิกซ้ายบนพื้นที่ว่างบนหน้าต่างเขียนวงจร อุปกรณ์ที่ทำการเลือกจะมีสีแดง ซึ่งเป็นการเตือนว่ายังไม่มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับตัวอุปกรณ์ ดังนั้นต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับอุปกรณ์โดยการคลิกขวาที่อุปกรณ์ หรือดับเบิ้ลคลิกซ้ายบนตัวอุปกรณ์จะปรากฏหน้าต่างค่าพารามิเตอร์สำหรับป้อนค่าพารามิเตอร์ดังภาพที่ 2.16 ถ้าต้องการทราบความหมายของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถดูคำอธิบายได้โดยคลิกซ้ายที่ปุ่ม Help ที่มุมขวาล่างของหน้าต่างค่าพารามิเตอร์ เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์เสร็จแล้วให้คลิกซ้ายที่ปุ่ม OK อุปกรณ์จะเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีดำเป็นการเสร็จสิ้นการกำหนดค่าพารามิเตอร์



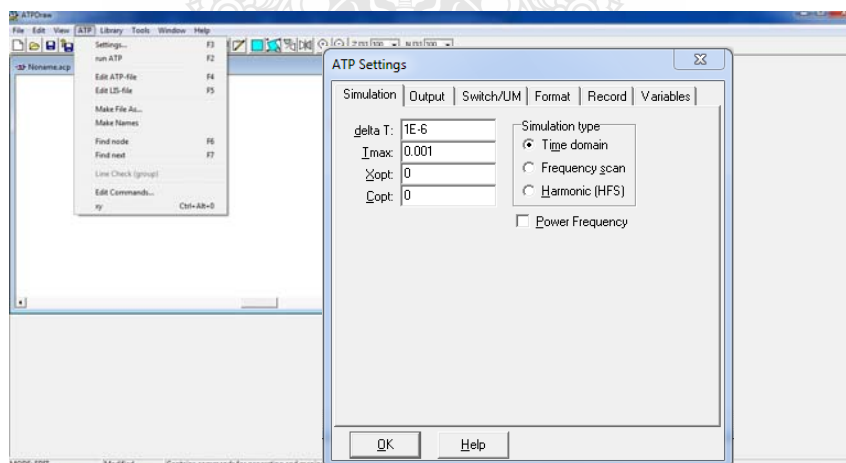
ภาพที่ 2.17 การเชื่อมต่อโนดระหว่างอุปกรณ์

การเชื่อมต่อโน้ตระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต่อกันทางไฟฟ้าทำโดยการคลิกซ้ายตรงโน้ตบนตัวอุปกรณ์ตัวที่หนึ่ง เมาส์จะเปลี่ยนจากหัวลูกศรเป็นรูปนิ้วมือ เลือกโน้ตที่ต้องการบนอุปกรณ์ตัวที่หนึ่ง แล้วลากเมาส์ไปยังโน้ตที่ต้องการของอุปกรณ์ตัวที่สอง แล้วคลิกซ้าย

โดยปกติ ATPDraw จะตั้งชื่อโน้ตให้โดยอัตโนมัติเมื่อรันโปรแกรม การกำหนดชื่อโน้ตด้วยตนเองสามารถทำได้โดยดับเบิ้ลคลิกซ้าย หรือคลิกขวาที่โน้ตที่ต้องการ หน้าต่าง Node data จะปรากฏขึ้นดังภาพที่ 2.18 การกำหนดชื่อโน้ตสามารถกำหนดได้ไม่เกิน 6 ตัวอักษร หากต้องการให้แสดงชื่อโน้ตบนหน้าต่างวงจรให้เลือกเครื่องหมายถูกหน้าอักษรคำว่า “Name on screen” เมื่อต้องการให้โน้ตที่ต้องการต่อลงดินให้เลือกเครื่องหมายถูกหน้าอักษรคำว่า “Ground” จะปรากฏสัญลักษณ์ของกราวด์ ให้เห็นที่โน้ตนั้น ๆ บนหน้าต่างเขียนวงจร




ภาพที่ 2.18 หน้าต่าง Node data

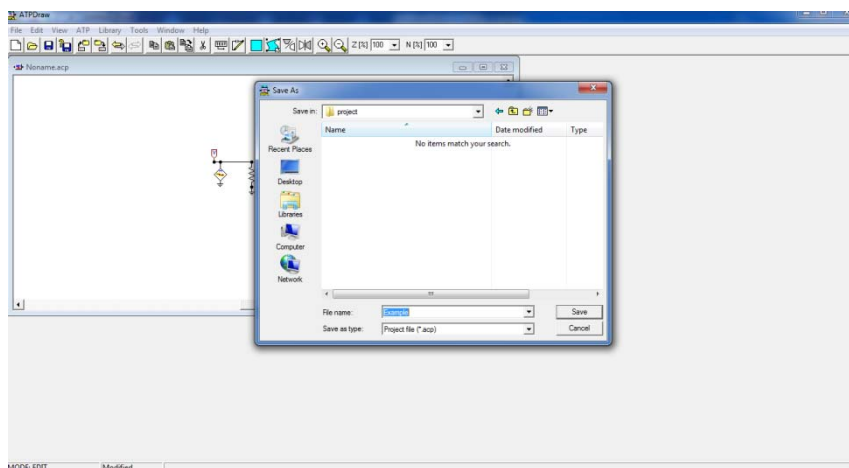


ภาพที่ 2.19 หน้าต่าง ATP Settings

การกำหนดค่าระยะเวลาที่ต้องการคำนวณ และ ช่วงเวลาระหว่างจุดสองจุดที่ติดกันของการคำนวณผลลัพธ์ (Time Step) ทำได้โดยการคลิกซ้ายที่เมนู ATP → Settings จะปรากฏหน้าต่าง ATP

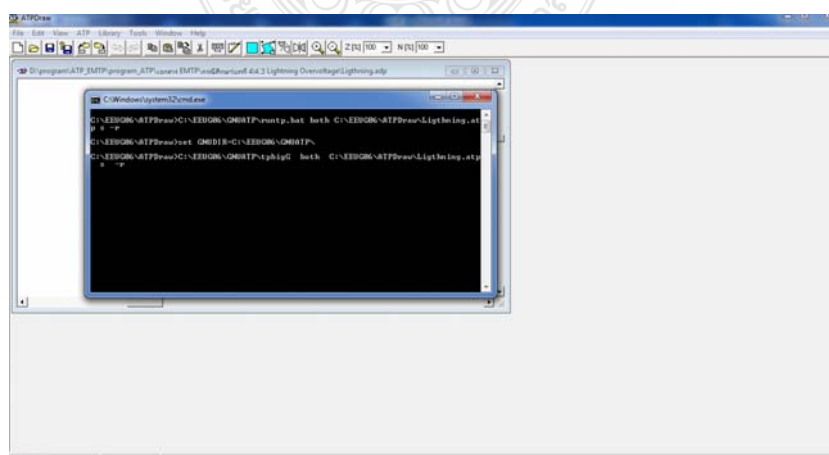
Settings ดังภาพที่ 2.19 ค่าของ Delta T และ Tmax มีหน่วยเป็น วินาที และควรกำหนดค่า Xopt และ Copt ให้เท่ากับ 0 เพื่อกำหนดค่าให้กับอินดักแตนซ์และ คาปาซิแตนซ์ มีหน่วยเป็น mH และ μF ตามลำดับ แล้วกดปุ่ม “OK” เพื่อทำการบันทึกค่า

หลังจากเขียนวงจรเสร็จแล้วทำการบันทึกโดยการคลิกปุ่ม  บนเมนูรูปภาพจะปรากฏหน้าต่างขึ้นมาให้ตั้งชื่อไฟล์โดยมีนามสกุล.adp ซึ่งบ่งบอกว่าเป็นไฟล์รูปภาพวงจร ดังภาพที่ 2.20



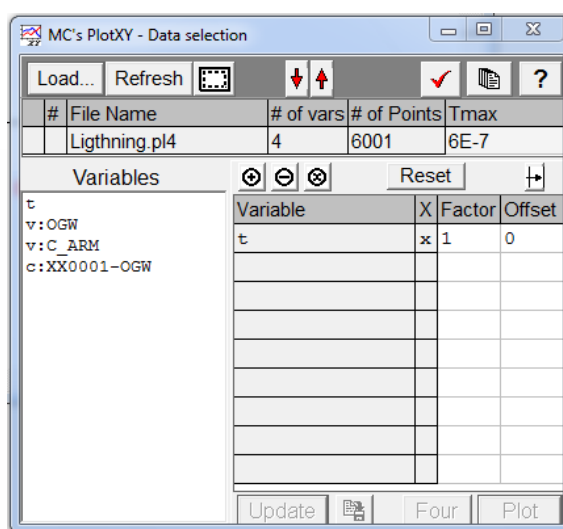
ภาพที่ 2.20 หน้าต่างสำหรับการบันทึกไฟล์

การรันโปรแกรม ATP-EMTP เพื่อคำนวณสามารถเลือกเมนู ATP \rightarrow run ATP จะปรากฏหน้าต่างคอสที่แสดงถึงการคำนวณ เมื่อคำนวณเสร็จหน้าต่างคอสจะปิดเองอัตโนมัติ ดังภาพที่ 2.21



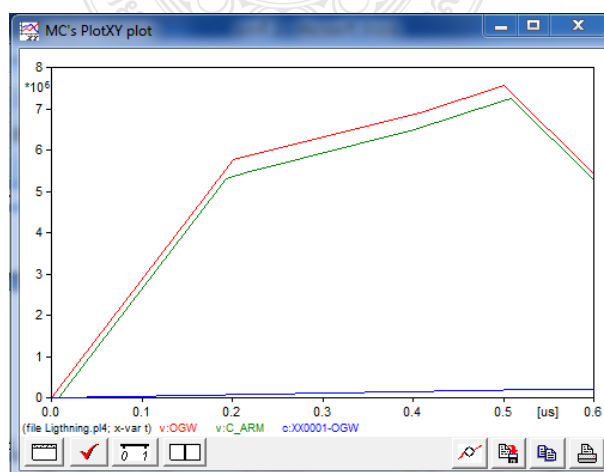
ภาพที่ 2.21 หน้าต่างคอสแสดงการคำนวณ

การแสดงผลกราฟสามารถเลือกที่เมนู ATP → run plotxy จะปรากฏหน้าต่าง MC'S PlotXY Data Selection ซึ่งจะปรากฏสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้ทั้งหมดในวงจรทางคอแลมน์ซ้ายมือ ส่วนคอแลมน์ทางขวามือจะเป็นสัญญาณที่ต้องการให้แสดงกราฟดังภาพที่ 2.22 ดังนั้นหากต้องการให้สัญญาณใดแสดงกราฟให้ดับเบิลคลิกซ้ายบนชื่อสัญญาณที่คอแลมน์ด้านซ้ายมือ



ภาพที่ 2.22 หน้าต่างเลือกแสดงกราฟของโปรแกรม PlotXY

เมื่อเลือกสัญญาณที่ต้องการให้แสดงกราฟแล้วคลิกปุ่ม Plot โปรแกรมจะทำการแสดงกราฟทั้งหมดที่เลือกไว้ ดังภาพที่ 2.23



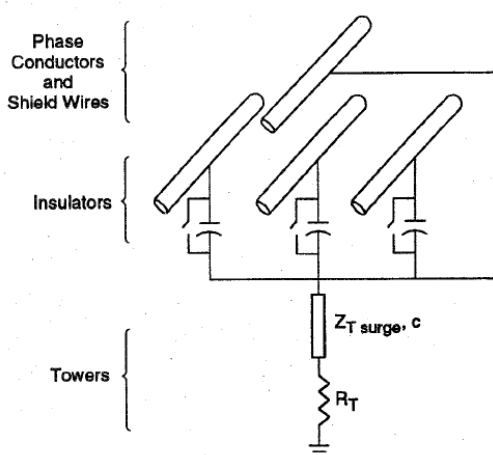
ภาพที่ 2.23 หน้าต่างแสดงกราฟของโปรแกรม PlotXY

2.5 การสร้างแบบจำลองอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้ในโปรแกรม ATP-EMTP

2.5.1 แบบจำลองสายเหนือดิน [5],[6]

แบบจำลองของเสาต้องรวมผลของการจัดวาง และความต้านทานดินที่ฐานเสาอีกทั้ง ความสำคัญของขนาดกระแสฟ้าผ่าที่มีผลต่อการแตกตัวของดิน โดยมีแบบจำลองอย่างง่ายดังภาพที่

2.24



ภาพที่ 2.24 แบบจำลองของสายส่ง และเสาที่ศึกษาผลของฟ้าผ่า [4]

ข้อมูลสายส่งสามารถหาได้โดยค่าคงที่ของสาย และผลของการจัดวางสาย สายส่งนี้แทน ด้วยแบบจำลองที่ขึ้นกับความถี่ ที่แต่ละช่วงความยาวสาย การคำนวณข้อมูลสายควรคำนวณที่ความถี่ 500 kHz สำหรับการศึกษฟ้าผ่า หรือสามารถคำนวณหาความถี่สำหรับสร้างแบบจำลองได้ดังนี้

$$f = \frac{3 \times 10^8}{4l_{line}} \quad (2.8)$$

เมื่อ

l_{line} ความยาวสาย (เมตร)

ค่าเสรีจิมพีแดนซ์ของสายเป็นอิมพีแดนซ์ลักษณะเฉพาะของสาย หากพิจารณาในย่าน ความถี่สูง ตัวนำมีลักษณะเป็นสายความสูญเสียต่ำ ทำให้ค่า r/g มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่า $1/c$ ดังนั้นค่าโดยประมาณของอิมพีแดนซ์ลักษณะเฉพาะมีค่าดังนี้

$$Z_0 = \sqrt{\frac{r+j\omega l}{g+j\omega c}} \quad (2.9)$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{l}{c}} \quad (2.10)$$

ค่าอินดักแตนซ์เกิดขึ้นได้เมื่อมีสนามไฟฟ้าตัดกับสนามแม่เหล็ก อันเป็นผลจากค่าอินดักแตนซ์ภายใน (L_{int}) และค่าอินดักแตนซ์ภายนอก (L_{ext}) จึงคำนวณค่าอินดักแตนซ์ได้จาก

$$L = \frac{\mu_d}{2\pi} \ln\left(\frac{2H}{r'}\right) \quad (2.11)$$

เมื่อ

$$\mu_d = \mu_r \mu_0$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$$

การหาค่าคาปาซิแตนซ์

$$C = \frac{2\pi\epsilon_d}{\ln\left(\frac{2H}{r}\right)} \quad (2.12)$$

เมื่อ

$$\epsilon_d = \epsilon_r \epsilon_0$$

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$$

ดังนั้นกรณีสายเปลือย ค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ คือ

$$Z_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \ln\left(\frac{2H}{r}\right) = 60 \ln\left(\frac{2H}{r}\right) \quad (2.13)$$

ความเร็วแพร่กระจาย (Velocity of Propagation) สามารถหาได้จากความเหนี่ยวนำ และค่าการเก็บประจุ ดังนี้

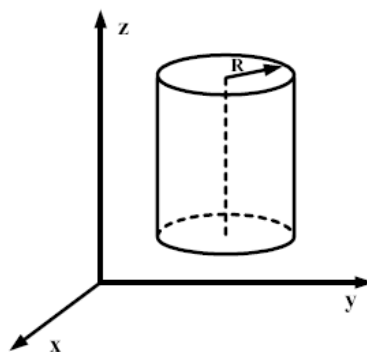
$$V = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.14)$$

โดยที่ค่า L และค่า C คือ ค่าความเหนี่ยวนำ และเก็บประจุต่อหนึ่งหน่วยความยาว หรือ หากพิจารณาสายตัวนำเปลือยที่ไม่มีฉนวนห่อหุ้ม สัมผัสกับอากาศโดยตรง ความเร็วของการแพร่กระจายแสดงดังสมการที่ 2.15

$$V = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (2.15)$$

2.5.2 แบบจำลองเสา [7]

1) ค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาไฟฟ้าคอนกรีต กรณีตัวนำเดี่ยว (Single Conductor) ซึ่งในกรณีนี้พิจารณาเสาไฟฟ้าแทนด้วยทรงกระบอกที่มีรัศมี R



ภาพที่ 2.25 เสาไฟฟ้าคอนกรีตตัวนำเดี่ยวแทนด้วยเสารูปทรงกระบอก [7]

แรงดันบนยอดเสาไฟฟ้าคอนกรีตเป็นไปตามสมการที่ 2.16

$$\begin{aligned} V_{\text{top}} &= - \int_0^h E_z dz = \frac{60I_0}{\sqrt{\epsilon_r - j\sigma/(\epsilon_0\omega)}} \int_0^h \left(\frac{1}{\sqrt{z^2 + R^2}} \right) dz \\ &= \frac{60I_0}{\sqrt{\epsilon_r - j\sigma/(\epsilon_0\omega)}} \ln \left(\frac{h + \sqrt{h^2 + R^2}}{R} \right) \end{aligned} \quad (2.16)$$

เพราะฉะนั้น เสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาไฟฟ้าคอนกรีตเท่ากับ

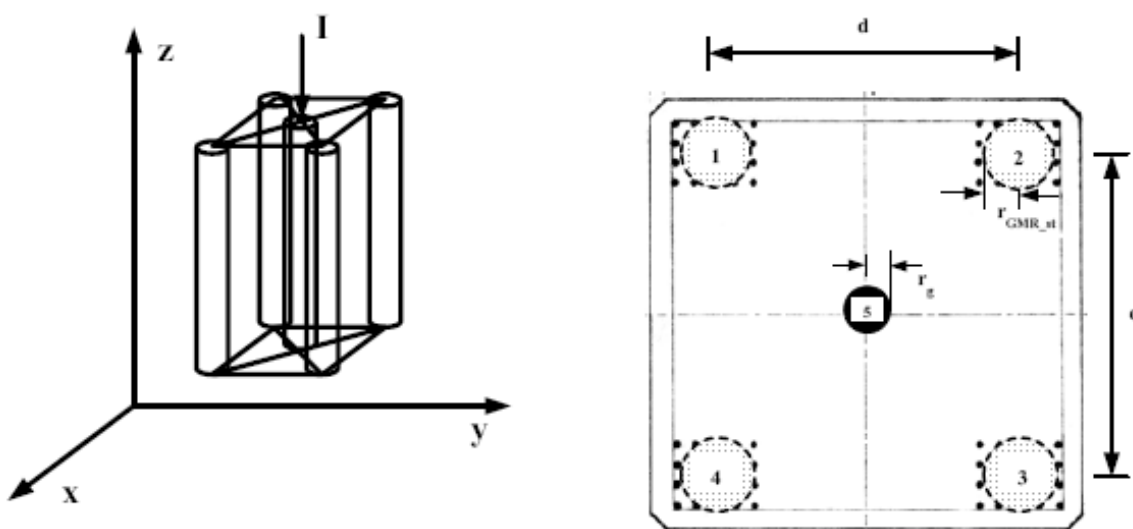
$$Z_{\text{pole}} = \frac{V_{\text{top}}}{I_0} = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r - j\sigma/(\epsilon_0\omega)}} \ln \left(\frac{h + \sqrt{h^2 + R^2}}{R} \right) \quad (2.17)$$

เมื่อ

h ความสูงของเสาไฟฟ้า (m)

R ความหนาของคอนกรีต (m)

2) กรณีหลายตัวนำ (Multi Conductor) กรณีเสาไฟฟ้าคอนกรีตที่มีตัวนำอยู่ภายในเสาหลายตัวนำโดยมีการจัดเรียงดังแสดงในภาพที่ 2.26



ภาพที่ 2.26 การจัดเรียงเหล็กเสริมภายในเสาไฟฟ้าคอนกรีต [6]

จากหลักการเสิร์จิมพีแดนซ์ของเสาไฟฟ้าคอนกรีตกรณีตัวนำเดี่ยว สามารถหาเสิร์จิมพีแดนซ์ของเสาคอนกรีตกรณีหลายตัวนำ เมื่อตัวนำที่ 1 ตัวนำที่ 2 ตัวนำที่ 3 และตัวนำที่ 4 มีรัศมีเท่ากันคือ r_{st} และตัวนำที่ 5 มีรัศมีเท่ากับ r_g ด้วยการหารัศมีเฉลี่ยทางเรขาคณิตของกลุ่มตัวนำที่บรรจุอยู่ในคอนกรีตได้ดังนี้

$$R_{GMR} = \frac{n^2 \sqrt{(d_{11}d_{12} \dots d_{1n})(d_{21}d_{22} \dots d_{2n}) \dots (d_{n1}d_{n2} \dots d_{nn})}}{\sqrt[5]{(r_{st})^4 r_g}} \frac{1}{\sqrt[5]{4}} \quad (2.18)$$

เมื่อเสาคอนกรีตมีขนาด $d \times d$ หรือมีรัศมีของเสาเท่ากับ

$$R_{\text{pole}} = \sqrt{(d/2)^2 + (d/2)^2} = \frac{d}{\sqrt{2}} \quad (2.19)$$

ดังนั้นความหนาของคอนกรีตเท่ากับ

$$R = R_{\text{pole}} - R_{\text{GMR}} \quad (2.20)$$

เพราะฉะนั้นเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาไฟฟ้าคอนกรีต กรณีหลายตัวนำ หาได้จาก

$$Z_{\text{pole}} = \frac{60}{\sqrt{(\epsilon_r - j\sigma/\epsilon_0\omega)}} \ln\left(\frac{h + \sqrt{h^2 + R^2}}{R}\right) \quad (2.21)$$

เมื่อ

h ความสูงของเสาไฟฟ้า (m)

R ความหนาของคอนกรีต (m)

2.5.3 แบบจำลองลูกถ้วย

แบบจำลองของลูกถ้วยจำลอง และสร้างตามลักษณะการวางไฟ หรือแทนด้วยค่าคาปาซิแตนซ์ที่ขึ้นกับชนิด และขนาดของลูกถ้วย การจำลองด้วยคาปาซิแตนซ์ คำนึงถึงผลของแรงดันเหนี่ยวนำของสายตัวนำไปยังโครงเสา ปกติค่าคาปาซิแตนซ์ของลูกถ้วยแขวนมีค่า 10 pF ขณะที่ลูกถ้วยก้านตรงมีค่าคาปาซิแตนซ์ประมาณ 100 pF/ลูก

ในการศึกษาการแพร่กระจายของคลื่นค่าความจุไฟฟ้าของอุปกรณ์ในระบบมีผลต่อรูปร่างของคลื่น โดยเฉพาะคลื่นที่มีเวลาหน้าคลื่นเร็วมาก ค่าความจุไฟฟ้าของลูกถ้วยดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่าความจุไฟฟ้าของลูกถ้วยต่อหนึ่งลูก [5],[6]

ชนิดลูกถ้วย	ค่าความจุไฟฟ้า
Suspention Insulator (/Unit)	10 pF
Pin type Insulator (/Unit)	100pF

2.5.4 แบบจำลองค่าความต้านทานดินอิมพลัส

ระบบรากสายดิน มีหน้าที่ในการแพร่กระจายกระแสฟ้าผ่าลงดิน โดยไม่ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่เป็นอันตราย รูปร่างและขนาดของระบบรากสายดินมีความสำคัญมากกว่าค่าความต้านทานเฉพาะของรากสายดิน แต่เพื่อให้มีการนำกระแสฟ้าผ่าและการแพร่กระจายกระแสฟ้าผ่าได้ดี ค่าความต้านทานเฉพาะของรากสายดินควรจะมีค่าต่ำ ซึ่งมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้แนะนำค่าความต้านทานของระบบรากสายดินควรมีค่าไม่เกิน 5 โอห์มสำหรับจุดติดตั้งเครื่องวัดค่าพลังงาน และไม่เกิน 25 โอห์มสำหรับระบบไฟฟ้ากำลัง

ประเภทของรากสายดินที่มีการใช้งาน สามารถวางระบบรากสายดินได้หลายประเภท เช่น รากสายดินวงแหวนชนิดหนึ่งวงหรือมากกว่า ระบบรากสายดินแนวตั้งหรือแนวเอียง ระบบรากสายดินแนวรัศมี และระบบรากสายดินฐานราก ซึ่งสามารถวางระบบรากสายดินร่วมกันได้หลายวิธี โดยที่การวางตัวนำหลายตัวที่กระจายกันอย่างเหมาะสมจะดีกว่าตัวนำรากสายดินยาวชุดเดียว

1) รากสายดินแนวตั้ง

รากสายดินแนวตั้ง ได้แก่ รากสายดินแบบแท่งเป็นแท่งเหล็กชุบทองแดง ขนาด 5/8 นิ้ว ยาว 2.4-3 เมตรติดตั้งในแนวตั้ง หรือแนวเอียง ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมาก ระบบรากสายดินแนวตั้งใช้กับอาคาร หรือบ้านอยู่อาศัยขนาดเล็กที่ต้องการให้มีการต่อลงดินของระบบไฟฟ้า แต่ถ้าเป็นอาคารขนาดใหญ่ หรืออาคารที่มีระบบป้องกันฟ้าผ่ามักจะใช้ระบบรากสายดินแบบวงแหวน



ภาพที่ 2.27 รากสายดินติดตั้งในแนวตั้ง และแนวเอียง [14]

2) รากสายดินแนวรัศมี

รากสายดินแนวรัศมี ได้แก่ รากสายดินติดตั้งในแนวราบ ใช้ในกรณีติดตั้งรากสายดินแนวตั้งได้ลำบาก เช่น บริเวณพื้นดินแข็ง หรือบริเวณหินกรวด เป็นต้น โดยทั่วไปความยาวของรากสายดินในแนวราบจะต้องยาวประมาณ 2 เท่าของรากสายดินในแนวตั้งจึงจะให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน เช่น รากสายดินแนวตั้งใช้ความยาว 3 เมตร รากสายดินในแนวราบให้ใช้ 6 เมตร เป็นต้น

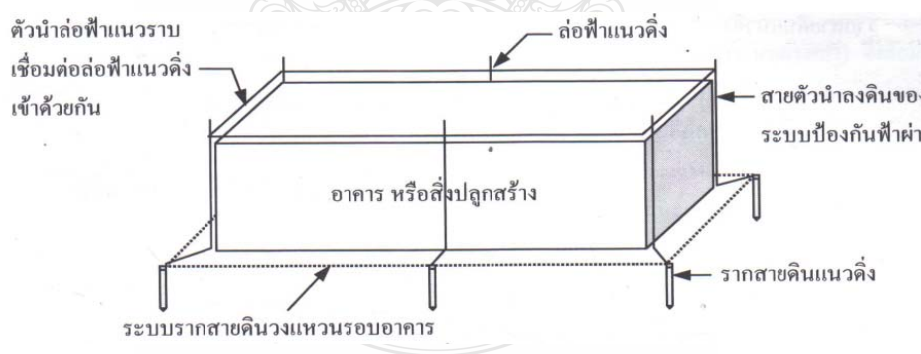


ภาพที่ 2.28 รากสายดินแนวรัศมี [14]

รากสายดินแนวรัศมี หรือแนวราบ โดยทั่วไปให้ยาวสองเท่าของรากสายดินแนวตั้ง และฝังลึกจากหน้าดินประมาณ 50-60 เซนติเมตร ส่วนใหญ่ใช้กับอาคาร หรือบ้านอยู่อาศัยขนาดเล็กที่มีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นหินกรวดซึ่งไม่สามารถติดตั้งระบบรากสายดินแนวตั้งได้ นอกจากนี้ระบบรากสายดินแนวรัศมียังใช้กับเสาสูงที่ติดตั้งบนเขา หรือบนพื้นหินกรวด ซึ่งสามารถติดตั้งระบบรากสายดินแนวรัศมีที่สามารถฝังตัวนำได้ยาวในพื้นที่

3) รากสายดินวงแหวน

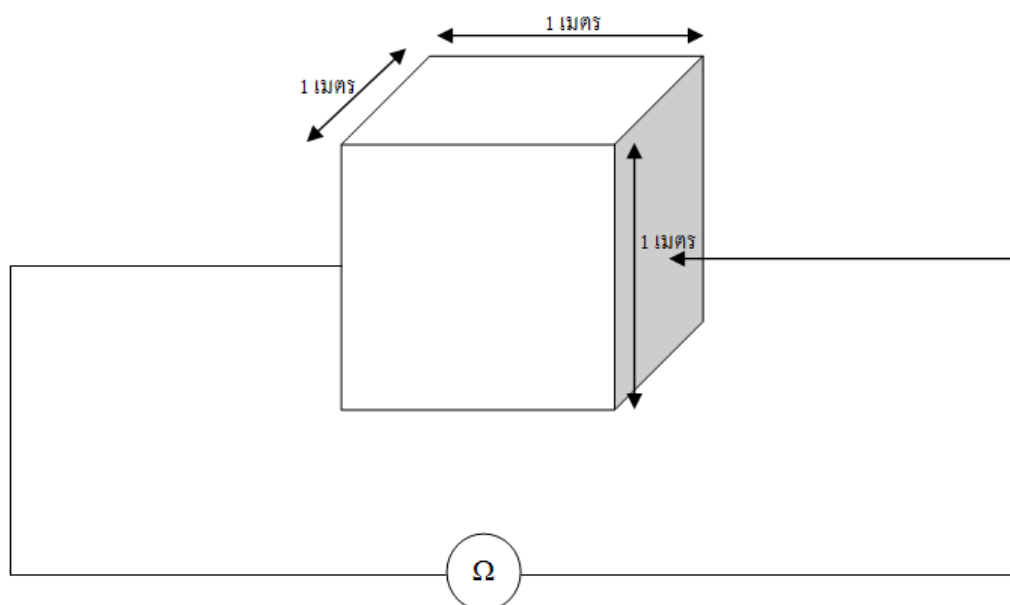
รากสายดินวงแหวน เป็นรากสายดินที่มีตัวนำวนรอบเป็นวงแหวน หรือวนตัวนำรอบอาคารทำหน้าที่ให้ความต้านทานดินต่ำ นอกจากนี้ทำให้แรงดันย่างก้าวน้อยลง (Step Voltage) สำหรับคนที่ก้าวออกจากตัวอาคารในขณะที่เกิดฟ้าผ่า หรือเกิดลัดวงจรระบบไฟฟ้าลงดิน



ภาพที่ 2.29 รากสายดินวงแหวนรอบอาคาร [14]

ระบบรากสายดินวงแหวนรอบอาคารมักใช้กับอาคารขนาดใหญ่ที่มีการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าด้วยเพื่อรองรับการต่อสายตัวนำลงดินของระบบป้องกันฟ้าผ่าเข้ากับรากสายดินแบบนี้

ค่าความต้านทานดินจำเพาะ มีนิยามกำหนดไว้ว่า เป็นความต้านทานที่ได้จากลูกบาศก์ของดินที่มีปริมาตรเป็น 1 ลูกบาศก์เมตร [12]



ภาพที่ 2.30 การวัดความต้านทานดิน 1 ลูกบาศก์เมตร

จากสูตรการหาค่าความต้านทาน ดังสมการที่ 2.22

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2.22)$$

โดยที่

ρ ความต้านทานเฉพาะ
 l ความยาวตัวนำ (เมตร)
 A พื้นที่ของตัวนำ (ตารางเมตร)

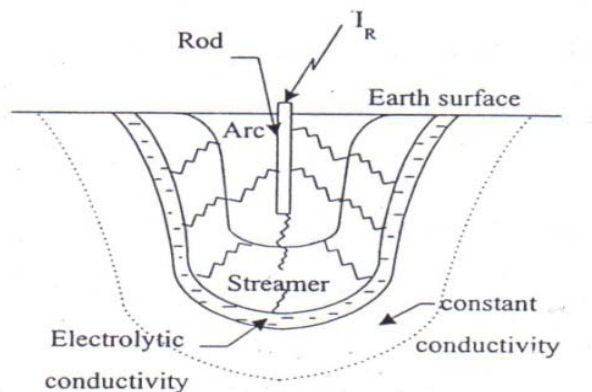
ในที่นี้เราต้องการหาค่าความต้านทานใน 1 ลูกบาศก์เมตร

$$R = \rho \frac{1}{1 \times 1}$$

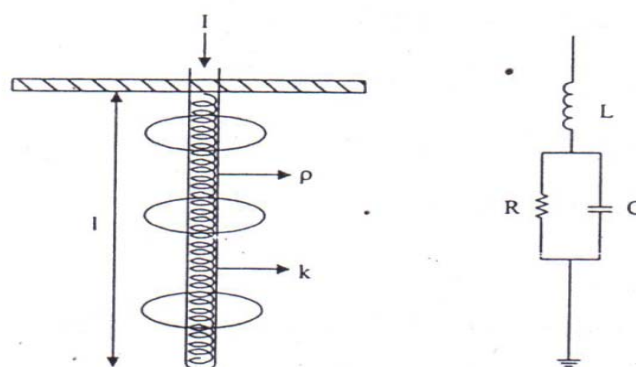
$$R = \rho$$

ในการศึกษาได้พิจารณาลักษณะของความต้านทานดินเมื่อมีกระแสขนาดสูงแพร่กระจาย
 ในดิน หากกระแสฟ้าผ่ามีขนาดสูงพอที่จะทำให้สนามไฟฟ้าสูงกว่าสนามไฟฟ้าวิกฤตของดิน ณ จุดที่
 ทำการติดตั้งตัวนำลงดินจะทำให้ดินรอบๆ ตัวนำนั้นเสียสภาพการเป็นฉนวน กลายเป็นตัวนำไฟฟ้า
 แทน เสมือนว่าตัวนำนั้นขยายใหญ่ออกเป็นรูปครึ่งทรงกลมดังแสดงในภาพที่ 2.31 และกลายเป็น

ตัวนำซึ่งขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น รูปทรงของตัวนำลงดิน ความต้านทานดินจำเพาะ และ ส่วนประกอบที่ปะปนอยู่ในดิน



ภาพที่ 2.31 ลักษณะการเสียดสภาพความเป็นฉนวนของดินรอบ ๆ แท่งตัวนำลงดิน [16]



ภาพที่ 2.32 วงจรสมมูลของตัวนำลงดิน เนื่องจากผลของกระแสฟ้าผ่า [16]

โดยทั่วไปค่าความต้านทานดินที่ฐานเสาได้จากการวัดในภาคสนาม หรือได้จากการคำนวณ โดยใช้สูตรตามมาตรฐานขึ้นอยู่กับรูปทรงของตัวนำลงดิน ค่าเหล่านี้เป็นค่าความต้านทานที่ความถี่กำลัง แต่ในความเป็นจริงค่าความต้านทานที่ฐานเสาลดลงเมื่อมีกระแสฟ้าผ่าความถี่สูงไหลผ่าน มีวงจรสมมูลดังภาพที่ 2.32

มาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ใช้ตัวนำลงดินเป็นชนิดแท่งความต้านทานที่ฐานเสาหาได้จากสมการที่ 2.23

$$R_0 = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{8l}{d} - 1 \right) \quad (2.23)$$

เมื่อ

R_0	ค่าความต้านทานที่ความถี่ต่ำ (โอห์ม)
ρ	ความต้านทานดินจำเพาะ (โอห์ม-เมตร)
l	ความยาวของแท่งตัวนำลงดิน (เมตร)
d	เส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งตัวนำลงดิน (เมตร)

การแตกตัวของดินขึ้นกับความหนาแน่นของกระแส (J) และสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น (E)
กระแสที่ไหลผ่านตัวนำลงดินหาได้จากสมการที่ 2.24

$$J = \frac{I_R}{2\pi rL} \quad (2.24)$$

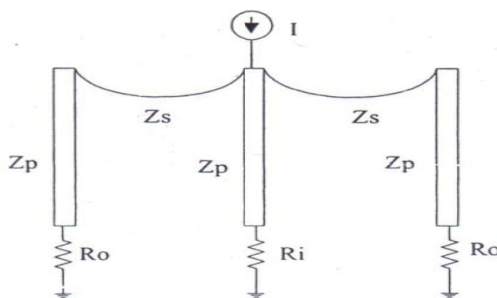
และ

$$E = \rho J = \frac{\rho I_R}{2\pi rL} \quad (2.25)$$

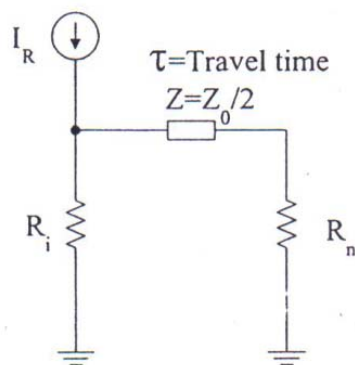
เมื่อ

ρ	ความต้านทานดินจำเพาะ (โอห์ม-เมตร)
r	รัศมีของแท่งตัวนำลงดิน (เมตร)
L	ความยาวของแท่งตัวนำลงดิน (เมตร)
I_R	กระแสที่ไหลผ่านแท่งตัวนำลงดิน (แอมแปร์)

กระแส I_r เกิดจากกระแสไฟฟ้าผ่าที่ถูกแบ่งไหลไปยังเสาข้างเคียง และส่วนที่เหลือจึงไหลผ่านตัวนำลงดินของเสาต้นที่ถูกฟ้าผ่า



ภาพที่ 2.33 การหาค่ากระแสที่แบ่งไหลไปยังเสาข้างเคียง [16]



ภาพที่ 2.34 วงจรสมมูลสำหรับหาค่ากระแสที่จะไหลลงดิน ณ เสาดันที่ถูกฟ้าผ่า [16]

เมื่อ

$$R_n = \frac{0.5Z_s R_0}{(Z_s + R_0)} \quad (2.26)$$

พิกัดค่ากระแสที่ทำให้ดินเริ่มเสียหายหาได้จาก

$$I_g = \frac{2\pi r L E_0}{\rho} = \frac{1}{2\pi} \frac{\rho E_0}{R_0^2} \quad (2.27)$$

แทนค่า I_r และ I_g ในสมการที่ 2.28

$$R_i = R_0 \sqrt{\frac{I_g}{I_r}} = \frac{R_0}{\sqrt{I_r/I_g}} \quad (2.28)$$

แต่มีการปรับปรุงเป็นดังนี้

$$R_i = \frac{R_0}{\sqrt{1+(I_r/I_g)}} \quad (2.29)$$

เมื่อกำหนดให้ α คือสัมประสิทธิ์อิมพัลส์ของความต้านทานดิน

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{1+(I_r/I_g)}} \quad (2.30)$$

เมื่อ

I_R กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำลงดิน (kA)

I_g กระแสที่ทำให้ดินรอบตัวนำลงดินเริ่มกลายเป็นตัวนำ (kA)

ดังนั้นความต้านทานอิมพัลส์ (R_i) จึงหาได้จากสมการที่ 2.31

$$R_i = \alpha R_0 \quad (2.31)$$

เนื่องจากค่าความต้านทานดินขึ้นกับชนิด และลักษณะของดินเป็นหลัก และในการปฏิบัติงานภาคสนามมีความไม่แน่นอนของลักษณะดินขึ้นอยู่กับพื้นที่ ดังนั้นในการศึกษาโดยโปรแกรม ATP-EMTP จึงทำการแปรผันค่าความต้านทานดินดังนี้ 5-30 โอห์ม โดยค่าเหล่านี้ถือเป็นค่าความต้านทานอิมพัลส์

ค่าคาปาซิแตนซ์ และอินดักแตนซ์แปรผันตามลักษณะของตัวนำลงดินเป็นสำคัญ โดยสามารถหาได้ดังนี้ เมื่อพิจารณาตัวนำลงดินตาม มาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นแท่งกราวด์รีด ยาว 2 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางสมมูล 16 มิลลิเมตร

ความจุไฟฟ้าของดินหาได้จากสมการที่ 2.32

$$C = \frac{\epsilon_r l}{18 \ln(4l/d)} \times 10^{-9} \quad (2.32)$$

ค่าอินดักแตนซ์ของรอกสายดินแท่งแนวดิ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามความยาวและพื้นที่หน้าตัด ดังสมการที่ 2.33

$$L = 2l \left(\ln \frac{4l}{d} \right) \times 10^{-7} \quad (2.33)$$

เมื่อ

l = ความยาวของรอกสายดินแนวดิ่ง (เมตร)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของรอกสายดิน (เมตร)

2.5.5 แบบจำลองหม้อแปลงเครื่องวัด

หม้อแปลงมีคุณสมบัติในการกรอง และส่งผ่านความถี่ ในกรณีที่ความถี่ต่ำค่าของอินดักแตนซ์มีความสำคัญในการสร้างแบบจำลอง และในกรณีที่ความถี่สูงค่าคาปาซิแตนซ์ จะนำมาสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการส่งผ่านแรงดันเสิร์จสำหรับหม้อแปลงเครื่องวัด ในการศึกษาของ IEEE Working Group โดยทำการศึกษาเพื่อหาค่าคาปาซิแตนซ์ของหม้อแปลงเครื่องวัดทั้ง หม้อแปลงแรงดัน และหม้อแปลงกระแส ดังแสดงในตารางที่ 2.5 และ 2.6

ตารางที่ 2.5 ค่าคาปาซิแตนซ์ของหม้อแปลงกระแส (Current Transformers) [6],[17]

Insulation Class - kV	Capacitance (pF)
25	180-260
34.5	160-250
46	170-220
69	170-260
115	210-320
161	310-380
196	330-390
230	350-420

ตารางที่ 2.6 ค่าคาปาซิแตนซ์ของหม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformers) [6],[17]

Insulation Class - kV	Capacitance (pF)	
	Line-Line type	Line-Neutral type
15	260	-
25	250-440	270-800
34.5	310-440	270-900
46	350-430	300-970

ตารางที่ 2.6 ค่าคาปาซิแตนซ์ของหม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformers) (ต่อ)

Insulation Class - kV	Capacitance (pF)	
	Line-Line type	Line-Neutral type
69	360-440	340-1300
115	470-520	480-610
138	490-550	530-660
161	510-580	510-700
196	-	580-820
230	600-680	600-810
345	-	920

2.6 สรุปผลการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ก่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจในกระบวนการเกิดฟ้าผ่า อีกทั้งเข้าใจปัญหาที่เกิดจากงานวิจัยต่าง ๆ ที่ได้ทำการศึกษา และเข้าใจถึงลักษณะการเกิดทรานเซียนต์ในระบบไฟฟ้า และสามารถนำแบบจำลองที่ได้ศึกษาจากงานวิจัยอื่น ๆ ไปออกแบบสร้างแบบจำลองระบบในโปรแกรม ATP-EMTP เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุการชำรุดของมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติได้ และสามารถวิเคราะห์หาแนวทางในการป้องกันการเกิดแรงดันเกิน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อให้มิเตอร์เกิดการชำรุดได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาสาเหตุการชำรุดของมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยการจำลองแบบในโปรแกรม ATP-EMTP เพื่อให้ผลจากการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าเกินที่ได้จากแบบจำลอง โดยมีการป้อนใส่ข้อมูลพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้มีความถูกต้องเป็นจริงมากที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินการวิจัยไว้ดังนี้

- 3.1 การตั้งสมมติฐานและวิเคราะห์ทางกายภาพเพื่อหาสาเหตุการชำรุดของมิเตอร์
- 3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลสถิติการชำรุดของมิเตอร์
- 3.3 เก็บรวบรวมพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการจำลองระบบไฟฟ้ากำลัง
- 3.4 แนวทางการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าเกินที่จุดต่อลงดินของมิเตอร์จากการจำลองแบบด้วยโปรแกรม ATP-EMTP
- 3.5 สรุปเสนอแนวทาง วิธีแก้ไขหรือวิธีลดปัญหาจากการวิเคราะห์
- 3.6 สรุปผลวิธีดำเนินการวิจัย

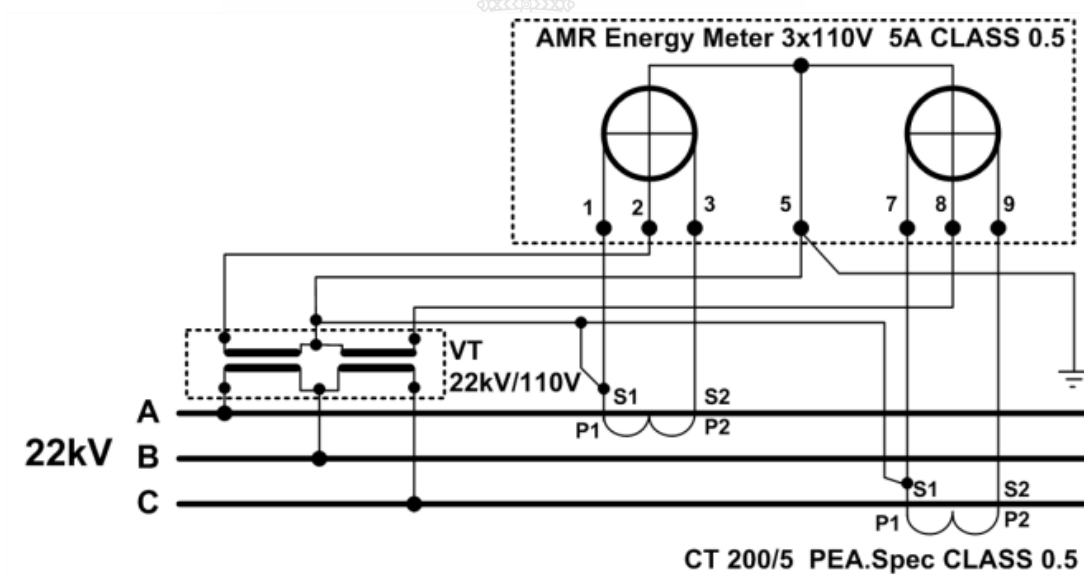
3.1 การตั้งสมมติฐานและวิเคราะห์ทางกายภาพเพื่อหาสาเหตุการชำรุดของมิเตอร์

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ได้นำเทคโนโลยีระบบการอ่านหน่วยการใช้ไฟฟ้าอัตโนมัติเข้ามาใช้งานกับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่ ที่มีการขอใช้หม้อแปลงเฉพาะราย เป็นมิเตอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าชนิดอ่านหน่วยอัตโนมัติ (AMR) 3 เฟส 3 สาย ที่มีการขอใช้ไฟประเภทคิดอัตราค่าไฟตามช่วงเวลาการใช้ (Time of Use, TOU) โดยปกติมาตรฐานการติดตั้งมิเตอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าของ กฟภ. จะทำการติดตั้งไว้ภายนอกอาคาร และมีการต่อลงดินแยกจากระบบป้องกันฟ้าผ่าบนสายส่ง ประกอบด้วยสายดินขึ้นอากาศ (Overhead Ground Wire, OHGW) ตัวนำลงดิน (Down Conductor) และระบบรากสายดิน (Ground Rod System) เพื่อให้สามารถป้องกันความเสียหายจากการเกิดฟ้าผ่าดังภาพที่ 3.1 แต่ยังมีมิเตอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าระบบ AMR บางส่วนชำรุดเสียหาย



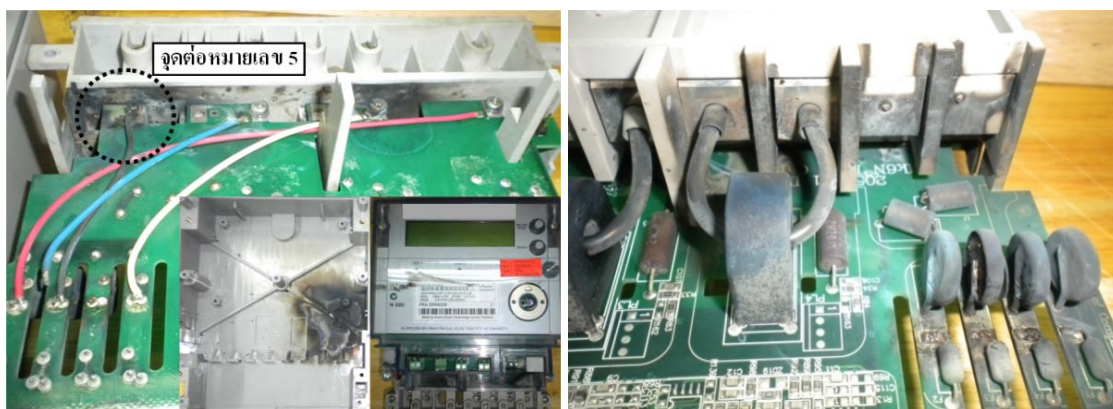
ภาพที่ 3.1 การติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ

การติดตั้งมิเตอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าระบบ AMR มีวงจรการติดตั้งดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 วงจรการต่อมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ

สมมติฐานเพื่อการวิเคราะห์เริ่มต้นจากการถอดสำรวจสภาพมิเตอร์ที่ชำรุดพบว่าหลายตัวมีร่องรอยการไหม้บริเวณด้านในของจุดต่อร่วมลงดินด้านที่ออกจากหม้อแปลงทดแรงดัน (VT) เข้ามิเตอร์ที่หลังตำแหน่งหมายเลข 5 ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.3 มิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติที่ชำรุด

จากการวิเคราะห์เบื้องต้นจากสภาพทางกายภาพแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเกิดจากระบบการต่อลงดิน แสดงดังภาพที่ 3.3 เนื่องจากการชำรุดส่วนใหญ่สายคอนโทรลเชื่อมต่อจากหม้อแปลงเครื่องวัด ไม่มีการไหม้หรือชำรุดจากแรงดันเกินซึ่งในการวิเคราะห์จะมุ่งเน้นไปในแนวทางจากสาเหตุการเกิดฟ้าผ่าลงสายดินป้องกัน โดยการใช้การจำลองเหตุการณ์ด้วยโปรแกรม ATP-EMTP ในการวิเคราะห์หาแรงดันเกินอันเนื่องมาจากฟ้าผ่าจำเป็นต้องวิเคราะห์หาเส้นการไหลของกระแสฟ้าผ่าที่ทำให้เกิดแรงดันเกิน ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ที่ถูกต้องสามารถนำไปสู่แนวทาง และวิธีป้องกันที่เหมาะสมต่อไป

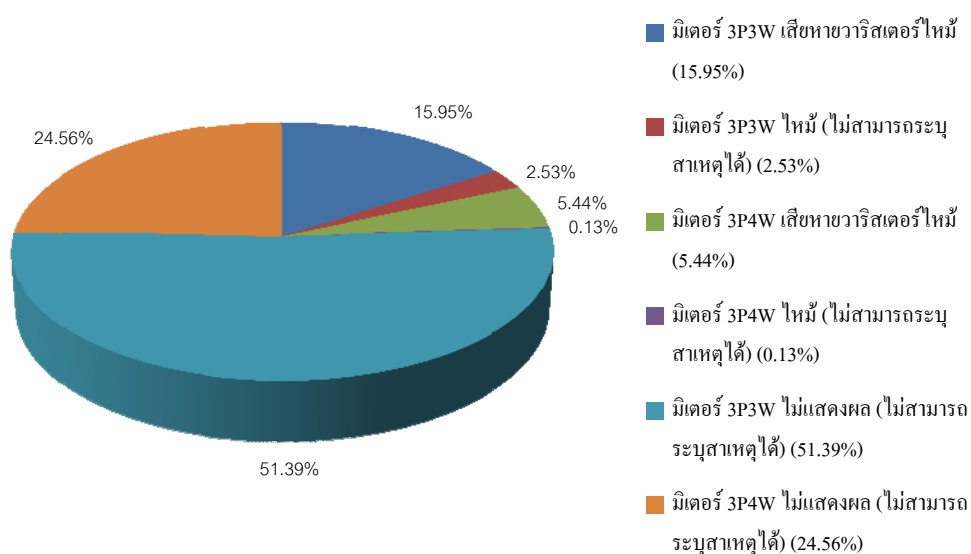
ในการศึกษาและวิเคราะห์ค่าแรงดันเกินที่จุดต่อลงดินของมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ โดยตั้งหัวข้อในการศึกษา ดังนี้

1. ขนาดกระแสฟ้าผ่าที่มีค่าแตกต่างกันตั้งแต่ 15-40 กิโลแอมแปร์
2. ระยะห่างระหว่างตำแหน่งฟ้าผ่าลงหัวเสาสายดินซึ่งอากาศที่ไกลออกไปจากเสาที่ติดตั้งมิเตอร์(มิเตอร์ติดตั้งที่เสาด้านปลายหรือ Dead end) ตั้งแต่ช่วง 1-7 ตัน)
3. ศึกษาระยะห่างที่เปลี่ยนแปลงของเสาที่ใกล้ที่สุดที่ติดตั้งสายดินซึ่งอากาศที่ฟ้าผ่าลงถึงตำแหน่งเสาที่ติดตั้งมิเตอร์
4. ศึกษาผลกระทบกรณีที่ค่าความต้านทานการต่อลงดินของเสาดันที่ติดตั้งมิเตอร์มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน
5. เส้นทางการไหลของกระแสฟ้าผ่าที่ผ่านจุดต่อลงดินของมิเตอร์

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลสถิติการชำรุดของมิเตอร์

จากข้อมูลสถิติการชำรุดของศูนย์ควบคุมการอ่านหน่วยอัตโนมัติของ กฟภ. (AMR DATA CENTER) ปี พ.ศ. 2551-2552 มีมิเตอร์ชำรุดที่อาจเสียหายจากฟ้าผ่าจำนวน 190 เครื่อง จากมิเตอร์ชำรุดทั้งหมด 790 เครื่อง หรือคิดเป็นร้อยละ 24.05 โดยแบ่งเป็นมิเตอร์แบบ 3 เฟส 3 สาย และมิเตอร์แบบ 3 เฟส 4 สาย ดังแสดงในภาพที่ 3.4

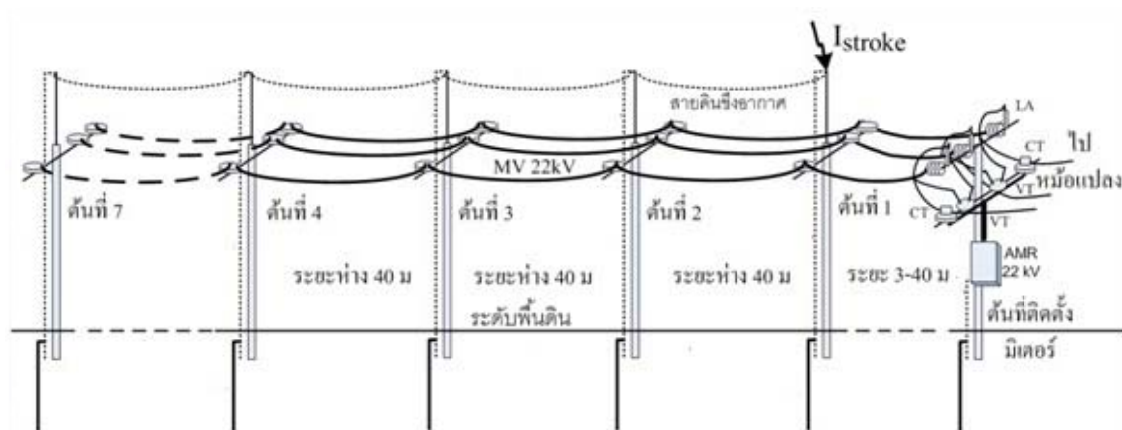
จำนวนมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติชำรุด



ภาพที่ 3.4 สถิติจำนวนมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติชำรุด

3.3 เก็บรวบรวมพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการจำลองระบบไฟฟ้ากำลัง

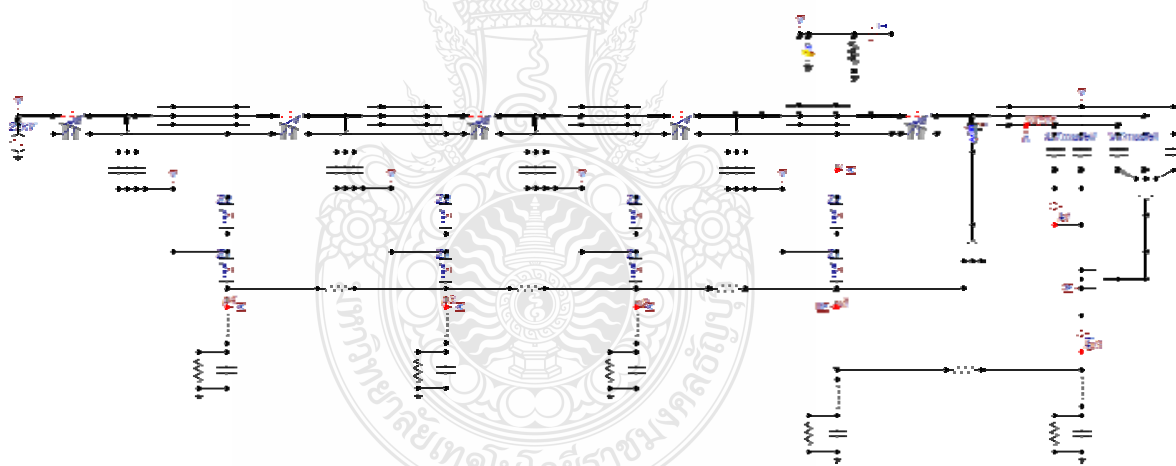
ในการวิเคราะห์ผลจากแรงดันเกินอันเนื่องมาจากฟ้าผ่าโดยใช้โปรแกรม ATP-EMTP จะต้องมีการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง โดยการจำลองอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังต่าง ๆ ในระบบ เช่น เสาคอนกรีต สาย ลูกถ้วย หม้อแปลงกระแส (CT) หม้อแปลงแรงดัน (VT) รากสายดิน กับดักฟ้าผ่า แหล่งจ่ายระบบ และแหล่งจ่ายฟ้าผ่า มาเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในโปรแกรม ATP-EMTP ระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการจำลองแสดงดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ระบบไฟฟ้ากำลังระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์

ระบบไฟฟ้ากำลังระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์ ข้างต้นสามารถแปลงเป็นวงจรสมมูลดังภาพ

ที่ 3.6 ภาพขยายแสดงในภาคผนวก ก



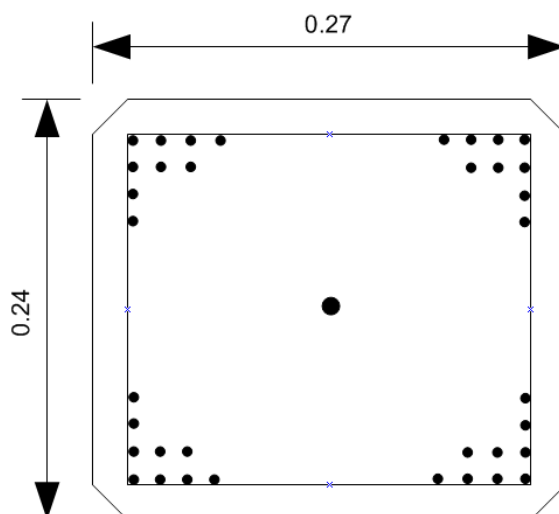
ภาพที่ 3.6 วงจรสมมูลระบบไฟฟ้ากำลังระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์

การสร้างแบบจำลองอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบไฟฟ้ากำลังระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์ ที่นำมาใช้ในการจำลองระบบไฟฟ้ากำลังมีดังนี้

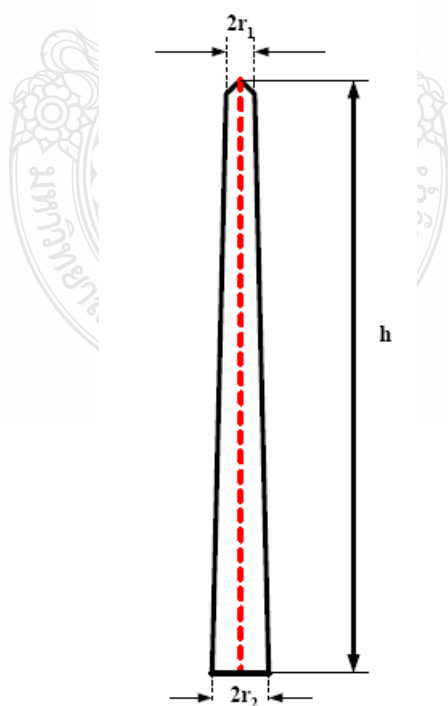
3.3.1 แบบจำลองเสาไฟฟ้าคอนกรีต

เสาไฟฟ้าคอนกรีตที่ใช้ในระบบ 22 กิโลโวลต์ เป็นเสาคอนกรีตขนาดความสูง 12 เมตร ที่มีลักษณะ โคนเสาใหญ่และเรียวเล็กที่ยอดเสามีตัวนำลงดินฝังอยู่ตรงกลางจากยอดเสาลงมาถึงโคนเสา

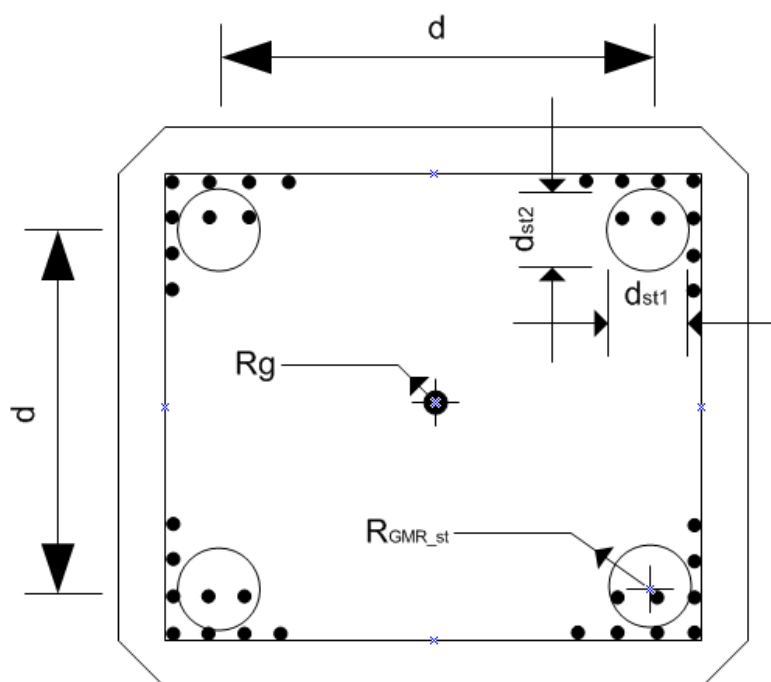
และมีเหล็กเสริมแรงภายในเสาอยู่ที่มุมเสาทั้งสี่ด้าน โดยมีการจัดเรียงตัวนำลงดิน และเหล็กเสริมแรงภายในเสาดังแสดงในภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 การจัดวางสายดิน และเหล็กเสริมแรงภายในเสาไฟฟ้าคอนกรีต



ภาพที่ 3.8 เสาไฟฟ้าคอนกรีตที่ใช้ในการคำนวณ



ภาพที่ 3.9 ภาพตัดขวางเสาไฟฟ้าคอนกรีต

ในการคำนวณหาค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาไฟฟ้าคอนกรีต มีลำดับขั้นตอนในการคำนวณ ดังนี้ [6]

- 1) เสาไฟฟ้าคอนกรีต ดังภาพที่ 3.8 สามารถแทนด้วยเสารูปทรงกระบอกที่มีรัศมีเฉลี่ย

$$R_{\text{pole}} = \frac{r_1 + r_2}{2} \quad (3.1)$$

- 2) เมื่อตัวนำลงดินและเหล็กเสริมแรงมีการจัดเรียงดังแสดงในภาพที่ 3.9 เราสามารถหารัศมีเฉลี่ยทางเรขาคณิตระหว่างตัวนำลงดินกับเหล็กเสริมแรงภายในเสาได้ เมื่อเหล็กเสริมแต่ละเส้นมีรัศมีเท่ากับ r_{st} จัดวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีระยะตามความยาว d_{st1} และระยะตามความกว้าง d_{st2} เพราะฉะนั้นรัศมีเฉลี่ยของเหล็กเสริมแรง $r_{GMR,st}$ เป็นไปตามสมการที่ 3.2

$$r_{GMR,st} = \sqrt[4]{r_{st} d_{st1} d_{st2} \sqrt{(d_{st1}^2 + d_{st2}^2)}} \quad (3.2)$$

3) หารัศมีเฉลี่ยทางเรขาคณิตระหว่างตัวนำลงดินกับเหล็กเสริมแรง เมื่อตัวนำลงดินมีรัศมี r_g และเหล็กเสริมแรงมีรัศมีเฉลี่ยทางเรขาคณิต $r_{GMR,st}$ ดังนั้นรัศมีเฉลี่ยระหว่างตัวนำลงดินกับเหล็กเสริมแรง R_{GMR} เป็นไปตามสมการที่ 3.3

$$R_{GMR} = \sqrt[5]{(r_g)^{1/5}(r_{GMR,st})^{1/5}d^4/4^{1/5}} \quad (3.3)$$

4) ความหนาของคอนกรีตเป็นไปตามสมการที่ 3.4

$$R = R_{pole} - R_{GMR} \quad (3.4)$$

5) สามารถคำนวณค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาไฟฟ้าคอนกรีตได้จากสมการที่ 3.5

$$Z_{pole} = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r - j\sigma/(\epsilon_0\omega)}} \ln\left(\frac{h + \sqrt{h^2 + R^2}}{R}\right) \quad (3.5)$$

ค่าในการคำนวณหาค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาคอนกรีตขนาด 12 เมตร ความถี่ 25 kHz และ 50 kHz แสดงในตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 ค่าในการคำนวณหาค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาคอนกรีตขนาด 12 เมตร ความถี่ 25 kHz

f (kHz)	ϵ_r	ϵ_0	σ (s/m)	h (m)	r_1 (m)	r_2 (m)	r_g (m)
25	9.25	8.854×10^{-12}	4.63×10^{-6}	12	0.09	0.135	0.0028
R_{pole} (m)	$R_{GMR,st}$ (m)	R(m)	R_{GMR} (m)	r_{st} (m)	d(m)	d_{st1} (m)	d_{st2} (m)
0.113	0.0152	0.103	0.01	0.0014	0.14	0.03	0.03

ตารางที่ 3.2 ค่าในการคำนวณหาค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาคอนกรีตขนาด 12 เมตร ความถี่ 50 kHz

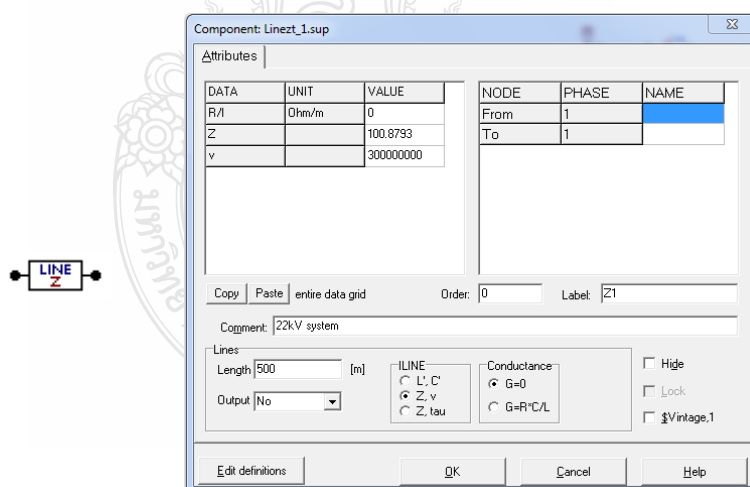
f (kHz)	ϵ_r	ϵ_0	σ (s/m)	h (m)	r_1 (m)	r_2 (m)	r_g (m)
50	8.17	8.854×10^{-12}	6.87×10^{-6}	12	0.09	0.135	0.0028
R_{pole} (m)	$R_{GMR,st}$ (m)	R(m)	R_{GMR} (m)	r_{st} (m)	d(m)	d_{st1} (m)	d_{st2} (m)
0.113	0.0152	0.103	0.01	0.0014	0.14	0.03	0.03

ตามมาตรฐานของ กฟภ. กำหนดให้ใช้เสาคอนกรีตที่มีความสูง 12 เมตร สายล่อฟ้าจะทำการต่อลงดินโดยผ่านสายตัวนำลงดินที่ฝังในเสาคอนกรีตทุกต้นของเสาลงไปยังระบบรากสายดินซึ่งตัวนำลงดินจะเป็นแบบกลีบมะเฟือง มีความยาว 2 เมตร ค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาคอนกรีตขนาด 12 เมตร ที่ได้จากคำนวณตามสมการ มีค่าดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาคอนกรีตขนาด 12 เมตร

ความถี่ (kHz)	ค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์(โอห์ม)
25	101
50	105

การสร้างแบบจำลองเสาคอนกรีตขนาด 12 เมตร ในโปรแกรม ATP-EMTP จะเลือกใช้แบบจำลองของเสาเป็นพารามิเตอร์สายแบบกระจาย (ATP Line Distributed) โดยป้อนค่าพารามิเตอร์ดังแสดงในภาพที่ 3.10

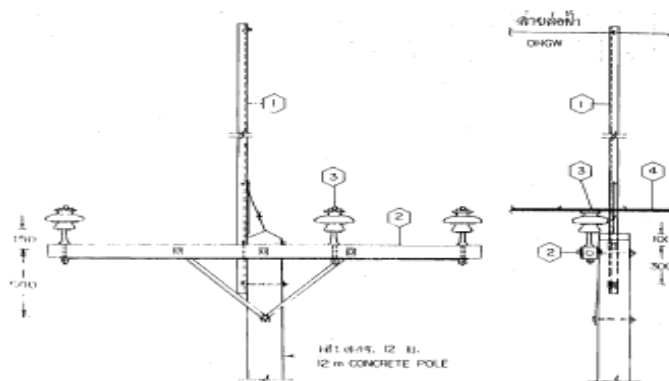


ภาพที่ 3.10 แบบจำลองเสาในโปรแกรม ATP-EMTP

3.3.2 แบบจำลองสายไฟฟ้า

ในการวิเคราะห์ได้ทำการพิจารณาระบบ 22 กิโลโวลต์ โดยมีการจัดวางสายในแนวราบวางเรียงตัวบนคอนเส้า โดยใช้สายตัวนำทั้ง 3 เฟส ชนิด All Aluminium ขนาด 185 มม.² โดยมี

สายล่อฟ้า 1 เส้น ชนิดลวดเหล็กตีเกลียวขนาด 35 มม.² อยู่บนสุด และมีระยะห่างระหว่างเสา 40 เมตร
รูปแบบการจัดวางสายดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 การจัดวางสายโครงสร้างระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ ของ กฟภ. [19]

ข้อมูลตัวแปรที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองสายไฟฟ้า สามารถสรุปข้อมูลได้ดังตาราง
ที่ 3.4 และตารางที่ 3.5

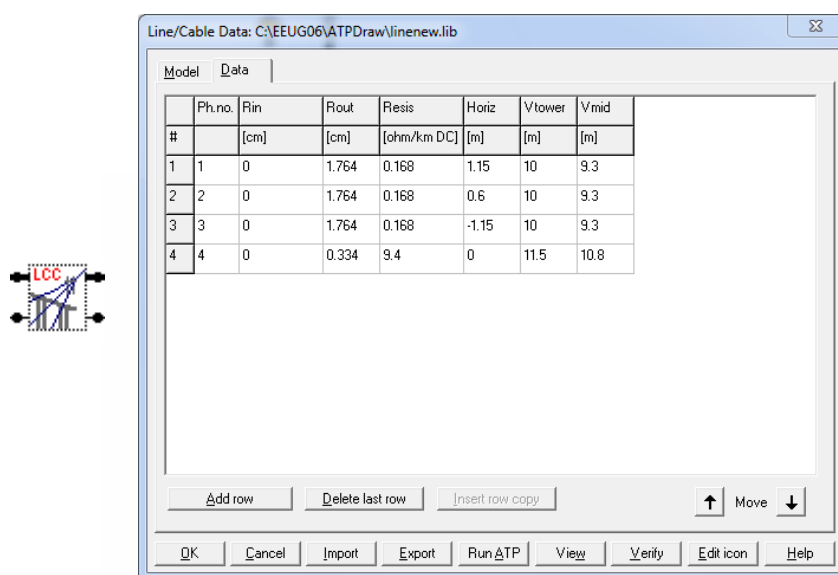
ตารางที่ 3.4 สรุปข้อมูลตัวแปรที่ใช้สร้างแบบจำลองสาย

ชนิด	ขนาด (mm ²)	จำนวนเส้น ลวด	เส้นผ่าศูนย์กลาง (mm)	ความต้านทานกระแสตรง (Ω /km DC)
สายดินชิงอากาศ	35	7	6.675	9.4
สายตัวนำ 22 kV	185	37	1.764	0.168

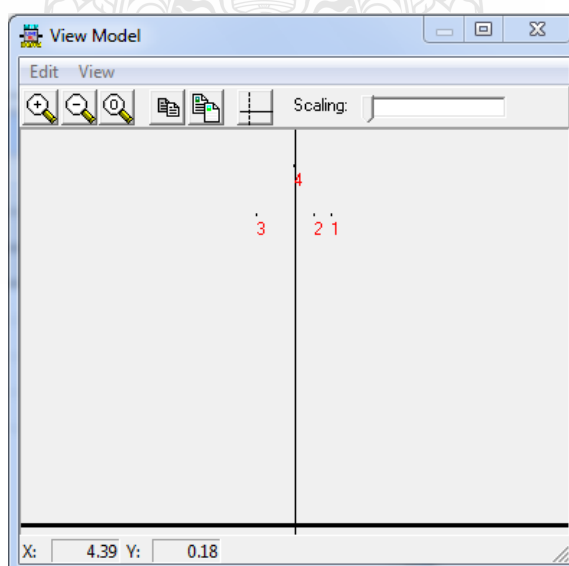
ตารางที่ 3.5 ตำแหน่งการจัดวางสาย

สาย	ความสูงจากพื้นดิน (m)	ระยะห่างระหว่างเฟสโดยมี เสาไฟฟ้าเป็นจุดอ้างอิง (m)
เฟส A	10.2	1.15
เฟส B	10.2	0.4
เฟส C	10.2	-1.15
สายดินชิงอากาศ	11.5	0

ในการสร้างแบบจำลองสายไฟฟ้าในโปรแกรม ATP-EMTP ซึ่งในการศึกษาเลือกใช้แบบจำลองแบบ J. Marti ซึ่งเป็นสายความสูญเสียต่ำที่ความถี่สูง สามารถแทนอุปกรณ์โดยใช้ ATP Line Constant (ATP LCC) สร้างแบบจำลองสาย ดังแสดงในภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 การใส่ข้อมูลแบบจำลองสาย



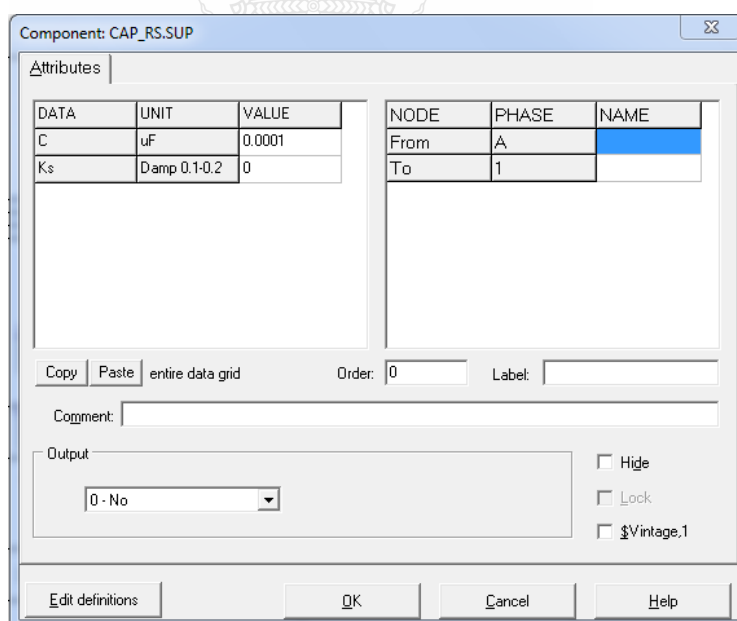
ภาพที่ 3.13 รูปแบบการจัดวางสายที่ได้จากการป้อนข้อมูลสร้างแบบจำลอง

3.3.3 แบบจำลองลูกถ้วย

มาตรฐานการก่อสร้างระบบจำหน่ายระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์ ของ กฟภ. กำหนดให้ใช้ลูกถ้วยก้านตรงหมายเลข 56-2 ตามมาตรฐาน มอก.279 ดังแสดงในภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.14 ลักษณะลูกถ้วยที่ กฟภ.ใช้งานในระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์



ภาพที่ 3.15 การสร้างแบบจำลองลูกถ้วยโดยใช้คาปาซิเตอร์

ในการศึกษาการแพร่กระจายของคลื่นค่าความจุไฟฟ้าของอุปกรณ์ในระบบมีผลต่อรูปร่างของคลื่น โดยเฉพาะคลื่นที่มีเวลาหน้าคลื่นที่เร็วมาก ค่าความจุไฟฟ้าของลูกถ้วยแสดงดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ค่าความจุไฟฟ้าของลูกถ้วยต่อหนึ่งลูกที่ กฟภ. ใช้งาน

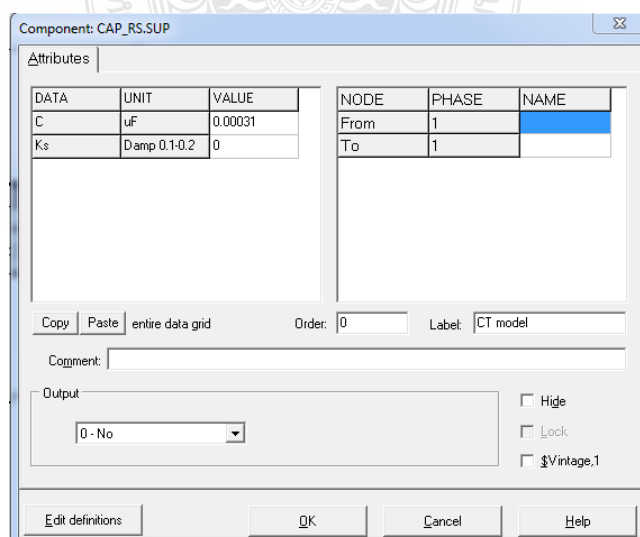
ชนิดลูกถ้วย	ค่าความจุไฟฟ้า
Suspension Insulator (/Unit)	10 pF
Pin type Insulator (/Unit)	100 pF

ในการสร้างแบบจำลองลูกถ้วยลงในโปรแกรม ATP-EMTP สามารถแทนอุปกรณ์โดยใช้คาปาซิเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 3.15

3.3.4 แบบจำลองหม้อแปลงกระแส และหม้อแปลงแรงดัน

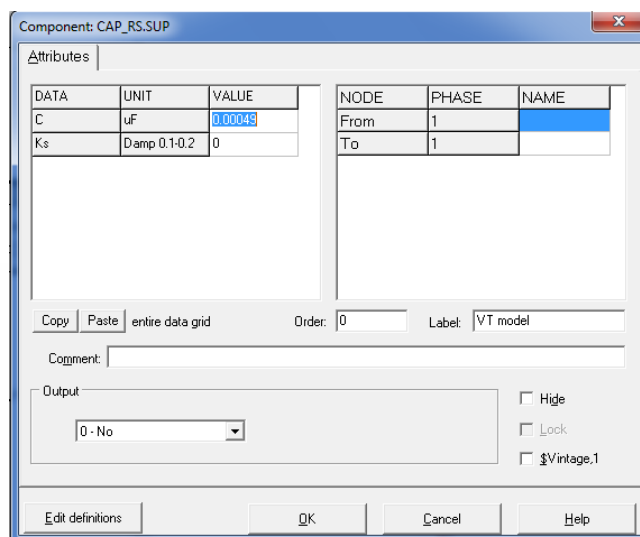
หม้อแปลงมีคุณสมบัติในการกรอง และส่งผ่านความถี่ ในกรณีที่ความถี่ต่ำค่าของอินดักแตนซ์มีความสำคัญในการสร้างแบบจำลอง และในกรณีที่ความถี่สูงค่าคาปาซิแตนซ์ จะนำมาสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการส่งผ่านแรงดันเสิร์จสำหรับหม้อแปลงเครื่องวัด ในการศึกษาของ IEEE Working Group โดยทำการศึกษาเพื่อหาค่าคาปาซิแตนซ์ของหม้อแปลงเครื่องวัดทั้ง หม้อแปลงแรงดัน และหม้อแปลงกระแส

ค่าคาปาซิแตนซ์ที่ใช้อ้างอิงตาม BIL (Basic Impulse Insulation Level) ที่ระดับแรงดันระบบ 22 กิโลโวลต์ คือ 125 กิโลโวลต์ ซึ่งในการศึกษาของ IEEE Working Group ได้กำหนดค่าไว้ที่ BIL (Basic Impulse Insulation Level) 138 กิโลโวลต์ ค่าคาปาซิแตนซ์สำหรับหม้อแปลงแรงดันสำหรับเครื่องวัดคือ 490-550 pF และค่าคาปาซิแตนซ์สำหรับหม้อแปลงกระแสคือ 210 – 320 pF



ภาพที่ 3.16 แบบจำลองแทนหม้อแปลงกระแส

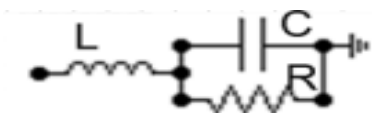
ในการสร้างแบบจำลองหม้อแปลงกระแส และหม้อแปลงแรงดันนั้น สามารถแทนอุปกรณ์ลงในโปรแกรม ATP-EMTP ด้วยคาปาซิเตอร์ ดังภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.17 แบบจำลองแทนหม้อแปลงแรงดันสำหรับเครื่องวัด

3.3.5 แบบจำลองรากสายดิน และความต้านทานดินอิมพัลส์

เนื่องจากค่าความต้านทานดินขึ้นกับชนิด และลักษณะของดินเป็นหลัก และในการปฏิบัติภาคสนามมีความไม่แน่นอนของลักษณะดินขึ้นอยู่กับพื้นที่ ดังนั้นในการศึกษาโดยโปรแกรม ATP-EMTP จึงทำการแปรผันค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ตั้งแต่ 5 – 25 โอห์ม ตามมาตรฐานการติดตั้งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยค่าเหล่านี้ถือเป็นค่าความต้านทานอิมพัลส์ วงจรสมมูลของความต้านทานดินอิมพัลส์ แสดงดังภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.18 วงจรสมมูลความต้านทานดินอิมพัลส์

โดยแบ่งตัวนำลงดินสามารถหาค่าคาปาซิแตนซ์ ได้จากสมการที่ 3.6

$$C = \frac{\epsilon_r l}{18 \ln(4l/d)} \times 10^{-9} \quad (3.6)$$

เมื่อ ϵ_r = relative permittivity ของดิน ($\epsilon_r = 10$)

และสามารถหาค่าอินดักแตนซ์ได้จากสมการที่ 3.7

$$L = 2l \ln\left(\frac{4l}{d}\right) \times 10^{-7} \quad (3.7)$$

ค่าคาปาซิแตนซ์ และอินดักแตนซ์แปรผันตามลักษณะของตัวนำลงดินเป็นสิ่งสำคัญ ตัวนำลงดินที่ใช้ในระบบ 22 กิโลโวลต์ และระบบมิเตอร์โดยแบ่งได้ดังตารางที่ 3.7

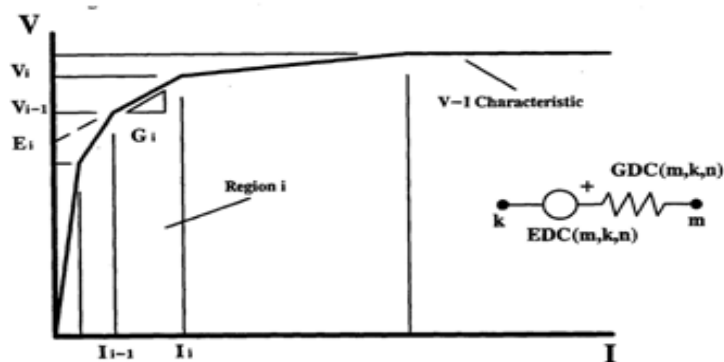
ตารางที่ 3.7 ตัวนำลงดินที่ใช้ในระบบ 22 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ระบบ	ชนิด	ขนาด (mm)	ความยาว (m)	ค่าคาปาซิแตนซ์	ค่าอินดักแตนซ์
ระบบ 22 kV	กลีบมะเฟือง	60 x 60 x 5	2	227 pF	1.957 uH
ระบบมิเตอร์ AMR	แท่งกลม	Ø15.874	2	208.4 pF	3.07 uH

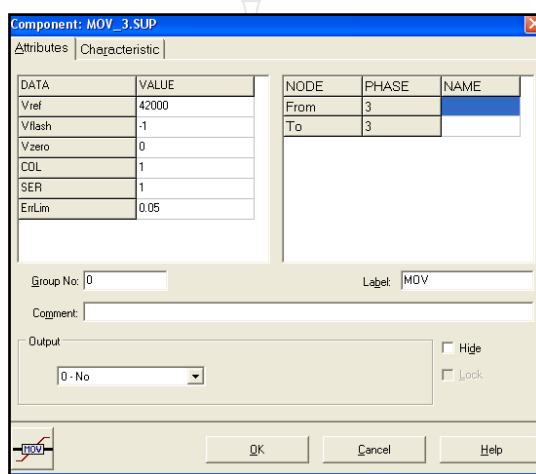
3.3.6 แบบจำลองกับดักเสิร์จฟ้าผ่า

การแทนค่าพารามิเตอร์ของกับดักเสิร์จ โดยปกติกับดักเสิร์จที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคใช้งานในระบบ 22 กิโลโวลต์ ส่วนใหญ่จะใช้กับดักเสิร์จชนิดไม่มีแก๊สเมทัลออกไซด์ (Gapless Metal Oxide Arrester)

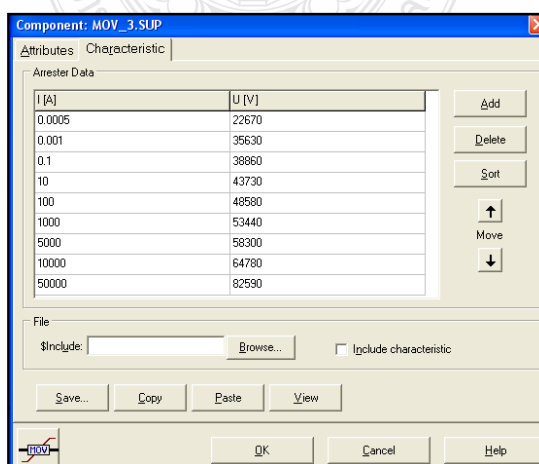
กับดักเสิร์จชนิดไม่มีแก๊สเมทัลออกไซด์ ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อทำการศึกษาในเรื่องของแรงดันเกินชั่วคราวจะแตกต่างกันไปตามความชันของหน้าคลื่นแรงดันเกินที่ศึกษา สำหรับการศึกษาระดับแรงดันเกินนั้น สามารถสร้างแบบจำลองของกับดักเสิร์จอย่างง่าย ๆ ได้โดยคิดเป็นความต้านทานเชิงเส้นแบบเป็นช่วง ค่าความต้านทานของกับดักเสิร์จจะมีลักษณะแปรเปลี่ยนไปในลักษณะเชิงเส้นเป็นช่วงๆ โดยในแต่ละช่วงก็จะมีค่าความชันที่แตกต่างกันไปตามลักษณะสมบัติของกับดักเสิร์จ ซึ่งจะกำหนดด้วยกราฟคุณสมบัติของแรงดันและกระแส (VI Characteristic) ของกับดักเสิร์จ โดยป้อนค่ากระแส และแรงดัน เป็นแอมแปร์ และโวลต์ ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 3.19



ภาพที่ 3.19 กราฟคุณสมบัติกระแส และแรงดันของกับดักเล็รจ [7]



ภาพที่ 3.20 การกำหนดค่าตัวแปรของกับดักเล็รจแบบไม่มีเก็บใน ATPDraw

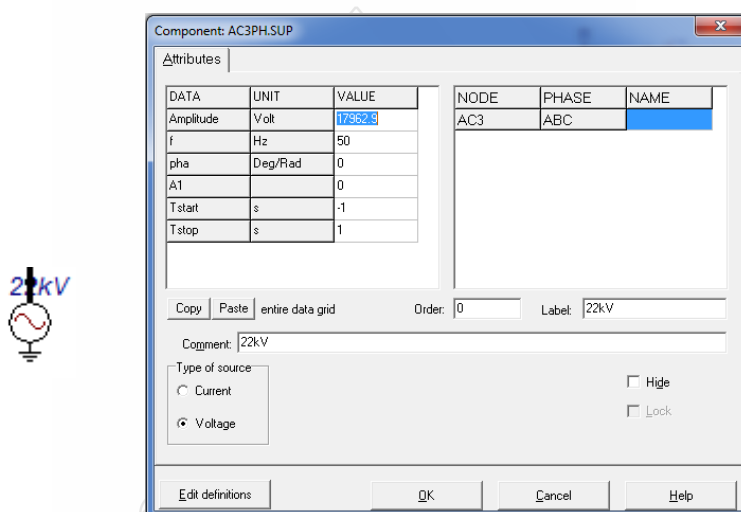


ภาพที่ 3.21 การกำหนดค่าคุณสมบัติกระแส และแรงดันของกับดักเล็รจแบบไม่มีเก็บ

3.3.7 แบบจำลองแหล่งจ่ายระบบ

แรงดันในระบบจำหน่ายแรงสูงของ กฟภ. แบ่งเป็นมีระดับแรงดัน 11 กิโลโวลต์, แรงดัน 22 กิโลโวลต์ และ 33 กิโลโวลต์ งานวิจัยชิ้นนี้ได้กำหนดการจำลองแหล่งจ่ายของระบบที่แรงดัน 22 กิโลโวลต์ เนื่องจากมีความยาวในระบบจำหน่าย คิดเป็น 84.42% ของระบบจำหน่ายของ กฟภ.

แบบจำลองแหล่งจ่ายระบบ 22 กิโลโวลต์ สามารถจำลองในโปรแกรม ATP-EMTP ได้ โดยใช้ Sources AC 3- ph ดังแสดงในภาพที่ 3.22



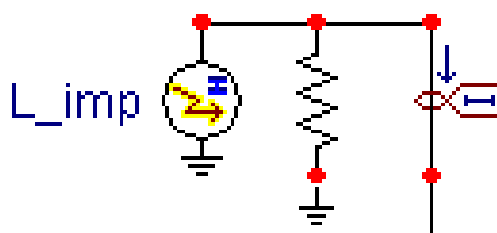
ภาพที่ 3.22 แบบจำลองแหล่งจ่ายระบบ 22 กิโลโวลต์

เป็นแหล่งจ่ายแรงดันแบบอุดมคติ ขนาด 22 kV, 50 Hz โดยกำหนดให้

$$1 \text{ p.u.} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times 22,000 = 17,962.92 \text{ V}$$

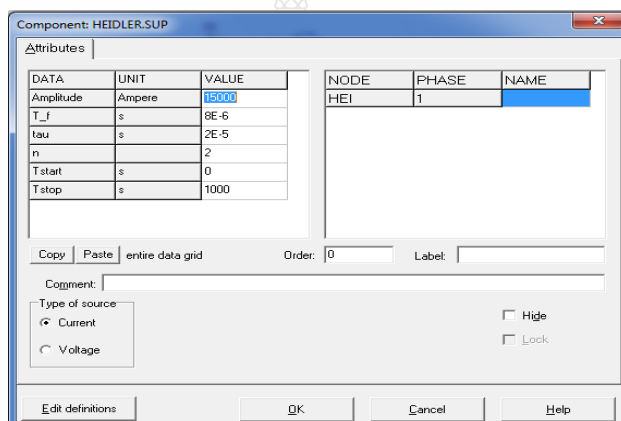
3.3.8 แบบจำลองกระแสฟ้าผ่า

การสร้างแบบจำลองของกระแสฟ้าผ่า หรือกระแสอิมพัลส์ สามารถแสดงได้หลายแบบ แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้แบบจำลองของ HEIDLER รูปคลื่นกระแสฟ้าผ่าตามโมเดลของ HEIDLER แสดงได้ดังภาพที่ 3.23

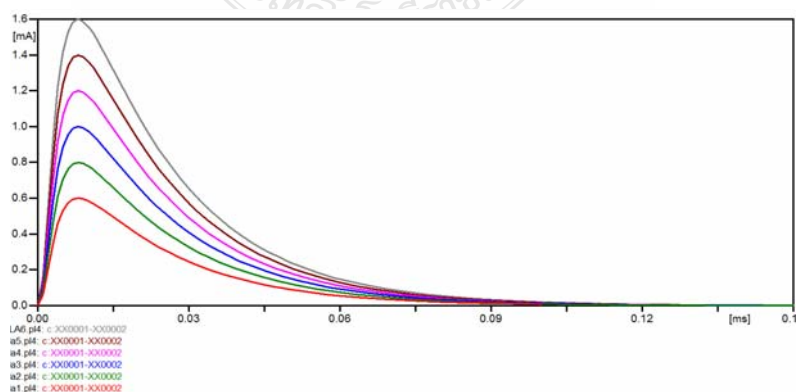


ภาพที่ 3.23 แบบจำลองกระแสฟ้าผ่าของ HEIDLER

โดยที่ค่าอิมพีแดนซ์ของช่องทางฟ้าผ่า (Lightning Path) สามารถแสดงได้โดยใช้ความต้านทานต่อขนานกับแหล่งจ่ายกระแสอิมพัลส์ ซึ่ง Bewley ได้เสนอแนะว่าค่าความต้านทานที่เหมาะสมคือ 400 ohms [4]



ภาพที่ 3.24 หน้าต่างค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองกระแสฟ้าผ่า ของ HEIDLER



ภาพที่ 3.25 รูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า 8/20 μ S ตามแบบจำลองของ HEIDLER ขนาด 15-40 kA

3.4 แนวทางการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าเกินที่จุดต่อลงดินของมิเตอร์จากการจำลองแบบด้วยโปรแกรม

ATP-EMTP

ผู้วิจัยได้กำหนดการศึกษาและการวิเคราะห์ค่าแรงดันไฟฟ้าเกินที่จุดต่อลงดินของมิเตอร์ โดยวิธีการจำลองแบบด้วยโปรแกรม ATP-EMTP จากประเด็นต่างๆ โดยแบ่งออกเป็น 5 กรณี ดังนี้

1. ขนาดกระแสฟ้าผ่ามีค่าแตกต่างกันตั้งแต่ 15-40 กิโลแอมแปร์
2. ระยะห่างระหว่างตำแหน่งฟ้าผ่าลงหัวเสาสายดินซึ่งอากาศที่ไกลออกไปจากเสาที่ติดตั้งมิเตอร์ (มิเตอร์ติดตั้งที่เสาต้นปลายหรือ Dead End) ตั้งแต่ช่วง 1-7 ต้น
3. ศึกษาระยะห่างที่เปลี่ยนแปลงของเสาที่ใกล้ที่สุดที่ติดตั้งสายดินซึ่งอากาศที่ฟ้าผ่าลงถึงตำแหน่งเสาที่ติดตั้งมิเตอร์
4. ศึกษาผลกระทบกรณีที่ค่าความต้านทานการต่อลงดินของเสาต้นที่ติดตั้งมิเตอร์มีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐาน
5. เส้นทางการไหลของกระแสฟ้าผ่าที่ผ่านจุดต่อลงดินของมิเตอร์

3.5 สรุปเสนอแนวทาง วิธีแก้ไขหรือวิธีลดปัญหาจากการวิเคราะห์

เมื่อได้ผลการจำลองแรงดันไฟฟ้าเกินที่จุดติดตั้งมิเตอร์จากการจำลองแบบในโปรแกรมแล้ว จึงนำมาทำการศึกษวิเคราะห์โดยการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์รากสายดิน และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อเสนอแนวทางในการแก้ปัญหา รวมถึงวิธีป้องกันที่เหมาะสมต่อไป และเมื่อสิ้นสุดการวิจัยแล้ว จึงนำข้อมูลที่ได้มาสรุปจัดทำเป็นคู่มือวิทยานิพนธ์ต่อไป

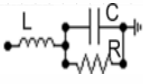
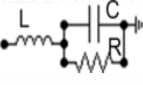
3.6 สรุปผลวิธีการดำเนินการวิจัย

แบบจำลองแทนอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้าระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์ สามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ได้ดังตารางที่ 3.8 โดยมีแนวทางการวิเคราะห์ดังข้อที่ 3.4

ตารางที่ 3.8 สรุปค่าพารามิเตอร์อุปกรณ์ต่างๆ ในระบบไฟฟ้าระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์

Equipments	EMTP Model	Parameters
Line	LCC (J Marti)	AAC 185 mm ² for phase conductor R of phase conductor= 0.161 ohm/km Strand steel 35 mm ² for OHGW R of OHGW = 9.4 ohm/km Span 40 m [18]

ตารางที่ 3.8 สรุปลค่าพารามิเตอร์อุปกรณ์ต่างๆ ในระบบไฟฟ้าระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์ (ต่อ)

Equipments	EMTP Model	Parameters
Pole	LineZT_1	105 ohm at pole height of 12 m [7]
Pin type Insulator	C	100 pF (Unit) [5],[6]
Instrument Transformer	C	Line-Line Capacitance 490 pF (VT) 310 pF (CT) [6],[17]
Grounding of Meter Pole		R = 5 ohm , L = 3.07 uH C = 208.4 pF [16]
Grounding of Pole No.1-7		R = 10 ohm L = 1.957 uH C = 227 pF [16]
Lightning Arrester	MOV	10 kA 24-26 kV [13]
Lightning Source	Heilder	15, 20, 25, 30, 35, 40 kA 8/20uS [13]
22 kV Source	AC3PH	17.96 kV 50 Hz [13]

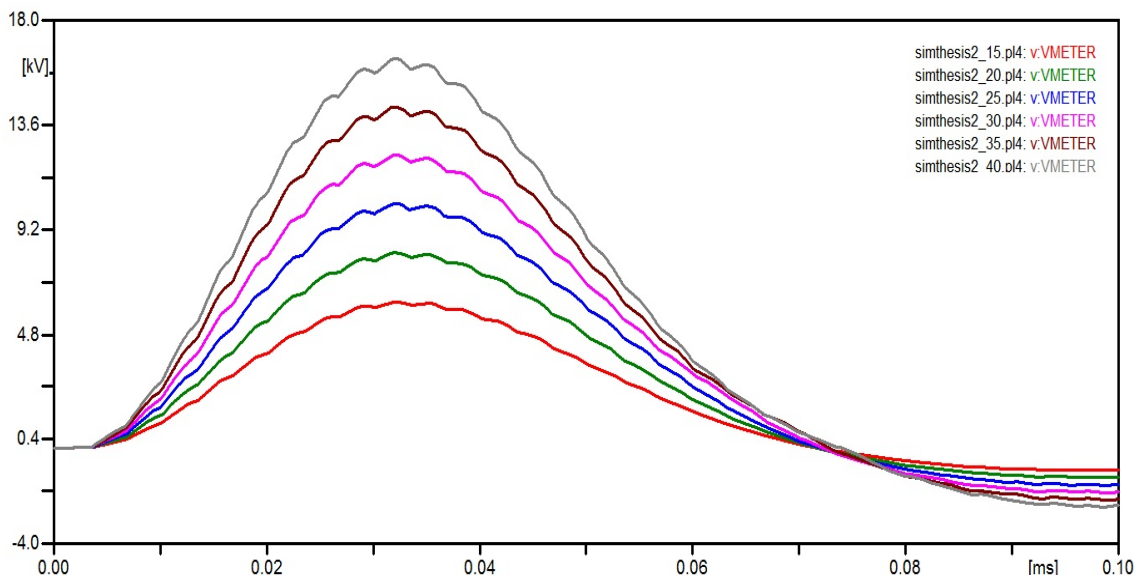
บทที่ 4

ผลการศึกษาและจำลองด้วยโปรแกรม ATP-EMTP

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสาเหตุที่ทำให้มิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ (Automatic Meter Reading, AMR) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เสียหาย จากการวิเคราะห์เบื้องต้นทางกายภาพ แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเกิดจากระบบการต่อลงดิน เนื่องจากการชำรุดส่วนใหญ่สายคอนโทรลเชื่อมต่อจากหม้อแปลงเครื่องวัดไม่มีการไหม้หรือชำรุดจากแรงดันเกินซึ่งในการวิเคราะห์จะมุ่งเน้นไปในแนวทางจากสาเหตุการเกิดฟ้าผ่าลงสายดินป้องกัน ผลการวิจัยในหัวข้อตามสมมติฐานมีรายละเอียดนำเสนอได้ดังต่อไปนี้

4.1 ขนาดกระแสฟ้าผ่ามีค่าแตกต่างกันตั้งแต่ 15-40 กิโลแอมแปร์

กำหนดค่ากระแสฟ้าผ่าตั้งแต่ 15-40 กิโลแอมแปร์ โดยกำหนดระยะห่างระหว่างเสาจุดติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติอยู่ห่างจากเสาต้นสุดท้าย 3 เมตร ค่าความต้านทานดินของระบบและมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติเป็นไปตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค รายละเอียดที่จำลองได้ ดังภาพที่ 4.1

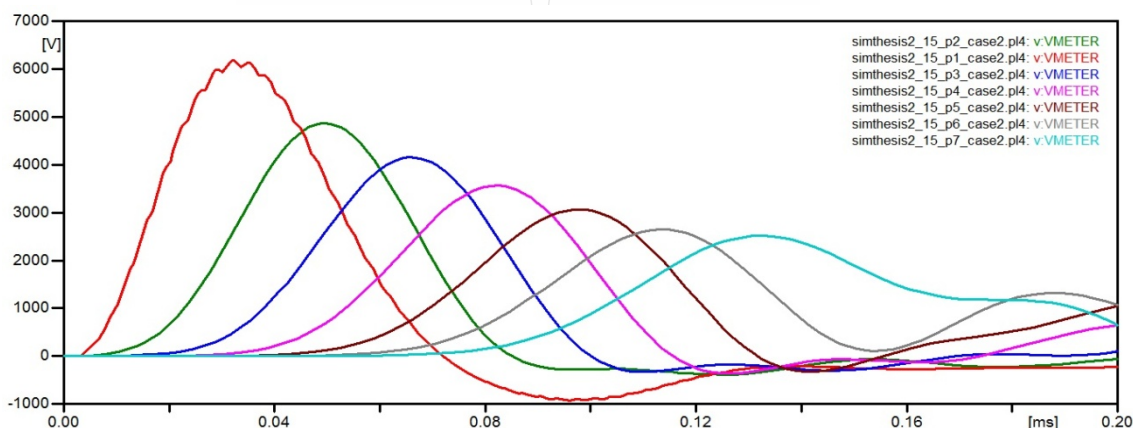


ภาพที่ 4.1 ค่าแรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ ที่การจำลองค่ากระแสฟ้าผ่า 15-40 kA

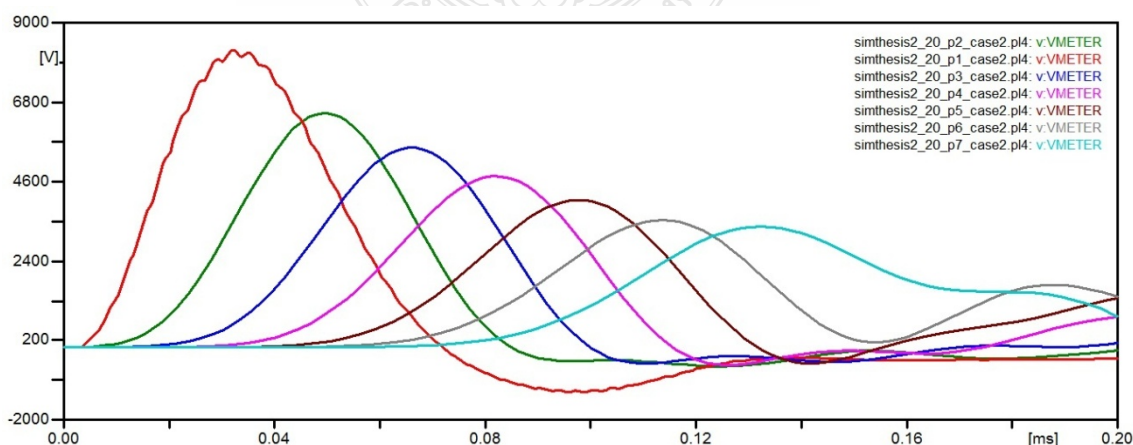
เมื่อกระแสฟ้าผ่ามีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 15-40 กิโลแอมแปร์ จะทำให้เกิดแรงดันที่จุดต่อลงดิน ณ ตำแหน่งติดตั้งมิเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

4.2 ระยะห่างระหว่างตำแหน่งฟ้าผ่าลงหัวเสาสายดินซึ่งอากาศที่ไกลออกไปจากเสาที่ติดตั้งมิเตอร์

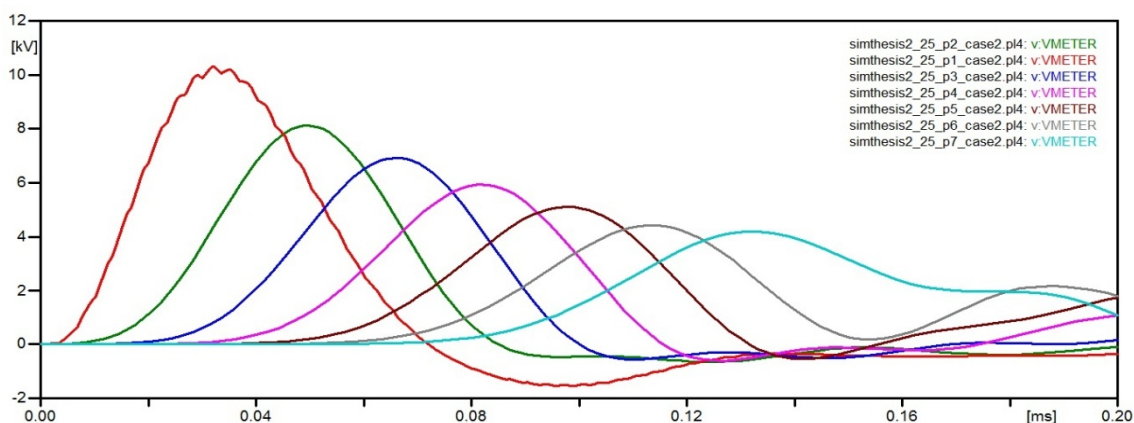
กำหนดค่ากระแสฟ้าผ่าตั้งแต่ 15-40 กิโลแอมแปร์ โดยกำหนดระยะห่างระหว่างเสาจุดติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติอยู่ห่างจากเสาด้านสุดท้าย 3 เมตร ค่าความต้านทานดินของระบบและมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติเป็นไปตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยให้จำลองการเกิดฟ้าผ่าลงบนตั้งแต่เสาด้านช่วงต้นที่ 1 ถัดไปจนถึงต้นที่ 7 ผลที่ได้จากการจำลองกระแสฟ้าผ่า 15-40 กิโลแอมแปร์ ดังภาพที่ 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 และ 4.7 ตามลำดับ



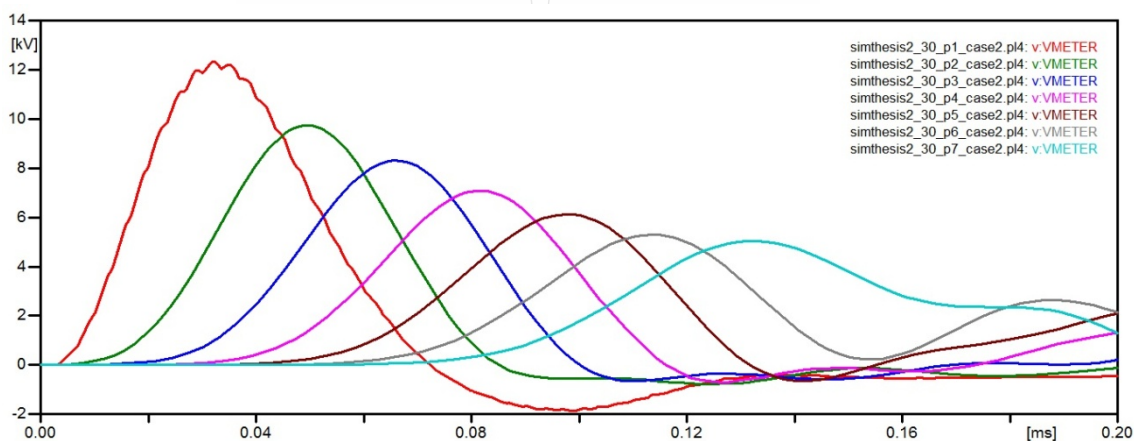
ภาพที่ 4.2 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อฟ้าผ่าลงหัวเสาต้นที่ 1-7 ที่กระแสฟ้าผ่า 15 กิโลแอมแปร์



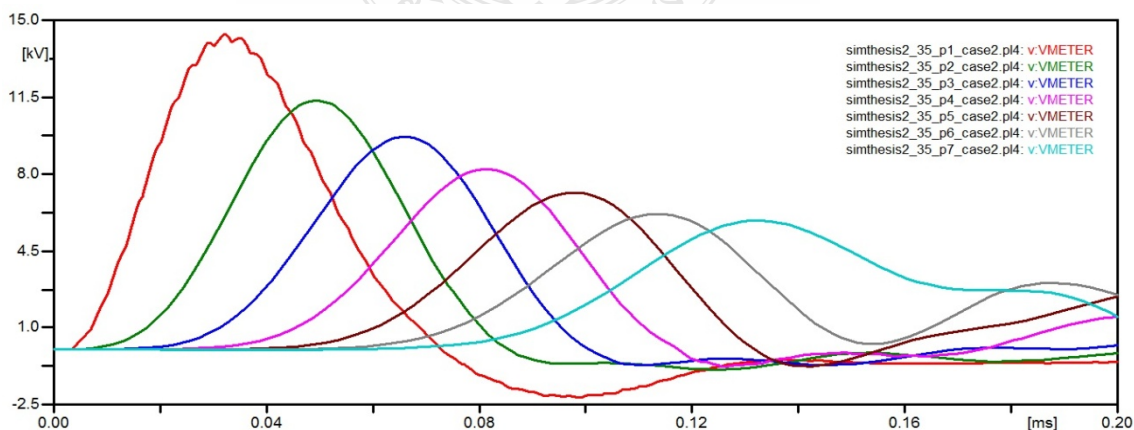
ภาพที่ 4.3 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อฟ้าผ่าลงหัวเสาต้นที่ 1-7 ที่กระแสฟ้าผ่า 20 กิโลแอมแปร์



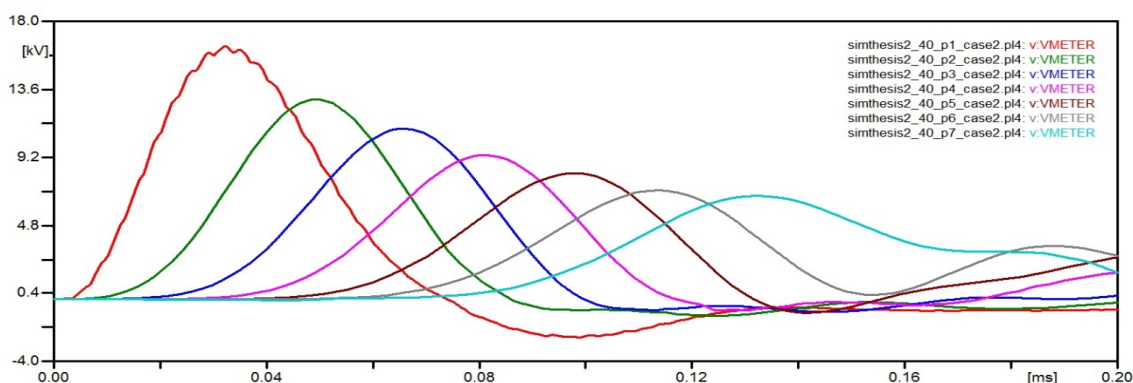
ภาพที่ 4.4 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อฟ้าผ่าลงหัวเสาต้นที่ 1-7 ที่กระแสฟ้าผ่า 25 กิโลแอมแปร์



ภาพที่ 4.5 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อฟ้าผ่าลงหัวเสาต้นที่ 1-7 ที่กระแสฟ้าผ่า 30 กิโลแอมแปร์



ภาพที่ 4.6 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อฟ้าผ่าลงหัวเสาต้นที่ 1-7 ที่กระแสฟ้าผ่า 35 กิโลแอมแปร์

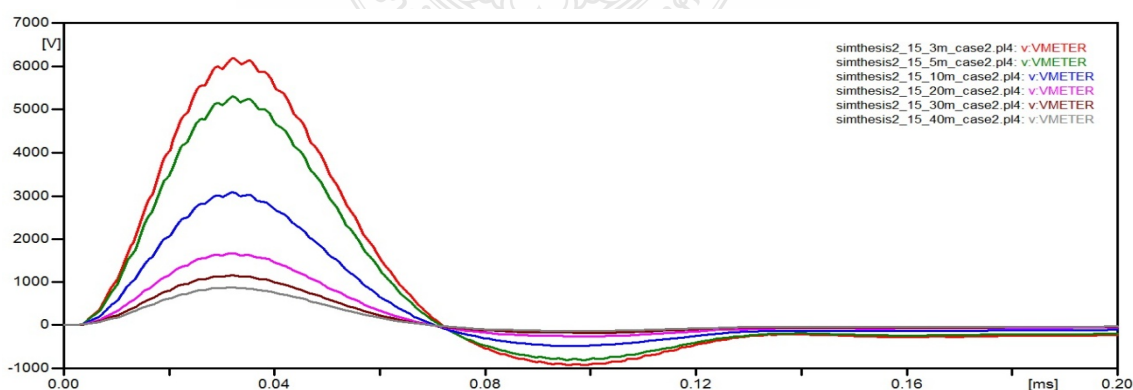


ภาพที่ 4.7 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อฟ้าผ่าลงหัวเสาต้นที่ 1-7 ที่กระแสฟ้าผ่า 40 กิโลแอมแปร์

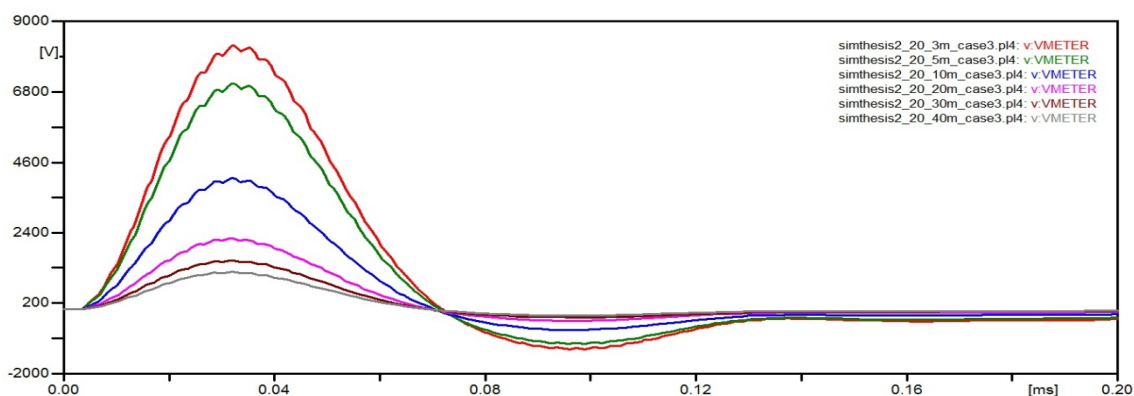
เมื่อระยะห่างระหว่างตำแหน่งฟ้าผ่าลงหัวเสาสายดินจึงอากาศยิ่งไกลออกไปจากเสาที่ติดตั้งมิเตอร์ ความรุนแรงของแรงดันที่จุดต่อลงดิน ณ ตำแหน่งติดตั้งมิเตอร์จะมีค่าลดลง (จำลองฟ้าผ่าหัวเสาต้นที่ 1-7 ที่ระยะห่างตั้งแต่ 3-243 เมตร และกำหนดให้ขนาดกระแสฟ้าผ่าคงที่)

4.3 ศึกษาระยะห่างที่เปลี่ยนแปลงของเสาที่ใกล้ที่สุดที่ติดตั้งสายดินซึ่งอากาศที่ฟ้าผ่าลงถึงตำแหน่งเสาที่ติดตั้งมิเตอร์

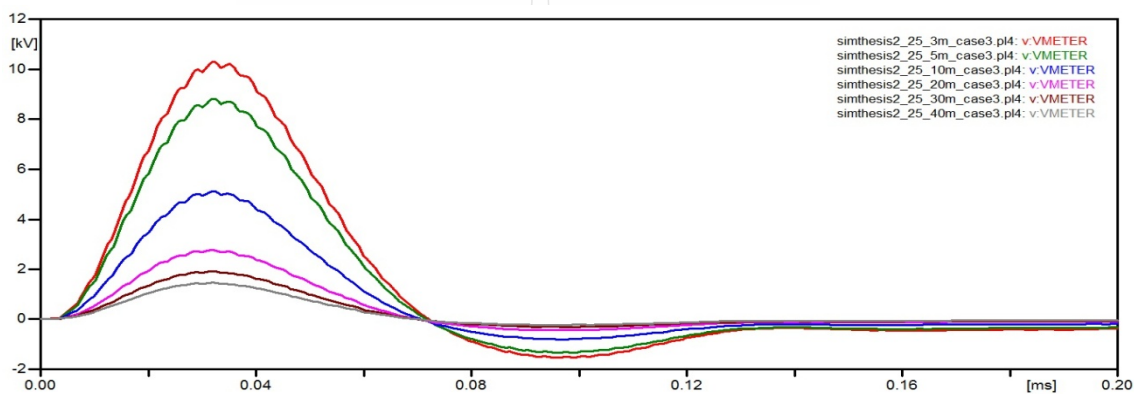
กำหนดค่ากระแสฟ้าผ่าตั้งแต่ 15-40 กิโลแอมแปร์ โดยกำหนดระยะห่างระหว่างเสาที่จุดติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติอยู่ห่างจากเสาต้นสุดท้ายตั้งแต่ระยะ 3-40 เมตร ค่าความต้านทานดินของระบบ และมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติเป็นไปตามมาตรฐานของ กฟภ. รายละเอียดผลที่ได้จากการจำลองกระแสฟ้าผ่า 15-40 กิโลแอมแปร์ ดังภาพที่ 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ



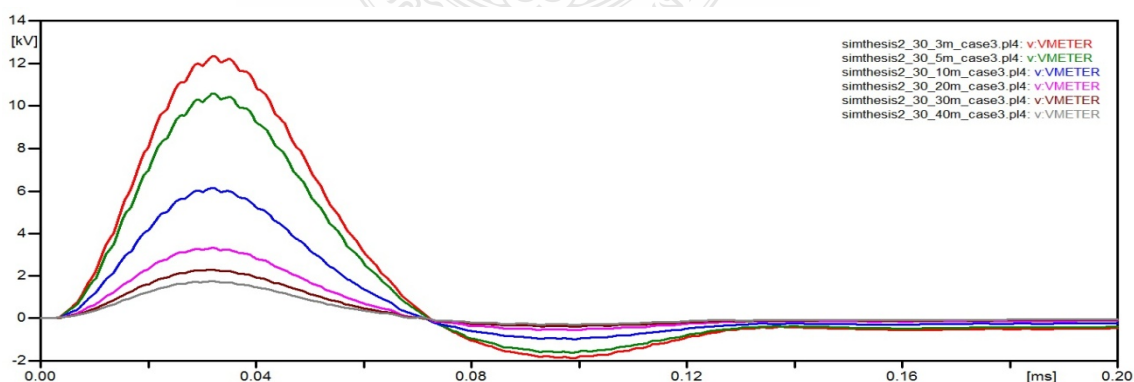
ภาพที่ 4.8 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อระยะห่างระหว่างเสาจุดติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติอยู่ห่างจากเสาต้นสุดท้าย 3-40 เมตร กระแสฟ้าผ่า 15 กิโลแอมแปร์



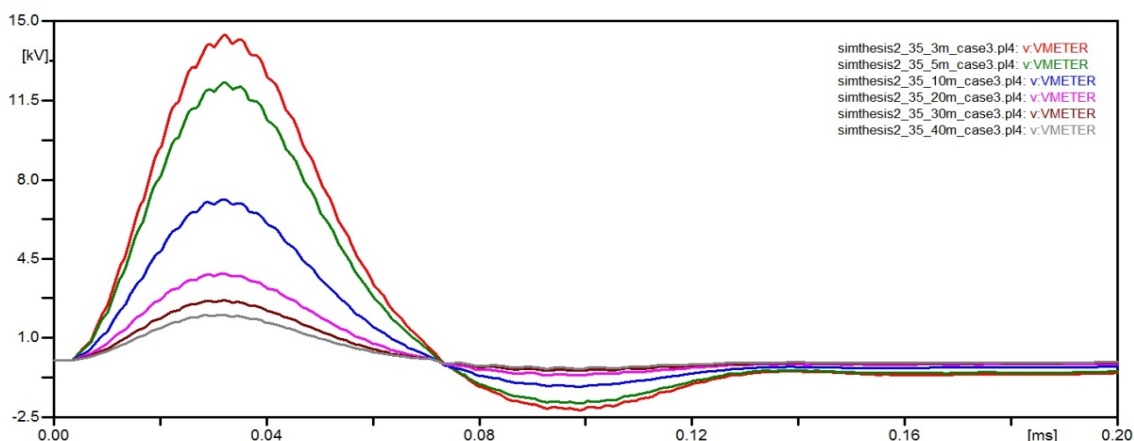
ภาพที่ 4.9 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อระยะห่างระหว่างเสาจุดติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติอยู่ห่างจากเสาต้นสุดท้าย 3-40 เมตร กระแสไฟฟ้า 20 กิโลแอมแปร์



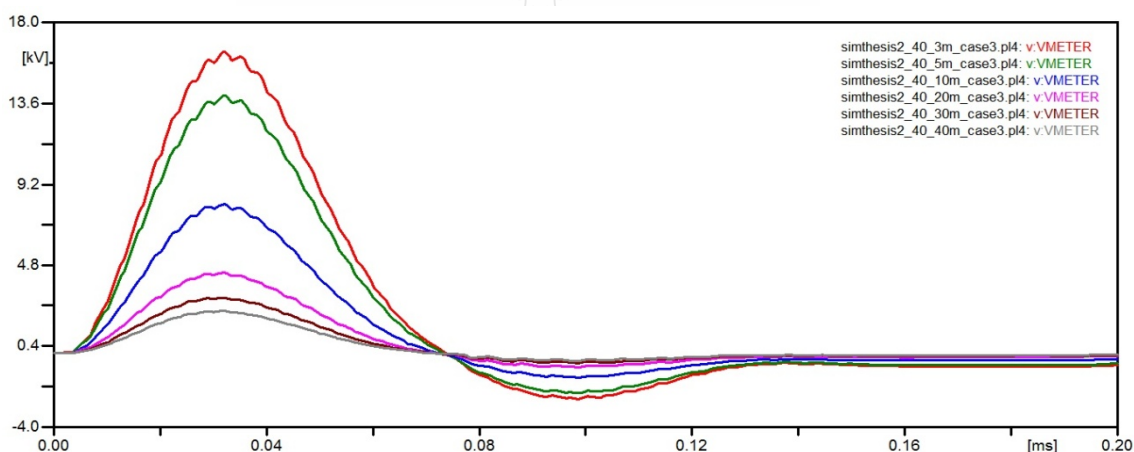
ภาพที่ 4.10 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อระยะห่างระหว่างเสาจุดติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติอยู่ห่างจากเสาต้นสุดท้าย 3-40 เมตร กระแสไฟฟ้า 25 กิโลแอมแปร์



ภาพที่ 4.11 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อระยะห่างระหว่างเสาจุดติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติอยู่ห่างจากเสาต้นสุดท้าย 3-40 เมตร กระแสไฟฟ้า 30 กิโลแอมแปร์



ภาพที่ 4.12 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อระยะห่างระหว่างเสาจุดติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติอยู่ห่างจากเสาดันสุดท้าย 3-40 เมตร กระแสไฟฟ้า 35 กิโลแอมแปร์

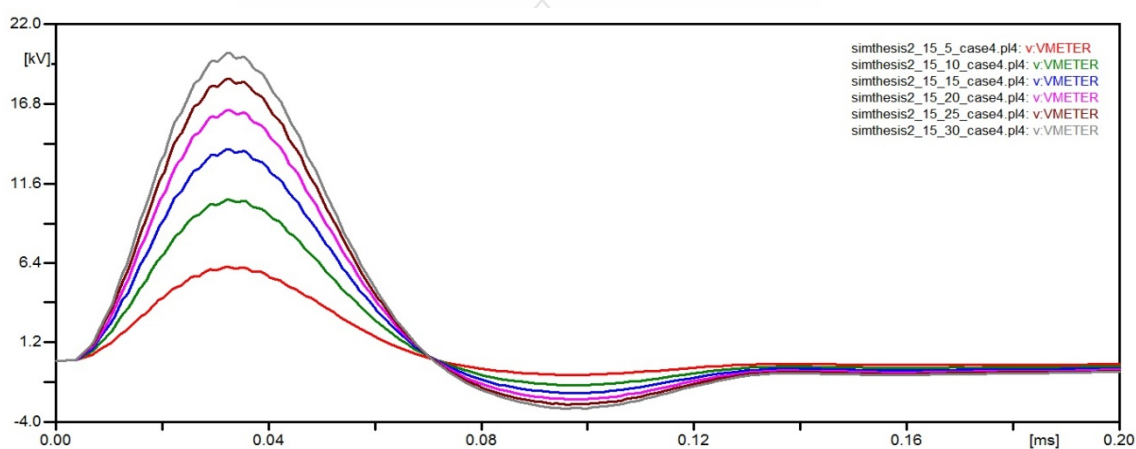


ภาพที่ 4.13 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อระยะห่างระหว่างเสาจุดติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติอยู่ห่างจากเสาดันสุดท้าย 3-40 เมตร กระแสไฟฟ้า 40 กิโลแอมแปร์

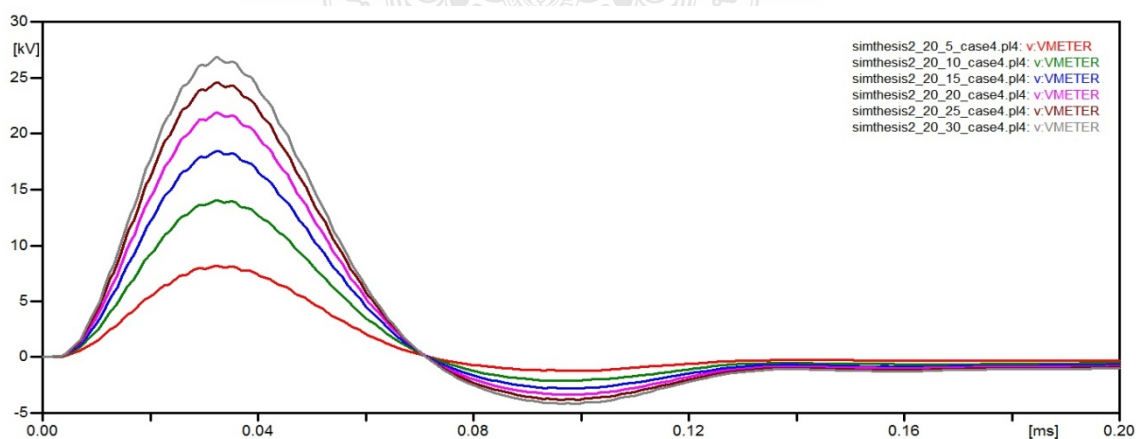
เมื่อระยะห่างของเสาดันที่ 1 ที่ติดตั้งสายดินชิงอากาศที่ฟ้าผ่าลง อยู่ใกล้กับเสาที่ติดตั้งมิเตอร์มากขึ้น จะทำให้ระดับแรงดันที่จุดต่อลงดิน ณ ตำแหน่งติดตั้งมิเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระยะห่างเสาดันที่ 1 ตั้งแต่ 3-40 เมตร และเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าที่หัวเสาตั้งแต่ 15-40 กิโลแอมแปร์)

4.4 ศึกษาผลกระทบกรณีที่ค่าความต้านทานการต่อลงดินของเสาต้นที่ติดตั้งมิเตอร์มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน

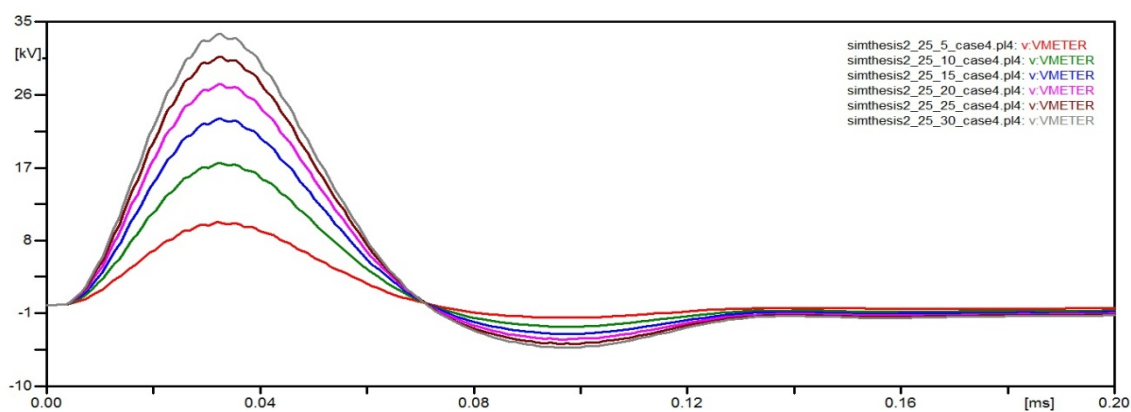
กำหนดค่ากระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 15-40 กิโลแอมแปร์ โดยกำหนดระยะห่างระหว่างเสาที่จุดติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติอยู่ห่างจากเสาต้นสุดท้าย 3 เมตร ค่าความต้านทานดินของระบบเป็นไปตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และปรับค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ของมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติตั้งแต่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 โอห์ม ตามลำดับ รายละเอียดผลที่ได้จากการจำลองกระแสไฟฟ้า 15-40 กิโลแอมแปร์ ดังภาพที่ 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 และ 4.19 ตามลำดับ



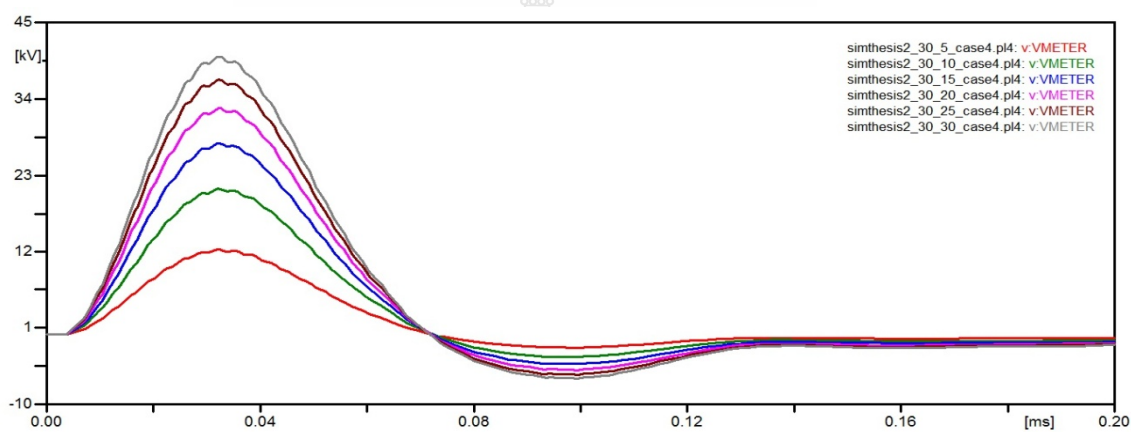
ภาพที่ 4.14 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ 5-30 โอห์ม กระแสไฟฟ้า 15 kA



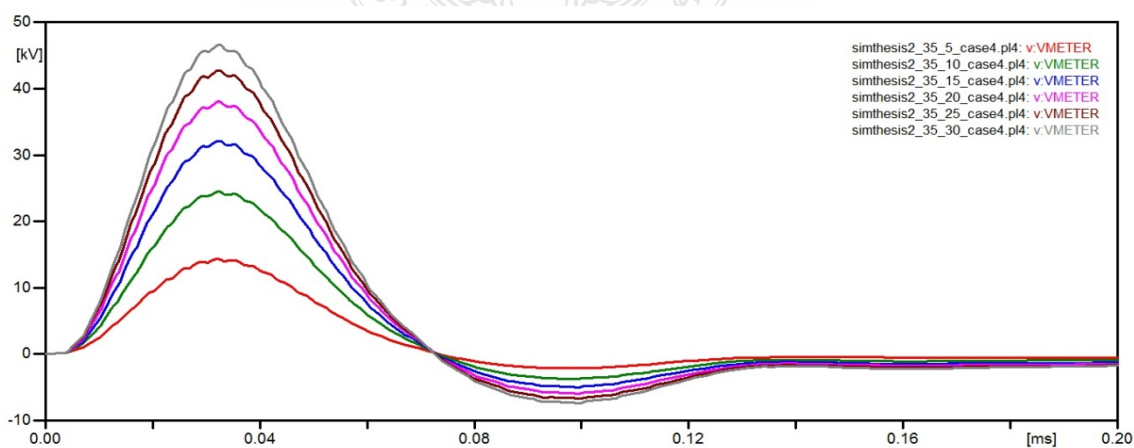
ภาพที่ 4.15 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ 5-30 โอห์ม กระแสไฟฟ้า 20 kA



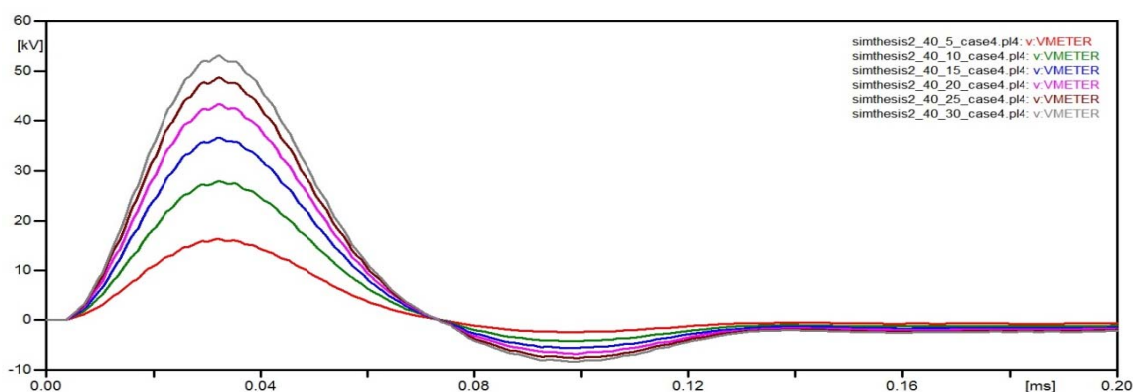
ภาพที่ 4.16 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ 5-30 โอห์ม กระแสไฟฟ้า 25 kA



ภาพที่ 4.17 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ 5-30 โอห์ม กระแสไฟฟ้า 30 kA



ภาพที่ 4.18 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ 5-30 โอห์ม กระแสไฟฟ้า 35 kA

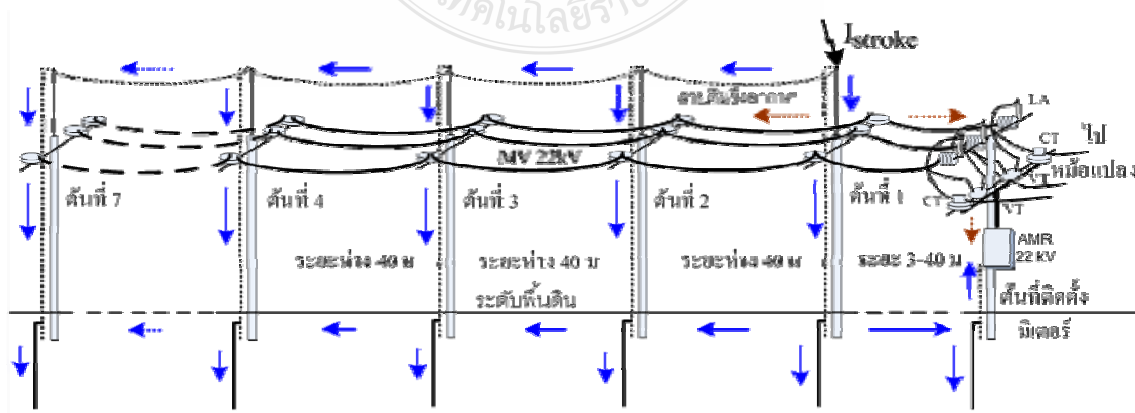


ภาพที่ 4.19 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ 5-30 โอห์ม กระแสฟ้าผ่า 40 kA

เมื่อค่าความต้านทานการต่อลงดินมีค่าสูงขึ้น (โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานการต่อลงดินตั้งแต่ 5-30 โอห์ม ที่ระยะห่างจากจุดฟ้าผ่า 3 เมตร) พบว่าแรงดัน ณ จุดติดตั้งมิเตอร์จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย และความสามารถในการระบายกระแสลงดินมีค่าลดต่ำลง ส่งผลให้แรงดันตกคร่อมวาริสเตอร์ภายในมิเตอร์ AMR เพิ่มขึ้นเกินพิกัดความทนของวาริสเตอร์มากกว่าเดิม

4.5 เส้นทางไหลของกระแสฟ้าผ่าที่ผ่านจุดต่อลงดินของมิเตอร์

การจำลองในโปรแกรม ATP-EMTP โดยกำหนดค่ากระแสฟ้าผ่า 15 กิโลแอมแปร์ ที่เสาต้นสุดท้าย โดยกำหนดระยะห่างระหว่างเสาจุดติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติอยู่ห่างจากเสาต้นสุดท้าย 3 เมตร ค่าความต้านทานดินของระบบ และมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติเป็นไปตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค รายละเอียดที่จำลองได้ ดังภาพที่ 4.20 รายละเอียดขนาดรูปคลื่นกระแสและแรงดันแสดงดังภาพในภาคผนวก ก



ภาพที่ 4.20 เส้นทางไหลของกระแสฟ้าผ่าลงสู่ระบบรากสายดิน

4.6 การวิเคราะห์ผลจากการศึกษาและจำลองด้วยโปรแกรม ATP-EMTP

4.6.1 ในหัวข้อศึกษาที่ 4.1 และ 4.2

ผลจากการศึกษา และจำลองด้วยโปรแกรม ATP-EMTP ตามหัวข้อศึกษาที่ 4.1 และ 4.2 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แรงดันที่จุดต่อลงดินของมิเตอร์ที่ตำแหน่งฟ้าผ่าลงระยะต่าง ๆ

ตำแหน่งเสาที่ฟ้าผ่าลง	แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ (kV)						
	7	6	5	4	3	2	1
ระยะห่างมิเตอร์จากจุด ฟ้าผ่าลง	243 m	203 m	163 m	123 m	83 m	43 m	3 m
15kA	2.525	2.656	3.07	3.566	4.324	4.878	6.2
20kA	3.366	3.541	4.09	4.755	5.54	6.5	8.2
25kA	4.2	4.427	5.17	5.938	6.92	8.12	10.3
30kA	5.04	5.312	6.12	7.1	8.315	9.748	12.3
35kA	5.89	6.197	7.16	8.24	9.697	11.36	14.37
40kA	6.737	7.082	8.2	9.35	11.07	12.97	16.38

หมายเหตุ ส่วนแรงเหว คือ ส่วนที่มีค่าแรงดันเกินพิกัดแรงดันคงทนฟ้าผ่าของวาริสเตอร์ภายในมิเตอร์ 3.6 กิโลโวลต์

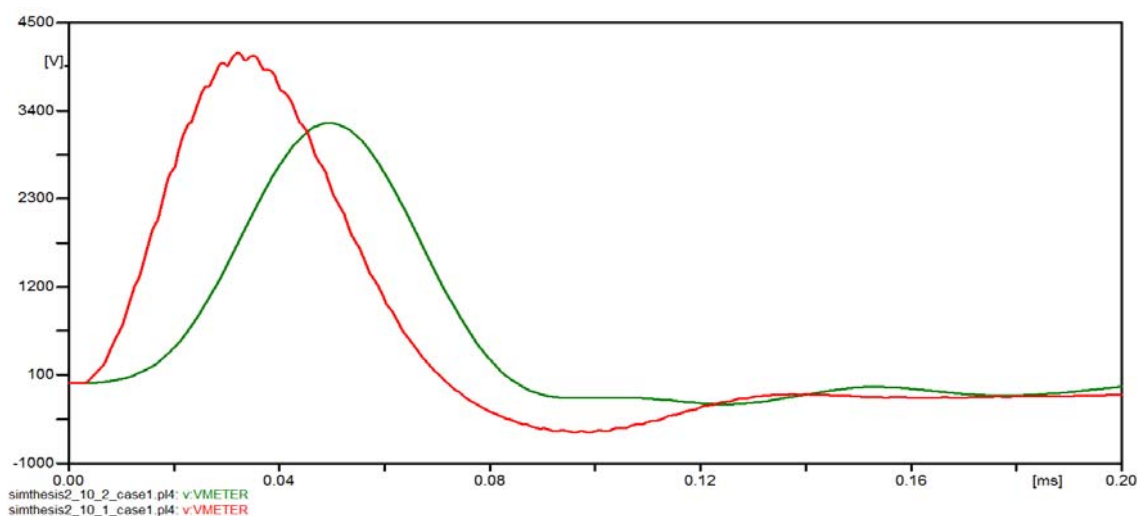
ผลกระทบของแรงดันเกินต่อมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ จากการทดลองด้วยแบบจำลอง แสดงให้เห็นว่าที่จุดต่อลงดินที่ตำแหน่งติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติมีแรงดันเกินที่ขึ้นอยู่กับระยะห่างของตำแหน่งฟ้าผ่าลงตามตารางที่ 4.1 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

1) กระแสฟ้าผ่า 15 กิโลแอมแปร์ เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ช่วงเสาต้นที่ 4 (ระยะประมาณ 123 เมตร) มิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติจะยังคงสามารถทนแรงดันเกินที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากวาริสเตอร์ภายในมิเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่ในการระบายกระแสเกิน มีพิกัดแรงดันคงทนฟ้าผ่า 3.6 กิโลโวลต์ [20]

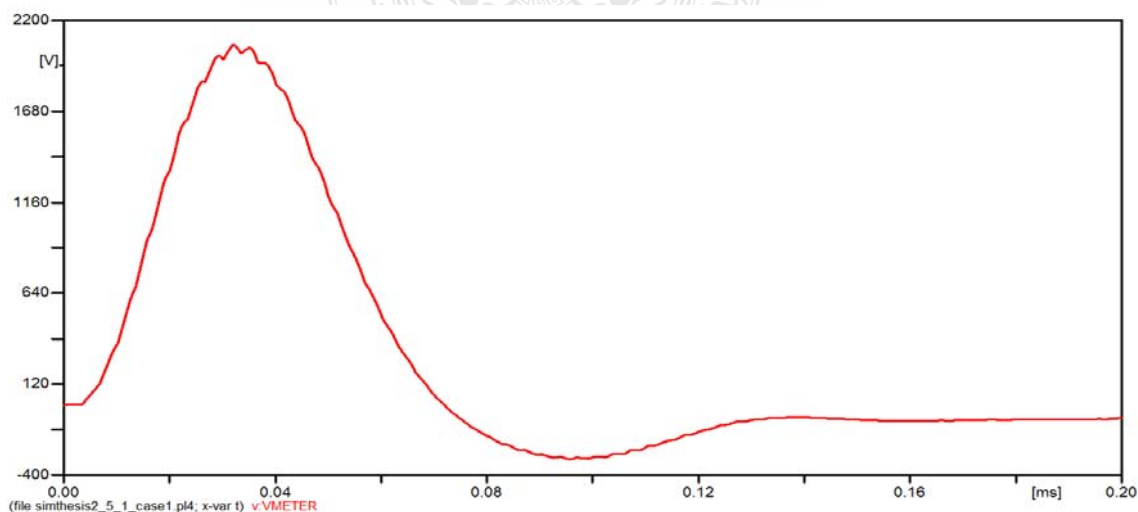
2) กระแสฟ้าผ่า 20 กิโลแอมแปร์ เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ช่วงเสาต้นที่ 6 (ระยะประมาณ 203 เมตร) มิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติจะยังคงสามารถทนแรงดันเกินที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากวาริสเตอร์ภายในมิเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่ในการระบายกระแสเกิน มีพิกัดแรงดันคงทนฟ้าผ่า 3.6 กิโลโวลต์

3) กระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 25 กิโลแอมแปร์ ขึ้นไป มิเตอร์อ่านหน่วยวัตต์โนมัลไม่สามารถทนต่อแรงดันเกินไฟฟ้าได้

4) หากวิเคราะห์จากตารางที่ 4.1 กระแสไฟฟ้า 10 กิโลแอมแปร์ เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่ช่วงเสาต้นที่ 2 (ระยะประมาณ 43 เมตร) โดยมีแรงดันเกิน 3.24 กิโลโวลต์ มิเตอร์อ่านหน่วยวัตต์โนมัลจะยังคงสามารถทนแรงดันเกินที่เกิดขึ้นได้ ดังภาพที่ 4.21 และที่กระแสไฟฟ้า 5 กิโลแอมแปร์ โดยมีแรงดันเกิน 2.06 กิโลโวลต์ สามารถทนแรงดันเกินที่เกิดขึ้นได้ทุกช่วงเสา ดังภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.21 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อฟ้าผ่าลงหัวเสาต้นที่ 1-2 ที่กระแสไฟฟ้า 10 กิโลแอมแปร์



ภาพที่ 4.22 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ เมื่อฟ้าผ่าลงหัวเสาต้นที่ 1 ที่กระแสไฟฟ้า 5 กิโลแอมแปร์

4.6.2 ในหัวข้อการศึกษาที่ 4.3

การศึกษาระยะห่างที่เปลี่ยนแปลงของเสาที่ใกล้ที่สุดที่ติดตั้งสายดินซึ่งอากาศที่ฟ้าผ่าลงถึงตำแหน่งเสาที่ติดตั้งมิเตอร์สามารถสรุปข้อมูลแรงดันเกินที่ได้จากการจำลองได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ที่ระยะห่างระหว่างเสาต้นที่ 1-7 กำหนดให้ฟ้าผ่าที่เสาต้นแรก

กระแสฟ้าผ่า	Span	แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ (kV)					
		40 m	30 m	20 m	10 m	5 m	3 m
15kA		0.875	1.15	1.675	3	5.26	6.2
20kA		1.17	1.53	2.23	4.1	7.06	8.2
25kA		1.45	1.91	2.8	5.1	8.8	10.3
30kA		1.72	2.26	3.3	6.1	10.5	12.3
35kA		2.03	2.6	3.85	7.1	12.2	14.37
40kA		2.3	2.98	4.4	8	14	16.38

จากตารางที่ 4.2 หากมีระยะห่างระหว่างเสาต้นที่ติดตั้งมิเตอร์กับเสาต้นสุดท้าย 30 เมตร มิเตอร์สามารถทนต่อแรงดันเกินตามพิกัดคงทนได้ของวาริสเตอร์ ที่กระแสฟ้าผ่า 15-40 กิโลแอมแปร์ และระยะห่างระหว่างเสาต้นที่ติดตั้งมิเตอร์กับเสาต้นสุดท้าย 20 เมตร มิเตอร์สามารถทนต่อแรงดันเกินตามพิกัดคงทนได้ของวาริสเตอร์ ที่กระแสฟ้าผ่า 15-30 กิโลแอมแปร์ และระยะห่างระหว่างเสาต้นที่ติดตั้งมิเตอร์กับเสาต้นสุดท้าย 10 เมตร มิเตอร์สามารถทนต่อแรงดันเกินตามพิกัดคงทนได้ของวาริสเตอร์ ที่กระแสฟ้าผ่า 15 กิโลแอมแปร์

ในการจำลองตามรูปแบบการติดตั้งของ กฟภ. โดยมีค่าความต้านทานดินอิมพลัส 5 โอห์ม และระบบการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงสูง และระบบการต่อลงดินของมิเตอร์มีระยะห่าง 3 เมตร พบว่ามีแรงดันเกินพิกัดคงทนของวาริสเตอร์ ทุกขนาดของกระแสฟ้าผ่าที่ทำการทดสอบ

จากการวิเคราะห์จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าหากมีระยะห่างระหว่างเสาต้นที่ติดตั้งมิเตอร์กับเสาต้นสุดท้าย 30 เมตรขึ้นไป กระแสฟ้าผ่า 15-40 กิโลแอมแปร์ และมีฟ้าผ่าลงบริเวณหัวเสาตั้งแต่ช่วงเสาที่ 1-7 มิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติจะยังสามารถใช้งานได้โดยไม่ชำรุด

4.6.3 หัวข้อการศึกษาที่ 4.4

ในหัวข้อการศึกษาที่ 4.4 สามารถสรุปข้อมูลได้ดังตารางที่ 4.3 ค่าความต้านทานดินที่จุดติดตั้งมิเตอร์มีผลต่อแรงดันเกิน หากค่าความต้านทานดินต่ำแรงดันเกินที่เกิดขึ้นบริเวณจุดติดตั้ง

ในการทดสอบตามแบบจำลองทำการลดค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ให้ต่ำกว่า 5 โอห์ม พบว่าแนวโน้มของแรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์มีค่าลดลง ซึ่งจากตารางที่ 4.3 เมื่อค่าความต้านทาน 1 โอห์ม พบว่าแรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์มีค่าไม่เกินพิกัดกทนของวาริสเตอร์ ทุกขนาดของกระแสฟ้าผ่าที่ทำการทดสอบ

ตารางที่ 4.3 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ 1-30 โอห์ม
กระแสฟ้าผ่า 15-40 กิโลแอมแปร์

กระแสฟ้าผ่า	ความต้านทาน									
	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
15kA	1.5	2.79	4	5.12	6.2	10.50	13.80	16.40	18.44	20.10
20kA	1.99	3.7	5.33	6.83	8.2	14.09	18.45	21.86	24.60	26.80
25kA	2.49	4.65	6.66	8.5	10.3	17.59	23.00	27.32	30.70	35
30kA	2.98	5.57	8	10.23	12.3	21.00	27.60	32.70	36.76	40.00
35kA	3.46	6.49	9.29	11.9	14.3	24.50	32.15	38.04	42.75	46.60
40kA	2.95	7.4	10.6	13.59	16.4	27.70	36.60	43.30	48.69	53.10

สำหรับหัวข้อการศึกษาที่ 4.5 เส้นทางกรไหลของกระแสฟ้าผ่าเมื่อจำลองการเกิดฟ้าผ่าลงหัวเสาสายดินซึ่งอากาศชั้นที่ 1 แสดงในภาพที่ 4.20 พบว่าจะไหลออกจากจุดเกิดฟ้าผ่าทุกทิศทางลงดิน ซึ่งขนาดกระแสขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ของเสานั้นๆ และกระแสส่วนใหญ่จะระบายสู่พื้นดินกระจายตัวตามโคนเสา ยิ่งห่างจากจุดฟ้าผ่ามาก ระดับกระแสจะลดลงตามด้วย แต่หากค่าความต้านทานดินบริเวณนั้นๆ มีค่าต่ำ และมีระยะห่างของเสาที่ติดตั้งมิเตอร์ไม่มากพอ อาจทำให้มิเตอร์ชำรุดเสียหายเนื่องจากเกิดแรงดันเกินตกรวมจุดต่อลงดินของมิเตอร์ และพบอีกว่ามีแรงดันเหนี่ยวนำผ่านสายเฟสสู่หม้อแปลงชุกวัดและลงสู่มิเตอร์เช่นกัน แต่มีปริมาณน้อยมาก (ในหน่วยมิลลิแอมแปร์) ซึ่งไม่สามารถทำความเสียหายแก่มิเตอร์ได้

4.7 สรุป

ในการวิจัยได้ทำการจำลองกระแสฟ้าผ่า 15-40 กิโลแอมแปร์ พบว่าระยะห่างจากเสาต้นสุดท้ายถึงเสาต้นที่ติดตั้งมิเตอร์ ตำแหน่งฟ้าผ่าลงแต่ละช่วงเสา และค่าความต้านทานดินของระบบการต่อลงดินของมิเตอร์มีผลต่อแรงดันเกินที่เกิดขึ้น ในการวิเคราะห์ผลจากการจำลองแสดงให้เห็นว่า หากมีระยะห่างระหว่างเสาต้นสุดท้ายถึงเสาต้นที่ติดตั้งมิเตอร์ 30 เมตร และมีค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ของระบบการต่อลงดินของมิเตอร์ไม่เกิน 5 โอห์ม การติดตั้งระบบเป็นไปตามมาตรฐานของ กฟภ. การเกิดฟ้าผ่าโดยมีขนาดกระแส 15-40 กิโลแอมแปร์ หากฟ้าผ่าลงจุดใด ๆ ก็ตามในระบบตั้งแต่เสาต้นสุดท้ายเป็นต้นไปจะไม่ส่งผลกระทบต่อมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ



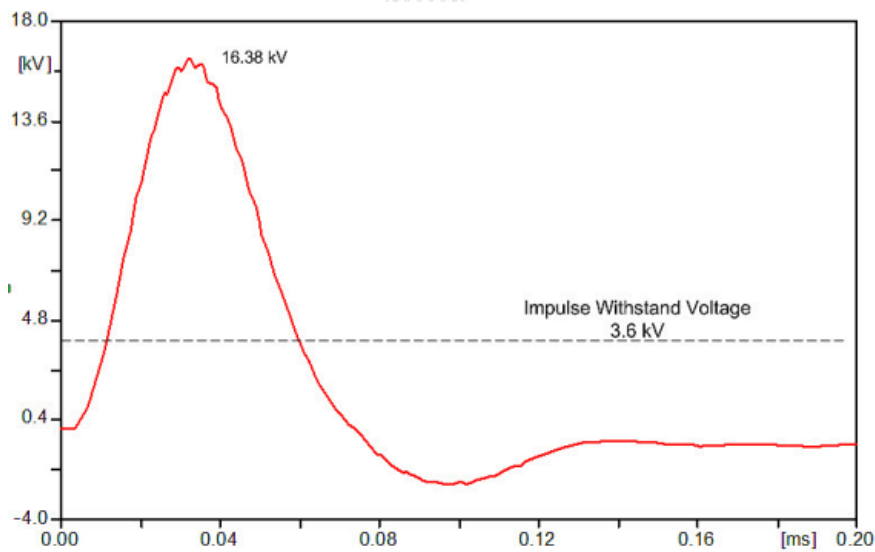
บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการศึกษา และวิเคราะห์

จากการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาเพื่อหาสาเหตุการชำรุดของมิเตอร์ ด้วยโปรแกรม ATP-EMTP โดยใช้พารามิเตอร์จริงจาก กฟภ. พบว่า

1. เมื่อเกิดฟ้าผ่าลงสายดินซึ่งอากาศบริเวณใกล้กับเสาต้นที่ติดตั้งมิเตอร์จะเกิดกระแสระบายลงดินผ่านหลักดินขึ้นสู่เสาต้นที่ติดตั้งมิเตอร์ทำให้แรงดันตกคร่อมจุดต่อลงดินที่ตัวมิเตอร์มีค่าสูงสุด 16.38 กิโลโวลต์ และมีกระแสไหลผ่านจุดดังกล่าว 3.26 กิโลแอมแปร์ ที่ระยะห่าง 3 เมตร ด้วยกระแสฟ้าผ่า 40 กิโลแอมแปร์ (8/20 μ s) ซึ่งมีค่าสูงกว่าพิกัดแรงดันคงทนของวาริสเตอร์ที่ใช้ระบายพลังงานฟ้าผ่าของมิเตอร์อยู่ถึง 12.78 กิโลโวลต์ หรือ 3.55 เท่า แสดงดังภาพที่ 5.1

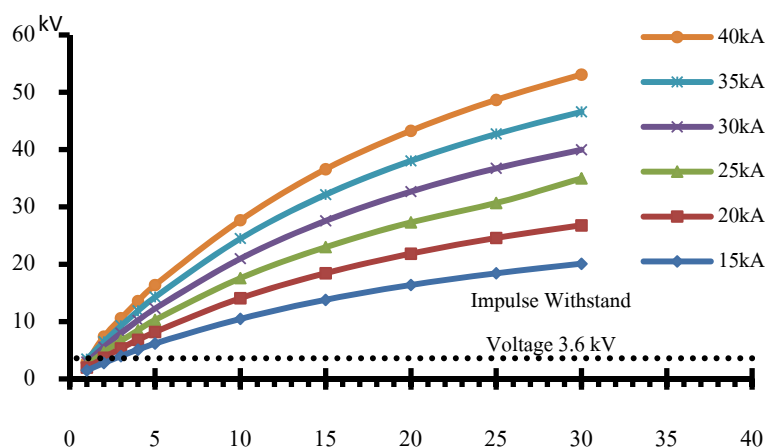


ภาพที่ 5.1 แรงดันที่จุดติดตั้งมิเตอร์ ระยะห่าง 3 เมตร ด้วยกระแสฟ้าผ่า 40 กิโลแอมแปร์

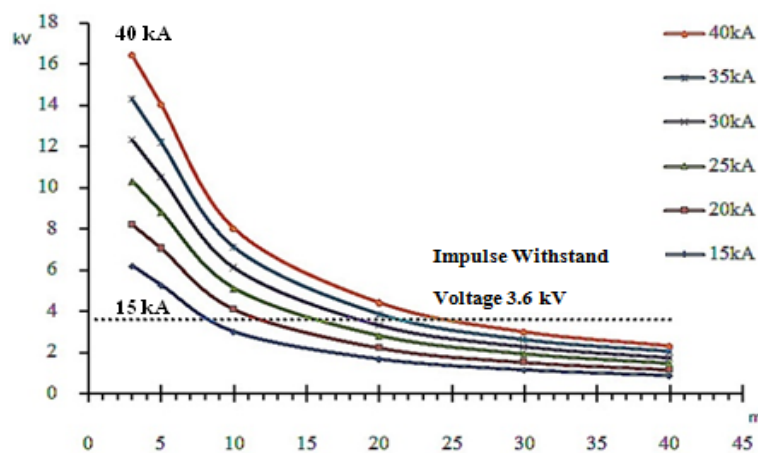
2. ในกรณีที่ค่าความต้านทานการต่อลงดินมีค่าสูงเกินมาตรฐาน (มากกว่า 5 โอห์ม) จะทำให้แรงดัน ณ จุดติดตั้งมิเตอร์จะมีค่าสูงขึ้นเกินพิกัดการป้องกันด้วยเช่นกัน หากค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ต่ำ แรงดันที่เกิดขึ้นที่จุดติดตั้งมิเตอร์จะมีแนวโน้มลดลง ดังแสดงในภาพที่ 5.2

3. ในการจำลองของงานวิจัยชิ้นนี้ยังพบอีกว่าที่กระแสฟ้าผ่า 15 กิโลแอมแปร์ และ 20 กิโลแอมแปร์ (8/20 μ S) มิเตอร์จะปลอดภัยจากแรงดันเกินฟ้าผ่า เมื่อเสาต้นที่ติดตั้งมิเตอร์อยู่ห่างจากเสาต้นที่เกิดฟ้าผ่าที่ระยะห่างมากกว่า 123 เมตรและ 203 เมตรตามลำดับ ซึ่งในทางปฏิบัติการควบคุมจุดที่ต้องการให้ฟ้าผ่าลงทำได้ยาก ดังนั้นแนวทางในการลดความเสียหายอันเนื่องมาจากฟ้าผ่าหรือฟ้าผ่าเหนี่ยวนำระยะใกล้ จึงควรปรับปรุงโดยการเพิ่มพิคตแรงดันคงทนฟ้าผ่าของวาริสเตอร์ภายในตัวมิเตอร์ให้มีความสูงขึ้น

4. ในกรณีเสาต้นสุดท้ายอยู่ห่างจากเสาต้นที่ติดตั้งมิเตอร์เกินกว่า 25-30 เมตร มิเตอร์จะปลอดภัยจากฟ้าผ่าขนาดกระแส 15-40 กิโลแอมแปร์ หากฟ้าผ่าลงจุดใด ๆ ก็ตามในระบบตั้งแต่เสาต้นสุดท้าย ดังแสดงในภาพที่ 5.3



ภาพที่ 5.2 กระแสฟ้าผ่า 15-40 กิโลแอมแปร์ ที่ความต้านทานดินอิมพัลส์ตั้งแต่ 1-30 โอห์ม



ภาพที่ 5.3 กระแสฟ้าผ่า 15-40 กิโลแอมแปร์ ที่ระยะห่างตั้งแต่ 3-40 เมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะในการติดตั้ง

1) ค่าความต้านทานดินอิมพัลส์ของระบบต่อลงดินของมิเตอร์ควรมีค่าไม่เกิน 5 โอห์ม ซึ่งจากผลทดสอบพบว่าเมื่อค่าความต้านทานดินอิมพัลส์มีค่าต่ำ แรงดันเกินที่เกิดขึ้นที่จุดติดตั้งมิเตอร์จะต่ำลงด้วย และมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีค่าความต้านทานดินอิมพัลส์เข้าใกล้ศูนย์โอห์ม หรือกำหนดมาตรฐานการต่อลงดินของมิเตอร์เช่นเดียวกับการต่อลงดินของเครื่องวัดภายในสถานีไฟฟ้า ซึ่งกำหนดค่าความต้านทานดินไม่เกิน 1 โอห์ม ซึ่งมาตรฐานการต่อลงดินของเครื่องวัดตามมาตรฐานของ กฟภ. มีค่าไม่เกิน 5 โอห์ม

2) การลดค่าความต้านทานดินสามารถทำได้โดยการปรับปรุงระบบกราวด์สายดิน ซึ่งกล่าวไว้ในรายงานโครงการวิจัยสภาพดิน และหลักดินที่เหมาะสมแต่ละพื้นที่ของ กฟภ. โดยค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของค่าความต้านทานดินตามรูปแบบการติดตั้งหลักดินรูปแบบต่างๆ ของ กฟภ. รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข

3) หลีกเลี่ยงการต่อลงดินของระบบการต่อลงดินของมิเตอร์ที่เสาไฟฟ้าที่มีระบบการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงสูงร่วมอยู่ด้วย โดยการต่อลงดินของมิเตอร์ที่เหมาะสมควรมีระยะเกินกว่า 30 เมตร หรือ ระยะของการติดตั้งมิเตอร์ระหว่างเสาต้นสุดท้ายกับเสาต้นที่ติดตั้งมิเตอร์ควรมีห่างเกินกว่า 30 เมตร

4) ปรับปรุงข้อกำหนดคุณสมบัติของมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ โดยเพิ่มข้อกำหนดในการทดสอบการทดสอบแรงดันชั่วขณะทันทีทันใด (Fast Transient Burst Test) และ การคงทนแรงดันเสิร์จ (Surge Immunity Test) ตามมาตรฐาน IEC 61000-4-4 และ IEC 61000-4-5 ตามลำดับ เพื่อทดสอบความคงทนแรงดันเสิร์จของวงจรทั้งภาควัดกระแส ภาควัดแรงดันของมิเตอร์ และพิกัดความคงทนแรงดันอิมพัลส์ของวาริสเตอร์ โดยกำหนดให้มีความคงทนแรงดันอิมพัลส์ที่เหมาะสมกับค่าความต้านทานดิน และระยะห่างในการติดตั้งที่แนะนำ (พิกัดคงทนแรงดันอิมพัลส์ของมิเตอร์ในปัจจุบัน 3.6 กิโลโวลต์)

5) ตรวจสอบจุดเชื่อมต่อสายนิวทรัล และระบบการต่อลงดินไม่ให้เกิดขาด หรือหลุดหลวม

5.2.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

1) เนื่องจากในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย มีสภาวะอากาศ และปริมาณฝนตกฟ้าคะนองไม่เท่ากัน ความชื้นในอากาศมีผลต่อค่าความนำไฟฟ้า ความเร็วคลื่นที่ผ่านเนื้อคอนกรีต และค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของเสาคอนกรีต ซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาคอนกรีต ใน

2) ความถูกต้องในการจำลองผลขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ป้อนในแบบจำลองต่างๆ

5.2.3 ปัญหาในการวิจัย

หากทำการปรับปรุงตามข้อเสนอแนะในการติดตั้ง ไม่สามารถทำการวัดค่าได้จากสถานที่ติดตั้งจริง เนื่องจากไม่สามารถกำหนดตำแหน่งของการเกิดฟ้าผ่าได้ และข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าแรงดันเกินฟ้าผ่า ซึ่งอาจทำการวัดผลได้ด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ

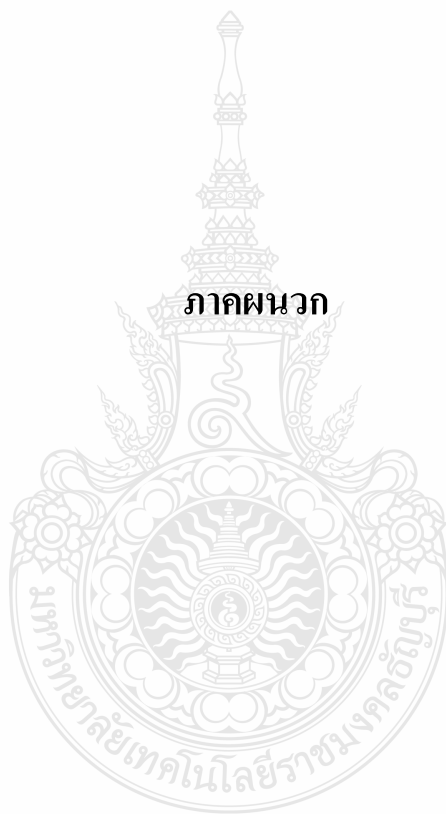


รายการอ้างอิง

- [1] รองศาสตราจารย์ ดร.สำรวย สังข์สะอาด , วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง, 2547, pp. (1-17)
- [2] โสภกา แซ่เฮ็ง และวินัย พฤกษ์วัน, “การป้องกันแรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่าในระบบสื่อสารของการรถไฟแห่งประเทศไทย”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (EECON), ครั้งที่ 30, กาญจนบุรี ประเทศไทย, 2007
- [3] พรชัย เศรษฐสมบัติ, “การปรับปรุงสมรรถนะการป้องกันฟ้าผ่าระบบสายส่ง 69 kV ของการไฟฟ้านครหลวง”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (EECON), ครั้งที่ 31, 2008
- [4] Juan A.Martinez and Ferley Castro-Aranda, “Lightning performance analysis of overhead transmission lines using the EMTP”, IEEE Transactions on power delivery, VOL 20, No.3. July 2005
- [5] กิตติ เลียงเครือ , แรงดันเหนี่ยวนำเนื่องจากฟ้าผ่าระบบจำหน่าย 22 kV ที่อยู่บนเสาต้นเดียวกับระบบ 115 kV, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, วิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.
- [6] IEEE Modeling and Analysis of System Transient Working Group, Modeling Guidelines For Fast Front Transient, IEEE Transaction on Delivery, Vol. 11, No.1, January 1996.
- [7] สำเร็จ อินทามี่, เสรีจิมพีแดนซ์ของเสาไฟฟ้าคอนกรีตอันเนื่องมาจากผลคุณสมบัติทางไฟฟ้าของคอนกรีต, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, วิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548.
- [8] ทิตวรรณ สิ้นจันทร์, การปรับปรุงระบบลงดินเพื่อลดผลจากแรงดันเกินฟ้าผ่าโดยวิธีการประสานศักย์, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, วิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2552
- [9] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.), มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้าง, พิมพ์ครั้งที่ 3. มาตรฐาน ว.ส.ท. ; 2003-43. กรุงเทพฯ : บริษัท ส.เอเชียเพรส(1989) จำกัด, 2551
- [10] IEC Std, Protection Against Lightning, Part 1-4. IEC Public No. 62305, Geneva, 2006.
- [11] วิวัฒน์ กุลวงศ์วิทย์, การป้องกันแรงดันเกินในระบบแรงต่ำ. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรออกแบบและปรึกษาเครื่องกลและไฟฟ้าไทย, 2549. หน้า 133-142

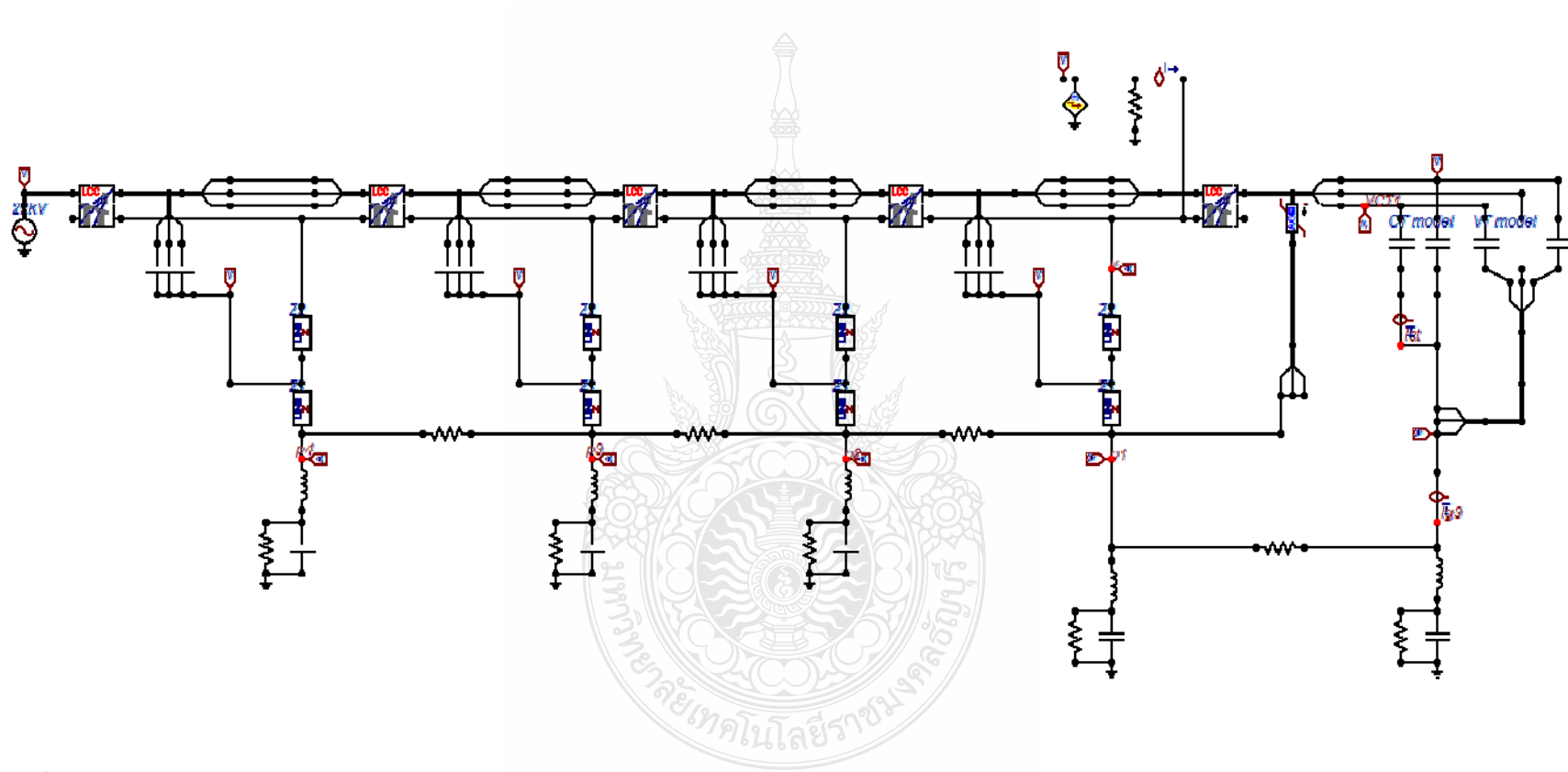
- [12] รองศาสตราจารย์ ดร.สำราญ สังข์สะอาด, เอกสารประกอบการอบรมเชิงวิชาการเรื่อง Electrical Transient Overvoltage in Power System, ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้า กำลัง, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541
- [13] คณะทำงานจัดทำคู่มือการใช้งาน โปรแกรม EMTP, การใช้งาน โปรแกรม EMTP เบื้องต้น, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, ธันวาคม 2550.
- [14] รองศาสตราจารย์ ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ, เทพัญญา ขัติแสง, การต่อลงดิน. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ จรัสสินทวงศ์, 2549. หน้า 6-1 – 6-17.
- [15] Dommel, H. W., EMTP theory book. 2nd Edition, May 1992
- [16] วิวัฒน์ กุลวงศ์วิทย์, การต่อลงดิน (GROUNDING) เล่ม 5 “อิมพัลส์อิมพีแดนซ์” (Impulse Impedance). กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรออกแบบและปรึกษาเครื่องกลและไฟฟ้าไทย, 2552. หน้า 1-15
- [17] Alan Greenwood, Electrical Transients in power Systems, 2nd Edition, 1991. p-p 459-460.
- [18] กองแผนงานระบบไฟฟ้า, ค่าพารามิเตอร์สายระบบจำหน่ายและระบบสายส่ง, ฝ่ายวางแผนระบบ ไฟฟ้า กฟภ., 2548.
- [19] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, คู่มือมาตรฐานการก่อสร้างระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์, 2543
- [20] EPCOS, SIOV Metal Oxide Standard Serie, December 2007.
- [21] Zhijing Zhang, Wenxia Sima, Yongji Zhang, Lichun Shu, “The Simulation Model for Calculating the Surge Impedance of a Tower”, IEEE International Symposium on Electrical Insulation, 19-22 September 2004, Indianapolis USA, 2004
- [22] Fujiang Mo, Jinwen Jiang, Yonghong Huang, Tinghua Wang “Study the Induced Voltage Caused by Lightning Flash to Overhead Power Lines Tower” , IEEE, 2009

ภาคผนวก

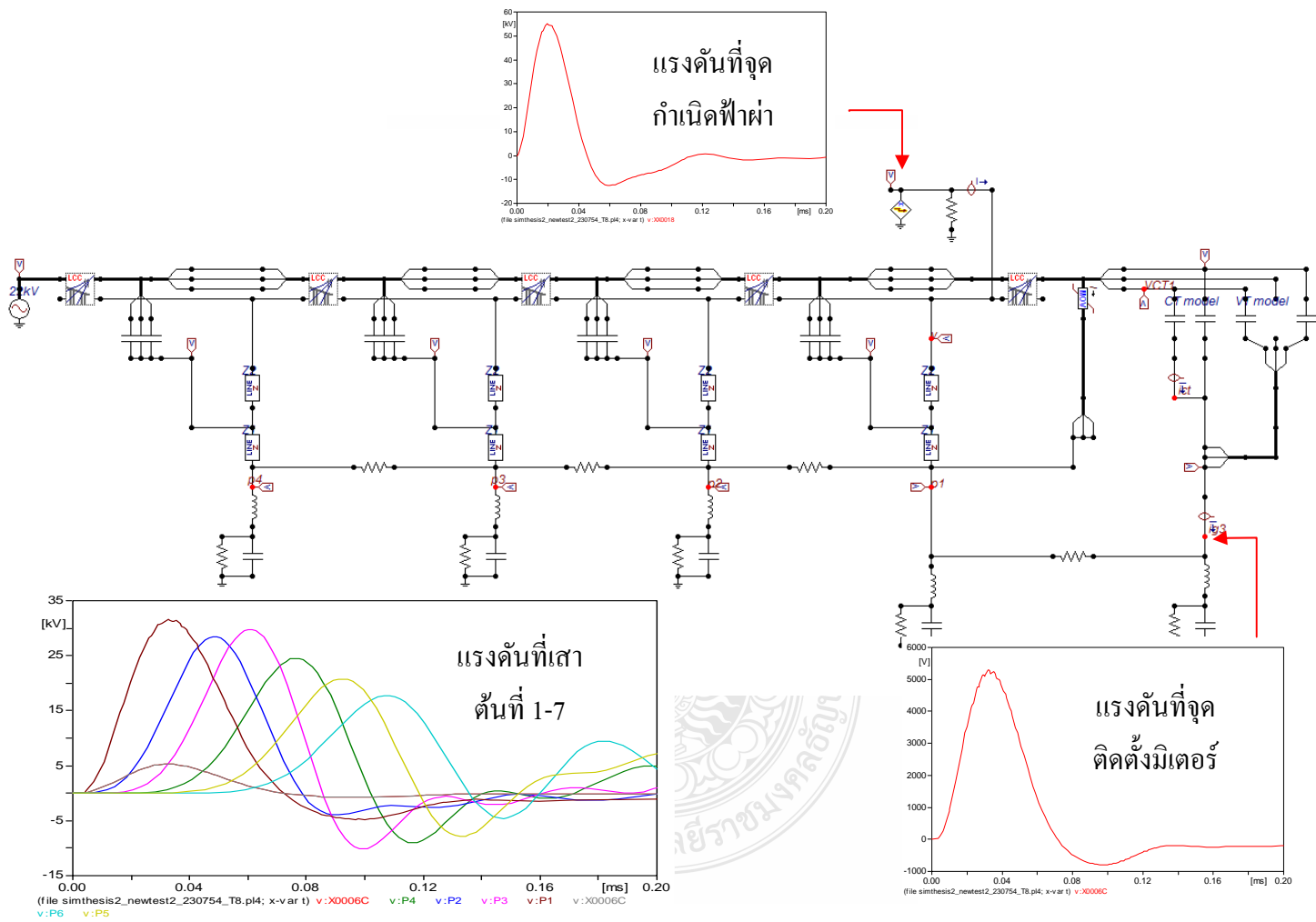


ภาคผนวก ก
เส้นทางการไหลของกระแส และแรงดัน

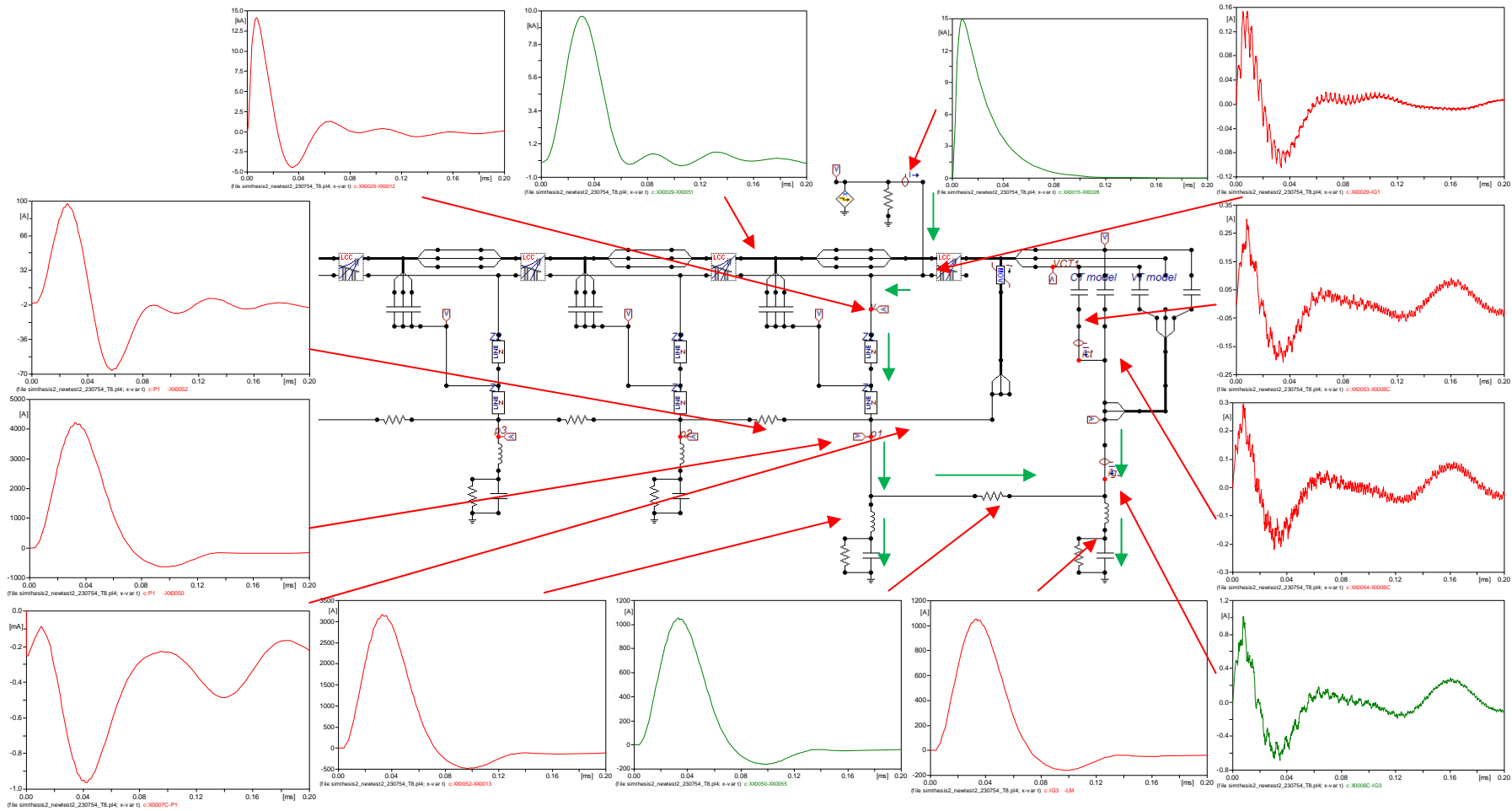




ภาพที่ ก.1 วงจรสมมุติระบบไฟฟ้ากำลังระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์



ภาพที่ ก.2 แรงดันเกินที่จุดต่าง ๆ เมื่อกระแสฟ้าผ่า 15 kA ค่าความต้านทานดินตามมาตรฐาน กฟผ. ระยะห่างเสาต้นสุดท้ายกับจุดติดตั้ง 3 เมตร



ภาพที่ ก.3 กระแสที่จุดต่าง ๆ เมื่อกระแสฟ้าผ่า 15 kA ค่าความต้านทานดินตามมาตรฐาน กฟภ. ระยะห่างเสาต้นสุดท้ายกับจุดติดตั้ง 3 เมตร

ภาคผนวก ข
ข้อมูลพารามิเตอร์



ตารางที่ ข.1 ข้อมูลสายตัวนำของผู้ผลิต (ACC)

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

ตารางที่ ข.2 ค่าพารามิเตอร์ของสายระบบจำหน่ายหรือระบบสายส่ง

Parameter												Structure Name : 311C00000000		
No.	CircuitName	CondType	Code Cond	R1	X1	R0	X0	G1	B1	G0	B0	Sep	Ang	Cond
				Ohm / km	Ohm / km	Ohm / km	Ohm / km	uS / km	uS / km	uS / km	uS / km			
1	31141M0	120A	3ED120A_S	0.266855	0.423335	0.448670	1.638360	0.000000	3.374000	0.000000	1.560000			
2	31141M0	185A	3ED185A_S	0.176351	0.409092	0.357149	1.624350	0.000000	3.522000	0.000000	1.576000			
3	31141M0	240A	3ED240A_S	0.135140	0.400071	0.315477	1.615434	0.000000	3.624000	0.000000	1.590000			
4	31141M0	185AA	3ED185AA_S	0.212027	0.409092	0.394633	1.623934	0.000000	3.516000	0.000000	1.601000			
5	31141M0	185/30ACSR	3ED185ACRS	0.177274	0.422422	0.359650	1.637317	0.000000	3.577000	0.000000	1.610000			
6	31141M0	185PIC25	3ED185PICS	0.210658	0.414406	0.391355	1.629687	0.000000	3.592000	0.000000	1.588000			
7	31141M0	185PIC35	3EI185PICS	0.210658	0.414406	0.391355	1.629687	0.000000	3.637000	0.000000	1.597000			
8	31141M0	185SAC25	3ED185SACS	0.210657	0.414406	0.390304	1.629925	0.000000	3.733000	0.000000	1.601000			
9	31141M0	185SAC35	3EI185SACS	0.210657	0.414406	0.390304	1.629925	0.000000	3.769000	0.000000	1.608000			
X - Y Coordinate														
No.	CircuitName	XA	YA	XB	YB	XC	YC	XG	YG	Sep	Ang	Cond		
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm	deg			
1	31141M0	1150	10200	400	10200	-1150	10200	-90	11650	0	0	1		

[Reference : Assembly No. 8242](#)

ตารางที่ ข.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของคอนกรีตอายุ 100 วัน เมื่ออัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.3

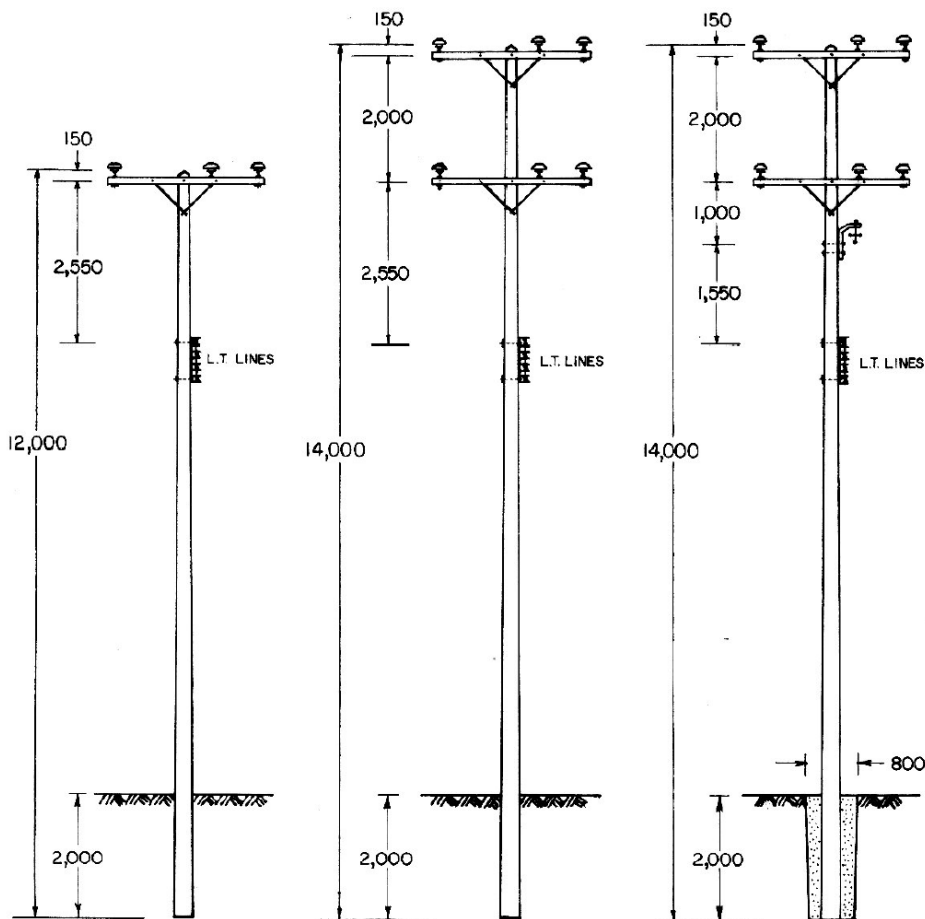
ความถี่ (kHz)	คอนกรีตผสม			
	ความจุไฟฟ้า(F)	มุมการสูญเสีย	ϵ_r	σ (S/m)
0.10	1.04E-10	0.73	46.98	1.92E-07
1	4.71E-11	0.60	21.28	7.08E-07
10	2.50E-11	0.43	11.31	2.70E-06
20	2.15E-11	0.38	9.69	4.06E-06
25	2.05E-11	0.36	9.25	4.63E-06
32	1.96E-11	0.34	8.85	5.29E-06
40	1.88E-11	0.32	8.49	6.03E-06
50	1.81E-11	0.30	8.17	6.87E-06
63	1.74E-11	0.28	7.87	7.83E-06
80	1.69E-11	0.26	7.62	8.90E-06
100	1.63E-11	0.25	7.38	1.01E-05
125	1.59E-11	0.23	7.17	1.16E-05
160	1.54E-11	0.21	6.98	1.32E-05
200	1.51E-11	0.20	6.81	1.51E-05
250	1.47E-11	0.19	6.65	1.73E-05
316	1.44E-11	0.17	6.51	1.99E-05
400	1.41E-11	0.16	6.37	2.29E-05
500	1.38E-11	0.15	6.25	2.65E-05
630	1.36E-11	0.14	6.14	3.08E-05
800	1.34E-11	0.13	6.04	3.55E-05
1,000	1.32E-11	0.13	5.94	4.13E-05
5,000	1.20E-11	0.08	5.43	1.28E-04
10,000	1.18E-11	0.07	5.32	2.15E-04
40,000	1.44E-11	0.06	6.50	8.68E-04

โครงสร้างเสาสำหรับระบบจำหน่าย 11, 22 และ 33 กิโลโวลต์



การประกอบเลขที่
ASSEMBLY NO. 8 242

ระบบ II-22 KV
II-22 kV SYSTEM



I สำหรับการจัดตั้ง 1 วงจร
FOR 1 CIRCUIT INSTALLATION

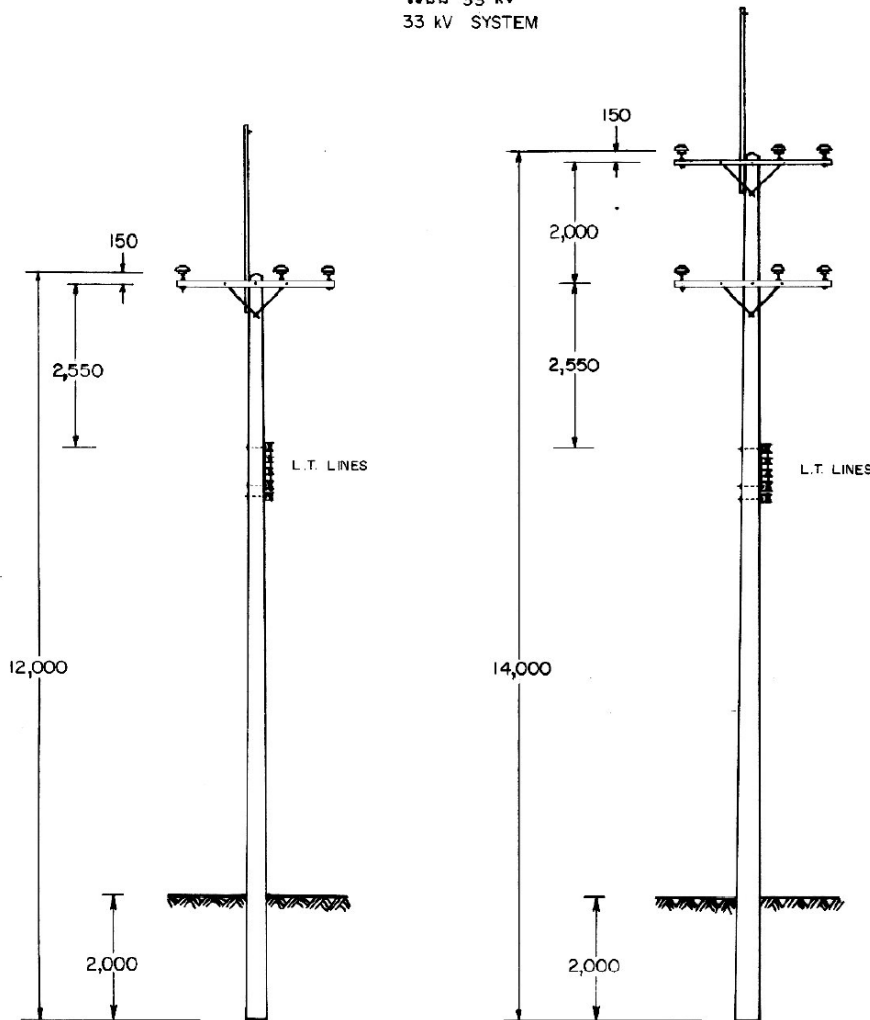
II สำหรับการจัดตั้ง 2 วงจร
FOR 2 CIRCUITS INSTALLATION

III สำหรับการจัดตั้ง 3 วงจร
FOR 3 CIRCUITS INSTALLATION

กองวิศวกรรมไฟฟ้าและเครื่องกล ฝ่ายวิศวกรรม	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	ใช้ในถนน
ผู้เขียน <i>...</i> ผู้สำรวจ <i>...</i> วิศวกร <i>...</i> หัวหน้าแผนก <i>...</i> หัวหน้ากอง <i>...</i> ผู้อำนวยการฝ่าย <i>...</i>	รูป ผู้ออกการ <i>...</i> โครงสร้างเสาสำหรับระบบจำหน่าย 1-3 วงจร ระบบ II-22, 33 KV	ถูกแทนโดยแบบ เดือนสร้างวันที่ 11 มี.ค. 22 แก้ไขแบบวันที่ มีมติเป็น <i>...</i> มาตรฐานส่วน <i>...</i>
รูป รองผู้อำนวยการฝ่ายเทคนิค	POLE STRUCTURE FOR 1-3 CIRCUITS INSTALLATION II-22, 33 kV SYSTEM	แบบเลขที่ SAI-015/22005 แผ่นที่ 1 ของจำนวน 3 แผ่น

ภาพประกอบเลขที่ 8242
ASSEMBLY NO.

ระบบ 33 kV
33 kV SYSTEM



I สำหรับการติดตั้ง 1 วงจร
FOR 1 CIRCUITS INSTALLATION

II สำหรับการติดตั้ง 2 วงจร
FOR 2 CIRCUITS INSTALLATION

<p>กองวิศวกรรมไฟฟ้าและเครื่องกล ฝ่ายวิศวกรรม</p>	<p>การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค</p>	<p>ใช้แทนแบบ..... ถูกแทนโดยแบบ..... เขียนเสร็จวันที่ 16 มี.ค. 22</p>
<p>นาย..... ผู้สำรวจ หัวหน้าแผนก..... หัวหน้ากอง..... ผู้อำนวยการฝ่าย.....</p>	<p>ผู้วิศวกร..... โครงการ..... โครงสร้างเสาสำหรับติดตั้งระบบจำหน่าย 1-3 วงจร ระบบ II-22,33 kV</p>	<p>แก้ไขเมื่อวันที่..... มีดเป็น..... มม. มาตราส่วน 1:100</p>
<p>รองผู้อำนวยการฝ่ายเทคนิค</p>	<p>POLE STRUCTURE FOR 1-3 CIRCUITS INSTALLATION II-22,33 kV SYSTEM</p>	<p>แบบเลขที่ SAI-015/22005 แผ่นที่ 2 ของจำนวน 3 แผ่น</p>

การประกอบเลขที่ 8242
ASSEMBLY NO.

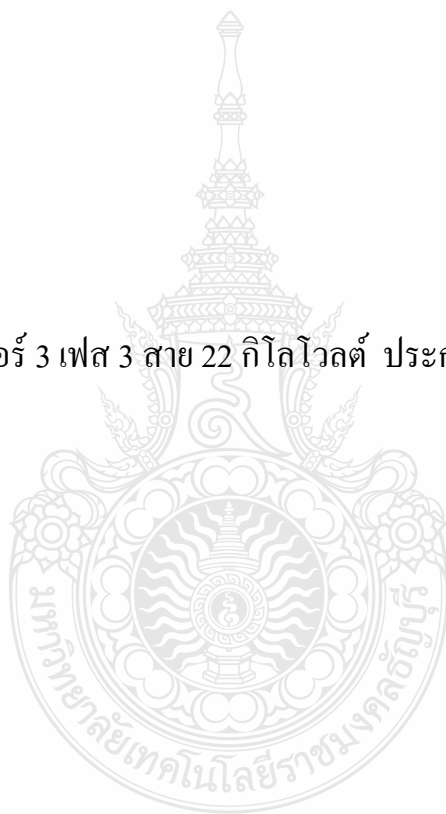
- ข้อกำหนด**
- ๑ สำหรับระบบจำหน่ายแรงสูง ๑-๒ วงจร
ระยะระหว่างเสา ดูแบบเลขที่ SA1-015/21050 มีการยึดโยงตามมาตรฐาน
 - ๒ สำหรับระบบจำหน่ายแรงสูง ๑๑-๒๒ kV ๓ วงจร
ขนาดสายสูงสุด : อลูมิเนียม เปลือย ๑๘๕ ตร.มม.
เคเบิลอากาศอลูมิเนียม ๑๘๕ ตร.มม.
ระยะระหว่างเสา : ทางตรงมุม 0° - 5° ๔๐ ม.
ทางโค้ง 5° - 30° ๒๐ ม.
เสาทุกต้นไม่ต้องยึดโยง ยกเว้นเสาต้นเข้าปลายสาย
ฐานรากเสาปกติให้เทหุ้มด้วยคอนกรีตขนาด ๘๐ x ๘๐ ซม.
 - ๓ ความลึกของเสาที่ปักในลักษณะดินต่าง ๆ กัน ดูแบบเลขที่ I41-015/080106, Z93 12004 และ IB1-015/20089 (การประกอบเลขที่ 8201, 8203 และ 8221-3)
 - ๔ วัสดุที่ใช้รับสายล่อฟ้า สำหรับระบบจำหน่าย ๓๓ kV ดูแบบเลขที่ SA1-015/21029 (การประกอบเลขที่ 3201)

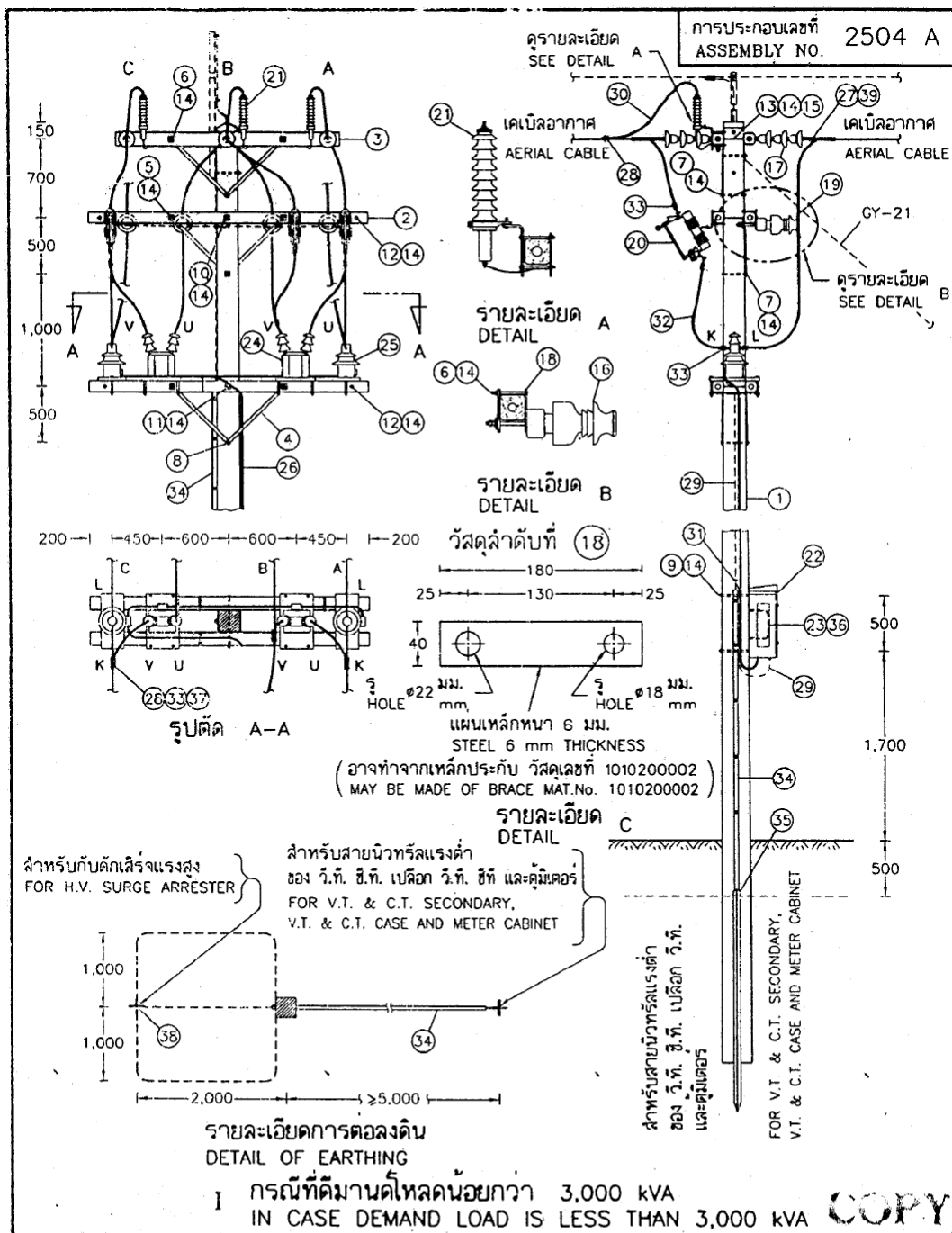
RECOMMENDATION

- 1 for 1-2 circuits distribution lines
span length see DWG. No.SA1-015/21050, having guy according to standard construction.
- 2 for 11-22 kV 3 circuits distribution lines
maximum conductor size : bare aluminium 185 mm²
aerial cable, aluminium 185 mm²
normal span length : line angle 0° - 5° 40 m
line angle 5° - 30° 20 m
all poles shall not be guyed except dead end pole, in normal soil condition pole foundations are covered with concrete size 80 x 80 cm.
- 3 depth of pole in various soil condition see DWG. No.I41-015/080106, Z93 12004 and IB1-015/20089
- 4 material used as bayonet for 33 kV lines see DWG. No.SA1-015/21029 (ASSEMBLY No.3201)

กองวิศวกรรมไฟฟ้าและเครื่องกล ฝ่ายวิศวกรรม	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	พื้นที่ถนน กรุงเทพมหานคร
ผู้เขียน ผู้สำรวจ วิศวกร หัวหน้าแผนก หัวหน้ากอง ผู้อำนวยการฝ่าย	ผู้ว่าราชการ 31.5 25 พ.ค. ๖๒ โครงสร้างเสา สำหรับติดตั้งระบบจำหน่าย 1-3 วงจร ระบบ 11-22, 33 KV	เดือนเสร็จวันที่ 16 มี.ค. ๖๒ แก่นบวพื้นที่ ชนิดเป็น มาตราส่วน
รองผู้อำนวยการฝ่ายเทคนิค	POLE STRUCTURE FOR 1-3 CIRCUITS INSTALLATION 11-22, 33 KV SYSTEM	แบบเลขที่ SA1-015/22005 แผ่นที่ 3 ของจำนวน 3 แผ่น

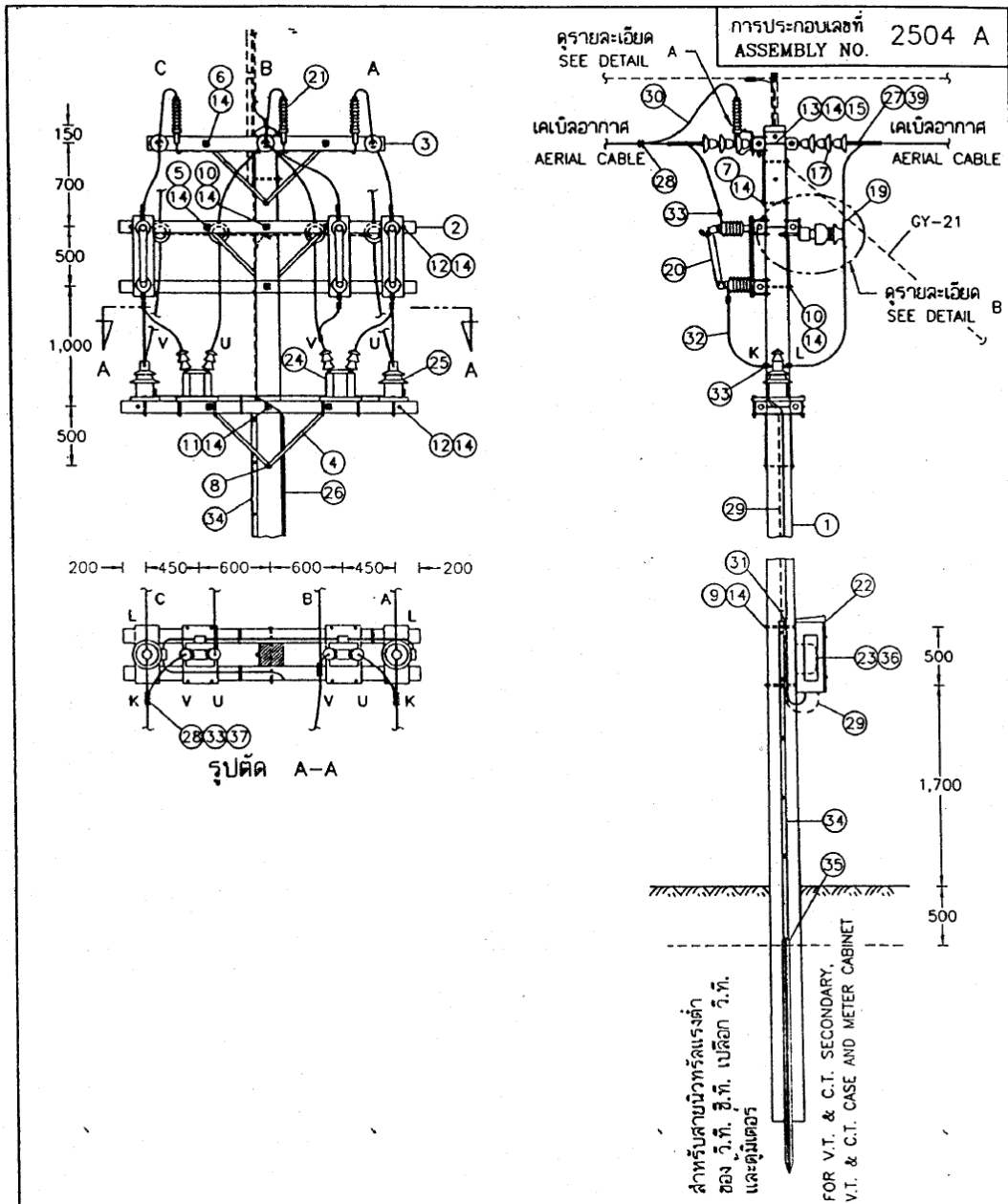
การติดตั้งมิเตอร์ 3 เฟส 3 สาย 22 กิโลโวลต์ ประกอบ วี.ที. และ ซี.ที.





I กรณีที่คี่มาณโหลดน้อยกว่า 3,000 kVA
 IN CASE DEMAND LOAD IS LESS THAN 3,000 kVA COPY

กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า ฝ่ายมาตรฐานและความปลอดภัย	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	ใช้แทนแบบ SA1-015/34029 ถูกแทนโดยแบบ
ผู้เขียน <i>Supphakul Boonruang</i> ผู้สำรวจ วิศวกร <i>ทิว</i> หัวหน้าแผนก <i>ทิว</i> ผู้อำนวยการกอง <i>ทิว</i> ผู้อำนวยการฝ่าย <i>ทิว</i>	ผู้ว่าการ <i>ทิว</i> การติดตั้งมิเตอร์ 3 เฟส 3 สาย 22 kv ประกอบวิ.ท. และซี.ที. สำหรับคี่มาณโหลดของผู้ใช้ไฟ เกินกว่า 2,000 kVA	เขียนเสร็จวันที่ 22 พ.ค. 2551 แก้แบบวันที่
รองผู้ว่าการวางแผน และพัฒนาระบบไฟฟ้า <i>ทิว</i>	INSTALLATION OF 22 kv. 3- ϕ . 3-W METER WITH V.T. & C.T. FOR DEMAND LOAD OF CUSTOMER EXCEED 2,000 kVA	มิติเป็น มิลลิเมตร มาตราส่วน 1:50
		แบบเลขที่ SA2-015/51097 แผ่นที่ 1 ของจำนวน 6 แผ่น



กรณี II ตีมาณต์โหลดระหว่าง 3,000 kVA ถึง 6,500 kVA
 CASE DEMAND LOAD BETWEEN 3,000 kVA AND 6,500 kVA

COPY

กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า ฝ่ายมาตรฐานและความปลอดภัย	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	ใช้แทนแบบ SA1-015/34029 ถูกแทนโดยแบบ
ผู้เขียน <i>Supphakol Boonreung</i> ผู้ตรวจ วิศวกร... <i>TOV</i> หัวหน้าแผนก... <i>TOV</i> ผู้อำนวยการกอง... <i>TOV</i> ผู้อำนวยการฝ่าย... <i>TOV</i>	ผู้ว่าการ... <i>(Signature)</i> 3 ต.อ. 7" การติดตั้งมิเตอร์ 3 เฟส 3 สาย 22 kv ประกอบว.ท. และซี.ท. สำหรับตีมาณต์โหลดของผู้ใช้ไฟ เกินกว่า 2,000 kVA	เขียนเสร็จวันที่ 22 พ.ค. 2551 แก้ไขวันที่
รองผู้ว่าการวางแผน และพัฒนาระบบไฟฟ้า <i>(Signature)</i>	INSTALLATION OF 22 kv, 3-φ, 3-W METER WITH V.T. & C.T. FOR DEMAND LOAD OF CUSTOMER EXCEED 2,000 kVA	มีดัดเป็น... มีดัดเมตร มาตราส่วน... 1:50
		แบบเลขที่ SA2-015/51007 แผ่นที่ 2 ของจำนวน 6 แผ่น

การประกอบเลขที่ 2504 A
ASSEMBLY NO.

บัญชีวัสดุ BILL OF MATERIAL				
ลำดับที่ ITEM	รายละเอียด DESCRIPTION	จำนวน REQ'D		วัสดุเลขที่ MAT. NO.
		I	II	
1	เสาคอนกรีต 12 ม. POLE, CONCRETE, 12 m LONG	1	1	1000010003
2	คอน คอร. สปัน ขนาด 100x100x2,500 มม. CROSSARM, SPUN, PRESTRESSED CONCRETE, 100x100x2,500 mm	4	5	1000110001
3	คอน คอร. สปัน (สำหรับเข้าปลายสาย) 120x120x2,000 มม. CROSSARM, SPUN, PRESTRESSED CONCRETE (FOR DEADENDING), 120x120x2,000 mm	2	2	1000110003
4	เหล็กประกบกับคอนสาย 30x6x760 มม. BRACE, FLAT, FOR CROSSARM, 30x6x760 mm	8	8	1010200001
5	สลักเกลียว M 16x130 มม. BOLT, MACHINE, M 16x130 mm	6	6	1010110200
6	สลักเกลียว M 16x170 มม. BOLT, MACHINE, M 16x170 mm	6	6	1010110201
7	สลักเกลียว M 16x200 มม. BOLT, MACHINE, M 16x200 mm	2	1	1010110202
8	สลักเกลียว M 16x250 มม. BOLT, MACHINE, M 16x250 mm	1	1	1010110203
9	สลักเกลียว M 16x300 มม. BOLT, MACHINE, M 16x300 mm	2	2	1010110204
10	สลักเกลียว M 16x400 มม. BOLT, MACHINE, M 16x400 mm	1	2	1010110206
11	สลักเกลียว M 16x450 มม. BOLT, MACHINE, M 16x450 mm	1	1	1010110207
12	สลักเกลียวตลอด M 16x450 มม. BOLT, DOUBLE ARMING, M 16x450 mm	4	4	1010120201
13	สลักเกลียวทางกลม M 16x450 มม. BOLT, DOUBLE ARMING, ROUND EYE, M 16x450 mm	3	3	1010130001
14	แหวนสี่เหลี่ยมแบน 52x52x4.5 มม. รู Ø18 มม. มอก. 258 WASHER, SQUARE, FLAT, 52x52x4.5 mm, HOLE Ø18 mm, TIS 258	48	49	1010180100
15	นัทรูปทวง M 16 DIN 582 NUT, EYE, M 16 DIN 582	3	3	1010180001
16	ลูกถ้วยแขวน หรือลูกถ้วยแทงกานตรง 22 kv ชนิดตามต้องการ INSULATOR, LINE POST TYPE OR PIN POST TYPE, 22 kv, TYPE AS REQUIRED	4	4	1030010100 1030010103 or 1030010001
17	ลูกถ้วยแขวน มอก. 354 แบบ ก (แบบ 52-1) INSULATOR, SUSPENSION TYPE, TIS 354, TYPE A (CLASS 52-1)	18	18	1030020000
18	แผ่นเหล็ก 40x6 มม. ยาว 180 มม. เจาะรูตามรายละเอียด C STEEL PLATE, 40x6 mm, 180 mm LONG ; PUNCH HOLE AS DETAIL C	8	8	-
19	ลวดอะลูมิเนียมกลมท่อนวน ขนาด Ø4 มม. ความยาวตามต้องการ COVERED TIE WIRE, Al. Ø 4 mm ; LENGTH AS REQUIRED	m	m	1020200003

COPY

กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า ฝ่ายมาตรฐานและความปลอดภัย	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	ใช้แทนแบบ SA1-015/34029 ถูกแทนโดยแบบ
ผู้เขียน <i>Sittthakol Boonrueng</i> ผู้สำรวจ	ผู้ว่าการ <i>P. S. C. M.</i> 3 มิ. 8. 2551	เขียนเสร็จวันที่ 22 พ.ค. 2551 แก้แบบวันที่
วิศวกร <i>Tor</i> หัวหน้าแผนก <i>Tor</i> ผู้อำนวยการกอง <i>M. S. J.</i> ผู้อำนวยการฝ่าย <i>P. S. C. M.</i>	การติดตั้งมิเตอร์ 3 เฟส 3 สาย 22 kv ประกอบว.ท. และซี.ท. สำหรับปริมาณโหลดของผู้ใช้ไฟ เกินกว่า 2,000 kVA	มีดเป็น
รองผู้ว่าการวางแผน และพัฒนาระบบไฟฟ้า <i>P. S. C. M.</i>	INSTALLATION OF 22 kv, 3-Ø, 3-W METER WITH V.T. & C.T. FOR DEMAND LOAD OF CUSTOMER EXCEED 2,000 kVA	มาตราส่วน
		แบบเลขที่ SA2-015/51007 แผ่นที่ 3 ของจำนวน 6 แผ่น

การประกอบเลขที่ ASSEMBLY NO. 2504 A

บัญชีวัสดุ BILL OF MATERIAL				
ลำดับที่ ITEM	รายละเอียด DESCRIPTION	จำนวน REQ'D		วัสดุเลขที่ MAT. NO.
		I	II	
20 a	ดรอปเอาต์ฟิวส์ตัดเอาต์ หนึ่งอินชูลเตอร์ 22 kv 100 A (กรณีที่มีความโหลด < 3,000 kVA) CUT-OUT, FUSE, OPEN TYPE, SINGLE INSULATOR, DROPOUT 22 kv, 100 A (IN CASE DEMAND LOAD < 3,000 kVA)	3	-	1040010000
20 b	เพาเวอร์ฟิวส์ 25 kv, 200 A (กรณีที่มีความโหลด 3,000 kVA-6,500 kVA) POWER FUSE 25 kv, 200 A (IN CASE DEMAND LOAD 3,000 kVA-6,500 kVA)	-	3	1040039921
21	กักดับเล็กรางแรงสูง 20-21 kv หรือ 24 kv, 5 kA SURGE ARRESTER, 20-21 kv OR 24 kv, 5 kA	3	3	1040000000 or 1040000003
22	ตู้อะลูมิเนียมใช้ภายนอกอาคาร สำหรับวัดปริมาณคิมเตอร์ หรือ ที่ออยมิเตอร์ สำหรับการอ่านหน่วยอัตโนมัติ พร้อมแป้นมิเตอร์ ALUMINIUM METER CABINET, OUTDOOR, FOR 3-Ø DEMAND METER OR TOU METER FOR AUTOMATIC METER READING (AMR) COMP. WITH METER PLATE	1	1	1060100007 or 1060100016
23	คิมเตอร์คิมเตอร์ ชนิดสะสม หรือ ที่ออยมิเตอร์ 3 เฟส 3 สาย 110 โวลต์ 5 แอมป์ หรือ ที่ออยมิเตอร์ 3 เฟส 3 สาย 110 โวลต์ 5 แอมป์ สำหรับการอ่านหน่วยอัตโนมัติ DEMAND METER, CUMULATIVE OR TOU METER, 3-PHASE, 3-WIRE, 110 V, 5 A OR METER, TOU 3 PHASE 3 WIRE 110 V 5 A FOR AUTOMATIC METER READING (AMR)	1	1	1060000300 or 1060000512
24	ว.ท. หนึ่งเฟส ใช้นอกอาคาร 22,000-110 โวลต์ พร้อมอุปกรณ์ติดตั้ง TRANSFORMER, VOLTAGE, 1-Ø, OUTDOOR, 22,000-110 V, COMP.WITH MOUNTING ACCESS.	2	2	1060020000
25	ซี.ท. ใช้นอกอาคาร 22 kv เร็วตามต้องการ พร้อมอุปกรณ์ติดตั้ง TRANSFORMER, CURRENT, 22 kv, RATIO AS REQUIRED ; COMP. WITH MOUNTING ACCESS.	2	2	1060040006 1060040011
26	คอนโทรลเคเบิล ขนาด 7x2.5 ตร.มม. (เดินในท่อย่อยสายตามแบบอ้างอิง 5) CONTROL CABLE, SIZE 7x2.5 mm ² (WIRE IN CONDUIT ACC. TO REF. DWG.5)	10 ม. m	10 ม. m	1020080402
27	ปรีฟอร์มมเชาปลายสายสำหรับเคเบิลอากาศ PERFORMED DEADEND, FOR AERIAL CABLE	6	6	1020260000 1020260004
28	พี.จี. คอนเนคเตอร์ สลักคู่ สำหรับสายอะลูมิเนียม ขนาดตามต้องการ BOLT, MACHINE, CONNECTOR, PARALLEL GROOVE, AL ; SIZE AS RERQUIRED	8	8	1020300102 1020300103
29	ลวดเหล็กตีเกลียว 50/7 ตร.มม. มอก. 404 STEEL STRANDED WIRE 50/7 mm ² , TIS 404	40 ม. m	40 ม. m	1010100004
30	เคเบิลอากาศ 22 kv ขนาด 50 ตร.มม. CABLE AERIAL, 22 kv, 50 mm ²	4 ม. m	4 ม. m	1020050000
31	ยูแคลมป์ สลักเดี่ยว M 8 CLAMP SINGLE U-BOLT, M 8	7	7	1010230000
32	เคเบิลอากาศ 22 kv ขนาด 50-185 ตร.มม. CABLE AERIAL, 22 kv, 50-185 mm ²	18 ม. m	18 ม. m	1020050000-1
33	เทปพันเคเบิลอากาศแรงสูง ขนาด 3/4" x 30' ELECTRICAL SPLICING TAPE, FOR H.T. AERIAL CABLE, SIZE 3/4" x 30'	1 ม้วน roll	1 ม้วน roll	1020180003
34	ทอ PVC แข็ง ขนาด Ø20x2,500-4,000 มม. พร้อมอุปกรณ์ยึด CONDUIT, PVC RIGID, Ø 20x2,500-4,000 mm, COMP. WITH FIXING ACCESSORIES	16 ม. m	16 ม. m	1080040002 or 1080040001
35	เหล็กดิน 60x60x5 มม. ยาว 2 ม. ROD, GROUND, 60x60x5 mm, 2 m LONG	2	2	1010220002

COPY

กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า ฝ่ายมาตรฐานและความปลอดภัย	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	ใช้แทนแบบ SA1-015/34029 ถูกแทนโดยแบบ
ผู้เขียน Supphakol Boonruang ผู้สำรวจ	ผู้ว่าการ	เขียนเสร็จวันที่ 22 พ.ค. 2551 แก้แบบวันที่
วิศวกร	การติดตั้งมิเตอร์ 3 เฟส 3 สาย 22-kv ประกอบว.ท. และซี.ท. สำหรับคิมตันท์โหลดของผู้ใช้ไฟ เกินกว่า 2,000 kVA	มิติเป็น
หัวหน้าแผนก		มาตราส่วน
ผู้อำนวยการกอง		
ผู้อำนวยการฝ่าย		
รองผู้ว่าการวางแผน และพัฒนาระบบไฟฟ้า	INSTALLATION OF 22 kv, 3-Ø, 3-W METER WITH V.T. & C.T. FOR DEMAND LOAD OF CUSTOMER EXCEED 2,000 KVA	แบบเลขที่ SA2-015/51007 แผ่นที่ 4 ของจำนวน 6 แผ่น

การประกอบเลขที่ 2504 A
ASSEMBLY NO.

บัญชีวัสดุ BILL OF MATERIAL				
ลำดับที่ ITEM	รายละเอียด DESCRIPTION	จำนวน REQ'D		วัสดุเลขที่ MAT. NO.
		I	II	
36	ตะปูเกลียวชุบโครเมียม ขนาด 15-20 มม. SCREW, CHROME PLATE, SIZE 15-20 mm	3	3	-
37	เทปไฟฟ้า พีวีซี ใยกายนอก ม้วนขนาด 19 มม. ยาว 20 ม. TAPE, ELECTRICAL, PVC PLASTIC OUTDOOR TYPE, ROLL SIZE 19 mm, 20 mm LONG	1 ม้วน roll	1 ม้วน roll	1020180002
38	จุดต่อสายดินกับหลักดินแบบเชื่อมด้วยความร้อน EXOTHERMIC WELDING POINT BETWEEN GROUND WIRE AND GROUND ROD	4	4	-
39	ทิมเบิลเคลวิส สำหรับปรiformเข้าปลายสาย CLEVIS, THIMBLE, FOR PREFORMED DEADEND	6	6	1030140011

ข้อเสนอแนะในการใช้ฟิวส์ลิ่งและเพาเวอร์ฟิวส์

- ขนาดฟิวส์ลิ่งหรือฟิวส์ชนิดดูรายละเอียดจากแบบเลขที่ SA2-015/50008 (การประกอบเลขที่ 3105 B)
- หากผู้ใช้ไม่มีค่านัดไหลมากกว่า 6,500 kVA อาจเลือกใช้งานรีโคลสเซอร์ หรือ เซกชั่นนัลไลเซอร์ หรือ สวิตซ์ตัดคอนแทน

SUGGESTION OF FUSE LINK AND POWER FUSE UNIT APPLICATION.

- RATE OF FUSE LINK OR FUSE UNIT SEE DETAIL IN DWG. No. SA2-015/50008 (ASSEMBLY No. 3105 B)
- IF DEMAND LOAD OF CUSTOMER IS MORE THAN 6,500 kVA, IT MAY BE APPLIED RECLOSER OR SECTIONALIZER OR DISCONNECTING SWITCH.

หมายเหตุ : ในกรณีที่ไม่มีเพาเวอร์ฟิวส์ อนุมัติให้ใช้สวิตซ์ตัดคอนแทนได้

NOTE : IN CASE OF NO POWER FUSE, DISCONNECTING SWITCH CAN BE PERMITTED.

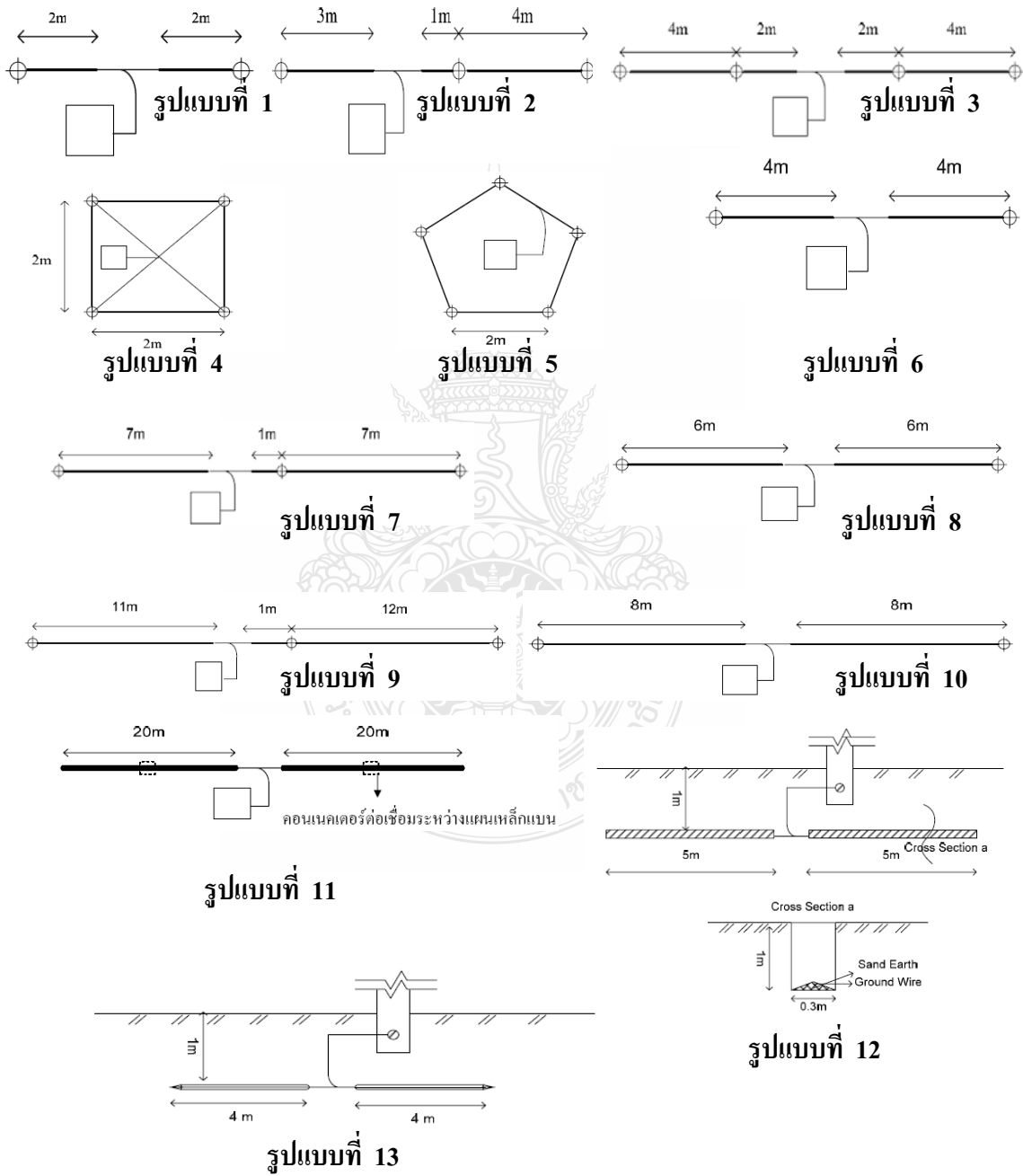
COPY

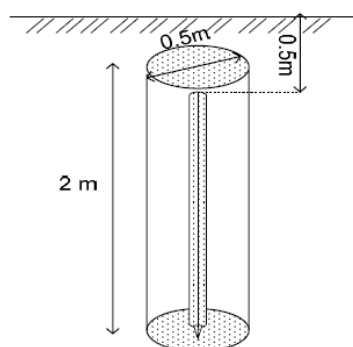
กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า ฝ่ายมาตรฐานและความปลอดภัย	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	ใช้แทนแบบ SA1-015/34029 ถูกแทนโดยแบบ
เขียน <i>Supphadit Boonrung</i> ผู้สำรวจ	ผู้ว่าการ <i>Dev. (หม.)</i> 3 ส. ๒. 2551	เขียนเสร็จวันที่ 22 พ.ค. 2551 แก้แบบวันที่
วิศวกร <i>Dev</i> หัวหน้าแผนก <i>Dev</i> ผู้อำนวยการกอง <i>Dev</i> ผู้อำนวยการฝ่าย <i>Dev</i>	การติดตั้งมิเตอร์ 3 เฟส 3 สาย 22 kv ประกอบบ.ท. และซี.ท. สำหรับค่านัดไหลของผู้ใช้ไฟ เกินกว่า 2,000 kVA	มิติเป็น
รองผู้ว่าการวางแผน และควบคุมระบบไฟฟ้า <i>Dev (หม.)</i>	INSTALLATION OF 22 kv, 3-φ, 3-W METER WITH V.T. & C.T. FOR DEMAND LOAD OF CUSTOMER EXCEED 2,000 kVA	มาตราส่วน
		แบบเลขที่ SA2-015/51007 แผ่นที่ ๕ ของจำนวน 6 แผ่น

รูปแบบการต่อลงดินของ กฟภ.

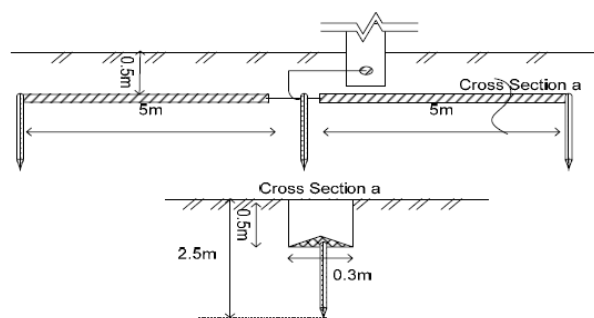


รูปแบบการต่อลงดิน							
Type1	Type2	Type3	Type4	Type5	Type6	Type7	Type8
0.1694	0.1142	0.0880	0.0883	0.0746	0.0954	0.0636	0.0676
รูปแบบการต่อลงดิน							
Type9	Type10	Type11	Type12	Type13	Type14	Type15	Type16
0.0450	0.0528	0.0496	0.1447	0.1572	0.0209	0.1447	0.1642

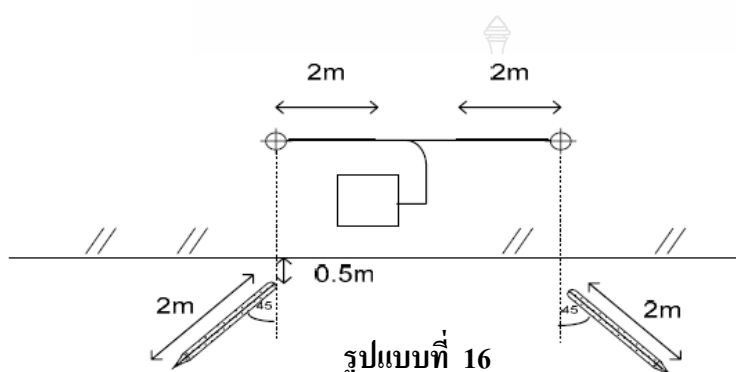




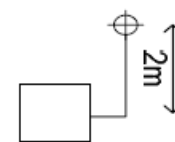
รูปแบบที่ 14



รูปแบบที่ 15



รูปแบบที่ 16



รูปแบบที่ 17

รูปแบบการต่อลงดิน	ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของค่าความต้านทาน	ช่วงของค่าความต้านทานจำเพาะของดินเมื่อกำหนดค่าเป้าหมายที่ 10 โอห์ม
ปัก 1 แท่ง	0.381	0-34
1	0.169	35-79
2	0.114	80-114
3	0.088	115-147
5	0.075	148-174
11	0.050	175-262
14	0.021	263-622

หมายเหตุ : ค่าความต้านทานของรากสายดินจะแปรผันตามฤดูกาลในช่วง ($\pm 30\%$)

วาริสเตอร์





Leaded varistors

Standard series

Construction

- Round varistor element, leaded
- Coating: epoxy resin, flame-retardant to UL 94 V-0
- Terminals: tinned copper wire

Features

- Wide operating voltage range 11 ... 1100 V_{RMS}
- High surge current ratings up to 8 kA
- No derating up to 85 °C ambient temperature
- PSpice models

Approvals

- UL
- CSA (all types ≥K115)
- SEV
- VDE
- CECC
- CQC S05/07 (K11 ... K460), S10/S14 (K11 ... K680), S20 (K11 ... K1100)
- IEC

Delivery mode

- Bulk (standard), taped versions on reel or in Ammo pack upon request.
- For further details refer to chapter "Taping, packaging and lead configuration" for leaded varistors.

Options

S10* types with lead spacing 5.0 mm and S20* types with lead spacing 7.5 mm are also available on request.

General technical data

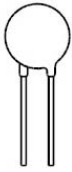
Climatic category	to IEC 60068-1	40/85/56	
Operating temperature	to CECC 42 000	-40 ... + 85	°C
Storage temperature		-40 ... +125	°C
Electric strength	to CECC 42 000	≥2.5	kV _{RMS}
Insulation resistance	to CECC 42 000	≥10	MΩ
Response time		<25	ns


Leaded varistors
Standard series
Maximum ratings ($T_A = 85\text{ °C}$)

Ordering code	Type (untaped) SIOV-	V_{RMS}	V_{DC}	i_{max} (8/20 μ s)	W_{max} (2 ms)	P_{max}
		V	V	A	J	W
B72205S0271K101	S05K275	275	350	400	8.6	0.10
B72207S0271K101	S07K275	275	350	1200	21.0	0.25
B72210S0271K101	S10K275	275	350	2500	43.0	0.40
B72214S0271K101	S14K275	275	350	4500	71.0	0.60
B72220S0271K101	S20K275	275	350	8000	151.0	1.00
B72205S0301K101	S05K300	300	385	400	9.6	0.10
B72207S0301K101	S07K300	300	385	1200	23.0	0.25
B72210S0301K101	S10K300	300	385	2500	47.0	0.40
B72214S0301K101	S14K300	300	385	4500	76.0	0.60
B72220S0301K101	S20K300	300	385	8000	173.0	1.00
B72210S0321K101	S10K320	320	420	2500	50.0	0.40
B72214S0321K101	S14K320	320	420	4500	84.0	0.60
B72220S0321K101	S20K320	320	420	8000	184.0	1.00
B72205S0381K101	S05K385	385	505	400	13.0	0.10
B72207S0381K101	S07K385	385	505	1200	28.0	0.25
B72210S0381K101	S10K385	385	505	2500	40.0	0.40
B72214S0381K101	S14K385	385	505	4500	80.0	0.60
B72220S0381K101	S20K385	385	505	8000	150.0	1.00
B72205S0421K101	S05K420	420	560	400	14.0	0.10
B72207S0421K101	S07K420	420	560	1200	32.0	0.25
B72210S0421K101	S10K420	420	560	2500	45.0	0.40
B72214S0421K101	S14K420	420	560	4500	90.0	0.60
B72220S0421K101	S20K420	420	560	8000	175.0	1.00
B72205S0441K101	S05K440	440	585	400	16.0	0.10
B72207S0441K101	S07K440	440	585	1200	34.0	0.25
B72210S0441K101	S10K440	440	585	2500	47.0	0.40
B72214S0441K101	S14K440	440	585	4500	95.0	0.60
B72220S0441K101	S20K440	440	585	8000	185.0	1.00
B72205S0461K101	S05K460	460	615	400	18.0	0.10
B72207S0461K101	S07K460	460	615	1200	36.0	0.25
B72210S0461K101	S10K460	460	615	2500	50.0	0.40
B72214S0461K101	S14K460	460	615	4500	100.0	0.60
B72220S0461K101	S20K460	460	615	8000	195.0	1.00


Leaded varistors
Standard series
Characteristics ($T_A = 25\text{ °C}$)

Ordering code	V_V (1 mA) V	ΔV_V (1 mA) %	$V_{c, \max}$ (i_c) V	i_c A	C_{typ} (1 kHz) pF
B72205S0271K101	430	± 10	710	5.0	50
B72207S0271K101	430	± 10	710	10.0	95
B72210S0271K101	430	± 10	710	25.0	195
B72214S0271K101	430	± 10	710	50.0	320
B72220S0271K101	430	± 10	710	100.0	630
B72205S0301K101	470	± 10	775	5.0	45
B72207S0301K101	470	± 10	775	10.0	90
B72210S0301K101	470	± 10	775	25.0	180
B72214S0301K101	470	± 10	775	50.0	300
B72220S0301K101	470	± 10	775	100.0	580
B72210S0321K101	510	± 10	840	25.0	170
B72214S0321K101	510	± 10	840	50.0	280
B72220S0321K101	510	± 10	840	100.0	540
B72205S0381K101	620	± 10	1025	5.0	40
B72207S0381K101	620	± 10	1025	10.0	75
B72210S0381K101	620	± 10	1025	25.0	150
B72214S0381K101	620	± 10	1025	50.0	240
B72220S0381K101	620	± 10	1025	100.0	450
B72205S0421K101	680	± 10	1120	5.0	35
B72207S0421K101	680	± 10	1120	10.0	65
B72210S0421K101	680	± 10	1120	25.0	135
B72214S0421K101	680	± 10	1120	50.0	220
B72220S0421K101	680	± 10	1120	100.0	420
B72205S0441K101	715	± 10	1180	5.0	32
B72207S0441K101	715	± 10	1180	10.0	60
B72210S0441K101	715	± 10	1180	25.0	125
B72214S0441K101	715	± 10	1180	50.0	210
B72220S0441K101	715	± 10	1180	100.0	400
B72205S0461K101	750	± 10	1240	5.0	30
B72207S0461K101	750	± 10	1240	10.0	55
B72210S0461K101	750	± 10	1240	25.0	120
B72214S0461K101	750	± 10	1240	50.0	200
B72220S0461K101	750	± 10	1240	100.0	380

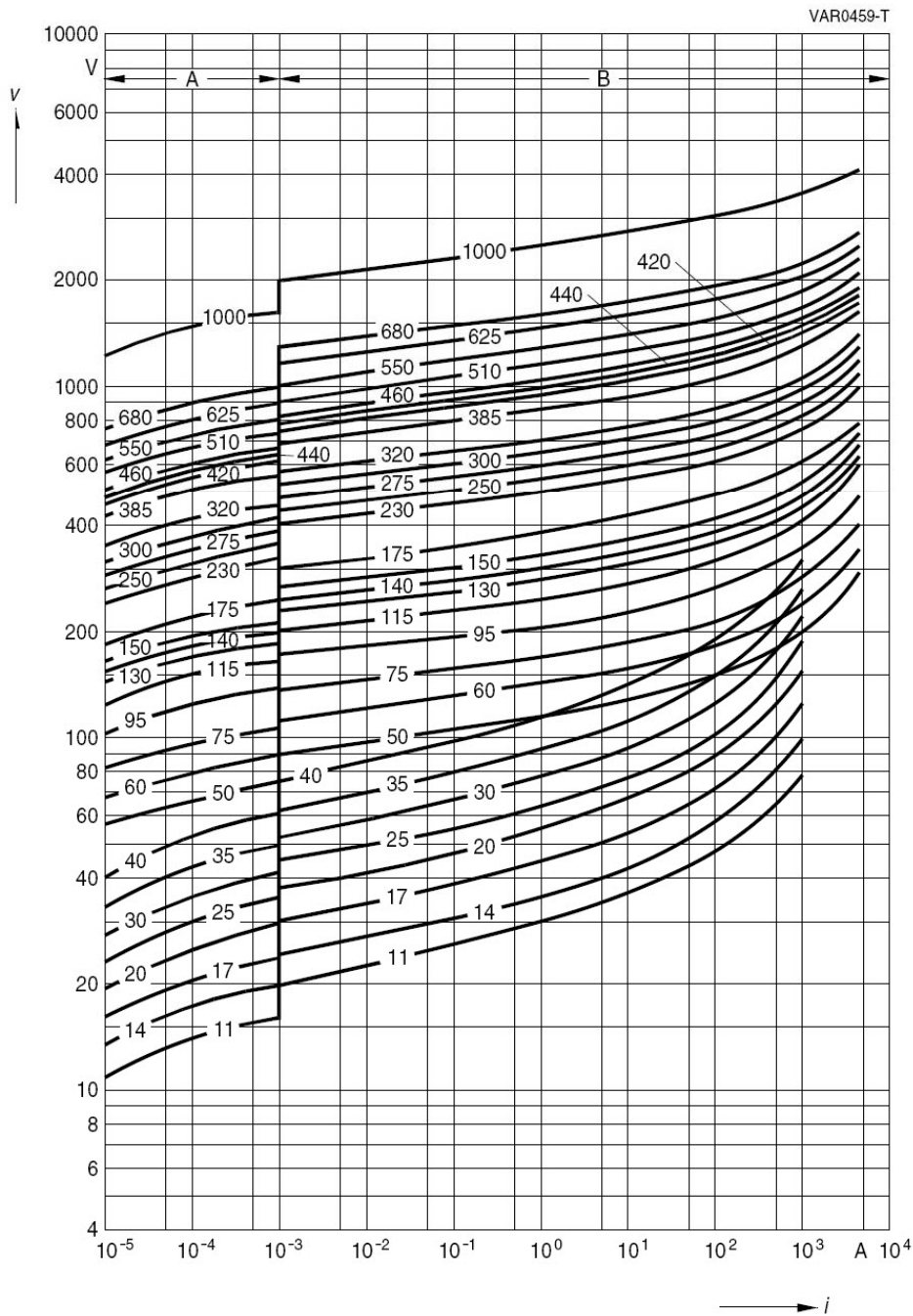


Leaded varistors

Standard series

v/i characteristics

$v = f(i)$ – for explanation of the characteristics refer to “General technical information”, 1.6.3
 A = Leakage current { for worst-case
 B = Protection level { varistor tolerances



SIOV-S14 ...

ภาคผนวก ก
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่





กลับสู่สารบัญหลัก

The 34th Electrical Engineering Conference (EECON-34)
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34
 หนังสือรวมบทความคัดย่อของบทความที่น่าสนใจในการประชุม

ไฟฟ้ากำลัง (PW)

• อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)

• ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)

• ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)

• อิเล็กทรอนิกส์ (EL)

• การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)

• คอมพิวเตอร์และทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)

• ไฟโตนิคส์ (PH)

• งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)

• วิศวกรรมชีวการแพทย์ (BE)

30 พฤศจิกายน - 2 ธันวาคม 2554

ณ โรงแรมแอมบาสเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน พัทยา จังหวัดชลบุรี

ดำเนินการโดย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม





รายชื่อผู้พิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34

Reviewers

Akkarat Boonpoonga
Amnart Suksri
Amnoiy Ruengwaree
Amorn Jiraseree-amornkun
Anuchit Charean
Anupap Meesomboon
Anuree Lorsawatsiri
Anuwat Jangwanitler
Aphibul Pruksanubal
Apichai Bhatranand
Apichan Kanjanavastit
Apinunt Thanachayanont
Apirada Namsang
Apiwat Lek-uthai
Arkhom Moungkhaodaeng
Arkom Kaewrawang
Amon Isaramongkolrak
Arporn Teeramongkonrasmee
Arthit Sode-Yome
Athikom Sareephattananon
Atthapol Ngaopitakkul
Bancha Burapattanasiri
Benjamas Panomruttanarug
Bongkoj Sookananta
Boonchuay Supmonchai
Boonruk Chipipop
Boonsri Kaewkham-ai
Boonyang Plangklang

Affiliations

King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Khon Kaen University
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Mahanakorn University of Technology
Kasembundit University
KhonKaen University
Mahanakorn University of Technology
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
King Monkut's University of Technology Thonburi
Mahanakorn University of Technology
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Chulalongkorn University
Srinakharinwirot University
Khon Kaen University
Mahanakorn University of Techonology
Chulalongkorn university
Siam University
Eastern Asia University
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Kasembundit University
King Monkut's University of Technology Thonburi
Ubon Ratchathani University
Chulalongkom Univeristy
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Chiang Mai University
Rajamangala University of Technology Thanyaburi



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34

Reviewers

Budhapon Sawetsakulanond
 Cattareeya Suwanasri
 Chai Chompoo-inwai
 Chainarin Ekkaravarodome
 Chainarong Klimanee
 Chaiwut Chat-uthai
 Chaiyan Jettanasen
 Chaiyaporn Khemapatapan
 Chaiyaporn Lothongkam
 Chaiyo Thammarat
 Chaiyut Sumpavakup
 Chanchai Thaijiam
 Chanchana Tangwongsan
 Channarong Banmongkol
 Charnchai Pluempitiwiryawej
 Charturong Tantibundhit
 Chatchai Jantaraprim
 Chatchai Suppitaksakul
 Chirawat Wattapanich
 Chiranut Sangiamsak
 Chirasak Sinsukudomchai
 Chirdpong Deelertpaiboon
 Chow Chompoo-inwai
 Chugiat Garagate
 Chutipon Uyaisom
 Chuttchaval Jeraputra
 David Banjerdpongchai
 Decha Wilairat

Affiliations

Mahanakorn University of Technology
 Naresuan University
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 King Mongkut's University of Technology North Bangkok
 Srinakharinwirot University
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Dhurakij Pundit University
 Mahanakorn University of Technology
 South East Asia University
 Mahanakorn University of Technology
 Srinakharinwirot University
 Chulalongkorn University
 Chulalongkorn University
 Chulalongkorn University
 Thammasat University
 Prince of Sonkla University
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 Walailak University
 Khon Kaen University
 South-East Asia University
 King Mongkut's University of Technology North Bangkok
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Kasetsart University
 Eastern Asia University
 Mahidol University
 Chulalongkorn University
 Mahidol university



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34

Reviewers

Denchai Worasawate
 Duang-arthit Srimoon
 Ekapon Siwapornsathain
 Issarachai Ngamroo
 Itarun Pitimon
 Ittipong Chaisayun
 Jakkree Srinonchat
 Jeerasuda Koseeyaporn
 Jirasak Chanwutitum
 Jirasuk Vilasdechanon
 Jitkomut Songsiri
 Jukkrit Tagapanij
 Kamon Jirasereeamornkul
 Kampol Woradit
 Kampree Thiravith
 Kanadit Chetpattananondh
 Kanat Poolsawasd
 Kanchana Silawarawet
 Kasem Utaikaifa
 Keerati Chayakulkheeree
 Khanittha Kaewdang
 Kiatiyuth Kveeyarn
 Kittiphong Meesawat
 Kittisak Tripipatpornchai
 Kittiwann Nimkerdphol
 Kobchai Dejhan
 Komsan Hongesombut
 Komson Daroj

Affiliations

Kasetsart University
 Rangsit University
 King Mongkut's University of Technology Thonburi
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Rajamngala University of Technology Thanyaburi
 South-East Asia University
 Rajamngala University of Technology Thanyaburi
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 King Mongkuts University of Technology North Bangkok
 Chiang Mai University
 Chulalongkorn University
 Mahanakorn University of Technology
 King Mongkut's University of Technology Thonburi
 Srinakharinwirot University
 Siam University
 Prince of Songkla University
 Mahidol University
 Siam University
 University of the Thai Chamber of Commerce
 Sripatum University
 Ubon Ratchathani University
 Kasetsart University
 Khon Kaen University
 Rangsit University
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Kasetsart University
 Ubonratchathani University



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34

Reviewers

Korporn Panyim
 Kosin Chamnongthai
 Krischonme Bhunkittipich
 Krissada Asavaskulkeit
 Krit Angkeaw
 Kulyos Audomvongseree
 Kunthphong Srisathit
 Kusumal Chalermyanont
 Mana Sriyudthsak
 Manop Aorpinai
 Mitchai Chongcheawchamnan
 Miti Ruchanurucks
 Monai Krairiksh
 Mongkol Konghirun
 Montree Siripruchyanun
 Montree Kumngern
 Montri Kamjanadecha
 Montri Somdunyanok
 Naebboon Hoonchareon
 Nalin Sidahao
 Nalinrat Witsawakitti
 Napat Sra-ium
 Nararat Ruangchajitapun
 Narong Yoothanom
 Narong Buabthong
 Narongrit Sanajit
 Nathabhat Phankong
 Natham Koedsamang

Affiliations

Mahidol University
 King Mongkut's University of Technology Thonburi
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 Mahidol University
 King Mongkuts University of Technology North Bangkok
 Chulalongkorn University
 Mahanakorn Univeristy of Technology
 Prince of Songkla University
 Chulalongkorn University
 Mahanakorn University of Technology
 Prince of Songkla University
 Kasetsart University
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 King Mongkut's University of Technology Thonburi
 King Mongkut's University of Technology North Bangkok
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Prince of Songkla University
 Siam University
 Chulalongkorn University
 Mahanakorn University of Technology
 Siam University
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Khon Kaen University
 Sripatum University
 Thammasat University
 Mahankorn University of Technology
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 Kasembundit University



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34

Reviewers

Nattavut Chayavanich
 Nattha Jindapetch
 Natthaphob Nimpitiwan
 Natthawuth Somakettarin
 Nimit Boonpirom
 Nipat Jongsawat
 Nisachon Tangsangiumvisai
 Nitipong Panklang
 Norrarat Wattanamongkhon
 Norrarat Wattanamongkhon
 Nuntiya Chaiyabut
 Opas Chutatape
 Paitoon Raklua
 Pakit Suwat
 Pakorn Kaewtrakulpong
 Panavy Pookaiyaudom
 Panthep Laohachai
 Pasawee Srimode
 Peerapol Jirapong
 Peerapol Yuvapoositanon
 Peerawut Yuthagowith
 Peerayot Sanposh
 Pennapa Pairodamonchai
 Petch Nantivatana
 Phaisan Ngamjanyaporn
 Phaisam Sutheebanjard
 Phakkawat Jantree
 Phichet Moungnoul

Affiliations

King Mongkut's University of Technology Thonburi
 Prince of Songkla University
 Bangkok University
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 Sripatum University
 Siam University
 Chulalongkorn University
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 Chulalongkorn University
 Chulalongkorn University
 Bangkok University
 Rangsit University
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 Siam University
 King Mongkut's University of Technology Thonburi
 Mahanakorn University of Technology
 Dhurakij Pundit University
 Sripatum University
 Chiang Mai University
 Mahanakorn University of Technology
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Kasetsart University
 King Mongkut's University of Technology North Bangkok
 Sripatum University
 Rangsit University
 Siam University
 Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34

Reviewers

Phumin Kirawanich
 Pichai Aree
 Pichet Wisartpong
 Pinit Jitjing
 Pinit Thepsatorn
 Pipat Prommee
 Pisit Vanichchanunt
 Pisit Wisutmetheekorn
 Piya Warabuntaweasuk
 Pongsawat Kotchapoom
 Pongsack Promwong
 Poonlap Lamsrichan
 Pomchai Phukpattaranont
 Prajuab Pawarangkon
 Pramin Artrit
 Pranchalee Rattanasakornchai
 Prasopchok Hothongkham
 Prayoot Akkaraekthalin
 Preecha Kocharoen
 Promsak Apiratikul
 Puangtip Phadungrot
 Punyaphat Phumiphak
 Punyawit Jamjareekul
 Rachu Punalard
 Rangsipan Marukatat
 Rawid Banchuin
 Rungsimant Sitdhikorn
 Sakchai Thipchaksurat

Affiliations

Mahidol University
 Thammasat University
 Mahanakom University of Technology
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 Srinakharinwirot University
 King Monkut's Institute of Technology Ladkrabang
 King Mongkut's University of Technology North Bangkok
 Mahanakom University of Technology
 Bangkok University
 Eastern Asia University
 Mahanakom University of Technology
 Kasetsart University
 Prince of Songkla University
 Mahanakom University of Technology
 Khonkaen University
 King Mongkut's University of Technology Thonburi
 Siam University
 King Mongkut's University of Technology North Bangkok
 Sripatum University
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 Mahanakom University of Technology
 Mahanakom University of Technology
 Dhurakij Pundit University
 Mahanakom University of Technology
 Mahidol University
 Siam University
 Mahanakom university of Technology
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34

Reviewers

Sakorn Po-ngam
 Salilip Sinthusonthishat
 Samphan Phrompichai
 Samroeng Hintamai
 Sanchai Dechanupaprittha
 Sangsuree Vasupongayya
 Sanun Srisuk
 Sarawan Wongsu
 Sawat Bunnjaweht
 Seangrawee Buakaew
 Sermsak Uatrongjit
 Sirichai Dangeam
 Sirivit Taechajedcadarungsri
 Siriwich Tadsuan
 Sittiporn Petchakit
 Somboon Nuchprayoon
 Somboon Sooksatra
 Somchai Biansoongnern
 Somchai Hiranvarodom
 Somchat Jiriwibhakorn
 Somkiat Piangprantong
 Sommart Sang-Ngern
 Somnida Bhatranand
 Sompong Toomsawude
 Somying Thainimit
 Somyot Kaitwanidvilai
 Songkran Kantawong
 Songphol Kanjanachuchai

Affiliations

King Mongkut's University of Technology Thonburi
 Mahanakorn University of Technology
 Mahanakorn University of Technology
 Sripatum University
 Kasetsart University
 Prince of Songkla University
 Mahanakorn University of Technology
 King Monkut's University of Technology Thonburi
 Mahanakorn University of Technology
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Chiang Mai University
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 Khon Kean University
 South East Asia University
 Siam University
 Chiang Mai University
 Rangsit University
 Rajamangala university of technology Thanyaburi
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 South-East Asia University
 Mahanakorn Univesity of Technology
 Mahidol University
 Siam University
 Kasetsart University
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Bangkok University
 Chulalongkorn University



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34

Reviewers

Sorawat Chivapreecha
 Suchada Sitjongsataporn
 Suchart Yammen
 Suchin Trirongjitmoah
 Suksun Nungam
 Sumate Naetiladdanon
 Sumrit Hungsasutra
 Suneat Pranonsatit
 Supachai Vorapojpisut
 Supannika Wattana
 Supatana Auethavekiat
 Supattana Nirukkanaporn
 Supawadee Swatdiponphallop
 Surachai Chaitusaney
 Surapan Airphaiboon
 Surapol Jantorn
 Surapong Suwankawin
 Suree Pumrin
 Suthee Rukkaphan
 Suwat Pattaramalai
 Thanapong Thanasaksiri
 Tanet Wonghong
 Tanin Duangjan
 Tasanee Chayavanich
 Tawan Phurat
 Thamvarit Singhavilai
 Thanadol Pritranan
 Thanakorn Namhormchan

Affiliations

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Mahanakorn University of Technology
 Naresuan University
 Ubon Ratchathani University
 King Mongkut's University of Technology North Bangkok
 King Mongkut's University of Technology Thonburi
 Khon Kaen University
 Kasetsart University
 Thammasat University
 Naresuan University
 Chulalongkorn University
 Rangsit University
 Khon Kaen University
 Chulalongkorn University
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Sripatum University
 Chulalongkorn University
 Chulalongkorn University
 Kasembundit University
 King Mongkut's University of Technology Thonburi
 Chiang Mai University
 Bangkok University
 Srinakharinwirot University
 King Mongkut's University of Technology Thonburi
 Siam University
 Mahidol University
 Mahidol University
 Eastern Asia University



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34

Reviewers

Thanapat Promwattanapakdee
 Thanathip Sum-Im
 Thavatchai Tayjasanant
 Theerapol Muankhaw
 Theerayod Wiangtong
 Theerayut Janjaem
 Thidarat Tawsook
 Thumrongrat Amornraksa
 Toempong Phetchakul
 Tomom Soonthornnapa
 Thaschagon Onboonuea
 Tuchsana Ploysuwan
 Ukrit Mankong
 Veerachai Malyavej
 Vichai Saelee
 Vijit Kinnares
 Vinai Silaruam
 Viriya Pichetjamroen
 Virote Pirajnanchai
 Vladimir Buntilov
 Vorapong Silaphan
 Vuttipon Tarateeraseth
 Vyapote Supabowomsatien
 Walisa Romsaiyud
 Wanchai Chankaipol
 Wanchai Chimchavee
 Wanchai Pijitrojana
 Wanchai Subsingha

Affiliations

Sripatum University
 Srinakharinwirot University
 Chulalongkorn University
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 Mahanakom University of Technology
 Kasembundit University
 Bangkok University
 King Mongkut's University of Technology Thonburi
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Siam University
 Eastern Asia University
 Siam University
 Chiang Mai University
 Mahanakom University of Technology
 South-East Asia University
 King Mongkut's Institute of Technology of Ladkrabang
 Mahanakom University of Technology
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 Mahidol University
 Mahanakom University of Technology
 Srinakharinwirot University
 Siam University
 Siam University
 Sripatum University
 University of the Thai Chamber of Commerce
 Thammasat University
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34

Reviewers

Wanchak Lenwari
 Wannarat Suntiamorntut
 Warayut Kampeerawat
 Watcharachai Wiriyasuttiwong
 Watis Leelapatra
 Wattanapong Kurdthongmee
 Weerapun Rungseevijitprapa
 Wekin Piyarat
 Werachet Khan-ngern
 Werapon Chiracharit
 Wichit Krueasuk
 Widhyakorn Asdornwised
 Wijitra Petchakit
 Wiklom Teerapabkajomdet
 Wilaipom Lee
 Winyu Sawaengsinkasikit
 Wipavan Narksarp
 Worakam Wongsachua
 Worapol Pongpech
 Wuthipom Loetwassana
 Yodchanan Wongsawat
 Yongyuth Naras
 Yotaka Chompusri
 Youthana Kulvitit
 Yutana Chongjaream
 Yuttana Kumsuwan
 Yuttapong Jiraksopakun
 Ong-Art Sadmai

Affiliations

King Mongkut's University of Technology Thonburi
 Prince of Songkla University
 Mahanakorn University of Technology
 Srinakharinwirot University
 Khon Kaen University
 Walailak University
 Chulalongkorn University
 Srinakharinwirot University
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 King Mongkut's University of Technology Thonburi
 Sripatum University
 Chulalongkorn University
 Walailak University
 Prince of Songkla University
 King Mongkut's University of Technology North Bangkok
 Kasembundit University
 Siam University
 Ubon Ratchathani University
 Dhurakijpundit University
 Mahanahom University of Technology
 Mahidol University
 Siam University
 King Mongkut's University of Technology North Bangkok
 Chulalongkorn University
 Dhurakij Pundit University
 Chiang Mai University
 King Mongkut's University of Technology Thonburi
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi

สารบัญ

PW053	การวิเคราะห์การเกิดแรงดันเกินชั่วขณะในช่วงสวิตช์ของสายเคเบิลได้นำพิกัด 115 กิโลโวลต์ กรณีศึกษางานขยายเส้นทางจ่ายไฟจาก อ. แหลมจอบ ไปยัง อ. เกาะช้าง จิราวัฒน์ ชัยนุพัทธ์ นิวัฒน์ อินทรโชติ ฉัฐวุฒิ โสมะเกษศรีรินทร์ และ ฉัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	213
PW054	ชุดขดลวดโรกอฟสกีเพื่อวัดกระแส 3 เฟส ชิตนันท ศรีแก่นวงษ์ ทวีริณ จันทน์วัฒนวงษ์ นภัสวรรณ อนุรักษสินทวี นฤมล ประชา นัฐพงษ์ ตั้งปัญญาโชติ และ เซาว์ ชมภูอินไหว สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	217
PW055	การวิเคราะห์แรงดันเกินที่จุดติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติในระบบ 22 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค นิวัฒน์ อินทรโชติ จิราวัฒน์ ชัยนุพัทธ์ ฉัฐวุฒิ โสมะเกษศรีรินทร์ และ ฉัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	221
PW056	การออกแบบและสร้างเครื่องเปรียบเทียบสัญญาณดีสซาร์จบางส่วน สุรัช ณ สงขลา อุดม พรหมศรีจันทร์ ฉัฐพงษ์ ประพฤติ สร จารุวรรณชัย และ ไชยพร หล่อทองคำ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร	225
PW057	การเพิ่มขอบเขตการจุดชนวนสำหรับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์แบบหลายขั้น พีรวุฒิ ยุทธโกวิท อานันท์วัฒน์ คุณากร ปุณยวีร์ ฉายศิริ และ บุญเลิศ เมฆลอย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	229
PW058	การสืบสวนกระแสฮาร์มอนิกของระบบไฟฟ้ากำลังเมื่อใช้ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือนแบบสแตติก สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบที่มีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากำลังภายใต้สภาวะเงื่อนไข ความเร็วลมต่ำ พุทธพร เสวตสกุลานนท์ และ วิจิตร กิมเรศ ¹ ¹ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ² สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	233
PW059	การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเคอร์เนลและซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนแบบแขนง การตัดสินใจที่เหมาะสมสำหรับการจำแนกปัญหาคุณภาพไฟฟ้า จงลักษณ์ พาหะชาห์ และ อิศระชัย งามหุ ² ¹ มหาวิทยาลัยพะเยา ² สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	237

การวิเคราะห์แรงดันเกินที่จุดติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติในระบบ 22 กิโลโวลต์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค Over Voltage Analysis at the AMR Energy Meter Unit in 22 kV Provincial Electricity Authority System

นิวัฒน์ อินทโชติ จิรวัดน์ ชัยนุพัทธ์ ณัฐวุฒิ โสมะเกษศรีรินทร์ และ ฉัตรชัย สุขพิทักษ์สกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ต. คลองหก อ. ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์: 02-549-3520 โทรสาร: 02-549-3422 E-mail: majinbu15@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาปัญหาจากการเกิดแรงดันเกินไฟฟ้าในระบบจำหน่ายระดับแรงดันปานกลาง 22 กิโลโวลต์ และการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้มิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ (AMR Energy Meter) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคชำรุดเสียหาย โดยจำลองระบบขณะเกิดฟ้าผ่าด้วยโปรแกรม EMTP-ATP เพื่อช่วยวิเคราะห์แรงดันที่เกิดขึ้น ณ จุดต่างๆ ที่สนใจ จากการศึกษาพบว่าเส้นทางกระแสไฟฟ้านำที่เข้ามิเตอร์ชำรุดเสียหายจะเกิดจากฟ้าผ่าลงระบบสายดินซึ่งอากาศของเสาต้นที่อยู่ข้างเคียงสู่ระบบสายดินแล้วย้อนกลับขึ้นสู่จุดติดตั้งมิเตอร์ผ่านทางหลักดิน และยังสามารถสรุปได้ว่ายิ่งฟ้าผ่าใกล้จุดติดตั้งมิเตอร์หรือขนาดกระแสฟ้าผ่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความรุนแรงจากฟ้าผ่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสาเหตุที่คาดว่าทำให้มิเตอร์ชำรุดเสียหายและไหม้เกิดจากแรงดันจุดต่อลงดิน ณ ตำแหน่งติดตั้งมิเตอร์มีค่าสูงกว่าที่ติดตั้งแรงดันของอุปกรณ์ระบายพลังงานฟ้าผ่าของมิเตอร์อยู่ถึง 12.78 กิโลโวลต์ หรือคิดเป็น 3.55 เท่า ที่ระดับกระแสฟ้าผ่า 40 กิโลแอมแปร์

คำสำคัญ: แรงดันเกินไฟฟ้า มิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ

Abstract

This paper presents a study of lightning over voltage problems in 22kV medium voltage distribution system and analyzes the damage causes of AMR Energy meter of Provincial Electricity Authority (PEA). EMTP-ATP program is used to determine the overvoltage at the interested positions. As the results of the simulation, it is found that the conducting path of lightning current, which cause of the damage, occurs from the lightning discharge into the Overhead Ground wire (OHGW) at top pole nearby then passes through the grounding system loop back to the AMR Energy meter installation position. Also it can conclude that if the lightning discharge area near the meter installation point or the magnitude of lightning current increase, it will cause more damage to the meter. Thus, it can expect that the defective cause might come from the voltage across grounding point, where the meter is installed, is higher than withstand voltage rating of the varistors in the meter around 12.78 kV or 3.55 times at the lightning current of 40 kA.

Keywords: Lightning Over voltage, AMR Energy meter

1. บทนำ

ปัจจุบันการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ได้นำเทคโนโลยีระบบการอ่านหน่วยการใช้ไฟฟ้าอัตโนมัติเข้ามาใช้งานกับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่ที่มีการขอใช้หม้อแปลงเฉพาะราย เป็นมิเตอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าชนิดอ่านหน่วยอัตโนมัติ (AMR) 3 เฟส 3 สาย ที่มีการขอใช้ไฟฟ้าประเภทอัตราค่าไฟตามช่วงเวลาการใช้ (Time of Use, TOU) โดยปกติมาตรฐานการติดตั้งมิเตอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าของ กฟภ. จะทำการติดตั้งไว้ภายนอกอาคาร และมีการต่อลงดินแยกจากระบบป้องกันฟ้าผ่าบนสายส่งซึ่งประกอบด้วยสายดินซึ่งอากาศ (Overhead Ground wire, OHGW) ตัวนำลงดิน (Down Conductor) และระบบสายดิน (Ground Rod System) เพื่อให้สามารถป้องกันความเสียหายจากการเกิดฟ้าผ่า แต่ยังมีมิเตอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าในระบบ AMR บางส่วนชำรุดเสียหาย จากข้อมูลสถิติของศูนย์ควบคุมการอ่านหน่วยอัตโนมัติของ กฟภ. (AMR CENTER) ปี พ.ศ. 2551-2552 มีมิเตอร์ชำรุดที่อาจเสียหายจากฟ้าผ่าจำนวน 169 เครื่อง จากมิเตอร์ชำรุดทั้งหมด 708 เครื่อง หรือคิดเป็นร้อยละ 23.9

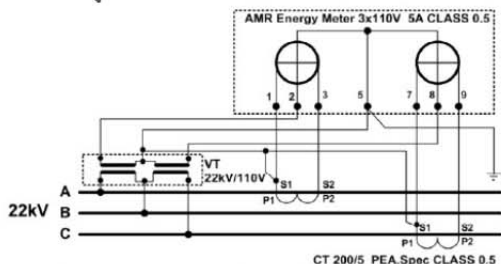
บทความนี้จะกล่าวถึงรูปแบบและการติดตั้งมิเตอร์ของกฟภ. และสมมติฐานการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้มิเตอร์ชำรุดจากปัญหาแรงดันเกิน ณ จุดติดตั้งมิเตอร์ด้วยแบบจำลองจากโปรแกรม EMTP-ATP วิเคราะห์ค่าแรงดัน ณ จุดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อระบุสาเหตุที่คาดว่าทำให้มิเตอร์ชำรุดต่อไป



รูปที่ 1 ลักษณะการติดตั้งมิเตอร์อ่านหน่วยอัตโนมัติ

2. การตั้งสมมติฐานและวิเคราะห์สาเหตุของมอเตอร์ชำรุด

สมมติฐานเพื่อการวิเคราะห์ที่เริ่มจากการถอดสำรวจมอเตอร์ที่ชำรุดพบว่าหลายตัวมีร่องรอยการไหม้บริเวณด้านในของจุดต่อร่วมลงดินด้านที่ออกจากหม้อแปลงทดแรงดัน (VT) เข้ามีมอเตอร์ที่หลังตำแหน่งหมายเลข 5 ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 วงจรการต่อมอเตอร์ AMR 3 เฟส 3 สาย ของ กฟภ.

จากการวิเคราะห์เบื้องต้นทางกายภาพแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเกิดจากระบบการต่อลงดิน แสดงดังรูปที่ 3 เนื่องจากการชำรุดส่วนใหญ่สายคอนโทรลเชื่อมต่อกับหม้อแปลงเครื่องวัดไม่มีการไหม้หรือชำรุดจากแรงดันเกินซึ่งในการวิเคราะห์จะมุ่งเน้นไปในแนวทางจากสาเหตุการเกิดฟ้าผ่าลงสายดินป้องกัน โดยการจำลองเหตุการณ์ด้วยโปรแกรม EMTP-ATP [1] ในการวิเคราะห์หาแรงดันเกินอันเนื่องมาจากฟ้าผ่าจำเป็นต้องวิเคราะห์หาเส้นการไหลของกระแสฟ้าที่ทำให้เกิดแรงดันเกิน ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ที่ถูกต้องสามารถนำไปสู่แนวทาง และวิธีป้องกันที่เหมาะสมต่อไป



รูปที่ 3 มอเตอร์ AMR ที่ชำรุดพบรอยไหม้ด้านในจุดต่อลงดินหมายเลข 5



รูปที่ 4 วาริสเตอร์ภายในมอเตอร์ AMR ที่ได้รับความเสียหาย

3. การวิเคราะห์แรงดันเกินอันเนื่องมาจากฟ้าผ่า

การวิเคราะห์หาแรงดันเกินสามารถทำได้โดยการจำลองระบบด้วยโปรแกรม EMTP-ATP เพื่อช่วยวิเคราะห์หาแรงดันเกิน ณ ตำแหน่งที่ต้องการ โดยแบ่งเป็นหัวข้อย่อย

3.1 การสร้างแบบจำลอง

การจำลองระบบเพื่อวิเคราะห์เหตุการณ์ในสภาวะชั่วคราวด้วยโปรแกรม EMTP-ATP จากพารามิเตอร์สายเฟสทั้ง 3 เฟส เป็นชนิด All Aluminium 185 มม² และสายดินซึ่งอากาศมี 1 เส้น ชนิดลวดเหล็กตีเกลียวขนาด 35 มม² โดยใช้โมเดลสายแบบ LCC รวมทั้งอุปกรณ์บนเสา ได้แก่ พารามิเตอร์ลูกถ้วย ความต้านทานดินอิมพีดส์ กับดักฟ้าผ่า และหม้อแปลงเครื่องวัดจะใช้ตามมาตรฐานพารามิเตอร์ กฟภ. [3] ที่ระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์ ส่วนการจำลองเสาคอนกรีตจะใช้ตาม [4] การจำลองลูกถ้วย [5] และหม้อแปลงเครื่องวัด (CT และ VT) กรณีความถี่สูง (1 kHz –10 MHz) [6,7] ถูกแทนด้วยค่าคาปาซิแตนซ์ สำหรับการจำลองเสาคอนกรีต [4] มีความสูง 12 เมตร ใช้โมเดล LineZt_1 ค่าเสิร์ฟอิมพีแดนซ์ของเสาคอนกรีตกรณีหลายตัวนำ สามารถหาได้จากสมการ (1)

$$Z_{pole} = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r - j\sigma/c}} \ln \left(\frac{h + \sqrt{h^2 + R^2}}{R} \right) \quad (1)$$

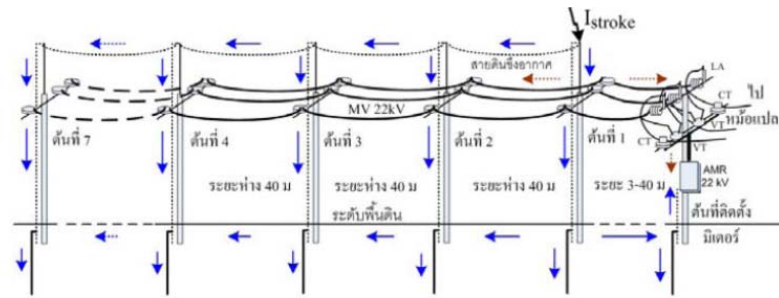
เมื่อ h = ความสูงของเสาไฟฟ้า (เมตร)

R = ความหนาของคอนกรีต (เมตร)

ส่วนการจำลองรากสายดินจะจำลองความต้านทานดินอิมพีดส์และรากสายดินด้วยวงจร RLC ตาม [2] และจำลองกับดักฟ้าผ่า (LA) จะใช้ตามพิกัดของ กฟภ. ด้วยโมเดล MOV โดยสรุปค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ใช้จำลองระบบ

Equipments	EMTP Model	Parameters
Line	LCC (J Marti)	AAC 185 mm ² for phase conductor R of phase conductor= 0.161 ohm/km Strand steel 35 mm ² for OHGW R of OHGW = 9.4 ohm/km Span 40 m [3]
Pole	LineZT_1	101 ohm at pole height of 12 m. [4]
Pin type Insulator	C	100 pF (unit) [5]
Instrument Transformer	C	Line-Line Capacitance 490 pF (VT) 310 pF (CT) [6,7]



รูปที่ 5 วงจรเพื่อใช้ศึกษาปัญหาแรงดันเกินบริเวณจุดต่อลงดินของมิเตอร์ AMR และทิศทางกระแสที่ไหลของกระแสไฟฟ้าหลังจากทำการวิเคราะห์

ตารางที่ 1 (ต่อ) พารามิเตอร์ที่ใช้จำลองระบบ

Equipments	EMTP Model	Parameters
Grounding of meter pole		$R = 5 \text{ ohm}$, $L = 3.07 \text{ uH}$ $C = 208.4 \text{ pF}$ [2]
Grounding of pole No.1-7		$R = 10 \text{ ohm}$, $L = 1.957 \text{ uH}$ $C = 227 \text{ pF}$ [2]
Lightning Arrester	MOV	10 kA 24-26 kV [9]
Lightning source	Heilder	15,20,25,30,35,40 kA 8/20uS [9]
22 kV source	AC3PH	17.96 kV 50 Hz [9]

3.2 หัวข้อการศึกษาและการวิเคราะห์

การศึกษาและวิเคราะห์ค่าแรงดันที่จุดต่อลงดินของมิเตอร์จากประเด็นต่างๆ ดังนี้ คือ 1) ขนาดกระแสไฟฟ้าที่มีค่าแตกต่างกันตั้งแต่ 15-40 กิโลแอมแปร์ 2) ระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่พาลงหัวเสาสายดินชิงอากาศที่ไกลออกไปจากเสาที่ติดตั้งมิเตอร์(มิเตอร์ติดตั้งที่เสาต้นปลายหรือ Dead end) ตั้งแต่ช่วง 1-7 ต้น 3) ศึกษาระยะห่างที่เปลี่ยนแปลงของเสาที่ใกล้ที่สุดที่ติดตั้งสายดินชิงอากาศที่พาลงถึงตำแหน่งเสาที่ติดตั้งมิเตอร์ 4) ศึกษาผลกระทบที่มีค่าความต้านทานการต่อลงดินของเสาต้นที่ติดตั้งมิเตอร์มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน 5) เส้นทางกระแสที่ไหลของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านจุดต่อลงดินของมิเตอร์

4. ผลการศึกษา

เมื่อทำการวิเคราะห์ระบบด้วยโปรแกรม EMTP-ATP ตามสมมติฐานที่วางไว้ ได้ผลการศึกษาแยกตามกรณีดังต่อไปนี้

1) เมื่อกระแสไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 15-40 กิโลแอมแปร์ จะทำให้เกิดแรงดันที่จุดต่อลงดิน ณ ตำแหน่งติดตั้งมิเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยพิจารณาจากแฉกแนวตั้งในตารางที่ 2 (เมื่อให้ระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่พาลงหัวเสาสายดินชิงอากาศอยู่ห่างจากเสาติดตั้งมิเตอร์เป็นระยะคงที่) ซึ่งค่าแรงในตารางที่ 2 คือ แรงดันจุดต่อลงดินที่

เกินพิกัดแรงดันคงทนที่พาลงของวาริสเตอร์ที่ 3.6 กิโลโวลต์ในดัมมิเตอร์ [8]

ตารางที่ 2 แรงดันที่จุดต่อลงดินของมิเตอร์ที่ตำแหน่งที่พาลงระยะต่าง ๆ

เสาที่พาลง	แรงดันที่จุดต่อลงดิน ณ ตำแหน่งติดตั้งมิเตอร์ AMR (kV)						
	1	2	3	4	5	6	7
ระยะห่างมิเตอร์ ถึงจุดพาลง	3 m	43 m	83 m	123 m	163 m	203 m	243 m
15kA	6.20	4.88	4.32	3.57	3.07	2.66	2.53
20kA	8.20	6.50	5.54	4.76	4.09	3.54	3.37
25kA	10.30	8.12	6.92	5.94	5.17	4.43	4.20
30kA	12.30	9.75	8.32	7.10	6.12	5.31	5.04
35kA	14.37	11.36	9.69	8.24	7.16	6.20	5.89
40kA	16.38	12.97	11.07	9.35	8.2	7.08	6.74

2) เมื่อระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่พาลงหัวเสาสายดินชิงอากาศ ยิ่งไกลออกไปจากเสาที่ติดตั้งมิเตอร์ ความรุนแรงของแรงดันเหนี่ยวนำที่พาลงที่จุดต่อลงดิน ณ ตำแหน่งติดตั้งมิเตอร์จะมีค่าลดลง (จำลองที่พาลงตั้งแต่หัวเสาต้นที่ 1-7 ที่ระยะห่างตั้งแต่ 3-243 เมตร และกำหนดให้ขนาดกระแสที่พาลง) โดยพิจารณาจากแฉกแนวบนของตารางที่ 2

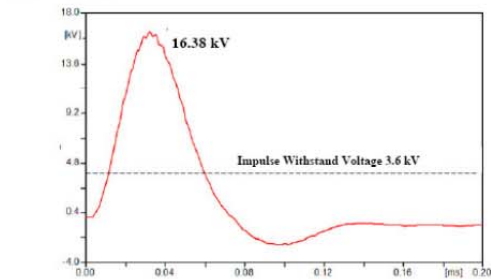
3) เมื่อระยะห่างของเสาต้นที่ 1 ที่ติดตั้งสายดินชิงอากาศที่พาลงอยู่ใกล้กับเสาที่ติดตั้งมิเตอร์มากขึ้น จะทำให้ระดับแรงดันที่จุดต่อลงดิน ณ ตำแหน่งติดตั้งมิเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระยะห่างเสาต้นที่ 1 ตั้งแต่ 3-40 เมตร และเพิ่มค่ากระแสที่พาลงที่หัวเสาตั้งแต่ 15-40 กิโลแอมแปร์) ดังแสดงในรูปที่ 7

4) เมื่อค่าความต้านทานการต่อลงดินมีค่าสูงขึ้น (โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานการต่อลงดินตั้งแต่ 5-30 โอห์ม ที่ระยะห่างจากจุดพาลง 3 เมตร) พบว่าแรงดัน ณ จุดติดตั้งมิเตอร์จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย และความสามารถในการระบายกระแสลงดินมีค่าลดลง ส่งผลให้แรงดันตกคร่อมวาริสเตอร์ภายในมิเตอร์ AMR เพิ่มขึ้นเกินพิกัดความคงทนของวาริสเตอร์มากกว่าเดิม ดังแสดงในรูปที่ 8

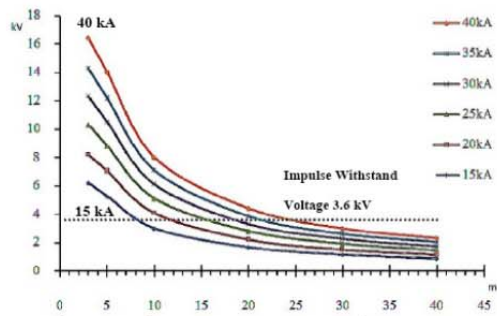
5) เส้นทางกระแสที่ไหลของกระแสไฟฟ้าเมื่อจำลองการเกิดพาลงหัวเสาสายดินชิงอากาศต้นที่ 1 แสดงในรูปที่ 5 พบว่าจะไหลออกจากจุดเกิดพาลงทุกทิศทางลงดิน ซึ่งขนาดกระแสขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ของเสานั้นๆ และกระแสส่วนใหญ่จะระบายสู่พื้นดินกระจายตัวตามโคนเสา ซึ่งห่างจากจุดพาลงมาก ระดับกระแสจะลดลงตามด้วย แต่หากค่าความ

ด้านทานดินบริเวณนั้นๆ ค่า และมีระยะห่างของเสาที่ติดตั้งมิเตอร์ไม่มากพอ อาจทำให้มิเตอร์ชำรุดเสียหายเนื่องจากเกิดแรงดันเกินคกรวมจุดต่อลงดินของมิเตอร์ และพบอีกว่ามีกระแสบางส่วนเหนี่ยวนำผ่านสายเฟสคู่หรือแปลงชุดวัดและลงสู่มิเตอร์เช่นกัน แต่มีปริมาณน้อยมาก (ในหน่วย mA) ซึ่งไม่สามารถทำความเสียหายแก่มิเตอร์ได้

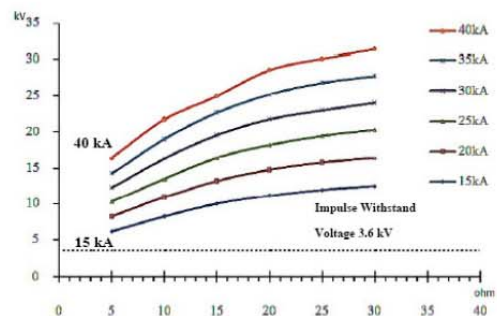
จากการศึกษาที่จุดต่อลงดิน ณ ตำแหน่งติดตั้งมิเตอร์ AMR เมื่อจำลองกระแสฟ้าผ่าขนาด 40 กิโลแอมแปร์ ที่ระยะห่าง 3 เมตร ค่าความต้านทานดิน 5 โอห์ม ตามมาตรฐานของ กฟภ. จะเกิดแรงดันคกรวมสูงสุด 16.38 กิโลโวลต์ แสดงดังรูปที่ 6 และมีกระแสไหลผ่านจุดดังกล่าว 3.26 กิโลแอมแปร์



รูปที่ 6 แรงดันจุดต่อลงดินที่เกิดจากกระแสฟ้าผ่าสูงสุด 40 กิโลแอมแปร์ ที่ระยะห่างจากจุดฟ้าผ่า 3 เมตร



รูปที่ 7 แรงดันที่จุดต่อลงดิน ณ ตำแหน่งติดตั้งมิเตอร์เทียบกับระยะห่างเสาตั้งที่อยู่ใกล้ที่จำลองฟ้าผ่าตั้งแต่ 3-40 เมตร



รูปที่ 8 แรงดันจุดต่อลงดิน ณ ตำแหน่งติดตั้งมิเตอร์เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานการต่อลงดินตั้งแต่ 5-30 โอห์มที่ระยะห่างจากจุดฟ้าผ่า 3 เมตร

5. สรุป

จากการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาเพื่อหาสาเหตุการชำรุดของมิเตอร์ ด้วยโปรแกรม EMTP-ATP โดยใช้พารามิเตอร์จริงจาก กฟภ. พบว่าเมื่อเกิดฟ้าผ่าลงสายดินซึ่งอากาศบริเวณใกล้กับเสาต้นที่ติดตั้งมิเตอร์จะเกิดกระแสระบายลงดินผ่านหลักดินขึ้นสู่เสาต้นที่ติดตั้งมิเตอร์ทำให้แรงดันคกรวมจุดต่อลงดินที่ตัวมิเตอร์มีค่าสูงสุด 16.38 กิโลโวลต์ ที่ระยะห่าง 3 เมตร ด้วยกระแสฟ้าผ่า 40 กิโลแอมแปร์ (8/20µs) ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่กักแรงดันคกรวมของวารีเตอร์ที่ใช้ระบายพลังงานฟ้าผ่าของมิเตอร์อยู่ถึง 12.78 กิโลโวลต์ หรือ 3.55 เท่า และในกรณีที่ค่าความต้านทานการต่อลงดินมีค่าสูงเกินมาตรฐาน (มากกว่า 5 โอห์ม) จะทำให้แรงดัน ณ จุดติดตั้งมิเตอร์จะมีค่าสูงขึ้นเกินที่กักการป้องกันด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบอีกว่าที่กระแสฟ้าผ่า 15 กิโลแอมแปร์ และ 20 กิโลแอมแปร์ (8/20µs) มิเตอร์จะปลอดภัยจากแรงดันเกินฟ้าผ่า เมื่อเสาต้นที่ติดตั้งมิเตอร์อยู่ห่างจากเสาต้นที่เกิดฟ้าผ่าที่ระยะห่างมากกว่า 123 เมตรและ 203 เมตรตามลำดับ ซึ่งในทางปฏิบัติการควบคุมจุดที่ต้องการให้ฟ้าผ่าลงทำได้ยาก ดังนั้นแนวทางในการลดความเสียหายอันเนื่องมาจากฟ้าผ่าหรือฟ้าผ่าเหนี่ยวนำระยะใกล้ จึงควรปรับปรุงโดยการเพิ่มที่กักแรงดันคกรวมฟ้าผ่าของวารีเตอร์ภายในตัวมิเตอร์ให้มีค่าสูงขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โครงการพัฒนาการอ่านหน่วยด้วยระบบอัตโนมัติ และ กองวิจัย กฟภ. ที่อนุเคราะห์ข้อมูลและข้อเสนอแนะต่างๆ ต่องานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Dommel, H. W. EMTP theory book, 2nd Edition, May 1992
- [2] วิวัฒน์ กุลวงษ์วิทย์, การต่อลงดินลุ่ม 5 อิมพัลส์อิมพีแดนซ์, 2552.
- [3] กองแผนงานระบบ ไฟฟ้า, ค่าพารามิเตอร์สายระบบจำหน่ายและระบบสายส่ง, ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า กฟภ., 2548.
- [4] สำเริง สินท่าไม้, เสรีจิมพีแดนซ์ของเสาไฟฟ้าคอนกรีตอันเนื่องมาจากผลคูณสมบัติทางไฟฟ้าของคอนกรีต, วิทยานิพนธ์ 2548.
- [5] กิตติ เลียงเครือ , “แรงดันเหนี่ยวนำเนื่องจากฟ้าผ่าระบบจำหน่าย 22 kV ที่อยู่บนเสาต้นเดียวกับระบบ 115 kV”, วิทยานิพนธ์, 2546.
- [6] Alan Greenwood, Electrical Transients in power Systems, 2nd Edition, 1991, p-p 459-460.
- [7] IEEE Modeling and Analysis of System Transient Working Group, Modeling Guidelines For Fast Front Transient, IEEE Transaction on Delivery, Vol. 11, No.1, January 1996.
- [8] EPCOS, SIOV Metal Oxide Standard Serie, December 2007.
- [9] คณะทำงานจัดทำคู่มือการใช้งาน โปรแกรม EMTP, การใช้งานโปรแกรม EMTP เบื้องต้น, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, ธันวาคม 2550.

การวิเคราะห์การเกิดแรงดันเกินชั่วขณะในช่วงสวิตช์ของสายเคเบิลใต้น้ำพิกัด 115 กิโลโวลต์
กรณีศึกษางานขยายเส้นทางจ่ายไฟจาก อ.แหลมงอบ ไปยัง อ.เกาะช้าง

Switching Transient Analysis of 115 kV. Submarine Cable System

: Case Study of Transmission Route Extension from Laem Ngob to Kho Chang

จีราวัฒน์ ชัยนุทท์ นีวัฒน์ อินทรโชติ ฉัฐวุฒิ โสมะเกษศรีรินทร์ และ ฉัตรชัย สุภทิพย์สกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ 0-2549-3420 โทรสาร 0-2549-3422 E-Mail : geerawath.cha@pea.co.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาการเกิดแรงดันเกินชั่วขณะของสายเคเบิลใต้น้ำขนาด 3×185 มม.² ใช้ XLPE เป็นฉนวนไฟฟ้า พิกัด 115 กิโลโวลต์ ระยะทาง 9.266 กิโลเมตร จากบริเวณฝั่งแหลมงอบ ไปยังเกาะช้าง จ.ตราด ซึ่งการศึกษาดังกล่าวมีความสำคัญและมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการวิเคราะห์ปัญหาแรงดันเกินชั่วขณะของสายเคเบิลใต้น้ำจากการสวิตช์ เพื่อประเมินความคงทนของฉนวนสายเคเบิลใต้น้ำที่นำมาใช้กับระบบ บทความนี้ใช้โปรแกรม EMTP-ATP ในการจำลองระบบขณะเกิดแรงดันเกินชั่วขณะ โดยแบ่งศึกษาเป็น 2 กรณี 1) การเกิดแรงดันเกินชั่วขณะจากการปิดวงจรไฟฟ้า 2) การเกิดแรงดันเกินชั่วขณะจากการลัดวงจรรูปแบบต่างๆ ผลจากการจำลองระบบไฟฟ้าทั้ง 2 กรณี พบว่าการลัดวงจรไฟฟ้าในลักษณะ 2 เฟสลงกราวด์และไม่สามารถกำจัดฟอลต์ออกจากระบบได้ก่อนเซอร์กิตเบรกเกอร์ปิดกลับซ้ำ มีค่าแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะสูงสุดที่ 175 กิโลโวลต์ เมื่อคำนวณเทียบกับค่าอ้างอิงของแรงดันคงทนชั่วขณะที่มีความถี่กำลัง (Short-Duration Power-Frequency Withstand Voltage, SDW) ตามมาตรฐาน IEC 60071-1 พบว่าสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย และไม่เกิดความเสียหายใดกับเคเบิลใต้น้ำ

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาการเกิดแรงดันเกินชั่วขณะของสายเคเบิลใต้น้ำขนาด 3×185 มม.² ใช้ XLPE เป็นฉนวนไฟฟ้า พิกัด 115 กิโลโวลต์ ระยะทาง 9.266 กิโลเมตร จากบริเวณฝั่งแหลมงอบ ไปยังเกาะช้าง จ.ตราด ซึ่งการศึกษาดังกล่าวมีความสำคัญและมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการวิเคราะห์ปัญหาแรงดันเกินชั่วขณะของสายเคเบิลใต้น้ำจากการสวิตช์ เพื่อประเมินความคงทนของฉนวนสายเคเบิลใต้น้ำที่นำมาใช้กับระบบ บทความนี้ใช้โปรแกรม EMTP-ATP ในการจำลองระบบขณะเกิดแรงดันเกินชั่วขณะ โดยแบ่งศึกษาเป็น 2 กรณี 1) การเกิดแรงดันเกินชั่วขณะจากการปิดวงจรไฟฟ้า 2) การเกิดแรงดันเกินชั่วขณะจากการลัดวงจรรูปแบบต่างๆ ผลจากการจำลองระบบไฟฟ้าทั้ง 2 กรณี พบว่าการลัดวงจรไฟฟ้าในลักษณะ 2 เฟสลงกราวด์และไม่สามารถกำจัดฟอลต์ออกจากระบบได้ก่อนเซอร์กิตเบรกเกอร์ปิดกลับซ้ำ มีค่าแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะสูงสุดที่ 175 กิโลโวลต์ เมื่อคำนวณเทียบกับค่าอ้างอิงของแรงดันคงทนชั่วขณะที่มีความถี่กำลัง (Short-Duration Power-Frequency Withstand Voltage, SDW) ตามมาตรฐาน IEC 60071-1 พบว่าสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย และไม่เกิดความเสียหายใดกับเคเบิลใต้น้ำ

คำสำคัญ: แรงดันเกินชั่วขณะสวิตช์ เคเบิลใต้น้ำ
แรงดันคงทนชั่วขณะที่มีความถี่กำลัง

Abstract

This paper presents a study of switching transient voltage on the 115 kV XLPE submarine cable with three conductors size of 3×185 mm², 9.266 km. long from Laem Ngob Coast to Koh Chang in Trat province of Thailand. It is very necessary to analyze the impact of the switching transient voltage to the submarine cable in order to evaluate the over voltage withstand of the designed submarine cable in the system. The EMTP-ATP program is used for simulation the switching transient situations that are divided into two cases: 1) The switching transient voltage from closing circuit 2) The switching

transient voltage from short circuits. As the simulation results of both cases, it is shown that case of the double line to ground fault and unable to clear fault before reclosing the circuit breaker provides the maximum switching transient voltage at 175 kV. Then the Short-Duration Power-Frequency Withstand Voltage (SDW) is calculated in accordance with IEC 60071-1. It is found that the designed cable can safely use and undamaged.

Keywords : Switching Transient, Submarine Cable,
Short-Duration Power-Frequency Withstand Voltage

1. บทนำ

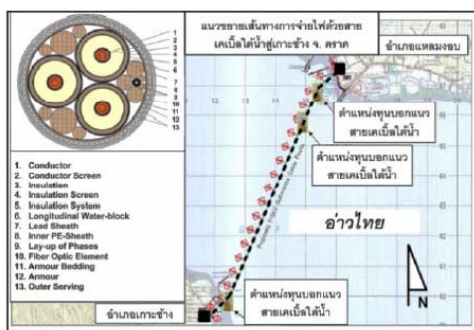
ในปัจจุบันความต้องการพลังงานไฟฟ้าเกิดขึ้นทุกที่ รวมถึงพื้นที่เกาะต่างๆ โดยในอดีตเกาะต่างๆ จะติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากน้ำมันดีเซลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าใช้เองได้ แต่ด้วยวิกฤตการณ์ทางเศรษฐกิจที่เชื้อเพลิงในปัจจุบันมีแนวโน้มมูลค่าสูงขึ้น ประกอบกับมลภาวะต่างๆ ที่เกิดขึ้น และความต้องการใช้พลังงานของแต่ละพื้นที่สูงมากขึ้น ซึ่งการที่จะใช้น้ำมันดีเซลมาผลิตไฟฟ้าจึงเป็นเรื่องที่ไม่เหมาะสม ทางออกของปัญหาวิธีหนึ่งที่จะเพิ่มเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า คือการก่อสร้างสายส่งเคเบิลใต้น้ำจากแผ่นดินใหญ่ไปยังเกาะต่างๆ



รูปที่ 1 การวางสายเคเบิลใต้น้ำ

กรณีศึกษานี้เป็นงานก่อสร้างสายส่งไฟฟ้าระบบ 115 กิโลโวลต์ จากสถานีไฟฟ้าแหลมฉบังจ่ายไฟฟ้าผ่านสายส่งแบบเหนื่อดินระยะทาง 11 กิโลเมตร แล้วเชื่อมต่อเข้ากับสายส่งแบบเคเบิลใต้น้ำระยะทาง 9.266 กิโลเมตร บริเวณอนุสรณ์สถานยุทธนาวีเกาะช้าง แหลมฉบัง (ฝั่งแผ่นดินใหญ่) ไปขึ้นฝั่งที่เกาะช้าง ซึ่งแนวการวางสายเคเบิลใต้น้ำโครงการนี้ได้ผ่านการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม [1] มาแล้ว โดยเคเบิลใต้น้ำที่ใช้ครั้งนี้เป็นสายไฟฟ้าชนิด 3×185 มม.² ใช้ XLPE เป็นฉนวนไฟฟ้า [2]

จากการที่เคเบิลใต้น้ำใช้ XLPE เป็นฉนวนนั้น จึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจในการนำมาศึกษาและวิเคราะห์การเกิดแรงดันเกินชั่วขณะในรูปแบบต่างๆ ที่มีลักษณะแตกต่างกันไปตามลักษณะของการปิดวงจรไฟฟ้าในแต่ละครั้ง



รูปที่ 2 แนวขยายเส้นทางจ่ายไฟด้วยสายเคเบิลใต้น้ำสู่เกาะช้าง จ.ตราด

2. สมการที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะ

สมการทั้งหมดนี้ได้อ้างอิงวิธีการหาค่า SDW ตามมาตรฐาน IEC 60071-2[3] โดยนำผลที่ได้จากการจำลองระบบมาแทนค่าในสมการ (1) ส่วนสมการที่ (2) ถึง (4) นั้น เป็นการเลือกใช้ค่าตามเงื่อนไขของการศึกษาการเกิดแรงดันเกินชั่วขณะที่จะวัดตามมาตรฐานแรงดันใช้งานสูงสุดในบทความนี้กำหนดให้เป็นค่าคงที่ของสายเคเบิลชนิดฉนวนแข็ง

$$U_{e2} = 0.98 \times U_0 \tag{1}$$

$$U_{cw} = U_{e2} \times K_{cd} \tag{2}$$

$$U_{rw} = U_{cw} \times K_s \tag{3}$$

$$SDW = 1.732 \times U_{rw} \times K_1 \tag{4}$$

- เมื่อ : U_0 = แรงดันเกินชั่วขณะที่เกิดขึ้น (กิโลโวลต์)
- U_{e2} = แรงดันเกินที่นำมาคิดหลังจากหักลดค่าชดเชย (กิโลโวลต์)
- U_{cw} = แรงดันคงทนของการจัดสัมพันธ์ฉนวน (กิโลโวลต์)
- U_{rw} = แรงดันคงทนที่เกิดในระบบ (กิโลโวลต์)
- K_{cd} = แฟกเตอร์การจัดสัมพันธ์เชิงกำหนด ใช้ค่า 1.1
- K_s = แฟกเตอร์ความปลอดภัยของฉนวนด้านใน ใช้ค่า 1.15
- K_1 = แฟกเตอร์สำหรับฉนวนแข็ง เลือกใช้ค่า 0.5

3. เงื่อนไขในการจำลองและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า

การศึกษาและวิเคราะห์การเกิดแรงดันเกินชั่วขณะของเคเบิลใต้น้ำครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาและจำลองระบบเฉพาะ ในส่วนของแรงดันไฟฟ้า ตามแนวทางรายงานการศึกษาและวิเคราะห์การเกิดแรงดันเกินชั่วขณะ ของงานโครงการก่อสร้างสายส่งเคเบิลใต้น้ำระบบ 115 กิโลโวลต์ ไปยังเกาะช้าง จ.ตราด ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค[4] เพื่อศึกษาผลกระทบแรงดันเกินชั่วขณะที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าจะส่งให้ฉนวนไฟฟ้า XLPE ของเคเบิลใต้น้ำได้รับความเสียหายจากแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะหรือไม่ โดยระบบที่ทำการจำลองเป็นระบบแรงดันไฟฟ้าพิกัด 115 กิโลโวลต์ แบบเบรคเดียวไม่มีการแยกจ่ายไฟฟ้าไปอื่น และไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากจุดอื่นเข้ามาต่อกับระบบที่ทำการจำลอง โดยทำการวิเคราะห์ค่าแรงดันเกินชั่วขณะที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการปิดวงจรไฟฟ้าในสภาวะการจ่ายโหลดคงที่ ช่วงเวลาขณะเกิดการลัดวงจรไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ที่ด้านปลายสายเคเบิลใต้น้ำ เนื่องจากระบบไฟฟ้าที่ทำการจำลองเป็นรูปแบบเบรคเดียว ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ด้านทางสถานีไฟฟ้าแหลมฉบังเป็นตัวเปิดและปิดวงจร จากเหตุผลดังกล่าวจึงเลือกทำการลัดวงจรที่ปลายสายเคเบิลใต้น้ำฝั่งเกาะช้าง ที่อยู่ห่างไกลจากจุดที่เปิดและปิดวงจรไฟฟ้ามกที่สุด เพื่อศึกษาผลกระทบของแรงดันเกินชั่วขณะสูงสุดที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า ในขณะที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำการเปิดและปิดวงจรในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดการลัดวงจรในรูปแบบต่างๆ ที่ปลายสายเคเบิลใต้น้ำ

4. การดำเนินการ

การจำลองระบบจะใช้โปรแกรม EMTP-ATP[5] มาดำเนินการวิเคราะห์ระบบในแต่ละกรณีศึกษานี้ โดยแยกกรณีศึกษาออกเป็น 2 กรณี ดังนี้ กรณีที่ 1 การปิดวงจรไฟฟ้า และกรณีที่ 2 เกิดการลัดวงจรในรูปแบบต่างๆ

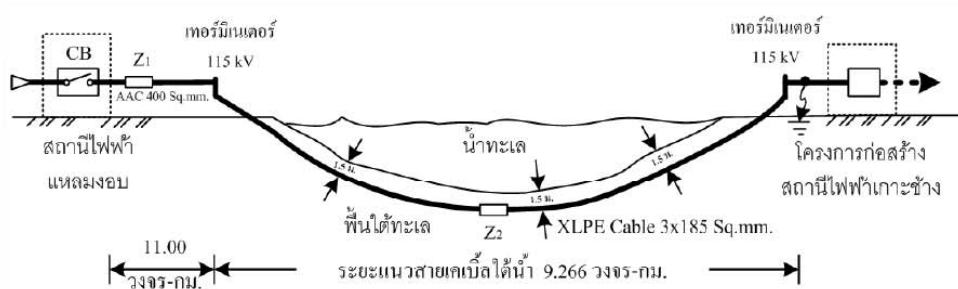
ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์สายส่งเหนื่อดิน (Z_1) [6]

Over head	Rin [cm]	Rout [cm]	Rho [ohm*km]
Conductor	0	1.2825	0.098181
OHWG	0	0.375	9.441798

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ของเคเบิลใต้น้ำ (Z_2) [7]

Cable	Rin [m]	Rout [m]	Rho [ohm*m]	mu [cond]	mu [ins]	eps [ins]
Core	0	0.008	1.7241×10^{-8}	1	1	2.3
Sheath	0.008	0.0311	21.4×10^{-8}	1	1	2.3

หมายเหตุ :
 μ [cond]= Conductor Relative Permeability, R_{in} = Inner Radius
 μ [ins] = Insulator Relative Permeability, R_{out} = Outer Radius
 ϵ [ins] = Insulator Relative Permittivity, Rho = Resistivity



รูปที่ 3 ภาพตัดแนวแสดงเส้นทางสายส่งไฟฟ้าสู่เกาะช้าง จ.ตราด

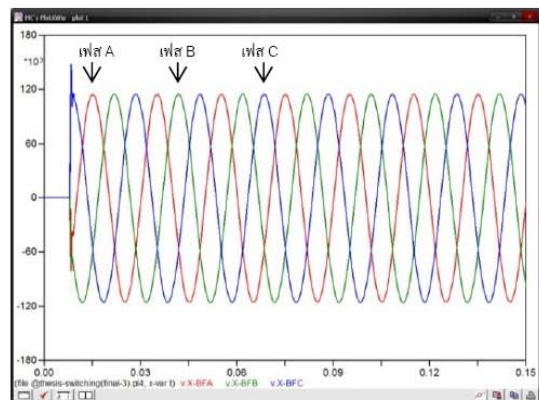
4.1 แรงดันเกินชั่วขณะในช่วงทำการปิดวงจรไฟฟ้า (SW)

การจำลองระบบกรณีนี้จะทำการศึกษาและวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะที่เกิดขึ้นที่ต้นทางเคเบิลใต้น้ำ บริเวณอนุสรณ์สถานยุทธนาวีเกาะช้าง (แหลมฉบังฝั่งแผ่นดินใหญ่) และที่ปลายทางของเคเบิลใต้น้ำฝั่งเกาะช้าง ซึ่งจะทำให้การปิดวงจรไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของรูปคลื่นไซน์ เมื่อ 1 คาบเวลามีเวลาเท่ากับ 0.020 วินาที (ความถี่ 50 เฮิรตซ์) และเนื่องจากรูปคลื่นไซน์ ใน 1 คาบเวลามีด้วยกัน 2 ลูกคลื่น คือ ลูกคลื่นด้านบวกและลูกคลื่นด้านลบมีลักษณะสมมาตรกันค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากัน แต่มีมุมเฟสตรงกันข้ามกัน เพราะฉะนั้นในการจำลองระบบครั้งนี้ จึงสามารถทำการทดลองปิดวงจรไฟฟ้าเฉพาะในช่วงเวลา 0.000 ถึง 0.010 วินาที ทุกๆ 0.001 วินาที รวมช่วงเวลากการปิดวงจรไฟฟ้าทั้งหมด 11 ครั้ง

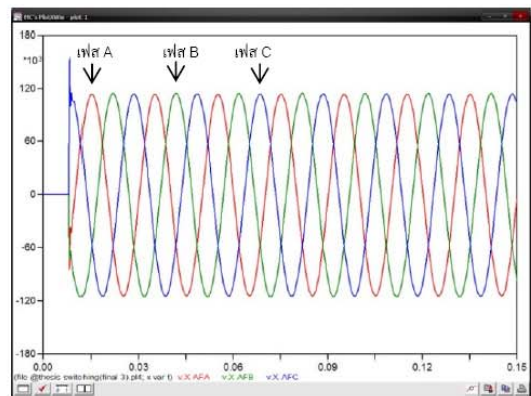
4.2 แรงดันเกินชั่วขณะในช่วงทำการลัดวงจรไฟฟ้า

การจำลองระบบกรณีนี้จะทำการศึกษาและวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะที่เกิดขึ้นจากการลัดวงจรไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ ที่จุดเทอร์มินัลปลายทางของสายเคเบิลใต้น้ำฝั่งเกาะช้าง โดยในการจำลองระบบไฟฟ้าครั้งนี้ได้แบ่งการลัดวงจรออกเป็น 6 กรณี ตามลักษณะการเกิดการลัดวงจร ดังนี้

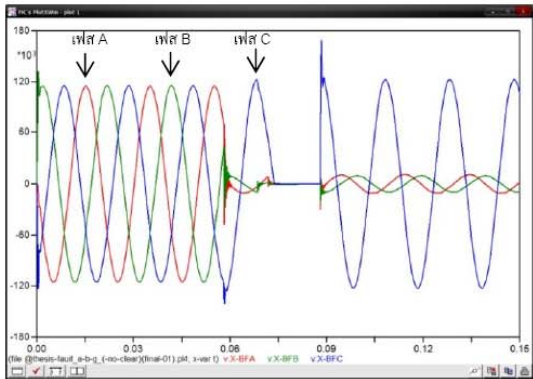
- 1) การลัดวงจรไฟฟ้าแบบ 1 เฟสลงกราวด์ และสามารถกำจัดฟอลต์ออกจากระบบก่อนเซอร์กิตเบรกเกอร์ปิดกลับซ้ำ (SLGF-CF)
- 2) การลัดวงจรไฟฟ้าแบบ 1 เฟสลงกราวด์ และไม่สามารถกำจัดฟอลต์ออกจากระบบได้ก่อนเซอร์กิตเบรกเกอร์ปิดกลับซ้ำ (SLGF-UCF)
- 3) การลัดวงจรไฟฟ้าแบบ 2 เฟสลงกราวด์ และสามารถกำจัดฟอลต์ออกจากระบบได้ก่อนเซอร์กิตเบรกเกอร์ปิดกลับซ้ำ (DLGF-CF)
- 4) การลัดวงจรไฟฟ้าแบบ 2 เฟสลงกราวด์ และไม่สามารถกำจัดฟอลต์ออกจากระบบได้ก่อนเซอร์กิตเบรกเกอร์ปิดกลับซ้ำ (DLGF-UCF)
- 5) การลัดวงจรไฟฟ้าแบบ 3 เฟสลงกราวด์ และสามารถกำจัดฟอลต์ออกจากระบบได้ก่อนเซอร์กิตเบรกเกอร์ปิดกลับซ้ำ (TLGF-CF)
- 6) การลัดวงจรไฟฟ้าแบบ 3 เฟสลงกราวด์ และไม่สามารถกำจัดฟอลต์ออกจากระบบได้ก่อนเซอร์กิตเบรกเกอร์ปิดกลับซ้ำ (TLGF-UCF)



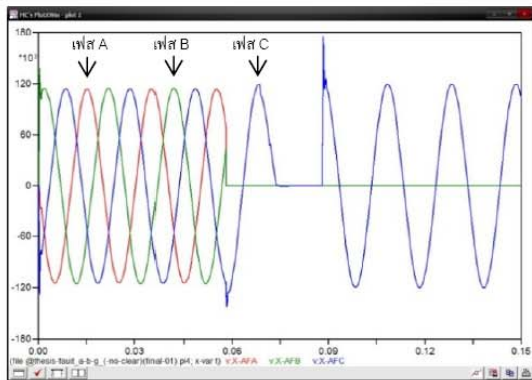
รูปที่ 4 ค่าแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะสูงสุดที่ต้นทางเคเบิลใต้น้ำปิดวงจรไฟฟ้า ณ เวลา 0.008 วินาที กรณีการปิดวงจรไฟฟ้า



รูปที่ 5 ค่าแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะสูงสุดที่ปลายทางเคเบิลใต้น้ำปิดวงจรไฟฟ้า ณ เวลา 0.008 วินาที กรณีการปิดวงจรไฟฟ้า



รูปที่ 6 ค่าแรงดันเกินชั่วขณะสูงสุดที่ต้นทางเคเบิลใต้น้ำ ณ เวลา 0.008 วินาที กรณีการลัดวงจร 2 เฟสลงกราวด์และไม่สามารถกำจัดฟอลต์ออกจากระบบได้ก่อนเซอร์กิตเบรกเกอร์ปิดกลับซ้ำ



รูปที่ 7 ค่าแรงดันเกินชั่วขณะสูงสุดที่ปลายทางเคเบิลใต้น้ำ ณ เวลา 0.008 วินาที กรณีการลัดวงจร 2 เฟสลงกราวด์และไม่สามารถกำจัดฟอลต์ออกจากระบบได้ก่อนเซอร์กิตเบรกเกอร์ปิดกลับซ้ำ

5. ผลการดำเนินการ

ผลจากการจำลองแรงดันเกินชั่วขณะในช่วงสับสวิชต์ทั้ง 2 กรณี ในหัวข้อที่ 4 แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะที่ต้นทางและปลายทางเคเบิลใต้น้ำ

Time (ms)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
SW	V _s	132	146	145	131	143	148	139	139	149	143	132
	V _r	138	152	131	136	149	152	142	144	154	147	138
SLGF -CF	V _s	132	153	145	131	143	148	139	139	148	143	132
	V _r	138	159	131	136	149	153	142	144	153	147	138
SLGF -UCF	V _s	132	153	138	149	134	116	138	155	160	148	132
	V _r	138	159	145	154	128	110	141	161	165	154	138
DLGF -CF	V _s	132	146	145	136	143	148	139	139	148	143	132
	V _r	138	152	131	136	149	153	142	144	153	147	138
DLGF -UCF	V _s	140	112	116	108	112	118	131	157	168	162	140
	V _r	146	109	62	50	49	95	135	163	175	168	146
TLGF -CF	V _s	132	146	145	131	143	148	139	139	148	143	132
	V _r	138	152	131	136	149	153	142	144	153	147	138
TLGF -UCF	V _s	105	115	117	108	113	121	116	110	120	119	105
	V _r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ V_s = แรงดันไฟฟ้าที่ต้นทางเคเบิลใต้น้ำ

V_r = แรงดันไฟฟ้าที่ปลายทางเคเบิลใต้น้ำ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34 (EECON-34) 30 พฤศจิกายน - 2 ธันวาคม 2554 มหาวิทยาลัยสยาม

ปรากฏว่าการมีการลัดวงจรไฟฟ้าแบบ 2 เฟสลงกราวด์ และไม่สามารถกำจัดฟอลต์ออกจากระบบได้ก่อนเซอร์กิตเบรกเกอร์ปิดกลับซ้ำ มีค่าแรงดันไฟฟ้าเกินที่ปลายของเคเบิลใต้น้ำฝั่งเกาะข้างสูงสุดคือ 175 กิโลโวลต์ หรือคิดเป็น 1.86 เปอรียูนิต โดยการพิจารณาหาค่าสูงสุดในแต่ละครึ่งของแต่ละเฟสเป็นการหาค่าสูงสุดตามวิธีการ Case peak method ของ IEC 60071-2 ซึ่งจะต้องนำค่าที่ได้มาแปลงให้อยู่ในรูปของค่าแรงดันคงทนชั่วขณะที่มีความถี่กำลัง (SDW) เพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตาม IEC 60071-1 [8] ที่พิกัดแรงดันใช้งานนั้น

6. สรุป

จากการจำลองระบบไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม EMTP-ATP ทั้ง 2 กรณี พบว่าการลัดวงจรไฟฟ้าแบบ 2 เฟสลงกราวด์และไม่สามารถกำจัดฟอลต์ออกจากระบบได้ก่อนที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ปิดกลับซ้ำมีค่าแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะสูงสุดที่ 175 กิโลโวลต์ เมื่อนำค่าดังกล่าวมาแปลงเป็นค่าแรงดันคงทนชั่วขณะที่มีความถี่กำลัง (Short-Duration Power-Frequency Withstand Voltage, SDW) ตามสมการที่ (1) ถึง (4) จะได้ค่าเท่ากับ 187 กิโลโวลต์ ซึ่งมาตรฐาน IEC 60071-1 กำหนดค่า SDW ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าใช้งานสูงสุด 123 กิโลโวลต์ ไว้ไม่เกิน 230 กิโลโวลต์ จึงสรุปได้ว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะที่เกิดจากการสับสวิชต์ ในทุกกรณีจากการจำลองระบบครั้งนี้ มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน สามารถนำสายเคเบิลใต้น้ำขนาดพิกัดดังกล่าวไปใช้ในการขยายเส้นทางจ่ายไฟสู่เกาะข้าง จ.ตราด ได้อย่างปลอดภัย

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่อนุเคราะห์ข้อมูลและข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] รายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรามคำแหง, พ.ศ. 2548.
- [2] Thomas. Worzyk, Submarine Power Cable, 2009.
- [3] IEC 60071-2 Insulation co-ordination Part 2 : Application Guide.
- [4] รายงานการศึกษาและวิเคราะห์การเกิดแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะ ของงานโครงการก่อสร้างสายส่งเคเบิลใต้น้ำระบบ 115 กิโลโวลต์ ไปยังเกาะข้าง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, พ.ศ. 2553
- [5] Dommel, H. W. EMTP theory book, 2nd Edition, May 1992.
- [6] คำพาราโมเตอร์สายส่งรูปแบบวงจรเดียวตัวนำเดียว การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
- [7] Nexans Norway AS, Submarine Cable Data Sheet, Norway, 2009.
- [8] IEC 60071-1 Insulation co-ordination Part 1 : Definitions, principles and rules.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นายนิวัฒน์ อินทโชติ
วัน เดือน ปีเกิด	15 เมษายน พ.ศ.2524
ที่อยู่	39 หมู่ 10 ต.บึงทองหลาง อ.ลำลูกกา จ.ปทุมธานี 12150
การศึกษา	สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล เมื่อปี พ.ศ.2547
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2547 – 2548	วิศวกรไฟฟ้า บริษัท เอ็น เอช เค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด
พ.ศ.2548 – ปัจจุบัน	วิศวกร 6 แผนกบำรุงรักษาวิตซ์เกียร์ 1 (ภาคกลาง) กองบำรุงรักษาสถานีไฟฟ้า ฝ่ายก่อสร้าง และบำรุงรักษาสถานีไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

