

การจัดสัมพันธทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย

115 KV SUBSTATION INSULATION COORDINATION

พรทิพา สร้างคอมพัฒนา

PORNTHIPA SANGKHOMPATTANA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

ISBN 974-9709-53-5

การจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย

115 KV SUBSTATION INSULATION COORDINATION



พรทิพา สร้างคอมพัฒนา

PORNTHIPA SANGKHOMPATTANA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

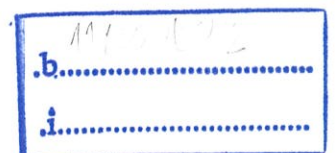
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2547

ISBN 974-9709-53-5

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....51828.....
วัน,เดือน,ปี.....30 ก.ค. 2547.....



115 KV SUBSTATION INSULATION COORDINATION

PORNTHIPA SANGKHOMPATTANA

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2004

ISBN 974-9709-53-5

COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KINGMONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย
115 KV SUBSTATION INSULATION COORDINATION

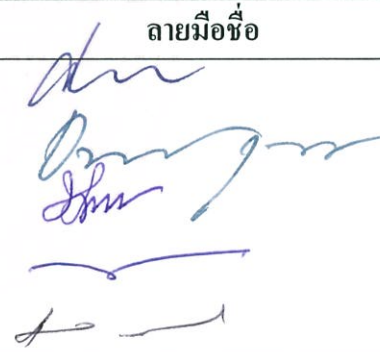
ชื่อนักศึกษา นางสาวพรทิพา สร้างคอมพัฒนา

รหัสประจำตัว 42061060

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ศุที	บรรจงจิตร	
ผศ.ดร.อานันท์วัฒน์	คุณากร	
รศ.ดร.วิจิตร	กิณเรศ	
รศ.นิทัศน์	กฤษณจินดา	
รศ.มณฑล	ลีลาจินดาไกรฤกษ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 19 พฤษภาคม 2547 เวลา 11.30-13.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-301)


บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 2547

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย
นักศึกษา	นางสาวพรทิพา สร้างคอมพัฒนา
รหัสประจำตัว	42061060
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอแนวทางการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการเลือกค่าความคงทนของความเป็นฉนวนต่อแรงดันเกินฟ้าผ่า (Basic Lightning Impulse Insulation Level , BIL), ระยะห่างระหว่างเฟสกับเฟสและเฟสกับกราวด์ (Clearance) จำนวน,ตำแหน่งพิกัดของก๊ับดักฟ้าผ่าที่เหมาะสมสำหรับแต่ละสถานีไฟฟ้าย่อย มีการพิจารณาพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อการเลือกค่า BIL, Clearance และจำนวน,ตำแหน่งพิกัดของก๊ับดักฟ้าผ่า ซึ่งพารามิเตอร์ดังกล่าวประกอบด้วยขนาดกระแสฟ้าผ่าต่างๆ,ลักษณะการเกิดฟ้าผ่าฟ้าผ่าที่แตกต่างกัน คือ ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าและฟ้าผ่าลงที่สายเฟสดำแล้วทำให้เกิดแรงดันเกินฟ้าผ่าวิ่งไปตามสายส่งเข้าสู่สถานีไฟฟ้าย่อย,ระยะระหว่างจุดที่เกิดฟ้าผ่ากับสถานีไฟฟ้าย่อยและสุดท้าย คือ สถานีไฟฟ้าย่อยที่แตกต่างกันประกอบด้วยสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีอากาศเป็นฉนวนและสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีก๊าซเป็นฉนวน โดยมีการใช้โปรแกรมทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้า (Alternative Transient Program) คำนวณหาแรงดันเกินฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นในสถานีไฟฟ้าย่อย และได้ทำการเลือกใช้ Metal Oxide Arrester เป็นอุปกรณ์จำกัดแรงดันเกินฟ้าผ่า ซึ่งแนวทางการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่นำเสนอนี้ทำให้ผู้ออกแบบสามารถหาค่าแรงดัน,ค่าความคงทนของความเป็นฉนวนต่อแรงดันเกินฟ้าผ่า (BIL) ของอุปกรณ์,ระยะห่างระหว่างเฟสกับเฟสและเฟสกับกราวด์ (Clearance) จำนวนและตำแหน่งพิกัดของก๊ับดักฟ้าผ่าได้อย่างเหมาะสมสำหรับแต่ละสถานีไฟฟ้าย่อย

Thesis Title	115 KV SUBSTATION INSULATION COORDINATION
Student	MISS PORNTHIPA SANGKHOMPATTANA
Student ID.	42061060
Degree	Master Degree of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2004
Thesis Advisor	Associated .Prof. MONTHOL LEELAJINDAKRAILUAK

ABSTRACT

This thesis presents a procedure for 115 kV substation insulation coordination design for selecting appropriate lightning insulation strength(BIL) , phase-phase and phase-ground clearance and locating and number of lightning arresters in substations. The lightning current magnitude ,the strikes to top of the poles and on the transmission lines , causing backflashover on the incoming lines and lightning overvoltage propagates along incoming line enter to substations, distance between lightning location and substation and the difference between air-insulated substations and gas-insulated substations can be defined as parameters in the design process. In addition, the Alternative Transient Program (ATP) is used to evaluate lightning overvoltages that occur in the substation and proper Metal Oxide Arrester to limit lightning overvoltage. By applying this procedure for insulation coordination design, the designer can quickly and accurately determine the appropriate BIL for equipments, phase-phase, phase-ground clearance and location as well as number of lightning arresters in the substations.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก รศ. มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำและให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆเกี่ยวกับการทำวิทยานิพนธ์นี้มาโดยตลอด ซึ่งผู้วิจัยเองต้องขอขอบคุณในความอนุเคราะห์ของท่านเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และ พี่ ๆ ที่เป็นผู้ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือต่าง ๆ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณณรงค์ ตันติฉายากร รองผู้อำนวยการกองวิจัย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่กรุณาให้คำปรึกษาและข้อมูลในการทำวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

พรทิพา สร้างคอมพัฒนา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 การจัดสัมพัทธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 แรงดันเกินฟ้าผ่า.....	4
2.3 กับดีกฟ้าผ่า.....	6
2.3.1 ทฤษฎีการทำงานของกับดีกฟ้าผ่า.....	6
2.3.2 Metal Oxide Arrester.....	7
2.3.3 แรงดันพิคคของกับดีกฟ้าผ่า.....	7
2.3.4 คุณลักษณะเชิงการป้องกันของกับดีกฟ้าผ่า.....	8
2.3.5 ระดับป้องกันของกับดีกฟ้าผ่า.....	9
2.3.6 การเลือกตำแหน่งการติดตั้งกับดีกฟ้าผ่า.....	10
2.4 สถานีไฟฟ้าย่อย.....	11
2.4.1 อุปกรณ์ต่างๆในสถานีไฟฟ้าย่อย.....	11
2.4.2 สถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีอากาศเป็นฉนวน.....	13
2.4.3 สถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีก๊าซเป็นฉนวน.....	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบจัดสัมพันธทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย.....	15
3.1 ชั้นตอนที่หนึ่ง.....	15
3.2 ชั้นตอนที่สอง.....	16
3.3 ชั้นตอนที่สาม.....	17
3.3.1 โปรแกรม ATPDraw.....	17
3.3.1.1 แบบจำลองอุปกรณ์ของสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีอากาศเป็นฉนวน...17	
3.3.1.2 แบบจำลองอุปกรณ์ของสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีก๊าซเป็นฉนวน.....34	
3.3.2 โปรแกรมทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้า.....	35
3.4 ชั้นตอนที่สี่.....	36
3.4.1 การคำนวณค่า BIL.....	36
3.4.2 การคำนวณระยะ Clearance.....	36
3.5 ชั้นตอนที่ห้า.....	37
3.6 ชั้นตอนที่หก.....	39
บทที่ 4 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยต่างๆ.....	40
4.1 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ ภาคเหนือ.....	40
4.1.1 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย พินญโลก ซึ่งเป็นสถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีอากาศเป็นฉนวน.....	40
4.1.2 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย เชียงใหม่ ซึ่งเป็นสถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีก๊าซเป็นฉนวน.....	50
4.1.3 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย ชัยนาท ซึ่งเป็นสถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีอากาศเป็นฉนวน.....	60
4.2 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ ภาคกลาง.....	70
4.2.1 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย สระบุรี ซึ่งเป็นสถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีก๊าซเป็นฉนวน.....	70

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย ปทุมธานี ซึ่งเป็นสถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีอากาศเป็นฉนวน.....	80
4.2.3 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย นครปฐม ซึ่งเป็นสถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีอากาศเป็นฉนวน.....	90
4.3 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.....	100
4.3.1 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย มหาสารคาม ซึ่งเป็นสถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีอากาศเป็นฉนวน.....	100
4.3.2 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย ขอนแก่น ซึ่งเป็นสถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีอากาศเป็นฉนวน.....	110
4.4 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ ภาคใต้.....	120
4.4.1 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย เพชรบุรี ซึ่งเป็นสถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีอากาศเป็นฉนวน.....	120
4.4.2 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย ระนอง ซึ่งเป็นสถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีอากาศเป็นฉนวน.....	130
4.5 บทสรุป.....	140
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	143
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	143
5.2 ข้อเสนอแนะและสิ่งที่ควรจะทำต่อไปในอนาคต.....	147
เอกสารอ้างอิง.....	148
ภาคผนวก ก. ข้อมูลขนาดกระแสฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นในประเทศไทย.....	149
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างวิธีการใช้งานโปรแกรม ATPDraw และ EMTP.....	154
ภาคผนวก ค. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....	161

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ประวัติผู้เขียน.....	168

สารบัญตาราง

ตารางที่.....	หน้า
2.1 แสดงค่ากระแสที่จำแนกตามอิมพัลส์ของกระแสฟ้าผ่า.....	9
2.2 แสดงค่ากระแสที่จำแนกตามอิมพัลส์สวิตชิง.....	10
3.1 แสดงค่า A และ B	31
3.2 แสดงค่า BIL มาตรฐานของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีอากาศเป็นฉนวน.....	37
3.3 แสดงค่า BILมาตรฐานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ในสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีก๊าซเป็นฉนวน	38
3.4 แสดงค่า ระยะห่างระหว่างเฟสกับเฟสและเฟสกับกราวด์ตามมาตรฐานNEMA	38
4.1 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยพิษณุโลกกรณีเกิดฟ้าผ่าที่ยอดเสาไฟฟ้า ต้นที่ 3 ที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.6 กิโลเมตร.....	47
4.2 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าพิษณุโลก กรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟสตัวนำที่ ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.7 กิโลเมตร.....	47
4.3 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยเชียงใหม่ กรณีเกิดฟ้าผ่าที่ยอดเสาไฟฟ้า ต้นที่ 3 ซึ่งห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.6 กิโลเมตร.....	57
4.4 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยเชียงใหม่กรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟสตัวนำ ที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.7 กิโลเมตร.....	57
4.5 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยชัยนาทกรณีเกิดฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้า ต้นที่ 3 ซึ่งห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.6 กิโลเมตร.....	67
4.6 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยชัยนาทกรณีเกิดฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำ ที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.7 กิโลเมตร.....	67
4.7 แสดงการเลือกค่า BILของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยสระบุรี กรณีเกิดฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้า ต้นที่ 3 ที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.6 กิโลเมตร.....	77
4.8 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยสระบุรี กรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟสตัวนำที่ ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.7 กิโลเมตร.....	77
4.9 แสดงการเลือกค่า BILของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยปทุมธานีกรณีเกิดฟ้าผ่าที่ยอดเสาไฟฟ้า ต้นที่ 3 ที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.6 กิโลเมตร.....	87
4.10 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยปทุมธานี กรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส ตัวนำที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.7 กิโลเมตร.....	87
4.11 แสดงการเลือกค่า BILของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยนครปฐม กรณีเกิดฟ้าผ่าที่ยอดเสาไฟฟ้า ต้นที่ 3 ที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.6 กิโลเมตร.....	97

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่.....	หน้า
4.12 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยนครปฐม กรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟสตัวนำ ที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.7 กิโลเมตร.....	97
4.13 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยมหาสารคาม กรณีเกิดฟ้าผ่าที่ยอดเสา ไฟฟ้าต้นที่ 3 ที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.6 กิโลเมตร.....	107
4.14 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยมหาสารคาม กรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟส ตัวนำที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.7 กิโลเมตร.....	107
4.15 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยขอนแก่นกรณีเกิดฟ้าผ่าที่ยอดเสาไฟฟ้า ต้นที่ 3 ที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.6 กิโลเมตร.....	117
4.16 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยขอนแก่น กรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟสตัวนำ ที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.7 กิโลเมตร.....	117
4.17 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยเพชรบุรี กรณีเกิดฟ้าผ่าที่ยอดเสาไฟฟ้า ต้นที่ 3 ที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.6 กิโลเมตร.....	127
4.17 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยเพชรบุรี กรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟสตัวนำ ที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.7 กิโลเมตร.....	127
4.18 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยระนอง กรณีเกิดฟ้าผ่าที่ยอดเสาไฟฟ้า ต้นที่ 3 ที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.6 กิโลเมตร.....	137
4.20 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยระนอง กรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟสตัวนำ ที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.7 กิโลเมตร.....	137
4.21 สรุปผลการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยต่างๆ.....	140

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงตัวอย่างของกั๊บดักฟ้าผ่า.....	6
2.2 แสดงกราฟที่แสดงคุณลักษณะของเส้นของแรงดันกั๊บกระแสของแผ่น Metal – Oxide.....	8
2.3 แสดงตัวอย่างสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีอากาศเป็นฉนวน.....	13
2.4 แสดงตัวอย่างสถานีไฟฟ้าย่อยที่ก๊าซเป็นฉนวน.....	14
3.1 แสดงตัวอย่างไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อย.....	15
3.2 แสดงตัวอย่างการจัดวางอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อย.....	16
3.3 แสดงแบบจำลองของสายไฟฟ้าในโปรแกรม ATPDraw.....	18
3.4 แสดงการป้อนข้อมูลของสายไฟฟ้าในโปรแกรม ATP_LCC.....	19
3.5 แสดงเสาคอนกรีตระบบ 115 กิโลโวลต์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.....	20
3.6 แสดงแบบจำลองของเสาไฟฟ้าโดยโปรแกรม ATPDraw.....	21
3.7 แสดงการป้อนข้อมูลของเสาไฟฟ้าลงในโปรแกรม ATPDraw.....	21
3.8 แสดงแบบจำลองความต้านทานรากสายดินในโปรแกรม ATPDraw.....	23
3.9 แสดงการป้อนข้อมูลความต้านทานรากสายดินลงในโปรแกรม ATPDraw.....	23
3.10 แสดงรูปลาดแบบสามเหลี่ยม.....	24
3.11 แสดงแบบจำลองของกระแสฟ้าผ่าที่ใช้ในโปรแกรม ATPDraw.....	25
3.12 แสดงการป้อนข้อมูลของกระแสฟ้าผ่าในโปรแกรม ATPDraw.....	25
3.13 แสดงแบบจำลองของกั๊บดักฟ้าผ่าในโปรแกรม ATPDraw.....	27
3.14 แสดงคุณลักษณะป้องกันแรงดันเกินของผลิตภัณฑ์ของ Cooper รุ่น AZG 4.....	24
3.15 แสดงการป้อนข้อมูลของกั๊บดักฟ้าผ่าลงในโปรแกรม ATPDraw.....	28
3.16 แสดงแบบจำลองของเซอร์กิตเบรกเกอร์และสวิตช์ตัดตอนในโปรแกรม ATPDraw.....	29
3.17 แสดงการป้อนพารามิเตอร์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์และสวิตช์ตัดตอนในโปรแกรม ATPDraw.....	30
3.18 แสดงแบบจำลองของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง , หม้อแปลงวัดกระแสและหม้อแปลงวัดแรงดันในโปรแกรม ATPDraw.....	31
3.19 แสดงการป้อนข้อมูลของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังลงในโปรแกรม ATPDraw.....	32
3.20 แสดงแบบจำลองของลูกถ้วยในโปรแกรม ATPDraw.....	32
3.21 แสดงการป้อนข้อมูลของลูกถ้วยลงในโปรแกรม ATPDraw.....	33
3.22 แสดงขั้นตอนการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย.....	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่.....	หน้า
4.1 แสดงไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อยพิษณุโลก.....	41
4.2 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้าย่อยพิษณุโลก.....	41
4.3 แสดงแบบจำลองที่ใช้ศึกษาการเกิดฟ้าผ่าโดยโปรแกรมATPDraw ของสถานีไฟฟ้าย่อยพิษณุโลก.....	42
4.4 แสดงแรงดันคร่อมอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยพิษณุโลก กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง.....	45
4.5 กราฟแสดงค่า BILของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยพิษณุโลก กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง.....	46
4.6 แสดงไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อยเชียงใหม่.....	50
4.7 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้าย่อยเชียงใหม่.....	51
4.8 แสดงแบบจำลองที่ใช้ศึกษาฟ้าผ่าโดยโปรแกรม ATPDraw ของสถานีไฟฟ้าย่อยเชียงใหม่.....	52
4.9 แสดงแรงดันคร่อมอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยเชียงใหม่ กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยที่หม้อแปลง.....	55
4.10 กราฟแสดงค่า BILของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยเชียงใหม่ กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยที่หม้อแปลง.....	56
4.11 แสดงไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อยชัยนาท.....	60
4.12 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้าย่อยชัยนาท.....	61
4.13 แสดงแบบจำลองที่ใช้ศึกษาการเกิดฟ้าผ่าโดยโปรแกรม ATPDraw ของสถานีไฟฟ้าย่อยชัยนาท.....	62
4.14 แสดงแรงดันคร่อมอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยชัยนาท กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น.....	65
4.15 กราฟแสดงค่า BILของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยชัยนาท กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น.....	66
4.16 แสดงไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อยสระบุรี.....	70
4.17 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยสระบุรี.....	71
4.18 แสดงแบบจำลองที่ใช้ศึกษาการเกิดฟ้าผ่าโดยโปรแกรม ATPDraw ของสถานีไฟฟ้าย่อยสระบุรี.....	72

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

4.19 แสดงแรงดันคร่อมอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยสระบุรี กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น.....	75
4.20 กราฟแสดงค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยสระบุรี กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น.....	76
4.21 แสดงไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อยปทุมธานี.....	80
4.22 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้าย่อยปทุมธานี.....	81
4.23 แสดงแบบจำลองที่ใช้ศึกษาการเกิดฟ้าผ่าโดยโปรแกรม ATPDraw ของสถานีไฟฟ้าย่อยปทุมธานี.....	82
4.24 แสดงแรงดันคร่อมอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยปทุมธานี กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น.....	85
4.25 กราฟแสดงค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยปทุมธานี กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น.....	86
4.26 แสดงไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อยนครปฐม.....	90
4.27 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้าย่อยนครปฐม.....	91
4.28 แสดงแบบจำลองที่ใช้ศึกษาการเกิดฟ้าผ่าโดยโปรแกรม ATPDraw ของสถานีไฟฟ้าย่อยนครปฐม.....	92
4.29 แสดงแรงดันคร่อมอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยนครปฐม กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น.....	95
4.30 กราฟแสดงค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยนครปฐม กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น.....	96
4.31 แสดงไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อยมหาสารคาม.....	100
4.32 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้าย่อยมหาสารคาม.....	101
4.33 แสดงแบบจำลองในการศึกษาฟ้าผ่าโดยโปรแกรม ATPDraw ของสถานีไฟฟ้าย่อยมหาสารคาม.....	102
4.34 แสดงแรงดันคร่อมอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยมหาสารคาม กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น.....	105

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
4.35 กราฟแสดงค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยมหาสารคาม กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น.....	106
4.36 แสดงไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อยขอนแก่น.....	110
4.37 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้าย่อยขอนแก่น.....	111
4.38 แสดงแบบจำลองที่ใช้ศึกษาการเกิดฟ้าผ่าโดยโปรแกรม ATPDraw ของสถานีไฟฟ้าย่อยขอนแก่น.....	112
4.39 แสดงแรงดันคร่อมอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยขอนแก่น กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง.....	115
4.40 กราฟแสดงค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยขอนแก่น กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง.....	116
4.41 แสดงไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อยเพชรบุรี.....	120
4.42 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้าย่อยเพชรบุรี.....	121
4.43 แสดงแบบจำลองที่ใช้ศึกษาเรื่องฟ้าผ่าโดยโปรแกรม ATPdraw ของสถานีไฟฟ้าย่อยเพชรบุรี.....	122
4.44 แสดงแรงดันคร่อมอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยเพชรบุรี กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น.....	125
4.45 กราฟแสดงค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยเพชรบุรี กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น.....	126
4.46 ไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อยระนอง.....	130
4.47 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้าย่อยระนอง.....	131
4.48 แสดงแบบจำลองที่ใช้ศึกษาการเกิดฟ้าผ่าโดยโปรแกรม ATPDraw ของสถานีไฟฟ้าย่อยระนอง.....	132
4.49 แสดงแรงดันคร่อมอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยระนอง กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง.....	135
4.50 กราฟค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยระนอง กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง.....	136

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะ Clearance กับขนาดกระแสฟ้าผ่า สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีอากาศเป็นฉนวนและทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้า สถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น.....	144
5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะ Clearance กับขนาดกระแสฟ้าผ่า สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีอากาศเป็นฉนวนและทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้า สถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง.....	145
5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะ Clearance กับขนาดกระแสฟ้าผ่า สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีก๊าซเป็นฉนวน.....	146

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความสำคัญข้อหนึ่งในระบบไฟฟ้ากำลัง คือ การจ่ายไฟที่ปราศจากการเกิดไฟดับ การเกิดไฟฟ้าดับอาจเนื่องมาจากหลายสาเหตุ แต่สาเหตุหนึ่งก็คือ การเกิดเบรคความถี่ของฉนวน ปัญหาส่วนใหญ่ที่ทำให้การฉนวนเกิดผิพรองก็มักเนื่องมาจากแรงดันเกิน ที่ทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าความคงทนของการฉนวนที่ออกแบบไว้ โดยปกติการฉนวนจะได้รับการออกแบบให้สามารถรับแรงดันใช้งานปกติ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงบ้างในขอบเขตจำกัดก็ไม่เกิดปัญหาใดๆ ในทางปฏิบัติจริงอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า และการฉนวนมีโอกาสได้รับแรงดันเกินจากฟ้าผ่าซึ่งมีขนาดที่สูงมากเมื่อเทียบกับแรงดันระบบ แรงดันเกินจากฟ้าผ่าจะทำให้เกิดดิซชาร์จเบรคความถี่เกิดควาปไฟตามผิว เกิดผิพรองในระบบได้ ซึ่งทำให้กำลังไฟฟ้าไหลไปสู่จุดเกิดผิพรองทำให้กระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ต่างๆเกินพิกัดกระแสของอุปกรณ์ โดยมีผลกระทบทำให้ฉนวนของอุปกรณ์เกิดความเสียหายได้ และเป็นสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดผลกระทบที่รุนแรงและรวดเร็วในการทำलयอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อย โดยผลกระทบดังกล่าวทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมบำรุงเป็นมูลค่ามหาศาล ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้ด้วยการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย ซึ่งเป็นวิธีการเลือกระดับการฉนวนของอุปกรณ์ให้สัมพันธ์สอดคล้องกับลักษณะสมบัติของอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินที่ทำหน้าที่ลดทอนแรงดันเกินให้เหลือต่ำพอที่จะปลอดภัยแก่การฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้า การจัดสัมพันธ์ทางฉนวนจะช่วยให้ฉนวนของอุปกรณ์ต่างๆมีการทำงานงานสอดคล้องกัน และสามารถทนต่อแรงดันเกินฟ้าผ่าได้อย่างเพียงพอโดยไม่ก่อให้เกิดระบบส่งจ่ายหยุดชะงัก นอกจากนี้ยังทำให้ความเสี่ยงที่จะเกิดความบกพร่องขึ้นในสถานีไฟฟ้าย่อยมีค่าน้อยที่สุดและยังสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายโดยมีผลเสียหายต่ออุปกรณ์ในระบบน้อยที่สุด

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้คือการศึกษาแนวทางในการเลือกค่าความคงทนของความ เป็นฉนวนต่อแรงดันเกินฟ้าผ่า(BIL)ให้กับอุปกรณ์ , ระยะห่างระหว่างเฟสกับเฟสและเฟสกับกราวด์ (Clearance) ที่เหมาะสมสำหรับสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแต่ละสถานีซึ่งมีโอกาสได้รับประแสฟ้าผ่าที่มีขนาดไม่เท่ากันเพราะตั้งอยู่ต่างพื้นที่กัน โดยการใช้โปรแกรมทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้าคำนวณหาแรงดันเกินฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยเพื่อนำไปคำนวณหา BIL และ

Clearance ต่อไป และใช้ Metal Oxide Arrester เป็นตัวจำกัดแรงดันเกินฟ้าผ่าเพื่อให้ได้ค่า BIL และ Clearance ที่เหมาะสมที่สุดทั้งทางความน่าเชื่อถือและประหยัดที่สุด

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ค่าความเป็นฉนวนต่อแรงดันเกินฟ้าผ่าของอุปกรณ์ไฟฟ้า (BIL) และระยะห่างระหว่างเฟสกับเฟสและเฟสกับกราวด์ (Clearance) ในสถานีไฟฟ้าแต่ละสถานีที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันเป็นค่าที่อ้างอิงตามมาตรฐาน ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดขึ้นจากสภาวะมาตรฐาน แต่ในความเป็นจริงสถานีไฟฟ้าย่อยแต่ละสถานีไฟฟ้ามีสภาวะสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ในสถานีไฟฟ้าย่อยแต่ละสถานีไฟฟ้าจะมี Clearance และอุปกรณ์จะมีค่า BIL ที่ไม่เหมือนกันทุกสถานีไฟฟ้านั้นคือ บางสถานีไฟฟ้าอาจมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันทำให้มีค่าไม่เพียงพอทำให้อุปกรณ์เกิดการบกพร่องได้และบางสถานีไฟฟ้าอาจจะมีค่าที่สูงกว่าค่าที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอวิธีการเลือกค่า BIL และ Clearance สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแต่ละสถานีไฟฟ้า โดยได้ทำการพิจารณาสถานีไฟฟ้าย่อยต่างๆที่ตั้งอยู่ต่างสถานที่กันซึ่งได้รับกระแสฟ้าผ่าที่มีขนาดแตกต่างกัน โดยใช้โปรแกรมทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้าคำนวณหาแรงดันเกินฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์และใช้ Metal Oxide Arrester เป็นตัวจำกัดแรงดันเกินฟ้าผ่า ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่า BIL และ Clearance ที่มีความสอดคล้องกับแรงดันเกินฟ้าผ่าที่คาดว่าจะเกิดขึ้นที่อุปกรณ์อย่างเพียงพอมีความน่าเชื่อถือมากที่สุดและให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอขั้นตอนการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE 1313.1-1996 ซึ่งเป็นการนำเสนอวิธีการเลือกค่าความคงทนของความเป็นฉนวนต่อแรงดันเกินฟ้าผ่า (BIL) และระยะห่างระหว่างเฟสกับเฟสและเฟสกับกราวด์ (Clearance) โดยใช้โปรแกรมทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้าช่วยคำนวณหาแรงดันเกินฟ้าผ่า และใช้กับดักฟ้าผ่าชนิด Metal Oxide เป็นอุปกรณ์จำกัดแรงดันเกินฟ้าผ่า โดยอาศัยคุณลักษณะของ Metal Oxide ซึ่งเป็นตัวต้านทานที่มีความสัมพันธ์ของแรงดันกับกระแสเป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้น คือ มีความต้านทานสูงที่แรงดันไฟฟ้าปกติ แต่เมื่อมีแรงดันสูงผิดปกติเข้ามา Metal Oxide จะประพุดตัวให้มีความต้านทานต่ำและพยายามควบคุมแรงดันเกินให้มีค่าต่ำเข้าใกล้ระดับแรงดันปกติมากที่สุด

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตในการวิจัยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือการนำเสนอขั้นตอนการเลือกค่าความคงทนของความเป็นฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อแรงดันเกินฟ้าผ่า (BIL) ในการเลือกค่าดังกล่าวนี้ได้ทำการศึกษาแรงดันเกินฟ้าผ่าที่เกิดจากฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าและลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยต่างๆกัน และได้ทำการศึกษาศาณีไฟฟ้าย่อยต่างๆที่ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ซึ่งแบ่งตามตำแหน่งที่ตั้งของสถานีไฟฟ้าย่อย คือ สถานีไฟฟ้าย่อยที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ภาคเหนือ , ภาคกลาง, ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้ ซึ่งแต่ละสถานีไฟฟ้ามียโอกาสได้รับขนาดกระแสฟ้าผ่าที่มีขนาดไม่เท่ากัน และยังได้ทำการศึกษาศาณีไฟฟ้าย่อยที่มีโอกาสและก๊าซเป็นฉนวนด้วย นอกจากนี้ยังได้นำเสนอขั้นตอนการคำนวณหาระยะระหว่างเฟสกับเฟสและเฟสกับกราวด์ (Clearance) ในสถานีไฟฟ้าย่อย ซึ่งขั้นตอนการเลือกค่า BIL และ Clearance ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ อ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE Std 1313.1-1996 และ NEMA SG6 ตามลำดับ

มีการพัฒนาสร้างแบบจำลองขององค์ประกอบต่างๆใช้ในโปรแกรมทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อคำนวณหาแรงดันเกินฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยและใช้กับดักฟ้าผ่าเป็นตัวจำกัดแรงดันเกินฟ้าผ่า ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่า BIL และ Clearance ที่เหมาะสมและถูกต้องมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

ส่วนแรกทำการศึกษาข้อมูลของสถานีไฟฟ้าย่อยที่จะทำการออกแบบการจัดสัมพันธทางฉนวนและรวบรวมข้อมูลของขนาดกระแสฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละพื้นที่ที่เป็นที่ตั้งของสถานีไฟฟ้าย่อยที่จะทำการศึกษา

ส่วนที่สองเป็นการศึกษาการใช้งานโปรแกรมทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้ทำการเลียนแบบการเกิดฟ้าผ่าและจำลองอุปกรณ์ต่างๆเพื่อคำนวณหาแรงดันเกินฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆในสถานีไฟฟ้าย่อย

ส่วนที่สามเป็นการเลือกค่าความคงทนของความเป็นฉนวนต่อแรงดันเกินฟ้าผ่า (BIL) ให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าในสถานีไฟฟ้าย่อยและทำการเลือกระยะระหว่างเฟสกับเฟสและเฟสกับกราวด์ในสถานีไฟฟ้าย่อย โดยมีวิธีการ คือ นำค่าแรงดันเกินฟ้าผ่าที่คำนวณได้มาทำการคำนวณหาความคงทนของความเป็นฉนวนต่อแรงดันเกินฟ้าผ่า (BIL) จากนั้นนำค่า BIL และ Clearance ที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับค่า BIL และ Clearance มาตรฐานซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE 1313.1-1996 และ NEMA SG6 ตามลำดับ เพื่อทำการเลือกค่า BIL และ Clearance ที่เหมาะสม

บทที่ 2

การจัดสัมพันธทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย

2.1 บทนำ

การจัดสัมพันธทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นวิธีเลือกระดับการฉนวนของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าให้สอดคล้องกับลักษณะสมบัติของอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินที่ทำหน้าที่ลดทอนแรงดันเกินให้เหลือค่าพอที่จะปลอดภัยแก่การฉนวนของอุปกรณ์

การจัดสัมพันธทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยประกอบด้วย การหาแรงดันเกินที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์และการเลือกค่าความคงทนของการฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการ โดยอ้างอิงช่วงการป้องกันที่ยอมรับได้ ซึ่งการจัดสัมพันธทางฉนวนทำให้ได้ระดับความคงทนอยู่ได้ต่อแรงดันเกินสำหรับอุปกรณ์ , ระยะห่างระหว่างเฟสกับเฟสและระหว่างเฟสกับกราวด์ของอุปกรณ์

การจัดสัมพันธทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้การฉนวนของอุปกรณ์มีความสัมพันธ์กับอุปกรณ์ป้องกันได้อย่างเหมาะสมและประหยัด โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย และระบบส่งจ่ายไม่หยุดชะงักเมื่อเกิดแรงดันเกินขึ้น ซึ่งการจะทำให้บรรลุผลตามวัตถุประสงค์ดังกล่าวจำเป็นต้องพิจารณาข้อมูลดังต่อไปนี้

1. แรงดันเกินฟ้าผ่า
2. การป้องกันแรงดันเกินฟ้าผ่า

2.2 แรงดันเกินฟ้าผ่า

ฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นในบรรยากาศ อันเป็นผลของการคายประจุหรืออดิศารจ์ของประจุไฟฟ้าที่สะสมอยู่ในก้อนเมฆ การเกิดฟ้าผ่าทำให้เกิดแรงดันเกินที่มีผลกระทบทำให้การฉนวนของอุปกรณ์หรือระบบเสียหายได้ จึงจำเป็นต้องมีมาตรการป้องกัน การป้องกันขั้นต้นคือกันมิให้เข้ามาในระบบหรือขจัดให้หายไปก่อนที่จะเข้ามาถึงสถานีไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ที่ต้องการป้องกัน และขั้นที่สองเมื่อเข้ามาแล้วก็ใช้วิธีลดผลกระทบหรือจำกัดขนาดแรงดันเกินให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยแก่อุปกรณ์และระบบไฟฟ้า

สายส่งจ่ายไฟฟ้าสูงจากพื้นดินมาก นอกจากนี้ยังผ่านภูเขาและชายฝั่งที่เป็นพื้นที่ที่เกิดฟ้าผ่าได้ง่าย จึงมีความเสี่ยงที่จะโดนฟ้าผ่าสูง เมื่อมีฟ้าผ่าลงบนเสาไฟฟ้าจะทำให้มีกระแสไฟฟ้า (10-200 กิโลแอมแปร์) ไหลสู่เสาไฟฟ้า ทำให้ศักย์ไฟฟ้าของเสาไฟฟ้าสูงจนถูกด้วยซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้าที่คั่นระหว่างเสาไฟฟ้ากับสายส่งทนมไม่ได้เกิดการวบไฟตามผิว ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่สายส่งส่งผลให้เกิดแรงดันเกินขนาดใหญ่วิ่งตามสายส่งไปยังสถานีไฟฟ้าที่อยู่ใกล้เคียง อาจเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายขึ้น

แรงดันเกินฟ้าผ่าเกิดจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า ซึ่งมีลักษณะที่เกิดขึ้นไม่แน่นอนแต่สามารถอธิบายในรูปแบบของค่าทางสถิติและค่าความน่าจะเป็นได้ ความน่าจะเป็นของการเกิดฟ้าผ่าจะขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งของฟ้าผ่าที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงมีการกำหนดค่าวันที่เกิดฝนฟ้าคะนอง (Thunderstorm Days) ซึ่งบอกค่าจำนวนวันในรอบปีหรือเดือนที่มีฟ้าผ่า จะเห็นได้ว่าแรงดันเกินฟ้าผ่าจะมีขนาดเป็นจำนวนเท่ามากกว่าแรงดันเกินชนิดอื่น คือมีโอกาสสูงมากกว่า 6 เท่าของแรงดันเฟสคายอด

ฟ้าอาจจะผ่าลงบนอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือลงบนสายส่งกำลังไฟฟ้า ซึ่งมีค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ประมาณ 200 - 600 โอห์ม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าความเหนี่ยวนำ L และค่าความจุไฟฟ้า C ของสายส่งที่อาจเป็นสายส่งแบบเฟสเดียวหรือสามเฟส วงจรเดี่ยวหรือวงจรคู่ขนาน สายไฟแต่ละเฟสเป็นสายเส้นเดี่ยวหรือเป็นสายควบ (bundle conductor) กระแสฟ้าผ่าลงบนสายไฟโดยตรงจะทำให้เกิดแรงดันเกินเสิร์จเป็นคลื่นจรวิ่งออกไปตามสายส่งทั้งสองด้านของจุดที่ผ่าลง ด้วยความเร็วประมาณเท่ากับแสงคือ 300 เมตรต่อไมโครวินาที มีขนาดเท่ากับ $\Delta U = IZ/2$ เมื่อคลื่นจรวิ่งไปถึงถูกด้วยฉนวนที่ยึดสายไฟอยู่ก็อาจจะเกิดวาวไฟตามผิวลูกถ้วยหรือพวงลูกถ้วยได้ หรือวิ่งไปตามสายไฟจนถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า หากไม่มีอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินก็อาจทำให้ฉนวนของหม้อแปลงเกิดเบรคความดันหรือฉุดพร่องขึ้นได้

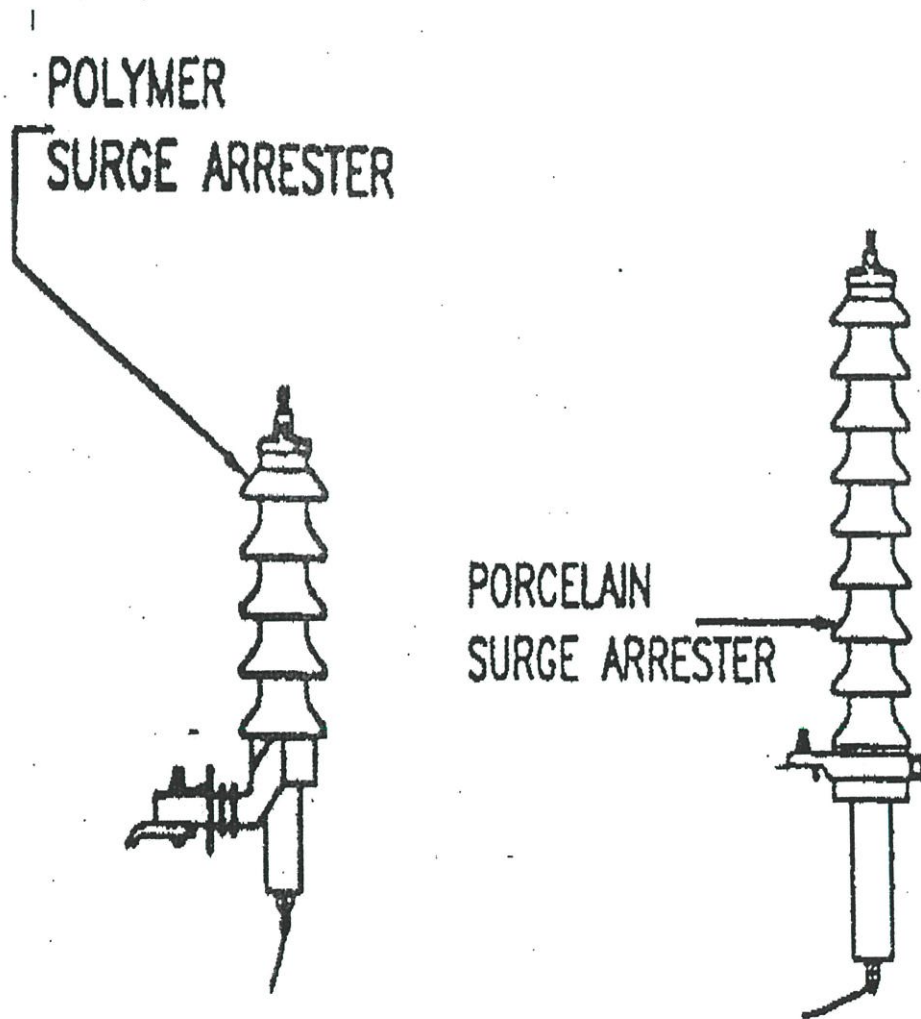
แรงดันเกินฟ้าผ่าในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าเกิดขึ้นจากฟ้าผ่าโดยตรงลงบนสายตัวนำหรือการเกิดฟ้าผ่าบริเวณข้างเคียง เช่น สายล่อฟ้าที่มีผลทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นบนระบบสายส่ง แรงดันเกินฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นนี้เป็นแรงดันอิมพัลส์ที่มีช่วงเวลาสั้นมากเป็นไมโครวินาที และมีขนาดแรงดันมากกว่าแรงดันเกินประเภทอื่นๆ เช่น แรงดันเกินสวิตชิง ดังนั้นจึงส่งผลกระทบต่อฉนวนในระบบไฟฟ้ามาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากระบบส่งจ่ายมีความต้านทานรากสายดินสูงอาจทำให้เกิดการวาวไฟตามผิวย้อนกลับ (Back Flashover) ที่ฉนวนลูกถ้วยได้ ซึ่งก่อให้เกิดไฟฟ้าดับในระบบส่งจ่าย

การติดตั้งสายล่อฟ้าเพื่อการป้องกันฟ้าผ่าลงบนสายตัวนำในระบบส่งจ่ายนั้นเมื่อเกิดฟ้าผ่าลงบนสายล่อฟ้าหรือบนยอดเสาไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าจะไหลไปยังสายล่อฟ้าทั้งสองทิศทางและอีกส่วนหนึ่งจะไหลผ่านเสาไฟฟ้าลงสู่ความต้านทานรากสายดิน ทำให้เกิดแรงดันเกินในระบบและแรงดันตกคร่อมลูกถ้วย หากแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยมีค่าเกินกว่าค่าวาวไฟตามผิววิกฤตของลูกถ้วยหรือ CFO (Critical Flashover Voltage) จะทำให้เกิดวาวไฟที่ผิวลูกถ้วยขึ้นจากราวนหรือสายล่อฟ้าไปยังสายเฟส จึงเรียกว่าการวาวไฟตามผิวย้อนกลับ แรงดันเกินตกคร่อมลูกถ้วยจะขึ้นอยู่กับขนาดกระแสฟ้าผ่า

2.3 กั๊บดักฟ้าผ่า

2.3.1 ทฤษฎีการทำงานของกั๊บดักฟ้าผ่า

กั๊บดักฟ้าผ่าเป็นอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง ทำหน้าที่ช่วยลดแรงดันไฟฟ้าที่สูงเกินไปในระบบให้ลดขนาดลงจนต่ำกว่าค่า BIL ของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กั๊บดักฟ้าผ่านั้นทำหน้าที่ป้องกันอยู่ โดยการยอมให้มีกระแสฟ้าผ่าจำนวนหนึ่งไหลผ่านตัวกั๊บดักฟ้าผ่าลงสู่ดิน เป็นการลดแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลง สำหรับตัวอย่างของกั๊บดักฟ้าผ่าแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างของกั๊บดักฟ้าผ่า

กั้บดักฟ้าผ่าประกอบด้วยตัวต้านทานไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear resistor) คุณสมบัติของตัวต้านทานไม่เป็นเชิงเส้น คือ ความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันไฟฟ้า นั่นคือ ค่าโอห์มจะมีค่าน้อยลงเมื่อกระแสไหลผ่านมากขึ้น เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่กระทำบนเมทัลออกไซด์ต่ำกว่าจุดเริ่มทำงานของเมทัลออกไซด์ค่าความต้านทานของเมทัลออกไซด์จะสูง จึงเกิดกระแสรั่วไหลเพียงเล็กน้อยประมาณไม่กี่ไมโครแอมแปร์ แต่ยามปกติกับดักฟ้าผ่าจะมีลักษณะเป็นฉนวน หลังจากที่กั้บดักฟ้าผ่าปล่อยให้กระแสอันเนื่องมาจากแรงดันเกินไหลลงสู่พื้นดินแล้วก็จะกลับสู่สภาพปกติในสภาวะปกติ

2.3.2 Metal Oxide Arrester

กั้บดักฟ้าผ่าแบบเมทัลออกไซด์ หรือมีชื่อย่อว่า MOA (Metal Oxide Arrester) เป็นกับดักฟ้าผ่าที่ปราศจากช่องว่าง (gap) และนิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน เมทัลออกไซด์มีคุณสมบัติที่ดีคือมีลักษณะเป็นตัวต้านทานที่ไม่เป็นเส้นตรง ตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.1)

$$I = KV^\infty \quad (2.1)$$

โดย I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเมทัลออกไซด์
 K คือ ค่าคงที่
 U คือ แรงดันไฟฟ้า
 ∞ คือ สัมประสิทธิ์ความไม่เป็นเส้นตรง

2.3.3 แรงดันพิกัดของกั้บดักฟ้าผ่า

แรงดันพิกัดของกั้บดักฟ้าผ่า คือ ค่าสูงสุดของแรงดันปกติของระบบไฟฟ้าที่กระทำต่อกับดักฟ้าผ่า โดยที่กั้บดักฟ้าผ่าสามารถปฏิบัติหน้าที่ได้

กั้บดักฟ้าผ่าจะต้องสามารถทนแรงดันเกินชั่วคราวที่เกิดในระบบไฟฟ้าได้ ค่าแรงดันนี้เรียกว่า แรงดันพิกัด (Rated voltage) ของกั้บดักฟ้าผ่า ในปัจจุบันกั้บดักฟ้าผ่าแบบเมทัลออกไซด์มีพิกัดแรงดัน 2 ค่า คือ

1. พิกัดแรงดันทำงานอย่างต่อเนื่องสูงสุด (Maximum Continuous Operating Voltage Rating , MCOV) คือ ระดับแรงดันสูงสุดระหว่างสายเฟสกับกราวด์ที่ความถี่ไฟฟ้ากำลัง (rms)

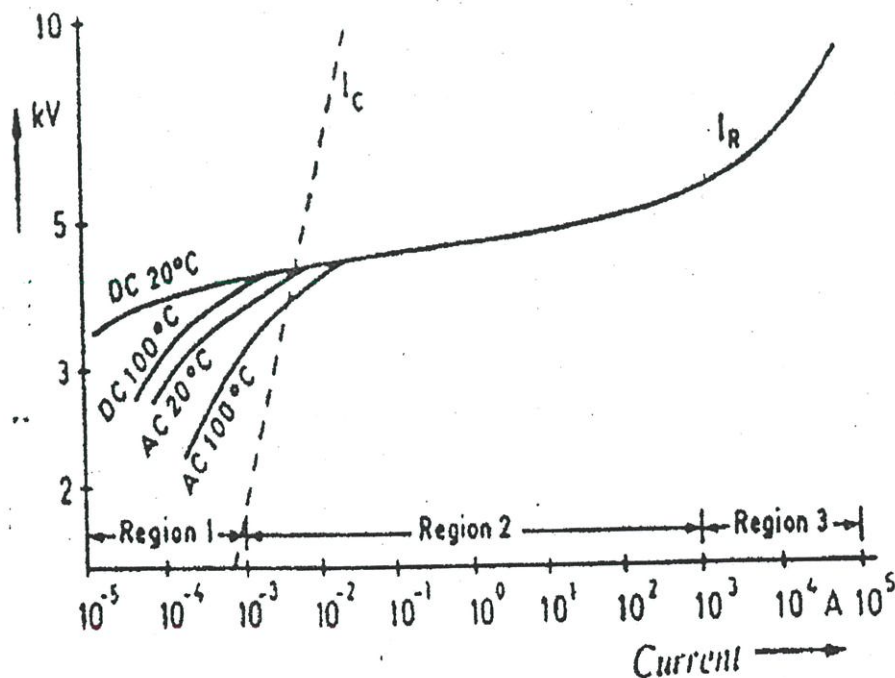
ซึ่งอาจจะตกคร่อมกับดักฟ้าผ่าได้อย่างต่อเนื่อง แรงดันที่เกิดคร่อมกับดักฟ้าผ่าอย่างต่อเนื่องต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า MCOV ของกับดักฟ้าผ่า

2. พิกัดแรงดันทำงาน (The duty-cycle voltage rating) คือ แรงดันความถี่กำลังที่ป้อนให้กับกับดักฟ้าผ่าในระหว่างที่มีการทดสอบ

2.3.4 คุณสมบัติเชิงการป้องกันของกับดักฟ้าผ่า

กราฟแสดงคุณลักษณะของแรงดันกับกระแสของกับดักฟ้าผ่าชนิดเมทัลออกไซด์ แสดงได้ดังในรูปที่ 2.2 ลักษณะแรงดัน-กระแสของกับดักฟ้าผ่าชนิดเมทัลออกไซด์ โดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 3 ย่าน คือ

1. ย่าน MCOV กระแสจะมีค่าน้อยกว่า 1 มิลลิแอมแปร์ เบื้องต้นเป็นกระแสเชิงเก็บประจุ I_c ค่าพิกัด MCOV ของกับดักฟ้าผ่าจะเลือกใช้ย่านนี้
2. ย่าน TOV และแรงดันเสิร์จสวิตชิ่ง กระแสมีค่าระหว่าง 1 มิลลิแอมแปร์และ 1000 แอมแปร์ และเป็นกระแสความต้านทาน คือ I_R
3. ย่านฟ้าผ่า กระแสมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 100 กิโลแอมแปร์ ที่กระแสสูงมาก ๆ ลักษณะจะเป็นเชิงเส้นกับแรงดัน นั่นคือกลายเป็นความต้านทานล้วน



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงคุณลักษณะของเส้นของแรงดันกับกระแสของแผ่น Metal-Oxide

2.3.5 ระดับป้องกันของกัณฑ์ฟ้าผ่า

การเลือกกัณฑ์ฟ้าผ่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการจัดสัมพันธภาพทางฉนวน โดยจะต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการฉนวนกับระดับการป้องกัน ซึ่งจะพิจารณาถึงประการสำคัญ คือ ระดับการป้องกันของกัณฑ์ฟ้าผ่า ซึ่งระดับป้องกันของกัณฑ์ฟ้าผ่าเป็นมาตรการกำหนดค่าแรงดันสูงสุดที่อาจเกิดขึ้นที่กัณฑ์ฟ้าผ่า (คร่อมกัณฑ์ฟ้าผ่า) ซึ่งแบ่งตามขนาดและรูปร่างของกระแสดีซาร์จ ลักษณะสมบัติการป้องกันแบ่งออกเป็น

1. ระดับของการป้องกันของแรงดันอิมพัลส์ (LPL)

ค่า LPL เป็นค่าสูงสุดของแรงดันดีซาร์จที่ได้จากการทดสอบด้วยกระแสที่มีรูปคลื่น $8 / 20 \mu\text{s}$ แรงดันดีซาร์จจะเป็นฟังก์ชันตามขนาดของกระแส ซึ่งตามมาตรฐานของ IEEE C62.11-1987 ได้กำหนดไว้ว่าการทดสอบจะต้องทำการทดสอบด้วยกระแสที่มีรูปคลื่น $8 / 20 \mu\text{s}$ ที่มีขนาด 1.5, 3, 5, 10 และ 20 กิโลแอมแปร์

2. ระดับของการป้องกันช่วงหน้าคลื่น (FOW)

ระดับของการป้องกันช่วงหน้าคลื่นของกัณฑ์ฟ้าผ่าแบบ Metal Oxide จะเป็นค่ายอดแรงดันดีซาร์จสูงสุดที่เกิดจากรูปคลื่นของกระแสที่ไหลผ่านกัณฑ์ฟ้าผ่าตามขนาดของกระแสที่ได้จำแนกระดับไว้โดยอิมพัลส์ฟ้าผ่า และมีช่วงเวลาของการเพิ่มขึ้นสูงพอที่จะสร้างแรงดันที่ตกคร่อมกัณฑ์ฟ้าผ่าที่สูงที่สุดภายใน $0.5 \mu\text{s}$ โดยกระแสที่ใช้ในการพิจารณาจะเป็นไปตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงค่ากระแสที่จำแนกตามอิมพัลส์ของกระแสฟ้าผ่า

Arrester Class	Maximum System Voltage, kV	Crest Current, kA	
Station	800	20	
	550	15	
	< 550	10	
Intermediate	All	5	
Distribution	All	- Heavy duty	10
		- Normal duty	5
		- Light duty	5

3. ระดับของการป้องกันอิมพัลส์สวิตซิ่ง (SPL หรือ SIL)

ระดับของการป้องกันอิมพัลส์สวิตซิ่ง คือ ค่าสูงสุดของแรงดันคิซาร์จที่หาได้จากรูปคลื่นของกระแสที่ไหลผ่านกับดักฟ้าผ่าตามขนาดของกระแสที่ได้จำแนกไว้โดยอิมพัลส์สวิตซิ่งและเวลาที่กระแสมีค่าสูงสุดภายใน 45-60 μ s ซึ่งแบ่งขนาดตามตารางที่ 2.2 ซึ่งไม่ใช่กับกับดักฟ้าผ่าประเภท distribution

ตารางที่ 2.2 แสดงค่ากระแสที่จำแนกตามอิมพัลส์สวิตซิ่ง

Arrester Class	Maximum System Voltage, kV	Crest Current, kA
Station	3 - 150	500
	151 - 325	1,000
	362 - 900	2,000
Intermediate	3 -150	500

2.3.6 การเลือกตำแหน่งการติดตั้งกับดักฟ้าผ่า

การติดตั้งกับดักฟ้าผ่าตามเกณฑ์ทั่วไปจะติดตั้งให้ใกล้กับอุปกรณ์ที่ต้องการป้องกันมากที่สุดเพื่อหลีกเลี่ยงเสิร์จะเข้าไปในวงจรระหว่างกับดักฟ้าผ่ากับอุปกรณ์ที่ต้องการป้องกัน และยังมีข้อดีอื่นๆ เช่น ในกรณีที่เสิร์จะมีความชันสูงวิ่งเข้าสู่หม้อแปลงที่มีกับดักฟ้าผ่าแล้วกับดักฟ้าผ่าเกิดสปาร์ค แต่แรงดันสปาร์คที่เหลือจะเป็นคลื่นจรเคลื่อนที่เข้าหาหม้อแปลง (ขณะเดียวกันคลื่นสะท้อนกลับเคลื่อนที่ย้อนหลังกลับไปในสายส่งปกติ) อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงจะมีค่าสูงเมื่อเทียบกับเสิร์จอิมพีแดนซ์ของสายส่ง (250 - 600 โอห์ม) จะทำให้เกิดคลื่นสะท้อนกลับเกือบเท่ากับคลื่นวิ่งเข้าหาหม้อแปลง ฉะนั้นที่ขั้วหม้อแปลงจะได้รับเสิร์จเกือบสองเท่าของค่าแรงดันสปาร์คของกับดักฟ้าผ่า ถ้าติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ขั้วหม้อแปลงเหตุการณ์แรงดันสองเท่าก็จะไม่เกิดขึ้น

ข้อสำคัญอีกประการหนึ่งที่ควรคำนึงถึงก็คือสายต่อตัวกับดักฟ้าผ่าจะต้องสั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อลดผลของค่าความเหนี่ยวนำ

2.4 สถานีไฟฟ้าย่อย

การส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจำเป็นต้องใช้ระบบแรงดันสูง เพื่อลดพลังงานสูญเสียในสายส่งนั้น ระดับแรงดันสูงที่ต้องการส่งนั้นจะสูงกว่าขีดความสามารถของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถสร้างขึ้นได้ ฉะนั้นจึงต้องใช้หม้อแปลงทำหน้าที่แปลงแรงดันที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยทั่วไปประมาณ 13.8 kV ให้สูงขึ้นเป็น 115 kV หรือ 230 kV ในสายส่งและเมื่อไปถึงปลายทางที่ต้องการส่งให้ผู้ใช้ไฟฟ้าก็ต้องใช้หม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่แปลงแรงดันให้ต่ำลงเข้าสู่ระบบจำหน่าย เช่น 12 kV หรือ 24 kV เพื่อแจกจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ในบริเวณกว้าง และมีหลายวงจรซึ่งการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันและการแยกวงจรเป็นหลายวงจรเช่นนี้จะทำให้สถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย สถานีไฟฟ้าย่อยจึงเป็นที่ติดตั้งอุปกรณ์รวมหลายชนิดอันได้แก่

2.4.1 อุปกรณ์ต่างๆในสถานีไฟฟ้าย่อย

1. กับดักฟ้าผ่า (Lightning arrester)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทำหน้าที่ลดทอน สะกัก เบี่ยงเบน หรือตัดแรงดันเกินมิให้เกินค่าแรงดันที่กำหนดของอุปกรณ์ ช่วยป้องกันหรือบรรเทาความเสียหายของระบบและอุปกรณ์จากฟ้าผ่าหรือมาจากสวิตชิงเสิร์จ หลักการของกับดักฟ้าผ่า คือ สร้างวงจรให้เป็นทางผ่านของประจุลงสู่สายดินในกรณีที่ประจุในสายส่งสูงเกินปกติ เพื่อป้องกันไม่ให้ประจุทำความเสียหายต่อสายส่งหรืออุปกรณ์ กับดักฟ้าผ่าจะประกอบไปด้วยความต้านทานที่ไม่เป็นเชิงเส้นและช่องว่าง (gap) ต่อระหว่างสายเฟสกับดิน โดยปกติความต้านทานที่ไม่เป็นเชิงเส้นจะมีความต้านทานสูง แต่ถ้าแรงดันสูงๆจะมีความต้านทานต่ำยอมให้ประจุผ่าน

2. หม้อแปลงวัดแรงดัน (Potential Transformer)

หม้อแปลงวัดแรงดันใช้สำหรับลดค่าแรงดันไฟฟ้าแรงสูงในระบบให้มีค่าลดลงให้กับอุปกรณ์วัดแรงดันต่ำสามารถวัดได้ และเพื่อส่งสัญญาณข้อมูลให้ระบบป้องกัน ซึ่งมีรีเลย์ทำหน้าที่เป็นสื่อคอยจับการเกิดผิดปกติ โดยขดลวดด้านแรงสูงจะต่อกับสายไฟแรงสูง ส่วนด้านขดลวดแรงต่ำต่อเข้ากับมิเตอร์หรือรีเลย์ การต่อหม้อแปลงวัดแรงดันจะต่อขนานกับระบบระหว่างสายกับสาย หรือสายกับกราวด์

3. หม้อแปลงวัดกระแส (Current Transformer)

หม้อแปลงวัดกระแสทำหน้าที่ลดขนาดของกระแสไฟฟ้า มีหลักการเหมือนหม้อแปลงวัดแรงดัน แต่มีขดลวดปฐมภูมิต่ออนุกรมกับสายส่ง อัตราส่วนระหว่างกระแสด้านปฐมภูมิต่อด้านทุติยภูมิ คือ CT-Ratio โดยปกติที่ใช้อยู่จะมีค่า Ratio ต่าง ๆ กัน เช่น 1200 : 5 , 1000 : 5 , 900 : 5 ,

800 : 5 , 600 : 5 , 500 : 5 , 400 : 5 , 300 : 5 , 100 : 5 A แล้วแต่จะต่อ ซึ่งผู้ปฏิบัติงานควรรู้ค่า CT-Ratio ในขณะที่ใช้งานอยู่ เพื่อจะได้ทราบว่า CT จะเต็มเมื่อใดจะได้เตรียมการขยายระบบได้ CT ทำหน้าที่ป้องกันกระแสไฟฟ้าให้ Demand meter เช่น Ammeter หรือ Protective Relay ข้อห้ามสำคัญสำหรับ CT คือ ห้าม open ด้านทุติยภูมิโดยเด็ดขาด มิฉะนั้นแรงดันด้านทุติยภูมิจะสูงมากจนอาจเกิด Insulation Breakdown ทำความเสียหาย หรือ CT อาจระเบิดได้

4. สวิตช์ตัดตอน (Disconnecting Switch)

ทำหน้าที่ตัดต่อวงจรในขณะไม่มีโหลด และจะต้องเห็นได้ชัดเจนว่าวงจรตัดหรือต่ออยู่ มีไว้เพื่อป้องกันการสับสวิตช์โดยไม่ตั้งใจในขณะทำงานซ่อมบำรุง นอกจากนี้ยังใช้สำหรับปลดอุปกรณ์ออกจากระบบเพื่อทำการบำรุงรักษา ส่วนใหญ่สวิตช์ตัดตอน จะถูกออกแบบสำหรับใช้งานขณะไม่มีโหลด เพราะว่าการปิด-เปิดสวิตช์วงจรไฟฟ้าในขณะที่มีกระแสไฟฟ้าไหลจำนวนมากจะมีอาร์กเกิดขึ้น การปิด-เปิดสวิตช์ขณะมีโหลดจะทำให้ใบมีดเสียหายได้

5. เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)

ทำหน้าที่ตัดต่อวงจรได้ทั้งขณะมีโหลดและไม่มีโหลด ซึ่งอาจทำงานด้วยคำสั่งปฏิบัติงานตามผู้ปฏิบัติ หรืออาจตัดต่อวงจรได้โดยอัตโนมัติ และใช้ในการป้องกันกระแสเกินหรือการลัดวงจร โดยประกอบเข้ากับรีเลย์และหม้อแปลงเครื่องวัดเป็นอุปกรณ์ตัดตอนที่มีส่วนประกอบพิเศษเพื่อการดับอาร์ค

การใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ในการป้องกันระบบนั้นต้องพร้อมที่จะทริปได้ทันทีเมื่อรีเลย์ส่งสัญญาณมาเมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้น

6. หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (Power Transformer)

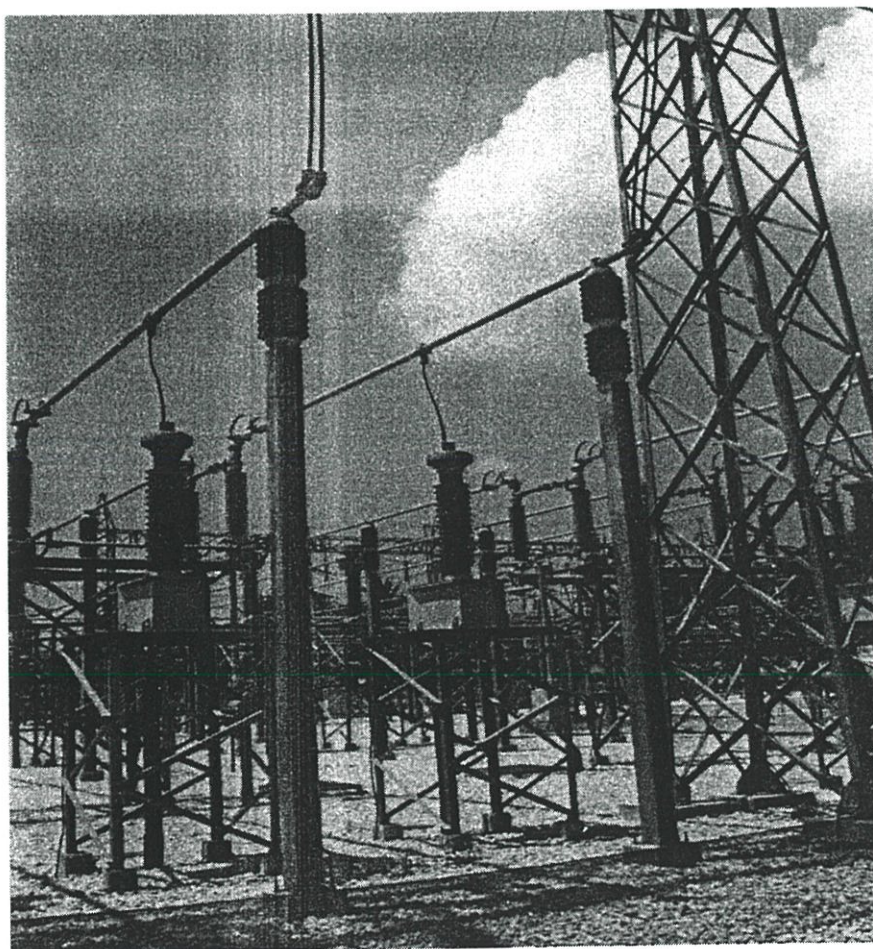
หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังทำหน้าที่เปลี่ยนระดับแรงดันจากระดับแรงดันหนึ่ง ไปยังระดับแรงดันหนึ่งในสถานีไฟฟ้าย่อย

7. ลูกถ้วยฉนวน (Insulators)

อาจจะเป็นชนิดพอร์ซเลน แก้ว หรือสารสังเคราะห์ ซึ่งมีอยู่หลายชนิดหลายแบบแล้วแต่วัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งาน เช่น ลูกถ้วยก้านตรง ลูกถ้วยแท่ง ลูกถ้วยแขวน ลูกถ้วยคอตันก้านยาว ใช้ยึดหรือรองรับตัวนำไฟฟ้าทำหน้าที่ทั้งรับแรงกลและเป็นฉนวนไฟฟ้า

2.4.2 สถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีอากาศเป็นฉนวน

อุปกรณ์ต่างๆ เช่น เซอร์คิตเบรกเกอร์ , กักดับฟ้าผ่า, หม้อแปลงวัดแรงดัน, หม้อแปลงวัดกระแส และสวิตช์ตัดตอนจะอยู่กลางแจ้ง มีอากาศเป็นฉนวน สถานีไฟฟ้าย่อยแบบนี้ใช้พื้นที่ในการติดตั้งมาก แต่ราคาค่าก่อสร้างค่อนข้างถูก และสามารถจัดวางอุปกรณ์ได้สะดวก ระบายความร้อนได้ดี ฉะนั้นจึงเหมาะสมใช้บริเวณชานเมือง ซึ่งราคาที่ดินไม่แพงมากนัก

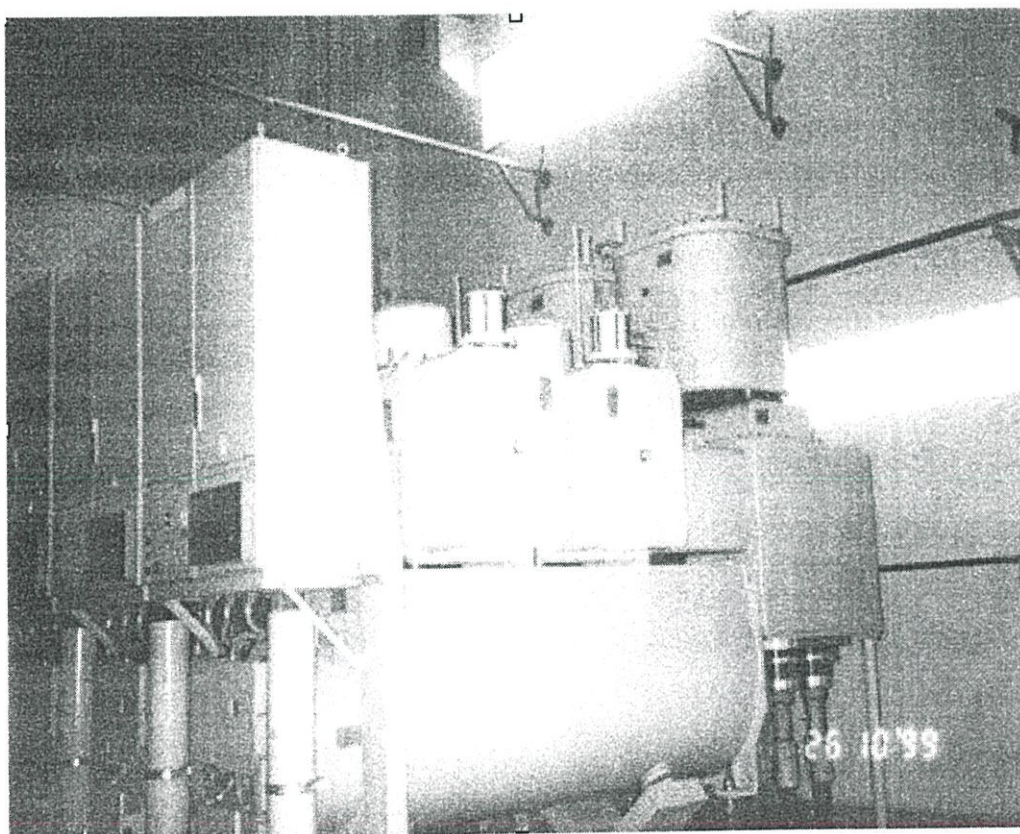


รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีอากาศเป็นฉนวน

2.4.3 สถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีก๊าซเป็นฉนวน

เป็นสถานีไฟฟ้าย่อยที่เกิดขึ้นเมื่อมีข้อจำกัดเรื่องพื้นที่ เช่น ราคาที่ดินแพง พื้นที่ที่จะติดตั้งสถานีไฟฟ้าย่อยมีข้อจำกัดว่าจะต้องอยู่ไม่ห่างจากถนนใหญ่มากนัก และต้องอยู่บริเวณศูนย์กลางโหลด ซึ่งอาจจะหาพื้นที่ในการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าได้ยาก จึงได้พยายามออกแบบอุปกรณ์ที่กินพื้นที่น้อย โดยการดัดแปลงอุปกรณ์ที่อยู่กลางแจ้งมาอยู่ในอาคาร และต้องบรรจุในตู้ปิดมิดชิดแต่ไม่สามารถดึงออกมาซ่อมแซมได้ และวางอยู่ภายในอาคาร ยกเว้นหม้อแปลงที่ใช้แบบที่มีฉนวนเป็นน้ำมันไม่สามารถตั้งภายในอาคารได้เนื่องจากความไม่ปลอดภัย

สถานีไฟฟ้าชนิดภายในอาคารนี้หรือเรียกว่า GIS ซึ่งมีฉนวนระหว่างตัวนำเป็นก๊าซ (ปัจจุบันใช้ก๊าซ SF₆) อุปกรณ์แรงสูงซึ่งรวมทั้งบัส, เซอร์กิตเบรกเกอร์, สวิตช์ตัดตอน, หม้อแปลงวัดกระแสและหม้อแปลงวัดแรงดันถูกรวมกันในที่หรืออะลูมิเนียม จะเลือกใช้ในบริเวณเมืองใหญ่ ซึ่งที่ดินมีราคาแพง เช่น ในเขตชุมชน นิคมอุตสาหกรรมที่มีมลภาวะสูง



รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีก๊าซเป็นฉนวน

บทที่ 3

การออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวน สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย

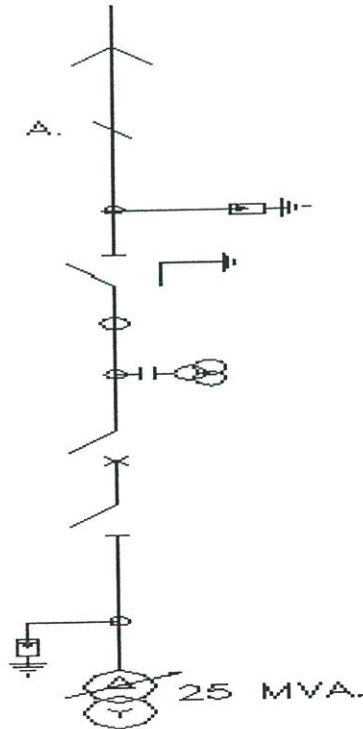
การออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ 6 ขั้นตอนด้วยกัน ดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนที่หนึ่ง

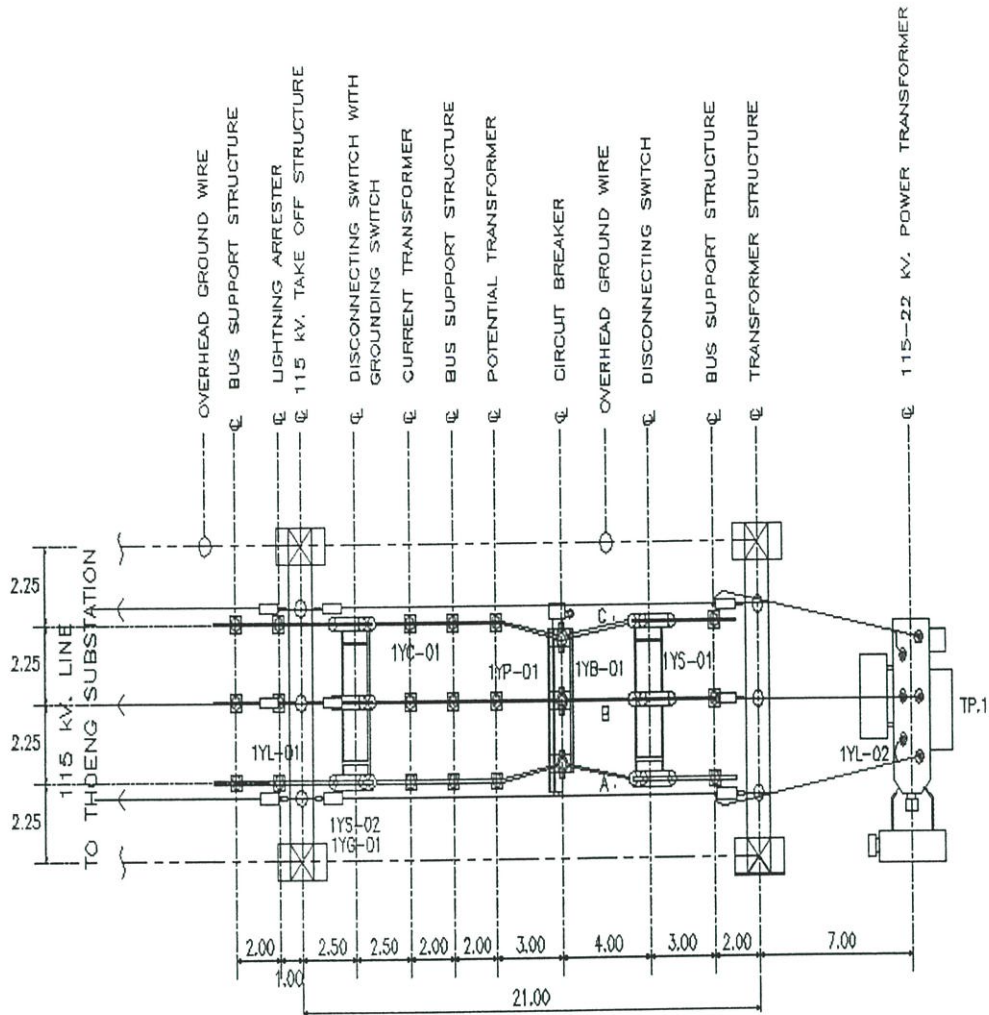
ขั้นตอนแรกนี้ต้องมีโคอะแกรมเส้นเดียวและการจัดวางอุปกรณ์ของสถานีไฟฟ้าย่อยที่จะทำการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวน ซึ่งเป็นสิ่งที่จะต้องทำการพิจารณาก่อนเป็นอันดับแรก โดยตัวอย่างของโคอะแกรมเส้นเดียวและการจัดวางอุปกรณ์ของสถานีไฟฟ้าย่อยได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

115 KV. LINE
TO THOENG SUBSTATION

3-1X400 A.



รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างโคอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อย



รูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่างการจัดวางอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อย

ซึ่งไดอะแกรมเส้นเดียวจะบอกให้ทราบว่าภายในสถานีไฟฟ้าย่อยประกอบด้วยอุปกรณ์อะไรบ้าง ส่วนแบบที่แสดงการจัดวางของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยนั้นจะบอกรายละเอียดของระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ โดยแบบของสถานีไฟฟ้าย่อยทั้ง 2 แบบจะถูกทำไปใช้ในขั้นตอนการคำนวณหาแรงดันเกินฟ้าผ่าของการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย

3.2 ขั้นตอนที่สอง

ขั้นตอนนี้เป็นการเลือกพิกัด, จำนวนและตำแหน่งการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าเริ่มแรก ซึ่งสามารถที่จะปรับเปลี่ยนตำแหน่ง, จำนวนและพิกัดของกับดักฟ้าผ่าได้ในภายหลัง ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับแรงดันเกินที่จะเกิดขึ้นในสถานีไฟฟ้าย่อย ซึ่งขั้นตอนและหลักการการเลือกตำแหน่ง, จำนวนและพิกัดของกับดักฟ้าผ่าเริ่มแรกนั้นมีอธิบายไว้ใน IEEE Std C62.22-1997 [13] โดยมีหลักการโดยเบื้องต้น คือ จะต้องทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าให้อยู่ใกล้กับอุปกรณ์ที่จะทำการป้องกันให้มากที่สุด

สุด นั่นคือ สายไฟที่ใช้ต่อกับดักฟ้าผ่าจะต้องสั้นที่สุด การป้องกันของกับดักฟ้าผ่าจึงจะได้ผลดีอย่างไรก็ตามไม่ควรแข็งทื่อ (rigid) โดยในเบื้องต้นจะทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่หัวของหม้อแปลงและที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อย

3.3 ขั้นตอนที่สาม

ขั้นตอนนี้เป็นการจำลองปรากฏการณ์ฟ้าผ่าและการจำลองของอุปกรณ์ต่างๆในสถานีไฟฟ้าย่อยเพื่อทำการคำนวณหาแรงดันเกินฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์ต่างๆในสถานีไฟฟ้าย่อย โดยทำการจำลองปรากฏการณ์การเกิดฟ้าผ่าและอุปกรณ์ต่างๆด้วยโปรแกรม ATPDraw

3.3.1 โปรแกรม ATPDraw

โปรแกรม ATPDraw เป็นโปรแกรมที่ใช้สร้างinput file ให้กับโปรแกรมทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้า (ATP-EMTP) สำหรับขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม ATPDraw สามารถดูได้จากภาคผนวก ข โดยที่การสร้าง input file เป็นการสร้างแบบจำลองของปรากฏการณ์ฟ้าผ่าและแบบจำลองของอุปกรณ์ต่างๆในสถานีไฟฟ้าย่อย ซึ่งมีรายละเอียดในการจำลองดังต่อไปนี้

3.3.1.1 แบบจำลองของอุปกรณ์ที่อยู่ในสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีอากาศเป็นฉนวน

1. แบบจำลองสายไฟฟ้า

ในการศึกษาเรื่องฟ้าผ่าสายไฟฟ้าจะถูกจำลองด้วยแบบจำลองที่แปรผันตามความถี่แบบ Jmarti เป็นแบบจำลองที่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์และค่าคงที่ของการแผ่กระจายตามสมการที่(3.1) - (3.3) สิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงในการใช้แบบจำลองสายส่งแปรผันตามความถี่ คือ การกำหนดช่วงความถี่ที่ทำการศึกษา ซึ่งการศึกษาแรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่ามีความถี่อยู่ในช่วง 10 Hz -3 MHz และค่าช่วงเวลา (Δt) ที่ใช้ในการคำนวณในโปรแกรมทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยจะต้องมีค่าน้อยกว่าเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทางไปยังส่วนที่ใกล้ที่สุดในแบบจำลองแทนองค์ประกอบที่ใช้วิเคราะห์ และใช้แบบจำลองที่ไม่คิดกำลังสูญเสีย[2] เพื่อทำการวิเคราะห์ในสภาวะทรานเซียน โดยความเร็วของคลื่นฟ้าผ่ามีค่าเท่ากับความเร็วของแสง

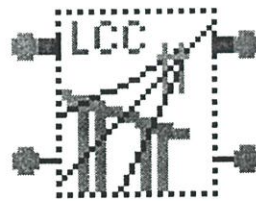
การคำนวณค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของสายไฟฟ้า สามารถหาได้จากการจัดวางตำแหน่งของสายไฟ โดยต้องป้อนข้อมูลของสายไฟให้โปรแกรม LINE CONSTANTS SUPPORT PROGRAM (ATP_LCC) ซึ่งใช้สร้างแบบจำลองของสายส่ง และใช้คำนวณค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของสายส่ง โดยข้อมูลที่ต้องใช้ในการสร้างแบบจำลองประกอบด้วยรูปแบบการจัดวางสายส่งและข้อมูลของวัสดุที่ใช้ทำตัวนำไฟฟ้า ซึ่งสายไฟฟ้ามีแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 3.3

$$\begin{bmatrix} V_i \\ I_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma l) & Z_c \sinh(\gamma l) \\ \frac{1}{Z_c} \sinh(\gamma l) & \cosh(\gamma l) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_m \\ -I_m \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$Z_c(\omega) = \sqrt{\frac{R(\omega) + j\omega L(\omega)}{G + j\omega C}} \quad (3.2)$$

$$\gamma(\omega) = \sqrt{[R(\omega) + j\omega L(\omega)][G + j\omega C]} \quad (3.3)$$

โดย $Z_c(\omega)$ คือ ค่าเสรีจิมพีแดนซ์ของสายส่งแปรผันตามความถี่
 $\gamma(\omega)$ คือ ค่าคงที่ของการแผ่กระจาย (Propagation Constant) แปรผันตามความถี่



รูปที่ 3.3 แสดงแบบจำลองของสายไฟฟ้าในโปรแกรม ATPDraw

สำหรับข้อมูลของสายส่งที่ใช้ศึกษา คือ เป็นสายส่งวงจรเดี่ยวชนิดAAC ขนาด 400 มม² สายไฟแต่ละเฟสเป็นสายควม (bundled conductor) สายล่อฟ้าเป็นชนิดสายเหล็กตีเกลียวขนาด 50 มม² และมีพารามิเตอร์ต่างๆดังแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งแสดงการป้อนข้อมูลของสายไฟฟ้าในโปรแกรม ATP_LCC

Line/Cable Data: C:\ATP\project\lcc\LCC_4 alc

Model	Data									
#	Ph.no.	React	Rout	Resis	Horiz	Vtower	Vmid	Separ	Alpha	NB
		[ohm/km AC]	[cm]	[ohm/km AC]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[deg]	
1	1	1.558753	2.565	0.085746	2.5	12.95	11.95	20	180	2
2	2	1.558753	2.565	0.085746	2.5	15.55	14.55	20	180	2
3	3	1.558753	2.565	0.085746	2.5	18.15	17.15	20	180	2
4	4	0.562137	0.906	0.640333	0	19.8	18.8	0	0	0

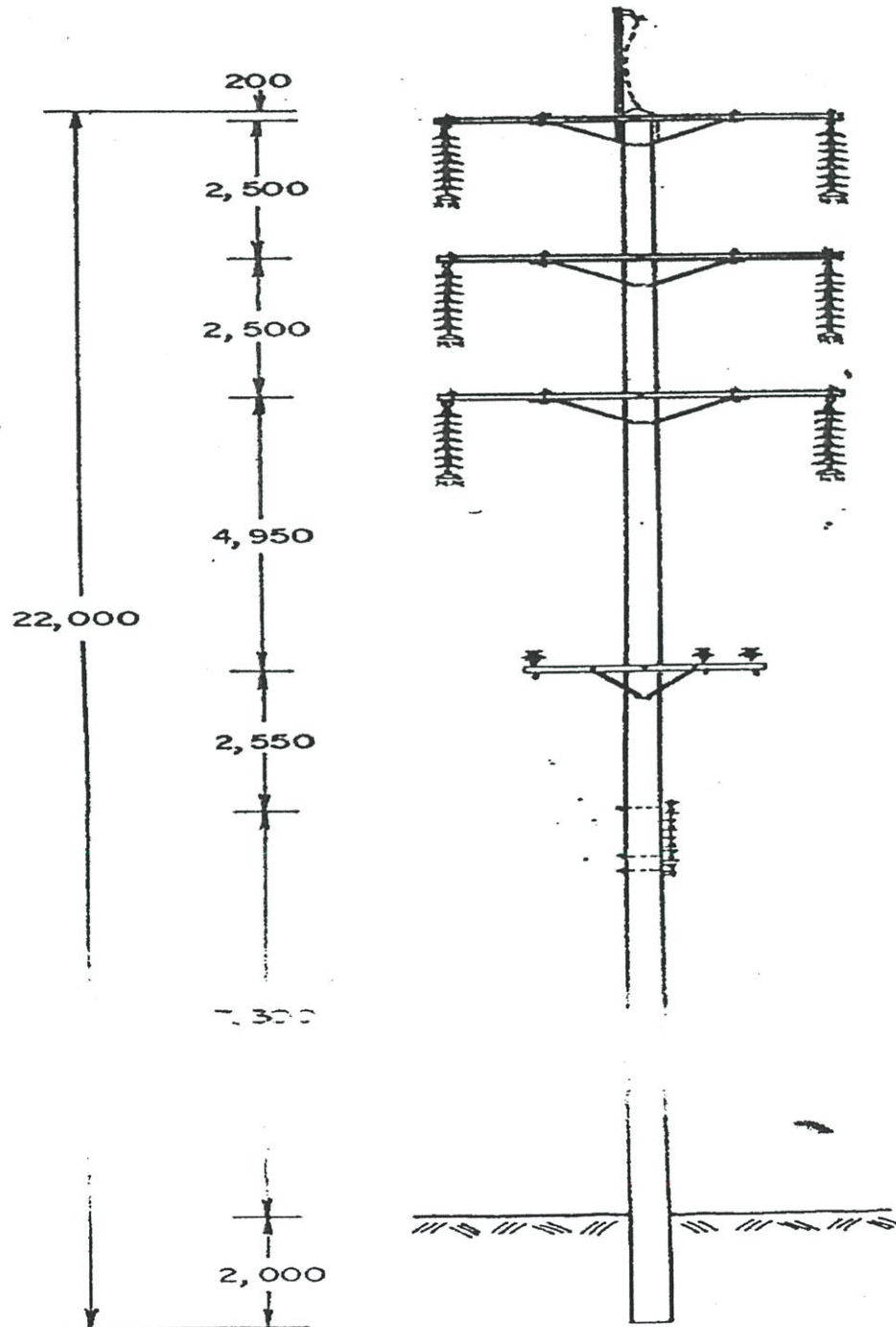
รูปที่ 3.4 แสดงการป้อนข้อมูลของสายไฟฟ้าในโปรแกรม ATP_LCC

2. แบบจำลองเสาไฟฟ้า

เมื่อมีฟ้าผ่าลงระบบส่งพลังงานไฟฟ้า ค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาไฟฟ้าเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างยิ่ง เพราะมีผลต่อศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมลูกถ้วยและการเกิดวบไฟโดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่เสาไฟฟ้าสูงๆ เวลาในการเดินทางไปและสะท้อนกลับของเสร์จนั้นมีค่าใกล้เคียงกับช่วงเวลาหน้าคลื่นของกระแสฟ้าผ่า

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทำการจำลองเสาคอนกรีตเป็นพารามิเตอร์แบบกระจาย (distributed parameter) [3] ไม่มีการสูญเสียและเป็นเนื้อเดียว โดยเสาไฟฟ้าจะถูกแทนด้วยเสิร์จอิมพีแดนซ์ค่าหนึ่ง โดยการหาค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาคอนกรีตนั้นจะคิดจากความยาวของสายเหล็กตีเกลียวหรือสายตัวนำที่ต่อลงดินที่อยู่ภายในเสาคอนกรีต ซึ่งสามารถหาค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ได้จากสมการที่(3.4)[3] โดยเป็นสมการที่ใช้หาพารามิเตอร์แบบกระจาย โดยให้มีความเร็วของคลื่นฟ้าผ่าไหลผ่านเท่ากับความเร็วแสงคือ 300 เมตร / μ s

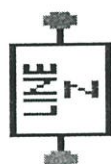
เสาไฟฟ้าที่ใช้เป็นมาตรฐานในระบบ 115 กิโลโวลต์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะใช้เสาคอนกรีตที่มีความสูงตลอดต้นเสาไฟฟ้าประมาณ 22 เมตร และกำหนดให้มีการปักเสาลึกลงในดิน 2 เมตรดังแสดงในรูปที่ 3.5 ภายในตัวเสาคอนกรีตจะมีลวดเหล็กตีเกลียวที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 50 ตารางมิลลิเมตรและฝังยาวตลอดความยาวของเสาไฟฟ้า และลวดเหล็กดังกล่าวจะมีปลายเหลือฝังไว้ในพื้นดินประมาณ 10 เซนติเมตร และลวดเหล็กนี้จะเชื่อมต่อกับส่วนที่เป็นสายล่อฟ้าในระบบส่งจ่าย



รูปที่ 3.5 แสดงเสาคอนกรีตระบบ 115 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

$$Z_r = 60 \ln \left(\sqrt{2} \frac{2H}{r} - 1 \right) \quad (3.4)$$

โดย	Z_r	คือ	ค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาไฟฟ้า (โอห์ม)
	H	คือ	ความสูงของเสาไฟฟ้า (เมตร)
	R	คือ	รัศมีสายตัวนำลงดินที่ฝังในเสาไฟฟ้า (เมตร)



รูปที่ 3.6 แสดงแบบจำลองของเสาไฟฟ้าโดยโปรแกรม ATPDraw

Component: Linez_1.sup

Attributes

DATA	VALUE	NODE	PHASE	NAME
R/I	0	From	1	
A	590	To	1	
B	300000000			
I	22			
ILINE	1			

Group No: 0 Edit Label: _____

Comment: _____

Output: 0 - No Hide
 Lock
 \$Vintage,1

LINE Z OK Cancel Help

รูปที่ 3.7 แสดงการป้อนข้อมูลของเสาไฟฟ้างในโปรแกรม ATPDraw

3. แบบจำลองความต้านทานรากสายดิน

ค่าความต้านทานรากสายดินของเสาไฟฟ้าในสภาวะคงตัวขึ้นอยู่กับรูปแบบของตัวนำที่ต่อลงดินและคุณสมบัติของดินโดยรอบ แต่ในกรณีของกระแสไฟฟ้านั้นค่าความต้านทานจะมีการเปลี่ยนแปลงก่อนจะเข้าสู่สภาวะคงตัว เรียกว่าค่าความต้านทานอิมพัลส์ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการศึกษาเรื่องฟ้าผ่า K.H. Weck คณะทำงานขององค์กรซีเกอร์ (CIGRE Working Group) [12] ได้เสนอวิธีประมาณค่าความต้านทานอิมพัลส์อย่างง่ายของแท่งหลักดินซึ่งเป็นฟังก์ชันของขนาดกระแสฟ้าผ่าที่ไหลผ่านรากสายดิน และค่าความต้านทานจำเพาะของดินดังแสดงในสมการที่ (3.5) - (3.7) นอกจากนี้ถ้ากระแสมีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดการเบรคดาวน์ภายในดิน ลักษณะการไหลของกระแสในดินจะเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ค่าความต้านทานที่สภาวะคงตัวเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ในงานวิจัยนี้จึงได้สร้างแบบจำลองรากสายดินตามวิธีการของคณะทำงานขององค์กรซีเกอร์ ลงในโปรแกรม ATPDraw ดังแสดงในรูปที่ 3.8

การต่อลงดินของความต้านทานรากสายดินของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะมีมาตรฐานกำหนดไว้ว่าจะต้องมีการต่อลงดินผ่านสายลวดเหล็กตีเกลียวเชื่อมต่อกับแท่งหลักดิน มีจุดประสงค์เพื่อลดค่าความต้านทานรากสายดินป้องกันปัญหาการเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับเมื่อเกิดฟ้าผ่า โดยการฝังแท่งกราวนร์ร็อดจะฝังลึกลงไปในดิน 50 เซนติเมตร อยู่ห่างจากโคนเสาประมาณ 1 เมตร และมีการกำหนดค่าความต้านทานของการต่อลงดินในแต่ละจุดจะมีค่าไม่ควรเกิน 5 โอห์ม สำหรับพื้นที่ที่ยากแก่การทำค่าความต้านทานดินให้ต่ำตามที่ต้องการได้ขอมให้มีค่าไม่เกิน 25 โอห์ม

แท่งหลักดินของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะใช้เป็นแท่งเหล็กชุบสังกะสีที่มีรูปร่างเป็นทรงกลม ซึ่งมาตรฐานของ กฟภ. ใช้ตัวนำลงดินเป็นชนิดแท่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 เมตร มีความยาว 2 เมตร

$$R_o = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \quad (3.5)$$

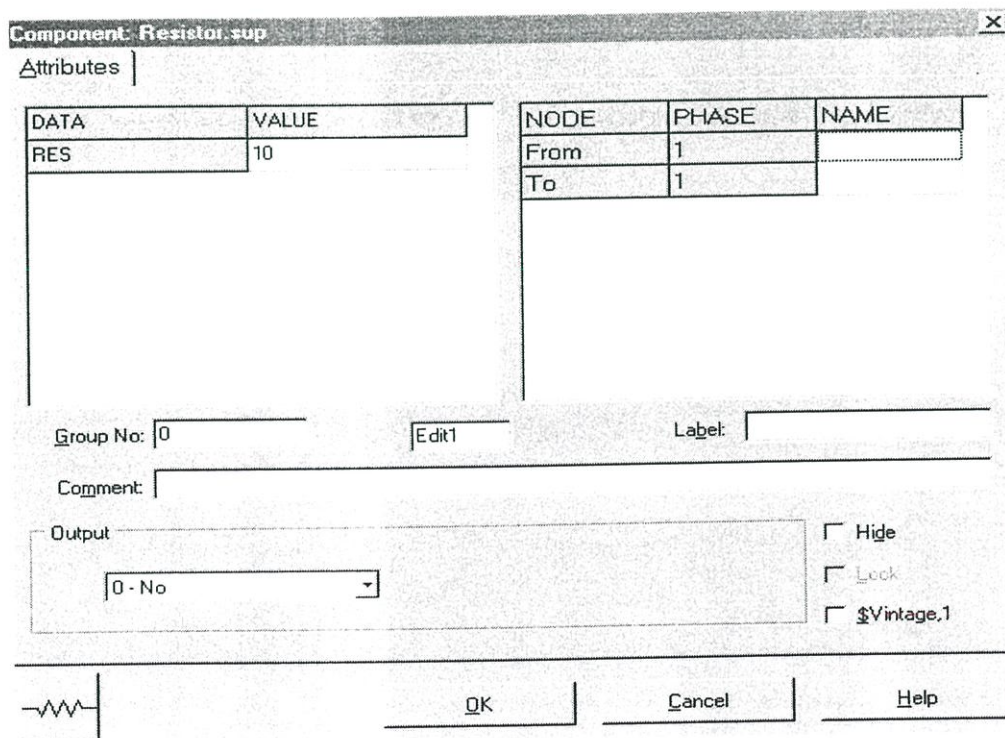
$$I_\varepsilon = \frac{1}{2\pi} \frac{\rho E_o}{R_o^2} \quad (3.6)$$

$$R = \frac{R_0}{\sqrt{1 + \frac{I_R}{I_s}}} \quad (3.7)$$

- โดย R_0 คือ ค่าความต้านทานของแท่งหลักดินสภาวะคงตัว (โอห์ม)
 R_i คือ ค่าความต้านทานอิมพัลส์ของรอกสายดิน (โอห์ม)
 a คือ รัศมีของแท่งหลักดิน (เมตร)
 L คือ ความยาวของแท่งหลักดิน (เมตร)
 ρ คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน
 E_0 คือ แรงดันเกรเดียนท์วิกฤตของดิน มีค่า 400 กิโลโวลต์ต่อเมตร
 I_R คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแท่งหลักดิน (กิโลแอมป์)



รูปที่ 3.8 แสดงแบบจำลองความต้านทานรอกสายดินในโปรแกรม ATPDraw

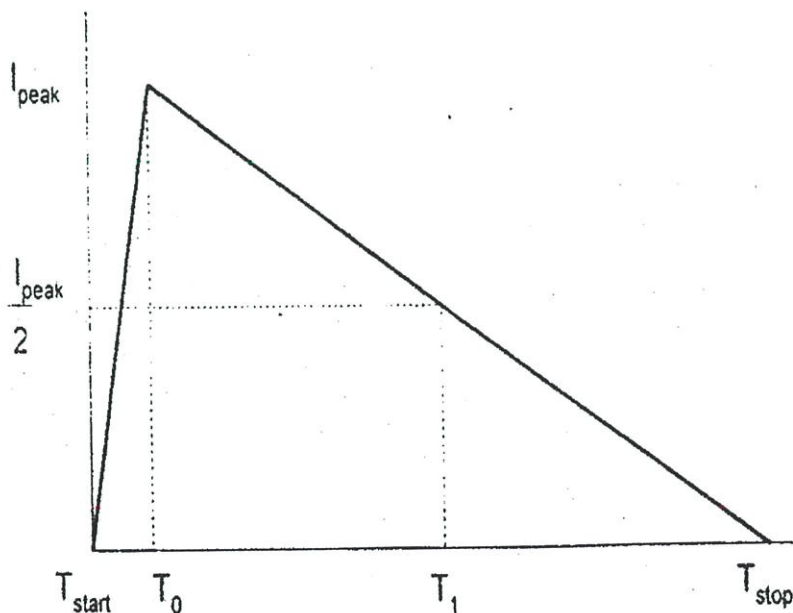


รูปที่ 3.9 แสดงการป้อนข้อมูลของความต้านทานรอกสายดินลงในโปรแกรม ATPDraw

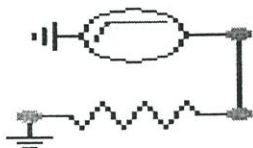
4. แบบจำลองกระแสฟ้าผ่า

เทคโนโลยีการตรวจวัดฟ้าผ่าได้ถูกพัฒนาขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1959 โดย Lewis et. Al. ซึ่งเป็นเครื่องวัดจำนวนครั้งฟ้าผ่า (Flash Counters) เท่านั้นแต่ยังไม่สามารถวัดขนาดของกระแสฟ้าผ่า ตำแหน่งที่เกิดฟ้าผ่าและรูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า ปัจจุบันเทคโนโลยีการตรวจวัดฟ้าผ่าได้ถูกพัฒนาจนสามารถตรวจวัดขนาดของกระแสฟ้าผ่า ตำแหน่งที่เกิดกระแสฟ้าผ่าและสัญญาณรูปคลื่นฟ้าผ่าได้ H. Haruk และคณะ [11] ได้ประดิษฐ์เครื่องมือวัดขึ้นใช้ตรวจวัดสัญญาณรูปคลื่นฟ้าผ่า เนื่องจากช่วงเวลาหน้าคลื่นฟ้าผ่าซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่จะใช้คำนวณหาแรงดันเกินฟ้าผ่า นำไปสู่การออกแบบฉนวนที่เหมาะสม ผลการศึกษาของ H. Haruk และคณะสรุปว่ารูปคลื่นฟ้าผ่ามีลักษณะคล้ายกับรูปคลื่นอิมพัลส์มีช่วงเวลาหน้าคลื่นและเวลาช่วงหลังคลื่นเป็น $1.2 / 50 \mu\text{s}$ งานวิจัยนี้จึงแทนรูปคลื่นฟ้าผ่าด้วยคลื่นรูปลาดแบบสามเหลี่ยม (Rectangular Ramp Wave) ดังแสดงในรูปที่ 3.10 รูปคลื่นลาดแบบสามเหลี่ยมมีลักษณะของรูปคลื่นโดยมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงจากเวลาเริ่มต้นที่ T_{start} จนถึงค่ากระแสสูงสุด I_{peak} ของรูปคลื่นที่เวลา T_0 (เวลาช่วงหน้าคลื่น) หลังจากนั้นจะลดลงเป็นเส้นตรงจนถึงเวลา T_1 (เวลาช่วงหางคลื่น) กระแสจะลดลงเหลือครึ่งหนึ่งและจะลดลงไปเรื่อยจนถึงเวลา T_{stop} กระแสจะมีค่าเป็นศูนย์

การจำลองคลื่นฟ้าผ่าจะแทนด้วยแหล่งจ่ายกระแสอิมพัลส์ ซึ่งมีขนาดต่างๆตามภาคผนวก ก.ต่อขนานอยู่กับเสิร์จอิมพีแดนซ์ของลําฟ้าผ่า ซึ่งลําฟ้าผ่ามีค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์เท่ากับ 400 โอห์ม ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 แสดงรูปลาดแบบสามเหลี่ยม (Rectangular Ramp Wave)



รูปที่ 3.11 แสดงแบบจำลองของกระแสฟ้าผ่าที่ใช้ในโปรแกรม ATPDraw

Component: Slope_ra.sup


Attributes

DATA	VALUE	NODE	PHASE	NAME
Amp	357000	SR	1	
T0	1.2E-6			
A1	12000			
T1	5E-5			
TSta	0			
TSto	1			

Group No: 0 Edit Label: |

Comment:

Type of source
 Current Hide
 Voltage Lock



รูปที่ 3.12 แสดงการป้อนข้อมูลของฟ้าผ่าลงในโปรแกรม ATPDraw

5. แบบจำลองกับดักฟ้าผ่า

โดยทั่วไปการจำลองกับดักฟ้าผ่าทำได้โดยใช้ความต้านทานแบบไม่เชิงเส้น ซึ่งแสดง V-I Characteristic จากการป้อนกระแสอิมพัลส์มาตรฐาน 8 / 20 μ s

ลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นของ V-I curve สามารถสร้างได้หลายวิธี ใน ATP-EMTP ใช้สมการเอ็กซ์โปเนนเชียล (exponential) โดยใช้แบบจำลองหมายเลข 92 ในแต่ละช่วงของเส้นกราฟเอ็กซ์โปเนนเชียลแทนได้ด้วยสมการที่ (3.8)

$$i = p \left(\frac{v}{V_{ref}} \right)^q \quad (3.8)$$

โดย

- q คือ กำลังของเอ็กซ์โปเนนเชียล
- p คือ ตัวคูณจำนวนเท่า
- V_{ref} คือ แรงดันอ้างอิงซึ่งเป็นแรงดันปกติ

ข้อมูลต่อไปนี่ต้องนำมาใช้สร้างแบบจำลองกับดักฟ้าผ่า

- พิกัดและลักษณะ
- V-I curve

ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากผู้ผลิต โดยที่ผู้ผลิตต้องทำการทดสอบด้วยกระแส 10 kA , 8/20 μ s ผลคือทำให้ได้แรงดันสูงสุดที่ใช้อ้างอิงคือ V_{10} เส้น V- I curve มักใช้ค่า V_{10} เป็นแรงดันที่ 1.0 p.u. และเส้น V-I สามารถสร้างได้โดยคูณจำนวนเท่าที่ V_{10} นี้

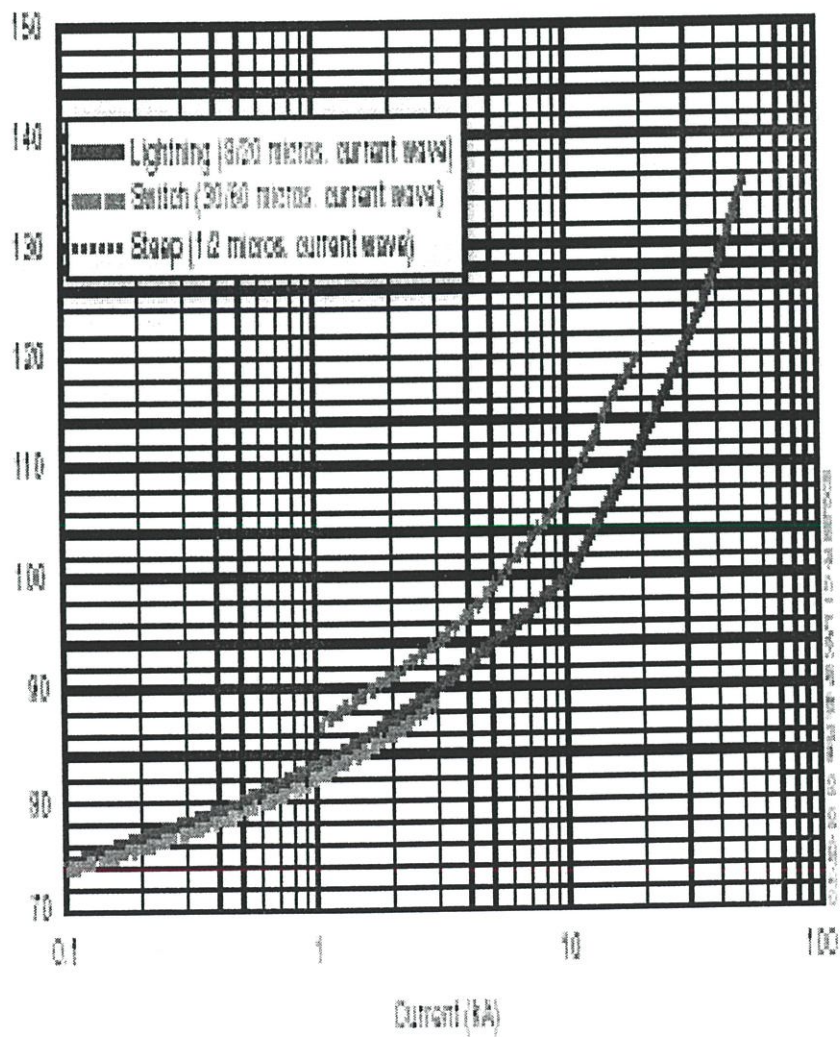
การเลือก V-I curve ของกับดักขึ้นอยู่กับรูปแบบของการจำลองสถานะและ V-I curve มีผลจากลักษณะรูปคลื่น คลื่น 8/20 μ s ควรใช้ในการศึกษากับดักที่เป็นผลจาก Front of wave เส้นกราฟสูงสุดจะใช้ศึกษาสำหรับกรณีแรงดันเกินสูงสุดและความเป็นฉนวนของอุปกรณ์

โดยใช้ข้อมูลจากกราฟที่ได้จากบริษัทผู้ผลิตกับดักฟ้าผ่า Cooper รุ่น AZG4 ซึ่งกับดักฟ้าผ่าแบบ Metal Oxide ที่ไม่มีช่องว่าง ในการจำลองกับดักฟ้าผ่าจะแทนด้วยความต้านทานแบบไม่เชิงเส้นดังแสดงในรูปที่ 3.13 ที่มีความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสตามกราฟรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.13 แสดงแบบจำลองของกับดักฟ้าผ่าในโปรแกรม ATPDraw

Max residual voltage in percent of residual voltage at 10 kA 8/20 impulse



รูปที่ 3.14 แสดงคุณลักษณะป้องกันแรงดันเกินของผลิตภัณฑ์ของ Cooper รุ่น AZG4

Component: Mov.sup

Attributes | Characteristic

DATA	VALUE
Vref	550000
Vflash	-1
Vzero	0
COL	1
SER	1
ErrLim	0.05

NODE	PHASE	NAME
From	1	
To	1	

Group No: 0 Edit1 Label:

Comment:

Output: 2 - Voltage

Hide
 Lock

MOV OK Cancel Help

(a)

Component: Mov.sup

Attributes | Characteristic

Arrester Data

I [A]	U [V]
300	184800
500	189420
800	194040
1000	196350
3000	210210
4000	214830
6000	221760

Add
Delete
Sort
Move
↑
↓

File
\$Include: Browse... Include characteristic

Save... Copy Paste View

MOV OK Cancel Help

(b)

รูปที่ 3.15 แสดงการป้อนข้อมูลของกับดักฟ้าผ่าลงในโปรแกรม ATPDraw

6. แบบจำลองเซอร์กิตเบรกเกอร์และสวิตช์ตัดตอน

ทำการจำลองเซอร์กิตเบรกเกอร์และสวิตช์ตัดตอนด้วยสวิตช์ชนิดที่ทำงานโดยควบคุมด้วยเวลา สวิตช์โดยทั่วไปพบว่าจะมีแรงดันไฟฟ้าคร่อมเป็นศูนย์เมื่ออยู่ในสภาวะปิดวงจร และจะมีกระแสไหลผ่านเป็นศูนย์เมื่ออยู่ในสภาวะเปิดวงจร สำหรับลักษณะการทำงานของสวิตช์ซึ่งควบคุมการทำงานด้วยเวลานั้น การทำงานปิดและเปิดวงจรจะสัมพันธ์กับเวลาและกระแสไฟฟ้า โดยสวิตช์จะปิดวงจรเมื่อ $t = T_{\text{CLOSE}}$ และจะพยายามเปิดวงจรอีกครั้งที่ $t \geq T_{\text{OPEN}}$ ตามเงื่อนไขของขนาดกระแสที่ไหลผ่าน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่ากระแสที่กำหนดไว้ I_E (Current margin) ดังนั้นการเปิดวงจรของสวิตช์จะแตกต่างกันสองเงื่อนไข คือ

- 1) กรณีที่ $I_E = 0$ สวิตช์จะเปิดวงจรที่ $t \geq T_{\text{OPEN}}$ และกระแสที่ผ่านสวิตช์จะผ่านค่าศูนย์หรือมีการเปลี่ยนแปลงเครื่องหมายของค่ากระแส
- 2) กรณีที่ $I_E \neq 0$ สวิตช์จะเปิดวงจรที่ $t \geq T_{\text{OPEN}}$ และขนาดของกระแสที่ผ่านสวิตช์มีค่าน้อยกว่า I_E ($|i_{\text{SWITCH}}| < I_E$)

โดยแบบจำลองของเซอร์กิตเบรกเกอร์และสวิตช์ตัดตอนได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงแบบจำลองของเซอร์กิตเบรกเกอร์และสวิตช์ตัดตอนใน โปรแกรม ATPDraw

Component: Switchc.sup

Attributes

DATA	VALUE	NODE	PHASE	NAME
T-cl	0	SWF	1	
T-op	0.001	SWT	1	
Imar	0.0001			

Group No: 0 Edit1 Label:

Comment:

Output: 0 - No Hide Lock

OK Cancel Help

รูปที่ 3.17 แสดงการป้อนค่าพารามิเตอร์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์และสวิตช์ตัดตอนใน โปรแกรม ATPDraw

7. แบบจำลองของบัส

ทำการจำลองบัสด้วยแบบจำลองเหมือนกับของเสาไฟฟ้างดังในรูปที่ 3.6 และค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ก็สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.1) เช่นกัน

8. แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า, หม้อแปลงวัดกระแสและหม้อแปลงวัดแรงดัน

การจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า, หม้อแปลงวัดกระแสและหม้อแปลงวัดแรงดันเพื่อใช้สำหรับศึกษาเรื่องฟ่านั้นจะอ้างอิงจาก [12] ซึ่งจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า, หม้อแปลงวัดแรงดันและหม้อแปลงวัดกระแสเป็นตัวเก็บประจุต่อลงดิน ซึ่งค่าความจุไฟฟ้านี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า(MVA)[12] โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.9)

$$C_T = A(MVA)^B \quad (3.9)$$

โดย C_T คือ ค่าความจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็นนาโนฟารัด
 MVA คือ ขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า
 A, B คือ ค่าคงที่ ซึ่งสามารถหาค่าได้จากตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่า A, B [12] เพื่อนำไปใช้ในสมการที่ (3.3)

BIL (kV)	A	B
110	1.5	0.62
150	1.5	0.58
200	1.4	0.58
250	1.2	0.56
350	1.1	0.52
450	1.0	0.46
550	0.8	0.51
650	0.6	0.52

สำหรับค่าความจุไฟฟ้าของหม้อแปลงวัดกระแสมีค่า 800 พิโคฟารัดและหม้อแปลงวัดแรงดันมีค่า 550 พิโคฟารัด [12]

สำหรับแบบจำลองของหม้อแปลงไฟฟ้า , หม้อแปลงวัดกระแสและหม้อแปลงวัดแรงดันได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แสดงแบบจำลองของหม้อแปลงไฟฟ้า, หม้อแปลงวัดกระแสและหม้อแปลงวัดแรงดันลงในโปรแกรม ATPDraw

Component: Capacito sup

Attributes

DATA	VALUE	NODE	PHASE	NAME
C	0.00336	From	1	
		To	1	

Group No: 0 Edit1 Label:

Comment:

Output: 0 - No

Hide
 Lock
 \$Vintage.1

OK Cancel Help

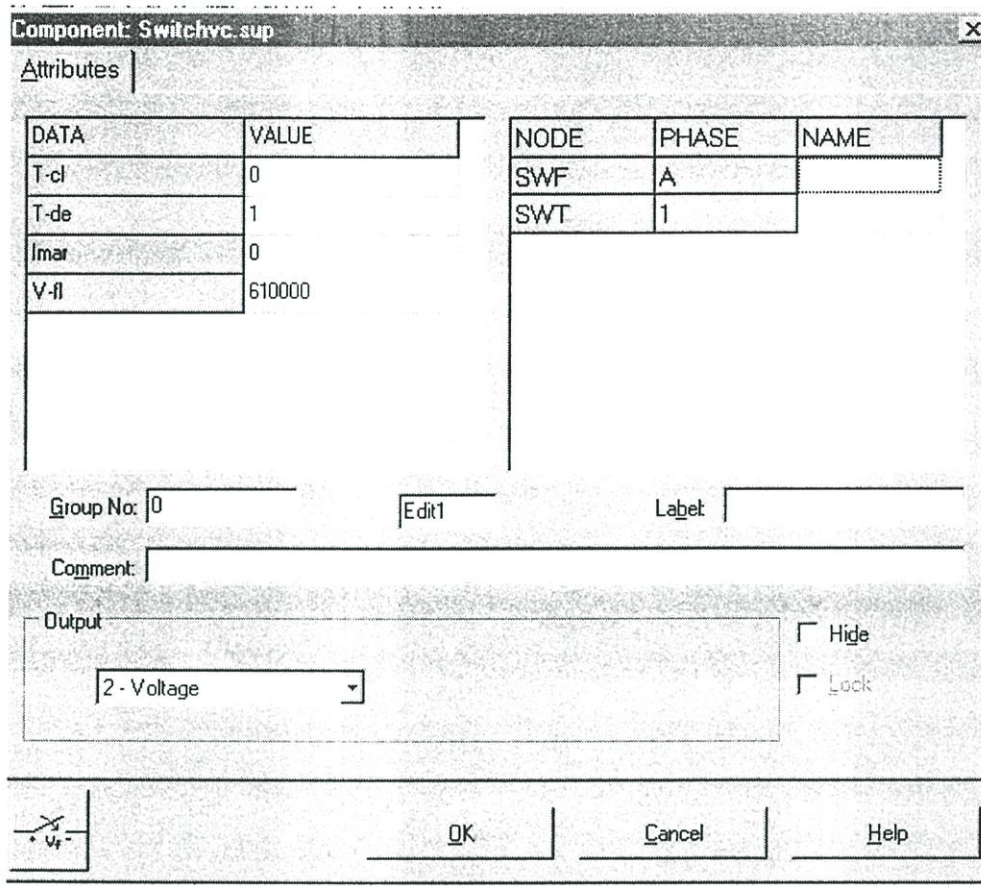
รูปที่ 3.19 แสดงการป้อนข้อมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าลงในโปรแกรม ATPDraw

9. แบบจำลองของลูกถ้วย

ลูกถ้วยจะถูกแทนด้วยสวิตช์ที่ควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage-Controlled Switch) ดังแสดงในรูปที่ 3.20 โดยจะต่ออยู่ระหว่างสายล่อฟ้ากับสายเฟสของเสาไฟฟ้า สวิตช์จะปิดเกิดการลัดวงจรเมื่อแรงดันตกคร่อมมันมากกว่าค่าแรงดันที่กำหนด (โดยทั่วไปใช้ค่า 50% flashover voltage) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 610 กิโลโวลต์ ข้อดีของแบบจำลองชนิดนี้ คือ ความง่ายในการสร้างแบบจำลอง



รูปที่ 3.20 แสดงแบบจำลองของลูกถ้วยในโปรแกรม ATPDraw



รูปที่ 3.21 แสดงการป้อนข้อมูลของลูกถ้วยลงในโปรแกรม ATPDraw

10. จำลองการเกิดฟ้าผ่าลงบนยอดเสาไฟฟ้าและสายเฟสตัวนำ

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการเลือกอินคัมมิงส์เสร็จโดยพิจารณาผลของระยะทางระหว่างจุดที่เกิดฟ้าผ่ากับสถานีไฟฟ้าย่อย ซึ่งระยะทางที่เกิดฟ้าผ่าสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.20) [1] การกำหนดอินคัมมิงส์ขึ้นกับความเชื่อถือได้ที่ต้องการของสถานีไฟฟ้า ซึ่งปกติกำหนดในเทอมของ MTBF (Mean Time Between Failure) โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 50 - 200 ปี สำหรับสถานีไฟฟ้าที่มีฉนวนเป็นอากาศ และ 200 - 800 ปี สำหรับสถานีไฟฟ้าที่มีฉนวนเป็นก๊าซ

$$d_m = \frac{1}{n(MTBF)(BFR)} \quad (3.20)$$

โดย d คือ ระยะทางจากจุดที่เกิดฟ้าผ่ากับสถานีไฟฟ้าย่อย
 MTBF คือ เวลาเฉลี่ยในการเกิดความบกพร่อง
 n คือ จำนวนสายไฟฟ้าที่ต่อเข้ากับสถานีไฟฟ้าย่อย
 BFR คือ อัตราการเกิดวาทไฟของสายไฟฟ้า

โดยทำการออกแบบให้ MTBF มีค่า 100 ปี และ BFR มีค่า 3.0 วาบไฟ / 100 กม.-ปี ซึ่งค่าดังกล่าวขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบว่าต้องการความน่าเชื่อถือมากน้อยแค่ไหน ณ ที่นี้ได้เลือกใช้ตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

3.3.1.2 แบบจำลองของอุปกรณ์ที่อยู่ในสถานีไฟฟ้าที่มีก๊าซเป็นฉนวน

1. สายส่ง

จำลองสายส่งด้วยสายส่งที่ไม่มีการสลับสาย ซึ่งมีพารามิเตอร์เป็นแบบกระจายและขึ้นอยู่กับความถี่ [10]

2. บัส

จำลองบัสด้วยสายส่งที่ไม่มีการสลับสาย ซึ่งมีพารามิเตอร์เป็นแบบกระจาย ค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์สามารถหาได้จากสมการที่ (3.21)[10]

$$Z = 60 \ln \left(\frac{b}{a} \right) \quad (3.21)$$

โดย a คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของบัส
 b คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของส่วนที่ห่อหุ้มอุปกรณ์ต่างๆ

3. สวิตช์ตัดตอน

จำลองสวิตช์ตัดตอนด้วยสายส่งที่ไม่มีการสลับสาย ซึ่งมีพารามิเตอร์เป็นแบบกระจายและที่ขั้วมีค่าความจุไฟฟ้าต่อลงดิน โดยที่ค่าความจุไฟฟ้ามีค่า 45 พิโคฟารัด[10]

4. กัปดักเสิร์จ

จำลองกัปดักเสิร์จด้วยลักษณะการป้องกันของกัปดักเสิร์จต่อขนานกับค่าความจุไฟฟ้าต่อลงดิน ซึ่งความจุไฟฟ้ามีค่า 50 พิโคฟารัด [10]

5. หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

จำลองหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังด้วยค่าความจุไฟฟ้าต่อลงดิน ซึ่งความจุไฟฟ้ามีค่า 1250 พิโคฟารัด[10]

6. เซอร์กิตเบรกเกอร์

จำลองเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้วยค่าความจุไฟฟ้าต่อลงดิน ซึ่งมีค่า 20 พิโคฟารัด[10]

3.3.2 โปรแกรมทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้า

เมื่อสร้างแบบจำลองต่างๆแล้วก็ใช้โปรแกรมทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้า(ATP-EMTP) ทำการคำนวณหาค่าแรงดันเกินฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์ต่างๆในสถานีไฟฟ้าซึ่งโปรแกรมทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้จำลององค์ประกอบต่างๆในระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อวิเคราะห์ผลการทำงานหรือทำนายค่าตัวแปรต่างๆที่ทำการศึกษาในระบบไฟฟ้ากำลังโดยมีความสัมพันธ์เป็นฟังก์ชันของเวลา โดยทั่วไปจะใช้ศึกษาผลการรบกวนต่อระบบ (Disturbance) เช่น การสวิตชิงของเซอร์กิตเบรกเกอร์, ฟ้าผ่าและฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบ

โปรแกรมทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นโปรแกรมที่มีความสามารถในการวิเคราะห์ระบบขนาดใหญ่ที่มีองค์ประกอบของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าหลากหลาย พารามิเตอร์ขององค์ประกอบอาจเป็นค่าคงที่ที่ไม่ขึ้นกับความถี่หรือเป็นค่าที่ขึ้นกับความถี่ เช่น กรณีสายส่งหรือเคเบิล และเป็นแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นหรืออาจเปลี่ยนแปลงตามค่าของเวลาได้ ซึ่งภายในระบบใหญ่นี้อาจมีการเชื่อมโยงกันระหว่างระบบย่อย ในการวิเคราะห์สามารถทำการคำนวณแบบครั้งเดียวหรือเป็นการจำลองที่เป็นการศึกษาวิเคราะห์แบบกลุ่มซึ่งมีการคำนวณหลายๆครั้ง โดยมีข้อมูลอินพุตเป็นข้อมูลของแบบจำลองนั้นๆโดยเฉพาะหรือเป็นข้อมูลสถิติ สำหรับการแสดงผลของข้อมูลของโปรแกรม EMTP นอกจากจะแสดงผลเป็นตารางตัวเลขแล้ว ยังสามารถแสดงผลในรูปของกราฟได้อีกด้วย

ในปัจจุบันโปรแกรมทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นอีกโปรแกรมหนึ่งซึ่งเป็นที่ยอมรับและมีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในการวิเคราะห์ทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง การวิเคราะห์โดยโปรแกรมทั่วไปสามารถที่จะแยกออกให้เห็นชัดได้เป็นสองวิธี ซึ่งวิธีแรกจะวิเคราะห์ทรานเซียนในโดเมนความถี่แล้วจึงแปลงไปสู่โดเมนเวลาในขั้นสุดท้ายโดยใช้หลักการวิเคราะห์ฟูเรียร์ ส่วนวิธีที่สองจะวิเคราะห์ในโดเมนเวลาโดยตรงอาศัยการแปลงเทอมที่ขึ้นกับความถี่ให้เป็นเทอมในโดเมนเวลาเสียก่อนด้วยหลักการของ Time Convolution สำหรับโปรแกรมทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้านั้นเป็นการวิเคราะห์ตามวิธีที่สอง

3.4 ขั้นตอนที่ดี

ขั้นตอนนี้เป็นการคำนวณหาค่า BIL และ CLEARANCE จากแรงดันเกินฟ้าผ่าที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่สาม

3.4.1 การคำนวณค่า BIL

BIL (Basic Impulse Insulation Level) เป็นตัวเลขแสดงถึงความสามารถของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะทนต่อเสิร์จฟ้าผ่าได้ ปกติทดลองได้ด้วยการใช้รูปคลื่น 3 ชนิด คือ front of wave , chopped wave และ full wave เพื่อช่วยหาค่าความคงทนของแต่ละส่วนของฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้า หรืออาจกล่าวได้ว่าค่า BIL คือ ค่าแรงดันทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า เป็นค่ายอดของแรงดันอิมพัลส์ ซึ่งอุปกรณ์จะต้องทนได้โดยไม่เกิดการเบรคดาวน์หรือเสียหาย

วิธีการคำนวณ BIL ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ คือ ให้นำค่าแรงดันเกินฟ้าผ่าที่หาได้จากโปรแกรมทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้ามาคำนวณหาค่า BIL ด้วยสมการที่ (3.22) ซึ่งใช้สำหรับสำหรับหม้อแปลง และ (3.23) ใช้สำหรับอุปกรณ์อื่นๆ[1] โดยใช้ช่วงห่าง (margin) เป็น 15 % [1]

$$BIL = \frac{1.15E_i}{1.10} \quad (3.22)$$

$$BIL = \frac{E_b}{1.15} \quad (3.23)$$

โดย E_i คือ แรงดันที่ขั้วหม้อแปลง
 E_b คือ แรงดันที่ขั้วอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ

3.4.2 การคำนวณหาระยะห่างระหว่างเฟสกับเฟสและเฟสกับกราวด์ (Clearance)

การคำนวณหาระยะห่างระหว่างเฟส-เฟสและเฟส-ดิน(Clearance) สามารถคำนวณได้โดยนำค่าแรงดันเกินฟ้าผ่าสูงสุดที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์ ซึ่งหาได้ด้วยโปรแกรมทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้าหารด้วยค่าเกรเดียนท์เบรคดาวน์วิกฤตขั้วลบ (negative breakdown gradient) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 605 kV/m [1]

3.5 ขั้นตอนที่ทำ

ขั้นตอนนี้เป็นการนำค่า BIL และ Clearance ที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่สี่ไปเปรียบเทียบกับ ค่า BIL มาตรฐานซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE 1313-1 และ Clearance มาตรฐาน ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน NEMA SG6 ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ เพื่อทำการเลือกค่า BIL และ Clearance ที่เหมาะสม

ตารางที่ 3.2 แสดงค่า BIL มาตรฐานของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าข้อยที่มีอากาศเป็นฉนวน [6,7 ,8,9]

System nominal / Max system voltage , kV	Transformers BIL , kV	Circuit Breaker BIL,kV	Disconnecting Switches, BIL, kV
25 / 25.8	150	150	125 150
34.5 / 38	200	200	150 200
46 / 48.3	200 250	250	250
69 / 72.5	250 350	350	350
115 / 121	350 450 550	550	550
138 / 145	450 550 650	650	650
161 / 169	550 650 750	750	750
230 / 242	650 750 825 900	900	900 1050

ตารางที่ 3.3 แสดงค่า BIL มาตรฐานของอุปกรณ์ที่อยู่ในสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีก๊าซเป็นฉนวน [9]

Max system voltage , kV	BIL . kV
72.5	300
	350
121	450
	550
145	550
	650
169	650
	750
242	750
	900
362	900
	1050
550	1300
	1550
800	1800

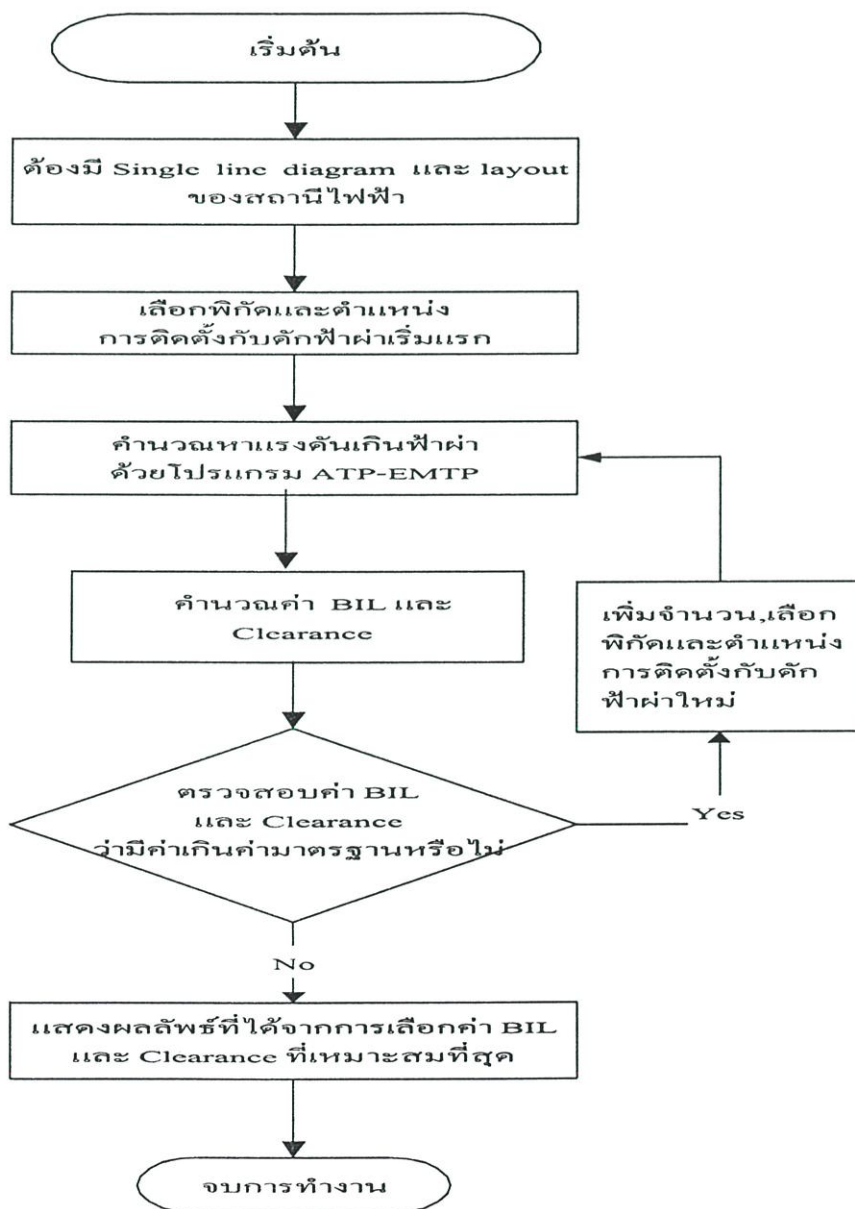
ตารางที่ 3.4 แสดงค่าระยะห่างระหว่างเฟสกับเฟสและเฟสกับกราวด์ตามมาตรฐาน NEMA SG6[5]

Operating voltage , kV	Phase to phase and phase to ground Clearance (m)
115	1.68
138	1.68

3.6 ขั้นตอนที่หก

ขั้นตอนนี้เป็นการพิจารณาการเลือกพิกัดและตำแหน่งการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าใหม่ถ้าค่าBIL และ Clearance ที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่สี่มีค่ามากเกินไปค่ามาตรฐานของอุปกรณ์ที่มีใช้งาน ให้ทำการลดขนาดแรงดันเกินฟ้าผ่าที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจกระทำได้โดยการเพิ่มจำนวนกับดักฟ้าผ่าในสถานี ไฟฟ้าย่อยหรือเลือกพิกัดกับดักฟ้าผ่าใหม่ หรือลดความรุนแรงของเสิร์จที่จะเข้ามาในสถานีไฟฟ้า โดยการลดค่าความต้านทานรากสายดินของเสาไฟฟ้า

โดยสามารถแสดงแผนผังการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางจนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย ได้ดังในรูปที่ 3.22



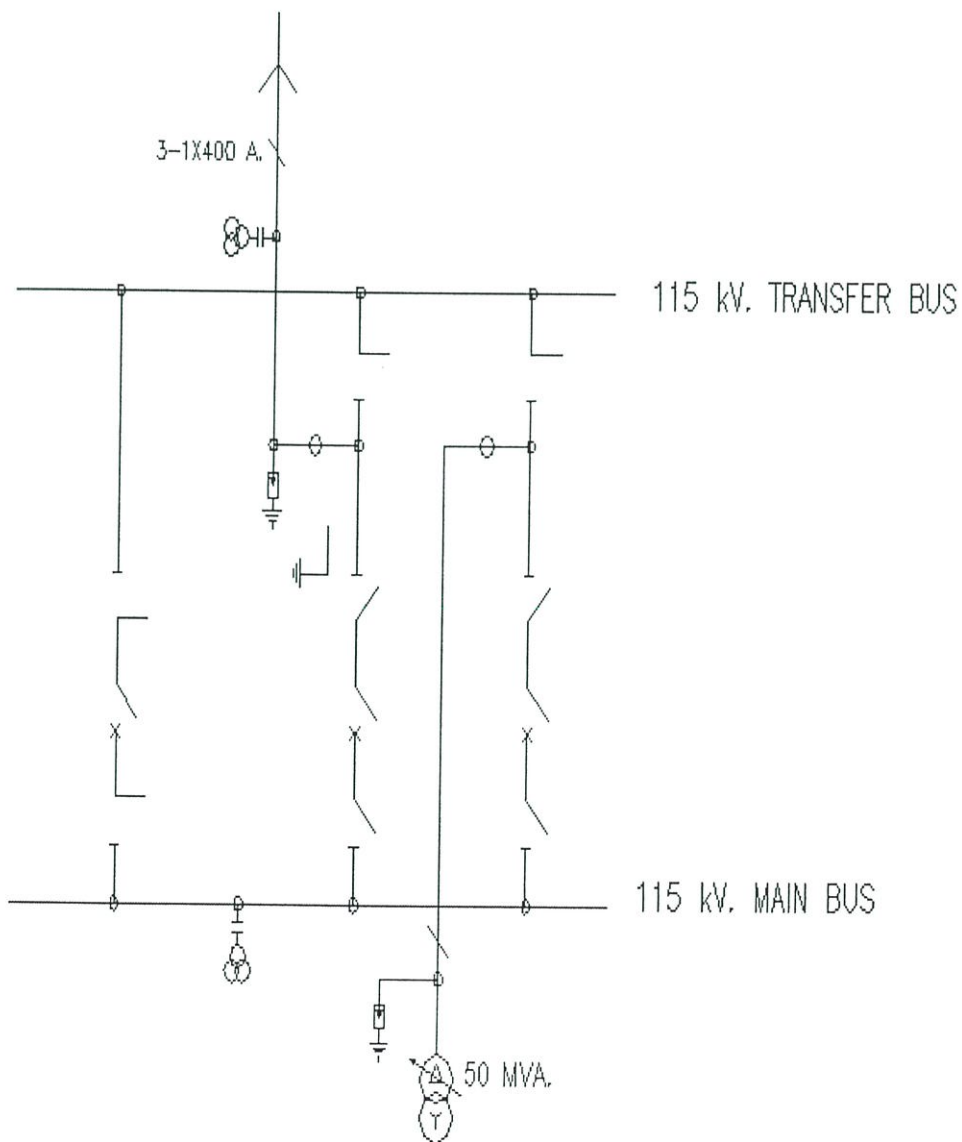
รูปที่ 3.22 แสดงขั้นตอนการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางจนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย

บทที่ 4

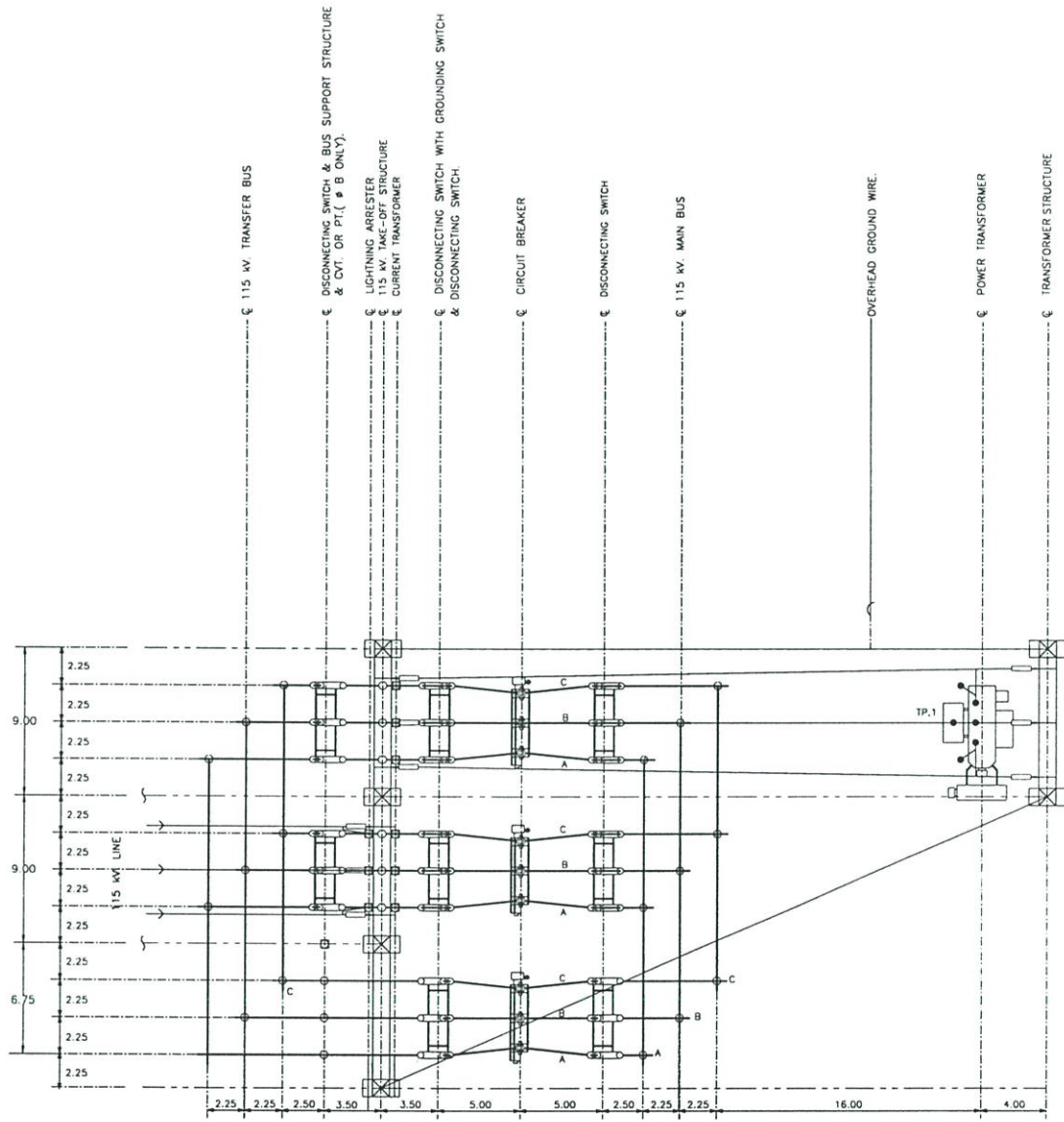
ผลลัพธ์การออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับ สถานีไฟฟ้าย่อยต่างๆ

4.1 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ ภาคเหนือ

4.1.1 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยพิษณุโลก ซึ่งเป็น
สถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีอากาศเป็นฉนวน



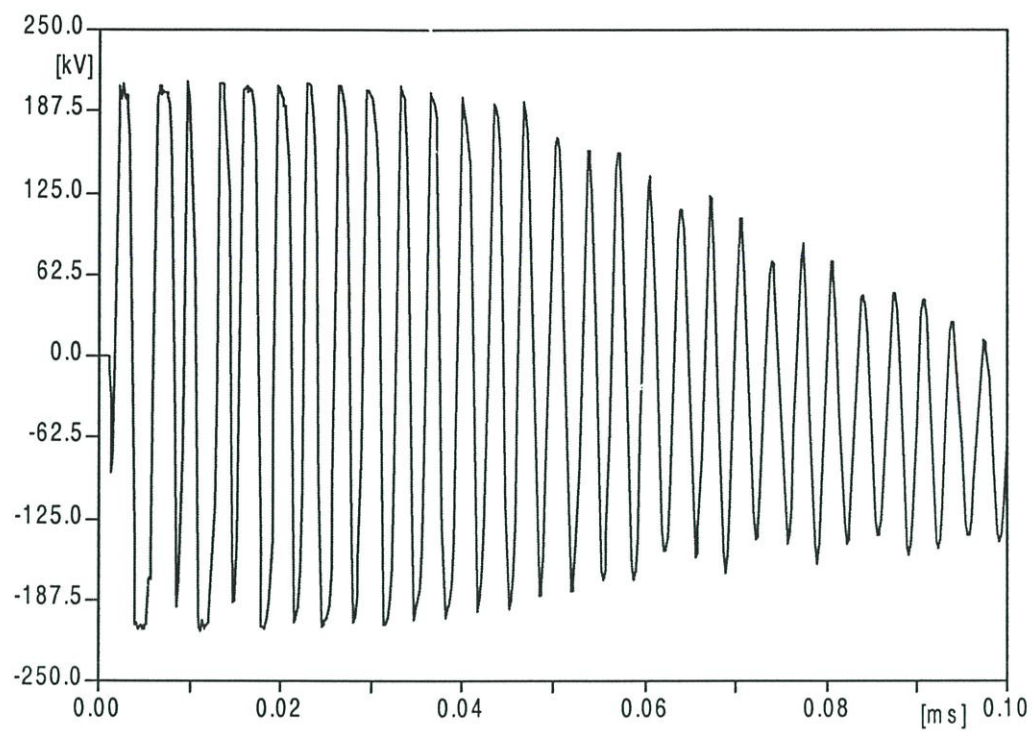
รูปที่ 4.1 แสดงไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อยพิษณุโลก



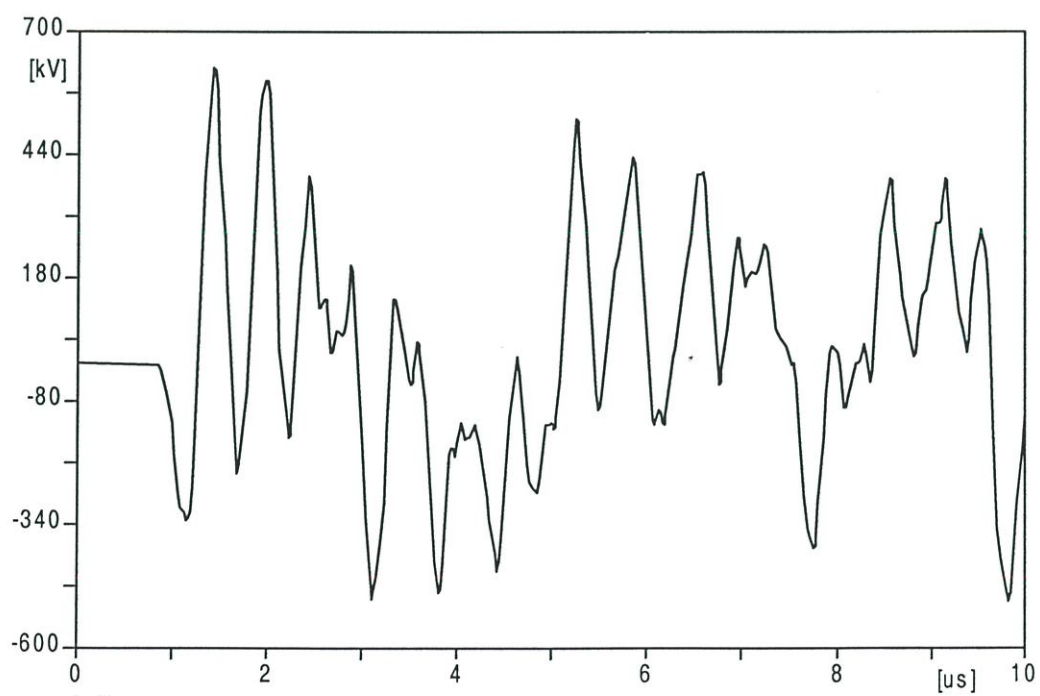
รูปที่ 4.2 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้าย่อยพิษณุโลก จ. พิษณุโลก



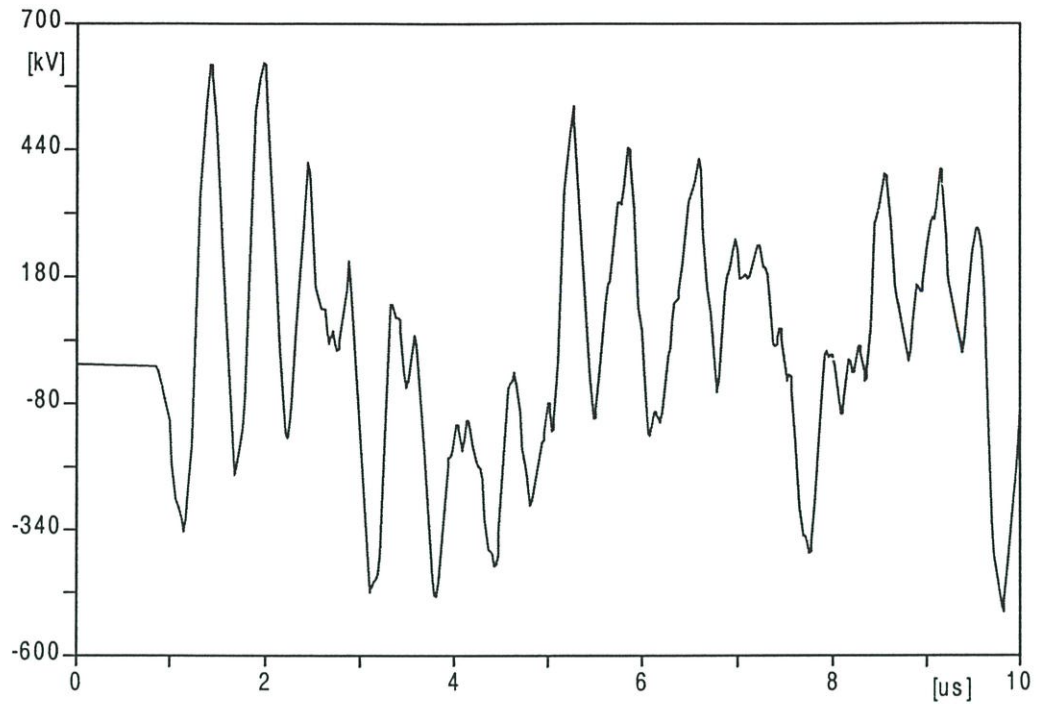
รูปที่ 4.3 แสดงแบบจำลองที่ใช้ศึกษาการเกิดฟ้าผ่าโดยโปรแกรม ATPDraw
ของสถานีไฟฟ้าย่อยพิษณุโลก



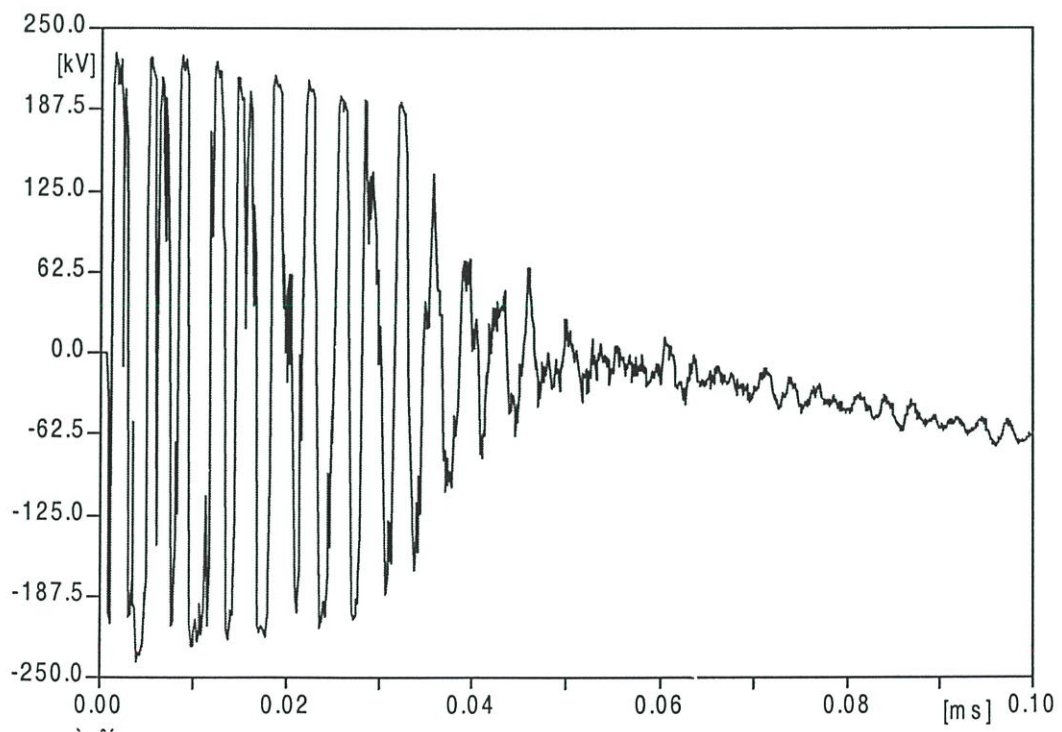
(a) แรงดันคร่อมหม้อแปลงไฟฟ้า



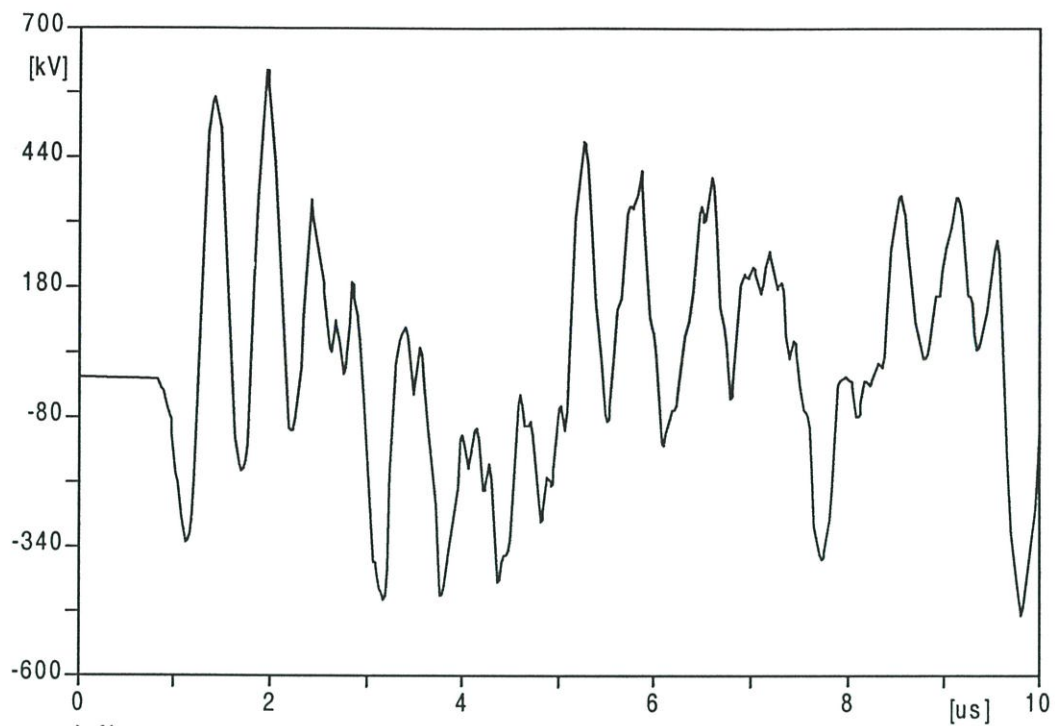
(b) แรงดันคร่อมสวิตช์ตัดตอน



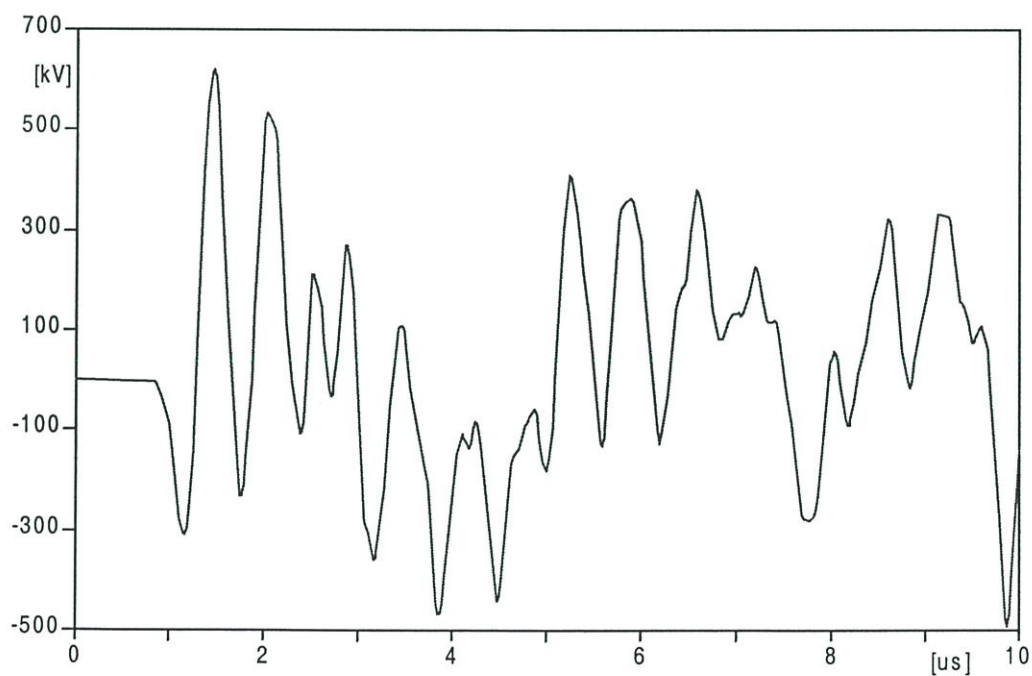
(c) แรงดันคร่อมเซอร์กิตเบรกเกอร์



(d) แรงดันคร่อมหม้อแปลงวัดกระแส

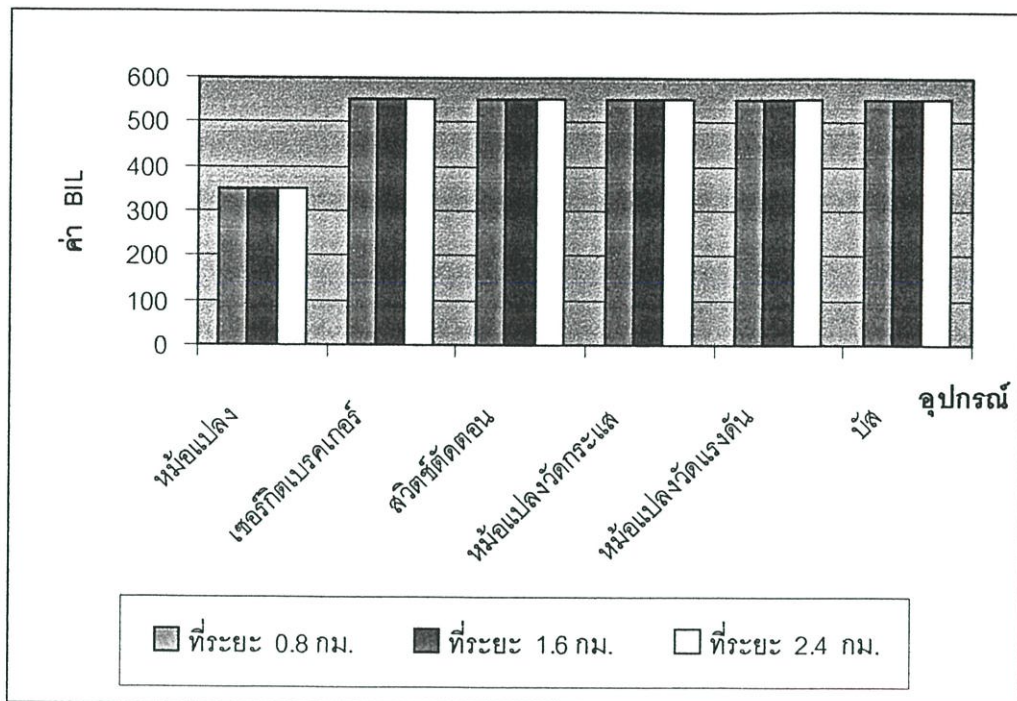


(e) แรงดันคร่อมบัส

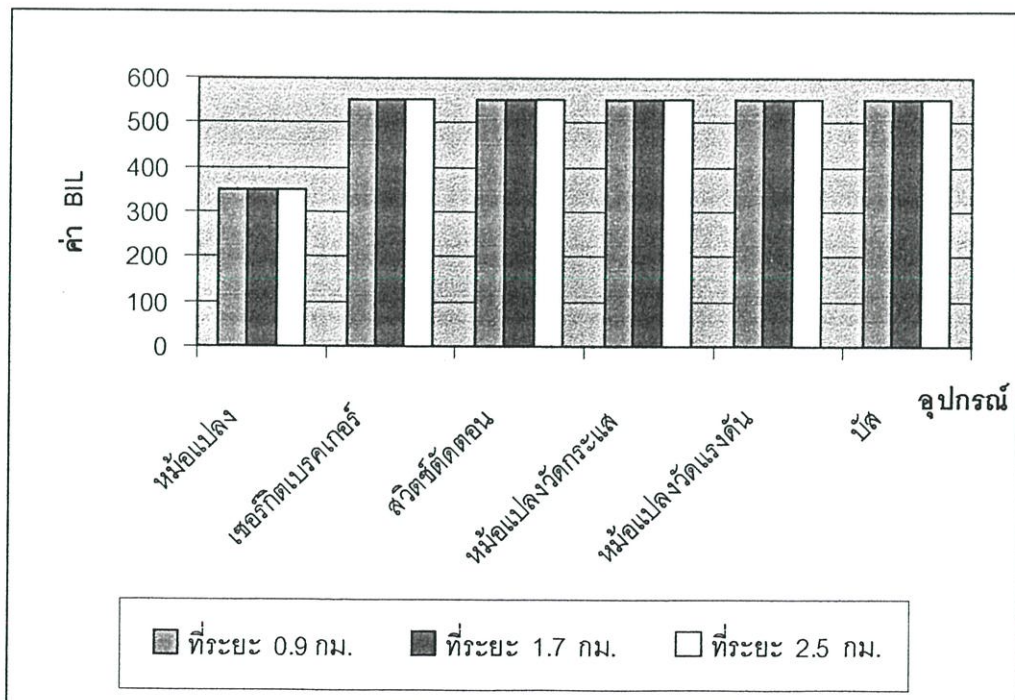


(f) แรงดันคร่อมหม้อแปลงวัดแรงดัน

รูปที่ 4.4 แสดงแรงดันคร่อมอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยพิษณุโลก
กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง



(a) เมื่อฟ้าผ่าลงที่ขดเสไฟฟ้า



(b) เมื่อฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำ

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีย่อยไฟฟ้าข่อยพินญ โลก
กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีย่อยไฟฟ้าข่อยและที่หม้อแปลง

ตารางที่ 4.1 แสดงการเลือกค่าBILของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยพิษณุโลก กรณีเกิดฟ้าผ่าที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นที่ 3 ซึ่งห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะทาง 1.6 กิโลเมตร

อุปกรณ์	แรงดัน , kV		BIL,kV ที่คำนวณได้		Standard BIL, kV		ค่า BIL ที่ทำ การเลือก,kV	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
หม้อแปลง	900	212	941	220	550	350	-	350
สวิตช์ตัดตอน	570	472	496	412	550	550	550	550
เซอร์กิตเบรกเกอร์	650	565	565	491	550	550	-	550
หม้อแปลงวัดกระแส	235	230	204	200	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดแรงดัน	235	230	204	230	550	550	550	550
บัส	610	560	530	487	550	550	550	550

$$\text{ระยะ Clearance} = \frac{565 \text{ kV}}{605 \text{ kV/m}} = 0.93 \text{ เมตร}$$

ตารางที่ 4.2 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยพิษณุโลก กรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟสตัวนำ ซึ่งห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะทาง 1.7 กิโลเมตร

อุปกรณ์	แรงดัน , kV		BIL,kV ที่คำนวณได้		Standard BIL, kV		ค่า BIL ที่ ทำการ เลือก,kV	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
หม้อแปลง	875	190	915	199	550	350	-	350
สวิตช์ตัดตอน	500	460	435	400	550	550	550	550
เซอร์กิตเบรกเกอร์	595	550	517	478	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดกระแส	220	200	191	174	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดแรงดัน	220	200	191	174	550	550	550	550
บัส	565	535	491	465	550	550	550	550

$$\text{ระยะ Clearance} = \frac{550 \text{ kV}}{605 \text{ kV/m}} = 0.90 \text{ เมตร}$$

หมายเหตุ (1) คือ กรณีที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น

(2) คือ กรณีที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง

จากรูปที่ 4.5 เป็นผลการเลือกค่า BIL สำหรับอุปกรณ์ต่างๆในสถานีไฟฟ้าย่อยพิษณุโลก ที่ขนาดกระแสฟ้าผ่า 396.30 กิโลแอมแปร์ เป็นสถานีไฟฟ้าย่อยชนิดที่มีอากาศเป็นฉนวนตั้งอยู่ภายนอกอาคาร ซึ่งจากรูปที่ 4.5(a) เป็นผลการพิจารณากรณีที่มีฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต่างๆ จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกได้มีค่า 350 กิโลโวลต์ โดยมีค่าเท่ากับทุกระยะทาง สำหรับอุปกรณ์อื่นๆนั้นค่า BIL ที่ทำการเลือกได้มีค่า 550 กิโลโวลต์ มีค่าเท่ากับทุกระยะทางเช่นเดียวกัน ซึ่งค่า BIL ที่ทำการเลือกได้นี้ได้มาจากการที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยจำนวน 1 ตัวและที่หม้อแปลงจำนวน 1 ตัว ซึ่งในตารางที่ 4.1 เป็นตัวอย่างแสดงการเลือกค่า BIL เมื่อให้ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นที่ 3 ห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะ 1.6 กิโลเมตร โดยที่เมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 1 ตัว พบว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่คำนวณได้มีค่า 941 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานคือ 550 กิโลโวลต์ และค่า BIL ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่คำนวณได้มีค่า 565 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐาน คือ 550 กิโลโวลต์ เช่นเดียวกัน สำหรับอุปกรณ์อื่นๆคือ สวิตช์ตัดตอน, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดันและบัสพบว่าค่า BIL ที่คำนวณได้มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงได้ทำการลดขนาดแรงดันเกินฟ้าผ่าโดยการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าเพิ่มที่หม้อแปลงอีก 1 ตัว พบว่าค่า BIL ที่คำนวณใหม่ของหม้อแปลงมีค่า 220 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน คือ 350 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า BIL ของหม้อแปลงเป็น 350 กิโลโวลต์ สำหรับค่า BIL ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ทำการคำนวณใหม่นี้มีค่าเป็น 491 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน คือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า BIL ของเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็น 550 กิโลโวลต์ สำหรับอุปกรณ์อื่นๆคือ สวิตช์ตัดตอน, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดันและบัสพบว่าค่า BIL ที่คำนวณได้ยังคงมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงเลือกค่า BIL เป็น 550 กิโลโวลต์

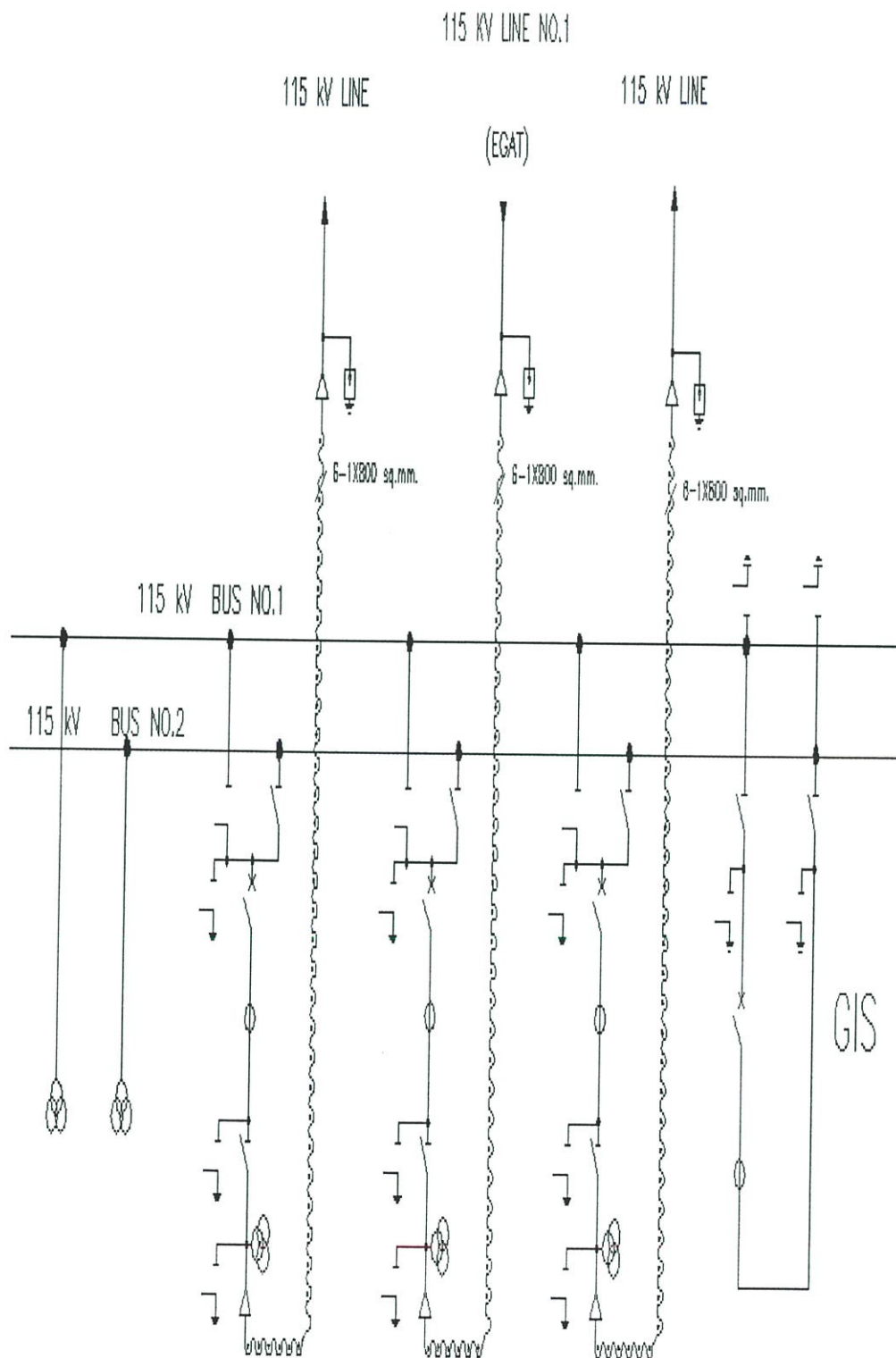
จากรูปที่ 4.5(b) เป็นผลการเลือกค่า BIL สำหรับอุปกรณ์ต่างๆในกรณีที่ฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆ จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกได้มีค่า 350 กิโลโวลต์ โดยมีค่าเท่ากับทุกระยะทาง สำหรับอุปกรณ์อื่นๆนั้นค่า BIL ที่ทำการเลือกได้มีค่า 550 กิโลโวลต์ มีค่าเท่ากับทุกระยะทางเช่นเดียวกันซึ่งค่า BIL ที่ทำการเลือกได้นี้ได้มาจากการที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยจำนวน 1 ตัวและที่หม้อแปลงจำนวน 1 ตัวรวมเป็น 2 ตัว ซึ่งในตารางที่ 4.2 เป็นตัวอย่างแสดงการเลือกค่า BIL กรณีที่ฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.7 กิโลเมตร โดยที่เมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 1 ตัว พบว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่คำนวณได้มีค่า 915 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานคือ 550 กิโลโวลต์ และค่า BIL ของอุปกรณ์อื่น คือ สวิตช์ตัดตอน, เซอร์กิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดันและบัสพบว่าค่า BIL ที่คำนวณได้มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงได้ทำการลดขนาดแรงดันเกินฟ้าผ่าโดยการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าเพิ่มที่หม้อแปลงอีก 1 ตัว พบว่าค่า BIL ที่คำนวณใหม่ของหม้อแปลงมีค่า 199 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน คือ

350 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า BIL ของหม้อแปลงเป็น 350 กิโลโวลต์ สำหรับอุปกรณ์อื่นๆคือ สวิตช์ตัดตอน,เซอร์กิตเบรกเกอร์,หม้อแปลงวัดกระแส,หม้อแปลงวัดแรงดันและบัสพบว่า ค่า BIL ที่คำนวณได้ยังคงมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงเลือกค่า BIL เป็น 550 กิโลโวลต์

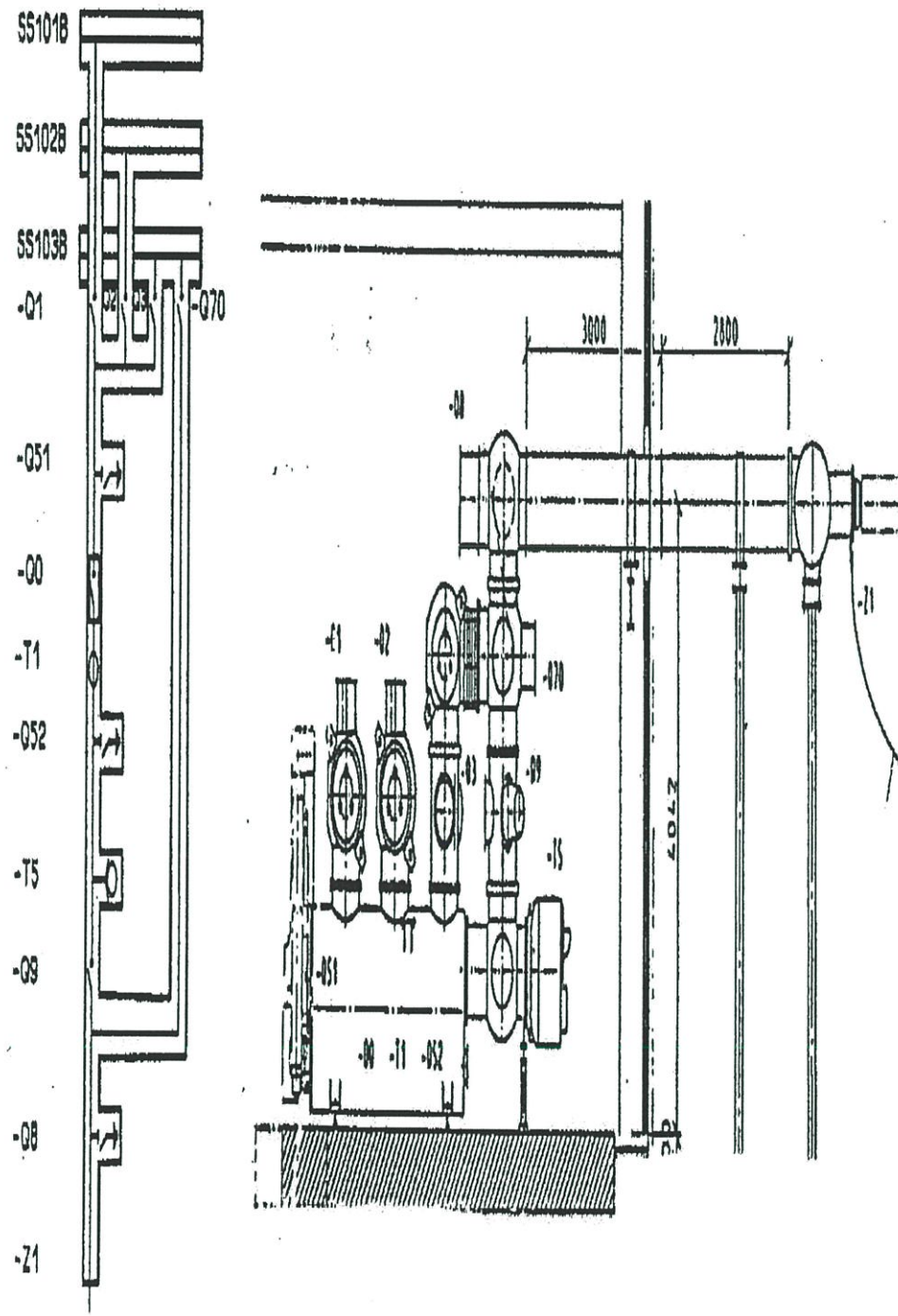
สำหรับการคำนวณค่า Clearance นั้นเมื่อพิจารณากรณีที่ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นต่างๆ นั้น จะเห็นว่าค่าแรงดันเกินสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าและที่หม้อแปลงนั้นมีค่า 582 กิโลโวลต์ ซึ่งจะได้ระยะ Clearance เท่ากับ 0.96 เมตร และเมื่อพิจารณากรณีที่ฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆนั้นจะเห็นว่าค่าแรงดันเกินสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าและที่หม้อแปลงนั้นมีค่า 550 กิโลโวลต์ ซึ่งจะได้ระยะ Clearance เท่ากับ 0.92 เมตร

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการเกิดฟ้าผ่าทั้งสองลักษณะ คือ ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นต่างๆ และที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆนั้นให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกัน คือค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกได้นั้นมีค่า 350 กิโลโวลต์ ส่วนสวิตช์ตัดตอน,เซอร์กิตเบรกเกอร์,หม้อแปลงวัดกระแส,หม้อแปลงวัดแรงดันและบัสค่า BIL มีค่า 550 กิโลโวลต์ โดยทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยจำนวน 1 ตัวและติดตั้งที่หม้อแปลงจำนวน 1 ตัว รวมเป็น 2 ตัว

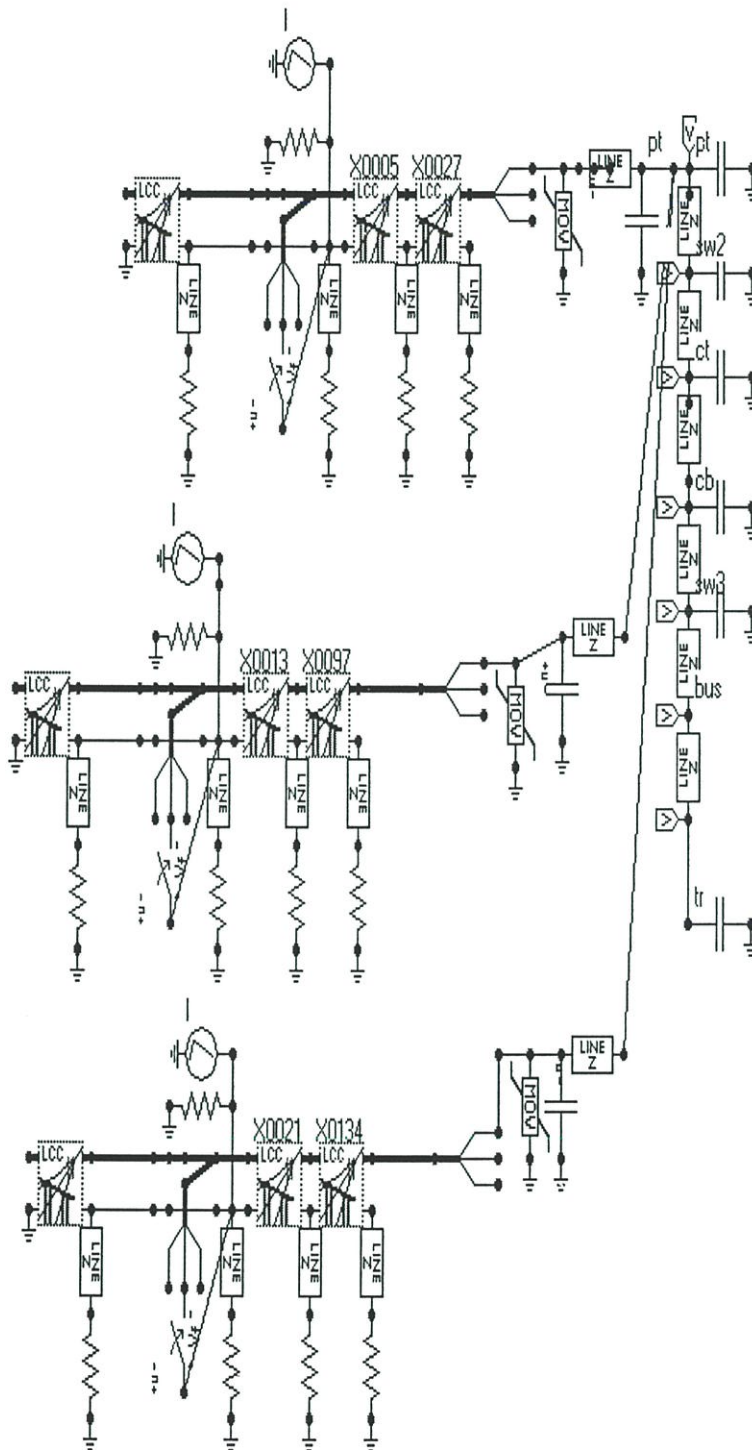
4.1.2 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยเชียงใหม่ ซึ่งเป็น สถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีก๊าซเป็นฉนวน



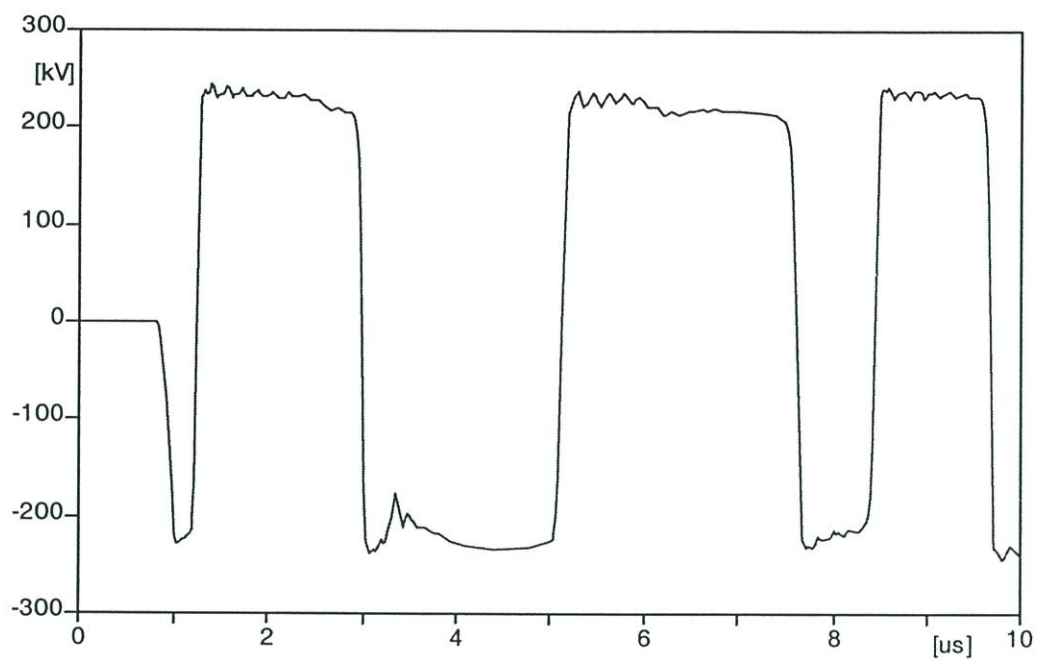
รูปที่ 4.6 แสดงไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อยเชียงใหม่



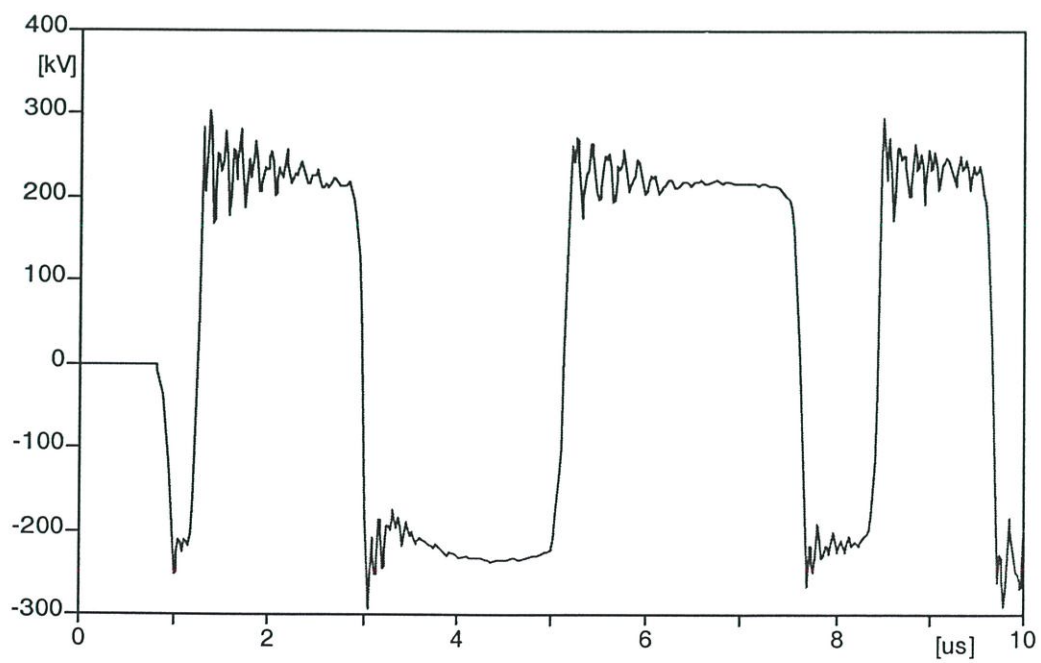
รูปที่ 4.7 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้าย่อยเชียงใหม่



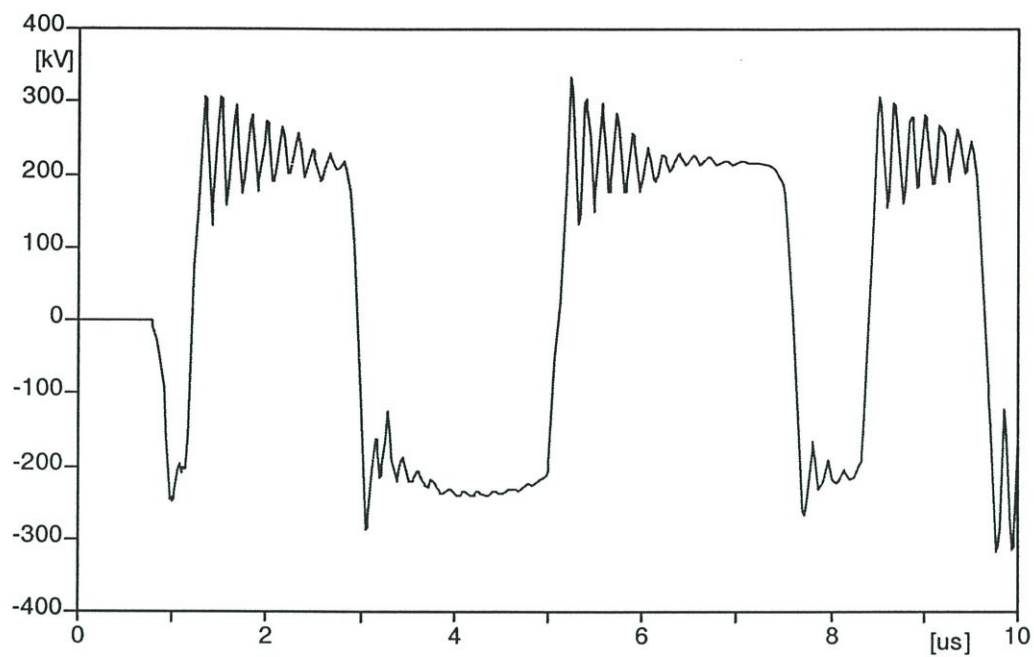
รูปที่ 4.8 แสดงแบบจำลองที่ใช้ศึกษาการเกิดฟ้าผ่าโดยโปรแกรม ATPDraw ของสถานีไฟฟ้าย่อยเชียงใหม่



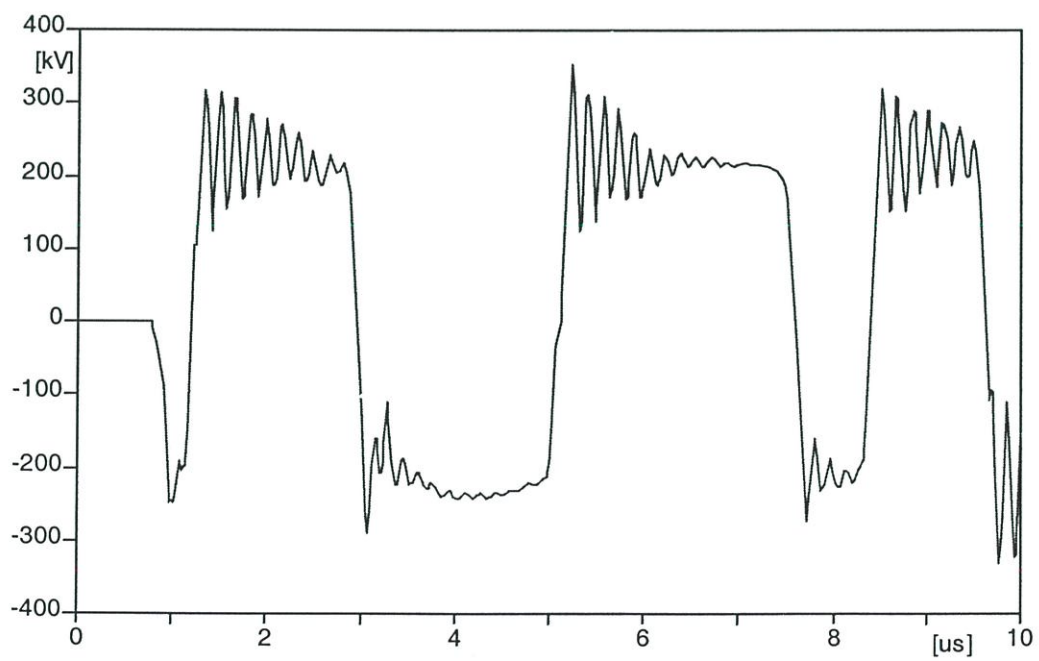
(a) แรงดันคร่อมหม้อแปลงไฟฟ้า



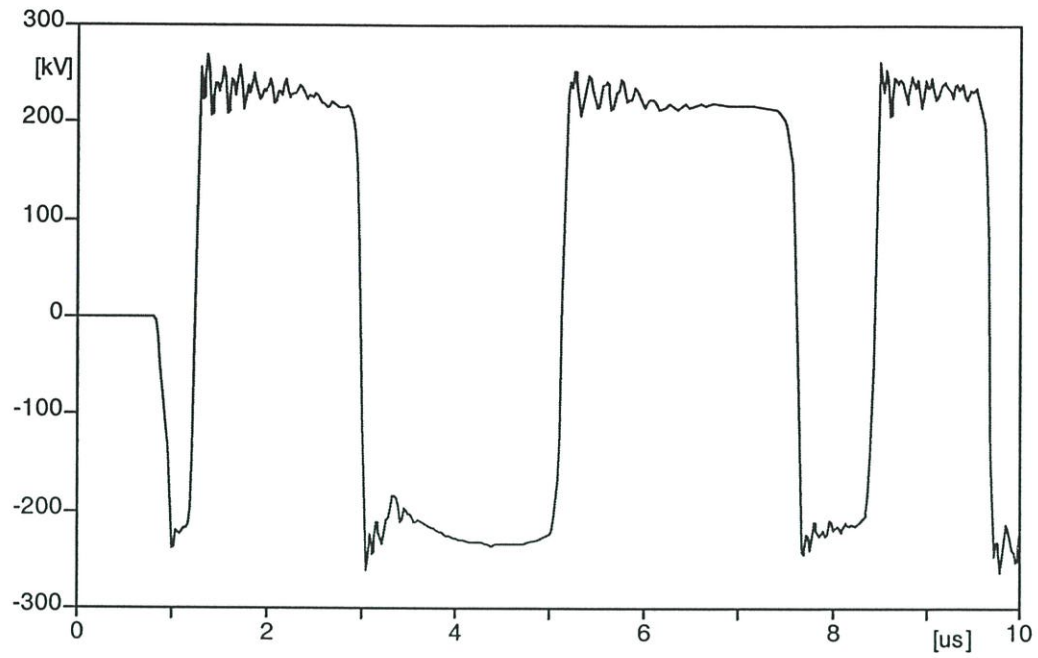
(b) แรงดันคร่อมสวิตช์ตัดตอน



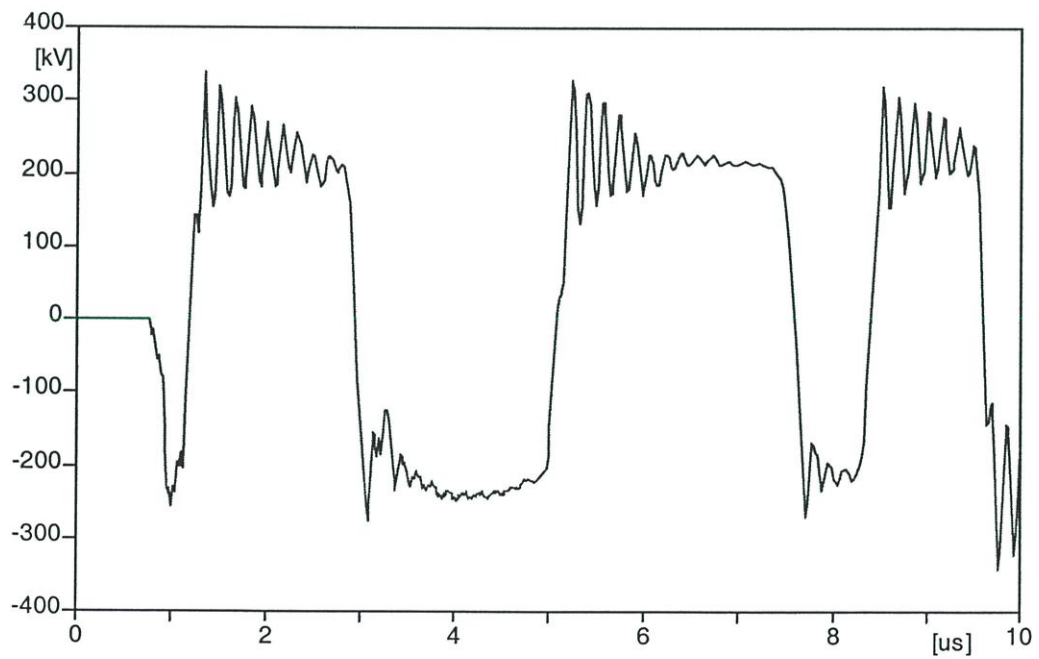
(c) แรงดันคร่อมเซอร์กิตเบรคเกอร์



(d) แรงดันคร่อมหม้อแปลงวัดกระแส

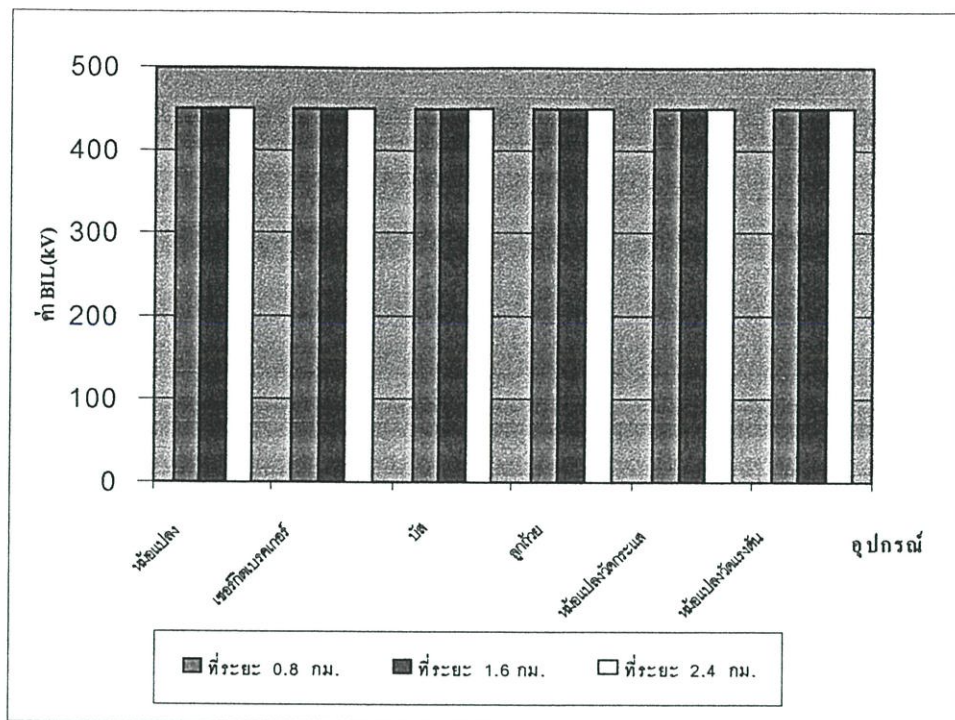


(e) แรงดันคร่อมบัส

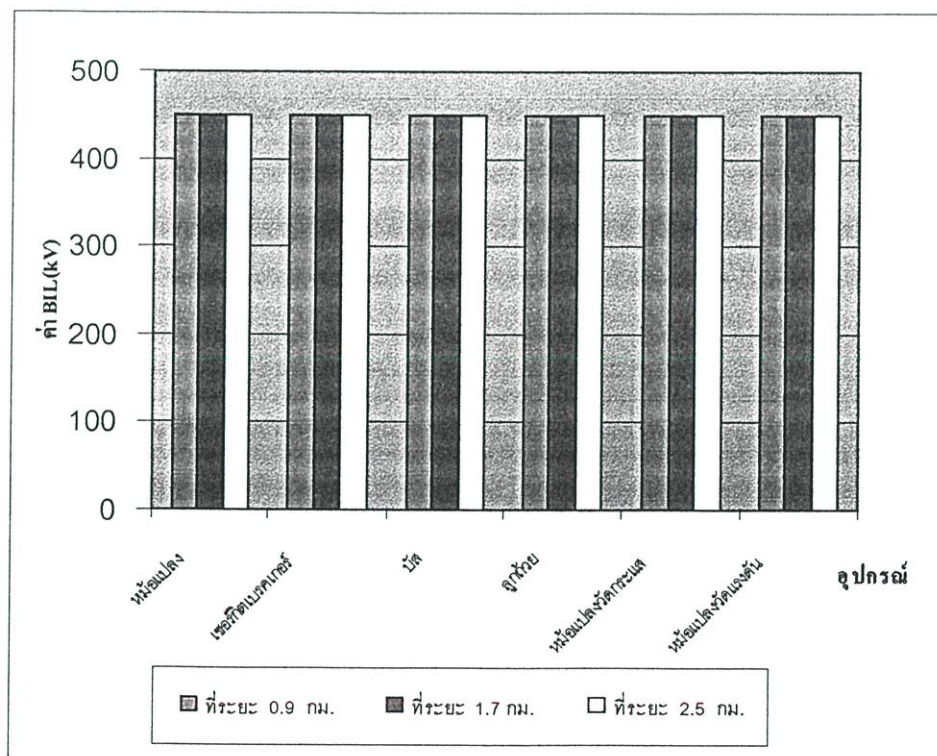


(f) แรงดันคร่อมหม้อแปลงวัดแรงดัน

รูปที่ 4.9 แสดงแรงดันคร่อมอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยเชียงใหม่
กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง



(a) เมื่อฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้า



(b) เมื่อฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำ

รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยเชียงใหม่ กรณีที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง

ตารางที่ 4.3 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยเชิงใหม่กรณีเกิดฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นที่ 3 ซึ่งห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะทาง 1.6 กิโลเมตร

อุปกรณ์	แรงดัน , kV		BIL,kV ที่คำนวณได้		Standard BIL, kV		ค่า BIL ที่ ทำการ เลือก,kV	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
หม้อแปลง	589	244	616	255	550	450	-	450
สวิตช์ตัดตอน	562	304	489	264	550	450	550	450
เซอร์กิตเบรกเกอร์	490	335	426	291	450	450	450	450
หม้อแปลงวัดกระแส	450	338	391	294	450	450	450	450
หม้อแปลงวัดแรงดัน	500	351	435	305	450	450	450	450
บัส	473	269	411	234	450	450	450	450

$$\text{ระยะ Clearance} = \frac{351 \text{ kV}}{605 \text{ kV/m}} = 0.58 \text{ เมตร}$$

ตารางที่ 4.4 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยเชิงใหม่กรณีเกิดฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำ ซึ่งห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะทาง 1.7 กิโลเมตร

อุปกรณ์	แรงดัน , kV		BIL,kV ที่คำนวณได้		Standard BIL, kV		ค่า BIL ที่ทำ การเลือก,kV	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
หม้อแปลง	573	225	590	235	550	450	-	450
สวิตช์ตัดตอน	546	280	475	243	550	450	550	450
เซอร์กิตเบรกเกอร์	475	320	413	278	450	450	450	450
หม้อแปลงวัดกระแส	435	325	378	283	450	450	450	450
หม้อแปลงวัดแรงดัน	475	340	413	296	450	450	450	450
บัส	450	250	391	217	450	450	450	450

$$\text{ระยะ Clearance} = \frac{340 \text{ kV}}{605 \text{ kV/m}} = 0.56 \text{ เมตร}$$

หมายเหตุ (1) คือ กรณีที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น

(2) คือ กรณีที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง

จากรูปที่ 4.10 เป็นผลการเลือกค่า BIL สำหรับอุปกรณ์ต่างๆในสถานีไฟฟ้าย่อยเชิงใหม่ ที่ขนาดกระแสฟ้าผ่า 548.60 กิโลแอมแปร์ เป็นสถานีไฟฟ้าย่อยชนิดที่มีก๊าซ SF₆เป็นฉนวนตั้งอยู่ภายในอาคาร ซึ่งจากรูปที่ 4.10(a) เป็นผลการพิจารณากรณีที่ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต่างๆ จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกได้มีค่า 450 กิโลโวลต์ โดยมีค่าเท่ากันทุกระยะทาง สำหรับอุปกรณ์อื่น ๆ นั้นค่า BIL ที่ทำการเลือกได้มีค่า 450 กิโลโวลต์ มีค่าเท่ากันทุกระยะทางเช่นเดียวกัน ซึ่งค่า BIL ที่ทำการเลือกได้นี้ได้มาจากการที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยจำนวน 3 ตัวและที่หม้อแปลงจำนวน 1 ตัว ซึ่งในตารางที่ 4.3 เป็นตัวอย่างแสดงการเลือกค่า BIL เมื่อให้ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นที่ 3 ห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะ 1.6 กิโลเมตร โดยที่เมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 3 ตัว พบว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่คำนวณได้มีค่า 616 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานคือ 550 กิโลโวลต์ สำหรับสวิตช์ตัดตอน พบว่าค่า BIL ที่คำนวณได้มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ 550 กิโลโวลต์ ส่วนเซอร์กิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดันและบัสพบว่าค่า BIL ที่คำนวณได้มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ 450 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงได้ทำการลดขนาดแรงดันเกินฟ้าผ่าโดยการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าเพิ่มที่หม้อแปลงอีก 1 ตัว พบว่าค่า BIL ที่คำนวณใหม่ของหม้อแปลงมีค่า 255 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน คือ 450 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า BIL ของหม้อแปลงเป็น 450 กิโลโวลต์ สำหรับอุปกรณ์อื่นๆคือ สวิตช์ตัดตอน, เซอร์กิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดันและบัสพบว่าค่า BIL ที่คำนวณได้ยังคงมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน 450 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า BIL ได้เป็น 450 กิโลโวลต์

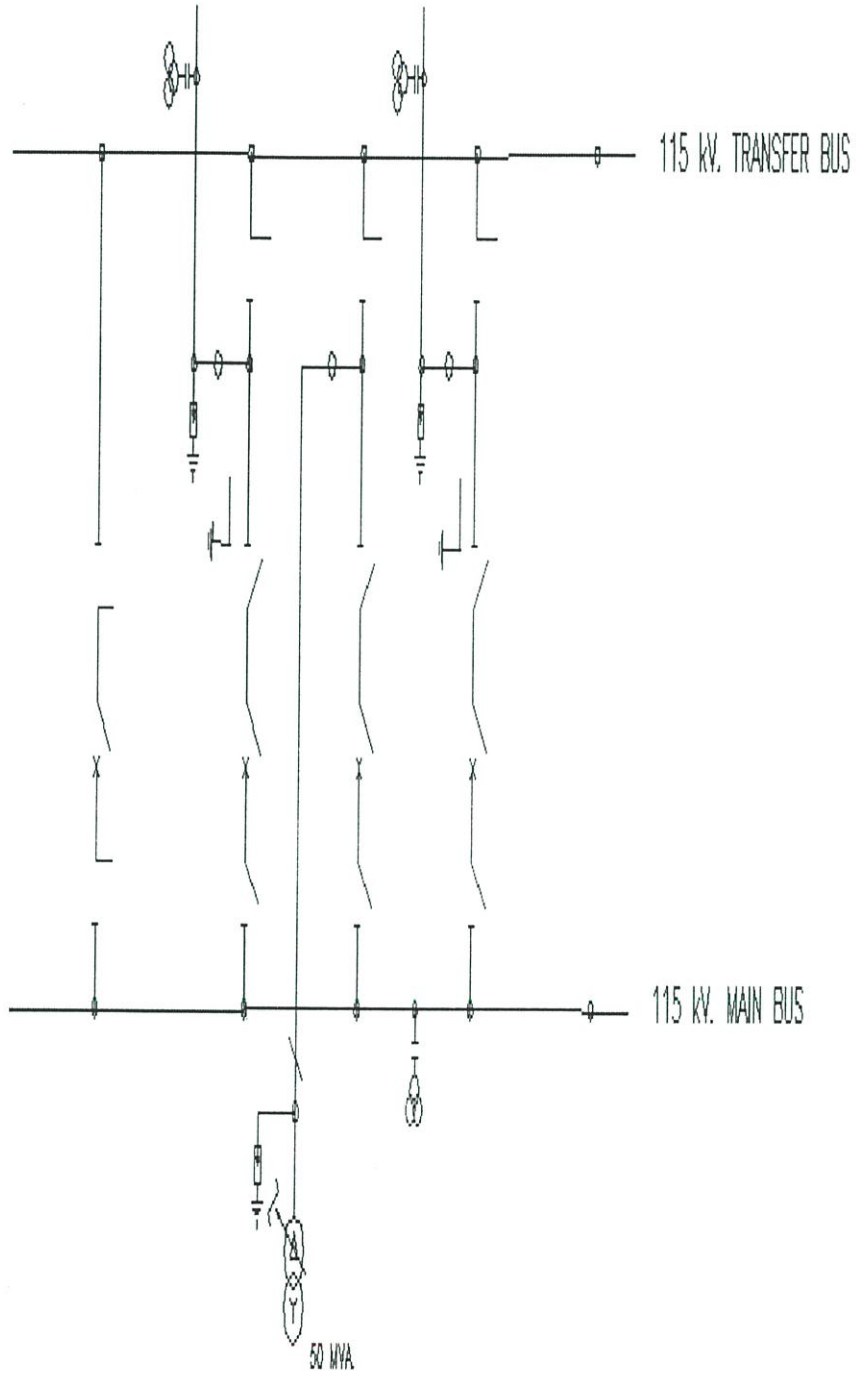
จากรูปที่ 4.10(b) เป็นผลการเลือกค่า BIL สำหรับอุปกรณ์ต่างๆในกรณีที่ฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆ จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกได้มีค่า 450 กิโลโวลต์ โดยมีค่าเท่ากันทุกระยะทาง สำหรับอุปกรณ์อื่น ๆ นั้นค่า BIL ที่ทำการเลือกได้มีค่า 450 กิโลโวลต์ มีค่าเท่ากันทุกระยะทางเช่นเดียวกันซึ่งค่า BIL ที่ทำการเลือกได้นี้ได้มาจากการที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยจำนวน 3 ตัวและที่หม้อแปลงจำนวน 1 ตัวรวมเป็น 4 ตัว ซึ่งในตารางที่ 4.4 เป็นตัวอย่างแสดงการเลือกค่า BIL กรณีที่ฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.7 กิโลเมตร โดยที่เมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 3 ตัว จะเห็นว่าพบค่า BIL ของหม้อแปลงที่คำนวณได้มีค่า 590 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานคือ 550 กิโลโวลต์ สำหรับสวิตช์ตัดตอนนั้นค่า BIL ที่คำนวณได้มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ 550 กิโลโวลต์ ส่วนอุปกรณ์อื่นประกอบด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดันและบัสพบว่าค่า BIL ที่คำนวณได้มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ 450 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงได้ทำการลดขนาดแรงดันเกินฟ้าผ่าโดยการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าเพิ่มที่หม้อแปลงอีก 1 ตัว พบว่าค่า BIL ที่คำนวณใหม่ของหม้อแปลงมีค่า 235 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน คือ 450 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า BIL ของหม้อแปลงเป็น 450 กิโลโวลต์ สำหรับอุปกรณ์อื่นๆคือสวิตช์ตัดตอน,

เซอร์กิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดันและบัสพบว่าค่า BIL ที่คำนวณได้ยังคงมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงเลือกค่า BIL เป็น 450 กิโลโวลต์

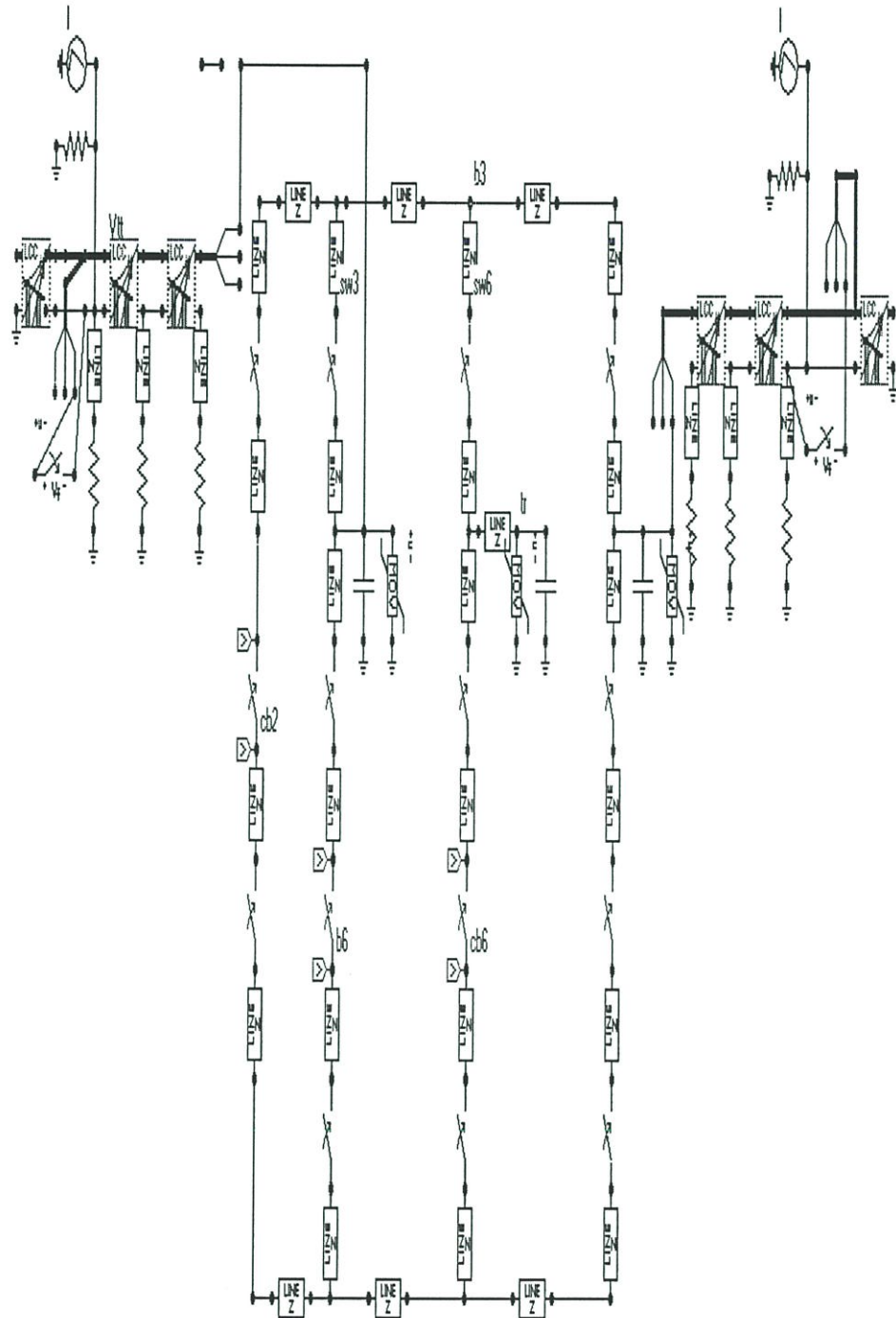
สำหรับการคำนวณค่า Clearance นั้นเมื่อพิจารณากรณีที่ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าคันทันต่างๆ นั้น จะเห็นว่าค่าแรงดันเกินสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าและที่หม้อแปลงนั้นมีค่า 351 กิโลโวลต์ ซึ่งจะได้ระยะ Clearance เท่ากับ 0.58 เมตร และเมื่อพิจารณากรณีที่ฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระต่างๆ นั้นจะเห็นว่าค่าแรงดันเกินสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าและที่หม้อแปลงนั้นมีค่า 340 กิโลโวลต์ ซึ่งจะได้ระยะ Clearance เท่ากับ 0.56 เมตร

สรุปแล้วจะเห็นว่าทั้งสองเหตุการณ์การเกิดฟ้าผ่า คือ ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าคันทันต่างๆ และที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆ นั้นให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกัน คือค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกมีค่า 450 กิโลโวลต์ ส่วนสวิตช์ตัดตอน, เซอร์กิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดัน และบัสค่า BIL มีค่า 450 กิโลโวลต์ โดยทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยจำนวน 3 ตัวและติดตั้งที่หม้อแปลงจำนวน 1 ตัว

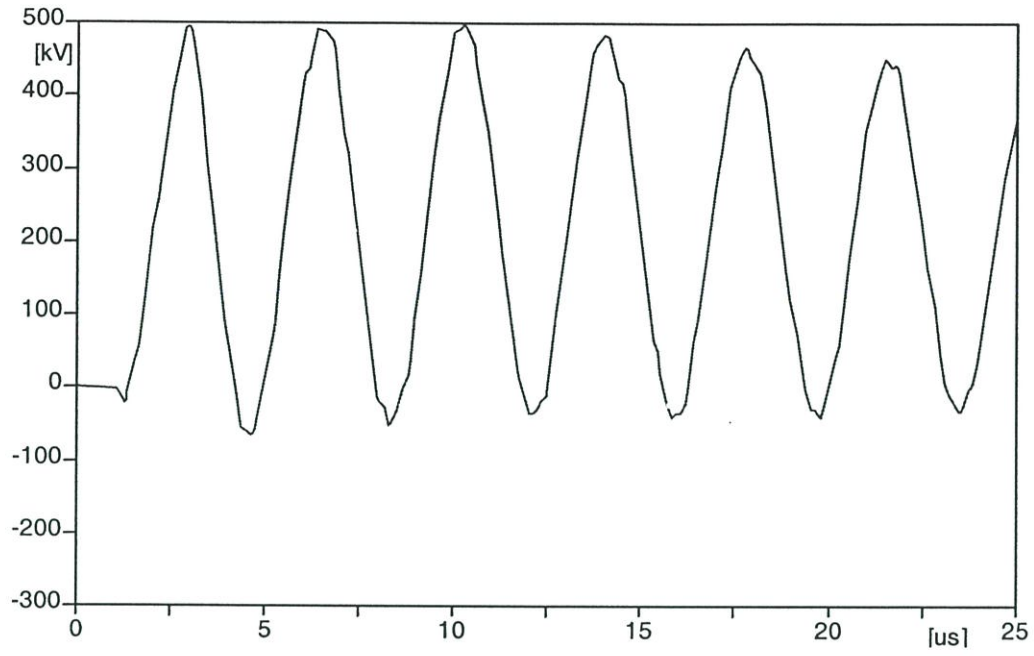
4.1.3 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยชัชนาท ซึ่งเป็นสถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีอากาศเป็นฉนวน



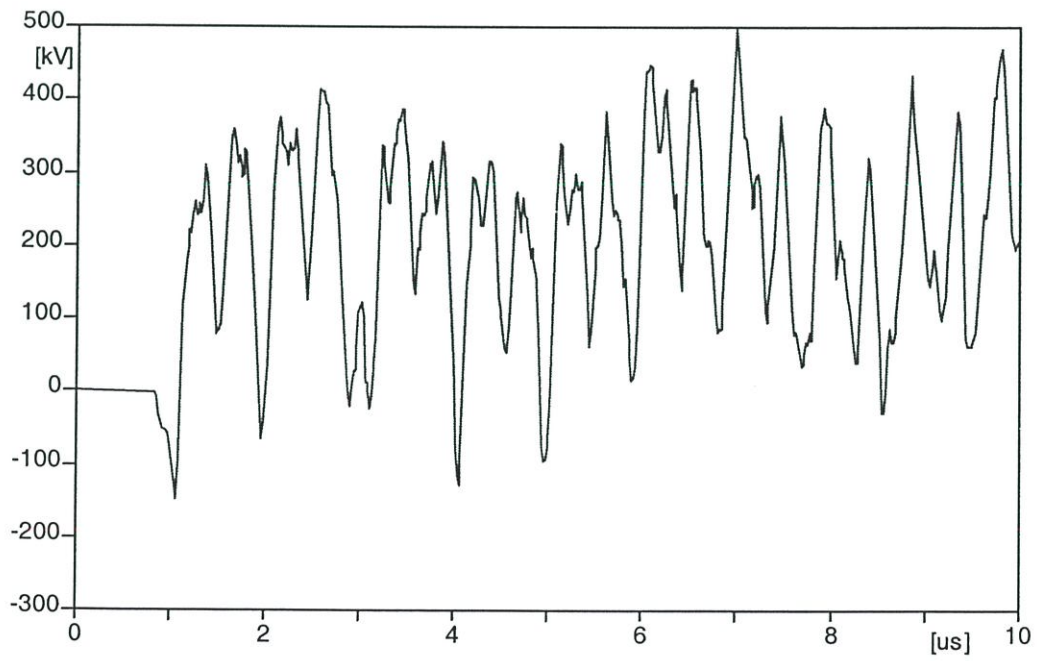
รูปที่ 4.11 แสดงไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อยชัชนาท



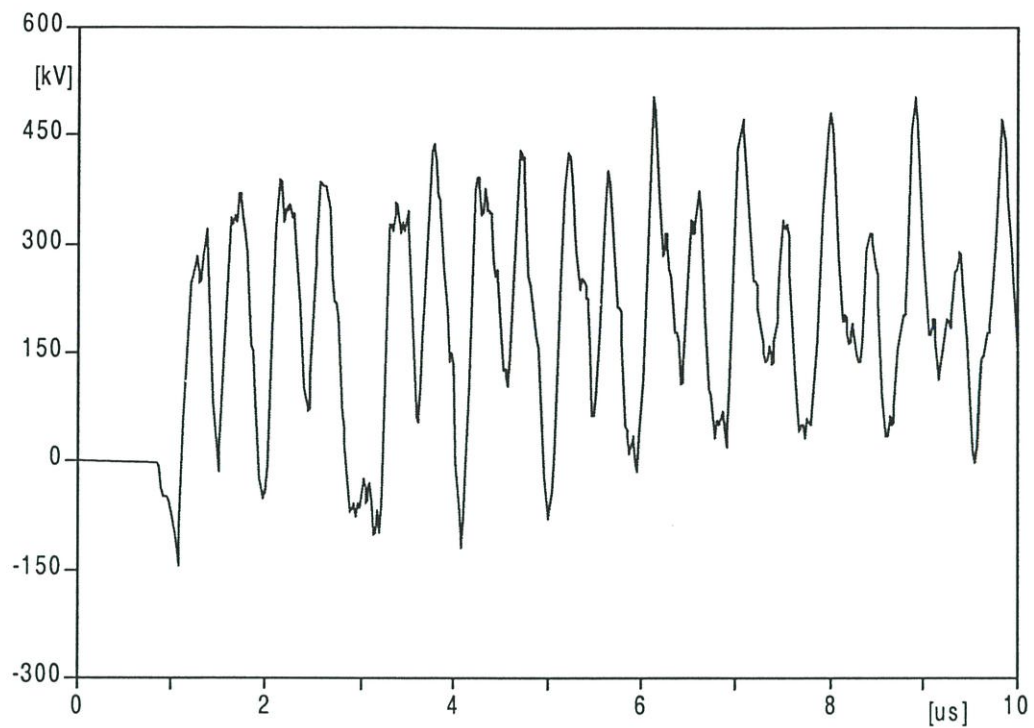
รูปที่ 4.13 แสดงแบบจำลองที่ใช้ศึกษาการเกิดฟ้าผ่าโดยโปรแกรม ATPDraw ของสถานีไฟฟ้าย่อยชยันนาท



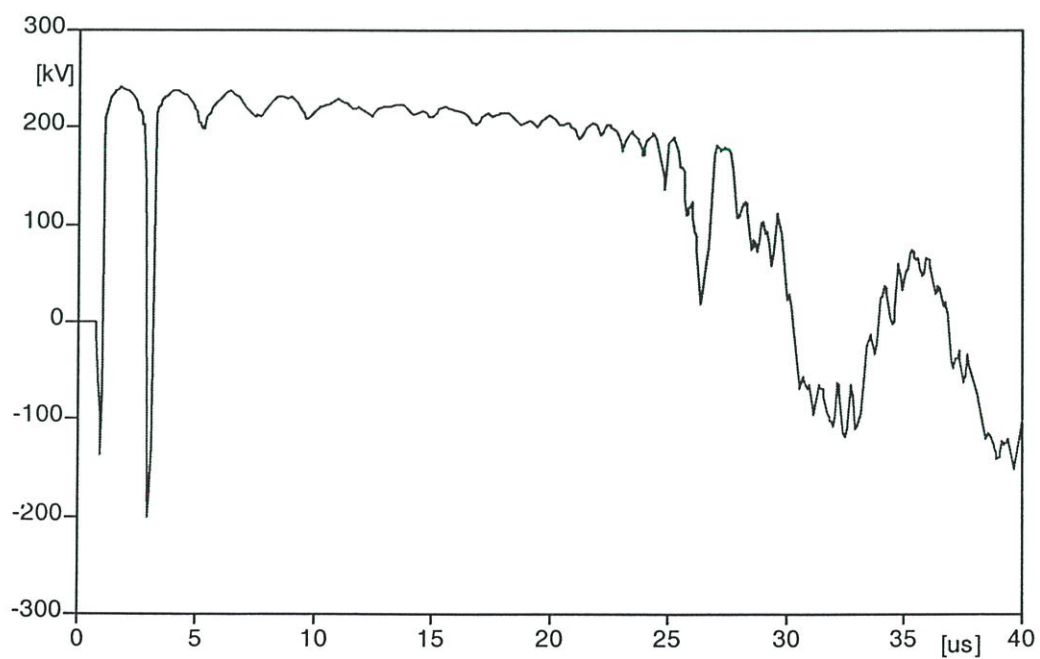
(a) แรงดันคร่อมหม้อแปลงไฟฟ้า



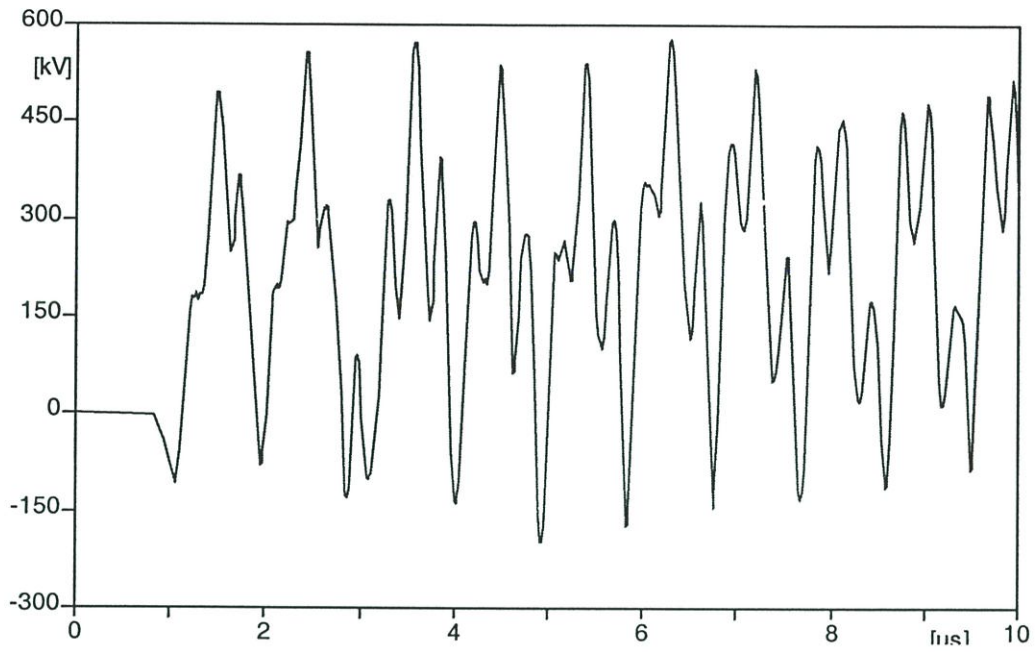
(b) แรงดันคร่อมสวิตช์ตัดตอน



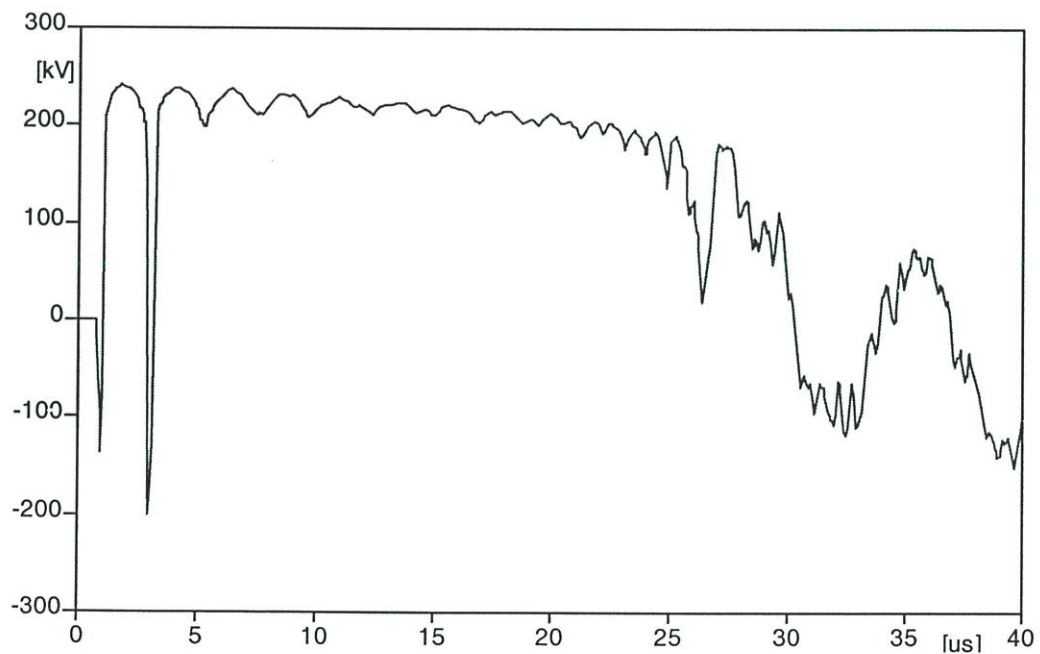
(c) แรงดันคร่อมเซอร์กิตเบรคเกอร์



(d) แรงดันคร่อมหม้อแปลงวัดกระแส

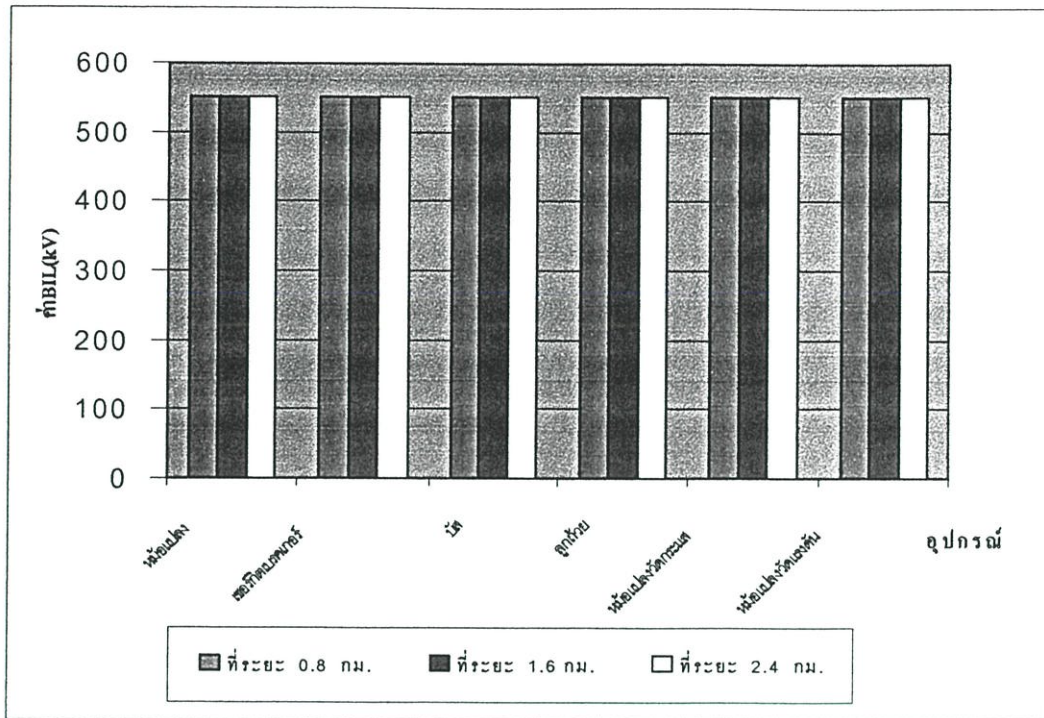


(e) แรงดันคร่อมบัส

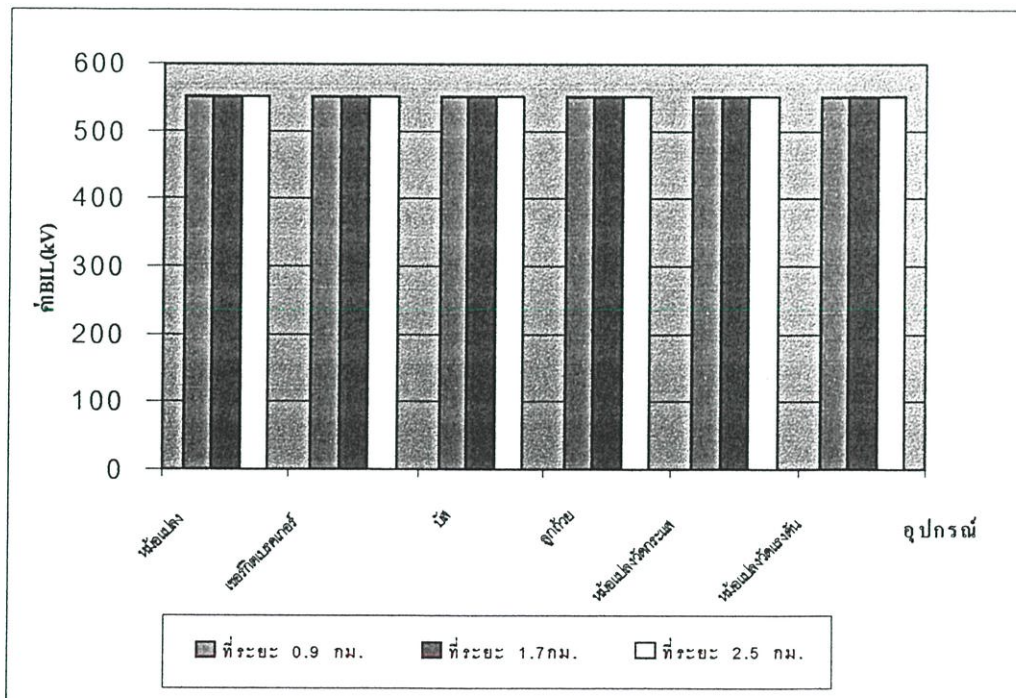


(f) แรงดันคร่อมหม้อแปลงวัดแรงดัน

รูปที่ 4.14 แสดงแรงดันคร่อมอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยชัชนาท จ.ชัชนาท
กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น



(a) เมื่อฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้า



(b) เมื่อฟ้าผ่าลงสายเฟสตัวนำ

รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยชยันนาท
กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น

ตารางที่ 4.5 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยชัชนาท กรณีเกิดฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นที่ 3 ซึ่งห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะทาง 1.6 กิโลเมตร

อุปกรณ์	แรงดัน , kV		BIL,kV ที่คำนวณได้		Standard BIL, kV		ค่า BIL ที่ทำการ เลือก,kV	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
หม้อแปลง	495	212	517	222	550	350	550	350
สวิตช์ตัดตอน	500	436	435	379	550	550	550	550
เซอร์กิตเบรกเกอร์	530	505	461	439	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดกระแส	235	235	204	204	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดแรงดัน	235	235	204	204	550	550	550	550
บัส	582	580	506	504	550	550	550	550

$$\text{ระยะ Clearance} = \frac{582 \text{ kV}}{605 \text{ kV/m}} = 0.96 \text{ เมตร}$$

ตารางที่ 4.6 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยชัชนาท กรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟสตัวนำ ซึ่งห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะทาง 1.7 กิโลเมตร

อุปกรณ์	แรงดัน , kV		BIL,kV ที่คำนวณได้		Standard BIL, kV		ค่า BIL ที่ทำการ เลือก,kV	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
หม้อแปลง	445	200	465	209	550	350	550	350
สวิตช์ตัดตอน	495	425	430	370	550	550	550	550
เซอร์กิตเบรกเกอร์	520	500	452	435	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดกระแส	235	210	204	183	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดแรงดัน	235	210	204	183	550	550	550	550
บัส	560	535	487	465	550	550	550	550

$$\text{ระยะ Clearance} = \frac{560 \text{ kV}}{605 \text{ kV/m}} = 0.92 \text{ เมตร}$$

หมายเหตุ (1) คือ กรณีที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น

(2) คือ กรณีที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง

จากรูปที่ 4.15 เป็นผลการเลือกค่า BIL สำหรับอุปกรณ์ต่างๆในสถานีไฟฟ้าย่อยชัชนาท ที่ขนาดกระแสฟ้าผ่า 128.7 กิโลแอมแปร์ เป็นสถานีไฟฟ้าย่อยชนิดที่มีอากาศเป็นฉนวนตั้งอยู่ภายนอกอาคาร ซึ่งจากรูปที่ 4.15(a) เป็นผลการพิจารณากรณีฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นต่างๆ จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกได้นี้มีค่า 550 กิโลโวลต์ โดยมีค่าเท่ากับทุกระยะทางสำหรับอุปกรณ์อื่นๆนั้นค่า BIL ที่ทำการเลือกได้นี้มีค่า 550 กิโลโวลต์ มีค่าเท่ากับทุกระยะทางเช่นเดียวกัน ซึ่งค่า BIL ที่ทำการเลือกได้นี้ได้มาจากการที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยจำนวน 2 ตัว ซึ่งในตารางที่ 4.5 เป็นตัวอย่างแสดงการเลือกค่า BIL เมื่อให้ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นที่ 3 ห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะ 1.6 กิโลเมตร โดยที่เมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 2 ตัว พบว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่คำนวณได้มีค่า 517 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า BIL ของหม้อแปลงเป็น 550 กิโลโวลต์ สำหรับอุปกรณ์อื่นๆคือ สวิตช์ตัดตอน, เซอร์กิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดันและบัสพบว่าค่า BIL ที่คำนวณได้มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ 550 กิโลโวลต์ เช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงเลือกค่า BIL เป็น 550 กิโลโวลต์

จากรูปที่ 4.15(b) เป็นผลการเลือกค่า BIL สำหรับอุปกรณ์ต่างๆในกรณีที่ฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆ จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกได้มีค่า 550 กิโลโวลต์ โดยมีค่าเท่ากับทุกระยะทาง สำหรับอุปกรณ์อื่นๆนั้นค่า BIL ที่ทำการเลือกได้มีค่า 550 กิโลโวลต์มีค่าเท่ากับทุกระยะทางเช่นเดียวกันซึ่งค่า BIL ที่ทำการเลือกได้นี้ได้มาจากการที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 2 ตัว ซึ่งในตารางที่ 4.6 เป็นตัวอย่างแสดงการเลือกค่า BIL กรณีที่ฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.7 กิโลเมตร โดยที่เมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 2 ตัว จะเห็นว่าพบว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่คำนวณได้มีค่า 465 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานคือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า BIL ของหม้อแปลงเป็น 550 กิโลโวลต์ และค่า BIL ของอุปกรณ์อื่น คือ สวิตช์ตัดตอน, เซอร์กิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดันและบัสพบว่าค่า BIL ที่คำนวณได้มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานเช่นเดียวกัน คือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงเลือกค่า BIL ได้เป็น 550 กิโลโวลต์

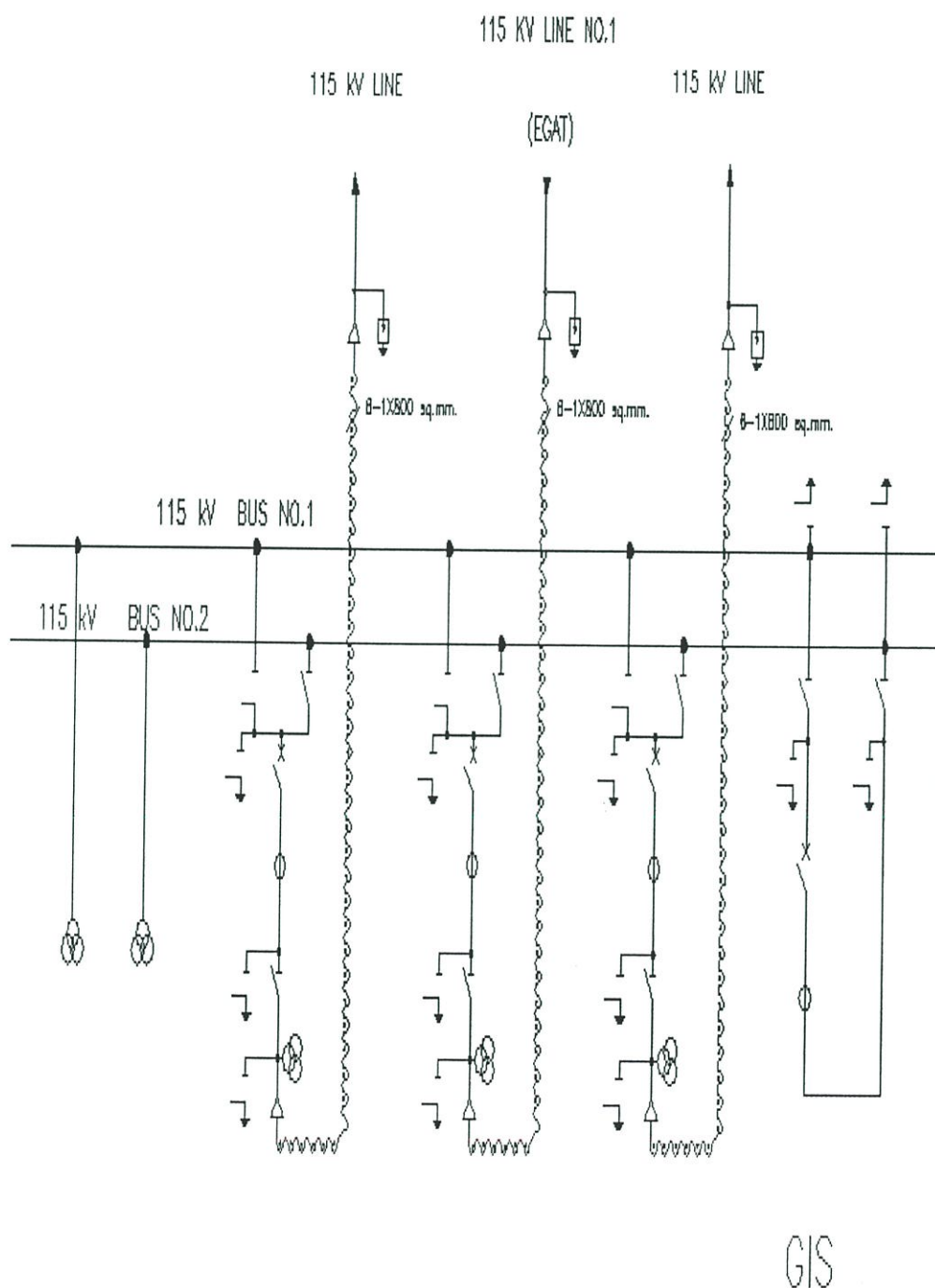
สำหรับการคำนวณระยะ Clearance นั้นเมื่อพิจารณากรณีที่ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นต่างๆนั้น จะเห็นว่าค่าแรงดันเกินสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าเท่านั้นมีค่า 582 กิโลโวลต์ ซึ่งจะได้ระยะ Clearance เท่ากับ 0.96 เมตร และเมื่อพิจารณากรณีที่ฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆนั้นจะเห็นว่าค่าแรงดันเกินสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นมีค่า 560 กิโลโวลต์ ซึ่งจะได้ระยะ Clearance เท่ากับ 0.92 เมตร

สรุปแล้วจะเห็นว่าทั้งสองเหตุการณ์การเกิดฟ้าผ่า คือ ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นต่างๆและที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆนั้นให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกัน คือค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกมีค่า

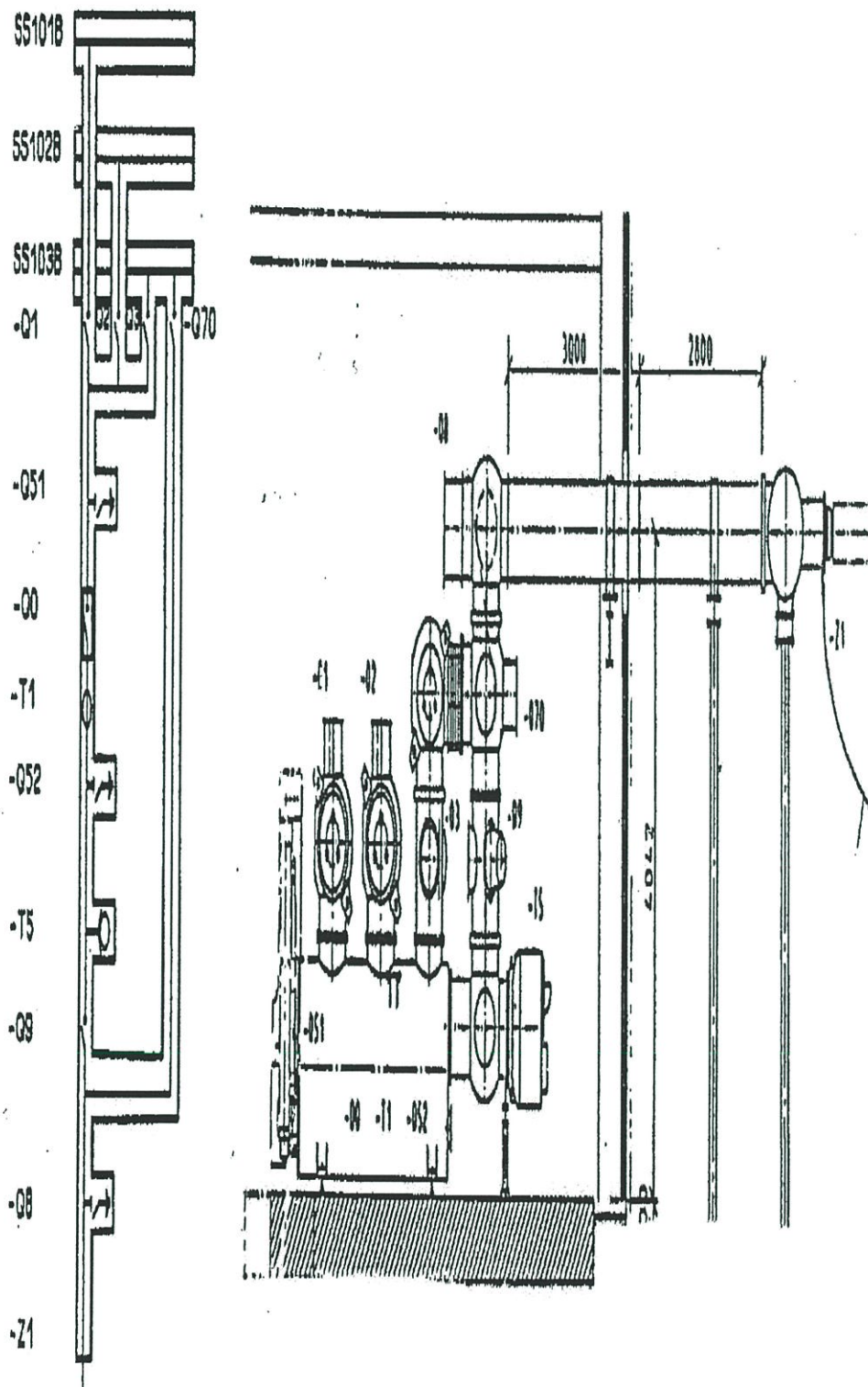
550 กิโลโวลต์ ส่วนสวิทช์ตัดคอน,เซอร์กิตเบรกเกอร์,หม้อแปลงวัดกระแส,หม้อแปลงวัดแรงดัน และบัสค่า BIL มีค่า 550 กิโลโวลต์ โดยทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 2 ตัว

4.2 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ภาคกลาง

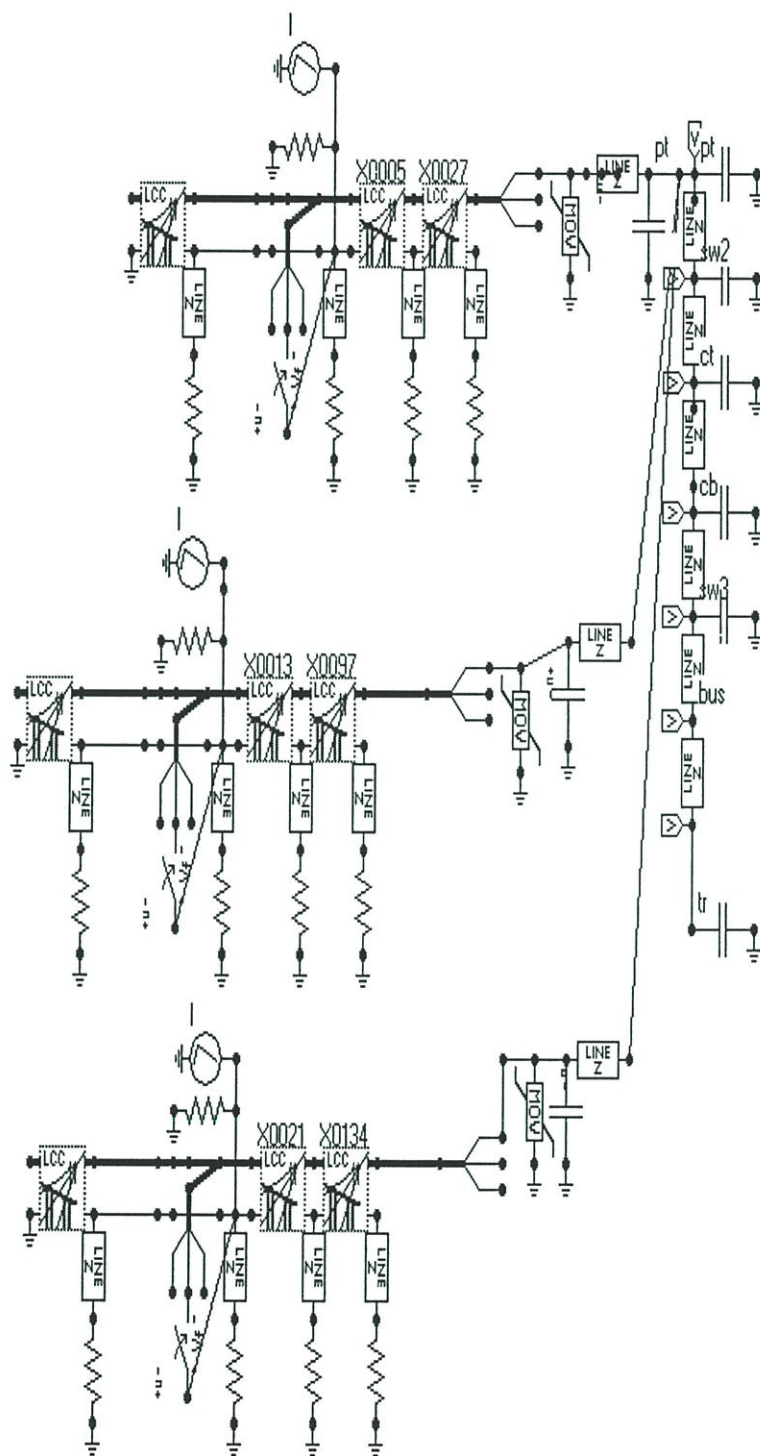
4.2.1 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยสระบุรี ซึ่งเป็นสถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีก๊าศเป็นฉนวน



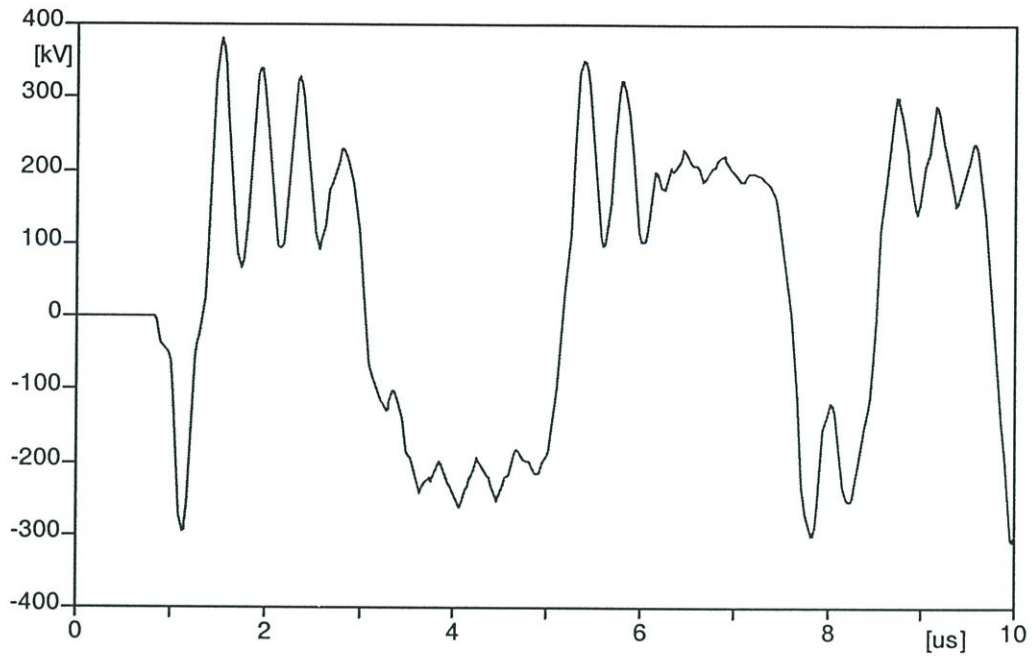
รูปที่ 4.16 แสดงไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อยสระบุรี



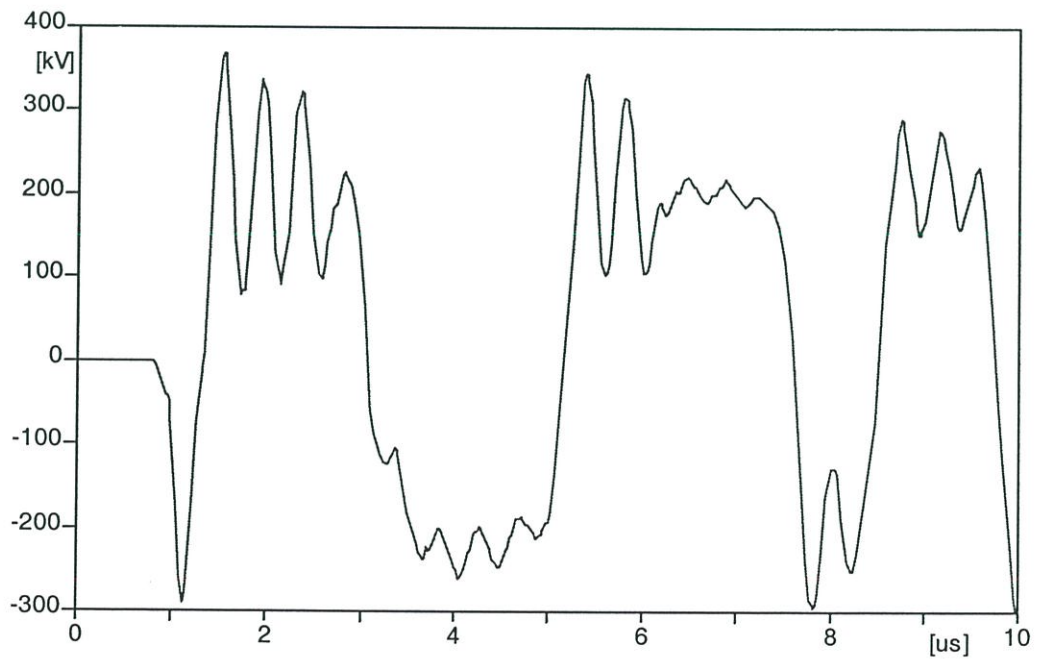
รูปที่ 4.17 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยสระบุรี



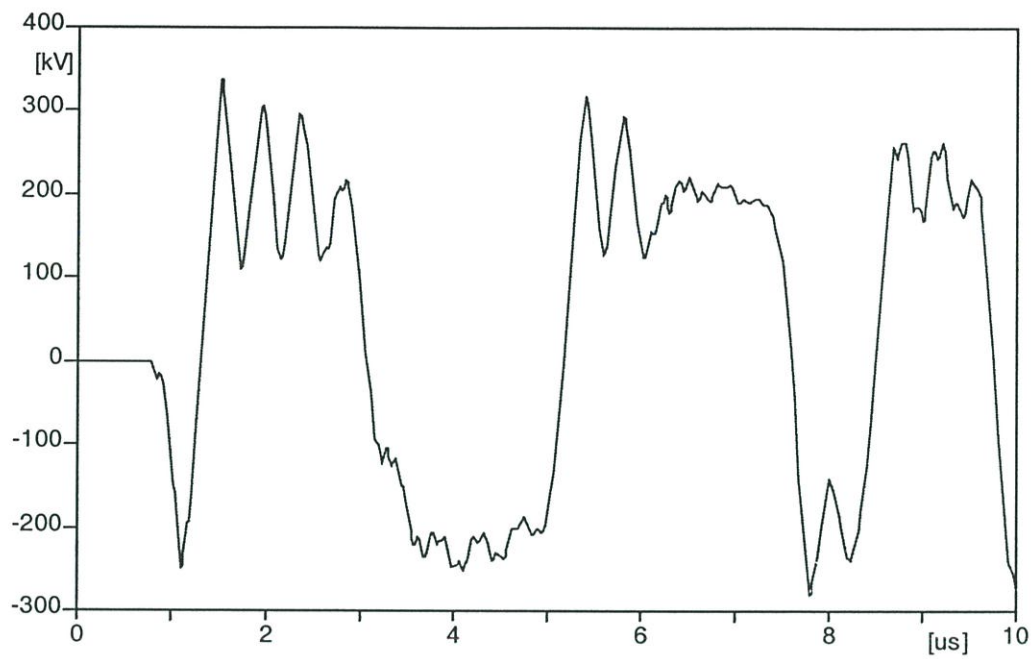
รูปที่ 4.18 แสดงแบบจำลองที่ใช้ศึกษาการเกิดฟ้าผ่าโดยโปรแกรม ATPDraw
ของสถานีไฟฟ้าย่อยสระบุรี



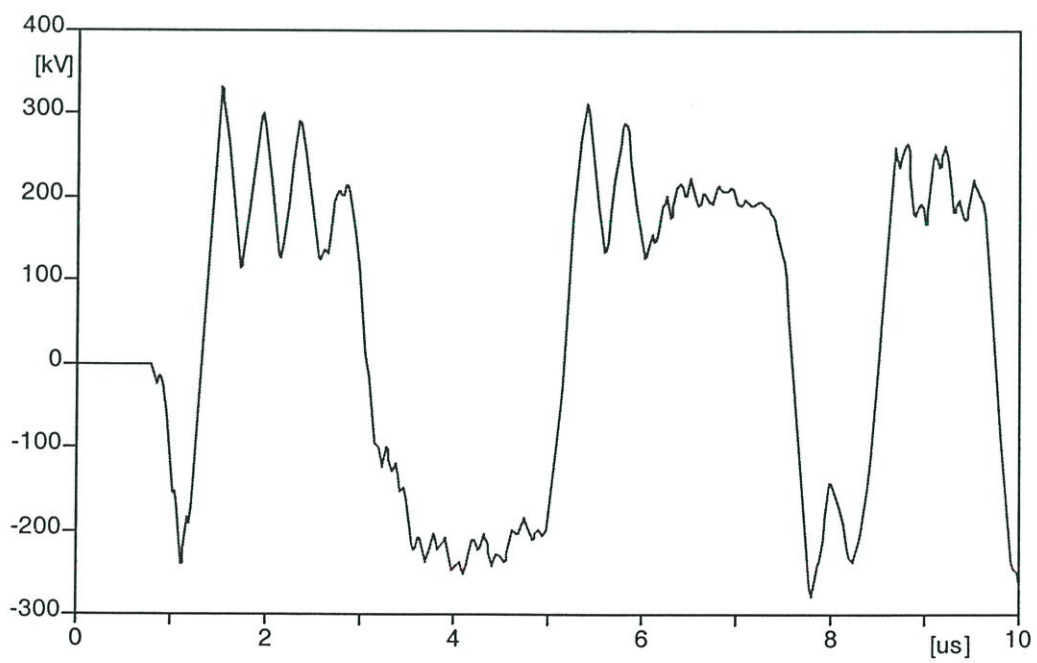
(a) แรงดันคร่อมหม้อแปลงไฟฟ้า



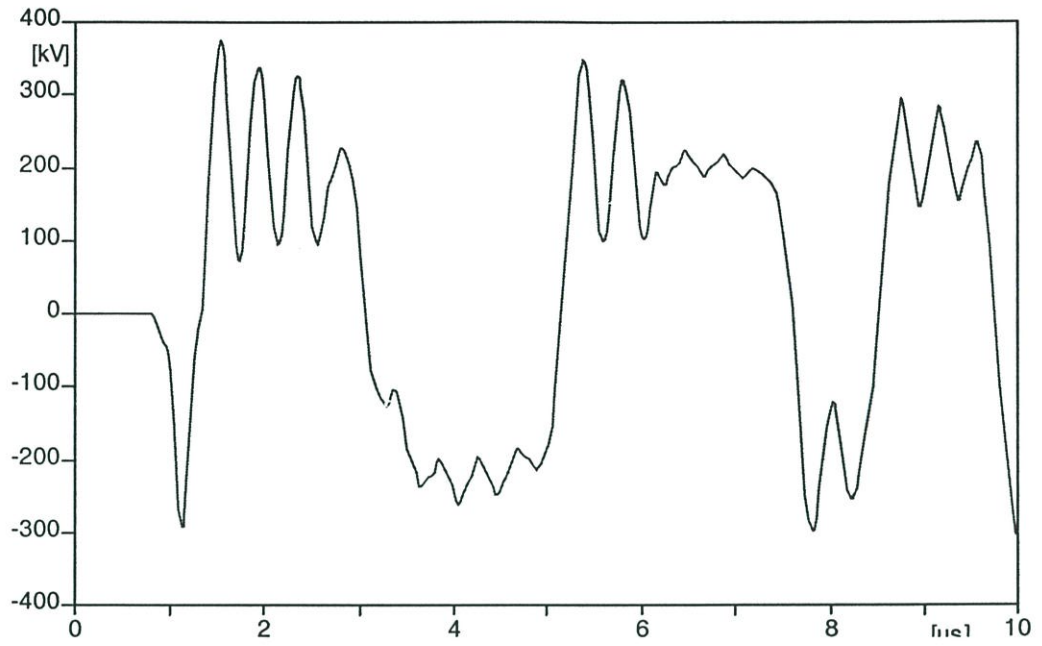
(b) แรงดันคร่อมสวิตช์ตัดตอน



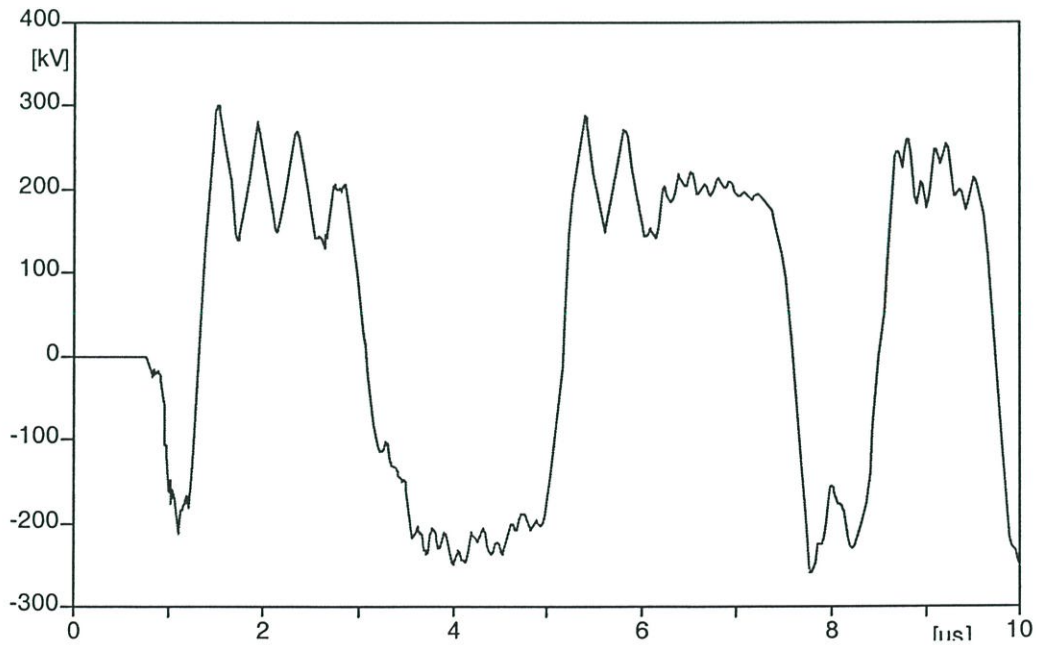
(c) แรงดันคร่อมเซอร์กิตเบรคเกอร์



(d) แรงดันคร่อมหม้อแปลงวัดกระแส

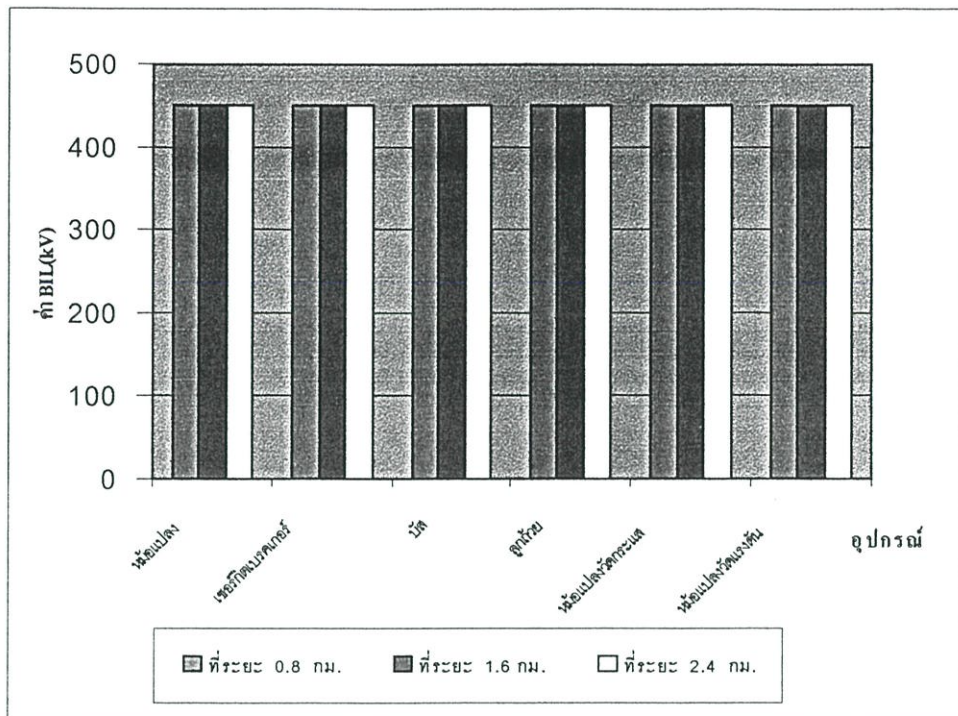


(e) แรงดันคร่อมบัส

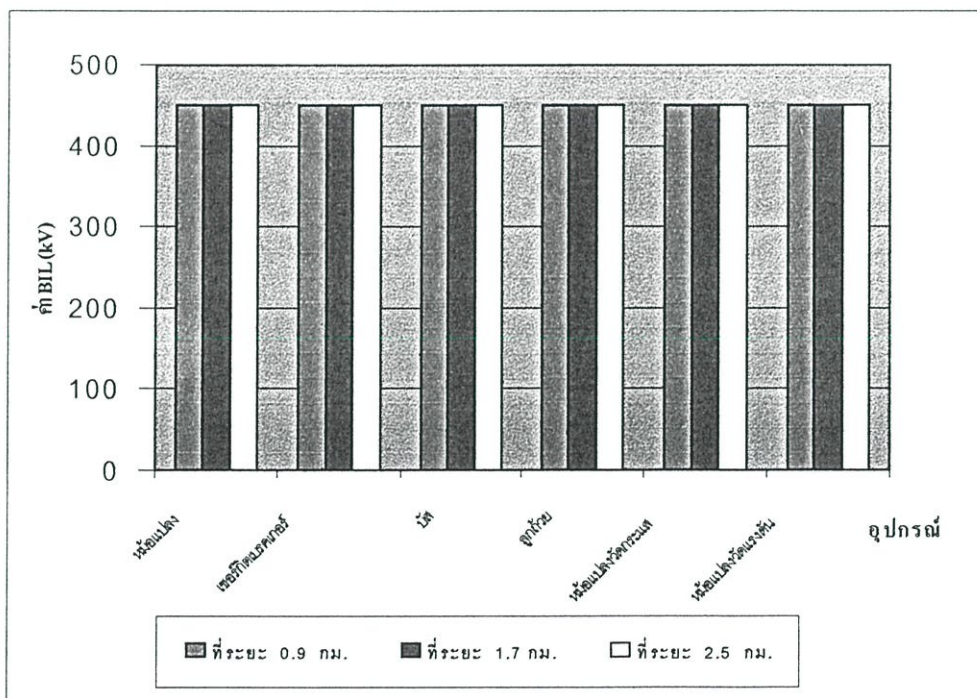


(f) แรงดันคร่อมหม้อแปลงวัดแรงดัน

รูปที่ 4.19 แสดงแรงดันคร่อมอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยสระบุรี
กรณีติดตั้งกับค้ำฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น



(a) เมื่อฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้า



(b) เมื่อฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำ

รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยสระบุรี
กรณีติดตั้งกับค้ำฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น

ตารางที่ 4.7 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยระบบกรณีเกิดฟ้าผ่าที่ขอส
เสาไฟฟ้าคันที่ 3 ซึ่งห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะทาง 1.6 กิโลเมตร

อุปกรณ์	แรงดัน , kV		BIL,kV ที่คำนวณได้		Standard BIL, kV		ค่า BIL ที่ทำ การเลือก,kV	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
หม้อแปลง	380	224	397	234	450	450	450	450
สวิตช์ตัดตอน	370	216	322	216	450	450	450	450
เซอร์กิตเบรกเกอร์	340	222	296	222	450	450	450	450
หม้อแปลงวัดกระแส	332	224	289	224	450	450	450	450
หม้อแปลงวัดแรงดัน	300	233	261	203	450	450	450	450
บัส	375	200	326	200	450	450	450	450

$$\text{ระยะ Clearance} = \frac{380 \text{ kV}}{605 \text{ kV/m}} = 0.63 \text{ เมตร}$$

ตารางที่ 4.8 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยระบบกรณีเกิดฟ้าผ่าที่
สายเฟสตัวนำ ซึ่งห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะทาง 1.7 กิโลเมตร

อุปกรณ์	แรงดัน , kV		BIL,kV ที่คำนวณได้		Standard BIL, kV		ค่า BIL ที่ ทำการ เลือก,kV	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
หม้อแปลง	369	212	386	222	450	450	450	450
สวิตช์ตัดตอน	352	205	306	178	450	450	450	450
เซอร์กิตเบรกเกอร์	323	307	281	267	450	450	450	450
หม้อแปลงวัดกระแส	316	302	275	263	450	450	450	450
หม้อแปลงวัดแรงดัน	285	274	248	238	450	450	450	450
บัส	359	191	312	166	450	450	450	450

$$\text{ระยะ Clearance} = \frac{369 \text{ kV}}{605 \text{ kV/m}} = 0.61 \text{ เมตร}$$

หมายเหตุ (1) คือ กรณีที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น

(2) คือ กรณีที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง

จากรูปที่ 4.20 เป็นผลการเลือกค่า BIL สำหรับอุปกรณ์ต่างๆในสถานีไฟฟ้าย่อยสระบุรี ที่ขนาดกระแสฟ้าผ่า 180.5 กิโลแอมแปร์ เป็นสถานีไฟฟ้าย่อยชนิดที่มีอากาศเป็นฉนวนตั้งอยู่นอกอาคาร ซึ่งจากรูปที่ 4.20(a) เป็นผลการพิจารณากรณีที่ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต่างๆ จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกได้มีค่า 450 กิโลโวลต์ โดยมีค่าเท่ากับทุกกระยะทาง สำหรับอุปกรณ์อื่นๆนั้นค่า BIL ที่ทำการเลือกได้มีค่า 450 กิโลโวลต์ มีค่าเท่ากับทุกกระยะทางเช่นเดียวกัน ซึ่งค่า BIL ที่ทำการเลือกได้นี้ได้มาจากกรณีที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 3 ตัว ซึ่งในตารางที่ 4.7 เป็นตัวอย่างแสดงการเลือกค่า BIL เมื่อให้ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นที่ 3 ห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะ 1.6 กิโลเมตร โดยที่เมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 3 ตัว พบว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่คำนวณได้มีค่า 397 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า BIL ของหม้อแปลงเป็น 450 กิโลโวลต์ สำหรับอุปกรณ์อื่นๆคือ สวิตช์ตัดตอน, เซอร์กิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดันและบัสพบว่าค่า BIL ที่คำนวณได้ยังคงมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ 450 กิโลโวลต์ เช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงเลือกค่า BIL เป็น 450 กิโลโวลต์

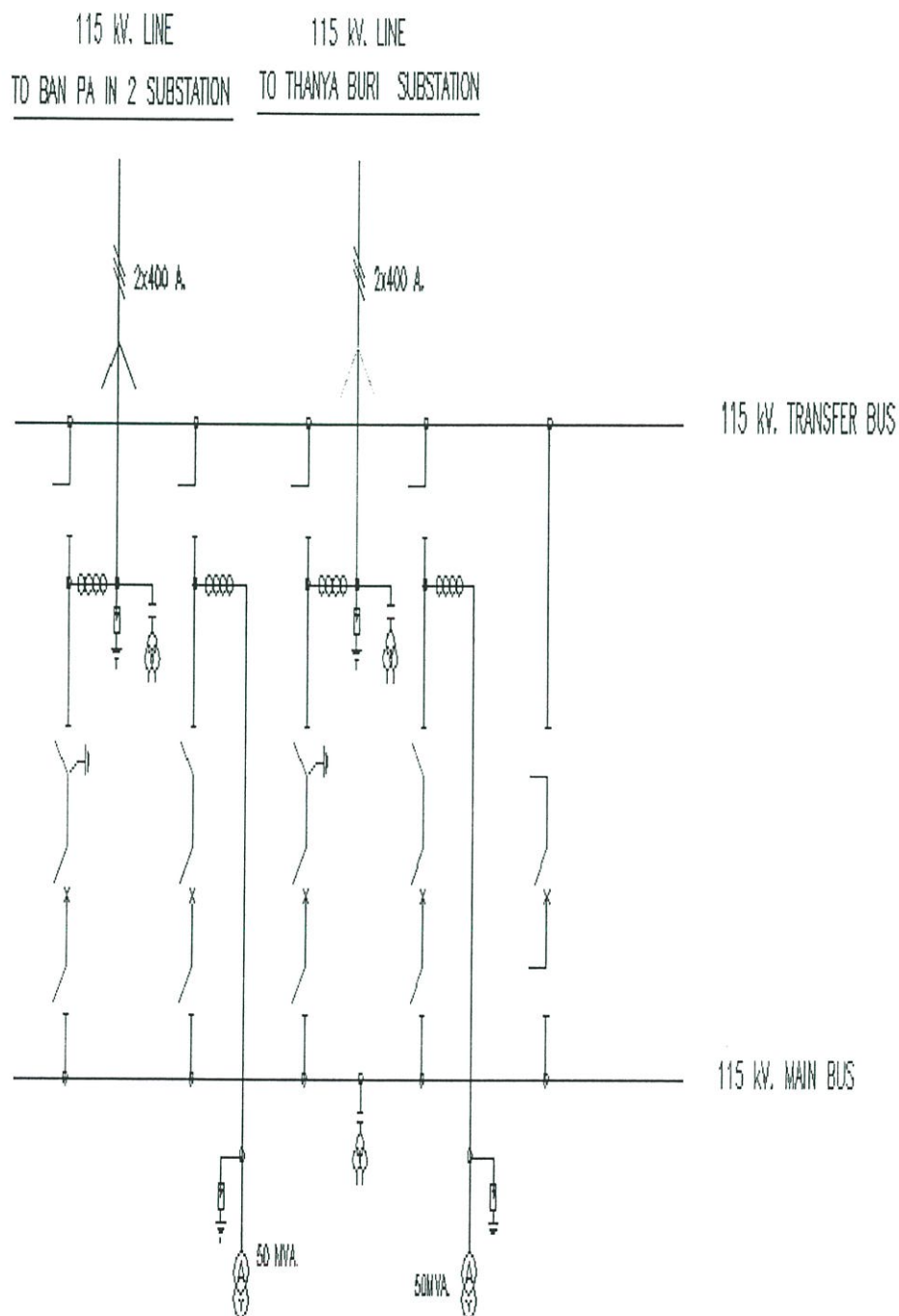
จากรูปที่ 4.20(b) เป็นผลการเลือกค่า BIL สำหรับอุปกรณ์ต่างๆในกรณีที่ฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆ จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกได้มีค่า 450 กิโลโวลต์ โดยมีค่าเท่ากับทุกกระยะทาง สำหรับอุปกรณ์อื่นๆนั้นค่า BIL ที่ทำการเลือกได้มีค่า 450 กิโลโวลต์ มีค่าเท่ากับทุกกระยะทางเช่นเดียวกันซึ่งค่า BIL ที่ทำการเลือกได้นี้ได้มาจากกรณีที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 3 ตัว ซึ่งในตารางที่ 4.8 เป็นตัวอย่างแสดงการเลือกค่า BIL กรณีที่ฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.7 กิโลเมตร โดยที่เมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 3 ตัว จะเห็นว่าพบค่า BIL ของหม้อแปลงที่คำนวณได้มีค่า 386 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานคือ 450 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า BIL ของหม้อแปลงเป็น 450 กิโลโวลต์ และค่า BIL ของอุปกรณ์อื่น คือ สวิตช์ตัดตอน, เซอร์กิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดันและบัสพบว่าค่า BIL ที่คำนวณได้มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานเช่นเดียวกัน คือ 450 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงเลือกค่า BIL เป็น 450 กิโลโวลต์

สำหรับการคำนวณค่า Clearance นั้นเมื่อพิจารณาฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นต่างๆนั้น จะเห็นว่าค่าแรงดันเกินสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าเท่านั้นมีค่า 380 กิโลโวลต์ ซึ่งจะได้ระยะ Clearance เท่ากับ 0.63 เมตร และเมื่อพิจารณาฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆนั้นจะเห็นว่าค่าแรงดันเกินสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นมีค่า 369 กิโลโวลต์ ซึ่งจะได้ระยะ Clearance เท่ากับ 0.61 เมตร

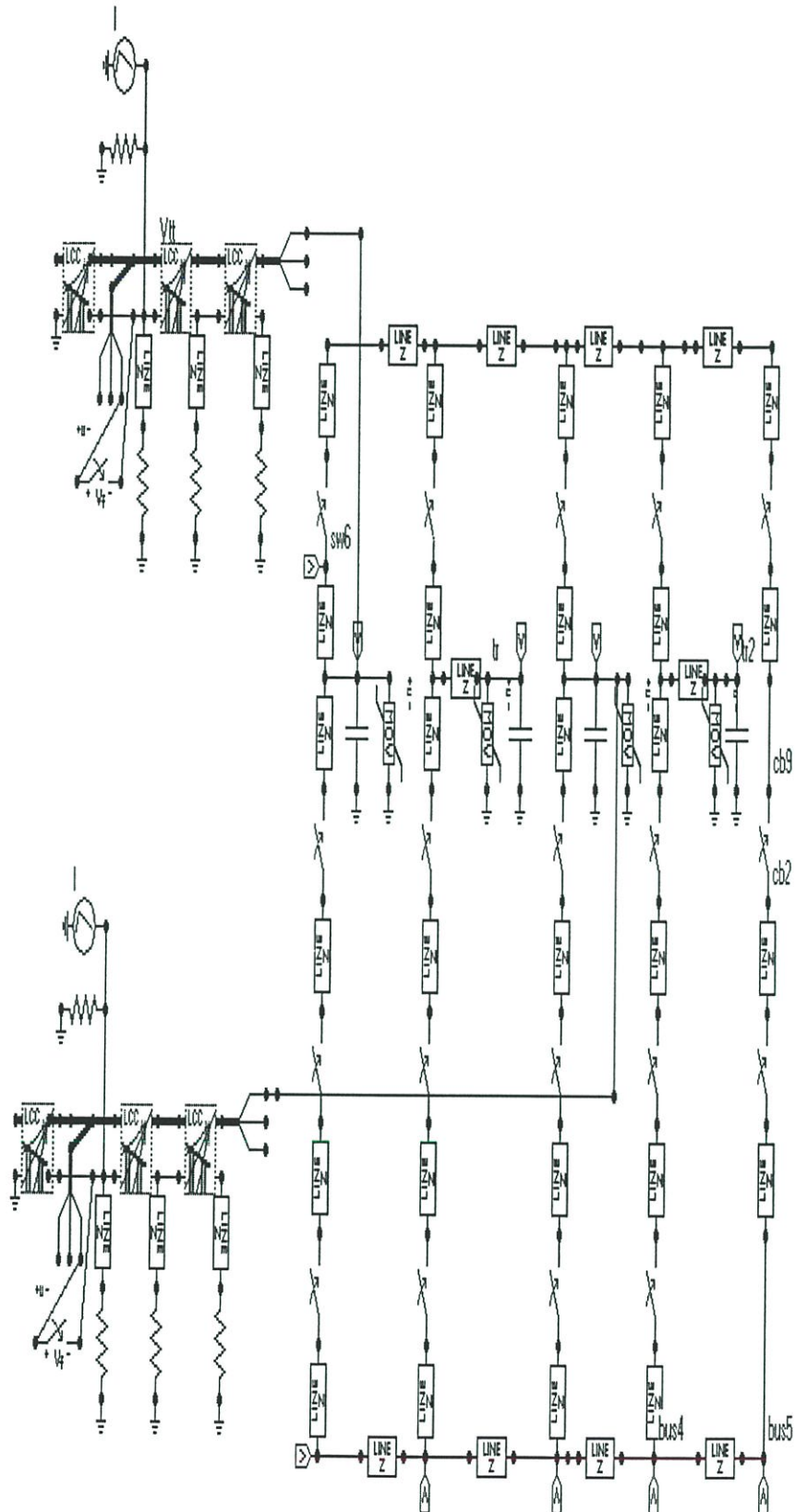
สรุปแล้วจะเห็นว่าทั้งสองเหตุการณ์การเกิดฟ้าผ่า คือ ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นต่างๆและที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆนั้นให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกัน คือค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกมีค่า 450 กิโลโวลต์ ส่วนสวิตช์ตัดตอน, เซอร์กิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดัน

และบัสค่า BIL มีค่า 450 กิโลโวลต์ โดยทำการติดตั้งกับค้ำฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 3 ตัว

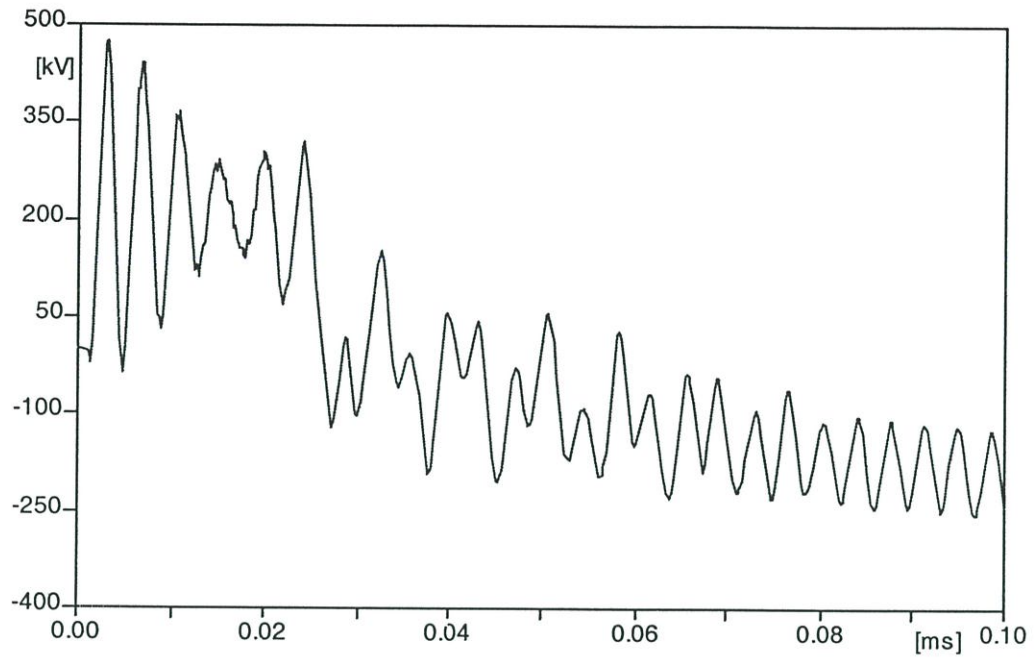
4.2.2 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยปทุมธานี ซึ่งเป็นสถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีอากาศเป็นฉนวน



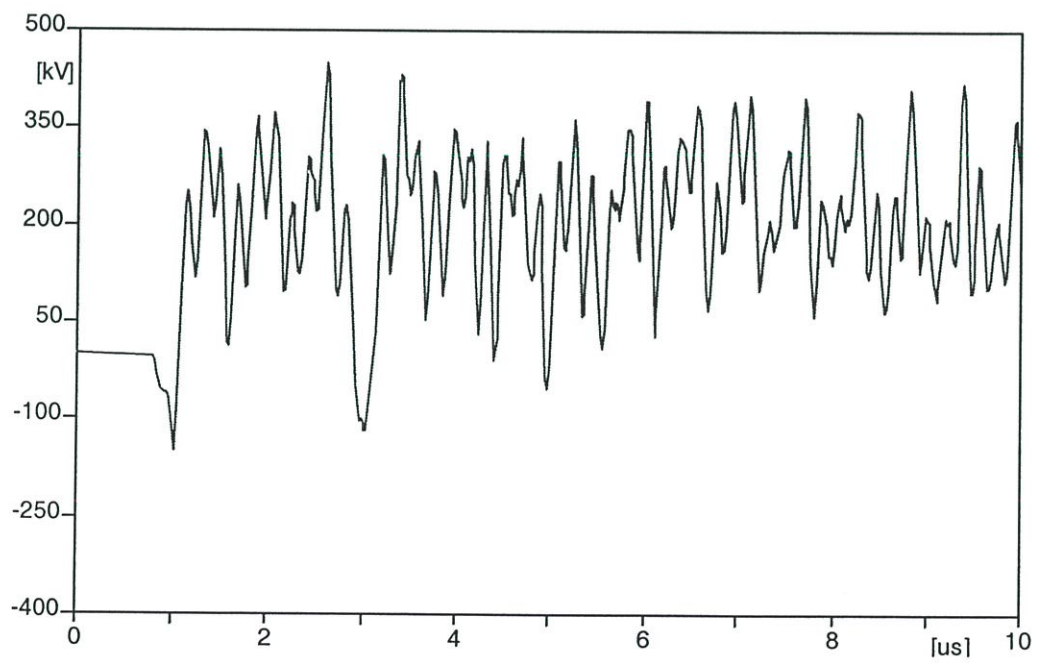
รูปที่ 4.21 แสดงไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อยปทุมธานี



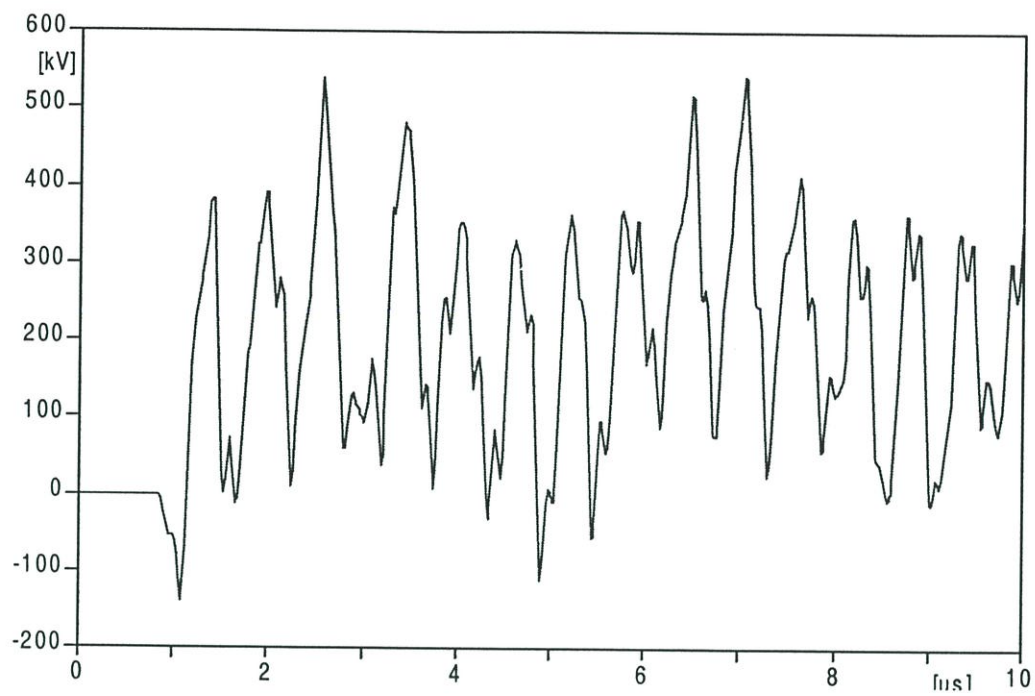
รูปที่ 4.23 แสดงแบบจำลองที่ใช้ศึกษาการเกิดฟ้าผ่าโดยโปรแกรม ATPDraw
ของสถานีไฟฟ้าย่อยปทุมธานี



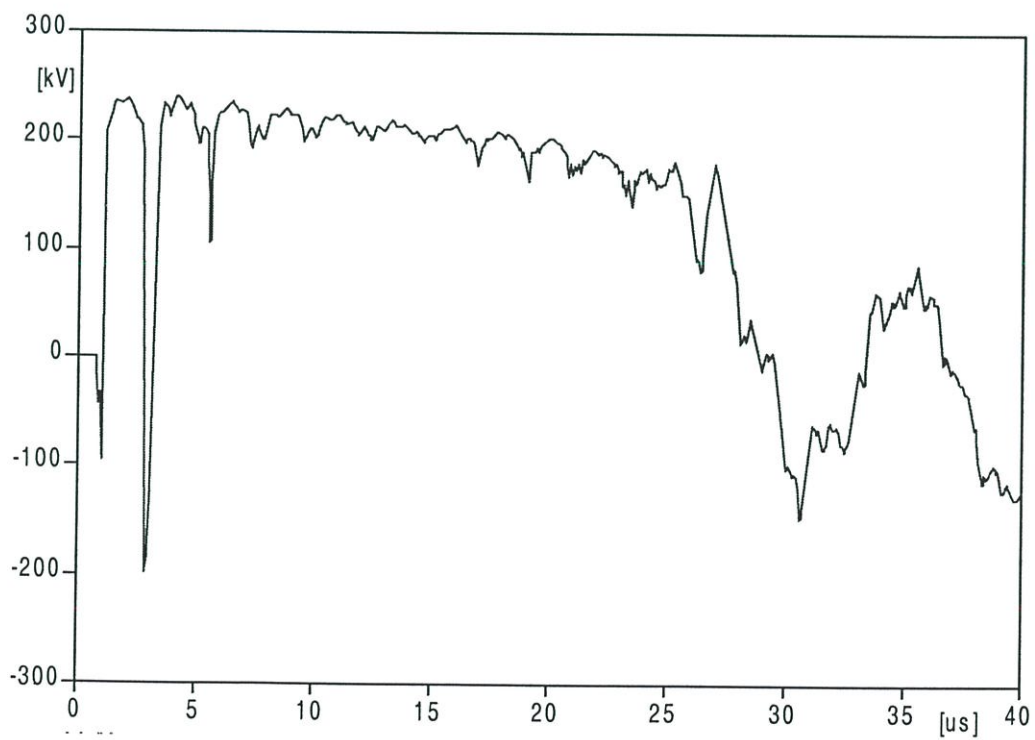
(a) แรงดันคร่อมหม้อแปลงไฟฟ้า



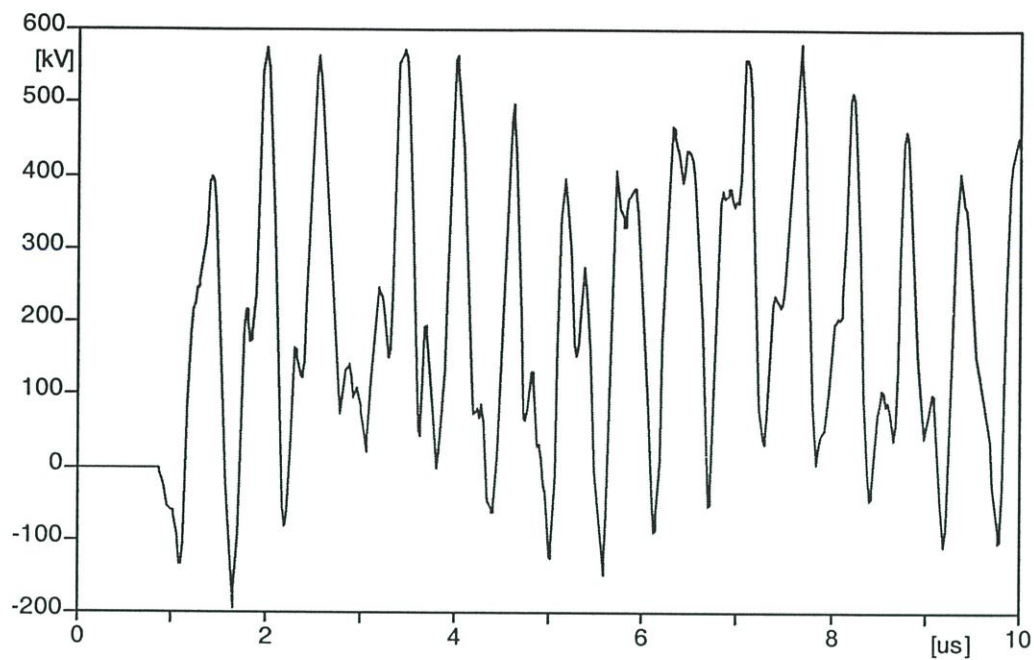
(b) แรงดันคร่อมสวิตช์ตัดตอน



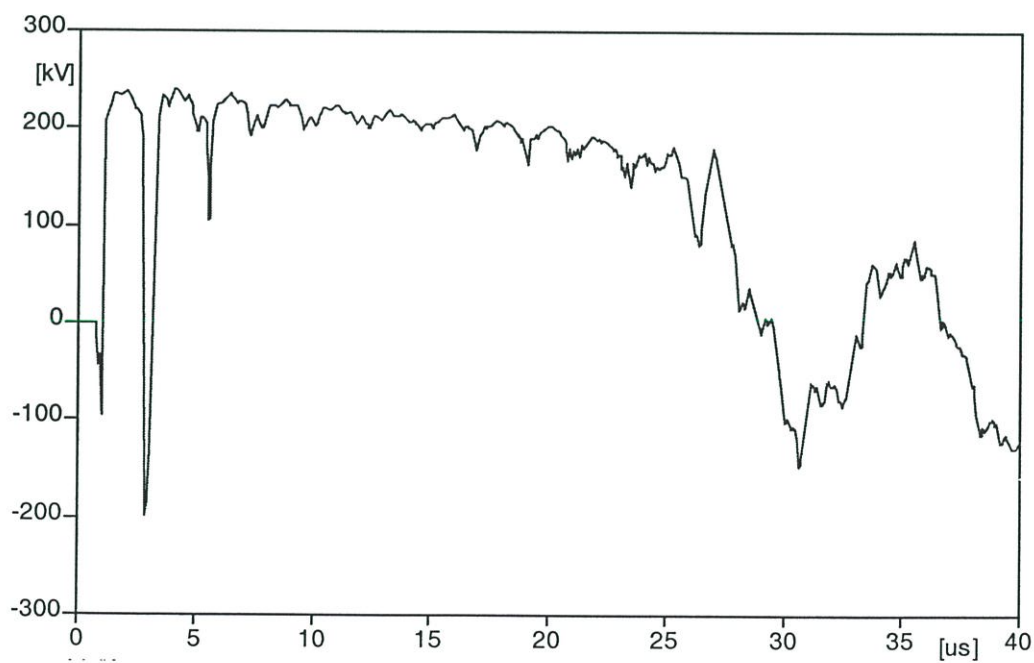
(c) แรงดันคร่อมเซอร์กิตเบรคเกอร์



(d) แรงดันคร่อมหม้อแปลงวัดกระแส

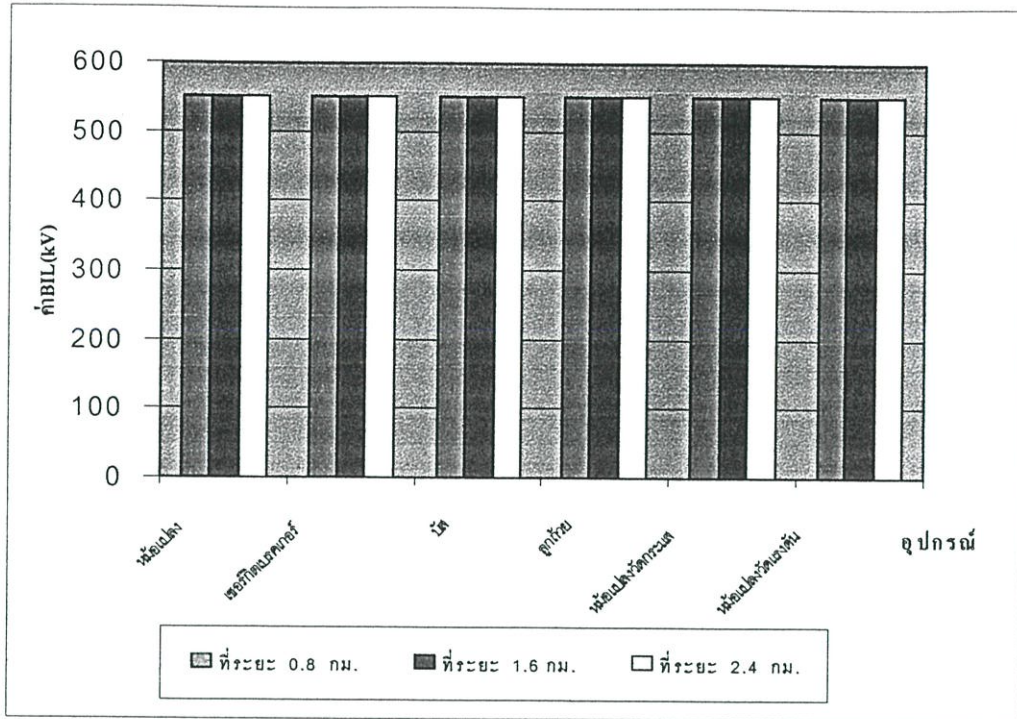


(e) แรงดันคร่อมบัส

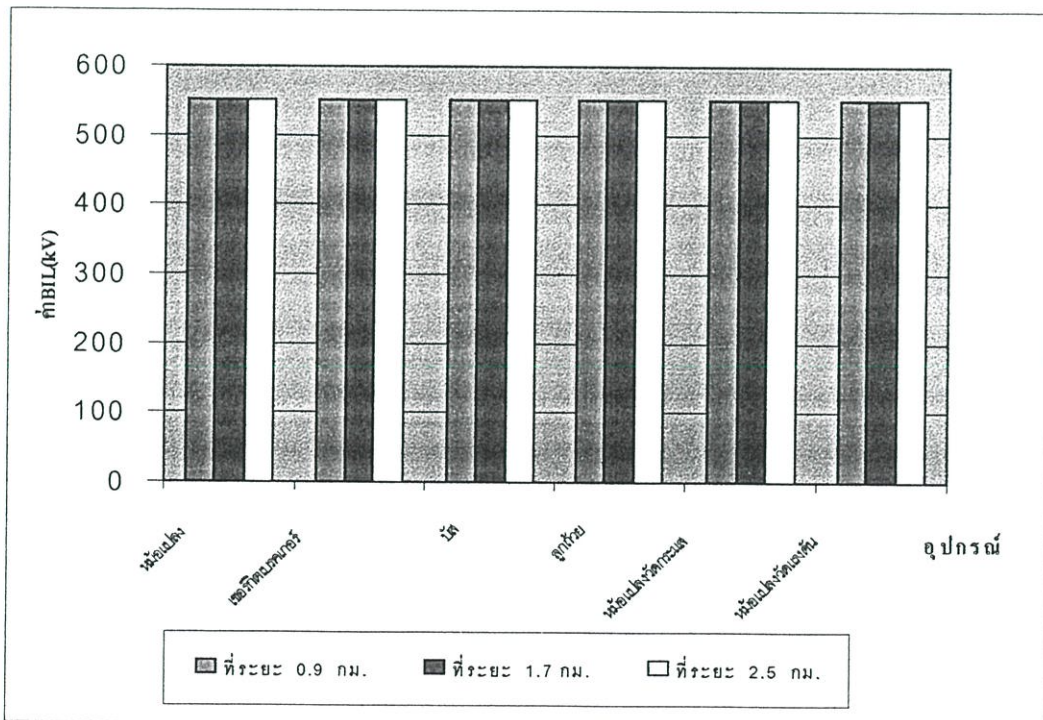


(f) แรงดันคร่อมหม้อแปลงวัดแรงดัน

รูปที่ 4.24 แสดงแรงดันคร่อมอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยปทุมธานี
กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น



(a) เมื่อฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้า



(b) เมื่อฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำ

รูปที่ 4.25 กราฟแสดงค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยปทุมธานี กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น

ตารางที่ 4.9 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยปทุมธานี กรณีเกิดฟ้าผ่าที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นที่ 3 ซึ่งห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะทาง 1.6 กิโลเมตร

อุปกรณ์	แรงดัน , kV		BIL,kV ที่คำนวณได้		Standard BIL, kV		ค่า BIL ที่ทำการ เลือก,kV	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
หม้อแปลง	475	208	497	217	550	350	550	350
สวิตช์ตัดตอน	450	430	391	374	550	550	550	550
เซอร์กิตเบรกเกอร์	530	500	461	435	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดกระแส	235	230	204	200	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดแรงดัน	235	230	204	200	550	550	550	550
บัส	578	564	503	490	504	550	550	550

$$\text{ระยะ Clearance} = \frac{578 \text{ kV}}{605 \text{ kV/m}} = 0.95 \text{ เมตร}$$

ตารางที่ 4.10 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยปทุมธานี กรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟสตัวนำ ซึ่งห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะทาง 1.7 กิโลเมตร

อุปกรณ์	แรงดัน , kV		BIL,kV ที่คำนวณได้		Standard BIL, kV		ค่า BIL ที่ทำ การเลือก,kV	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
หม้อแปลง	440	200	460	209	550	350	550	350
สวิตช์ตัดตอน	430	410	374	357	550	550	550	550
เซอร์กิตเบรกเกอร์	510	475	443	413	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดกระแส	230	210	200	183	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดแรงดัน	230	210	200	183	550	550	550	550
บัส	550	520	478	452	550	550	550	550

$$\text{ระยะ Clearance} = \frac{550 \text{ kV}}{605 \text{ kV/m}} = 0.90 \text{ เมตร}$$

หมายเหตุ (1) คือ กรณีที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น

(2) คือ กรณีที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง

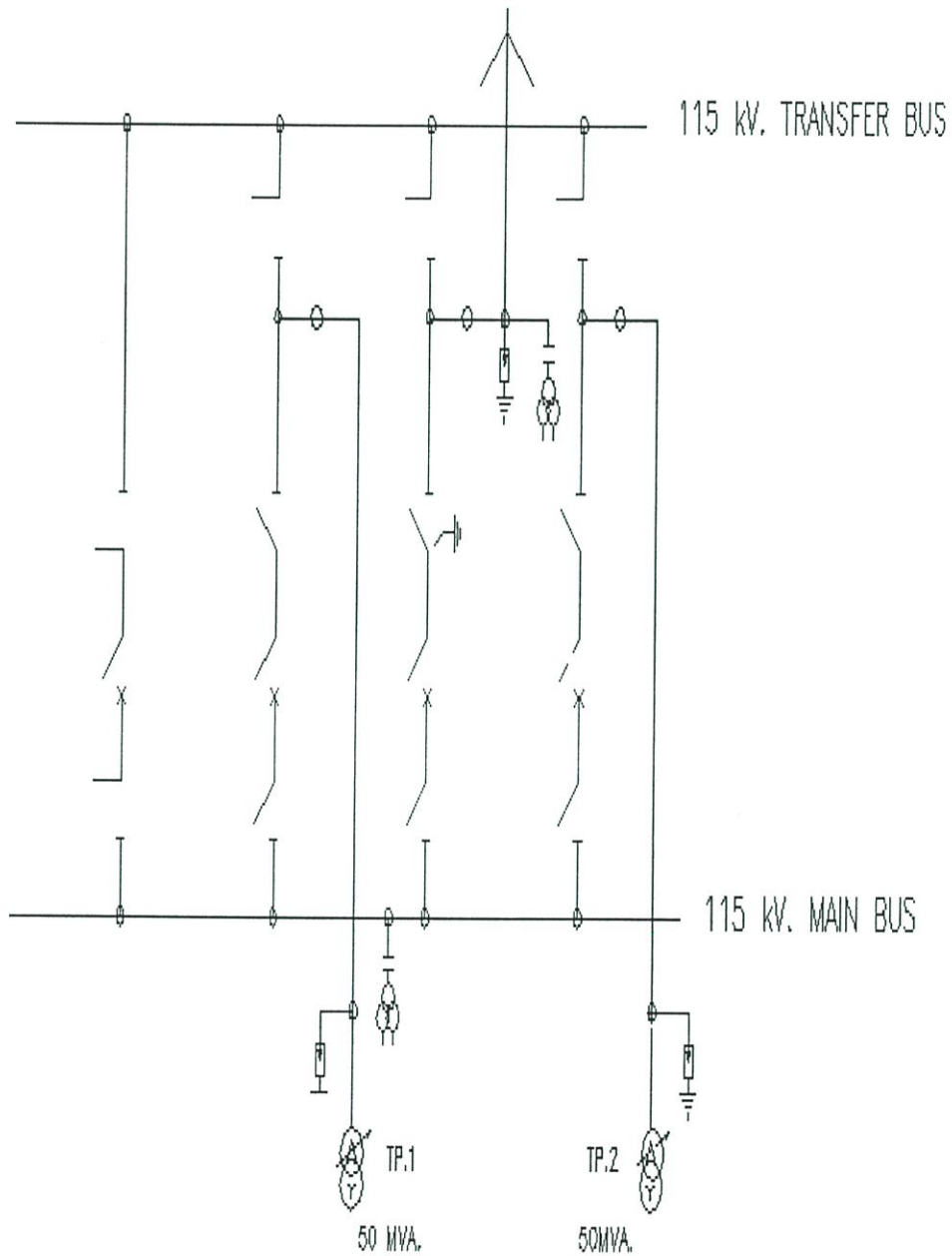
จากรูปที่ 4.25 เป็นผลการเลือกค่า BIL สำหรับอุปกรณ์ต่างๆในสถานีไฟฟ้าย่อยปฐมฐานที่มีขนาดกระแสฟ้าผ่า 117 กิโลแอมแปร์ เป็นสถานีไฟฟ้าย่อยชนิดที่มีอากาศเป็นฉนวนตั้งอยู่ภายนอกอาคาร ซึ่งจากรูปที่ 4.25(a) เป็นผลการพิจารณากรณีที่ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต่างๆ จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกได้มีค่า 550 กิโลโวลต์ โดยมีค่าเท่ากับทุกระยะทางสำหรับอุปกรณ์อื่นๆนั้นค่า BIL ที่ทำการเลือกได้มีค่า 550 กิโลโวลต์ มีค่าเท่ากับทุกระยะทางเช่นเดียวกัน ซึ่งค่า BIL ที่ทำการเลือกได้นี้ได้มาจากการที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 2 ตัว ซึ่งในตารางที่ 4.9 เป็นตัวอย่างแสดงการเลือกค่า BIL เมื่อให้ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นที่ 3 ห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะ 1.6 กิโลเมตร โดยที่เมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 2 ตัว พบว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่คำนวณได้มีค่า 497 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า BIL ของหม้อแปลงเป็น 550 กิโลโวลต์ สำหรับอุปกรณ์อื่นๆคือ สวิตช์ตัดตอน, เซอร์คิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดันและบัสพบว่าค่า BIL ที่คำนวณได้ยังคงมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานเช่นเดียวกัน คือ 550 กิโลโวลต์ เช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงเลือกค่า BIL เป็น 550 กิโลโวลต์

จากรูปที่ 4.25(b) เป็นผลการเลือกค่า BIL สำหรับอุปกรณ์ต่างๆในกรณีที่ฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆ จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกได้มีค่า 550 กิโลโวลต์ โดยมีค่าเท่ากับทุกระยะทาง สำหรับอุปกรณ์อื่นๆนั้นค่า BIL ที่ทำการเลือกได้มีค่า 550 กิโลโวลต์ มีค่าเท่ากับทุกระยะทางเช่นเดียวกันซึ่งค่า BIL ที่ทำการเลือกได้นี้ได้มาจากการที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 2 ตัว ซึ่งในแสดงในตารางที่ 4.10 เป็นตัวอย่างแสดงการเลือกค่า BIL กรณีที่ฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.7 กิโลเมตร โดยที่เมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 2 ตัว จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่คำนวณได้มีค่า 460 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานคือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า BIL ของหม้อแปลงเป็น 550 กิโลโวลต์ และค่า BIL ของอุปกรณ์อื่น คือ สวิตช์ตัดตอน, เซอร์คิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดันและบัส ที่คำนวณได้มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานเช่นเดียวกัน คือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงเลือกค่า BIL เป็น 550 กิโลโวลต์

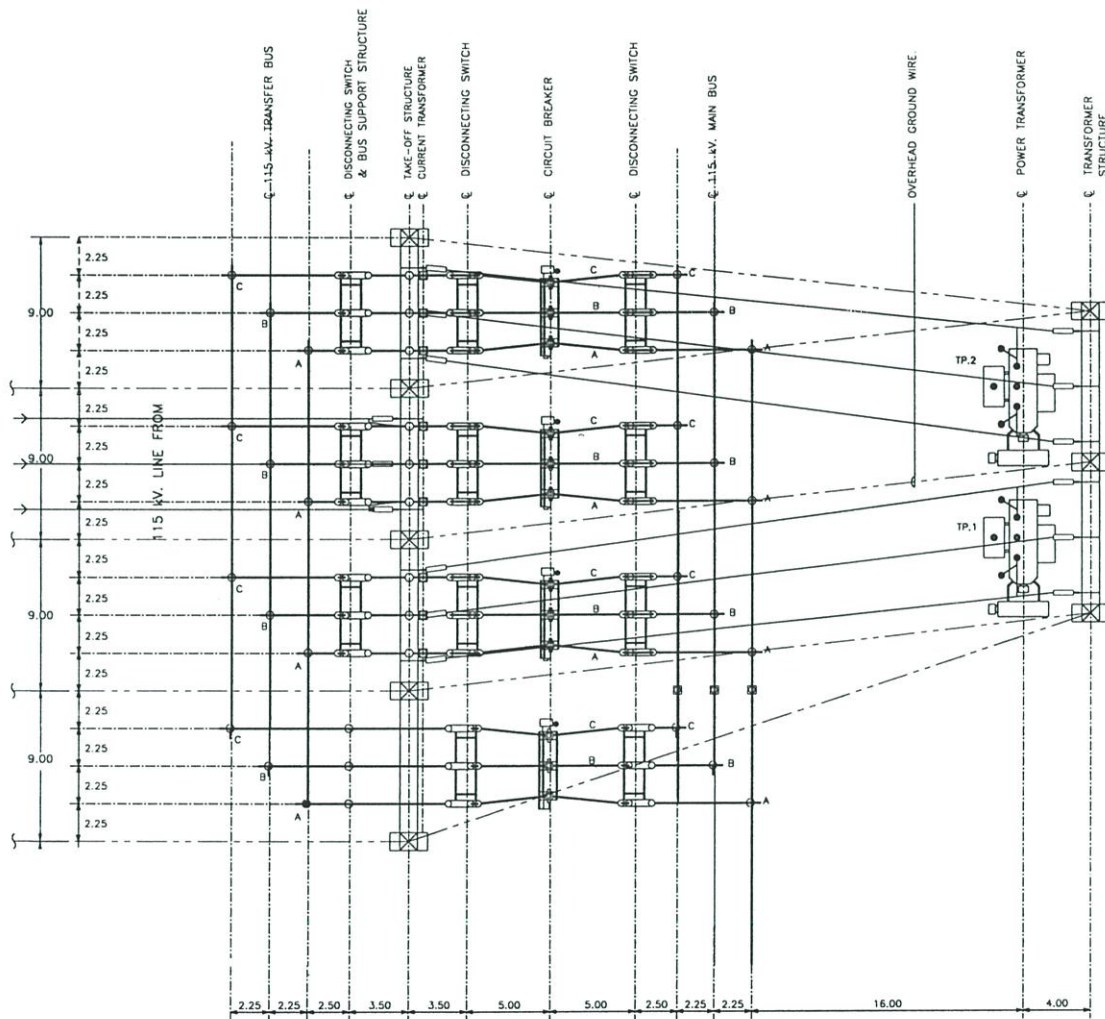
สำหรับการคำนวณค่า Clearance นั้นเมื่อพิจารณาฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นต่างๆนั้น จะเห็นว่าค่าแรงดันเกินสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นมีค่า 578 กิโลโวลต์ ซึ่งจะได้ระยะ Clearance เท่ากับ 0.95 เมตร และเมื่อพิจารณาฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆนั้นจะเห็นว่าค่าแรงดันเกินสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นมีค่า 550 กิโลโวลต์ ซึ่งจะได้ระยะ Clearance เท่ากับ 0.90 เมตร

สรุปแล้วจะเห็นว่าทั้งสองเหตุการณ์การเกิดฟ้าผ่า คือ ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นต่างๆและที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆนั้นให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกัน คือค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกมีค่า 550 กิโลโวลต์ ส่วนสวิตช์ตัดตอน, เซอร์คิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดัน และบัสค่า BIL มีค่า 550 กิโลโวลต์ โดยทำการติดตั้งกับค้ำฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 2 ตัว

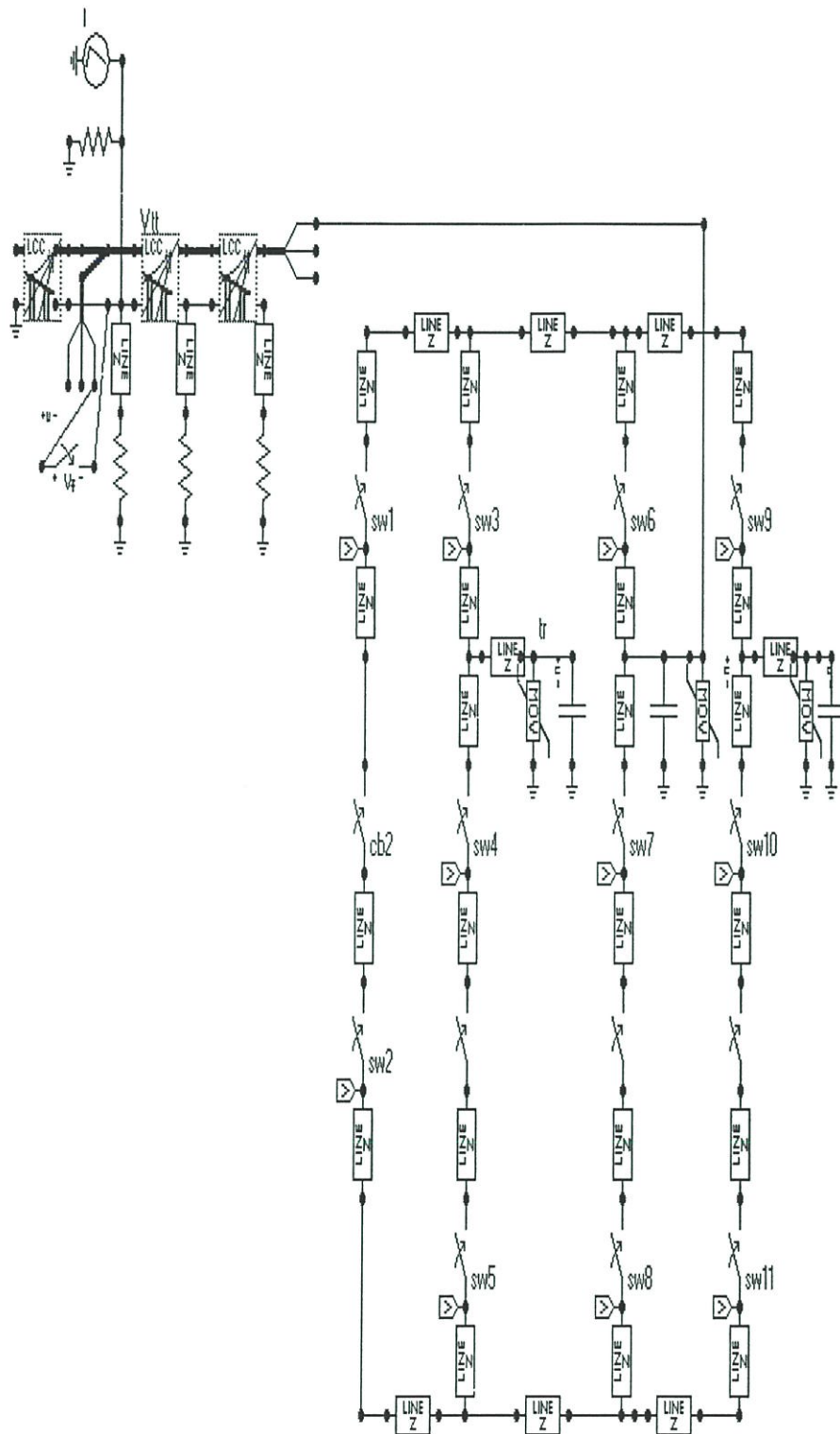
4.2.3 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยนครปฐม ซึ่งเป็นสถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีอากาศเป็นฉนวน



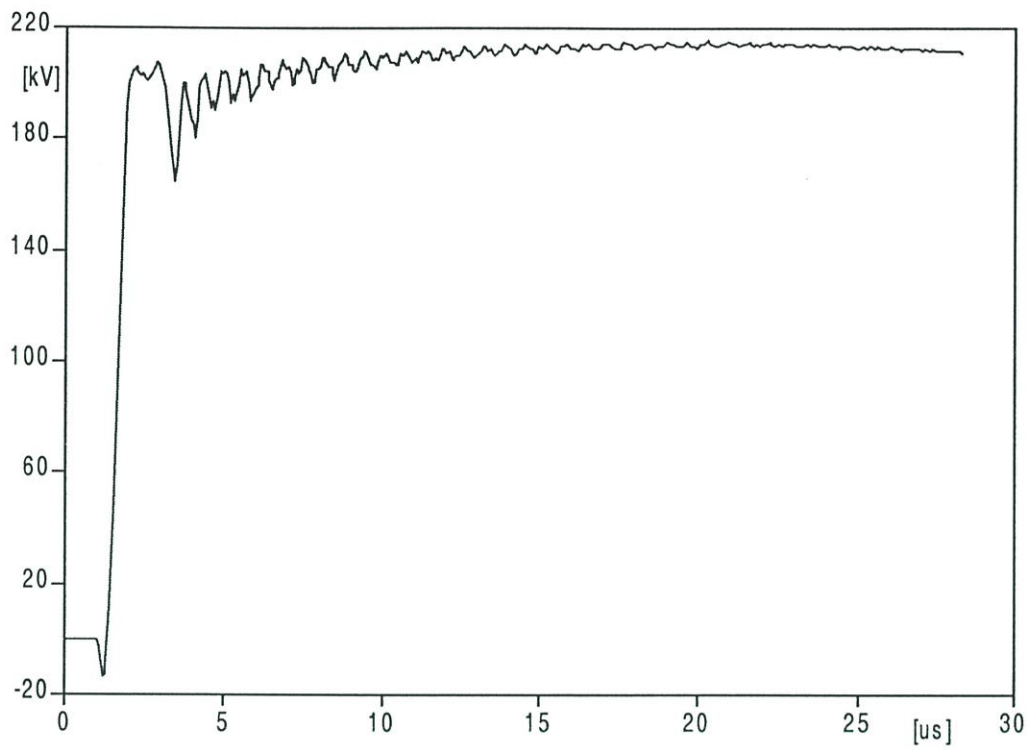
รูปที่ 4.26 แสดงไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อยนครปฐม



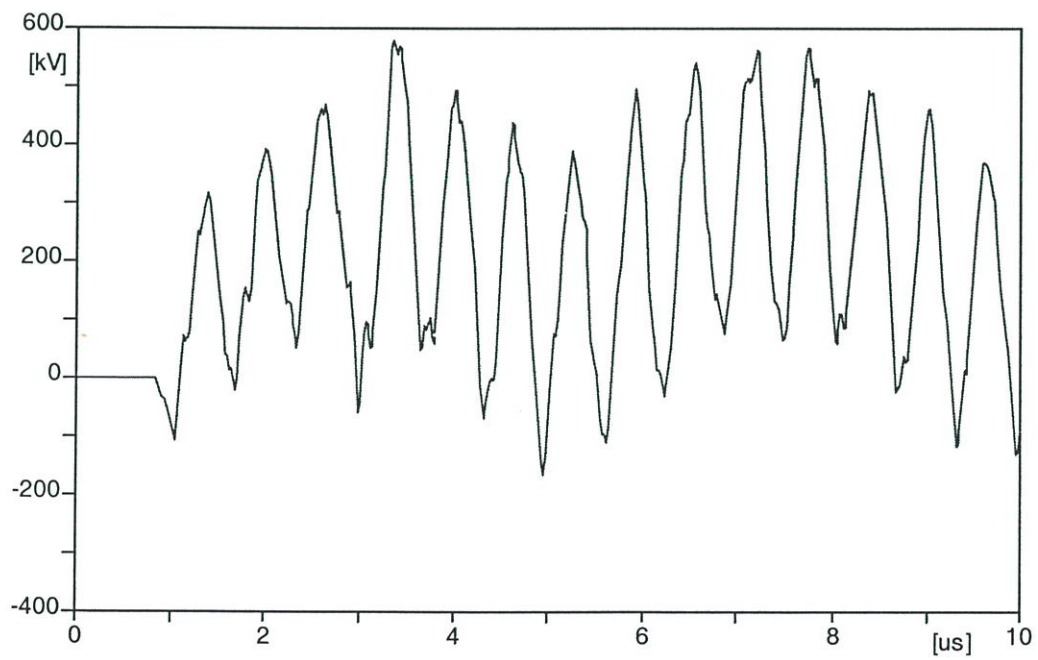
รูปที่ 4.27 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้าข่ยอนกรปฐม



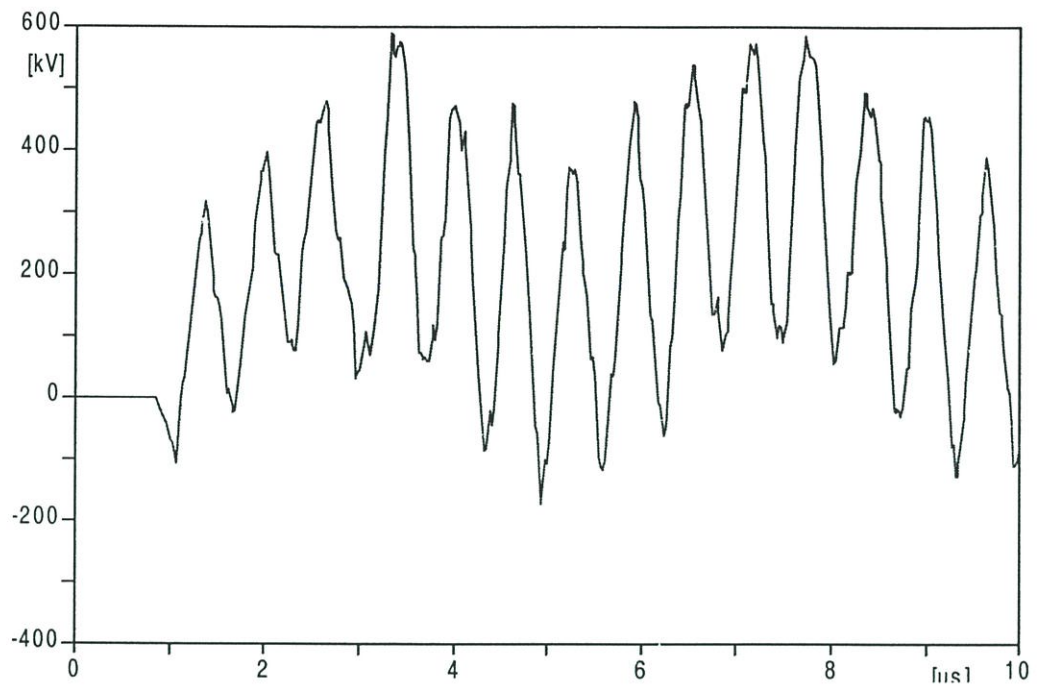
รูปที่ 4.28 แสดงแบบจำลองที่ใช้ศึกษาการเกิดฟ้าผ่าโดยโปรแกรม ATPDraw
ของสถานีไฟฟ้าอ่อนนครปฐม



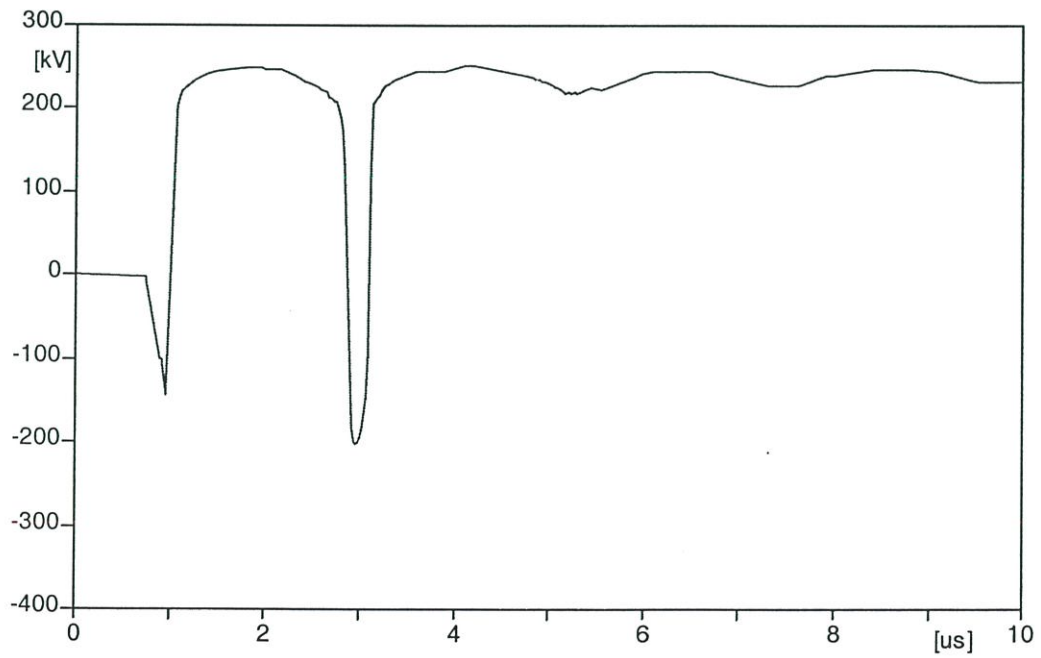
(a) แรงดันคร่อมหม้อแปลงไฟฟ้า



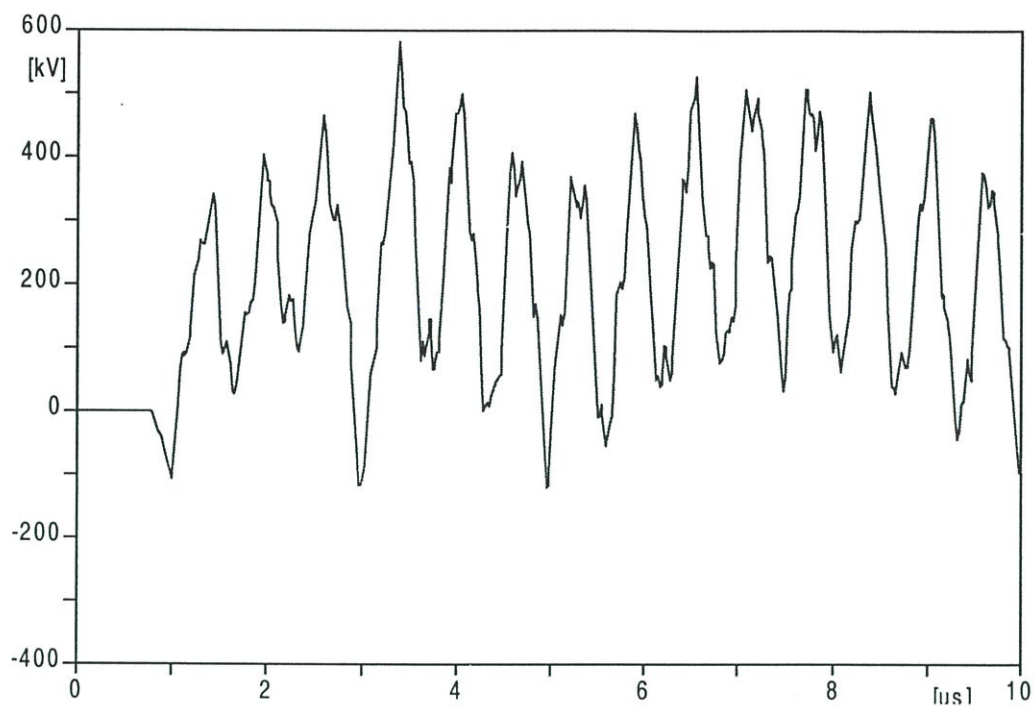
(b) แรงดันคร่อมสวิตช์ตัดตอน



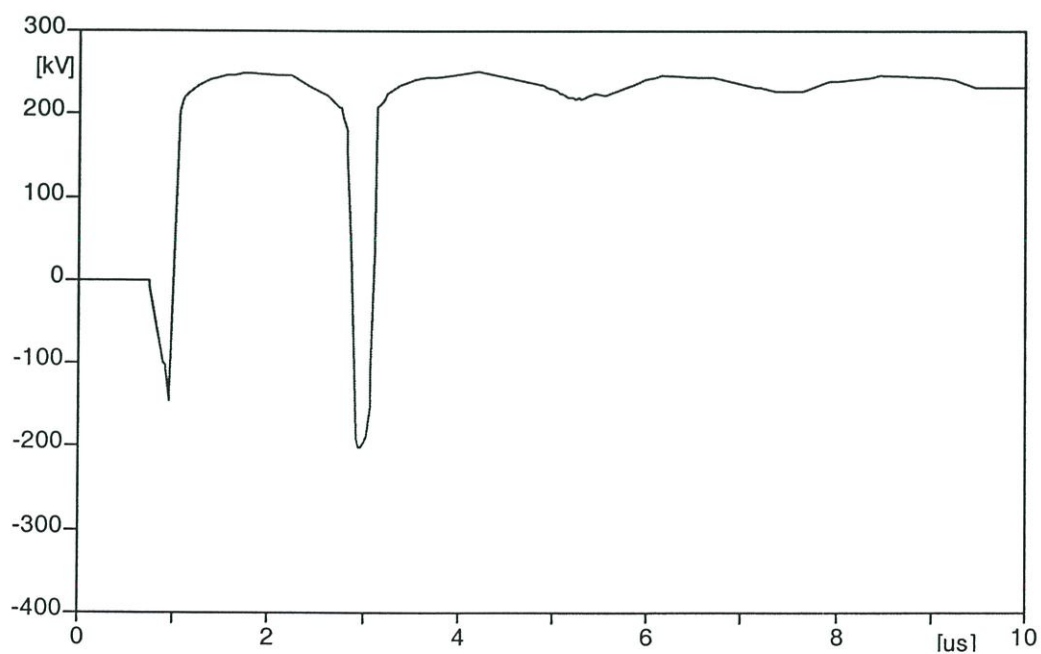
(c) แรงดันคร่อมเซอร์กิตเบรคเกอร์



(d) แรงดันคร่อมหม้อแปลงวัดกระแส

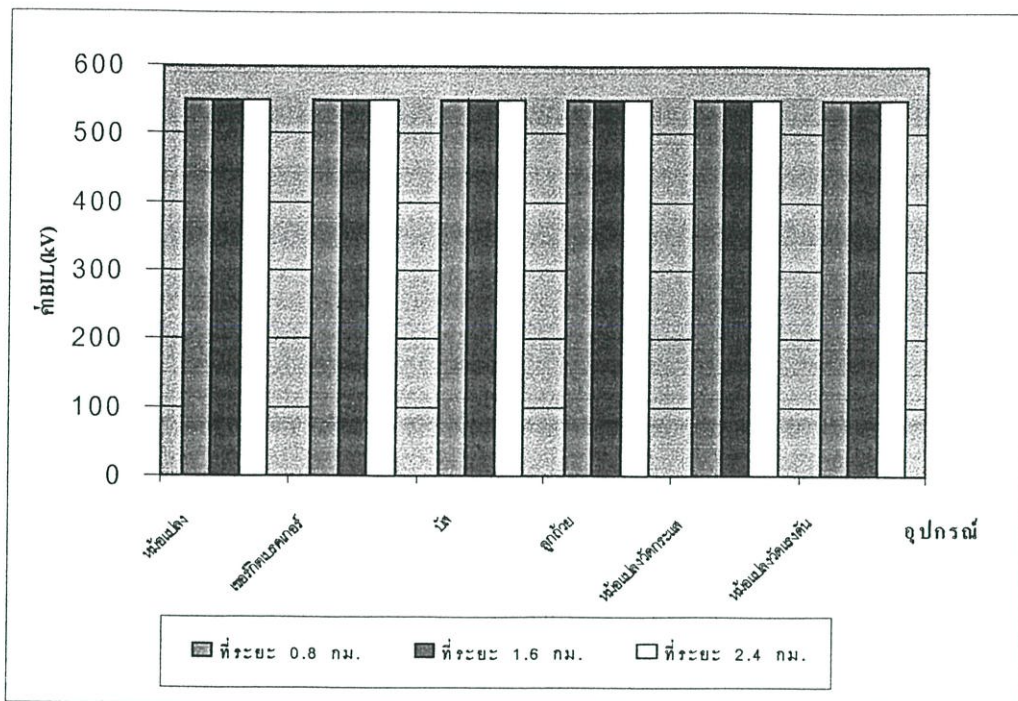


(e) แรงดันคร่อมบัส

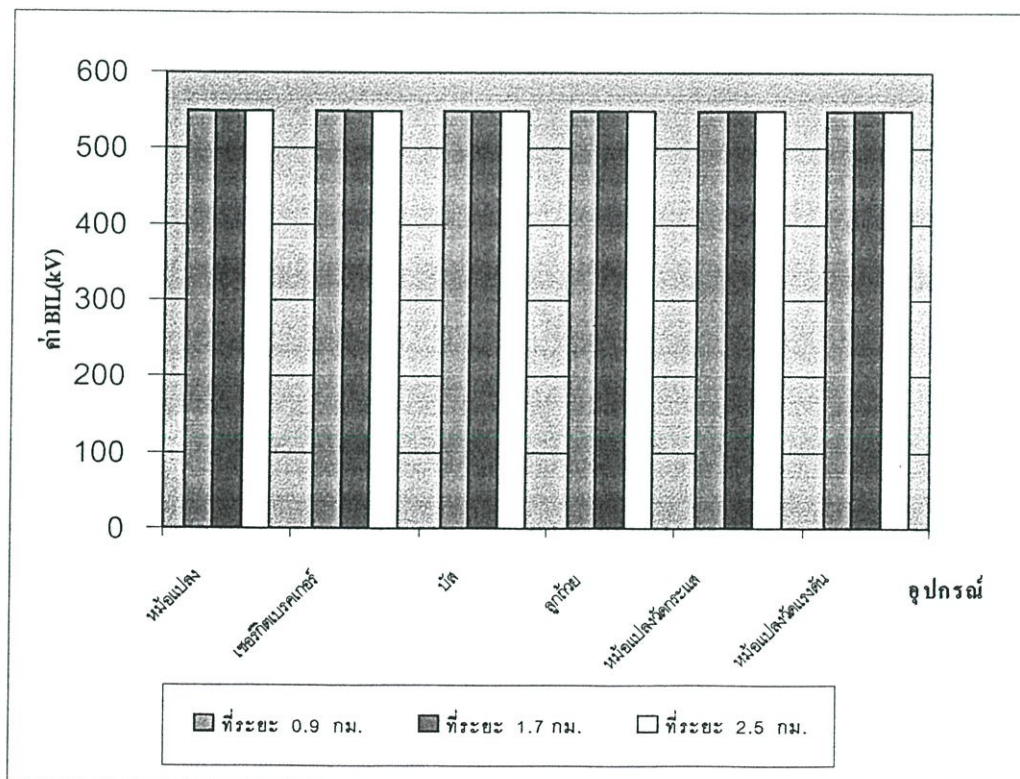


(f) แรงดันคร่อมหม้อแปลงวัดแรงดัน

รูปที่ 4.29 แสดงแรงดันคร่อมอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยนครปฐม
กรณีติดตั้งกับค้ำฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น



(a) เมื่อฟ้าผ่าลงที่ขั้วออกเสาไฟฟ้า



(b) เมื่อฟ้าผ่าลงสายเฟสตัวนำ

รูปที่ 4.30 กราฟแสดงค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยนครปฐม กรณีติดตั้งกับค้ำฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น

ตารางที่ 4.11 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าช้อยนครปฐม กรณีเกิดฟ้าผ่าที่ ยอดเสาไฟฟ้าต้นที่ 3 ซึ่งห่างจากสถานีไฟฟ้าเป็นระยะทาง 1.6 กิโลเมตร

อุปกรณ์	แรงดัน , kV		BIL,kV ที่คำนวณได้		Standard BIL, kV		ค่า BIL ที่ทำ การเลือก,kV	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
หม้อแปลง	490	212	512	184	550	350	550	350
สวิตช์ตัดตอน	570	465	495	404	550	550	550	550
เซอร์กิตเบรกเกอร์	592	565	515	491	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดกระแส	240	235	209	204	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดแรงดัน	240	235	209	204	550	550	550	550
บัส	595	555	517	483	550	550	550	550

$$\text{ระยะ Clearance} = \frac{595 \text{ kV}}{605 \text{ kV/m}} = 0.98 \text{ เมตร}$$

ตารางที่ 4.12 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าช้อยนครปฐม กรณีเกิดฟ้าผ่าที่ สายเฟสตัวนำ ซึ่งห่างจากสถานีไฟฟ้าช้อยเป็นระยะทาง 1.7 กิโลเมตร

อุปกรณ์	แรงดัน , kV		BIL,kV ที่คำนวณได้		Standard BIL, kV		ค่า BIL ที่ทำ การเลือก,kV	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
หม้อแปลง	475	195	496	204	550	350	550	350
สวิตช์ตัดตอน	500	460	435	400	550	550	550	550
เซอร์กิตเบรกเกอร์	575	550	500	478	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดกระแส	220	215	191	187	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดแรงดัน	220	215	191	187	550	550	550	550
บัส	565	535	491	465	550	550	550	550

$$\text{ระยะ Clearance} = \frac{575 \text{ kV}}{605 \text{ kV/m}} = 0.95 \text{ เมตร}$$

หมายเหตุ (1) คือ กรณีที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าช้อยเท่านั้น

(2) คือ กรณีที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าช้อยและที่หม้อแปลง

จากรูปที่ 4.30 เป็นผลการเลือกค่า BIL สำหรับอุปกรณ์ต่างๆในสถานีไฟฟ้าย่อยนครปฐม ที่ขนาดกระแสฟ้าผ่า 207.9 กิโลแอมแปร์ เป็นสถานีไฟฟ้าย่อยชนิดที่มีอากาศเป็นฉนวนตั้งอยู่ภายนอกอาคาร ซึ่งจากรูปที่ 4.30(a) เป็นผลการพิจารณากรณีที่ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต่างๆ จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกได้มีค่า 550 กิโลโวลต์ โดยมีค่าเท่ากับทุกระยะทาง สำหรับอุปกรณ์อื่นๆนั้นค่า BIL ที่ทำการเลือกได้มีค่า 550 กิโลโวลต์ มีค่าเท่ากับทุกระยะทางเช่นเดียวกัน ซึ่งค่า BIL ที่ทำการเลือกได้นี้ได้มาจากการที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 1 ตัว ซึ่งในตารางที่ 4.11 เป็นตัวอย่างแสดงการเลือกค่า BIL เมื่อให้ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าคันที่ 3 ห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะ 1.6 กิโลเมตร โดยที่เมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 1 ตัว พบว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่คำนวณได้มีค่า 512 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า BIL ของหม้อแปลงเป็น 550 กิโลโวลต์ สำหรับอุปกรณ์อื่นๆคือ สวิตซ์ตัดตอน, เซอร์กิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดันและบัสพบว่าค่า BIL ที่คำนวณได้ยังคงมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานเช่นเดียวกัน คือ 550 กิโลโวลต์เช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงเลือกค่า BIL เป็น 550 กิโลโวลต์

จากรูปที่ 4.30(b) เป็นผลการเลือกค่า BIL สำหรับอุปกรณ์ต่างๆในกรณีที่ฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆ จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกได้มีค่า 550 กิโลโวลต์ โดยมีค่าเท่ากับทุกระยะทาง สำหรับอุปกรณ์อื่นๆนั้นค่า BIL ที่ทำการเลือกได้มีค่า 550 กิโลโวลต์ มีค่าเท่ากับทุกระยะทางเช่นเดียวกันซึ่งค่า BIL ที่ทำการเลือกได้นี้ได้มาจากการที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 1 ตัว ซึ่งในตารางที่ 4.12 เป็นตัวอย่างแสดงการเลือกค่า BIL กรณีที่ฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.7 กิโลเมตร โดยที่เมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 1 ตัว จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่คำนวณได้มีค่า 496 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานคือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า BIL ของหม้อแปลงเป็น 550 กิโลโวลต์ และค่า BIL ของอุปกรณ์อื่น คือ สวิตซ์ตัดตอน, เซอร์กิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดันและบัส ที่คำนวณได้มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานเช่นเดียวกัน คือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงเลือกค่า BIL เป็น 550 กิโลโวลต์

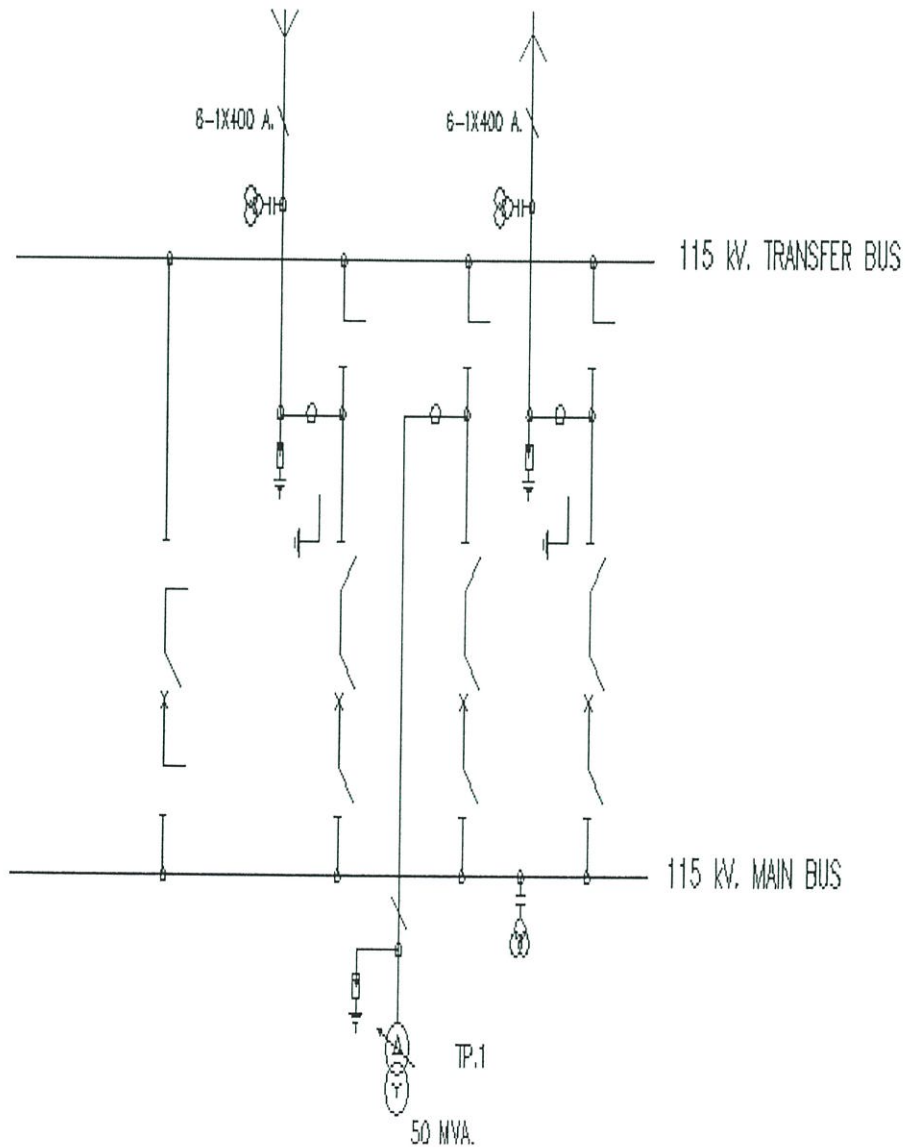
สำหรับการคำนวณค่า Clearance นั้นเมื่อพิจารณาฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าคันต่างๆนั้น จะเห็นว่าค่าแรงดันเกินสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น มีค่า 595 กิโลโวลต์ ซึ่งจะได้ระยะ Clearance เท่ากับ 0.98 เมตร และเมื่อพิจารณาฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆนั้นจะเห็นว่าค่าแรงดันเกินสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นมีค่า 575 กิโลโวลต์ ซึ่งจะได้ระยะ Clearance เท่ากับ 0.95 เมตร

สรุปแล้วจะเห็นว่าทั้งสองเหตุการณ์การเกิดฟ้าผ่า คือ ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าคันต่างๆและที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆนั้นให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกัน คือค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกมีค่า 550 กิโลโวลต์ ส่วนสวิตซ์ตัดตอน, เซอร์กิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดัน

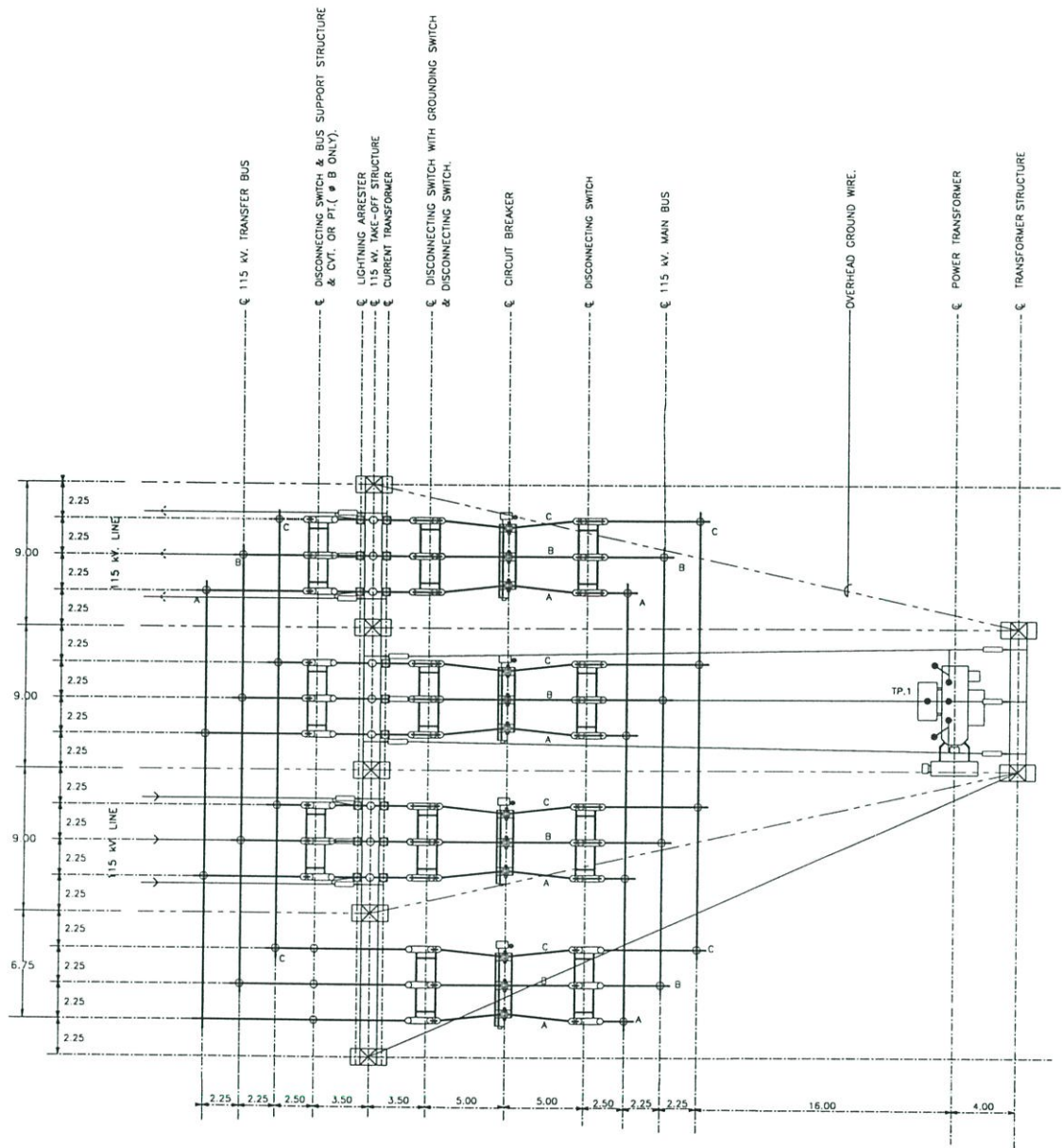
และบัสค่า BIL มีค่า 550 กิโลโวลต์ โดยทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 1 ตัว

4.3 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

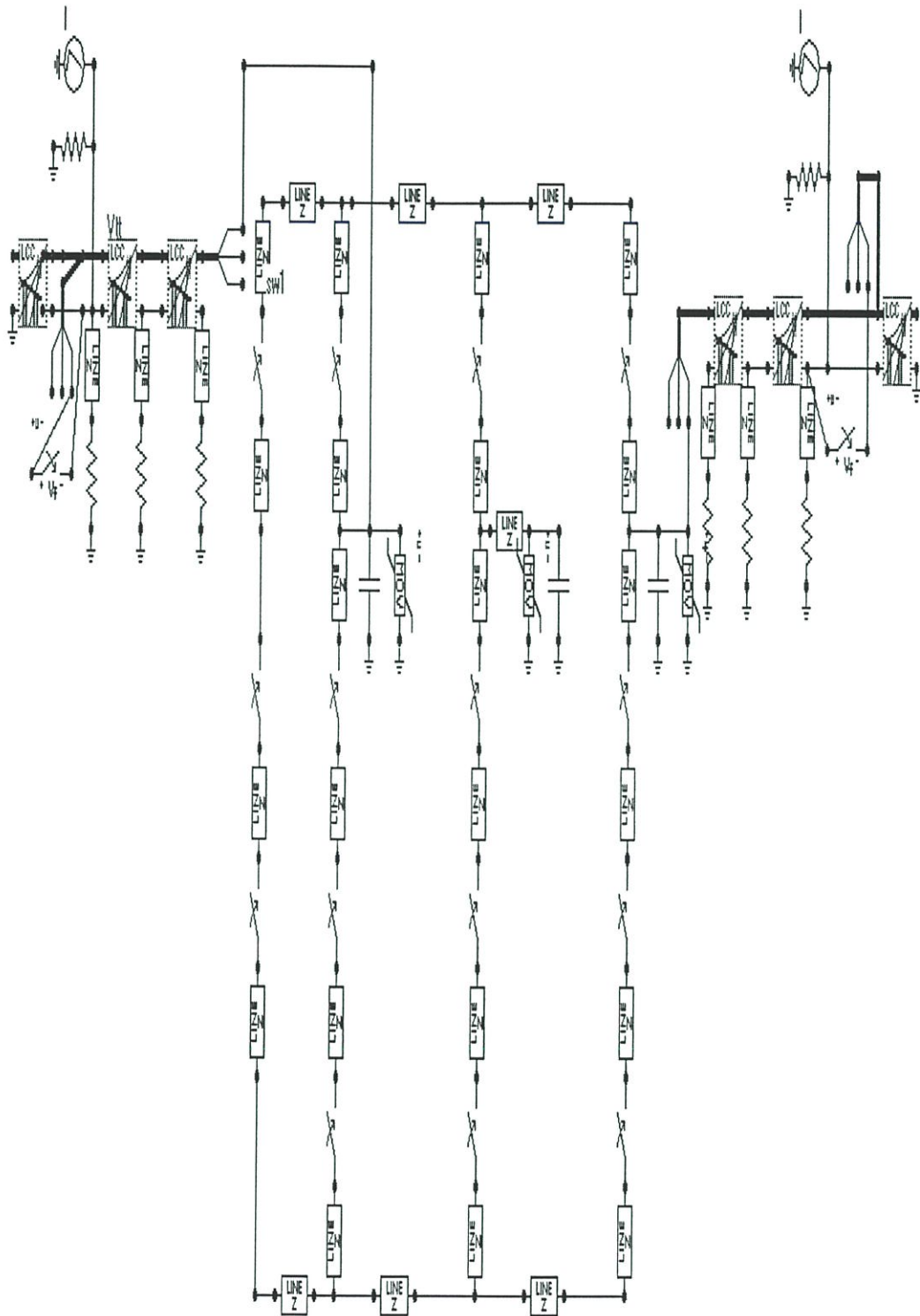
4.3.1 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยมหาสารคาม ซึ่งเป็นสถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีอากาศเป็นฉนวน



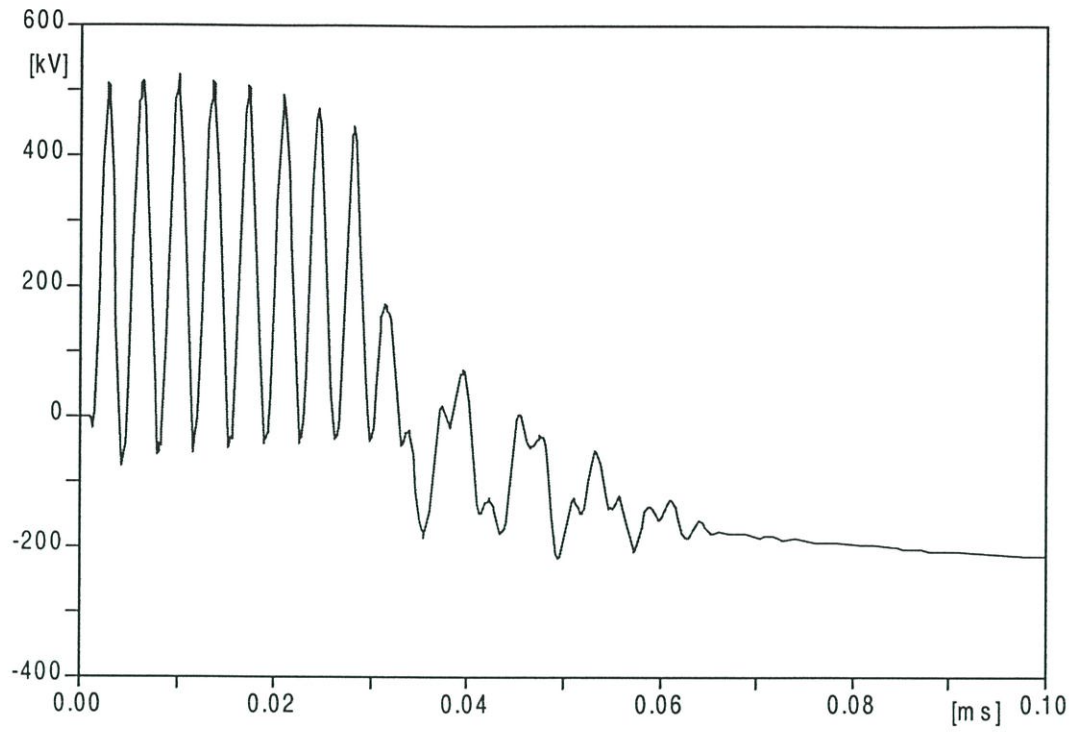
รูปที่ 4.31 แสดงไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อยมหาสารคาม



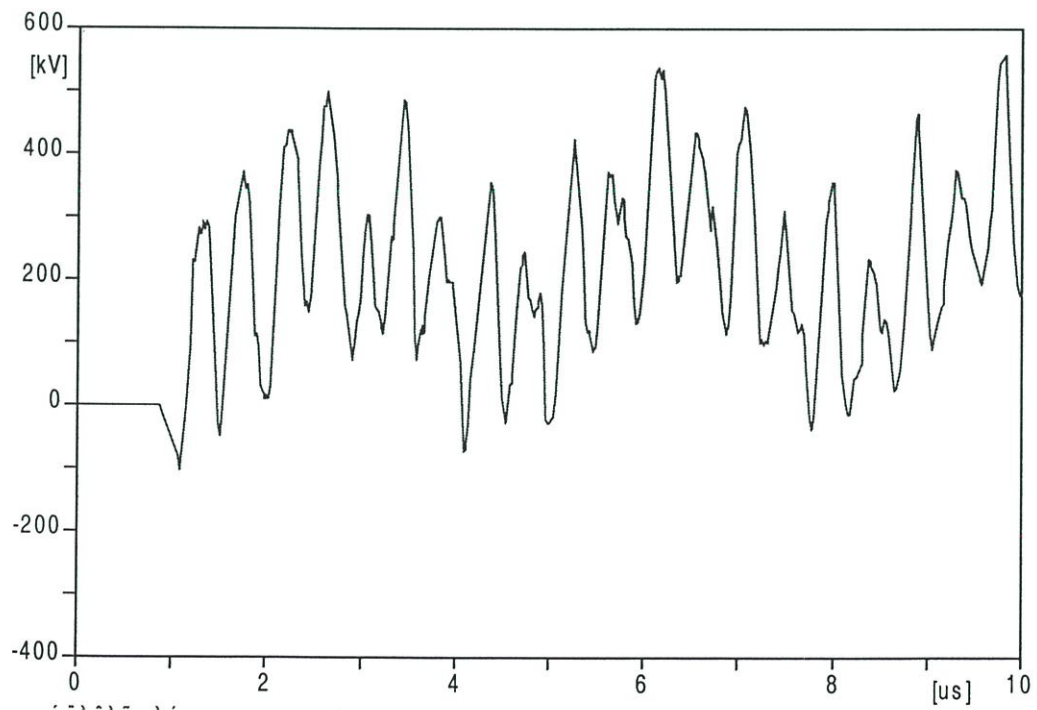
รูปที่ 4.32 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้าอ้อมมหาสารคาม



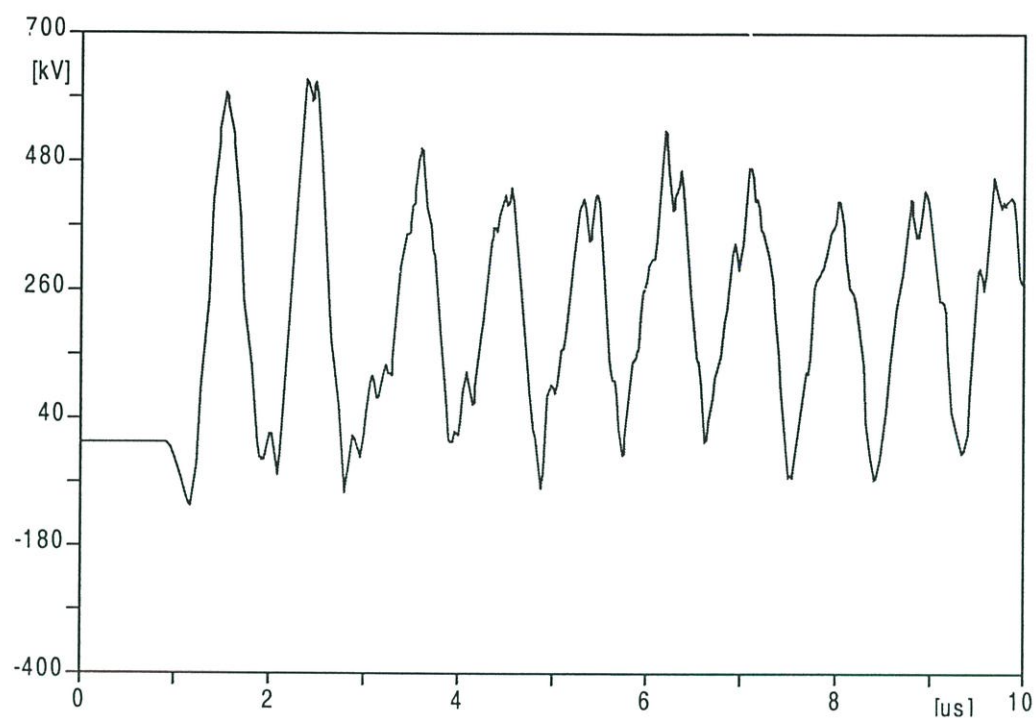
รูปที่ 4.33 แสดงแบบจำลองในการศึกษาไฟฟ้าผ่าโดยโปรแกรม ATPDraw
ของสถานีไฟฟ้าย่อยมหาสารคาม



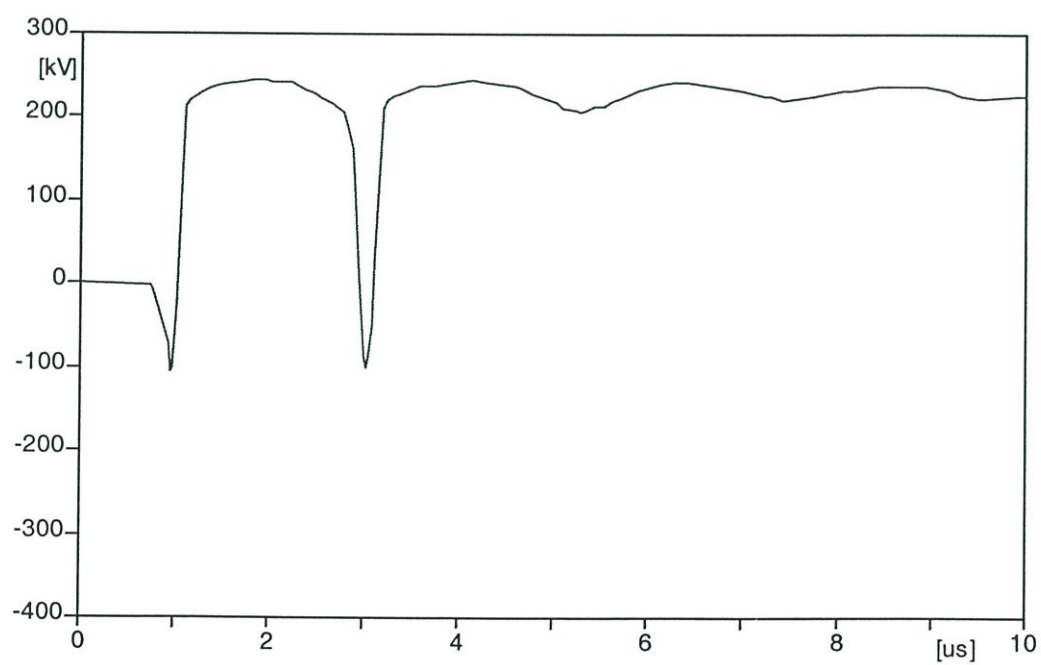
(a) แรงดันคร่อมหม้อแปลงไฟฟ้า



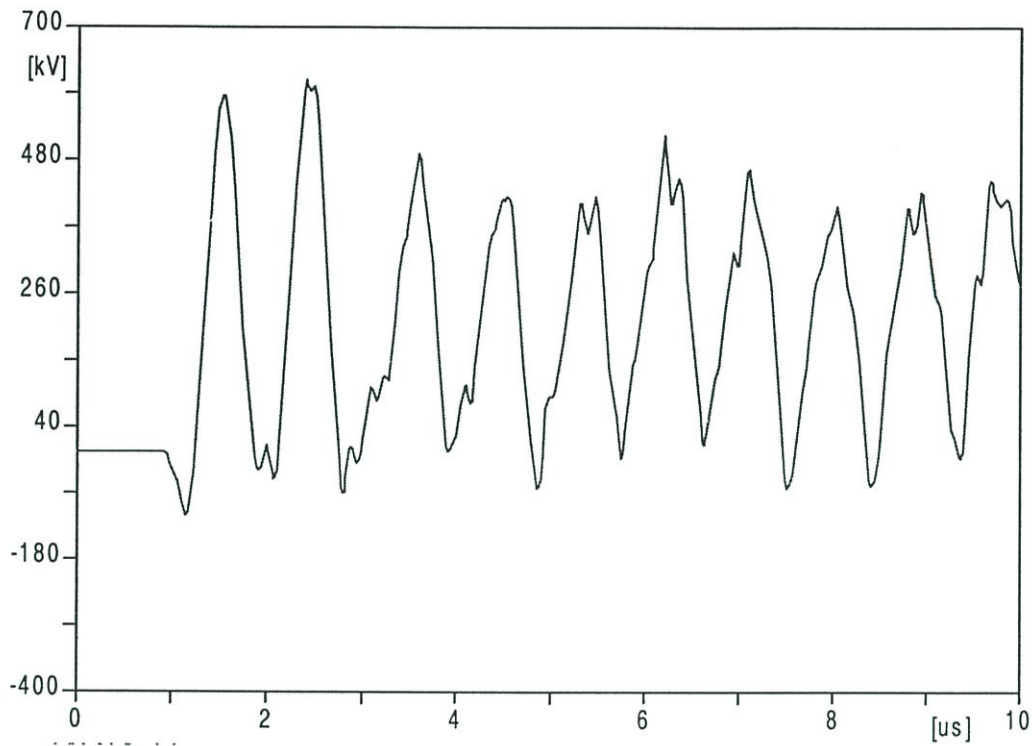
(b) แรงดันคร่อมสวิตช์ตัดตอน



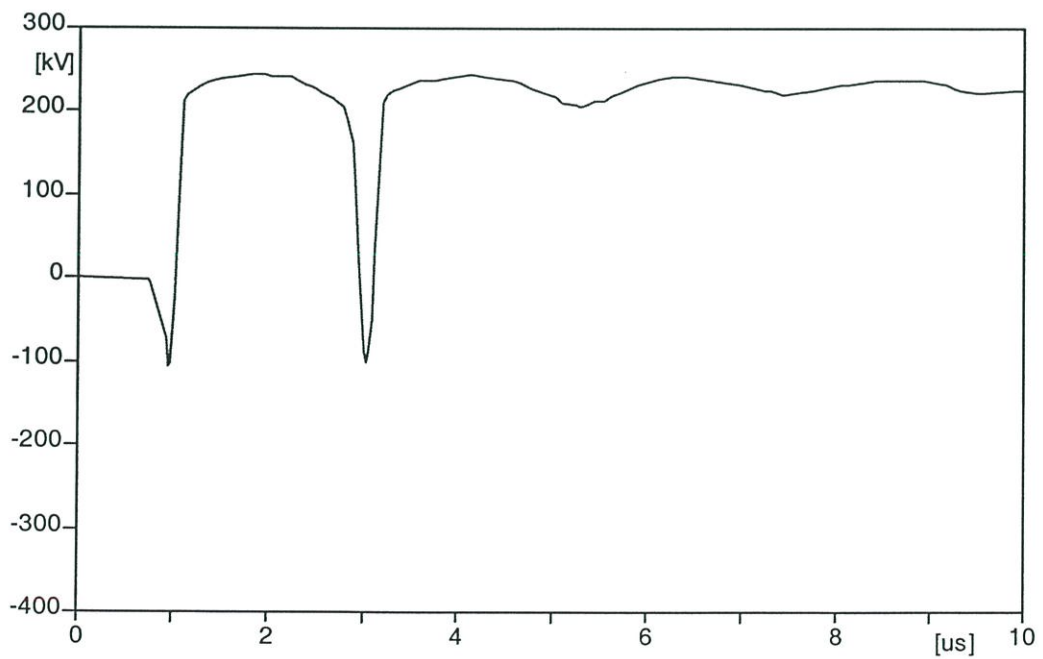
(c) แรงดันคร่อมเซอรัทกิตเบรคเกอร์



(d) แรงดันคร่อมหม้อแปลงวัดกระแส

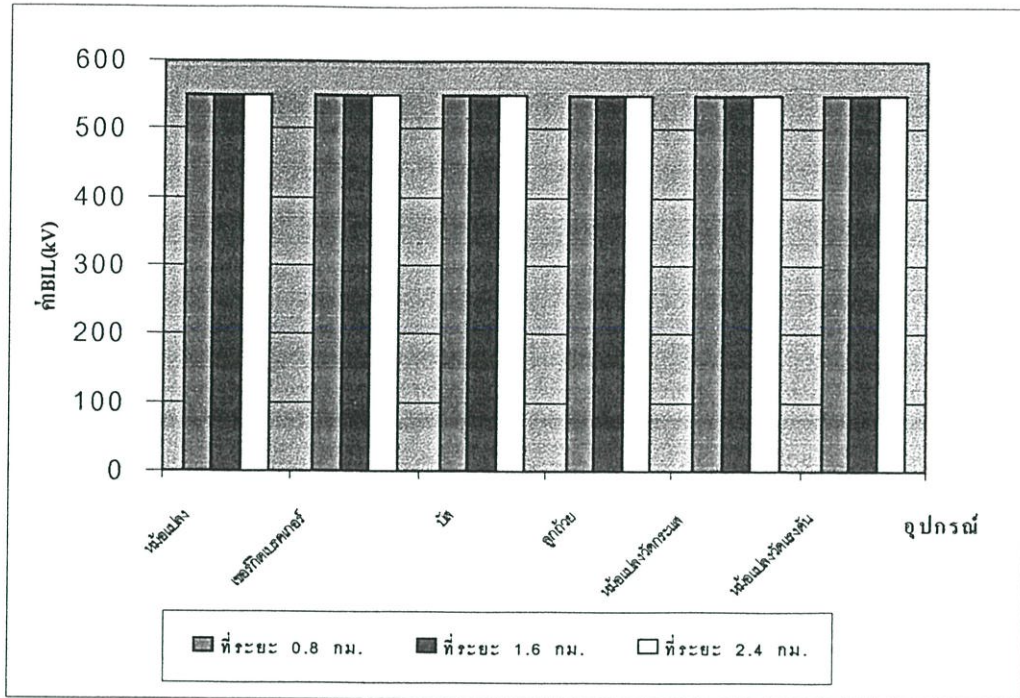


(e) แรงดันคร่อมบัส

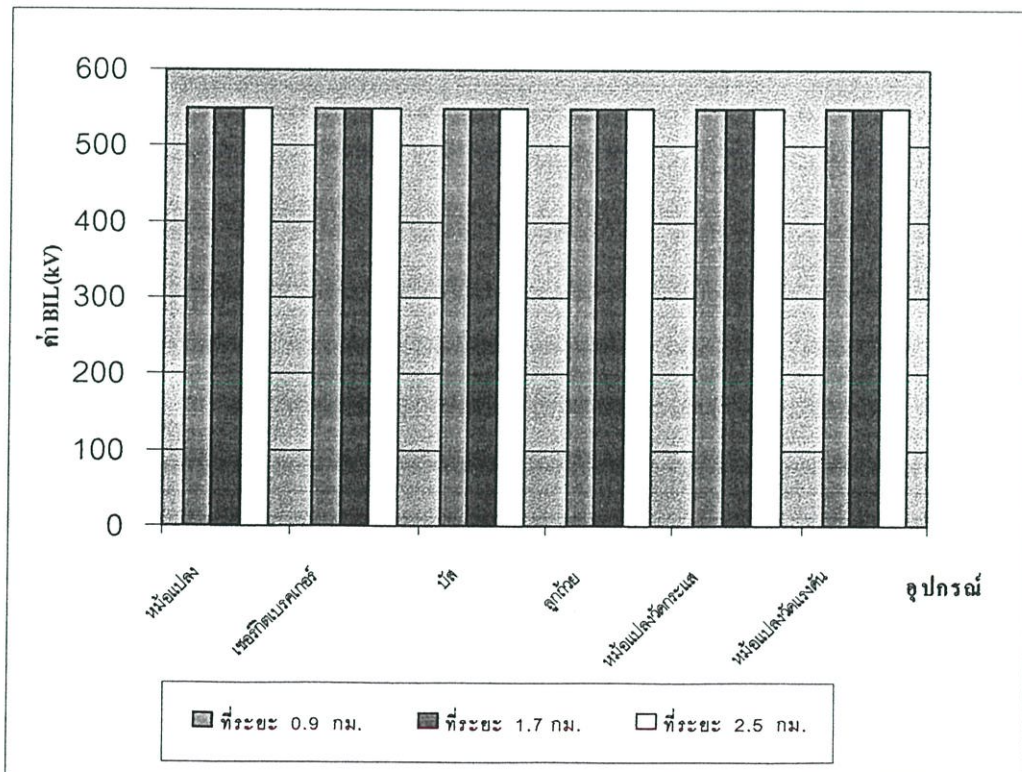


(f) แรงดันคร่อมหม้อแปลงวัดแรงดัน

รูปที่ 4.34 แสดงแรงดันคร่อมอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยมหาสารคาม
กรณีติดตั้งกับคัทไฟผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น



(a) เมื่อฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้า



(b) เมื่อฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำ

รูปที่ 4.35 กราฟแสดงค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าอ้อมมหาสารคาม
กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าเท่านั้น

ตารางที่ 4.13 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยมหาสารคาม กรณีเกิดฟ้าผ่าที่ ยอดเสาไฟฟ้าต้นที่ 3 ซึ่งห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะทาง 1.6 กิโลเมตร

อุปกรณ์	แรงดัน , kV		BIL,kV ที่คำนวณได้		Standard BIL, kV		ค่า BIL ที่ทำ การเลือก,kV	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
หม้อแปลง	510	212	533	222	550	350	550	350
สวิตช์ตัดตอน	530	460	461	400	550	550	550	550
เซอร์กิตเบรกเกอร์	589	565	512	491	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดกระแส	230	230	200	200	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดแรงดัน	230	230	200	200	550	550	550	550
บัส	589	550	512	478	550	550	550	550

$$\text{ระยะ Clearance} = \frac{589 \text{ kV}}{605 \text{ kV/m}} = 0.97 \text{ เมตร}$$

ตารางที่ 4.14 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยมหาสารคาม กรณีเกิดฟ้าผ่า ที่สายเฟสตัวนำ ซึ่งห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะทาง 1.7 กิโลเมตร

อุปกรณ์	แรงดัน , kV		BIL,kV ที่คำนวณได้		Standard BIL, kV		ค่า BIL ที่ทำ การเลือก,kV	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
หม้อแปลง	450	190	470	199	550	350	550	350
สวิตช์ตัดตอน	500	460	435	400	550	550	550	550
เซอร์กิตเบรกเกอร์	535	525	465	457	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดกระแส	220	200	191	174	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดแรงดัน	220	200	191	174	550	550	550	550
บัส	560	535	487	463	550	550	550	550

$$\text{ระยะ Clearance} = \frac{560 \text{ kV}}{605 \text{ kV/m}} = 0.93 \text{ เมตร}$$

หมายเหตุ (1) คือ กรณีที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น

(2) คือ กรณีที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง

จากรูปที่ 4.35 เป็นผลการเลือกค่า BIL สำหรับอุปกรณ์ต่างๆในสถานีไฟฟ้าย่อยมหาสารคาม ที่ขนาดกระแสฟ้าผ่า 157.6 กิโลแอมแปร์ เป็นสถานีไฟฟ้าย่อยชนิดที่มีอากาศเป็นฉนวนตั้งอยู่ภายนอกอาคาร ซึ่งจากรูปที่ 4.35(a) เป็นผลการพิจารณากรณีที่ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต่างๆ จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกได้นี้มีค่า 550 กิโลโวลต์ โดยมีค่าเท่ากันทุกกระยะทาง สำหรับอุปกรณ์อื่นๆนั้นค่า BIL ที่ทำการเลือกได้นี้มีค่า 550 กิโลโวลต์ มีค่าเท่ากันทุกกระยะทางเช่นเดียวกัน ซึ่งค่า BIL ที่ทำการเลือกได้นี้ได้มาจากการที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 2 ตัว ซึ่งในตารางที่ 4.13 เป็นตัวอย่างแสดงการเลือกค่า BIL เมื่อให้ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นที่ 3 ห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะ 1.6 กิโลเมตร โดยที่เมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 2 ตัว พบว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่คำนวณได้มีค่า 533 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า BIL ของหม้อแปลงเป็น 550 กิโลโวลต์ สำหรับอุปกรณ์อื่นๆคือ สวิตซ์ตัดตอน, เซอร์กิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดันและบัสพบว่าค่า BIL ที่คำนวณได้ยังคงมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานเช่นเดียวกัน คือ 550 กิโลโวลต์เช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงเลือกค่า BIL เป็น 550 กิโลโวลต์

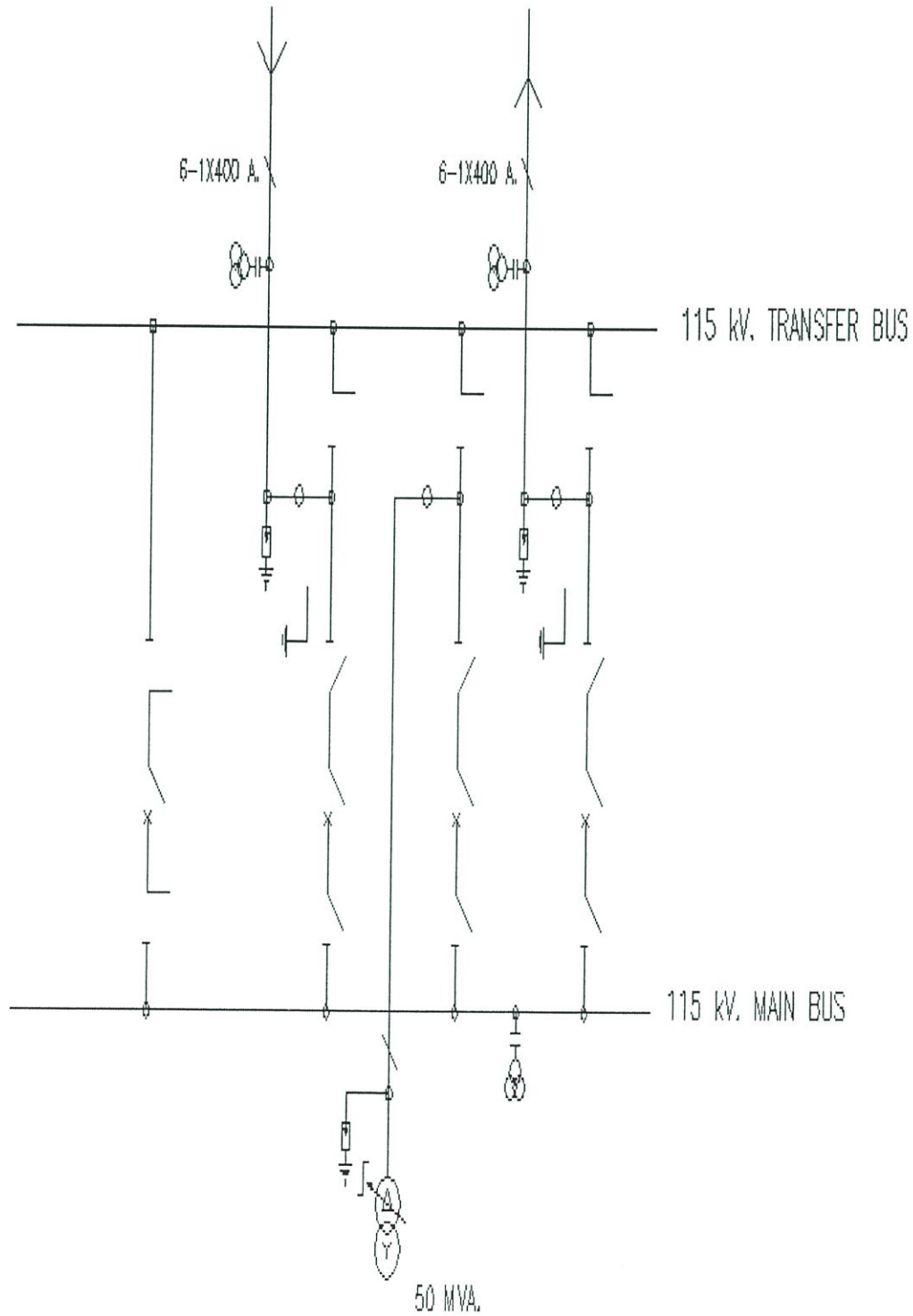
จากรูปที่ 4.35(b) เป็นผลการเลือกค่า BIL สำหรับอุปกรณ์ต่างๆในกรณีที่ฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆ จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกได้มีค่า 550 กิโลโวลต์ โดยมีค่าเท่ากันทุกกระยะทาง สำหรับอุปกรณ์อื่นๆนั้นค่า BIL ที่ทำการเลือกได้มีค่า 550 กิโลโวลต์ มีค่าเท่ากันทุกกระยะทางเช่นเดียวกันซึ่งค่า BIL ที่ทำการเลือกได้นี้ได้มาจากการที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 2 ตัว ซึ่งในตารางที่ 4.14 เป็นตัวอย่างแสดงการเลือกค่า BIL กรณีที่ฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.7 กิโลเมตร โดยที่เมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 2 ตัว จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่คำนวณได้มีค่า 470 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานคือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า BIL ของหม้อแปลงเป็น 550 กิโลโวลต์ และค่า BIL ของอุปกรณ์อื่น คือ สวิตซ์ตัดตอน, เซอร์กิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดันและบัส ที่คำนวณได้มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานเช่นเดียวกัน คือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงเลือกค่า BIL เป็น 550 กิโลโวลต์

สำหรับการคำนวณค่า Clearance นั้นเมื่อพิจารณาฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นต่างๆนั้น จะเห็นว่าค่าแรงดันเกินสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นมีค่า 589 กิโลโวลต์ ซึ่งจะได้ระยะ Clearance เท่ากับ 0.97 เมตร และเมื่อพิจารณาฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆนั้นจะเห็นว่าค่าแรงดันเกินสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นมีค่า 560 กิโลโวลต์ ซึ่งจะได้ระยะ Clearance เท่ากับ 0.93 เมตร

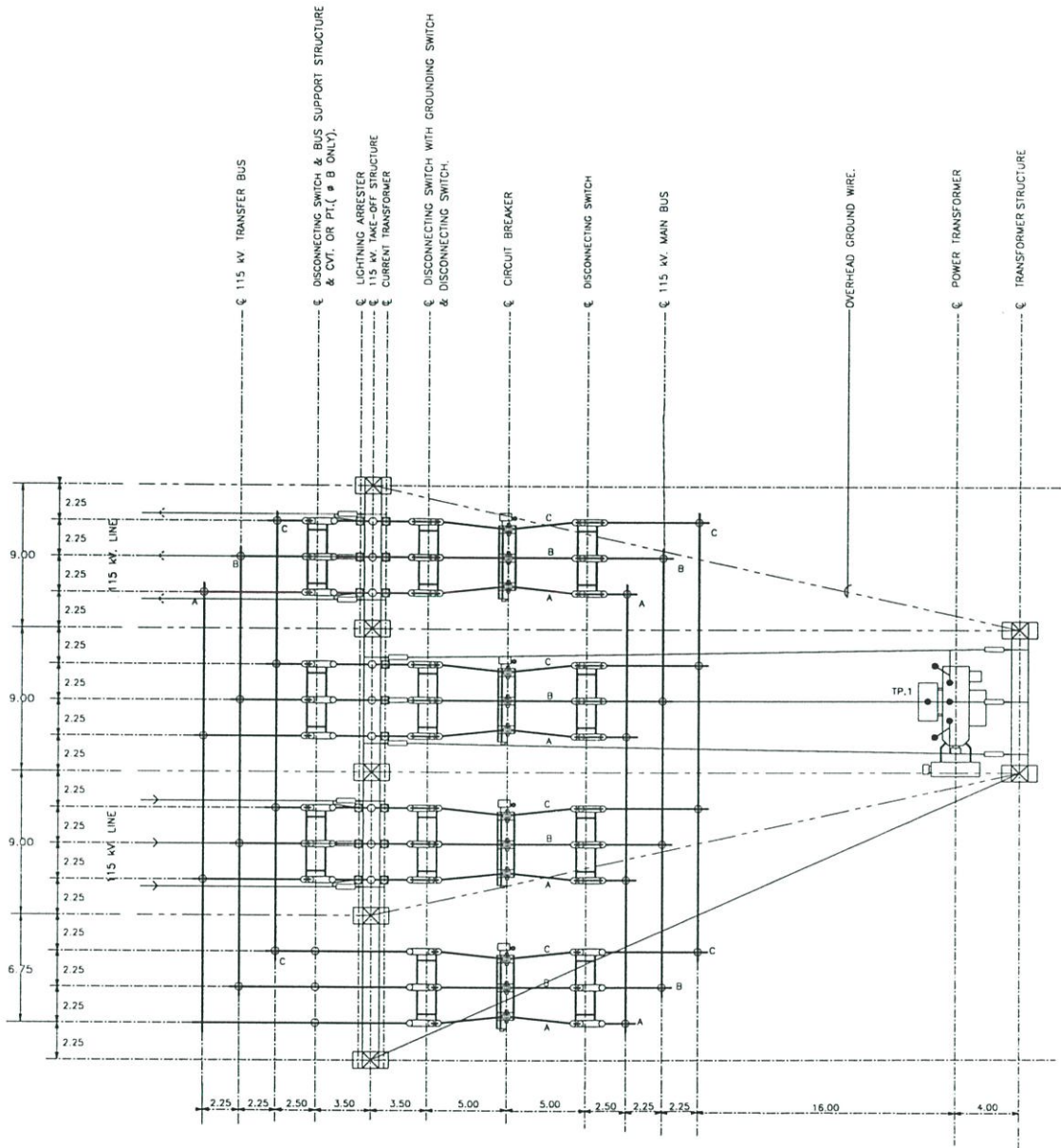
สรุปแล้วจะเห็นว่าทั้งสองเหตุการณ์การเกิดฟ้าผ่า คือ ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นต่างๆและที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆนั้นให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกัน คือค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกมีค่า 550 กิโลโวลต์ ส่วนสวิตซ์ตัดตอน, เซอร์กิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดัน

และบัสค่า BIL มีค่า 550 กิโลโวลต์ โดยทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 2 ตัว

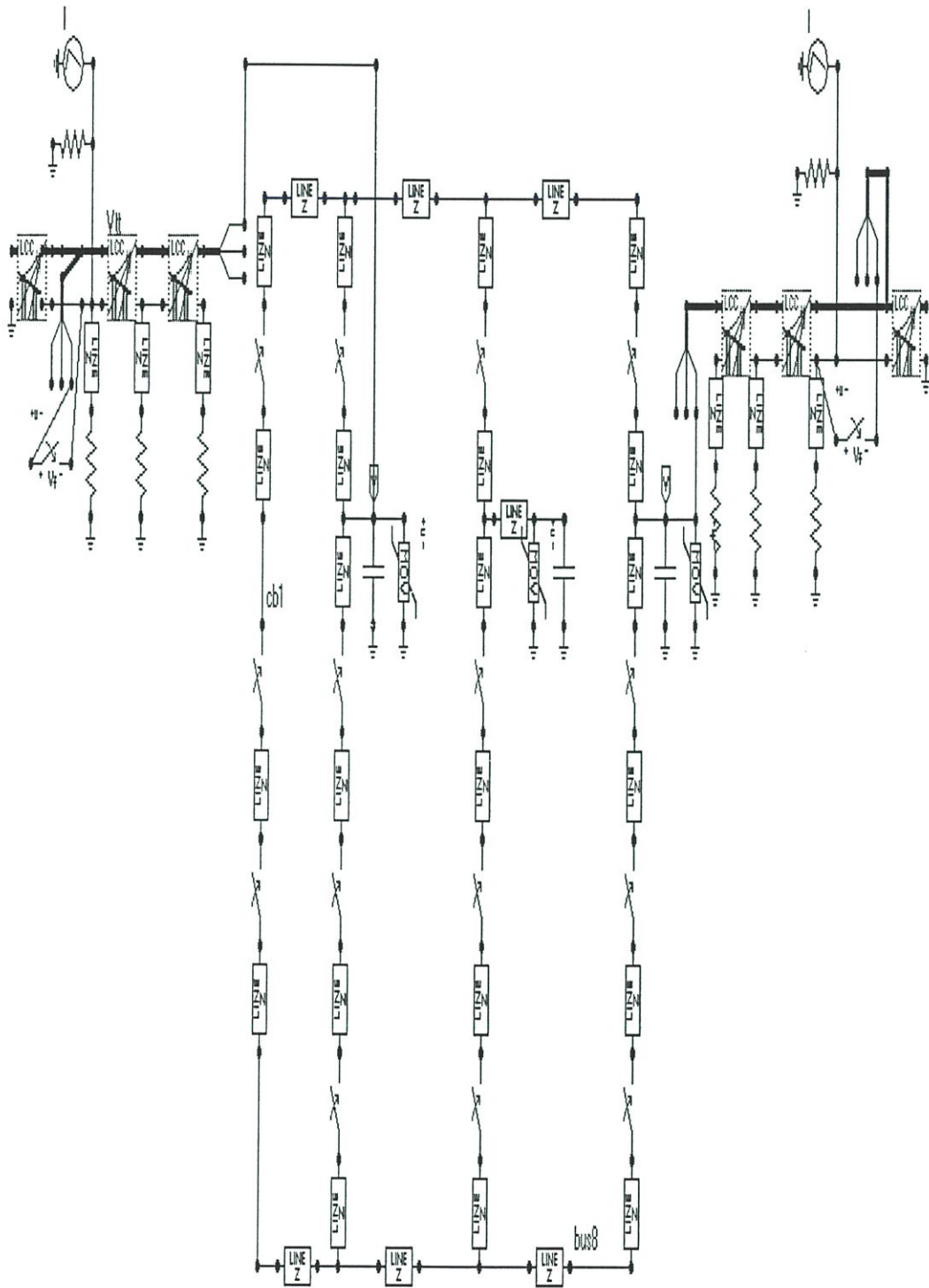
4.3.2 ผลการออกแบบการจัดลัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยขอนแก่น ซึ่งเป็น สถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีอากาศเป็นฉนวน



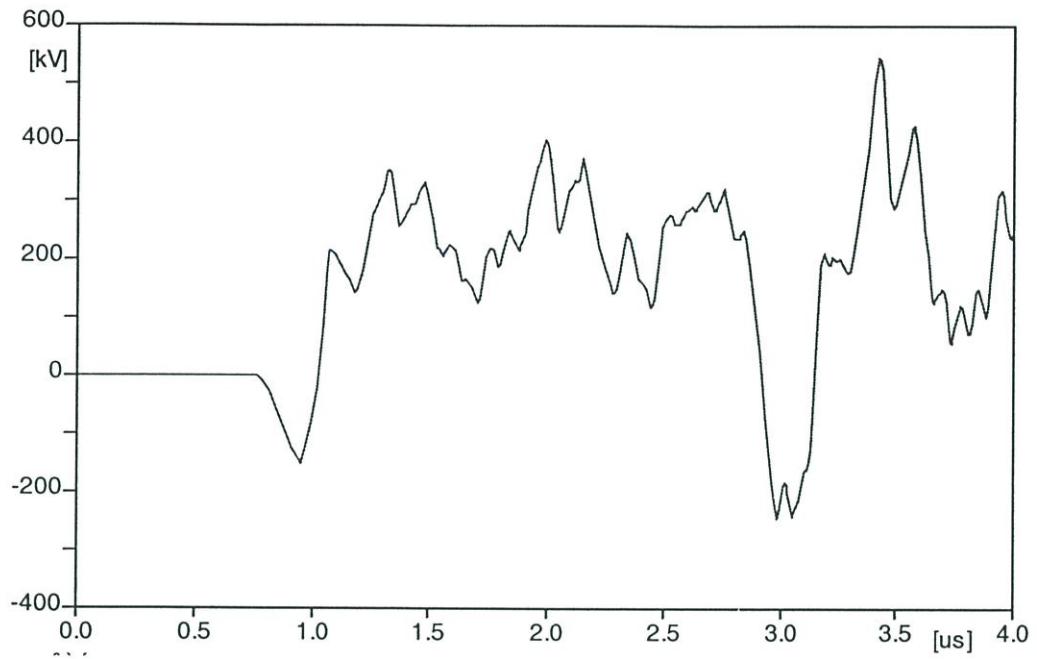
รูปที่ 4.36 แสดงไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อยขอนแก่น



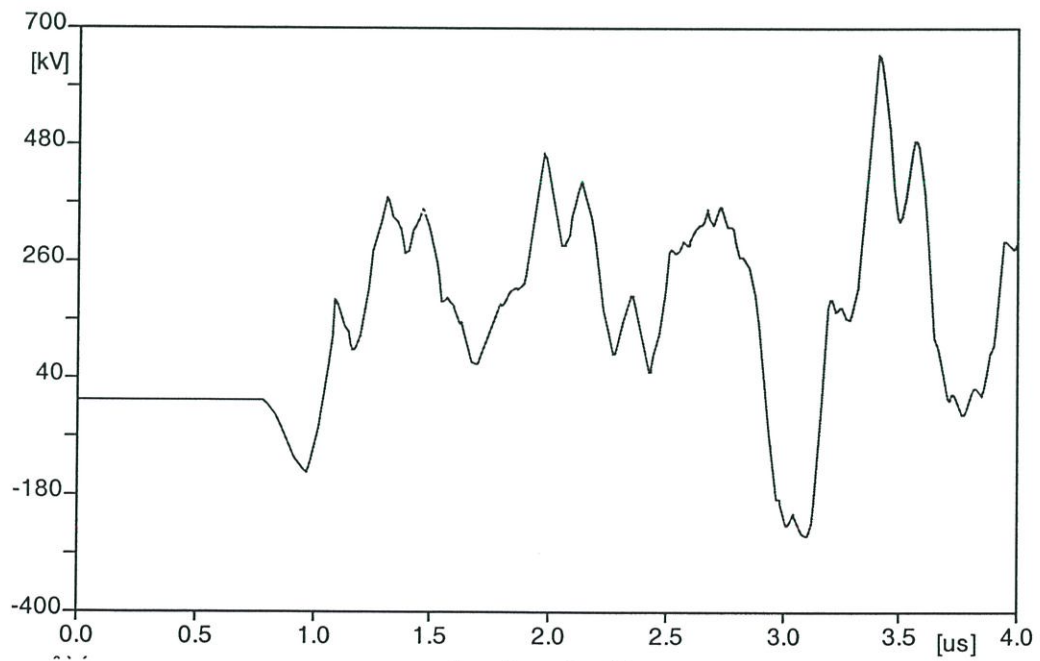
รูปที่ 4.37 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้าย่อยขอนแก่น



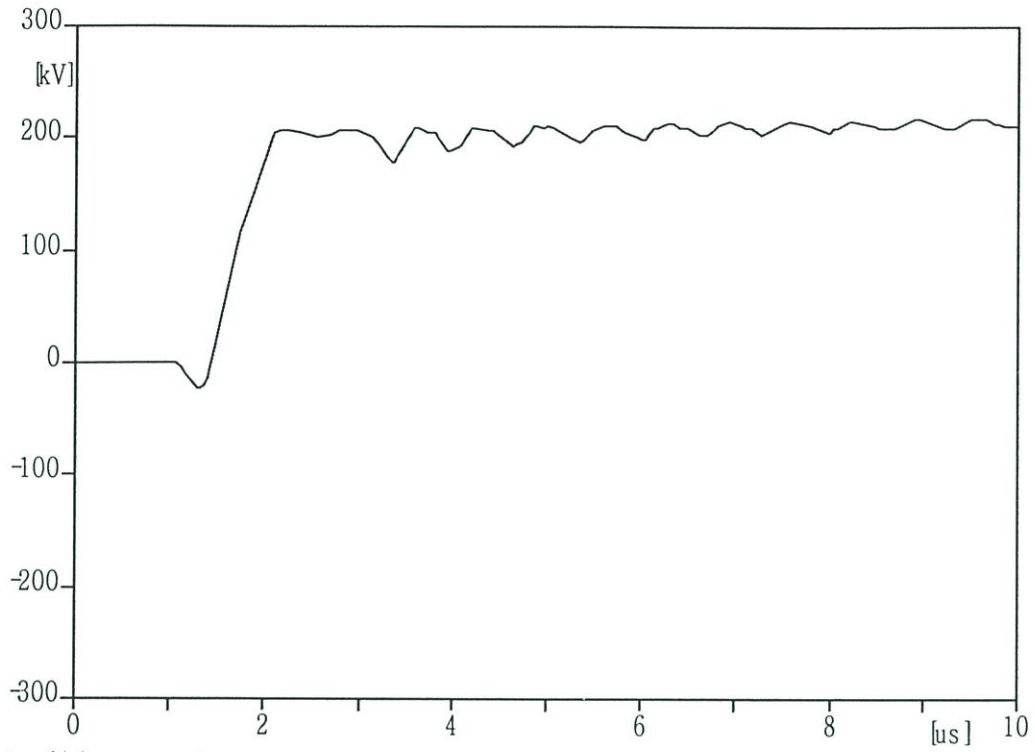
รูปที่ 4.38 แสดงแบบจำลองที่ใช้ศึกษาการเกิดฟ้าผ่าโดยโปรแกรม ATPDraw
ของสถานีไฟฟ้าย่อยขอนแก่น



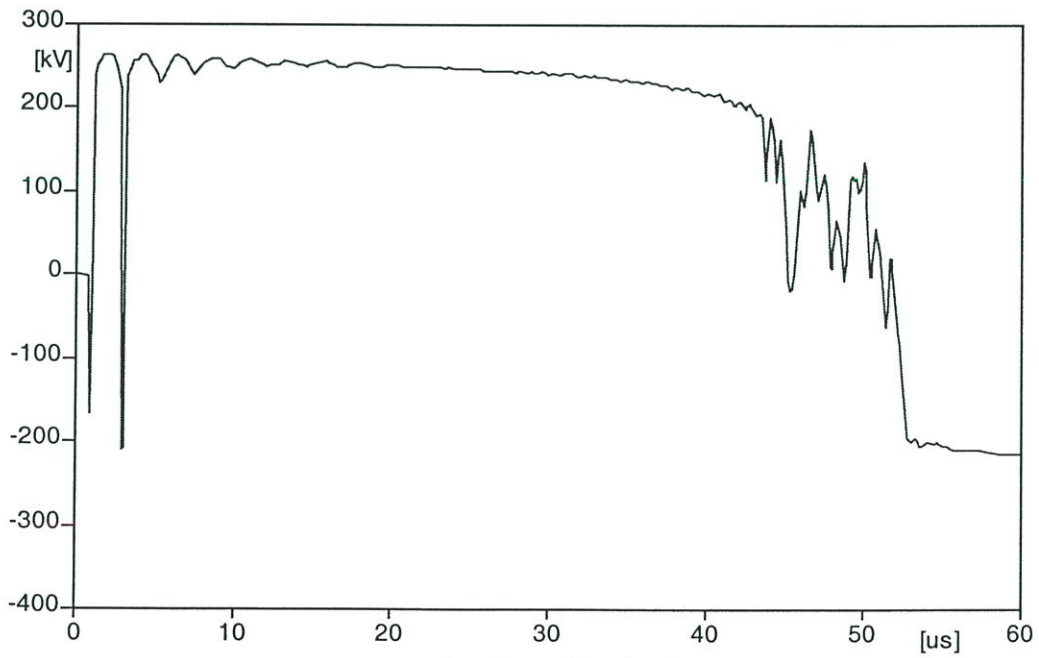
(a) แรงดันคร่อมหม้อแปลงไฟฟ้า



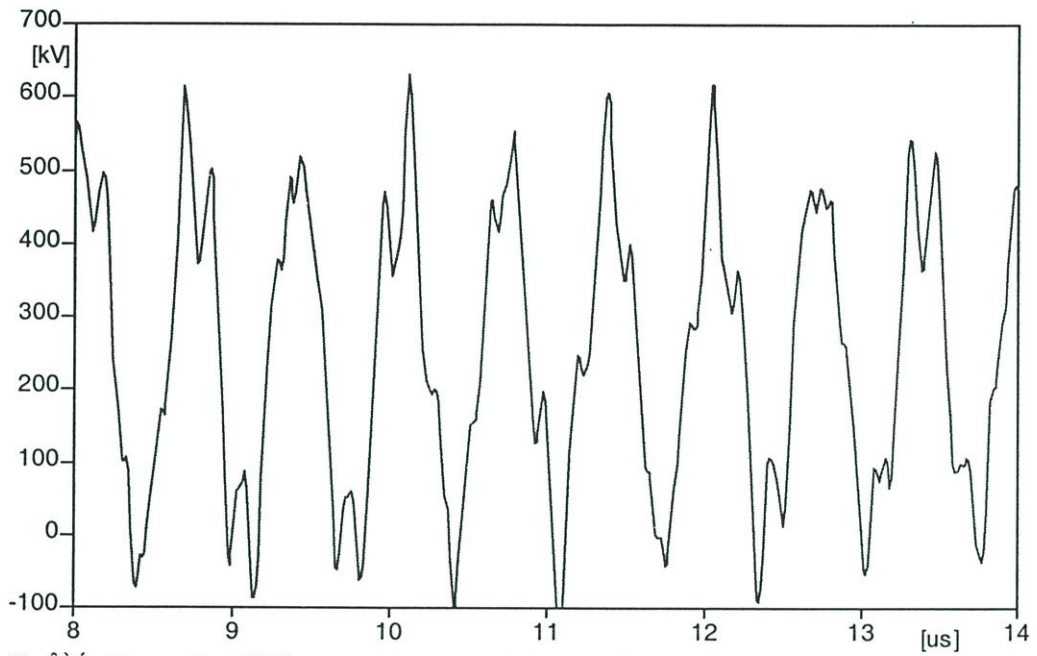
(b) แรงดันคร่อมสวิตช์ตัดตอน



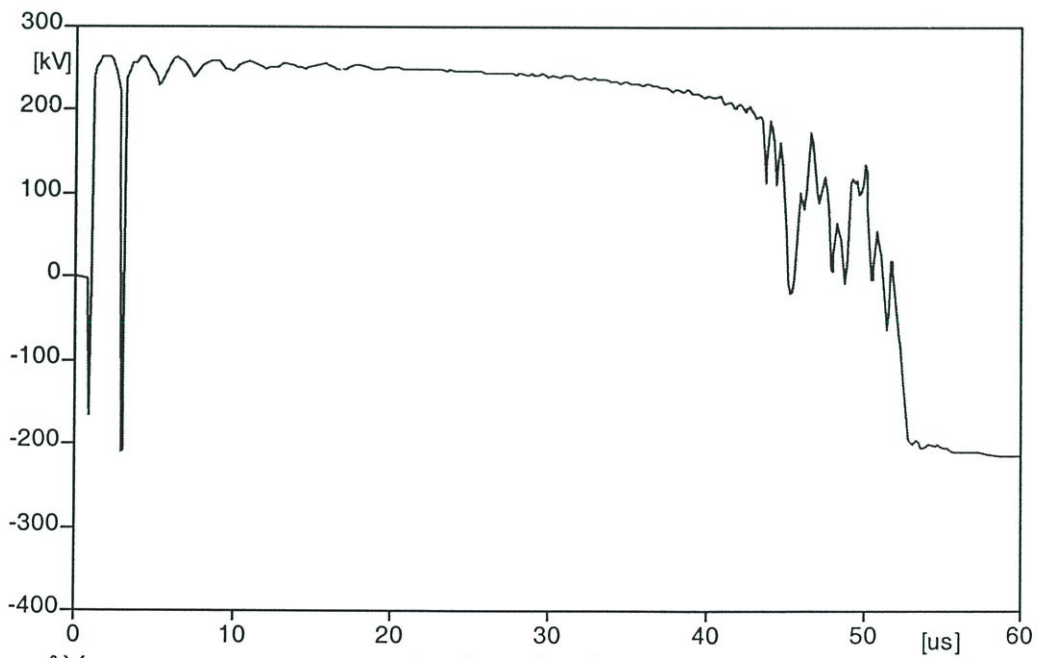
(c) แรงดันคร่อมเซอร์กิตไมโครวินาที



(d) แรงดันคร่อมหม้อแปลงวัตกระเส

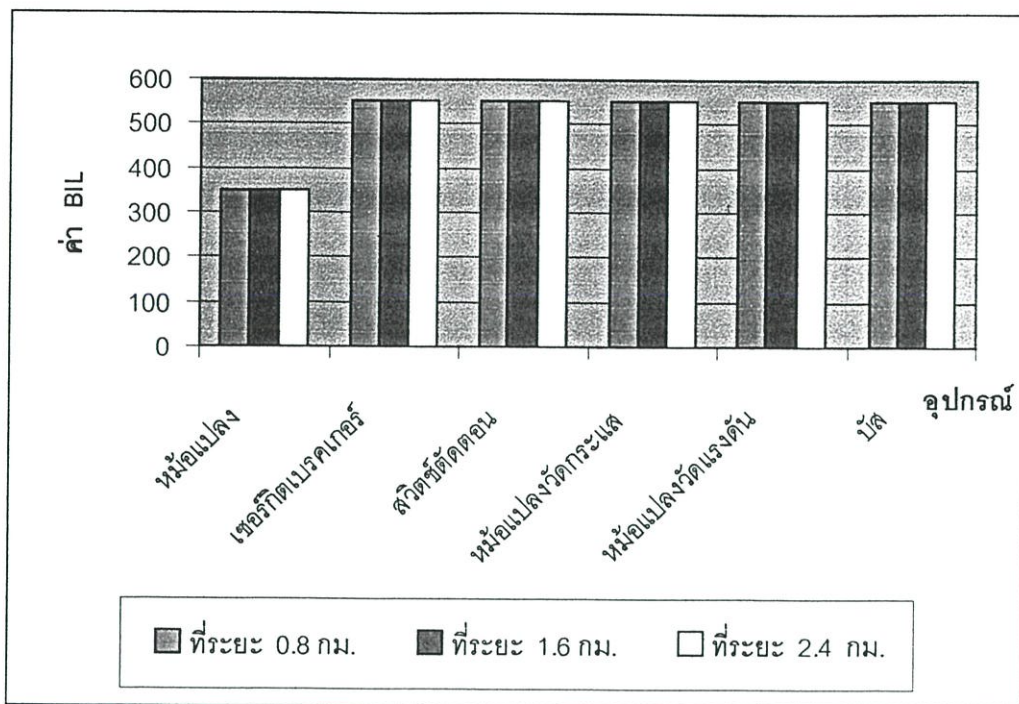


(e) แรงดันคร่อมบัส

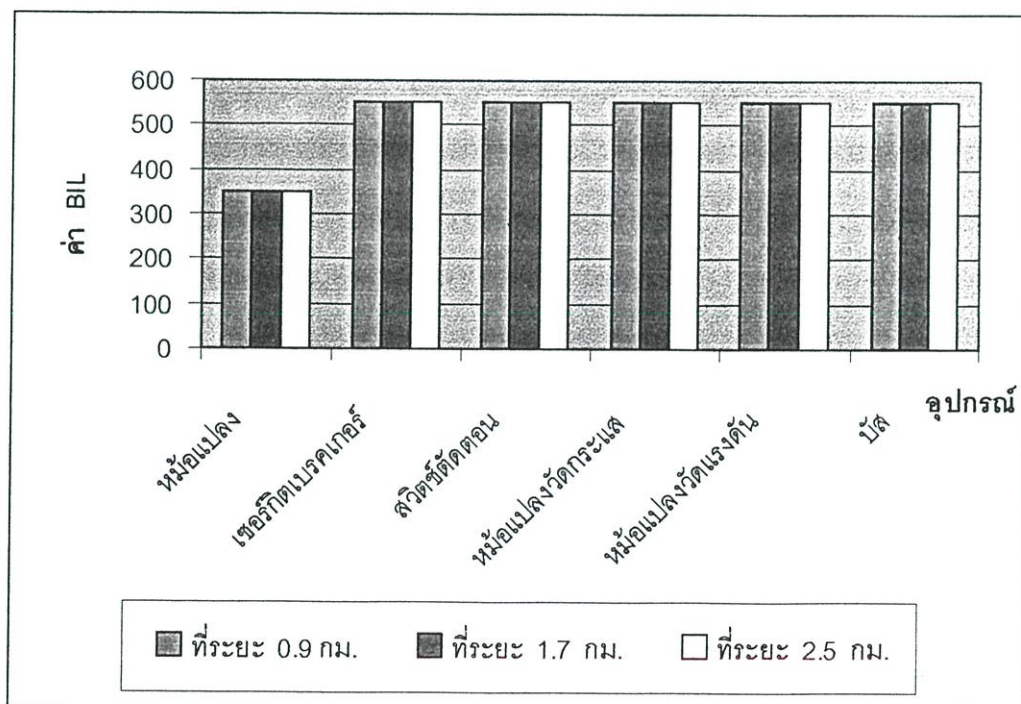


(f) แรงดันคร่อมหม้อแปลงวัดแรงดัน

รูปที่ 4.39 แสดงแรงดันคร่อมอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยขอนแก่น
กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง



(a) เมื่อฟ้าผ่าลงที่ขดเสาไฟฟ้า



(b) เมื่อฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำ

รูปที่ 4.40 กราฟแสดงค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยขอนแก่น
กรณีติดตั้งกับค้ำฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง

ตารางที่ 4.15 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยขอนแก่น กรณีเกิดฟ้าผ่าที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นที่ 3 ซึ่งห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะทาง 1.6 กิโลเมตร

อุปกรณ์	แรงดัน , kV		BIL,kV ที่คำนวณได้		Standard BIL, kV		ค่า BIL ที่ทำ การเลือก,kV	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
หม้อแปลง	985	217	1030	227	550	350	-	350
สวิตช์ตัดตอน	616	600	536	522	550	550	550	550
เซอร์กิตเบรกเกอร์	794	570	690	496	550	550	-	550
หม้อแปลงวัดกระแส	263	262	229	228	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดแรงดัน	263	262	220	228	550	550	550	550
บัส	660	631	574	548	550	550	-	550

$$\text{ระยะ Clearance} = \frac{631 \text{ kV}}{605 \text{ kV/m}} = 1.04 \text{ เมตร}$$

ตารางที่ 4.16 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยขอนแก่น กรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟสตัวนำ ซึ่งห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะทาง 1.7 กิโลเมตร

อุปกรณ์	แรงดัน , kV		BIL,kV ที่คำนวณได้		Standard BIL, kV		ค่า BIL ที่ทำ การเลือก,kV	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
หม้อแปลง	920	210	962	219	550	350	-	350
สวิตช์ตัดตอน	590	520	513	452	550	550	550	550
เซอร์กิตเบรกเกอร์	610	565	530	491	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดกระแส	245	225	213	196	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดแรงดัน	245	225	213	196	550	550	550	550
บัส	635	570	552	496	550	550	-	550

$$\text{ระยะ Clearance} = \frac{570 \text{ kV}}{605 \text{ kV/m}} = 0.94 \text{ เมตร}$$

หมายเหตุ (1) คือ กรณีที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น

(2) คือ กรณีที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง

จากรูปที่ 4.40 เป็นผลการเลือกค่า BIL สำหรับอุปกรณ์ต่างๆในสถานีไฟฟ้าย่อยขอนแก่น ที่ขนาดกระแสฟิวส์ 426.9 กิโลแอมแปร์ เป็นสถานีไฟฟ้าย่อยชนิดที่มีอากาศเป็นฉนวนตั้งอยู่ภายนอกอาคาร ซึ่งจากรูปที่ 4.40(a) เป็นผลการพิจารณากรณีที่ฟิวส์ล่งที่ขุดเสาไฟฟ้าต่างๆ จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกได้มีค่า 350 กิโลโวลต์ โดยมีค่าเท่ากันทุกระยะทาง สำหรับอุปกรณ์อื่นๆนั้นค่า BIL ที่ทำการเลือกได้มีค่า 550 กิโลโวลต์ มีค่าเท่ากันทุกระยะทางเช่นเดียวกัน ซึ่งค่า BIL ที่ทำการเลือกได้นี้ได้มาจากการที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยจำนวน 2 ตัวและที่หม้อแปลงจำนวน 1 ตัว ซึ่งในตารางที่ 4.15 เป็นตัวอย่างแสดงการเลือกค่า BIL เมื่อให้ฟิวส์ล่งที่ขุดเสาไฟฟ้าต้นที่ 3 ห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะ 1.6 กิโลเมตร โดยที่เมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 2 ตัว จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่คำนวณได้มีค่า 1030 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานคือ 550 กิโลโวลต์ ค่า BIL ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่คำนวณได้มีค่า 690 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานคือ 550 กิโลโวลต์ และค่า BIL ของบัสที่คำนวณได้มีค่า 574 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานคือ 550 กิโลโวลต์ สำหรับอุปกรณ์อื่นๆคือ สวิตซ์ตัดตอน,หม้อแปลงวัดกระแสและหม้อแปลงวัดแรงดันพบว่าค่า BIL ที่คำนวณได้มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงได้ทำการลดขนาดแรงดันเกินฟิวส์โดยการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าเพิ่มที่หม้อแปลงอีก 1 ตัว พบว่าค่า BIL ที่คำนวณใหม่ของหม้อแปลงมีค่า 227 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน คือ 350 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า BIL ของหม้อแปลงเป็น 350 กิโลโวลต์ สำหรับอุปกรณ์อื่นๆคือ สวิตซ์ตัดตอน,เซอร์กิตเบรกเกอร์,หม้อแปลงวัดกระแส,หม้อแปลงวัดแรงดันและบัสพบว่าค่า BIL ที่คำนวณได้ยังคงมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงเลือกค่า BIL เป็น 550 กิโลโวลต์

จากรูปที่ 4.40(b) เป็นผลการเลือกค่า BIL สำหรับอุปกรณ์ต่างๆในกรณีที่ฟิวส์ล่งที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆ จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกได้มีค่า 350 กิโลโวลต์ โดยมีค่าเท่ากันทุกระยะทาง สำหรับอุปกรณ์อื่นๆนั้นค่า BIL ที่ทำการเลือกได้มีค่า 550 กิโลโวลต์ มีค่าเท่ากันทุกระยะทางเช่นเดียวกันซึ่งค่า BIL ที่ทำการเลือกได้นี้ได้มาจากการที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยจำนวน 2 ตัวและที่หม้อแปลงจำนวน 1 ตัวรวมเป็น 3 ตัว ซึ่งในตารางที่ 4.16 เป็นตัวอย่างแสดงการเลือกค่า BIL กรณีที่ฟิวส์ล่งที่สายเฟสตัวนำที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.7 กิโลเมตร โดยที่เมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 2 ตัว จะเห็นว่าพบว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่คำนวณได้มีค่า 962 กิโลโวลต์ และค่า BIL ของบัสที่คำนวณได้มีค่า 552 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานคือ 550 กิโลโวลต์ และค่า BIL ที่คำนวณได้ของอุปกรณ์อื่น คือ สวิตซ์ตัดตอน,เซอร์กิตเบรกเกอร์,หม้อแปลงวัดกระแสและหม้อแปลงวัดแรงดันมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงได้ทำการลดขนาดแรงดันเกินฟิวส์โดยการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าเพิ่มที่หม้อแปลงอีก 1 ตัว พบว่าค่า BIL ที่คำนวณใหม่ของหม้อแปลงมีค่า 219 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน คือ 350 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า BIL ของหม้อ

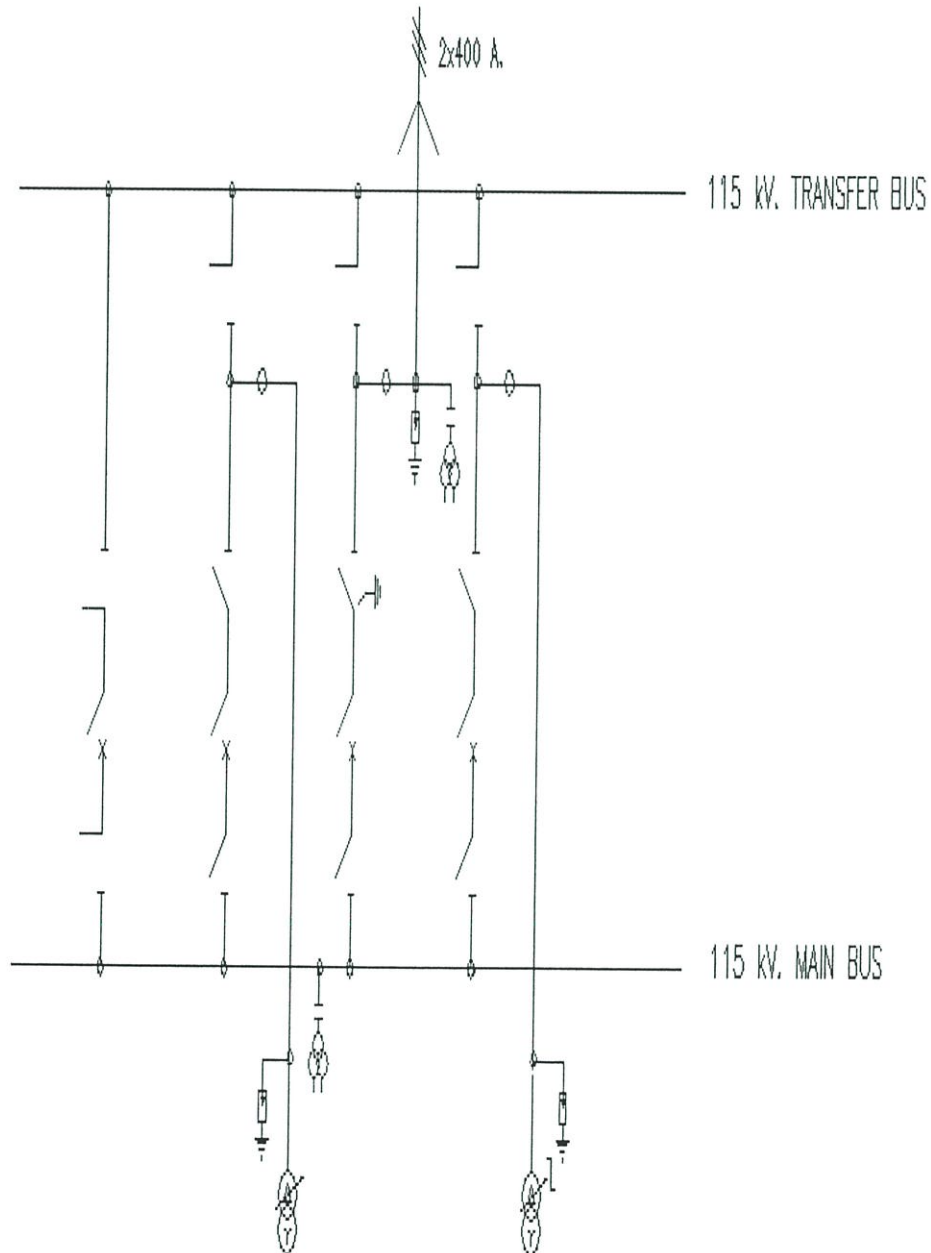
แปลงเป็น 350 กิโลโวลต์ และค่า BIL ของบัสที่คำนวณได้ใหม่มีค่า 496 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน คือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า BIL ให้กับบัสเป็น 550 กิโลโวลต์ สำหรับอุปกรณ์อื่นๆคือ สวิตช์ตัดตอน,เซอร์กิตเบรกเกอร์,หม้อแปลงวัดกระแสและหม้อแปลงวัดแรงดันพบว่าค่า BIL ที่คำนวณได้ยังคงมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงเลือกค่า BIL เป็น 550 กิโลโวลต์

สำหรับการคำนวณค่า Clearance นั้นเมื่อพิจารณาฟ้่าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นต้งๆนั้น จะเห็นว่าค่าแรงดันเกินสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าและที่หม้อแปลงนั้นมีค่า 631 กิโลโวลต์ ซึ่งจะไ้ระยะ Clearance เท่ากับ 1.04 เมตร และเมื่อพิจารณาฟ้่าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระต้งๆนั้นจะเห็นว่าค่าแรงดันเกินสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าและที่หม้อแปลงนั้นมีค่า 570 กิโลโวลต์ ซึ่งจะไ้ระยะ Clearance เท่ากับ 0.94 เมตร

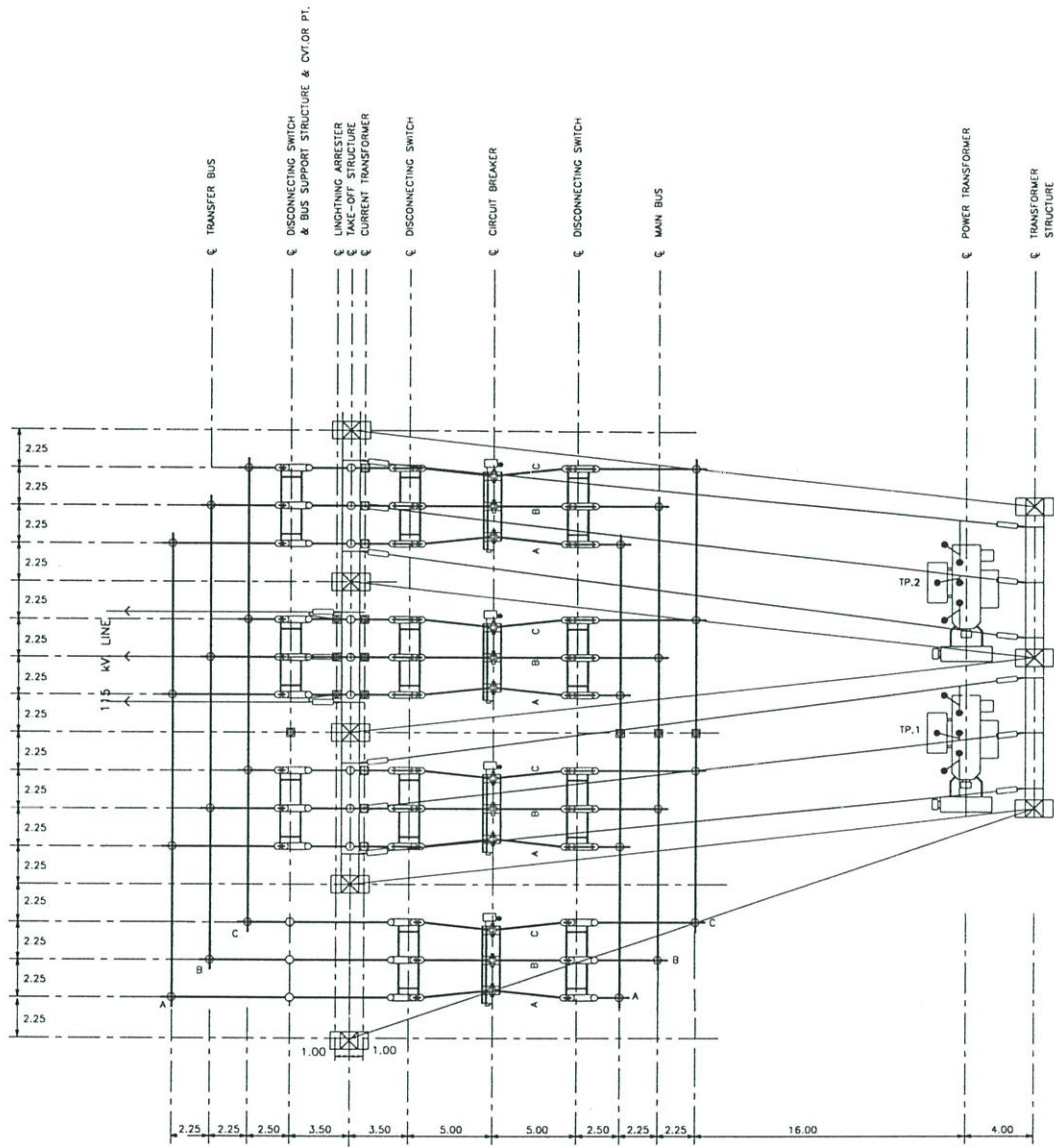
สรุปแล้วจะเห็นว่าทั้งสองเหตุการณ์การเกิดฟ้าผ่า คือ ฟ้่าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นต้งๆและที่สายเฟสตัวนำที่ระต้งๆนั้นให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกัน คือค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกมีค่า 350 กิโลโวลต์ ส่วนสวิตช์ตัดตอน, เซอร์กิตเบรกเกอร์,หม้อแปลงวัดกระแส,หม้อแปลงวัดแรงดัน และบัสค่า BIL มีค่า 550 กิโลโวลต์ โดยทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยจำนวน 2 ตัวและติดตั้งที่หม้อแปลงจำนวน 1 ตัว

4.4 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางแนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ภาคใต้

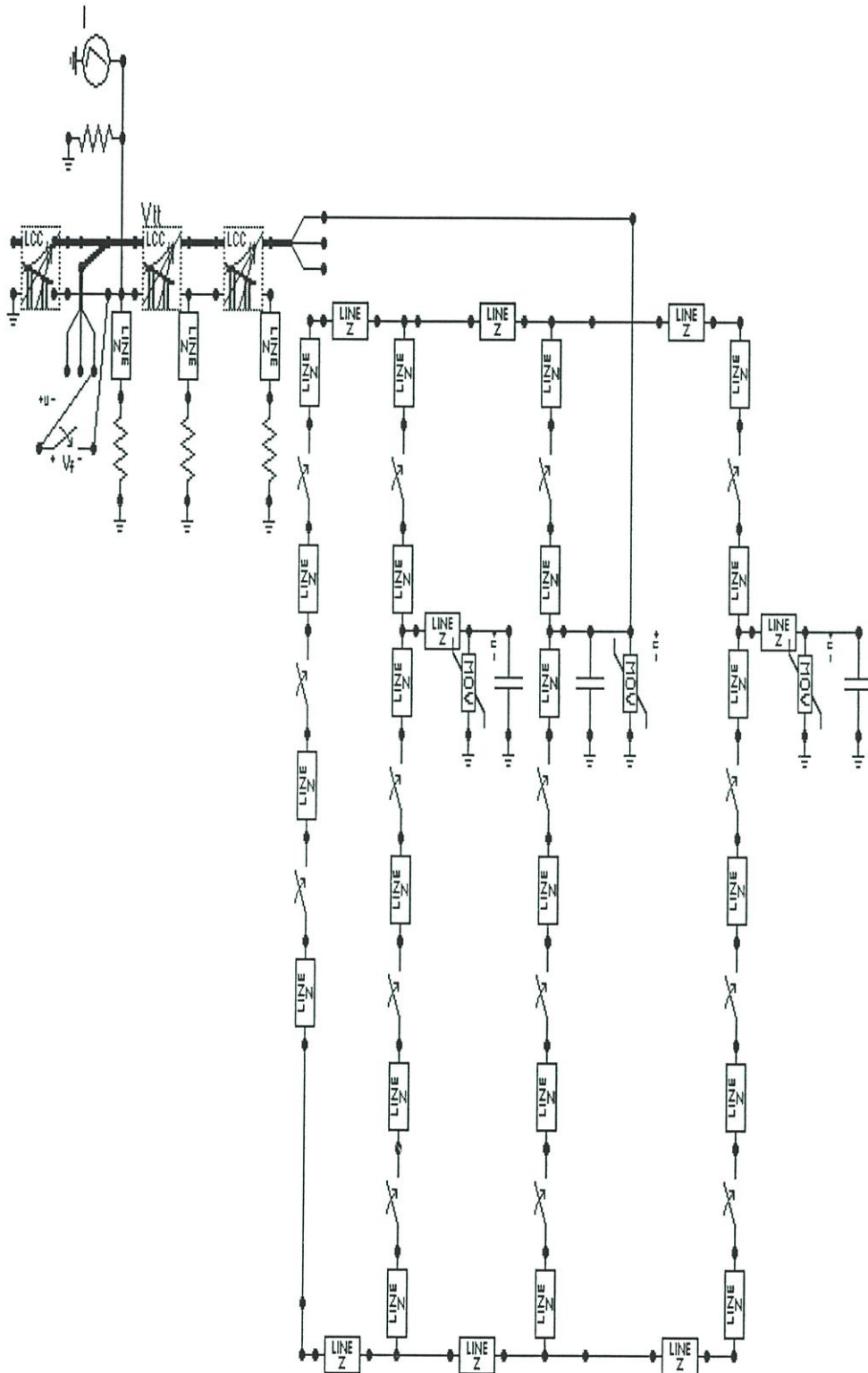
4.4.1 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางแนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยเพชรบุรี ซึ่งเป็นสถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีอากาศเป็นฉนวน



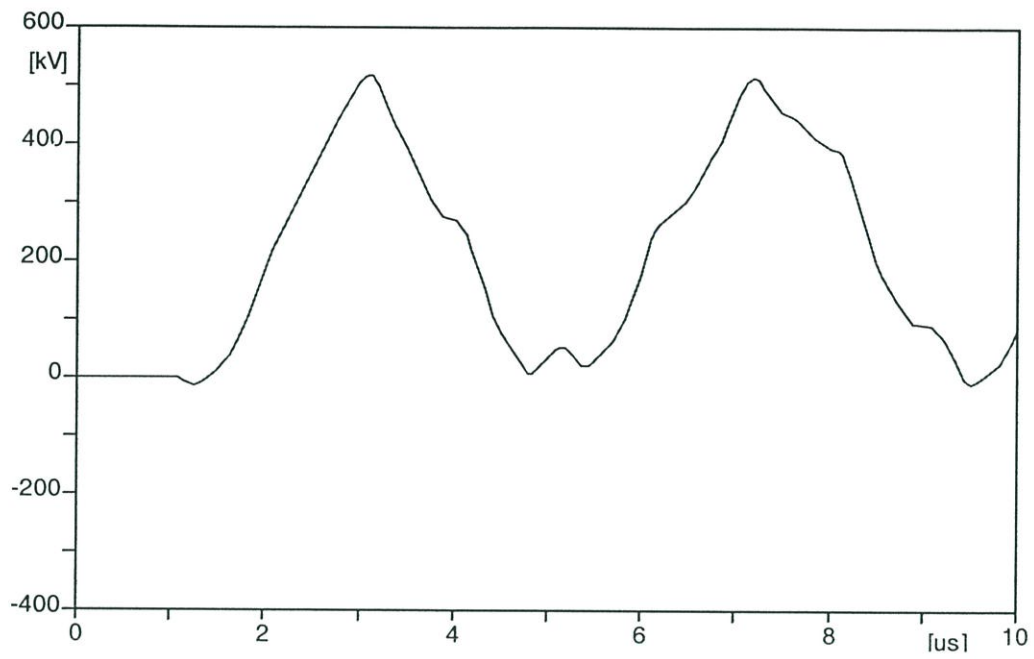
รูปที่ 4.41 แสดงไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อยเพชรบุรี



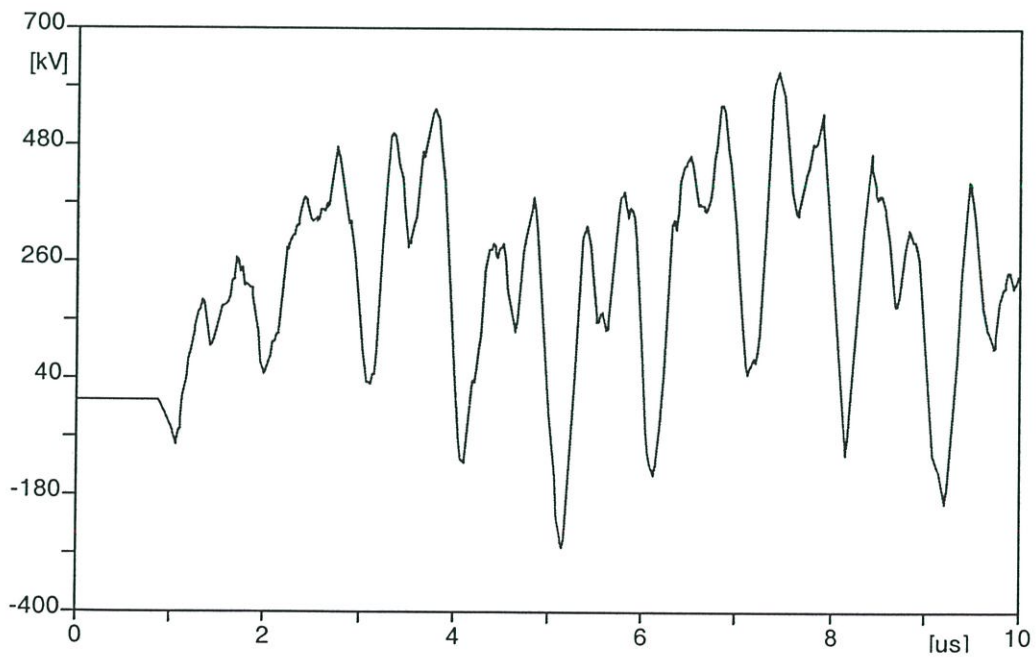
รูปที่ 4.42 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยเพชรบุรี



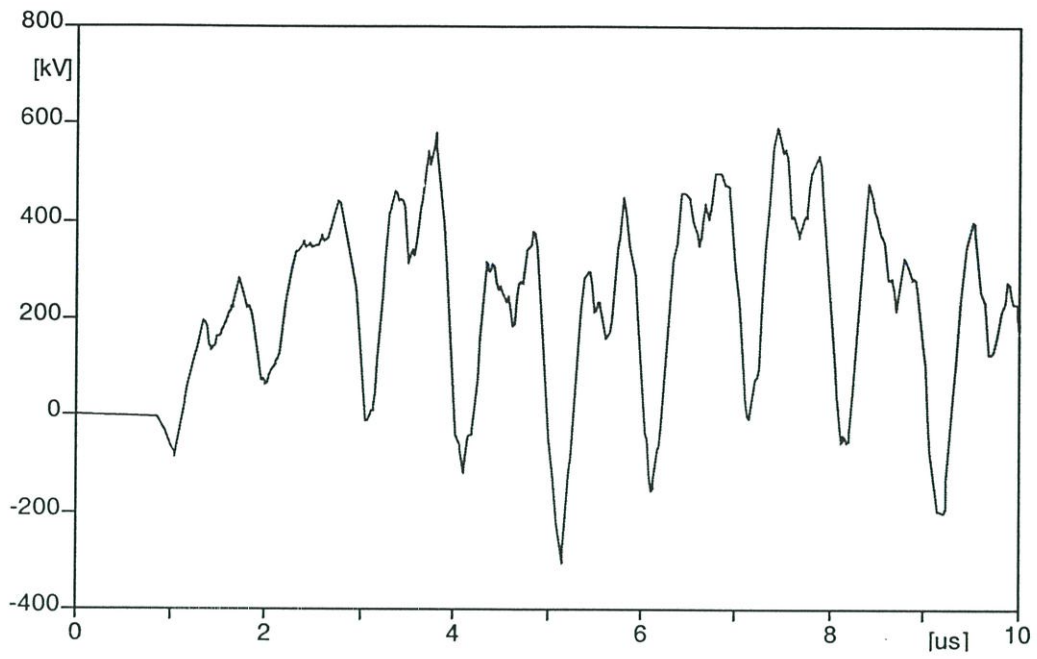
รูปที่ 4.43 แสดงแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาไฟฟ้าผ่าโดยโปรแกรม ATPDraw
ของสถานีไฟฟ้าย่อยเพชรบุรี



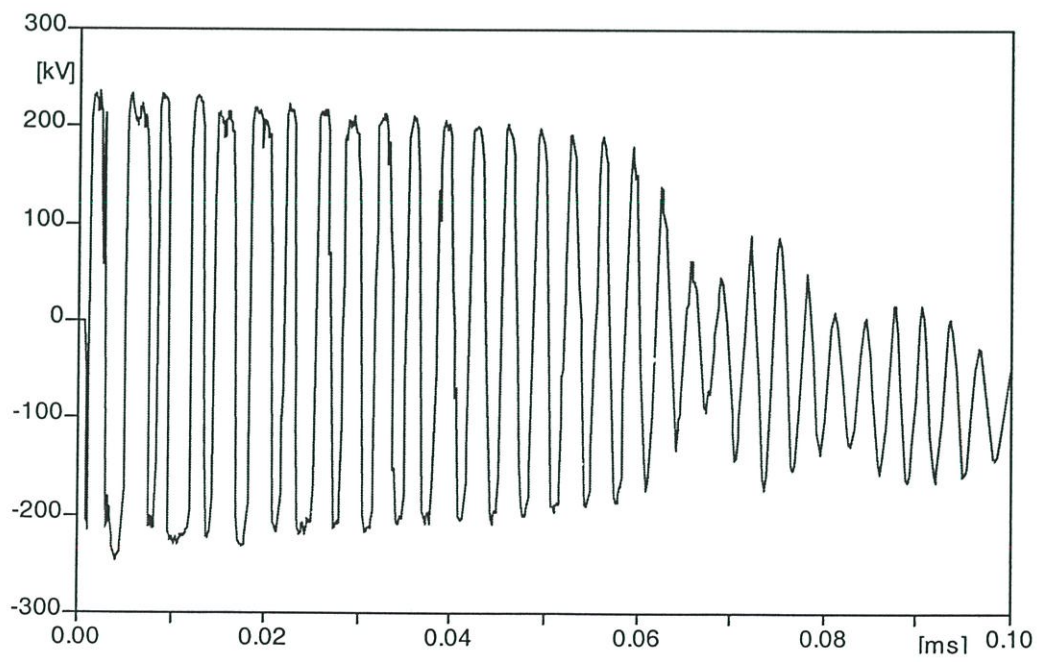
(a) แรงดันคร่อมหม้อแปลงไฟฟ้า



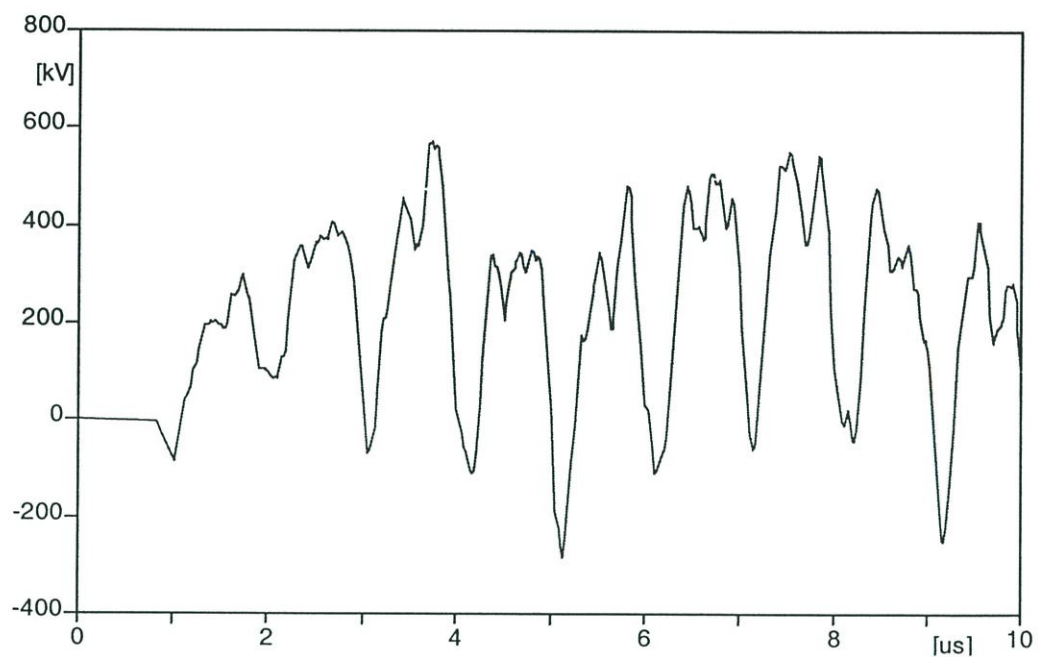
(b) แรงดันคร่อมสวิตช์ตัดตอน



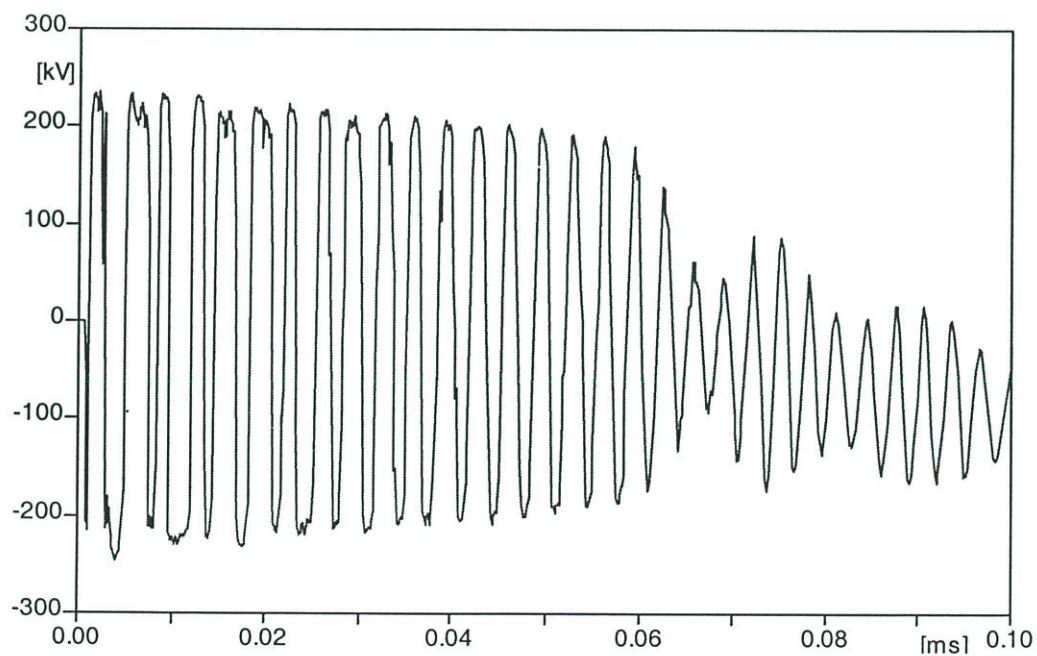
(c) แรงดันคร่อมเซอร์กิตเบรกเกอร์



(d) แรงดันคร่อมหม้อแปลงวัดกระแส

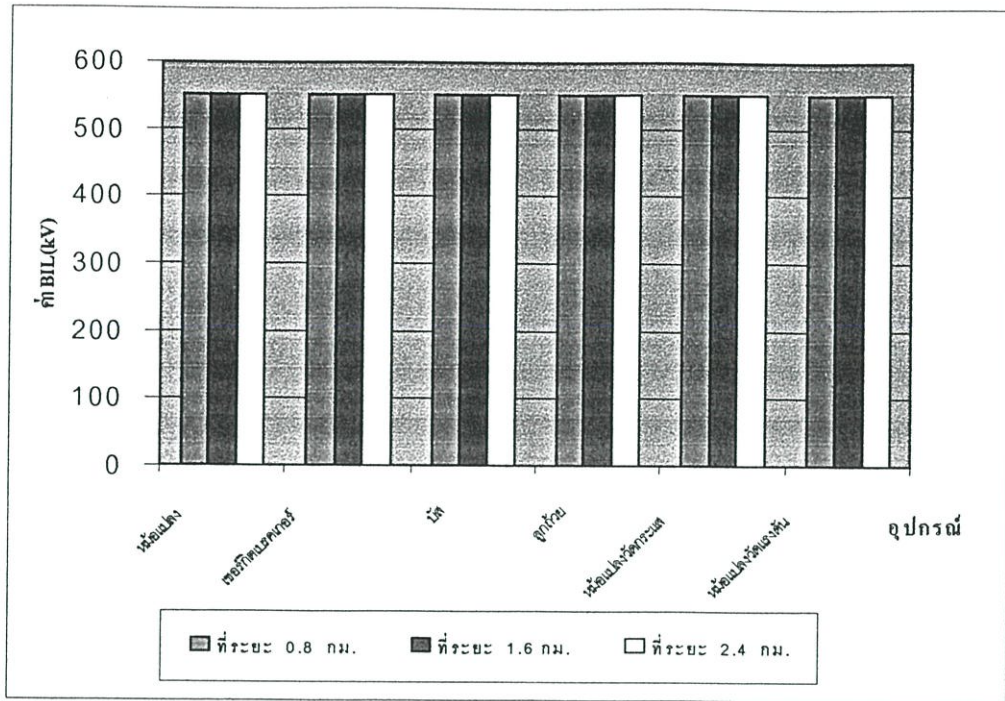


(e) แรงดันคร่อมบัส

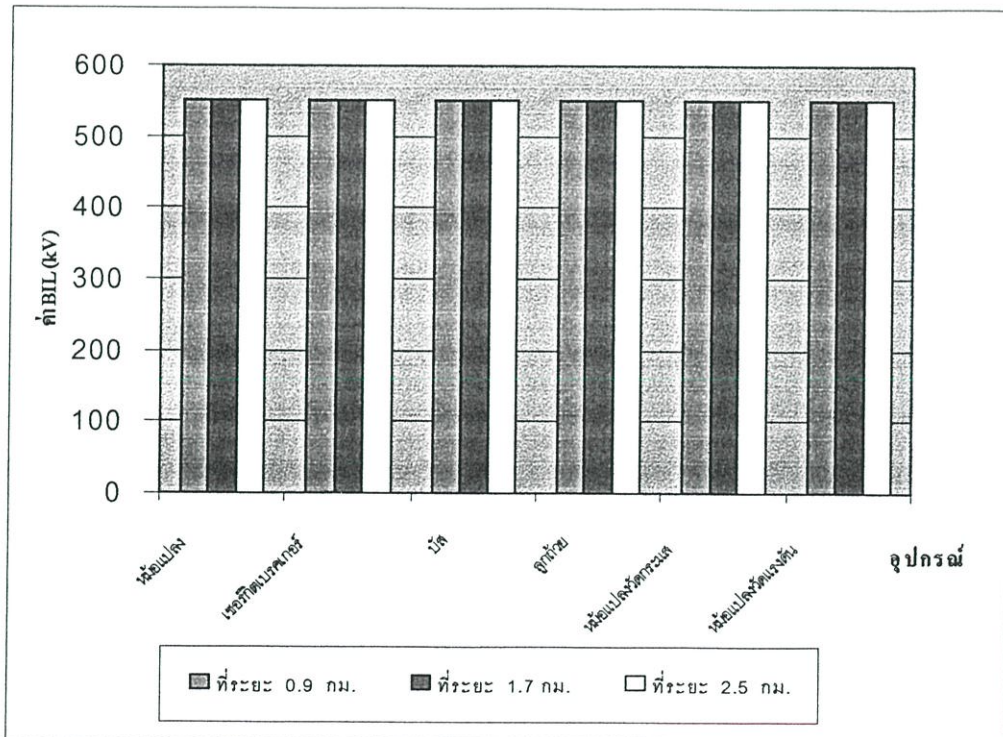


(f) แรงดันคร่อมหม้อแปลงวัดแรงดัน

รูปที่ 4.44 แสดงแรงดันคร่อมอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยเพชรบุรี
กรณีติดตั้งกับคัทไฟผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น



(a) เมื่อฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้า



(b) เมื่อฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำ

รูปที่ 4.45 กราฟแสดงค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยเพชรบุรี กรณีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น

ตารางที่ 4.17 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยเพชรบุรีกรณีเกิดฟ้าผ่าที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นที่ 3 ซึ่งห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะทาง 1.6 กิโลเมตร

อุปกรณ์	แรงดัน , kV		BIL,kV ที่คำนวณได้		Standard BIL, kV		ค่า BIL ที่ทำ การเลือก,kV	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
หม้อแปลง	520	214	543	224	550	350	550	350
สวิตช์ตัดตอน	560	465	547	404	550	550	550	550
เซอร์กิตเบรกเกอร์	600	565	522	491	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดกระแส	235	234	204	204	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดแรงดัน	235	234	204	204	550	550	550	550
บัส	590	555	513	513	550	550	550	550

$$\text{ระยะ Clearance} = \frac{600 \text{ kV}}{605 \text{ kV/m}} = 0.99 \text{ เมตร}$$

ตารางที่ 4.18 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยเพชรบุรีกรณีเกิดฟ้าผ่าที่สายเฟสตัวนำ ซึ่งห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะทาง 1.7 กิโลเมตร

อุปกรณ์	แรงดัน , kV		BIL,kV ที่คำนวณได้		Standard BIL, kV		ค่า BIL ที่ทำ การเลือก,kV	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
หม้อแปลง	490	190	512	199	550	350	550	350
สวิตช์ตัดตอน	535	460	465	400	550	550	550	550
เซอร์กิตเบรกเกอร์	580	545	504	474	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดกระแส	230	225	200	196	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดแรงดัน	230	225	200	196	550	550	550	550
บัส	575	535	500	465	550	550	550	550

$$\text{ระยะ Clearance} = \frac{580 \text{ kV}}{605 \text{ kV/m}} = 0.96 \text{ เมตร}$$

หมายเหตุ (1) คือ กรณีที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น

(2) คือ กรณีที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง

จากรูปที่ 4.45 เป็นผลการเลือกค่า BIL สำหรับอุปกรณ์ต่างๆในสถานีไฟฟ้าย่อยเพชรบุรี ที่ขนาดกระแสฟ้าผ่า 295.2 กิโลแอมแปร์ เป็นสถานีไฟฟ้าย่อยชนิดที่มีอากาศเป็นฉนวนตั้งอยู่ภายนอกอาคาร ซึ่งจากรูปที่ 4.45(a) เป็นผลการพิจารณากรณีที่ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต่างๆ จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกได้นี้มีค่า 550 กิโลโวลต์ โดยมีค่าเท่ากับทุกระยะทางสำหรับอุปกรณ์อื่นๆนั้นค่า BIL ที่ทำการเลือกได้มีค่า 550 กิโลโวลต์ มีค่าเท่ากับทุกระยะทางเช่นเดียวกัน ซึ่งค่า BIL ที่ทำการเลือกได้นี้ได้มาจากการที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 1 ตัว ซึ่งในตารางที่ 4.17 เป็นตัวอย่างแสดงการเลือกค่า BIL เมื่อให้ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าคันที่ 3 ห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะ 1.6 กิโลเมตร โดยที่เมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 1 ตัว พบว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่คำนวณได้มีค่า 543 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า BIL ของหม้อแปลงเป็น 550 กิโลโวลต์ สำหรับอุปกรณ์อื่นๆคือ สวิตซ์ตัดตอน, เซอร์กิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดันและบัสพบว่าค่า BIL ที่คำนวณได้ยังคงมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานเช่นเดียวกัน คือ 550 กิโลโวลต์เช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงเลือกค่า BIL เป็น 550 กิโลโวลต์

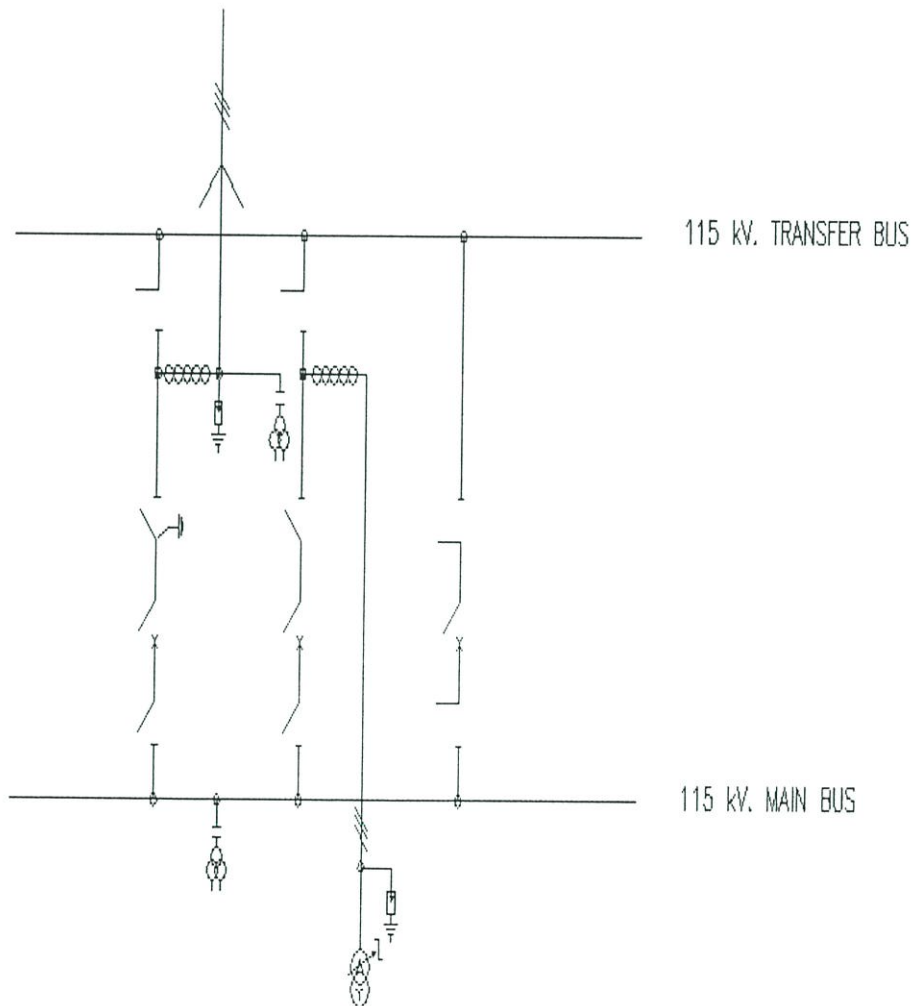
จากรูปที่ 4.45(b) เป็นผลการเลือกค่า BIL สำหรับอุปกรณ์ต่างๆในกรณีที่ฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆ จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกได้มีค่า 550 กิโลโวลต์ โดยมีค่าเท่ากับทุกระยะทาง สำหรับอุปกรณ์อื่นๆนั้นค่า BIL ที่ทำการเลือกได้มีค่า 550 กิโลโวลต์ มีค่าเท่ากับทุกระยะทางเช่นเดียวกันซึ่งค่า BIL ที่ทำการเลือกได้นี้ได้มาจากการที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 1 ตัว ซึ่งในแสดงในตารางที่ 4.18 เป็นตัวอย่างแสดงการเลือกค่า BIL กรณีที่ฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.7 กิโลเมตร โดยที่เมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 1 ตัว จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่คำนวณได้มีค่า 490 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานคือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า BIL ของหม้อแปลงเป็น 550 กิโลโวลต์ และค่า BIL ของอุปกรณ์อื่น คือ สวิตซ์ตัดตอน, เซอร์กิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดันและบัส ที่คำนวณได้มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานเช่นเดียวกัน คือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงเลือกค่า BIL เป็น 550 กิโลโวลต์

สำหรับการคำนวณค่า Clearance นั้นเมื่อพิจารณาฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าคันต่างๆนั้น จะเห็นว่าค่าแรงดันเกินสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น มีค่า 600 กิโลโวลต์ ซึ่งจะได้ระยะ Clearance เท่ากับ 0.99 เมตร และเมื่อพิจารณาฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆนั้นจะเห็นว่าค่าแรงดันเกินสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นมีค่า 580 กิโลโวลต์ ซึ่งจะได้ระยะ Clearance เท่ากับ 0.96 เมตร

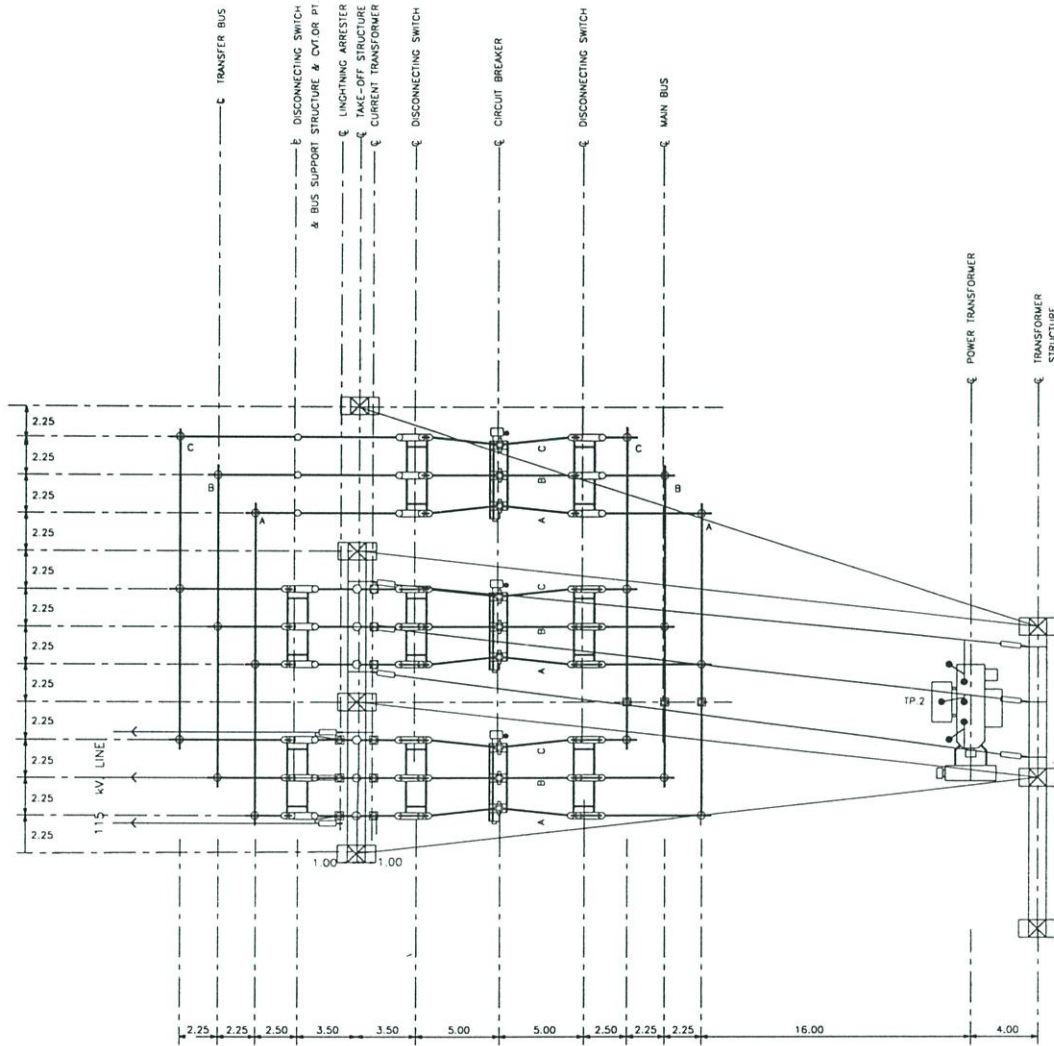
สรุปแล้วจะเห็นว่าทั้งสองเหตุการณ์การเกิดฟ้าผ่า คือ ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าคันต่างๆและที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆนั้นให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกัน คือค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกมีค่า 550 กิโลโวลต์ ส่วนสวิตซ์ตัดตอน, เซอร์กิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดัน

และบัสค่า BIL มีค่า 550 กิโลโวลต์เช่นเดียวกัน โดยทำการติดตั้งกับคัทไฟผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟ
ฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 1 ตัว

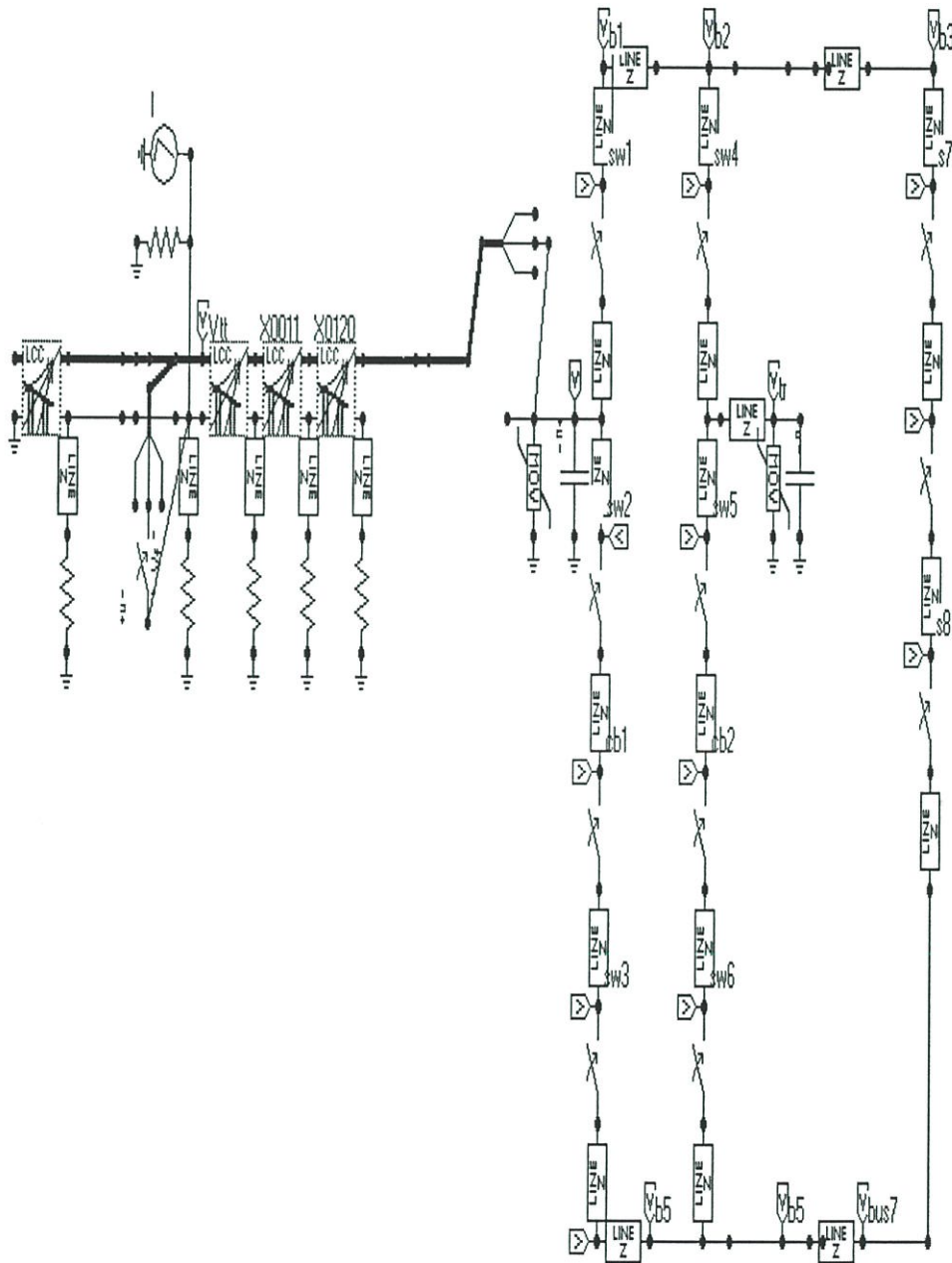
4.4.2 ผลการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยระนอง ซึ่งเป็นสถานีไฟฟ้าย่อยแบบที่มีอากาศเป็นฉนวน



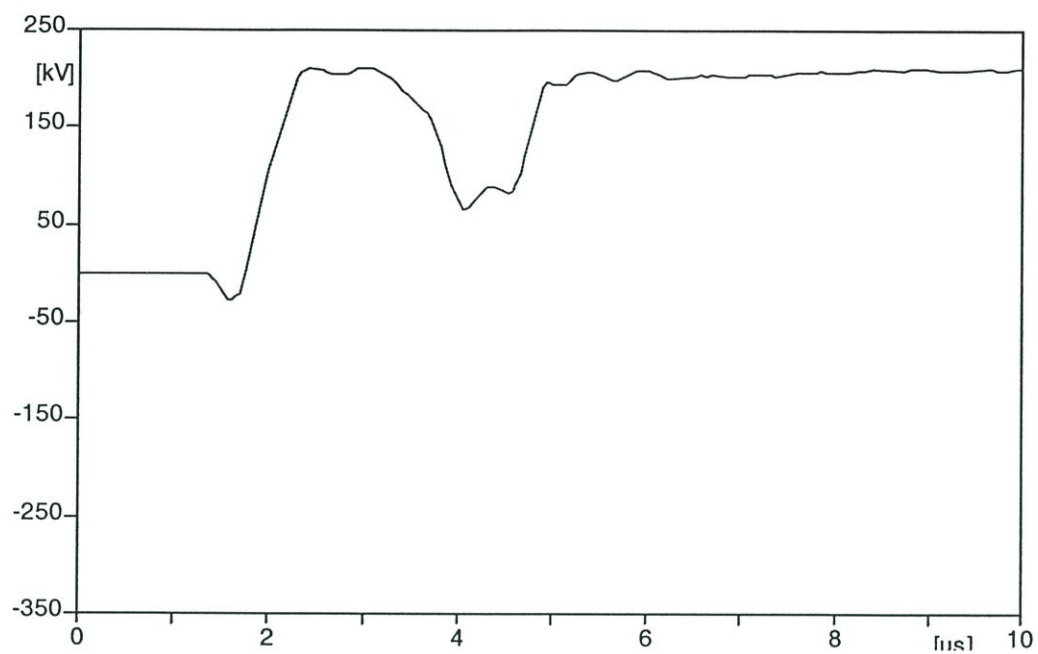
รูปที่ 4.46 แสดงไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อยระนอง



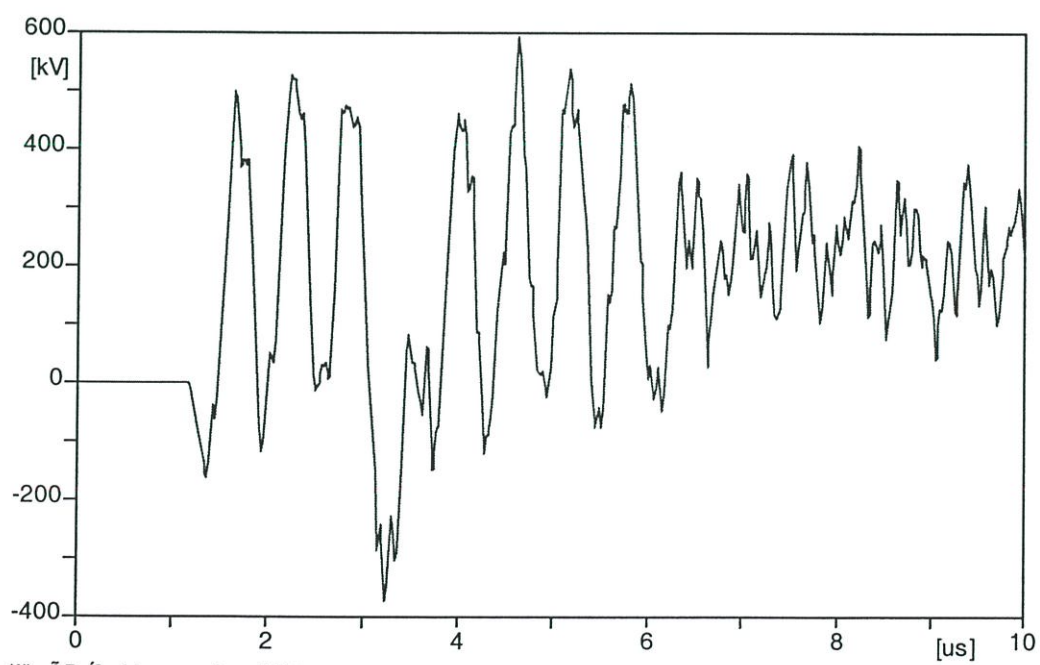
รูปที่ 4.47 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยระนอง



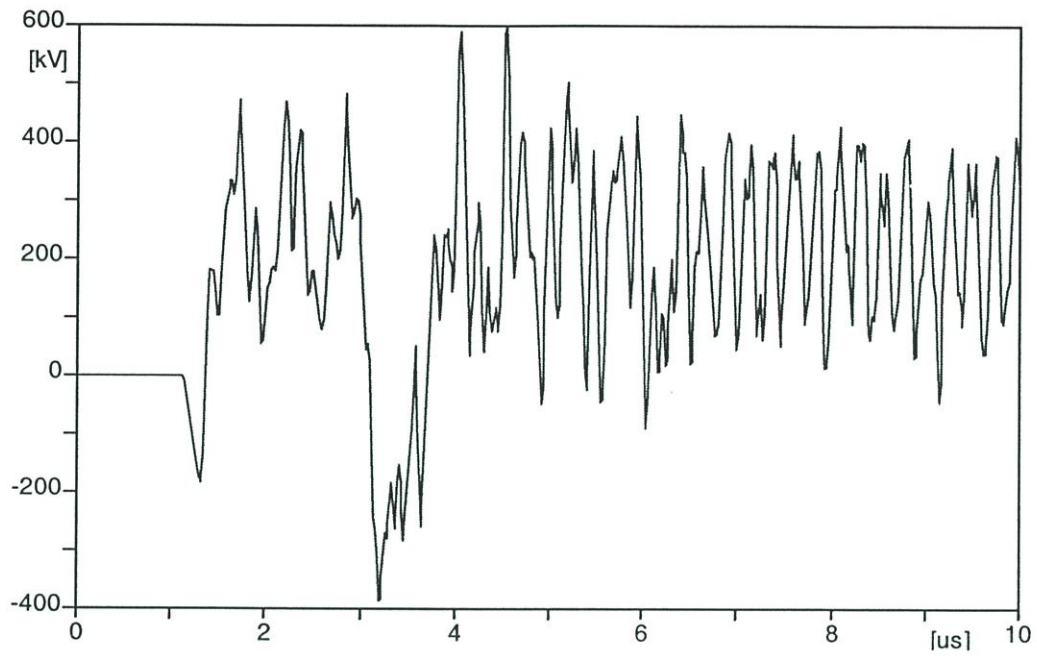
รูปที่ 4.48 แสดงแบบจำลองที่ใช้ศึกษาการเกิดฟ้าผ่าโดยโปรแกรม ATPDraw
ของสถานีไฟฟ้าย่อยระนอง



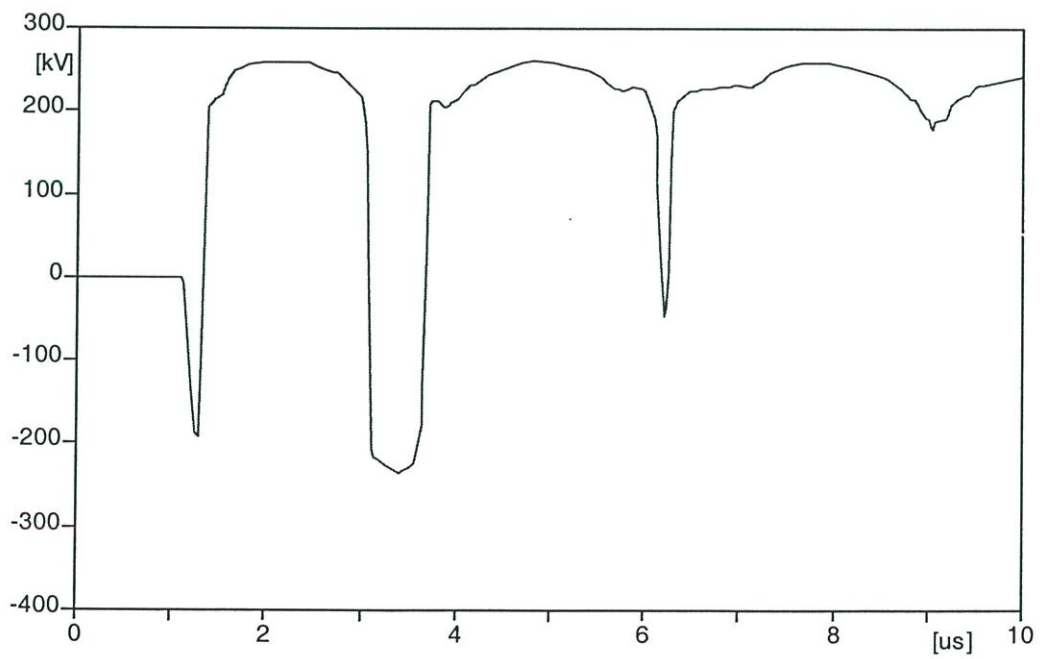
(a) แรงดันคร่อมหม้อแปลงไฟฟ้า



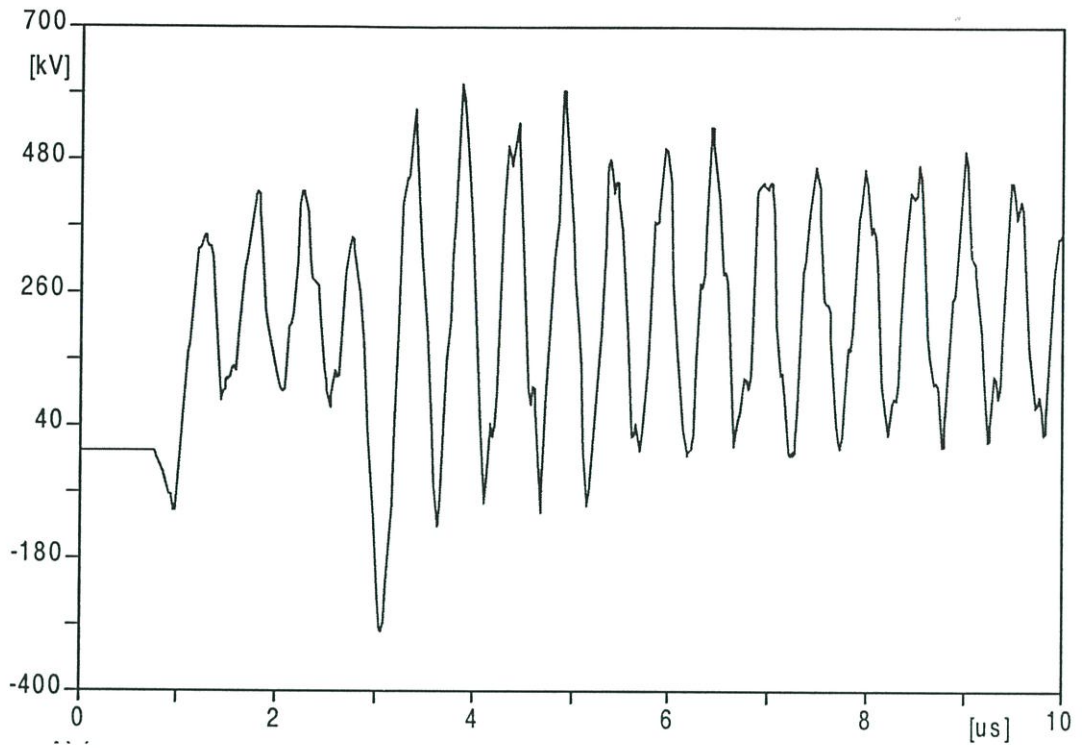
(b) แรงดันคร่อมสวิตช์ตัดตอน



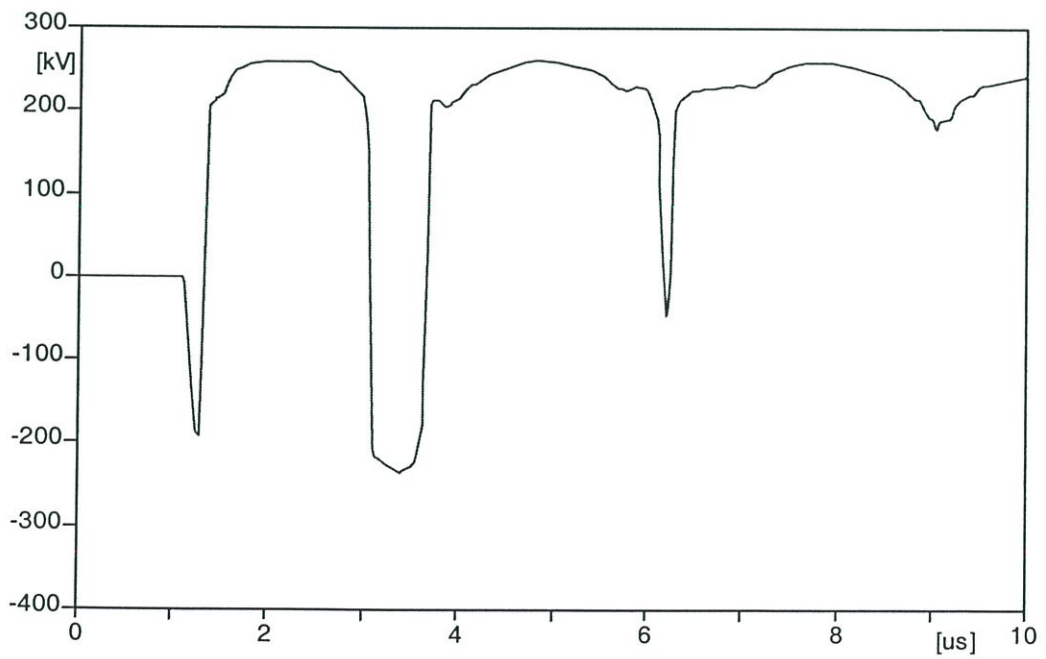
(c) แรงดันคร่อมเซอร์กิตเบรกเกอร์



(d) แรงดันคร่อมหม้อแปลงวัดกระแส

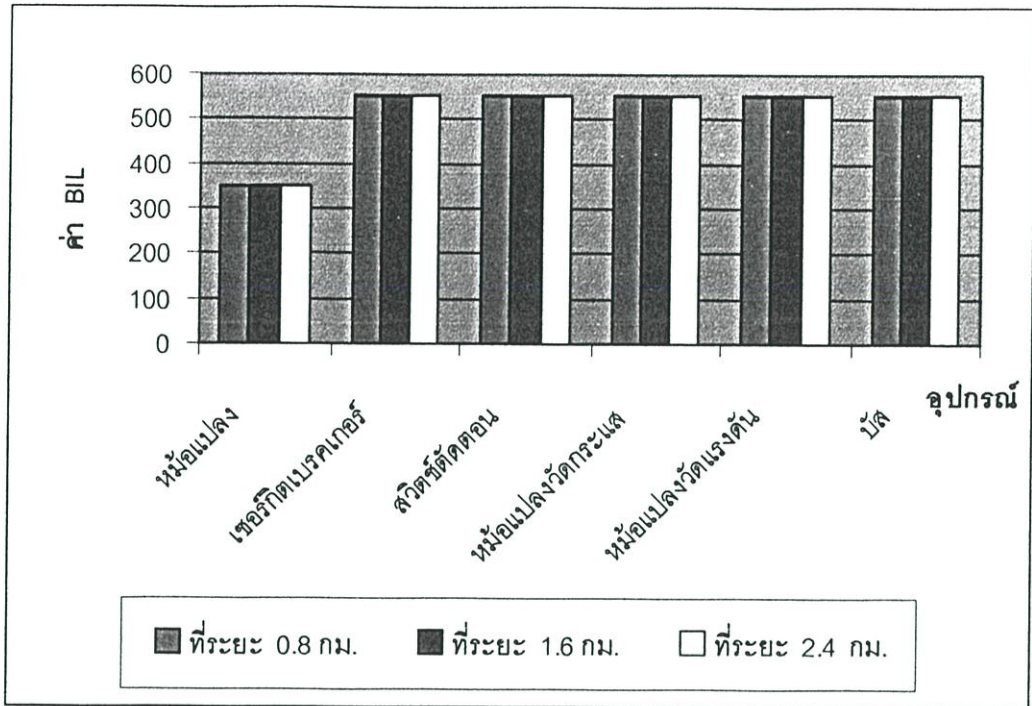


(e) แรงดันคร่อมบัส

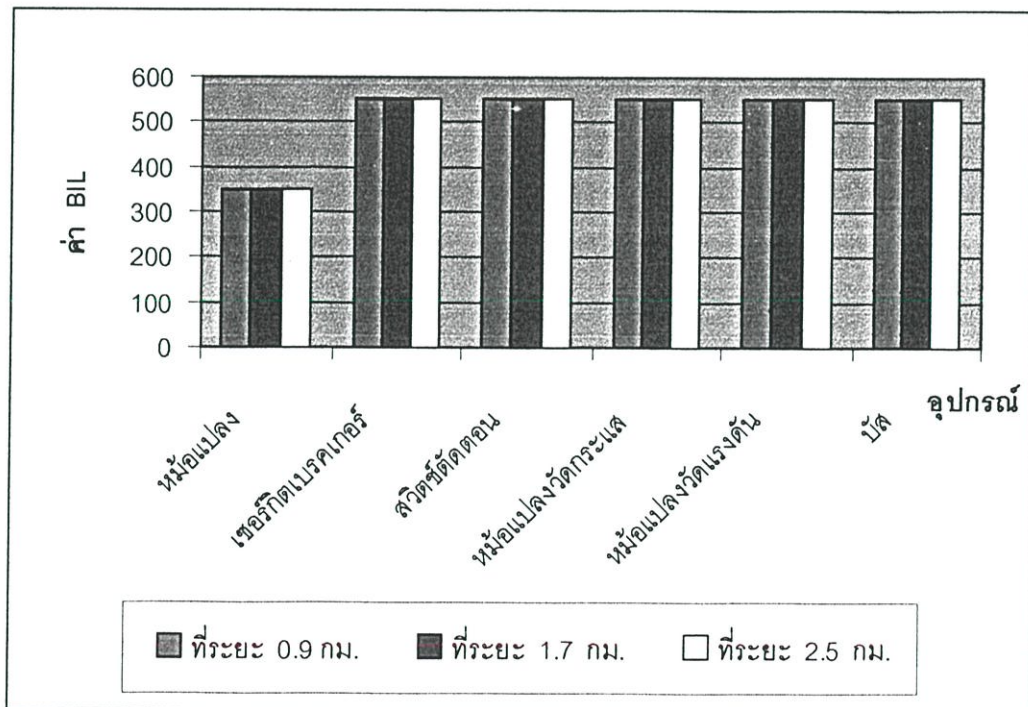


(f) แรงดันคร่อมหม้อแปลงวัดแรงดัน

รูปที่ 4.49 แสดงแรงดันคร่อมอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยระนอง
กรณีติดตั้งกับค้ำฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง



(a) เมื่อฟ้าผ่าลงที่ขดเสาไฟฟ้า



(b) เมื่อฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำ

รูปที่ 4.50 กราฟค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยระนอง
กรณีติดตั้งกับค้ำฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง

ตารางที่ 4.19 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยระยะอง กรณีเกิดฟ้าผ่าที่ขุด
เสาไฟฟ้าคันที่ 3 ซึ่งห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะทาง 1.6 กิโลเมตร

อุปกรณ์	แรงดัน , kV		BIL,kV ที่คำนวณได้		Standard BIL, kV		ค่า BIL ที่ทำ การเลือก,kV	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
หม้อแปลง	990	220	1035	230	550	350	-	350
สวิตช์ตัดตอน	630	600	548	522	550	550	550	550
เซอร์กิตเบรกเกอร์	795	600	691	522	550	550	-	550
หม้อแปลงวัดกระแส	270	262	235	228	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดแรงดัน	270	262	235	228	550	550	550	550
บัส	670	633	583	550	550	550	-	550

$$\text{ระยะ Clearance} = \frac{633 \text{ kV}}{605 \text{ kV/m}} = 1.05 \text{ เมตร}$$

ตารางที่ 4.20 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยระยะอง กรณีเกิดฟ้าผ่าที่
สายเฟสตัวนำ ซึ่งห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะทาง 1.7 กิโลเมตร

อุปกรณ์	แรงดัน , kV		BIL,kV ที่คำนวณได้		Standard BIL, kV		ค่า BIL ที่ทำ การเลือก,kV	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
หม้อแปลง	940	215	983	225	550	350	-	350
สวิตช์ตัดตอน	595	555	517	483	550	550	550	550
เซอร์กิตเบรกเกอร์	650	590	565	513	550	550	-	550
หม้อแปลงวัดกระแส	255	235	222	204	550	550	550	550
หม้อแปลงวัดแรงดัน	255	235	222	204	550	550	550	550
บัส	645	610	561	530	550	550	-	550

$$\text{ระยะ Clearance} = \frac{610 \text{ kV}}{605 \text{ kV/m}} = 1.00 \text{ เมตร}$$

หมายเหตุ (1) คือ กรณีที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น

(2) คือ กรณีที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง

จากรูปที่ 4.50 เป็นผลการเลือกค่า BIL สำหรับอุปกรณ์ต่างๆในสถานีไฟฟ้าย่อยระนอง ที่ขนาดกระแสฟ้าผ่า 551.6 กิโลแอมแปร์ เป็นสถานีไฟฟ้าย่อยชนิดที่มีอากาศเป็นฉนวนตั้งอยู่นอกอาคาร ซึ่งจากรูปที่ 4.50(a) เป็นผลการพิจารณากรณีที่ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต่างๆ จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกได้นี้มีค่า 350 กิโลโวลต์ โดยมีค่าเท่ากับทุกกระยะทาง สำหรับอุปกรณ์อื่นๆนั้นค่า BIL ที่ทำการเลือกได้มีค่า 550 กิโลโวลต์ มีค่าเท่ากับทุกกระยะทางเช่นเดียวกัน ซึ่งค่า BIL ที่ทำการเลือกได้นี้ได้มาจากการที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยจำนวน 1 ตัวและที่หม้อแปลงจำนวน 1 ตัว ซึ่งในตารางที่ 4.19 เป็นตัวอย่างแสดงการเลือกค่า BIL เมื่อให้ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นที่ 3 ห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นระยะ 1.6 กิโลเมตร โดยที่เมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 1 ตัว จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่คำนวณได้มีค่า 1035 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานคือ 550 กิโลโวลต์ ส่วนค่า BIL ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่คำนวณได้มีค่า 691 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานคือ 550 กิโลโวลต์ และค่า BIL ของบัสที่คำนวณได้มีค่า 583 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานคือ 550 กิโลโวลต์ สำหรับอุปกรณ์อื่นๆคือ สวิตช์ตัดตอน,หม้อแปลงวัดกระแสและหม้อแปลงวัดแรงดันพบว่าค่า BIL ที่คำนวณได้มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงได้ทำการลดขนาดแรงดันเกินฟ้าผ่าโดยการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าเพิ่มที่หม้อแปลงอีก 1 ตัว พบว่าค่า BIL ที่คำนวณใหม่ของหม้อแปลงมีค่า 230 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน คือ 350 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า BIL ของหม้อแปลงเป็น 350 กิโลโวลต์,ค่า BIL ที่คำนวณใหม่ของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า 522 กิโลโวลต์ และค่า BIL ที่คำนวณใหม่ของบัสมีค่า 549 กิโลโวลต์ ซึ่งต่างก็มีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน คือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงเลือกค่า BIL ให้กับเซอร์กิตเบรกเกอร์และบัสเป็น 550 กิโลโวลต์ สำหรับอุปกรณ์อื่นๆคือ สวิตช์ตัดตอน,หม้อแปลงวัดกระแสและหม้อแปลงวัดแรงดันพบว่าค่า BIL ที่คำนวณได้ยังคงมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงเลือกค่า BIL เป็น 550 กิโลโวลต์

จากรูปที่ 4.50(b) เป็นผลการเลือกค่า BIL สำหรับอุปกรณ์ต่างๆในกรณีที่ฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆ จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกได้มีค่า 350 กิโลโวลต์ โดยมีค่าเท่ากับทุกกระยะทาง สำหรับอุปกรณ์อื่นๆนั้นค่า BIL ที่ทำการเลือกได้มีค่า 550 กิโลโวลต์ มีค่าเท่ากับทุกกระยะทางเช่นเดียวกันซึ่งค่า BIL ที่ทำการเลือกได้นี้ได้มาจากการที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยจำนวน 1 ตัวและที่หม้อแปลงจำนวน 1 ตัวรวมเป็น 2 ตัว ซึ่งในตารางที่ 4.20 เป็นตัวอย่างแสดงการเลือกค่า BIL กรณีที่ฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อย 1.7 กิโลเมตร โดยที่เมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นจำนวน 1 ตัว จะเห็นว่าพบว่าค่า BIL ของหม้อแปลงที่คำนวณได้มีค่า 983 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานคือ 550 กิโลโวลต์,ค่า BIL ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่คำนวณได้มีค่า 565 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานคือ 550 กิโลโวลต์ และค่า BIL ของบัสที่คำนวณได้มีค่า 561 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานคือ 550 กิโลโวลต์ สำหรับอุปกรณ์อื่นๆคือ สวิตช์ตัดตอน,หม้อแปลงวัดกระแสและหม้อ

แปลงวัดแรงดันพบว่าค่า BIL ที่คำนวณได้มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงได้ทำการลดขนาดแรงดันเกินฟ้าผ่าโดยการติดตั้งกับกับฟ้าผ่าเพิ่มที่หม้อแปลงอีก 1 ตัว พบว่าค่า BIL ที่คำนวณใหม่ของหม้อแปลงมีค่า 225 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน คือ 350 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงทำการเลือกค่า BIL ของหม้อแปลงเป็น 350 กิโลโวลต์ ,ค่า BIL ที่คำนวณใหม่ของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า 513 กิโลโวลต์ และค่า BIL ที่คำนวณใหม่ของบัสมีค่า 530 กิโลโวลต์ ซึ่งต่างก็มีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน คือ 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงเลือกค่า BIL ให้กับเซอร์กิตเบรกเกอร์และบัสเป็น 550 กิโลโวลต์ สำหรับอุปกรณ์อื่นๆคือ สวิตช์ตัดตอน,หม้อแปลงวัดกระแสและหม้อแปลงวัดแรงดันพบว่าค่า BIL ที่คำนวณได้ยังคงมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน 550 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงเลือกค่า BIL เป็น 550 กิโลโวลต์

สำหรับการคำนวณค่า Clearance นั้นเมื่อพิจารณาฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นตานั้น จะเห็นว่าค่าแรงดันเกินสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าและที่หม้อแปลงนั้นมีค่า 633 กิโลโวลต์ ซึ่งจะได้ระยะ Clearance เท่ากับ 1.05 เมตร และเมื่อพิจารณาฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆนั้นจะเห็นว่าค่าแรงดันเกินสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าและที่หม้อแปลงนั้นมีค่า 610 กิโลโวลต์ ซึ่งจะได้ระยะ Clearance เท่ากับ 1.00 เมตร

สรุปแล้วจะเห็นว่าทั้งสองเหตุการณ์การเกิดฟ้าผ่า คือ ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต้นตอและที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆนั้นให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกัน คือค่า BIL ของหม้อแปลงที่ทำการเลือกมีค่า 350 กิโลโวลต์ ส่วนสวิตช์ตัดตอน,เซอร์กิตเบรกเกอร์,หม้อแปลงวัดกระแส,หม้อแปลงวัดแรงดันและบัสค่า BIL มีค่า 550 กิโลโวลต์ โดยทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยจำนวน 1 ตัวและติดตั้งที่หม้อแปลงจำนวน 1 ตัว

4.5 บทสรุป

จากผลการออกแบบการจัดสัมพันธทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยต่างๆที่ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ สามารถสรุปผลได้ดังในตารางที่ 4.21 โดยมีเป้าหมายให้ค่าความคงทนของความเป็นฉนวน , ระยะห่างระหว่างเฟสกับเฟสและเฟสกับกราวด์ และสุดท้าย คือ จำนวนและตำแหน่งของกัณฑ์ฟ้าผ่าที่เหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 4.21 สรุปผลการออกแบบการจัดสัมพันธทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยต่างๆ

สถานี ไฟฟ้า	ขนาด กระแส ฟ้าผ่า (kA)	ค่า BIL (kV)ของอุปกรณ์ต่างๆ						ระยะ Clearance (ม.)	กัณฑ์ฟ้าผ่า	
		Tr	SW	CB	CT	PT	BU		จำนวน	ตำแหน่ง
พิษณุโลก	396.3	350	550	550	550	550	550	0.93	2	(2)
เชียงใหม่	548.6	450	450	450	450	450	450	0.58	4	(2)
ชัยนาท	128.7	550	550	550	550	550	550	0.96	1	(1)
สระบุรี	180.5	450	450	450	450	450	450	0.63	3	(1)
ปทุมธานี	117	550	550	550	550	550	550	0.95	2	(1)
นครปฐม	207.9	550	550	550	550	550	550	0.98	1	(1)
มหาสาร คาม	157.6	550	550	550	550	550	550	0.97	2	(1)
ขอนแก่น	426.9	350	550	550	550	550	550	1.04	3	(2)
เพชรบุรี	295.2	550	550	550	550	550	550	0.99	1	(1)
ระนอง	551.6	350	550	550	550	550	550	1.05	2	(2)

หมายเหตุ (1) คือ ติดตั้งกัณฑ์ฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น

(2) คือ ติดตั้งกัณฑ์ฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง

Tr คือ หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

SW คือ สวิตช์ตัดตอน

CB คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์

CT คือ หม้อแปลงวัดกระแส

PT คือ หม้อแปลงวัดแรงดัน

BU คือ บัส

จากตารางที่ 4.21 เป็นสรุปผลการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยต่างๆ ซึ่งแสดงการเลือกค่า BIL , Clearance จำนวนและตำแหน่งการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าที่เหมาะสม

จากผลการเลือกค่า BIL ของหม้อแปลง จะเห็นว่าค่า BIL ของหม้อแปลงของสถานีไฟฟ้าย่อยต่างๆแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

กลุ่มแรกหม้อแปลงมีค่า BIL เป็น 350 กิโลโวลต์ ประกอบด้วยสถานีไฟฟ้าย่อยพิษณุโลก ,ขอนแก่นและระนอง มีค่า 350 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าสถานีไฟฟ้าอื่นๆ เนื่องจากที่สถานีไฟฟ้าย่อยทั้ง 3 นี้มีการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลงด้วย การติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเพียงแห่งเดียวทำให้การจำกัดแรงดันเกินฟ้าผ่าในสถานีไฟฟ้าย่อยไม่เพียงพอ ทั้งนี้เนื่องจากว่ากระแสฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นที่สถานีไฟฟ้าย่อยทั้ง 3 แห่งนี้มีค่าสูงมาก

กลุ่มที่สองหม้อแปลงมีค่า BIL เป็น 450 กิโลโวลต์ ซึ่งประกอบด้วยสถานีไฟฟ้าย่อย เชียงใหม่และสระบุรี แต่ทั้งสองสถานีไฟฟ้าย่อยนี้มีจำนวนและตำแหน่งการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไม่เหมือนกัน คือ สถานีไฟฟ้าย่อยเชียงใหม่ติดตั้งจำนวนกับดักฟ้าผ่าเป็น 4 ตัว โดยติดตั้งไว้ทั้งที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง ส่วนสถานีไฟฟ้าย่อยสระบุรีนั้นติดตั้งจำนวนกับดักฟ้าผ่าเป็น 3 ตัว โดยติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น ซึ่งน้อยกว่าสถานีไฟฟ้าเชียงใหม่ เนื่องจากได้รับกระแสฟ้าผ่าที่มีขนาดน้อยกว่าสถานีไฟฟ้าย่อยเชียงใหม่

กลุ่มที่สามหม้อแปลงมีค่า BIL เป็น 550 กิโลโวลต์ ประกอบด้วยสถานีไฟฟ้าย่อยชัยนาท, ปทุมธานี,นครปฐม,มหาสารคาม,เพชรบุรี โดยมีการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น ซึ่งจะเห็นว่าจำนวนของกับดักฟ้าผ่ามีจำนวนแตกต่างกันเนื่องจากจำนวนสายส่งที่ต่อเข้ากับสถานีไฟฟ้าย่อยมีจำนวนแตกต่างกัน และจะเห็นว่าถึงแม้ว่าสถานีไฟฟ้าย่อยต่างๆเหล่านี้จะได้รับกระแสฟ้าผ่าที่มีขนาดไม่เท่ากันแต่หม้อแปลงก็มีค่า BIL ที่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากค่า BIL ที่ทำการคำนวณจากแรงดันเกินที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานของหม้อแปลง คือ 550 กิโลโวลต์

จากผลการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์อื่นๆสามารถแบ่งออกได้ 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มแรกสวิตช์ตัดตอน,เซอร์กิตเบรกเกอร์,หม้อแปลงวัดกระแส,หม้อแปลงวัดแรงดันและ บัส มีค่า BIL เป็น 550 กิโลโวลต์จะเห็นว่าค่า BIL ของอุปกรณ์ต่างๆเหล่านี้มีค่าเท่ากันทุกสถานีไฟฟ้าย่อย ยกเว้นสถานีไฟฟ้าย่อยเชียงใหม่และสระบุรี ถึงแม้ว่าสถานีไฟฟ้าย่อยต่างๆจะได้รับกระแสฟ้าผ่าที่แตกต่างกันก็ตามแต่ค่า BIL ของอุปกรณ์ต่างๆยังคงมีค่าเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากค่า BIL มาตรฐานของอุปกรณ์มีเพียงค่าเดียว คือ 550 กิโลโวลต์ ซึ่งสถานีไฟฟ้าย่อยใดที่ค่า BIL ของอุปกรณ์ดัง

กล่าวที่คำนวณจากแรงดันเกินที่เกิดขึ้นมีค่าเกินค่ามาตรฐาน ก็จะทำการลดค่าแรงดันเกินด้วยการเพิ่มจำนวนกับดักฟ้าผ่า

กลุ่มที่สอง คือ กลุ่มที่สวิตช์ตัดตอน, เซอร์กิตเบรกเกอร์, หม้อแปลงวัดกระแส, หม้อแปลงวัดแรงดันและบัส มีค่า BIL เป็น 450 กิโลโวลต์ จะเห็นว่าค่า BIL ของอุปกรณ์ต่างๆเหล่านี้มีค่าเท่ากันทุกสถานีไฟฟ้าย่อยซึ่งประกอบด้วยสถานีไฟฟ้าย่อยเชิงใหม่และสระบุรี โดยที่ถึงแม้ว่าสถานีไฟฟ้าย่อยทั้งสองนี้จะได้รับกระแสฟ้าผ่าที่แตกต่างกันทำให้เกิดแรงดันเกินฟ้าผ่าที่มีขนาดแตกต่างกันก็ตามแต่ค่า BIL ของอุปกรณ์เหล่านี้ยังคงมีค่าเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากค่า BIL ที่คำนวณได้มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานของอุปกรณ์ คือ 450 กิโลโวลต์

จากผลการคำนวณระยะ Clearance จะเห็นว่าระยะ Clearance ของสถานีไฟฟ้าย่อยต่างๆมีค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากระยะ Clearance ขึ้นอยู่กับขนาดแรงดันเกินฟ้าผ่าสูงสุดที่เกิดขึ้นในสถานีไฟฟ้าย่อย ซึ่งพบว่าแรงดันเกินสูงสุดที่เกิดขึ้นในสถานีไฟฟ้าย่อยต่างๆมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากได้รับขนาดกระแสฟ้าผ่าที่ไม่เท่ากัน นอกจากนี้ยังพบว่าระยะ Clearance ที่คำนวณได้สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีระยะ Clearance ใกล้เคียงกับ 1 เมตร ประกอบด้วยสถานีไฟฟ้าย่อย พิษณุโลก, ชัยนาท, ปทุมธานี, นครปฐม, มหาสารคาม, ขอนแก่น, เพชรบุรีและระนอง ซึ่งสถานีไฟฟ้ากลุ่มนี้มีอากาศเป็นฉนวน อีกกลุ่มหนึ่งมีระยะ Clearance น้อยกว่า 1 เมตรมาก ประกอบด้วยสถานีไฟฟ้าย่อยเชิงใหม่และสระบุรีมีระยะ Clearance เท่ากับ 0.58 เมตรและ 0.63 ตามลำดับ ซึ่งมีก๊าซเป็นฉนวน

จากผลของการเลือกจำนวนและตำแหน่งของการติดตั้งกับดักฟ้าผ่า จะเห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มแรกเป็นกลุ่มที่ทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นก็เพียงพอ ซึ่งมีจำนวนแตกต่างกันตามจำนวนสายส่งที่ต่อเข้ากับสถานีไฟฟ้าย่อย กลุ่มนี้ประกอบด้วยสถานีไฟฟ้าย่อยชัยนาท, สระบุรี, ปทุมธานี, นครปฐม, มหาสารคามและเพชรบุรี

กลุ่มที่สองเป็นกลุ่มที่ต้องทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ทั้งที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง ซึ่งประกอบด้วยสถานีไฟฟ้าย่อยสถานีไฟฟ้าย่อยพิษณุโลก, เชียงใหม่, ขอนแก่นและระนอง ทั้งนี้เนื่องจากสถานีไฟฟ้าย่อยเหล่านี้ได้รับกระแสฟ้าผ่าที่มีขนาดสูงมากและสูงกว่าในกลุ่มแรก จึงต้องทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าเพิ่มที่หม้อแปลงอีกแห่งจึงจะเพียงพอในการจำกัดแรงดันเกินฟ้าผ่าที่มีขนาดสูงมาก

บทที่ 5

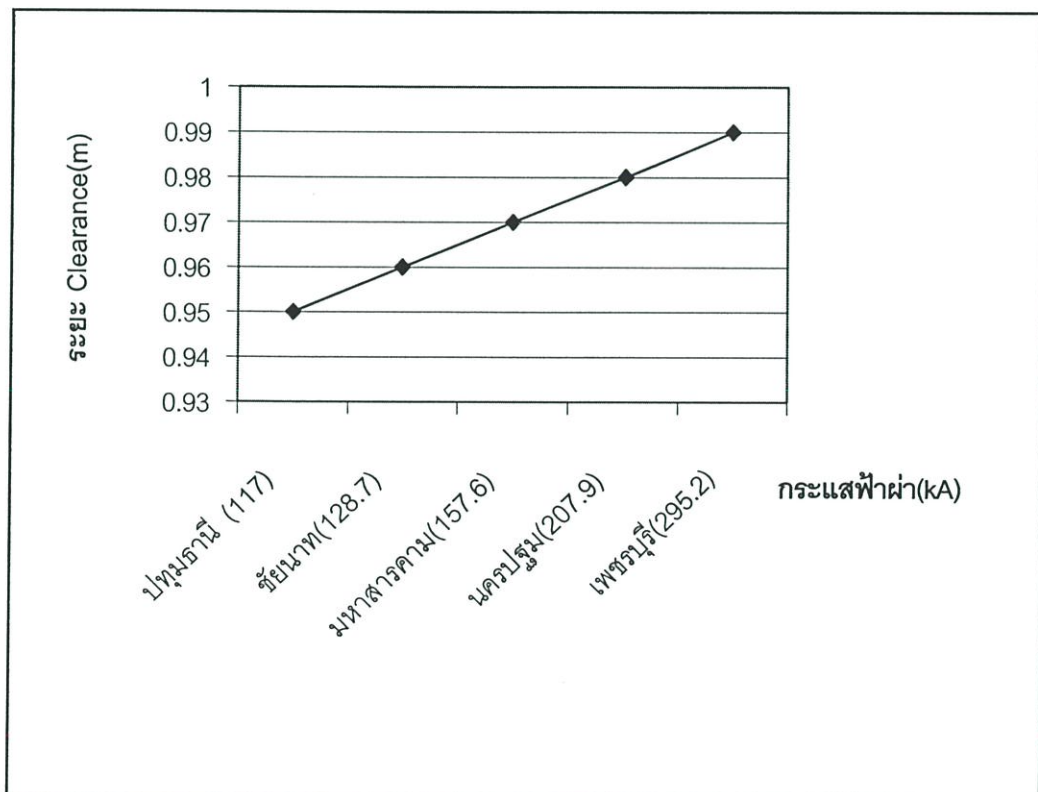
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้เสนอวิธีการออกแบบการจัดสัมพันธทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยต่างๆ ที่ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ซึ่งเป็นการเลือกค่าความคงทนของความเป็นฉนวนต่อแรงดันเกิน ฟาผ่า (BIL), ระยะห่างระหว่างเฟสกับเฟสและระยะห่างระหว่างเฟสกับกราวด์ (Clearance) และ จำนวน, ตำแหน่งและพิคคของกับดักฟาผ่าที่เหมาะสม โดยที่วิธีการเลือกค่า BIL และ Clearance แต่เดิมนั้นจะทำการเลือกตามระดับแรงดันใช้งาน ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE 1313.1-1996 และ NEMA SG6 ตามลำดับ คือทุกสถานีไฟฟ้าย่อยที่ใช้งานที่ระดับแรงดันเดียวกันแต่ตั้งอยู่ต่างพื้นที่ จะใช้ค่าเดียวกัน และอ้างอิงจากสภาวะมาตรฐานโดยค่าดังกล่าวเป็นค่าที่ได้มาจากสภาวะมาตรฐาน และไม่ใช้สภาวะจริงของแต่ละสถานีไฟฟ้าย่อยนั้นตั้งอยู่ นอกจากนี้วิธีการเดิมนั้นมีการคำนวณหาแรงดันเกินฟาผ่าที่เกิดขึ้นด้วยมือซึ่งสามารถใช้ได้กับเฉพาะสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีรูปแบบการจัดวางบัสเป็นแบบง่ายเท่านั้น ไม่สามารถใช้ได้กับสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีการจัดวางบัสแบบซับซ้อนและวิธีการคำนวณหาแรงดันเกินแบบเดิมนี้อาจไม่ได้พิจารณาผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อาจมีผลต่อการเลือกค่า BIL, Clearance และจำนวน, ตำแหน่งการติดตั้งและพิคคของกับดักฟาผ่า เช่น ขนาดกระแสฟาผ่า ซึ่งค่า BIL, Clearance และจำนวนกับดักฟาผ่าอาจจะมีค่าและจำนวนมากเกินไปสำหรับบางสถานีไฟฟ้าย่อยทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายหรืออาจจะน้อยเกินไปสำหรับบางสถานีไฟฟ้าย่อยทำให้อุปกรณ์เกิดความบกพร่องเสียหายได้ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอวิธีการหาค่า BIL, Clearance และจำนวน, ตำแหน่งการติดตั้งและพิคคของกับดักฟาผ่าที่เหมาะสมสำหรับแต่ละสถานีไฟฟ้าย่อย โดยอาศัยโปรแกรมทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้า (ATP-EMTP) มาเป็นเครื่องมือคำนวณหาแรงดันเกินฟาผ่าที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยและมีการใช้กับดักฟาผ่าชนิดที่ทำมาจาก Metal Oxide เป็นอุปกรณ์จำกัดแรงดันเกินฟาผ่าให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยแก่ฉนวนของอุปกรณ์ต่างๆ นอกจากนี้ยังได้มีการนำพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อการเลือกค่า BIL, Clearance และจำนวน, ตำแหน่งการติดตั้งและพิคคของกับดักฟาผ่ามาพิจารณาพร้อมในการออกแบบการจัดสัมพันธทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยด้วย ซึ่งพารามิเตอร์ที่นำมาพิจารณาประกอบด้วย ขนาดกระแสฟาผ่าขนาดต่างๆ, ลักษณะการเกิดฟาผ่าที่แตกต่างกัน คือ ฟาผ่าลงบนยอดเสาไฟฟ้าต้นตางและฟาผ่าลงที่สายเฟสตัวนำที่ระยะต่างๆจากสถานีไฟฟ้าย่อย และสุดท้ายคือสารที่ใช้ทำเป็นฉนวนที่แตกต่างกัน คือ สถานีไฟฟ้าย่อยที่มีอากาศเป็นฉนวนและสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีก๊าซเป็นฉนวน

จากผลการพิจารณาผลของขนาดกระแสฟ้าผ่า โดยได้ทำการศึกษาสถานีไฟฟ้าย่อยที่อยู่ในพื้นที่ต่างๆทั้ง 4 ภาคของประเทศไทย คือ ภาคเหนือ,กลาง,ตะวันออกเฉียงเหนือและใต้ ซึ่งแต่ละสถานีไฟฟ้าย่อยได้รับขนาดกระแสฟ้าผ่าที่แตกต่างกัน จากผลการออกแบบจะเห็นว่าขนาดของกระแสฟ้าผ่ามีผลต่อการเลือกค่า BIL ของหม้อแปลง คือ หม้อแปลงที่ติดตั้งอยู่ในสถานีไฟฟ้าย่อยพิษณุโลก,ขอนแก่นและระนองค่า BIL มีค่าที่ต่ำกว่าสถานีไฟฟ้าย่อยอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากสถานีไฟฟ้าย่อยทั้ง 3 แห่งนี้ได้รับกระแสฟ้าผ่าที่มีขนาดสูงมาก จึงต้องทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าเพิ่มที่หม้อแปลงด้วยนอกเหนือจากที่ติดตั้งไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นทำให้ค่าแรงดันเกินฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นที่หม้อแปลงถูกจำกัดด้วยระดับแรงดันป้องกันของกับดักฟ้าผ่า นอกจากนี้ขนาดกระแสฟ้าผ่ายังมีผลต่อระยะ Clearance ของสถานีไฟฟ้าย่อยด้วย คือ สถานีไฟฟ้าย่อยที่ได้รับกระแสฟ้าผ่าที่มีขนาดที่แตกต่างกันจะมีระยะ Clearance ที่แตกต่างกัน โดยแบ่งผลเป็น 3 กลุ่ม คือ

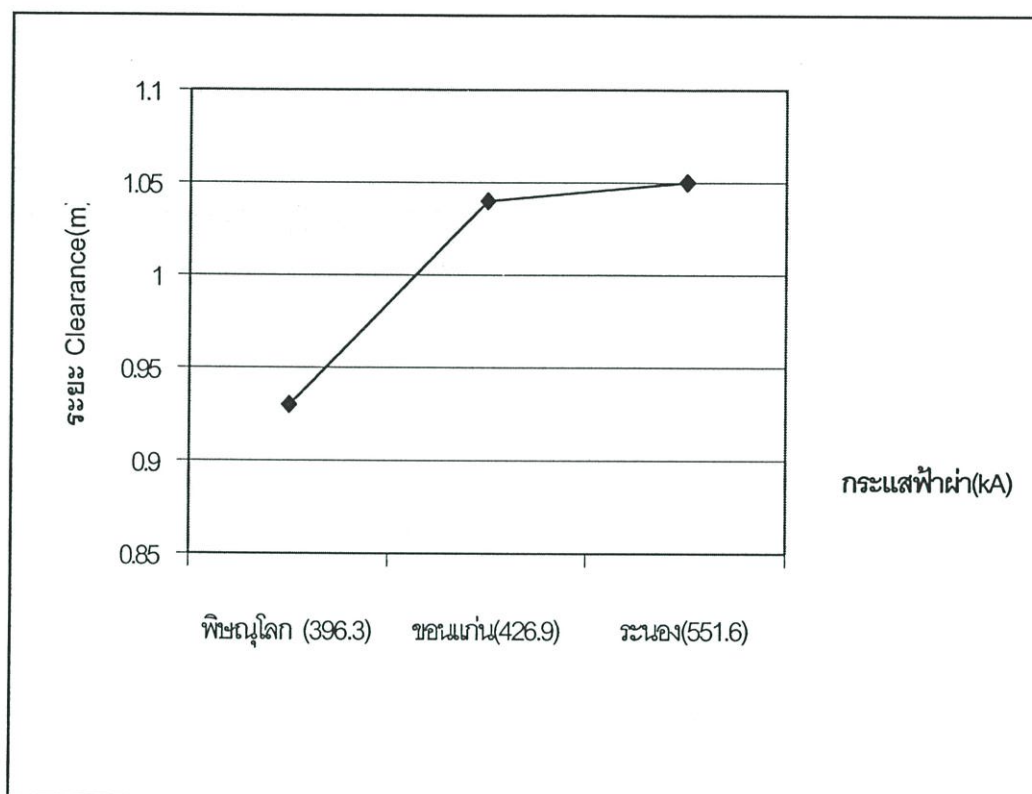
กลุ่มแรก คือ สถานีไฟฟ้าย่อยที่มีอากาศเป็นฉนวนและทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้น ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะ Clearance กับขนาดกระแสฟ้าผ่า

จากรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าเมื่อขนาดกระแสฟ้าผ่ามีค่าเปลี่ยนแปลงไป (แกน X คือ ขนาดกระแสฟ้าผ่าที่เปลี่ยนแปลงไป , แกน Y คือ ระยะ Clearance ในสถานีไฟฟ้าย่อยที่เปลี่ยนแปลงไป) จะเห็นว่าเมื่อขนาดกระแสฟ้าผ่ามีขนาดเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ระยะ Clearance มีค่าเพิ่มมากขึ้น

กลุ่มที่สอง คือ สถานีไฟฟ้าย่อยที่มีอากาศเป็นฉนวนและติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง ซึ่งผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.2

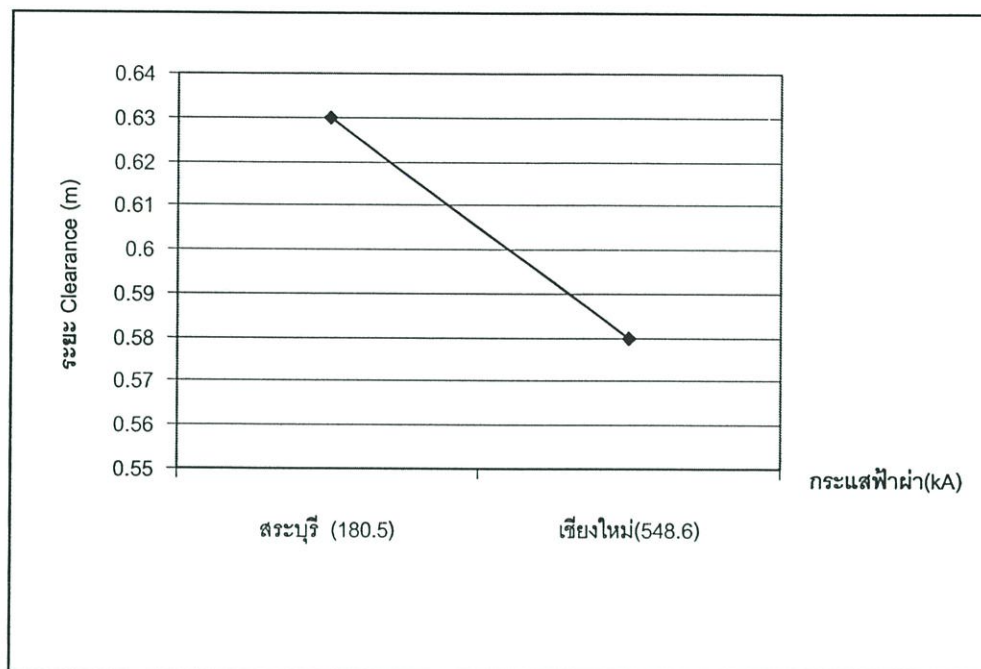


รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะ Clearance กับขนาดกระแสฟ้าผ่า

สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีอากาศเป็นฉนวนและทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลง

จากรูปที่ 5.2 จะเห็นว่าเมื่อขนาดกระแสฟ้าผ่ามีค่าเปลี่ยนแปลงไป (แกน X คือ ขนาดกระแสฟ้าผ่าที่เปลี่ยนแปลงไป , แกน Y คือ ระยะ Clearance ในสถานีไฟฟ้าย่อยที่เปลี่ยนแปลงไป) คือ เมื่อขนาดกระแสฟ้าผ่ามีขนาดเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ระยะ Clearance มีค่าเพิ่มมากขึ้น

กลุ่มที่สาม คือ สถานีไฟฟ้าย่อยที่มีก๊าซเป็นฉนวน ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะ Clearance กับขนาดกระแสฟ้าผ่า สำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีก๊าซเป็นฉนวน

จากรูปที่ 5.3 จะเห็นว่าเมื่อขนาดกระแสฟ้าผ่ามีค่าเปลี่ยนแปลงไป (แกน X คือ ขนาดกระแสฟ้าผ่าที่เปลี่ยนแปลงไป , แกน Y คือ ระยะ Clearance ในสถานีไฟฟ้าย่อยที่เปลี่ยนแปลงไป) คือ เมื่อกระแสฟ้าผ่ามีขนาดเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ระยะ Clearance มีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากสถานีไฟฟ้าย่อยเชียงใหม่ได้รับกระแสฟ้าผ่าที่มีขนาดสูงมากจึงต้องทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ทั้งที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยและที่หม้อแปลงจึงจะเพียงพอต่อการจำกัดขนาดแรงดันเกิน ซึ่งในขณะที่สถานีไฟฟ้าย่อยสระบุรีได้รับกระแสฟ้าผ่าที่มีขนาดน้อยกว่านั้นทำการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าไว้ที่ทางเข้าสถานีไฟฟ้าย่อยเท่านั้นก็เพียงพอแล้ว

จากผลลัพธ์ของการพิจารณาผลของลักษณะการเกิดฟ้าผ่าที่แตกต่างกัน ซึ่งประกอบด้วย การเกิดฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าและฟ้าผ่าลงที่สายเฟส จะเห็นว่าค่า BIL ของอุปกรณ์ต่างๆของทุกสถานีไฟฟ้าย่อยมีค่าเท่ากันทั้งสองเหตุการณ์ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการเกิดฟ้าผ่าที่ยอดเสาไฟฟ้าและที่สายเฟสตัวนำไม่มีผลต่อการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ต่างๆ แต่พบว่าระยะ Clearance ที่คำนวณได้จากแต่ละเหตุการณ์มีค่าแตกต่างกัน คือ ระยะ Clearance ที่คำนวณจากฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าต่างๆมีค่ามากกว่าค่าที่คำนวณได้จากฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำ ทั้งนี้เนื่องจากฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าทำให้เกิดแรงดันเกินฟ้าผ่าที่มีขนาดมากกว่าที่เกิดจากฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำ

จากผลลัพธ์ของการพิจารณาผลของระยะห่างระหว่างจุดที่เกิดฟ้าผ่ากับสถานีไฟฟ้าย่อย จะเห็นว่าเมื่อระยะทางเปลี่ยนแปลงไปค่า BIL ของอุปกรณ์ต่างๆยังคงมีค่าเท่าเดิม โดยให้ผลเช่นเดียวกันทุกสถานีไฟฟ้าย่อย ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าระยะห่างระหว่างจุดที่เกิดฟ้าผ่ากับสถานีไฟฟ้าย่อย ไม่มีผลต่อการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ต่างๆ

และจากผลลัพธ์ของการพิจารณาขนาดที่แตกต่างกันของสถานีไฟฟ้าย่อย คือ ได้ทำการพิจารณาสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีอากาศเป็นฉนวนและที่มีก๊าซเป็นฉนวน พบว่าค่า BIL ของอุปกรณ์ต่างๆในสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีอากาศเป็นฉนวนมีค่าไม่เท่ากับของอุปกรณ์ที่อยู่ในสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีก๊าซเป็นฉนวน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าขนาดที่แตกต่างกันมีผลต่อการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ต่างๆ นอกจากนี้จากผลลัพธ์จะเห็นว่าระยะ Clearance ของสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีก๊าซเป็นฉนวนจะมีขนาดน้อยกว่าสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีอากาศเป็นฉนวน ทั้งนี้เนื่องจากสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีก๊าซเป็นฉนวนมีค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ที่ต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของสายส่งที่ต่อเข้ามายังสถานีไฟฟ้าย่อยซึ่งเสิร์จอิมพีแดนซ์มีค่าแตกต่างกันมากจึงทำให้แรงดันเกินที่เดินทางมาตามสายส่งจากจุดที่เกิดฟ้าผ่าเข้าสู่สถานีไฟฟ้าย่อยเกิดการสะท้อนกลับมาก ส่งผลให้แรงดันเกินฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นในสถานีไฟฟ้าย่อยมีขนาดน้อยกว่าสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีอากาศเป็นฉนวน

5.2 ข้อเสนอแนะและสิ่งที่จะต้องทำต่อไปในอนาคต

ในส่วนของการข้อเสนอแนะสำหรับการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยนั้น เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย ซึ่งพารามิเตอร์ดังกล่าวประกอบด้วย สถานีที่ตั้งของสถานีไฟฟ้าย่อยที่แตกต่างกัน คือตั้งอยู่ในพื้นที่ที่แตกต่างกันทำให้มีโอกาสได้รับกระแสฟ้าผ่าที่มีขนาดที่แตกต่างกัน, พิจารณาลักษณะการเกิดฟ้าผ่าที่แตกต่างกัน คือ ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าและฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำ, พิจารณาระยะทางระหว่างจุดที่เกิดฟ้าผ่ากับสถานีไฟฟ้าย่อยที่ระยะต่างๆ และพิจารณาขนาดที่แตกต่างกันของสถานีไฟฟ้าย่อย คือ ทำการพิจารณาสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีอากาศเป็นฉนวนและสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีก๊าซเป็นฉนวน ซึ่งพบว่ามีพารามิเตอร์อื่นๆอีกที่จะมีผลต่อการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย เช่น รูปคลื่นกระแสฟ้าผ่าที่มีความชันต่างๆ นอกจากนี้ผลลัพธ์จะมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากที่สุดนั้นข้อมูลที่จะนำมาประกอบการออกแบบก็ต้องถูกต้องและละเอียดมากที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอว่าควรจะได้มีการศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่างๆเพิ่มเติมอีกและข้อมูลที่จะนำมาประกอบการออกแบบก็ต้องมีความถูกต้องมากที่สุด เพื่อให้ผลลัพธ์มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากที่สุด ซึ่งจะส่งผลให้เกิดผลดีทั้งทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเศรษฐศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] IEEE Standard 1313.1-1996, IEEE standard for insulation coordination.
- [2] IEEE Working Group on Modelling and Analysis of System Transients, "Modelling Guidelines For Fast Front Transients," IEEE Trans. Power Delivery, Vol.11, No.1, pp.493-506, January 1996.
- [3] F.P.Dawalibi, W. Ruan, S. Fortin, J.Ma and W.K. Daily, "Computation of Power Line Structure Surge Impedances Using The Electromagnetic Field Method," IEEE Trans. Power Delivery, pp.663-668, 2001.
- [4] รายงานผลการวัดกระแสฟ้าผ่าในพื้นที่ประเทศไทยของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตในช่วงปี พ.ศ. 2539 -2540
- [5] NEMA Power Switching Equipment Standard SG6.
- [6] ANSI/IEEE C57.12.00-1987, "IEEE Standard General Requirements for Liquid Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformer. "
- [7] IEEE C37.12.14, "Trial Use Standard for Dielectric Test Requirements for Power Transformer for Operation at System Voltages from 115 kV through 230 kV. "
- [8] ANSI/IEEE C37.04-1979, "IEEE Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a symmetrical Basis. "
- [9] ANSI/IEEE C37.32-1972, "Schedules of Preferred Ratings, Manufacturing Specifications, and Application Guide for Air Switches, Bus Supports, and Switch Accessories, "
- [10] Z.Haznadar, S. Carsimamovic, R. Mahmutcehajic, "More Accurate Modeling Of Gas Insulated Substation Components In Digital Simulations Of Very Fast Electromagnetic Transients , " IEEE Trans. Power Delivery, pp.260-267, 1991.
- [11] H. Haruki, M.Sunaga. "Development of A Lightning Current Waveform Measuring System for 500 kV Overhead Transmission Line , " IEEE Trans. Power Delivery, Vol.4, No.3 , pp.230-242, July 1989.
- [12] R. Hileman Andrew. "**Insulation Coordination**" Marcel Dekker Inc., 1999.
- [13] IEEE Std C62.22-1997, "Guide for the Application of Metal-Oxide Surge Arresters for Alternative-current System. "

ภาคผนวก ก

ข้อมูลขนาดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในประเทศไทยในช่วง ปี พ.ศ. 2539-2540

พื้นที่	จำนวนฟ้าผ่า	N _g (ครั้ง/ตร.กม.)	Peak Current (kA)		
			Min.	Max.	50% of Flash
ประเทศไทย	178,901	0.80	3.70	595.00	29.40
<u>กฟน.1</u>					
เชียงใหม่	193	0.02	18.00	548.60	61.00
ลำปาง	486	0.09	26.90	357.10	73.90
ลำพูน	93	0.05	23.40	267.30	65.70
พะเยา	212	0.08	36.20	213.10	68.60
แม่ฮ่องสอน	211	0.04	28.30	365.00	70.70
เชียงราย	68	0.01	32.50	294.90	70.20
<u>กฟน. 2</u>					
พิษณุโลก	2,124	0.46	9.40	396.30	38.40
ตาก	1,372	0.18	6.90	288.00	44.30
สุโขทัย	513	0.18	14.50	257.50	54.20
อุตรดิตถ์	1,579	0.47	17.80	282.20	44.60
แพร่	518	0.18	24.80	339.70	64.90
น่าน	470	0.09	22.00	265.90	56.70
พิจิตร	1,510	0.79	5.90	203.90	19.50
กำแพงเพชร	3,049	0.81	4.10	226.80	20.10
<u>กฟน. 3</u>					
ลพบุรี	3,816	1.31	7.40	198.80	31.20
นครสวรรค์	5,862	1.43	4.10	326.10	24.50
ชัยนาท	1,145	1.07	8.60	128.70	29.50
อุทัยธานี	2,527	0.87	5.00	240.90	47.10
สิงห์บุรี	317	0.88	6.50	131.90	25.70
เพชรบูรณ์	5,410	0.99	7.10	235.00	29.60

พื้นที่	จำนวนฟ้าผ่า	N _g (ครั้ง/ตร.กม.)	Peak Current (kA)		
			Min.	Max.	50% of Flash
<u>กฟผ.1</u>					
อุดรธานี	1,114	0.23	21.60	230.50	45.80
หนองคาย	524	0.17	24.90	167.80	48.50
ขอนแก่น	3,736	0.81	14.70	426.90	36.20
เลย	1,801	0.40	14.60	259.50	39.70
สกลนคร	616	0.15	22.20	239.00	50.20
นครพนม	249	0.10	26.00	201.60	58.30
หนองบัวลำภู	1,119	0.61	19.30	205.00	39.90
<u>กฟผ. 2</u>					
อุบลราชธานี	274	0.04	23.70	235.00	56.60
ศรีสะเกษ	647	0.17	18.20	289.30	51.50
ยโสธร	256	0.14	21.80	281.70	44.90
มหาสารคาม	1,978	0.80	13.20	157.60	37.50
กาฬสินธุ์	817	0.27	18.90	275.20	41.50
ร้อยเอ็ด	1,191	0.35	16.60	179.50	40.10
มุกดาหาร	198	0.11	24.70	215.80	49.10
อำนาจเจริญ	121	0.08	24.90	227.40	48.50
<u>กฟผ. 3</u>					
นครราชสีมา	17,583	1.95	8.10	274.80	30.80
ชัยภูมิ	5,563	1.01	9.60	420.10	34.80
สุรินทร์	2,095	0.54	16.90	241.60	36.40
บุรีรัมย์	6,849	1.56	11.30	239.60	33.40

พื้นที่	จำนวนฟ้าผ่า	N _g (ครั้ง/ตร.กม.)	Peak Current (kA)		
			Min.	Max.	50% of Flash
กฟก.1					
พระนครศรีอยุธยา	5,788	5.27	6.00	148.60	25.50
อ่างทอง	1,346	3.23	6.40	166.80	26.10
สระบุรี	3,230	2.61	6.80	180.50	28.40
ปราจีนบุรี	6,675	3.24	8.10	253.60	24.90
นครนายก	5,160	5.51	5.00	173.80	27.20
ปทุมธานี	4,703	7.14	5.50	117.00	2,353.00
สระแก้ว	6,617	2.20	8.10	453.40	26.70
กฟก. 2					
ชลบุรี	8,021	4.11	3.70	157.90	18.60
ฉะเชิงเทรา	10,638	4.54	5.50	345.40	23.60
ระยอง	2,450	1.51	8.60	179.30	21.80
จันทบุรี	978	0.35	8.90	178.00	24.20
ตราด	92	0.07	17.30	288.90	27.50
กฟก. 3					
สุพรรณบุรี	8,809	3.75	4.70	205.80	30.50
กาญจนบุรี	13,020	1.54	3.90	300.90	33.50
นครปฐม	4,620	4.92	5.70	207.90	28.00
สมุทรสาคร	1,386	3.61	8.50	115.80	19.30

พื้นที่	จำนวนฟ้าผ่า	N _g (ครั้ง/ตร.กม.)	Peak Current (kA)		
			Min.	Max.	50% of Flash
<u>กฟต.1</u>					
เพชรบุรี	2,175	0.81	7.00	295.20	28.70
ราชบุรี	4,541	2.02	5.60	306.60	27.10
ชุมพร	821	0.32	20.60	595.00	40.80
ระนอง	266	0.19	19.20	551.60	46.80
ประจวบคีรีขันธ์	866	0.31	10.90	322.30	35.55
สมุทรสงคราม	561	3.19	7.40	156.10	24.20

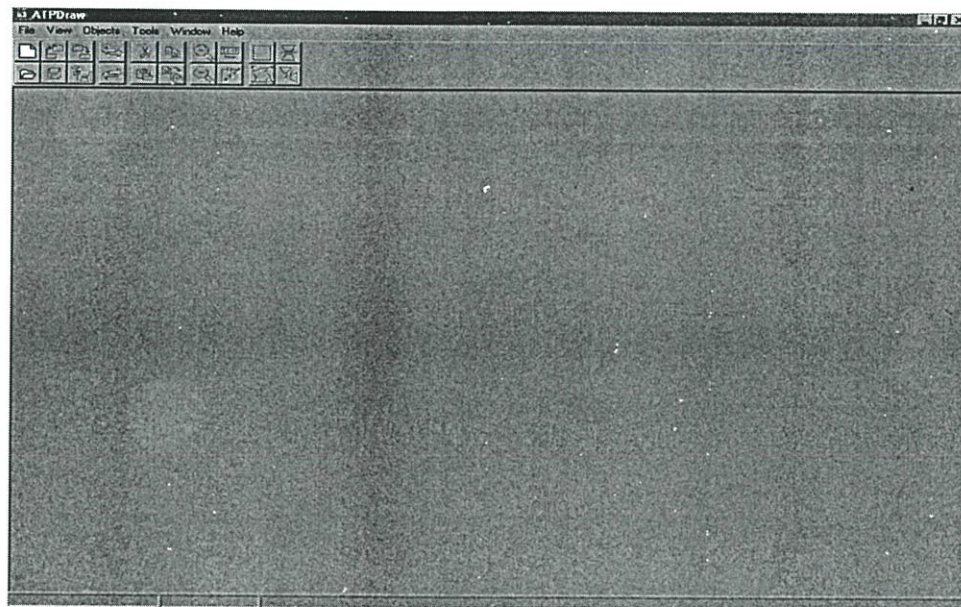
ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างวิธีการใช้งานโปรแกรม ATPDraw และโปรแกรมทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้า

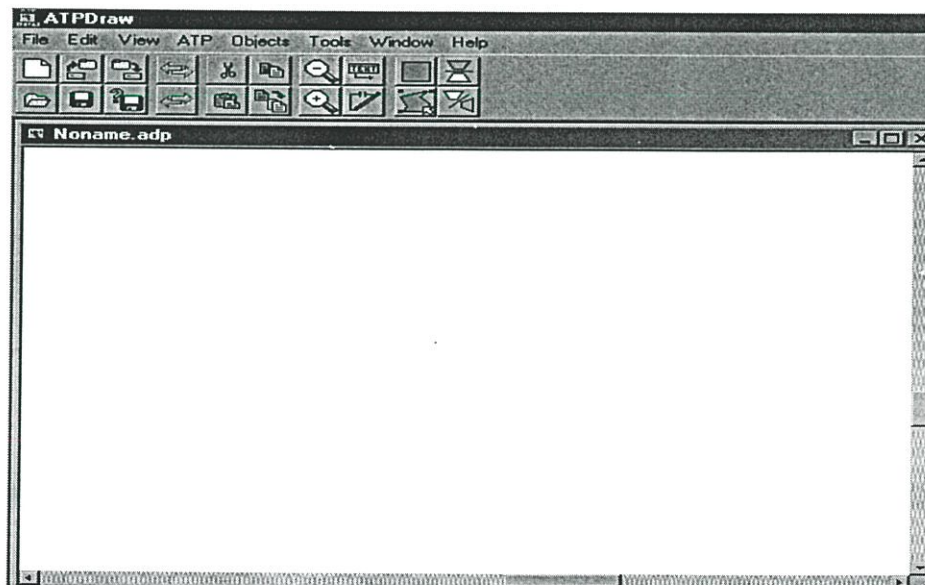
โปรแกรม ATPDraw เป็นโปรแกรมที่ใช้สร้าง input file ให้กับโปรแกรมทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งการสร้าง input file มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการเปิดโปรแกรม ATPDraw จะมีหน้าจอแสดงในรูปที่ ข.1



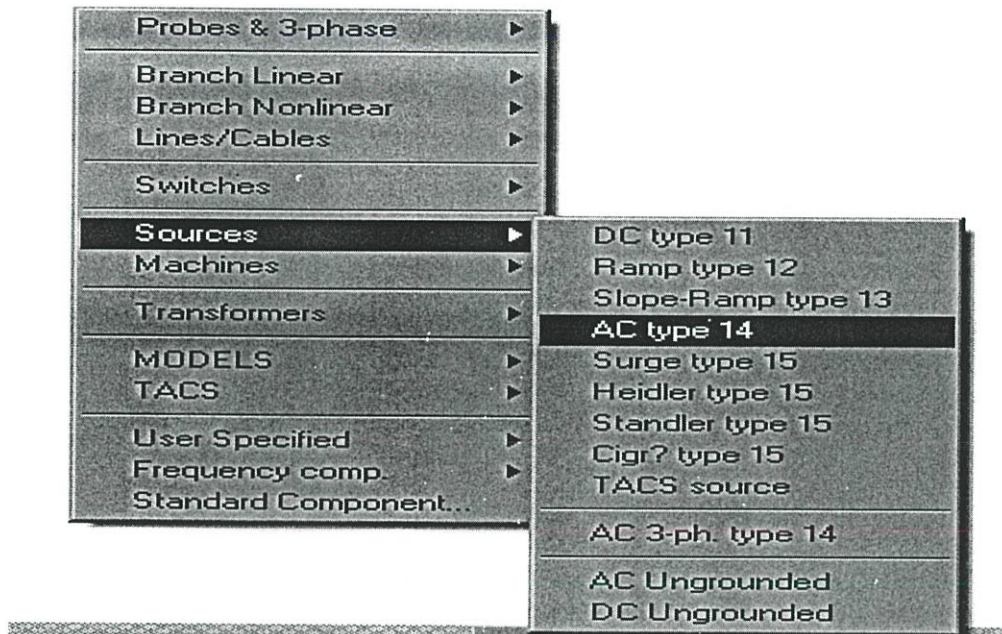
รูปที่ ข.1 แสดงหน้าจอเมื่อทำการเปิดโปรแกรม ATPDraw

2. เมื่อต้องการสร้างวงจรใหม่เลือก [File] → [New] จะปรากฏหน้าต่างวงจรที่มีชื่อว่า Noname.adp ขึ้นมาดังแสดงในรูปที่ ข.2

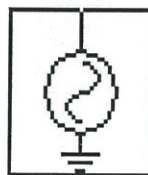


รูปที่ ข.2 แสดงหน้าต่างวงจรสำหรับสร้างวงจรในโปรแกรม ATPDraw

3. คลิกขวาที่หน้าต่างวงจร จะปรากฏเมนูสำหรับเลือกองค์ประกอบของวงจร ดังแสดงในรูปที่ ข.3 เลือก [Sources] → [AC type 14] จะปรากฏแหล่งจ่ายกระแสสลับดังแสดงในรูปที่ ข.4 ขึ้นบนหน้าต่างวงจรสามารถที่จะหมุนไปได้ 4 ทิศทางตามต้องการ

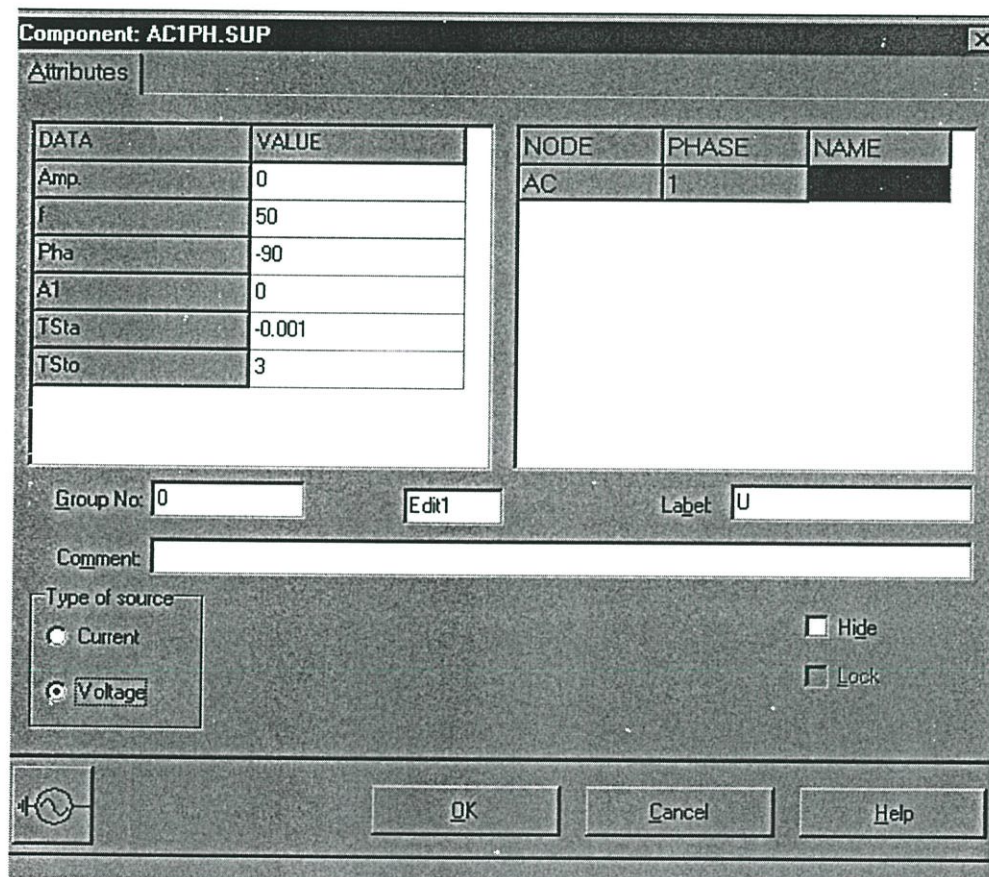


รูปที่ ข.3 แสดงเมนูสำหรับเลือกองค์ประกอบของวงจรในโปรแกรม ATPdraw



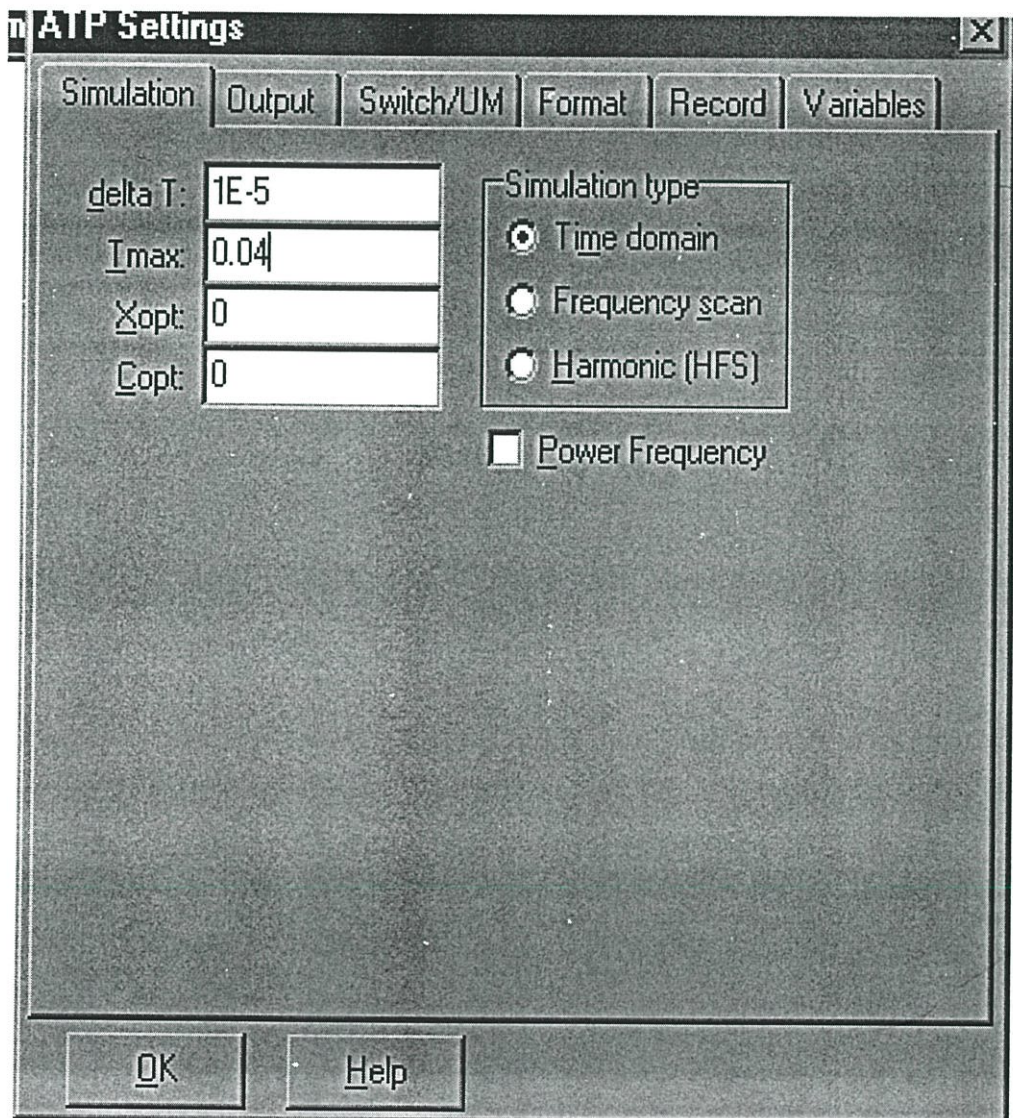
รูปที่ ข.4 แสดงรูปแหล่งจ่ายกระแสสลับในโปรแกรม ATPDraw

4. องค์ประกอบที่เลือกออกมาจะมีสีแดง ซึ่งแสดงว่ายังไม่มีการป้อนค่าพารามิเตอร์ให้กับองค์ประกอบ การป้อนค่าทำได้โดยการคลิกขวาที่องค์ประกอบนั้นจะปรากฏหน้าต่างสำหรับป้อนค่าพารามิเตอร์ขึ้นดังรูปที่ ข.5 ซึ่งแสดงหน้าต่างสำหรับป้อนค่าพารามิเตอร์ของแหล่งจ่าย สามารถเรียก Help เพื่ออ่านค่าความหมายของค่า Data ต่างๆที่ต้องป้อนโดยการกด Help เมื่อป้อนค่าต่างๆเรียบร้อยแล้วกด "OK" รูปองค์ประกอบที่เลือกจะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีดำ แสดงว่ามีกรกำหนดค่าให้กับองค์ประกอบนั้นเรียบร้อยแล้ว



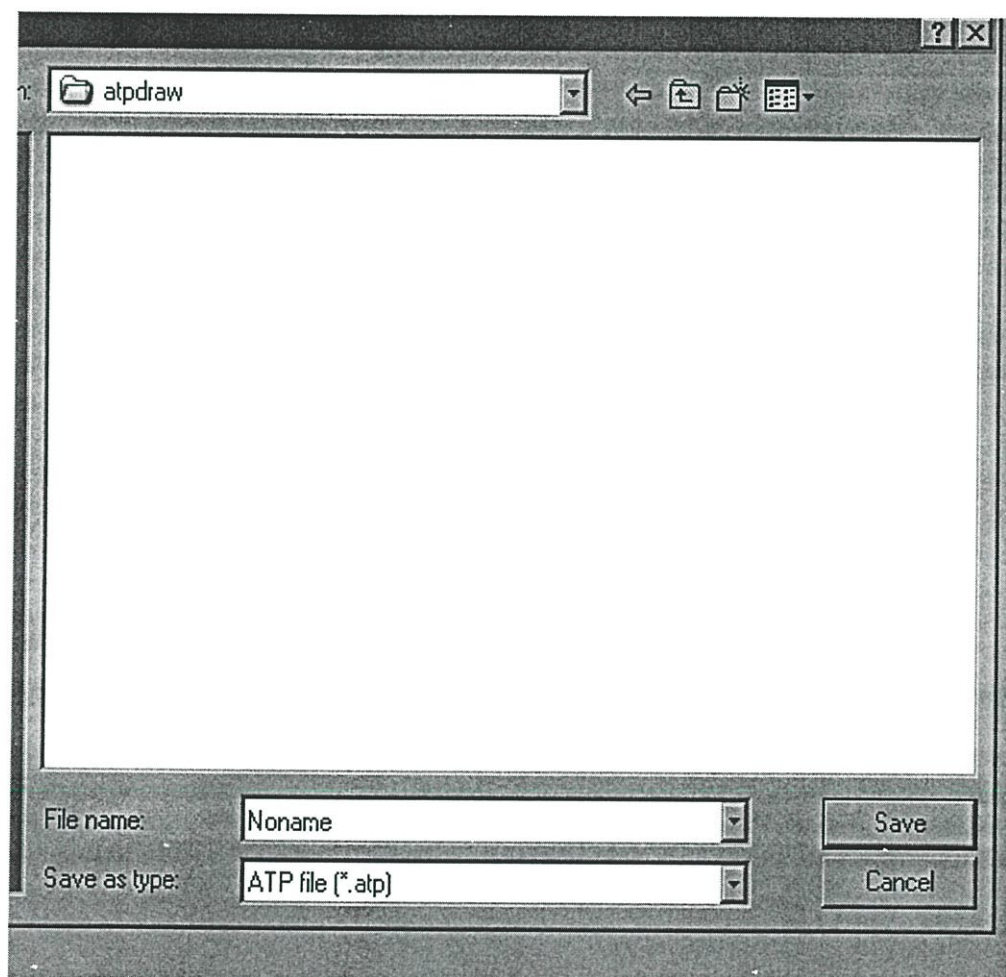
รูปที่ ข.5 แสดงหน้าต่างสำหรับกำหนดค่าต่างๆของแหล่งจ่ายในโปรแกรม ATPDraw

5. ทำการกำหนดค่าช่วงเวลา(time step) และระยะเวลาที่ต้องการคำนวณที่เมนูหลักเลือก [ATP] → [Setting] จะปรากฏหน้าต่าง ATP Setting ดังแสดงในรูปที่ ข.6



รูปที่ ข.6 แสดงหน้าต่าง ATP Setting ในโปรแกรม ATPDraw

6. ทำการสร้างไฟล์อินพุตให้กับโปรแกรมทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยไปที่เมนูหลักเลือก [ATP] → [Make file] จะปรากฏหน้าต่างเพื่อบันทึกไฟล์ ดังแสดงในรูปที่ ข.7 โดยไฟล์จะมีนามสกุลเป็น atp บ่งบอกว่าเป็นไฟล์อินพุตสำหรับส่งให้โปรแกรมทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้าทำการคำนวณ



รูปที่ ข.7 แสดงหน้าต่างสำหรับกำหนดชื่อไฟล์ .atp ในโปรแกรม ATPDraw

7. ใช้โปรแกรมทรานเซียนแม่เหล็กไฟฟ้าคำนวณวงจรโดยไปที่เมนูหลักเลือก

[ATP] → [Run ATP] ซึ่งจะเกิดไฟล์ขึ้นใหม่ขึ้นสองไฟล์ คือ ไฟล์ที่มีนามสกุลเป็น lis ซึ่งเป็นไฟล์แสดงการคำนวณ และไฟล์ที่มีนามสกุลเป็น pl4 ซึ่งบรรจุข้อมูลเอาต์พุตที่เลือกไว้สำหรับพลอตกราฟ



ISSN 0125-1724

วิศวกรรม

ลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 20 ฉบับที่ 4

ธันวาคม 2546

1.	วงจรมอดูเลชันแบบอินเวอร์เตอร์แบบป้องกันไฟฟ้าสถิตย์โดยใช้ไดโอดแฝง ศิริวัฒน์ ลิ้มไพบูลย์ กอบชัย เดชหาญ วิจิตต์ แก้วไทรเทียม วิชาญ กอพยัคฆินทร์	1
2.	วงจรรวมต้านทานปรับค่าได้ด้วยแรงดันแบบมอดูเลชันต่อกราวด์ที่มีการชดเชยอุณหภูมิ พิพัฒน์ พรหมมี เนรมิต หัวมีช กอบชัย เดชหาญ มนตรี สมดุลยกนก	6
3.	วงจรรายพานกระแสชนิดซัวอินพุทเป็นแรงดันความแตกต่างโดยใช้เทคโนโลยีซีมอส มนตรี คำเงิน พิพัฒน์ พรหมมี กองสิทธิ์ อุปรี กอบชัย เดชหาญ	12
4.	วงจรถอดรากที่สองโหมดกระแส อิทธิพงศ์ ชัยสายัณห์ ชนิดา จันทรศิริ สมเกียรติ เปรียงพรานทอง	18
5.	การประยุกต์ใช้การจำลองแบบหนึ่งมิติกับทรานซิสเตอร์รอยต่อแบบโพลาร์ โสภณ พรหมชัย โยอิชิ ยาซุมะ เดิมพงษ์ เพ็ชรกุล	23
6.	การตัดสินใจแซนค็อฟเพื่อใช้ในการแบ่งโหลดด้วยนิวโรลเน็ตเวิร์ค ประทีป ปิ่นประเสริฐ พิเชฐ ม่วงนวล	29
7.	การปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบสื่อสาร FH-CDMA ด้วยเทคนิคการแปรเปลี่ยนความถี่เชิงเส้นแบบหลายเส้นความถี่ สมยศ หารษาสุขสิน สมยศ จุณณะปิยะ พิเชฐ ม่วงนวล	35
8.	การศึกษาและพัฒนาของระบบสภาวะโดยใช้ตัวควบคุมพีซี พรเทพ รัตนกำพล ประภาส ไพรสุวรรณ	41
9.	การจัดสัมพันธภาพทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย พรวิภา สร้างคอมพัฒนา มณฑล สิลาจินดาไกรฤกษ์	47
10.	อินเวอร์เตอร์สามระดับโดยใช้เทคนิคการกำจัดฮาร์มอนิกส์ สิทธิพร เจียรนันทพิสุทธิ์ วิจิตร กิณเรศ	53
11.	การประมาณค่ากระแสลัดวงจรเนื่องจากกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้แบบจำลองการรวมกลุ่ม วัลลภ สุวรรณเวช อานันท์วัฒน์ คุณากร	59
12.	การออกแบบและวิเคราะห์สวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสองเฟส ราชา อารีหะหมัด วิจิตร กิณเรศ	65
13.	การป้องกันสายส่งโดยอาศัยการวัดระยะทางแบบปรับเปลี่ยนได้สำหรับสายส่งแรงดัน ไพโรจน์ เกียนทอง มณฑล สิลาจินดาไกรฤกษ์	71
14.	การแปลงเวฟเล็ตร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียมสองชนิดสำหรับการระบุตำแหน่งฟอลต์บนสายส่ง อรรถพล เก่าพิทักษ์กุล ศุภี บรรจงจิตร บุญเลิศ สือเฉย	77
15.	การวางแผนโดยคำนึงถึงความเชื่อถือได้ของระบบส่งกำลังไฟฟ้าโดยใช้ความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับของผู้ใช้ไฟ วรารุณ จิตตพันธ์ มณฑล สิลาจินดาไกรฤกษ์	83
16.	ผลของผลศาสตร์ของการเติมไฮโดรเจนกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยา Rh-Fe/SiO ₂ เทอดไทย วัฒนธรรม ศิริพันธ์ มุรธาณัญญักษณ์	89
17.	การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์ระบบต่อเนื่องแบบท่อ อนันต์ สุระศรีกันนธ์ ประกอบ กิจไชยา	94

การจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย

115 kV SUBSTATION INSULATION

COORDINATION

พรทิพา สร้างคอมพัฒนา มณฑล สีสานจินดาไกรฤกษ์
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้แนะนำเสนอวิธีการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยที่ระดับแรงดัน 115 kV โดยนำเสนอตัวอย่างการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยจำนวนสองสถานีด้วยกัน คือ สถานีไฟฟ้าลำปางและสถานีไฟฟ้าสมุทรสงคราม โดยทำการวิเคราะห์ปรากฏการณ์ฟ้าผ่าสองเหตุการณ์ด้วยกันคือ ฟ้าผ่าลงที่ยอดเสาไฟฟ้าและฟ้าผ่าลงที่สายเฟสตัวนำ แล้วทำให้เกิดความไวย้อนกลับขึ้นที่สายไฟฟ้า ซึ่งส่งผลให้เกิดแรงดันเกินฟ้าผ่าวิ่งไปตามสายส่งเข้าสู่สถานีไฟฟ้าย่อย นอกจากนี้ในบทความนี้ยังมีการใช้โปรแกรม Alternative Transient Program (ATP) กำหนดหาแรงดันเกินฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นในสถานีไฟฟ้าย่อยและเลือกใช้ Metal Oxide Arrester เป็นอุปกรณ์จำกัดแรงดันเกินฟ้าผ่า ซึ่งการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนด้วยโปรแกรม ATP-EMTP นี้ ผู้ออกแบบสามารถหาค่าแรงดัน , ระยะห่างระหว่างเฟส-เฟสและเฟส-กราวด์ในสถานีไฟฟ้าย่อยและความคงทนของความเป็นฉนวนของอุปกรณ์ ที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วแม่นยำ

Abstract

In this paper, a procedure for 115 kV substation insulation coordination design is presented . The procedure is illustrated by the two examples of substations : Lampang substation and Samutsongkham substation . Lightning strikes to top of the poles and on the transmission lines ,causing backflashover on the incoming overhead lines and lightning overvoltage propagates along incoming line enter to substations, have been analysed .In addition, the Alternative Transient Program (ATP) is used to evaluate lightning overvoltages that occur in the substation and to select proper Metal Oxide Arrester to limit lightning overvoltage.By applying ATP for Insulation Coordination design, the designers can quickly and accurately determine the appropriate phase-phase and phase-ground clearance in substation and insulation strength for equipments.

1. บทนำ

แรงดันเกินที่เกิดจากฟ้าผ่ามีขนาดสูงมากเมื่อเทียบกับแรงดันระบบโดยมีผลกระทบทำให้ฉนวนของ

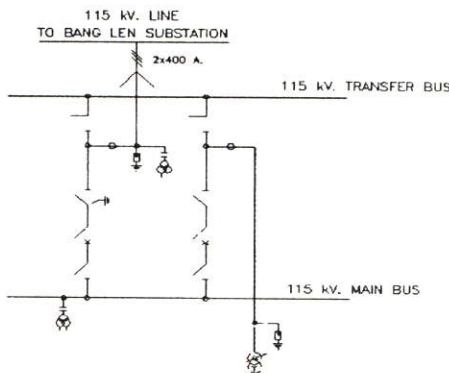
อุปกรณ์หรือระบบเสียหายได้ และเป็นสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดผลกระทบที่รุนแรงและรวดเร็วในการทำลายอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อย[1] โดยผลกระทบดังกล่าวทำให้เกิดค่าใช้จ่าย

ง่ายในการซ่อมแซมบำรุงเป็นมูลค่ามหาศาล ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขด้วยการออกแบบการจัดสัมพันธทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย ซึ่งเป็นวิธีการเลือกกระดับการฉนวนของอุปกรณ์ให้สัมพันธ์สอดคล้องกับลักษณะสมบัติของอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินที่ทำหน้าที่ลดทอนแรงดันเกินให้เหลือต่ำพอที่จะปลอดภัยแก่ฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยไม่ก่อให้เกิดระบบส่งจ่ายหยุดชะงัก นอกจากนี้ยังทำให้ความเสี่ยงที่จะเกิดความบกพร่องขึ้นในสถานีไฟฟ้าย่อยมีค่าน้อยที่สุดอีกด้วย

2. ขั้นตอนการออกแบบการจัดสัมพันธทางฉนวน

การออกแบบการจัดสัมพันธทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย มีขั้นตอนดังนี้

1.ต้องมีไดอะแกรมเส้นเดียวและ layout ของสถานีไฟฟ้าย่อยที่จะทำการออกแบบการจัดสัมพันธทางฉนวน

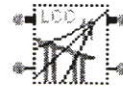


รูปที่ 1 ตัวอย่างไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าย่อย

- 2. เลือกพิกัดและตำแหน่งการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าเริ่มแรก
- 3.สร้างแบบจำลองของอุปกรณ์ต่างๆและการเกิดฟ้าผ่าด้วยโปรแกรม ATPDraw ซึ่งเป็นโปรแกรมย่อยของ ATP - EMTP เพื่อทำการคำนวณแรงดันเกินฟ้าผ่าโดยทำการจำลองอุปกรณ์ต่างๆเป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้า ดังนี้

3.1 แบบจำลองสายส่ง ทำการจำลองสายส่งด้วยแบบจำลองที่ขึ้นกับความถี่(frequency-dependent line model) แบบ Jmarti model [2] ดังแสดงในรูปที่2เพื่อทำการวิเคราะห์ในสภาวะทรานเซียน โดยต้องป้อนข้อมูลของสายส่งให้โปรแกรม ATP_LCC เพื่อโปรแกรมจะได้ทำการคำนวณค่าเสรีจิมพีแดนซ์และพารามิเตอร์ต่างๆของสายส่ง

สำหรับข้อมูลของสายส่งที่ใช้ศึกษา คือ เป็นสายส่งวงจรเดี่ยวชนิดAAC ขนาด 400 มม² สายไฟแต่ละเฟสเป็นสายควบ (bundled conductor) สายล่อฟ้าเป็นชนิดสายเหล็กตีเกลียวขนาด 50มม²



รูปที่ 2 แบบจำลองของสายส่ง

3.2 แบบจำลองเสาไฟฟ้า ทำการจำลองเสาคอนกรีตเป็นพารามิเตอร์แบบกระจาย (distributed parameter) [3] ดังแสดงในรูปที่ (3) สำหรับเสาไฟฟ้าที่ทำการศึกษานั้นเป็นเสาคอนกรีตที่มีความสูง 22 เมตร ซึ่งมีรัศมีของลวดเหล็กตีเกลียวเป็น 0.333779 มิลลิเมตร การหาค่าเสรีจิมพีแดนซ์ของเสาคอนกรีตนั้นจะเป็นของลวดเหล็กตีเกลียวหรือสายล่อฟ้าที่ต่อลงดินภายในเสาคอนกรีต ซึ่งสามารถหาค่าเสรีจิมพีแดนซ์ได้จากสมการที่(1)[3] โดยเป็นสมการที่ใช้หาพารามิเตอร์แบบกระจาย

$$Z_r = 60 \ln \left(\sqrt{2} \frac{2H}{r} - 1 \right) \quad (1)$$

- เมื่อ Z_r คือ เสรีจิมพีแดนซ์ของเสาไฟฟ้า (โอห์ม)
- H คือ ความสูงของเสาคอนกรีต (เมตร.)
- r คือ รัศมีสายล่อฟ้าลงดินที่ฝังในเสา (เมตร.)



รูปที่ 3 แบบจำลองของเสาไฟฟ้า

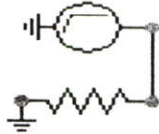
3.3 แบบจำลองความต้านทานรากสายดิน มาตรฐานของ กฟภ. ใช้ตัวนำลงดินเป็นชนิดแท่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 เมตร มีความยาว 2 เมตรและมีแบบจำลองดังในรูปที่ 4 ซึ่งความต้านทานรากสายดินมีค่า 10 โอห์ม



รูปที่4 แบบจำลองของความต้านทานรากสายดิน

3.4 แบบจำลองกระแสฟ้าผ่า จะแทนด้วยแหล่งจ่ายกระแสอิมพัลส์ต่อขนานอยู่กับเสรีจิมพีแดนซ์ของลำฟ้าผ่า ดังแสดงในรูปที่ 5 และเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ จะกำหนดให้รูปคลื่นอิมพัลส์มีเวลานำคลื่นเป็น 1.2 μs และ

เวลาหลังคลื่นมีค่าเท่ากับ 50 μ s โดยใช้ขนาด 357 kA สำหรับสถานีไฟฟ้าลําปาง และขนาด 115.8 kA สำหรับสถานีไฟฟ้าสมุทรสาครจากข้อมูลสถิติของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต [4]



รูปที่ 5 แบบจำลองกระแสฟ้าผ่า

3.5 กับดีกฟ้าผ่า ในบทความนี้ได้เลือกใช้กับดักฟ้าผ่าแบบ Metal Oxide เป็นกับดีกฟ้าผ่าชนิดที่ไม่มีช่องว่าง Metal Oxide มีคุณสมบัติเป็นตัวต้านทานที่ไม่เป็นเส้นตรงตามความสัมพันธ์ในสมการ (2) ในการจำลองกับดักฟ้าผ่าจะแทนด้วยความต้านทานแบบไม่เป็นเชิงเส้นดังแสดงในรูปที่ 6 [2] ที่มีความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสตามกราฟรูปที่ 7

$$I = kV^\infty \quad (2)$$

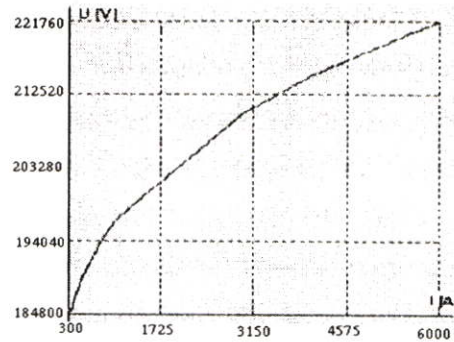
เมื่อ I คือ กระแสที่ไหลผ่านเมทัลออกไซด์
 K คือ ค่าคงที่
 V คือ แรงดันไฟฟ้า

ตาราง 1 พารามิเตอร์ Metal Oxide Arrester

ชนิด	Station type Cooper AZG4
พิกัด MCOV(kV)	70
แรงดันคงเหลือ (Residual voltage ,kV) ที่ 10 kA , 8/20 μ s	231

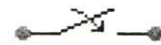


รูปที่ 6 แบบจำลองของกับดีกฟ้าผ่า



รูปที่ 7 V-I Characteristic ของ Metal Oxide Arrester

3.6 เซอร์กิตเบรกเกอร์และสวิตช์ตัดตอนจำลองด้วยสวิตช์ที่ควบคุมด้วยกระแส ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แบบจำลองของเซอร์กิตเบรกเกอร์และสวิตช์ตัดตอน

3.7 แบบจำลองของบัส ทำการจำลองบัสด้วยแบบจำลองเหมือนกับของเสาไฟฟ้าดังในรูปที่ 3 และค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ก็สามารถคำนวณได้จากสมการ (1) เช่นกัน

3.8 อุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้า เช่น หม้อแปลงกำลัง , หม้อแปลงวัดกระแสและหม้อแปลงวัดแรงดัน จำลองด้วยค่าความจุไฟฟ้าต่อลงดิน [2] ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แบบจำลองของหม้อแปลงไฟฟ้า

3.9 จำลองการเกิดฟ้าผ่าลงบนเสาไฟฟ้า และสายเฟสตัวนำ โดยพิจารณาผลของระยะทางระหว่างจุดที่เกิดฟ้าผ่ากับสถานีไฟฟ้าย่อย ซึ่งระยะทางที่เกิดฟ้าผ่าสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3) [1]

$$d_m = \frac{l}{n(MTBF)(BFR)} \quad (3)$$

โดยที่

d = ระยะทางจากจุดที่เกิดความฟ้าผ่ากับสถานีไฟฟ้าย่อย

MTBF = เวลาเฉลี่ยในการที่อุปกรณ์จะเกิดความบกพร่องขึ้นหนึ่งครั้ง

BFR = อัตราการเกิดวาทไฟย้อนกลับของสายส่ง
n = จำนวนสายส่งที่ต่อเข้าสถานีไฟฟ้าย่อย

โดยทำการออกแบบให้ MTBF มีค่า 100 ปี และ BFR มีค่า 3.0 วาทไฟ / 100 กม.-ปี ซึ่งค่าดังกล่าวขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบว่าต้องการความน่าเชื่อถือมากน้อยแค่ไหน ณ ที่นี้ก็ได้เลือกใช้ตามมาตรฐานของกฟภ.

4. ค่าความหาค่า BIL ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4) สำหรับหม้อแปลง และ (5) สำหรับอุปกรณ์อื่นๆ[1]

$$BIL = \frac{1.15 E_t}{1.10} \quad (4)$$

$$BIL = \frac{E_b}{1.15} \quad (5)$$

โดยที่

E_t คือ แรงดันที่ขั้วหม้อแปลง

E_b คือ แรงดันที่ขั้วอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ

การคำนวณหาระยะห่างระหว่างเฟส-เฟสและเฟส-ดิน(Clearance) สามารถคำนวณได้โดยนำค่าแรงดันเกินฟ้าผ่าสูงสุดที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์หารด้วยค่า negative breakdown gradient ซึ่งมีค่าเท่ากับ 605 kV/m [1]

5. นำค่า BIL และ Clearance ที่คำนวณได้จากข้อ 4 ไปเปรียบเทียบกับ ค่ามาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ โดยต้องไม่ให้มีค่าเกินค่ามาตรฐาน ตารางที่ 2 Insulation level for Outdoor substation [1]

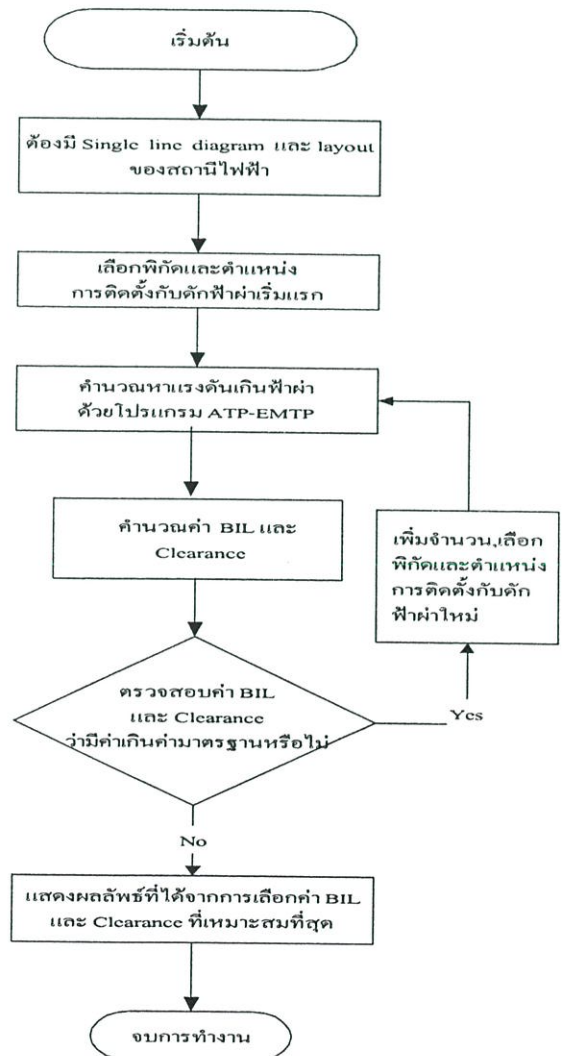
System nominal / Max system voltage, kV	Transformers BIL, kV	Circuit Breaker BIL,kV
115 / 121	350	550
	450	
	550	
230 / 242	650	900
	750	

ตารางที่ 3 NEMA Power Switching Equipment Standard[5]

Operating voltage, kV	Phase to phase and phase to ground Clearance (m)
115	1.68
138	1.68

6. ถ้าค่าBIL และ Clearance ที่คำนวณได้จากข้อ 4 มีค่ามากกว่าค่ามาตรฐานให้ทำการคำนวณใหม่โดยการเพิ่มการติดตั้งหรือเลือกพิกัดกับดักฟ้าผ่าใหม่ หรือลดค่าความต้านทานรากสายดินของเสาไฟฟ้า

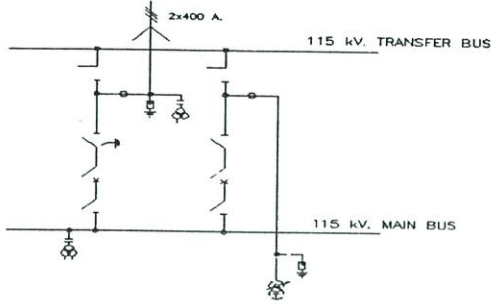
7 flowchart แสดงขั้นตอนการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย



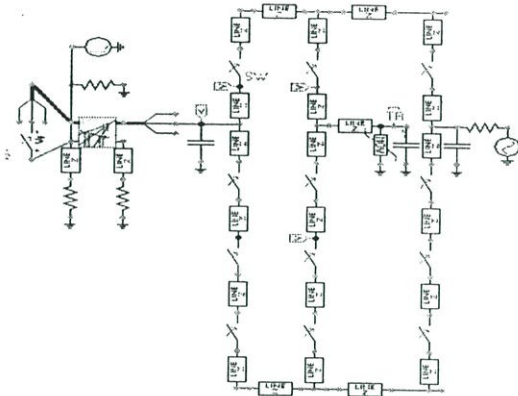
รูปที่ 10 ขั้นตอนการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย

3 ผลลัพธ์

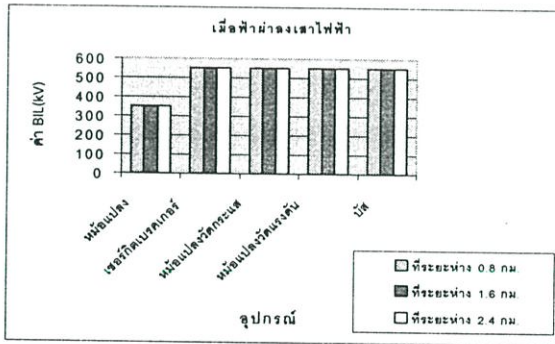
3.1 สถานีไฟฟ้าย่อยลำปาง



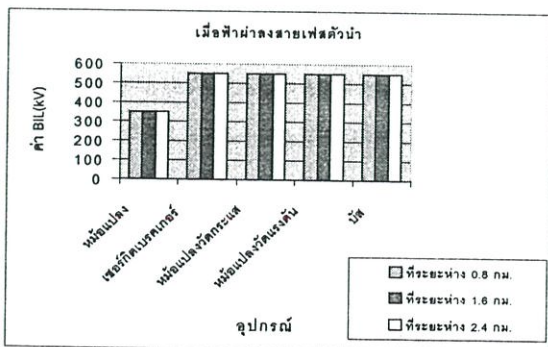
รูปที่ 11 ไดอะแกรมเส้นเดียว ของสถานีไฟฟ้าลำปาง



รูปที่ 12 แบบจำลองที่ใช้ศึกษาการเกิดฟ้าผ่า



(a) เมื่อฟ้าผ่าลงเสาไฟฟ้า



(b) เมื่อฟ้าผ่าลงสายเฟสตัวนำ

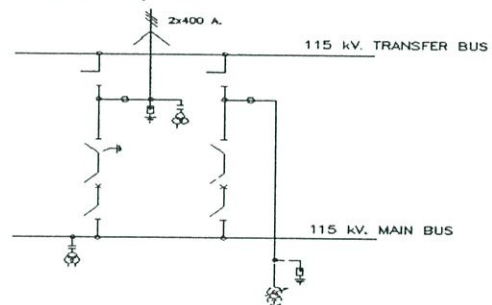
รูปที่ 13 กราฟค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าลำปาง

ตาราง 4 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าลำปางกรณีเกิดฟ้าผ่าที่เสาไฟฟ้าที่ระยะห่างจากสฟ.0.8 กม.

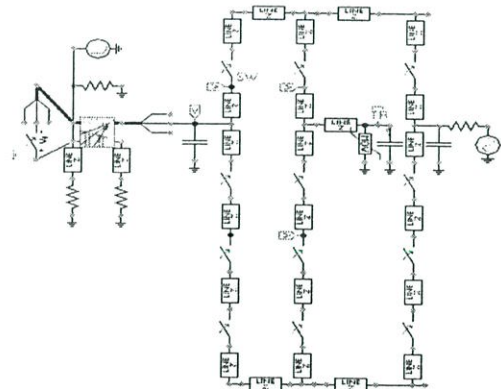
อุปกรณ์	BIL, KV ที่คำนวณได้จากข้อ 4	Std BIL, KV	ค่า BIL ที่ทำการเลือก, KV
หม้อแปลง	218	350	350
สวิตช์ตัดตอน	259	550	550
บัส	259	550	550

$$\begin{aligned} \text{ระยะ Clearance} &= 298 \text{ kV} \\ &= \frac{605 \text{ kV} / \text{m}}{2.05} \\ &= 0.5 \text{ ม.} \end{aligned}$$

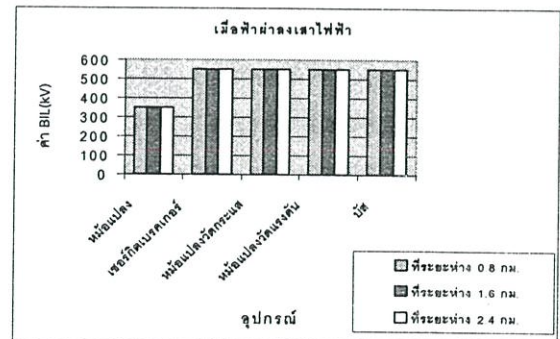
3.2 สถานีไฟฟ้าสมุทรสาคร



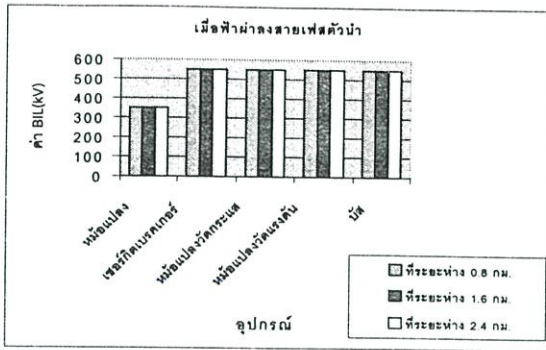
รูปที่ 14 ไดอะแกรมเส้นเดียวของสถานีไฟฟ้าสมุทรสาคร



รูปที่ 15 แบบจำลองที่ใช้ศึกษาการเกิดฟ้าผ่า



(a) เมื่อฟ้าผ่าลงเสาไฟฟ้า



(b) เมื่อฟ้าผ่าลงสายเฟส

รูปที่ 16 กราฟค่า BIL ของอุปกรณ์ในของสถานีไฟฟ้าสมุทรสาคร

ตาราง 5 แสดงการเลือกค่า BIL ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าสมุทรสาครกรณีเกิดฟ้าผ่าลงเสาไฟฟ้าที่ระยะห่างจากสฟ. 0.8 กม.

อุปกรณ์	BIL,KV ที่คำนวณได้จากข้อ 4	Std BIL, KV	ค่า BIL ที่ทำการเลือก,kV
หม้อแปลง	214	350	350
สวิตซ์ตัดตอน	216	550	550
บัส	216	550	550

$$\begin{aligned} \text{ระยะ Clearance} &= \frac{245 \text{ kV}}{605 \text{ kV / m}} \\ \text{ดังนั้นระยะ Clearance} &= 0.4 \text{ ม.} \end{aligned}$$

4. บทสรุป

จากการศึกษาการออกแบบการจัดสัมพันธ์ทางฉนวนสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อย โดยได้ทำการศึกษาสถานีไฟฟ้าจำนวนสองสถานีด้วยกัน คือ สถานีไฟฟ้าลำปางและสถานีไฟฟ้าสมุทรสาคร ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์แรงดันเกินฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่

ภายในสถานีไฟฟ้าย่อย โดยมีสาเหตุมาจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่าลงที่เสาไฟฟ้าและลงที่สายตัวนำ นอกจากนี้ยังมีการใช้โปรแกรม Alternative Transient Program คำนวณหาแรงดันเกินฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์ที่อยู่ในสถานีไฟฟ้าย่อย จากผลลัพธ์กรณีที่เกิดฟ้าผ่าที่เสาไฟฟ้าและที่สายเฟสตัวนำที่ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าต่างๆ ดังในรูปที่ 13 และ 16 พบว่าค่า BIL ของหม้อแปลงของทั้งสองสถานีมีค่าเท่ากัน คือ 350 kV สำหรับค่า BIL ของอุปกรณ์อื่น ๆ มีค่าเท่ากันทั้งสองสถานีคือ มีค่า 550 kV ในส่วนของระยะ Clearance ของแต่ละสถานีไฟฟ้านั้นมีค่าแตกต่างกัน นั่นคือ สถานีไฟฟ้าลำปางมีระยะ clearance เท่ากับ 0.5 เมตร และสถานีไฟฟ้าสมุทรสาครมีระยะ clearance เท่ากับ 0.4 เมตร ซึ่งการที่สถานีไฟฟ้ามีขนาดเล็กลงจากเดิมจะทำให้ประหยัดเนื้อที่ในการก่อสร้าง และอุปกรณ์ที่ค่า BIL มีค่าต่ำจะทำให้เป็นการประหยัดเงินลงทุนการก่อสร้างสถานีไฟฟ้า

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] IEEE Standard 1313.1-1996, IEEE standard for insulation coordination.
- [2] IEEE Working Group on Modelling and Analysis of System Transients, "Modelling Guidelines For Fast Front Transients," IEEE Trans. Power Delivery , Vol.11, No.1, pp.493-506, January 1996.
- [3] F.P.Dawalibi, W. Ruan, S. Fortin, J.Ma and W.K. Daily , "Computation of Power Line Structure Surge Impedances Using The Electromagnetic Field Method," IEEE Trans. Power delivery, pp.663-668, 2001.
- [4] รายงานผลการวัดกระแสฟ้าผ่าในพื้นที่ประเทศไทยของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตในช่วงปี พ.ศ. 2539-2540
- [5] NEMA Power Switching Equipment Standard SG6

ประวัติผู้เขียน

นายพรทิตา สร้างคอมพัฒนา สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีการศึกษา 2542 ปัจจุบันทำงานอยู่ในตำแหน่งวิศวกร ระดับ 4 ที่ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค