

ผลกระทบเนื่องจากแรงดันเกินที่มีต่อกับดักฟ้าผ่า ทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงระบบจำหน่าย

*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปรีชา สาครังค์

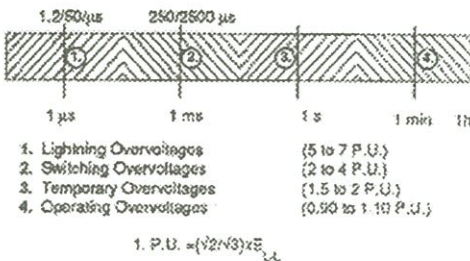
1. บทนำ

แรงดันเกินในระบบจำหน่ายได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่องจากวิศวกรที่ปฏิบัติการ ผลกระทบเนื่องมาจากแรงดันเกินที่เกิดขึ้นทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงจำหน่าย สามารถสร้างความเสียหายต่อระบบจำหน่ายได้ อย่างไรก็ตามการวิจัยเพื่อหาวิธีการลดผลกระทบจากแรงดันเกินจำเป็นต่อการพัฒนาระบบจำหน่ายในประเทศกำลังพัฒนาหลายประเทศ โดยแต่ละประเทศจะมีกรณีศึกษาเฉพาะซึ่งยังคงมีความจำเป็นในการศึกษา ช่วงหลายปีที่ผ่านมากระบวนการจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มีหลายเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับความเสียหายของกับดักฟ้าผ่าทางด้านแรงต่ำแต่ยังไม่สามารถตัดสินได้แน่นอนถึงสาเหตุ โครงการวิจัยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2544 เพื่อค้นหาผลกระทบของแรงดันเกินต่อกับดักฟ้าผ่าทางด้านแรงต่ำของหม้อ

แปลงจำหน่าย คณะผู้วิจัยประกอบด้วย 3 หน่วยงาน คือศูนย์วิจัยระบบไฟฟ้ากำลัง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ กองวิจัย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และแผนกกับดักฟ้าผ่า บริษัท ฟรีโซซ์ จำกัด การทดสอบได้ทำในห้องปฏิบัติการระบบไฟฟ้าแรงสูง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในวันที่ 28 - 29 มกราคม พ.ศ. 2545 การจำลองทางคอมพิวเตอร์ได้ใช้โปรแกรม PSCAD/EMTDC V3.0.6 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ยืนยันว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลองทางคอมพิวเตอร์ มีความถูกต้อง และผลจำลองจากคอมพิวเตอร์ยืนยันว่าแรงดันเกินชั่วคราวเกิดขึ้นจริงในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กับดักฟ้าผ่าทั้งสองแบบ (ZnO และ SiC) มีความสามารถรักษาและลดระดับแรงดันเกินได้

2. ทฤษฎีพื้นฐาน

แรงดันเกินที่เกิดขึ้นทางด้านแรงดันสูงของหม้อแปลงระบบจำหน่ายมีความอันตรายต่ออุปกรณ์ที่ต่ออยู่ในวงจร แรงดันเกินนี้ยังสามารถถ่ายโอนมาทางด้านแรงต่ำได้และจะเป็นอันตรายต่ออุปกรณ์ของผู้ใช้ไฟฟ้าถ้าไม่มีอุปกรณ์ป้องกัน แรงดันเกินที่เกิดกับระบบไฟฟ้าจำแนกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ



รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและขนาดของแรงดันเกินในระบบไฟฟ้า

1. แรงดันเกินจากภายนอก เช่น เกิดจากปรากฏการณ์ธรรมชาติโดยที่ปรากฏการณ์ฟ้าผ่ามีความอันตรายมากที่สุดเฉพาะระบบที่น้อยกว่า 345 kV

2. แรงดันเกินจากภายใน เช่น เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของการทำงาน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทย่อยได้ดังนี้

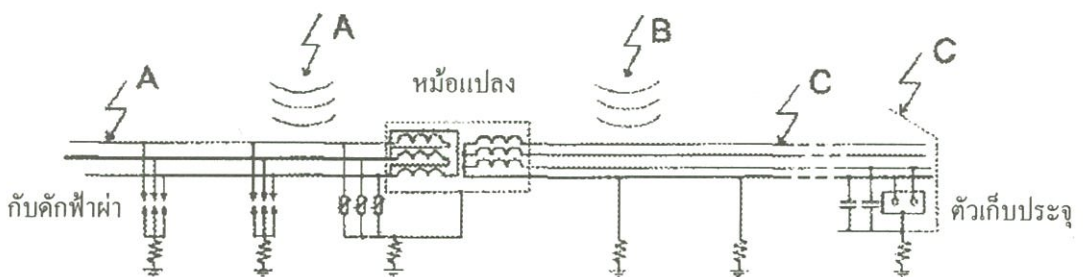
2.1 แรงดันเกินจากการสับปลด

2.2 แรงดันเกินชั่วคราว

2.1 แรงดันเกินที่เกิดจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า

แรงดันเกินที่เกิดจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่าสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท

1. แรงดันเกินที่ถ่ายโอนจากแรงสูงมายังแรงต่ำ (A)
2. แรงดันเกินที่เหนี่ยวนำจากฟ้าผ่าลงพื้นที่ใกล้เคียง (B)
3. แรงดันเกินจากฟ้าผ่าลงสายตัวนำโดยตรง (C)



รูปที่ 2 แสดงแรงดันเกินทั้ง 3 ประเภทที่เกิดจากปรากฏการณ์ ฟ้าผ่า

2.2 แรงดันเกินที่เกิดจากสับปลด

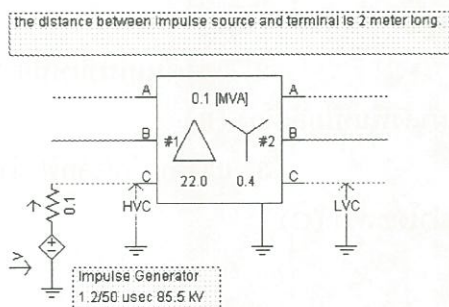
ขนาดของระดับแรงดันเกินที่เกิดจากการสับปลดและรูปร่างขึ้นอยู่กับอิมพีแดนซ์ของระบบ รูปร่างของแรงดันช่วงขาขึ้นจะมีความชันน้อยกว่าและระยะเวลาที่เกิดนานกว่าแรงดันเกินที่เกิดจากฟ้าผ่า แรงดันเกินชนิดนี้สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีการสับหรือปลดของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟ

2.3 แรงดันเกินชั่วคราว

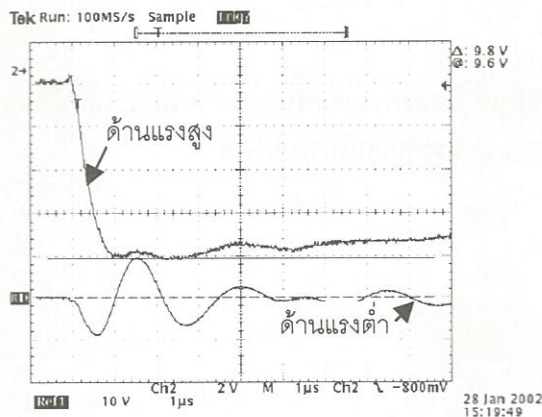
แรงดันเกินชั่วคราวจะพิจารณาแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ขนาดแรงดันและเวลาที่เกิด ซึ่งสาเหตุที่เกิดมาจากหลายปัจจัย เช่นการลัดวงจรลงดิน ปรากฏการณ์ เฟโอโรเรโซแนนซ์ เป็นต้น

แรงดันเกินชั่วคราวแตกต่างจากแรงดันเกินจากการสับปลดโดยจะมีระยะเวลานานกว่าโดยปกติจากหลายคาบเวลาจนถึงหลายวินาที ถ้าความร้อนที่เกิดจากการทำงานของกับดักฟ้าผ่าเกินค่าที่สามารถยอมรับได้แล้วจะทำให้กับดักฟ้าผ่าเสียหายได้ ปรากฏการณ์ที่มีความสำคัญสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. สายนิวทริลหลุด
2. ปรากฏการณ์เฟโอโรเรโซแนนซ์
3. สายส่งตัวนำลัดวงจรกับสายกราวด์



ก)



ข)

รูปที่ 3 ก) การต่อวงจร ข) รูปร่างของแรงดันทางด้านแรงสูงและแรงต่ำของหม้อแปลง

วัตถุประสงค์ของการทดสอบในห้องปฏิบัติการการเพื่อยืนยัน การถ่ายโอนแรงดันเกินที่เกิดจากฟ้าผ่าลงที่หม้อแปลงจำหน่ายทางด้านแรงสูงเข้ามาทางด้านแรงต่ำ และค้นหาปัจจัยที่สามารถช่วยลด

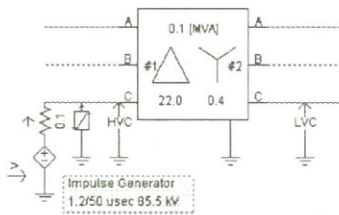
แรงดันเกินที่เกิดขึ้นได้ วงจรที่ใช้ทดสอบแสดงดังรูปที่ 3

ในรูปที่ 3 แรงดันอิมพัลส์ 1.2/50 μ sec ขนาด 85.5 kV ถูกปล่อยไปทางด้านแรงสูงของ

หม้อแปลงโดยที่หม้อแปลงไม่ได้ ต่อกับดักฟ้า ฝ่าไว้
ทั้งทางด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำ แรงดันอิมพัลส์
1.2/50 μsec และ กระแสอิมพัลส์ 8/20 μsec
สามารถใช้แทนการทดสอบฟ้าผ่าได้ ในการวิจัยนี้

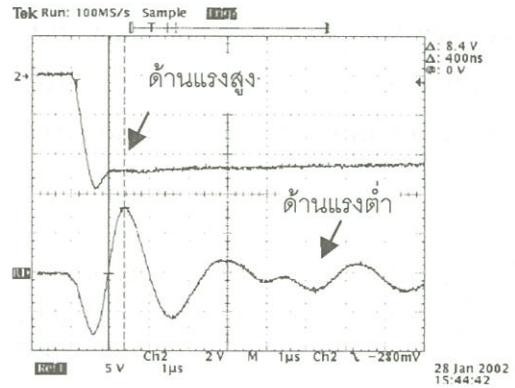
ได้ใช้แรงดันอิมพัลส์ ขณะที่ขนาดแรงดันที่ทดสอบ
พิจารณาจากความสามารถของหม้อแปลง และ
ระดับการทำงานของกักฟ้าผ่าที่ทดสอบ

the distance between impulse source and terminal is 2 meter long.



ก)

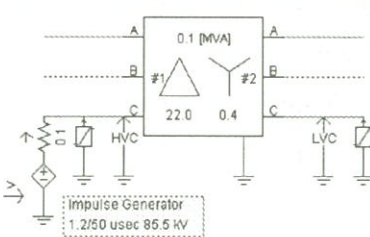
รูปที่ 4 ก) การต่อวงจร ข) รูปร่างของแรงดันทางด้านแรงสูงและแรงต่ำของหม้อแปลง



ข)

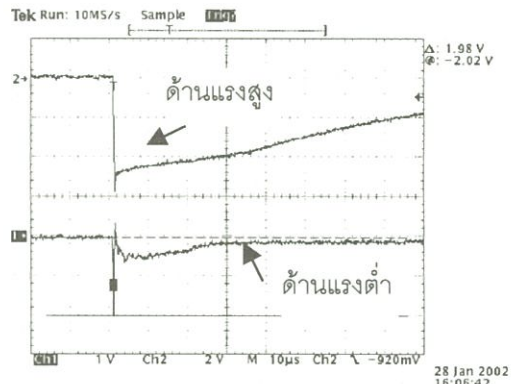
ในรูปที่ 4 แรงดันอิมพัลส์ 1.2/50 usec ขนาด 85.5 kV ถูกปล่อยไปทางด้านแรงสูงของหม้อ
แปลงโดยมีการติดตั้งกักฟ้าผ่าทางด้านแรงสูงเท่านั้น

the distance between impulse source and terminal is 2 meter long.



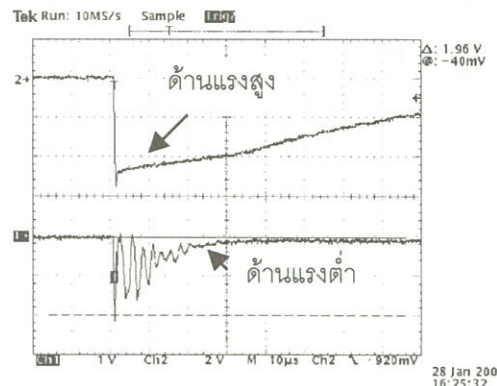
ก)

ป)



ค)

รูปที่ 5 ก) วงจรการต่อ ข) รูปร่างของแรงดัน
ทางด้านแรงสูงและแรงต่ำของหม้อแปลงเมื่อ
ติดตั้งกักฟ้าผ่าทางด้านแรงต่ำเป็นชนิด SiC
และ ค) รูปร่างของแรงดันทางด้านแรงสูงและ
แรงต่ำของหม้อแปลงเมื่อติดตั้งกักฟ้าผ่า
ทางด้านแรงต่ำเป็นชนิด ZnO



ในรูปที่ 5 แรงดันอิมพัลส์ 1.2/50 usec ขนาด 85.5 kV ถูกปล่อยที่ด้านแรงสูงของหม้อแปลงโดยมีการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าทางด้านแรงสูงและทางด้านแรงต่ำ กับดักฟ้าผ่าทางด้านแรงต่ำเป็นชนิด SiC และ ZnO ดังรูป 5ข) และ 5ค) ตามลำดับ รูปที่ 3 และ 4 ยืนยันผลการจำลองเมื่อใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีผลตรงกันกับการ

ทดสอบในห้องปฏิบัติการ รูปที่ 5 แสดงว่ากับดักฟ้าผ่าทั้งสองชนิดสามารถ ช่วยลดแรงดันเกินได้ โดยมีระดับทำงานอยู่ระหว่าง 3.0 – 3.5 kV ซึ่งแรงดันเกินนี้ถ่ายโอนมาจากทางด้านแรงสูงเข้ามาทางด้านแรงต่ำ การสรุปผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1

ทางด้านแรงสูง	ทางด้านแรงต่ำ	รายละเอียด
85.5 kV	14.8 kV	ไม่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าทางแรงสูงและไม่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าทางแรงต่ำ
59.6 kV	12.7 kV	ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าทางแรงสูงและไม่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าทางแรงต่ำ
59.6 kV	3.0 to 3.5 kV	ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าทางแรงสูงและติดตั้งกับดักฟ้าผ่าทางแรงต่ำ

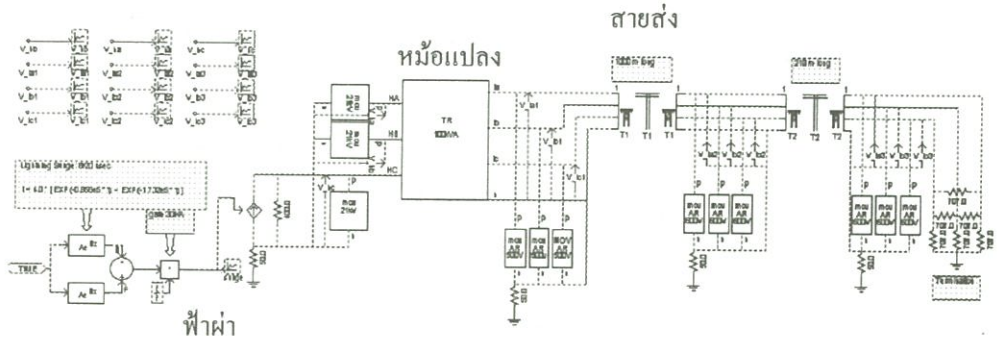
ผลตอบสนองแรงดันของกับดักฟ้าผ่าแบบ ZnO ที่มีการออกสิลเลทพร้อมกันมีขนาดลดลงสัมพันธ์กับเวลา สาเหตุอาจมาจากแรงดันเอาท์พุทที่ออกทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงจำหน่ายมีรูปร่างออสซิลเลทอยู่แล้วดังรูปที่ 3ข) ดังนั้นเมื่อกับดักฟ้าผ่าทำงานจึงมีรูปร่างปรากฏดังรูปที่ 5ค)

การจำลองโดยใช้คอมพิวเตอร์กรณี การติดตั้งกับดักฟ้าผ่าทางด้านแรงต่ำตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การติดตั้งกับดักฟ้าผ่าทางด้านแรงต่ำที่ใช้ในปัจจุบัน เริ่มต้นใช้มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2519 ประกอบกับปัจจุบันเครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์มีจำนวนมากขึ้นจึงทำให้ระบบป้องกันแรงดันเกินมีความจำเป็นมากขึ้นตามไปด้วย แต่แรงดันเกินเนื่องมาจากฟ้าผ่ายังคงสร้างความเสีย

หายต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อยู่ การใช้อุปกรณ์ป้องกันแรงดัน เกินทางด้านแรงต่ำสามารถแก้ปัญหานี้ได้ การแก้ปัญหของผู้ใช้ไฟฟ้โดยการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าทางด้านแรงต่ำสามารถลดขนาดของแรงดันเกินที่เกิดขึ้นทางด้านแรงต่ำได้ มาตรฐานการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าทางด้านแรงต่ำของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีดังนี้

1. ติดตั้งที่หม้อแปลงทางด้านแรงต่ำ
2. ติดตั้งที่ปลายสายและสายกิ่งที่มีความยาวเกิน 200 เมตร
3. ติดตั้งที่สายจำหน่ายที่มีระยะทางระหว่างกับดักฟ้าผ่าไม่เกิน 1000 เมตรและในพื้นที่ที่มีปรากฏการณ์ฟ้าผ่าเกิดขึ้นมาก

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แบบจำลองสำหรับปรากฏการณ์ฟ้าผ่าจำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ชนิดเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรตามการเปลี่ยนความถี่



รูปที่ 6 วงจรที่ใช้ในการจำลอง

ตารางที่ 2 ผลการจำลองเมื่อติดตั้งกับดักฟ้าผ่า (ZnO)

กระแส (kA)	ความต้านทานดิน (Ω)	เฟส	ด้านแรงสูง	จุดวัดด้านแรงต่ำที่ 1 (kV)	จุดวัดด้านแรงต่ำที่ 2 (kV)	จุดวัดด้านแรงต่ำที่ 3 (kV)
30	5	A	16.48	2.15	0.00	0.00
		B	18.41	2.23	-0.23	-0.16
		C	84.17	3.79	0.23	0.16
30	50	A	12.32	8.01	0.109	0.013
		B	14.23	8.07	-0.236	-0.162
		C	84.18	9.61	0.226	0.161
90	5	A	19.31	2.27	0.004	0.00
		B	21.41	2.44	-0.269	-0.194
		C	106.48	3.3	0.269	0.194
90	50	A	13.79	12.27	0.119	0.017
		B	15.94	12.38	-0.273	-0.195
		C	106.19	14.27	0.264	0.192

ตารางที่ 3 ผลการจำลองเมื่อไม่ได้ติดตั้งกับดักฟ้าผ่า

กระแส (kA)	ความต้านทานดิน (Ω)	เฟส	ด้านแรงสูง	จุดวัดด้านแรงต่ำที่ 1 (kV)	จุดวัดด้านแรงต่ำที่ 2 (kV)	จุดวัดด้านแรงต่ำที่ 3 (kV)
30	5	A	17.86	5.94	0.31	0.05
		B	19.87	6.55	-1.25	-1.21
		C	84.20	18.83	1.24	1.21
30	50	A	13.97	7.00	0.36	0.07
		B	15.98	7.38	-1.26	-1.22
		C	84.21	19.57	1.23	1.20
90	5	A	21.67	8.08	0.34	0.06
		B	23.91	9.09	-1.35	-1.31
		C	106.4	25.59	1.34	1.30
90	50	A	15.45	10.87	0.39	0.08
		B	17.67	11.60	-1.36	-1.32
		C	106.4	26.49	1.34	1.29

จุดวัดด้านแรงต่ำที่ 1 อยู่ที่ด้านแรงต่ำของหม้อแปลง

จุดวัดด้านแรงต่ำที่ 2 ห่างจากด้านแรงต่ำของหม้อแปลง 1000 เมตร

จุดวัดด้านแรงต่ำที่ 3 ห่างจากด้านแรงต่ำของหม้อแปลง 1210 เมตร

ผลลัพธ์ ค่าแรงดันเกินสูงสุดเกิดขึ้นในกรณีที่ไม่มีกับดักฟ้าผ่าติดตั้งอยู่ในระบบ การใช้งานกับดักฟ้าผ่าแรงต่ำในระบบจำหน่ายมีความต้องการดังมีเหตุผลสนับสนุนเป็นข้อ ๆ ดังนี้

1. การติดตั้งกับดักฟ้าผ่าทั้งด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำของหม้อแปลงมีความสำคัญ กับดักฟ้าผ่าที่ติดกับตัวหม้อแปลงเป็นตำแหน่งที่มีความสำคัญมากที่สุดทั้งทางด้านแรงสูง และด้านแรงต่ำ จุดติดตั้งกับดักฟ้าผ่าจุดอื่นๆ บน สายจำหน่ายแรงต่ำจะมีความสำคัญรองลงมา

2. ในกรณีของกระแสสมิพลัสขนาด 30 kA พุ่งลงที่หม้อแปลงโดยที่หม้อแปลงได้ ติดตั้งกับดักฟ้าผ่า ทั้งทางด้านแรงสูงและแรงต่ำแบบ

ZnO และจุดต่อลงกราวด์มีความต้านทาน 5 Ω กับดักฟ้าผ่าแบบ ZnO จะช่วยลดแรงดันเกินที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับไม่เกิน 4 kV เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีติดตั้งกับดักฟ้าผ่าทางด้านแรงต่ำ แรงดันเกินมีค่าสูงถึง 19 kV

3. กับดักฟ้าผ่ามีความสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันฟ้าผ่าลงสายจำหน่ายได้จำนวนของกับดักฟ้าผ่า และตำแหน่งที่ติดตั้งของกับดักฟ้าผ่าขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ค่าประสิทธิภาพที่ต้องการ โครงสร้างของสายจำหน่าย คุณลักษณะของกับดักฟ้าผ่า เป็นต้น

4. ผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นว่า มาตรฐานการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าทางแรง

ต่ำมีประโยชน์ในการช่วยลดอันตรายจากฟ้าผ่าลงระบบจำหน่าย

5. ผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นว่ามีความจำเป็นในการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าทางด้านแรงต่ำให้เป็นไปตามมาตรฐาน

6. ผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นว่า ความต้านทานของจุดต่อลงกราวด์มีความสัมพันธ์ต่อแรงดันเกินที่เกิดขึ้น ทั้งนี้ค่าความต้านทานของจุดต่อลงกราวด์ควรมีค่าต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้

7. ผลการจำลองเมื่อทดสอบด้วยกระแสอิมพัลส์ 8/20 μsec เปลี่ยนขนาดอยู่ระหว่าง 30 - 90 kA ความต้านทานของจุดต่อลงกราวด์เปลี่ยนแปลงจาก 5 Ω , 25 Ω และ 50 Ω ตามลำดับ ขนาดของกระแสจะไหลผ่านกับดักฟ้าผ่าแบบ ZnO ต่ำกว่า 2.5 kA

หลังจากการศึกษาทางด้านทฤษฎี การทดสอบในห้องปฏิบัติการ และการจำลองโดยใช้คอมพิวเตอร์ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. กับดักฟ้าผ่าทั้งสองชนิด (ZnO และ SiC) สามารถช่วยลดแรงดันเกินที่เกิดขึ้น เมื่อทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์ 1.2/50 μsec ให้อยู่ในระดับ 3 ถึง 4 kV ซึ่งแรงดันนี้ถ่ายโอนมาจากทางด้านแรงสูงของหม้อแปลง

2. มาตรฐานการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าทางด้านแรงต่ำของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสามารถช่วยลดอันตรายของระบบจำหน่ายทางด้านแรงต่ำเมื่อมีปรากฏการณ์ฟ้าผ่าลงที่หม้อแปลงทางด้านแรงสูง

3. การติดตั้งกับดักฟ้าผ่าที่หม้อแปลงทั้งทางด้านแรงสูงและทางด้านแรงต่ำเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างมาก

4. ความต้านทานของแท่งสายดินมีความสัมพันธ์ ต่อขนาดแรงดันเกิน ดังนั้นควรลดค่าความต้านทานของแท่งสายดินให้ต่ำที่สุด

5. การวิจัยต่อเนื่องมีความสำคัญ ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบจำหน่ายแรงต่ำ

บรรณานุกรม

- Bak-Jenson, J. and others. (1992, January). Parametric identification in potential transformer modelling. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 7, 1, pp. 70-76.
- Burke, James J. (1994). *Power distribution engineering: fundamentals and applications*. New York [NY]: Marcel Dekker.
- Cun, Yi Yu, and others. (2003). Effect of Overvoltages on LV Side Arrester of Distribution Transformer. *The Sixth International Power Engineering Conference (IPEC2003) in Singapore, from May 22 to 24, 2003*. Singapore : Nanyang Technological University.
- Greenwood, Allan. (1991). *Electrical transients in power systems*. 2nd ed. New York [NY]: John Wiley & Sons.
- Guidelines for representing network elements when calculating transients*. (19--). Paris: CIGRE.

- Islam, S.M., Coates, K.M. and Ledwich, G. (1997, 5-9 October). Identification of high frequency transformer equivalent circuit using Matlab from frequency domain data. **Industry Applications Conference, 1997. Thirty-Second IAS Annual Meeting, IAS'97., Conference Record of the 1997 IEEE, 1**, pp. 357-364.
- Khalifa, M. (ed.). (1990). **High voltage engineering: theory and practice**. New York [NY]: Marcel Dekker.
- Mirra, C. and others. (1997). **Lightning Overvoltages In Low Voltage Networks. Electricity Distribution, Part 1. Contributions. 14th International Conference and Exhibition on (IEE Conf. Publ. No. 438), 1**, pp. 2.19.1-2.19.6.
- Modeling of metal oxide surge arresters. (1992, January). **IEEE Transactions on Power Delivery, 7, 1**, pp. 302-309.
- Paul, D. and Venugoplan, S.I. (1994, September-October). Power distribution system equipment overvoltage protection. **IEEE Transactions on Industry Applications, 30, 5**, pp. 1290-1297.
- Weedy, B.M. and Cory, B.J. (1998). **Electric power systems**. 4th ed. New York [NY]: John Wiley & Sons.
- Woodford, Dennis. (2001). **Introduction to SPCAD V3.0**. Manitoba, Canada: Manitoba HVDC Research Centre.