

การวิเคราะห์ระบบการต่อลงดินเพื่อลดค่าแรงดันไฟฟ้าตกในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

Grounding System Analysis for Reduce Voltage Sag in Distribution System

นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ^{1*} สุรสิทธิ์ ประกอบกิจ¹ และ สมชาย ทรงศิริ²

¹อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ 10800

²ผู้อำนวยการ กองบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กรุงเทพฯ 10900

บทคัดย่อ

การเกิดฟอลต์หรือความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทำให้ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าในสภาวะปกติได้ ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้ากับผู้ใช้ไฟ การเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน เป็นการเกิดฟอลต์แบบไม่สมมาตร ซึ่งมีโอกาสเกิดฟอลต์ในเปอร์เซ็นต์สูง โดยที่ฟอลต์ทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในเฟสที่เกิดฟอลต์มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก ขนาดแรงดันไฟฟ้าของเฟสที่เกิดฟอลต์จะมีค่าลดลง ซึ่งมีผลต่อค่าความเสียหายทางเศรษฐศาสตร์ของระบบ ดังนั้นบทความวิจัยนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์ระบบการต่อลงดินเพื่อลดค่าแรงดันไฟฟ้าตกในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ได้นำเทคนิคการวิเคราะห์ระบบการต่อลงดินเพื่อลดผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าตกในระบบจำหน่ายไฟฟ้าในกรณี การเกิดฟอลต์ 1 เฟสลงดิน โดยมีวัตถุประสงค์ลดปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกให้กับผู้ใช้ไฟ โดยการจำลองเหตุการณ์เกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าระดับแรงดัน 22 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การประมวลผลทดสอบด้วยโปรแกรม EMTDC-PSCAD จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่ารูปแบบการต่อลงดินมีผลต่อการลดปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกให้กับผู้ใช้ไฟและสามารถช่วยลดค่าความเสียหายทางเศรษฐศาสตร์ของระบบได้

Abstract

The fault in a power distribution system disturbs the power dispatch under normal conditions, therefore, decreases the quality of the electric power. The single line to ground fault is an asymmetric fault that may have a high percentage chance to happen. The kind of fault changes power and voltage dramatically. The size of the phase voltage decreases which affect the economic damage of the system. This paper presents an analysis of grounding systems to reduce voltage drop in a power distribution system by using the technical analysis system in case of one phase to ground fault. The objective is to minimize voltage drop for users using the simulation with single line to ground fault in distribution system, voltage level at 22 kV PEA's test system. The simulation utilizes the EMTDC-PSCAD program. The results show that the grounding method can reduce the voltage drop and reduce the damage of the economic system

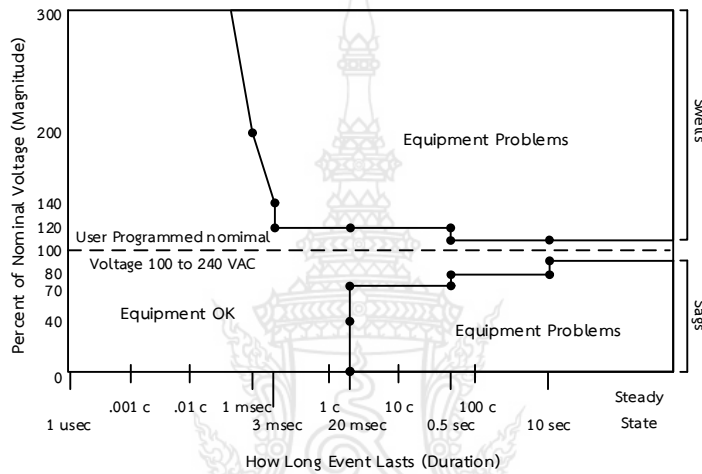
คำสำคัญ : แรงดันไฟฟ้าตก ระบบจำหน่ายไฟฟ้า ฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน ระบบการต่อลงดิน

Keywords : Voltage sags, Distribution system, Single line to ground fault, Grounding system

*ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ nattachote.r@rmutp.ac.th โทร. 0 2913 2424 ต่อ 150

1. บทนำ

การเกิดฟอลต์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ส่งผลกระทบต่อด้านคุณภาพไฟฟ้ากับผู้ใช้ไฟ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ดีต้องมีความน่าเชื่อถือสูง มีเสถียรภาพในการทำงาน และมีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในระบบในอัตราที่ต่ำ เมื่อมีฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในเฟสที่เกิดฟอลต์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก ขนาดแรงดันไฟฟ้าของเฟสที่เกิดฟอลต์ จะมีค่าลดลงอย่างมาก ซึ่งความรุนแรงของฟอลต์ที่เกิดขึ้นจะผันแปรโดยตรงกับขนาดของกระแสฟอลต์ ประเภทของฟอลต์ ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ พิจารณาจากกราฟตามมาตรฐาน ITIC (The Information Technology Industry Council) ดังแสดงในรูปที่ 1

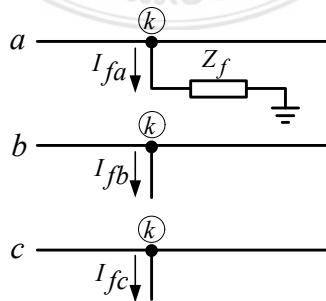


รูปที่ 1 แรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน ITIC

จากรูปที่ 1 แสดงให้เห็นได้ว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการบ่งชี้ระดับความรุนแรง ซึ่งจะสะท้อนถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับผู้ใช้ไฟ กล่าวคืออุปกรณ์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและระยะเวลาต้องปลดวงจรออกจากระบบเป็นผลให้ขบวนการผลิตหยุดชะงัก ซึ่งปัญหาที่ต้องพิจารณาคือ เมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน ที่ระยะทางห่างจากสถานีไฟฟ้า 1 กิโลเมตร และ 20 กิโลเมตร ระบบต่อลงดินที่สถานีไฟฟ้าแบบใดจะช่วยลดผลกระทบปัญหาคุณภาพไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟในพื้นที่ข้างเคียง ขณะเกิดฟอลต์

2. วิธีการทดลอง

การวิเคราะห์ฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน ที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า สามารถเขียนเป็นไดอะแกรมเส้นเดี่ยวอย่างง่ายได้ดังแสดงในรูปที่ 2



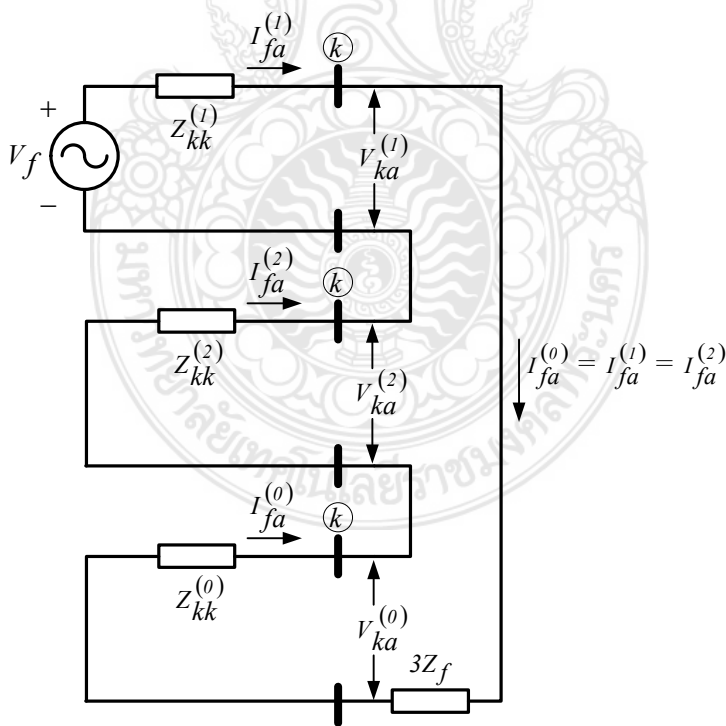
รูปที่ 2 ไดอะแกรมเส้นเดี่ยวของการเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน

จากรูปที่ 2 เมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน ที่ตำแหน่ง k สามารถหากระแสฟอลต์ในส่วนขององค์ประกอบสมมาตรได้ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$I_{fa}^{(0)} = I_{fa}^{(1)} = I_{fa}^{(2)} = \frac{V_f}{Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f} \tag{1}$$

- โดยที่ $I_{fa}^{(0)}$ คือ กระแสฟอลต์ลำดับศูนย์
- $I_{fa}^{(1)}$ คือ กระแสฟอลต์ลำดับบวก
- $I_{fa}^{(2)}$ คือ กระแสฟอลต์ลำดับลบ
- V_f คือ แรงดันไฟฟ้าก่อนเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง k
- $Z_{kk}^{(1)}$ คือ อิมพีแดนซ์เมตริกซ์ลำดับบวกแถวที่ k หลักที่ k
- $Z_{kk}^{(2)}$ คือ อิมพีแดนซ์เมตริกซ์ลำดับลบแถวที่ k หลักที่ k
- $Z_{kk}^{(0)}$ คือ อิมพีแดนซ์เมตริกซ์ลำดับศูนย์แถวที่ k หลักที่ k

จากสมการที่ (1) สามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลเทวินินของเน็ตเวิร์คลำดับบวก ลำดับลบ และลำดับศูนย์ ได้ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 วงจรสมมูลเทวินินของเน็ตเวิร์ค

จากรูปที่ 3 สามารถนำมาใช้วิเคราะห์เพื่อหาแรงดันไฟฟ้าของตำแหน่งข้างเคียง ดังแสดงไว้ในสมการที่ (2)

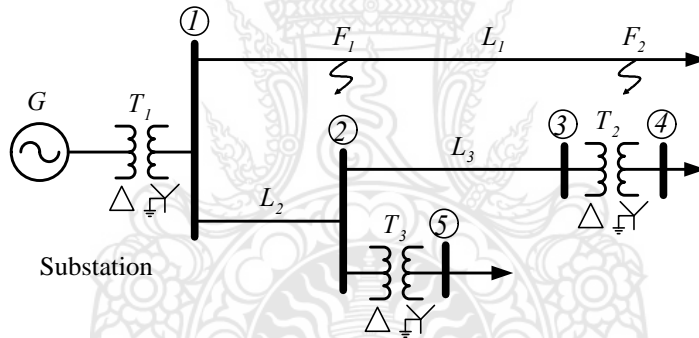
$$V_j = V_f - \frac{Z_{jk}}{Z_{kk}} V_f \quad (2)$$

โดยที่ V_j คือ แรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่ง j

Z_{jk} คือ อิมพีแดนซ์เมตริกซ์แถวที่ j หลักที่ k

Z_{kk} คือ อิมพีแดนซ์เมตริกซ์แถวที่ k หลักที่ k

ระบบการต่อลงดิน คือ การต่อลงดินระหว่างจุดนิวทรัล (Neutral) ของระบบไฟฟ้ากำลัง 3 เฟส จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้าโดยจะเป็นการเชื่อมต่อกันในระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อให้เกิดจุดอ้างอิงของค่าแรงดันไฟฟ้า การแบ่งแยกขอบเขตของระบบการต่อลงดินทำได้โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้า การออกแบบระบบการต่อลงดินที่เหมาะสมจะช่วยลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ ซึ่งระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่นำมาใช้ศึกษาเป็นระบบ 22 kV แบบรัศมี (Radial) โดยกำหนดให้เกิดฟอลต์ที่สายจำหน่าย L_1 ห่างจากสถานีไฟฟ้า 1 กิโลเมตร ที่ตำแหน่ง F_1 และ 20 กิโลเมตร ที่ตำแหน่ง F_2 สามารถอธิบายได้ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดัน 22 kV

จากรูปที่ 4 สายจำหน่ายเป็นสาย PIC (Partial Insulated Cable) ขนาด 185 mm^2 โดยสายจำหน่าย L_1 , L_2 และ L_3 มีระยะทาง 20, 1, และ 19 กิโลเมตร ตามลำดับ หม้อแปลงไฟฟ้า T_1 พิกัด 115 kV/22 kV ต่อแบบ DYn11 ส่วนหม้อแปลงไฟฟ้า T_2 และ T_3 พิกัด 22 kV/400 V ต่อแบบ DYn11 ความถี่ของระบบเท่ากับ 50 Hz ซึ่งพารามิเตอร์ของสายจำหน่ายสามารถแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของสายจำหน่ายระบบ 22 kV

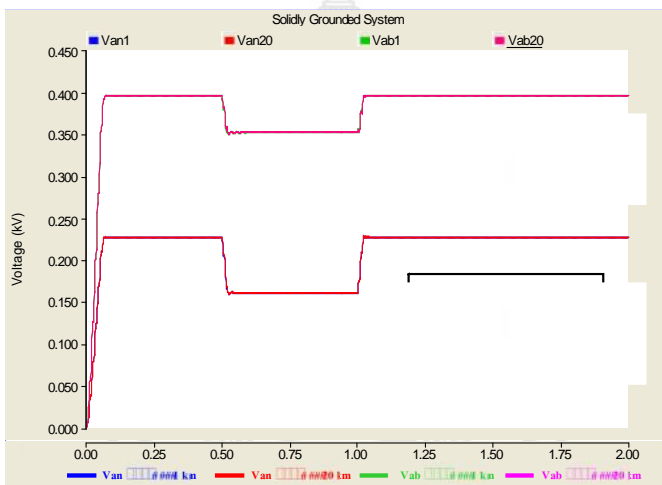
ขนาดสาย (mm^2)	Sequence	Resistance (ohm/km)	Reactance (ohm/km)	Susceptance (S/km)
185	Positive	0.214410	0.224010	5.3076E-6
	Zero	0.459940	1.755800	1.7886E-6

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ในบทความนี้ได้จำลองให้เกิดฟอลต์เพียงแบบเดียวคือ 1 เฟสลงดิน ที่ระยะทางห่างจากสถานีไฟฟ้า 1 km ตำแหน่ง F_1 และ 20 km ตำแหน่ง F_2 และได้ทำการจำลองเหตุการณ์ต่อลงดินในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้า T_1 ส่วนหม้อแปลง T_2 และ T_3 เป็นหม้อแปลงที่มีการต่อแบบลงดินโดยตรง เพื่อศึกษาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่ย่าน 4 และ 5 ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าทางด้านจ่ายโผลดของหม้อแปลง จึงจำลองเหตุการณ์ได้ดังต่อไปนี้

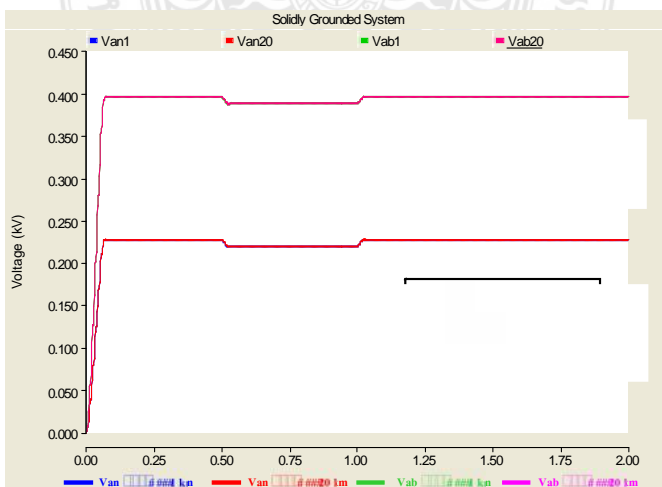
3.1 เหตุการณ์ระบบต่อลงดินโดยตรง

การศึกษาในเหตุการณ์นี้ได้จำลองให้หม้อแปลงไฟฟ้า T_1, T_2 และ T_3 ต่อลงดินโดยตรงที่ เมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้นที่ ตำแหน่ง F_1 และ F_2 ตามลำดับขนาดของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่ย่าน 4 และ 5 สามารถแสดงได้ดังแสดงในรูปที่ 5-6



รูปที่ 5 แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่ย่าน 4 และ 5 เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง F_1

จากรูปที่ 5 เป็นแรงดันสาย และแรงดันเฟสของวงจรไม่เกิดฟอลต์ที่ย่าน 4 และ 5 ซึ่งสามารถวัดขนาดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ เท่ากับ 0.352 kV และ 0.160 kV ตามลำดับ

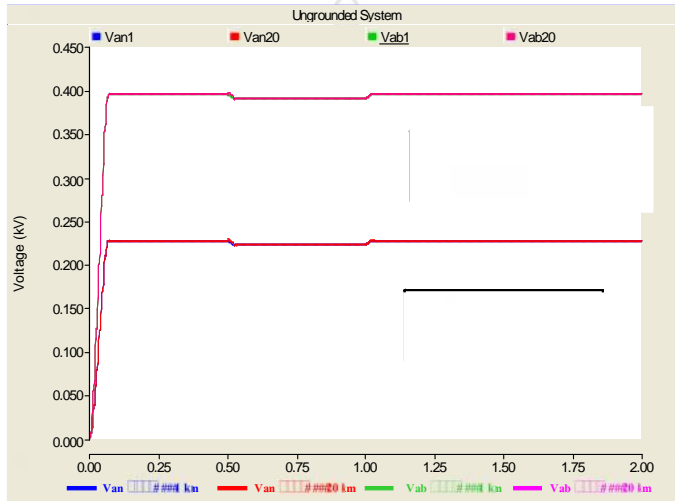


รูปที่ 6 แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่ย่าน 4 และ 5 เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง F_2

จากรูปที่ 6 เป็นแรงดันสาย และแรงดันเฟสของวงจรไม่เกิดฟอลต์ที่บัส 4 และ 5 ซึ่งสามารถวัดขนาดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ เท่ากับ 0.387 kV และ 0.219 kV ตามลำดับ

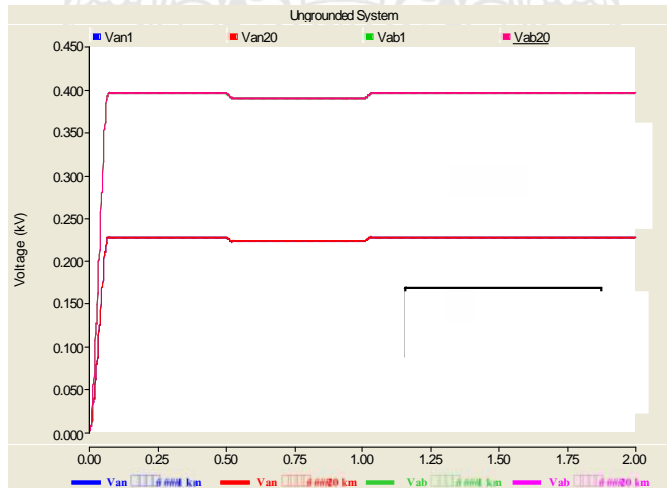
3.2 เหตุการณ์ระบบไม่มีการต่อลงดิน

การศึกษาในเหตุการณ์นี้ได้จำลองให้หม้อแปลงไฟฟ้า T_1 ไม่มีการต่อลงดิน ส่วนหม้อแปลงไฟฟ้า T_2 และ T_3 มีการต่อลงดินโดยตรง เมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้นที่ ตำแหน่ง F_1 และ F_2 ตามลำดับ ขนาดของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่บัส 4 และบัส 5 สามารถแสดงได้ดังแสดงในรูปที่ 7-8



รูปที่ 7 แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่บัส 4 และ 5 เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง F_1

จากรูปที่ 7 เป็นแรงดันสาย และแรงดันเฟสของวงจรไม่เกิดฟอลต์ที่บัส 4 และ 5 ซึ่งสามารถวัดขนาดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ เท่ากับ 0.390 kV และ 0.223 kV ตามลำดับ



รูปที่ 8 แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่บัส 4 และ 5 เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง F_2

จากรูปที่ 8 เป็นแรงดันสาย และแรงดันเฟสของวงจรไม่เกิดฟอลต์ที่บัส 4 และ 5 ซึ่งสามารถวัดขนาดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ เท่ากับ 0.390 kV และ 0.223 kV ตามลำดับ

3.3 เหตุการณ์ระบบต่อลงดินโดยผ่านความต้านทาน

การศึกษาในเหตุการณ์ระบบต่อลงดินโดยผ่านความต้านทาน ได้จำลองให้หม้อแปลงไฟฟ้า T_1 มีการต่อลงดินโดยผ่านความต้านทาน Neutral Ground Resistor, NGR มีค่าเท่ากับ 12.7 Ω เมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้นที่ ตำแหน่ง F_1 และ F_2 ตามลำดับขนาดของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่ยีส 4 และ 5 สามารถแสดงได้ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ขนาดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่ยีส 4 และ 5

ตำแหน่ง	Bus 4		Bus 5	
	Vab	Van	Vab	Van
F_1	0.382 kV	0.218 kV	0.382 kV	0.218 kV
F_2	0.387 kV	0.221 kV	0.387 kV	0.221 kV

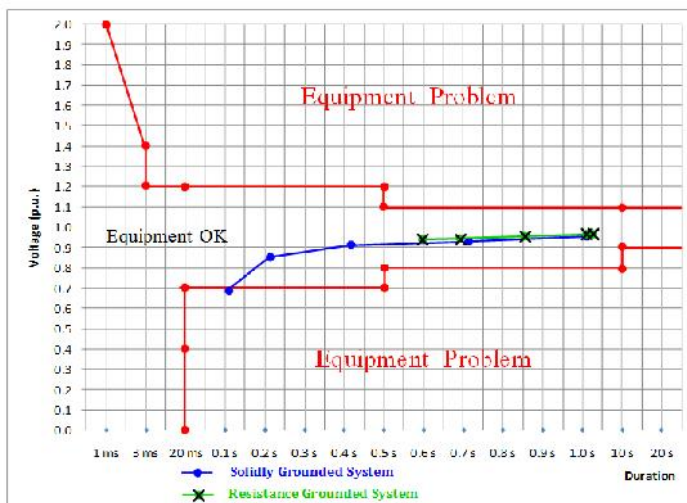
3.4 เหตุการณ์ระบบต่อลงดินโดยผ่านรีแอกแตนซ์

การศึกษาในเหตุการณ์นี้ได้จำลองให้หม้อแปลงไฟฟ้า T_1 มีการต่อลงดินโดยผ่านรีแอกแตนซ์ มีค่าเท่ากับ 37.7 Ω เมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้นที่ ตำแหน่ง F_1 และ F_2 ตามลำดับขนาดของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่ยีส 4 และ 5 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3

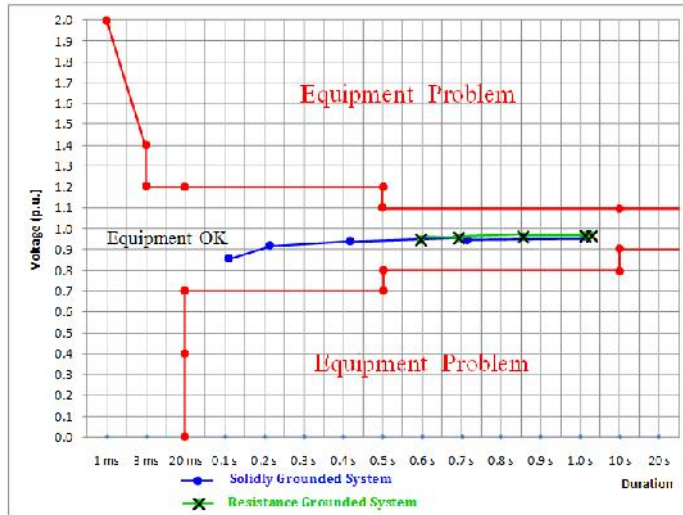
ตารางที่ 3 ขนาดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่ยีส 4 และ 5

ตำแหน่ง	Bus 4		Bus 5	
	Vab	Van	Vab	Van
F_1	0.386 kV	0.215 kV	0.386 kV	0.215 kV
F_2	0.389 kV	0.221 kV	0.389 kV	0.221 kV

จากการจำลองเหตุการณ์เราได้นำขนาดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่ยีส 4 และยีส 5 มาทำเป็นระบบเปอร์เซ็นต์ และเขียนเป็นกราฟตามมาตรฐาน ITC การต่อลงดินที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคใช้งานเป็นแบบต่อลงดินโดยตรง และการต่อลงดินโดยผ่านความต้าน ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบการต่อลงดินทั้งสองแบบ เพื่อศึกษาปัญหาคุณภาพไฟฟ้าทางด้านจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งแสดงให้เห็นได้ดังแสดงในรูปที่ 9-10



รูปที่ 9 แรงดันไฟฟ้าเฟสที่ยีส 4 และ 5



รูปที่ 10 แรงดันไฟฟ้าสายที่บัส 4 และ 5

จากรูปที่ 9 แสดงแรงดันไฟฟ้าเฟสที่บัส 4 และ 5 เมื่อเกิดฟลด์ที่สายจำหน่าย L_1 โดยมีระยะทางห่างจากสถานีไฟฟ้า 1 km, 5 km, 10 km, 15 km และ 20 km ส่วนรูปที่ 10 แสดงแรงดันไฟฟ้าสายที่บัส 4 และ 5 เมื่อเกิดฟลด์ที่สายจำหน่าย L_1 โดยมีระยะทางห่างจากสถานีไฟฟ้า 1 km, 5 km, 10 km, 15 km และ 20 km จากผลการเปรียบเทียบขนาดของแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน ITC ทำให้ทราบว่า ระบบการต่อลงดินโดยตรงมีผลกระทบของแรงดันตกชั่วขณะมากกว่าระบบการต่อลงดินโดยผ่านความต้านทาน แต่ระยะเวลาในการกำจัดฟลด์ของระบบการต่อลงดินโดยผ่านความต้านทานจะใช้เวลาที่นานกว่าระบบการต่อลงดินโดยตรง กล่าวคือ ระบบที่มีขนาดแรงดันไฟฟ้าตกน้อยกว่าจะใช้เวลาในการกำจัดฟลด์ที่นานกว่านั่นเอง แต่ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะสำหรับระบบการต่อลงดินทั้ง 2 ชนิดนี้ ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย หรือความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ

4. สรุป

ระบบการต่อลงดินโดยตรงมีขนาดของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะมากกว่าระบบการต่อลงดินชนิดอื่น ๆ เหมาะที่จะใช้กับระบบไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำ หรือระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่สามารถทนกับค่ากระแสแวลต์สูงๆ ได้ แต่กระแสแวลต์สูงมีค่าสูงมากเนื่องจากกราวด์มีความต้านทานต่ำมาก แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะในวงจรที่ไม่เกิดฟลด์จะมีค่าสูง ระบบการต่อลงดินโดยผ่านความต้านทานมีขนาดของแรงดันตกชั่วขณะน้อยกว่าระบบการต่อลงดินโดยตรง กระแสแวลต์สูงที่เกิดขึ้นจะน้อยมากจึงไม่จำเป็นต้องรีบลดแรงกระแสทันทีทำให้มีความต่อเนื่องในการจ่ายกระแสไฟฟ้า ระบบป้องกันไม่สามารถตรวจจับกระแสแวลต์สูงได้ เมื่อเกิดฟลด์อาจเกิดสภาวะแรงดันเกินชั่วขณะที่รุนแรงมากจนทำให้อุปกรณ์เกิดความเสียหาย ระบบการไม่ต่อลงดินถือได้ว่าไม่มีผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ เป็นระบบการต่อลงดินที่ช่วยป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับหม้อแปลงไฟฟ้า เมื่อเกิดกระแสแวลต์สูงลงดินที่มีค่าสูงมาก และลดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะเมื่อเกิดฟลด์ 1 เฟสลงดิน เมื่อเกิดฟลด์จะทำให้เลยสามารถตรวจจับฟลด์และสั่งปลดวงจรได้ทันที และระบบการต่อลงดินโดยผ่านรีแอกแตนซ์มีขนาดของแรงดันตกชั่วขณะน้อยกว่าระบบการต่อลงดินโดยตรง การใช้ระบบการต่อลงดินโดยตรง และระบบการต่อลงดินโดยผ่านความต้านทานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสามารถทำให้มีคุณภาพไฟฟ้าที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

5. เอกสารอ้างอิง

- ชำนาญ ห่อเกียรติ และเทพกัญญา ชัดิแสง. 2549. **การต่อลงดิน**. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จรัสนิทวงศ์.
- Information Technology Industry Council. 2000. ITI (CBEMA) **Curve Application Note,**” **Technology Committee 3 (TC3) of the ITI Council.** Washington DC.
- J. J Grainger and W. D. Stevenson. 1994. **Power System Analysis.** Singapore : McGraw-Hill.
- P. M. Anderson. 1999. **Power System Protection.** New York : McGraw-Hill Book Company.
- P. M. Anderson. 1973. **Analysis of Faulted Power System.** the Iowa State University Press/Ames.
- Hadi Saadat. 1999. **Power System Analysis.** New Jersey : McGraw-Hill Book Company.
- IEEE std 80-2000. 2000. **IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.** IEEE Power and Energy Society.

