

การวิเคราะห์กระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เชื่อมกริดเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อการออกแบบองค์ประกอบการป้องกัน

Short-Circuit Current Analysis in Distribution Power Systems with Grid- Connected Photovoltaic Systems for Protection Element Design

จิณัฐตา ชัดติจิตร์¹ และ ไตรรัตน์ ปะที^{2*}
Jinatta Khattijit¹, Tritath Pati^{2*}

^{1,2} สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

^{1,2} Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lannna

* Email: TRP_off@RMUTL.ac.th

Received: July 30, 2025; Revised: December 23, 2025; Accepted: April 16, 2026

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนอาทิเช่น พลังงานไฟฟ้าทดแทนด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบันโดยรูปแบบที่ใช้เป็นการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนานเข้ากับโครงข่ายของระบบจำหน่ายไฟฟ้าเดิม ตามทฤษฎีการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าเมื่อมีการเพิ่มแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับโครงข่าย จะส่งผลต่อขนาดของกระแสลัดวงจรและอาจมีผลต่อปริมาณไฟฟ้าในโครงข่ายของระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้าเดิมด้วยเหตุนี้จึงได้นำเสนอการวิเคราะห์กระแสลัดวงจรในโครงข่ายของระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้าที่มีการเพิ่มแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่โครงข่าย โดยการสร้างแบบจำลองของระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้าที่ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดไฟฟ้าหลัก Utility ที่มีการเพิ่มแหล่งกำเนิดไฟฟ้า SPP Generator และแหล่งกำเนิดไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ มาทำการวิเคราะห์กระแสไฟฟ้าลัดวงจรโดยอ้างอิงหลักการตามมาตรฐาน IEC 60909 เพื่อนำขนาดของกระแสลัดวงจรที่ได้จากการวิเคราะห์มาพิจารณาค่าพิกัดของปริมาณไฟฟ้าในโครงข่ายรวมไปถึงการพิจารณาค่าปรับตั้งการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE C37.230(2020) IEEE C37.234 (2021) และ IEEE C37.91 (2021)

คำสำคัญ : การวิเคราะห์กระแสไฟฟ้าลัดวงจร, การป้องกันระบบไฟฟ้า, เซลล์แสงอาทิตย์

Abstract

The growth of renewable energy with photovoltaic is extremely expanding in the present time. The favorite solution of photovoltaic installation is the grid connection to the existing distribution power network that is similar to enhance electricity generation source into the network. According to power system analysis fundamental, short circuit current and electric equipment in network will be affected. That is the reason to propose short circuit current analysis in distribution power network with addition of electricity generation source. The model of distribution power network, which consist of utility (main power source), SPP generator and photovoltaic, will be created and analyzed to achieve short circuit current according to IEC 60909. The result will be applied to consider rated electrical equipment and operation pickup value according to IEEE C37.230 (2020) IEEE C37.234 (2021)

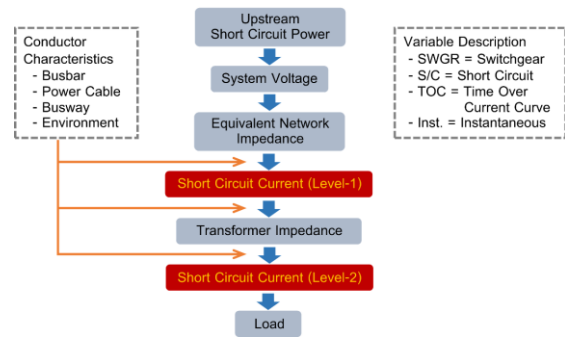
Keywords : Short circuit current analysis, Power system protection, Photovoltaic

1. บทนำ

ในการออกแบบระบบป้องกันสำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้า การประเมินค่ากระแสลัดวงจร (Short-Circuit Current) ถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งของโครงข่ายไฟฟ้าเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นต่อการกำหนดพิกัดการทนกระแสลัดวงจรของอุปกรณ์ต่าง ๆ อาทิ แผงสวิตช์ไฟฟ้า (Switchgear) และเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) ตลอดจนใช้ในการปรับตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Relay) เพื่อให้สามารถตัดต่อความผิดปกติออกจากระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ และเพิ่มความมั่นคงของระบบไฟฟ้าโดยรวม

มาตรฐานสากล IEC 60909 ได้กำหนดแนวทางการคำนวณกระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้าโดยใช้แบบจำลองทางไฟฟ้าแบบเชิงเส้น (Linear Equivalent Model) ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าทั่วไปได้ โดยพิจารณาค่าพารามิเตอร์หลักที่มีผลต่อกระแสลัดวงจร เช่น แหล่งจ่ายต้นทาง หม้อแปลงไฟฟ้า ตัวนำไฟฟ้า และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในเส้นทางไหลของกระแส ทั้งนี้ ค่ากระแสลัดวงจรที่ได้จากการประเมินจะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับของอุปกรณ์รวมถึงการกำหนดค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันอย่างเหมาะสมตามตำแหน่งในระบบ [1-3]

สำหรับการประเมินกระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ข้อมูลที่จำเป็นในการคำนวณประกอบด้วย ค่ากำลังลัดวงจรหรือกระแสลัดวงจรจากแหล่งจ่าย ระดับแรงดันไฟฟ้าใช้งาน และค่าอิมพีแดนซ์ขององค์ประกอบในระบบ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า และตัวนำที่ใช้ในการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้า โดยค่ากระแสลัดวงจรที่ได้จะถูกนำไปใช้กำหนดพิกัดการทนต่อกระแสของอุปกรณ์ตัดต่อ อาทิ แผงสวิตช์ไฟฟ้า (SWGR) และเซอร์กิตเบรกเกอร์ (CB) รวมถึงใช้กำหนดค่าการตั้งของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน โดยเฉพาะในกรณีของการป้องกันแบบฉับพลัน (Instantaneous Overcurrent Protection) ที่ต้องใช้ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดในการตั้งค่า ขณะที่การป้องกันแบบหน่วงเวลา (Time Overcurrent Protection) จำเป็นต้องพิจารณาร่วมกับข้อมูลการไหลโหลด (Load Flow) เพื่อให้ระบบป้องกันมีความสอดคล้องและประสานงานอย่างเหมาะสม [4,5]



รูปที่ 1 ตัวอย่างวิเคราะห์การลัดวงจรของระบบไฟฟ้า

2. วิธีการวิจัย

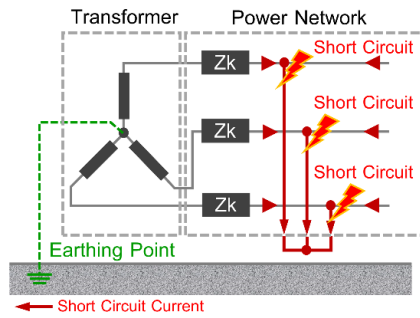
การประเมินกระแสไฟฟ้าลัดวงจรอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 60909 ซึ่งได้กำหนดรูปแบบของการลัดวงจรไว้ทั้งหมด 4 รูปแบบด้วยกัน ประกอบด้วย การลัดวงจรแบบสามเฟสสมมาตร (Three Phases Short Circuit) การลัดวงจรระหว่างสายแบบไม่ลงดิน (Line to Line Short Circuit) การลัดวงจรระหว่างสายแบบลงดิน (Line to Line Short Circuit to Ground) และการลัดวงจรหนึ่งเฟสลงดิน (Line to Ground Short Circuit) ในการออกแบบระบบป้องกันของระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะพิจารณาการลัดวงจร 2 รูปแบบ คือ [4,5]

2.1 การลัดวงจรแบบสามเฟสสมมาตร

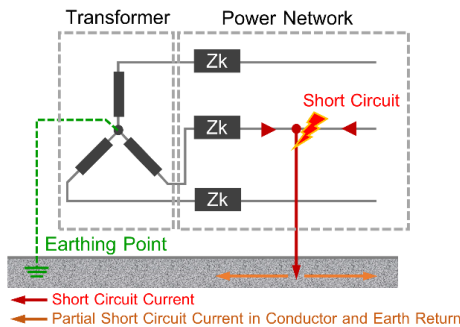
เป็นรูปแบบการลัดวงจรที่มีค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด ใช้กำหนดค่าพิกัดการทนต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแผงสวิตช์ไฟฟ้า เซอร์กิตเบรกเกอร์ในแผงสวิตช์ไฟฟ้า และค่าการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบฉับพลัน (Instantaneous Protection) ในส่วนของการลัดวงจรเฟส เนื่องจากทำให้กระแสลัดวงจรมีค่ามากที่สุด ส่งผลต่อการออกแบบอุปกรณ์ป้องกันและการคำนวณความมั่นคงของระบบไฟฟ้า รวมไปถึงการทดสอบความสามารถของระบบในการรองรับความผิดปกติ

2.2 การลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงดิน

เป็นรูปแบบการลัดวงจรที่โอกาสเกิดขึ้นมากที่สุด ใช้ในการกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบฉับพลันในส่วนของกระแสลัดวงจรลงดิน (Instantaneous Ground Protection)



(1) การลัดวงจรแบบสามเฟสสมมาตร



(2) การลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงดิน

รูปที่ 2 รูปแบบไฟฟ้าลัดวงจรที่ใช้ในการวิเคราะห์ไฟฟ้าลัดวงจรของระบบ

จากรูปแบบของการลัดวงจรที่พิจารณาเพื่อใช้ในการประเมินกระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตามที่แสดงในรูปที่ 2 กระแสลัดวงจรของรูปแบบดังกล่าวสามารถพิจารณาได้ตามมาตรฐาน IEC 60909 ซึ่งกำหนดสมการสำหรับการคำนวณกระแสลัดวงจรไว้ดังนี้ [6,7]

1) กระแสลัดวงจรของการลัดวงจรแบบสามเฟสสมมาตร

$$I''_3 = \frac{(c)(U_n)}{(\sqrt{3})(Z_1)} \quad (1)$$

2) กระแสลัดวงจรของการลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงดิน

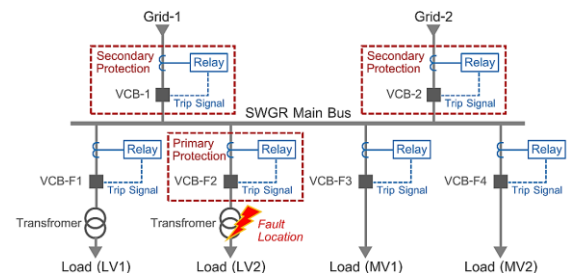
$$I''_{kE1} = \frac{(\sqrt{3})(c)(U_n)}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)} \quad (2)$$

นอกจากนี้ในกรณีที่มิโหลดประเภทเหนี่ยวนำเชื่อมต่อเข้ากับโครงข่ายของระบบจำหน่ายไฟฟ้า จะมีกระแสลัดวงจรที่มาจากโหลดเหนี่ยวนำจ่ายเข้ามาในระบบด้วยเมื่อเกิดการลัดวงจร การประเมินกระแสลัดวงจรจากโหลดเหนี่ยวนำสามารถคำนวณได้จากกระแสลัดวงจรจากโหลดเหนี่ยวนำ(L) กรณีที่โหลดเหนี่ยวนำเชื่อมต่อตรงเข้ากับระบบ

$$I''_{kE1} = \frac{(c)(U_n)}{(\sqrt{3})(Z_m)} \quad (3)$$

นอกจากการวิเคราะห์กระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแล้วการกำหนดค่าพิกัดการทนต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของ แผงสวิตช์ไฟฟ้าเซอร์กิตเบรกเกอร์ในแผงสวิตช์ไฟฟ้าและค่าการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน จะต้องพิจารณาดำเนินการของแผงสวิตช์ไฟฟ้า เซอร์กิตเบรกเกอร์และรีเลย์ป้องกันกระแสเกินด้วย [8]โดยค่าพิกัดการทนต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของอุปกรณ์ควรมีค่ามากกว่ากระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านอุปกรณ์เมื่อเกิดการลัดวงจรที่จุดนั้นๆ สำหรับค่าการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินควรปรับตั้งให้ต่ำกว่าขนาดของกระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านอุปกรณ์และต้องไม่สูงกว่าค่าพิกัดการทนต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของอุปกรณ์ [2]

การกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินจะต้องคำนึงถึงการประสานการป้องกัน (Protective Coordination) ของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินทั้งหมดที่อยู่ในระบบด้วย ตามหลักการที่แนะนำไว้ตามมาตรฐาน IEEE C37.230(2020) IEEE C37.234 (2021) และ IEEE C37.91 (2021) นั้น ควรมีการกำหนดลำดับการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินซึ่งจะมีการกำหนดอุปกรณ์ป้องกันขั้นต้น (Primary Protection) เป็นรีเลย์ที่อยู่ใกล้จุดที่เกิดการลัดวงจรที่จะต้องสั่งปลดวงจรที่เกิดการลัดวงจรออกก่อน และอุปกรณ์ป้องกันสำรอง (Secondary Protection) เป็นรีเลย์ที่อยู่ห่างจากจุดที่เกิดการลัดวงจรรองลงมาจากอุปกรณ์ป้องกันขั้นต้นจะต้องสั่งปลดวงจรหลังจากอุปกรณ์ป้องกันขั้นต้นในกรณีที่เกิดความผิดพลาดในการทำงานของอุปกรณ์ [4-6]

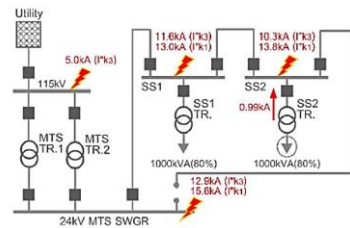


รูปที่ 3 การทำการประสานสัมพันธ์ของรีเลย์และอุปกรณ์

2.3 การประสานสัมพันธ์การทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน

เพื่อจะทำได้สามารถจัดลำดับการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินได้ถูกต้องจำกัดการเกิดไฟดับจากการปลดวงจรที่เกิดการลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้อยู่ในบริเวณจำกัด หลีกเลี่ยงการเกิดไฟดับในบริเวณกว้าง มีการป้องกันสำรองในกรณีที่อุปกรณ์ขั้นต้นทำงานผิดพลาด ทำให้ระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีเสถียรภาพมากขึ้นนอกจากนี้ในกรณีที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีขนาดใหญ่และมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าในลักษณะ 2 ทิศทางวนเป็นลูป (Loop)

ที่มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเพียงแหล่งเดียวจาก Utility กระแส
ลัดวงจรกรณีที่มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจาก Utility กับเครื่อง
กำเนิดไฟฟ้า (SPP Generator) และกระแสลัดวงจรกรณีที่มี
แหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนานเชื่อมต่อเข้ากับ
ระบบจำหน่ายไฟฟ้าร่วมกับ Utility และ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
ได้ขนาดของกระแสลัดวงจรตามที่แสดงในรูปที่ 5 ถึง 6
กระแสลัดวงจรลัดวงจรในกรณีที่ 3 ของโครงข่ายที่มี
แหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนานเชื่อมต่อเข้ากับ
ระบบจำหน่ายไฟฟ้าร่วมกับ Utility และ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
ตามที่แสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 4 ระบบไฟฟ้าที่ทำการวิเคราะห์การลัดวงจร

[illegible]

รูปที่ 6 ผลการคำนวณค่าลัดวงจรในระบบไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 95 MVA

รูปที่ 7 กระแสไฟฟ้าลัดวงจรในระบบพร้อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 95 MVA และเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการลัดวงจรของระบบไฟฟ้า

สถานี	ค่าการลัดวงจรของระบบไฟฟ้า (kA)						ค่าลัดวงจร ขั้นต่ำของ อุปกรณ์
	กรณีที่ 1		กรณีที่ 2		กรณีที่ 3		
	3 Ph.	SLG	3 Ph.	SLG	3 Ph.	SLG	
MTS	12.9	15.6	14.8	17.5	14.8	17.5	18 kA
SS1	11.6	13.0	13.1	14.3	13.1	14.3	15 kA
SS2	10.3	10.8	11.5	11.6	11.5	11.6	12 kA
SS3	-	-	-	-	10.4	9.9	11 kA

ปีที่ 21 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2569

จากผลการวิเคราะห์กระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าทั้ง 3 กรณี คือ ระบบที่มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้า Utility (Case-1) ระบบที่มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้า Utility และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Case-2) และ ระบบที่มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้า Utility เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และเซลล์แสงอาทิตย์ (Case-3) ดังสรุปได้ในตารางที่ 1

4. สรุปผลการทดลอง

จากสรุปผลการวิเคราะห์กระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายของกรณีต่าง ๆ ทั้งหมด 3 กรณี สามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 การเพิ่มแหล่งกำเนิดไฟฟ้า (SPP Generator)

เมื่อมีการเพิ่มแหล่งจ่าย 95 MVA ขนานเข้ามาในระบบจำหน่ายมีผลต่อค่ากระแสลัดวงจรในโครงข่ายระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทำให้ค่ากระแสลัดวงจรในตำแหน่ง Substation ต่างๆ มีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ ในกรณีที่มีการเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ามาในระบบควรมีการพิจารณาค่าพิกัดทนกระแสลัดวงจรของอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับกระแสลัดวงจรที่เพิ่มขึ้น

4.2 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์ขนานเข้ากับระบบจำหน่าย

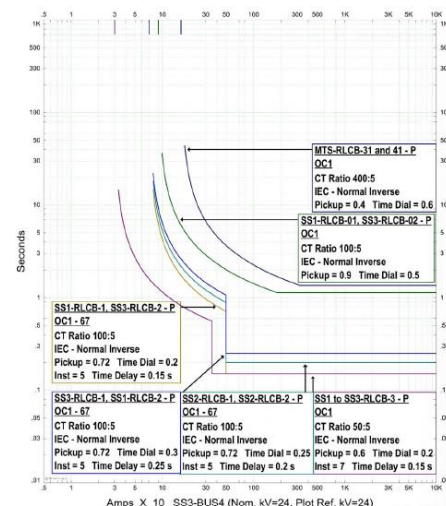
เมื่อนำระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 300 kVA กริดเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าไม่ได้ส่งผลกระทบต่อค่ากระแสลัดวงจรในโครงข่ายระบบจำหน่ายไฟฟ้าอย่างมีนัยยะสำคัญ เนื่องจากกระแสลัดวงจรที่จ่ายเข้าระบบเมื่อเกิดการลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 300 kVA มีขนาดเพียง 0.09 kA อย่างไรก็ตามหากมีเซลล์แสงอาทิตย์รวมทั้งหมดที่ขนานเข้าระบบมีขนาดใหญ่ควรมีการพิจารณาค่าพิกัดทนกระแสลัดวงจรของอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับกระแสลัดวงจรที่เพิ่มขึ้นด้วย

4.3 ในขณะที่เกิดการลัดวงจรขึ้นในระบบจะมีกระแสลัดวงจรจ่ายเข้าสู่ระบบจากโหลดเหนี่ยวนำ

หากขนาดของโหลดเหนี่ยวนำมีขนาดใหญ่ ย่อมส่งผลกระทบต่อกระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ควรคำนึงในการออกแบบอุปกรณ์ด้วยจากการหลักการกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ป้องกันในโครงข่ายระบบจำหน่ายไฟฟ้า และการออกแบบอุปกรณ์ป้องกันให้ทำงานประสานกันได้อย่างเหมาะสมสามารถลดผลกระทบได้ถูกต้องตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น การประสานสัมพันธ์ค่าปรับตั้งในการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบสามารถทำได้ดังรูปที่ 8

การจำลองและวิเคราะห์ผลในงานนี้มุ่งเน้นไปที่กระแสลัดวงจรในโครงข่ายระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้าเป็นหลัก เพื่อนำผลที่ได้มาประเมินค่าพิกัดของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า

ในโครงข่ายและค่าปรับตั้งการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน แต่เนื่องจากอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการเชื่อมต่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับโครงข่ายคือ อินเวอร์เตอร์ เป็นบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่มีลักษณะการทำงานไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear) ที่อาจสร้างกระแสฮาร์มอนิกส์เข้าสู่โครงข่ายและอาจสร้างผลกระทบต่อระบบในภาพรวมซึ่งสามารถกรณีนี้นำไปศึกษาเพิ่มเติมได้



รูปที่ 8 ค่ารีเลย์เซตตั้งและการประสานสัมพันธ์ของรีเลย์

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Zhang, Y. Li, Y. Huang, F. Huang and Z. Liu, "Research on Wide-Area Protection and Control Scheme for Closed-Loop Distribution Network," in proceeding of 2018 International Conference on Power System Technology (POWERCON), Guangzhou, China, Nov. 6-8, 2018, pp. 299-304.
- [2] D. S. Fedosov and N. V. Bakeev, "Development of a Method for Providing the Breaking Capacity of High-Voltage Circuit Breakers using an Adjustable Deceleration of the Short-Circuit Clearance Time," in proceeding of 2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), Magnitogorsk, Russian Federation, Feb.24-26, 2021, pp. 403-407.
- [3] IEEE Guide for Protective Relay Applications to Distribution Lines, IEEE Standard C37. 230 (Revision of IEEE Standard C37.230-2007), IEEE Power and Energy Society, 2020.
- [4] IEEE Guide for Protective Relay Applications to Power System Buses, IEEE Standard C37. 234

- (Revision of IEEE Standard C37.234-2009), IEEE Power and Energy Society, 2021.
- [5] *IEEE Guide for Protecting Power Transformers*, IEEE Standard C37.91 (Revision of IEEE Standard C37.91-2008), IEEE Power and Energy Society, 2021.
- [6] *Short-circuit Currents in Three-phase AC Systems - Part 0: Calculation of Currents*, IEC Standard 60909-0 (Revision of IEC Standard 60909-0:2002), International Electrotechnical Commission (IEC), 2016.
- [7] *Short-circuit Currents in Three-phase AC Systems - Part 1: Factors for the Calculation of Short-circuit Currents According to IEC 60909-0*, IEC Standard 60909-1 (Revision of IEC Standard 60909-1:1991), International Electro technical Commission (IEC), 2002.
- [8] *Short-circuit Currents in Three-phase AC Systems - Part 2: Data of Electrical Equipment for Short-circuit Current Calculations*, IEC Standard 60909-2 (Revision of IEEE Standard 60909-2:1992), International Electro technical Commission (IEC), 2008.
- [9] K. Liu and Association, “The Method of Circuit Breaker Interrupting Capacity Verification Considering Breaking Sequences,” in *Proc. 2021 IEEE 5th Conf. Energy Internet Energy Syst. Integr. (EI2)*, Oct. 2021, pp. 2691–2694.
- [10] V. N. Zheleznyak, N. V. Korovkin, A. A. Burmistrov and A. S. Adalev, “Simulation of Operating Condition of the Equipment of the Short-Circuit Generator Package,” in proceeding of 2024 Conference of Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElCon), Saint Petersburg, Russian Federation, Jan. 29-31, 2024, pp. 865-868.
- [11] W. Liang, D. Xie, C. Liu, Z. Zhai, X. Li and S. Xiao, “Analysis of Short Circuit Current Calculation Equivalence of External Power Grid with Distributed Generators,” in proceeding of 2024 4th International Conference on Energy Engineering and Power Systems (EEPS), Hangzhou, China, Aug. 9-11, 2024, pp. 831-835.