



ผลกระทบจากการรบกวนทางไฟฟ้าต่อความถี่ในสถานีไฟฟ้าย่อย กรณีศึกษาระบบไฟฟ้ากำลังของ กฟน.

ภาณุณัฒ พล สิริวิทย์ชนกุล* และ พิเชษฐ ศรียรรยงค์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08-6773-9024 อีเมล: mplusgood@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.08.002

รับเมื่อ 5 ตุลาคม 2560 ตอรับเมื่อ 5 มกราคม 2561 เผยแพร่ออนไลน์ 9 สิงหาคม 2561

© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) มีหลายครั้งที่เกิดเหตุการณ์ที่ทำให้รีเลย์ความถี่ต่ำ (Under Frequency Relay) ทำงานแค่สถานีเดียวจึงทำให้ไฟฟ้าดับชั่วคราวในขณะที่สถานีไฟฟ้าย่อยอื่นๆที่อยู่ใกล้เคียงยังคงจ่ายไฟฟ้าตามปกติซึ่งเป็นปัญหาที่ไม่ทราบสาเหตุ บทความนี้จึงเป็นการศึกษาปัจจัยรบกวนระบบไฟฟ้าด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทรานเซียนต์ ATP-EMTP โดยจำลองสาเหตุที่เกิดขึ้นจริงในสถานีไฟฟ้าย่อยของการไฟฟ้านครหลวงที่จะทำให้รีเลย์ความถี่ต่ำทำงาน คือ 1) ฮาร์โมนิก (Harmonic) ในระบบไฟฟ้า 2) การสวิตซ์ซึ่งขณะที่มีฟอลต์ (Fault) และ 3) ผลจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) ทำงานด้านสถานีไฟฟ้าที่จ่ายโหลด โดยผลการศึกษาจากแบบจำลองระบบไฟฟ้าพบว่า ปัจจัยรบกวนระบบไฟฟ้าที่เกิดจากผลของฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้าไม่มีผลทำให้ความถี่ของระบบไฟฟ้าลดลง ปัจจัยรบกวนระบบไฟฟ้าที่เกิดจากสาเหตุเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานด้านสถานีไฟฟ้าที่จ่ายโหลดมีผลทำให้ความถี่มีคาบเวลาที่เปลี่ยนแปลงลดลง 10.72% และสาเหตุการสวิตซ์ซึ่ง (Switching) ของระบบไฟฟ้าด้วยการปลด/สับเซอร์กิตเบรกเกอร์ขณะที่มีฟอลต์มีผลทำให้ความถี่ของระบบลดลง 27.2%

คำสำคัญ: รีเลย์ความถี่ต่ำ, โปรแกรม ATP-EMTP, การปลดโหลด

การอ้างอิงบทความ: ภาณุณัฒ พล สิริวิทย์ชนกุล และ พิเชษฐ ศรียรรยงค์, “ผลกระทบจากการรบกวนทางไฟฟ้าต่อความถี่ในสถานีไฟฟ้าย่อย กรณีศึกษาระบบไฟฟ้ากำลังของ กฟน.,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 28, ฉบับที่ 4, หน้า 767-776, ต.ค.-ธ.ค. 2561.

The Impact of Frequency System Change from Electrical Disturbance in Power Substation: A Case Study of MEA Power System

Phanuphon Siriwitthayathanakun* and Pichet Sriyanyong

Department of Teacher Training in Electrical Engineering, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08-6773-9024, E-mail: mplusgood@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.08.002

Received 5 October 2017; Accepted 5 January 2018; Published online: 9 August 2018

© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

In the Metropolitan Electricity Authority (MEA)'s power distribution system, there is the possibility of power failure several times due to the under frequency relay operating only on a single power substation causing temporary blackout in that local area while others power substations nearby are still working, which is still the unsolved problem. This paper studies the factor of electrical disturbance by modeling power transmission systems with simulation and analysis of power system transients (ATP-EMTP) by simulating the actual distribution system in the power stations of the Metropolitan Electricity Authority to cause under frequency relay works which are: 1) Harmonic in the electrical system, 2) Switching in the presence of a fault and 3) The result of the circuit breaker operation on the substation. The results from the electrical system model found that electrical disturbances caused by harmonic effects in the electrical system do not affect the frequency of the electrical system, electrical disturbances caused by the circuit breaker operating at the substation resulted in frequency shift decrease by 10.72% and the the electrical system switching by closed / opened circuit breakers while having a fault resulted in frequency shift decrease by 27.2%.

Keywords: Under Frequency Relay , ATP-EMTP, Load Shedding

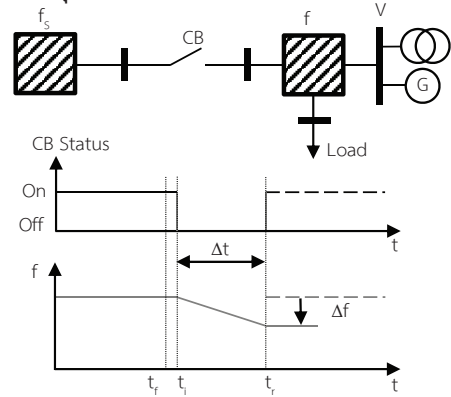
Please cite this article as: P. Siriwitthayathanakun and P. Sriyanyong, "The impact of frequency system change from electrical disturbance in power substation: A case study of MEA power system," *The Journal of KMUTNB*, vol. 28, no. 4, pp. 767-776, Oct.-Dec. 2018 (in Thai).

1. บทนำ

การรบกวนทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) (Metropolitan Electricity Authority; MEA) นั้น มีหลากหลายรูปแบบด้วยกัน แต่ละรูปแบบมีผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าและระบบป้องกันของระบบการส่งจ่ายไฟฟ้าที่แตกต่างกันไปซึ่งอาจจะสร้างความเสียหายให้กับอุปกรณ์หรือทำให้ระบบป้องกันทำงานผิดพลาดได้ ทั้งนี้ผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลังจะทำให้แรงดันมีการเปลี่ยนแปลงไป ความถี่ (Frequency) ของระบบมีค่าผิดเพี้ยนหรือเลื่อนไปและอาจทำให้ระบบการปลดโหลด (Load Shedding) [1], [2] หรือรีเลย์ความถี่ต่ำ (Underfrequency Relay) [1] ทำงานไม่ถูกต้องจนสั่งให้ปลดโหลดออกจากระบบไฟฟ้าได้ ได้แก่ เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงที่สถานีไฟฟ้าย่อยบางชั้นและสถานีไฟฟ้าย่อยปากน้ำ เช่น เหตุการณ์ที่ 1 สถานีไฟฟ้าย่อยบางชั้นซึ่งรับจากสถานีต้นทางหนองจอกด้วยสายส่ง NJT794 แรงดัน 115 kV มีแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่เปลี่ยนแปลงขณะเกิดฟอลต์ที่สายส่ง และเหตุการณ์สถานีย่อยบางชั้นเกิดเหตุการณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านเข้า (Incoming Line Circuit Breaker) ปลดออก (Off) จนทำให้ความถี่เปลี่ยนแปลงทำให้รีเลย์ความถี่ต่ำทำงาน และเหตุการณ์ที่ 2 สถานีไฟฟ้าย่อยปากน้ำเกิดเหตุการณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานเกิดความถี่เปลี่ยนแปลงจนทำให้รีเลย์ความถี่ต่ำทำงานสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์โดยไม่ทราบสาเหตุที่ชัดเจน เป็นต้น

ดังนั้นจากเหตุการณ์ดังกล่าวจึงเป็นที่มาในการศึกษาปัจจัยการรบกวนทางไฟฟ้าที่มีผลกระทบต่อความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลังของ กฟน. ด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้าด้วยโปรแกรม ATP-EMTP [3], [4] จากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในสถานีไฟฟ้าย่อย (Power Substation) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความถี่ในระบบไฟฟ้านั้น สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งเหตุการณ์กรณีการเกิดความถี่ต่ำเกิน (Under Frequency) และเหตุการณ์การเกิดความถี่สูงเกิน (Over Frequency) [5] ที่มีสาเหตุจากกรณีต่างๆ เช่น การไม่เพียงพอจากภาคการผลิตไฟฟ้า การเกิดฮาร์โมนิก (Harmonic) [6] ในเชื่อมต่อบริเวณไฟฟ้ากำลัง การเกิดเสิร์จ (Surge) [7] จาก

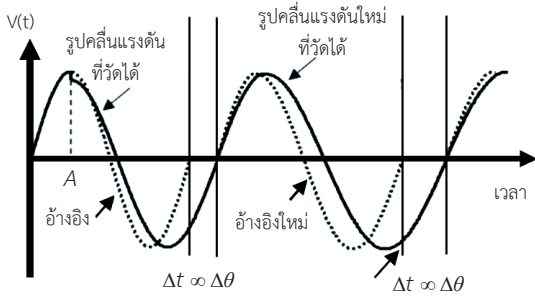
การเลื่อนของมุมเฟสและแรงดัน



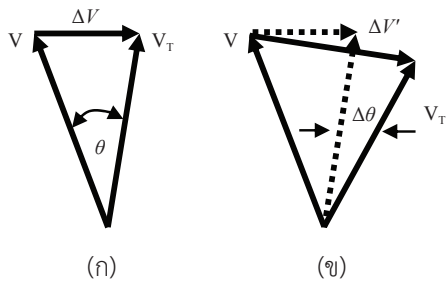
รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบ

การเชื่อมต่อ/ปลดออก (On/Off) ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ขณะที่มีฟอลต์ (Fault) ซึ่งทำให้รูปคลื่นแรงดันนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงคาบเวลาไป และจากการปลดของโหลดขนาดใหญ่ในงานวิจัยครั้งนี้จะศึกษาปรากฏการณ์การเกิดความถี่ต่ำในระบบไฟฟ้ากำลังโดยศึกษาสาเหตุที่เกิดขึ้นใน กฟน. คือ สาเหตุจากฮาร์โมนิก สาเหตุจากการเกิดเสิร์จและจากการเชื่อมต่อ/ปลดออกของเซอร์กิตเบรกเกอร์จนทำให้ความถี่ของรูปคลื่นแรงดันเปลี่ยนแปลงไปเท่านั้น และส่วนปรากฏการณ์อื่นๆ จากการเกิดความถี่ต่ำเกินในระบบไฟฟ้าที่มีที่มาจากภาคการผลิตไม่เพียงพอไม่ได้นำเสนอในการศึกษาครั้งนี้

ตัวแปรจากรูปที่ 1 อธิบายตามตารางที่ 1 เมื่อระบบไฟฟ้าเกิดฟอลต์เป็นเวลา t_f จะทำให้ระบบป้องกัน (Protection System) ทำงานจึงสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์เชื่อมต่อ/ปลดออกทำให้ความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังลดลงเป็นเวลา Δt โดยเวลาความถี่ที่เปลี่ยนแปลงเป็น Δf ซึ่งความถี่ที่ลดลงเรียกว่า โวลต์เดจเวกเตอร์ชิฟ (Voltage Vector Shift) [7] โดยช่วงเวลาที่ทำให้ความถี่มีการเปลี่ยนแปลงจะทำให้เกิดการเลื่อนของมุมเฟสแรงดัน (θ) ตามรูปที่ 2 ซึ่งสาเหตุจะเกิดจากโหลดหรือจากสาเหตุอื่นๆ ที่กล่าวมาโดยจะส่งผลกระทบต่อระบบทำให้เกิด Δf เปลี่ยนแปลงในระบบไฟฟ้าที่มีการเลื่อนของมุมเฟส (θ) แรงดันไฟฟ้าขณะเซอร์กิตเบรกเกอร์มีการเปลี่ยนแปลง (V_f) ตามรูปที่ 3 โดยแรงดันไฟฟ้าอาจมี



รูปที่ 2 โวลต์เตจเวกเตอร์ชิป

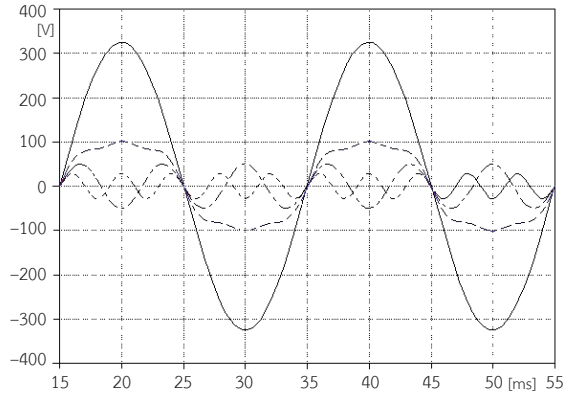


รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความถี่และแรงดันของเซอร์กิตเบรกเกอร์ (ก) แรงดันไฟฟ้าขณะเซอร์กิตเบรกเกอร์ปลดออก (ข) แรงดันไฟฟ้าขณะเซอร์กิตเบรกเกอร์เชื่อมต่อ

สูงขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับโหลดในขณะเกิดการเกิดโวลต์เตจเวกเตอร์ชิป โดยรูปที่ 3 ซึ่งเป็นตัวอย่างของผลการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเซอร์กิตเบรกเกอร์ขณะปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์เชื่อมต่อและปลดออกในระบบไฟฟ้ากำลัง

ตารางที่ 1 คำอธิบายตัวแปร

ตัวแปร	คำอธิบาย
f_s	ความถี่ของระบบไฟฟ้า
f	ความถี่ของระบบไฟฟ้าที่สถานีไฟฟ้าย่อย
Δf	ค่าความถี่ที่เปลี่ยนแปลงจากความถี่ของระบบไฟฟ้า
Δt	ค่าเวลาที่เปลี่ยนแปลงจากความถี่ของระบบไฟฟ้า
t_r	เวลาเริ่มการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบไฟฟ้าเมื่อเกิดการรบกวน
t_i	เวลาที่ความถี่ของระบบไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงขณะที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ขณะปลดออก (Off)
t_c	เวลาที่เซอร์กิตเบรกเกอร์เชื่อมต่อ (On)
V	แรงดันไฟฟ้าที่วัดที่สถานีไฟฟ้าย่อย



— ความถี่หลักมูล - - - ฮาร์มอนิกลำดับที่ 3
 - - - รูปคลื่นรวม - · - · - ฮาร์มอนิกลำดับที่ 5

รูปที่ 4 รูปคลื่นสัญญาณที่เกิดการรวมระหว่างสัญญาณความถี่หลักมูลกับฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 และลำดับที่ 5

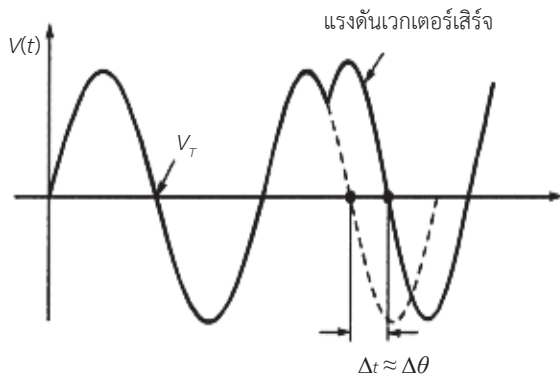
2. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้จำลองระบบไฟฟ้าจากเหตุการณ์จริงด้วยโปรแกรม ATP-EMTP ในสถานีย่อยของการไฟฟ้านครหลวงเพื่อศึกษาปรากฏการณ์ซึ่งใช้พารามิเตอร์อุปกรณ์ไฟฟ้าตามระบบไฟฟ้า แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ลัดวงจร (Short Circuit Impedance) ได้มาจากการจำลองระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงด้วยโปรแกรม PSS/E [8] ของระดับแรงดัน 115 kV โดยกรณีศึกษาจากการรบกวนของงานวิจัยครั้งนี้มีดังนี้

2.1 การรบกวนที่เกิดจากฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า

ฮาร์มอนิก คือ ส่วนประกอบในรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) หรือปริมาณเป็นคาบใดๆ ซึ่งมีค่าความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency มีค่าเท่ากับ 50 Hz) เช่น ฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 คือ จะมีค่า 3 เท่าของความถี่หลักมูลเท่ากับ 150 Hz และฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 มีค่าความถี่เท่ากับ 250 Hz เป็นต้น

ฉะนั้นฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าเมื่อรวมกับความถี่หลักมูล จะทำให้รูปคลื่นสัญญาณมีค่าผิดเพี้ยนไปตามรูปที่ 4 ซึ่งสาเหตุจะเกิดจากโหลดประเภทไม่เป็นเชิงเส้น



รูปที่ 5 เวกเตอร์เสิร์จของรูปคลื่นแรงดันขณะเกิดฟอลต์

(Non-linear) [9], [10] เช่น เต้าหลอมแบบอาร์ค (Electric Arc Furnace) [11] เครื่องเชื่อมไฟฟ้า และอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Adjustable Speed Drive) เป็นต้น

2.2 การรบกวนจากการปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ขณะที่มีฟอลต์

ระบบส่งจ่ายไฟฟ้าเมื่อมีเสิร์จเกิดขึ้น เช่น จากการเชื่อมต่อ/ปลดออกของเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยเฉพาะกรณีที่มีฟอลต์จะทำให้แรงดันเกิดการเลื่อนเฟส (Phase Shift) หรือ เวกเตอร์เสิร์จ (Vector Surge) ซึ่งเหตุการณ์เช่นนี้จะทำให้รีเลย์ความถี่ต่ำ มองเห็นว่าความถี่ของระบบไฟฟ้าลดลง หรือคาบเวลาของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าช่วงเกิดเสิร์จจะมากขึ้นเป็นไปตามรูปที่ 5 ซึ่งอาจทำให้วงจรปลดโหลดจะทำงาน จึงสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ ปลดโหลดออกได้ตามการตั้งความถี่ต่ำของระบบปลดโหลดและอาจทำให้เกิดไฟฟ้าหายไปชั่วขณะได้ในสถานีย่อยที่ปรากฏเหตุการณ์เช่นนี้

2.3 การรบกวนที่เกิดจากผลของการปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์

การปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์อาจทำให้ความถี่และแรงดันไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากำลังมีการเปลี่ยนแปลงได้จากกรณีศึกษาที่เกิดขึ้นในสถานีย่อย ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาค้นคว้างานวิจัยเพิ่มเติม โดยผลการปลดออกเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านใกล้แหล่งจ่าย (Upstream Circuit Breaker) [12] จะทำให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าเปลี่ยนแปลงและมีผลต่อความถี่การเปลี่ยนแปลงลดลง

3. ผลการศึกษาการจำลองเหตุการณ์ระบบไฟฟ้ากำลังด้วยโปรแกรม ATP-EMTP จากกรณีศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองระบบไฟฟ้าจากการรบกวน เพื่อศึกษาสาเหตุการรบกวนในสถานีย่อยของการไฟฟ้านครหลวงโดยเสนอผลการศึกษา 2 สถานีย่อยคือสถานีย่อยปากน้ำและสถานีย่อยบางชัน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

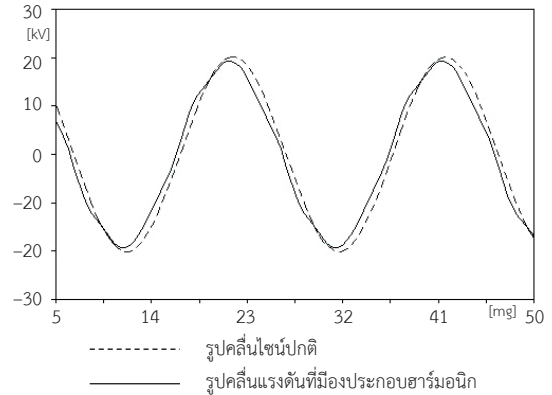
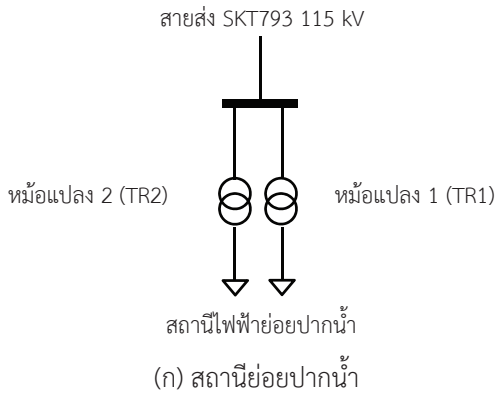
3.1 เหตุการณ์ที่สถานีย่อยปากน้ำ

• การรบกวนที่เกิดจากฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า

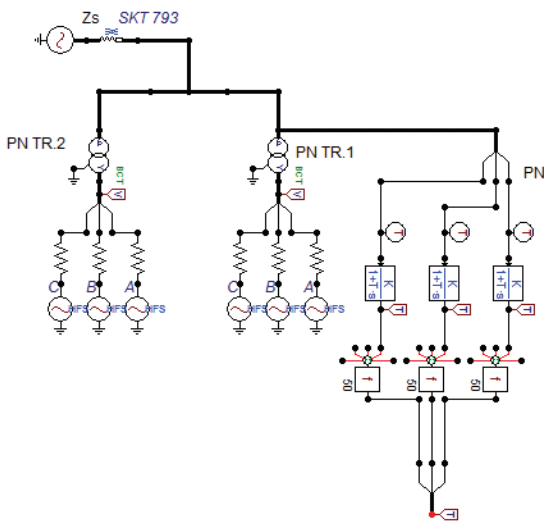
ได้ทำการศึกษาปัจจัยการรบกวนที่เกิดจากฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่หรือไม่ จากสภาพการจ่ายไฟฟ้าของสายส่งสถานีย่อยปากน้ำตามรูปที่ 6 (ก) และทำการทดสอบด้วยการสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้าของสถานีย่อยปากน้ำ ด้วยโปรแกรม ATP-EMTP ตามรูปที่ 6 (ข) ซึ่งประกอบด้วยแหล่งจ่ายต่ออนุกรมกับค่าอิมพีแดนซ์ลัดวงจร (ที่บัส 115 kV ด้านสายส่ง SKT793 ของสถานีต้นทางพระนครใต้ หม้อแปลง 1 และ 2 แหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิก และวัดค่าความถี่ด้วยมิเตอร์วัดความถี่ (Frequency Meter) สำหรับการพิจารณารูปคลื่นแรงดันและความถี่แรงดันจะพิจารณาทางด้าน 24 kV ซึ่งผลการจำลองรูปคลื่นแรงดัน ตามรูปที่ 7 พบว่า รูปคลื่นแรงดันจะมีลักษณะของการผิดเพี้ยนและมีการเลื่อนเฟส แต่ค่าความถี่ที่ได้จากการจำลองมีค่า 50 Hz เท่าเดิม

• การรบกวนที่เกิดจากผลของการปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์

การปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์อาจทำให้ความถี่ของระบบมีการเปลี่ยนแปลง จากกรณีศึกษาที่เกิดขึ้นที่สถานีย่อยปากน้ำ ดังนั้นจึงได้ศึกษาผลของการปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านใกล้แหล่งจ่ายแรงดัน โดยการทดสอบการรบกวนที่เกิดจากผลของการปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านใกล้แหล่งจ่าย ใช้วิธีการสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้กับสถานีย่อยปากน้ำ แล้วพิจารณารูปคลื่นแรงดันและความถี่ โดยการทดสอบด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้าของสถานีย่อยปากน้ำ ตามรูปที่ 8 ซึ่งรับไฟจากสายส่ง

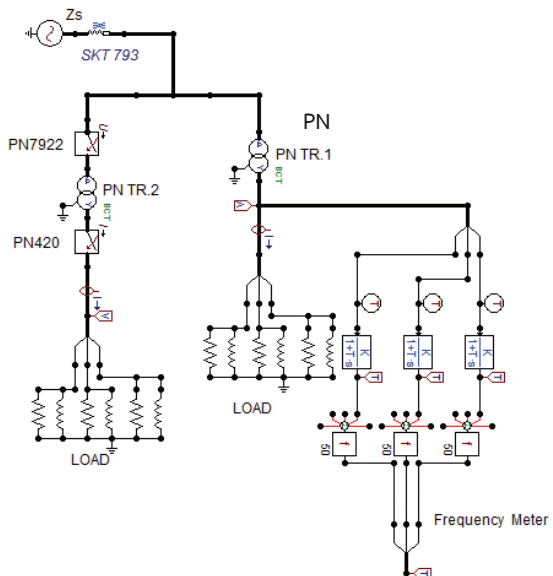


รูปที่ 7 ผลการจำลองรูปคลื่นแรงดันทางด้าน 24 kV



(ข) แบบจำลองสถานีไฟฟ้าย่อยปากน้ำ

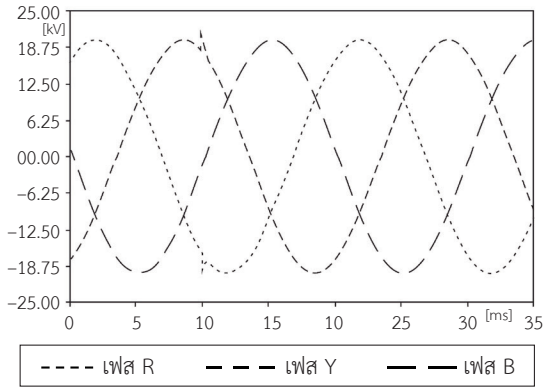
รูปที่ 6 แบบจำลองระบบไฟฟ้าสถานีไฟฟ้าย่อยปากน้ำจากการรบกวนฮาร์มอนิก



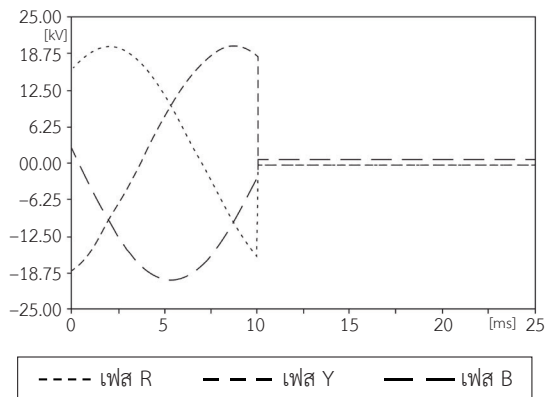
รูปที่ 8 แบบจำลองระบบไฟฟ้าสถานีไฟฟ้าย่อยปากน้ำจากการปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์

SKT793 จ่ายให้หม้อแปลง 1, 2 โหลดหม้อแปลงเป็นโหลดจากค่าจากการวัดจริงด้วยเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าจากสถานีดังกล่าว และมีสวิตช์ทางด้านหน้าและหลังหม้อแปลง 2 (แทนตัวรีลีส PN7922 และ PN420) ทำหน้าที่จำลองเป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ในสถานีไฟฟ้าย่อยปากน้ำ การจำลองนั้นสวิตช์จะให้เปิดวงจรพร้อมกันที่เวลา 10 ms ซึ่งผลการจำลองรูปคลื่นแรงดันทางด้าน 24 kV หม้อแปลง 1 และหม้อแปลง 2 ได้ผลตามรูปที่ 9 ในส่วนผลการเปลี่ยนแปลงความถี่ของรูปคลื่นแรงดันจะพิจารณาเฉพาะด้าน 24 kV bay 1 โดยผลการจำลองตามรูปที่ 10

ผลการจำลองรูปคลื่นแรงดัน ตามรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่าเมื่อสวิตช์เปิดวงจรที่เวลา 10 ms แรงดัน 24 kV ด้านหม้อแปลง 1 มีลักษณะของการเกิดเสิร์จขึ้น ขณะที่แรงดัน 24 kV ด้านหม้อแปลง 2 ทั้ง 3 เฟส จะมีค่าลดลงจนเป็นศูนย์ 3 เฟส จะมีค่าลดลงจนเป็นศูนย์ หากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความถี่รูปคลื่นแรงดัน 24 kV bay 1 ตามรูปที่ 10 พบว่าค่าความถี่ต่ำสุดมีค่า 44.64 Hz เทียบกับความถี่มูลหกลดลง 10.72%

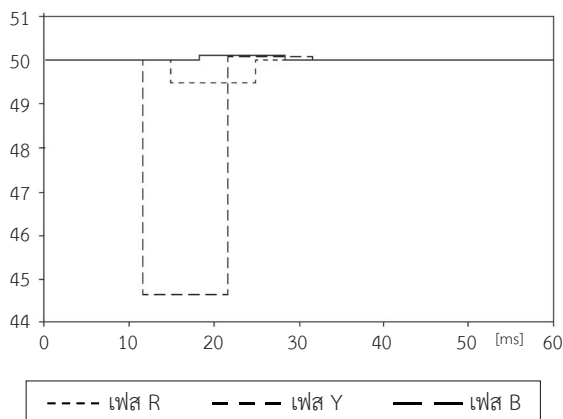


(ก) รูปคลื่นแรงดัน 24 kV ด้านหม้อแปลง 1



(ข) รูปคลื่นแรงดัน 24 kV ด้านหม้อแปลง 2

รูปที่ 9 ผลการจำลองรูปคลื่นแรงดันทางด้าน 24 kV ขณะปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์



รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลงความถี่รูปคลื่นแรงดัน 24 kV bay 1

3.2 เหตุการณ์ที่สถานีไฟฟ้าย่อยบางชัน

• การรบกวนที่เกิดจากฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลัง

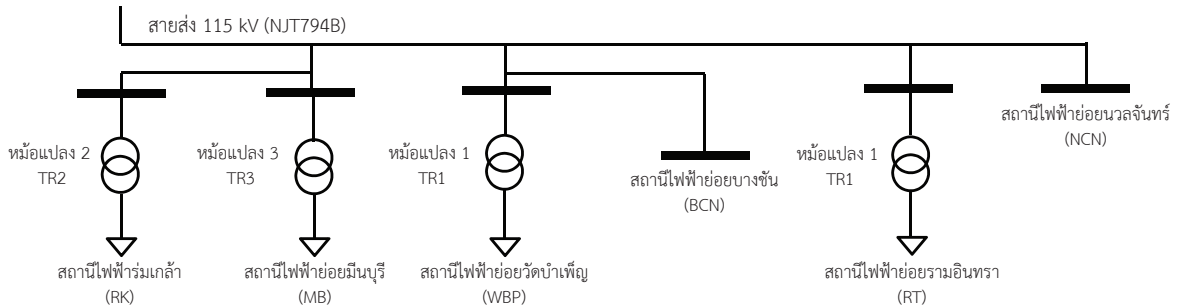
ปัจจัยการรบกวนจากฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าจากสภาพจ่ายไฟฟ้าของสายส่งสถานีไฟฟ้าย่อยบางชันตามรูปที่ 11 (ก) และทำการทดสอบด้วยวิธีสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้าสถานีย่อยบางชันตามรูปที่ 11 (ข) ประกอบด้วยแบบจำลองสายส่งระดับแรงดัน 115 kV NJT794B แหล่งจ่ายกระแสฮาร์มอนิก โดยข้อมูลกระแสได้ทำการวัดจริงจากสถานีไฟฟ้าย่อยด้วยเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า และเครื่องวัดความถี่ จากนั้นพิจารณารูปคลื่นแรงดันทางด้าน 115 kV ส่วนผลการจำลองระบบไฟฟ้าตามรูปที่ 13 จะมีลักษณะที่รูปคลื่นไซน์ผิดเพี้ยนไปและมีการเลื่อนเฟส แต่ค่าความถี่ยังคงมีค่า 50 Hz จึงสรุปได้ว่า ฮาร์มอนิกไม่มีผลทำให้คาบเวลาของความถี่ลดลงหรือเปลี่ยนแปลง

• การรบกวนจากผลการปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ขณะที่มีฟอลต์

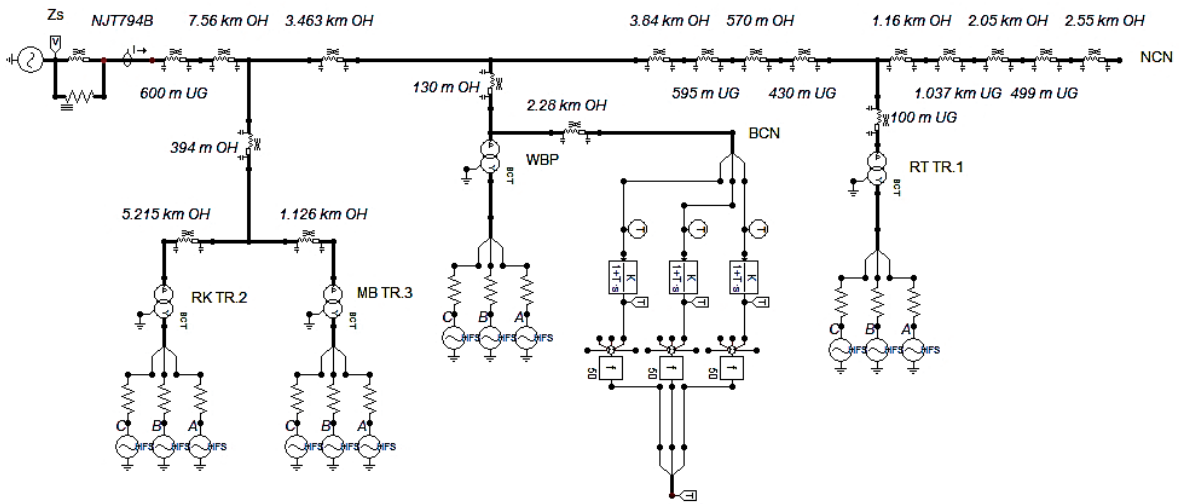
ศึกษาการรบกวนจากการทำสวิตช์ชิงระบบไฟฟ้ากำลังว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่หรือไม่ ด้วยการจำลองระบบไฟฟ้าสถานีย่อยบางชัน [13] ซึ่งรับไฟจากสายส่งแรงดัน 115 kV NJT794B และกำหนดให้มีการเกิดฟอลต์แบบ 3 เฟส (3 Phase Fault) ที่เวลา 0.10 s โดยเกิดที่ระยะทาง 1 km ของสายส่งอากาศระหว่างสถานีไฟฟ้าย่อยวัดบำเพ็ญและสถานีย่อยไฟฟ้าบางชันเพื่อพิจารณารูปคลื่นแรงดันทางด้าน 115 kV ของสถานีไฟฟ้าย่อยบางชัน ซึ่งแรงดันที่วัดได้จะผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter Cut Off Frequency) ที่ความถี่ 150 Hz เพื่อพิจารณาความถี่ระบบไฟฟ้าก่อนทำการวัดค่าความถี่ด้วยเครื่องวัดความถี่ตามรูปที่ 12 และผลการจำลองเป็นรูปคลื่นแรงดันขณะเกิดฟอลต์ 3 เฟส ตามรูปที่ 14

จากรูปคลื่นในรูปที่ 14 จะเห็นได้ว่า รูปคลื่นแรงดันขณะเกิดฟอลต์ ที่เวลา 0.1 s ขนาดของแรงดันทั้ง 3 เฟส จะมีค่าลดลงเนื่องจากกระแสลัดวงจร นอกจากนั้นคาบเวลาของรูปคลื่นแรงดันทั้ง 2 เฟส ในช่วงเกิดฟอลต์จะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยหากพิจารณาในรูปความถี่ตามรูปที่ 15 จะพบว่าคาบเวลาที่มีค่าความถี่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 15 ms โดยค่าความถี่ต่ำสุด 36.4 Hz เทียบกับความถี่มูลหุ้กจะลดลง 27.2%

ภาณุวัฒน์ ลิ่ววิริยะธนกุล และ พิเชษฐ์ ศรีयरรงค์, “ผลกระทบจากการรบกวนทางไฟฟ้าต่อความถี่ในสถานีไฟฟ้าย่อย กรณีศึกษาจากระบบไฟฟ้ากำลังของ กฟน..”

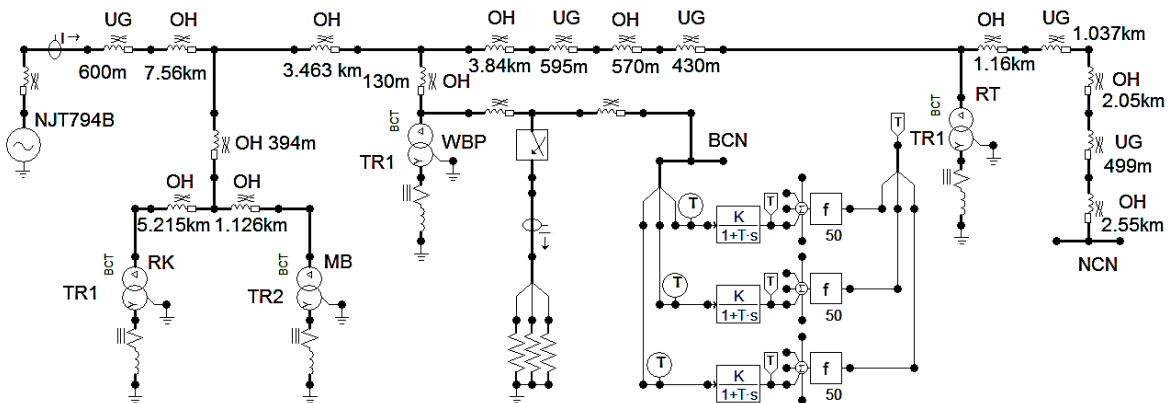


(ก) การจ่ายไฟของสถานีย่อยบางชัน

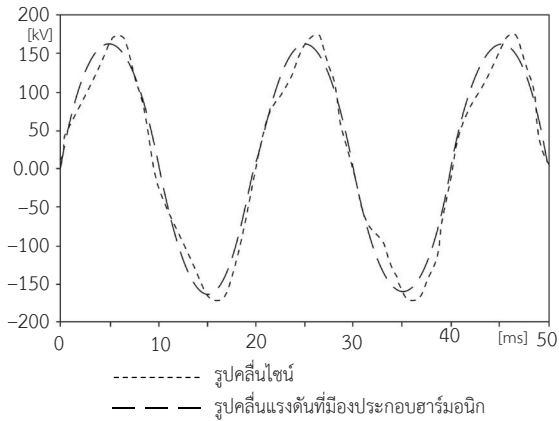


(ข) แบบจำลองระบบไฟฟ้า

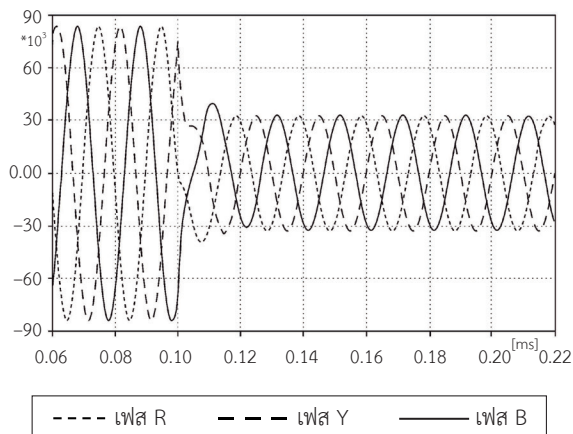
รูปที่ 11 แบบจำลองระบบไฟฟ้ากรณีการรบกวนที่เกิดฮาร์มอนิก



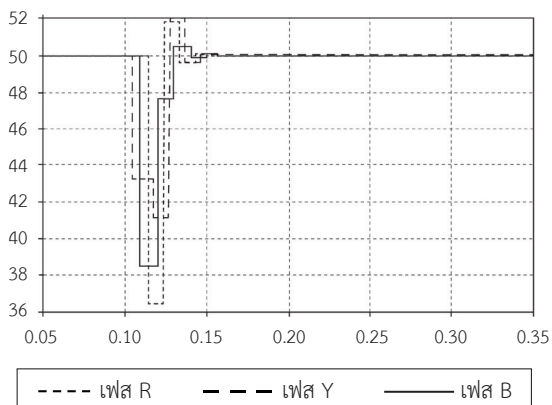
รูปที่ 12 แบบจำลองระบบไฟฟ้าขณะที่มีฟอลต์



รูปที่ 13 แรงดันรูปคลื่นไซน์และรูปคลื่นไซน์ที่มีองค์ประกอบฮาร์มอนิกรวมอยู่



รูปที่ 14 รูปคลื่นแรงดัน (L-N) ขณะเกิดมีฟอลต์ 3 เฟส



รูปที่ 15 ความถี่ขณะเกิด 3 Phase Fault

4. อภิปรายผลและสรุป

จากศึกษาการรบกวนระบบไฟฟ้าด้วยการสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้าด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาวะชั่วคราว ATP-EMTP ในกรณีศึกษาสถานีไฟฟ้าย่อยปากน้ำและสถานีไฟฟ้าย่อยบางชัน ศึกษาพบว่า 1) สาเหตุการรบกวนจากฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าคาบเวลาของรูปคลื่นแรงดันไม่มีการเปลี่ยนแปลง 2) เกิดจากสาเหตุการรบกวนที่เกิดจากการเชื่อมต่อ/ปลดออกของเซอร์กิตเบรกเกอร์ขณะที่มีฟอลต์คาบเวลาของรูปคลื่นแรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลงทำให้ความถี่ของระบบลดลง 27.2% และ 3) สาเหตุการรบกวนจากผลของการปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านใกล้แหล่งจ่ายทำให้ความถี่ของระบบลดลง 10.72%

สรุปผลการวิจัยนี้ได้ว่า ปัจจัยรบกวนในระบบไฟฟ้ามีผลทำให้ความถี่เกิดการเปลี่ยนแปลงลดลงได้ อย่างไรก็ตามผลกระทบต่อความถี่จากสาเหตุการรบกวนระบบไฟฟ้านอกจากกรณีศึกษาที่กล่าวถึงในงานวิจัยนี้ยังมีสาเหตุอื่นๆอีกที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อความถี่ นั่นคือ สาเหตุจากการเชื่อมต่อจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน (Distributed Generator; DG) หรือระบบพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Photovoltaic Generation System) [14] กรณีที่ไม่ได้ขออนุญาตเชื่อมต่อในระบบของการไฟฟ้านครหลวง โดยจะศึกษาและทำงานวิจัยที่จะในครั้งต่อไป ดังนั้นการศึกษารบกวนทางไฟฟ้าที่กล่าวมานอกจากผลกระทบต่อความถี่แล้ว ยังส่งผลกระทบต่อระบบป้องกันการปลดโหลดหรือรีเลย์ความถี่ต่ำซึ่งอาจทำงานผิดพลาดได้ ถ้าการปรับตั้ง (Setting) ไม่เหมาะสมกับปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงความถี่ที่เกิดขึ้น ดังนั้นการศึกษสาเหตุการรบกวนระบบไฟฟ้าที่มีผลกระทบต่อความถี่จึงมีส่วนช่วยในการนำผลที่ได้ไปแก้ไขและป้องกันความผิดพลาดในระบบป้องกันในระบบไฟฟ้าได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. C. M. Vieira, W. Freitas, Wilsun Xu, and A. Morelato, "Performance of frequency relays for distributed generation protection," *IEEE*

- Transactions on Power Delivery*, vol. 21, no. 3, pp. 1120–1127, 2006.
- [2] P. Lakra and M. Kirar, “Load shedding techniques for system with cogeneration,” *Electrical and Electronics Engineering: An International Journal*, vol 4, no. 3, pp. 83–96, 2015.
- [3] D. W. Durbak, A. M. Gole, E. H. Camm, M. Marz, R. C. Degeneff, R. P. O’Leary, R. Natarajan, J. Martinez-Velasco, K.-C. Lee, A. Morched, R. Shanahan, E. R. Pratico, G. C. Thomann, B. Shperling, A. J. F. Keri, D. A. Woodford, L. Rugeles, V. Rashkes, and A. Sarshar, “Modeling guidelines for switching transients,” in *Proceedings IEEE - Modeling Guidelines for Switching Transients*, 1998, pp. 1–24.
- [4] M. K. et Laszlo Prikler, ATP-EMTP Beginner’s Guide for EEUG Members, European EMTP-ATP Users Groupe V, 2000.
- [5] *Handbook of Electrical Engineering: For Practitioners in the Oil, Gas and Petrochemical Industry*. John Wiley an Sons Co., England, 2003.
- [6] N. Jenkins, R. Allan, P. Crossley, D. kirchen and G. Strbac, *Embedded Generation*. UK: Institution of Engineer and Technology, 2000.
- [7] Ravindra P. Singh, *Digital Power System Protection*. India : Prentic-Hall, 2007.
- [8] J. T. Ge, W. Cao, Z. G. Ding, and Y. Yu, “Short-circuit current calculation approach with dynamic load considered in PSS/E short circuit portion,” presented at the International Conference on Innovative Smart Grid Technologies–Asia (ISGT Asia), 2012.
- [9] George Tomy Devika Menon “Power quality improvement strategy for non-linear load in single phase system,” in *Proceedings International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques*, 2016, pp. 3489–3492.
- [10] P. Davari, Y. Yang, F. Zare, and F. Blaabjerg. “A review of electronic Inductor Technique for power factor correction in three phase adjustable speed drives,” in *Proceedings IEEE Energy Conversion Congres and Exposition*, 2016, pp. 1–8.
- [11] A. Kavousi-Fard, A. Khosravi, and S. Nahavandi, “Reactive power compensation in electric arc furnaces using prediction intervals,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 64, no. 7, pp. 5295–5304, 2017.
- [12] R. C. Mullin and R. L. Smith, *Electrical Wiring Commercial*, 12th ed., 2005, pp. 300–305.
- [13] P. Siriwithayathanakun, “Impact of electrical disturbance on MEA’s System frequency: A case study,” presented at International Conference on CEPsi, Korea, 2014.
- [14] K. M. Armijo, “Performance impact of solar gain on photovoltaic inverters and utility-scale energy generation systems,” presented at the International Conference on PVSC, Florida, 2013.