



ผลกระทบของกระแสพุ่งเข้าจากการสวิตชิงต่อคาปาซิเตอร์แบงก์แรงดันปานกลาง กรณีศึกษา กฟน.

ภาณุณัฒพล สิริวิทย์ชนกุล* และ พิเชษฐ ศรีयरรยงค์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 6773 9024 อีเมล: mplusgood@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.11.004

รับเมื่อ 26 มิถุนายน 2561 แก้ไขเมื่อ 24 สิงหาคม 2561 ตอรับเมื่อ 20 กันยายน 2561 เผยแพร่ออนไลน์ 20 พฤศจิกายน 2561

© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

การเพิ่มเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังด้วยการเพิ่มระดับแรงดันในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) วิธีการคือการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive Power) จากการสวิตชิงคาปาซิเตอร์แบงก์เข้าไประบบในระบบไฟฟ้าด้วยการใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) เชื่อมต่อคาปาซิเตอร์แบงก์ (Capacitor Bank) จะทำให้เกิดกระแสพุ่งเข้า (Inrush Current) ที่มีปริมาณกระแสสูงซึ่งอาจทำให้คาปาซิเตอร์แบงก์เกิดความชำรุดเสียหายได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษผลกระทบกระแสพุ่งเข้า กรณีการใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อเชื่อมต่อคาปาซิเตอร์แบงก์ด้วยการสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้าด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทรานเซียนต์ ATP-EMTP จากการศึกษาพบว่า ปริมาณของกระแสและแรงดันขณะทำการสวิตชิงคาปาซิเตอร์แบงก์ซึ่งจะทำการศึกษาผลกระทบการสวิตชิง 2 กรณี คือ กรณีศึกษาที่ 1 การสวิตชิงจ่ายไฟคาปาซิเตอร์แบงก์เพียง 1 ชุด ซึ่งผลการจำลองพบว่าจะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นสูงสุดมีค่า 1.610 กิโลแอมแปร์ โดยเกิดขึ้นในเฟส A ที่มีมม 90 และ 270 องศา และแรงดันที่เกิดขึ้นสูงสุดเกิดขึ้นในเฟส A มีค่า 16.751 กิโลโวลต์ ที่มีมม 90 และ 270 องศา กรณีศึกษาที่ 2 การสวิตชิงจ่ายไฟคาปาซิเตอร์แบงก์เพียง 1 ชุด ขณะที่คาปาซิเตอร์แบงก์อีกชุดต่อใช้งานอยู่ ซึ่งผลการจำลองพบว่าจะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นสูงสุดมีค่า 1.829 กิโลแอมแปร์ ที่มีมม 90 และ 270 องศา เกิดขึ้นในเฟส A และแรงดันที่เกิดขึ้นสูงสุดเกิดขึ้นในเฟส A มีค่า 17.832 กิโลโวลต์ ที่มีมม 90 และ 270 องศา

คำสำคัญ: คาปาซิเตอร์แบงก์, การสวิตชิงคาปาซิเตอร์, ATP-EMTP



The Impact of Inrush Current from Medium Voltage Capacitor Banks Switching: A Case Study of MEA

Phanuphon Siriwithayathanakun* 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.2018.11.004

Received 26 June 2018; Revised 24 August 2018; Accepted 20 September 2018; Published online: 20 November 2018

© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

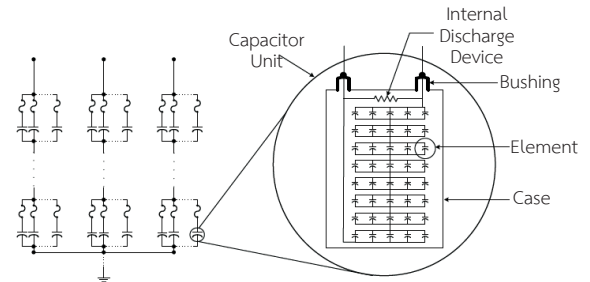
Increasing the stability of the power system is one of the methods used in the Metropolitan Electricity Authority (MEA). This method compensates the reactive power from switching the capacitor banks into the electrical system by using a circuit breaker to connect the capacitor bank. From the switching a high level of inrush current will be generated which can cause serious damage to the capacitor bank. Therefore, this study investigates the impact of inrush current using circuit breaker to connect the capacitor bank by modeling electrical system with ATP-EMTP transient analysis program. The result of the study reveals that the current and voltage while switching the capacitor bank can be determined the effect of switching on two cases. Case 1: The simulation of switching power supply capacitor bank for one set showed that the peak current was 1.610 kA in phase A at 90 and 270 degrees and the maximum voltage in phase A was 16.751 kV at 90 and 270 degrees. Case 2: the simulation of switching power supply capacitor bank for set together with another capacitor bank, showed the peak current was 1.829 kA at 90 and 270 degrees in phase A and the maximum voltage in phase A was 17.832 kV at 90 and 270 degrees.

Keywords: Capacitor Bank, Capacitor Bank Switching, ATP-EMTP

1. บทนำ

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วการตอบสนองความต้องการเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งในระบบไฟฟ้ากำลัง เช่นเดียวกันเพิ่มสมรรถนะในระบบไฟฟ้าด้วยวิธีการต่างๆ โดยระบบไฟฟ้ากำลังการเพิ่มแรงดันเป็นการช่วยชดเชยกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากำลังให้เสถียรภาพมากขึ้น [1] ซึ่งวิธีการมีหลายวิธีแต่ในสถานีไฟฟ้าย่อย (Power Substation) วิธีการเพิ่มแรงดันโดยการใช้คาปาซิเตอร์แบงก์ [2] (Capacitor Bank) ต่อเข้าไปในระบบเพื่อเพิ่มระดับแรงดัน ส่วนด้านระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (Distribution System) ของการไฟฟ้านครหลวง; กฟน. (Metropolitan Electricity Authority; MEA) ใช้วิธีการยกแรงดันขึ้นโดยการต่อคาปาซิเตอร์แบงก์ ซึ่งเมื่อโหลดของระบบมาก แรงดันไฟฟ้าจะลดลง ดังนั้นจึงใช้คาปาซิเตอร์แบงก์เข้าไปช่วยในการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น แต่ถ้าปริมาณโหลดน้อยลงจะปลดคาปาซิเตอร์แบงก์ออกก็จะทำให้แรงดันไฟฟ้าขึ้นในสถานีไฟฟ้ามีค่าลดลง โดยการสวิตชิงเพื่อเพิ่มระดับแรงดันโดยการเชื่อมต่อ/ปลดออก (On/Off) ของคาปาซิเตอร์แบงก์เข้าไปในระบบมักจะเกิดสวิตชิงเสิร์จ [3], [4] เช่น การสวิตชิงแบบแบ็กทูแบ็ก (Back to Back Switching) [5] จะทำให้เกิดกระแสพุ่งเข้า (Inrush Current) [5] ซึ่งอาจทำให้ระบบป้องกันเสียหายและคาปาซิเตอร์เกิดความเสียหายและอาจทำให้เกิดความเสียหายจนชำรุดได้

ด้านระบบแรงดันปานกลางของ กฟน. ได้ปรับเปลี่ยนจากระบบแรงดัน 12 กิโลโวลต์ เป็น 24 กิโลโวลต์ เพื่อลดค่าสูญเสียในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า แต่ก็มีบางพื้นที่ยังคงใช้แรงดัน 12 กิโลโวลต์ อยู่เพียงเล็กน้อย ส่วนกรณีศึกษานี้ได้ศึกษาการสวิตชิงคาปาซิเตอร์แบงก์ในสถานีไฟฟ้าย่อยสามแสนที่เป็นแรงดัน 12 กิโลโวลต์ เนื่องจากการเกิดเหตุชำรุดในสถานีไฟฟ้า เพื่อหาสาเหตุที่มักเกิดการชำรุดและศึกษาปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการสวิตชิงคาปาซิเตอร์แบงก์และผลกระทบการเชื่อมต่อในระบบไฟฟ้ากำลัง จึงเป็นที่มาในการศึกษาผลกระทบการสวิตชิง



รูปที่ 1 ชนิดฟิวส์ติดตั้งภายนอก

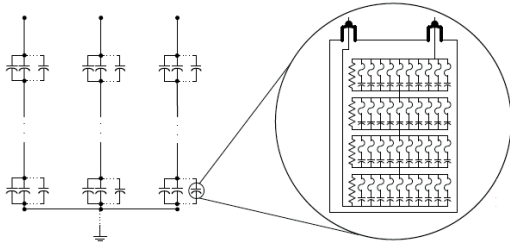
2. เนื้อหาที่เกี่ยวข้อง

2.1 คาปาซิเตอร์แบงก์แบบขนาน (Shunt Capacitor Bank)

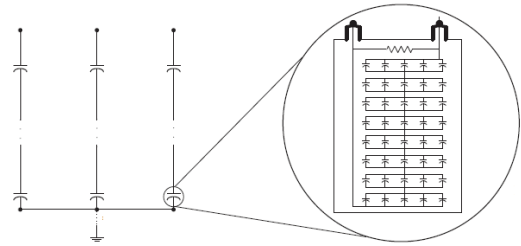
คาปาซิเตอร์แบงก์แบบขนาน คือ อุปกรณ์คาปาซิเตอร์ที่ต่อกันเป็นชุด โดยจะทำหน้าที่ชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Reactive Power) ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการใช้งานโดยทั่วไปแบ่งได้ 3 ชนิด ดังนี้

- ชนิดฟิวส์ติดตั้งภายนอก (Externally Fused Capacitor Banks) คาปาซิเตอร์แบงก์ประเภทนี้จะมีฟิวส์เชื่อมต่อภายนอก [6] แต่ละชุดประกอบ (Unit) ลักษณะตามรูปที่ 1 เมื่อเกิดการเสื่อมสภาพของตัวคาปาซิเตอร์ย่อย (Element) ภายในหนึ่ง ซึ่งการเสื่อมสภาพจะมีลักษณะเป็นการลัดวงจร ค่าความเก็บประจุรวมของชุดประกอบคาปาซิเตอร์ (Capacitor Unit) [2] จะมีค่าสูงในขณะที่ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) จะมีค่าต่ำลงในกรณีที่การเสื่อมสภาพเกิดขึ้นมาก อาจส่งผลให้เกิดกระแสเกินที่ไหลเข้ามีค่าสูงจนฟิวส์ทำงานตัดวงจรออก

- ชนิดฟิวส์ติดตั้งภายใน (Internal Fused Capacitor Banks) จากปัญหาที่เกิดขึ้นจากชนิดฟิวส์ที่ติดตั้งภายนอกนั้นคือเมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ทำให้ฟิวส์ของชุดประกอบคาปาซิเตอร์ขาดอาจทำให้รีเลย์ (Relay) ป้องกันทำงาน (Trip) ชุดคาปาซิเตอร์แบงก์ออกทั้งชุด [7] เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความเก็บประจุที่มากเกินไป ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการออกแบบโดยติดตั้งฟิวส์ภายในชุดประกอบคาปาซิเตอร์ [2] ตามรูปที่ 2 ซึ่งหากเกิดกรณีที่ฟิวส์แต่ละองค์ประกอบคาปาซิเตอร์ (Capacitor Element) ที่ขาดเพียงตัวเดียว กระแสและแรงดันที่ไม่สมดุลในคาปาซิเตอร์ยูนิท จะมีปริมาณที่ไม่มาก



รูปที่ 2 ชนิดฟิวส์ติดตั้งภายใน



รูปที่ 3 ชนิดขนานไม่มีฟิวส์

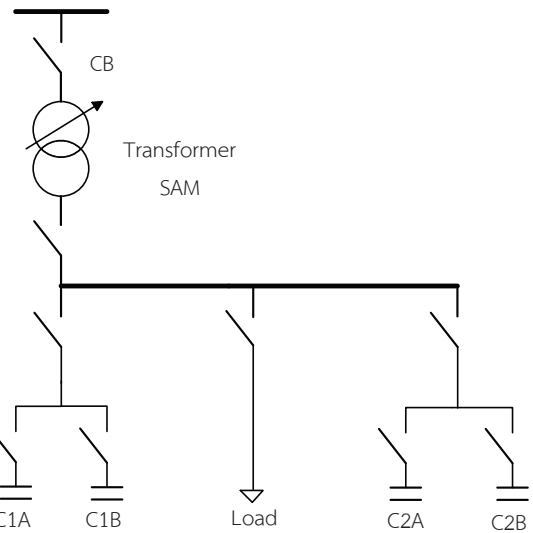
ที่ชุดคาปาซิเตอร์แบงก์ คาปาซิเตอร์แบงก์ ก็ยังสามารถใช้งานได้ตามปกติ

- ชนิดขนานไม่มีฟิวส์ (Fuseless Shunt Capacitor Banks) [2] คาปาซิเตอร์แบงก์ประเภทนี้ ได้มีการพัฒนามาจากชนิดติดตั้งฟิวส์ภายใน ด้วยเหตุที่ว่า การใส่ฟิวส์ทำให้เกิดความสูญเสียและมีราคาสูง จึงได้มีการแทนฟิวส์ด้วยองค์ประกอบคาปาซิเตอร์ ที่มากขึ้นตามรูปที่ 3 ถ้าเกิดการเสื่อมสภาพของตัวคาปาซิเตอร์ย่อยตัวใดตัวหนึ่งคาปาซิเตอร์ย่อยที่เหลือซึ่งต่อขนาน ก็จะถูกลัดวงจรไปด้วยโดยจะส่งผลให้แรงดันตกคร่อมในชั้นอื่นๆ ต้องรับแรงดันที่สูงขึ้น และยังส่งผลให้กระแสที่ไหลผ่านคาปาซิเตอร์ย่อยที่เหลือมีค่าสูงขึ้น

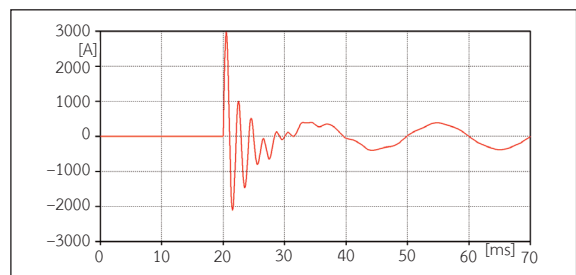
จากการศึกษาคาปาซิเตอร์แบงก์สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยที่ทำให้อุปกรณ์เสื่อมสภาพอยู่กับปริมาณกระแสไหลเข้าและแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ ดังนั้นจึงเป็นที่มาในการศึกษาของงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อหาเวลาเชื่อมต่อระบบที่เหมาะสมกับการใช้งานของคาปาซิเตอร์แบงก์ เพื่อลดการเสื่อมสภาพและการระเบิดชำรุดของคาปาซิเตอร์แบงก์

2.2 การสวิตชิงคาปาซิเตอร์แบงก์

ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าเมื่อต้องการเพิ่มระดับแรงดัน จะมีการสวิตชิงคาปาซิเตอร์แบงก์ในสถานีไฟฟ้าย่อยโดยการเชื่อมต่อด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์ตามรูปที่ 4 ระบบไฟฟ้ากำลังในสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีการใช้คาปาซิเตอร์แบงก์ โดยผลจากการเชื่อมต่อจะทำให้เกิดกระแสพุ่งเข้าตามรูปที่ 5 และแรงดันไฟฟ้าตามรูปที่ 6 ซึ่งมีค่ากระแสขณะเชื่อมต่อนะคาปาซิเตอร์แบงก์ด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่มีค่าสูงสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



รูปที่ 4 การเชื่อมต่อคาปาซิเตอร์แบงก์ของสถานีไฟฟ้าย่อย



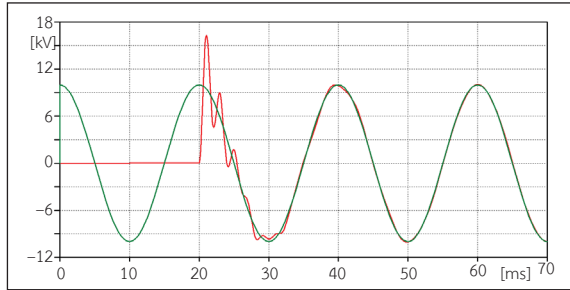
รูปที่ 5 กระแสพุ่งเข้า (Inrush Current)

$$I_{inrush} = \sqrt{2/3} \times 10^3 \cdot V_{LL} + \sqrt{\frac{C_A}{L_S}} \tag{1}$$

โดยที่

I_{inrush} คือ ค่ากระแสชดิวชาร์จ (Charging Current) สูงสุด

C_A คือ ค่าคาปาซิเตอร์ (F)



— แรงดันไฟฟ้าปกติ — แรงดันไฟฟ้าขณะเกิดกระแสพุ่งเข้า

รูปที่ 6 แรงดันไฟฟ้าขณะเกิดกระแสพุ่งเข้า

L_S คือ ค่าเหนี่ยวนำ (H)

V_{LL} คือ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้คาปาซิเตอร์ (กิโลโวลต์)

V_∞ คือ แรงดันหลังเกิดกระแสดีซาร์จ

f คือ ความถี่ (เฮิรตซ์)

2.3 การสวิตชิ่งกรณีมีคาปาซิเตอร์เชื่อมต่ออยู่

การสวิตชิ่งกรณีมีคาปาซิเตอร์แบงก์เชื่อมต่ออยู่ (Back to Back Capacitor Switching) จากรูปที่ 4 หลังจากการเชื่อมต่อคาปาซิเตอร์แบงก์ซึ่งจะเก็บพลังงานสะสมไว้และต่อมาปลดชุดคาปาซิเตอร์ CB (C2B, C2B) ออก เมื่อมีการเชื่อมต่อคาปาซิเตอร์อีกชุดอื่นคือการเชื่อมต่อคาปาซิเตอร์แบงก์ CA (C1A, C1A) จะเกิดปรากฏการณ์กระแสสูงขึ้นชั่วขณะ ซึ่งจะเรียกว่า สวิตชิ่งแบ็กทูแบ็ก [8] นั่นคือจะเกิดมีกระแสพุ่งเข้ารวมกับความถี่ที่สูงตามสมการที่ (2)

$$I_{inrush} = (V_{LL} - V_\infty) + \sqrt{\frac{C_A + C_B}{L_S}} \sin \omega t \quad (2)$$

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้จำลองระบบไฟฟ้าจากเหตุการณ์จริงจากการสวิตชิ่งคาปาซิเตอร์แบงก์ด้วยโปรแกรม ATP-EMTP [9], [10] ในสถานีไฟฟ้าย่อยของการไฟฟ้านครหลวง เพื่อศึกษาปรากฏการณ์กระแสและแรงดันไฟฟ้าที่คาปาซิเตอร์แบงก์ซึ่งใช้พารามิเตอร์อุปกรณ์ไฟฟ้าตามระบบไฟฟ้า แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ลัดวงจร (Short Circuit Impedance)

ได้มาจากการจำลองระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงด้วยโปรแกรม PSS/E [11] ของระดับแรงดัน 69 กิโลโวลต์ กรณีศึกษาจากผลกระทบจากการสวิตชิ่งของคาปาซิเตอร์แบงก์ จะทำการสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้าด้วยโปรแกรม ATP-EMTP ตามรูปที่ 5 ซึ่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอนุกรมร่วมกับอิมพีแดนซ์ลัดวงจร (Short Circuit Impedance) ของแรงดัน 12 กิโลโวลต์ สถานีไฟฟ้าย่อยสามย่าน โหลด (Load) และคาปาซิเตอร์แบงก์ ซึ่งมีขนาดตามตารางที่ 1

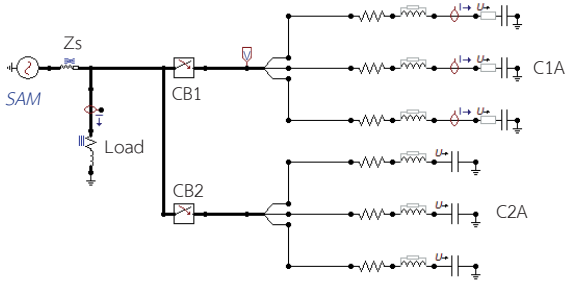
ตารางที่ 1 ขนาดของคาปาซิเตอร์แบงก์ 12 กิโลโวลต์

รายการ	ขนาด
Quality per Bank	12 ยูนิต
Rated Voltage Capacitor Unit	6.9 กิโลโวลต์
Rated Voltage	11.9 กิโลโวลต์
Rated Power	3.6 เมกะวัตต์
Reactor	40 μ H
Capacitance	40 μ F

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ที่สถานีไฟฟ้าย่อยสามย่าน ที่เกิดเหตุชำรุดของคาปาซิเตอร์ ซึ่งจะประกอบด้วยมีคาปาซิเตอร์แบงก์ 12 กิโลโวลต์ จำนวน 4 ชุด ประกอบด้วยคาปาซิเตอร์ชนิดฟิวส์ติดตั้งภายใน คือ C1A, C2A และ C1B, C2B เพื่อชดเชยปริมาณกำลังรีแอกทีฟของโหลด 12 กิโลโวลต์ เพื่อจะศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงกระแสและแรงดันขณะทำการสวิตชิ่งจ่ายไฟคาปาซิเตอร์แบงก์ จึงกำหนดการใช้คาปาซิเตอร์แบงก์จำนวน 2 ชุด คือ C1A และ C2A ตามรูปที่ 7 แบบจำลองระบบไฟฟ้าที่จะใช้ในการจำลองผลกระทบการสวิตชิ่ง

4. ผลจากการจำลองระบบไฟฟ้า

การศึกษาผลกระทบจากการสวิตชิ่งคาปาซิเตอร์แบงก์ จะกำหนดให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ไข้เชื่อมต่อ (On) ชุดคาปาซิเตอร์แบงก์ C1A ให้เชื่อมต่อตั้งแต่เวลา 10.00 มิลลิวินาที แรงดันเฟส A มีค่าศูนย์ที่มุม 0 องศา ไปสิ้นสุดที่เวลา 12.00 มิลลิวินาที แรงดันเฟส A จะมีค่าศูนย์ที่มุม 360 องศา

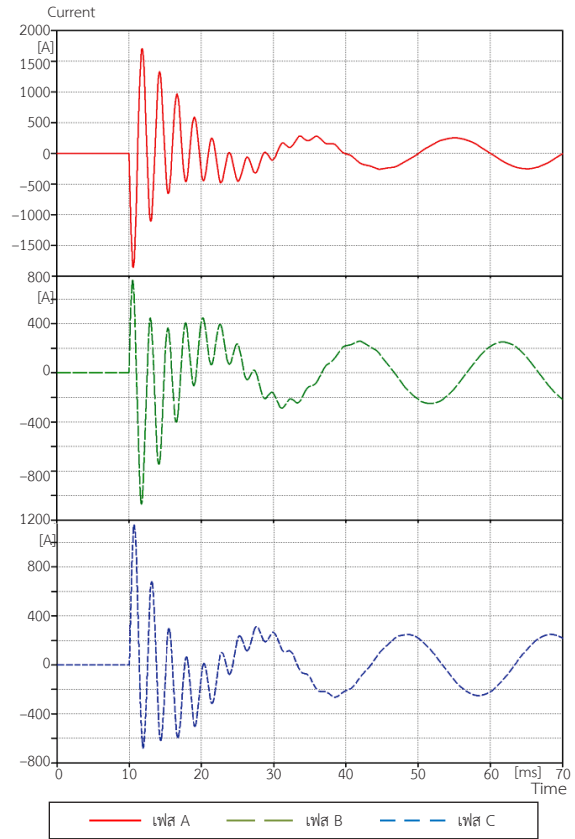


รูปที่ 7 แบบจำลองระบบไฟฟ้าของคปาซิเตอร์แบงก์ของสถานีไฟฟ้าย่อยสามย่าน

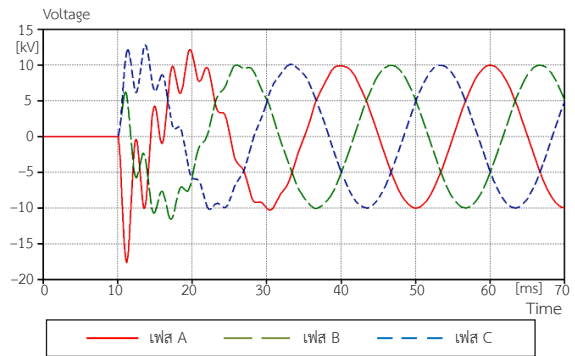
โดยระยะเวลาห่างของการเชื่อมต่อแต่ละครั้งอยู่ที่ 0.25 มิลลิวินาที โดยผลการจำลองระบบไฟฟ้าจะพิจารณากระแสและแรงดันตกคร่อมคปาซิเตอร์แล้วนำค่าที่ได้จากการจำลองมาหาค่าสัมบูรณ์สูงสุด (Maximum Absolute) ซึ่งจะมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การสวิตชิงจ่ายไฟคปาซิเตอร์แบงก์เพียง 1 ชุด

การสวิตชิงคปาซิเตอร์เมื่อเชื่อมต่อกาปาซิเตอร์ C1A ขณะที่ C1B ปลดอยู่หรือการจำลองกรณีสวิตชิงคปาซิเตอร์แบงก์เพียง 1 ชุด โดยผลการจำลองแสดงลักษณะรูปคลื่นกระแสที่ไหลเข้าคปาซิเตอร์แบงก์ ตามรูปที่ 8 (ก) ที่มีองค์ประกอบความถี่สูงซ้อนทับกับสัญญาณไซน์ (Sine Wave) ในช่วงที่กระแสมีการเปลี่ยนระดับจากศูนย์เป็นค่ากระแสจ่ายคปาซิเตอร์แบงก์ ในสภาวะคงตัว ซึ่งเรียกระแสในช่วงนี้ว่ากระแสพุ่งเข้า โดยในช่วงที่มีการเชื่อมต่อของเซอร์กิตเบรกเกอร์นี้ ยังส่งผลให้แรงดันเกินลักษณะตามรูปที่ 8 (ข) ที่เรียกว่า แรงดันเกินขณะทำการสวิตชิง (Switching Overvoltage) เมื่อพิจารณาผลของค่าสัมบูรณ์สูงสุดของกระแสและแรงดันเกิดขึ้นจากการเชื่อมต่อด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์ในช่วงเวลาต่างๆตามรูปที่ 7 (ก) พบว่า กระแสพุ่งเข้าสูงสุดมีค่าประมาณ 6.33 เฟอร์ยูนิต (1.610 kA peak) เกิดขึ้นในเฟส A ที่เวลา 10.50 มิลลิวินาที และ 11.50 มิลลิวินาที ซึ่งเป็นเวลาที่แรงดันเฟส A มีค่าสูงสุดที่มุม 90 และ 270 องศา ตามลำดับแต่เมื่อพิจารณาแรงดันเกินขณะสวิตชิงที่เกิดขึ้น ตามรูปที่ 7 (ข) พบว่า ค่าสูงสุดมีค่าประมาณ



(ก) คลื่นกระแสที่ไหลเข้าคปาซิเตอร์ C1A



(ข) คลื่นแรงดัน (VL-N) ตกคร่อมคปาซิเตอร์

รูปที่ 8 รูปคลื่นกระแสและแรงดัน กรณีเชื่อมต่อกาปาซิเตอร์ C1A เพียง 1 ชุด

1.63 เฟอร์ยูนิต (16.751 kV) เกิดขึ้นที่เวลา 10.50 มิลลิวินาที และ 11.50 มิลลิวินาที หรือเป็นเวลาที่แรงดันเฟส A มีค่าสูงสุดที่มุม 90 และ 270 องศา

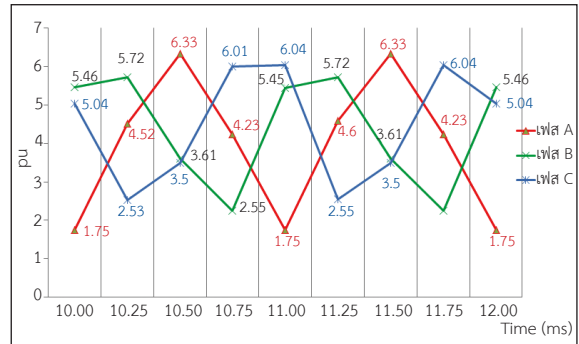
4.2 สวิตชิงคาปาซิเตอร์แบงก์ 1 ชุด ขณะทีคาปาซิเตอร์แบงก์อีกชุดต่อใช้งานอยู่ (เชื่อมต้อ C1A ขณะที C1B ต่ออยู่)

ผลการจำลอง กรณีสวิตชิงคาปาซิเตอร์แบงก์ 1 ชุด ขณะทีคาปาซิเตอร์แบงก์อีกชุดต่อใช้งานอยู่ แสดงลักษณะรูปคลื่นกระแสฟุ้งเข้าตามรูปที่ 8 (ก) เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับรูปคลื่นกระแสฟุ้งเข้า ตามรูปที่ 6 (ก) ซึ่งเป็นกรณีสวิตชิงคาปาซิเตอร์แบงก์ เพียง 1 ชุด จะเห็นได้ว่า เกิดองค์ประกอบความถี่สูงซ้อนทับกับสัญญาณไซน์ อย่างต่อเนื่องยาวนานกว่า ส่วนของแรงดันเกินขณะสวิตชิงตามรูปที่ 8 (ข) พบว่า มืองค์ประกอบความถี่สูงที่ซ้อนทับกับสัญญาณไซน์ทำนองเดียวกันกับกรณีของรูปคลื่นกระแส

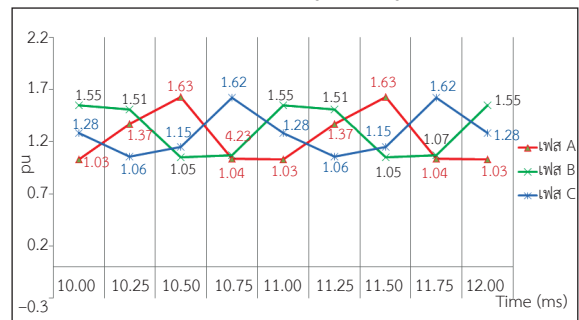
เมื่อพิจารณาผลของค่าสัมบูรณ์สูงสุดของกระแสทีเกิดขึ้นจากการเชื่อมต้อเซอร์กิตเบรกเกอร์ทีช่วงเวลาต่างๆ ตามรูปที่ 9 (ก) พบว่า กระแสฟุ้งเข้าสูงสุดมีค่า 7.61 เอรียูนิต (1.829 kA peak) เกิดขึ้นในเฟส A ทีเวลา 10.5 มิลลิวินาที และ 11.5 มิลลิวินาที ซึ่งเป็นเวลาทีค่าแรงดันเฟส A มีค่าสูงสุดทีมุม 90 และ 270 องศา ตามลำดับ โดยค่ากระแสฟุ้งเข้า ในกรณีนี้จะมีค่าสูงกว่ากรณีตามรูปที่ 8 (ก) ซึ่งเป็นผลการจำลองจากการสวิตชิงแบ้กทุแบ้กคาปาซิเตอร์ จะมีกระแสฟุ้งเข้าปนความถี่สูงจากคาปาซิเตอร์แบงก์ทีต่อใช้งานอยู่ ไหลมายังคาปาซิเตอร์แบงก์ทีจะจ่ายไฟ สำหรับค่าสัมบูรณ์สูงสุดของแรงดันตามรูปที่ 11 (ข) พบว่า ค่าสูงสุดทีเกิดขึ้นในเฟส A มีค่า 1.82 เอรียูนิต (17.832 kV peak) ทีเวลา 10.50 มิลลิวินาที และ 11.50 มิลลิวินาที หรือเกิดขึ้นทีมุม 90 และ 270 องศา

5. อภิปรายผลและสรุป

ผลกระทบบจากการสวิตชิงของคาปาซิเตอร์แบงก์ของสถานีไฟฟ้าย่อยสามย่าน จากการสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้าจากผลการจำลอง พบว่า มีกระแสฟุ้งเข้าซึ่งเป็นปัจจัยจากผลการสวิตชิงสำหรับการจ่ายไฟคาปาซิเตอร์แบงก์มีค่ากระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นสูง คือ กรณีที่ 1 การสวิตชิงจ่ายไฟคาปาซิเตอร์แบงก์เพียง 1 ชุด โดยพบกระแสไฟฟ้าสูงสุดเกิดขึ้นทีเฟส R ประมาณ 6.33 เอรียูนิต หรือ 1.4496 kA peak ทีเวลา 10.50 มิลลิวินาที และ 11.5 มิลลิวินาที แรงดันไฟฟ้า



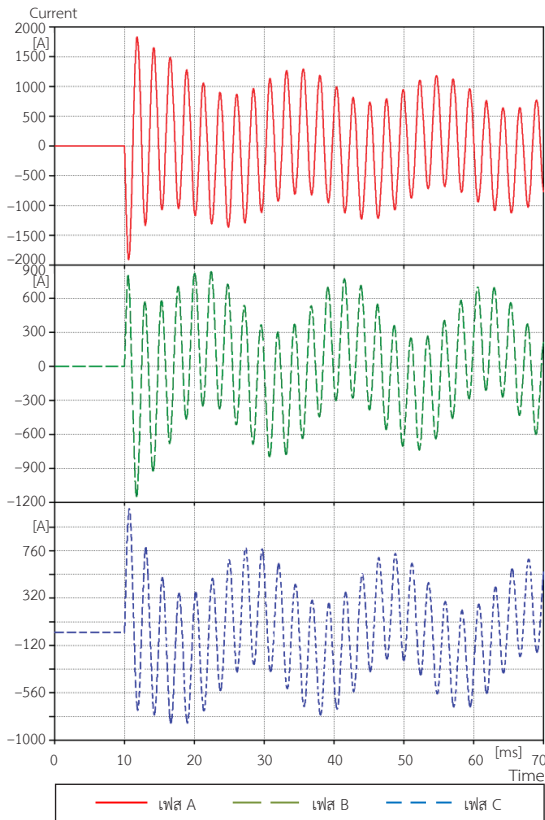
(ก) กระแสทีไหลเข้า C1A ในรูปเปอร์ยูนิตฐาน 254.5A



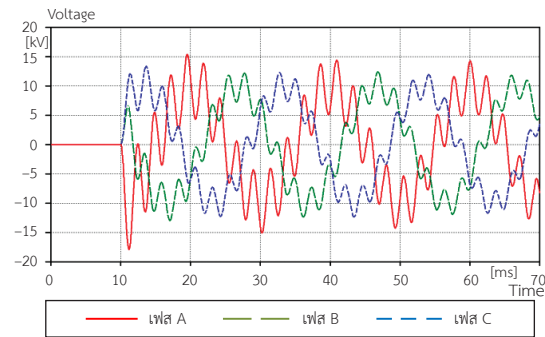
(ข) แรงดัน (V_{LN}) ทีตกคร่อมคาปาซิเตอร์ C1A ในรูปเปอร์ยูนิตของฐาน 9.798 กิโลโวลต์

รูปที่ 9 ค่าสัมบูรณ์สูงสุดของกระแสและแรงดันเกิดขึ้นจากการเชื่อมต้อเซอร์กิตเบรกเกอร์ทีช่วงเวลาต่างๆ กรณีเชื่อมต้อ C1A เพียง 1 ชุด

เกิดขึ้นทีเฟส A ประมาณ 1.63 เอรียูนิต หรือ 16.751 kV peak ทีเวลา 10.50 มิลลิวินาที และ 11.50 มิลลิวินาที กรณีที 2 สวิตชิงจ่ายไฟคาปาซิเตอร์แบงก์ 1 ชุด ขณะทีคาปาซิเตอร์แบงก์อีกชุดต่อใช้งานอยู่ จะมีกระแสสูงสุดเกิดขึ้นทีเฟส A ประมาณ 7.1 เอรียูนิต หรือ 1.8291 kA peak เกิดขึ้นในเฟส A ทีเวลา 10.50 และ 11.50 มิลลิวินาที แรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้นทีเฟส A ประมาณ 1.82 เอรียูนิต หรือ 17.832 kV peak จากการผลการจำลอง เมื่อเปรียบเทียบกระแสและแรงดันพบว่า ผลการจำลองในกรณีที 2 มีค่าสูงกว่ากรณีที 1 เกิดขึ้นเมื่อมีคาปาซิเตอร์ต่อใช้งานอยู่ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจากผลกระทบบกระแสฟุ้งเข้าทีสูงจะไม่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพหรือชำรุดอย่างฉับพลัน แต่ก็จะส่งผลให้เกิดความร้อนสูงฉับพลันขณะสวิตชิง จนนำไปสู่การเสื่อมสภาพสะสมและ

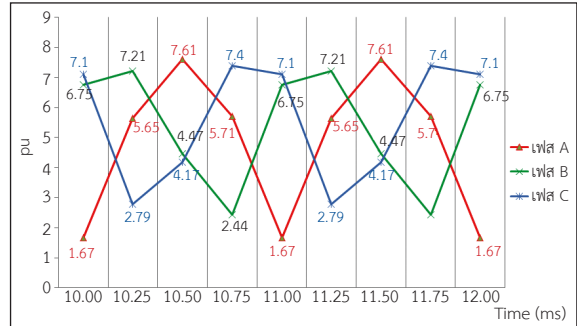


(ก) รูปคลื่นกระแสกรณีเชื่อมต่อ C1A ขณะที่ C2A เชื่อมต่ออยู่

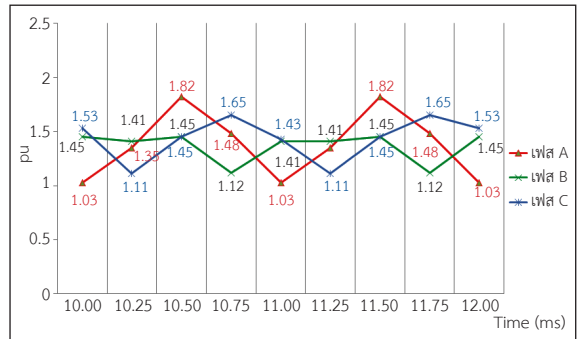


(ข) คลื่นแรงดัน (V_{L-N}) ที่ตกคร่อมคาปาซิเตอร์ C1A
รูปที่ 10 คลื่นกระแสและแรงดัน

ทำให้อายุการใช้งานของคาปาซิเตอร์แบงก์ลดลง ซึ่งแนวทางการแก้ไขด้วยการจำลองระบบไฟฟ้าเพื่อหาค่าเวลาหรือมุมที่เหมาะสมในการเชื่อมต่อคาปาซิเตอร์แบงก์ ส่วนถ้ากรณีมีโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลงอาจทำให้เวลาที่ตั้งค่าไว้เกิดค่ากระแสพุ่งเข้าสูงขึ้นกว่าปกติได้ ดังนั้นจึงควรปรับปรุงค่าเวลา



(ก) กระแสที่ไหลเข้า C1A ในรูปเปอร์ยูนิตของฐาน 254.5A



(ข) แรงดัน (V_{L-N}) ที่ตกคร่อมคาปาซิเตอร์ภายใน C1A ในรูปเปอร์ยูนิตของฐาน 9.798 กิโลโวลต์

รูปที่ 11 ค่าสัมบูรณ์สูงสุดของกระแสและแรงดันเกิดขึ้นจากการเชื่อมต่อเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ช่วงเวลาต่างๆ กรณีเชื่อมต่อคาปาซิเตอร์แบงก์ 1 ชุด ขณะที่คาปาซิเตอร์แบงก์ C1A ใช้งานอยู่

ที่เหมาะสมตามสภาพการจ่ายไฟของโหลดเพื่อให้กระแสพุ่งเข้ามีค่าน้อยที่สุดในการสวิตชิง อย่างไรก็ตามการหาที่เหมาะสมอาจต้องประยุกต์ใช้แนวความคิดด้านควบคุมอัตโนมัติหรือการใช้แนวความคิดทางวิศวกรรมความรู้ (Knowledge Engineering) [12] ค้นหาและปรับปรุงอัตโนมัติเพื่อหาค่ามุมในการเชื่อมต่อคาปาซิเตอร์แบงก์โดยการหลีกเลี่ยงมุมการเชื่อมต่อคือ มุม 90 และ 270 องศา ตามสภาพการจ่ายไฟของโหลดหรืออาจใช้การกำหนดเวลาในการเชื่อมต่อซึ่งจะเป็นแก้ปัญหาเกิดกระแสพุ่งเข้าที่ค่าสูงและทำให้การเสื่อมสภาพของคาปาซิเตอร์นั้นช้าลงได้จากการใช้งาน ตลอดจนการจำลองยังใช้เป็นข้อมูลของระบบไฟฟ้ากำลังของ กฟน. และระบบใกล้เคียง ในการออกแบบหาความเหมาะสมของ



การเลือกใช้ขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ของชุดเชื่อมต่อคาปาซิเตอร์แบงก์ในขั้นตอนทำการสวิตชิงสำหรับเชื่อมต่อเข้าระบบไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัยของอุปกรณ์และพัฒนาแนวทางการลดความเสี่ยงเกิดการชำรุดในสถานีไฟฟ้าย่อยต่อไปในการขั้นตอนการปฏิบัติงาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Srisonphan and K. Hongesombut, "A combined operation of Superconducting Fault Current Limiter and Static Var Compensator for power system transient stability improvement," presented at the International Electrical Engineering Congress (iEECON), Chonburi, Thailand, Mar. 19–21, 2014.
- [2] *IEEE Guide for the Protection of Shunt Capacitor Banks*, IEEE Standard C37.99-2000, 2013.
- [3] R. P. Singh, *Digital Power System Protection*. India: Prentic-Hall, 2007.
- [4] R. C. Dugan, *Electrical Power Systems Quality*. McGraw- Hill, 1996.
- [5] P. A. A. Pramana, A. A. Kusuma, and B. S. Munir, "Inrush current investigation of capacitor bank switching for 150kV electrical system in Indonesia," presented at the International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS), Bali, Indonesia, Oct. 2–5, 2017.
- [6] R. Sévigny, S. Ménard, C. Rajotte, and M. McVey, "Capacitor measurement in the substation environment: A new approach," presented at the IEEE 9th International Conference on Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance Proceedings, Quebec, Canada, Oct. 8–12, 2000.
- [7] G. Brunellom, B. Kasztenny, and C. Wester, "Shunt capacitor bank fundamentals and protection," presented at the Conference for Protective Relay Engineers, Texas A&M University, US., 2003.
- [8] T. Suwanasri, S. Wattanawongpitak, and C. Suwanasri, "Multi-Step Back-to-Back capacitor bank switching in a 115 kV substation," presented at the ECTI International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and information Technology, Chiang Mai, Thailand, May 19–21, 2010.
- [9] A. M. Gole and J. Martinez-Velasco, "Modeling guidelines for switching transients," IEEE Special Publication, TP-133-0, 1988.
- [10] M. Kizilcay and L. Prikler, "ATP-EMTP Beginner's guide for EEUG members," European EMTP-ATP Users Group e.V, 2000.
- [11] 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), Tianjin, China, May. 21–24, 2012.
- [12] Y. Kojima, S. Warashina, M. Kato, and H. Watanabe, "Application of knowledge engineering techniques to electric power System restoration," in *Proceedings of the International Workshop on Artificial Intelligence for Industrial Applications*, Hitachi City, Japan, 2002, pp. 320–325.