การจำลองวิธีลดทอนฮาร์มอนิกของโรงงานอุตสาหกรรมด้วยโปรแกรม ETAP

HARMONIC MITIGATION TECHNIQUES SIMULATION APPLIED TO INDUSTRIAL PLANT USING ETAP PROGRAM

วิชชากร เฮงศรีธวัช

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: vichchakorn.he@spu.ac.th

รุจิพรรณ สัมปันณา

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

E-mail: rujipan.s@bu.ac.th

วงศกร คล่องคดีรัฐ

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: vongsagon.klo@pea.co.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวทางวิธีลดทอนปัญหาฮาร์มอนิกของโรงงานอุตสาหกรรม โดยการจำลองผลด้วยโปรแกรม ETAP จากกรณีศึกษาของบริษัท ไทยอีทอกซีเลท จำกัด ซึ่งมีการใช้ชุดปรับความถี่แบบ 6 พัลส์ สำหรับควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส จำนวน 6 ตัว ขนาดกำลังรวม 311 kW ทำให้เกิดปัญหากระแสฮาร์มอนิกที่มีคุณลักษณะของอันดับ 5 และอันดับ 7 ค่อนข้างสูง รวมถึงมีค่าผลรวมความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกเกินมาตรฐาน ผลการจำลองแสดงให้เห็นแนวทางการแก้ปัญหาฮาร์มอนิกสามารถทำได้หลายกรณี โดยที่ระดับการทำงานของโหลดมีค่า 75% ของพิกัด ควรเลือกใช้วิธีการติดตั้งตัวกรองฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 และ 7 ณ ตำแหน่งบัสเดียวกับชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์ สำหรับการทำงานเต็มพิกัด 100% ควรติดตั้งตัวกรองฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 และ 7 ณ ตำแหน่งเดียวกับชุดคาปาซิเตอร์สำหรับปรับค่าตัวประกอบกำลังของโรงงาน ทั้งนี้โดยพิจารณาจากค่าต่ำสุดของผลรวมความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกไม่เกิน 5% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ

คำสำคัญ: ชุดปรับความถี่แบบ 6 พัลส์ ฮาร์มอนิก ตัวกรองฮาร์มอนิก

ABSTRACT

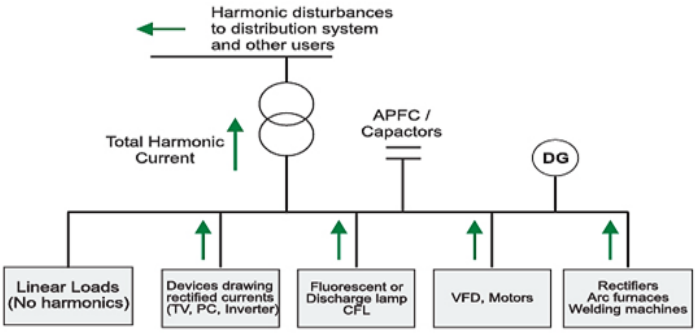
This article presents an approach to reduce the harmonics problem of industrial plants by simulating the results with the ETAP program. Case study of Thai Ethoxylate Co., Ltd. which uses a 6-pulse frequency adjuster to control the speed of 6 three-phase induction motors with a total power of 311 kW. This causes problems with high harmonic currents of 5^{th} and 7^{th} order characteristics, as well as exceeding the limits of the total harmonic voltage distortion (THDv). The simulation results show that harmonic solutions can be implemented in many

cases. The results shown that at 75% of the load operating level, the 5th and 7th harmonic filters should be installed at the same bus location as the motor speed regulator. While the 5th and 7th harmonic filters should be installed at the same location as the factory power factor correction capacitor for the 100% of full-load operation. This is determined by the minimum value of the total harmonic voltage distortion of not more than 5% compared to other methods.

Keywords: 6-Pulse Variable Frequency Drive, Harmonics, Harmonics Filter

1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมยังคงมีการนำอุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์กำลัง หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่เป็นเชิงเส้นเข้ามาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่น อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้า (Power Converter) เตาหลอมโลหะแบบไฟฟ้า (Electric Arc Furnace) แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง (UPS) หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (Compact Fluorescent Lamp) และชุดปรับความถี่สำหรับควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (VFD) เพื่อช่วยในการประหยัดพลังงานไฟฟ้า หรือช่วยในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นต้น ดังตัวอย่างโครงสร้างระบบไฟฟ้าทั่วไปของโรงงานอุตสาหกรรมในภาพที่ 1 แต่ผลกระทบที่ตามมาจากคุณลักษณะของการใช้อุปกรณ์ดังกล่าวนั้นคือ การเกิดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า โดยถ้าทำการวิเคราะห์การทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ จะพบว่ารูปคลื่นกระแสหรือแรงดันของอุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิดอาจมีลักษณะที่แตกต่างไปจากรูปคลื่นไซน์ทั้งที่ถูกจ่ายด้วยกระแสและแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับรูปคลื่นไซน์ ซึ่งเป็นผลจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีคุณลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น หรืออาจเกิดจากการไหลของกระแสเป็นช่วงๆ ที่ไม่ต่อเนื่องจากการทำงานของอุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์กำลัง



ภาพที่ 1 โครงสร้างระบบไฟฟ้าทั่วไปของโรงงานอุตสาหกรรม

ทั้งนี้ หากฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ามีปริมาณมากจนเกินมาตรฐาน อาจส่งผลกระทบโดยตรงต่อระบบไฟฟ้าและเครื่องจักรกลไฟฟ้า เช่น การตัดตอนโดยไม่ทราบสาเหตุของเซอร์กิตเบรกเกอร์ เกิดความร้อนสะสมของเครื่องจักรกลไฟฟ้า เช่น มอเตอร์ และหม้อแปลงไฟฟ้า เป็นต้น ทำให้มีอายุการใช้งานและประสิทธิภาพลดลง นอกจากนี้ยังอาจทำให้ชุดคาปาซิเตอร์ซึ่งทำหน้าที่ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังเกิดความเสียหายจากกรณีสภาวะเรโซแนนซ์ได้ อย่างไรก็ตาม การแก้ปัญหาหรือการลดทอนฮาร์มอนิกในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถกระทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับคุณลักษณะคุณภาพไฟฟ้าของโรงงานนั้นๆ ซึ่งจำเป็นต้องทำการตรวจสอบให้ชัดเจน

ก่อน หลังจากนั้นจึงออกแบบวิธีแก้ปัญหารวมถึงมีการประเมินผลสัมฤทธิ์ก่อนด้วยการใช้โปรแกรมช่วยคำนวณหรือจำลองเหตุการณ์ เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าจะสามารถแก้ปัญหาฮาร์มอนิกได้จากวิธีการที่ออกแบบไว้ตามความเหมาะสมทั้งด้านทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์

ดังนั้น บทความนี้จึงนำเสนอการใช้โปรแกรม ETAP [3] เพื่อจำลองวิธีลดทอนฮาร์มอนิกของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีการใช้งานแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับด้านประสิทธิผลในแง่การคำนวณและการจำลองทั้งระบบไฟฟ้ากำลังและภาคอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพื่อให้ปัญหาฮาร์มอนิกได้รับการแก้ไขหรือลดทอนลงอยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนดของการไฟฟ้าหรือตามมาตรฐานสากล โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์และเครื่องจักรกลไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงไม่เกิดการไหลย้อนกลับของกระแสฮาร์มอนิกเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า ณ จุดเชื่อมต่อร่วม (Point of Common Coupling: PCC)

2. แรงดันและกระแสฮาร์มอนิก

เมื่อกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากการทำงานของอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้นไหลผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบจะส่งผลทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าด้วยเรียกว่าแรงดันฮาร์มอนิก ซึ่งในกรณีโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้คาปาซิเตอร์ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง อาจทำให้ขนาดแรงดันฮาร์มอนิกมีการขยายตัวมากขึ้นจากสภาวะเรโซแนนซ์แบบขนานระหว่างคาปาซิเตอร์ และรีแอคแตนซ์ของระบบหรือหม้อแปลง โดยเมื่อพิจารณาให้โหลดไม่เป็นเชิงเส้นเป็นแหล่งจ่ายฮาร์มอนิกถ้าเรโซแนนซ์แบบขนานเกิดที่ความถี่เดียวกันหรือใกล้เคียงกับความถี่ฮาร์มอนิกของโหลดไม่เป็นเชิงเส้นจะทำให้เกิดกระแสจำนวนมากไหลผ่านระหว่างรีแอคแตนซ์ของระบบ และรีแอคแตนซ์ของตัวเก็บประจุ ส่งผลให้แรงดันฮาร์มอนิก ณ จุดที่มีกระแสฮาร์มอนิกไหลผ่านมีค่าสูงขึ้นมาก

2.1 ความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม

มาตรฐาน IEEE [1] ได้ให้ความหมายของความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic Distortion: THD) คือค่าที่บอกถึงปริมาณฮาร์มอนิกที่มีอยู่ทั้งหมด โดยเปรียบเทียบกับค่าอาร์เอ็มเอสของส่วนประกอบความถี่มูลฐาน โดยมีทั้งความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม (THDv) ตามสมการที่ (1) และความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม (THDi) ซึ่งมีข้อกำหนดตามมาตรฐานเพื่อใช้สำหรับการพิจารณาค่าความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวมในระบบ โดยถูกแบ่งตามระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ ณ จุดต่อร่วม (PCC) ดังตารางที่ 1

$$\%THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{n} V_{h,rms}^2}}{V_{1,rms}} \times 100 \tag{1}$$

โดยที่ THD_v = ผลรวมความผิดเพี้ยนของแรงดันฮาร์มอนิก

V_h = แรงดันฮาร์มอนิกอันดับที่ h

V_1 = แรงดันที่ความถี่มูลฐาน (50 Hz)

ตารางที่ 1 ขีดจำกัดความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม [2]

ระดับแรงดันไฟฟ้าของบัสที่ PCC	ความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม (THDv)
69 kV และต่ำกว่า	5.0
มากกว่า 69 kV ถึง 161 kV	2.5
มากกว่า 161 kV	1.5

2.2 ฮาร์มอนิกคุณลักษณะ

หมายถึงฮาร์มอนิกที่สร้างโดยเครื่องแปลงผันทางไฟฟ้าโดยใช้สารกึ่งตัวนำ เช่น ไดโอด เอสซีอาร์ ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดต่อกระแสในการทำงาน ซึ่งชุดปรับความถี่แบบ 6 พัลส์ จะมีกระแสฮาร์มอนิกคุณลักษณะของอันดับ 5 และ 7 ตามสมการที่ (2)

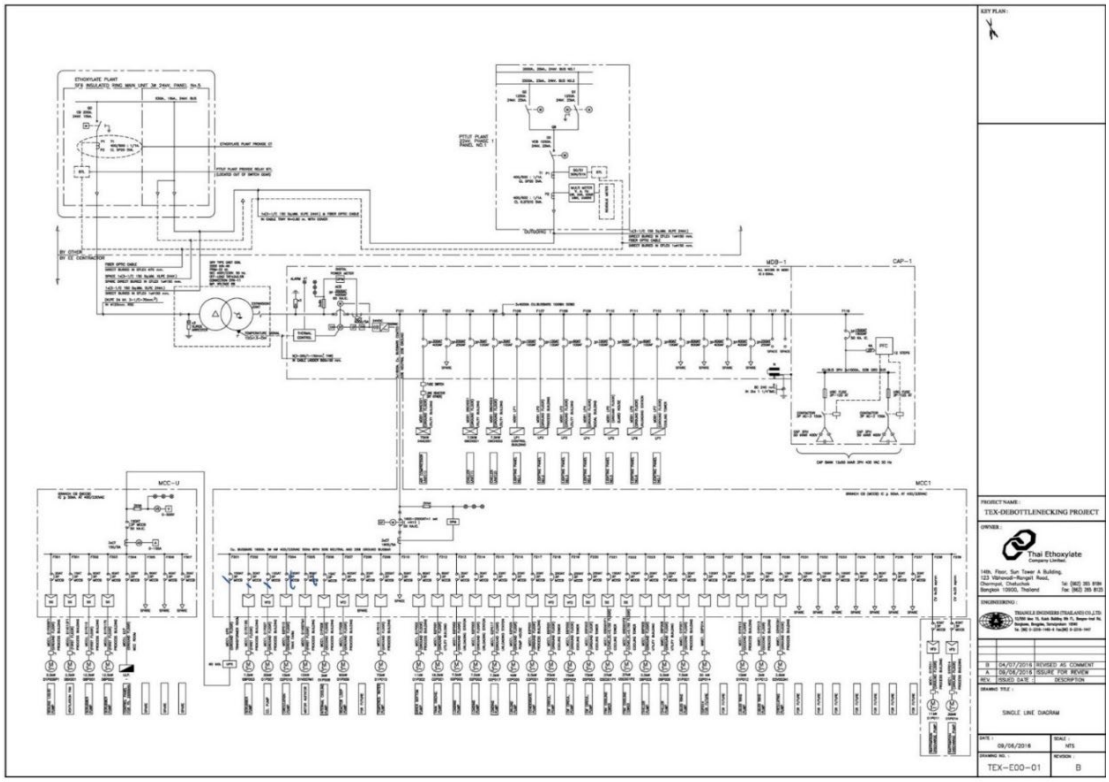
$$h = kp \pm 1 \tag{2}$$

โดยที่ h = อันดับฮาร์มอนิก k = เลขจำนวนเต็มบวก p = จำนวนพัลส์ของเครื่องแปลงผันไฟฟ้า

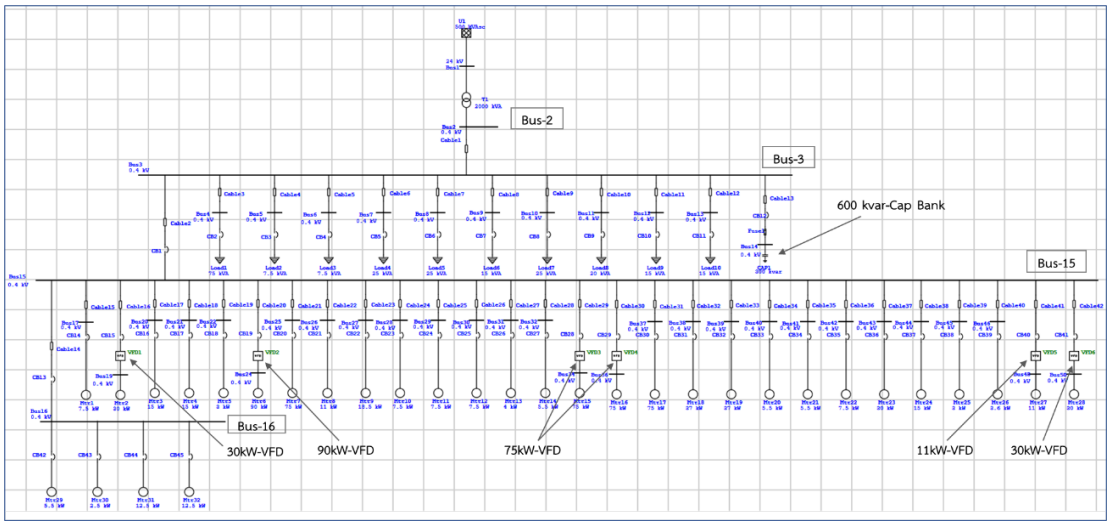
3. คุณลักษณะของกรณีศึกษา

บริษัท ไทยอีทอกซีเลท จำกัด ประกอบกิจการด้านการผลิตวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์เพื่อสุขอนามัยส่วนบุคคล เช่น แชมพู ครีมอาบน้ำ รวมถึงผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดในครัวเรือน โดยโรงงานมีการใช้หม้อแปลงขนาดพิกัด 2000 kVA, แรงดัน 22 kV/400 V, 6 %Z, 50 Hz และมีการใช้กำลังงานของโหลดรวมขนาด 1450 kVA ซึ่งส่วนเหนึ่งเป็นโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีการใช้ชุดปรับความถี่แบบ 6 พัลส์ (Six-Pulse VFD) สำหรับควบคุมความเร็วรอบ จำนวน 6 ตัว ขนาดกำลังรวม 311 kW รวมถึงมีการใช้ชุดคาปาซิเตอร์สำหรับปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังขนาด 600 kVar ดังแสดงไดอะแกรมเส้นเดียวของระบบไฟฟ้าตามภาพที่ 2 ซึ่งผลจากการตรวจวัดกระแสฮาร์มอนิกเบื้องต้น ณ ตำแหน่งกลุ่มมอเตอร์ที่มีการใช้ชุดปรับความเร็วรอบ พบปริมาณกระแสฮาร์มอนิกที่มีคุณลักษณะตามสมการที่ (2) ของอันดับ 5 และ 7 ค่อนข้างสูง เป็นเหตุให้อุปกรณ์ตัดตอนบางตัวทำงานโดยไม่ได้ตั้งใจ

การสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้าของโรงงานด้วยโปรแกรม ETAP แสดงตามภาพที่ 3 ซึ่งจะมีตำแหน่งการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สำคัญ คือ ตำแหน่งบัส 2 จะเป็นจุดเชื่อมต่อของหม้อแปลงไฟฟ้า โหลดแสงสว่างทั่วไปและชุดคาปาซิเตอร์สำหรับปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังจะติดตั้ง ณ ตำแหน่งบัส 3 กลุ่มมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสจำนวน 28 ตัว (697.1 kW) ซึ่งมีการใช้ชุดปรับความเร็วรอบจำนวน 6 ตัว (311 kW) ถูกต่อใช้งานที่ตำแหน่งบัส 15 และกลุ่มมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสจำนวน 4 ตัว (33 kW) ซึ่งไม่มีการใช้ชุดปรับความเร็วรอบ ถูกต่อใช้งาน ณ ตำแหน่งบัส 16



ภาพที่ 2 ไดอะแกรมระบบไฟฟ้าเส้นเดียวของ บริษัท ไทยอีทอกซีเลท จำกัด



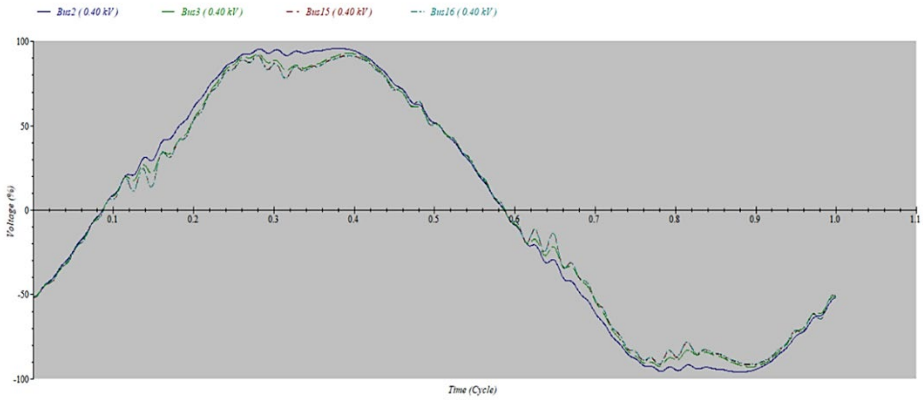
ภาพที่ 3 แบบจำลองระบบไฟฟ้าของโรงานที่สร้างด้วยโปรแกรม ETAP

4. ผลจำลองการแก้ปัญหาฮาร์มอนิก

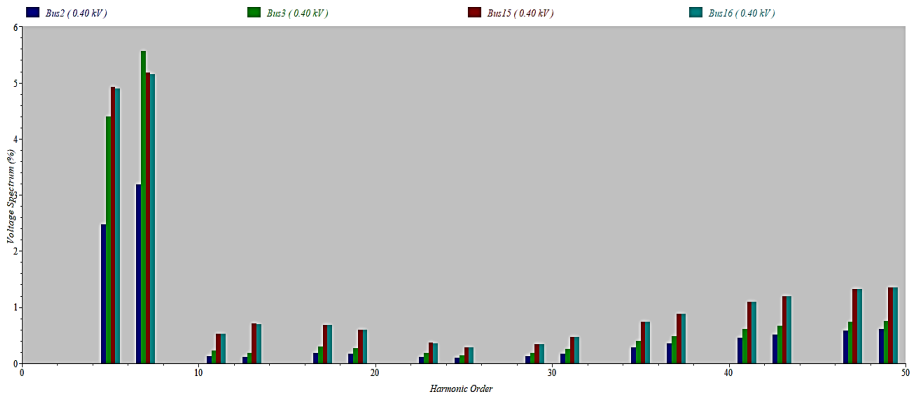
การจำลองผลของระบบที่ใช้เป็นกรณีศึกษา มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการแก้ปัญหาฮาร์มอนิที่มีความเป็นไปได้และมีความเหมาะสม โดยคำนึงถึงค่า THDv ที่จุดต่อร่วมไม่เกิน 5% ตามมาตรฐานและมีค่าต่ำสุด การพิจารณาจะแบ่งระดับการใช้งานของโหลดเป็น 2 ระดับ คือ ระดับ 75% และ 100% ของค่าพิกัด โดยจะพิจารณาแนวทางลดทอนปัญหาฮาร์มอนิก 3 วิธี ได้แก่

- การต่อโช๊ค (Choke) ขนาด 3% อนุกรมกับ VFD
- การเปลี่ยนชุดปรับความถี่เป็น 12-Pulse VFD
- การใช้ตัวกรองฮาร์มอนิก (Harmonic Filter) อันดับ 5 และอันดับ 7

ผลจำลองเบื้องต้นกรณีฐานซึ่งยังไม่มีการแก้ไขใดๆ แสดงให้เห็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ณ บัสต่างๆ ที่มีความผิดเพี้ยนมาก รวมถึงมีค่าแรงดันฮาร์มอนิกอันดับ 5 และอันดับ 7 ค่อนข้างสูง ดังภาพที่ 4 และภาพที่ 5 ตามลำดับ ซึ่งเป็นการพิจารณาที่ระดับโหลด 100% สำหรับผลรวมค่า THDv แสดงไว้ในตารางที่ 2



ภาพที่ 4 ความผิดเพี้ยนของสัญญาณดันไฟฟ้ากรณีฐานที่ระดับโหลด 100%



ภาพที่ 5 สเปกตรัมแรงดันฮาร์มอนิกที่ตำแหน่งบัสต่างๆ กรณีฐานที่ระดับโหลด 100%

ตารางที่ 2 ค่าความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวมที่บัสกรณีฐาน

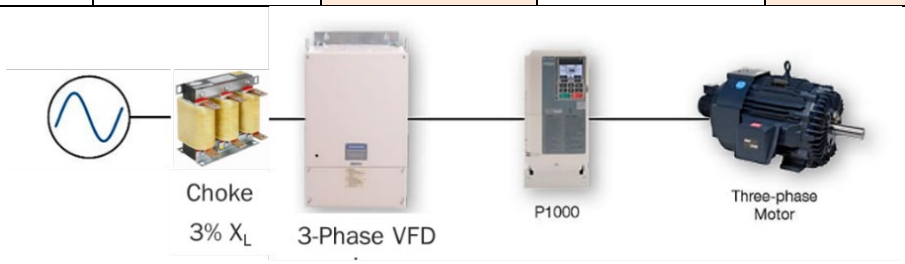
ค่าความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวมที่บัส (%THDv)		
ตำแหน่ง	**ระดับโหลด 75%**	**ระดับโหลด 100%**
บัส 2	2.99	4.29
บัส 3	5.42 > 5.0	7.82 > 5.0
บัส 15	5.71 > 5.0	8.15 > 5.0
บัส 16	5.69 > 5.0	8.49 > 5.0

4.1 ผลจำลองการต่อโช็คขนาด 3% อนุกรมกับ VFD

โดยทั่วไปการต่อโช็คที่มีค่ารีแอคแตนซ์ขนาด 3-5% ในลักษณะอนุกรมกับ VFD ตามภาพที่ 6 อาจช่วยทำให้ความผิดเพี้ยนของกระแสฮาร์มอนิกลดลงได้ แต่อย่างไรก็ตาม ผลการจำลองของกรณีศึกษานี้ พบว่าค่า %THDv มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงในบางตำแหน่งเล็กน้อย แต่ส่วนใหญ่จะยังมีค่าที่เกินมาตรฐานอยู่ ดังตารางที่ 3 และเมื่อพิจารณาจากสัญญานแรงดันไฟฟ้ายังคงมีลักษณะผิดเพี้ยนคล้ายกับก่อนติดตั้งโช็ค แสดงว่าวิธีการติดตั้งโช็ค 3% ไม่เหมาะสำหรับการลดทอนฮาร์มอนิกของกรณีศึกษานี้

ตารางที่ 3 ค่า %THDv ที่บัสก่อนและหลังการติดตั้งโช็ค

ค่าความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวมที่บัส (%THDv)				
ตำแหน่ง	ระดับโหลด 75%		ระดับโหลด 100%	
	ก่อนติดตั้งโช็ค	หลังติดตั้งโช็ค	ก่อนติดตั้งโช็ค	หลังติดตั้งโช็ค
บัส 2	2.99	2.91	4.29	4.77
บัส 3	5.42	5.2 > 5.0	7.82	8.11 > 5.0
บัส 15	5.71	5.77 > 5.0	8.15	8.51 > 5.0
บัส 16	5.69	5.76 > 5.0	8.49	5.49 > 5.0



ภาพที่ 6 การต่อโช็คอนุกรมกับชุดปรับความถี่เพื่อควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

4.2 ผลจำลองการเปลี่ยนชุดปรับความถี่เป็น 12-Pulse VFD

การเปลี่ยนชนิด VFD จาก 6 พัลส์ เป็น 12 พัลส์ จะทำให้ฮาร์มอนิกคุณลักษณะเปลี่ยนไปตามสมการที่ (2) และทำให้เกิดผลดีต่อค่า THDv ที่ลดลง โดยผลการจำลองจะแบ่ง 3 กรณีดังนี้

กรณี A : เปลี่ยนเป็น 12-Pulse VFD ของมอเตอร์ทั้งหมดจำนวน 6 ตัว (311 kW)

กรณี B : เปลี่ยนเป็น 12-Pulse VFD เฉพาะมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่สุดจำนวน 1 ตัว (90 kW)

กรณี C : เปลี่ยนเป็น 12-Pulse VFD เฉพาะมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่สุดจำนวน 2 ตัว (90 kW และ 75 kW)

ผลการจำลองแสดงให้เห็นชัดเจนว่า การเปลี่ยนเป็น 12-Pulse VFD ของมอเตอร์ทั้งหมดนั้น (กรณี A) ส่งผลให้ค่า THDv ลดลงต่ำกว่าเกณฑ์มากทั้ง 2 ระดับโหลด ตามตารางที่ 4 แต่อาจไม่คุ้มค่าในแง่ของการลงทุน เนื่องจากมีราคาแพง ดังนั้น การเลือกเปลี่ยนแค่บางตำแหน่งอาจเหมาะสมกว่า ซึ่งผลการจำลองในกรณี B และ C แสดงไว้ในตารางที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ค่า %THDv ที่บัสก่อนและหลังเปลี่ยนชนิด VFD กรณี A

ค่า %THDv ก่อนและหลังเปลี่ยนเป็น 12-Pulse VFD กรณี A				
ตำแหน่ง	ระดับโหลด 75%		ระดับโหลด 100%	
	6-Pulse	12-Pulse	6-Pulse	12-Pulse
บัส 2	2.99	0.488	4.29	1.00
บัส 3	5.42	0.731	7.82	1.38
บัส 15	5.71	1.54	8.15	2.66
บัส 16	5.69	1.53	8.49	2.65

ตารางที่ 5 ค่า %THDv ที่บัสก่อนและหลังเปลี่ยนชนิด VFD กรณี B

ค่า %THDv ก่อนและหลังเปลี่ยนเป็น 12-Pulse VFD กรณี B				
ตำแหน่ง	ระดับโหลด 75%		ระดับโหลด 100%	
	6-Pulse	12-Pulse	6-Pulse	12-Pulse
บัส 2	2.99	2.09	4.29	2.93
บัส 3	5.42	3.27	7.82	5.24 > 5.0
บัส 15	5.71	4.21	8.15	6.09 > 5.0
บัส 16	5.69	4.19	8.49	6.07 > 5.0

ตารางที่ 6 ค่า %THDv ที่บัสก่อนและหลังเปลี่ยนชนิด VFD กรณี C

ค่า %THDv ก่อนและหลังเปลี่ยนเป็น 12-Pulse VFD กรณี C				
ตำแหน่ง	ระดับโหลด 75%		ระดับโหลด 100%	
	6-Pulse	12-Pulse	6-Pulse	12-Pulse
บัส 2	2.99	1.44	4.29	2.11
บัส 3	5.42	2.55	7.82	3.67
บัส 15	5.71	3.04	8.15	4.54
บัส 16	5.69	3.03	8.49	4.53

จากตารางที่ 5 อาจกล่าวได้ว่า การเปลี่ยนเป็น 12-Pulse VFD ที่ตำแหน่งมอเตอร์ขนาด 90 kW ตัวเดียว จะทำให้ค่า THDv อยู่ในเกณฑ์ทุกบัสสำหรับการทำงานที่ระดับโหลด 75% แต่จะมีค่าเกินมาตรฐานหลายตำแหน่ง หากโหลดทำงานที่ระดับ 100% ในขณะที่ผลจำลองในตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนเป็น 12-Pulse VFD ที่ตำแหน่งมอเตอร์ขนาด 90 kW และ 75 kW จะทำให้ค่า THDv ต่ำกว่าเกณฑ์ทั้งหมดทุกระดับโหลด ดังนั้น การแก้ปัญหาฮาร์มอนิกด้วยวิธีนี้จึงมีความเหมาะสม ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางแก้ไขได้

4.3 ผลจำลองการใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกอันดับ 5 และ 7

การแก้ปัญหาฮาร์มอนิกด้วยการใช้ตัวกรอง เป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ตรงจุดและนิยมใช้กันโดยทั่วไป แต่เนื่องจากฮาร์มอนิกคุณลักษณะที่พบในกรณีศึกษานี้มีทั้งอันดับ 5 และ 7 ดังนั้น การจำลองผลส่วนนี้จะพิจารณาการใช้ตัวกรองแต่ละอันดับ รวมถึงตำแหน่งติดตั้งตัวกรองในระบบ ซึ่งอาจส่งผลต่อค่า THDv ที่มีความต่างกันอย่างมีนัย โดยแบ่งเป็น 3 กรณี ดังนี้

กรณี D : ใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกแต่ละอันดับ โดยติดตั้งที่บัสเดียวกับชุดคาปาซิเตอร์ (บัส 3)

กรณี E : ใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกแต่ละอันดับ โดยติดตั้งที่บัสเดียวกับกลุ่มมอเตอร์ที่มีการใช้ VFD (บัส 15)

กรณี F : ใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกแต่ละอันดับ โดยติดตั้งขนานกับมอเตอร์ทุกตัวที่มีการใช้ VFD

ผลการจำลองแสดงให้เห็นถึงเงื่อนไขและตำแหน่งติดตั้งตัวกรองฮาร์มอนิกที่ไม่เหมือนกัน จะส่งผลให้ THDv มีค่าแตกต่างกันด้วย โดยในระดับการใช้โหลด 100% การติดตั้งตัวกรองฮาร์มอนิกบางอันดับ ไม่สามารถทำให้ค่า THDv ต่ำกว่าเกณฑ์ได้ทุกกรณี จึงควรใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกทั้ง 2 อันดับ ซึ่งจะทำให้ THDv มีค่าไม่สูงเกินมาตรฐาน ตามตารางที่ 8 ในขณะที่การใช้งานโหลดระดับ 75% การติดตั้งตัวกรองในบางอันดับสามารถทำให้ค่า THDv ต่ำกว่าเกณฑ์ได้ในกรณี D และกรณี F อย่างไรก็ตาม การใช้ตัวกรองทั้ง 2 อันดับ ยังคงมีประสิทธิผลในการทำให้ THDv มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ทุกกรณี ตามตารางที่ 7

ทั้งนี้ หากพิจารณาถึงลักษณะการทำงานจริงซึ่งมีระดับโหลดประมาณ 75% โดยคำนึงถึงค่า THDv ที่ต่ำสุด พบว่าควรมีการใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกทั้งอันดับ 5 และ 7 โดยการติดตั้งที่บัส 15 ซึ่งเป็นบัสเดียวกับกลุ่มมอเตอร์ที่มีการใช้ชุดขับเคลื่อน VFD ในกรณี E ตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบค่า %THDv ก่อนและหลังติดตั้งตัวกรองฮาร์มอนิกที่ระดับโหลด 75%

ค่า %THDv ก่อนและหลังติดตั้งตัวกรองฮาร์มอนิกที่ระดับโหลด 75%									
กรณี	ตัวกรองฮาร์มอนิกอันดับที่	บัส 2		บัส 3		บัส 15		บัส 16	
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
D	5	2.99	2.50	4.42	3.47	5.71	4.61	5.69	4.60
	7	2.99	1.92	4.42	3.50	5.71	4.24	5.69	4.23
	5 และ 7	2.99	0.59	4.42	0.96	5.71	2.03	5.69	2.02
E	5	2.99	2.46	4.42	4.42	5.71	4.43	5.69	4.10
	7	2.99	2.42	4.42	4.43	5.71	5.20 > 5	5.69	5.17 > 5
	5 และ 7	2.99	0.48	4.42	0.74	5.71	1.59	5.69	1.59
F	5	2.99	4.60	4.42	4.70	5.71	4.83	5.69	4.81
	7	2.99	1.96	4.42	3.56	5.71	4.24	5.69	4.23
	5 และ 7	2.99	1.27	4.42	2.27	5.71	2.91	5.69	2.90

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบค่า %THDv ก่อนและหลังติดตั้งตัวกรองฮาร์มอนิกที่ระดับโหลด 100%

ค่า %THDv ก่อนและหลังติดตั้งตัวกรองฮาร์มอนิกที่ระดับโหลด 100%									
กรณี	ตัวกรองฮาร์มอนิกอันดับที่	บัส 2		บัส 3		บัส 15		บัส 16	
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
D	5	4.29	3.62	7.82	6.56 > 5	8.51	6.99 > 5	8.49	6.97 > 5
	7	4.29	3.30	7.82	6.05 > 5	8.51	7.11 > 5	8.49	7.09 > 5
	5 และ 7	4.29	0.96	7.82	1.34	8.51	2.89	8.49	2.88
E	5	4.29	3.36	7.82	6.05 > 5	8.51	6.05 > 5	8.49	6.26 > 5
	7	4.29	2.78	7.82	5.04 > 5	8.51	6.18 > 5	8.49	6.16 > 5
	5 และ 7	4.29	1.27	7.82	1.90	8.51	3.32	8.49	3.31
F	5	4.29	3.63	7.82	6.56 > 5	8.51	6.88 > 5	8.49	6.87 > 5
	7	4.29	2.94	7.82	5.32 > 5	8.51	6.52 > 5	8.49	6.50 > 5
	5 และ 7	4.29	1.59	7.82	2.66	8.51	3.80	8.49	3.79

5. สรุปและอภิปรายผล

แนวทางการแก้ปัญหาฮาร์มอนิกสำหรับกรณีศึกษานี้ ไม่สามารถใช้วิธีการต่อโช็คได้ ทั้งนี้การแก้ปัญหาด้วยวิธีอื่นจะขึ้นกับระดับการใช้งานของโหลด โดยสภาพการทำงานจริงจะมีระดับโหลดประมาณ 75% ซึ่งจากผลการจำลองที่ทำให้ค่า THDv ต่ำสุด คือการใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกทั้งอันดับ 5 และ 7 ติดตั้งที่ตำแหน่งบัสเดียวกับกลุ่มมอเตอร์ที่มีการใช้ VFD (บัส 15) จากกรณี E ในตารางที่ 7 แต่หากพิจารณาการใช้โหลดเต็มพิกัด 100% ควรเลือกใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกทั้ง 2 อันดับเช่นกัน แต่ติดตั้ง ณ ตำแหน่งบัสเดียวกับชุดคาปาซิเตอร์ (บัส 3) จากกรณี D ในตารางที่ 8 ซึ่งวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวจะมีค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนักหากเทียบกับวิธีการอื่น

นอกจากนี้ การใช้ VFD แบบ 12 พัลส์ ก็สามารถทำให้ค่า THDv ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานได้ทุกกรณีที่ระดับการใช้โหลด 75% โดยการใช้กับมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่สุด (90kW) เพียงตัวเดียวจากตารางที่ 5 และต้องใช้กับมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ 2 ตัว (90kW,75kW) สำหรับระดับการใช้โหลด 100% จากตารางที่ 6 แต่วิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวอาจไม่เหมาะสมและมีค่าใช้จ่ายที่สูง ดังนั้น แนวทางการแก้ปัญหาจริงจำเป็นต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ทั้งทางเทคนิคและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ด้วย จึงจะได้ประสิทธิผลสูงสุด อย่างไรก็ตาม ผลการจำลองที่ได้เป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นเท่านั้นซึ่งยังไม่ได้มีการนำมาใช้จริง จึงอาจมีความคลาดเคลื่อนของผลได้จากหลายปัจจัย

6. เอกสารอ้างอิง

ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์มอนิกเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม PRC-PQG-01/199, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (1998).

ETAP Demo Getting Started, Operation Technology, Inc.

IEEE STD. 519-1992, IEEE Recommended Practices and Requirement for Harmonics Control in Electrical Power System, American National Standard (ASNI), USA, April 12, 1993.