ธำรงเดช มุ่งเจริญ
บริษัท ไอทีเอ็ม คาปาซิเตอร์ จำกัด
tm@itm.co.th, www.itm.co.th

ตอนที่ 14

คาปาซิเตอร์ & ฮาร์โมนิคส์

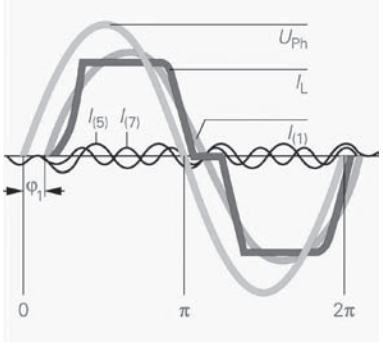
การแก้ไขค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ในระบบไฟฟ้าที่มีฮาร์โมนิคส์

ผลจากการพัฒนาของอุปกรณ์เพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ จำนวนโหลดที่ใช้ตัวแปลงไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การใช้อุปกรณ์ไธริสเตอร์เป็นเรื่องปกติธรรมดาในวงกว้าง ยกตัวอย่างเช่น การขับเคลื่อนด้วยการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบทำได้ง่ายและประหยัด โดยการใช้มอเตอร์ชนิดป้อนด้วยตัวแปลงความถี่ไฟฟ้า หรือตัวแปลงไฟฟ้าจากกระแสสลับเป็นกระแสตรง

อย่างไรก็ตาม ตัวแปลงไฟฟ้ามีผลต่อระบบไฟฟ้า 3-เฟส เนื่องจากการดึงกระแสไฟฟ้าชนิดรีแอกทีฟจำนวนมากซึ่งไม่เป็นไซน์เวฟไปใช้งาน ผลที่ตามมา ทำให้ต้องพิจารณาวิธีการแก้ไขค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์นี้ด้วยวิธีการพิเศษโดยเฉพาะเจาะจงกับปัญหานี้

สาเหตุและผลที่ตามมาของฮาร์โมนิคส์

กระแสที่เกิดจากตัวแปลงไฟ ประกอบไปด้วยกระแสไซน์เวฟชนิดพื้นฐานความถี่ 50 เฮิรตซ์ และชุดอนุกรมฮาร์โมนิคส์ ซึ่งความถี่เป็นตัวคูณจำนวนเต็มของความถี่พื้นฐาน (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 : กระแสที่เกิดขึ้นจากตัวแปลงไฟฟ้า

กระแสฮาร์โมนิคส์ถูกป้อนเข้าไปในระบบไฟฟ้า 3-เฟส ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าฮาร์โมนิคส์ในระบบไฟฟ้า เป็นเหตุทำให้เกิดระบบแรงดันไฟฟ้าผิดเพี้ยน ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่อเข้าระบบนี้เกิดการชำรุดเสียหายได้

การประเมินผลของกระแสฮาร์โมนิคส์

การกระทำของตัวแปลงไฟชนิด 3-เฟส, 6-ไธริสเตอร์ (รูปที่ 2) จะดึงกระแสฮาร์โมนิคส์ของตัวเลขแสดงลำดับ v จากระบบ :

$v = 6 \cdot k \pm 1$ โดย $k = 1, 2, 3,...$

ตัวอย่าง เช่น ถ้าตัวเลขคงที่ $k = 1$ กระแสฮาร์โมนิคส์ $= 6 \cdot 1 \pm 1 =$ ฮาร์โมนิคส์ลำดับที่ 5 และลำดับที่ 7

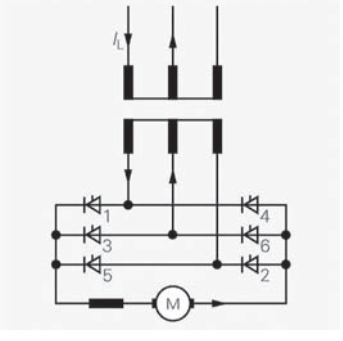
ขนาดของกระแสฮาร์โมนิคส์จะลดลงตามตัวเลขแสดงลำดับฮาร์โมนิคส์ที่สูงขึ้น ในอุดมคติ : $I_v = \frac{1}{v} \times I_1$

เนื่องจากกระแสตรงไม่สามารถถูกทำให้ราบเรียบเพียงพอ ทำให้เกิดกระแสฮาร์โมนิคส์ขึ้นในระบบ ดังนี้ :

$I_5 = 0.2 \cdot I_1$, $I_7 = 0.14 \cdot I_1$,

$I_{11} = 0.09 \cdot I_1$, $I_{13} = 0.07 \cdot I_1$,

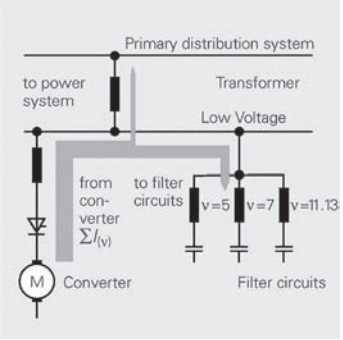
ขนาดของกระแสฮาร์โมนิคส์ที่ลำดับฮาร์โมนิคส์สูงๆ ขึ้นไปจะน้อยลงมาก ทำให้ลดความสำคัญลงไป



รูปที่ 2 : ตัวแปลงไฟฟ้า 3-เฟส

การออกแบบและการทำงานของระบบกรองฮาร์โมนิคส์

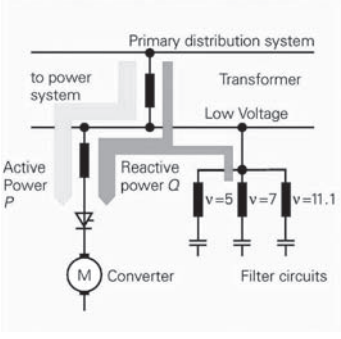
ผลกระทบของกระแสฮาร์โมนิคส์ในระบบไฟฟ้าสามารถถูกทำให้ลดลงได้มาก โดยการต่อวงจรกรองในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ <1000 V วงจรกรองประกอบด้วยรีแอกเตอร์ต่ออนุกรมกับคาปาซิเตอร์ วงจรกรองถูกปรับค่าให้พอดีกับความถี่ที่ต้องการให้เกิดรีโซแนนซ์ กล่าวคือ ความต้านทานของรีแอกเตอร์ เท่ากับความต้านทานของคาปาซิเตอร์ที่ความถี่ที่ต้องการ หรือทำให้วงจรกรองมีความต้านทานเป็นศูนย์สำหรับกระแสฮาร์โมนิคส์ที่ต้องการกรองออก ดังนั้นกระแสฮาร์โมนิคส์ของตัวแปลงไฟจะถูกดูดซับไว้ในวงจรกรอง (ดูรูปที่ 3)



รูปที่ 3 : การกำจัดฮาร์โมนิคส์โดยใช้วงจรกรอง

กระแสฮาร์โมนิคส์จำนวนเล็กน้อยที่เหลืออยู่จะไหลเข้าไปในระบบจำหน่าย ทำให้แรงดันไฟฟ้าผิดเพี้ยนน้อยลง และไม่มีผลเสียกับอุปกรณ์ไฟฟ้า

เนื่องจากวงจรกรองมีค่าเป็นคาปาซิทีฟที่ความถี่พื้นฐาน 50 เฮิรตซ์ของระบบไฟฟ้าแบบ 3-เฟส ทำให้มีทั้งกระแสฮาร์โมนิคส์และกระแสคาปาซิทีฟไหลผ่านวงจรกรอง ด้วยเหตุนี้วงจรกรองทำหน้าที่ชดเชยค่ารีแอกทีฟเพาเวอร์ของตัวแปลงไฟและโหลดชนิดอื่นๆ (ดูรูปที่ 4)



รูปที่ 4 : การแก้ไขเพาเวอร์แฟกเตอร์โดยใช้วงจรกรอง

การประยุคใช้วงจรกรอง

เป็นเรื่องสำคัญมากที่วงจรกรองจะถูกออกแบบให้กรองลำดับฮาร์โมนิคส์จากลำดับต่ำไปหาลำดับสูง กล่าวคือ จากฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 5^{th}, 7^{th}, 11^{th}, และ 13^{th}

โดยทั่วไปวงจรกรองฮาร์โมนิคส์ลำดับที่ 5 วงจรเดียวก็เพียงพอสำหรับแก้ปัญหาฮาร์โมนิคส์ในระบบ

กระแสฮาร์โมนิคส์ที่ไหลเข้าสู่ระบบ ถูกทำให้ลดลงได้ด้วยวงจรกรองประมาณ 70–90% ขนาดของวงจรกรองขึ้นอยู่กับ :

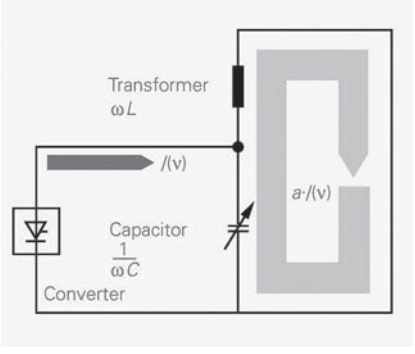
- ขนาดกระแสฮาร์โมนิคส์ของโหลด
- ขนาดแรงดันฮาร์โมนิคส์ในระบบจัดจำหน่ายแรงสูง
- ความต้านทานการลัดวงจร ณ จุดที่ติดตั้งวงจรกรอง

โดยทั่วไปการออกแบบขนาดของวงจรกรองสำหรับกระแสฮาร์โมนิคส์ของโหลดชนิดตัวแปลงไฟ (Converter loads) ก็เพียงพอ แต่ต้องระวังการไหลเข้าของกระแสฮาร์โมนิคส์จากระบบจำหน่ายแรงสูง โดยการใช้หม้อแปลงแยกเพื่อป้องกันกระแสฮาร์โมนิคส์ (Separate Transformer)

การเกิดเรโซแนนซ์จากการใช้คาปาซิเตอร์

ในกรณีที่ติดตั้งคาปาซิเตอร์ โดยไม่มีรีแอกเตอร์ต่ออนุกรม อาจทำให้เกิดภาวะรีโซแนนซ์ขึ้นในระบบ มีผลทำให้กระแสฮาร์โมนิคส์ที่เกิดจากโหลดที่มีตัวแปลงไฟถูกขยายสูงมากขึ้นจนฟิวส์ขาด รีเลย์ทำงาน เบรกเกอร์ตัดออกจากระบบ หรืออุปกรณ์ไฟฟ้ามีกระแสไหลเกินทำให้ไหม้และชำรุดเสียหาย

การต่อคาปาซิเตอร์ร่วมกับหม้อแปลงและโหลดอื่นๆ ที่มีค่าเป็น Inductances ทำให้เกิดวงจรรีโซแนนซ์ขึ้นได้ ณ ความถี่ใดความถี่หนึ่ง (ดูรูปที่ 5)



รูปที่ 5 : การเกิดรีโซแนนซ์จากคาปาซิเตอร์

การแก้ไขเพาเวอร์แฟกเตอร์โดยใช้รีแอกเตอร์ต่ออนุกรมกับคาปาซิเตอร์ (Detuned Capacitor Bank)

การใช้ดีจูนคาปาซิเตอร์แบงค์สำหรับแก้ไขค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เป็นเรื่องจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อป้องกันการเกิดรีโซแนนซ์ การออกแบบเหมือนกับวงจรกรอง แต่มีความถี่รีโซแนนซ์ที่ต่ำกว่าฮาร์โมนิคส์ที่ 5 ดังนั้นคาปาซิเตอร์ที่มีรีแอกเตอร์ต่ออนุกรมนี้จะมีผลรวมเป็นชนิด Inductive Reactance ณ ความถี่ที่เกิดกระแสฮาร์โมนิคส์ในระบบ จึงไม่เกิดภาวะรีโซแนนซ์ขึ้น แนะนำให้ใช้ดีจูนคาปาซิเตอร์ (รูปที่ 6) เมื่อมีโหลดที่สร้างฮาร์โมนิกส์เกิน 20% ของโหลดทั้งหมด

รูปที่ 6 : ดีจูนคาปาซิเตอร์แบงค์