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

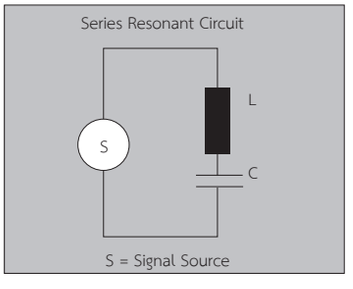
คาปาซิเตอร์ & ฮาร์โมนิกส์ ตอนที่ 16

เรโซแนนซ์

ตามที่ได้กล่าวถึงในฉบับที่แล้ว ภาวะเรโซแนนซ์ทำให้เกิดกระแสและแรงดันไฟฟ้าสูงเกินในระบบ ภาวะเรโซแนนซ์เกิดขึ้นได้จากสองสภาวะ :

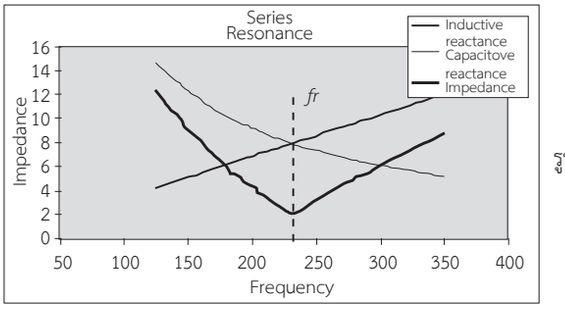
เรโซแนนซ์แบบอนุกรม (Series Resonance)

1. การต่ออนุกรมของอุปกรณ์ Inductive และ Capacitive (ตามรูปที่ 1) **ทำให้เกิดวงจรเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรม**



รูปที่ 1

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานรวม (Impedance) ตามความถี่ของวงจรนี้ได้แสดงไว้ตามรูปที่ 2 จากรูปนี้จะเห็นได้ว่า ที่ความถี่ใดความถี่หนึ่งถูกเรียกว่า ความถี่เรโซแนนซ์ ความต้านทานรวม จะมีค่าต่ำมาก และมีคุณสมบัติเป็นชนิด Resistive ด้วยเหตุนี้วงจรเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมเป็นเหตุให้เกิดกระแสเกินสูงมากที่ความถี่ใดความถี่หนึ่ง ซึ่งทำให้เกิดเรโซแนนซ์



รูปที่ 2

1.1 เรโซแนนซ์แบบอนุกรมเกิดขึ้นได้อย่างไรในระบบไฟฟ้า

ในหลายๆ กรณี ฮาร์โมนิกส์เกิดขึ้นที่ด้านขาเข้าของหม้อแปลงและคาปาซิเตอร์ที่ด้านแรงต่ำทำให้เกิดวงจรเรโซแนนซ์ที่ด้านแรงสูง ถ้าความถี่เรโซแนนซ์ของ L และ C ตรงกับความถี่ฮาร์โมนิกส์ จะทำให้อุปกรณ์เกิดกระแสไฟฟ้าเกินพิกัด วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมทำให้เกิดวงจรความต้านทานต่ำ (Low Impedance) สำหรับฮาร์โมนิกส์ ในกรณีนี้ปริมาณฮาร์โมนิกส์ที่ไหลผ่านหม้อแปลงจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของความถี่เรโซแนนซ์และความถี่ฮาร์โมนิกส์ กระแสฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นจะเสริมเพิ่มขึ้นจากกระแสปกติที่ไหลผ่านหม้อแปลง และโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่คาปาซิเตอร์จะเกิดกระแสเกินพิกัดอย่างมาก แรงดันไฟฟ้าแรงต่ำจะถูกทำให้รูปคลื่นผิดเพี้ยนไป เนื่องจากเกิดภาวะเรโซแนนซ์

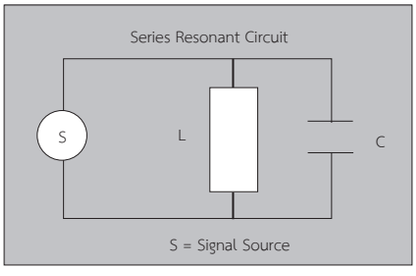
จุดของเรโซแนนซ์แบบอนุกรม เป็นไปตามสูตร ดังนี้ :

$$v_R = \sqrt{S_N \cdot \frac{100}{Q_{C1} \cdot e_K}}$$

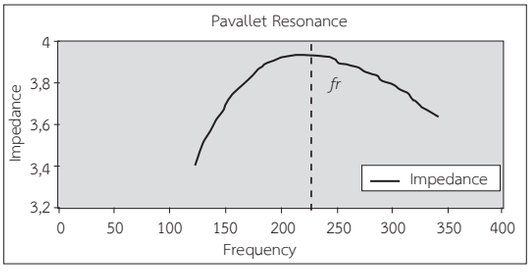
v_R = ตัวเลขลงตัวของฮาร์โมนิกส์เรโซแนนซ์
S_N = กำลังไฟฟ้าของหม้อแปลง (kVA)
Q_{C1} = กำลังไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์ (kVAr)
e_K = อิมพีแดนซ์โวลต์ % ที่ SN

2. เรโซแนนซ์แบบขนาน (Parallel Resonance)

การผสมรวมกันของรีแอกแตนซ์ชนิดอินดักทีฟและคาปาซิทีฟแบบขนาน ทำให้เกิดวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน ความต้านทานรวม (Impedance) ของวงจรนี้เป็นไปตามรูปที่ 3 และรูปที่ 4 ที่ความถี่เรโซแนนซ์ ค่าความต้านทานชนิดรีแอคทีฟเท่ากับความต้านทานคาปาซิทีฟ ผลความต้านทานรวมของวงจร เพิ่มขึ้นสูงมากที่ความถี่เรโซแนนซ์ การกระตุ้นของวงจรเรโซแนนซ์ขนานมีผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าสูง ตกคร่อมอินพีแดนซ์และเกิดกระแสไฟฟ้าสูงมากหมุนวนภายในวงจร



รูปที่ 3



รูปที่ 4

2.1 เรโซแนนซ์แบบขนานเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าได้อย่างไร

ระบบไฟฟ้าส่วนมากมีการติดตั้งคาปาซิเตอร์สำหรับปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ความจุไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์ที่ต่อร่วมกับหม้อแปลงและโหลดทำให้เกิดวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน ผลที่ตามมาทำให้แหล่งจ่ายฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าแรงต่ำเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านระบบที่มีความต้านทานสูงมาก ดังนั้นกระแสฮาร์โมนิกส์เป็นสาเหตุให้เกิดแรงดันไฟฟ้าสูงมากในระบบเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีคาปาซิเตอร์ นอกจากนี้ยังเกิดกระแสไฟฟ้าไหลวนอยู่ในระบบและคาปาซิเตอร์ในปริมาณหลายเท่าของกระแสฮาร์โมนิกส์ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้หม้อแปลงไฟฟ้าและคาปาซิเตอร์มีกระแสไหลเกินจากปกติ และสร้างความเสียหายได้

วงจรเรโซแนนซ์นี้ เกิดขึ้น ณ ความถี่เรโซแนนซ์ตามสมการนี้

$$\omega_R = \frac{1}{\sqrt{L_N \cdot C}}$$

อย่างไรก็ตาม เป็นการยากที่จะคำนวณค่า L_N ของระบบ เพราะว่าขึ้นอยู่กับโหลดที่ถูกต่อเข้าในระบบ ความถี่เรโซแนนซ์สามารถถูกกำหนดค่าโดยประมาณได้ตามสูตรนี้

$$v_R = \sqrt{\frac{S''_K}{Q_{C1}}} \qquad \text{หรือ} \qquad Q_C = \frac{S''_K}{v_R^2}$$

โดยทั่วไป ค่า S''_K (ค่ากำลังไฟฟ้าลัดวงจรที่จุดต่อของโหลดฮาร์โมนิกส์) ไม่สามารถหาได้โดยง่าย ดังนั้นสูตรดังต่อไปนี้ สามารถถูกนำมาใช้ได้

$$Q_C < \frac{S_T \cdot 100}{v_R^2 \cdot u_S}$$

เพื่อป้องกันสภาวะเรโซแนนซ์ ค่ากำลังไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์ ควรน้อยกว่าค่ากำลังไฟฟ้าวิกกฤตที่คำนวณได้ตามสูตร ค่าความถี่เรโซแนนซ์สามารถถูกคำนวณได้โดย

$$f_R = 50 \cdot \sqrt{\frac{S_T \cdot 100}{Q_C \cdot u_K}}$$

ตัวอย่าง

หม้อแปลงขนาด S_T = 630 kVA, U_K = 5%
คาปาซิเตอร์ Q_C = 250 kVAr
$f_R = 50 \sqrt{(630*100) / (250*5)} = 355$ Hz

ความถี่เรโซแนนซ์เกิดวิกฤตสำหรับฮาร์โมนิกส์ที่ 7 และคาปาซิเตอร์ควรจะถูกออกแบบที่ขนาดน้อยกว่า 250 kVAr

จุดความถี่ของเรโซแนนส์แบบขนานขึ้นอยู่กับ Inductance ของระบบและค่ากำลังไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์ จากตัวอย่างด้านบนนี้ ทำให้เราสามารถคำนวณจุดความถี่ของเรโซแนนซ์ เพื่อที่จะลดปัญหาการขยายตัวของฮาร์โมนิกส์ ในความเป็นจริง ค่า Impedance ของระบบจะไม่คงที่ตลอดเวลา เพราะขึ้นอยู่กับตัวแปรค่ากำลังไฟฟ้าลัดวงจรของระบบโหลดที่ต่อใช้งานในระบบ ค่ากำลังไฟฟ้าลัดวงจรของระบบ แปรผันตามสภาวะการต่อโหลดในระบบ และจุดความถี่ของเรโซแนนซ์แบบขนานเปลี่ยนไปตามสภาวะของระบบ ดังนั้นปัญหาฮาร์โมนิกส์และเรโซแนนส์อาจจะยุ่งยากมากขึ้น เมื่ออุปกรณ์แก้ไขเพาเวอร์แฟกเตอร์ปรับเปลี่ยนแบบหลายเสต็ป

โดยทั่วไปจะเห็นได้ชัดว่า การเกิดขึ้นของเรโซแนนซ์แบบอนุกรมและแบบขนาน อาจจะเป็นผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน และกระแสไฟฟ้าเกินในระดับที่เป็นอันตรายอย่างมาก ฮาร์โมนิกส์ที่ถูกขยายจากสภาวะเรโซแนนซ์ไม่เพียงแต่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเสียหาย แต่ยังทำให้คุณภาพไฟฟ้าลดลง เช่น รูปคลื่นผิดเพี้ยน และแรงดันไฟฟ้าตก