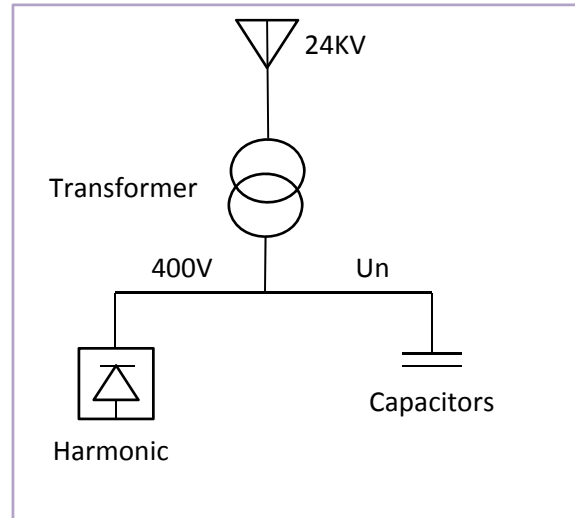


การคำนวณเพื่อเลือก Capacitor ให้เหมาะสมกับ Detuned filter

ตัวอย่างการคำนวณ

แรงดันไฟฟ้าของระบบ 400 โวลท์ ใช้ capacitor ขนาด 400V 3P 50Hz 50Kvar กระแส(Ic) 72.1A ในแต่ละ step



ขั้นตอนที่ 1

แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม capacitor (U1) อันเกิดจากการเหนี่ยวนำของ reactor หรือขดลวด ที่ติดตั้งเพิ่มเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

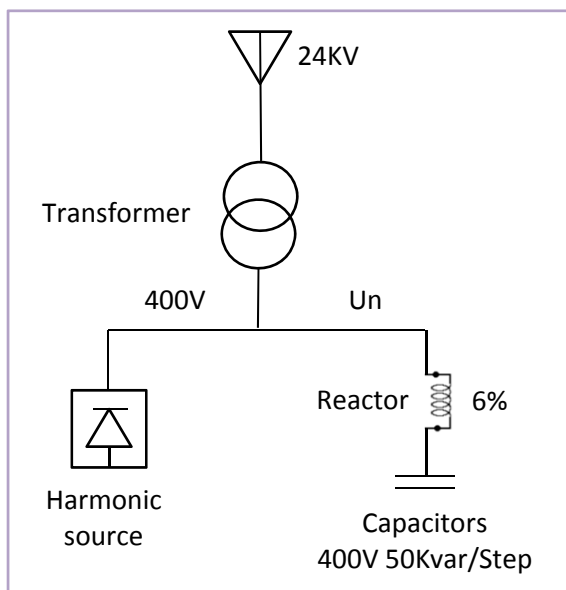
$$U1 = Us / (1 - \%p)$$

โดย Us คือค่าแรงดันไฟฟ้าของระบบ
p คือค่า % ของขดดีจูนฟิลเตอร์

ดังนั้น ถ้านำ reactor มาต่ออนุกรมกับ capacitor ผลที่ได้ capacitor จะมีแรงดันตกคร่อมสูงขึ้นเท่ากับ U1 และมีค่า reactive power

$$Q1 = Nc / (1 - \%p)$$

โดย Nc คือค่า reactive power ของ capacitor ที่ระดับแรงดันของระบบ



ถ้านำ reactor 6% มาต่ออนุกรมกับตัว capacitor เพื่อให้ได้ค่า reactive power ของแต่ละ step เท่ากับ 50 kVAR ที่แรงดันไฟฟ้าของระบบคือ 400V จะได้

- แรงดันที่ตกคร่อม capacitor เท่ากับ

$$U1 = 400 / (1 - 0.06) = 426 \text{ V} ; \text{ โดย } p = 6\% \text{ หรือ } 0.06$$

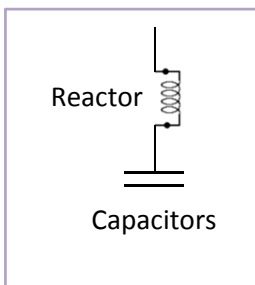
- ค่า reactive power ของ capacitor จะเท่ากับ

$$Q1 = 50 / (1 - 0.06) = 53 \text{ Kvar}$$

ขั้นตอนที่ 2

แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม capacitor (U2) อันเกิดจากกระแสฮาร์โมนิก (สูงสุดที่เป็นไปได้ตาม IEC) ไหลลงสู่ capacitor โดยจะต้องคำนวณหาค่าความต้านทานของ capacitor (Xc) หลังจากที่ตั้ง reactor แล้ว และความต้านทานของ reactor (XL) ที่แต่ละความถี่ของฮาร์โมนิก

เริ่มคำนวณหาค่าความต้านทานของ capacitor (Xc) และ (XL) เพื่อใช้ในการคำนวณกระแสฮาร์โมนิก



จาก

$$X_c = U^2 / Q^2$$

$$X_c = 426^2 / (53 \cdot 1000) \\ = 3.42 \text{ โอห์ม}$$

ใช้ detuned reactor 6% ดังนั้น

$$X_L = 3.42 \cdot 0.06 \\ = 0.205 \text{ โอห์ม}$$

หลังจากรู้ค่า Xc และ XL แล้ว เราจะคำนวณหาค่าความต้านทานของ capacitor (Xc) และความต้านทานของ reactor (XL) ที่แต่ละความถี่ของฮาร์โมนิก แต่เพื่อความง่ายขึ้นในการคำนวณหา เรามาพิจารณาถึงสิ่งที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อความถี่สูงขึ้น เช่น ฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 มีความถี่ 250 เฮิร์ตซ์ หรือ 5 x 50Hz นั้นแสดงว่าความถี่เพิ่มขึ้น 5 เท่า จากนั้นมาดูที่สูตรหาความต้านทาน $X_c = 1 / 2\pi fC$ และ $X_L = 2\pi fL$ โดย f คือความถี่ของไฟฟ้า จะเห็นว่า ถ้าความถี่เพิ่มขึ้น 5 เท่า จะทำให้ค่า Xc จะลดลง 5 เท่า และค่า XL จะเพิ่มขึ้น 5 เท่า เช่นกัน

ดังนั้นเราสามารถคำนวณหาค่าความต้านทานของ capacitor (Xc) และความต้านทานของ reactor (XL) ที่แต่ละความถี่ของฮาร์โมนิกดังนี้

ฮาร์โมนิกอันดับที่ 1 ความถี่ 50 Hz ไม่เพิ่มเมื่อเทียบกับไฟปกติ 50Hz	$X_{c1} = 3.420$; $X_{L1} = 0.205$
ฮาร์โมนิกอันดับที่ 3 ความถี่ 150 Hz เพิ่ม 3 เท่าเมื่อเทียบกับไฟปกติ 50Hz	$X_{c3} = 1.140$; $X_{L3} = 0.615$
ฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 ความถี่ 250 Hz เพิ่ม 5 เท่าเมื่อเทียบกับไฟปกติ 50Hz	$X_{c5} = 0.684$; $X_{L5} = 1.025$
ฮาร์โมนิกอันดับที่ 7 ความถี่ 350 Hz เพิ่ม 7 เท่าเมื่อเทียบกับไฟปกติ 50Hz	$X_{c7} = 0.488$; $X_{L7} = 1.435$

จากที่ได้กำหนดค่า harmonic limit ไว้คือ $U_1 = 6\%$, $U_3 = 0.5\%$, $U_5 = 5\%$ และ $U_7 = 5\%$ เราจะนำค่าเหล่านี้ มาคำนวณหากระแสฮาร์โมนิกแต่ละอันดับที่จะเกิดขึ้นได้สูงสุด ดังนี้

กระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ h

$$I_h = U_n / (1.732 \cdot |X_{Lh} - X_{ch}|)$$

โดย U_n คือ แรงดันไฟฟ้าของระบบ

ฮาร์โมนิกอันดับที่ 1 : $U_1 = 6\%$ (6% ของ fundamental)

$$I_1 = 1.06 \cdot I_c = 1.06 \cdot 72.1 = 76.5 \text{ A}$$

ฮาร์โมนิกอันดับที่ 3 : $U_3 = 0.5\%$

$$I_3 = 0.005 \cdot 400 / (1.732 \cdot |1.14 - 0.615|) = 2.2 \text{ A}$$

ฮาร์โมนิกอันดับที่ 5 : $U_5 = 5\%$

$$I_5 = 0.05 \cdot 400 / (1.732 \cdot |0.684 - 1.025|) = 33.76 \text{ A}$$

ฮาร์โมนิกอันดับที่ 7 : $U_7 = 5\%$

$$I_7 = 0.05 \cdot 400 / (1.732 \cdot |0.488 - 1.435|) = 12.18 \text{ A}$$



ดีจูนฟิลเตอร์ DETUNED FILTER

Irms ของฮาร์โมนิคทั้งหมด

$$\sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2}$$

$$= \sqrt{76.5^2 + 2.2^2 + 33.76^2 + 12.183^2} = 84.53 \text{ A}$$

ดังนั้น จะได้ว่า ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (รวมฮาร์โมนิคด้วย) เท่ากับ 84.53 แอมป์

และ Reactor 6% ที่นำมาติดตั้งจะต้องทนกระแสได้เท่ากับ 1.05 เท่าของ Irms

$$= 1.05 * 84.53 \text{ A} = 88.75 \text{ A}$$

ขั้นตอนที่ 3

เราได้ทราบแล้วว่าต้องใช้ Reactor 6% ที่มีความต้านทาน 0.205 โอห์ม หรือ inductance 0.653 mH ทนกระแสได้ 88.75 A ได้เป็นอย่างดี ส่วนชุดดีจูนฟิลเตอร์แต่ละ step ต้องทนกระแสได้อย่างน้อย 84.53 A

ต่อไปจะต้องเลือก Capacitor ให้เหมาะสมกับ Reactor 6% และทนกระแสได้ไม่น้อยกว่าที่คำนวณไว้ สิ่งแรกที่ต้องพิจารณาคือ แรงดันที่จะตกคร่อมตัว Capacitor หลังจากติดตั้ง Reactor แล้ว จะสังเกตเห็นได้ว่า เมื่อ Capacitor 50Kvar 400V จะมีค่าความต้านทานเท่ากับ 3.2 โอห์ม แต่เมื่อติดตั้ง Reactor เข้าไปแล้ว เกิดแรงดันเหนี่ยวนำที่ Reactor ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมและค่า reactive power ของ capacitor กลายเป็น 426V และ 53Kvar ตามลำดับ ทำให้ในตอนนี้ ค่าความต้านทานของ capacitor จะกลายเป็น 3.42 โอห์ม จากสูตร

$$X_c = V^2 / Q$$

$$= 426^2 / (53 * 1000) = 3.42 \text{ โอห์ม}$$

แต่เราทราบค่ากระแสฮาร์โมนิคแต่ละอันดับอยู่แล้ว ตามที่ได้คำนวณในขั้นตอนที่ 2 เราจะนำค่ากระแสดังกล่าวมาคูณกับค่าความต้านทาน เพื่อหาค่าแรงดันฮาร์โมนิคแต่ละอันดับ ที่จะตกคร่อม Capacitor

โดย แรงดันฮาร์โมนิคอันดับที่ h จะเท่ากับ

$$U_h = 1.732 * I_h * X_c / h$$

(ที่ต้องหารด้วย h เพราะค่า Xc จะลดลง h เท่า เมื่อความถี่สูงขึ้นจาก fundamental 50Hz เป็นจำนวน h เท่า)

ฮาร์โมนิคอันดับที่ 1 : U1=6%	I1 = 76.5 A	U1 = 1.732 * 76.5 * 3.42	= 453.2 V
ฮาร์โมนิคอันดับที่ 3 : U3=0.5%	I3 = 2.2 A	U3 = 1.732 * 2.2 * 3.42 / 3	= 4.35 V
ฮาร์โมนิคอันดับที่ 5 : U5=5%	I5 = 33.76 A	U5 = 1.732 * 33.76 * 3.42 / 5	= 40.0 V
ฮาร์โมนิคอันดับที่ 7 : U7=5%	I7 = 12.18 A	U7 = 1.732 * 12.18 * 3.42 / 7	= 10.3 V

ดังนั้น แรงดันสูงสุดที่จะตกคร่อมตัว capacitor เท่ากับ 453.2 + 4.35 + 40 + 10.3 = 508 V

แรงดันดังกล่าว จะรวมแรงดันจาก Reactor และแรงดันที่เกิดขึ้นจากกระแสฮาร์โมนิคไหลเข้าสู่ตัว Capacitor

เราควรเลือก Capacitor ที่สามารถทนแรงดันสูงกว่า 508 V ถ้าในท้องตลาดมี capacitor ที่ใช้กับแรงดัน 525V เราจะนำค่าแรงดันไฟฟ้านี้ มาคำนวณหาค่า reactive power ที่ต้องการ โดยเทียบกับ Capacitor 53Kvar 426V (ค่า reactive power และแรงดันของ Capacitor เมื่อติดตั้ง Reactor 6% แล้ว)

จาก $Q_2 = Q_1 \times (V_2^2 / V_1^2)$ = 53 x (525² / 426²) = 80.5 Kvar

สรุป

จากการคำนวณทั้งหมด ถ้าเดิมใช้ Capacitor แต่ละ step ขนาด 50Kvar ที่แรงดัน 400V เมื่อต้องการเปลี่ยนและติดตั้งเป็นชุดดีจูนฟิลเตอร์ จะต้องใช้ Reactor 6% ที่มีความต้านทาน 0.205 โอห์ม หรือ 0.653 mH และทนกระแสได้ 88.75 A ส่วนตัว Capacitor จะต้องใช้ที่แรงดันสูงกว่า 508 V ในที่นี้เลือกใช้ที่แรงดัน 525 V และมีค่า reactive power เท่ากับ 80.5 Kvar (ถ้าค่า Kvar ใช้ต่างไปจากนี้ จะทำให้ค่าความต้านทานของ reactor ที่ใช้เปลี่ยนไปด้วย เนื่องจากค่าความต้านทานของ Reactor เท่ากับ 6% ของความต้านทาน Capacitor นั้นเอง)