บทที่ 2

หลักพื้นฐานของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกและการประยุกต์ใช้งานในระบบไฟฟ้า

ตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งในระบบไฟฟ้า ซึ่งช่วยในการป้องกันกระแสฮาร์มอนิกลำดับต่างๆ ที่เกิดจากโหลดประเภทที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear Load) ไม่ให้ไหลเข้าไปในระบบไฟฟ้า เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายกับโหลดที่ต่อรวมอยู่ในระบบไฟฟ้า

ตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกที่ใช้ในระบบไฟฟ้ามี 2 แบบ คือ

1. ตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกประเภทแอกทีฟ (Active Filters)

   ประกอบด้วยอุปกรณ์พวกสวิตชิ่งกำลัง(Power Electronic Switching) ซึ่งทำหน้าที่สร้างกระแสฮาร์มอนิกขึ้นมาหักล้างกับกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น เพื่อไม่ให้กระแสฮาร์มอนิกไหลเข้าไปในระบบไฟฟ้า

2. ตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกประเภทพาสซีพ (Passive Filters)

   ประกอบด้วยตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ และตัวต้านทาน ทำงานคล้ายกับเป็นทางเดินของกระแสฮาร์มอนิกที่ลำดับต่างๆ มีหลายชนิดทั้งแบบกรองเดี่ยว แบบกรองคู่ แบบโลพาส แบบไฮพาส และแบบแบนด์พาส

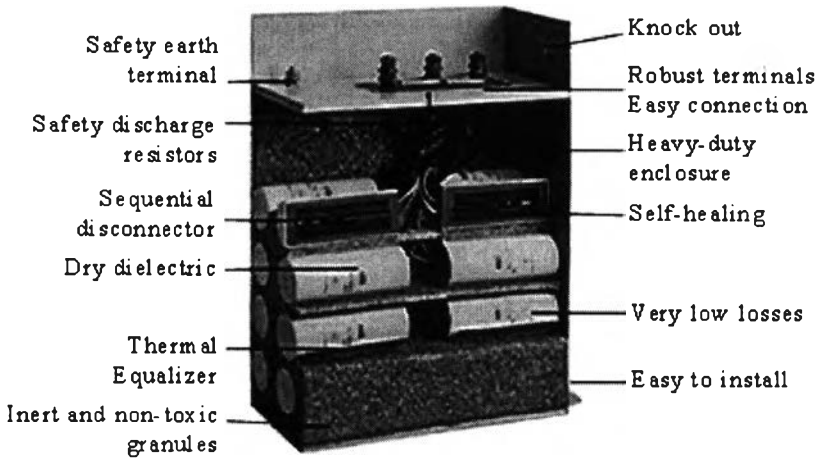
ระบบไฟฟ้ากำลังที่มีกระแสฮาร์มอนิกไหลในระบบ จะเกิดปัญหาด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้าขึ้นมากมาย ดังนั้นจึงต้องมีการกรองกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลอยู่ในระบบออก โดยการใช้ตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกชนิดกรองเดี่ยว เพื่อเป็นการเพิ่มความมั่นคงให้กับระบบ รวมถึงการมีคุณภาพกำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพที่ดีขึ้นด้วย

2.1 ตัวเก็บประจุ (Capacitors)

ตัวเก็บประจุกำลังจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบต่างๆ ที่มีความซับซ้อนมากขึ้นกว่าตัวเก็บประจุโดยทั่วไป เพราะเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งานที่แรงดันสูง โดยเฉพาะวัสดุไดอิเล็กตริกจะมีขนาดบางมากและต้องสามารถทนต่อความเครียดทางไฟฟ้าสูงได้ ตัวเก็บประจุ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กำลังมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ สามารถจ่ายกำลังงานรีแอกทีฟให้กับระบบไฟฟ้าได้ รูปที่ 2.1 แสดงตัวเก็บประจุกำลังที่ใช้ในการปรับค่าตัวประกอบกำลัง (Power-Factor Correction Capacitor)



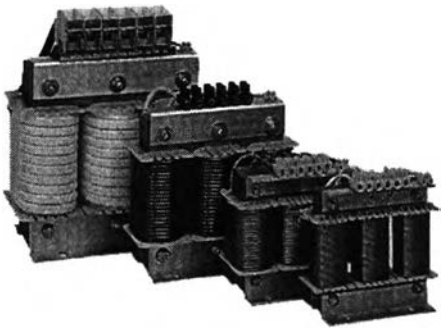
<u>รูปที่ 2.1</u> ภาพตัดของตัวเก็บประจุกำลังที่ใช้ปรับค่าตัวประกอบกำลัง

ในปัจจุบันการผลิตตัวเก็บประจุกำลัง ได้มีการผลิตให้มีประสิทธิภาพดีกว่าในอดีตมาก จึงทำให้ตัวเก็บประจุกำลังมีคุณภาพดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการพัฒนา และการปรับปรุงวัสดุไดอิเล็กตริก ให้มีคุณภาพดีขึ้น รวมถึงเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิต จึงทำให้ตัวเก็บประจุกำลังมีทั้งคุณภาพที่ดี และขนาดที่เพิ่มขึ้นกว่าในอดีต ซึ่งเป็นผลให้ตัวเก็บประจุกำลังมีราคาต่อกิโลวาร์ (Cost per Kvar) ต่ำ และมีความเหมาะสมในการใช้งานมากขึ้นด้วย

2.2 ตัวเหนี่ยวนำ (Inductors)

ตัวเหนี่ยวนำเป็นอุปกรณ์ที่มีองค์ประกอบเดียว คือ ขดลวดทองแดงพันอยู่บนแกนซึ่งแกนของขดลวดนั้นมีอยู่ 2 แบบ คือ แกนเหล็ก และแกนอากาศ แกนทั้ง 2 แบบนี้จะทำให้ตัวเหนี่ยวนำมีคุณสมบัติการทำงานแตกต่างกัน ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนเหล็กสามารถเกิดการอิ่มตัว ของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสที่ไหลผ่านตัวมันได้ แต่ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนอากาศจะไม่เกิดการอิ่มตัวของสนามแม่เหล็ก การอิ่มตัวของสนามแม่เหล็กของตัวเหนี่ยวนำนั้นจะเป็นข้อจำกัดในการทำงานของตัวเหนี่ยวนำด้วย คุณสมบัติอีกประการของตัวเหนี่ยวนำ คือ สามารถรับกำลังงานรีแอกทีฟที่

เป็นส่วนเกินในระบบไฟฟ้าให้ไหลผ่านตัวมันได้ เพื่อไม่ให้แรงดันในระบบเกินค่าพิกัด จึงถูกนำมาใช้ในการเพิ่มเสถียรภาพให้ระบบไฟฟ้า รูปที่ 2.2 แสดงตัวเหนี่ยวนำแบบแกนเหล็ก 3 เฟส



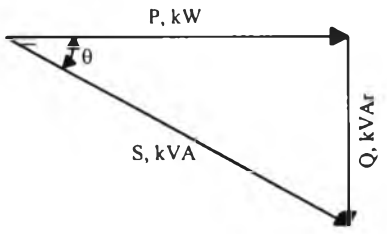
รูปที่ 2.2 ภาพของตัวเหนี่ยวนำกำลัง

2.3 ตัวประกอบกำลังและการชดเชย (Power Factor and Compensation)

การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction) ของระบบไฟฟ้ากำลังให้มีค่าสูงขึ้นจะส่งผลช่วยให้มีประสิทธิภาพ และ คุณภาพของระบบไฟฟ้ากำลังดีขึ้น เช่น ค่ากำลังงานสูญเสียในระบบไฟฟ้าลดลง ช่วยรักษาระดับแรงดันในระบบไฟฟ้าสูงขึ้น และทำให้หม้อแปลงสามารถจ่ายโหลดได้เพิ่มขึ้น เป็นต้น

2.3.1 ตัวประกอบกำลัง (Power Factor)

ค่าตัวประกอบกำลัง (P.f.) คือค่าคงที่ของโหลดตัวใดตัวหนึ่ง หรือของกลุ่มโหลดใดๆ ซึ่งใช้เป็นค่าบอกความสามารถในการเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าปรากฏให้เป็นกำลังไฟฟ้าจริง จากรูปที่ 2.3 แสดงสามเหลี่ยมกำลังที่ใช้ในการหาค่าตัวประกอบกำลัง ซึ่งสามารถหาได้จาก อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงต่อกำลังไฟฟ้าปรากฏ ดังสมการที่ 2.1



รูปที่ 2.3 สามเหลี่ยมกำลัง

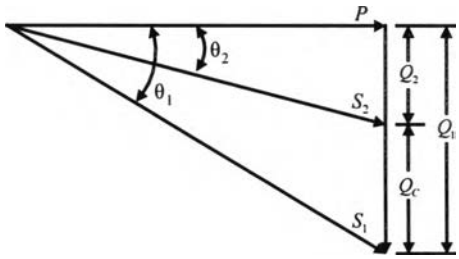
$$P.f. = \frac{Real\ Power}{Apparent\ Power} \qquad 2.1$$

$$= \frac{P(kW)}{S(kVA)}$$

$$= \cos\theta$$

2.3.2 การชดเชยกำลังรีแอกทีฟ

โดยทั่วไปการปรับปรุงตัวประกอบกำลังนิยมใช้ตัวเก็บประจุ เพราะมีราคาค่อนข้างถูก ไม่ต้องทำการบำรุงรักษามาก และมีกำลังสูญเสียในตัวเองต่ำมาก แต่จะมีปัญหาเมื่อโรงงานมีการใช้โหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นอาจจะทำให้เกิดสภาวะเรโซแนนซ์ขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดการขยายของกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลในระบบไฟฟ้าจนเกินค่าพิกัดของโหลดต่างๆ ที่ต่อร่วมกันอยู่ เป็นผลทำให้โหลดต่างๆ ได้รับความเสียหาย ดังนั้นจึงใช้ตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกแทนตัวเก็บประจุ เพราะตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกจะทำหน้าที่ทั้งการชดเชยกำลังรีแอกทีฟ และจำกัดกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลเข้าระบบไฟฟ้าด้วย



รูปที่ 2.4 การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง

จากรูปที่ 2.4 สามเหลี่ยมกำลังโหลดได้รับกำลังไฟฟ้าจริง (P) กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟแบบล้าหลัง (Q_1) และกำลังไฟฟ้าปรากฏ (S_1) จะได้ค่าตัวประกอบกำลังคือ

$$\cos\theta_1 = \frac{P}{S_1} \qquad 2.2$$

เมื่อต่อตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกขนานกับโหลด ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังถูกปรับปรุงเปลี่ยนจาก $\cos\theta_1$ เป็น $\cos\theta_2$ โดยที่

$$\cos\theta_2 = \frac{P}{S_2} \qquad 2.3$$

$$= \frac{P}{\left[P^2 + \left(Q_1 - Q_C\right)^2\right]^{1/2}}$$

จากรูปที่ 2.4 จะได้ว่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟมีค่าลดลงจาก S_1 เป็น S_2 และเปลี่ยนจาก Q_1 เป็น Q_2 (โดยการจ่ายกำลังงานรีแอกทีฟของ Q_c) ตามลำดับ ซึ่งทำให้กระแสรวมทั้งหมดลดลง และทำให้ระบบไฟฟ้ามีคุณภาพ และประสิทธิภาพดีขึ้นด้วย

2.3.3 ประโยชน์จากการชดเชยกำลังรีแอกทีฟ

การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง ในโรงงานอุตสาหกรรม จะเกิดข้อดีดังนี้

1) หม้อแปลงไฟฟ้าสามารถรับโหลดได้เพิ่มขึ้น

กำลังไฟฟ้าปรากฏที่เพิ่มขึ้นคือ

$$kVA = kW \times \left(\frac{1}{\cos \theta_1} - \frac{1}{\cos \theta_2} \right) \qquad 2.4$$

2) ปรับปรุงระดับแรงดันของระบบให้ดีขึ้น และลดแรงดันตกคร่อมในสายส่ง หม้อแปลง

3) ลดความสูญเสียในสายส่ง หม้อแปลง และอุปกรณ์ป้องกัน

4) ลดขนาดสายส่งกำลัง และสายของหม้อแปลงให้มีขนาดเล็กลง

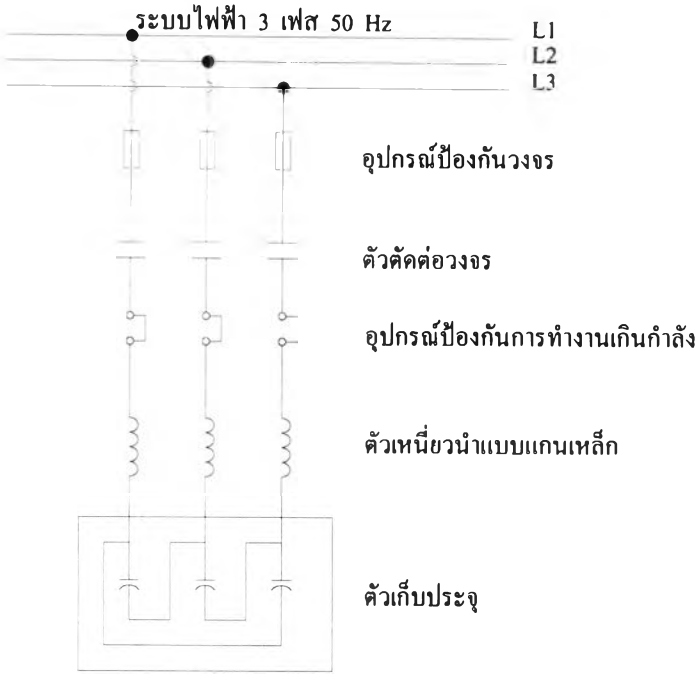
5) ไม่ต้องเสียค่าปรับให้การไฟฟ้าฯ

2.4 ตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกชนิดกรองเดี่ยว (Single - Tune Filter)

2.4.1 โครงสร้าง หน้าที่ และ การทำงานของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิก

โครงสร้างของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกแต่ละชุดจะประกอบด้วย ส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 5 ส่วนคือ

1. ตัวเก็บประจุ(Capacitor) แบบ 3 เฟส ต่อแบบเดลต้า ที่พิกัดแรงดันต่างๆ
2. ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนเหล็ก(Inductor) ซึ่งถูกออกแบบมาให้ใช้ร่วมกับตัวเก็บประจุเพื่อทำเป็นตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกโดยเฉพาะ ต้องมีความเป็นเชิงเส้นดี เพราะต้องสามารถรับกระแสที่ไหลผ่านตัวมันเองได้ เพื่อไม่ให้สนามแม่เหล็กในแกนเหล็กอิ่มตัวในช่วงใช้งานปกติ
3. ตัวตัดต่อวงจร(Contactor) ใช้ตัดต่อวงจรตัวกรองกระแสฮาร์มอนิก
4. อุปกรณ์ป้องกันวงจร เช่น ฟิวส์ ฯลฯ ใช้ป้องกันการลัดวงจรของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิก
5. อุปกรณ์ป้องกันการทำงานเกินกำลังของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิก เพื่อป้องกันไม่ให้กระแสไหลในตัวกรองฮาร์มอนิกเกินพิกัดที่กำหนด ซึ่งอาจเกิดจากกระแสฮาร์มอนิกในระบบเพิ่มขึ้นจากโหลดแบบไม่เป็นเชิงเส้นเพิ่มขึ้น หรือจุดปรับคลื่นของตัวกรองเปลี่ยนไป เพราะตัวเก็บประจุ หรือตัวเหนี่ยวนำมีค่าเปลี่ยนไปตามอายุการใช้งาน หรืออุณหภูมิ

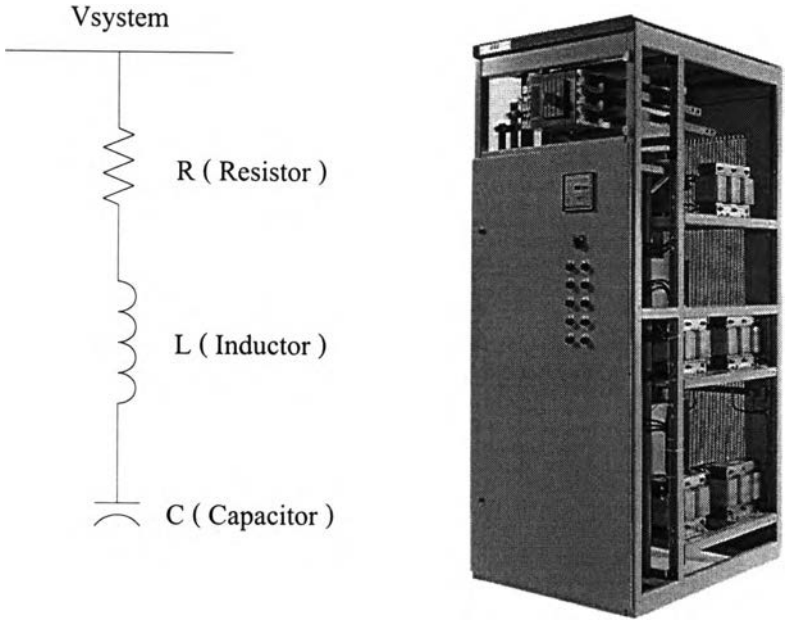


<u>รูปที่ 2.5</u> โครงสร้างของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกชนิดกรองเดี่ยว

ตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกชนิดกรองเดี่ยว มีหน้าที่หลักที่สำคัญ 2 ประการ คือ

1) จ่ายกำลังงานรีแอกทีฟที่ความถี่หลักมูลให้ระบบไฟฟ้า เพื่อเป็นการชดเชยกำลังงานรีแอกทีฟที่อุปกรณ์ไฟฟ้าต้องการใช้
2) กรองกระแสฮาร์มอนิก และลดแรงดันฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าให้ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดโดย มาตรฐาน หรือข้อบังคับของการไฟฟ้า ฯ

การทำงานของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกชนิดกรองเดี่ยวเกิดจากส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ ตัวเก็บประจุ , ตัวเหนี่ยวนำ และ ตัวต้านทาน ที่อยู่ในรูปขดลวดเหนี่ยวนำ มาต่อเป็นวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม เพื่อทำให้วงจรตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกมีค่าอิมพีแดนซ์ที่ต่ำที่สุดที่ความถี่เรโซแนนซ์หรือความถี่ปรับคลื่น (Tuning Frequency) ซึ่งเรียกว่าเกิดเรโซแนนซ์แบบอนุกรม ที่ความถี่ปรับคลื่นตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกจะมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับความต้านทาน เพราะว่าที่ความถี่เรโซแนนซ์ค่า คาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์จะเท่ากับค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์แต่จะมีขั้วตรงกันข้าม จึงทำให้ค่ารีแอกแตนซ์หักล้างกันหมดไป ตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกชนิดกรองเดี่ยวมีวงจรสมมูลในการทำงานดังรูปที่ 2.6



ก. วงจรสมมูล ข. รูปตัวกรองที่ใช้งานจริง

<u>รูปที่ 2.6</u> วงจรสมมูลของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกชนิดกรองเดี่ยว

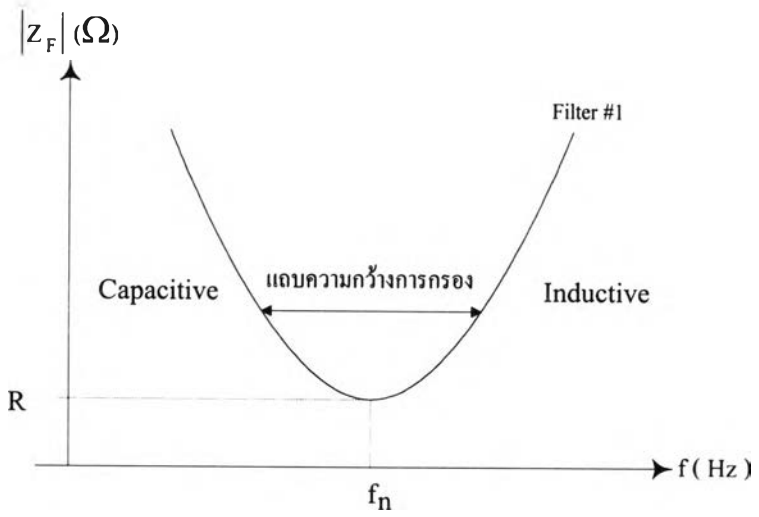
จากวงจรในรูปที่ 2.6 (ก) สามารถหาค่าอิมพีแดนซ์ของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกได้ดังนี้

$$Z_F = R + j\left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right) \quad 2.5$$

ในสมการจะเห็นว่าค่า Z_F จะมีค่าต่ำสุดเท่ากับค่า R เมื่อค่าความถี่ f มีค่าเป็น f_n ซึ่งสามารถหาค่าได้คือ

$$f_n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad 2.6$$

เมื่อนำสมการที่ 2.5 มาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิมพีแดนซ์กับความถี่จะได้ดังรูปที่ 2.7



<u>รูปที่ 2.7</u> ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกชนิดกรองเดี่ยวเทียบกับความถี่

จากรูปที่ 2.7 ที่ความถี่เรโซแนนซ์(f_n) หรือความถี่ปรับคลื่น (Tuning Frequency) ตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกจะมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับความต้านทาน ที่ความถี่ต่ำกว่าความถี่ปรับคลื่นตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกจะมีคุณสมบัติเป็นตัวเก็บประจุ และที่ความถี่สูงกว่าความถี่ปรับคลื่นตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกจะมีคุณสมบัติเป็นตัวเหนี่ยวนำ

ตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ คือ

1) ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกชนิดกรองเดี่ยว ที่ต่อขนานกับระบบไฟฟ้าควรมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำในย่านความถี่ของกระแสฮาร์มอนิกที่ต้องการจะกรองทิ้ง เพื่อให้กระแสฮาร์มอนิกไหลเข้าในระบบไฟฟ้าน้อยที่สุด และทำให้แรงดันฮาร์มอนิกมีค่าต่ำด้วย
2) ค่าความกว้างแถบการกรองกระแสฮาร์มอนิกชนิดกรองเดี่ยว ควรมีความกว้างของแถบการกรอง กว้างพอสมควร เพื่อกรองฮาร์มอนิกที่ลำดับนั้นได้เหมาะสม และช่วยลดปัญหาที่จะเกิดการเป็นดีจูนของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกที่ลำดับฮาร์มอนิกอื่น

<u>ข้อดี</u>

1. ตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกแบบนี้มีโครงสร้างง่ายๆ เพราะมีส่วนประกอบเพียง 2 ชนิดเท่านั้นคือ ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ โดยที่ตัวต้านทานในวงจรสมมูล คือค่าความต้านทานของขดลวดของตัวเหนี่ยวนำ

2. เป็นตัวกรองที่มีค่าตัวประกอบคุณภาพ (Quality Factor) สูง ในระบบแรงดันต่ำ 400-415 V. ตัวประกอบคุณภาพอาจสูงถึง 60 และในระบบแรงดันสูง ตัวประกอบคุณภาพอาจสูงถึง 100 ทำให้ได้ตัวกรองฮาร์มอนิกที่มีอัตราลดทอนกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่เจาะจงไว้สูง
3. มีการสูญเสียต่ำ เพราะการสูญเสียส่วนใหญ่จะเกิดในตัวเหนี่ยวนำ
4. ต้องการการบำรุงรักษาต่ำ เนื่องจากใช้ส่วนประกอบน้อย มีโครงสร้างอย่างง่าย

ข้อเสีย

1. ต้องใช้ตัวกรองชนิดนี้หลายตัว เพื่อกรองกระแสฮาร์มอนิกหลาย ๆ ลำดับพร้อม ๆ กัน เนื่องจากตัวกรองแต่ละตัวจะทำหน้าที่กรองกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่เจาะจงไว้เท่านั้น ซึ่งจะกรองกระแสฮาร์มอนิกลำดับอื่น ๆ ได้น้อย
2. เนื่องจากตัวกรองมีค่าตัวประกอบคุณภาพสูงทำให้มีความกว้างแถบในการกรองแคบ จึงไวต่อการเปลี่ยนแปลงของความถี่หลักมูลของระบบ และการเปลี่ยนแปลงค่าของส่วนประกอบต่างๆ ของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกที่เปลี่ยนไป
3. มีความจำเป็นต้องทำการปรับตั้งค่าความถี่เรโซแนนซ์ในภาคสนามทำให้ต้องใช้ตัวเหนี่ยวนำที่มีแท็ปราคาของตัวเหนี่ยวนำจึงแพงกว่าปกติ

2.4.2 การออกแบบ และคำนวณค่าส่วนประกอบของวงจรตัวกรอง

การคำนวณหาค่าส่วนประกอบของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกชนิดกรองเดี่ยวนั้น จะต้องทราบค่ากำลังงานรีแอกทีฟชดเชยที่ตัวกรองจะต้องจ่ายให้ระบบ ค่าความถี่ปรับคลื่น (f_n) ที่ต้องการกรอง ค่าตัวประกอบคุณภาพ (Quality Factor : Qfactor) และค่าการทำงานต่างๆ ของระบบไฟฟ้า เช่น ระดับแรงดัน พิกัดหม้อแปลงของโรงงานอุตสาหกรรม กำลังไฟฟ้าลัดวงจร โหลดต่างๆ ที่มีในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

การออกแบบตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกชนิดกรองเดี่ยว มีขั้นตอนทั้งหมดดังนี้

ขั้นที่ 1 กำหนดค่าพิกัดแรงดันของระบบไฟฟ้า (V_{Sys}) ที่จะทำการติดตั้งตัวกรองกระแสฮาร์มอนิก ว่ามีค่าเท่าใด มี Voltage Regulation เท่าใด และมีความถี่หลักมูลเท่าใดเพื่อใช้ออกแบบตัวกรองกระแสฮาร์มอนิก

ขั้นที่ 2 กำหนดค่ากำลังงานรีแอกทีฟ($Q_{Compensate}$) ที่ระบบต้องการจากตัวกรองกระแสฮาร์มอนิก เพื่อใช้ในการปรับค่าตัวประกอบกำลังของระบบให้ได้ตามที่ต้องการ

ค่ากำลังงานรีแอกทีฟที่ระบบต้องการหาได้ดังนี้

$$Q_{Com} = kW(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \quad 2.7$$

โดยที่ Q_{Com} คือ กำลังงานรีแอกทีฟที่ระบบต้องการ(kVAr)

kW คือ กำลังงานจริงของโหลดรวมทั้งหมด (kW)

θ_1 คือ มุมของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเดิม

θ_2 คือ มุมของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าใหม่ที่ต้องการ

ขั้นที่ 3 วิเคราะห์ข้อมูลของกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลในระบบ ที่ได้จากการวัดจริงในโรงงาน หรือการประเมิน และทำการกำหนดจำนวนชุดตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกในระบบ ว่าต้องทำการติดตั้งลำดับใดบ้าง เช่น ถ้ามีกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 และลำดับที่ 7 มากเกินมาตรฐานกำหนด ก็ควรใช้จำนวน 2 ชุด คือตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกที่กรองกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 และลำดับที่ 7 เป็นต้น

ขั้นที่ 4 ทำการแบ่งค่า Q_{Com} ออกเป็นส่วน ตามจำนวนชุดของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกที่ได้กำหนดไว้ โดยอาศัยข้อมูลขนาดของกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลในระบบ และขนาดของภาระในระบบไฟฟ้า

ขั้นที่ 5 กำหนดจุดปรับคลื่น (Tuning Point : n_h) ของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกแต่ละลำดับ โดยกำหนดให้จุดปรับคลื่นมีค่าต่ำกว่าลำดับของฮาร์มอนิกที่ต้องการกรองเล็กน้อย

ขั้นที่ 6 กำหนดขนาดพิกัดแรงดันของตัวเก็บประจุที่ความถี่หลักมูลดังนี้

$$V_{Cr} \geq \frac{n_h^{\,2}}{n_h^{\,2}-1} \times V_{Sys} \quad 2.8$$

โดยที่ V_{Sys} คือ แรงดันระบบที่ตัวกรองต่ออยู่

n_h คือ ค่าจุดปรับคลื่นของตัวกรอง

V_{Cr} คือ แรงดันพิกัดของตัวเก็บประจุ

ขั้นที่ 7 กำหนดขนาดกำลังงานรีแอกทีฟพิกัดของตัวเก็บประจุ (Q_{Cr}) ที่ต้องใช้ในตัวกรองแต่ละลำดับ การกำหนดขนาดกำลังงานรีแอกทีฟพิกัดของตัวเก็บประจุ จะต้องเลือกให้มีขนาดใกล้เคียง กับขนาดที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดทั่วไป เพื่อให้ตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกมีราคาถูกที่สุด

การหาขนาดของตัวเก็บประจุทำได้โดยใช้สมการ

$$Q_{Cr} = \frac{Q_{Com}}{\left(\frac{n_h^{\,2}}{n_h^{\,2}-1}\right)\times\left(\frac{V_{Sys}}{V_{Cr}}\right)^2} \qquad 2.9$$

โดยที่ V_{Sys} คือ แรงดันระบบที่ตัวกรองต่ออยู่

n_h คือ ค่าจุดปรับคลื่นของตัวกรอง

V_{Cr} คือ แรงดันพิกัดของตัวเก็บประจุ

Q_{Com} คือ กำลังงานรีแอกทีฟชดเชยที่ตัวกรองจ่ายให้ระบบ

Q_{Cr} คือ กำลังงานรีแอกทีฟพิกัดของตัวเก็บประจุ

ขั้นที่ 8 การหาค่าตัวเก็บประจุ(C) , ค่าตัวเหนี่ยวนำ(L) และ ค่าความต้านทาน(R) ดังสมการดังนี้

$$Xc = \frac{V_{Cr}^2}{Q_{Cr}\times 10^3} \qquad 2.10$$

$$C = \frac{1}{2\pi f \cdot Xc} \qquad 2.11$$

$$L = \frac{Xc}{2\pi f \cdot n_h^{\,2}} \qquad 2.12$$

$$R = \frac{X_L at\, n_h}{Q_F} \qquad 2.13$$

โดยที่ V_{Cr} คือ แรงดันพิกัดของตัวเก็บประจุ (V)

Q_{Cr} คือ กำลังงานรีแอกทีฟพิกัดของตัวเก็บประจุ (kVAr)

n_h คือ ค่าจุดปรับคลื่นของตัวกรอง

Q_F คือ ตัวประกอบคุณภาพของตัวกรอง

หมายเหตุ ค่า C , L และ R เป็นค่าต่อเฟส

ขั้นที่ 9 วิเคราะห์การไหลของกระแสฮาร์มอนิกในส่วนต่างๆ ของระบบไฟฟ้าใหม่ ที่ทำการติดตั้งตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกเข้าในระบบ และ ทำการตรวจสอบการทำงานของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิก ด้วยเพื่อ

1. ตรวจสอบตัวเก็บประจุว่าทำงานเกินพิกัดหรือไม่ หากผลการตรวจสอบพบว่าตัวเก็บประจุทำงานเกินพิกัดที่กำหนด จะต้องเลือกขนาดพิกัดของตัวเก็บประจุใหม่ โดยกลับไปขั้นที่ 7 ใหม่
2. ตรวจสอบขนาดกระแสทั้งหมดที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งพิกัดของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ในกรณีเลวร้ายที่สุด คือ

$$I_{RMS,Li} = \sqrt{(I_{Fi,1} \times 1.1)^2 + \sum_{h=2}^{n} I_{Fi,h}^2} \qquad 2.14$$

โดยที่ $I_{Fi,1}$ คือ กระแสไหลผ่านตัวกรองที่ i ที่ความถี่หลักมูล

$I_{Fi,h}$ คือ กระแสฮาร์มอนิกไหลผ่านตัวกรองที่ i ที่ความถี่ฮาร์มอนิก

$I_{RMS,Li}$ คือ กระแสรวมที่ไหลผ่านตัวกรองทั้งหมด

หมายเหตุ

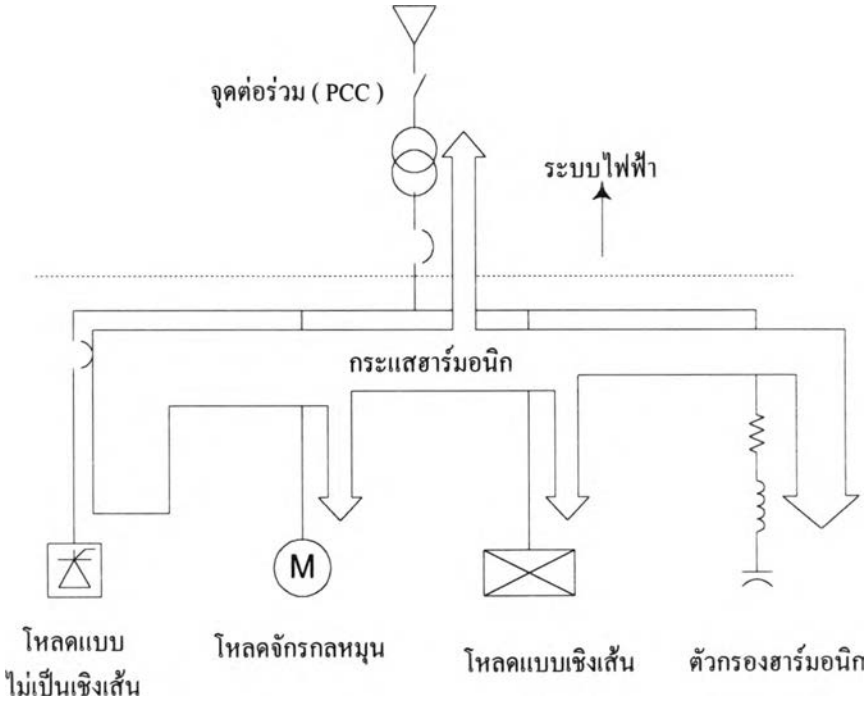
กระแสพิกัดของตัวเหนี่ยวนำจะเผื่อขนาดกระแสความถี่หลักมูลไว้ 10 % เพื่อเป็นการป้องกันตัวเหนี่ยวนำ

3. ตรวจสอบขนาดกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลเข้าในระบบ และแรงดันฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นว่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานด้านฮาร์มอนิกกำหนดหรือไม่
4. ทดสอบความสามารถในการทำงานของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิก เมื่อตัวแปรต่างๆ ของระบบเปลี่ยนไป เช่น ความถี่ของระบบ , ขนาดของระบบคือกำลังงานลัดวงจรของระบบ , แรงดันระบบ

สำหรับพิกัดของอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิก เช่น ฟิวส์ , ตัวตัดต่อวงจร และ อุปกรณ์ป้องกันการทำงานเกินกำลัง จะต้องเลือกโดยรวมผลของกระแส และแรงดันฮาร์มอนิกด้วย เพื่อให้ตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกสามารถทำงานได้ปกติ

2.5 การประยุกต์ใช้งานตัวกรองในระบบไฟฟ้า

การใช้งานตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกชนิดกรองเดี่ยวนั้น จะต้องนำตัวกรองไปต่อขนานกับระบบไฟฟ้าที่มีกระแสฮาร์มอนิกไหลอยู่ในระบบ เพื่อให้ตัวกรองเป็นทางเดินของกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลอยู่ในระบบ ซึ่งเป็นผลทำให้มีกระแสฮาร์มอนิกไหลเข้าไปในระบบไฟฟ้าน้อยลงกว่าที่มาตรฐานกำหนด รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการติดตั้งตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกชนิดกรองเดี่ยวเข้ากับระบบไฟฟ้า



รูปที่ 2.8 ระบบไฟฟ้าที่ต่อตัวกรองกระแสฮาร์มอนิก

การใช้งานตัวกรองกระแสฮาร์มอนิก สามารถติดตั้งใช้งานได้หลายจุดในระบบ แต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้ประสิทธิผลในการทำงานสูงสุด ควรติดตั้งตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกใกล้กับแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก