บทที่ 2

ตัวประกอบกำลังของคอนเวอร์เตอร์

2.1 บทนำ

การแปลงผันพลังงานไฟฟ้านั้นมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์ เช่น คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์สื่อสาร แหล่งจ่ายไฟสำรอง (Uninterruptible Power Supply: UPS) ตลอดจนระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor Drive) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับระบบชาร์จแบตเตอรี่ซึ่งเป็นระบบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ที่ปกติแล้วการทำงานต้องมีการแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะมีการใช้วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier) ต่อเข้ามากับระบบก่อน แล้วจึงนำแรงดันไฟตรงที่ได้ไปใช้งาน โดยวงจรเรียงกระแสจะมีการใช้ตัวเก็บประจุต่ออยู่ทางด้านเอาท์พุต เพื่อทำหน้าที่ในการลดระลอกคลื่นของแรงดันเอาท์พุต โดยวงจรเรียงกระแสที่ต่อเข้าไปนี้ส่งผลให้กระแสด้านอินพุตมีลักษณะเหมือนกับสัญญาณพัลส์ จึงทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor: PF) ของกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุตมีค่าต่ำและส่งผลให้เกิดความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกของกระแส (Harmonics) ด้านอินพุตที่สูง

2.2 นิยามและการวิเคราะห์ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าถือว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เนื่องจากเป็นตัวที่สามารถกำหนดประสิทธิภาพการทำงานของระบบให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ และตัวประกอบกำลังไฟฟ้านั้นยังถือว่าเป็นการวัดค่าความผิดเพี้ยนของกระแสและแรงดันในระบบได้อีกด้วย ซึ่งระบบไฟฟ้าที่มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำจะมีค่าความสูญเสียในระบบมาก เนื่องจากตัวประกอบกำลังเป็นการวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) และกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) ของระบบ นิยามดังสมการที่ (2.1)

$$\mathrm{PF} = \frac{P}{S}$$

$$\mathrm{PF} = \frac{P}{V_{rms} I_{rms}} \tag{2.1}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อ PF คือ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

P คือ กำลังไฟฟ้าจริง

S คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏ

V_{rms} คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของแรงดัน

I_{rms} คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของกระแส

แต่เนื่องจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังโดยทั่วไปมักจะทำให้รูปคลื่นของกระแสและแรงดันไฟฟ้ามีความผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นสัญญาณไซน์ (Sinusoidal Waveform) ซึ่งการวิเคราะห์รูปคลื่นสัญญาณของกระแสและแรงดันที่ผิดเพี้ยนไปสามารถทำได้โดยการใช้อนุกรมฟูเรียร์ (Fourier series) โดยการแทนรูปคลื่นของแรงดันและกระแสที่เวลาใดๆด้วยผลรวมขององค์ประกอบที่เป็นค่าคงที่และสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่า

โดยทั่วไปแล้ว รูปคลื่นของสัญญาณ $f(t)$ ที่ไม่ใช่ไซน์และเป็นสัญญาณรายคาบ (Periodic Signal) โดยมีความถี่เชิงมุมเท่ากับ ω ซึ่งสามารถนิยามอนุกรมฟูเรียร์ได้ดังสมการที่ (2.2)

$$f(t) = F_0 + \sum_{n=1}^{\infty} f_n(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty}\left[a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)\right] \tag{2.2}$$

และจาก

$$F_0 = \frac{1}{2}a_0$$

$$a_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} f(t)\cos(n\omega t)d(\omega t), \qquad n = 1,...,\infty$$

$$b_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} f(t)\sin(n\omega t)d(\omega t), \qquad n = 1,...,\infty$$

โดย $a_0, a_1, a_2, \ldots$ และ $b_1, b_2, b_3, \ldots$ เรียกว่า สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ (Fourier Coefficients) ของ f(x)

จะได้ F_0 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ

$$F_0 = \frac{1}{2}a_0 = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} f(t)d(\omega t) = \frac{1}{T}\int_0^{T} f(t)d(t) \tag{2.3}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และจากสมการที่ (2.3) สามารถเขียนแทนในรูปแบบของขนาดและเฟสเซอร์

$$F_n = \frac{\sqrt{a_n^2 + b_n^2}}{\sqrt{2}} \tag{2.4}$$

ที่ค่ารากกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ $F_n = F_n e^{j\phi_n}$ และมุมเฟสมีค่าเท่ากับ $\tan(\phi_n) = \frac{-b_n}{a_n}$ โดยการคำนวณหาค่า a_n และ b_n สามารถหาได้จากหลักการสมมาตรของรูปคลื่นดังแสดงในตารางที่ 2.1

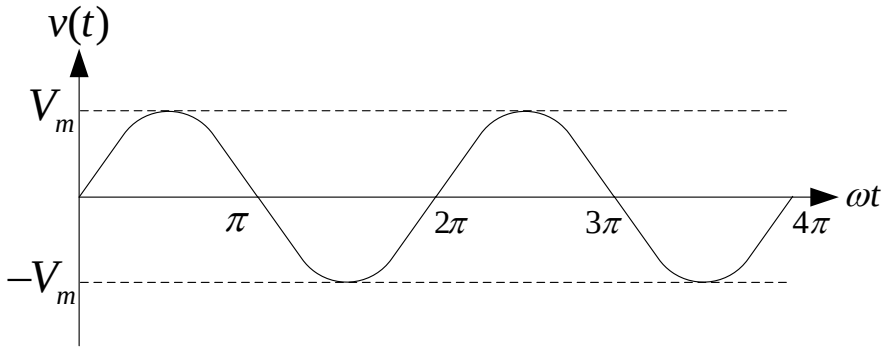
ตารางที่ 2.1 ตารางคุณสมบัติของอนุกรมฟูเรียร์โดยอาศัยหลักการสมมาตรของรูปคลื่น

สมมาตร	เงื่อนไข	a_n และ b_n
ฟังก์ชั่นคู่	$f(-t) = f(t)$	$a_n = \frac{2}{\pi}\int_0^{\pi} f(t)\cos(n\omega t)d(\omega t)$ $b_n = 0$
ฟังก์ชั่นคี่	$f(-t) = -f(t)$	$a_n = 0$ $b_n = \frac{2}{\pi}\int_0^{\pi} f(t)\sin(n\omega t)d(\omega t)$
ครึ่งคลื่น	$f(-t) = -f(t+\frac{T}{2})$	$a_n = b_n = 0$ สำหรับทุกค่า n $a_n = \frac{2}{\pi}\int_0^{\pi} f(t)\cos(n\omega t)d(\omega t)$ เมื่อ n เป็นเลขคี่ $b_n = \frac{2}{\pi}\int_0^{\pi} f(t)\sin(n\omega t)d(\omega t)$ เมื่อ n เป็นเลขคู่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันที่อยู่ในรูปของแรงดันรูปคลื่นไซน์ ซึ่งมีค่าแปรตามเวลาและเป็นสัญญาณคาบดังภาพที่ 2.1 โดยสามารถเขียนเป็นสมการแรงดันไฟฟ้าได้เท่ากับ

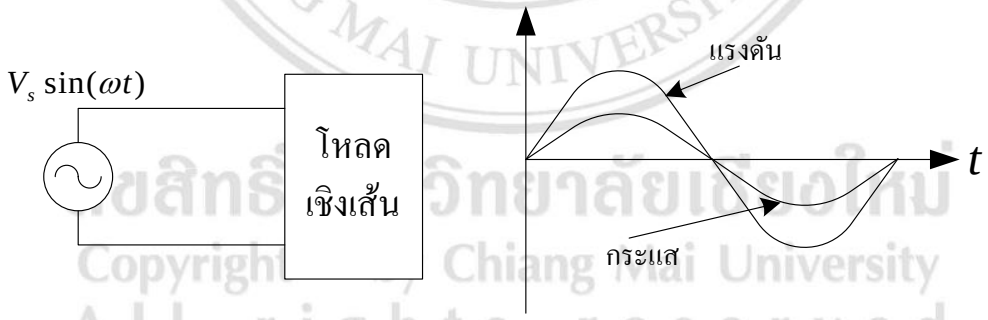
$$v(t) = V_m \cos(\omega t) \tag{2.5}$$



ภาพที่ 2.1 รูปคลื่นสัญญาณไซน์

โดยทั่วไปในทางปฏิบัตินั้น ภาระโหลดหรือโหลดทางไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ โหลดแบบเชิงเส้น (Linear Load) และโหลดแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear Load) โดยคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นนี้สามารถอธิบายในทางคณิตศาสตร์ กล่าวคือความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ที่เป็นเชิงเส้นจะเป็นไปตาม สมการเชิงเส้น (Linear equation) และในทางกลับกันที่ความสัมพันธ์ในโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นก็จะส่งผลให้ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันที่เปลี่ยนไป ซึ่งโหลดทั้งสองแบบนี้จะส่งผลต่อค่าตัวประกอบกำลังที่แตกต่างกัน

2.2.1 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของโหลดแบบเชิงเส้น



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 2.2 ระบบไฟฟ้าที่มีโหลดเป็นเชิงเส้น

จากภาพที่ 2.2 แสดงไดอะแกรมซึ่งประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่ต่อเข้ากับภาระโหลดและรูปคลื่นกระแสกับแรงดันของระบบที่มีภาระโหลดแบบเป็นเชิงเส้น และเนื่องจากภาระโหลดเป็นแบบเชิงเส้น ค่ากระแสและแรงดันที่โหลดจะเท่ากับ

$$v(t) = V_L \sin(\omega t + \varphi) \tag{2.6}$$

$$i(t) = I_L \sin(\omega t + \theta) \tag{2.7}$$

เมื่อ V_L คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ตกคร่อมโหลด

I_L คือ กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่านโหลด

φ คือ มุมเฟสที่เปลี่ยนไปตามแรงดันที่ตกคร่อมโหลด

θ คือ มุมเฟสที่เปลี่ยนไปตามกระแสที่ไหลผ่านโหลด

เมื่อแทนค่าตัวประกอบกำลังจากสมการที่ (2.1) จะได้

$$\begin{aligned} PF &= DPF = \frac{P_{avg}}{V_{rms} I_{rms}} \\ &= \frac{\frac{V_L}{\sqrt{2}} \frac{I_L}{\sqrt{2}} \cos(\varphi - \theta)}{\frac{V_L}{\sqrt{2}} \frac{I_L}{\sqrt{2}}} \\ PF &= \cos(\varphi - \theta) \end{aligned} \tag{2.8}$$

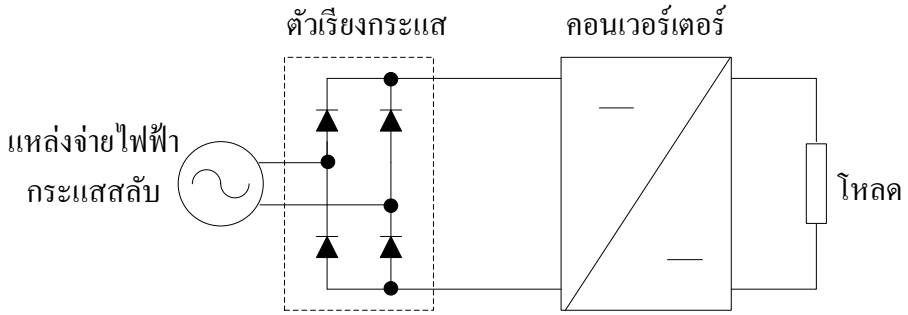
โดยที่ $DPF = \cos(\varphi - \theta)$ และ DPF คือ Displacement Factor

ซึ่งในกรณีที่โหลดเป็นเชิงเส้น ค่าตัวประกอบกำลังหาได้จาก โคไซน์(Cosine) ของมุมที่แตกต่างระหว่างแรงดันและกระแสดังสมการที่ (2.8)

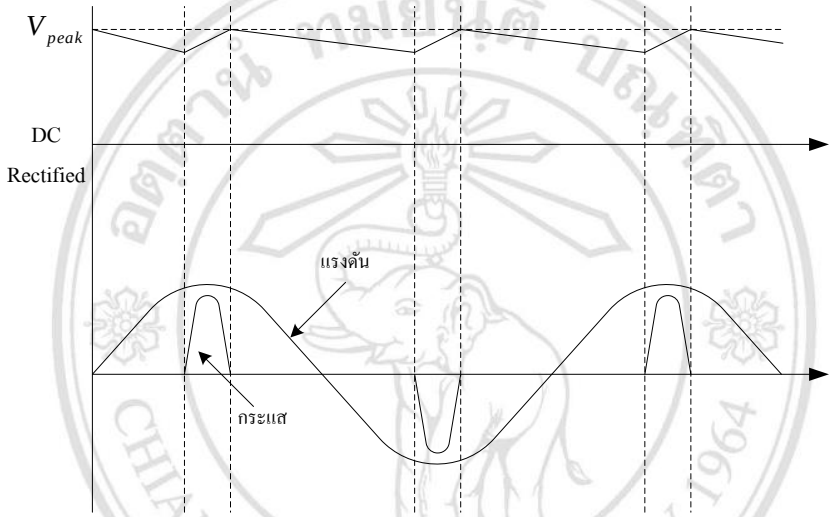
2.2.2 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของโหลดแบบไม่เป็นเชิงเส้น

ในระบบไฟฟ้าเมื่อมีโหลดแบบไม่เป็นเชิงเส้นจะส่งผลให้เกิดฮาร์มอนิก โดยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยการดึงกระแสไฟฟ้าเป็นบางช่วงเวลาของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า จากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าความถี่ 50 เฮิรตซ์ ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ถูกดึงโดยโหลดอิเล็กทรอนิกส์กำลังจะไม่เป็นรูปไซน์ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ได้มีการใช้อุปกรณ์ที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นมาเป็นส่วนประกอบของระบบ เช่นมีการวงจรเรียงกระแสต่อเพิ่มเข้ามาดังภาพที่ 2.3 ซึ่งประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ตัวเรียงกระแส คอนเวอร์เตอร์และภาระโหลด โดยโหลดมีการดึงกระแสและแรงดันจากทางด้านอินพุต ซึ่งส่งผลกระทบทำให้คลื่นกระแสหรือคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านอินพุตเกิดความผิดเพี้ยนไปดังภาพที่ 2.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.3 ไดอะแกรมระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง



ภาพที่ 2.4 คลื่นกระแสและแรงดันในสภาวะคงตัวที่ผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์

จากภาพที่ 2.4 เมื่อพิจารณารูปคลื่นกระแสและแรงดันที่ไม่เป็นไซน์และในส่วนของกระแสมีฮาร์มอนิกปะปนอยู่ ที่สภาวะอยู่ตัวรูปคลื่นสัญญาณดังกล่าวจะเป็นสัญญาณคาบที่มีคาบเวลาเท่ากับ T (T คือ สัญญาณในหนึ่งคาบเวลา) โดยฮาร์มอนิกที่จะมีผลกระทบต่อระบบเป็นอย่างมาก จะเป็นฮาร์มอนิกอันดับต้นๆ ได้แก่ ฮาร์มอนิกอันดับที่ 3 และ 5 ซึ่งเป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูล (50 เฮิรตซ์) โดยอนุกรมฟูเรียร์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่มีส่วนประกอบของฮาร์มอนิกในสภาวะอยู่ตัวจะแสดงดังสมการที่ (2.9)

$$v(t) = \sum_{n=1}^{\infty} V_n \sin(n\omega t + \varphi) \tag{2.9}$$

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin(n\omega t + \theta) \tag{2.10}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เขียนให้อยู่ในเทอมของค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (RMS) จะได้

$$V_{rms} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_{n,rms}^2} \tag{2.11}$$

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_{n,rms}^2} \tag{2.12}$$

โดยตัวชี้วัดคุณภาพของสัญญาณคลื่นที่ไม่ใช่สัญญาณไซน์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้าคือ ความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic Distortion: THD) ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนระหว่างค่ารากที่สองของผลบวกกำลังสองของค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของส่วนประกอบฮาร์มอนิก กับค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของส่วนประกอบของความถี่หลักมูลเทียบเป็นร้อยละ โดยสามารถนิยามค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมสำหรับกระแสและแรงดันไฟฟ้าได้ดังสมการที่ (2.13) และ (2.14) ซึ่งถ้าหากค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมเท่ากับศูนย์ก็จะหมายความว่ารูปคลื่นสัญญาณดังกล่าวมีความเป็นไซน์และไม่มีฮาร์มอนิกปะปน

$$THD_V(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_{n,rms}^2}}{V_{1,rms}} \cdot 100 \tag{2.13}$$

$$THD_I(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{n,rms}^2}}{I_{1,rms}} \cdot 100 \tag{2.14}$$

เมื่อแทนสมการ (2.13) ในสมการ (2.11) และสมการ (2.14) ในสมการ (2.12) จะได้

$$V_{rms} = V_{1,rms}\sqrt{1+\left(\frac{THD_V}{100}\right)^2} \tag{2.15}$$

$$I_{rms} = I_{1,rms}\sqrt{1+\left(\frac{THD_I}{100}\right)^2} \tag{2.16}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากนั้นแทนสมการ (2.15) และ (2.16) ในสมการที่ (2.1) จะได้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ

$$PF = \frac{P_{avg}}{V_{1,rms}I_{1,rms}\sqrt{1+\left(\frac{THD_V}{100}\right)^2}\cdot\sqrt{\left(\frac{THD_I}{100}\right)^2}} \tag{2.17}$$

$$PF = \frac{P_{avg}}{V_{1,rms}I_{1,rms}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{THD_V}{100}\right)^2}\cdot\sqrt{\left(\frac{THD_I}{100}\right)^2}} \tag{2.18}$$

ซึ่งโดยทั่วไปกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่เกิดจากฮาร์มอนิกจะสูงกว่าหลักมูลเล็กน้อยทำให้ $P_{avg} \cong P_{1,avg}$ และเนื่องจากค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดัน (THD_V) จะมีค่าน้อยมากๆ ซึ่งเมื่อแทนลงในสมการ (2.15) จะทำให้ $V_{rms} \cong V_{1,rms}$ จึงสามารถหาค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบโดยพิจารณาในเทอมของกระแสเท่ากับ

$$PF = \frac{P_{1,avg}}{V_{1,rms} I_{1,rms}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{THD_I}{100}\right)^2}} \tag{2.19}$$

หรือ

$$PF = DF \cdot DPF \tag{2.20}$$

โดยที่ DF (Distortion Factor) คือ ค่าตัวประกอบความเพี้ยนของกระแสด้านอินพุต

DPF (Displacement Factor) คือ ค่าตัวประกอบกำลังที่ความถี่มูลฐาน

ในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังสำหรับโหลดแบบไม่เชิงเส้นนั้น จะมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำและไม่สามารถชดเชยได้ด้วยการต่อตัวเก็บประจุขนานเข้าไปในระบบ เพราะส่วนนั้นจะเป็นแค่การชดเชยในส่วนของค่าตัวประกอบกำลัง DPF เท่านั้น แต่ความจริงแล้วโหลดทั่วไปในระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังจะมีค่าตัวประกอบกำลัง DPF สูงอยู่แล้ว แต่ค่าตัวประกอบกำลัง DF ต่ำ ดังนั้นการที่จะต่อตัวเก็บประจุขนานเข้าไปในระบบก็จะยิ่งเป็นการเพิ่มค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของกระแสให้สูงขึ้นไปอีก ดังนั้นจึงได้มีวิธีการชดเชยด้วยวงจนกรองแบบพาสซีฟ (Passive Filter) หรือวงจรกรองแบบแอ็กทีฟ (Active Filter) เพื่อมากำจัดฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นดังกล่าว

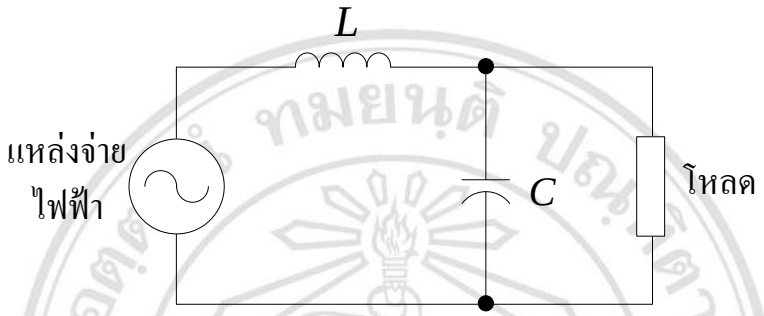
2.3 การแก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ในทางปฏิบัติค่าตัวประกอบกำลังจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้ ทั้งนี้ขึ้นกับกระแสโหลดขณะใช้งานของแต่ละเครื่องจักร และอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่นในโรงงานอุตสาหกรรมหากมีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าจำพวกที่เป็นโหลดแบบตัวเหนี่ยวนำ (Inductive Load) หรือเป็นโหลดแบบตัวเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitive Load) แบบใดแบบหนึ่งเพียงอย่างเดียวก็จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังต่ำได้ แต่ถ้านำอุปกรณ์ทั้งสองประเภทนี้มาใช้งานร่วมกันในขนาดที่เหมาะสมก็จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังสูงขึ้นได้เช่นกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

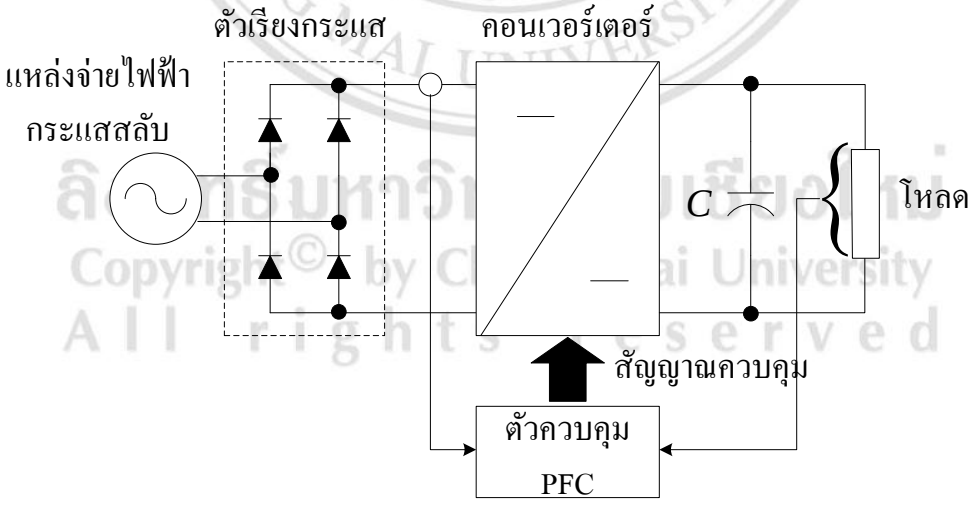
2.3.1 การแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบพาสซีฟ

การแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบพาสซีฟสามารถทำได้ง่าย โดยการใช้อุปกรณ์จำพวกตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุไฟฟ้าต่อเพิ่มเข้าระบบในขนาดที่เหมาะสมดังภาพที่ 2.5 เพื่อทำหน้าที่ในการแก้ไขตัวประกอบกำลังและปรับปรุงรูปคลื่นของกระแสด้านอินพุตจากเดิมที่มีความผิดเพี้ยนไปให้มีรูปคลื่นลักษณะใกล้เคียงรูปคลื่นสัญญาณไซน์มากขึ้น



ภาพที่ 2.5 วงจรการแก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแบบพาสซีฟ

แต่เนื่องจากการทำงานของวงจรกรองแบบพาสซีฟ จะทำงานที่ความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ของแรงดันอินพุตจึงส่งผลให้ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุที่ใช้มีค่าสูง ส่งผลให้เกิดความสูญเสียเพิ่มขึ้น โดยสามารถแก้ไขปัญหาเหล่านี้ด้วยการแก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแบบแอคทีฟ



ภาพที่ 2.6 วงจรการแก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแบบแอคทีฟ

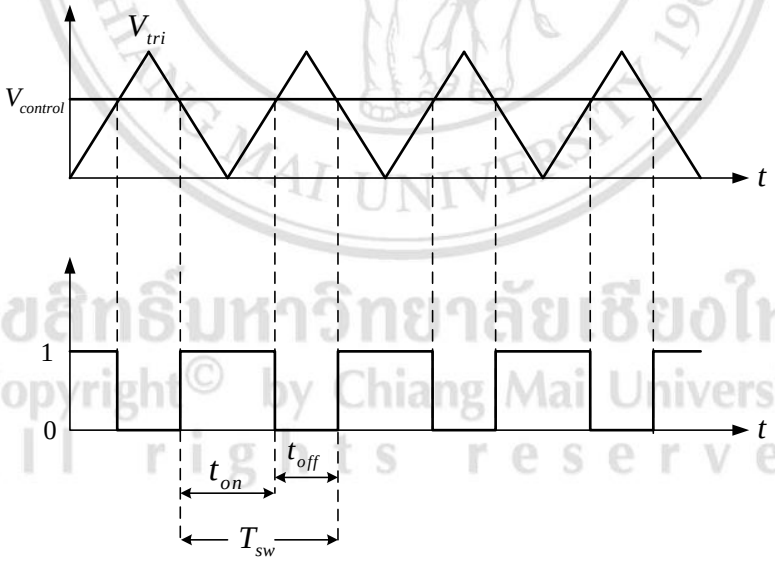
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.2 การแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบแอคทีฟ

การแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบแอคทีฟมีหลักการทำงานด้วยการสวิตซ์เพื่อควบคุมกระแสด้านอินพุตของวงจรให้มีค่าใกล้เคียงสัญญาณไซน์ดังภาพที่ 2.6 ซึ่งการทำให้คอนเวอร์เตอร์คงค่าแรงดันไฟฟ้าด้านเอาท์พุตและความถี่ตามที่ต้องการ สามารถทำได้ด้วยการควบคุมช่วงเวลานำกระแสของอุปกรณ์สวิตชิ่งของคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งวงจรควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์โดยทั่วไปมักนิยมใช้เทคนิคการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation; PWM)

2.4 เทคนิคการควบคุมการขับนำสวิตซ์ของคอนเวอร์เตอร์

การควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์โดยทั่วไปมักนิยมใช้เทคนิคการมอดูเลตความกว้างพัลส์ โดยการมอดูเลตความกว้างพัลส์เป็นการนำสองสัญญาณมาเปรียบเทียบกัน เพื่อให้ได้สัญญาณใหม่แล้วนำสัญญาณขับนำที่เกิดขึ้นใหม่นี้ไปใช้ในการควบคุมการนำกระแสของสวิตซ์ของคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งสองสัญญาณที่นำมาเปรียบเทียบกันในที่นี้ได้แก่ สัญญาณควบคุม (Control Signal; $V_{control}$) และสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangular waveform; V_{tri}) ดังแสดงการเปรียบเทียบของสัญญาณทั้งสองในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 การสร้างสัญญาณสวิตชิ่งจากการมอดูเลตความกว้างพัลส์

เมื่อช่วงเวลาที่สัญญาณควบคุมมีค่ามากกว่าสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม สัญญาณพัลส์ที่ได้จะมีค่าเป็น 1 หรือช่วงเวลาที่สวิตซ์นำกระแส t_{on} ส่วนในช่วงที่สัญญาณควบคุมมีค่าน้อยกว่าสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมจะส่งผลให้สัญญาณพัลส์ที่ได้มีค่าเป็น 0 หรืออยู่ในช่วงที่สวิตซ์ไม่นำกระแส t_{off}

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยความถี่ของสัญญาณพัลส์หรือความถี่สวิตชิ่ง f_s ที่ได้จะมีค่าความถี่เท่ากับความถี่ของสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม และช่วงคาบเวลาสวิตชิ่งคือ T_{sw} หรือกล่าวคือ $f_s = \frac{1}{T_{sw}}$ นอกจากนี้ยังสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดิวตี้กับสภาวะการทำงานของสวิตซ์

พิจารณาภาพที่ 2.7 แทนสถานะ PWM ด้วย $v_{signal}(t)\begin{cases}1\\0\end{cases}$

เมื่อ D คือ Duty Ratio จะได้

$$D = \frac{1}{T_{sw}}\int_0^{T_{sw}} V_{signal}(t)dt; (0 \le D \le 1)$$
$$= \frac{1}{T_{sw}}\left[\int_0^{T_{on}} V_{signal}dt + \int_{t_{on}}^{T_{off}} 0dt\right]$$
$$D = \frac{t_{on}}{t_{sw}} \cdot v_{signal} = \frac{v_{control}}{v_{tri}} \qquad (2.21)$$

และสัญญาณแต่ละช่วงเวลาคือ

$$v_{signal} = \begin{cases}1; on \Rightarrow v_{control} \ge v_{tri}\\0; off \Rightarrow v_{control} \le v_{tri}\end{cases}$$

จะได้

$$D = \frac{t_{on}}{t_{off}}$$
$$t_{on} = D \cdot T_{sw}$$

และ

$$T_{sw} = t_{on} + t_{off} = D \cdot T_{sw} + t_{off}$$
$$t_{off} = (1-D)T_{sw}$$

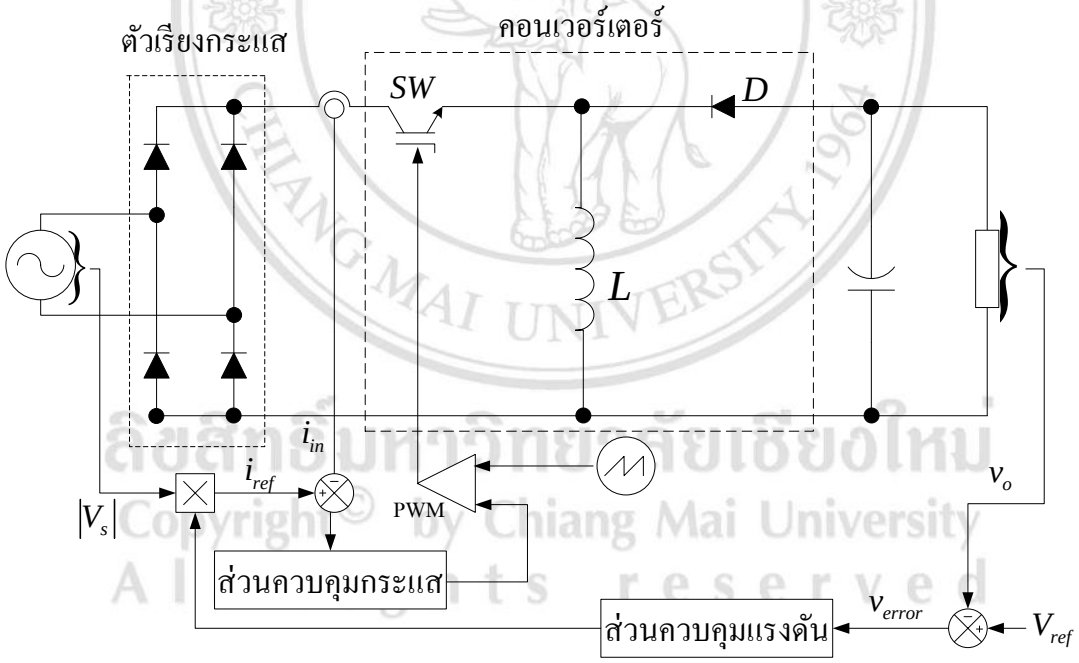
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยสามารถคำนวณหาค่าแรงดันเฉลี่ยด้านเอาท์พุต (V_O) ในเทอมของอัตราส่วนในช่วงการเวลาการใช้งานได้จาก

$$V_O = \frac{1}{T_{sw}}\int_0^{T_{sw}} v_O(t)dt$$
$$= \frac{1}{T_{sw}}\int_0^{T_{sw}} V_D dt$$
$$V_O = \frac{t_{on}}{T_{sw}}V_S = \frac{D}{1-D}V_S \qquad (2.22)$$

โดยทั่วไปของคอนเวอร์เตอร์เมื่อโหลดมีการดึงกระแสมากขึ้นจะส่งผลทำให้แรงดันเอาท์พุตของคอนเวอร์เตอร์ลดลง ดังนั้นวงจรควบคุมจึงต้องมีการปรับเปลี่ยนสัญญาณควบคุมเพื่อเพิ่มช่วงเวลาในการนำกระแสให้กับสวิตซ์กำลังของคอนเวอร์เตอร์ เพื่อชดเชยและคงค่าแรงดันเอาท์พุตให้ตรงตามที่ต้องการเอาไว้ ซึ่งในทางกลับกันเมื่อโหลดดึงกระแสน้อยลงช่วงเวลานำกระแสของสวิตซ์กำลังก็ต้องน้อยลงตามไปด้วยเช่นกัน ดังนั้นวงจรควบคุมที่ใช้กับคอนเวอร์เตอร์ส่วนใหญ่จึงเป็นวงจรในลักษณะมอดูเลตความกว้างพัลส์แบบมีการดันป้อนกลับ (Feedback control system)

กล่าวคือเมื่อแรงดันป้อนกลับมีค่าน้อยลงความกว้างของพัลส์สำหรับขับนำสวิตซ์ก็จะมากขึ้น และเมื่อแรงดันป้อนกลับมีค่ามากขึ้นก็จะส่งผลให้ความกว้างของพัลส์ขับนำสวิตซ์น้อยลง ซึ่งเป็นที่มาของการแก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแบบแอคทีฟ กล่าวคือการควบคุมช่วงเวลาการนำกระแสสวิตซ์ของคอนเวอร์เตอร์ ในส่วนของการมอดูเลทความกว้างพัลส์เพื่อแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบแอคทีฟจะมีโหมดการทำงาน 2 ส่วนหลักๆคือ โหมดควบคุมการทำงานจากกระแส และโหมดควบคุมการทำงานจากแรงดันดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 การแก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าด้วยโหมดการควบคุมแบบป้อนกลับ

สำหรับการทำงาน จากภาพที่ 2.8 วงจรควบคุมจะนำค่าแรงดันที่เอาท์พุตมาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาท์พุตและหาค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ซึ่งค่าความแตกต่างที่ได้นี้จะถูกขยายอัตราด้วยวงจรขยายความต่างและส่งต่อไปยังวงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์ โดยค่าแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่างจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปคลื่นสามเหลี่ยมของวงจรมอดูเลต ซึ่งเอาท์พุตของวงจรมอดูเลตที่ได้จะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลานำกระแสของอุปกรณ์สวิตชิ่งในคอนเวอร์เตอร์

2.5 สรุป

จากที่ได้กล่าวมาในข้างต้นจะเห็นว่าในทางอิเล็กทรอนิกส์กำลังการแปลงผันพลังงานไฟฟ้า ได้มีการใช้อุปกรณ์และมีส่วนประกอบที่ส่งผลทำให้แรงดันทางด้านอินพุตมีความผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นเดิม โดยเฉพาะการทำให้เกิดฮาร์มอนิก ทั้งยังส่งผลไปถึงค่าตัวประกอบกำลังดังเห็นในความสัมพันธ์ของสมการ ซึ่งฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นสามารถแก้ไขได้โดยการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังโดยใช้เทคนิคการมอดูเลตความกว้างพัลส์มาควบคุมการทำงานของสวิตซ์และเพื่อให้คงค่าแรงดันเอาท์พุตให้ตรงตามที่ต้องการเอาไว้ วงจรควบคุมที่ใช้กับคอนเวอร์เตอร์ส่วนใหญ่จึงเป็นวงจรในลักษณะมอดูเลตความกว้างพัลส์แบบมีการดันป้อนกลับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved