บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการเกิดฮาร์มอนิก

2.1.1 ฮาร์มอนิก (Harmonic)

ในศาสตร์ทางวิศวกรรมไฟฟ้า ฮาร์มอนิก คือสัญญาณที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูล เช่น ความถี่หลักมูลคือ 50 เฮิรตซ์ ฮาร์มอนิก คือ 100,200 เป็นต้น ความถี่หลักมูลเรียกว่าฮาร์มอนิกที่ 1 ส่วนฮาร์มอนิกลำดับอื่นๆก็หาได้จากการเอาเลขจำนวนเต็มบวกคูณกับความถี่หลักมูล การวัดความเพี้ยนของฮาร์มอนิกสามารถทำได้หลายวิธีแตกต่างกันออกไป แต่โดยส่วนมากจะใช้วัดความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมที่ความถี่ฮาร์มอนิกต่างๆกัน ปริมาณของขนาดจะแสดงด้วยจำนวนเปอร์เซ็นต์ของขนาดความถี่หลักมูลและเครื่องมือวัดฮาร์มอนิกทั้งหลายจะแสดงผลความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมและความเพี้ยนของฮาร์มอนิกแต่ละส่วน ด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ของขนาดที่ความถี่หลักมูลเช่นกัน

2.1.2 กระแสฮาร์มอนิก (Harmonic Current)

ฮาร์มอนิกที่อยู่ในรูปของกระแสในสายในระบบไฟฟ้าเกิดขึ้นจากอุปกรณ์ที่มีคุณลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งอาจเป็นโหลดหรือแหล่งกำเนิดก็ได้ ในอดีตที่ไม่มีการศึกษาฮาร์มอนิกอย่างจริงจัง เนื่องจากอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้นมีจำนวนน้อยทำให้เกิดผลของฮาร์มอนิกต่อระบบไฟฟ้ากำลังมีค่าน้อย แต่ในช่วงสิบปีที่ผ่านมาอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับเครื่องแปลงผัน (Converter) ได้ขยายตัวอย่างมากซึ่งก็เป็นผลให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกส์อย่างมากมายตามมาด้วยเช่นกัน

2.1.3 แรงดันฮาร์มอนิก (Harmonic Voltage)

เกิดจากกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลผ่านค่ารีแอคแตนซ์ของอุปกรณ์ต่างๆในระบบ เช่น รีแอคแตนซ์ของแหล่งจ่ายสายส่งหรือรีแอคแตนซ์ของตัวเก็บประจุที่ต่อเข้าไปในระบบเพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลังและแรงดันให้ดีขึ้นทำให้เกิดความเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดันอันต่อเนื่องมาจากค่ารีแอคแตนซ์เปลี่ยนแปลงตามความถี่ส่วนค่าความต้านทานไม่เปลี่ยนแปลงกระแส

ฮาร์มอนิกที่ไหลในระบบนั้นจะทำให้เกิดตัวสร้างให้เกิดความผิดเพี้ยนของแรงดันฮาร์มอนิก (Harmonic Voltage Distortion) ซึ่งเป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$V_n = Z_n I_n \tag{2.1}$$

โดยที่

V_n = แรงดันฮาร์มอนิกที่ลำดับ n

Z_n = ค่าอิมพีแดนซ์เนื่องจากกระแสอันดับที่ n

I_n = กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ n

ถ้าในระบบไฟฟ้าใช้ตัวเก็บประจุต่อขนานเข้าไปในระบบเพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลังจะทำให้มีอิทธิพลต่อระดับฮาร์มอนิกในระบบจำหน่ายตัวเก็บประจุมิได้เป็นตัวกำเนิดฮาร์มอนิกแต่จากการต่อวงจรเข้าในระบบมีความจำเป็นที่จะทำให้เกิดเงื่อนไขรีโซแนนซ์แบบขนานระหว่างตัวเก็บประจุและรีแอคแตนซ์ของระบบ เมื่อพิจารณาให้โหลดไม่เป็นเชิงเส้นเป็นแหล่งจ่ายฮาร์มอนิก ถ้ารีโซแนนซ์แบบขนานเกิดที่ความถี่เดียวกันหรือใกล้เคียงกับความถี่ฮาร์มอนิกของโหลดไม่เป็นเชิงเส้นจะทำเกิดกระแสจำนวนมากไหลผ่านระหว่างรีแอคแตนซ์ของระบบและรีแอคแตนซ์ของตัวเก็บประจุกระแสนี้กับกระแสฮาร์มอนิกของโหลดไม่เป็นเชิงเส้นที่ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมรีแอคแตนซ์ของระบบด้วยเหตุนี้จึงทำให้ตัวประกอบความเพี้ยนของแรงดันมีค่ามาก

2.1.4 ความหมายของค่าต่างๆ

ตัวประกอบความเพี้ยน (Distortion Factor) DF ความผิดเพี้ยนของฮาร์มอนิกทั้งหมด (Total Harmonic Distortion) THD ตัวประกอบฮาร์มอนิก (Harmonic Factor) HF ความหมายทั้งสามตัวนั้นมาตรฐานของ IEEE ได้ให้ความหมายไว้เหมือนกันคือ ค่าที่บอกถึงปริมาณของฮาร์มอนิกที่มีอยู่ทั้งหมดโดยเปรียบเทียบกับค่าอาร์เอ็มเอสของส่วนประกอบความถี่หลักมูล

ตามมาตรฐาน IEEE ค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกและกระแสฮาร์มอนิกเป็นไปตามสมการที่ 2.2, 2.3 ตามลำดับ

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V^2_{h(rms)}}}{V_{1(rms)}} \times 100\% \tag{2.2}$$

โดยที่

THD_V = ตัวประกอบความเพี้ยนของแรงดันฮาร์มอนิก

V_n = แรงดันฮาร์มอนิกลำดับที่ n

V_1 = แรงดันที่ความถี่มูลฐาน

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I^2_{h(rms)}}}{I_{1(rms)}} \times 100\% \qquad (2.3)$$

โดยที่

THD_I = ตัวประกอบความเพี้ยนของกระแสฮาร์มอนิก

I_n = กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ n

I_1 = กระแสที่ความถี่มูลฐาน

สำหรับมาตรฐาน IEC ได้ให้ความหมายของคำว่า ความเพี้ยนของฮาร์มอนิกคือปริมาณฮาร์มอนิกที่มีอยู่ทั้งหมดเปรียบเทียบกับอาร์เอ็มเอสของปริมาณทั้งหมด

2.1.5 ลำดับฮาร์มอนิก (Harmonic Order)

คืออัตราส่วนของความถี่ฮาร์มอนิกและความถี่หลักมูล เช่น เมื่อกล่าวถึงลำดับฮาร์มอนิกที่ 3 หากความถี่หลักมูลเป็น 50 เฮิรตซ์จะได้รับความถี่ที่ 3 เป็น 150 เฮิรตซ์

2.1.6 ตัวประกอบกำลัง (Power Factor)

หมายถึง อัตราส่วนของกำลังงานจริง (W หรือ KW) ต่อกำลังงานปรากฏ (VA หรือ KVA)

2.1.7 Displacement Power Factor (DPF)

คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังงานจริงที่ความถี่มูลฐานกับกำลังปรากฏที่ความถี่เดียวกัน หรือ DPF คือค่าโคไซน์ (Cosine) ของมุมเฟสระหว่างแรงดันที่ความถี่มูลฐานกับกระแสความถี่มูลฐาน

$$DPF = \frac{ActivePower(Watt)}{ApparentPower(VA)} \qquad (2.4)$$

2.2 ประเภทของฮาร์มอร์นิก

2.2.1 ฮาร์มอนิก (Harmonic)

หมายถึง ส่วนประกอบรูปคลื่นไซน์ของรูปคลื่นรายคาบใดๆที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูล เช่น รูปคลื่นสี่เหลี่ยมจะมีฮาร์มอนิกปนอยู่มากตั้งแต่ฮาร์มอนิกลำดับที่ 2, 3, 4 เป็นต้น

2.2.2 อินเตอร์ฮาร์มอนิก (Inter Harmonic)

หมายถึง ส่วนประกอบรูปคลื่นไซน์ของรูปคลื่นรายคาบใดๆที่มีความถี่ไม่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูลอินเตอร์ฮาร์มอนิกส่วนมากจะพบในกระแสของเตาหลอมแบบอาร์คเนื่องจากในระหว่างหลอมเหล็กโดยเฉพาะช่วงต้นการหลอม กระแสอาร์คจะยังไม่เสถียรทำให้คาบของกระแสไม่แน่นอน

2.2.3 ฮาร์มอนิกคุณลักษณะ (Characteristic Harmonic)

หมายถึง ฮาร์มอนิกที่สร้างโดยเครื่องแปลงผันทางไฟฟ้า โดยใช้สารกึ่งตัวนำ เช่น ไดโอด เอสซีอาร์ เป็นสวิตซ์ตัดต่อกระแสในสภาวะการทำงานปกติลำดับของฮาร์มอนิกคุณลักษณะหาได้จาก

$$n = kp \pm 1 \tag{2.5}$$

โดยที่

n = ลำดับฮาร์มอนิก

k = เลขจำนวนเต็มบวกใดๆ

p = จำนวนพัลส์ของเครื่องแปลงผันไฟฟ้า

2.2.4 ฮาร์มอนิกที่ไม่เกิดจากคุณลักษณะ (Noncharacteristic Harmonic)

หมายถึง ฮาร์มอนิกที่สร้างขึ้นโดยเครื่องแปลงผันไฟฟ้าที่ไม่เป็นไปตามสมการ $n = kp \pm 1$ เช่น เครื่องแปลงผันชนิด12 พัลส์ ควรมีเฉพาะฮาร์มอนิกที่มีคุณลักษณะที่มีลำดับ 11, 13, 23, 25, 35, 37 ดังนั้นถ้ามีฮาร์มอนิกเป็น 5, 7, 17, 19 ปนมาด้วยฮาร์มอนิกเหล่านี้ถือว่าเป็นฮาร์มอนิกที่ไม่เกิดจากคุณลักษณะ

2.2.5 ฮาร์มอนิกที่สามหารลงตัว (Tripple Harmonic)

ได้แก่ฮาร์มอนิกลำดับที่ 3, 6 ซึ่งจัดให้อยู่ในกลุ่มที่มีลำดับเป็นศูนย์ ในกรณีที่เป็นระบบ3เฟส 4 สาย ฮาร์มอนิกเหล่านี้จะรวมกันไหลอยู่ในสายนิวตรอนทำให้เกิดปัญหาไฟฟ้าได้ เช่น สายนิวตรอนร้อน ฉนวนเสียหายเกิดลัดวงจร เป็นต้น

2.3 แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก (Harmonic Sources)

ระบบไฟฟ้ากำลังในอุดมคติจะต้องจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยแรงดันที่เป็นรูปคลื่นไซน์บริสุทธิ์ แต่ในความเป็นจริงรูปคลื่นแรงดันมักมีความเพี้ยนซึ่งการที่รูปคลื่นไซน์เบี่ยงเบนไปจากรูปคลื่นไซน์บริสุทธิ์ โดยปกติจะอ้างอิงถึงเทอมความเพี้ยนฮาร์มอนิกของรูปคลื่นแรงดันและกระแส โดยทั่วไปความเพี้ยนนี้มีสาเหตุมากจากอุปกรณ์ประเภทโหลดไม่เป็นเชิงเส้นเมื่อจ่ายแรงดันรูปคลื่นไซน์ให้กับโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งโหลดประเภทนี้มีคุณสมบัติในการทำให้เป็นต้นเหตุให้เกิดความเพี้ยนของแรงดันและไปปรากฏอยู่ในระบบไฟฟ้า ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าโหลดไม่เป็นเชิงเส้นคือแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกขึ้นมาให้กับระบบไฟฟ้าและเราสามารถแบ่งโหลดเหล่านี้ออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.3.1 อุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronic Devices)

อุปกรณ์ประเภทนี้ได้แก่ เครื่องแปลงผันที่สามารถใช้ได้หลากหลายขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ เช่น ตัวเรียงกระแส ระบบขับเคลื่อนปรับความเร็วได้และอินเวอร์เตอร์

2.3.2 อุปกรณ์ประเภทแม่เหล็ก (Ferromagnetic Devices)

ซึ่งอุปกรณ์ประเภทนี้ ได้แก่ หม้อแปลง เมื่อหม้อแปลงได้รับแรงดันเกินพิกัดจะทำให้กระแสแม่เหล็กเพิ่มขึ้นและเกิดการอิ่มตัวของแกนเหล็กหม้อแปลงจึงเกิดฮาร์มอนิกขึ้นมา

2.3.3 อุปกรณ์ประเภทอาร์ค (Arcing Devices)

อุปกรณ์ประเภทนี้ ได้แก่ เตาหลอม จะทำให้เกิดฮาร์มอนิกเป็นจำนวนมาก เพราะสาเหตุเกิดจากคุณลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นในการอาร์ค นอกจากนี้หลอดฟูออเรสเซ็นต์ก็มีคุณลักษณะพื้นฐานของการอาร์คเช่นเดียวกันและมีการใช้งานอย่างมากมาย ปัจจุบันโหลดไม่เป็นเชิงเส้นมีการใช้กันในระบบไฟฟ้ากำลังอย่างแพร่หลายและมีแนวโน้มจะเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมและธุรกิจขนาดใหญ่ซึ่งจะเห็นได้ว่าด้วยคุณสมบัติการทำงานของโหลดประเภทนี้จะทำให้รูปคลื่นไซน์บริสุทธิ์ของแรงดันและกระแสเกิดฮาร์มอนิกไหลกลับเข้าไปใน

ระบบของการไฟฟ้า โดยจะไปมีผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์อื่นๆจึงเป็นการทำให้ระบบไฟฟ้ามีคุณภาพกำลังลดต่ำลง

2.4 ความเพี้ยนของฮาร์มอนิก (Harmonic Distortion)

ฮาร์มอนิก คือ ส่วนประกอบของสัญญาณที่มีความถี่เป็นจำนวนเต็มทวีคูณของความถี่หลักมูล เมื่อแรงดันที่มีความถี่หลักมูลมีแรงดันฮาร์มอนิกผสมเข้าไปจะมีผลทำให้แรงดันที่ความถี่หลักมูลเกิดความเพี้ยนขึ้น

สำหรับรูปคลื่นแรงดันหรือกระแสที่เป็นคาบและมีความเพี้ยนสามารถแสดงโดยการใช้ทฤษฎีฟูเรียร์ในรูปของสมการเชิงซ้อนได้ดังนี้

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n Cos(n\omega_o t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n Sin(n\omega_o t) \tag{2.6}$$

โดยขนาดของสัญญาณหรือสัมประสิทธิ์ของความถี่ฮาร์มอนิกที่ลำดับต่างๆสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$a_o = \frac{1}{T}\int f(t)dt \tag{2.7}$$

$$a_n = \frac{2}{T}\int f(t)\cos n\omega_o t.dt \tag{2.8}$$

$$b_n = \frac{2}{T}\int f(t)\sin n\omega_o t.dt \tag{2.9}$$

2.5 การประเมินค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิก (Harmonic Distortion Evaluation)

การวัดจำนวนความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์สามารถทำได้หลายวิธีแตกต่างกันไปแต่มี 2 หลักเกณฑ์ที่ใช้ประเมินค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกตามมาตรฐาน IEEE 519 ดังต่อไปนี้

2.5.1 ขีดจำกัดกระแสเพี้ยน (Current Distortion Limits)

เป็นการใช้ขีดจำกัดความเพี้ยนของฮาร์มอนิกที่ผู้ใช้สามารถส่งกลับเข้าไปในระบบไฟฟ้าได้ โดยมีดัชนีที่ใช้กำหนดขีดจำกัดความเพี้ยนรวม หมายถึง ความเพี้ยนของกระแสฮาร์มอนิกมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของความต้องการกระแสโหลดสูงสุด (ในช่วงเวลา 15 วินาที หรือ 30 วินาที) โดยมี

ขีดจำกัดความเพี้ยนของค่ากระแสฮาร์มอนิกที่ระดับแรงดันต่างๆได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 และขีดจำกัดที่แสดงในตารางเหล่านี้ควรใช้กับระบบที่มีการทำงานในสภาวะปกติ แต่ถ้าการทำงานมีคาบเวลาน้อยกว่านี้ขีดจำกัดสามารถเพิ่มถึง 50 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2.1 ขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกที่แรงดัน 120 ถึง 69000 โวลต์

Isc / I_L	กระแสฮาร์มอนิกสูงสุดเป็นเปอร์เซ็นต์ของ I_L ในแต่ละอันดับ					
	<11	11-16	17-22	23-34	>34	THD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.4	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

ตารางที่ 2.2 ขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกที่แรงดัน 69001 ถึง 161000โวลต์

Isc / I_L	กระแสฮาร์มอนิกสูงสุดเป็นเปอร์เซ็นของ I_L ในแต่ละอันดับ					
	<11	11-16	17-22	23-34	>34	THD
<20	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20<50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50<100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100<1000	6.0	5.5	2.5	1.0	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0

ตารางที่ 2.3 ขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกที่แรงดันมากกว่า 161000โวลต์

Isc / I_L	กระแสฮาร์มอนิกสูงสุดเป็นเปอร์เซ็นของ I_L ในแต่ละอันดับ					
	<11	11-16	17-22	23-34	>34	THD
<50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
³ 50	3.0	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75

Isc คือ กระแสลัดวงจรที่จุดเชื่อมของระบบไฟฟ้าระหว่างระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้า

I_L คือ ความต้องการของกระแสโหลดสูงสุดระหว่างระบบของการไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้า

2.5.2 ขีดจำกัดแรงดันเพี้ยน (Voltage Distortion Limits)

เป็นการตรวจกระแสฮาร์มอนิกที่ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายส่งกลับเข้าระบบ เพื่อให้แน่ใจว่ากระแสเหล่านี้จะไม่เป็นต้นเหตุทำให้แรงดันที่มีความเพี้ยนสูงเกินขีดจำกัดตามที่ระบุในตารางที่ 2.3 ซึ่งค่าขีดจำกัดความเพี้ยนของแรงดันตามตารางที่ 3.2 นี้ จะต่ำเพียงพอสำหรับการทำงานของอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องและในทำนองเดียวกันควรใช้กับระบบที่มีการทำงานในสภาวะปกติ (นานกว่า 1 ชั่วโมง) แต่ถ้าการทำงานที่มีคาบเวลาน้อยกว่านี้ขีดจำกันสามารถเพิ่มถึง 50 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2.4 ขีดจำกัดแรงดันเพี้ยน

ระดับแรงดันของบัสที่ PCC (Point of Common Coupling)	ความเพี้ยนของแรงดันในแต่ละลำดับของฮาร์มอนิก	ความเพี้ยนของแรงดันฮาร์มอนิกรวม
69KV และต่ำกว่า	3.0	5.0
69.001KV ถึง 161KV	1.5	2.5
มากกว่า 161KV	1.0	1.5

นอกจากนี้ดัชนีที่ใช้กำหนดขีดจำกัดของแรงดันเพี้ยนนั้นก็ คือ ค่าความเพี้ยนของแรงดันฮาร์มอนิกรวมค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของแรงดันที่ระบุตามความถี่หลักมูล

2.6 ผลกระทบของฮาร์มอนิกต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า

2.6.1 คาปาซิเตอร์ (Capacitor)

การใช้คาปาซิเตอร์ต่อขนานเข้าไปในระบบเพื่อปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์และแรงดันให้ดีขึ้นนั้นจะทำให้มีอิทธิพลต่อระดับฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า ในความเป็นจริงคาปาซิเตอร์ไม่ได้เป็นตัวกำเนิดฮาร์มอนิกแต่การต่อคาปาซิเตอร์และรีแอคแตนซ์เข้าไปในระบบจะมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้เกิดเงื่อนไขรีโซแนนซ์ขนานระหว่างคาปาซิเตอร์และรีแอคแตนซ์ของระบบเมื่อพิจารณาให้โหลดไม่เป็นเชิงเส้นเป็นแหล่งจ่ายกระแสฮาร์มอนิก ถ้ารีโซแนนซ์แบบขนานเกิดขึ้น

ที่ความถี่เดียวกันหรือใกล้เคียงกันกับความถี่ฮาร์มอนิกของโหลดไม่เป็นเชิงเส้นจะทำให้มีกระแสจำนวนมากไหลผ่านระหว่างรีแอคแตนซ์ของระบบและรีแอคแตนซ์ของคาปาซิเตอร์และกระแสนี้จะรวมกับกระแสฮาร์มอนิกของโหลดไม่เป็นเชิงเส้น ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมรีแอคแตนซ์ของระบบ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ความเพี้ยนของแรงดันมีค่ามาก ดังนั้นวิธีการเลือกขนาดคาปาซิเตอร์ควรหลีกเลี่ยงขนาดที่ทำให้เกิดความถี่รีโซแนนซ์เดียวกัน หรือใกล้เคียงกับความถี่ฮาร์มอนิก

2.6.2 เซอร์กิตเบรกเกอร์

ความเพี้ยนของกระแสฮาร์มอนิกจะมีผลกระทบต่อความสามารถในการตัดกระแสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ เมื่อฮาร์มอนิกมีความถี่สูงมากกว่าความถี่หลักมูลมีผลทำให้เกิดความร้อนเนื่องจากการสูญเสียในขดลวดโซลีนอยด์รวมกับความร้อนที่เกิดขึ้นรอบๆตัวซึ่งความร้อนนี้จะทำให้อุปกรณ์ตัดวงจรด้วยความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้นและจะทำให้จุดตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่าลดลง

2.6.3 หลอดไฟฟ้าแสงสว่าง

เมื่อใช้งานหลอดไฟแบบเผาไส้ด้วยแรงดันที่มีความเพี้ยนจะทำให้อายุการใช้งานของหลอดไฟสั้นลง เพราะหลอดไฟจะมีความไวต่อระดับแรงดันที่ใช้งาน ถ้าแรงดันประสิทธิผลขณะใช้งานมีค่าสูงกว่าพิกัดเนื่องจากความเพี้ยนของฮาร์มอนิกจะทำให้มีผลต่ออุณหภูมิของหลอดไส้และจะไปลดอายุการใช้งานของหลอดไฟ สำหรับการทำงานอย่างต่อเนื่องของหลอดไฟที่ 105 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดแรงดันประสิทธิผลจะมีผลให้อายุการใช้งานของหลอดไฟลดลง 47 เปอร์เซ็นต์

2.6.4 รีเลย์ป้องกัน

รูปคลื่นที่มีความเพี้ยนจะมีผลต่อสมรรถนะของรีเลย์ป้องกัน โดยอาจเป็นสาเหตุให้รีเลย์ทำงานไม่ถูกต้องเมื่อต้องการให้ทำ หม้อแปลงแรงดันและโดยเฉพาะหม้อแปลงกระแสจะเป็นตัวส่งสัญญาณความเพี้ยนของฮาร์มอนิกเข้าสู่ระบบรีเลย์ โดยปกติหม้อแปลงกระแสจะมีการทำงานที่ระดับของกระแสโหลดแต่เมื่อเกิดกระแสฟอลท์สูงๆจะทำให้แกนเหล็กของหม้อแปลงกระแสอิ่มตัวซึ่งทำให้เกิดสัญญาณความเพี้ยนเข้าไปในระบบรีเลย์ ดังนั้นความเพี้ยนนี้อาจเป็นสาเหตุให้รีเลย์สั่งตัดวงจรไม่ถูกต้องในกรณีที่ฟอลท์เกิดขึ้นหรืออาจสร้างความเดือดร้อนให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการสั่งตัดวงจรขณะที่ไม่ได้เกิดฟอลท์ขึ้นในระบบไฟฟ้า

2.6.5 หม้อแปลง

ผลกระทบของฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าที่มีต่อหม้อแปลง คือ มีการเพิ่มความร้อนในรูปแบบของกำลังสูญเสียมากขึ้น ซึ่งกำลังสูญเสียเหล่านี้ได้แก่

- กำลังสูญเสียของขดลวด กำลังสูญเสียส่วนนี้จะเกิดความร้อนขึ้นในตัวนำและปรากฏการณ์ทางผิว

- กำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในขดลวด กำลังสูญเสียในส่วนนี้จะเพิ่มขึ้นตามกำลังสองของกระแสโหลดและกำลังสองของความถี่

- กำลังสูญเสียปลีกย่อย เนื่องจากฟลักซ์แม่เหล็กไปคล้องผ่านส่วนประกอบต่างๆที่เป็นโลหะของหม้อแปลงซึ่งกำลังสูญเสียเหล่านี้จะเพิ่มขึ้นตามความถี่เมื่อหม้อแปลงมีความร้อนสูงขึ้นกว่าค่าที่กำหนดจะทำให้อายุการใช้งานของหม้อแปลงสั้นลง

2.6.6 เครื่องจักรชนิดหมุน (Rotating Machine)

เมื่อจ่ายแรงดันไม่เป็นรูปคลื่นไซน์บริสุทธิ์กับเครื่องจักรกลไฟฟ้า จะเป็นเหตุให้เกิดความร้อนสูงมาก การสั่นของทอร์กหรือคลื่นรบกวนขึ้นและกำลังสูญเสียในเครื่องจักรกลจะขึ้นอยู่กับสเปกตรัมของความถี่แรงดันที่จ่ายความเพี้ยนของแรงดันทำให้โรเตอร์เกิดความร้อนมากเกิน ซึ่งปัญหาหลักของมอเตอร์เมื่อมอเตอร์มีอุณหภูมิขณะทำงานสูงขึ้นจะเป็นสาเหตุให้อายุการใช้งานของมอเตอร์สั้นลง

2.6.7 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ความเพี้ยนของฮาร์มอนิกจะทำให้เกิดผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หลายอย่าง เช่น วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการตรวจสอบแรงดันผ่านศูนย์ของความถี่หลักมูลเมื่อเกิดฮาร์มอนิกส์ที่มีความถี่หลักมูล จึงทำให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์นี้ทำงานผิดพลาด เช่น นาฬิกาดิจิตอลจะมีเวลาเร็วขึ้นนอกจากนี้อุปกรณ์โซลิทสเตทที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ที่ตำแหน่งแรงดันผ่านศูนย์ เพื่อลดการรบกวนของสนามแม่เหล็กและกระแสพุ่งเข้า การที่มีจุดผ่านศูนย์มากขึ้นเนื่องจากฮาร์มอนิกจะทำให้เวลาของการสวิตช์เปลี่ยนไป ดังนั้นอุปกรณ์ที่ต่อกับสวิตช์นี้จะทำงานผิดพลาดไปด้วย แหล่งจ่ายกำลังอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ยอดคลื่นของแรงดันในการอัดประจุให้กับคาปาซิเตอร์ที่เป็นวงจรกรองให้เต็ม แต่ความถี่ของฮาร์มอนิกและความสัมพันธ์ของเฟสระหว่างแรงดันหลักมูลและแรงดันฮาร์มอนิกที่เพี้ยนสามารถทำให้ยอดคลื่นสูงขึ้นหรือแบนราบด้วยเหตุนี้แหล่งจ่ายกำลังจึงมีแรงดันขาออกไม่คงที่หรือต่ำกว่าระดับแรงดันที่ต้องการ ดังนั้นอุปกรณ์อื่นๆที่ต้องรับไฟจากแหล่งจ่ายกำลังนี้ก็จะมีประสิทธิภาพในการทำงานลดลงเศษส่วน

ของฮาร์มอนิกและฮาร์มอนิกย่อย (Fraction and Sub-Harmonic) สามารถมีผลกระทบต่อวีดีโอหรือโทรทัศน์ ซึ่งเศษส่วนของฮาร์มอนิกคือ ฮาร์มอนิกที่มีจำนวนเท่าของความถี่หลักมูลไม่เป็นจำนวนเต็มและฮาร์มอนิกย่อยคือ ฮาร์มอนิกที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่หลักมูล

2.6.8 การรบกวนโทรศัพท์ (Telephone Interference)

เมื่อติดตั้งสายโทรศัพท์บนเสาใกล้กับสายไฟฟ้าจะมีโอกาสที่สัญญาณรบกวนจากสายไฟฟ้าเข้าไปรบกวนระบบสื่อสารทางโทรศัพท์ได้และถ้ามีฮาร์มอนิกรวมอยู่ด้วยซึ่งความถี่ของฮาร์มอนิกสามารถที่จะสร้างปัญหาได้มากกว่าความถี่หลักมูล เมื่อผู้ใช้โทรศัพท์มีความไวต่อการได้ยินและโทรศัพท์ตอบสนองได้ใกล้ในระยะ 1 กิโลเฮิรตซ์ สำหรับการรบกวนสามารถวัดได้หลายวิธีแต่งต่างกัน แต่มีวิธีการหนึ่ง คือ TIF (Telephone Influence Factor) เป็นแฟกเตอร์ที่รวมเอาความถี่ ขนาดและน้ำหนักของความถี่ซึ่งในทางปฏิบัติการวัดการรบกวนโทรศัพท์จะใช้ผลคูณ IT ซึ่งผลคูณระหว่างกระแสประสิทธิผลเป็นแอมแปร์และ TIF ถ้าผลคูณ IT มีค่าน้อยกว่า 10000 จะไม่มีผลกระทบต่อการรบกวนแต่ถ้าผลคูณ IT มีค่าเกิน 25500 จะสร้างปัญหาในการรบกวนการสื่อสารทางโทรศัพท์

2.7 มาตรฐานทางด้านฮาร์มอนิก

เนื่องจากฮาร์มอนิกได้ก่อให้เกิดความเสียหายขึ้นในระบบไฟฟ้าหลายๆด้านด้วยกันดังนั้นหน่วยงานที่ร่างมาตรฐานต่างๆจึงได้มีการวางแผนป้องกันและประกาศใช้มาตรฐานทางด้านฮาร์มอนิก เพื่อควบคุมปริมาณฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าและบางประเทศก็ได้ทำการปรับปรุงแก้ไขมาตรฐานขึ้นใช้ภายในประเทศเอง

2.7.1 มาตราด้านฮาร์มอนิกของประเทศไทย

คณะกรรมการปรับปรุงความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วยผู้แทนจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ได้พิจารณาเห็นว่าคุณภาพกำลังไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญในการใช้ไฟฟ้า สมควรให้มีการวางข้อกำหนดกฎเกณฑ์วิธีตรวจสอบและขีดจำกัดของฮาร์มอนิก ไฟกระพริบและแรงดันกระเพื่อม สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภทรวมทั้งการบังคับใช้ข้อกำหนดกับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีระบบไฟฟ้าซึ่งก่อให้เกิดฮาร์มอนิก ไฟกระพริบและแรงดันกระเพื่อม เพื่อวางข้อกำหนดกฎเกณฑ์ดังกล่าว คณะกรรมการปรับปรุงความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าจึงได้มีมติในการประชุมครั้งที่

2/2538 วันที่ 1 พฤศจิกายน 2538 ให้ตั้งคณะทำงานกำหนดกฎเกณฑ์เกี่ยวกับฮาร์มอนิกและแรงดันกระเพื่อมซึ่งภายหลังได้เปลี่ยนเป็นคณะทำงานศึกษาและกำหนดค่าที่เหมาะสมของคุณภาพไฟฟ้า คณะทำงานและคณะผู้เกี่ยวข้องได้ร่วมมือกันจัดทำข้อกำหนดกฎเกณฑ์เกี่ยวกับฮาร์มอนิกและแรงดันกระเพื่อม สำหรับธุรกิจอุตสาหกรรมและบ้านอยู่อาศัยเสร็จตามที่ได้รับมอบหมายโดยอ้างอิงจากมาตรฐานสากล เช่น มาตรฐาน IEC มาตรฐานของออสเตรเลีย (AS) และมาตรฐานของสหราชอาณาจักร (UK) โดยคำนึงถึงความเหมาะสมในการนำมาใช้ในประเทศไทยมี 4 ฉบับ ดังนี้

1. ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์มอนิกกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม
2. ข้อกำหนดกฎเกณฑ์แรงดันกระเพื่อมเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม
3. ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์มอนิกที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน
4. ข้อกำหนดกฎเกณฑ์แรงดันกระเพื่อมเกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน

โดยข้อกำหนดฉบับที่ 1 และ 2 มีจุดประสงค์เพื่อให้มีผลบังคับกับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม ส่วนข้อกำหนดฉบับที่ 3 และ 4 มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอให้สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ได้นำไปพิจารณาบังคับผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านข้อกำหนดกฎเกณฑ์นี้ได้ผ่านความเห็นชอบจากคณะกรรมการการปรับปรุงความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าทั้ง 3 การไฟฟ้าแล้ว

ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นโดยมีขอบเขตดังต่อไปนี้

1.เพื่อเป็นข้อกำหนดกฎเกณฑ์สำหรับขีดจำกัดและวิธีการตรวจสอบฮาร์มอนิกให้ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม

2. เพื่อกำหนดมาตรฐานให้ผู้ใช้ไฟฟ้าแก้ไขและปรับปรุงวงจรที่ทำให้เกิดฮาร์มอนิกที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด

3. ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทไม่เป็นเชิงเส้นในอุตสาหกรรมในระบบไฟฟ้าทั้งอุปกรณ์ชนิดเฟสเดียวและสามเฟส

2.7.2 มาตราฐานด้านฮาร์มอนิกของประเทศสหรัฐอเมริกา

ประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนดมาตรฐานทางด้านฮาร์มอนิกขึ้นมาใช้งานครั้งแรกเมื่อปี 1981 โดยใช้ชื่อว่า ANSI/IEEE Std.519-1981 มาตรฐานฉบับนี้ได้กำหนดค่าจำกัดในเรื่องเกี่ยวกับ

- Line Voltage Notch
- Voltage Distortion
- Telephone Interference
- Flicker

ในเรื่อง Distortion นั้นกล่าวถึงเฉพาะ Voltage Distortion เท่านั้นและไม่ได้ระบุค่าจำกัดทางด้านกระแสฮาร์มอนิกที่ยอมให้ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายป้อนเข้าสู่ระบบแต่จะอาศัย Voltage Distortion เป็นตัวควบคุมแทน

2.8 การแก้ไขปัญหาฮาร์มอนิก

2.8.1 การแก้ปัญหาในกรณีที่สายนิวตรอนรับภาระโหลดเกิน

ถ้าหากมีกระในสายนิวตรอนเกินนั้นวิธีแก้ไขสามารถกระทำได้โดยการปรับโหลดให้สมดุลกันในแต่ละเฟสและ Triple ฮาร์มอนิกสามารถลดลงได้โดยการใส่ฟิลเตอร์เข้าที่โหลดแต่ถ้าหากไม่สามารถทำในสองกรณีที่กล่าวมาข้างต้นได้ ก็อาจแก้ไขได้โดยการลากสายนิวตรอนเพิ่มเข้าไปและในอุดมคติแล้วเราใช้หนึ่งสายนิวตรอนกับหนึ่งสายเฟสหรือใช้สายนิวตรอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นในระบบสามเฟส

2.8.2 การ Derating หม้อแปลง

วิธีหนึ่งที่จะป้องกันหม้อแปลงจากฮาร์มอนิกคือ การจำกัดโหลดที่นำมาต่อกับมัน ซึ่งเรียกว่า Derating หม้อแปลง ถ้าหากหม้อแปลงนั้นจ่ายโหลดที่สร้างฮาร์มอนิกเข้าสู่ระบบ วิธีการนี้เราจะต้องทำการวัดค่ากระแสทุกเฟสของหม้อแปลงทั้งค่า True-rms และค่า Instantaneous Peak

2.8.3 การเปลี่ยนตำแหน่งติดตั้งและขนาดของคาปาซิเตอร์

การเปลี่ยนตำแหน่งติดตั้งหรือเปลี่ยนขนาดคาปาซิเตอร์เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดรีโซแนนซ์ เนื่องจากความถี่รีโซแนนซ์จะขึ้นอยู่กับความเหนี่ยวนำและความจุการเปลี่ยนตำแหน่งติดตั้งคาปาซิเตอร์สามารถหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดรีโซแนนซ์ตรงกับความถี่ฮาร์มอนิก

แต่ในทางปฏิบัติรูปแบบของระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าอาจเปลี่ยนไปเนื่องจากการสวิตซ์ของวงจรในระบบของการไฟฟ้าเองหรือเพิ่มวงจรในอนาคตทำให้อิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปและอาจเกิดรีโซแนนซ์ในภายหลังได้อีก นอกจากนี้การเปลี่ยนตำแหน่งคาปาซิเตอร์อาจไปสร้างปัญหาทางอื่นได้ เช่น นำคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่ย้ายไปติดตั้งใกล้โหลดขนาดเล็กอาจมีปัญหาทางด้านศักดาไฟฟ้าเกินขนาดได้ ซึ่งจะแก้ปัญหาฮาร์มอนิกได้แต่จะไปสร้างปัญหาอย่างอื่นไว้อีกการเปลี่ยนขนาดของคาปาซิเตอร์ก็ช่วยแก้ปัญหาฮาร์มอนิกแต่ต้องตระหนักเสมอว่าถ้าเปลี่ยนขนาดคาปาซิเตอร์ไปมากเกินไปอาจทำให้การแก้ปัญหาเพาเวอร์แฟกเตอร์สูงกว่า 0.85 แต่เมื่อมีปัญหาทางด้านฮาร์มอนิกและเปลี่ยนแปลงขนาดของคาปาซิเตอร์จนกระทั่งเพาเวอร์เฟคเตอร์จำเป็นต้องต่ำกว่า 0.85 ก็ถือว่าการแก้ปัญหาดังกล่าวไม่ดีนัก

2.8.4 การใส่ตัวกรอง

การใส่ฟิลเตอร์เข้าไปในระบบเพื่อกำจัดหรือลดขนาดฮาร์มอนิกเป็นวิธที่ให้ประสิทธิภาพสูง การกำจัดฮาร์มอนิกให้มีขนาดต่ำมากๆอาจจะต้องใช้ฟิลเตอร์หลายชุดทำให้ต้องลงทุนค่าใช้จ่ายสูงมาก การใส่ฟิลเตอร์เพื่อแก้ปัญหาฮาร์มอนิกต้องพิจารณาวัตถุประสงค์หรือขนาดของฮาร์มอนิกที่ต้องการกำจัดให้มีค่าลดลงมากเพียงใด จึงทราบว่าควรใช้จำนวนฟิลเตอร์มากน้อยเพียงใดและก่อนที่จะเข้าไปในรายละเอียดการเลือกใช้ขนาดฟิลเตอร์ให้พิจารณาถึงชนิดของฟิลเตอร์ที่มีเสียก่อน

2.8.5 การใส่รีแอคเตอร์อนุกรมกับคาปาซิเตอร์

การใช้คาปาซิเตอร์เพื่อเพิ่มเพาเวอร์เฟคเตอร์ให้ระบบแต่มีปัญหาเรื่องรีโซแนนซ์ที่เกิดไปตรงกับความถี่ฮาร์มอนิก นอกจากสามารถแก้ไขด้วยวิธีอื่นแล้วอีกวิธีหนึ่งที่ไม่ต้องใส่ฟิลเตอร์เพิ่มแต่ใส่รีแอคเตอร์อนุกรมไปกับคาปาซิเตอร์เพื่อทำหน้าที่ฟิลเตอร์ด้วยก็นิยมใช้กันมากและส่วนใหญ่ได้ผลเป็นที่น่าพอใจด้วย โดยหลักการของการใส่รีแอคเตอร์อนุกรมกับคาปาซิเตอร์ก็เหมือนกับการใส่ฟิลเตอร์ คือ ใส่รีแอคเตอร์เพื่อจูนให้มีรีโซแนนซ์ที่ความถี่ต่ำกว่าฮาร์มอนิกที่ 5 สำหรับระบบที่มีอุปกรณ์กำเนิดฮาร์มอนิกตั้งแต่ที่ 5 ขึ้นไป เช่น เรคติไฟเออร์เป็นต้นแต่กรณีระบบที่มีอุปกรณ์กำเนิดฮาร์มอนิกแบบเฟสเดียวหรือสามเฟสแบบไม่สมมาตร (Unbalance Tree Phase System) เช่น อุตสาหกรรมแก้ว เป็นต้น การจูนให้ความถี่รีโซแนนซ์ไปที่ 2.5 จะปลอดภัยที่สุดเพื่อจำกัดฮาร์มอนิกที่ 3 ที่เกิดขึ้นในระบบนี้ออก

2.9 วิธีการป้องกันฮาร์มอนิก

มี 2 แบบด้วยกันคือ

- การป้องกันฮาร์มอนิกที่มีผลต่อคาปาซิเตอร์ ที่ใช้ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง ซึ่งอาจทำให้คาปาซิเตอร์เสี่ยงต่อความเสียหายจากการระเบิดได้
- ป้องกันระบบไฟฟ้าไม่ให้ฮาร์มอนิกไหลเข้าระบบ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้สายไฟมีพื้นที่การใช้งานน้อยลง เนื่องจากฮาร์มอนิกคร่อมอยู่ กระแสสูงสุดทำให้สายไฟ และหม้อแปลงไหม้ได้ทั้งๆที่กระแสหลักมูลไม่มากนัก

2.10 ข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับการควบคุมฮาร์มอนิก

- กระแสฮาร์มอนิกต่างๆจากแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกให้โดยบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์
- แรงดันอิมพีแดนซ์ (Impedance Voltage) ของหม้อแปลง
- วัดค่ากระแสฮาร์มอนิกที่ระดับต่างๆ โดยใช้ Harmonic Analyzer
- ค่า Harmonic Generation Load ที่อาจจะเพิ่มเข้าไปในระบบในอนาคตคาปาซิเตอร์ที่ใช้ในวงจรฟิลเตอร์
- ต้องมีการลดพิกัด (Derate) สำหรับ คาปาซิเตอร์ที่ใช้เนื่องจากฮาร์มอนิก
- ในการออกแบบวงจรฟิลเตอร์ ต้องคำนวณค่ารีโซแนนซ์ขนานใหม่ และต้องให้แน่ใจว่าไม่ไปตรงที่ระดับฮาร์มอนิกที่มีในระบบ
- แรงดันที่คาปาซิเตอร์จะสูงกว่าปกติ เนื่องจากมีรีแอคเตอร์ต่ออยู่ เช่น ถ้าปรับตั้งที่ระดับฮาร์มอนิก 4.5 (225 Hz) แรงดันจะเพิ่มขึ้นประมาณ 5 % ดังนั้นสำหรับระบบไฟฟ้า 415 V คาปาซิเตอร์ควรออกแบบสำหรับทำงานได้ที่ 415/0.95 = 440 V.

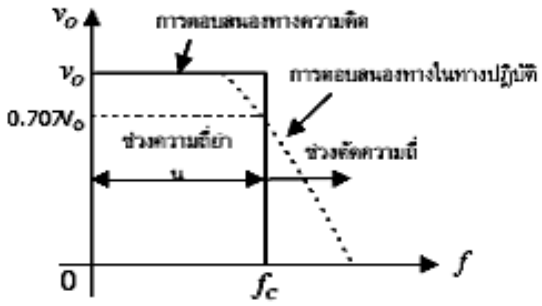
2.11 หลักการลดและตัวกรองฮาร์มอนิก

เนื่องจากฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นภายในระบบส่งผลกระทบทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง ดังนั้นจึงต้องมีการลดปริมาณฮาร์มอนิกภายในระบบนั้นๆซึ่งหลักการลดฮาร์มอนิกมีหลากหลายวิธีโดยจะกล่าวถึงหลักการลดดังต่อไปนี้

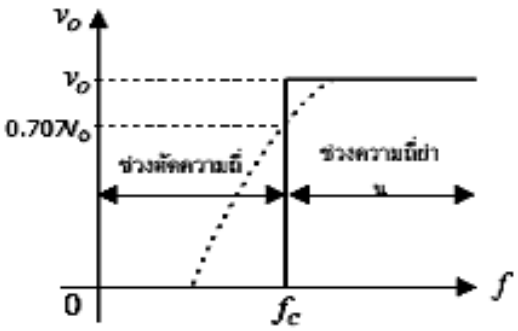
2.11.1 วงจรกรองความถี่ (Filters)

สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่คือ แบบพาสซีฟ (Passive Filters) และแบบแอกทีฟ (Active Filters) วงจรกรองความถี่เป็นวงจรที่สามารถทำหน้าที่เลือกความถี่ที่ต้องการหรือตัดความถี่ที่ไม่ต้องการออกก็ได้ ดังนั้นอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในวงจรกรองความถี่ ถ้าเป็นแบบพาสซีฟจะใช้ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำส่วนในวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ จะใช้ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุร่วมกับอุปกรณ์ที่สามารถทำการขยายสัญญาณวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟดังแสดงในภาพที่ 2.1

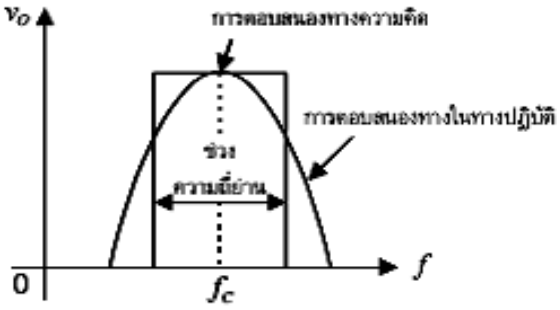
ก.



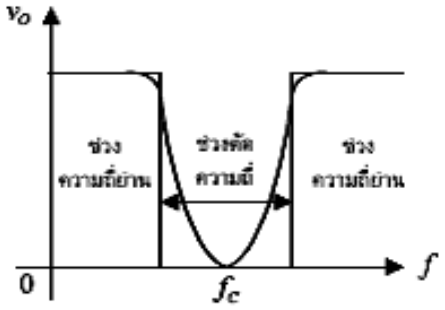
ข.



ค.



ง.



จ.

ภาพที่ 2.1 วงจรกรองความถี่และการทำงานของวงจรกรองความถี่

ก วงจรทดสอบวงจรกรองความถี่

ข การทำงานของวงจร LPF

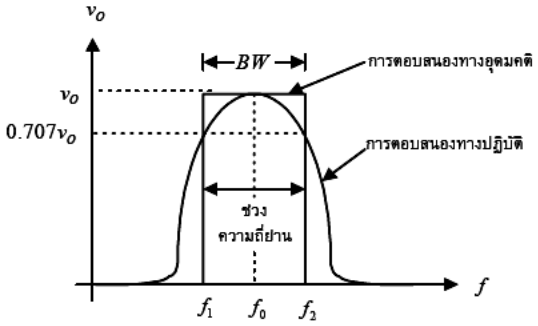
ค การทำงานของวงจร HPF

ง การทำงานของวงจร BPF

จ การทำงานของวงจร BEF

2.11.2 วงจรกรองแถบความถี่

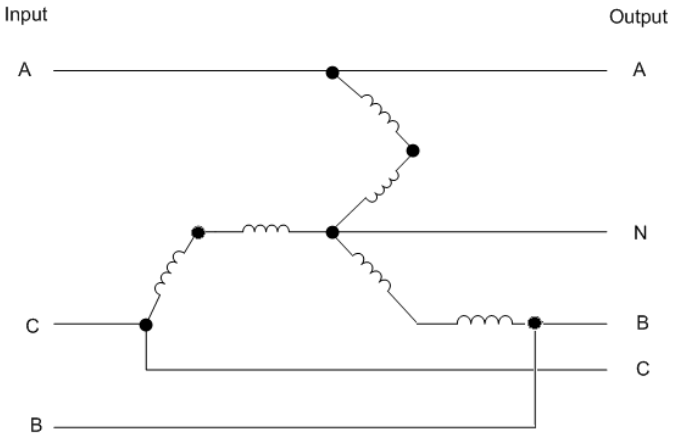
วงจรกรองแถบความถี่ (Band Pass Filter, BPF) หรือ BPF เป็นวงจรที่กรองเอาเฉพาะความถี่ช่วงที่ต้องการออกมาเท่านั้น ดังนั้นการตอบสนองความถี่ของวงจร BPF นี้จะเป็นดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การตอบสนองวงจรกรองแถบความถี่ (Band Pass Filter, BPF)

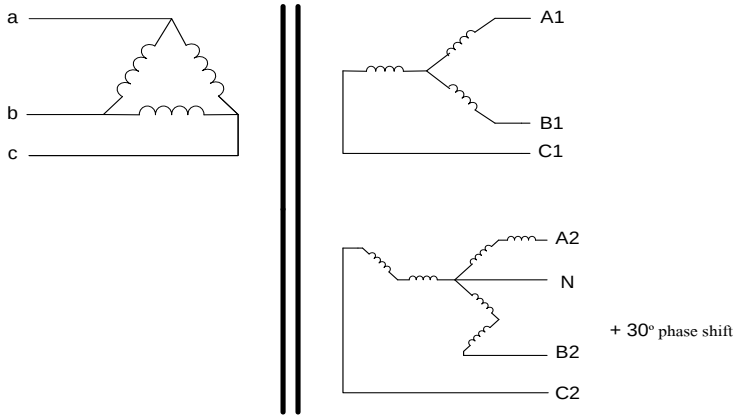
2.12 ทฤษฎีหม้อแปลงแบบซิกแซก

หม้อแปลงแบบซิกแซกสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการลดกระฮาร์มอนิกโดยเฉพาะอย่างยิ่งกระแสฮาร์มอนิกลำดับ 3,9 และ 15 ซึ่งเรียกว่า Triplen ฮาร์มอนิกหม้อแปลงซิกแซกประกอบด้วยขดลวด 6 ชุด 2 ชุดต่อ 1 เฟสต่อกันเป็นรูปเวกเตอร์แบบซิกแซกซึ่งแสดงให้เห็นในภาพที่ 2.3 Triplen ฮาร์มอนิกหรือฮาร์มอนิกลำดับ 3 และ 9 จะถูกหักล้างกันจากมุมของเวกเตอร์แรงดันแต่ละขดทำให้สามารถถูกลดทอนลงได้



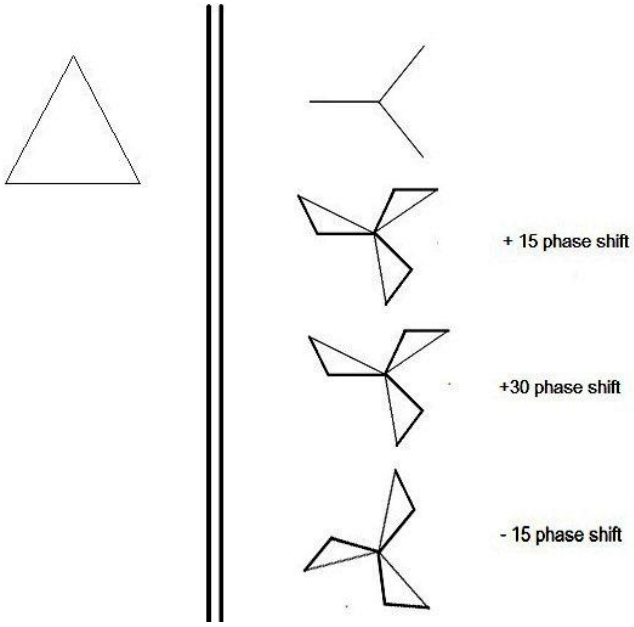
ภาพที่ 2.3 หม้อแปลงแบบซิกแซก

นอกจากนี้ระบบที่เป็น Multi-phase สามารถใช้หม้อแปลงแบบซิกแซกในการลดค่ากระแสฮาร์มอนิก ได้เช่นเดียวกันเช่นระบบที่เป็น 6 เฟสประกอบด้วยระบบ 3 เฟส 2 ชุดวางเฟสห่างกันเฟสละ 30 องศาโดยชุดที่ 1 อาจจะใช้หม้อแปลงต่อแบบสตาร์และชุดที่ 2 ต่อเป็นแบบเดลต้า เมื่อไม่นานมานี้มีเทคนิคลักษณะคล้ายๆกันโดยการใช้แหล่งจ่ายแบบ Multi-phase เพื่อประยุกต์ในการใช้กับคอมพิวเตอร์ Mainframes และอุปกรณ์ในด้านการประมวลผลสัญญาณเพื่อที่จะนำไปลดค่ากระแสฮาร์มอนิกซึ่งเกิดขึ้นจากอุปกรณ์เหล่านี้จะใช้หม้อแปลงเป็นตัวต่อแยกจากระบบ Input และ Output ของระบบของหม้อแปลงและจัดระบบให้มีแรงดันอยู่ในสภาวะสมดุลโดยต่อ Common Ground Reference ทั้งหมดเข้ากับตัว Multiple Wye ในส่วนต่อไปจะกล่าวถึงหม้อแปลงแบบลำดับคู่หรือ Dual-Output transformer ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 2.4 ประกอบด้วยขดลวดต่อแบบวายที่ Output 2ชุด Shift phase กันอยู่ 30 องศา ขดลวด Primary จะต่อแบบเดลต้าเพื่อใช้ในการลดทอนกระแสฮาร์มอนิกลำดับ 3 ลำดับ 15 หรือ Triplen ฮาร์มอนิก การวางแต่ละเฟสห่างกัน 30 องศา ยังช่วยสามารถลดทอนฮาร์มอนิกในลำดับ 5,7,17,19 ได้อีกด้วยค่ากระแสฮาร์มอนิกสูงสุดที่ถูกลดจะขึ้นอยู่กับโหลดแบบไม่เชิงเส้นที่ต่ออยู่ในด้าน Output



ภาพที่ 2.4 หม้อแปลงแบบ Dual Output Transformer

ค่ากระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นถูกลดทอนให้ลดลงปัญหาของคุณภาพทางไฟฟ้าก็จะลดลงไปด้วยนอกจากนี้หม้อแปลงยังสามารถประกอบด้วยขดลวดทางด้าน Secondary หลายๆ ชุดดังแสดงในภาพที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าขดลวดแต่ละชุดต่อกันแบบซิกแซกแยกกันโดยอิสระและสามารถ Shift phase กัน 15 องศา และ30 องศา เพื่อที่จะใช้ในการลดทอนฮาร์มอนิกลำดับ 5,7,11,13, จนถึงลำดับ 19 ได้ตามลำดับอีกด้วย



ภาพที่ 2.5 หม้อแปลงแบบ Quad-Output Transformer