บทที่ 4

มาตรฐานทางฮาร์มอนิกและตัวเก็บประจุ

การติดตั้งตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกชนิดกรองเดี่ยวที่หาได้จากบทที่แล้ว เข้าในระบบไฟฟ้า เพื่อทำการวิเคราะห์หาขนาด และทิศทางการไหลของกระแสฮาร์มอนิกในระบบใหม่ เป็นการตรวจสอบการทำงานของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกที่ได้ออกแบบมาว่ามีการทำงานที่เหมาะสมกับระบบเพียงใด จะได้เป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการใช้กำลังงานไฟฟ้าภายในระบบโรงงาน อุตสาหกรรม และการจำกัดกระแสฮาร์มอนิกในระบบ

ดังนั้นจึงขอกล่าวถึงทฤษฎีการคำนวณหาค่าปริมาณต่างๆ ทางฮาร์มอนิกที่ใช้บอกถึงความสามารถในการทำงานของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกชนิดกรองเดี่ยว โดยการเปรียบเทียบกับค่าตามมาตรฐานของการไฟฟ้าฯ หรือ IEC 1000-2-2 -1990 และ 1000-2-4 -1994 หรือ ANSI/IEEE 519-1992 และ ความสามารถของตัวเก็บประจุในการทนต่อผลของฮาร์มอนิก โดยเปรียบเทียบกับค่าตามมาตรฐาน ANSI/IEEE 18-1992 หรือ มาตรฐาน IEC 60831-1 (1996)

4.1 มาตรฐานฮาร์มอนิก

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ มีการใช้งานโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นมากขึ้นเป็นลำดับ ทำให้มีกระแสฮาร์มอนิกไหลในระบบไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่งผลเสียหายให้กับระบบไฟฟ้าโดยรวม จึงได้มีการประกาศใช้มาตรฐานทางด้านฮาร์มอนิกขึ้น และมีการปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมกับสภาวะการณ์ปัจจุบัน ในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึง มาตรฐานที่เกี่ยวกับฮาร์มอนิก ดังนี้

4.1.1 มาตรฐานการไฟฟ้าฯ[1]

มาตรฐานฮาร์มอนิกนี้การไฟฟ้าของประเทศไทยทั้ง 3 หน่วยงาน คือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ได้ตั้งคณะทำงานขึ้นเพื่อจัดทำข้อกำหนดทางด้านฮาร์มอนิก ที่ใช้บังคับในประเทศไทยขึ้นดังนี้

<u>ขอบเขตของข้อกำหนด</u>

- เพื่อเป็นข้อกำหนดกฎเกณฑ์สำหรับจำกัด และตรวจสอบฮาร์มอนิกสำหรับลูกค้าผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทธุรกิจ และโรงงานอุตสาหกรรม
- เพื่อกำหนดมาตรการให้ผู้ใช้ไฟฟ้าแก้ไข และปรับปรุงวงจรที่ทำให้เกิดฮาร์มอนิกที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด

- เพื่อใช้กำหนดอุปกรณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับระบบไฟฟ้าทั้งอุปกรณ์ชนิดเฟสเดียว และสามเฟส

ค่าจำกัดของกระแส และแรงดันฮาร์มอนิก

มาตรฐานฮาร์มอนิกของการไฟฟ้าฯ นี้ได้อ้างอิงมาจากมาตรฐาน G.5/3-1976 :Engineering Recommendation [3] ของประเทศอังกฤษ แต่ได้มีการปรับปรุงระดับแรงดันที่มีใช้จริงในประเทศไทยเข้าไปด้วย ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งเป็นข้อจำกัดของกระแส และแรงดันตามลำดับ

*ตารางที่ 4.1 ขีดจำกัดของกระแสฮาร์มอนิกสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใดๆที่จุดต่อร่วม *(PCC)*

ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม (kV)	อันดับฮาร์มอนิกและขีดจำกัดของกระแส (A rms)																	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0.400	48	34	22	56	11	40	9	8	7	19	6	16	5	5	5	6	4	6
11 และ 12	13	8	6	10	4	8	3	3	3	7	2	6	2	2	2	2	1	1
22 , 24 และ 33	11	7	5	9	4	6	3	2	2	6	2	5	2	1	1	2	1	1
69	8.8	5.9	4.3	7.3	3.3	4.9	2.3	1.6	1.6	4.9	1.6	4.3	1.6	1	1	1.6	1	1
115 และมากกว่า	5	4	3	4	2	3	1	1	1	3	1	3	1	1	1	1	1	1

** ยอมให้นำค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 10 หรือ 0.5 A (ค่าที่มากกว่าค่าใดค่าหนึ่ง) มาใช้กับขีดจำกัดของกระแสฮาร์มอนิกแต่ละอันดับได้ไม่เกิน 2 อันดับ*

*ตารางที่ 4.2 ขีดจำกัดความผิดเพี้ยนของแรงดันฮาร์มอนิกสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใดๆ ที่จุดต่อร่วม *(PCC)* (รวมทั้งความผิดเพี้ยนที่มีอยู่เดิม)

ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม (kV)	ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดัน (%)	ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันแต่ละอันดับ (%)	
		อันดับคี่	อันดับคู่
0.400	5	4	2
11 , 12 , 22 และ 24	4	3	1.75
33	3	2	1
69	2.45	1.63	0.82
115 และ มากกว่า	1.5	1	0.5

4.1.2 **มาตรฐาน** IEC 1000-2-2 -1990 **และ** 1000-2-4 -1994

มาตรฐาน IEC เป็นมาตรฐานสากลที่หลายประเทศให้การยอมรับ สำหรับมาตรฐาน IEC ส่วนที่เกี่ยวข้องกับฮาร์มอนิกมีอยู่ในมาตรฐาน IEC 1000-2-2 -1990 และ IEC 1000-2-4 -1994

มาตรฐาน IEC 1000-2-2 -1990[4]

มาตรฐานนี้จะใช้กำหนดระดับฮาร์มอนิก ที่ระดับแรงดัน 415/240 V โดยค่าที่กำหนดจะเป็นแรงดันฮาร์มอนิกในแต่ละอันดับ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าจำกัดของระดับแรงดันฮาร์มอนิกสำหรับแรงดันต่ำ (415/240 Volt)

Odd harmonic (non - multiple of 3)		Odd harmonic (multiple of 3)		Even harmonic	
Harmonic order (h)	Harmonic voltage (%)	Harmonic order (h)	Harmonic voltage (%)	Harmonic order (h)	Harmonic voltage (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.3	6	0.5
13	3	21	0.2	8	0.5
17	2	> 21	0.2	10	0.5
19	1.5			12	0.2
23	1.5			> 12	0.2
25	1.5				
> 25	0.2+0.5×25/h				

สำหรับค่า Total Distortion Factor (D)

$$D = \sqrt{\sum_{h=2}^{N} V_h^2} \qquad 4.1$$

เมื่อ V_h = U_h/U_1

h = เลขลำดับฮาร์มอนิก

U_h = ขนาดของแรงดันฮาร์มอนิกลำดับที่ h

U_1 = ขนาดของแรงดันที่ความถี่มูลฐาน

N = เลขจำนวนเต็มบวกซึ่งในทางปฏิบัติอาจคิดเพียง N = 40

สำหรับค่าตัวประกอบความผิดเพี้ยนรวม (D) นี้จะกำหนดค่าเป็น 0.08 หรือ ร้อยละ 8 ซึ่งเป็นค่าของ THD_V นั่นเอง และค่าจำกัดแรงดันฮาร์มอนิกแต่ละลำดับจะมีค่าลดลง เมื่อลำดับฮาร์มอนิก เพิ่มขึ้น

มาตรฐาน IEC 1000-2-4 -1994[5]

มาตรฐานนี้จะใช้กำหนดระดับฮาร์มอนิกในโรงงานอุตสาหกรรมทั้งจุด PCC และจุดที่อยู่ภายในระบบโรงงานหรือจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์ ซึ่งเรียกว่า In-Plant of Coupling (IPC) โดยการพิจารณาจะแบ่งเป็น Class ดังนี้

- Class 1 ค่าจำกัดใน Class นี้จะกำหนดเพื่อใช้กับอุปกรณ์ที่มีความไวต่อสิ่งรบกวนจากระบบไฟฟ้ามาก
- Class 2 ค่าจำกัดใน Class นี้จะใช้ทั่วไปกับโรงงานอุตสาหกรรมทั้งจุด PCC และ IPC
- Class 3 ค่าจำกัดใน Class นี้จะใช้ที่จุด IPC ในโรงงานอุตสาหกรรมเท่านั้น ซึ่งค่าระดับจำกัดจะมีค่าสูงกว่าค่าจำกัดของ Class 2 จะพิจารณาค่าจำกัดใน Class 3 เมื่อพบเงื่อนไขดังนี้
  - โหลดสำคัญๆ ส่วนใหญ่ต่อตรงกับคอนเวอร์เตอร์
  - โหลดเป็นเครื่องเชื่อม
  - มอเตอร์ขนาดใหญ่ที่มีการสตาร์ทอยู่บ่อยๆ
  - การทำงานของโหลดเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

ค่าจำกัดของแรงดันฮาร์มอนิกของมาตรฐาน IEC 1000-2-4 -1994 แสดงดังตารางที่ 4.4 ถึงตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.4 ค่าจำกัดของระดับฮาร์มอนิกในแต่ละลำดับ(ไม่รวมฮาร์มอนิกที่เป็นพหุคูณของ 3)

Order h	Class 1 U_h (%)	Class 2 U_h (%)	Class 3 U_h (%)	Order h	Class 1 U_h (%)	Class 2 U_h (%)	Class 3 U_h (%)
5	3	6	8	2	2	2	3
7	3	5	7	4	1	1	1.5
11	3	3.5	5	6	0.5	0.5	1
13	3	3	4.5	8	0.5	0.5	1
17	2	2	4	10	0.5	0.5	1
19	1.5	1.5	4	> 10	0.2	0.2	1
23	1.5	1.5	3.5				
25	1.5	1.5	3.5				
> 25	0.2+12.5/h	0.2+12.5/h	$5\times\sqrt{11/h}$				

ตารางที่ 4.5 ค่าจำกัดของระดับฮาร์มอนิกในแต่ละลำดับ(ฮาร์มอนิกที่เป็นพหุคูณของ3ลำดับคี่)

Order h	Class 1 U_h (%)	Class 2 U_h (%)	Class 3 U_h (%)
3	3	5	6
9	1.5	1.5	2.5
15	0.3	0.3	2
21	0.2	0.2	1.75
> 21	0.2	0.2	1

ตารางที่ 4.6 ค่าจำกัดของแรงดันฮาร์มอนิกผิดเพี้ยนรวม (THD)

Total Harmonic Distortion (THD)	Class 1	Class 2	Class 3
	5 %	8 %	10 %

มาตรฐาน IEC จะกำหนดค่าจำกัดไปถึงจุดที่เป็นแหล่งกำหนดฮาร์มอนิกต่อใช้งานอยู่ด้วย

4.1.3 **มาตรฐาน** IEEE Std.519-1992[2]

มาตรฐาน IEEE จะทำการประเมินความผิดเพี้ยนของกระแส และแรงดันฮาร์มอนิกที่จุดต่อร่วม (PCC) รายละเอียดมีดังนี้

สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้า

มาตรฐานส่วนนี้จะกำหนดระดับฮาร์มอนิก ที่ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถป้อนฮาร์มอนิกเข้าสู่ระบบไฟฟ้าว่ามีค่าเท่าใด ซึ่งกำหนดค่าขีดจำกัด 2 ตัว คือ ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total Demand Distortion : TDD) และ กระแสฮาร์มอนิกแต่ละลำดับ (Individual Harmonic Current Distortion : Ih) ค่าขีดจำกัดจะแบ่งตามระดับแรงดันที่ใช้ และอัตราส่วนของขนาดกระแสลัดวงจร (Isc)ต่อกระแสโหลด (I_L) ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 *ค่าจำกัดกระแสฮาร์มอนิกตาม IEEE Std.519-1992*

$V_n \leq 69$ kV						
I_{sc}/I_L	h<11	11≤ h<17	17≤ h<23	23≤ h<35	35 ≤ h	TDD
< 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	0.7	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
69 kV < V_n ≤ 161 kV						
< 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	1.25	0.35	6.0
100-1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
> 1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
V_n > 161 kV						
< 50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≤ 50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0

**อุปกรณ์ที่ให้กำเนิดกำลังไฟฟ้าจะถูกจำกัดให้อยู่ในค่ากระแสฮาร์มอนิกเหล่านี้ โดยไม่คำนึงถึงค่า I_{sc}/I_L จริง*

หมายเหตุ

- ค่า Isc เป็นค่ากระแส ลัดวงจร ที่จุดต่อร่วม (PCC) ปกติจะใช้กระแสลัดวงจรในกรณีเกิดการลัดวงจรแบบ 3 เฟส เพราะถือว่าเป็นกรณีรุนแรงที่สุด
- ค่า I_L เป็นค่ากระแสที่วัดในช่วงผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการใช้พลังงานสูงสุดในเวลา 15 หรือ 30 นาที แต่ถ้าข้อมูลไม่เพียงพอค่า I_L คำนวณได้จาก ค่าเฉลี่ยของกระแสย้อนหลังในรอบ 1 ปี (คิดจากบิลค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า) ในกรณีผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหม่จะประมาณ I_L โดยการทำนายลักษณะโหลดล่วงหน้า
- ค่าในตารางที่ 4.7 เป็นค่าจำกัดของฮาร์มอนิกลำดับคี่ ส่วนค่าจำกัดของฮาร์มอนิกลำดับคู่จะมีค่าเป็นร้อยละ 25 ของค่าจำกัดของฮาร์มอนิกลำดับคี่ที่อยู่เหนือขึ้นไป เช่น ถ้าพิจารณาฮาร์มอนิกลำดับ ที่ 4 ให้ใช้ค่า ร้อยละ25 ของค่าจำกัดลำดับที่ 5 เป็นต้น โดยทั่วไปแล้ว จะไม่พิจารณาฮาร์มอนิกลำดับคู่ เว้นแต่ว่าผู้ใช้ไฟฟ้ามีชุดตัว

กรองฮาร์มอนิก หรือ คาปาซิเตอร์ของชุดปรับปรุงตัวประกอบกำลัง ซึ่งอาจทำให้เกิดสภาวะเรโซแนนซ์ ขยายกระแสฮาร์มอนิกลำดับคู่ให้มีค่ามากขึ้น

- กระแสผิดเพี้ยนนี้ไม่ให้มีผลของส่วนประกอบไฟตรง (dc offset not allowed)
- นิยามของ TDD คือ

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{2}^{\infty} Ih^2}}{I_L} \times 100\ \% \qquad 4.2$$

เมื่อ Ih = ขนาดของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ h (Arms)

h = ลำดับฮาร์มอนิก

I_L = ขนาดของกระแสในช่วงความต้องการสูงสุด

- ถ้าโหลดที่ กำเนิดฮาร์มอนิกประกอบด้วย คอนเวอร์เตอร์ ที่มีจำนวนพัลส์ (q) มากกว่า 6 พัลส์ ค่าจำกัดในตารางให้เพิ่มขึ้นได้ด้วยตัวประกอบการคูณ $\sqrt{q/6}$ เช่น ถ้าแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิกเป็นคอนเวอร์เตอร์แบบ 12 พัลส์ ค่าจำกัดในตารางของฮาร์มอนิกเฉพาะตัวให้เพิ่มขึ้นด้วยตัวคูณ $\sqrt{2}$
- ฮาร์มอนิกที่ไม่ใช่ฮาร์มอนิกเฉพาะตัว (Non-Characteristic Harmonic) ให้มีค่าน้อยกว่า ร้อยละ 25 ของค่าจำกัดในตารางที่ 4.7

จากตารางมาตรฐาน IEEE Std.519-1992 ต่างๆ จะพบว่ามาตรฐานจะยอมให้ผู้ใช้ไฟฟ้าปล่อยกระแสฮาร์มอนิกเข้าสู่ระบบได้มากหรือน้อยนั้นขึ้นกับขนาดของระบบ และขนาดของโหลดที่ต่ออยู่ที่จุดที่พิจารณา เช่น ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีโหลดขนาดเล็กเมื่อเทียบกับขนาดของระบบ มาตรฐานจะยอมให้มีค่าจำกัดได้สูงกว่าผู้ใช้ไฟที่มีโหลดขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับขนาดของระบบ

<u>สำหรับการไฟฟ้า</u>

การรักษาคุณภาพของกำลังงานไฟฟ้านั้น ทางการไฟฟ้าฯจะพิจารณาในเรื่องของระดับแรงดันฮาร์มอนิกผิดเพี้ยนที่จุดต่อร่วม(PCC) โดยใช้ค่าชี้วัด 2 ตัวคือ แรงดันฮาร์มอนิกผิดเพี้ยนรวม (Total Harmonic Distortion : THDv) และ แรงดันฮาร์มอนิกแต่ละลำดับ (Individual Harmonic Voltage : Vh) การไฟฟ้าจะพยามรักษาระดับแรงดันผิดเพี้ยนที่จุดต่อร่วม(PCC) ด้วยการจำกัดค่ากระแสฮาร์มอนิกจากผู้ใช้ไฟฟ้าดังตารางที่ 4.7 และสำหรับค่าจำกัดของระดับแรงดันผิดเพี้ยนจะแบ่งตามระดับแรงดันดังตารางที่ 4.8 ซึ่งค่าจำกัดนี้เป็นสภาวะแรงดันปกติ สำหรับสภาวะการใช้งานในช่วงสั้น ๆ ของการเริ่มเดินเครื่องจักรหรือสภาวะผิดปกติ ค่าจำกัดของแรงดันฮาร์มอนิก สามารถเพิ่มค่าได้อีก 50% จากค่าที่กำหนดไว้ ตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าจำกัดระดับแรงดันฮาร์มอนิก ตาม IEEE Std.519-1992

Bus Voltage At PCC (V_n)	Individual Harmonic Voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion - THDv (%)
$V_n \leq 69$ kV	3.0	5.0
69 kV $< V_n \leq$ 161 kV	1.5	2.5
$V_n >$ 161 kV	1.0	1.5

**High-voltage systems can have up to 2.0% THD where the cause is an HVDC terminal that will attenuate by the time it is tapped for a user.*

หมายเหตุ นิยามของ THDv คือ

$$THDv = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} Vh^2}}{V_1} \times 100\ \% \qquad 4.3$$

เมื่อ Vh = ขนาดของแรงดันฮาร์มอนิกลำดับที่ h (Vrms)

h = ลำดับฮาร์มอนิก

V_1 = ขนาดของแรงดันที่ความถี่หลักมูลในสภาวะปกติของระบบ(Vrms)

จากตารางมาตรฐานจะพบว่าที่ระดับแรงดันสูงๆ การไฟฟ้าฯจะให้ความสำคัญกับขนาดแรงดันผิดเพี้ยนฮาร์มอนิก ซึ่งค่าแรงดันผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกจะมีค่าคงที่ โดยไม่ขึ้นกับเลขลำดับของฮาร์มอนิก และจะกำหนดให้ระดับแรงดันผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกมีค่าต่ำๆ

4.2 มาตรฐานตัวเก็บประจุ

4.2.1 มาตรฐานตัวเก็บประจุ (Capacitor Standard)[6,7]

กระแสที่ไหลในตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกชนิดกรองเดี่ยว จะประกอบด้วยกระแสที่ความถี่มูลฐาน และกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลในตัวกรอง กระแสฮาร์มอนิกนี้อาจจะทำให้ตัวเก็บประจุต้องรับภาระเกินค่าพิกัดของตัวมันเองได้ ซึ่งส่งผลทำให้ ตัวเก็บประจุได้รับความเสียหาย ดังนั้นจึงต้องมีมาตรฐานที่ใช้จำกัดผลกระทบของฮาร์มอนิกที่มีต่อตัวเก็บประจุ คือ IEEE Standard 18-1992 ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และ IEC 60831-1(1996) ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.9 *ขีดจำกัดของตัวเก็บประจุที่กำหนดโดยมาตรฐาน ANSI/IEEE 18-1992*

Item	Value
Percent of nameplate kVAr	135 %
Percent of rated rms voltage	110 %
Percent of rated rms current	180 %
Percent of peak voltage	120 %

ตารางที่ 4.10 *ขีดจำกัดแรงดันของตัวเก็บประจุ ที่กำหนดโดยมาตรฐาน IEC 60831-1 (1996)*

Type	Voltage factor × U_n rms.	Maximum duration	Observations
Power frequency	1.00	Continuous	Highest average value during any period of capacitor energization. For energization period less than 24 h , exceptions apply as indicated below
Power frequency	1.10	8 h in every 24 h	System voltage regulation and fluctuations
Power frequency	1.15	30 min in every 24 h	System voltage regulation and fluctuations
Power frequency	1.20	5 min	Voltage rise at light load
Power frequency	1.30	1 min	

ส่วนขีดจำกัดของกระแสของตัวเก็บประจุตามมาตรฐานของ IEC 60831-1 (1996) คือ ค่ากระแสของตัวเก็บประจุที่สภาวะการทำงานปกติสามารถมีค่าสูงเป็น 1.3 เท่าของค่ากระแสของตัวเก็บประจุที่พิกัดแรงดัน และความถี่ ถ้าค่าความผิดพลาดของค่าตัวเก็บประจุไม่เกิน 15 % ของค่าพิกัดแล้วค่ากระแสของตัวเก็บประจุสามารถสูงได้ถึง 1.5 เท่า

มาตรฐานทั้ง 2 มี ข้อกำหนดในการใช้งานตัวเก็บประจุ ที่เกินค่าพิกัด โดยคำนึงถึงผลของฮาร์มอนิก ที่จะทำให้เกิดความเสียหายต่อตัวเก็บประจุ

การคำนวณปริมาณทางฮาร์มอนิกตามมาตรฐาน

ค่าปริมาณทางฮาร์มอนิกที่ถูกระบุไว้ตามมาตรฐานทั้ง 2 แบ่งออกได้เป็น 4 ค่า ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

$$Percent\ of\ rated\ rms\ voltage = V_{ci}^{rms}(\%) = \sqrt{\sum_{h=1}^{25}\left|V_{ci}^{h}\right|^2} \times 100\ \% \qquad 4.4$$

$$Percent\ of\ rated\ rms\ current = I_{ci}^{rms}(\%) = \sqrt{\sum_{h=1}^{25}\left|I_{ci}^{h}\right|^2} \times 100\ \% \qquad 4.5$$

$$Percent\ of\ peak\ voltage = V_{ci}^{peak}(\%) = \sum_{h=1}^{25} V_{ci}^{h} \times 100\ \% \qquad 4.6$$

$$Percent\ of\ nameplate\ kVAr = \sqrt{3}\,.\,I_{ci}^{rms}\,.\,V_{ci}^{rms} \times 100\ \% \qquad 4.7$$

เมื่อ V_{ci}^{rms} = แรงดัน rms ของตัวเก็บประจุในตัวกรองกระแสลำดับที่ i

V_{ci}^{h} = แรงดันฮาร์มอนิกลำดับที่ h ของตัวเก็บประจุ ที่ตัวกรองกระแสลำดับที่ i

V_{ci}^{peak} = แรงดันสูงสุดของตัวเก็บประจุในตัวกรองกระแสลำดับที่ i

ค่าปริมาณทางฮาร์มอนิกที่คำนวณจากสมการทั้ง 4 จะนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของตัวเก็บประจุตามมาตรฐานใดมาตรฐานหนึ่งที่ใช้กำหนดโดนผู้ออกแบบ ซึ่งค่าปริมาณทางฮาร์มอนิกของตัวเก็บประจุจะต้องอยู่ในมาตรฐานกำหนด เพื่อความปลอดภัยในการทำงานของตัวเก็บประจุ