บทที่ 2

หลักการประเมินเกณฑ์ฮาร์มอนิกตามมาตรฐาน IEC

มาตรฐาน IEC 1000-3-6 [1] เป็นมาตรฐานที่ว่าด้วยการประเมินหาระดับจำกัดการแพร่ความผิดเพี้ยนของกระแสและแรงดันของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายในระบบไฟฟ้ากำลังแรงดันปานกลางและแรงดันสูง มาตรฐานนี้ใช้หลักบรรทัดฐานด้านการควบคุมคุณภาพแรงดัน (Voltage quality) ซึ่งได้อธิบายตามรูปที่ 2.1 สำหรับเป็นแนวทางแก่ผู้จ่ายไฟฟ้าใช้กำหนดขอบเขตแรงดันฮาร์มอนิกไม่ให้เกินระดับความเข้ากันได้ (Compatibility levels) เพื่อไม่ให้ส่งผลถึงอุปกรณ์ที่มีความไวสูงซึ่งต่อร่วมในระบบไฟฟ้าเดียวกัน รวมถึงจำกัดระดับกระแสฮาร์มอนิกที่มีผลต่อแรงดันฮาร์มอนิกด้วย

2.1 นิยามเบื้องต้น

2.1.1 ระดับความเข้ากันได้(Compatibility levels)

ระดับความเข้ากันได้เป็นระดับอ้างอิงสำหรับความเข้ากันได้ระหว่างระดับการแพร่ของฮาร์มอนิกและความสามารถทนต่อการแพร่ของฮาร์มอนิกได้ของอุปกรณ์ทั้งหลายที่ต่อกับระบบไฟฟ้า (รวมถึงอุปกรณ์ในระบบโครงข่าย) ระดับความเข้ากันได้ส่วนใหญ่อ้างอิงที่ระดับร้อยละ 95 ของระดับความผิดเพี้ยนน่าจะเป็นที่เกิดขึ้นในระบบทั้งหมดโดยใช้หลักสถิติการกระจายซึ่งมีทั้งการเปลี่ยนแปลงทางเวลาและช่องว่าง ค่าระดับความเข้ากันได้เป็นค่าอ้างอิงกับระบบไฟฟ้าโดยรวมทั้งหมดไม่เจาะจงตำแหน่งที่แน่นอนเนื่องจากข้อเท็จจริงที่ผู้จ่ายไฟฟ้าไม่สามารถควบคุมระดับความผิดเพี้ยนทุกจุดของระบบไฟฟ้าได้ตลอดเวลา ระดับความเข้ากันได้ของแรงดันปานกลาง และ แรงดันต่ำ ได้กำหนดดังตารางที่ 2.1

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 ระดับความเข้ากันได้สำหรับแรงดันฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำและปานกลาง (ในรูปร้อยละ ของแรงดันปกติของระบบ)

ฮาร์มอนิกเลขคี่ ไม่ใช่ผลคูณด้วย 3		ฮาร์มอนิกเลขคี่ ผลคูณของ 3		ฮาร์มอนิกเลขคู่	
อันดับที่	แรงดันฮาร์มอนิก %	อันดับที่	แรงดันฮาร์มอนิก %	อันดับที่	แรงดันฮาร์มอนิก %
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	$0.5+1.3\frac{25}{h}$				
หมายเหตุ : ฮาร์มอนิกผิดเพี้ยนรวม(THD) = 8%					

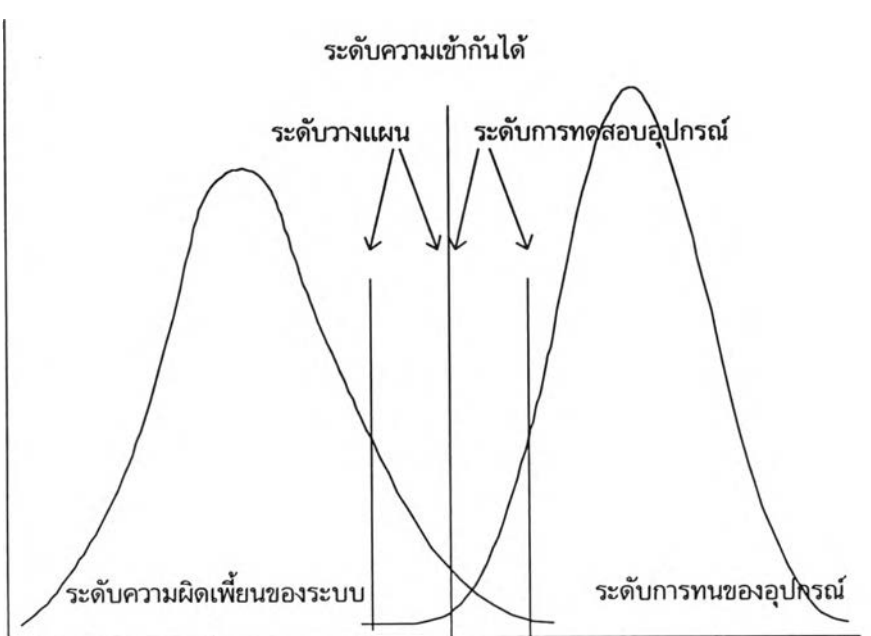
2.1.2 ระดับฮาร์มอนิกที่วางแผนโดยผู้จ่ายไฟฟ้า(Planning levels)

เป็นระดับฮาร์มอนิกใช้สำหรับจุดประสงค์ในการวางแผนเพื่อประมาณการเกิดผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้าต่างๆ ค่าดังกล่าวถูกกำหนดจากผู้จ่ายไฟฟ้าโดยพิจารณาจาก หลักคุณภาพภายในของระบบไฟฟ้า ค่าของระดับฮาร์มอนิกที่วางแผนอาจมีค่าเท่ากันหรือน้อยกว่าค่าความเข้ากันได้ของระบบไฟฟ้า ดังนั้นค่าที่แสดงอยู่จึงเป็นเพียงค่าตัวอย่างเท่านั้นเพราะค่าระดับฮาร์มอนิกที่วางแผนจะมีค่าแตกต่างกันแล้วแต่กรณีทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ โครงสร้างของระบบไฟฟ้าและระบบรอบข้าง

ตารางที่ 2.2 ค่าตัวอย่างของค่าวางระดับฮาร์มอนิกที่วางแผนโดยผู้จ่ายไฟฟ้า(Planning levels)ในระบบไฟฟ้ากำลังแรงดันต่ำ ,ปานกลาง,สูง (ในรูปของร้อยละของแรงดันปกติ)

ฮาร์มอนิกเลขคี่ ไม่ใช่ผลคูณด้วย 3			ฮาร์มอนิกเลขคี่ ผลคูณของ 3			ฮาร์มอนิกเลขคู่		
ลำดับที่	แรงดันฮาร์มอนิก %		ลำดับที่	แรงดันฮาร์มอนิก %		ลำดับที่	แรงดันฮาร์มอนิก %	
	MV	HV-EHV		MV	HV-EHV		MV	HV-EHV
5	5	2	3	4	2	2	1.6	1.5
7	4	2	9	1.2	1	4	1	1
11	3	1.5	15	0.3	0.3	6	0.5	0.5
13	2.5	1.5	21	0.2	0.2	8	0.4	0.4
17	1.6	1	>21	0.2	0.2	10	0.4	0.4
19	1.2	1				12	0.2	0.2
23	1.2	0.7				>12	0.2	0.2
25	1.2	0.7						
>25	$0.2+0.5\frac{25}{h}$	$0.2+0.5\frac{25}{h}$						
หมายเหตุ : ฮาร์มอนิกผิดเพี้ยนรวม(THD) = 6.5%(สำหรับ MV) 3%(สำหรับ HV)								

2.1.3 คุณภาพแรงดัน(Voltage Quality)



รูปที่ 2.1 แนวคิดเบื้องต้นคุณภาพแรงดันด้วยสถิติทางเวลาและสถานที่ของระบบทั้งหมด

จากรูปที่ 2.1 แสดงถึงแนวคิดเบื้องต้นของคุณภาพของแรงดันและความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ การที่ระดับรบกวนแทรกแซงเข้าระบบไฟฟ้าเป็นสิ่งหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นจึงมีค่าซ้อนทับระหว่างระดับรบกวนและระดับความทนของอุปกรณ์อย่างมีนัย ค่าระดับวางแผนทั่วไปมีค่าเท่ากันหรือน้อยกว่าค่าความเข้ากันได้ขึ้นอยู่แต่ละระบบไฟฟ้า ระดับทดสอบความทนได้ระบุตามมาตรฐานหรือข้อตกลงระหว่างผู้ใช้กับผู้ผลิต

2.1.4 กฎการรวม(summation law)

กฎการรวมใช้สำหรับการรวมค่าความรบกวนซึ่งเกิดจากภาระหลายรูปแบบ ในกรณีนี้จะเสนอกฎการรวมสำหรับความรบกวนแบบฮาร์มอนิก โดยใช้วิธีการรวมทางเวคเตอร์ของฮาร์มอนิก ณ ตำแหน่งใด ๆในระบบที่เกิดจากอุปกรณ์หลายรูปแบบ

กฎการรวมที่ใช้ทั่วไปคือ รูปแบบที่หนึ่งคือง่ายในการประยุกต์ใช้ รูปแบบที่สองเหมาะสำหรับใช้กรณีรูปแบบทั่วไป

2.1.4.1 กฎการรวมแบบที่ 1

เป็นการรวมเชิงเส้นโดยใช้ค่าปัจจัยหลากหลาย(diversity factor k_{hj})

$$U_h = U_{h0} + \sum_j k_{hj} \cdot U_{hj} \qquad (2.1)$$

ซึ่ง U_{h0} เป็นแรงดันฮาร์มอนิกพื้นฐานในด้านจ่ายไฟฟ้าซึ่งไม่มีอุปกรณ์ใด ๆต่ออยู่
ค่าปัจจัยหลากหลายขึ้นอยู่กับ

-ชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่นำมาต่อ

-อันดับที่ของฮาร์มอนิก

-สัดส่วนระหว่าง กำลังไฟฟ้าพิกัดของอุปกรณ์ไฟฟ้าย่อย(S_{rj}) กับกำลังลัดวงจร(S_{sc})ที่จุดต่อรวมกัน(PCC)

ตารางที่ 2.3 ค่าปัจจัยหลากหลาย(diversity factor k_{hj})สำหรับกรณีอุปกรณ์ทั่วไป

S_{rj} /S_{SC}	อันดับฮาร์มอนิก						
	3	5	7	11	13	17	19
≤ 0.001	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-
0.002	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	-
0.005	0.6	0.5	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1
0.010	0.7	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3	0.1
0.020	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5
≥0.050	1	1	1	1	1	1	1

ค่าปัจจัยหลากหลาย(diversity factor) อาจมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับกรณีที่คิดผลมุมเฟสของแรงดันพื้นฐานฮาร์มอนิก และ เฟสของอุปกรณ์อื่นที่มาต่อถ้าทราบค่า

2.1.4.2 กฎการรวมแบบที่ 2

จากกฎการรวมสำหรับกรณีทั่วไปแบบที่ 1 ใช้วิธีการทางสถิติ [2] มาปรับปรุงและดัดแปลงจึงได้กฎการรวมแบบที่ 2 โดยที่กฎการรวมสำหรับแรงดันฮาร์มอนิกอันดับที่ h ดังสมการที่ 2.2

$$U_h = \sqrt[\alpha]{\sum_i U_{hi}^{\alpha}} \qquad (2.2)$$

U_h เป็นขนาดของผลลัพท์แรงดันฮาร์มอนิก อันดับที่ h

U_{hi} เป็นขนาดของระดับของแรงดันฮาร์มอนิกที่ปล่อยออกมา อันดับที่ h ที่จะนำมารวมกัน

α เป็นค่าปัจจัยเอ็กซ์โปเน้นขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยหลัก

-ค่าปัจจัยที่นำไปใช้ต้องมีความเป็นไปได้ที่ทำให้ค่าจากการคำนวณไม่น้อยกว่าค่าจริง

-ค่าแรงดันฮาร์มอนิกแต่ละค่าเป็นค่าไม่สม่ำเสมอทั้งทางขนาดและเฟส

ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจุบัน ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามต้องการภายหลัง ได้สรุปค่าปัจจัยตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่าปัจจัยเอ็กซ์โปเน้นสำหรับฮาร์มอนิก

α	อันดับของฮาร์มอนิก
1	$h < 5$
1.4	$5 \leq h \leq 10$
2	$h > 10$

2.2 หลักการคำนวณค่าจำกัดการแพร่(Emission Limits)ตามหลักการมาตรฐาน IEC

วัตถุประสงค์หลักของหลักการคำนวณคือจำกัดแรงดันผิดเพี้ยนที่เกิดจากภาระทั้งหมดของผู้ใช้ไฟฟ้าไม่ให้เกินระดับที่วางแผนของผู้จ่ายไฟฟ้า (Planning levels) และนำค่าความสามารถยอมรับความผิดเพี้ยนซึ่งขึ้นอยู่กับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ตกลงไว้กับผู้จ่ายไฟฟ้า(Agreed power of consumer) รวมถึง กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่กำเนิดกระแสฮาร์มอนิก อีกทั้งรูปแบบโครงข่ายระบบไฟฟ้าของผู้จ่ายไฟฟ้า เพื่อบรรลุจุดประสงค์ดังกล่าวได้แบ่งขั้นตอนวิธีการประเมินตามมาตรฐานของ IEC เป็น 3 ระดับ

2.2.1 ระดับที่ 1 ประเมินค่าความผิดเพี้ยนที่ปล่อยสู่ระบบอย่างง่าย

การพิจารณามาตรฐานระดับที่ 1 ในขั้นตอนแรกจะพิจารณาค่ากำลังไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้ตกลงไว้กับผู้จ่ายไฟฟ้าเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าลัดวงจรของระบบไฟฟ้าที่จุด PCC โดยไม่เกินร้อยละ 0.1 ดังสมการที่ 2.3

$$(S_i / S_{SC}) \leq 0.1\% \qquad (2.3)$$

S_i กำลังไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้ตกลงได้กับผู้จ่ายไฟฟ้า(หน่วย VA)

S_{SC} กำลังไฟฟ้าลัดวงจรของระบบไฟฟ้าที่จุด PCC(หน่วย VA)

ถ้าหากขั้นตอนแรกไม่ผ่านการพิจารณาขั้นตอนที่สองใช้วิธี "ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผิดเพี้ยนโดยพิจารณาตามความถ่วง" (Weighted distorting power) ซึ่งเป็นการรวมค่าภาระแต่ละอุปกรณ์กำเนิดฮาร์มอนิกทั้งหมดของผู้ใช้ไฟฟ้ามาคิดค่าปัจจัยความถ่วงตามสมการที่ 2.4 โดยใช้ค่าปัจจัยความถ่วงมีค่าขึ้นอยู่กับแต่ละอุปกรณ์ตามตารางที่ 2.5

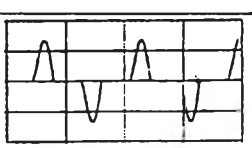
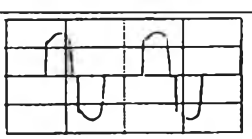
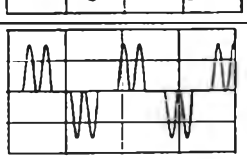
$$S_{DW} = \sum_j S_{Dj} W_j \qquad (2.4)$$

S_{DW} กำลังไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์กำเนิดความผิดเพี้ยน(หน่วย VA)

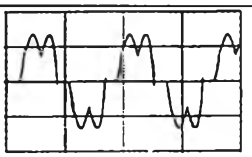
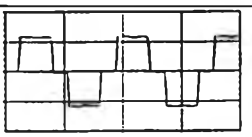
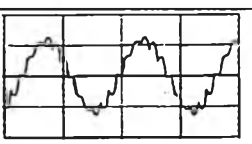
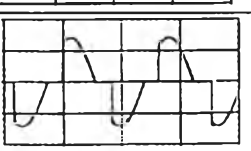
S_{Dj} กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์กำเนิดความผิดเพี้ยนที่ j (หน่วย VA)

W_j ปัจจัยความถ่วงของอุปกรณ์ที่ j

ตารางที่ 2.5 ค่าปัจจัยความถ่วง(Weighting factors)สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตฮาร์มอนิกในแต่ละชนิด

อุปกรณ์ไฟฟ้า	รูปคลื่นกระแส	ฮาร์มอนิกผิดเพี้ยนรวม(THD)	ค่าความถ่วง(W_j)
แหล่งจ่ายเฟสเดียว(มีตัวเรียงกระแสและคาปาซิเตอร์)		ร้อยละ80	2.5
คอนเวอร์เตอร์แบบกึ่ง(semiconverter)		ฮาร์มอนิกอันดับที่ 2,3,4 มีค่าสูง	2.5
คอนเวอร์เตอร์ 6 พัลส์รวมคาปาซิเตอร์ไม่มีอินดัคแตนซ์อนุกรม		ร้อยละ80	2.0

ตารางที่ 2.5 ค่าปัจจัยความถ่วง(Weighting factors)สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตฮาร์มอนิกในแต่ละชนิด(ต่อ)

อุปกรณ์ไฟฟ้า	รูปคลื่นกระแส	ฮาร์มอนิกผิดเพี้ยนรวม(THD)	ค่าความถ่วง(W_j)
คอนเวอร์เตอร์ 6 พัลส์รวมคาปาซิเตอร์และอินดัคแตนซ์อนุกรมมากกว่าร้อยละ 3		ร้อยละ40	1.0
คอนเวอร์เตอร์ 6 พัลส์รวมคาปาซิเตอร์และอินดัคแตนซ์อนุกรมขนาดใหญ่		ร้อยละ28	0.8
คอนเวอร์เตอร์ 12 พัลส์		ร้อยละ15	0.5
เครื่องทำแรงดันในระบบกระแสสลับให้สม่ำเสมอ		แปรตามมุมไฟริ่ง (Firing Angle)	0.7

หลังจากนั้นนำค่ากำลังไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์กำเนิดความผิดเพี้ยนมาเปรียบเทียบค่าความสามารถลัดวงจรของระบบไฟฟ้า(Short-circuit Capacity)โดยให้ไม่เกินร้อยละ 0.1 ตามสมการที่ 2.5

$$S_{DWi}/S_{SC} \leq 0.1\% \qquad (2.5)$$

S_{DW} กำลังไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์กำเนิดความผิดเพี้ยน(หน่วย VA)

S_{SC} กำลังไฟฟ้าลัดวงจรของระบบไฟฟ้าที่จุด PCC(หน่วย VA)

2.2.2 ระดับที่ 2 ประเมินค่าความผิดเพี้ยนที่ปล่อยสู่ระบบไฟฟ้าโดยคิดปัจจัยรูปแบบโครงข่ายจริงของระบบไฟฟ้า

ในกรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้าไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินระดับที่ 1 เกณฑ์การประเมินระดับที่ 2 จะนำมาพิจารณาต่อผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นลำดับถัดไป สำหรับค่าระดับจำกัดของผู้ใช้ไฟฟ้าในเกณฑ์ระดับที่ 2 จะคำนวณรวมถึงปัจจัยความสามารถซึมซับของระบบไฟฟ้า (Absorption capacity of the system) โดยพิจารณาจากระดับที่วางแผนของผู้จ่ายไฟฟ้า (Planning levels) และ ความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายเทียบกับค่าความสามารถของระบบไฟฟ้า รวมถึงรูปแบบโครงข่าย

ของระบบไฟฟ้า จากนั้นจัดสรรความสามารถชดเชยความผิดเพี้ยนของระบบไฟฟ้าแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายตามปริมาณความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้านั้นเทียบกับกำลังไฟฟ้าของระบบทั้งหมด

หลักการคำนวณระดับจำกัดของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายในการประเมินระดับที่ 2 เริ่มจากคำนวณค่าความสามารถยอมรับแรงดันฮาร์มอนิกของภาระทั้งหมดในระบบแรงดันปานกลาง หลังจากนั้นจัดสรรค่าดังกล่าวเป็นความสามารถยอมรับแรงดันอาร์มอนิกทั้งหมดตามผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย(E_{UHi}) หลังจากนี้คำนวณหาฮาร์มอนิกอิมพีแดนซ์ที่จุด PCC เพื่อคำนวณค่าจำกัดกระแสฮาร์มอนิกที่จุด PCC ต่อจากนั้นนำค่านี้เปรียบเทียบกระแสฮาร์มอนิกของผู้ใช้ไฟฟ้าที่จุด PCC ว่าเกินระดับมาตรฐานระดับที่ 2 หรือไม่

2.2.2.1 การคำนวณค่าความสามารถยอมรับฮาร์มอนิกของภาระทั้งหมด

ในแต่ละอันดับฮาร์มอนิก ค่าแรงดันฮาร์มอนิกในระบบแรงดันปานกลางมีผลมาจากการรวมทางเวคเตอร์ของแรงดันฮาร์มอนิกที่ไหลมาจากไฟฟ้าระบบแรงดันสูงและแรงดันฮาร์มอนิกที่เกิดมาจากอุปกรณ์ไม่เชิงเส้นในระบบไฟฟ้าแรงดันปานกลาง(รวมถึงอุปกรณ์ของระบบแรงดันต่ำด้วย) โดยแรงดันฮาร์มอนิกรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าแรงดันปานกลางจะต้องไม่เกินระดับแรงดันที่ผู้จ่ายไฟฟ้าวางแผน(Planning Level)

ดังนั้นสูตรสำหรับการคำนวณค่าความสามารถยอมรับแรงดันฮาร์มอนิกของภาระทั้งหมดที่ใช้สำหรับกรณีทั่วไปโดยใช้กฎการรวมแบบที่ 2 จากหัวข้อที่ 2.1.4 สามารถประมาณได้2แบบดังนี้

2.2.2.1.1 ค่าความสามารถยอมรับแรงดันฮาร์มอนิกของภาระทั้งหมดประมาณแบบที่1

การประมาณแบบที่ 1 คำนวณโดยพิจารณาความสามารถยอมรับแรงดันฮาร์มอนิกรวมทั้งระบบแรงดันต่ำและแรงดันปานกลางตามสมการที่ 2.6

$$G_{hMV+LV} = \sqrt[\alpha]{L_{hMV}{}^{\alpha} - (T_{hHM}L_{hHV})^{\alpha}} \qquad (2.6)$$

ซึ่ง

G_{hMV+LV} ค่าความสามารถยอมรับแรงดันฮาร์มอนิกของภาระทั้งหมดในระบบแรงดันต่ำและปานกลาง(หน่วย %)

L_{hMV} ระดับที่วางแผนของระบบแรงดันระดับกลางฮาร์มอนิกอันดับที่ h(หน่วย %)

L_{hHV} ระดับที่วางแผนของระบบแรงดันระดับสูง ฮาร์มอนิกอันดับที่ h(หน่วย %)

T_{hHM} ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากระบบแรงสูงไปยังระบบแรงดันระดับกลางฮาร์มอนิกอันดับที่ h

α ค่าปัจจัยเอ็กซ์โปเน้นตามกฎการรวมสำหรับฮาร์มอนิกดังตารางที่ 2.4

โดยทั่วไปแล้วค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากระบบแรงสูงไปยังระบบแรงดันระดับปานกลางปกติจะสมมติค่าเท่ากับ 1แต่ในทางปฏิบัติค่าสัมประสิทธิ์อาจจะน้อยกว่า 1 เช่น 2/3 เนื่องจากการถ่ายเทลงจากระบบไฟฟ้าแรงดันปานกลางไปยังแรงดันสูง ซึ่งอาจจะมากกว่า 1(ประมาณ 1 ถึง 3)

สำหรับการสมมติตัวอย่างโดยนำสมการที่ 2.6 มาประยุกต์กับตัวอย่างทั่วไปของระบบไฟฟ้าปานกลาง โดยสมมติให้ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากระบบแรงสูงไปยังระบบแรงดันระดับปานกลาง (T_{hHM})เท่ากับ 1ทุกๆ อันดับที่ของฮาร์มอนิก และยังสมมติค่าระดับฮาร์มอนิกที่วางแผนโดยผู้จ่ายไฟฟ้า(Planning levels)ดังตารางที่ 2.2 จากนั้นนำค่าแทนลงสมการที่ 2.6 ได้ดังนี้

เนื่องจาก

ฮาร์มอนิกอันดับที่ = 5

จากตารางที่ 2.4 ได้ค่าปัจจัยเอ็กซ์โปเน้นกฎการรวม

$$\propto = 1.4 \qquad (2.7)$$

จากตารางที่ 2.2 นำค่าระดับแรงดันวางแผนของฮาร์มอนิกอันดับที่ 5

$$L_{5MV} = 5 \qquad (2.8)$$

$$L_{5HV} = 2 \qquad (2.9)$$

ดังนั้นแทนค่าลงสมการที่ 2.6 ได้

$$G_{5MV+LV} = [5^{1.4} - (1x2)^{1.4}]^{1/1.4} \qquad (2.10)$$

$$= 4\%$$

หลังจากนั้นนำค่าแรงดันวางแผนฮาร์มอนิกจากตารางที่ 2.2 ทำการคำนวณทุกๆอันดับฮาร์มอนิกได้ผลลัพท์ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ผลการคำนวณค่าสามารถยอมรับแรงดันฮาร์มอนิกของภาระทั้งหมดในระบบแรงดันต่ำและปานกลาง

ฮาร์มอนิกเลขคี่ ไม่ใช่ผลคูณด้วย 3		ฮาร์มอนิกเลขคี่ ผลคูณของ 3		ฮาร์มอนิกเลขคู่	
อันดับที่	แรงดันฮาร์มอนิก (%)	อันดับที่	แรงดันฮาร์มอนิก (%)	อันดับที่	แรงดันฮาร์มอนิก (%)
5	4	3	2	2	0.1
7	2.8	9	0.4	4	0
11	2.6	15	0	6	0
13	2	21	0	8	0
17	1.2			10	0

ฮาร์มอนิกเลขคี่ ไม่ใช่ผลคูณด้วย 3		ฮาร์มอนิกเลขคี่ ผลคูณของ 3		ฮาร์มอนิกเลขคู่	
อันดับที่	แรงดันฮาร์มอนิก (%)	อันดับที่	แรงดันฮาร์มอนิก (%)	อันดับที่	แรงดันฮาร์มอนิก (%)
19	0.7			12	0
23	1				
25	1				

สำหรับแรงดันวางแผนของระบบไฟฟ้าแรงดันปานกลางที่มีค่าเท่ากับแรงดันวางแผนของระบบไฟฟ้าแรงดันสูงในบางอันดับที่ของฮาร์มอนิกเช่น อันดับที่ 4,6,12,15,21 มีผลให้ค่าสามารถยอมรับแรงดันฮาร์มอนิกของภาระทั้งหมดมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งสำหรับในกรณีนี้ต้องใช้ดุลพินิจสำหรับการจัดสรรความสามารถการแพร่ฮาร์มอนิกระหว่างระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันต่างกันโดย

2.2.2.1.2 ค่าความสามารถยอมรับแรงดันฮาร์มอนิกของภาระทั้งหมดประมาณแบบที่2

ในการประมาณค่าแบบที่ 2 เพื่อให้ค่าความสามารถยอมรับแรงดันอาร์มอนิกใกล้เคียงความเป็นจริงจึงได้พิจารณาจากค่าการใช้งานพร้อมกันระหว่างภาระไฟฟ้าแรงดันปานกลางและแรงดันต่ำเพื่อให้ค่าความสามารถยอมรับแรงดันอาร์มอนิกมีปัจจัยของภาระแรงดันปานกลางเพียงอย่างเดียวดังสมการที่ 2.11

$$G_{hMV} = \sqrt[\alpha]{\frac{S_{MV}}{S_{MV} + S_{LV} \cdot F_{ML}} [L_{hMV}{}^{\alpha} - (T_{hHM} L_{hHV})^{\alpha}]} \qquad (2.11)$$

เมื่อ

G_{hMV} ค่าความสามารถยอมรับแรงดันฮาร์มอนิกของภาระทั้งหมดของแรงดันปานกลาง(หน่วย %)

S_{MV} กำลังไฟฟ้าของภาระที่แรงดันระดับกลาง ฮาร์มอนิกอันดับที่ h (หน่วย VA)

S_{HV} กำลังไฟฟ้าของภาระที่แรงดันระดับสูง ฮาร์มอนิกอันดับที่ h (หน่วย VA)

F_{ML} ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานพร้อมกันของภาระที่ผิดเพี้ยนของระดับแรงดันต่ำและแรงดันระดับกลาง

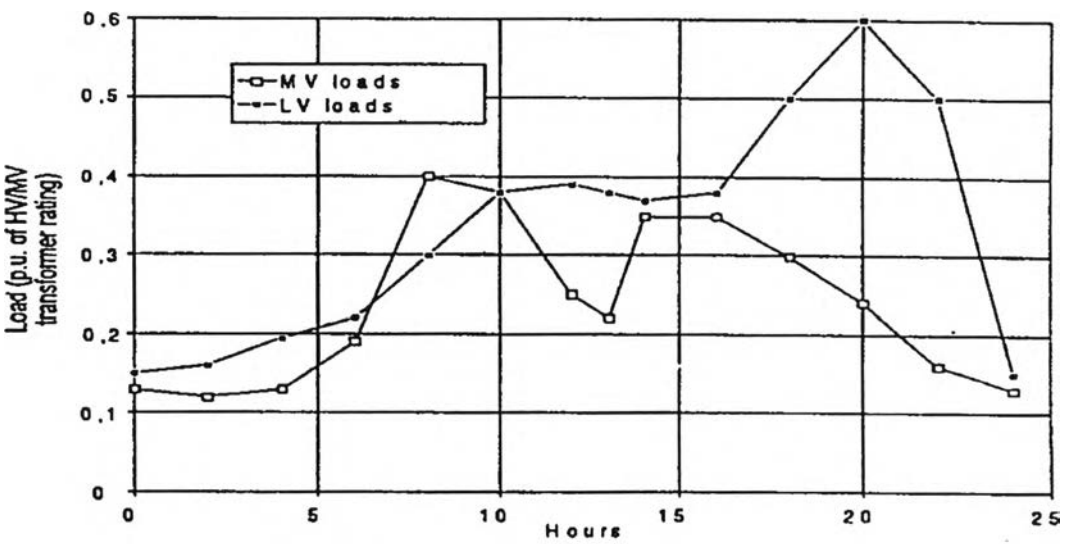
ค่าF_{ML}เป็นค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานพร้อมกันของภาระที่ผิดเพี้ยนของระดับแรงดันต่ำและแรงดันระดับกลางสามารถคำนวณจากกราฟโหลด (Load Curves) โดยนำค่ากำลังไฟฟ้ารวมที่ภาระระบบแรงดันต่ำ ณ จุดเวลาที่กำลังไฟฟ้ารวมภาระแรงดันปานกลางมากที่สุด มาแสดงใน

รูป p.u. ของกำลังไฟฟ้าสูงสุดระบบแรงดันต่ำ ตัวอย่างการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์นี้ อ้างอิงจากรูปที่ 2.2 โดยมีขั้นตอนดังนี้

-นำค่ากำลังไฟฟ้ารวมที่ภาระผิดเพี้ยนแรงดันต่ำ ณ จุดเวลาที่กำลังไฟฟ้ารวมภาระแรงดันปานกลางมากที่สุด ซึ่งเท่ากับ 0.3 p.u. ขณะที่ตรงกับเวลา 8 นาฬิกา

-นำค่ากำลังไฟฟ้ารวมภาระผิดเพี้ยนแรงดันต่ำที่มากที่สุด ซึ่งเท่ากับ 0.6 p.u. ขณะที่ตรงกับเวลา 20 นาฬิกา

-F_{ML} = 0.3/0.6 = 0.5 (แม้ว่าการวิเคราะห์อย่างละเอียดชี้ให้เห็นถึงจุดสำคัญที่เวลา 10 นาฬิกา มากกว่าที่จุดเวลา 8 นาฬิกา ดังนั้นค่า F_{ML} สามารถวิเคราะห์ได้อีกทาง โดย = 0.39/0.6 = 0.65)



รูปที่ 2.2 กราฟโหลดของระบบแรงดันปานกลางและต่ำ

2.2.2.2 ค่าระดับจำกัดการแพร่ฮาร์มอนิกของแต่ละผู้ใช้ไฟฟ้า(Individual emission limits)

การคำนวณค่าระดับจำกัดการแพร่ฮาร์มอนิกของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายเกิดจากการจัดสรรแบ่งส่วนค่าความสามารถยอมรับแรงดันอาร์มอนิกทั้งหมด(G_{hMV+LV} หรือ G_{MV}) สำหรับวิธีการที่สมเหตุสมผลคือนำมาแบ่งส่วนตามสัดส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้ตกลงกับผู้จ่ายไฟฟ้ากับ กำลังไฟฟ้าที่สามารถจ่ายได้ของระบบไฟฟ้าทั้งหมด (ค่ากำลังไฟฟ้าที่สามารถจ่ายได้ของระบบไฟฟ้าทั้งหมด โดยทั่วไปจะมีค่ามากกว่า หรือ เท่ากับผลรวมของกำลังไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าตกลงกับผู้จ่ายไฟฟ้า ของทุกผู้ใช้ไฟฟ้า) ตามผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย และรวมถึงการคิดผลปัจจัยอย่างอื่นตามแต่วิธีการประมาณต่าง ๆด้วย ซึ่งวิธีการประมาณได้แบ่งเป็น 3 วิธี

2.2.2.2.1 ค่าระดับจำกัดการแพร่ฮาร์มอนิกของแต่ละผู้ใช้ไฟฟ้าประมาณแบบที่ 1

คำนวณจากการแบ่งสัดส่วนของค่าความสามารถยอมรับความผิดเพี้ยนของภาระไฟฟ้าทั้งหมดสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายโดยคิดค่าจากกำลังไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าตกลงกับผู้จ่ายไฟฟ้าตามสมการที่ 2.12

$$E_{Uhi} = (G_{hMV+LV})\alpha\sqrt{\frac{S_i}{S_t}} \qquad (2.12)$$

E_{Uhi} แรงดันจำกัดฮาร์มอนิกที่ได้รับการอนุญาต ฮาร์มอนิกอันดับที่ h(หน่วย %)

S_i กำลังไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าตกลงกับผู้จ่ายไฟฟ้า(หน่วย VA)

S_t กำลังไฟฟ้าที่สามารถจ่ายได้ของระบบไฟฟ้าทั้งหมด(หน่วย VA)

เมื่อได้แรงดันจำกัดฮาร์มอนิกดังกล่าวแล้วนำไปหารกับอิมพีแดนซ์ที่ตำแหน่งPCCจะได้ระดับจำกัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ h

2.2.2.2.2 ค่าระดับจำกัดการแพร่ฮาร์มอนิกของแต่ละผู้ใช้ไฟฟ้าประมาณแบบที่ 2

จากการคำนวณประมาณค่าแบบที่1ได้พิจารณาผลของค่าการใช้งานพร้อมกันของภาระไฟฟ้าในระบบแรงดันต่ำและแรงดันปานกลางเพื่อเพิ่มความละเอียดยิ่งขึ้น ได้ผลสมการที่ 2.13

$$E_{Uhi} = G_{hMV}\alpha\sqrt{\frac{S_i}{S_{MV}}\frac{1}{F_{MV}}} \qquad (2.13)$$

E_{Uhi} แรงดันจำกัดฮาร์มอนิกที่ได้รับการอนุญาต ฮาร์มอนิกอันดับที่ h(หน่วย %)

G_{hMV} ค่าความสามารถยอมรับการสนับสนุนภาระทั้งหมดของแรงดันปานกลาง (หน่วย %)

S_i กำลังไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าตกลงกับผู้จ่ายไฟฟ้า(หน่วย VA)

S_{MV} กำลังไฟฟ้าของภาระที่แรงดันปานกลาง(หน่วย VA)

F_{ML} ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานพร้อมกันของภาระที่ผิดเพี้ยนของระดับแรงดันต่ำและแรงดันปานกลาง

เมื่อได้แรงดันจำกัดฮาร์มอนิกดังกล่าวแล้วนำไปหารกับอิมพีแดนซ์ที่ตำแหน่งPCCจะได้ระดับจำกัดกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ h เช่นเดียวกับการประมาณแบบที่ 1

2.2.2.2.3 ค่าระดับจำกัดการแพร่ฮาร์มอนิกของแต่ละผู้ใช้ไฟฟ้าประมาณแบบที่ 3

สำหรับการประมาณแบบที่ 1 และ 2 ค่าระดับจำกัดการแพร่ฮาร์มอนิกไม่ได้คิดผลของการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังไฟฟ้าลัดวงจรของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย เหมาะสำหรับกรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดต่ออยู่ใกล้กับบัสบาร์ กรณีที่เหมาะสมสำหรับคำนวณการประมาณแบบที่ 1และ 2 คือภาระไฟฟ้าต่อกับสายเคเบิ้ลยาวน้อยกว่า 10 กิโลเมตรหรือสายไฟเหนือศีรษะ (Overhead Lines) ยาวน้อยกว่า 5 กิโลเมตร

ระบบโครงข่ายแบบระบบจำหน่ายที่มีสายป้อนยาวซึ่งมีภาระต่ออยู่กระจายตามจุดต่าง ๆ ของสายป้อน โดยวิธีการประมาณแบบที่ 1และ2มีผลให้ค่าจำกัดการแพร่ฮาร์มอนิกเข้มงวดเกินไป ดังนั้นการประมาณแบบที่ 3 จึงจัดสรรค่าสามารถยอมรับแรงดันอาร์มอนิกทั้งหมด โดยนำคุณประโยชน์ของความสามารถดูดซับฮาร์มอนิกจริงของระบบไฟฟ้าด้วย แต่ทั้งนี้การประมาณแบบที่ 3 ส่งผลเสียต่อผู้ใช้ไฟฟ้าที่ต่อกับระบบไฟฟ้าซึ่งห่างไกลจากบัสบาร์ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าลัดวงจรน้อยกว่าผู้ใช้ไฟฟ้าที่ต่อกับระบบไฟฟ้าที่อยู่ใกล้บัสบาร์ด้วยเช่นกัน

วิธีการประมาณแบบที่ 3 นี้ไม่เพียงเหมาะสำหรับการประเมินในลักษณะกรณีรูปแบบเฉพาะแต่ยังรวมถึงการจัดการแพร่ฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นพร้อมกัน(harmonic coordination emission) และยังมีประโยชน์ในการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงกฎให้เหมาะสำหรับกรณีรูปแบบทั่วไปหรือแม้แต่กรณีรูปแบบเฉพาะให้เข้ากับรูปแบบระบบไฟฟ้านั้น

วิธีการนี้มีหลักการหลัก 3 ขั้นตอน

1)กำหนดรูปแบบโครงสร้างของระบบและประเมินการกระจายของกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลเข้าสู่สายป้อน จากนั้นสมมติการกระจายของกระแสภาระพื้นฐาน และ เกณฑ์ไม่เกินมากกว่าผลเสียของผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ปลายสายป้อน

2)ประเมินแรงดันฮาร์มอนิกตอบสนองของระบบที่มีกระแสฮาร์มอนิกอ้างอิงไหลเข้าไปตามสายป้อน หลักจากนี้นำค่าแรงดันตอบสนองมากที่สุดที่เกิดขึ้นในระบบไปคำนวณค่าระดับจำกัดการแพร่ฮาร์มอนิกต่อไป

3)คำนวณค่าจำกัดกระแสฮาร์มอนิกทุกผู้ใช้ไฟฟ้าโดยพิจารณาผลของแรงดันฮาร์มอนิกตอบสนองมากที่สุดและ ค่าสามารถยอมรับแรงดันฮาร์มอนิกทั้งหมด

1)การนิยามกลุ่มฮาร์มอนิกอ้างอิงที่ไหลกระจายในสายป้อน

การเลือกรูปแบบของฮาร์มอนิกที่ไหลกระจายในสายป้อน มีผลกระทบทั้ง ด้านดีของระบบที่สามารถดูดซับฮาร์มอนิกมากขึ้น และ ด้านส่วนเสียต่อผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ปลายสายป้อนที่ได้ค่าระดับจำกัดน้อยลง สำหรับการเลือกรูปแบบกลุ่มฮาร์มอนิกขึ้นอยู่กับผู้จ่ายไฟฟ้าพิจารณารูปแบบของฮาร์มอนิกสมมติที่ไหลตามสายป้อนสู่ระบบไฟฟ้ามี3แบบหลักดังนี้

ก)กระแสฮาร์มอนิกไหลสู่สายป้อนคงที่

ข)กำลังไฟฟ้าฮาร์มอนิกไหลสู่สายป้อนคงที่

ค)กระแสฮาร์มอนิกไหลสู่สายป้อนแปรผกผันกับอิมพีแดนซ์ที่ตำแหน่งPCC (หรือแรงดันฮาร์มอนิกคงที่)
หลังจากนั้นนิยามดัชนีสัดส่วนตามสมการที่ 2.14

$$K_{ZI} = \frac{Z_{IPCC}}{Z_{IBB}} = \frac{I_{IBB}}{I_{IPCC}} \qquad (2.14)$$

Z_{IPCC} อิมพีแดนซ์ที่จุดPCC บนสายป้อนของผู้ใช้ไฟฟ้าที่(i) ที่ความถี่มูลฐาน
Z_{IBB} อิมพีแดนซ์ที่บัสบาร์บนสายป้อนของผู้ใช้ไฟฟ้าที่(i) ที่ความถี่มูลฐาน
I_{IBB} กระแสลัดวงจร 3 เฟสที่บัสบาร์ บนสายป้อนของผู้ใช้ไฟฟ้าที่(i) ที่ความถี่มูลฐาน
I_{IPCC} กระแสลัดวงจร 3 เฟสที่จุดPCC บนสายป้อนของผู้ใช้ไฟฟ้าที่(i) ที่ความถี่มูลฐาน

ดังนั้นจะได้กระแสภาระสมมติที่มีความสัมพันธ์กับดัชนีสัดส่วนดังต่อไปนี้

ก)กระแสฮาร์มอนิกไหลสู่สายป้อนคงที่

$$I_h = \text{ค่าคงที่} \qquad (2.15)$$

ข)กำลังไฟฟ้าฮาร์มอนิกไหลสู่สายป้อนคงที่

$$I_h = 1/\sqrt{K_{ZI}} \qquad (2.16)$$

ค)กระแสฮาร์มอนิกไหลสู่สายป้อนแปรผกผันกับอิมพีแดนซ์ที่ตำแหน่งPCC (หรือแรงดันฮาร์มอนิกคงที่)

$$I_h = 1/K_{ZI} \qquad (2.17)$$

สำหรับระบบไฟฟ้าแรงดันปานกลางสำหรับกรณีที่สายป้อนยาวกว่า 10 กิโลเมตรการใช้กลุ่มรูปแบบฮาร์มอนิกจาก ก) ข) ค)มีผลต่อการดูดซับฮาร์มอนิกดีขึ้นตามลำดับ แต่ส่งผลต่อค่าจำกัดการแพร่ฮาร์มอนิกของผู้ใช้ไฟฟ้าที่ปลายสายป้อนน้อยลงตามลำดับด้วย

จากกลุ่มรูปแบบฮาร์มอนิกสมมติดังกล่าว มาตรฐานได้แนะนำกลุ่ม ข) และ ก) แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับนโยบายผู้จ่ายไฟฟ้า และ รูปแบบเฉพาะทางของโครงข่ายไฟฟ้าด้วย โดยเหตุผลที่สนับสนุนในการใช้ฮาร์มอนิกสมมติกลุ่ม ข)คือ

-ให้ผลในการประนีประนอมระหว่างผลของการดูดซับฮาร์มอนิกและผลการจำกัดการแพร่ฮาร์มอนิกของผู้ใช้ไฟฟ้าที่ไกลสถานีจ่ายไฟฟ้า

-สามารถประยุกต์ใช้กับรูปแบบโครงข่ายในแบบที่แตกต่างได้ เช่น กรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้าทุกรายกำลังไฟฟ้าที่อนุญาตเท่ากัน แต่เมื่ออิมพีแดนซ์ของระบบลดลง ดังนั้นค่าจำกัดการแพร่ฮาร์มอนิกจึงต้องลดลงด้วย

2)การคำนวณแรงดันตอบสนองฮาร์มอนิกของระบบโดยใช้กลุ่มฮาร์มอนิกอ้างอิงที่ไหลกระจายในสายป้อน

ทำการคำนวณแรงดันฮาร์มอนิกตอบสนองมากที่สุดจากกลุ่มฮาร์มอนิกที่ไหลกระจายอ้างอิงสมมติทั้ง3ชนิด เริ่มการคำนวณโดยนำกลุ่มฮาร์มอนิกสมมติว่าไหลเข้าสู่ระบบไฟฟ้าผ่านจากจุดที่ภาระเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าพร้อมกัน จากนั้นคำนวณหาแรงดันตอบสนองที่เกิดขึ้นในระบบทุก ๆ จุดเชื่อมของภาระไฟฟ้า

แรงดันฮาร์มอนิกตอบสนองมากที่สุดสำหรับฮาร์มอนิกอันดับที่ h บนระบบไฟฟ้า(D_{Uh}) หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

สำหรับแหล่งฮาร์มอนิกสมมติอ้างอิงที่ไหลเข้าสู่ระบบที่จุด PCC ให้ผลลัพท์การคำนวณที่ดีจะต้องไม่คิดผลของอิมพีแด็นซ์ของผู้ใช้ไฟฟ้าที่ต่อกับดิน(เช่น อิมพีแดนซ์ของภาระขนาน หรือ ฟิลเตอร์)

3)การคำนวณค่าจำกัดการแพร่กระแสฮาร์มอนิก

การคำนวณค่าจำกัดการแพร่กระแสฮาร์มอนิกพิจารณาจาก แรงดันฮาร์มอนิกตอบสนองสูงสุดของระบบและกลุ่มฮาร์มอนิกอ้างอิงสมมติ

ในกรณีนี้ยกตัวอย่างสำหรับกลุ่มฮาร์มอนิกสมมติ กลุ่ม ข) ซึ่งได้สมการค่าระดับจำกัดการแพร่กระแสฮาร์มอนิกของฮาร์มอนิกอันดับที่ h ดังนี้

$$E_{IhiMV} = \left(\frac{1\,Ar.m.s.}{\sqrt{K_{Zi}}}\right)\left(\frac{G_{hMV}}{D_{Uh}}\right)\left(\frac{1}{\sqrt[9]{F_{MV}}}\right) \qquad (2.18)$$

$$E_{IhiMV}(\%) = 100 \cdot \frac{E_{IhiMV}}{S_i/(\sqrt{3}\cdot U_N)} \qquad (2.19)$$

ซึ่ง

E_{IhiMV} กระแสจำกัดฮาร์มอนิกที่ได้รับการอนุญาต ฮาร์มอนิกอันดับที่ h สำหรับภาระที่จุด i ในระบบแรงดันปานกลาง(หน่วย $A_{r.m.s.}$)

$E_{IhiMV}\%$ กระแสจำกัดฮาร์มอนิกที่ได้รับการอนุญาต ฮาร์มอนิกอันดับที่ h สำหรับภาระที่จุด i ในระบบแรงดันปานกลาง(หน่วย % ของ กระแสผู้ใช้ไฟฟ้าตกลงกับผู้จ่ายไฟฟ้า)

G_{hMV} แรงดันฮาร์มอนิกที่เข้าสู่ระบบไฟฟ้าของภาระทั้งหมดในระบบแรงดันปานกลาง(หน่วย %)

D_{Uh} แรงดันฮาร์มอนิกตอบสนองสูงสุดอันดับที่ h ที่ได้จากขั้นตอนที่แล้ว(หน่วย %)

F_{MV} ค่าปัจจัยการใช้งานพร้อมกันของภาระไฟฟ้าในระบบแรงดันปานกลาง (หน่วย %)

U_N แรงดันทำงานของระบบจำหน่ายของแรงดันปานกลาง (หน่วย kV)

S_i กำลังไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย = S_{MV}/จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด

S_{MV} กำลังไฟฟ้าทั้งหมดของภาระที่ต่อกับระบบแรงดันปานกลาง(ที่สภาวะอิ่มตัวของระบบ)ผ่านหม้อแปลงเปลี่ยนแรงดันสูง/แรงดันปานกลาง

K_{ZI} ค่าดัชนีสัดส่วนดังได้กล่าวไว้ในสมการที่ 2.14

สำหรับสมการที่ 2.18 สำหรับกรณี กลุ่มฮาร์มอนิกสมมติ กลุ่ม ก) แทนที่ $1/\sqrt{K_{Zi}} = 1$ และ สำหรับกลุ่มฮาร์มอนิกสมมติกลุ่ม ค) แทน $1/\sqrt{K_{Zi}} = 1/K_{Zi}$

ค่าระดับจำกัดการแพร่กระแสฮาร์มอนิกเป็นค่าสำหรับระบบไฟฟ้าอ้างอิง เพื่อสามารถใช้เป็นเกณฑ์สำหรับประมาณค่าระดับจำกัดการแพร่สำหรับระบบไฟฟ้ารูปแบบอื่น โดยมีเงื่อนไขว่าระบบไฟฟ้าดังกล่าว ค่าฮาร์มอนิกอิมพีแดนซ์ ภาระไฟฟ้าทั้งหมด และ การแบ่งสัดส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าแรงดันต่ำกับแรงดันปานกาง ไม่มีค่าผันผวนมากเกินไป

เมื่อบรรลุเงื่อนไขดังกล่าว ค่าระดับจำกัดการแพร่ฮาร์มอนิกที่เหมาะสมเมื่อเปลี่ยนแปลงค่ากำลังไฟฟ้าตกลงกับผู้จ่ายไฟฟ้าดังสมการที่ 2.20

$$E_{IhiMV}(\%) = \left(\frac{S_i}{S_{iref}}\right)^{1/\alpha} \cdot E_{IhiMV} \cdot \left(\frac{S_{iref}}{S_i}\right) \qquad (2.20)$$

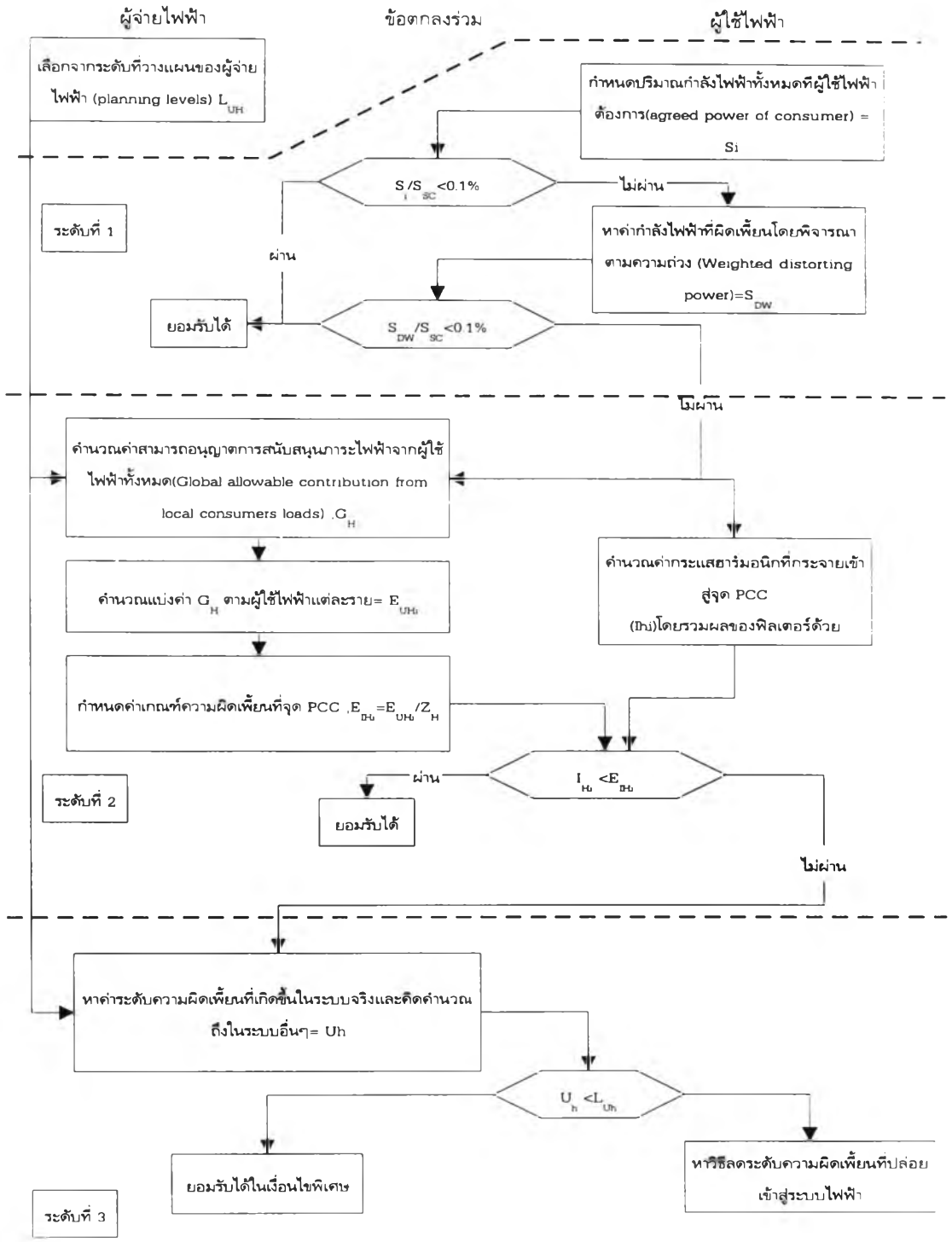
โดยที่ส่วนต่อท้าย ref หมายถึงค่าที่ได้มาจากระบบไฟฟ้าอ้างอิงเมื่อเปลี่ยนค่า F_{MV} เปลี่ยนแปลง จะได้ค่าระดับจำกัดการแพร่ฮาร์มอนิกเทียบกับระบบไฟฟ้าอ้างอิงดังสมการที่ 2.21

$$E_{IhiMV}(\%) = \left(\frac{S_i}{S_{iref}} \cdot \frac{F_{MVref}}{F_{MV}}\right)^{1/\alpha} \cdot E_{IhiMV} \cdot \left(\frac{S_{iref}}{S_i}\right) \qquad (2.21)$$

2.2.3 ระดับที่ 3 การยอมรับค่าความผิดเพี้ยนที่ปล่อยสู่ระบบไฟฟ้าในกรณีพิเศษหรือระดับล่อแหลม

ในเกณฑ์ระดับที่3เป็นกรณีพิเศษที่ระดับความผิดเพี้ยนที่ปล่อยสู่ระบบไฟฟ้าเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในระดับที่ 2 เนื่องจากความเป็นจริงผู้ใช้ไฟฟ้าบางรายในระบบไฟฟ้าไม่ได้สร้างฮาร์มอนิกในระดับนัยสำคัญเหตุด้วยผู้ใช้ไฟฟ้าบางรายนั้นมีภาระไฟฟ้าที่สร้างความผิดเพี้ยนจริงไม่ได้อยู่ระดับสำคัญ นอกจากนั้นกำลังไฟฟ้าที่ว่างในระบบไฟฟ้าตามความเป็นจริงไม่ถูกใช้ต่อเนื่องในระยะเวลานาน สำหรับกรณีเช่นนี้ผู้จ่ายไฟฟ้าจะต้องกำหนดเขตระดับจำกัดที่เหมาะสมโดยพิจารณาเพื่อไม่ให้ระดับการแพร่โดยรวมเกินค่าระดับจำกัดที่วางแผน นอกจากนี้ผู้ใช้ไฟฟ้าและผู้จ่ายไฟฟ้าต้องตกลงด้วยเงื่อนไขพิเศษและต้องมีการศึกษาผลต่อระบบไฟฟ้าจริงและในอนาคต

สรุประดับการประเมินทั้ง 3 ระดับสามารถเขียนเป็นแผนผังได้ดังนี้



รูปที่ 2.3 รูปแผนผังสรุปขั้นตอนการประเมินตามมาตรฐาน IEC 1000-3-6

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หมายเหตุ

S_{SC} กำลังไฟฟ้าลัดวงจรที่จุด PCC ของผู้ใช้ไฟฟ้า(Short Circuit Capacity)

Z_H ค่าฮาร์มอนิกอิมพีแดนซ์อันดับที่ h ของระบบที่จุดPCC ของผู้ใช้ไฟฟ้า

G_H ค่าสามารถอนุญาตการรับภาระไฟฟ้าจากผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด(Global allowable contribution from local consumers loads)

E_{Uhi} ค่าระดับอนุญาตของแรงดันฮาร์มอนิกที่กระจายสู่ระบบไฟฟ้าโดยผู้ใช้ไฟฟ้า (allowed harmonic voltage emission limit of order h for consumer(i))

E_{Ihi} ค่าระดับอนุญาตของกระแสฮาร์มอนิกที่กระจายสู่ระบบไฟฟ้าโดยผู้ใช้ไฟฟ้า (allowed harmonic current emission limit of order h for consumer(i))

I_{hi} ค่ากระแสอาร์มอนิกของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยประมาณที่คาดว่าเกิดขึ้นที่จุด PCC รวมผลของฟิลเตอร์