คุ ณ สุ วิ ท ย์ ศ รี สุ ข

ขอเล่าเท่าที่รู้..

เรื่องฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 แลจำนวนเท่า (ต่อไปนี้เรียกว่า “อนุกรม”)

ผลกระทบด้านความร้อนทำให้ขนาดสายไฟฟ้าเฟสแลนิวทรัลต้องใช้ใหญ่ขึ้น ข้อกำหนดนี้เป็นไปตามมาตรฐาน วสท. หัวข้อ 3.2.4.3 ลำดับที่ 2 อย่าลืมหามาอ่านกันนะ...เรื่องนี้สมัยหนึ่งเคยได้รับทราบข้อมูลมาว่า ต้องเป็นขนาด double neutral แท้ที่จริงแล้วจักเป็นดังข้างต้นได้จักต้องมีปริมาณฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 มากถึง 90% ซึ่งน่าจักไม่มีโอกาสเกิดขึ้นขนาดนี้ แลจากความเข้าใจเดิมสายที่ใดก็จักจำเพาะสายนิวทรัล แท้แล้วสายใดขึ้นทั้งสายเฟสแลสายนิวทรัล เมื่อเป็นดังนี้ จึงได้เริ่มศึกษามาตรฐานของอังกฤษที่ชื่อ BS7671 : 2018 ซึ่งเป็นฉบับล่าสุดที่พอหามาได้ในเมืองไทย ได้สูตรคำนวณมา 2 สูตร คือ ขนาดของกระแสในสายเฟส แลนิวทรัล ดังแสดงในรูปที่ 1

$$I_{LH} = \left[\sqrt{1+\left(\frac{h}{100}\right)^2}\right] \times I_L \qquad I_{nh} = \left[\frac{3 \times h}{100}\right] \times I_L$$

รูปที่ 1 แสดงสูตรคำนวณหาขนาดสายเฟส แลนิวทรัลอันเนื่องมาจากฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 แลอนุกรม

เมื่อได้เห็นดังนี้ตามประสานักคิดนักคำนวณที่ชอบคำนวณ ได้จัดการคำนวณตามสูตรข้างต้นตั้งแต่เปอร์เซนฮาร์โมนิก 0% จนกระทั่งถึง 100% ดังแสดงในรูปที่ 2

Rating factors for triple harmonic currents in four-core and five-core cables with four cores carrying current

3rd content-THD-I (%)	Harmonic currents in line conductors	Harmonic currents in neutral conductors	Neutral current / Line current (harmonic)
0	1	0	0
1	1.0000	0.0300	0.0300
2	1.0002	0.0600	0.0600
3	1.0004	0.0900	0.0900
4	1.0008	0.1200	0.1199
5	1.0012	0.1500	0.1498
6	1.0018	0.1800	0.1797
7	1.0024	0.2100	0.2095
8	1.0032	0.2400	0.2392
9	1.0040	0.2700	0.2689
10	1.0050	0.3000	0.2985
11	1.0060	0.3300	0.3280
12	1.0072	0.3600	0.3574
13	1.0084	0.3900	0.3867
14	1.0098	0.4200	0.4159
15	1.0112	0.4500	0.4450
16	1.0127	0.4800	0.4740
17	1.0143	0.5100	0.5028
18	1.0161	0.5400	0.5315
19	1.0179	0.5700	0.5600
20	1.0198	0.6000	0.5883
21	1.0218	0.6300	0.6166
22	1.0239	0.6600	0.6446
23	1.0261	0.6900	0.6724
24	1.0284	0.7200	0.7001
25	1.0308	0.7500	0.7276
26	1.0332	0.7800	0.7549
27	1.0358	0.8100	0.7820
28	1.0385	0.8400	0.8089
29	1.0412	0.8700	0.8356
30	1.0440	0.9000	0.8620
31	1.0469	0.9300	0.8883
32	1.0500	0.9600	0.9143
33	1.0530	0.9900	0.9401
34	1.0562	1.0200	0.9657
35	1.0595	1.0500	0.9911
36	1.0628	1.0800	1.0162
37	1.0663	1.1100	1.0410
38	1.0698	1.1400	1.0657
39	1.0734	1.1700	1.0900
40	1.0770	1.2000	1.1142
41	1.0808	1.2300	1.1381
42	1.0846	1.2600	1.1617
43	1.0885	1.2900	1.1851
44	1.0925	1.3200	1.2082
45	1.0966	1.3500	1.2311
46	1.1007	1.3800	1.2537
47	1.1049	1.4100	1.2761
48	1.1092	1.4400	1.2982
49	1.1136	1.4700	1.3200
50	1.1180	1.5000	1.3416
51	1.1225	1.5300	1.3630
52	1.1271	1.5600	1.3841
53	1.1318	1.5900	1.4049
54	1.1365	1.6200	1.4254
55	1.1413	1.6500	1.4458
56	1.1461	1.6800	1.4658
57	1.1510	1.7100	1.4856
58	1.1560	1.7400	1.5052
59	1.1611	1.7700	1.5244
60	1.1662	1.8000	1.5435
61	1.1714	1.8300	1.5623
62	1.1766	1.8600	1.5808
63	1.1819	1.8900	1.5991
64	1.1873	1.9200	1.6172
65	1.1927	1.9500	1.6350
66	1.1982	1.9800	1.6525
67	1.2037	2.0100	1.6698
68	1.2093	2.0400	1.6869
69	1.2149	2.0700	1.7038
70	1.2207	2.1000	1.7204
71	1.2264	2.1300	1.7368
72	1.2322	2.1600	1.7529
73	1.2381	2.1900	1.7688
74	1.2440	2.2200	1.7845
75	1.2500	2.2500	1.8000
76	1.2560	2.2800	1.8152
77	1.2621	2.3100	1.8303
78	1.2682	2.3400	1.8451
79	1.2744	2.3700	1.8597
80	1.2806	2.4000	1.8741
81	1.2869	2.4300	1.8883
82	1.2932	2.4600	1.9022
83	1.2996	2.4900	1.9160
84	1.3060	2.5200	1.9296
85	1.3124	2.5500	1.9429
86	1.3189	2.5800	1.9561
87	1.3255	2.6100	1.9691
88	1.3321	2.6400	1.9819
89	1.3387	2.6700	1.9945
90	1.3454	2.7000	2.0069
91	1.3521	2.7300	2.0191
92	1.3588	2.7600	2.0312
93	1.3656	2.7900	2.0430
94	1.3724	2.8200	2.0547
95	1.3793	2.8500	2.0662
96	1.3862	2.8800	2.0776
97	1.3932	2.9100	2.0888
98	1.4001	2.9400	2.0998
99	1.4072	2.9700	2.1106
100	1.4142	3.0000	2.1213

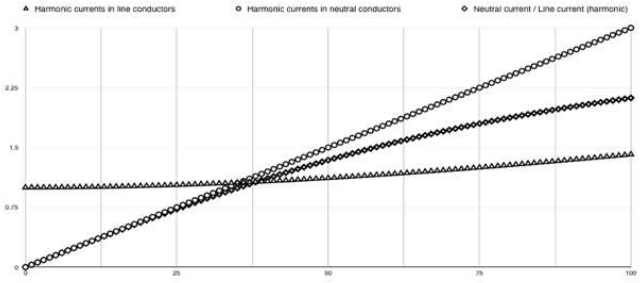
รูปที่ 2 แสดงตัวเลขผลการคำนวณตามสูตรที่แสดงในรูปที่ 1

ต่อไปขอพิจารณาตามขอบเขตแห่งมาตรฐาน ที่มีการแบ่งตามข้อกำหนดในมาตรฐานที่นำมาอ้างอิงดังนี้

ขนาดเปอร์เซนของฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 แลอนุกรม	แนวทางในการกำหนดขนาดของสายเฟส แลสายนิวทรัล
ตั้งแต่ 0 ถึง 15%	• ขนาดกระแสในสายนิวทรัลมีขนาดสูงสุดเพียง 44.5% ของขนาดกระแสในสายเฟส • ในช่วงนี้มาตรฐานกำหนดให้ใช้ขนาดกระแสของสายเฟส ฤๅคิดเป็นที่ 100% ของขนาดกระแสของสายเฟส มาเป็นตัวกำหนดขนาดสายของทั้งสายเฟส แลสายนิวทรัล
มากกว่า 15% แต่ไม่เกิน 33%	• ขนาดกระแสในสายนิวทรัลมีขนาดเข้าใกล้ขนาดกระแสในสายเฟส จนที่ 33% ขนาดกระแสในสายนิวทรัลเกือบเท่ากับ 100% ของขนาดกระแสในสายเฟส • ในช่วงนี้มาตรฐานกำหนดให้ใช้ขนาดกระแสของสายเฟส หารด้วย 0.86 ฤๅคิดเป็น 116.28% ของขนาดกระแสของสายเฟส มาเป็นตัวกำหนดขนาดสายของทั้งสายเฟส แลสายนิวทรัล
มากกว่า 33% แต่ไม่เกิน 45%	• ขนาดกระแสในสายนิวทรัลมีขนาดมากกว่าขนาดกระแสในสายเฟส จนที่ 45% ขนาดกระแสในสายนิวทรัลมีขนาดเท่ากับ 121% ของขนาดกระแสในสายเฟส • ในช่วงนี้มาตรฐานกำหนดให้ใช้ขนาดกระแสของสายนิวทรัล หารด้วย 0.86 ฤๅคิดเป็น 116.28% ของขนาดกระแสของสายนิวทรัล มาเป็นตัวกำหนดขนาดสายของทั้งสายเฟส แลสายนิวทรัล
มากกว่า 45%	• ขนาดกระแสในสายนิวทรัลมีขนาดมากกว่าขนาดกระแสในสายเฟส จนที่ 90% ขึ้นไป ขนาดกระแสในสายนิวทรัลมีขนาดมากกว่า 200% ของขนาดกระแสในสายเฟส • ในช่วงนี้มาตรฐานกำหนดให้ใช้ขนาดกระแสของสายนิวทรัล ฤๅคิดเป็นที่ 100% ของขนาดกระแสของสายนิวทรัล มาเป็นตัวกำหนดขนาดสายของทั้งสายเฟส แลสายนิวทรัล

<u>ข้อสังเกต</u> *ในมาตรฐาน BS ข้างต้นใช้คำอธิบายว่า เป็นสาย multicore ขนาดจึงต้องใหญ่ตาม ๆ กันไปทั้งสายเฟส แลสายนิวทรัล*

โดยผลจากการคำนวณสามารถนำมาพล็อตกราฟดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงกราฟของผลการคำนวณตามสูตรที่แสดงในรูปที่ 1

ดังนี้แล้วจึงเห็นสมควรที่จักเรียบเรียงมาเป็นบทความฉบับนี้ แลร่างวิธีคำนวณนำไปเสนอเป็นภาคผนวก ฌ.3 ของมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าของ วสท. ดังท่านผู้อ่านจักได้อ่านฉบับร่างครั้งสุดท้ายก่อนเสนอให้คณะทำงานพิจารณาการปรับปรุงบทที่ 3 5 ของ วสท. พิจารณาต่อไป แลต่อไปนี้เป็นเนื้อความที่นำเสนอต่อคณะทำงานดังกล่าวเป็นเอกสารดังต่อไปนี้

ภาคผนวก ฌ.3

ตามที่มีกำหนดไว้ในหัวข้อ 3.2.4.3 หมายเหตุ 2) ของมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย

(BS 7671:2018, 523.6.1 Number of loaded conductors)

ตัวนำนิวทรัลในวงจร 3 เฟส ทำหน้าที่รับกระแสที่ไม่สมดุลเนื่องจากค่าของกระแสในแต่ละเฟสที่ความถี่พื้นฐาน (fundamental frequency) ในหัวข้อนี้เน้นขนาดของกระแสที่เกิดจากฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 หรือจำนวนเท่าของลำดับที่ 3 ภายใต้เงื่อนไขการใช้สายเคเบิล 4 แกน 5 แกนรวมถึงบัสเวย์ที่ต้องมีขนาดของการนำกระแสของสายนิวทรัลตั้งแต่กระแสฮาร์มอนิกมากกว่า 15% BS 7671: 2018, Appendix 4 หัวข้อ 5.5.1 Rating factors ซึ่งทำให้มีกระแสในสายนิวทรัลเพิ่มขึ้นเป็น 145% ของกระแสในสายเฟสที่ความถี่พื้นฐาน และมีกระแสที่ไม่สมดุล 100% รวมกับกระแสเนื่องจากฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 45 % ด้วยคุณลักษณะข้างต้นจึงกำหนดวิธีการเลือกการอ้างอิงขนาดตัวนำดังตารางที่ ฌ.3-1 สำหรับขนาดของกระแสฮาร์มอนิกค่าต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ ฌ.3-1 ตัวคูณสำหรับกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 ในสายเคเบิลหลายแกน และบัสเวย์

ขนาดเปอร์เซ็นต์ของกระแสฮาร์มอนิกเทียบกับฮาร์มอนิกทั้งหมด THD (%)	ตัวปรับลัดส่วน	
	เลือกขนาดอ้างอิงจากตัวนำเฟส	เลือกขนาดอ้างอิงจากตัวนำนิวทรัล
0 - 15	1.0	-
> 15 - 33	0.86	-
> 33 - 45	-	0.86
> 45	-	1.0

ขนาดกระแสในตัวนำเฟส เนื่องจากกระแสฮาร์มอนิก (I_{LH}) เทียบกับกระแสที่ความถี่หลักมูล (I_L)

$$I_{LH} = \left[\sqrt{1 + \left(\frac{h}{100}\right)^2}\right] \times I_L$$

โดยที่ h = ฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 เป็นเปอร์เซ็นต์ของฮาร์มอนิกทั้งหมด (THD - i)

ขนาดกระแสในตัวนำนิวทรัล เนื่องจากกระแสฮาร์มอนิก (I_{nh}) เทียบกับกระแสที่ความถี่หลักมูล (I_L)

$$I_{nh} = \left[\frac{3 \times h}{100}\right] \times I_L$$

โดยที่ h = ฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 เป็นเปอร์เซ็นต์ของฮาร์มอนิกทั้งหมด (THD - i)

ตัวอย่างการคำนวณหาขนาดพิกัดกระแสของตัวนำทั้งเฟสและนิวทรัลที่ h = 10% 20% 40% แล 50% โดยสมมุติให้ขนาดกระแสที่ความถี่หลักมูลเท่ากับ 100 แอมป์ (I_L)

<u>ตัวอย่างที่ 1</u> โหลดไฟฟ้าสร้างฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 เทียบกับฮาร์มอนิกทั้งหมดเท่ากับ 10%

(ค่า %3rd harmonic : THD - i = 10%)

<u>วิธีทำ</u>

กรณี %3rd ฮาร์มอนิกไม่เกิน 15% ให้เลือกขนาดกระแสสายเฟสและนิวทรัลจากขนาดกระแสสายเฟสที่ %3rd ฮาร์มอนิก I_{LH} โดยมีตัวปรับสัดส่วนเท่ากับ 1.0

หาขนาดกระแสสายเฟสที่ %3rd ฮาร์มอนิก (อ้างอิง)

$$I_{LH} = \left[\sqrt{1+\left(\frac{10}{100}\right)^2}\right] \times 100$$

$$I_{LH} = 100.50 \text{ แอมป์}$$

หาขนาดกระแสของทั้งสายเฟสและสายนิวทรัล (เพื่อกำหนดขนาดสาย) (I'_{LH} I'_{nh})

$$I'_{LH} = I'_{nh} = \frac{I_{LH}}{1.0}$$

$$I'_{LH} = I'_{nh} = \frac{100.50}{1.0}$$

$$I'_{LH} = I'_{nh} = 100.50 \text{ แอมป์}$$

ตัวอย่างที่ 2 โหลดไฟฟ้าสร้างฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 เทียบกับฮาร์มอนิกทั้งหมดเท่ากับ 20%

(ค่า %3rd harmonic : THD – i = 20%)

วิธีทำ

กรณี %3rd ฮาร์มอนิกเกิน 15% แต่ไม่เกิน 33% ให้เลือกขนาดกระแสสายเฟสและนิวทรัลจากขนาดกระแสสายเฟสที่ %3rd ฮาร์มอนิก I_{LH} โดยมีตัวปรับลัดส่วนเท่ากับ 0.86

หาขนาดกระแสสายเฟสที่ %3rd ฮาร์มอนิก (อ้างอิง)

$$I_{LH} = \left[\sqrt{1+\left(\frac{20}{100}\right)^2}\right] \times 100$$

$$I_{LH} = 101.98 \text{ แอมป์}$$

หาขนาดกระแสของทั้งสายเฟสและสายนิวทรัล (เพื่อกำหนดขนาดสาย) (I'_{LH} I'_{nh})

$$I'_{LH} = I'_{nh} = \frac{I_{LH}}{0.86}$$

$$I'_{LH} = I'_{nh} = \frac{101.98}{0.86}$$

$$I'_{LH} = I'_{nh} = 118.58 \text{ แอมป์}$$

ตัวอย่างที่ 3 โหลดไฟฟ้าสร้างฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 เทียบกับฮาร์มอนิกทั้งหมดเท่ากับ 40%

(ค่า %3rd harmonic : THD – i = 40%)

วิธีทำ

กรณี %3rd ฮาร์มอนิกเกิน 33% แต่ไม่เกิน 45% ให้เลือกขนาดกระแสสายเฟสและนิวทรัลจากขนาดกระแสสายนิวทรัลที่ %3rd ฮาร์มอนิก I_{nh} โดยมีตัวปรับลัดส่วนเท่ากับ 0.86

หาขนาดกระแสสายเฟสที่ %3rd ฮาร์มอนิก (อ้างอิง)

$$I_{nh} = \left[\frac{3 \times 40}{100}\right] \times 100$$

$$I_{nh} = 120 \text{ แอมป์}$$

หาขนาดกระแสของทั้งสายเฟสและสายนิวทรัล (เพื่อกำหนดขนาดสาย) (I'_{LH} I'_{nh})

$$I'_{LH} = I'_{nh} = \frac{I_{nh}}{0.86}$$

$$I'_{LH} = I'_{nh} = \frac{120}{0.86}$$

$$I'_{LH} = I'_{nh} = 139.53 \text{ แอมป์}$$

ตัวอย่างที่ 4 โหลดไฟฟ้าสร้างฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 เทียบกับฮาร์มอนิกทั้งหมดเท่ากับ 50%

(ค่า %3rd harmonic : THD – i = 50%)

วิธีทำ

กรณี %3rd ฮาร์มอนิกเกิน 45% ให้เลือกขนาดกระแสสายเฟสและนิวทรัลจากขนาดกระแสสายนิวทรัลที่ %3rd ฮาร์มอนิก I_{nh} โดยมีตัวปรับลัดส่วนเท่ากับ 1.0

หาขนาดกระแสสายเฟสที่ %3rd ฮาร์มอนิก (อ้างอิง)

$$I_{nh} = \left[\frac{3 \times 50}{100}\right] \times 100$$

$$I_{nh} = 150 \text{ แอมป์}$$

หาขนาดกระแสของทั้งสายเฟสและสายนิวทรัล (เพื่อกำหนดขนาดสาย) (I'_{LH} I'_{nh})

$$I'_{LH} = I'_{nh} = \frac{I_{nh}}{1.0}$$

$$I'_{LH} = I'_{nh} = \frac{150}{1.0}$$

$$I'_{LH} = I'_{nh} = 150 \text{ แอมป์}$$

ขนาดกระแสที่คำนวณได้แต่ละตัวอย่างเป็นขนาดของตัวนำเท่านั้น ขนาดของวงจร เช่น ขนาดของอุปกรณ์ป้องกันยังคงเป็นไปตามขนาดของวงจรเหมือนเดิม ดังตัวอย่างที่แสดงค่า I_L = 100 แอมป์ จึงต้องเลือกขนาดวงจรที่มีเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 100 แอมป์ กรณีที่ขนาดของวงจรจำเป็นต้องเพิ่มขนาดด้วยเหตุผลใดก็ตาม ขนาดของตัวนำเฟสและนิวทรัลต้องคำนวณใหม่

ภายหลังที่ได้เสนอต่อคณะทำงาน แลได้ชี้แจงที่มาที่ไปจึงเห็นสมควรบรรจุไว้ในภาคผนวกดังกล่าว แล้วเสนอต่อไปยังคณะอนุกรรมการปรับปรุงมาตรฐานติดตั้งทางไฟฟ้าของ วสท. พิจารณาในลำดับต่อ ๆ ไป สุดท้ายจักต้องมีการทำเทคนิคพิจารณ์จากวิศวกรผู้จักนำไปใช้งาน หวังยิ่งว่า ผู้อ่านจักได้ทำความเข้าใจจากบทความนี้ แล้วนำความเห็นที่เป็นประโยชน์ เสนอในขั้นตอนการทำเทคนิคพิจารณ์ต่อไป ผู้เขียนในฐานะที่เป็นผู้ฟูมฟักบ่มเพาะจนมาเป็นกลุ่มก้อนขึ้นความรู้หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจักได้มีการนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์กับตัวบุคคล สังคมในวงกว้าง แลประชาชนคนไทยได้ใช้ชีวิตอย่างปลอดภัยจากการใช้ไฟฟ้าที่ได้ปฏิบัติตามมาตรฐานแห่งนี้ขอทุกคนโชคดีครับ

ส่วนตัวผู้เขียน

นายสุวิทย์ ศรีสุข *วิศวกรไฟฟ้า-ที่ปรึกษาอิสระ*

การศึกษา
- ปริญญาตรี-วิศวกรรมศาสตร์ ไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี
- ปริญญาโท-วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม บางเขน

ประสบการณ์ • ทำงานกว่า 31 ปี งานด้านไฟฟ้ากำลัง