บทที่ 9 แรงดันตก

9.1 การเกิดแรงดันตก

คือแรงดันไฟฟ้าที่สูญเสียไประหว่างทาง สาเหตุจากการที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายไฟฟ้าซึ่งมีค่าอิมพีแดนซ์ (impedance) แรงดันตกจึงเป็นความต่างกันระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ปลายทางกับต้นทาง ปกติจะคิดเป็นร้อยละของแรงดันต้นทาง

9.2 ผลของแรงดันตก

เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ปลายทางต่ำจะเกิดผลเสียคือ ประสิทธิผลการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าจะลดลง หรืออาจถึงขั้นทำงานไม่ได้เช่น หลอดไฟฟ้าสว่างน้อยลง หลอดฟลูออเรสเซ็นต์อาจเปิดติดยากหรือไม่ติด และมอเตอร์ไฟฟ้าสตาร์ตไม่ไหวหรือร้อนจน overload เป็นต้น จึงจำเป็นต้องแก้ไข วิธีที่ดีคือจะต้องป้องกันไว้ก่อนคือต้องทราบก่อนว่าในวงจรไฟฟ้าที่จะติดตั้งใช้งานนั้นมีค่าแรงดันตกมากเกินกำหนดหรือไม่ และทำการแก้ไขเสียก่อนที่จะทำการติดตั้ง

จากสมการ แรงดันตกเกิดจากกระแสไฟฟ้าคูณด้วย impedance ของสายไฟฟ้า วิธีการแก้แรงดันตกที่นิยมใช้กันทั่วไปคือการลดค่า impedance โดยการเพิ่มขนาดสายไฟฟ้า สำหรับการลดกระแสไฟฟ้าการปรับค่า power factor ก็อาจทำได้ระดับหนึ่ง

9.3 มาตรฐานแรงดันตก

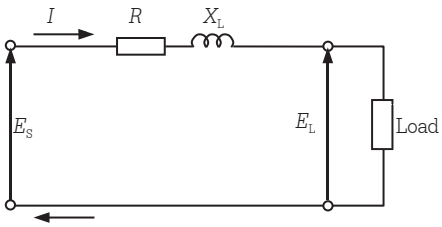
มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ กำหนดค่าแรงดันตกในส่วนของระบบแรงต่ำ ไว้ ดังนี้

1. กรณีรับไฟแรงต่ำจากการไฟฟ้าฯ แรงดันตกคิดจากเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าถึงจุดใช้ไฟจุดสุดท้าย (จุดที่มีค่าแรงดันตกสูงสุด) รวมกันต้องไม่เกิน 5% จากค่าแรงดันที่ระบุ

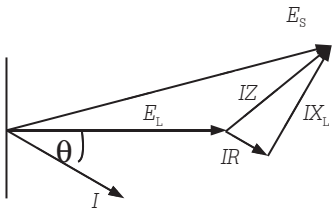
2. กรณีรับไฟแรงสูงจากการไฟฟ้าฯ แรงดันตกคิดจากเมนสวิตช์ (หรือบริภัณฑ์ประธาน) ถึงจุดใช้ไฟจุดสุดท้ายรวมกันต้องไม่เกิน 5% จากค่าแรงดันที่ระบุ

9.4 การคำนวณแรงดันตก

แรงดันตกคือแรงดันไฟฟ้าที่สูญเสียไปในสายไฟฟ้าระหว่างทางที่กระแสไหล การหาค่าแรงดันตกจึงเป็นการหาแรงดันไฟฟ้าที่ปลายทางเทียบกับต้นทาง เขียนเป็นวงจรสมมูลและ phasor diagram ได้ดังนี้



วงจรสมมูล 1 เฟส



Phasor diagram

กำหนดให้

E_S = แรงดันไฟฟ้าที่ต้นทาง (V)

E_L = แรงดันไฟฟ้าที่ปลายทาง (V)

I = กระแสไฟฟ้าในวงจร (A)

R = ความต้านทาน (Ω)

X_L = Inductive reactance (Ω)

เขียนเป็นสมการโดยประมาณได้ดังนี้

$$E_S = E_L + I \cdot R \cos\theta + I \cdot X_L \sin\theta$$

$$\text{แรงดันตก} = E_S - E_L = I \cdot R \cos\theta + I \cdot X_L \sin\theta$$

การคำนวณค่าแรงดันตกจะใช้ค่าความต้านทานกระแสสลับที่อุณหภูมิพิกัดใช้งานของสายไฟฟ้าคือสายฉนวน PVC คิดที่อุณหภูมิ 70°C และสายฉนวน XLPE คิดที่อุณหภูมิ 90°C สำหรับค่ารีแอกแตนซ์หรือค่า X_L ของสายไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตามวิธีการวางสายไฟฟ้า ดังนั้น

สายฉนวน PVC กับ XLPE ที่ขนาดเท่ากันและวิธีการวางสายเหมือนกันจึงมีค่าแรงดันตกไม่เท่ากัน สมการแรงดันตกเป็นดังนี้

1. แรงดันตกวงจร 3 เฟส

$$VD = \sqrt{3} \times I(R\ \mathrm{Cos}\theta + X_L\ \mathrm{Sin}\theta) \times L$$

ทำเป็นเปอร์เซ็นต์หารด้วยระบบแรงดัน สำหรับระบบแรงดัน 230/400 V

$$\%VD = \frac{VD}{400} \times 100$$

2. แรงดันตกวงจร 1 เฟส

$$VD = 2 \times I(R\ \mathrm{Cos}\theta + X_L\ \mathrm{Sin}\theta) \times L$$

ทำเป็นเปอร์เซ็นต์หารด้วยระบบแรงดัน สำหรับระบบแรงดัน 230/400 V

$$\%VD = \frac{VD}{230} \times 100$$

9.5 อิมพีแดนซ์ของสายไฟฟ้า

ประกอบด้วยค่าความต้านทาน (R) และค่า inductive reactance (X_L) ดังนี้

ความต้านทาน ขึ้นกับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำสายไฟฟ้า ขนาดและความยาวของสายไฟฟ้า ดังนี้

$$R = \frac{\rho \times l}{A}$$

กำหนดให้

R = ความต้านทานของสายไฟฟ้า เป็น โอห์ม

ρ = ความต้านทานจำเพาะของวัสดุที่ใช้ทำสายไฟฟ้า เป็น โอห์ม-เมตร

l = ความยาวของสายไฟฟ้า เป็น ม.

A = พื้นที่ภาคตัดขวางของสายไฟฟ้าเป็น ตร.ม.

ค่า ρ ของสายทองแดง = 1/54 และของอะลูมิเนียม 1/38 ที่อุณหภูมิ 20^{O}C เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปความต้านทานของสายไฟฟ้าจะเปลี่ยนไปด้วย หาได้ดังนี้

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T + t_2}{T + t_1}$$

กำหนดให้

R_1 = ความต้านทานของสายไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 20^{O}C

R_2 = ความต้านทานของสายไฟฟ้าที่อุณหภูมิ t_2

t_1 = 20^{O}C

t_2 = อุณหภูมิใช้งานของสายไฟฟ้า

T = ค่าคงที่ สายทองแดง = 241 และสายอะลูมิเนียม = 228

Inductive reactance หาได้ดังนี้

$$x'_L = 0.0628 \times 10^{-3} \left(\frac{1}{4n} + ln\frac{d}{r}\right)$$

กำหนดให้

x'_L = inductive reactance ของสายไฟฟ้า เป็น โอห์ม/เมตร

n = จำนวนตัวนำบันเดิล (bundles)

d = ระยะเฉลี่ยเรขาคณิตระหว่างตัวนำ หรือระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของสายหลายตัวนำ (bundle)

r = รัศมีตัวนำเดียว กรณีมีหลายตัวนำจะแทนค่าด้วย $\sqrt[2]{nrR^{n-1}}$ เมื่อ R คือ รัศมีบันเดิล

เพื่อความสะดวกในการใช้งาน มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ ได้กำหนดค่า impedance ของสายไฟฟ้าและคำนวณเป็นค่าแรงดันตกสำหรับแต่ละวิธีการเดินสายไว้แล้ว ตามตารางที่ 9.1 ถึง 9.4 ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น mV/A/m

9.6 การหาค่าแรงดันตกโดยใช้ตาราง

วิธีที่สะดวกในการหาค่าแรงดันตกคือการใช้ตารางในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ เพื่อประกอบการคำนวณ การหาค่าแรงดันตกแบ่งเป็นสำหรับสาย PVC และสาย XLPE ซึ่งจะต้องเลือกใช้ตารางให้ถูกต้อง และในการอ่านค่าจากตารางก็จะต้องทราบว่าเป็นวงจร 1 เฟส หรือ 3 เฟส และทราบวิธีการเดินสายหรือรูปแบบการติดตั้งด้วย ดังนี้

กลุ่มที่ 1 สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก เดินช่องเดินสายโลหะหรืออโลหะ ภายในฝ้าเพดานที่เป็นฉนวนความร้อน หรือผนังกันไฟ

กลุ่มที่ 2 สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก เดินในช่องเดินสายโลหะหรืออโลหะเดินเกาะผนังหรือเพดาน หรือฝังในผนังคอนกรีตหรือที่คล้ายกัน

กลุ่มที่ 3 สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวนมีเปลือกนอก เดินเกาะผนัง หรือเพดานที่ไม่มีสิ่งปิดหุ้มที่คล้ายกัน

กลุ่มที่ 4 สายเคเบิลแกนเดียวหุ้มฉนวน มี/ไม่มีเปลือกนอก วางเรียงกันแบบมีระยะห่างเดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ

กลุ่มที่ 5 สายแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวนมีเปลือกนอก เดินในท่อโลหะหรืออโลหะฝังดิน

กลุ่มที่ 6 สายแกนเดียว หรือหลายแกน หุ้มฉนวน มีเปลือกนอก ฝังดินโดยตรง

กลุ่มที่ 7 สายเคเบิลแกนเดียวหรือหลายแกนหุ้มฉนวน มีเปลือกนอก วางบนรางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ รางเคเบิลแบบระบายอากาศ หรือรางเคเบิลแบบบันได

ตารางที่ 9.1 แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ฉนวน PVC แกนเดียว ที่ 70°C

ขนาดสาย (ตร.มม.)	1 เฟส AC (mV/A/m)			3 เฟส AC (mV/A/m)			
	รูปแบบการติดตั้ง						
	กลุ่มที่ 1, 2 และ 5	กลุ่มที่ 3, 4, 6, 7		กลุ่มที่ 1, 2 และ 5	กลุ่มที่ 3, 4, 6, 7		
		Touching	Spaced		Trefoil	Flat	Spaced
1.0	44	44	44	38	38	38	38
1.5	29	29	29	25	25	25	25
2.5	18	18	18	15	15	15	15
4	11	11	11	9.5	9.5	9.5	9.5
6	7.3	7.3	7.3	6.4	6.4	6.4	6.4
10	4.4	4.4	4.4	3.8	3.8	3.8	3.8
16	2.8	2.8	2.8	2.4	2.4	2.4	2.4
25	1.81	1.75	1.75	1.52	1.50	1.50	1.52
35	1.33	1.25	1.27	1.13	1.11	1.12	1.15
50	1.00	0.94	0.97	0.85	0.81	0.84	0.86
70	0.71	0.66	0.69	0.61	0.57	0.60	0.63
95	0.56	0.50	0.54	0.48	0.44	0.47	0.50
120	0.48	0.41	0.45	0.40	0.35	0.39	0.43
150	0.41	0.35	0.39	0.35	0.30	0.34	0.38
185	0.36	0.29	0.34	0.31	0.26	0.30	0.34
240	0.30	0.25	0.29	0.27	0.21	0.25	0.29
300	0.27	0.22	0.26	0.24	0.18	0.23	0.26
400	0.25	0.19	0.23	0.22	0.16	0.20	0.24
500	0.23	0.17	0.21	0.20	0.15	0.18	0.22

แหล่งที่มา : *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2564 วสท.*

ตารางที่ 9.2 แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ฉนวน PVC หลายแกน ที่ 70°C

ขนาดสาย (ตร.มม.)	1 เฟส AC (mV/A/m)	3 เฟส AC (mV/A/m)
	ทุกกลุ่มการติดตั้ง	ทุกกลุ่มการติดตั้ง
1.0	44	38
1.5	29	25
2.5	18	15
4	11	9.5
6	7.3	6.4
10	4.4	3.8
16	2.8	2.4
25	1.75	1.50
35	1.25	1.10
50	0.93	0.80
70	0.65	0.57
95	0.49	0.43
120	0.41	0.36
150	0.34	0.29
185	0.29	0.25
240	0.24	0.21
300	0.21	0.18
400	0.17	0.15

แหล่งที่มา : *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2564 วสท.*

ตารางที่ 9.3 แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ฉนวน XLPE แกนเดียว ที่ 90°C

ขนาดสาย (ตร.มม.)	1 เฟส AC (mV/A/m)			3 เฟส AC (mV/A/m)			
	รูปแบบการติดตั้ง						
	กลุ่มที่ 1, 2 และ 5	กลุ่มที่ 3, 4, 6, 7		กลุ่มที่ 1, 2 และ 5	กลุ่มที่ 3, 4, 6, 7		
		Touching	Spaced		Trefoil	Flat	Spaced
1.0	46	46	46	40	40	40	40
1.5	31	31	31	27	27	27	27
2.5	19	19	19	16	16	16	16
4	12	12	12	10	10	10	10
6	7.9	7.9	7.9	6.8	6.8	6.8	6.8
10	4.7	4.7	4.7	4.0	4.0	4.0	4.0
16	2.9	2.9	2.9	2.5	2.5	2.5	2.5
25	1.85	1.85	1.85	1.60	1.57	1.58	1.60
35	1.37	1.35	1.37	1.17	1.14	1.15	1.17
50	1.04	1.00	1.02	0.91	0.87	0.87	0.90
70	0.75	0.70	0.73	0.65	0.61	0.62	0.64
95	0.58	0.52	0.56	0.50	0.45	0.46	0.50
120	0.49	0.42	0.47	0.42	0.37	0.38	0.42
150	0.42	0.36	0.40	0.37	0.31	0.33	0.37
185	0.37	0.31	0.35	0.32	0.26	0.27	0.31
240	0.32	0.25	0.30	0.27	0.22	0.23	0.27
300	0.28	0.22	0.26	0.24	0.19	0.20	0.24
400	0.25	0.19	0.23	0.22	0.17	0.18	0.22
500	0.23	0.17	0.21	0.20	0.15	0.16	0.20

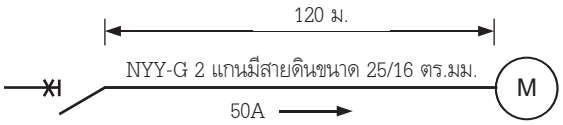
แหล่งที่มา : *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2564 วสท.*

ตารางที่ 9.4 แรงดันตกสำหรับสายไฟฟ้า ฉนวน XLPE หลายแกน ที่ 90°C

ขนาดสาย (ตร.มม.)	1 เฟส AC (mV/A/m)	3 เฟส AC (mV/A/m)
	ทุกกลุ่มการติดตั้ง	ทุกกลุ่มการติดตั้ง
1.0	46	40
1.5	31	27
2.5	19	16
4	12	10
6	7.9	6.8
10	4.7	4.0
16	2.9	2.5
25	1.85	1.60
35	1.35	1.15
50	0.99	0.86
70	0.68	0.60
95	0.52	0.44
120	0.42	0.36
150	0.35	0.31
185	0.30	0.25
240	0.24	0.22
300	0.21	0.18
400	0.19	0.16

แหล่งที่มา : *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2564 วสท.*

ตัวอย่างที่ 9.1 วงจรไฟฟ้า 1 เฟส 230 V ใช้สาย NYY-G ชนิด 2 แกนมีสายดินขนาด 25/16 ตร.มม. เดินร้อยท่อโลหะเกาะผนังความยาว 120 เมตร จ่ายไฟให้วงจรมอเตอร์ที่มีกระแสโหลดเต็มที่ 50 A ต้องการหาค่าแรงดันตกที่มอเตอร์ และถ้าต้องการแรงดันตกไม่เกิน 3% จงหาว่าจะต้องใช้สายไฟฟ้าขนาดเท่าใด



วิธีทำ

สาย NYY-G ชนิด 2 แกนมีสายดินขนาด 25/16 ตร.มม. เป็นสาย PVC ใช้ตารางที่ 9.2 สายเดินร้อยท่อเกาะผนังเป็นกลุ่มที่ 2 ได้ VD = 1.75 mV/A/m

VD = mV × กระแส (A) × ความยาวสาย (m)

VD = 1.75 × 50 × 120/1,000 = 10.5 V

เป็นเปอร์เซ็นต์ = (10.5/230) × 100 = 4.56 %

ถ้าต้องการแรงดันตกไม่เกิน 3% จะต้องเปลี่ยนขนาดสายใหม่ให้ใหญ่ขึ้น ถ้าเปลี่ยนเป็นสายขนาด 35 ตร.มม. จะได้แรงดันตกเป็นดังนี้

จากตารางที่ 9.2 สาย NYY-G 2 แกนมีสายดินขนาด 35/16 ตร.มม. VD = 1.25 mV/A/m

VD = 1.25 × 50 × 120/1,000 = 7.5 V

เป็นเปอร์เซ็นต์ = (7.5/230) × 100 = 3.26 %

แรงดันตกยังเกิน 3% จะต้องเปลี่ยนขนาดสายใหม่ให้ใหญ่ขึ้นอีก ถ้าเปลี่ยนเป็นสายขนาด 50 ตร.มม. จะได้แรงดันตกเป็นดังนี้

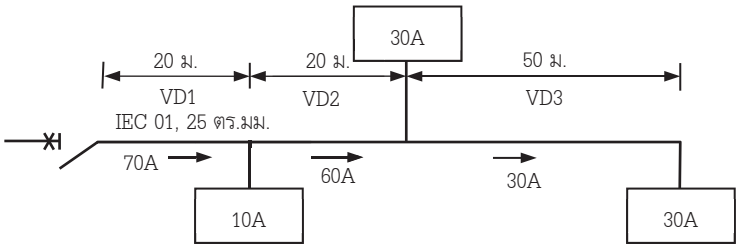
จากตารางที่ 9.2 สาย NYY-G 2 แกนมีสายดินขนาด 50/25 ตร.มม. VD = 0.93 mV/A/m

VD = 0.93 × 50 × 120/1,000 = 5.58 V

เป็นเปอร์เซ็นต์ = (5.58/230) × 100 = 2.42 %

จะต้องใช้สาย NYY-G ชนิด 2 แกนมีสายดินขนาด 50/25 ตร.มม.

ตัวอย่างที่ 9.2 วงจรไฟฟ้า 3 เฟส 230/400 V ใช้สาย IEC 01 ขนาด 25 ตร.มม. เดินร้อยท่อเกาะผนัง จ่ายโหลดตามที่แสดงในรูป ต้องการหาค่าแรงดันตกที่จุดปลายสุดของวงจร



วิธีทำ

สาย IEC 01 ขนาด 25 ตร.มม. เป็นสาย PVC ใช้ตารางที่ 9.1 (กลุ่มที่ 2) ได้ VD = 1.52 mV/A/m

VD = mV × กระแส (A) × ความยาวสาย (m)

VD1 = 1.52 × (10+30+30) × 20/1,000 = 2.13 V

VD2 = 1.52 × (30+30) × 20/1,000 = 1.82 V

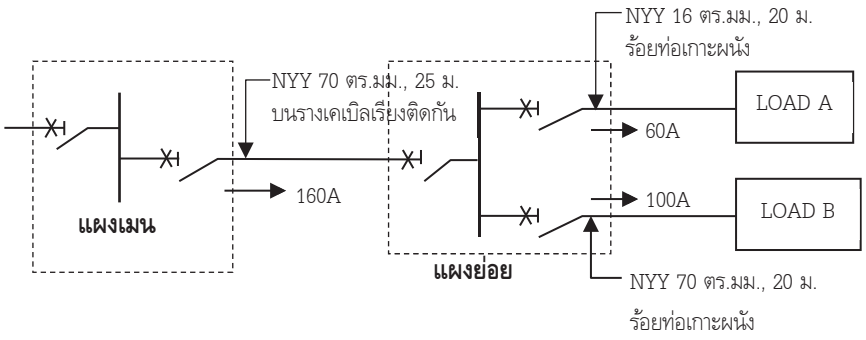
VD3 = 1.52 × 30 × 50/1,000 = 2.28 V

รวม VD (VD ที่จุดปลายสุด) = 2.13 + 1.82 + 2.28 = 6.23 V

เป็นเปอร์เซ็นต์ = (6.23/400) × 100 = 1.6%

หมายเหตุ *การหาค่าแรงดันตกวิธีนี้เป็นวิธีโดยประมาณ เพราะในความเป็นจริงโหลดแต่ละตัวจะมีค่า power factor ไม่เท่ากัน*

ตัวอย่างที่ 9.3 เมนสวิตช์ระบบ 3 เฟส 4 สาย 230/400 V จ่ายไฟให้แผงย่อยด้วยสาย NYY แกนเดียวขนาด 70 ตร.มม. ยาว 25 ม. สายวางเรียงชิดติดกันบนรางเคเบิลแบบบันได กระแสในวงจร 160 A และจากแผงย่อยจ่ายไฟให้โหลด 3 เฟส 2 ชุด โดยใช้สาย NYY แกนเดียวเดินร้อยท่อเกาะผนัง ขนาด กระแส และความยาวตามที่แสดงในรูป ต้องการหาแรงดันตกที่โหลด B



วิธีทำ

VD1 สาย NYY แกนเดียว ขนาด 70 ตร.มม. เป็นสาย PVC ใช้ตารางที่ 9.1 วางบนรางเคเบิลแบบเรียงชิดติดกัน (กลุ่มที่ 7, Flat) ได้ค่าแรงดันตก 0.60 mV/A/m

VD1 = 0.60 × 160 × 25/1,000 = 2.4 V

VD2 สาย NYY แกนเดียว ขนาด 70 ตร.มม. เป็นสาย PVC ใช้ตารางที่ 9.1 เดินร้อยท่อ (กลุ่มที่ 2) ได้ค่าแรงดันตก 0.61 mV/A/m

VD2 = 0.61 × 100 × 20/1,000 = 1.22 V

รวม VD (VD ที่โหลด) = 2.4 + 1.22 = 3.62 V

เป็นเปอร์เซ็นต์ = (3.62/400) × 100 = 0.91%

9.7 ความยาวสายสูงสุดตามค่าแรงดันตก

ในการออกแบบหรือติดตั้งระบบไฟฟ้าอาจต้องการทราบในเบื้องต้นว่าวงจรที่ออกแบบและสายไฟฟ้าที่ใช้จะจ่ายโหลดได้ความยาวเท่าไร การหาค่าความยาวสายสูงสุดตามค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันตกที่กำหนด เป็นดังนี้

ค่าที่อ่านได้จากตาราง (VD) = mV/A/m

นั่นคือ VD เป็น V = (mV/1000) × A × m

ความยาวสายสูงสุด (m) = VD × 1000 / (mV × A)

เมื่อ mV = ค่าที่อ่านได้จากตาราง

A = กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร หรือเพื่อความสะดวกอาจคิดจากขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ซึ่งกระแสที่ไหลจริงก็จะไม่เกินนี้

ตัวอย่าง

วงจรไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย 230/400 V ใช้สาย IEC 01 ขนาด 50 ตร.มม. เดินร้อยท่อในอากาศ ในวงจรมีกระแสไหล 80 A ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ 100 A ต้องการหาความยาวสายสูงสุดกำหนดให้แรงดันตกไม่เกิน 3%

วิธีทำ

วิธีที่ 1 คิดจากกระแสโหลด

แรงดันตก 3%, VD = 400 × 3/100 = 12 V

ตารางที่ 9.1 (กลุ่มที่ 2) ได้ mV/A/m = 0.85

ความยาวสายสูงสุด (m) = VD × 1000 / (mV × A)

= 12 × 1000 / (0.85 × 80A)

= 176 m.

วิธีที่ 2 คิดจากขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์

ความยาวสายสูงสุด (m) = VD × 1000 / (mV × A)

= 12 × 1000 / (0.85 × 100A)

= 141 m.

หมายเหตุ *การคิดจากขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์จะได้ความยาวสายสูงสุดน้อยกว่าคิดจากกระแสโหลดแต่จะสะดวกกว่ากรณีไม่ทราบกระแสโหลดที่แน่นอน*