คุณสุวิทย์ ศรีสุข

ขอเล่าเท่าที่รู้...

แรงดันตกคร่อมในสายไฟฟ้า

ขอเล่าเท่าที่รู้...**เรื่องแรงดันตกคร่อมในสายไฟฟ้า** ตามที่ตั้งใจคือ ขอเริ่มต้นด้วยการอ้างอิงข้อกำหนดของ วสท. ที่กำหนดไว้ใน *"มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556"* ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 2 กรกฎาคม 2557 ดังแสดงในรูปที่ 1 ได้กำหนดไว้ใน หัวข้อ 3.6 ดังนี้

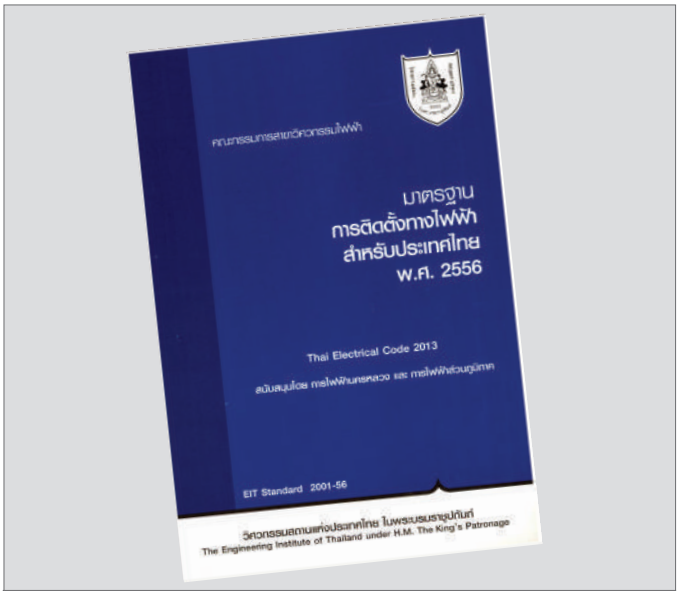
3.6 แรงดันตกสำหรับระบบแรงต่ำ

3.6.1 กรณีรับไฟแรงต่ำจากการไฟฟ้าฯ แรงดันตกคิดจากเครื่องวัดฯ จนถึงจุดใช้ไฟจุดสุดท้าย รวมกันต้องไม่เกิน 5% จากระบบแรงดันที่ระบุ

3.6.2 กรณีรับไฟแรงสูงจากการไฟฟ้าฯ แรงดันตกคิดจากบริภัณฑ์ประธานแรงต่ำ จนถึงจุดใช้ไฟจุดสุดท้ายรวมกันต้องไม่เกิน 5% จากระบบแรงดันที่ระบุ

อธิบายการนำไปใช้งานสองหัวข้อข้างต้น **หัวข้อ 3.6.1 ใช้สำหรับอาคารที่รับไฟฟ้าแรงต่ำจากการไฟฟ้าฯ** (ในที่นี้หมายถึง การไฟฟ้านครหลวง : กฟน. ฤๅการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค : กฟภ. ต่อไปนี้เรียกว่า **การไฟฟ้าฯ**) ด้วยมิเตอร์ไฟฟ้าแรงต่ำ เช่น บ้านเดี่ยว ตึกแถว ทาวเฮ้าส์ บ้านแต่ละหลังในหมู่บ้าน ห้องพักแต่ละห้องในอาคารชุด การคำนวณแรงดันตกให้วัดความยาวจากมิเตอร์ไฟฟ้าแรงต่ำซึ่งมาตรฐานเรียกว่า ***"เครื่องวัดฯ"*** จนถึงจุดใช้ไฟฟ้าที่ไกลสุดต้องไม่เกิน 5% จากระบบแรงดันที่ระบุ ***"ค่าแรงดันที่ระบุ"*** มีความหมายว่า หากเป็นไฟฟ้าหนึ่งเฟสให้อ้างอิงระบบแรงดัน 230 โวลต์ นั่นหมายความว่า แรงดันตกได้สูงสุดไม่เกิน 11.5 โวลต์ (230 x 0.05 = 11.5 ได้เลขนัยสำคัญ 3 หลัก) แรงดันคงเหลือไม่ต่ำกว่า 218 โวลต์ (230 - 11.5 = 218.5 ได้เลขนัยสำคัญ 3 หลัก) และหากเป็นไฟฟ้าสามเฟสให้อ้างอิงระบบแรงดัน 400 โวลต์ นั่นหมายความว่า แรงดันตกได้สูงสุดไม่เกิน 20 โวลต์ (400 x 0.05 = 20.0 ได้เลขนัยสำคัญ 3 หลัก) แรงดันคงเหลือไม่ต่ำกว่า 380 โวลต์ (400 - 20.0 = 380.0 ได้เลขนัยสำคัญ 3 หลัก) สำหรับหัวข้อ **3.6.2 ใช้สำหรับอาคารที่รับไฟฟ้าแรงสูงจากการไฟฟ้าฯ การคำนวณแรงดันตกให้วัดความยาวจากตู้เมนไฟฟ้า** บ้างเรียกว่า Main Distribution Board ฤๅ MDB ซึ่งมาตรฐานเรียกว่า ***"บริภัณฑ์ประธานแรงต่ำ"*** จนถึงจุดใช้ไฟฟ้าที่ไกลสุดต้องไม่เกิน 5% จากระบบแรงดันที่ระบุเช่นเดียวกัน

สำหรับมุมมองของผู้เขียน ข้อกำหนดข้างต้นเพียงพอที่จักปฏิบัติงานการออกแบบ ติดตั้ง ฤๅแม้นแต่การอำนวยการใช้งานระบบไฟฟ้าแล้ว



3.6 แรงดันตกสำหรับระบบแรงต่ำ

3.6.1 กรณีรับไฟแรงต่ำจากการไฟฟ้า แรงดันตกคิดจากเครื่องวัดฯ จนถึงจุดใช้ไฟจุดสุดท้าย รวมกันต้องไม่เกิน 5% จากระบบแรงดันที่ระบุ

3.6.2 กรณีรับไฟแรงสูงจากการไฟฟ้าแรงดันตกคิดจากบริภัณฑ์ประธานแรงต่ำจนถึงจุดใช้ไฟจุดสุดท้ายรวมกันต้องไม่เกิน 5% จากระบบแรงดันที่ระบุ

- รูปที่ 1 แสดงข้อกำหนดเกี่ยวกับแรงดันตกสำหรับระบบแรงต่ำ ของ วสท. หน้า 3-16

สำหรับท่านที่สนใจลงในรายละเอียดเพิ่มเติมจากข้อกำหนดในมาตรฐานที่ผู้เขียนสนใจ แลมักใช้อ้างอิงอธิบายสิ่งต่างเพิ่มเติมจากข้อกำหนดของ วสท. แลของ NEcode ฤ NFPA 70 นั่นคือ BS 7671 เล่มนี้แม้นเก่าไปนิดที่จักอ้างอิง แต่ข้อมูลยังไม่มีการแก้ไขคือ BS 7671 ปี 2008 Admenment 3 : 2015 ได้มีข้อกำหนดเกี่ยวกับแรงดันตกสำหรับระบบแรงต่ำ ของ BS 7671 : 2008 ดังแสดงในรูปที่ 2 ได้กำหนดไว้ในหัวข้อ 6.4 Voltage drop in consumers' installations ที่ตารางที่ TABLE 4Ab - Voltage drop ดังนี้

จากตารางที่ 4Ab - Voltage drop หัวข้อ (i) เป็นการรับไฟฟ้าแรงต่ำเช่นเดียวกับของ วสท. หัวข้อ 3.6.1 ที่มีรายละเอียดเพิ่มคือสำหรับโหลดไฟฟ้าแสงสว่างกำหนดให้แรงดันตกไม่เกิน 3% สำหรับโหลดไฟฟ้าอื่นๆ กำหนดให้แรงดันตกไม่เกิน 5% เช่นเดียวกับที่กำหนดโดย วสท. แลที่หัวข้อ (ii) ก็เป็นการรับไฟฟ้าแรงต่ำเช่นเดียวกับของ วสท. หัวข้อ 3.6.2 แต่มีข้อกำหนดที่แตกต่างจากข้อกำหนดของ วสท. สำหรับโหลดไฟฟ้าแสงสว่างกำหนดให้แรงดันตกไม่เกิน 6% สำหรับโหลดไฟฟ้าอื่นๆ กำหนดให้แรงดันตกไม่เกิน 8% โดยที่มีข้อกำหนดเพิ่มเติมว่า ที่วงจรย่อยในข้อ (ii) นี้จักต้องเป็นไปตามข้อ (i) ดังนั้นสำหรับวงจรย่อยของทั้ง (i) แล (ii) จักต้องเป็นไปตาม (i) ด้วยกันทั้งสิ้น ซึ่งก็ไม่ขัดแย้งกับข้อกำหนดของ วสท. แต่มีข้อกำหนดประเด็นเพิ่มเติมอีกว่า 1)เมื่อมีการติดตั้งระบบไฟฟ้าที่มีความยาวมากกว่า 100 เมตร ขนาดของแรงดันตกที่กำหนดไว้ในตารางข้างต้นอาจ (อาจจะนะ) จักเพิ่มขึ้นอีก 0.005% ต่อเมตรที่เกินกว่า100 เมตร แลเมื่อรวมความยาวทั้งสิ้นที่มากกว่า100 เมตรที่เพิ่มขนาดของแรงดันตก จักต้องไม่เกิน 0.5% 2)ขนาดของแรงดันตกที่พิจารณาจักต้องคำนึงถึงความต้องการของกระแสไฟฟ้าพร้อมมี demand factor ที่เหมาะควร หรือกำหนดจากขนาดกระแสไฟฟ้าของวงจรที่ออกแบบ 3)แรงดันตกซึ่งเกินจากตารางข้างต้นอาจยอมรับได้สำหรับช่วงการเริ่มเดินมอเตอร์ แลเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ที่มีกระแสกระชากโดยที่ทั้งสองกรณีต้องมั่นใจว่า ขนาดแรงดันที่ตกลงไปนั้นยังคงเหลือแรงดันที่มากเพียงพอในข้อกำหนดที่จำกัดให้เครื่องไฟฟ้านั้นๆ ยังทำงานได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์นั้นๆ ที่กำหนดไว้ 4)เงื่อนไขชั่วคราวที่ไม่ครอบคลุมเกี่ยวกับข้อกำหนดตามตารางเรื่องแรงดันตก คือ voltage transients (แรงดันช่วงเริ่มต้นการใช้งานเครื่องไฟฟ้า) แล แรงดันที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการใช้งานที่ผิดปกติ

6.4 Voltage drop in consumers' installations

The voltage drop between the origin of an installation and any load point should not be greater than the values in the table below expressed with respect to the value of the nominal voltage of the installation.

The calculated voltage drop should include any effects due to harmonic currents.

TABLE 4Ab – Voltage drop

	Lighting	Other uses
(i) Low voltage installations supplied directly from a public low voltage distribution system	3%	5%
(ii) Low voltage installation supplied from private LV supply (*)	6%	8%

(*) The voltage drop within each final circuit should not exceed the values given in (i).

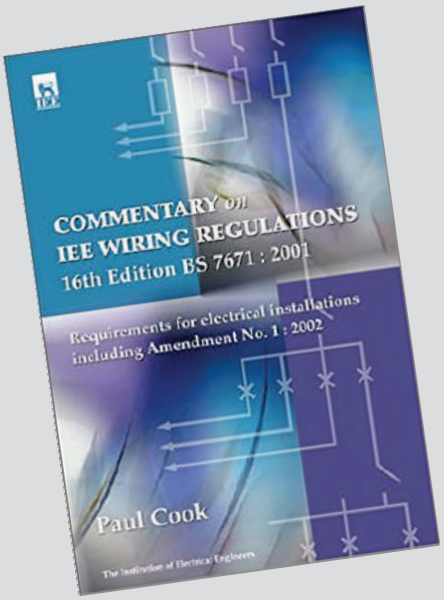
Where the wiring systems of the installation are longer than 100 m, the voltage drops indicated above may be increased by 0.005% per metre of the wiring system beyond 100 m, without this increase being greater than 0.5%.

The voltage drop is determined from the demand of the current-using equipment, applying diversity factors where applicable, or from the value of the design current of the circuit.

NOTE 1: A greater voltage drop may be acceptable for a motor circuit during starting and for other equipment with a high inrush current, provided that in both cases it is ensured that the voltage variations remain within the limits specified in the relevant equipment standard.

NOTE 2: The following temporary conditions are excluded:
- voltage transients
- voltage variations due to abnormal operation.

- รูปที่ 2 แสดงข้อกำหนดเกี่ยวกับแรงดันตกสำหรับระบบแรงต่ำ ของ BS 7671 : 2008 หน้า 338



210 *Commentary on IEE Wiring Regulations*

10.5 Tables of voltage drop
Paragraph 7 of Appendix 4

The voltage drop (mV/A/m) given in Appendix 4 is tabulated in the complex form $r + jx$ for conductor sizes over 16 mm^2. For smaller conductor sizes the inductance is not significant in the estimation of voltage drop. The inductance of cables only reduces slightly with increase in conductor size, as inductance depends upon the interaction of the phase and neutral currents which is mostly determined by the physical configuration of the cable. As the conductor size increases and the resistance per metre (r) reduces, the inductance (x) which is fairly constant becomes significant.

The figures are given in the tables in the following form:

r the resistance element (mV/A/m)r
x the inductive element (mV/A/m)x
z the impedance (mV/A/m)z

The impedance $z = \sqrt{(r^2 + x^2)}$.

For simple calculations the value of z is used to calculate the voltage drop:

$$\text{voltage drop} = \frac{I_b(\text{mV/A/m})_z L}{1000}\ \text{V}$$

where L = length of the conductor, I_b = load current, and $(\text{mV/A/m})_z$ = tabulated voltage drop.

แนวทางในการคำนวณเกี่ยวกับแรงดันตกที่จักได้อธิบายต่อไปนี้ ขอเริ่มที่โครงสร้างของสายไฟฟ้าที่แลดูอาจซับซ้อนนิด แต่สุดท้ายท่านเมื่ออ่านงานเขียนนี้จบแล้วท่านก็เลือกวิธีที่พอใจจักใช้ แต่ผู้เขียนคิดว่าน่าจักได้ทบทวนเป็นพื้นฐานไว้สักหน่อยว่า ค่าความต้านทานที่สายไฟฟ้ามีนั้นประกอบด้วย ค่า r ที่เรียกว่า resistance แลค่า x ที่เรียกว่า inductive การแสดงรวมในรูป complex form r + jx สำหรับสายไฟฟ้าขนาดตั้งแต่ 16 sq.mm. สำหรับสายไฟฟ้าที่เล็กกว่า 16 sq.mm. ค่า inductance จักไม่มีนัยสำคัญในการประมาณการค่าแรงดันตก หมายความว่า ให้ตัดทิ้งค่า inductance ของสายไฟฟ้าได้ เมื่อพิจารณาค่า inductance จักลดลงเมื่อขนาดของสายไฟฟ้าโตขึ้น แลค่า inductance ยังขึ้นกับการมีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างกระแสไฟฟ้าของสายเฟส แลสายนิวทรัล ซึ่งส่วนมากจักสัมพันธ์กันทางกายภาพ ที่เกี่ยวกับการติดตั้งแลโครงสร้างของสายไฟฟ้า (physical configulation of the cable) ในทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาค่า resistance เมื่อขนาดของสายไฟฟ้าโตขึ้น จักมีค่า resistance ลดลง จึงทำให้ได้เรียนรู้ว่า ทั้งค่า inductance แลค่า resistance แปรผกผันกับขนาดของสายไฟฟ้า (cross section area : csa) แลค่า inductance ทั่วไปจักเป็นค่าคงที่อย่างมีนัยสำคัญ ในการคำนวณค่า z ที่เรียกว่า impedance เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง r แล x เป็น sqrt(r^2 + x^2) ในเบื้องต้นจักคำนวณหาค่าแรงดันตกโดยใช้ค่า r แล x โดยอ้างอิงตารางดังแสดงในรูปที่ 3

Table 16D P.V.C. cables
Impedance of conductor and armour for two-core, three-core and four-core cables having steel-wire armour

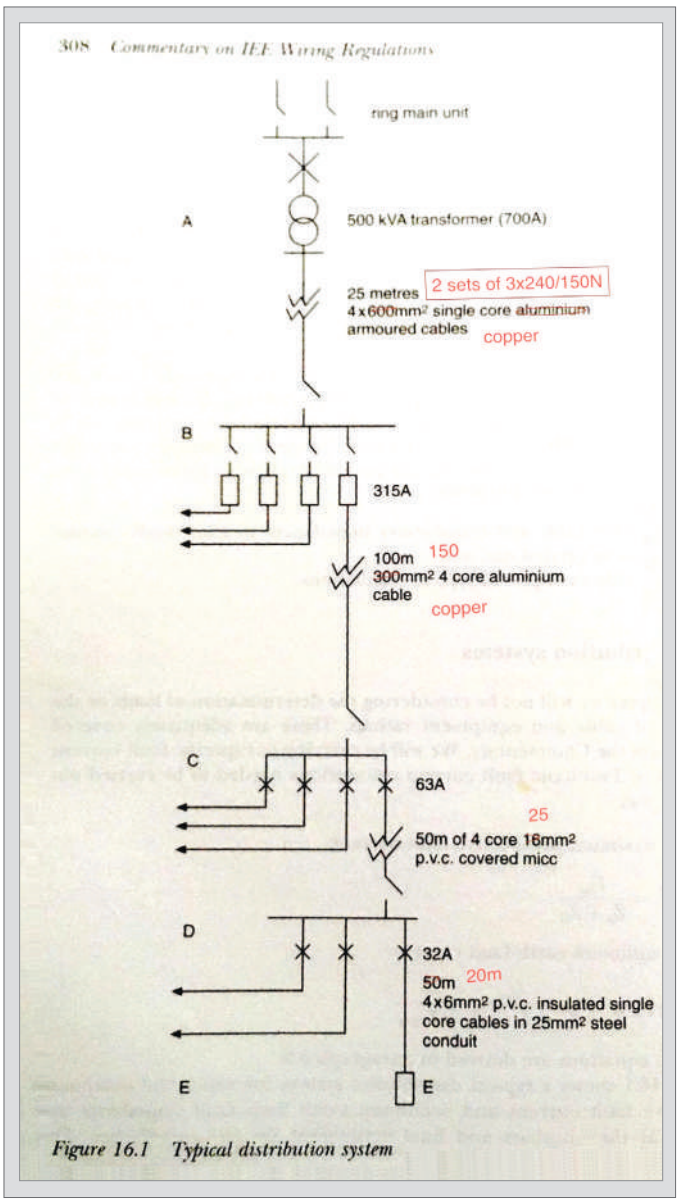
1	2		3		4		5		6		7		8		9		10	
	Impedance in ohms per kilometre of cable at 20°C																	
	Steel-wire armour																	
	Cables with stranded copper conductors												Cables with solid aluminium conductors					
Nominal cross-sectional area of conductor	Copper conductor		Aluminium conductor		Two-core 600/1000 V		Three-core 600/1000 V		Four core (equal) 600/1000 V		Four-core (reduced neutral) 600/1000 V		Two-core 600/1000 V		Three-core 600/1000 V		Four-core 600/1000 V	
(mm^2)	r (Ω/km)	x (Ω/km)	r (Ω/km)	x (Ω/km)	r (Ω/km)	x (Ω/km)	r (Ω/km)	x (Ω/km)	r (Ω/km)	x (Ω/km)	r (Ω/km)	x (Ω/km)	r (Ω/km)	x (Ω/km)	r (Ω/km)	x (Ω/km)	r (Ω/km)	x (Ω/km)
1.5*	12.100	–	–	–	10.70	–	10.2	–	9.50	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2.5*	7.410	–	–	–	9.10	–	8.8	–	7.90	–	–	–	–	–	–	–	–	–
4	4.610	–	–	–	7.50	–	7.0	–	4.60	–	–	–	–	–	–	–	–	–
6	3.080	–	–	–	6.80	–	4.6	–	4.10	–	–	–	–	–	–	–	–	–
10	1.830	–	–	–	3.90	–	3.7	–	3.40	–	–	–	–	–	–	–	–	–
16	1.150	0.09	1.910	0.09	3.50	–	3.2	–	2.20	–	–	–	3.7	–	3.40	–	2.40	–
25	0.727	0.09	1.200	0.09	2.60	–	2.4	–	2.10	–	2.10	–	2.9	–	2.50	–	2.30	–
35	0.524	0.08	0.868	0.08	2.40	–	2.1	–	1.90	–	1.90	–	2.7	–	2.30	–	2.00	–
50	0.387	0.08	0.641	0.08	2.10	0.3	1.9	0.3	1.30	0.3	1.70	0.3	2.4	0.3	2.00	0.3	1.40	0.3
70	0.268	0.08	0.443	0.08	1.90	0.3	1.4	0.3	1.20	0.3	1.20	0.3	2.1	0.3	1.40	0.3	1.30	0.3
95	0.193	0.08	0.320	0.08	1.30	0.3	1.2	0.3	0.98	0.3	1.00	0.3	1.5	0.3	1.30	0.3	1.10	0.3
120	0.153	0.08	0.253	0.08	1.20	0.3	1.1	0.3	0.71	0.3	0.73	0.3	–	–	1.20	0.3	0.78	0.3
150	0.124	0.08	0.206	0.08	1.10	0.3	0.74	0.3	0.65	0.3	0.67	0.3	–	–	0.82	0.3	0.71	0.3
185	0.0991	0.08	0.164	0.08	0.78	0.3	0.68	0.3	0.59	0.3	0.60	0.3	–	–	0.73	0.3	0.64	0.3
240	0.0754	0.08	0.125	0.08	0.69	0.3	0.60	0.3	0.52	0.3	0.54	0.3	–	–	0.65	0.3	0.52	0.3
300	0.0601	0.08	0.100	0.08	0.63	0.3	0.54	0.3	0.47	0.3	0.49 (150 mm^2)	0.3	–	–	0.59	0.3	0.52	0.3
300	0.0601	0.08	0.100	0.08	–	–	–	–	–	–	0.47 (185 mm^2)	0.3	–	–	–	–	–	–
400	0.0470	0.08	–	0.08	0.56	0.3	0.49	0.3	0.34	0.3	0.35	0.3	–	–	–	–	–	–

* The values apply to cables with either solid or stranded conductors.
Source BS 6346: Table 31.

Calculations 331

- รูปที่ 3 แสดงตารางค่าความต้านทาน แลค่าอินดักแต้นซ์ (ในงานเขียนใช้ข้อมูลของสายทองแดงสดมถ์ที่ 2 สำหรับค่า r แล x ที่ 20*C)

ถัดไปขอเสนอไดอะแกรมประกอบเป็นตัวอย่าง เพื่อคำนวณหาค่าแรงดันตกที่จุด E ดังแสดงในรูปที่ 4



- รูปที่ 4 แสดงไดอะแกรมอ้างอิงที่ใช้ประกอบตัวอย่างการคำนวณ

โดยในการคำนวณให้แก้ไขชนิด แลขนาดของสายไฟฟ้า เพื่อให้เหมาะสมกับงานในประเทศไทย ตามที่งานเขียนนี้จักได้แก้ไข ในรายการคำนวณ ดังนี้

Description	Impedance (ohm)	
	r (ohm)	x (ohm)
(1) Three phase current at B (700 A) Transformer : 500 kVA 230/230V FLC = 721.5 A Circuit breaker 3P 700 AT / 800 AF Cable : 25 m 2 sets of 3x240 sq.mm./150N on Ladder		
phase : 25 m 2 sets of 3x240 sq.mm. at 20°C = 25 x (0.0754 + j0.08) / 1000 / 2 = 0.009 + j0.001	0.0009	0.001
phase : 25 m 2 sets of 3x240 sq.mm./150N at 70°C r เพิ่ม 2% ทุกๆ 5 °C ที่เพิ่ม ดังนั้น 20°C เป็น 70°C 10 * 0.02 = 0.20 = (0.0009 + 0.0016) x 0.20 = 0.0005	0.0005	0
รวมค่าความต้านทาน ของจุด A ไปจุด B	0.0014	0.0010
คำนวณค่า z = sqrt (r^2 + x^2) = sqrt (0.0014^2 + 0.0.0010^2) = 0.0017 ohm **คำนวณค่า VD** = 700 x 0.0017 = 1.19 V (0.30%)		
(2) Three phase current at C (315 A) Circuit breaker 3P 320 AT / 400 AF Cable : 100 m 1 sets of 4x150 sq.mm. on Ladder		
phase : 100 m 1 sets of 4x150 sq.mm. at 20°C = 100 x (0.124 + j0.08) / 1000 = 0.0124	0.0124	0.0010
phase : 100 m 1 sets of 4x150 sq.mm. at 70°C r เพิ่ม 2% ทุกๆ 5 °C ที่เพิ่ม ดังนั้น 20°C เป็น 70°C 10 * 0.02 = 0.20 = (0.0124 + 0.0124) x 0.20 = 0.0050	0.0050	0
รวมค่าความต้านทาน ของจุด B ไปจุด C	0.0174	0.0010
คำนวณค่า z = sqrt (r^2 + x^2) = sqrt (0.0174^2 + 0.0.0010^2) = 0.0174 ohm **คำนวณค่า VD** = 315 x 0.0174 = 5.48 V (1.37%)		
(3) Three phase current at D (63 A) Circuit breaker 3P 63 AT / 63 AF Cable : 50 m 1 sets of 4x25 sq.mm. in conduit		
phase : 50 m 1 sets of 4x25 sq.mm. at 20°C = 50 x (0.727 + j0.09) / 1000 = 0.0364 + j0.0045	0.0364	0.0045
phase : 50 m 1 sets of 4x25 sq.mm. at 70°C r เพิ่ม 2% ทุกๆ 5 °C ที่เพิ่ม ดังนั้น 20°C เป็น 70°C 10 * 0.02 = 0.20 = (0.0364 + 0.0364) x 0.20 = 0.0146	0.0146	0
รวมค่าความต้านทาน ของจุด C ไปจุด D	0.0510	0.0045
คำนวณค่า z = sqrt (r^2 + x^2) = sqrt (0.0510^2 + 0.0.0045^2) = 0.0512 ohm **คำนวณค่า VD** = 63 x 0.0512 = 3.22 V (0.81%)		
คำนวณค่าแรงดันตก %VD = 0.30 + 1.37 + 0.81 = 2.48 %		
(4) Single phase to neutral current at E (32 A) Circuit breaker 1P 32 AT / 32 AF Cable : 20 m 1 sets of 4x6 sq.mm. in conduit		
phase : 20 m 1 sets of 4x6 sq.mm. at 20°C = 20 x (3.080) / 1000 = 0.0616	0.0616	0
neutral : 20 m 1 sets of 1x6 sq.mm at 20°C = 20 x (3.080) / 1000 = 0.0616	0.0616	0
phase & neutral : 20 m 1 sets of 4x6 sq.mm. at 70°C r เพิ่ม 2% ทุกๆ 5 °C ที่เพิ่ม ดังนั้น 20°C เป็น 70°C 10 * 0.02 = 0.20 = (0.0616 + 0.0616) x 0.20 = 0.0246	0.0246	0
รวมค่าความต้านทาน ของ final circuit	0.1478	0
คำนวณค่า z = r = 0.1478		
voltage drop at 230 V = 32 x 0.1478 = 4.72 = (2.05% at 230 V)		
final circuit 20m =>2.05% ใช้ได้ เพราะ น้อยกว่า 3%		
หากต้องการใช้ข้อกำหนดของ **BS** ใช้อ้างอิงจนถึงหม้อแปลงไฟฟ้า ใช้จากจุด A จนถึง D		
total circuit = 2.48 + 2.05 = 4.53% ใช้ได้ เพราะ น้อยกว่า 6%		
หากต้องการใช้ข้อกำหนดของ **วสท.** ใช้อ้างอิงจนถึงแผง MDB ใช้จากจุด B จนถึง D		
คำนวณค่าแรงดันตก %VD = 1.37 + 0.81 = 2.18 %		
total circuit = 2.18 + 2.05 = 4.23% ใช้ได้ เพราะ น้อยกว่า 5%		

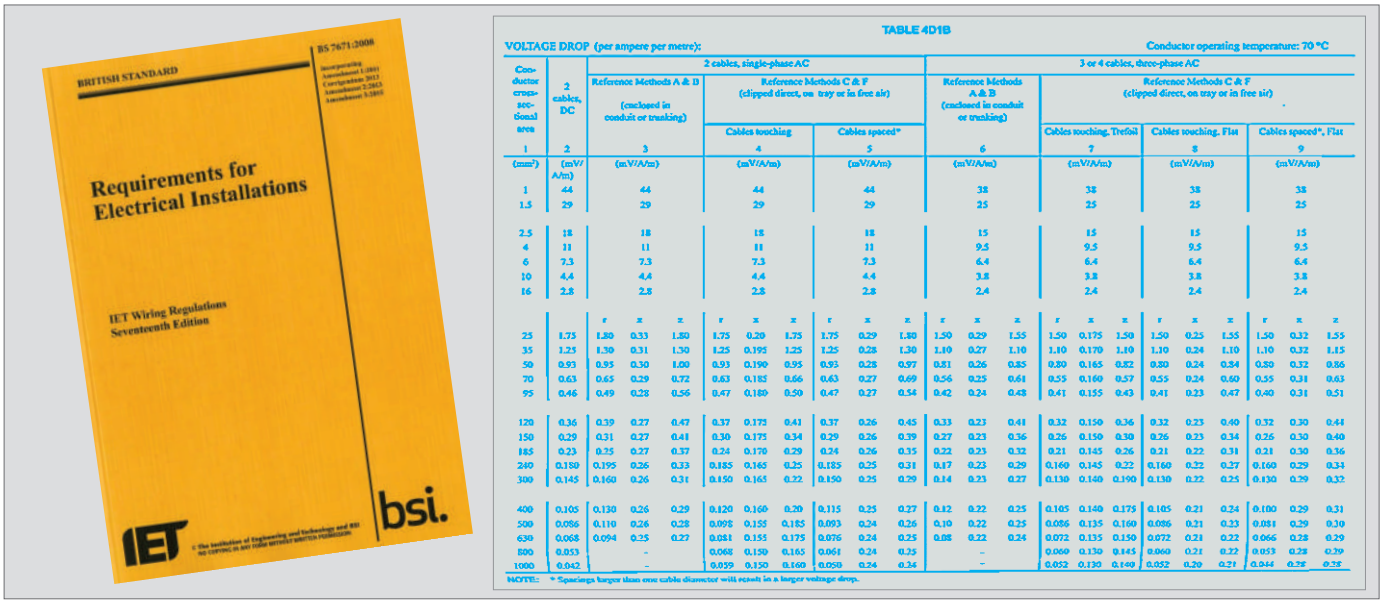


TABLE 4D1B

VOLTAGE DROP (per ampere per metre): Conductor operating temperature: 70 °C

Conductor cross-sectional area	2 cables, DC	2 cables, single-phase AC						3 or 4 cables, three-phase AC									
		Reference Methods A & B (enclosed in conduit or trunking)			Reference Methods C & F (clipped direct, on tray or in free air)			Reference Methods A & B (enclosed in conduit or trunking)			Reference Methods C & F (clipped direct, on tray or in free air)						
					Cables touching			Cables spaced*			Cables touching, Trefoil			Cables touching, Flat			Cables spaced*, Flat		
1	2	3			4			5			6			7			8			9		
(mm²)	(mV/A/m)	(mV/A/m)			(mV/A/m)			(mV/A/m)			(mV/A/m)			(mV/A/m)			(mV/A/m)			(mV/A/m)		
		r	x	z	r	x	z	r	x	z	r	x	z	r	x	z	r	x	z	r	x	z
1	44	44			44			44			38			38			38			38		
1.5	29	29			29			29			25			25			25			25		
2.5	18	18			18			18			15			15			15			15		
4	11	11			11			11			9.5			9.5			9.5			9.5		
6	7.3	7.3			7.3			7.3			6.4			6.4			6.4			6.4		
10	4.4	4.4			4.4			4.4			3.8			3.8			3.8			3.8		
16	2.8	2.8			2.8			2.8			2.4			2.4			2.4			2.4		
25	1.75	1.80	0.33	1.80	1.75	0.20	1.75	1.75	0.29	1.80	1.50	0.29	1.55	1.50	0.175	1.50	1.50	0.25	1.55	1.50	0.32	1.55
35	1.25	1.30	0.31	1.30	1.25	0.195	1.25	1.25	0.28	1.30	1.10	0.27	1.10	1.10	0.170	1.10	1.10	0.24	1.10	1.10	0.32	1.15
50	0.93	0.95	0.30	1.00	0.93	0.190	0.95	0.93	0.28	0.97	0.81	0.26	0.85	0.80	0.165	0.82	0.80	0.24	0.84	0.80	0.32	0.86
70	0.63	0.65	0.29	0.72	0.63	0.185	0.66	0.63	0.27	0.69	0.56	0.25	0.61	0.55	0.160	0.57	0.55	0.24	0.60	0.55	0.31	0.63
95	0.46	0.49	0.28	0.56	0.47	0.180	0.50	0.47	0.27	0.54	0.42	0.24	0.48	0.41	0.155	0.43	0.41	0.23	0.47	0.40	0.31	0.51
120	0.36	0.39	0.27	0.47	0.37	0.175	0.41	0.37	0.26	0.45	0.33	0.23	0.41	0.32	0.150	0.36	0.32	0.23	0.40	0.32	0.30	0.44
150	0.29	0.31	0.27	0.41	0.30	0.175	0.34	0.29	0.26	0.39	0.27	0.23	0.36	0.26	0.150	0.30	0.26	0.23	0.34	0.26	0.30	0.40
185	0.23	0.25	0.27	0.37	0.24	0.170	0.29	0.24	0.26	0.35	0.22	0.23	0.32	0.21	0.145	0.26	0.21	0.22	0.31	0.21	0.30	0.36
240	0.180	0.195	0.26	0.33	0.185	0.165	0.25	0.185	0.25	0.31	0.17	0.23	0.29	0.160	0.145	0.22	0.160	0.22	0.27	0.160	0.29	0.34
300	0.145	0.160	0.26	0.31	0.150	0.165	0.22	0.150	0.25	0.29	0.14	0.23	0.27	0.130	0.140	0.190	0.130	0.22	0.25	0.130	0.29	0.32
400	0.105	0.130	0.26	0.29	0.120	0.160	0.20	0.115	0.25	0.27	0.12	0.22	0.25	0.105	0.140	0.175	0.105	0.21	0.24	0.100	0.29	0.31
500	0.086	0.110	0.26	0.28	0.098	0.155	0.185	0.093	0.24	0.26	0.10	0.22	0.25	0.086	0.135	0.160	0.086	0.21	0.23	0.081	0.29	0.30
630	0.068	0.094	0.25	0.27	0.081	0.155	0.175	0.076	0.24	0.25	0.08	0.22	0.24	0.072	0.135	0.150	0.072	0.21	0.22	0.066	0.28	0.29
800	0.053		–		0.068	0.150	0.165	0.061	0.24	0.25			–	0.060	0.130	0.145	0.060	0.21	0.22	0.053	0.28	0.29
1000	0.042		–		0.059	0.150	0.160	0.050	0.24	0.24			–	0.052	0.130	0.140	0.052	0.20	0.21	0.044	0.28	0.28

NOTE: * Spacings larger than one cable diameter will result in a larger voltage drop.

● รูปที่ 5 แสดงตารางสำเร็จรูปเพื่อการคำนวณแรงดันตกคร่อม ของ BS 7671 : 2008

จากตารางที่ 4D1B จักใช้สดมภ์ที่ 3 โดยราจักคำนวณเริ่มตั้งแต่หม้อแปลงไฟฟ้า ในการคำนวณเราจักนำเอาค่า z ฤๅค่า impedance มาคำนวณ เราต้องคำนวณทั้งสายเฟส สายนิวทรัล แลสามารถคำนวณได้ดังนี้

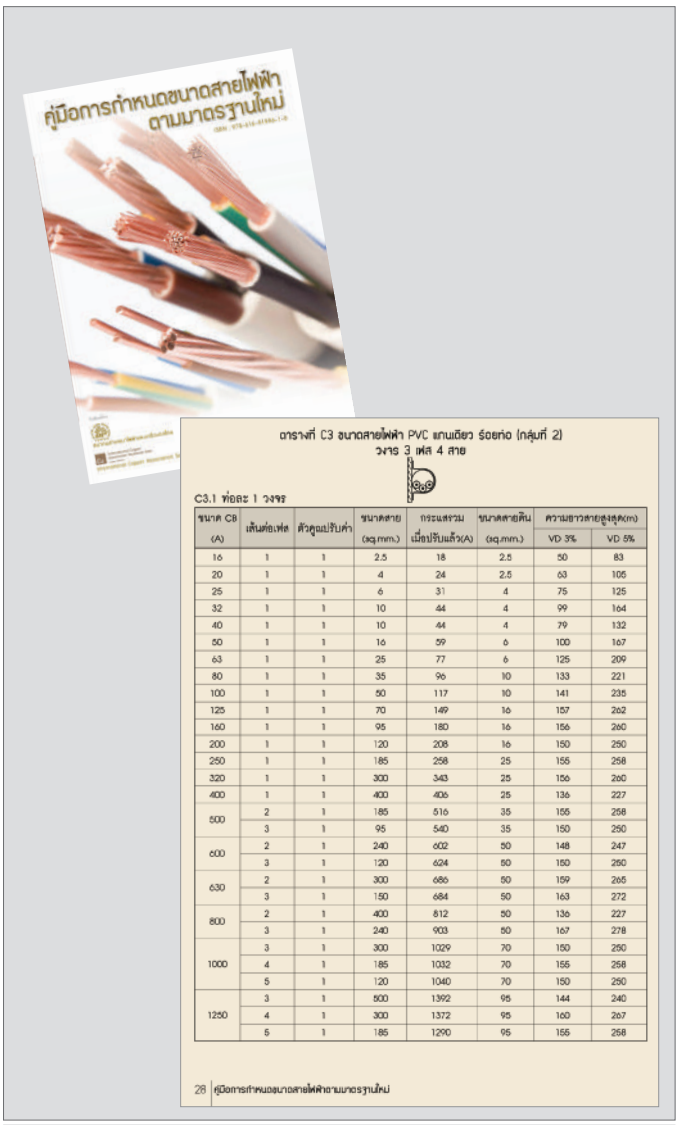
- จากจุด A ไปจุด B เท่ากับ 0.33 / 1000 x 700 / 2 x 25 มีแรงดันตกเท่ากับ 2.89 โวลต์
- จากจุด B ไปจุด C เท่ากับ 0.41 / 1000 x 315 x 100 มีแรงดันตกเท่ากับ 12.92 โวลต์
- จากจุด C ไปจุด D เท่ากับ 1.80 / 1000 x 63 x 50 มีแรงดันตกเท่ากับ 5.67 โวลต์
- จากจุด D ไปจุด E สายเฟสเท่ากับ 7.3 / 1000 x 32 x 20 มีแรงดันตกเท่ากับ 4.67 โวลต์

สายขนาดที่เล็กกว่า 25 sq.mm. ไม่มีค่า x (x=0)

ดังนั้น cos(arc_tan(0)) = 1

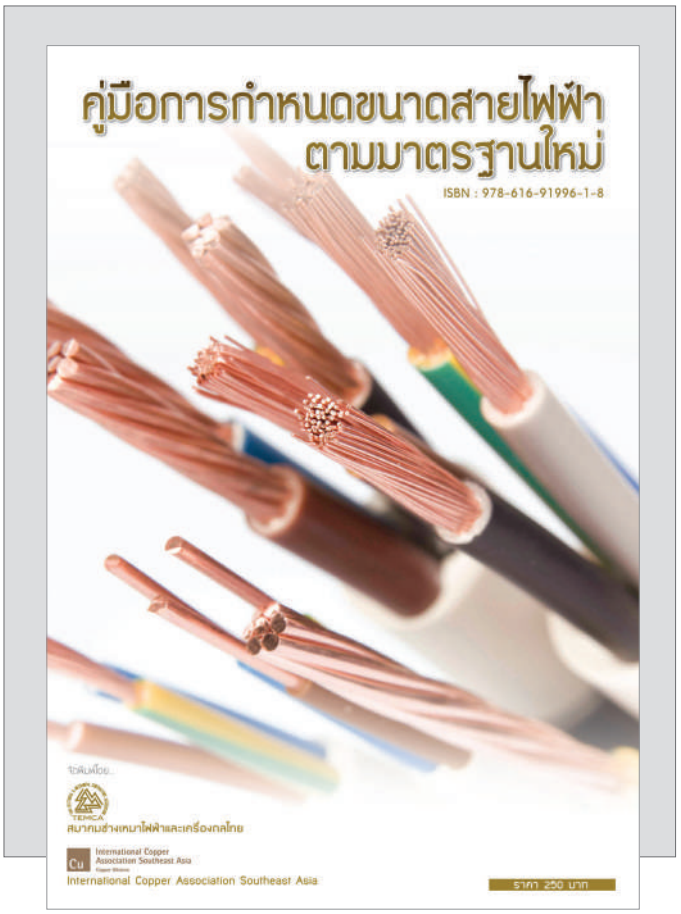
เมื่อคำนวณตามที่กำหนดตาม BS 7671 ให้คำนวณจากจุด A จนถึงจุด D ได้เท่ากับ 2.89 + 12.92 + 5.67 = 21.45 โวลต์ คิดเป็นสัดส่วนต่อแรงดันที่พิกัด 400 โวลต์ ได้ 5.36% เมื่อเทียบกับวิธีคำนวณจากค่า r แล x ซึ่งคำนวณได้ 4.53% ทำให้วิธีคำนวณด้วยตารางมีค่าสูงกว่า เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้งานได้ไม่ง่ายนัก ดังนั้นในการคำนวณด้วยวิธีตารางแสดงขนาดของแรงดันตก (ตามรูปที่ 5) ที่ครอบคลุมขนาดแรงดันที่สูงกว่า ดังนั้น การคำนวณด้วยวิธีแรงดันตกโดยตรง จึงแนะนำว่าใช้วิธีที่ง่ายกว่า ในฐานะที่ผู้เขียนศึกษา แลนำเรื่องนี้มาเผยแพร่ยังพยายามทบทวนรายละเอียดว่า

สาเหตุของความแตกต่างข้างต้นในโอกาสถัดๆ ไป ในขณะที่จากจุด D ไปยังจุด E นั้นคำนวณได้ 2.03% ซึ่งค่าไม่แตกต่างจากการคำนวณด้วยวิธี r แล x คำนวณได้ 2.05%



ขนาด CB (A)	เส้นต่อเฟส	ตัวคูณปรับค่า	ขนาดสาย (sq.mm.)	กระแสรวม เมื่อปรับแล้ว(A)	ขนาดสายดิน (sq.mm.)	ความยาวสายสูงสุด(m) VD 3%	VD 5%
16	1	1	2.5	18	2.5	50	83
20	1	1	4	24	2.5	63	105
25	1	1	6	31	4	75	125
32	1	1	10	44	4	99	164
40	1	1	10	44	4	79	132
50	1	1	16	59	6	100	167
63	1	1	25	77	6	125	209
80	1	1	35	96	10	133	221
100	1	1	50	117	10	141	235
125	1	1	70	149	16	157	262
160	1	1	95	180	16	156	260
200	1	1	120	208	16	150	250
250	1	1	185	258	25	155	258
320	1	1	300	343	25	156	260
400	1	1	400	406	25	136	227
500	2	1	185	516	35	155	258
	3	1	95	540	35	150	250
600	2	1	240	602	50	148	247
	3	1	120	624	50	150	250
630	2	1	300	686	50	159	265
	3	1	150	684	50	163	272
800	2	1	400	812	50	136	227
	3	1	240	903	50	167	278
1000	3	1	300	1029	70	150	250
	4	1	185	1032	70	155	258
	5	1	120	1040	70	150	250
1250	3	1	500	1392	95	144	240
	4	1	300	1372	95	160	267
	5	1	185	1290	95	155	258

● รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างผลการคำนวณแรงดันตกคร่อมที่ 3% แล 5% (อ้างอิงจากหนังสือ "คู่มือการกำหนดขนาดสายไฟฟ้าตามมาตรฐานใหม่" ของ TEMCA หน้า 12 แล 28)



ผู้เขียนขอแนะนำอีกทางเลือกหนึ่งในการหาขนาดแรงดันตกจากหนังสือ *"คู่มือการกำหนดขนาดสายไฟฟ้าตามมาตรฐานใหม่"* ของ TEMCA หน้า 12-13 ตามรูปที่ 6 นำมาวิเคราะห์หาแรงดันตกด้วยวิธีการประมาณค่าดังนี้

- จากจุด A ไปจุด B (หน้า 12) ที่ขนาด CB (A) ขนาด 800 A 3 เฟส เลือก 2 เส้นต่อเฟส ของขนาดสายขนาด 240 sq.mm. จักเห็นว่าที่แรงดันตก 3% ได้ระยะ 120 m แล 5% ได้ระยะ 200 m ดังนี้แล้วที่ระยะ 25 m จึงมีแรงดันตก 0.625%

- จากจุด B ไปจุด C (หน้า 12) ที่ขนาด CB (A) ขนาด 320 A 3 เฟส เลือก 1 เส้นต่อเฟส ของขนาดสายขนาด 150 sq.mm. จักเห็นว่าที่แรงดันตก 3% ได้ระยะ 110 m แล 5% ได้ระยะ 184 m ดังนี้แล้วที่ระยะ 100 m จึงมีแรงดันตก 2.73%

- จากจุด C ไปจุด D (หน้า 28) ที่ขนาด CB (A) ขนาด 63 A 3 เฟส เลือก 1 เส้นต่อเฟส ของขนาดสายขนาด 25 sq.mm. จักเห็นว่าที่แรงดันตก 3% ได้ระยะ 125 m แล 5% ได้ระยะ 209 m ดังนี้แล้วที่ระยะ 50 m จึงมีแรงดันตก 1.22%

- จากจุด D ไปจุด E (หน้า 28) ที่ขนาด CB (A) ขนาด 32 A 1 เฟส เลือก 1 เส้นต่อเฟส ของขนาดสายขนาด 6 sq.mm. จักเห็นว่าที่แรงดันตก 3% ได้ระยะ 30 m แล 5% ได้ระยะ 49 m ดังนี้แล้วที่ระยะ 20 m จึงมีแรงดันตก 1.95%

เมื่อคำนวณตามที่กำหนดตาม BS 7671 ให้คำนวณจากจุด A จนถึงจุด D ได้เท่ากับ 0.625 + 2.73 + 1.22 = 4.58% เมื่อเทียบกับวิธีคำนวณจากค่า r แล x ซึ่งคำนวณได้ 4.53% ทำให้วิธีคำนวณด้วยตารางนี้มีค่าสูงกว่าไม่มาก เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นในการคำนวณด้วยวิธีตารางแสดงขนาดของแรงดันตก (ตามรูปที่ 6) ที่ครอบคลุมขนาดแรงดันที่สูงกว่า ดังนั้น การคำนวณด้วยวิธีแรงดันตกโดยตรง จึงแนะนำว่าใช้วิธีที่ง่ายกว่าที่แสดงในรูปที่ 5 ในขณะที่จากจุด D ไปยังจุด E นั้นคำนวณได้ 1.95% ซึ่งค่านั้นแตกต่างจากการคำนวณด้วยวิธี r แล x คำนวณได้ 2.05% สามารถใช้งานได้ดีมากทีเดียว

ที่สุดก็เดินทางมาถึงบรรทัดสุดท้ายจนได้ ผู้เขียนยอมรับว่า งานเขียนนี้ใช้พลังอย่างมาก ด้วยต้องเชื่อมโยงมากมาย แลการจัดรูปประกอบทั้งหมดซับซ้อน ส่วนผู้อ่านจักเข้าถึงได้อย่างไรมากน้อยเพียงไร ผู้เขียนหวังยิ่งให้ได้มองเห็นความสัมพันธ์เชื่อมโยงได้ ก่อนจบขอเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการหาค่า impedance ที่สามารถนำไปใช้ในการคำนวณค่าแรงดันตกด้วยเครื่องมือคือ การใช้ earth fault loop impedance ที่นำมาวัดค่าความต้านทานที่สายเฟส แลนิวทรัลใน final circuit จักเป็นการวัดค่าความต้านทาน จนกระทั่งถึงหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งเป็นการวัดค่าความต้านทานตามแนวทางของ BS ที่ทำให้ได้ค่าสูงกว่าของ วสท. แต่โดยทั่วไปแล้วระยะทางจากหม้อแปลงไฟฟ้ามาจนถึงแผงเมนไฟฟ้า (MDB) จักมีระยะไม่มาก จึงน่าจักสามารถนำมาเป็นตัวแทนได้ด้วยเครื่องมือ เป็นการ cross check ผลการคำนวณของเราเอง ผู้เขียนหวังว่าจักพอใช้เพื่อการศึกษาทำความเข้าใจได้บ้าง หากมีสิ่งไม่ถูกต้องขาดตกบกพร่อง แลมีประเด็นข้อสงสัยใดสามารถส่งคำถามมาได้ที่สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย

แลขอทุกท่านมีความสุขที่ได้เสพงานเขียนนี้สำหรับทุกท่านนะครับ...

ส่วนตัวผู้เขียน

นายสุวิทย์ ศรีสุข *วิศวกรไฟฟ้า-ที่ปรึกษาอิสระ*

การศึกษา

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

ประสบการณ์ • ทำงานกว่า 31 ปี งานด้านไฟฟ้ากำลัง