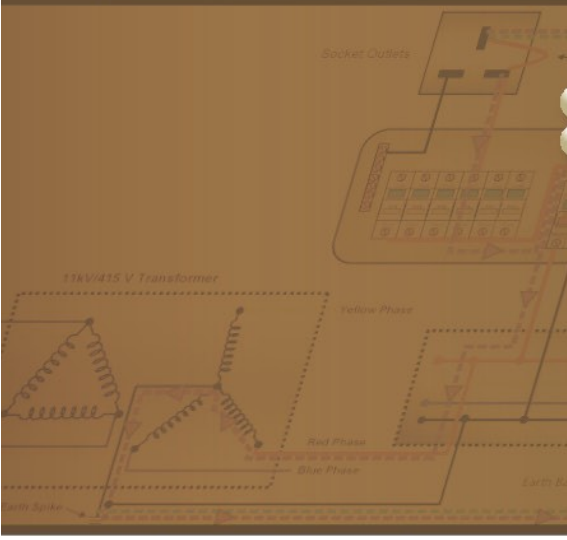
คุณสุวิทย์ ศรีสุข

มาทำความรู้จักกับค่า

Earth Fault Loop Impedance (Zs)



ก่อนที่จะเข้าถึงเนื้อหาขอแนะนำเอกสารอ้างอิงที่ใช้ในวันนี้นะครับเป็นเอกสารที่ใช้ชื่อว่า "Requirements for electrical installations" IET wiring Regulations seventeenth edition เป็น British standard BS 7671:2008 incorporating Amendment No 1: 2001 ที่ประกาศเมื่อ 1st July 2011 และมีผลบังคับใช้ 1st Jan 2012 สำหรับการติดตั้งที่ได้ออกแบบหลังจาก 31st Dec 2011 นั่นหมายความว่าคนทำงานออกแบบรู้ตัวล่วงหน้า 6 เดือนในการปรับตัวปรับกระบวนวิธีกำหนดรายละเอียดลงไปในแบบ เนื้อหาที่นำมาอยู่ในหมวดที่ 4 Protection for safety บทที่ 41, 42 และ43

ขอเริ่มเรื่องด้วยความเข้าใจพื้นฐานการป้องกันการถูกไฟฟ้าช็อตด้วยการกันไม่ให้สัมผัสส่วนที่อาจจะมีไฟฟ้าและส่วนที่นำกระแสไฟฟ้า โดยขณะใช้งานปกติต้องไม่มีความผิดพลาด (fault) หรือหากเกิดความผิดพลาดต้องเกิดภายใต้การจำกัด เช่นมีการเปิดวงจร (in single fault condition) การปลดวงจรอัตโนมัติในกรณีเกิดความผิดพลาดตามตารางที่ 41.1- "Maximum disconnection times" ตามหนังสืออ้างอิงข้างต้น ผมขอนำมาอ้างอิงจำเพาะที่มีโอกาสใช้งานทั่วไปในประเทศไทยดังนี้

System	120 V < U_0 ⩽ 230 V (second)		230 V < U_0 ⩽ 400 V (second)	
	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.
TN	0.4	5	0.2	0.4

ข้อมูลในตารางข้างบนนี้ใช้ได้กับวงจรย่อย (final circuits) ที่มีขนาดกระแสไม่เกิน 32 แอมป์ จากข้อมูลในตารางทำให้เราสามารถนำไปเลือกรุ่นของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่เหมาะสมได้ โดยเราทราบว่าขนาดของพลังงานที่จะสั่งปลดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่าเท่ากับ i^2*t เมื่อค่า t ได้มาจากค่าในตารางเลือกตามระบบที่เราใช้งาน หากเราสามารถคำนวณกระแส residual fault currents ที่เกิดขึ้นที่เป็นค่า rms และเป็น symmetrical ได้มาจากตอนกลางของเอกสารนี้ที่อ้างอิงค่ากระแสที่เกิดขึ้นใน 100 ms ก็คือค่ากระแสที่เราคำนวณได้ไม่ว่าจะมาจากชนิด infinity bus หรือจะมาจากต้นตอการจำหน่ายกระแสของระบบก็คือจากการไฟฟ้าเลยทีเดียว ได้ทั้งนั้นตามศรัทธานะครับ ตอนนี้เรากระเถิบเข้ามาใกล้ชิดเรื่องของเราแล้ว ตอนนี้ต้องขอพักไว้ก่อนตอนนี้ขอให้ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับข้อจำกัดในการป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้ามีดังนี้

1. เต้ารับไฟฟ้าที่มีพิกัดไม่เกิน 20 แอมป์ เพื่อการใช้งานทั่วไปกับบุคคลทั่วๆ ไป (มีข้อยกเว้น)และ
2. เครื่องมือหรืออุปกรณ์ทั่วไปที่มีการใช้งานประเภทใช้มือจับ-หิ้วหรือถือได้ โดยมีพิกัดไม่เกิน 32 แอมป์ เพื่อการใช้งานภายนอกอาคาร

ข้อยกเว้นการใช้งานในข้อ 1

- *เต้ารับไฟฟ้าชนิดที่ใช้งานโดยผู้เชี่ยวชาญ หรืออยู่ในความควบคุมของผู้เชี่ยวชาญ หรือ*
- *เต้ารับชนิดที่มีป้ายกำกับการใช้งานที่เคร่งครัดการใช้งาน ไม่สามารถนำเครื่องหรืออุปกรณ์นอกเหนือจากที่ป้ายกำกับมาใช้งานได้*

ต่อไปเรามาดูคุณสมบัติของเซอร์กิตเบรกเกอร์และค่าความต้านทานวงจร (circuit impedances) จะต้องมีคุณสมบัติตามความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$Zs * Ia \leqslant U0$$

โดยที่ :

Zs หมายถึงค่าความต้านทานมีหน่วยเป็นโอห์ม เป็นค่าความต้านทานของส่วนประกอบร่วมใน fault loop ที่ประกอบด้วย 1) ต้นกำลัง (source) เช่น การไฟฟ้า หรือต้นกำลังเช่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2) เส้นทางตัวนำที่มีไฟฟ้า (line) จนกระทั่งถึงจุดที่ผิดพลาด (point of fault) 3) เส้นทางตัวนำที่นำไฟฟ้าจากจุดผิดพลาดกลับมายังต้นกำลัง จนกระทั่งถึงจุดที่ผิดพลาด (point of fault)

Ia หมายถึงกระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็นแอมป์ ที่จะทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานอัตโนมัติภายในเวลาที่กำหนดไว้ในตารางข้างต้นได้ด้วย

U0 หมายถึงแรงดันไฟฟ้าที่ตัวนำ line เทียบกับดินมีหน่วยเป็นโวลต์ หากเป็น a.c.จะเป็นค่า rms

ค่า Zs หากจะพูดให้ง่ายที่หัวข้องานเขียนนี้ตั้งใจที่จะนำเสนอแต่เดิมจะหมายถึงค่าความต้านทานในลูปสูงที่สุดขณะเกิดลัดวงจรลงดิน (maximum earth fault loop impedance) ซึ่งการใช้งานที่เราสนใจคือค่าความต้านทานสูงสุดที่ยังคงทำให้กระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นยังคงทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ยังทำงานทันทีภายในเวลา 0.4 วินาที ที่จะปลดวงจรให้สำเร็จสำหรับวงจรย่อย (final circuit) และภายในเวลา 5 วินาที ที่จะปลดวงจรให้สำเร็จสำหรับวงจรสายป้อน (distribution circuit) ในที่นี้ขอใช้ชื่อตามที่ต้นแบบทำไว้เนื่องจากยังไม่มีเอกสารอ้างอิงเชื่อมโยงระหว่าง British standard กับที่ใช้ในวสท.ที่เรากำลังใช้อยู่เท่าที่พยายามเทียบเท่าเท่าที่อ่านอยู่นี้เป็นการอนุมาณของผู้เขียน ทั้งสิ้นแล้วคงต้องกำหนดให้รอบครอบจากคณะผู้เชี่ยวชาญเพื่อที่จะใช้อ้างอิงประกอบเป็นมาตรฐานสำหรับวิศวกรไทย ในเบื้องต้นนี้ขอเป็นเพียงความรู้เบื้องต้นที่จะพร้อมรับมือกระบวนคิดแบบ IEC ครับ ตารางที่ว่านี้ผมหมายถึงตารางที่ 41.3-"Maximum earth fault loop impedance (Zs) for circuit-breakers with U0 of 230V,for instantaneous operation..." ค่าในตารางยังแบ่งเป็นแต่ละชนิด (B, C, D) เรื่องชนิดของเซอร์กิตเบรคเกอร์ขออนุญาตละไว้ให้สอบถามผู้จำหน่ายแต่ละยี่ห้อ...ต้องขออภัยที่ยังไม่ได้ทำความกระจ่างในประเด็นนี้ ตารางดังกล่าวเป็นดังนี้

ประเด็นต่อไปที่จะนำเสนอคือ การป้องกันภัยอันเกิดจากไฟฟ้าที่เป็นผลมาจากความร้อนเช่นโคมไฟฟ้าจะต้องติดตั้งให้ห่างจากวัสดุติดไฟได้หากไม่มีคำแนะนำอย่างจริงจังจากผู้ผลิต สำหรับโคมไฟ spotlight หรือโคมไฟ Projector เล็กๆ จะต้องติดตั้งให้ระยะห่างจากวัสดุติดไฟได้ไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ต่อไปนี้

(a) ขนาดไม่เกิน 100 วัตถ์	0.5 เมตร
(b) ขนาดเกิน 100 วัตถ์แต่ไม่เกิน 300 วัตถ์	0.8 เมตร
(c) ขนาดเกิน 300 วัตถ์แต่ไม่เกิน 500 วัตถ์	1.0 เมตร

การป้องกันจากการลุกเป็นไฟแล้วมีข้อกำหนดดังกล่าวกำหนดไว้เป็นการจำกัดค่าอุณหภูมิสูงสุดทั้งที่เป็นอุปกรณ์ติดตั้งอยู่ในที่ที่เข้าถึงได้เพียงแค่เหยียดแขนปกติเท่านั้น แม้นจักเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ของการสัมผัสโดยบังเอิญก็ตามไม่มีข้อยกเว้น หากอุณหภูมิที่วัดได้เช่น จากเครื่องวัด IR เป็นต้นเกินกว่าค่าที่แสดงไว้ในตาราง เครื่องหรืออุปกรณ์นั้นๆ จะต้องมีเปลือกป้องกันการสัมผัสโดยไม่ได้ตั้งใจ หรือจากการเกิดอุบัติเหตุขนาดของค่าอุณหภูมิที่จำกัดภายใต้สภาวการใช้งานปกติเพื่อให้ส่วนของเครื่องหรืออุปกรณ์ที่เข้าถึงได้ด้วยการเหยียดแขนง่ายๆ เข้าไปสัมผัส รายละเอียดมีดังตารางต่อไป...

(a) Type B circuit breaker to BS EN 60898 and the overcurrent characteristic of RCBOs to BS EN 61009-1														
Rating(A)	3	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	In
Zs (Ohm)	15.33	7.67	4.60	2.87	2.30	1.84	1.44	1.15	0.92	0.73	0.57	0.46	0.37	46/In
(b) Type C circuit breaker to BS EN 60898 and the overcurrent characteristic of RCBOs to BS EN 61009-1														
Rating(A)		6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	In
Zs (Ohm)		3.83	2.30	1.44	1.15	0.92	0.72	0.57	0.46	0.36	0.29	0.23	0.18	23/In
(c) Type D circuit breaker to BS EN 60898 and the overcurrent characteristic of RCBOs to BS EN 61009-1														
Rating(A)		6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	In
Zs (Ohm)		1.92	1.15	0.72	0.57	0.46	0.36	0.29	0.23	0.18	0.14	0.11	0.09	11.5/In

คำถามเดียว ที่ผมถามไว้ในวันนี้คือ 46/In, 23/In และ 11.5/In มาจากไหน หากท่านใดมีโอกาสพบตัวแทนจำหน่ายเซอร์กิตเบรกเกอร์และอธิบายจนเข้าใจแล้ว ฝากให้ช่วยโพ๊สให้อ่านในเฟสบุ๊คของสมาคมฯ หรือจะโพ๊สไว้ในกลุ่ม TEMCA Magazine fan club จะขอบคุณมาก

ส่วนของเครื่องหรืออุปกรณ์ที่เข้าถึงได้	ชนิดของวัสดุห่อหุ้มที่เข้าถึงได้	ขนาดของอุณหภูมิสูงสุด (°C)
เครื่องหรืออุปกรณ์มือถือได้	โลหะ	55
	อโลหะ	65
เครื่องหรืออุปกรณ์ตั้งใจให้สัมผัสได้ แต่ไม่หมายถึงชนิดมือถือ	โลหะ	70
	อโลหะ	80
เครื่องหรืออุปกรณ์ตั้งใจไม่ให้สัมผัส ที่การใช้งานปกติ	โลหะ	80
	อโลหะ	90

ประเด็นต่อไปเกี่ยวข้องกับขนาดกระแสเกินหรือ overload current อาจจะไม่แตกต่างจากความเข้าใจเดิม แต่มีรายละเอียดบางอย่างที่น่าสนใจดังนี้ เรื่องนี้เป็นเรื่องที่เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างสายไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน โดยมีแนวคิดคือทุกวงจรไฟฟ้าจะต้องได้รับการออกแบบให้การเกิดกระแสเกินแม้นแต่เล็กน้อยในช่วงเวลานานก็ไม่สมควรจะให้เกิดขึ้น การกำหนดขนาดกระแสไฟฟ้าระหว่างขนาดกระแสไฟฟ้าที่ออกแบบ (Ib), ขนาดกระแสไฟฟ้าที่สายไฟฟ้ารับได้(Iz), ขนาดกระแสไฟฟ้าที่ปรับตั้งที่อุปกรณ์ป้องกัน (In) และขนาดกระแสไฟฟ้าเกินที่ทำให้อุปกรณ์ป้องกันทำงาน (Ia) โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

(a) ขนาดกระแสไฟฟ้าที่ปรับตั้งที่อุปกรณ์ป้องกัน (In) จะต้องไม่น้อยกว่า ขนาดกระแสไฟฟ้าระหว่างขนาดกระแสไฟฟ้าที่ออกแบบ (Ib) หรือ In ⩾ Ib

(b) ขนาดกระแสไฟฟ้าที่สามารถปรับตั้งที่อุปกรณ์ป้องกัน (In)ได้ จะต้องไม่มากกว่า ขนาดกระแสไฟฟ้าที่สายไฟฟ้ารับได้(Iz) หรือ In ⩽ Iz

(c) ขนาดกระแสไฟฟ้าเกินที่ทำให้อุปกรณ์ป้องกันทำงาน (Ia) จะต้องไม่มากกว่า 145 % หรือ 1.45 เท่าของขนาดกระแสไฟฟ้าที่สายไฟฟ้ารับได้(Iz) หรือ Ia ⩽ 1.45 x Iz

หมายเหตุ *ขนาดกระแสไฟฟ้าเกินที่ทำให้อุปกรณ์ป้องกันทำงาน (Ia) ต้องแน่ใจว่าทำให้อุปกรณ์ทำงาน จะทราบขนาดได้จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ หรือผู้ผลิตอาจเป็นผู้เตรียมข้อมูลนี้*

ประเด็นสุดท้ายเป็นเรื่องของการป้องกันกระแสลัดวงจร (fault current) อุปกรณ์ป้องกันจะต้องมีพิกัดค่ากระแสลัดวงจรที่จะปลดวงจรโดยอุปกรณ์ไม่เสียหายไม่น้อยกว่าค่าสูงสุดของค่ากระแสลัดวงจรที่จุดใด ๆในวงจร ค่านี้สามารถต่ำกว่าได้ (โปรดอ่านด้วยความระมัดระวัง) จะต้องมีการทำ coordinated โดยที่ค่าพลังงาน I * I * t (energy let-through) ของอุปกรณ์นั้นจะต้องไม่เกินกว่าค่าที่อุปกรณ์นั้นยังคงรักษาสภาพได้โดยไม่เสียหาย และอุปกรณ์นี้จะต้องอยู่ทางข้างโหลด (Load side) หากข้อมูลมีไม่เพียงพอไม่ขอแนะนำให้ทำเพราะอันตรายครับ สมควรศึกษาจนเข้าใจก่อนการตัดสินใจทำนะครับ

การคำนวณขอเริ่มต้นที่เมื่อมี fault เกิดขึ้นที่จุดใดจุดหนึ่งในวงจร จะต้องมีการปลดวงจรภายในเวลาที่กระแสลัดวงจรจะไม่เป็นสาเหตุให้ค่าอุณหภูมิของสายไฟฟ้าเกินกว่าขนาดค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ การเกิดลัดวงจรในช่วงเวลาสั้นๆ (น้อยกว่า 0.1 วินาที หรือ 100 มิลลิวินาที), ค่ากระแสที่จำกัดของอุกรณ์ป้องกันคือ k^2 * S^2 (เค-ยกกำลังสอง-คูณ-เอส-ยกกำลังสอง) จะต้องมีค่ามากกว่าค่าพลังงานที่เกิดขึ้น (let-through energy: I^2 * t หรือ ไอ-ยกกำลังสอง-คูณ-ที) ขนาดตัวเลขขึ้นกับคลาสของอุปกรณ์นั้นๆ ดังนั้น เวลา (t) ที่กระแสลัดวงจรจะผ่านสายไฟฟ้าจนทำให้อุณหภูมิของสายถึงค่าอุณหภูมิสูงสุด ประมาณได้ดังนี้

$$t = (k^2 * S^2)/(I^2)$$

โดยที่

- t คือช่วงเวลาที่กระแสลัดวงจรผ่านสายไฟฟ้า (วินาที)
- S คือพื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้า (ตารางมิลลิเมตร)
- I คือค่ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้น (แอมป์) หากเป็น a.c จะเป็นค่า rms ต้องไม่ลืมว่าขนาดกระแสนี้จะจำกัดโดยค่า ความต้านทานของวงจร (ที่กล่าวถึงแล้วในตอนต้นของบทความนี้)
- K คือค่าตัวประกอบที่เกิดจาก ค่าความต้านทานจำเพาะ, ค่าสัมประสิทธ์ของอุณหภูมิ, ค่าความสามารถในการทนความร้อนของวัสดุที่นำมาผลิตสายไฟฟ้า (heat capacity of the conductor material) และค่าอุณหภูมิเริ่มต้นและสุดท้ายที่เหมาะสม สำหรับวัสดุทั่วๆ ไปค่า K จะเป็นไปตามตารางข้างล่าง (ตารางอ้างอิงคือ Table 43.1) ต่อไปนี้

ฉนวนของสายไฟฟ้า	Thermoplastic				Thermosetting		Mineral Insulation	
	90 °C		70 °C		90 °C	60 °C	Thermopla -stic sheath	Bare (unsheathed)
ขนาดสายไฟฟ้า (sq.mm.)	≤300	>300	≤300	>300				
Initial temperature	90 °C	70 °C	90 °C	60 °C	70 °C	105 °C		
Final temperature	160 °C	140 °C	160 °C	140 °C	250 °C	200 °C	160 °C	250 °C
Copper conductor	K = 100	K = 86	K = 115	K = 103	K = 143	K = 141	K = 115	K = 135/115*
Aluminum conductor	K = 66	K = 57	K = 76	K = 68	K = 94	K = 93		
Tin soldered joints in copper conductor	K = 100	K = 86	K = 115	K = 103	K = 100	K = 122		

**ค่านี้จะต้องใช้กับสายเปลือยที่ติดตั้งอย่างเปิดเผย และมีโอกาสสัมผัสได้*

ก่อนจะยุติการอธิบายข้อกำหนดให้ได้รู้จักกับมาตรฐานอังกฤษที่ว่านี้ ยังมีการอธิบายถึง coordination ของ overload current และ fault current protection ว่าคุณสมบัติของอุปกรณ์จะต้อง coordinated ที่ยินยอมให้ energy let through ของกระแสลัดวงจร ที่ยังคงไม่ทำให้อุปกรณ์ต้องรับภาระเกินกว่าความสามารถที่จะคงยืนหยัดต่อวงจร (be withstood) ไม่มีความเสียหายเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน ที่ท้ายสุดแต่ยังคงมีคุณค่าอยู่ ขอพูดถึงข้อจำกัดของกระแสไฟฟ้าที่เกินตามคุณสมบัติของการจ่ายไฟฟ้าของสายไฟฟ้าโดยต้องไม่ลืมว่า สายไฟฟ้าได้รับการป้องกันความเสียหายอันเนื่องมาจาก ขนาดกระแสเกิน และขนาดกระแสลัดวงจรที่สายไฟฟ้าทำหน้าที่จ่ายไฟฟ้าจากแหล่งจำหน่ายไฟฟ้าที่มีความสามารถจำหน่ายไฟฟ้าได้เกินกว่าความสามารถของสายไฟฟ้า (ฉนวนของสายไฟฟ้า) ที่จะยอมรับได้ ดังนั้นการจำกัดกระแสที่จะผ่านสายไฟฟ้าจึงเป็นความสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องกำหนดให้เหมาะสม

มาถึงบรรทัดนี้พอจะมองออกไหมครับว่า แม้นระบบไฟฟ้าที่ติดตั้งใหม่ ๆก็สามารถเกิดไฟฟ้าลัดวงจรแล้วหากค่า loop impedance ของวงจรเกินจะทำให้เวลาในการทำงานของอุปกรณ์ยืดออกไป หากสายไฟฟ้ามีอุณภูมิเกินค่าที่ตัวเองจะรับได้ จะทำให้สายไฟฟ้าลุกเป็นไฟไหม้ได้ (loop impedance ก็ไม่ได้เกิดจากจำเพาะจากความยาวสายเท่านั้น และอาจเกิดจากการต่อสายไฟฟ้าก็เป็นได้) อย่าลืมเรียนรู้มาตรฐานสายไฟฟ้าใหม่ตามมาตรฐาน IEC พร้อมกับการทำความเข้าใจการกำหนดขนาดต่าง ๆของอุปกรณ์ให้ถูกต้องเพื่อประชาชนคนไทยได้ใช้อุปกรณ์ที่ปลอดภัย และหากสามารถทำด้วยความมัธยัสถ์ได้ด้วยก็ช่วยกันทำเถอะต่อไปใครมาเห็นงานของเราจะว่าเราไม่ได้เลย...

ผู้เขียนบทความ

● **นายสุวิทย์ คธีสุข**

วิศวกรไฟฟ้า-ที่ปรึกษาอิสระ

การศึกษา ปริญญาตรี- วิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ประสบการณ์ ทำงานกว่า 26 ปี งานด้านไฟฟ้ากำลัง