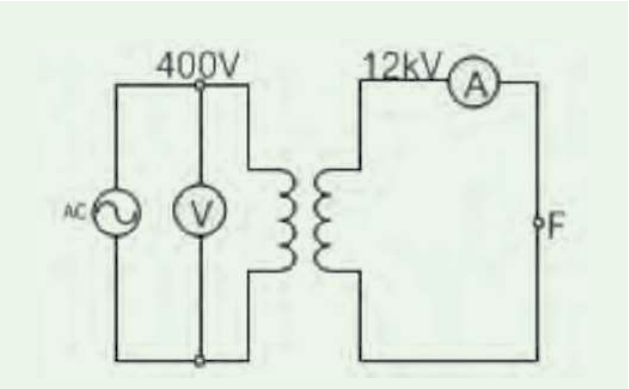
เล่าเรื่อง

Earth Fault Loop Impedance (Zs)

ภาค 2 ต่อจากเล่มที่ 4 ปีที่ 19

เล่าเรื่องต่อ **Ground Loop Impedance** เป็นงานเขียนภาคต่อจากที่เคยเขียนเรื่องเกี่ยวกับ Ground Loop Impedance ไหนๆ ก็จะใช้งานกันตามมาตรฐานการติดตั้งสายไฟฟ้าใหม่ของ วสท. ต้องขออนุญาตขยี้ต่ออีกหน่อยให้สุดไปเลย ผู้เขียนขอเสนอวิธีการหาค่า Ground Loop Impedance ในตารางที่ 41.3 ตาม BS7671 จากวิธีการคำนวณที่จะทำให้ผู้ต้องใช้งานไม่ต้องเปิดตารางดังกล่าวแล้ว ยังอาจจะทำให้เข้าใจเรื่องกระแสลัดวงจรมากยิ่งขึ้นด้วยวิธีมองมุมใหม่ และยังจะทำให้เข้าใจว่า แต่ละข้อมูลในตารางมาได้อย่างไร สำหรับท่านที่สนใจเรื่องที่จะอ่านนี้อาจได้ค้นพบแนวทางการคำนวณค่าอื่นๆ ด้วยวิธีใหม่ๆ สักอย่างก็เป็นไปได้ เพื่อความเข้าใจที่มากขึ้นขอผู้อ่านทุกท่านเปิดใจกว้างนิดหนึ่ง ด้วยผู้เขียนเองได้อนุมาณเรื่องที่ท่านจะได้อ่านต่อไปนี้จากองค์ความรู้ที่มีด้วยหวังว่าความเข้าใจนี้จะสามารถช่วยความเข้าใจ หากเข้าใจแลสามารถนำไปใช้งานได้ ขอเชิญทุกท่านนำไปใช้งานได้ตามอัธยาศัย หากว่ามีความเห็นเพื่อแก้ไขละก็ยินดีรับคำแนะนำทั้งสิ้นเพื่อการสร้างสรรค์ ขอทุกท่านส่งมาที่ email address : suwittosan@yahoo.com หรือ Facebook ของสมาคมฯ ที่กลุ่ม TEMCA Magazine Fanclub ผู้เขียนยินดีรับฟังทุกความเห็น ที่มาด้วยปรารถนาให้วิศวกรไทยที่เกี่ยวข้องได้ก้าวหน้าร่วมกันต่อไปข้างหน้า ผู้เขียนต้องขอขอบพระคุณทุกความเห็นไว้ล่วงหน้า...

เรื่องนี้ต้องเริ่มอย่างไรดี ย้อนสมัยยังเรียนอยู่มหา'ลัยที่ต้องเรียนทั้งทฤษฎีและปฏิบัติ การปฏิบัติที่คุ้นเคยทำบ่อยที่สุดคือ การทำ lab หรือ laboratory คำนี้คงไม่มีใครปฏิเสธ มี lab หนึ่งที่ต้องทำการทดลองเกี่ยวกับคุณสมบัติของหม้อแปลงไฟฟ้า lab ที่ว่านี้เน้นจำเพาะเรื่อง การหาค่า Voltage Impedance ของหม้อแปลงไฟฟ้าใครเคยทำขอให้ยกมือขึ้น ใครร่วมทดลองจริงแต่ใช้บทวิเคราะห์ของเพื่อนมาเป็นแนวทาง หรือบางทีก็เรียกว่า ลอกน่ะครับ ผู้เขียนจำไม่ได้แล้วว่าเรื่องนี้ทำรายงานเองหรือลอกเพื่อน แต่ที่แน่ๆกว่าจะตัดสินใจเขียนเรื่องนี้ต้องค้นตำรามาอ่านหลายเล่มหลายเรื่อง ยังคิดเล่นๆว่า คงเป็นเพราะสมัยเรียนหนังสือไม่ตั้งใจเลยต้องมาซดใช้ตอนแก่ต้นๆนี้เอง... lab เรื่อง Voltage Impedance จำได้ว่าเวลาทำจะหาคุณสมบัติร่วมอื่นๆออกมาหลายเรื่องเช่น Voltage Regulation, Transformer Turn Ratio, Losses ต่างๆทั้ง Core Losses หรือ Stray Losses และ Copper Loss โดยเฉพาะตอนที่ต้องวิเคราะห์เรื่อง Core Losses ที่มีทั้ง Hysteresis Losses ที่เกิดกับแผ่นเหล็กรวมหลายๆแผ่นที่จะส่งต่อเส้นแรงแม่เหล็กไปยัง Coil อีกด้านหนึ่ง และ Eddy Current Losses ที่เกิดกับการไหลวนของเส้นแรงแม่เหล็กในแต่ละแผ่นของแกนเหล็ก เป็นต้น กลับมาที่โต๊ะทดลองของเรากันต่อ lab วันนี้เราทดลองเรื่องการหาค่า %Voltage Impedance การ Setup lab วันนี้เป็นการสมมุติประกอบ (ตอนทดลองจำได้ว่าไม่ได้เป็นแบบนี้ แต่พอจะเขียนบทความที่จะใช้งานขอสมมติอย่างที่จะใช้งานจริง) เพื่อนำผลไปใช้งานจริง(ให้เสมือนใช้งานจริง) ดังนั้น การเลือกขนาดและชนิดของหม้อแปลงจึงแลดูว่า นักศึกษาน่าจะไม่ได้ทดลอง lab. วันนี้เลือกใช้หม้อแปลงขนาด 1,500 kVA ด้าน primary รับแรงดัน 12 kV และด้าน secondary จ่ายแรงดัน 400/230 V ถ้าเป็นข้อกำหนดใน Spec. ทั่วไปมักกำหนดขนาดของ %Voltage Impedance ไว้ไม่น้อยกว่า 6% ในการนำหม้อแปลงนี้มาทดลองโดยการต่อ Variac ปรับแรงดันได้ การทดลองนี้จะปรับแรงดันทางด้านแรงต่ำ 0-400 Volts แล้วทำการลัดวงจรทางด้านแรงสูง ในการทดลองนี้จะวัดแรงดันทางด้านแรงต่ำ และวัดขนาดของกระแสทางด้านแรงสูง (ในที่นี้หมายถึงแรงดันกลาง) เราสามารถเขียนเป็นวงจรการทดลองได้ดังนี้



รูปที่ 1 แสดงวงจรสำหรับการทดลอง (สมมติ)

จากข้อกำหนดของหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,500 kVA ที่ด้านแรงสูง 12 kV สามารถคำนวณขนาดกระแสที่ 3 เฟสได้เท่ากับ 72.2 A [มาจาก 1500/(sq.rt.(3)x12)] ในการทดลองเราจะลัดวงจรทางด้านแรงสูง (12 kV) วัดค่ากระแสทางด้านแรงสูง โดยทางด้านแรงต่ำให้จ่ายแรงดันปรับค่าได้ตั้งแต่ศูนย์ปรับขนาดสูงขึ้นเป็นขั้นๆ บันทึกข้อมูลค่าแรงดันทางด้านแรงต่ำและค่ากระแสทางด้านแรงสูง ปรับค่าและบันทึกข้อมูล

จนกระทั่งได้ขนาดของกระแสทางด้านแรงสูงที่พิกัดคือขนาด 72.2 A ค่าแรงดันที่ได้ทางด้านแรงต่ำ สมมติว่าได้ค่าเป็น 24 V ในการวิเคราะห์เราสามารถคำนวณหาค่า %Voltage Impedance เป็นสัดส่วนที่ทำให้เกิดกระแสลัดวงจรที่พิกัดทางด้านแรงสูง เมื่อนำค่า 24 V ที่สมมติว่าได้จากการทดลองนำมาหาสัดส่วนเทียบกับค่าแรงดันพิกัด ที่คิดว่าเป็น 100% จะได้ค่าเป็น (24/400)x100 ได้ค่าเท่ากับ 6% ความหมายของค่านี้คือ ขนาดแรงดัน 6% หรือ 24 V จะทำให้ได้ขนาดกระแสพิกัดในด้านที่ลัดวงจรนั่นหมายความว่าหากเกิดการลัดวงจรที่แรงดันพิกัด ก็จะเป็นกระแสลัดวงจรจริงที่เราสนใจ โดยเราสามารถเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

ค่ากระแสที่พิกัด หาขนาดแรงดันที่พิกัดเท่ากับ 24/(6/100) เท่ากับ 400 V และที่ค่าแรงดันพิกัด หาขนาดกระแสที่เกิดจากการลัดวงจรได้เท่ากับ 72.2/(6/100) เท่ากับ 1,200 A ขนาดกระแสนี้เกิดขึ้นทางด้านแรงสูง ขนาดนี้เป็นค่า RMS หรือบางครั้งอาจเรียกว่า PSC หรือ Perspective Short Circuit Current ในประเด็นวันนี้เราสนใจทางด้านแรงต่ำโดยมีค่ากระแสที่พิกัดเท่ากับ 1500x10^3/(sq.rt.(3)x400) = 2,165.2 A นำมาคำนวณในทำนองเดียวกันได้ค่ากระแสลัดวงจรที่เป็นการเพิ่มค่าแรงดันจาก 6% เป็น 100% ทำให้ได้ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรทางด้านแรงต่ำเท่ากับ 2165.2/(6/100) = 36,086.7 A หรือ 36.1 kA ค่าที่ได้นี้ยังคงเป็นค่า RMS (ค่าที่ได้นี้เป็นขนาดกระแสลัดวงจรที่ infinite bus นั่นเอง) นี้คือขนาดกระแสลัดวงจรที่ขั้วหม้อแปลงด้านแรงต่ำ รายละเอียดอื่นๆ เกี่ยวกับขนาดกระแสลัดวงจรนี้ผู้เขียนเคยเขียนแล้วเมื่อเร็วๆ นี้ลองย้อนกลับไปอ่านดูครับ แต่ประเด็นการศึกษาวันนี้คือต้องการชี้ประเด็นการนำค่า %Voltage Impedance มาสร้างความสัมพันธ์ร่วมกับขนาดกระแสพิกัด ผลที่ได้จะเป็นขนาดของกระแสลัดวงจรโดยสามารถเขียนเป็นสูตรคำนวณดังนี้

Is.rms = Irate/(%Zk/100)

หลังจากที่เราเข้าใจเรื่องความสัมพันธ์ของค่า %Zk และ Irate จนได้ผลลัพธ์เป็น Is.rms หรือขนาดกระแสลัดวงจรซึ่งเป็นค่า RMS หากบางท่านผู้อ่านยังไม่เข้าใจชัดเจนขอให้ย้อนกลับไปอ่านข้างต้น หรือค้นหางานเขียนของผู้เขียนที่เป็นเรื่องการคำนวณหาขนาดกระแสลัดวงจรที่เป็นงานเขียนอีกเรื่องหนึ่งของผู้เขียนเมื่อเร็วๆ นี้ (อาจอยู่ภายในเล่มนี้ก็ได้ ผู้เขียนไม่แน่ใจ) แต่หากต้องการสอบถามบางประเด็นสามารถสอบถามได้ทาง Facebook ของสมาคมฯได้ ต่อไปจะเข้าเรื่องที่เป็นประเด็นของชื่อเรื่องวันนี้ ขอเริ่มด้วยตารางที่ 41.3 ที่เป็นการแสดงค่า Maximum Earth Fault Loop Impedance (Zs) เป็นดังนี้

TABLE 41.3 –
Maximum earth fault loop impedance (Z_s) for circuit-breakers with U_0 of 230 V, for instantaneous operation giving compliance with the 0.4 s disconnection time of Regulation 411.3.2.2 and 5 s disconnection time of Regulation 411.3.2.3
(for RCBOs see also Regulation 411.4.9)

(a) Type B circuit-breakers to BS EN 60898 and the overcurrent characteristics of RCBOs to BS EN 61009-1														
Rating (amperes)	3	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	I_n
Z_s (ohms)	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	$46/I_n$
(b) Type C circuit-breakers to BS EN 60898 and the overcurrent characteristics of RCBOs to BS EN 61009-1														
Rating (amperes)		6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	I_n
Z_s (ohms)		3.83	2.30	1.44	1.15	0.92	0.72	0.57	0.46	0.36	0.29	0.23	0.18	$23/I_n$
(c) Type D circuit-breakers to BS EN 60898 and the overcurrent characteristics of RCBOs to BS EN 61009-1														
Rating (amperes)		6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	I_n
Z_s (ohms)		1.92	1.15	0.72	0.57	0.46	0.36	0.29	0.23	0.18	0.14	0.11	0.09	$11.5/I_n$

NOTE: The circuit loop impedances given in the table should not be exceeded when the conductors are at their normal operating temperature. If the conductors are at a different temperature when tested, the reading should be adjusted accordingly. See Appendix 14.

เราเลือกพิจารณากรณีที่มีโอกาสเกิดขึ้นเป็นวงจรย่อยขนาด 16 A ชนิด C จากตารางที่ 41.3(b) จะเห็นว่า ค่าของ Rating(amperes) ใช้สัญลักษณ์เป็น In และค่า Zs(Ohms) มีขนาดเท่ากับ 23/In ที่จุดนี้หากเราจะทบทวนการคำนวณการคำนวณพื้นฐานที่ว่า Z=V/I จากสูตรคำนวณนี้ที่ค่า In=16 A เมื่อแทนค่าในสูตร Zs=23/In=23/16=1.437 ohms จากสูตร Zs=23/In จะเห็นว่าค่าแรงดันมีขนาดเท่ากับ 23 volts ที่ค่า Impedance ลัดวงจร Zs จะทำให้ได้ค่ากระแสพิกัด In มาถึงตรงนี้ถ้าเราต้องการหาค่ากระแสลัดวงจร ผู้เขียนจะปรับค่า 23 volts ที่ Zs ทำให้ได้ค่ากระแสพิกัด เราจะนำค่า 23 volts มาปรับค่าเสียใหม่เป็นค่า %voltage impedance ของ circuit breaker ในที่นี้ขอเสนอให้เรียกเป็น %Z2 (เสนอชื่อนี้ให้สอดคล้องกับค่า I2 ที่ทำให้ circuit breaker ปลดวงจรขณะเกิดการลัดวงจร) โดยที่ค่า %voltage impedance ในที่นี้มีค่าเท่ากับ [23/230]x100=10% เมื่อเราสามารถกำหนดค่า %Z2 ได้แล้ว ต่อไปเราจะนำค่า %Z2 มาคำนวณหาค่า Is จะได้ค่าเท่ากับ In/(%Z2/100) จากตัวอย่างข้างต้นได้ค่า Is=16/(10/100)=160 A ต่อจากนี้ให้นำค่า Is ที่ได้มาคำนวณหาค่า Zs ที่แรงดันพิกัดได้ค่าเท่ากับ U0/Is=230/160=1.437=1.44 ohms จากการคำนวณข้างต้นมีลำดับดังนี้

Zs = 23/In	**มีหน่วยเป็น ohms; จากในตาราง**
%Z2 = (23/230) x100	**ที่ type C ได้หน่วยเป็น %**
Is = In/(%Z2/100)	**มีหน่วยเป็น amp**
Zs = U0/Is	**มีหน่วยเป็น ohms ด้วยวิธีคำนวณ ที่ U0 = 230 V**

ดังนั้นดังที่เราเกริ่นมาเราสามารถคำนวณหาค่า Zs ได้จากการคำนวณจึงอยากนำเสนอไว้เป็นแนวทางใช้คำนวณต่อไป ในทำนองเดียวกันกับ Type A และ Type C ดังนี้

นับเป็นความหมายที่สำคัญที่เราทราบเวลาที่ CB จะปลดวงจร ทำให้เราทราบค่าพลังงานที่ทำให้ CB ปลดวงจรด้วยพลังงานขนาดเท่ากับ i^2 x t พร้อมกับครั้งนี้เราทราบค่า Zs ที่เป็นปัจจัยสำคัญพร้อมกับการทำค่า %Voltage Impedance ของ CB มาประกอบการหาค่า Is และZs ตามลำดับ ต่อไปนี้ที่มีการตรวจวัดขนาดของ Zs เราจักสามารถคำนวณและหากได้ตรวจสอบชนิดของ CB ที่ใช้ (B,C หรือ D) พร้อมการตัดสินใจได้ทันทีว่า ค่าที่วัดได้ว่าจักมีปัญหาการส่งงาน หรือการใช้งานหรือไม่ (ค่า Zs ที่สูงกว่าค่าที่แสดงในตารางหรือค่าที่คำนวณได้ จักทำให้ CB ปลดวงจรช้ากว่ากำหนดมีผลให้มีความร้อนสะสมในสายไฟฟ้า ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดไฟไหม้เนื่องจากกระแสไฟฟ้าลัดวงจร)

ด้วยความตั้งใจแต่ต้นเพื่อการใช้งานที่มีความคล่องตัวจึงได้คิดเรื่องข้างต้น หวังเป็นอย่างยิ่งจักเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องนำไปใช้งาน มิได้มีเจตนาทำเป็นเครื่องล้อเล่นเป็นพิลึกแต่ใด เพื่อทุกท่านที่มีเครื่องมือนี้แล้วที่จะนำไปใช้งานได้อย่างคล่องตัว สำหรับท่านที่ยังไม่มีเครื่องมือนี้ที่เรียกว่า Ground loop impedance tester หรือ Earth fault loop impedance tester บางครั้งก็จะมาพร้อมๆ กับ RCD, Perspective short circuit current Tester(PSC) ก็เรียกได้ว่าซื้อเครื่องเดียวใช้ได้คุ้มทีเดียว อ้อ!! ลืมบอกไปนิดว่า เครื่องมือนี้จักทดสอบขณะจ่ายไฟฟ้าแล้วจึงต้องคำนึงถึงระดับความปลอดภัยของเครื่องมือ เช่น การใช้งานในอาคารน่าจักเลือกเครื่องมือที่ category III นะ หรือ IV ที่ขนาดแรงดันเท่าใดก็ได้หากมีเงินพอจักซื้อได้ **สุดท้ายเหนือสิ่งอื่นใดในอนาคตหากมีการใช้งานครบถ้วนอย่างจริงจังทั้งอาคารใหม่ และอาคารเก่าน่าจะไม่มีการเกิดไฟไหม้เนื่องจากกระแสลัดวงจร (ทางกายภาพ) อีกต่อไป แล้วเพราะงานวิศวกรรมไฟฟ้าจักได้รับการดูแลเอาใจใส่อย่างครบถ้วนรอบด้านยังผลให้ประชาชนไทยโดยทั่วได้รับประโยชน์นี้เต็มที่ครับ...**

ตารางแสดงความสัมพันธ์กับ type ต่างๆ ของ Circuit breaker

Type	Zs(ohms)	%Z2 (%)	Is(amp)	Is/In
B	46/In	(46/230)x100 = 20%	In/(20/100)	5
C	23/In	(23/230)x100 = 10%	In/(10/100)	10
D	11.5/In	(11.5/230)x100 = 5%	In/(5/100)	20

หากต้องการรู้ว่า circuit breaker (CB) จะทำงานภายในเวลาเท่าไหร่สามารถสรุปจากข้อมูลของ BS7671:2001[2011] ดังนี้

ตารางแสดงเวลาสูงสุดที่ CB ปลดวงจร

ชื่อวงจร	ขนาด	แรงดัน	ค่า Max. Disconnection Times	BS7671
วงจรย่อย	≤32 A	≤230 V	0.4 Sec	411.3.2.2
วงจรย่อย	32< และ ≤125 A	≤230 V	5.0 Sec	411.3.2.3
วงจรสายป้อน	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	5.0 Sec	411.3.2.3

ผู้เขียนบทความ

● **นายสุวิทย์ ศรีสุข**

วิศวกรไฟฟ้า-ที่ปรึกษาอิสระ

การศึกษา ปริญญาตรี- วิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ประสบการณ์ ทำงานกว่า 25 ปี งานด้านไฟฟ้ากำลัง