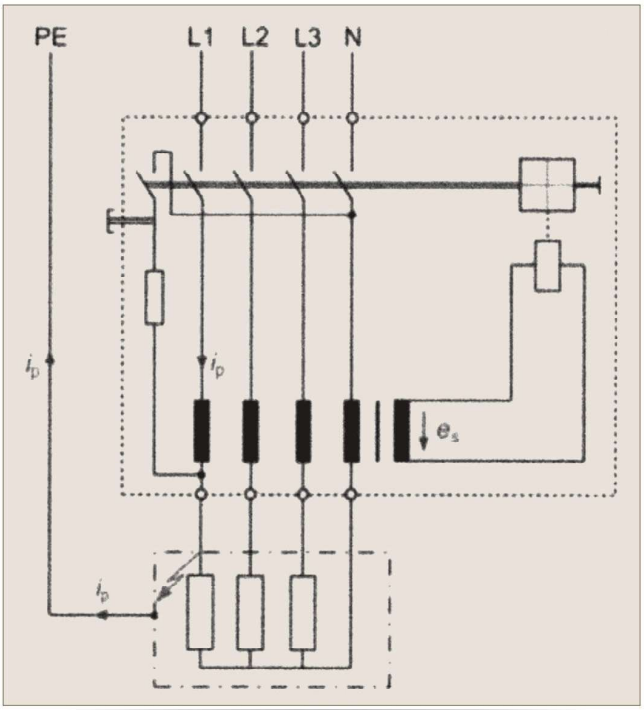
คุณสุวิทย์ ศรีสุข

เล่าเท่าที่รู้ : เรื่องพื้นฐานโครงสร้าง การเลือกใช้งาน การใช้งาน และการทดสอบ Residual Current Devices ฤๅที่เรียกย่อๆ ว่า RCD

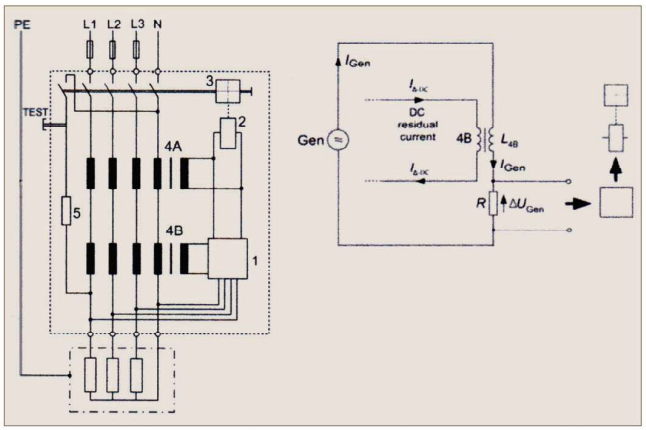
งานเขียนนี้เกิดขึ้นได้เนื่องจากได้มีโอกาสได้รู้จักกะหนังสือของอาจารย์ในมหาวิทยาลัยทางวิศวกรรมในประเทศโปแลนด์ ท่านเขียนหนังสือซึ่งงานเขียนนี้หยิบยืมมาอ่าน และเล่าถัดสู่ท่านผู้อ่าน เป็นหนังสืออ้างอิงนี้ครับ **Stanislaw Czapp., "RESIDUAL CURRENT DEVICES Selection, Operation, and Testing"., facuty of electrical and control engineering, Gdan'sk University of technology, Poland, Elsevier Inc., 2022.** ซึ่งนับว่า เป็นหนังสือที่เพิ่งออกมาใหม่มาก น่าจักทันสมัยสมคุณค่าของท่านผู้อ่านที่จักได้อ่าน และได้เรียนรู้ร่วมกัน ซึ่งชื่อของ Residual Current Devices ต่อไปนี้ขอเรียกว่า **RCD** โดยที่สำหรับผู้อ่านในเมืองไทยอาจเคยได้ยินว่าเป็นอุปกรณ์ตรวจจับกระแสเหลือ หลังจากอ่านงานเขียนนี้จบท่านผู้อ่านจักได้เห็นส่วนประกอบที่นำกระแสที่หักล้างกันไม่หมด ฤๅที่เรียกว่า กระแสเหลือมาสร้างพลังงานในการปลดวงจร เนื่องจากการมีกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน จึงทำให้กระแสไฟฟ้าในระบบหายไปส่วนหนึ่ง ขอบเขตของงานเขียนจักครอบคลุมการตรวจจับขนาดกระแสไฟฟ้าเหลือของไฟฟ้ากระแสสลับ ฤๅ AC และ ไฟฟ้ากระแสตรงที่เป็น **พัลซ์** ฤๅ **pulsatings DC** และ **ไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียบ** ฤๅ **smooth DC**

เอกสารชิ้นแรกที่อ้างอิงระบบการป้องกันที่ใช้กระแสเหลือ ที่เกิดจากการรั่วลงดินเกี่ยวข้องกับคนในปี ค.ศ. 1928 ในปีนี้เองที่เกิดมีสิทธิบัตรเรื่องนี้ในเยอรมนี สิทธิบัตรที่ว่า เป็นการปลดวงจรจากผลรวมของกระแสทั้งหมดในตัวนำที่มีไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่เหลือในวงจรป้องกัน ด้วยกระแสที่รั่ว 10-50 mA ทำให้ปลดวงจรในเวลาไม่เกิน 0.1 s ซึ่งเกิดจากการสัมผัสโดยตรงกับตัวนำที่มีไฟฟ้า ตามสิทธิบัตรเลขที่ DRP552678 ในการพัฒนาช่วงแรก เป็นการตรวจจับด้วย protective coil ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับคอล์ยของรีเลย์ เมื่อผลรวมของกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส ไม่เท่ากับศูนย์ ก็จักเกิดแรงแม่เหล็กดูดหน้าคอนแท็กให้ปลดวงจร ถัดมามีการพัฒนามาใช้ Current Transformer ฤๅ CT ที่มีขดลวดปฐมภูมิ อยู่ในแต่ละเฟส (L1, L2, L3, N) เมื่อมีกระแสเหลือ ก็จักทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็ก (วัสดุอาจมิใช่เหล็กก็ได้ ขึ้นกับ hysteresis loop ที่ต้องการ) แล้วเหนี่ยวนำมายังขดลวดทุติยภูมิ เกิดแรงดันขับอุปกรณ์มีลักษณะคล้ายรีเลย์ หน้าคอนแท็กเปลี่ยนสถานะขับวงจรเพื่อปลดวงจร ที่เรียกว่า electromechanical relay ในยุคนี้ยังตรวจจับได้จำเพาะที่เป็น sinusoidal current ฤๅ AC ขนาด 30 mA ที่ประกอบด้วย แท่งแม่เหล็กถาวร และสปริง RCD ในยุคนี้คือ RCD ชนิด AC รายละเอียดเป็นไปดังรูปที่ 1



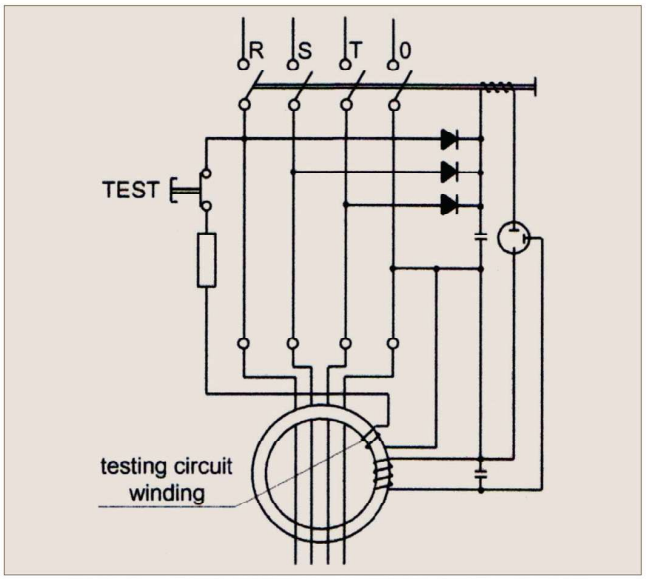
รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของ RCD ตรวจจับ AC

ยุคถัดมาต้องการตรวจจับ ไฟฟ้ากระแสเหลือกับไฟฟ้ากระแสตรงชนิดพัลซ์ ฤ DC pulsating residual currents มีการเพิ่ม series capcitor เข้าไปในวงจรของฝั่งทุติยภูมิของ CT พัฒนาการถัดมา ใส่เพิ่ม CT เข้าไปอีกหนึ่งชุด เป็น 2 CT เรียกว่า two-core RCD เพื่อใช้ตรวจจับไฟฟ้ากระแสเหลือกับไฟฟ้า AC, pulsating DC แล smooth DC แลเพื่อให้การตรวจจับไฟฟ้ากระแสเหลือกับไฟฟ้าชนิด smooth DC ได้ดีขึ้นก็ได้เพิ่ม auxiliary-voltage ผลที่ได้จึงเป็นไปตามรูปที่ 2



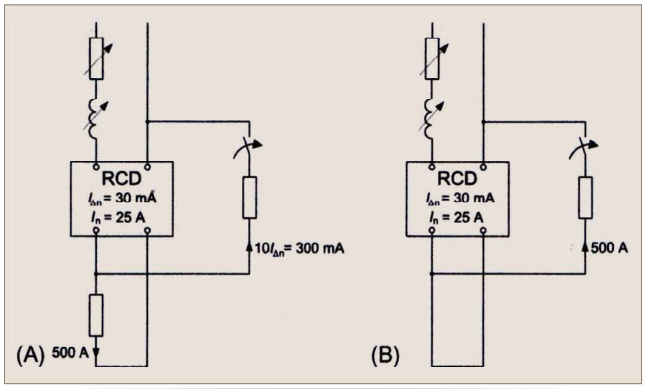
รูปที่ 2 แสดงส่วนประกอบของ RCD ตรวจจับ AC, pulsating DC แล smooth DC

ด้วย RCD ยังคงมีการใช้งานเป็นเวลานาน (หลายเดือน หลายปี) อยู่ในสถานะ ปิดวงจรตลอดเวลา อาจมีปัญหาการใช้งานเมื่อมีกระแสไฟฟ้าเหลือเข้าใกล้ค่าพิกัดการทำงานของ RCD ($I_{\Delta n}$) อย่างไรก็ตามหลังจากเปิดวงจรแล้วปิดวงจรของ RCD ด้วยมือ ทำเช่นนี้ครั้งที่ 2 3 ฤๅครั้งถัดๆ ไป ขนาดของความไวของการทำงานจักกลับมาในระดับที่เหมาะสม ในที่นี้แนะนำให้ทดสอบการทำงานทุกๆ 6 เดือน โดยวงจรที่เตรียมไว้เพื่อการทดสอบเป็นไปตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงส่วนประกอบของ RCD เพื่อการทดสอบด้วย push button

ระหว่างในการทดสอบการทำงานของ RCD โดยการกดปุ่มกดทดสอบ (TEST button) ขนาดกระแสในวงจรทดสอบจักประมาณ $2.5I_{\Delta n}$ เพราะฉะนั้นจึงมิได้เป็นการทดสอบที่ตรงตามฟังก์ชั่นการทำงานของ RCD ที่จักทำงานที่พิกัดกระแสไฟฟ้าเหลือที่ $I_{\Delta n}$ วงจรทดสอบภายในควรทำงานได้เมื่อมีระดับแรงดันอยู่ในช่วง 0.85-1.10 ของพิกัดแรงดันใช้งาน วงจรการทำงานตามรายละเอียดข้างต้นดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงการไหลของกระแส เมื่อกดสอบด้วย push button ของ RCD

ต่อไปขอเล่าเรื่องการป้องกันวงจรเนื่องจาก กระแสไฟฟ้าลัดวงจร ประกอบการทำงานของ RCD ในการติดตั้งไฟฟ้าควรออกแบบด้วยกฎแห่งความปลอดภัยพื้นฐานอย่างสมบูรณ์ โดยเฉพาะความเสี่ยงของการสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้าไม่ว่าจักเป็นช่องทางเดินสายไฟฟ้า บริภัณฑ์ไฟฟ้าต้องไม่สามารถเข้าถึงได้ แลส่วนที่สามารถเข้าถึงได้สำหรับบุคคลทั่วไปต้องไม่ใช่ส่วนที่มีไฟที่อาจเป็นอันตราย ดังนั้นการมีเครื่องปลดวงจรอัตโนมัติ การห่อหุ้มด้วยวัสดุฉนวน ฤ เลือกใช้บริภัณฑ์ที่เป็นฉนวนสองชั้น แล การแยกทางไฟฟ้าของระบบจำหน่าย อาทิ isolating transformer ฤ เลือกใช้ระบบจำหน่ายที่เป็น IT

RCD ก็เป็นการเลือกใช้เครื่องปลดวงจรอัตโนมัติ เมื่อฉนวนไฟฟ้ามีความบกพร่อง ชำรุด มีการรั่วลงดินใดๆ การปลดวงจรควรจักต้องปลดวงจรในเวลาที่มาตรฐานกำหนด แลสำหรับเครื่องปลดวงจรอัตโนมัติอื่นๆ เมื่อมีกระแสลัดวงจรจักต้องปลดวงจรไม่เกินเวลาที่มาตรฐานกำหนดเช่นกัน โดยต้องเป็นไปตามขนาดพิกัดเวลาสูงสุดที่กำหนดไว้ในตารางตามรูปที่ 5 ซึ่งวงจรที่ต้องเป็นไปตามตารางมี 2 ข้อดังนี้

1) วงจรเต้ารับที่มีพิกัดกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 63 A
2) วงจรย่อยของการติดตั้งในที่มีพิกัดกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 32 A

สำหรับวงจรย่อยอื่นๆ แลวงจรจำหน่ายอื่นๆ ให้ใช้พิกัดเวลาในการปลดวงจรไม่เกินค่าที่แสดงดังนี้

1) สำหรับระบบไฟฟ้า TN ใช้พิกัดเวลาในการปลดวงจรไม่เกิน 5 s
2) สำหรับระบบไฟฟ้า TT ใช้พิกัดเวลาในการปลดวงจรไม่เกิน 1 s

เมื่อมีการใช้ RCD เป็นเครื่องปลดวงจรอัตโนมัติ สำหรับระบบไฟฟ้า TN ฤ TT สำหรับพิกัดแรงดันมากกว่า 120 V แลไม่เกิน 230 V ขนาด

กระแสไฟฟ้า I_a เป็นพิกัดในการปลดวงจรในเวลาที่กำหนดไว้ในตารางในรูปที่ 6

เงื่อนไขการทำงานเพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ยอมรับได้ในการป้องกันโดยเครื่องปลดวงจรอัตโนมัติจากระบบจำหน่าย แลด้วยการทำงานที่เหมาะสมของ RCD ต้องขึ้นอยู่กับชนิดของระบบจำหน่ายแรงต่ำว่าเป็นแบบใดดังนี้ TN TT ฤๅ IT

Low-voltage system	$50V < V_o \leq 120V$		$120V < V_o \leq 230V$		$230V < V_o \leq 400V$		$V_o > 400V$	
	AC	DC	AC	DC	AC	DC	AC	DC
TN	0.8	[a]	0.4	1	0.2	0.4	0.1	0.1
TT	0.3	[a]	0.2	0.4	0.07	0.2	0.04	0.1

[a] Disconnection may be required for reasons other than protection against electric shock.
V_o—nominal line-to-earth voltage.

รูปที่ 5 แสดงตารางของ maximum disconnection time ที่ยอมรับได้ ของ fault protective devices

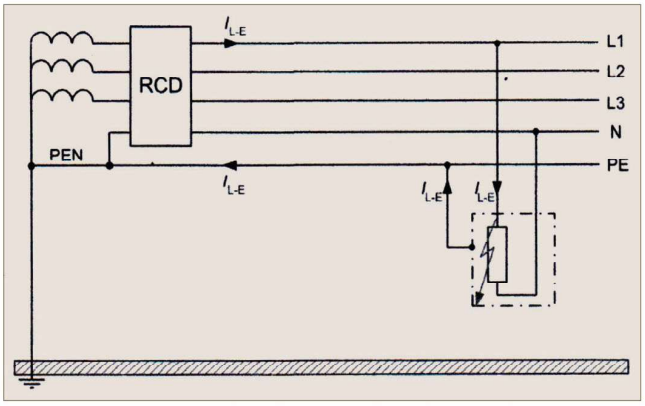
Maximum permissible disconnection times (s)	Current I_a causing disconnection of supply of RCDs within the specified time					
	No-delayed and short-time delayed			Delayed (S-type)		
	AC	A (30 mA)	B	AC	A	B
0.2	$2I_{\Delta n}$	$4I_{\Delta n}$	$4I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$2.8I_{\Delta n}$	$4I_{\Delta n}$
0.4	$I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$2.8I_{\Delta n}$	$4I_{\Delta n}$
1	$I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$I_{\Delta n}$	$1.4I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$
5	$I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$I_{\Delta n}$	$1.4I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$

รูปที่ 6 แสดงตารางของ maximum disconnection time ที่ยอมรับได้ ของ RCD

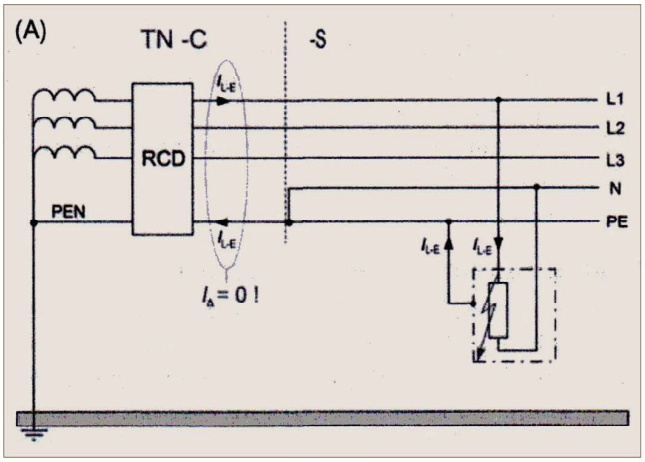
การใช้งาน RCD กับระบบจำหน่ายแรงต่ำ TN

ในการประยุกต์ใช้ RCD อนุญาตให้ใช้เฉพาะระบบจำหน่ายแรงต่ำ TN-S (ฤๅ ระบบจำหน่ายแรงต่ำ TN-S ที่เป็นส่วนหนึ่งของ TN-C-S ดังแสดงในรูปที่ 9) ในการประยุกต์ใช้ RCD ไม่อนุญาตให้ใช้กับระบบจำหน่ายแรงต่ำ TN-C เนื่องจากจักไม่สามารถตรวจจับค่ากระแสเหลือในระบบได้ ดังแสดงในรูปที่ 8 นั่นคือ ขนาดกระแสรั่วลงดิน IL-E ไหลผ่านตัวนำไฟฟ้า L1 แลตัวนำไฟฟ้า PEN ซึ่งไหลผ่าน CT ของ RCD จักได้ผลลัพธ์เป็น $I_\Delta = 0$

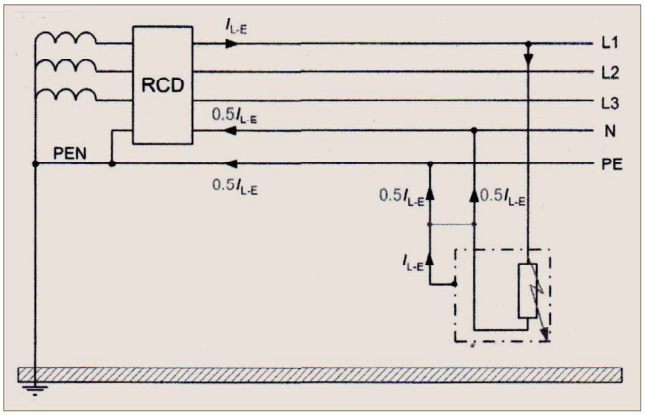
กรแสไฟฟ้ารั่วลงดินในระบบจำหน่ายแรงต่ำ TN จักได้ค่าที่สูง เนื่องจากกระแสลัดวงจรลงดินมีเส้นทางผ่านที่เป็นโลหะทั้งหมด ดังนี้แล้วการปลดวงจรมีได้สองทางคือ อาจมาจาก overcurrent protective devices แล อาจมาจาก RCD โดยในระบบ TN มีความต้องการขนาดของ loop impedance $Z_s \times I_a \leq V_0$ ในกรณีของ TN-C-S ตามรูปที่ 9 เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินขนาด I_{L-E} จักแบ่งเป็นสองส่วน (ประมาณ 0.5_{L-E} ใน PE แล N) ส่งผลให้ค่าที่ RCD ตรวจจับได้จักต้องมีกระแสรั่วลงดินเป็นสองเท่าเป็นอย่างน้อย



รูปที่ 7 แสดงการไหลของกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน ในระบบ TN-S ของ RCD



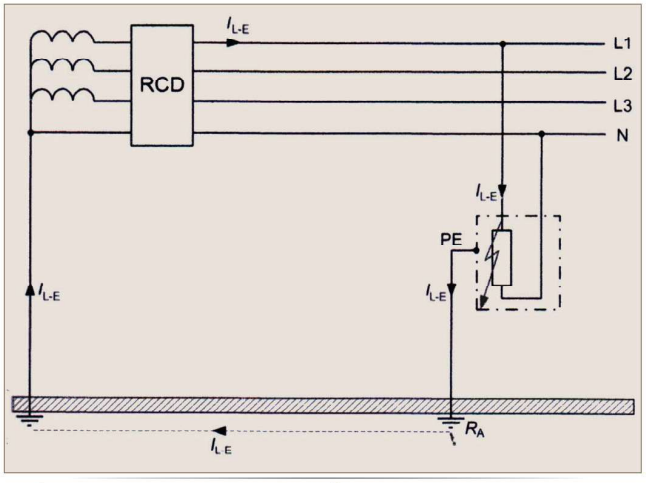
รูปที่ 8 แสดงการไหลของกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน ในระบบ TN-C ของ RCD



รูปที่ 9 แสดงการไหลของกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน ในระบบ TN-S ที่มีการประสานสักย์ระหว่าง N กับ PE ฤๅ TN-C-S ของ RCD

ในกรณีของกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินในระบบจำหน่ายไฟฟ้า TT การไหลของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรลงดินจักต้องไหลผ่านแผ่นดิน ดังแสดงในรูปที่ 10 ขนาดของกระแสจักต่ำเนื่องจากการจำกัดกระแสไฟฟ้าจากค่าความต้านทานของหลักดิน RA ที่บริภัณฑ์ แลค่าความต้านทานของหลักดินที่ต่อกับจุดนิวทรัลของหม้อแปลง ค่าความต้านทานทั้งสองต่อเป็นอนุกรม ขนาดทั่วไปจักเป็นไปได้ตั้งแต่ 2-3 โอห์ม จนถึงหลายสิบโอห์ม ดังนั้นขนาด

กระแสรั่วลงดินมีโอกาสน้อยกว่ากระแสพิกัดการทำงานของ overcurrent devices (เช่นน้อยกว่า 16 A) ด้วยเหตุนี้เครื่องปลดวงจรอัตโนมัติจากระบบจำหน่ายจึงต้องใช้ RCD โดยมีเงื่อนไขความปลอดภัยเป็น $R_A \times I_a \leq 50$ V โดยจักขอยกตัวอย่างการคำนวณขนาดของค่าความต้านทานที่อนุกรมกัน เช่น RCD พิกัด 500 mA อยากทราบค่า RA จักมีค่าไม่มากกว่า 50V / 0.5A = 100 ohms



รูปที่ 10 แสดงการไหลของกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน ในระบบ TT ของ RCD

สำหรับการใช้ RCD กับระบบจำหน่ายไฟฟ้า IT จักเป็นการจักการเส้นทาง capacitive ของตัวนำ และ แผ่นดิน โดยขนาดของค่าคาปาซิตีป สามารถหาได้ดังนี้ CN > (sqrt(3) x $I_{\Delta n}$) / (2 x pi x f x V) ; โดยที่ 2 x pi x f หมายถึง ค่า omega ประเด็นนี้ขอนำเสนอสั้นๆ ก่อนเนื่องมีความซับซ้อนในรายละเอียดพอสมควร มีโอกาสเหมาะสมจักได้นำเสนอถัดไป แต่มีข้อสังเกตการติดตั้งให้ติดตั้งเป็นวงจรย่อย ไม่ติดตั้งรวมที่ต้นทาง เนื่องการไหลกลับผ่านคาปาซิตีปเกิดขึ้นได้ที่ระยะการติดตั้งมีระยะขนาดหนึ่งๆ พูดให้ง่ายคือติดตั้ง RCD ให้ใกล้บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่สุดเท่าที่ทำได้ จักลดความเสี่ยงที่ RCD จักทำงานผิดพลาด

การใช้งาน RCD ที่ใช้ป้องกันการเกิดเพลิงไหม้ แนวความคิด เมื่อมีกระแสไหลรั่วลงดินไม่ว่า ระบบจำหน่านไฟฟ้าเป็นแบบใด จักทำให้เกิดความร้อนด้วยกำลัง $P_{heat} = V_0 \times I_{leak}$ ดังนี้แล้วขนาดกระแสไฟฟ้าที่ RCD ตรวจจับได้ อาจเป็นการกำจัดการเกิดไฟไหม้ได้ ขนาดของค่า $I_{\Delta n}$ ของ RCD ขึ้นกับขนาดแรงดัน เส้นไฟกับดิน ฤแรงดันพิกัด ดังแสดงในรูปที่ 11 เป็นตารางที่แสดงค่าสูงสุดของกำลังความร้อนซึ่งอาจเกิดขึ้นในวงจร มาตรฐานกำหนดให้วงจรย่อยซึ่งติดตั้งในที่ที่มีความเสี่ยง เช่น ห้องเก็บวัสดุ ที่ต้องการต้องมีการป้องกันฉนวนเสื่อม ให้เลือกใช้ RCD ดังนี้

1) สำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าระบบ TN และ TT ให้เลือกใช้ RCD ที่มีค่า $I_{\Delta n}$ ไม่เกิน 300 mA ฤในที่ซึ่งค่าความต้านทานของระบบอาจผิดพร่องจนทำให้เกิดไฟไหม้ เช่น พื้นที่ที่มีชั้นความร้อนด้านบน (พื้นที่ชั้นใต้หลังคา) ให้เลือกใช้ RCD ที่มีค่า $I_{\Delta n}$ ไม่เกิน 30 mA

2) สำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าระบบ IT มีอุปกรณ์ให้พิจารณาใช้เพิ่มเติมดังนี้ IMD (insulation monitoring devices) สำหรับวงจรสายประธาน ฤ RCMs (residual current monitoring devices) ที่ทำหน้าที่เฝ้าระวังขนาดกระแสเหลือในวงจนย่อย และใช้งานร่วมกับระบบแจ้งเตือนด้วยเสียง และแสง อีกทั้งยังสามารถเลือกใช้ RCD โดยขนาดที่เลือให้เป็นไปตามที่ใช้กับ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าระบบ TN และ TT

Line-to-earth nominal voltage (V)	Rated residual operating current of RCDs (mA)	Thermal power (W)
120	30	3.6
	100	12
	300	36
	500	60
230	30	7
	100	23
	300	**69**
	500	115
400	30	12
	100	40
	300	120
	500	200

รูปที่ 11 แสดงตาราง thermal power produced เมื่อมีกระแสรั่วลงดิน ของ RCD

ดังนี้แล้วจักเห็นได้ว่า การเลือกใช้ RCD มีรายละเอียดมากมายอยู่พอสมควร จึงขอเสนอแนะว่า ให้ทำความเข้าใจเกี่ยวกับ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบต่างๆ ให้ชัดเจน ตลอดจนเมื่อเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน ไม่ว่าจักผ่านคน ผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มักเรียกว่า บริภัณฑ์ไฟฟ้า ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแต่ละแบบกระแสไฟฟ้าจักไหลอย่างไร หากเข้าใจถ้วนแล้วนอกจากจักสามารถเลือกใช้งานได้อย่างสง่างามแล้ว ยังความปลอดภัยมายังประชาชนผู้ใช้งาน และอาจไม่เข้าใจระบบจำหน่ายไฟฟ้าอย่างช่างไฟฟ้าเรา อีกทั้งยังเพิ่มโอกาสต่อยอดศึกษาเพิ่มเติมที่ผู้เขียนละไว้ การใช้งาน RCD ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า IT ดังแสดงไว้ข้างต้น สุดท้ายผู้เขียนหวังยิ่งว่า จักเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจใคร่รู้เรื่อง RCD และขอขอบคุณอาจารย์ Stanislaw Czapp ที่ได้เขียนตำราดีดีให้ได้อ่านศึกษาหาความรู้และหวังว่าท่านจักให้อภัยการนำมาถ่ายทอดต่อเป็นวิทยาทานสำหรับคนไทยที่ใช้ภาษาไทยเป็นหลัก ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ครับ...

ส่วนตัวผู้เขียน
นายสุวิทย์ ศรีสุข วิศวกรไฟฟ้า-ที่ปรึกษาอิสระ
การศึกษา
• ปริญญาตรี-วิศวกรรมศาสตร์ ไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี
• ปริญญาโท-วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม บางเขน
ประสบการณ์ • ทำงานกว่า 31 ปี งานด้านไฟฟ้ากำลัง