บทที่ 3
การป้องกันหม้อแปลง

การป้องกันหม้อแปลงในที่นี้ หมายถึง การที่พยายามรับรู้ความผิดปกติที่เกิดขึ้นในเขตของหม้อแปลง แล้วแยกหม้อแปลงนั้นออกจากระบบทันท่วงที เราอาจแบ่งหลักในการป้องกันหม้อแปลงออกได้เป็น

3.1 หม้อแปลงเกิดผิดปกติไม่มากนัก แต่จะก่อให้เกิดความเสียหายร้ายแรงตามมา เช่น

3.1.1 ความร้อนสูงเกินไป (Overheating)

ข้อจำกัดของความสามารถในการจ่ายโหลด (Load) ของหม้อแปลง ก็คือจะทำให้หม้อแปลงมีอุณหภูมิสูงขึ้น ถ้าอุณหภูมิสูงอยู่เป็นเวลานานก็ย่อมทำให้ฉนวนต่าง ๆเสียหาย โดยเฉพาะขดลวด ปกติจะให้มีอุณหภูมิประมาณ 95°C [1] ถ้าอุณหภูมิในขดลวดของหม้อแปลงใดขึ้นไปอีก 8 - 10°C แล้วจะลดอายุของหม้อแปลงนั้นลงถึงครึ่งหนึ่ง ดังนั้น การป้องกันส่วนใหญ่จะอาศัยการวัดอุณหภูมิของขดลวดนี้ และหรือวัดอุณหภูมิของน้ำมัน ถ้ามีอุณหภูมิสูงถึงขั้นหนึ่ง ก็อาจให้ส่งสัญญาณ (Alarm) ก่อน หรือในหม้อแปลงที่ใหญ่ อาจมีการให้เดินเครื่องช่วยระบายความร้อนอื่น เช่น เปิดพัดลม และหรือปั๊มน้ำมัน เป็นต้น ถ้าอุณหภูมิขึ้นไปอีกจนถึงค่าที่ตั้งไว้ ก็อาจให้เปิดเบรคเคอร์ (Breaker) ที่หม้อแปลงนั้นต่ออยู่กับระบบออก บางบริษัทใช้วิธีการวัดอุณหภูมิ โดยใช้สารที่ไวต่ออุณหภูมิแทนขดลวด จุ่มไว้ในน้ำมันส่วนบน เพราะน้ำมันส่วนนี้มีอุณหภูมิสูง แล้วผ่านกระแสที่จะไหลผ่านขดลวดจริงบางส่วน เข้าไปในขดลวดที่ไว้ใกล้สารนั้น เพื่อให้ความร้อนแก่สารนั้นตามค่ากระแสที่จะไหลผ่านขดลวดจริง เป็นวิธีที่จะวัดอุณหภูมิของขดลวด โดยเปรียบเทียบได้ใกล้เคียงวิธีหนึ่ง

---

[1] GEC Measurement. Protective Relay Application Guide. pp 293 - 294.

ระดับน้ำมันต่ำเกินไปหรือน้ำมันหมุนเวียนไม่ได้ ก็ก่อให้เกิดอุณหภูมิสูงได้ แม้จะจ่ายโหลด (Load) ไม่เต็มก็ตาม ดังนั้น บางบริษัทจึงใส่อุปกรณ์ตรวจวัดระดับของน้ำมันไว้ด้วย

3.1.2 ฟลักซ์สูงเกินไป (Over fluxing)

ดังได้กล่าวมาแล้วถึงการที่หม้อแปลงได้รับฟลักซ์ (Flux) มากเกินไป หม้อแปลงอาจถูกเอ็กไซต์ (Excited) จนเข้าไปในเขตนันลิเนียร์ (Nonlinear region) จะใช้กระแสแมกนีไตซ์ (Magnitize) สูง มีคลื่นประกอบ (Component) ต่าง ๆ มากมาย จะทำให้ความร้อนในแกนเหล็กสูงขึ้น โดยปกติจะกำหนดจากอัตราส่วนของแรงดันต่อความถี่ (E/f) ที่หม้อแปลงได้รับ โดยการเปลี่ยนแรงดันของระบบมาเป็นรูปกระแสชาร์จตัวเก็บประจุ (Charge capacitor) นั่นคือรูปแบบการวัดอัตราส่วน E/f ถ้าสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ก็จะเดินไทม์เมอร์ (Timer) ตัวที่ ๑ เพื่อแก้ไขเสีย เช่น ลดแรงดันในกรณีที่แรงดันสูงไป เป็นต้น และก็เดินไทม์เมอร์ (Timer) ตัวที่ ๒ ต่อไป เพื่อจะได้ตัดหม้อแปลงออกในเวลาต้องการ ปกติแล้วในกรณีเช่นนี้ไม่ต้องรีบตัดหม้อแปลงออกจากระบบ อาจปล่อยได้นานถึง ๑ หรือ ๒ นาทีก็ได้ เพราะระบบอาจมีการแปรปรวนบ้าง (Disturb) การป้องกันชนิดนี้ค่อนข้างใช้มากสำหรับหม้อแปลงที่ติดอยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator transformer)

3.2 หม้อแปลงเกิดการลัดวงจรขึ้น ซึ่งอาจร้ายแรงมากน้อยต่าง ๆ กันแล้วแต่ตำแหน่งเกิด เช่น อาจเกิดช้อต (Short) ระหว่างขดลวดต่างขด ระหว่างชั้นของขดลวดเดียวกัน หรือขดลวดกับดิน เป็นต้น โดยทั่วไปเมื่อรีเลย์ที่ทำหน้าที่ตรวจวัดเหตุการณ์เช่นนี้ ก็จะทำการตัดหม้อแปลงออกจากระบบอย่างรวดเร็วโดยผ่านรีเลย์ช่วยทริพ (Aux. Tripping relay) ซึ่งจะไม่ยอมให้ทำการต่อหม้อแปลงนี้กลับเข้าไปอีก นอกจากจะผ่านการตรวจเช็คแล้ว

3.2.1 รีเลย์แบบใช้แก๊ส (Gas actuated Relay)[2]

---

[2] A.R. Van. C. Warrington. Protective Relays Their Theory and Practice. Vol.1. pp. 382 - 386.

การเกิดผิดปกติดังกล่าวภายใต้ระดับของน้ำมัน – หม้อแปลง หรือความร้อนจากแกน–เหล็ก หรือการต่อสายที่ไม่ดี ถ้าให้อุณหภูมิถึง 350°c แล้วจะทำให้น้ำมันแยกตัวให้แก๊ส เช่น ไฮโดรเจน (Hydrogen) คาร์บอนมอนออกไซด์ (Carbon monoxide) และไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ซึ่งย่อมลอยตัวขึ้นไปสะสมอยู่ตอนบนของหม้อแปลง

3.2.1.1 รีเลย์แบบบุคโฮลส์ (Bucholz Relay) Mr.Bucholz อาศัยปรากฏการณ์ดังกล่าวมาประดิษฐ์รีเลย์ขึ้น ใช้กับหม้อแปลงที่มีถังเก็บน้ำมันอยู่ต่างหากตอนบน โดยมีหลักการณ์ง่าย ๆ ตามรูปที่ 3.1

รีเลย์ประกอบด้วยลูกลอย ๒ ชุด ซึ่งถ่วงน้ำหนักไว้ให้ยกตัวเองขึ้นสูงสุด ในกรณีที่น้ำมันเต็มตัวรีเลย์ทั้งตัว ลูกลอยนี้ติดสวิทช์ปรอท (Mercury Switch) เอาไว้ ซึ่งในตำแหน่งนี้จะเปิดคอนแทค เมื่อน้ำมันค่อย ๆ เกิดแก๊สขึ้น เช่น อาจเนื่องจากความร้อนสูงเกินฟองแก๊ส จะไหลจากตัวหม้อแปลงผ่านท่อไปสู่ถังเก็บซึ่งอยู่สูง ถูกดักอยู่ในตัวรีเลย์ก็จะขึ้นไปแทนที่น้ำมันในตัวรีเลย์ ระดับน้ำมันในตัวรีเลย์ต่ำลง ลูกลอยตัวบนก็จะตกลงถึงระดับหนึ่ง และปิดคอนแทคซึ่งปกติจะนำไปส่งสัญญาณเตือนผู้ใช้ให้ทราบว่าอาจเกิด

ก. เกิดจุดร้อนพิเศษขึ้นในแกนเหล็ก เนื่องจากเกิดช้อตกันในแผ่นเหล็กที่ทำแกนเหล็ก

ข. ฉนวนของโบลท์แกนเหล็ก (Core Bolt) เสื่อม

ค. จุดเชื่อมต่อไม่ดี

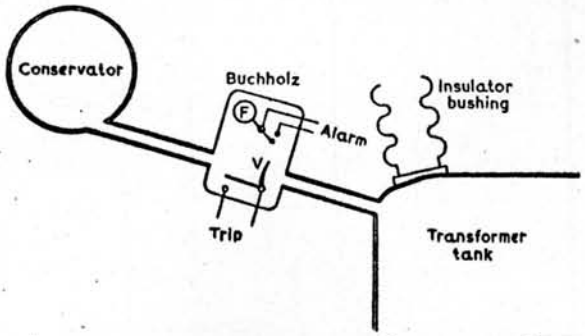
ง. ระดับน้ำมันต่ำมาก

เมื่อเกิดฟอลต์ (Fault) ที่รุนแรงจะเกิดแก๊สอย่างมากมาย ทำให้การไหลของน้ำมันผ่านตัวรีเลย์อย่างรวดเร็ว ลูกลอยตัวล่างจะดักอยู่ปากรูที่น้ำมันไหลเข้า จะถูกทำให้เคลื่อนที่ไปปิดคอนแทค ซึ่งจะไปเปิดเบรคเกอร์ตัดหม้อแปลงออกจากระบบทันที ซึ่งอาจจะเกิดจาก

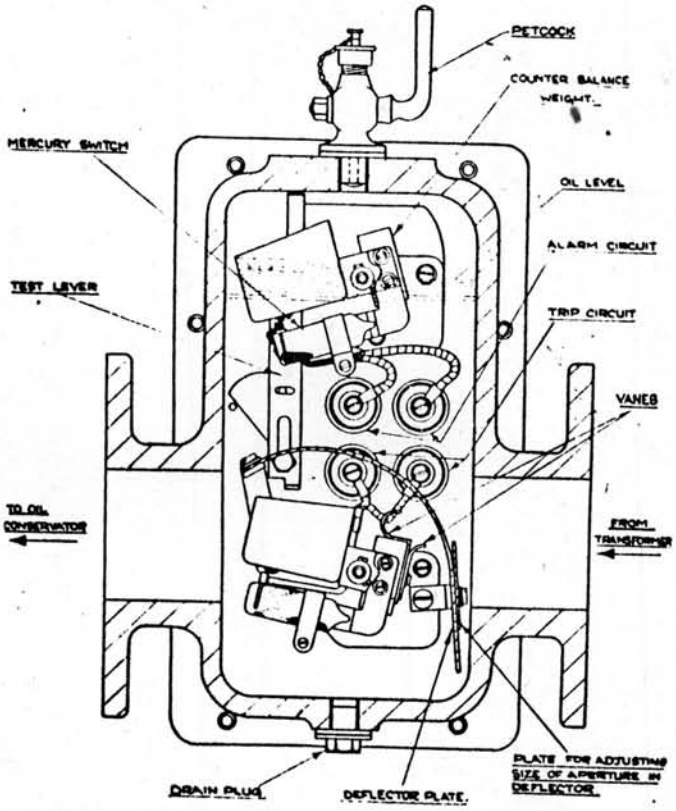
ก. ขดลวดเกิดช้อตกันอย่างแรง

ข. ระดับน้ำมันต่ำจนถึงขั้นอันตราย

จะเห็นได้ว่ารีเลย์แบบบุคโฮลส์ทำหน้าที่ป้องกันหม้อแปลงได้เกือบสมบูรณ์ นอกจากฟอลต์อยู่นอกเหนือระดับน้ำมัน หรือเป็นขณะที่กำลังบำรุงรักษาหม้อแปลงอยู่ เช่น เปลี่ยนน้ำมัน ต้องตัดการป้องกันด้วยรีเลย์แบบนี้ออก ดังนั้น โดยทั่วไปหม้อแปลงที่มีถังพักน้ำมันต่างหากปกติเป็นหม้อแปลงใหญ่กว่า 1 MVA จะมีรีเลย์แบบนี้ใช้งานด้วย



รูปที่ 3.1 หลักการของรีเลย์แบบบุคโฮลส์



รูปที่ 3.2 รูปรีเลย์แบบบุคโฮลส์ที่ใช้งานจริง

ปกติรีเลย์แบบบุคโฮลส์จะตั้งไว้ให้ส่งสัญญาณเตือน เมื่อมีปริมาณของแก๊สถึงระดับหนึ่ง และจะตั้งไว้ให้ทริพ (Trip) เมื่อน้ำมันมีความเร็วในการไหล เป็นดังตารางที่ 3.1

ขนาดของหม้อแปลง	เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ	ปริมาตรแก๊สที่จะส่งสัญญาณเตือน		ความเร็วน้ำมันที่จะทริพ	
		ช่วงตั้ง	จุดตั้งตามปกติ	ช่วงตั้ง	จุดตั้งตามปกติ
Up to 1MVA	2.5cm(1 in.)	100-120 cc.	110 cc.	75-125cm/sec.	90 cm/sec.at5°
1 to 10MVA	5.0cm(2 in.)	185-215 cc.	210 cc.	80-135cm/sec.	100cm/sec.at5°
Over to MVA	7.5cm(3 in.)	220-280 cc.	250 cc.	95-155cm/sec.	110cm/sec.at5°

ตารางที่ 3.1 การตั้งการใช้งานของรีเลย์แบบบุคโฮลส์

(Protective Relays.Vol.1.p.384)

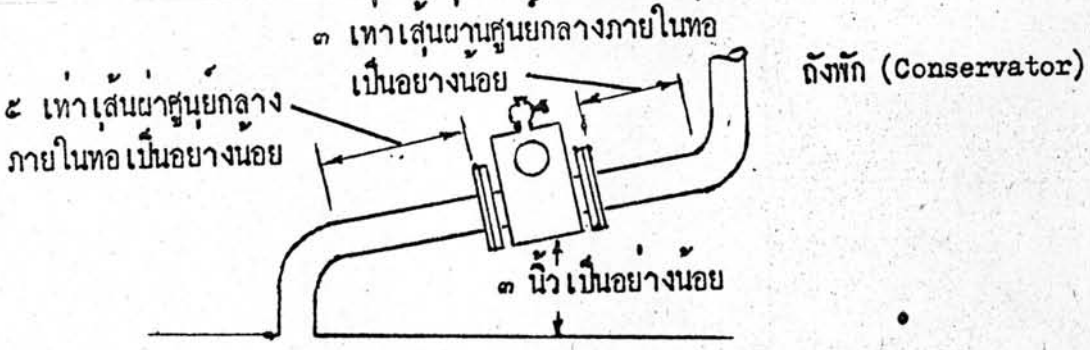
เฉพาะหม้อแปลงใหญ่ ๆ อาจมีการใช้ปั๊ม (Pump) หรือพัดลมช่วยระบายความร้อน อาจทำให้เกิดการไหลของน้ำมันมากได้ เช่น ขณะเริ่มเปิดปั๊มต้องคำนึงด้วย

ความเร็วของน้ำมันที่ไหลตามตารางเป็นค่าที่อุณหภูมิปกติ น้ำมันจะมีความหนืดมากพอควร แต่ถ้าอุณหภูมิสูงจะทำให้ความหนืดของน้ำมันลดลง เป็นการลดความไว (Sensitivity) ของรีเลย์ด้วย ค่าตามตารางข้างต้นได้จากประสพการณ์ที่ผ่านมา

การติดตั้งต้องคำนึงถึงการไหลผ่านของน้ำมันและแก๊สให้ดี เช่น ระวังไม่ให้ไหลอย่างปั่นป่วน โดยให้ท่อเอียงทำมุมจากตัวหม้อแปลง ขึ้นไปยังถังพักประมาณ 5 องศา และท่อต้องมีช่วงยาวเป็นแนวตรง ด้านที่ใกล้หม้อแปลงไม่น้อยกว่า 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ ด้านติดกับถังพักไม่น้อยกว่า 3 เท่าเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ ดังรูป 3.3 การใส่ปะเก็นขณะติดตั้งรีเลย์ต้องระวังไม่ให้ขอบประเก็นล้ำเข้าไปภายในช่องกั้นทางไหลได้ [3]

---

[3] GEC Measurement. Protective Relays Application Guide. p.304.

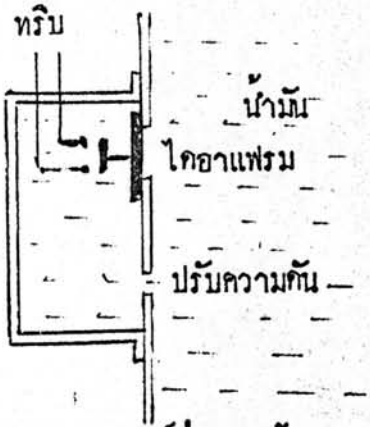


รูป 3.3 รูปแสดงการติดตั้งรีเลย์แบบบุคโฮลส์

ส่วนบนของรีเลย์อาจมีลิ้นปิดเปิด เพื่อให้นำแก๊สในรีเลย์ไปวิเคราะห์หาสาเหตุที่เกิดผิดปกติได้ และหรืออาจมีช่องกระจก ให้สามารถสังเกตดูสีของแก๊ส และระดับของน้ำมันในรีเลย์ได้ สีของแก๊สอาจช่วยวิเคราะห์สาเหตุผิดปกติได้บ้าง เช่น สีขาวหรือเหลือง แสดงว่ามีฉนวนไหม้เกิดขึ้น เป็นต้น

3.2.1.2 รีเลย์ที่ทำงานด้วยแรงดันที่เปลี่ยนแปลงโดยเร็ว (Sudden pressure relays)

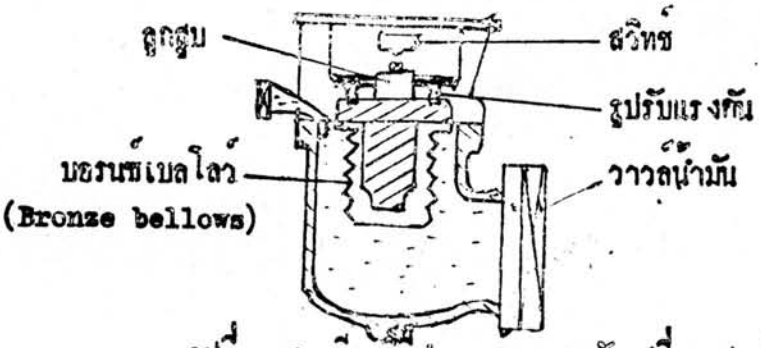
สำหรับหม้อแปลงที่ไม่มีถังพักอยู่ตอนบนไม่สามารถใช้รีเลย์แบบบุคโฮลส์ได้ จึงใช้รีเลย์แบบนี้แทนตามรูปที่ 3.4



รูปที่ ๓.๔ หลักการของรีเลย์ที่ทำงานด้วยแรงดันที่เปลี่ยนแปลงโดยเร็ว

โดยอาศัยหลักการมีแรงดันเพิ่มอย่างรวดเร็ว แผ่นไดอาแฟรม (Diaphram) ซึ่งจะเคลื่อนตัวเมื่อแรงดัน 2 ด้านแตกต่างกัน ซึ่งโดยปกติจะมีแรงดันทั้ง 2 ด้านเท่ากันอยู่ เพราะมีรู ด้านล่างเปิดให้น้ำมันถึงกัน เมื่อมีอัตราการเพิ่มของแรงดันน้ำมันในหม้อแปลงสูงอย่างรวดเร็ว จะดันให้ไดอาแฟรมเคลื่อนที่ไปพร้อมกับต่อให้ปิดคอนแทคด้วย

ในรีเลย์รุ่นใหม่ของอเมริกาไม่ได้ใส่ไดอาแฟรมไว้ในน้ำมันของหม้อแปลงโดยตรง (ดูรูปที่ 3.5 ประกอบ) แต่ใส่ไว้ในน้ำมันซิลิโคน (Silicone oil) ซึ่งมีคุณสมบัติความหนืดเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิน้อยมาก และยังทำให้รีเลย์มีคุณลักษณะผันกลับกับเวลาตามค่าแรงดันที่เพิ่มมากด้วย เพื่อหลีกเลี่ยงการทำงานที่อาจผิด เนื่องจากเกิดแรงกระแทกตัวหม้อแปลงขึ้นมา หรือเกิดฟอลต์ภายนอกหม้อแปลงอย่างสูง กระแสที่ไหลผ่านก่อให้เกิดแรงบนตัวหม้อแปลงได้



รูปที่ ๓.๕ รีเลย์ทำงานด้วยแรงดันเปลี่ยนแปลงโดยเร็วแบบใหม่

ในรีเลย์แบบใช้แก๊ส (Gas actuated relay) นี้ส่วนมากจะใช้คอนแทคจากการไหลของปรอทในหลอดแก้ว (Mercury switch) ซึ่งทำให้ไม่สามารถมีความไว (Sensitivity) สูงมากได้ เพราะปรอทอาจเคลื่อนไหวเนื่องจากการสั่นสะเทือนได้

สำหรับรีเลย์แบบบุคโฮลส์มีเวลาที่ใช้ในการทำงานน้อยที่สุด นานถึง 0.1 วินาที รีเลย์ที่ทำงานด้วยแรงดันที่เปลี่ยนแปลงโดยเร็วเร็วกว่านิดหน่อย ดังนั้น จึงต้องใช้รีเลย์ที่ตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าด้วย ซึ่งถ้ากระแสมากพอจะทำงานได้เร็วกว่ามาก อาจถึงครึ่งหนึ่ง และถ้าฟอลต์อยู่เกินส่วนของน้ำมันแล้ว รีเลย์ทั้ง 2 อย่างนี้ก็ไม่สามารถตรวจวัดได้

3.2.2 การป้องกันด้วยโอเวอร์เคอร์เร้นท์[4] (Overcurrent protection)

ฟอลต์ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะมีปริมาณกระแสสูง ทำให้เกิดความเสียหายให้อุปกรณ์ได้ เราจึงทำการป้องกันโดยอาศัยการที่มีกระแสเกินค่าปกติที่ควรเป็น ในหม้อแปลงตัวเล็กปกติจะใช้ฟิวส์ (Fuse) เพราะการใช้เบรคเกอร์ (Breaker) ไม่คุ้มค่าพอ เนื่องจากตัวฟิวส์เองต้องรับกระแสเต็ม (Full load) ได้ จึงทำให้การตัดวงจรสำหรับกระแสที่น้อยกว่า 3 เท่า กระแสเต็มใช้เวลามากดังตารางที่ 3.2

ขนาดหม้อแปลง		ฟิวส์	
KVA	กระแสเต็ม (แอมป์)	ขนาดฟิวส์ (แอมป์)	เวลาในการทำงานที่สามเท่าขนาดฟิวส์ (sec.)
25	1.31	4	0.17
50	2.62	6	0.4
100	5.25	10	1.1
200	10.5	15	10.0
500	26.2	30	100.0

ตารางที่ 3.2 ขนาดฟิวส์ที่ใช้งาน

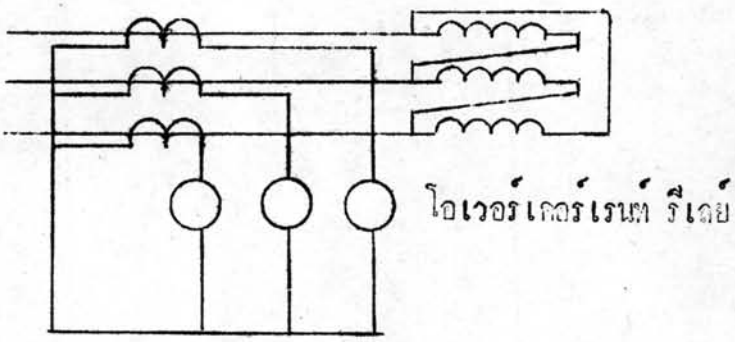
(Protective Relays Application Guide.p.294)

นอกจากนี้ปกติฟิวส์จะมีคุณสมบัติผันกลับอย่างสูง (Very inverse) ระหว่างเวลาที่ฟิวส์ละลายกับปริมาณกระแสที่ไหลผ่าน จึงทำให้การติดตั้งระบบป้องกันทางด้านที่ตามลงไปทำได้ยาก

---

4 GEC Measurement. Protective Relays Application Guide. pp. 294 - 295.

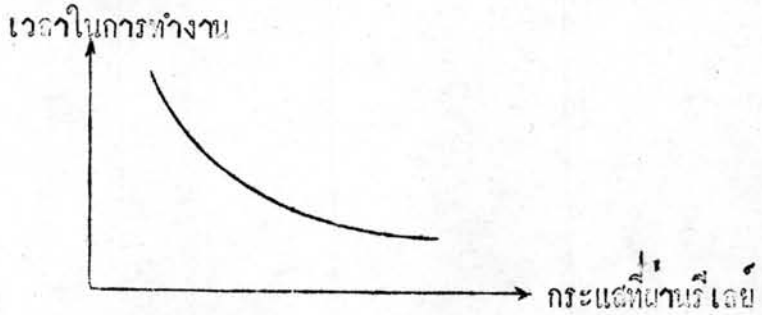
หม้อแปลงที่ใหญ่กว่า 100 KVA ขึ้นไป อาจใช้เบรคเกอร์ซึ่งสามารถใช้โอเวอร์เคอร์เรนท์รีเลย์ทำงานได้เร็วกว่าฟิวส์ในกระแสต่ำได้ และยังสามารถใช้การป้องกันฟอลต์ลงดิน (Earth fault protection) ด้วย โอเวอร์เคอร์เรนท์รีเลย์เป็นการป้องกันที่มีความเชื่อถือได้สูงพอสมควร และราคาไม่สูงนัก สามารถทำหน้าที่ป้องกันการจ่ายกระแสเกินได้ด้วย



รูป 3.6 การจัดแบบใช้โอเวอร์เคอร์เรนท์รีเลย์ (Over current relaying Scheme)

ตามรูป 3.6 โอเวอร์เคอร์เรนท์รีเลย์จะทำงานเมื่อกระแสผ่านมากถึงค่าที่ตั้งไว้ จะเห็นได้ว่าการทำงานขึ้นอยู่กับกระแสเพียงอย่างเดียว เขตของการป้องกันเริ่มตั้งแต่หม้อแปลงกระแส (Current transformer) ที่ติดตั้งรีเลย์เรื่อยไป จนถึงจุดที่ทำให้กระแสฟอลต์สูงถึงค่าที่ตั้งไว้ได้ ซึ่งไม่แน่นอนว่าเป็นที่ใด เพราะขึ้นอยู่กับความต้านทานแหล่งจ่าย (Source impedance) และลักษณะของฟอลต์รวมทั้งความต้านทานของฟอลต์ (Fault impedance) ด้วย อาจกล่าวได้ว่ามีความสามารถในการแยกแยะไม่สูงนัก ดังนั้น ต้องคำนึงถึงการมีการทำงานร่วมกับการป้องกันที่ถัดไปด้วย จึงนิยมใช้โอเวอร์เคอร์เรนท์รีเลย์ที่มีคุณสมบัติผันกลับกับเวลาตามปริมาณกระแสไหลผ่าน กล่าวคือ รีเลย์ทำงานเร็วขึ้นตามปริมาณกระแสที่ไหลผ่านดังรูป 3.7

I16686829



รูป 3.7 คุณลักษณะของโอเวอร์เคอร์เรนท์รีเลย์แบบผันกลับกับเวลา

โอเวอร์เคอร์เรนท์รีเลย์แบบผันกลับช่วยให้มีการทำงานร่วมกับรีเลย์ถัดไปได้ดีขึ้น แต่ยังคงมีการทำงานช้าอยู่บ้างเสมอ แม้จะมีปริมาณกระแสสูงมากแล้วก็ตาม จึงนิยมมีโอเวอร์เคอร์เรนท์รีเลย์แบบทันที (Instantaneous over current relay) ใช้งานร่วมอยู่ด้วย เพื่อให้ทำงานสำหรับปริมาณกระแสสูง ๆ ที่ได้คิดไว้แล้วโดยทันที

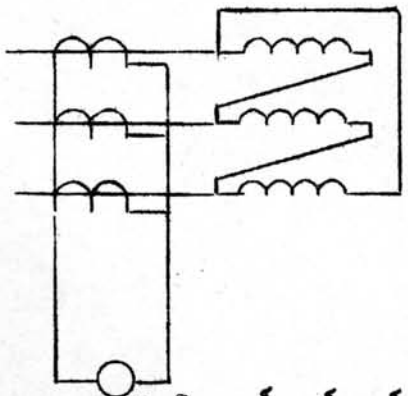
การป้องกันการจ่ายกระแสเกินทำได้โดยใช้โอเวอร์เคอร์เรนท์รีเลย์ หรืออาจใช้เทอร์มอลรีเลย์ (Thermal relay) ที่ส่วนมากอาศัยเทียบความร้อนจากกระแสที่ไหลผ่าน สามารถทำให้มีคุณลักษณะ (Characteristics) ใกล้เคียงกับคุณลักษณะทางความร้อน (Thermal characteristics) ของหม้อแปลงได้มากกว่า โอเวอร์เคอร์เรนท์รีเลย์แบบผันกลับอันจะมีเวลาในการทำงานไม่เร็วพอ จึงประกอบด้วยส่วนจำกัดกระแสให้ทำงานทันที (Instantaneous limit current) ด้วย คือ มีปริมาณกระแสถึงค่าหนึ่ง รีเลย์จะทำงานโดยทันที

3.2.3 รีเลย์สำหรับฟอลต์ลงดิน[5] (Earth fault relays)

---

5 GEC Measurement. Protective Relays Application Guide. pp. 158 - 159; 295.

การเกิดฟอลต์ลงดินในหม้อแปลงเป็นไปได้มาก ถ้าหม้อแปลงนั้นตั้งอยู่กับพื้นโดยตรง ซึ่งปกติจะทำให้ตัวถังเป็นดินด้วย ดังได้กล่าวมาแล้วถึงกระแสฟอลต์ลงดินที่เกิดในหม้อแปลงที่ต่อใช้ในแบบเดลตาหรือสตาร์ ในหม้อแปลงที่เป็นเดลตาหรือสตาร์ที่ไม่ต่อลงดินใช้ซีโรซีเควนซ์โอเวอร์เคอร์เรนต์รีเลย์ป้องกันการเกิดฟอลต์ลงดินในขดลวดได้ดีมาก เพราะปกติจะไม่มีกระแสเรซิดูอัล (Residual current) ไหลเข้ารีเลย์เลย รวมทั้งการไม่ให้กระแสฟอลต์แก่ภายนอกด้วย จะตั้งการทำงานของรีเลย์ได้ต่ำมากและเร็วมากด้วย ข้อควรระวังที่อาจทำให้มีการทำงานผิดพลาด คือ มีเฟสฟอลต์ภายนอกที่กระแสสูงมากไหลผ่าน อาจทำให้มีกระแสเรซิดูอัลไหลผ่านรีเลย์ได้ เนื่องจากคุณสมบัติของหม้อแปลงกระแส (Current transformer) แตกต่างกัน การตั้งรีเลย์ที่ 20 % ของเฟสรีเลย์เป็นค่าที่ใช้งานได้มาก เพราะรีเลย์แบบนี้ต้องออกแบบให้มีความสามารถพอที่จะทนกระแสฟอลต์ลงดินที่มาก ๆ ได้ ปกติจะเท่ากับเฟสรีเลย์นั่นเอง ดังนั้น ต้องคำนึงถึงค่าเอฟเฟคทีฟ (Effective setting) ที่เกิดตามมาด้วย กล่าวคือ กระแสฟอลต์ลงดินที่จุดที่รีเลย์ทำงาน อาจต้องสูงขึ้นเป็นค่าที่รวมกับกระแสแมกนิไตซิ่ง (Magnitizing current) ของหม้อแปลงกระแสอีก 3 ตัวด้วย เช่น



เรสิดูอัล โอเวอร์เคอร์เรนท์ รีเลย์
(Residual Over current Relay)

รูปที่ 3.8 รูปแบบของกราวน์โอเวอร์เคอร์เรนท์รีเลย์
(Ground over current Relay)

รีเลย์มีขนาดความสามารถ (Burden) = 3. V.A.
การตั้ง 20 % ของ 5 แอมป์ = 1.0 แอมป์
แรงดันที่รีเลย์คอล์ย (Relay coil) = 3 โวลท์
ซึ่งแรงดันนี้มีผลต่อทุกหม้อแปลงกระแส (C.T.)

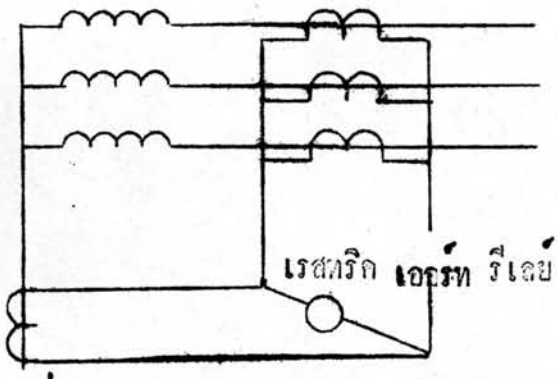
สมมติคุณสมบัติของ C.T. ต้องการกระแสแมกนิไตซิ่งตัวละ = 0.27 แอมป์

C.T. 3 ตัวต้องใช้กระแสแมกนิไตซิ่ง = 3x0.27 = 0.81 แอมป์

กระแสเอฟเฟก ทีฟ (Effective current)= 1.81 แอมป์

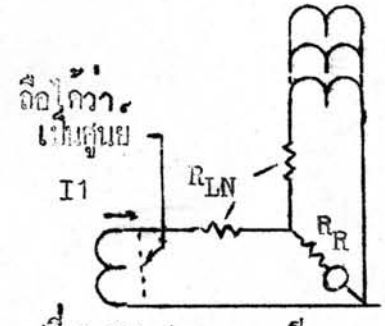
ซึ่งเป็น 36 % ของ 5 แอมป์

สำหรับหม้อแปลงที่ต่อเป็นสตาร์นั้น โดยเฉพาะที่ต่อนิวทรัล (Neutral) ลงดินผ่านความต้านทาน (Impedance) กระแสฟอลต์ที่จุดที่ใกล้นิวทรัลยิ่งต่ำมากจนตรวจวัดไม่ได้ จึงใช้หลักการแบบดิฟเฟอเรนเชียล (Unit differential current) แทน ทางอังกฤษเรียกการป้องกันแบบนี้ว่าการป้องกันแบบเรสทริกเออร์ทฟอลต์ (Restricted earth fault protection) ดังรูป 3.9 กระแสเรสซิดูอัล (Residual current) จากหม้อแปลงกระแสที่จ่ายจะสมดุลย์กับกระแสนิวทรัล ซึ่งจะไม่มีกระแสไหลผ่านรีเลย์ นอกจากเกิดฟอลต์ลงดินในขดลวดที่ต้องการป้องกัน จึงสามารถตั้งให้รีเลย์ทำงานได้ต่ำมากและเร็วมากด้วย



รูปที่ 3.9การจัดแบบเรสทริก เออร์ท รีเลย์

เนื่องจากเราใช้กระแสนิวทรัลทำงาน ซึ่งมีกระแสไหลถึง 3 เท่าของกระแสในสาย จึงทำให้มีองศาการป้องกันสูงมากด้วยการตั้งรีเลย์ให้ทำงานที่กระแสต่ำ ๆ แต่ต้องระวังการไม่สมดุลย์ของฟลักซ์ (Flux) ใน C.T.[6] ที่รับกระแสแตกต่างกัน คือ C.T. ที่นิวทรัลรับกระแสมากเป็นสามเท่า สมมติว่าถึงขั้นอิ่มตัว ขณะที่อีกสามตัวยังมีคุณสมบัติลิเนียร์ (Linear) อยู่



รูปที่ 3.10รูปแสดงละเอียดของรูป 3.9

แรงดันคร่อมรีเลย์ = $I_1 R_{Ln}$

I_1 คือ กระแสที่ไหลเนื่องจาก Unbalance flux

6 GEC Measurement. Protective Relays Application Guide. pp.177-178.

R_{Ln} คือความต้านทานของสายต่อและขดลวดของ Current transformer เอง

ดูรูป 3.10 ประกอบ

$\therefore$ กระแสที่ไหลผ่านรีเลย์ $= \frac{I_1 R_{Ln}}{R_R}$

R_R คือความต้านทานของรีเลย์

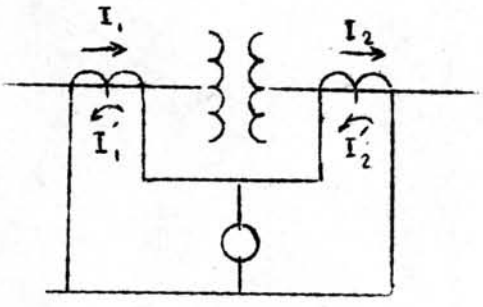
จะเห็นได้ว่า ถ้าเราให้ R_R มีค่ามากขึ้นกระแสที่ผ่านรีเลย์จะลดลง ซึ่งเราทำให้อยู่ในค่าที่เราต้องการได้ โดยให้รีเลย์มีความต้านทานสูง หรือใส่ความต้านทานสเตบิไลซ์ (Stabilizing resistor) เพิ่มเข้าไป แต่ต้องระวังอย่าใส่มากจนแรงดันเข้าไปใกล้จุดโค้ง (Knee point) ของหม้อแปลงกระแส

หม้อแปลงบางแห่งไม่วางบนพื้น ทำให้ตัวถังพ้นจากดิน เช่น ตั้งบนลูกถ้วย (ความต้านทานของฉนวน 10 โอห์ม เพียงพอแล้ว) แล้วจัดให้มีทางผ่านลงดิน โดยเฉพาะการป้องกันแบบแท้งค์–เออร์ท (Tank-earth protection) จึงสามารถติดตั้งได้ เช่น ตรวจวัดกระแสที่ไหลผ่านทางเฉพาะนี้เป็นต้น

3.2.4 การป้องกันแบบดิฟเฟอเรนเชียล(Differential Protection)

คือ รีเลย์ที่ใช้ผลจากการเปรียบเทียบกระแสที่ไหลเข้า และไหลออกของหม้อแปลง เนื่องจากหม้อแปลงมีประสิทธิภาพสูง มีการสูญเสียเนื่องจากความร้อนในแกนเหล็ก (Core loss) และความร้อนในขดลวด (Copper loss) ต่ำมาก กระแสที่ไหลเข้าทางปฐมภูมิของหม้อแปลงเปลี่ยนไปเป็นกระแสไหลออกทางทุติยภูมิ ตามอัตราส่วนของจำนวนขดลวดเกือบแน่นอน นอกจากกระแสจำนวนน้อยที่เป็นกระแสแมกนิไตซ์ (Magnitizing current) จึงต่อ C.T. ให้กระแสทางด้านทุติยภูมิของ C.T. ไหลวนอยู่ตามรูป 3.11 ปกติกระแสทางด้านที่สองของ C.T. ถูกเลือกให้เท่ากันพอดี

$I_1' = I_2'$



รูป 3.11หลักการของรีเลย์แบบดิฟเฟอเรนเชียล

จะไม่มีกระแสไหลผ่านรีเลย์เมื่อเกิดฟอลต์ภายในหม้อแปลง จะเป็นฟอลต์ชนิดใดก็ตามที่ทำให้กระแสไหลเข้าไม่เท่ากันกับกระแสไหลออก จะทำให้ $I_1 \neq I_2$ กระแส $I_1' - I_2'$ จะไหลผ่านรีเลย์ ทำให้รีเลย์ทำงานได้

โดยหลักการนี้ จะสามารถป้องกันหม้อแปลงได้แม้จะเกิดผิดปกติกับส่วนน้อยของขดลวดเพียง 0.5 - 10 % เท่านั้น

สิ่งที่ควรพิจารณาเกี่ยวกับระบบรีเลย์แบบดิฟเฟอร์เรนเชียลสำหรับหม้อแปลง (Transformer differential relay) อัตราส่วนของหม้อแปลง (Transformer ratio) และการต่อใช้งาน

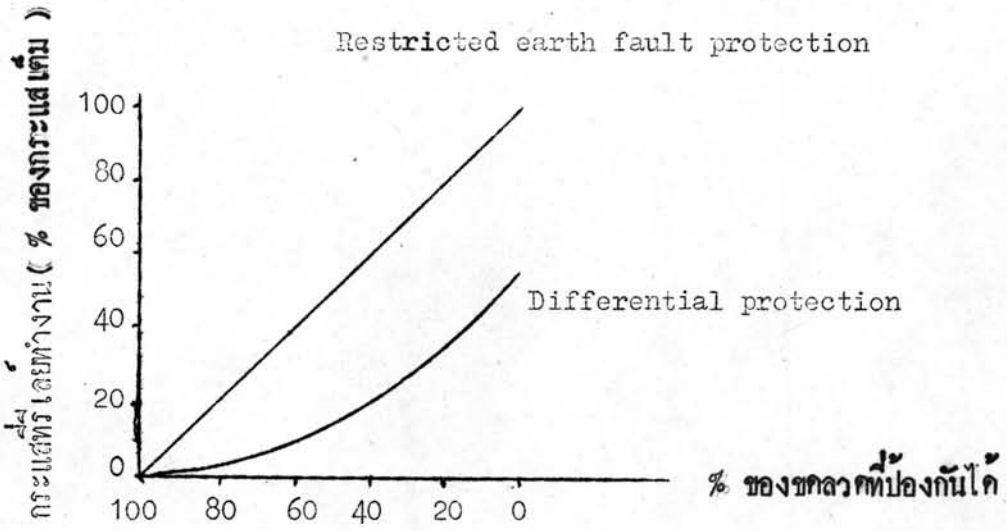
เพื่อหาบค่ากระแสที่แตกต่างกัน จะได้เลือกขนาดของ C.T. อัตราส่วนของ C.T. และต่อด้านทุติยภูมิของC.T. เพื่อเข้ารีเลย์ได้เหมาะสม เช่น หม้อแปลง 20 MVA., 115/69 KV. ต่อแบบเดลตา – สตาร์

เราอาจเลือก C.T. ด้าน 115 KV. มีอัตราส่วน 150/5 ต่อแบบสตาร์
ด้าน 69 KV. มีอัตราส่วน 250/5 ต่อแบบเดลตา

การเลือกอัตราส่วนของ C.T. ต้องพิจารณาถึงกระแสในสายส่งที่ไหลจริงของหม้อแปลงด้วย การต่อเป็นเดลตาทางด้านหม้อแปลงต่อสตาร์ และกลับกันนั้น เพื่อแก้เฟสของกระแสซึ่งเกิดจากตัวหม้อแปลงที่แตกต่างกันอยู่ 30 องศาให้ถูกต้อง ทั้งการต่อเป็นเดลตาจะกันไม่ให้มีกระแสซีโรซีเควนซ์ (Zero sequence current) ไหลเข้าไปยังรีเลย์ได้ เพราะหม้อแปลงด้านสตาร์เท่านั้นที่สามารถมีกระแสซีโรซีเควนซ์ไหลในสาย (Line) ได้ ด้วยหลักการนี้ทำให้รีเลย์แบบนี้ทำการป้องกันขดลวดที่ต่อแบบสตาร์ และมี ค.ต.ท. 1 pu. ต่อลงดินได้เพียง 42 % ถ้าตั้งให้รีเลย์ทำงาน 20 % ของกระแสเต็ม ในขณะที่เรสทริค–เออร์ท ฟอลต์รีเลย์ (Restricted earth fault relay) ป้องกันได้ถึง 80 % ตามรูปที่ 3.12 [7]

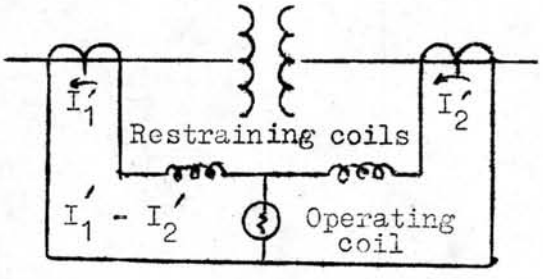
---

[7] GEC. Measurement. Protective Relays Application Guide. pp. 300 - 301.



รูป 3.12 จำนวนของขดลวดที่ป้องกันได้เมื่อหม้อแปลงต่อด้วยความต้านทานขนาดเท่าหม้อแปลงลงดิน

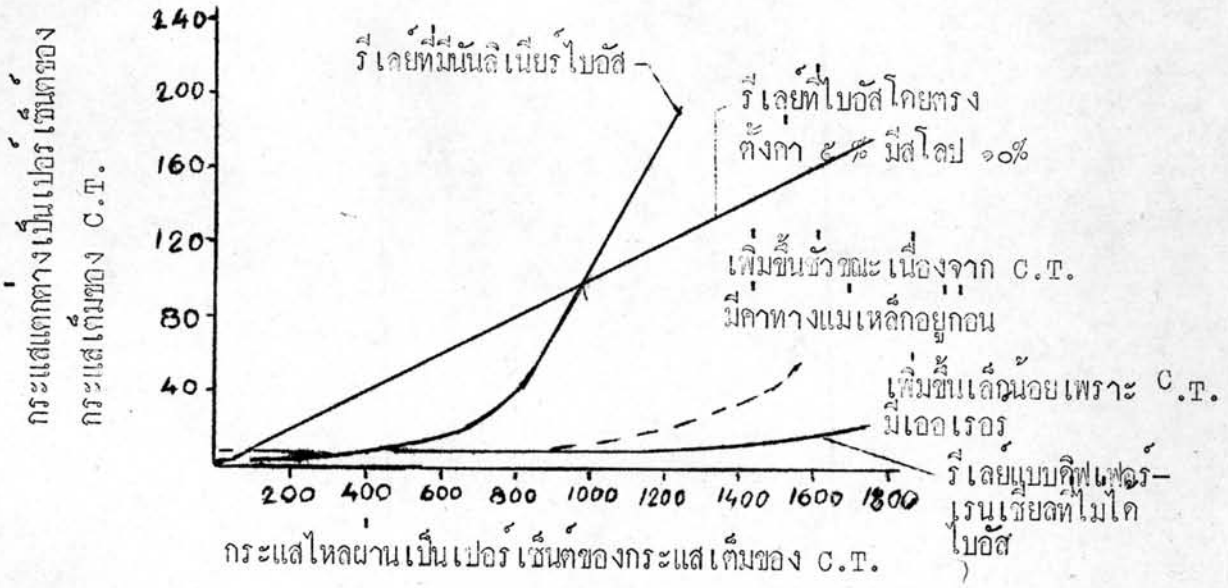
หม้อแปลงมีการเปลี่ยนแทป (Tap changing) ขณะใช้งานอยู่ได้ ย่อมทำให้กระแสที่เราตั้งไว้ให้สมดุลย์ที่ค่าใดค่าหนึ่งเกิดแตกต่างกันได้ หม้อแปลงใหญ่ ๆ ในปัจจุบัน ส่วนมากมีอุปกรณ์เช่นนี้ร่วมใช้ด้วย เพื่อปรับระดับแรงดันให้เหมาะสม ดังนั้นรีเลย์แบบดิฟเฟอเรนเชียล (Differential relay) จึงต้องมีไบอัส (Bias) ด้วย คือ รีเลย์จะยังไม่ทำงานเมื่อเกิดฟอลต์อยู่ภายนอกหม้อแปลง ในขณะที่หม้อแปลงอยู่ในแทป (Tap) ที่ให้ความแตกต่างของกระแสมากที่สุด ซึ่งเช่นนี้จะลดความไว (Sensitivity) ของรีเลย์ลง ฉะนั้น จึงนิยมใช้เป็นรีเลย์แบบดิฟเฟอเรนเชียลที่มีเปอร์เซ็นต์ไบอัส (Percentage bias differential relay) คือนำกระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงมาต้านไว้ แล้วให้รีเลย์ทำงานเมื่อมีกระแสแตกต่างเป็นเปอร์เซ็นต์ของกระแสไหลผ่านนั้น ดังรูปที่ 3.13



3.13 รูปแบบของรีเลย์แบบดิฟเฟอร์เรนเชียล

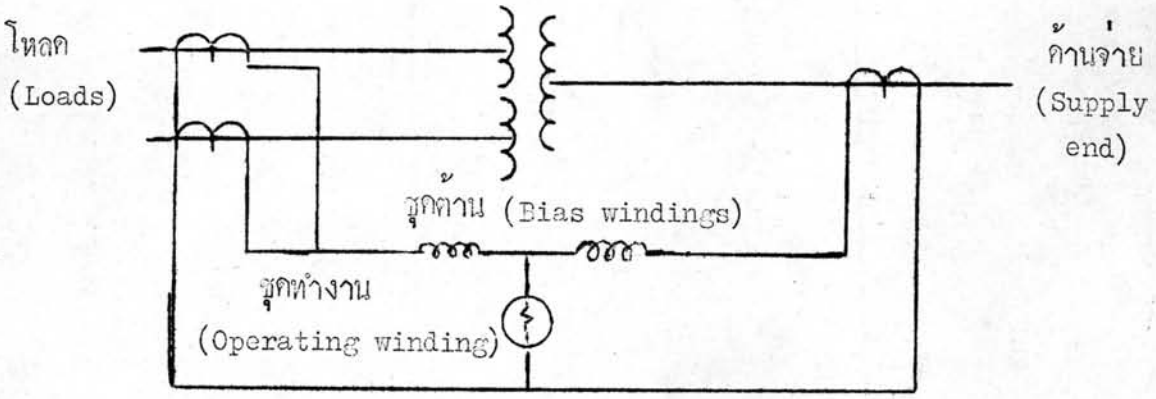
I_1' และ I_2' จะไหลผ่านขดลวดต้าน (Restraining coil) ซึ่งจะมีผลต้านไว้ ถ้า $I_1' - I_2'$ มีค่าถึงเปอร์เซ็นต์ที่ต้องการกับ I_1' หรือ I_2' หรือ $\frac{I_1' + I_2'}{2}$ แล้วแต่ออกแบบรีเลย์ รีเลย์ก็จะทำงาน

การทำเช่นนี้ทำให้รีเลย์ยังมีความไวสูงมาก ตั้งให้รีเลย์ทำงานด้วยกระแสแตกต่างที่ต่ำมากได้ และยังคงมีดีเพนอบิลิตี้ (Dependability) สำหรับฟอลต์ภายนอกสูงด้วย



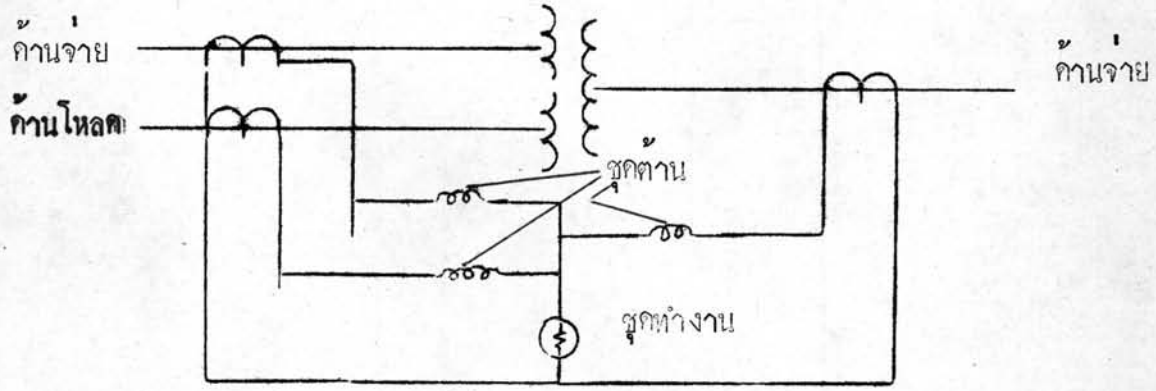
รูป 3.14 C.T. เออร์เรอร์และคุณลักษณะของรีเลย์แบบดิฟเฟอร์เรนเชียล

สำหรับหม้อแปลงที่มีขดลวดสามชุด ถ้าแหล่งจ่ายมีเพียงด้านเดียว สามารถใช้รีเลย์สำหรับขดลวดสองชุดได้โดยขนาน C.T. ด้านโหลด (Load) ดังรูปที่ 3.15



รูป 3.15 การจัดแบบใช้รีเลย์สำหรับขดลวดสองชุดป้องกันหม้อแปลงชนิดขดลวดสามชุด

แต่ถ้ามีแหล่งจ่ายมามากกว่าทางเดียวแล้ว กระแสไหลผ่านบางส่วนจะไหลวนใน C.T. ที่ขนานกันได้ จึงต้องใช้รีเลย์สำหรับขดลวดสามชุด คือ มีไบอัสทั้ง 3 ด้าน ดังรูปที่ 3.16



รูป 3.16 การจัดแบบใช้รีเลย์สำหรับหม้อแปลงที่มีขดลวดสามชุด

กระแสแมกนีไตซิ่งอินรัช (Magnetizing inrush current) [8, 9]

เป็นสถานะชั่วคราวที่เกิดกับหม้อแปลงที่เริ่มจ่ายกระแส เข้าหม้อแปลงกระแสแมกนีไตซิ่งชั่วขณะ (Transient magnitizing) หรือเอ็กไซติ่ง (Exciting)จะไหลเข้าไปในหม้อแปลง ทำให้รีเลย์ดูเหมือนว่าเกิดฟอลต์อยู่ภายในหม้อแปลง กระแสนี้อาจสูงมาก อาจมียอดสูงสุดถึง 8 - 10 เท่าของยอดสูงสุดของกระแสเต็มได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับ

- ขนาดของหม้อแปลง
- ขนาดของระบบที่เป็นแหล่งจ่ายให้หม้อแปลง มีผลต่อความต้านทานของแหล่งจ่าย
- ชนิดของเหล็กที่ใช้ทำหม้อแปลง

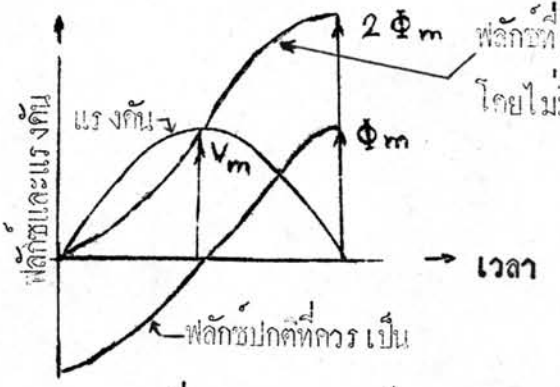
---

8 GEC. Measurement. Protective Relays Application Guide. pp. 292-293.

9 Westinghouse Electric Corporation. Applied Protective Relaying. pp. 6-1 - 6-3.

- หม้อแปลงมีฟลักซ์เหลือค้าง (Residual flux) ตกค้างอยู่เท่าใด
- ลักษณะการจ่ายกระแสเข้า (Energize) หม้อแปลงเป็นอินนิเทียล (Initial), รีคัฟเวอร์รี่ (Recovery) หรือซิมพาเททิคพาท (Sympathetic path)

เมื่อตัวเหนี่ยวนำ (Inductance) ถูกจ่ายกระแสเข้า (Energize) โดยกระแสสลับ ฟลักซ์เปลี่ยนจากยอดต่ำสุด (Peak negative) ไปเป็นยอดสูงสุด (Peak positive) ในช่วงที่แรงดันเริ่มจากศูนย์ ขึ้นไปสูงสุดแล้วกลับมาศูนย์ในช่วงครึ่งไซเกิล (Cycle) ดังรูปที่ 3.17

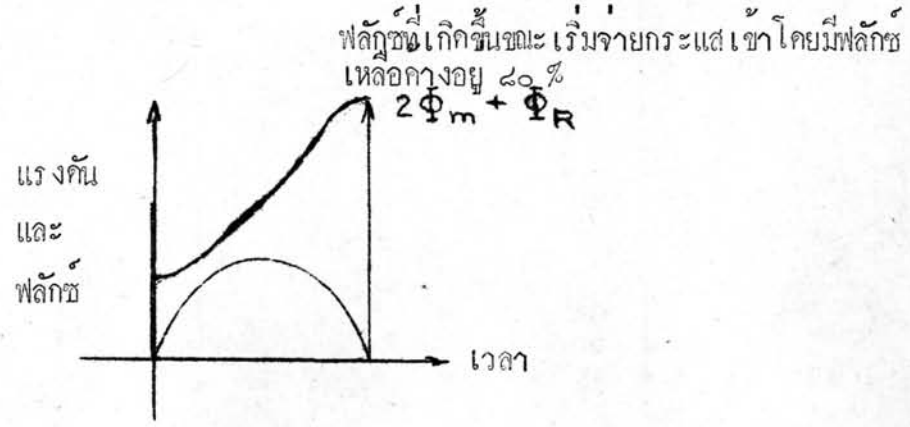


รูปที่ 3.17 รูปคลื่นแรงดันและฟลักซ์

เมื่อหม้อแปลงถูกจ่ายกระแสเข้า ถ้าฟลักซ์เริ่มจากศูนย์ ฟลักซ์ต้องเปลี่ยนแปลงทั้งหมดเหมือนเดิม ดังนั้นฟลักซ์จะสูงขึ้นไปเป็นสองเท่าของยอดสูงสุดปกติ ในช่วงครึ่งไซเคิลเช่นกัน ดังรูปที่ 3.17

ถ้าตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) เป็นลิเนียร์ (Linear) เช่น ขดลวดแกนเปล่า (Air core inductor) กระแสแมกนีไทซ์ (Magnitize) จะเพิ่มเป็นสองเท่าปกติเช่นกัน แต่หม้อแปลงมีส่วนเป็นแกนเปล่า (Air core) น้อยมาก ส่วนใหญ่เป็นแกนเหล็ก (Iron core) จึงเกิดอิ่มตัวได้ง่าย ปกติจะออกแบบให้แกนเหล็กที่ใช้มีค่าอิ่มตัวสูงกว่าค่าสูงสุดของฟลักซ์ที่แรงดันใช้งานปกติไม่มากนัก และแกนเหล็กที่ผ่านการเอ็นเนอร์ไจซ์ (Energize) มาแล้ว ย่อมมีฟลักซ์ที่เหลือค้าง (Residual flux Φ_R) อยู่ ตามรูปที่ 3.18

รูปที่ ๓.๑๘ คุณลักษณะแมกนีไทซิ่ง (Tipical magnetizing characteristic)



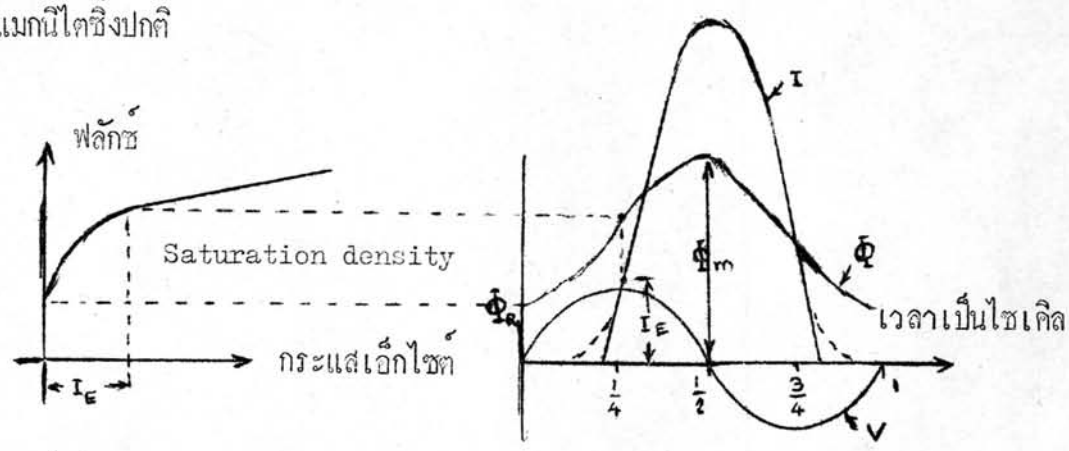
รูปที่ 3.19 รูปคลื่นแรงดันและฟลักซ์

ค่าฟลักซ์ชั่วขณะ (Transient flux) ของหม้อแปลงที่เริ่มเอ็นเนอร์ไจซ์ (Energize) ใหม่ อาจจะเป็น $2\Phi_m + \Phi_R$ ซึ่งอาจสูงได้ถึง 2.8 เท่า

(ถ้า $\Phi_R = 80\ \%$)

ย่อมเข้าไปในช่วง Saturation มากกระแสแมกนิไตซิ่งจะสูงมากอย่างรวดเร็ว ตามรูปที่ 3.19 และ 3.20

กระแสนี้เรียกว่ากระแสอินรัช (Inrush current) ซึ่งอาจสูงเป็น 500 เท่าของกระแสแมกนิไตซิ่งปกติ

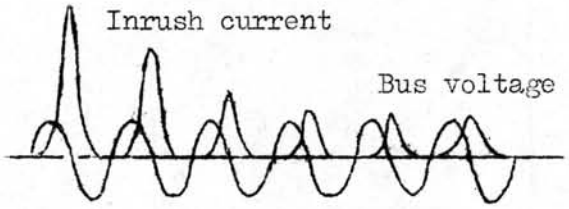


รูปที่ 3.20 วิธีหารูปคลื่นกระแสอินรัชจากคุณลักษณะของกระแสเอ็กไซต์[10]
(Derivation of inrush current wave from excitation characteristics)

---

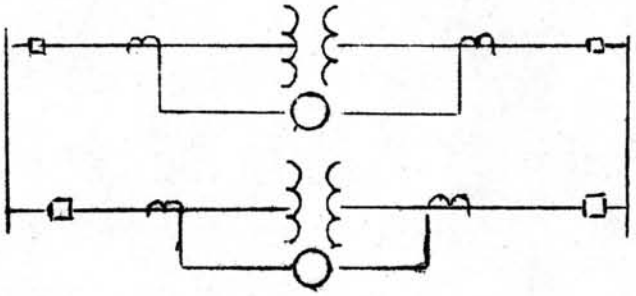
10 A.R.Van C. Warrington. Protective Relays. Vol.1, pp.395-401.

ปรากฏการณ์นี้มีไทม์คอนสแตนท์ (Time constant) ที่อาจนาน 0.1 วินาที สำหรับหม้อแปลง 100 KVA. ขึ้นไปถึง 1.0 นาที สำหรับหม้อแปลงที่ใหญ่ขึ้น และขึ้นอยู่กับระยะห่างจากแหล่งผลิตด้วย การลดลงไม่เป็นไปในรูปเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential) ที่เดียวนัก เพราะคุณลักษณะของแมกนิไตซิ่ง (Magnitizing characteristic) ไม่ลิเนียร์ (Linear) ช่วง 2-3 ไซเกิลแรกลดเร็วมาก เพราะค่าเหนี่ยวนำ (Inductance) ของหม้อแปลงน้อยมาก (ไทม์คอนสแตนท์ $= \frac{L}{R}$) แล้วจึงเปลี่ยนเป็นลดจำนวนอีก เนื่องจากการอิ่มตัวน้อยลง ค่า L ของหม้อแปลงสูงขึ้น



รูปที่ 3.21 รูปกระแสอินรัช (Typical inrush current)

ในการนำหม้อแปลงอีกตัวหนึ่งต่อขนานเข้ากับตัวเดิม ที่เอ็นเนอร์ไจน์อยู่แล้ว ก็จะเกิดกระแสอินรัชขึ้นทั้งสองตัว เป็นกระแสซิมพาเททิคอินรัช (Sympathetic inrush current) ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แบบตัวอย่างการใช้งานหม้อแปลง

ค่ากระแสอินรัชไม่สูงเท่าอินนิเชียลอินรัช (Initual inrush) แต่ก็ควรให้การป้องกันแยกกัน ตามรูปที่ 3.22 นั้น

อินรัช (Inrush) อาจเกิดจากการกลับสู่สภาพปกติของระดับแรงดัน ซึ่งตกต่ำลง เช่น จากการเกิดฟอลต์แรงดันต่ำลงมาก พอฟอลต์หายแรงดันกลับคืน ทำให้เกิดเป็นรีคัฟเวอรี่อินรัช (Recovery inrush) ได้ ซึ่งมีค่าไม่สูงนัก

ในหม้อแปลงที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Unit type generation transformer) เกิดอย่างหลังได้ไม่เกินอินนิเชียลอินรัช (Initial inrush)

การเริ่มเอ็นเนอไจซ์ (Energize) หม้อแปลงขณะแรงดันมีค่าอื่นที่ไม่ศูนย์พอดี จะทำให้กระแสอินรัชน้อยลง โดยเฉพาะถ้าเลือกให้ Φ_R หักล้างเสีย แต่ในหม้อแปลงสามเฟสจะต้องเกิดกระแสอินรัชสูงขึ้นในเฟสใดเฟสหนึ่งเป็นอย่างน้อย

ขนาดหม้อแปลง (MVA)	กระแสเอ็กไซต์ตามปกติเป็นเปอร์เซ็นต์ของกระแสเต็มของหม้อแปลง	
	เหล็กโคลด์โรลล์ (Cold-rolled steel)	เหล็กฮอทโรลล์ (Hot-rolled steel)
0.5	2.5	2.7
1.0	2.2	2.7
5.0	1.5	2.5
10.0	1.3	2.3
50.0	1.0	1.8

ตารางที่ 3.3 ค่าเฉลี่ยของกระแสแมกนีไทซ์ในหม้อแปลงขนาดต่าง ๆ

(Protective Relays . Vol.1.p.401)

ขนาดหม้อแปลง (MVA)	ยอดสูงสุดของกระแสอินรัชเป็นเปอร์เซ็นต์ของยอดสูงสุดของกระแสเต็ม			
	เหล็กโคลด์โรลล์ (Cold-rolled steel)		เหล็กฮ็อทโรลล์ (Hot-rolled Steel)	
	h.v.	l.v.	h.v.	l.v.
0.5	11.0	16.0	6.0	9.4
1.0	8.4	14.0	4.8	7.0
5.0	6.0	10.0	3.9	5.7
10.0	5.0	10.0	3.2	3.2
50.0	4.5	9.0	2.5	2.5

ตารางที่ 3.4 ค่าเฉลี่ยของยอดสูงสุดของกระแสแมกนีไตซิ่งอินรัช

(Protective Relays . Vol.1.p.401)

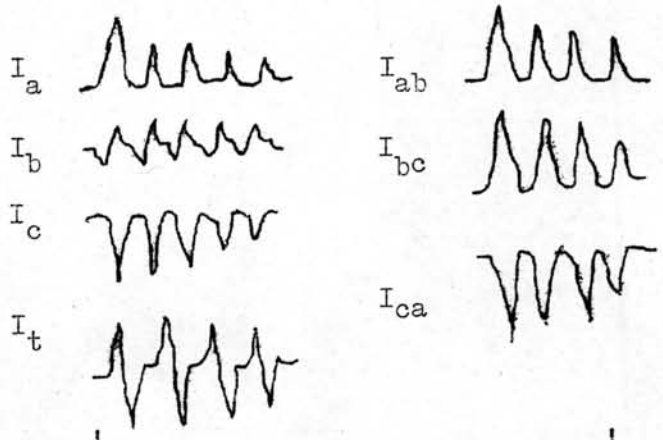
รูปคลื่นที่เกิดขึ้นประกอบด้วยฮาร์โมนิค (Harmonics) ต่าง ๆ มากขึ้นตามการอิ่มตัวของหม้อแปลง ฮาร์โมนิคที่เป็นคู่ (Even harmonics) จะหักล้างกันถ้าคลื่นนั้นซิมเมทรี (Symmetry) แต่อินรัชชั่วขณะ (Transient inrush) มีผลเป็นออฟเซท (Offset) อย่างมาก ซึ่งประกอบด้วยฮาร์โมนิคทั้งที่เป็นคู่และเป็นคี่ (odd and even harmonics) ซึ่งเทียบกับฟันดาเมนทอล (Fundamental) เป็น 100 % จะมีค่าประมาณตามตารางที่ 3.5

ส่วนประกอบที่เป็น	d.c.	2nd harm.	3rd harm.	4th harm.	5th harm.	6th harm.	7 th harm.
ค่าโดยทั่วไป	55 %	63 %	26.8 %	5.1 %	4.1 %	3.7 %	2.4 %

ตารางที่ 3.5 ขนาดของฮาร์โมนิคต่าง ๆ ที่เกิดในกระแสแมกนีไตซิ่งอินรัช เทียบฟันดาเมนทอลเป็น 100 %

(Amplitudes of harmonics in a typical magnetizing inrush current wave-shape)

(Protective Relays . Vol.1.p.402)



กระแสอินรัชที่เกิดจริงในขดลวดที่ต่อแบบสตาร์ กระแสอินรัชที่เกิดจริงในขดลวดที่ต่อแบบเดลตา

รูปที่ 3.23 **ตัวอย่างรูปคลื่นกระแสอินรัช**

ส่วนประกอบที่เป็นดีซี (D.C. component) มีค่าอยู่ระหว่าง 40 % - 60 %

ฮาร์โมนิคที่สอง มีค่าอยู่ระหว่าง 30 % - 70 %

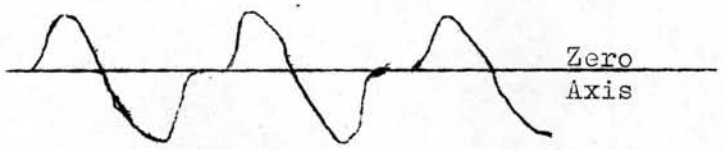
ฮาร์โมนิคที่สาม มีค่าอยู่ระหว่าง 10 % - 30 %

แต่ปกติในรูปแบบของดิฟเฟอร์เรนเชียล กระแสฮาร์โมนิคที่สามจะไม่ผ่านเข้าสู่รีเลย์ เพราะหม้อแปลงเป็นเดลตาเอง และใช้การต่อรูปแบบ C.T. เป็นเดลตาทางด้านที่หม้อแปลงเป็นสตาร์

ฮาร์โมนิคที่สูงขึ้นไปมีค่าไม่มากพอที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้ แต่มีรีเลย์ของ Russia คำนึงถึงการกรองเอาฮาร์โมนิคที่ห้าและเจ็ดด้วย

ส่วนประกอบที่เป็นดีซี (D.C.component) มีค่าสูงพอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ในรีเลย์รุ่น 20 ปีก่อน จึงได้นำค่าดีซีออฟเซ็ท (D.C.Offset) นี้ไปเพิ่มไบอัส (Bias) หรือต้านให้รีเลย์ แต่ในหม้อแปลงสามเฟสถ้าถูกเอ็นเนอร์ไจซ์ในขณะที่แรงดันในหนึ่งเฟสมีค่าสูงสุดแล้วจะไม่มีผลจากดีซีออฟเซ็ทพอ และถ้าเอ็นเนอร์ไจซ์ในตำแหน่งที่พอดี หักล้าง Φ_R หมดใน

เฟสหนึ่งกระแสอินรัชไม่มี อีกสองเฟสเกิดกระแสอินรัชมากจนทำให้โย้ค (Yoke) อิ่มตัว ซึ่งมีผลให้มีกระแสไหลชั่วขณะในเฟสเดิมนั้นได้ แต่กระแสนี้ไม่มีดีซีออฟเซ็ท ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 รูปคลื่นที่เกิดอินรัชโดยไม่มีออฟเซ็ทเนื่องจากโย้คอิ่มตัว
(Inrush without offset, due to yoke saturation)

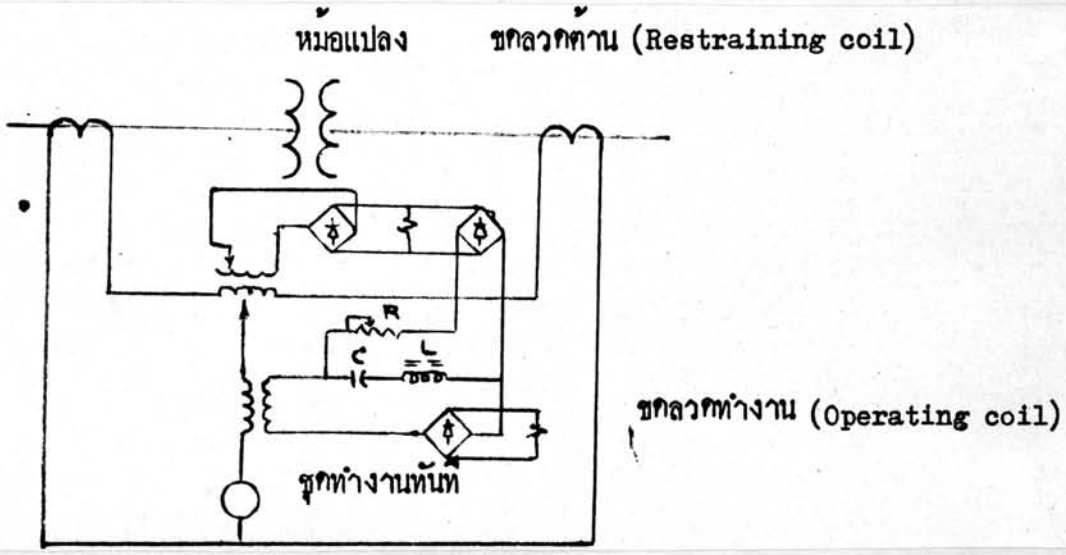
นอกจากนี้ กระแสฟอลต์อาจเป็นออฟเซ็ทด้วย ทำให้เกิดการผิดพลาดได้

ดังนั้น ฮาร์โมนิคที่สองจึงเป็นส่วน (component)ที่เหมาะสมสำหรับใช้ให้เป็นประโยชน์จากการเกิดอินรัชนี้ที่สุด เพราะนอกจากจะมีค่าไม่น้อยกว่า 20 %[11] แล้ว ในกระแสฟอลต์ไม่มีค่านี้ ถึงแม้ C.T. ที่ใช้งานจะเกิดการอิ่มตัว (Saturation) ขึ้นก็เป็นการอิ่มตัวจริง (Steady state saturation) ซึ่งไม่มีฮาร์โมนิคที่เป็นคู่

อาจนำผลจากฮาร์โมนิคที่สองนี้ไปกัน (Block) การทำงานของรีเลย์ในชั่วเวลาหนึ่ง หรือนำไปเพิ่มไบอัส (Bias) ขึ้น

รีเลย์แบบดีฟเฟอร์เรนเชียลในปัจจุบัน นิยมใช้หลักการเปอร์เซ็นต์ไบอัสพร้อมด้วยการต้านจากฮาร์โมนิคที่สอง (Percent bias with 2nd harmonic restraint) ตามรูปที่ 3.25

11
เป็นค่ายอมรับใช้งานโดยเฉลี่ย (15 % - 25 %)



รูปที่ 3.25 วงจรพื้นฐานของรีเลย์ที่มีการต้านจากฮาร์โมนิคที่สอง

ในสมัยก่อนแก้ไขการทำงานผิดเนื่องจากกระแสอินรัชนี้ โดยการแก้ไขรูปแบบ (Scheme) โดยตัดการทำงานของรีเลย์แบบดิฟเฟอร์เรนเชียลนี้ชั่วขณะของการเริ่มเอ็นเนอร์ไจซ์หม้อแปลง เช่น เพิ่มฟิวส์ (Fuse) ขนานขดลวดทำงาน (Operating coil) ของรีเลย์ เพื่อแบ่งกระแสออกไม่ให้รีเลย์ทำงาน หรือทำให้วงจรของรีเลย์นี้ขาดไป ทำให้ขาดการป้องกันไปในเวลาช่วงนั้น และอาจเกิดผิดพลาดจากซิมพาเทติค (Sympathetic)หรือรีคัฟเวอรี่ (Recovery) อินรัชอีกด้วย