บทที่ 4
การป้องกันหม้อแปลงที่ใช้งาน

ในประเทศไทยมีหม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ใช้งานเป็นจำนวนมาก หม้อแปลงที่ใช้เป็นลักษณะหม้อแปลงที่จ่ายกระแสไฟฟ้า (Distribution Transformer) ที่ไม่ใหญ่มาก ไม่ค่อยใช้เบรคเกอร์ตัดตอนหม้อแปลง ใช้ฟิวส์เป็นอุปกรณ์ป้องกันเสียส่วนมาก หม้อแปลงเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้า (Distribution Transformer) ที่มีขนาดใหญ่และหรือหม้อแปลงเพื่อส่งถอดกำลังไฟฟ้า (Transmission Transformer) ต่ออยู่ในระบบหม้อแปลงเหล่านี้มีมากที่ใช้เบรคเกอร์ตัดตอน ซึ่งสามารถใช้รีเลย์ร่วมเพื่อทำการป้องกันหม้อแปลงนั้น ๆ ได้

ตามปกติทางผู้ผลิตหม้อแปลงจะติดตั้งรีเลย์ตรวจวัดขดลวดร้อน (Hot Winding Relay) รีเลย์ตรวจวัดน้ำมันร้อน (Oil High Temperature Relay) สำหรับป้องกันความร้อนมากเกินของขดลวดและน้ำมันตามลำดับ และหรือมีรีเลย์แบบใช้แกส (Gas Actuated Relay) แล้วแต่แบบของหม้อแปลงนั้น ๆ มาด้วยแล้ว แกนเหล็กเกิดฟอลต์ หรือน้ำมันรั่ว ซึ่งมีผลให้เกิดความร้อนสูงเกิน ต่อขดลวดหรือน้ำมันจะมีการป้องกันได้ดี

สำหรับสารป้องกันหม้อแปลงในกรณีมีกระแสมากเกินไปไหลผ่าน เช่นจ่ายกระแสเกินหรือเกิดฟอลต์ภายนอก แบบป้องกันที่ใช้อยู่โดยทั่วไปมีมากที่ใช้โอเวอร์เคอร์เรนท์รีเลย์ ดังกล่าวไว้ในบทที่ 3 เนื่องจากตัวรีเลย์เองมีราคาไม่สูงนัก และต้องการหม้อแปลงกระแสเพียงชุดเดียว จึงเป็นการป้องกันที่มีราคาไม่สูง และให้การป้องกันที่ได้ผลดีพอสมควร ปกติจะใช้โอเวอร์เคอร์เรนท์รีเลย์แบบผันกลับ ที่ตั้งให้ทำงานร่วมกับรีเลย์ถัดไปได้ จึงอาจมีการทำงานที่ช้าบ้าง

ในโอเวอร์เคอร์เรนท์รีเลย์ สามารถมีทั้งคุณสมบัติแบบผันกลับ และแบบทันทีเพื่อให้ทำงานอย่างรวดเร็วในปริมาณกระแสที่สูงมาก เช่น เกิดการช็อตอย่างรุนแรงทางด้านที่ต่อกับแหล่งจ่ายไฟของหม้อแปลง โอเวอร์เคอร์เรนท์รีเลย์แบบทันทีจะทำงานทันที จะเห็นได้ว่าโอเวอร์เคอร์เรนท์รีเลย์นอกจากจะใช้เป็นการป้องกันสำหรับฟอลต์

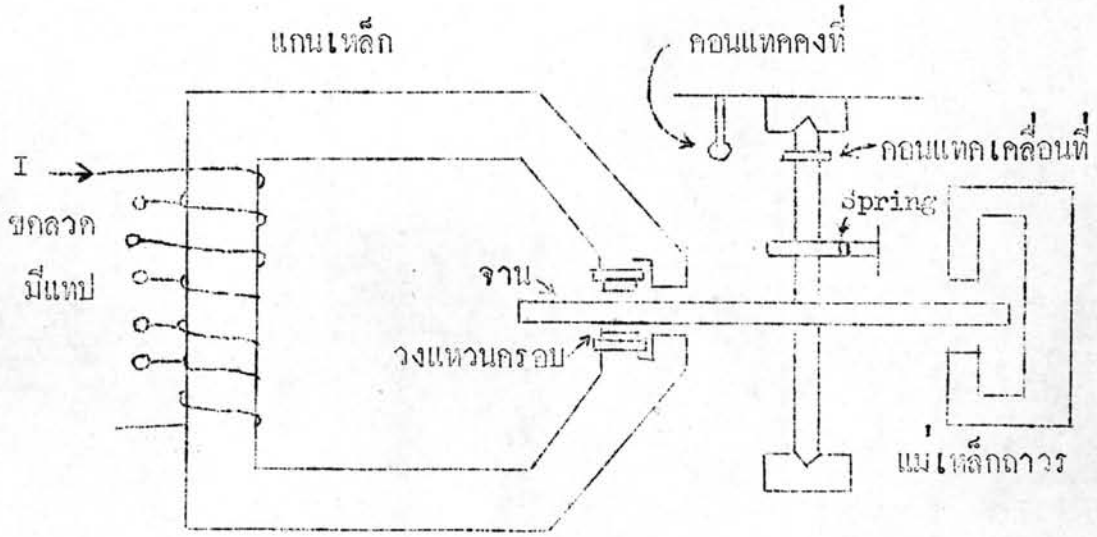
ภายนอกที่ให้ผลดีแล้ว ยังทำหน้าที่เป็นการป้องกันสำหรับฟอลต์ภายในไดคีพอสมควรด้วย ในหม้อแปลงที่สำคัญและหรือมีขนาดใหญ่เพื่อลดความเสียหายต่อหม้อแปลงและหรือต่อระบบที่จะมาจากการทำงานช้าของโอเวอร์เคอร์เรนท์รีเลย์ ในกรณีที่เกิดฟอลต์ภายในหม้อแปลง จึงได้มีการใช้รีเลย์แบบดิฟเฟอร์เรนท์เชี่ยล (Differential Relay) ทำการป้องกันหม้อแปลงนั้น ๆ แทน ซึ่งให้การทำงานที่รวดเร็วและแน่นอนกว่า แต่ก็เป็นรีเลย์ที่มีราคาสูงกว่าโอเวอร์เคอร์เรนท์รีเลย์ไม่ต่ำกว่า 3 เท่าในขณะนี้ ทั้งยังต้องการหม้อแปลงกระแสอีก 2 ชุดต่างหาก ทั้งนี้เพื่อให้รูปแบบของรีเลย์แบบดิฟเฟอร์เรนท์เชี่ยล เป็นไปอย่างสมบูรณ์ ไม่นิยมให้ใส่โหลด (Load) แทรกอยู่ในวง (Loop) ของดิฟเฟอร์เรนท์เชี่ยล (Differential) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการใช้รีเลย์แบบดิฟเฟอร์เรนท์เชี่ยลมีราคาสูง ซึ่งต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมาก

4.1 รีเลย์โอเวอร์เคอร์เรนท์แบบผันกลับ[1]

รีเลย์โอเวอร์เคอร์เรนท์แบบผันกลับ (Inverse Time Over Current Relay) โดยทั่วไปในรีเลย์แบบอีเลคโทร เมคกานิเคิล (Electro Mechanical) ส่วนมากเป็นชนิดใช้ จานเหนี่ยวนำ (Induction Disc) หรือมีอยู่บ้างที่เป็นชนิดใช้ถ้วยเหนี่ยวนำ (Induction Cup) หรือแบบวัตต์มิเตอร์ (Watthour-Meter) ดังรูป 4.1

---

[1]Mason, C. Russel. 1962, The Art and Science of Protective Relaying. Chapter 2



รูปที่ 4.1 รีเลย์ชนิดใช้จานเหนี่ยวนำแบบผันกลับ (Induction-Disc Inverse Time Relay)

กระแสที่ไหลเข้าหม้อแปลง จะนำมาไหลเข้ารีเลย์เป็น I ก่อให้เกิดฟลักซ์ไหลวนในแกนเหล็กตามค่าแอมแปร์เทอร์นที่เกิดขึ้น ฟลักซ์ที่ไหลผ่านขาด้านที่มีวงแหวนครอบ (Shaded Ring) อยู่จะถูกหน่วงให้ช้าไปประมาณ 90 องศา ฟลักซ์ทั้งสองทางที่ไหลตัดจานซึ่งเป็นสารประเภทนำไฟฟ้า แต่ไม่เป็นสารแม่เหล็ก (Non-Magnetic Current Conducting) จะมีเฟสต่างกันอยู่ ทำให้เกิดกระแสไหลวนบนจานต่างเฟสกันด้วย กระแสไหลวนและฟลักซ์ที่มีมุมต่างกัน จะทำให้เกิดแรงหมุนจานให้เคลื่อนที่ไป ซึ่งเขียนเป็นสมการรวมได้เป็น

$$T_I = K_I I^n$$

T_I = แรงที่ทำให้จานเคลื่อนที่เนื่องจากกระแส

K = ค่าคงที่

I = ปริมาณกระแสที่ไหล

n = ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับวงจรแม่เหล็ก

แรงที่เกิดจะทำให้จานหมุนไปในทิศที่จะถูกรั้งกลับด้วยสปริง แรงสปริงอยู่ในรูปสมการ

$T_S = K_S \theta$

K_S = ค่าคงที่ของสปริง

θ = ระยะเคลื่อนที่ตามมุมของจาน

และจะถูกต้านด้วยแม่เหล็กถาวร ซึ่งให้แรง

$Tm = Kd \frac{d\theta}{dt}$

Kd = ค่าคงที่ของการหน่วงจากแรงดึงดูดของแม่เหล็ก

$\frac{d\theta}{dt}$ ความเร็วเชิงมุมของจาน = ω

ผลลัพธ์ของแรงที่จะทำให้จานเคลื่อนที่

$= K_I I^n - K_S\theta - Kd\omega$

จาก Newton's Law "ผลรวมแรงทั้งหมดทำให้มวลสารมีความเร่ง"

$K_I I^n - K_S\theta - Kd\omega = \frac{M d^2\theta}{dt^2}$

M = โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment Inertia)ของจาน

$\frac{d^2\theta}{dt^2}$ = ความเร่งเชิงมุมของจาน = $\frac{d\omega}{dt}$

ในขณะที่กระแสเกินค่าเริ่มต้น จานเคลื่อนตัวแล้ว ค่าแรงจากสปริงมีผลต่อจานน้อยมาก ดังนั้น

$$K_I I^n = M\frac{d\omega}{dt} + Kd\omega \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

แก้สมการ(1); $\omega_{(t)} = Ae^{-\frac{Kd}{M}\cdot t} + B$

$t = 0, \quad \omega = 0$ (จานไม่เคลื่อนที่)

$\therefore B = -A$

$$\therefore \omega_{(t)} = A\left(e^{-\frac{Kd\cdot t}{M}} - 1\right)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = -A\frac{Kd}{M}e^{-\frac{Kd}{M}t}$$

แทนค่าใน (1)

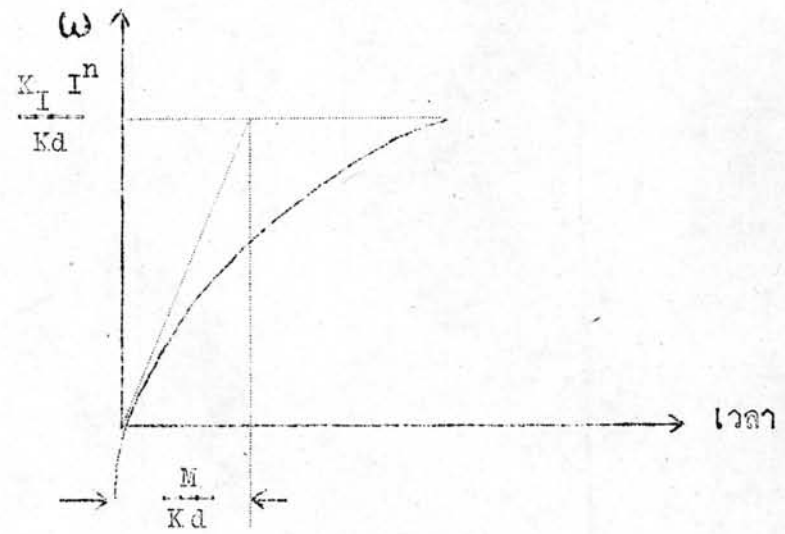
$$K_I I^n = -AKde^{-\frac{Kd}{M}} + Kd\ A\left(e^{-\frac{Kd}{M}t} - 1\right)$$

$$A = \frac{-K_I I^n}{Kd}$$

$$\therefore \omega_{(t)} = \frac{K_I I^n}{Kd}\left(1 - e^{-\frac{Kd}{M}t}\right)$$

ความเร็วจานเพิ่มขึ้นในลักษณะเอ็กโปเนนเชี่ยล (Exponential) ที่มีไทม์ คอนสแตนท์ (Time Constant)

$\frac{M}{Kd}$ เข้าหาค่าความเร็วคงที่ $\frac{K_I I^n}{Kd}$ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณกระแส(I^n) นั่นเอง ตามรูปที่ 4.2



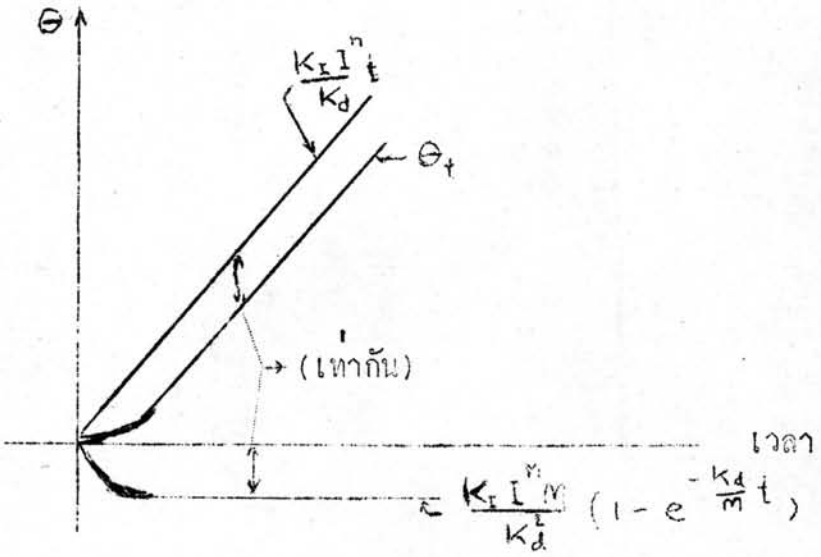
รูปที่ 4.2 คุณลักษณะของความเร็วของจานเทียบกับเวลา

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega = \frac{K_I I^n}{Kd}\left(1 - e^{-\frac{Kd}{M}t}\right)$$

$$\theta(t) = \int_0^{\theta} d\theta = \frac{K_I I^n}{Kd}\int_0^t dt - \frac{K_I I^n}{Kd}\int_0^t e^{-\frac{Kd}{M}t}$$

$$= \frac{K_I I^n}{Kd}t - \frac{K_I M I^n}{Kd^2}\left(1 - e^{-\frac{Kd}{M}t}\right)$$

ระยะเคลื่อนตัวของจาน (θ) เพิ่มตามเวลา (t) ซึ่งในช่วงแรกมีผลของ term หลังหักล้างอยู่บ้าง ขึ้นอยู่กับค่า ไทม์ คอนสแตนท์ (Time Constant) $\frac{M}{Kd}$ ว่าจะมีมากเท่าใด ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ **4.3** คุณลักษณะการเคลื่อนที่ของจานเทียบกับเวลา

แต่ระยะเคลื่อนตัวของจาน (θ) เป็นไปตามปริมาณกระแส I ดังนั้นถ้า θ คงที่ค่าหนึ่ง

ปริมาณกระแส I มากขึ้น ย่อมใช้เวลา t น้อยลง

คือ คุณลักษณะผันกลับกับเวลา (Current Inverse Time Characteristic) นั่นเอง

ถ้าให้การเคลื่อนที่ของจานไปทำการปิดกอนแทค ก็จะได้รีเลย์ที่มีการทำงานในลักษณะ เวลาในการทำงานผันกลับกับกระแส (Current Inverse Time Characteristic)

[2] ค่ายกกำลัง (n) ของกระแส I นั้น ได้จากการที่ให้ฟลักซ์ตัดกับกระแสดังกล่าวข้างต้น ซึ่งสามารถที่จะปรับวงจรแม่เหล็กเพื่อให้แรงที่เกิดจากกระแสเป็นไปตามค่ายกกำลังต่าง ๆ ได้ในปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น

---

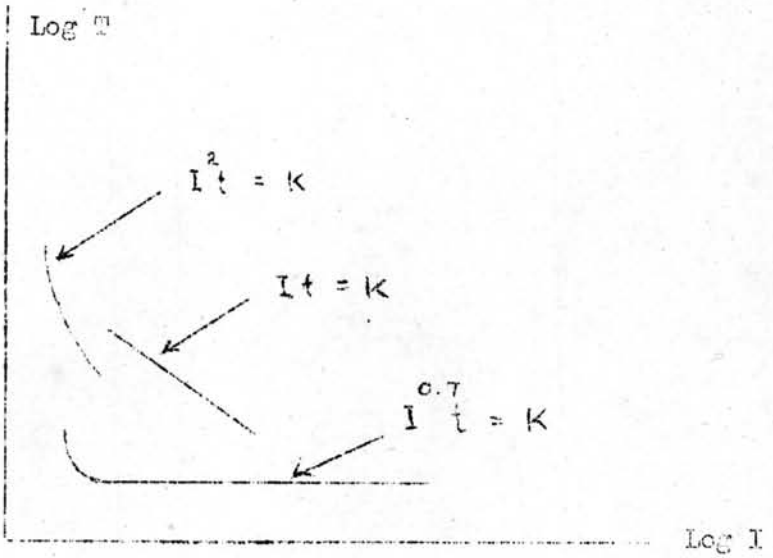
[2] A. R. Van C. Warrington. Protective Relays. Vol. 2 P – 16

$I^2t_1 = K_1$ เรียก ผันกลับอย่างสูงสุด (Extremely Inverse)

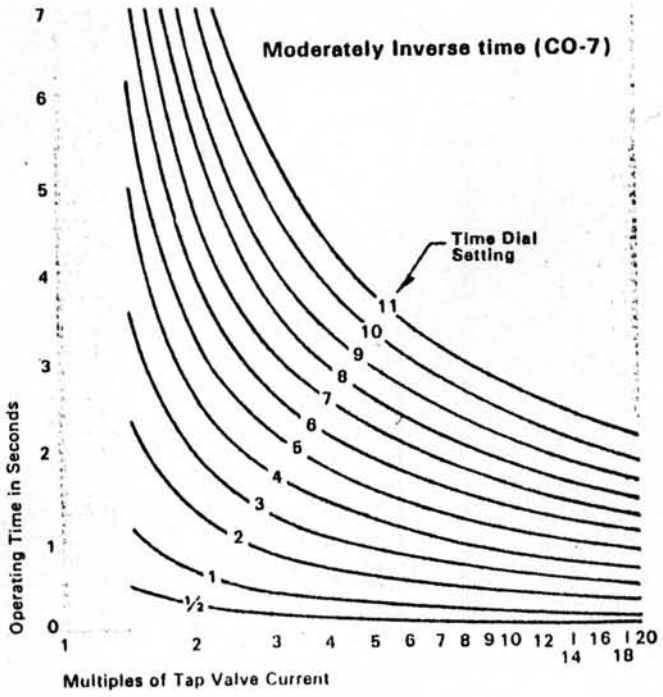
$I\ t_2 = K_2$ เรียก ผันกลับโดยตรง (Inverse)

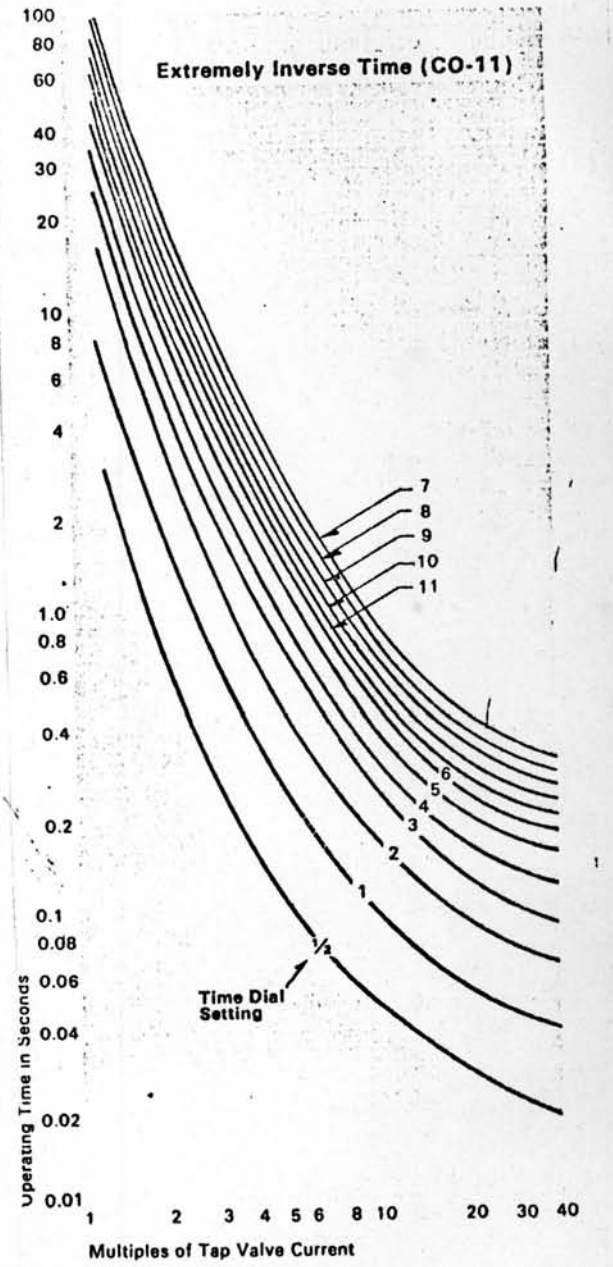
$I^{0.7}\ t_3 = K_3$ เรียก ผันกลับพอประมาณ (Moderately Inverse)

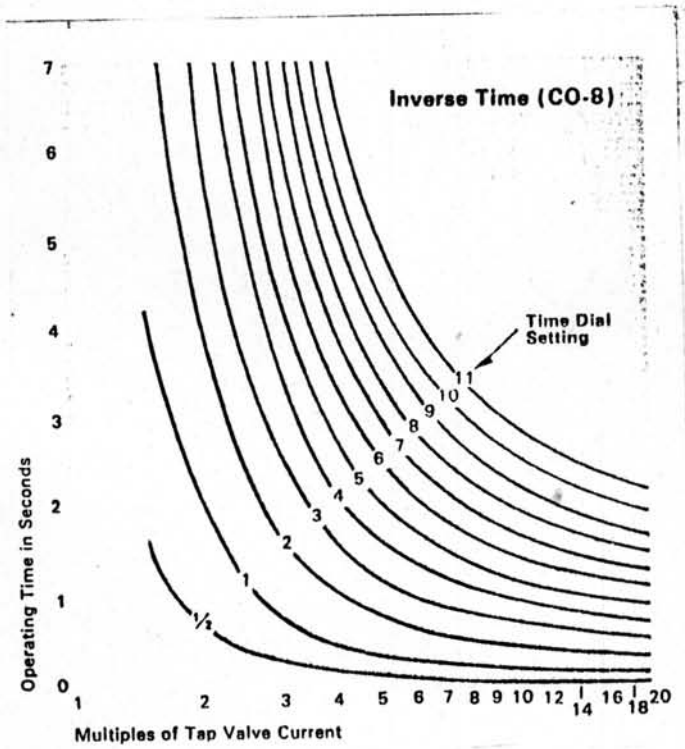
ดังแสดงในรูปที่ 4.4
ในรูปที่ 4.5 เป็นคุณลักษณะของรีเลย์ที่บริษัท Westinghouse สร้างขึ้น



รูปที่ 4.4 คุณลักษณะการผันกลับแบบต่าง ๆ (Time Current Characteristics)







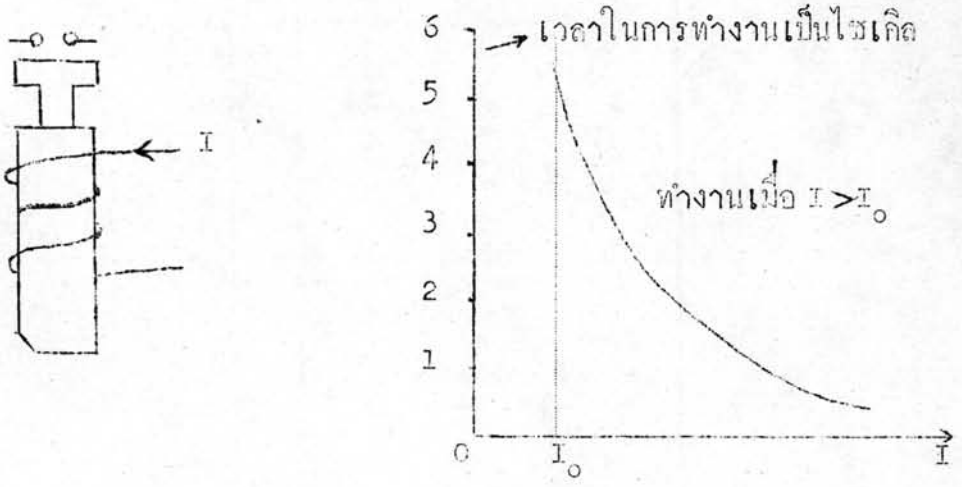
รูปที่ ๔.๕ รูปแสดงคุณลักษณะผันกลับ (Time current characteristics) แบบต่าง ๆ ของ Westinghouse รีเลย์

4.2 รีเลย์โอเวอร์เคอร์เรนท์แบบทันที [1, 3]

(Instantaneous Over Current Relay)

ปกติรีเลย์แบบอีเลคโทร เมคคานิเคิล จะเป็นชนิดโซลินอยด์ (Solenoid) หรือคานสมดุลย์ (Balance Beam) หรือแคลปเปอร์ (Clapper) ซึ่งให้กระแสผ่านเข้าไปยังขดลวด เกิดแรงแม่เหล็ก ทำให้เกิดการทำงานปิดคอนแทคในทันที

4.2.1 รีเลย์แบบโซลินอยด์ ปรับค่าให้ทำงานได้โดยการเปลี่ยนค่ารีลัคแทนส์ (Reluctance) ของวงจรของแม่เหล็ก (Magnetic Circuit) แรงจากกระแสต้องมากกว่าน้ำหนักของเครื่องกัน (Plunger) และความฝืด ตามรูปที่ 4.6



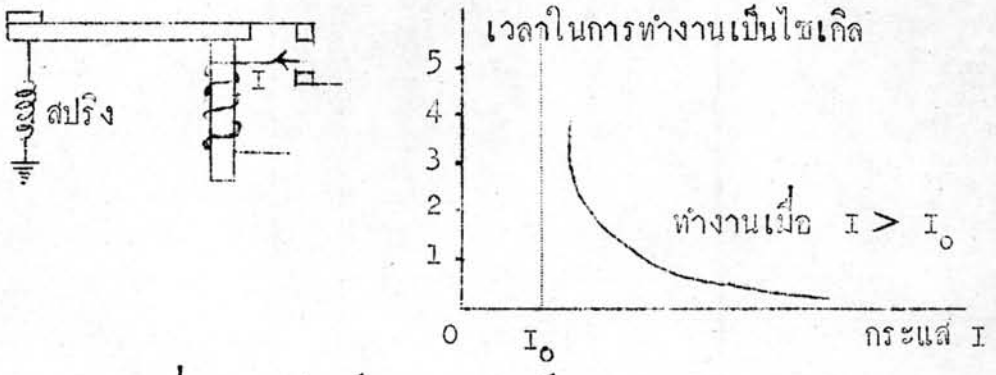
รูปที่ 4.6 รีเลย์แบบโซลินอยด์ (Solenoid Type)

---

[1] Ibid.

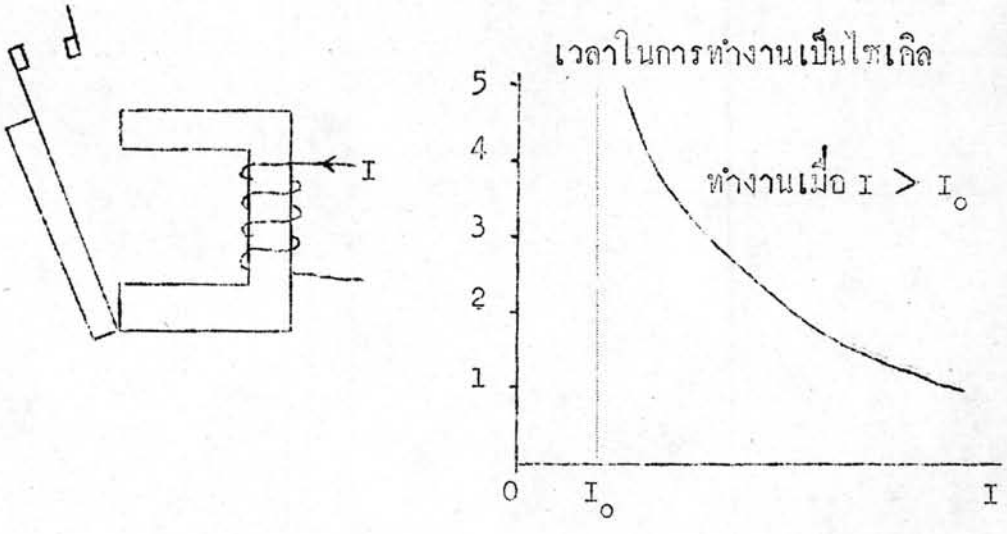
[3] Westinghouse Electric Corperation. Applied Protective Relay

4.2.2 รีเลย์แบบคานสมดุลย์ ปรับค่าให้ทำงานโดยปรับแรงดึงของ สปริง ซึ่งหักล้างกับแรงจากกระแส ตามรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 รีเลย์แบบคานสมดุลย์ (Balance Beam Type)

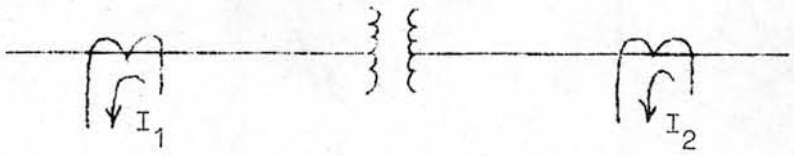
4.2.3 รีเลย์แบบแคลปเปอร์ (Clapper Type) ปรับค่าให้ทำงานโดยอาศัยแทป (Tap) บนขดลวดของกระแส ให้แรงขนะน้ำหนักและความฝืด ตามรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 รีเลย์แบบแคลปเปอร์ (Clapper Type)

4.3 รีเลย์แบบดิฟเฟอร์เรน เชี่ยล[4] (Differential Relay)

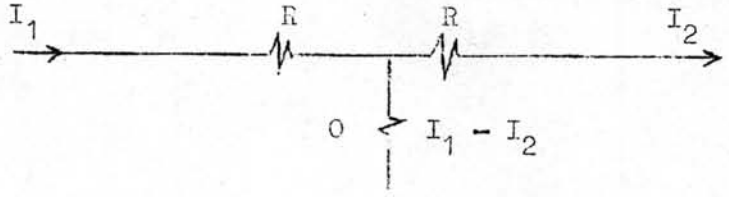
ในปัจจุบันรีเลย์แบบดิฟเฟอร์เรน เชี่ยลส่วนมากจะใช้ เร็คทิไฟเออร์ บริดจ์ คอมแพเรเตอร์ (Rectifier Bridge Comparator)[5] เปรียบเทียบระหว่างค่ากระแสที่แตกต่างกับค่ากระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลง ตามรูปที่ 4.9



ค่ากระแสแตกต่างคือ $I_1 - I_2$
ค่ากระแสที่ไหลผ่านคือ I_1 หรือ I_2

รูปที่ 4.9 รูปแบบที่จะใช้รีเลย์แบบดิฟเฟอร์เรน เชี่ยล

โดยการสร้างรีเลย์ให้เป็นไปในลักษณะง่าย ๆ ดังรูปที่ 4.10



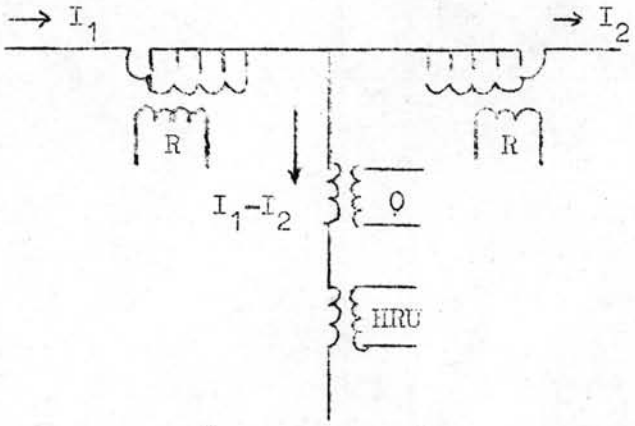
รูปที่ 4.10 โครงสร้างง่ายๆของรีเลย์แบบดิฟเฟอร์เรนเชียล

---

[4]A. R. Van C. Warrington. Protective Relays V .1 p.390-394.

[5]Ibid. 4. V.1.2, p.56-59.

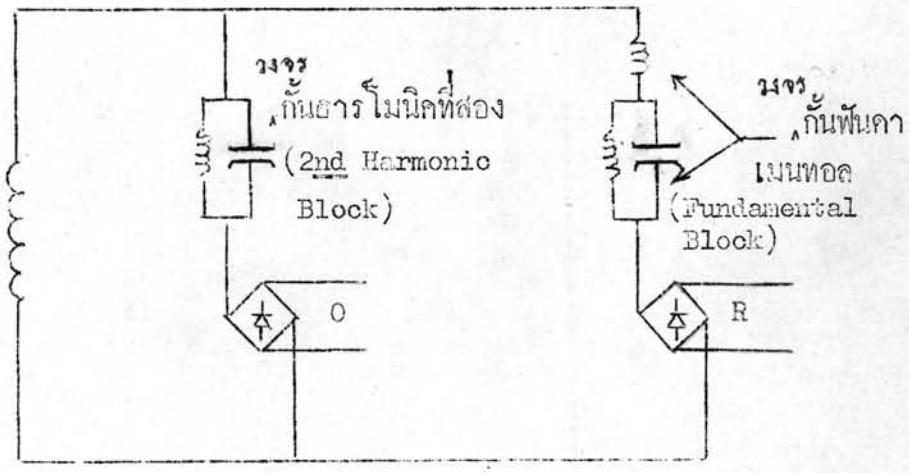
กระแส I_1 หรือ I_2 จะพยายามต้านไม่ให้รีเลย์ทำงาน (I_R) เพื่อให้รีเลย์สามารถใช้ได้เมื่อมีความแตกต่าง (Mismatch) จึงอาจสร้างแทป (Tap) บนขดลวดที่กระแส I_1 หรือ I_2 จะไหลผ่าน ดังรูปที่ 4.11



R = ต้าน (Restrain)
O = ทำงาน (Operate)
HRU = หน่วยกันฮาร์โมนิค (Harmonic Restrain Unit)

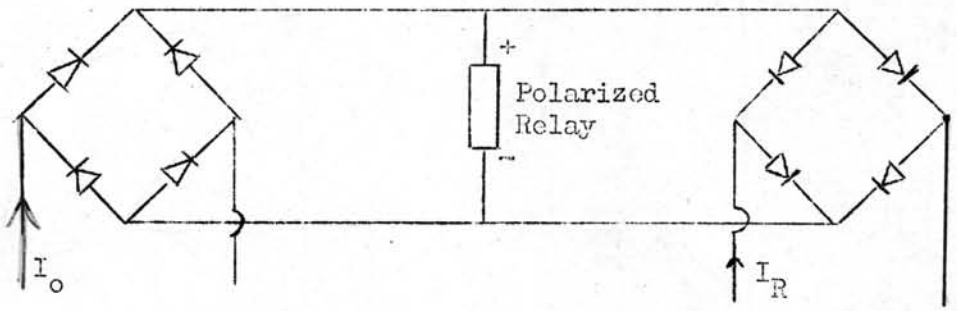
รูปที่ 4.11 โครงสร้างรีเลย์แบบดิฟเฟอร์เรนท์เชี่ยลที่ปรับปรุงแล้ว

สำหรับหม้อแปลงที่มีขนาดใหญ่ โดยเฉพาะหม้อแปลงนั้นอยู่ใกล้แหล่งจ่ายจะมีกระแสอินรัช ขณะเริ่ม (Initial Inrush Current) การตัดตอนสูง ดังได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 แล้ว เนื่องจากผลของกระแสอินรัชซึ่งมีฮาร์โมนิค (Harmonics) สูงและอยู่ในลักษณะคล้ายเกิดฟอลต์ภายใน รีเลย์บางแบบจึงได้นำกระแสแตกต่าง I_o ไปใช้งานในหน้าที่ฮาร์โมนิค เรสเทรน (Harmonic Restrain) โดยอาจจะใช้ตัวกรองฮาร์โมนิคที่สองไม่ให้ผ่านไปยังวงจรทำงาน (Operating Circuit) และกรองฟันดาเมนทอล (Fundamental) ไม่ให้ผ่านไปยังวงจรเรสเทรน (Restrain) ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ชุดฮาร์โมนิคเรสเทรน (Harmonics Restrain Unit)

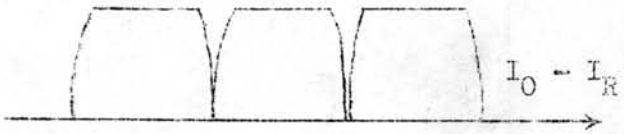
โดยการเลือกเปอร์เซนต์ของกระแส I_o ต่อกระแส I_R จะสามารถทำให้มีทั้ง เปอร์เซนต์ฮาร์โมนิคเรสเทรน (Percent Harmonic Restrain) ที่เหมาะสม และมีการตั้งเปอร์เซนต์ไบอัส (Percent Bias Setting) ที่ต้องการได้



รูปที่ 4.13 รูปแบบง่าย ๆ ของรีเลย์แบบดิฟเฟอร์เรนท์เชี่ยล ที่ใช้บริดจ์คอมแพเรเตอร์ (Bridge Comparator)

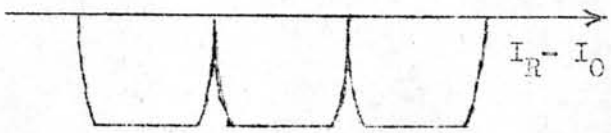
ตามรูปที่ 4.13 ถ้า $I_O > I_R$ กระแส $I_O - I_R$ จะไหลผ่านรีเลย์โพลาไรซ์ (Polarized Relay) ในทิศทางที่จะทำให้รีเลย์ทำงานได้

รูปคลื่น (Wave Form) ของกระแส $I_O - I_R$ ที่ผ่านรีเลย์โพลาไรซ์ (Polarized Relay) เป็นตามรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 รูปคลื่นขณะรีเลย์ทำงาน

ถ้า $I_R > I_O$ กระแส $I_R - I_O$ จะไหลผ่านโพลาไรซ์รีเลย์ (Polarized Relay) ในทิศทางที่ไม่ทำให้รีเลย์ทำงาน รูปคลื่น (Wave Form) ของกระแส $I_R - I_O$ เป็นตามรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 รูปคลื่นขณะรีเลย์ไม่ทำงาน

ปริมาณกระแสจะถูกจำกัด เนื่องจากไดโอด (Diode) ที่จัดรูปเป็น บริดจ์เร็คติไฟเออร์ (Bridge Rectifier) เอง ดังนั้นสามารถใช้รีเลย์ที่มีความไว (Sensitive) สูงมากได้

ในรีเลย์แบบที่มีฮาร์โมนิคเรสเทรน (Harmonics Restrain) เมื่อเกิดฟอลต์ภายในอย่างรุนแรง อาจทำให้หม้อแปลงกระแสเกิดอิ่มตัว (Saturated) ได้ ตามธรรมดากระแสฟอลต์จะประกอบด้วย ดี ซี ออฟเซท (D.C. Offset) ที่จะลด

ปริมาณลงอย่างรวดเร็ว ชุดฮาร์โมนิค เรสเทรน จึงทำงานได้ถูกต้อง แต่หม้อแปลงกระแสที่อิ่มตัวจะยิ่งทำให้เกิด ดี ซี ออฟเซท (D. C. Offset) มากขึ้น ซึ่งอาจทำให้ชุดดิฟเฟอร์เรนท์เชี่ยลทำงานช้าลง จึงได้เพิ่มชุด โอเวอร์เคอร์เรนท์แบบทันที ให้ทำงานอย่างรวดเร็วเมื่อมีกระแสฟอลต์ภายในสูง

[6]รีเลย์บางแบบใช้หม้อแปลงที่มีช่องว่าง (Air Gap Transformer) เป็นตัวแมทชิ่ง (Matching) ซึ่งมีคุณสมบัติที่ตัด ดี ซี ออฟเซท ไปได้มาก หม้อแปลงแบบนี้อาจเรียกเป็น หม้อแปลงเปลี่ยนกระแสไปเป็นแรงดัน เพราะการใส่ช่องว่าง (Air Gap) ในแกนเหล็กให้มากพอ จะทำให้กระแสด้านแรกเกือบทั้งหมดเป็นกระแสแมกนิไตซ์ (Magnitizing Current) หรือคือหม้อแปลงจะไม่อิ่มตัว แรงดันทางด้านที่สองได้ออกมาเป็น

$$V_2 = L_0 \frac{di_1}{dt}$$

L_0 = อินดักแทนส์ (Inductance) ของหม้อแปลง

i_1 = กระแสด้านแรก

$$i_1 = I_K (e^{-\frac{t}{T_1}} - \text{Cos } \omega t)$$

I_K = ค่าสูงสุด (Peak) ของกระแส

เทอมแรกคือ ดี ซี ออฟเซท

เทอมหลังคือส่วนที่เป็น เอ ซี (A. C. Component)

---

[6]BBC. Pamptilet. The Requirements Made Current Transformer By High Speed Protective Relays.

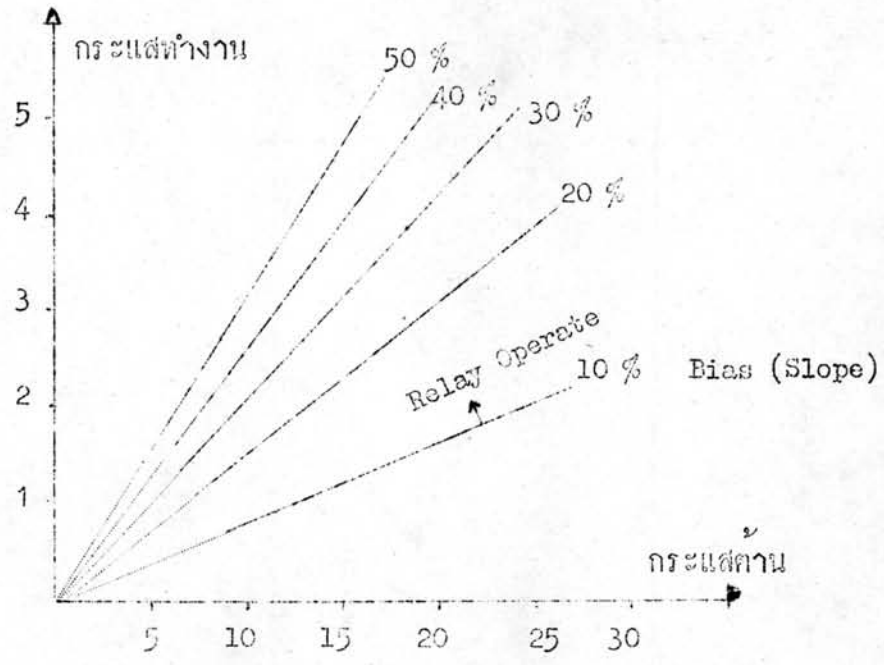
ดังนั้น แรงดันทางด้านที่สอง

$$V_2 = L_O I_K \text{ Sin } \omega t - \frac{L_O I_K}{T_1} e^{-\frac{t}{T_1}}$$

เทอมหลังคือแรงดัน ดี ซี (D. C. Voltage)ที่จะเกิดขึ้น จะเห็นได้ว่าถ้าค่าไทม์ คอนสแตนท์ (Time Constant) T_1 มีค่าสูงถึง 200 ms หรือมากกว่านั้น (การมีโหลด (Load) น้อยย่อมทำได้) ค่าเริ่มต้นของแรงดัน ดี ซี จะมีค่าน้อยกว่า 15 % ของค่าที่เป็น เอ ซี (a.c. Component) ดังนั้นจึงเรียกหม้อแปลงแบบนี้ว่า ลิเนียร์ คัปเปลอร์ (Linear Coupler)

โดยทั่วไปเพื่อให้รีเลย์แบบดิฟเฟอร์เรนท์เชียลมีความไว (Sensitivity) สูงมาก จะพยายามทำให้รีเลย์มีค่าต่ำสุดที่เริ่มทำงาน (Minimum Pick Up) ที่ต่ำมาก เช่น ในกรณีรีเลย์ที่เป็นเพลนคอยล์ (Plain Coil) ไม่มีแทปตั้งค่า (Tap Setting) แก้มิสแมทช์ (Mismatch) รีเลย์ของ Westinghouse อเมริกา ทำประมาณ 30 % ของกระแสเต็ม รีเลย์ของ BBC สวิสเซอร์แลนด์ ทำประมาณ 20 % ของประแสเต็ม รีเลย์ของ GEC อังกฤษทำประมาณ 10 % ของกระแสเต็ม รีเลย์ของ Toshiba ญี่ปุ่น ทำประมาณ 30 % ของกระแสเต็ม เป็นต้น ในรีเลย์ที่มีแทปตั้งค่า (Tap Setting) แก้มิสแมทช์ (Mismatch) ได้ รีเลย์จะเริ่มทำงานเป็นจำนวนเปอร์เซนต์ของแทปตั้งค่า (Tap Setting) นั้น ๆ

เปอร์เซนต์ไบอัส (Percent Bias) หรือเปอร์เซนต์สโลป (Percent Slope) ปกติจะทำรีเลย์ให้ตั้งค่าได้อยู่ในช่วง 10 % ถึง 50 % หมายถึงกระแสทำงานต้องมีค่าเป็นเปอร์เซนต์ของกระแสต้าน (Restraining Current) เท่าที่จะตั้งค่าไว้ รีเลย์จึงจะทำงาน ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 คุณลักษณะเปอร์เซนต์ไบอัส
(Percent Bias Characteristics)

รีเลย์ที่มีคุณสมบัติ ฮาร์โมนิค เรสเทรน (Harmonics Restrain) อยู่ด้วย ส่วนมากจะใช้ ฮาร์โมนิกที่สอง (Second Harmonic) ประมาณ 20 % ของฟันดา เมนทอล (Fundamental) สามารถกัน (Restrain) ไม่ให้รีเลย์ทำงานได้ และเมื่อมีกระแสแตกต่างสูงถึง 8 เท่าของกระแสเต็ม ให้ทำงานทันทีโดยไม่ต้องผ่านชุด ฮาร์โมนิค เรสเทรน (Harmonics Restrain Unit)