บทที่ 2
การเสียหายของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมาก ที่เชื่อมต่ออยู่ในระบบ เป็นตัวเปลี่ยนระดับแรงดันให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น เพิ่มระดับแรงดันเพื่อส่งทอดพลังงานไฟฟ้าได้ดีขึ้น ลดระดับแรงดันเพื่อให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งาน เป็นต้น ปกติแล้วหม้อแปลงจะเป็นอุปกรณ์ที่เชื่อถือได้และทนทาน (Reliable) มากที่เดียว เพราะมีการสร้างที่ไม่ยุ่งยากนัก (Simple Construction) และไม่มีส่วนใดที่เคลื่อนไหวเลย (Static Machine) โดยการดำเนินการสร้างอย่างระวัง เริ่มตั้งแต่การออกแบบ การสร้างแกนเหล็ก การมัดขดลวด การใส่ฉนวนต่าง ๆ ตลอดจนการยึดชิ้นส่วนให้ทนต่อแรงกดดันที่เกิดขึ้นได้ มีการเชื่อมต่อทางไฟฟ้า (Electrical Connection) อย่างดี น้ำมันที่ใช้ผ่านการตรวจทำความสอาดและไล่ความชื้นเรียบร้อย ไม่ให้สิ่งแปลกปลอม เช่น น็อต (Nuts) เหลือตกค้างอยู่ภายใน เป็นต้น หม้อแปลงจะทนต่อกระแสผิดปกติได้ในเวลาจำกัดหนึ่งโดยไม่มีความเสียหาย

2.1 สาเหตุที่อาจทำให้หม้อแปลงเสียหาย[1]

2.1.1 สาเหตุจากภายนอกที่ทำให้หม้อแปลงเสียหาย

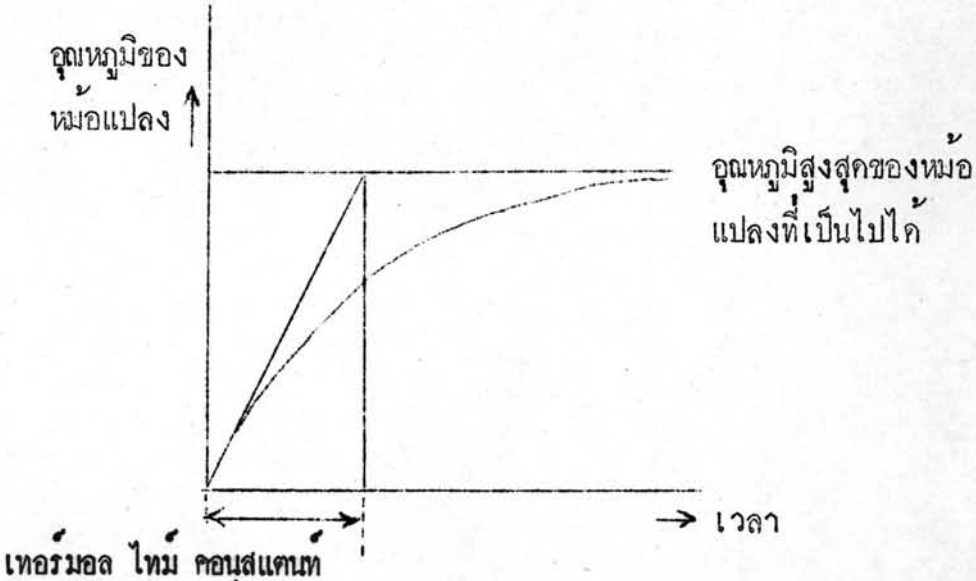
2.1.1.1 หม้อแปลงจ่ายกระแสเกินกำหนด

ย่อมมีความร้อนในขดลวดตัวนำ (Copper Loss) สูง ก่อให้เกิดอุณหภูมิสูงขึ้น ปกติต้องคำนึงว่าไม่ควรให้เกิน 95° C เมื่อวัดอุณหภูมิของขดลวดโดยวิธีใส่ค่าความต้านทานตามปริมาณความร้อน เพราะว่าถ้าความร้อนสูงกว่านี้แล้วจะทำให้ เซลล์ลูโลส (Cellulose) ของฉนวนสูญเสียความแข็งแรง และน้ำมันจะมีแนวโน้มที่เกิดตะกอน (Sludge) ขึ้น จุดเชื่อมต่าง ๆ อาจหลุดหลวมได้

---

[1] S. Austen Stigant, H. Morgan Lacay, A. C. Franklin, J & P Transformer Book. Chapter 23

ตามมาตรฐาน B.S. 171 ได้กำหนดเวลาที่ใช้เมื่อหม้อแปลงจ่ายกระแสเต็มตามกำหนด (Rated KVA) ถ้าหม้อแปลงนั้นมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิคงที่ตลอด จนอุณหภูมิถึงค่าสูงสุดที่จะเป็นไปได้ เวลาที่ใช้นั้นคือ เทอร์มอล ไทม์ คอนสแตนท์ (Thermal Time Constant) ดังรูป



รูปที่ 2.1 เทอร์มอล ไทม์ คอนสแตนท์
(Thermal Time Constant)

ค่าของ เทอร์มอล ไทม์ คอนสแตนท์ ดังตาราง 2.1

ขนาดหม้อแปลง (KVA)	ระดับแรงดันระบบ			
	ต่ำกว่า 12.5 KV ลงไป	37 KV	73 KV	สูงกว่า123 KV ขึ้นไป
0 - 50	3.5	5.0	-	-
51 - 250	3.0	4.0	5.0	-
251 - 1000	2.75	3.5	4.0	5.0
1001 - 10000	2.5	2.75	3.5	4.0
Above 10000	2.5	2.75	3.0	3.5

ตารางที่ 2.1 เทอร์มอล ไทม์ คอนสแตนท์ (Thermal time constant) สำหรับหม้อแปลงขนาดต่าง ๆ หน่วยเป็นชั่วโมง

(J&P Transformer Book.P. 812)

ตามมาตรฐาน Code Practice 1010[2] (CP 1010) ได้แบ่งแบบของการจ่ายกระแสของหม้อแปลงออกเป็น 4 แบบคือ[3]

---

[2]The British Standard Institution. Guide to Loading of Transformer

[3]S. Austen Stigant, H. Morgan Lacay, A.C. Franklin. J & P Transformer Book Page 811 - 814.

1R

1L

1M

1S

แบบ 1R (Recurrent Daily Loading) หมายถึงหม้อแปลงมีการจ่ายกระแสสูงอยู่ตลอด 24 ชั่วโมง โดยอุณหภูมิขดลวดไม่เกิน 95° c แบบนี้ถ้าอุณหภูมิของอากาศ 30° c จะสามารถจ่ายที่ 120 % ของขนาดเต็ม (KVA Rating) ได้ถึง 3 ชั่วโมง

แบบ 1L (Long Period Loading) หมายถึงหม้อแปลงมีการจ่ายกระแสสูงอยู่เป็นเวลา 16 ชั่วโมงใน 1 วัน และเวลาที่เหลือนอกนั้นเป็นการจ่ายกระแสต่ำ คืออุณหภูมิของขดลวดขณะจ่ายกระแสต่ำจะไม่เกิน 80° c ยอมให้อุณหภูมิขณะจ่ายกระแสสูงขึ้นได้ถึง 100° c ถ้าอุณหภูมิของอากาศ 30° c และน้ำมัน 60° c จะจ่ายที่ 120 % ของขนาดเต็มได้ 0.25 ชั่วโมงของ เทอร์มอล ไทม์ คอนสแตนท์ (Thermal Time Constant) ของหม้อแปลงนั้น

แบบ 1M (Medium Period Loading) หมายถึง หม้อแปลงมีการจ่ายกระแสสูงอยู่เป็นเวลา 8 ชั่วโมงใน 1 วัน นอกนั้นเป็นการจ่ายกระแสต่ำ ยอมให้อุณหภูมิขึ้นได้ถึง 105° c ถ้าอุณหภูมิของอากาศ 30° c น้ำมัน 60° c จะจ่ายที่ 120 % ของขนาดเต็มได้ 0.48 ชั่วโมงของ เทอร์มอล ไทม์ คอนสแตนท์ (Thermal Time Constant) ของหม้อแปลงนั้น

แบบ 1S (Short Period Loading) หมายถึงหม้อแปลงมีการจ่ายกระแสสูงอยู่เป็นเวลาเพียง 3 ชั่วโมง ซึ่งยอมให้อุณหภูมิขึ้นถึง 115° c ถ้าอุณหภูมิของอากาศ 30° c น้ำมัน 60° c จะสามารถจ่ายที่ 120 % ของขนาดเต็มได้เกือบเท่า เทอร์มอล ไทม์ คอนสแตนท์ (Thermal Time Constant) นั้นทีเดียว (ถ้าจ่ายที่ 130 % ของขนาดเต็มจะได้ 0.63 ชั่วโมงของ เทอร์มอล ไทม์ คอนสแตนท์ (Thermal Time Constant) ของหม้อแปลงนั้น)

2.1.1.2 เกิด ฟอลต์(Fault) ในระบบ

มีกระแสไฟสูงไหลผ่านหม้อแปลง ทำให้เกิดแรงกดดัน (Mechanical Stress) และความร้อนในขดลวด (Copper Loss) เป็นสัดส่วนกับกำลังสองของกระแสนั้น ซึ่งจะมีปริมาณเท่าใดขึ้นอยู่กับขนาดของระบบแรงดันที่ตำแหน่งเกิดฟอลต์ (Fault) และลักษณะความต้านทานของระบบ (Impedance Circuit ของ System) แรงกดดันที่เกิดขึ้นนี้จะรุนแรงมากในช่วง ไซเกิลแรกของกระแสฟอลต์ที่ไม่สมดุลย์ (Asysmmetric Fault Current) ซึ่งเบรกเกอร์ (Breaker) จะเปิด (Trip) ไม่ทัน เราอาจใส่ตัวหน่วง (Reactor) เข้าไปในหม้อแปลงเพื่อลดปริมาณกระแสฟอลต์ และมัดขดลวดให้แน่น หม้อแปลงอาจไม่เสียหาย หม้อแปลงรุ่นหลังนี้จะสร้างให้มีค่าความต้านทาน (Impedance) โดยประมาณ ตามตาราง 2.2

ขนาดของหม้อแปลง (KVA)	เปอร์เซนต์ความต้านทาน (Percentage Impedance)		
	11 KV	23 KV	66 KV
100	4.75	5.0	5.5
250	4.75	5.0	5.5
500	4.75	5.0	6.0
1,000	4.75	5.0	6.0
1,500	5.5	6.0	7.0
2,000	6.0	6.0	7.0
3,000	6.0	7.0	7.5
5,000	6.0	7.0	7.5
7,500	7.0	8.0	8.5
10,000	-	9.0	9.0
20,000	-	10.0	10.0
30,000	-	10.0	10.0

ตารางที่ 2.2 ความต้านทาน (Impedance) ของหม้อแปลงชนิด 3 เฟส

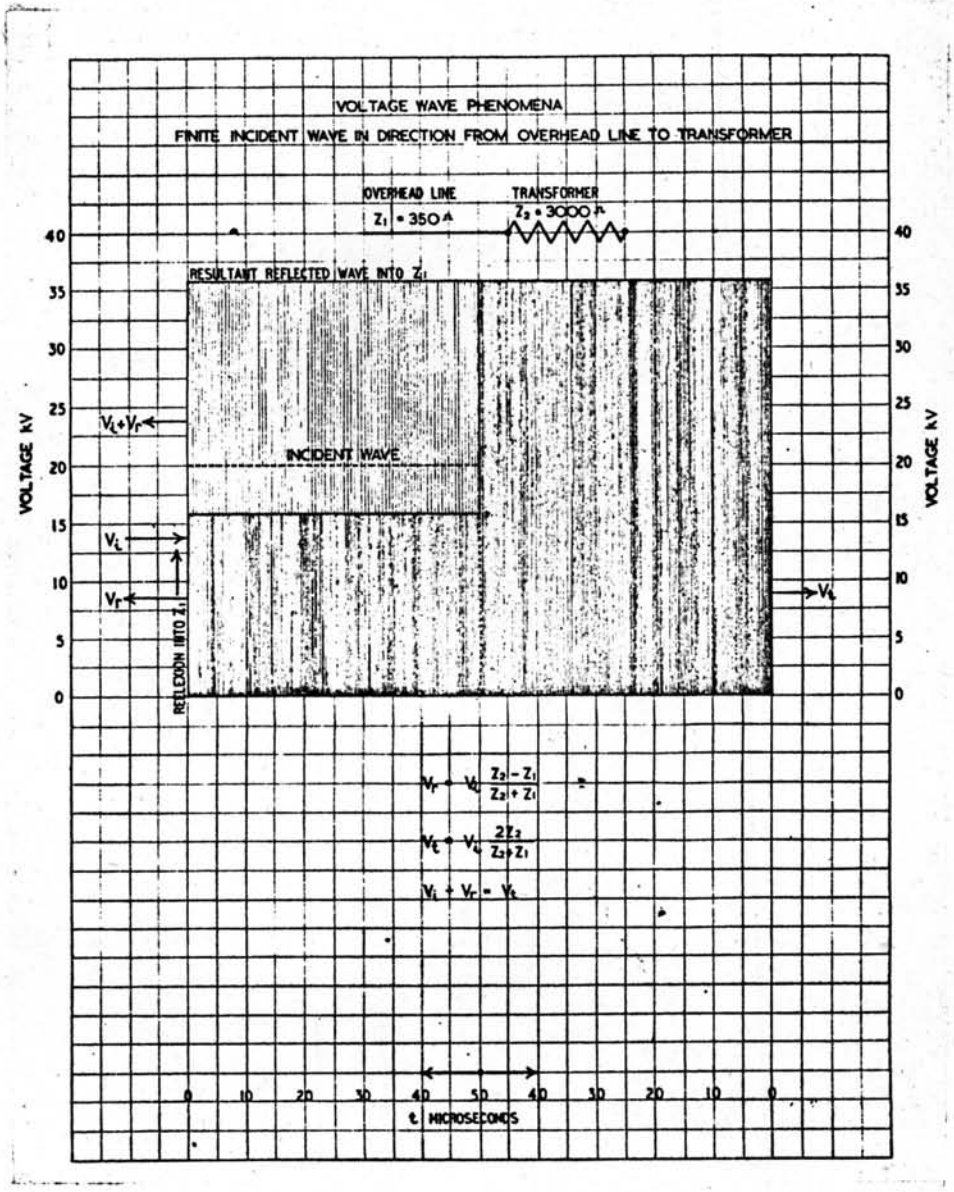
(J&P Transformer Book. p. 605)

ปัจจุบันนี้หม้อแปลงตามมาตรฐาน B. S. 171 : 1936 จะทนกระแสเมื่อเกิดลัดวงจรที่ขั้วต่อ (Terminal) ได้ตามตาราง 2.3

ความต้านทานของหม้อแปลง (%)	กระแสฟอลต์เป็นเท่าของกระแสเต็มของหม้อแปลง	เวลาที่ยอมให้เกิดฟอลต์ (วินาที)
4	25	2
5	20	3
6	16.6	4
7	14.2	5

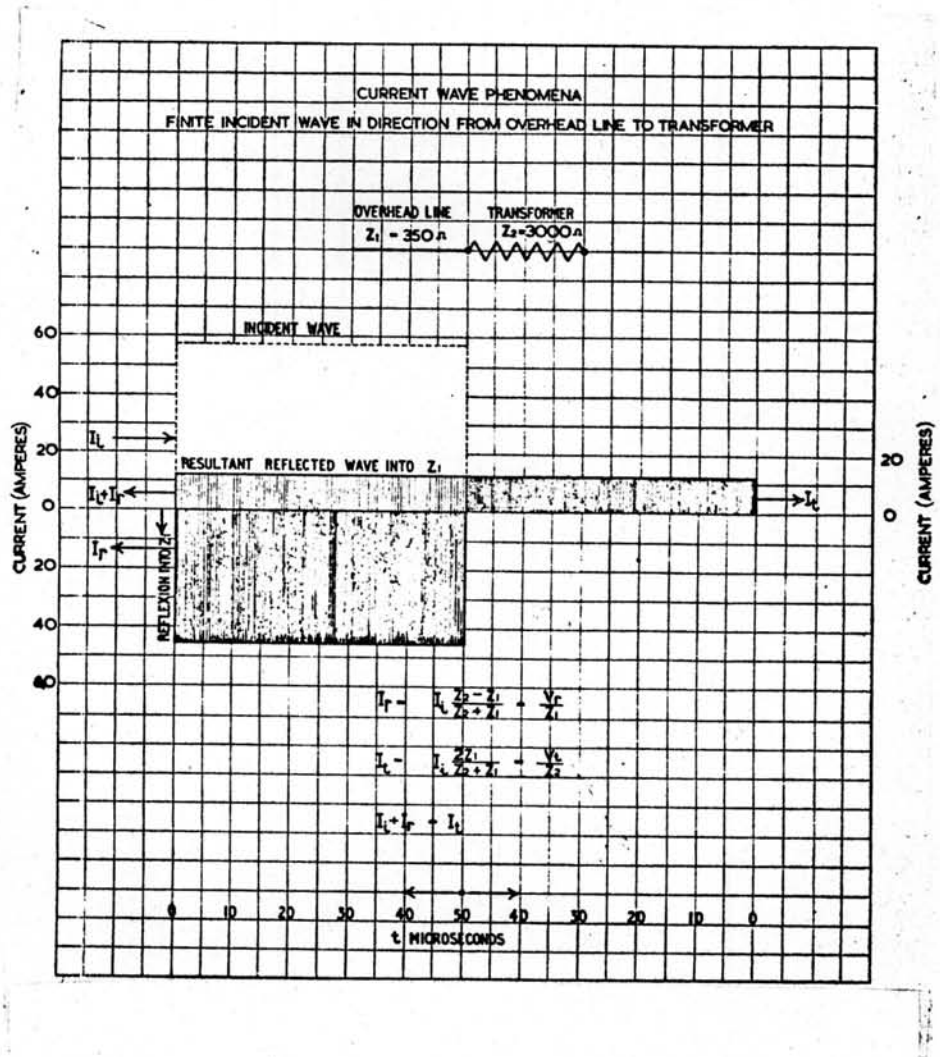
ตารางที่ 2.3 กระแสฟอลต์ที่หม้อแปลงขนาดต่าง ๆ ทนได้
(Protective Relays Application Guide.p.291)

2.1.1.3 มีแรงดันที่มีความถี่สูงชั่วขณะ (High Voltage, High Frequency Surge) จากระบบ โดยอาจจะเกิดจากการทำการตัดตอน (Switching) หรือเกิดจากฟ้าผ่า ซึ่งขนาด (Amplitude) สูงและ ความชันคลื่น (Wave Front) ชันมาก ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานชั่วขณะ (Surge Impedance) $Z = \sqrt{L/C}$ เข้ามากระทบหม้อแปลง จะมีส่วนหนึ่งผ่านเข้าไปในหม้อแปลง อีกส่วนหนึ่งสะท้อนกลับ ซึ่งอาจจะเสริมกันให้รูปคลื่น (Wave) สูงขึ้นไปดังรูป



รูปที่ 2.2 รูปแสดงคลื่นแรงดัน 20 KV ที่ตกกระทบ (V_i) แล้วสะท้อนกลับ (V_r) รวมเป็นแรงดันผ่าน (V_t) ระหว่างสายส่งและหม้อแปลง

(J&P Transformer Book.p.608)



รูปที่ 2.3 รูปแสดงคลื่นกระแส 37.1A ตกกระทบ (I_i) แล้วสะท้อนกลับ (I_r) รวมเป็นกระแสผ่าน (I_t) ระหว่างสายส่งและหม้อแปลง

(J&P Transformer Book.p. 609)

รูป 2.2 แสดงผลจากคลื่นแรงดัน (Voltage Wave) และรูป 2.3 แสดงผลของคลื่นกระแส (Current Wave) จึงได้ใช้ บูชชิ่ง (Bushing) และใส่ฉนวนจุดต่าง ๆ เช่น ขดลวด กับดิน (Earth) ระหว่างขดลวดเอง เพื่อให้ป้องกันการแฟลช (Flash Over) ได้พอสมควร แล้วใช้ เสอร์จ ไดเวอร์ตเตอร์ (Surge Divertors) หรือแกป (Plain Rod Gap) ช่วยแบ่งบางส่วนนั้นลงดิน (Ground) ไปบ้าง เสอร์จ ไดเวอร์เตอร์ (Surge Divertor) หรือไลท์นิ่ง อาเรสเตอร์ (Lightning Arrestor) ประกอบด้วยชุดของช่องว่าง (Gap) เล็ก ๆ เรียงกันอยู่ และต่อด้วยความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงได้ (Non-Linear Resistor) ซึ่งมีส่วนดีกว่าแกป (Plain Rod Gap) ตรงที่สามารถกันไม่ให้กระแสใช้งาน (Power Current) ไหลได้ค่อนข้างแน่นอน

ตามมาตรฐานของอังกฤษ หม้อแปลงจะทนแรงดันชั่วขณะ (Impulse Voltage Test) ได้ตามตาราง 2.4

แรงดันของระบบ		แรงดันชั่วขณะ (Impulse Voltage Level)	
ปกติ (KV,rms.)	สูงสุด (KV,rms.)	$\pm \frac{1}{50}$ เต็มคลื่น (Full Wave Test) KV,Peak	$\pm \frac{1}{50}$ คลื่นถูกชอบ (Chopped Wave Test) KV, Peak
6.6	7.2	75	
11	12.5	95	ค่าที่ได้โดยการทดลองด้วย
15	17.5	110	คลื่นที่ถูกชอบ (Chop) นี้จะ
22	24	150	สูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลอง
33	36	200	คลื่นเต็มประมาณ 15 %
44	49	250	
55	61	300	
66	72.5	350	
88	100	450	
110	123	550	
132	145	650	
150	170	750	
220	245	1050	

ตารางที่ 2.4 การทดลองแรงดันชั่วขณะ (Impulse Voltage Test) ต่อหม้อแปลงขนาดต่าง ๆ

(**J&P Transformer book.p.** *612*)

ดังนั้นการออกแบบระดับฉนวนของระบบ (System Insulators) ต้องเหมาะสม เช่น มีระดับการ แฟลช (Flash) ของสายส่งเป็น 80 % ของหม้อแปลงเป็นต้น

การมีแรงดันสูงเกิน (Over Voltage) ที่ความถี่ใช้งาน (Power Frequency) นอกจากเพิ่มความกดดัน (Stress) ในฉนวนของหม้อแปลงแล้ว ยังเพิ่มปริมาณฟลักซ์ (Flux) ที่ต้องใช้งานด้วย ดังจะดูได้จากสมการแสดงความสัมพันธ์ของแรงดัน (Voltage) ความถี่ (Frequency) และเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Flux)

$E = Kf.Bm.Af.N$

E = ค่า rms ของแรงดันเหนี่ยวนำ (Induced Voltage)

Kf = ฟอร์มแฟคเตอร์ (Form Factor) ของ e.m.f. เช่น Sine; Kf = 1.1

Bm = ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็ก

A = พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

f = ความถี่ของ E

N = จำนวนรอบของขดลวดที่พัน

002048

ในวงการอุตสาหกรรมหม้อแปลง ปกติการออกแบบในการค้าแล้วจะใช้เหล็กที่เหมาะสมกับความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กไม่เกิน 13,000 เส้น ต่อตารางเซ็นติเมตร ดังนั้นในหม้อแปลงหนึ่ง ค่าพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก และจำนวนรอบของขดลวดย่อมคงที่ เหลือแต่ค่า E และ f ที่เปลี่ยนแปลงได้ โดยทั่วไปแล้วหม้อแปลงจะถูกออกแบบให้มีอัตราส่วนของ $\frac{E}{f}$ (ค่าต่อหน่วย) ไม่ต่ำกว่า 1.1 ($\frac{E}{f} = 1.1$) ดังนั้น ที่ f เป็น 1 หน่วย E จะเป็น 1.1 หน่วย หรือ 110 % ไม่ได้

หรือถ้า f ต่ำลงกว่า 1 หน่วย E จะต้องลดลงด้วย ไม่เช่นนั้นจะเกิดฟลักซ์ (Flux) หนาแน่นเกินไป เกิดความร้อนในแกนเหล็ก (Iron Loss) สูง

กระแส แมกนิไตซ์ซิ่ง (Magnitizing) ต้องใช้มากขึ้นอย่างผิดปกติ เกิดความร้อนสูง เช่น ใช้ที่ $\frac{E}{f} = 2$ จะเกิดความร้อนมากกว่าการจ่ายกระแส 10 เท่า นอกจากนั้น ฟลักซ์ (Flux) บางส่วนอาจเข้าไปในโครงเหล็กหรือหมุดยึดต่าง ๆ ก่อให้เกิดความร้อนสูงผิดปกติที่ทำลายฉนวนของตัวมันเองและฉนวนของขดลวดได้ แรงดันที่มียอดแบน (เช่นรูปสี่เหลี่ยม) จะมี Kf ที่ต่ำกว่าแรงดันรูป ไซน์ (Sine) (Kf = 1.1) (แรงดันที่มียอดแหลม Kf $>$ 1.1) ดังนั้นในรูปแรงดันแบบนี้ ดังสมการที่แสดงข้างต้นจะเห็นว่าต้องการ Bm สูงขึ้นเพื่อให้สมการสมดุลย์ จนอาจเกิดการมีฟลักซ์มากเกินได้ ซึ่งมีผลเสียดังกล่าวแล้ว

2.1.2 ฟอลต์ (Fault) อยู่ภายในหม้อแปลง[4]

2.1.2.1 เกิดกับวงจรทางแม่เหล็ก (Magnetic Circuit) นั่นคือ เกิดกับแกนเหล็ก (Core) โยีค (Yoke) โครงสร้างสำหรับยึด (Clamping Structure)

(1) ฉนวนรอบ โบลท์ (Bolt) ที่ยึดแกนเหล็กซึ่งเป็นเหล็กแผ่นให้ติดกันนั้นเสื่อมลง ทำให้บริเวณนั้นมีกระแสไหลวน (Eddy Current) สูง และหรือไหลในตัวโบลท์ (Bolt) เอง โดยเฉพาะโบลท์ (Bolt) ที่ปลายแกนเหล็กยึดต่อกับ โยีค (Yoke) ซึ่งฟลักซ์ (Flux) ต้องไหลผ่าน ก่อให้เกิดความร้อนสูงจนอาจจะทำให้แกนเหล็กเสียหาย หรือทำให้เกิดการลัดวงจรระหว่างขดลวดได้

(2) ฉนวนที่คั่นระหว่างแกนเหล็ก หรือ โยีค (Yoke) กับแผ่นยึดเสื่อม เนื่องจากความร้อนจากกระแสวน (Eddy Current) รอบ ๆ ตัวมัน

(3) การสั่นสะเทือน เช่น เกิดจากการ

---

[4] S. Austen Stigant, H. Morgan Lacay, A.C. Franklin. J & P Transformer Book. Chapter 24

สับ (Switching) หม้อแปลงตัวเปล่า ก่อให้ความเสียหายดังกล่าวใน 2 ข้อข้างต้นได้

(4) ขอบของแผ่นแกนเหล็ก และโยค (Yoke) อาจจะไม่เรียบเนื่องจากการใช้เครื่องมือไม่ถูกต้องประกอบ จึงเกิดการช็อต (Short) กันระหว่างแผ่น เกิดมีกระแสไหลวน (Eddy Current) ก่อให้เกิดความร้อนสูงได้

(5) การใช้แผ่นแกนเหล็ก (Core) บางเกินกำหนดไม่สามารถรับความหนาแน่นของฟลักซ์ (Flux Density) ได้ดีพอ

(6) เกิดฟลักซ์ (Flux) สูงเกินกำหนดเช่น แมคเนติค อินรัช (Magnetic Inrush) ขณะสับหม้อแปลงตัวเปล่า เกิด ดี ซี ฟลักซ์ (D.C. Flux) เนื่องจากแต่ละขดลวดของหม้อแปลงแบบมีจุดรวมไม่สมดุลย์กัน ผลจากคลื่น ฮาร์โมนิก (Harmonic Wave) ที่สูงกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งฮาร์โมนิคที่สาม เป็นต้น

2.1.2.2 สาเหตุที่มีผลต่อวงจรกระแส

(1) ขดลวดที่พันซ้อนกันอยู่ มีความคมตามขอบอยู่ เมื่อมีความสะเทือนขึ้นเนื่องจากการจ่ายกระแส หรือมีช็อคทางกระแสแม่เหล็ก (Electro Magnetic Shock) จากการเกิดฟอลต์หรือการตัดตอน (Switching) ความคมจะบาดฉนวนที่หุ้มอยู่จนเกิดการช็อต (Short) ระหว่างเทอร์น (Turn) ที่ติดกันได้

(2) ขดลวดซึ่งมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมพันซ้อนกันอยู่เลื่อนขยับหรือขณะพันเกิดการบิด ทำให้เหลี่ยมขอบกดกันอยู่ หรือใช้เครื่องรัดระหว่างเทอร์น (Turn) แรงไป เมื่อเกิดความสะเทือนจึงทำให้เกิดช็อตกันได้

(3) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการจ่ายกระแสอย่างรวดเร็ว ทำให้ลวดทองแดงยืดและหด ซึ่งทำให้ฉนวนที่หุ้มอยู่มีแรงกดเปลี่ยนแปลงตามไป เมื่อเป็นบ่อย ๆ เข้า ขณะฉนวนรับแรงกดมากก็อาจจะเกิดการแฟลช (Flush) ขึ้นได้

(4) ถ้าลวดที่ใช้มีขนาดหนามากกว่าความสูงมาก ร่องที่เว้นไว้ให้น้ำมันเข้าไประบายความร้อนอาจไม่พอที่จะลดความร้อนที่เกิดภายในลวดได้ ซึ่งจะทำลายคุณสมบัติการเป็นฉนวนของฉนวนที่หุ้มได้

(5) การเชื่อมต่อขดลวดที่ไม่สมบูรณ์ ก่อให้เกิดความร้อนที่จุดต่อนั้นมาก จนอาจหลุดจากกัน หรือความร้อนนั้นแผ่ขยายไปตามขดลวด ทำลายฉนวนและเปลี่ยนสภาพของน้ำมันให้เลวลง จนทำให้เกิดการช็อตกันได้

(6) ขดลวดที่ซ้อนกันอยู่แต่รับกระแสต่างกัน เช่น เป็นขดลวดปฐมภูมิ (Primary) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) จะเกิดแรงแม่เหล็กกระทำไม่เท่ากัน ซึ่งจะมีระยะห่างต่างกัน เป็นผลให้เกิดแรงกดระหว่างกันขึ้น อาจมีผลนำไปสู่การเปลี่ยนรูปร่างได้

(7) สาเหตุที่อาจนำไปสู่การช็อตระหว่างเทอร์น (Turn) หรือขดลวดกับดิน (Earth) เนื่องจากฉนวนกันไม่ได้ อาจมีสาเหตุมาจาก

ก. เกิดแรงดันสูงจากการตัดตอนหรือเกิดฟ้าผ่าเข้ามากระทบหม้อแปลง ซึ่งมีค่าความต้านทานชั่วขณะ (Surge Impedance) เปลี่ยนจากสายส่ง ดังนั้นปลายขดลวดที่ต่อออกมานี้อาจเกิดเสียหายได้

ข. ขดลวดที่เปิดอยู่ เช่น ปลายต่อจุดรวม (Tapping Neutral) หรือจุดกลาง (Mid Point) จะมีโอกาสเกิดแรงดันสูงเช่นกัน เพราะความต้านทานชั่วขณะ (Surge Impedance) เปลี่ยนค่ามาก

ค. การตัดหม้อแปลงออกจากระบบเส้นแรงแม่เหล็กถูกลดลงอย่างทันที อัตราการเปลี่ยนแปลงรวดเร็วเช่นนี้ก่อให้เกิดแรงดันสูงขึ้นได้ (เกิด รี สไตรค์ (Restrike))

(8) จุดต่อที่ต้องการรับกระแสถ้าไม่ดีพออาจหลุด เนื่องจากการสั่นสะเทือน หรือความร้อนที่เกิดขึ้น

2.1.2.3 ผลเสียในวงจรไดอีเล็กตริก (Dielectric)

(1) ความชื้นทำลายฉนวนจนถึงเนื้อทองแดง (อาจจะใช้น้ำมันไว้กันได้มาก) หรือลดค่าความเป็นฉนวนลง เช่น การไล่ความชื้นไม่ครบกรรมวิธี หรือควบคุมไม่ดี จนไม่อาจทนแรงดันอยู่ได้ จึงเกิดการช็อตเทอร์น (Short Turn) ขึ้น

(2) การที่หม้อแปลงจ่ายกระแสเกินกำหนดนาน ๆ ความร้อนในหม้อแปลงจะสูง ทำให้ฉนวนกรอบแตกได้ สามารถเกิดลัดวงจรระหว่างเทอร์น (Turn) ได้ และน้ำมันจะเกิดตะกอนตกอยู่ตามก้นถัง และจับตามขดลวดและแกนเหล็ก กันทางเดินน้ำมัน ทำให้การระบายความร้อนมีน้อยลง นอกจากนี้ยังอาจเกิดน้ำและกรดได้ หม้อแปลงที่มีอัตราส่วนของความร้อนในขดลวด (Copper Loss) ต่อความร้อนในแกนเหล็ก (Iron Loss) สูงมาก จะมีโอกาสเกิดเหตุการณ์เช่นนี้ได้มาก

(3) การสร้างฉนวนถ้ามีที่ผิดพลาด เช่น มีฟองอากาศ หรือเกิดช่องว่างระหว่างฉนวนและตัวนำ (Conductor) ค่าไดอีเล็กตริก (Dielectric) ก็อาจจะต่ำลง เพราะอากาศแตกตัวได้

(4) อาจเกิด โคโรน่า (Corona) ขึ้นในตำแหน่งที่มีชั้นแรงดัน (Voltage Gradient) สูง เช่น ขอบแหลมของตัวนำ

(5) น้ำมันจะระเหยและเปลี่ยนสภาพได้ ดังนั้นต้องระวังคอยเปลี่ยนและเติมน้ำมันให้เต็มอยู่เสมอ ไม่เช่นนั้นหม้อแปลงจะเกิดความร้อนสูงเกินไป

(6) ระยะห่างระหว่างเฟสอาจน้อยลง หรือแผ่นฉนวนกั้นระหว่างเฟสอาจเคลื่อนที่ ทำให้เกิดลัดวงจรระหว่างเฟสได้

(7) ในบางขณะเนื่องจากมีประจุแบบอีเล็กโตรสแตติค (Electro Static Capacitances) ระหว่างขดลวดปฐมภูมิ (Primary) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) ซึ่งอาจทำให้เกิดแรงดันสูงในขดลวดแรงดันต่ำ

(8) ถ้ามีสิ่งแปลกปลอมที่นำไฟฟ้าได้ปนอยู่ในน้ำมัน จะนำไปสู่การ แฟลช โอเวอร์ (Flash Over) ได้

(9) วงแหวนเหล็กที่ทำหน้าที่ยึดขดลวดโดยอาศัยสกรู (Screw) ปรับแรงยึดนั้นต้องระวังฉนวนสกรูให้ดี

2.1.2.4 ผลเสียหายอื่น ๆ

(1) ตัวถังของหม้อแปลงเกิดรั่วขึ้นเนื่องจากการสร้างหรือการขนส่งที่ไม่ระวัง ทำให้น้ำมันรั่วได้

(2) หม้อแปลงที่ใช้ แกชรีเลย์เป็นตัวป้องกัน ถ้าเติมน้ำมันในขณะอุณหภูมิของน้ำมันไม่เป็นไปตามกำหนด อาจทำให้รีเลย์ทำงานผิดพลาดได้ ซึ่งจะขาดการป้องกันจากรีเลย์นี้ไป

(3) ฝุ่นละอองและเกลือแร่ที่เกิดจับตามลูกถ้วยภายนอกเป็นตัวทำให้เกิดการแฟลชโอเวอร์ (Flash Over) ได้

(4) หม้อแปลงแรงต่ำที่ต้อง จ่ายกระแสสูง เช่นจ่ายให้เตาหลอม ต้องใช้ขดลวดเส้นใหญ่ขนานกัน อาจมีความต้านทาน (Impedance) ไม่เท่ากัน หรือหม้อแปลงที่ใช้จ่ายกระแสขนานกัน การเลื่อนแทป (Tap) ต้องเหมือนกัน แต่อาจไม่สมดุลย์จริง จะมีส่วนที่ต้องจ่ายกระแสมากกว่าปกติจนไหม้ได้

(5) สภาพแวดล้อมที่ติดตั้งหม้อแปลง ต้องคำนึงถึงการระบายความร้อนได้พอ เช่น ไม่ใกล้กันเกินไป ไม่ใกล้แหล่งกำเหนิดความร้อนอื่นมากเกินไป เป็นต้น

(6) ไอน้ำมันที่ระเหยจากหม้อแปลง อาจเกิกระเบิดได้ถ้ามีเปลวไฟอยู่ใกล้

(7) การระบายความร้อนพิเศษของหม้อแปลงหยุดชะงัก เช่น การเร่งความหมุนเวียนน้ำมัน เพิ่มพัดลมระบายความร้อนพิเศษ ต้องรีบลดการจ่ายกระแสลงให้ทัน

(8) หม้อแปลงที่ใช้น้ำช่วยระบายความร้อน ทางเดินของน้ำอาจตันได้ง่าย เนื่องจากการใช้น้ำที่ไม่สอาด และน้ำอาจวิ่งเข้าไปปนกับน้ำมันเนื่องจากการผุกร่อนระหว่างชั้น

ทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วนี้เป็นสาเหตุส่วนหนึ่งที่อาจทำความเสียหายให้หม้อแปลง จากการรวบรวมข้อมูลมาเป็นเวลาหลายสิบปี 70 – 80 % ของการเสียหายเกิดจากการลัดวงจรระหว่างเทอร์น (Turn) ซึ่งจะเห็นได้ดังแยกกล่าวไว้ข้างต้นแล้ว สาเหตุ

จากทางเดินของแม่เหล็ก จากฉนวน จากไดอีเล็คตริค (Dielectric) ส่วนใหญ่ให้ผลเป็นรูปความร้อนสูง ซึ่งทำลายฉนวน เป็นผลนำไปสู่การลัดวงจรนั่นเอง

2.2 การต่อหม้อแปลงแบบต่าง ๆ และผลที่ตามมา

เมื่อหม้อแปลงเกิดฟอลต์ (Fault) นั้น ย่อมมีผลต่อระบบอย่างมากหรือน้อยในลักษณะใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของฟอลต์ (Fault) และคุณลักษณะและการต่อหม้อแปลงนั้น ๆ

เราอาจแบ่งการต่อหม้อแปลงใช้งานได้เป็น[5]

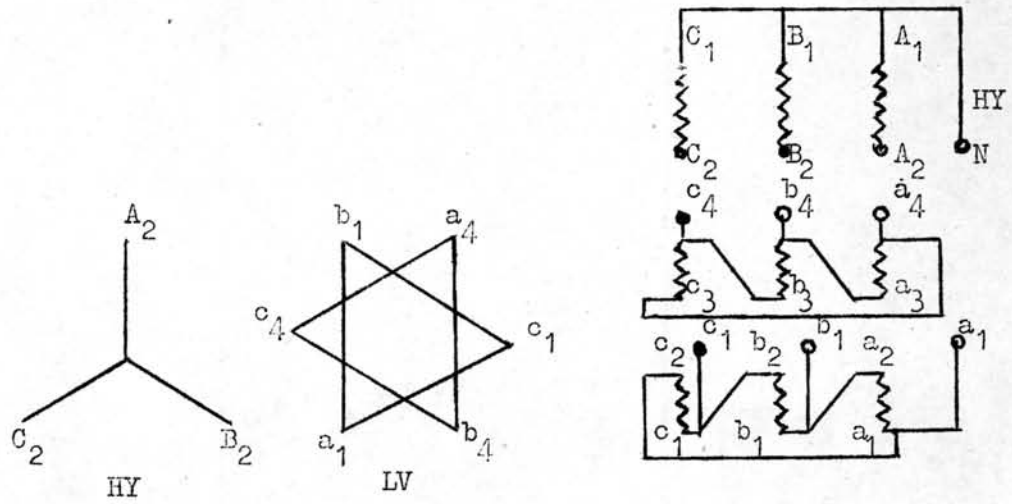
ชนิดขดลวดแยกกัน

3 เฟส	เป็น	3 เฟส	
สตาร์ (Star)	/	สตาร์ (Star)	
สตาร์ (Star)	/	สตาร์พร้อมด้วยขดที่ 3 เป็นเดลตา (Delta)	
เดลตา (Delta)	/	เดลตา (Delta)	
เดลตา (Delta)	/	ซิกแซก (Zigzag)	
วี (Vee)	/	วี (Vee)	
ที (Tee)	/	ที (Tee)	
สตาร์ (Star)	/	เดลตา (Delta)	หรือกลับกัน
สตาร์ (Star)	/	ซิกแซก (Zigzag)	หรือกลับกัน

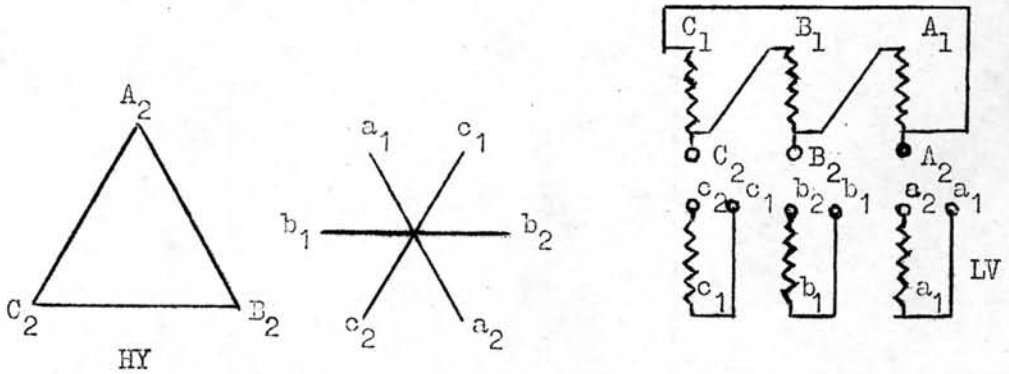
---

[5] S. Austen Stigant, H. Morgan Lacay, A. C. Franklin. J & P Transformer Book Chapter 7.

3 เฟส	เป็น	6 เฟส
สตาร์	/	สตาร์ 2 ชั้น (Double Star) หรือ ไดอาเมตริค (Diametric)
เดลตา (Delta)	/	เดลตา 2 ชั้น (Double Delta)
สตาร์ (Star)	/	เดลตา 2 ชั้น (Double Delta)
เดลตา (Delta)	/	สตาร์ 2 ชั้น (Double Star)



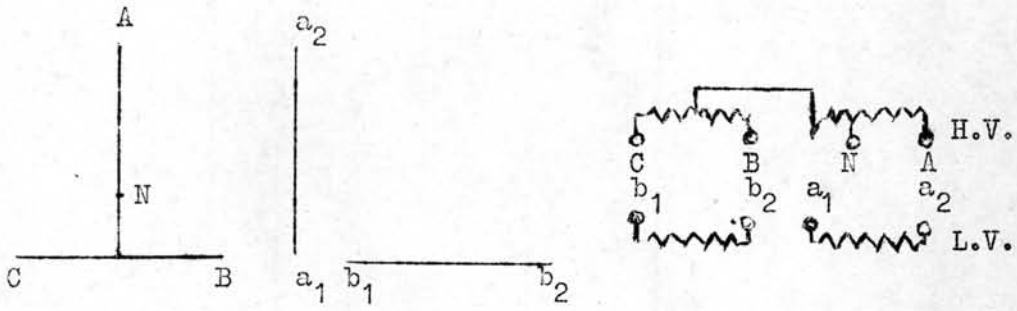
รูปที่ 2.4 สตาร์ / เดลตา 2 ชั้น (Star / Double Delta)



รูปที่ 2.5 เดลตา / สตาร์ 2 ชั้น (Delta / Double Star)

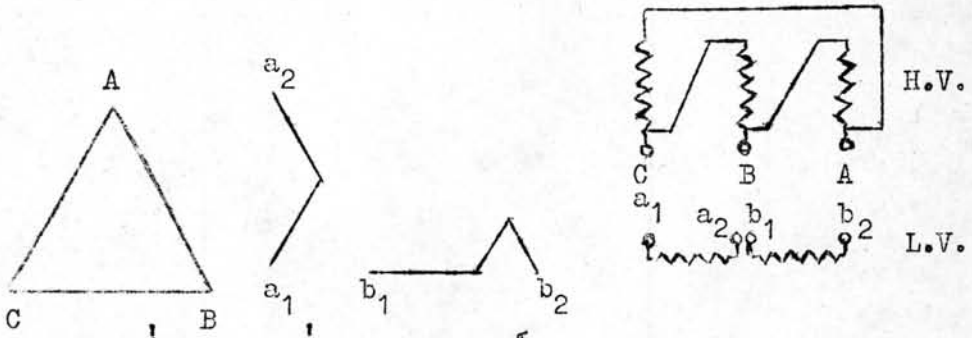
3 เฟส เป็น 2 เฟส

สกอต (Scott)



รูปที่ 2.6 การต่อแบบ สกอต (Scott Connexion)

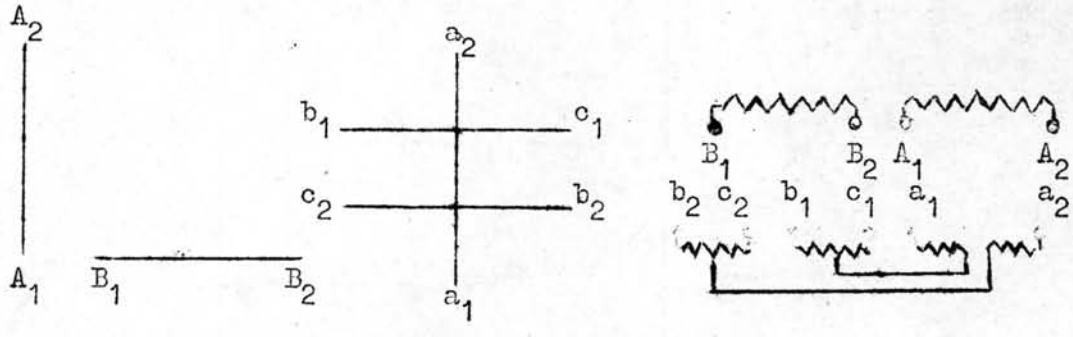
เลอบลังค์ (Le Blanc)



รูปที่ 2.7 การต่อแบบ เลอบลังค์ (Le Blanc Connexion)

2 เฟส เป็น 6 เฟส

สกอต 2 ชั้น (Double Scott)



รูปที่ 2.8 การต่อแบบ สกอต 2 ชั้น (Double Scott Connexion)

ชนิดออโตทรานส์ฟอร์มเมอร์ (Auto Transformer) ซึ่งทำให้มีราคาถูกลง

3 เฟส เป็น 3 เฟส มี

สตาร์ (Star)

เดลตา (Delta)

วี (Vee)

ที (Tee)

สตาร์ (Star) / ซิกแซก (Zigzag)

2 เฟส เป็น 3 เฟส มี

สกอต (Scott) และ เลอบลังก์ (Le Blanc)

การต่อหม้อแปลงแต่ละแบบให้ข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป [6] อาทิเช่น

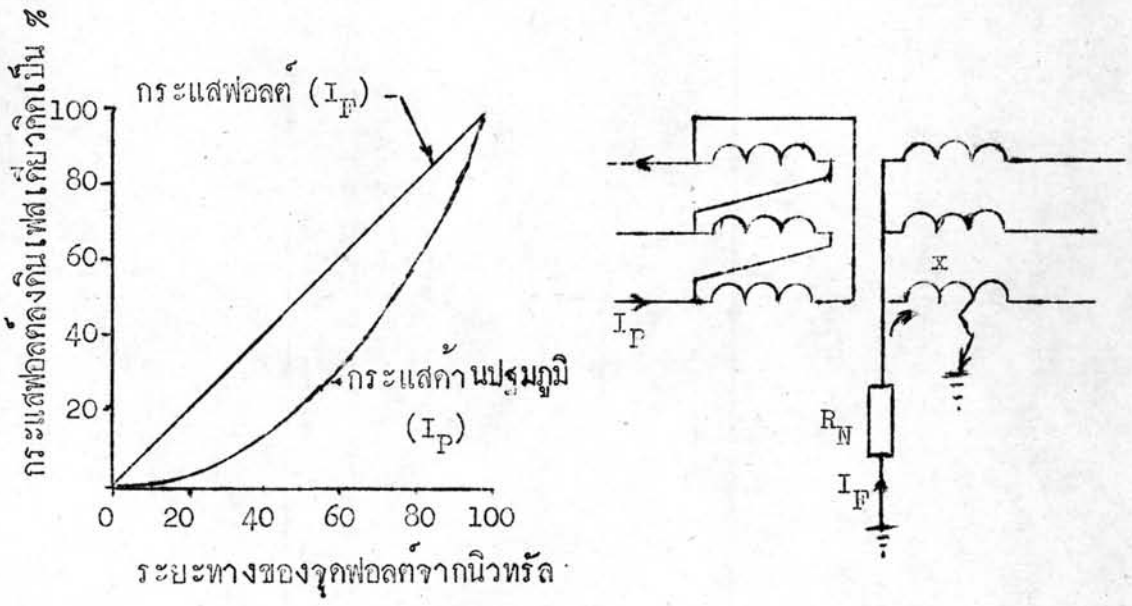
ถ้าต่อเป็นเดลตา เนื่องจากขดลวดต้องรับแรงดันไม่น้อยกว่า 50 % ดังนั้นต้องใส่ฉนวนมาก เหมาะจะใช้กับระบบแรงดันต่ำที่มีกระแสสูง เพราะกระแสในสายเป็น $\sqrt{3}$ เท่าของกระแสในขดลวด และไม่มีฮาร์โมนิคที่สาม (3rd Harmonics) ในสายด้วย จึงได้มีการใช้เดลตาเป็นขดลวดที่ 3 ในสตาร์ออโตทรานส์ฟอร์มเมอร์ เพื่อลดกระแสฮาร์โมนิคที่ 3, กระแสฟอลต์ลงกิน ในขดลวดที่ต่อเดลตาขึ้นกับการต่อลงกินของระบบซึ่งจะไม่สูงนัก ค่าความต้านทานของขดลวดเดลตาโดยประมาณถ้าเกิดช็อตลงกิน ที่กลางขดลวดจะสูงถึง 25 - 50 % และกระแสยังไหลเข้ามาจาก 2 เฟส ซึ่งแต่ละเฟสจะต่ำที่เดียว อาจน้อยกว่าการจ่ายกระแสเต็มอีก

ถ้าต่อเป็นสตาร์ แรงดันบนขดลวดจะลดลงเมื่อเข้าไปยังจุดรวม สามารถใช้ฉนวนลดลงได้ตามลำดับ เหมาะกับระบบแรงดันสูงที่มีกระแสต่ำ มีจุดนิวทรัล (Neutral) ให้ใช้งาน เช่น ต่อลงกินได้ ซึ่งทำให้มีทางเดินของ ซีโร ซีเคานส์ (Zero Sequence)

---

[6] GEC Measurements. Protective Relays Application Guide P.290-291

และกระแสฮาร์โมนิคที่ 3 ได้ กระแสฟอลต์ลงดิน สำหรับขดลวดที่ต่อสตาร์ มี นิวทรัล (Neutral) ต่อลงดินผ่านความต้านทาน จะเป็นสัดส่วนกลับกับความต้านทานที่ใช้ และระยะใกล้จุด นิวทรัล (Neutral) คือแรงดันกร่อมจุดฟอลต์นั่นเอง

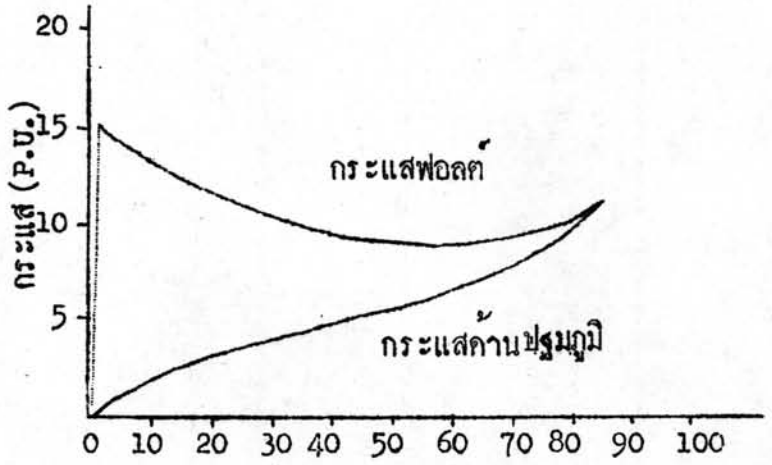


$$I_F \propto \frac{x\ KV}{R_N}$$

x คือส่วนของขดลวดจากนิวทรัล (Neutral) ถึงจุดฟอลต์ (Fault)

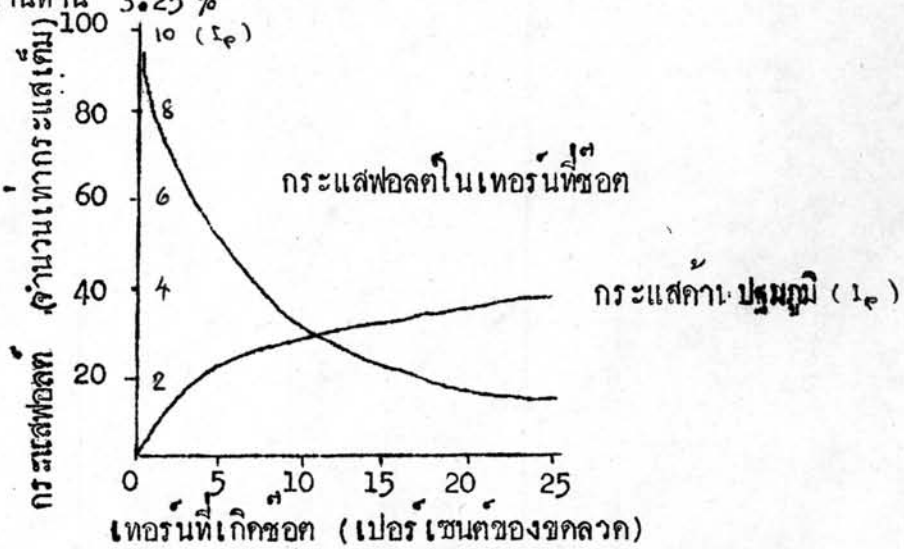
รูปที่ 2.9 แสดงกระแสฟอลต์ลงดินในขดลวดที่ต่อสตาร์ ต่อผ่านความต้านทานลงดิน

สำหรับขดลวดที่ต่อแบบสตาร์ที่ต่อลงดินโดยตรง กระแสฟอลต์ลงดินขึ้นโดยตรงกับ ลีคเกจ รีแอคแทนส์ (Lackage Reactance) ของขดลวด ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งที่เกิดลงดินขึ้นยิ่งใกล้จุดนิวทรัล (Neutral) ค่ารีแอคแทนส์ (Reactance) นี้ยิ่งต่ำมาก กระแสฟอลต์จะสูงขึ้น ดังแสดงไว้ในรูป 2.10



รูปที่ 2.10 กระแสฟอลต์ลงดินในขดลวดที่ต่อสตาร์ ที่ต่อลงดินโดยตรง

การเกิดลัดวงจรระหว่างเทอร์น (Turn) จำนวนน้อย เกิดขึ้นได้บ่อย กระแสในช่วงเทอร์น (Turn) ที่ชอต (Short) กันนั้นจะสูงมาก แต่เมื่อแปลงไปเป็นกระแสภายนอกหม้อแปลงแล้วจะมีค่าต่ำ เพราะมีอัตราส่วนกระแสแปลงสูง ดังรูปที่ 2.11 แสดงปริมาณกระแสที่วนรอบเทอร์นที่ฟอลต์ซึ่งเกิดขึ้นที่จุดกึ่งกลางของขดลวดของหม้อแปลงที่มีค่าความต้านทาน 3.25 %



รูปที่ 2.11 กระแสเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างเทอร์นต่อจำนวนเทอร์นที่เกิดชอต