บทที่ 6

การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

เพื่อให้มั่นใจได้ว่าหม้อแปลงที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการสามารถรับโหลดที่กำหนดและทนต่อสภาวะที่ผิดปกติได้ มีอายุการใช้งานได้ในระยะยาว เราจึงทำการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า การพิสูจน์ว่าหม้อแปลงไฟฟ้านี้มีอายุการใช้งานได้ยาวนานแค่ไหนก็คือการใช้งานหม้อแปลงนั้นจริง ๆ แต่ในทางปฏิบัติคงจะรอผลอย่างนั้นไม่ได้ จึงต้องประเมินโดยการทดสอบตามเกณฑ์มาตรฐาน การทดสอบเป็นการตรวจสอบคุณภาพและหาข้อผิดผลาดที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการออกแบบและการประกอบสร้าง

หม้อแปลงที่ออกแบบและสร้างนี้จัดเป็นหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในระบบจำหน่าย ฉะนั้นการทดสอบจะปฏิบัติตามมาตรฐานนานาชาติ คือ IEC 76-1976 (Power Transformers Part 1, 2 and 3) การทดสอบมีรายการและลำดับการทดสอบดังต่อไปนี้

1) การวัดค่าความต้านทานของขดลวด
2) การวัดอัตราส่วนของแรงดันและการตรวจสอบสัญลักษณ์ของกลุ่มเวกเตอร์
3) การวัดค่าแรงดันอิมพีแดนซ์และเปอร์เซ็นต์เรกูเลชัน
4) การวัดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด
5) การวัดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียและกระแสขณะไม่มีโหลด
6) การทดสอบความทนต่อแรงดันเกิน
7) การทดสอบอุณหภูมิเพิ่ม
8) การทดสอบความทนต่อแรงดันอิมพัลส์

ก่อนทำการทดสอบใด ๆ จะตรวจสอบสภาพการฉนวนของหม้อแปลงด้วยเมกเกอร์ โดยวัดค่าฉนวนระหว่างจุดต่าง ๆ ซึ่งได้ผลดังนี้

- ระหว่างขดลวดแรงสูงกับขดลวดแรงต่ำได้เท่ากับ 5000 MΩ
- ระหว่างขดลวดแรงสูงกับตัวถังหม้อแปลงได้เท่ากับ 5000 MΩ
- ระหว่างขดลวดแรงต่ำกับตัวถังหม้อแปลง 5000 MΩ

6.1 การวัดค่าความต้านทานของขดลวด

ค่าความต้านทานของขดลวดใช้ในการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดง และใช้ในการพิจารณาอุณหภูมิเพิ่มของขดลวดในเรื่องการทดสอบอุณหภูมิเพิ่ม ค่าความต้านทานวัดด้วยบริดจ์ชนิดที่มีความแม่นยำสูง การวัดค่าความค้านทานนี้จะต้องทราบอุณหภูมิของขดลวดในขณะที่วัด ถ้าอุณหภูมิของบรรยากาศโดยรอบหม้อแปลงมีค่าคงที่เป็นเวลาหลายชั่วโมง ก็จะอนุโลมได้ว่าอุณหภูมิของขดลวดมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของก๊าซภายในหม้อแปลง

ค่าความต้านทานที่วัดได้จนแปลงไปเป็นค่าความต้านทานที่อุณหภูมิอ้างอิง คือ $75^{\circ}C$ [11] คือ

$$\text{ความต้านทานที่ } 75^{\circ}C = \frac{\text{ค่าความต้านทานที่วัดได้} \times (234.5 + 75)}{234.5 + \text{อุณหภูมิของขดลวดขณะทำการวัด}}$$

ในการวัดค่าความต้านทานจะวัดที่ขั้ว A, B และ C ของขดลวดแรงสูงที่ต่อภายในเป็น Δ ดังนั้น ถ้าวัดขั้ว A กับ B ค่าความต้านทานต่อเฟสจะเท่ากับ $\frac{3}{2}$ ของค่าที่วัดได้ ส่วนขดลวดแรงต่ำวัดที่ขั้ว a, b และ c เช่นกัน ค่าความต้านทานต่อเฟสจะเท่ากับ $\frac{1}{3}$ ของค่าที่วัดได้ เนื่องจากขดลวดภายในต่อเป็นแบบ Y รายละเอียดรูปการต่อขดลวดภายในแสดงในรูป 5.12 ผลการวัดค่าความต้านทานแสดงในตาราง 6.1

ตารางที่ 6.1 ค่าความต้านทานของขดลวด

	ขดลวดแรงสูง ohms			ขดลวดแรงต่ำ ohm		
อุณหภูมิ	A-B	B-C	C-A	a-b	b-c	c-a
$29^{\circ}C$	2.18	2.23	2.26	0.0034	0.0031	0.0034
$75^{\circ}C$	2.56	2.62	2.65	0.004	0.0036	0.004

6.2 การวัดอัตราส่วนแรงดันและการตรวจสอบสัญลักษณ์ของกลุ่มเวกเตอร์

การวัดอัตราส่วนทำได้โดยป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz 240 V เข้าทางด้านแรงสูงทีละเฟสแล้ววัดแรงดันเหนี่ยวนำทางด้านแรงต่ำในทีละเฟสเดียวกัน โดยแต่ละเฟสจะทำ 5 ครั้งตั้งแต่จุดแยกจุดที่ 1 ถึงจุดที่ 5 ดังแสดงในรูป

ผลการทดสอบอัตราส่วนของแรงดันดังแสดงในตาราง 6.2

ตารางที่ 6.2 อัตราส่วนของแรงดัน

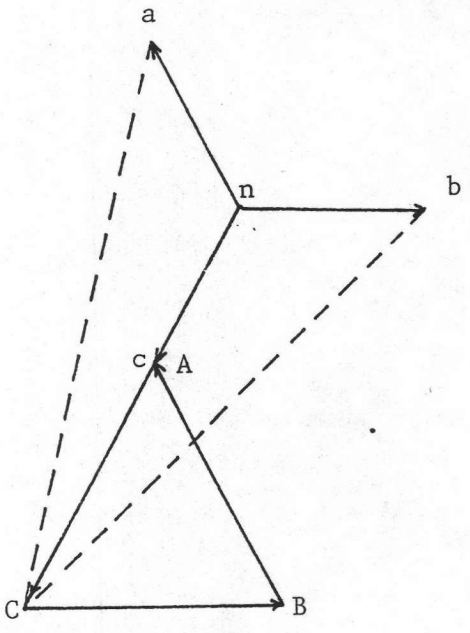
จุดแยกที่	1	2	3	4	5
ขดลวดแรงสูง	12000	11700	11400	11100	10800
ขดลวดแรงต่ำ	240	240	240	240	240

การตรวจสอบสัญลักษณ์ของกลุ่มเวกเตอร์ว่าเป็น Dy 11 หรือไม่ ทำได้โดยการต่อขั้ว A และ c ของหม้อแปลงเข้าด้วยกัน ป้อนแรงดันระหว่างสาย 400 V เข้าทางด้านแรงสูงของหม้อแปลงทั้ง 3 เฟสแล้ววัดแรงดันค่าต่าง ๆ ดังนี้คือ V_{a-C} , V_{b-C} , V_{C-c} (V_{C-A}), V_{c-n} (V_{A-n})

ถ้า $V_{a-C} = V_{b-C}$

และ $V_{C-n} = V_{A-n} + V_{C-A}$

แสดงว่าสัญลักษณ์กลุ่มเวกเตอร์ของหม้อแปลงเป็น Dy 11 ดังแสดงด้วยเฟสเซอร์ไดอะแกรมในรูป 6.1

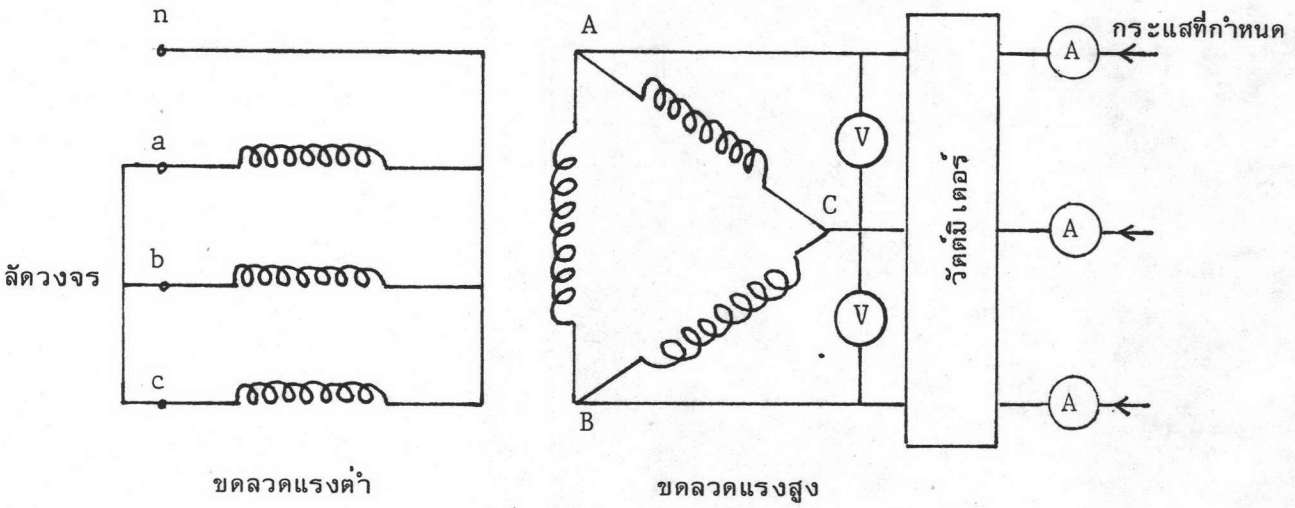


รูป 6.1 เฟสเซอร์ไดอะแกรมในการตรวจสัญลักษณ์กลุ่มเวกเตอร์

ผลการทดสอบได้ผลดังแสดงข้างต้น ดังนั้นหม้อแปลงจึงมีสัญลักษณ์กลุ่มเวกเตอร์เป็น Dy 11

6.3 การวัดค่าแรงดันอิมพีแดนซ์และเปอร์เซ็นต์เรกูเลชัน

การวัดค่าแรงดันอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงทำได้โดยใช้วิธีลัดวงจรขดลวดทางด้านแรงต่ำ และป้อนกระแสที่กำหนดเข้าทางขดลวดด้านแรงสูงดังในรูป 6.2 โดยในการวัดจะป้อนแรงดันเข้าทางด้านแรงสูงจนกระทั่งกระแสที่ไหลเข้าขดลวดแรงสูงมีค่าเท่ากับกระแสที่กำหนด ค่าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์ (ต่อแบบวิธีการวัดกำลังไฟฟ้าโดยใช้วัตต์มิเตอร์สองตัว) คือค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด ค่าแรงดันที่อ่านได้จากโวลท์มิเตอร์คือ ค่าแรงดันอิมพีแดนซ์ที่ตกคร่อมในหม้อแปลง



รูป 6.2 วงจรทดสอบหาค่าแรงดันอิมพีแดนซ์และ
กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด

จากค่าที่วัดได้คำนวณเปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์ได้ดังนี้

$$PC_Z = \frac{\text{แรงดันที่วัดได้}}{\text{แรงดันที่กำหนด}} \times 100$$

ค่ารีแอกแตนซ์สามารถหาได้จากอิมพีแดนซ์และค่าความต้านทานได้ดังนี้

$$X_t = \sqrt{(Z^2 - R_t^2)}$$

โดยที่ $Z = \frac{\text{แรงดันที่วัดได้}}{\text{กระแสที่กำหนด}}$

R_t = ความต้านทานประสิทธิผล

$$= \frac{\text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะมีโหลดที่วัดได้}}{3 \times (\text{กระแสที่กำหนด})^2}$$

ผลการทดสอบ

ตารางที่ 6.3 ค่าแรงดันอิมพีแดนซ์และค่ารีแอกแตนซ์

อุณหภูมิ	อุณหภูมิที่วัด $29^{o}C$	อุณหภูมิอ้างอิง $75^{o}C$
แรงดันที่วัดได้ (V)	418.8	-
P_t ที่วัดได้ (W)	3717	4366
กระแสที่กำหนด(A)	24.06	-
PC_Z (%)	3.49	4.10
Z (ohms/ph)	29.65	34.82
R_t (ohms/ph)	3.32	3.90
X_t (ohms/ph)	29.46	34.60
PC_r (%)	0.74	0.87
PC_x (%)	3.41	4.00

จากค่าในตารางที่ 6.3 สามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์เรกูเลชันได้จากสมการ (2.12) และ (2.13) ดังนี้

ที่ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ = 1 ; เปอร์เซ็นต์เรกูเลชัน = $0.87 + \frac{(4.00)^2}{200}$

$= 0.95$

ที่ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์=0.8 ; เปอร์เซ็นต์เรกูเลชัน = $(0.8 \times 0.87) + (0.6 \times 4.0) + \frac{(0.8 \times 4.0 - 0.6 \times 0.87)^2}{200}$

$= 3.13$

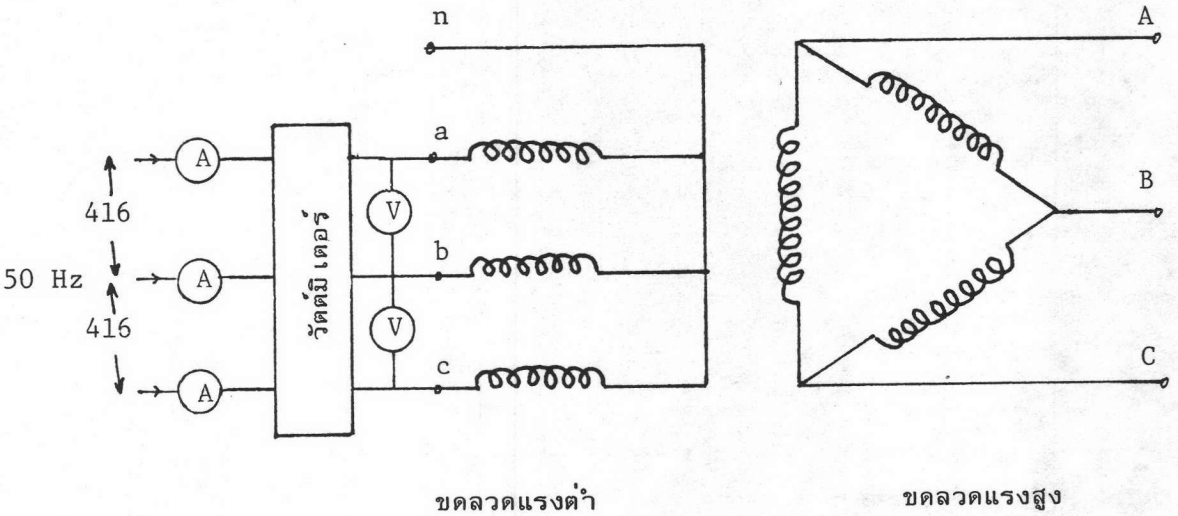
6.4 <u>การวัดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด</u>

ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดที่กระแสกำหนดก็คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับหม้อแปลงที่ทำการทดสอบหาค่าแรงดันอิมพีแดนซ์ดังรูป 6.2 ในข้อ 6.3 ค่าที่วัดได้ที่อุณหภูมิห้องจะต้องแปลงไปหาค่าที่อุณหภูมิ $75^{o}C$ ตามที่มาตรฐานกำหนด

ผลการวัดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดที่อุณหภูมิ $29^{o}C$ มีค่าเท่ากับ 3717 W ฉะนั้น ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดที่ $75^{o}C$ จะเท่ากับ 4366 W

6.5 <u>การวัดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียและกระแสขณะไม่มีโหลด</u>.

ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียและกระแสขณะไม่มีโหลดต้องวัดที่แรงดันและความถี่ที่กำหนด โดยการป้อนแรงดันกระแสสลับเข้าทางด้านขดลวดแรงต่ำ ส่วนขดลวดแรงสูงนั้นเปิดวงจร ค่าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์ (โดยใช้วิธีวัตต์มิเตอร์ 2 ตัว) คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียของหม้อแปลงขณะไม่มีโหลด และค่ากระแสที่ได้ คือ กระแสขณะไม่มีโหลดของหม้อแปลง วงจรทดสอบแสดงในรูป 6.3



รูป 6.3 วงจรวัดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียและกระแสขณะไม่มีโหลด

ผลการทดสอบ แสดงในตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 กำลังไฟฟ้าสูญเสียและกระแสขณะไม่มีโหลด

แรงดันที่ป้อน (V)	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (W)	กระแส (A)
416	1321	11.04

เมื่อทราบค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะมีโหลดและไม่มีโหลดแล้วจะคำนวณประสิทธิภาพของหม้อแปลงที่ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ = 1 และค่าโหลดที่กำหนดได้

P_{cc} = 1321 W จากข้างต้น

P_t = 4366 W ที่ $75^{o}C$ จากข้อ 6.4

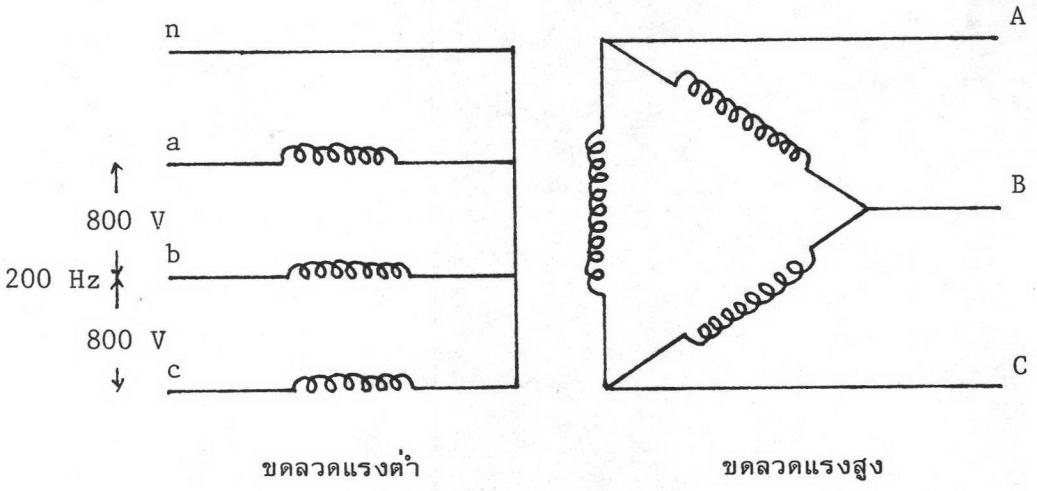
ดังนั้น $\eta = \dfrac{500 \times 10^3}{500 \times 10^3 + (1321+4366)}$

$= 99.88$ %

6.6 การทดสอบความทนต่อแรงดันเกิน

6.6.1 การทดสอบความทนต่อแรงดันเกินของฉนวนระหว่างขดลวด

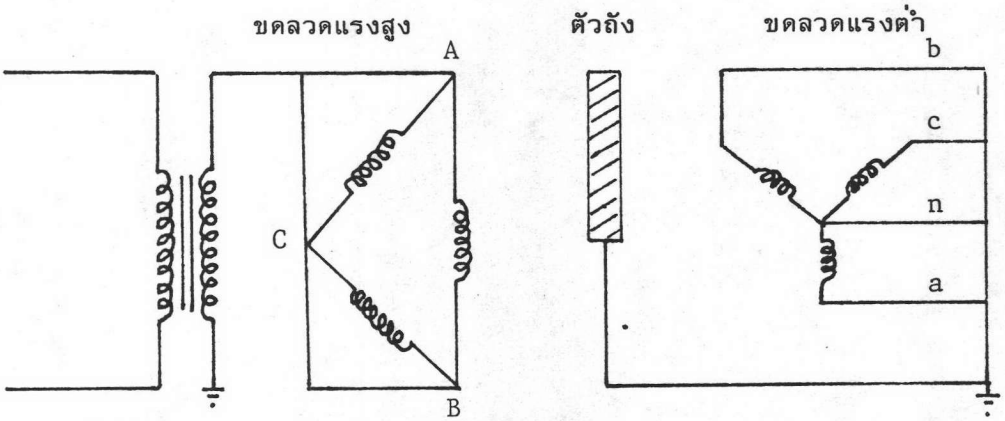
เป็นการทดสอบฉนวนระหว่างรอบของขดลวดระหว่างเฟส โดยป้อนแรงดันเกินแรงดันที่กำหนดถึง 2 เท่าเข้าทางขดลวดแรงต่ำ ที่ความถี่สูงกว่าความถี่ที่กำหนดพอสมควร เพื่อหลีกเลี่ยงกระแสเกิน เนื่องจากการกระตุ้นของขดลวดวงจรทดสอบดังในรูป 6.4



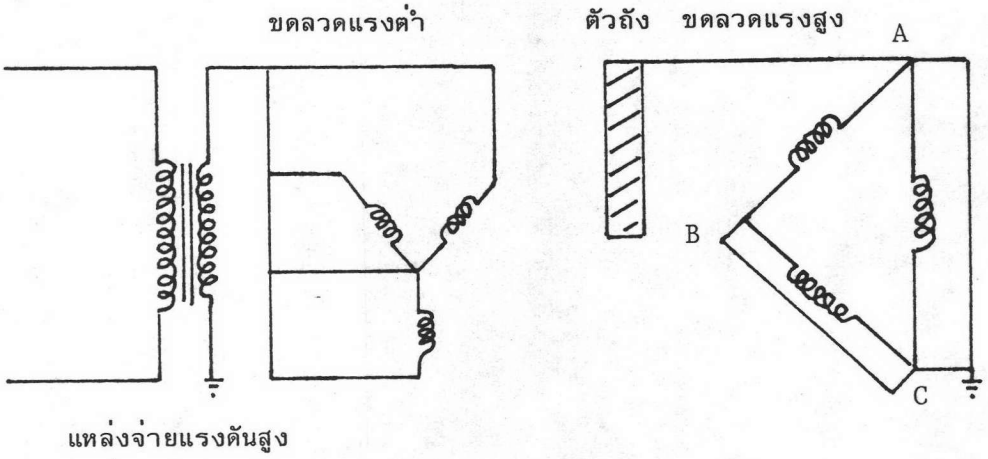
รูป 6.4 วงจรทดสอบความทนต่อแรงดันเกิน

6.6.2 การทดสอบความทนต่อแรงดันจากตัวจ่ายอื่น

เป็นการทดสอบฉนวนที่กั้นระหว่างขดลวดแรงสูงกับขดลวดแรงต่ำ และขดลวดแรงสูงกับตัวถัง โดยต่อวงจรในรูป 6.5 แรงดันทดสอบจากตัวจ่ายอื่นเป็นแรงดันกระแสสลับเฟสเดียว ความถี่ 50 Hz เวลาในการทดสอบแต่ละค่า 1 นาที ระดับแรงดันที่ทดสอบทางด้านแรงสูง 30 kV และทางด้านแรงต่ำ 3 kV



ก. ป้อนแรงดัน 30 kV เป็นเวลา 1 นาที



ข. ป้อนแรงดัน 3 kV เป็นเวลา 1 นาที

รูป 6.5 วงจรทดสอบความทนต่อแรงดันจากตัวจ่ายอื่น

6.7 การทดสอบอุณหภูมิเพิ่ม

การทดสอบอุณหภูมิเพิ่มของหม้อแปลงใช้วงจรทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดง ดังในรูป 6.2 โดยจะลัดวงจรขดลวดทางด้านแรงต่ำ และป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz เข้าทางขดลวดด้านแรงสูงจนอ่านค่ากำลังไฟฟ้าได้เท่ากับค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด ที่ $75^{o}C$ ที่หาได้จากข้อ 6.4 และ 6.5 รวมกัน บันทึกค่าอุณหภูมิเพิ่มของก๊าซส่วนบนทุก ๆ ชั่วโมง จนอุณหภูมิที่วัดได้แตกต่างกันไม่เกิน $1^{o}C$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หรือใช้หาจากกราฟอุณหภูมิและเวลาโดยวัดถึงจุดที่อุณหภูมิเพิ่มไม่เกิน $3^{o}C$ ต่อ 1 ชั่วโมง ค่าสุดท้ายที่ได้จากการวัดหรือจากกราฟเป็นค่าอุณหภูมิส่วนบนของก๊าซ เมื่อจะหาอุณหภูมิเพิ่มของก๊าซจะต้องหักค่าอุณหภูมิของบรรยากาศที่อุณหภูมิสุดท้ายออกด้วย อุณหภูมิเพิ่มของก๊าซจุดนี้ได้ค่าเป็น ΔT_1

เมื่ออุณหภูมิของก๊าซส่วนบนถึงจุดสูงสุดแล้ว ให้ลดการป้อนกำลังไฟฟ้าลงถึงค่ากระแสที่กำหนดของหม้อแปลง คงค่านี้ไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ต่อจากนั้นให้วัดอุณหภูมิของก๊าซส่วนบนอีกครั้งค่าที่อ่านได้เป็น T_2 ค่านี้ไม่หักอุณหภูมิของบรรยากาศ จากนั้นให้ตัดกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดแรงสูงทันที แล้ววัดค่าความต้านทานด้านแรงสูง R_h และด้านแรงต่ำ R_ℓ เทียบกับเวลา นำค่าความต้านทานที่วัดได้มาเขียนกราฟเทียบกับเวลาเพื่อหาค่าความต้านทานR_h กับR_ℓ ณ จุดที่ตัดกำลังไฟฟ้า ได้ค่าเป็น R_{h1} กับ $R_{\ell 1}$ นำค่าต่าง ๆ ที่ได้คำนวณหาอุณหภูมิเพิ่มของขดลวดได้ดังนี้

$$\text{อุณหภูมิเพิ่มของขดลวดแรงสูง} = \Delta T_1 + \left\{\frac{R_{h1}}{R_{ho}} (234.5+T_o) - 234.5 - T_2\right\}$$

$$\text{อุณหภูมิเพิ่มของขดลวดแรงต่ำ} = \Delta T_1 + \left\{\frac{R_{\ell 1}}{R_{\ell o}} (234.5+T_o) - 234.5 - T_2\right\}$$

โดยที่ T_o คือ อุณหภูมิของบรรยากาศตอนเริ่มต้นการทดสอบ

R_{ho} คือ ความต้านทานของขดลวดแรงสูงที่อุณหภูมิ T_o

$R_{\ell o}$ คือ ความต้านทานของขดลวดแรงต่ำที่อุณหภูมิ T_o

ผลการทดสอบอุณหภูมิเพิ่ม

อุณหภูมิเพิ่มของก๊าซตอนบน $\Delta T_1 = 47\ ^{o}C$

อุณหภูมิของบรรยากาศ T_0 29 ^{o}C

อุณหภูมิของก๊าซ ณ จุดตัดกำลังไฟฟ้า $T_2 = 44\ ^{o}C$

หลังจากตัดกำลังไฟฟ้าแล้ว วัดค่าความต้านทานด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำเทียบกับเวลา นำค่าความต้านทานที่ได้มาเขียนกราฟเพื่อหาค่าความต้านทาน ณ จุดตัดกำลังไฟฟ้า ดังแสดงในกราฟรูป 6.6ก. และ 6.6ข. ได้ค่าดังนี้

ค่าความต้านทาน R_{h1} ณ จุดตัดกำลังไฟฟ้า = 2.524 ohms

ค่าความต้านทาน $R_{\ell 1}$ ณ จุดตัดกำลังไฟฟ้า = 0.00371 ohm

ค่าความต้านทาน R_{h0} ณ อุณหภูมิ T_0 = 2.220 ohms

ค่าความต้านทาน $R_{\ell 0}$ ณ อุณหภูมิ T_0 = 0.00329 ohm

ดังนั้นจะคำนวณอุณหภูมิเพิ่มของขดลวดได้ดังนี้

อุณหภูมิเพิ่มของขดลวดแรงสูง $= 47 + \{\frac{2.524}{2.220}\ (234.5+29)\ -234.5 - 44\ \}$

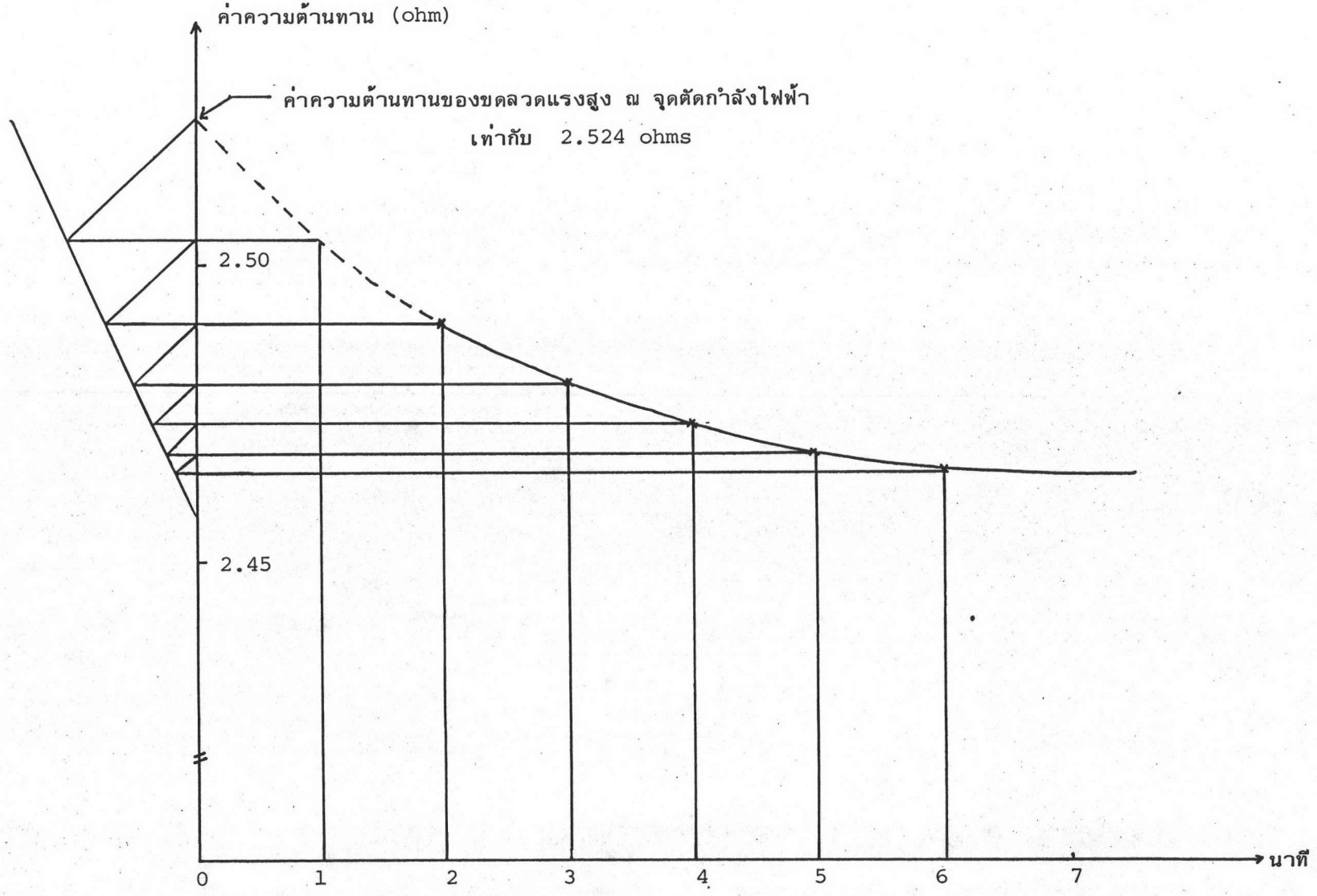
$= 68\ ^{o}C$

อุณหภูมิเพิ่มของขดลวดแรงต่ำ $= 47 + \{\frac{0.00371}{0.00329}\ (234.5+29)\ -234.5 - 44\ \}$

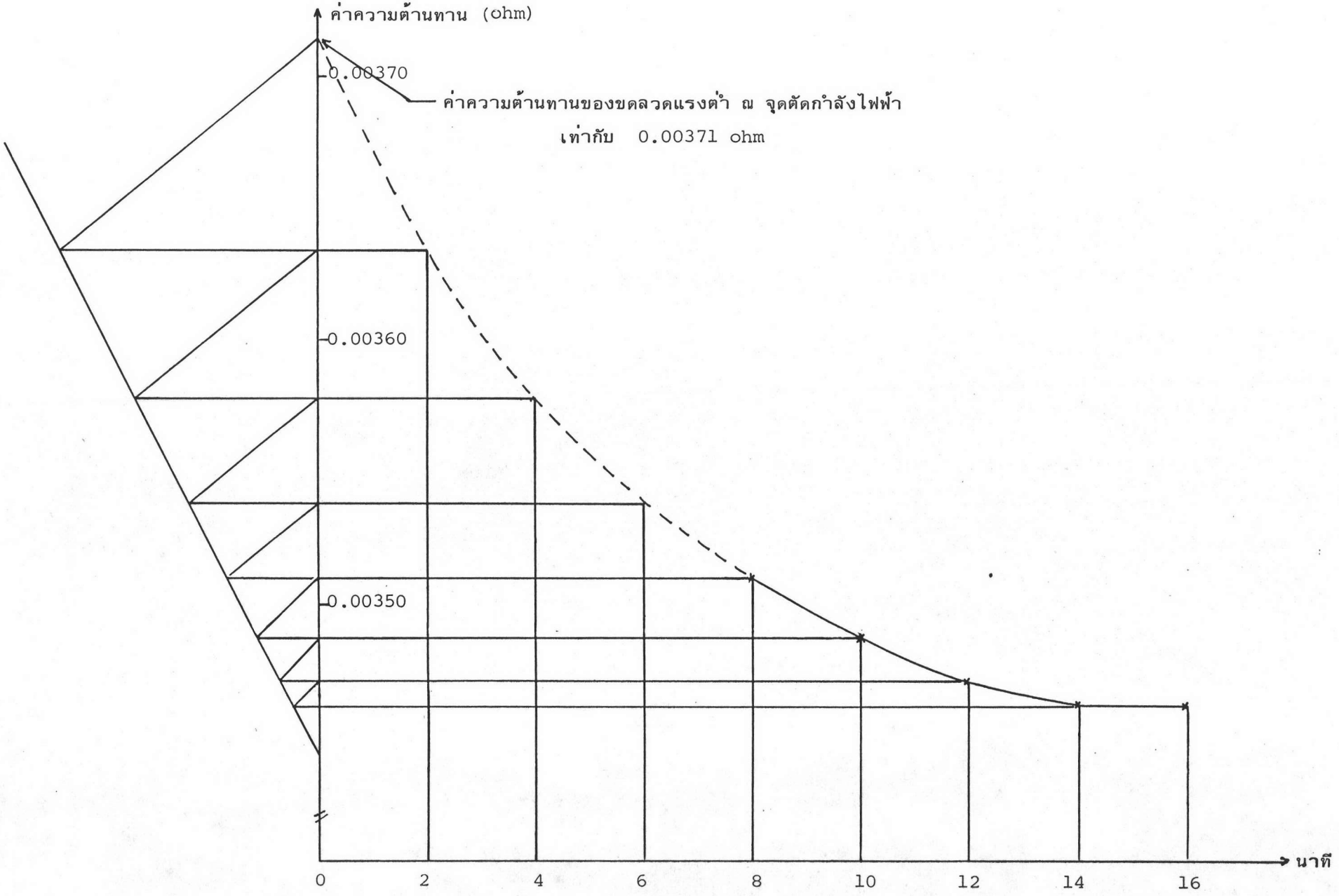
$= 65.6\ ^{o}C$

ตาราง 6.5 ผลการวัดค่าความต้านทานเทียบกับเวลา

นาทีที่	ความต้านทานแรงสูง ohms	นาทีที่	ความต้านทานแรงต่ำ ohm
2	2.49	8	0.00351
3	2.48	10	0.00349
4	2.473	12	0.00347
5	2.468	14	0.00346
6	2.465	16	0.00346



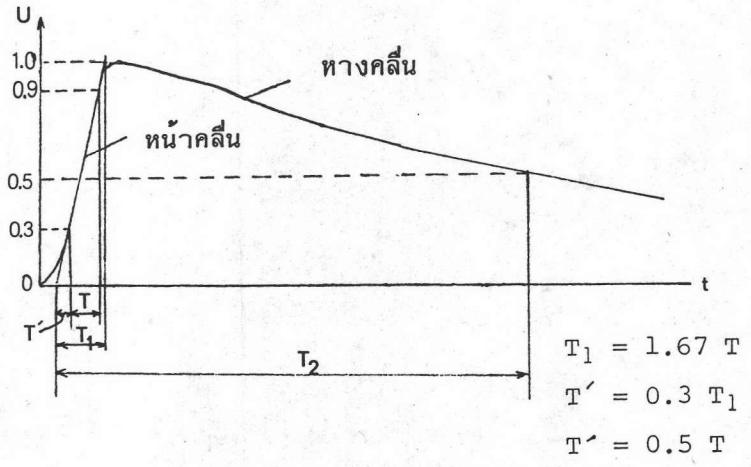
รูป 6.6ก. ค่าความต้านทานของขดลวดแรงสูงเทียบกับเวลา



รูป 6.6ข. ค่าความต้านทานของขดลวดแรงต่ำเทียบกับเวลา

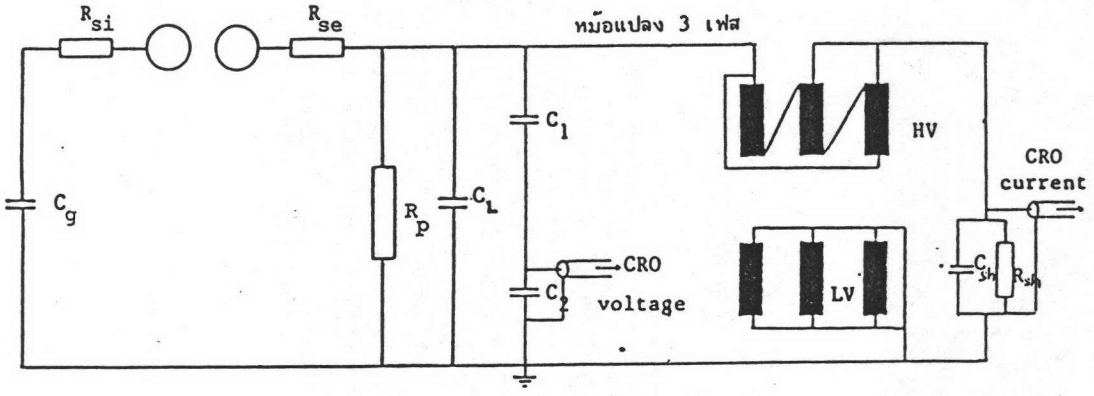
6.8 การทดสอบความทนต่อแรงดันอิมพัลส์ (BIL Test)

เป็นการทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า กำหนดด้วยเวลาช่วงหน้าคลื่น T_1 เวลาช่วงหางคลื่น T_2 ขนาดแรงดัน V_m ขั้วของแรงดันลบ รูปคลื่นเต็ม ซึ่งมาตรฐานกำหนดไว้ แสดงในรูป 6.7ก รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ 1.2/50 μsec



รูป 6.7ก. รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่ารูปคลื่นเต็ม

วงจรทดสอบประกอบด้วยเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์และองค์ประกอบปรับรูปคลื่น ระบบวัดแรงดันทดสอบและกระแสอิมพัลส์ที่ไหลผ่านขดลวดที่ทดสอบ การต่อขั้วหม้อแปลงที่จะทดสอบจะป้อนแรงดันเข้าทางด้านขดลวดแรงสูงทีละเฟส ส่วนขั้วที่ไม่ได้ทำการทดสอบจะต่อลงดิน ดังแสดงในรูป 6.7ข.



รูป 6.7ข.วงจรทดสอบและการต่อขั้วหม้อแปลง

C_g = ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุอิมพัลส์

C_L = ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุโหลด

C_1, C_2 = ความจุไฟฟ้าภาคแรงสูงและแรงต่ำของไวลเตจดิไวเดอร์

C_{sh} = ความจุไฟฟ้าของตัวชันต์

R_{si} = ความต้านทานภายในอนุกรมของวงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

R_{se} = ความต้านทานภายนอกต่ออนุกรมสำหรับปรับหน้าคลื่น

R_{sh} = ความต้านทานของตัวชันต์

R_p = ความต้านทานต่อแบบขนาน

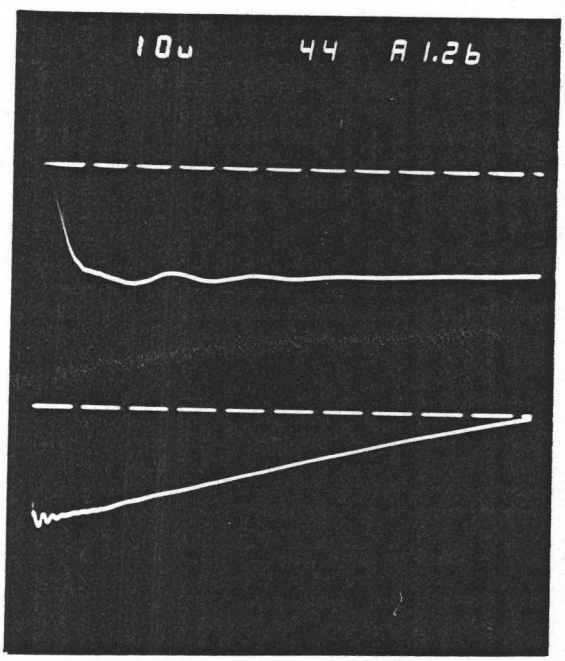
การป้อนแรงดันจะป้อนทีละเฟสแรงดันทดสอบคือ 75 kV แต่ละเฟสจะทดสอบตามลำดับขั้นดังนี้

1) ป้อนแรงดันอิมพัลส์ลดระดับ (Reduced full wave = RF) มีค่าระหว่าง 50-75 % ของแรงดันทดสอบ 1 ครั้ง บันทึกรูปคลื่นแรงดันและกระแสผ่านขดลวดทดสอบไว้

2) ป้อนแรงดันทดสอบรูปคลื่นเต็ม (Full wave = F) 100 % ของค่าแรงดันทดสอบ 2 ครั้ง บันทึกแรงดันและกระแสไว้

ขั้วลบ

สเกลเวลา : หน้าคลื่น 1 µsec/div. หางคลื่น 10 µsec/div.



A 1 - WF รูปคลื่นมาตรฐาน 44 kV

หน้าคลื่น 1 µsec

หางคลื่น 50 µsec

รูป 6.8 ก.

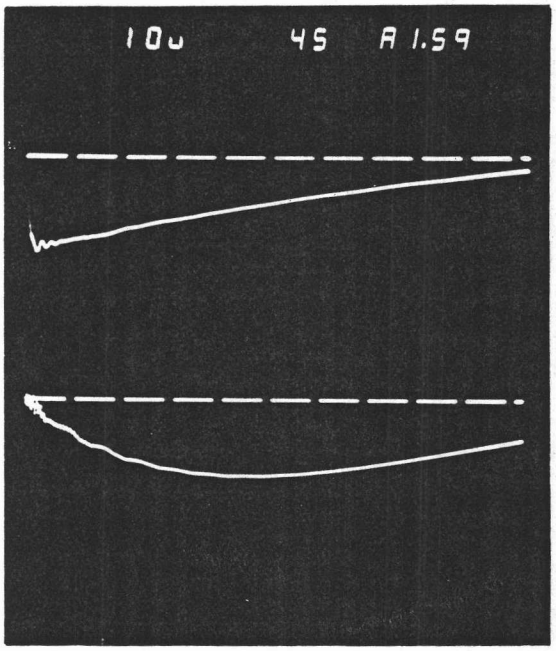
รูป 6.8 รูปคลื่นกระแสและแรงดันทดสอบอิมพัลส์

ขั้วลบ

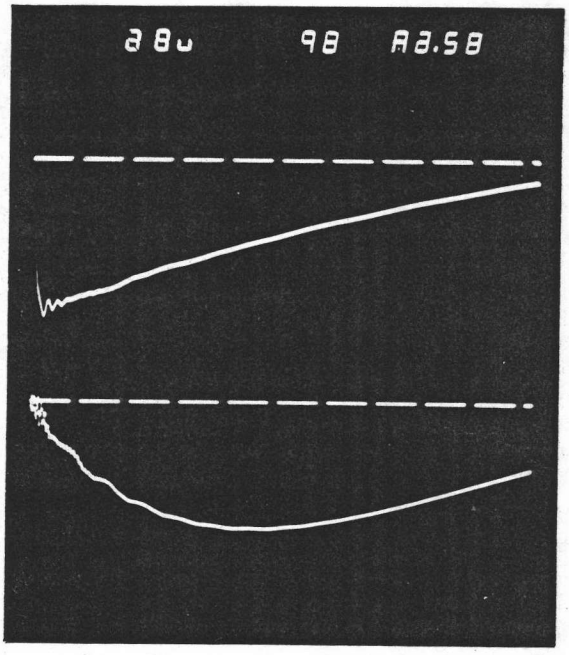
สเกลเวลา :

แรงดัน : 10 µsec/div. (รูปบน)

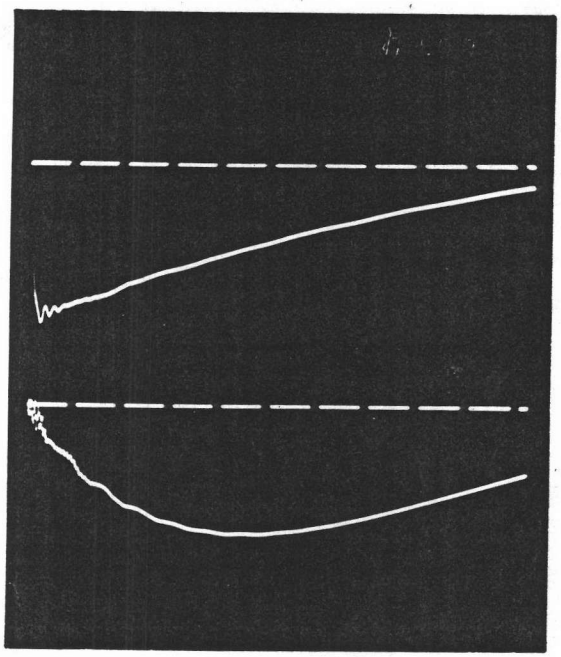
กระแส : 25 µsec/div. (รูปล่าง)



A 2 - RFWV 45 kV



A 3 - FWV 74 kV



A 4 - FWV 76 kV

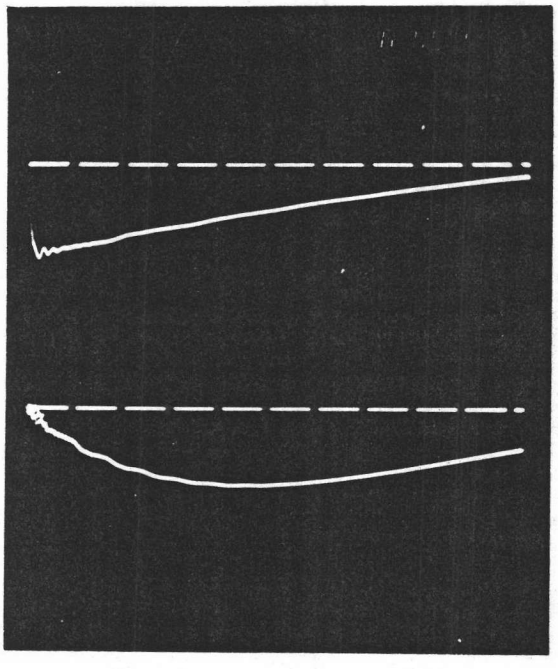
รูป 6.8 ข.

ขั้วลบ

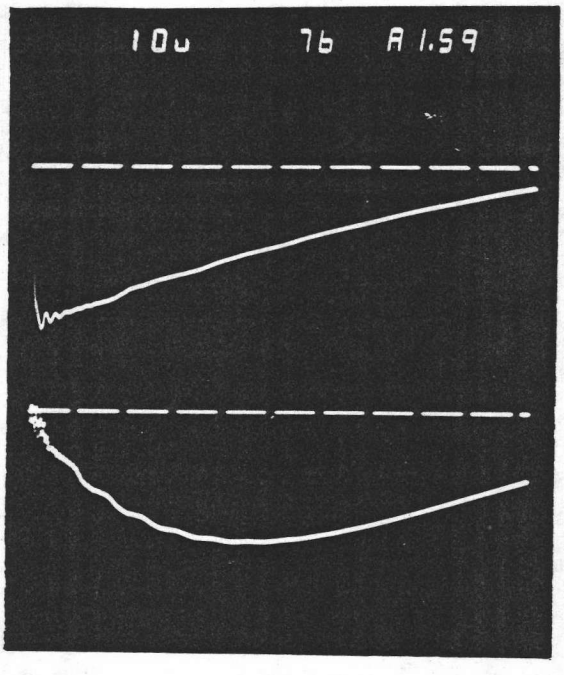
สเกลเวลา :

แรงดัน : 10 µsec/div. (รูปบน)

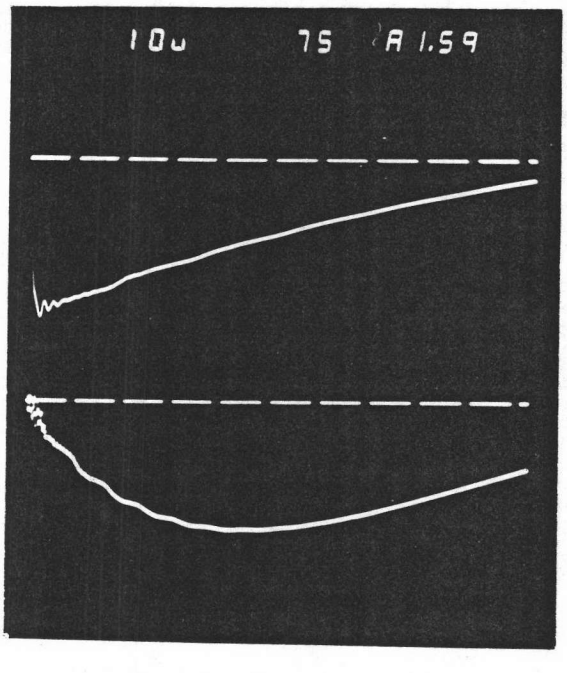
กระแส : 25 µsec/div. (รูปล่าง)



B 5 - RFWV 45 kV



B 6 - FWV 75 kV



B 7 - FWV 76 kV

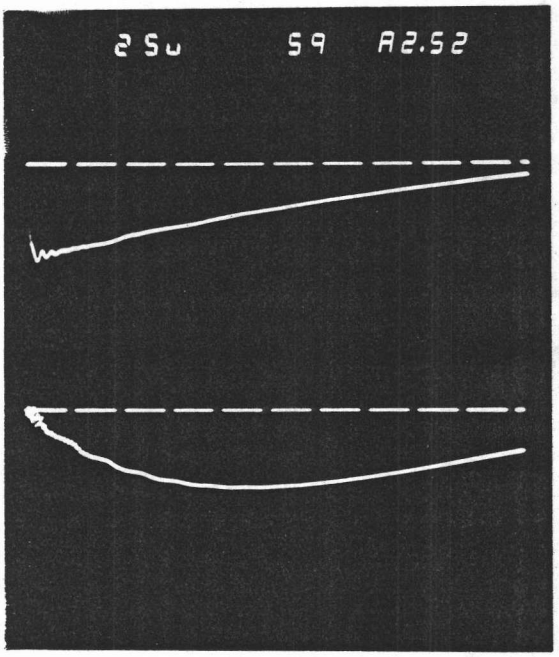
รูป 6.8 ค.

ขั้วลบ

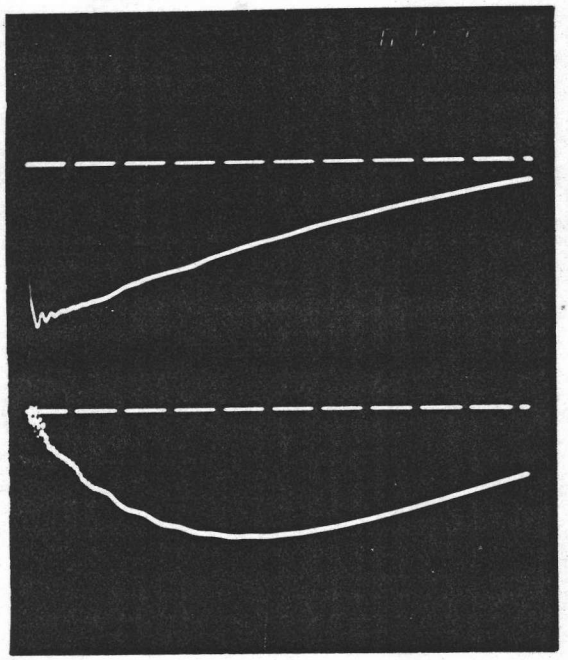
สเกลเวลา :

แรงดัน : 10 µsec/div. (รูปบน)

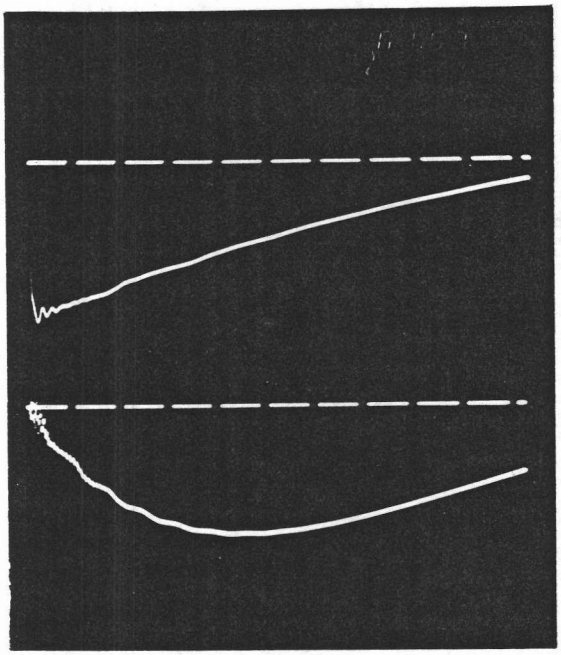
กระแส : 25 µsec/div. (รูปล่าง)



C 8 - RFWV 45 kV



C 9 - FWV 75 kV



C 10 - FWV 75 kV

รูป 6.8 ง.