



การทดสอบและการประเมินผล

หม้อแปลงทดสอบที่ประกอบสร้างขึ้น ได้ทำการทดสอบ เพื่อตรวจลักษณะสมบัติของหม้อแปลงว่าเป็นไปตามที่ได้ออกแบบหรือไม่ สามารถใช้งาน ได้ดีหรือไม่ โดยที่ไม่มีมาตรฐานสำหรับหม้อแปลงทดสอบโดยตรง ฉะนั้นการทดสอบจะทดสอบตามมาตรฐานกำหนด IEC Publ. 76-1976 Power Transformers บางรายการและเพิ่มเติมบางรายการ เนื่องจากหม้อแปลงทดสอบเป็นหม้อแปลงที่ใช้งานแตกต่างจากหม้อแปลง ให้อำกำลัง รายการทดสอบหม้อแปลงทดสอบที่ประกอบสร้างขึ้น มีดังต่อไปนี้

- การวัดค่าความต้านทานกระแสตรงของขดลวด
- การวัดอัตราส่วนแรงดันและการตรวจสอบขั้ว
- การวัดค่าการสูญเสียกำลัง ไฟฟ้าและกระแสไม่มีโหลด
- การวัดค่าการสูญเสียกำลัง ไฟฟ้ามีโหลดและแรงดันอิมพีแดนซ์
- การทดสอบความคงทนต่อแรงดันเกิน
- การทดสอบความคงทนต่อแรงดันจากตัวจ่ายอื่น
- การทดสอบอุณหภูมิเพิ่ม
- การทดสอบวัดค่าคิฮาร์จบางส่วน
- การตรวจสอบรูปคลื่นแรงดัน
- การทดสอบใช้งาน

5.1 การวัดค่าความต้านทานกระแสตรงของขดลวด

ขดลวดแรงดันต่ำและขดลวดค่อควมีความต้านทานค่า จึงใช้ Kenvin-Wheatstone Bridge T2222 SULIVAN เป็นเครื่องมือวัด ส่วนขดลวดแรงดันสูงมีความต้านทานสูงมาก จึงใช้ Multimeter FLUKE 77 เป็นเครื่องมือวัด ค่าที่วัด ได้แสดง ไว้ในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าความต้านทานกระแสตรงของขดลวด

หม้อแปลงทดสอบ	ขดลวด	ค่าความต้านทานกระแสตรง (Ω)			ความคลาดเคลื่อน (%)
		การวัด		การคำนวณ* 75 °C	
		26 °C	75 °C		
ตัวที่ 1	แรงดันต่ำชุดที่ 1	0.1740	0.2067	0.2227	7.18
	แรงดันต่ำชุดที่ 2	0.1740	0.2067	0.2227	7.18
	แรงดันสูง	6,660	7,913	9,388	15.71
ตัวที่ 2	ค่อควบ	0.4664	0.5541	0.5407	-2.48
	แรงดันต่ำชุดที่ 1	0.1736	0.2062	0.2227	7.41
	แรงดันต่ำชุดที่ 2	0.1735	0.2061	0.2227	7.45
	แรงดันสูง	6,830	8,115	9,388	13.56
	ค่อควบ	0.4680	0.5560	0.5407	-2.83

* คำนวณจากหัวข้อ 3.3.4, $(R_1 = P_1/I_1^2)$

อุณหภูมิขณะทำการวัด = 26 °C

ความต้านทานที่อุณหภูมิ 75 °C $R_{75 °C} = [(T_0+75)/(T_0+26)] \times R_{26 °C}$

เมื่อ T_0 คือ อุณหภูมิที่ความต้านทานเสมือนมีค่าเป็นศูนย์

สำหรับทองแดง $T_0 = 234.5 °C$

ดังนั้น $R_{75 °C} = [(234.5+75)/(234.5+26)] \times R_{26 °C}$

ความคลาดเคลื่อน (%) = $[(\text{ค่าจากการคำนวณ} - \text{ค่าจากการวัด})/\text{ค่าจากการคำนวณ}] \times 100$

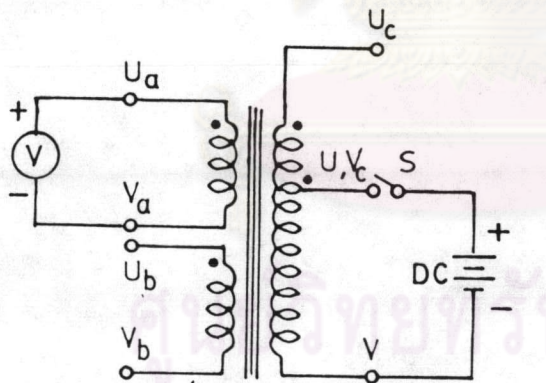
5.2 การวัดอัตราส่วนแรงดันและการตรวจสอบซ้ำ

การวัดอัตราส่วนแรงดันใช้ Standard Potential Transformer ratio ratio 600 : 1 ซึ่งมีความเที่ยงตรง $\pm 0.03\%$ อัตราส่วนแรงดันที่วัดได้แสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าอัตราส่วนแรงดันของชคลาวค

หม้อแปลงทดสอบ	อัตราส่วนแรงดันของชคลาวค	อัตราส่วนแรงดัน		ความคลาดเคลื่อน (%)
		การวัด	การคำนวณ	
ตัวที่ 1	แรงดันสูง : แรงดันต่ำ	452.11:1	454.54:1	0.53
	ต่อควบ : แรงดันต่ำ	1.15:1	1.14:1	-0.88
ตัวที่ 2	แรงดันสูง : แรงดันต่ำ	451.07:1	454.54:1	0.76
	ต่อควบ : แรงดันต่ำ	1.16:1	1.14:1	-1.75

การตรวจสอบขั้ว ใช้วิธีการทดสอบตามรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 วงจรการตรวจสอบขั้ว

DC = แบตเตอรี่ 4.5 V.

V = DC โวลต์มิเตอร์ 0-100 V.

S = สวิตช์ไฟ

หม้อแปลงทดสอบที่สร้างมีชคลาวคแรงดันต่ำ 2 ชุด ชคลาวคแรงดันสูง 1 ชุด และชคลาวคต่อควบอีก 1 ชุด จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบขั้ว

การทดสอบนั้นแบตเตอรี่ต้องต่อที่ชคลาวคแรงดันสูงเสมอ เพื่อลดอันตรายจากแรงดันสูงที่เหนี่ยวนำชั่วคราว โวลต์มิเตอร์จะต่อคร่อมที่ชคลาวคอื่น การตรวจสอบดูจากทิศทางการกระดิกของเข็ม เมื่อกดสวิตช์ S หากเข็มของโวลต์มิเตอร์กระดิกขึ้นในทิศทางบวก แสดงว่าขั้วแรงดันสูงที่ต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ จะเป็นขั้วเดียวกันกับขั้วที่ต่อเข้ากับขั้วบวกของ DC โวลต์มิเตอร์

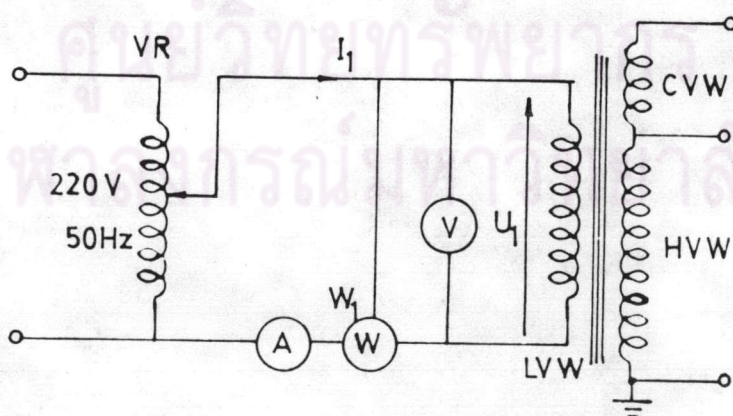
กำหนดขั้วปลายแรงดันสูง เป็น U และ ขั้วนิวทรัล เป็น V
 ขดลวดแรงดันต่ำจะกำหนดขั้ว
 สอดคล้องกับขดลวดแรงดันสูง เป็น U_a, U_b และ V_a, V_b
 ขดลวดต่อควบจะกำหนดขั้ว
 สอดคล้องกับขดลวดแรงดันสูง เป็น U_c และ V_c

5.3 การวัดค่าการสูญเสียกำลัง ไฟฟ้าและกระแสไม่มีโหลด

เมื่อหม้อแปลง ไม่ได้จ่าย โหลดที่แรงดันและความถี่ปกติ กำลังที่ป้อน เข้าจะเป็นกำลัง ไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก ซึ่งจะเป็นค่าคงที่ของ โหลดที่ใช้ทดสอบที่แรงดันและความถี่กำหนด

5.3.1 ทดสอบหม้อแปลงแต่ละตัว

ทดสอบตามวงจรรูปที่ 5.2 ค่อย ๆ เพิ่มแรงดันทีละขั้นเข้าทางด้านแรงดัน ต่ำ บันทึกค่าแรงดันที่ป้อนกระแสและกำลัง ไฟฟ้าที่ป้อน จนแรงดันค่า U_1 มีค่าประมาณ 220 V (เท่ากับค่าแรงดันพิกัดด้านแรงดันต่ำ) ข้อมูลแสดงในตารางที่ 5.3 และรูปภาพที่ 5.3

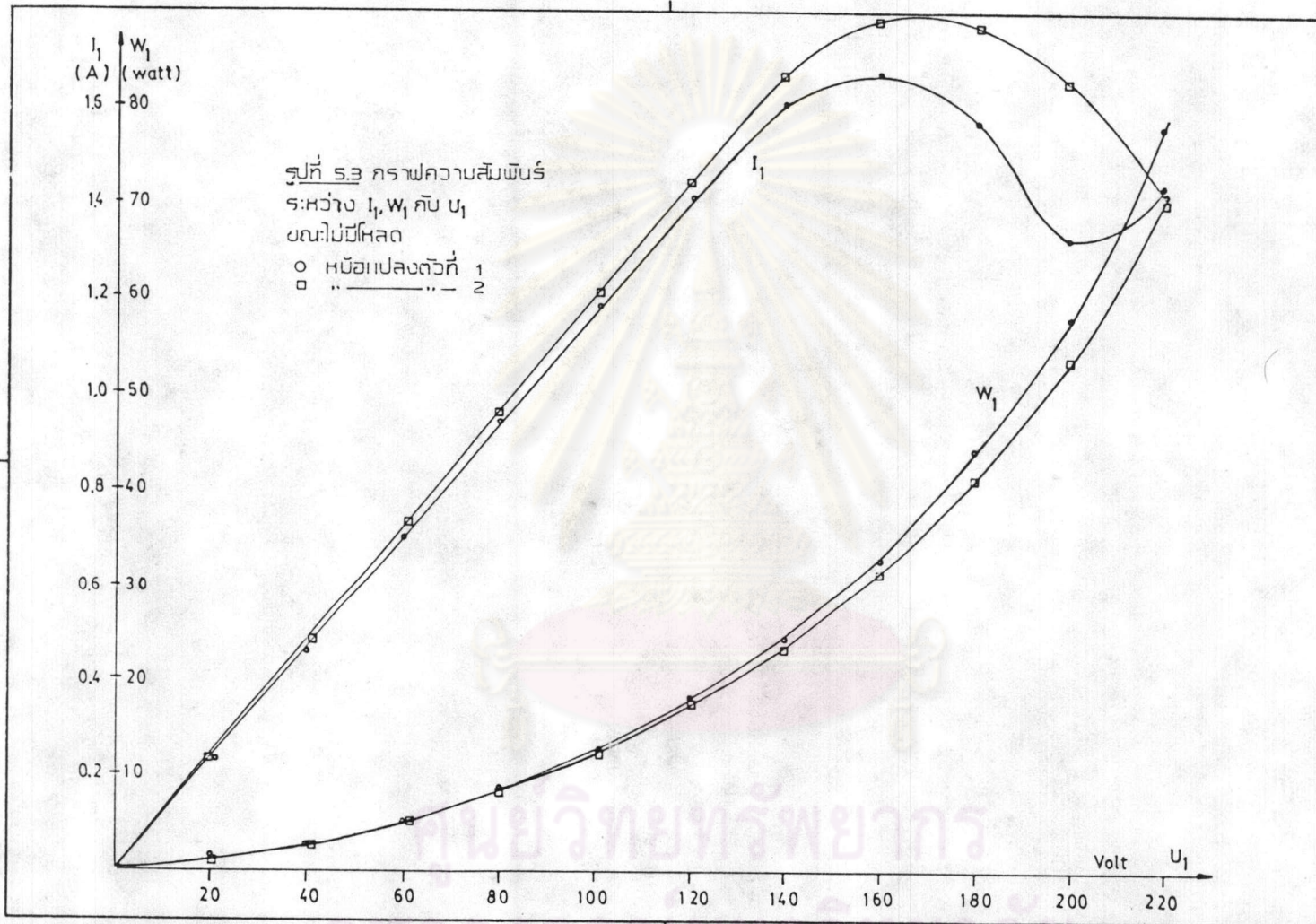


รูปที่ 5.2 วงจรทดสอบ ไม่มีโหลดของหม้อแปลงทดสอบแต่ละตัว

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบ ไม่มี โหลดของหม้อแปลงทดสอบแต่ละตัว

U_1 (Volt)		I_1 (A)		W_1 (Watt)	
ตัวที่ 1	ตัวที่ 2	ตัวที่ 1	ตัวที่ 2	ตัวที่ 1	ตัวที่ 2
20.7	20.2	0.23	0.23	1.5	1.5
40.3	40.5	0.46	0.48	2.5	2.5
60.1	60.8	0.70	0.73	5.0	5.0
80.3	80.1	0.94	0.96	8.5	8.5
100.7	100.9	1.18	1.21	12.5	12.5
120.5	120.4	1.41	1.44	18.0	17.5
140.1	140.4	1.61	1.66	24.0	23.0
160.0	160.5	1.67	1.78	32.0	31.0
180.5	180.5	1.57	1.76	44.0	41.0
200.2	200.0	1.32	1.65	58.0	53.0
220.2	220.5	1.44	1.40	78.0	71.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

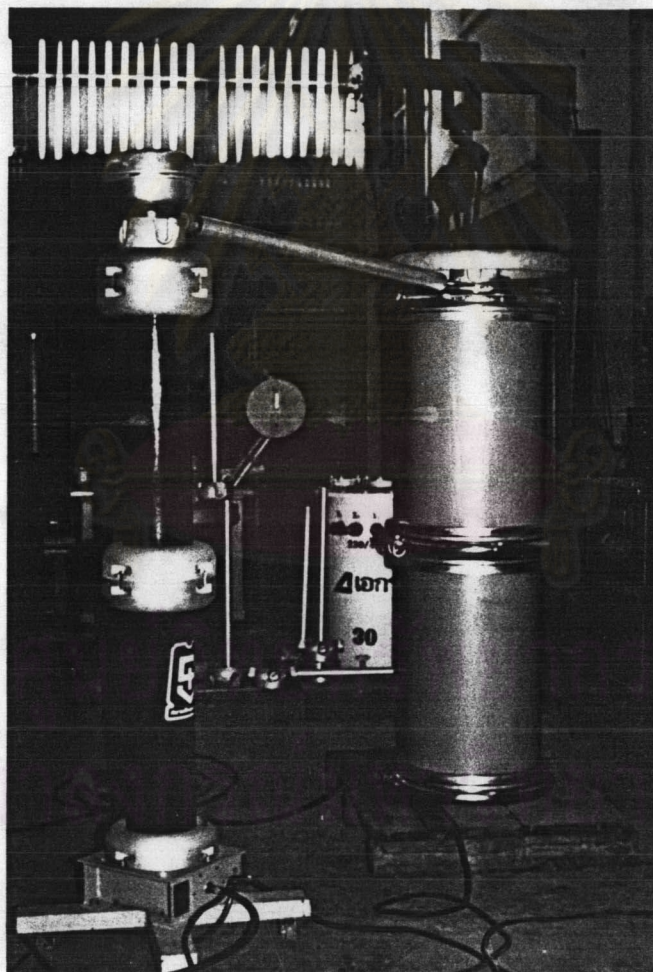


GATEWAY NATURAL TRACING PAPER 90/95 gm² SIZE A4

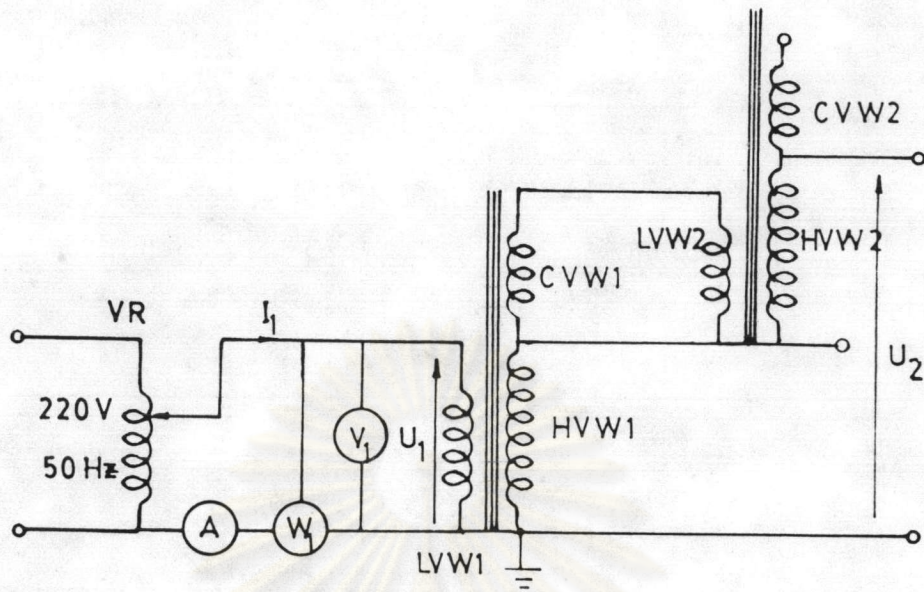
MADE IN ENGLAND

5.3.2 ทดสอบเมื่อหม้อแปลงทดสอบต่อขึ้นบันได

ภาพถ่ายหม้อแปลงทดสอบต่อขึ้นบันได แสดง ไว้ในรูปที่ 5.4 ก. และทดสอบหาค่ากำลัง ไฟฟ้าสูญเสียขณะ ไม่มีโหลดตามวงจรในรูปที่ 5.4 ข. โดยค่อย ๆ เพิ่มแรงดันที่ละชั้นเข้าทางด้านแรงดันต่ำ บันทึกค่าแรงดันที่บ่อนกระแสและกำลัง ไฟฟ้าที่บ่อนจนแรงดันต่ำ U_1 มีค่าประมาณ 220 V ข้อมูลแสดงในตารางที่ 5.4 และรูปภาพที่ 5.5



ก.) ภาพถ่ายหม้อแปลงทดสอบต่อขึ้นบันได



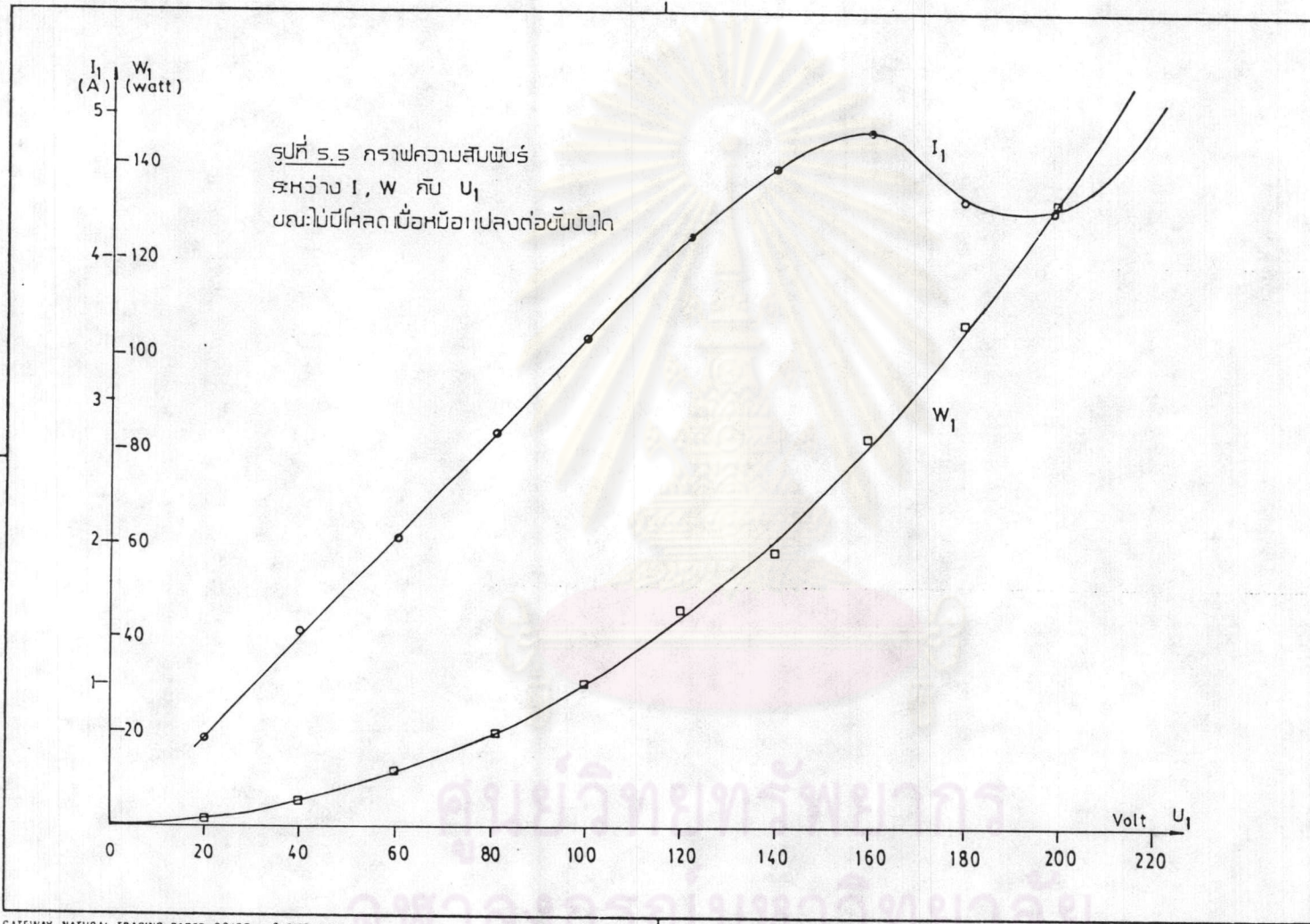
ข.) วงจรทดสอบ ไม่มี โหลด เมื่อต่อขึ้นบัน ได

รูปที่ 5.4 ก.) ภาพถ่ายหม้อแปลงทดสอบต่อขึ้นบัน ได

ข.) วงจรทดสอบ ไม่มี โหลด เมื่อต่อขึ้นบัน ได

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบ ไม่มี โหลด เมื่อต่อขึ้นบัน ได

U_1 (Volt)	I_1 (A)	W_1 (Watt)
19.8	0.64	2
40.5	1.36	6
59.2	2.02	12
80.5	2.78	20
99.8	3.44	30
121.5	4.16	46
139.1	4.62	58
160.1	4.90	82
179.9	4.74	106
199.4	4.32	130



GATEWAY NATURAL TRACING PAPER 90/95 gm² SIZE A4

MADE IN ENGLAND

5.4 การวัดค่ากำลัง ไฟฟ้าสูญเสียมี โหลดและแรงดันอิมพีแดนซ์

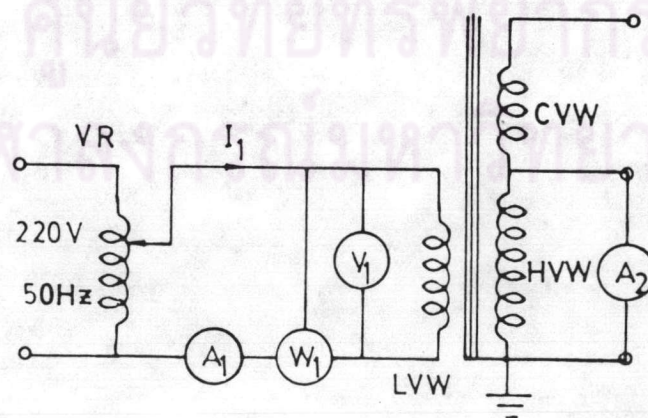
5.4.1 ทดสอบหม้อแปลงแต่ละตัว

วัดค่ากำลัง ไฟฟ้าสูญเสียมี โหลดและแรงดันอิมพีแดนซ์ระหว่างชดสาค โดยมี
เงื่อนไข ดังนี้

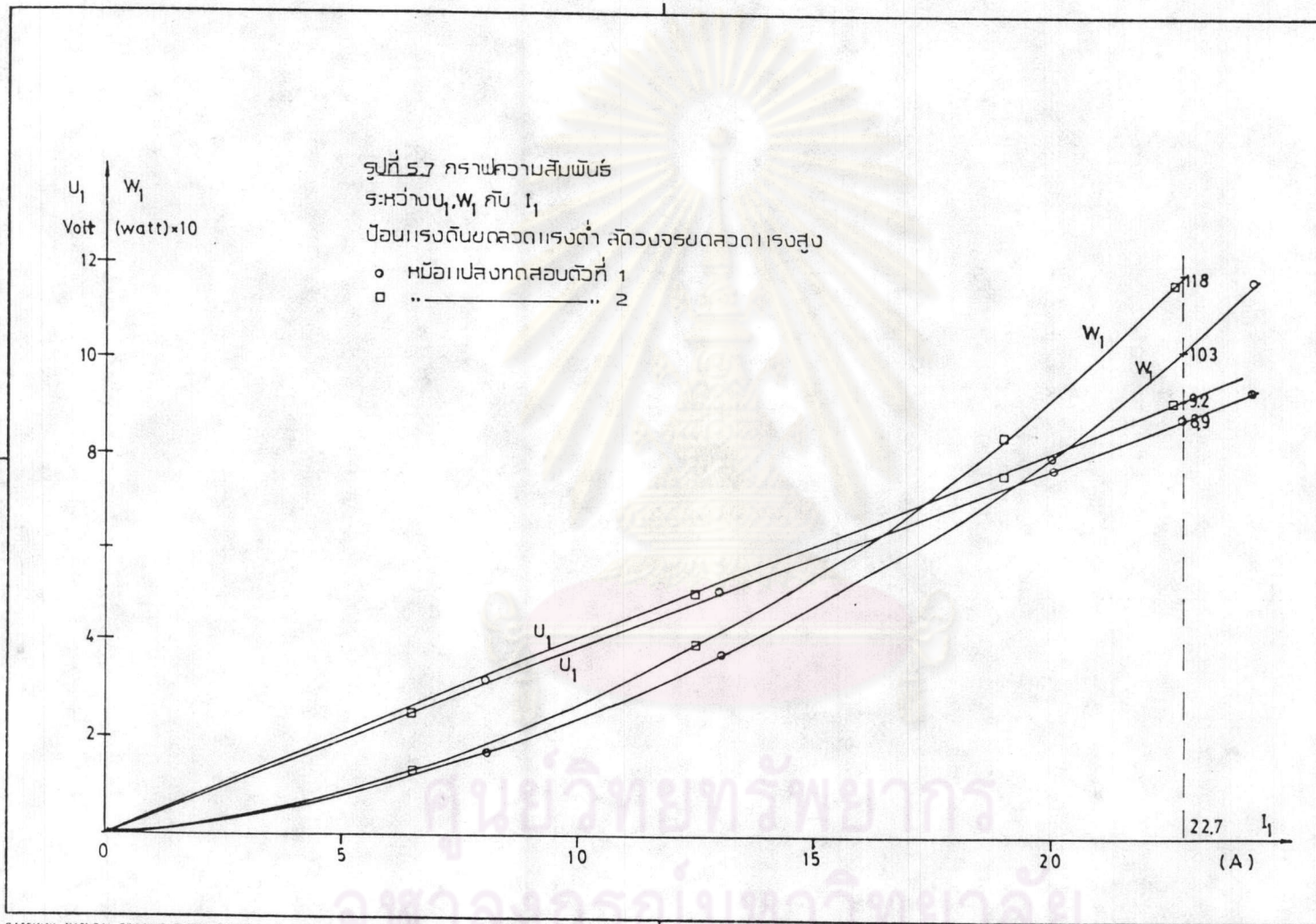
- บ่อนแรงดันเข้าชดสาคแรงดันต่ำ (2 ชดต่อชาน) ลัดวงจรชดสาคแรง
ดันสูง เป็ดวงจรชดสาคต่อควบ
- บ่อนแรงดันเข้าชดสาคแรงดันต่ำ ลัดวงจรชดสาคต่อควบ เป็ดวงจรชดสาค
แรงดันสูง
- บ่อนแรงดันเข้าชดสาคต่อควบ ลัดวงจรชดสาคแรงดันสูง เป็ดวงจรชดสาค
แรงดันต่ำ

5.4.1.1 ทดสอบลัดวงจรชดสาคแรงดันสูงบ่อนแรงดันเข้าทางด้านแรงดันต่ำ

ทดสอบตามวงจรรูปที่ 5.6 ค่อย ๆ เพิ่มแรงดันทีละขั้น บันทึกค่า
แรงดันที่บ่อนกระแสและกำลัง ไฟฟ้าที่บ่อนเข้าจนกระแส I_1 มีค่าประมาณ 22.73 A (เท่ากับ
ค่ากระแสพิคัดด้านแรงดันต่ำ) ข้อมูลแสดงในตารางที่ 5.5 และรูปภาพที่ 5.7



รูปที่ 5.6 วงจรทดสอบลัดวงจรชดสาคแรงดันสูง



GATEWAY NATURAL TRACING PAPER 90/95 gm² SIZE A4

MADE IN ENGLAND

ศูนย์วิทยพัชยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุณหภูมิขณะทดสอบ = 28 °C

ตารางที่ 5.5 ข้อมูลลัควางจรชดลวดแรงดันสูง

หม้อแปลงตัวที่ 1			หม้อแปลงตัวที่ 2		
U ₁ (Volt)	I ₁ (A)	W ₁ (Watt)	U ₁ (Volt)	I ₁ (A)	W ₁ (Watt)
3.2	8.1	15	2.5	6.5	12.5
5.1	13	37.5	5.0	12.5	40
7.7	20	80	7.6	19	85
9.4	24.2	117.5	9.2	22.5	117.5

จากกราฟรูปที่ 5.7 ได้แรงดันไฟฟ้าลัควางจร V_{sc12} ดังนี้

หม้อแปลงทดสอบตัวที่ 1 $V_{sc12} = 8.9 \text{ V.}$

หม้อแปลงทดสอบตัวที่ 2 $V_{sc12} = 9.2 \text{ V.}$

กำลังไฟฟ้าลัควางจร

หม้อแปลงทดสอบตัวที่ 1 $W_{12 \text{ } 28^{\circ}\text{C}} = 103 \text{ W}$

หม้อแปลงทดสอบตัวที่ 2 $W_{12 \text{ } 28^{\circ}\text{C}} = 118 \text{ W}$

กำลังไฟฟ้าบ้อนเข้า $W_{12 \text{ } 28^{\circ}\text{C}} = W_{DC \text{ } 28^{\circ}\text{C}} + W_{\text{trey } 28^{\circ}\text{C}}$

เมื่อ

$W_{DC \text{ } 28^{\circ}\text{C}} =$ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในความต้านทานกระแสตรงของชดลวดแรงดันต่ำ
รวมกับชดลวดแรงดันสูงที่อุณหภูมิของชดลวดเท่ากับ 28 °C

$W_{\text{trey } 28^{\circ}\text{C}} =$ กำลังไฟฟ้าสูญเสียเสครย์ เมื่อมีโหลคที่อุณหภูมิชดลวดเท่ากับ 28 °C

$W_{DC \text{ } 28^{\circ}\text{C}} = I_2^2 R_{2 \text{ } 28^{\circ}\text{C}} + I_1^2 R_{1 \text{ } 28^{\circ}\text{C}}$

$W_{\text{trey } 28^{\circ}\text{C}} = W_{12 \text{ } 28^{\circ}\text{C}} - W_{DC \text{ } 28^{\circ}\text{C}}$

$W_{DC \text{ } 75^{\circ}\text{C}} = W_{DC \text{ } 28^{\circ}\text{C}} \times (234.5+75)/(234.5+28)$

$W_{\text{trey } 75^{\circ}\text{C}} = W_{\text{trey } 28^{\circ}\text{C}} \times (234.5+28)/(234.5+75)$

$W_{12 \text{ } 75^{\circ}\text{C}} = W_{DC \text{ } 75^{\circ}\text{C}} + W_{\text{trey } 75^{\circ}\text{C}}$

$Z_{12 \text{ } 28^{\circ}\text{C}} = U_{1sc}/I_1$ ที่ 28 °C คิคเทียบทางด้านแรงดันต่ำ

ความต้านทานสมมูลที่ 28 °C คิคเทียบทางต้านแรงดันค้ำ

$$R_{12 \text{ 28 } ^\circ\text{C}} = W_{12 \text{ 28 } ^\circ\text{C}} / I_1^2$$

รีแอกแตนซ์ สมมูลที่ 28 °C คิคเทียบทางต้านแรงดันค้ำ

$$X_{12 \text{ 28 } ^\circ\text{C}} = \sqrt{(Z_{12 \text{ 28 } ^\circ\text{C}})^2 - (R_{12 \text{ 28 } ^\circ\text{C}})^2}$$

$$X_{12 \text{ 75 } ^\circ\text{C}} = X_{12 \text{ 28 } ^\circ\text{C}}$$

$$R_{12 \text{ 75 } ^\circ\text{C}} = R_{12 \text{ 28 } ^\circ\text{C}} \times (234.5+75)/(234.5+28)$$

$$Z_{12 \text{ 75 } ^\circ\text{C}} = \sqrt{(R_{12 \text{ 75 } ^\circ\text{C}})^2 + (X_{12 \text{ 75 } ^\circ\text{C}})^2}$$

เปอร์เซ็นต์แรงดันอิมพีแดนซ์ ที่ 75 °C

$$\epsilon_{sc12} = (I_1 Z_{12 \text{ 75 } ^\circ\text{C}} / U_1) \times 100\%$$

เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ $\epsilon_{sc12} = [(ค่าที่คำนวณ - ค่าที่วัดได้) / ค่าที่คำนวณ] \times 100\%$

$$\epsilon_{sc12} \text{ จากการคำนวณ} = 4.21\%$$

ตารางที่ 5.6 สรปค่าต่าง ๆ ที่ 75 °C

		หม้อแปลงตัวที่ 1		หม้อแปลงตัวที่ 2	
		28 °C	75 °C	28 °C	75 °C
W_{DC12}	W	62.09	73.21	62.36	73.52
$W_{stray12}$	W	40.91	34.70	55.64	47.19
R_{12}	Ω	0.1994	0.2351	0.2284	0.2693
X_{12}	Ω	0.3371	0.3371	0.3342	0.3342
Z_{12}	Ω	0.3916	0.4110	0.4048	0.4292
ϵ_{sc12}			4.25		4.43
% ความคลาดเคลื่อน					
ϵ_{sc12}			-9.5×10^{-3}		-5.22

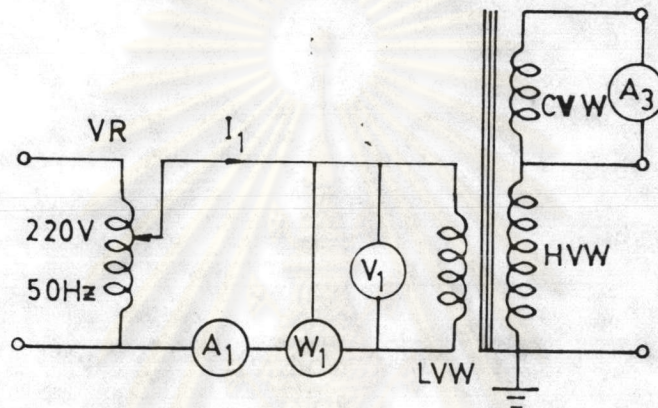
ค่าในตารางที่ 5.6 คำนวณจาก $I_1 = 22.73 \text{ A}$ $I_2 = 0.05 \text{ A}$

หม้อแปลงทดสอบตัวที่ 1 $R_1 \text{ 28 } ^\circ\text{C} = 0.0877 \Omega$ $R_2 \text{ 28 } ^\circ\text{C} = 6711 \Omega$

หม้อแปลงทดสอบตัวที่ 2 $R_1 \text{ 28 } ^\circ\text{C} = 0.0874 \Omega$ $R_2 \text{ 28 } ^\circ\text{C} = 6882 \Omega$

5.4.1.2 ทดสอบลัดวงจรขดลวดต่อความดันแรงดันเข้าทางด้านขดลวดแรงดันต่ำ

ทดสอบตามวงจรรูปที่ 5.8 ค่อย ๆ บัดแรงดันที่ละชั้น บันทึกค่าแรงดันที่บัตกระแสและกำลัง ไฟฟ้าที่บัตเข้า จนกระแส I_1 มีค่าประมาณ 22.73 A (เท่ากับค่ากระแสพิคัด้านแรงดันต่ำ) ข้อมูลแสดงในตารางที่ 5.7 และรูปภาพที่ 5.9

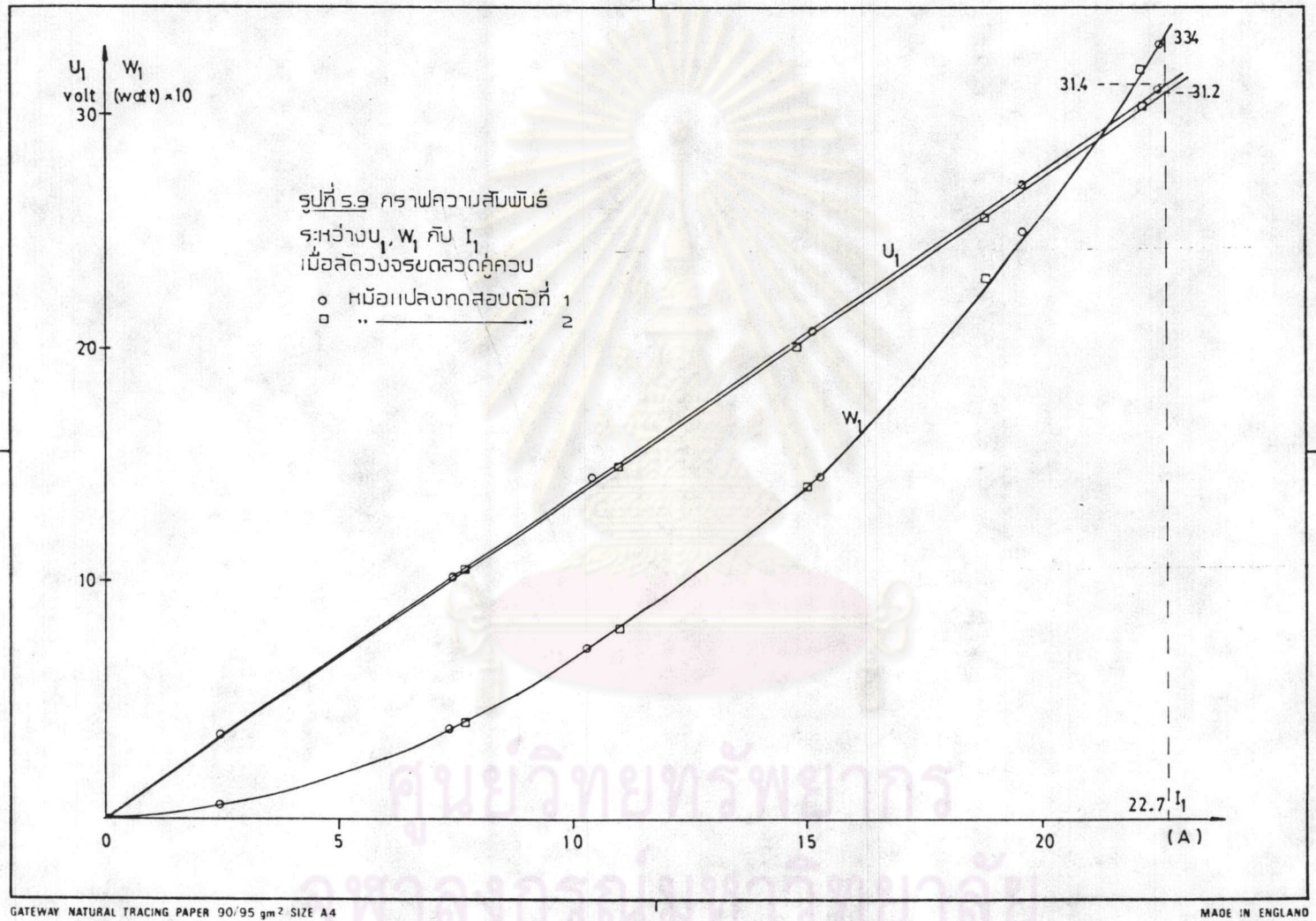


รูปที่ 5.8 วงจรทดสอบลัดวงจรขดลวดต่อความ

อุณหภูมิขณะทดสอบ = 28 °C

ตารางที่ 5.7 ข้อมูลลัดวงจรขดลวดต่อความ

หม้อแปลงตัวที่ 1			หม้อแปลงตัวที่ 2		
U_1 (Volt)	I_1 (A)	W_1 (Watt)	U_1 (Volt)	I_1 (A)	W_1 (Watt)
3.49	2.5	5.0	3.46	2.5	5.0
10.16	7.4	37.5	10.55	7.7	40.0
14.47	10.4	72.5	15.04	11.0	80.0
20.75	15.1	147.5	20.16	14.8	142.5
26.98	19.6	250.0	25.60	18.8	230.0
31.08	22.5	330.0	30.26	22.2	320.0



ตารางที่ 5.8 สรุปลค่าต่าง ๆ ที่ 75 °C

	หม้อแปลงตัวที่ 1		หม้อแปลงตัวที่ 2	
	28 °C	75 °C	28 °C	75 °C
W _{dc13} Watt	233.31	275.07	233.80	275.65
W _{stray13} Watt	100.69	85.40	100.20	85.99
R ₁₃ Ω	0.6465	0.7622	0.6465	0.7622
X ₁₃ Ω	1.2208	1.2208	1.2108	1.2108
Z ₁₃ Ω	1.3814	1.4392	1.3726	1.4307
E _{sc13}		14.87		14.78
% ความคลาดเคลื่อน (E _{sc13})		-7.06		-6.41

ค่าในตารางที่ 5.8 คำนวณจาก $I_1 = 22.73$ A $I_2 = 0.05$ A

หม้อแปลงตัวที่ 1 R_1 28 °C = 0.0877 Ω R_3 28 °C = 0.4700 Ω

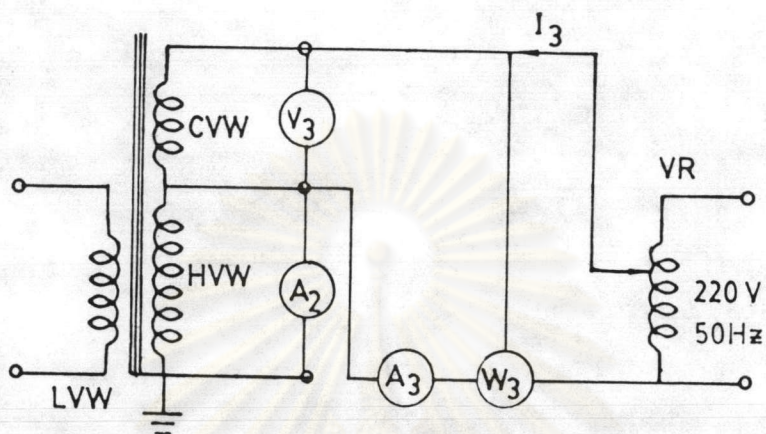
หม้อแปลงตัวที่ 2 R_1 28 °C = 0.0874 Ω R_3 28 °C = 0.4716 Ω

e_{c13} จากการคำนวณ = 13.89%

5.4.1.3 ทดสอบลัดวงจรชดสลดแรงดันสูงบ่อนแรงดันเข้าทางด้านชดสลดค่อควบ

ทดสอบตามวงจรรูปที่ 5.10 บ่อนแรงดันเข้าทางด้านแรงดันค่อควบ

เพิ่มแรงดันทีละชั้น บันทึกค่าแรงดันที่บ่อนกระแสและกำลัง ไฟฟ้าที่บ่อนเข้าจนกระแส I_3 มีค่าประมาณ 20 A (เท่ากับกระแสพิคัด้านค่อควบ) ข้อมูลแสดงในตารางที่ 5.9 และรูปภาพที่ 5.11

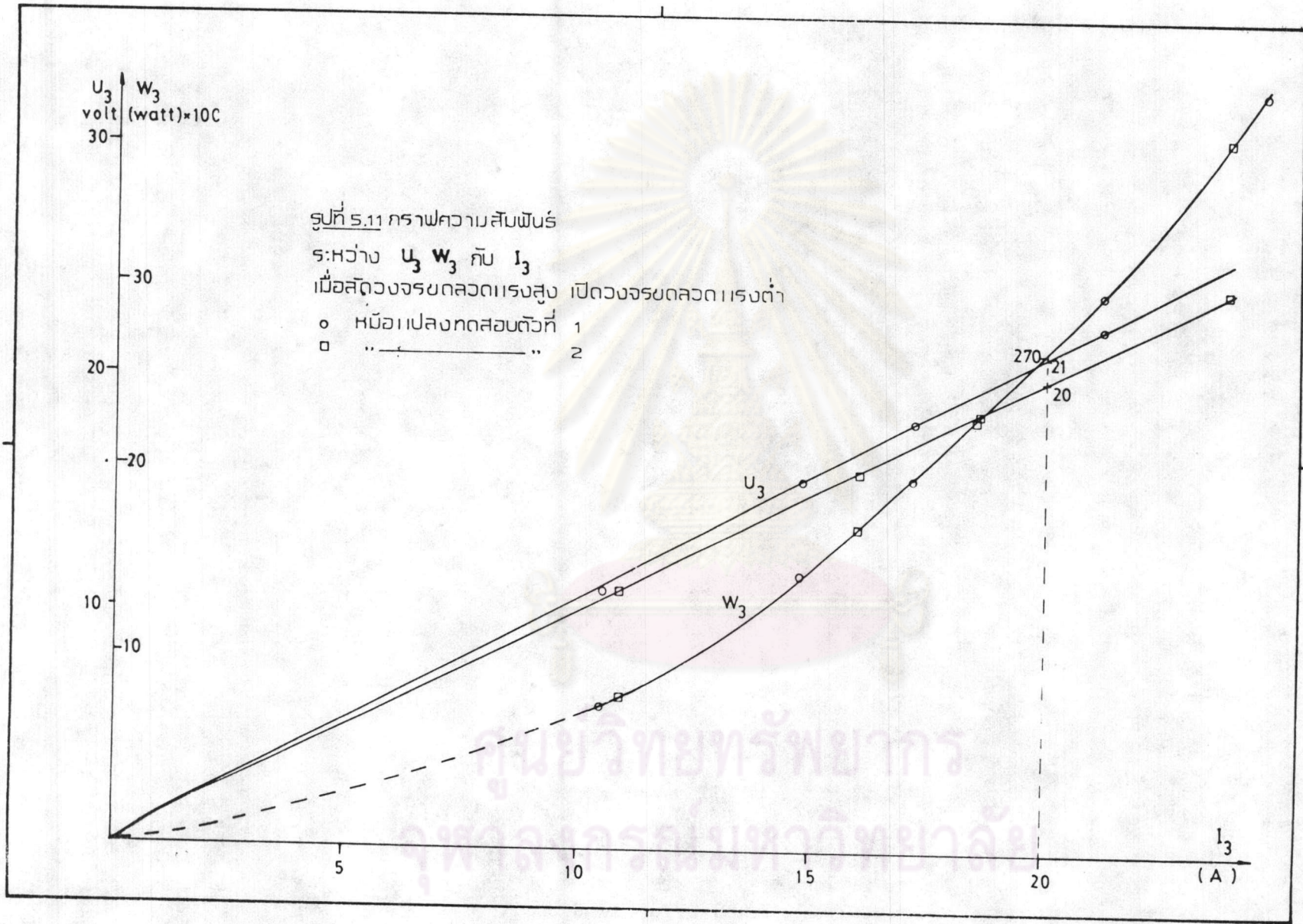


รูปที่ 5.10 วงจรทดสอบลัดวงจรขดลวดแรงดันสูง ขดลวดแรงดันต่ำเปิดวงจร

อุณหภูมิขณะทดสอบ = 28 °C

ตารางที่ 5.9 ข้อมูลลัดวงจรขดลวดแรงดันสูง โดยที่ขดลวดแรงดันต่ำเปิดวงจร

หม้อแปลงตัวที่ 1			หม้อแปลงตัวที่ 2		
U_3 (Volt)	I_3 (A)	W_3 (Watt)	U_3 (Volt)	I_3 (A)	W_3 (Watt)
10.86	10.5	75	10.85	10.9	80
15.52	14.8	145	15.88	16.0	168
18.01	17.2	195	18.50	18.6	230
22.28	21.2	295	23.93	24.0	380
26.10	24.8	408	25.15	25.1	423



ตารางที่ 5.10 สรบล่าต่าง ๆ ที่ 75 °C

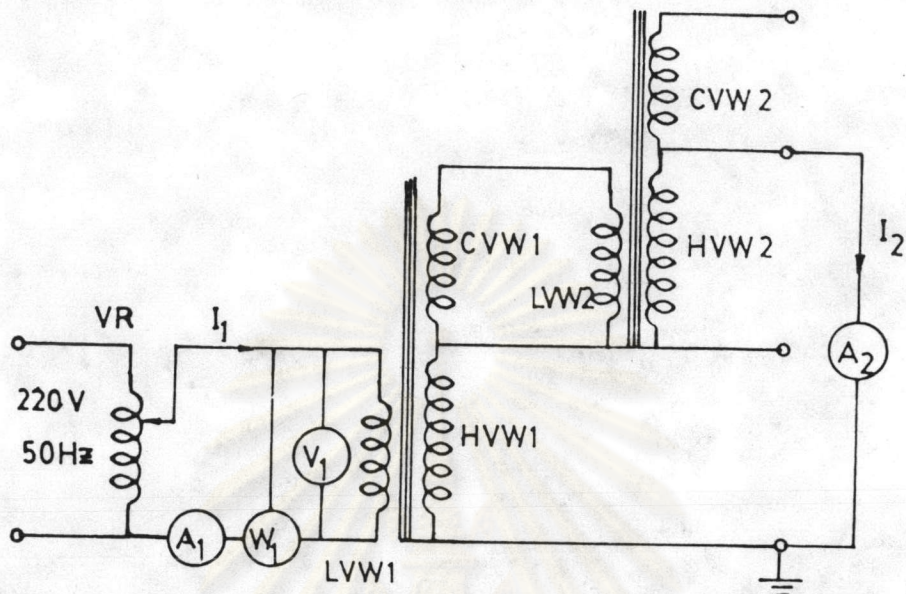
	หม้อแปลงตัวที่ 1		หม้อแปลงตัวที่ 2	
	28 °C	75 °C	28 °C	75 °C
W _{dc32} Watt	204.78	275.07	205.84	275.65
W _{atrey32} Watt	65.22	55.32	64.16	54.42
R ₃₂ Ω	0.6750	0.7958	0.6750	0.7958
X ₃₂ Ω	0.6850	0.6850	0.6056	0.6056
Z ₃₂ Ω	1.0500	1.0500	1.0000	1.0000
E _{sc32}		8.40		8.00
% ความคลาดเคลื่อน (E _{sc32})		-5.13		-0.13

ค่าในตารางที่ 5.10 คำนวณจาก I₃ = 20 A I₂ = 0.05 A

E_{sc32} จากการคำนวณ = 7.99%

5.4.2 ทดสอบหม้อแปลงต่อชั้นบันได

ทดสอบความวงจรรูปที่ 5.12 บ่อนแรงคั้นเข้าทางค้ำแรงคั้นต่ำ เพิ่มแรงคั้นที่
ละชั้น บันทึกค่าแรงคั้นที่บ่อนกระแสและกำลัง ไฟฟ้าที่บ่อนจนกระแสมีค่าประมาณ 30 A (หม้อแปลง
จ่ายได้สูงสุด) ข้อมูลแสดงในตารางที่ 5.11 และรูปภาพที่ 5.13

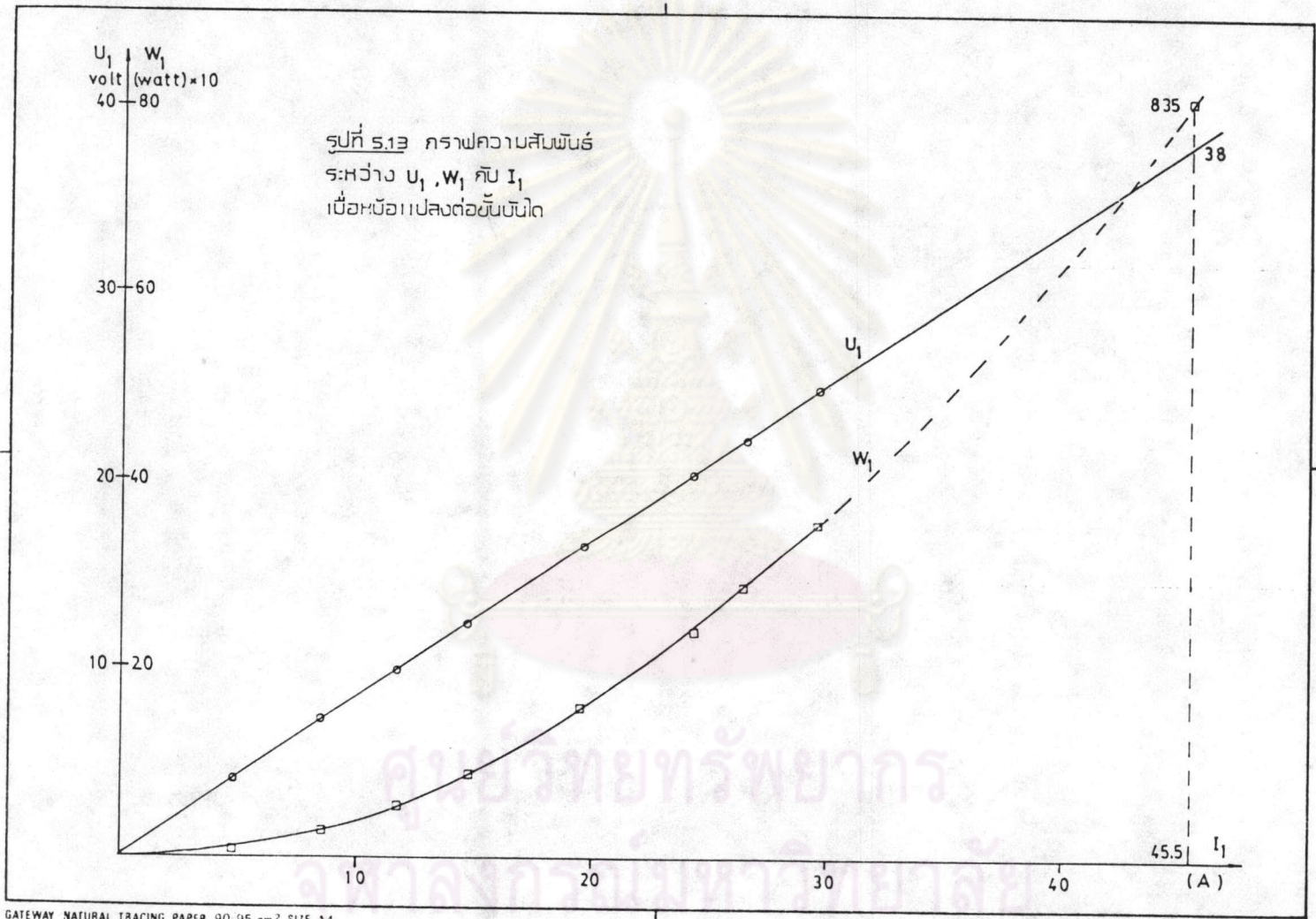


รูปที่ 5.12 วงจรทดสอบแรงดัน ไฟฟ้าลัดวงจร เมื่อต่อขึ้นบันได

อุณหภูมิขณะทดสอบ = 26 °C

ตารางที่ 5.11 ข้อมูลลัดวงจรชดสาคแรงดันสูง เมื่อหม้อแปลงต่อขึ้นบันได

U_1 (V)	I_1 (A)	W_1 (W)
4.06	4.8	10
7.10	8.5	30
9.79	11.7	56
12.32	14.7	88
16.39	19.6	156
20.35	24.2	240
22.25	26.6	285
24.86	29.6	358



GATEWAY NATURAL TRACING PAPER 90.95 gm² SIZE A4

MADE IN ENGLAND

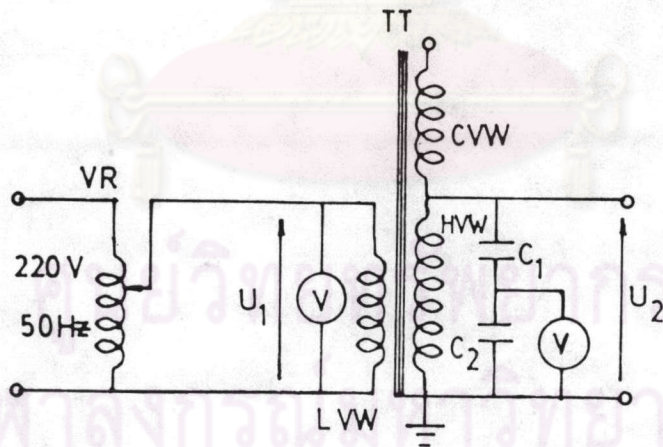
การต่อขึ้นบน ไคคาร์เรอแกนซ์จะมีค่ามากกว่าค่าความต้านทานมาก [3] ดังนั้น

$$Z_{sc} \approx X_{sc} \quad \text{ดังนั้น} \quad Z_{sc} 75^{\circ} \approx Z_{sc} 28^{\circ}$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ว่า} \quad \epsilon_{75^{\circ}} &= (U_{sc}/U_n) \times 100 \\ &= (38/220) \times 100 \\ &= 17.27\% \end{aligned}$$

5.5 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันเกิน

เป็นการทดสอบความคงทนของฉนวนระหว่างขดลวดกับขดลวด ชั้นของขดลวด ขดลวดกับดิน แรงดันทดสอบที่ใช้มีขนาด 120 kV 50 Hz (120% ของแรงดันกำหนด) ใช้เวลาทดสอบ 1 นาที ตามมาตรฐาน IEC Publ. No. 60-2 มีวงจรทดสอบดังรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 วงจรทดสอบความคงทนต่อแรงดันเกิน

VR = ตัวปรับแรงดันป้อนเข้า

C1, C2 = โวลเตจดีไวเดอร์แบบแคปาซิเตอร์ 1:2284

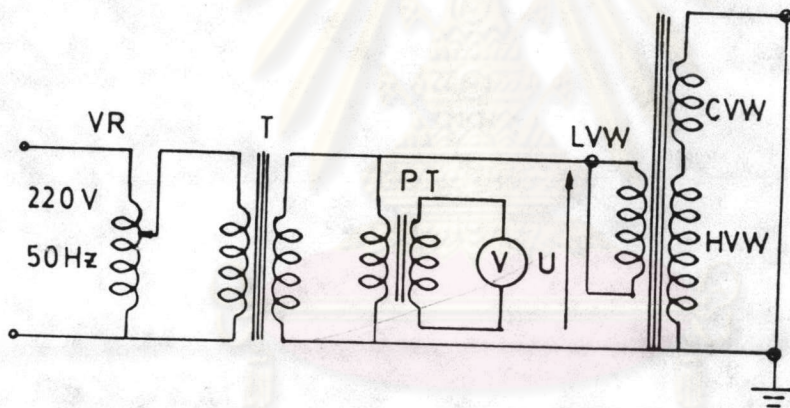
V = AC โวลต์มิเตอร์

TT = หม้อแปลงทดสอบที่ประกอบสร้าง

ผลการทดสอบ หม้อแปลงทดสอบทั้งสองตัว มีความคงทนต่อแรงดันทดสอบ 120 kV แสดงว่าการฉนวนของชดลวดแรงดันสูงดีพอ

5.6 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันจากตัวจ่ายอื่น

เป็นการทดสอบฉนวนที่ขึ้นระหว่างชดลวดแรงดันต่ำกับชดลวดแรงดันสูง และชดลวดแรงดันต่ำกับดิน มีวงจรทดสอบดังรูปที่ 5.15 ทดสอบตามมาตรฐาน IEC Publ. No. 60-2 เนื่องมาจากแรงดันกำหนดของชดลวดแรงดันต่ำ มีขนาด 220 V. จึงใช้ค่าแรงดันทดสอบ $U = 2500$ V. ใช้เวลาทดสอบ 1 นาที



VR = ตัวรับแรงดันป้อนเข้า

T = หม้อแปลงป้อนกำลัง

PT = หม้อแปลงลดแรงดัน 1:200

V = A.C. โวลต์มิเตอร์

รูปที่ 5.15 วงจรทดสอบความคงทนต่อแรงดันจากตัวจ่ายอื่นสำหรับทดสอบชดลวดแรงดันต่ำ

ผลการทดสอบ หม้อแปลงทดสอบทั้งสองสามารถทนต่อแรงดันทดสอบนี้ได้ แสดงว่าการฉนวนระหว่างชดลวดแรงดันต่ำกับชดลวดแรงดันสูง และระหว่างชดลวดแรงดันต่ำกับดินสูงพอ

5.7 การทดสอบอุณหภูมิเพิ่ม

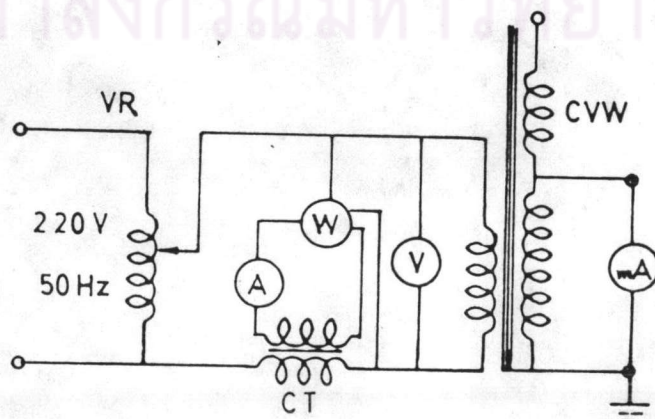
การทดสอบอุณหภูมิเพิ่มเป็นการทดสอบเฉพาะแบบ (type test) ดังนั้น จึงทำการทดสอบหม้อแปลง เพียงตัวเดียว ตามมาตรฐานการทดสอบอุณหภูมิเพิ่มของน้ำมันส่วนบนตัวถัง ไม่เกิน 60°C (หม้อแปลงแบบปิดผนึก) โดยมีอุณหภูมิโดยรอบ 40°C แต่หม้อแปลงทดสอบที่ออกแบบใช้ถึง ฉนวน พีวีซี ซึ่งมีอุณหภูมิสูงสุดได้ไม่เกิน 75°C [20] และหม้อแปลงทดสอบใช้ภายในอาคาร จะมีอุณหภูมิโดยรอบเฉลี่ย 30°C ดังนั้นอุณหภูมิเพิ่มของน้ำมัน เมื่อรวมกับอุณหภูมิห้องแล้วจะต้องไม่เกิน 75°C อุณหภูมิเพิ่มของขดลวดไม่เกิน 65°C (ฉนวนชั้น A) การวัดอุณหภูมิเพิ่มของขดลวดใช้วิธีการวัดค่าความต้านทานกระแสตรงของขดลวด แล้วหาอุณหภูมิจากความสัมพันธ์

$$T_b = (R_b/R_a) (T_o + T_a) - T_o$$

- เมื่อ R_a คือ ความต้านทานกระแสตรงของขดลวดที่อุณหภูมิเริ่มต้น
 R_b คือ ความต้านทานกระแสตรงของขดลวดที่อุณหภูมิสุดท้าย
 T_a คือ อุณหภูมิเริ่มต้นการทดสอบของขดลวด
 T_b คือ อุณหภูมิสุดท้ายการทดสอบของขดลวด
 T_o คือ อุณหภูมิที่ความต้านทานเสมือนมีค่าเป็นศูนย์
 สำหรับทองแดงมีค่า เท่ากับ 234.5

การวัดอุณหภูมิของน้ำมันส่วนบนตัวถัง ใช้ เทอร์โมมิเตอร์ที่ติดอยู่บนฝาถังมีแกนจุ่มอยู่ในน้ำมัน การวัดอุณหภูมิห้องใช้ เทอร์โมมิเตอร์ติดตั้ง ไว้ที่สูงประมาณกึ่งกลางความสูงของตัวถัง และห่างจากตัวถังประมาณ 2 เมตร

การทดสอบใช้วิธีลัดวงจร ซึ่งง่ายและสะดวกมีวงจรการทดสอบดังรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.16 วงจรทดสอบอุณหภูมิเพิ่ม

การทดสอบอุณหภูมิเพิ่ม ทำ 2 ครั้งด้วยกัน

- ครั้งที่ 1
- การหาอุณหภูมิเพิ่มของชดลวดจากอุณหภูมิของน้ำมันคอนบนของตัวถัง บ้อนแรงดันเข้าทางค้ำแรงดันต่ำ จนกำลัง ไฟฟ้าบ้อนเข้ามีค่าเท่ากับ 120 W ซึ่งเท่ากับกำลัง ไฟฟ้าสูญเสียมี โหลดเพียงอย่างเดียว
 - ทำการทดสอบไปเรื่อย ๆ จดค่าทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนถึงจุดสมดุลความร้อน คือ อุณหภูมิคงที่ โดยสังเกตจากอุณหภูมิของน้ำมันบนตัวถัง ได้ค่าเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 1°C ต่อชั่วโมง คึงข้อมูลแสดงในตารางที่ 5.12
 - เมื่อถึงจุดสมดุลความร้อนแล้วตัดวงจรออก แล้วบันทึกค่าความต้านทานกระแสตรงของชดลวดแรงดันสูง ด้วยมิเตอร์ Fluk 77 ตามเวลาห่างกัน 1 นาที คึงแต่นาทีที่ 2 ถึงนาที ที่ 6 และบันทึกค่าความต้านทานกระแสตรงของชดลวดแรงดันต่ำ คึงแต่นาที ที่ 8 ถึงนาที ที่ 14 ด้วย Kenvin-Wheastone Bridge T222 คึงแสดงค่าในตารางที่ 5.13
- ครั้งที่ 2
- การหาอุณหภูมิเพิ่มของน้ำมันคอนบนของตัวถังจากอุณหภูมิห้อง บ้อนกำลัง ไฟฟ้าสูญเสียมี โหลด + กำลัง ไฟฟ้าสูญเสียไม่มี โหลด = $120+80$ เท่ากับ 200 W
 - จดค่าทุก 1 ชั่วโมง จนถึงจุดสมดุลความร้อน ข้อมูลแสดงในตารางที่ 5.14
- ตารางที่ 5.12 ข้อมูลการทดสอบหาค่าอุณหภูมิเพิ่มของชดลวดจากอุณหภูมิของน้ำมันคอนบนตัวถังมีอุณหภูมิ โดยรอบ $T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$ ที่เวลาเริ่มต้น

เวลา (hrs)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)		กำลัง ไฟฟ้าบ้อนเข้า W_1 (W)
	T_{amb}	T_{oil}	
1	25.8	26	120
2	26.5	27.5	120
3	27	29	120
4	28	30	120
5	28.5	31.5	120
6	29	32.5	120
7	29.5	33.5	120
8	29.5	34	120
9	29.5	34.5	120
10	29.5	35	120
11	29.5	35	120
12	29	35	120

ตารางที่ 5.13 ค่าความต้านทานกระแสตรงของชดลวดแรงดันสูง และชดลวดแรงดันต่ำ หลังจาก
ตัดกำลัง ไฟฟ้าจ่ายออก

เวลาหลังจากตัดกำลัง ไฟฟ้าออก (นาท)	ความต้านทานกระแสตรง (Ω)
	ชดลวดแรงดันสูง
2	7490
3	7480
4	7475
5	7472
6	7470
	ชดลวดแรงดันต่ำ
8	0.0973
9	0.0969
10	0.0967
11	0.0964
12	0.0962
13	0.0961
14	0.0960

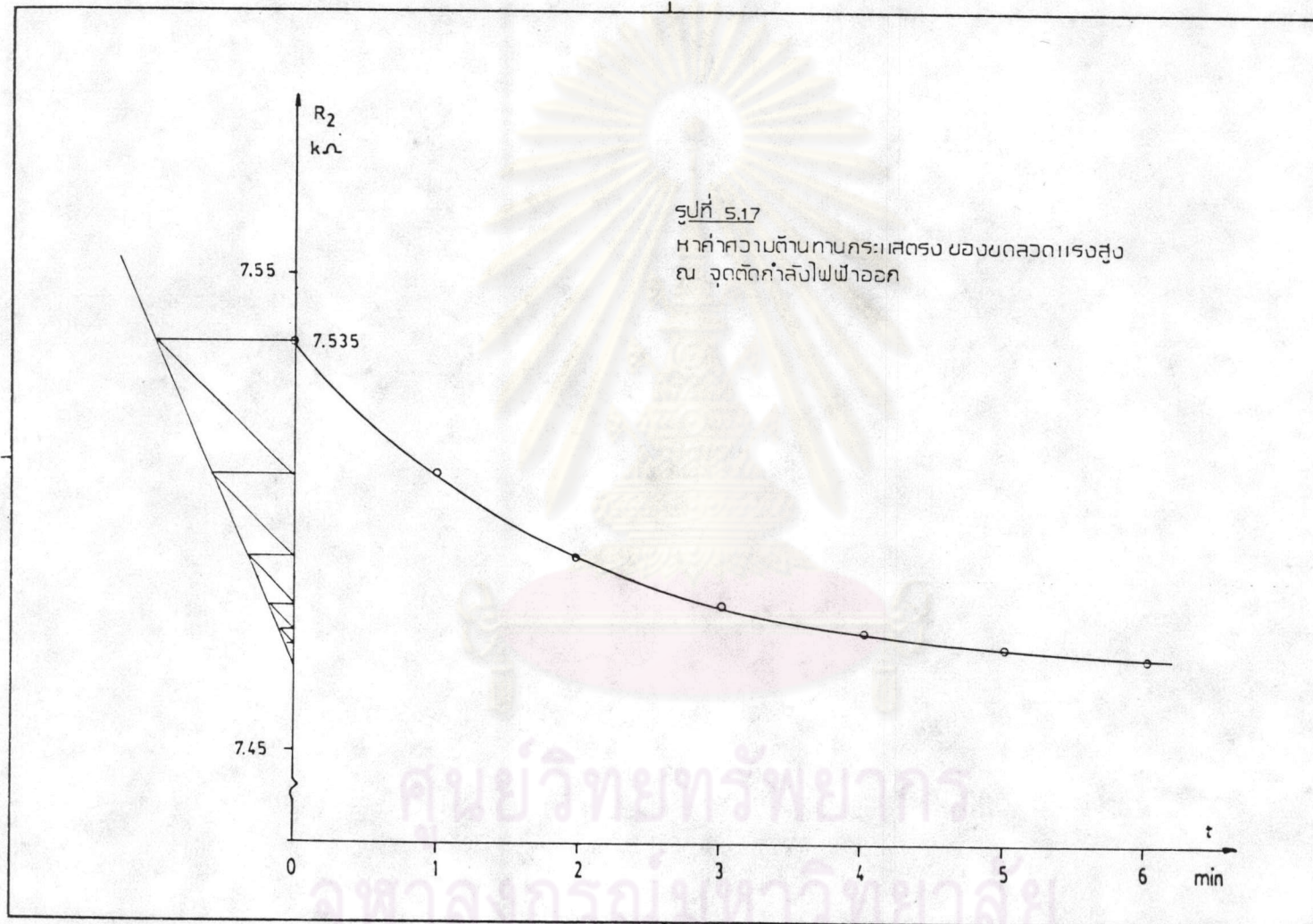
ตารางที่ 5.14 ข้อมูลการทดสอบหาค่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นของน้ำมันคอนบนของตัวถังจากอุณหภูมิห้อง มีอุณหภูมิโดยรอบ = 25 °C ที่เวลาเริ่มต้น

เวลา (hrs)	อุณหภูมิ (°C)		กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า W ₁ (W)
	T _{amb}	T _{oil}	
1	26.5	27.5	200
2	27	30	200
3	28	32	200
4	28.5	34	200
5	29	36.5	200
6	29	38	200
7	29	39.5	200
8	29.5	41	200
9	29	42	200
10	29	42.5	200
11	28.5	42.8	200
12	28.5	43.2	200
13	28.5	43.5	200

นำข้อมูลในตารางที่ 5.13 ไปเขียนกราฟ (extrapolation) ดังกราฟรูปที่ 5.17 และ 5.18 จะได้ค่าความต้านทานกระแสตรงที่จุดตัดกำลังไฟฟ้าดังนี้ ความต้านทานกระแสตรงของขดลวดแรงดันสูงเท่ากับ 7535 ความต้านทานกระแสตรงของขดลวดแรงดันต่ำเท่ากับ 0.1031

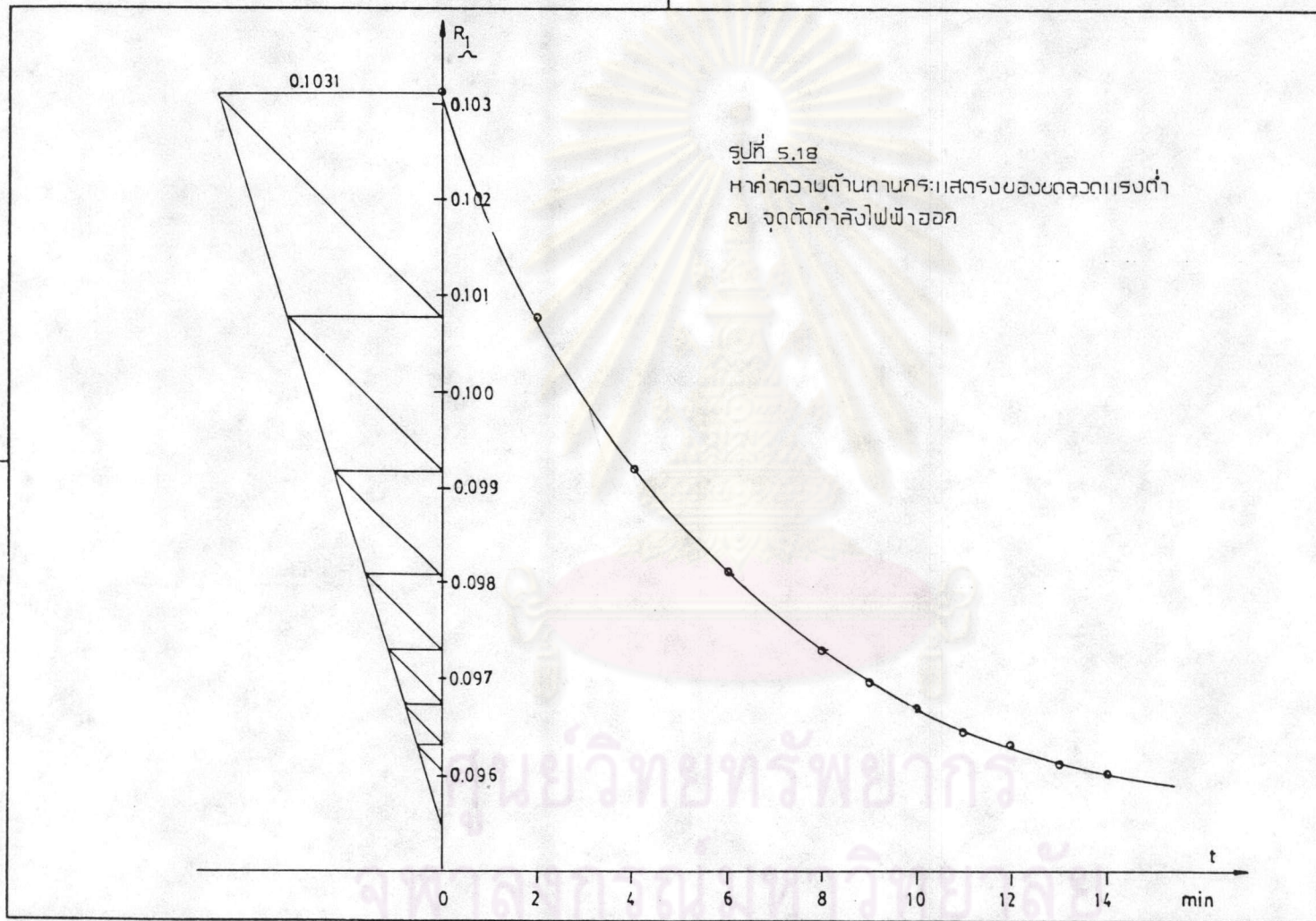
อุณหภูมิเพิ่มขึ้นของขดลวดแรงดันสูงจากอุณหภูมิห้อง

$$= \text{อุณหภูมิเพิ่มขึ้นของขดลวดแรงดันสูงจากอุณหภูมิของน้ำมันคอนบนของตัวถัง} \\ + \text{อุณหภูมิเพิ่มขึ้นของน้ำมันคอนบนของตัวถังจากอุณหภูมิห้อง}$$



GATEWAY NATURAL TRACING PAPER 90/95 gm² SIZE A-4

MADE IN ENGLAND



GATEWAY NATURAL TRACING PAPER 90/95 gm² SIZE A4

MADE IN ENGLAND

อุณหภูมิเพิ่มขึ้นของขดลวดแรงดันสูงจากอุณหภูมิของน้ำมันคอนเดนเซอร์ของตัวถัง

$$T_1 = \{(R_b/R_a)(T_a+234.5) - 234.5\} - T_{o11}$$

$$R_a \text{ ที่ } 25 \text{ }^{\circ}\text{C} = 6800 \text{ } \Omega$$

$$R_b \text{ ที่อุณหภูมิสุดท้าย} = 7535 \text{ } \Omega$$

$$T_{o11} \text{ ที่จุดสมดุลความร้อน} = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\begin{aligned} T_1 &= \{(7535/6800)(25+234.5) - 234.5\} - 35 \\ &= 18.05 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

อุณหภูมิเพิ่มขึ้นของน้ำมันคอนเดนเซอร์ของตัวถังจากอุณหภูมิห้อง (จากตารางที่ 5.14)

$$T_2 = T_{o11} - T_{amb}$$

$$= 43.5 - 28.5$$

$$= 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

อุณหภูมิเพิ่มขึ้นของขดลวดแรงดันสูงจากอุณหภูมิห้อง = $T_1 + T_2$

$$= 33.05 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

อุณหภูมิเพิ่มขึ้นของขดลวดแรงดันต่ำจากอุณหภูมิของน้ำมันคอนเดนเซอร์ของตัวถัง

$$T_1 = \{(R_b/R_a)(T_a+234.5) - 234.5\} - T_{o11}$$

$$R_a \text{ ที่ } 25 \text{ }^{\circ}\text{C} = 0.0865 \text{ } \Omega$$

$$R_b \text{ ที่อุณหภูมิสุดท้าย} = 0.1031 \text{ } \Omega$$

$$T_{o11} \text{ ที่จุดสมดุลความร้อน} = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\begin{aligned} T_1 &= \{(1.1031/0.0865)(25+234.5)\} - 234.5 - 35 \\ &= 39.82 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

อุณหภูมิเพิ่มขึ้นของขดลวดแรงดันต่ำจากอุณหภูมิห้อง = $T_1 + T_2$

$$= 54.82 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

ผลการทดสอบ ที่จุดสมดุลความร้อน อุณหภูมิสูงสุดของขดลวดแรงดันสูง = $T_{amb} + 33.05 \text{ }^{\circ}\text{C}$

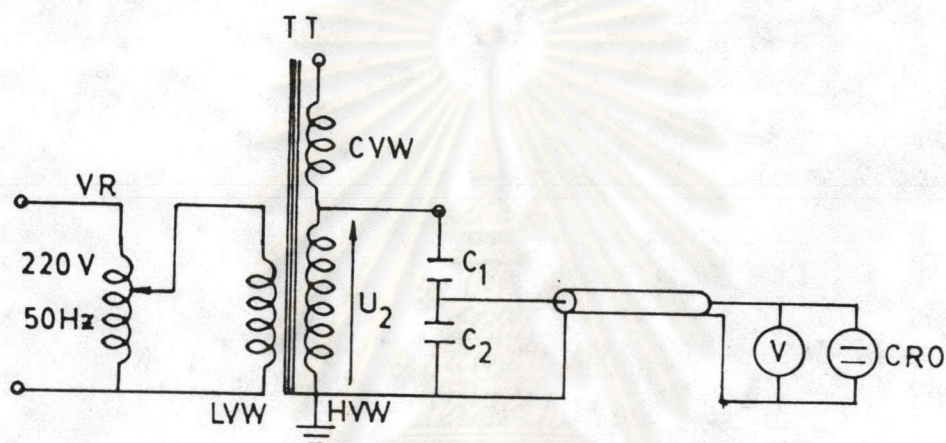
อุณหภูมิสูงสุดของขดลวดแรงดันต่ำ = $T_{amb} + 54.82 \text{ }^{\circ}\text{C}$

อุณหภูมิสูงสุดของน้ำมันส่วนบนตัวถัง = $T_{amb} + 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$

หม้อแปลงทดสอบสามารถใช้งานได้ โดยที่อุณหภูมิสูงสุดของขดลวดไม่เกิน $105 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และ
อุณหภูมิสูงสุดของน้ำมันหม้อแปลง ไม่เกินจุดที่ถังพิวรีซันได้

5.8 การตรวจสอบรูปคลื่นแรงดัน

ตรวจสอบรูปคลื่นแรงดันของหม้อแปลงทดสอบว่ามีรูปคลื่นแรงดันใกล้เคียงกับคลื่นรูปไซน์ที่แรงดันกำหนดหรือไม่ ทดลองตามวงจรในรูปที่ 5.19 ใช้ ออสซิลโลสโคปจับรูปคลื่นแรงดันที่ 60 kV และ 100 kV บันทึกภาพไว้ ดังรูปที่ 5.20 และ 5.21 ตามลำดับ



VR = ตัวปรับแรงดันป้อนเข้า

TT = หม้อแปลงทดสอบที่ประกอบสร้าง

CRO = ออสซิลโลสโคป

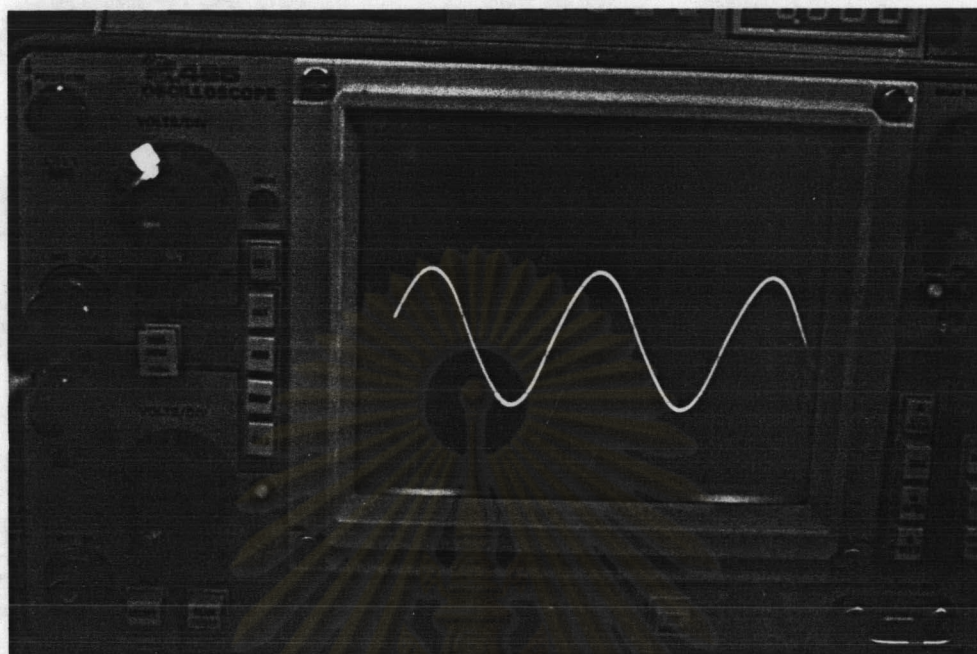
C_1, C_2 = โวลต์ เทจติ ไว เคอร์ แบบ คะเบซี เคอร์ 1:2284

รูปที่ 5.19 วงจรตรวจสอบรูปคลื่นแรงดัน

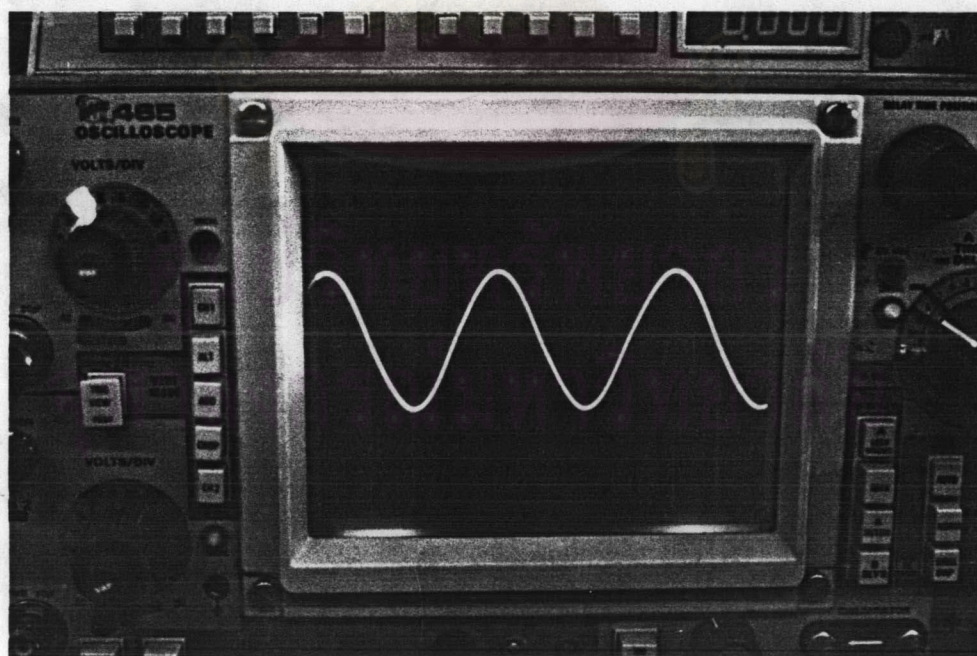
ผลการทดสอบ ปรากฏว่ารูปคลื่นแรงดันของขดลวดแรงดันสูง ของหม้อแปลงทั้งสอง มีรูปคลื่นใกล้เคียงกับคลื่นรูปไซน์ ดังรูปที่ 5.20 และ 5.21

5.9 การวัดค่าคิซาร์จบางส่วน (Partial Discharge = PD)

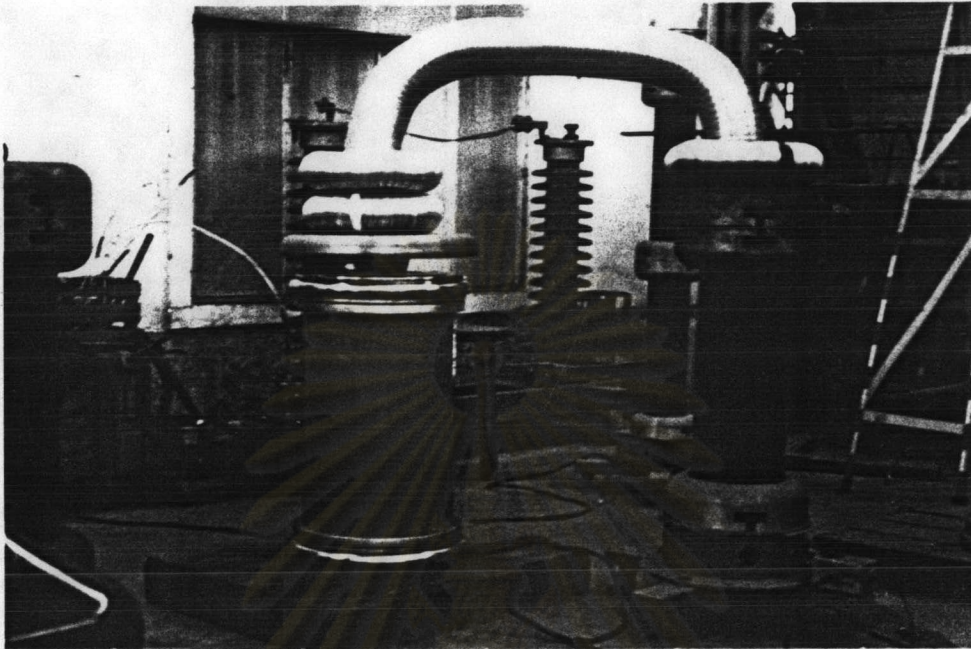
การเกิดคิซาร์จบางส่วนในหม้อแปลง เป็นแพ็คเกจสำคัญที่ทำให้อายุการใช้งานของหม้อแปลงสั้นลง หม้อแปลงที่ประกอบสร้างต้องมี PD น้อยที่สุดหรือไม่เกิดเลย ภาพถ่ายการวัดคิซาร์จบางส่วน แสดงในรูป 5.22 ก. และวงจรที่ใช้ทดสอบ แสดงในรูปที่ 5.22 ข. ทดสอบตามมาตรฐาน IEC Publ. No. 270 [21] ภาพการทดลองแสดงในรูปที่ 5.23 และผลการวัดแสดงในตารางที่ 5.15



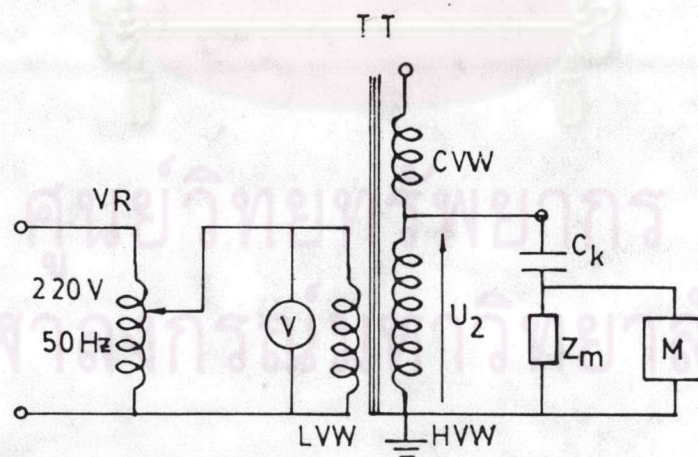
รูปที่ 5.20 รูปคลื่นแรงดันที่ 60 kV



รูปที่ 5.21 รูปคลื่นแรงดันที่ 100 kV



ก.)



ข.)

รูปที่ 5.22 ก.) ภาพถ่ายการวัดคิซาร์จบางส่วน
ข.) วงจรทดสอบวัดค่าคิซาร์จบางส่วน (PD)

CK = คัปปลิ่งคะแบซิเตอร์ 1000 pF, 120 kV

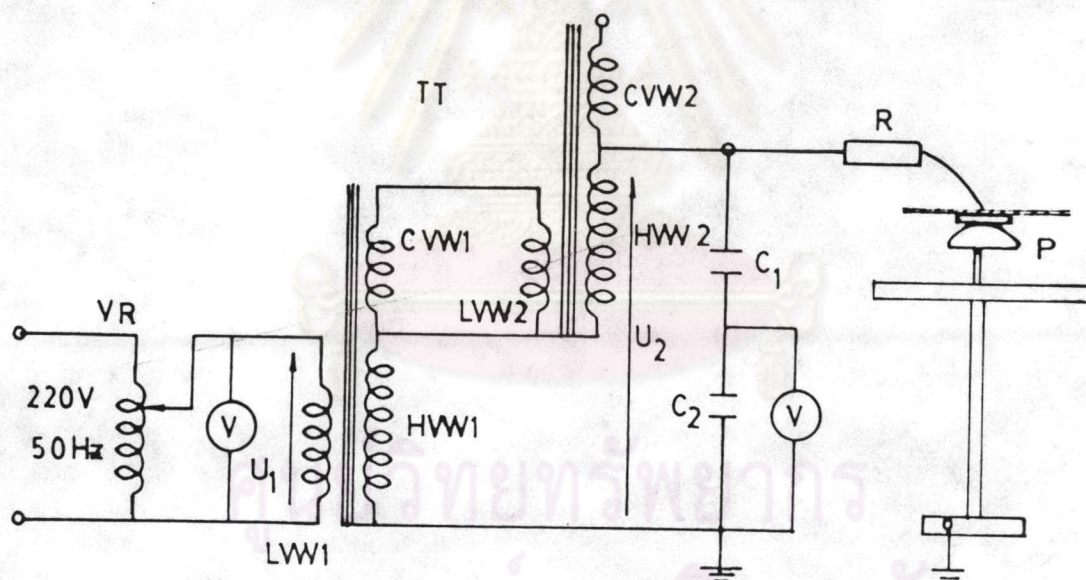
Z_m = อิมพีแดนซ์คัปปลิ่ง Coupling Quadripole AKV73

M = Partial Discharge Meter TEM77

ผลการทดสอบ ผลปรากฏว่าที่แรงดันกำหนด คือ 100 kV หม้อแปลงทดสอบทั้งสองตัวไม่เกิด
กิสซาร์จบางส่วน

5.10 ทดสอบการใช้งาน

นำหม้อแปลงทดสอบทั้งสองต่อขึ้นบันได แล้วทดสอบใช้งานโดยการทดสอบวาวไฟตามผิว
แห้งบนลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า แบบ 56-3 เป็นลูกถ้วยก้านตรง-บอร์ชเลน มีแรงดันวาวไฟตามผิวแห้ง
ความถี่ต่ำ 125 kV ทดสอบตามวงจรในรูปที่ 5.23



VR = ตัวปรับแรงดันป้อนเข้า

TT = หม้อแปลงทดสอบต่อขึ้นบันได

C₁, C₂ = คิโตะเคอร์แบบคะแบซิเตอร์ 1:2394

R = ความต้านทานน้ำ 1 k Ω

V = A.C. โวลต์มิเตอร์

P = ลูกถ้วยก้านตรงแบบ 56-3

รูปที่ 5.23 วงจรทดสอบการใช้หม้อแปลงทดสอบต่อขึ้นบันไดทดสอบวาวไฟ
ตามผิวแห้งบนลูกถ้วยฉนวน

ผลการทดสอบ

ทดสอบวาทไพคานมิวแห้ง 100 ครั้งติดต่อกัน แรงดันวาทไพคานมิวประมาณ 135 kV แสดงว่าหม้อแปลงทดสอบใช้งานได้ดี สามารถรับแรงดันที่มีอัตรา การยุบตัวสูงดีพอ ใช้เวลาทดสอบประมาณ 2 ชั่วโมง โดยที่อุณหภูมิใช้งานยังไม่เพิ่มขึ้น



ศูนย์วิทยพัชการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย