หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

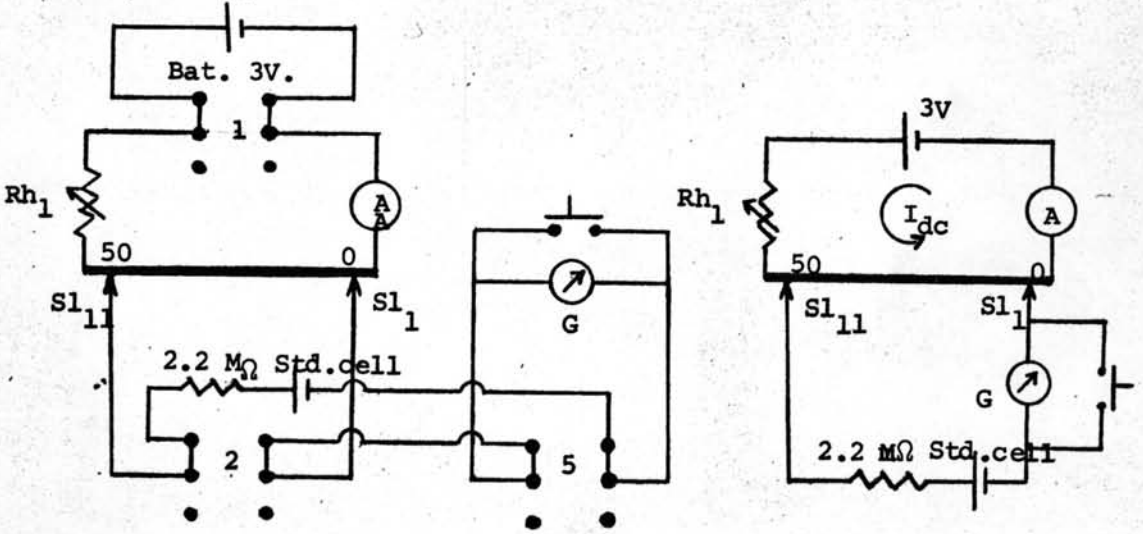
บทที่ 5

การวัดปริมาณไฟฟ้าสลับด้วยโปเทนชิโอมิเตอร์

5.1 การทำมาตรฐาน (standardization)

เป็นการเตรียมโปเทนชิโอมิเตอร์ให้มีศักดาสลับคร่อมลวดความต้านทานที่เป็นศักดาสลับมาตรฐาน ศักดาสลับชุดนี้จะใช้เป็นตัวเทียบกับศักดาสลับที่ต้องการวัดค่า ในการนี้อาศัยเซลมาตรฐาน (standard cell) ของเวสตัน (weston) เป็นหลัก

ขั้นตอนในการทำมาตรฐานให้ทำกับอินเฟสโปเทนชิโอมิเตอร์ (poten. 1) ก่อน วิธีการให้อาศัยดูรูปที่ 4.40 และ 4.41 เป็นหลัก ขั้นแรกให้ต่อแบตเตอรี่ 3 โวลต์ เครื่องเทียบกระแส (A) และเซลมาตรฐาน (std. cell) ที่ขั้วต่อให้ถูกตำแหน่ง ปิดสวิทช์หมายเลข 1 ไปที่ตำแหน่ง Bat. 3V. สวิทช์หมายเลข 2 ไปที่ std. cell และสวิทช์หมายเลข 5 ไปที่ตำแหน่ง poten. 1 ตำแหน่งของ Sl_1 อยู่ที่ 0 เซ็นติเมตร และ Sl_{11} อยู่ที่ 50 เซ็นติเมตรของลวดความต้านทาน ขณะนี้วงจรของอินเฟสโปเทนชิโอมิเตอร์จะเป็นดังรูปที่ 5.1



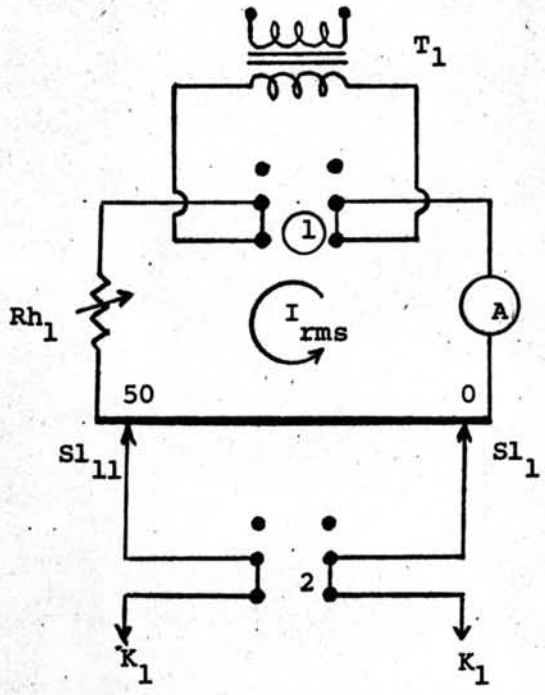
รูปที่ 5.1 ก. ลักษณะวงจรเมื่อทำมาตรฐาน รูปที่ 5.1 ข. รูปที่ 5.1 ก. ที่เขียนใหม่

จะเห็นว่าลักษณะวงจรเหมือนกับการทำมาตรฐานในโปเทนชิโอมิเตอร์กระแสตรงนั่นเอง

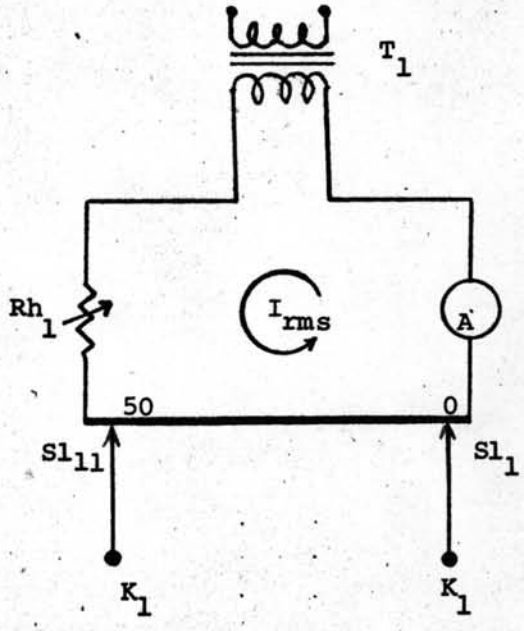
ขั้นต่อไปให้ปรับ Rh_1 จนไม่มีกระแสผ่านกัลวาโนมิเตอร์ บันทึกตำแหน่งของเครื่องที่เทียบกระแสว่าอยู่ที่ค่าใด ขณะนี้จะมีกระแส I_{dc} ไหลในวงจรโปเทนชิโอมิเตอร์ และศักดาตรงคร่อมลวดความต้านทานจะมีค่าเท่ากับศักดาตรงของเซลมาตรฐานคือ

$$V_{Sl_1,Sl_{11}}(dc) = E_S = 1.0185 \text{ โวลต์}$$

ขั้นต่อไปให้ถอดแบตเตอรี่และเซลมาตรฐานออก ปิดสวิทช์ที่ 1 ไปที่ T_1 สวิทช์ 2 ไปที่ K_1 ขณะนี้วงจรโปเทนชิโอมิเตอร์จะต่อกับหม้อแปลงคาย T_1 ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ก. ลักษณะวงจรเมื่อต่อกับ T_1



รูปที่ 5.2 ข. รูปที่ 5.2 ก. ที่เขียนใหม่

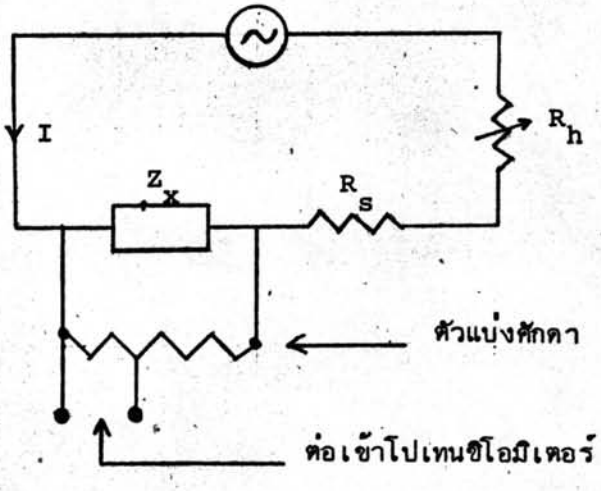
ต่อไปให้ปรับ Rh_1 จนกระทั่งเข็มของเครื่องเทียบกระแส (A) ชี้ที่ตำแหน่งเดิมกับครั้งแรกที่บันทึกไว้ ดังนั้นกระแสที่ไหลในวงจรโปเทนชิโอมิเตอร์ขณะนี้คือ กระแสสลับ อาร์ เอ็ม เอส (I_{rms}) ซึ่งมีค่าเท่ากับกระแสตรง (I_{dc}) ในรูปที่ 5.1

นั่นคือ ศักดาสลับที่คร่อมลวดความต้านทาน ($V_{Sl_1,Sl_{11}}$) คือศักดาสลับ อาร์ เอ็ม เอส และมีค่าเท่ากับศักดาตรงของเซลมาตรฐาน

$$V_{Sl_1,Sl_{11}}(rms) = 1.0185 \text{ โวลต์}$$

การทำมาตรฐานกับควอเดรเจอร์โปเทนชิโอมิเตอร์ ก็ทำในทำนองเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว โดยใช้สวิทช์หมายเลข 3 4 และ 5 แล้วดำเนินขั้นตอนเหมือนเดิม เมื่อทำมาตรฐานกับโปเทนชิโอมิเตอร์ทั้งสองแล้ว เครื่องมือก็พร้อมที่จะใช้วัดปริมาณไฟฟ้าสลับ

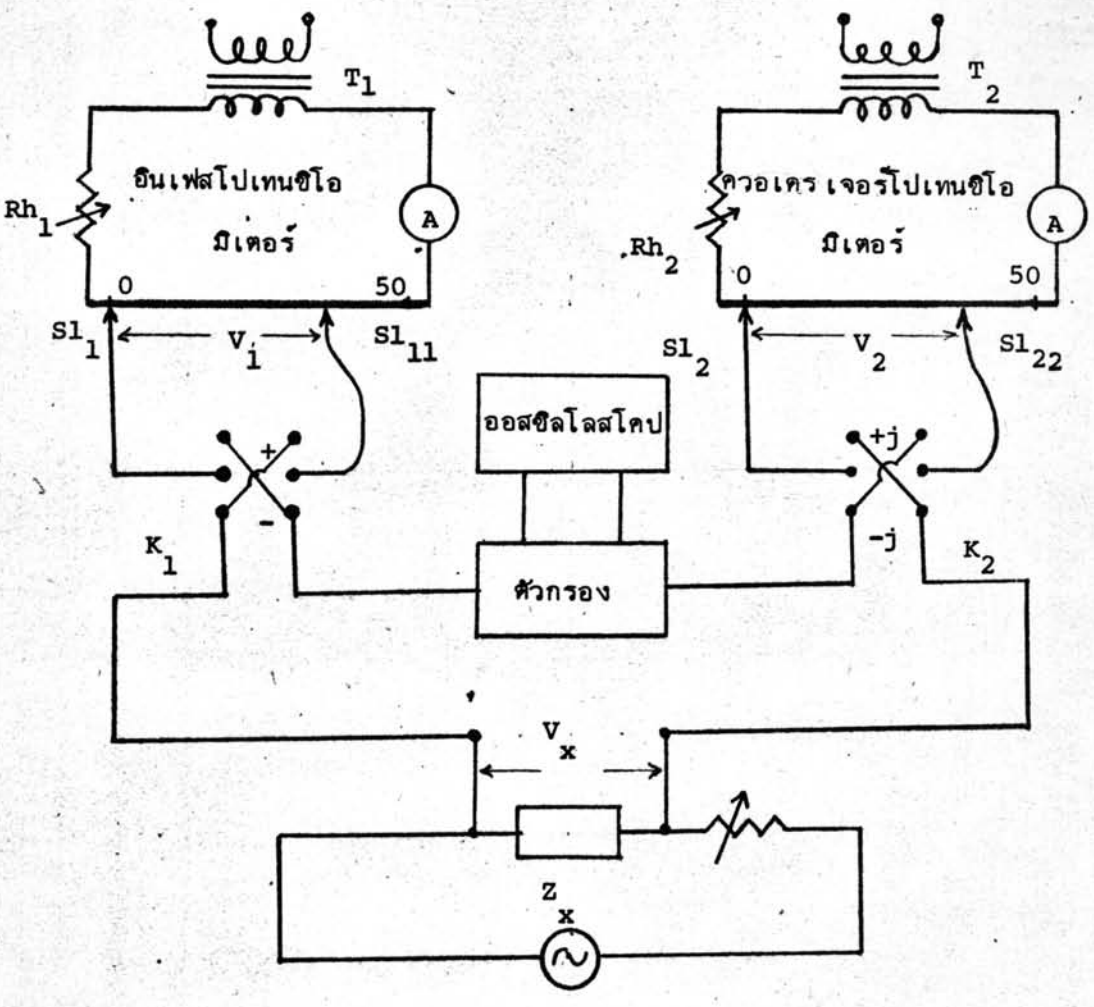
เนื่องจากศักดาสลับที่คร่อมลวดความต้านทานซึ่งยาว 50 เซ็นติเมตร (500 มิลลิเมตร) มีค่าเท่ากับ 1.0185 โวลต์ ช่วงการวัดของลวดความต้านทานซึ่งยาว 1 มิลลิเมตรจึงเท่ากับ 2.03 มิลลิโวลต์ ศักดาสลับสูงสุดที่เครื่องมือวัดได้เท่ากับ 1.0185 โวลต์ ดังนั้นถ้าต้องการวัดค่าที่สูงกว่านี้จะต้องใช้ตัวแบ่งศักดา (voltage divider) ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ลักษณะวงจรเมื่อใช้ตัวแบ่งศักดา

5.2 การวัดศักดาสลับ

โดยอาศัยรูปที่ 4.39 เป็นหลัก หลังจากที่ทำมาตรฐานแล้ว เมื่อจะวัดศักดาสลับที่คร่อม Z_x ทำได้โดยต่อ a b กับ a_1 b_1 ทำให้วงจรโปเทนชิโอมิเตอร์ต่อกับ Z_x ต่อไปทำการเลื่อน Sl_{11} และ Sl_{22} ไปมา (โดยให้ Sl_1 และ Sl_2 อยู่ที่ตำแหน่ง 0 เซ็นติเมตร) ในการนี้บางทีจะต้องมีการสับสวิทช์ K_1 K_2 เพื่อเลือกเครื่องหมาย ปรับจนกระทั่งถึงจุดสมดุลย์ โดยดูได้จากออสซิลโลสโคป



รูปที่ 5.4 ลักษณะวงจรเมื่อวัดศักดาสลับ

ให้ศักดาสลับที่อ่านได้จากอินเฟสโปเทนชิโอมิเตอร์และควอเดเจอร์โปเทนชิโอมิเตอร์เป็น V_1 และ V_2 ตามลำดับ เครื่องหมายดูได้จาก K_1 K_2

$$V_1 = \pm \frac{1.0185 \text{ x(ความยาวลวดระหว่าง } Sl_1 \text{ กับ } Sl_{11} \text{ เป็น ซ.ม.)}}{50} \text{ โวลต์}$$

$$V_2 = \pm j \frac{1.0185 \text{ x(ความยาวลวดระหว่าง } Sl_2 \text{ กับ } Sl_{22} \text{ เป็น ซ.ม.)}}{50} \text{ โวลต์}$$

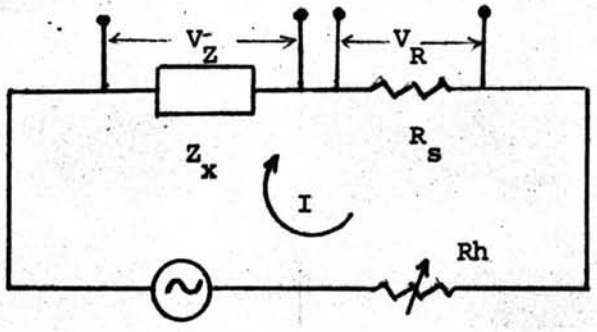
ศักดาสลับที่ต้องการทราบค่าคือ V_x

โดยที่ $V_x = \pm V_1 \pm jV_2$

ขนาด (magnitude) ของ $V_x = \sqrt{V_1^2 + V_2^2}$

5.3 การวัดความชัด

ในการวัดความชัดของ Z_x ทำได้โดยใช้ตัวต้านทานที่ทราบค่าแล้ว (R_s) ต่ออนุกรมเข้ากับ Z_x แล้ววัดศักดาสลับที่คร่อม Z_x และ R_s ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 การต่อวงจรเพื่อวัดความชัด

ศักดาสลับคร่อม $R_s = V_R = IR_s = \pm V_{1r} \pm jV_{2r}$

ศักดาสลับคร่อม $Z_x = V_z = IZ_x = \pm V_1 \pm jV_2$

$$\frac{Z_x}{R_s} = \frac{\pm V_1 \pm jV_2}{\pm V_{1r} \pm jV_{2r}} = \frac{(\pm V_1 \pm jV_2)(\pm V_{1r} \mp jV_{2r})}{V_{1r}^2 + V_{2r}^2}$$

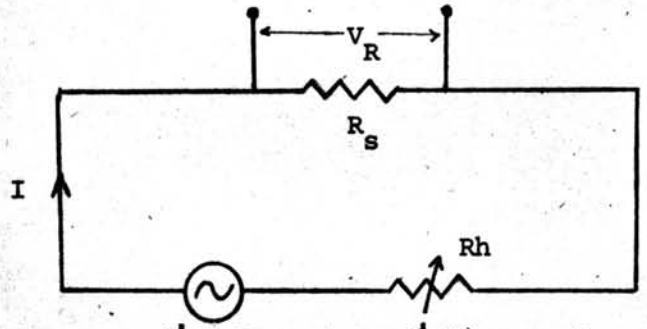
$$Z_x = \frac{R_s(V_1V_{1r} + V_{2r}V_2)}{V_{1r}^2 + V_{2r}^2} \pm j \frac{R_s(V_2V_{1r} - V_{2r}V_1)}{V_{1r}^2 + V_{2r}^2}$$

ขนาดของ $Z_x = \frac{R_s}{V_{1r}^2 + V_{2r}^2} \sqrt{(V_1V_{1r} + V_{2r}V_2)^2 + (V_2V_{1r} - V_{2r}V_1)^2}$

$\tan \psi = \frac{V_2V_{1r} - V_{2r}V_1}{V_1V_{1r} + V_{2r}V_2}$ โดยที่ ψ เป็นมุมระหว่างกระแส (I) และศักดาสลับที่คร่อม Z_x (V_z)

5.4 การวัดกระแสสลับ

ทำได้โดยใช้วิธีวัดศักดาสลับที่คร่อมตัวต้านทานที่ทราบค่าแล้ว (R_s)



รูปที่ 5.6 รูปวงจรเพื่อวัดกระแสสลับ

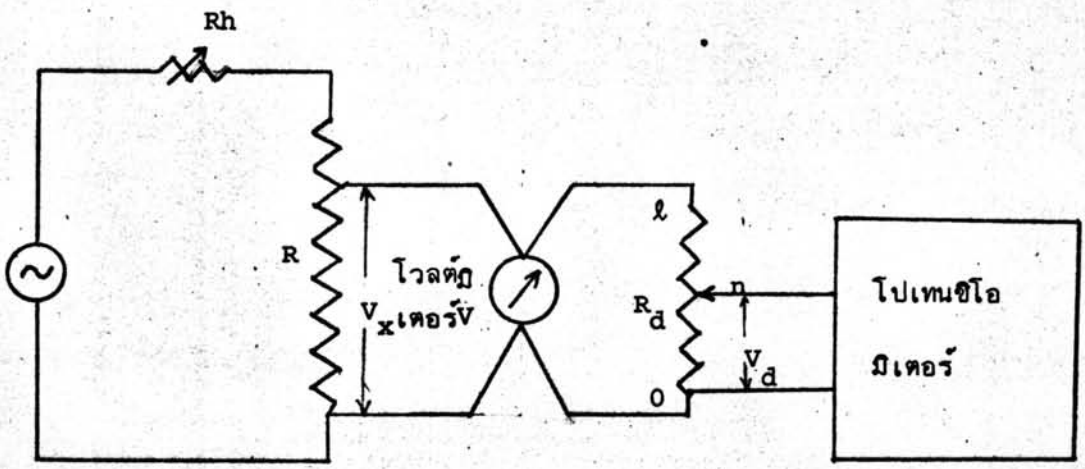
$$V_R = IR_s = \pm V_{1r} \pm j V_{2r}$$

$$I = \frac{\sqrt{V_{1r}^2 + V_{2r}^2}}{R_s}$$

5.5 การเทียบมาตรฐานโวลมิเตอร์กระแสสลับ (calibration of ac. voltmeter)

โดยการจัดวงจร ดังรูปที่ 5.7 โวลมิเตอร์ที่จะทำการเทียบมาตรฐาน (calibrate) ต่อวัดค่า V_x ของลวดความต้านทาน R ศักดาสลับ V_x นี้จะทราบค่าได้จากการวัดด้วยโปเทนชิโอมิเตอร์ ร่วมกับตัวแบ่งศักดา (voltage divider) R_d โดยที่

$$V_x = \frac{1}{n} V_d$$

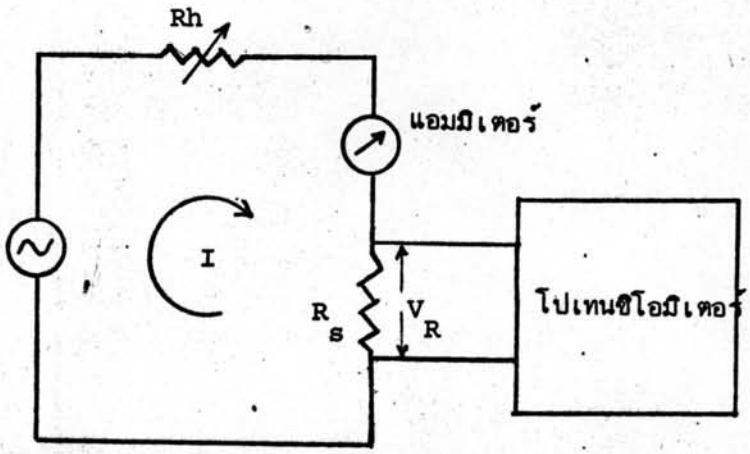


รูปที่ 5.7 วงจรเทียบมาตรฐานโวลมิเตอร์กระแสสลับ

5.6 การเทียบมาตรฐานแอมมิเตอร์กระแสสลับ (calibration of ac. ammeter)

โดยการจัดวงจรดังรูปที่ 5.8 แอมมิเตอร์ต่ออนุกรมกับความต้านทานที่ทราบค่า R_s กระแสที่ไหลผ่านแอมมิเตอร์ทราบได้โดยการวัดศักดาสลับคร่อม R_s ด้วยโปเทนชิโอมิเตอร์ โดยที่

$$I = \frac{V_R}{R_s}$$

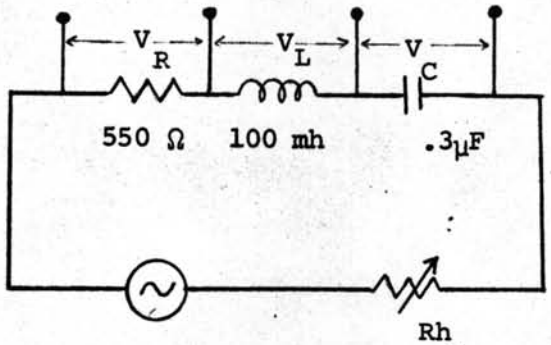


รูปที่ 5.8 วงจรเทียบมาตรฐานแอมมิเตอร์กระแสสลับ

5.7 การทดลอง

โดยการใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้น ทดลองวัดปริมาณไฟฟ้าสลับ เพื่อตรวจดูประสิทธิภาพของเครื่องนี้

การทดลองที่ 1 วัดศักดาสลับคร่อมตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวจุ ซึ่งต่ออนุกรมกัน



ตารางที่ 5.1

วัดศักดาคร่อม	ครั้งที่	ระยะลวดค.ต.ท.1(ซม.)	V_1 (+) (โวลต์)	ระยะลวดค.ต.ท.2(ซม.)	V_2 (+j) โวลต์
R 550 Ω	1	8.8	.1792	6.1	.1242
	2	8.7	.1772	6.2	.1262
	3	8.7	.1772	6.1	.1242
	4	8.7	.1772	6.1	.1242
	5	8.8	.1792	6.1	.1242
	$V_1 = +(.1780 \pm .0007)$			$V_2 = +j\ (.1246 \pm .0007)$	

วัดศักดาคร่อม	ครั้งที่	ระยะลวดค.ต.ท. 1 (ซ.ม.)	V_1 (+) (โวลต์)	ระยะลวดค.ต.ท 2 (ซ.ม.)	V_2 (-j) (โวลต์)
L 100 mh	1	7.4	.1507	7.7	.1568
	2	7.4	.1507	7.6	.1548
	3	7.5	.1527	7.7	.1568
	4	7.4	.1507	7.7	.1568
	5	7.4	.1507	7.7	.1568

$V_1 = + (.1511 \pm .0007)$ $\qquad$ $V_2 = - j (.1564 \pm .0007)$

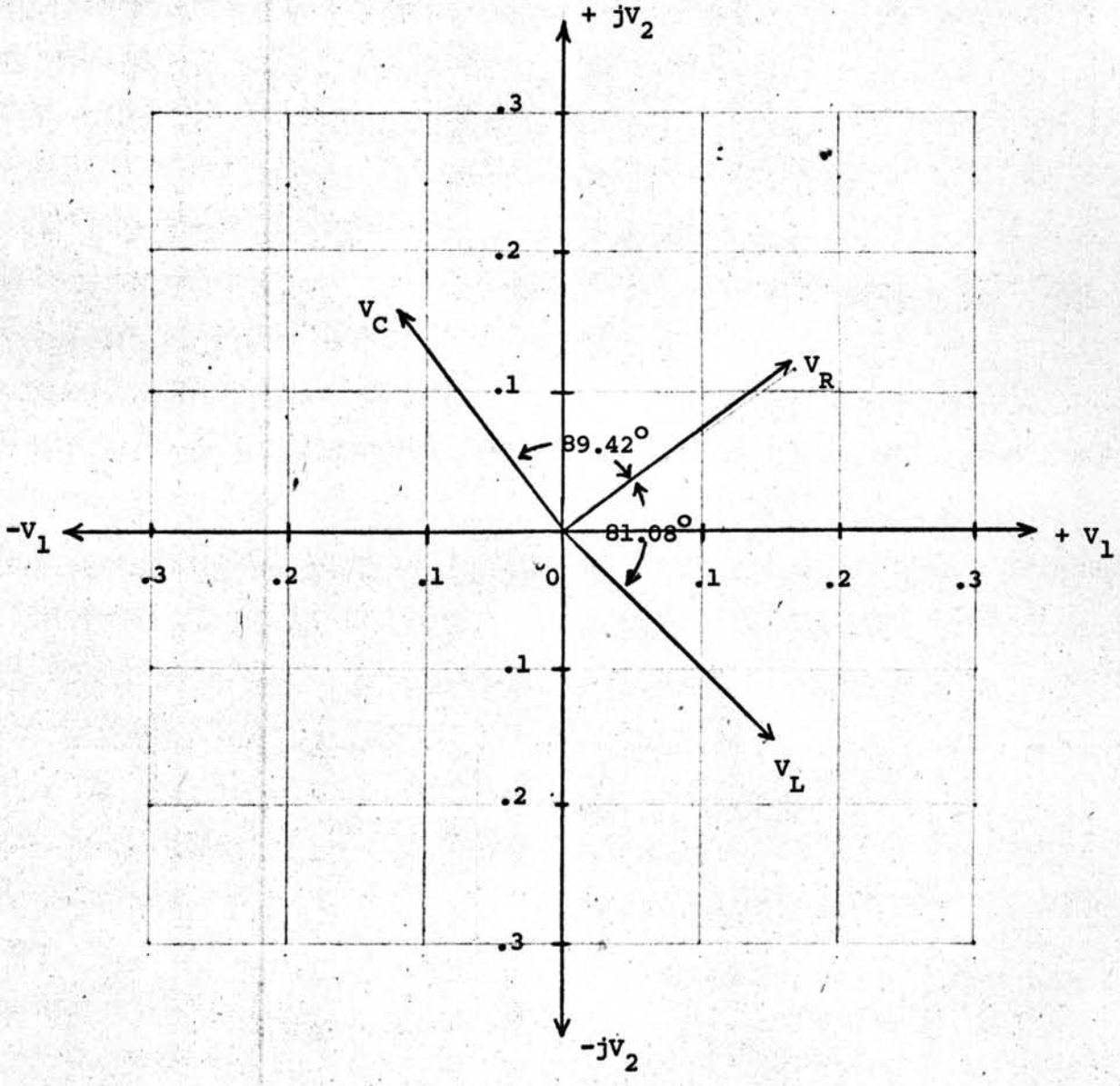
วัดศักดาคร่อม	ครั้งที่	ระยะลวด ค.ค.ท. 1 (ซ.ม.)	V_1 (-) (โวลต์)	ระยะลวดค.ค.ท 2 (ซ.ม.)	V_2 (+j) (โวลต์)
C .3μF	1	6.2	.1262	9.2	.1874
	2	6.3	.1283	9.1	.1853
	3	6.3	.1283	9.1	.1833
	4	6.2	.1262	9.1	.1853
	5	6.2	.1262	9.1	.1853

$V_1 = -(.1270 \pm .0007)$ $\qquad$ $V_2 = + j(.1857 \pm .0007)$

$$V_R = + (.1780 \pm .0007) + j (.1246 \pm .0007) = .2172 \pm .0010$$

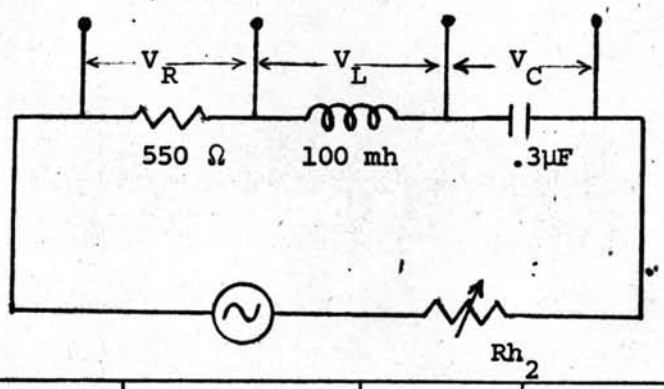
$$V_L = + (.1511 \pm .0007) - j (.1564 \pm .0007) = .2174 \pm .0010$$

$$V_C = - (.1270 \pm .0007) + j (.1857 \pm .0007) = .2249 \pm .0010$$



กราฟการทดลองที่ 1

การทดลองที่ 2 วัดศักดาคร่อมตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวจุ ซึ่งต่ออนุกรมกัน



ตารางที่ 5.2

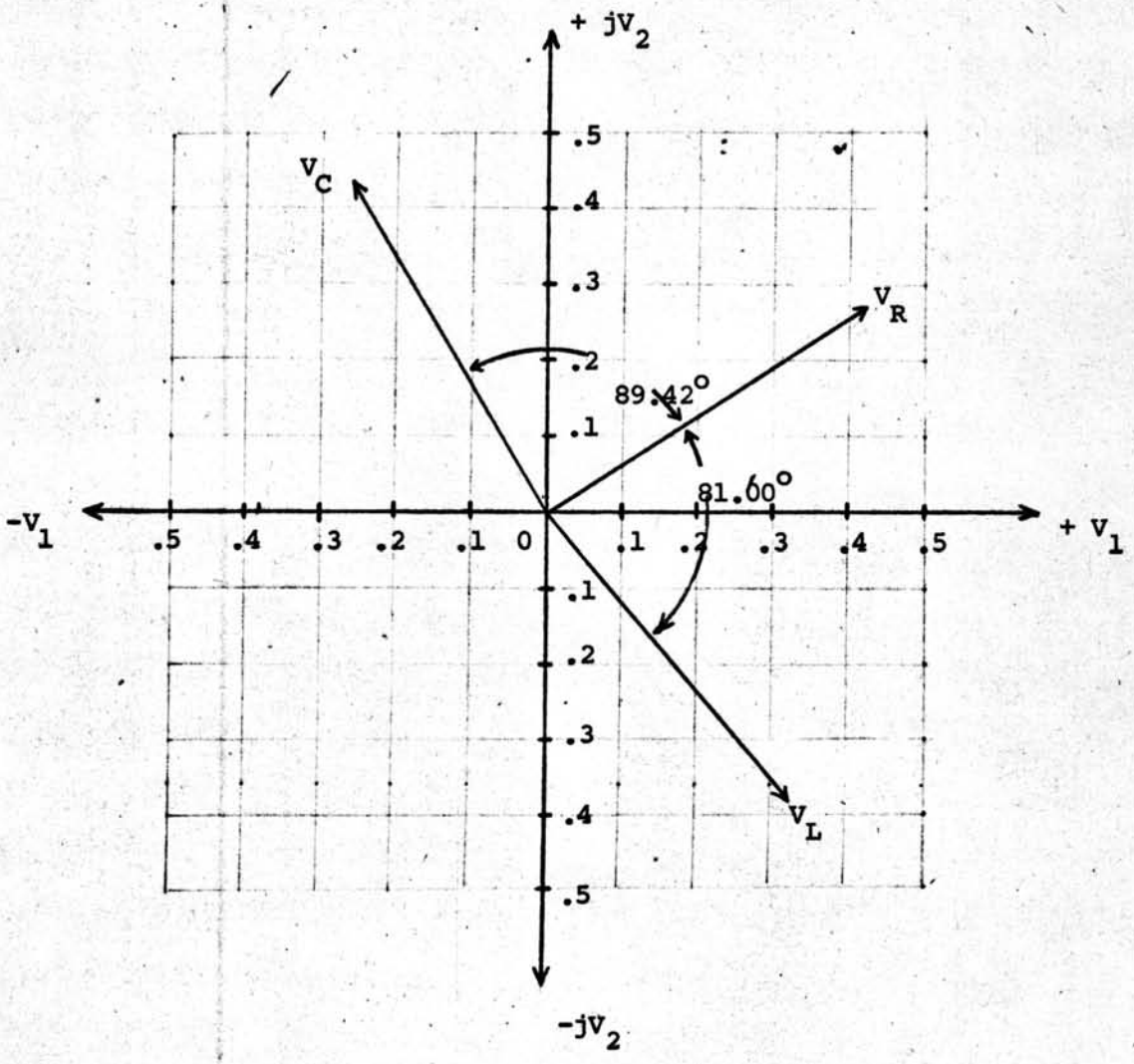
วัดศักดาคร่อม	ครั้งที่	ระยะลวดค.ต.ท. 1 (ซ.ม.)	V_1 (+) (โวลต์)	ระยะลวดค.ต.ท. 2 (ซ.ม.)	V_2 (+j) (โวลต์)
R 550 Ω	1	20.4	.4155	12.7	.2586
	2	20.3	.4135	12.7	.2586
	3	20.3	.4135	12.6	.2566
	4	20.3	.4135	12.7	.2586
	5	20.3	.4135	12.6	.2566
$V_1 = +$ (.4139 ± .0007)			$V_2 = +j$ (.2582 ± .0007)		
วัดศักดาคร่อม	ครั้งที่	ระยะลวดค.ต.ท. 1 (ซ.ม.)	V_1 (+) (โวลต์)	ระยะลวดค.ต.ท. 2 (ซ.ม.)	V_2 (-j) (โวลต์)
L 100 mh	1	15.9	.3238	18.8	.3829
	2	15.9	.3238	18.7	.3809
	3	15.8	.3218	18.7	.3809
	4	15.9	.3238	18.6	.3788
	5	15.8	.3218	18.6	.3788

$V_1 = +(.3230 \pm .0007)$				$V_2 = -j\ (.3846 \pm .0011)$	
วัดศักดาคร่อม	ครั้งที่	ระยะลวดค.ต.ท. 2 (ซ.ม.)	V_1 (-) (โวลต์)	ระยะลวดค.ต.ท. 2 (ซ.ม.)	V_2 (+j) (โวลต์)
C .3 μF	1	13.1	.2668	21.6	.4399
	2	13.1	.2668	21.6	.4399
	3	13.1	.2668	21.5	.4379
	4	13.2	.2688	21.5	.4379
	5	13.1	.2668	21.4	.4359
$V_1 = -(.2672 \pm .0007)$				$V_2 = +j\ (.4385 \pm .0011)$	

$$V_R = +(.4139 \pm .0007) + j\ (.2582 \pm .0007) = .4878 \pm .0010$$

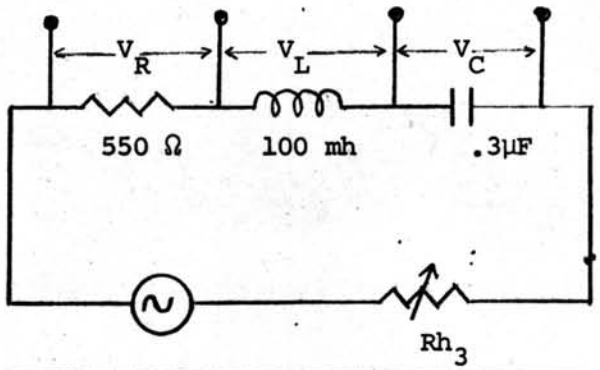
$$V_L = +(.3230 \pm .0007) - j\ (.3846 \pm .0011) = .5022 \pm .0012$$

$$V_C = -(.2672 \pm .0007) + j\ (.4385 \pm .0011) = .5134 \pm .0012$$



กราฟการทดลองที่ 2

การทดลองที่ 3 วัดศักดาครร่อมตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวจุซึ่งต่ออนุกรมกัน



ตารางที่ 5.3

วัดศักดาครร่อม	ครั้งที่	ระยะลวดค.ต.ท. 1 (ซ.ม.)	V_1 (+) (โวลต์)	ระยะลวดค.ต.ท. 2 (ซ.ม.)	V_2 (+j) (โวลต์)
R 550 Ω	1	36.5	.7435	23.5	.4786
	2	36.5	.7435	23.4	.4766
	3	36.4	.7415	23.3	.4746
	4	36.5	.7435	23.3	.4746
	5	36.5	.7435	23.4	.4766
V_1 = + (.7430 ± .0007)				V_2 = +j (.4761 ± .0011)	

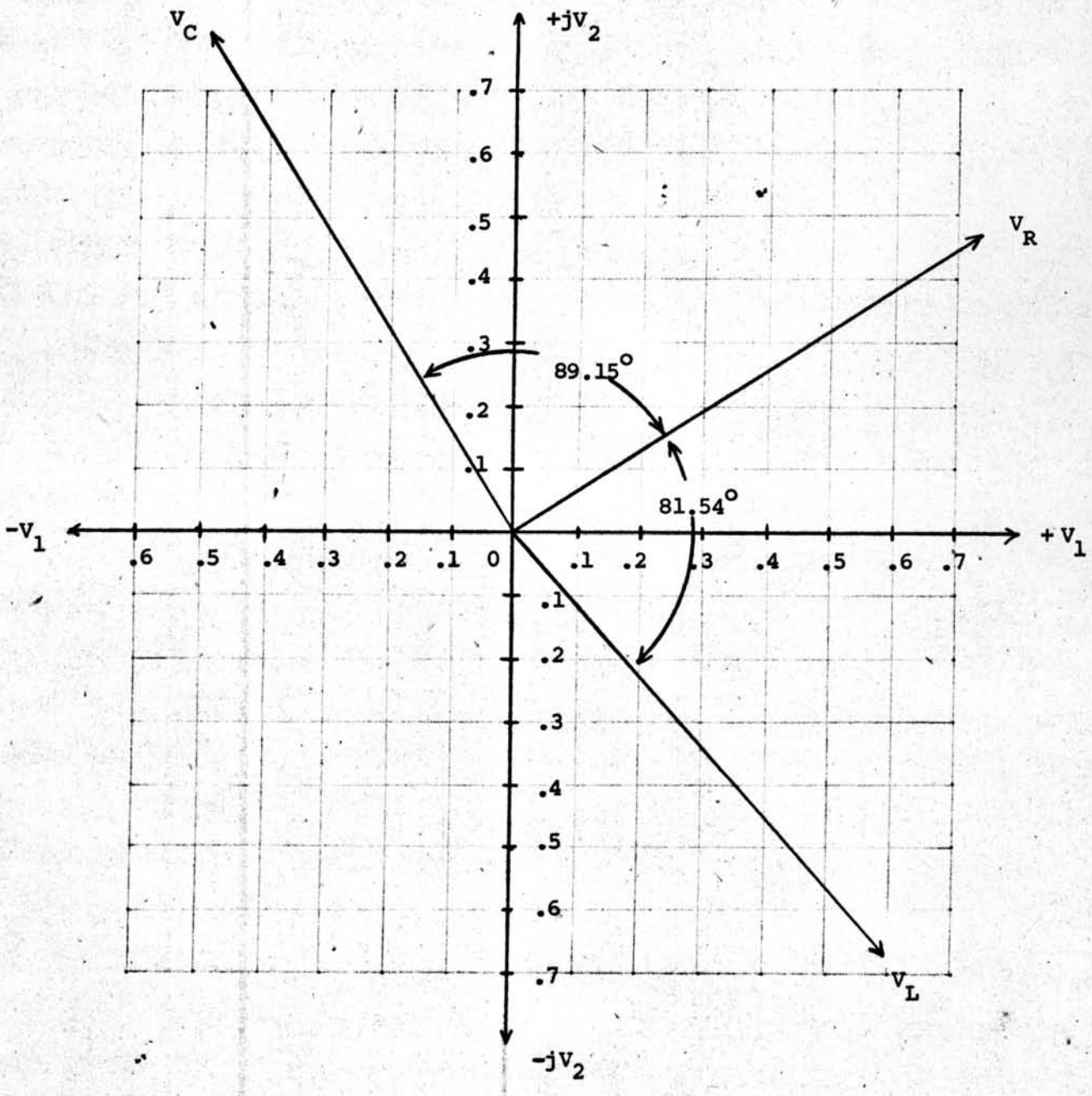
วัดศักดาครร่อม	ครั้งที่	ระยะลวดค.ต.ท. 1 (ซ.ม.)	V_1 (+) (โวลต์)	ระยะลวดค.ต.ท. 2 (ซ.ม.)	V_2 (-j) (โวลต์)
L 100 mh	1	29.1	.5927	33.3	.6783
	2	29.1	.5927	33.3	.6783
	3	29.1	.5927	33.4	.6803
	4	29.2	.5948	33.5	.6823
	5	29.2	.5948	33.5	.6823

$V_1 = + (.5932 \pm .0007)$				$V_2 = -j\ (.6798 \pm .0012)$	
วัดหักตาคร่อม	ครั้งที่	ระยะลวดค.ต.ท. 1 (ซ.ม.)	V_1 (-) (โวลต์)	ระยะลวด ค.ต.ท.2(ซ.ม.)	V_2 (+j) (โวลต์)
C.3 μF	1	24.3	.4949	39.3	.8005
	2	24.3	.4949	39.2	.7985
	3	24.2	.4929	39.2	.7985
	4	24.3	.4949	39.2	.7985
	5	24.3	.4949	39.3	.8005
$V_1 = - (4944 \pm .0002)$				$V_2 = -j\ (7990 \pm .0007)$	

$$V_R = + (.7430 \pm .0007) + j\ (.4761 \pm .0012) = .8824 \pm .0012$$

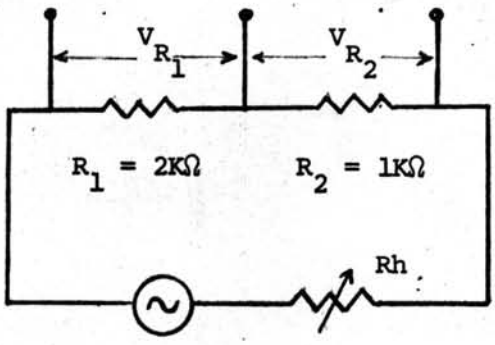
$$V_L = + (.5932 \pm .0007) - j\ (.6789 \pm .0012) = .9015 \pm .0012$$

$$V_C = - (.4944 \pm .007) + j\ (.7990 \pm .0007) = .9395 \pm .0010$$



กราฟการทดลองที่ 3

การทดลองที่ 4 วัดศักดาคร่อมตัวต้านทาน 2 ตัวต่ออนุกรมกัน

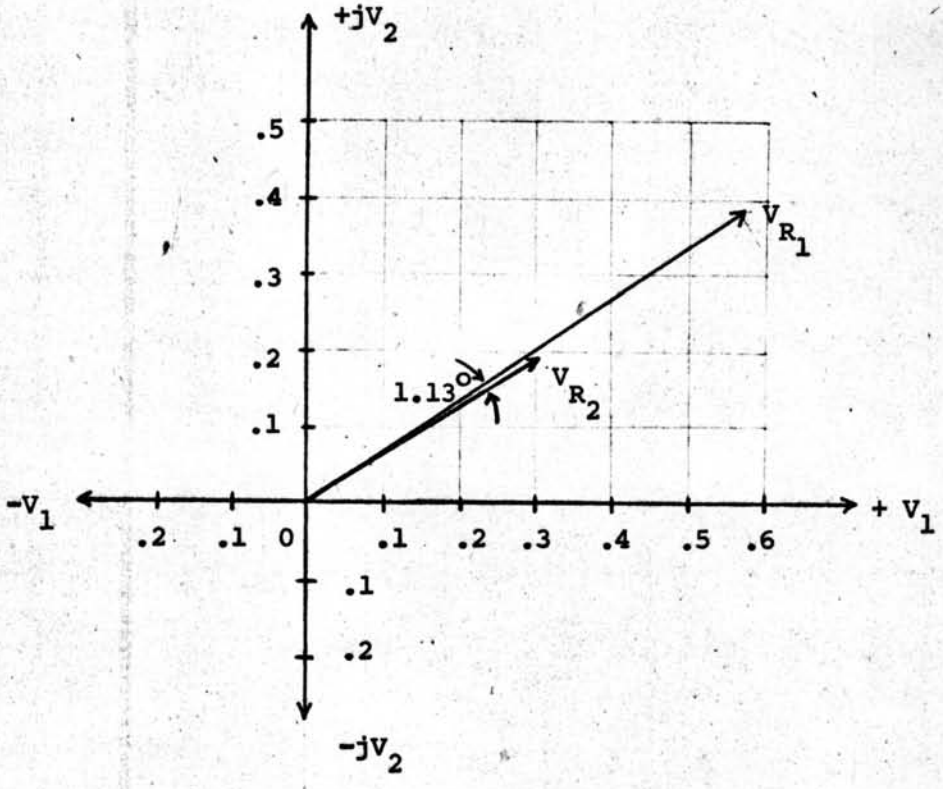


ตารางที่ 5.4

วัดศักดาคร่อม	ครั้งที่	ระยะลวดค.ต.ท. 1 (ซ.ม.)	V_1 (+) (โวลต์)	ระยะลวดค.ต.ท. 2 (ซ.ม.)	V_2 (+j) (โวลต์)
R_1	1	28.6	.5825	19.4	.3952
	2	28.6	.5825	19.4	.3952
	3	28.7	.5846	19.3	.3931
	4	28.6	.5825	19.3	.3931
	5	28.7	.5846	19.2	.3911
	6	28.7	.5846	19.3	.3931
V_1 = + (.5838 ± .0010)			V_2 = +j (.3931 ± .0011)		
R_2	1	14.7	.2994	9.8	.1996
	2	14.8	.3015	9.8	.1996
	3	14.8	.3015	9.8	.1996
	4	14.8	.3015	9.7	.1975
	5	14.8	.3015	9.7	.1975
	6	14.9	.3035	9.6	.1955
V_1 = + (.3011 ± .0007)			V_2 = + j (.19982 ± .0011)		

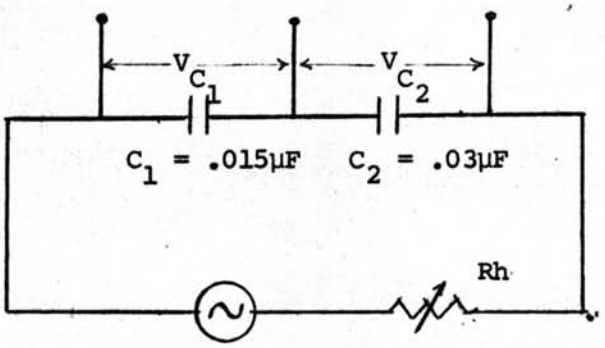
V_{R_1} = + (.5838 ± .0010) + j (.3931 ± .0011) = .7038 ± .0012

V_{R_2} = + (.3011 ± .0007) + j (.1982±± .0011) = .3604 ± .0011



การฟ้าทดลองที่ 4

การทดลองที่ 5 วัดศักดาคร่อมตัวจุ 2 ตัว ต่ออนุกรมกัน

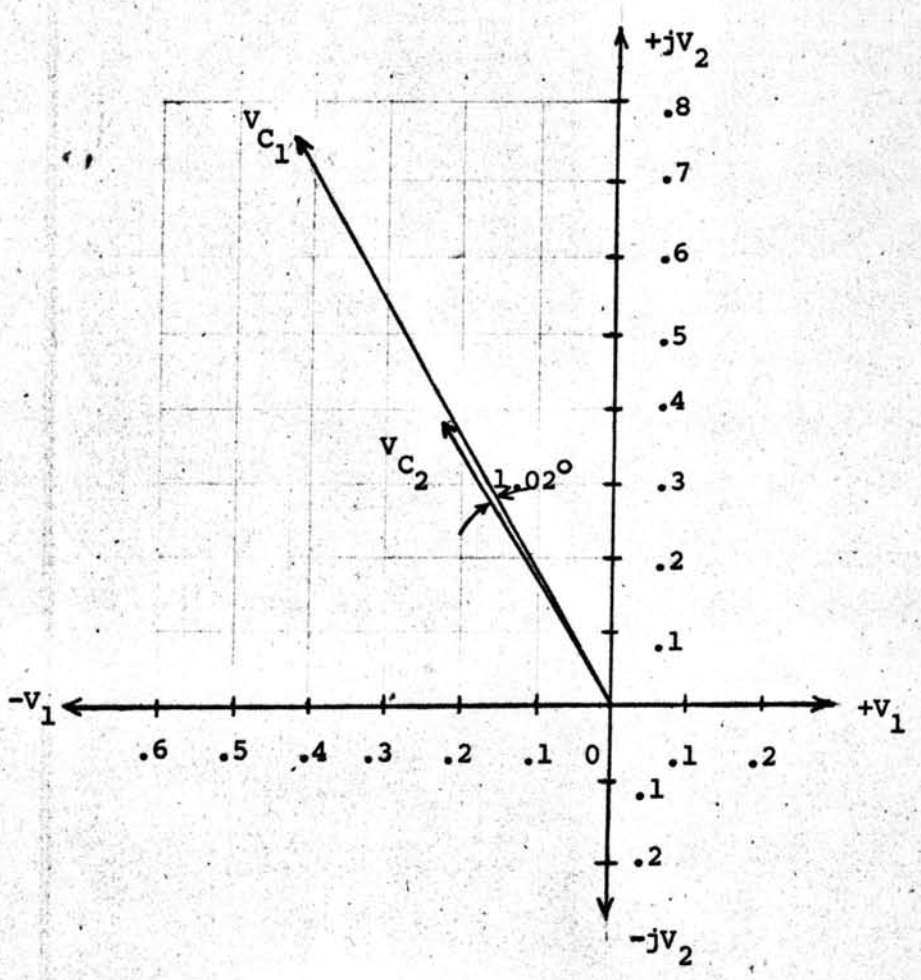


ตารางที่ 5.5

วัดศักดาคร่อม	ครั้งที่	ระยะลวดค.ต.ท. 1 (ซ.ม.)	V_1 (-) (โวลต์)	ระยะลวดค.ต.ท. 2 (ซ.ม.)	V_2 (+j) (โวลต์)
C_1	1	21.3	.4339	37.5	.7638
	2	21.2	.4318	37.6	.7659
	3	21.1	.4298	37.6	.7659
	4	21.1	.4298	37.6	.7659
	5	21.1	.4298	37.5	.7638
	6	21.1	.4298	37.5	.7638
$V_1 = -(.4308 \pm .0011)$				$V_2 = +j\ (.7648 \pm .0008)$	
C_2	1	11	.2241	19.1	.3890
	2	10.9	.2220	19.0	.3870
	3	10.9	.2220	19.2	.3911
	4	10.8	.2199	19.1	.3890
	5	10.8	.2199	19.1	.3890
	6	10.9	.2220	19.1	.3890
$V_1 = -(.2216 \pm .0010)$				$V_2 = +j\ (.3890 \pm .0009)$	

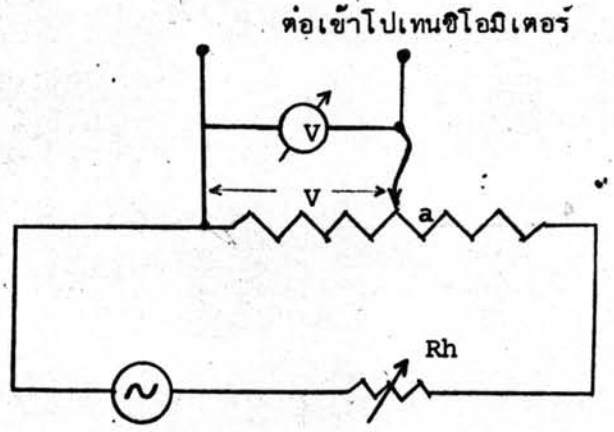
$V_{C_1} = -(.4380 \pm .0011) + j(.7648 \pm .0008) = .8777 \pm .0012$

$V_{C_2} = -(.2216 \pm .0010) + j(.3890 \pm .0009) = .4476 \pm .0012$



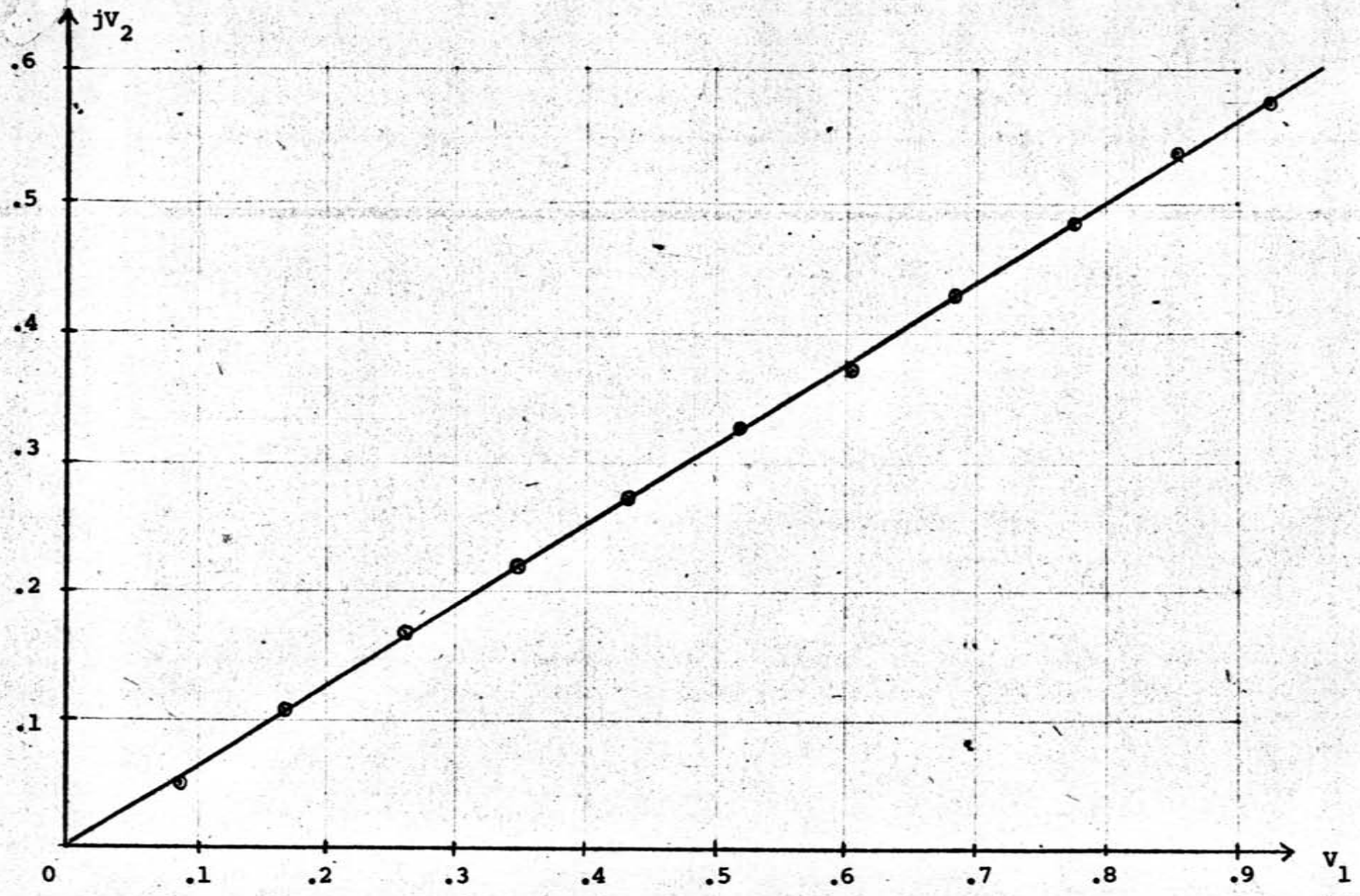
กราฟการทดลองที่ 5

การทดลองที่ 6 การเทียบมาตรฐานโวลต์มิเตอร์กระแสสลับ โดยการเลื่อนจุดสัมผัส a ให้โวลต์มิเตอร์อ่านที่ค่าต่าง ๆ แล้วเทียบกับที่วัดด้วยการใช้โปเทนชิโอมิเตอร์



ตารางที่ 5.6

V (โวลต์)	ระยะลวดค.ต.ท. 1 (ซ.ม.)	V_1 (โวลต์)	ระยะลวดค.ต.ท. 2 (ซ.ม.)	V_2(โวลต์)	$V = \sqrt{V_1^2 + V_2^2}$
0.1	4.2	.0855	2.4	.0488	.0984
0.2	9.5	.1649	5.1	.1038	.1948
0.3	12.9	.2626	8.1	.1649	.3101
0.4	17.0	.3461	10.8	.2198	.4099
0.5	21.2	.4316	13.3	.2708	.5095
0.6	25.3	.5151	16.0	.3257	.6094
0.7	29.5	.6006	18.5	.3766	.7089
0.8	33.5	.6820	21.1	.4295	.8059
0.9	38.1	.7757	24.0	.4886	.8960
1.0	42.0	.8551	26.6	.5415	1.0121
1.1	45.3	.9222	28.6	.5823	1.0906



กราฟการทดลองที่ 6