

เอกสารอ้างอิง

1. Kreuger, E.H., Discharge Detection in High Voltage Equipment, pp. 7-85, Temple press Books Ltd., London, 1964.
2. คมสัน เพ็ชรรักษ์, สำรวย สังข์สะอาด, "การศึกษาการเกิดดีสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า 8 สถาบันอุดมศึกษา ครั้งที่ 7, หน้า ก-70-ก-78, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าวิทยาเขตธนบุรี, 2527.
3. Kuffel, E., and Zaengl, W.S., High Voltage Engineering : Fundamentals, pp. 433-461, Pergamon Press Ltd., Oxford, 1st ed., 1984.
4. Gallagher, T.J., Pearmain, A.J., High Voltage : Measurement Testing and Design, John Wiley and Sons. 1st ed., 1983.
5. นุชากร ภูมิวัฒน์, "การวัดแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง," วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.
6. IEC Standard Publ.No.270(1981), Partial Discharge Measurements
7. IEC Standard Publ.No.885-2(1987), Electrical Test Methods for Electric Cable, Part 2 : Partial Discharge Tests
8. IEC Standard Publ.No.885-3(Draft), Test Methods for Partial Discharge Measurements on Lengths of Extruded Power Cable
9. IEC Standard Publ.No.76-3(1980), Power Transformers Part 3 : Insulation levels and dielectric tests
10. IEC Standard Publ.No.44-4(1980), Instrument Transformets Part 4 : Measurement of Partial Discharges
11. IEC Standard Publ.No.540(1983), Extruded Solid Dielectric Insulated Power Cables for Rated Voltages from 1kV up to 30 kV.

12. IEEE Committee Report, "Review of Technical Considerations on Limits to interference from Power Lines and Substations," Trans. IEEE PAS-99(1980), pp. 365-388
13. Burnley, K.G., and Exon, J.L.T., "Relationship Between Various Measurement Techniques for Void Discharges," IEE Proc. Vol.126, Pt.A, No.8(1982), pp. 593-606
14. Boggs, S.A. and Stone, G.C., "Fundamental Limitations in the Measurement of Corona and Partial Discharge," Trans. IEEE EI-17(1982), pp. 143-150
15. Osvath, P., "Perspective of Partial Discharge Detection and Location," IEEE-Thailand Section Seminar, Chulalongkorn University, 1988
16. Robinson Instruments Limited, "Pulse Discrimination Partial Discharge Detector Model 803 : Manual (Test specification),"
17. Mole, G., "Three-Phase Coupling Unit for Partial discharge Test on Cables," Power Engineering Journal (1987), pp. 311-315
18. Zaengl, W.S., Osvath P. and Weber, H.J., "Correlation Between the Bandwidth of PD-detectors and Its Inherent Integration Errors," RGE-N 4, Tellex AG Instruments Zurich Switzerland
19. NEMA Publ.No. WC8-1976, Ethylene-Propylene-Rubber Insulated wire and Cable for the Transmission and Distribution of Electrical Energy
20. NEMA Publ.No.170-1964, Methods of Measurement for Radio Influence Voltage of High Voltage Apparatus
21. NEMA Publ.No.TR.1-1974, Transformers, Regulators and Reactors, Part9
22. Vaillancourt, G.H., Malewski, R., and Train, D., "Comparison of Three Techniques of Partial Discharge Measurements in

- Power Transformers," Trans. IEEE PAS-104(1985), pp. 900-905
23. Robinson Instruments Limited, "Pulse Discrimination Partial Discharge DEctor Model 803 : Manual (Operation),"
24. Wieringa, L., "Location of Small Discharges in Plastics Insulated High Voltage Cable," Trans. IEEE PAS-104(1985), pp. 2-8
25. Lam. H., Analog and Digital Filters : Design and Realization, pp. 225-448, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1979.
26. เอกชัย ลีลาวัศม์ "เล็ก 5.0 ซอฟต์แวร์สำหรับวิเคราะห์วงจรรีเลย์อิเล็กทรอนิกส์เชิงเส้นแบบท่อน," ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
27. Bonar Robinson Limited, "Discharge Detector Series 800 Type 803," IDS-03-86, England
28. Haefely, "Partial Discharge Detector Type 561," E176.21, Haefely Basel Switzerland
29. Millman. J., and Halkias, C.C., Integrated Electronics Analog and Digital Circuits and Systems, MacGraw-Hill Inc., 1971.
30. National Semiconductor Corporation, Data Books : Linear 2
31. Grossner, N.R., Transformers for Electronic Circuits, pp. 177-357, McGraw-Hill Inc., 2nd ed., 1983.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ภาคผนวก ก

## ประวัติการพัฒนาเครื่องตรวจจับตีสสารร้ายบางส่วน

วงจรถดสอบ	อิมพีแดนซ์วัด	วงจรถยาย	ผู้ออกแบบ	ปี ค.ศ.
วิธีตรง	RC	แถบแคบ	Renaudin	1954
			Knosp	1962
		แถบกว้าง	Blanchardie และ Aftalion	1952
		Laverlochere	1952	
		Kreuger	1961	
	RLC	แถบแคบ	Mole	1952
Viale			1954	
แถบกว้าง		Damstra	-	
	Mole	-		
วิธีสมดุล	RC	แถบแคบ	Graham	1948
			Austen และ Hackett	1944
		Kreuger	1961	
	RLC	-	Arman และ Starr	-

## ภาคผนวก ข

## การคำนวณสัญญาณรบกวน

การคำนวณสัญญาณรบกวนรวมทั้งอินพุตของวงจรรขยาย (พรีแอมพลิไฟเออร์) โดยใช้ฮอปแอมป์ แสดงดังรูปที่ ข.1 ซึ่งการคำนวณสามารถทำได้ดังนี้

$$e_{ni(total)} = [e_{ni} + (i_{ni} R_{eq}^+)^2 + (i_{ni} R_{eq}^-)^2 + (e_{nt}^+)^2 + (e_{nt}^-)^2]^{1/2} \quad (ข.1)$$

$$(e_{nt}^\pm)^2 = 4KTR_{eq}^\pm \quad (ข.2)$$

$$V_{n(rms)} = e_{ni(total)} B^{1/2} \quad (ข.3)$$

เมื่อ  $e_{ni}$  คือ แรงดันรบกวนที่อินพุตของฮอปแอมป์

$i_{ni}$  คือ กระแสรบกวนที่อินพุตของฮอปแอมป์

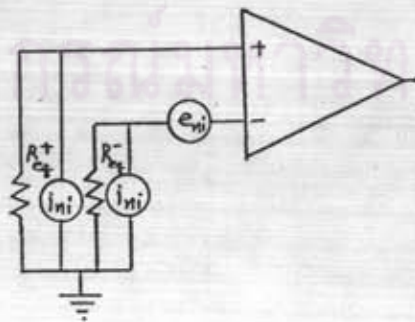
$R_{eq}^+$  คือ ความต้านทานสมมูลที่อินพุตของฮอปแอมป์ด้านไม่กลับขั้ว

$R_{eq}^-$  คือ ความต้านทานสมมูลที่อินพุตของฮอปแอมป์ด้านกลับขั้ว

$B$  คือ แบนด์วิดท์สมมูลที่พิจารณาหรือ Power bandwidth

$K$  คือ ค่าคงตัวโบลต์ซมันน์ =  $1.38 \times 10^{-23}$  Joules / °K

$T$  คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (°K) ปกติจะคิดที่  $T = 300$  °K



รูปที่ ข.1 วงจรสำหรับสัญญาณรบกวนรวมทั้งอินพุต

## ภาคผนวก ข (ต่อ)

การคำนวณสัญญาณรบกวนจากรูปที่ 3.6 เมื่อใช้ IC เบอร์ LM 318N จากข้อมูลของ IC เบอร์นี้จะพบว่าที่ความต้านทานอินพุตเท่ากับ  $100(8)^2$  หรือ 6400 โอห์ม (เมื่อย้ายมาอยู่ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงแบบแกนกว้างที่มีอัตราส่วน 1:8 จะได้

$$e_{n1(\text{total})} \approx 16 \text{ nV}/(\text{Hz})^{1/2} \quad \text{สำหรับตัวกรองอันดับที่ 4 จะมี } B \approx 1.2(f_2 - f_1)$$

$$216 \text{ kHz} \quad \text{ดังนั้น } V_{n(\text{rms})} \approx 16 \times 10^{-9} (216 \times 10^3)^{1/2} \approx 7.5 \mu\text{V}$$

การคำนวณสัญญาณรบกวนรวมสำหรับวงจรรับสัญญาณดีส์ชาร์จบางส่วนสำหรับเคเบิลยาวโดยใช้ออปแอมป์ เบอร์ NE5534N จากข้อมูลพบว่า  $e_{n1} = 4.5 \text{ nV}/(\text{Hz})^{1/2}$   
 $i_{n1} \approx 0.4 \text{ pA}/(\text{Hz})^{1/2}$ ,  $R_{\text{eq}} = 6840 \text{ โอห์ม}$ ,  $R_{\text{eq}} = 330 \text{ โอห์ม}$  และตัวกรองอันดับที่ 1 จะมี  $B = (f_2 - f_1)T/2 = 300 \text{ kHz}$  แทนค่าในสมการ (ข.1), (ข.2) และ (ข.3) จะได้  $V_{n(\text{rms})} \approx 6.55 \mu\text{V}$

ศูนย์วิทยพัชการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ค

## การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ

การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ จะต้องออกแบบให้ตัวเหนี่ยวนำสามารถทำงานได้ใน ช่วงความถี่และกระแสที่กำหนด โดยที่แกนเหล็กหรือเฟอร์ไรต์ไม่เกิดการอิ่มตัวหรือเกิดการ สูญเสียในแกนมากนัก การคำนวณทำได้ดังนี้

$$L = N^2 \mu_0 \mu_r A / l \quad (\text{ค.1})$$

$$\text{หรือ } L = N^2 A_L \quad (\text{ค.2})$$

$$\text{และ } E_{\text{rms}} = 4.44 N f B A \quad (\text{ค.3})$$

เมื่อ  $N$  = จำนวนรอบ

$A$  = พื้นที่หน้าตัดประสิทธิภาพ

$\mu$  = permeability

$l$  = length of the magnetic path

$A_L$  = ค่า  $A_L$  (ดูจากคู่มือสำหรับแกนแต่ละชนิด)

$B$  = ความหนาแน่นฟลักซ์

$f$  = ความถี่

ตัวอย่างการออกแบบ ต้องการ  $L = 520 \mu\text{H}$  ที่  $f > 600 \text{ kHz}$  และ  $I_{\text{min}} = 1 \text{ A}$  ดังนั้นควรเลือกแกน EI.50 ชนิดเฟอร์ไรต์ ซึ่งมี  $l = 110 \text{ mm}$ ,  $A = 200 \text{ mm}^2$   $\mu = 183 \mu_0$  (เมื่อมีแกน 0.48 mm.) และ  $B_{\text{max}} = 0.46 \text{ T}$  จากการคำนวณในสมการ (ค.1) และ (ค.3) จะได้  $I_{\text{max}} = 6.25 > 1 \text{ A}$



## ภาคผนวก ง

## การออกแบบหม้อแปลงแบบแถบกว้าง

การออกแบบหม้อแปลงแบบแถบกว้างจะต้องคำนึงถึงแบนด์วิดท์และ โหลด ขณะที่ใช้ งาน การคำนวณสำหรับงานวิจัยนี้จะจำลองหม้อแปลงแบบแถบกว้างด้วยตัวกรอง ความถี่กลางอันดับที่ 2 ชนิด Butterworth ดังรูปที่ ง.1 การคำนวณทำได้ดังนี้ [31]

$$L_{1p} = F_L \mu_o N_p^2 \lambda (d+d_{cu}/3)/W_L \quad (ง.1)$$

เมื่อ  $F =$  correction factor (0.9)

$$\mu_o = 4 \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

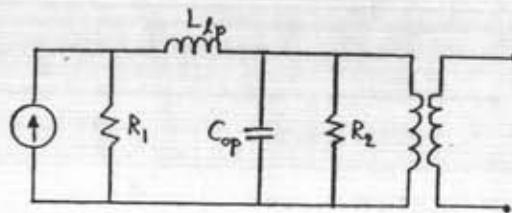
$\lambda =$  เส้นรอบรูปเฉลี่ยระหว่างขดลวดปฐมภูมิกับทุติยภูมิ

$W_L =$  ความกว้างรวมของขดลวดต่อชั้น

$d =$  ระยะห่างระหว่างขดลวดปฐมภูมิกับทุติยภูมิ

$d_{cu} =$  ความหนารวมขดลวดของปฐมภูมิกับทุติยภูมิ

การหาค่า  $C_{op}$  จะใช้วิธีการวัดการตอบสนองความถี่ของหม้อแปลงแบบแถบกว้าง แล้วทำการเพิ่มหรือลด  $C_o$  จนกระทั่งได้  $f_{max}$  ตามที่ต้องการ การออกแบบควรเลือก  $X_{op} > 4R_1$  ที่  $f_{min}$  เพื่อไม่ให้แกนอิ่มตัว



รูปที่ ง.1 แบบจำลองของหม้อแปลงแถบกว้าง

## ภาคผนวก จ

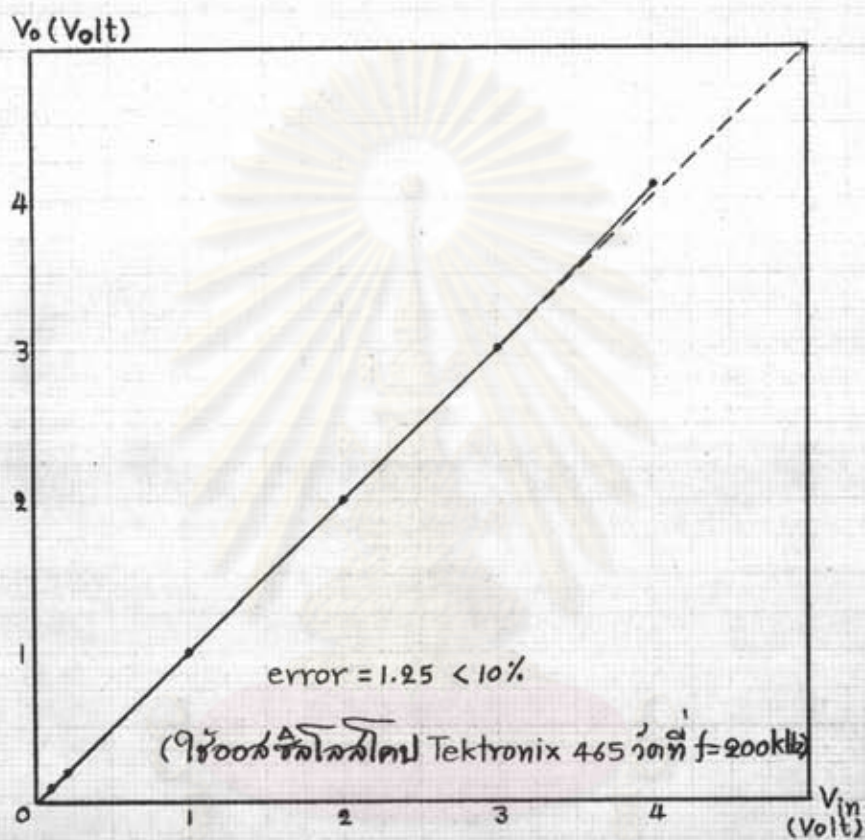
## คำศัพท์

Absolute temperature	อุณหภูมิสัมบูรณ์ (°K)
Amplifier	วงจรรขยายสัญญาณ
Apparent charge	ประจุที่ปรากฏ
Background interference	สัญญาณรบกวนที่เกิดจากภายนอกเครื่องตรวจจับ PD ไปปรากฏที่เอาต์พุต
Background noise	สัญญาณรบกวนที่เกิดจากภายในเครื่องตรวจจับ PD เอง ไปปรากฏที่เอาต์พุต
Band-pass filter (BPF)	ตัวกรองความถี่กลาง
Boltzmann's constant	ค่าคงตัวของ โบลต์ซมันน์ ( $1.38 \times 10^{-23}$ Joules/°K)
Breakdown voltage of a cavity (void)	แรงดันเบรกดาวน์ของโพรงอากาศหรือแก๊ส
Characteristic impedance ( $Z_0$ )	ค่าแรงคเตอร์สติกอิมพีแดนซ์
Conventional PD detector	เครื่องตรวจจับ PD แบบนิยม
Corona discharge	โคโรนาดีสชาร์จ
Coupling capacitor	ตัวเก็บประจุคัปปลิง
Cut-off frequency	ความถี่ตัด
Detection impedance	อิมพีแดนซ์วัด
Discharge calibrator	เครื่องปรับเทียบดีสชาร์จมาตรฐาน
Double pulse diagram	ไดอะแกรมพัลส์คู่
Double pulse generator	เครื่องกำเนิดพัลส์คู่
Duration	ช่วงเวลา
Equivalent bandwidth	แบนด์วิดท์สมมูล
Equivalent circuit	วงจรสมมูล
Extinction voltage	แรงดันหมดสิ้น
Filter	ตัวกรอง

Frequency domain	โดเมนความถี่
High-pass filter (HPF)	ตัวกรองความถี่สูง
Inception voltage	แรงดันเริ่มต้น
Internal discharge	ดีส์ชาร์จภายใน
Low-pass filter (LPF)	ตัวกรองความถี่ต่ำ
Measuring impedance	อิมพีแดนซ์วัด
Medium-band PD detector	เครื่องตรวจจับ PD แบบแถบกลาง
Minimum detectable of PD ( $q_{min}$ )	ความสามารถในการตรวจจับพัลส์ ของดีส์ชาร์จต่ำสุดหรือความไว
Narrow-band PD detector	เครื่องตรวจจับ PD แบบแถบแคบ
Negative superposition	ซูเปอร์โพสิชันแบบลบ
Partial Discharge (PD)	ดีส์ชาร์จบางส่วน
Partial discharge detector	เครื่องตรวจจับดีส์ชาร์จบางส่วน
Positive superposition	ซูเปอร์โพสิชันแบบบวก
Quasi-peak RIV meter	มิเตอร์กึ่งค่ายอด
Radio Interference Voltage (RIV)	คลื่นรบกวนวิทยุ
Recurrence of discharges	การเกิดดีส์ชาร์จซ้ำๆ
Remanent voltage of cavity	แรงดันหลังการเบรกดาวนของโพรง อากาศหรือแก๊ส
Residual voltage of cavity	แรงดันหลังการเบรกดาวนของโพรง อากาศหรือแก๊ส
Rise time	เวลาขึ้น
Sensitivity	ความไวหรือความสามารถในการตรวจจับ พัลส์ของดีส์ชาร์จต่ำสุด
Surface discharge	ดีส์ชาร์จตามผิว
Test object	วัสดุทดสอบ
Travelling wave	คลื่นจร
Wide-band PD detector	เครื่องตรวจจับ PD แบบแถบกว้าง

ภาคผนวก ฉ

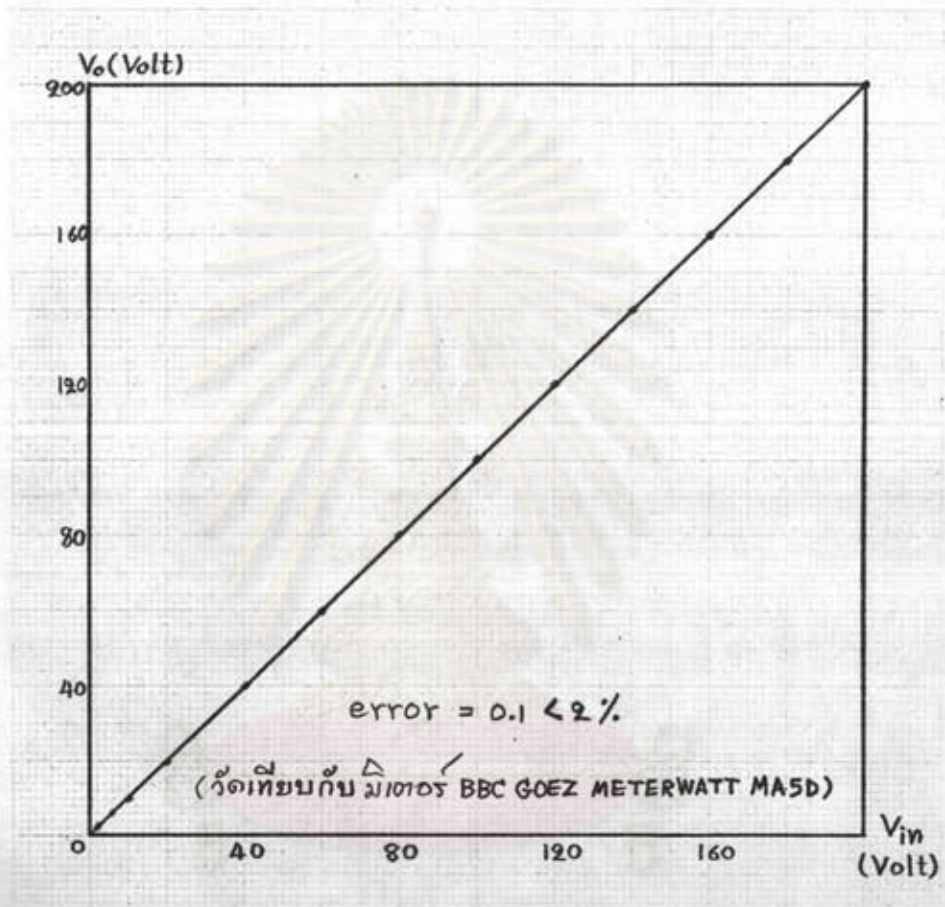
ความเป็นเชิงเส้นของมิโคคลอมป์มิเตอร์



รูปที่ ฉ.1 แสดงค่าของเอาต์พุตของมิโคคลอมป์มิเตอร์  
เมื่อป้อนแรงดันค่าต่างๆ ที่อินพุตที่ความถี่ 200 kHz

## ภาคผนวก ช

## ความเป็นเชิงเส้นของกิโลวัตต์มิเตอร์

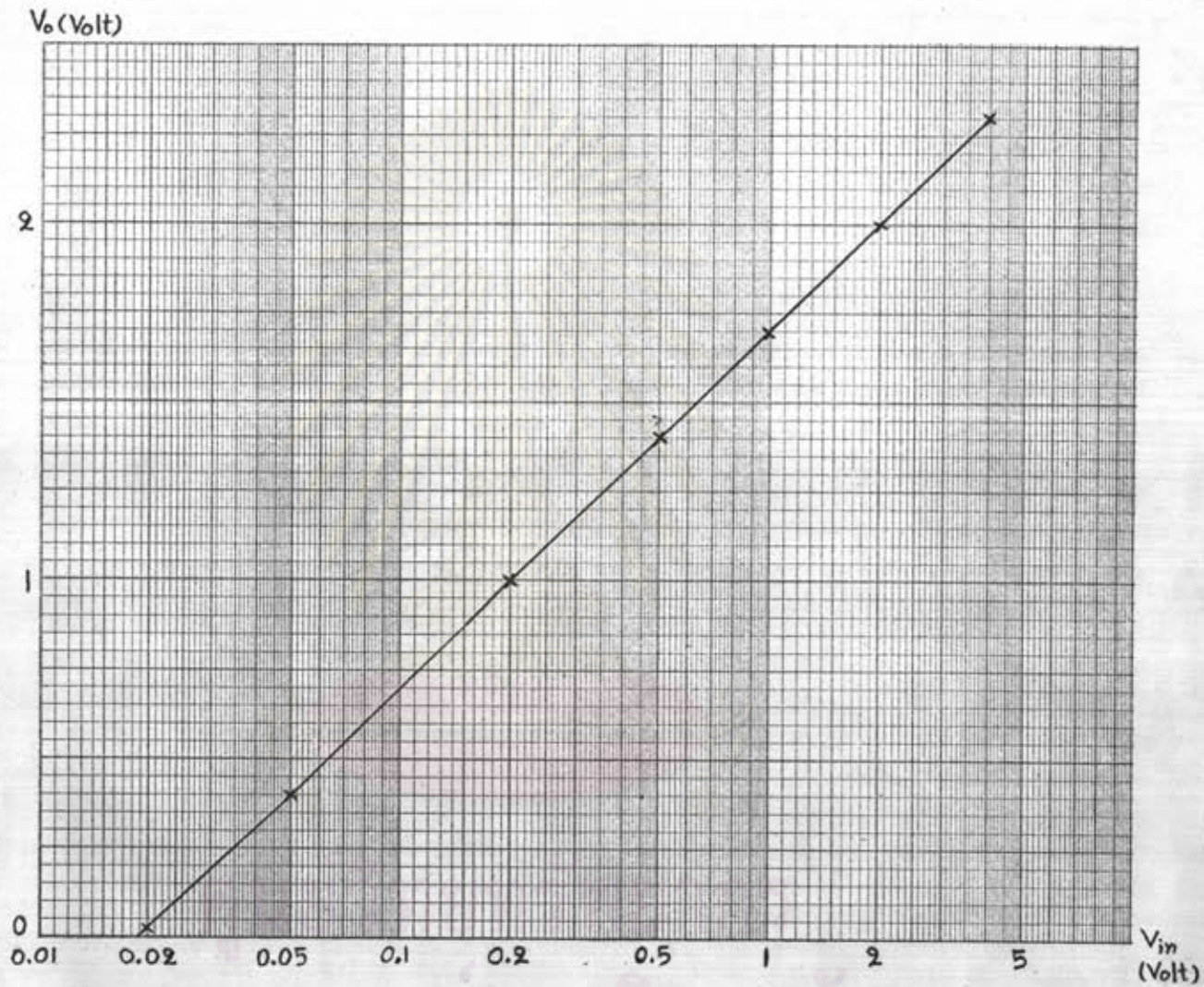


รูปที่ ช.1 แสดงค่าเอาต์พุตของกิโลวัตต์มิเตอร์

เมื่อป้อนแรงดันค่าต่างๆ ที่ความถี่ 50 Hz

## ภาคผนวก ซ

## ความเป็นเชิงเส้นของลอการิธึมแอมพลิไฟเออร์



รูปที่ ซ.1 แสดงค่าเอาต์พุตของลอการิธึมแอมพลิไฟเออร์  
เมื่อป้อนแรงดัน DC ค่าต่างๆ ที่อินพุต



## ประวัติการศึกษา

นาย ณรงค์ ทองฉิม เกิดเมื่อวันที่ 27 พฤศจิกายน 2506 ที่จังหวัด นครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 2528

เคยทำงานทางด้านทดสอบสายเคเบิลแรงสูงที่บริษัทสายไฟฟ้าไทย-ยาสากิ จำกัด เมื่อปี 2529 เป็นเวลา 1 ปี และลาออกมาศึกษาต่อที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เคยได้รับ รางวัล "วิศวกรรมดีเด่น" ร่วมกับรองศาสตราจารย์ ดร.สำรวย สังข์สะอาด เนื่องในวาระครบรอบ 20 ปี บริษัทในเครือโตชิบา ประเทศไทย ปี 2532

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย