หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

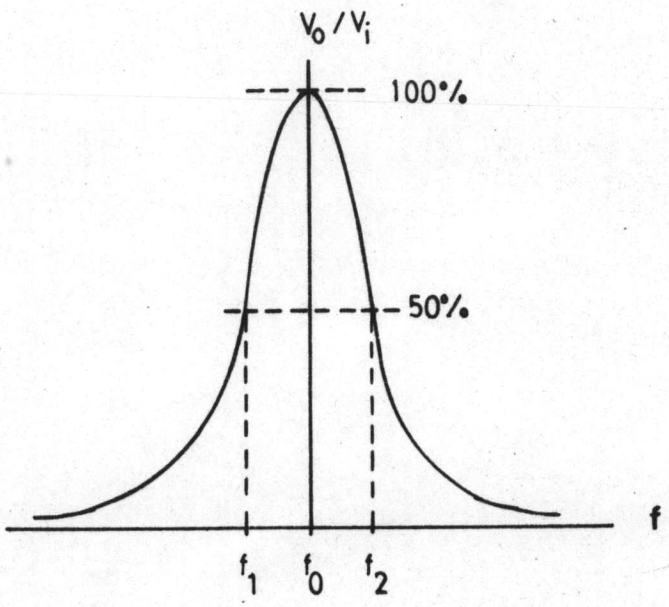
การทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

4.1 บทนำ

จากการออกแบบสร้างเครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุ แบบแสดงค่ากึ่งค่ายอด ที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยให้เครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุมีลักษณะสมบัติตามที่มาตรฐานกำหนดไว้ (ในหัวข้อ 2.5 บทที่ 2) ค่าองค์ประกอบต่าง ๆที่ใช้ในการคำนวณออกแบบนั้น ย่อมมีค่าคลาดเคลื่อนซึ่งจะเป็นผลทำให้ลักษณะสมบัติของเครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุแตกต่างไปจากที่ได้คำนวณออกแบบไว้ ยิ่งกว่านั้นการประกอบสร้างวงจรยังมีผลกระทบจากพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าแน่นอนซึ่งเกิดขึ้นโดยไม่มีทางหลีกเลี่ยง เช่น ค่าสเตรคะแปซิแตนท์ ฉะนั้น เพื่อให้ทราบว่า เครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุที่ออกแบบสร้างขึ้นนั้นมีลักษณะสมบัติได้ตามที่ต้องการหรือไม่ จึงต้องทำการทดสอบเครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุนั้น ตามมาตรฐานซึ่งกำหนดการทดสอบที่สำคัญไว้ 2 ประการ คือ การทดสอบผลตอบสนองความถี่ และการทดสอบเวลาชาร์จ กับเวลาดีสชาร์จ

4.2 การทดสอบผลตอบสนองความถี่

ผลตอบสนองความถี่เป็นลักษณะสมบัติสำคัญประการหนึ่งของเครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุ ในมาตรฐานได้กำหนดวิธีการหาผลตอบสนองความถี่ โดยการป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซยน์แล้วหาอัตราส่วนของขนาดสัญญาณขาออกที่ขั้วเอาท์พุตของวงจรขยายความถี่กลาง (Vo) ต่อขนาดสัญญาณที่ป้อนเข้าที่ขั้วอินพุตของวงจรลดขนาด (Vi) ที่ความถี่ต่าง ๆ ในย่านความถี่ที่ต้องการหาผลตอบสนองความถี่ เมื่อนำผลอัตราส่วนสัญญาณที่วัดได้ดังกล่าวคือ Vo/Vi มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับความถี่ (f) ซึ่งจะได้อัตราส่วนที่สูงสุดที่ความถี่หนึ่งคือ fo ที่ความถี่มากหรือน้อยกว่า fo อัตราส่วน Vo/Vi จะลดลง ดังในรูป 4.1 ซึ่งมาตรฐานกำหนดไว้ว่า ความกว้างของผลตอบสนองความถี่ (Bandwidth) คือ f_2-f_1 จะต้องเท่ากับ 9 กิโลแฮร์ตซ์ ± 10 เปอร์เซนต์ เมื่อ f_1 และ f_2 คือความถี่ที่ขนาดสัญญาณ Vo/Vi ลดลงจากค่าสูงสุด (ที่ fo) เท่ากับ 50 เปอร์เซนต์หรือค่า 20 log Vo/Vi ลดลงจากค่าสูงสุด 6 dB

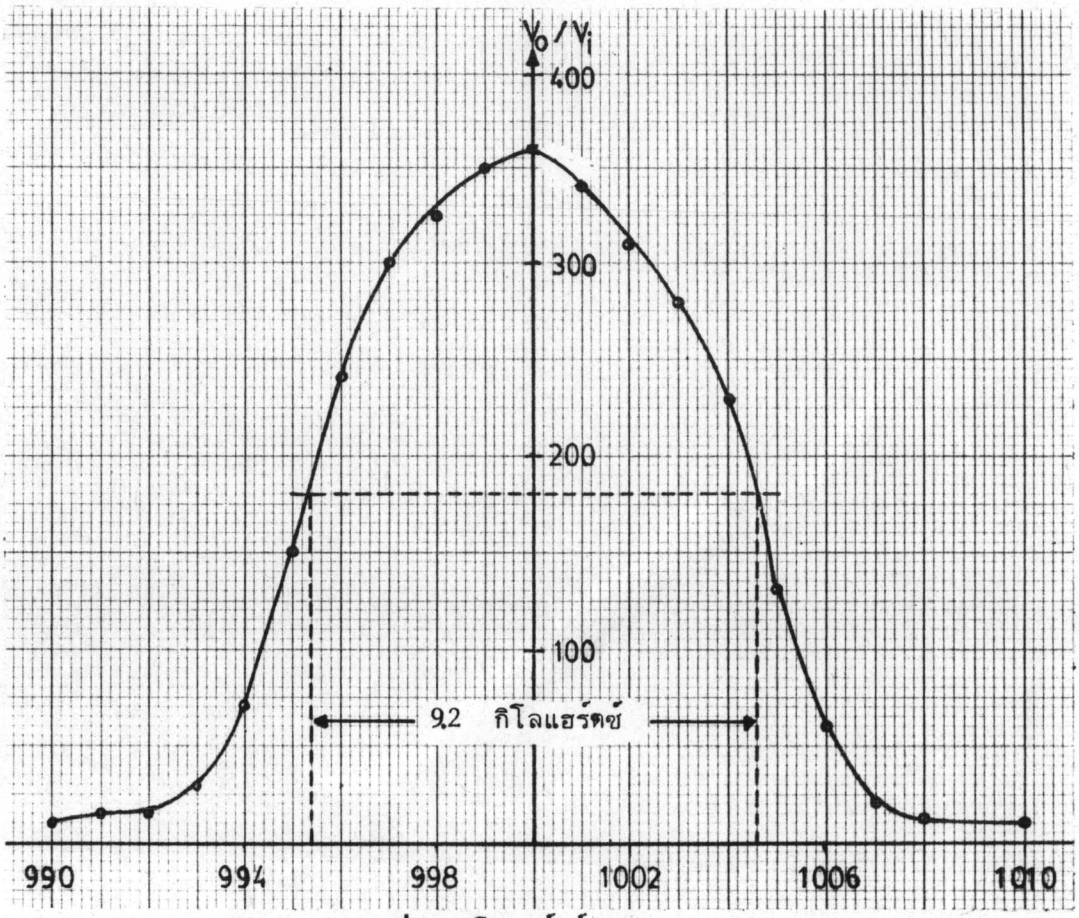


รูป 4.1 แสดงการหาความกว้างของผลตอบสนองความถี่

เนื่องจากได้กำหนดความถี่ fo ของเครื่องวัดไว้ที่ 1 เมกกะแฮร์ตซ์ จึงทำการทดลองหาผลตอบสนองความถี่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 0.99 - 1.01 เมกกะแฮร์ตซ์ โดยใช้เครื่องกำหนดสัญญาณรูปคลื่นไซยน์ของบริษัท NF circuit Design Block Model SY - 107 A ซึ่งสามารถผลิตสัญญาณรูปคลื่นไซยน์ความถี่ตั้งแต่ 0 แฮร์ตซ์ ถึง 2 เมกกะแฮร์ตซ์ ขนาดของสัญญาณตั้งแต่ 0 - 6 โวลต์ เป็นเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไซยน์ที่ป้อนให้กับวงจร และเพิ่มค่าความถี่หาสัญญาณที่ป้อนเข้าทีละ 1 กิโลแฮร์ตซ์ ในช่วงความถี่ดังกล่าวข้างต้น และปรับค่าแรงดันที่ป้อนเข้า Vi ให้คงที่ประมาณ 10 มิลลิโวลต์ทุกความถี่ที่ทดสอบ ความถี่ของสัญญาณที่ป้อนวัดด้วยเครื่องนับความถี่ ซึ่งวัดความถี่ของสัญญาณได้ตั้งแต่ 0 แฮร์ตซ์ ถึง 100 เมกกะแฮร์ตซ์ และอ่านได้ละเอียดถึง 1.0 กิโลแฮร์ตซ์ การวัดแรงดัน Vi และ Vo ทำการวัดด้วยออสซิโลสโคป ดังแสดงในตาราง 4.1 และเมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vo/Vi กับความถี่ f จะได้ดังรูป 4.2 จากกราฟนี้จะได้ความกว้างผลตอบสนองความถี่มีค่าประมาณ 9.2 กิโลแฮร์ตซ์ ซึ่งอยู่ในช่วงที่มาตรฐานกำหนดไว้

ตาราง 4.1 ผลการวัด Vo/Vi ที่ความถี่ต่าง ๆ

ความถี่ กิโลแฮร์ตซ์	Vo โวลต์	Vi มิลลิโวลต์	Vo/Vi
990	0.10	10	10
991	0.15	10	15
992	0.15	10	15
993	0.30	10	30
994	0.70	10	70
995	1.50	10	150
996	2.40	10	240
997	3.00	10	300
998	3.25	10	325
999	3.50	10	350
1000	3.60	10	360
1001	3.40	10	340
1002	3.10	10	310
1003	2.80	10	280
1004	2.30	10	230
1005	1.30	10	130
1006	.60	10	60
1007	.20	10	20
1008	.12	10	12
1009	.12	10	12
1010	.10	10	10

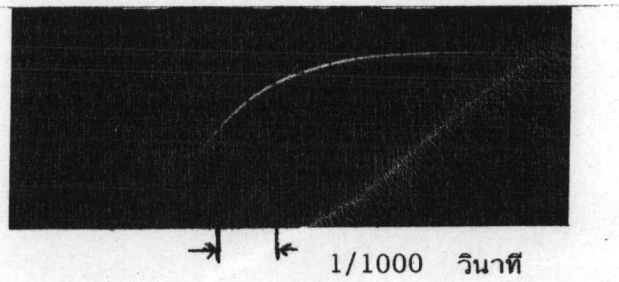


รูป 4.2 แสดงความกว้างผลตอบสนองความถี่ของวงจรซุปเปอร์เฮทเทโรดายน์

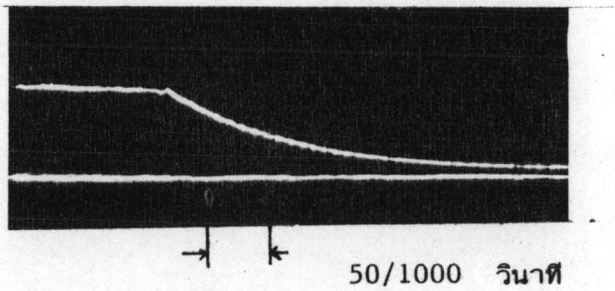
4.3 การทดสอบเวลาชาร์จและเวลาดิสชาร์จ

ดังที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 2.5 แล้วว่า เวลาชาร์จและเวลาดิสชาร์จ เป็นลักษณะสมบัติประการหนึ่งของเครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุ แบบวัดค่ากึ่งค่ายอดในมาตรฐาน [8, 16, 28] กำหนดเวลาดีสชาร์จและเวลาดิสชาร์จมีค่าเท่ากับ 1/1000 ± 0.5/1000 วินาที และ 160/1000 ± 20/1000 วินาที ตามลำดับ ซึ่งมีวิธีการหาโดยการวัดแรงดันคร่อมความต้านทาน R2 (รูป 3.4) เพิ่มขึ้น 63 เปอร์เซนต์ (V_i) ของค่าแรงดันคร่อมความต้านทาน R2 ที่สภาพคงที่ V_s (steady state) เวลาตั้งแต่แรงดันเริ่มเกิดขึ้นถึงแรงดัน V_i คือ เวลาชาร์จ และเวลาตั้งแต่พรากสัญญาณทันทีทันใดจนกระทั่งเวลาที่แรงดันคร่อม R2 ลดลง 63 เปอร์เซนต์ ของแรงดัน V_s หรือเหลือแรงดันคร่อม R_2 37 เปอร์เซนต์ ของแรงดัน V_s คือเวลาดีสชาร์จ

ในการทดลองนี้ใช้สัญญาณคลื่นรูปไซยน์ ความถี่ 1 เมกกะแฮร์ตซ์ ขนาด 10 มิลลิโวลต์ ทำการทดสอบเวลาชาร์จและเวลาดีสชาร์จดังกล่าวข้างต้น โดยป้อนสัญญาณนี้เข้าที่ขั้วอินพุตของวงจรลดขนาด แล้วถ่ายภาพการเปลี่ยนแปลงแรงดันคร่อม R'2 (รูป 3.5) จากออสซิโลสโคป ดังแสดงในรูป 4.3 และ 4.4 ซึ่งจะได้ค่าเวลาชาร์จประมาณ 1.2/1000 วินาที และเวลาดีสชาร์จประมาณ 150/1000 วินาที



รูป 4.3 ภาพถ่ายจากออสซิลโลสโคปเพื่อหาเวลาชาร์จ



รูป 4.4 ภาพถ่ายจากออสซิลโลสโคปเพื่อหาเวลาดีสชาร์จ

ซึ่งอยู่ในขอบเขตที่มาตรฐานกำหนดไว้ คือ เวลาชาร์จ 1/1000 ± 0.5/1000 วินาที และเวลาดีสชาร์จ 160/1000 ± 20/1000 วินาที

4.4 การทดลองวัดค่าคลื่นรบกวนวิทยุด้วยเครื่องวัดที่สร้างขึ้น เทียบกับเครื่องวัด Corona Meter HFM

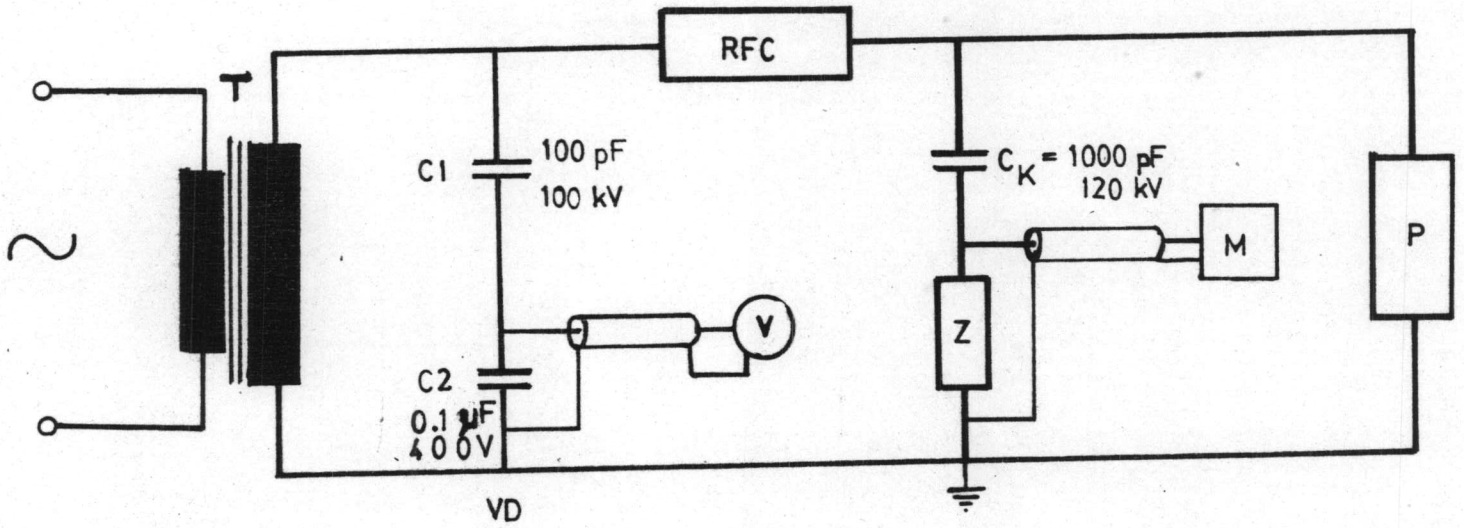
จากการทดสอบในหัวข้อ 4.2 และ 4.3 ซึ่งสรุปได้ว่าเครื่องวัดที่สร้างขึ้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้สำหรับเครื่องวัดแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุแบบแสดงค่ากึ่งค่ายอด แต่กระนั้นค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่อ่านได้จากเครื่องวัดนี้ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าจะแสดงค่าได้ถูกต้อง จึงจำเป็นต้องเทียบค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดได้จากเครื่องวัดนี้กับเครื่องวัด Corona Meter HFM ของบริษัท Messwandler-Bau Gmbh, Bamberg ที่มีอยู่ โดยได้เลือกวงจรวัดแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุแบบตัวดักสัญญาณความถี่ต่อขนานกับอุปกรณ์ทดสอบ และได้เปรียบเทียบผลการวัดเป็น 2 ลักษณะ คือ เปรียบเทียบการดีเทคสัญญาณคลื่นรบกวนวิทยุโดยใช้ออสซิโลสโคป และเปรียบเทียบค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุโดยวัดด้วยโวลต์มิเตอร์เป็นไมโครโวลต์

4.4.1 วงจรวัดแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุ

เมื่อเลือกวงจรที่จะใช้วัดแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุแล้ว ปัญหาต่อมาคือ การจัดหา อุปกรณ์และเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ให้เหมาะสม นอกจากนั้นอุปกรณ์บางอย่างเช่น ตัวดักสัญญาณความถี่วิทยุต้องสร้างขึ้นใหม่ เพื่อให้ได้วงจรการวัดแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่สมบูรณ์ ซึ่งจะได้กล่าวรายละเอียดของแต่ละอุปกรณ์ต่อไป

วงจรที่ใช้วัดแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังในรูป 4.5 คือ

1) หม้อแปลงป้อนแรงดันทดสอบ (T)
2) ตัวกรองสัญญาณความถี่วิทยุ (F)
3) ระบบวัดแรงดันทดสอบ
4) คับปลิ้งคะแปซิเตอร์ (C_k)
5) ตัวดักสัญญาณความถี่วิทยุ (Z)
6) เครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุ (M)
7) อุปกรณ์ตัวอย่างทดสอบ (P)



T = Test transformer 100 kV 5 kVA 50 Hz

RFC = Inductance Filter 3.7 mH

VD = Voltage Divider

C_k = Coupling capacitor

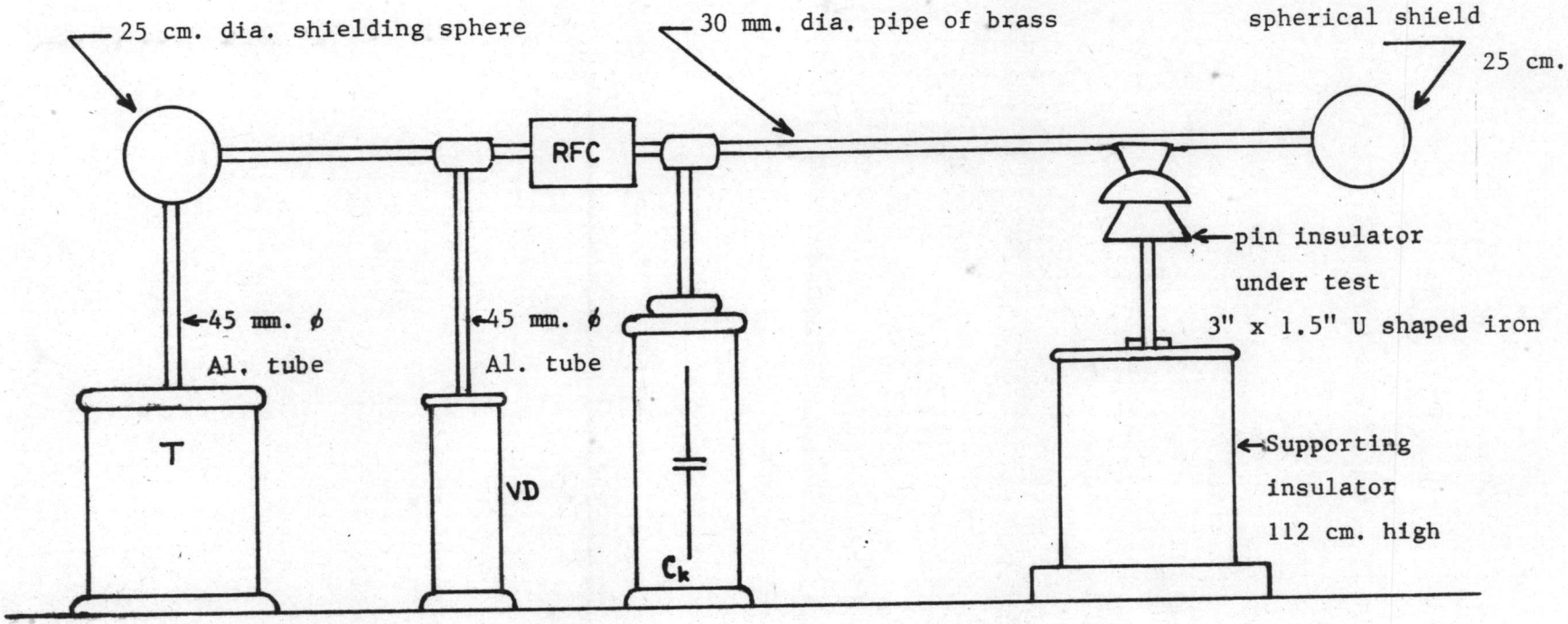
M = Corona meter or radio noise meter

P = Test object

Z = Measuring impedance

V = Voltmeter

รูป 4.5 วงจรการวัดแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุ



T High voltage test transformer 100 kV 5 kVA

VD Voltage Divider

C_k Coupling capacitor 1000 pF 120 kV

RFC Inductance RF filter

รูป 4.6 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบวัดแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุ

1) หม้อแปลงป้อนแรงดันทดสอบ จะต้องมีลักษณะพิเศษ คือ จะต้องปลอดจากโคโรน่าที่แรงดันทดสอบ ทั้งนี้เพื่อมิให้เป็นตัวสร้างคลื่นรบกวนวิทยุ อย่างไรก็ตามคลื่นรบกวนวิทยุอาจจะเข้ามาทางด้านป้อนแรงดันเข้าของหม้อแปลงได้ การขจัดปัญหานี้อาจทำได้โดยใช้หม้อแปลงแบบขดลวดแยก (Isolating transformer) หรือใช้ตัวกรองสัญญาณความถี่วิทยุ ในการทดลองนี้ไม่มีหม้อแปลงแบบขดลวดแยก จึงใช้หม้อแปลงแบบที่ใช้กันทั่วไป และใช้ตัวกรองสัญญาณความถี่วิทยุ ลักษณะของหม้อแปลงป้อนแรงดันทดสอบของบริษัท Messwandler-Bau Gmbh ,Bamberg ที่ใช้มีลักษณะดังแสดงในรูป 4.7 และค่าที่กำหนดดังนี้

Type : TEO 100/10 Single-phase AC voltage test transformer

Ratio : primary 220 V secondary 100 kV

Max. Current : 50 mA

Output : 5 kVA

Impedance Voltage : approx. 4 %

Frequency : 50 and 60 Hz.

Oil-insulated

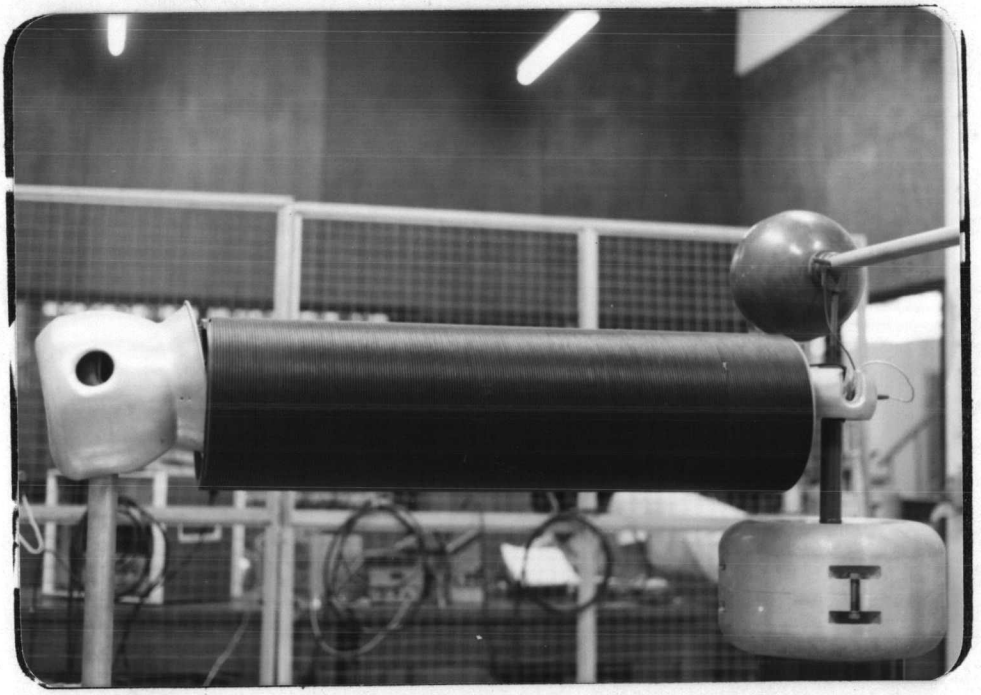
Partial Discharge level : at 80 kV ≤ 1 pC

at 100 kV ≤ 2 pC

รูป 4.7 หม้อแปลงป้อนแรงดันทดสอบพร้อมระบบวัดแรงดัน

2) ตัวกรองสัญญาณความถี่วิทยุ ใช้สำหรับขจัดคลื่นรบกวนวิทยุที่อาจเข้ามาทางหม้อแปลงป้อนแรงดันทดสอบ หรือป้องกันมิให้สัญญาณคลื่นรบกวนวิทยุที่ต้องการวัดรั่วไหลออกไปทางหม้อแปลงฯ นั้น ตามมาตรฐาน NEMA กำหนดไว้ว่าค่ารีแอคแตนท์ของตัวกรองสัญญาณความถี่วิทยุสำหรับความถี่ที่ต้องการวัดต้องมากกว่า 1500 โอห์ม [13] หรือประมาณ 0.24 มิลลิเฮนรี่ที่ความถี่ 1.0 เม็กกะแฮร์ตซ์ ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงมีขดลวดเหนี่ยวนำที่พันอยู่บนกระบอกฉนวนพีวีซีมีค่าอินดัคแตนท์ = 3.7 มิลลิ-เฮนรี่ ซึ่งคิดเป็นค่ารีแอคแตนท์ประมาณ 23000 โอห์ม ที่ความถี่ 1 เม็กกะแฮร์ตซ์ จึงนำมาใช้เป็นตัวกรองสัญญาณความถี่วิทยุในการทดลองนี้ได้ รายละเอียดเกี่ยวกับมิติของตัวกรองมีดังนี้

สายไฟเส้นกลมหุ้มฉนวนพีวีซี มีเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ 35 มิลลิเมตร พันอยู่บนกระบอกฉนวนพีวีซี ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางรอบนอก 26.67 เซ็นติเมตร (10.5 นิ้ว) ยาว 99.06 เซ็นติเมตร (39.0 นิ้ว) จำนวน 237 รอบ ดังรูปถ่ายแสดงไว้ในรูป 4.8



รูป 4.8 ตัวกรองสัญญาณความถี่วิทยุ

ค่าอินดัคแตนท์ของตัวกรองสัญญาณความถี่วิทยุวัดด้วยอิมพีแดนซ์บริดจ์ได้ 3.7 มิลลิเฮนรี่ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการคำนวณจากสูตร (4.1) [30]

$$L = \frac{r^2N^2}{9r + 10\ell} \qquad .....(4.1)$$

โดยที่ L คือ อินดัคแตนท์ หน่วยเป็น ไมโครเฮนรี่

r คือ รัศมีของขดลวด หน่วยเป็น นิ้ว

ℓ คือ ความยาวของขดลวด หน่วยเป็น นิ้ว

N คือ จำนวนรอบ

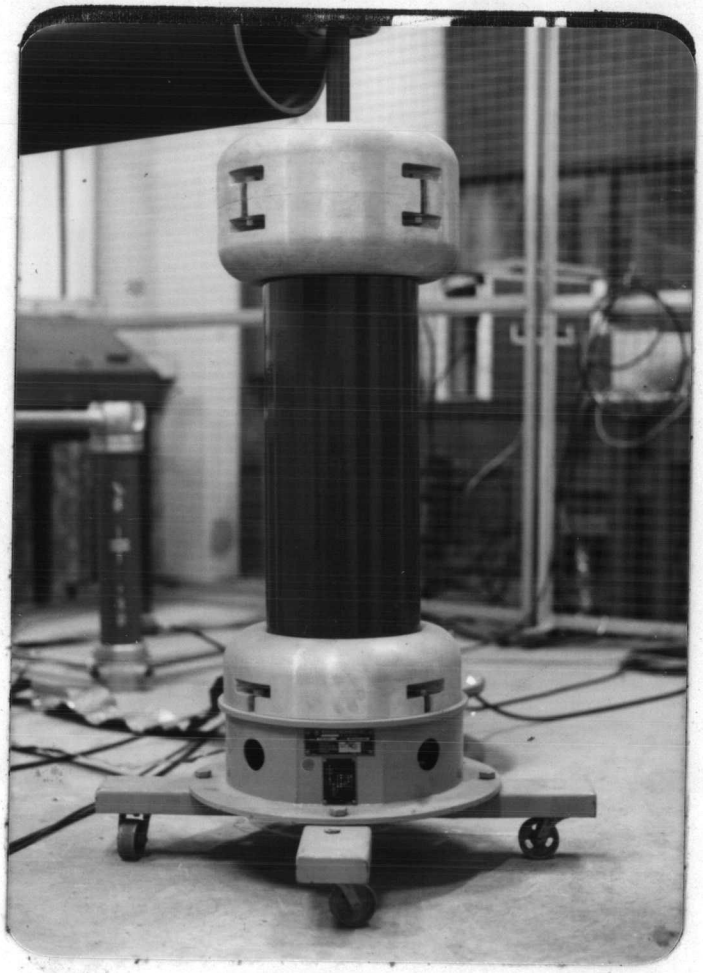
ซึ่งจะได้ค่าอินดัคแตนท์ 3.54 มิลลิเฮนรี่

3) ระบบวัดแรงดันทดสอบ ค่าของแรงดันทดสอบกระแสไฟฟ้าสลับ 50 แฮร์ตซ์ วัดด้วยคะแปซิเตอร์โวลต์เตจดิไวเดอร์ขนาด 100 กิโลโวลต์ AC ประกอบด้วยคะแปซิเตอร์แรงสูง C1 ขนาด 100 พิโคฟารัด 100 กิโลโวลต์ คะแปซิเตอร์แรงต่ำ C2 มีค่าเท่ากับ 0.1 ไมโครฟารัด แรงดันที่นำไปเข้าโวลต์มิเตอร์ต่อด้วย coaxial cable ดังแสดงในรูป 4.7

4) คับปลิ้งคะแปซิเตอร์ ตามที่ได้กล่าวแล้วว่าวงจรที่ใช้วัดแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุเป็นแบบตัวดักสัญญาณความถี่วิทยุต่อขนานกับอุปกรณ์ตัวอย่างทดสอบซึ่งด้านหนึ่งเป็นแรงดันสูง ฉะนั้นเพื่อให้ตัวดักสัญญาณความถี่วิทยุจับสัญญาณวิทยุได้ จึงจำเป็นต้องใช้คับปลิ้งคะแปซิเตอร์ต่ออยู่กับแรงดันสูง และต่ออันดับด้วยตัวดักสัญญาณความถี่วิทยุต่อลงดิน คับปลิ้งคะแปซิเตอร์ที่ใช้ในที่นี้มีขนาด 1000 พิโคฟารัด 120กิโลโวลต์ ซึ่งเป็นขนาดที่มาตรฐาน NEMA ได้แนะนำไว้

จะเห็นได้ว่าค่าคับปลิ้งคะแปซิแตนท์ 1000 พิโคฟารัด มีค่ารีแอคแตนท์ต่ำเมื่อเทียบกับตัวกรองสัญญาณความถี่วิทยุ ซึ่งทำให้เชื่อได้ว่าสัญญาณคลื่นรบกวนวิทยุจะไหลผ่านคับปลิ้งคะแปซิเตอร์ นั่นคือ ผ่านตัวดักสัญญาณความถี่วิทยุทั้งหมดด้วย

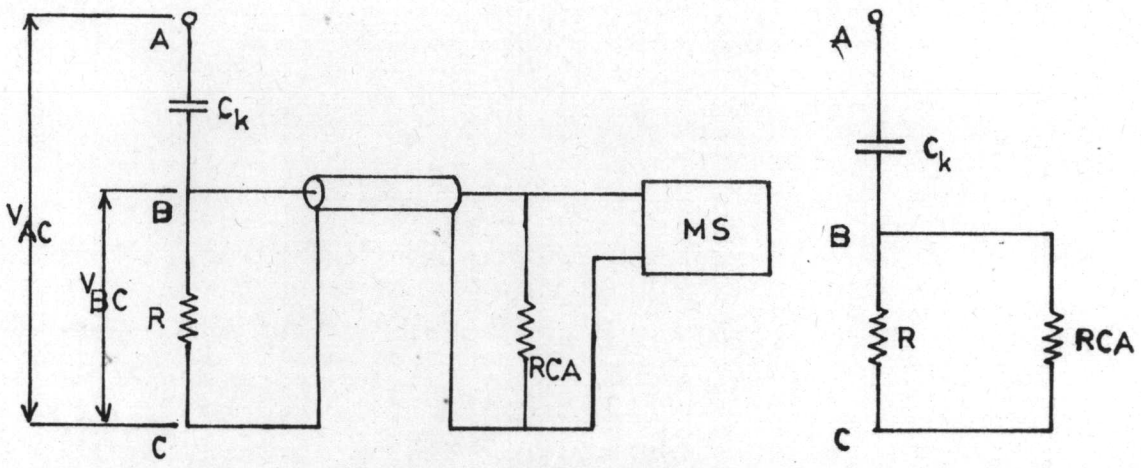
ลักษณะสมบัติของคับปลิ้งคะแปซิเตอร์ จะต้องเป็นคะแปซิเตอร์ปลอดคลื่นรบกวนวิทยุ ฉะนั้นเพื่อป้องกันมิให้เกิดโคโรน่าที่แรงดันใช้งาน 120 กิโลโวลต์ จึงใส่อีเลคโตรดครอบไว้ที่ส่วนบน ดังในรูป 4.9



หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูป 4.9 คับปลิ้งคะแปซิเตอร์

5) ตัวดักสัญญาณความถี่วิทยุ สำหรับวงจรที่ออกแบบนี้เป็นความต้านทานที่มีความเหนี่ยวนำต่ำ มีหน้าที่ คือ ดักจับสัญญาณความถี่วิทยุที่ต้องการวัด ซึ่งต่ออันดับอยู่ส่วนล่างของคับปลิ้งคะแปซิเตอร์ต่อลงดิน ค่าความต้านทานของตัวดักสัญญาณความถี่วิทยุนี้ตามมาตรฐาน IEC กำหนดไว้ระหว่าง 30-600 โอห์ม สัญญาณที่ตกคร่อมตัวดักสัญญาณความถี่วิทยุนำไปเข้าเครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุโดยผ่านสาย coaxial cable ดังแสดงในรูป 4.5 ซึ่งจะต้องคำนึงถึงการสะท้อนกลับของสัญญาณที่ผ่านเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงคาแรคเตอรีสติคอิมพีแดนท์ (characteristic impedance) ระหว่างสายเคเบิลกับเครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุ ดังนั้นเพื่อป้องกันการสะท้อนกลับของสัญญาณจึงต้องทำการแมทช (match) ด้วยอิมพีแดนท์ เท่ากับคาแรคเตอรีสติกอิมพีแดนท์ของสายเคเบิลโดยต่อขนานเข้ากับเครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุ คือ อิมพีแดนท์ RCA ในรูป 4.10.ก.



ก ข

C_k – คับปลิ้งคะแปซิเตอร์ 1000 พิโคฟารัด

R – ตัวดักสัญญาณความถี่วิทยุ

RCA – แมทชิ่งอิมพีแดนท์ 150 โอห์ม

รูป 4.10 วงจรประกอบการคำนวณตัวดักสัญญาณความถี่วิทยุ

ก. องค์ประกอบ

ข. วงจรสมมูลย์

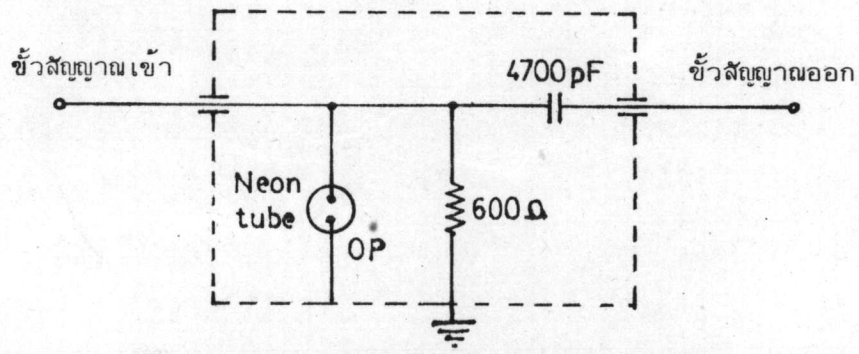
การเลือกใช้ค่าความต้านทานของตัวดักสัญญาณความถี่วิทยุนั้นตามมาตรฐาน NEMA แนะนำว่าควรใช้ค่าความต้านทานที่จะทำให้อัตราส่วนแรงดันระหว่างจุด B กับ C ต่อแรงดันระหว่าง A กับ C ไม่ต่ำกว่า 0.5 และพยายามให้อัตราส่วนที่ใกล้เคียง 1.0 ซึ่งจากวงจรในรูป 4.10 จะได้ว่า

$$\frac{V_{BC}}{V_{AC}} = \left| \frac{Z_{BC}}{Z_{AC}} \right| \qquad \text{.....(4.2)}$$

เมื่อ Z_{BC} คือ อิมพีแดนท์ระหว่างจุด B กับ C

Z_{AC} คือ อิมพีแดนท์ระหว่างจุด A กับ C

จากสมการ (4.4) และค่าองค์ประกอบต่าง ๆ ที่แสดงไว้ในรูป 4.10 ที่ความถี่สัญญาณวิทยุ 1 เมกกะแฮร์ตซ์ ถ้าให้ V_{BC}/V_{AC} เท่ากับ 0.5 จะคำนวณหาค่าอิมพีแดนท์ของตัวดักสัญญาณความถี่วิทยุได้เท่ากับ 237 โอห์ม นั่นคือค่าอิมพีแดนท์ของตัวดักสัญญาณความถี่วิทยุจะต้องไม่ต่ำกว่า 237 โอห์ม ในการวิจัยนี้เลือกใช้ค่าอิมพีแดนท์ 600 โอห์ม ซึ่งจะได้อัตราส่วน V_{BC}/V_{AC} เท่ากับ 0.602 ในทางปฏิบัติที่ตัวดักสัญญาณความถี่วิทยุมักจะมีตัวป้องกันแรงดันเกินต่อขนานไว้เพื่อป้องกันความเสียหายแก่เครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุในกรณีที่เกิดแรงดันเกิน ในที่นี้ใช้หลอดนีออนขนาด 230 โวลต์ คือ OP ในรูป และเพื่อป้องกันสัญญาณความถี่ต่ำไม่ให้เข้ามารบกวนเครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุได้ จึงต่อคะแปซิเตอร์ 4700 พิโคฟารัด อันดับกับเครื่องวัดดังแสดงในรูป 4.11 วงจรทั้งหมดบรรจุในกล่องเหล็กเพื่อป้องกันสนามคลื่นรบกวนอื่น ๆ ที่จะทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำบนค่าความต้านทาน 600 โอห์ม



ก

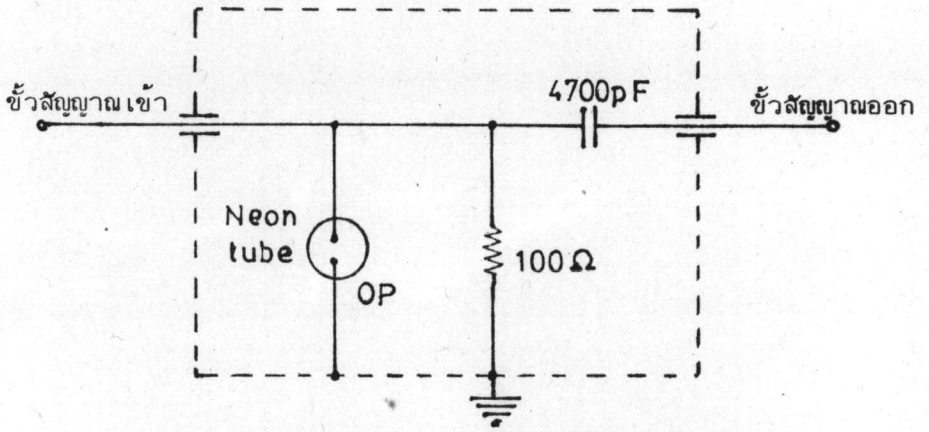
ข

รูป 4.11 ตัวดักสัญญาณความถี่วิทยุสำหรับเครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุที่สร้าง

ก. วงจรขององค์ประกอบ

ข. การต่อองค์ประกอบ

ในการวัดคลื่นรบกวนวิทยุ เพื่อเปรียบเทียบค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดด้วยเครื่องวัด Corona Meter จำเป็นต้องใช้ตัวดักสัญญาณความถี่วิทยุที่ออกแบบมาใช้เฉพาะ ดังมีวงจรและลักษณะภายนอกแสดงไว้ในรูป 4.12 ซึ่งประกอบด้วยค่าความต้านทาน 100 โอห์ม และเก็บดักแรงดันเกิน OP ต่อระหว่างสายนำสัญญาณเข้ากับดิน คะแปซิเตอร์ 4700 พิโคฟารัด ต่อไว้เพื่อป้องกันสัญญาณความถี่ต่ำเข้ารบกวนเครื่องวัด Corona Meter HFM วงจรทั้งหมดบรรจุในกล่องเหล็กด้วยเหตุผลเดียวกันกับที่ได้กล่าวแล้ว



ก

ข

รูป 4.12 ตัวดักสัญญาณความถี่วิทยุสำหรับเครื่องวัด Corona Meter HFM

ก. วงจรตัวดักสัญญาณความถี่วิทยุ

ข. ลักษณะภายนอก

6) เครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุ ต่อกับตัวดักสัญญาณความถี่วิทยุ ด้วยสายเคเบิล โดยปกติจะพยายามใช้สั้นที่สุด ในการทดสอบนี้ใช้สายเคเบิลยาว 5 เมตร (ดูรายละเอียดในหัวข้อ 4.4.2)

7) อุปกรณ์ตัวอย่างทดสอบ (ดูรายละเอียดในหัวข้อ 4.4.3)

4.4.2 เครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุ

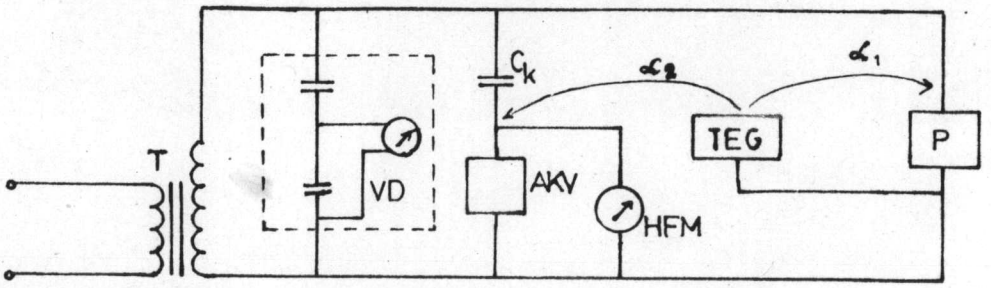
ในการทดลองนี้ นอกจากจะใช้เครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุที่สร้างขึ้นวัดแล้ว ได้ใช้เครื่องวัด Corona Meter HFM ทำการวัดด้วย เพื่อเปรียบเทียบค่าคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดได้

1) เครื่องวัด Corona Meter HFM เป็นเครื่องวัดโคโรน่าที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง และสามารถวัดคลื่นรบกวนวิทยุได้ด้วย โดยแสดงเป็นค่าไมโครโวลต์กึ่งค่ายอด และเดซิเบลสร้างโดยบริษัท Messwandler-Bau ซึ่งจะถือว่าค่าที่วัดได้จาก HFM เป็นค่าที่ถูกต้องในการเปรียบเทียบ โดยมีลักษณะสมบัติดังนี้

- ความถี่ของวงจรเลือกความถี่	1	เม็กกะแฮร์ตซ์
(สามารถปรับความถี่ของวงจรเลือกความถี่ได้ ± 5 %)		
- ความกว้างผลตอบสนองความถี่ของวงจรซุปเปอร์-เฮทเทโรดายน์ที่ -6 เดซิเบล	9	กิโลแฮร์ตซ์
- ความถี่กลาง	470	กิโลแฮร์ตซ์
- เวลาชาร์จ	1/1000	วินาที
- เวลาดีสชาร์จ	160/1000	วินาที
- ความถูกต้อง	± 3	เดซิเบล
- ย่านวัดแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุ 3 ไมโครโวลต์	ถึง 10	มิลลิโวลต์
หรือ 0 เดซิเบล	ถึง 70	เดซิเบล
- ค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุต่ำสุด	1	ไมโครโวลต์
- ทำงานด้วยแรงดันไฟฟ้า	220	โวลต์ เอ.ซี.

รูป 4.13 เครื่องวัด Corona Meter HFM

การใช้เครื่องวัด Corona Meter HFM วัดค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุนั้น ค่าที่อ่านได้จะต้องคูณด้วย ตัวคูณปรับค่า (correction factor) ซึ่งจะหาได้จากการใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ TEG ป้อนสัญญาณพัลส์ความถี่ 100 แฮร์ตซ์ ให้กับวงจรดังรูป 4.14



รูป 4.14 แสดงการหาตัวคูณปรับค่า

ถ้าให้ α_1 เป็นค่าไมโครโวลต์ที่อ่านได้จาก HFM เมื่อป้อนสัญญาณพัลส์ที่อุปกรณ์ตัวอย่างทดสอบ

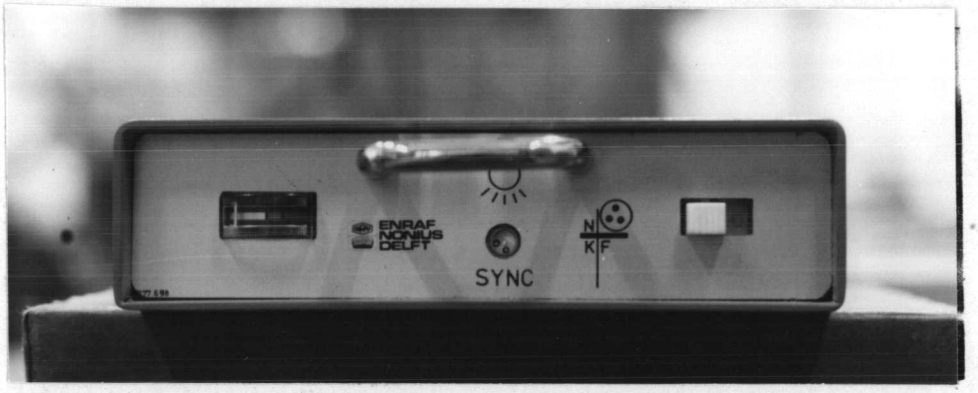
α_2 เป็นค่าไมโครโวลต์ที่อ่านได้จาก HFM เมื่อป้อนสัญญาณพัลส์ที่ขั้วสัญญาณเข้าของตัวดักสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ AKV

จะได้ว่า ตัวคูณปรับค่า = α_2/α_1

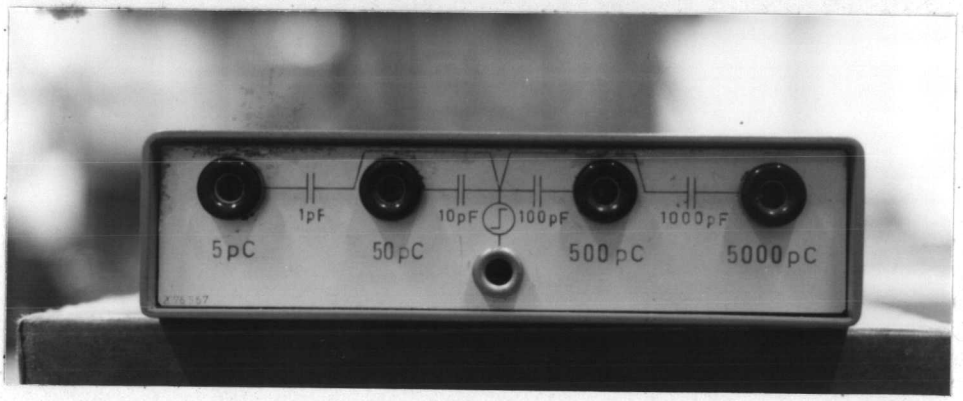
และ ค่าแรงดันคลื่นรบกวนที่ถูกต้อง = ค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่อ่านได้ X ตัวคูณปรับค่า

ลักษณะสมบัติของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ TEG มีดังนี้

- ความถี่ของสัญญาณพัลส์ที่ผลิต	100-120	แฮร์ตซ์
- ขนาดของสัญญาณพัลส์	5, 50, 500 และ 5000	พิโคคูลอมบ์
- เวลาหน้าสัญญาณพัลส์	$50/10^9$	วินาที



ก



ข

รูป 4.15 เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์

ก. ด้านหน้า

ข. ด้านหลัง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

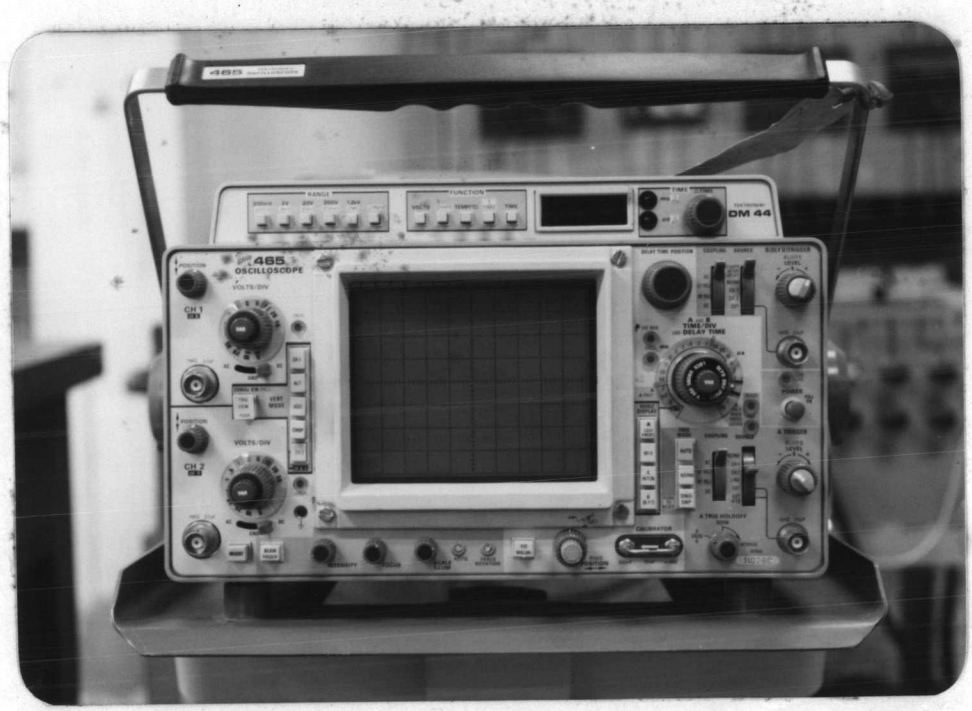
2) เครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุที่ออกแบบสร้าง การวัดแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุด้วยเครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุที่ออกแบบสร้าง จำเป็นต้องใช้มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าประกอบด้วย เนื่องจากเครื่องวัดไม่สามารถแสดงค่าแรงดันคลื่นรบกวนให้อ่านได้ และมาตรฐานได้กำหนดว่ามิเตอร์วัดค่าต้องมีค่าเวลากลของมิเตอร์วัดค่าเท่ากับ 160/2000 วินาที แต่เนื่องจากมิเตอร์วัดค่าส่วนใหญ่ไม่ระบุค่านี้ไว้ จึงได้เลือกใช้มัลติมิเตอร์ของ NORMA (รูป 4.16 ก) ซึ่งสามารถอ่านค่าแรงดันกระแสตรงได้ละเอียดถึง 1 มิลลิโวลต์ และเพื่อให้สามารถเห็นลักษณะของแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุด้วย จึงได้เพิ่มขั้วสัญญาณออกของเครื่องวัดคลื่นรบกวนที่ออกแบบสร้างอีกขั้วหนึ่ง โดยนำสัญญาณออกที่วงจรขยายความถี่กลางก่อนถึงไดโอดไปแสดงบนออสซิโลสโคป Textronix Model DM 465 (รูป 4.16 ข)

ค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์ NORMA มีค่าเป็นโวลต์ ซึ่งจะต้องคำนวณหาค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุเป็นไมโครโวลต์ โดยนำเอาผลคูณระหว่างค่าที่อ่านจากมัลติมิเตอร์ ค่าตัวคูณปรับค่า (หาได้โดยใช้วิธีการเดียวกันกับการหาตัวคูณปรับค่าของเครื่องวัด Corona Meter HFM) และอัตราส่วนลดของวงจรลดขนาด หารด้วยกำลังขยายของเครื่องวัดจึงจำเป็นต้องทดสอบหากำลังขยายและอัตราส่วนลดของวงจรลดขนาดที่เป็นจริง เพื่อใช้ในการคำนวณหาแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุเป็นไมโครโวลต์ต่อไป ดังนี้

2.1) การทดสอบหาอัตราส่วนลดของวงจรลดขนาด ค่าความต้านทานที่นำมาคิดในการออกแบบนั้นเป็นค่าความต้านทานที่ปรากฏระหัสสีบนตัวความต้านทาน และไม่คำนึงถึงค่าคะแปซิเตอร์ซึ่งมีค่าน้อยที่สัญญาณความถี่ 50 แฮร์ตซ์ แต่การใช้งานสัญญาณที่ความต้านทานรับ คือ สัญญาณความถี่สูงกว่า 50 แฮร์ตซ์มาก ดังนั้นค่าคะแปซิแตนท์ที่ไม่ได้ระบุบนตัวความต้านทาน อาจส่งผลให้อัตราส่วนลดของวงจรผิดไป ถึงแม้ว่าวงจรนี้ได้ใช้ตัวความต้านทานแบบผงคาร์บอนอัด และไม่มีครอบโลหะที่ปลายของแท่งคาร์บอนอัดแล้วก็ตาม ค่าคะแปซิแตนท์ที่สร้างก็ไม่สามารถขจัดไปได้หมด นอกจากนั้นค่าความต้านทานจริงไม่เท่ากับค่าที่อ่านจากระหัสสี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการทดสอบหาอัตราส่วนลดของวงจรขนาดในตำแหน่งต่างๆ ตามที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อนำค่าอัตราส่วนลดที่ได้จากการทดสอบนี้เป็นค่าที่ใช้ในการทดสอบประกอบเครื่องมือต่อไป

การทดสอบโดยการป้อนสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 1 เม็กกะแฮร์ตซ์ เข้าทางขั้วอินพุตของวงจร พยายามปรับขนาดของสัญญาณรูปคลื่นไซน์ทางอินพุต เพื่อให้ได้สัญญาณขาออกที่ขั้วเอาท์พุตแต่ละตำแหน่งมีขนาดใกล้เคียงกัน สังเกตุขนาดและรูปแบบของสัญญาณขาเข้าและขาออกของวงจร โดย ออสซิโลสโคป

ก



ข

รูป 4.16 มิเตอร์วัดค่า

ก. มัลติมิเตอร์ Norma

ข. ออสซิโลสโคป Textronix DM 465

(oscilloscope) และผลการทดสอบได้ว่า

ก. รูปแบบของสัญญาณขาเข้าและขาออก เป็นสัญญาณรูปคลื่นไซยน์ทุกๆ ตำแหน่ง

ข. อัตราส่วนลดซึ่งได้จากการบันทึกค่า คือ 1:1, 4.17:1, 11.11:1, 26.67:1 90.00:1, 280:1, 960:1

ตาราง 4.2 การหาอัตราส่วนลดของวงจรลดขนาด

V_o โวลต์	V_i โวลต์	อัตราส่วนลด
0.2	0.2	1:1
0.2	0.048	1:4.17
0.2	0.018	1:11.11
0.4	0.015	1:26.67
0.9	0.010	1:90.00
2.8	0.010	1:280.00
4.8	0.005	1:960.00

2.2) การทดสอบหากำลังขยายแรงดันของเครื่องวัดที่ออกแบบสร้าง การทดสอบนี้จุดประสงค์เพียงเพื่อต้องการทราบกำลังขยายแรงดันในสภาวะใช้งานจริง ซึ่งเป็นตัวประกอบสำคัญในการหาค่าคลื่นรบกวนวิทยุที่ถูกต้องจากค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์วัดค่าจึงป้อนสัญญาณที่ทราบขนาดด้วยความถี่ 1 เมกกะ-แฮร์ตซ์ จากเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปไซยน์เข้าที่ขั้วอินพุตของวงจรลดขนาด ขณะที่วงจรทุกๆ วงจรของเครื่องวัดอยู่ในสภาวะทำงานแล้ววัดขนาดของสัญญาณที่ปรากฏบนมิเตอร์วัดค่า

กำลังขยายของเครื่องวัดที่ออกแบบสร้างหาได้จาก

$$A_v = K1 \cdot \frac{V_o}{V_i} \qquad \text{.....(4.3)}$$

เมื่อ A_v คือ กำลังขยายแรงดันของเครื่องวัดที่ออกแบบสร้าง

V_o คือ ขนาดของสัญญาณที่อ่านได้จากมิเตอร์วัดค่า (โวลต์)

V_i คือ ขนาดสัญญาณรูปไซยน์ระหว่างจุดสูงสุด/2 (โวลต์)

K1 คือ อัตราส่วนลดของวงจรลดขนาด

ผลการทดสอบเมื่อป้อนสัญญาณรูปไซยน์ ขนาด V_i = 5 มิลลิโวลต์ เข้าที่ขั้วอินพุตของวงจรลดขนาด ปรากฏว่าค่า K1 = 90, V_o = 7.3 โวลต์ ซึ่งเมื่อแทนค่าต่างๆ ในสมการ (4.3) แล้วจะได้ A_v = 131400

ตัวอย่างการคำนวณค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุ

ในการทดลองวัดแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุจากลูกถ้วยก้านตรง ANSI 56-3 (ตารางผนวก 3.1) ที่แรงดันทดสอบ 25 กิโลโวลต์ ตัวคูณปรับค่า 2.316 มัลติมิเตอร์ NORMA อ่านได้ 0.15 โวลต์ อัตราส่วนลด 1:1 เพราะฉะนั้นแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุ

$$= \frac{0.15 \times 2.316 \times 1}{13140} \quad \text{โวลต์}$$

$$= 2.644 \quad \text{มิลลิโวลต์}$$

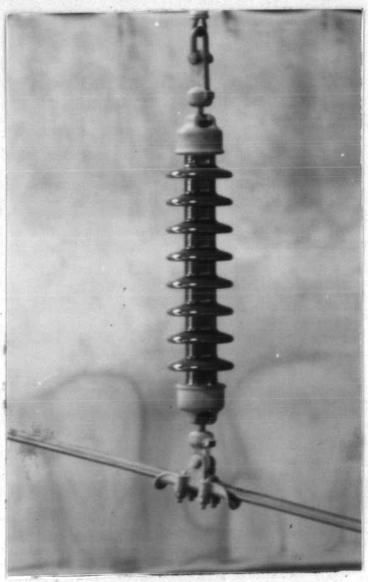
4.4.3 อุปกรณ์ตัวอย่างทดสอบ

โดยทั่วไปคลื่นรบกวนวิทยุจะเกิดจากโคโรน่าดีสชาร์จ และดีสชาร์จระหว่างช่องว่างดังได้กล่าวแล้ว ซึ่งในระบบไฟฟ้าแรงสูง คลื่นรบกวนวิทยุจะเกิดในระบบสายส่งและอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบสายส่ง เช่น ลูกถ้วย และส่วนที่เป็นโลหะในระบบสายส่ง เช่น ข้อต่อ หรือส่วนจับยึด ฉะนั้นการศึกษาเกี่ยวกับคลื่นรบกวนวิทยุในที่นี้จะใช้อุปกรณ์ตัวอย่างทดสอบเป็น ลูกถ้วย 3 ชนิด ซึ่งเป็นลูกถ้วยที่ใช้ในระบบสายส่งในปัจจุบัน และคลื่นรบกวนวิทยุที่เกิดขึ้นมีสาเหตุจาก การเกิดดีสชาร์จระหว่างช่องว่าง คือ ลูกถ้วยก้านตรงที่ใช้ในระบบสายส่ง 11, 22 และ 33 กิโลโวลต์ ลูกถ้วยแขวนที่ใช้ในระบบที่สูงกว่า 33 กิโลโวลต์ ขึ้นไป และในระบบสายส่งแรงสูงมากจะใช้ลูกถ้วยก้านท่อนยาว (รูป 4.17) และในกรณีคลื่นรบกวนวิทยุที่เกิดจากสายตัวนำไฟฟ้าในลักษณะของโคโรน่าดีสชาร์จ ได้ทำการศึกษาคลื่นรบกวนวิทยุที่เกิดจากการใช้อิเลคโตรดปลายแหลม และระนาบเป็นการเลียนสภาพแทน จากตาราง 4.3 ซึ่งแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์ตัวอย่างทดสอบ จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ตัวอย่างทดสอบ ลูกถ้วยก้านตรงได้เลือกอุปกรณ์ตัวอย่างทดสอบถึง 3 แบบ คือ แบบเคลือบผิวมันและฉาบสารกึ่งตัวนำ แบบเคลือบผิวแต่ไม่ฉาบสารกึ่งตัวนำ และแบบไม่เคลือบผิวและไม่ฉาบสารกึ่งตัวนำ สำหรับ 2 แบบแรกยังใช้อยู่ในปัจจุบัน แต่แบบที่ 3 ไม่มีใช้ในระบบสายส่ง และที่นำมาทดลองวัดค่าด้วยก็มีเหตุผลว่าลูกถ้วยก้านตรงแบบนี้มีแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุสูงกว่า 2 แบบแรก และเพื่อเป็นการทดสอบการวัดคลื่นรบกวนวิทยุที่ค่าสูงๆ ของเครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุที่ออกแบบสร้างขึ้น

ตาราง 4.3 รายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์ตัวอย่างทดสอบ

ลำดับที่	รายการอุปกรณ์ตัวอย่างทดสอบ	ชนิด+แบบ	แรงดันใช้งาน กิโลโวลต์	แรงดันคลื่นรบกวนวิทยุสูงสุดไม่เกิน ไมโครโวลต์
1	ลูกถ้วยก้านตรง	1.1 ANSI 56-3 เคลือบผิวและฉาบสาร กึ่งตัวนำ	33	200
		1.2 AP 171 Fog Type เคลือบผิวแต่ไม่ฉาบสาร กึ่งตัวนำ	11	500
		1.3 ANSI 56-2 ไม่เคลือบผิวและไม่ฉาบสาร กึ่งตัวนำ	22	12000
2	ลูกถ้วยแขวน	2.1 ANSI 52-3 Ball-Socket Type	11	50
3	ลูกถ้วยท่อนยาว	3.1 Swiss Art. Nr. 8867	195	500
4	อิเลคโตรด ปลายแหลม-ระนาบ ระยะห่าง 2 นิ้ว	อิเลคโตรดปลายแหลมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว อิเลคโตรดระนาบมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 นิ้ว	-	500

ก ข ค



หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง จ

รูป 4.17 อุปกรณ์ตัวอย่างทดสอบ

ก. ลูกถ้วยก้านตรง AP 171 Fog Type เคลือบผิว ไม่ฉาบสารกึ่งตัวนำ

ข. ลูกถ้วยก้านตรง ANSI 56-2 ไม่เคลือบผิว ไม่ฉาบสารกึ่งตัวนำ

ค. ลูกถ้วนก้านตรง ANSI 56-3 เคลือบผิว ฉาบสารกึ่งตัวนำ

ง. ลูกถ้วยแขวน ANSI 52-3 Ball-Socket Type

จ. ลูกถ้วยท่อนยาว Swiss Art. Nr. 8867

ฉ

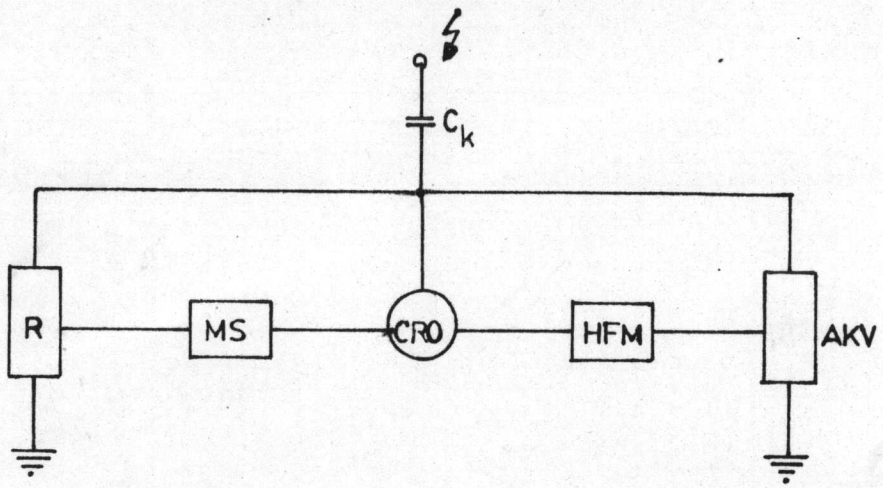
รูป 4.17 อุปกรณ์ตัวอย่างทดสอบ (ต่อ)

ฉ. อิเลคโตรดปลายแหลม-ระนาบ

4.4.4 การวัดคลื่นรบกวนวิทยุ

การตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุที่ออกแบบสร้าง โดยการทดลองเปรียบเทียบกับเครื่องวัด Corona Meter HFM ของบริษัท Messwendler-Bau Gmbh ,Bamberg ดังต่อไปนี้

1) ทดสอบการดีเทคสัญญาณคลื่นรบกวนวิทยุ การทดสอบนี้มีจุดประสงค์เพื่อทดสอบว่าเครื่องวัดคลื่นรบกวนที่ออกแบบสร้างขึ้นนี้สามารถที่จะดีเทคสัญญาณคลื่นรบกวนวิทยุได้หรือไม่ โดยการนำสัญญาณออกจากวงจรขยายสัญญาณความถี่กลางของเครื่องวัดที่ออกแบบสร้างเทียบกับสัญญาณจากเครื่องวัด Corona Meter HFM ที่ออกจากวงจรขยายสัญญาณความถี่กลางเหมือนกัน โดยออสซิโลสโคปในขณะที่ตัวดักสัญญาณของเครื่องวัดทั้งสองต่อในวงจรทดสอบเวลาเดียวกัน ดังแสดงในรูป 4.18



CRO - จอแสดงภาพ

C_k - คับปลิ้งคะแปซิเตอร์

R - ตัวดักสัญญาณความถี่วิทยุสำหรับ MS

MS - เครื่องวัดคลื่นรบกวนที่ออกแบบสร้าง

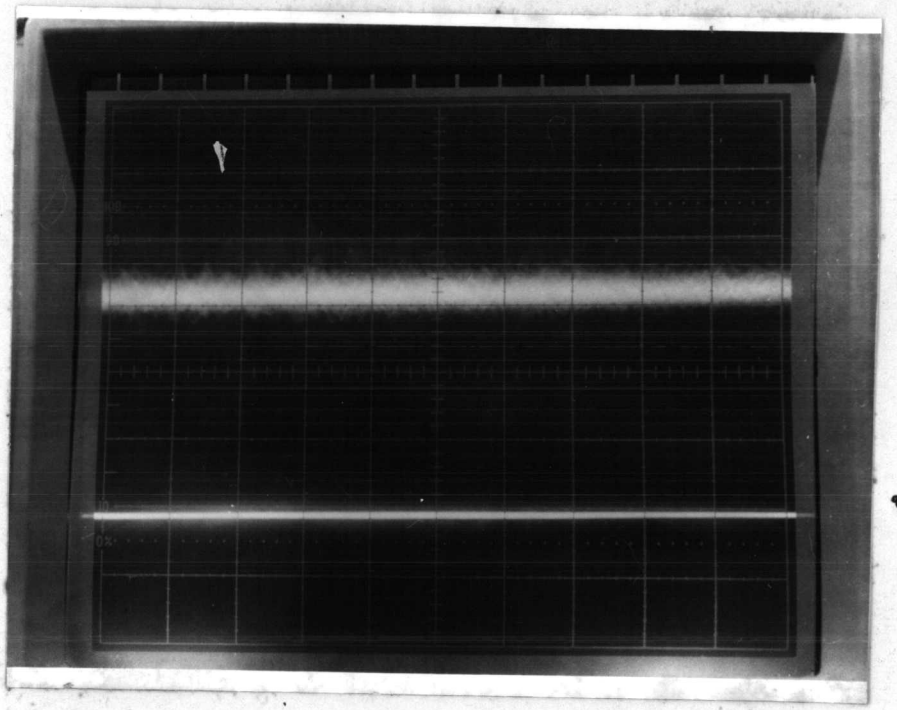
HFM - Corona Meter

AKV - ตัวดักสัญญาณความถี่วิทยุสำหรับ HFM

รูป 4.18 แสดงการต่อตัวดักสัญญาณในขณะทดสอบการดีเทคสัญญาณ

รูป 4.19 - 4.21 เป็นรูปถ่ายจากออสซิโลสโคป โดยการทดลองวัดค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่แรงดันทดสอบต่างๆ ด้วยเครื่องวัดที่ออกแบบสร้างกับเครื่องวัด Corona Meter HFM จากลูกถ้วยก้านตรง ANSI 56-3 รูป 4.19 ที่แรงดันทดสอบ 15 กิโลโวลต์ เครื่องวัด Corona Meter อ่านได้ประมาณ 2 ไมโครโวลต์ แต่เครื่องวัดที่ออกแบบสร้าง ต้องใช้สเกลต่ำสุดของมัลติมิเตอร์จึงอ่านค่าได้

รูป 4.20 เป็นรูปถ่ายคลื่นรบกวนวิทยุที่ระดับแรงดัน 25 กิโลโวลต์ ซึ่งเครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุที่ออกแบบสร้างอ่านค่าได้ 2.644 ไมโครโวลต์ ในขณะที่เครื่องวัด Corona Meter HFM วัดค่าคลื่นรบกวนวิทยุได้ 5.119 ไมโครโวลต์ รูป 4.21 เมื่อป้อนแรงดันทดสอบ 40 กิโลโวลต์ อ่านค่าคลื่นรบกวนจากเครื่องวัด Corona Meter HFM และเครื่องวัดที่ออกแบบสร้างได้ 1673.3 ไมโครโวลต์ และ 1409.9 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ ซึ่งสรุปได้ว่าค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุที่สร้างขึ้น คือ ค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุจากอุปกรณ์ตัวอย่างทดสอบ เพราะจากรูปสังเกตได้ว่าลักษณะของคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดได้มีลักษณะคล้ายๆ กัน ถึงแม้ว่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดได้จากเครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุที่ออกแบบสร้างจะต่ำกว่าค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดจาก Corona Meter HFM ซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป



ก

ข

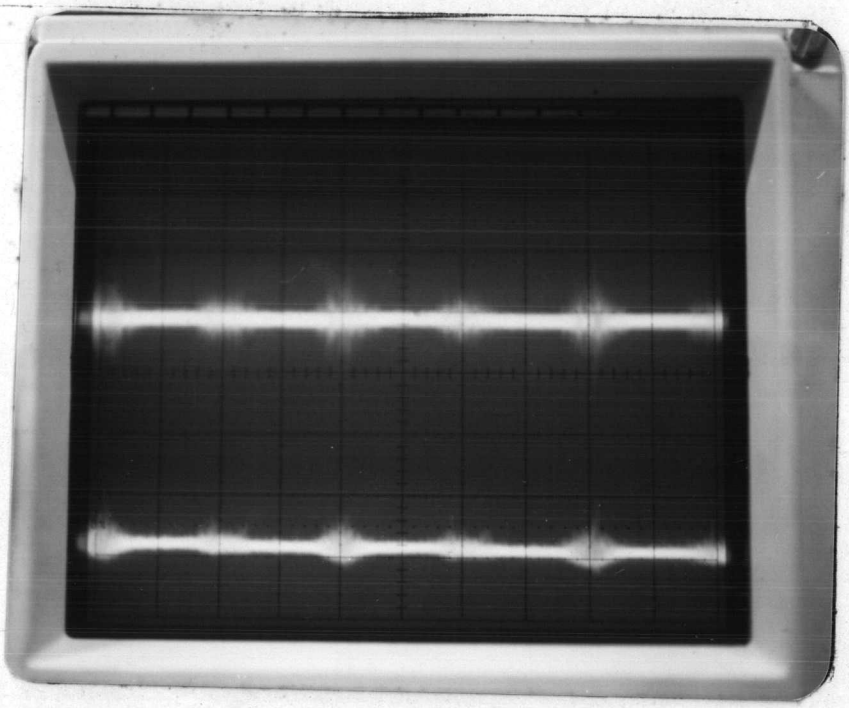
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แรงดันทดสอบ	15	กิโลโวลต์	
Corona Meter HFM	200	มิลลิโวลต์/ช่อง	(2.0 ไมโครโวลต์)
เครื่องวัดที่ออกแบบสร้าง	10	มิลลิโวลต์/ช่อง	(1.0 ไมโครโวลต์)
สเกลเวลา	5/1000	วินาที/ช่อง	

รูป 4.19 ภาพถ่ายลักษณะแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุ จากลูกถ้วยก้านตรง ANSI 56-3 ที่แรงดันทดสอบ 15 กิโลโวลต์

ก. วัดด้วยเครื่องวัด Corona Meter HFM

ข. วัดด้วยเครื่องวัดที่ออกแบบสร้าง



ก

ข

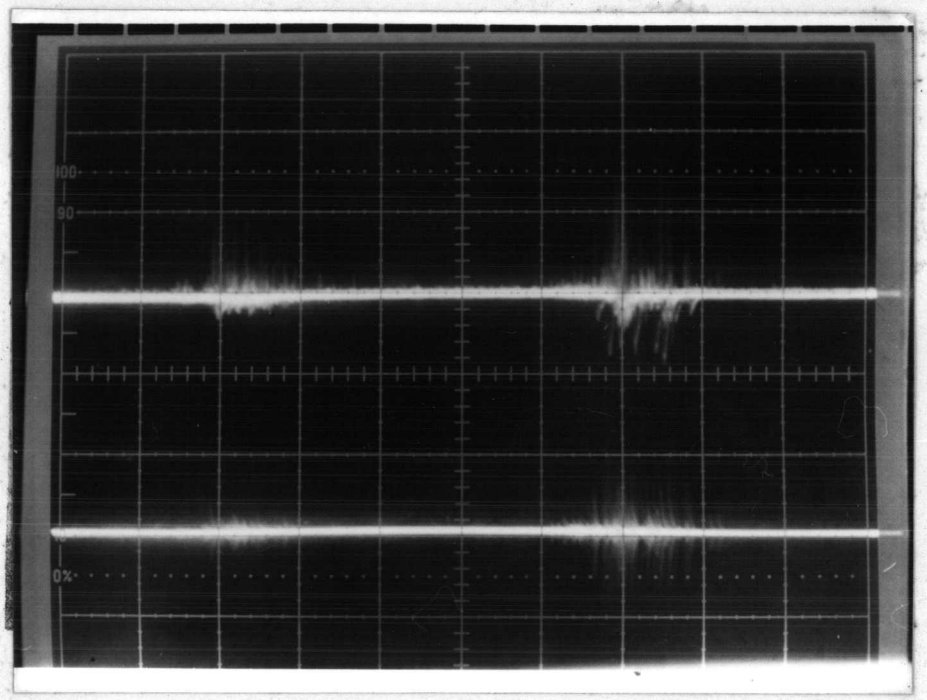
หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แรงดันทดสอบ	25	กิโลโวลต์
Corona Meter HFM	500	มิลลิโวลต์/ช่อง (5.1 ไมโครโวลต์)
เครื่องวัดที่ออกแบบสร้าง	50	มิลลิโวลต์/ช่อง (2.6 ไมโครโวลต์)
สเกลเวลา	5/1000	วินาที/ช่อง

รูป 4.20 ภาพถ่ายลักษณะแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุ จากลูกถ้วยก้านตรง ANSI 56-3 ที่แรงดันทดสอบ 25 กิโลโวลต์

ก. วัดด้วยเครื่องวัด Corona Meter HFM

ข. วัดด้วยเครื่องวัดที่ออกแบบสร้าง



ก

ข

แรงดันทดสอบ	40	กิโลโวลต์
Corona Meter HFM	1	โวลต์/ช่อง (1673.7 ไมโครโวลต์)
เครื่องวัดที่ออกแบบสร้าง	0.5	โวลต์/ช่อง (1409.9 ไมโครโวลต์)

รูป 4.21 ภาพถ่ายลักษณะแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุ จากลูกถ้วยก้านตรง ANSI 56-3 ที่แรงดันทดสอบ 40 กิโลโวลต์

ก. วัดด้วยเครื่องวัด Corona Meter HFM

ข. วัดด้วยเครื่องวัดที่ออกแบบสร้าง

2) การทดสอบวัดค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุ จากการทดสอบในหัวข้อ 4.4.4 1) ทำให้แน่ใจได้ว่าค่าแรงดันที่อ่านได้จากเครื่องวัดที่ออกแบบสร้าง คือ ค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง และเพื่อให้ทราบว่าค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดได้มีความผิดพลาดไปจากค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่แท้จริง (ถือว่าค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดได้จากเครื่องวัด Corona Meter HFM เป็นค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่แท้จริง) มากน้อยเพียงใด จึงจำเป็นต้องทดสอบวัดแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุอีกครั้งหนึ่ง โดยการทดสอบวัดแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุจากอุปกรณ์ตัวอย่างทดสอบที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.4.3 ที่ระดับแรงดันต่างๆ ด้วยเครื่องวัดคลื่นรบกวนวิทยุที่ออกแบบสร้าง และเครื่องวัด Corona Meter HFM ซึ่งได้ค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุจากอุปกรณ์ตัวอย่างทดสอบที่วัดด้วยเครื่องวัดทั้งสอง แสดงไว้ในภาคผนวก ค. และเมื่อนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุ (ไมโครโวลต์) กับแรงดันทดสอบ (กิโลโวลต์) ของแต่ละอุปกรณ์ จะได้ดังรูป 4.22 ถึง รูป 4.28 จากรูปทั้งหมดและตารางในภาคผนวก ค ค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่ต่ำกว่า 2 ไมโครโวลต์ จะไม่แสดงไว้ ทั้งนี้ได้กล่าวแล้วว่าที่แรงดันคลื่นรบกวนวิทยุต่ำกว่า 2 ไมโครโวลต์ เครื่องวัดที่ออกแบบสร้างไม่สามารถอ่านค่าได้ และจะได้กล่าวถึงแต่ละรูปเป็นลำดับต่อไป

ในรูป 4.22 เครื่องวัด Corona Meter HFM วัดแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุได้ประมาณ 2 ไมโครโวลต์ แต่เครื่องวัดที่ออกแบบสร้างจะวัดได้เพียง 1 ไมโครโวลต์ เมื่อเทียบแล้วความแตกต่างได้ประมาณ 1 ไมโครโวลต์ หรือแตกต่างกันถึงเท่าตัว เมื่อเทียบกับค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดได้จากเครื่องวัดที่ออกแบบสร้าง และค่าความแตกต่างของแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดได้จาก Corona Meter HFM กับแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดจากเครื่องวัดที่ออกแบบสร้างจะสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่เกิดขึ้น แต่อัตราส่วนของความแตกต่างนี้จะลดลงเมื่อแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุสูงขึ้น และที่แรงดันทดสอบของลูกถ้วยก้านตรง ANSI 56-3 ตามมาตรฐาน คือ 22 กิโลโวลต์ (แรงดันใช้งาน 33 กิโลโวลต์) ค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดได้แตกต่างกันประมาณ 2 ไมโครโวลต์ หรือประมาณเท่ากับค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดได้จากเครื่องวัดที่ออกแบบสร้าง

รูป 4.23 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่าคลื่นรบกวนวิทยุที่เกิดจากลูกถ้วยก้านตรง Fog Type AP 171 แบบเคลือบผิวและไม่ฉาบสารกึ่งตัวนำที่ร่องพาดสาย ใช้กับแรงดัน 11 กิโลโวลต์ แรงดันทดสอบที่อุปกรณ์ตัวอย่างทดสอบเริ่มเกิดคลื่นรบกวนวิทยุ คือ แรงดันทดสอบประมาณ 2.6 กิโลโวลต์ ซึ่งวัดแรงดัน

คลื่นรบกวนวิทยุได้ประมาณ 6 ไมโครโวลต์ ด้วยเครื่องวัด Corona Meter HFM และวัดได้ประมาณ 3.3 ไมโครโวลต์ ด้วยเครื่องวัดที่ออกแบบสร้าง และที่แรงดันทดสอบ 7 กิโลโวลต์ ค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดได้จากเครื่องวัดที่ออกแบบสร้าง ต่ำกว่าค่าที่วัดได้จาก Corona Meter HFM ประมาณ 59 ไมโครโวลต์ หรือประมาณร้อยละ 27 ของแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดจากเครื่องวัดที่ออกแบบสร้าง และที่แรงดันทดสอบ 15 กิโลโวลต์ ค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดที่ออกแบบสร้างต่ำกว่าประมาณร้อยละ 20 (รายละเอียดในภาคผนวก ง.2)

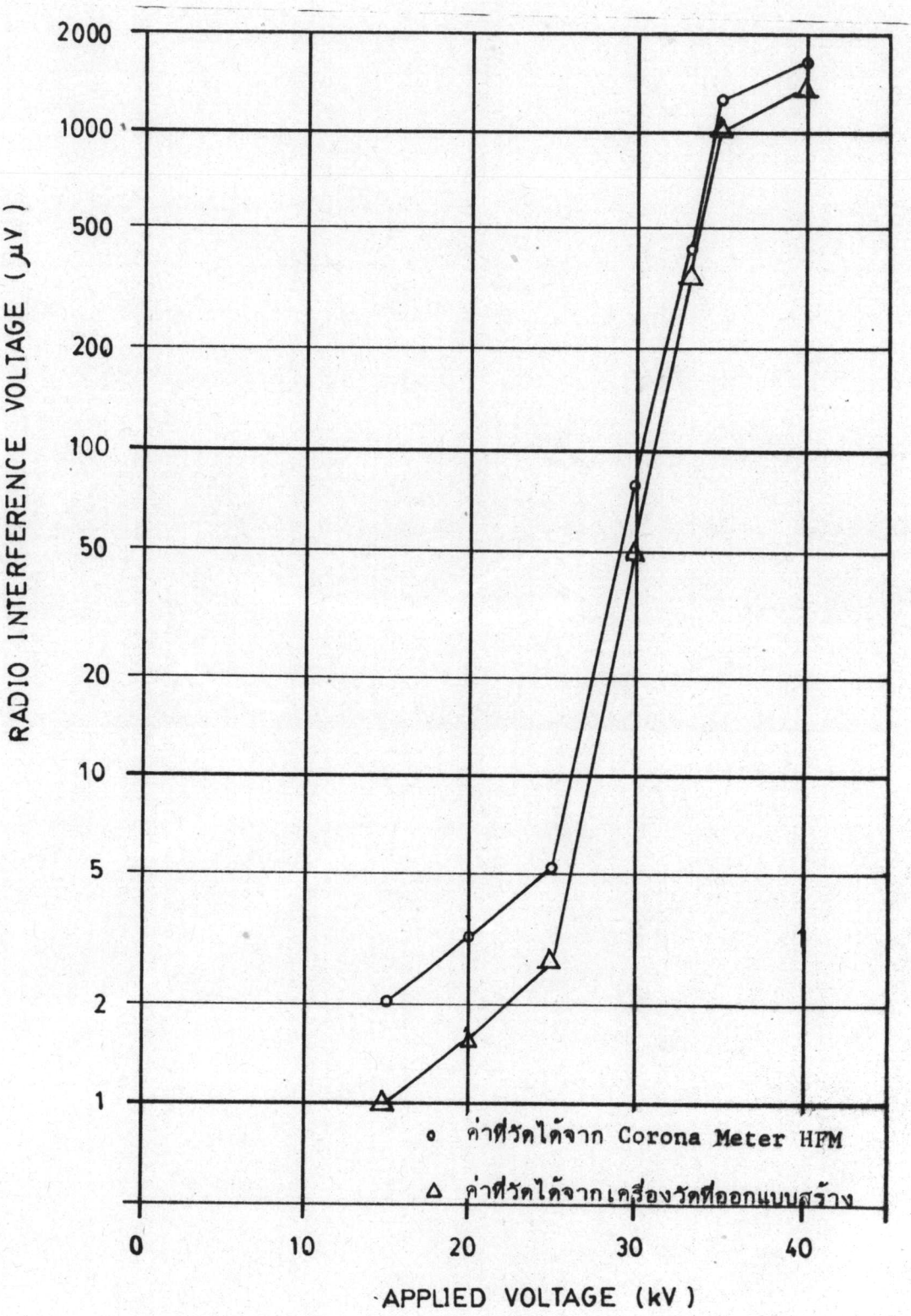
รูป 4.24 เป็นการเปรียบเทียบค่าคลื่นรบกวนวิทยุที่เกิดจากลูกถ้วยก้านตรง ANSI 56-2 แบบไม่เคลือบผิวและไม่ฉาบสารกึ่งตัวนำ ใช้กับระบบแรงดันไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ จะเห็นได้ว่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุเริ่มเกิดขึ้นที่แรงดันทดสอบไม่ถึง 1 กิโลโวลต์ วัดได้จากเครื่องวัด Corona Meter HFM ประมาณ 4.7 ไมโครโวลต์ และได้ประมาณ 2.4 ไมโครโวลต์ จากเครื่องวัดที่ออกแบบสร้างซึ่งต่ำกว่าค่าจริงถึง 2.3 ไมโครโวลต์ หรือต่ำกว่าเกือบร้อยละ 100 แต่ที่แรงดันทดสอบ 8 กิโลโวลต์ ค่าแรงคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดได้จากเครื่องวัด Corona Meter HFM และเครื่องวัดที่ออกแบบสร้างมีค่าประมาณ 1891 ไมโครโวลต์ และ 1613 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ ซึ่งค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุมีความแตกต่างกันประมาณ 278 ไมโครโวลต์ หรือเพียงร้อยละ 17 เท่านั้น (รายละเอียดในตารางผนวก ง.3)

ในรูป 4.25 จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุกับแรงดันทดสอบเกือบจะอยู่ในเชิงเส้นตรง และค่าความแตกต่างของค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดได้จากเครื่องวัดทั้งสองจะมีค่าแตกต่างกันเพิ่มขึ้นจากประมาณ 8 ไมโครโวลต์ หรือร้อยละ 71 ที่ค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุประมาณ 18.5 ไมโครโวลต์ จนมีความแตกต่างกันถึงประมาณ 115 ไมโครโวลต์ หรือร้อยละ 24 ที่ค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุประมาณ 590 ไมโครโวลต์ (รายละเอียดในตารางผนวก ง.4)

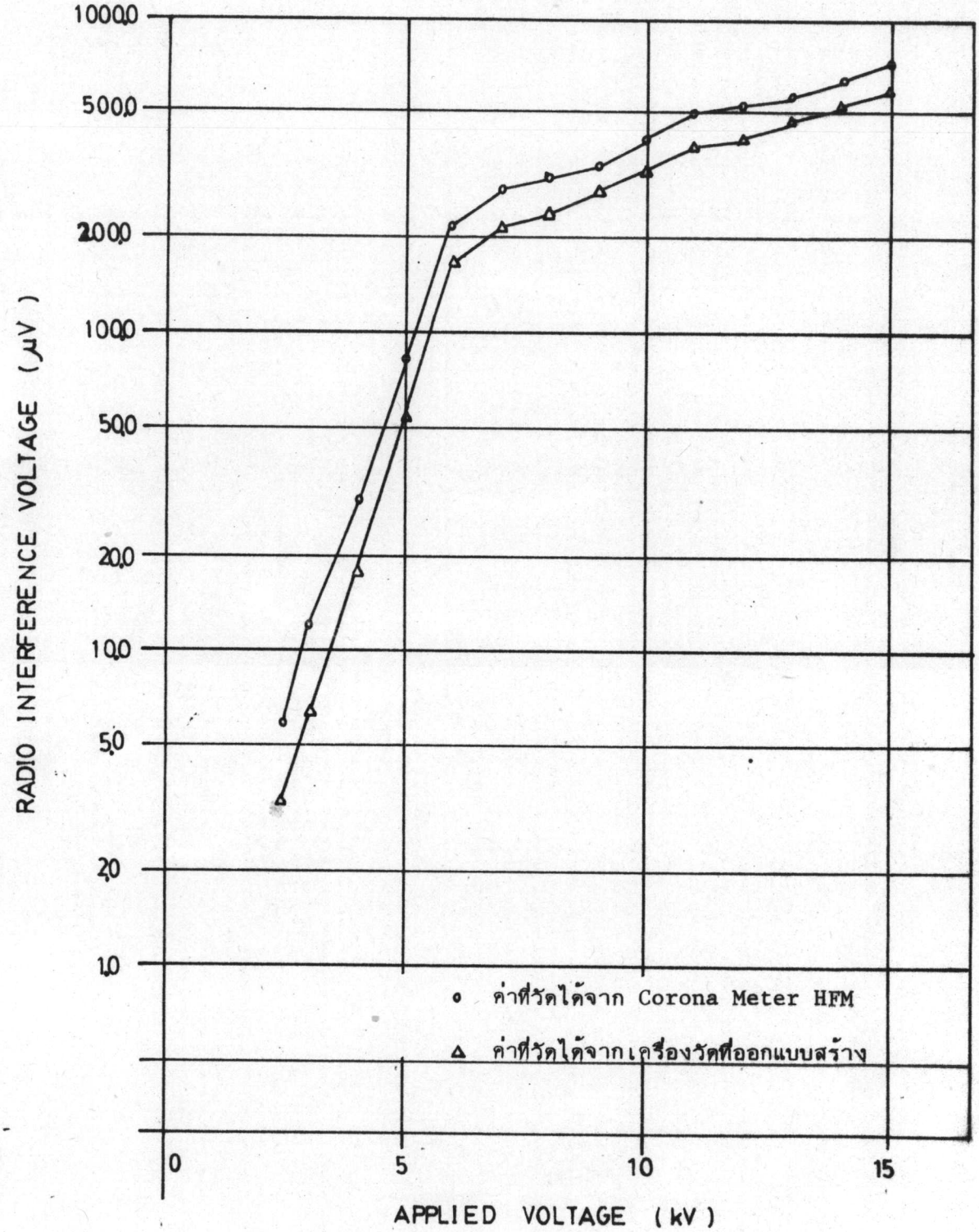
รูป 4.26 เป็นรูปแสดงค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่เกิดจากลูกถ้วยแขวน แบบ Ball Soclet ANSI 52-3 จำนวน 4 หน่วย แรงดันทดสอบที่เริ่มเกิดแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุประมาณ 30 กิโลโวลต์ ซึ่งสูงกว่าการทดสอบจำนวน 1 หน่วยในรูป 4.25 ค่าความแตกต่างของแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดได้จากเครื่องวัดทั้งสองเปรียนแปรระหว่างประมาณ 2.6 ไมโครโวลต์ หรือร้อยละ 92 ถึง 56.7 ไมโครโวลต์ หรือร้อยละ 37 ที่ค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุ 5.2 ไมโครโวลต์ และ 210 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ (รายละเอียดในตารางผนวก ง.5)

รูป 4.27 เป็นการเปรียบเทียบค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่เกิดจากลูกถ้วยท่อนยาว Swiss Art. Nr. 8867 ซึ่งค่าความแตกต่างระหว่างค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดได้จะมีค่าความแตกต่างระหว่างประมาณ 2.7 ไมโครโวลต์ หรือร้อยละ 101 ถึง 3.5 ไมโครโลวต์ หรือร้อยละ 41 ที่ค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุ 5 ไมโครโวลต์ ถึง 114 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ (ดูรายละเอียดในตารางผนวก ง.6)

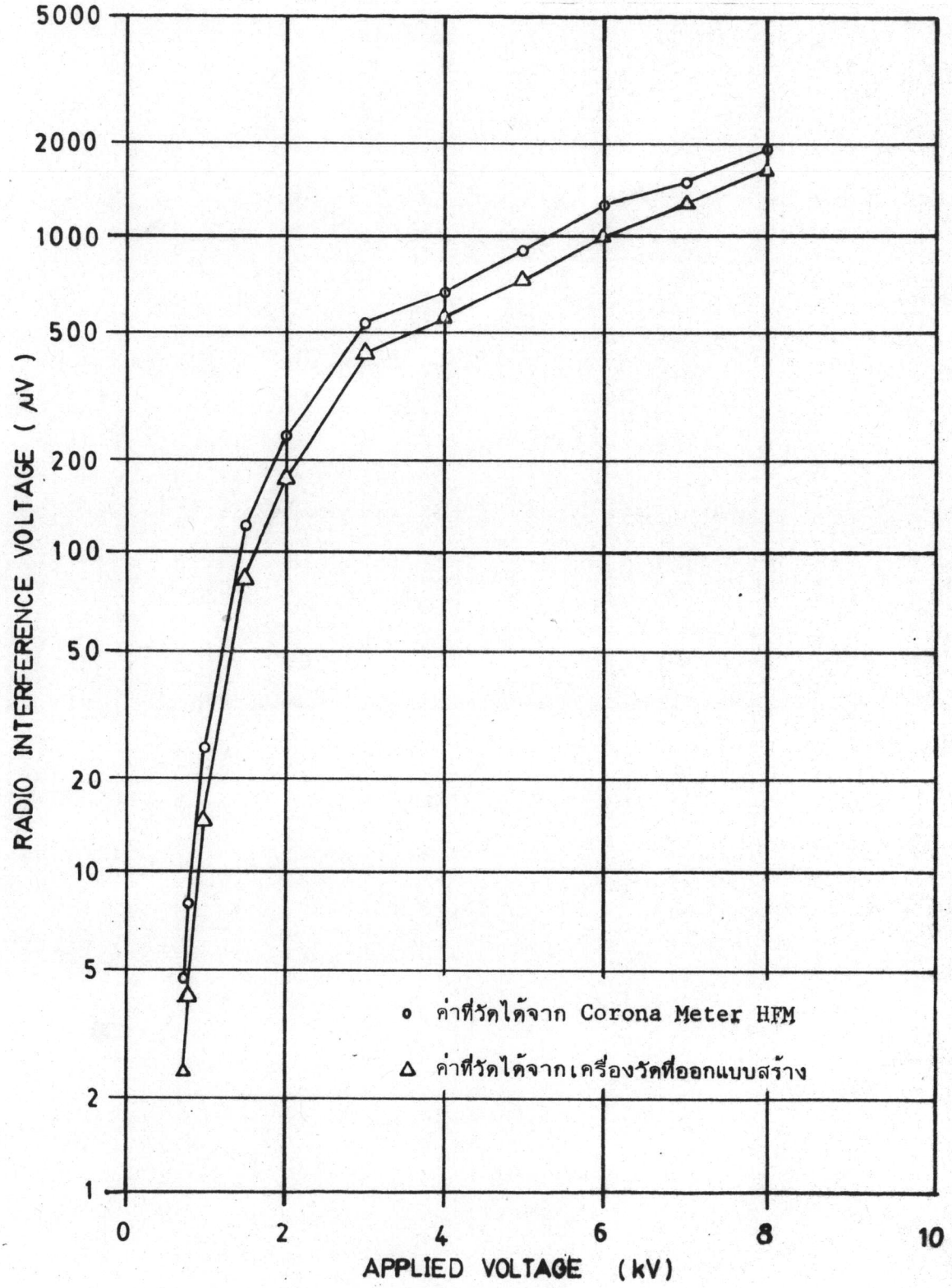
รูป 4.28 เป็นการเปรียบเทียบค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดจากเครื่องวัดทั้งสอง โดยใช้อิเลคโตรดปลายแหลม-ระนาบ เป็นอุปกรณ์ตัวอย่างทดสอบแทนอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงที่จะเกิดลักษณะทางไฟฟ้าแบบนี้ ซึ่งค่าความแตกต่างของค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุอยู่ระหว่างประมาณ 38 ไมโครโวลต์ หรือร้อยละ 47 ถึง 143 ไมโครโวลต์ หรือร้อยละ 20 ที่ค่าแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุประมาณ 117 ไมโครโวลต์ ถึง 875 ไมโครโวลต์ (รายละเอียดในตารางผนวก ง.7)



รูป 4.22 เปรียบเทียบค่าคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดจาก Corona Meter HFM
และเครื่องวัดที่ออกแบบสร้าง
จาก ลูกถ้วยก้านตรง ANSI 56-2, เคลือบผิวและฉาบสารกึ่งตัวนำ



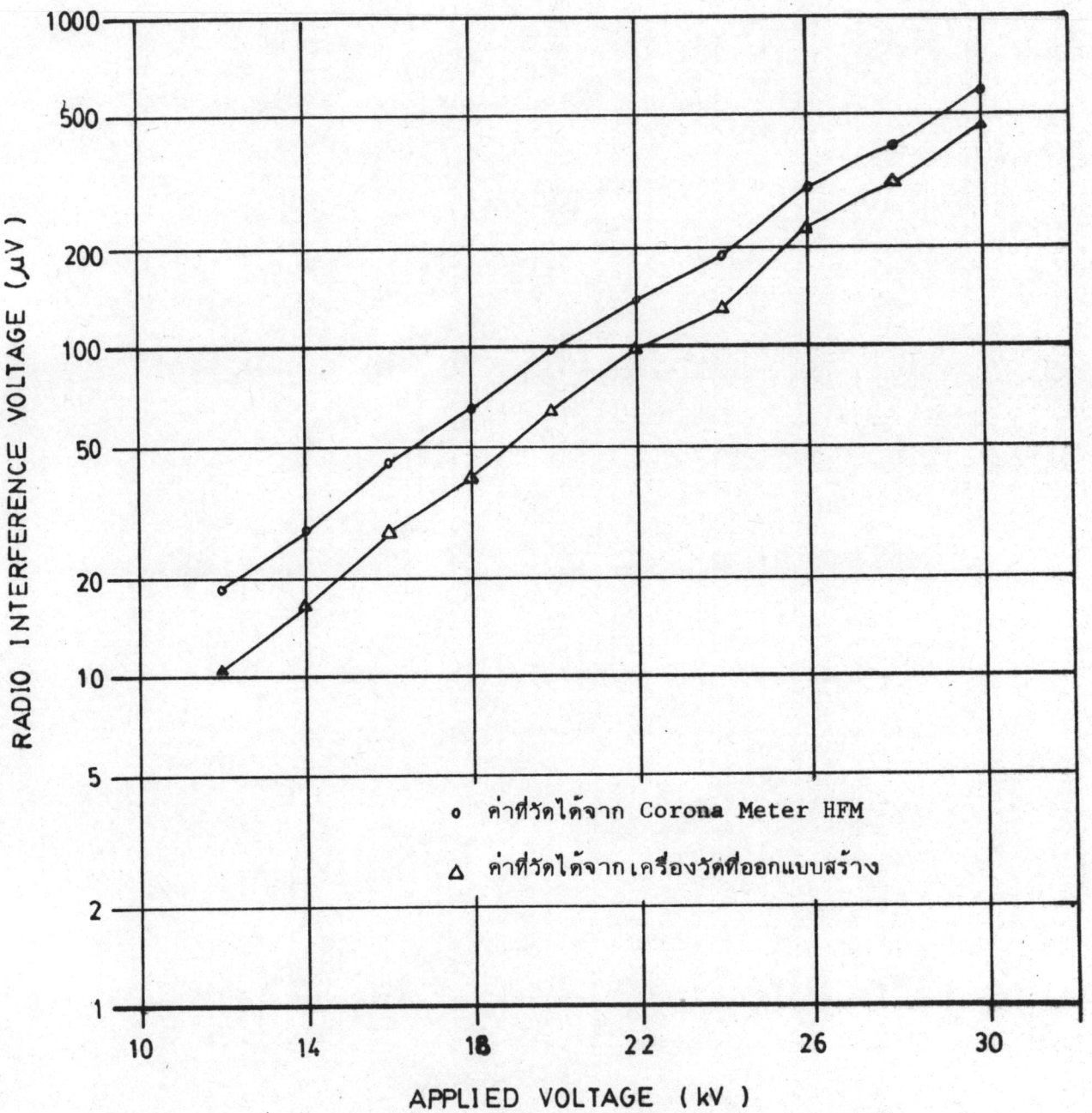
รูป 4.23 เปรียบเทียบค่าคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดจาก Corona Meter HFM
และเครื่องวัดที่ออกแบบสร้าง
จาก ลูกถ้วยก้านตรง Fog Type AP-171, เคลือบผิวแต่ไม่ฉาบสารกึ่งตัวนำ



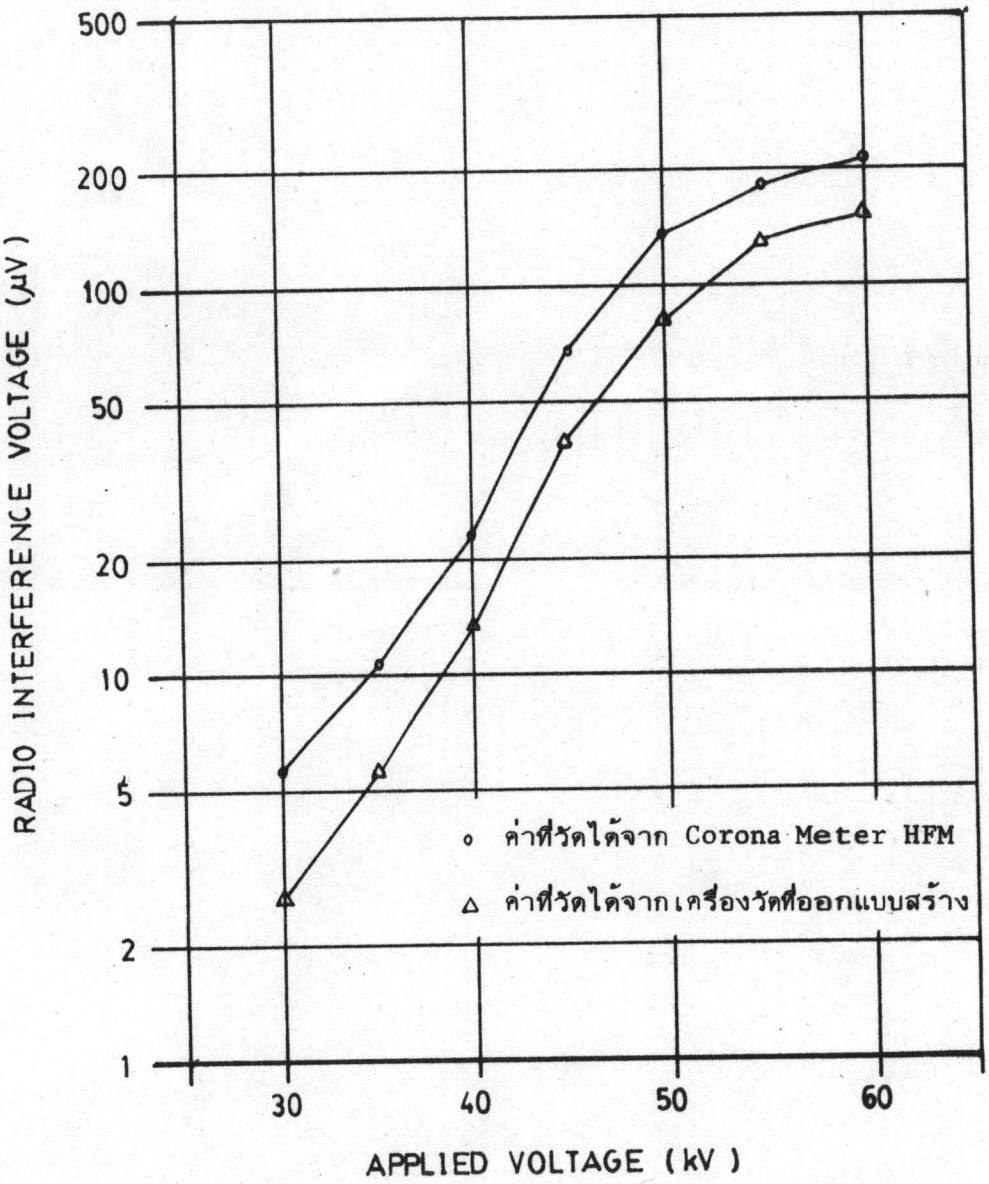
รูป 4.24 เปรียบเทียบค่าคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดจาก Corona Meter HFM

และเครื่องวัดที่ออกแบบสร้าง

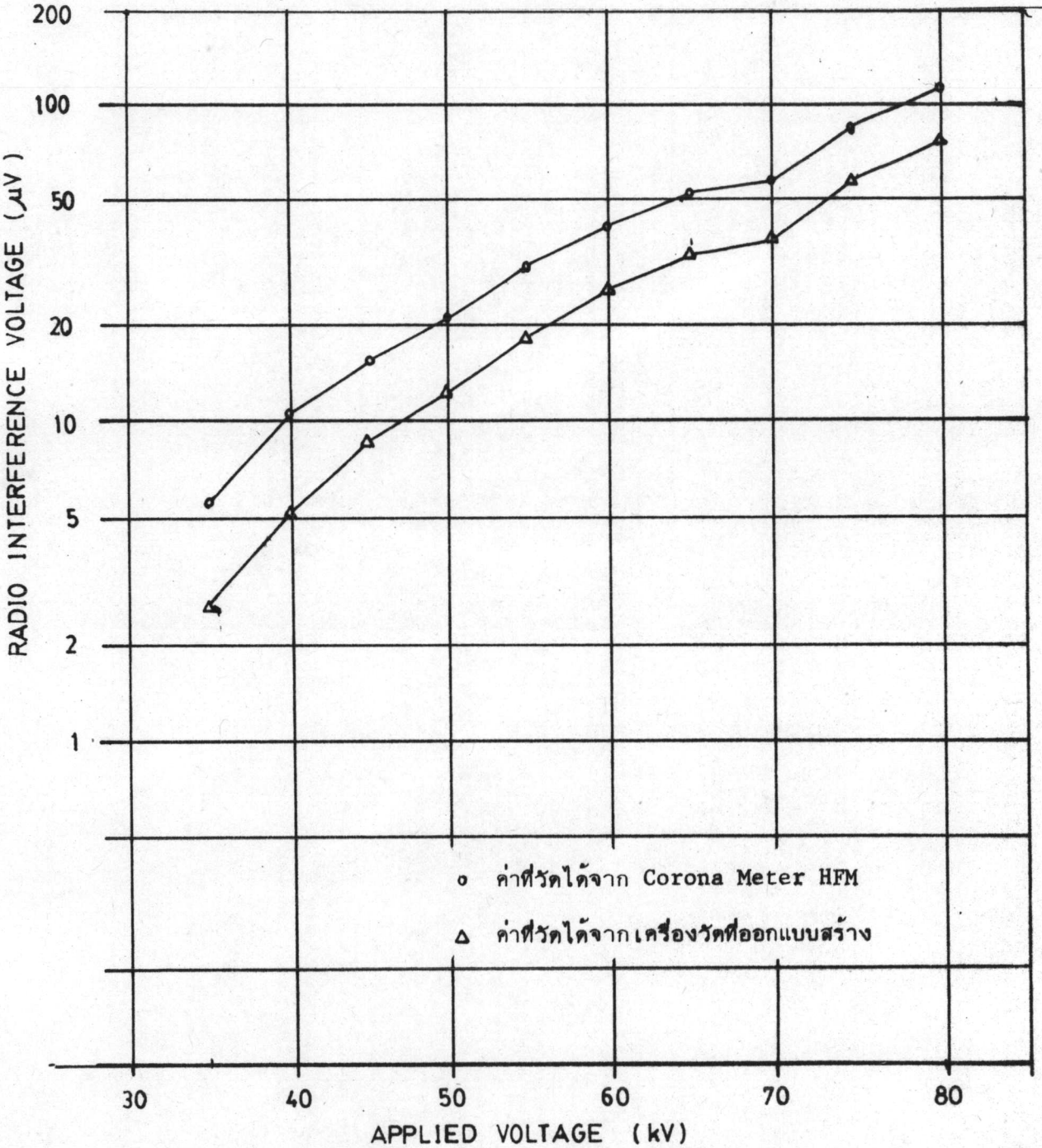
จาก ลูกถ้วยก้านตรง ANSI 56-2, ไม่เคลือบผิวและไม่ฉาบสารกึ่งตัวนำ



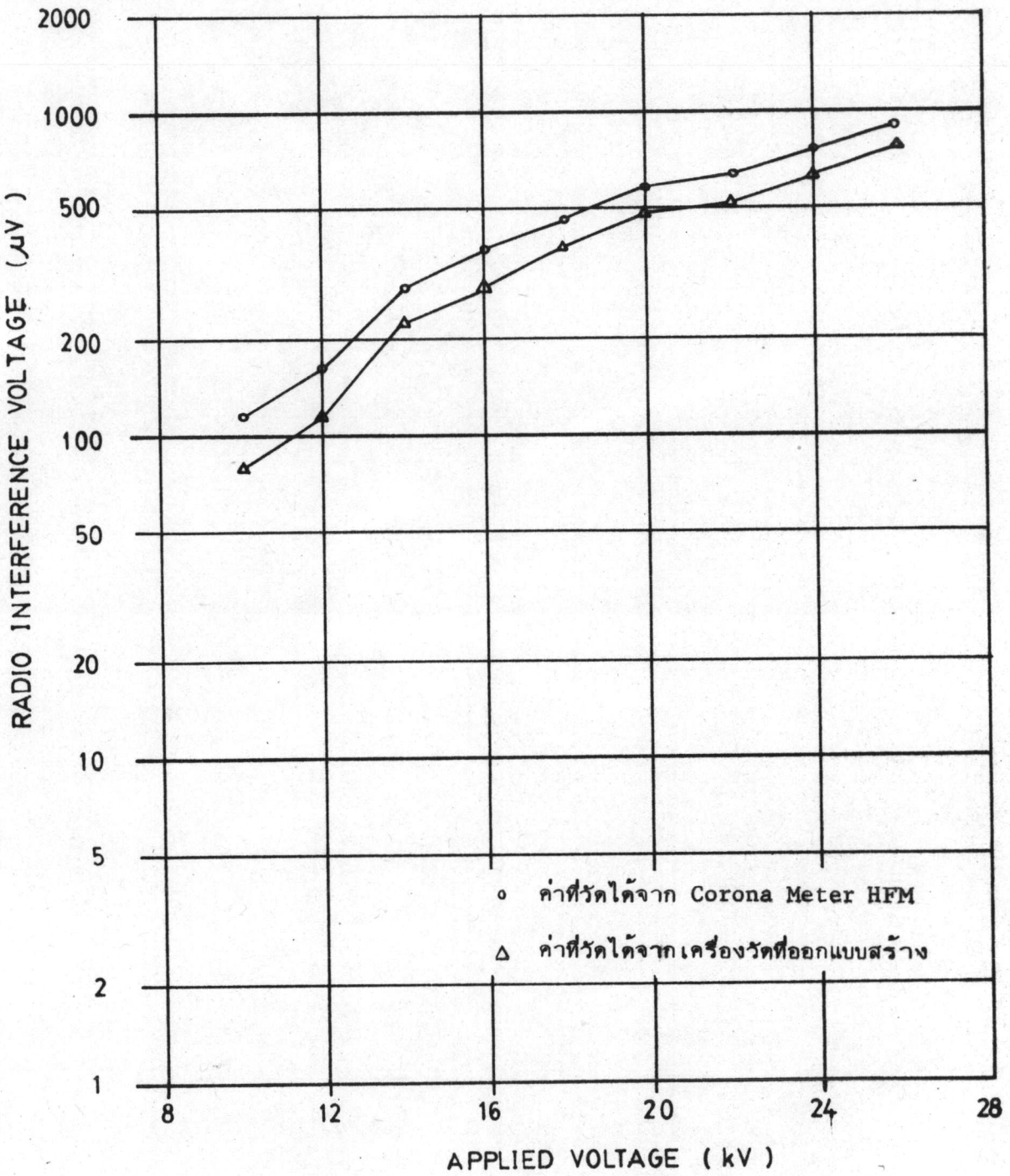
รูป 4.25 เปรียบเทียบค่าคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดจาก Corona Meter HFM
และเครื่องวัดที่ออกแบบสร้าง
จาก ลูกถ้วยแขวน แบบ Ball-socket ANSI 52-3 1 หน่วย



รูป 4.26 เปรียบเทียบค่าคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดจาก Corona Meter HFM
และเครื่องวัดที่ออกแบบสร้าง
จาก ลูกถ้วยแขวน แบบ Ball-socket ANSI 52-3 4 หน่วย



รูป 4.27 เปรียบเทียบค่าคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดจาก Corona Meter HFM
และเครื่องวัดที่ออกแบบสร้าง
จาก ลูกถ้วยท่อนยาว Swiss Art. Nr. 8867



รูป 4.28 เปรียบเทียบค่าคลื่นรบกวนวิทยุที่วัดจาก Corona Meter HFM
และเครื่องวัดที่ ออกแบบสร้าง
จาก อิเลคโตรดปลายแหลม-ระนาบ ระยะ 2 นิ้ว