

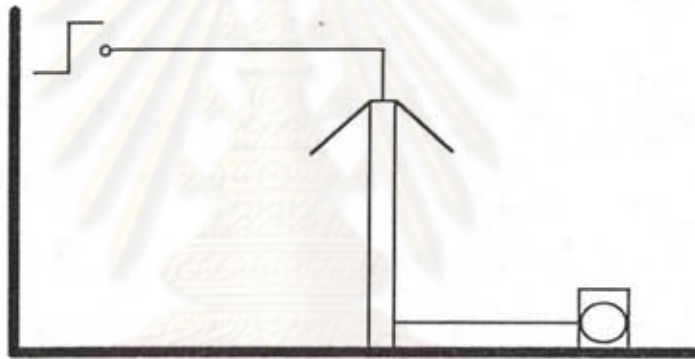


บทที่ 4

การทดสอบและประเมินผล

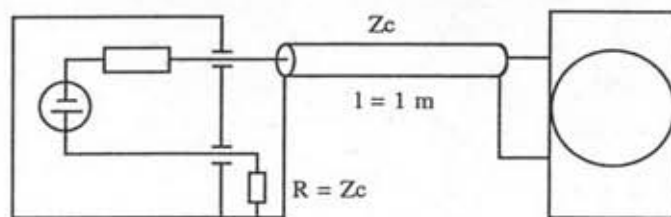
4.1 การหาผลตอบสนองรูปขั้น

วงจรถ้าผลตอบสนองรูปขั้นในที่นี้ใช้วงจรในรูปที่ 2.5ก) ตามที่กำหนดในมาตรฐาน IEC 60-2(1994) ดังแสดงในรูปที่ 4.1

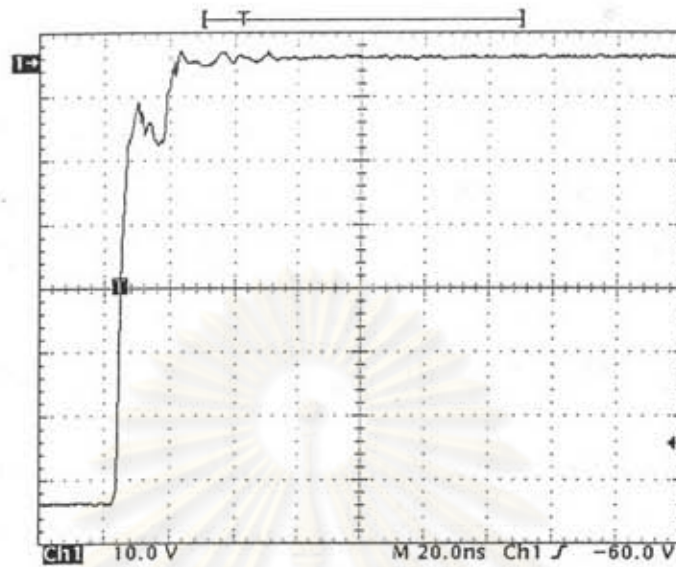


รูปที่ 4.1 วงจรถ้าผลตอบสนองรูปขั้น

โดยเครื่องกำเนิดแรงดันรูปขั้น (unit step generator) ใช้ของ HAEFELY รุ่น USG 40 ซึ่งมีค่าแรงดันขาออก -90 ± 10 V ใช้รีเลย์แบบปรอทเปียก (mercury-wetted relay) เป็นตัวตัดแรงดันลงคืนด้วยความถี่ 50 Hz และจากการทดลองหาค่าเวลาขึ้นของเครื่องกำเนิดแรงดันรูปขั้นตามวงจรที่กำหนดไว้ในคู่มือ [12] ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ได้ออสซิลโลกราฟแสดงในรูปที่ 4.3



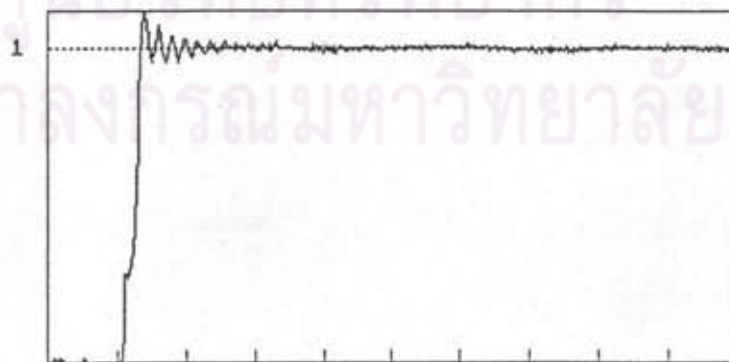
รูปที่ 4.2 วงจรหาค่าเวลาขึ้นของเครื่องกำเนิดแรงดันรูปขั้น



รูปที่ 4.3 ออสซิลโลกราฟของแรงดันจากเครื่องกำเนิดแรงดันรูปขั้น

4.1.1 โวลเตจดีไวเดอร์แบบความต้านทาน

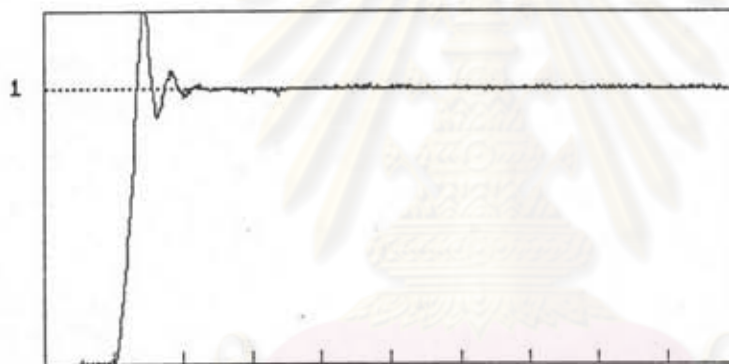
ผลตอบสนองของโวลเตจดีไวเดอร์แบบความต้านทานที่สร้างขึ้นสามารถแสดงในรูปที่ 4.4 ในที่นี้ สายนำที่ใช้เป็นท่ออะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.85 cm ยาวประมาณ 2.8 m เมื่อคำนวณหาค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์จากสมการ (2.7) แล้วจะได้ค่าเป็น 329Ω ซึ่งผลตอบสนองที่ได้ยังมีการแกว่งอยู่ เพื่อหาผลตอบสนองที่เหมาะสม จึงได้ทำการใส่ตัวความต้านทานหน่วงค่าต่างๆ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองแสดงในตารางที่ 4.1 และออสซิลโลกราฟแสดงในรูปที่ 4.5



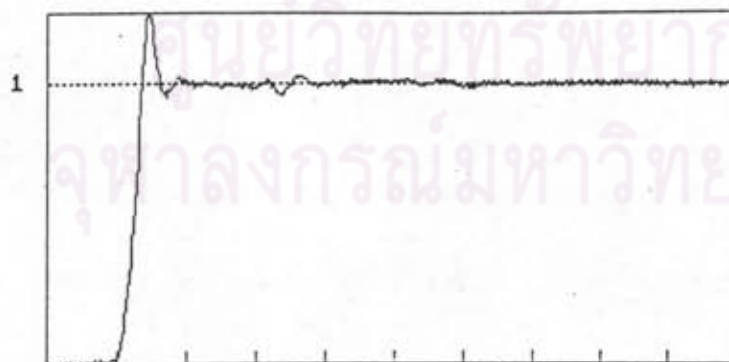
รูปที่ 4.4 ออสซิลโลกราฟผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดีไวเดอร์แบบความต้านทาน
สเกลเวลา 400 ns/div

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ผลตอบสนองของโวลเตจดีไวเดอร์แบบความต้านทาน
ที่ค่าความต้านทานหน่วงต่างๆ

R_d (Ω)	β (%)	T_α (ns)	T_N (ns)
50	28.24	34.75	25.68
100	25.78	39.56	28.09
150	24.41	40.72	31.75
200	25.00	42.34	32.16
270	13.43	44.63	39.07

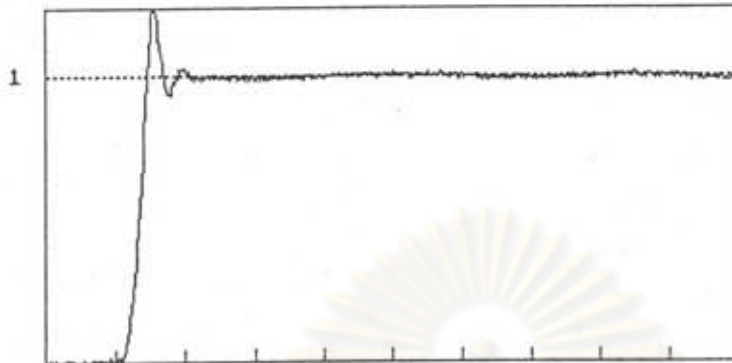


ก) $R_d = 50 \Omega$

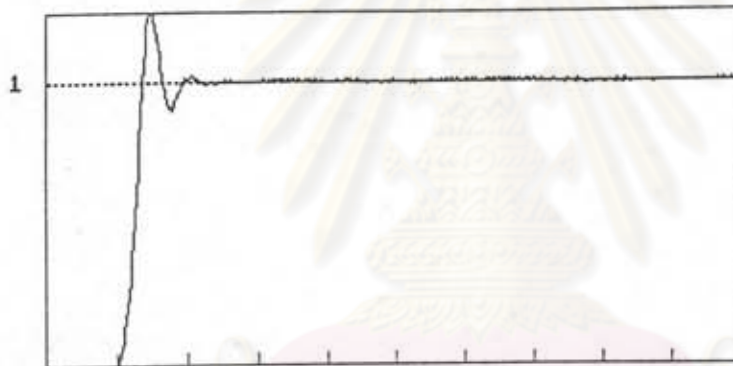


ข) $R_d = 100 \Omega$

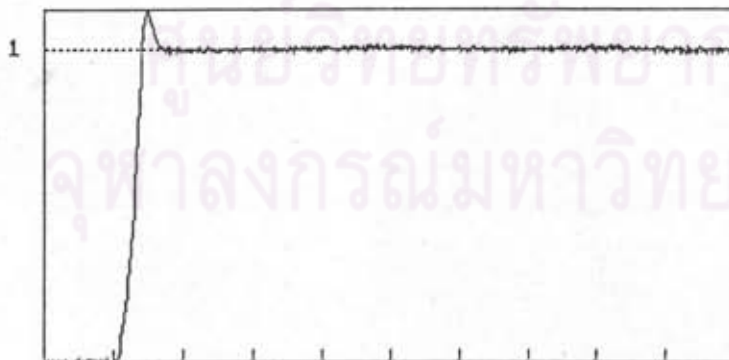
รูปที่ 4.5 ออสซิลโลกราฟผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดีไวเดอร์แบบความต้านทาน
ที่ค่าความต้านทานหน่วง (R_d) ต่างๆ สเกลเวลา 400 ns/div



ก) $R_d = 150 \Omega$



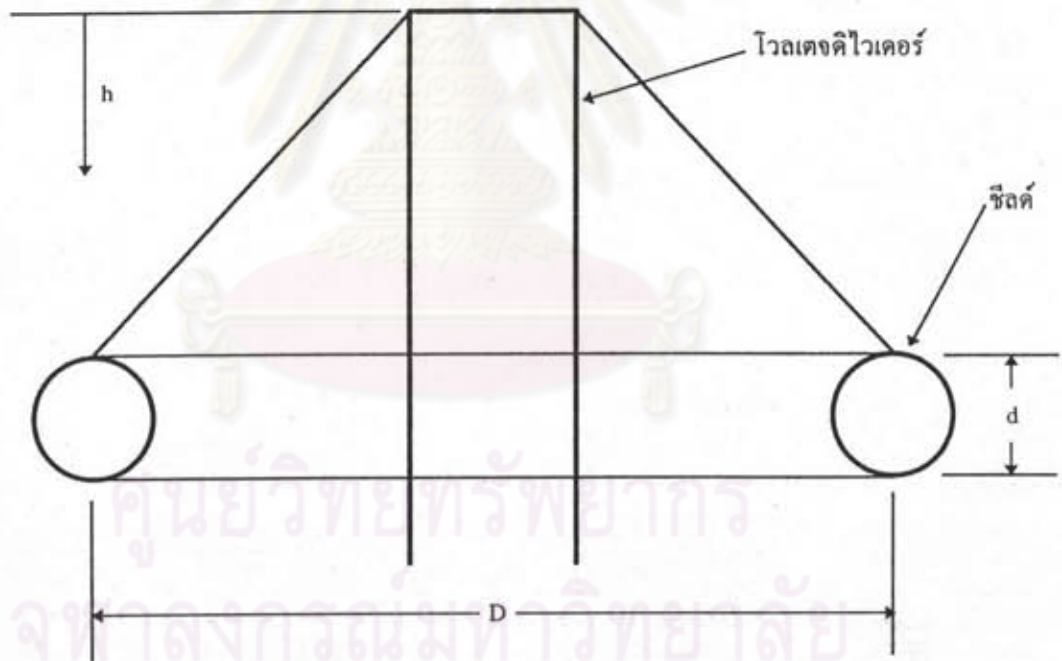
ข) $R_d = 200 \Omega$



ค) $R_d = 270 \Omega$

รูปที่ 4.5 (ต่อ) ออสซิลโลกราฟผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดีไวเดอร์แบบความต้านทาน
ที่ค่าความต้านทานหน่วง (R_d) ต่างๆ สเกลเวลา 400 ns/div

จากผลการทดลองข้างต้น สรุปได้ว่าในกรณีวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็มและรูปคลื่นตัดที่หางคลื่น โวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทานที่สร้างขึ้นมีค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองตามที่มาตรฐานกำหนด ที่ทุกค่าของความต้านทานหน่วงที่ใช้ แต่ในกรณีรูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่น ได้ค่าเวลาตอบสนองช้าเกินไป เพื่อทำการปรับปรุงผลตอบสนองรูปขึ้นให้ดีขึ้น จึงได้ทำการทดลองใส่ซิลด์เพื่อให้สนามไฟฟ้าของโวลเตจดิไวเดอร์มีการกระจายตัวสม่ำเสมอขึ้น ซึ่งจะเป็นการลดค่าเก็บประจุสแตตริกของโวลเตจดิไวเดอร์ แต่มีข้อควรระวังเกี่ยวกับการใส่ซิลด์คือ ซิลด์จะทำให้เกิดค่าเก็บประจุค่าหนึ่งต่อขนานอยู่ภายนอกกับโวลเตจดิไวเดอร์ ซึ่งจะทำให้เกิดการแกว่งของผลตอบสนองรูปขึ้น ซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยการใส่ความต้านทานหน่วง ดังนั้น เพื่อหาขนาดของซิลด์ที่เหมาะสม จึงได้ทดลองใส่ซิลด์อะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (d) 6" โดยทดลองที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวง (D) ขนาดต่างกัน 3 ขนาด คือ 100, 150, 200 cm และที่ระดับความสูง (h) ต่างกัน 5 ระดับ คือ 0, 25, 50, 75, 100 cm ดังภาพสเกตซ์ในรูปที่ 4.6

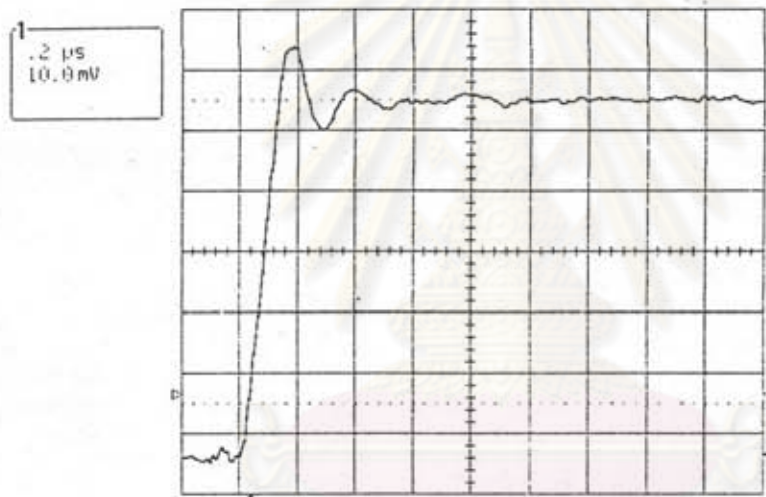


รูปที่ 4.6 ภาพสเกตซ์ภาคตัดขวางของซิลด์

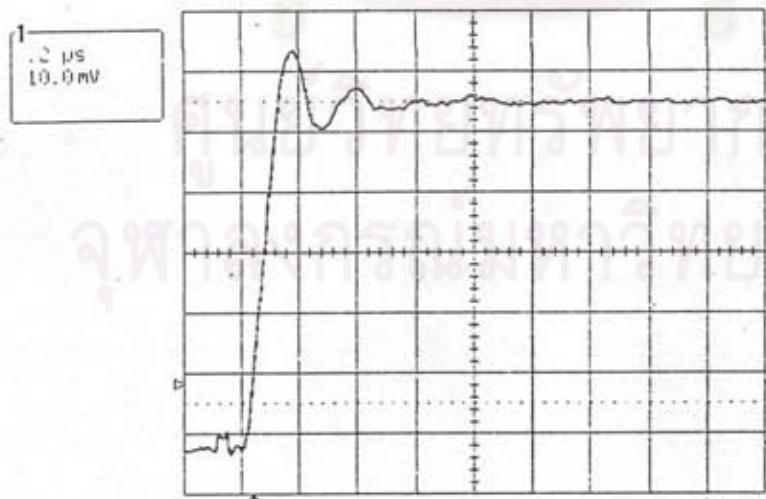
โดยในการทดลองใช้ค่าความต้านทานหน่วง 150Ω และจากออสซิลโลกราฟที่ได้จะทำการบันทึกค่าเวลาขึ้น (rise time, T_r) ของผลตอบสนองรูปขึ้นและส่วนพุ่งเกินเพื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.2-4.4 และรูปที่ 4.7-4.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์แรงดันรูปขั้นของโวลเตจดีไวเดอร์แบบความต้านทาน
มีซีลค์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวง 100 cm ที่ระดับความสูงต่างๆ

h (cm)	T_r (ns)	β (%)
0	102	16.9
25	91	16.8
50	78	18.1
75	67	17.9
100	59	25.3

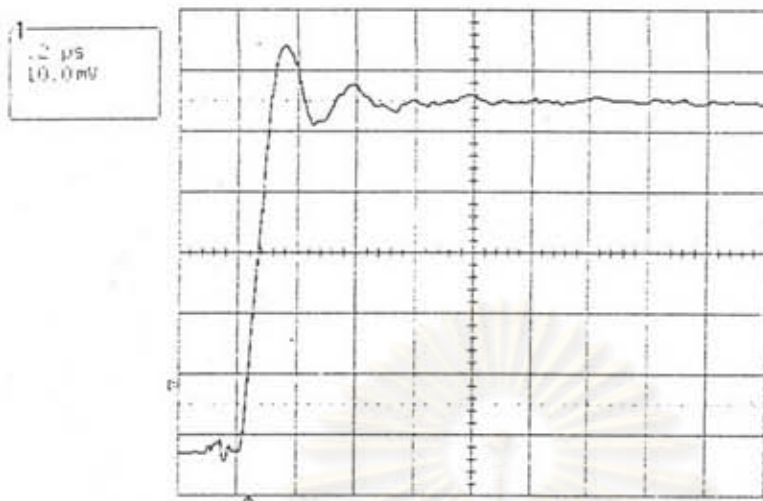
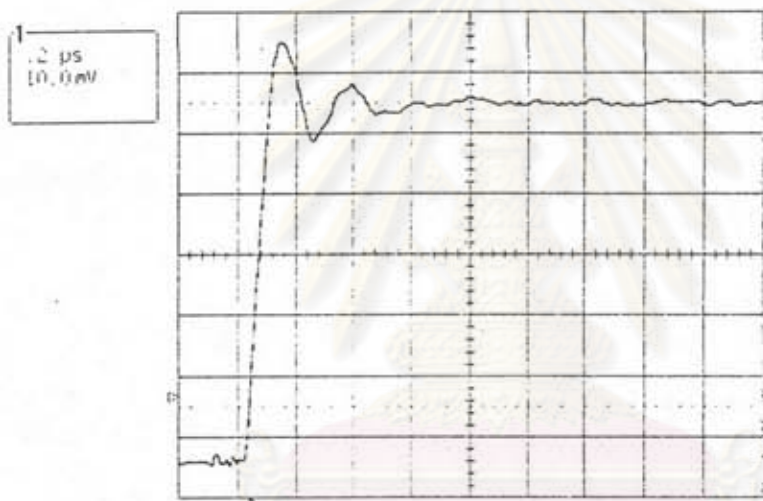
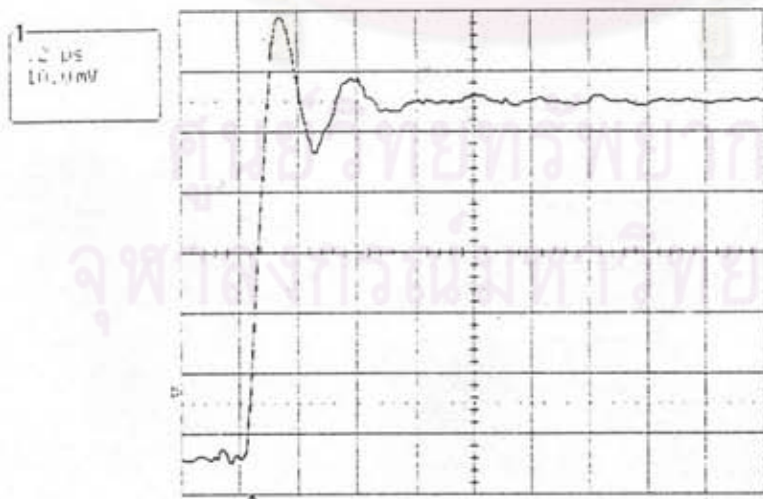


ก) h = 0 cm



ข) h = 25 cm

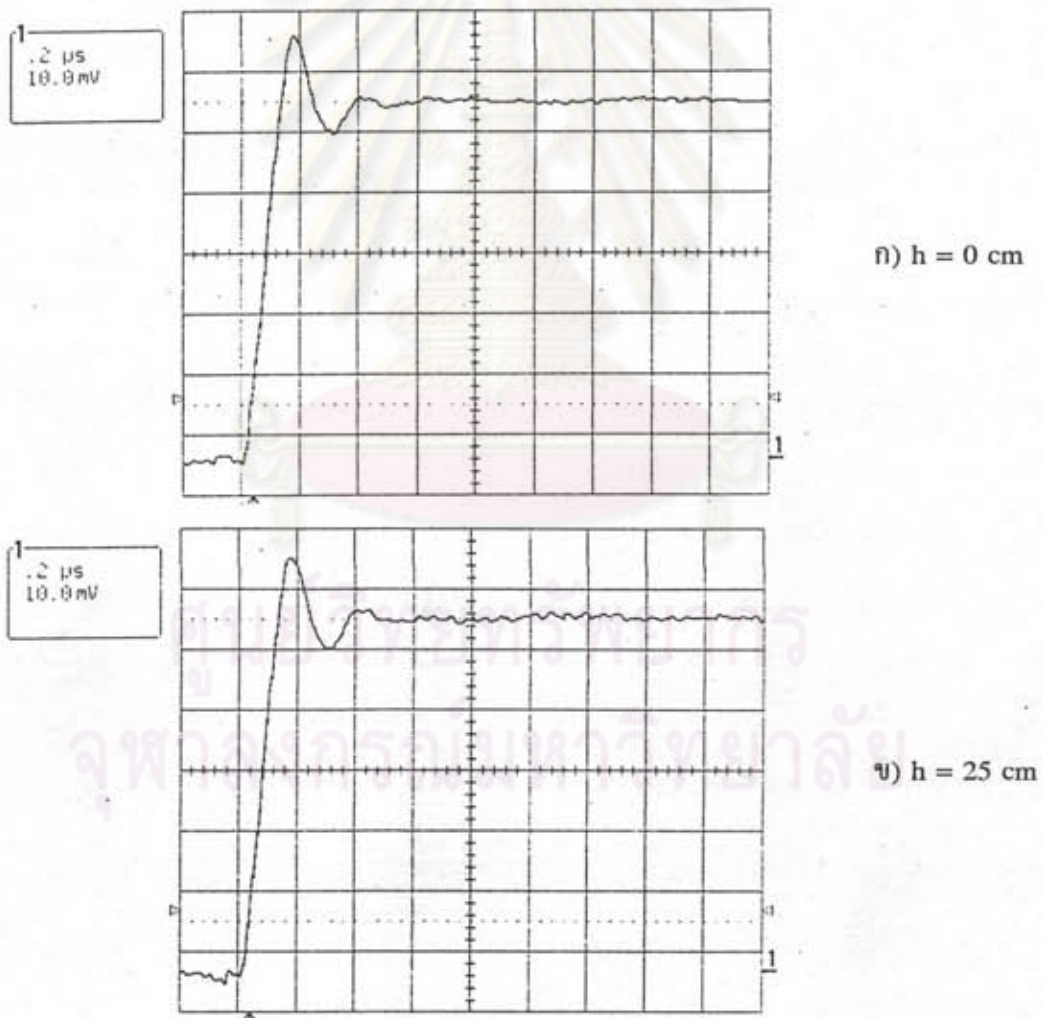
รูปที่ 4.7 ออสซิลโลกราฟผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดีไวเดอร์แบบความต้านทาน
มีซีลค์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวง 100 cm ที่ระดับความสูง (h) ต่างๆ

ก) $h = 50$ cmข) $h = 75$ cmค) $h = 100$ cm

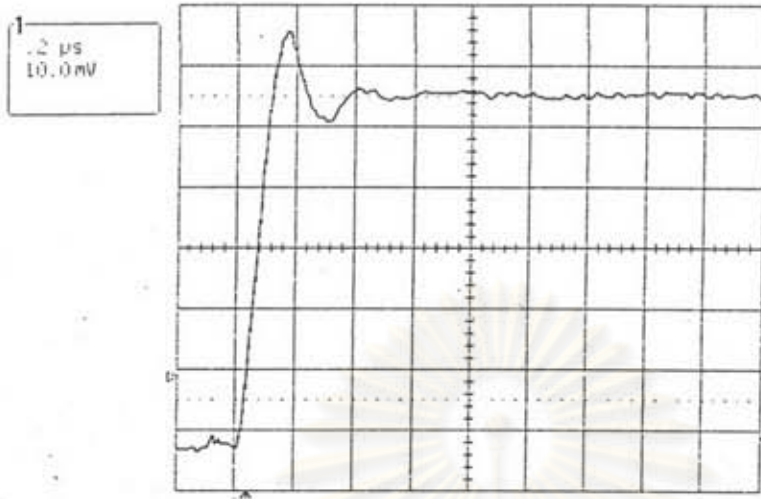
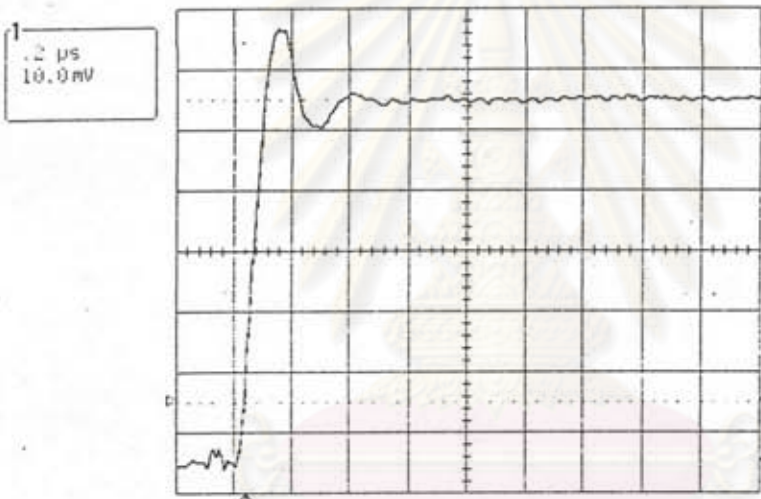
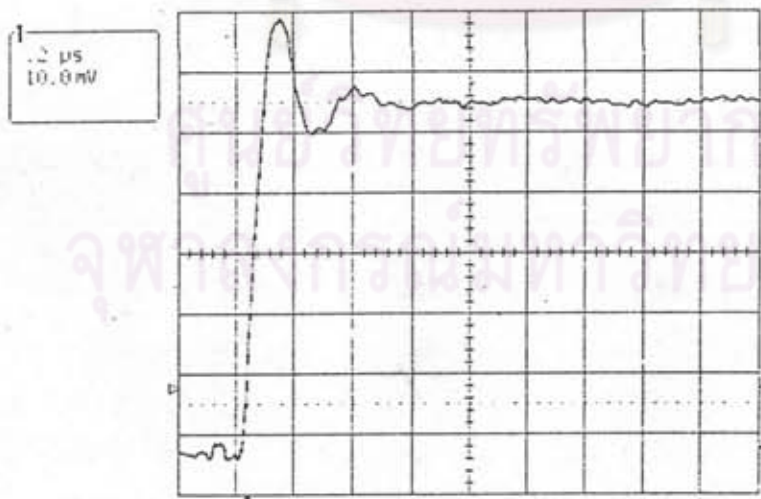
รูปที่ 4.7 (ต่อ) ออสซิลโลกราฟผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดีไวเคอร์แบบความต้านทาน มีซิลด์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวง 100 cm ที่ระดับความสูง (h) ต่างๆ

ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์แรงดันรูปขั้นของโวลเตจดีไวเดอร์แบบความต้านทาน
มีซีลค์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวง 150 cm ที่ระดับความสูงต่างๆ

h (cm)	T_r (ns)	β (%)
0	98	19.3
25	93	19.7
50	83	19.2
75	71	21.6
100	62	24.7



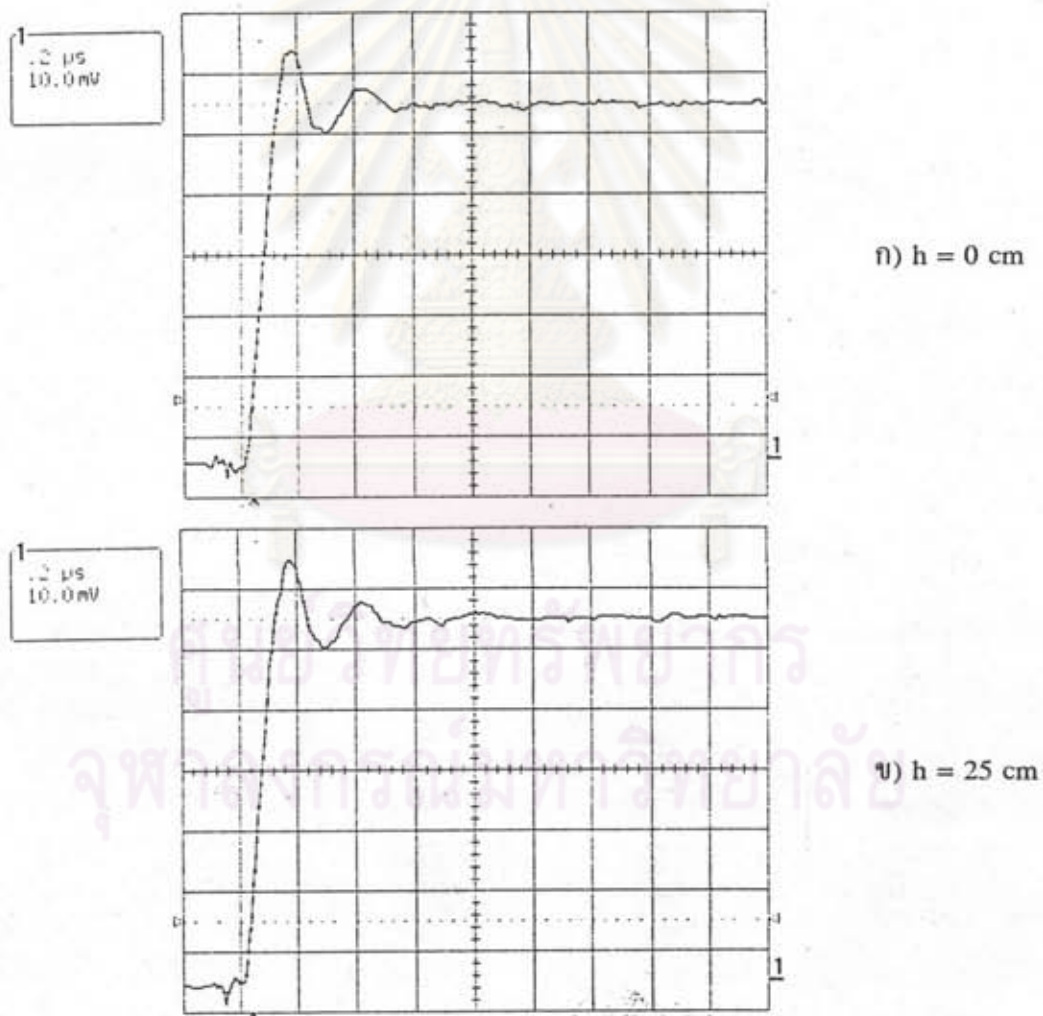
รูปที่ 4.8 ออสซิลโลกราฟผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดีไวเดอร์แบบความต้านทาน
มีซีลค์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวง 150 cm ที่ระดับความสูง (h) ต่างๆ

ก) $h = 50$ cmจ) $h = 75$ cmฉ) $h = 100$ cm

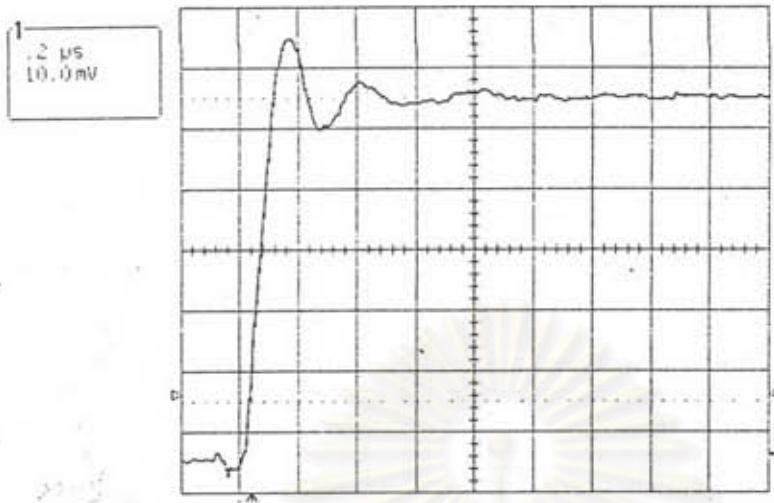
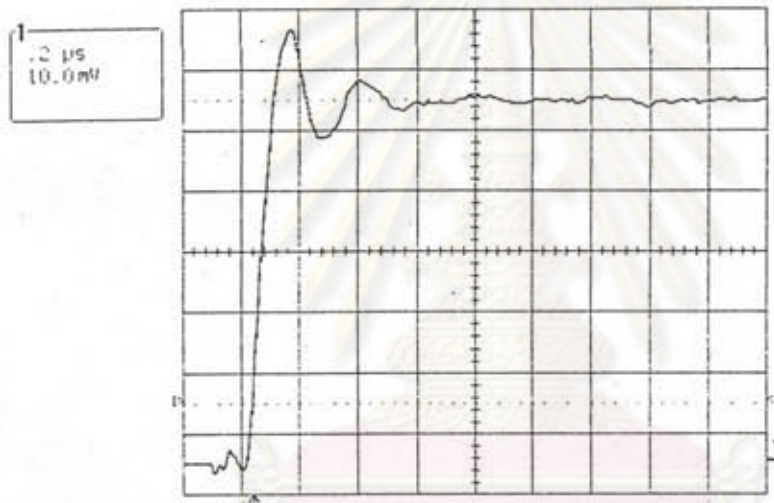
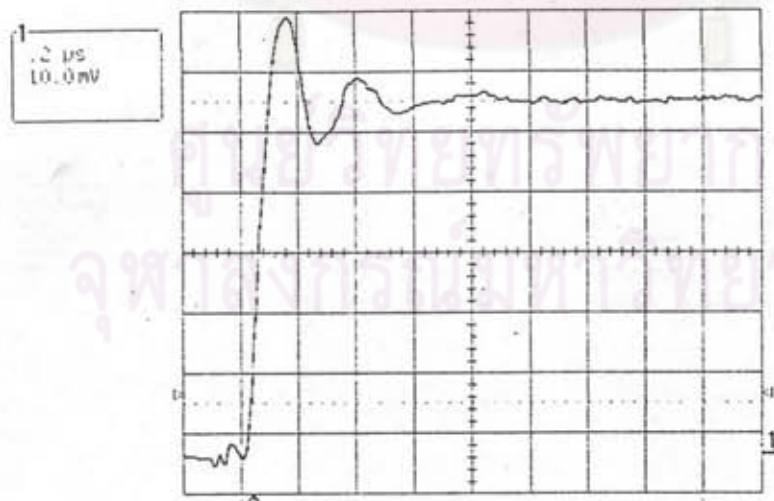
รูปที่ 4.8 (ต่อ) ออสซิลโลกราฟผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดีไวเดอร์แบบความต้านทาน
มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวง 150 cm ที่ระดับความสูง (h) ต่างๆ

ตารางที่ 4.4 พารามิเตอร์แรงดันรูปขั้นของโวลเตจดีไวเดอร์แบบความต้านทาน
มีซีลด์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวง 200 cm ที่ระดับความสูงต่างๆ

h (cm)	T_r (ns)	β (%)
0	86	19.3
25	84	21.2
50	78	21.1
75	72	22.2
100	63	26.2

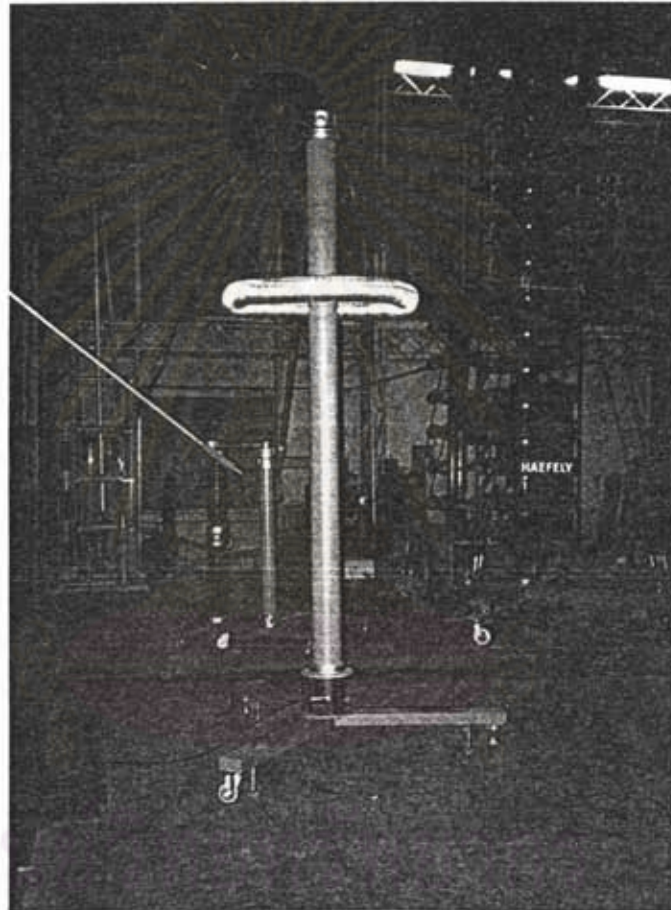


รูปที่ 4.9 ออสซิลโลกราฟผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดีไวเดอร์แบบความต้านทาน
มีซีลด์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวง 200 cm ที่ระดับความสูง (h) ต่างๆ

ก) $h = 50 \text{ cm}$ ข) $h = 75 \text{ cm}$ ค) $h = 100 \text{ cm}$

รูปที่ 4.9 (ต่อ) ออสซิลโลกราฟผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดีไวเดอร์แบบความต้านทาน
มีซีลด์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวง 200 cm ที่ระดับความสูง (h) ต่างๆ

จากผลการทดลองที่ได้สรุปได้ว่า ที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงใดๆ ค่าเวลาขึ้นจะแปรผกผันกับระดับความสูง กล่าวคือ ที่ระดับความสูง 100 cm จะได้เวลาขึ้นเร็วที่สุด และที่ระดับความสูงใดๆ ค่าเวลาขึ้นจะแปรผันตรงกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวง ซึ่งในที่นี้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวง 100 cm จะได้เวลาขึ้นเร็วที่สุด ดังนั้น จึงเลือกใช้ซิลด์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวง 100 cm ที่ระดับความสูง 100 cm โดยโวลเตจคิไวเคอร์มีซิลด์ที่ประกอบเสร็จแล้วแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 โวลเตจคิไวเคอร์แบบความต้านทานมีซิลด์ที่ประกอบเสร็จแล้ว

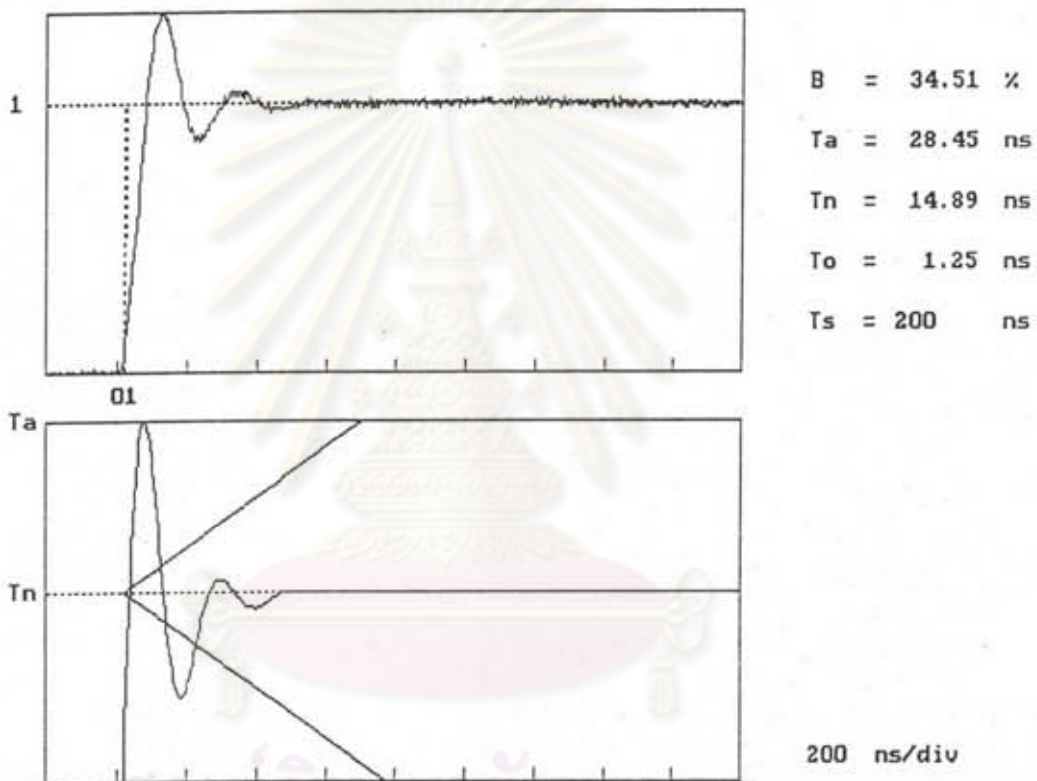
หลังจากประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงได้ทำการหาผลตอบสนองรูปขึ้นอีกครั้งโดยเลือกใช้ค่าความต้านทานหน่วง 150 และ 270 Ω และเพื่อความสะดวกในการประเมินค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองจึงได้ออกแบบโปรแกรมขึ้น โดยแผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแสดงในภาคผนวก ก ออสซิลโลกราฟแสดง $g(t)$, $T(t)$ แสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองตามที่มาตรฐาน IEC 60-2 (1994) แนะนำไว้ในกรณีวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็มและรูปคลื่นตัดที่หางคลื่นแสดงในตารางที่ 4.5 และในกรณีรูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่นแสดงในตารางที่ 4.6

Unit Step Response Evaluation Program

1 MV Shielded resistive voltage divider

with damping resistor 150 Ohms

scale factor = 884.94

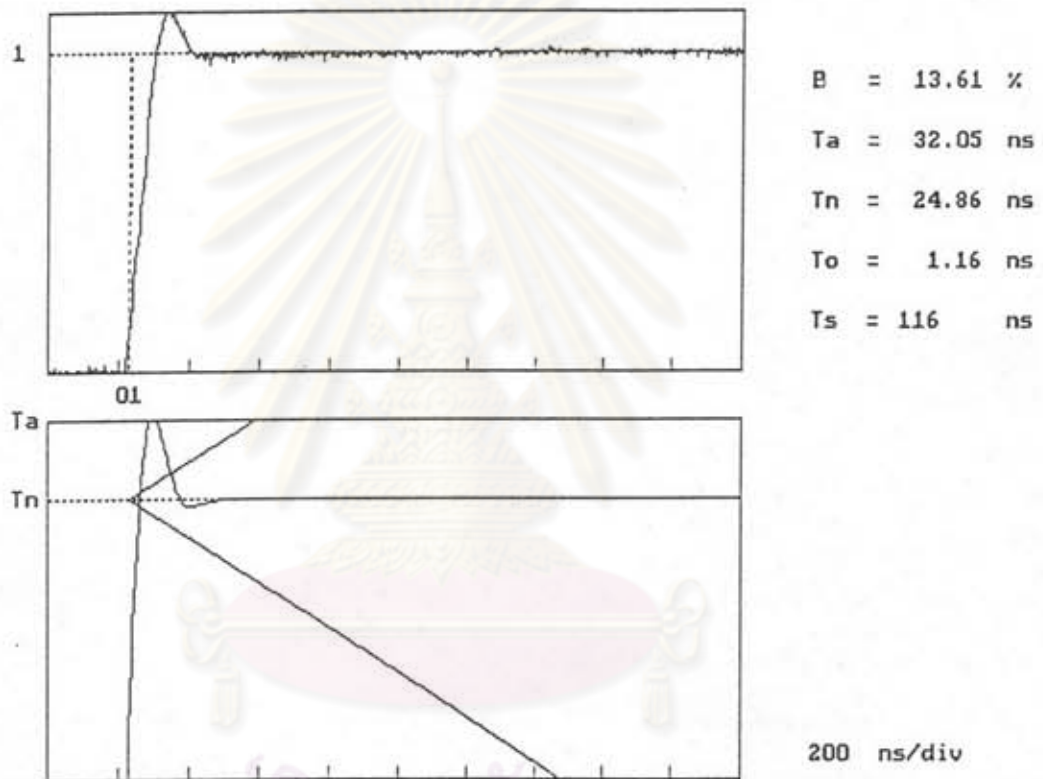


รูปที่ 4.11 ออสซิลโลกราฟแสดง $g(t)$, $T(t)$ และพารามิเตอร์ผลตอบสนองของ

โวลเตจดีไวเดอร์แบบความต้านทานมีซัลด์ที่ค่าความต้านทานหน่วง 150 Ω

Unit Step Response Evaluation Program

1 MU Shielded resistive voltage divider
with damping resistor 270 Ohms
scale factor = 895.76



รูปที่ 4.12 ออสซิลโลกราฟแสดง $g(t)$, $T(t)$ และพารามิเตอร์ผลตอบสนองของ

โวลเตจดีไวเดอร์แบบความต้านทานมีซีลด์ที่ค่าความต้านทานหน่วง 270 Ω

ตารางที่ 4.5 พารามิเตอร์ผลตอบสนองในกรณีวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็มและรูปคลื่นตัดที่หางคลื่น โดยคิดเวลาหน้าคลื่น $T_1 = 0.84 \mu\text{s}$ (ดูรูปที่ 2.7)

$R_d (\Omega)$	T_α/T_1	β (%)	
		จากการทดลอง	มาตรฐานกำหนด
150	0.034	34.51	≤ 82.35
270	0.038	13.61	≤ 71.76

ตารางที่ 4.6 พารามิเตอร์ผลตอบสนองในกรณีวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่น โดยคิดช่วงเวลาคลื่นตัด $T_C = 0.5 \mu\text{s}$

พารามิเตอร์ ผลตอบสนอง	เงื่อนไขที่กำหนด	ค่าที่ได้จากการทดลอง	
		$R_d = 150 \Omega$	$R_d = 270 \Omega$
เวลาตอบสนอง จากการทดลอง	$T_\alpha - 0.03T_C \leq T_N \leq 0.03T_C$	$T_N = 14.89 \text{ ns}$ ($T_\alpha = 28.45 \text{ ns}$)	$T_N = 24.86 \text{ ns}$ ($T_\alpha = 32.05 \text{ ns}$)
เวลาเข้าสู่ภาวะคงตัว	$t_s \leq T_C$	$t_s = 200 \text{ ns}$	$t_s = 116 \text{ ns}$
เวลาผิดเพี้ยนเริ่มต้น	$T_0 \leq 0.005T_C$	$T_0 = 1.25 \text{ ns}$	$T_0 = 1.16 \text{ ns}$

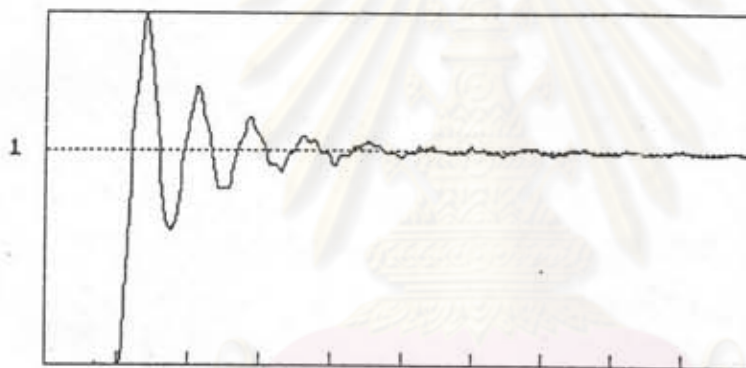
จากผลข้างต้นสรุปได้ว่า ในกรณีวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็มและรูปคลื่นตัดที่หางคลื่น ค่าความต้านทานหน่วงทั้ง 2 ค่ามีผลตอบสนองตามที่มาตรฐานกำหนดไว้ แต่ในกรณีรูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่น ที่ค่าความต้านทานหน่วง 270Ω ได้เวลาตอบสนองที่ช้าเกินไป ส่วนที่ค่าความต้านทานหน่วง 150Ω ได้เวลาตอบสนองตามที่มาตรฐานกำหนดไว้ ดังนั้น จึงเลือกค่าความต้านทานหน่วง 150Ω สำหรับโวลเตจดีไวเดอร์แบบความต้านทานมีซิลค์ที่สร้างขึ้น

4.1.2 โวลเตจดีไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุ

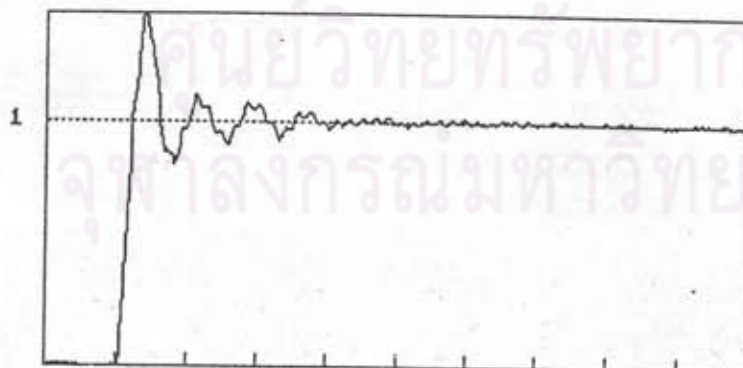
การหาผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดีไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุใช้วิธีการเช่นเดียวกับแบบความต้านทาน กล่าวคือ จะทำการหาผลตอบสนองที่ค่าความต้านทานหน่วงต่างๆ กัน ในที่นี้ สายนำที่ใช้เป็นท่ออะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.85 cm ความยาวประมาณ 4 m เมื่อคำนวณหาค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ได้จากสมการ (2.7) แล้วจะได้ค่าเป็น 347Ω ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.7 และออสซิลโลกราฟแสดงในรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์ผลตอบสนองของโวลเตจดีไวเคอร์แบบตัวเก็บประจุ
ที่ค่าความต้านทานหน่วงต่างๆ

$R_d (\Omega)$	$\beta (\%)$	$T_\alpha (\text{ns})$	$T_N (\text{ns})$
50	65.45	85.73	-10.00
100	45.05	99.19	23.69
150	33.33	106.76	58.65
200	25.45	116.82	65.55
270	9.09	128.09	110.09

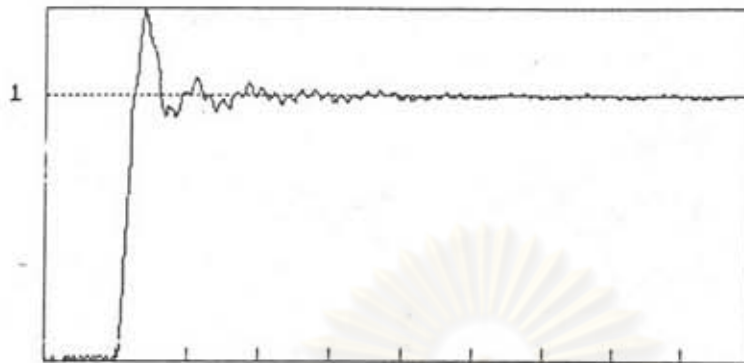


ก) $R_d = 50 \Omega$

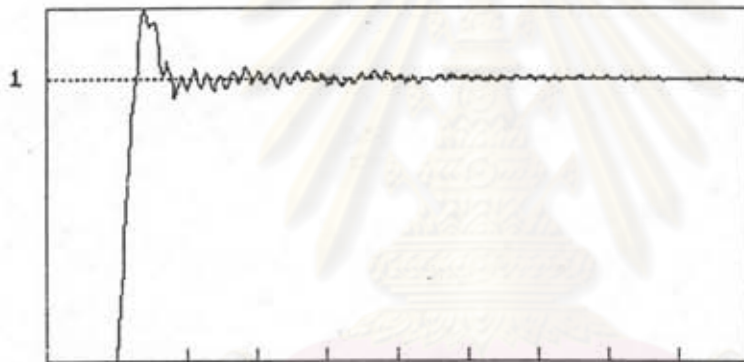


ข) $R_d = 100 \Omega$

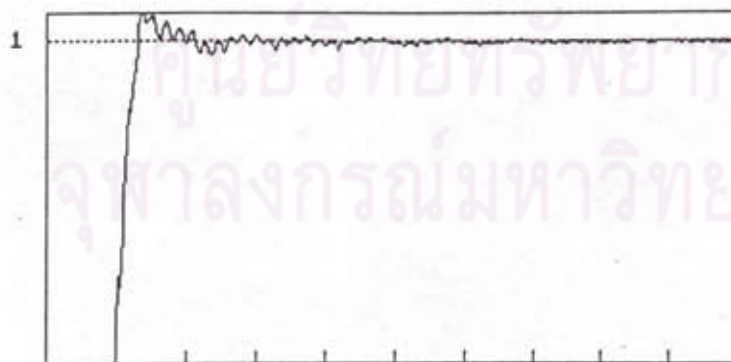
รูปที่ 4.13 ออสซิลโลกราฟผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดีไวเคอร์แบบตัวเก็บประจุ
ที่ค่าความต้านทานหน่วง (R_d) ต่างๆ สเกลเวลา $1 \mu\text{s}/\text{div}$



ก) $R_d = 150 \Omega$



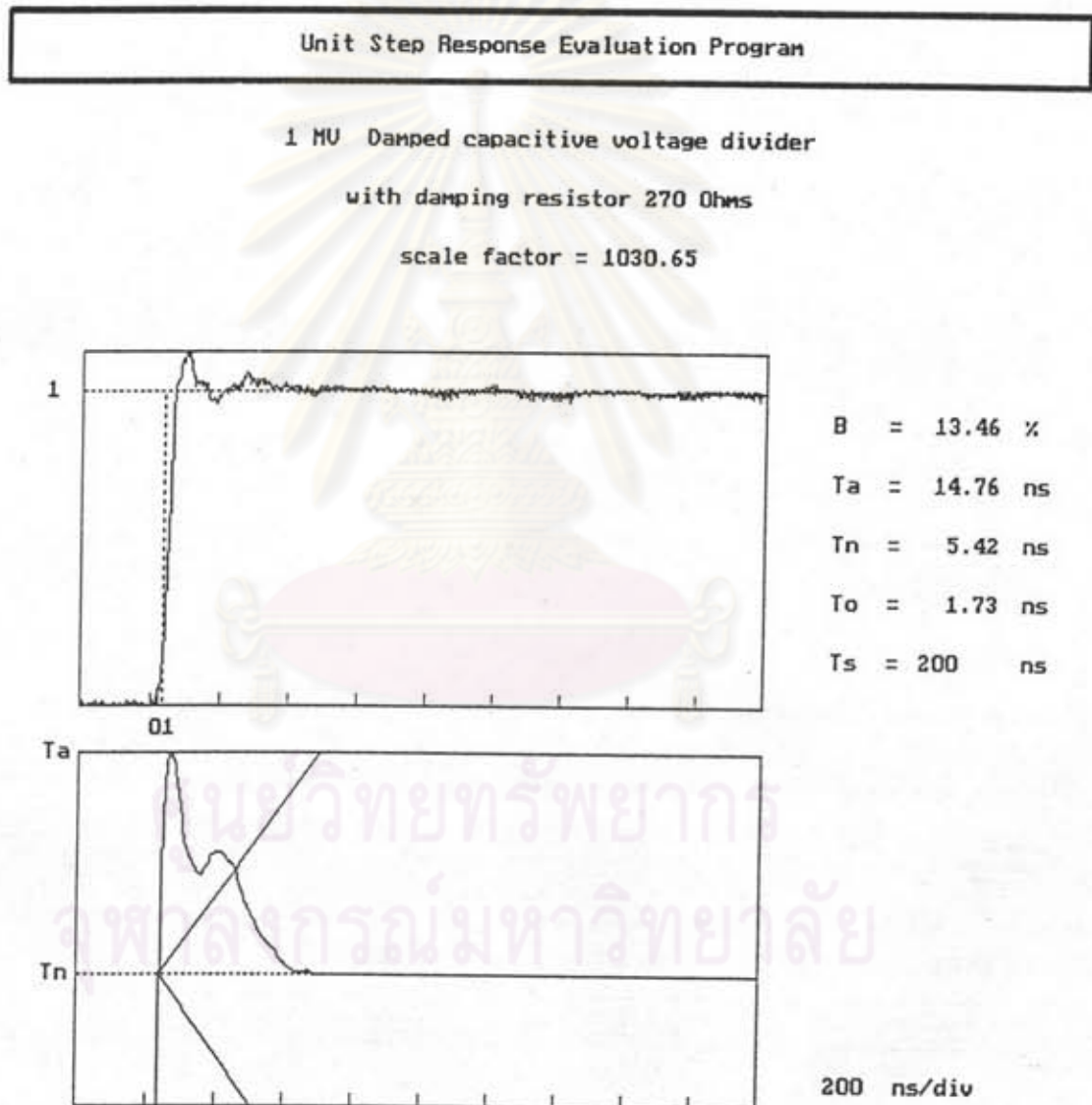
ข) $R_d = 200 \Omega$



ค) $R_d = 270 \Omega$

รูปที่ 4.13 (ต่อ) ออสซิลโลกราฟผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดีไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุ
ที่ค่าความต้านทานหน่วง (R_d) ต่างๆ สเกลเวลา $1 \mu\text{s}/\text{div}$

จากผลการทดลองที่ได้สรุปได้ว่า พารามิเตอร์ผลตอบสนองของโวลเตจดีไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วงภายนอกมีค่าเกินที่มาตรฐานแนะนำไว้ทั้งในกรณีรูปคลื่นเต็มและรูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่น ดังนั้น จึงได้ปรับปรุงให้เป็นโวลเตจดีไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วงต่ออนุกรมกระจายภายในตลอดภาคแรงสูง (ดูรายละเอียดในบทที่ 3) โดยในที่นี้ เลือกใช้ค่าความต้านทานหน่วงภายนอก 270Ω ผลตอบสนองรูปขั้นที่ได้แสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ออสซิลโลกราฟแสดง $g(t)$, $T(t)$ และพารามิเตอร์ผลตอบสนองของโวลเตจดีไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วง

จากออสซิลโลกราฟสรุปได้ว่าโวลเตจดีไวเดอร์ตัวเก็บประจุมีแบบความต้านทานหน่วงที่สร้างขึ้นมีค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองตามที่มาตรฐาน IEC 60-2 (1994) แนะนำไว้สำหรับการวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า กล่าวคือ

กรณีวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็มและรูปคลื่นตัดที่หางคลื่น ถ้าคิดเวลาน้ำคลื่น $0.84 \mu\text{s}$ จะได้ค่า T_{ω}/T_1 เป็น 0.017 ซึ่งจากรูปที่ 2.7 จะได้ว่า β ต้องไม่เกิน 100 % และในที่นี้ได้ 13.46 %

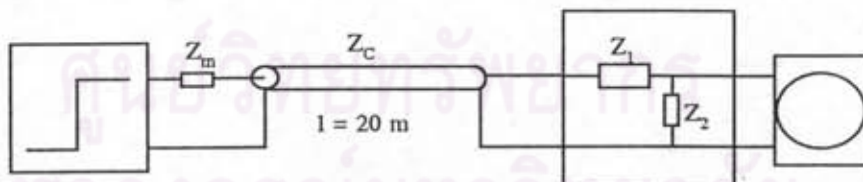
กรณีที่วัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่น ถ้าคิดช่วงเวลาลิ้นตัด $0.5 \mu\text{s}$ จะได้พารามิเตอร์ผลตอบสนองอยู่ในเงื่อนไขที่กำหนดเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 พารามิเตอร์ผลตอบสนองในกรณีวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่น

พารามิเตอร์ผลตอบสนอง	เงื่อนไขที่กำหนด	ค่าที่ได้จากการทดลอง
เวลาตอบสนองจากการทดลอง	$T_{\alpha} - 0.03T_C \leq T_N \leq 0.03T_C$	$T_N = 5.42 \text{ ns}$ ($T_{\alpha} = 14.76 \text{ ns}$)
เวลาเข้าสู่ภาวะคงตัว	$t_s \leq T_C$	$t_s = 200 \text{ ns}$
เวลาผิเคเพี้ยนเริ่มต้น	$T_0 \leq 0.005T_C$	$T_0 = 1.73 \text{ ns}$

4.1.3 ตัวลวดทอง

วงจรที่ใช้ในการหาผลตอบสนองรูปขั้นของตัวลวดทองแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 วงจรหาผลตอบสนองรูปขั้นของตัวลวดทอง

Z_m คือ อิมพีแดนซ์ โดย

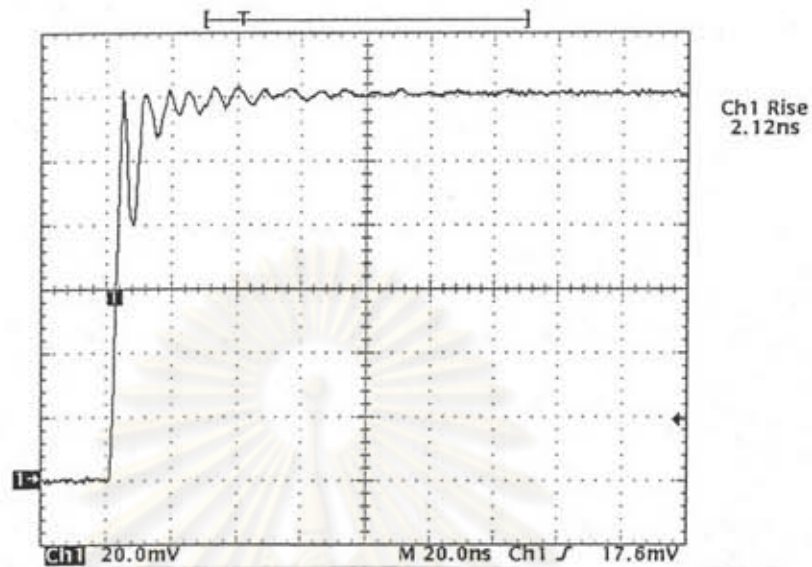
- ในกรณีของแบบความต้านทาน คือตัวเก็บประจุ $0.94 \mu\text{F}$
- ในกรณีของแบบตัวเก็บประจุ คือตัวความต้านทาน 75Ω

Z_c คือ เกเบิลวัด 75Ω ยาว 20 m

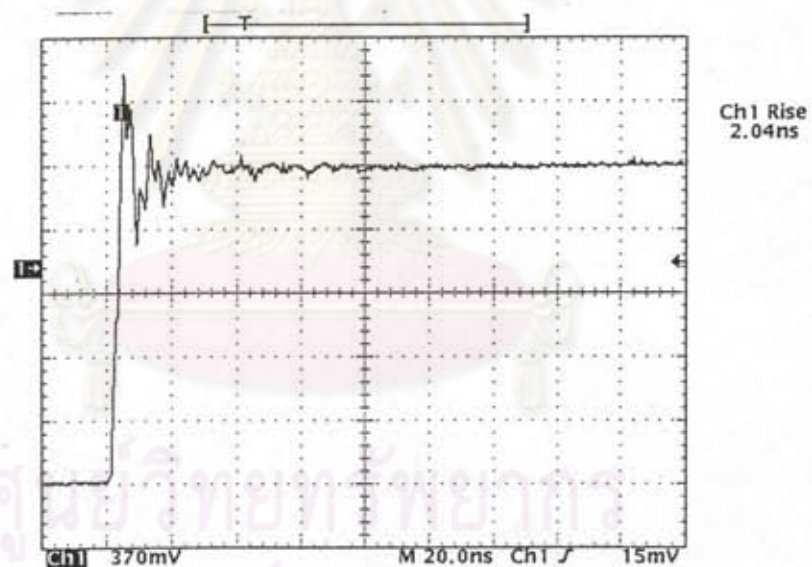
Z_1 คือ อิมพีแดนซ์ภาคปฐมภูมิของตัวลวดทอง

Z_2 คือ อิมพีแดนซ์ภาคทุติยภูมิของตัวลวดทอง

ผลตอบสนองรูปขั้นที่ได้แสดงในรูปที่ 4.16



ก)



ข)

รูปที่ 4.16 ออสซิลโลกราฟผลตอบสนองรูปขั้นของตัวลคทอน

ก) แบบความต้านทาน

ข) แบบตัวเก็บประจุ

จากออสซิลโลกราฟผลตอบสนองรูปขั้นของตัวลคทอนทั้ง 2 แบบ ได้ค่าเวลาขึ้นประมาณ 2.1 ns ซึ่งสามารถคำนวณค่าแบนด์วิดท์ (-3 dB) ได้ประมาณ 150 MHz ซึ่งเพียงพอที่จะถ่ายโอนสัญญาณจากภาคแรงต่ำของโวลเตจดิไวเดอร์ไปยังดิจิทัลออสซิลโลสโคปได้

4.2 การหาสเกลแฟกเตอร์

การหาสเกลแฟกเตอร์ของระบบวัดทั้ง 2 แบบ ในที่นี้ใช้วิธีวัดค่าอิมพีแดนซ์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 ระบบวัดแบบความต้านทาน

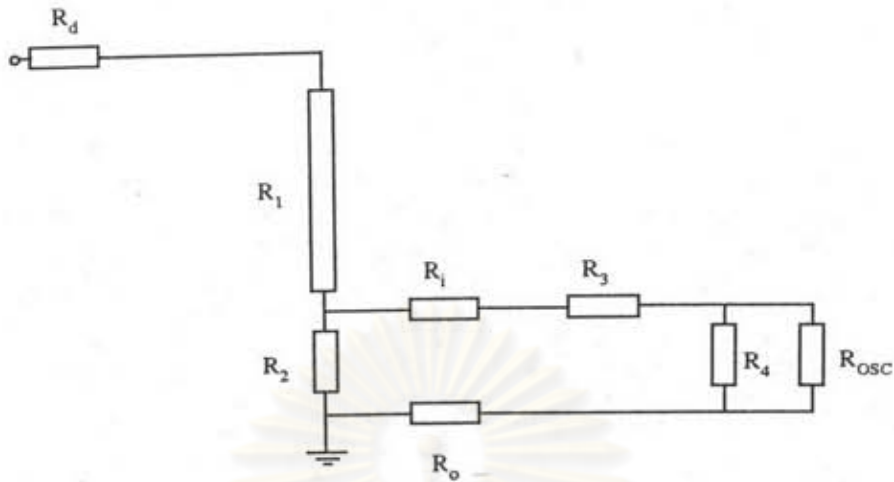
กรณีของระบบวัดแบบความต้านทานใช้ Wheatstone bridge ของ YEW รุ่น 2755 [13] วัดค่าความต้านทานกระแสดตรง ซึ่งค่าความต้านทานที่วัดได้แสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าความต้านทานกระแสดตรงขององค์ประกอบในระบบวัดแบบความต้านทาน

องค์ประกอบ	ตัวความต้านทาน	ค่าความต้านทาน (Ω)
โวลเตจดีไวเดอร์	R_d	151.22
	R_1	9772.8
	R_2	11.227
ตัวลดทอน	R_3	72.917
	R_4	1.992
เคเบิลวัด	R_i	0.406
	R_o	0.244

หมายเหตุ	สภาวะบรรยากาศขณะทดสอบ
	ความดันบรรยากาศ 759.0 mmHg
	อุณหภูมิห้อง 33.0 °C
	ความชื้นสัมพัทธ์ 53.0 %

จากค่าความต้านทานในตารางที่ 4.9 สามารถหาสเกลแฟกเตอร์ของระบบวัดแบบความต้านทานได้จากวงจรมูลในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 วงจรสมมูลในการหาสเกลแฟกเตอร์ของระบบวัดแบบความต้านทาน

จากวงจรสมมูล สามารถคำนวณสเกลแฟกเตอร์ได้ตามสมการ

$$F_R = \left(\frac{R_d + R_1}{R_2^*} + 1 \right) \cdot \left(\frac{R_3}{R_4^*} + 1 \right) \quad (4.3)$$

โดยที่

$$R_2^* = \frac{R_2 \cdot (R_1 + R_o + R_3 + R_4^*)}{R_2 + R_1 + R_o + R_3 + R_4^*}$$

$$R_4^* = \frac{R_4 \cdot R_{osc}}{R_4 + R_{osc}}$$

เมื่อแทนค่าจากตารางที่ 4.9 จะได้ค่าสเกลแฟกเตอร์ของระบบวัดเป็น

$$F_R = 38217.5 \quad (4.4)$$

4.2.2 ระบบวัดแบบตัวเก็บประจุ

ในกรณีของระบบวัดแบบตัวเก็บประจุใช้ capacitance and dissipation factor measuring bridge ของ TETTEX รุ่น 2805 [14] วัดค่าเก็บประจุ ซึ่งใช้หลักการทำงานของ transformer ratio arm bridge โดยค่าเก็บประจุที่วัดได้แสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่าเก็บประจุขององค์ประกอบในระบบวัดแบบตัวเก็บประจุ

องค์ประกอบ	แรงดันทดสอบ (kV)	ค่าเก็บประจุมาตรฐาน (pF)	ตัวเก็บประจุ	ค่าเก็บประจุ (nF)
โวลเตจดีไวเดอร์	50	36.8	C_1	0.38581
	0.1	1000	C_2	397.25
ตัวลวดทอง	0.1	1000	C_3	7.5447
	0.1	1000	C_4	270.99
เคเบิลวัด	0.1	1000	C_c	1.3620

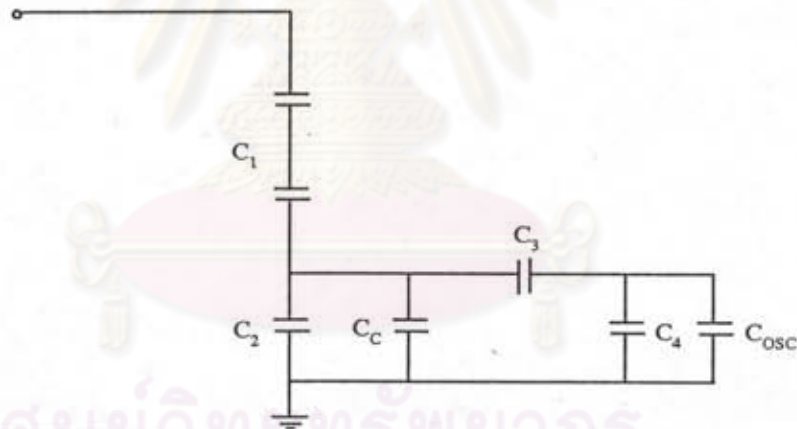
หมายเหตุ สภาวะบรรยากาศขณะทดสอบ

ความดันบรรยากาศ 760.1 mmHg

อุณหภูมิห้อง 35.0 °C

ความชื้นสัมพัทธ์ 58.0 %

จากค่าเก็บประจุในตารางที่ 4.10 สามารถหาสเกลแฟกเตอร์ของระบบวัดแบบตัวเก็บประจุได้จากวงจรสมมูลในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 วงจรสมมูลในการหาสเกลแฟกเตอร์ของระบบวัดแบบตัวเก็บประจุ

จากวงจรสมมูล สามารถคำนวณสเกลแฟกเตอร์ได้ตามสมการ

$$F_C = \left(\frac{C_2 + C_c + C_B}{C_1} + 1 \right) \cdot \left(\frac{C_4 + C_{osc}}{C_3} + 1 \right) \quad (4.5)$$

โดยที่
$$C_B = \frac{C_3 \cdot (C_4 + C_{osc})}{C_3 + C_4 + C_{osc}}$$

เมื่อแทนค่าจากตารางที่ 4.10 จะได้ค่าสเกลแฟกเตอร์ของระบบวัดเป็น

$$F_C = 38883.4 \quad (4.6)$$

4.3 การหาสเกลแฟกเตอร์ที่กำหนดและการทดสอบพฤติกรรมพลศาสตร์

วิธีการหาสเกลแฟกเตอร์ที่กำหนดและการทดสอบพฤติกรรมพลศาสตร์ มาตรฐาน IEC 60-2 (1994) [7] ได้กำหนดวิธีทดสอบอ้างอิงไว้คือ ใช้วิธีการวัดเปรียบเทียบกับระบบวัดอ้างอิง โดยถ้าเป็นไปได้ให้ทดสอบที่แรงดันวัดพิกัด แต่โดยทั่วไป ระบบวัดอ้างอิงจะมีค่าแรงดันวัดพิกัดที่ค่อนข้างต่ำ ดังนั้น การวัดเปรียบเทียบอาจจะทำที่ระดับแรงดัน 20 % ของแรงดันพิกัดได้

ระบบวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าที่มีค่ายอดตั้งแต่ 1 MV ขึ้นไป การทดสอบอาจจะทำที่ 200 kV ได้ หรืออาจใช้วิธีการวัดสเกลแฟกเตอร์ของแต่ละองค์ประกอบที่ระดับแรงดันต่ำๆ แล้วนำค่าสเกลแฟกเตอร์ที่ได้มาคูณกันก็ได้ [7]

ในการทดสอบจะต้องอ่านค่าแรงดันที่ได้จากทั้ง 2 ระบบพร้อมกัน และนำค่าแรงดันที่อ่านได้จากระบบวัดอ้างอิงหารด้วยระบบวัดที่ต้องการทดสอบ ซึ่งค่าที่ได้จะกำหนดให้เป็นค่าสเกลแฟกเตอร์ของระบบวัดที่ต้องการทดสอบ F_i การทดสอบจะทำจนกระทั่งได้ค่าทั้งหมด n ค่า โดย $n \geq 10$ และค่าเฉลี่ย F_m จะถือเป็นค่าสเกลแฟกเตอร์ที่กำหนดของระบบวัดที่ต้องการทดสอบ โดยที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน s ที่คำนวณได้จาก

$$s = \sqrt{\frac{\sum (F_i - F_m)^2}{n - 1}} \quad (4.7)$$

จะต้องมีค่าน้อยกว่า 1 % ของ F_m

ค่าพารามิเตอร์เวลาจะต้องอยู่ในเงื่อนไข ดังนี้

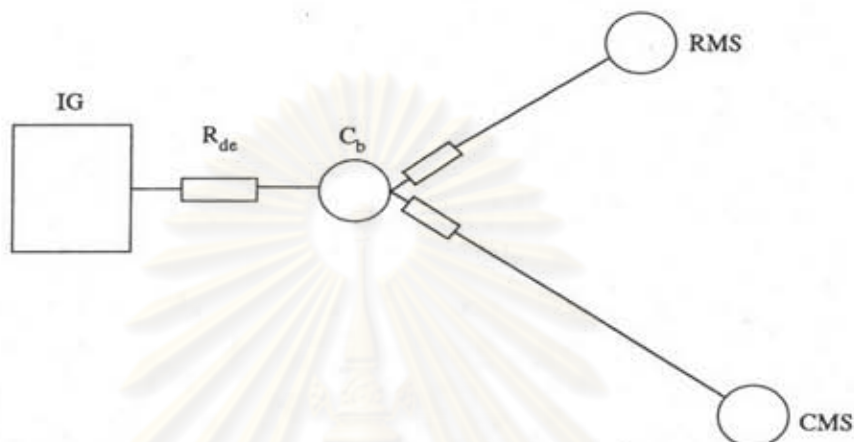
- 1) ค่าพารามิเตอร์เวลาจะต้องมีค่าไม่เกิน ± 10 % ของค่าที่วัดได้จากระบบวัดอ้างอิง
- 2) อัตราส่วนของค่าที่วัดได้จากระบบวัดที่ต้องการทดสอบกับระบบวัดอ้างอิง จะต้อง

มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่า 5 % ของค่าเฉลี่ย

รูปคลื่นที่ใช้ในการทดสอบจะต้องใช้รูปคลื่นที่แตกต่างกัน 2 รูปคลื่น คือ

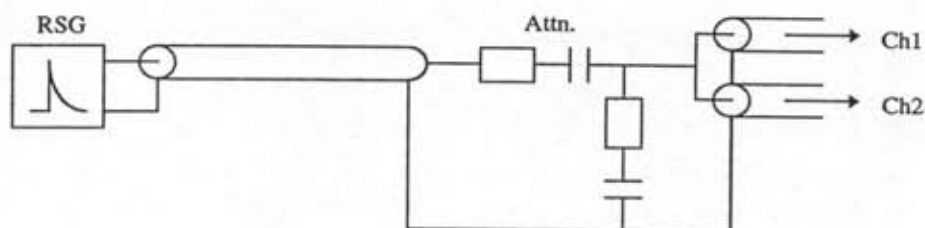
- 1) กรณิของรูปคลื่นเต็มและรูปคลื่นตัดที่หางคลื่น
 - เวลาหน้าคลื่นที่สั้นกว่ากำหนดให้เป็น t_{min}
 - เวลาหน้าคลื่นที่ยาวกว่ากำหนดให้เป็น t_{max}
 - ทั้ง 2 รูปคลื่นจะต้องมีค่าเวลาหางคลื่นยาวที่สุดเท่าที่เป็นไปได้
- 2) กรณิของรูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่น
 - เวลาคลื่นตัดที่สั้นกว่ากำหนดให้เป็น t_{min}
 - เวลาคลื่นตัดที่ยาวกว่ากำหนดให้เป็น t_{max}

เนื่องจากในปัจจุบันที่หน่วยปฏิบัติการวิจัยไฟฟ้าแรงสูง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยยังไม่มีระบบวัดอ้างอิง ในที่นี้จึงใช้วิธีการนำผลคูณสเกลแฟกเตอร์ขององค์ประกอบย่อยในการหาสเกลแฟกเตอร์ที่กำหนด ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.2 อย่างไรก็ตาม ได้ทำการทดสอบวัดเปรียบเทียบระหว่างระบบวัดทั้ง 2 แบบโดยใช้การติดตั้งแบบ Y ดังแสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 การติดตั้งระบบวัดแบบ Y ในการทดสอบวัดเปรียบเทียบ

เพื่อความสะดวกในการประเมินค่าพารามิเตอร์ของแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าที่ได้จากระบบวัดทั้ง 2 แบบ จึงได้ออกแบบโปรแกรมวัดเปรียบเทียบขึ้น เพื่อคำนวณค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่นแรงดันที่ได้จากระบบวัดทั้ง 2 แบบ ซึ่งประกอบด้วย ค่ายอดแรงดันอิมพัลส์ (U_p) เวลาค้นขึ้น (T_1) และเวลาหางคลื่น (T_2) โดยแผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแสดงในภาคผนวก ก และเพื่อให้มั่นใจว่าดิจิตอลออสซิลโลสโคปที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าความไม่แน่นอนอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งได้กำหนดค่าความไม่แน่นอนในกรณีที่ใช้ช่องสัญญาณของดิจิตอลออสซิลโลสโคป 2 ช่องเพื่อทำการวัดเปรียบเทียบ ค่าความไม่แน่นอนของการวัดสัญญาณเดียวกันจะต้องแตกต่างกันไม่เกิน $\pm 0.5\%$ ในกรณีของแอมพลิจูดและ $\pm 1\%$ ในกรณีของพารามิเตอร์เวลา จึงได้ทำการทดสอบดังวงจรแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 วงจรทดสอบหาค่าความไม่แน่นอนดิจิตอลออสซิลโลสโคป

จากวงจร เครื่องกำเนิดแรงดันคืนเสีร้ง (recurrent surge generator) ใช้ของ HAEFELY รุ่น 481 ป้อนแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าผ่านเคเบิลวัดแบบแกนร่วมยาว 2 m ไปยังขั้วขาเข้าของ ตัวลคทอนแบบตัวเก็บประจุและที่ขั้วขาออกจะต่อเคเบิลวัดแบบแกนร่วม 2 เส้น ยาวเส้นละ 2 m โดยใช้ตัวต่อรูปตัว T ไปยังช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 ของคิจิตอลออสซิลโลสโคป ซึ่งใช้ของ TEKTRONIX รุ่น TDS 520 A แบนด์วิคท์ 500 MHz และอัตราการสุ่มสัญญาณ 500 MSamples/s ซึ่งในกรณีนี้จะได้อัตราการสุ่มสัญญาณ 250 MSamples/s ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบความไม่แน่นอนของคิจิตอลออสซิลโลสโคป

ลำดับ	Line 1	Line 2	U_p (kV)		T_1 (μ s)		T_2 (μ s)	
			0	Ch1	Ch2	0.2525	0.2539	1.19
1	Ch1	Ch2	0.2525	0.2539	1.26	1.25	53.7	53.7
2	Ch1	Ch2	0.2525	0.2539	1.15	1.16	53.5	53.7
3	Ch1	Ch2	0.2525	0.2525	1.23	1.23	53.7	53.9
4	Ch1	Ch2	0.2525	0.2539	1.19	1.17	53.6	53.6
5	Ch2	Ch1	0.2539	0.2525	1.08	1.11	53.6	53.5
6	Ch2	Ch1	0.2539	0.2525	1.11	1.09	53.6	53.6
7	Ch2	Ch1	0.2525	0.2525	1.26	1.25	53.9	53.7
8	Ch2	Ch1	0.2539	0.2525	1.19	1.21	53.6	53.7
9	Ch2	Ch1	0.2525	0.2525	1.29	1.26	53.7	53.7
ค่าเฉลี่ย			0.25292	0.25306	1.195	1.190	53.65	53.67
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)			0.26738	0.28569	5.665	5.026	0.1243	0.1974
ค่าผิดพลาด (%)			- 0.055323		0.4202		-0.09316	

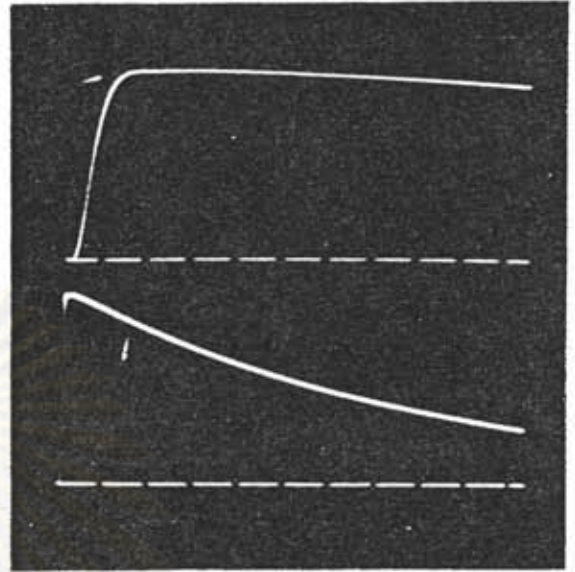
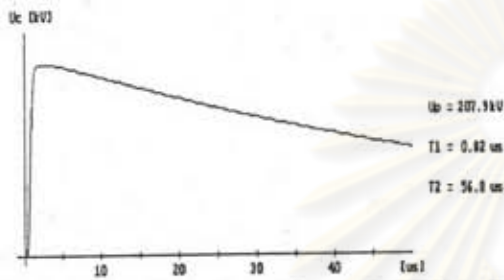
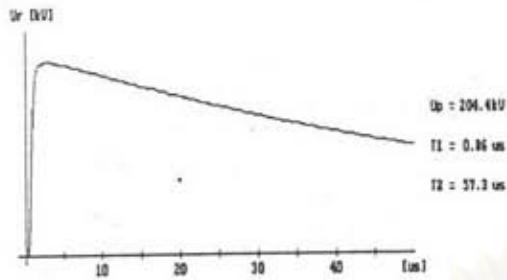
จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าคิจิตอลออสซิลโลสโคปที่ใช้มีค่าความไม่แน่นอนอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด และก่อนเริ่มทำการทดสอบนี้ ได้ทำการทดสอบวัดเปรียบเทียบโวลเตจคิไวเคอร์ทั้ง 2 ตัวกับอิมพัลส์โวลเตจคิไวเคอร์แบบตัวเก็บประจุ 400 kV ของ HAEFELY มีค่าสเกลแพกเตอร์ 286.4 โดยต่อสัญญาณเข้ากับโวลต์มิเตอร์วัดค่ายอด รุ่น 64M และแอนะล็อกออสซิลโลสโคป รุ่น 721 ของ HAEFELY ส่วนโวลเตจคิไวเคอร์ที่สร้างขึ้นทั้ง 2 แบบจะต่อสัญญาณที่ได้จากระบบวัดแบบความดันทาน (RMS) เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 1 และสัญญาณจากระบบวัดแบบตัวเก็บประจุ (CMS) เข้าที่ช่องสัญญาณที่ 2 ของคิจิตอลออสซิลโลสโคป ซึ่งจะใช้

โปรแกรมช่วยในการประเมินรูปคลื่นแรงดันที่ได้ โดยรูปคลื่นแรงดันทดสอบใช้แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็มที่เวลาน้ำคลื่น 2 ค่าคือ $0.84 \mu\text{s}$ (t_{\min}) และ $1.56 \mu\text{s}$ (t_{\max}) ส่วนเวลาหางคลื่นมีค่าประมาณ $60 \mu\text{s}$ ซึ่งผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.12 และออสซิลโลกราฟแสดงในรูปที่ 4.21

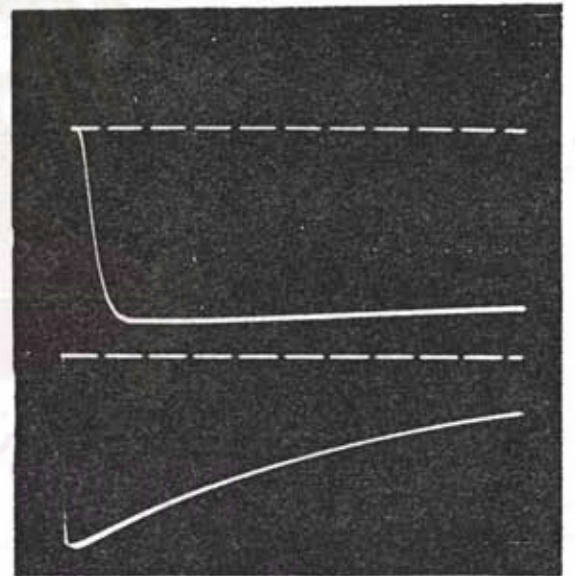
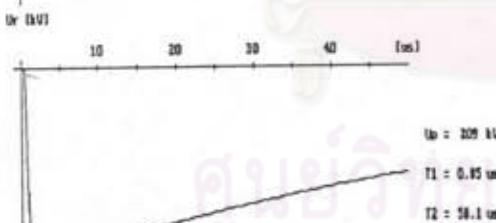
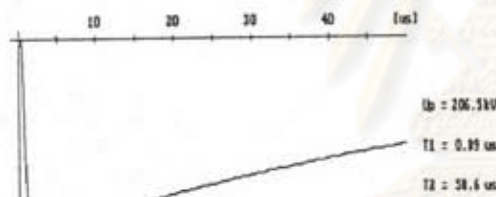
ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบวัดเปรียบเทียบระหว่างอิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์ HAEFELY กับอิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์ที่สร้างขึ้น

$U_p(\text{kV})$			$T_1(\mu\text{s})$			$T_2(\mu\text{s})$		
HAF	R	C	HAF	R	C	HAF	R	C
+206	+204.4	+207.9		0.86	0.83		57.4	56.8
+206	+204.4	+207.9	0.83	0.86	0.82	57.6	57.3	56.8
-207	-206.5	-209.0		0.87	0.84		58.5	58.2
-207	-206.5	-209.0	0.86	0.89	0.85	58.3	58.6	58.1
+204	+201.7	+205.2		1.55	1.54		58.8	58.7
+205	+200.6	+204.1	1.55	1.53	1.52	58.3	58.8	58.6
-204	-203.7	-206.2		1.57	1.55		59.7	59.6
-204	-203.7	-206.2	1.55	1.57	1.55	60.0	59.7	59.6

จากผลการทดสอบ เมื่อกำหนดให้อิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์ของ HAEFELY เป็นตัวอ้างอิง จะได้ว่าค่าพารามิเตอร์ที่อ่านได้ของโวลเตจดีไวเดอร์ที่สร้างขึ้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด กล่าวคือ วัดค่ายอดแรงดันแตกต่างกันอยู่ในช่วง $\pm 3 \%$ และพารามิเตอร์เวลาแตกต่างกันอยู่ในช่วง $\pm 10 \%$ ดังนั้น จึงได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างโวลเตจดีไวเดอร์ที่สร้างขึ้น โดยทำการทดสอบรูปคลื่นแรงดันละ 10 ค่า และเพื่อลดปัญหาการรบกวนข้ามช่องสัญญาณ (cross talk) ของดิจิตอลออสซิลโลสโคป เมื่อทดสอบครบ 5 ค่าก็จะทำการสลับช่องสัญญาณของระบบวัด ซึ่งผลการทดสอบที่ได้แสดงในตารางที่ 4.13-4.20 และตัวอย่างของออสซิลโลกราฟของแต่ละรูปคลื่นแรงดันแสดงในรูปที่ 4.22-4.29



ก)

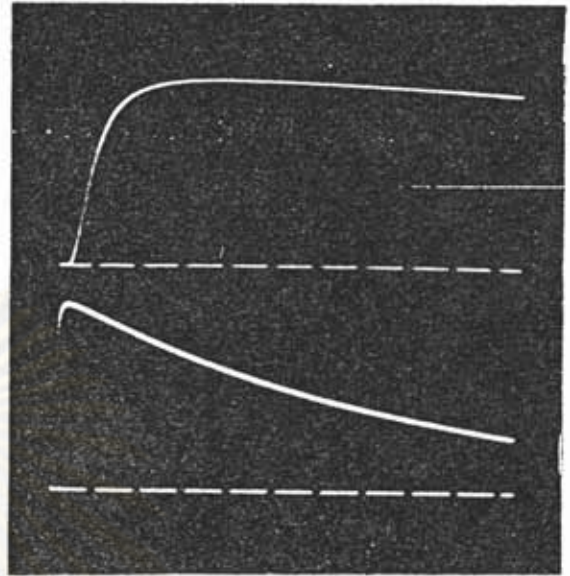
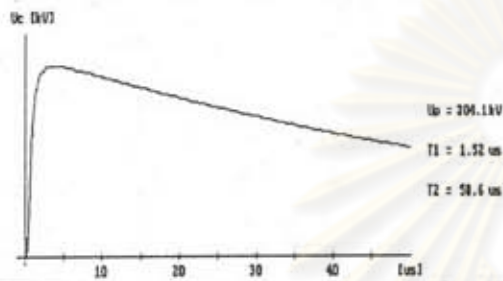
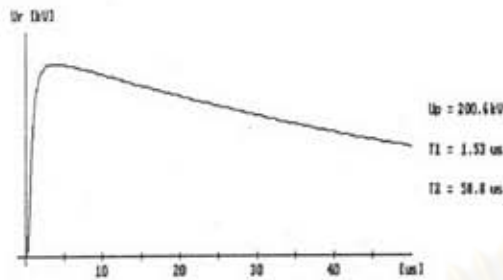


ข)

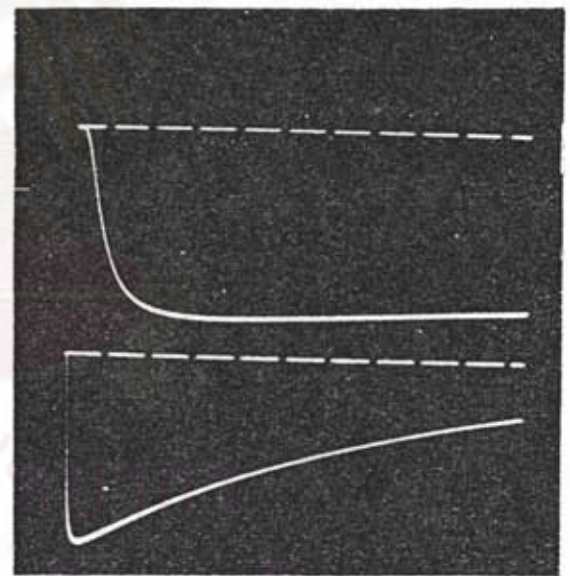
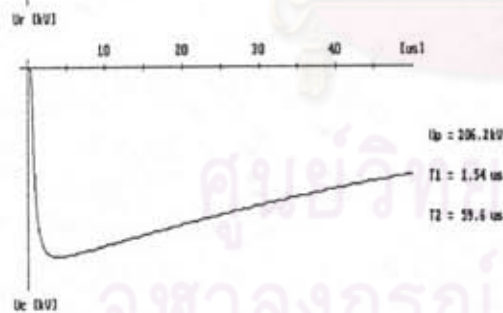
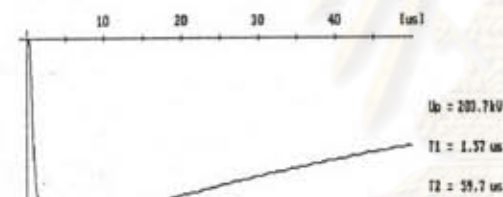
รูปที่ 4.21 ออสซิลโลกราฟการวัดเปรียบเทียบระหว่างอิมพัลส์โวลเตจดีไวเซอร์ HAEFELY (ภาพถ่ายโพลาไรซ์) กับอิมพัลส์โวลเตจดีไวเซอร์ที่สร้างขึ้นทั้ง 2 แบบ (U_r , U_c) ที่เวลาหน่วงคลื่นประมาณ $0.84 \mu s$ (t_{min})

ก) ขั้วบวก

ข) ขั้วลบ



ก)



ง)

รูปที่ 4.21 (ต่อ) ออสซิลโลกราฟการวัดเปรียบเทียบระหว่างอิมพัลส์โวลเตจดีไวเซอร์ HAEFELY (ภาพถ่ายโพลาไรซ์) กับอิมพัลส์โวลเตจดีไวเซอร์ที่สร้างขึ้นทั้ง 2 แบบ (U_r , U_c) ที่เวลาหน้าคลื่นประมาณ $1.56 \mu s$ (t_{max})

- ค) ขั้วบวก
 ง) ขั้วลบ

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบวัดเปรียบเทียบแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็ม ขั้วบวก ที่ t_{min}

ลำดับ	ช่องสัญญาณ		U_p (kV)			T_1 (μ s)			T_2 (μ s)		
	R	C	R	C	C/R	R	C	R/C	R	C	R/C
0	1	2	199.2	203.7	0.9779	0.83	0.81	1.0247	58.1	57.4	1.0122
1	1	2	199.2	202.6	0.9832	0.83	0.78	1.0641	58.1	57.9	1.0034
2	1	2	199.2	202.6	0.9832	0.83	0.79	1.0506	58.2	57.9	1.0052
3	1	2	199.2	202.6	0.9832	0.84	0.80	1.0500	58.1	57.8	1.0052
4	1	2	199.2	202.6	0.9832	0.84	0.79	1.0633	58.2	57.9	1.0070
5	2	1	200.2	202.6	0.9882	0.86	0.82	1.0488	57.9	57.5	1.0070
6	2	1	200.2	202.6	0.9882	0.85	0.81	1.0494	57.9	57.5	1.0070
7	2	1	200.2	202.6	0.9882	0.86	0.83	1.0361	57.9	57.5	1.0070
8	2	1	200.2	202.6	0.9882	0.87	0.82	1.0610	57.9	57.5	1.0070
9	2	1	200.2	202.6	0.9882	0.84	0.80	1.0500	58.0	57.5	1.0087
ค่าเฉลี่ย			0.98517			1.04980			1.00697		
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.36170			1.15874			0.23257		

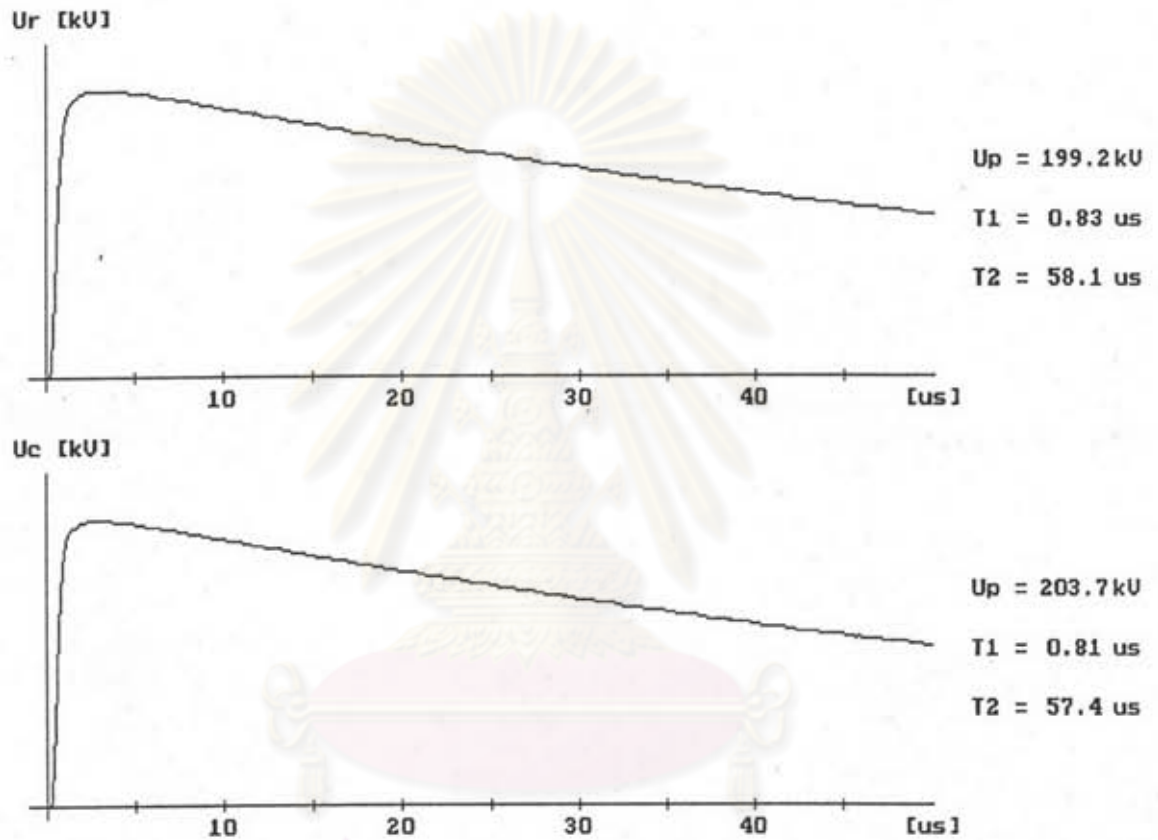
ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบวัดเปรียบเทียบแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็ม ขั้วลบ ที่ t_{min}

ลำดับ	ช่องสัญญาณ		U_p (kV)			T_1 (μ s)			T_2 (μ s)		
	R	C	R	C	C/R	R	C	R/C	R	C	R/C
0	1	2	201.2	203.7	0.9877	0.84	0.80	1.0500	58.8	58.6	1.0034
1	1	2	201.2	203.7	0.9877	0.84	0.80	1.0500	58.8	58.3	1.0086
2	1	2	201.2	203.7	0.9877	0.86	0.82	1.0488	58.8	58.3	1.0086
3	1	2	201.2	203.7	0.9877	0.85	0.82	1.0366	58.8	58.5	1.0051
4	1	2	201.2	203.7	0.9877	0.85	0.81	1.0494	58.8	58.6	1.0034
5	2	1	200.2	203.7	0.9828	0.86	0.82	1.0488	58.8	58.6	1.0034
6	2	1	200.2	203.7	0.9828	0.83	0.79	1.0506	58.8	58.7	1.0017
7	2	1	200.2	203.7	0.9828	0.84	0.79	1.0633	58.8	58.7	1.0017
8	2	1	200.2	203.7	0.9828	0.84	0.80	1.0500	58.9	58.6	1.0051
9	2	1	201.2	203.7	0.9877	0.86	0.83	1.0361	58.8	58.6	1.0034
ค่าเฉลี่ย			0.98574			1.04836			1.00444		
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.25670			0.72948			0.24572		

Digital Impulse Comparative Measurement Program

Ch1 : 1 MU Shielded resistive voltage divider
with attenuator $F_r = 38217.5$

Ch2 : 1 MU Damped capacitive voltage divider
with attenuator $F_c = 38883.4$



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.22 ออสซิลโลกราฟรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ในการทดสอบวัดเปรียบเทียบ

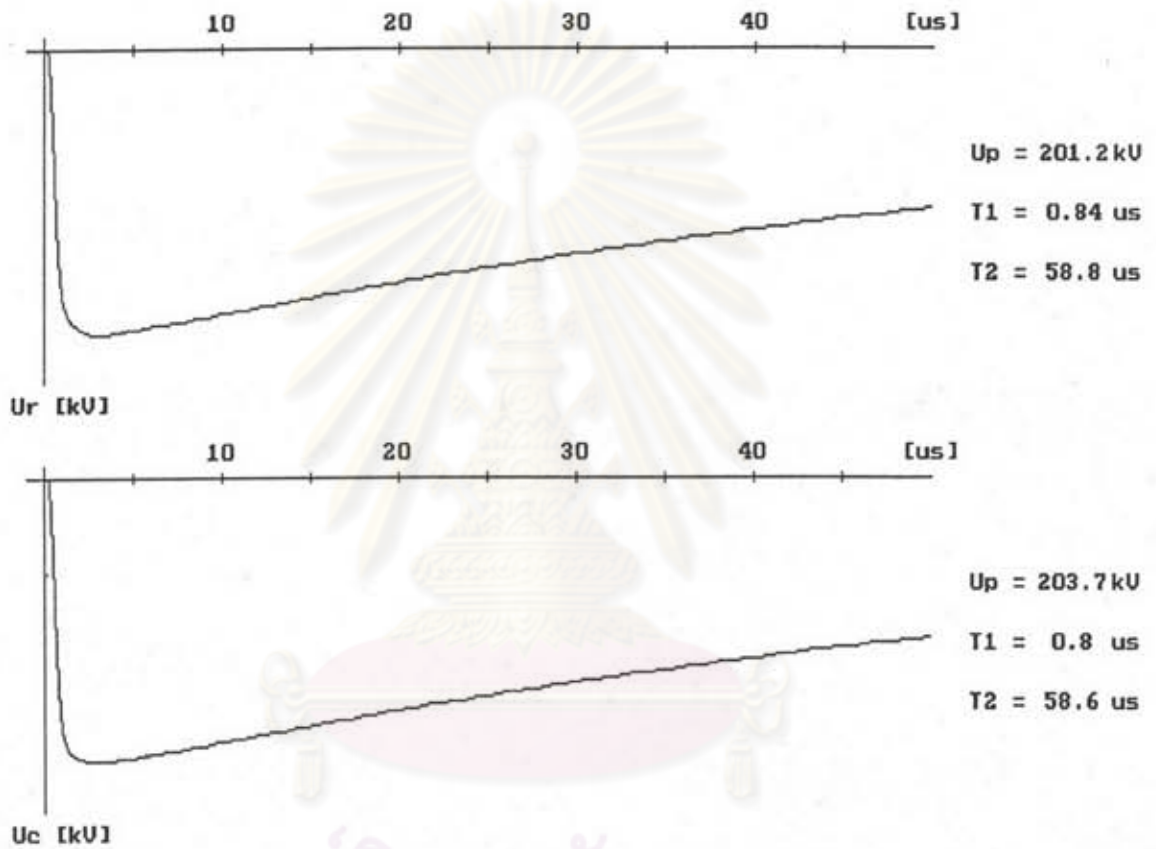
รูปคลื่นเต็ม ขั้วบวก ที่ t_{min} โดยที่

U_r คือ รูปคลื่นแรงดันที่ได้จากระบบวัดแบบความต้านทาน

U_c คือ รูปคลื่นแรงดันที่ได้จากระบบวัดแบบตัวเก็บประจุ

Digital Impulse Comparative Measurement Program

Ch1 : 1 MV Shielded resistive voltage divider
with attenuator $F_r = 38217.5$
Ch2 : 1 MV Damped capacitive voltage divider
with attenuator $F_c = 38883.4$



รูปที่ 4.23 ออสซิลโลกราฟรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ในการทดสอบวัดเปรียบเทียบ
รูปคลื่นเต็ม ขั้วลบ ที่ t_{min} โดยที่
 U_r คือ รูปคลื่นแรงดันที่ได้จากระบบวัดแบบความต้านทาน
 U_c คือ รูปคลื่นแรงดันที่ได้จากระบบวัดแบบตัวเก็บประจุ

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบวัดเปรียบเทียบแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็ม ขั้วบวก ที่ t_{max}

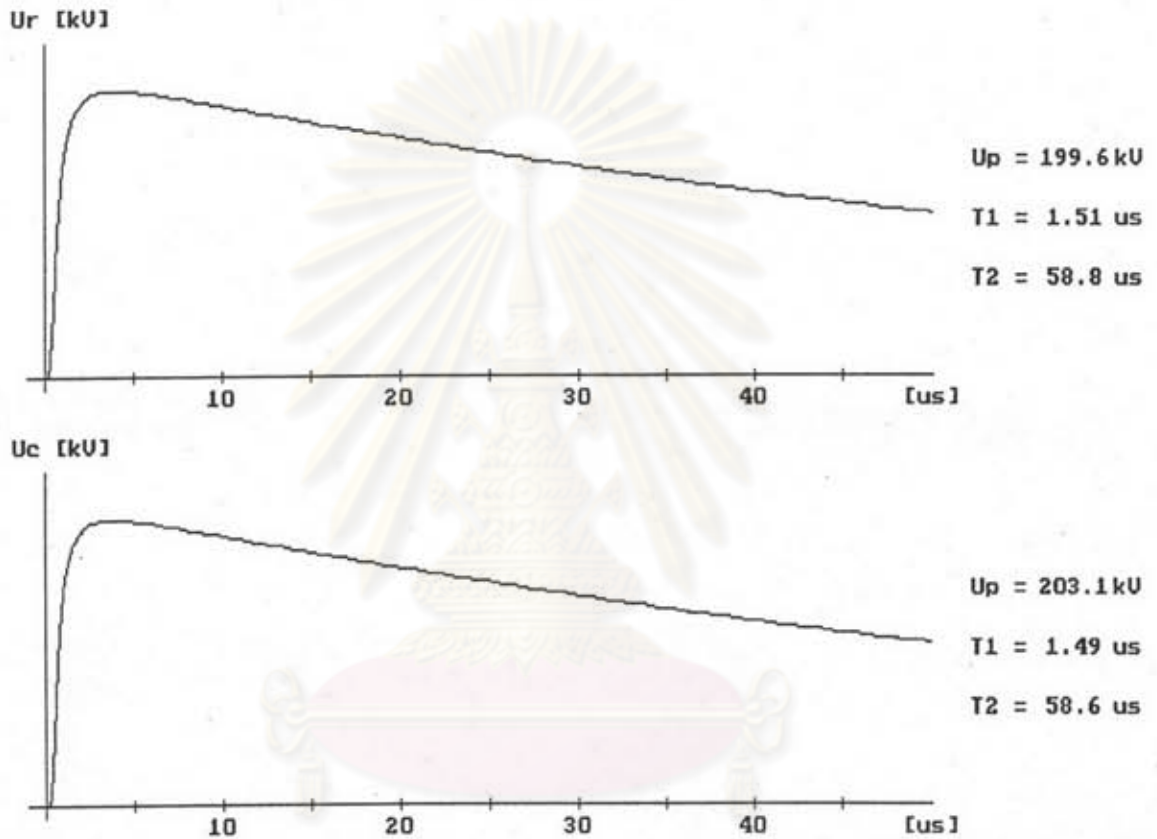
ลำดับ	ช่องสัญญาณ		U_p (kV)			T_1 (μ s)			T_2 (μ s)		
	R	C	R	C	C/R	R	C	R/C	R	C	R/C
0	1	2	199.6	203.1	0.9828	1.51	1.49	1.0134	58.8	58.6	1.0034
1	1	2	199.6	203.1	0.9828	1.51	1.49	1.0134	58.8	58.5	1.0051
2	1	2	199.6	203.1	0.9828	1.50	1.47	1.0204	58.8	58.5	1.0051
3	1	2	199.6	203.1	0.9828	1.51	1.49	1.0134	58.8	58.5	1.0051
4	1	2	199.6	203.1	0.9828	1.56	1.54	1.0130	58.9	58.7	1.0034
5	2	1	199.6	202.0	0.9881	1.50	1.46	1.0274	58.7	58.8	0.9983
6	2	1	200.6	202.0	0.9931	1.56	1.53	1.0196	58.9	58.9	1.0000
7	2	1	199.6	202.0	0.9881	1.48	1.45	1.0207	58.8	58.8	1.0000
8	2	1	199.6	202.0	0.9881	1.48	1.44	1.0278	58.9	58.8	1.0017
9	2	1	200.6	202.0	0.9931	1.57	1.52	1.0329	58.9	58.9	1.0000
ค่าเฉลี่ย			0.98645			1.02020			1.00221		
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.43172			0.70236			0.23257		

ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบวัดเปรียบเทียบแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็ม ขั้วลบ ที่ t_{max}

ลำดับ	ช่องสัญญาณ		U_p (kV)			T_1 (μ s)			T_2 (μ s)		
	R	C	R	C	C/R	R	C	R/C	R	C	R/C
0	1	2	201.7	203.7	0.9902	1.58	1.55	1.0194	59.8	59.6	1.0034
1	1	2	201.7	203.7	0.9902	1.58	1.56	1.0128	59.7	59.6	1.0017
2	1	2	201.7	203.7	0.9902	1.54	1.50	1.0267	59.7	59.5	1.0034
3	1	2	201.7	203.7	0.9902	1.60	1.60	1.0000	59.8	59.5	1.0050
4	1	2	201.7	203.7	0.9902	1.56	1.54	1.0130	59.8	59.6	1.0034
5	2	1	200.6	204.1	0.9828	1.56	1.53	1.0196	59.7	59.5	1.0034
6	2	1	200.6	204.1	0.9828	1.54	1.52	1.0132	59.6	59.6	1.0000
7	2	1	200.6	204.1	0.9828	1.50	1.46	1.0274	59.6	59.5	1.0017
8	2	1	200.6	204.1	0.9828	1.54	1.52	1.0132	59.7	59.6	1.0017
9	2	1	200.6	204.1	0.9828	1.48	1.45	1.0207	59.6	59.5	1.0017
ค่าเฉลี่ย			0.98650			1.01660			1.00254		
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.39535			0.78856			0.14217		

Digital Impulse Comparative Measurement Program

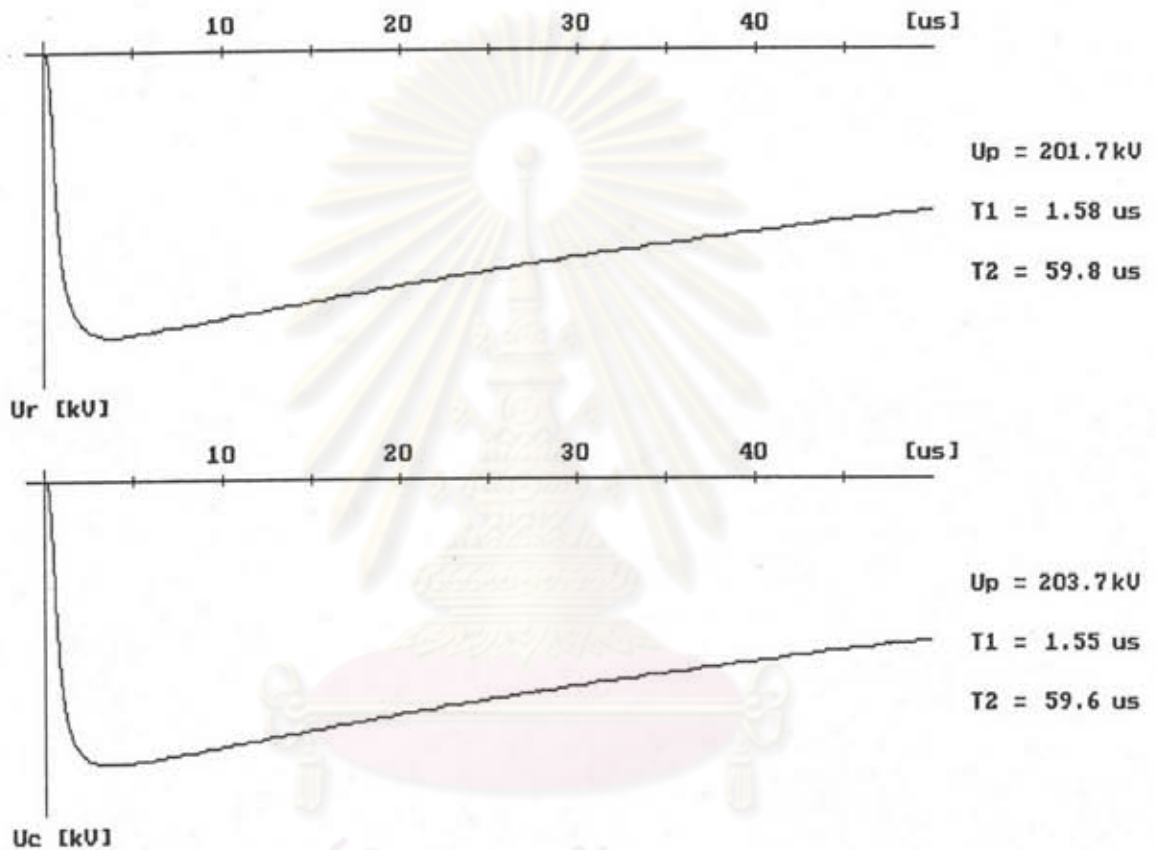
Ch1 : 1 MU Shielded resistive voltage divider
with attenuator $F_r = 38217.5$
Ch2 : 1 MU Damped capacitive voltage divider
with attenuator $F_c = 38883.4$



รูปที่ 4.24 ออสซิลโลกราฟรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ในการทดสอบวัดเปรียบเทียบ
รูปคลื่นเต็ม ขั้วบวก ที่ t_{max} โดยที่
 U_r คือ รูปคลื่นแรงดันที่ได้จากระบบวัดแบบความต้านทาน
 U_c คือ รูปคลื่นแรงดันที่ได้จากระบบวัดแบบตัวเก็บประจุ

Digital Impulse Comparative Measurement Program

Ch1 : 1 MU Shielded resistive voltage divider
with attenuator $F_r = 38217.5$
Ch2 : 1 MU Damped capacitive voltage divider
with attenuator $F_c = 38883.4$



รูปที่ 4.25 ออสซิลโลกราฟรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ในการทดสอบวัดเปรียบเทียบ
รูปคลื่นเต็ม ขั้วลบ ที่ t_{max} โดยที่

U_r คือ รูปคลื่นแรงดันที่ได้จากระบบวัดแบบความต้านทาน

U_c คือ รูปคลื่นแรงดันที่ได้จากระบบวัดแบบตัวเก็บประจุ

ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบวัดเปรียบเทียบแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่น ขั้วบวก ที่ t_{min}

ลำดับ	ช่องสัญญาณ		U_p (kV)			T_c (μ s)		
	R	C	R	C	C/R	R	C	R/C
0	1	2	190.8	192.9	0.9891	0.50	0.48	1.0417
1	1	2	194.4	197.7	0.9833	0.50	0.50	1.0000
2	1	2	184.8	186.8	0.9893	0.48	0.46	1.0435
3	1	2	196.7	200.2	0.9825	0.52	0.50	1.0400
4	1	2	189.6	190.5	0.9953	0.48	0.50	0.9600
5	2	1	194.4	199.0	0.9769	0.50	0.50	1.0000
6	2	1	195.6	199.0	0.9829	0.50	0.50	1.0000
7	2	1	193.2	197.7	0.9772	0.48	0.50	0.9600
8	2	1	189.6	195.3	0.9708	0.48	0.50	0.9600
9	2	1	193.2	197.7	0.9772	0.50	0.50	1.0000
ค่าเฉลี่ย			0.98245			1.00052		
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.74245			3.33633		

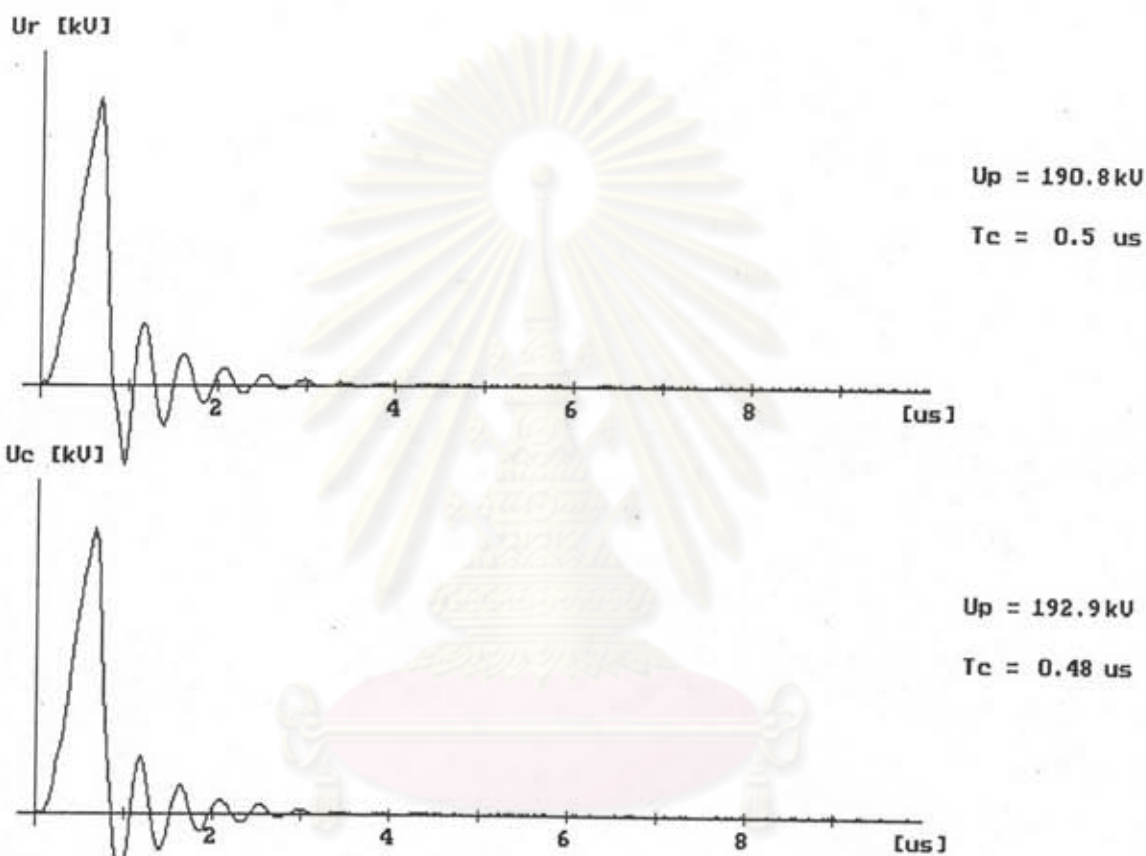
ตารางที่ 4.18 ผลการทดสอบวัดเปรียบเทียบแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่น ขั้วลบ ที่ t_{min}

ลำดับ	ช่องสัญญาณ		U_p (kV)			T_c (μ s)		
	R	C	R	C	C/R	R	C	R/C
0	1	2	195.6	199.0	0.9829	0.50	0.50	1.0000
1	1	2	194.4	199.0	0.9769	0.52	0.50	1.0400
2	1	2	199.1	202.6	0.9827	0.52	0.52	1.0000
3	1	2	197.9	201.4	0.9826	0.54	0.52	1.0385
4	1	2	197.9	201.4	0.9826	0.52	0.52	1.0000
5	2	1	200.3	205.0	0.9771	0.52	0.52	1.0000
6	2	1	190.8	194.1	0.9830	0.50	0.48	1.0417
7	2	1	209.9	213.5	0.9831	0.56	0.58	0.9655
8	2	1	200.3	205.0	0.9771	0.52	0.52	1.0000
9	2	1	196.7	201.4	0.9767	0.52	0.52	1.0000
ค่าเฉลี่ย			0.98047			1.00857		
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.30962			2.40084		

Digital Impulse Comparative Measurement Program

Ch1 : 1 MV Shielded resistive voltage divider
with attenuator $F_r = 38217.5$

Ch2 : 1 MV Damped capacitive voltage divider
with attenuator $F_c = 38883.4$

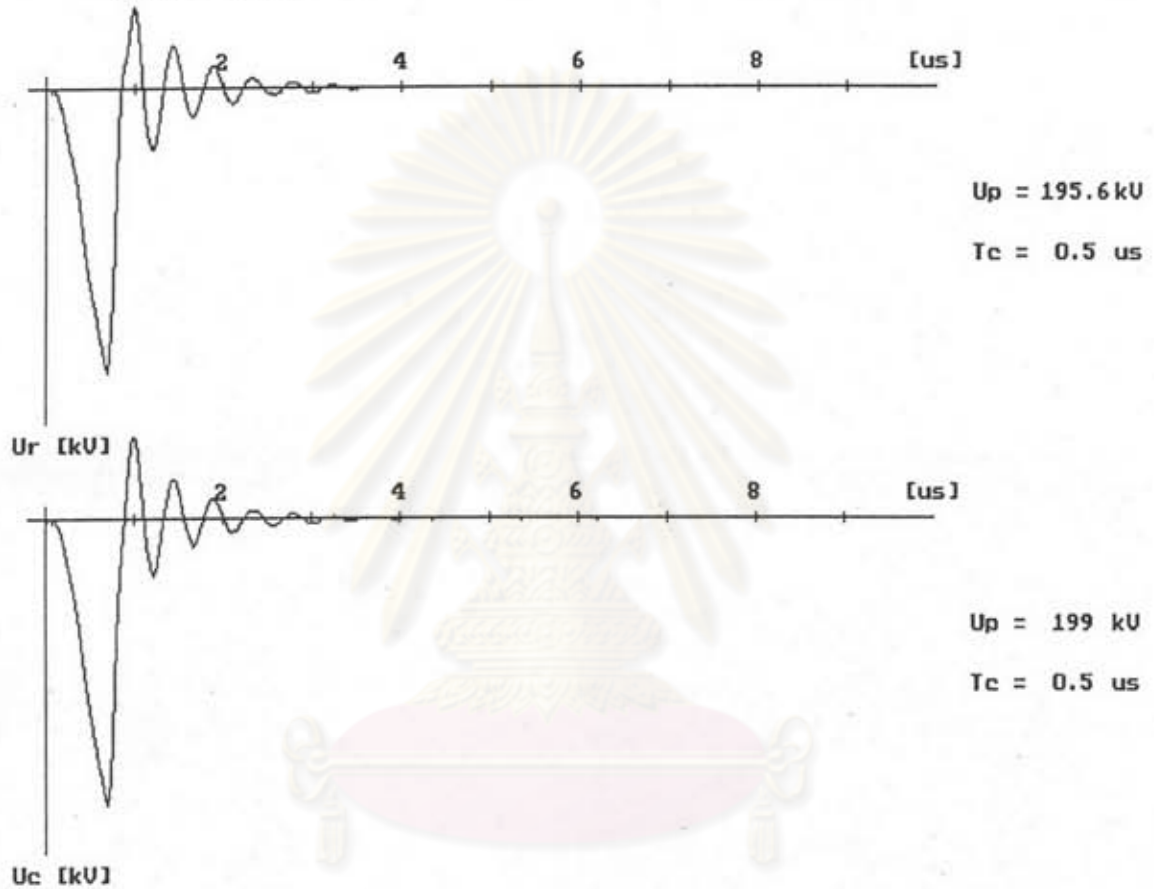


รูปที่ 4.26 ออสซิลโลกราฟรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ในการทดสอบวัดเปรียบเทียบ
รูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่น ขั้วบวก ที่ t_{min} โดยที่
 U_r คือ รูปคลื่นแรงดันที่ได้จากระบบวัดแบบความต้านทาน
 U_c คือ รูปคลื่นแรงดันที่ได้จากระบบวัดแบบตัวเก็บประจุ

Digital Impulse Comparative Measurement Program

Ch1 : 1 MU Shielded resistive voltage divider
with attenuator $F_r = 38217.5$

Ch2 : 1 MU Damped capacitive voltage divider
with attenuator $F_c = 38883.4$



รูปที่ 4.27 ออสซิลโลกราฟรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ในการทดสอบวัดเปรียบเทียบ

รูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่น ขั้วลบ ที่ t_{min} โดยที่

U_r คือ รูปคลื่นแรงดันที่ได้จากระบบวัดแบบความต้านทาน

U_c คือ รูปคลื่นแรงดันที่ได้จากระบบวัดแบบตัวเก็บประจุ

ตารางที่ 4.19 ผลการทดสอบวัดเปรียบเทียบแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่น ขั้วบวก ที่ t_{max}

ลำดับ	ช่องสัญญาณ		U_p (kV)			T_c (μ s)		
	R	C	R	C	C/R	R	C	R/C
0	1	2	196.5	198.8	0.9884	1.92	1.90	1.0105
1	1	2	194.4	197.8	0.9828	1.80	1.76	1.0227
2	1	2	198.5	202.0	0.9827	2.24	2.22	1.0090
3	1	2	198.5	200.9	0.9880	2.24	2.22	1.0090
4	1	2	197.5	200.9	0.9831	2.16	2.16	1.0000
5	2	1	193.3	197.8	0.9772	1.72	1.76	0.9773
6	2	1	194.4	197.8	0.9828	1.82	1.80	1.0111
7	2	1	196.5	199.9	0.9830	2.12	2.10	1.0095
8	2	1	197.5	200.9	0.9831	2.06	2.04	1.0098
9	2	1	195.4	198.8	0.9829	1.86	1.84	1.0109
ค่าเฉลี่ย			0.98340			1.00698		
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.31507			1.16750		

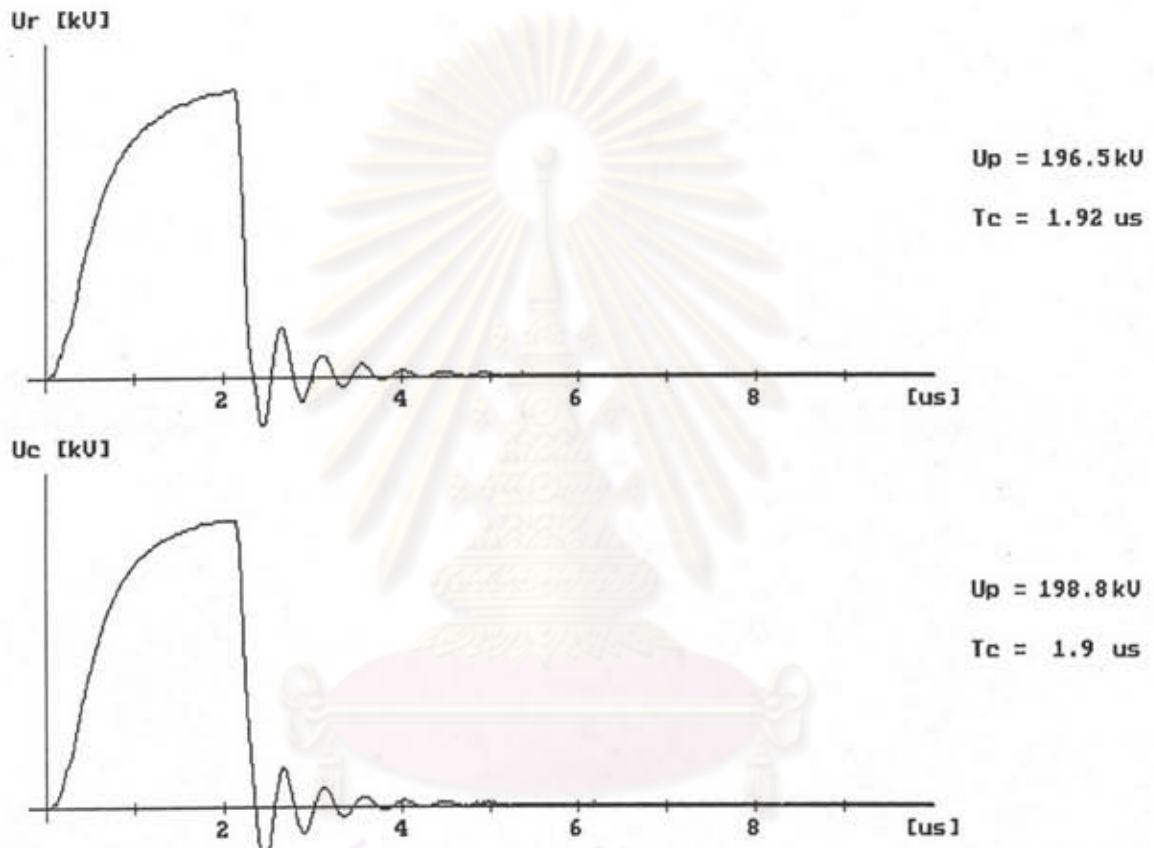
ตารางที่ 4.20 ผลการทดสอบวัดเปรียบเทียบแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่น ขั้วลบ ที่ t_{max}

ลำดับ	ช่องสัญญาณ		U_p (kV)			T_c (μ s)		
	R	C	R	C	C/R	R	C	R/C
0	1	2	199.6	203.1	0.9828	2.20	2.18	1.0092
1	1	2	198.5	203.1	0.9774	2.12	2.10	1.0095
2	1	2	200.6	204.1	0.9828	2.28	2.26	1.0088
3	1	2	199.6	203.1	0.9828	2.20	2.20	1.0000
4	1	2	200.6	204.1	0.9828	2.32	2.34	0.9914
5	2	1	199.6	202.0	0.9881	2.16	2.14	1.0094
6	2	1	198.5	202.0	0.9827	2.20	2.16	1.0185
7	2	1	199.6	203.1	0.9828	2.30	2.26	1.0177
8	2	1	199.6	203.1	0.9828	2.28	2.24	1.0179
9	2	1	199.6	203.1	0.9828	2.16	2.12	1.0189
ค่าเฉลี่ย			0.98278			1.01013		
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.25664			0.88647		

Digital Impulse Comparative Measurement Program

Ch1 : 1 MU Shielded resistive voltage divider
with attenuator $F_r = 38217.5$

Ch2 : 1 MU Damped capacitive voltage divider
with attenuator $F_c = 38883.4$



รูปที่ 4.28 ออสซิลโลกราฟรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ในการทดสอบวัดเปรียบเทียบ
รูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่น ขั้วบวก ที่ t_{max} โดยที่

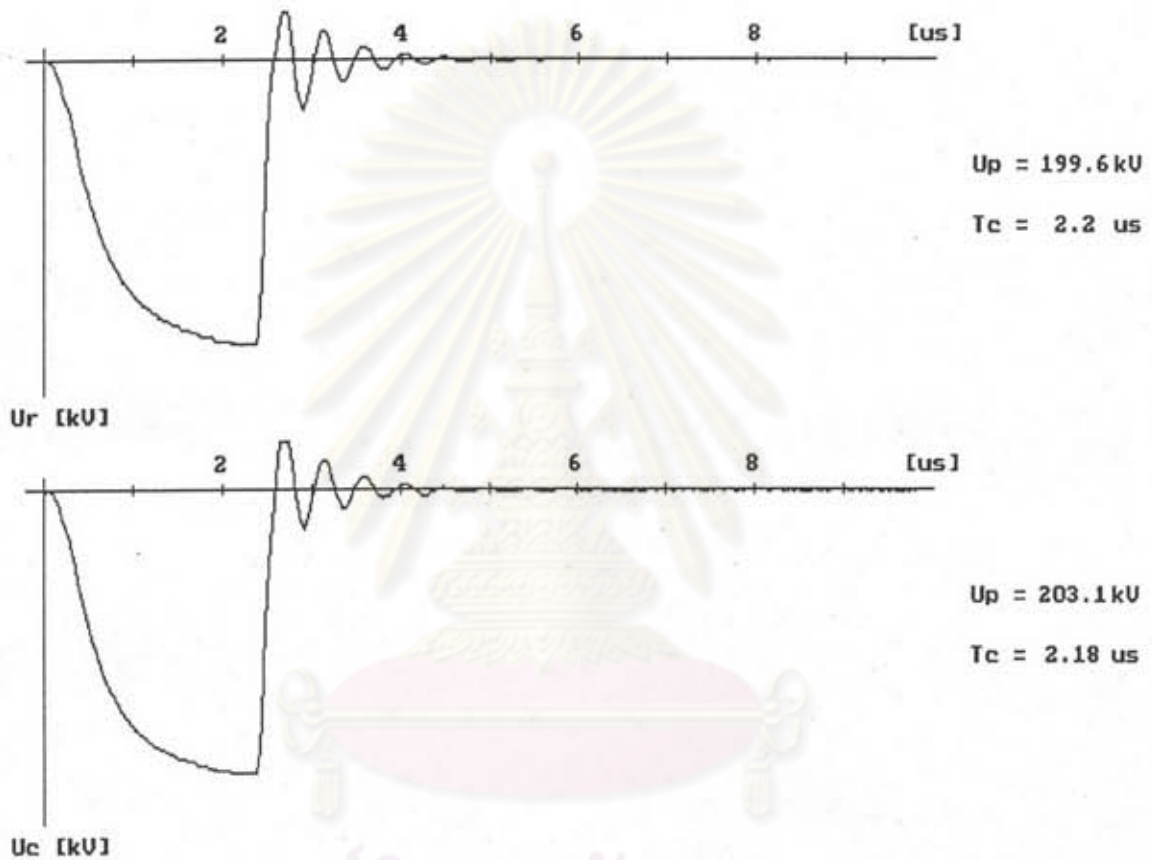
U_r คือ รูปคลื่นแรงดันที่ได้จากระบบวัดแบบความต้านทาน

U_c คือ รูปคลื่นแรงดันที่ได้จากระบบวัดแบบตัวเก็บประจุ

Digital Impulse Comparative Measurement Program

Ch1 : 1 MU Shielded resistive voltage divider
with attenuator $F_r = 38217.5$

Ch2 : 1 MU Damped capacitive voltage divider
with attenuator $F_c = 38883.4$



รูปที่ 4.29 ออสซิลโลกราฟรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ในการทดสอบวัดเปรียบเทียบ

รูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่น ขั้วลบ ที่ t_{max} โดยที่

U_r คือ รูปคลื่นแรงดันที่ได้จากระบบวัดแบบความต้านทาน

U_c คือ รูปคลื่นแรงดันที่ได้จากระบบวัดแบบตัวเก็บประจุ

จากผลการทดสอบข้างต้นเมื่อกำหนดให้ระบบวัดแบบตัวเก็บประจุเป็นระบบวัดอ้างอิง สามารถสรุปได้ว่า ค่าสเกลแฟกเตอร์ที่ได้จากคำนวณโดยใช้ค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดได้ ให้ผลการวัดที่ใกล้เคียงกัน กล่าวคือ ค่ายอดแรงดันที่อ่านได้แต่ละค่ามีความแตกต่างกันไม่เกิน 3 % และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วงที่มาตรฐานกำหนดคือ ± 1 % ของค่าเฉลี่ย ส่วนการวัดค่าพารามิเตอร์เวลาปรากฏว่าระบบวัดทั้ง 2 ระบบให้ผลอยู่ในช่วงที่มาตรฐานกำหนดเช่นเดียวกัน โดยพารามิเตอร์เวลาแต่ละค่าแตกต่างกันไม่เกิน 10 % และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง ± 5 % ของค่าเฉลี่ย

4.4 การทดสอบความเป็นเชิงเส้น (Linearity test)

การทดสอบในหัวข้อนี้จะต้องการทดสอบที่ระดับแรงดัน 5 ค่าตลอดช่วงแรงดันที่ใช้ งาน โดยอาจจะทำการวัดเปรียบเทียบกับระบบวัดอ้างอิงหรือแถบทรงกลมก็ได้ ในกรณีที่วัดเปรียบเทียบกับแถบทรงกลม ควรจะทำให้เสร็จเร็วที่สุดเพื่อไม่ให้มีผลเนื่องจากสภาวะบรรยากาศที่เปลี่ยนแปลงไปและไม่ต้องการปรับค่าที่วัดได้จากการทดสอบไปเป็นค่าที่สภาวะมาตรฐาน ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าอัตราส่วนแรงดันเบรคดาวน์ของแถบทรงกลมกับแรงดันที่อ่านได้จากระบบวัดมีค่าไม่เกิน ± 1 % ของค่าเฉลี่ย ระบบวัดที่ทำการทดสอบถือว่ามีความเป็นเชิงเส้น อย่างไรก็ตาม ระบบวัดที่ไม่ผ่านข้อกำหนดข้างต้นไม่ได้แสดงว่าระบบวัดนั้นๆ ไม่เป็นเชิงเส้น [7]

วงจรที่ใช้ในการทดสอบหัวข้อนี้ใช้วงจรเดียวกับวงจรวัดเปรียบเทียบ แต่ต่อแถบทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 cm เพิ่มเข้ามา ซึ่งในการทดสอบจะทำการปรับระยะแถบ 5 ค่าเพื่อให้เกิดแรงดันเบรคดาวน์ระหว่าง 200-1000 kV ตามที่กำหนดในมาตรฐาน IEC 52 (1960) [15] ผลการทดสอบที่ได้แสดงในตารางที่ 4.21-4.22

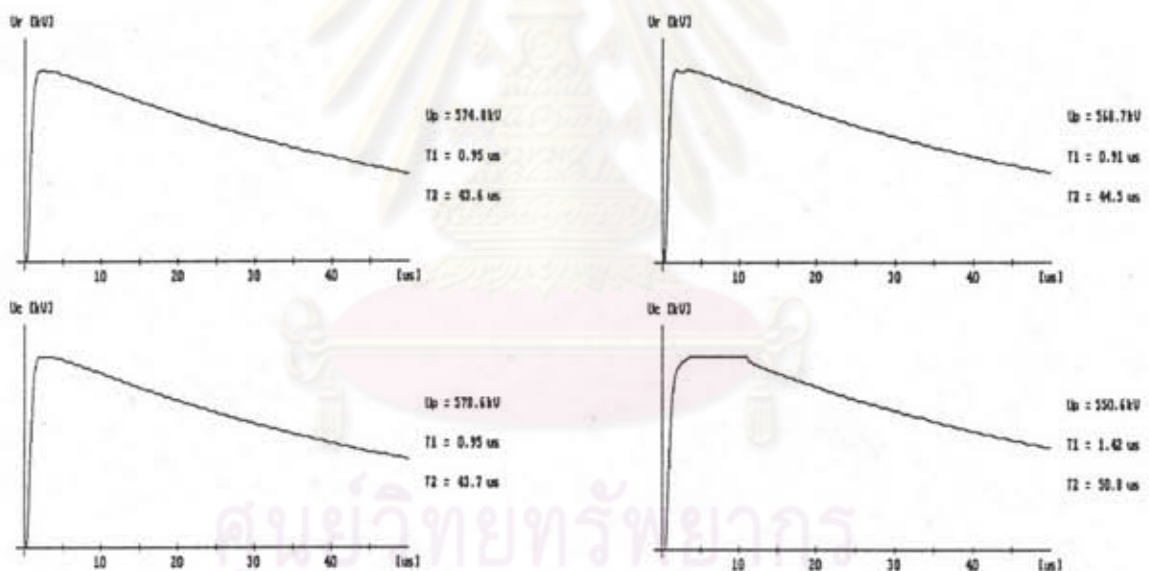
ตารางที่ 4.21 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นเทียบกับแถบทรงกลม ขั้วบวก

ระยะแถบ (cm)	แรงดันเบรคดาวน์ U_{REP} (kV)	U_R (kV)	U_{REP}/U_R	U_C (kV)	U_{REP}/U_C
9	241	234.00	1.0299	238.57	1.0102
16	414	398.95	1.0377	406.39	1.0187
24	600	591.02	1.0152	-	-
34	795	781.73	1.0170	-	-

ตารางที่ 4.22 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นเทียบกับแกปทรงกลม ขั้วลบ

ระยะแกป (cm)	แรงดันเบรกคาวน์ U_{REF} (kV)	U_R (kV)	U_{REF}/U_R	U_C (kV)	U_{REF}/U_C
9	241	237.66	1.0140	240.81	1.0008
16	414	404.63	1.0232	410.53	1.0084
24	595	578.15	1.0291	-	-
34	780	761.54	1.0242	-	-

จากผลการทดลองข้างต้น ที่ระดับแรงดันประมาณ 600 kV ขั้วบวก ปรากฏว่ารูปคลื่นที่ได้จากระบบวัดแบบเก็บประจุเริ่มผิดเพี้ยนไปตามจำนวนครั้งที่ป้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ในการทดสอบความเป็นเชิงเส้น ที่แรงดัน 600 kV ขั้วบวก โดย U_r คือ รูปคลื่นแรงดันที่ได้จากระบบวัดแบบความต้านทาน U_c คือ รูปคลื่นแรงดันที่ได้จากระบบวัดแบบตัวเก็บประจุ
 ก) รูปคลื่นแรงดันปกติ
 ข) รูปคลื่นแรงดันที่เริ่มผิดเพี้ยน

จากนั้นจึงได้ปลด โวลเตจดีไวเซอร์แบบตัวเก็บประจุออกและทำการทดสอบเฉพาะระบบวัดแบบความต้านทานต่อ ที่ระดับแรงดันประมาณ 1000 kV ปรากฏว่ารูปคลื่นที่ได้ผิดปกติ จึงได้หยุดการ

ทดสอบและทำการตรวจสอบระบบวัดทั้ง 2 ระบบ โดยในระบบวัดแบบตัวเก็บประจุปรากฏว่าตัวความต้านทานหน่วงในภาคแรงสูงของโวลเตจดีไวเซอร์เกิดความเสียหาย ซึ่งเกิดจากการทนความร้อนที่เกิดขึ้นไม่ได้ ส่วนภาคแรงต่ำและตัวลวดทอนอยู่ในสภาพปกติ สำหรับระบบวัดแบบความต้านทานปรากฏว่าความต้านทานภาคแรงต่ำของโวลเตจดีไวเซอร์ (R_2) และความต้านทาน R_3 มีค่าสูงขึ้น โดยมีค่าประมาณ 32 และ 77 Ω ตามลำดับ ซึ่งจากการสังเกตดูภายนอกไม่พบสิ่งผิดปกติ จึงได้ทำการเปลี่ยนตัวความต้านทานใหม่เป็นแบบคาร์บอน ขนาด 2 W ซึ่งค่าที่ใช้มีรายละเอียด ดังนี้

- 1) R_2 ประกอบด้วย 330 Ω 10 ตัว, 100 Ω 2 ตัวและ 82 Ω 4 ตัวต่อขนานกัน ได้ค่าความต้านทาน 10.1 Ω
- 2) R_3 ประกอบด้วย 560 Ω 7 ตัวและ 820 Ω 1 ตัวต่อขนานกัน ได้ค่าความต้านทาน 72.9 Ω
- 3) R_4 ประกอบด้วย 12 Ω 5 ตัวและ 15 Ω 1 ตัวต่อขนานกัน ได้ค่าความต้านทาน 2.07 Ω

หลังจากประกอบเสร็จแล้วจึงได้ทำการทดสอบสองรูปขึ้นอีกครั้ง ที่ค่าความต้านทานหน่วง 150 Ω ซึ่งได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.31

จากออสซิลโลกราฟจะเห็นได้ว่าโวลเตจดีไวเซอร์แบบความต้านทานมีซึลด์หลังจากเปลี่ยนตัวความต้านทานภาคแรงต่ำใหม่ ยังคงมีค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองตามที่มาตรฐาน IEC 60-2 (1994) แนะนำไว้สำหรับการวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า กล่าวคือ

กรณีวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็มและรูปคลื่นตัดที่หางคลื่น ถ้าคิดเวลาน้ำคลื่น 0.84 μs จะได้ค่า T_α/T_1 เป็น 0.030 ซึ่งจากรูปที่ 2.7 จะได้ว่า β ต้องไม่เกิน 87.41 % และในที่นี้ได้ 38.35 %

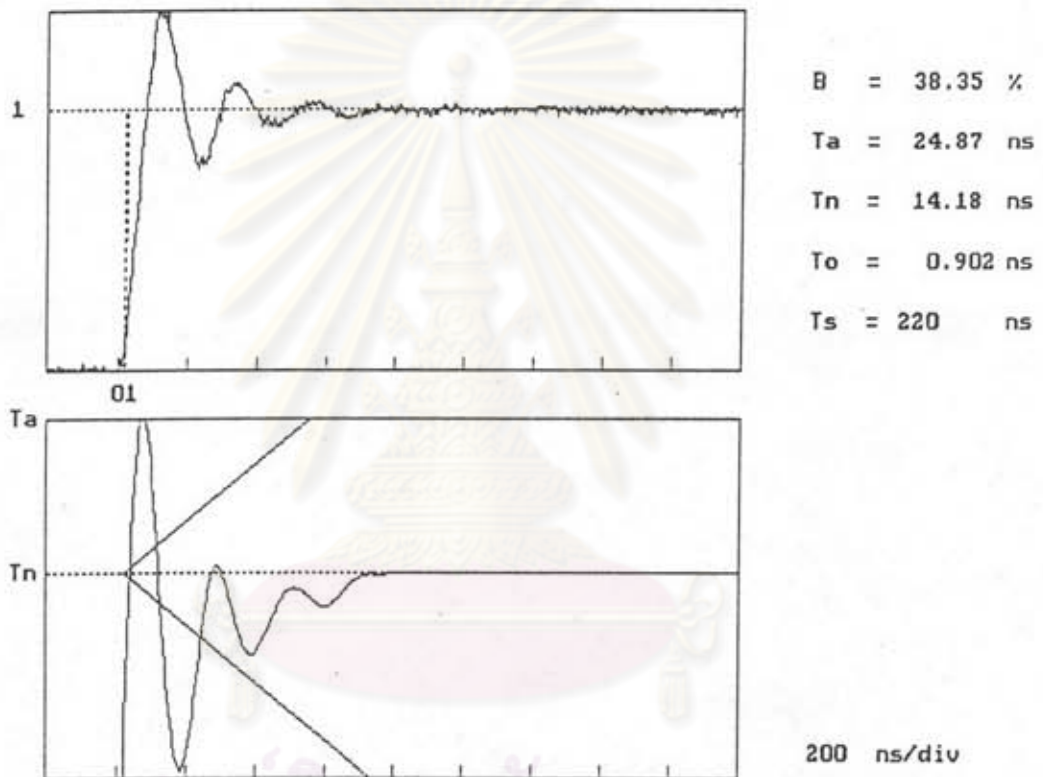
กรณีที่วัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่น ถ้าคิดช่วงเวลาลิ้นตัด 0.5 μs จะได้พารามิเตอร์ผลตอบสนองอยู่ในเงื่อนไขที่กำหนดเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 พารามิเตอร์ผลตอบสนองในกรณีวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่น

พารามิเตอร์ผลตอบสนอง	เงื่อนไขที่กำหนด	ค่าที่ได้จากการทดลอง
เวลาตอบสนองจากการทดลอง	$T_\alpha - 0.03T_c \leq T_N \leq 0.03T_c$	$T_N = 14.18 \text{ ns}$ ($T_\alpha = 24.87 \text{ ns}$)
เวลาเข้าสู่ภาวะคงตัว	$t_s \leq T_c$	$t_s = 220 \text{ ns}$
เวลาผิดเพี้ยนเริ่มต้น	$T_0 \leq 0.005T_c$	$T_0 = 0.90 \text{ ns}$

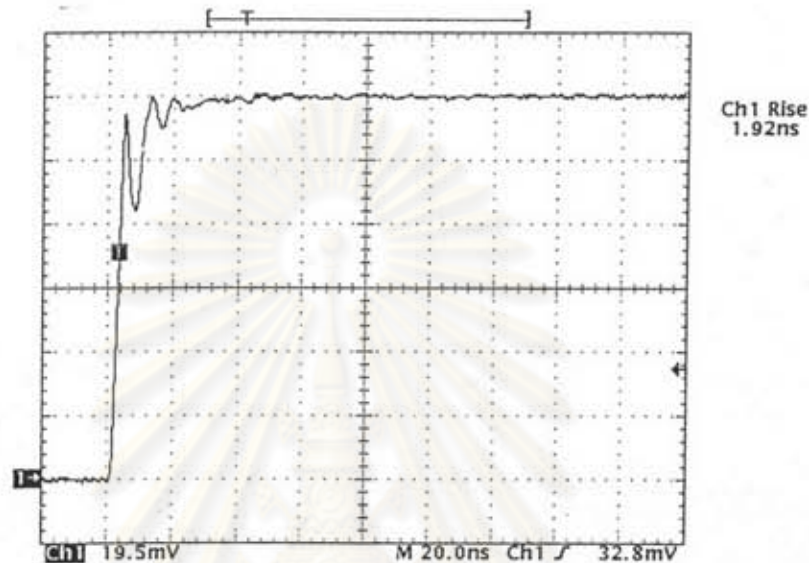
Unit Step Response Evaluation Program

1 MV Shielded resistive voltage divider
with damping resistor 150 Ohms
scale factor = 960.37



รูปที่ 4.31 ออสซิลโลกราฟแสดง $g(t)$, $T(t)$ และพารามิเตอร์ผลตอบสนองของ
โวลเตจดีไวเดอร์แบบความต้านทานมีซัสต์ หลังจากเปลี่ยนตัว
ความต้านทานภาคแรงต่ำใหม่

และผลตอบสนองรูปขึ้นของตัวลคทอนที่สร้างขึ้นใหม่แสดงในรูปที่ 4.32 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเวลาขึ้นของผลตอบสนองรูปขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับตัวเดิมที่สร้างขึ้นก่อนหน้านี้



รูปที่ 4.32 ออสซิลโลกราฟผลตอบสนองรูปขึ้นของตัวลคทอนแบบความต้านทานที่สร้างขึ้นใหม่

หลังจากหาผลตอบสนองรูปขึ้นแล้วจึงได้หาค่าสเกลแฟกเตอร์โดยวิธีการวัดค่าความต้านทานกระแสตรง ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 ค่าความต้านทานกระแสตรงขององค์ประกอบในระบบวัดแบบความต้านทาน

องค์ประกอบ	ตัวความต้านทาน	ค่าความต้านทาน (Ω)
โวลเตจดีไวเดอร์	R_d	150.35
	R_1	9769.6
	R_2	10.340
ตัวลคทอน	R_3	73.980
	R_4	2.200

หมายเหตุ สภาวะบรรยากาศขณะทดสอบ

ความดันบรรยากาศ	759.0 mmHg
อุณหภูมิห้อง	33.5 °C
ความชื้นสัมพัทธ์	61.0 %

จากค่าความต้านทานที่ได้สามารถคำนวณหาค่าสเกลแฟกเตอร์ตามสมการ (4.3) ได้เป็น

$$F_R = 37725.6 \quad (4.8)$$

จากนั้นจึงทำการทดสอบความเป็นเชิงเส้นอีกครั้ง ผลการทดสอบที่ได้แสดงในตารางที่ 4.25-4.26

ตารางที่ 4.25 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นเทียบกับแกปทรงกลม ขั้วบวก

ระยะแกป (cm)	แรงดันเบรกคาวน์ U_{REP} (kV)	U_R (kV)	U_{REP}/U_R
9	241	236.09	1.0208
16	414	409.18	1.0118
24	600	591.27	1.0148
34	795	791.35	1.0046
45	980	955.45	1.0257
ค่าเฉลี่ย		1.01554	
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.80166	

ตารางที่ 4.26 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นเทียบกับแกปทรงกลม ขั้วลบ

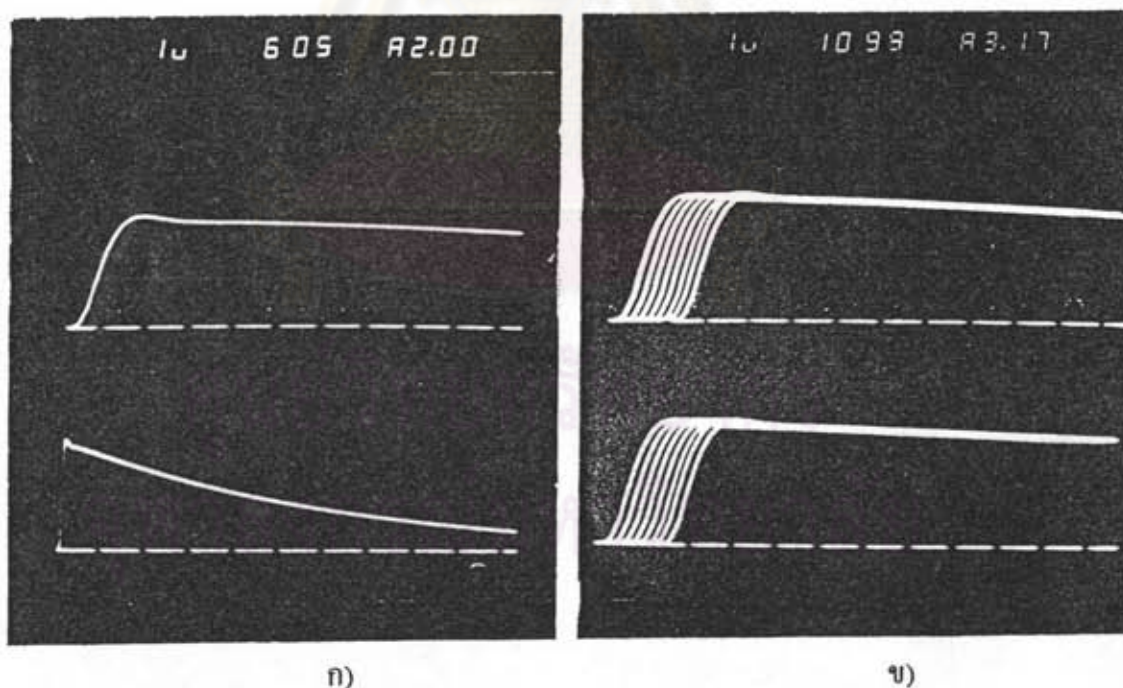
ระยะแกป (cm)	แรงดันเบรกคาวน์ U_{REP} (kV)	U_R (kV)	U_{REP}/U_R
9	241	235.30	1.0242
16	414	414.29	0.9993
24	595	587.21	1.0133
34	780	748.65	1.0419
45	945	903.72	1.0457
ค่าเฉลี่ย		1.02488	
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		1.89705	

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า ในกรณีของขั้วบวก ระบบวัดแบบความต้านทานมีความเป็นเชิงเส้นตามที่มีมาตรฐานกำหนด กล่าวคือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าอยู่ในช่วง $\pm 1\%$ ของค่าเฉลี่ย ส่วนขั้วลบ มีค่าเกินที่มีมาตรฐานกำหนด ซึ่งอาจมีสาเหตุจากสภาวะบรรยากาศในระหว่างการทดสอบที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากใช้เวลาในการทดสอบที่ค่อนข้างนาน

4.5 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์

เพื่อให้มั่นใจได้ว่าการฉนวนภายในภาคแรงสูงของโวลเตจดีไวเซอร์จะไม่เกิดการเบรคความในขณะใช้งานอันจะทำให้เกิดความเสียหายและอันตรายขึ้น มาตรฐานจึงกำหนดให้ต้องทำการทดสอบความคงทนต่อแรงดัน เนื่องจากโวลเตจดีไวเซอร์ที่สร้างขึ้นจะนำไปใช้งานกับแรงดันอิมพัลส์ ดังนั้น จึงต้องทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ด้วยค่าแรงดัน 110 % ของแรงดันพิกัด [7]

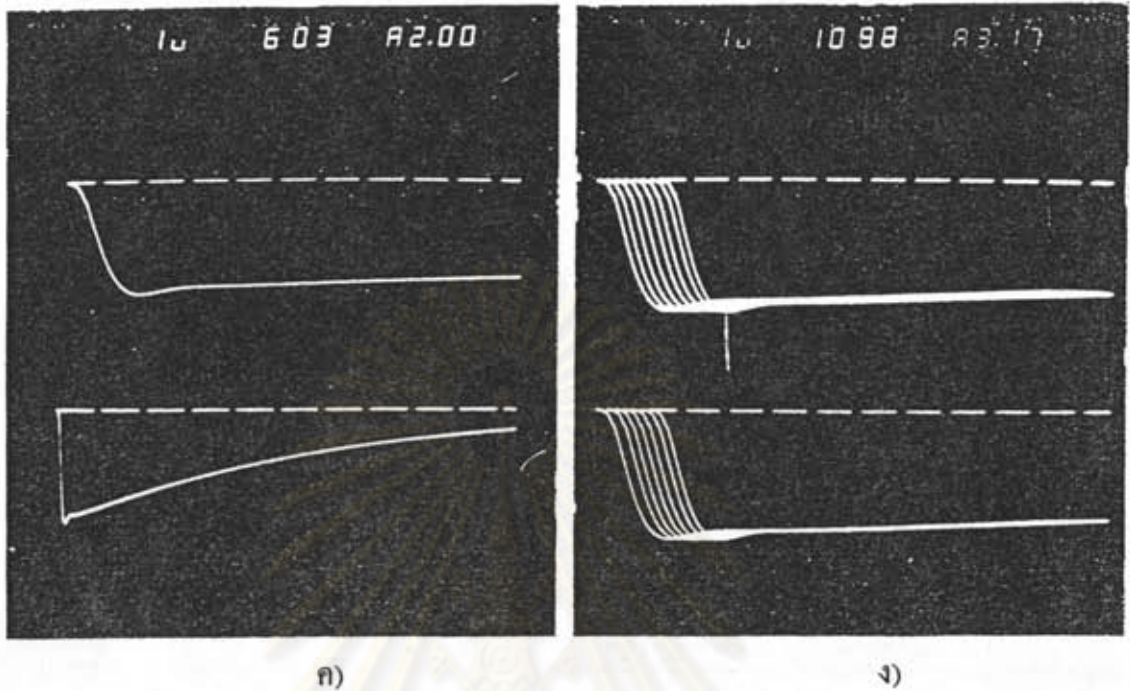
การทดสอบฉนวนที่คืนสภาพการเป็นฉนวนหลังเกิดเบรคความ จะทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นที่กำหนดทั้งชั่วบวกและชั่วลบ ชั่วละ 15 ครั้ง ที่ระดับแรงดันที่กำหนด [16] ถ้ามีการเบรคความหรือวาบไฟตามผิวเกิดขึ้นไม่เกิน 2 ครั้ง จะถือว่าฉนวนนั้นผ่านการทดสอบ เนื่องจากโวลเตจดีไวเซอร์ที่สร้างขึ้นมีค่าแรงดันพิกัด 1000 kV จึงทดสอบด้วยความต้านทานภาคแรงสูงด้วยแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน ขนาด 1100 kV ทั้งชั่วบวกและชั่วลบ ชั่วละ 15 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ของตัวความต้านทานภาคแรงสูง

ก) แรงดันลคระดับ ชั่วบวก 600 kV รูปคลื่น 1.03/43.3 μ s

ข) แรงดันทดสอบ ชั่วบวก 1100 kV



รูปที่ 4.33 (ต่อ) การทดสอบความทนต่อแรงดันอิมพัลส์ของตัวความต้านทานภาคแรงสูง
 ก) แรงดันลระดับ ขั้วลบ 600 kV รูปคลื่น 1.03/45.0 μ s
 ง) แรงดันทดสอบ ขั้วลบ 1100 kV

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า ตัวความต้านทานภาคแรงสูงที่สร้างขึ้นสามารถทนต่อแรงดันอิมพัลส์ทั้งขั้วบวกและขั้วลบขนาด 1100 kV ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย