



บทที่ 4

การทดสอบและประเมินผล

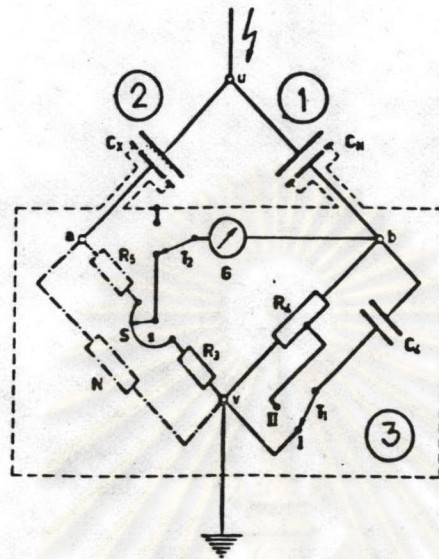
การหาลักษณะสมบัติของโวลเตจดีไวเดอร์ โดยการพิจารณาในทางทฤษฎีนั้น เป็นเพียงการทำนายลักษณะสมบัติเพื่อการแก้ไขปรับปรุง อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ ลักษณะสมบัติของโวลเตจดีไวเดอร์จะแตกต่างไปจากที่คำนวณได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหา ลักษณะสมบัติของโวลเตจดีไวเดอร์จากการทดลองและทดสอบ เพื่อให้ทราบว่า โวลเตจดีไวเดอร์ที่สร้างขึ้นมีลักษณะสมบัติเหมาะสมที่จะใช้วัดแรงดันอิมพัลส์ตามที่ออกแบบ หรือไม่ มาตรฐาน ไอ อี ซี กำหนดการทดสอบที่สำคัญของโวลเตจดีไวเดอร์สำเร็จรูปไว้ สองประการ คือ การหาอัตราส่วนแรงดัน และการหาผลตอบสนองต่อแรงดันรูปขึ้น ซึ่งจะทำการทดสอบทั้งสามอัตราส่วนแรงดันที่ได้สร้างขึ้น การทดลองและการทดสอบจะทำได้ตามลำดับขั้น ดังต่อไปนี้

- ก) การวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงสูงและแรงต่ำ
- ข) การทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง
- ค) การหาผลตอบสนองต่อแรงดันรูปขึ้น
- ง) การหาอัตราส่วนแรงดัน
- จ) การทดลองใช้งาน

4.1 การวัดค่าความจุไฟฟ้า

4.1.1 การวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง

การวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง โดยใช้วงจรถ่าย Schering bridge [14] ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรทดลองหาค่าความจุไฟฟ้า

- 1 คือ ตัวเก็บประจุมาตรฐาน
- 2 คือ ตัวเก็บประจุที่ต้องการหาค่าความจุไฟฟ้า
- 3 คือ Schering bridge

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

- ก) Schering bridge , Type 2801 และอุปกรณ์ประกอบ [14]
- ข) Guard potential regulator , Type 2901
- ค) กัลวานอมิเตอร์ , Tettex AG 5511 DM
- ง) Variac 0 - 260 V 10 kVA
- จ) ดิจิตัลโวลต์มิเตอร์ , Fluke - 23
- ฉ) หม้อแปลงทดสอบ 0 - 100 kV 5 kVA และอุปกรณ์วัดแรงดัน
- ช) ตัวเก็บประจุมาตรฐาน 36.8 pF 100 kV , Compressed SF₆

การวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง ผลการทดลองได้แสดงไว้

ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง

แรงดัน (kV)	20	30	40	50
ค่าความจุไฟฟ้า (pF)	504.13	504.12	504.12	504.12

จากตารางที่ 4.1 จะได้ค่าความจุไฟฟ้าเฉลี่ยของตัวเก็บประจุภาคแรงสูงมีค่าเท่ากับ 504.12 พิโคฟารัด ความจุไฟฟ้าที่วัดได้จะสูงกว่าค่าที่คำนวณจากลักษณะโครงสร้างของตัวเก็บประจุภาคแรงสูงในหัวข้อที่ 3.2.2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 503.70 พิโคฟารัด ทั้งนี้เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุย่อยและการละเลยความจุไฟฟ้าบางส่วนไปเพื่อให้คำนวณได้ง่ายขึ้น

4.1.2 การวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ

การวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ ทำโดยวิธีใช้ Impedance meter ของ BBC , Type M2110 ซึ่งมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน 0.25 % ที่ 65 Hz - 20 kHz ผลการวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำทั้งสามค่าที่ได้สร้างขึ้น แสดงในตารางที่ 4.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ

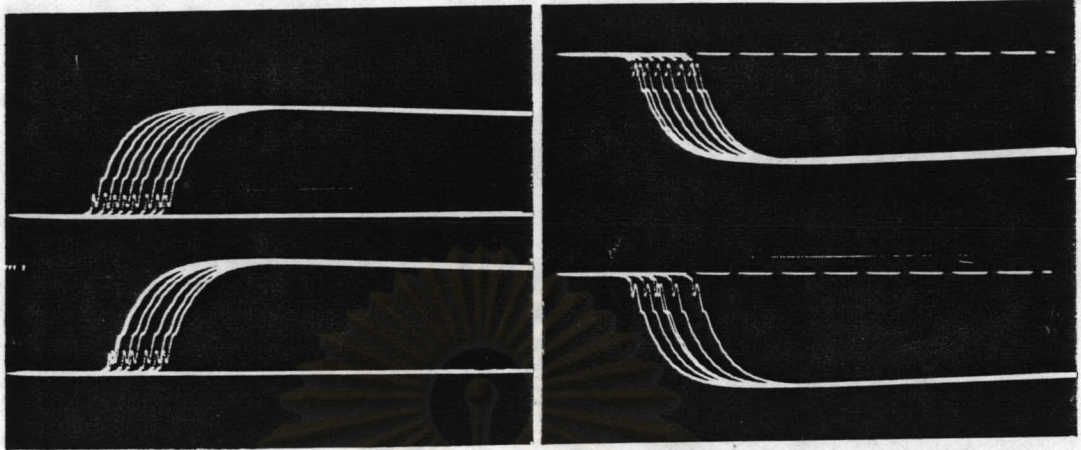
C_2 ทางทฤษฎี (nF)	C_2 จากการวัด (nF)
264.0	261.8
506.0	504.7
1012.0	1006.0

จากการทดลองจะเห็นว่า ค่าความจุไฟฟ้าที่ได้น้อยกว่าค่าที่คำนวณได้จากทางทฤษฎี เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุย่อย

4.2 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง

เพื่อให้มั่นใจได้ว่าการจนวนภายในตัวเก็บประจุภาคแรงสูงจะไม่เกิดเบรกดาวนในขณะที่ใช้งานอื่นจะทำให้เกิดความเสียหายและอันตรายขึ้น จึงต้องนำตัวเก็บประจุที่สร้างขึ้นมาทดสอบความคงทนต่อแรงดัน ตัวเก็บประจุที่สร้างขึ้นจะนำไปใช้กับแรงดันอิมพัลส์ ซึ่งมีค่าแรงดันที่กำหนด 400 กิโลโวลต์ จึงทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ด้วยแรงดันทดสอบมีค่าเท่ากับ 1.1 เท่าของแรงดันที่กำหนด [15]

การทดสอบจนวนที่คืนสภาพการเป็นจนวนหลังเกิดเบรกดาวน[9] จะทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นกำหนดทั้งชั่ววอกและชั่วลบ ตามแรงดันทดสอบที่กำหนด จำนวน 15 ครั้ง ถ้ามีการเบรกดาวนหรือวาวไฟตามผิวเกิดขึ้นไม่เกิน 2 ครั้ง จะถือว่าจนวนนั้นผ่านการทดสอบ โวลเตจดีไวเดอร์ที่สร้างขึ้นจะใช้วัดแรงดันอิมพัลส์ทั้งชั่ววอกและชั่วลบ จึงทดสอบตัวเก็บประจุภาคแรงสูงด้วยแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 1.2 / 50 μ s ขนาด 440 กิโลโวลต์ ทั้งชั่ววอกและชั่วลบ ชั่วละ 15 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.2



ก)

ข)

รูปที่ 4.2 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง

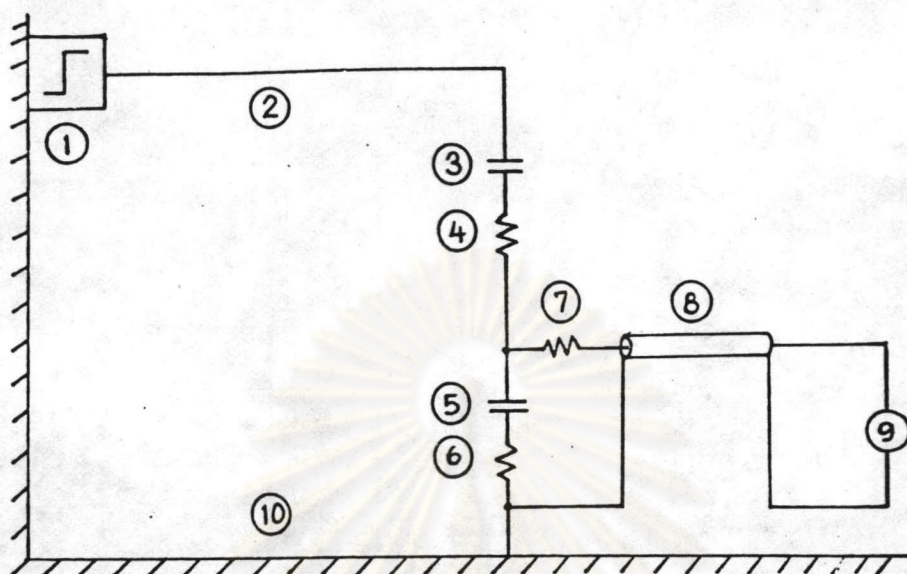
ก) ความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์สี่เหลี่ยม

ข) ความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ซิวลบ

จากการทดสอบสรุปได้ว่า ตัวเก็บประจุภาคแรงสูงที่สร้างขึ้นสามารถทนต่อแรงดันอิมพัลส์ทั้งสี่เหลี่ยมและซิวลบขนาด 440 กิโลโวลต์ได้

4.3 การทดลองหาผลตอบสนองต่อแรงดันรูปขึ้น

การทดลองหาผลตอบสนองต่อแรงดันรูปขึ้นของโวลเตจดีไวเดอร์จะใช้วงจรทดลอง แสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 วงจรทดลองหาผลตอบสนองรูปขึ้น

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง คือ

- 1) เครื่องกำเนิดแรงดันรูปขึ้นของ Haefely , Type 40 ซึ่งสามารถกำเนิดแรงดันรูปขึ้นได้ 150 โวลต์ มีเวลาขึ้น 25 ns ดังแสดงในรูปที่ 4.4

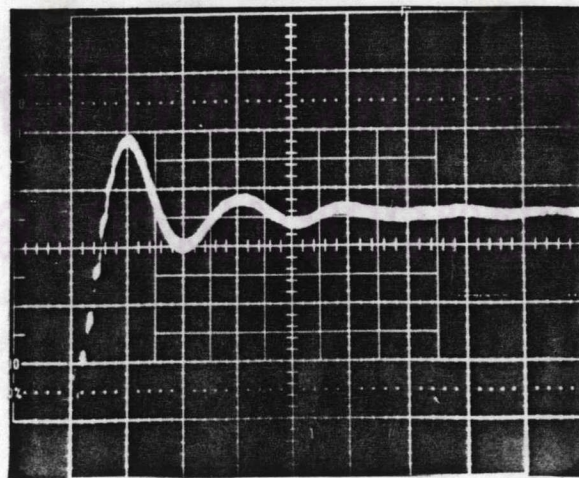


รูปที่ 4.4 แรงดันทดสอบรูปขึ้น

สเกลแรงดัน 50 V/div , สเกลเวลา 20 ns/div

- 2) สายนำซึ่งต่อจากเครื่องกำเนิดแรงดันรูปขึ้นไปยังโวลเตจดีไวเดอร์ ใช้สายทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1 มิลลิเมตร ยาว 2.27 เมตร
- 3) ตัวเก็บประจุภาคแรงสูง (C_1) = 504.12 พิโคฟารัด
- 4) ความต้านทานภาคแรงสูง (R_1) = 111 โอห์ม
- 5) ตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ (C_2)
- 6) ความต้านทานภาคแรงต่ำ (R_2)
- 7) ความต้านทานแมชชิงของเคเบิลวัด 75 โอห์ม
- 8) สายเคเบิลวัดใช้ชนิด UHF มีค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ 75 โอห์ม ยาว 5 เมตร
- 9) ออสซิลโลสโคปของ Tektronix , Type 464 มีแบนวิทท์ 150 เมกกะเฮิรตซ์ และอินพุทอิมพีแดนซ์ 1 เมกกะโอห์ม // 20 พิโคฟารัด
- 10) สายกราวด์ใช้แผ่นทองแดงแบนกว้าง 12 เซนติเมตร ยาว 4.5 เมตร

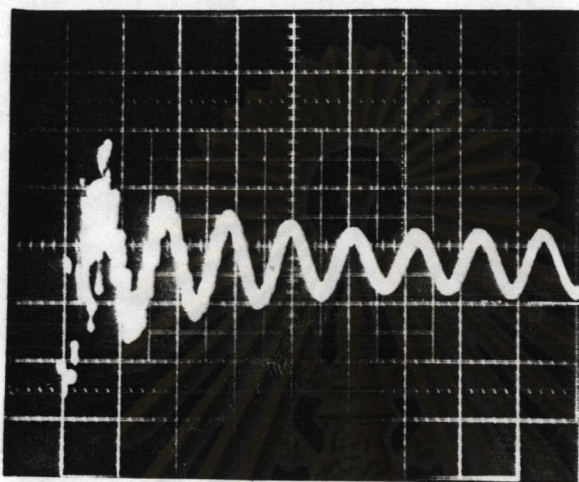
จากการทดลองหาผลตอบสนองรูปขึ้นของโวลเตจดีไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุขนาด 400 กิโลโวลต์ของ Haefely ซึ่งเป็นผลตอบสนองรูปขึ้นที่ดีไว้เปรียบเทียบกับผลตอบสนองรูปขึ้นของโวลเตจดีไวเดอร์ที่ได้สร้างขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.5



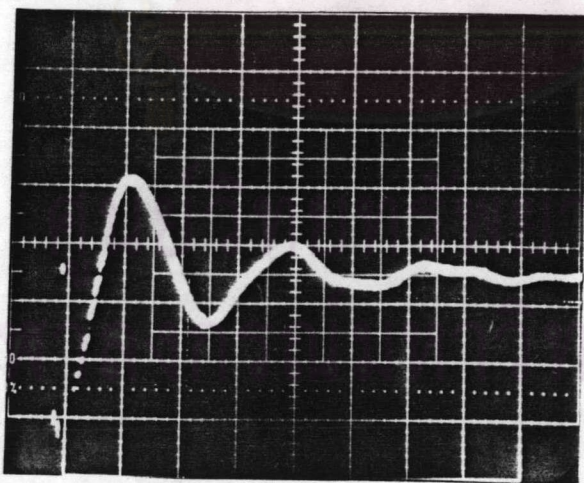
รูปที่ 4.5 ผลตอบสนองรูปขึ้นของโวลเตจดีไวเดอร์ของ Haefely
สเกลแรงดัน 0.1 V/div , สเกลเวลา 0.2 μ s/div

4.3.1 ผลของความต้านทานท่วงในภาคแรงสูง (R_1)

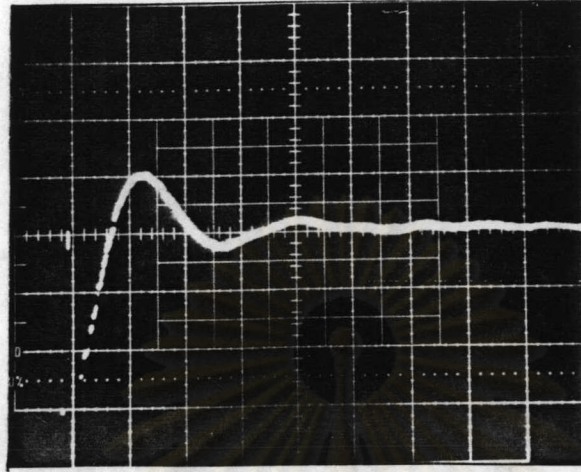
ใช้วงจรทดลองรูปที่ 4.3 ทดลองหาผลตอบสนองรูปขึ้นโดยการเปลี่ยนค่า R_1 ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.6



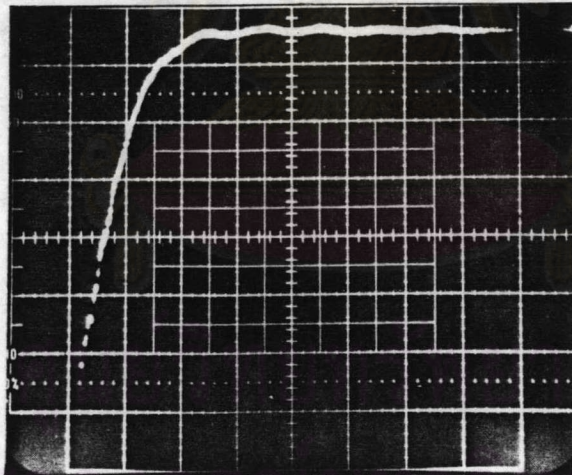
ก) $R_1 = 0$



ข) $R_1 = 60$ โอห์ม



ค) $R_1 = 111$ โอห์ม



ง) $R_1 = 314$ โอห์ม

รูปที่ 4.6 ผลของความต้านทานหน่วง (R_1) ที่มีต่อผลตอบสนองรูปขึ้นใน
วงจรถดลอง

สเกลแรงดัน 50 mV/div , สเกลเวลา 0.2 μ s/div

จากออสซิลโลแกรมสามารถสรุปได้ดังนี้

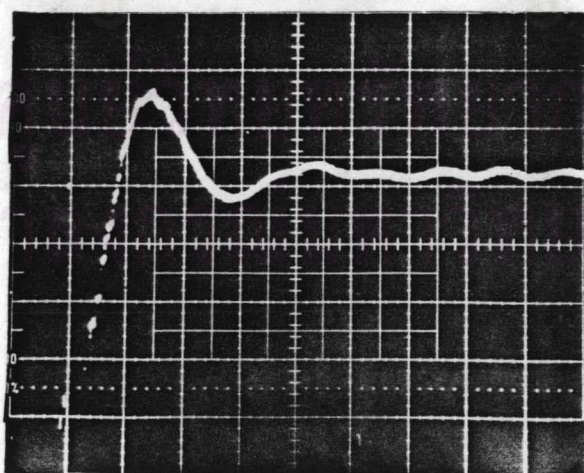
ก) ความต้านทานหน่วง (R_1) มีผลต่อเวลาตอบสนองและเวลาขึ้น ของระบบวัดและของโวลเตจดีไวเดอร์ ถ้าค่า R_1 ต่ำ เวลาตอบสนองและเวลาขึ้นจะน้อย แต่ผลตอบสนองรูปขึ้นจะเกิดการแกว่ง ถ้าค่า R_1 มาก เวลาตอบสนองและเวลาขึ้นจะมากขึ้น

ข) ความต้านทานหน่วง (R_1) จะลดการแกว่งความถี่ต่ำที่เกิดขึ้นจากสเตรอินดักแตนซ์ในสายนำแรงสูง กับตัวเก็บประจุภายในโวลเตจดีไวเดอร์

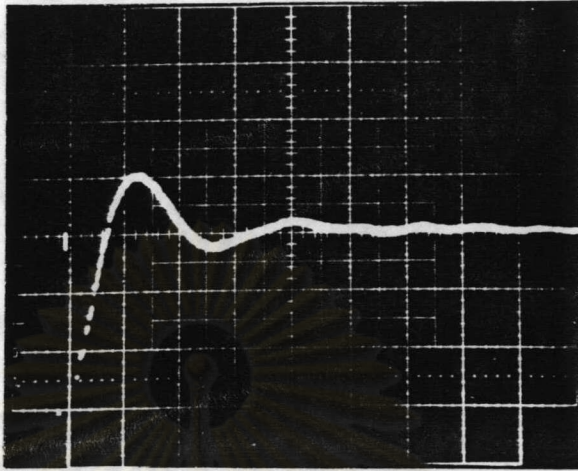
ค) ความต้านทานหน่วง (R_1) ที่เหมาะสมในการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 111 โอห์ม

4.3.2 ผลของตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ (C_2)

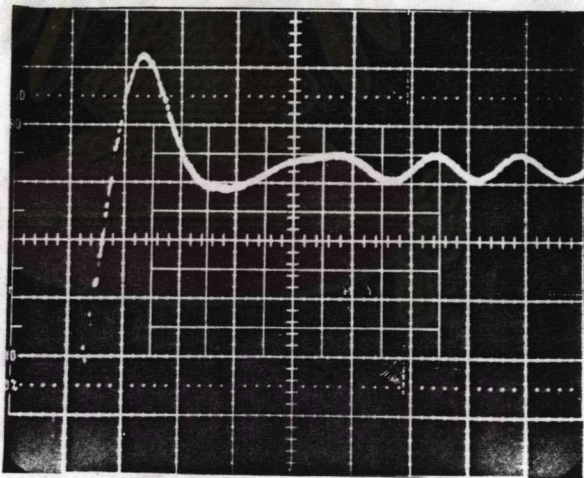
ใช้วงจรทดลองรูปที่ 4.3 ทดลองหาผลตอบสนองรูปขึ้นโดยการเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้าภาคแรงต่ำ (C_2) ตัวเก็บประจุมักใช้แบบ โพลีเอสเตอร์ฟิล์มขนาด 0.022 μF 1.5 kVdc จำนวนหลายตัวมาต่อขนานกันให้ได้ค่า C_2 ตามต้องการ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.7



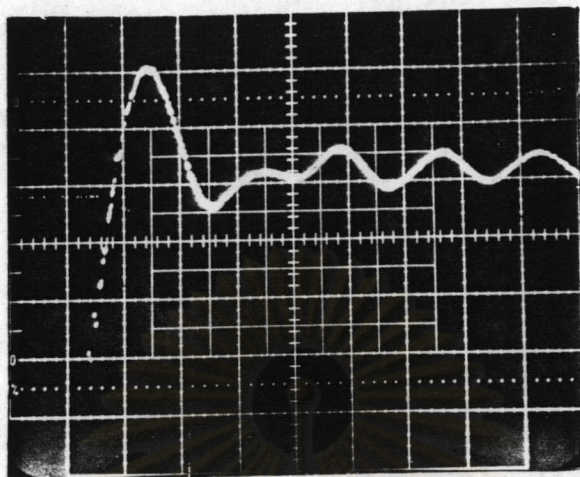
ก) $C_2 = 220 \text{ nF}$, สเกลแรงดัน 50 mV/div



ข) $C_2 = 308 \text{ nF}$, สเกลแรงดัน 50 mV/div



ค) $C_2 = 418 \text{ nF}$, สเกลแรงดัน 20 mV/div



ง) $C_2 = 506 \text{ nF}$, สเกลแรงดัน 20 mV/div

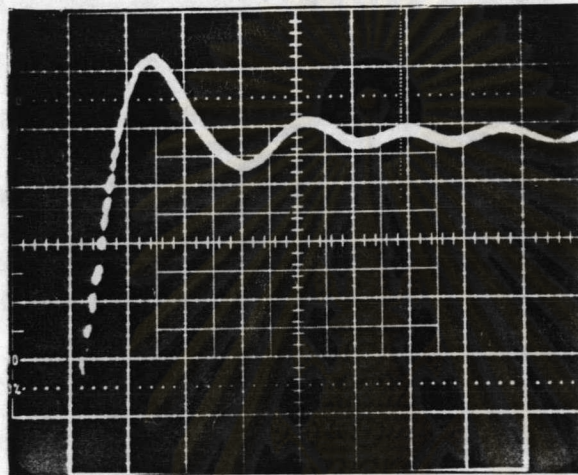
รูปที่ 4.7 ผลของตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ (C_2) ที่มีต่อผลตอบสนองรูปขึ้นในวงจรถดลอง สเกลเวลา 0.2 $\mu\text{s/div}$

จากออสซิลโลแกรมสามารถสรุปได้ว่า

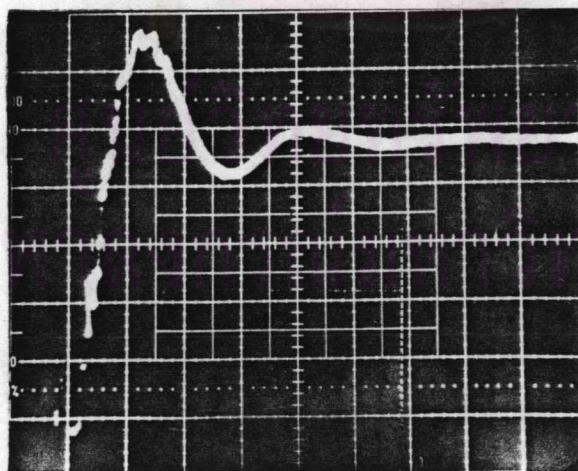
- ก) ความจุไฟฟ้าภาคแรงต่ำ (C_2) มีผลต่อผลตอบสนองรูปขึ้น คือ ถ้า C_2 มีค่ามาก อัมพลิจูดของผลตอบสนองรูปขึ้นจะมีค่าน้อย ถ้า C_2 มีค่าน้อย อัมพลิจูดจะมากขึ้น
- ข) สเตเรอินคัตเตอร์ของตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ มีผลต่อผลตอบสนองรูปขึ้น คือ ถ้าสเตเรอินคัตเตอร์มีค่ามาก (ตัวเก็บประจุย่อยที่นำมาต่อขนานกันจำนวนน้อยตัว) จะทำให้เกิดการแกว่งความถี่สูงที่ด้านหน้าของผลตอบสนองรูปขึ้น ถ้าสเตเรอินคัตเตอร์มีค่าน้อย (จำนวนตัวเก็บประจุย่อยมาก) ผลตอบสนองรูปขึ้นที่ได้จะเรียบไม่เกิดการแกว่งความถี่สูงขึ้น
- ค) ความจุไฟฟ้าภาคแรงต่ำ (C_2) เมื่อมีค่ามากขึ้น (จำนวนตัวเก็บประจุย่อยมากตัว) จะทำให้เกิดการแกว่งความถี่ต่ำที่บริเวณช่วงหลังของผลตอบสนองรูปขึ้น ทั้งนี้เพราะไม่ได้ต่อความต้านทานภาคแรงต่ำ (R_2) อนุกรมกับตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ

4.3.3 ผลของความต้านทานภาคแรงต่ำ (R_2)

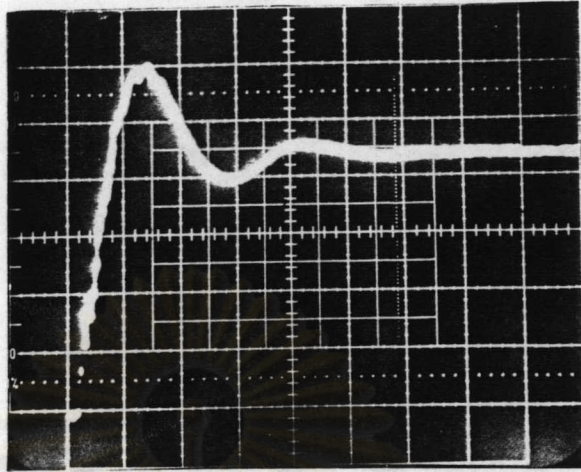
ใช้วงจรทดลองรูปที่ 4.3 ทดลองหาผลตอบสนองรูปขึ้น โดยการเปลี่ยนค่าความต้านทานภาคแรงต่ำ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.8



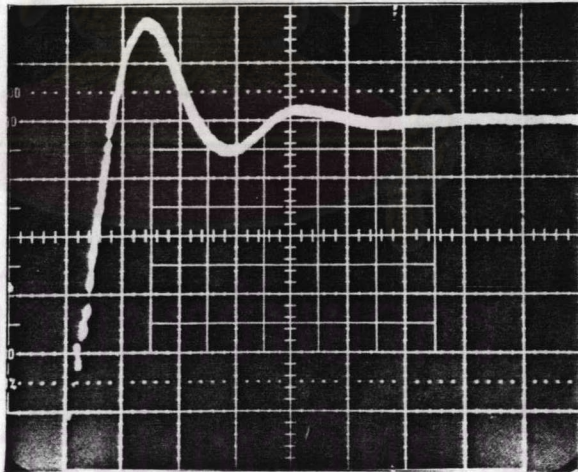
ก) $R_2 = 0$



ข) $R_2 = 0.1$ โอห์ม (ความต้านทานย่อยขนาด 4.7 โอห์ม ขนาดกัน 47 ตัว)



ค) $R_2 = 0.07$ โอห์ม (ความต้านทานย่อยขนาด 4.7
โอห์ม ขนาดกัน 63 ตัว)



ง) $R_2 = 0.04$ โอห์ม (ความต้านทานย่อยขนาด 4.7
โอห์ม ขนาดกัน 109 ตัว)

รูปที่ 4.8 ผลของความต้านทานภาคแรงต่ำ (R_2) ที่มีผลต่อผลตอบสนอง
รูปขึ้นในวงจรทดลอง

สเกลแรงดัน 20 mV/div , สเกลเวลา 0.2 μ s/div

จากออสซิลโลแกรมสามารถสรุปได้ดังนี้

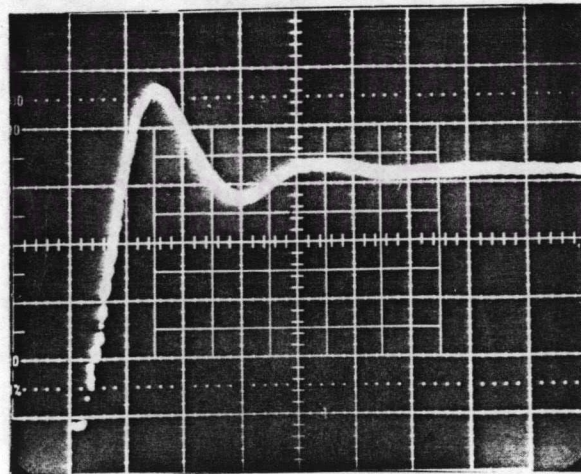
ก) ความต้านทานภาคแรงต่ำ (R_2) จะช่วยหน่วงการแกว่งความถี่ต่ำที่บริเวณช่วงหลังของผลตอบสนองรูปขึ้น เนื่องจากการไหลของกระแสสูงสุกราวในภาคแรงต่ำไม่พร้อมกัน ทำให้เกิดคลื่นสะท้อนขึ้นภายในภาคแรงต่ำเอง [16]

ข) จำนวนตัวความต้านทานย่อยในภาคแรงต่ำต้องมากพอเพื่อลดค่าสเตรอินดักแตนซ์ ถ้าสเตรอินดักแตนซ์มีค่ามาก จะทำให้เกิดการแกว่งความถี่สูงที่บริเวณด้านหน้าของผลตอบสนองรูปขึ้น

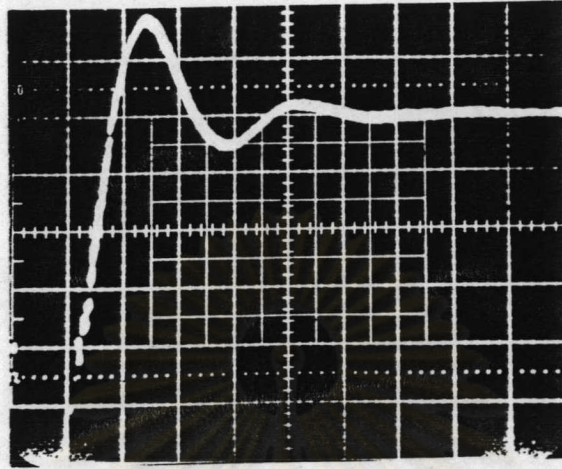
ค) ความต้านทานภาคแรงต่ำ (R_2) ซึ่งทำให้ได้ผลตอบสนองรูปขึ้นที่ดี ในทางปฏิบัติแล้วไม่สอดคล้องกับความสัมพันธ์ $R_1 * C_1 = R_2 * C_2$ ทั้งนี้เพราะตัวความต้านทานที่ใช้ทำ R_1 และ R_2 นั้นมีค่าสเตรอินดักแตนซ์ซึ่งไม่สามารถทำให้ $C_2 / C_1 = L_1 / L_2$ ได้

4.3.4 ผลตอบสนองรูปขึ้นเมื่อความต้านทานภาคแรงสูงและภาคแรงต่ำเป็นแบบฟิล์มคาร์บอน

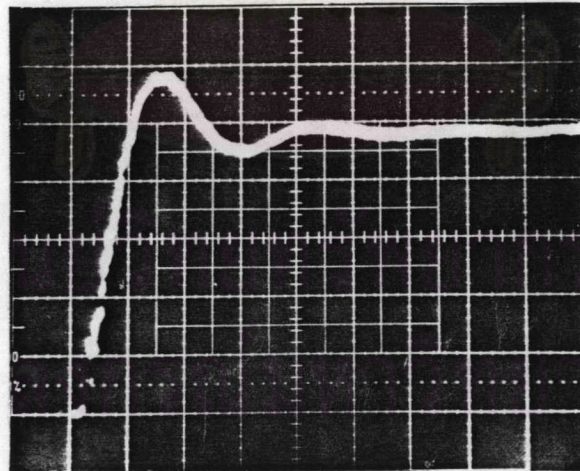
ผลตอบสนองรูปขึ้นที่ได้จำนวน 3 รูป โดยการเปลี่ยนค่า C_2 และ R_2 แสดงดังรูปที่ 4.9



ก) $C_2 = 261.8 \text{ nF}$, $R_2 = 0.17 \text{ โอห์ม}$, $T = 58.7 \text{ ns}$
 สเกลแรงดัน 50 mV / div สเกลเวลา 0.2 μs / div



ข) $C_2 = 504.7 \text{ nF}$, $R_2 = 0.043 \text{ โอห์ม}$, $T = 35.0 \text{ ns}$
 สเกลแรงดัน 20 mV / div . สเกลเวลา 0.2 μs / div



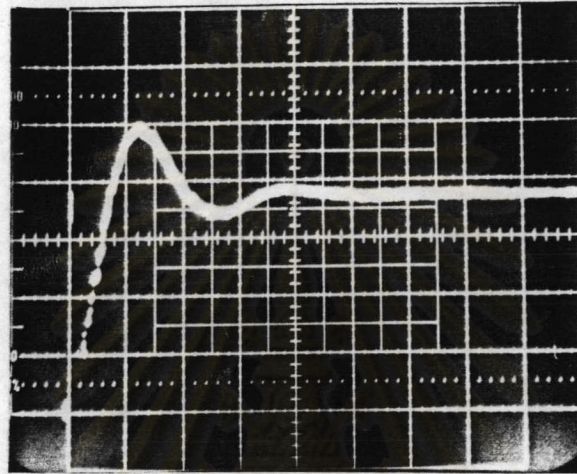
ค) $C_2 = 1.006 \text{ }\mu\text{F}$, $R_2 = 0.034 \text{ โอห์ม}$, $T = 73.5 \text{ ns}$
 สเกลแรงดัน 10 mV / div . สเกลเวลา 0.2 μs / div

รูปที่ 4.9 ผลตอบสนองรูปขึ้นเมื่อความต้านทานเป็นแบบฟิล์มคาร์บอน

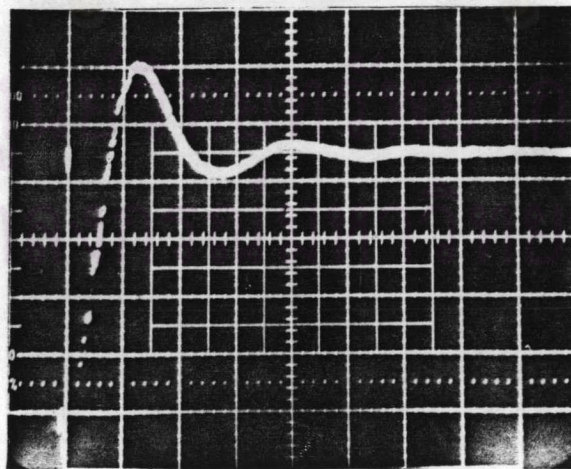
4.3.5 ผลตอบสนองรูปขึ้นเมื่อความต้านทานภาคแรงสูงและภาคแรงต่ำเป็นแบบคาร์บอน

ผลตอบสนองรูปขึ้นที่ได้จำนวน 3 รูป โดยการเปลี่ยนค่า C_2 และ R_2 แสดง

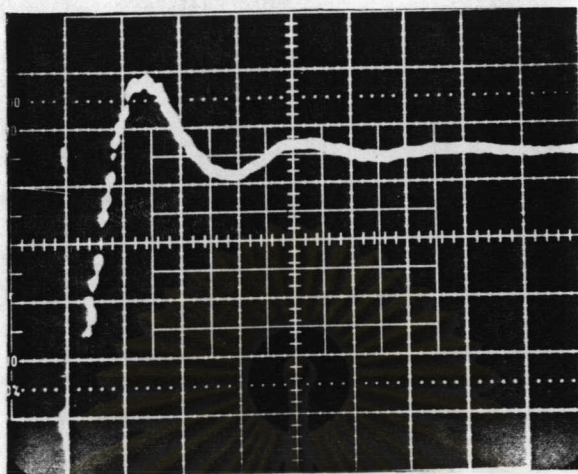
ดังรูปที่ 4.10



ก) $C_2 = 261.8 \text{ nF}$, $R_2 = 0.10 \text{ โอห์ม}$, $T = 38.6 \text{ ns}$
 สเกลแรงดัน 50 mV / div สเกลเวลา 0.2 μs / div



ข) $C_2 = 504.7 \text{ nF}$, $R_2 = 0.05 \text{ โอห์ม}$, $T = 38.0 \text{ ns}$
 สเกลแรงดัน 20 mV / div สเกลเวลา 0.2 μs / div



ค) $C_2 = 1.006 \mu\text{F}$, $R_2 = 0.013$ โอห์ม , $T = 48.0 \text{ ns}$

สเกลแรงดัน 10 mV / div สเกลเวลา $0.2 \mu\text{s / div}$

รูปที่ 4.10 ผลตอบสนองรูปขึ้นเมื่อความต้านทานเป็นแบบคาร์บอน

จากออสซิลโลแกรมในรูปที่ 4.9 และ 4.10 สามารถนำมาเขียนสรุปได้ในตารางที่ 4.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

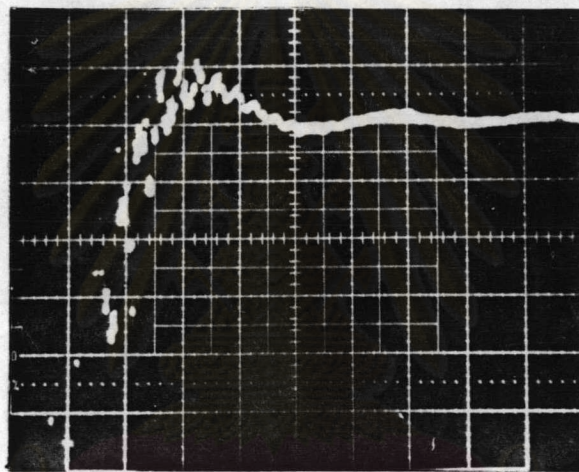
ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากผลตอบสนองรูปขึ้น

C_2 (nF)		261.8	504.7	1006.0
ฟิล์ม คาร์บอน	T (ns)	58.7	35.0	73.5
	Δu (%)	34.3	34.2	22.2
	T_{a} (ns)	65.0	65.2	75.0
คาร์บอน	T (ns)	38.6	38.0	48.0
	Δu (%)	21.5	29.4	25.7
	T_{a} (ns)	52.4	64.1	66.2

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า ผลตอบสนองรูปขึ้นของโวลเตจดีไวเดอร์ เมื่อใช้ตัวความต้านทานแบบคาร์บอนจะดีกว่าแบบฟิล์มคาร์บอน เพราะแบบคาร์บอนให้ เวลาตอบสนองน้อยกว่า และจำนวนตัวความต้านทานที่ใช้ทำ R_2 ก็น้อยกว่า ทั้งนี้เพราะ ความต้านทานแบบคาร์บอนมีเสถียรอินดักแทนซ์น้อยกว่าแบบฟิล์มคาร์บอน จึงทำให้จำนวนตัว ความต้านทานที่ใช้ในการทำให้สอดคล้องกับเงื่อนไข $C_2/C_1 = L_1/L_2$ น้อยกว่า จาก ค่า Δu และ T_{a} ในตารางเมื่อนำไป plot ลงในรูปที่ 2.3 ปรากฏว่า ผลตอบสนอง รูปขึ้นที่ได้ทั้งหมดนี้อยู่ในขอบเขตซึ่งทำให้การวัดหน้าคลื่น (T_1) ของรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ แบบฟ้าผ่ามีค่าคลาดเคลื่อน $< 10\%$

4.3.6 ผลตอบสนองรูปขึ้นของโวลเตจดีไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วงในสายนำ

ตัวเก็บประจุภาคแรงสูงของโวลเตจดีไวเดอร์ชนิดนี้เป็นแบบตัวเก็บประจួយ่อยต่ออนุกรมกัน ได้ค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 504 pF ส่วนความต้านทานภาคแรงสูงนั้นเป็นแบบความต้านทานเตี้ยต่ออยู่ที่ส่วนหัวของโวลเตจดีไวเดอร์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 200 โอห์ม ความจุไฟฟ้าภาคแรงต่ำมีค่าเท่ากับ 476 nF ผลตอบสนองรูปขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.11



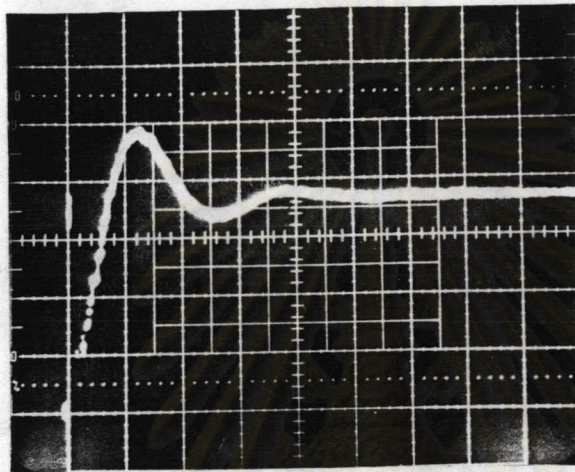
รูปที่ 4.11 ผลตอบสนองรูปขึ้นของโวลเตจดีไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วงในสายนำ

สเกลแรงดัน 20 mV/div สเกลเวลา 0.2 μ s/div T = 105.6 ns

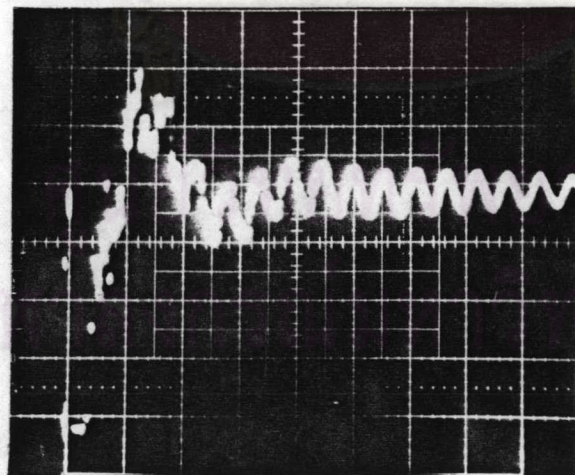
จากออสซิลโลแกรมรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองรูปขึ้นที่ได้เกิดการแกว่งความถี่สูงขึ้น เนื่องจากสเตรินดักแตนซ์ในตัวเก็บประจุภาคแรงสูงมีค่ามากถึงแม้ว่าจะใส่ความต้านทานหน่วงไว้ที่หัวของโวลเตจดีไวเดอร์แล้วก็ตาม และเวลาตอบสนองที่ได้มีค่ามาก ดังนั้นเมื่อเทียบกับออสซิลโลแกรมในรูปที่ 4.9 และ 4.10 แล้ว จะเห็นได้ว่าโวลเตจดีไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วงกระจาย จะให้ผลตอบสนองที่ดีกว่าโวลเตจดีไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วงในสายนำเมื่อใช้บันทึกรูปคลื่นแรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

4.3.7 ผลของความต้านทานแมชซิง (R_m) ของเคเบิลวัด

ทำการหาผลตอบสนองรูปขึ้นของโวลเตจดีไวเดอร์ โดยการต่อ $R_m = 75$ โอห์ม และไม่ต่อ R_m ผลตอบสนองรูปขึ้นที่ได้ แสดงดังรูปที่ 4.12



ก) $R_m = 75$ โอห์ม



ข) $R_m = 0$ โอห์ม

รูปที่ 4.12 ผลของความต้านทานแมชซิงของเคเบิลวัด

จากออสซิลโลแกรมจะเห็นได้ว่า เมื่อไม่ใส่ความต้านทานแมชซิงของเคเบิลวัด

($R_m = 0$) จะเกิดคลื่นสะท้อนขึ้นในเคเบิลวัด ทำให้เกิดการแกว่งโดยไม่มีสิ้นสุด

4.3.8 การหาเวลาตอบสนอง

ตามข้อกำหนดของ ไอ อี ซี [9] ได้กำหนดเวลาตอบสนองที่ต้องการของระบบวัดตามลักษณะของแรงดันที่วัด แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เวลาตอบสนองที่ต้องการของระบบวัด

รูปคลื่นแรงดันที่วัด	เวลาตอบสนองที่ต้องการ
แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 1.2/50 μ s และแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดที่ยอดคลื่นหรือหางคลื่น แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดหน้าคลื่นเพิ่มอย่างเชิงเส้น มีเวลาขึ้นเป็น T_r	$IT_1 \leq 0.2 \mu$ s $IT_1 \leq 0.05T_r$ และ $IT_1 \leq 0.2 \mu$ s

การหาเวลาตอบสนองจากออสซิลโลแกรม สามารถหาได้จากสมการที่

(2.12) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.6 จ) ในทางปฏิบัติก็สามารถหาได้เช่นเดียวกับเวลาตอบสนองบางส่วน ซึ่งวิธีการหาได้กล่าวแล้วในบทที่ 3

จากรูปที่ 4.9 สามารถหาค่าเวลาตอบสนองได้ดังนี้

ก) $C_2 = 261.8 \text{ nF}$, เวลาตอบสนอง = 57.8 ns

ข) $C_2 = 504.7 \text{ nF}$, เวลาตอบสนอง = 35.0 ns

ค) $C_2 = 1.006 \mu\text{F}$, เวลาตอบสนอง = 73.5 ns

จากรูปที่ 4.10 สามารถหาค่าเวลาตอบสนองได้ดังนี้

ก) $C_2 = 261.8 \text{ nF}$, เวลาตอบสนอง = 38.6 ns

ข) $C_2 = 504.7 \text{ nF}$, เวลาตอบสนอง = 38.0 ns

ค) $C_2 = 1.006 \mu\text{F}$, เวลาตอบสนอง = 48.0 ns

จะเห็นได้ว่า เวลาตอบสนองที่ได้มีค่าตามมาตรฐานกำหนด

4.4 การหาอัตราส่วนแรงดันของโวลเตจดีไวเดอร์

4.4.1 โดยการคำนวณทางทฤษฎี

การหาอัตราส่วนแรงดันทางทฤษฎี สามารถหาได้โดยใช้สมการ (3.6) จากค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงสูงและแรงต่ำที่วัดได้ในหัวข้อ 4.2 อัตราส่วนแรงดันที่คำนวณได้แสดงในตารางที่ 4.6

4.4.2 โดยการวัดแรงดันเปรียบเทียบกับโวลเตจดีไวเดอร์ที่ทราบค่าอัตราส่วนแรงดัน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

- ก) เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ขนาด 400 กิโลโวลต์
- ข) โวลเตจดีไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุขนาด 400 กิโลโวลต์
- ค) โวลต์มิเตอร์วัดค่ายอดของ Haefely , Type 64 M
- ง) โวลต์มิเตอร์วัดค่ายอดของ Haefely , Type 65
- จ) สายเคเบิลวัดแบบ UHF ยาว 20 เมตร

ต่อโวลเตจดีไวเดอร์ที่ทราบค่าอัตราส่วนแรงดันและที่สร้างขึ้นขนานกัน อ่านค่าแรงดันสูงจากโวลต์มิเตอร์วัดค่ายอดซึ่งต่ออยู่กับภาคแรงต่ำของโวลเตจดีไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุ อ่านแรงดันขาออกจากโวลต์มิเตอร์วัดค่ายอดซึ่งต่ออยู่กับภาคแรงต่ำของโวลเตจดีไวเดอร์ที่สร้างขึ้น อัตราส่วนแรงดันอิมพัลส์ของโวลเตจดีไวเดอร์สรุปไว้ในตารางที่ 4.6

4.4.3 โดยการวัดแรงดันเปรียบเทียบกับแกปทรงกลม

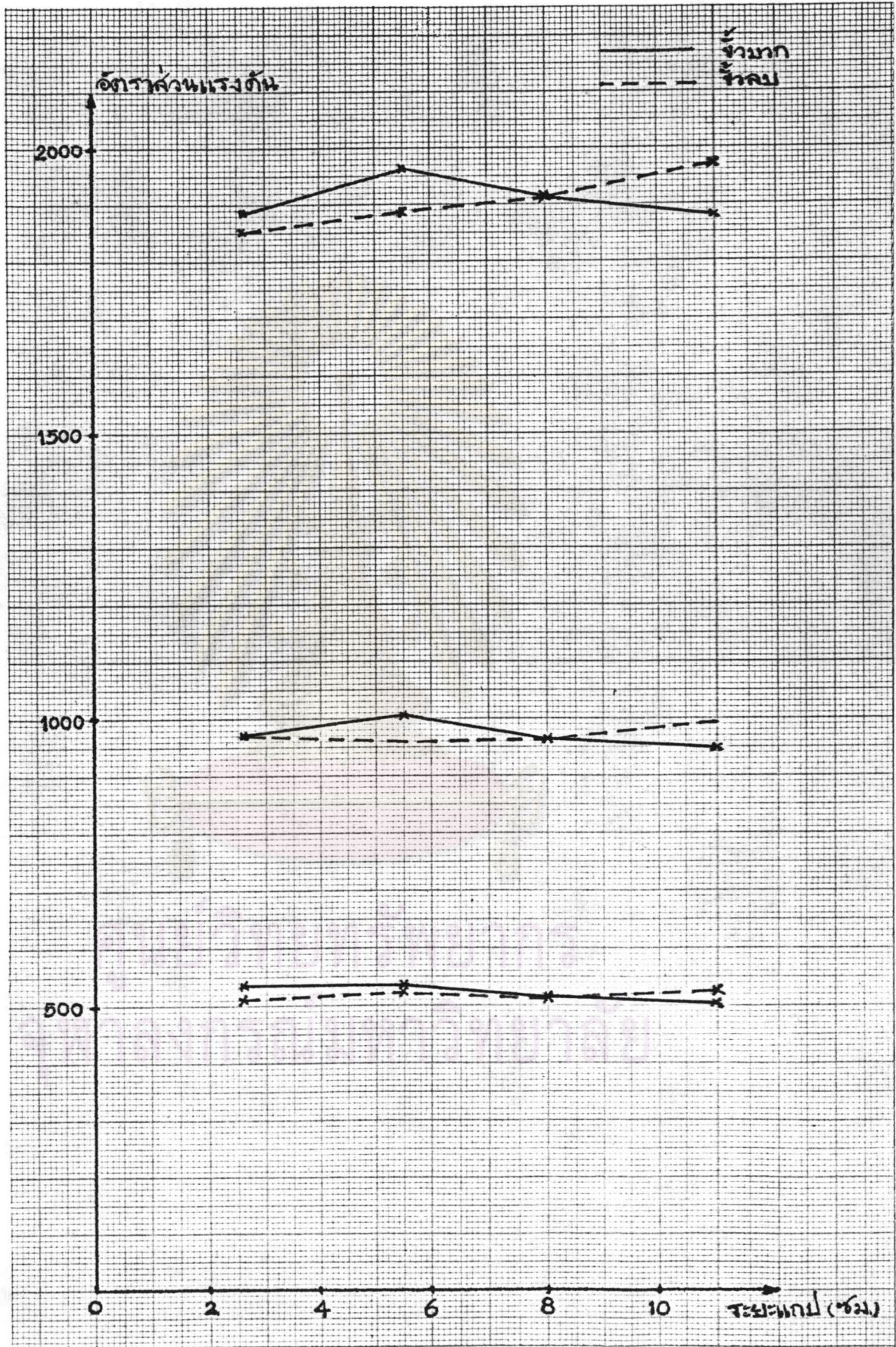
ต่อโวลเตจดีไวเดอร์ที่สร้างขึ้นขนานกับแกปทรงกลมซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 cm ทำการทดลองหาค่าแรงดันเบรกดาว์น 50 % ของแกปทรงกลม ค่าแรงดันสูงเบรกดาว์น 50 % อ่านได้จากตารางเมื่อทราบระยะแกป ส่วนค่าแรงดันต่ำเบรกดาว์น 50 % หาจากค่าที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์วัดค่ายอดซึ่งต่ออยู่กับภาคแรงต่ำของโวลเตจดีไวเดอร์ อัตราส่วนแรงดันที่ได้จากระยะแกปต่างๆแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 อัตราส่วนแรงดันที่ได้จากการวัดเทียบแบบทรงกลม

	C_2 (nF)	261.8		504.7		1006.0	
		หัว	บวก	ลบ	บวก	ลบ	บวก
อัตราส่วน แรงดัน ที่ระยะแกป	2.6 (cm)	533.1	506.9	979.4	968.4	1882.8	1852.3
	5.5 (cm)	534.8	524.1	1006.6	957.5	1961.5	1888.5
	8.0 (cm)	517.8	513.2	966.0	962.3	1909.8	1912.7
	11.0 (cm)	502.4	526.8	948.1	996.3	1881.3	1974.3
อัตราส่วนแรงดันเฉลี่ย		522.0	517.7	975.0	971.1	1908.8	1906.9

จากตารางที่ 4.5 สามารถนำค่าอัตราส่วนแรงดันและระยะแกปไป plot กราฟ แสดงดังรูปที่ 4.13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.13 อัตราส่วนแรงดันที่ระยะทางต่างๆ

ค่าความคลาดเคลื่อนของอัตราส่วนแรงดัน (Δa) จากการทดลองต่างจาก
ทฤษฎี สามารถหาได้จากสมการที่ (4.1) ซึ่งแสดงค่าในตารางที่ 4.6

$$\Delta a = \frac{(a - a_{ref})}{a_{ref}} * 100 \% \quad (4.1)$$

Δa คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของอัตราส่วนแรงดัน

a คือ อัตราส่วนแรงดันที่ได้จากการทดลอง

a_{ref} คือ อัตราส่วนแรงดันที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองหาอัตราส่วนแรงดันอิมพีลส์

C_2 (nF)		261.8		504.7		1006.0	
ตามทฤษฎี (a_{ref})		520.3		1002.1		1995.5	
ชี้วัด		บวก	ลบ	บวก	ลบ	บวก	ลบ
เทียบ ดีไวเตอร์	a	516.4	526.8	973.5	1005.8	1918.5	1974.3
	Δa (%)	-0.75	1.25	-2.85	0.36	-3.85	-1.06
เทียบ แกป ทรงกลม	a	522.0	517.7	975.0	971.1	1908.8	1906.9
	Δa (%)	0.32	-0.49	-2.70	-3.09	-4.34	-4.43

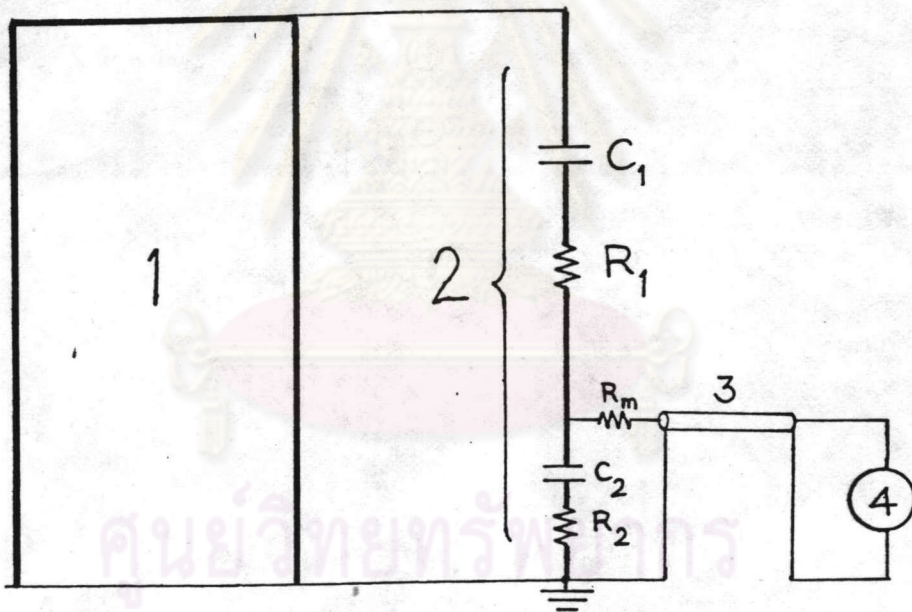
4.5 การทดลองใช้งาน

นำโวลเตจดีไวเดอร์ที่สร้างขึ้นมากทดลองบันทึกรูปคลื่นแรงดันตามสถานที่ที่จะนำไปใช้งานจริง การทดลองทำเป็นขั้นตอนดังนี้

- ก) การวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็ม
- ข) การวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดหน้าคลื่น

4.5.1 การวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็ม

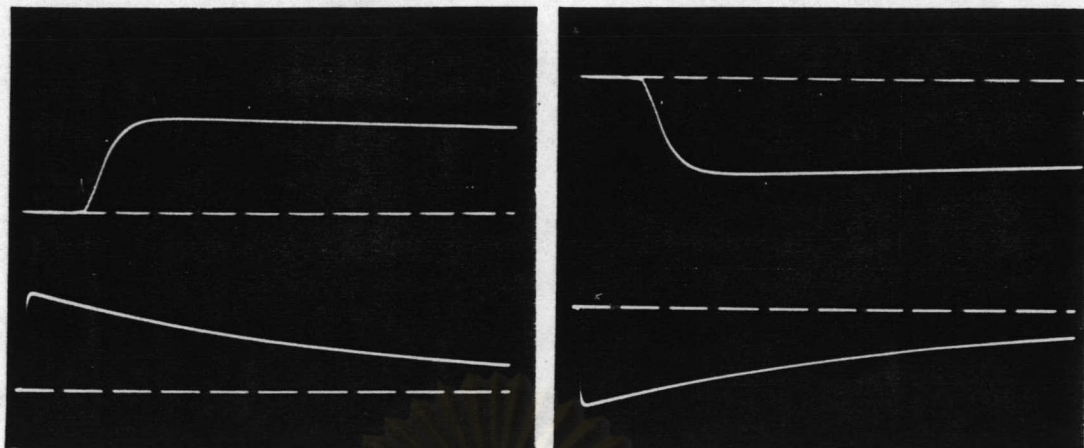
ต่อโวลเตจดีไวเดอร์ที่สร้างขึ้นเข้ากับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ตามวงจรในรูปที่ 4.14



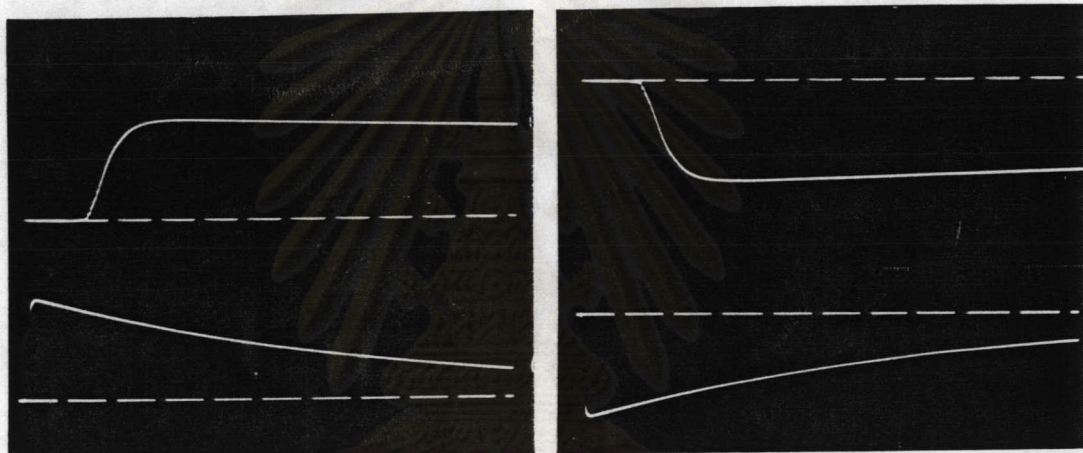
รูปที่ 4.14 วงจรที่ใช้วัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็ม

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------|
| 1 คือ เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ | 2 คือ โวลเตจดีไวเดอร์ |
| 3 คือ เคเบิลวัด | 4 คือ ออสซิลโลสโคป |

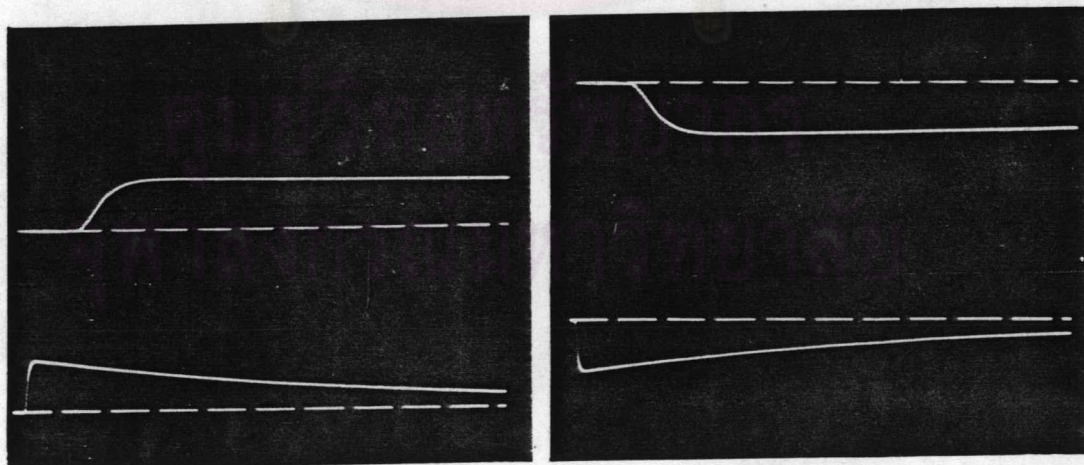
การทดลองนี้ได้ทำการวัดรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ขนาด 210 kV โดยใช้เคเบิล 2 ขนาด คือ ยาว 20 เมตร และ 40 เมตร เพื่อศึกษาผลของความยาวของเคเบิลที่มีต่อรูปคลื่นและขนาดของแรงดัน ออสซิลโลแกรมที่ได้จากการทดลอง แสดงในรูปที่ 4.15 และ 4.16



ก) $C_2 = 261.8 \text{ nF}$

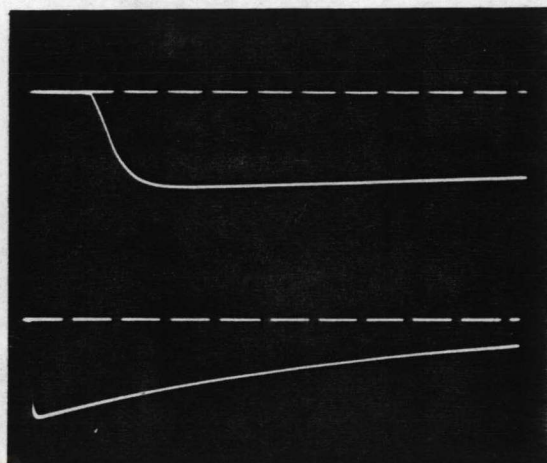
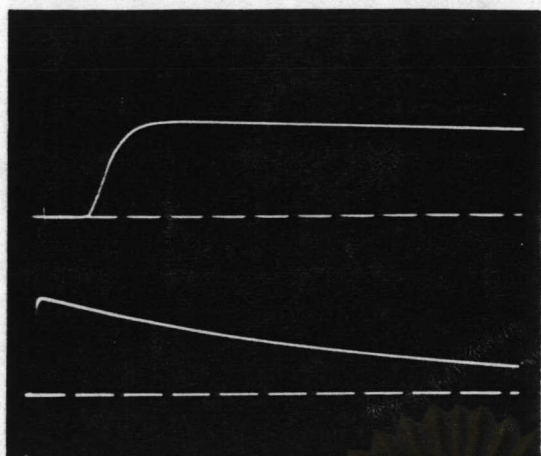


ข) $C_2 = 504.7 \text{ nF}$

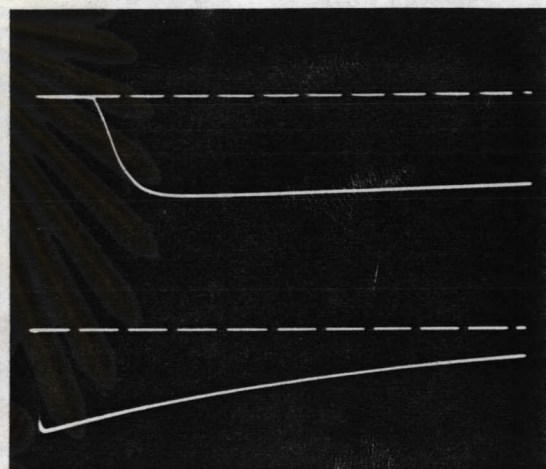
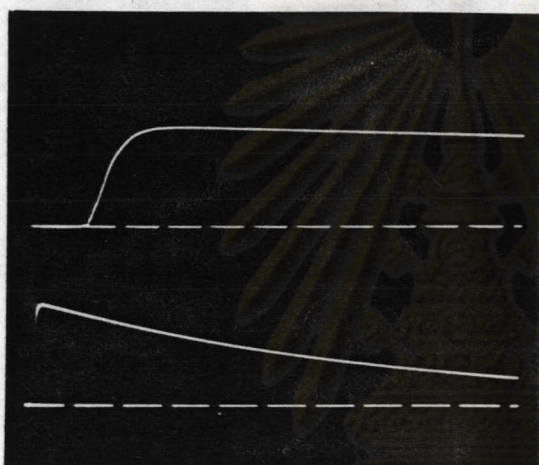


ค) $C_2 = 1.006 \text{ } \mu\text{F}$

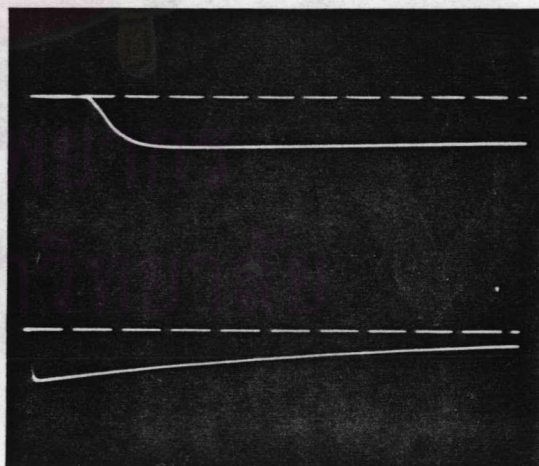
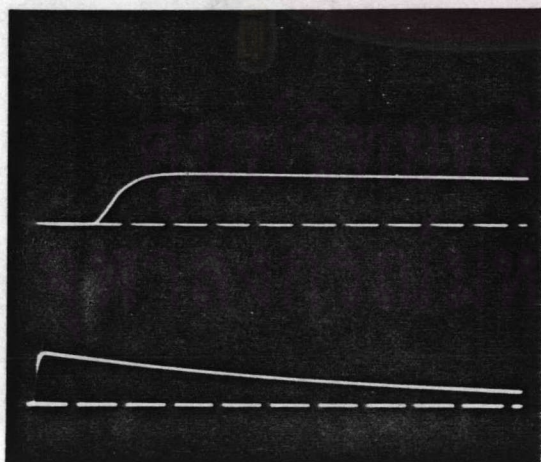
รูปที่ 4.15 แรงดันอินพุตส์รูปคลื่นเต็มวัดด้วยเคเบิลยาว 20 เมตร
สเกลเวลา 1 $\mu\text{s}/\text{div}$ และ 10 $\mu\text{s}/\text{div}$



ก) $C_2 = 261.8 \text{ nF}$



ข) $C_2 = 504.7 \text{ nF}$



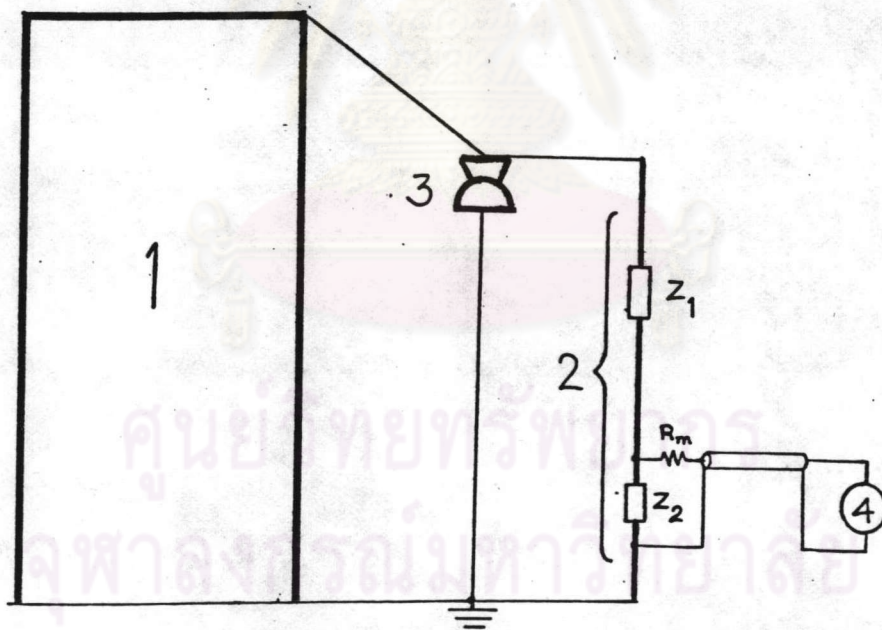
ค) $C_2 = 1.006 \text{ }\mu\text{F}$

รูปที่ 4.16 แรงดันอินพุตส์รูปคลื่นเต็มวัตต์ด้วยเคเบิลยาว 40 เมตร
สเกลเวลา 1 $\mu\text{s/div}$ และ 10 $\mu\text{s/div}$

จากออสซิลโลแกรมรูปที่ 4.15 และ 4.16 จะเห็นได้ว่า ความยาวของเคเบิลวัดไม่มีผลต่อการบันทึกรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ และค่าที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์วัดค่ายอดก็มีค่าเท่ากันด้วย

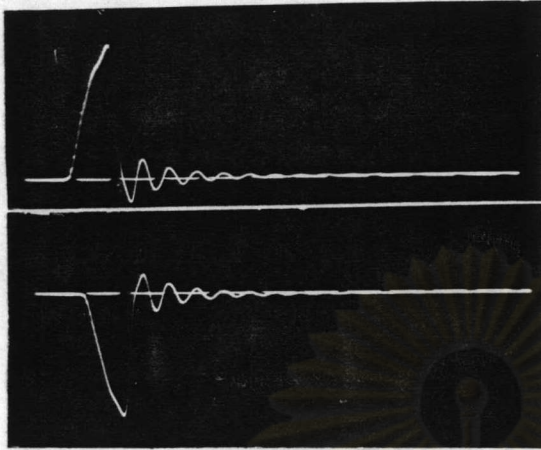
4.5.2 การวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดหน้าคลื่น

นำโวลต์เจดีไวเตอร์ที่สร้างขึ้น ไปวัดแรงดันวาวไฟตามผิวบนลูกถ้วยก้านตรง เปรียบเทียบกับโวลต์เจดีไวเตอร์แบบตัวเก็บประจุขนาด 400 กิโลโวลต์ของ Haefely โดยการป้อนแรงดันอิมพัลส์ขนาด 240 kV ให้กับลูกถ้วยก้านตรง จะเกิดการวาวไฟตามผิวบนลูกถ้วยก่อนถึงค่ายอดแรงดัน วงจรที่ใช้ในการทดลอง แสดงในรูปที่ 4.17

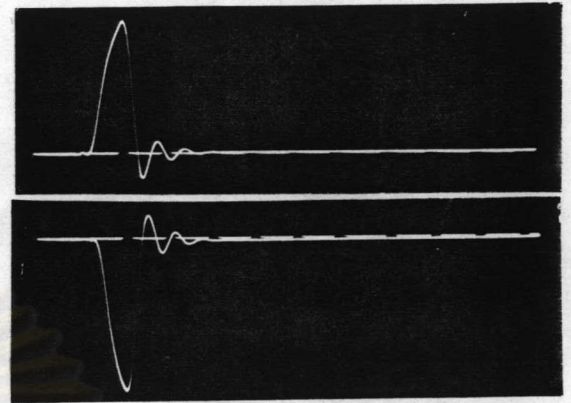
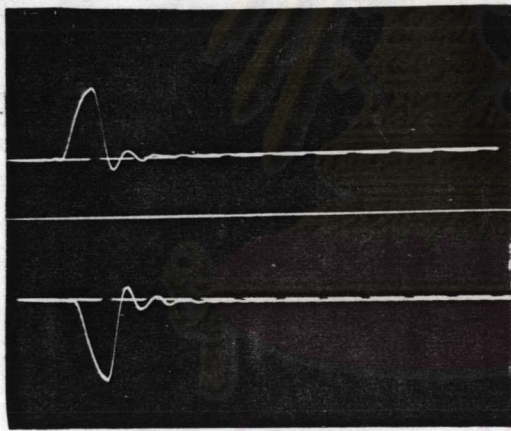
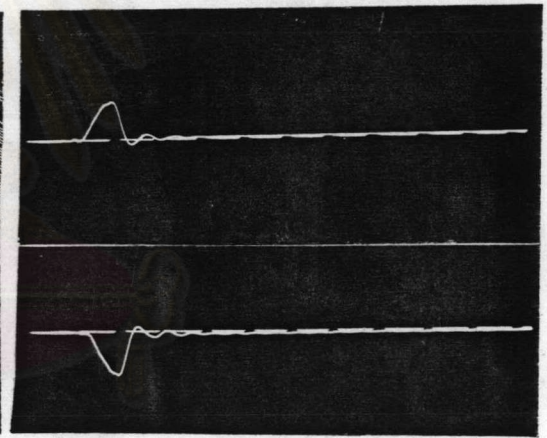


รูปที่ 4.17 วงจรที่ใช้วัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดหน้าคลื่น

- 1 คือ เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์
- 2 คือ โวลต์เจดีไวเตอร์
- 3 คือ ลูกถ้วยก้านตรง
- 4 คือ ออสซิลโลสโคป



ก) Haefely

ข) $C_2 = 261.8 \text{ nF}$ ค) $C_2 = 504.7 \text{ nF}$ ง) $C_2 = 1.006 \text{ }\mu\text{F}$

รูปที่ 4.18 การทดสอบวาวไฟตามฉนวนลูกถ้วยก้านตรง

สเกลเวลา $1 \text{ }\mu\text{s/div}$

จากออสซิลโลแกรมรูปที่ 4.18 ข) - ง) จะเห็นได้ว่า หลังจากที่อยู่คลื่นตัดแล้วจะเกิดการแกว่งอีกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ในรูป ก) จะเกิดการแกว่งอีกมากก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัว ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า โวลเตจดีไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วงมีความไวในการบันทึกการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วได้ดีกว่าโวลเตจดีไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วงในสายนำ (Haefely) [13]