

## บทที่ 4

### การทดสอบและประเมินผล

#### 4.1 บทนำ

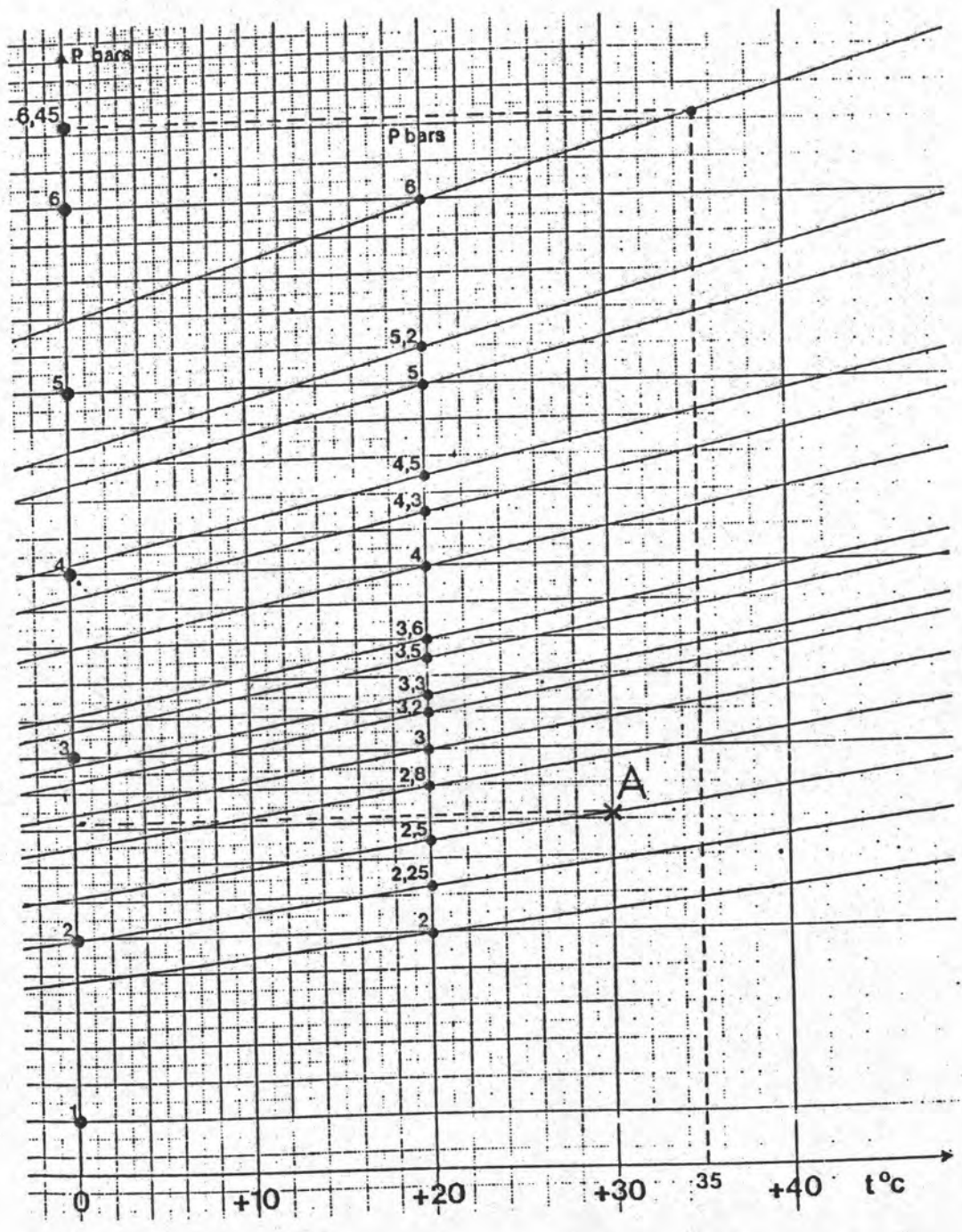
การหาลักษณะสมบัติของโวลเตจดีไวเคอร์ โดยการพิจารณาในทางทฤษฎีนั้น เป็นเพียงการทำนายลักษณะสมบัติเพื่อการแก้ไขปรับปรุง อย่างไรก็ตาม ใดก็ตามที่ปฏิบัติ ลักษณะสมบัติของโวลเตจดีไวเคอร์จะแตกต่างไปจากที่คำนวณได้ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาลักษณะสมบัติของโวลเตจดีไวเคอร์ จากการทดลองและทดสอบ เพื่อให้ทราบว่าโวลเตจดีไวเคอร์ที่สร้างขึ้นมีลักษณะสมบัติเหมาะสมที่จะใช้วัดแรงดันอิมพัลส์ได้ตามที่ออกแบบหรือไม่ มาตรฐาน ไอ อี ซี [2] กำหนดการทดสอบที่สำคัญของโวลเตจดีไวเคอร์สำเร็จรูปไว้สองประการ คือ การหาอัตราส่วนแรงดัน และ การหาผลตอบสนองต่อแรงดันรูปขึ้น แต่ในที่นี่จะทำการตรวจสอบทางกล และ คุณสมบัติทางไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงสูงเพิ่มเติมก่อน แล้วจึงทำการทดสอบและประเมินผลลักษณะสมบัติของโวลเตจดีไวเคอร์ การทดลองและการทดสอบจะทำตามลำดับขั้น ดังต่อไปนี้

- ก) การทดสอบการรั่วซึมของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง
- ข) การวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงสูงและภาคแรงต่ำ
- ค) การทดสอบความคงทนต่อแรงดันที่กำหนดของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง
- ง) การหาผลตอบสนองต่อแรงดันรูปขึ้น
- จ) การหาอัตราส่วนแรงดัน
- ฉ) การทดลองใช้งาน

#### 4.2 การทดสอบการรั่วซึมของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง

เนื่องจากตัวเก็บประจุภาคแรงสูงเป็นแบบก๊าซอัดความดัน จึงต้องตรวจสอบการรั่วซึมของภาชนะบรรจุก๊าซก่อน โดยอัดอากาศที่ความดันประมาณ 3 บาร์ เข้าไปในตัวเก็บประจุภาคแรงสูงที่ประกอบเสร็จแล้ว และปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง โดยสังเกตจากเกจวัดความดัน ปรากฏว่าไม่มีการรั่วซึมใดๆ หลังจากนั้นใช้ปั๊มสูญญากาศ (vacuum pump) ดูดอากาศภายในตัวเก็บประจุออกจนเหลือความดันภายในประมาณ 1 มิลลิเมตรปรอท แล้วดูดต่อไปอีก 1 ชั่วโมง จากนั้นจึงเริ่มอัดก๊าซ  $SF_6$  เข้าไปในตัวเก็บประจุให้ได้ความดันที่ใช้ มีค่า 2.5 บาร์ ที่ 20 องศาเซลเซียส ขณะเติมก๊าซอุณหภูมิห้องมีค่า 30 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้โมเลกุลของก๊าซ  $SF_6$  ในตัวเก็บประจุเท่ากับที่ 2.5 บาร์ ที่ 20 องศาเซลเซียส จึงต้องหาความดันก๊าซที่จะเติมที่ 30 องศาเซลเซียส จากกราฟในรูปที่ 4.1 [13] จะได้ว่าต้องอัดก๊าซเข้าไปในตัวเก็บประจุเท่ากับ 2.65 บาร์ ในการทดลองนี้ได้อัดก๊าซ  $SF_6$  เข้าไปจนถึงความดัน 3 บาร์ เพื่อให้สามารถสังเกตการรั่วซึมได้เด่นชัด

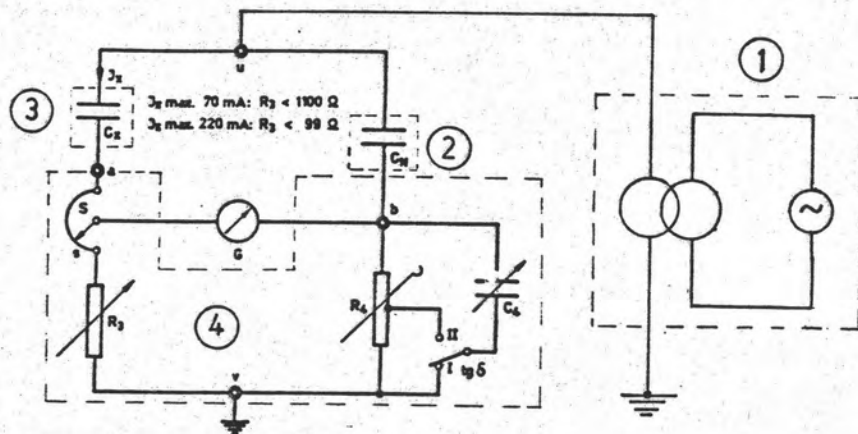
หลังจากอัดก๊าซเรียบร้อยแล้ว ใช้ Halogen Detector ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจสอบก๊าซ  $SF_6$  อุปกรณ์นี้จะส่งสัญญาณเสียงออกมาที่ความถี่ต่างๆ กัน ถ้าตรวจพบก๊าซ  $SF_6$  ที่ปริมาณต่างๆ กัน ผลการตรวจสอบปรากฏว่าไม่พบการรั่วซึมของก๊าซ  $SF_6$  ออกมาจากตัวเก็บประจุภาคแรงสูง การตรวจสอบด้วย Halogen Detector และ อ่านเกจวัดความดัน ได้ทำต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลานาน 1 เดือน ผลปรากฏว่าไม่มีการรั่วซึมของก๊าซออกมานอกตัวเก็บประจุ จึงมั่นใจว่าไม่มีการรั่วซึมเกิดขึ้น



รูปที่ 4.1 แสดงความดันของก๊าซ SF<sub>6</sub> ที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ

### 4.3 การวัดค่าความจุไฟฟ้า

การวัดค่าความจุไฟฟ้าจะวัดทั้งตัวเก็บประจุภาคแรงสูงและแรงต่ำ โดยใช้วงจร Schering Bridge (14) ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 วงจรทดลองหาค่าความจุไฟฟ้า

- 1 คือ แหล่งจ่ายแรงดัน
- 2 คือ ตัวเก็บประจุมาตรฐาน
- 3 คือ ตัวเก็บประจุที่ต้องการหาค่าความจุไฟฟ้า
- 4 คือ Schering Bridge

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

- ก) Schering Bridge, Type 2801 และอุปกรณ์ประกอบ (14)
- ข) Guard Potential Regulator, Type 2901
- ค) Null Indicator, Tettex AG 5511 DM
- ง) Variac 0-260 V 10 kVA



- จ) Digital Voltmeter, FLUKE-23
- ฉ) Test Transformer 0-500 kV 250 kVA และอุปกรณ์วัดแรงดัน
- ช) Standard capacitor 101.373pF 500kV, compressed CO<sub>2</sub>, MICAFIL Ltd.

การวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงสูงจะวัดที่แรงดันตั้งแต่ 100-250 กิโลโวลต์ ผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง

| แรงดัน<br>(กิโลโวลต์)          | 100    | 150    | 225    | 250    |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| ค่าความจุไฟฟ้า<br>(นิโคฟาร์ัด) | 115.24 | 115.24 | 115.24 | 115.24 |
|                                | 115.22 | 115.22 | 115.23 | 115.23 |

จากตารางที่ 4.1 จะได้ค่าความจุไฟฟ้าเฉลี่ยของตัวเก็บประจุภาคแรงสูงมีค่า 115.23 นิโคฟาร์ัด ความจุไฟฟ้าที่วัดได้จะสูงกว่าค่าที่คำนวณจากลักษณะโครงสร้างของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง ในหัวข้อ 3.2.3 ซึ่งมีค่า 110.4 นิโคฟาร์ัด ทั้งนี้เพราะการคำนวณค่าความจุไฟฟ้าได้ละเลยความจุไฟฟ้าบางส่วนไป เพื่อให้คำนวณได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้การหนีศูนย์ระหว่างอิเล็กโทรดทรงกระบอกในและนอกจะทำให้ค่าความจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย [1]

การวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ ทำเช่นเดียวกับ ตัวเก็บประจุภาคแรงสูง แต่ใช้แรงดันตั้งแต่ 100-250 โวลต์ ผลการทดลอง ที่ได้ แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ

| แรงดัน<br>(โวลต์)             | 100                    | 200                    | 250                    |
|-------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| ค่าความจุไฟฟ้า<br>(พิโคฟารัด) | 105158.71<br>104463.05 | 105158.71<br>104463.05 | 105158.71<br>104463.05 |



จากตารางที่ 4.2 ค่าความจุไฟฟ้าเฉลี่ยของตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ มีค่า 104810.9 พิโคฟารัด

ค่าความจุไฟฟ้าจะน้อยกว่าที่คำนวณในหัวข้อ 3.3.3 ซึ่งมีค่า 10800 พิโคฟารัด เนื่องจากเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนในองค์ประกอบที่ใช้

#### 4.4 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันที่กำหนดของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง

เพื่อให้มั่นใจได้ว่า การฉนวนภายในตัวเก็บประจุภาคแรงสูงจะไม่เกิดเบรกดาวนั้ในขณะที่ใช้งานอันจะทำให้เกิดความเสียหายและอันตรายขึ้น จึงต้องนำตัวเก็บประจุที่สร้างขึ้นมาทดสอบความคงทนต่อแรงดัน ตัวเก็บประจุที่สร้างขึ้นอาจจะนำไปใช้กับแรงดันกระแสสลับหรือแรงดันอิมพัลส์ ซึ่งมีค่าแรงดันที่กำหนด 200 และ 400 กิโลโวลต์ ตามลำดับ จึงทดสอบความคงทนต่อแรงดันทั้งแรงดันกระแสสลับและแรงดันอิมพัลส์ด้วยแรงดันทดสอบมีค่าเท่ากับ 1.2 เท่าของแรงดันที่กำหนดตามข้อกำหนด ไอ อี ซี [2]

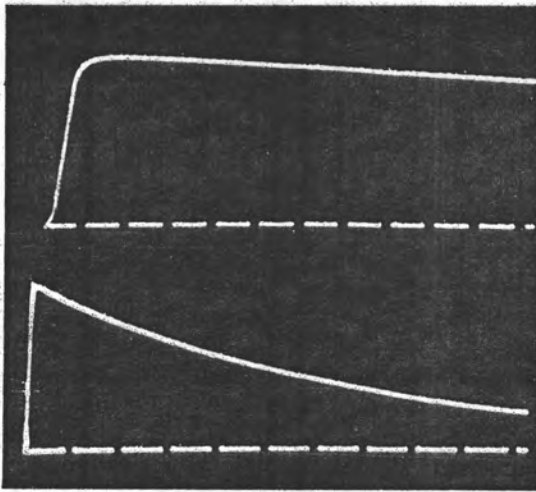
#### 4.4.1 ความคงทนต่อแรงดันกระแสสลับ

ทดสอบฉนวนด้วยแรงดันกระแสสลับความถี่พลังงานเป็นเวลา 1 นาที ถ้าไม่มีเบรกดาว์นหรือวาบไฟตามผิวเกิดขึ้น จะถือว่าฉนวนนั้นผ่านการทดสอบ ในการทดสอบนี้ป้อนแรงดันทดสอบ 250 กิโลโวลต์ เป็นเวลานาน 2 นาที ปรากฏว่าไม่มีเบรกดาว์นภายในตัวเก็บประจุหรือวาบไฟตามผิวท่อนิวทรีเกิดขึ้น

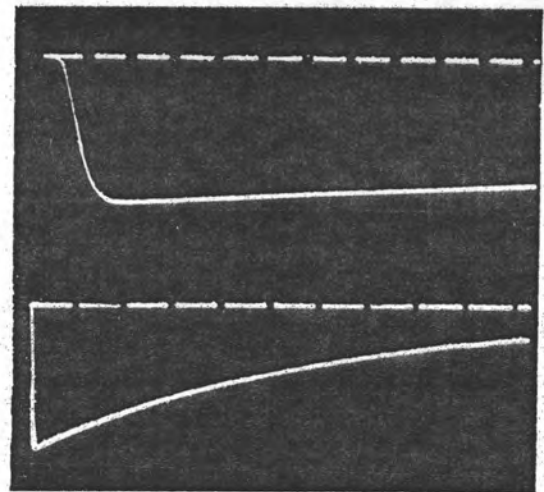
#### 4.4.2 ความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์

การทดสอบฉนวนที่คืนสภาพการเป็นฉนวนหลังเกิดเบรกดาว์น จะทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นกำหนดชั้วบวกหรือชั้วลบ ตามแรงดันทดสอบที่กำหนด จำนวน 15 ครั้ง ถ้ามีการเบรกดาว์นหรือวาบไฟตามผิวเกิดขึ้นไม่เกินสองครั้ง จะถือว่าฉนวนนั้นผ่านการทดสอบ โวลเตจดีไวเดอร์ที่สร้างขึ้นจะใช้วัดแรงดันอิมพัลส์ทั้งชั้วลบและชั้วบวก จึงทดสอบตัวเก็บประจุภาคแรงสูงด้วยแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐานขนาด 480 กิโลโวลต์ ทั้งชั้วลบและชั้วบวก ชั้วลบ 15 ครั้ง ดังรูปที่ 4.3

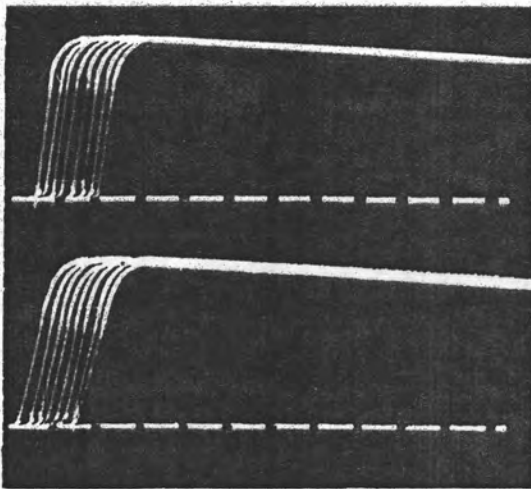
จากการทดสอบสรุปได้ว่า ตัวเก็บประจุภาคแรงสูงที่สร้างขึ้นสามารถทนต่อแรงดันกระแสสลับความถี่พลังงาน 250 กิโลโวลต์ และทนต่อแรงดันอิมพัลส์ 480 กิโลโวลต์ ได้



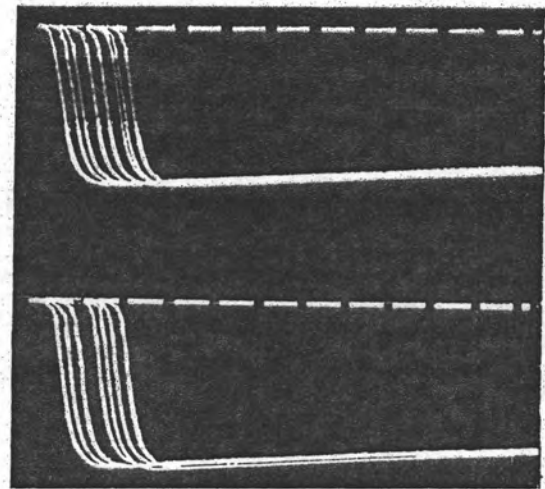
ก)



ข)



ค)



ง)

รูปที่ 4.3 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง

ก) รูปคลื่นแรงดันทดสอบชั่วคราว 0.9/47  $\mu$ s

ข) รูปคลื่นแรงดันทดสอบชั่วคราว 0.9/49  $\mu$ s

ค) ความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ชั่วคราว 480 kV 16 ครั้ง

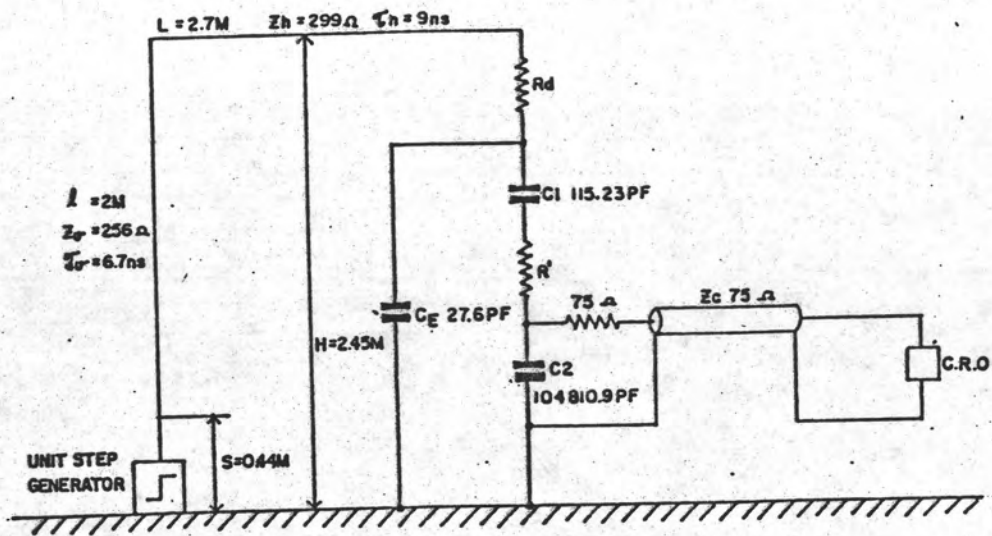
ง) ความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ชั่วคราว 490 kV 15 ครั้ง



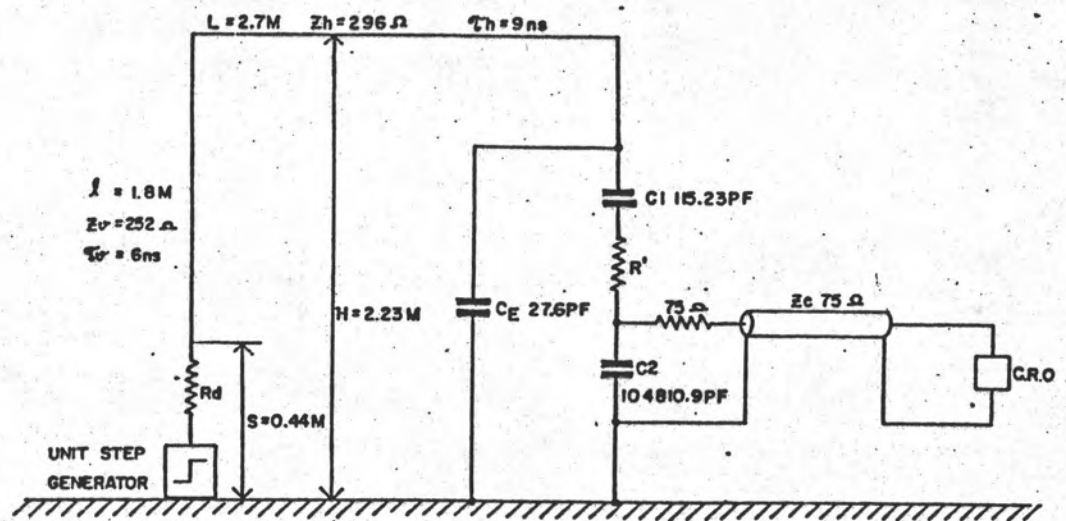
#### 4.5 การทดลองหาผลตอบสนองต่อแรงดันรูปขึ้น

##### 4.5.1 บทนำ

การทดลองจะทำแยกเป็นสองวงจร วงจรแรกความต้านทานหน้า  $R_d$  จะต่ออยู่ที่ขั้วแรงสูงของโวลเทจดีไวเดอร์ ดังในรูปที่ 4.4 วงจรที่สองความต้านทานหน้า  $R_d$  จะต่ออยู่ที่ขาเข้าของสายนำแรงสูงในแนวตั้ง ดังรูปที่ 4.5

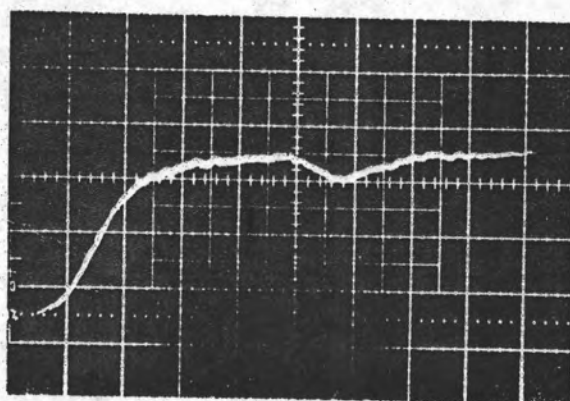


รูปที่ 4.4 วงจรทดลองหาผลตอบสนองรูปขึ้นแบบระบบสององค์ประกอบ



รูปที่ 4.5 วงจรทดลองหาผลตอบสนองรูปขึ้นแบบระบบสามองค์ประกอบ

เครื่องกำเนิดแรงดันรูปขึ้นที่ใช้เป็นของ Haefely, Type 40 ซึ่งสามารถกำเนิดแรงดันรูปขึ้นได้ 150 โวลต์ มีเวลาขึ้น 25 นาโนวินาที ดังรูปที่ 4.6



สเกลแรงดัน 50 V/div.

สเกลเวลา 20 ns/div.

รูปที่ 4.6 แรงดันทดสอบรูปขึ้น



สายนำแวนดิ่งใช้ท่อลูมิเนียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.9 เซ็นติเมตร ความยาวดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5 เมื่อใช้สมการ (2.42) และ (2.44) จะได้  $Z_v = 256$  และ  $252 \Omega$   $\tau_v = 6.7$  และ  $6$  ns ตามลำดับ

สายนำแวนอนใช้ท่อลูมิเนียมเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.1 เซ็นติเมตร ยาว 2.7 เมตร สูงจากพื้นดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5 เมื่อใช้สมการ (2.43) และ (2.45) จะได้  $Z_h = 299$  และ  $296 \Omega$   $\tau_h = 9$  ns ตามลำดับ

$C_e$  เป็นค่าความจุไฟฟ้าสเตรลงดินของอิเล็กทรอนิกส์ทรงกระบอกนอกในตัวเก็บประจุภาคแรงสูง จากมิติของตัวเก็บประจุภาคแรงสูงที่สร้างขึ้น  $l = 0.96$  เมตร  $h = 1.2$  เมตร ( คู่มิติกายนอกของตัวเก็บประจุภาคแรงสูงในภาคผนวก )  $d = 0.24$  เมตร ( อิเล็กทรอนิกส์ทรงกระบอกนอกหนา 0.5 เซ็นติเมตร ) เมื่อนำค่าเหล่านี้แทนลงในสมการ (2.31) โดยที่  $\epsilon_r = 1$  จะได้  $C_e = 27.6$  พิโคฟารัด

สายเคเบิลวัดใช้ชนิด UHF มีเลิร์จจิมพีแดนซ์  $75 \Omega$  ยาว 28 เมตร

ออสซิลโลสโคปที่ใช้เป็นของ Tektronix, Type 464 มีแบนด์วิธ 150 เมกกะเฮิรตซ์ และอินพุทอิมพีแดนซ์ 1 เมกกะโอห์ม // 20 พิโคฟารัด

สายกราวด์ใช้แผ่นทองแดงแบนกว้าง 11.5 เซ็นติเมตร ความยาวทั้งสิ้น 3.15 เมตร

ความต้านทานหน้า  $R_e$  เป็นแบบเส้นลวดพันให้มีความเหนียวนำต่ำ

ความต้านทานแมชซิ่ง  $R'$  เป็นแบบฟิล์มโลหะออกไซด์

ในแต่ละวงจรทดลองจะเปลี่ยนค่า  $R_u$  และ  $R'$  เพื่อดูผลของความต้านทานทั้งสองที่มีต่อผลตอบสนองรูปขึ้น

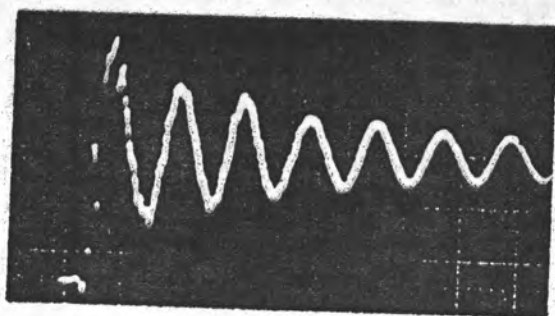
#### 4.5.2 ผลของความต้านทานหน่วงในสายนำแรงสูง

ใช้วงจรทดลองรูปที่ 4.4 และ 4.5 โดยให้  $R' = 0 \Omega$  ทดลองหาผลตอบสนองรูปขึ้นโดยการเปลี่ยนค่า  $R_u$  (ใช้  $R_u$  สำเร็จรูปที่หาได้ในห้องปฏิบัติการ) ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

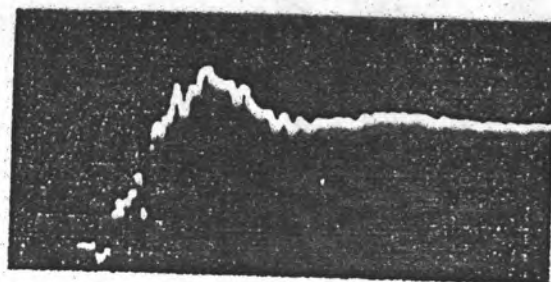
จากออสซิลโลแกรมจะสรุปได้ดังนี้

- ก) การต่อความต้านทานหน่วงที่ขาเข้าของสายนำแรงสูง จะให้ผลตอบสนองดีกว่าการต่อความต้านทานหน่วงไว้ที่ขั้วแรงสูงของโวลเตจดีไวเดอร์
- ข) ความต้านทานหน่วงที่พอเหมาะในการทดลองนี้มีค่า  $290 \Omega$  ซึ่งใกล้เคียงกับเลิร์จอิมแพคแดนซ์ของสายนำแรงสูงแวนอนที่ใช้ ( $296$  และ  $299 \Omega$ )
- ค) ความต้านทานหน่วงในสายนำแรงสูง จะลดการแกว่งความถี่ต่ำที่เกิดขึ้นจากสเตรดินคัตแดนซ์ในสายนำแรงสูง กับตัวเก็บประจุภายในโวลเตจดีไวเดอร์
- ง) ความต้านทานหน่วงมีผลต่อเวลาตอบสนอง และเวลาขึ้น ของระบบวัดและโวลเตจดีไวเดอร์ ถ้าค่าความต้านทานหน่วงต่ำ เวลาตอบสนอง และเวลาขึ้นจะน้อย แต่ผลตอบสนองจะเกิดการแกว่ง ถ้าค่าความต้านทานหน่วงมาก เวลาตอบสนองและเวลาขึ้นจะมากขึ้น

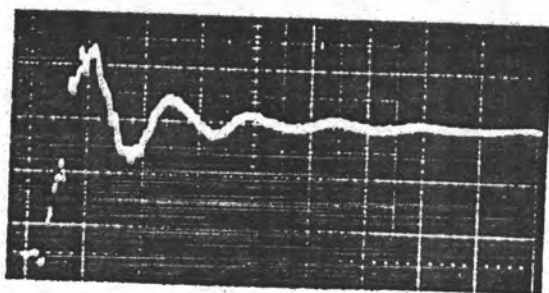




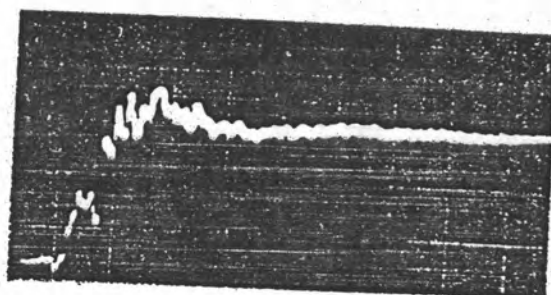
ก)  $R_d = 0 \Omega$



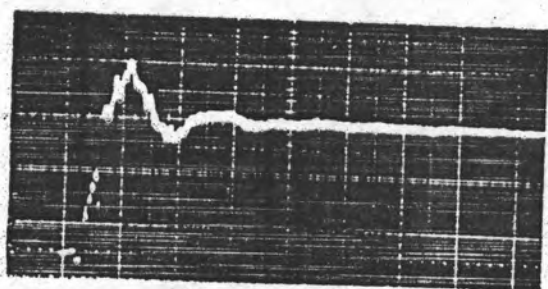
ง)  $R_d = 250 \Omega$



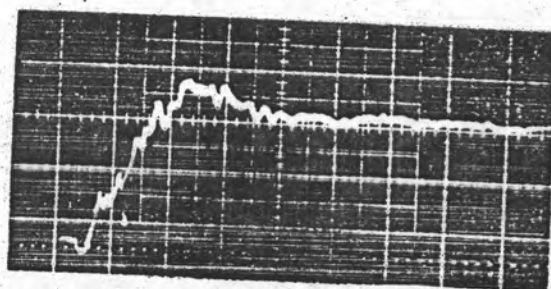
ข)  $R_d = 100 \Omega$



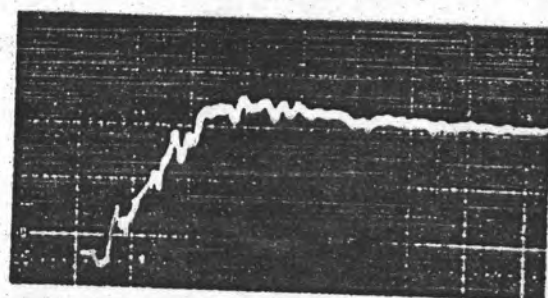
จ)  $R_d = 290 \Omega$



ค)  $R_d = 200 \Omega$



ฉ)  $R_d = 330 \Omega$

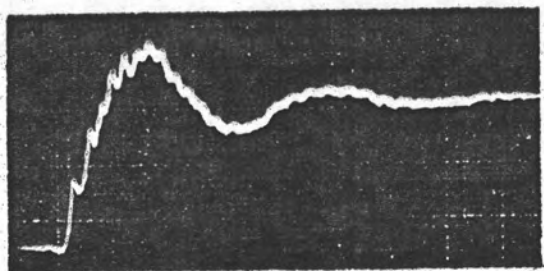
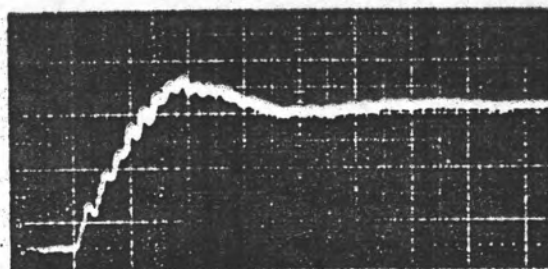
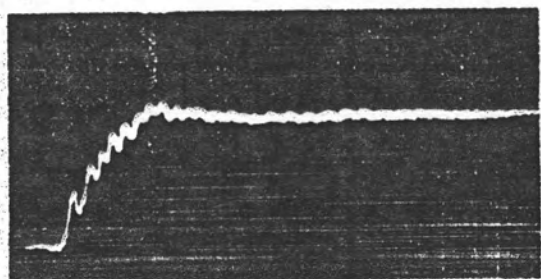
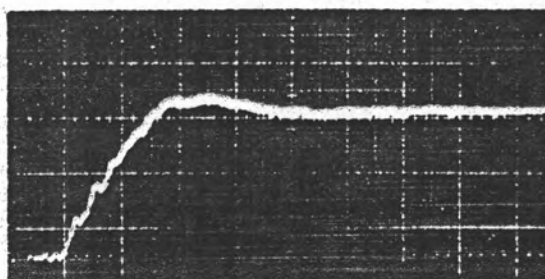


ช)  $R_d = 500 \Omega$

รูปที่ 4.7 ผลของความต้านทานหน่วง  $R_d$  ที่มีต่อผลตอบสนองรูปขึ้นในวงจรทดลอง  
รูปที่ 4.4  $R' = 0\Omega$  สเกลแรงดัน 50 mV/div.

รูป ก)-ค) สเกลเวลา 0.2  $\mu\text{s}/\text{div}$ .

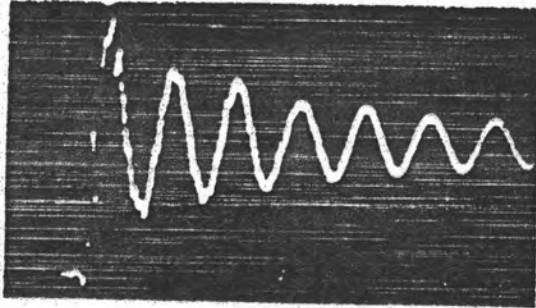
รูป ง)-ช) สเกลเวลา 0.1  $\mu\text{s}/\text{div}$ .

ก)  $R_d = 100 \Omega$ ข)  $R_d = 250 \Omega$ ค)  $R_d = 290 \Omega$ ง)  $R_d = 330 \Omega$ 

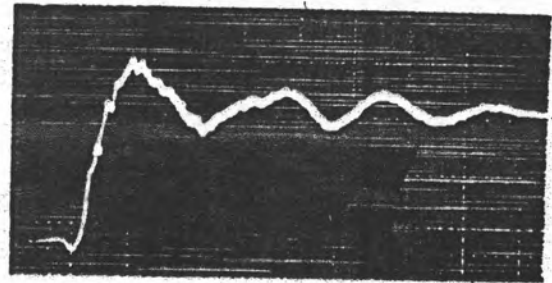
รูปที่ 4.8 ผลของความต้านทานหน่วง  $R_d$  ที่มีต่อผลตอบสนองรูปขึ้นในวงจรถดลอง  
รูปที่ 4.5  $R' = 0\Omega$  สเกลแรงดัน 50 mV/div.  
สเกลเวลา 0.1  $\mu$ S/div.

4.5.3 ผลของความต้านทานแมชซึ่งระหว่างตัวเก็บประจุภาคแรงสูง  
และแรงต่ำ

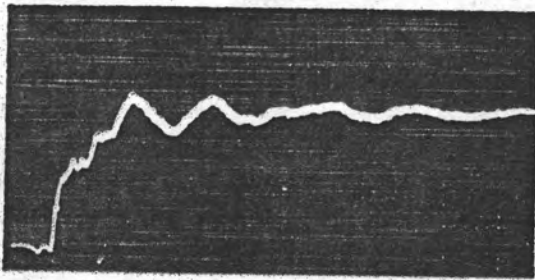
ใช้วงจรทดลองรูปที่ 4.5 และให้  $R_d = 0 \Omega$  ทดลองหา  
ผลตอบสนองรูปขึ้นโดยการเปลี่ยนค่า  $R'$  ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.9



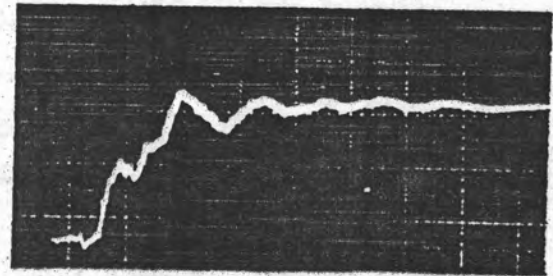
ก)  $R' = 0 \Omega$



ข)  $R' = 120 \Omega$



ค)  $R' = 370 \Omega$



ง)  $R' = 470 \Omega$

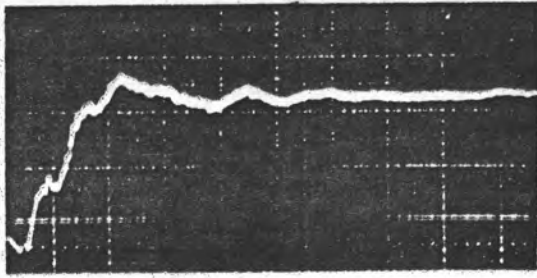
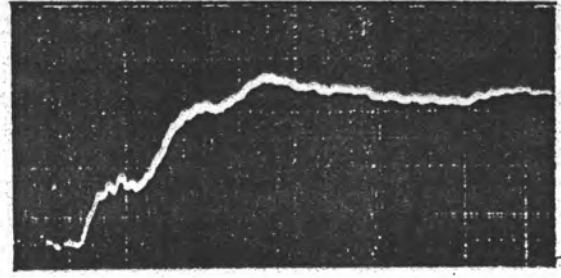
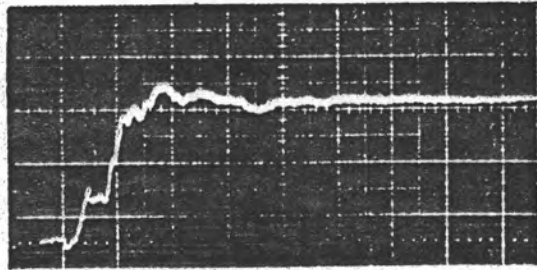
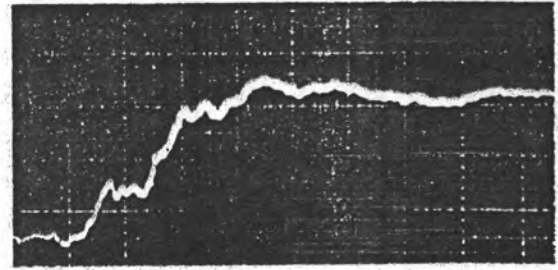
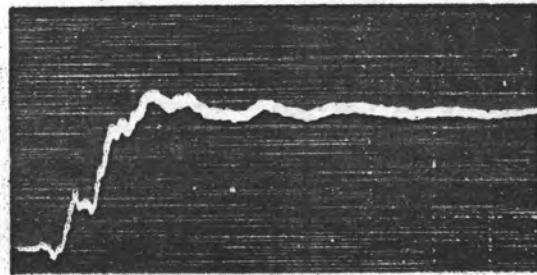
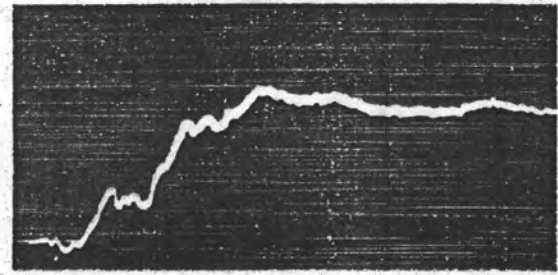
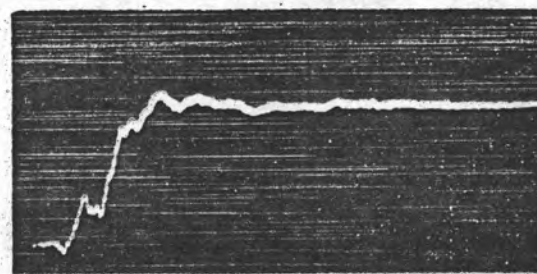
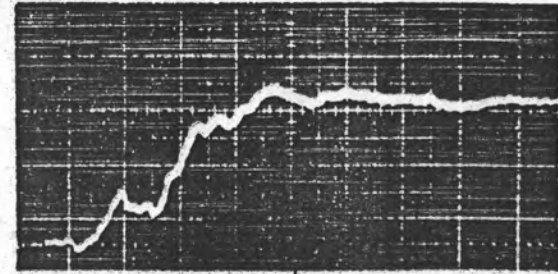
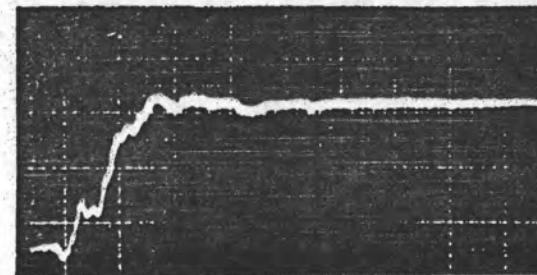
รูปที่ 4.9 ผลของความต้านทานแมชซึ่ง  $R'$  ที่มีต่อผลตอบสนองรูปขึ้นในวงจรทดลอง  
รูปที่ 4.5  $R_d = 0 \Omega$  สเกลแรงดัน 50 mV/div.

รูป ก) สเกลเวลา 0.2  $\mu$ S/div

รูป ข)-ง) สเกลเวลา 0.1  $\mu$ S/div.

จากออสซิลโลแกรมทำให้ทราบว่า  $R'$  ช่วยลดการแกว่งความถี่สูงได้  
จึงทำการทดลองโดยใช้  $R_d = 290 \Omega$  แล้วทดลองเปลี่ยนค่า  $R'$  ผลการทดลอง  
แสดงในรูปที่ 4.10 และ 4.11



ก)  $R' = 75 \Omega$ ฉ)  $R' = 75 \Omega$ ข)  $R' = 100 \Omega$ ช)  $R' = 100 \Omega$ ค)  $R' = 120 \Omega$ ฅ)  $R' = 120 \Omega$ ง)  $R' = 150 \Omega$ ฉ)  $R' = 150 \Omega$ จ)  $R' = 180 \Omega$ 

รูปที่ 4.10

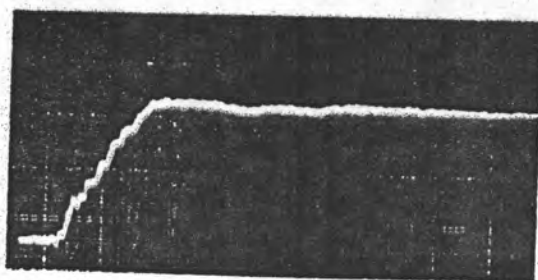
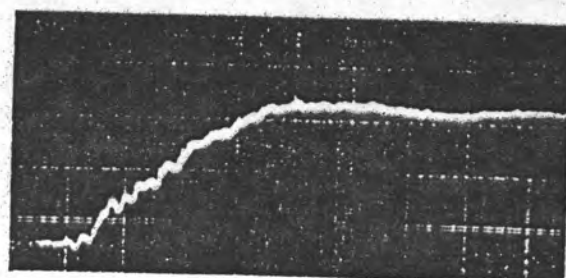
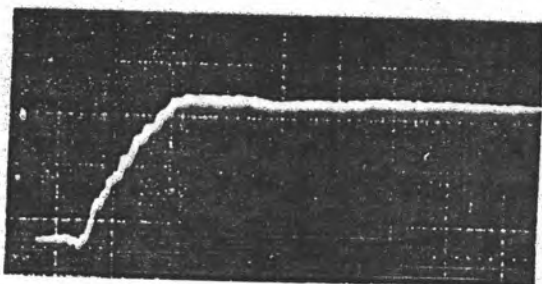
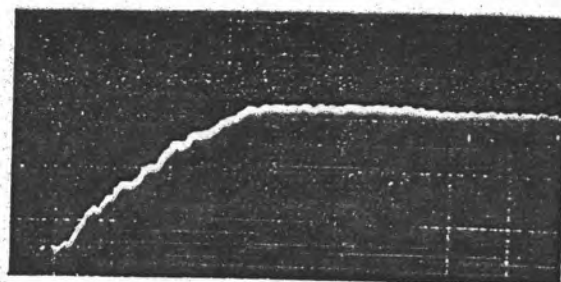
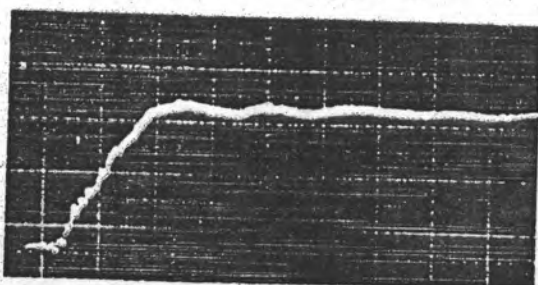
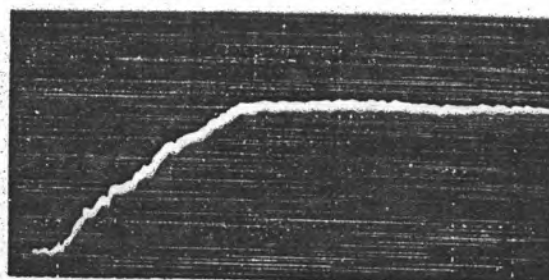
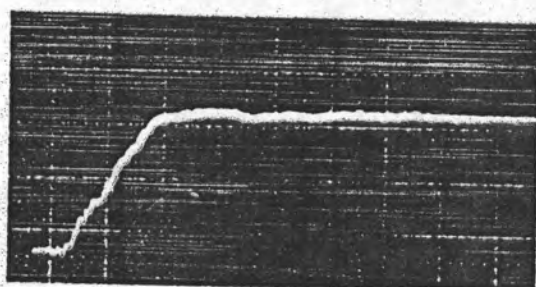
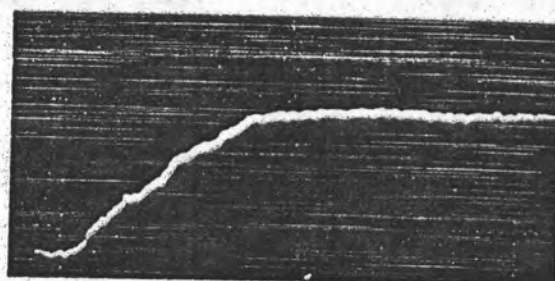
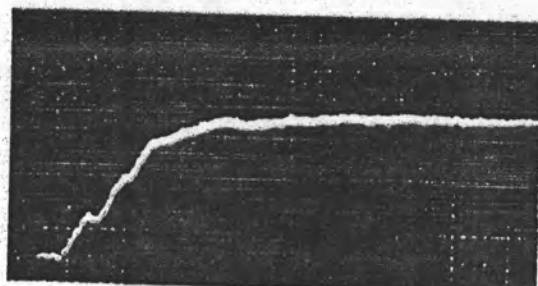
ผลของความต้านแมชซึ่ง  $R'$  ที่มีต่อ  
ผลตอบสนองรูปขึ้นในวงจรถดลองรูปที่ 4.4  $R_d = 290 \Omega$ 

สเกลแรงดัน 50 mV/div.

รูป ก)-จ) สเกลเวลา 0.1  $\mu$ S/div.

รูป ฉ)-ฉ) สเกลเวลา 50 ns/div.



ก)  $R' = 75 \Omega$ ฉ)  $R' = 75 \Omega$ ข)  $R' = 100 \Omega$ ช)  $R' = 100 \Omega$ ค)  $R' = 120 \Omega$ ฅ)  $R' = 120 \Omega$ ง)  $R' = 150 \Omega$ ฉ)  $R' = 150 \Omega$ จ)  $R' = 370 \Omega$ 

## รูปที่ 4.11

ผลของความต้านแมชซึ่ง  $R'$  ที่มีต่อ  
ผลตอบสนองรูปขึ้นในวงจรถดลอง  
รูปที่ 4.5  $R_d = 290 \Omega$   
สเกลแรงดัน 50 mV/div.

รูป ก)-จ) สเกลเวลา 0.1  $\mu$ S/div.

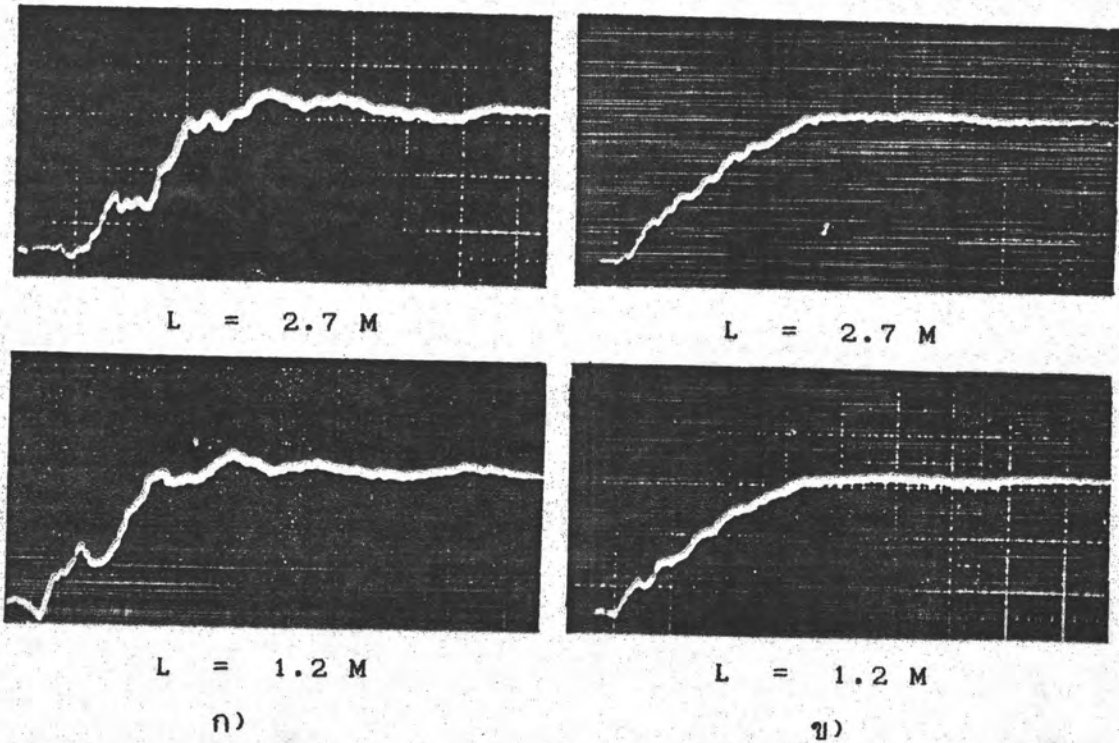
รูป ฉ)-ฉ) สเกลเวลา 50 ns/div.

จากออสซิลโลแกรมสรุปได้ว่า

- ก) ความต้านทานแมชซิ่ง  $R'$  จะช่วยลดการแกว่งความถี่สูงที่เกิดจากการสะท้อนของคลื่นจรีในสายนำระหว่างตัวเก็บประจุภาคแรงสูงกับแรงต่ำ
- ข) ความต้านทานแมชซิ่ง  $R'$  มีผลต่อเวลาตอบสนองและเวลาขึ้นของโวลเตจดีไวเดอร์ และระบบวัดเหมือนความต้านทานหน่วง  $R_d$
- ค) ความต้านทานแมชซิ่ง  $R'$  ที่พอเหมาะในการทดลองนี้อยู่ในช่วง 100-150  $\Omega$  ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเลิร์จจิมพีแดนซ์ของสายนำแรงต่ำในตัวเก็บประจุภาคแรงสูง (131  $\Omega$ )
- ง) ความต้านทานแมชซิ่ง  $R'$  ช่วยลดการแกว่งความถี่ต่ำได้แต่ไม่ดีเท่าความต้านทานหน่วง  $R_d$

#### 4.5.4 ผลของความยาวสายนำแรงสูงแนวนอน

ใช้วงจรทดลองรูปที่ 4.4 และ 4.5 แต่ขยับเครื่องกำเนิดแรงดันรูปขึ้นให้ห่างจากโวลเตจดีไวเดอร์ 1.2 เมตร เพื่อจะดูผลของความยาวสายนำแรงสูงแนวนอนที่มีต่อลักษณะสมบัติของโวลเตจดีไวเดอร์ ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ผลของความยาวสายนำแรงสูงแวนอนที่มีต่อผลตอบสนองรูปขึ้น  
 $R_s = 290 \Omega$     $R' = 100 \Omega$    สเกลแรงดัน 50 mV/div.  
 สเกลเวลา 50 ns/div.

ก) วงจรทดลองรูปที่ 4.4

ข) วงจรทดลองรูปที่ 4.5

จากออสซิลโลแกรมสรุปได้ว่า ความยาวสายนำแรงสูงแวนอนในช่วง  
 1.2-2.7 เมตร ไม่มีผลต่อลักษณะสมบัติของโวลเตจดีไวเคอร์



## 4.5.5 การหาเวลาตอบสนอง

ตามข้อกำหนด ไอ อี ซี (2) ได้กำหนดเวลาตอบสนองที่ต้องการของระบบวัดตามลักษณะของแรงดันที่วัด ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เวลาตอบสนองที่ต้องการของระบบวัด

| รูปคลื่นแรงดันที่วัด                                  | เวลาตอบสนองที่ต้องการ  |
|---|------------------------|
| แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 1.2/50 $\mu$ S          | $ T  \leq 0.2 \mu$ S   |
| และแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดที่ยอดคลื่น หรือหลังคลื่น |                        |
| แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดหน้าคลื่นเพิ่มอย่างเชิงเส้น  | $ T  \leq 0.05T_r$ และ |
| มีเวลาขึ้นเป็น $T_r$                                  | $ T  \leq 0.2 \mu$ S   |
| แรงดันอิมพัลส์แบบสวิชซึ่งทุกแบบ                       | $ T  \leq 0.03T_r$ และ |
|   | $ T  \leq 0.03T_{or}$  |

เมื่อระบบวัดตัดแปลงเป็นแบบสององค์ประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ความต้านทานหน่วงจะถือเป็นส่วนหนึ่งของโวลเตจดีไวเดอร์

จากสมการที่ (2.36) เมื่อ  $Z_c(0) \rightarrow \infty$  จะได้

$$T_m^o = T_c \quad (4.1)$$

จากสมการ (2.24)

$$T_c = C_2 \cdot (R_d + R')/N + R_d \cdot C_E \quad (4.2)$$



สมการ (4.1) แสดงว่าเวลาตอบสนองของระบบวัดไม่ขึ้นกับเวลาจร  
ในสายนำแรงสูง นั่นคือ

$$T_m^o = T_n \quad (4.3)$$

$$T = T_n \quad (4.4)$$

$$T_v = T \quad (4.5)$$

จากค่าตัวประกอบวงจรในรูปที่ 4.4 ออสซิลโลแกรมรูปที่ 4.10  
สมการ (2.12) และ (4.1)-(4.5) จะหาเวลาตอบสนองต่างๆ ได้ ดังแสดง  
ในตารางที่ 4.4

เมื่อระบบวัดดัดแปลงเป็นแบบสามองค์ประกอบดังรูปที่ 4.4 จากสมการ  
(2.33) และ (2.41) จะได้

$$T_m^o = \frac{R \cdot C_2 / N + 2 \cdot R_d \cdot (\tau_n + \tau_v) / (Z_n + Z_v) + R_d \cdot [(C_2 / N) + C_E]}{1} \quad (4.6)$$

โดยวิธีเดียวกันกับสมการ (2.37)-(2.41) จะได้ว่า

$$T = T_n + (1 - R_d / Z_L) \cdot \tau_v \quad (4.7)$$

$$T_v = T + (1 - R_d / Z_L) \cdot \tau_n - R_d \cdot [(C_2 / N) + C_E] \quad (4.8)$$

จากค่าตัวประกอบวงจรในรูปที่ 4.5 ออสซิลโลแกรมรูปที่ 4.11  
สมการ (2.12) (2.32) (2.37) และ (4.6)-(4.8) จะหาเวลาตอบสนอง  
ต่างๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 เวลาตอบสนองของระบบวัดในวงจรทดลองรูปที่ 4.4

|                    |              | $R' = 100 \Omega$ |       | $R' = 120 \Omega$ |       | $R' = 150 \Omega$ |       |
|--------------------|--------------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|
|                    |              | การทดลอง          | ทฤษฎี | การทดลอง          | ทฤษฎี | การทดลอง          | ทฤษฎี |
| $R_d = 290 \Omega$ | $T_n$ (nS)   | 63.4              | -     | 46.4              | -     | 71.9              | -     |
|                    | $T_u$ (nS)   | 64                | -     | 59.7              | -     | 70.9              | -     |
|                    | $T_m^o$ (nS) | 63.4              | 52.8  | 46.4              | 55.1  | 71.9              | 58.5  |
|                    | $T$ (nS)     | 63.4              | 52.8  | 46.4              | 55.1  | 71.9              | 58.5  |
|                    | $T_u$ (nS)   | 63.4              | 52.8  | 46.4              | 55.1  | 71.9              | 58.5  |

ตารางที่ 4.5 เวลาตอบสนองของระบบวัดในวงจรทดลองรูปที่ 4.5

|                    |              | $R' = 100 \Omega$ |       | $R' = 120 \Omega$ |       | $R' = 150 \Omega$ |       |
|--------------------|--------------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|
|                    |              | การทดลอง          | ทฤษฎี | การทดลอง          | ทฤษฎี | การทดลอง          | ทฤษฎี |
| $R_d = 290 \Omega$ | $T_n$ (nS)   | 64.4              | -     | 68                | -     | 70                | -     |
|                    | $T_u$ (nS)   | 64.4              | -     | 68                | -     | 70                | -     |
|                    | $T_m^o$ (nS) | 79.4              | 68.6  | 83                | 70.9  | 85                | 74.4  |
|                    | $T$ (nS)     | 64.1              | 53.3  | 67.7              | 55.6  | 69.7              | 59.1  |
|                    | $T_u$ (nS)   | 22.3              | 11.5  | 26.2              | 13.8  | 28.2              | 17.3  |

#### 4.6 การหาอัตราส่วนแรงดันของโวลเตจดีไวเดอร์

##### 4.6.1 โดยการคำนวณทางทฤษฎี

ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงสูงและแรงต่ำที่วัดได้ในหัวข้อ 4.3 คือ 115.23 นิโคฟาริต และ 104810.9 นิโคฟาริต ตามลำดับ ดังนั้น โดยสมการ (3.10) จะคำนวณอัตราส่วนแรงดันทางทฤษฎี (เมื่อ  $R_2$  และ  $R_1$  เป็นศูนย์) ได้

$$a = 910.58$$

##### 4.6.2 โดยการวัดแรงดันขาเข้าและขาออกพร้อมๆ กัน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมี

ก) แหล่งจ่ายแรงดันขนาด 10 โวลต์ ปรับความถี่ได้จาก 10 เฮร์ซ - 2 เมกกะเฮร์ซ ของ NF Circuit Design Block Co., Ltd. , model SY-107A

ข) Digital Multimeter ของ BBC, Type M2110 ซึ่งมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน 0.25 % ที่ 45-65 เฮร์ซ และ 0.75 % ที่ 65 เฮร์ซ - 20 กิโลเฮร์ซ

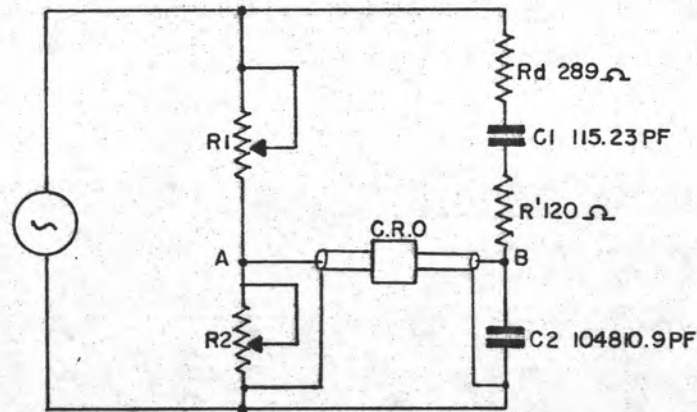
ในการทดลองนี้จะบ่อนแรงดันที่ความถี่ 50 และ 1,000 เฮร์ซ เข้าที่ขั้วแรงสูงของโวลเตจดีไวเดอร์ แล้ววัดแรงดันขาออกที่ปลายสายเคเบิลยาว 20 เมตร อัตราส่วนแรงดันที่ความถี่ทั้งสองมีค่าเท่ากัน คือ 908.6



4.6.3 โดยการใช้วงจรบริดจ์

- ก) แหล่งจ่ายแรงดันปรับความถี่ได้ เช่นเดียวกับข้อ 4.6.2
- ข) ความต้านทานแบบเดคเดคขนาด 1 เมกกะโอห์ม 1 วัตต์  
เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน 0.5 % 2 ชุด
- ค) ออสซิลโลสโคปชนิดสองแชนแนลของ HAMEG, Type HM 203-5
- ง) Portable Wheat Stone Bridge ของ YEOW, Type 2755

ใช้วงจรทดลอง รูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 วงจรทดลองหาอัตราส่วนแรงดันโดยใช้วงจรบริดจ์

ในการทดลองนี้จะทดลองที่ความถี่ 50 และ 1,000 เฮิรตซ์ ด้วยไฟฟ้าที่จุด A และ B มีเฟสต่างกันทำให้ไม่สามารถใช้โวลต์มิเตอร์หรือกัลวานมิเตอร์วัดได้ จึงใช้ออสซิลโลสโคปแบบสองแชนแนลวัดแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ  $C_2$  และตัวต้านทาน  $R_2$  นำมาเปรียบเทียบกันโดยดูเฉพาะขนาดของแรงดันเท่านั้น ปรับความต้านทาน  $R_1$  และ  $R_2$  จนได้ขนาดแรงดันคร่อม  $R_2$  เท่ากับ  $C_2$  อัตราส่วนแรงดันของโวลเตจดีไวเดอร์จะเท่ากับ  $(R_1 + R_2) / R_2$  จากการทดลองได้ค่า  $R_1$  และ  $R_2$  ที่สองความถี่เท่ากัน เพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนต่ำ จึงนำความต้านทาน  $R_1$  และ  $R_2$  ไปวัดค่าความต้านทานโดยใช้ Portable Wheatstone Bridge ได้ค่า  $R_1$  และ  $R_2$  มีค่า 50540 และ 55.54 ตามลำดับ ดังนั้นอัตราส่วนแรงดันของโวลเตจดีไวเดอร์มีค่า 910.98

#### 4.6.4 โดยการวัดแรงดันเปรียบเทียบกับระบบวัดมาตรฐาน

ในทางทฤษฎี โวลเตจดีไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุสามารถวัดได้ทั้งแรงดันกระแสสลับและแรงดันอิมพัลส์ จึงทำการทดลองหาอัตราส่วนแรงดันเปรียบเทียบกับระบบวัดมาตรฐานทั้งแรงดันกระแสสลับและแรงดันอิมพัลส์

##### 4.6.4.1 อัตราส่วนแรงดันกระแสสลับ

จากหัวข้อ 4.3 พบว่าความจุไฟฟ้ามีค่าคงที่ตลอดช่วงที่ใช้งานของแรงดันกระแสสลับ ในการทดลองจึงทำที่แรงดันไม่สูงนัก อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมี

- ก) หม้อแปลงทดสอบขนาด 100 kV 10 kVA
- ข) หม้อแปลงแรงดันที่มีอัตราส่วน 30000 หรือ 60000 โวลต์ ต่อ 100 โวลต์ เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน 0.03 % ของ TETTEX AG ZURICH
- ค) Digital Multimeter ของ BBC, Type M2110

ต่อหม้อแปลงแรงดันและโวลเตจดีไวเดอร์ที่สร้างขึ้น ขนานเข้าด้วยกัน วงจรโวลเตจดีไวเดอร์ต่อแบบระบบสององค์ประกอบ โดยมีความต้านทานหน้า  $R_u = 290 \Omega$  ความต้านทานแมชชีง  $R'$  ระหว่างตัวเก็บประจุภาคแรงสูง กับตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำเท่ากับ  $120 \Omega$  (ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ความต้านทาน  $R_u$  และ  $R'$  มีผลต่ออัตราส่วนแรงดันและความต่างเฟสน้อยมาก) แรงดันขาเข้าที่โวลเตจดีไวเดอร์คำนวณจากแรงดันที่อ่านได้ทางขดทุติยภูมิของหม้อแปลงแรงดัน ทำการทดลองที่แรงดัน 15 30 และ 50 กิโลโวลต์ ได้ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนแรงดันกระแสสลับ 911.34

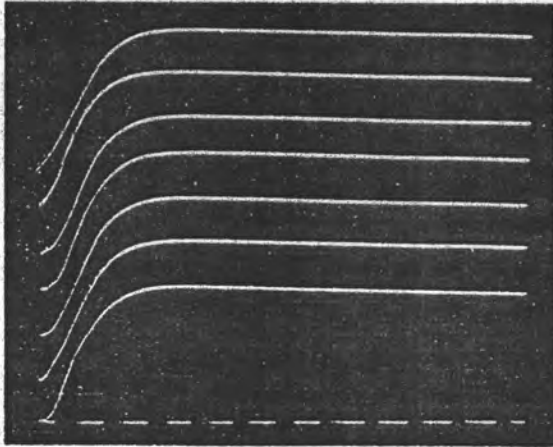
#### 4.6.4.2 อัตราส่วนแรงดันอิมพัลส์

##### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

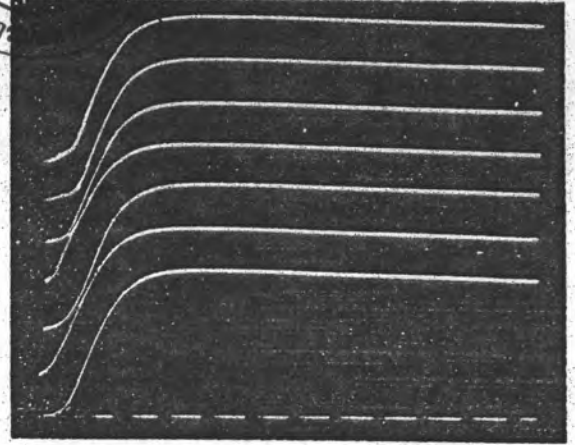
- ก) แหล่งจ่ายแรงดันอิมพัลส์ขนาด 1400 กิโลโวลต์
- ข) โวลต์เตจดีไวเดอร์มาตรฐาน แบบความต้านทานมิชิลด์ขนาด 600 กิโลโวลต์ และแบบตัวเก็บประจุขนาด 400 กิโลโวลต์
- ค) โวลต์มิเตอร์วัดค่ายอดของ Haefely, Type 64M
- ง) อิมพัลส์ออสซิลโลสโคปของ Haefely, Type 711
- จ) สายเคเบิลวัดแบบ UHF ยาว 20 เมตร

ต่อโวลต์เตจดีไวเดอร์มาตรฐานและที่สร้างขึ้นขนานกัน อ่านแรงดันสูงจากโวลต์มิเตอร์วัดค่ายอดซึ่งต่ออยู่กับภาคแรงต่ำของโวลต์เตจดีไวเดอร์มาตรฐานแบบความต้านทานมิชิลด์และแบบตัวเก็บประจุ แรงดันขาออกจากภาคแรงต่ำของโวลต์เตจดีไวเดอร์ที่สร้างขึ้น จะหาจากออสซิลโลแกรมที่บันทึกได้จากอิมพัลส์ออสซิลโลสโคป โวลต์เตจดีไวเดอร์ที่สร้างขึ้นจะต่อแบบสององค์ประกอบ และสามองค์ประกอบ ใช้ความต้านทานหน่วง  $R_2 = 290 \Omega$  ความต้านทานแมชซึ่ง  $R' = 120 \Omega$  ออสซิลโลแกรมที่ได้จากการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 4.14 และ 4.15 อัตราส่วนแรงดันของโวลต์เตจดีไวเดอร์สรุปไว้ในตารางที่ 4.6

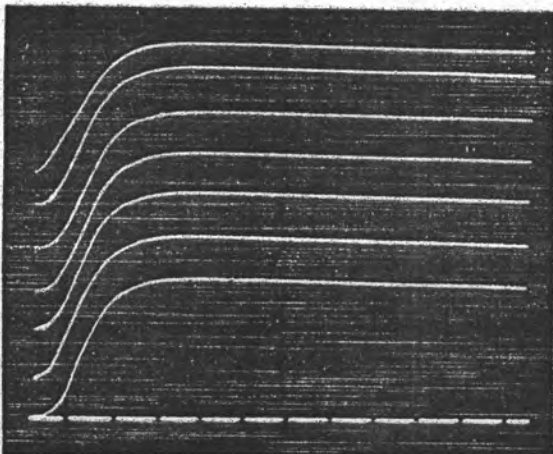




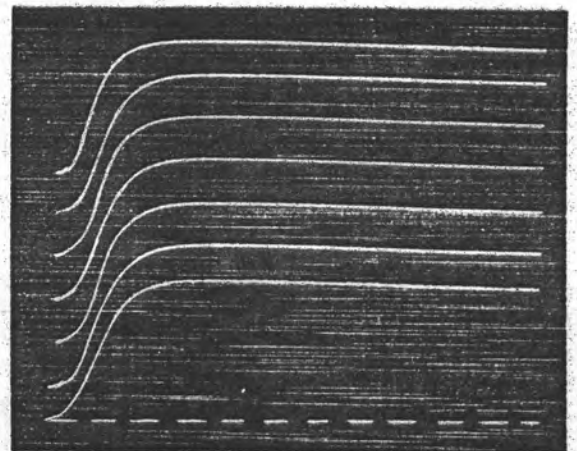
ก) สเกลแรงดัน 157.90 โวลต์/ซม.



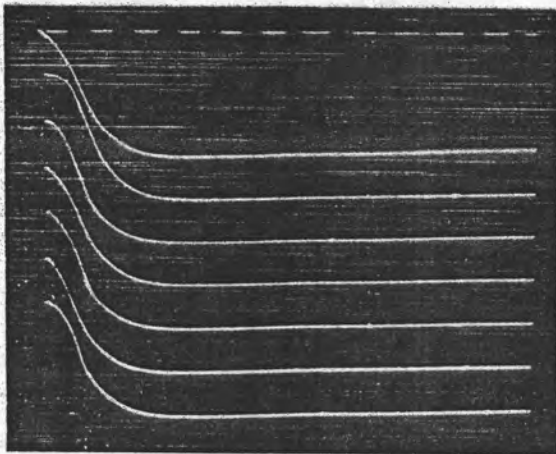
ข) สเกลแรงดัน 251.05 โวลต์/ซม.



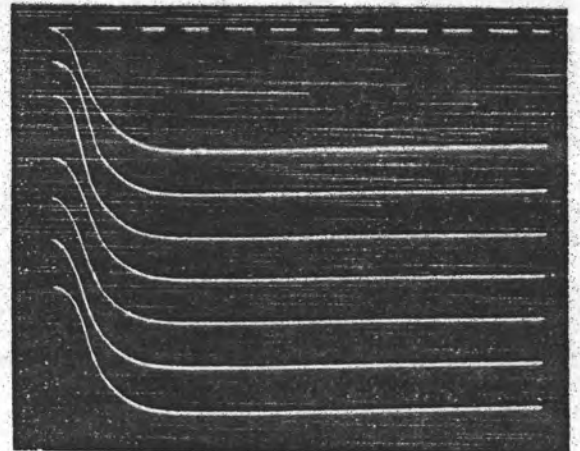
ค) สเกลแรงดัน 157.90 โวลต์/ซม.



ง) สเกลแรงดัน 251.05 โวลต์/ซม.



จ) สเกลแรงดัน 198.95 โวลต์/ซม.



ฉ) สเกลแรงดัน 315.79 โวลต์/ซม.

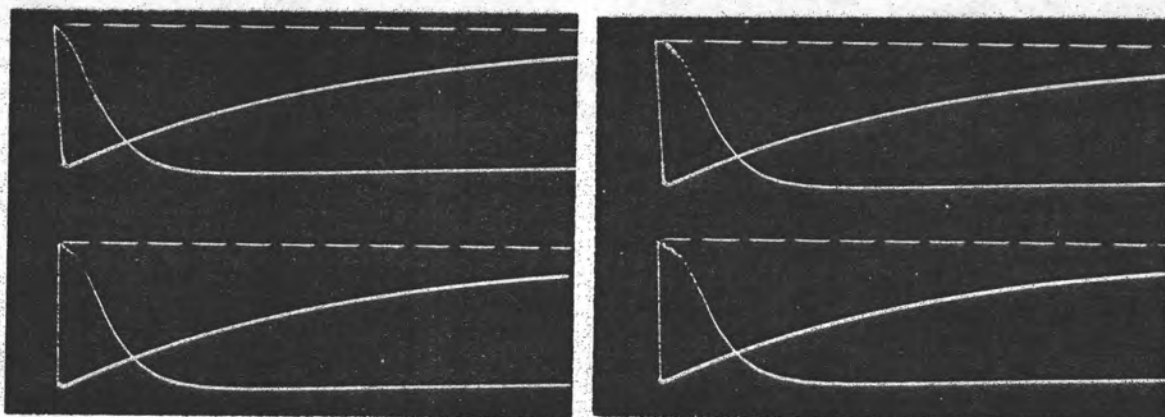
รูปที่ 4.14 ออสซิลโลแกรมของแรงดันอิมพัลส์ที่บันทึกได้จากโวลเตจดีไวเดอร์

ที่สร้างขึ้น  $R_a = 290 \Omega$   $R' = 120 \Omega$

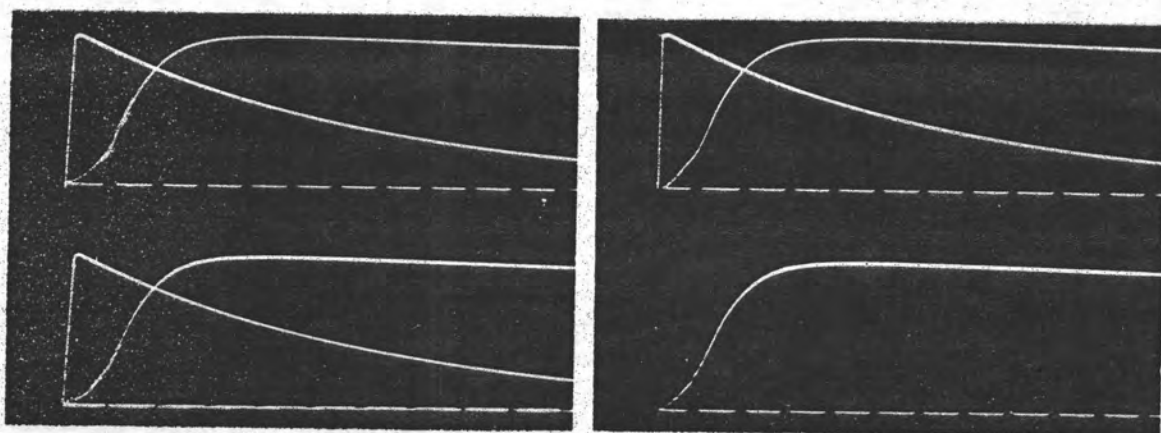
สเกลเวลา 500 ns/div.

รูป ก) ข) จ) และ ฉ) ต่อวงจรแบบระบบสององค์ประกอบ

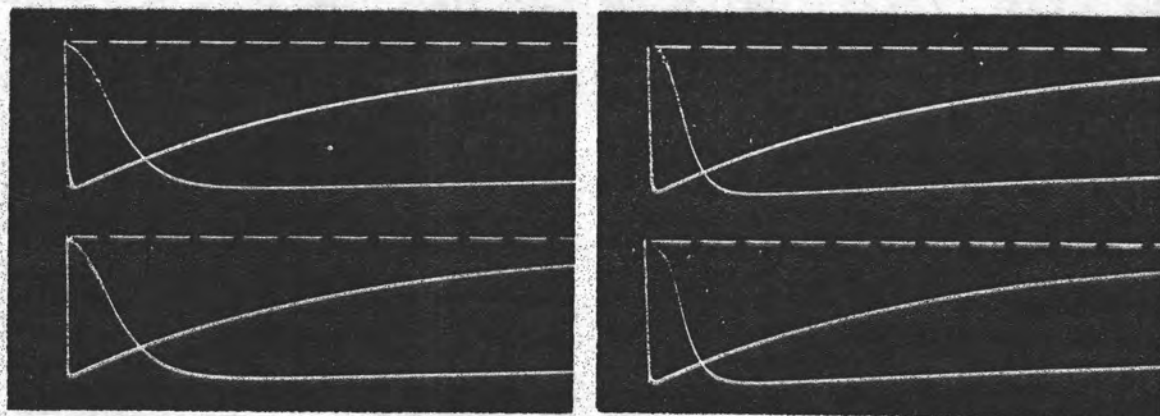
รูป ค) และ ง) ต่อวงจรแบบระบบสามองค์ประกอบ



ก)



ข)



ค)

รูปที่ 4.15 ออสซิลโลแกรมของแรงดันอิมพัลส์ที่บันทึกได้จากโวลเตจดีไวเดอร์  
 ที่สร้างขึ้น  $R_d = 290 \Omega$   $R' = 120 \Omega$   
 สเกลเวลา 500 ns/div. และ 10  $\mu$ S/div.  
 สเกลแรงดัน 157.90 โวลต์/ชม.

รูป ก) ต่อวงจรแบบระบบสององค์ประกอบ

รูป ข) และ ค) ต่อวงจรแบบระบบสามองค์ประกอบ

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองหาอัตราส่วนแรงดันอิมพัลส์

| เปรียบเทียบกับโวลเตจดีไวเซอร์<br>แบบความต้านทานมิชิลด์ |                 | เปรียบเทียบกับโวลเตจดีไวเซอร์<br>แบบตัวเก็บประจุ |                 |
|--|-----------------|--|-----------------|
| รูปที่ 4.14  | อัตราส่วนแรงดัน | รูปที่ 4.15                                      | อัตราส่วนแรงดัน |
| ก  | 875.7           | ก  | 904.6           |
| ข  | 882.8           | ข  | 905.3           |
| ค  | 872.0           | ค  | 904.8           |
| ง  | 883.1           |  |                 |
| จ  | 875.2           |  |                 |
| ฉ  | 876.0           |  |                 |
| เฉลี่ย   | 877.5           |  | 904.9           |

จากผลการทดลองที่ได้สามารถกล่าวได้ว่า อัตราส่วนแรงดันอิมพัลส์ชั่ว  
 บวกและชั่วลบไม่ว่าจะต่อระบบวัดเป็นแบบสององค์ประกอบ หรือแบบสามองค์  
 ประกอบมีค่าเท่ากัน ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนแรงดันอิมพัลส์ของโวลเตจดีไวเซอร์  
 จากการทดลองนี้ มีค่า 891.2



อัตราส่วนแรงดันของโวลเตจดีไวเดอร์ที่หาโดยวิธีต่างๆ  
ความคลาดเคลื่อนจากค่าทฤษฎี ได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.7

และ

ความคลาดเคลื่อนจากค่าทฤษฎีหาได้จากสมการ

$$\text{ความคลาดเคลื่อนจากทฤษฎี} = (a - a_{ref}) / a_{ref} \quad (4.9)$$

เมื่อ  $a$  คือ อัตราส่วนแรงดันที่หาได้

$a_{ref}$  คือ อัตราส่วนแรงดันทางทฤษฎี

ตารางที่ 4.7 อัตราส่วนแรงดันของโวลเตจดีไวเดอร์

|                                 | ทางทฤษฎี | การวัดแรงดันขาเข้า<br>และขาออกพร้อมกัน | วงจรรบริดจ์ | เปรียบเทียบกับระบบวัดมาตรฐาน |                |
|---------------------------------|----------|--|-------------|------------------------------|----------------|
|                                 |          |  |             | แรงดันกระแสสลับ              | แรงดันอิมพีลส์ |
| อัตราส่วนแรงดัน                 | 910.58   | 908.6                                  | 910.98      | 911.34                       | 891.2          |
| ความคลาดเคลื่อน<br>จากทฤษฎี (%) | 0        | - 0.2                                  | 0.04        | 0.08                         | -2.13          |

#### 4.7 การทดลองใช้งาน

นำโวลเตจดีไวเคอร์ที่สร้างขึ้น มาทดลองใช้งานและดูผลกระทบที่จะมีต่อลักษณะสมบัติของโวลเตจดีไวเคอร์ การทดลองจะทำเป็นขั้นตอนดังนี้

- ก) การวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็ม
- ข) การวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัด
- ค) ผลของความต้านทานหน่วง และความต้านทานแมชซิ่ง
- ง) การวัดแรงดันอิมพัลส์แบบสวิตชิง

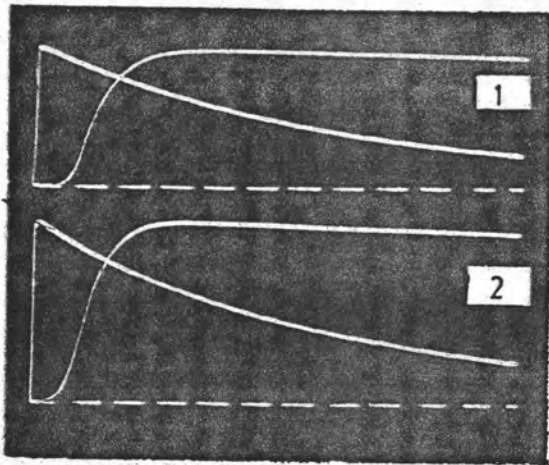
##### 4.7.1 การวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็ม

ต่อโวลเตจดีไวเคอร์มาตรฐานและโวลเตจดีไวเคอร์ที่สร้างขึ้นมาเหมือนกัน โวลเตจดีไวเคอร์มาตรฐานใช้โวลเตจดีไวเคอร์แบบความต้านทานมีซิลด์ขนาด 600 กิโลโวลต์ และโวลเตจดีไวเคอร์แบบตัวเก็บประจุขนาด 400 กิโลโวลต์ โวลเตจดีไวเคอร์ที่สร้างขึ้นจะต่อเป็นแบบสององค์ประกอบ และสามองค์ประกอบ ออสซิลโลแกรมที่ได้จากการทดลองแสดงในรูปที่ 4.16

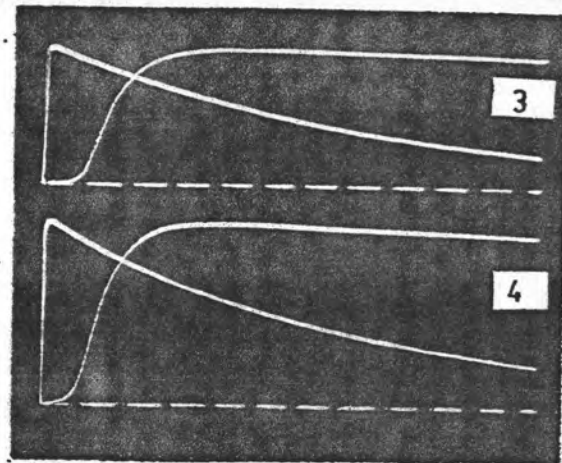
##### 4.7.2 การวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัด

นำโวลเตจดีไวเคอร์ที่สร้างขึ้นไปวัดแรงดันวาวไฟตามผิวบนลูกถ้วยก้านตรง และ ลูกถ้วยแบบ Fog เปรียบเทียบกับโวลเตจดีไวเคอร์มาตรฐานขนาด 600 กิโลโวลต์ แบบความต้านทานมีซิลด์ โวลเตจดีไวเคอร์ที่สร้างขึ้นจะต่อเป็นแบบสององค์ประกอบ และสามองค์ประกอบเปรียบเทียบกับผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ

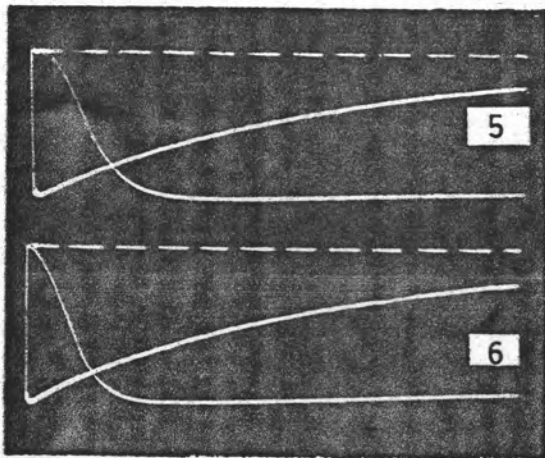
จากออสซิลโลแกรมจะเห็นว่า ในแต่ละวงจรทดลอง รูปคลื่นแรงดันที่บันทึกได้มีลักษณะเดียวกัน และการต่อระบบวัดแบบสององค์ประกอบจะเกิดการแกว่งที่หน้าคลื่น (ดูรูปที่ 4.17 ก) และ ค)) แต่ขนาดการแกว่งมีค่าน้อยกว่าข้อกำหนด ไอ อี ซี [2] ดังนั้นจะใช้ระบบวัดแบบสององค์ประกอบหรือสามองค์ประกอบก็ได้



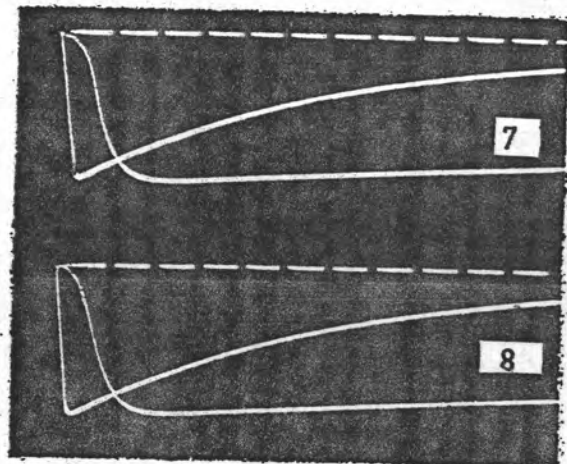
ก) 425 กิโลโวลต์



ข) 425 กิโลโวลต์



ค) 450 กิโลโวลต์



ง) 300 กิโลโวลต์

รูปที่ 4.16 การวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็มไม้ใช้  $R_d = 290 \Omega$   $R' = 120 \Omega$

รูป ก) และ ค) ต่อโวลเตจติไวเคอร์แบบสององค์ประกอบ

รูป ข) และ ง) ต่อโวลเตจติไวเคอร์แบบสามองค์ประกอบ

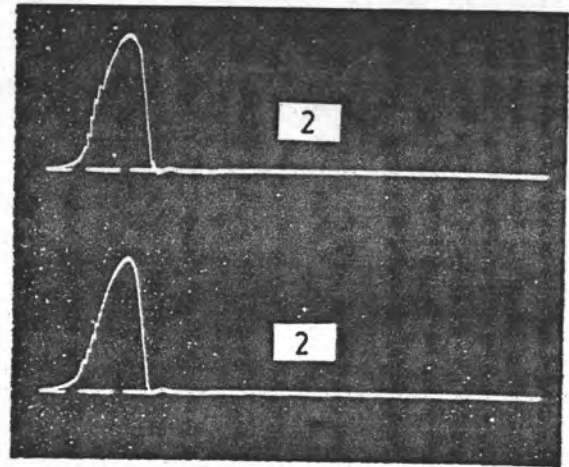
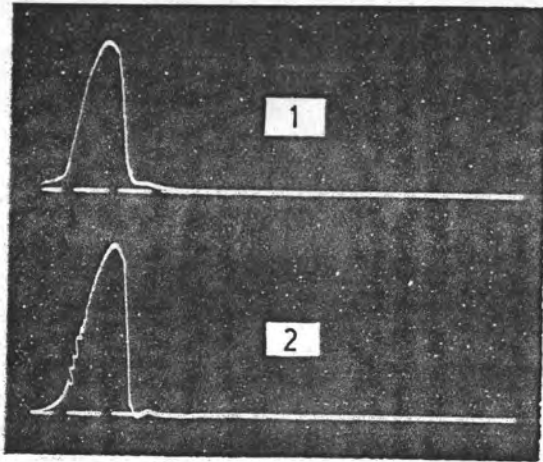
รูป ก) ข) และ ค) สเกลเวลา 500 ns/div. และ 10  $\mu$ S/div.

รูป ง) สเกลเวลา 1  $\mu$ S และ 10  $\mu$ S/div.

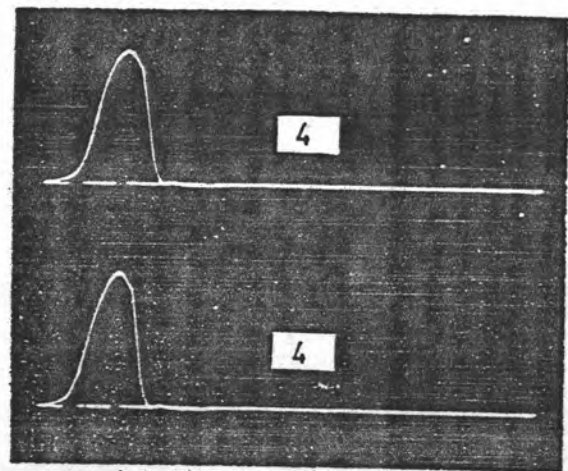
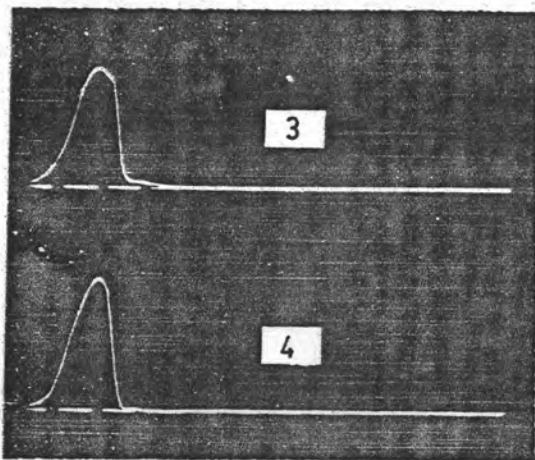
รูปคลื่น 1 3 และ 5 บันทึกจากโวลเตจติไวเคอร์มาตรฐานแบบ  
ความต้านทานมิซิลด์

รูปคลื่น 7 บันทึกจากโวลเตจติไวเคอร์มาตรฐานแบบตัวเก็บประจุ

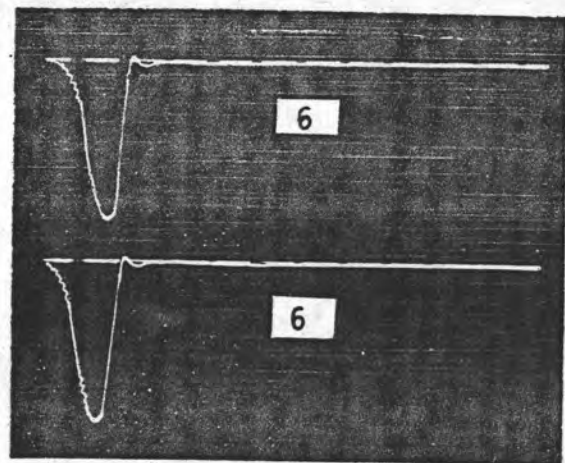
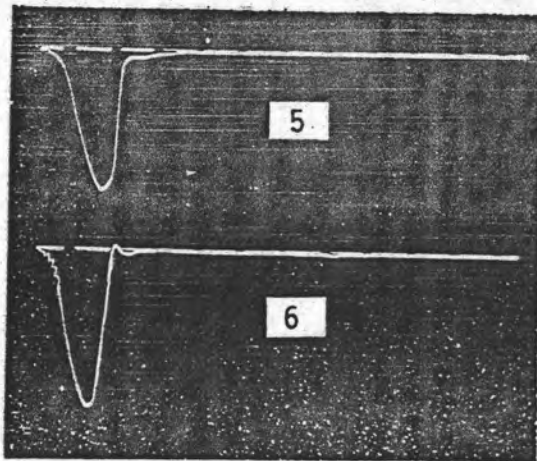




ก) 290 กิโลโวลต์



ข) 290 กิโลโวลต์



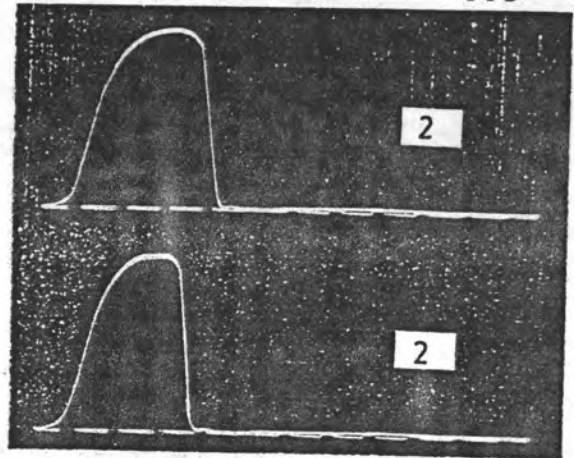
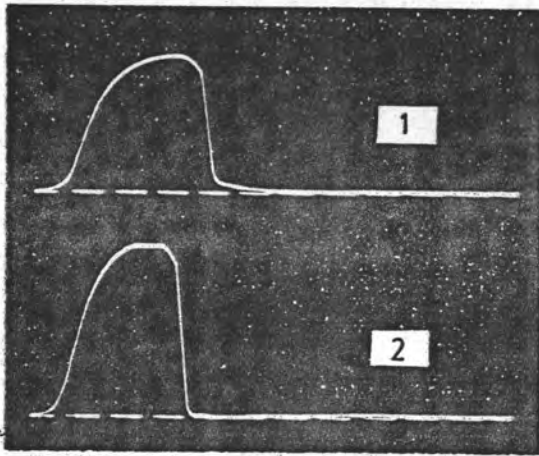
ค) 280 กิโลโวลต์

รูปที่ 4.17 การทดสอบวาวไฟตามผิวลูกถ้วยก้านตรง ใช้  $R_s = 290 \Omega$   
 $R' = 120 \Omega$  สเกลเวลา 500 ns/div.

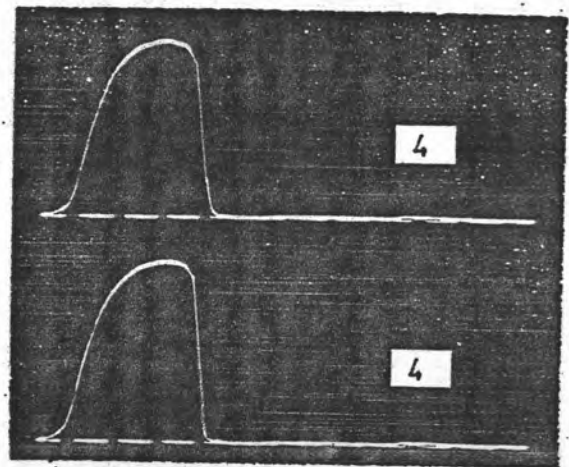
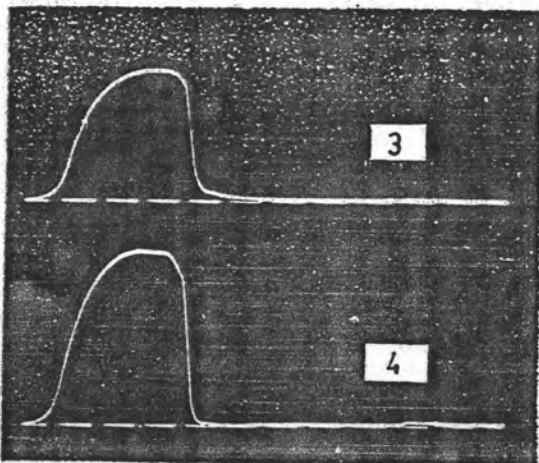
รูป ก) และ ค) ท่อโวลเตจดีไวเดอร์ที่สร้างขึ้นแบบสององค์ประกอบ

รูป ข) ท่อโวลเตจดีไวเดอร์ที่สร้างขึ้นแบบสามองค์ประกอบ

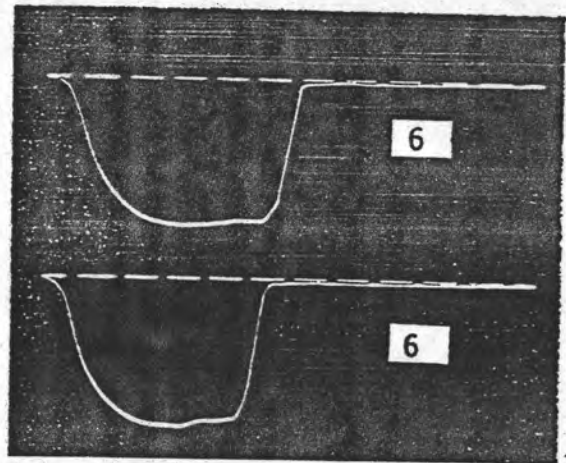
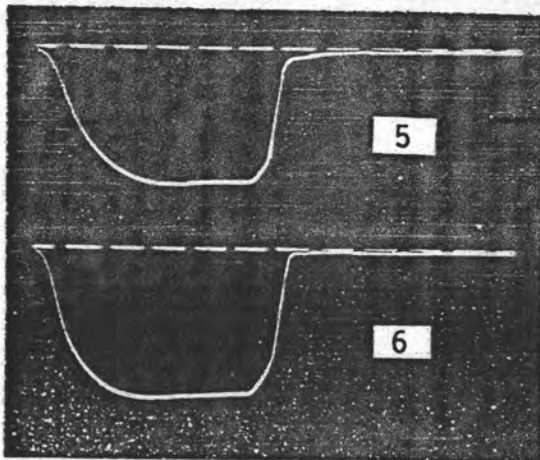
รูปคลื่น 1 3 และ 5 บันทึกลงจากโวลเตจดีไวเดอร์มาตรฐาน



ก) 400 กิโลวัตต์



ข) 400 กิโลวัตต์



ค) 425 กิโลวัตต์

รูปที่ 4.18 การทดสอบวาวไฟตามผิวลูกถ้วยแบบ F๐๕ ใช้  $R_d = 290 \Omega$   
 $R' = 120 \Omega$  สเกลเวลา 500 ns/div.

รูป ก) และ ค) ต่อโวลเตจติไวเคอร์ที่สร้างขึ้นแบบสององค์ประกอบ

รูป ข) ต่อโวลเตจติไวเคอร์ที่สร้างขึ้นแบบสามองค์ประกอบ

รูปคลื่น 1 3 และ 5 บันทึกจากโวลเตจติไวเคอร์มาตรฐาน

#### 4.7.3 ผลของความต้านทานหน่วงและความต้านทานแมชซิ่ง

การทดลองนี้จะแสดงให้เห็นถึงผลของความต้านทานหน่วง  $R_u$  และความต้านทานแมชซิ่ง  $R'$  ชนิดของความต้านทานแมชซิ่ง  $R'$  และการจัดวางองค์ประกอบความต้านทานแมชซิ่ง  $R'$  ที่มีต่อการใช้งานของโวลเตจดีไวเคอร์ โวลเตจดีไวเคอร์มาตรฐานใช้โวลเตจดีไวเคอร์ขนาด 600 กิโลโวลต์ แบบความต้านทานมีซิลด์ ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 4.19 ถึง 4.22

จากออสซิลโลแกรมที่ได้แสดงว่า

ก) ความต้านทานหน่วง  $R_u$  จะลดการแกว่งความถี่ต่ำที่เกิดขึ้นในภาวะทรานเซียน ดังแสดงในรูปที่ 4.19 ค) และ ง)

ข) ความต้านทานหน่วง  $R_u$  ถ้ามีค่ามากเกินไปเวลาตอบสนองของระบบวัดจะมาก ระบบวัดจะไม่สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่เข้ามาได้เร็วพอ ดังแสดงในรูปที่ 4.19 จ) และ ฉ)

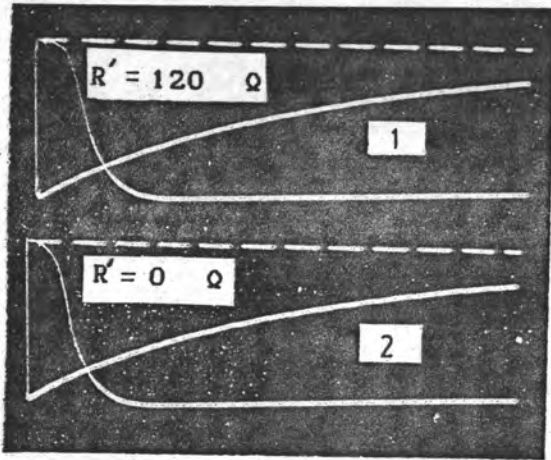
ค) ความต้านทานแมชซิ่ง  $R'$  ช่วยลดการแกว่งความถี่สูงและต่ำได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.19 ค), ง) และ จ)

ง) ความต้านทานแมชซิ่ง  $R'$  มีผลต่อเวลาตอบสนองของระบบวัด ถ้ามากเกินไปเวลาตอบสนองจะมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.20 ก) - ง)

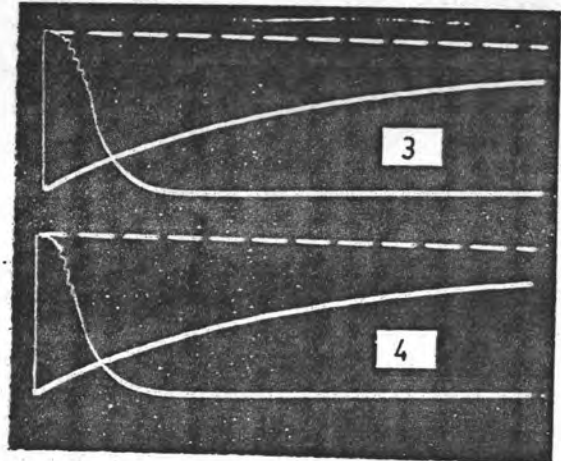
จ) ความต้านทานแมชซิ่ง  $R'$  ควรเลือกใช้ชนิดที่มีความต้านทานคงที่ไม่แปรเปลี่ยนในภาวะทรานเซียน เพื่อลดการสะท้อนของคลื่นระหว่างภาคแรงสูงและแรงต่ำ อันเนื่องมาจากค่าความต้านทาน  $R'$  ที่เปลี่ยนไปมีค่าไม่เท่ากับ เลิร์จอิมพีแดนซ์ของสายนำแรงต่ำในตัวเก็บประจุภาคแรงสูง จากรูปที่ 4.20 ก) ค) จ) และ 4.21 จะพบว่าในการทดลองนี้ความต้านทานแบบขดลวดเหมาะสมกว่าแบบฟิล์มโลหะอ็อกไซด์ ส่วนแบบฟิล์มคาร์บอนใช้ไม่ได้

ฉ) การจัดวางประกอบของความต้านทานแมชซิ่ง  $R'$  มีผลต่อระบบวัดมาก ถ้าการจัดวางองค์ประกอบใน  $R'$  ทำให้เกิดความเหนี่ยวนำสูง จะเกิดการผิดพลาดในสัญญาณที่วัดได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.22

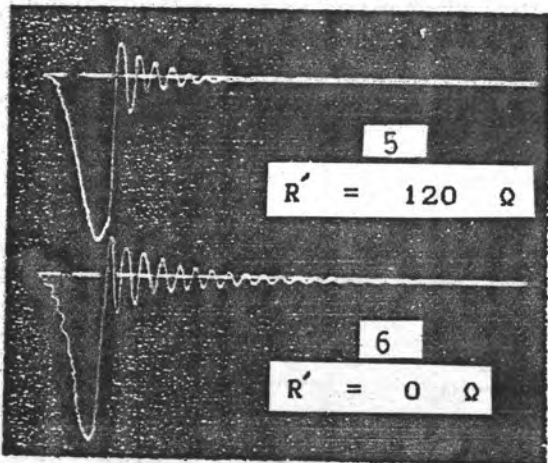




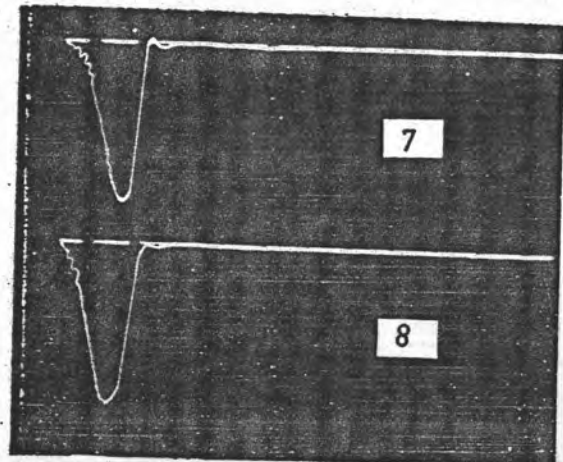
ก)  $R_d = 0 \Omega$



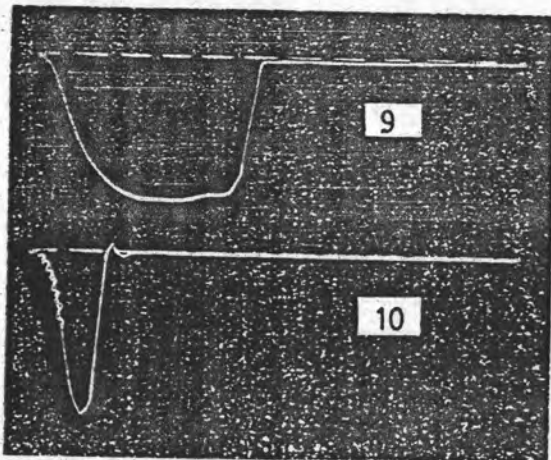
ข)  $R_d = 290 \Omega$   $R' = 0 \Omega$



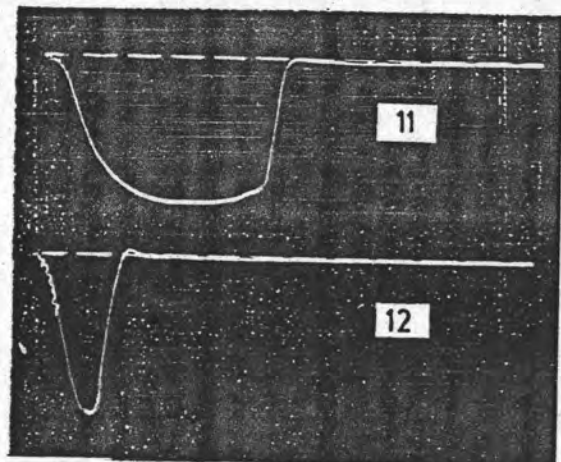
ค)  $R_d = 0 \Omega$



ง)  $R_d = 290 \Omega$   $R' = 0 \Omega$



จ)  $R_d = 290 \Omega$   $R' = 120 \Omega$



ฉ)  $R_d = 500 \Omega$   $R' = 120 \Omega$

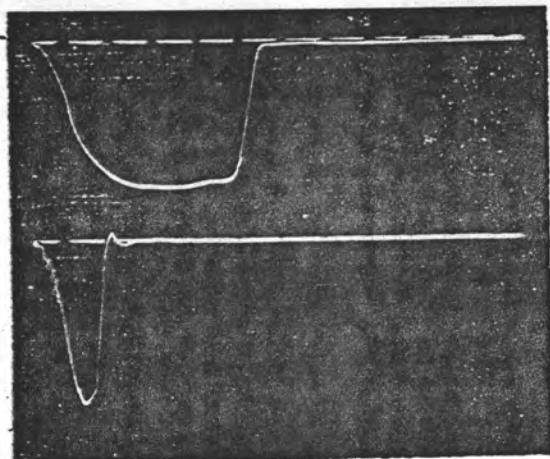
รูปที่ 4.19 ผลของความต้านทานหน่วง  $R_d$  และความต้านทานแมชชิง  $R'$

รูปคลื่น 3 7 และ 9-12 ต่อโวลเตจติไวเคอร์แบบสององค์ประกอบ

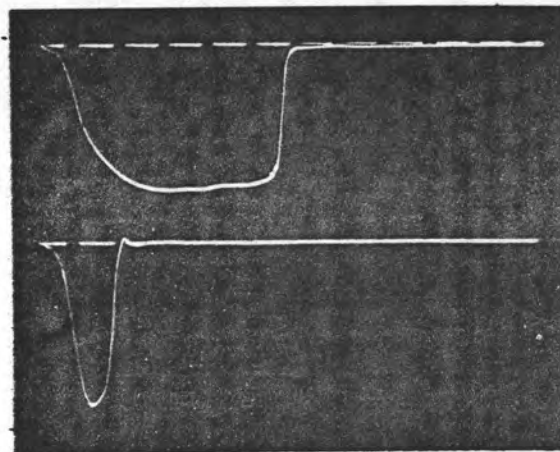
รูปคลื่น 4 และ 8 ต่อโวลเตจติไวเคอร์แบบสามองค์ประกอบ

รูป ก) และ ข) สเกลเวลา 500 ns/div. และ 10  $\mu$ S/div.

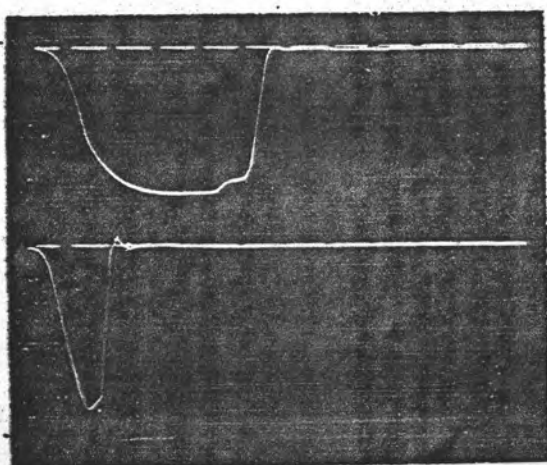
รูป ค)-ฉ) สเกลเวลา 500 ns/div.



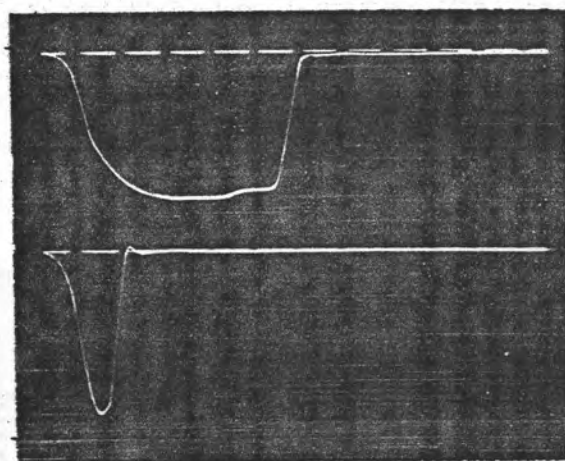
ก)  $R' = 120 \Omega$



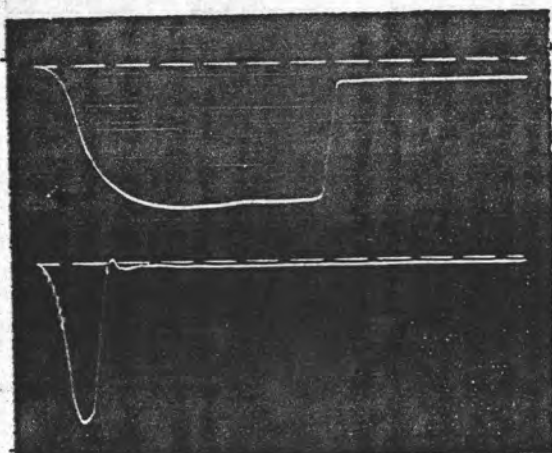
ข)  $R' = 270 \Omega$



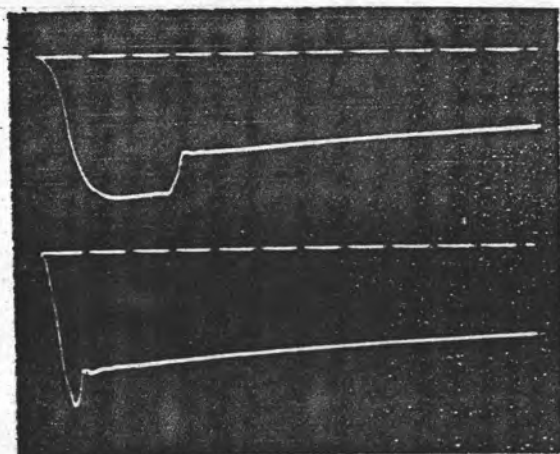
ค)  $R' = 125 \Omega$



ง)  $R' = 350 \Omega$



จ)  $R' = 120 \Omega$



ฉ)  $R' = 250 \Omega$

รูปที่ 4.20 ผลของความต้านทานแมชซึ่ง  $R'$  ใช้  $R_d = 290 \Omega$  อยู่ที่ขั้วแรงสูงของโวลเตจดีไวเดอร์ สเกลเวลา 500 ns/div.

ในออสซิลโลแกรมแต่ละรูป รูปบนเป็นการวาบไฟตามผิวลูกถ้วยแบบ F08

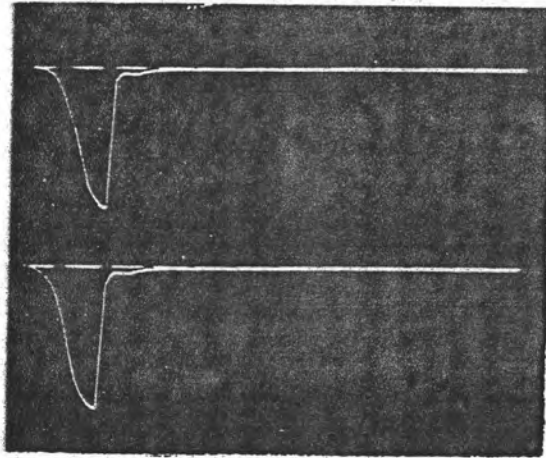
รูปล่างเป็นการวาบไฟตามผิวลูกถ้วยกันตรง

รูป ก) และ ข)  $R'$  ใช้ชนิดฟิล์มโลหะออกไซด์

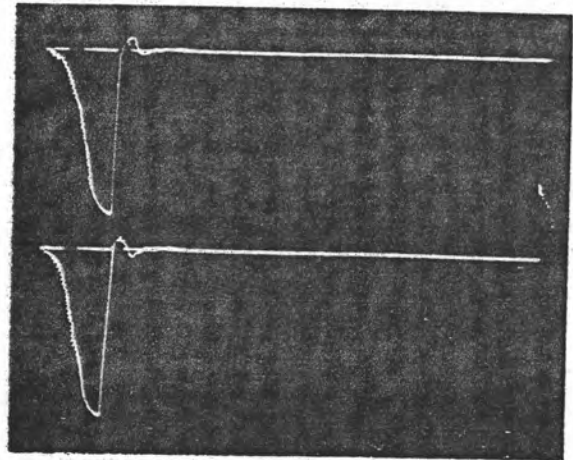
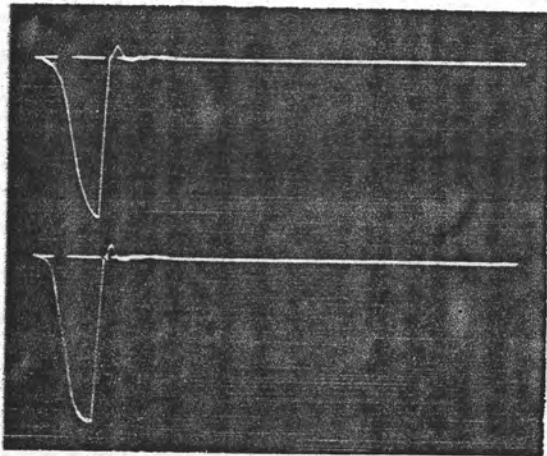
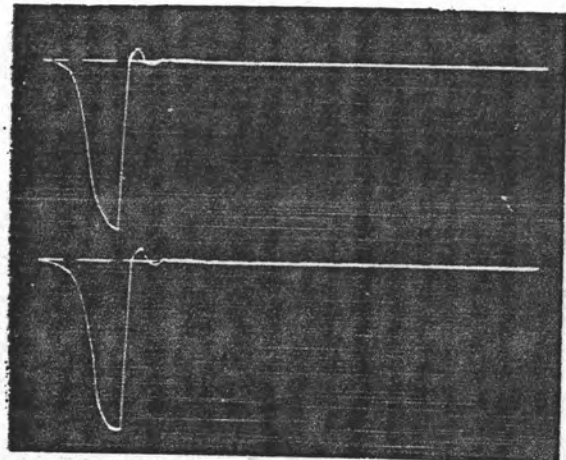
รูป ค) และ ง)  $R'$  ใช้ชนิดขดลวดพันบนแกนเซรามิกรูปทรงกระบอก

รูป จ) และ ฉ)  $R'$  ใช้ชนิดฟิล์มคาร์บอน (รูป ฉ) สเกลเวลา 1  $\mu$ s/div.)





ก)

ข)  $R' = 120 \Omega$ ค)  $R' = 125 \Omega$ ง)  $R' = 125 \Omega$ 

รูปที่ 4.21 ผลของชนิดความต้านทานแมชชีง  $R'$  ใช้  $R_s = 290 \Omega$  อยู่ที่ขั้วแรงสูงของโวลเตจดีไวเดอร์ เบรกคาว์นระหว่างอิลีกโทรดแท่งกลม สเกลเวลา 500ns/div.

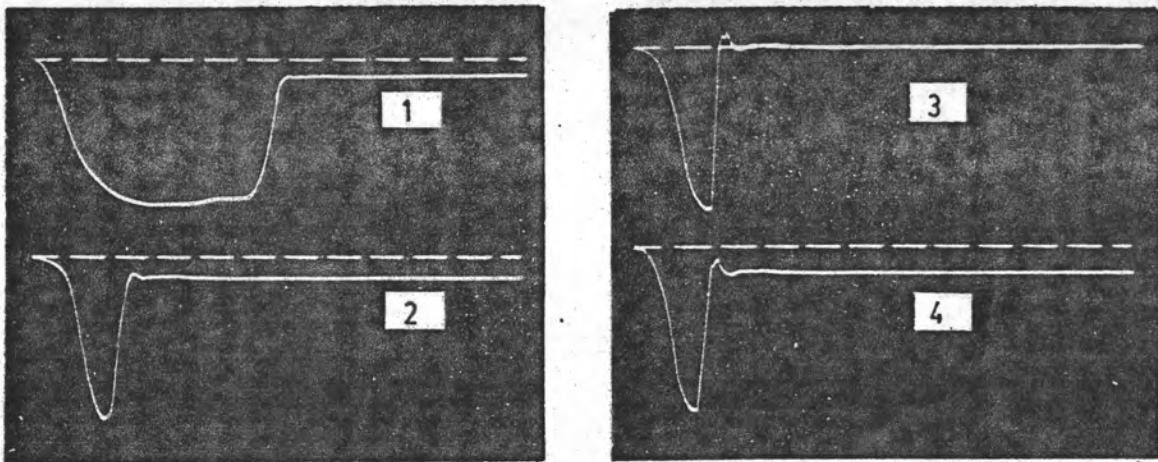
รูป ก) บันทึกลงจากโวลเตจดีไวเดอร์มาตรฐาน

รูป ข)  $R'$  ชนิดฟิล์มโลหะออกไซด์

รูป ค)  $R'$  ชนิดเคลือบพื้นบนแกนเซรามิกรูปทรงกระบอก

รูป ง)  $R'$  ชนิดเคลือบพื้นบนแผ่นเบคคาไลท์แบน





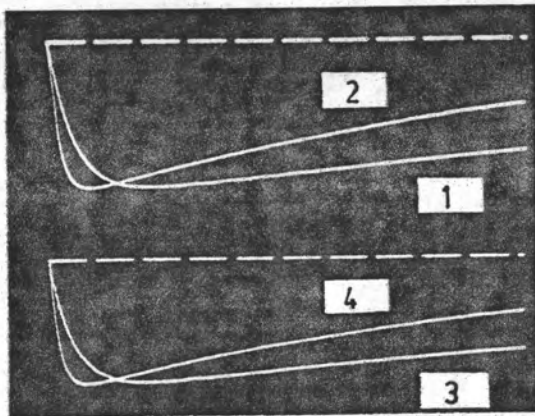
รูปที่ 4.22 ผลของการจัดวางองค์ประกอบ  $R'$  ใ้  $R_u = 290\Omega$  อยู่ที่ขั้วแรงสูง  
ของโวลเตจดีไวเดอร์  $R' = 125\Omega$  แบบขดลวดพันบนแกนเซรามิก  
รูปทรงกระบอก สเกลเวลา 500 ns/div.

รูปคลื่น 1 2 และ 4 การจัดองค์ประกอบเกิดความเหนี่ยวนำสูง  
รูปคลื่น 3 การจัดองค์ประกอบเกิดความเหนี่ยวนำต่ำ

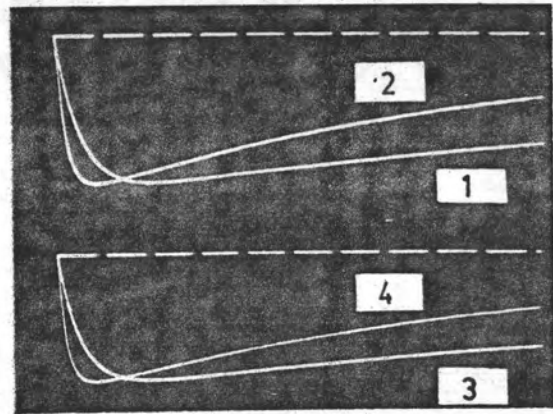
#### 4.7.4 การวัดแรงดันอิมพัลส์แบบสวิทชิง

นำโวลเตจดีไวเดอร์ที่สร้างขึ้นไปวัดแรงดันอิมพัลส์แบบสวิทชิง  
รูปคลื่นเต็ม และ รูปคลื่นตัด เปรียบเทียบกับโวลเตจดีไวเดอร์มาตรฐาน  
แบบตัวเก็บประจุขนาด 400 กิโลโวลต์ ของ Haefely โวลเตจดีไวเดอร์  
ที่สร้างขึ้นต่อแบบระบบสององค์ประกอบ ความต้านทานหน้า  $R_u$  ขนาด 290  $\Omega$   
ความต้านทานแมชชิง  $R'$  ขนาด 125  $\Omega$  ชนิดเส้นลวดพันบนแผ่นเบคคาไลต์แบน  
ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.23 และ 4.24

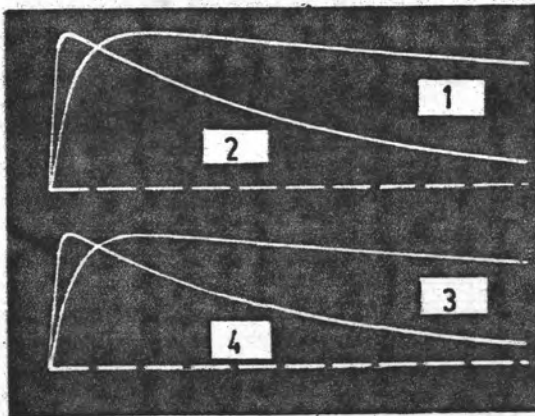
จากออสซิลโลแกรมรูปที่ 4.23 ได้ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนแรงดันของ  
โวลเตจดีไวเดอร์สำหรับแรงดันอิมพัลส์แบบสวิทชิงมีค่า 881.1



ก) 240 กิโลโวลต์



ข) 240 กิโลโวลต์



ค) 245 กิโลโวลต์



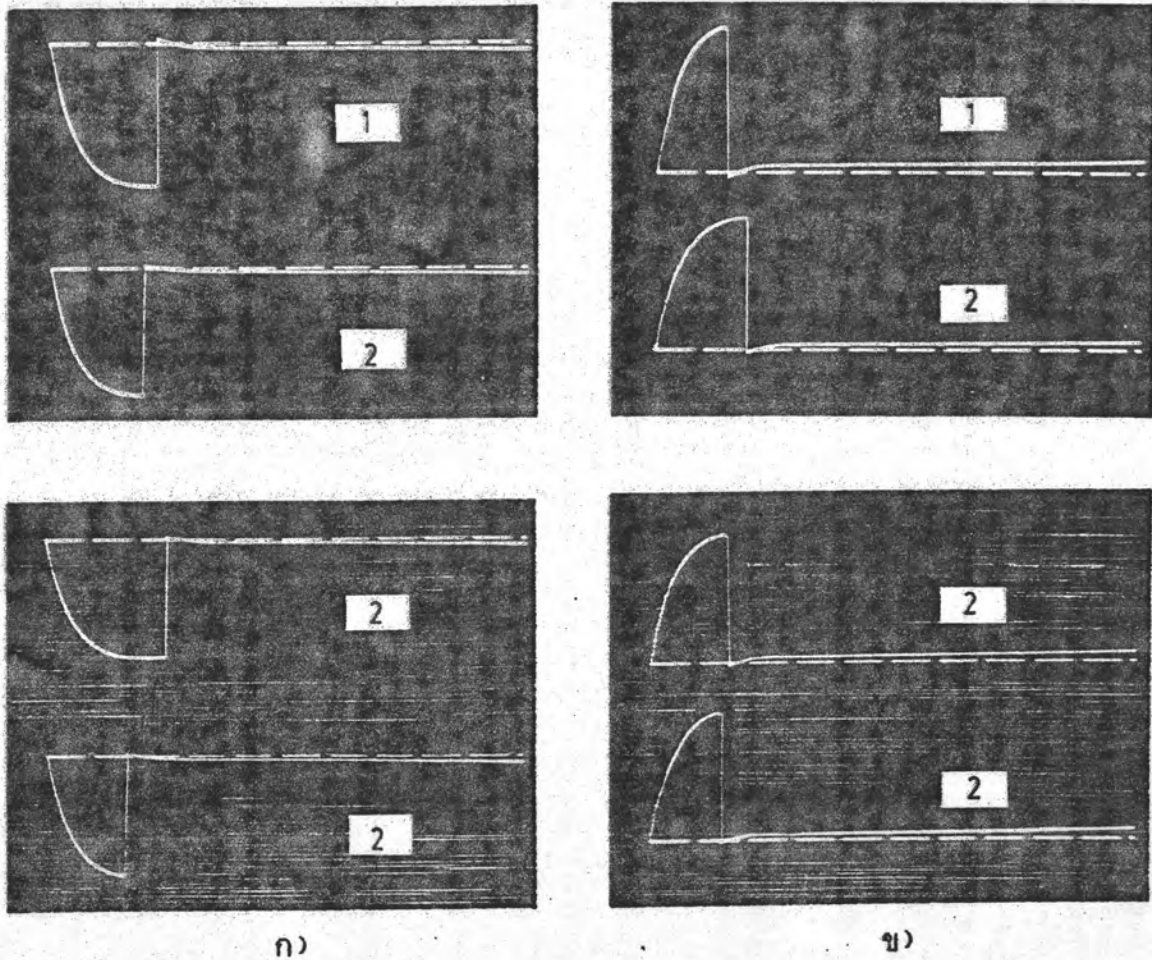
รูปที่ 4.23 การวัดแรงดันอิมพัลส์แบบสวิตชิ่งรูปคลื่นเต็ม

รูปคลื่น 1 และ 2 บันทึกจากโวลเตจดิไวเคอร์มาตรฐาน

รูปคลื่น 3 และ 4 บันทึกจากโวลเตจดิไวเคอร์ที่สร้างขึ้น

รูปคลื่น 1 และ 3 สเกลเวลา 100  $\mu\text{s}/\text{div}$ .

รูปคลื่น 2 และ 4 สเกลเวลา 250  $\mu\text{s}/\text{div}$ . (เฉพาะรูป ค) สเกลเวลา 500  $\mu\text{s}/\text{div}$ .)



รูปที่ 4.24 การทดสอบวาวไฟตามผิวลูกถ้วย สเกลเวลา  $100 \mu\text{S}/\text{div}$ .

รูป ก) ลูกถ้วยก้านตรง

รูป ข) ลูกถ้วยแบบ Fog

รูปคลื่น 1 บันทึกจากโวลเตจดีไวเคอร์มาตรฐาน

รูปคลื่น 2 บันทึกจากโวลเตจดีไวเคอร์ที่สร้างขึ้น