บทที่ 4

การทดลองหาค่าแรงดันเริ่มต้น

ในบทที่ 3 ได้กล่าวถึงวิธีคำนวณสนามไฟฟ้ากระจายในแก๊ปของอิเล็กโทรดแท่งกลม-ปลายมนกับระนาบด้วยวิธีจำลองแบบประจุ และใช้ค่าสนามไฟฟ้ากระจายนั้นมาคำนวณหาแรงดันเริ่มต้นของก๊าซ SF_6 และอากาศโดยอาศัยเงื่อนไขของสตรีมเมอร์เพื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าแรงดันเริ่มต้นกับผลการทดลอง ฉะนั้นในบทนี้จะได้กล่าวถึงวิธีการทดลองหาค่าแรงดันเริ่มต้นของอากาศในห้องปฏิบัติการโดยใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ดังที่จะได้กล่าวรายละเอียดต่อไป

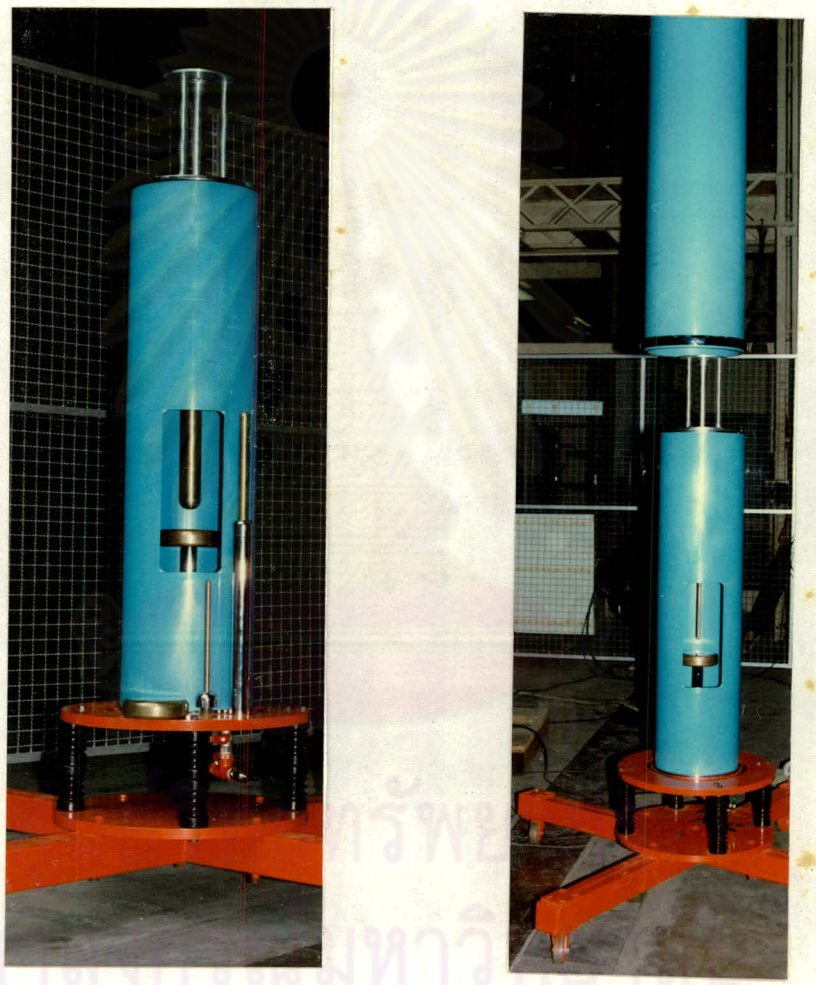
4.1 อุปกรณ์และการติดตั้ง

4.1.1 อิเล็กโทรดและการติดตั้ง

อิเล็กโทรดที่ใช้ในการทดลองเลือกเป็นแบบแท่งกลมปลายมนครึ่งทรงกลม-ระนาบ เพื่อต้องการให้สามารถได้อัตราส่วนระยะแก๊ปต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งกลมมีค่าคงตัว เมื่อระยะแก๊ปเปลี่ยนไป นั่นคือ แฟกเตอร์สนามไฟฟ้าเท่ากันที่ระยะแก๊ปต่างกัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- อิเล็กโทรดแท่งกลมปลายมนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10, 20 และ 40 มิลลิเมตร
- อิเล็กโทรดระนาบแผ่นกลมขอบมนเส้นผ่านศูนย์กลาง 125 มิลลิเมตร หนา 35 มิลลิเมตร
- ระยะแก๊ป 5, 10, 20 และ 40 มิลลิเมตร
- อิเล็กโทรดทั้งหมดทำด้วยทองเหลืองผิวมันเรียบ ติดตั้งยึดด้วยโครงกระบอกพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 26.7 เซนติเมตร หนา 10.9 มิลลิเมตร สูง 102.5 เซนติเมตร ซึ่งเจาะรูเปิดด้านข้างที่ประมาณ 1/3 จากฐานมีขนาด 30 × 10.5 $(\text{เซนติเมตร})^2$ และช่องกลมที่ด้านตรงข้ามประมาณ 10 เซนติเมตร จากด้านบน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.5 เซนติเมตร เพื่อให้สะดวกแก่การติดตั้งและปรับระยะแก๊ป อิเล็กโทรดแท่งกลมยึดอยู่ด้านบนซึ่งปรับระยะแก๊ปได้ ส่วนระนาบยึดอยู่บนโลหะแท่งกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร เพื่อให้แก๊ปอยู่ประมาณ 1/3 ของความสูงโครงกระบอกพีวีซีดังรูปที่ 4.1

โครงกระบอกพีวีซียึดอิเล็กโทรดนี้ติดตั้งอยู่ภายในกระบอกฉนวนอัดความดันทำด้วยท่อพีวีซี มีความคงทนต่อความดันได้ 8 บาร์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 31.8 เซนติเมตร หนา 12.9 มิลลิเมตร สูง 120 เซนติเมตร กระบอกฉนวนอัดความดันตั้งอยู่บนแท่งฉนวนอิพอกซีสูง 38 เซนติเมตร ด้านล่างของกระบอกฉนวนมีช่องอัดอากาศและมาตรวัดความดัน ดังรูปที่ 4.2 ภาพตัดของกระบอกพีวีซีและอิเล็กโทรด ดังในรูปที่ 4.3



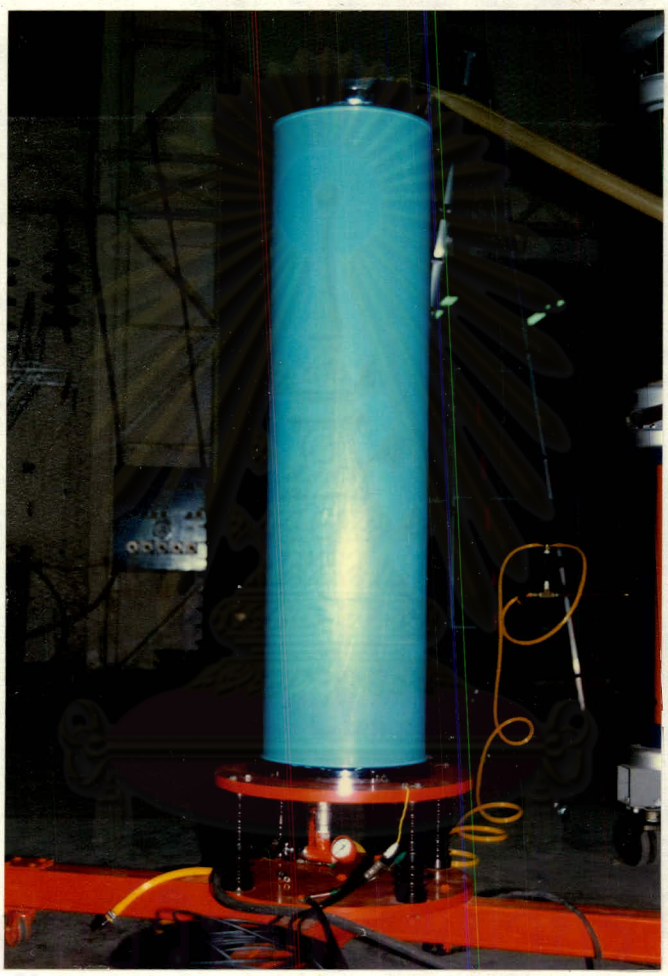
a) b)

รูปที่ 4.1 แสดงอิเล็กโทรดติดตั้งยึดด้วยโครงกระบอกพีวีซี

a) ติดตั้งอิเล็กโทรดภายในโครงกระบอกพีวีซี (กระบอกใน)

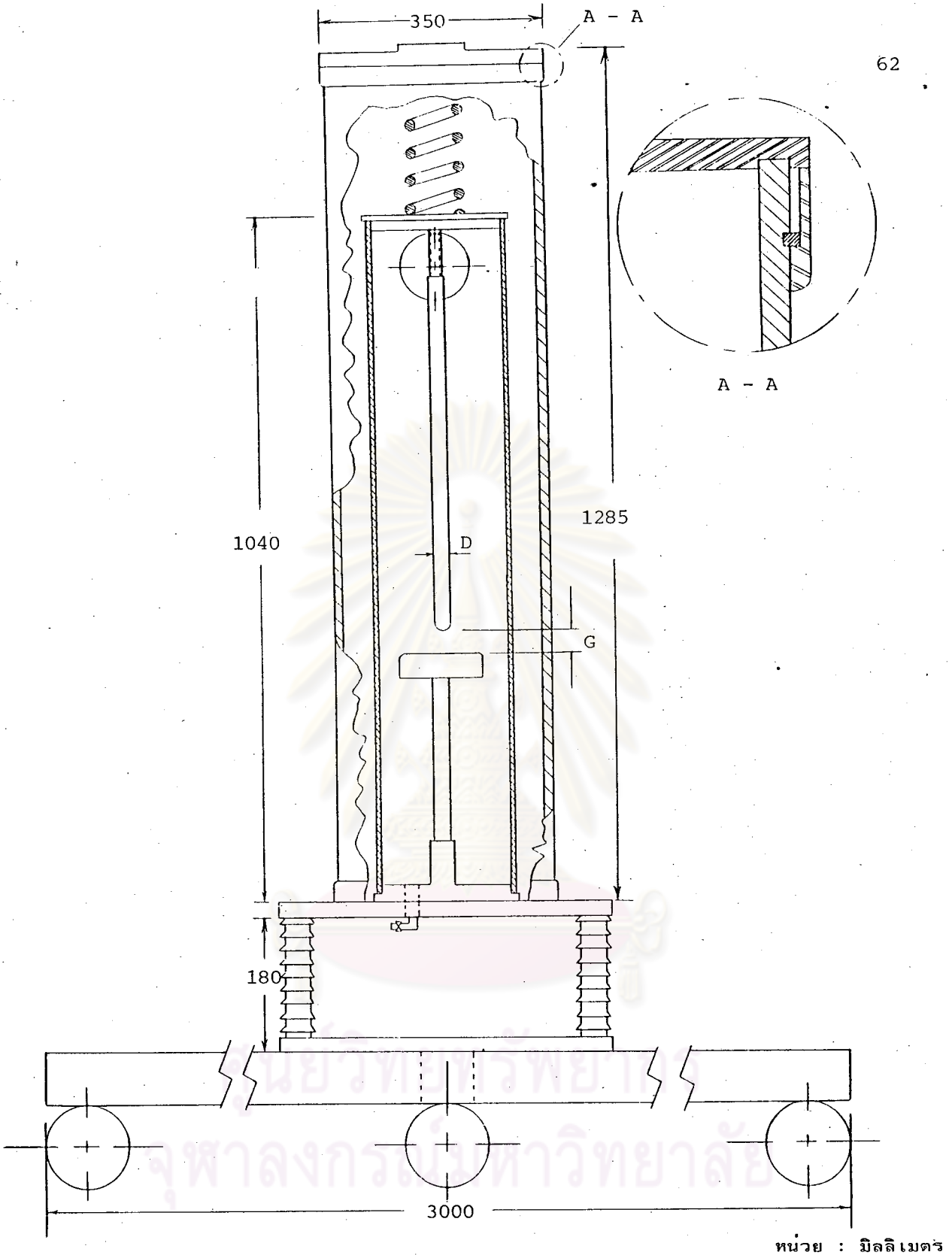
b) ติดตั้งโครงกระบอก a) ในกระบอกพีวีซีอัดความดัน (กระบอกนอก)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.2 แสดงกระบอกฉนวนอัดความดันตั้งอยู่บนแท่นฉนวนอิพอกซีพร้อมมาตรวัดความดัน



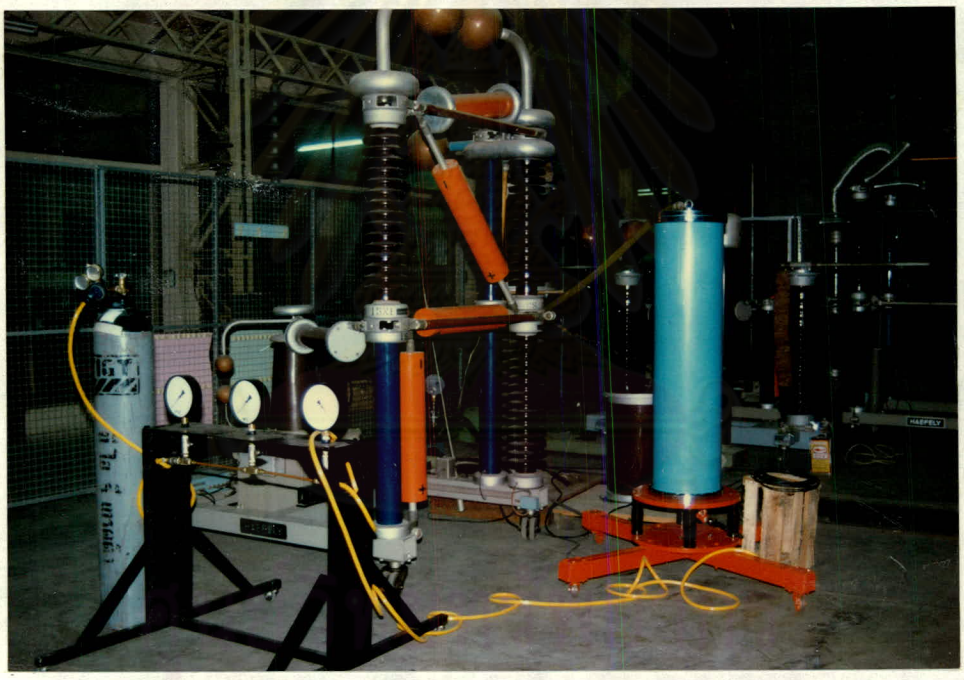
รูปที่ 4.3 แสดงภาพโครงสร้างของกระบอกพีวีซีและอิเล็กโทรด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2 ตัวจ่ายแรงดันทดสอบและระบบการวัดแรงดัน

แรงดันกระแสตรงได้จากวงจรเรกติฟายเออร์แบบแรงดันสองเท่า โดยเปลี่ยนแรงดันกระแสสลับ 50 แฮร์ตซ์ เป็นแรงดันกระแสตรง 2 ชั้น 400 kV 8 mA มีแฟกเตอร์ระลอก ≤ ± 3% แรงดันทดสอบวัดด้วยโวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทาน ความต้านทานภาคแรงสูง 1,600 MΩ 400 kV ดังรูปที่ 4.4 a)

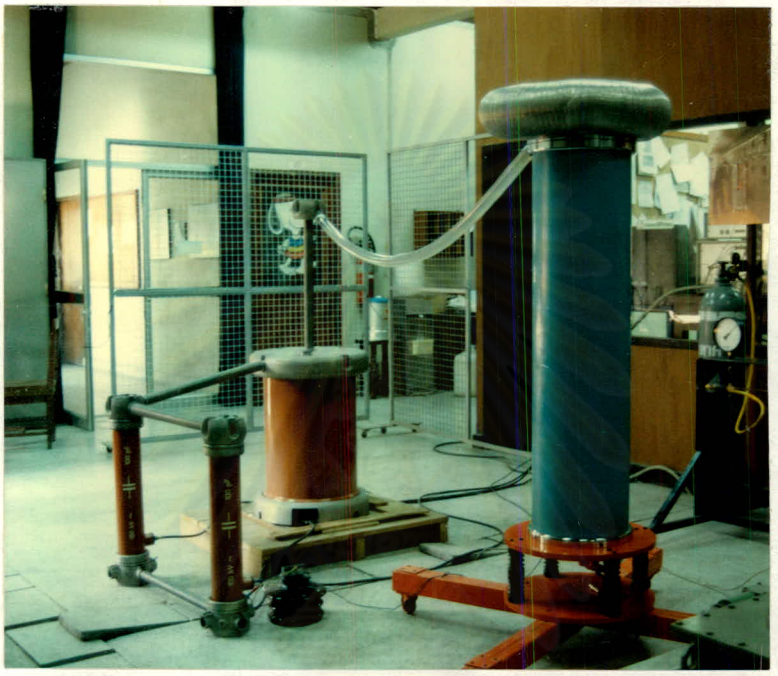
พระบรมราชูปถัมภ์ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 a) แสดงแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 400 kV 8 mA

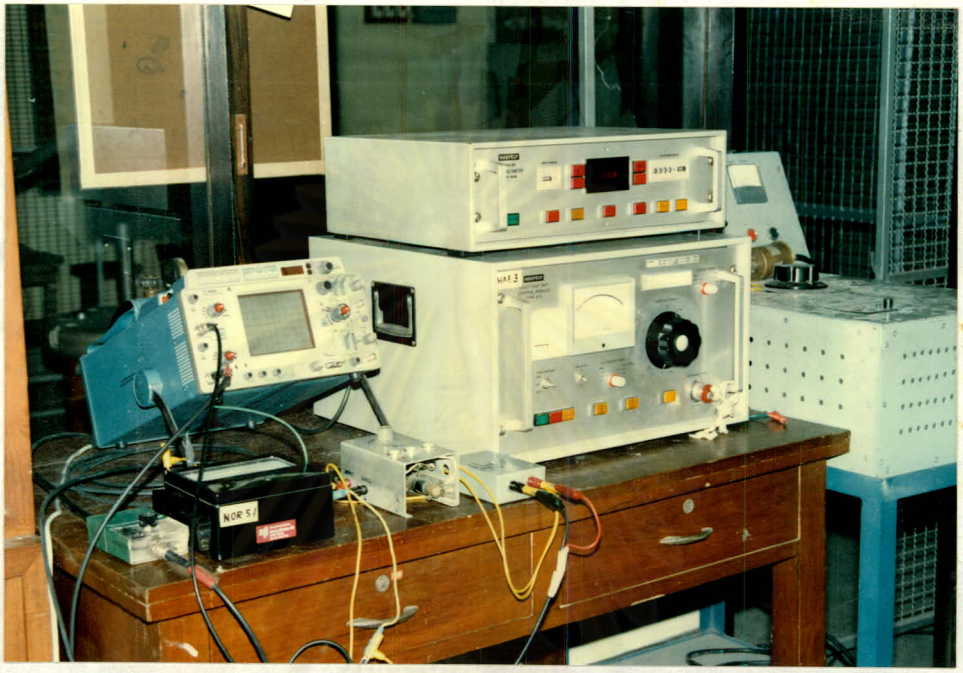
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แรงดันกระแสสลับ 50 แฮร์ตซ์ ได้จากหม้อแปลงทดสอบ 5 kVA 100 kv มีอิมพีแดนซ์ลัดวงจร 3.8% แรงดันทดสอบวัดด้วยโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุ มีความจุไฟฟ้าภาคแรงสูง 100 pF 100 kV ความจุไฟฟ้าภาคแรงต่ำ 0.1 μF 600 V ดังรูปที่ 4.4 b)



รูปที่ 4.4 b) แสดงแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ 50 แฮร์ตซ์ 5 kVA 100 kV

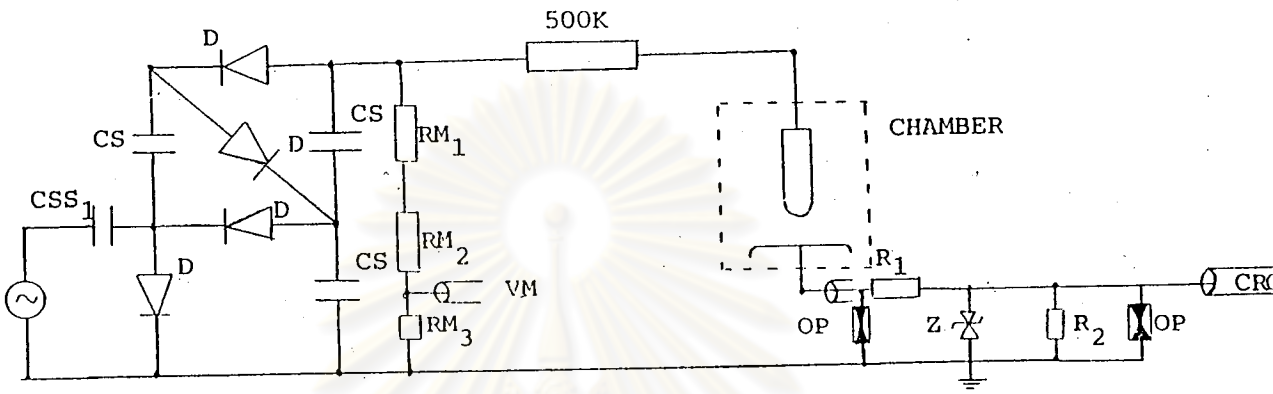
แรงดันภาคแรงต่ำทั้งแบบกระแสตรงและกระแสสลับวัดด้วยดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ ดังรูปที่ 4.5 ระบบวัดแรงดันทั้งกระแสตรงและกระแสสลับ แบ่งเทียบด้วยแก๊ปทรงกลม (Sphere gap) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร การจำกัดกระแสเบรคดาวน์ใช้ความต้านทานแบบน้ำขนาด 200 - 500 kΩ ต่อระหว่างตัวจ่ายแรงดันกับกระบอกฉนวนอัดความดัน



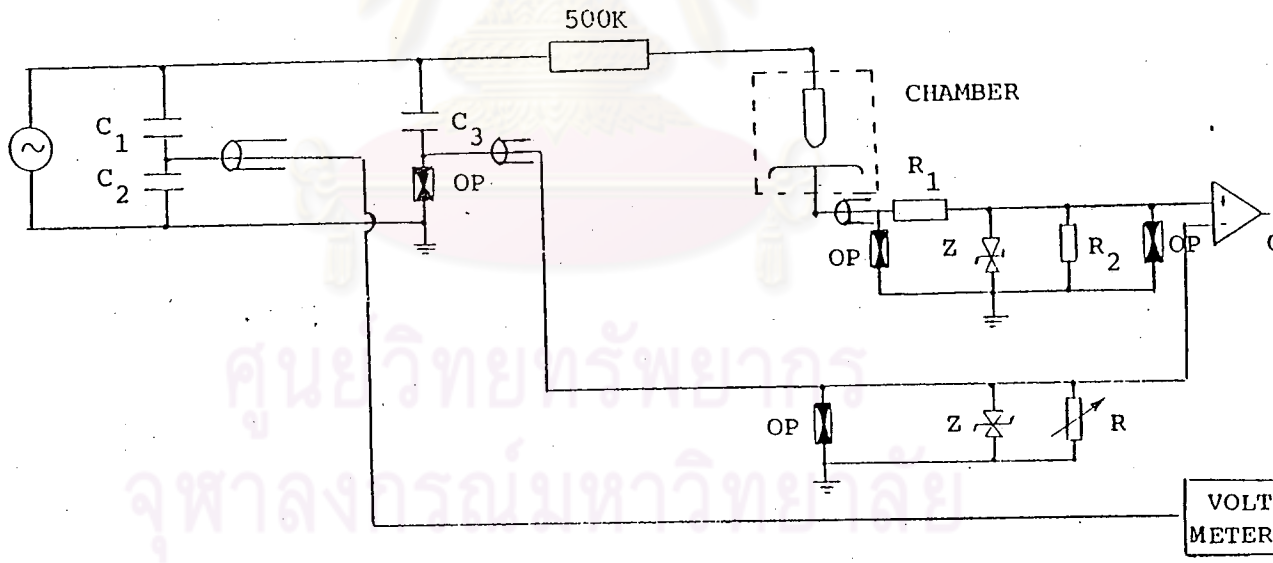
รูปที่ 4.5 แสดงอุปกรณ์ควบคุมและเครื่องวัด

แรงดันโคโรนาเริ่มเกิด กำหนดด้วยการเริ่มเกิดพัลส์ (Pulse) ตรวจจับด้วยออสซิล-โลสโคป โดยวัดแรงดันตกคร่อมของกระแสโคโรนาไหลผ่านความต้านทานขนาด 220 kΩ ต่อจากฐานกระบอกฉนวนอัดความดัน กรณีวัดแรงดันโคโรนาเริ่มเกิดแบบกระแสสลับ จะใช้ความจุไฟฟ้าประมาณ 50 pF 200 kV ชดเชยกระแสแบบประจุในแก๊ป เพื่อเพิ่มความไวในการตรวจจับพัลส์โคโรนา

เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากแรงดันเกินขณะเกิดเบรคดาวน์แก่ระบบวัดภาคแรงต่ำ จะต่อกับตัวแรงดันเกินขนานไว้กับความต้านทานวัดพัลส์โคโรนา ดังวงจรในรูปที่ 4.6



a) วงจรแรงดันกระแสตรง



b) วงจรแรงดันกระแสสลับ

รูปที่ 4.6 วงจรที่ใช้ทดลองพร้อมทั้งอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกิน

a) วงจรแรงดันกระแสตรง b) วงจรแรงดันกระแสสลับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การป้อนแรงดัน เริ่มต้นจากศูนย์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึง 90% ของแรงดันที่คาดว่าจะเกิดโคโรนา หลังจากนั้นอัตราการเพิ่มของแรงดันประมาณ 2 kV/sec. ค่าแรงดันเริ่มต้นหรือค่าแรงดันเบรคดาวน์แต่ละค่าเป็นค่าเฉลี่ยของแรงดันที่ป้อน อุณหภูมิห้องในขณะทดลองประมาณ 26 - 34 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ ประมาณ 758 - 763 มิลลิเมตรปรอท ความชื้นในบรรยากาศประมาณ 50 - 75%

4.1.3 การบรรจุก๊าซและการวัดความดัน

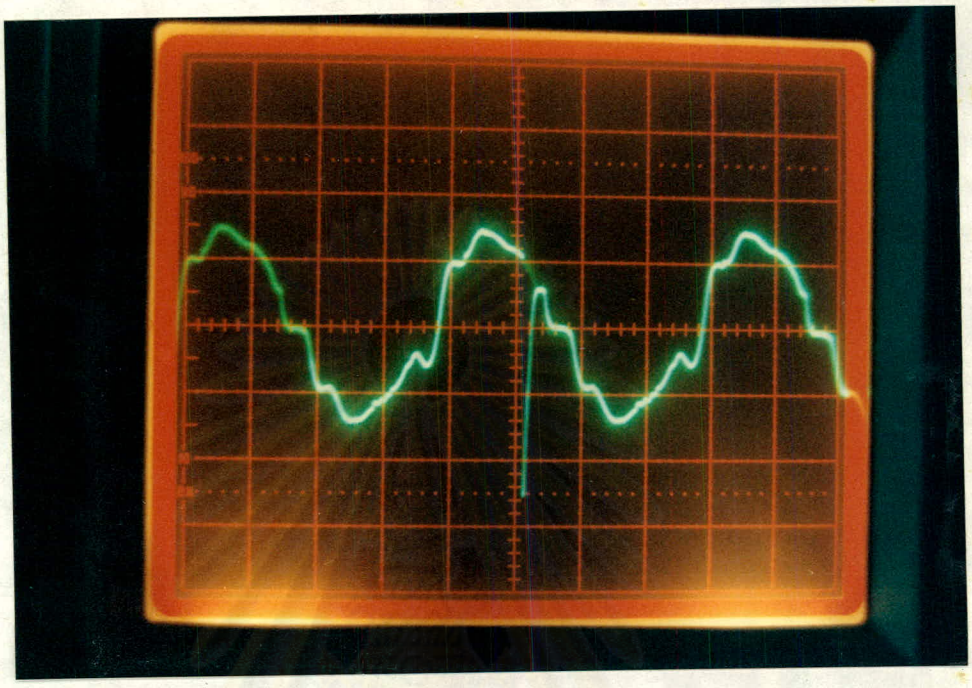
หลังจากทำความสะอาดและติดตั้งอิเล็กโทรดแล้ว ทำการดูดอากาศในกระบอกฉนวนอัดความดันออกให้เหลือประมาณ 5 ทอร์ (Torr) หลังจากนั้นจะอัดอากาศจากถังเก็บอากาศความดันสูงมีความบริสุทธิ์โดยมีสิ่งเจือปนไม่เกิน 1,000 PPM เข้าในกระบอกฉนวนอัดอากาศประมาณ 2 บาร์ แล้วปล่อยอากาศออก จากนั้นก็จะดูดอากาศในกระบอกฉนวนอีกหนึ่งครั้งให้เหลือประมาณ 5 ทอร์ แล้วจึงอัดอากาศเข้าไปในกระบอกฉนวนให้ได้ความดัน 5 บาร์ ปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที ก่อนเริ่มป้อนแรงดัน มาตรวัดความดันที่ใช้มีความคลาดเคลื่อน ± 0.6% ก่อนเริ่มต้นบันทึกค่าแรงดันได้ทำการป้อนแรงดันให้เกิดเบรคดาวน์ประมาณ 50 ครั้ง เพื่อให้สภาพของอิเล็กโทรดอยู่ตัว

4.2 วิธีทดลอง

การทดลองที่ระยะแก๊ปหนึ่งจะเริ่มต้นที่ความดันอากาศ 5 บาร์ ลดความดันอากาศลงมาจนถึง 0.2 บาร์ เพื่อหาค่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิด U_i และแรงดันเบรคดาวน์ U_b ในเทอมของความดันอากาศ กล่าวคือ $U_i, U_b = F(P)$ โดยใช้ตัวจ่ายแรงดันกระแสตรงขั้วบวก แรงดันกระแสตรงขั้วลบ และแรงดันกระแสสลับ การทดลองหาค่า U_i และ U_b กระทำได้ดังนี้

4.2.1 การทดลองหาค่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิด (U_i)

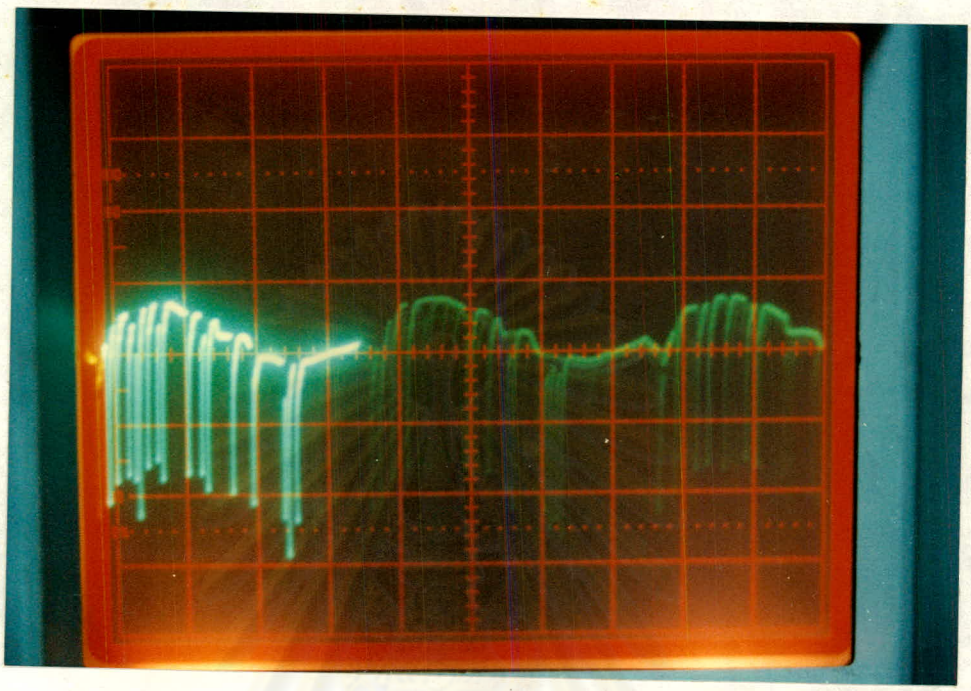
ค่า U_i หาได้โดยสังเกตรูปคลื่นแรงดันคร่อมความต้านทานที่ต่ออนุกรมกับแก๊ปที่ทดลอง ค่าแรงดันที่ป้อนแล้วปรากฏพัลส์ขึ้นเป็นพัลส์แรกและช่วงเวลาที่เกิดพัลส์ถัดไปไม่เกินกว่า 10 วินาที ค่าแรงดันนั้นจะเป็นแรงดันโคโรนาเริ่มเกิด หลังจากนั้นจะลดค่าแรงดันลงประมาณ 25% ของแรงดันที่เกิดโคโรนา แล้วเพิ่มแรงดันเพื่อหาค่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิด ผลการทดลองค่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิดได้จากการหาค่าเฉลี่ยจากการทดลองประมาณ 3 - 5 ครั้ง



รูปที่ 4.7 แสดงรูปพัลส์โคโรนาเริ่มเกิดจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขั้วลบ 112 kV. ของอิเล็กโทรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ระยะแก็ป 40 มิลลิเมตร ที่ความดัน 5.0 บาร์ ความต้านทาน (R_2) 220 kΩ

อัตราส่วนของแกน x : 0.1 Volts/Div.

อัตราส่วนของแกน y : 5 mS./Div.

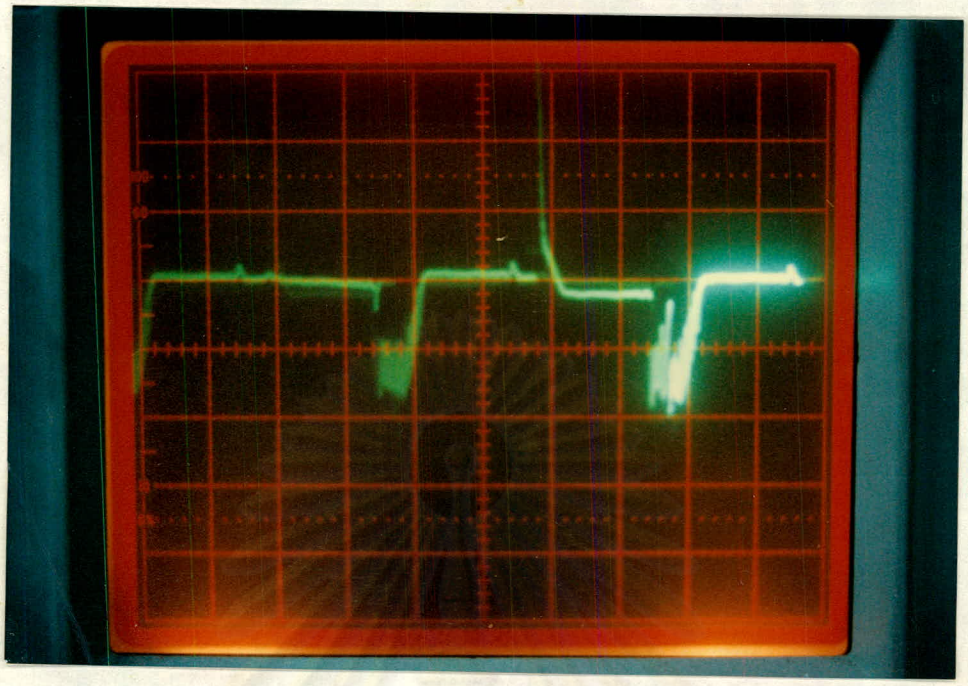


รูปที่ 4.8 แสดงรูปพัลส์โคโรนาจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขั้วลบ 84 kV. ของอิเล็กโทรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ระยะแก็ป 40 มิลลิเมตร ที่ความดัน 3.0 บาร์ ความต้านทาน (R_2) 22 kΩ

อัตราส่วนของแกน x : 50 mV./Div.

อัตราส่วนของแกน y : 5 mS./Div.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 แสดงรูปพัลส์ไคโรนาบวกและลบจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ 17 kV. ของอิเล็กโทรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ระยะแก็ป 40 มิลลิเมตร ที่ความดัน 0.6 บาร์ ความต้านทาน (R_2) 6.8 kΩ

อัตราส่วนของแกน x : 0.1 Volts/Div.

อัตราส่วนของแกน y : 5 mS./Div.

4.2.2 <u>การทดลองหาค่าแรงดันเบรคดาวน์ (U_b)</u>

ค่า U_b คือ ค่าแรงดันเบรคดาวน์ทั้งไคโรนาเบรคดาวน์และเบรคดาวน์โดยตรง สังเกตได้จากเครื่องวัดแรงดันและตัวป้องกันแรงดันเกินที่ต่ออนุกรมไว้กับอิเล็กโทรดรูปทรงระนาบทำงาน แรงดันขณะนั้นคือแรงดันเบรคดาวน์ ค่าแรงดันเบรคดาวน์หาได้จากการเฉลี่ยของค่าแรงดันเบรคดาวน์อย่างน้อย 20 ครั้ง