

# การออกแบบและสร้างชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสลับแบบตัวเก็บประจุ ขนาด 150 กิโลโวลต์

## Design and Invention a 150 kV Capacitive High Voltage Divider set

มินเรตน์ เตชะวงศ์ และ วรพงศ์ กันทะ

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเชียงราย

199 หมู่ที่ 6 ต.ป่าอ้อดอนชัย อ.เมือง จ.เชียงราย 57000

โทร 053-170332 โทรสาร 053-170335 E-mail: minareat57@gmail.com

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบ และสร้างชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสลับแบบตัวเก็บประจุขนาด 150 กิโลโวลต์ ตามมาตรฐาน IEEE Std.4 1995 อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า 1000:1 โดยส่วนประกอบหลักแบ่งออกเป็นสองส่วน คือส่วนภาคแรงดันไฟฟ้าสูงใช้ตัวเก็บประจุชนิดโพลีพรอบฟิล์มฟิล์มขนาด 3,300 พิโคฟารัด ต่ออนุกรมกันค่าความจุไฟฟ้ารวม 10.69 พิโคฟารัด ภาคแรงดันต่ำใช้ตัวเก็บประจุชนิดเดียวกันด้วยการต่อแบบผสม ค่าความจุไฟฟ้ารวม 11 นาโนฟารัด ทั้งหมดบรรจุในท่อฉนวนอะคริลิก ผลการทดลองค่าสเกลแฟคเตอร์แรงดันไฟฟ้ามีคุณสมบัติทางไฟฟ้าตามที่มาตรฐานกำหนด โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นการผลิตขึ้นใช้เองในประเทศไทย ลดการนำเข้าอุปกรณ์เทคโนโลยีจากต่างประเทศ

คำสำคัญ: ชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูง, ตัวเก็บประจุ, ฉนวน

### Abstract

The aim of this paper is presents a design and invention a 150 kV capacitors high voltage divider set as standard of IEEE Std.4 1995, It's voltage rate is 1000:1, There are two main parts of it's components: high voltage part using polypropylene film 3,300 Pico Farads per series prevented the total of 10.69 Pico Farads capacity and low voltage by using the same capacitors connected with integrated connection with the total 11 nano Farads capacitors, All part contain in a acrylic insulation pipe. The result of the test found that electrical voltage scale factor is of the electrical quality as specified standard. It's error is not over than 3 percent. As a result, this product was made in Thailand itself so that we can reduce the import of technological equipments from foreign country.

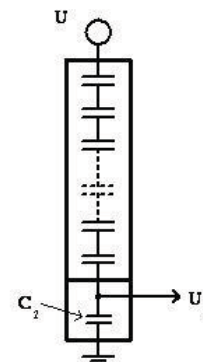
Keywords: Voltage divider set, capacitor, Insulator.

### 1. คำนำ

บทความนี้เป็นการออกแบบและสร้างชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูงแบบกระแสลับแบบตัวเก็บประจุ ซึ่งสามารถใช้วัดแรงดันสูงกระแสลับได้ ชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูงแบบกระแสลับแบบตัวเก็บประจุที่ออกแบบสร้างขึ้น มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้วัดแรงดันกระแสลับได้ 150 กิโลโวลต์ โดยอาศัยหลักการและเทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงเกี่ยวกับเทคนิคการวัดแรงดันสูง การคำนวณสนามไฟฟ้า คุณสมบัติของวัสดุฉนวนและเทคนิคการฉนวน ทำให้มองเห็นแนวทางที่จะสร้างชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูงแบบกระแสลับแบบตัวเก็บประจุ ขึ้นได้อย่างไร ประกอบกับมีอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบคุณสมบัติลักษณะการทำงานของชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นไปตามที่ออกแบบหรือได้คุณภาพตามที่มาตรฐานกำหนดหรือไม่ จึงมั่นใจได้ว่าจะออกแบบ และสร้างขึ้นได้สำเร็จ และได้ผลดีตามมาตรฐานกำหนด

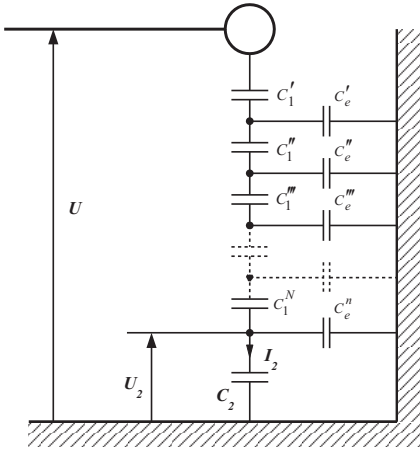
### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ตัวเก็บประจุแรงสูงชนิดนี้ ได้จากการนำเอาตัวเก็บประจุน้อยประเภทเซรามิกหรือตัวเก็บประจุกระดาษชุบน้ำมันฉนวนหรือชนิดอื่น จำนวนหลาย ๆ ตัวมาต่ออันดับกัน ซึ่งในโครงการนี้ได้เลือกใช้ตัวเก็บประจุน้อยชนิด Metalized Polypropylene Film Capacitor นำมาต่ออันดับกันเป็นตัวเก็บประจุภาคแรงสูง ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ตัวเก็บประจุภาคแรงสูงแบบใช้ตัวเก็บประจุน้อยต่ออันดับกัน

การต่อกันในลักษณะนี้ย่อมมีสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดของตัวเก็บประจุย่อยแต่ละตัวกับสิ่งหุ้มล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับส่วนที่ต่อลงดิน (Grounded) จึงมีความจุสเตรย์ (Stray capacitance) ลงดิน ซึ่งจะตัดทิ้งไม่นำมาคิดไม่ได้ วงจรสมมูลของชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบนี้แสดงดังรูปที่ 2.2 ประกอบด้วยตัวเก็บประจุแรงสูงย่อย ( $C'_1$ ) กับความจุสเตรย์ลงดินย่อย ( $C'_e$ ) ตามแนวความยาวของชุดแบ่งแรงดัน ในที่นี้จะไม่คิดผลของค่าความจุสเตรย์แผ่ระหว่างสายตัวนำแรงสูง ซึ่งถือว่ามีค่าน้อยมากจนสามารถละเลยได้ ดังนั้นจึงพิจารณาเฉพาะผลของความจุสเตรย์ลงดินย่อย ( $C'_e$ ) ตามแนวความยาวของชุดแบ่งแรงดันเท่านั้น



รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลของชุดแบ่งแรงดันแบบตัวเก็บประจุย่อยต่ออันดับ

เมื่อ  $C'_1$  คือ ตัวเก็บประจุย่อยของภาคแรงสูง  
 $C_2$  คือ ตัวเก็บประจุแรงต่ำ  
 $C'_e$  คือ ตัวเก็บประจุย่อยลงดิน

การหาค่าตัวเก็บประจุแรงสูงรวม  $C_1$  จะคำนวณจากตัวเก็บประจุย่อย  $C'_1$  โดยตรงไม่ได้ แต่อาจคำนวณได้จากกระแส  $I_2$  ที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ  $C_2$  ที่มีแรงดันคร่อมตั้งนั้น ตัวเก็บประจุผลรวมจึงหาได้จากความสัมพันธ์

$$I_2 = \omega C_1 U \quad (2.1)$$

ในทางปฏิบัติค่าตัวเก็บประจุไฟฟ้าลงดินนี้อาจประมาณได้จากความสูงของชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้า ในเทอมของ  $C_e/l$  ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณตั้งแต่ 10 ถึง 15 พิโคฟารัดต่อเมตร [5]

$$C_e = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln \left[ \frac{(2l)}{d} \sqrt{\frac{(4s+l)}{(4s+3l)}} \right]} \quad (2.2)$$

เนื่องจากไม่สามารถวัดค่าเก็บประจุสเตรย์ ( $C_n$ ) และ ( $C_e$ ) ได้โดยตรงดังนั้นการวัดค่าเก็บประจุภาคแรงสูงควรจะวัดในตำแหน่งที่ชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้าใช้งานจริง สำหรับชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบตัวเก็บประจุหรือแบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วง ค่าเก็บประจุภาคแรงสูงอาจวัดโดยใช้ Schering Bridge หรือ Transformer Ratio-Arm Bridge โดยไม่แนะนำให้ใช้ RLC Bridge แรงต่ำเพราะสายวัดและค่าเก็บประจุสเตรย์จะถูกรวมเข้าในการวัดด้วย ซึ่งทำให้ค่าสเกลแพกเตอร์ที่ได้คลาดเคลื่อน นอกจากนี้ค่าเก็บประจุของเคเบิลวัดยังมีผลต่อสเกลแพกเตอร์ของชุดแบ่งแรงดันซึ่งต้องนำมาพิจารณาด้วย

## 2.2 คุณสมบัติที่กำหนด

คุณลักษณะสมบัติที่กำหนดของชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการออกแบบและสร้างขึ้นนี้ เป็นชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบตัวเก็บประจุสำหรับใช้วัดแรงดันสูงกระแสสลับ การออกแบบและการทดสอบจะอ้างอิงตามเกณฑ์มาตรฐาน [7-8] กำหนดคุณสมบัติชุดแบ่งแรงดันขนาด 150 กิโลโวลต์ ที่ต้องการออกแบบสร้างแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 พิกัดแรงดันสูงสุดของชุดแบ่งแรงดันที่ต้องการออกแบบสร้าง

รายละเอียด	ค่าพารามิเตอร์
1. Rated Voltage	150 kV <sub>rms</sub>
2. Frequency	50 Hz
3. Ratio	1000:1
4. Accuracy	±1%

## 3. การออกแบบ

### 3.1 การออกแบบและสร้างตัวเก็บประจุภาคแรงสูง โครงสร้าง และการฉนวน

จากพิกัดแรงดันของชุดแบ่งแรงดันที่ต้องการออกแบบสร้าง 150 กิโลโวลต์ แรงดันทดสอบสูงสุดตามมาตรฐาน คือ การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Withstand Voltage Test) จะทำการทดสอบที่ 110 เปอร์เซ็นต์ [7-8] ของพิกัดแรงดัน คือ 165 กิโลโวลต์ ดังนั้นทำการออกแบบสร้างชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ 120 เปอร์เซ็นต์ ของพิกัดแรงดัน คือ 180 กิโลโวลต์ โดยใช้ตัวเก็บประจุย่อย ขนาด 3,300 พิโคฟารัด ± 5 เปอร์เซ็นต์ พิกัดแรงดัน 1,000 โวลต์ (DC) , 600 โวลต์ (AC) คำนวณหาจำนวนตัวเก็บประจุย่อย และค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงสูงดังนี้

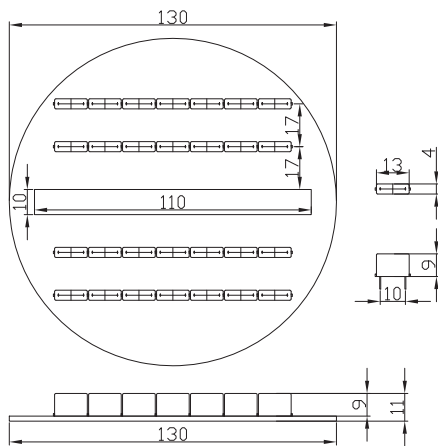
$$\text{จำนวนตัวเก็บประจุย่อยของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง} \\ N = \frac{180 \times 10^3 \text{ V}}{600 \text{ V}} = 300 \quad (2.3)$$

ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง

$$C_1 = \frac{3,300 \times 10^{-12} F}{300} = 11 \text{ pF} \quad (2.4)$$

การออกแบบต้องคำนึงถึงผลของแรงดันตกคร่อมองค์ประกอบตัวเก็บประจุน้อย และระยะการฉนวนภายใน รวมทั้งมิติการจัดวางที่เหมาะสม จะได้ลักษณะการจัดวางองค์ประกอบตัวเก็บประจุน้อยและระยะมิติต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 3.1

จากขนาดท่อฉนวนอะคริลิกที่มีจำหน่ายในท้องตลาด การออกแบบนี้เลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกขนาด 13 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร ออกแบบให้ชั้นวางตัวเก็บประจุน้อยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร โดยสามารถจัดวางตัวเก็บประจุน้อยต่อ 1 แผ่นได้ 4 แถว แถวละ 7 ตัว รวม 28 ตัว แรงดันตกคร่อมของตัวเก็บประจุในแต่ละชั้นจะได้ (600×28) 16.8 กิโลโวลต์ เมื่อคำนึงถึงค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวนอากาศในท่อฉนวนอะคริลิกที่ 25 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ดังนั้นระยะห่างระหว่างชั้นจะต้องไม่ต่ำกว่า 0.67 เซนติเมตร ในที่นี้จะออกแบบให้ระยะห่างระหว่างชั้น ห่าง 4 เซนติเมตร ขนาดของอะคริลิกที่ใช้ยึดชั้นตัวเก็บประจุน้อย องค์ประกอบย่อยของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง และภาคแรงต่ำทั้งหมดบรรจุไว้ภายในท่อฉนวนอะคริลิก โดยความยาวของท่ออะคริลิกที่ใช้มีความยาว 65 เซนติเมตร อิเล็กโทรดออกแบบสร้างจากอะลูมิเนียม โดยการกลึงขึ้นรูป ซึ่งจะทำการออกแบบให้สามารถถอดประกอบได้สะดวก



รูปที่ 3.1 มิติที่เหมาะสมในการจัดวางตัวเก็บประจุไฟฟ้า

### 3.2 การออกแบบและตัวเก็บประจุสร้างภาคแรงต่ำ

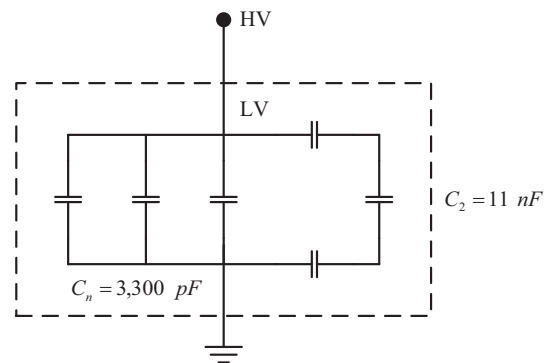
จากอัตราส่วนแรงดันที่กำหนด 1000:1 ดังนั้นจะได้แรงดันขาออกด้านแรงต่ำที่พิกัดเป็น 150 โวลต์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสามารถใช้กับเครื่องมือวัดด้านแรงต่ำทั่วไปได้ การเลือกใช้อัตราส่วน 1000:1 เพื่อความสะดวกของผู้ใช้ในการอ่านค่าและแปลงกลับเป็นค่าจริงได้ง่าย ดังนั้นจึงคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำเป็นดังการคำนวณต่อไปนี้

ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ

$$C_2 = \left( \frac{U}{U_2} \times C_1 \right) - C_1 \quad (2.5)$$

$$C_2 = (1,000 \times 11 \text{ pF}) - 11 \text{ pF} = 10.989 \text{ nF} \approx 11 \text{ nF}$$

ในที่นี้ใช้ตัวเก็บประจุน้อยขนาด 3,300 pF พิกัดแรงดัน พิกัดแรงดัน 1,000 โวลต์ (DC) , 600 โวลต์ (AC) เช่นเดียวกับองค์ประกอบย่อยของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง จำนวน 6 ตัวต่อแบบผสม ได้ค่าความจุไฟฟารวมของตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ 11 นาโนฟารัด ลักษณะการจัดวางองค์ประกอบย่อยของตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรการออกแบบตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ

### 3.3 ความจุสเตรลงดิน

ค่าแรงดันฉนวนไฟตามผิวฉนวนของท่อฉนวนอะคริลิก ประมาณ 40 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ออกแบบสร้างมีค่าพิกัดแรงดัน 150 กิโลโวลต์ ดังนั้นระยะฉนวนไฟตามผิวฉนวนควรมีอย่างน้อย 3.75 เซนติเมตร ในกรณีนี้ออกแบบให้ท่ออะคริลิกยาว 65 เซนติเมตร เนื่องจากในที่นี้ระยะความยาว (l) จะขึ้นอยู่กับมิติภายในที่ทำการออกแบบ ตัวเก็บประจุน้อยที่ใช้เป็นชนิด Metalized Polypropylene Film (WIMA Capacitor MKP10) ขนาด 3,300 พิโคฟารัด ใช้ตัวเก็บประจุน้อยทั้งหมด 300 ตัว นำมาต่ออนุกรมกันจำนวน 15 ชั้น แต่ละชั้นมีตัวเก็บประจุน้อย 20 ตัวต่ออนุกรมกัน ได้ความจุไฟฟ้ารวมเท่ากับ 11 พิโคฟารัด เมื่อนำตัวเก็บประจุมาเชื่อมต่อจะได้ขนาดความยาว (l) ของท่ออะคริลิกยาว 65 เซนติเมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) เท่ากับ 15 เซนติเมตร และระยะขั้วอิเล็กโทรดกลางเหนือพื้นดินของชุดแบ่งแรงดัน (s) 22 เซนติเมตร แทนค่าจะได้ดังนี้

$$C_e = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln \left[ \frac{(2l)}{d} \sqrt{\frac{(4s+l)}{(4s+3l)}} \right]} = \frac{2\pi \times (8.854 \times 10^{-12}) \times 0.65}{\ln \left[ \frac{(2 \times 0.65)}{0.15} \sqrt{\frac{(4 \times 0.22) + 0.65}{(4 \times 0.22) + (3 \times 0.65)}} \right]}$$

$$C_e = 22.773 \text{ pF}$$

### 3.4 การออกแบบอิลเล็กโตรด

การออกแบบอิลเล็กโตรดสำหรับลดความเครียดสนามไฟฟ้าบริเวณจุดต่อหรือขั้วแรงดันสูง และเป็นฝาปิดด้านบนและล่างของชุดแบ่งแรงดัน ใช้วิธีการออกแบบเช่นเดียวกับอิลเล็กโตรดซีลด์ภายนอกแบบวงแหวนท้อ ขนาดของอิลเล็กโตรดซีลด์ หาได้จากสมการความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด คือ

$$E_{\max} = \frac{U}{r_1 \ln(r_2 / r_1)} \quad (2.6)$$

โดยที่  $r_1$  คือ รัศมีของทรงกระบอกใน  
 $r_2$  คือ รัศมีของทรงกระบอกนอก

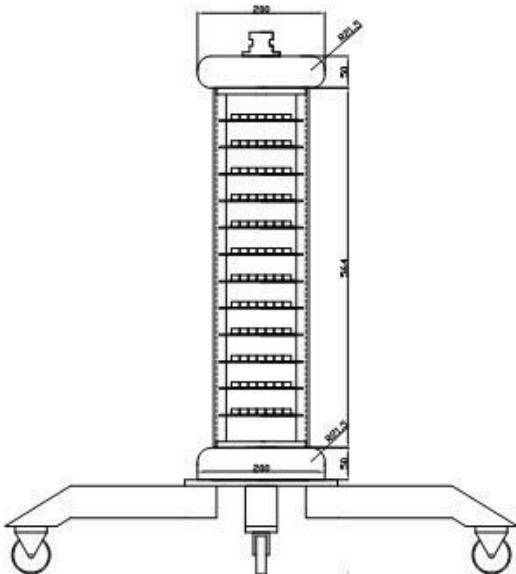
ที่แรงดันเริ่มต้นดีสชาร์จจะได้

$$r_1 = \frac{U_i}{E_b \ln(r_2 / r_1)} \quad (2.7)$$

โดยอ้างอิงค่า  $E_b = E_{\max}$  แรงดันพิกัดของชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้าเท่ากับแรงดันเริ่มต้นดีสชาร์จ  $U_i$  ในทางปฏิบัติใช้  $E_b$  ในอากาศ = 25 kV<sub>peak</sub>/cm ( $\approx 17.67$  kV<sub>rms</sub>/cm) และ  $r_2$  เท่ากับระยะห่างหรือช่องว่างของอิลเล็กโตรดซีลด์ห่างจากส่วนต่อลงดิน กำหนดให้  $r_2 \approx 50r_1$  จะได้

$$r_1 = \frac{150kV}{17.67kV/cm \times \ln(50)} = 2.16 \text{ cm}$$

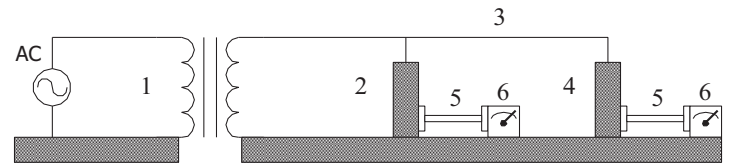
เพื่อความสะดวกในการกลึงขึ้นรูปควรจะออกแบบอิลเล็กโตรดให้มีรัศมีไม่ต่ำกว่า 2.16 เซนติเมตร ขนาดของอิลเล็กโตรดที่ออกแบบ แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แบบโครงสร้างชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบตัวเก็บประจุที่ออกแบบสร้าง

### 4. การทดสอบ

4.1 การทดสอบเบื้องต้น เป็นการทดสอบเพื่อประเมินสมรรถนะการทำงานของชุดแบ่งแรงดันแบบตัวเก็บประจุพิกัดแรงดัน 150 กิโลโวลต์ ที่ทำการออกแบบสร้าง โดยทำการทดสอบด้วยแรงดันสูงกระแสสลับขนาดแรงดัน 20 กิโลโวลต์ วงจรที่ใช้ในการทดสอบเป็นดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรที่ใช้ในการทดสอบ

โดยที่

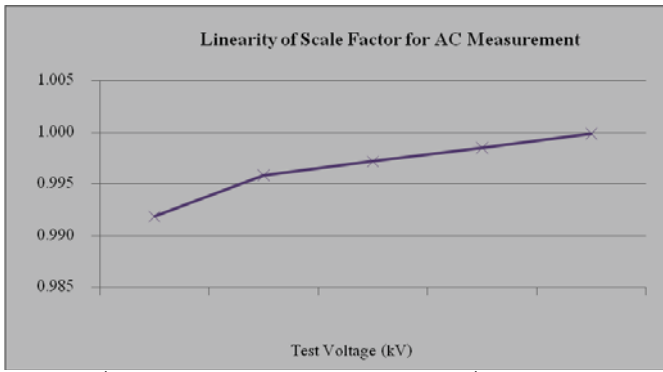
- 1 คือ หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง
- 2 คือ ระบบวัดอ้างอิง
- 3 คือ สายนำแรงสูง
- 4 คือ ชุดแบ่งแรงดันที่ออกแบบสร้าง
- 5 คือ สายเคเบิลวัด
- 6 คือ เครื่องมือวัดภาคแรงต่ำ



รูปที่ 4.2 การทดสอบจริง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นที่ระดับแรงดัน 20 kV<sub>rms</sub>

Test Voltage (kV)	Referent U <sub>ref</sub> (kV <sub>rms</sub> )	Calibration U <sub>C</sub> (kV <sub>rms</sub> )	U <sub>ref</sub> / U <sub>C</sub> (kV <sub>rms</sub> )
4	4.00	4.03	0.992
8	8.00	8.03	0.996
12	12.00	12.03	0.997
16	16.00	16.02	0.999
20	20.00	20.00	1.000
Average			0.997
standard deviation			0.003068



รูปที่ 4.3 กราฟความเป็นเชิงเส้นของระบบวัดที่ออกแบบสร้าง

จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.3 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นพบว่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของอัตราส่วนระหว่างแรงดันของระบบวัดจะอ้างอิงกับระบบวัดที่ทำการทดสอบมีค่าไม่เกิน  $\pm 1\%$  ของค่าเฉลี่ย ซึ่งเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด

4.2 การทดสอบ AC Withstand Voltage Test เพื่อทดสอบว่า องค์ประกอบภาคแรงสูงที่ออกแบบสร้างสามารถทนต่อแรงดันสูงที่พิกัดกำหนดได้ และไม่เป็นสาเหตุทำให้ชุดแบ่งแรงดันเสียหายเมื่อใช้งานที่พิกัดจึงทำการทดสอบความทนต่อแรงดันสูงกระแสลับ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ที่ระดับแรงดันทดสอบ 110 เปอร์เซ็นต์ ของพิกัด [7] นาน 1 นาที ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งสามารถทนต่อแรงดันที่พิกัด

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบ AC Withstand Voltage Test

No	Rate Voltage (kV <sub>rms</sub> )	Test Voltage (kV <sub>rms</sub> )	Test Time (sec)	Results
1	150	165	60	Withstand
2	150	165	60	Withstand
3	150	165	60	Withstand

ตารางที่ 4.3 ผลทดสอบการทดสอบความมีเสถียรภาพ

No.	U <sub>ref</sub> (kV <sub>rms</sub> )	U <sub>c</sub> (kV <sub>rms</sub> )	$\frac{U_{ref} - U_c}{U_{ref}}$	$\frac{U_{ref}}{U_c}$
1	20.00	21.85	-0.093	0.915
2	20.00	21.85	-0.093	0.915
3	20.00	21.85	-0.093	0.915
4	20.00	21.85	-0.093	0.915
5	20.00	21.85	-0.093	0.915
6	20.00	21.85	-0.093	0.915
7	20.00	21.85	-0.093	0.915
8	20.00	21.85	-0.093	0.915
9	20.00	21.85	-0.093	0.915
10	20.00	21.85	-0.093	0.915
Average	20.00	21.85	-0.093	0.915
Standard Deviation				0

จากตารางที่ 4.3 ผลทดสอบการทดสอบความมีเสถียรภาพที่ระดับแรงดัน 20 กิโลโวลต์พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนแรงดันของระบบวัดอ้างอิงและระบบวัดที่ออกแบบ และสร้าง อยู่ที่ 0 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

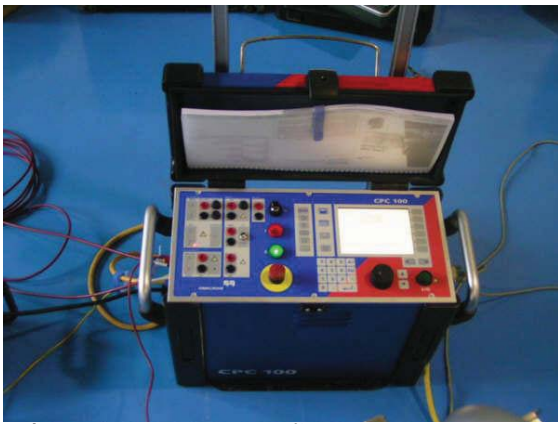
การวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง และภาคแรงดันต่ำ โดยใช้เครื่องมือวัดค่าความจุไฟฟ้า OMICRON Model CPC 100 ในรูปที่ 4.4 ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง

ค่า C <sub>1</sub> ทางคำนวณ (pF)	ค่า C <sub>1</sub> ทางการวัด (pF)	%Error
11	10.69	2.80

ตารางที่ 4.5 ผลการวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ

ค่า C <sub>2</sub> ทางคำนวณ (pF)	ค่า C <sub>2</sub> ทางการวัด (pF)	%Error
11	11	0



รูปที่ 4.4 เครื่องมือวัดค่าความจุไฟฟ้า OMICRON Model CPC 100

## 5. สรุปผลการทดลอง

ชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสสลับแบบตัวเก็บประจุที่สร้างขึ้น ภาคแรงดันสูงประกอบด้วยตัวเก็บประจួយ่อยต่ออันดับ ใช้ตัวเก็บประจួយ่อยชนิด Metalized Polypropylene Film ขนาด 3,300 พิโคฟารัด  $\pm 5$  เปอร์เซ็นต์ พิกัดแรงดัน 1,000 โวลท์ (DC) , 600 โวลท์ (AC) ออกแบบให้ใช้วัดแรงดันสูงกระแสสลับ 150 กิโลโวลต์ โดยมีอัตราส่วนแรงดัน 1000:1 และให้มีคุณสมบัติได้ตามที่มาตรฐาน IEC 60060-2 (1994) และ IEEE Std.4 (1995) กำหนด

ผลของการออกแบบสร้างตัวเก็บประจุภาคแรงสูงของชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้าได้ข้อมูลทางเทคนิคดังต่อไปนี้

- ค่าความจุไฟฟ้าภาคแรงสูง  $C_1 = 10.23$  พิโคฟารัด
- ค่าความจุไฟฟ้าภาคแรงต่ำ  $C_2 = 11$  นาโนฟารัด
- อัตราส่วนแรงดัน = 1000:1

สามารถทนต่อแรงดันทดสอบได้ AC 50-60 เฮิร์ตซ์ 1 นาที มีคุณสมบัติของชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้าตามที่มาตรฐาน IEC 60060-2 (1994) และ IEEE Std.4 (1995)

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายณัฐพล สาริกะวณิช นายดิลก ทองเลิศ นาย บำรุง ศักดิ์ ทศแสนสิน นาย สิทธิชัย เมื่อนจินดา นายกัมปนาท อุทานนท์ และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่ให้ความร่วมมือในการดำเนินงานนี้ให้เสร็จลุล่วงด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สำรวัย สังข์สะอาด และ คมสัน เพ็ชรรัักษ์, “ชุดแบ่งแรงดันแรงสูงแบบคเคแปซิเตอร์”, รายงานผลการประดิษฐ์ทุนอุดหนุนโครงการสิ่งประดิษฐ์, 2532.
- [2] สำรวัย สังข์สะอาด, “วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง”, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.

- [3] ชนะ อูระวัฒน์พันธ์ และคณะ, “การออกแบบและสร้างชุดแบ่งแรงดันมาตรฐานขนาดพิกัด 300 กิโลโวลต์”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2542.
- [4] ไชยพร หล่อทองคำ และคณะ, “รายงานการออกแบบสร้างชุดแบ่งแรงดันมาตรฐานแบบตัวเก็บประจุขนาดพิกัด 300 กิโลโวลต์ สำหรับใช้วัดแรงดันสูงกระแสสลับ”, โครงการวิจัยภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2546.
- [5] กรณ์ นิธิสมบัติ และคณะ, “การออกแบบและสร้างเครื่องวัดค่ายอดแรงดันสูงกระแสสลับขนาดพิกัด 120 กิโลโวลต์ ด้วยเทคนิควิธี Chubb-Fostescue Method”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2541.
- [6] IEEE Std. 4, “Standard Techniques for High-Voltage Testing”, IEEE Power Engineering Society, New York, USA, March 1995.
- [7] IEC Publication 60060-1, “High-voltage Test Techniques, Part 1: General definitions and test requirements”, Geneva, 1989.
- [8] IEC Publication 60060-2, “High-voltage Test Techniques, Part 2: Measuring Systems”, Geneva, 1994.