การออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดแรงดันสูงด้วยเทคนิคแบ่งแรงดันชนิดตัวเก็บประจุพิกัด 100kV สำหรับห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง

อานนท์ อิศรมงคลรักษ์[1*], เกริกพล หอมทวนลม[1], วรวุฒิ เสือผู้[1] และ นันทนี พรหมทัตย์[1]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[*]anone@webmail.npru.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการออกแบบและสร้างโวลท์เตจดิไวเดอร์ขนาดเล็กชนิดตัวเก็บประจุสำหรับวัดแรงดันสูงกระแสสลับและกระแสตรงขนาดพิกัด 100kV_p ซึ่งมีองค์ประกอบหลักแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือองค์ประกอบภาคแรงสูงใช้ตัวเก็บประจุชนิด metallized polypropylene film ขนาด 3,300 pF 630 V_{dc} ±10% ต่ออนุกรมกันเป็นจำนวน 236 ตัว มีค่าความจุไฟฟ้ารวม 13.98 pF และองค์ประกอบภาคแรงต่ำใช้ตัวเก็บประจุชนิด metallized polyester film cap ขนาด 1.5 nF 630V_{dc} ±5% ต่อขนานกัน 4 ตัวมีค่าความจุไฟฟ้ารวม 6.14 nF บรรจุอยู่ในฉนวนน้ำมันหม้อแปลงซึ่งมีค่าความคงทนฉนวนเท่ากับ 140kV/cm สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าสูงกระแสสลับและกระแสตรงโดยมีอัตราส่วนแรงดันลดทอนของภาคแรงสูงต่อภาคแรงต่ำ 400:1 โดยเครื่องวัดแรงดันสูงที่สร้างขึ้นได้รับการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 60060-2จากผลการทดสอบโวลท์เตจดิไวเดอร์สามารถใช้งานในห้องปฏิบัติการโดยมีพิสัยการวัดแรงดันสูงตั้งแต่ 1kV_p – 120kV_p และมีความถูกต้องแม่นยำตลอดการวัดและมีค่าความผิดพลาดสูงสุด 2.8% ซึ่งไม่เกิน 3% ที่กำหนดตามมาตรฐาน IEC 60060-2

คำสำคัญ: โวลท์เตจดิไวเดอร์ การวัดแรงดันสูง ตัวเก็บประจุ

Design and Build the 100kV Capacitive Voltage Divider use for High Voltage Engineering Laboratory

Arnon Isaramongkolrak[1*] , Kroekphon Homthuanlom [1], Worawut Suepu[1] and Nantanee Prommatat[1]

[1]Electrical Engineering Department, Science and Technology Faculty, Nakhonpathom Rajabhat University
[*]anone@webmail.npru.ac.th

Abstract

This paper presents how to design and build the small voltage divider with capacitors type to measure both of AC and DC high voltage which have the rated of voltage is 100 kV_p. This thesis focuses on design the capacitor value which are divided to two parts as the main components. In term of high voltage as the first part, the metallized polypropylene film capacitors with 3,300 pF 630 V_{dc} specification %10± are usedfor series connection of 236 capacitors 13.98 pF total capacitance ,Moreover, the low voltage as the second part, the metallized polyester film cap with 1,500 nF 630Vdc± %5 specification are used for parallel connection of 4 capacitors and 6.14 nF total capacitance. All capacitors are contained in oil as the insulator which has the electrical dielectric is 140 kV/cm. In addition, the ratio of high voltage and low voltage both of AC and DC input are designed in the similar value is 440:1. For the experimental results, this voltage divider can be measure with high accuracy of peak voltage range from 1 kV_p - 120 kV_p and error less than 3% following withstand test of IEC 60060-2 Standard

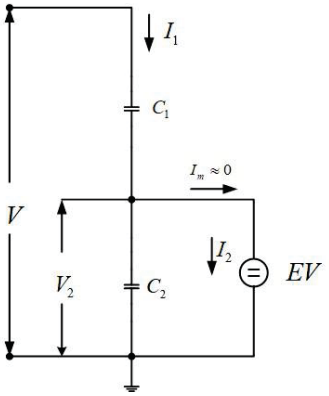
Keywords: Voltage Divider, High Voltage Measurement, Capacitor

1. บทนำ

ระบบไฟฟ้าในประเทศไทยมีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งผลิตกำลังงานไฟฟ้าไปยังผู้ใช้งานโดยส่วนใหญ่จะส่งผ่านในรูปแบบของสายส่งเหนือศีรษะ โดยใช้ระดับแรงดันสูงในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าอาทิเช่น ระดับ 115 kV 230 kV และ 500 kV เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากการส่งในระดับแรงดันสูงสามารถส่งได้ในระยะทางที่ไกล และทำให้ค่ากำลังงานสูญเสียในสายส่งลดน้อยลง ดังนั้นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่อพ่วงอยู่ในระบบไฟฟ้าจะต้องสามารถทนต่อแรงดันไฟฟ้าได้ โดยจำเป็นต้องได้รับการทดสอบทางด้านแรงสูงเพื่อวิเคราะห์ถึงค่าความคงทนของฉนวนในอุปกรณ์ทุกประเภท เนื่องจากการส่งจ่ายในประเทศไทยเป็นการส่งเหนือศีรษะการเกิดความผิดพร่องในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจึงไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ผู้ที่ปฏิบัติการหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงต้องมีการคอยดูแลความปลอดภัยและตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ อยู่เป็นประจำ ดังนั้นการตรวจวัดเพื่อวิเคราะห์สถานการณ์ต่างๆ จะต้องตรวจในสภาวะที่มีการใช้งานจริงซึ่งเป็นระดับของแรงดันที่สูงทำให้ไม่สามารถใช้เครื่องมือวัดแรงดันต่ำไปใช้งานได้ เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านฉนวนและความสามารถด้านการวัด ด้วยเหตุนี้การวัดแรงดันสูงจึงต้องมีการสร้างวงจรเฉพาะที่สามารถลดทอนระดับแรงดันให้เหมาะสมกับเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าที่มีอยู่โดยอาศัยหลักการแบ่งแรงดันไฟฟ้า

2. โวลท์เตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุ

โวลท์เตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุประกอบด้วย ตัวเก็บประจุภาคแรงดันสูงต่ออันดับกันอยู่กับตัวเก็บประจุภาคแรงดันต่ำ ซึ่งค่าตัวเก็บประจุภาคแรงดันสูงจะต้องมีค่าไม่มากนัก เพื่อป้องกันมิให้เป็นโหลดแก่เครื่องกำเนิดแรงดันสูงส่วนตัวเก็บประจุภาคแรงดันต่ำนั้นควรจะมีค่าเป็นสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อลดทอนแรงดันสูงลงมาให้มีค่าแรงดันที่ต่ำ พอที่จะสามารถใช้กับโวลท์มิเตอร์หรือเครื่องวัดภาคแรงต่ำวัดได้ [1],[3] หลักการของโวลท์เตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โวลท์เตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุ

โดยที่ V คือ แรงดันที่ต้องการวัด
V_2 คือ แรงดันที่แบ่งออกมาวัด
Z_1 คือ อิมพีแดนซ์ภาคแรงสูง
Z_2 คือ อิมพีแดนซ์ภาคแรงต่ำ
EV คือ เครื่องมือวัดที่มีอิมพีแดนซ์ทางด้านเข้าสูง

โดยหลักการแล้วกระแสที่ไหลเข้าเครื่องมือวัด (I_m) นั้นต้องมีค่าน้อยมากจนเกือบเป็นศูนย์ นั้นคือกระแสไหลผ่านตัวเก็บประจุภาคแรงดันสูงและภาคแรงดันต่ำจะต้องเท่ากัน [2] คือ

$$\mathrm{I}_1 = \omega C_1 V = \left[\frac{\omega C_1 C_2}{C_1 + C_2}\right] \times V \qquad (1)$$

และ $$I_2 = \omega C_2 V_2 = I_1 \quad \text{เมื่อ} \quad I_m \approx 0 \qquad (2)$$

ดังนั้นจะได้ $$V = \left[\frac{C_1 + C_2}{C_1}\right] \times V_2 \qquad (3)$$

$C_2 \gg C_1$ เมื่อกำหนดให้ จะได้เป็น $$V = \left[\frac{C_2}{C_1}\right] \times V_2 \qquad (4)$$

3. การออกแบบและสร้างโวลท์เตจดิไวเดอร์

บทความนี้มีการกำหนดชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการออกแบบและสร้างขึ้นมีคุณลักษณะสมบัติที่เป็นชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบตัวเก็บประจุสำหรับใช้วัดแรงดันสูงกระแสสลับและกระแสตรง การออกแบบและการทดสอบจะอ้างอิงตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนด [10]–[12] คุณสมบัติชุดแบ่งแรงดันที่ออกแบบสร้างมีพิกัดขนาด 100 kV_pแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พิกัดแรงดันสูงสุดของชุดแบ่งแรงดันที่ต้องการออกแบบสร้าง

รายละเอียด	ค่าพารามิเตอร์
1. Rated Voltage	100 kV_p
2. Frequency	50 Hz
3. Ratio	440:1
4. Accuracy	±3%

บทความนี้ได้ออกแบบพิกัดแรงดันของชุดแบ่งแรงดันโดยกำหนดจากพิกัดของหม้อแปลงแรงสูงซึ่งสามารถจ่ายค่าแรงดันไฟฟ้าได้ 100 kV_p เพื่อให้สามารถวัดค่าแรงดันสูงได้ตามพิกัด และกำหนดให้แรงดันทดสอบสูงสุดตามมาตรฐาน คือ การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Withstand Voltage Test) จะทำการทดสอบที่ 110 % ของพิกัดแรงดัน ดังนั้นทำการออกแบบสร้างชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ 120 % ของพิกัดแรงดัน คือ 120 kV_p

คำนวณหาจำนวนตัวเก็บประจุย่อย ภาคแรงสูง [4] – [5]

$$N = \frac{100\,kV \times \sqrt{2}}{600\,V} = 236 \tag{5}$$

ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง

$$C_1 = \frac{3300\,pF}{236} = 13.98\,pF \tag{6}$$

บทความนี้จะพิจารณาจากอัตราส่วนแรงดันภาคแรงสูงต่อภาคแรงต่ำเป็น 440:1 ดังนั้นจะได้แรงดันขาออกด้านแรงต่ำที่พิกัดเป็น 100V ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสามารถใช้กับเครื่องมือวัดด้านแรงต่ำทั่วไปได้ และเพื่อความสะดวกของผู้ใช้ในการอ่านค่าและแปลงกลับเป็นค่าจริงได้ง่าย ดังนั้นจึงคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำเป็นดังการคำนวณต่อไปนี้

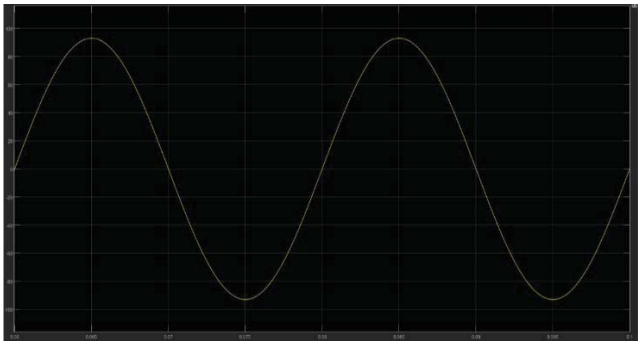
ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ [6] – [9]

$$C_2 = \left(\frac{V_1}{V_2} \times C_1\right) - C_1 \tag{7}$$

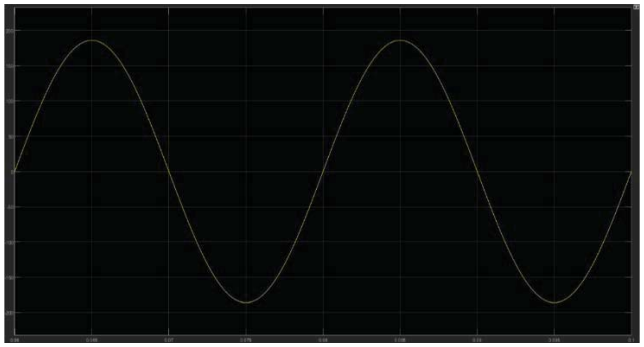
$$C_2 = \left(440 \times 13.98\,pF\right) - 13.98\,pF = 6.14nF \approx 6nF$$

4.ผลการจำลองจำลองของแหล่งจ่ายกระแสสลับและแหล่งจ่ายกระแสตรง

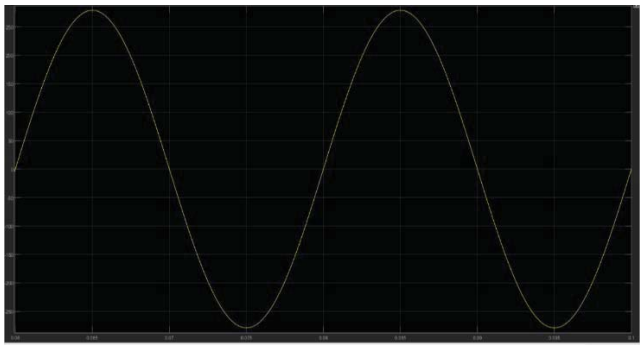
บทความนี้ได้ดำเนินการจำลองผลด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink แหล่งจ่ายกระแสสลับเพื่อเปรียบเทียบผลการจำลอง ซึ่งการจำลองผลได้ผลการจำลองดังภาพที่ 2, 3 และภาพที่ 4 ตามลำดับ โดยการป้อนแหล่งจ่ายกระแสสลับ



ภาพที่ 2 ผลการจำลองแรงดันขาออกภาคแรงต่ำเมื่อป้อนแหล่งจ่ายกระแสสลับที่ 40kV_p

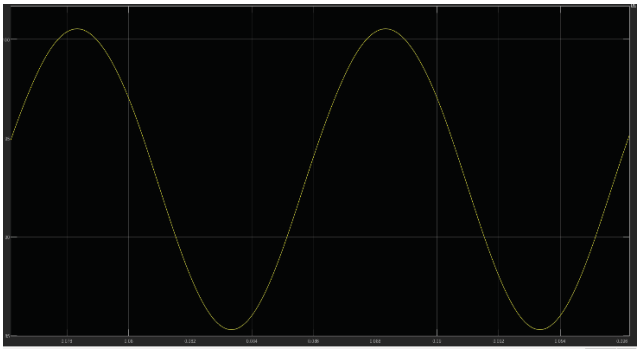


ภาพที่ 3 ผลการจำลองแรงดันขาออกภาคแรงต่ำเมื่อป้อนแหล่งจ่ายกระแสสลับที่ 80kV_p

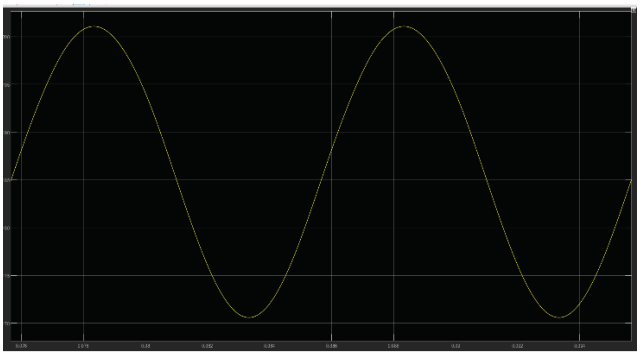


ภาพที่ 4 ผลการจำลองแรงดันขาออกภาคแรงต่ำเมื่อป้อนแหล่งจ่ายกระแสสลับที่ 120kV_p

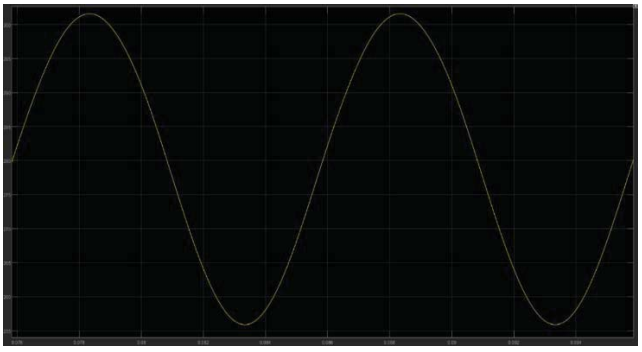
บทความนี้ได้ดำเนินการจำลองผลด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink แหล่งจ่ายกระแสสลับเพื่อเปรียบเทียบผลการจำลอง ซึ่งการจำลองผลได้ผลการจำลองดังภาพที่ 5, 6 และภาพที่ 7 ตามลำดับ โดยการป้อนแหล่งจ่ายกระแสตรง



ภาพที่ 5 ผลการจำลองแรงดันขาออกภาคแรงต่ำเมื่อป้อนแหล่งจ่ายกระแสตรงที่40 kV_p



ภาพที่ 6 ผลการจำลองแรงดันขาออกภาคแรงต่ำเมื่อป้อนแหล่งจ่ายกระแสตรงที่ 80kV_p



ภาพที่ 7 ผลการจำลองแรงดันขาออกภาคแรงต่ำเมื่อป้อนแหล่งจ่ายกระแสตรงที่ 120kV_p

จากที่ได้ทำการจำลองผลในโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยการป้อนแหล่งจ่ายกระแสสลับและกระแสตรง จะได้ค่าแรงดันเอาต์พุตภาคแรงต่ำและค่าความผิดพลาดของแหล่งจ่ายกระแสสลับและกระแสตรง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าแรงดันเอาท์พุตภาคแรงต่ำและค่าความผิดพลาดของแหล่งจ่ายกระแสสลับและกระแสตรง

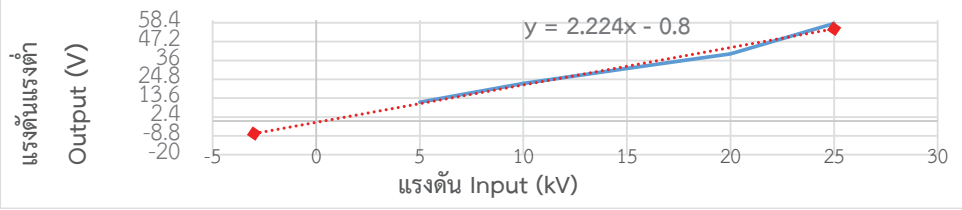
แรงดัน Input AC (kV_p)	แรงดัน Output (ภาคแรงต่ำ)		ค่าความผิดพลาดจากการคำนวณเทียบกับการจำลอง (%)	แรงดัน Output (ภาคแรงต่ำ)		ค่าความผิดพลาดจากการคำนวณเทียบกับการจำลอง (%)
	ค่าจากการคำนวณ (V_p)	ผลจากการจำลอง (V_p)		ค่าจากการคำนวณ (V_{rms})	ผลจากการจำลอง (V_{rms})	
40	90.909	93.003	2.303	90.909	93.379	2.717
80	181.818	186.007	2.304	181.818	186.524	2.588
120	272.727	279.010	2.304	272.727	266.879	2.144

5.การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า (Withstand Voltage Test)

บทความนี้ได้ทำการทดสอบเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าองค์ประกอบของภาคแรงสูงของโวลท์เตจดิไวเดอร์สามารถทนต่อแรงดันเบรกดาวน์ในขณะใช้งานจริงได้ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดความเสียหายและเกิดอันตรายกับโวลท์เตจดิไวเดอร์ที่ออกแบบสร้างข้อกำหนดตามมาตรฐานให้ทำการทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าที่ระดับแรงดันทดสอบ 110% ของพิกัดแรงดันสูงสุดนาน 60 วินาทีตามมาตรฐาน IEC 60060-2 [11]-[12] โดยจะปรับพิสัยการวัดตั้งแต่ 5kV–25kV เมื่อทดสอบได้ถึงค่าที่ 25kV อุปกรณ์ที่นำไปทดสอบได้เกิดปัญหาขึ้นจึงได้หยุดการทดสอบจะทำให้ได้ผลการทดสอบค่าที่ได้ดังตารางที่ 3 นำผลการทดสอบนำมาพล็อตกราฟเพื่อสมการเชิงเส้นจะได้ดังภาพที่ 8 และในการทดสอบครั้งนี้ได้ขอความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงของ บริษัท ซีซี ทรานสฟอร์มเมอร์ จำกัด จ.สมุทรปราการ

$$y = mx - b \tag{8}$$

โดยที่ y คือ ค่าแรงดันเอาต์พุตภาคดรงต่ำ
m คือ ค่าความชัน
x คือ ค่าแรงดันอินพุตภาคแรงสูง
b คือ ต่ำแหน่งจุดตัดบนแนวแกน x



ภาพที่ 8 ค่าแนวโน้มความสัมพันธ์ค่าแรงดันภาคแรงสูงต่อภาคแรงต่ำของจุดตัดแกน x

ตารางที่ 3 ผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบ ค่าความผิดพลาดและอัตราแรงดันส่วนระหว่างภาคแรงสูงต่อภาคแรงต่ำ

แรงดันอินพุท AC (kV_p)	แรงดัน Output (ภาคแรงต่ำ)		ค่าความผิดพลาดจากการคำนวณเทียบกับการทดสอบจริง (%)	อัตราส่วนแรงดันระหว่างภาคแรงสูงต่อภาคแรงต่ำ
	ผลจากการคำนวณ (V_p)	ผลจากการทดสอบจริง (V_p)		
5	11.364	11.200	1.443	446.429
10	22.727	22.400	1.438	446.429
15	34.091	31.200	8.480	480.769
20	45.455	40.000	12.000	500.000
25	56.818	58.000	2.080	431.034

จากภาพที่ 8 จะได้สมการเชิงเส้น $y = 2.224x - 0.8$ เมื่อได้สมการเชิงเส้นแล้วนำสมการนี้มาหาค่าตั้งแต่ 30kV – 120kV และเมื่อได้ค่าครบแล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าความผิดพลาดและอัตราส่วนแรงดันระหว่างภาคแรงสูงต่อภาคแรงต่ำดังตารางที่ .4

ตารางที่ 4 ผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณ ค่าความผิดพลาดและอัตราส่วนแรงดันระหว่างภาคแรงสูงต่อภาคแรงต่ำ

แรงดันอินพุท AC (kV_p)	แรงดันเอาท์พุทภาคแรงต่ำ		ค่าความผิดพลาดจากการคำนวณเทียบกับกราฟแนวโน้ม (%)	อัตราส่วนแรงดันระหว่างภาคแรงสูงต่อภาคแรงต่ำ
	ผลจากการคำนวณ (V_p)	การคำนวณจากกราฟ (V_p)		
30	68.182	66.719	2.146	449.647
40	90.909	88.959	2.145	449.645
50	113.636	111.199	2.145	449.644
60	136.364	133.439	2.145	449.644
70	159.091	155.679	2.145	449.643
80	181.818	177.919	2.144	449.643
90	204.545	200.159	2.144	449.643
100	227.273	222.399	2.145	449.642
110	250.000	244.639	2.144	449.642

จากผลการจำลองจะเห็นได้ว่าผลที่ได้จากการจำลองผลของแหล่งจ่ายกระแสสลับนั้นจะมีค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.303% การจำลองของแหล่งจ่ายกระแสตรงนั้นจะมีค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.237% และผลการทดสอบจริงนั้นจะมีค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 2.757% ตลอดย่านการวัดซึ่งอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานกำหนดคือค่าความผิดพลาดจะต้องมีค่าไม่เกิน ±3% ตลอดย่านการวัด ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองผลและการคำนวณมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นอยู่เนื่องจากภายในตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีค่าไม่เท่ากันและทำให้ค่าที่ได้จากกการทดสอบจริงมีค่าคลาดเคลื่อนต่างไปจากการคำนวณเล็กน้อย

6. สรุปผลการจำลอง

จากการทดสอบโวลท์เตจดิไวเดอร์สามารถวัดแรงดันสูงกระแสสลับและกระแสตรงมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC 60060-2 และสามารถนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ และค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับการทดลองแบบแหล่งจ่ายกระแสสลับจะมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 2.303 % และกระแสตรงจะมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 2.237% ส่วนค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทดสอบแรงดันทั้ง 2 ชนิดนั้นอาจเกิดได้จากหลายสาเหตุดังต่อไปนี้

1.ค่าความผิดพลาดของตัวเก็บประจุ

2.การเกิดโคโรนาที่เกิดในการทดสอบทำให้เกิดคลื่นรบกวนในระบบวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับและกระแสตรงได้ผลของความชื้น

7. เอกสารอ้างอิง

[1] สำรวย สังข์สะอาด. (2547). **วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[2] Wadhwa, C.L. (2007). **High Voltage Engineering** (2nd Edition). New Delhi: New age international (P) Publishers.

[3] Kuffel, E. Zaengl, W.S. and Kuffel, J. (2000). **High Voltage Engineering Fundamentals** (2nd Edition). New Delhi; Butterworth-Heinemann.

[4] กิตติวัฒน์ วัฒนพันธ์ และคณะ (2550). **โวลท์เตจดิไวเดอร์แบบวงจรร่วมสำหรับวัดแรงดันสูงกระแสสลับและกระแสตรงขนาดพิกัด 100 kV**. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

[5] คณาพล ชีพธำรง และคณะ (2546). **การออกแบบสร้างโวลท์เตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุขนาดพิกัด 150kV สำหรับวัดแรงดันสูงกระแสสลับ**. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

[6] ชัชวาล บัวจีน และคณะ (2555). **การออกแบบและสร้างโวลท์เตจดิไวเดอร์ขนาดเล็กสำหรับวัดแรงดันสูงกระแสสลับและกระแสตรงขนาดพิกัด 100 kV**. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

[7] มินเรศน์ เตชะวงศ์และวรพงศ์ กันทะ (2556). **การออกแบบและสร้างชุดแบ่งแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสสลับแบบตัวเก็บประจุขนาด 150 กิโลโวลท์**. วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 1, ฉบับที่ 2.

[8] Minareat, T and Chairoj, T. (2014). **Design and Invention a 150kV Capacitive High Voltage Divider Set**. The 4th Joint International Conference on Information and Communication Technology Electronic and Electrical Engineering (JICTEE).

[9] สมชาย เงินคุณด้วงและคณะ. (2550). **โวลท์เตจดิไวเดอร์แบบวงจรร่วมสำหรับวัดแรงดันสูงกระแสสลับและกระแสตรงขนาดพิกัด 100 kV.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

[10] IEEE Std. 4. (1995). **Standard Techniques for High-Voltage Testing**. IEEE Power Engineering Society, New York, USA.

[11] IEC Publication 60060-1. (1989). **High-voltage Test Techniques, Part 1: General definations and test requirements**. Geneva.

[12] IEC Publication 60060-2. (1994). **High-voltage Test Techniques, Part 2: Measuring Systems.** Geneva.