

การออกแบบและสร้างโวลเตจไดโวลเตอร์แบบตัวเก็บประจุ สำหรับใช้วัดแรงดันสูงกระแสสลับ

Design and Construction Capacitive Voltage Divider for High Voltage AC Measurement

คณาพล ชีพธำรง สนิท คำแดง ปริญ บุตรบุญ ปฏิพล ตนานุประวัติ และ ไชยพร หล่อทองคำ*

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

51 หมู่ 1 ถ.เชื่อมสัมพันธ์ หนองจอก กรุงเทพฯ โทร 02-9883666 ต่อ 286 #305, โทรสาร 02-9884040, Email: chaiyapo@mut.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นารออกแบบสร้างโวลเตจไดโวลเตอร์แบบตัวเก็บประจุสำหรับใช้วัดแรงดันสูงกระแสสลับความถี่พลังงานขนาดพิกัด 100 kV และ 150 kV ตามลำดับ โครงสร้างตัวเก็บประจุภาคแรงสูงใช้ตัวเก็บประจุย่อยชนิดโพลี - ปรอบฟิล์มฟิล์มต่ออันดับกัน ทั้งหมดบรรจุภายในท่อนวนและทำการฉนวนภายในด้วยก๊าซ SF₆ การออกแบบและการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 60060 -2 (1994) โดยทดสอบเปรียบเทียบกับโวลเตจไดโวลเตอร์มาตรฐานของห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง(บางพลี) การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย พบว่ามีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนดมีต้นทุนการสร้างที่ต่ำ เหมาะแก่การนำไปใช้งานในภาคอุตสาหกรรม

คำสำคัญ: โวลเตจไดโวลเตอร์, การวัดแรงดันสูงกระแสสลับ, ตัวเก็บประจุแรงดันสูง

Keywords: Voltage Divider, AC High-Voltage Measurements, High-Voltage Capacitor

1. บทนำ

เทคโนโลยีการผลิตอุปกรณ์ทางด้านไฟฟ้าแรงสูงของประเทศไทยในปัจจุบันมีการพัฒนาก้าวหน้ามากระบบผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายรายสามารถผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าในพิกัดแรงดันสูง เพื่อจำหน่ายใช้งานภายในประเทศและส่งออกไปยังประเทศเพื่อนบ้านได้ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นนี้จำเป็นต้องมีการทดสอบคุณภาพและขีดความสามารถในการใช้งานตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด รวมทั้งการทดสอบคุณภาพตามกระบวนการผลิตของโรงงานตามปกติ การทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละครั้งจำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดที่มีความเที่ยงตรงสูงตามข้อกำหนดในมาตรฐาน [1-3] ซึ่งแต่เดิมจำเป็นต้องสั่งนำเข้าเครื่องมือวัดจากบริษัทผู้ผลิตในต่างประเทศด้วยราคาที่แพงมากเป็นการสูญเสียเงินตราของประเทศนับมูลค่าปีละหลายล้านบาท ด้วยความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงทำให้ปัจจุบันเราสามารถออกแบบสร้างเครื่องมือวัดแรงดันสูงขึ้นใช้งานเองได้ เครื่องมือวัดด้านไฟฟ้าแรงสูงที่สำคัญและทุก

ห้องปฏิบัติการทดสอบจำเป็นต้องมีไว้ใช้งาน คือโวลเตจไดโวลเตอร์ ในประเทศไทยเองมีข้อมูลรายงานผลการศึกษาวิจัยออกแบบสร้างโวลเตจไดโวลเตอร์สำหรับวัดแรงดันสูงหลายฉบับ [4-6] แสดงถึงศักยภาพของประเทศที่สามารถพัฒนาการสร้างเครื่องมือที่มีราคาแพงให้มีราคาถูกลง โดยเน้นการใช้วัสดุภายในประเทศเป็นองค์ประกอบหลัก และมีคุณภาพทัดเทียมกับของต่างประเทศ โดยไม่จำเป็นต้องพึ่งพาการนำเข้าอีกต่อไป

หลักการของโวลเตจไดโวลเตอร์คือ การใช้โวลต์เมตรหรือเครื่องวัดสัญญาณแรงดันต่ำอื่นๆ เช่น ออสซิลโลสโคป วัดได้ ดังนั้นแรงดันสูงเกือบทั้งหมดจะตกคร่อมอยู่ที่โวลต์เมตรภาคแรงสูง การออกแบบจึงต้องให้ความสำคัญในส่วนนี้อย่างมาก

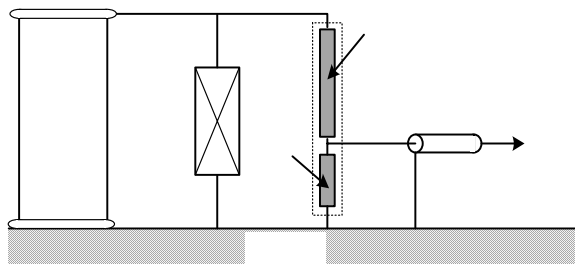
โวลเตจไดโวลเตอร์ที่ใช้กันในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ โวลเตจไดโวลเตอร์แบบความต้านทาน (R), โวลเตจไดโวลเตอร์แบบตัวเก็บประจุ (C) และโวลเตจไดโวลเตอร์แบบ

ผลระหว่างตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุ (R-C) โดยที่ โวลเตจดีไวเดอร์ทั้ง 3 แบบมีคุณสมบัติการตอบสนอง ต่อชนิดแรงดันที่วัดแตกต่างกัน ดังนั้นในการใช้งานจึง ต้องเลือกให้เหมาะสมกับชนิดแรงดันสูงที่ต้องการวัด เพื่อมิให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดขึ้น [6]

2. ทฤษฎีและหลักการ

2.1 โวลเตจดีไวเดอร์วัดแรงดันสูงกระแสสลับ

การวัดแรงดันสูงกระแสสลับด้วยโวลเตจดีไว-เดอร์โดยทั่วไปสามารถแสดงได้ดังโอะแกรมตามรูปที่ 1 ซึ่งโวลเตจดีไวเดอร์ที่ใช้งานอาจเป็นได้ทั้งแบบตัวเก็บ ประจุ (C) หรือเป็นตัวต้านทาน (R) ก็ได้



รูปที่ 1 ระบบวัดแรงดันสูงกระแสสลับ

โดยที่ :

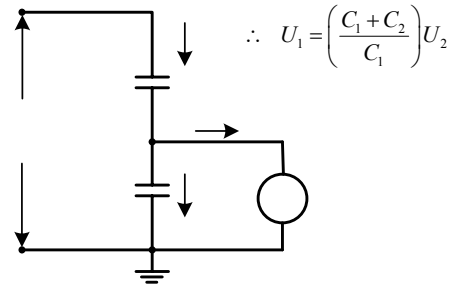
- 1 คือ แหล่งจ่ายแรงดันสูงกระแสสลับ
 - 2 คือ สายตัวนำแรงสูง
 - 3 คือ อุปกรณ์ทดสอบ
 - 4 คือ โวลเตจดีไวเดอร์แรงสูง สำหรับใช้วัดแรงดันทดสอบ
- Z_{HV} คือ องค์กรประกอบภาคแรงดันสูงของโวลเตจดีไวเดอร์
 Z_{LV} คือ องค์กรประกอบภาคแรงดันต่ำของโวลเตจดีไวเดอร์

2.2 โวลเตจดีไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุ

โวลเตจดีไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุนิยมใช้วัด แรงดันสูงกระแสสลับ [6-7] ซึ่งมีวงจรสมมูลแสดงดังรูป ที่ 2 ประกอบด้วยตัวเก็บประจุภาคแรงสูง (C_1) และตัว เก็บประจุภาคแรงต่ำ (C_2) โดยหลักการแล้วกระแสที่ ไหลเข้าเครื่องวัด (i_2) จะต้องออกแบบให้มีค่าน้อยๆ จน เกือบจะเป็นศูนย์ นั่นคือกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ ภาคแรงสูงและภาคแรงต่ำจะต้องเท่ากัน

ตัวเก็บประจุภาคแรงสูงที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติ การไฟฟ้าแรงสูงโดยทั่วไปจะมีอยู่ 2 แบบ คือ ตัวเก็บ

ประจุเดี่ยวทรงกระบอกซ้อนกันแบบก้ำขั้วอัดความ ดัน และแบบตัวเก็บประจุน้อยต่ออันดับกัน แต่ละแบบมี ข้อดีข้อเสียแตกต่างกันและยังขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้ งานเป็นสำคัญ [6]



รูปที่ 2 วงจรสมมูลโวลเตจดีไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุ

3. การออกแบบและประกอบสร้างโวลเตจดีไวเดอร์

การออกแบบอ้างอิงตามข้อกำหนดในมาตรฐาน [2-3] ซึ่งโครงการนี้ได้ออกแบบสร้างโวลเตจดีไวเดอร์ จำนวน 2 ชุด โดยชุดแรกมีขนาดพิกัด 100 kV จัดสร้าง ให้กับบริษัท ฟรีไซซ์ อิเลคตริก แมนูแฟกเจอร์ จำกัด ตามข้อเสนอโครงการ IPUS ของสำนักงานกองทุน สนับสนุนงานวิจัย (สกว.) และ ชุดที่สองมีขนาด พิกัด 150 kV จัดสร้างเพื่อใช้งานในห้องปฏิบัติการ ไฟฟ้าแรงสูง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร และ กำหนดให้โวลเตจดีไวเดอร์ทั้งสองชุดมีอัตราส่วนแรงดัน เดียวกัน คือ 1000:1 เพื่อความสะดวกของผู้ใช้ในการ อ่านค่าและแปลงกลับเป็นค่าจริงได้ง่าย รายละเอียดการ ออกแบบโดยสรุป [8] มีดังนี้

3.1 การออกแบบสร้างโวลเตจดีไวเดอร์พิกัด 100 kV

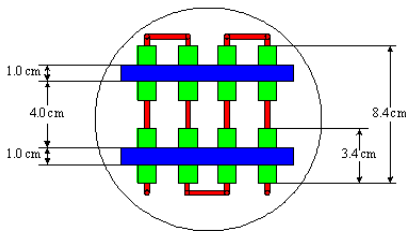
3.1.1 การออกแบบขององค์กรประกอบภาคแรงสูง

องค์กรประกอบภาคแรงสูงใช้เป็นแบบตัวเก็บประจุ ย่อยต่ออันดับโดยใช้ตัวเก็บประจุน้อยชนิด Metallized Polypropylene Film ขนาดพิกัด 0.047 μ F, 650 V_{ac} รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13.5 mm ยาว 34 mm ดังรูปที่ 3 [8] เมื่อนำมาประกอบเป็นตัวเก็บ ประจุภาคแรงสูงจะต้องออกแบบเพื่อให้สามารถรับ แรงดันสูงสุดได้อย่างน้อย 120 % ของพิกัด นั่นคือ 120 kV ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐาน [2] ด้วย

การนำตัวเก็บประจุย่อยจำนวน 184 ตัวมาต่ออนุกรมกัน จัดวางซ้อนกันเป็นชั้น ชั้นละ 8 ตัว จำนวน 23 ชั้น ดังรูปที่ 4 ซึ่งจะได้ความจุไฟฟ้าภาคแรงสูงรวมเท่ากับ 255.4 pF ลักษณะการเชื่อมต่อจะเป็นแบบจุดต่อจุด ทั้งหมดบรรจุลงในท่อพีวีซีอัดด้วยก๊าซ SF₆ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 3 ตัวเก็บประจุย่อยที่ใช้ในงานวิจัย



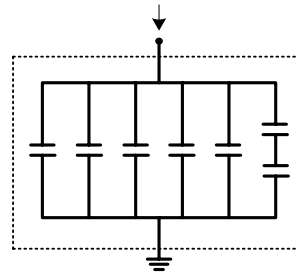
รูปที่ 4 การจัดวางตัวเก็บประจุภาคแรงสูงแต่ละชั้น



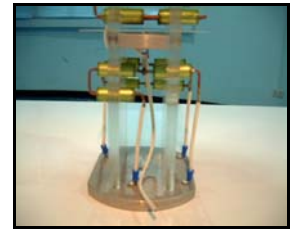
รูปที่ 5 องค์ประกอบภาคแรงสูงและท่อฉนวน PVC

3.1.2 การออกแบบองค์ประกอบภาคแรงต่ำ

จากอัตราส่วนแรงดันที่กำหนดไว้ 1000:1 จะได้แรงดันขาออกด้านแรงต่ำที่พิกัดเป็น 100 V ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถใช้เครื่องมือวัดด้านแรงต่ำทั่วไปวัดได้ ดังนั้นจึงใช้ตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำขนาด 258.5 nF ได้จากการนำตัวเก็บประจุย่อยชนิดเดียวกับภาคแรงสูงจำนวน 7 ตัวมาต่ออันดับกัน ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยองค์ประกอบภาคแรงต่ำออกแบบให้บรรจุรวมอยู่ในท่อนฉนวนพีวีซีเช่นเดียวกับภาคแรงสูง เมื่อประกอบสร้างเสร็จสมบูรณ์จะได้โวลเตจดีไวเดอร์แสดงดังรูปที่ 7



ก) วงจรสมมูล



ข) ชิ้นงานจริง

รูปที่ 6 ลักษณะโครงสร้างภาคแรงต่ำ

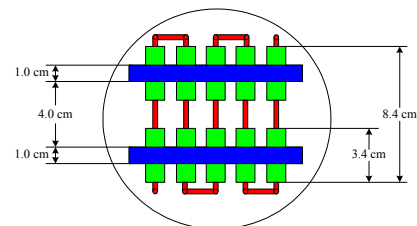


รูปที่ 7 โวลเตจดีไวเดอร์ขนาดพิกัด 100 kV

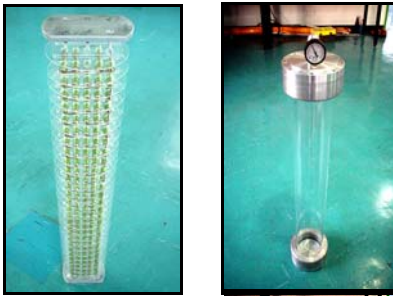
3.2 การออกแบบสร้างโวลเตจดีไวเดอร์พิกัด 150 kV

3.2.1 การออกแบบองค์ประกอบภาคแรงสูง

การจัดวางองค์ประกอบภาคแรงสูงใช้แนวคิดเดียวกันกับกรณีโวลเตจดีไวเดอร์พิกัด 100 kV แต่เพิ่มพิกัดแรงดันและจำนวนตัวเก็บประจุย่อยรวมทั้งระยะห่างให้สูงขึ้น การออกแบบอ้างอิงตามข้อกำหนดในมาตรฐาน [2-3] โดยใช้ตัวเก็บประจุย่อยต่ออนุกรมกัน ชั้นละ 10 ตัว จัดวางซ้อนกันจำนวน 28 ชั้น รวมเป็น 277 ตัว ได้ค่าความจุไฟฟ้าภาคแรงสูงรวมประมาณ 169.7 pF ลักษณะการจัดวางแต่ละชั้นแสดงดังรูปที่ 8 องค์ประกอบทั้งหมดบรรจุภายในท่อนฉนวนอะคริลิกสำหรับการฉนวนภายในด้วยก๊าซ SF₆ แสดงดังรูปที่ 9



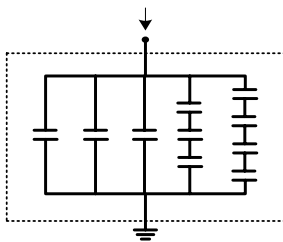
รูปที่ 8 การจัดวางตัวเก็บประจุภาคแรงสูงแต่ละชั้น



รูปที่ 9 องค์ประกอบภาคแรงสูงและท่อนวนอะคลิคลิไซ

3.2.2 การออกแบบองค์ประกอบภาคแรงต่ำ

ทำนองเดียวกันการออกแบบจะคล้ายกับกรณี โวลเตจดีไวเดอร์พิกัด 100 kV แต่มีข้อแตกต่างที่การจัดวางภาคแรงต่ำจะจัดวางภายในกล่องซิลต์ทองเหลืองรูปทรงกระบอกเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนจากภายนอก และมีหัวต่อ BNC ออกทางด้านข้างเพื่อความสะดวกในการต่อสายเคเบิลวัดด้านแรงต่ำ ในการใช้งานจากอัตราส่วนแรงดันที่กำหนดไว้ 1000:1 จะได้แรงดันขาออกด้านแรงต่ำที่พิกัดเป็น 150 V ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถใช้เครื่องมือวัดด้านแรงต่ำทั่วไปวัดได้ ขนาดตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำมีค่าเป็น 168.4 nF ได้จากการนำตัวเก็บประจួយ่อยจำนวน 10 ตัวมาต่ออันดับกัน ดังรูปที่ 10 โดยมีลักษณะการจัดวางตัวเก็บประจួយ่อย แสดงดังรูปที่ 11 เมื่อประกอบสร้างเสร็จสมบูรณ์จะได้โวลเตจดีไวเดอร์ แสดงดังรูปที่ 12 ตามลำดับ



รูปที่ 10 วงจรสมมูลตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ (C_2)



ก) ตัวเก็บประจุ C_2



ข) กล่องซิลต์โลหะ

รูปที่ 11 องค์ประกอบภาคแรงต่ำ



รูปที่ 12 โวลเตจดีไวเดอร์ขนาดพิกัด 150 kV.

4. การทดสอบและประเมินผล

การทดสอบคุณสมบัติของโวลเตจดีไวเดอร์ที่ออกแบบสร้างขึ้น อ้างอิงวิธีการทดสอบตามข้อกำหนดในมาตรฐาน [2-3] ขั้นตอนการทดสอบเริ่มต้นด้วยการวัดค่าความจุไฟฟ้า โดยใช้เทคนิควงจร Schering Bridge [7] ข้อมูลผลการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 1 ซึ่งจะเห็นว่าค่าที่ได้จากการคำนวณออกแบบกับค่าที่ได้จากการทดลองวัดจริงมีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบวัดค่าความจุไฟฟ้า

พิกัด Divider	องค์ประกอบ ของดีไวเดอร์	ค่าพารามิเตอร์		% Error
		คำนวณ	การวัด จริง	
100 kV	C_1 (pF)	255.4	256.1	1.003
	C_2 (nF)	258.5	259.2	1.003
150 kV	C_1 (pF)	169.8	168.9	-0.439
	C_2 (nF)	168.4	170.1	1.011

4.1 การทดสอบ AC Withstand Voltage Test

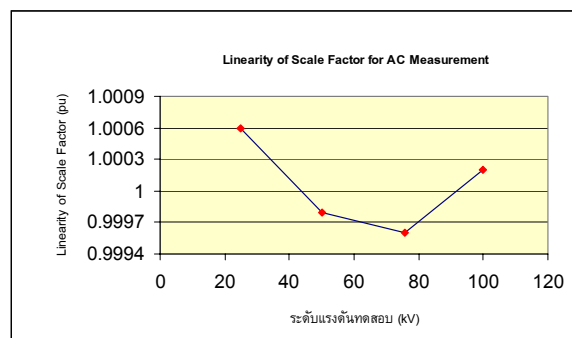
เพื่อทดสอบว่าองค์ประกอบภาคแรงสูงที่ออกแบบสร้างสามารถทนต่อแรงดันที่พิกัดกำหนดได้ และไม่เป็นสาเหตุทำให้โวลเตจดีไวเดอร์เสียหายเมื่อใช้งานที่พิกัด จึงทำการทดสอบความทนต่อแรงดัน AC, 50 Hz ที่ระดับแรงดันทดสอบ 110 % ของพิกัด [2-3] เป็นเวลา 1 นาที ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 2 พบว่าโวลเตจดีไวเดอร์ทั้ง 2 ชุด สามารถทนต่อแรงดันทดสอบตามมาตรฐานกำหนดได้

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบ AC Withstand Voltage Test

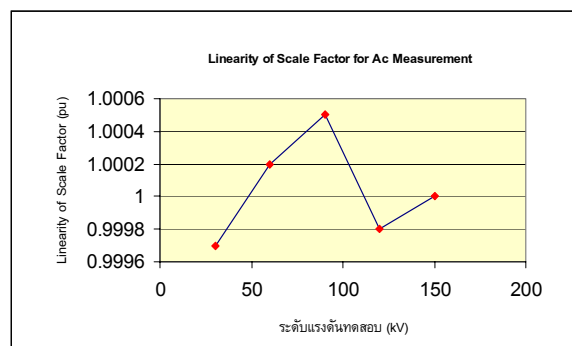
พิกัด Divider	แรงดันทดสอบ (kV_{rms})	เวลาดทดสอบ (sec)	Results
100 kV	110	60	Withstand
150 kV	165	60	Withstand

4.2 การทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60060-2 (1994)

การทดสอบคุณสมบัติของระบบวัดแรงดันสูง กระแสสลับ ตามข้อกำหนดมาตรฐาน IEC 60060-2 (1994) [2] หัวข้อที่ 8 ซึ่งต้องมีการทดสอบหาคุณลักษณะสมบัติของโวลเตจดีไวเดอร์ที่สำคัญ 3 ประการ คือ การทดสอบหาค่า scale factor, การทดสอบหาความเป็นเชิงเส้น (Linearity) และ การทดสอบ Stability Test โดยทำการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงบางพลี (EGAT) ผลการทดสอบสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3 และรูปที่ 12 ตามลำดับ



ก) กรณี VD ขนาดพิกัด 100 kV



ข) กรณี VD ขนาดพิกัด 150 kV

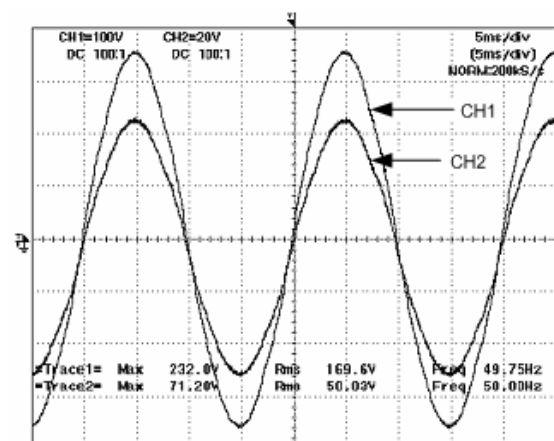
รูปที่ 13 กราฟความเป็นเชิงเส้นของโวลเตจดีไวเดอร์

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของโวลเตจดีไวเดอร์

คุณสมบัติที่ทดสอบ	ผลการทดสอบของโวลเตจดีไวเดอร์แต่ละตัว		ข้อกำหนดตามมาตรฐาน [2]
Rated Voltage	100 kV	150 kV	-
Scale factor	1013:1	1008:1	-
Linearity Test	$\pm 0.05\%$	$\pm 0.03\%$	ไม่เกิน $\pm 1.0\%$
Stability Test	$\pm 0.02\%$	$\pm 0.01\%$	ไม่เกิน $\pm 1.0\%$

4.3 การตรวจสอบแรงดันขาออกของโวลเตจดีไวเดอร์

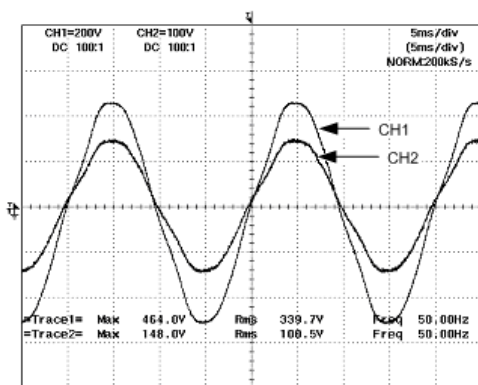
การวัดสัญญาณแรงดันขาออกของโวลเตจดีไวเดอร์เป็นการตรวจสอบสัญญาณแรงดันรูปคลื่นไซน์ทางด้านแรงต่ำที่วัดได้มีความผิดเพี้ยนหรือไม่ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนในการวัด การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC [1] โดยอัตราส่วนค่า V_{peak} / V_{rms} มีค่าอยู่ในช่วง $\sqrt{2} \pm 5\%$ ทดสอบที่ระดับแรงดัน 50 kV และ 100 kV ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 14 และรูปที่ 15 ตามลำดับ โดยใช้โวลเตจดีไวเดอร์มาตรฐานขนาดพิกัด 125 kV [8] เป็นตัวอ้างอิงเทียบกับโวลเตจดีไวเดอร์ที่ออกแบบสร้างขึ้น



CH1: VD อ้างอิง

CH2: VD สอบเทียบ

รูปที่ 14 สัญญาณแรงดันขาออกที่แรงดันวัด 50 kV



CH1: VD อ้างอิง

CH2: VD สอบเทียบ

รูปที่ 15 สัญญาณแรงดันขาออกที่แรงดันวัด 100 kV

จากรูปออสซิลโลกราฟแรงดันขาออกของโวลเตจดีไวเดอร์ จะเห็นว่ารูปร่างสัญญาณด้านแรงต่ำที่ได้มีความผิดเพี้ยนเพียงเล็กน้อย โดยค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน [2-3] กำหนด

4. บทสรุป

โครงการนี้ได้ออกแบบและสร้างโวลเตจดีไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุ สำหรับใช้วัดแรงดันสูงกระแสสลับ 2 ชุด ขนาดพิกัด 100 kV และ 150 kV ตามลำดับ จากผลการทดสอบคุณสมบัติของโวลเตจดีไวเดอร์ แสดงให้เห็นว่าโวลเตจดีไวเดอร์ที่ออกแบบสร้างขึ้นนี้มีคุณสมบัติตรงตามเกณฑ์มาตรฐาน [2-3] กำหนดทุกประการ การประกอบสร้างเป็นการใช้วัสดุภายในประเทศเป็นส่วนใหญ่จึงทำให้มีราคาที่ถูกกว่าการนำเข้าจากต่างประเทศมาก เป็นการช่วยให้ภาคอุตสาหกรรมประหยัดเงินลงทุน และยังช่วยพัฒนาองค์ความรู้ของนักศึกษาส่งเสริมให้เกิดทักษะและกระบวนการคิด อย่างมีระบบมีเหตุผล ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม ในโครงการโครงงานอุตสาหกรรม สำหรับนักศึกษาปริญญาตรี (IPUS) ประจำปี 2546 ที่ให้การสนับสนุนด้านเงินทุนในการศึกษาวิจัยและประกอบสร้างชิ้นงาน ขอขอบคุณ บริษัท ฟรีไซซ์ อิเลคทรอนิกส์ แมนูแฟกเจอร์ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนการศึกษาวิจัย รวมทั้งการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

(EGAT) ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดสอบคุณสมบัติของชิ้นงาน สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ อาจารย์ไชยพร หล่อทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่กรุณาให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะที่ดีตลอดมา จนสามารถทำให้โครงงานนี้สำเร็จลงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] IEC Pub.no. 60060-1, "High-voltage Test Techniques, Part 1: General definitions and test requirements", Geneva, 1989.
- [2] IEC Pub.no. 60060-2, "High-voltage Test Techniques, Part 2: Measuring Systems", Geneva, 1994.
- [3] IEEE Std. 4, "Standard Techniques for High-Voltage Testing", IEEE Power Engineering Society, New York, USA, March 1995.
- [4] สรรวย สังข์สะอาด และ คมสัน เพ็ชรรักษ์, "โวลเตจดีไวเดอร์แรงสูงแบบคัปซิเตอร์", รายงานผลการประดิษฐ์ทุนอุดหนุนโครงการสิ่งประดิษฐ์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2532.
- [5] ไชยพร หล่อทองคำ และคณะ, "การออกแบบสร้างโวลเตจดีไวเดอร์ขนาด 300 kV แบบตัวเก็บประจุสำหรับใช้วัดแรงดันสูงกระแสสลับ", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 26, 2546, หน้า 386-391.
- [6] ไชยพร หล่อทองคำ, "โวลเตจดีไวเดอร์แบบวงจรร่วมสำหรับใช้วัดแรงดันสูงกระแสสลับ, กระแสตรงและแรงดันอิมพัลส์", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 26, 2546, หน้า 380-385.
- [7] E.Kuffel, W.S. Zaengl, "High Voltage Engineering Fundamental", Pergamon Press, Oxford, 1984.
- [8] คณาพล ชีพธำรง, สนิท คำแดง, ปริญ บุตรบุญ และ ปวิพล ตนานุประวัติ, "การออกแบบและสร้างโวลเตจดีไวเดอร์ ขนาด 150 kV แบบตัวเก็บประจุสำหรับใช้วัดแรงดันสูงกระแสสลับ", ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, ปีการศึกษา 2546.