บทที่ 5

สรุปผลงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงาน

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างอิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์ขนาด 1000 kV ขึ้นมา 2 แบบ คือ แบบความต้านทานมีชีลด์และแบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วง ซึ่งสรุปผลงานได้ดังนี้

1) ข้อมูลทางเทคนิคที่ออกแบบ แสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลทางเทคนิคของโวลเตจดิไวเดอร์ที่ออกแบบสร้าง

รายละเอียดองค์ประกอบ	แบบความต้านทาน	แบบตัวเก็บประจุ
- ตัวความต้านทานหน่วงภายนอก	$R_d = 151.22\ \Omega$	$R_d = 272.67\ \Omega$
- ภาคแรงสูงของโวลเตจดิไวเดอร์	$R_1 = 9772.8\ \Omega$	$C_1 = 385.81$ pF $R_1 \approx 850.00\ \Omega$
- ภาคแรงต่ำของโวลเตจดิไวเดอร์	$R_2 = 11.227\ \Omega$	$C_2 = 397.25$ nF $R_2 = 1.1180\ \Omega$
- ภาคปฐมภูมิของตัวลดทอน	$R_3 = 72.917\ \Omega$	$C_3 = 7.5447$ nF $R_3 = 3353.0\ \Omega$
- ภาคทุติยภูมิของตัวลดทอน	$R_4 = 1.9920\ \Omega$	$C_4 = 270.99$ nF $R_4 = 93.667\ \Omega$
สเกลแฟกเตอร์จากการคำนวณ		
- โวลเตจดิไวเดอร์	884.94	1030.65
- ตัวลดทอน	37.60	36.92
- ระบบวัด	38217.5	38883.4

2) ผลของชีลด์ที่มีต่อผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทาน จากการทดลองใส่ชีลด์พบว่า จะได้เวลาตอบสนองที่เร็วกว่าในกรณีที่ไม่มีชีลด์ เนื่องจากค่าเก็บประจุ

สเตรย์มีค่าลดลง แต่ควรระวังไม่ให้ชีลด์มีขนาดใหญ่เกินไป เพราะชีลด์จะทำให้เกิดค่าเก็บประจุขนานกับโวลเตจดิไวเดอร์ ซึ่งจะเกิดเรโซแนนซ์กับค่าความเหนี่ยวนำของสายนำ ทำให้เกิดการแกว่งของผลตอบสนองรูปขั้น

3) ผลของความต้านทานหน่วงที่มีต่อผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุ พบว่าการใส่ความต้านทานหน่วงภายนอกเพียงอย่างเดียว จะได้เวลตอบสนองที่ช้ามาก โวลเตจดิไวเดอร์ที่ออกแบบสร้างนี้ ได้ค่าพารามิเตอร์ผลตอบสนองเกินค่าที่มาตรฐานแนะนำไว้ แต่เมื่อต่อความต้านทานหน่วงอนุกรมกระจายภายในตลอดภาคแรงสูง จะได้เวลาตอบสนองที่เร็ว อย่างไรก็ตาม ความต้านทานหน่วงที่ต่ออนุกรมอยู่นี้จะหน่วงการแกว่งเนื่องจากคลื่นสะท้อนภายในตัวโวลเตจดิไวเดอร์เท่านั้น ซึ่งยังคงต้องใช้ความต้านทานหน่วงภายนอกเพื่อหน่วงการแกว่งที่เกิดจากการเรโซแนนซ์ของระบบวัด

4) พารามิเตอร์ผลตอบสนอง แสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 พารามิเตอร์ผลตอบสนองของโวลเตจดิไวเดอร์ที่ออกแบบสร้าง

พารามิเตอร์ผลตอบสนอง	แบบความต้านทาน	แบบตัวเก็บประจุ
β (%)	34.51	13.46
T_α (ns)	28.45	14.76
T_N (ns)	14.89	5.42
T_O (ns)	1.25	1.73
t_s (ns)	200	200

5) ผลการทดสอบหาสเกลแฟกเตอร์ที่กำหนดและพฤติกรรมพลศาสตร์ โดยใช้การทดสอบวัดเปรียบเทียบระหว่างระบบวัดทั้ง 2 แบบ เมื่อกำหนดให้ระบบวัดแบบตัวเก็บประจุเป็นระบบวัดอ้างอิง ได้ผลการทดสอบอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดทุกรูปคลื่นแรงดัน กล่าวคือ ทั้งรูปคลื่นเต็มและรูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่น ขั้วบวกและขั้วลบ ที่ t_{min} และ t_{max} โดยการทดสอบหาสเกลแฟกเตอร์ที่กำหนด อัตราส่วนค่ายอดแรงดันที่อ่านได้จากทั้ง 2 ระบบมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุด 0.74 % ของค่าเฉลี่ย ส่วนการทดสอบพฤติกรรมพลศาสตร์ ค่าพารามิเตอร์เวลาที่อ่านได้แต่ละครั้งมีค่าแตกต่างกันน้อยกว่า 10 % และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าสูงสุด 3.34 % ของค่าเฉลี่ย

6) ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นเทียบกับแกปทรงกลม โดยทำการทดสอบเฉพาะแบบความต้านทานมีชีลด์ ได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย 0.80 % และ 1.90 % สำหรับขั้วบวกและขั้วลบ ตามลำดับ

7) ผลการทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ของตัวความต้านทานภาคแรงสูง โดยทดสอบที่ระดับแรงดัน 110 % ของแรงดันพิกัด ปรากฏว่าตัวความต้านทานภาคแรงสูงสามารถทนได้ทั้งขั้วบวกและขั้วลบ

8) เมื่อเปรียบเทียบผลของการออกแบบและสร้างโวลเตจดิไวเดอร์ของทั้ง 2 แบบ จะพบว่า แบบความต้านทานจะประกอบสร้างและจัดหาซื้อวัสดุภายในประเทศได้ง่ายกว่า การหาสเกลแฟกเตอร์โดยการวัดค่าความต้านทานกระแสตรงจะวัดได้ถูกต้องแม่นยำกว่า แต่ผลตอบสนองรูปขั้นจะต้องใส่ชีลด์เพื่อให้ได้พารามิเตอร์ผลตอบสนองตามที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งชีลด์จะต้องมีขนาดที่เหมาะสม ส่วนในกรณีของแบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วง จะต้องสั่งซื้อวัสดุจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง การหาสเกลแฟกเตอร์จะมีผลกระทบจากค่าเก็บประจุสเตรย์ แต่จะให้ผลตอบสนองที่เร็ว เนื่องจากค่าความต้านทานหน่วงต่ออนุกรมกระจายภายในภาคแรงสูงที่มีค่าต่ำ

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในการออกแบบและสร้างอิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทานมีชีลด์ ลวดความต้านทานมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นตัวความต้านทานภาคแรงสูง ส่วนความต้านทานภาคแรงต่ำ ตัวความต้านทานแบบฟิล์มโลหะสามารถใช้งานได้ดี เมื่อแรงดันที่ตกคร่อมภาคแรงต่ำมีค่าไม่เกิน 1 kV ถ้าในกรณีที่แรงดันตกคร่อมมากกว่านี้ ควรใช้ตัวความต้านทานแบบคาร์บอน

ในกรณีของโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วง ใช้ตัวความต้านทานแบบฟิล์มโลหะเป็นตัวความต้านทานหน่วงต่ออนุกรมกระจายภายในตลอดภาคแรงสูง ซึ่งปรากฏว่าไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ เนื่องจากตัวความต้านทานชนิดนี้มีมวลความต้านทานน้อย ทำให้ขีดจำกัดความคงทนต่อความร้อนที่เกิดจากพลังงานสูญเสียในตัวความต้านทานต่ำ ซึ่งสามารถปรับปรุงได้โดยใช้ตัวความต้านทานแบบคาร์บอน

ดิจิตอลออสซิลโลสโคปที่ใช้ในการทดสอบวัดเปรียบเทียบ ควรมีอัตราการเข้ารหัสสัญญาณดิจิตอล 10 หรือ 12 บิต [7] ซึ่งจะทำให้ได้ความละเอียดของภาพกราฟฟิกมากขึ้น

เนื่องด้วยในปัจจุบันนี้ มาตรฐาน IEC 60-2 (1994) ได้ประกาศใช้อย่างเป็นทางการแล้ว ซึ่งวิธีการทดสอบที่กำหนดไว้ส่วนใหญ่จะใช้วิธีทดสอบเทียบกับระบบวัดอ้างอิง ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาเพื่อออกแบบและสร้างโวลเตจดิไวเดอร์อ้างอิงขึ้น เพื่อใช้เป็นระบบวัดอ้างอิงให้กับห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงแห่งอื่นได้