

# หม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง 300 kV 200 kHz ควบคุมด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์

ปรัชญา คำกล่อมใจ, อภิศักดิ์ ชันแก้วหล้า, สวัสดิ์ ยุคะลัง\*

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก  
จังหวัดตาก

\*Corresponding author email: yu\_sawat@hotmail.com

ได้รับบทความ: 3 เมษายน 2562

ได้รับบทความแก้ไข: 31 มกราคม 2563

ยอมรับตีพิมพ์: 26 กุมภาพันธ์ 2563

## บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอรายงานผลการออกแบบและสร้างแบบจำลองการวัดและอุปกรณ์เพื่อการทดสอบไฟฟ้าแรงดันสูงด้วยอุปกรณ์ทดสอบที่ใช้งานได้เหมือนสภาพหน้างานจริงเป็นแรงดันอิมพัลส์หรือแรงดันที่เลียนแบบฟ้าผ่า โดยใช้ชุดต้นแบบและอุปกรณ์ที่จัดสร้างขึ้นด้วยหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง 300 กิโลโวลต์ 200 กิโลเฮิรตซ์ ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ การทดสอบและประเมินผลการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 60060-1:2010 โดยการทดลองใช้วิธีเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นตามลำดับ ถึงแรงดันอิมพัลส์หรือแรงดันที่เลียนแบบฟ้าผ่า แล้วทำการตรวจวัดเปรียบเทียบผลการทดสอบ ผลจากการทดสอบหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง 300 กิโลโวลต์ 200 กิโลเฮิรตซ์ ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ออกแบบและสร้างขึ้น สามารถใช้วัดแรงสูงได้เป็นอย่างดี ที่การวัดแรงดันสูงอิมพัลส์ที่เลียนแบบฟ้าผ่าของลูกถ้วยโพสท์ไทป์ที่ค่าเฉลี่ย 255 กิโลโวลต์ 134 กิโลเฮิรตซ์ สามารถใช้ในการทดสอบการเบรคดาวนั้นมีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบที่อ้างอิง

**คำสำคัญ:** หม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง / ลูกถ้วยไฟฟ้า / ไมโครคอนโทรลเลอร์

# Tesla Transformer 300 kV 200 kHz by Microcontroller Control

Pratchaya Kumkloamjai, Apisak Kunkeowla, Sawat Yukhalang\*

Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak, Tak

\*Corresponding author email: yu\_sawat@hotmail.com

Received: 3 April 2019

Revised: 31 January 2020

Accepted: 26 February 2020

## Abstract

This research presents a design and construction of a model simulation and equipment for high voltage testing of measurement are impulse or lightning breakdown to be works like a real job. This design and construction of a tesla transformer 300 kV 200 kHz by microcontroller control are testing and evaluate the test results confirmed in according to IEC 60060-1:2010 standard. This is testing the voltage, regulate to rate voltage-by-voltage to be impulse or lightning breakdown as comparison with standard. The tester results tesla transformer 300 kV 200 kHz by microcontroller control designed and built. It can be to measure high voltage impulse as well by post type insulators at an average of 265 kV 134 kHz to test breakdown posts and have a good performance. High qualified according to reference standard.

**Keywords:** Tesla transformer / Insulators / Microcontroller

## บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นอย่างมากและมีแนวโน้มที่สูงขึ้นทุกปี จังหวัดตากก็เป็นจังหวัดหนึ่งที่มีแนวโน้มการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นเพื่อรองรับเขตอุตสาหกรรมแม่สอดและเขตชายแดนไทย-เมียนมา ศูนย์เขตอุตสาหกรรมทวายของสหภาพเมียนมาที่จะเจริญเติบโตขึ้นในอนาคต [1] โดยที่การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของประเทศไทยต้องส่งจ่ายด้วยระบบไฟฟ้าแรงสูงเพื่อให้สามารถส่งกำลังไฟฟ้าไปได้ไกล ๆ และการส่งส่วนใหญ่จะเป็นแบบสายชิงอากาศโดยใช้ลูกถ้วยเป็นตัวรองรับแรงทางกลสำหรับยึดสายตัวนำและเป็นอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรลงดินของสายส่ง โครงการพัฒนาระบบไฟฟ้าเพื่อรองรับการจัดตั้งเขตเศรษฐกิจพิเศษ ระยะเวลาที่ 1 (SEZ1) จ.ตาก [2] เมื่อมีการขยายตัวการค้าการลงทุน อุตสาหกรรมต่าง ๆ หรือแม้แต่การวิจัยทดลองพัฒนาทดสอบทั้งในส่วนของประเทศและจังหวัดตากเองยังมีความต้องการไฟฟ้าและมีการขยายการส่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงเพิ่มมากขึ้นจำเป็นต้องใช้ลูกถ้วยฉนวนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งลูกถ้วยที่ใช้มีทั้งที่นำเข้าจากต่างประเทศที่มีราคาแพงและที่ผลิตในประเทศส่วนใหญ่ใช้วัสดุคุณภาพในประเทศอย่างเช่นเซรามิก จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณภาพขั้นต้นของลูกถ้วยก่อนตามมาตรฐานว่าจะมีความบกพร่องหรือไม่ โดยใช้ความถี่สูง แต่หม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงที่สั่งซื้อมาจากต่างประเทศนั้นมีราคาที่สูงมาก ๆ การฝึกปฏิบัติและการศึกษาที่เกี่ยวข้องจึงจำเป็นต้องเรียนรู้จากการทดสอบจริงเพื่อประโยชน์สำหรับการพัฒนาด้านการศึกษาและงานอุตสาหกรรมด้านระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในอนาคต [3] ทั้งนี้การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับระบบการทดสอบหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงในประเทศมีการพัฒนาเป็นอย่างสูงในปัจจุบัน รวมถึงด้านงานอุตสาหกรรม เช่น ผลกระทบที่มีผลต่อมอเตอร์เมื่อแรงดันไฟฟ้าและความถี่เกิดการเปลี่ยนแปลง ที่มีผลต่อสมรรถนะของมอเตอร์โดยตรง หรืองานทางด้านระบบการแปลงผันพลังงานไฟฟ้าเพื่อการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เป็นต้น

ทางสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก เป็นสถาบันในระดับอุดมศึกษาในเขตพื้นที่ จึงมีความเห็นร่วมกันในการศึกษาพัฒนาเทคโนโลยีและประกอบหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงสำหรับทดสอบ 300 kV 200 kHz สามารถควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สร้างขึ้นเอง [4] โดยใช้วัสดุภายในประเทศ จะทำให้ได้ชุดทดสอบลูกถ้วยที่ราคาถูกลงมีประสิทธิภาพการใช้งานที่สูงสามารถใช้สำหรับเป็นต้นแบบของชุดทดสอบลูกถ้วยสำหรับการเรียนการสอน การศึกษาวิจัยและพัฒนาสำหรับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องในอนาคต

## วัสดุและวิธีการ

การศึกษาวรรณกรรมที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับระบบหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงเพื่อการทดสอบ ประกอบไปด้วย 1) โวลต์เตจดีไวเดอร์แบบวงจรร่วมสำหรับใช้วัดแรงดันสูง กระแสสลับ, กระแสตรง และแรงดันอิมพัลส์ [5] โดยเป็นการออกแบบสร้างโวลต์เตจดีไวเดอร์แบบวงจรร่วมที่มีคุณสมบัติสามารถใช้วัดแรงดันสูงทั้ง AC, DC และ Impulse ได้ โดยใช้โวลต์เตจดีไวเดอร์ตัวเดียวกัน โดยพิกัดแรงดันสูงสุดขึ้นอยู่กับชนิดแรงดันที่ต้องการวัด แต่ออกแบบให้ใช้อัตราส่วนแรงดันค่าเดียวกัน การออกแบบวงจรรวดประยุกต์ใช้หลักการวงจรร่วมแบบ RC ผลการทดสอบที่ได้แสดงให้เห็นว่าสามารถประยุกต์ใช้โวลต์เตจดีไวเดอร์ที่ออกแบบสร้างขึ้นนี้วัดแรงดันสูงได้ครบทั้ง 3 แบบ มีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน IEC 60-2 (1994) กำหนด ช่วยให้สามารถลดจำนวนโวลต์เตจดีไวเดอร์ในห้องปฏิบัติการลงได้ 2) การสร้างชุดทดสอบฉนวนทางไฟฟ้าเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดก๊าซไอโซน [6] เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดก๊าซไอโซนและทดสอบเพื่อจำลองหาประสิทธิภาพของสารฉนวนไฟฟ้าทั้ง 3 สถานะ (ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ) เพื่อนำไปใช้เป็นไดอิเล็กตริกคั่นระหว่างอิเล็กโตรดสร้างความเครียดสนามไฟฟ้าแรงสูง ดังนั้นประสิทธิภาพของฉนวนทั้ง 3 สถานะ ฉนวนชนิดใดเหมาะสมต่อการนำมาเลือกใช้เป็นไดอิเล็กตริกดังกล่าว จากการทดสอบดูพฤติกรรมของประสิทธิภาพของฉนวนทั้ง 3 สถานะแล้วปรากฏว่าสารฉนวนที่เหมาะสมต่อการนำไปเลือกใช้ในการออกแบบเครื่องกำเนิดก๊าซไอโซนในการทดสอบของงานวิจัยนี้คือสารฉนวน “น้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้า” เพราะมีค่าปริมาณก๊าซไอโซนที่เกิดสูงกว่าฉนวนประเภทอื่น ๆ และมีค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าได้สูง (Break down voltage) 3) เป็นการสร้างและวิเคราะห์ผลและการทดสอบ ทั้งหม้อแปลงเตสลาแบบโซลิตสเตทโดยการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ [4] และโวลต์เตจดีไวเดอร์แบบคาปาซิเตอร์สำหรับแรงสูง 300 kV ชุดโวลต์เตจดีไวเดอร์แบบคาปาซิเตอร์ 300 kV ที่ออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นชุดทดสอบสำหรับการวัดค่าแรงดันสูงและสามารถประยุกต์ใช้สำหรับการวัดแรงสูงแบบต่าง ๆ ได้ มีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่อ้างอิงถึง เป็นการทดสอบคุณสมบัติของชุดวัดด้วยระบบการวัดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของโหลดที่เป็นลูกถ้วยฉนวนธรรมดาในระดับแรงดัน 450 kV มีความคลาดเคลื่อนของการทดสอบของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ ด้านทานขนานประจุภาคแรงต่ำ ความต้านทานดิสชาร์จประจุและตัวเก็บประจุดีสชาร์จ มีค่าเป็น -1.5%, -1%, -1%, -2% และ -3% ตามลำดับ ผลการทดสอบอ้างอิงข้อกำหนดมาตรฐาน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ 1) เพื่อศึกษาและออกแบบสร้างหม้อแปลงแรงดันสูง ความถี่สูงพิกัด 300 kV 200 kHz ที่สามารถควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ 2) เพื่อทดสอบและวัดค่าผลการทำงานของหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงเพื่อใช้เป็นชุดจ่ายแรงดัน

สูงทดสอบลูกถ้วยฉนวนและการเบรกดาว์นควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และ 3) สามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการศึกษา และนำมาเป็นอุปกรณ์ทดลองในห้องปฏิบัติการ ไฟฟ้าแรงสูงและจำลองการเกิดฟ้าผ่า

วิธีการและกระบวนการวิจัยจะเน้นการออกแบบและสร้างชุดหม้อแปลงแรงดันสูง ความถี่สูงพิกัด 300 kV 200 kHz ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการทำให้วิจัยนี้จะ แยกออกเป็น 1) การศึกษาแนวทางและการออกแบบหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่พร้อมการ ออกแบบตัวควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ของแต่ละแบบจากที่มีผู้ผลิตและที่เคยศึกษา มา 2) การประยุกต์วงจรและปรับปรุงชุดควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เหมาะสมกับ หม้อแปลงแรงดันสูงความถี่โดยการคำนวณเพื่อหาขนาดของพลังงานที่ต้องการใช้ 3) การ ออกแบบและติดตั้งโครงสร้างฐานของหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่และฐานของชุดควบคุม ที่ ออกแบบด้วยตัวควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ 4) การออกแบบและสร้างหม้อแปลงแรงดันสูง ความถี่สูงพิกัด 300 kV 200 kHz ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์พร้อมประกอบชุด ควบคุม 5) การจำลองและทดสอบระบบที่ออกแบบและสร้างหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง พิกัด 300 kV 200 kHz ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ 6) การวิเคราะห์ผลและสรุปผล จากการทดสอบหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงพิกัด 300 kV 200 kHz ควบคุมด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ และ 7) ประเมินผลและเรียบเรียงข้อมูลเขียนบทความ/เอกสาร และ นำเสนอโดยมีหลักการวัดเพื่อการออกแบบดังแสดงในภาพที่ 1, 2 และ 3

โดยการออกแบบและสร้างชุดควบคุมสำหรับหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงพิกัด 300 kV 200 kHz ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ประกอบเข้ากับตู้ควบคุมมาตรฐาน ขนาด 900 x 1200 x 300 มิลลิเมตร แบ่งแยกออกได้ 5 ส่วน มีล้อในการเคลื่อนย้าย 4 ล้อ ยึดติดกับฐาน ใช้มอเตอร์ในการควบคุมระยะห่างระหว่าง Gaps การทดสอบใช้ Plc ในการ ควบคุมระยะห่างของ Spark gaps โดยสามารถป้อนค่าระยะห่างตามที่ต้องการจะทดสอบ [7] ผ่านทาง Touch screen สามารถปรับตั้งก่อนการทดสอบเพื่อเซตให้ระยะเป็นศูนย์และ สามารถแยกออกเป็นชิ้นส่วนได้ ดังแสดงในภาพที่ 1 ทั้งส่วนเซตค่าควบคุมด้วย Touch screen (ก) และส่วนวงจรและอุปกรณ์ภายในของการควบคุม (ข) สำหรับใช้ทดสอบชุดหม้อ แปลงแรงดันสูงความถี่สูงพิกัด 300 kV 200 kHz ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

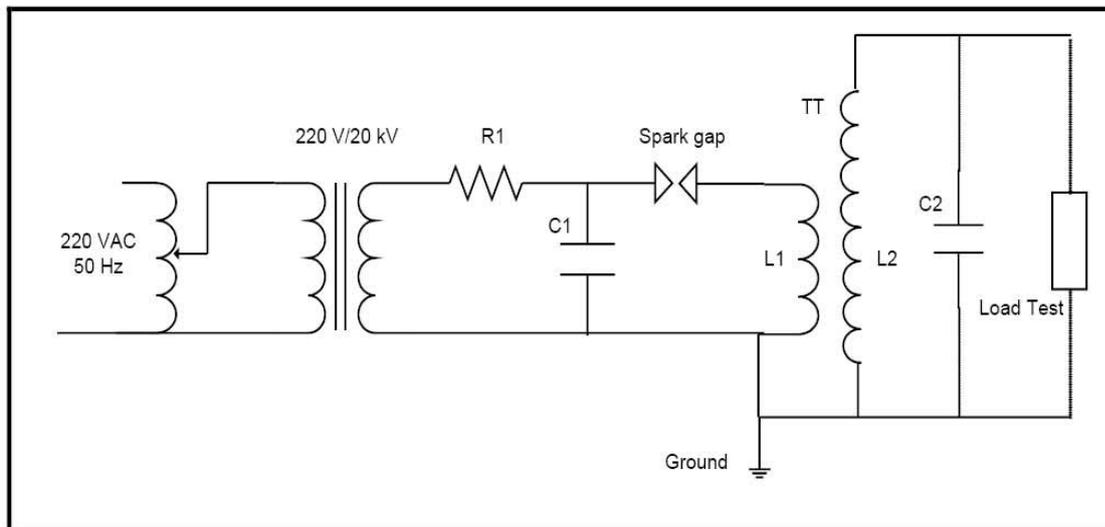


(ก) ส่วนหน้าตู้ควบคุม

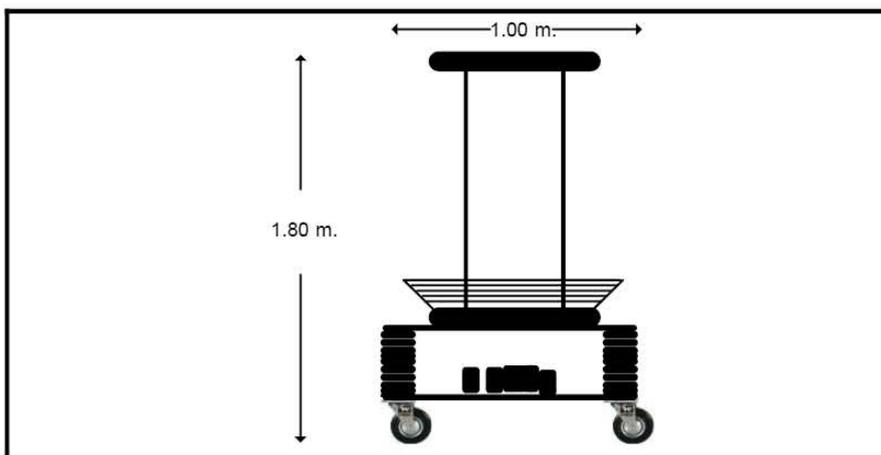


(ข) ส่วนอุปกรณ์ภายในตู้ควบคุม

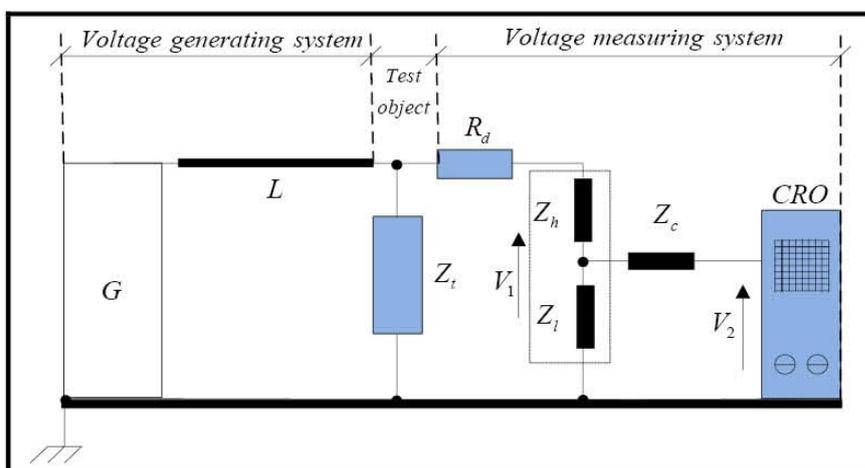
ภาพที่ 1 แสดงส่วนของตู้อุปกรณ์ควบคุม  
(ก) ส่วนหน้าตู้ควบคุม (ข) ส่วนอุปกรณ์ภายในตู้ควบคุม



ภาพที่ 2 แบบวงจรหม้อแปลงเทสลาที่ออกแบบ



ภาพที่ 3 รูปแบบโครงสร้าง



ภาพที่ 4 วงจรการวัดและทดสอบสำหรับแรงสูง

โดยมีชุดการวัดและทดสอบสำหรับลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าแรงสูง ดังแสดงในภาพที่ 4 ที่มีการวัดแบบโวลต์เตจดีไวเดอร์สำหรับแรงสูงจะมีองค์ประกอบทั้งภาคแรงสูงและแรงต่ำ เพื่อเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แบ่งทอนแรงดันสูง ๆ ออกเป็นแรงดันต่ำให้สามารถวัดค่าได้ ซึ่งภาคแรงต่ำคือภาคที่จะต้องนำไปสู่เครื่องมือวัด (แสดงช่วงแรงดันต่ำ  $V_2$  สำหรับเข้าเครื่องมือวัด) และแบบวงจรของการวัดที่ได้ขนานกับโพลด ที่ได้ออกแบบเพื่อการสร้าง แสดงดังภาพที่ 3-4 สำหรับแบบโครงสร้างที่จะดำเนินการสร้างหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงพิกัด 300 kV 200 kHz ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้สามารถใช้ทดสอบแรงดันสูงได้และป้องกันการวาบไฟตามผิวของท่อฉนวนโครงสร้าง ขนาดของอุปกรณ์และท่อสำหรับการพันขอลวดต่าง ๆ ทางด้านแรงสูงและแรงต่ำจึงต้องมีความกว้างและสูง ประกอบเข้าด้วยชุดกราวด์ของฐานสำหรับต่อออกภายนอกของโครงสร้าง และออกแบบเพื่อให้สามารถเคลื่อนย้ายได้อย่าง

สะดวกต่อการนำไปใช้ทดสอบในสถานที่ต่าง ๆ ได้ [8] โดยหลักการกระแสเข้าเครื่องวัดน้อยมากจะเท่ากับศูนย์ ทำให้ได้ค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุภาคแรงสูงและภาคแรงต่ำมีค่าใกล้เคียงเกือบจะเท่ากัน จะได้ดังสมการที่ (1)-(3)

$$V_1 = \frac{C_1 + C_2}{C_1} V_2 \quad (1)$$

$$I_1 = I_2 = \omega C_2 V_2 \quad (2)$$

$$(C_2 \gg C_1) \quad V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} \quad (3)$$

เมื่อ

$C_1$	= ตัวเก็บประจุภาคแรงสูง
$C_2$	= ตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ
$I_1$	= กระแสไฟฟ้าภาคแรงสูง
$I_2$	= กระแสไฟฟ้าภาคแรงต่ำ
$I_m$	= กระแสไฟฟ้าเข้าเครื่องวัด
$V_1 / V_2$	= แรงดันสูง/แรงดันที่ต้องการวัด

### ผลการศึกษาและวิจารณ์

รายงานผลการวิจัยจากชุดหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงพิกัด 300 kV 200 kHz ที่ออกแบบและควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สร้าง โดยอ้างอิงมาตรฐาน IEC 60060-1:2010 [9] ทดสอบยึดแนวทางตามวัตถุประสงค์การวิจัยเป็นหลัก ผลการวิจัยที่ได้ในตารางที่ 1 ทำการทดสอบ 5 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย ซึ่งเป็นการใช้ชุดโวลต์เตจดีไวเดอร์แบบคาปาซิเตอร์ทดสอบคุณสมบัติของการวัดแรงดันไฟฟ้าของแรงดันสูงความถี่สูงที่จ่ายให้กับลูกถ้วยฉนวน (โพล) เป็นการทดสอบให้ใกล้เคียงสภาพใช้งานจริง มีค่าความคลาดเคลื่อนของการทดสอบภาคแรงสูงและภาคแรงต่ำเป็น -2.5% และ -1.5% ตามลำดับ ผลการทดสอบอ้างอิงข้อกำหนดมาตรฐานพบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน  $\pm 3\%$  ผลที่ได้สรุปดังในตารางที่ 1 และในภาพที่ 5 แสดงการปรับตั้งระบบทั้งหมดก่อนการทดสอบและตรวจวัด

เมื่อทำการปรับตั้งของชุดหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงพิกัด 300 kV 200 kHz ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการปรับระยะของชุด Spark gaps ของระบบหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงแล้ว ส่วน (ก) จะเป็นอุปกรณ์ทดสอบของลูก Sphere gaps และส่วน (ข) จะเป็นอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดและบันทึกผล หลังจากปรับตั้งค่าเสร็จแล้วดำเนินการทดสอบและตรวจวัดและผลการทดสอบที่แสดงได้ดังตารางที่ 1 ที่ค่าเฉลี่ยแรงดัน 259 กิโลโวลต์ และค่าเฉลี่ยความถี่ที่ 166 กิโลเฮิร์ต และในภาพที่ 6 แสดงลักษณะของ

กราฟในการทดสอบและเฉลี่ย โดยทั้งนี้ใช้ชุดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ในการปรับตั้งค่าตามลำดับ



(ก) ส่วนอุปกรณ์ทดสอบ



(ข) ส่วนของการควบคุม

ภาพที่ 5 แสดงการปรับตั้งระบบเพื่อจะทดสอบและตรวจวัดการเบรกดาวน์

(ก) ส่วนอุปกรณ์ทดสอบ (ข) ส่วนของการควบคุม

ตารางที่ 1 แสดงค่าการวัดและทดสอบการเบรกดาวน์

ครั้งที่	แรงดัน (kV)	ความถี่ (kHz)
1	275	198
2	281	194
3	245	140
4	252	161
5	243	146
<b>เฉลี่ย</b>	<b>259</b>	<b>166</b>

หมายเหตุ: ปรับตั้งค่าอุณหภูมิทดสอบที่อุณหภูมิห้อง



ภาพที่ 6 กราฟแสดงค่าการวัดและทดสอบการเบรกดาวน

ทั้งนี้ชุดหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงพิกัด 300 kV 200 kHz ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ออกแบบและสร้างขึ้น สามารถใช้ได้ดีที่ระดับการศึกษาแรงดันสูงระดับปานกลาง เนื่องจากได้ใช้วัสดุที่มีอยู่ภายในประเทศเพื่อการสร้าง ทดสอบ วัดค่าและประเมินผล ควรมีการพิจารณาวัสดุจากหลากหลายทั้งภายในและภายนอกประเทศเพื่อนำมาประยุกต์สร้างและทดสอบสำหรับพัฒนาการสร้างอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพที่สูงยิ่งขึ้นในอนาคต และควรนำชุดหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงที่สร้างเข้าทำการทดสอบกับสำนักงานทดสอบมาตรฐานที่มีในประเทศและต่างประเทศหากจะนำไปพัฒนาเพื่อผลประโยชน์ทางการค้าและเพื่อการพาณิชย์ต่อไป

## สรุป

จากผลการทดสอบ ตรวจวัดและประเมินผลชุดหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงพิกัด 300 kV 200 kHz ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ออกแบบและสร้างขึ้น สามารถใช้เป็นชุดทดสอบวัดค่าแรงดันเบรกดาวนที่เลียนแบบฟ้าผ่า จากผลการทำงานของหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงเพื่อใช้เป็นชุดจ่ายแรงดันสูงทดสอบลูกถ้วยฉนวนและการเบรกดาวน ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และสามารถประยุกต์ใช้สำหรับการเรียนการสอนมีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่อ้างอิงถึง งานวิจัยในการสร้างชุดหม้อแปลงเหล่านี้ได้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับการสร้างแรงดันสูงความถี่สูง ใช้ในงานทดสอบและวัดค่าผลการทำงาน สามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการศึกษาและนำมาเป็นอุปกรณ์ทดลองและทดสอบในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงเพื่อการศึกษา วิจัยพัฒนาและจำลองการเกิดฟ้าผ่าได้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณโครงการยกระดับปริญญา นิพนธ์เป็นงานวิจัยตีพิมพ์ งานสร้างสรรค์ และงานบริการวิชาการสู่ชุมชน ประจำปี 2558 และ ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพลังงานแสงอาทิตย์และไฟฟ้าพลังงานน้ำจังหวัดตาก และภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้เอื้อเพื่อ สถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ ในการวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

1. รายงานสถานการณ์พลังงานจังหวัดตาก. โครงการบูรณาการแผนยุทธศาสตร์พลังงาน ระดับกลุ่มจังหวัดตามยุทธศาสตร์พัฒนาประเทศ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2557.
2. กองสื่อสารภายนอก กฟผ. สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบของ กฟผ. ปี 2560. รายงานประจำปี 2560 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2561.
3. กองวิศวกรรมไฟฟ้าและทดสอบ กฟผ. รายงานประจำปี 2559 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2559.
4. สุพจน์ วรวิพรหมมา. การศึกษาวิเคราะห์การออกแบบสร้างหม้อแปลงโซลิตสเตตเทสล่า ขนาดพิกัด 100 kV 150 kHz [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2557.
5. ไชยพร หล่อทองคำ. โวลเตจดีไวเดอร์แบบวงจรร่วมสำหรับใช้วัดแรงดันสูงกระแสสลับ กระแสตรงและแรงดันอิมพัลส์. โครงการวิจัยภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีมหานคร; 2546.
6. ทง ลานธารทอง และคณะ. การสร้างชุดทดสอบฉนวนทางไฟฟ้าเพื่อหาประสิทธิภาพของ เครื่องกำเนิดก๊าซไอโซน. การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4; 3-5 เมษายน 2555; โรงแรมพาราไดซ์ จังหวัดหนองคาย.
7. สำรวย สังข์สะอาด. วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2549.
8. Qi EJ, Luo Z, Chen H, Zhu GR. Modelling and control of single phase VIENNA rectifier. 2016 International conference on industrial informatics - computing technology, intelligent technology, industrial information integration (ICIICII); 3-4 December 2016; Wuhan, China.
9. IEC - Publication IEC 60060-1:2010. High-voltage test techniques - part 1: general definitions and test requirements. 2010.