บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

การส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าระยะทางไกล ๆ จำเป็นต้องส่งจ่ายพลังงานด้วยแรงดันไฟฟ้าที่สูง การส่งจ่ายแบบสายเปลือยขึงในอากาศย่อมเป็นระบบที่ประหยัดที่สุด ค่าใช้จ่ายน้อยกว่าแบบเคเบิล ดังนั้น สายส่งจะเป็นแบบขึงในอากาศที่มีอากาศทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้า และใช้ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าเป็นตัวรับแรงกลในการยึดสายตัวนำให้มั่นคง และปลอดภัย ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าที่ดีจะต้องไม่เป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า แต่สภาพปัญหาปัจจุบันพบว่าลูกถ้วยฉนวนเมื่อนำไปติดตั้งใช้งานในระบบระยะหนึ่งมักจะเกิดสภาพกระแสรั่วไหล (Leakage) ขึ้น สถานการณ์นี้จะยิ่งรุนแรงมากขึ้นถ้าระบบสายส่งนั้นเป็นสายส่งแรงดันสูง ผลกระทบอาจไม่ถึงกับทำให้ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหยุดชะงักหรือไฟดับ แต่จะเกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าไปโดยเปล่าประโยชน์ เนื่องจาก ลูกถ้วยพอร์ซเลนมีตำหนิหรือมีลักษณะเป็นโพรงอากาศแฝงอยู่ภายในเนื้อฉนวนพอร์ซเลน หรือบางครั้งอาจเกิดจากรอยร้าว (Crack) ภายในจากขั้นตอนการเผาที่ไม่สมบูรณ์ลักษณะเช่นนี้ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ ดังนั้นกระบวนการผลิตลูกถ้วยจึงต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของฉนวนลูกถ้วยก่อนที่จะนำออกไปใช้งานระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

วิธีการตรวจสอบคุณภาพของลูกถ้วยฉนวนในภาคอุตสาหกรรมทั่วไป จะประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงโดยใช้ แหล่งจ่ายแรงดันสูง และความถี่สูง หรือที่รู้จักกันคือหม้อแปลงเทสลา (Tesla Transformer) เข้ามาใช้ในการทดสอบแบบประจำ (Routine test) ซึ่งความถี่ที่ใช้กันอยู่ในช่วง 100 kHz ถึง 250 kHz [1] แรงดันสูงความถี่สูงนี้จะทำให้เกิดความร้อน และทำให้เกิดการเจาะทะลุ (Puncture) ลักษณะเช่นนี้แสดงว่าลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าบกพร่อง หากลูกถ้วยมีฉนวนไฟฟ้าที่ดีจะเกิดการวาบไฟ (Flashover) ตามผิวลูกถ้วย และความถี่สูงนี้ยังจะช่วยทำให้วาบไฟที่ผิวฉนวนลูกถ้วย ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ง่ายและชัดเจน [2] ในปัจจุบันสถาบันการศึกษาด้านวิศวกรรมของประเทศไทยมีการศึกษาวิจัยอย่างก้าวหน้าและมีประสบการณ์วิจัยเพียงพอที่จะสามารถออกแบบและสร้างแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงและความถี่สูงขึ้นใช้งานเองได้

อย่างไรก็ตาม ผู้ทำการวิจัยได้เล็งเห็นว่าหม้อแปลงเทสลา (Tesla Transformer) โดยทั่วไปที่มีอยู่ภายในประเทศยังมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ทำมีขนาดใหญ่ ราคาอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดสร้างค่อนข้างแพง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอแนวคิดโดยนำเอาวงจรทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics) เข้ามาประยุกต์ใช้ในหม้อแปลงเทสลา (Tesla Transformer) ซึ่งสามารถปรับแรงดันและความถี่ได้โดยใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ จ่าย

ไฟฟ้าเข้าทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงเทสลา สำหรับแรงดันทางด้านทุติยภูมินั้นจะนำไปจ่ายให้กับลูกถ้วยที่ทำการทดสอบ ทำให้ขนาดของเครื่องทดสอบมีขนาดเล็กลง น้ำหนักเบา เคลื่อนย้ายได้สะดวก ราคาในการสร้างลดลงเมื่อเทียบกับแบบดั้งเดิม นอกจากนั้นแล้วยังสามารถเป็นแนวทางในการพัฒนา และวิจัย เกี่ยวกับการทดสอบลูกถ้วยแรงดันสูงความถี่สูงได้ โดยลดการนำเข้าจากต่างประเทศได้อีกด้วย

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต

ในอดีตที่ผ่านมาในประเทศไทยได้มีการวิจัย และพัฒนาหม้อแปลงเทสลาอย่างต่อเนื่อง สามารถศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีตได้ดังนี้

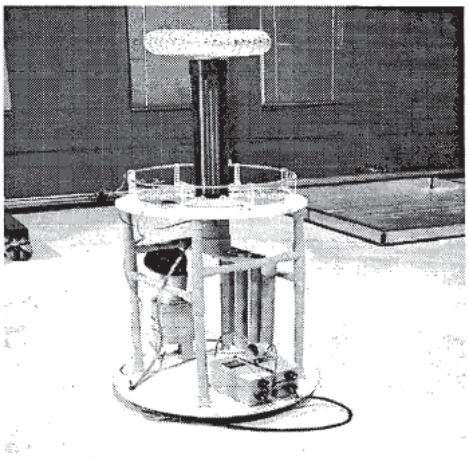
ในปี พ.ศ. 2532 สำรวย สังข์สะอาด ได้นำเสนอบทความเรื่อง “หม้อแปลงเทสลาสำหรับทดสอบลูกถ้วยพอร์ซเลน” [3] งานวิจัยนี้ได้รายงานรายละเอียดการออกแบบและสร้างหม้อแปลงเทสลาสำหรับทดสอบประจำลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนใช้ก๊าซอัดความดันคือ ก๊าซไนโตรเจน หรือ SF_6 เป็นฉนวนขดลวดแรงสูงและใช้สปาร์คแกปแบบอิเล็กโทรดจานหมุนตัดอาร์กแบบกังหัน 6 ใบ ซึ่งกำหนดความถี่ตามมาตรฐานการทดสอบ ANSI C29.1(1982) ซึ่งหม้อแปลงเทสลาที่ได้ทำการออกแบบสร้างสามารถสร้างแรงดันสูงสุดที่ 400 kV_p และสร้างความถี่ได้ 100 kHz ขึ้นไป ใช้ทดสอบลูกถ้วยพอร์ซเลนได้ทุกชนิด

ในปี พ.ศ. 2539 ศักดิ์ชัย ตรีรัตน์พิจารณ์ และ คณะได้นำเสนอบทความเรื่อง “หม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงสำหรับทดสอบลูกถ้วยฉนวน” [4] งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบและการจัดสร้างชุดทดสอบลูกถ้วยฉนวนแบบแรงดันสูงความถี่สูง โดยใช้แกนอากาศเป็นแกนร่วมและออกแบบให้สปาร์คแกปที่ใช้เป็นแบบกังหันหมุน 6 ก้าน แทนที่การใช้สปาร์คแกปแบบธรรมดา ซึ่งกำหนดความถี่ตามมาตรฐาน ANSI C29.1(1982) ซึ่งความถี่จะอยู่ที่ 100 kHz – 200 kHz และได้กำหนดพิกัดของแรงดันทางด้านแรงสูงที่ 200 kV แรงดันทางด้านแรงต่ำ 0 – 20 kV และกำหนดค่า C_2 ประมาณ 90 pF และ L_2 ประมาณ 7.04 mH และพันขดลวดทางด้าน L_1จำนวน 10 รอบ และเลือกค่าความเหนี่ยวนำที่ 7 รอบมีค่า 17.31 μH และค่า C_1 มีค่า 37 nF

ในปี พ.ศ. 2544 กนกพล นาคะวิวัฒน์ และ คณะได้นำเสนอบทความเรื่อง “การออกแบบและสร้างหม้อแปลงเทสลาสำหรับทดสอบลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า 200 กิโลโวลต์ 250 กิโลเฮิรตซ์” [5] งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบและสร้างหม้อแปลงเทสลาสำหรับใช้ในการทดสอบลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า เพื่อลดต้นทุนการนำเข้าจากต่างประเทศและใช้ในการทดสอบความเป็นฉนวนไฟฟ้าของลูกถ้วยฉนวนตามมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม มอก. 354-2523 ซึ่งงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าความจุ C_2 มี

ค่าประมาณ 70 pF ค่าความเหนี่ยวนำทางด้านแรงสูง L_2 มีค่า 8.36 mH และค่าความเหนี่ยวนำทางด้านแรงต่ำ L_1 พันแบบแนวนอน (Spiral coil) มีค่า 45.76 μH ค่าตัวเก็บประจุทางด้านแรงต่ำมีค่า C_1 มีค่า 12.9 nF และใช้หม้อแปลงนีออนขนาด 15000Vrms, 30mA สองตัวต่อขนานกันเพื่อเพิ่มกระแสเป็นแหล่งจ่ายทางด้านแรงต่ำ ผลของงานวิจัยนี้คือ หม้อแปลงเทสลาที่สร้างขึ้นมาได้ความถี่ที่พิกัด 250 กิโลเฮิรตซ์ และสามารถผลิตแรงดันสูงที่พิกัด 200 กิโลโวลต์

ในปี พ.ศ. 2546 กนกพล นาคะวิวัฒน์ และคณะได้นำเสนอบทความเรื่อง “การออกแบบและสร้างหม้อแปลงแรงดันสูงและความถี่สูง 400 กิโลโวลต์ 200 กิโลเฮิรตซ์ สำหรับใช้ในการทดสอบลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าแบบเคลื่อนที่ได้” [6] บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบหม้อแปลงเทสลาสำหรับใช้ในการทดสอบลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า และพยายามที่จะสร้างหม้อแปลงชุดทดสอบนี้เพื่อลดต้นทุนการนำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อใช้ในการศึกษาการทดสอบการเป็นฉนวนในการออกแบบและสร้างให้มีงบประมาณที่ประหยัดสุด และเป็นชุดทดสอบที่กะทัดรัดสามารถเคลื่อนย้ายได้ไปพร้อมกับชุดควบคุม ซึ่งการออกแบบจะใช้หม้อแปลงนีออน พิกัดด้านเอาต์พุทเท่ากับ 15000 โวลต์ ขนาดพิกัดกระแสเท่ากับ 30 มิลลิแอมป์ จำนวน 4 ตัว มาขนานกันเพื่อให้ได้กระแสทางด้านทุติยภูมิมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนตัวเก็บประจุทางด้านแรงต่ำ C_1 มีค่าความจุประมาณ 25.46 nF ทนแรงดันได้ 22 kV_p ค่าความเหนี่ยวนำทางด้านแรงต่ำ L_1 ใช้ท่อทองแดงกลวงขนาด ¼ นิ้ว ซึ่งมีความหนาส่วนที่เป็นทองแดง 0.03 นิ้ว โดยพันแบบแบนราบกับพื้นจำนวน 10 รอบ ซึ่งค่าความเหนี่ยวนำมีค่า 0.48 mH และจะใช้มอเตอร์หนึ่งเฟส ครึ่งแรงม้า ทำหน้าที่เป็นสวิตชิ่ง หรือช่องว่างกำเนิดพัลส์ความถี่สูง ความเร็วพิกัด 1500 รอบต่อนาที เป็นสปาร์คแกป และขดลวดทางด้านแรงสูง L_2 มีค่า 7.04 mH ตัวเก็บประจุทางด้านแรงสูง C_2 กำหนดค่าประมาณ 90 pF ซึ่งผลของงานวิจัยนี้สามารถทดสอบลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าตามมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม มอก.354-2523 ที่พิกัดแรงดัน 400 กิโลโวลต์ ความถี่ 200 กิโลเฮิรตซ์



รูปที่ 1.1 หม้อแปลงเทสลาพิกัดแรงดัน 400 กิโลโวลต์ ความถี่ 200 กิโลเฮิรตซ์

ในปี พ.ศ.2551 B.Pungsiri และ S.Chotigoได้นำเสนอบทความเรื่อง “The Compact Tesla Transformer for Testing Pin Insulator” [7] บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบหม้อแปลงเทสลาตามมาตรฐานการทดสอบ ANSI C29.1(1982) ซึ่งใช้สปาร์คแกปแบบ 6 ก้าน ทำจากสแตนเลสและใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อน ส่วนขดลวดทางด้านแรงดันต่ำ L_1 ใช้สแตนเลสพัน 13 รอบ พันแบบแนวตั้งจำนวน 10 รอบ ซึ่งค่าความเหนี่ยวนำระหว่างรอบที่ 12 ถึง รอบที่ 13 มีค่าระหว่าง 3.05μH – 40.7μH ส่วนค่าความจุทางด้านแรงต่ำ C_1 ทำจากโพลิโพรพิลีน นำตัวเก็บประจุ 0.1 μF 2kV_p ตัวเก็บประจุโพลิโพรพิลีน 4 ตัวต่อกันแบบอนุกรม ค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 400 nF 2kV_p และชุดตัวเก็บประจุ 400 nF 2kV_p 18 ชุด ต่อกันแบบอนุกรมมีค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 22 nF 36 kV_p แล้วนำตัวเก็บประจุ 22 nF 36 kV_p 2 ชุด ต่อกันแบบขนาน ค่าความจุไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำ C_1 จะเท่ากับ 44 nF ทนแรงดัน 36 kV_p ซึ่งจะใช้ตัวเก็บประจุทั้งหมด 144 ตัว และค่าความเหนี่ยวนำทางด้านแรงสูง L_2 มีค่าเท่ากับ 4.5 mH และค่าความจุทางด้านแรงสูง C_2 มีค่าประมาณ 90 pF ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดขึ้นโดยรวมค่าวัสดุทดสอบประมาณ 10 - 50 pF ค่าความจุไฟฟ้าของขดลวดทางด้านแรงสูงประมาณ 5 - 10 pF/m ค่าความจุของ gap ทรงกลมประมาณ 5 - 10 pF ซึ่งผลของงานวิจัยนี้ สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าได้ 150 kV_p และค่าความถี่ต่าง ๆ ระหว่าง 120 - 430 kHz หม้อแปลงเทสลานี้มีขนาดความยาว 1.4 เมตร และกว้าง 0.35 เมตร และสามารถใช้ทดสอบลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าได้ตามมาตรฐานการทดสอบ ANSI C29.1(1982)

รูปที่ 1.2 หม้อแปลงเทสลาแบบดั้งเดิม

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ส่งเสริมให้เกิดการวิจัย เพื่อพัฒนาองค์ความรู้และประยุกต์เทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังร่วมกับไฟฟ้าแรงสูง เน้นการประยุกต์ใช้วัสดุที่มีภายในประเทศ ลดการนำเข้าวัสดุจากต่างประเทศ

2. เพื่อศึกษาหลักการของหม้อแปลงเทสลา (Tesla Transformer) และศึกษาหลักการสร้างความถี่สูงแรงดันสูงโดยใช้สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

3. เพื่อพัฒนาบุคลากร นักวิจัย วิศวกร ให้มีความรู้ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาข้อมูล และทฤษฎีที่เกี่ยวกับหม้อแปลงเทสลาและหลักการของสวิตชิ่งในการสร้างความถี่สูงและแรงดันสูงเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับหม้อแปลงเทสลาแบบดั้งเดิม

2. ออกแบบวงจรสวิตชิ่งและทำการทดลองวงจร

3. สรุปการทดลองที่ได้ พร้อมทั้งปรับปรุงวงจรให้สามารถทำงานได้จริง

4. รวบรวมข้อมูลและจัดทำวิทยานิพนธ์

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

สร้างหม้อแปลงเทสลาโดยใช้โดยใช้สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เพื่อใช้ทดสอบลูกถ้วยฉนวนที่แรงดัน 100 kV – 200 kV และที่ความถี่ระหว่าง 100 kHz – 200 kHz

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเข้าใจถึงทฤษฎีและหลักการของหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงโดยใช้สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

2. เป็นแนวทางให้สถานศึกษาสามารถสร้างหม้อแปลงเทสลาทดสอบฉนวนได้เองโดยใช้วัสดุภายในประเทศ

3. เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อเพื่อทดแทนหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงที่มีอยู่เดิม และลดขนาดของหม้อแปลงให้มีขนาดเล็กลงและใช้งบประมาณในการสร้างประหยัดที่สุดสามารถเคลื่อนที่ได้และใช้งานกับพื้นที่จำกัดได้

4. เป็นการสนับสนุนการค้นคว้าวิจัยของนักศึกษาและอาจารย์ เพื่อพัฒนาความรู้ทางด้านวิศวกรรมแรงสูง