

# การศึกษาผลกระทบชุดเหนี่ยวนำของหม้อแปลงเทสลาเพื่อหามิติที่เหมาะสม

The study of an effect of coupling inductance in Tesla Transformer for the best dimension

สมเกียรติ ทองแก้ว บุญยัง ปลั่งกลาง และ พร้อมศักดิ์ อภิตติกุล

Somkeait Thongkeaw Boonyang Plangklang and Promsak Apiratikul

## บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการศึกษาผลกระทบของชุดเหนี่ยวนำในหม้อแปลงเทสลา เพื่อหามิติที่เหมาะสม ผลที่ได้จะนำไปสู่การออกแบบสร้างหม้อแปลงเทสลา เพื่อลดปัญหาค่าความเครียดสนามไฟฟ้าแรงสูงที่เกิดขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิ( $L_p$ ) และขดลวดทุติยภูมิ( $L_s$ ) เพราะหม้อแปลงแรงดันสูง ความถี่สูง(Tesla Transformer) นี้ ใช้การเหนี่ยวนำระหว่างขดลวดทั้งสองผ่านอากาศ จึงทำให้มีปัญหาในการฉนวนขดลวดที่มีอากาศเป็นไดอิเล็กตริก เมื่อสร้างแรงดันสูงในตัวหม้อแปลง จะเกิดการ แฟลชโอเวอร์จากขดลวดแรงดันสูงลงสู่ขดลวดแรงดันต่ำ ทำให้เกิดความเสียหายต่อตัวหม้อแปลง และอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ

วิธีดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษารูปแบบของการวางขดลวดระหว่างขดลวดทั้งสองชุดของหม้อแปลง โดยพิจารณาจากการเหนี่ยวนำที่เหมาะสมโดยวิธีจำลองหม้อแปลงเทสลาด้วยโปรแกรม FemLab และเปรียบเทียบกับผลการจำลองสร้างหม้อแปลงเทสลาที่สร้างขึ้นมาที่พิกัดแรงดัน 120 kV ความถี่ 120 kHz

ผลการวิจัยที่ได้จากการเปรียบเทียบ พบว่า การวางตำแหน่งขดลวดของชุดปฐมภูมิ( $L_p$ ) ที่เหมาะสม และได้แรงดันตามที่ออกแบบไว้โดยไม่มีการแฟลชโอเวอร์ คือ จะต้องพันแบบกันหอยทำมุม  $60^\circ$  ยกระดับจากพื้น มีการเหนี่ยวนำที่สูงกว่ารูปแบบอื่นๆ แรงดันที่วัดได้และค่าความเครียดสนามไฟฟ้ามีความเหมาะสมที่สุด เมื่อเทียบการวางขดลวดปฐมภูมิ( $L_p$ ) ที่ทำมุมกับพื้น  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  และ  $90^\circ$  พิจารณาจากการจำลองด้วยโปรแกรม Femlab และผลจากการทดลองพบว่า ไม่มีการแฟลชโอเวอร์ระหว่างขดลวดแรงดันสูงลงสู่ขดลวดแรงดันต่ำขณะที่จัดวางขดลวดปฐมภูมิ( $L_p$ ) ที่มุม  $60^\circ$

**คำสำคัญ:** หม้อแปลงเทสลา, แรงดันสูงความถี่สูง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering , Rajamangala University of Technology Thunyaburi

\_Corresponding author. E-mail: somkeait\_5626@hotmail.com

## ABSTRACT

This research aims to present the study of the effect of Tesla Transformer induce to find the proper dimension. Result will bring to create the design of Tesla Transformer to reduce the High Voltage Electric Field Stress problem which is happen between Primary Winding and Secondary Winding. Because the Tesla Transformer is use induce between this two winding through the air so that it would be the problem insulation. The winding which has the space is Dielectric, while there are create the high voltage in the transformer, it would flash over voltage from the high voltage winding to the low voltage winding that would be damage to the transformer and other device. Research process, the researcher has to study the lay down model of the two winding in the transformer. By consideration from induce that proper for Tesla Transformer reproduce by using FEMLAB program. And compare the Tesla Transformer reproduce which is created the voltage at 120 kV and frequency 120 kHz. The result which is from the compare is the proper lay down position of Primary

Winding and the voltage which has design without the flash over. It has to be wind whorl coil at 60 angels from the floor. It would have induced more than other model. Voltage that can measure and have the most proper voltage electric field stress while compare with the lay down of Primary Winding which has the angle from the floor at 0,30,45,60 and 90 angels. The consideration from the reproduce by using FEMLAB program and the result from the test is there are no flash over between the high voltage winding to the low voltage winding while there are lay down the primary winding at the 60 angle.

**Keyword :** Tesla Transformer, High Voltage High Frequency

## 1. คำนำ

ในทางอุตสาหกรรมการผลิตลูกถ้วยไฟฟ้าฉนวนปอร์ซเลน จะใช้หม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงเป็นตัวจ่ายแรงดันสำหรับทดสอบลูกถ้วยทุกลูกที่ผลิตขึ้นในโรงงาน เพื่อตรวจสอบคุณภาพขั้นต้นว่าลูกถ้วยไม่มีความบกพร่องภายในลูกถ้วยปอร์ซเลน โดยการวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยตามที่กำหนดมาตรฐาน ANSI C.29.1976 ที่ใช้ความถี่สูงในการตรวจสอบความบกพร่องภายในที่สร้างขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อค่าความเครียดสนามไฟฟ้าแรงสูงที่เกิดขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ (Lp,Ls) เพราะหม้อแปลงชนิดนี้เป็นหม้อแปลงแบบแกนอากาศ จึงทำให้เกิดปัญหาในการฉนวนขดลวดที่มีอากาศเป็นไดอิเล็กตริกโดยส่งผลให้เกิดการฟลัดโอเวอร์ลงบริเวณขดลวดทั้ง 2 ชุด โดยค่าระยะห่างของขดลวดที่เหมาะสมจึงจะสามารถลดปัญหาดังกล่าวได้ แต่การลดปัญหาดังกล่าวจะต้องไม่ทำให้แรงดันที่จะได้รับออกมาจากตัวหม้อแปลงแรงดัน

สูงความถี่สูงคลาดเคลื่อนจากค่าที่กำหนดไว้ จากความต้องการ ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงจะทำการศึกษาผลกระทบของชุดเหนี่ยวนำของหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง(หม้อแปลงเทสลา) เพื่อหามิติที่เหมาะสม โดยการวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้จะใช้การจำลองวงจรของหม้อแปลงเทสลา ด้วยโปรแกรม FEMLAB เปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการจัดทำหม้อแปลงเทสลาขึ้นมา

## 2. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

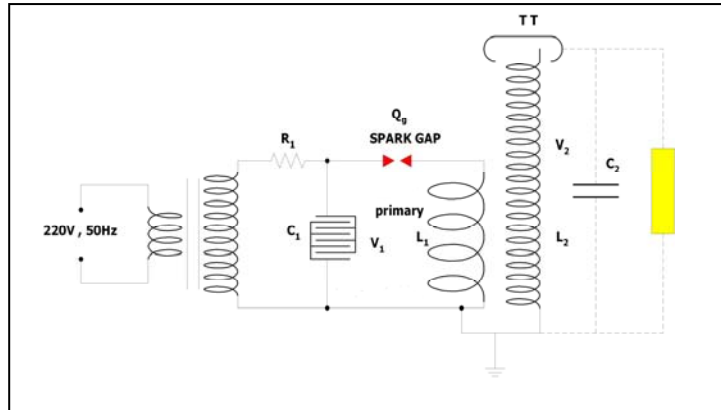
### อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. โปรแกรม Matlab ใช้จำลองหม้อแปลงเทสลาเพื่อออกแบบก่อนสร้างจริง
2. โปรแกรม Femlab ใช้จำลองค่าการกระจายสนามไฟฟ้า ของหม้อแปลงเทสลา
3. ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ใช้เป็นแกนพันขดลวดทุติยภูมิ Ls
4. ลวดทองแดงอบน้ำยาเบอร์ 31 SWG ใช้พันเป็นขดลวดทุติยภูมิ Ls
5. ท่อทองแดง แบบหนา 0.03 นิ้ว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 นิ้ว และ 0.5 นิ้ว ใช้ทำเป็นขดลวดปฐมภูมิ Lp และวงแหวนป้องกันหม้อแปลงจ่ายกำลัง (Transformer Protection Ring)
6. มอเตอร์ 1 เฟส ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที ใช้เป็นตัวขับเคลื่อนโรตารีสปราร์คแกป
7. ตัวเก็บประจุด้านแรงดันต่ำ ชนิดโพลีโพรพิลีน (Polypropylene) ขนาด 15 nF 1600 V
8. หม้อแปลงนีออน (Neon Sign Transformer) 230 V/15,000 V ใช้เป็นหม้อแปลงจ่ายกำลังด้านแรงดันต่ำของหม้อแปลงเทสลา

### วิธีการ

1. จำลองวงจรหม้อแปลงแรงดันสูง ความถี่สูง ที่แรงดัน 120 kV ความถี่สูงสุด 120 KHz ด้วยโปรแกรม Matlab และ Femlab
2. ทำการออกแบบส่วนประกอบและโครงสร้างต่างๆ ของหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง
3. ทำการสร้างส่วนประกอบโครงสร้างต่างๆ ของหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง
4. ทำการทดสอบหาค่าคุณลักษณะการทำงานของหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงและการแก้ไขส่วนที่บกพร่อง
5. เก็บผลที่ได้จากการคำนวณร่วมกับผลการจำลองด้วยโปรแกรม Femlab และผลการทดลองหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงที่สร้างขึ้นมาเปรียบเทียบกัน
6. สรุปผลการวิจัยและการทดลอง

การออกแบบค่าพารามิเตอร์ของ Tesla Transformer



รูปที่ 1 แสดงวงจรการทำงานของ Tesla Transformer

- แรงดันพิกัดด้านแรงดันสูง 120 kVrms
- ความถี่พิกัด 120 kHz
- แรงดันป้อนเข้า 0 - 15 kVrms
- ค่าความจุ C2 มีค่าประมาณ 40 pF

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากสมการพื้นฐาน

มุมของ ขดลวด $L_1$	Primary		Secondary	
	$L_1$ ( $\mu\text{H}$ )	$C_1$ ( $\mu\text{F}$ )	$L_2$ (mH)	$C_2$ (pF)
$90^\circ$	28.45	6.366	43.97	40
$60^\circ$				
$45^\circ$	72.09			
$30^\circ$				
$0^\circ$	64.70			

สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์

- กรณีที่เกิดออสซิลเลชัน ระหว่าง  $L_1$  กับ  $C_1$  ความถี่ที่เกิดขึ้นจะได้  $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}}$
- สภาวะจากการเกิดออสซิลเลชัน ด้านแรงต่ำ เหนี่ยวนำกับด้านแรงสูงในสภาวะการจูน

$$f_1 = f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C_2}}$$

การออกแบบขดลวดด้านแรงดันสูง

จำเป็นต้องมีการพิจารณาเลือก

D = ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของแกนที่พันขดลวด L2

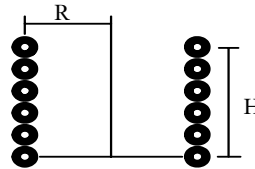
H = ขนาดความสูงของลวดที่จะพัน

G = ขนาดขดลวดที่จะใช้พัน

ตารางที่ 2 แสดงขนาดของท่อและความสูงที่เหมาะสมในการพันลวดแรงสูง

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (นิ้ว)	ความสูง/เส้นผ่าศูนย์กลาง	ความยาวพื้นที่พันลวด (นิ้ว)
3	6.0:1	18.0
4	5.0:1	20.0
5	4.5:1	22.5
6	4.0:1	24.0
7	3.5:1	24.5
8	3.0:1	24.0
มากกว่า 8	3.0:1	24.0

การพันขดลวดแรงสูง จะพันตามพิกัดจากตารางที่ 2



$$L = \frac{(NR)^2}{9R + 10H}$$

รูปที่ 2 แสดงมิติในการพันขดลวดแรงสูง

เมื่อ L = ความเหนี่ยวนำ ,  $\mu H$

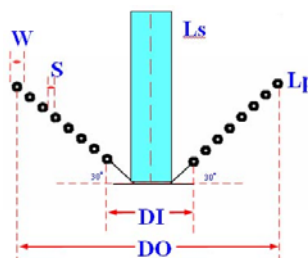
R = รัศมีของแกนถึงศูนย์กลางลวด , นิ้ว

N = จำนวนรอบ

H = ความสูงของระยะที่พันลวด , นิ้ว

การออกแบบสร้างขดลวดแรงต่ำ

1. ทำมุมกับพื้น  $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  ใช้ท่อทองแดงขนาด 5/16 นิ้ว หนา 0.03 นิ้ว เป็นขดลวดแรงดันต่ำ



$$L = \frac{(NA)^2}{30A - 11DI}$$

$$A = \frac{DI + N(W + S)}{2}$$

รูปที่ 3 แสดงขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงเทสล่า ที่มุม  $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$

W = เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของท่อทองแดง	= 5/16 นิ้ว
S = ระยะห่างระหว่างรอบ	= 1/2 นิ้ว
DI = เส้นผ่าศูนย์กลางกลางวงในสุด ของ Lp	= 14 นิ้ว
DO = เส้นผ่าศูนย์กลางกลางวงนอกสุด ของ Lp	= 34 นิ้ว
N = จำนวนรอบของ Lp	= 10 รอบ

2. ทำมุมกับพื้น  $0^\circ$  ใช้ท่อทองแดงขนาด 5/16 นิ้ว หนา 0.03 นิ้ว เป็นขดลวดแรงดันต่ำ



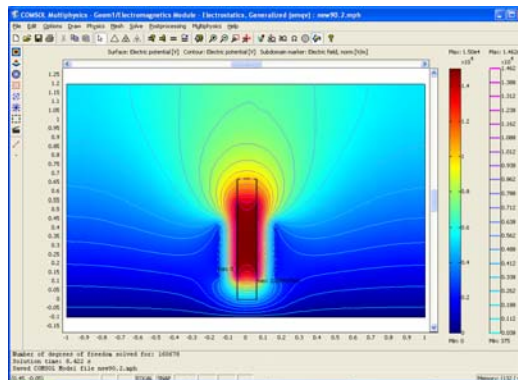
$$L = \frac{(NR)^2}{8R + 11W}$$

รูปที่ 4 แสดงขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงเทสลาที่มุม  $0^\circ$

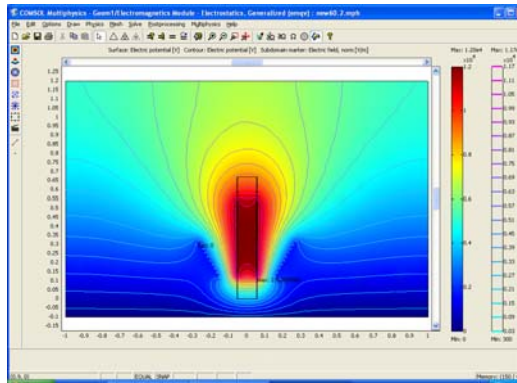
### 3. ผลการวิจัย

การจำลองการกระจายสนามไฟฟ้าของหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ด้วยโปรแกรม FEMLAB กำหนดให้แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดแรงต่ำมีแรงดันไฟฟ้า 15 kV ขดลวดแรงดันสูงมีแรงดันไฟฟ้า 120 kV และค่าเปอร์มิตติวิตี ( $\epsilon_r$ ) ของท่อพีวีซีเท่ากับ 3.5

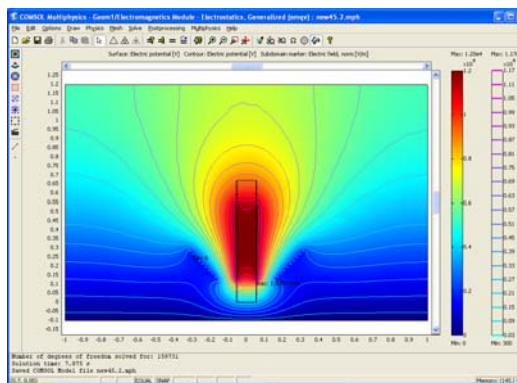
ทำการจำลองสนามไฟฟ้าเปรียบเทียบมุมที่ขดลวดแรงต่ำที่ 90, 60, 45, 30 และ 0 องศา ผลการจำลองสนามไฟฟ้าแสดงดังรูปต่อไปนี้



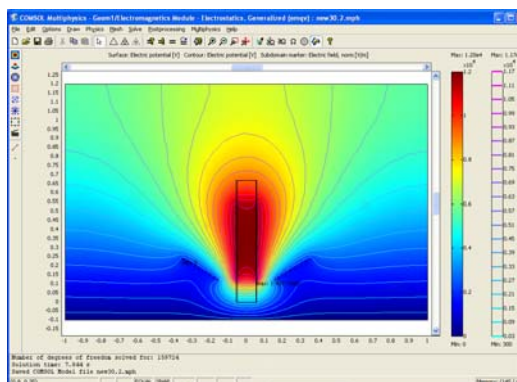
รูปที่ 5 ผลการจำลองการกระจายสนามไฟฟ้าที่ขดลวดแรงต่ำทำมุม 90 องศา จากพื้นโดยมีค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 20.99 kV/cm. ที่ต้นขดลวดแรงสูง (มิติที่ 1)



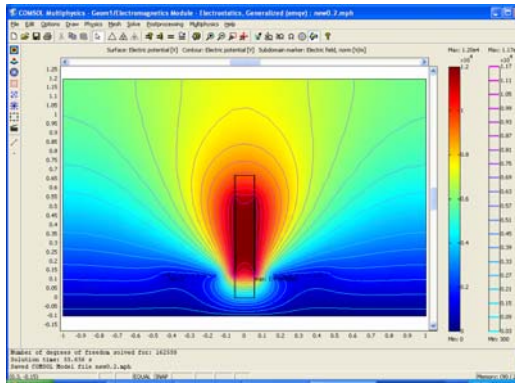
รูปที่ 6 ผลการจำลองการกระจายสนามไฟฟ้าที่ขดลวดแรงต่ำทำมุม 60 องศา จากพื้นโดยมีค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 15.20 kV/cm. ที่ต้นขดลวดแรงสูง (มิติที่2)



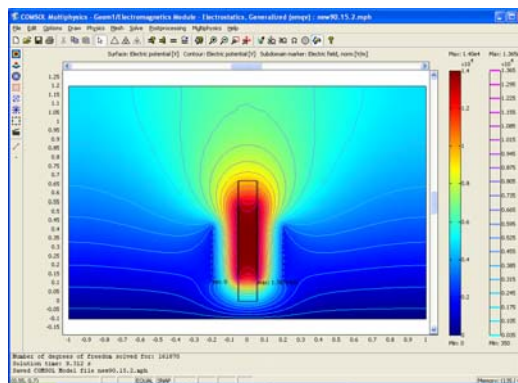
รูปที่ 7 ผลการจำลองการกระจายสนามไฟฟ้าที่ขดลวดแรงต่ำทำมุม 45 องศา จากพื้นโดยมีค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 13.95 kV/cm. ที่ต้นขดลวดแรงสูง (มิติที่3)



รูปที่ 8 ผลการจำลองการกระจายสนามไฟฟ้าที่ขดลวดแรงต่ำทำมุม 30 องศา จากพื้นโดยมีค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 14.91 kV/cm. ที่ต้นขดลวดแรงสูง (มิติที่4)

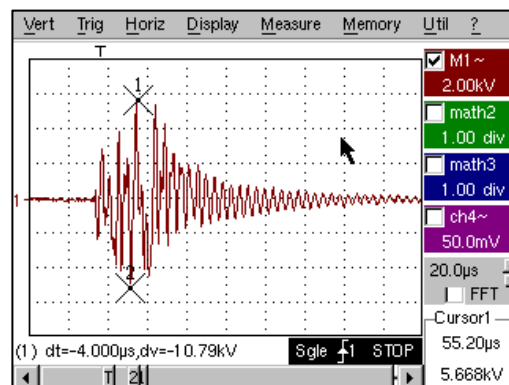


รูปที่ 9 ผลการจำลองการกระจายสนามไฟฟ้าที่ขดลวดแรงต่ำ 0 องศา จากพื้น โดยมีค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 14.99 kV/cm. ที่ต้นขดลวดแรงสูง (มิติที่5)



รูปที่ 10 ผลการจำลองการกระจายสนามไฟฟ้าที่ขดลวดแรงต่ำทำมุม 90 องศาจากพื้น ขยายระยะห่างระหว่างขด Lp กับ Ls จากเดิม 4 นิ้ว ออกเป็น 5.5 นิ้ว โดยมีค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 18.23 kV/cm. ที่ต้นขดลวดแรงสูง (มิติที่6)

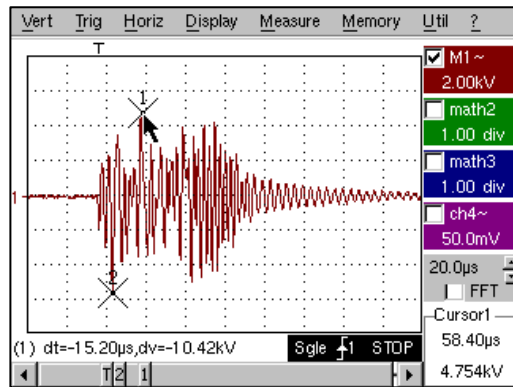
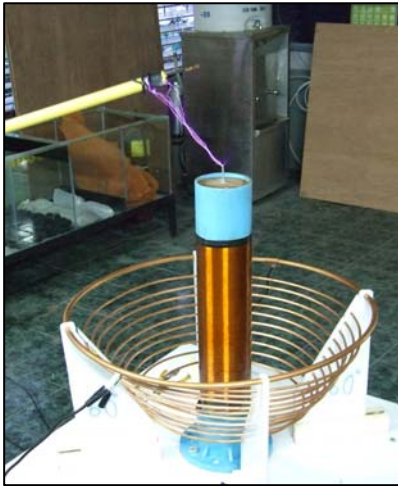
ผลการทดลองห่อแปลงเทสลาที่มีการวางขดลวด Lp ที่มุม 90, 60, 45, 30, 0 องศา ออกสลับเลขขึ้นแบบหน่วงที่วัดได้ของแต่ละแบบ



รูปที่ 11 ทดสอบการวางขดลวด Lp มุม 90 องศา

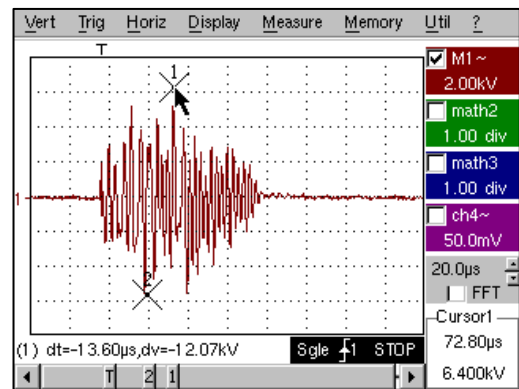
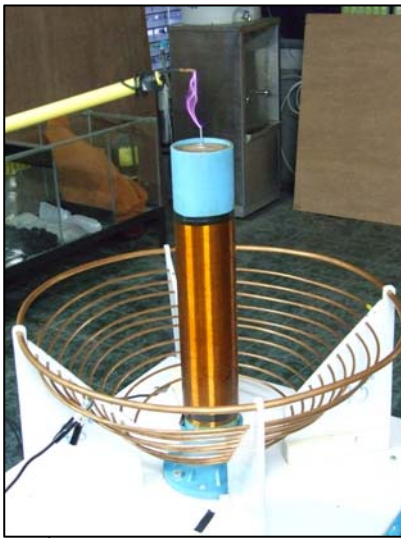
รูปคลื่นที่วัดได้ของ Lp มุม 90 องศา





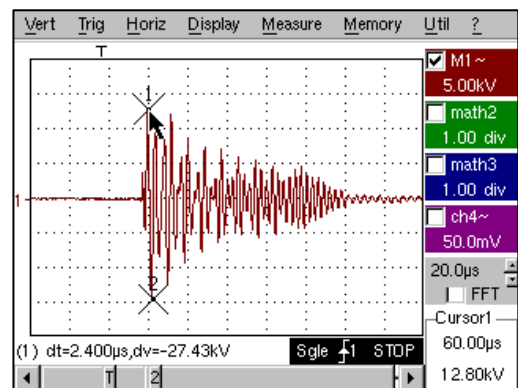
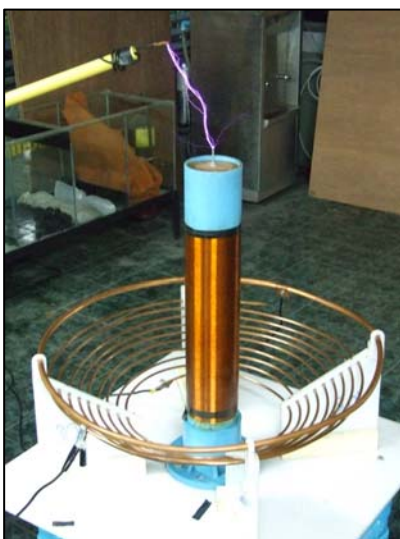
รูปที่ 12 ทดสอบการวางขดลวด Lp มุม 60 องศา

รูปคลื่นที่วัดได้ของ Lp มุม 60 องศา



รูปที่ 13 ทดสอบการวางขดลวด Lp มุม 45 องศา

รูปคลื่นที่วัดได้ของ Lp มุม 45 องศา

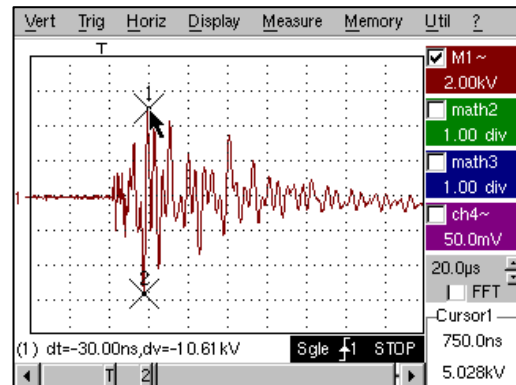


รูปที่ 14 ทดสอบการวางขดลวด Lp มุม 30 องศา

รูปคลื่นที่วัดได้ของ Lp มุม 30 องศา



รูปที่ 15 ทดสอบการวางขดลวด Lp มุม 0 องศา



รูปคลื่นที่วัดได้ของ Lp มุม 0 องศา

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบแรงดันด้านจ่ายออกของการวางขดลวดปฐมภูมิ ณ ตำแหน่งการ ปรับแต่งที่รอบที่ 8 ของแต่ละแบบ

ตำแหน่งการวาง ขดลวดปฐมภูมิ (Lp)	แรงดันด้านออก (kV)			หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1 ไม่มี Toroid	ครั้งที่ 2 ไม่มี Toroid	ครั้งที่ 3 มี Toroid	
0°	106.1	96	102.4	
30°	274.3	139.9	105.1	
45°	120.7	131.7	102.4	
60°	104.2	129.8	157.7	
90°	107.9	129.8	212.6	ครั้งที่ 1 และ 3 มีเบรกดาวน ขณะทดลอง

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบความถี่ด้านจ่ายออกของการวางขดลวดปฐมภูมิ ณ ตำแหน่งการปรับแต่งที่รอบที่ 8 ของแต่ละแบบ

ตำแหน่งการวางขดลวดปฐมภูมิ (Lp)	ความถี่ด้านออก (kHz)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	ไม่มี Toroid	ไม่มี Toroid	มี Toroid
0°	102	128	125
30°	108	122	120
45°	110	138	130
60°	135	127	120
90°	125	145	135

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบผลการจำลองการกระจายของสนามไฟฟ้าระหว่างขด Lp และ Ls ที่มุมต่างๆ ด้วยโปรแกรม Femlab และการคำนวณ

ตำแหน่งการวางขดลวดปฐมภูมิ (Lp)	ค่าสนามไฟฟ้าสูงสุด (kV/cm)	
	ผลการจำลองด้วยโปรแกรม Femlab	ผลการคำนวณด้วยสูตร
0°	14.99	12.48
30°	14.91	13.16
45°	13.95	14.00
60°	15.20	15.15
90°	20.99	21.12
90°	18.23	17.32

#### 4. วิจัยรณผลการทดลอง

จากผลการทดลองการทำงานของหม้อแปลงเตสลาและการจำลองค่าสนามไฟฟ้าในการออกแบบ ลักษณะการจัดวางขดลวดแรงต่ำและแรงสูงของหม้อแปลงเตสลา จำนวน 3 ครั้ง จะพิจารณาเลือกใช้ค่าแรงดันจ่ายออกโดยกำหนดให้อยู่ในสภาวะการปรับจูน ขดลวดปฐมภูมิที่ จุดเดียวกัน คือที่จำนวนรอบที่ 8 ของขดลวดปฐมภูมิ ที่มุมต่างๆ คือ 0°, 30°, 45°, 60° และ 90° จากตารางที่ 3 และตารางที่ 4 จะพบว่าที่จุดนี้แรงดันด้านจ่ายออกจะอยู่ในค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้ออกแบบไว้ คือ 120 kV 120 kHz และเป็นจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ Lp ที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุดที่ใช้ในการออกแบบ จากผลการเปรียบเทียบสรุปได้ว่า การวางขดลวดปฐมภูมิ(Lp) ที่วางทำมุมจากพื้น 60° จะได้ค่าแรงดันในขณะที่ไม่ใส่ทอรอยด์(Toroid)

คือ 129.8 kV, 127 kHz และใส่ทอรรอยด์(Toroid) คือ 157.7 kV, 120 kHz ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ออกแบบไว้ ส่วนผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Femlab และการคำนวณค่าของความเครียดสนามไฟฟ้าจากตารางที่ 5 ค่าที่ดีที่สุดจะอยู่ที่การวางขดลวดปฐมภูมิ(Lp)ที่มุม  $30^{\circ}$  แต่เมื่อเทียบกับแรงดันด้านออกที่ได้จะมีค่าแตกต่างไปจากค่าแรงดันที่ออกแบบไว้มาก เมื่อเทียบกับที่มุม  $60^{\circ}$  จะพบว่าทั้งแรงดันด้านออกและค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดมีความเหมาะสมมากกว่าแบบอื่น

## 5. สรุปผลการวิจัย

การศึกษากลยุทธ์ขดลวดเหนี่ยวนำหม้อแปลงแรงดันสูงและความถี่สูง เพื่อหามิติที่เหมาะสม จะเริ่มต้นด้วยการกำหนดค่าของหม้อแปลงคือ พิกัดของแรงดันขาออก ความถี่ขาออก และลักษณะขดลวดเหนี่ยวนำ( มิติที่เหมาะสมของการวางขดลวดแรงต่ำ Lp ที่ตำแหน่งต่างๆ และนำค่าที่ได้ไปจำลอง โดยใช้โปรแกรม FEMLAB ค่าที่ได้จากการ Simulation จะนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการทดลองตัวหม้อแปลงแรงดันสูงและความถี่สูงที่สร้างขึ้น) การวิเคราะห์ในพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้ว่าการวางขดลวด Lp ที่เหมาะสมควรวางที่มุม  $60^{\circ}$  จากการวิจัยนี้

## 6. เอกสารอ้างอิง

1. ส้ารวัย สังข์สะอาด. วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528
2. ศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ เดชะอำไพ .ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม,จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546
3. [www. Ee.mut.ac.th/materials/eecc0310/chapter\\_15.pdf](http://www.Ee.mut.ac.th/materials/eecc0310/chapter_15.pdf) (ทฤษฎีความเหนี่ยวนำร่วม)
4. Marco Denicolai. “Tesla Transformer for Experimentation and Research.” Helsinki University of Technology, May 2001
5. ทีมงานสมาร์ทเลิร์น. OrCad:PSpice&PCB Design, 2551.