

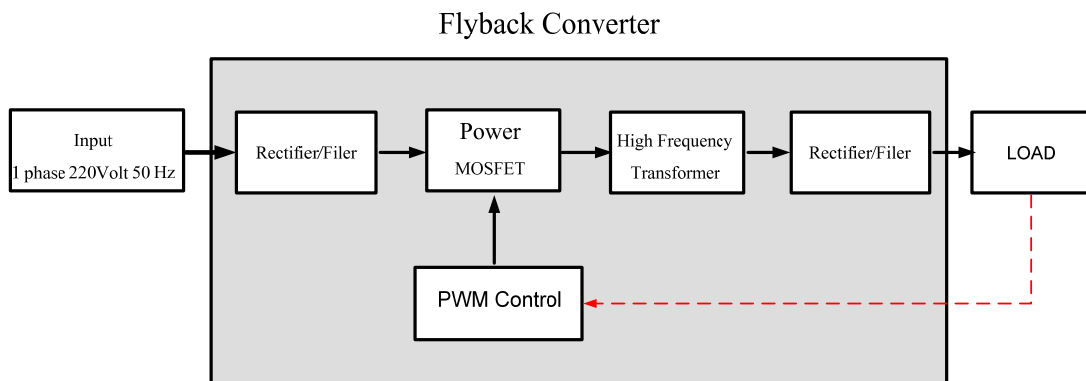
บทที่ 3

การออกแบบวงจรและหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

ขั้นตอนนี้จะเป็นการออกแบบวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์และหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงเพื่อจะทำการศึกษากการเกิดครอสเรกกูเลชัน และศึกษาวิธีการควบคุมค่าความเหนี่ยวนำรั่วจาก การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง เพื่อปรับปรับปรุ่งค่าครอสเรกกูเลชันในวงจรฟลายแบค คอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายเอาท์พุท

3.1 ขั้นตอนการออกแบบวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิด 3 เอาท์พุท

การทำงานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิดสามสามารถแสดงดังบล็อกไดอะแกรมการ ทำงานของวงจร ดังภาพประกอบ 3-1



ภาพประกอบ 3-1 บล็อกการทำงานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

งานวิจัยนี้จะให้ความสำคัญในการศึกษาตัวหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงเป็นหลัก ซึ่ง ส่วนประกอบจากภาคต่างๆ ของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ภาควงจรสวิตชิง หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง ภาควงจรเรกติไฟล์ และภาคควบคุมการทำงานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

การออกแบบวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิด 3 เอาต์พุท จะพิจารณาออกแบบวงจรโดยใช้เงื่อนไขดังนี้

ตาราง 3-1 คุณสมบัติของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิด 3 เอาต์พุท

<i>Condition of the Experiment</i>	
<i>Output Power</i>	<i>110W</i>
<i>Efficiency</i>	<i>80%</i>
<i>Switching Frequency</i>	<i>100kHz</i>
<i>Input Voltage(W_1)</i>	<i>$40V_{DC}$</i>
<i>Output Voltage(W_2)</i>	<i>$5V_{DC}$</i>
<i>Output Voltage(W_3)</i>	<i>$12V_{DC}$</i>
<i>Output Voltage(W_4)</i>	<i>$-12V_{DC}$</i>

ในการออกแบบจะมีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนคือ ภาครกติไฟล์และฟิลเตอร์ ภาควินเวอร์เตอร์ความถี่สูง และภาคชุดควบคุมวงจรของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิด 3 เอาต์พุท โดยมีรายละเอียดการออกแบบดังนี้

3.1.1 ภาครกติไฟล์และฟิลเตอร์

การออกแบบภาครกติไฟล์และฟิลเตอร์ เพื่อทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 40V สำหรับจ่ายให้กับภาควินเวอร์เตอร์ความถี่สูง ซึ่งสามารถหาขนาดพิกัดอุปกรณ์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= \frac{P_{out}}{\eta} & (3-1) \\
 &= \frac{110W}{80\%} \\
 &= 137.5W
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{in} &= \frac{P_{in}}{V_{in}} & (3-2) \\
 &= \frac{137.5W}{40V} \\
 &= 3.44A
 \end{aligned}$$

หาขนาดพิกัดตัวเก็บประจุฟิเตอร์

$$C = \frac{I_e \cdot \Delta t}{\Delta V_{ripple}} \quad (3-3)$$

เมื่อ I_e คือ ค่ากระแสอินพุท

Δt คือ ช่วงเวลาที่ C คายประจุ

ΔV_{ripple} คือ ค่ายอดของแรงดันกระเพื่อมที่เอาท์พุทเรกติไฟล์

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{3.44 \times 10^{-3}}{2} \\
 C &= 1720 \mu F
 \end{aligned}$$

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ขนาด $2000 \mu F$ $100V$ และขนาดไดโอดเรกติไฟล์ที่สามารถทนกระแสเมื่อถูกไบแอสตรง และทนแรงดันขณะไบแอสกลับสูงสุด โดยเลือกไดโอดขนาด $10A$ $400V$ ซึ่งในงานวิจัยนี้ต้องการแรงดันอินพุทที่คงที่มากๆ ในการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จึงได้ใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่พิกัด $60 V_{DC}$ $5A$ เป็นแหล่งจ่ายแรงดันในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

3.1.2 ภาคอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง

การออกแบบภาคอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง จะประกอบด้วยอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่ง ซึ่งได้แก่ เพาเวอร์มอสเฟต และหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง ที่สามารถหาพิกัดกระแส และแรงดันได้ โดยการคำนวณหาขนาดพิกัดของมอสเฟต คือ $V_{DS(max)}$ และ $I_{D(max)}$

$$V_{DS} = V_{in} + V_s \cdot \left(\frac{N_s}{N_p} \right) \quad (3-4)$$

เมื่อ V_{in} คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านอินพุท

$\frac{N_s}{N_p}$ คือ อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงระหว่างด้านทุติยภูมิ กับปฐมภูมิ

จากอัตราส่วนของหม้อแปลง คือ $\frac{N_s}{N_p} = \frac{V_s}{V_p}$

จะได้

$$V_{DS(\max)} = V_{in} + V_s \cdot \frac{V_s}{V_p} \approx V_{in} + V_s \cdot \frac{V_0^2}{V_{in}}$$

$$V_{DS(\max)} = 40 + 12 \times \left(\frac{(12)^2}{40} \right) = 83.2V$$

อัตราการทนกระแสของมอสเฟต หาได้จาก

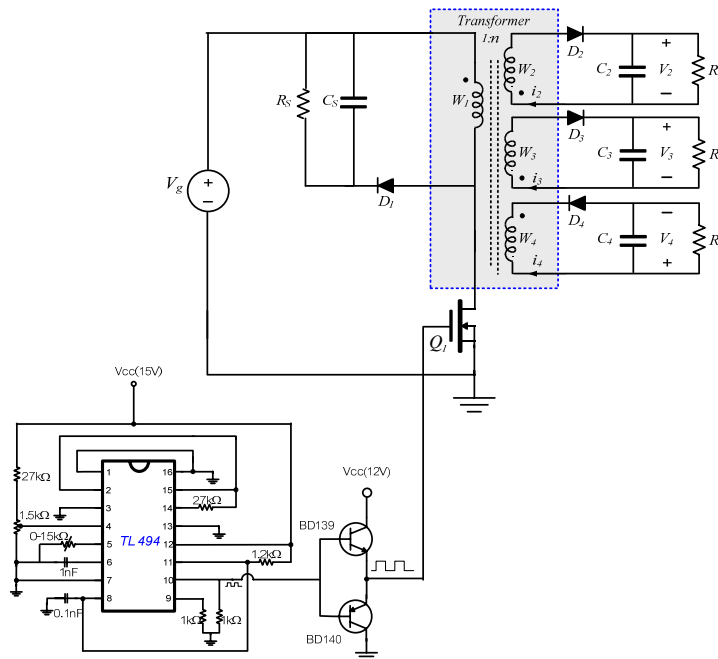
$$I_C = I_L \cdot \left(\frac{N_s}{N_p} \right)$$

$$I_C = 15 \times 0.3 = 4.5A$$

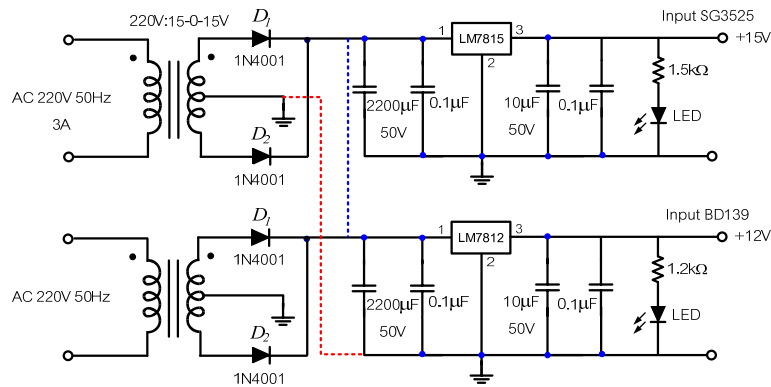
ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงเลือกมอสเฟตที่มีอัตราการทนแรงดัน และกระแสในพิกัดที่ปลอดภัยคือ $V_{ds} = 200V$, $I_D = 18A$ โดยใช้มอสเฟตเบอร์ IRFP 640

3.1.3 ภาคชุดควบคุมวงจรพลาสม่าแบบคอนเวอร์เตอร์ชนิด 3 เอาต์พุท

ภาคชุดควบคุมวงจรพลาสม่าแบบคอนเวอร์เตอร์ชนิด 3 เอาต์พุท ใช้วงจรควบคุม TL494 ดังภาพประกอบ 3-2 และมีแหล่งจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงวงจรควบคุม ดังภาพประกอบ 3-3



ภาพประกอบ 3-2 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิด 3 เอาท์พุทและวงจรควบคุม



ภาพประกอบ 3-3 แหล่งจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงชุดควบคุม

3.2 การออกแบบชนิดแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

3.2.1 การเลือกขนาดแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

การเลือกขนาดแกนหม้อแปลงเพื่อออกแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง ที่ใช้ศึกษา การเกิดครอสเรกกูเลชัน จะพิจารณาเลือกใช้แกนเฟอร์ไรต์ชนิดแกน EI, ETD และแกน Pot โดยจะเลือกแกน และขนาดแกนในการทดสอบที่มีพิกัดกำลังใช้งานได้อย่างปลอดภัย และมีปริมาตรของ

แกนที่ใกล้เคียงกัน เพื่อไม่ให้เกิดการอิ่มตัวของเส้นแรงแม่เหล็ก โดยใช้ค่า Core Geometrical Constant : K_g ดังสมการ (3-5) ในการพิจารณาเลือกแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

$$K_g = \frac{A_c^2 W_A}{MLT} \quad (3-5)$$

เมื่อ A_c คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนหม้อแปลงไฟฟ้า
 W_A คือ พื้นที่ในการพันขดลวด
 MLT คือ ความยาวเฉลี่ยในการพันขดลวดต่อรอบ

แกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงที่บริษัทผู้ผลิตได้ผลิตออกมาจำหน่าย และนำเข้า โดยข้อมูลขนาด คุณสมบัติ และปริมาตรของแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจากบริษัทผู้ผลิต ที่ใช้ในการทดลอง (ดังภาคผนวก ก) เมื่อเปรียบเทียบกับขนาด และคุณสมบัติของแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตามโครงสร้างแกนชนิด EI, ETD และ Pot แสดงได้ดังตาราง 3-2 ถึง 3-4

ตาราง 3-2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติ โครงสร้างแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงชนิด EI

Core type	V_e/mm^3	A_c/mm^2	W_A/mm^2	MLT/mm	$Kg(mm^5)$
EI30/21/11	6720	113	149.96	73.1	26194.8
EI33/23/13	7910	118	267.575	84.1	44301
EI35/24/10	6270	89.3	302.835	72.33	33388
EI40/27/12	11100	143	353.52	88.6	81588.3

ตาราง 3-3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติ โครงสร้างแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงชนิด ETD

Core type	V_e/mm^3	A_c/mm^2	W_A/mm^2	MLT/mm	$Kg(mm^5)$
ETD34/17/11	7640	97.1	171.1	44.0	36697.0
ETD39/20/13	11500	125	234.3	48.0	76202.9
ETD44/22/15	17800	173	278.53	54.3	153457.6
ETD49/25/16	24000	211	343.38	60.9	250962.3

ตาราง 3-4 การเปรียบเทียบคุณลักษณะ โครงสร้างแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงชนิด Pot

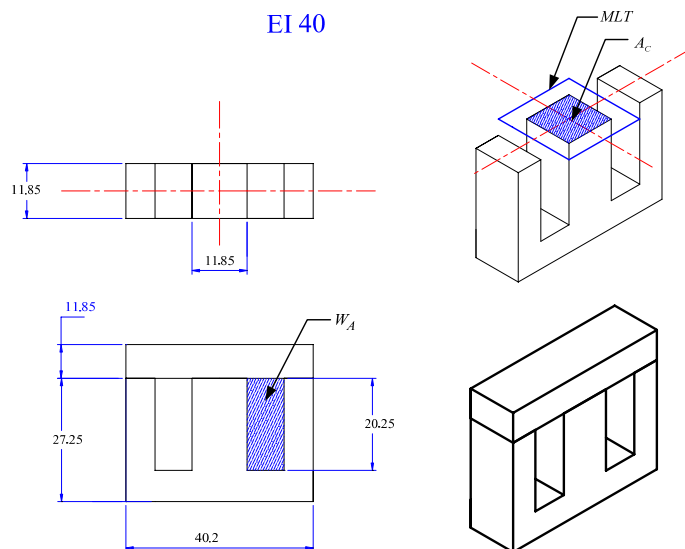
<i>Core type</i>	V_e/mm^3	A_c/mm^2	W_A/mm^2	MLT/mm	$Kg(mm^5)$
<i>P26/16</i>	3530	93.9	99	65.9	13237.8
<i>P26/16/1</i>	4370	110	99	65.9	18166.5
<i>P30/19</i>	6190	137	133.25	78.5	31859.5
<i>P36/22</i>	10700	202	191.26	94.2	82846.8
<i>P42/29</i>	18200	265	324.8	109.9	207543.9

จากตารางเปรียบเทียบโครงสร้างแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงของแกนแต่ละชนิด สรุปได้ดังนี้

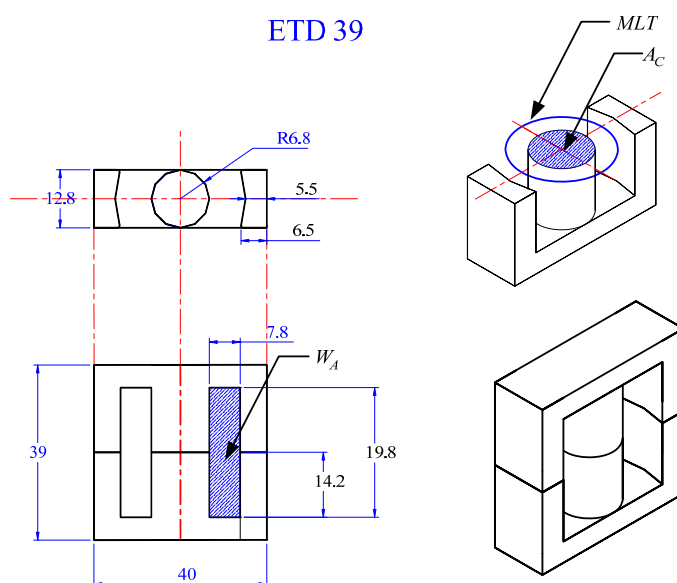
แกนชนิด E ซึ่งจะมีทั้งหมด 2 ชั้นประกบกัน แกนชนิดนี้ถูกออกแบบให้เหมาะกับการใช้งานสำหรับหม้อแปลงกำลัง และใช้เป็นตัวกรอง (filter) ที่ความถี่ไม่สูงมาก เพราะแกนชนิดนี้ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งานที่ความถี่สูงๆ เป็นผลเนื่องมาจากแกนกลางที่มีรูปร่างสี่เหลี่ยมซึ่งทำให้เกิดความต้านทานของขดลวด และค่าตัวเหนี่ยวนำรั่วไหลที่สูง ในบางครั้งชั้นที่สองที่ประกบอาจจะเป็นรูปตัว E หรือรูปตัว I ซึ่งเรียกแกนกลุ่มนี้ว่าแกน EE หรือแกน EI ดังภาพประกอบ 3-4

แกนชนิด ETD ย่อมาจาก Economical Transformer Design จะมี 2 ชั้นประกบกัน ซึ่งอาจเรียกว่าแกน EER เนื่องจากโครงสร้างคล้ายกับแกนชนิด E แต่มีแกนกลางเป็นแบบวงกลม ซึ่งพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการออกแบบแหล่งจ่ายกำลังงานแบบสวิตช์โหมด(SMPS) โดยพื้นที่หน้าตัดแกนกลางของแกน ETD จะมีขนาดเป็น 2 เท่าของพื้นที่หน้าตัดของขาด้วนนอก เพื่อให้มีการกระจายของฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux) ทั่วทั้งแกน ดังภาพประกอบ 3-5

แกนชนิด Pot จะมี 2 ชั้นประกบกัน และมีลักษณะที่ครอบคลุมขดลวดเกือบทั้งหมด จึงนิยมใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เนื่องจากกฎหมายในเรื่อง Electromagnetic Compatibility (EMC) ทำให้การพิจารณาเรื่องของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า กลายเป็นปัจจัยพื้นฐานของการออกแบบและการเลือกใช้งานชนิดแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง ดังภาพประกอบ 3-6

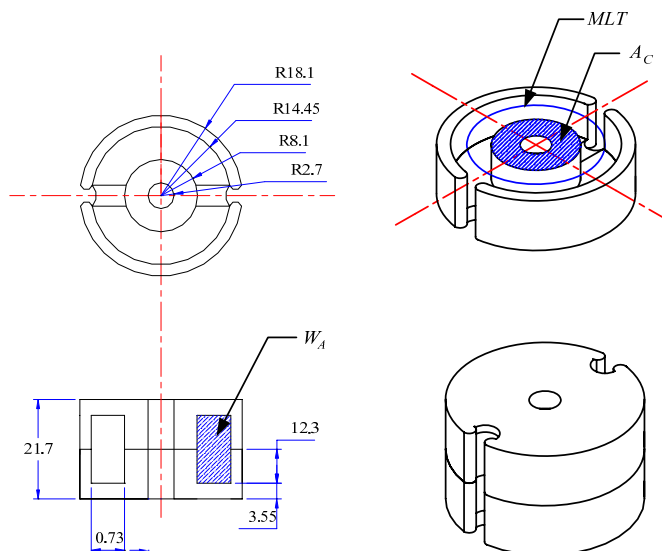


ภาพประกอบ 3-4 คุณลักษณะของแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงชนิด EI40

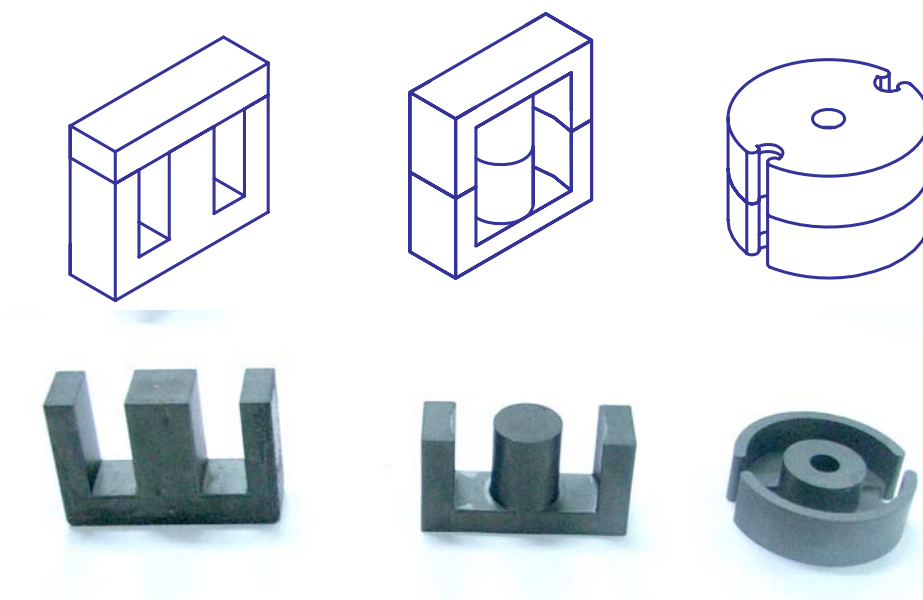


ภาพประกอบ 3-5 คุณลักษณะของแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงชนิด ETD39

POT CORE P36/22



ภาพประกอบ 3-6 คุณลักษณะของแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงชนิด Pot 36



ภาพประกอบ 3-7 โครงสร้างแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง EI40, ETD39 และแบบ Pot36

3.2.2 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจากแกน EI, ETD และ แกนPot

การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์สำหรับการทดสอบครอสเรกกูเลชันจากแกนแต่ละชนิด ซึ่งการทำงานของวงจรจะสะสมพลังงานเมื่อมอสเฟตนำกระแส และจะถ่ายเทพลังงานไปยังเอาต์พุตเมื่อมอสเฟตหยุดนำกระแส ค่าพลังงานที่สะสมไว้ในตัวหม้อแปลงจะมีความสัมพันธ์กับขนาดของแกนเฟอร์ไรต์ดังนี้

$$LI_p^2 = \frac{\Delta B_{\max}^2 \cdot l_g \cdot A_c}{0.4\pi} \cdot 10^{-8} \quad (3-6)$$

เมื่อ l_g คือ ระยะห่างช่องว่างอากาศของแกนเฟอร์ไรต์

A_c คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกนเฟอร์ไรต์

ΔB_{\max} คือ ค่าความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุดในแกนเฟอร์ไรต์

L คือ ค่าความเหนี่ยวนำขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง

I_p คือ ค่ากระแสสูงสุดในหม้อแปลง

การกำหนดค่า ΔB_{\max} จะกำหนดไว้เพียงครั้งหนึ่งในการออกแบบหม้อแปลง เพื่อป้องกันการอิ่มตัว และสามารถเพิ่มกำลังงานสะสมในหม้อแปลงได้โดยการเพิ่มระยะช่องว่างอากาศ l_g ซึ่งการออกแบบหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์แบบต่างๆ จะมีขนาดที่เหมาะสมอยู่หลายขนาด โดยจะมีระยะช่องว่างอากาศต่างกันออกไป ซึ่งประสิทธิภาพการส่งผ่านพลังงานของคอนเวอร์เตอร์จะมีค่าประสิทธิภาพประมาณ 65-80 % กำลังงานที่คอนเวอร์เตอร์สามารถจ่ายให้กับโหลด P_{out} จะมีค่าเท่ากับ

$$P_{out} = \eta P_{in} \quad (3-7)$$

ดังนั้นค่ากำลังงานด้านเอาต์พุต P_{out} จากค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดปฐมภูมิ L_p ต้องมีค่าอย่างต่ำเท่ากับ

$$P_{out} = \eta \cdot \frac{[(V_{in} - V_{DS}) \cdot t_{on}]^2}{2 \cdot T \cdot L_p} \quad (3-8)$$

$$L_p = \eta \cdot \frac{[(V_{in} - V_{DS}) \cdot t_{on}]^2}{2 \cdot T \cdot P_{out}} \quad (3-9)$$

การหาจำนวนรอบขดลวดด้านปฐมภูมิ N_p จะขึ้นอยู่กับขนาดของแกนเฟอร์ไรต์และค่าความหนาแน่นของฟลักซ์สูงสุด ซึ่งหาได้จาก

$$N_p = \frac{V_{in} \cdot t_{on}}{\Delta B_{max} \cdot A_c} \quad (3.10)$$

จากสมการ (3-6) ค่าช่องว่างอากาศ l_g หาได้จาก

$$l_g = \frac{4 \cdot \pi \cdot A_c \cdot N_p^2 \cdot 10^8}{L_p} \quad (3.11)$$

ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำ L_p ของขดลวดด้านปฐมภูมิ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$L_p = \frac{0.8[(83-1) \times 5 \times 10^{-6}]^2}{2 \times 10 \times 10^{-6} \times 110} = 62 \mu H$$

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้หม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ขนาด EI 40, ETD39 และ Pot36 ที่สามารถรับพิกัดกำลังได้ ถึง 150W และมีขนาดแกนที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าพื้นที่หน้าตัดของแกน $A_c = 1.43 \text{ cm}^2$ โดยจำนวนรอบของขดลวดด้านปฐมภูมิ N_p คำนวณได้ดังนี้

$$N_p = \frac{(83-1) \times 5 \times 10^{-6} \times 10^8}{1600 \times 1.43} = 17.91 \text{ รอบ} \text{ เลือกพันจำนวน 18 รอบ}$$

และหาค่าจำนวนรอบของขดลวดด้านทุติยภูมิ N_s จากอัตราส่วนหม้อแปลง $\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = a$

$$\text{จำนวนรอบด้าน } N_2 = \frac{18}{8} = 2.25 \approx 3 \text{ รอบ}$$

$$\text{จำนวนรอบด้าน } N_3 = \frac{18}{3.33} = 5.4 \approx 6 \text{ รอบ}$$

$$\text{จำนวนรอบด้าน } N_4 = \frac{18}{3.33} = 5.4 \approx 6 \text{ รอบ}$$

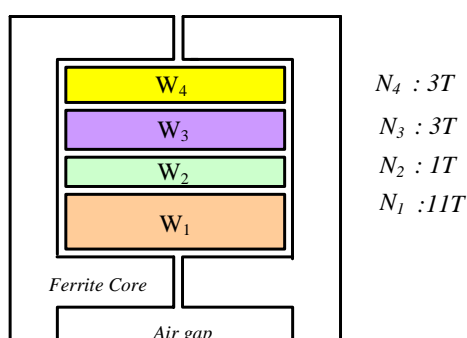
$$\text{ระยะช่องว่างอากาศ } l_g = \frac{4 \times \pi \times 1.43 \times 18^2}{162 \times 10^{-6}} = 0.36 \text{ mm}$$

เนื่องด้วยผลจากปรากฏการณ์สูญเสียในขดลวดที่ใช้ในการพันหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงที่เกิดขึ้น สามารถลดค่าความเหนี่ยวนำรั่วที่เกิดขึ้นระหว่างขดลวดในแนวระนาบของหม้อแปลงได้ จึงได้ใช้วิธีการพันขดลวดแบบแผ่นทอง (foil copper winding) เพื่อลดปรากฏการณ์จากค่าความเหนี่ยวนำรั่วระหว่างขดลวดตัวนำ โดยวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการทดสอบจะทำงานที่ความถี่ 100 KHz ซึ่งสามารถหาขนาดความหนาแน่นของกระแสในตัวนำทองแดงได้จาก

$$\delta = \frac{7.5}{\sqrt{f}} \quad (3.12)$$

$$\text{ดังนั้นที่ความถี่ที่ } 100\text{kHz} \text{ จะได้ค่า } \delta = \frac{7.5}{\sqrt{100 \times 10^3}} = 0.24\text{ mm} \text{ หรือ } 9.6\text{ mil}$$

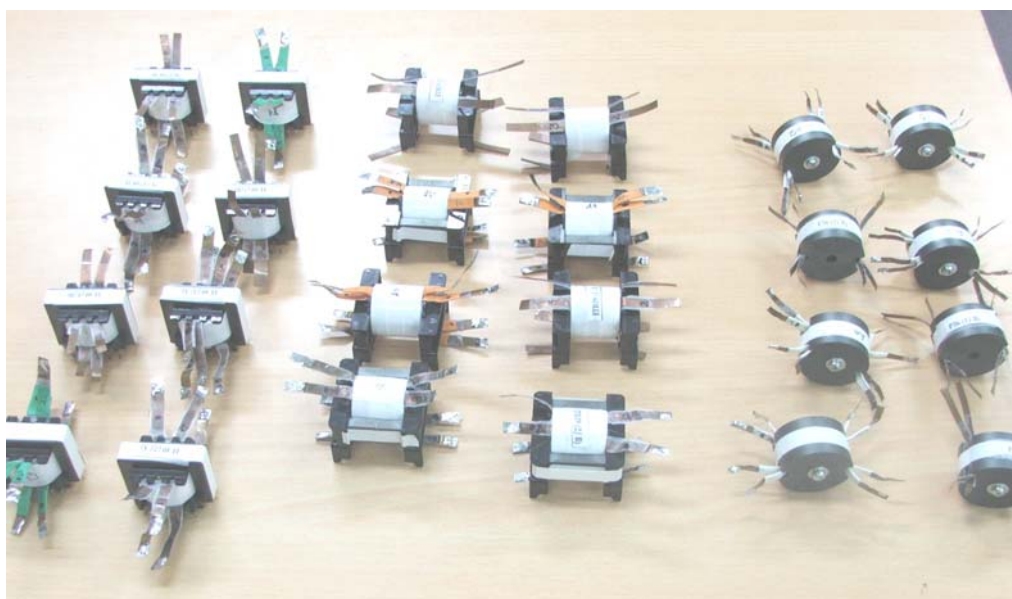
งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แผ่นทองแดงบาง ที่สามารถนำมาใช้พันหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงได้ โดยความหนาของแผ่นทองแดงมีค่าเท่ากับ 0.15 mm และมีอัตราส่วนหม้อแปลงตามพิกัดแรงดันที่แรงดันอินพุต (W_1) 40V แรงดันเอาต์พุตหลัก (W_2) 5V และแรงดันเอาต์พุตย่อย (W_3) 12V และ (W_4) -12V โดยจำนวนรอบของขดลวดในการพันหม้อแปลงจะต้องคำนึงถึงขนาดความสูงของพื้นที่แกนหม้อแปลง ซึ่งต้องเต็มพื้นที่ของแกนหม้อแปลง และมีจำนวนรอบที่เท่ากันของแกนทั้งสามชนิด สำหรับการวางตำแหน่งขดลวดในแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจะการวางตำแหน่งขดลวดปฐมภูมิ และทุติยภูมิในตัวหม้อแปลงแบบบนลงล่าง (top-to-bottom) จากแกนทั้ง 3 ชนิด ดังภาพประกอบ 3-8



ภาพประกอบ 3-8 การวางขดลวดในแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง EI40, ETD39 และ Pot36



ภาพประกอบ 3-9 ตัวอย่างหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง EI40, ETD39 และแบบ Pot36



ภาพประกอบ3-10 หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแกน EI40, ETD39 และ Pot 36 ที่ใช้ในการทดสอบ

ผลจากการทดสอบครอสเรกกูเลชันในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จากชนิดของแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแต่ละชนิด โดยใช้การวิเคราะห์ห้วงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลอง พบว่าเกิดครอสเรกกูเลชัน เนื่องจากแกนหม้อแปลงชนิดต่างๆ จะอยู่

ในรูปของ Output resistance matrix (R) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสในแต่ละเอาต์พุต ดังจะได้นำเสนอในบทที่ 4 ต่อไป

3.3 การออกแบบวิธีการพันหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงเพื่อปรับปรุงค่าครอสเรกกูเลชัน

ในส่วนนี้จะเป็นการออกแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงเพื่อปรับปรุงค่าครอสเรกกูเลชันในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายเอาต์พุต โดยใช้แบบจำลอง Cantilever เพื่อศึกษาพฤติกรรมค่าความเหนี่ยวนำรั่ว และผลกระทบของการเกิดค่าครอสเรกกูเลชันในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งกระบวนการทดสอบ และการวิเคราะห์ค่าครอสเรกกูเลชันในขั้นแรกจะวิเคราะห์ชนิดแกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงที่โครงสร้างต่างกัน 3 ชนิด คือแกน EI, ETD และ Pot เพื่อนำผลการวิเคราะห์มาใช้ในการออกแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง และในส่วนที่สองจะออกแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงโดยใช้ปัจจัยในการออกแบบ 2 กรณี ได้แก่

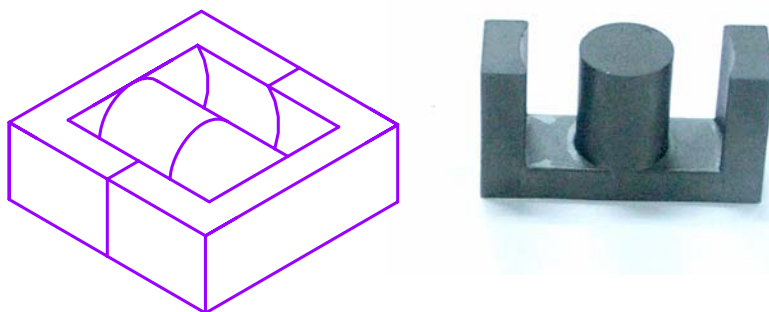
1. พิจารณาจากพฤติกรรมของหม้อแปลงฟลายแบคที่การเปลี่ยนแปลงกระแสเอาต์พุตหลักที่ส่งผลต่อแรงดันเอาต์พุตย่อย
2. พิจารณาจากสมการการวิเคราะห์ค่าครอสเรกกูเลชันของค่าความเหนี่ยวนำรั่วในตัวหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงต่อการวางตำแหน่งขดลวด

สำหรับวิธีทดสอบการพันขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง ยังคงใช้หลักการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลอง โดยผลการเกิดค่าครอสเรกกูเลชัน จะนำเสนอในรูปของ Output resistance matrix (R) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสในแต่ละเอาต์พุต ซึ่งการออกแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจะใช้การออกแบบการวางตำแหน่งขดลวดอยู่ 3 ลักษณะคือ

- การพันขดลวดแบบเป็นชั้น (stack winding)
- การพันขดลวดแบบแซนด์วิช (sandwich winding)
- การพันแบบอินเตอร์ลีฟ (interleave winding)

ผลจากการออกแบบการพันขดลวดในหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง จะได้อัตราความเหนี่ยวนำรั่วที่ต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับในการวางตำแหน่งขดลวดในหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง ดังนั้นการออกแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจะใช้หลักการของการออกแบบดังกล่าวข้างต้น โดยให้ความสำคัญของการเปลี่ยนแปลงกระแสที่เอาต์พุตหลักที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเอาต์พุตย่อย ซึ่งในส่วนนี้การพันขดลวดในหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจะใช้แกนหม้อแปลงไฟฟ้า

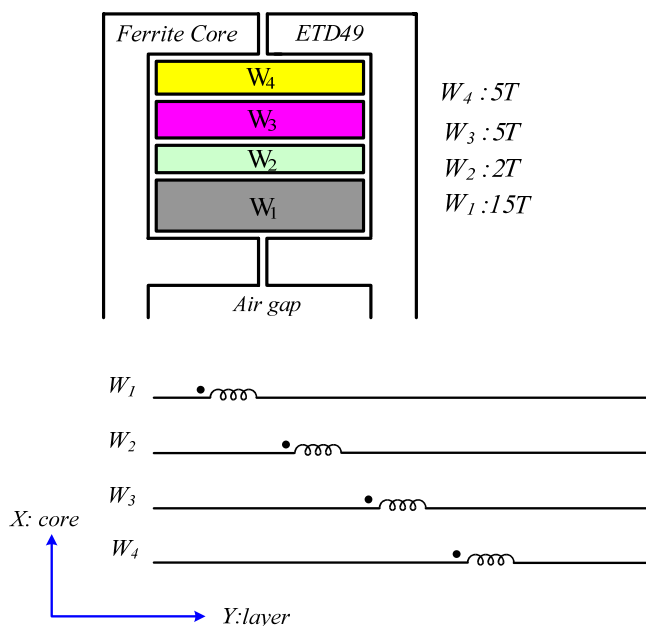
ความถี่สูงในลักษณะโครงสร้างเดียวกันทั้งหมด โดยเลือกใช้แกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงชนิด ETD 49 ดังภาพประกอบ 3-11



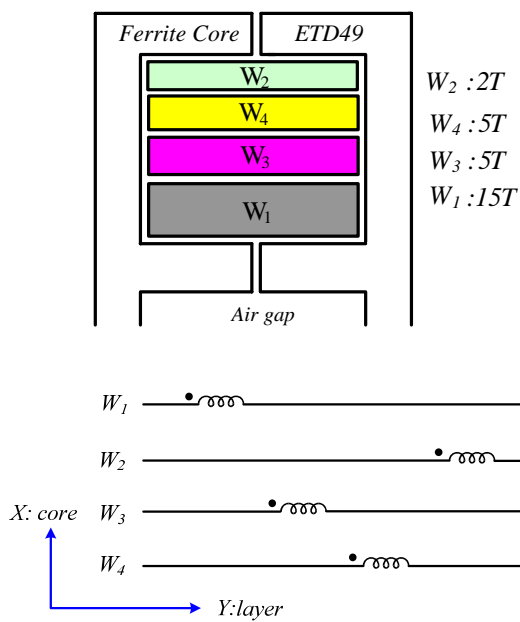
ภาพประกอบ3-11 แกนหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงชนิดETD49 ที่ใช้การวางตำแหน่งขดลวด

3.3.1 การออกแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแบบ Stack

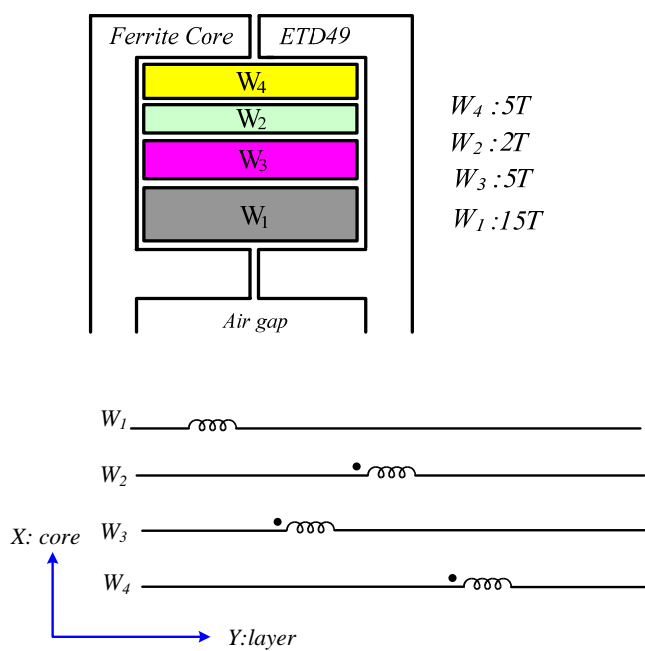
การออกแบบการพันขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแบบ Stack จะออกแบบให้มีการวางตำแหน่งขดลวดปฐมภูมิ และทุติยภูมิแบบเรียงลำดับบนลงล่างโดยมีการสลับขดลวดทุติยภูมิที่เป็นเอาต์พุตหลักในตำแหน่งที่ต่างกัน ดังภาพประกอบ 3-12 ถึง 3-15



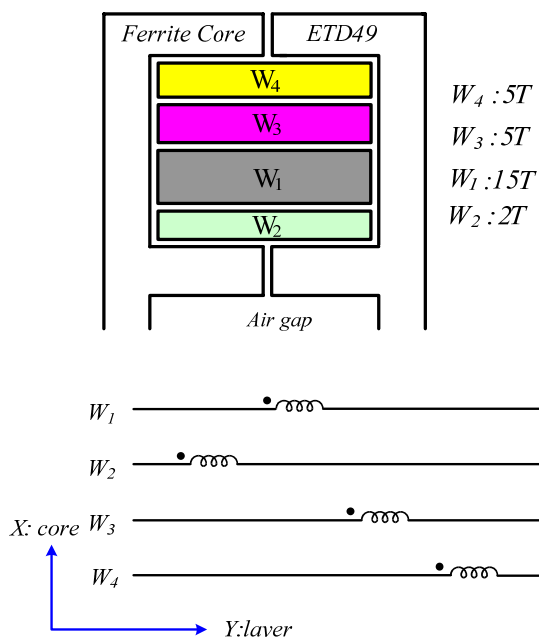
ภาพประกอบ 3-12 แบบการพันขดลวดแบบ Stack แบบที่ 1



ภาพประกอบ 3-13 แบบการพันขดลวดแบบ Stack แบบที่ 2



ภาพประกอบ 3-14 แบบการพันขดลวดแบบ Stack แบบที่ 3



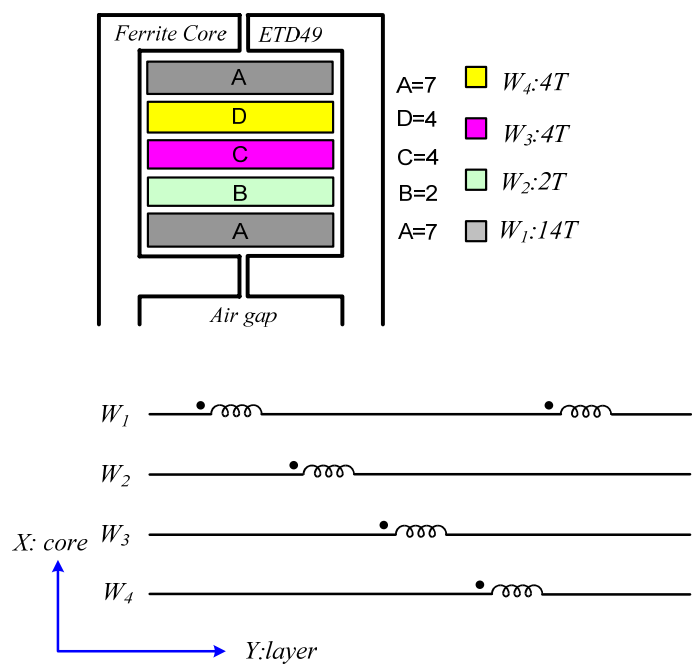
ภาพประกอบ 3-15 แบบการพันขดลวดแบบ Stack แบบที่ 4



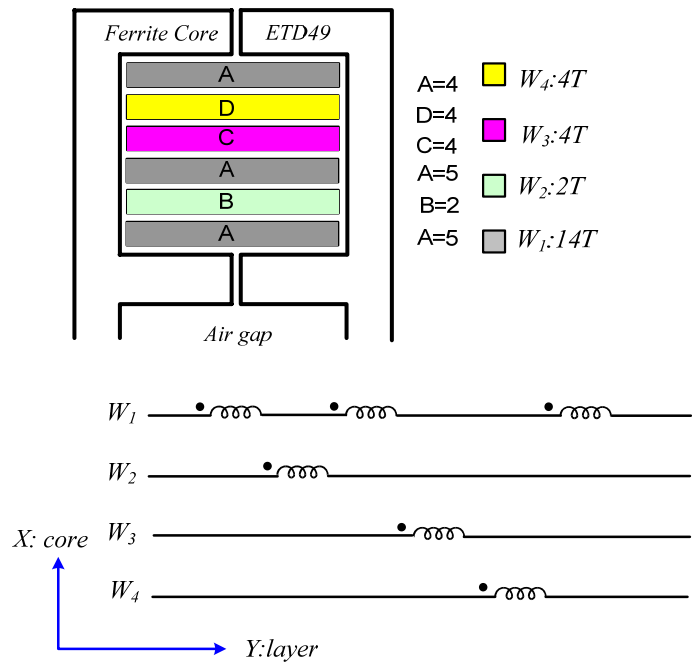
ภาพประกอบ 3-16 หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแบบ Stack ที่ใช้ในการทดสอบ

3.3.2 การออกแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแบบ Sandwich

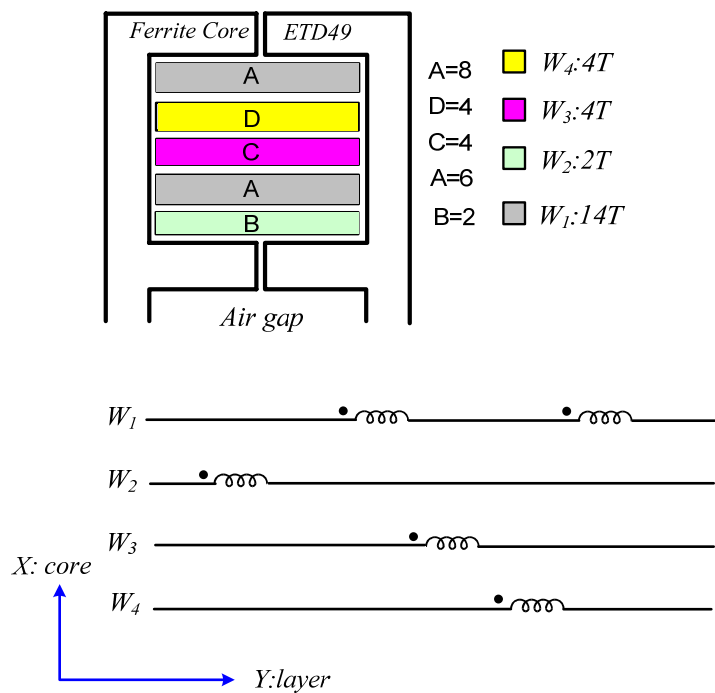
การออกแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแบบ Sandwich จะมีหลักการออกแบบโดยจัดให้มีการวางตำแหน่งขดลวดปฐมภูมิแบ่งออกเป็นชั้นๆ แล้วนำไปแทรกไว้ระหว่างขดลวดทุติยภูมิ ซึ่งจะพิจารณาจากการวางตำแหน่งระหว่างขดลวดเอาต์พุตหลักที่ส่งผลกระทบต่อเอาต์พุตย่อย ดังภาพประกอบ 3-17 ถึง 3-21



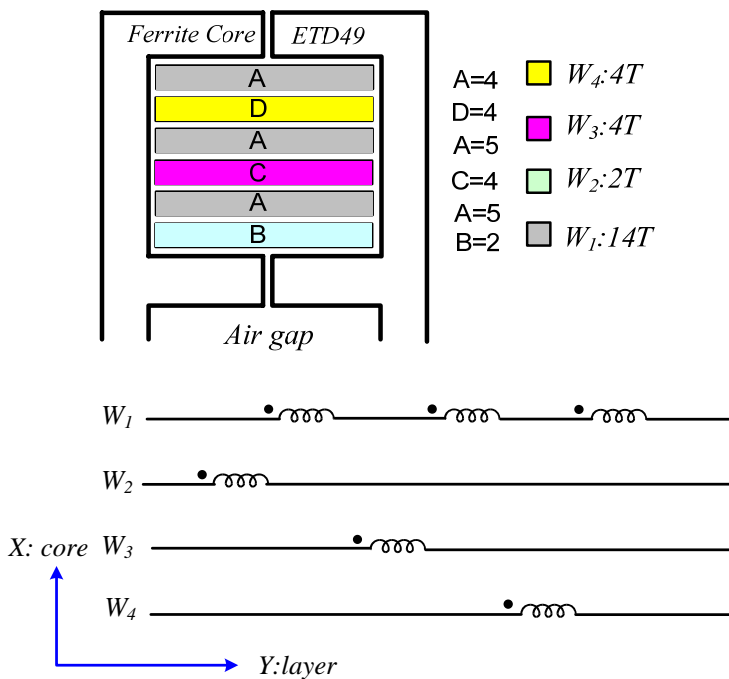
ภาพประกอบ 3-17 แบบการพันขดลวดแบบ Sandwich แบบที่ 1



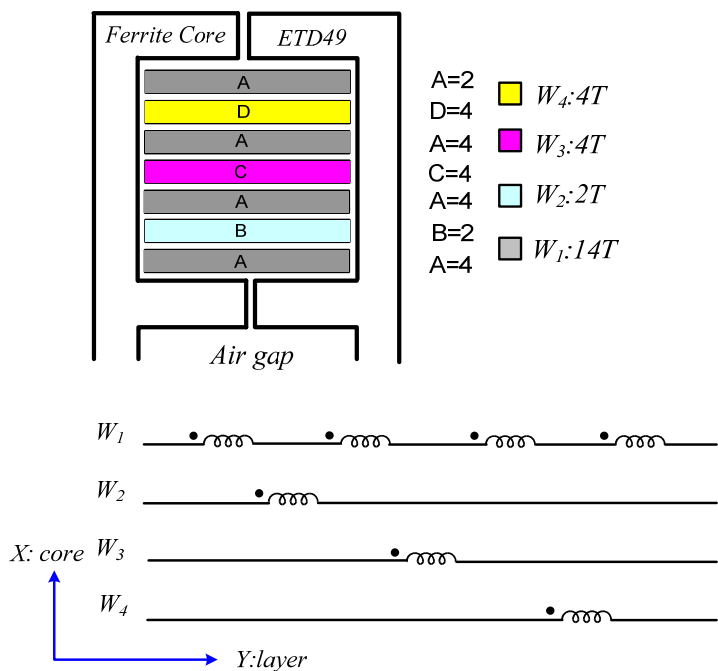
ภาพประกอบ 3-18 แบบการพันขดลวดแบบ Sandwich แบบที่ 2



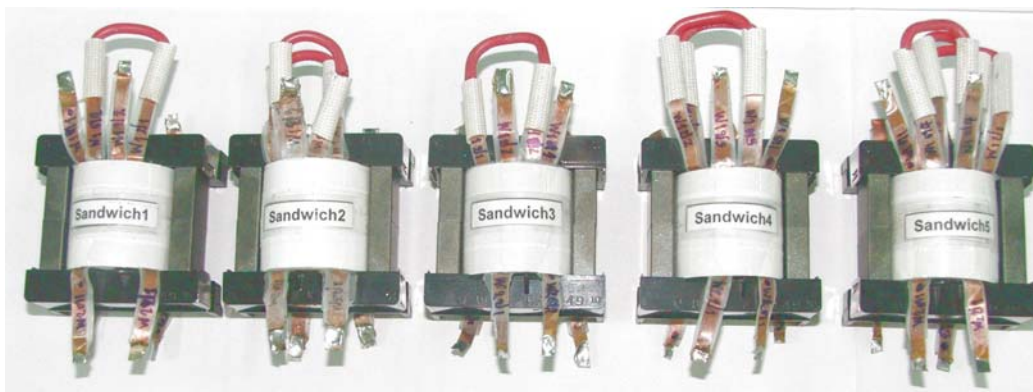
ภาพประกอบ 3-19 แบบการพันขดลวดแบบ Sandwich แบบที่ 3



ภาพประกอบ 3-20 แบบการพันขดลวดแบบ Sandwich แบบที่ 4



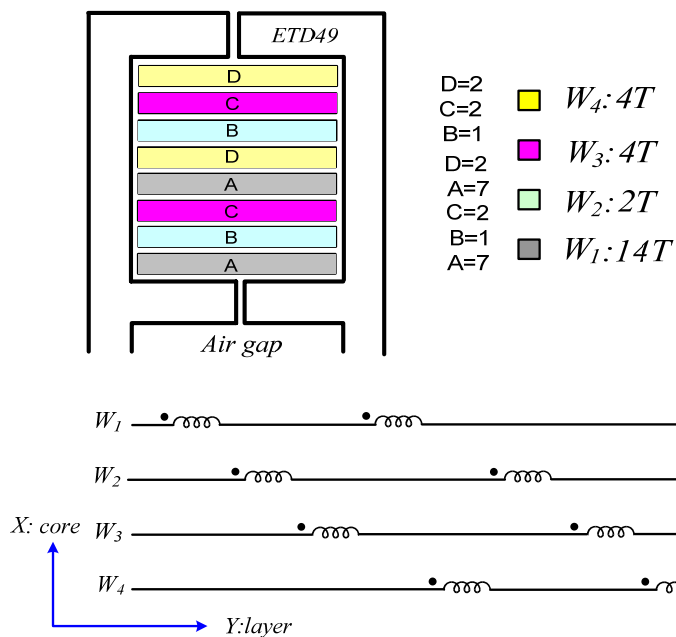
ภาพประกอบ 3-21 แบบการพันขดลวดแบบ Sandwich แบบที่ 5



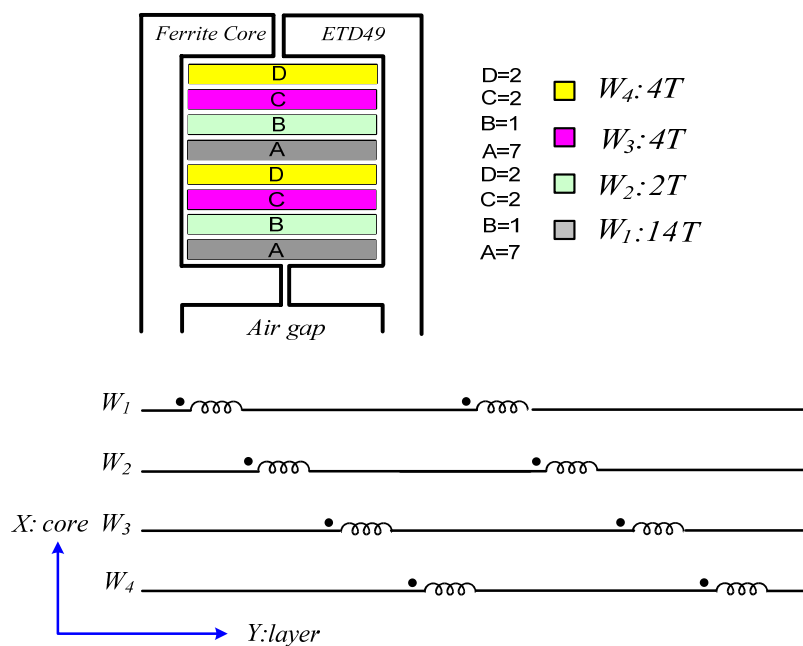
ภาพประกอบ 3-22 หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแบบ Sandwich ที่ใช้ในการทดสอบ

3.3.3 การออกแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแบบ Interleave

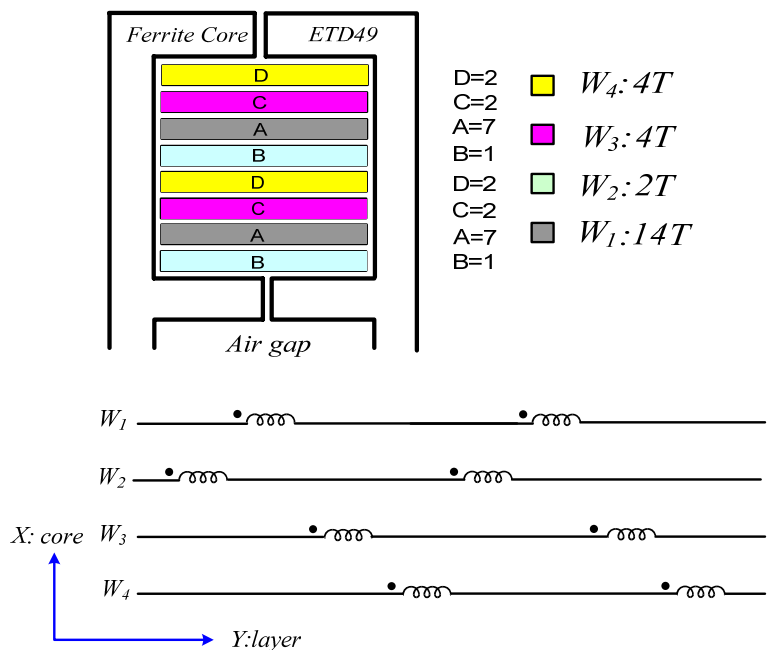
การออกแบบการพันหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแบบ Interleave จะมีหลักการออกแบบโดยจัดให้มีการวางตำแหน่งขดลวดปฐมภูมิ และทุติยภูมิแบ่งออกเป็นชั้นๆ แล้วนำไปวางสลับกันระหว่างขดลวดปฐมภูมิกับขดลวดทุติยภูมิ โดยพิจารณาจากผลกระทบของขดลวดเอาต์พุตหลักที่ส่งผลกระทบต่อเอาต์พุตย่อยจากการวางตำแหน่งขดลวด ดังภาพประกอบ 3-23 ถึง 3-26



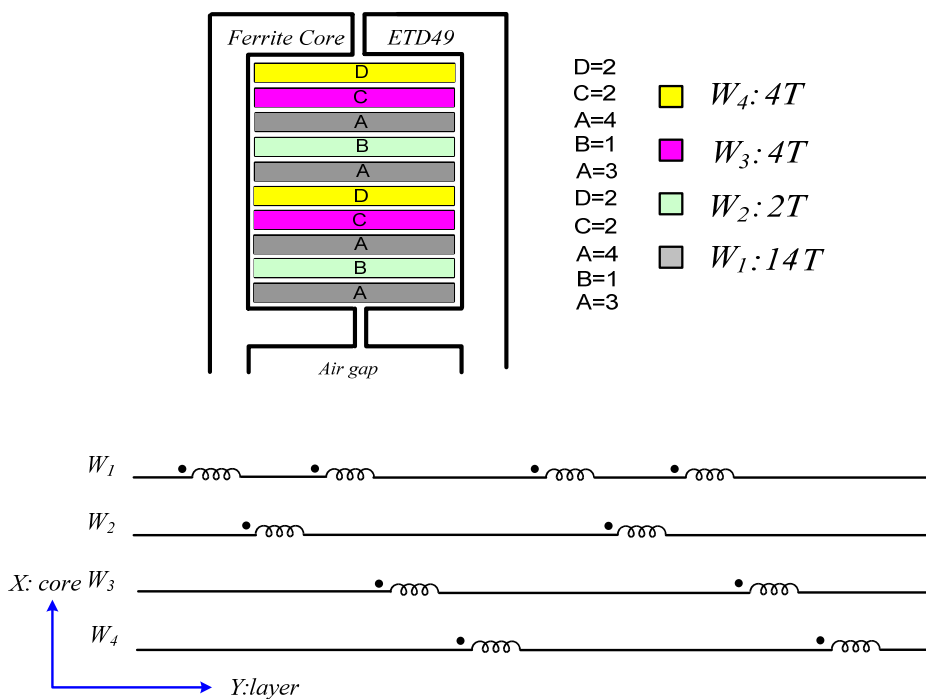
ภาพประกอบ 3-23 แบบการพันขดลวดแบบ Interleave แบบที่ 1



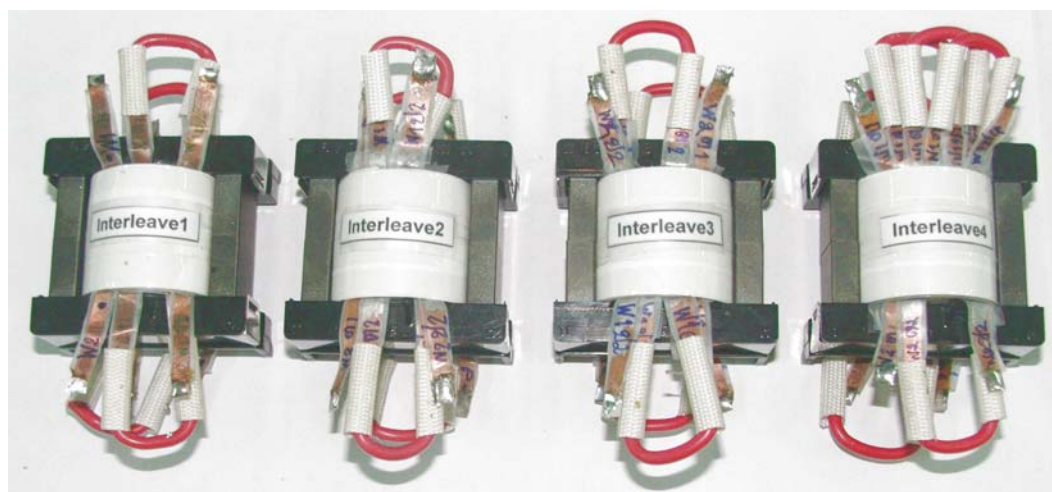
ภาพประกอบ 3-24 แบบการพันขดลวดแบบ Interleave แบบที่ 2



ภาพประกอบ 3-25 แบบการพันขดลวดแบบ Interleave แบบที่ 3



ภาพประกอบ 3-26 แบบการพันขดลวดแบบ Interleave แบบที่ 4



ภาพประกอบ 3-27 หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแบบ Interleave ที่ใช้ในการทดสอบ