หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

สร้างหม้อแปลงต้นแบบเพื่อศึกษา

จากแนวคิดดังได้กล่าวแล้วในบทที่ 1 จึงได้ทำการสร้างหม้อแปลงต้นแบบขึ้นศึกษา โดยมีจุดประสงค์เพื่อหาข้อมูลเพิ่มเติมและศึกษาการทำงานของมันอย่างแท้จริง ในการศึกษาครั้งนี้ได้สร้างหม้อแปลงขนาด 500 วี เอ. ขึ้นทดสอบ ซึ่งหลักการทำงานของหม้อแปลงในขณะไม่ต่อโหลดเป็นไปตามสมมุติฐานที่กล่าวไว้ แต่ขณะต่อโหลดตามพิกัด ยังไม่สามารถรักษาระดับแรงดันให้คงที่ตามที่กำหนดได้ จึงได้ทดลองเปลี่ยนตัวแปรที่สำคัญของหม้อแปลง เพื่อหาข้อสรุปอีกครั้งหนึ่ง ดังจะได้กล่าวโดยละเอียดในบทที่ 3 จากการเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้จึงสามารถสร้างเป็นหม้อแปลงแรงดันคงที่ ที่มีคุณสมบัติตรงตามวัตถุประสงค์ได้

โครงสร้างและหลักการทำงานของหม้อแปลงแรงดันคงที่

โครงสร้าง หม้อแปลงแรงดันคงที่ประกอบขึ้นจากแกนเหล็กและขดลวด ตามหลักการของหม้อแปลงทั่วไป แต่มีส่วนสำคัญที่แตกต่างจากหม้อแปลงธรรมดา คือ ต้องแยกวงจรแม่เหล็กออกเป็น 2 วงจร ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ฟลักซ์แม่เหล็กของเอาท์พุทเกี่ยวข้องโดยตรงกับฟลักซ์ของอินพุทและต้องให้ฟลักซ์แม่เหล็กทำงานในช่วงอิ่มตัว ดังนั้นโครงสร้างของหม้อแปลงชนิดนี้ จึงประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ

1. แกนเหล็ก

1.1 แกนเหล็กหลัก ประกอบขึ้นจากเหล็กแผ่น E, I เหมือนแกนหม้อแปลงธรรมดา แต่มีขนาดยาวกว่า

1.2 แกนเหล็กแบ่งฟลักซ์ เป็นเหล็กแผ่นชนิดเดียวกับแกนเหล็กหลัก ตัดเป็นรูปตัว I สอดคั่นระหว่างขดลวดอินพุทกับเอ้าท์พุท โดยให้มีช่องอากาศที่เหมาะสมระหว่างด้านต่อด้านของแกนเหล็กหลัก

2. ขดลวด

2.1 ขดอินพุท (N_1) เป็นขดที่ใช้ต่อกับแหล่งจ่ายภายนอกและมีความสำคัญมาก เพราะความเหมาะสมของฟลักซ์ในวงจรขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดนี้

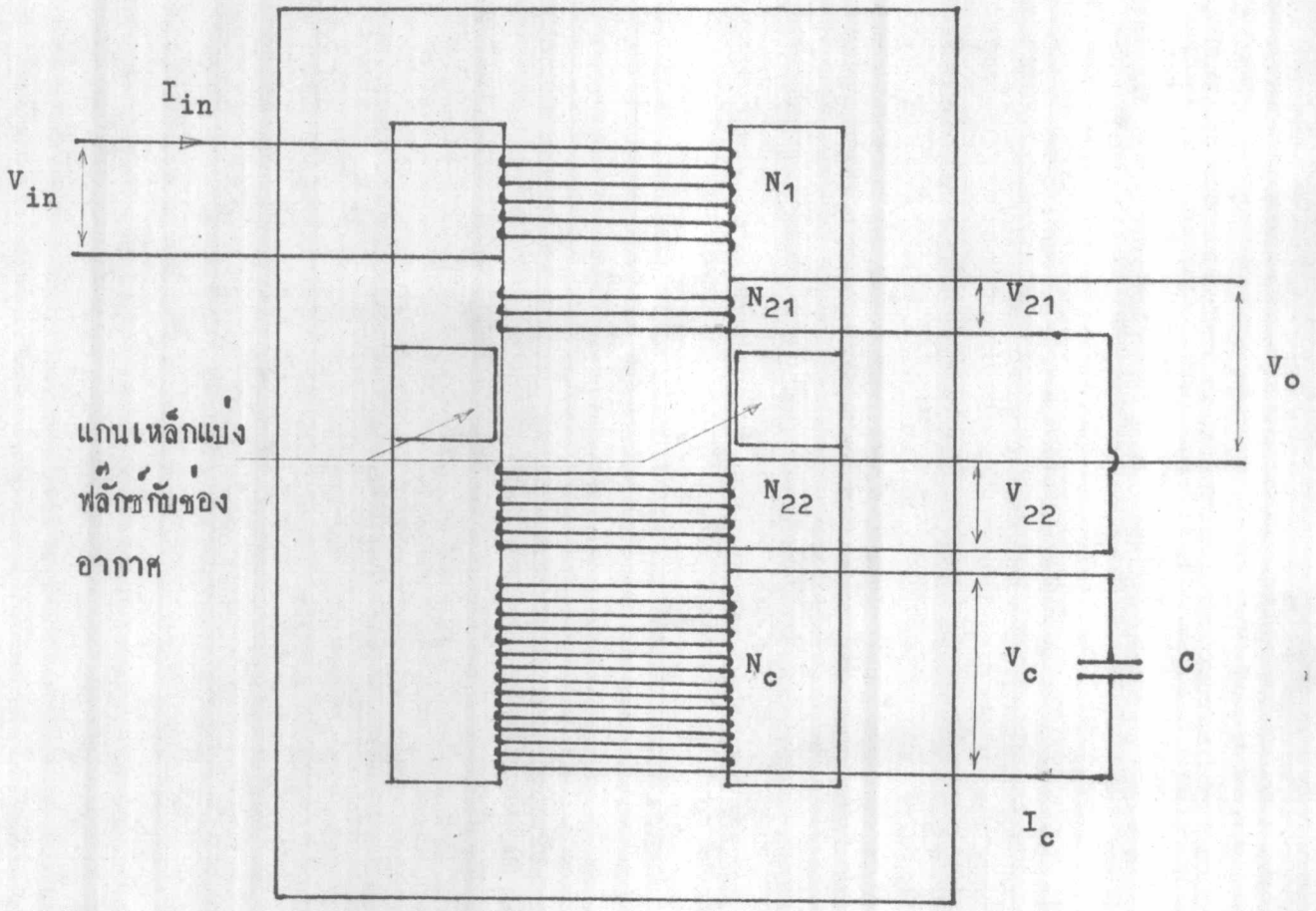
2.2 ขดรักษาสภาพแรงดัน (N_c) เป็นขดที่ช่วยให้ฟลักซ์ของเอ้าท์พุทอิ่มตัวได้เร็วกว่าปกติ และทำให้แรงดันเอ้าท์พุทคงที่ได้ขณะต่อโหลด

2.3 ขดเอ้าท์พุท (N_{22}) เป็นขดที่จะนำพลังงานออกไปใช้ และมีแรงดันเกือบคงที่ขณะที่แปรแรงดันอินพุท

2.4 ขดหักล้างแรงดัน (N_{21}) เป็นขดที่ใช้หักล้างแรงดันส่วนเกินออกจากขดเอ้าท์พุท เพื่อให้แรงดันเอ้าท์พุท (V_o) มีค่าคงที่จริง ๆ

ตำแหน่งการวางขดลวดและต่อวงจร

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า หม้อแปลงแรงดันคงที่ ต้องสอดแกนเหล็กแบ่งวงจรที่มีช่องอากาศระหว่างขดอินพุทกับเอ้าท์พุทให้แยกจากกัน ดังนั้นแกนหม้อแปลงจึงมีความยาวมากกว่าหม้อแปลงธรรมดา สำหรับตำแหน่งการวางขดลวดและต่อวงจร แสดงไว้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ตำแหน่งการวางขดลวดและต่อวงจร

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้าที่สำคัญของส่วนประกอบในวงจร

1. แกนเหล็กหลัก ใช้เป็นทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็ก ขณะที่ฟลักซ์ยังไม่อิ่มตัว เกือบจะกล่าวได้ว่าปริมาณฟลักซ์ทั้งหมดเดินเฉพาะในแกนเหล็กส่วนนี้เท่านั้น แต่ขณะฟลักซ์อิ่มตัว มันสามารถเดินผ่านแกนเหล็กแบ่งฟลักซ์ที่มีช่องอากาศได้ เนื่องจากค่าความซึมซาบของเหล็ก (μ) ลดลง จึงทำให้ฟลักซ์ถูกแยกออกเป็น 2 วงจร ระหว่างอินพุทกับเอ้าท์พุท แต่อย่างไรก็ตามฟลักซ์ทั้ง 2 นี้ จะไม่สามารถแยกกันได้อย่างอิสระ เนื่องจากฟลักซ์ทางด้านเอ้าท์พุทเกิดขึ้นจากฟลักซ์ทางอินพุท ดังนั้นความสัมพันธ์นี้จึงซับซ้อนมาก

2. แกนเหล็กแบ่งฟลักซ์ ทำหน้าที่แยกฟลักซ์ออกเป็น 2 วงจร ขณะฟลักซ์อิ่มตัว สำหรับพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กแบ่งฟลักซ์ ควรน้อยกว่าพื้นที่ขาของแกนเหล็กหลัก เพื่อไม่ให้หม้อแปลงมีขนาดยาวเกินไป และที่ให้แกนเหล็กแบ่งฟลักซ์มีช่องอากาศด้วย ก็เพื่อให้แกนนี้มีค่ารีลัคแตนซ์ (Reluctance) สูง ในการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กแบ่งฟลักซ์ ทำให้ค่ารีลัคแตนซ์เปลี่ยนแปลงน้อยกว่าการปรับระยะห่างของช่องอากาศมาก

3. ขดอินพุท (N_1) เป็นขดที่รับพลังงานไฟฟ้าจากภายนอกเพียงขดเดียว ดังนั้นในการออกแบบเพื่อให้ฟลักซ์อิ่มตัวที่แรงดันค่าใด จึงต้องสัมพันธ์กับจำนวนรอบของขดลวดชุดนี้

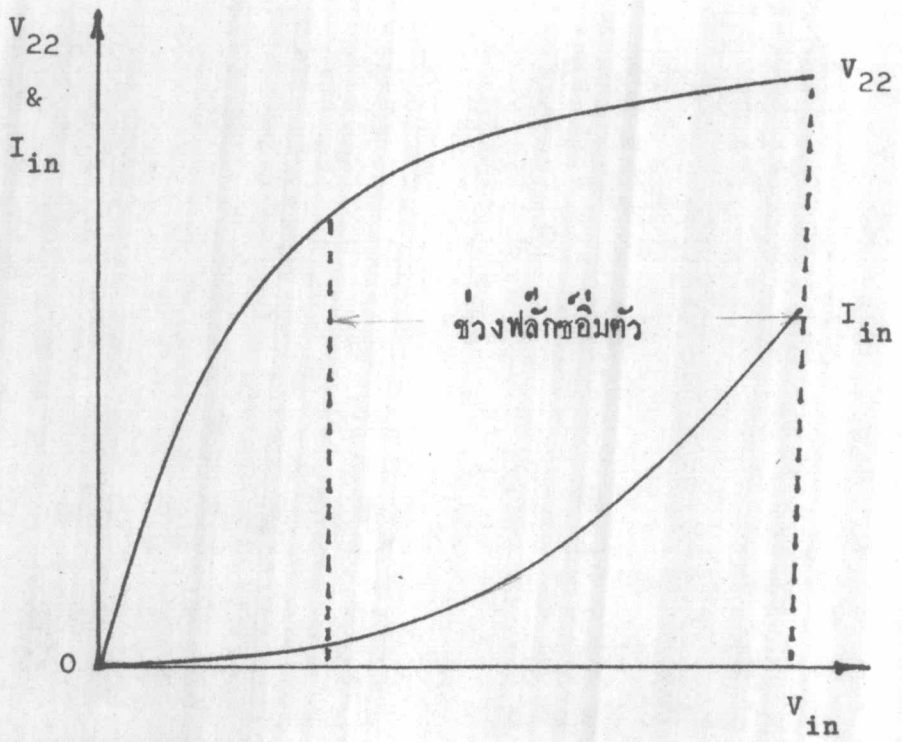
4. ขดรักษาสภาพแรงดัน (N_c) เป็นขดที่พันด้วยจำนวนรอบสูง และต่อคาปาซิเตอร์ (C) ที่มีค่าเหมาะสมคร่อมไว้ จึงมีกระแส I_c ไหลในวงจรเหมือนหม้อแปลงต่อโหลด กระแสที่ไหลผ่านขดนี้จะให้แอมแปร์ - เทอน ($I_c N_c$) สูง จนกระทั่งฟลักซ์ ϕ_c ในวงจรถึงจุดอิ่มตัวเร็วกว่าปกติ และสามารถไหลผ่านของอากาศได้ ทำให้ฟลักซ์แยกจากกันเป็น 2 วงจร

5. <u>ขดเอ้าท์พุท</u> (N_{22}) ขดลวดชุดนี้จะพันทับอยู่ด้านเดียวกับขดรักษาสภาพแรงดัน ดังนั้นแรงดันของขดนี้จะแปรตามฟลักซ์ ϕ_c นับได้ว่ามีค่าเกือบคงที่ ขดลวดชุดนี้จะพันจำนวนรอบไม่สูงนัก เมื่อเทียบกับ N_c เพื่อให้ค่าอิมพีแดนซ์ (impedance) ภายในขดต่ำ ซึ่งจะทำให้แรงดันเรกกูเลชั่น (Voltage Regulation) ดีขึ้น

6. <u>ขดหักล้างแรงดัน</u> (N_{21}) ขดลวดชุดนี้พันทับอยู่ทางด้านเดียวกับขดอินพุทแต่มีรอบต่ำ ต้องการให้แรงดันที่ได้จากขดนี้แปรตามอินพุท แต่มีจุดประสงค์ให้หักล้างแรงดันส่วนเกินออกจากขดเอ้าท์พุท เพื่อให้แรงดันเอ้าท์พุท (V_o) มีค่าคงที่จริง ๆ เนื่องจากขดลวดชุดนี้ต่อขั้ว (Polality) สวนกับขดเอ้าท์พุท ดังนั้นขณะที่หม้อแปลงต่อโหลด กระแสโหลดจะสร้างให้แอมแปร์ - เทอน ของชุดนี้ เสริมกับแอมแปร์ - เทอนของอินพุท ดังนั้นขดหักล้างแรงดันจึงเท่ากับทำหน้าที่ลดพลังงานที่จะรับจากภายนอกให้น้อยลงขณะต่อโหลดอีกด้วย

<u>ลักษณะการทำงานของหม้อแปลงแรงดันคงที่</u>

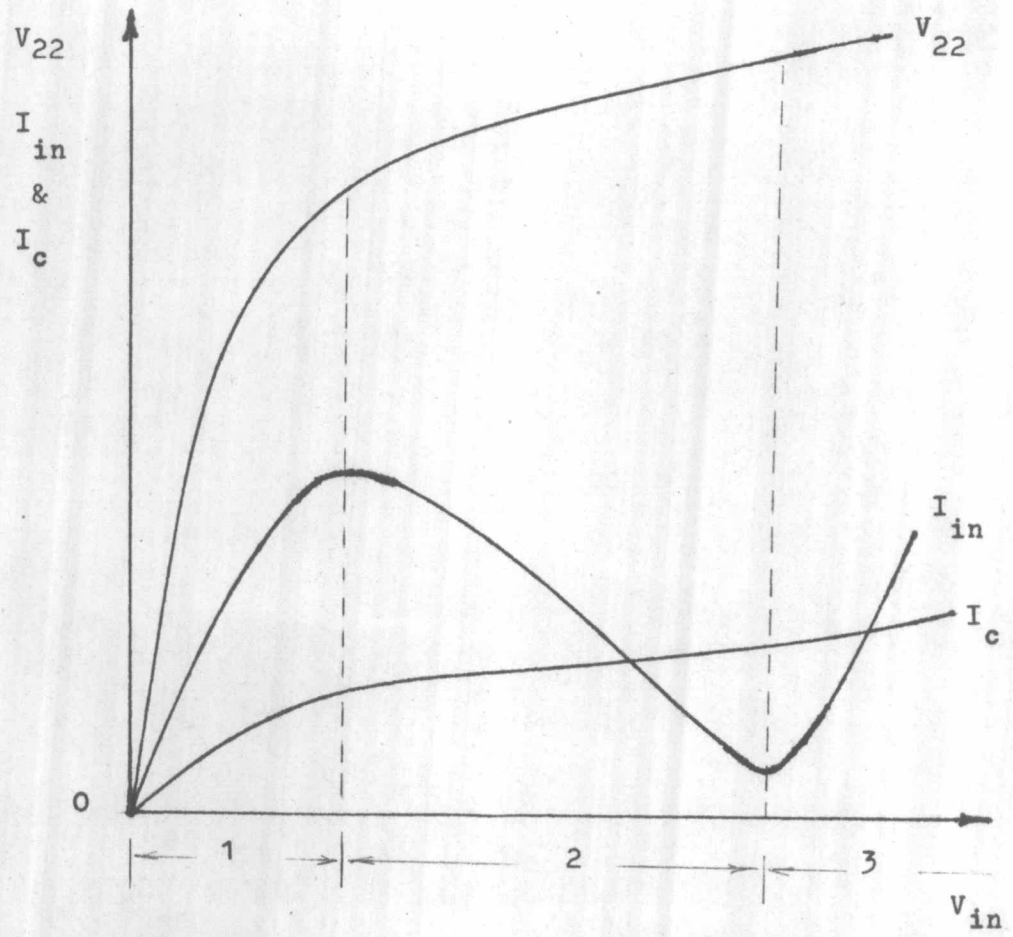
จากรูปที่ 2.1 ถ้าปลดคาปาซิเตอร์ (C) ออกจากวงจร และศึกษาการทำงานจะพบว่า เมื่อแปรแรงดันอินพุท โดยเริ่มต้นจากศูนย์ จะมีฟลักซ์ ϕ_{in} ไหลในแกนเหล็กเกือบเหมือนหม้อแปลงธรรมดา ทั้งนี้เนื่องจากรีลัคแทนซ์ (Reluctance) ของแกนเหล็กต่ำมาก เมื่อเทียบกับรีลัคแทนซ์ของแกนเหล็กแบ่งฟลักซ์ที่มีช่องอากาศ อย่างไรก็ตามจะมีฟลักซ์บางส่วนรั่ว (leak) ผ่านช่องอากาศได้บ้าง แต่ในทางปฏิบัติไม่ควรให้ผ่านได้เกิน 0.5 % เพราะจะทำให้แรงดันเรกกูเลชั่น (Voltage Regulation) ต่ำลง ดังนั้นแรงดันเอ้าท์พุท (V_{22}) ในช่วงนี้จะแปรตรงกับอินพุท แต่ภายหลังจากที่ฟลักซ์อิ่มตัวแล้ว ค่ารีลัคแทนซ์ของแกนเหล็กจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้อัตราส่วนของฟลักซ์ที่แยกผ่านช่องอากาศสูงขึ้น ดังนั้นแรงดันที่ขดเอ้าท์พุทจึงเพิ่มขึ้นน้อย เมื่อเทียบกับอัตราเดิมดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แรงดัน V_{22} และกระแส I_{in} ขณะปลด C ออกจากขด N_c

ความลาด (Slope) ของ V_{22} ในช่วงฟลักซ์อิ่มตัวจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับระยะห่างของช่องอากาศ ถ้าช่องอากาศแคบ V_{22} จะลาดลงมากกว่าช่องอากาศกว้าง สำหรับกระแส I_{in} นั้น ถ้าฟลักซ์ยังไม่อิ่มตัวจะมีขนาดต่ำมาก แต่ภายหลังเมื่อฟลักซ์อิ่มตัวแล้ว จะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

ถ้าต่อคาปาซิเตอร์ (C) ดังในรูปที่ 2.1 แล้วเริ่มแปรค่าแรงดันอินพุทบ้าง จะพบว่าแรงดันเอ้าท์พุทครั้งใหม่มีรูปร่างเหมือนเดิม แต่ขนาดจะสูงกว่าเดิม ทั้งนี้เนื่องจากกระแส I_c ในวงจร จะสร้างแอมแปร์ - เทอน ($I_c N_c$) ขึ้นในขดรักษาสภาพแรงดัน ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายฟลักซ์ ϕ_c ขึ้นอีกจุดหนึ่ง ทำให้ฟลักซ์ในวงจรเอ้าท์พุทถึงจุดอิ่มตัวเร็วขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่าง V_{22}, I_{in}, I_c กับ V_{in} อาจแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แรงดัน V_{22} กระแส I_{in} และกระแส I_c ขณะต่อ C คร่อมขด N_c

เคอฟ (curve) ที่ได้ตามรูปที่ 2.3 เกิดจากการต่อ C คร่อม ขด N_c ซึ่งอาจแบ่งการอธิบาย ลักษณะการทำงานออกได้เป็น 3 ช่วง คือ

<u>ช่วงที่ 1</u> เนื่องจากขด N_c ในวงจร ทำหน้าที่เหมือนขดทุติยภูมิ (secondary winding) ของหม้อแปลงด้วยขดหนึ่ง โดยมีคาปาซิทีฟ โหลด (capacitive load) X_c ต่ออยู่ประจำ ในทางปฏิบัติค่ามิวชวล รีแอคแทนซ์ (mutual reactance) ของขด N_c ($X_{Lc} = wM_c$) สูงกว่า X_c มาก ประมาณ 8 - 10 เท่า และขณะที่แปรแรงดันอินพุท กระแส I_c ในวงจรจะล้าหลัง (lagging) แรงดัน E_c เกือบ 90° ดังนั้นแอมแปร์ - เทอน I_cN_c จะสร้างฟลักซ์ ϕ_c ขึ้นต่อต้าน ϕ_{in} ตามกฎของเลนซ์ (Lenz's law) ทำให้กระแส I_{in} เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่แปรแรงดันอินพุทช่วงนี้ แต่เนื่องจากรอบของ N_c สูงมาก จึงทำให้ฟลักซ์ ϕ_c ถึงจุดอิ่มตัวได้เร็ว และแยกไหลผ่านช่อง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อากาศของแกนเหล็กแบ่งฟลักซ์ได้ เป็นอิสระจากฟลักซ์ ϕ_{in} แต่ตามความเป็นจริงฟลักซ์สองส่วนนี้มีความซับซ้อนมาก ไม่สามารถแยกจากกันได้โดยสิ้นเชิง เพราะต้องอาศัยซึ่งกันและกันอยู่ แต่ผลที่มีต่อกันน้อยจนดูประหนึ่งแยกจากกันได้ ขณะนี้แรงดันในขดเอ้าท์พุท (V_{22}) จะแปรตามฟลักซ์ ϕ_c เท่านั้น สำหรับกระแส I_c ที่ไหลในวงจร ถ้าละทิ้ง ค.ต.ท. ภายในขดลวด (ที่มีค่าน้อย) ออก ขนาดของกระแสจะขึ้นอยู่กับผลหารของแรงดัน V_c และค่ารีแอคแทนซ์ $X_{Lc} - X_c$ ของวงจร

ภายหลังจากฟลักซ์ในแกนเหล็กอิ่มตัวแล้ว ค่าความซึมซาบของแกนเหล็ก (μ) จะลดลงอย่างรวดเร็ว จึงทำให้ค่ามิวชวล รีแอคแตนซ์ (mutual reactance) ของขด N_c ลดลงตามด้วย จนกระทั่ง $X_{Lc} = X_c$ พอดี จะเกิดสภาวะรีโซแนนซ์ (Resonance) ขึ้นในวงจร L - C ซึ่งตรงกับกระแส I_{in} มีค่าสูงสุด และ V_{22} กับ I_c ก็เริ่มโค้งงอที่จุดนี้ ดังรูปที่ 2.3

<u>ช่วงที่ 2</u> เมื่อยังคงแปรค่าแรงดันอินพุทต่อไป ค่า μ ของแกนเหล็กจะลดลงเรื่อย ๆ ทำให้ $X_{Lc} < X_c$ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดขึ้นโดยฉับไว ทำให้กระแส I_c เปลี่ยนเป็นตรงข้ามทันทีทันใด กลายเป็นนำหน้า (leading) แรงดัน E_c เกือบ 90° และฟลักซ์ ϕ_c ก็จะกลับทิศตามด้วย กลายเป็นเสริมกับฟลักซ์ ϕ_{in} ที่ส่งมาจากอินพุท ดังนั้นกระแส I_{in} จึงค่อย ๆ ลดลง แต่การที่ฟลักซ์ในวงจรอิ่มตัวนั้นยอดคลื่นของฟลักซ์จะถูกตัดออกไม่เป็นซายน์ (sine) เหมือนก่อน ความเพี้ยนของคลื่นฟลักซ์จะมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามการแปรแรงดันอินพุทและส่งผลให้คลื่นแรงดัน V_{22} เพี้ยนด้วย เมื่อวิเคราะห์จากสมการฟูเรีย (Fouries) จะพบว่ามีคลื่นความถี่สูงเข้ามาปะปน และคลื่นเหล่านี้จะขยายขนาดสูงขึ้น ตามการแปรของแรงดันอินพุท ทำให้ค่ามิวชวล รีแอคแตนซ์ (X_{Lc}) ของขด N_c ค่อย ๆ มีค่าสูงขึ้นอีกครั้งหนึ่ง และพร้อม ๆ กันค่า X_c ก็จะมีค่าลดลง ดังนั้นเมื่อแปรค่าแรงดันอินพุทไปถึงค่าหนึ่ง จะทำให้ $X_{Lc} = X_c$ เป็นครั้งที่ 2 หรือเกิดรีโซแนนซ์ ขึ้นในวงจรอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งตรงกับกระแสอินพุท (I_{in}) มีค่าต่ำสุด ในทางปฏิบัติต้องพยายาม

เลือกค่า C ให้เหมาะสม เพื่อทำให้จุดรีโซแนนซ์เกิดที่ค่าพิกัดแรงดัน (rated Voltage) ผลดี เพราะจะทำให้การสูญเสียในขดลวด (Cu. Loss) มีค่าต่ำสุด และประสิทธิภาพของหม้อแปลงจะดีขึ้น

<u>ช่วงที่ 3</u> เมื่อถึงจุดรีโซแนนซ์ครั้งที่ 2 แล้ว ถ้าแปรแรงดันอินพุทต่อไปอีก จะทำให้ค่า $X_{Lc} > X_c$ เนื่องจากผลของฮาร์โมนิคส์ (harmonics) ดังกล่าว ซึ่งทั้งกระแส I_c และฟลักซ์ ϕ_c จะเปลี่ยนเป็นตรงข้ามอีกครั้งหนึ่ง (ล้าหลังแรงดัน E_c) การที่ฟลักซ์ ϕ_c เปลี่ยนทิศทางจะเกิดต่อต้านกับฟลักซ์ ϕ_m อีก เป็นครั้งที่ 2 ดังนั้น ในช่วงนี้กระแสอินพุท (I_{in}) จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 2.3