หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิเคราะห์และสรุปผลข้อมูลจากหม้อแปลงต้นแบบ

การวิเคราะห์ข้อมูลในที่นี้ กระทำเพื่อหาข้อสรุป และตั้งเป็นกฎเกณฑ์ในการออกแบบหม้อแปลงแรงดันคงที่ โดยอิงวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ เนื่องจากในการสร้างหม้อแปลงต้นแบบขึ้นศึกษานั้น ยังไม่อาจสรุปได้ว่า แรงดันเรกกูเลชั่น (Voltage Regulation) และย่านแรงดันคงที่ของหม้อแปลงจะกว้างมากน้อยขึ้นอยู่กับตัวแปรใด ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ ก็เพื่อต้องการหาสาเหตุของทั้ง 2 สิ่ง เพื่อที่จะนำไปสร้างให้มีค่าอยู่ในพิกัดที่กำหนด สาเหตุที่วิเคราะห์วงจรตามวิธีธรรมดาไม่ได้ เนื่องจากความซับซ้อนของฟลักซ์ในวงจรแม่เหล็กประการหนึ่ง และเพราะพารามิเตอร์ (parameter) ของวงจรไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear) อีกประการหนึ่ง การที่พารามิเตอร์ของวงจรไม่เป็นเชิงเส้นเกิดจากการเลือกจุดทำงานของฟลักซ์ในช่วงอิ่มตัว ทำให้ค่าความซึมซาบของเหล็ก (μ) ไม่คงที่ ดังนั้นจึงต้องวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านี้ จากการเปลี่ยนตัวแปรที่สำคัญของวงจรทีละตัว และวิเคราะห์ผลเหล่านี้จากกราฟ อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ผลโดยวิธีนี้ แม้ว่าจะไม่สามารถระบุค่าที่ชัดเจนลงไปได้ในการออกแบบเหมือนหม้อแปลงที่เป็นเชิงเส้นทั่วไป แต่ก็สามารถทราบถึงผลสะท้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนค่าตัวแปรทุกตัว และนำมาออกแบบเป็นหม้อแปลงแรงดันคงที่ได้

ก่อนเปลี่ยนแปลงตัวแปร ได้สร้างหม้อแปลงต้นแบบขนาด 500 วี.เอ. ขึ้นมาก่อน โดยมีพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก (A_{Fe}) = 24.54 ซ.ม.^{2} กำหนดให้แกนเหล็กมีขนาดความกว้างของขา (a) = 2.2 ซ.ม. ความหนา (b) = 6.26 ซ.ม. และความยาวเฉลี่ยของขาแกนเหล็ก = 14.96 ซ.ม. สำหรับตัวแปรที่สำคัญในวงจรที่จะทำให้ลักษณะสมบัติของหม้อแปลงเปลี่ยนแปลงมี 5 ตัว ซึ่งได้กำหนดค่าแรกไว้ดังนี้ คือ

ก. พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กแบ่งฟลักซ์ (A_g) = 0.77 A_{Fe}

ข. ระยะห่างช่องอากาศ (l_g) = 2.4 ม.ม.

ค. ค่าคาปาซิแตนซ์ (C) = 4 ไมโครฟารัด

ง. จำนวนรอบของขดลวดอินพุท (N_1) = 235 รอบ

จ. จำนวนรอบของขดรักษาสภาพแรงดัน (N_c) = 1197 รอบ

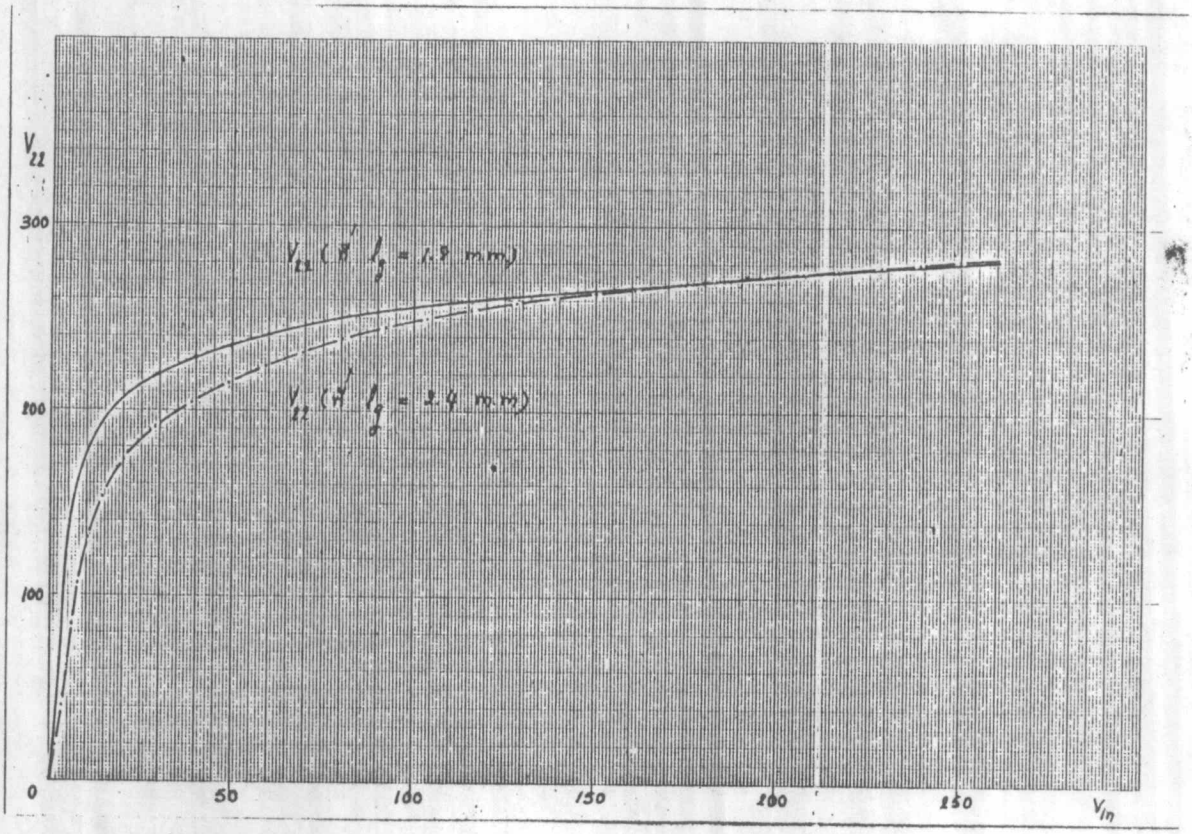
ค่าของตัวแปรที่กำหนดไว้ถือเป็นค่าหลัก และจะเปลี่ยนค่าตัวแปรที่ต่างจากค่าหลัก อีกตัวแปรละ 1 ครั้ง เพื่อให้เห็นข้อแตกต่าง ดังนั้นแต่ละตัวแปรจะมีข้อแตกต่างที่เปรียบเทียบกันเพียงตัวแปรละ 2 ค่าเท่านั้น และสรุปข้อคิดเห็นที่ได้จากการเปรียบเทียบ นำมาตั้งเป็นกฎเกณฑ์ในการออกแบบหม้อแปลงต่อไป

สำหรับการเปลี่ยนค่าตัวแปรทั้ง 5 ได้กระทำดังนี้

1. <u>ปรับระยะห่างของช่องอากาศ</u> (l_g)

จากการปรับช่องอากาศที่มีระยะห่าง 2 ค่า ระหว่าง 1.8 ม.ม. กับ 2.4 ม.ม. โดยให้ค่าอื่นคงที่ (ดังที่กำหนดไว้ครั้งแรก) จะได้ข้อแตกต่างของกราฟดังแสดงไว้ในรูป 3.1 (ก) และ 3.1 (ข)

004104

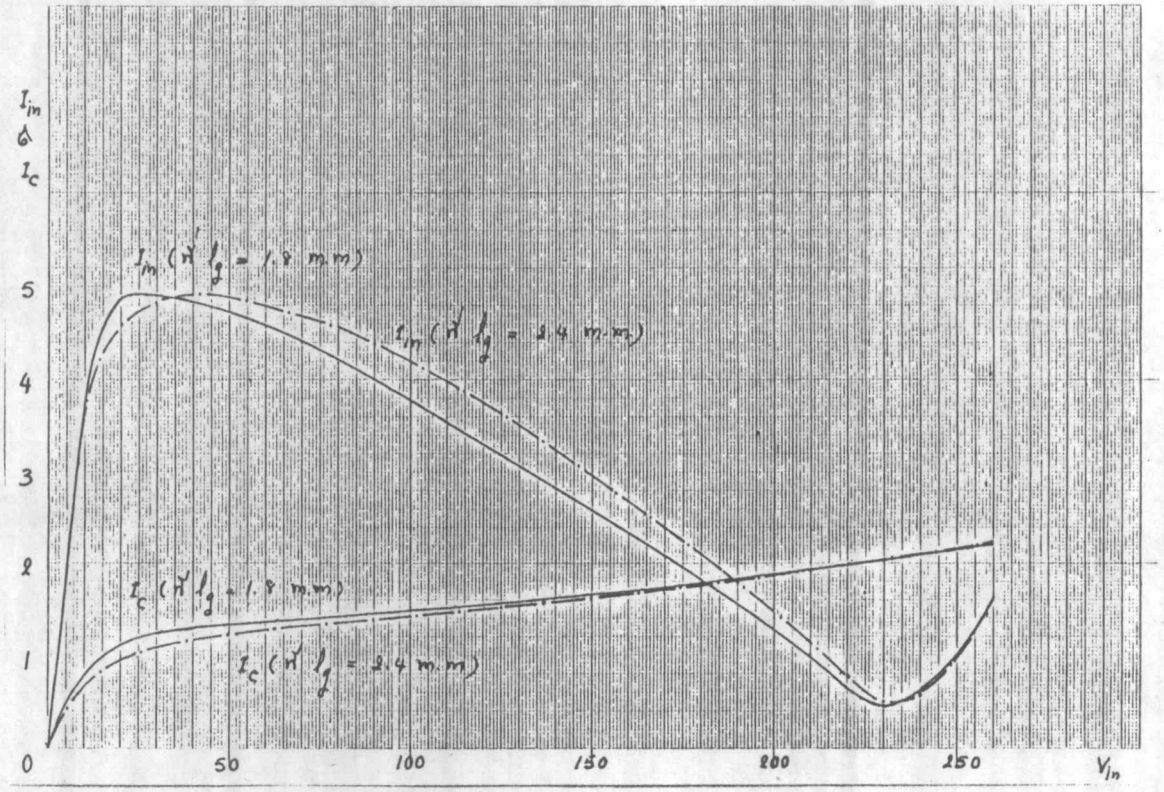


(ก)

รูปที่ 3.1 ปรับระยะห่างช่องอากาศขนาด 1.8 ม.ม.กับ 2.4 ม.ม.

(ก) แรงดัน V_{22} เทียบกับ V_{in}

(ข) กระแส I_{in} และ I_c เทียบกับ V_{in}



(ข)

รูปที่ 3.1 ปรับระยะห่างช่องอากาศขนาด 1.8 ม.ม.กับ 2.4 ม.ม.

(ก) แรงดัน V_{22} เทียบกับ V_{in}

(ข) กระแส I_{in} และ I_c เทียบกับ V_{in}

เหตุผล

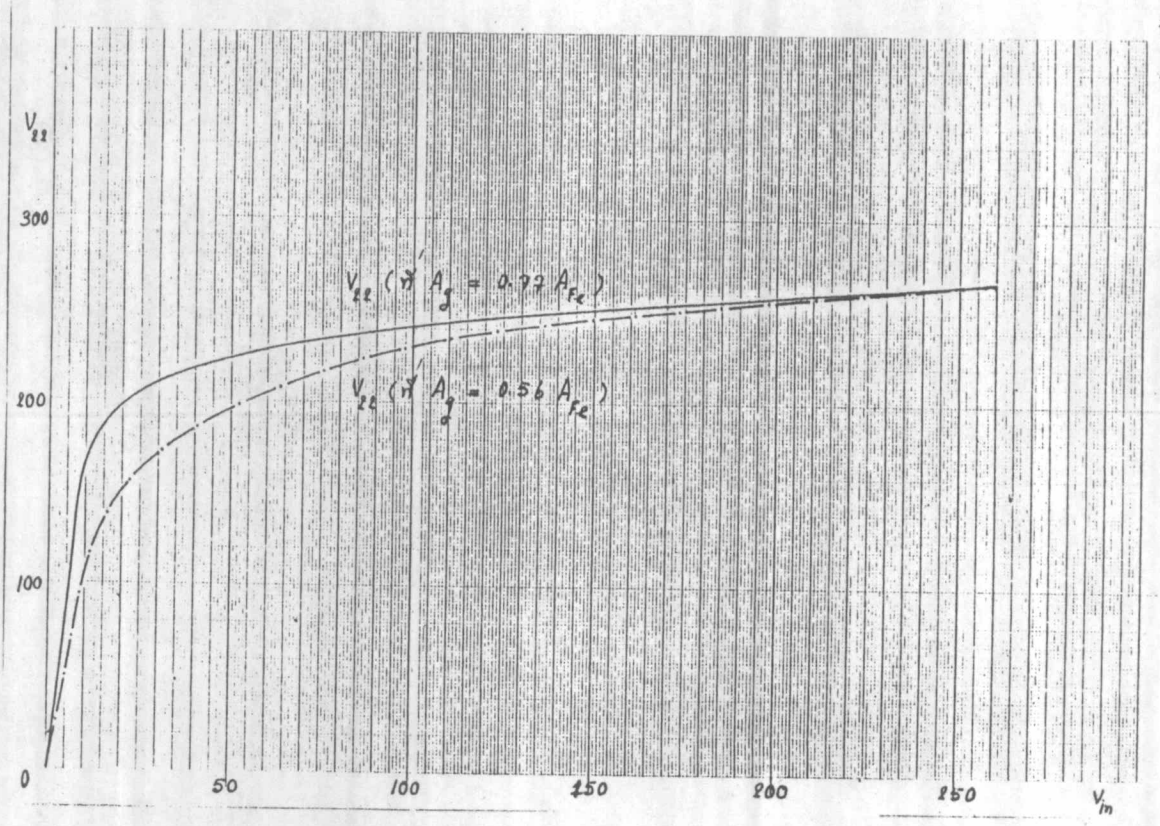
เนื่องจากแรงดันที่ขดเอ้าท์พุท (V_{22}) แปรตามฟลักซ์ ϕ_c ดังนั้นที่ช่องอากาศแคบ ค่ารีลัคแทนซ์ของแกนเหล็กแบ่งฟลักซ์ จะต้องมีค่าต่ำกว่าช่องอากาศกว้าง จึงทำให้ฟลักซ์ ϕ_c ผ่านช่องอากาศแคบได้สูง และอิ่มตัวได้เร็วกว่าช่องอากาศกว้างและทำให้แรงดันที่ขดเอ้าท์พุท (V_{22}) เมื่อช่องอากาศแคบสูงกว่าในตอนแรก สำหรับกระแส I_{in} และ I_c ก็จะสูงเร็วตาม เพราะฟลักซ์ ϕ_c อิ่มตัวได้เร็ว จึงเกิดรีโซแนนซ์ครั้งแรกเร็วขึ้นด้วย แตขณะเกิดรีโซแนนซ์ครั้งที่ 2 กระแส I_{in} ที่ช่องอากาศแคบมีค่าน้อยกว่าเมื่อช่องอากาศกว้างเล็กน้อย และจะมีผลให้ ϕ_{in} มีค่าน้อยกว่าตาม ในทำนองเดียวกันฟลักซ์ ϕ_c ควรมีค่าลดลงด้วย จึงทำให้แรงดันที่ขดเอ้าท์พุทเมื่อช่องอากาศแคบต่ำกว่าในภายหลัง

สรุปผล

ที่ช่องอากาศแคบ ฟลักซ์ ϕ_c อิ่มตัวเร็วทำให้ได้ย่านแรงดันคงที่ (Stabilize Voltage) กว้าง แต่การที่กระแส I_{in} ต่ำกว่าในย่านที่ต้องการให้แรงดันคงที่ แสดงว่าความสามารถในการดึงพลังงานจากอินพุทขณะมีโหลดต่ำกว่าด้วย ทำให้แรงดันเรกกูเลชั่น (Voltage Regulation) ไม่ดี ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของหม้อแปลงธรรมดา คือ ถ้ามีฟลักซ์รั่ว (leakage flux) สูง แรงดันเรกกูเลชั่นของหม้อแปลงจะต่ำ ดังนั้นในการออกแบบหม้อแปลงแรงดันคงที่ ไม่ควรให้ฟลักซ์รั่วผ่านช่องอากาศเกิน 0.5 % ที่ฟลักซ์ ϕ_{in} เริ่มอิ่มตัว

2. <u>ปรับขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กแบ่งฟลักซ์</u> (A_g)

จากการปรับพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กแบ่งฟลักซ์ที่มี 2 ขนาด ระหว่าง 0.77 เท่ากับ 0.56 เท่าของพื้นที่ขาแกนเหล็กหลัก (A_{Fe}) โดยให้ค่าอื่นคงที่ จะได้ข้อแตกต่างของกราฟดังแสดงไว้ในรูป 3.2 (ก) และ 3.2 (ข)

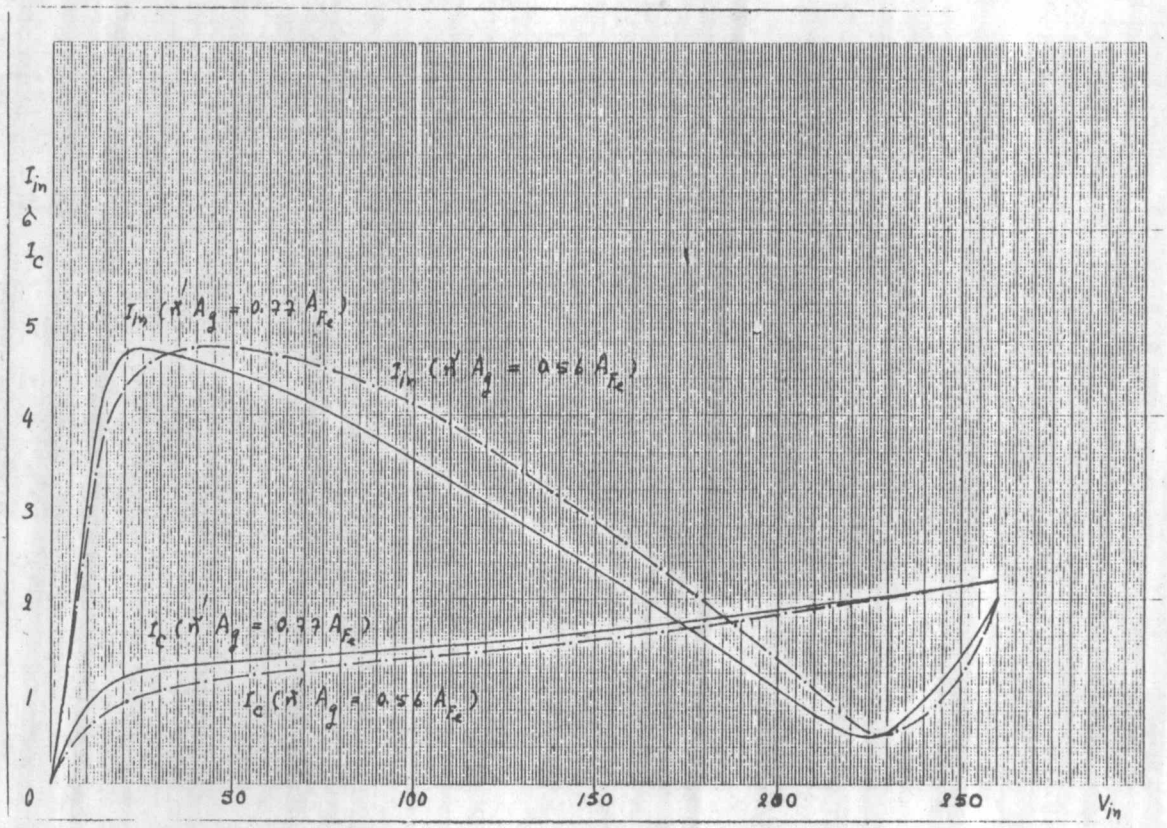


(ก)

รูปที่ 3.2 ปรับพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กแบ่งฟลักซ์ขนาด 0.77 A_{Fe} และ 0.56 A_{Fe}

(ก) แรงดัน V_{22} เทียบกับ V_{in}

(ข) กระแส I_{in} และ I_c เทียบกับ V_{in}



(ข)

รูปที่ 3.2 ปรับพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กแบ่งฟลักซ์ ขนาด 0.77 A_{Fe} และ 0.56 A_{Fe}

(ก) แรงดัน V_{22} เทียบกับ V_{in}

(ข) กระแส I_{in} และ I_c เทียบกับ V_{in}

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เหตุผล

เมื่อพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กแบ่งฟลักซ์มีขนาดใหญ่ขึ้น ค่ารีลัคแตนซ์ของแกนเหล็กแบ่งฟลักซ์จะต่ำลง จึงทำให้ฟลักซ์ ϕ_c ไหลผ่านได้มากขึ้น และถึงจุดอิ่มตัวเร็วกว่าแกนเหล็กที่มีขนาดเล็ก ตามลักษณะของกราฟ V_{22}, I_{in} และ I_c คล้ายกับขณะปรับระยะห่างของช่องอากาศ ทั้งนี้เนื่องจากการปรับพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กแบ่งฟลักซ์ หรือการปรับระยะห่างของช่องอากาศ ก็คือการปรับค่ารีลัคแตนซ์ของแกนเหล็กแบ่งฟลักซ์ที่มีช่องอากาศนั่นเอง เพียงแต่การปรับระยะห่างของช่องอากาศให้ผลมากกว่า ดังสมการ

$$R_{sh} = R_{st} + R_g$$

$$= \frac{l}{\mu A_g} + \frac{lg}{\mu_o(A_g + \delta A_g)}$$

เมื่อ R_{sh} คือ ค่ารีลัคแตนซ์ของเหล็กที่มีช่องอากาศ

R_{st} คือ ค่ารีลัคแตนซ์ของเหล็ก

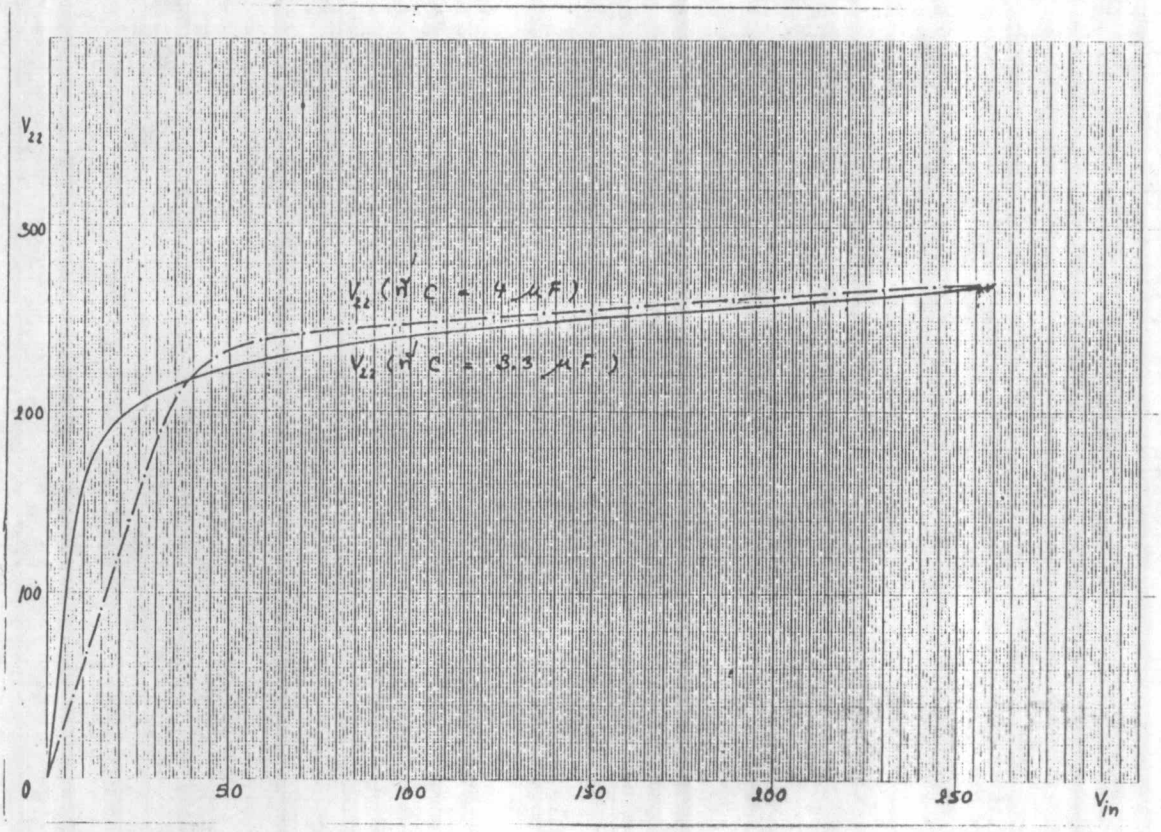
R_g คือ ค่ารีลัคแตนซ์ของช่องอากาศ

สรุปผล

ในการออกแบบหม้อแปลง ควรกำหนดให้พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กแบ่งฟลักซ์ (A_g) มีค่าประมาณ 0.5 ถึง 0.8 เท่าของพื้นที่หน้าตัดขาของแกนเหล็กหลัก (A_{Fe}) เท่านั้น ทั้งนี้เพื่อไม่ให้แกนหม้อแปลงมีขนาดยาวเกินไป และการปรับค่ารีลัคแตนซ์เพื่อควบคุมฟลักซ์ ควรปรับที่ระยะห่างของช่องอากาศแทน

3. ปรับค่าคาปาซิแตนซ์ (c)

จากการปรับค่าคาปาซิแตนซ์ที่ต่อกับขดรัษาสภาพแรงดันที่มีค่าระหว่าง 3.3 μF กับ 4 μF โดยให้ค่าอื่นคงที่ จะได้ข้อแตกต่างของกราฟ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.3 (ก) และ 3.3 (ข)

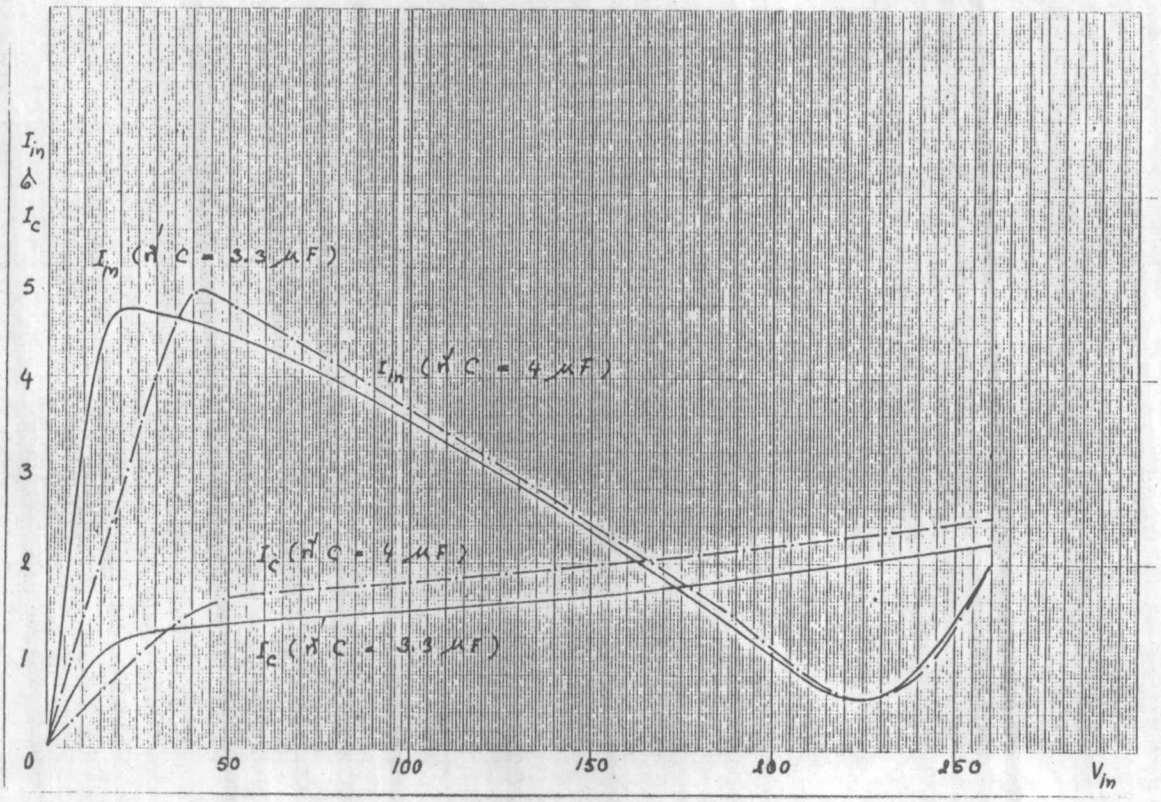


(ก)

รูปที่ 3.3 ปรับค่าคาปาซิแตนซ์ ขนาด 3.3 μF กับ 4 μF

(ก) แรงดัน V_{22} เทียบกับ V_{in}

(ข) กระแส I_{in} และ I_c เทียบกับ V_{in}



(ข)

รูปที่ 3.3 ปรับค่าคาปาซิแตนซ์ ขนาด 3.3 μF กับ 4 μF

(ก) แรงดัน V_{22} เทียบกับ V_{in}

(ข) กระแส I_{in} และ I_c เทียบกับ V_{in}

เหตุผล

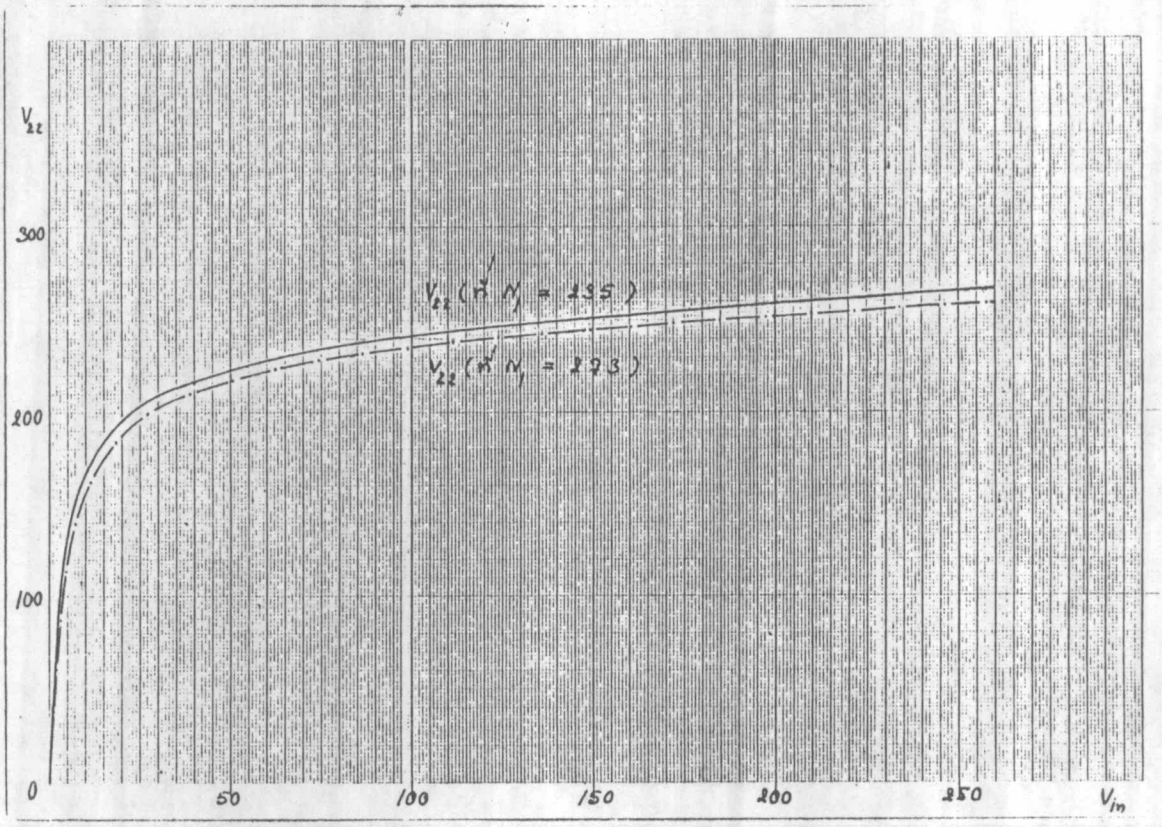
ในการต่อคาปาซิเตอร์ 2 ค่าคร่อมขด N_c นั้น จะเห็นว่าขณะต่อ C ค่าต่ำ จะเกิดรีโซแนนซ์ก่อน ทั้งนี้เป็นเพราะว่าเมื่อค่า C ต่ำ, ค่า X_c จะสูง แต่เนื่องจากจำนวนรอบของขด N_c ที่พันไว้สูงมาก ดังนั้นค่า X_{Lc} ของขดลวดชุดนี้จะสูงกว่าค่า X_c ที่นำไปต่อคร่อมหลายเท่า ในขณะที่แปรแรงดันอินพุท (V_{in}) ขึ้นเรื่อย ๆ ฟลักซ์ในวงจรเริ่มอิ่มตัว ทำให้ μ ของเหล็กเริ่มลดลง และจะลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะที่แรงดันอินพุทสูงขึ้น พร้อม ๆ กันนั้นค่า X_{Lc} ก็จะลดลงตามค่าของ μ จนกระทั่ง $X_{Lc} = X_c$ ก็จะเกิดรีโซแนนซ์ในวงจร จะเห็นว่าค่าของ X_{Lc} ต้องมีค่าเท่ากับ X_c ค่าสูงก่อนแล้วจึงจะลดลงไปเท่ากับ X_c ค่าต่ำ การเกิดรีโซแนนซ์ก่อนจะทำให้ได้ย่านแรงดันคงที่กว้าง สำหรับ C ค่าสูง แม้ว่าจะเกิดรีโซแนนซ์ภายหลัง และได้ย่านแรงดันคงที่แคบกว่าก็ตาม แต่กระแส I_c มีค่าสูงกว่า ซึ่งกระแสนี้เป็นตัวสร้างแอมแปร์ - เทอน ให้กับชุดรักษาสภาพแรงดัน และเป็นส่วนที่ทำให้แรงดันเรกกูแลชั่นดี

สรุปผล

จะต้องเลือกค่า X_c ที่เหมาะสม ตามปกติขณะที่แปรแรงดันอินพุท จาก 0 - 260 โวลต์ ค่า μ ของแกนเหล็กจะแปรจากค่าสูงสุดถึงต่ำสุดประมาณ 20 เท่า ดังนั้นการเลือกค่า X_c จะต้องสัมพันธ์กับ X_{Lc} ซึ่งค่าที่พอเหมาะสำหรับการออกแบบหม้อแปลง ควรให้ค่า $X_{Lc} > X_c$ ไม่เกิน 10 เท่า

4. เปลี่ยนจำนวนรอบของขดอินพุท (N_1)

จากการเปลี่ยนจำนวนรอบของอินพุท จาก 235 รอบเป็น 273 รอบ โดยให้ค่าอื่นคงที่ จะได้ข้อแตกต่างของกราฟ ดังแสดงไว้ในรูป 3.4 (ก) และ 3.4 (ข)

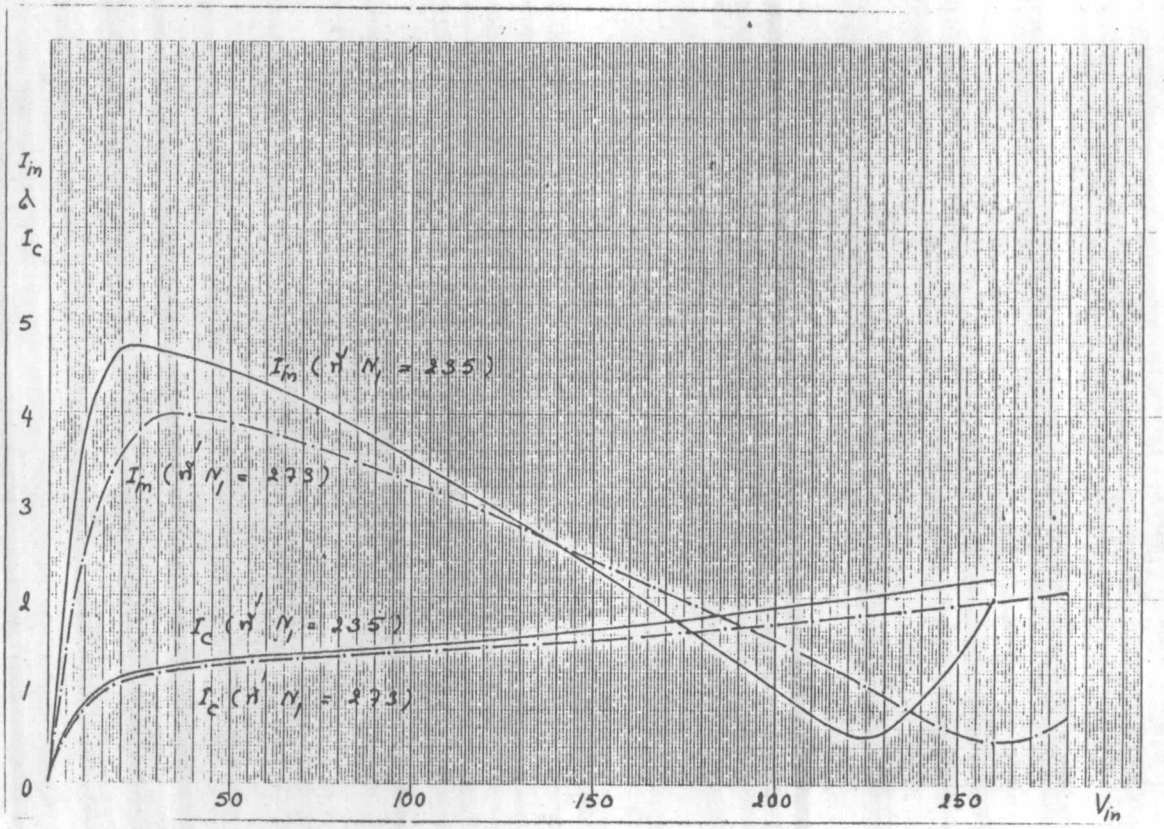


(ก)

รูปที่ 3.4 เปลี่ยนจำนวนรอบของขดอินพุท จาก 235 รอบ เป็น 273 รอบ

(ก) แรงดัน V_{22} เทียบกับ V_{in}

(ข) กระแส I_{in} และ I_c เทียบกับ V_{in}



(ข)

รูปที่ 3.4 เปลี่ยนจำนวนรอบของขดอินพุท จาก 235 รอบ เป็น 273 รอบ

(ก) แรงดัน V_{22} เทียบกับ V_{in}

(ข) กระแส I_{in} และ I_c เทียบกับ V_{in}

เหตุผล

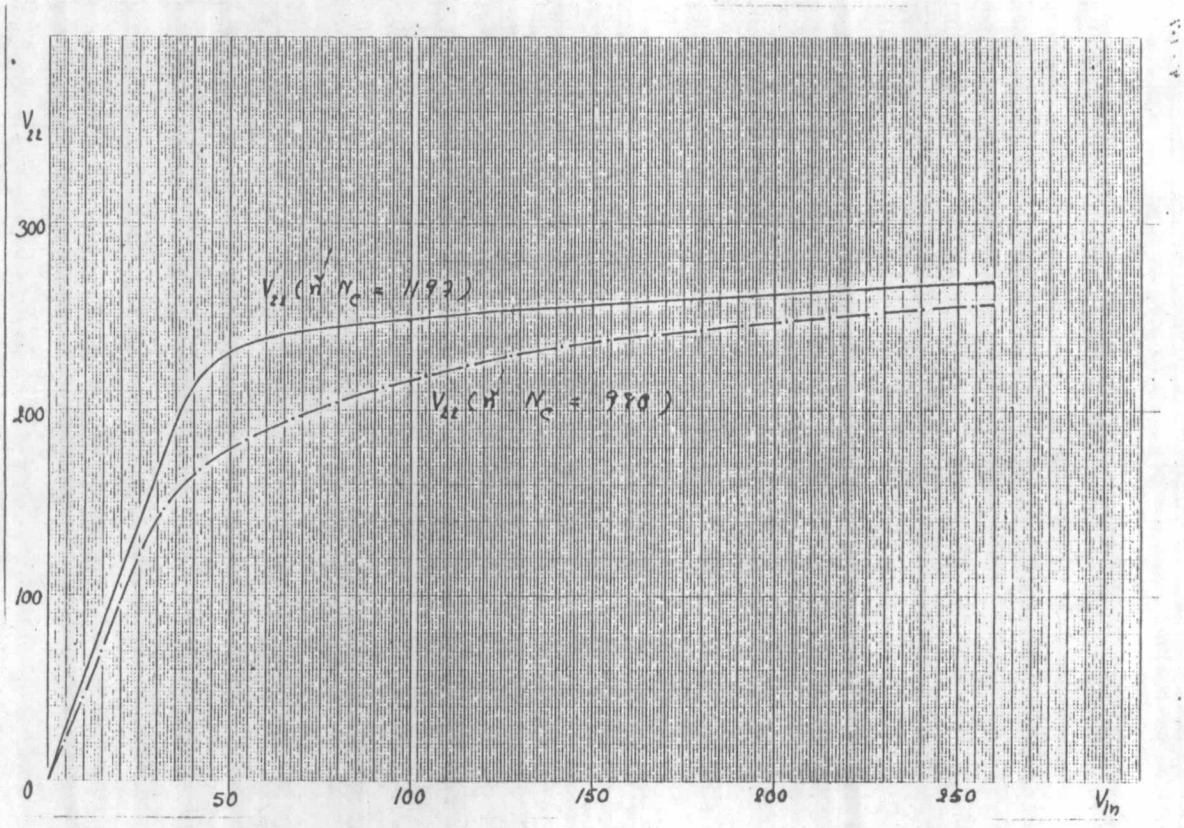
ถ้าจำนวนรอบของอินพุท (N_1) สูง ฟลักซ์ในวงจรจะอิ่มตัวช้า ซึ่งการเกิดรีโซแนนซ์จะช้าลงตาม หรืออาจมองอีกแง่หนึ่งได้ คือ เมื่อ N_1 สูง ค่ามิวชวลอินดักแตนซ์ (M_c) ของขดรักษาสภาพแรงดันจะมีค่าสูงขึ้น ($M_c = N_1 N_c \mu A/l$) จะเห็นว่า ถ้าค่า X_{Lc} สูงขึ้น จุดรีโซแนนซ์จะอยู่ไกล ทำให้ย่านแรงดันคงที่แคบลง นอกจากนี้ยังทำให้ I_c ต่ำอีกด้วย [$I_c = V_c / (X_{LC} - X_c)$] และมีผลต่อเนื่องทำให้แรงดันเรกกูเลชั่นต่ำลง

สรุปผล

ควรออกแบบให้ฟลักซ์ ϕ_{in} อิ่มตัวที่แรงดันอินพุทต่ำ ๆ ประมาณ $\frac{1}{3}$ ถึง $\frac{1}{2}$ เท่าของพิกัดแรงดันที่ต้องการออกแบบนอกจากจะทำให้ย่านแรงดันคงที่กว้างและแรงดันเรกกูเลชั่นดีแล้ว ยังประหยัดลวดทองแดงอีกด้วย

5. เปลี่ยนจำนวนรอบของขดรักษาสภาพแรงดัน (N_c)

จากการเปลี่ยนจำนวนรอบของขดรักษาสภาพแรงดันจาก 980 รอบ เป็น 1197 รอบ โดยให้ค่าอื่นคงที่ จะได้ข้อแตกต่างของกราฟ ดังแสดงไว้ในรูป 3.5 (ก) และ 3.5 (ข)

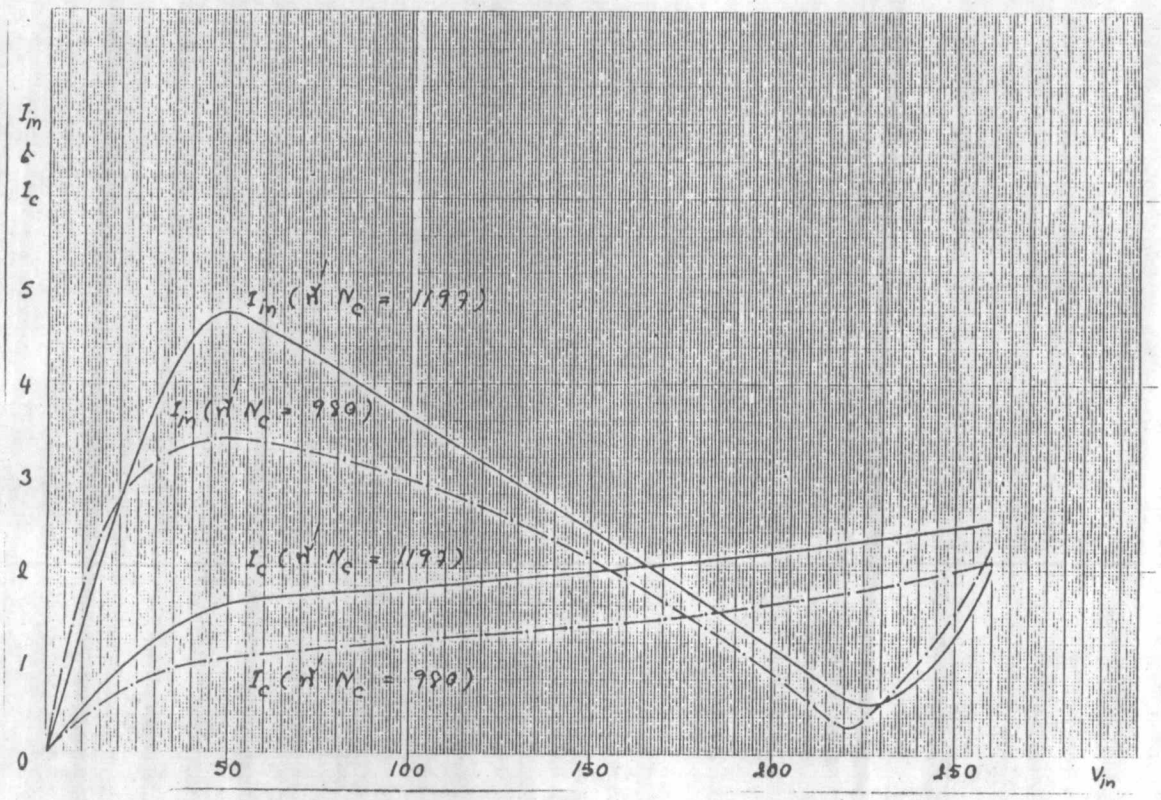


(ก)

รูปที่ 3.5 เปลี่ยนจำนวนรอบของขดรักษาสภาพแรงดันจาก 980 รอบ เป็น 1197 รอบ

(ก) แรงดัน V_{22} เทียบกับ V_{in}

(ข) กระแส I_{in} และ I_c เทียบกับ V_{in}



(ข)

รูปที่ 3.5 เปลี่ยนจำนวนรอบของขดรัษาสภาพแรงดันจาก 980 รอบ เป็น 1197 รอบ

(ก) แรงดัน V_{22} เทียบกับ V_{in}

(ข) กระแส I_{in} และ I_c เทียบกับ V_{in}

เหตุผล

ขณะที่เพิ่มรอบของ N_c ให้สูงขึ้น ค่าของมิวชวล อินดัคแตนซ์ (M_c) จะสูงขึ้น ทำให้ X_{LC} ต่างกับ X_c มากขึ้น และจุดรีโซแนนซ์ควรจะถูกเลื่อนให้เกิดขึ้นช้ากว่าเดิม แต่เนื่องจาก N_c สูง จะทำให้ E_c สูง และกระแส I_c มาก จึงทำให้ฟลักซ์ ϕ_c อิ่มตัวได้เร็วกว่าปกติ ดังนั้นจุดรีโซแนนซ์จึงเกิดเร็วกว่าที่ควรจะเป็น การที่ฟลักซ์ ϕ_c สูง ทำให้แรงดัน V_{22} สูงตามไปด้วย

สรุปผล

เมื่อ N_c สูง ทำให้แอมแปร์ - เทอน ($I_c N_c$) สูงด้วย จึงทำให้การรักษาสภาพแรงดันตกขณะโหลดได้ดี (แรงดันเรกกูเลชั่นดี) นอกจากนี้ การเกิด รีโซแนนซ์เร็ว จะทำให้ย่านแรงดันคงที่กว้าง แต่ขณะที่เพิ่ม N_c นั้น แรงดัน V_{22} สูงขึ้นตาม จึงควรลด N_{22} ลง การลด N_{22} ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ (Z_{22}) ภายในวงจรลดลง จึงเป็นการช่วยให้แรงดันเรกกูเลชั่นดีขึ้นอีกทางหนึ่ง