

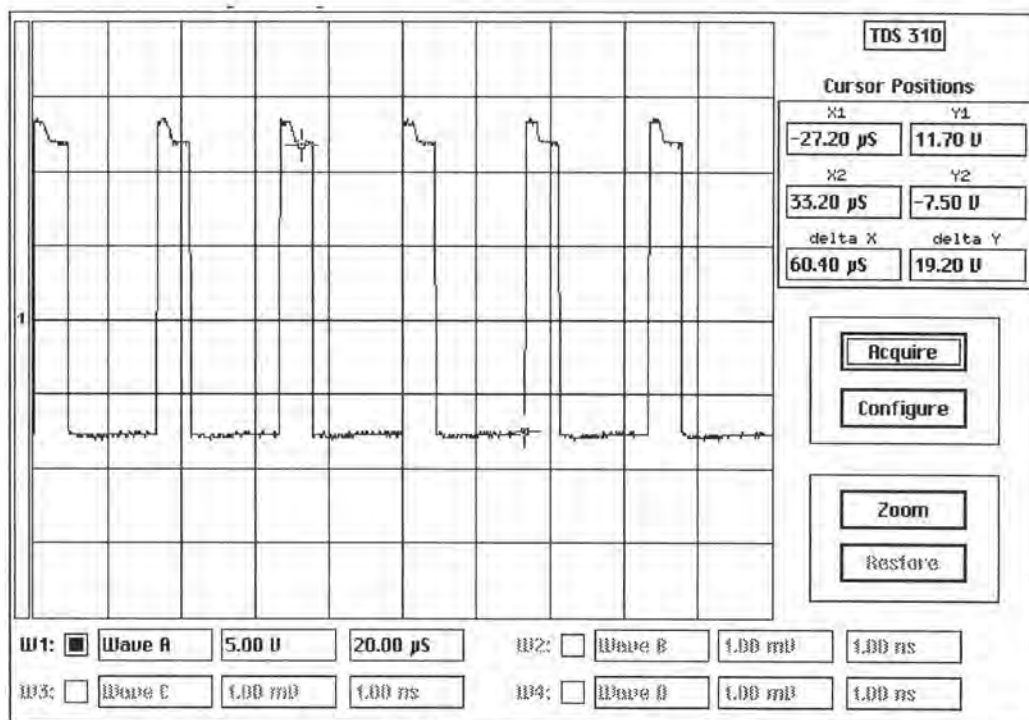
บทที่ 5

การทดสอบเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ

ในบทนี้จะเป็นการทดสอบเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ ซึ่งประกอบด้วย การวัด และบันทึกสัญญาณที่ภาคต่างๆของเครื่อง โดยเฉพาะที่ภาคขั้วนำเกต และภาคกำลัง เพื่อศึกษาการทำงานของวงจร และวัดค่าที่สำคัญต่าง ๆ ของระบบ เช่น กำลังด้านเข้า กำลังที่ขึ้นงาน รูปคลื่นของกระแสและแรงดันด้านเข้า ตัวประกอบกำลัง ฯลฯ

ในการวัดสัญญาณตามภาคต่างๆของวงจร เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือวัด ทำให้ไม่สามารถวัดสัญญาณเพื่อเปรียบเทียบกันครั้งละหลาย ๆ สัญญาณได้ ในกรณีวัดแรงดันจะวัดครั้งละช่อง ในกรณีวัดกระแสและแรงดันจะวัดได้ 2 ช่อง เพราะการวัดกระแสมีการแยกโคดโดยตัววัดกระแส

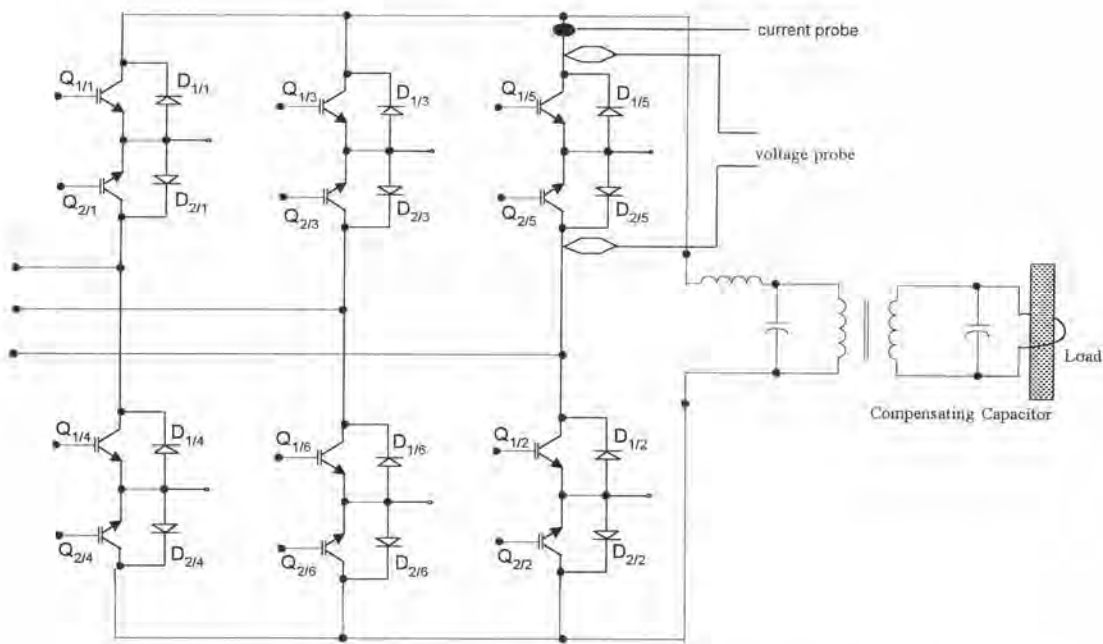
5.1 สัญญาณขั้วนำเกต



รูปที่ 5.1 แรงดันที่ขั้วนำเกตของ IGBT กำลัง

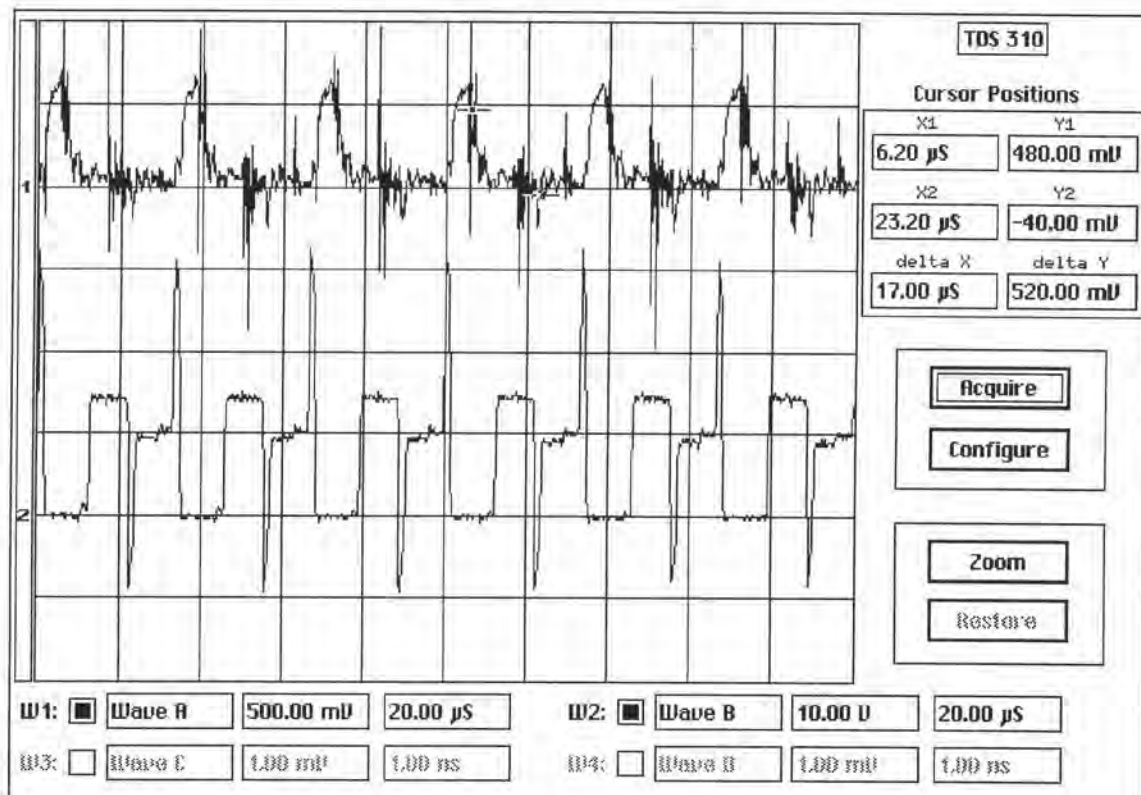
จากรูปที่ 4.24 แสดงวงจรที่ใช้ในการขับนำเกตของ IGBT กำลัง ซึ่งประกอบด้วยวงจรกำเนิดความถี่ของสัญญาณนาฬิกา และวงจรนับ เพื่อสร้างสัญญาณต้นแบบในการขับนำเกต ($SP_1 - SP_6$) รูปที่ 5.1 แสดงตัวอย่างของแรงดันขับนำเกตของ IGBT กำลังตัวหนึ่ง โดยตรวจสอบได้ว่า รูปแบบการขับนำสวิตช์จะเป็นไปตามรูปที่ 4.11 โดยสามารถปรับเวลาพักได้ระหว่าง 1 - 2.4 ไมโครวินาที

5.2 รูปคลื่นแรงดันคร่อม IGBT กำลัง และกระแสผ่าน IGBT กำลัง



รูปที่ 5.2 ตำแหน่งการวัดกระแสและแรงดันในวงจรกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง

รูปที่ 5.2 แสดงตำแหน่งการวัดกระแสผ่านสวิตช์ และแรงดันคร่อมสวิตช์ รูปที่ 5.3 แสดงตัวอย่างผลการวัด กรณีโหลดเป็นขดลวดเหนี่ยวนำมีชิ้นงาน และแรงดันเฟสด้านเข้ามีค่าประมาณ $80 V_{rms}$ สังเกตได้ว่ากระแสผ่านสวิตช์มียอดแหลมค่าสูง อันอาจเป็นผลมาจากการนำกระแสเหลือมกันของสวิตช์ ทำให้เกิดการลัดวงจรแรงดันสายในช่วงเวลาสั้น ๆ



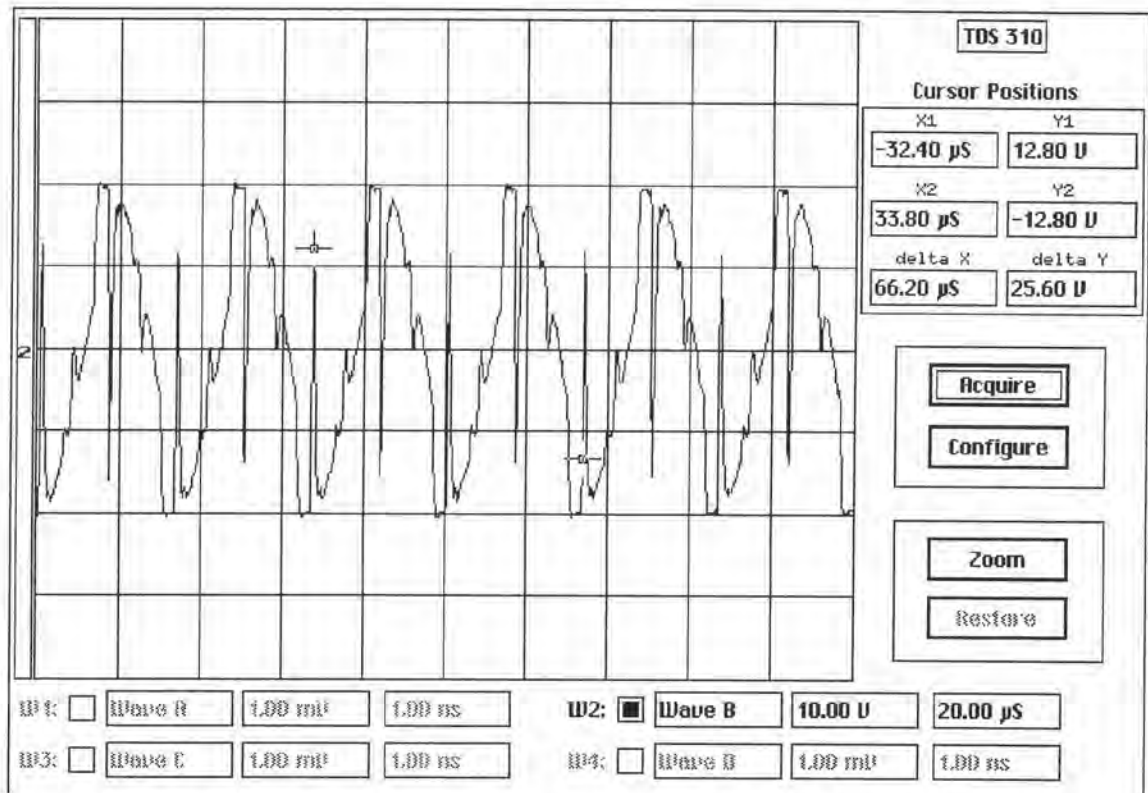
รูปที่ 5.3 กระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ และแรงดันคร่อมสวิตช์

รูปคลื่น(1) : กระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ (5 A/ช่อง)

รูปคลื่น(2) : แรงดันคร่อมสวิตช์ (100 V/ช่อง)

5.3 รูปคลื่นแรงดันด้านออกของวงจรกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง

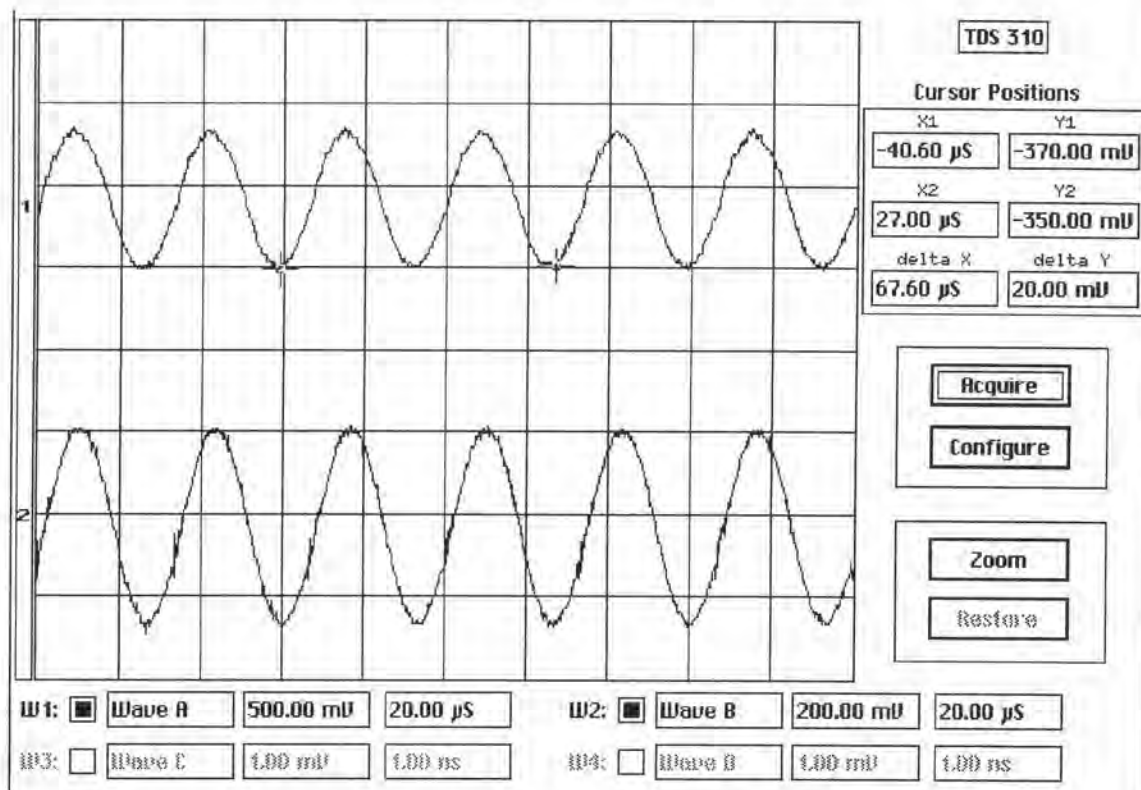
แรงดันด้านออกของวงจรโซลิตคอนเวอร์เตอร์ ในรูปที่ 5.2 แสดงได้ดังรูปที่ 5.4 จะเห็นว่ารูปคลื่นแรงดันที่ได้ มีลักษณะใกล้เคียงกับผลการซิมูเลตในรูปที่ 4.13 แต่ก็มียอดแหลมของแรงดันแทรกอยู่ด้วย ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากการเว้นช่วงเวลาพักในการขับนำสวิตช์



รูปที่ 5.4 แรงดันด้านออกของวงจรกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง (100 V/ช่อง)

5.4 รูปคลื่นแรงดันทางด้านทุติยภูมิ และกระแสปฐมภูมิ ของหม้อแปลงกำลังความถี่สูง

การวัดกระแสทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงทำได้ยาก เนื่องจากโครงสร้างของโพล ดิ่งนั้นจึงวัดกระแสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงแทน โดยกระแสทุติยภูมิจะมีขนาดเป็น 12 เท่าของรูปคลื่นที่วัดได้ ผลจากการวัดกระแสด้านปฐมภูมิ และแรงดันด้านทุติยภูมิ แสดงดังรูปที่ 5.5



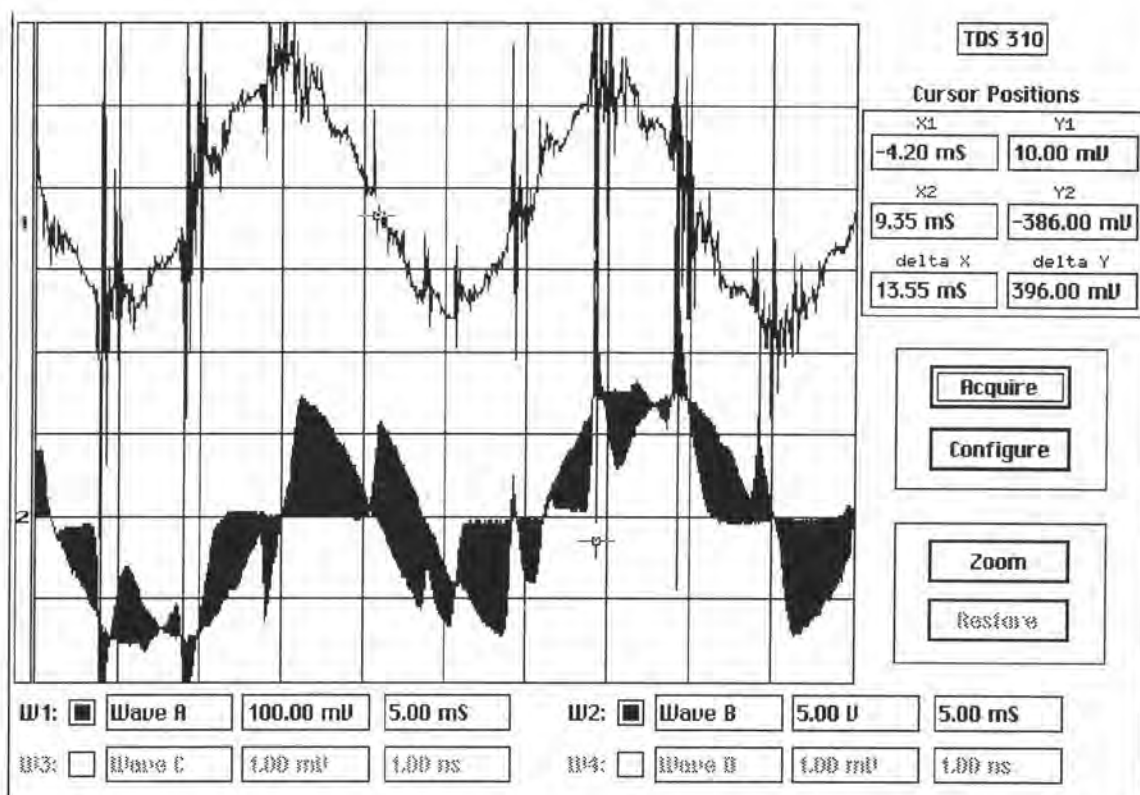
รูปที่ 5.5 กระแสด้านปฐมภูมิ และแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกำลังความถี่สูง
ที่แรงดันเฟส 33 V_{rms}

รูปคลื่น(1) : กระแสด้านปฐมภูมิ (10 A/ช่อง)

รูปคลื่น(2.) : แรงดันด้านทุติยภูมิ (2 V/ช่อง)

5.5 รูปคลื่นกระแสด้านเข้าและแรงดันคร่อมสวิตช์

ผลการวัดรูปคลื่นกระแสด้านเข้า และแรงดันคร่อมสวิตช์ โดยพิจารณาที่ความถี่สายกำลัง แสดงได้ดังรูปที่ 5.6 จะสังเกตเห็นว่า การนำกระแสของสวิตช์ ทำได้ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากแรงดันตกคร่อมสวิตช์บางส่วนไม่เป็นศูนย์ ในขณะที่สวิตช์นำกระแส ส่วนกระแสด้านเข้าก็มียอดแหลมค่าสูง



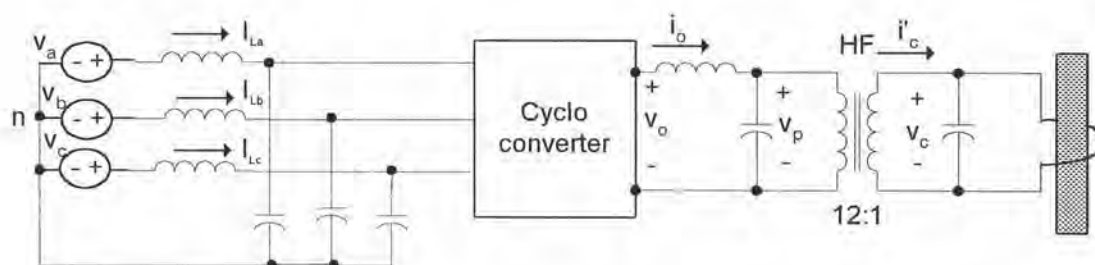
รูปที่ 5.6 กระแสด้านเข้าและแรงดันคร่อมสวิตช์

รูปคลื่น (1) : กระแส

รูปคลื่น (2) : แรงดัน

5.6 การวัดกำลัง และตัวประกอบกำลังทางด้านเข้า

การวัดกำลังทางด้านเข้าของระบบ แบ่งออกเป็น กำลังปรากฏ (VA) และ กำลังเฉลี่ย (P) ซึ่งมีความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ (ดังที่นิยามตามรูปที่ 5.7) ตามสมการต่อไปนี้

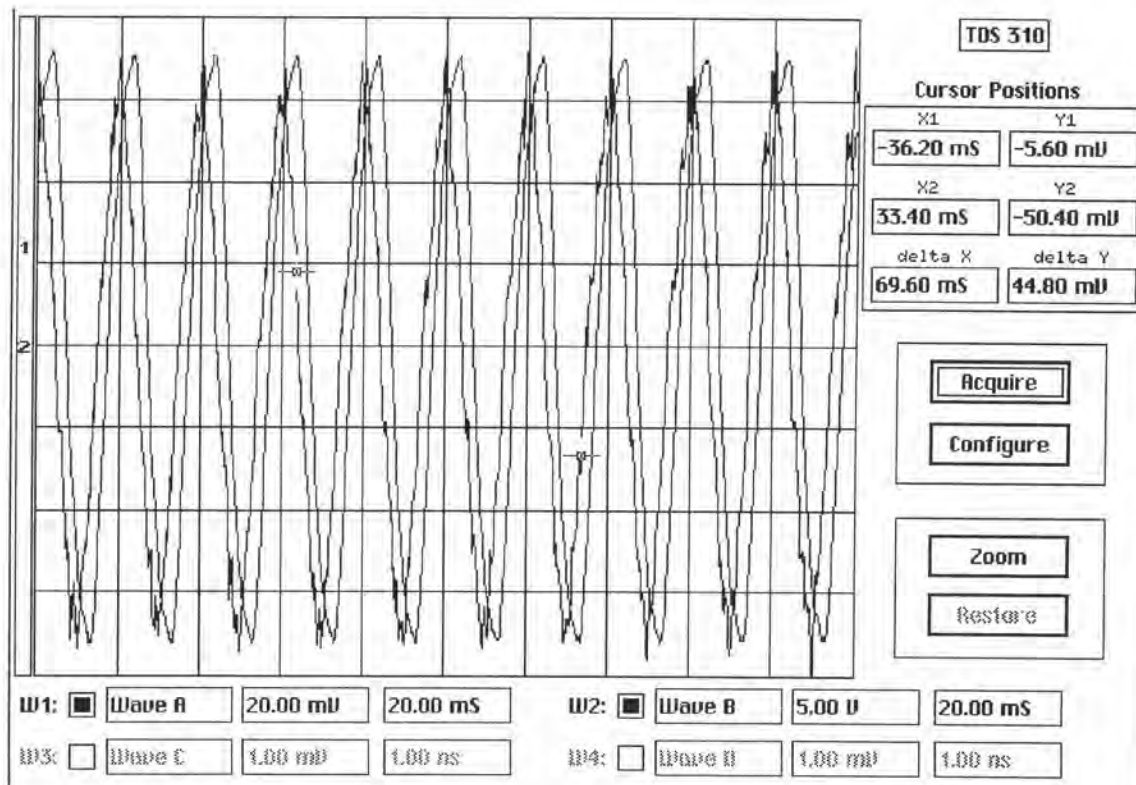


รูปที่ 5.7 กระแสและแรงดันที่จุดต่างๆ ในบล็อกไดอะแกรมของระบบ

$$\text{กำลังปรากฏด้านเข้า} \quad VA_i = 3V_a I_{La} \quad (5.1)$$

$$\text{กำลังด้านเข้า} \quad P_i = 3V_a I_{La} \cos\theta_i \quad (5.2)$$

$$\text{ตัวประกอบกำลังด้านเข้า P.F.} = \cos\theta_i \quad (5.3)$$



รูปที่ 5.8 รูปคลื่นของกระแสและแรงดันด้านเข้าเฟส a

รูปคลื่นที่ (1) : กระแส (800 mA/ช่อง)

รูปคลื่นที่ (2) : แรงดัน (50 V/ช่อง)

เมื่อป้อนแรงดันเฟสประมาณ $127 \text{ V}_{\text{rms}}$ รูปคลื่นแรงดันไฟสลับ v_a และกระแสไฟสลับ i_{La} ที่วัดได้ในเฟส a แสดงดังรูปที่ 5.9 จำนวนค่า RMS ของรูปคลื่นทั้งสอง และ θ_i ได้ดังนี้

$$V_a = 124 \quad V_{\text{rms}}$$

$$I_a = 1.84 \quad A_{\text{rms}}$$

$$\theta_i = 36 \quad \text{องศา}$$

จากสมการ (5.1) สามารถคำนวณหาค่ากำลังปรากฏด้านเข้า VA_i ได้ดังนี้

$$VA_i = 685 \quad \text{วัตต์แอมแปร์}$$

จากสมการ (5.2) และ (5.3) สามารถคำนวณหาค่ากำลังด้านเข้าและตัวประกอบกำลังด้านเข้าได้คือ

$$\begin{aligned} P_i &= 554 \quad \text{วัตต์} \\ \text{ดังนั้น} \quad P.F._i &= 0.81 \end{aligned}$$

5.7 การวัดกำลังที่ใช้งาน

การทดสอบการวัดกำลังที่ใช้งานในหัวข้อนี้ จะใช้วิธีวัดค่าแรงดันและกระแส แล้วนำมาคำนวณตามสมการต่อไปนี้

กำลังสูญเสียรวมของตัวเก็บประจุ ขดลวดเหนี่ยวนำและชิ้นงาน

$$P = (P_C + P_L + P_R) = V_C I_C' \quad (5.4)$$

โดย P_C คือกำลังสูญเสียที่ตัวเก็บประจุ

P_L คือกำลังสูญเสียที่ขดลวดเหนี่ยวนำ

P_R คือกำลังสูญเสียที่ชิ้นงาน

V_C และ I_C' คือแรงดันและกระแสหาค่าโดยวิธี (รูปที่ 5.7) ซึ่งมีเฟสตรงกัน

(รูปที่ 5.5)

กำลังสูญเสียที่ตัวเก็บประจุ P_C

$$P_C = (V_C \omega C)^2 \times R_C \quad (5.5)$$

R_C คือความต้านทานสมมูลอนุกรมของตัวเก็บประจุขดลวดเหนี่ยวนำและชิ้นงาน

กำลังสูญเสียรวมของขดลวดเหนี่ยวนำและชิ้นงาน

$$P_L + P_R = (P_C + P_L + P_R) - P_C \quad (5.6)$$

ดังนั้น กำลังสูญเสียที่ชิ้นงาน : P_R

$$P_R = \eta(P_L + P_R) \quad (5.7)$$

โดย η คือ ประสิทธิภาพของขดลวดเหนี่ยวนำ

$$\text{ประสิทธิภาพรวมของระบบ} \quad \eta_T = P_R / P \quad (5.8)$$

เมื่อป้อนแรงดันเฟสเท่ากับ 33 V_{rms} วัดค่ากระแส และแรงดัน (รูปที่ 5.5) ได้ดังนี้

$$V_a = 33 \quad V_{rms}$$

$$I_0 = 2.2 \quad A_{rms}$$

$$V_0 = 60 \quad V_{rms}$$

$$V_p = 56.1 \quad V_{rms}$$

$$V_c = 1.63 \quad V_{rms}$$

โดยสามารถคำนวณกระแสด้านทุติยภูมิจากรูปที่ 5.5 ได้โดยคูณกระแสปฐมภูมิซึ่งเท่ากับ 5.8 แอมแปร์ ด้วยอัตรา turn ratio ของหม้อแปลงกำลัง คือ 12.12 เท่า จากสมการ (5.4) คำนวณกำลังสูญเสียรวมของตัวเก็บประจุ ขดลวดเหนี่ยวนำ และชิ้นงานได้คือ

$$P = 1.63 \times 5.8 \times 12.12$$

$$= 114 \quad \text{วัตต์}$$

สำหรับการคำนวณกำลังสูญเสียที่ตัวเก็บประจุ จะต้องคำนวณค่า RMS ของแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุด้วยเครื่อง digital storage oscilloscope ซึ่งได้คำนวณไว้แล้ว ค่าตัวเก็บประจุและค่าความต้านทานสมมูลอนุกรมของตัวเก็บประจุจากการวัดมีค่าเท่ากับ 658 ไมโครฟารัด และ 0.8 มิลลิโอห์ม ตามลำดับ เมื่อนำค่าทั้งสองแทนลงในสมการ (5.5) สามารถคำนวณกำลังสูญเสียได้คือ

$$P_c = 32.7 \quad \text{วัตต์}$$

จากนั้นสามารถหาค่ากำลังสูญเสียรวมของขดลวดเหนี่ยวนำและของชิ้นงานได้จากสมการที่ (5.6) และสามารถหาค่ากำลังสูญเสียที่ชิ้นงานได้ จากสมการ (5.7) โดยใช้ค่าประสิทธิภาพของขดลวดเหนี่ยวนำ ซึ่งมีค่าประมาณ 90 % [อมร ต้นวรรณรักษ์, 2536] ที่ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ ดังนั้น สามารถเขียนเป็นตารางแสดงค่ากำลังสูญเสียและประสิทธิภาพของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำนี้ได้ ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่ากำลังสูญเสียที่จุดต่างๆ และกำลังที่ชิ้นงาน

P ($P_C+P_L+P_R$) วัตต์	P_C วัตต์	P_L+P_R วัตต์	P_R วัตต์
119	32.7	86.3	77

ค่ากำลังสูญเสียในตารางที่ 5.1 เป็นการทดสอบที่กำลังต่ำ เนื่องจากมีปัญหาในการเลือกช่วงเวลาพักของสวิตช์ที่เหมาะสม จากการทดลองปรับเปลี่ยนค่าหาช่วงเวลาพักต่าง ๆ พบว่าค่ายอดแหลมของกระแสมีการเปลี่ยนแปลงตามค่านี้อย่างมาก และยังไม่สามารถลดค่ายอดแหลมให้ต่ำลงมาก ๆ ได้ จึงทำให้ไม่สามารถทดลองที่กำลังสูงได้