

บทที่ 3

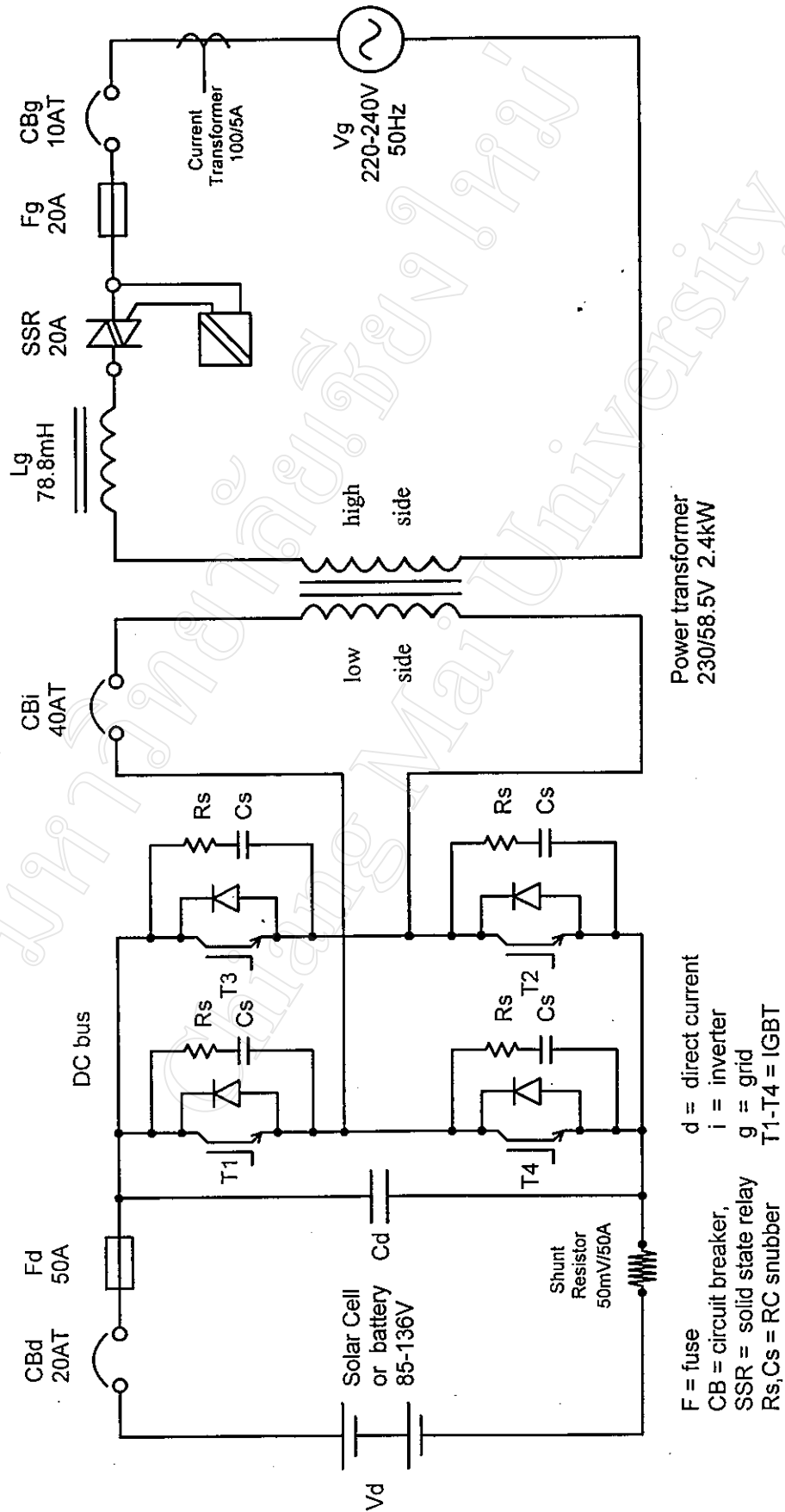
การออกแบบและสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์และวงจรต่อกับกริดระบบไฟฟ้า

3.1 บทนำ

จากคุณลักษณะของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า จะต้องมียังวงจรอินเวอร์เตอร์และวงจรต่อกับกริดระบบไฟฟ้า เพื่อแปลงแรงดันกระแสตรงเป็นกระแสสลับและต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ซึ่งเป็นวงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า กล่าวคือภาคอินพุตของวงจรอินเวอร์เตอร์เป็นแรงดันกระแสตรง มีสวิตช์กำลังโดยใช้ไอจีบีที ภาคเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์จ่ายแรงดันกระแสสลับโดยผ่านหม้อแปลงกำลังและมีตัวเหนี่ยวนำเป็นตัวเชื่อมต่อกับกริดระบบไฟฟ้า การต่อกับกริดระบบไฟฟ้าทำให้พบปัญหาในการออกแบบสร้างหลายประการ ในบทนี้จะนำเสนอแนวทางการพัฒนาออกแบบสร้างและปัญหาอุปสรรคที่พบด้วย

3.2 ส่วนประกอบวงจรอินเวอร์เตอร์และวงจรต่อกับกริดระบบไฟฟ้า

วงจรอินเวอร์เตอร์ ประกอบด้วยแรงดันกระแสตรง V_d จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือแบตเตอรี่ และตัวเก็บประจุ C_d ตัวแปลงผันแรงดันกระแสตรงเป็นกระแสสลับใช้ไอจีบีทีเป็นสวิตช์กำลังต่อแบบบริดจ์เฟสเดียว ทางด้านเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์ต่อกับวงจรต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย หม้อแปลงกำลังทำหน้าที่แปลงแรงดันอินเวอร์เตอร์ให้สูงขึ้น เชื่อมต่อกับกริดระบบไฟฟ้าโดยมีตัวเหนี่ยวนำ L_g เป็นตัวจำกัดกระแสกริดระบบไฟฟ้าสวิตช์ตัดต่อใช้ โซลิดสเตตรีเลย์ (Solid state relay : SSR) ที่ขับกริดระบบไฟฟ้าเพิ่มวงจรลดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI filter) อุปกรณ์ป้องกันวงจรลัดด้านอินพุตและเอาต์พุต ใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ (CB_d , CB_g , CB_i) และฟิวส์ (F_d , F_g) ส่วนประกอบของวงจรอินเวอร์เตอร์และวงจรต่อกับกริดระบบไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วงจรอินเวอร์เตอร์และวงจรต่อกับกริดระบบไฟฟ้า

3.3 ขนาดพิกัดวงจรอินเวอร์เตอร์

พิกัดแรงดันกระแสตรงของวงจรอินเวอร์เตอร์ กำหนดค่าไม่ต่ำกว่าค่ายอดคลื่นของด้านแรงดันต่ำของหม้อแปลงกำลัง กำลังแอกทีฟที่โหลดที่ 1,000 วัตต์ ประสิทธิภาพประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ และตัวประกอบกำลัง 0.95 วงจรอินเวอร์เตอร์มีพิกัดต่าง ๆ โดยประมาณดังนี้

แรงดันอินพุต	85-136 โวลต์ (เฉลี่ย)
กระแสอินพุต	14.8 แอมแปร์ (เฉลี่ย)
กำลังปรากฏ	1,315.7 วีเอ
แรงดันอินเวอร์เตอร์	58.0 โวลต์ (ด้านแรงดันต่ำของหม้อแปลงกำลัง)
กระแสอินเวอร์เตอร์	22.7 แอมแปร์ (ด้านแรงดันต่ำของหม้อแปลงกำลัง)

3.4 ขนาดพิกัดแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง

เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาสูง ไม่สามารถจัดหาได้ จึงใช้แบตเตอรี่ เป็นแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงแทนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

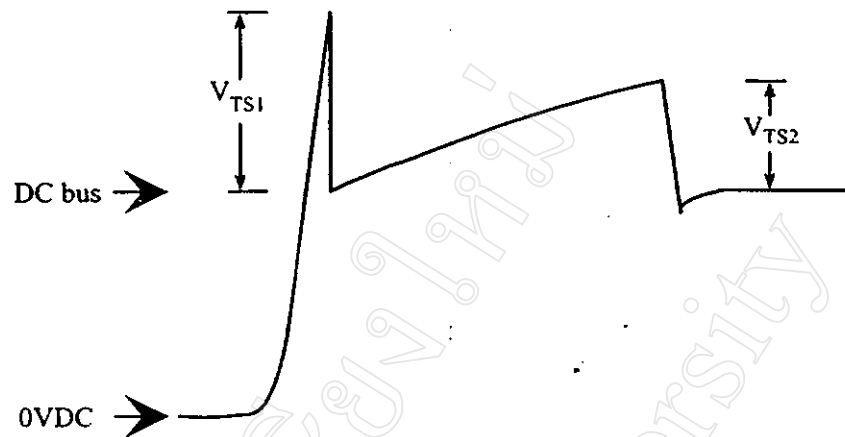
พิกัดพลังงาน	$2 \times 45 = 90$ แอมแปร์-ชั่วโมง
พิกัดแรงดัน	$8 \times 12 = 96$ โวลต์

3.5 ขนาดพิกัดไอจีบีที

ไอจีบีทีในอินเวอร์เตอร์ใช้จำนวน 4 ตัว ต่อแบบบริดจ์เฟสเดียว เลือกพิกัดแรงดันไอจีบีที ไม่ต่ำกว่าสองเท่าของแรงดันอินพุตของอินเวอร์เตอร์ คือ $2 \times 136 = 272$ โวลต์ และพิกัดกระแส ไม่ต่ำกว่าสองเท่าของกระแสอินเวอร์เตอร์ $2 \times 22.7 = 45.4$ แอมแปร์ จึงเลือกไอจีบีทีเบอร์ 2MBI50-60L ของบริษัท Fuji Electric มีพิกัดแรงดัน 600 โวลต์ และพิกัดกระแส 50 แอมแปร์ รายละเอียดคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่สำคัญอื่น ๆ แสดงในภาคผนวก ก

3.5.1 ตัวเก็บประจุ C_d ที่บัสกระแสตรง [15]

ในทางปฏิบัติไอจีบีที จะได้รับแรงดันชั่วครู่ที่มีค่าสูงมาก ซึ่งเกิดจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อเวลา (di/dt) และค่าความเหนี่ยวนำที่บัสกระแสตรง (DC bus) ในขณะที่ไอจีบีที turn-off ถ้าไม่สามารถควบคุมแรงดันชั่วครู่ให้ต่ำกว่าพิกัดแรงดันปิดกั้นของไอจีบีที ก็จะทำให้ ไอจีบีที เสียหายได้ รูปที่ 3.2 แสดงแรงดันชั่วครู่ที่เกิดขึ้นขณะสวิตช์



รูปที่ 3.2 รูปคลื่นแรงดันชั่วครู่ที่ตกกระทบบนไอจีบีที

$$V_{TS1} = L_d \times di/dt \quad (3.1)$$

$$V_{TS1} = \text{แรงดันชั่วครู่ (Transient voltage) ครั้งที่ 1}$$

$$L_d = \text{ความเหนี่ยวนำที่parasitic แสดงตรง (Parasitic DC bus inductance)}$$

$$di/dt = \text{อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อเวลา}$$

วิธีการลด di/dt ของไอจีบีที โดยการลดค่าความเหนี่ยวนำจาก parasitic แสดงตรง ซึ่งประกอบด้วย แบตเตอรี่หรือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สายไฟฟ้า ตัวนำแห่งทองแดง พิวส์ ซึ่งมีค่าความเหนี่ยวนำภายในรวมกันเป็น L_d การลดค่า L_d ทำได้โดยต่อตัวเก็บประจุ C_d ที่ parasitic แสดงตรง โดยตัวเก็บประจุที่ใช้ต้องเป็นแบบที่มีค่าความเหนี่ยวนำภายในต่ำที่สุด

การคำนวณหาค่า L_d ไม่สามารถวัดค่าได้ แต่สามารถประมาณค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นได้ โดยกำหนดค่าแรงดันชั่วครู่สูงสุดต่ำกว่าพิคแรงดันปิดกั้นไอจีบีที 3 เท่า ส่วนค่า di/dt ใช้ข้อมูลเวลาหยุดนำกระแสของไอจีบีทีและค่ายอดคลื่นกระแสใช้งาน ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำ parasitic แสดงตรงของอินเวอร์เตอร์นี้จะต้องต่ำกว่า 1.714 ไมโครเฮนรี่ ซึ่งได้จากการคำนวณสมการที่ 3.1 ดังนี้

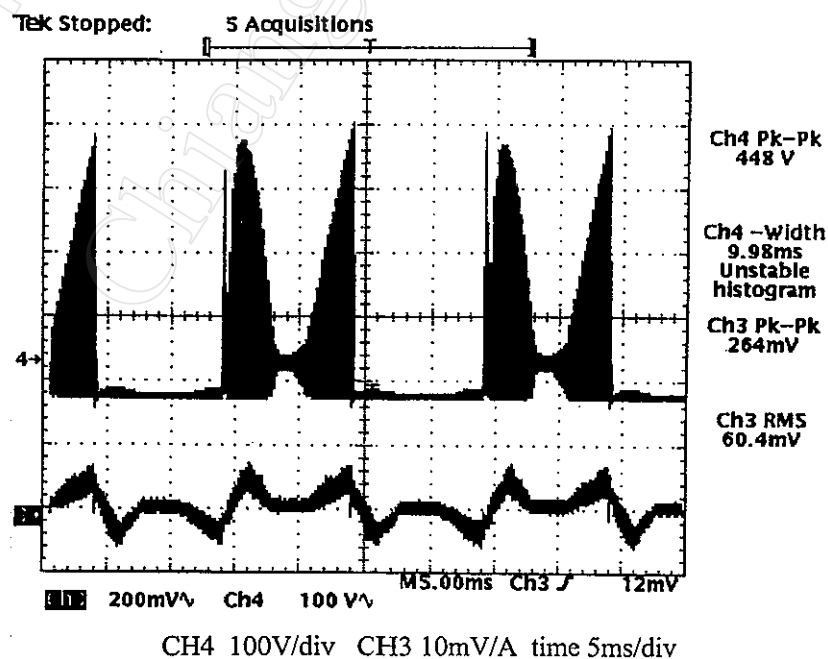
$$100V = L_d \times (35A / 0.6\mu s)$$

$$L_d = 1.714 \mu H$$

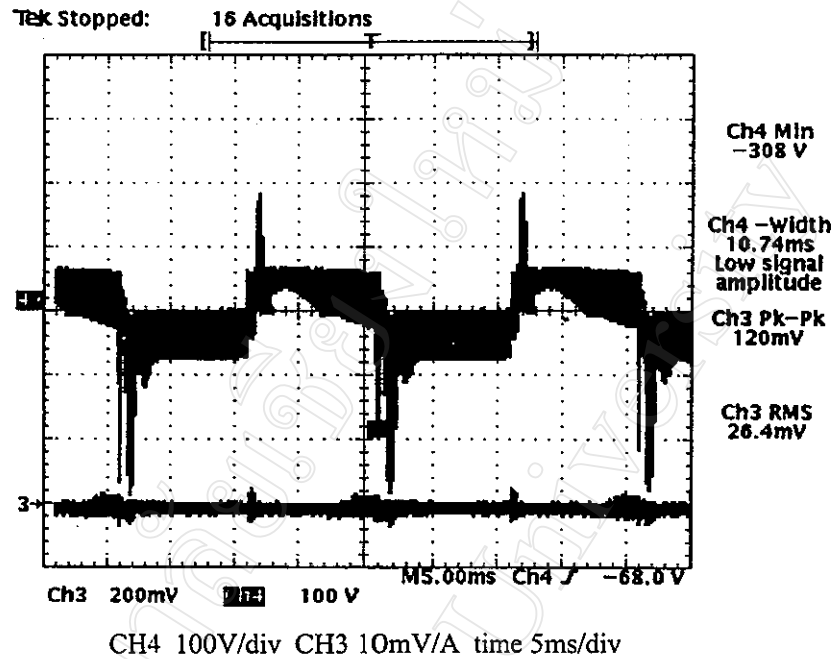
การเลือกค่าตัวเก็บประจุ C_d จึงใช้วิธีการปฏิบัติด้วย กล่าวคือได้ทดสอบโดยลดแรงดันกระแสตรงให้ต่ำลงและลดกระแสไหลผ่านไอจีบีที เมื่อไอจีบีทีทำการสวิตช์แล้วจึงวัดรูปคลื่นแรงดันชั่วครู่ที่ตกกระทบบนไอจีบีทีต่อตัวเก็บประจุเพิ่มเข้าไปที่ parasitic แสดงตรงจนแรงดันชั่วครู่ลดลงเป็น

ลำดับจนหมดไป จากนั้นจึงค่อย ๆ เพิ่มแรงดันกระแสตรงจนถึงพิกัดแรงดันที่กำหนด และเพิ่มกระแสไหลผ่านไอจีบีทีจนถึงพิกัด ในขณะเดียวกันก็เพิ่มค่าตัวเก็บประจุจนแรงดันชั่วคราวหมดไป จากการทดสอบภาคปฏิบัติได้ค่าตัวเก็บประจุ C_d ขนาด 200 ไมโครฟารัด จำนวน 4 ตัว โดยใช้แบบ Polypropylene พิกัดแรงดัน 400 โวลต์ ซึ่งพบว่าเมื่อกระแสสูงขึ้นจะเกิดแรงดันชั่วคราวเกินมาเป็นครั้งคราวเท่านั้น แต่มีค่าสูงประมาณสองเท่าของแรงดันกระแสตรงและไม่เกินพิกัดแรงดันพิกัดกันของไอจีบีที การใช้ตัวเก็บประจุแบบอื่น ๆ ช่วยลดแรงดันชั่วคราวได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

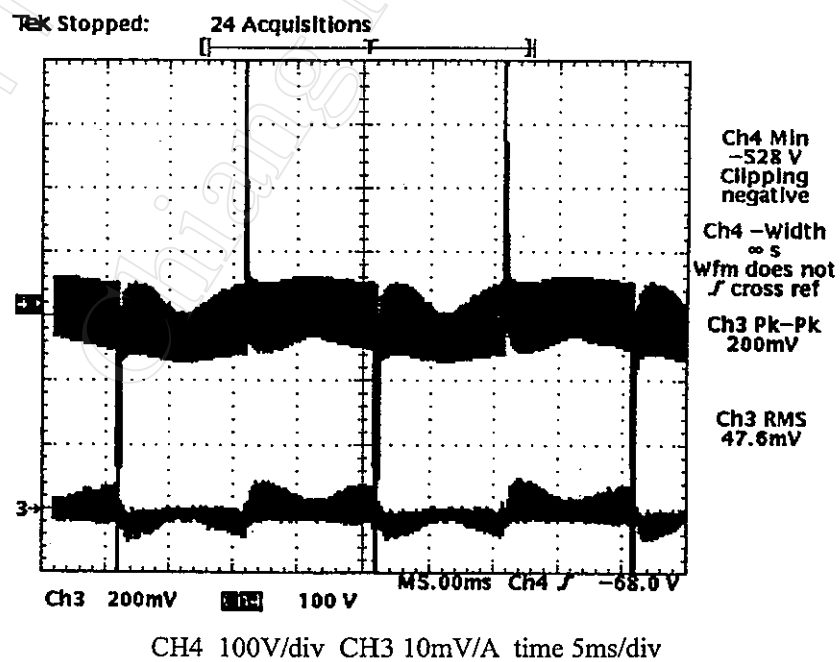
การทดสอบวงจรอินเวอร์เตอร์ด้วยแรงดันต่ำกว่าพิกัดจริงสองเท่าเพื่อวัดแรงดันตกคร่อมไอจีบีทีและแรงดันอินเวอร์เตอร์ ปรากฏว่าเมื่อไอจีบีที turn off เกิดแรงดันชั่วคราวตกคร่อมไอจีบีทีสูงมาก และช่วงที่แรงดันกิริระบบไฟฟ้าผ่านจุดตัดศูนย์แรงดันชั่วคราวยิ่งสูงมากขึ้นอีก ดังแสดงในรูปที่ 3.3 - 3.5 เป็นผลการทดสอบที่แรงดันกระแสตรง 48 โวลต์โดยใช้ตัวเก็บประจุแบบ Electrolytic ขนาด 6×3300 ไมโครฟารัดต่อที่บัสกระแสตรง รูปที่ 3.3 แสดงแรงดันชั่วคราวตกคร่อมไอจีบีที สูงกว่าแรงดันกระแสตรง 9.3 เท่า (อินเวอร์เตอร์ต่อกับกิริระบบไฟฟ้าแล้ว) รูปที่ 3.4 แสดงแรงดันชั่วคราวที่เกิดขึ้นที่ชั่วแรงดันอินเวอร์เตอร์มีค่าสูงกว่าแรงดันกระแสตรง 6.4 เท่า (เมื่อยังไม่ต่อกับกิริระบบไฟฟ้า) รูปที่ 3.5 แสดงแรงดันชั่วคราวที่เกิดขึ้นที่ชั่วแรงดันอินเวอร์เตอร์เมื่อต่อกับกิริระบบไฟฟ้าแล้วมีค่าสูงกว่าแรงดันกระแสตรง 11 เท่า จากค่าแรงดันชั่วคราวที่สูงมากนี้เมื่อใช้งานอินเวอร์เตอร์กับแรงดันกระแสตรงสูงกว่า 48 โวลต์ จึงทำให้แรงดันชั่วคราวสูงเกินพิกัดแรงดันของไอจีบีทีเป็นสาเหตุที่ทำให้ไอจีบีทีเสียหาย



รูปที่ 3.3 แรงดันตกคร่อมไอจีบีที (CH 4) กระแสอินเวอร์เตอร์ (CH 3)

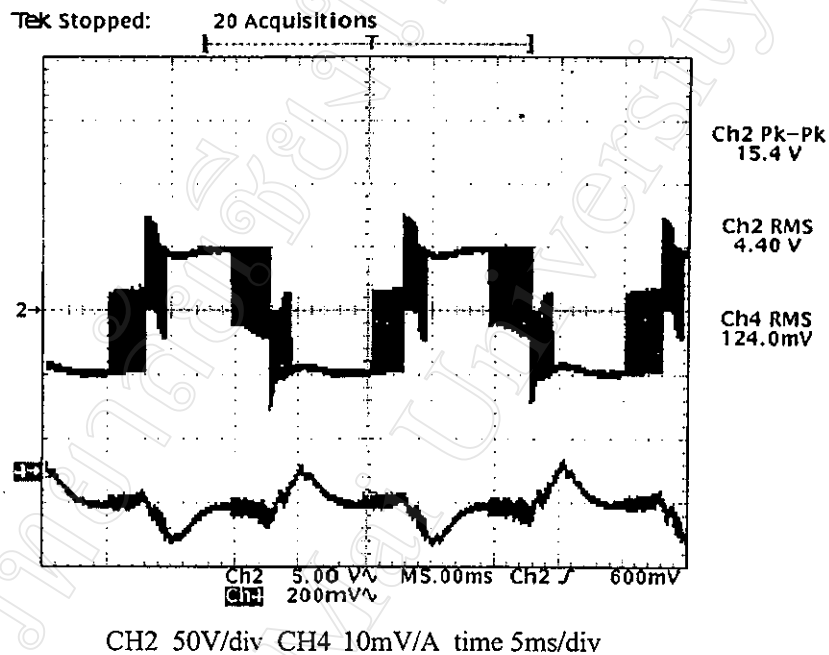


รูปที่ 3.4 แรงดันอินเวอร์เตอร์ (CH 4) กระแสอินเวอร์เตอร์ (CH 3) (ไม่ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า)



รูปที่ 3.5 แรงดันอินเวอร์เตอร์ (CH 4) กระแสอินเวอร์เตอร์ (CH3) (ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า)

ผลจากการทดสอบโดยเพิ่มตัวเก็บประจุแบบ Polypropylene เข้าไปที่บัลลักระแสตรงจากเดิมที่มีเฉพาะตัวเก็บประจุแบบ Electrolytic ขนาด 6×3300 ทำให้ช่วยลดแรงดันชั่วครู่ที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เพิ่มแรงดันกระแสตรงจาก 48 โวลต์เป็น 85 โวลต์ แล้วต่ออินเวอร์เตอร์กับกริดระบบไฟฟ้า ที่ชั่วแรงดันอินเวอร์เตอร์เกิดแรงดันชั่วครู่เพียง 50 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันกระแสตรง



รูปที่ 3.6 แรงดันอินเวอร์เตอร์ (CH 2) กระแสอินเวอร์เตอร์ (CH 4) (เมื่อต่อ C_d แล้ว)

3.5.2 วงจรสแน็บเบอร์สำหรับไอจีบีที [14]

การประยุกต์ใช้งานอิเล็กทรอนิกส์กำลังต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ทำให้เกิดผลกระทบที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ เนื่องจากไอจีบีทีที่มีความถี่สวิตช์สูงถึง 15.625 กิโลเฮิร์ตซ์ ผลการทดสอบใช้งานไอจีบีทีพบว่าเกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference : EMI) ไปยังความถี่พื้นฐานของกริดระบบไฟฟ้า ซึ่งทำให้ระบบควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับสัญญาณรบกวนเป็นผลให้การทำงานผิดพลาด การลดสัญญาณรบกวนนี้ต้องวงจรสแน็บเบอร์ให้กับไอจีบีทีแสดงในรูปที่ 3.7 วงจรสแน็บเบอร์จะลด dv/dt ของรูปคลื่นแรงดันที่สวิตช์ด้วยไอจีบีทีและรับการถ่ายเทพลังงานที่สะสมที่บัลลักระแสตรงจากแรงดันชั่วครู่ครั้งที่ 1 ผ่านวงจรสแน็บเบอร์เป็นแรงดันชั่วครู่ครั้งที่ 2 ซึ่งได้แสดงในรูปที่ 3.2 จากกฎการถ่ายเทพลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำถ่ายเทพลังงานไปยังตัวเก็บประจุสแน็บเบอร์ แสดงเป็นสมการที่ 3.2

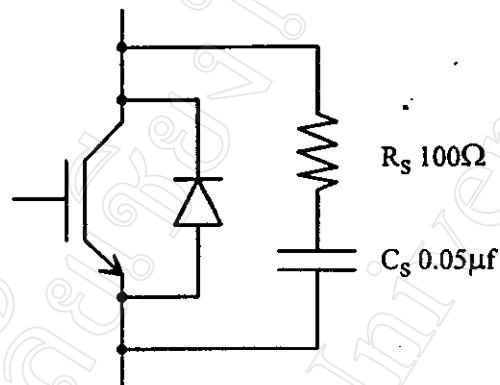
$$\frac{1}{2} L_d i^2 = \frac{1}{2} C_s V_{TS2}^2 \quad (3.2)$$

$$C_S = 1.714 \times 10^{-6} \times 35^2 / 100^2$$

$$= 0.209 \mu\text{f}$$

$$C_S = \text{ค่าตัวเก็บประจุสแน็บเบอร์}$$

$$R_S = \text{ค่าตัวต้านทานสแน็บเบอร์}$$



รูปที่ 3.7 วงจรสแน็บเบอร์ต่อกับไอจีบีที

จากการคำนวณหาค่า C_S ด้วยสมการที่ 3.2 ยังไม่สามารถแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนการทดสอบภาคปฏิบัติได้เปลี่ยนแปลงค่า C_S และ R_S หลาย ๆ ค่าจนไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่ได้รับสัญญาณรบกวน ได้ขนาดค่าเก็บประจุเท่ากับ 0.05 ไมโครฟารัด 600 โวลต์ ขนาดตัวต้านทาน 100 โอห์ม 10 วัตต์

3.6 ขนาดพิกัดหม้อแปลงกำลัง

กำลังเอาต์พุตที่ได้กำหนดไว้คือ 1,000 วัตต์ ประมาณขนาดกำลังของหม้อแปลงกำลังสำหรับการทดสอบไว้ที่ 1,200 วีเอ แต่เนื่องจากการทดสอบพบว่ากระแสและกำลังไฟฟ้ามีโอกาสเกินพิกัดอยู่เสมอ จึงใช้ขนาดหม้อแปลงกำลัง 2,400 วีเอ ประกอบการทดลองด้วย ขนาดพิกัดหม้อแปลงกำลังสำหรับการวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ มีดังต่อไปนี้

หม้อแปลงกำลังตัวที่ 1

พิกัดกำลังไฟฟ้า	1,200 วีเอ
พิกัดด้านแรงดันสูง (V_1)	230.0 โวลต์ 5.1 แอมแปร์
พิกัดด้านแรงดันต่ำ (V_2)	58.5 โวลต์ 20.0 แอมแปร์
กำลังสูญเสียที่แกนเหล็ก	18.8 วัตต์ (P_{core}) ที่แรงดัน V_1 230 โวลต์
กำลังสูญเสียในขดลวด	34.0 วัตต์ (P_{cu}) ที่กระแส I_1 5.1 แอมแปร์

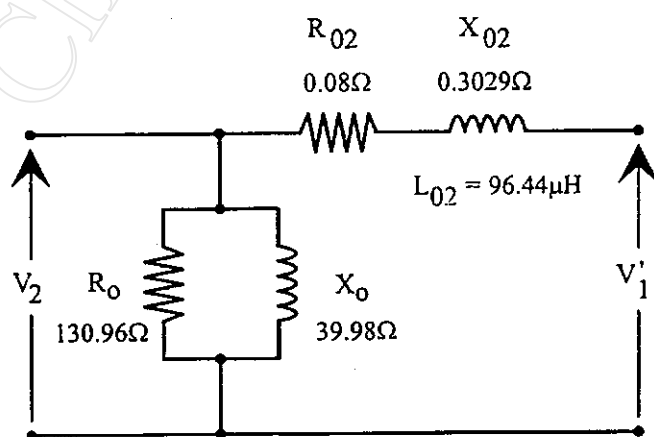
หม้อแปลงกำลังตัวที่ 2

พิกัดกำลังไฟฟ้า	2,400 วีเอ
พิกัดด้านแรงดันสูง (V_1, I_1)	230 โวลต์ 10.4 แอมแปร์
พิกัดด้านแรงดันต่ำ (V_2, I_2)	58.5 โวลต์ 41.0 แอมแปร์
กำลังสูญเสียที่แกนเหล็ก	32.0 วัตต์ (P_{core}) ที่แรงดัน V_1 230 โวลต์
กำลังสูญเสียในขดลวด	44.0 วัตต์ (P_{cu}) ที่กระแส I_1 6.61 แอมแปร์

หม้อแปลงกำลังที่ได้ออกแบบขึ้นนี้จัดทำโดยบริษัท ไทยพาราอุตสาหกรรม จำกัด ซึ่งกำลังสูญเสียของหม้อแปลงทั้งสองนี้ที่กำลังไฟฟ้า 1,000 วัตต์มีค่าแตกต่างกันประมาณ 5.3 วัตต์ จึงเลือกใช้หม้อแปลงกำลังขนาด 2,400 วีเอ สำหรับทดสอบต่อไป ผลการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงกำลังขนาด 2,400 วีเอ ด้วยวิธี open circuit test และวิธี short circuit test แสดงเป็นวงจรสมมูลด้านแรงดันต่ำในรูปที่ 3.8 และมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

พารามิเตอร์หม้อแปลงกำลังขนาด 2,400 วีเอ ด้านแรงดันต่ำ

$$\begin{aligned}
 R_O &= 130.96 \text{ โอห์ม} \\
 X_O &= 39.98 \text{ โอห์ม} \\
 R_{02} &= 80.0 \text{ มิลลิโอห์ม} \\
 X_{02} &= 302.9 \text{ มิลลิโอห์ม} \\
 L_{02} &= 96.44 \text{ ไมโครเฮนรี่}
 \end{aligned}$$



รูปที่ 3.8 วงจรสมมูลของหม้อแปลงกำลังขนาด 2,400 วีเอ ด้านแรงดันต่ำ

3.7 ขนาดตัวเหนี่ยวนำ L_g

ตัวเหนี่ยวนำ L_g มีผลต่อมูมกำลังและความผิดเพี้ยนของกระแสกริระบบไฟฟ้า ตัวเหนี่ยวนำ L_g ที่เหมาะสมจะทำให้ได้มูมกำลังที่เหมาะสมและรูปคลื่นกระแสกริระบบไฟฟ้า ใกล้เคียงไซน์มากที่สุดที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งจะทำให้ตัวประกอบกำลังมีใกล้เคียงหนึ่งด้วย

จากสมการที่ 2.12 และ 2.13 คำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำ มูมกำลัง กำลังไฟฟ้า และ ตัวประกอบกำลัง แสดงผลที่คำนวณได้ในตารางที่ 3.1 โดยมีข้อกำหนดการคำนวณดังนี้

แรงดันกริระบบไฟฟ้า (V_g)	230 โวลต์
แรงดันอินเวอร์เตอร์ (V_{inv})	230 โวลต์
ความถี่ (f)	50 เฮิร์ตซ์
กำลังเอาต์พุต (P_g)	1,000 วัตต์
ตัวประกอบกำลัง (PF)	> 0.95

$$L_{gLS} = L_g / a^2 \quad (3.3)$$

a = อัตราส่วนมื่อแปลงกำลัง (V_1/V_2)

L_g = ค่าตัวเหนี่ยวนำติดตั้งด้านแรงดันสูง

L_{gLS} = ค่าตัวเหนี่ยวนำติดตั้งด้านแรงดันต่ำ

ตารางที่ 3.1 ผลการคำนวณตัวเหนี่ยวนำ L_g ($P_g=1,000W$, $V_g=230V$, $V_{inv}=230V$)

	$\delta=3.41^\circ$	$\delta=12.0^\circ$	$\delta=15.5^\circ$	$\delta=19.07^\circ$	$\delta=28.36^\circ$
L_g (mH)	10.00	35.00	45.00	55.00	80.00
L_{gLS} (mH)	0.647	2.267	2.915	3.369	5.183
Q_g (Var)	29.80	105.10	136.10	168.92	252.8
P_g (W)	1,001.6	1,000.0	1,000.0	1,000.0	1,000.0
S_g (VA)	1,002.0	1,005.8	1,009.2	1,014.3	1031.6
PF	1.0	0.995	0.991	0.986	0.970

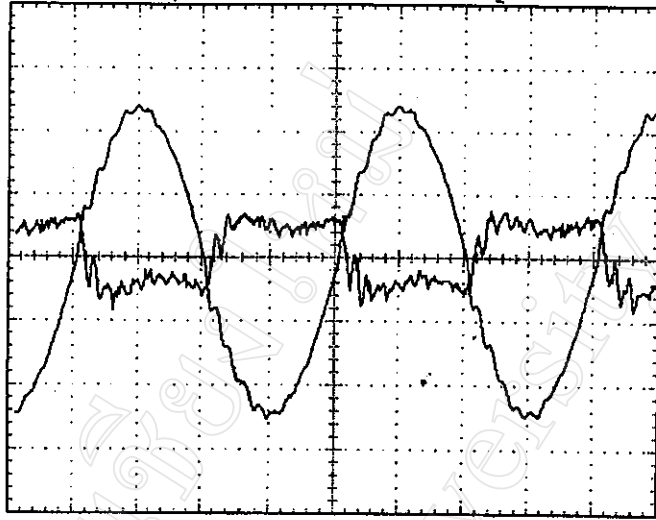
จากผลการคำนวณในตารางที่ 3.1 พบว่าค่าตัวเหนี่ยวนำ L_g ทุกค่านี้มีค่าตัวประกอบกำลังสูงกว่า 0.95 ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนด ส่วนมูมกำลังที่ได้นั้นอยู่ระหว่าง 3-28 องศา จึงได้สร้างตัวเหนี่ยวนำขึ้นมาเพื่อนำไปทดสอบภาคปฏิบัติ

การทดสอบตัวเหนี่ยวนำ ครั้งแรกติดตั้งตัวเหนี่ยวนำไว้ทางด้านแรงดันต่ำหม้อแปลงกำลัง โดยใช้ค่าตัวเหนี่ยวนำเป็น L_{gLS} ผลการทดสอบตัวเหนี่ยวนำพบว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ไม่เป็นไปตามสมการที่ 2.14 เนื่องจากแรงดันอินเวอร์เตอร์และกระแสกริกระบบไฟฟ้าไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ มีความผิดเพี้ยนสูง ในรูปที่ 3.9 ตัวเหนี่ยวนำ L_{gLS} 2.2 มิลลิเฮนรี และรูปที่ 3.10 ตัวเหนี่ยวนำ L_{gLS} 5.0 มิลลิเฮนรี ติดตั้งด้านแรงดันต่ำ แสดงแรงดันและกระแสกริกระบบไฟฟ้า กำลังเอาต์พุตประมาณ 500 วัตต์ พบว่ากระแสไม่เป็นรูปคลื่นไซน์และสังเกตได้ว่าแรงดันกริกระบบไฟฟ้ามีความผิดเพี้ยนเกิดขึ้น และจะผิดเพี้ยนสูงมากขึ้นเมื่อมุมกำลังและกระแสกริกระบบไฟฟ้าสูงขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้วงจรตรวจวัดจุดตัดศูนย์ของแรงดันกริกระบบไฟฟ้าผิดพลาด ทำให้การซิงโครไนซ์ผิดพลาดเป็นสาเหตุทำให้โอจีบีทีเสียหาย ดังนั้นการติดตั้งตัวเหนี่ยวนำทางด้านแรงดันต่ำจึงมีปัญหาในทางปฏิบัติ

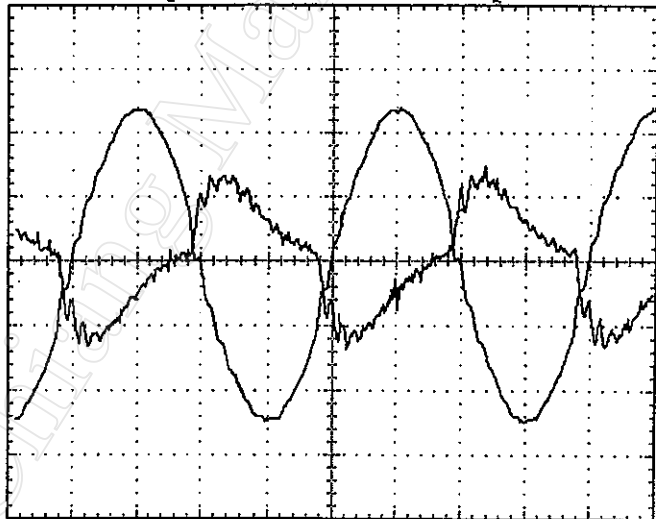
การทดสอบตัวเหนี่ยวนำ L_g ติดตั้งด้านแรงดันสูงของหม้อแปลงกำลัง ผลการทดสอบที่ กำลังเอาต์พุตประมาณ 1,000 วัตต์ แสดงในรูปที่ 3.11 ถึง 3.14 ใช้ตัวเหนี่ยวนำ L_g แกน EI ติดตั้งทางด้านแรงดันสูงของหม้อแปลงกำลัง มีค่าตัวเหนี่ยวนำ 11.0 34.6 51.2 และ 78.8 มิลลิเฮนรีตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ารูปคลื่นแรงดันกริกระบบไฟฟ้าไม่มีความผิดเพี้ยน ส่วนรูปคลื่นกระแสกริกระบบไฟฟ้าค่าตัวเหนี่ยวนำที่สูงขึ้นทำให้รูปคลื่นกระแสมีความผิดเพี้ยนลดลงและความพลัวของกระแสลดลงเมื่อเทียบกับตัวเหนี่ยวนำที่ติดตั้งด้านแรงดันต่ำ ส่วนรูปคลื่นแรงดันด้านสูงของหม้อแปลงมีลักษณะเป็นแรงดันที่เกิดจากการสวิตช์

การวิเคราะห์อินเวอร์เตอร์ต่อกับกริกระบบไฟฟ้าด้วยโปรแกรม Pspice แสดงรายละเอียดในภาคผนวก เลือกตัวเหนี่ยวนำ L_g ไว้ 4 ค่าคือ 11.0 34.6 51.2 และ 78.8 มิลลิเฮนรี สรุปได้ว่าตัวเหนี่ยวนำ L_g ขนาด 78.8 มิลลิเฮนรี มีความเหมาะสมกว่าตัวเหนี่ยวนำขนาดอื่น ๆ เนื่องจากมีค่าตัวประกอบกำลังสูงใกล้เคียงหนึ่งและมีช่วงควบคุมกำลังเอาต์พุตด้วยมุมกำลังกว้าง

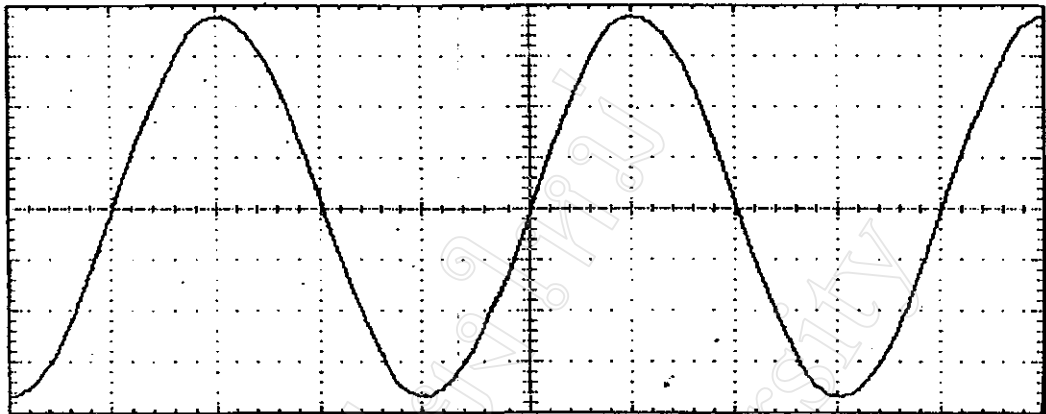
จากการทดสอบตัวเหนี่ยวนำต่าง ๆ ทางภาคปฏิบัติ และการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Pspice จึงเลือกใช้ตัวเหนี่ยวนำ L_g ขนาด 78.8 มิลลิเฮนรี โดยติดตั้งทางด้านแรงดันสูง เนื่องจากมีค่าตัวประกอบกำลังสูงที่สุด และมุมกำลังมีช่วงเพียงพอสำหรับการควบคุมกำลังเอาต์พุตตัวเหนี่ยวนำ L_g สั่งทำที่บริษัท ไทยพาราอูตสาหกรรม จำกัด พิกัดกระแส 10 แอมแปร์ แกน EI



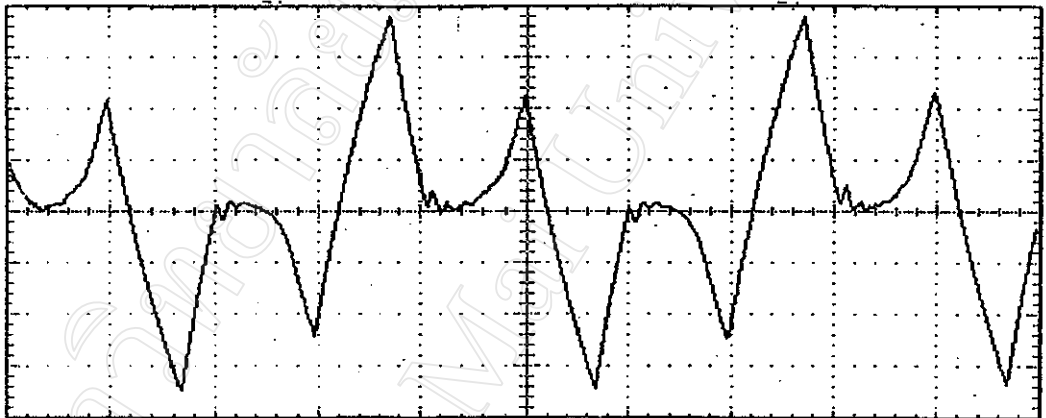
รูปที่ 3.9 รูปคลื่นแรงดันและกระแสในระบบไฟฟ้า
ตัวเหนี่ยวนำ L_{gLS} 2.2 มิลลิเฮนรี่ แกนอากาศ ติดตั้งด้านแรงดันต่ำ



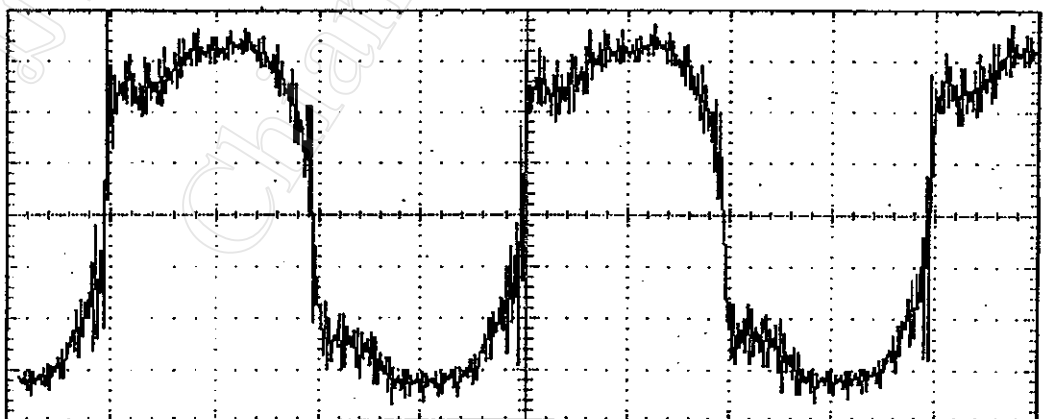
รูปที่ 3.10 รูปคลื่นแรงดันและกระแสในระบบไฟฟ้า
ตัวเหนี่ยวนำ L_{gLS} 5.0 มิลลิเฮนรี่ 0.1 โอห์ม แกนอากาศ ติดตั้งด้านแรงดันต่ำ



ก) แรงดันกริดระบบไฟฟ้า (100 โวลต์ต่อช่อง)



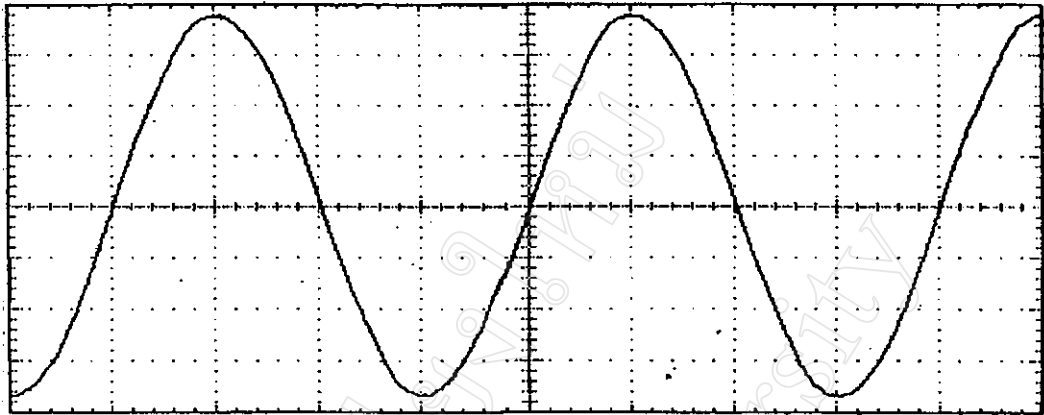
ข) กระแสกริดระบบไฟฟ้า (2.5 แอมแปร์ต่อช่อง)



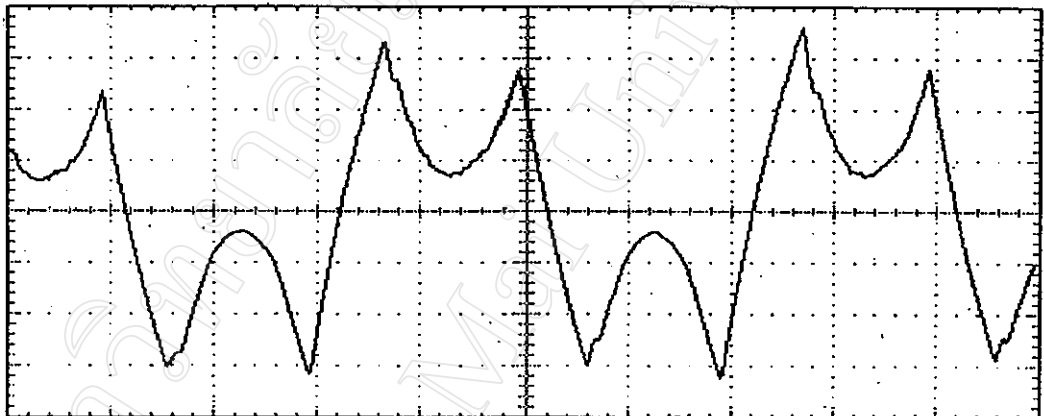
ค) แรงดันอินเวอร์เตอร์ ด้านแรงดันสูงของหม้อแปลง (100 โวลต์ต่อช่อง)

รูปที่ 3.11 ตัวเหนี่ยวนำ L_g 11.0 มิลลิเฮนรี่ 0.01 โอห์ม แกน EI ติดตั้งด้านแรงดันสูง

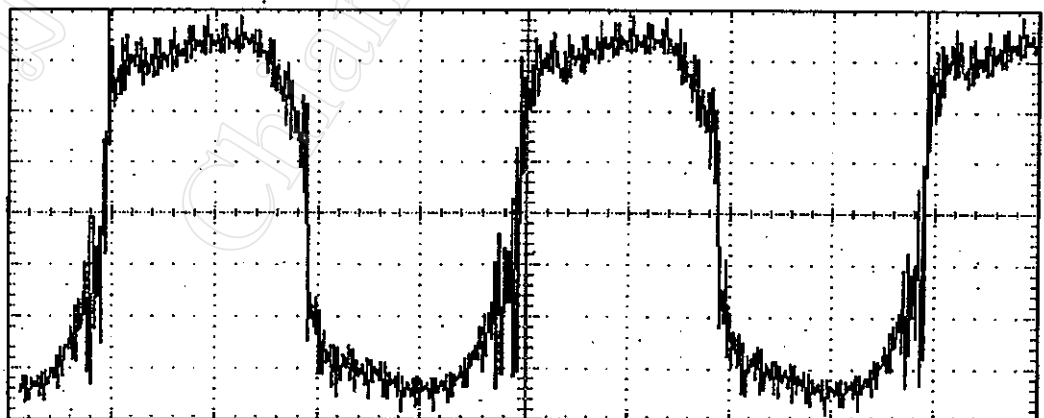
$V_d=90.0V$ $I_d=13.6A$ $V_g=236V$ $I_g=6.23A$ $P_g=1,000W$ $PF=0.678$ $\eta=73.0\%$



ก) แรงดันกริดระบบไฟฟ้า (100 โวลต์ต่อช่อง)

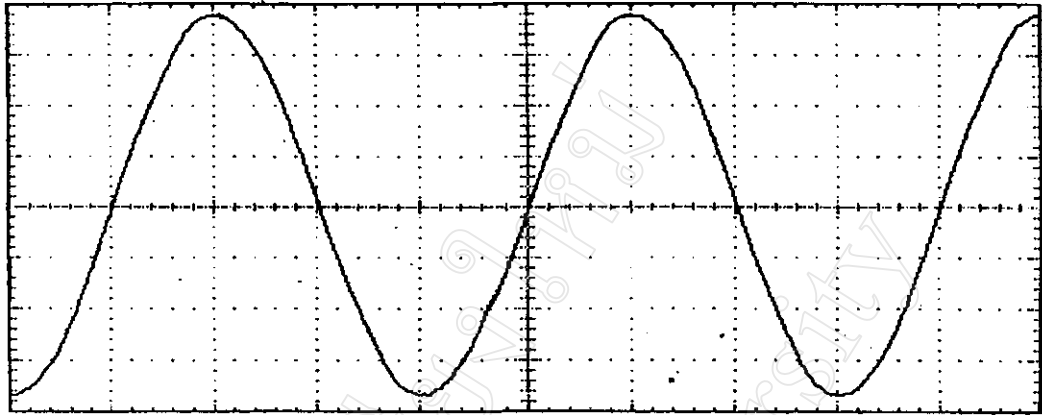


ข) กระแสกริดระบบไฟฟ้า (2.5 แอมแปร์ต่อช่อง)

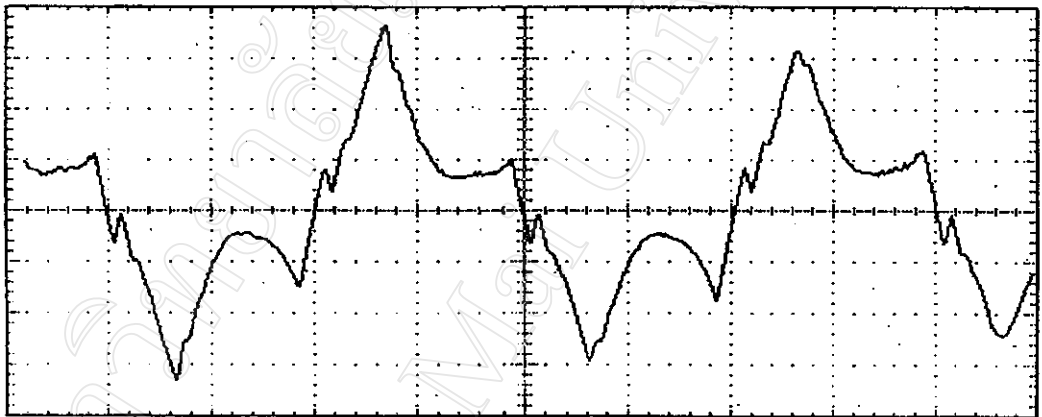


ค) แรงดันอินเวอร์เตอร์ ด้านแรงดันสูงของหม้อแปลง (100 โวลต์ต่อช่อง)

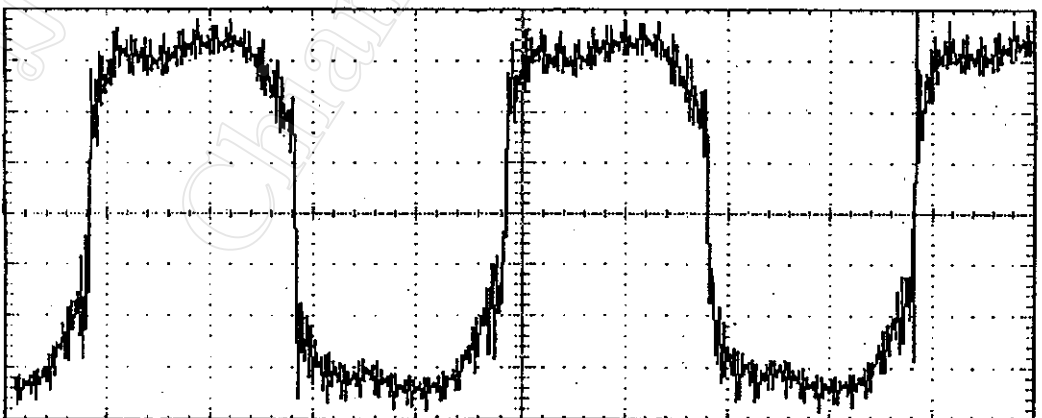
รูปที่ 3.12 ตัวเหนี่ยวนำ L_g 34.6 มิลลิเฮนรี 0.02 โอห์ม แกน EI ติดตั้งด้านแรงดันสูง
 $V_d=96.4V$ $I_d=16.18A$ $V_g=236V$ $I_g=5.84A$ $P_g=1,060W$ $PF=0.766$ $\eta=68.0\%$



ก) แรงดันกริดระบบไฟฟ้า (100 โวลต์ต่อช่อง)



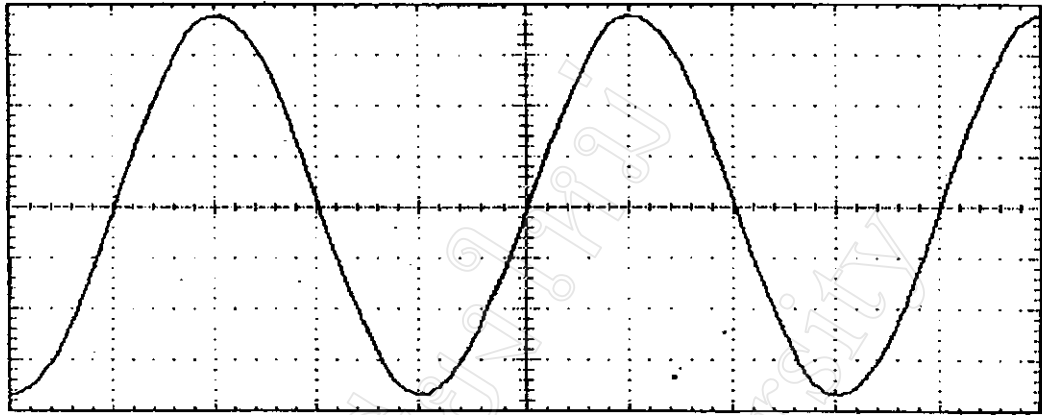
ข) กระแสกริดระบบไฟฟ้า (2.5 แอมแปร์ต่อช่อง)



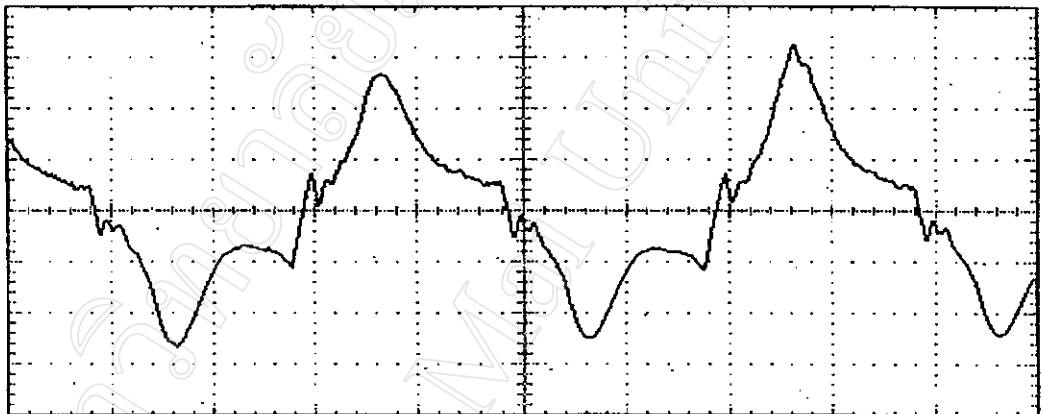
ค) แรงดันอินเวอร์เตอร์ ด้านแรงดันสูงของหม้อแปลง (100 โวลต์ต่อช่อง)

รูปที่ 3.13 ตัวเหนี่ยวนำ L_g 51.2 มิลลิเฮนรี 0.03 โอห์ม แกน EI ติดตั้งด้านแรงดันสูง

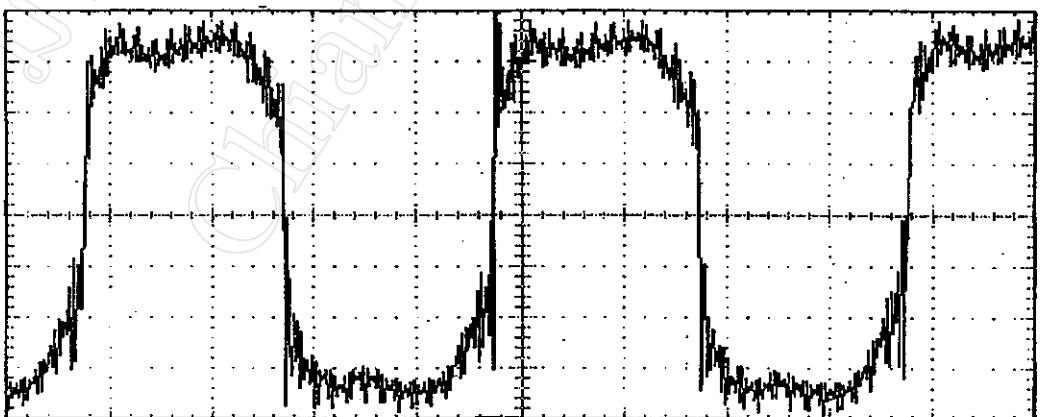
$V_d=96V$ $I_d=14.87A$ $V_g=236V$ $I_g=5.0A$ $P_g=1,060W$ $PF=0.898$ $\eta=74.3\%$



ก) แรงดันกริกระบบไฟฟ้า (100 โวลต์ต่อช่อง)



ข) กระแสกริกระบบไฟฟ้า (2.5 แอมแปร์ต่อช่อง)



ค) แรงดันอินเวอร์เตอร์ ด้านแรงดันสูงของหม้อแปลง (100 โวลต์ต่อช่อง)

รูปที่ 3.14 ตัวเหนี่ยวนำ L_g 78.8 มิลลิเฮนรี่ 0.04 โอห์ม แกน EI ติดตั้งด้านแรงดันสูง
 $V_d=96.5V$ $I_d=14.5A$ $V_g=236V$ $I_g=4.78A$ $P_g=1,060W$ $PF=0.939$ $\eta=73.3\%$