# บทที่ 4

## การสร้างและการทดสอบ

### การสร้าง

ในการสร้างแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา จะต้องออกแบบให้มีความเหมาะสมกับสภาพของสถานที่ใช้งาน และผู้นำไปใช้งาน การออกแบบสามารถพิจารณาแยกออกเป็นส่วน ๆ ได้ดังนี้ คือ ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า การติดตั้งองค์ประกอบ แผ่นวงจรควบคุม ระบบระบายความร้อน และกล่องผลิตภัณฑ์เป็นต้น เราจะกล่าวถึงการออกแบบแต่ละส่วนโดยสังเขปดังนี้

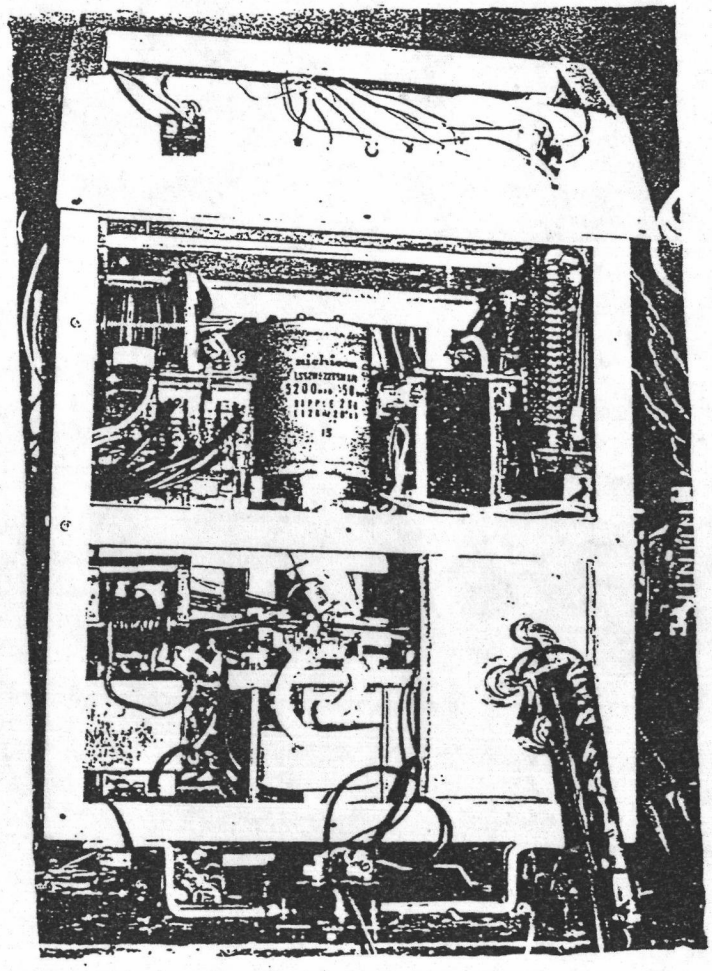
### 4.1 ระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้า

ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา เพื่อใช้สำหรับการตัดโลหะจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้งาน และองค์ประกอบอื่น ๆ ทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง โดยมีเงื่อนไขว่า ก่อนที่จะทำการกำเนิดอาร์คพลาสมา เพื่อที่จะทำการส่งผ่านความร้อนที่เกิดจากลำพลาสมาไปสู่ชิ้นงาน จะต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบควบคุมเสียก่อน และส่วนสำคัญ ๆ ที่เกี่ยวข้องจะต้องอยู่ในสภาวะพร้อมที่จะทำงาน เช่น ความดันของลมจะต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสม แรงดันที่ป้อนเข้าจะต้องไม่เกินพิกัด หรือขดลวดจะต้องมีอุณหภูมิไม่สูงเกินขีดความปลอดภัย เป็นต้น

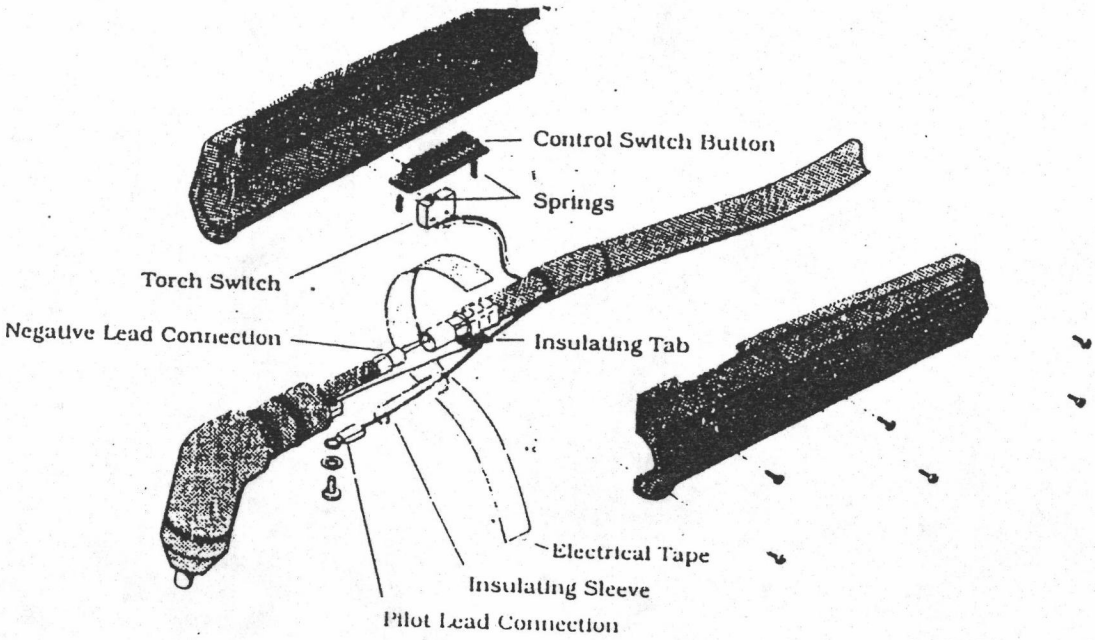
### 4.2 การติดตั้งองค์ประกอบ

การออกแบบ การติดตั้งองค์ประกอบต่าง ๆ ทั้งหมดลงในกล่องผลิตภัณฑ์ จะต้องคำนึงถึงอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นได้ต่อผู้ใช้งาน หรือผู้ซ่อมบำรุง ในการออกแบบได้แบ่งแรงดันออกเป็น 3 ระดับตามระดับของอันตราย ได้แก่ แรงดันขนาดต่ำ แรงดันขนาดสูงปานกลาง และแรงดันขนาดสูง โดยที่ระดับแรงดันขนาดต่ำประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีระดับแรงดันไม่เกิน 50 โวลต์ ได้แก่ ส่วนของวงจรควบคุมทั้งหมด เช่น วงจรขับนำมอสเฟตกำลัง วงจรแสดงลำดับและสถานะการทำงาน วงจรป้องกันแรงดันเกินพิกัด วงจรป้องกันกระแสเกินพิกัด เป็นต้น สำหรับระดับแรงดันสูงปานกลาง ประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีระดับแรงดันไม่เกิน 350 โวลต์ ได้แก่ส่วนของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้กับวงจรบริดจ์เต็มรูป และระดับแรงดันขนาด

สูง จะประกอบไปด้วย องค์ประกอบที่มีแรงดันสูงกว่า 350 โวลต์ อันได้แก่ส่วนกำเนิดศักดาไฟฟ้าแรงสูงประมาณ 4000 โวลต์ เพื่อทำหน้าที่เป็นต้นกำเนิด Pilot Arc สำหรับการทำให้เกิดอาร์คพลาสมาลักษณะการติดตั้งจะแบ่งเป็น 3 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยที่ส่วนของวงจรควบคุมต่าง ๆ จะอยู่ในชั้นที่ 3 ส่วนของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง หรือส่วนของมอสเฟตกำลัง จะติดตั้งอยู่ในชั้นที่ 2 และในชั้นที่ 1 จะเป็นที่ติดตั้งวงจรกำเนิดศักดาไฟฟ้าแรงสูง ที่ความถี่สูง กับวงจรภาคขาออกของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง แบบบริดจ์เต็มรูป นอกจากนี้ในชั้นล่างสุดนี้ ได้ออกแบบให้มีจุดต่อสำหรับอุปกรณ์ประกอบที่จำเป็นในการตัดโลหะด้วยพลาสมา อันได้แก่ ขั้วไฟฟ้าบวกซึ่งได้ออกแบบให้เป็นปากคีบสำหรับจับชิ้นงานด้วย ขั้วไฟฟ้าลบและหัวคบพลาสมา (Torch) โดยที่ขั้วไฟฟ้าลบนั้นจะเป็นสายทองแดงเปลือย แต่จะถูกห่อหุ้มเอาไว้ด้วยท่อส่งลมที่ปลายขั้วลบจะต่ออยู่กับหัวคบพลาสมา (Torch) และที่หัวคบพลาสมา จะมีสวิตช์สำหรับควบคุมการกำเนิดอาร์คพลาสมาขณะทำการตัดโลหะ ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ส่วนต่าง ๆ ของการติดตั้งองค์ประกอบตามระดับแรงดัน




รูปที่ 4.2 แสดงโครงสร้างภายในของหัวคบพลาสมา

4.3 <u>แผ่นวงจรควบคุม</u>

การออกแบบแผ่นวงจรควบคุมที่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ต้องคำนึงถึงความสำคัญในเรื่องการซ่อมบำรุง เพื่อเกิดความสะดวก และใช้เวลาน้อยในการดูแลรักษาตรวจซ่อม ตลอดจนในเรื่องของระดับสัญญาณความถี่สูง ที่มีผลรบกวนต่อสัญญาณควบคุมในส่วนอื่น ๆ จะต้องแยกให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม และจะต้องจัดระบบกราวด์ของสัญญาณรบกวนให้ดีที่สุด เพื่อป้องกันการรบกวนต่อการทำงานของวงจรในส่วนอื่น ๆ ดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงได้แยกวงจรควบคุมในส่วนต่าง ๆ เช่น วงจรกำเนิดสัญญาณ วงจรควบคุมสถานะการทำงานและแสดงผล วงจรจัดลำดับการทำงานของลม และระบบไฟฟ้าให้สอดคล้องกัน วงจรป้องกันอุปกรณ์ให้อยู่ในสภาวะปลอดภัย อันเนื่องมาจากสาเหตุผิดปรกติต่าง ๆ ส่วนของวงจรเหล่านี้ จะประกอบอยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์ และจะถูกจัดวางเอาไว้ยังตำแหน่งบนสุดของกล่องผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เพื่อให้ง่ายต่อการตรวจสอบ และซ่อมบำรุง

4.4 ระบบระบายความร้อน

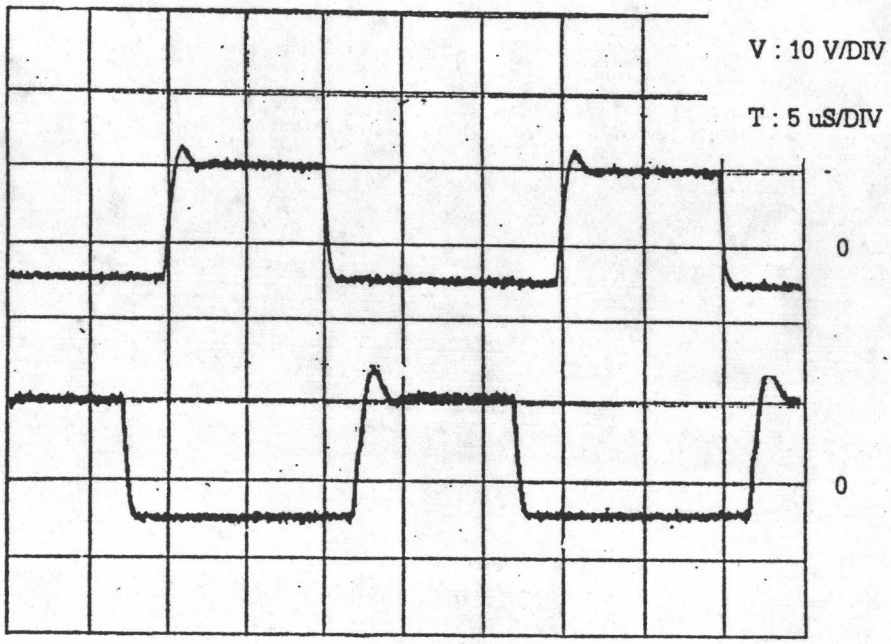
การระบายความร้อนในผลิตภัณฑ์ ที่มีองค์ประกอบเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้น มีความจำเป็นอย่างมาก เพราะความร้อนจะมีผลทำให้ขีดความสามารถการใช้งานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวลดลง ทำให้ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ลดลงด้วย หรืออาจทำให้เกิดความเสียหายได้ ในแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมานี้มีอุปกรณ์ที่จะต้องระบายความร้อนออกได้แก่ หม้อแปลง มอสเฟตกำลัง และในไดโอดที่ไว้ทำหน้าที่ Rectifier ทั้งทางด้านขาเข้า และทางด้านขาออกของวงจร ในทางปฏิบัติเลือกใช้พัดลมขนาด 4*4 นิ้ว 4 ตัว ติดอยู่ที่ด้านหลังของกล่องผลิตภัณฑ์ เพื่อทำหน้าที่ดูดเอาความร้อนที่เกิดขึ้นจากองค์ประกอบของวงจรขณะทำงานออกสู่ภายนอก

4.5 ผลการทดสอบ

สัญญาณแรงดัน และกระแสในส่วนต่าง ๆ ที่จะกล่าวนี้ ได้แก่ ในส่วนของไฟฟ้ากระแสตรง แรงดันขับนำสวิตช์มอสเฟตกำลัง แรงดันตกคร่อมสวิตช์มอสเฟตกำลัง แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออก แรงดันด้านขดปฐมภูมิของหม้อแปลงแยกโดดความถี่สูง และส่งผ่านกำลัง แรงดันทุติยภูมิของหม้อแปลง แรงดันด้านขาเข้าของวงจรกรอง (Ein) ตลอดจนผลการทดสอบหา V-I Curves ขณะปรับภาระทางด้านขาออกต่าง ๆ กัน ดังแสดงให้เห็นเป็นลำดับดังต่อไปนี้

4.5.1 แรงดันขับนำสวิตช์มอสเฟตกำลัง

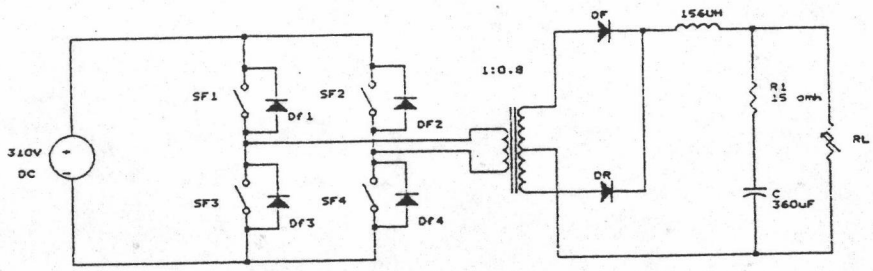
แรงดันขับนำสวิตช์มอสเฟตกำลัง เป็นสัญญาณแรงดันที่ป้อนให้กับขาเกทของสวิตช์มอสเฟตกำลัง เพื่อบังคับให้สวิตช์มอสเฟตกำลังทำงานดังแสดงในรูปที่ 4.3




รูปที่ 4.3 แสดงแรงดันขับนำสวิตช์มอสเฟตกำลังในวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบบริดจ์เต็มรูป

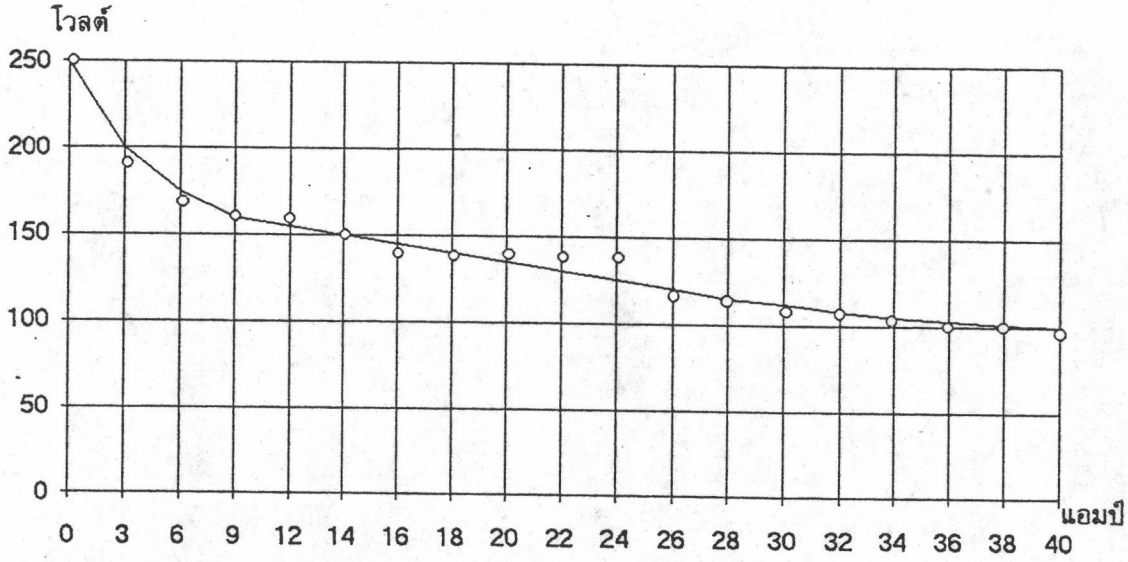
จากรูปที่ 4.3 เป็นแรงดันขับนำสวิตช์มอสเฟตกำลัง ที่ต่ออยู่ในวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบบริดจ์เต็มรูป โดยมีวัฏจักรงาน (D) เป็น 0.4 ที่ความถี่ 40 กิโลเฮิรตซ์ โดยมีภาระทางด้านออกเต็มพิกัดเท่ากับ 40 แอมป์ ที่แรงดันด้านออกขณะมีภาระเต็มพิกัด 100 โวลต์

4.5.2 แรงดัน และกระแสขดปฐมภูมิ, ขดทุติยภูมิของหม้อแปลงแยกโดดความถี่สูงและส่งผ่านกำลัง สัญญาณในส่วนของวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองทางด้านขาออก ขณะทำการทดสอบหา V-I Curves ทางด้านขาออกที่ภาระต่าง ๆ กัน ของแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาที่ออกแบบและสร้างขึ้น




รูปที่ 4.4 แสดงวงจรทดลองหา V-I Curves ของแหล่งจ่ายกำลังไฟตรง แบบสวิตชิงที่ได้สร้างขึ้น

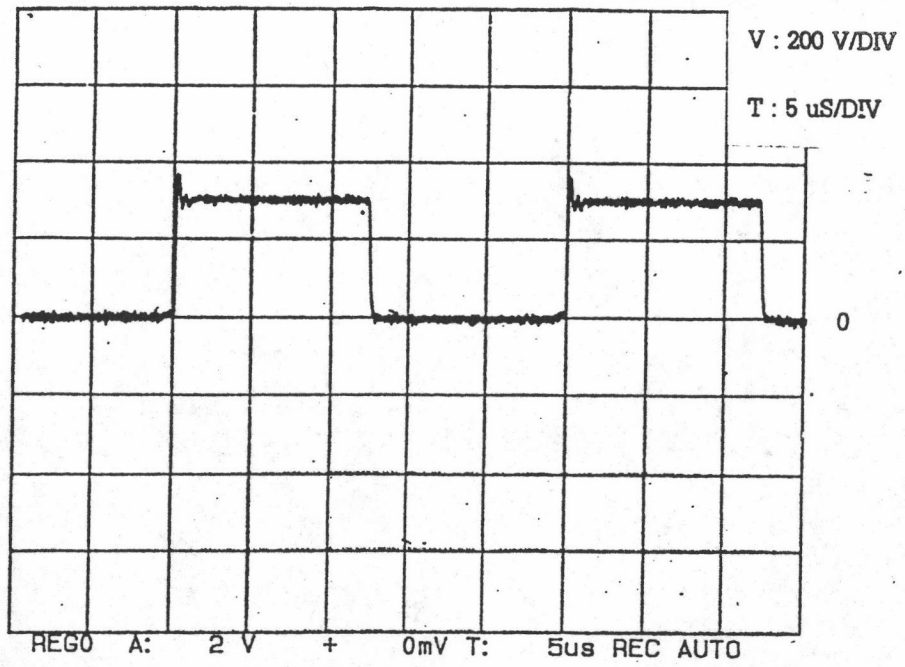
การทดสอบหา V-I Curves ของวงจรดังรูปที่ 4.4 ทำโดยวิธีการปรับค่าภาระทางด้านขาออกของวงจร ทำให้หม้อแปลงจ่ายกระแสไฟฟ้ามากขึ้น ผลการทดลองปรับภาระ และผลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านภาระ และแรงดันที่ตกคร่อมภาระสามารถแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.5



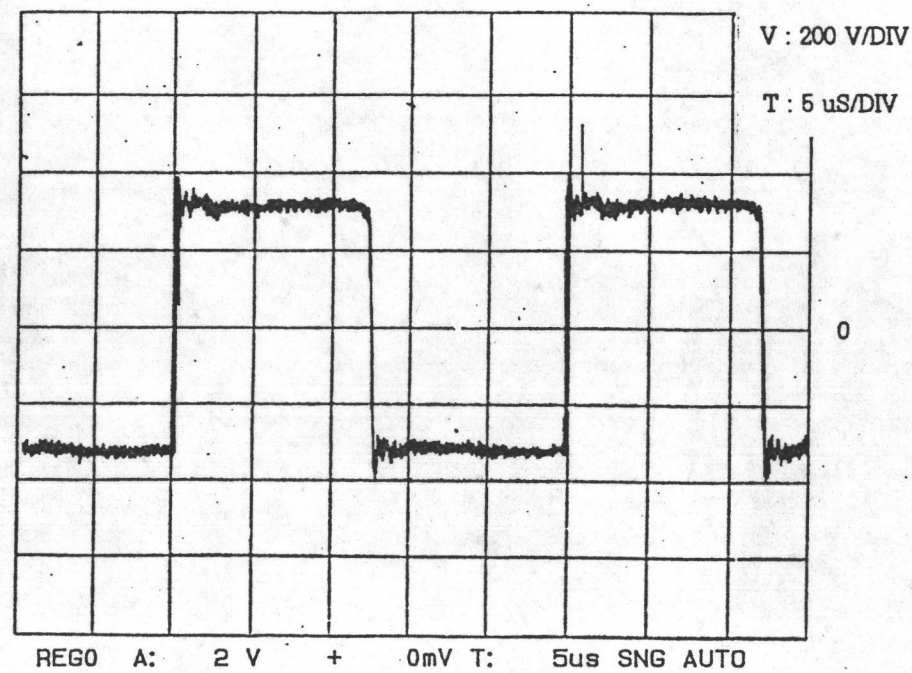

รูปที่ 4.5 แสดงกราฟการทดสอบค่าของแรงดันและกระแสทางด้านขาออกที่ภาระต่าง ๆ กัน ของแหล่งจ่ายกำลังไฟตรงที่ได้สร้างขึ้น

จาก V-I Curves ในรูปที่ 4.5 พบว่า เมื่อเราทำการเพิ่มภาระให้กับแหล่งจ่ายไฟตรงที่ได้สร้างขึ้น ทำให้หม้อแปลงจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ทางด้านขาออกมากขึ้น มีผลทำให้แรงดันตกคร่อมขั้วไฟฟ้าทางด้านออกลดลง อันเนื่องมาจากแรงดันบางส่วนได้ตกคร่อมอยู่ในความต้านทานของขดลวดทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลง ตกคร่อมในตัวเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นเนื่องจากสนามแม่เหล็กรั่วไหล ตกคร่อมในตัวเหนี่ยวนำในวงจรกรองทางด้านออก และรวมทั้งผลของแรงดันด้านขาเข้าของขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงลดลง ขณะที่ภาระทางด้านขาออกมากขึ้น

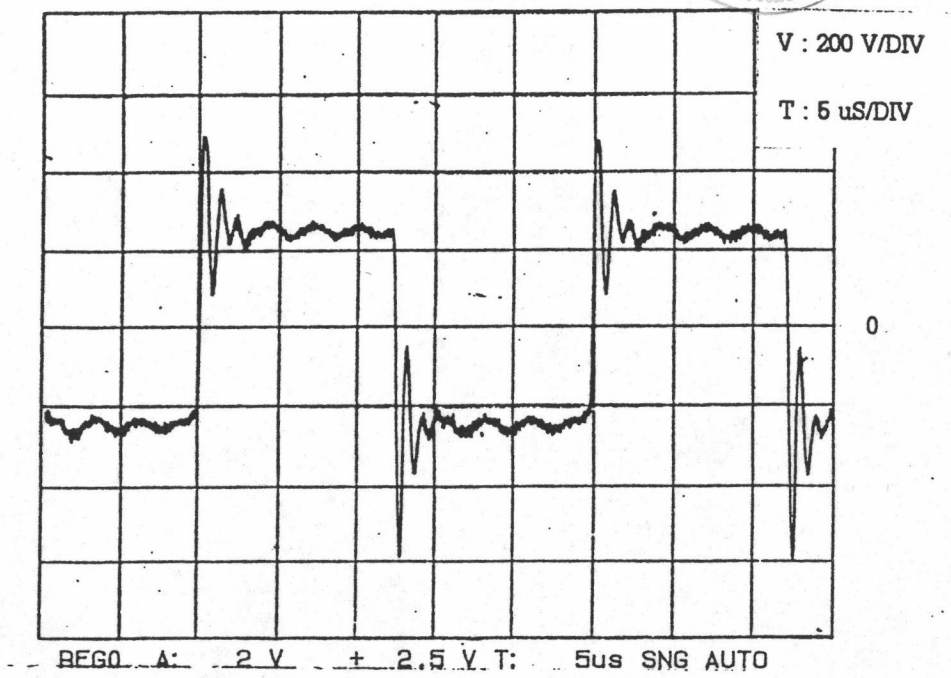
จากการทดสอบแหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตชิงในภาระต่าง ๆ กันแล้ว จะเห็นได้ว่าเราสามารถออกแบบแหล่งจ่ายกำลังไฟตรงแบบสวิตชิงได้พิกัด และคุณสมบัติตามต้องการ เราสามารถแสดงให้เห็นถึงแรงดันตกคร่อมหม้อแปลงแรงดันตกคร่อมสวิตช์มอสเฟตกำลัง กระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลง และแรงดันของด้านขาออก ขณะที่หม้อแปลงจ่ายภาระในพิกัดกระแสด้านออกที่ 10, 20, 30 และ 40 แอมป์ตามลำดับดังต่อไปนี้



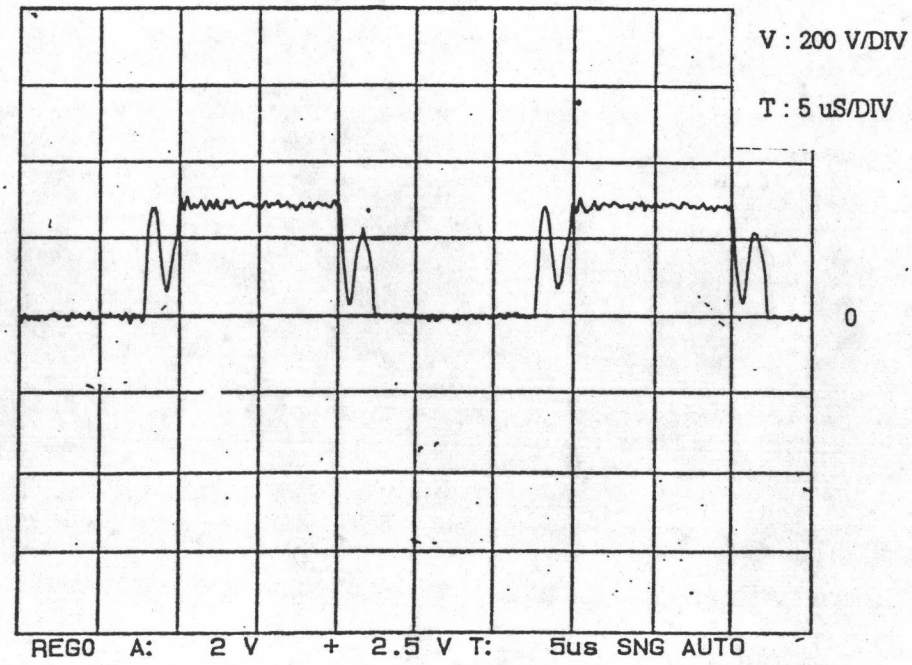

รูปที่ 4.6 แสดงแรงดันตกคร่อมสวิตช์มอสเฟตกำลังขณะยังไม่มีภาระ



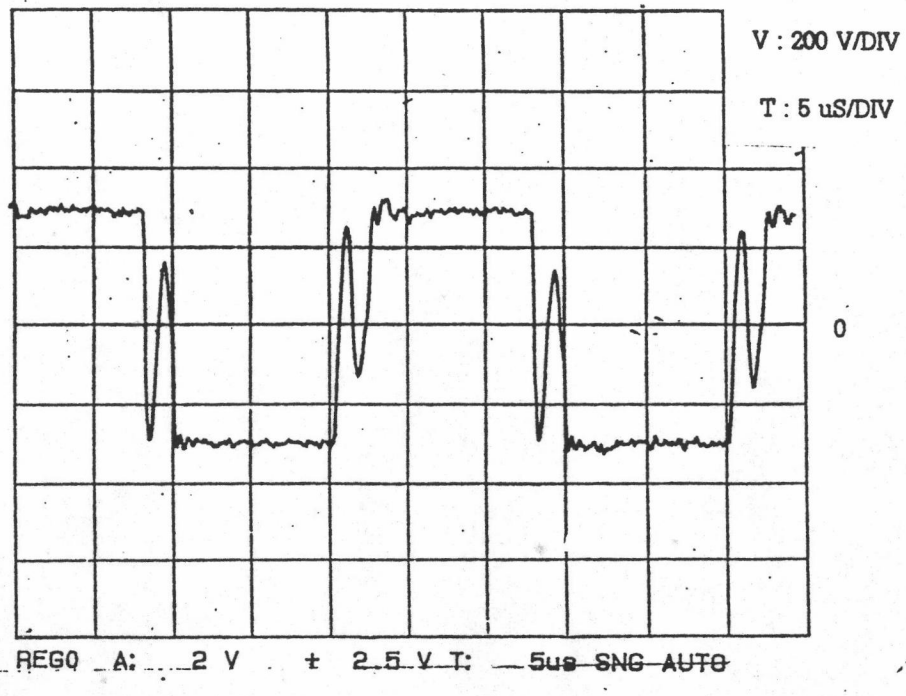

รูปที่ 4.7 แสดงแรงดันตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะไม่มีภาระ



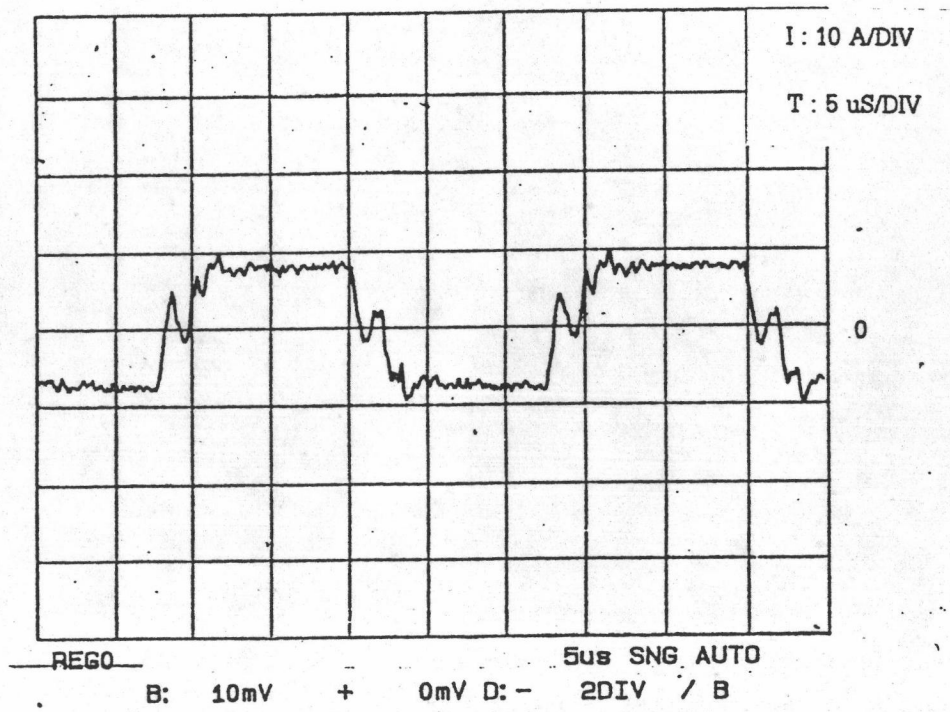

รูปที่ 4.8 แสดงแรงดันตกคร่อมขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงขณะไม่มีภาระ



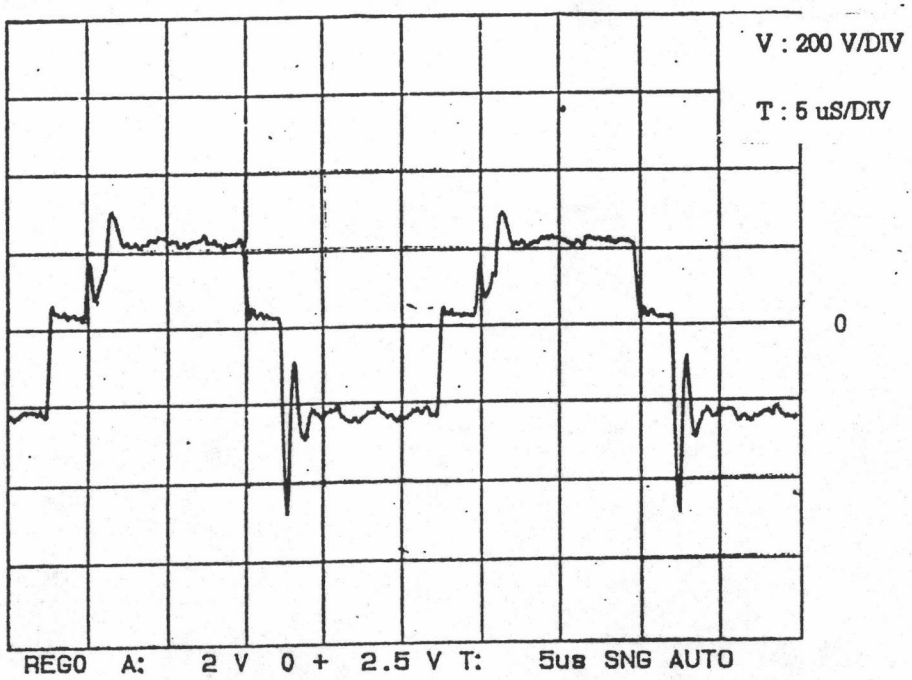

รูปที่ 4.9 แสดงแรงดันตกคร่อมสวิตช์มอสเฟตกำลังขณะมีภาระขนาด 10 แอมป์



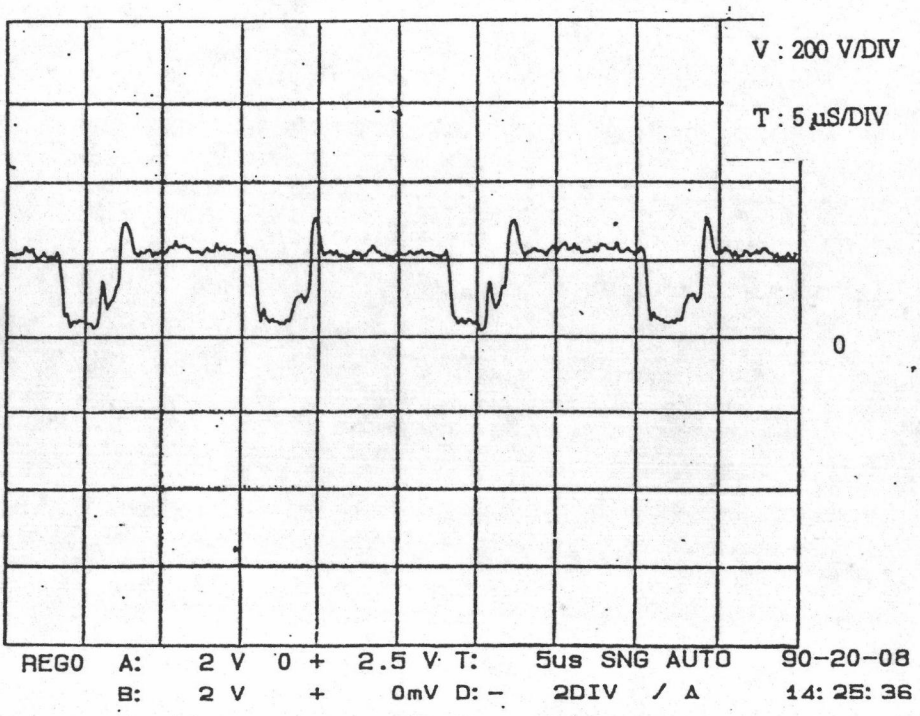

รูปที่ 4.10 แสดงแรงดันตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะมีภาระขนาด 10 แอมป์



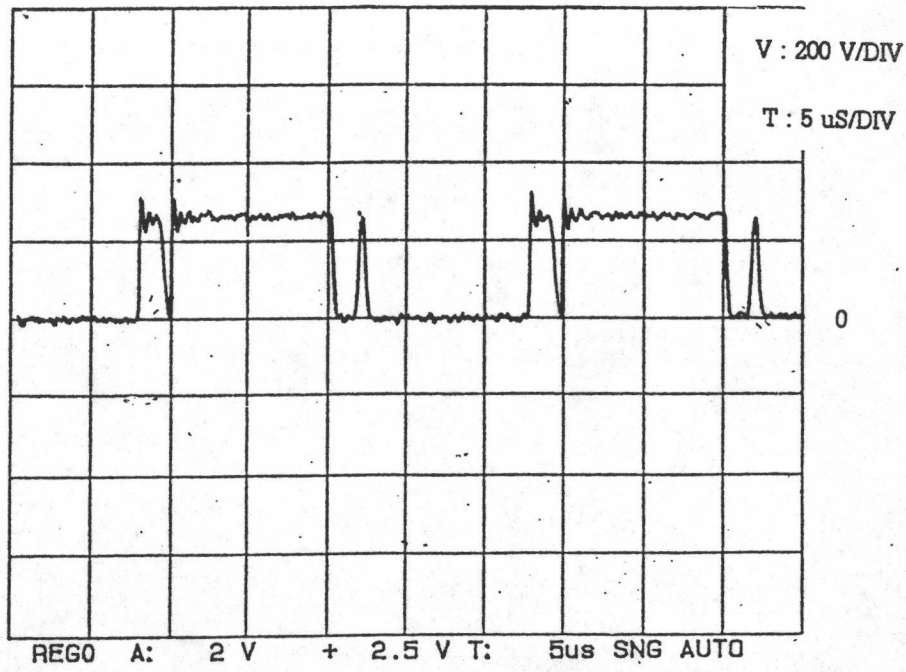

รูปที่ 4.11 แสดงกระแสผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะมีภาระ 10 แอมป์



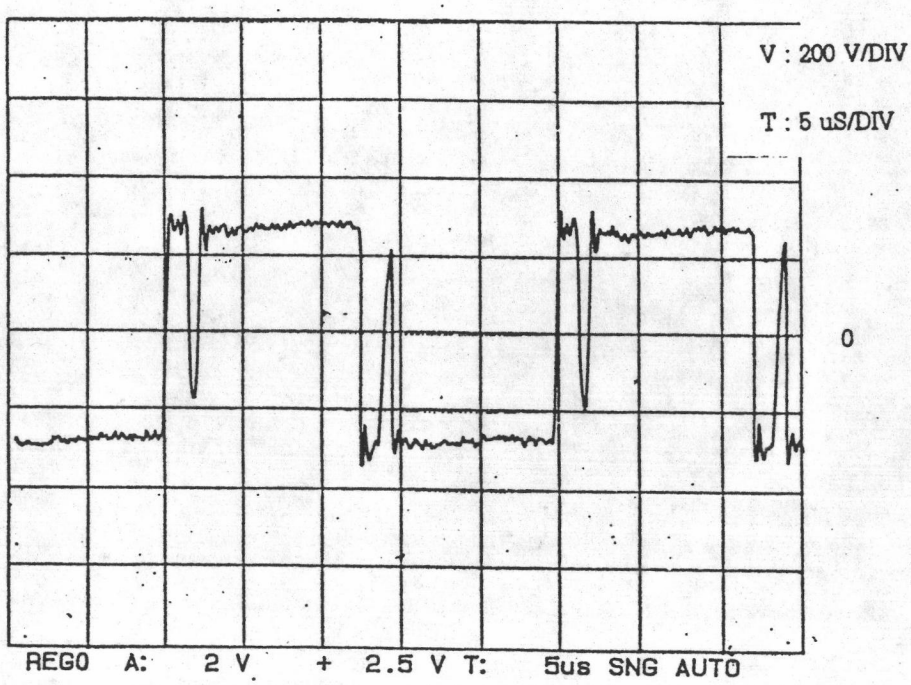

รูปที่ 4.12 แสดงแรงดันตกคร่อมขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงขณะมีภาระขนาด 10 แอมป์



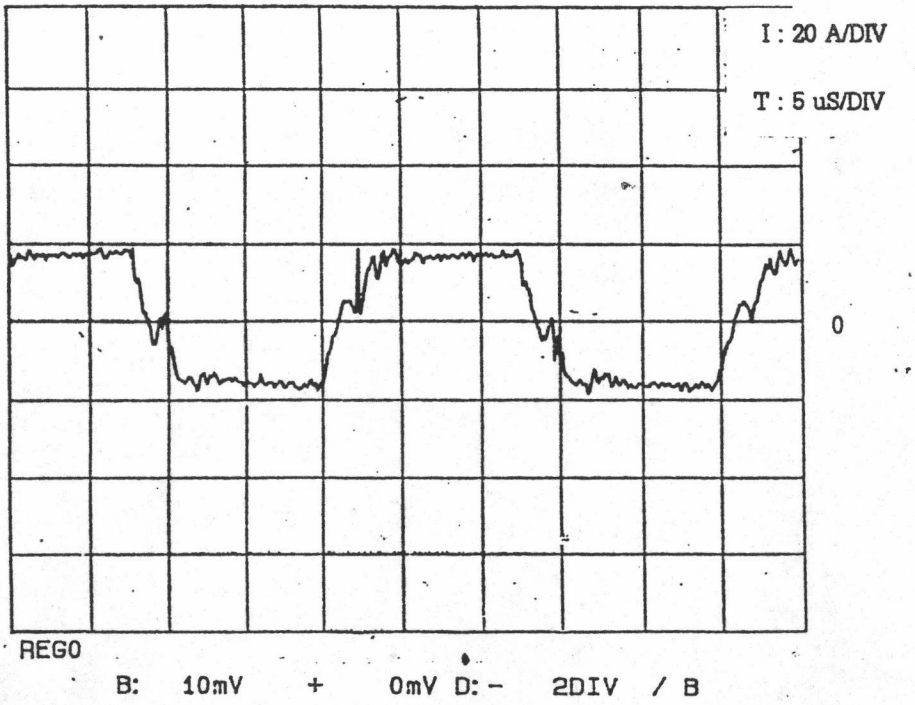

รูปที่ 4.13 แสดงแรงดันทางด้านขาเข้าของวงจรกรอง (Ein) ขณะมีภาระขนาด 10 แอมป์



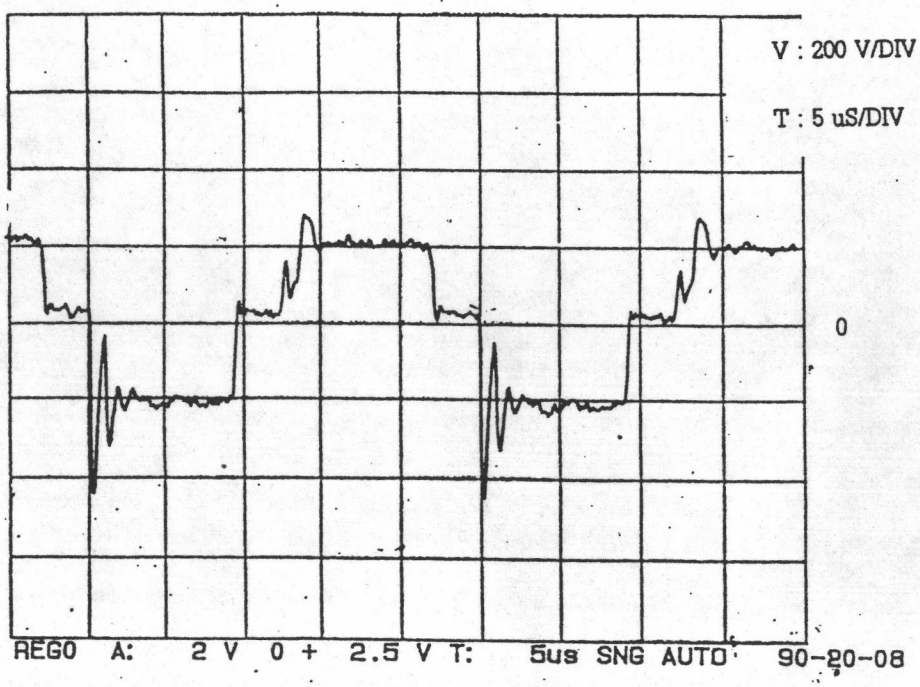

รูปที่ 4.14 แสดงแรงดันตกคร่อมสวิตช์มอสเฟตกำลังขณะมีภาระ 20 แอมป์



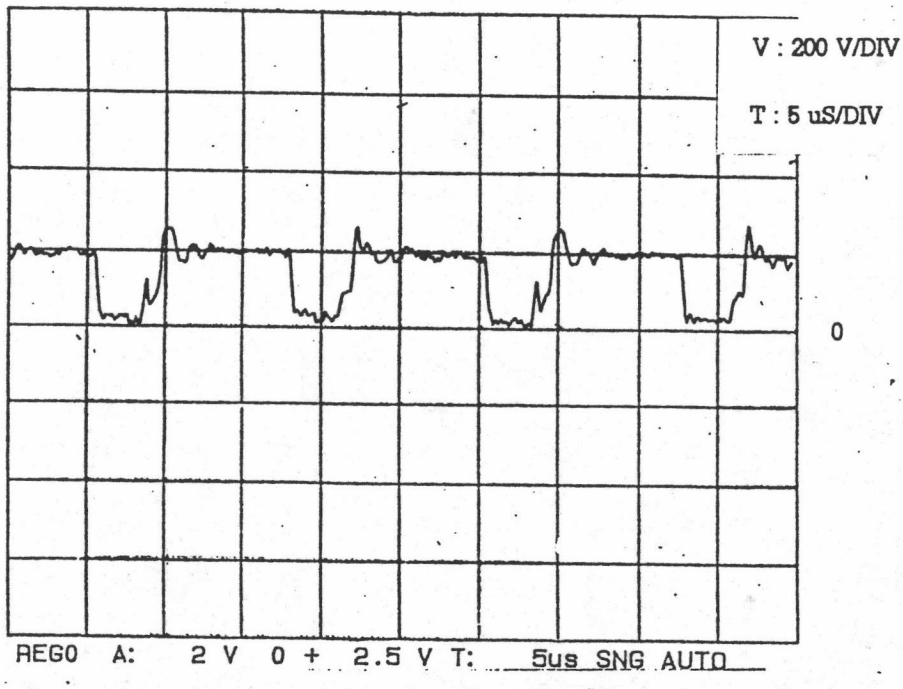

รูปที่ 4.15 แสดงแรงดันตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะมีภาระขนาด 20 แอมป์



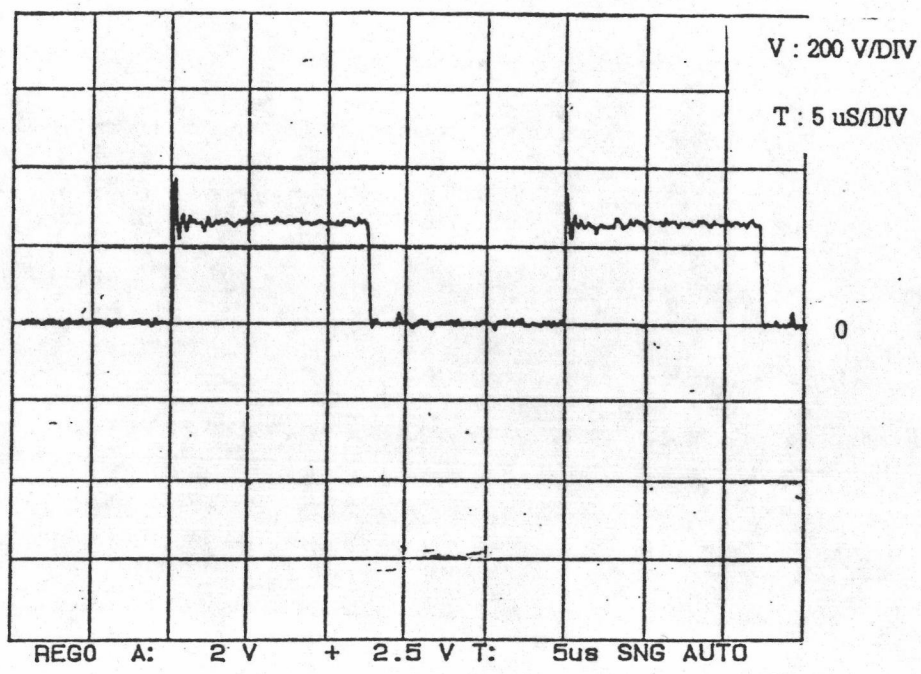

รูปที่ 4.16 แสดงกระแสผ่านขดปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะมีภาระขนาด 20 แอมป์



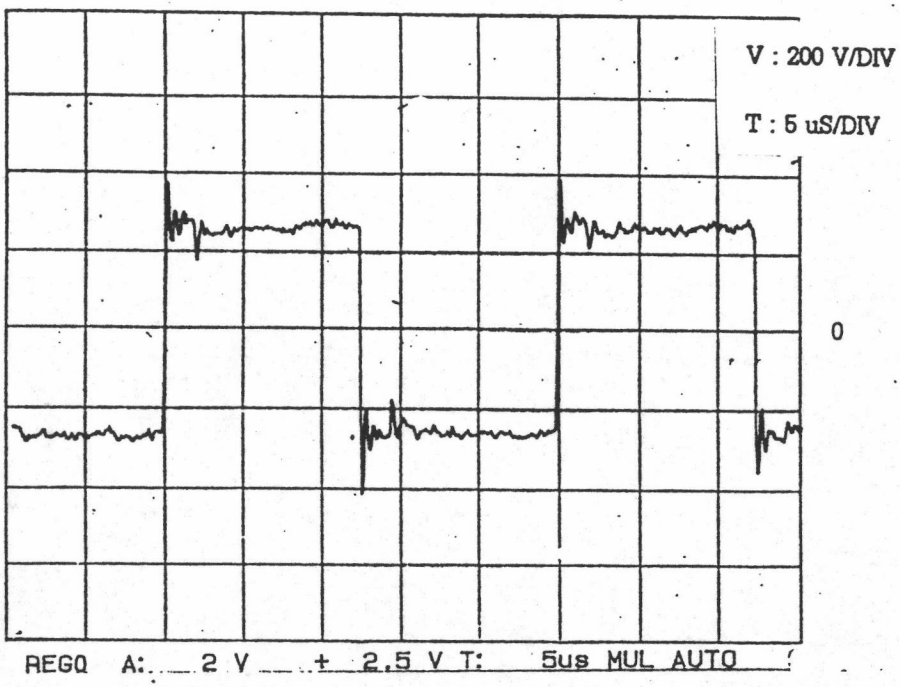

รูปที่ 4.17 แสดงแรงดันตกคร่อมขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงขณะมีภาระขนาด 20 แอมป์



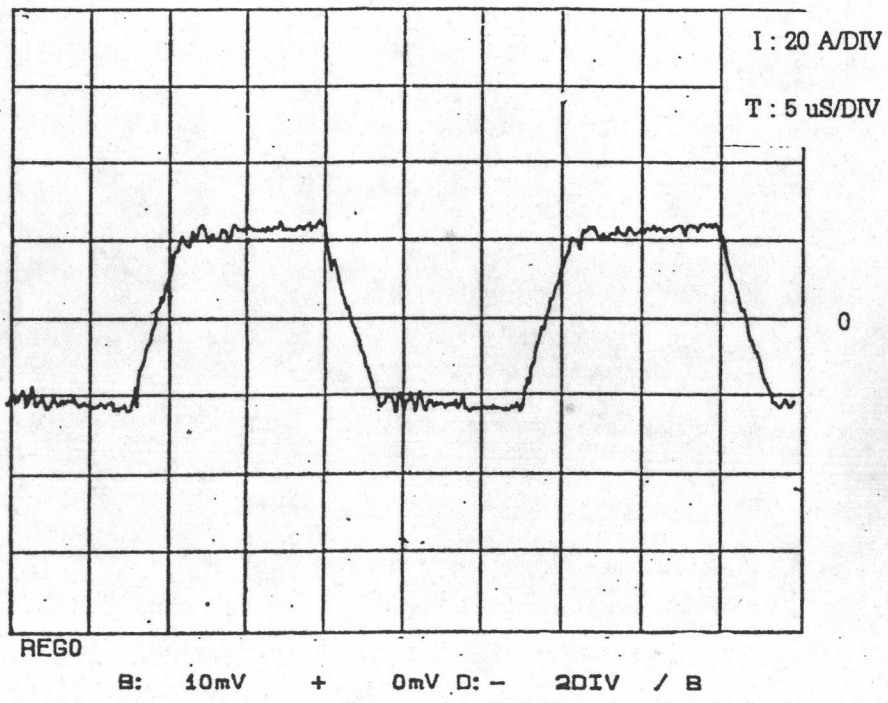

รูปที่ 4.18 แสดงแรงดันทางด้านขาเข้าของวงจรกรอง (Ein) ขณะมีภาระขนาด 20 แอมป์



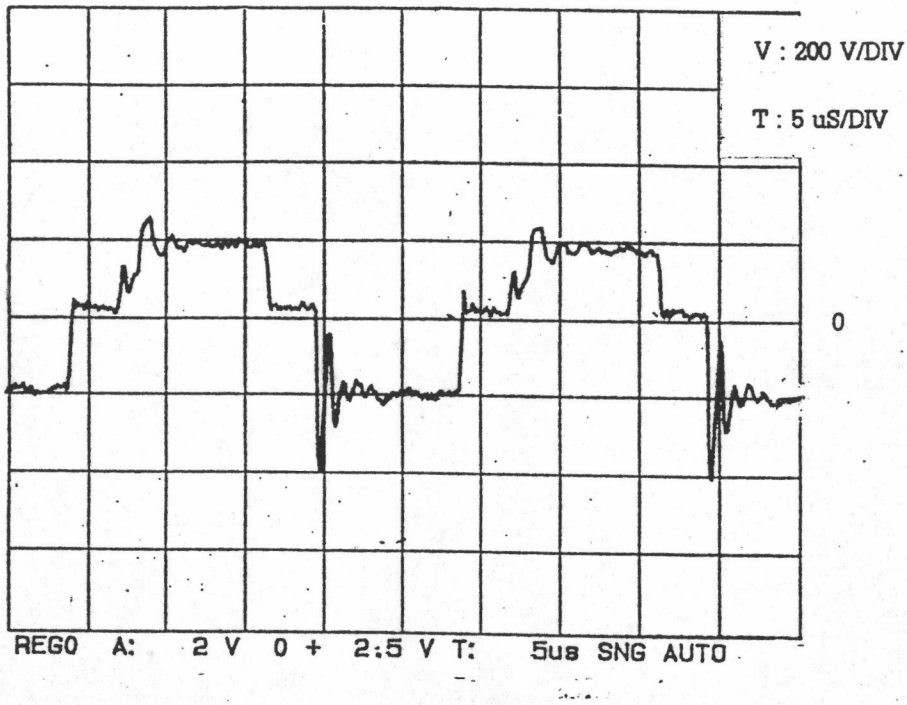

รูปที่ 4.19 แสดงแรงดันตกคร่อมสวิตช์มอสเฟตกำลังขณะมีภาระขนาด 30 แอมป์



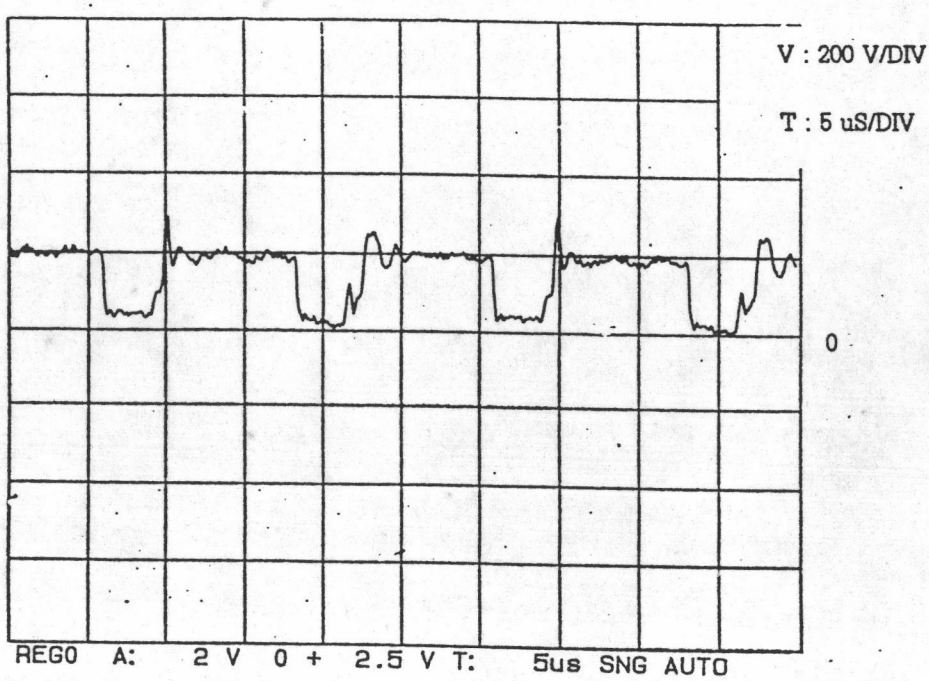

รูปที่ 4.20 แสดงแรงดันตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะมีภาระขนาด 30 แอมป์



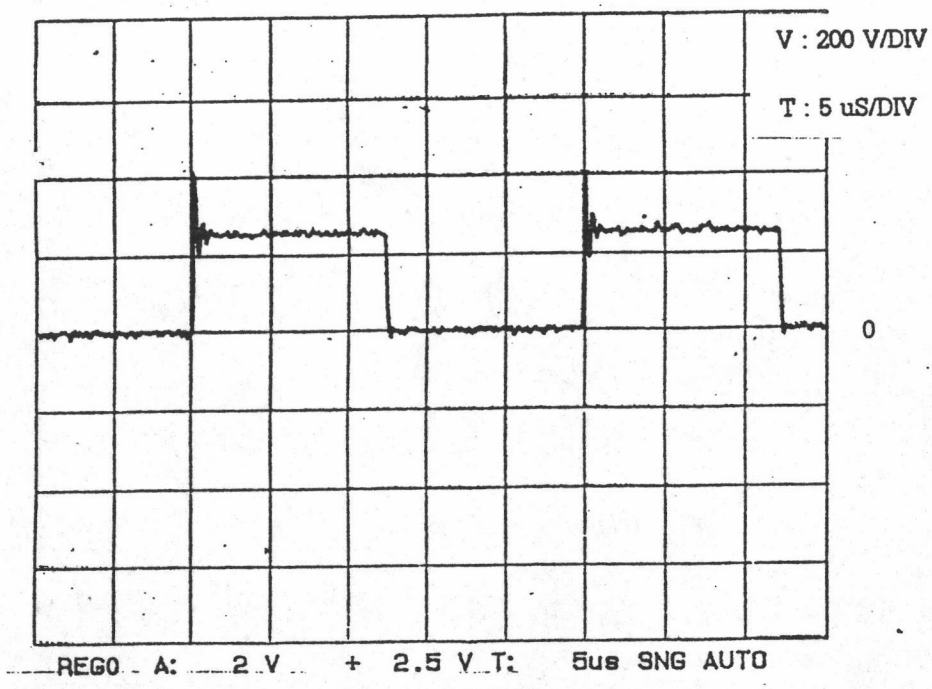

รูปที่ 4.21 แสดงกระแสผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะมีภาระขนาด 30 แอมป์



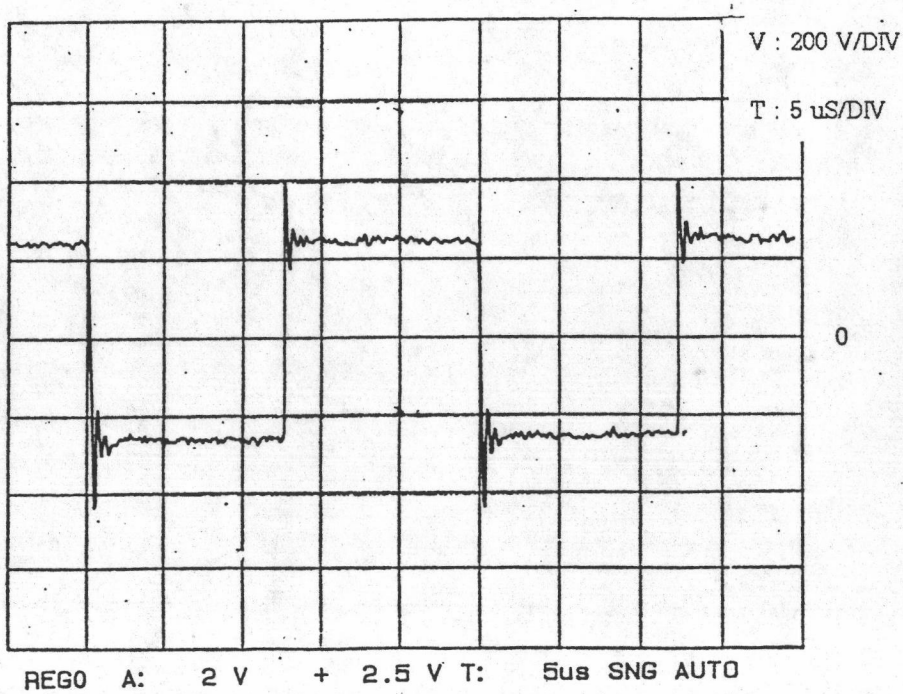

รูปที่ 4.22 แสดงแรงดันตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิขณะมีภาระขนาด 30 แอมป์



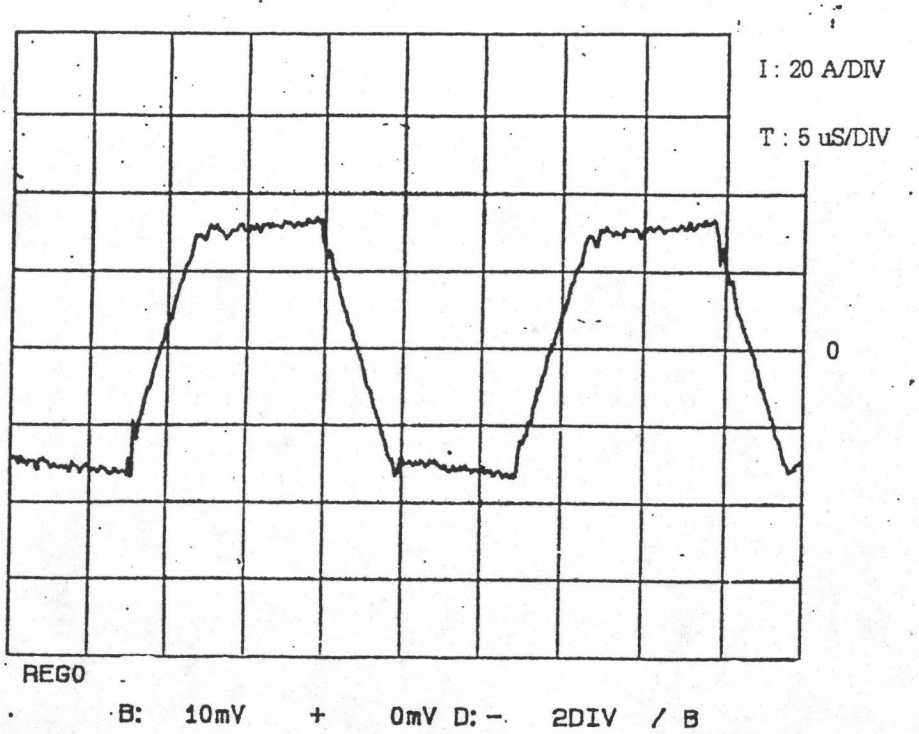

รูปที่ 4.23 แสดงแรงดันทางด้านขาเข้าของวงจรกรอง (Ein) ขณะมีภาระขนาด 30 แอมป์



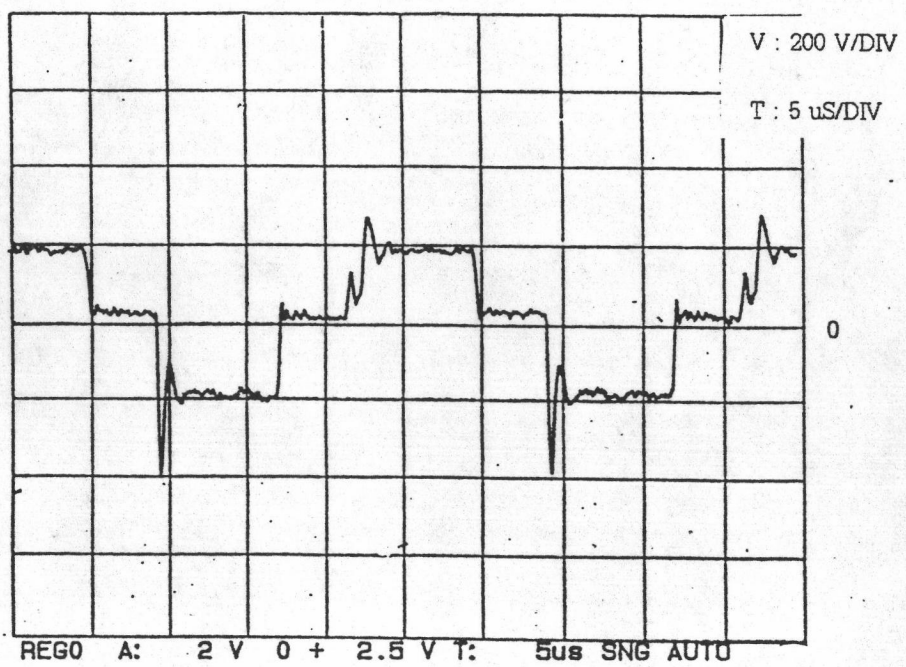

รูปที่ 4.24 แสดงแรงดันตกคร่อมสวิตช์มอสเฟตกำลังขณะมีภาระขนาด 40 แอมป์



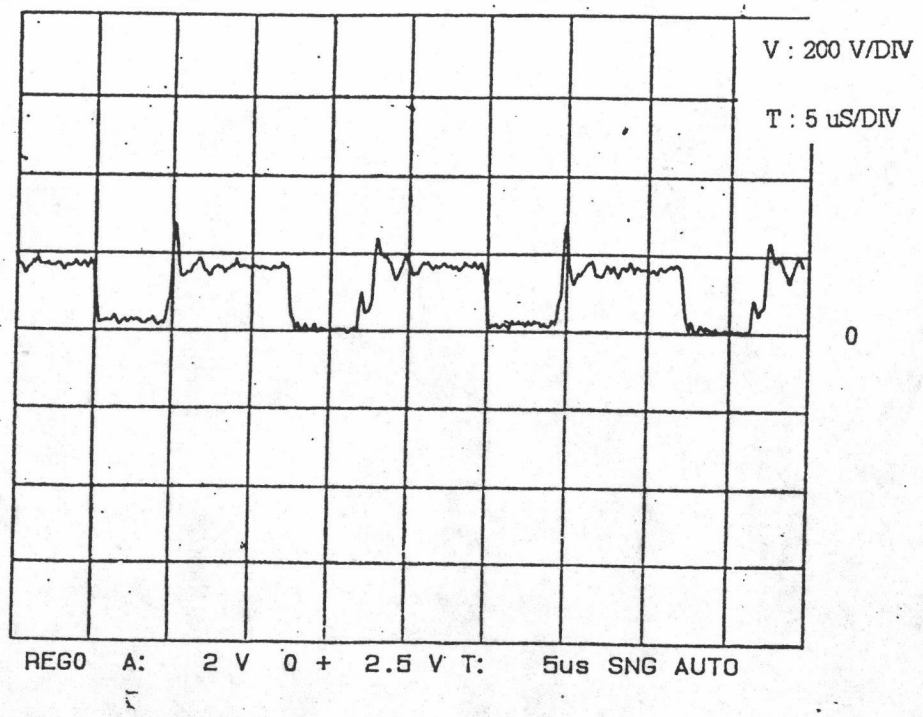

รูปที่ 4.25 แสดงแรงดันตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะมีภาระขนาด 40 แอมป์



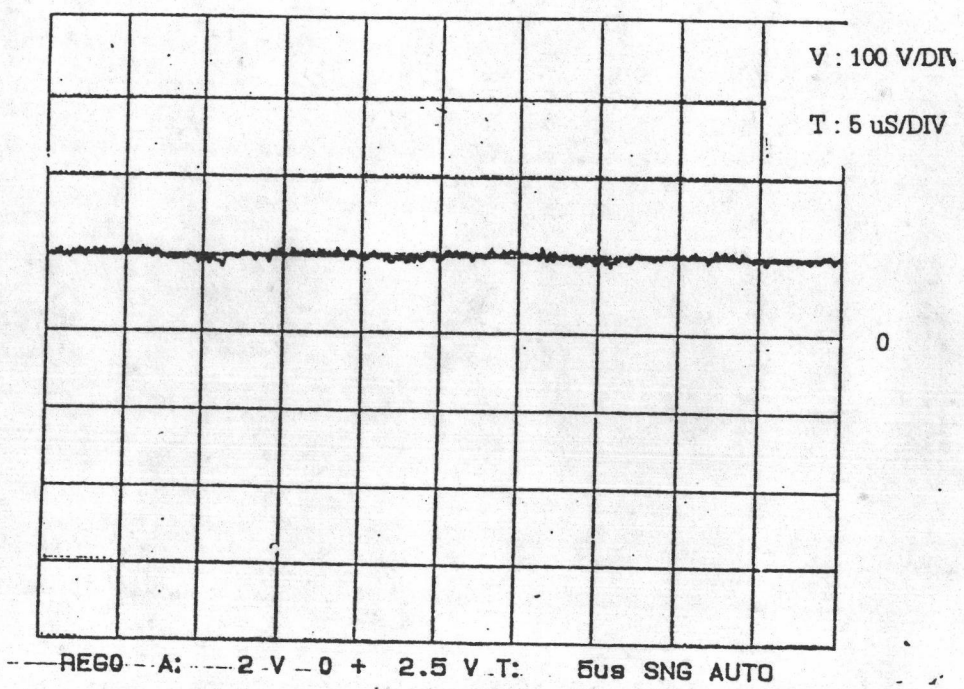

รูปที่ 4.26 แสดงกระแสผ่านขดลวดด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะมีภาระขนาด 40 แอมป์




รูปที่ 4.27 แสดงแรงดันตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิขณะมีภาระขนาด 40 แอมป์




รูปที่ 4.28 แสดงแรงดันทางด้านขาเข้าของวงจรกรอง (Ein) ขณะมีภาระขนาด 40 แอมป์




รูปที่ 4.29 แสดงแรงดันไฟตรงทางด้านออกขณะมีภาระขนาด 40 แอมป์

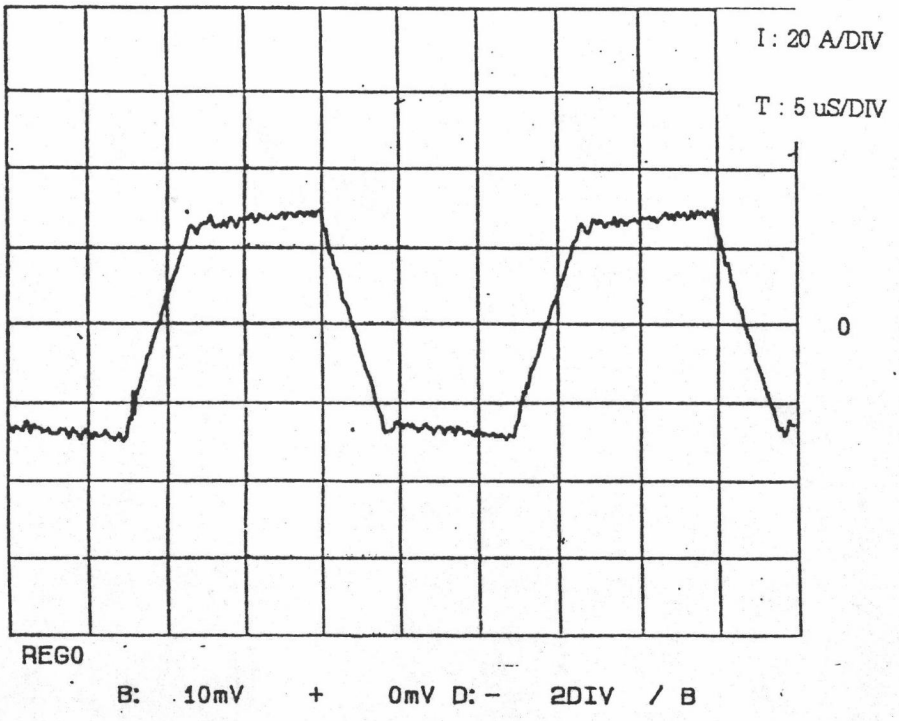
ในการหาประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายกำลังไฟตรงแบบสวิตชิงของเครื่องตัดโลหะที่ได้ออกแบบสร้างขึ้น ซึ่งทำการทดลองวัดค่ากำลังไฟฟ้าด้านเข้าและด้านออกที่ภาระต่าง ๆ กัน และคำนวณหาค่าประสิทธิภาพจากสมการที่ 4.1 และแสดงให้เห็นในตารางที่ 4.1

$$\text{ประสิทธิภาพ (\%)} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าด้านออก}}{\text{กำลังไฟฟ้าด้านเข้า}} \times 100 \qquad (4.1)$$

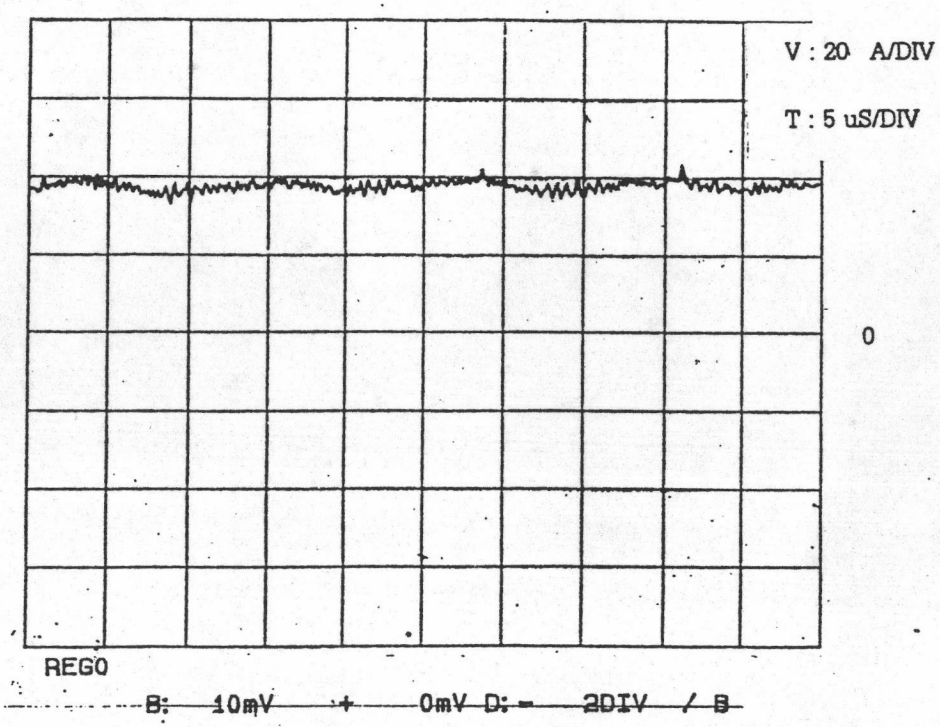
| | กำลังไฟฟ้าด้านเข้า (W) | กำลังไฟฟ้าด้านออก (W) | ประสิทธิภาพ (%) |
|---|---|---|---|
| เมื่อภาระด้านออก 10 A | 1800 | 1600 | 88 |
| เมื่อภาระด้านออก 20 A | 3300 | 2800 | 84.8 |
| เมื่อภาระด้านออก 30 A | 4050 | 3300 | 81.5 |
| เมื่อภาระด้านออก 40 A | 4975 | 4000 | 80.4 |

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายกำลังไฟตรงแบบสวิตชิงที่ออกแบบสร้างขึ้นที่ภาระด้านออกต่าง ๆ กัน

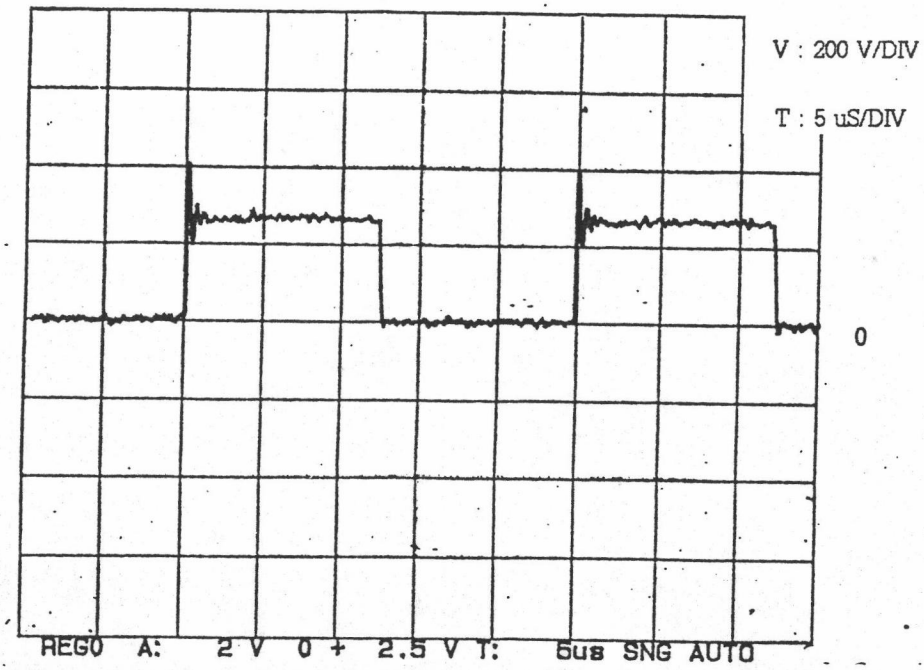
จากผลการทดสอบ V-I Curve ของแหล่งจ่ายกำลังไฟตรงแบบสวิตชิงที่ได้ออกแบบสร้างขึ้นที่ภาระทางด้านออกขนาดต่าง ๆ กัน พบว่าวงจรที่ออกแบบสามารถทำงานได้ตามพิกัดที่กำหนดไว้ และจากการทดลองหาจุดกำเนิดการเกิดอาร์คพลาสมา โดยการใช้ Auto Transtormer ค่อย ๆ ปรับแรงดันที่ป้อนเข้าทางด้านขาเข้า ของวงจรแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา พบว่าการเกิดอาร์คพลาสมาจะเกิดขึ้นได้ ขณะปรับแรงดันในด้านขาเข้าประมาณ 200 โวลต์หรือแรงดันไฟตรงทางด้านขาออกประมาณ 210 - 220 โวลต์ และอาร์คพลาสมาจะเกิดอย่างสมบูรณ์ได้ที่แรงดันไฟตรงที่พิกัดคือ 250 โวลต์ ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองต่อไปโดยการเตรียมโลหะมาเตรียมการตัด และวัดรูปคลื่นของกระแส และแรงดันในส่วนต่าง ๆ ตลอดจนผลการทดลองตัดโลหะดังแสดงในรูปที่ 4.30 ตามลำดับดังนี้



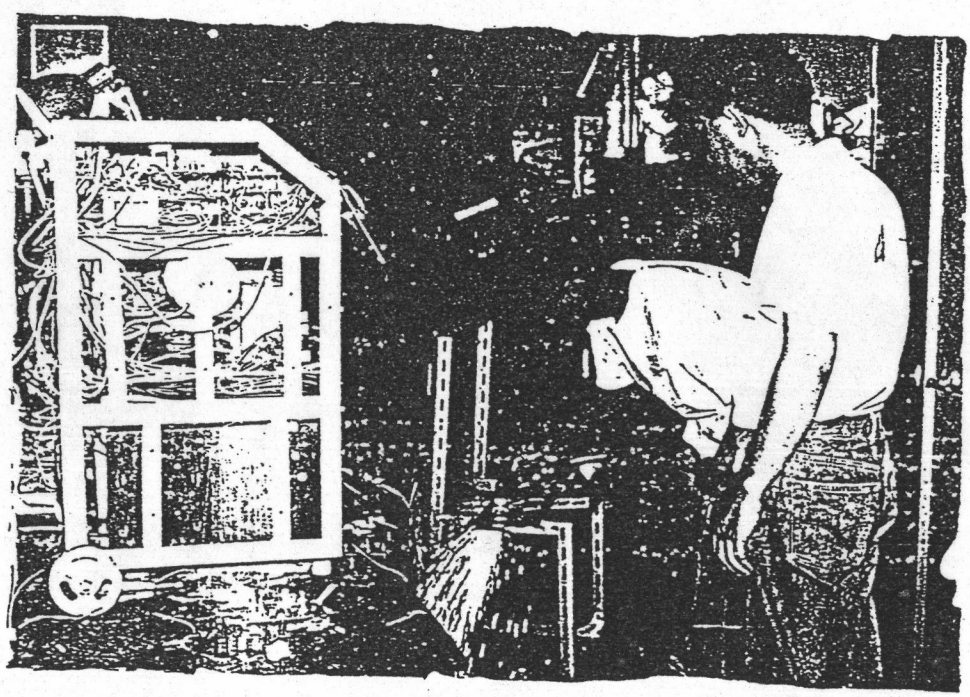

รูปที่ 4.30 แสดงกระแสผ่านขดปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะทำการตัดโลหะ



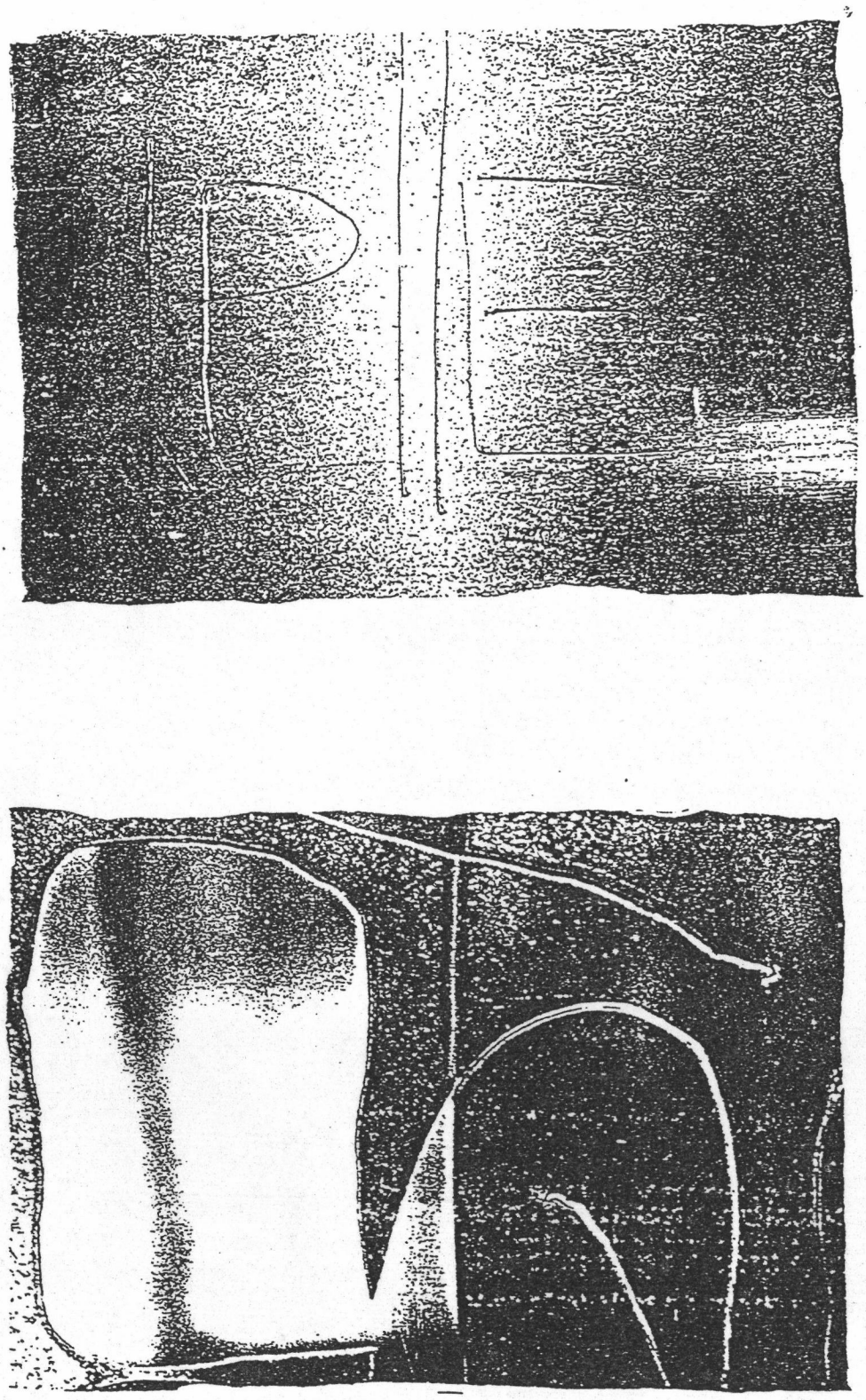

รูปที่ 4.31 แสดงกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำทางด้านขาออกขณะทำการตัดโลหะ




รูปที่ 4.32 แสดงแรงดันตกคร่อมสวิตช์มอสเฟตกำลังขณะทำการตัดโลหะ



รูปที่ 4.33 แสดงผู้ปฏิบัติงานกำลังทำการตัดโลหะ



รูปที่ 4.34 แสดงผลของการตัดโลหะด้วยเครื่องที่ออกแบบ