

## บทที่ 7

### การทดสอบ

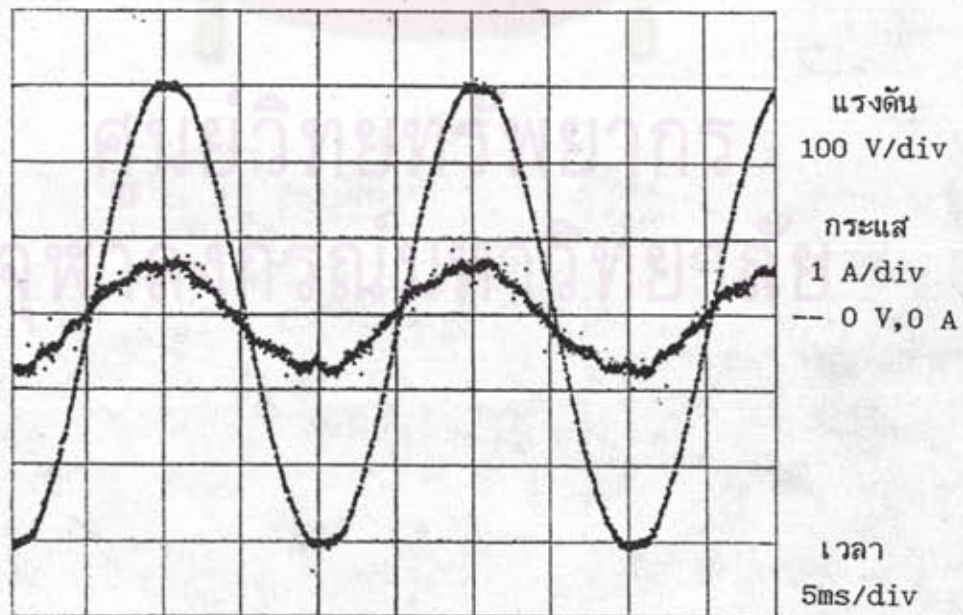
จากการออกแบบวงจรแปลงผันสองทิศทาง ให้สามารถทำงานได้ในโหมดของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกำลังไฟฟ้ากระแสตรง และโหมดแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับดังกล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 และ บทที่ 5 เมื่อใช้เป็นโครงสร้างทางกำลังของ UPS รวมทั้งการออกแบบการควบคุมการทำงานของ UPS ในบทที่ 6 นี้จะได้มีการออกแบบและสร้างขึ้น เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติและลักษณะการทำงานจริงของวงจร จึงได้มีการทดสอบและวัดคุณสมบัติของวงจรและนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการออกแบบและคำนวณ โดยการทดสอบจะแบ่งออกเป็นกลุ่มตามลักษณะการทำงาน คือ

1. การทดสอบคุณสมบัติวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง
2. การทดสอบคุณสมบัติวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ
3. การทดสอบการโอนย้าย

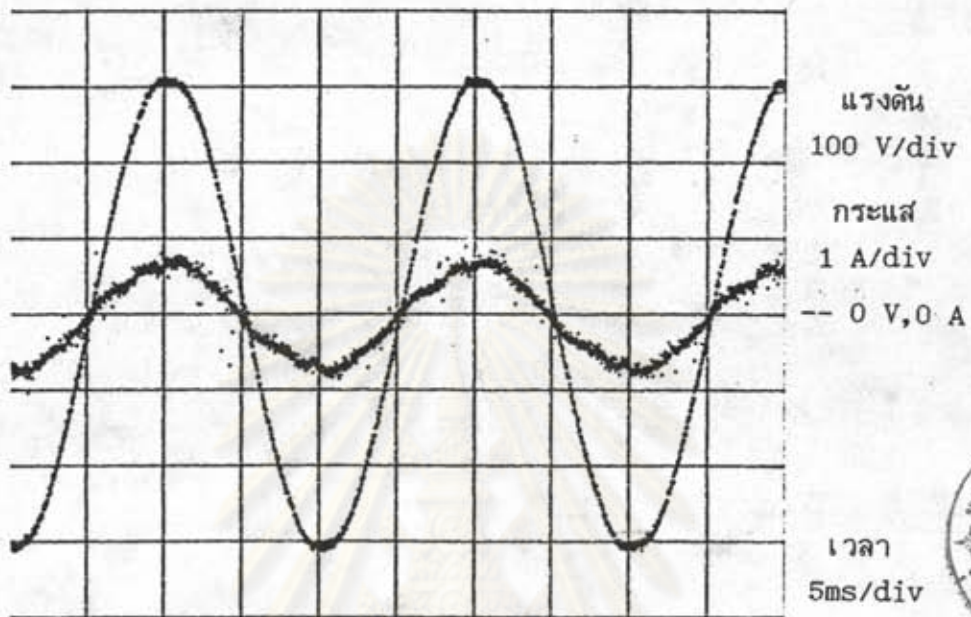
1 การทดสอบคุณสมบัติวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง วงจรแปลงผันสองทิศทาง เมื่อทำหน้าที่แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงนั้น จะทำหน้าที่เป็นได้ทั้งวงจรเรียงกระแสแบบสวิตชิง (SMR) ที่ควบคุมกระแสด้านเข้า ให้มีลักษณะใกล้เคียงไซน์ และวงจรปรับปรุงตัวประกอบกำลัง (PFC) ที่ทำการปรับปรุงตัวประกอบกำลังของโหลดที่มีค่าต่ำ ให้มีค่าตัวประกอบกำลังที่ใกล้เคียงหนึ่ง และมีผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกต่ำ

การทดสอบเมื่อวงจรทำหน้าที่เป็นวงจรเรียงกระแสแบบสวิตชิง ได้ทำการทดสอบโดยให้วงจรมีแรงดันไฟตรงทางด้านออกเท่ากับ 54.4 โวลต์ ตามระดับแรงดันที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ ทำการจ่ายกระแสไฟตรง 1 แอมแปร์ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 7.1-7.6 รูปที่ 7.1 เป็นรูปลักษณะของกระแสไฟสลับทางด้านเข้าของวงจรกับแรงดันไฟสลับ จะเห็นว่ากระแสไฟสลับด้านเข้ามีลักษณะใกล้เคียงรูปไซน์มาก แต่ยังมีลักษณะที่บิดเบี้ยว เนื่องจากวงจรกรองกระแสยังไม่ดีนัก อย่างไรก็ตามรูปลักษณะของกระแสนี้ มีผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกเพียง 8.6 % และมีตัวประกอบกำลังสูงถึง 0.98 และจากกระแสที่มีลักษณะนำหน้าแรงดันอยู่เพียงเล็กน้อยนี้ เนื่องจากกระแสนี้เป็นผลรวมของกระแสโหลด และกระแสของตัวเก็บประจุที่

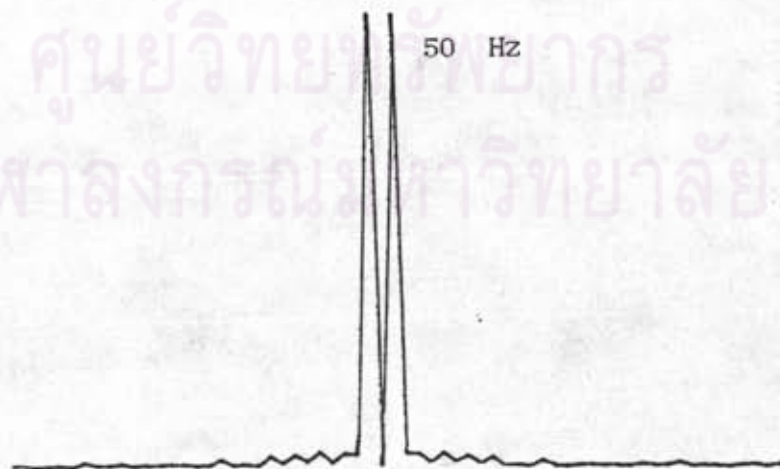
เป็นวงจรกรอง เมื่อกระแสไหลดที่ทำการทดสอบมีขนาดเล็ก ทำให้ผลของกระแสของตัวเก็บประจุที่มีขนาดเล็กมีผลเด่นชัดขึ้น อย่างไรก็ตามวงจรที่ได้ออกแบบ ให้สามารถที่จะทำการปรับให้กระแสมีมุมเฟสเดียวกับแรงดันได้ดังรูปที่ 7.2 สำหรับแอมพลิจูดของกระแสด้านเข้าที่ทำการควบคุมที่ความถี่ต่างๆ แสดงในรูปที่ 7.3 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ฮาร์มอนิกความถี่อื่นมีขนาดน้อยมาก สำหรับรูปลักษณะของกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ  $L_1$  และ  $L_2$  จะเป็นไปตามสมการที่ 2.15 และ 2.16 คือประกอบด้วย กระแสไฟสลับด้านเข้าที่มีการโอนย้ายทางทุติยภูมิแล้ว ครึ่งหนึ่ง รวมกับระดับไฟตรงซึ่งมีขนาดเท่ากับ 0.5 แอมแปร์ โดยไฟตรงที่เป็นองค์ประกอบนี้ จะมีทิศทางตรงกันข้ามในตัวเหนี่ยวนำทั้งสอง กระแสที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำนี้ มีลักษณะที่ผิดไปจากรูปที่ 5.7 เล็กน้อย คือ มีการกระเพื่อมของกระแสที่สูงกว่า และบริเวณใกล้ศูนย์จะมีลักษณะขดไปเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากวงจรจริงจะต้องมีการหน่วงเวลาเล็กน้อยหลังจากที่วงจรควบคุมสั่งให้ทำการเปิดสวิตช์ สวิตช์จึงจะทำการเปิดเปิดได้ ทำให้ความถี่ของการสวิตช์ลดลง มีการกระเพื่อมของกระแสสูงขึ้น และบริเวณใกล้ศูนย์จะเป็นบริเวณที่มีความถี่ของการสวิตช์สูงมาก การหน่วงเวลาทำให้ไม่มีการสวิตช์ หรือมีการสวิตช์ในช่วงเวลาที่น้อยกว่าคำสั่งมาก ทำให้กระแสมีลักษณะที่ผิดไป สำหรับแรงดันไฟตรงที่ได้และแรงดันกระแสเฟอิมที่เป็นองค์ประกอบ แสดงในรูปที่ 7.6 และ 7.7 แรงดันกระแสเฟอิมที่เป็นองค์ประกอบของไฟตรง จะมีความถี่ 100 เฮิรตซ์ เป็นองค์ประกอบตามสมการที่ 2.17



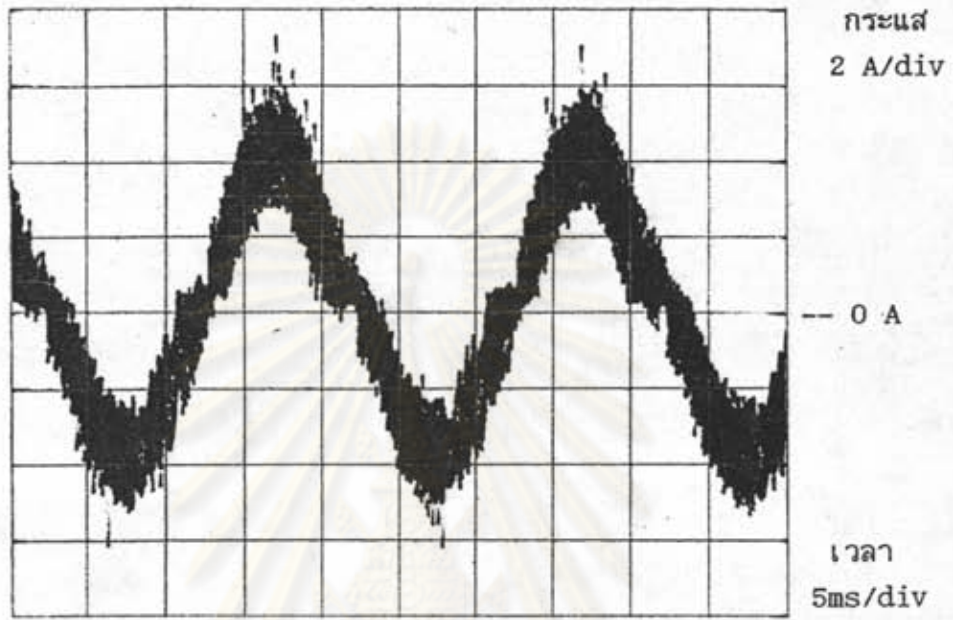
รูปที่ 7.1 แรงดันและกระแสด้านเข้าของวงจรเรียงกระแสแบบสวิตชิง



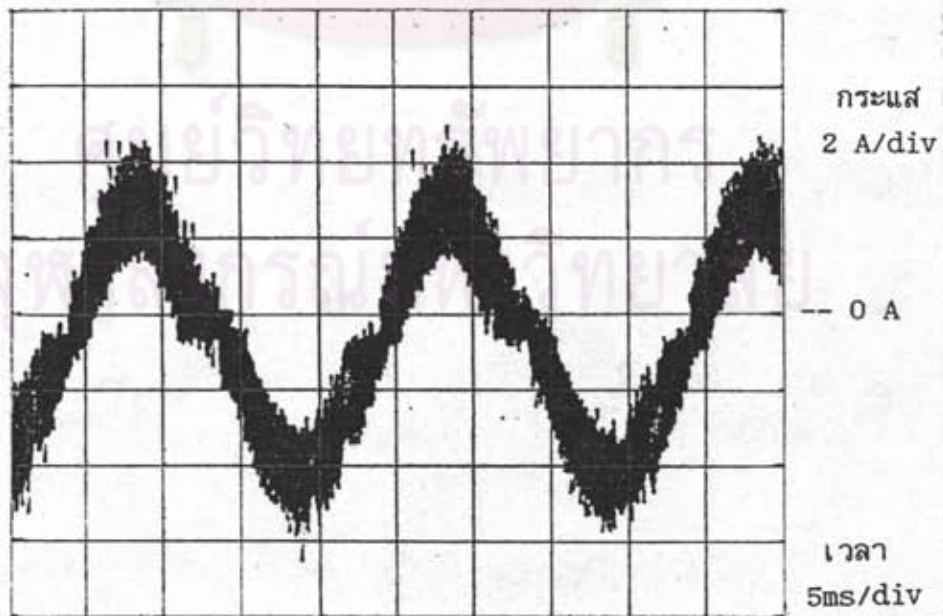
รูปที่ 7.2 แรงดันและกระแสด้านเข้าเมื่อทำการปรับมุมเฟสแล้ว



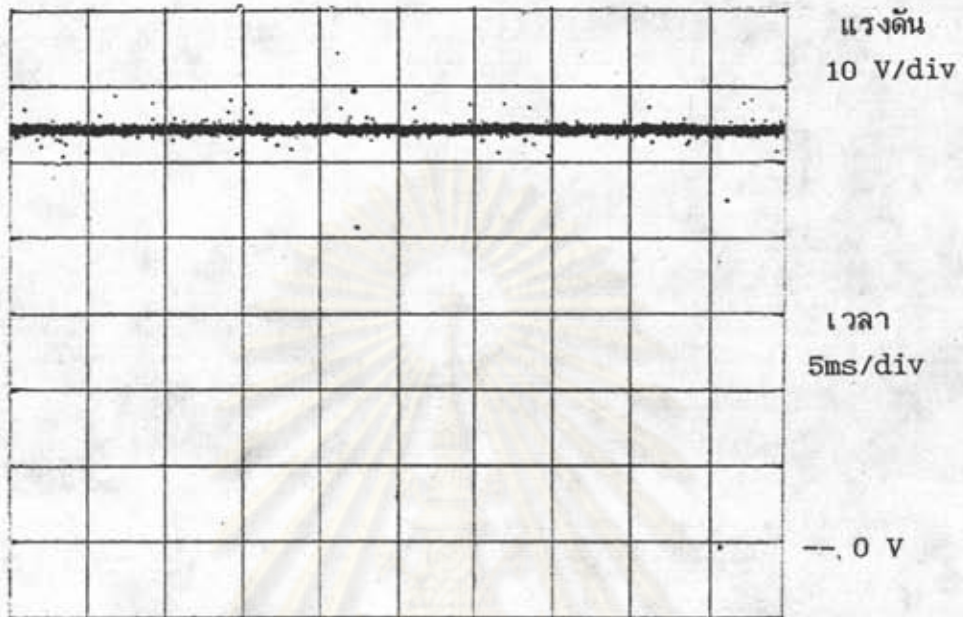
รูปที่ 7.3 แอมพลิจูดของกระแสด้านเข้าที่ความถี่ต่างๆ



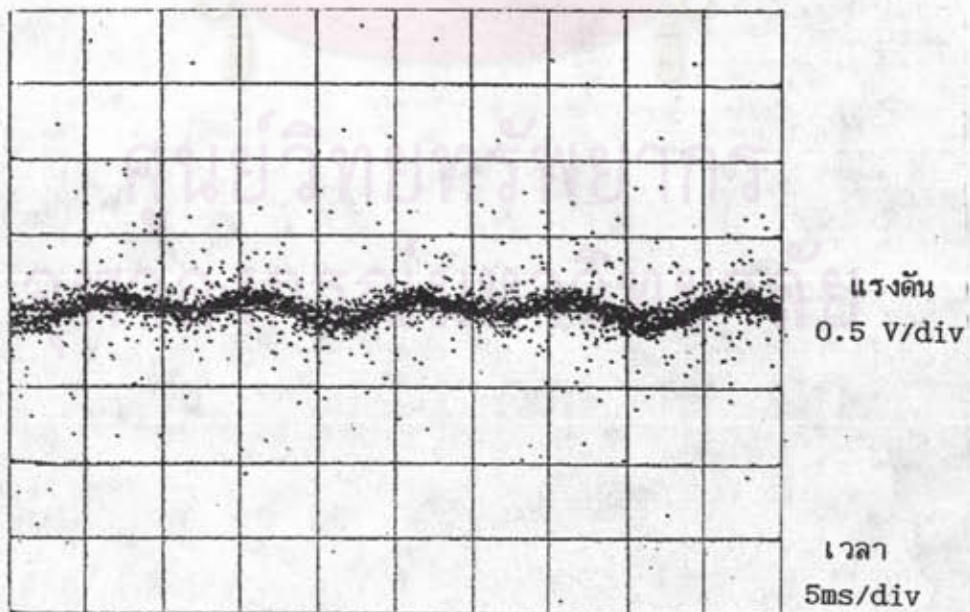
รูปที่ 7.4 ลักษณะของกระแสใน  $L_1$



รูปที่ 7.5 ลักษณะของกระแสใน  $L_2$



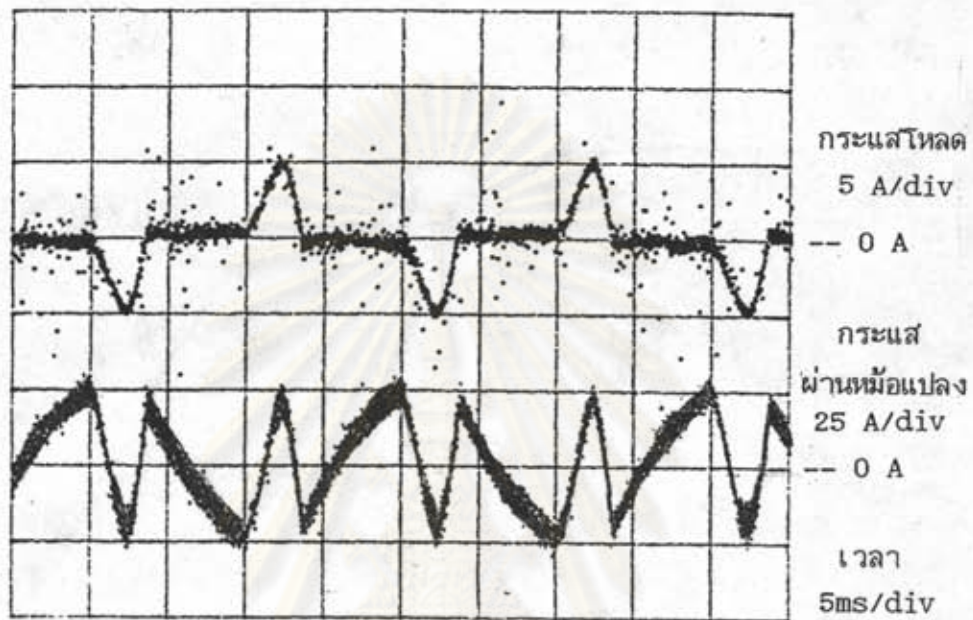
รูปที่ 7.6 แรงดันไฟตรงด้านออก



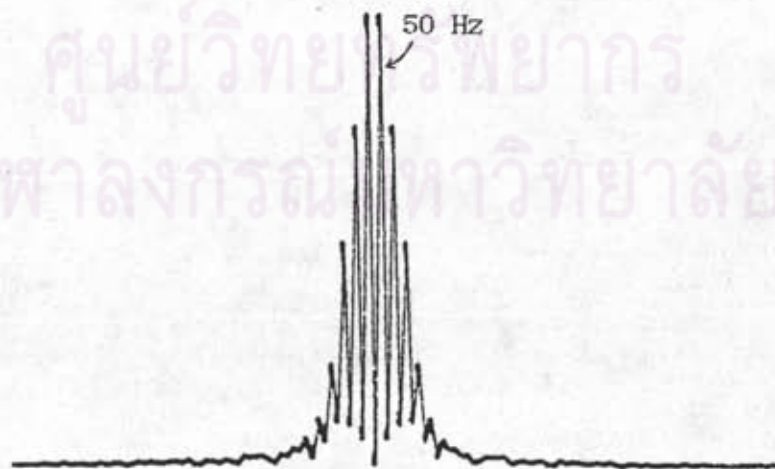
รูปที่ 7.7 แรงดันกระเพื่อมของตัวเก็บประจุ

การทดสอบเมื่อวงจรทำหน้าที่ปรับปรุงตัวประกอบกำลังให้กับโหลดและในขณะเดียวกันแรงดันไฟตรงทางด้านออก มีการจ่ายกระแส 0.7 A ตามขนาดกระแสสูงสุดที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ โดยโหลดที่ใช้จะเป็นวงจรเรียงกระแส ที่มีลักษณะกระแสเป็นพัลส์ขนาดใหญ่ มีผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกสูง และมีตัวประกอบกำลังต่ำ กระแสโหลดจะมีลักษณะดังรูปที่ 7.8 ซึ่งบนซึ่งมีแอมพลิจูดของฮาร์มอนิกดังรูปที่ 7.9 ซึ่งจะเห็นว่าฮาร์มอนิกความถี่อื่นอยู่เป็นจำนวนมาก โดยวงจรจะทำการควบคุม ให้กระแสด้านเข้าของหม้อแปลงมีลักษณะดังรูปที่ 7.8 ซีกล่าง เพื่อที่จะให้ผลรวมของกระแสเข้าหม้อแปลงและกระแสโหลดนี้เป็นรูปไซน์ (โดยจะมีกระแสเข้าหม้อแปลงเมื่อไม่มีกระแสโหลด และจะมีกระแสไหลออก เมื่อกระแสโหลดมีขนาดสูงมาก) ซึ่งจะทำให้ได้กระแสด้านเข้าเป็นรูปที่ใกล้เคียงไซน์มาก และมีตัวประกอบกำลังใกล้เคียงหนึ่ง ดังรูปที่ 7.10 ลักษณะของกระแสบริเวณยอด จะมีลักษณะที่ผิดเพี้ยนไปเล็กน้อย เนื่องจากเป็นบริเวณที่กระแสโหลดมีค่าสูงมาก และวงจรชดเชยให้ไม่หมด ประกอบกับตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในวงจรกรองกระแสมีค่าความเหนี่ยวนำไม่คงเดิม แต่จะแปรเปลี่ยนตามขนาดของกระแส ทำให้ลักษณะกระแสบิดเบี้ยวไปบ้าง สำหรับยอดแหลมที่เกิดขึ้นเกิดจากการรบกวนของการวัด โดยลักษณะกระแสที่ได้จากการควบคุมมีแอมพลิจูดของฮาร์มอนิก ดังรูปที่ 7.11 จะเห็นว่าขนาดของฮาร์มอนิกอื่น ๆ มีค่าน้อยกว่าของโหลดมาก แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีขนาดของฮาร์มอนิกอื่นที่สูงกว่าในรูปที่ 7.3 ซึ่งไม่มีการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง สำหรับกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ  $L_1$  และ  $L_2$  เป็นดังรูปที่ 7.12 และ 7.13 ผลรวมของกระแสทั้งสองนี้คือ กระแสเข้าหม้อแปลงนั่นเอง สำหรับองค์ประกอบไฟตรงซึ่งมีขนาด 0.35 แอมแปร์ (ครึ่งหนึ่งของกระแสไฟตรงที่จ่าย) มีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับองค์ประกอบกระแสไฟสลับ ทำให้ไม่เห็นความแตกต่างของกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำทั้งสอง ซึ่งมีลักษณะเป็นไปตามสมการที่ 2.21 และ 2.22 สำหรับแรงดันไฟตรงด้านออกที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 7.14 ซึ่งมีขอบความหนามากกว่าแรงดันไฟตรงเมื่อวงจรไม่ได้ทำการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง เนื่องจากมีการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง ทำให้มีขนาดของแรงดันกระแสเพื่อกำลังขึ้นตามสมการที่ 2.23 ดังรูปที่ 7.15 ซึ่งยังคงมีความถี่ 100 เฮิรตซ์ เป็นองค์ประกอบ และในวงจรที่ทำการทดสอบนี้ ได้ใช้หม้อแปลงเป็นวงจรทางด้านเข้าของวงจรเรียงกระแสที่เป็นโหลด เมื่อทำการทดสอบที่แรงดันไฟสลับ 242 โวลต์ จะทำให้มีกระแสทำแม่เหล็กของหม้อแปลงขนาดใหญ่มาก ปรากฏตามรูปที่ 7.16 ด้านบน และมีแอมพลิจูดของฮาร์มอนิก ดังรูปที่ 7.17 ด้านบน วงจรก็ยังสามารถที่จะทำการควบคุมกระแสทางด้านเข้า ให้มีลักษณะใกล้เคียงรูปไซน์ได้ดังรูปที่ 7.16 ด้านล่าง ทำให้ฮาร์มอนิกความถี่อื่นลดลงอย่างมากดังแสดงในรูปที่ 7.17 ด้านล่าง ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังให้แก่โหลดนี้ จะเห็นว่าขณะที่กระแสโหลดมีขนาดใหญ่มาก จะมีกระแสไหลกลับออกมาจากหม้อแปลง เพื่อมาชดเชยกระแสโหลด ดังนั้นถ้ากระแสโหลดมีขนาดใหญ่มาก กระแสที่ไหลออกมาจากหม้อแปลงจะมีขนาดมาก โดยกระแสที่มาชดเชยนี้จะมาจากแบตเตอรี่แทน

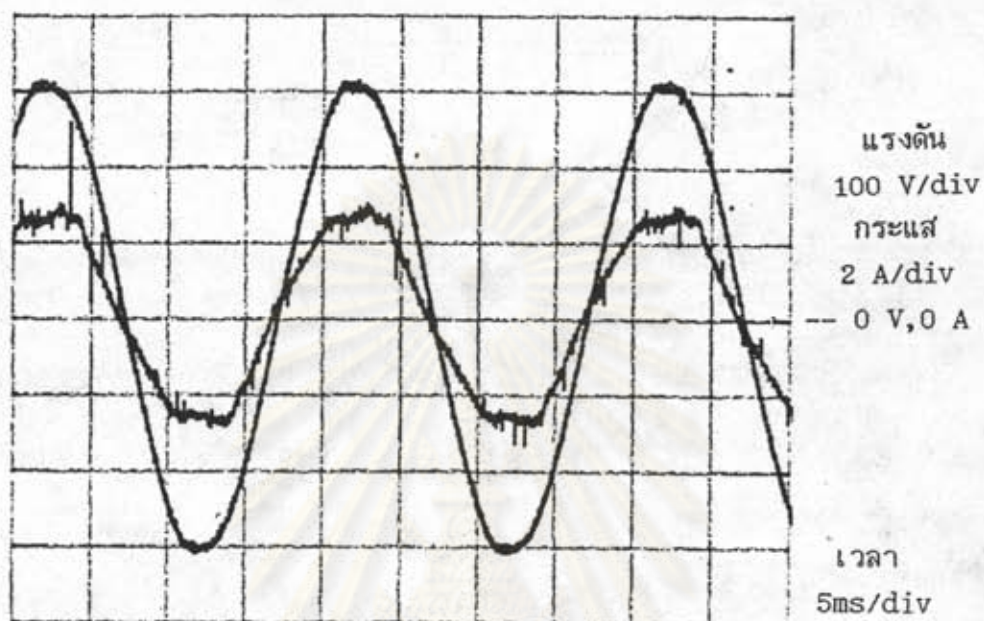
ซึ่งจะทำให้หน้าที่ในการประจุแบตเตอรี่ต้องสูญเสียไป ดังนั้นเมื่อกระแสไหลดมีขนาดใหญ่เกินไป วงจรจะไม่ทำการปรับปรุ้งตัวประกอบกำลังให้กับโหลดอีกต่อไป ซึ่งจะทำให้กระแสไหลกลับทางด้านเข้าประกอบด้วย กระแสที่ใช้ในวงจรประจุแบตเตอรี่รวมกับกระแสไหลด ดังรูปที่ 7.18



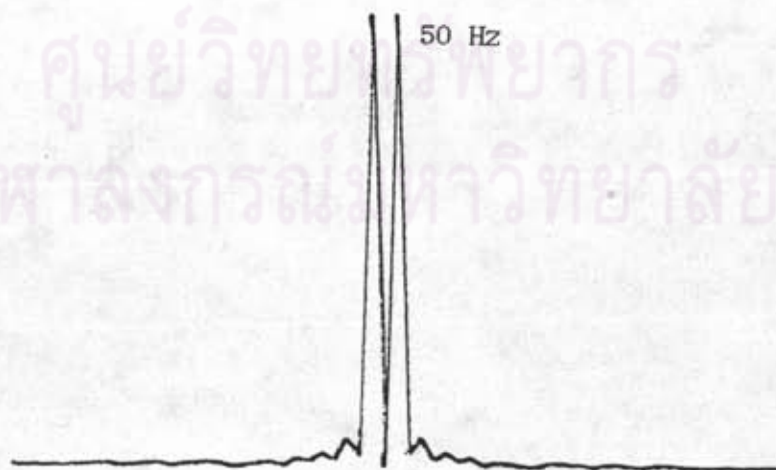
รูปที่ 7.8 ลักษณะของกระแสไหลดและกระแสผ่านหม้อแปลง



รูปที่ 7.9 แอมพลิจูดของกระแสไหลดที่ความถี่ต่างๆ

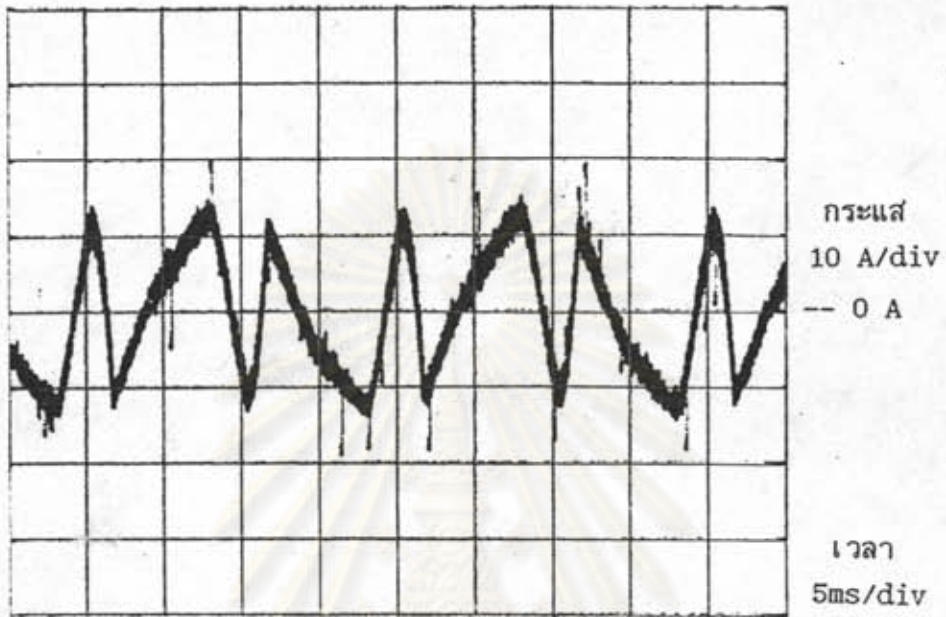


รูปที่ 7.10 แรงดันและกระแสต้านเข้าเมื่อทำการปรับปรุ่งตัวประกอบกำลังให้แก่โหลด

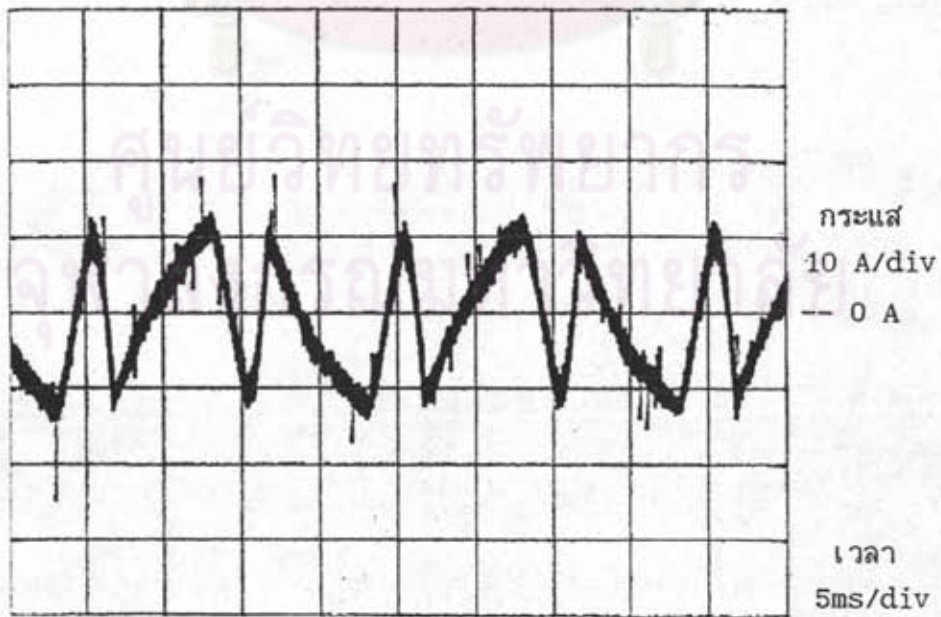


รูปที่ 7.11 แอมพลิจูดของกระแสต้านเข้าที่ความถี่ต่างๆ

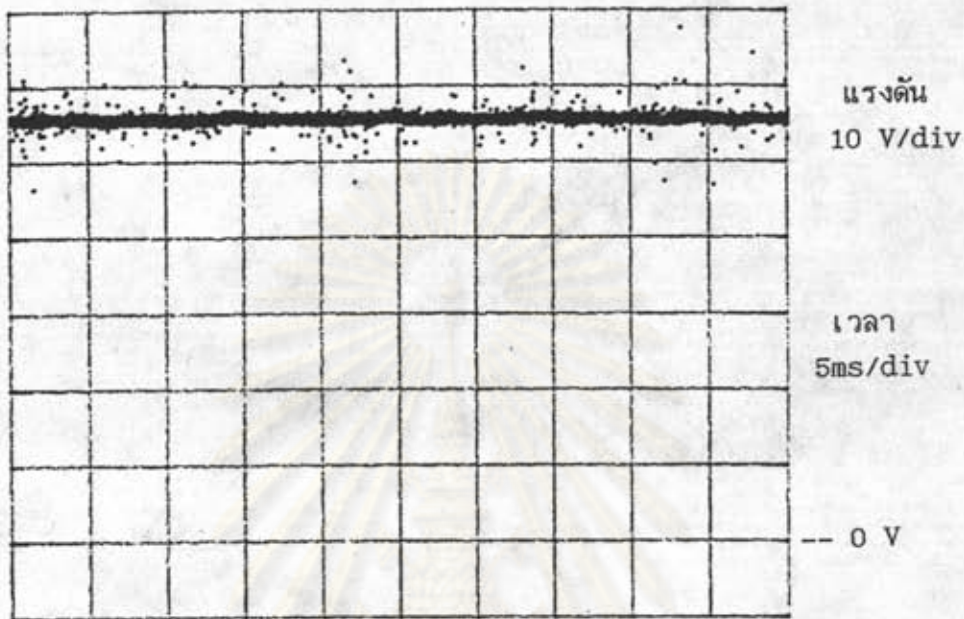




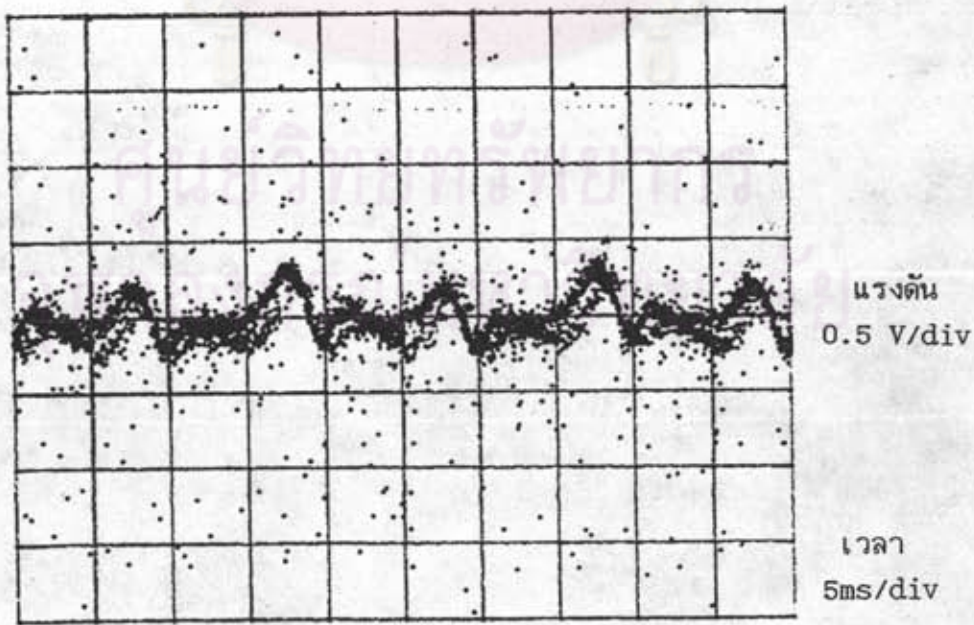
รูปที่ 7.12 ลักษณะกระแส  $L_1$  เมื่อทำการปรับรงตัวประกอบกำลังให้แก่โหลด



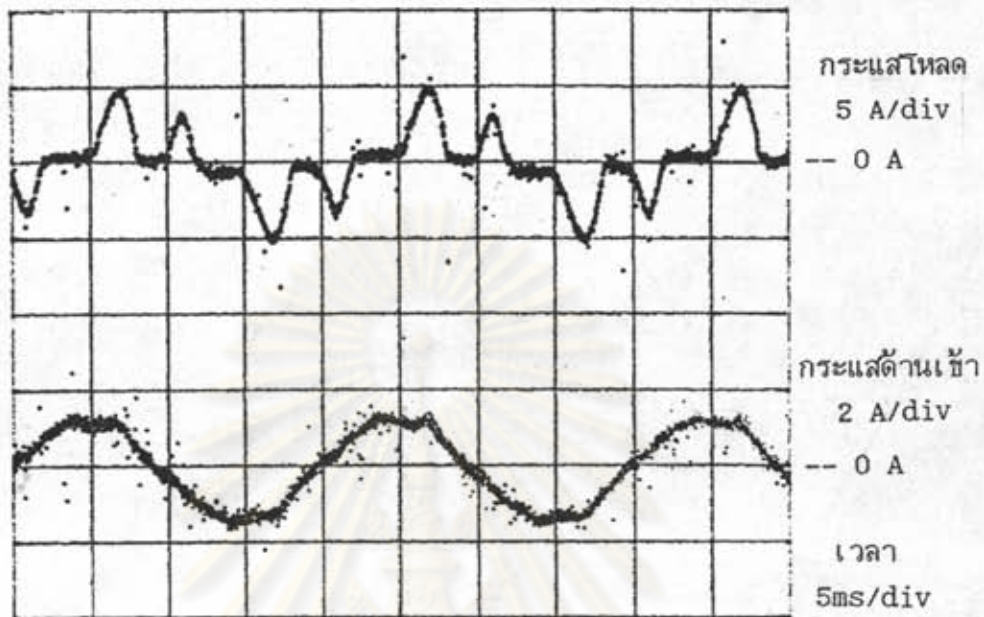
รูปที่ 7.13 ลักษณะกระแส  $L_2$  เมื่อทำการปรับรงตัวประกอบกำลังให้แก่โหลด



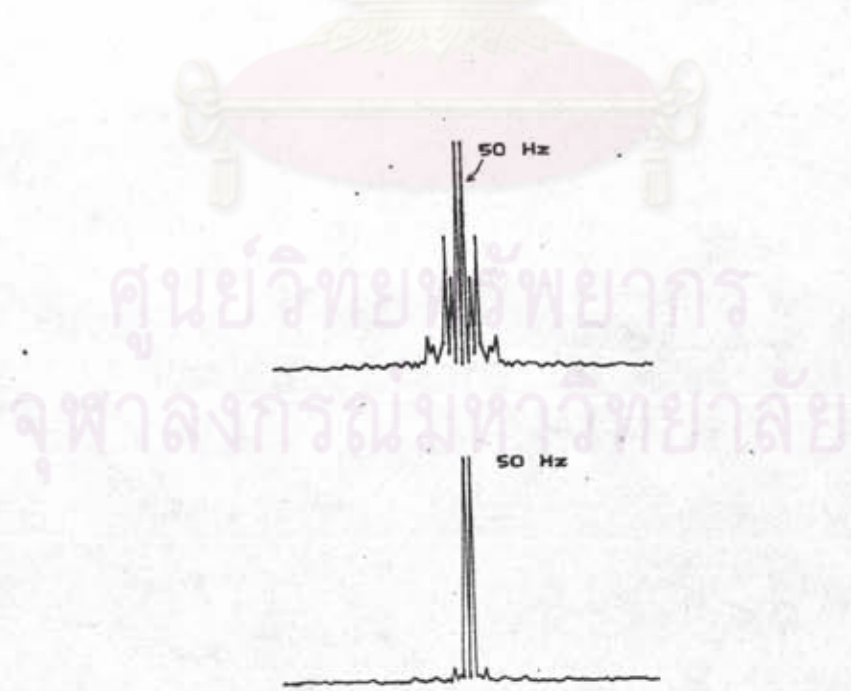
รูปที่ 7.14 แรงดันไฟตรงด้านออก เมื่อทำการปรับปรุ่งตัวประกอบกำลังให้แก่โหลด



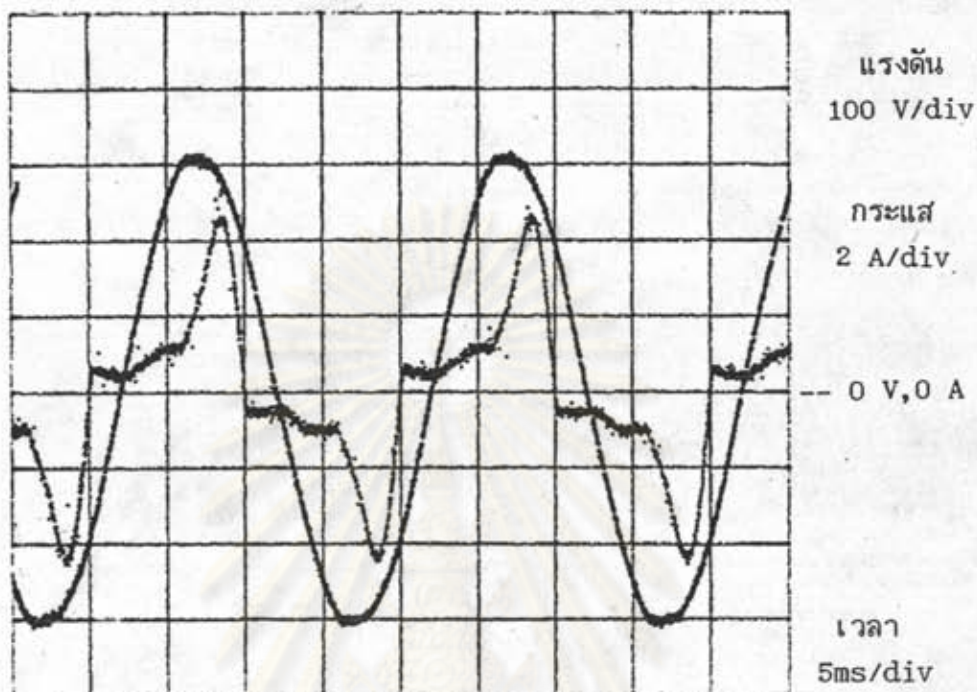
รูปที่ 7.15 แรงดันผลั้วของตัวเก็บประจุทั้งสอง เมื่อทำการปรับปรุ่งตัวประกอบกำลังให้แก่โหลด



รูปที่ 7.16 ลักษณะกระแสไหลและกระแสด้านเข้า  
เมื่อแรงดันไฟสลับด้านเข้าเป็น 242 โวลต์

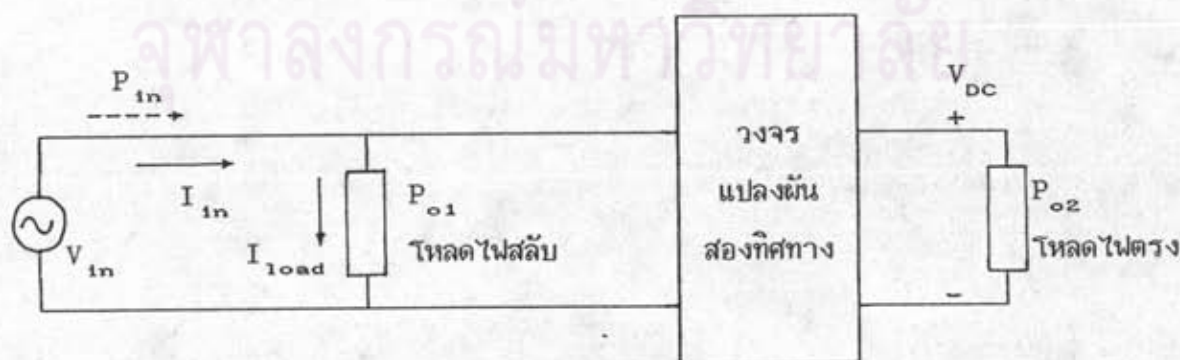


รูปที่ 7.17 แอมพลิจูดของกระแสไหลและกระแสด้านเข้าที่ความถี่ต่างๆ  
เมื่อแรงดันไฟสลับด้านเข้าเป็น 242 โวลต์



รูปที่ 7.18 แรงดันและกระแสด้านเข้าเมื่อไม่มีการปรับปรุ่งตัวประกอบกำลัง

เมื่อทำการทดสอบการปรับปรุ่งตัวประกอบกำลัง ตามวงจรดังรูปที่ 7.19 ที่กระแสโหลดต่างๆกัน จะได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 7.1 ตารางนี้แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพของระบบขณะรับโหลดนั้นมีค่าประมาณ 70 % ซึ่งต่ำกว่าประสิทธิภาพของวงจรแปลงกันไฟตรง-ไฟตรงทั่วไป (ซึ่งมีค่าประมาณ 75 %)



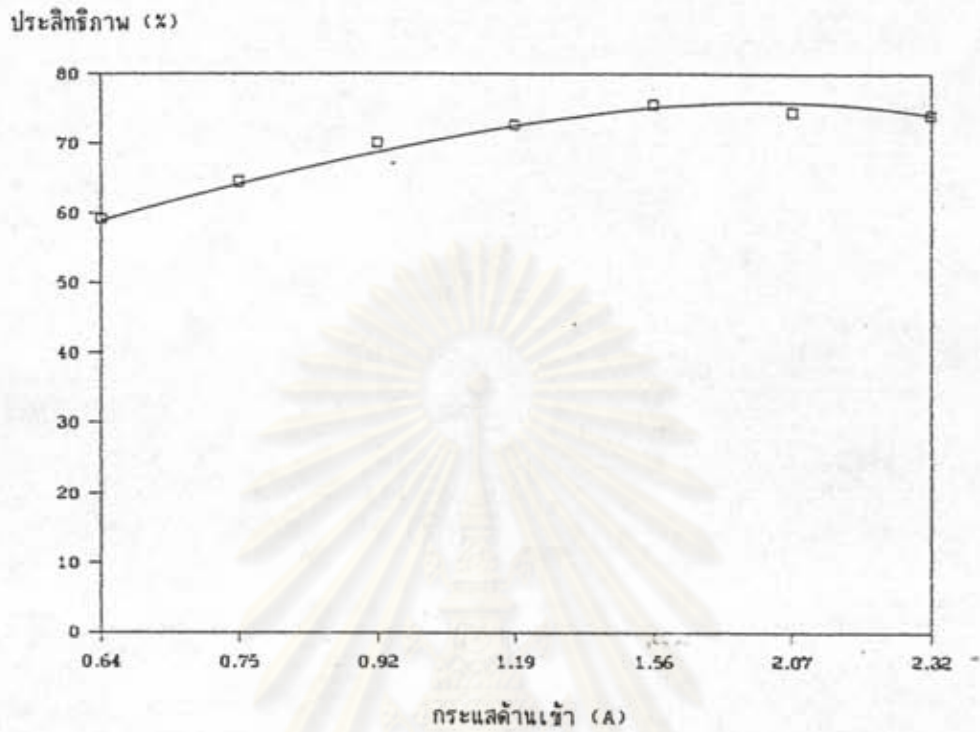
รูปที่ 7.19 วงจรทดสอบ

ตารางที่ 7.1 ผลการทดสอบการปรับปรุงตัวประกอบกำลังที่โหลดค่าต่างๆกัน

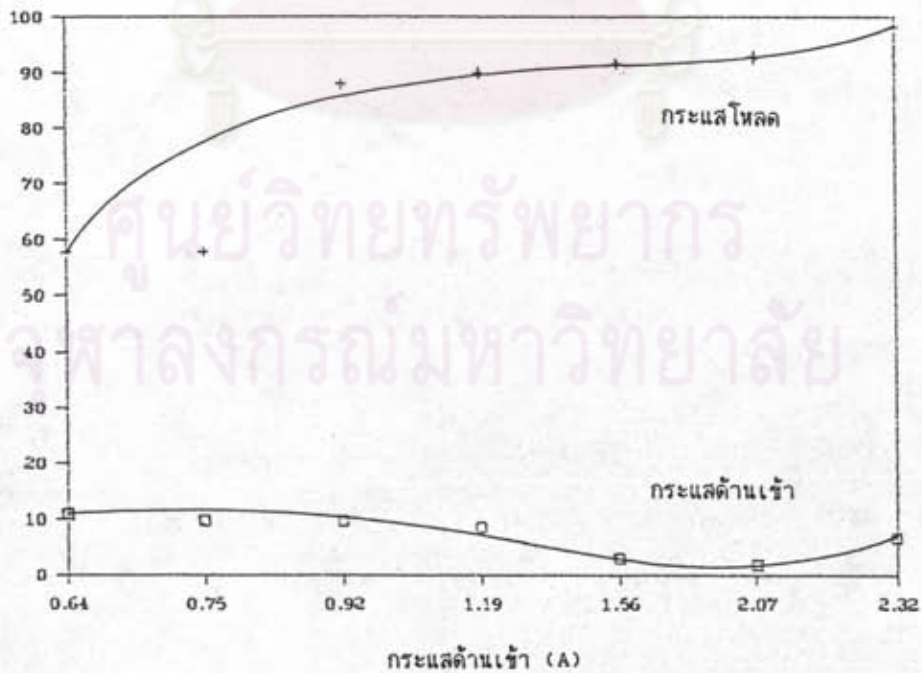
ทางด้านเข้า					โหลดไฟสลับ				
แรงดันไฟสลับ	กระแส	THD	กำลัง	ตัวประกอบกำลัง	แรงดันไฟตรง	กระแสโหลด	THD	ตัวประกอบกำลัง	ประสิทธิภาพของระบบ
$V_{in}$	$I_{in}$		$P_{in}$		$V_{DC}$	$I_{load}$			$\frac{P_{o1}+P_{o2}}{P_{in}}$
(V)	(A)	%	(W)		(V)	(A)	%		%
220.5	0.636	10.8	122.4	0.873	54.3	0.228	57.8	0.72	59.25
219.6	0.751	9.8	151.2	0.917	54.3	0.393	57.9	0.74	64.59
219.9	0.924	9.7	195.5	0.962	54.3	0.635	88	0.74	70.13
219.6	1.198	8.5	258.8	0.984	54.3	0.986	90	0.716	72.72
219.7	1.556	2.9	338.1	0.989	54.3	1.413	91.7	0.715	75.59
219	2.066	1.92	448.4	0.991	54.3	1.956	92.2	0.699	74.5
220.8	2.32	6.7	502	0.98	54.3	2.28	98.2	0.696	74.1
220.5	0.575	15	90	0.71	54.3	ไม่มีโหลดไฟสลับ			
220.2	0.353	64	45	0.58	54.4	ไม่มีโหลดไฟตรงและไฟสลับ			

ผลการทดสอบ สามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ กระแสโหลดกับ ประสิทธิภาพของวงจร ผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิก และค่าตัวประกอบกำลังได้ดังรูปที่ 7.20 7.21ก และ 7.21ข

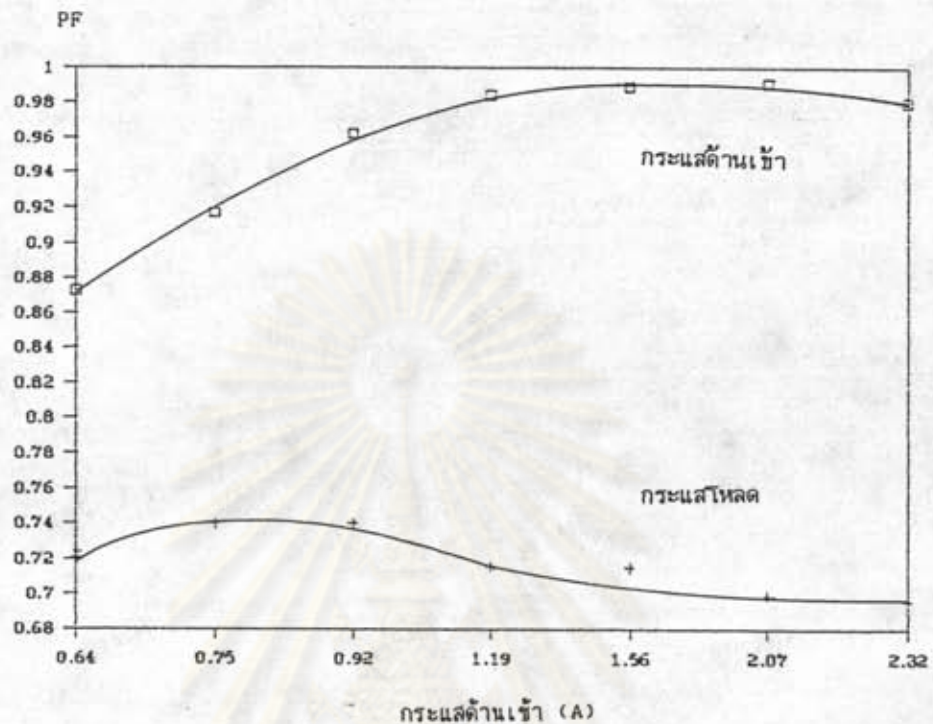
ประสิทธิภาพของวงจรจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อกำลังที่จ่ายมีค่ามากขึ้น เนื่องจากวงจร ต้องสูญเสียกำลังคงที่ส่วนหนึ่ง ซึ่งไม่แปรตามกำลังที่จ่ายออก (เช่น พลังงานสูญเสียในแกนเหล็ก) และกำลังที่สูญเสียอีกส่วนหนึ่งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อมีการจ่ายกำลังที่สูงขึ้น (เช่น การสูญเสียใน สวิตช์ ใน สิ้นลวด) แต่เพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ต่ำกว่าอัตราการเพิ่มของกำลังที่จ่ายออก ทำให้ ประสิทธิภาพของวงจรเพิ่มขึ้นเมื่อมีการจ่ายกำลังออกที่สูงขึ้น ส่วนการที่วงจรมีประสิทธิภาพต่ำกว่า



รูปที่ 7.20 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเข้าและประสิทธิภาพของวงจร THD (%)



รูปที่ 7.21ก ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเข้าและผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกของกระแสโหลดและกระแสเข้า



รูปที่ 7.21 ข ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสต้านเข้าและค่าตัวประกอบกำลังที่โหลดและทางด้านเข้า

วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงโดยทั่วไป เนื่องจากการทำงานในโหมดนี้ โหลดไฟสลับเป็นวงจรเรียงกระแสที่ใช้ไดโอด ซึ่งมีลักษณะของกระแสเป็นพัลส์ขนาดใหญ่ ดังนั้นในการปรับปรุงกระแสต้านเข้าของระบบให้มีลักษณะเป็นรูปไซน์ จะต้องมีการเพิ่มขนาดใหญ่ไหลผ่านวงจรเพื่อออกมาชดเชยกระแสไหลกลับ ทำให้การสูญเสียในวงจรมีปริมาณสูงขึ้น ประกอบกับโหลดมีตัวประกอบกำลังต่ำ (มีการสูญเสียที่สูง แต่กำลังที่จ่ายไปยังโหลดลดลง) ทำให้กำลังที่โหลดได้รับต่ำลง ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบต่ำลง จากตารางที่ 7.1 เราสามารถหาความคุ้มค่าเชิงโหลดได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ความคุ้มค่าเชิงโหลด} &= (\text{แรงดันไว้โหลด} - \text{แรงดันโหลดเต็มที่}) \times 100 / \text{แรงดันโหลดเต็มที่} \\
 &= \frac{(54.4 - 54.3)}{54.3} \times 100 \\
 &= 0.18 \%
 \end{aligned}$$

และทำการทดสอบโดยการจ่ายกระแสไหลกลับเต็มที่ และปรับเปลี่ยนแรงดันไฟสลับจาก 198 - 242 โวลต์จะได้ผลดังตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแรงดันด้านเข้า

แรงดันไฟสลัبد้านเข้า (V)	กระแสไหลดไฟสลั (A)	แรงดันไฟตรง (V)
198	1.95	54.2
220	1.96	54.3
242	1.97	54.4
242	no load	54.5

จากตารางจะเห็นว่า การปรับเปลี่ยนของแรงดันด้านเข้าจาก 198 - 242 โวลต์ จะมีผลต่อแรงดันในการประจุแบตเตอรี่น้อยมาก และสามารถความคุมค่าเชิงสายป้อนได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความคุมค่าเชิงสายป้อน} &= \frac{(V_{\max} - V_{\min})}{V_{\min}} \times 100 \\ &= \frac{(54.4 - 54.2)}{54.2} \times 100 \\ &= 0.37 \% \end{aligned}$$

สำหรับแรงดันไฟตรงทางด้านออกนี้ จะต้องมีกการจำกัดกระแสได้ เพื่อที่จะสามารถ ใช้จำกัดกระแสในการประจุแบตเตอรี่ เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อแบตเตอรี่ โดยแบตเตอรี่ที่ใช้มี ขนาด 7 แอมแปร์-ชั่วโมง ดังนั้นจะทำการจำกัดกระแสไว้ที่ 10% คือ 0.7 แอมแปร์ และทำการ ทดสอบการจำกัดกระแส โดยการเปลี่ยนค่าความต้านทานที่ต่อเป็นโหลดของแรงดันไฟตรง แล้วทำ การวัดแรงดันและกระแสเมื่อความต้านทานมีค่าต่ำลง ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 ผลการทดสอบการจำกัดกระแส

แรงดัน (V)	54.5	54.3	54.3	54.3	54.3	53.5	51.9	49.8	46.7	42	40	38.4
กระแส (A)	no load	0.4	0.5	0.6	0.68	0.7	0.7	0.71	0.72	0.73	0.73	0.74

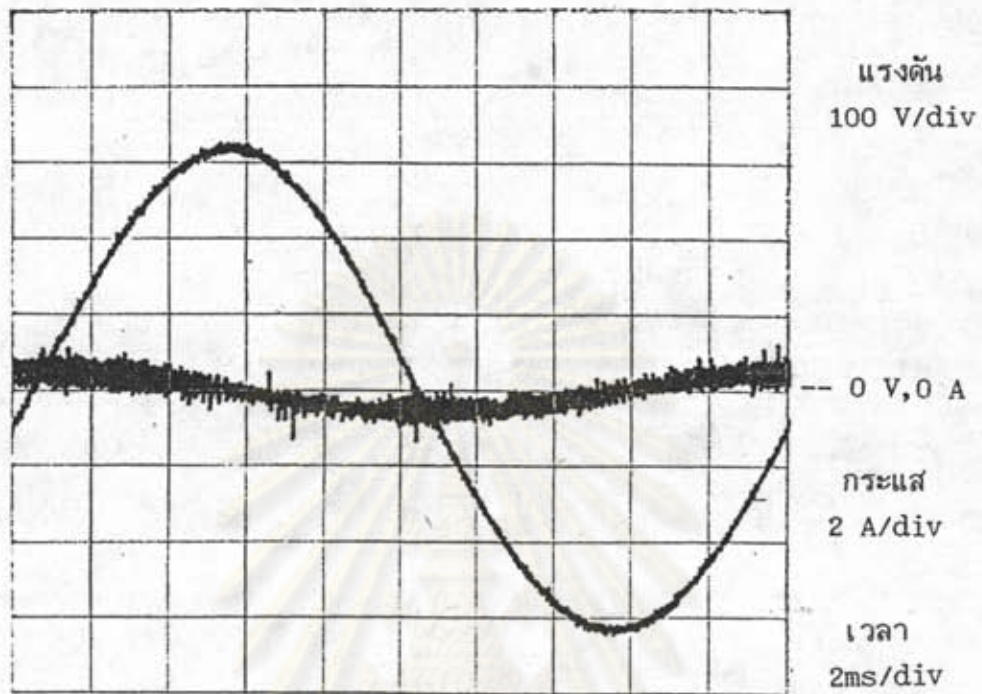
จากตารางจะเห็นได้ว่าวงจรสามารถที่จะจำกัดกระแสได้เป็นอย่างดี



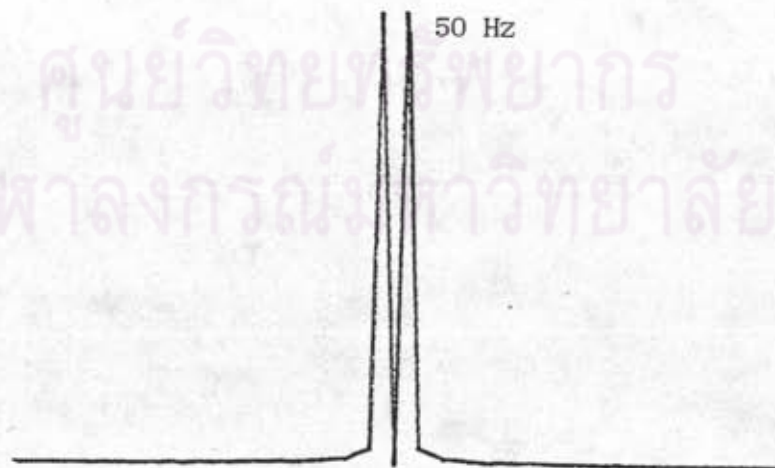
จากตารางผลการทดลอง จะเห็นได้ว่า วงจรสามารถที่จะจำกัดกระแสได้เป็นอย่างดี

2 การทดสอบคุณสมบัติของวงจรอินเวอร์เตอร์ การใช้โครงสร้างของวงจรแปลงผันสองทิศทาง ทำหน้าที่เป็นอินเวอร์เตอร์ มีผลการทดสอบดังรูปที่ 7.23 - 7.40 จากรูปที่ 7.23 และ 7.25 เป็นลักษณะของแรงดันและกระแสผ่านหม้อแปลง ในภาวะไว้โหลดและภาวะโหลดเต็มที่ โดยลักษณะของกระแสและแรงดันที่ได้ มีค่าผิดไปจากผลของการซึ่มเลต ในรูปที่ 3.8 และ 3.9 เล็กน้อย คือมีขนาดการกระเพื่อมของรูปคลื่นที่สูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากในวงจรจริงจะมีการหน่วงคำสั่งในการสวิตช์ไปเล็กน้อย เพื่อป้องกันการต่อสวิตช์พร้อม การต้องใช้เวลาในการทำงานของสวิตช์เมื่อได้รับคำสั่งจากวงจรควบคุม การต้องใช้เวลาทำงานของวงจรควบคุม ทำให้ความถี่ในการสวิตช์ลดลง การกระเพื่อมจึงมีค่ามากขึ้น โดยขนาดแอมพลิจูดของแรงดันที่ความถี่ต่างๆ ของแรงดันในภาวะไว้โหลด และภาวะโหลดเต็มที่ แสดงดังรูปที่ 7.24 และ 7.26 จะเห็นว่าแอมพลิจูดของแรงดันที่ความถี่อื่นๆ ที่ไม่ใช่ความถี่มูลฐานมีขนาดน้อยมาก สำหรับกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ  $L_1$  และ  $L_2$  แสดงในรูปที่ 7.27 และ 7.28 โดยมีกระแสไฟตรงขนาด 5 แอมแปร์ แต่มีทิศทางตรงกันข้าม เป็นองค์ประกอบอยู่ ซึ่งเป็นการสอดคล้องกับผลการซึ่มเลตในบทที่ 3 และสมการ 2.38 กับ 2.39 รูปที่ 7.29 แสดงแรงดันกระเพื่อมของตัวเก็บประจุทั้งสอง ซึ่งเป็นแรงดันที่มีความถี่ 100 เฮิรตซ์ มีขนาดตรงตามที่คำนวณไว้ในบทที่ 3

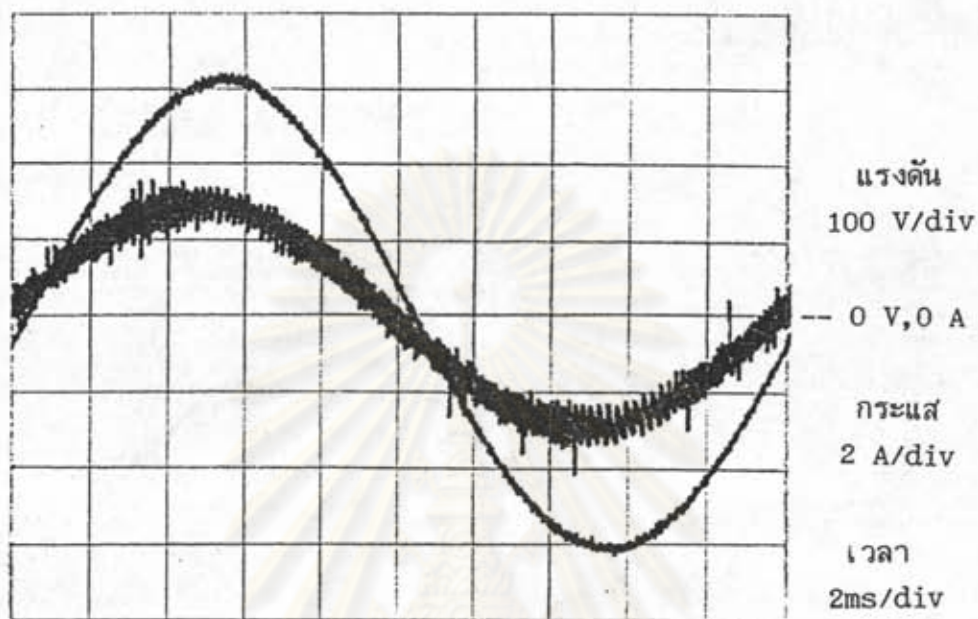
ถึงแม้ว่ากระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำทั้งสอง มีขนาดเท่ากันและมีทิศตรงข้ามกัน ซึ่งจะทำให้ฟลักซ์ของหม้อแปลง ที่เกิดจากกระแสไฟตรงนี้ หักล้างกันตามการคำนวณในบทที่ 2 แต่ในวงจรจริง ยังคงมีการไม่สมมาตรของวงจร ทำให้กระแสไฟตรงของกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำทั้งสองมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งจะทำให้มีฟลักซ์ที่เกิดเนื่องจากกระแสไฟตรงเหลืออยู่ และถ้ามีเป็นปริมาณมากจะทำให้หม้อแปลงเกิดการอิ่มตัวได้ จึงต้องมีการชดเชยความไม่สมมาตรนี้ โดยลักษณะของกระแสผ่านหม้อแปลง ที่ยังไม่มีการชดเชยจะมีลักษณะบิดเบี้ยว ดังรูปที่ 7.30 และเมื่อมีการชดเชยแล้ว กระแสที่ได้จะมีลักษณะสมมาตร ดังรูปที่ 7.31 และในการออกแบบวงจรควบคุมนี้ ได้มีการออกแบบการจำกัดกระแส ของวงจรอินเวอร์เตอร์ เพื่อป้องกันไม่ให้อินเวอร์เตอร์จ่ายกระแสมากเกินไปเกิด ลักษณะของแรงดันเมื่อมีการจำกัดกระแส โดยจ่ายให้แก่วงจรเรียงกระแสที่มีขดกระแสสูงกว่าที่กำหนด แสดงดังรูปที่ 7.32



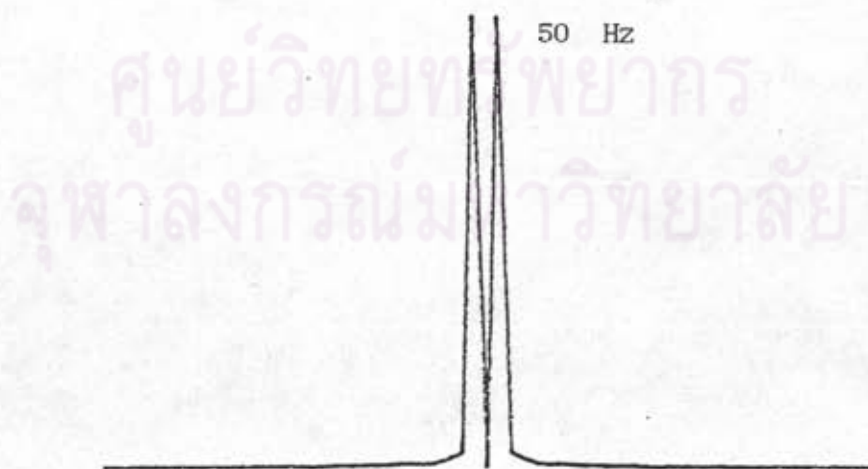
รูปที่ 7.23 แรงดันออกและกระแสผ่านหม้อแปลงของอินเวอร์เตอร์ในภาวะไว้โหลด



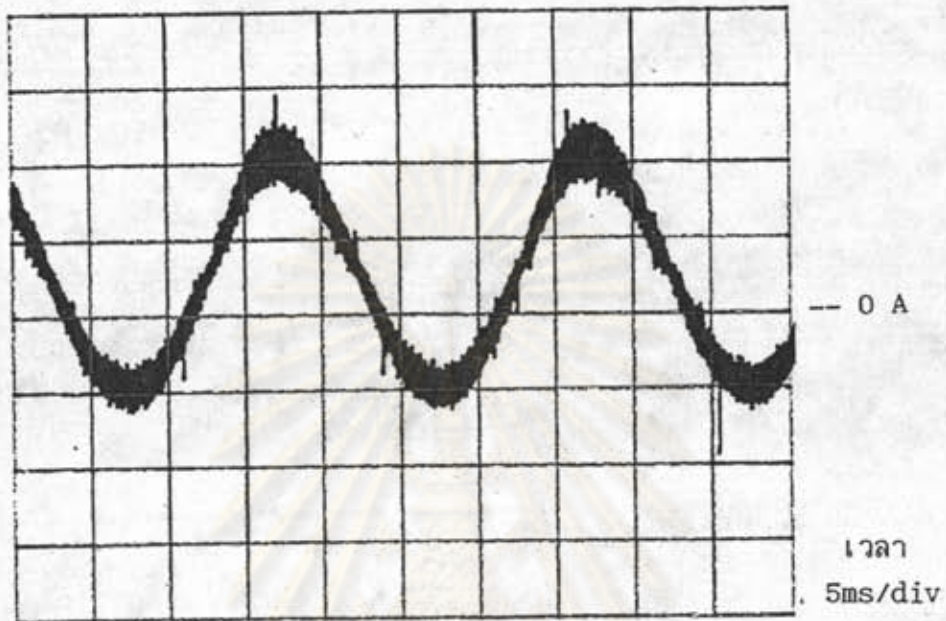
รูปที่ 7.24 แอมพลิจูดของแรงดันออกของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ต่างๆในภาวะไว้โหลด



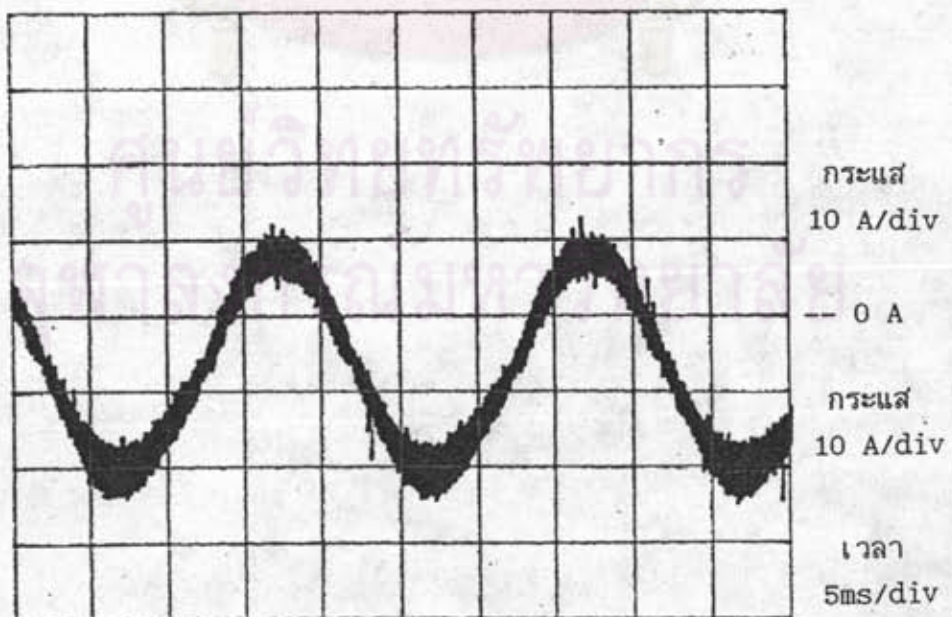
รูปที่ 7.25 แรงดันออกและกระแสผ่านหม้อแปลงของอินเวอร์เตอร์ในภาวะโหลดเต็มที่



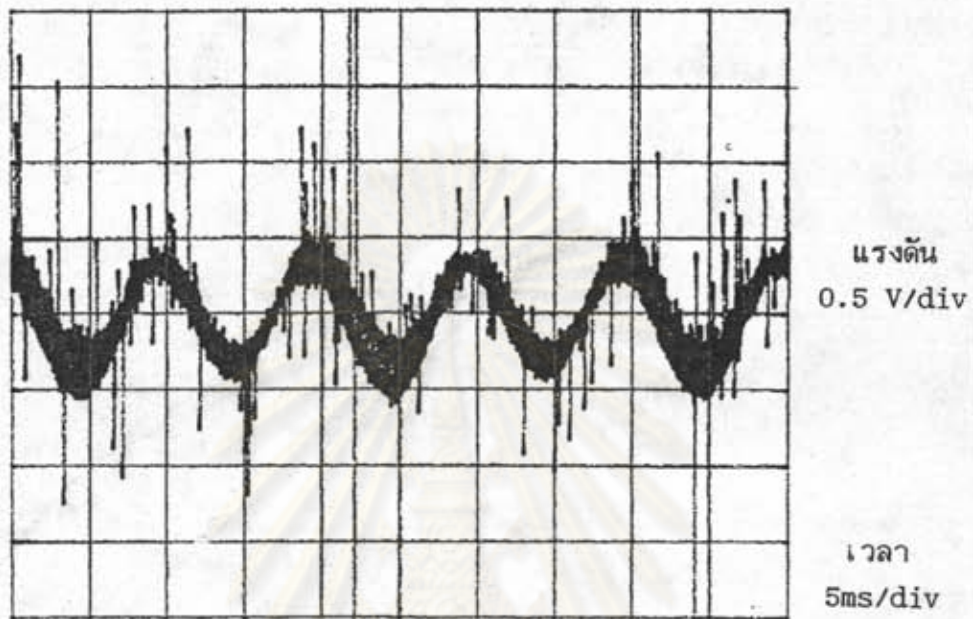
รูปที่ 7.26 แอมพลิจูดของแรงดันออกของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ต่างๆในภาวะโหลดเต็มที่



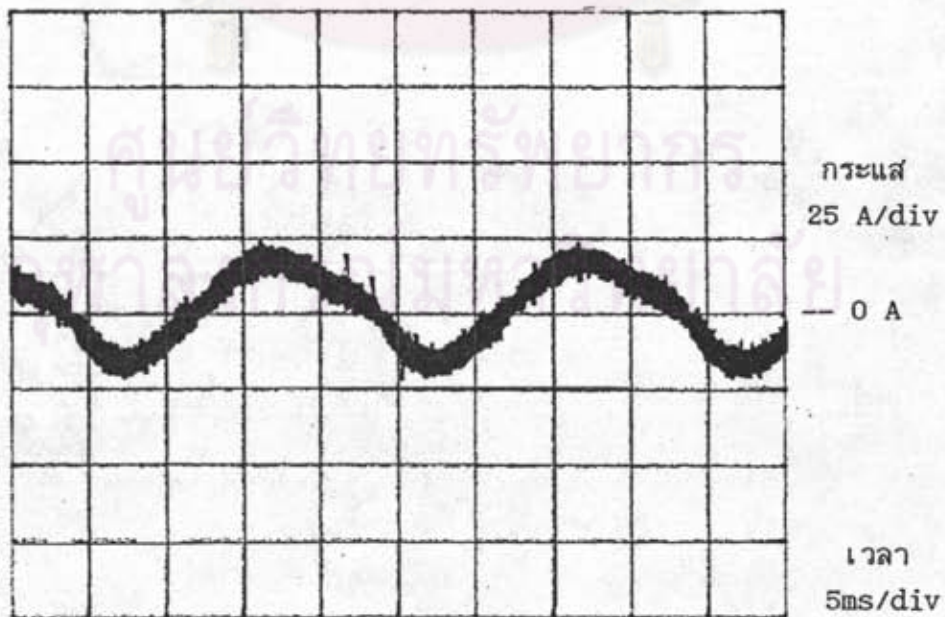
รูปที่ 7.27 กระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ  $L_1$  ของอินเวอร์เตอร์ในภาวะโหลดเต็มที่



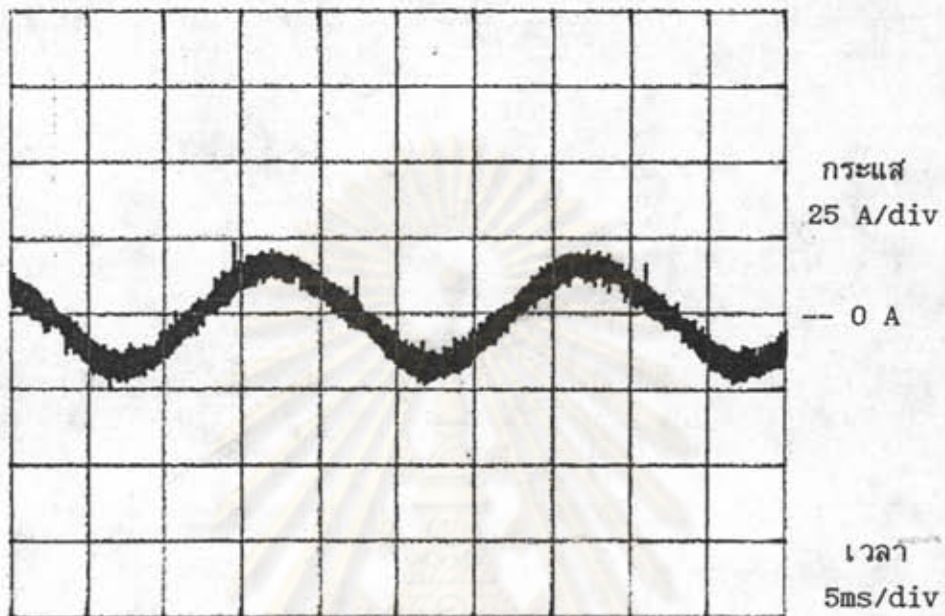
รูปที่ 7.28 กระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ  $L_2$  ของอินเวอร์เตอร์ในภาวะโหลดเต็มที่



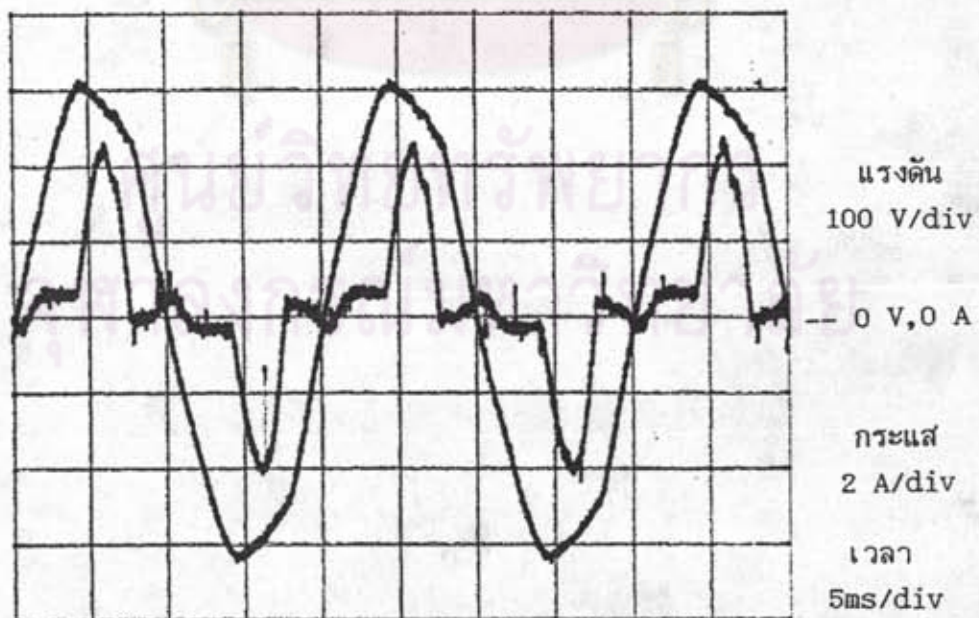
รูปที่ 7.29 แรงดันกระแสเฟืองของตัวเก็บประจุของอินเวอร์เตอร์ในภาวะโหลดเต็มที่



รูปที่ 7.30 ลักษณะของกระแสผ่านหม้อแปลงที่ไม่สมมาตร

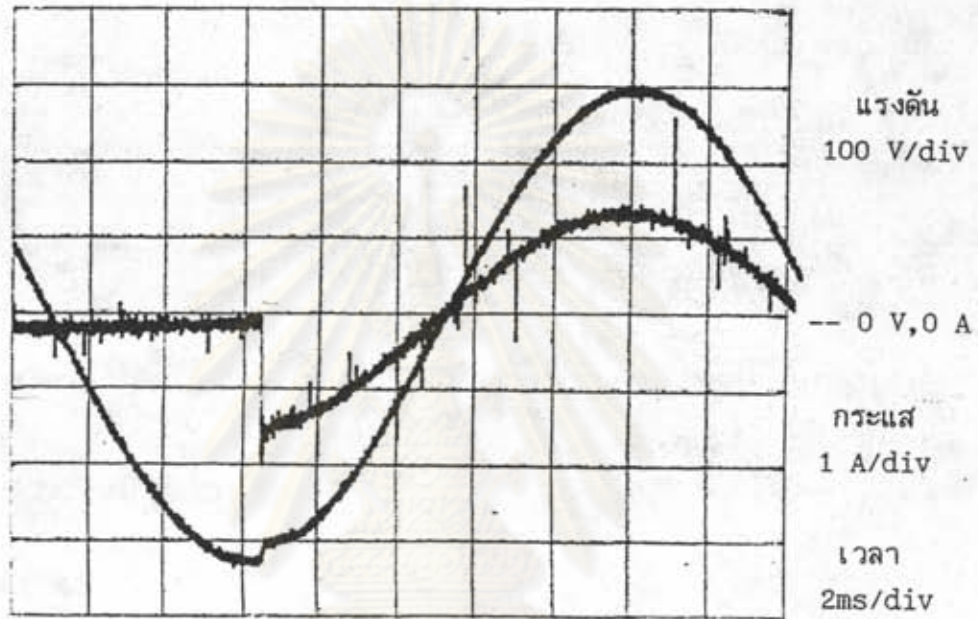


รูปที่ 7.31 ลักษณะของกระแสผ่านหม้อแปลงที่มีการชดเชยให้สมมาตร

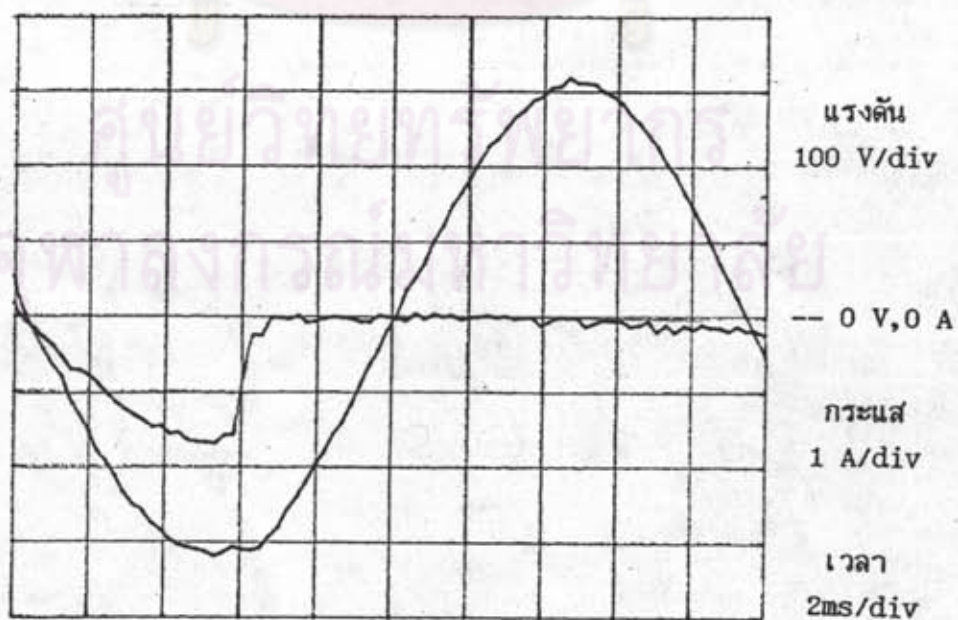


รูปที่ 7.32 แรงดันและกระแสของวงจรวัดจี้เมื่อมีการจำกัดกระแส

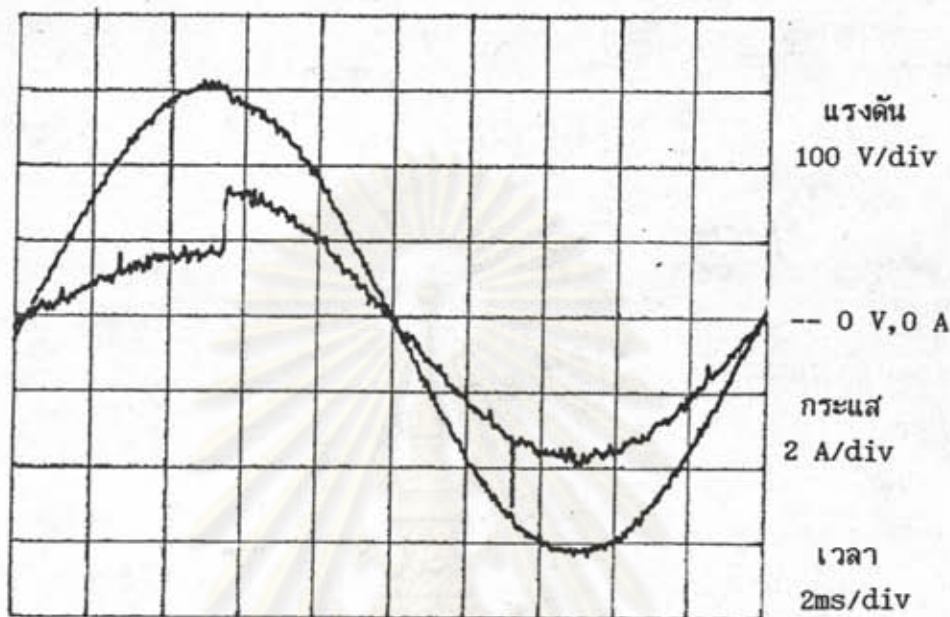
การทดสอบการเปลี่ยนแปลงโพลอย่างกะทันหัน เพื่อหาเวลานั้นตัวและแรงดัน  
 ชั่วครู่ แสดงดังรูปที่ 7.33 - 7.34 เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 3.13 และ 3.14 ซึ่งเป็นผลการ  
 ซึ่มูเลต จะเห็นได้ว่า มีผลใกล้เคียงกันคือ แรงดันชั่วครู่ที่เกิดจากการเปลี่ยนโพลดกะทันหัน  
 จะมีค่าต่างจากแรงดันในภาวะอยู่ตัวน้อยมาก และเวลาในการฟื้นตัว เพื่อให้แรงดันกลับเป็นรูป  
 ไซน์ปกติ ประมาณ 1 มิลลิวินาที ซึ่งนับว่าเป็นเวลาที่สั้นมากเมื่อเทียบกับอินเวอร์เตอร์ทั่วไป



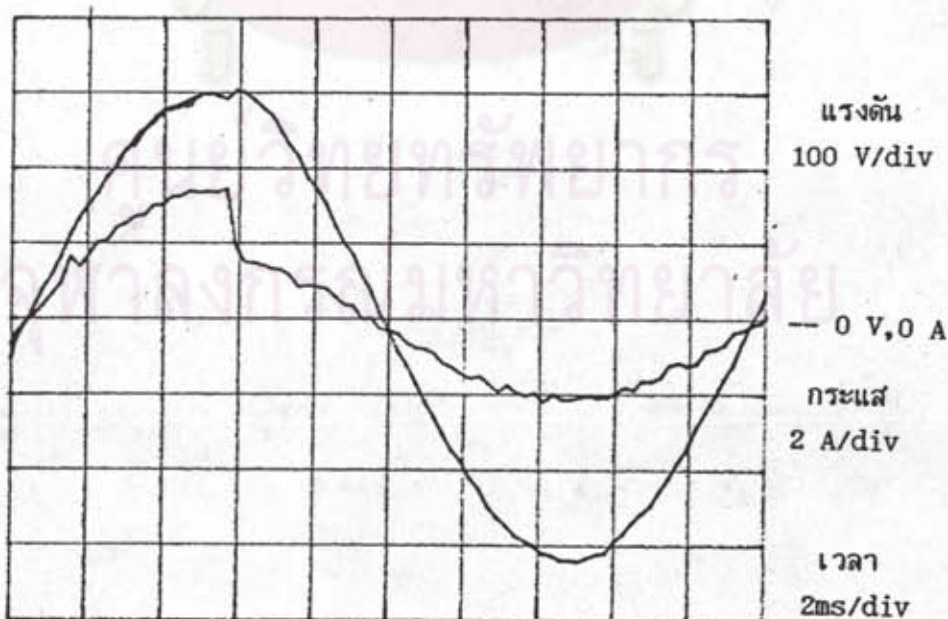
รูปที่ 7.33ก แรงดันและกระแสขาออกของอินเวอร์เตอร์ ขณะเปลี่ยนโพลด 0-50%



รูปที่ 7.33ข แรงดันและกระแสขาออกของอินเวอร์เตอร์ ขณะเปลี่ยนโพลด 50-0%



รูปที่ 7.34ก แรงดันและกระแสขาออกของอินเวอร์เตอร์ ขณะเปลี่ยนโหลด 50%-100%

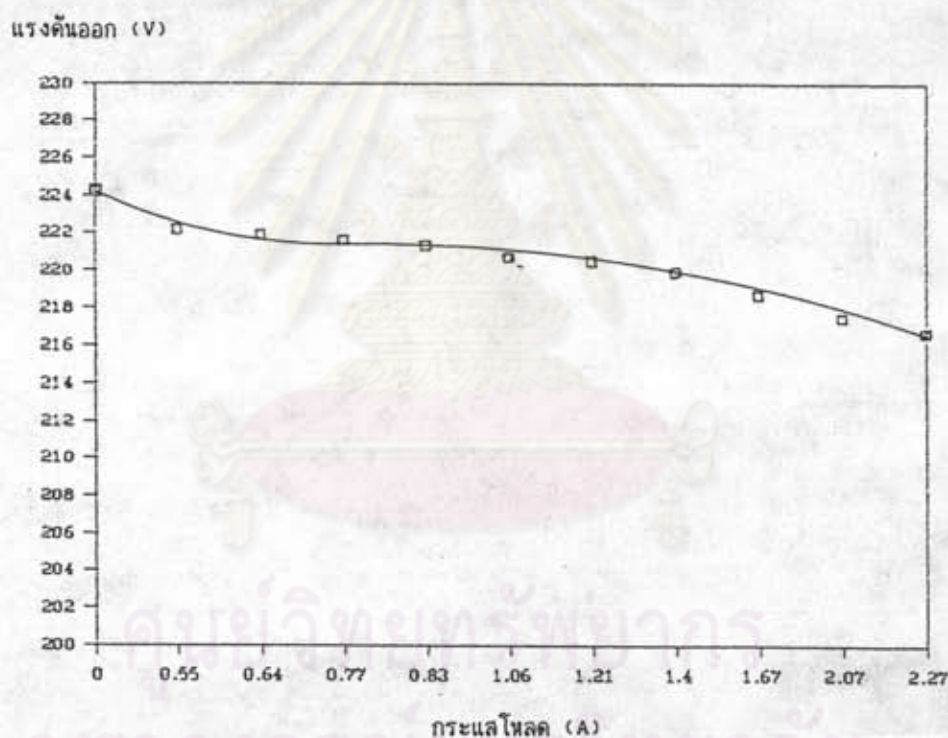


รูปที่ 7.34ข แรงดันและกระแสขาออกของอินเวอร์เตอร์ ขณะเปลี่ยนโหลด 100%-50%



จากการทดลองเปลี่ยนโหลดในช่วงไว้โหลดจนถึงโหลดเต็มที่ จะมีผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิก อยู่ระหว่าง 1.5 % ถึง 2.5 % เป็นไปตามข้อกำหนดคือ ต่ำกว่า 5 % จากการทดสอบนี้ สามารถหาความสัมพันธ์ของ แรงดันออกและกระแสโหลด ได้ดังรูปที่ 7.35 และสามารถหาความคุมค่าเชิงโหลดได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความคุมค่าเชิงโหลด} &= \frac{(\text{แรงดันไว้โหลด}-\text{แรงดันโหลดเต็มที่}) \times 100}{\text{แรงดันโหลดเต็มที่}} \\ &= \frac{(224 - 216)}{216} \times 100 \\ &= 3.7 \% \end{aligned}$$



รูปที่ 7.35 ขนาดของแรงดันที่ออกจากอินเวอร์เตอร์

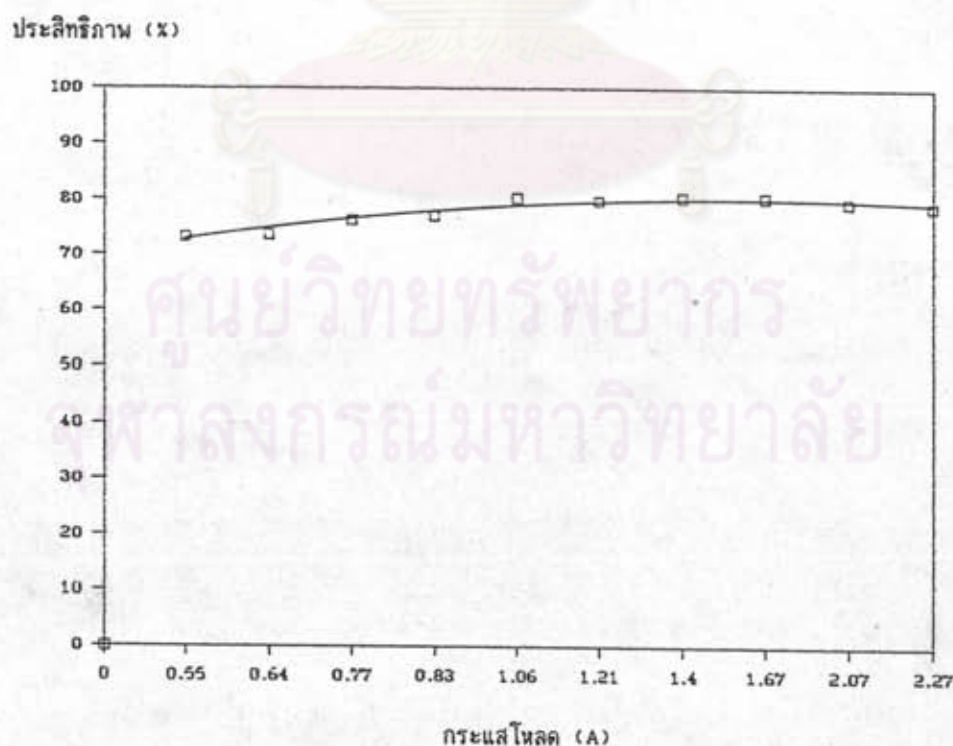
จะเห็นว่าความคุมค่าเชิงโหลดของแรงดันออก มีค่าค่อนข้างสูง เนื่องจากเมื่อกระแสโหลดเพิ่มขึ้น อินเวอร์เตอร์จะต้องจ่ายแรงดันให้กับหม้อแปลงสูงขึ้น เพื่อชดเชยการที่หม้อแปลงมีความคุมค่าเชิงโหลดที่ไม่สู้ดีนัก ทำให้อัตราส่วนระหว่างค่ายอดของแรงดันออกของอินเวอร์เตอร์กับแรงดันไฟตรงด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์ มีค่าสูงขึ้น ทำให้อินเวอร์เตอร์ที่มีการควบคุมแบบฮีสเตอร์ซิส จะมีการสวิตช์ที่ความถี่ต่ำลงที่บริเวณยอดของแรงดัน ซึ่งทำให้ค่า

อาร์เอ็มเอสของแรงดันมีค่าต่ำลง อย่างไรก็ตามความคุมค่าเชิงโพลที่ได้ยังต่ำกว่าที่กำหนด คือน้อยกว่า 5 %

เมื่อทำการทดสอบการจ่ายโพลของอินเวอร์เตอร์ โดยมีการเปลี่ยนแรงดันไฟตรง ในช่วง 54 - 42 โวลต์ ซึ่งเป็นช่วงแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของแบตเตอรี่ที่จะใช้งาน ทำให้แรงดันออกของอินเวอร์เตอร์ มีการเปลี่ยนแปลงจาก 216.69 เป็น 215 ทำให้สามารถคำนวณหาความคุมค่าเชิงสายป้อนได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความคุมค่าเชิงสายป้อน} &= \frac{(\text{แรงดันสูงสุด} - \text{แรงดันต่ำสุด}) \times 100}{\text{แรงดันต่ำสุด}} \\ &= \frac{(216.69 - 215)}{215} \times 100 \\ &= 0.79 \% \end{aligned}$$

จากการทดสอบ สามารถหาความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพของ อินเวอร์เตอร์ที่ กระแสโพลต่างๆได้ดังรูปที่ 7.36

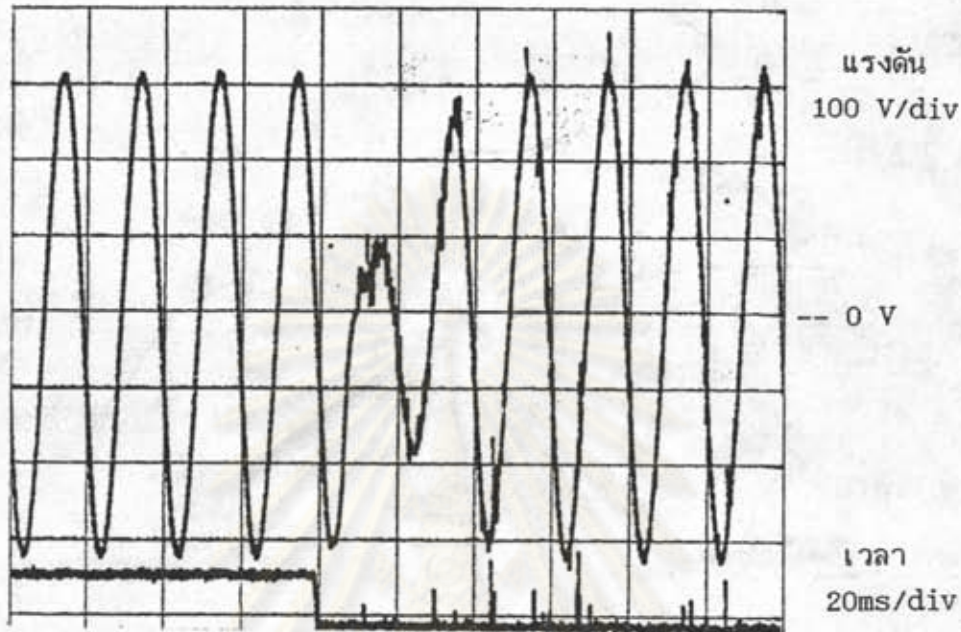


รูปที่ 7.36 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพกับกระแสโพลของวงจรอินเวอร์เตอร์

ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อมีการจ่ายพลังงานออกมากขึ้น ด้วยเหตุผลเดียวกับที่อธิบายไว้ เมื่อวงจรแปลงผันสองทิศทางทำหน้าที่เป็น วงจรแปลงผันกำลัง ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

3 การทดสอบการโอนย้าย เป็นการทดสอบการเปลี่ยนโหมดการทำงานของวงจรแปลงผันสองทิศทาง จากการทำหน้าที่ เป็นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เป็น อินเวอร์เตอร์ เมื่อไฟจากการไฟฟ้าเกิดผิดปกติ เพื่อทำหน้าที่จ่ายพลังงานให้แก่โหลดแทน ซึ่งการโอนย้ายในลักษณะนี้ เป็นแบบโอนย้ายไปข้างหน้า ชนิด Cold Stand-By System เนื่องจากอินเวอร์เตอร์ไม่ได้ทำงานตลอดเวลา จึงต้องมีการขาดหายไปของแรงดันไฟฟ้าที่โหลด เพราะอินเวอร์เตอร์ต้องใช้เวลาในการเริ่มทำงาน โดยทั่วไปจะใช้เวลาระหว่าง 5 - 100 ไมโครวินาที [Uninterruptible Power Supply, 2530]

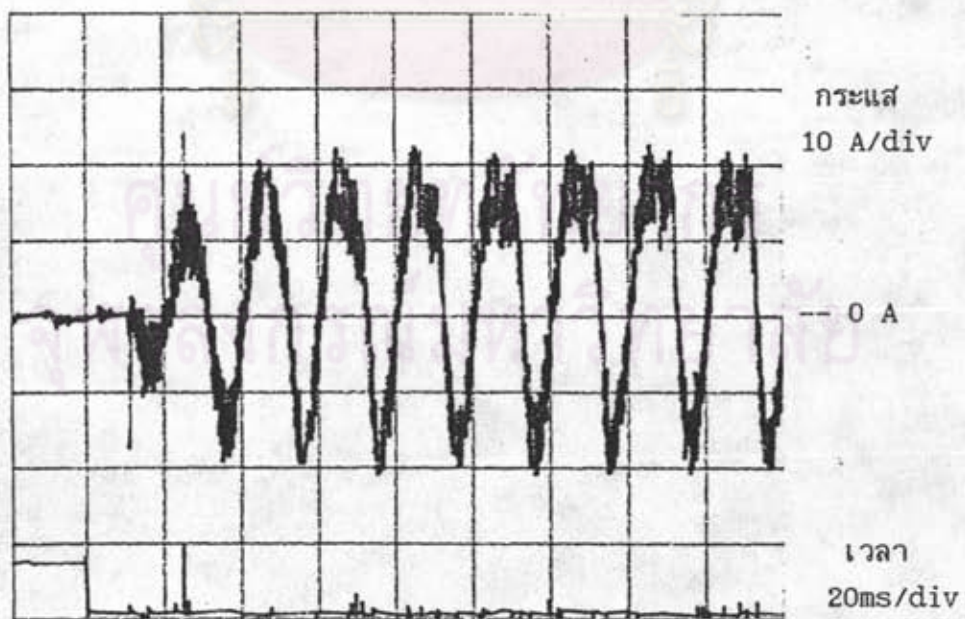
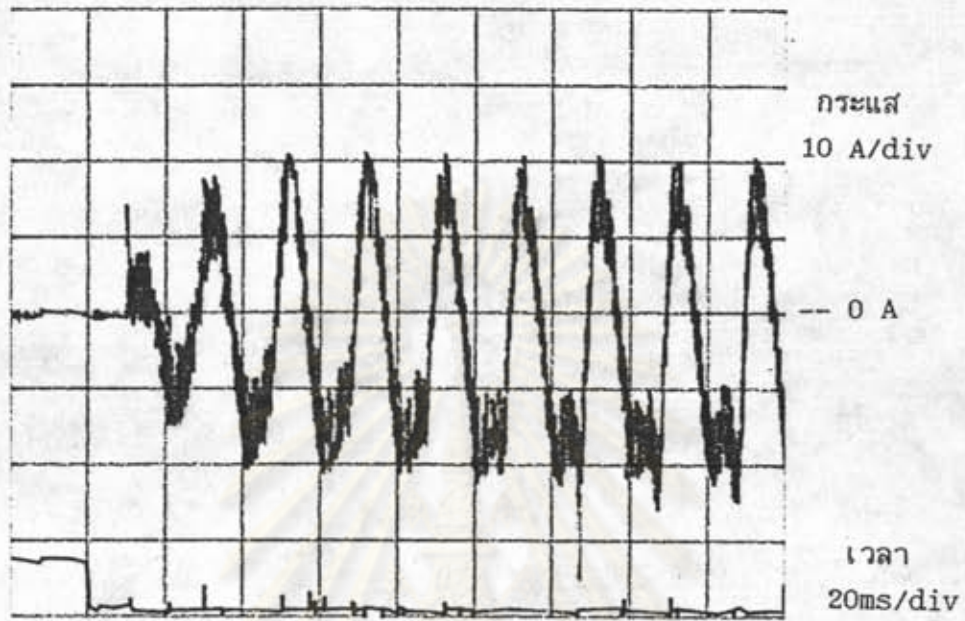
ในการทดสอบการโอนย้ายนี้ จะเป็นการทดสอบความเร็ว ในการเริ่มทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ โดยจะทำการทดสอบให้มีการเริ่มเดินเครื่องที่เร็วที่สุด เพื่อที่จะทำให้การขาดหายของแรงดันไฟฟ้าที่โหลด เป็นระยะเวลาที่สั้นที่สุด เนื่องจากวงจรมีหม้อแปลงเป็นองค์ประกอบ ทำให้ไม่สามารถที่จะเริ่มการทำงานของอินเวอร์เตอร์ ที่แรงดันปกติโดยทันทีได้ เพราะจะทำให้หม้อแปลงเกิดการอิ่มตัวได้ ดังนั้นจะเริ่มการทำงานของอินเวอร์เตอร์ โดยให้แรงดันออกค่อยๆเพิ่มขึ้น อินเวอร์เตอร์จะเริ่มทำงานทันทีที่สวิตช์โอนย้ายตัดออกจากวงจรแล้ว ในการทดสอบ จะเริ่มจากการให้แรงดันออกของอินเวอร์เตอร์ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยจะได้ลักษณะของแรงดันในขณะมีการโอนย้าย เป็นดังรูปที่ 7.37 จากจุดที่เกิดการโอนย้ายจะเห็นได้ว่า ก่อนที่อินเวอร์เตอร์จะเริ่มทำงาน แรงดันที่โหลดจะมีลักษณะลาดลง ซึ่งเกิดจากการอาร์คข้ามหน้าสัมผัสในขณะที่มีการเคลื่อนย้ายหน้าสัมผัส และเมื่อหน้าสัมผัสเคลื่อนย้ายออกเรียบร้อยแล้ว อินเวอร์เตอร์จะเริ่มทำงานทันที โดยแรงดันออกของอินเวอร์เตอร์ จะมีค่าต่ำกว่าในภาวะอยู่ตัว 15 % ภายในเวลา 1 ไมโครวินาที



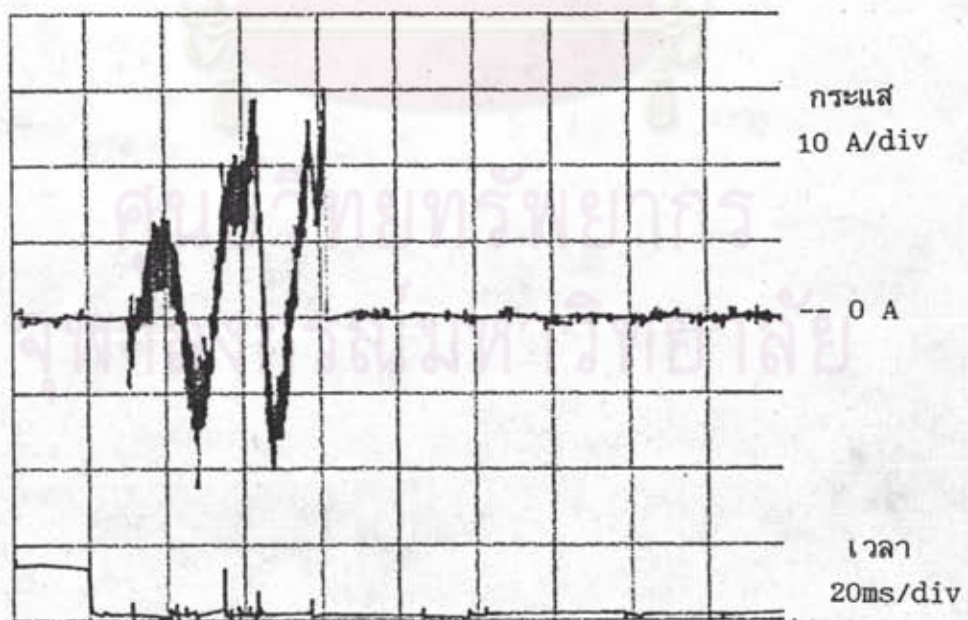
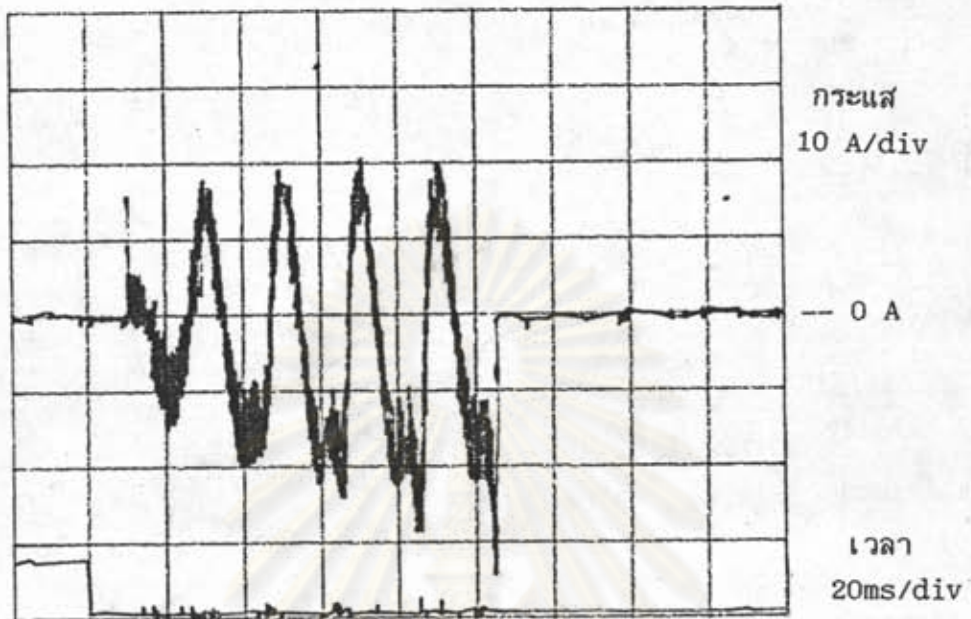
รูปที่ 7.37 แรงดันโวลต์ในขณะอินเวอร์เตอร์กระแสโวลต์ 1 แอมแปร์

อย่างไรก็ตาม การเริ่มทำงานของอินเวอร์เตอร์ ในลักษณะนี้ จะสามารถทำการตัดต่อได้ที่โวลต์สูงสุดเพียง 1 แอมแปร์เท่านั้น เมื่อมีโวลต์ที่สูงขึ้น จะไม่สามารถทำการตัดต่อได้ เนื่องจากมีสัญญาณกระแสเกินเกิดขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในขณะเริ่มเดินเครื่องวงจร จะเกิดความไม่สมมาตรของกระแสเข้าหม้อแปลง โดยจะสังเกตได้จากลักษณะของกระแสเข้าหม้อแปลงดังรูปที่ 7.38 และจะเข้าสู่ความสมมาตรดังรูปที่ 7.31 ในเวลาต่อมา แต่ถ้าวงจรมีการจ่ายโวลต์เพิ่มขึ้น จะทำให้กระแสที่ผ่านเข้าหม้อแปลง มีลักษณะการไม่สมมาตรสูงขึ้น และเกิดกระแสเกินเกิดขึ้นดังในรูปที่ 7.39 ซึ่งจากลักษณะกระแสจะเห็นว่า มีการดึงกระแสคล้ายกับว่าเกิดการอิมิตัวของหม้อแปลง ทั้งนี้เนื่องจาก ในขณะเริ่มการทำงานของอินเวอร์เตอร์ จะเกิดแรงดันที่ไม่สมมาตร ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ส่งผ่านหม้อแปลง ทำให้มีฟลักซ์ค่าหนึ่งเกิดขึ้น ซึ่งจะสังเกตได้จาก รูปที่ 7.38 ที่จะมีลักษณะความไม่สมมาตรของกระแสที่ไหลเข้าหม้อแปลง ในทางทฤษฎีและลบ ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าอินเวอร์เตอร์จะเริ่มทำงานในทิศทางใดก่อน และการเริ่มทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ต้องมีการจ่ายโวลต์ที่สูงขึ้น อินเวอร์เตอร์จะกำเนิดแรงดันที่สูงขึ้นส่งผ่านหม้อแปลง เพื่อชดเชยความคมค่าเชิงโวลต์ของหม้อแปลง ทำให้เกิดฟลักซ์ค่าที่สูงขึ้น และในขณะที่อินเวอร์เตอร์มีการกำเนิดแรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดที่สูงขึ้นอย่าง

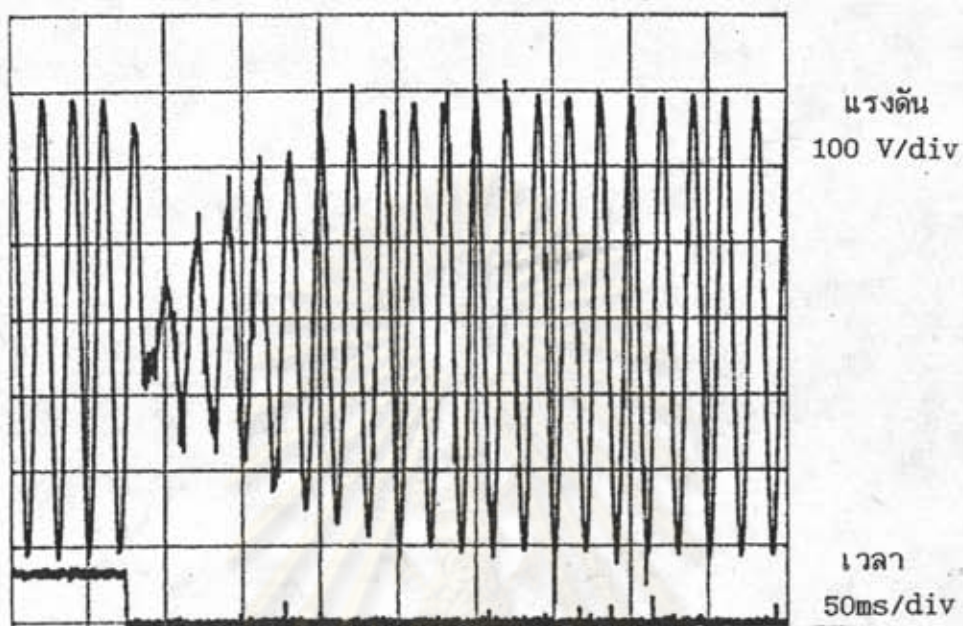
รวดเร็วขึ้น จะต้องจ่ายพลังงานไปยังโหลดมากขึ้น แรงดันของแบตเตอรี่ในขณะนี้จะตกลงอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการไม่เท่ากันของแรงดันของตัวเก็บประจุทั้งสอง เกิดการเปลี่ยนแปลงของไฟตรงที่เป็นองค์ประกอบของกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ ที่ไหลเข้าสู่หม้อแปลง ซึ่งจะมีขนาดเพิ่มขึ้นตามโหลด ทำให้การทำงานของหม้อแปลงในภาวะชั่วคราวนี้ อยู่ในบริเวณที่มีฟลักซ์สูงขึ้นกว่าเดิม และหม้อแปลงโดยทั่วไปในท้องตลาด ผู้ผลิตมักจะทำการออกแบบให้หม้อแปลงมีการทำงานใกล้บริเวณอิ่มตัวของแกนเหล็ก ดังนั้นการที่มีฟลักซ์ที่สูงขึ้นจากการทำงานปกติในขณะเริ่มทำงานของอินเวอร์เตอร์ ก็จะทำให้หม้อแปลงเกิดการอิ่มตัวได้ สำหรับการแก้ไขปัญหาการเกิดการอิ่มตัวของหม้อแปลงนี้ สามารถทำได้โดย การใช้หม้อแปลงที่มีจำนวนขดลวดที่สูงขึ้น เพื่อให้ฟลักซ์ที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำลงในขณะใช้งาน แต่มีข้อเสียคือ เราไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่า จะต้องใช้ขดลวดจำนวนเท่าไรจึงเหมาะสม และทำให้หม้อแปลงมีขนาดใหญ่ ราคาแพง หรืออาจจะทำการแก้ไขปัญหา โดยการควบคุมให้อินเวอร์เตอร์เริ่มทำงาน ณจุดที่มีค่าฟลักซ์เป็นศูนย์ ซึ่งจะต้องมีวงจรตรวจสอบและควบคุมที่ยุ่งยากและซับซ้อน จึงได้ทำการแก้ไขปัญหา โดยการแบอินเวอร์เตอร์ ให้แรงดันมีขนาดค่อยๆเพิ่มขึ้นในเวลาที่มากขึ้น เพื่อให้เกิดความไม่สมมาตรในวงจรเพียงเล็กน้อย และมีเวลาเพียงพอในการปรับตัวให้เข้าสู่ภาวะปกติ ทำให้สามารถทำการตัดต่อที่โหลดได้สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับสมมุติฐานที่ตั้งขึ้น ได้ทำการออกแบบให้อินเวอร์เตอร์เริ่มทำงานช้าลงอีกดังรูปที่ 7.40ก แต่สามารถทำการตัดต่อได้ที่โหลดสูงสุดเพียง 1.4 แอมแปร์ จึงได้ลดเวลาการเริ่มทำงานของอินเวอร์เตอร์ลงอีก ดังรูปที่ 7.40ข แต่ก็ยังสามารถทำการตัดต่อได้ที่โหลดสูงสุดเพียง 1.75 แอมแปร์เท่านั้น จึงได้ทำการลดความเร็วในการเริ่มเดินเครื่องลงอีก จนสามารถตัดต่อได้ที่โหลดเต็มที่ ดังรูปที่ 7.41ก และเมื่อขยายบริเวณที่มีการตัดต่อ จะมีลักษณะดังรูปที่ 7.41ข จะเห็นได้ว่าอินเวอร์เตอร์เริ่มทำงานทันที เมื่อสวิตช์โอนย้ายตัดออกจากวงจร แสดงว่าวงจรตรวจสอบสวิตช์โอนย้าย ที่ทำการออกแบบสามารถทำการตรวจสอบได้อย่างรวดเร็ว และแรงดันที่ออกจากอินเวอร์เตอร์ จะมีมูมเฟสที่ต่อเนื่องกับการไฟฟ้า และในขณะที่อินเวอร์เตอร์ทำงานอยู่นั้น ถ้าไฟจากการไฟฟ้าเข้าสู่ภาวะปกติแล้ว จะมีการโอนย้ายโหลดจากอินเวอร์เตอร์ไปยังการไฟฟ้า ลักษณะของแรงดันในระหว่างการโอนย้าย เป็นดังรูปที่ 7.42 ในขณะที่ทำการต่อสวิตช์โอนย้ายแล้ว อินเวอร์เตอร์ยังคงทำงานต่อ โดยทำการขนานอยู่กับการไฟฟ้า (เนื่องจากแรงดันอินเวอร์เตอร์ มีมูมเฟสเดียวกันกับการไฟฟ้าตลอดเวลาและอินเวอร์เตอร์มีการจำกัดกระแส) ประมาณ 2 ไซเคิล แล้วจึงหยุดการทำงานของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะทำให้มีการต่อเนื่องของแรงดันในขณะโอนย้าย



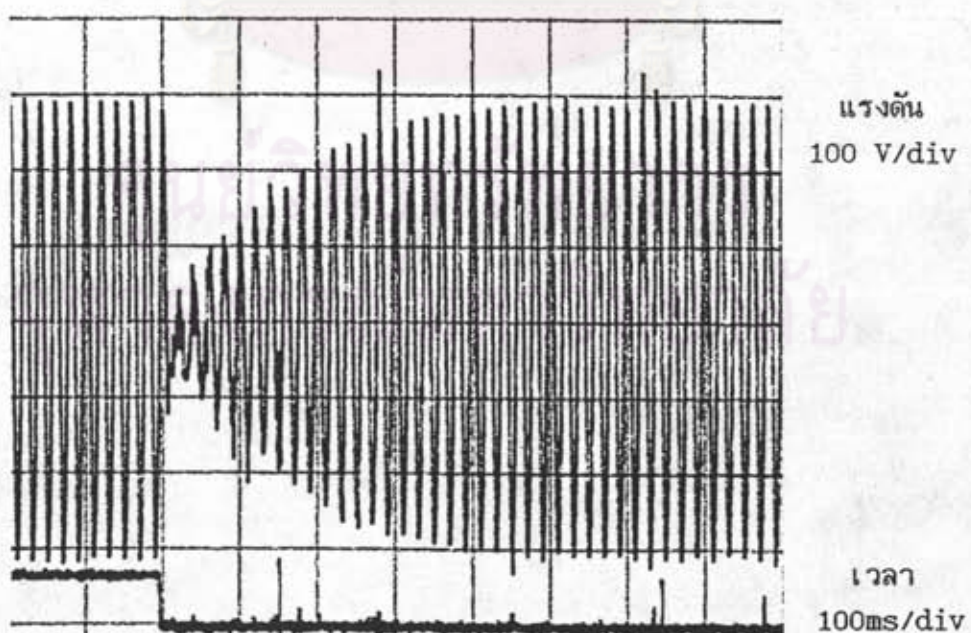
รูปที่ 7.38 กระแสผ่านหม้อแปลงที่มีลักษณะไม่สมมาตรในขณะที่เริ่มทำงาน



รูปที่ 7.39 ลักษณะกระแสผ่านหม้อแปลงที่ไม่สามารถทำการโอนย้ายได้

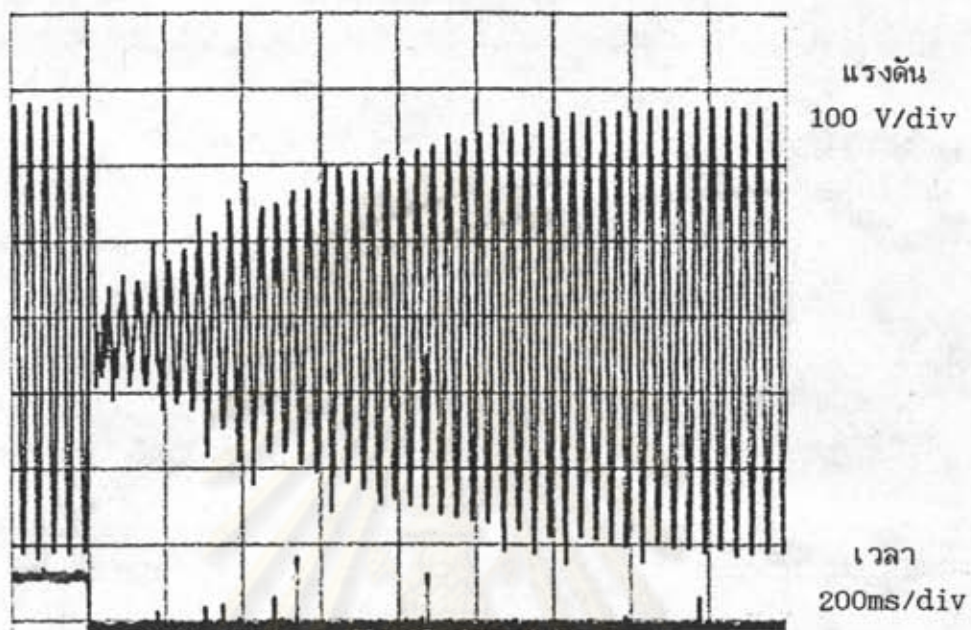


รูปที่ 7.40ก แรงดันโหนดในขณะโอนย้ายที่กระแสโหนด 1.4 แอมแปร์

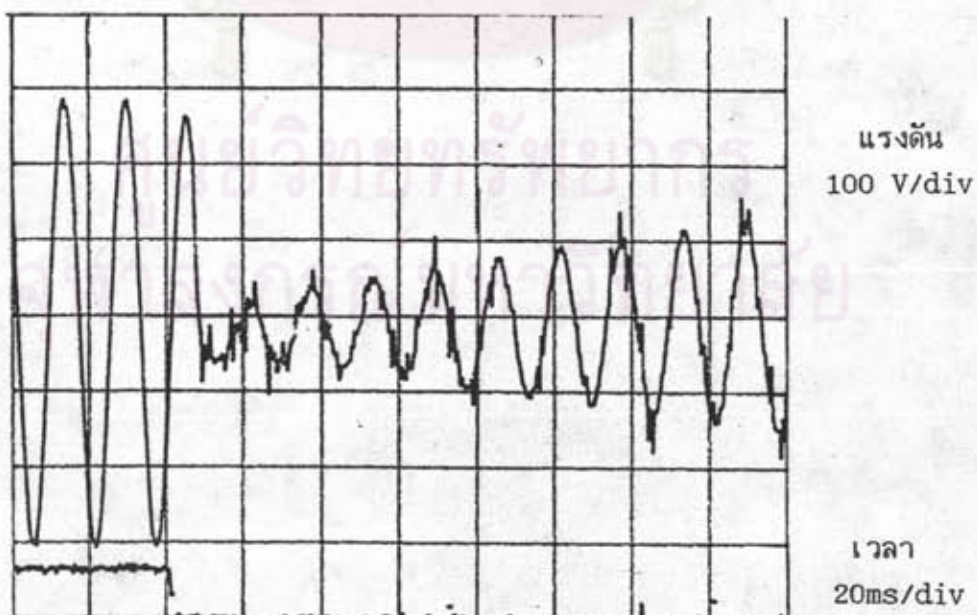


รูปที่ 7.40ข แรงดันโหนดในขณะโอนย้ายที่กระแสโหนด 1.75 แอมแปร์

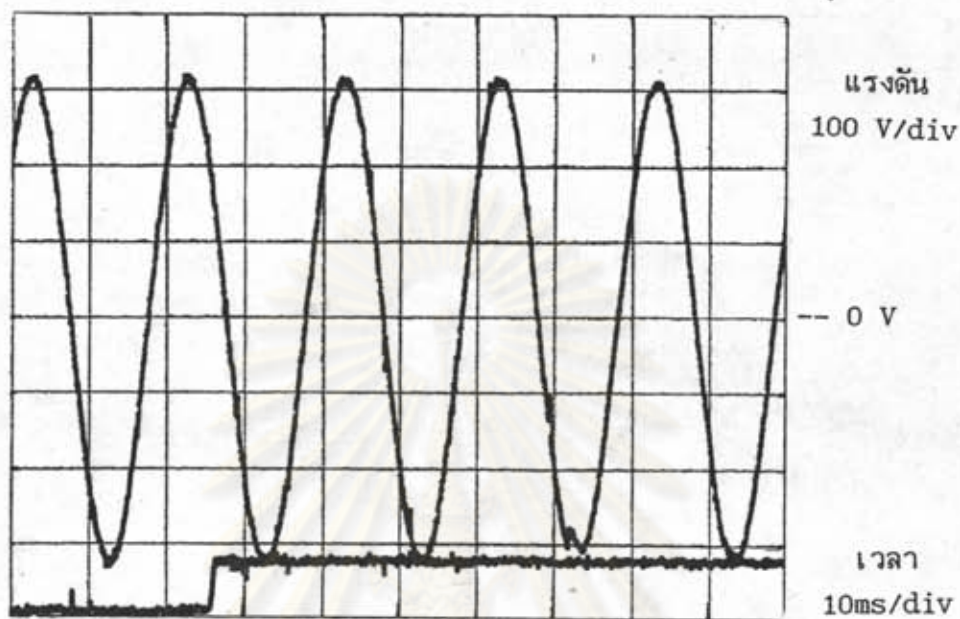




รูปที่ 7.41ก แรงดันโหนดในขณะโอนย้ายที่กระแสเต็มพิกัด



รูปที่ 7.41ข แรงดันโหนด ณ จุดโอนย้าย



รูปที่ 7.42 แรงดันโหลดในขณะที่โอนย้ายไปยังการไฟฟ้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย