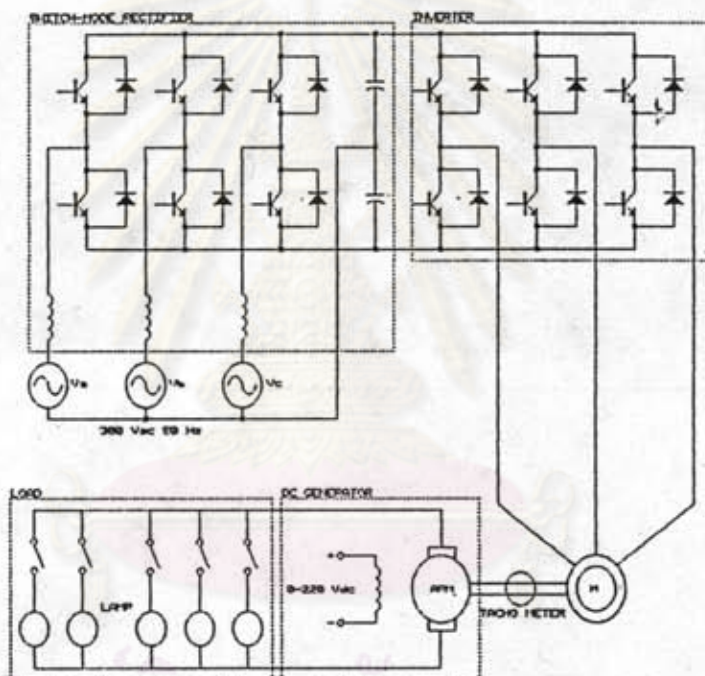


## บทที่ 4

### การทดสอบ

สำหรับการทดสอบวงจรจะแยกการทดสอบวงจรเรียงกระแสและวงจรอินเวอร์เตอร์ออกจากกันในบางหัวข้อ และทดสอบรวมกันในบางหัวข้อ สำหรับชุดทดสอบจะมีลักษณะวงจรดังภาพที่ 4.1 โดยมีวงจรเรียงกระแสที่รับพลังงานจากแหล่งจ่ายไฟสลับสามเฟส แล้วแปลง



ภาพที่ 4.1 วงจรที่ใช้สำหรับการทดสอบ

เป็นไฟตรง จ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานจากแหล่งจ่ายไฟตรง เป็นไฟสลับสามเฟสที่สามารถแปรความถี่ได้ เพื่อจ่ายให้กับมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำสามเฟส สำหรับโพลต์ของมอเตอร์คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (dc generator) ที่ต่อแบบแยกขดสนาม (seperately excited) ที่มีโพลต์เป็นหลอดไฟ

1. การทดสอบหาการคงค่า (regulation) ของวงจรเรียงกระแส โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 หัวข้อดังนี้

### 1.1 ทดสอบหาการคงค่าเมื่อเปลี่ยนแรงดันด้านเข้า (line regulation)

ทำได้โดยการให้วงจรเรียงกระแสที่สร้างขึ้นทำงานปกติ กล่าวคือ เมื่อวงจรเรียงกระแสจ่ายพลังงานให้อินเวอร์เตอร์ และอินเวอร์เตอร์จ่ายพลังงานให้มอเตอร์ที่ภาวะเต็มโหลด (full load) แล้วทำการปรับแรงดันด้านเข้าของวงจรเรียงกระแสให้เปลี่ยนแปลงเท่ากับ  $\pm 10\%$  ของแรงดันไฟปกติ (380 โวลต์) แล้วทำการวัดแรงดันด้านออกของวงจรเรียงกระแส เพื่อต้องการทราบค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันด้านออก สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการวัด คือ storage oscilloscope ที่สามารถบันทึกรูปคลื่นของแรงดันด้านออกของวงจรเรียงกระแส และสามารถคำนวณหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณได้ คำนวณหาการคงค่าแรงดันโดยการเปลี่ยนแรงดันด้านเข้าได้ดังสมการ 4.1

$$\text{line regulation} = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i} \times 100 \quad \% \quad (4.1)$$

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดการคงค่าแรงดันโดยการเปลี่ยนแรงดันด้านเข้า

ค่าที่ทำการวัด	เงื่อนไขการทดสอบที่แรงดันด้านเข้า			การคงค่าเมื่อเปลี่ยนแรงดันด้านเข้า (%)
	340 V	380V	420 V	
แรงดันด้านออก (V)	702	703	704	2.5

### 1.2 การทดสอบหาการคงค่าเมื่อเปลี่ยนโหลด (load regulation)

มีวิธีการทดสอบโดยการคงค่าแรงดันไฟสลับด้านเข้า ของวงจรเรียงกระแสไว้ที่ 380 โวลต์ แล้วทำการเปลี่ยนโหลดจากค่าต่ำสุดไปยังค่าสูงสุด (โดยในกรณีที่จ่ายโหลดสูงสุดคือเมื่อวงจรเรียงกระแสจ่ายพลังงานให้อินเวอร์เตอร์ และอินเวอร์เตอร์จ่ายพลังงานให้มอเตอร์ในภาวะเต็มโหลดสำหรับกรณีที่โหลดต่ำสุดคือ เมื่อวงจรเรียงกระแสไม่ได้จ่ายพลังงานให้อินเวอร์เตอร์) เพื่อทำการวัดแรงดันออกของวงจรเรียงกระแส คำนวณหาการคงค่าเมื่อเปลี่ยนโหลดได้ดังสมการ 4.2 สำหรับวิธีการวัดก็ทำในลักษณะเดียวกับหัวข้อที่ 1.1

$$\text{load regulation} = \frac{V_{\text{no load}} - V_{\text{full load}}}{V_{\text{full load}}} \times 100 \quad \% \quad (4.2)$$

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบหาการคงค่าแรงดันโดยการเปลี่ยนโหลด

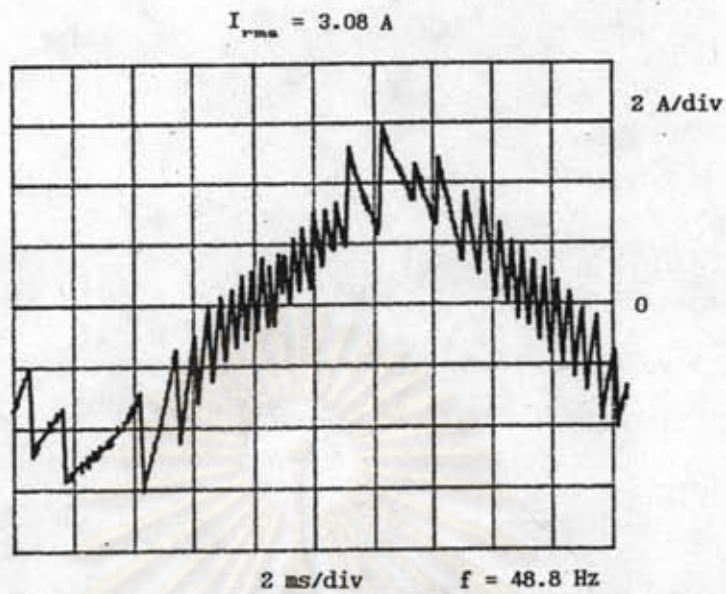
ค่าที่ทำกรวัด	เงื่อนไขการทดสอบ		การคงค่า เมื่อเปลี่ยนโหลด (%)
	ขณะไม่มีโหลด	ขณะเต็มโหลด	
แรงดันด้านออก (V)	700	703	-0.43

2. การทดสอบหาองค์ประกอบหลักมูล และค่าผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกของ  
กระแสเข้าของวงจรเรียงกระแส

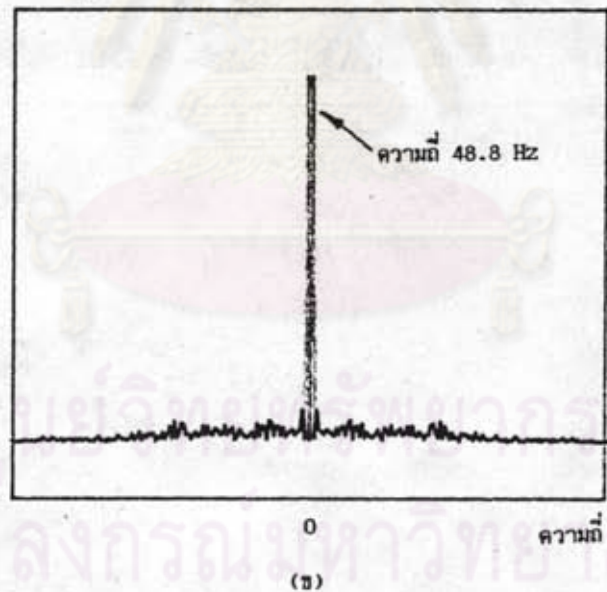
สำหรับการทดสอบทำได้โดยใช้ storage oscilloscope บันทึกรูปคลื่นของ  
กระแสด้านเข้าของวงจรเรียงกระแส เมื่ออินเวอร์เตอร์จ่ายพลังงานให้มอเตอร์ที่ภาวะโหลด  
เต็มและบันทึกรูปผลการคำนวณหาองค์ประกอบของกระแสที่อันดับความถี่ต่างๆ ดังภาพที่ 4.2  
และหาค่ารากของกำลังสองเฉลี่ย (root mean square; rms) ของกระแสและค่ารากของ  
กำลังสองเฉลี่ยของกระแสที่ความถี่หลักมูลรวมทั้งฮาร์มอนิกที่อันดับความถี่ต่างๆ ดังตารางที่  
4.4 ความถี่หลักมูลที่ได้จากการวัดโดย storage oscilloscope มีค่าเท่ากับ 48.8  
เฮิรตซ์ซึ่งตามความเป็นจริงค่าจากโรงไฟฟ้าควรจะเป็น 50 เฮิรตซ์ นำค่าที่ได้มาคำนวณหา  
ค่าผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิก (total harmonic distortion; THD) ดังสมการ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดหาค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสรวมและค่าราก  
ของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสที่ความถี่หลักมูล

ค่าที่ทำกรวัด	ขนาดของสัญญาณ		THD (%)
	(A)	(%)	
$I_{rms}$	3.08	100	28.8
$I_{1rms}$	2.94	95.5	



แอมพลิจูดของกระแส



ภาพที่ 4.2 รูปคลื่นของกระแสด้านเข้าของวงจรเรียงกระแส และขนาดของกระแสที่อินพุตความถี่ต่างๆ ที่ภาวะโหลดเต็ม

- ก) รูปคลื่นของกระแสด้านเข้าของวงจรเรียงกระแส
- ข) ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสเข้าของวงจรเรียงกระแสที่อินพุตความถี่ต่างๆ

ตารางที่ 4.4 ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสที่ความถี่หลักมูลรวมทั้งค่าฮาร์มอนิกที่อันดับความถี่ต่างๆ

ความถี่ (Hz)	อันดับของความถี่ ( $f_n$ )	ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแส (A)	$I_{rms}$ (A)
48.8	$f_1$	2.94	2.99
97.7	$f_2$	0.02	
146	$f_3$	0.25	
195	$f_4$	0.10	
244	$f_5$	0.08	
293	$f_6$	0.06	
342	$f_7$	0.1	
391	$f_8$	0.09	
439	$f_9$	0.07	
488	$f_{10}$	0.04	
537	$f_{11}$	0.12	
586	$f_{12}$	0.05	
635	$f_{13}$	0.13	
684	$f_{14}$	0.13	
732	$f_{15}$	0.10	
781	$f_{16}$	0.15	
830	$f_{17}$	0.17	
879	$f_{18}$	0.02	
928	$f_{19}$	0.13	
977	$f_{20}$	0.13	
1030	$f_{21}$	0.05	
1078	$f_{22}$	0.15	

$$\text{THD} = \sqrt{\frac{I_{rms}^2 - I_{1rms}^2}{I_{rms}^2}} \times 100 \% \quad (4.3)$$

โดย  $I_{rms}$  คือ ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแส  
 $I_{1rms}$  คือ ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสที่ความถี่หลักมูล

จากค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสที่ความถี่ต่างๆ คำนวณหาค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสรวมได้ดังสมการ 4.4

$$I_{rms} = \sqrt{I_{1rms}^2 + I_{2rms}^2 + I_{3rms}^2 + \dots + I_{nrms}^2} \quad (4.4)$$

โดย  $I_{rms}$  คือ ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแส  
 $I_{nrms}$  คือ ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสฮาร์มอนิกอันดับ n

จากตาราง 4.4 และสมการ 4.4 คำนวณหาค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสได้เท่ากับ 2.99 แอมแปร์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าจากตาราง 4.3 แต่มีค่าน้อยกว่า เนื่องจากผลการคำนวณไม่ได้รวมผลของฮาร์มอนิกอันดับสูงไว้ทั้งหมด

### 3. การทดสอบหาการคงค่าความเร็วรอบของมอเตอร์

ทำได้โดยการคงค่าแรงดันด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ไว้ที่ประมาณ 700 โวลต์ แล้วเปลี่ยนโหลดจากค่าต่ำสุดไปยังสูงสุดที่ความเร็วรอบค่าต่างๆ เพื่อวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยใช้ digital tacho-meter แล้วคำนวณหาการคงค่าความเร็วรอบ (speed regulation) ได้ดังสมการ 4.5

$$\text{speed regulation} = \frac{\text{speed}_{\text{no load}} - \text{speed}_{\text{full load}}}{\text{speed}_{\text{full load}}} \times 100 \% \quad (4.5)$$

### 4. การทดสอบหาองค์ประกอบหลักมูลและค่าผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกของกระแสด้านออกของอินเวอร์เตอร์

การทดสอบทำได้โดยใช้ storage oscilloscope บันทึกรูปคลื่นของกระแสด้านออกของอินเวอร์เตอร์ ที่ความเร็วรอบ 282, 568 และ 1420 รอบต่อนาที แล้วบันทึกผลการคำนวณหาองค์ประกอบของกระแสที่อันดับความถี่ต่างๆ และวัดหาค่ารากของกำลังสอง

เฉลี่ยของกระแสรวม และค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสที่ความถี่หลักมูล รวมทั้งฮาร์มอนิกที่อันดับความถี่ต่างๆ คำนวณหาค่าผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกได้ดังสมการ 4.3

จากค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสที่อันดับความถี่ต่างๆ ในตารางที่ 4.7 คำนวณหาค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสรวมได้ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ ในตารางที่ 4.6 แต่มีค่าน้อยกว่าเนื่องจากผลการคำนวณไม่ได้รวมผลของฮาร์มอนิกอันดับสูงไว้ทั้งหมด

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบหาการคงค่าความเร็วรอบของมอเตอร์

ค่าที่ทำกรวัด	เงื่อนไขการทดสอบ		การคุมค่า ความเร็ว (%)
	ภาวะไร้โหลด	ภาวะเต็มโหลด	
ความเร็วรอบ	1421 rpm	1420 rpm	0.07
	1005 rpm	1004.1 rpm	0.09
	698 rpm	696.6 rpm	0.2
	164 rpm	163.2 rpm	0.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 ผลการวัดหาค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสรวม และค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสที่ความถี่หลักมูล และผลการคำนวณหาค่าผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกที่ความเร็วรอบต่างๆ

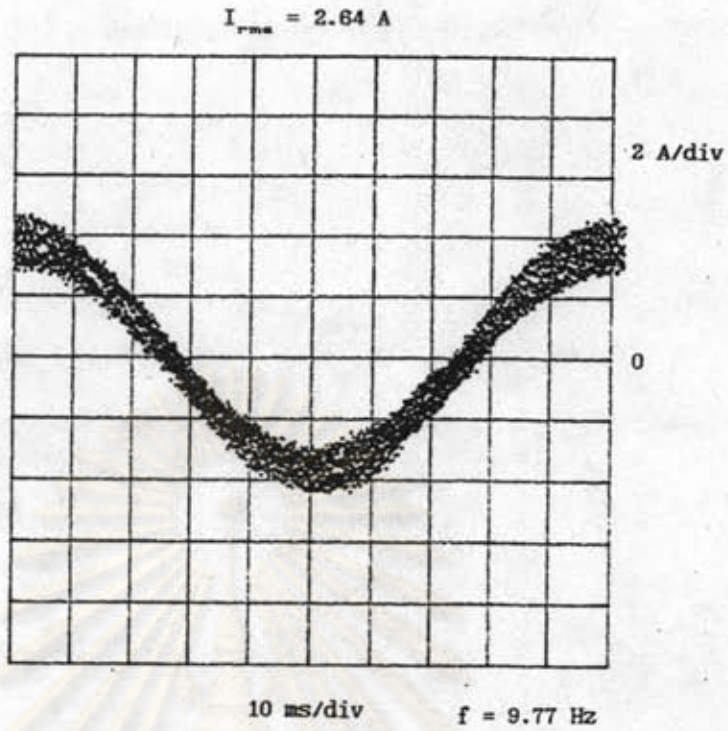
ความเร็วรอบ (rpm)	ค่าที่ทำกรวัด	ขนาดของสัญญาณ		THD (%)
		(A)	(%)	
282	$I_{rms}$	2.64	100	17.3
	$I_{1rms}$	2.60	98.5	
568	$I_{rms}$	2.96	100	16.4
	$I_{1rms}$	2.92	98.6	
1420	$I_{rms}$	3.18	100	15.8
	$I_{1rms}$	3.14	98.7	

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



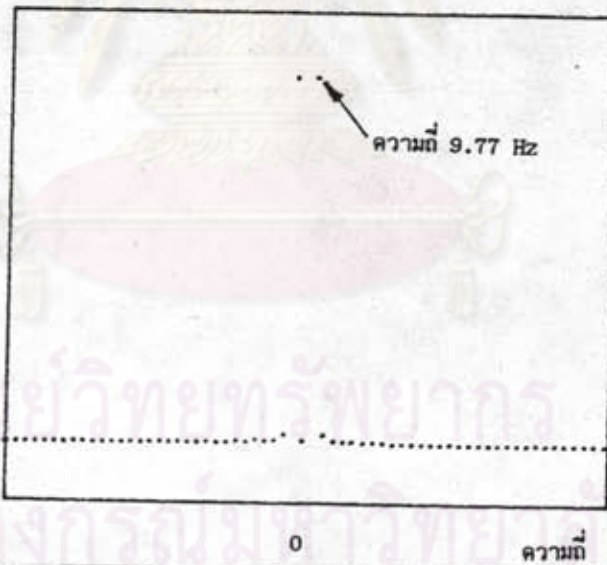
ตารางที่ 4.7 ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสที่ความถี่หลักมูล รวมทั้งค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของฮาร์โมนิกที่อันดับความถี่ต่างๆ ที่ความเร็วรอบต่างๆ

ความเร็วรอบ (rpm)	ความถี่ (Hz)	อันดับของความถี่ ( $f_n$ )	ค่ารากของกำลังสอง เฉลี่ยของกระแส (A)	$I_{rms}$ (A)
282	9.77	$f_1$	2.60	2.60
	19.5	$f_2$	0.06	
	29.3	$f_3$	0.02	
	39.1	$f_4$	0.01	
	48.8	$f_5$	0.02	
	58.6	$f_6$	0.01	
	68.4	$f_7$	0.01	
	78.1	$f_8$	0.01	
568	19.5	$f_1$	2.92	2.92
	39.1	$f_2$	0.06	
	58.6	$f_3$	0.03	
	78.1	$f_4$	0.02	
	97.7	$f_5$	0.01	
	117	$f_6$	0.01	
	137	$f_7$	0.01	
	156	$f_8$	0.01	
1420	48.8	$f_1$	3.14	3.14
	97.7	$f_2$	0.06	
	146	$f_3$	0.03	
	195	$f_4$	0.02	
	244	$f_5$	0.03	
	293	$f_6$	0.03	
	342	$f_7$	0.02	
	391	$f_8$	0.01	



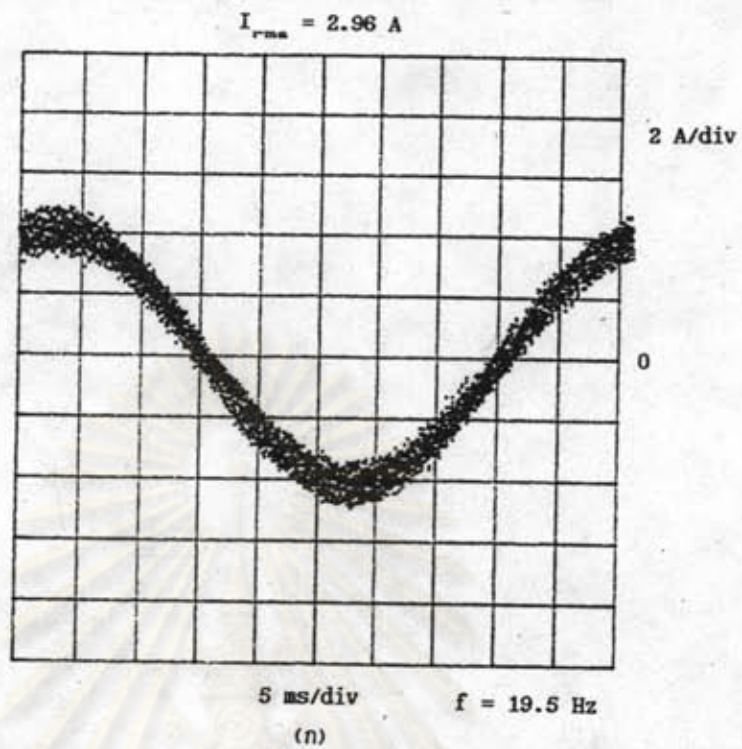
(ก)

แอมพลิจูดของกระแส

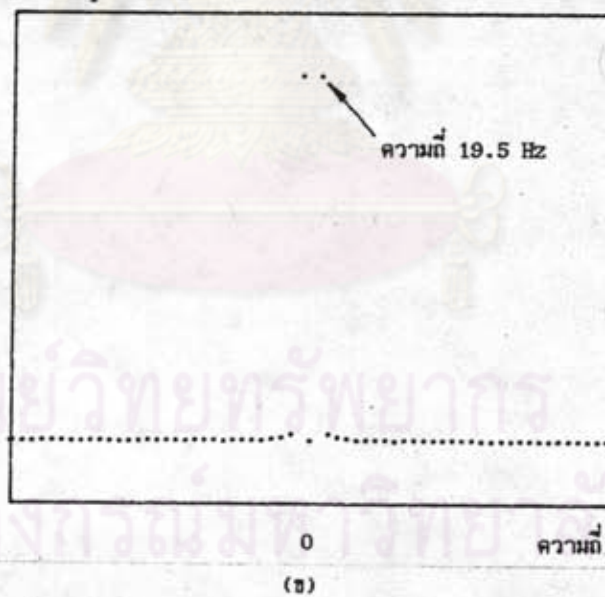


(ข)

- ภาพที่ 4.3 รูปคลื่นของกระแสออกของอินเวอร์เตอร์ และขนาดของกระแสออกอินเวอร์เตอร์ที่อันดับความถี่ต่างๆ ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 282 รอบต่อนาที
- ก) รูปคลื่นของกระแสออกของอินเวอร์เตอร์
- ข) ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสออกของอินเวอร์เตอร์ที่อันดับความถี่ต่างๆ

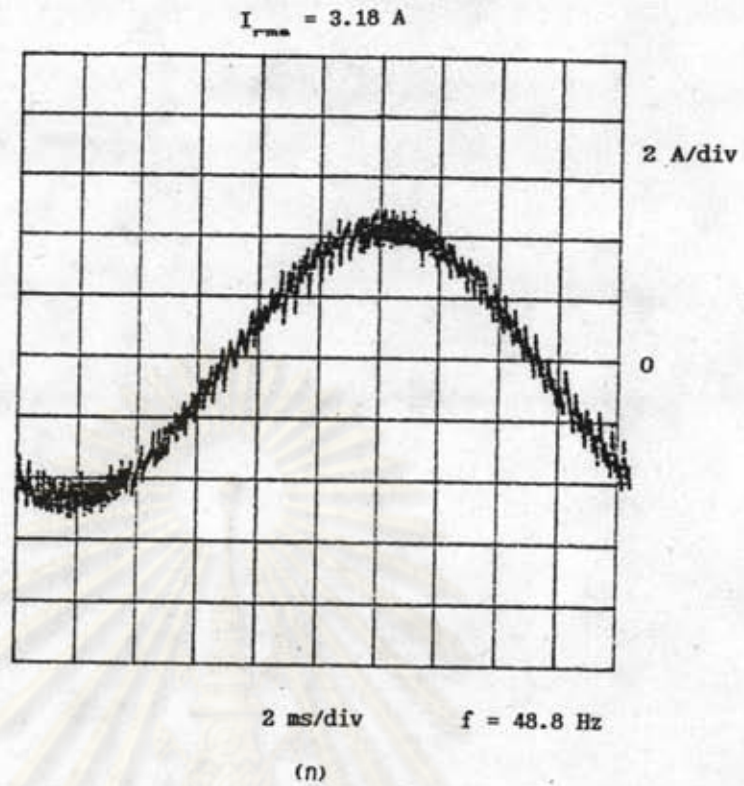


แอมพลิจูดของกระแส



ภาพที่ 4.4 รูปคลื่นของกระแสออกของอินเวอร์เตอร์ และขนาดของกระแสออกอินเวอร์เตอร์ที่อันดับความถี่ต่างๆ ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 568 รอบต่อนาที

- ก) รูปคลื่นของกระแสออกของอินเวอร์เตอร์
- ข) ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสออกของอินเวอร์เตอร์ที่อันดับความถี่ต่างๆ



แอมพลิจูดของกระแส



- ภาพที่ 4.5 รูปคลื่นของกระแสออกของอินเวอร์เตอร์ และขนาดของกระแสออก  
อินเวอร์เตอร์ที่อินดับความถี่ต่างๆ ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 1420 รอบต่อนาที
- ก) รูปคลื่นของกระแสออกของอินเวอร์เตอร์
  - ข) ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสออกของอินเวอร์เตอร์ที่  
อินดับความถี่ต่างๆ

5. การทดสอบหาองค์ประกอบหลักมูลและคำนวณผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกของแรงดันเฟสของมอเตอร์

การทดสอบทำได้โดยใช้ storage oscilloscope บันทึกรูปคลื่นแรงดันเฟสของมอเตอร์ที่ความเร็วรอบ 282, 568 และ 1420 รอบต่อนาที แล้วบันทึกรูปผลการคำนวณหาองค์ประกอบของแรงดันเฟสของมอเตอร์ที่อันดับความถี่ต่างๆ และวัดค่ารบกวนของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันเฟส และค่ารบกวนของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันเฟสมอเตอร์ที่ความถี่หลักมูล นำค่าที่ได้มาคำนวณหาผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกได้ดังสมการ 4.6

$$THD = \sqrt{\frac{V_{rms}^2 - V_{1rms}^2}{V_{rms}^2}} \times 100 \% \quad (4.6)$$

โดย  $V_{rms}$  คือ ค่ารบกวนของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันเฟสมอเตอร์  
 $V_{1rms}$  คือ ค่ารบกวนของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันเฟสมอเตอร์ที่ความถี่หลักมูล

สาเหตุที่วัดแรงดันเฟส เนื่องจากแรงดันเฟสมีผลต่อมอเตอร์โดยตรงเมื่อเปรียบเทียบกับแรงดันระหว่างสาย และมอเตอร์ที่ใช้ทดสอบต่อเป็นแบบสตาร์ทำให้สามารถวัดแรงดันเฟสได้ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.8 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกมีค่าค่อนข้างสูง เนื่องจากการควบคุมกระแสทำให้ฮาร์โมนิกที่อันดับความถี่ต่างๆของแรงดันเฟสของมอเตอร์ โดยเฉพาะย่านความถี่การสวิตซ์มีขนาดใกล้เคียงกับความถี่หลักมูล ทำให้ผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกที่คำนวณได้มีค่าค่อนข้างสูง นอกจากนี้จากผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า ค่ารบกวนของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันเฟสมอเตอร์มีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อความเร็วรอบเปลี่ยนแปลง แต่ค่ารบกวนของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันเฟสที่ความถี่หลักมูลมีค่าแปรตามความเร็วรอบของมอเตอร์

6. การทดสอบหาความสัมพันธ์ของแรงดันกับความถี่ด้านออกของอินเวอร์เตอร์

ทำได้โดยการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ และทำการวัดความถี่และแรงดันเฟสของมอเตอร์ด้วย storage oscilloscope เมื่อมอเตอร์มีแรงบิดทางกลคงที่ ที่ค่าต่างๆ เพื่อวัดเฉพาะองค์ประกอบหลักมูลของแรงดัน ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่และแรงดันดังภาพที่ 4.9

สำหรับการรักษาแรงบิดทางกลของมอเตอร์ให้คงที่ — ทำได้โดยการปรับให้กระแส

อาร์เมเจอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าคงที่ เมื่อรักษาให้กระแสสร้างฟลักซ์มีค่าคงที่ ดังสมการ 4.7

$$T = K \cdot i_f \cdot i_a \quad (4.7)$$

โดย K คือค่าคงที่

$i_f$  คือค่าของกระแสสร้างฟลักซ์

$i_a$  คือค่าของกระแสอาร์เมเจอร์

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ชัดว่าที่ค่ากระแสอาร์เมเจอร์สูงขึ้น จะวัดค่าที่ความเร็วรอบต่ำๆไม่ได้ เพราะที่ความเร็วรอบต่ำๆ จะไม่สามารถรักษาให้กระแสอาร์เมเจอร์คงที่ได้ เนื่องจากข้อจำกัดของโหลด และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ชัดว่าความสัมพันธ์ของแรงดันกับความถี่ด้านออกของอินเวอร์เตอร์มีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อมอเตอร์รับภาระโหลดที่แรงบิดค่าต่างๆ โดยมีค่าอัตราส่วนของแรงดันกับความถี่ประมาณ 5 และมีค่าแรงดันออฟเซตประมาณ 15 โวลต์

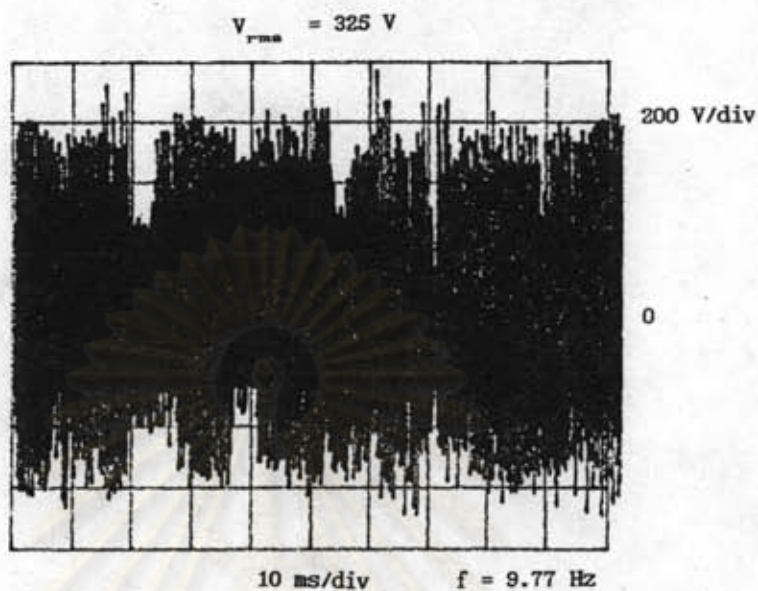
#### 7. การทดสอบหาประสิทธิภาพของวงจรเรียงกระแส, วงจรอินเวอร์เตอร์ และ ประสิทธิภาพรวมของระบบ

การทดสอบทำได้โดยต่อวงจรชุดทดสอบดังภาพที่ 4.1 แล้วทำการเปลี่ยนโหลดของมอเตอร์จากต่ำสุดไปยังสูงสุด แล้วใช้ storage oscilloscope บันทึกค่าตัวแปรต่างๆ ทางด้านเข้าของวงจรเรียงกระแสคือ แรงดันเฟสของแหล่งจ่าย, กระแสของแหล่งจ่าย และกำลังงานต่อเฟสของแหล่งจ่าย คำนวณหาค่าตัวประกอบกำลัง (power factor) และกำลังงานที่จ่ายให้กับวงจรเรียงกระแส สำหรับทางด้านออกของวงจรเรียงกระแส บันทึกค่าแรงดันเฉลี่ยด้านออกของวงจรเรียงกระแส, กระแสเฉลี่ยด้านออกของวงจรเรียงกระแส และกำลังงานออกของวงจรเรียงกระแส ส่วนทางด้านออกของวงจรอินเวอร์เตอร์บันทึกค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันเฟสมอเตอร์ ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสเข้ามอเตอร์และกำลังงานต่อเฟสของมอเตอร์ คำนวณหาค่าตัวประกอบกำลัง และกำลังงานที่จ่ายให้มอเตอร์ นำค่าที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพของวงจรเรียงกระแส, ประสิทธิภาพของวงจรอินเวอร์เตอร์ และประสิทธิภาพรวมของระบบ สำหรับการวัดกำลังงานในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้คือ

ตารางที่ 4.8 ผลการวัดหาค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันเฟสมอเตอร์และค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันที่ความถี่หลักมูล และผลการคำนวณหาค่าผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกที่ความเร็วรอบต่างๆ

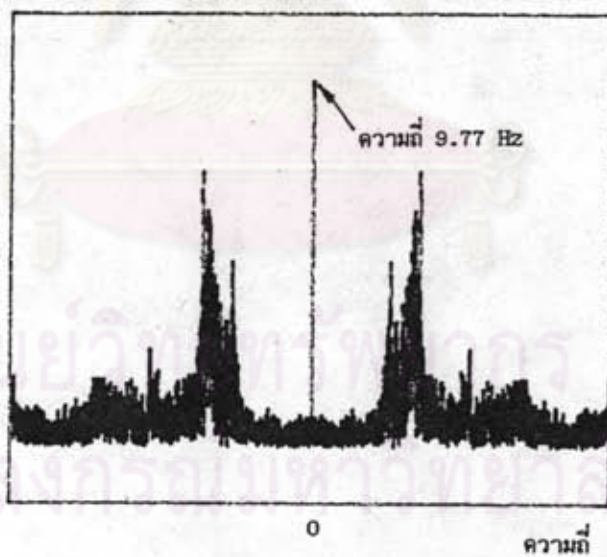
ความเร็วรอบ (rpm)	ค่าที่ทำการวัด	ขนาดของสัญญาณ		THD (%)
		(V)	(%)	
282	$V_{rms}$	325	100	98.4
	$V_{1rms}$	58	17.8	
568	$V_{rms}$	327	100	94.0
	$V_{1rms}$	112	34.3	
1420	$V_{rms}$	323	100	63.3
	$V_{1rms}$	250	77.4	

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)

แอมพลิจูดของแรงดัน



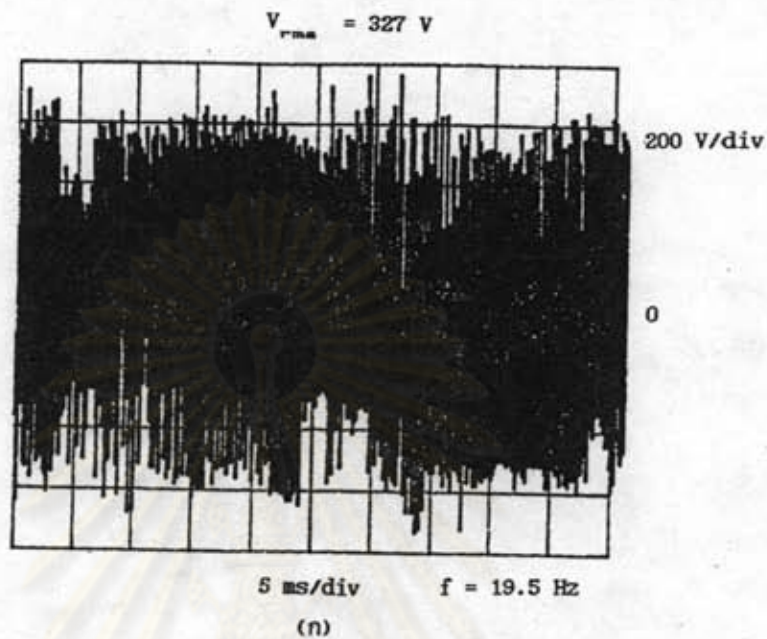
(ข)

ภาพที่ 4.6 รูปคลื่นของแรงดันเฟสของมอเตอร์และขนาดแรงดันเฟสของมอเตอร์ที่อันดับความถี่ต่างๆ ที่ความเร็วรอบ 282 รอบต่อนาที

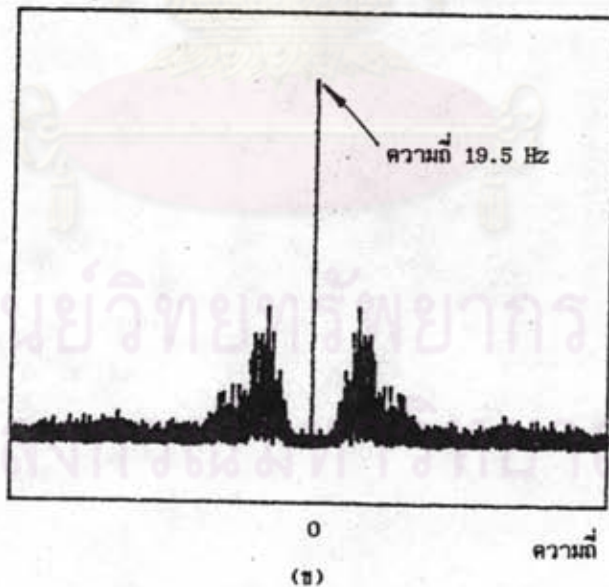
ก) รูปคลื่นของแรงดันเฟสมอเตอร์

ข) ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันเฟสมอเตอร์ที่อันดับความถี่ต่างๆ



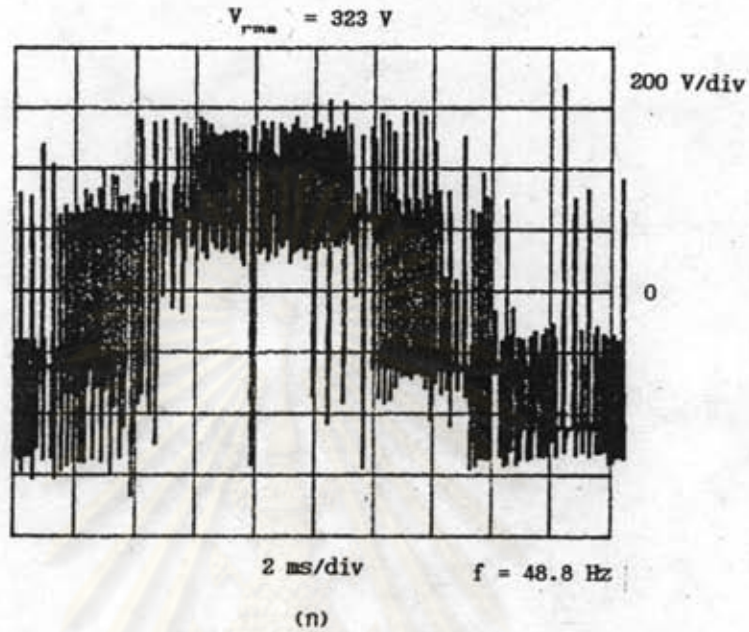


แอมพลิจูดของแรงดัน

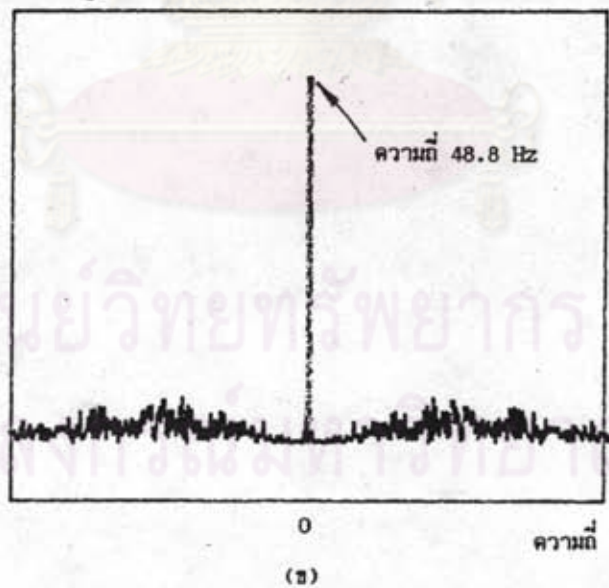


ภาพที่ 4.7 รูปคลื่นของแรงดันเฟสของมอเตอร์และขนาดแรงดันเฟสของมอเตอร์ที่อันดับความถี่ต่างๆ ที่ความเร็วรอบ 568 รอบต่อนาที

- ก) รูปคลื่นของแรงดันเฟสมอเตอร์  
 ข) ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันเฟสของมอเตอร์ที่อันดับความถี่ต่างๆ



แอมพลิจูดของแรงดัน



- ภาพที่ 4.8 รูปคลื่นของแรงดันเฟสของมอเตอร์และขนาดแรงดันเฟสของมอเตอร์ที่อันดับความถี่ต่างๆ ที่ความเร็วรอบ 1420 รอบต่อนาที
- ก) รูปคลื่นของแรงดันเฟสมอเตอร์
- ข) ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันเฟสของมอเตอร์ที่อันดับความถี่ต่างๆ

ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ด้านออกกับค่าองค์ประกอบหลักมูล  
ของแรงดันเฟสของมอเตอร์ ที่กระแสอาร์เมเจอร์ค่าต่างๆ

ก)  $I_a = 0$  แอมแปร์

ความถี่ด้านออก (Hz)	ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยขององค์ประกอบ หลักมูลของแรงดันเฟสมอเตอร์ (V)
4.9	31
9.78	60
19.9	116
33.4	179
48.8	250

ข)  $I_a = 1.2$  แอมแปร์

ความถี่ด้านออก (Hz)	ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยขององค์ประกอบ หลักมูลของแรงดันเฟสมอเตอร์ (V)
4.92	32
9.77	72
20.4	112
33.8	181
48.8	260

ค)  $I_a = 2$  แอมแปร์

ความถี่ด้านออก (Hz)	ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยขององค์ประกอบ หลักมูลของแรงดันเฟสมอเตอร์ (V)
7.09	49
13.2	80
23.8	136
33.7	186
48.7	262

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ด้านออกกับค่าองค์ประกอบหลักมูล  
ของแรงดันเฟสของมอเตอร์ ที่กระแสอาร์เมเจอร์ค่าต่างๆ

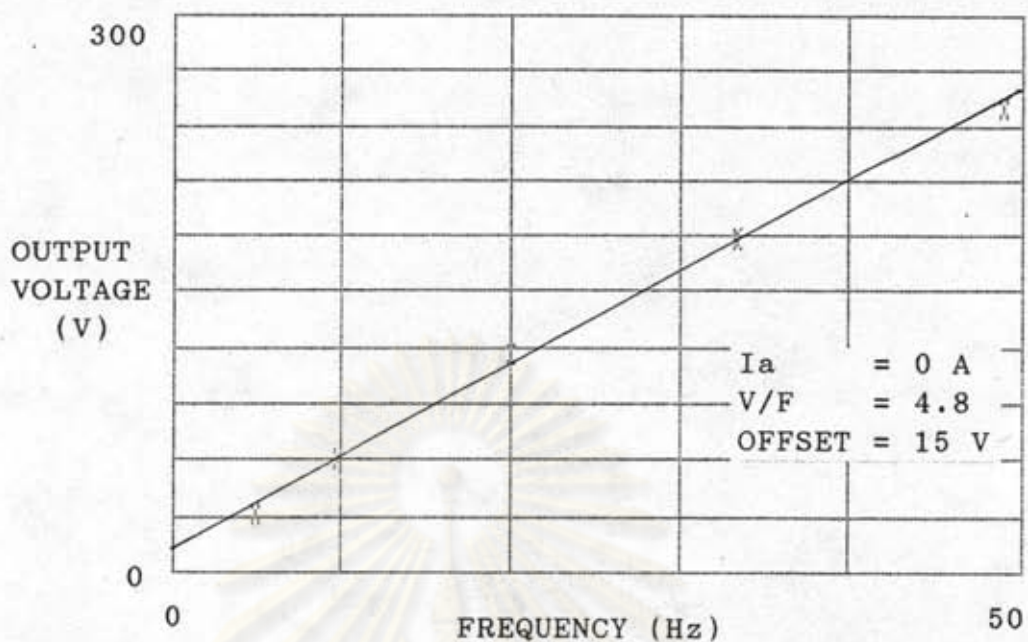
ง)  $I_a = 3$  แอมแปร์

ความถี่ด้านออก (Hz)	ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยขององค์ประกอบ หลักมูลของแรงดันเฟสมอเตอร์ (V)
22.0	125
34.0	185
48.7	260

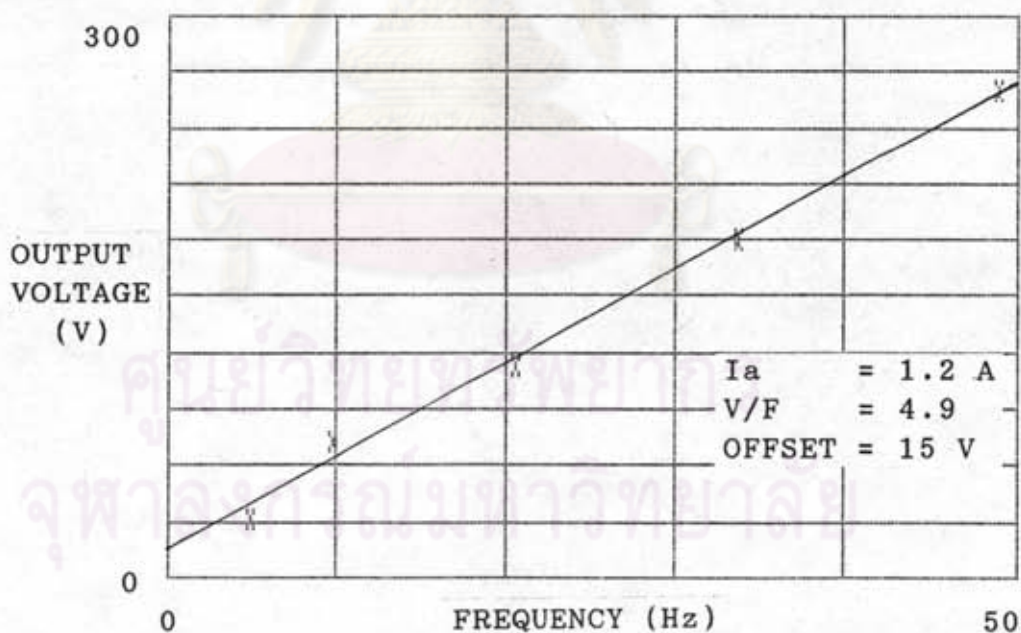
จ)  $I_a = 4$  แอมแปร์

ความถี่ด้านออก (Hz)	ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยขององค์ประกอบ หลักมูลของแรงดันเฟสมอเตอร์ (V)
27.2	152
35.3	190
48.6	265

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

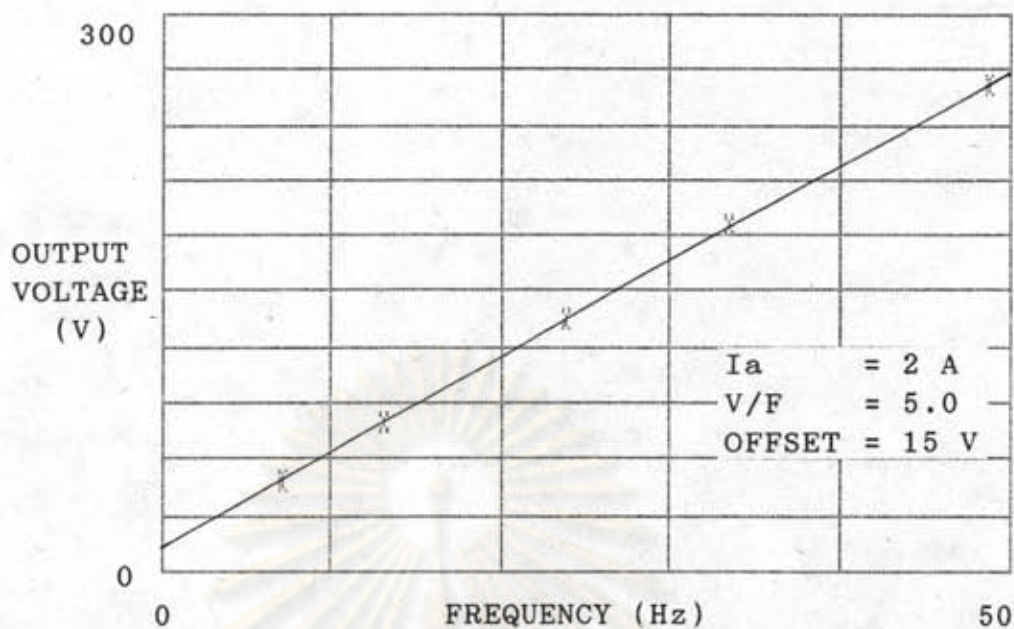


ก)

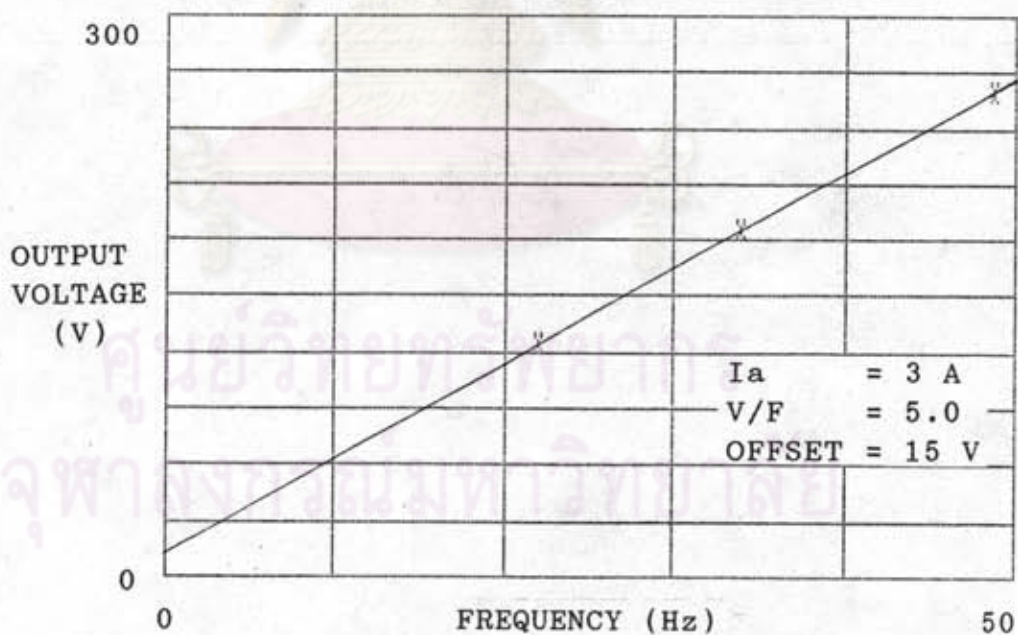


ข)

ภาพที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและความถี่ด้านออกของอินเวอร์เตอร์  
ที่กระแสอาร์เมเจอร์ค่าต่างๆ

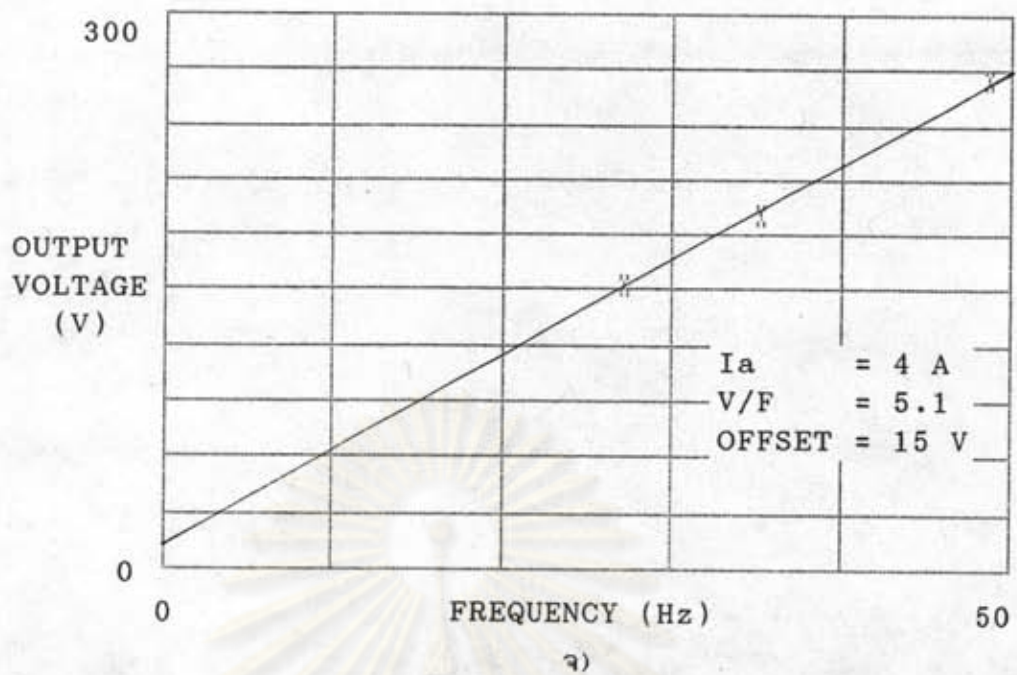


ค)



ง)

ภาพที่ 4.9 (ต่อ) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและความถี่ด้านออกของอินเวอร์เตอร์ที่กระแสอาร์มเจอร์ค่าต่างๆ



ภาพที่ 4.9 (ต่อ) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและความถี่ด้านออกของอินเวอร์เตอร์ที่กระแสอาร์เมเจอร์ค่าต่างๆ

### 7.1 การวัดกำลังงานที่จ่ายให้กับวงจรเรียงกระแส

ทำได้โดยใช้ storage oscilloscope บันทึกแรงดันเฟสของแหล่งจ่าย และกระแสจากแหล่งจ่าย แล้วทำการคูณสัญญาณตลอดคาบ คำนวณหาค่าเฉลี่ยของผลคูณดังกล่าว ในภาพที่ 4.10 และ 4.11 ซึ่งก็คือกำลังงานที่จ่ายให้กับวงจรเรียงกระแสต่อเฟสนำค่าที่ได้คูณด้วยสามก็จะได้กำลังงานที่จ่ายให้กับวงจรเรียงกระแสทั้งสามเฟส ดังสมการ 4.8

$$\text{power} = \frac{3}{T} \int_0^T v \cdot i dt \quad (4.8)$$

โดย

$v$  คือ แรงดันเฟสของแหล่งจ่าย

$i$  คือ กระแสเฟสของแหล่งจ่าย

$T$  คือ เวลาในหนึ่งคาบของสัญญาณ

การที่วัดหาค่ากำลังงานที่จ่ายให้กับวงจรเรียงกระแสต่อเฟสแล้วนำมาคูณด้วยสาม เนื่องจากถือว่าระบบเป็นแบบสามเฟสสมดุล กระแสแต่ละเฟสมีค่าใกล้เคียงกันดังภาพที่ 4.12 และจากการวัดกำลังงานของแต่ละเฟสเทียบกับก็มีค่าที่ใกล้เคียงกันดังภาพที่ 4.13

## 7.2 การวัดกำลังงานออกของวงจรเรียงกระแส

ทำได้โดยใช้ storage oscilloscope บันทึกแรงดันด้านออกของวงจรเรียงกระแสและกระแสด้านออกของวงจรเรียงกระแส แล้วหาค่าเฉลี่ยของผลคูณระหว่างแรงดันและกระแสทางด้านออกของวงจรเรียงกระแสตลอดคาบ ดังภาพที่ 4.14 ซึ่งก็คือกำลังงานด้านออกของวงจรเรียงกระแสดังสมการ 4.9

$$\text{power} = \frac{1}{T} \int_0^T v \cdot i \, dt \quad (4.9)$$

โดย

$v$  คือ แรงดันด้านออกของวงจรเรียงกระแส

$i$  คือ กระแสทางด้านออกของวงจรเรียงกระแส

$T$  คือ เวลาในหนึ่งคาบของสัญญาณ

## 7.3 การวัดกำลังงานออกของวงจรอินเวอร์เตอร์

ทำได้โดยใช้ storage oscilloscope บันทึกแรงดันเฟสของมอเตอร์ และกระแสเฟสมอเตอร์ แล้วทำการคูณสัญญาณแต่ละเฟสตลอดคาบดังแสดงในภาพที่ 4.15 และ 4.16 คำนวณหาค่าเฉลี่ยของผลคูณ ซึ่งก็คือกำลังงานที่จ่ายให้กับมอเตอร์ต่อเฟสดังสมการ 4.10 นำค่าที่ได้คูณด้วยสามก็จะได้กำลังงานที่จ่ายให้กับมอเตอร์

$$\text{power} = \frac{3}{T} \int_0^T v \cdot i \, dt \quad (4.10)$$

โดย



v คือ แรงดันเฟสของมอเตอร์

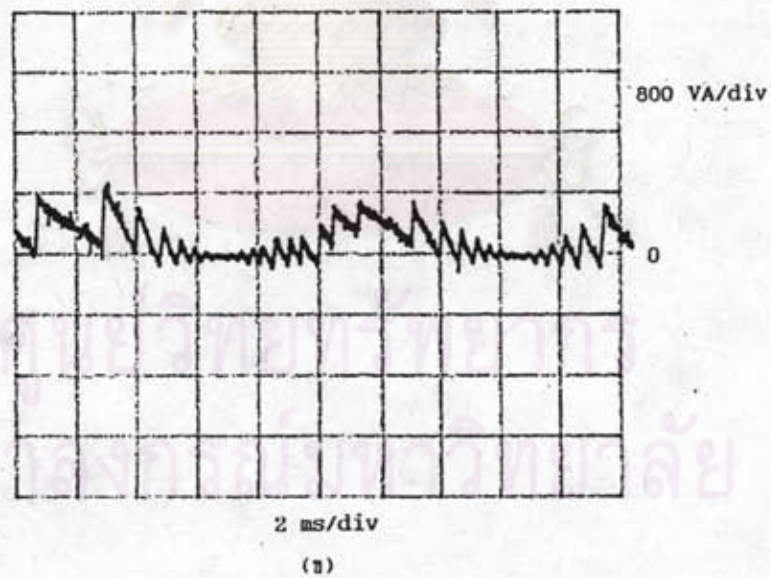
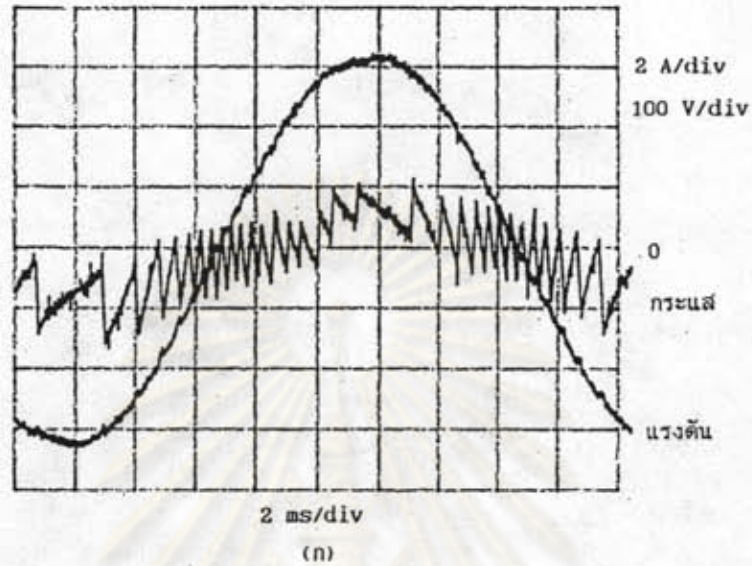
i คือ กระแสเฟสของมอเตอร์

T คือ เวลาในหนึ่งคาบของสัญญาณ

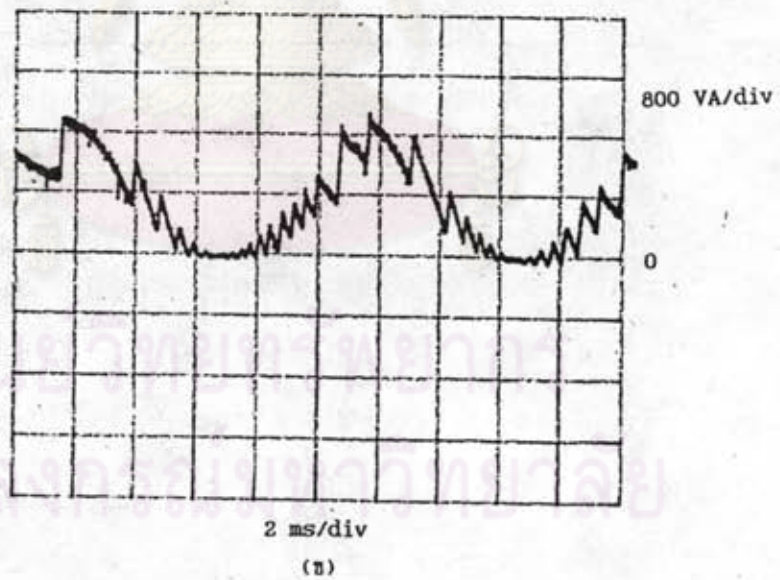
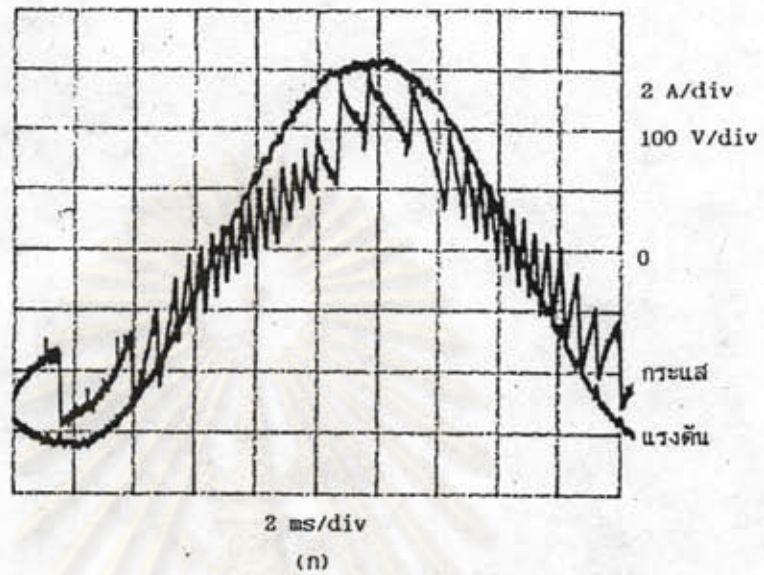
การที่วัดค่ากำลังงานที่จ่ายให้กับมอเตอร์ต่อเฟส แล้วนำมาคูณด้วยสาม เนื่องจากถือว่าระบบเป็นแบบสามเฟสสมดุล กระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์แต่ละเฟสมีค่าใกล้เคียงกันดังภาพที่ 4.17 และจากการวัดกำลังงานของแต่ละเฟสเทียบกับกันมีค่าที่ใกล้เคียงกันดังภาพที่ 4.18

จากผลการทดลอง เห็นได้ว่าประสิทธิภาพของวงจรเรียงกระแสจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีโหลดสูงขึ้น เนื่องจากวงจรจะมีค่ากำลังงานสูญเสียคงที่ (fixed loss) อยู่ เช่น กำลังสูญเสียในแกนของตัวเหนี่ยวนำ เป็นต้น ซึ่งจะมีค่ามากเมื่อเทียบกับกำลังด้านออกที่ภาวะโหลดน้อย ดังนั้นวงจรจะมีประสิทธิภาพต่ำที่ภาวะโหลดน้อยแต่ที่ภาวะโหลดสูงกำลังงานสูญเสียคงที่นั้นจะมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับกำลังงานด้านออกของวงจร ทำให้ประสิทธิภาพของวงจรมีค่าสูงขึ้น ส่วนประสิทธิภาพของวงจรอินเวอร์เตอร์จะมีค่าสูงขึ้นจนถึงค่าหนึ่งแล้วลดลงเมื่อมีโหลดสูงขึ้น เนื่องจากที่ภาวะโหลดสูงนั้นจะมีกำลังงานสูญเสียจากการนำกระแส (conduction loss) สูงขึ้นทำให้วงจรมีประสิทธิภาพลดลงที่ภาวะโหลดสูงๆ

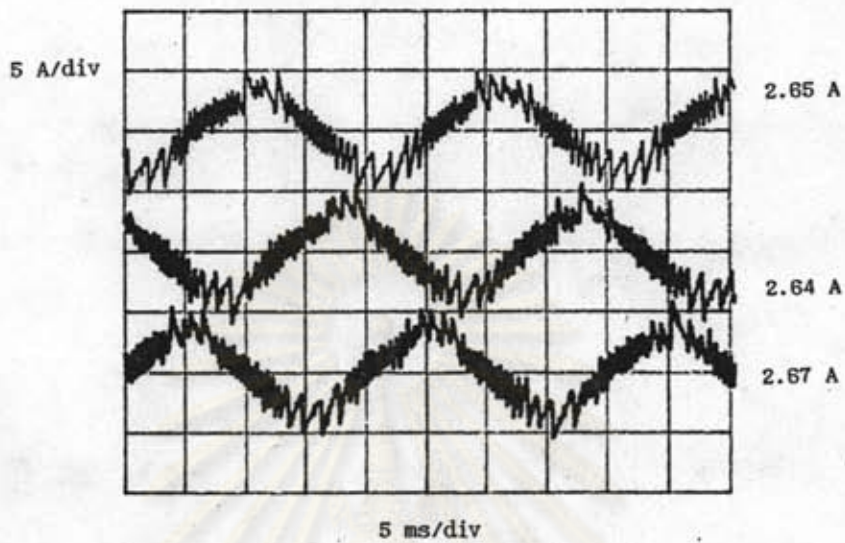
สำหรับค่าตัวประกอบกำลัง (power factor) ของวงจรเรียงกระแสจะเห็นว่ามีความต่ำที่โหลดน้อย และสูงขึ้นเมื่อโหลดมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากที่ภาวะโหลดน้อยนั้นขนาดของกระแสมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับค่าระลอกคลื่น (ripple) ของกระแส ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าต่ำ แต่ที่ภาวะโหลดสูงขนาดของระลอกคลื่นของกระแสมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับขนาดของกระแส ทำให้วงจรมีค่าตัวประกอบกำลังที่สูงขึ้นที่ภาวะโหลดมาก ส่วนค่าตัวประกอบกำลังของวงจรอินเวอร์เตอร์มีค่าต่ำที่โหลดน้อย และสูงขึ้นเมื่อโหลดมีค่าสูงขึ้นเช่นเดียวกัน เนื่องจาก เป็นคุณสมบัติของตัวมอเตอร์เองที่จะมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำที่โหลดน้อย และมีค่าสูงขึ้นที่ภาวะโหลดมากขึ้น



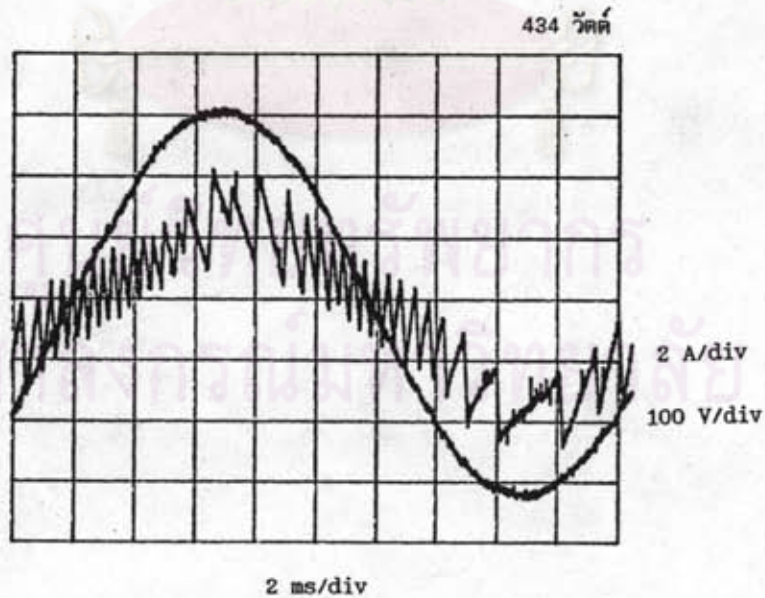
- ภาพที่ 4.10 ก) รูปคลื่นของกระแสและแรงดันเฟสของแหล่งจ่าย เมื่อมอเตอร์ทำงานที่  
ภาวะไร้โหลด
- ข) ผลคูณของแรงดันและกระแสเฟสของแหล่งจ่าย



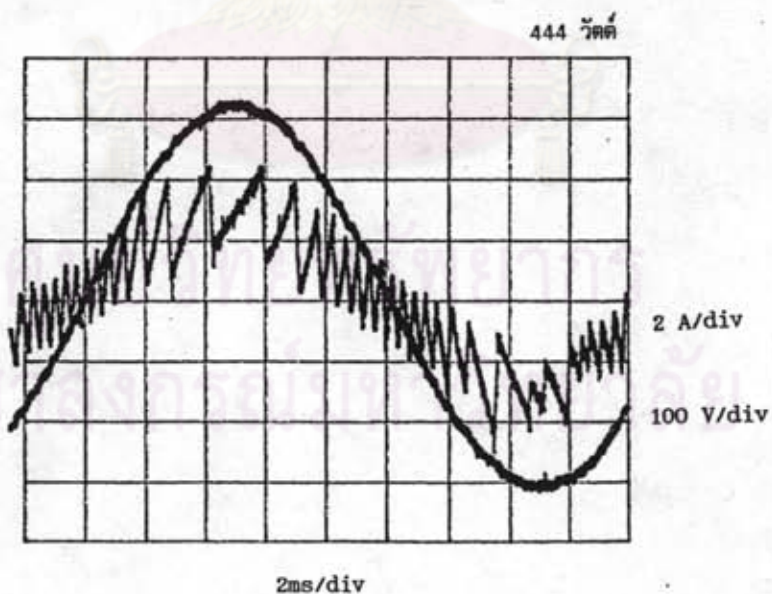
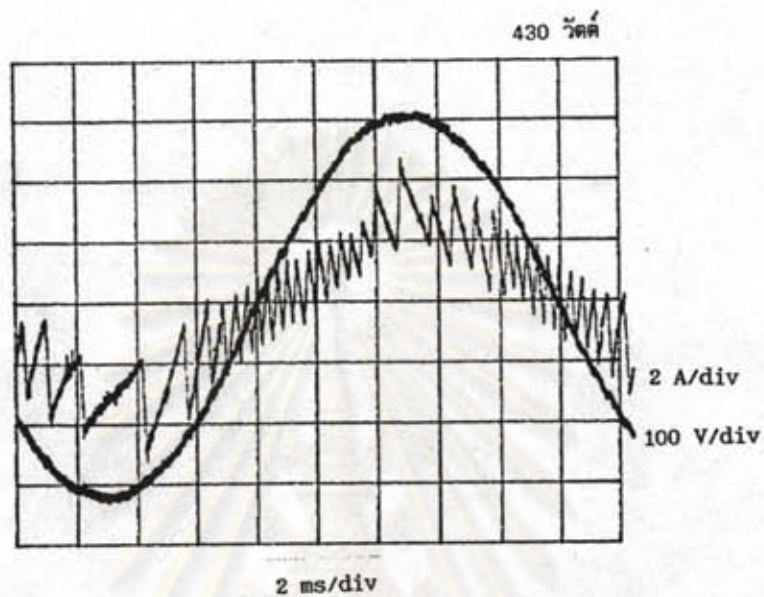
- ภาพที่ 4.11 ก) รูปคลื่นของกระแสและแรงดันเฟสของแหล่งจ่าย เมื่อมอเตอร์ทำงานที่  
ภาวะโหลดเต็ม  
ข) ผลคูณของแรงดันและกระแสเฟสของแหล่งจ่าย



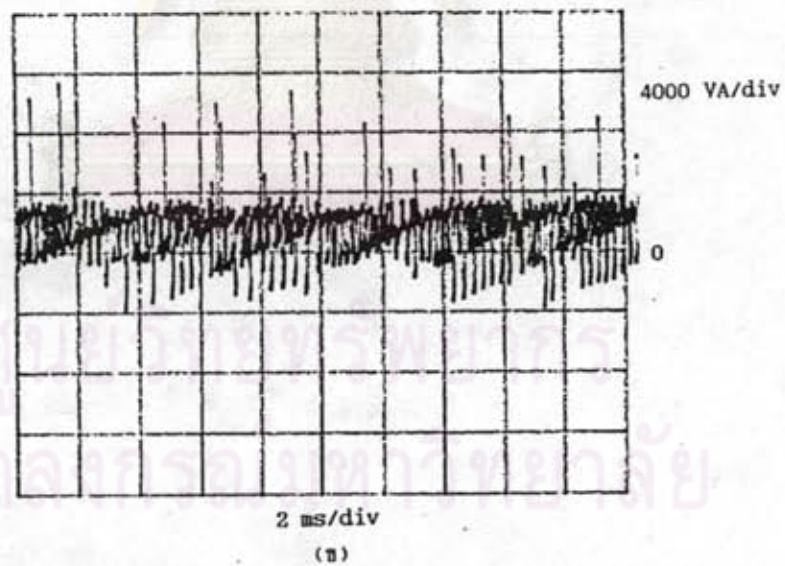
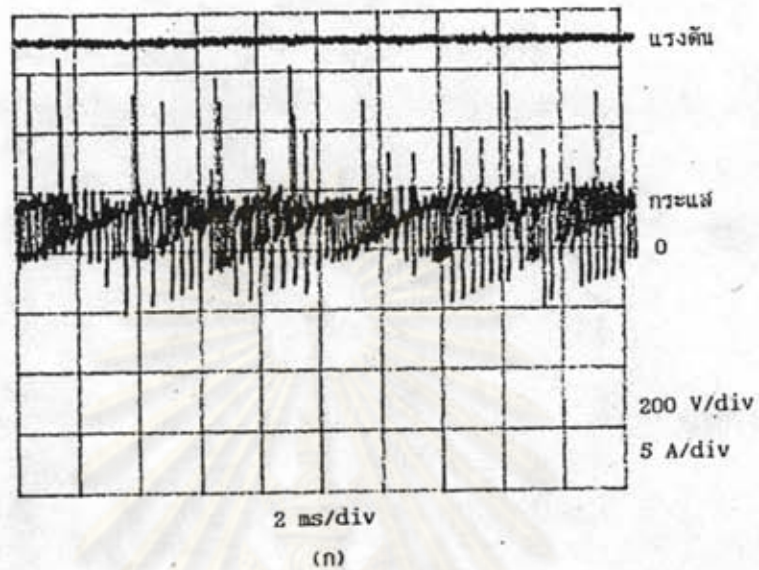
ภาพที่ 4.12 รูปคลื่นและขนาดของกระแสของแหล่งจ่ายไฟแต่ละเฟส



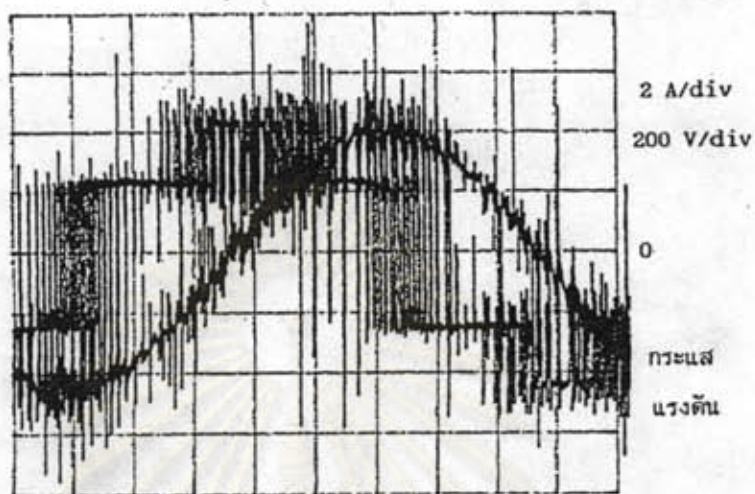
ภาพที่ 4.13 การวัดหาค่าพลังงานของแหล่งจ่ายไฟสลับแต่ละเฟส



ภาพที่ 4.13 (ต่อ) การวัดหาค่าพลังงานของแหล่งจ่ายไฟสลับแต่ละเฟส

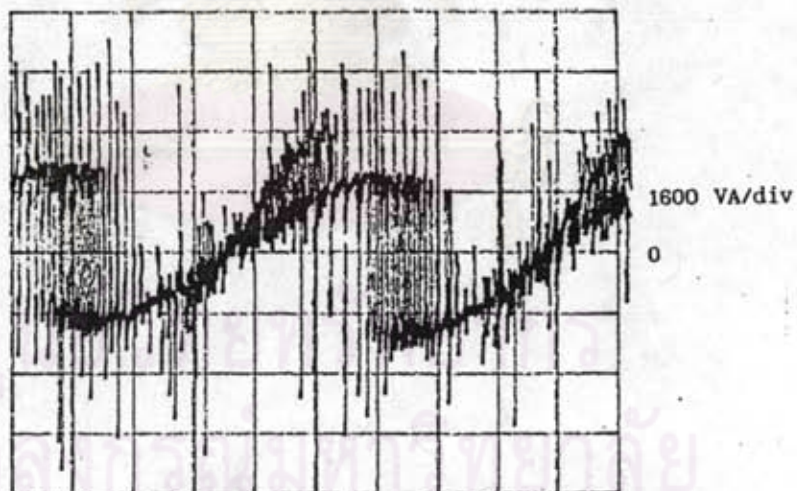


- ภาพที่ 4.14 ก) รูปคลื่นของแรงดันและกระแสด้านนอกของวงจรเรียงกระแสเมื่อมอเตอร์ทำงานที่ภาวะโหลดเต็ม
- ข) ผลคูณของแรงดันและกระแสด้านนอกของวงจรเรียงกระแส



2 ms/div

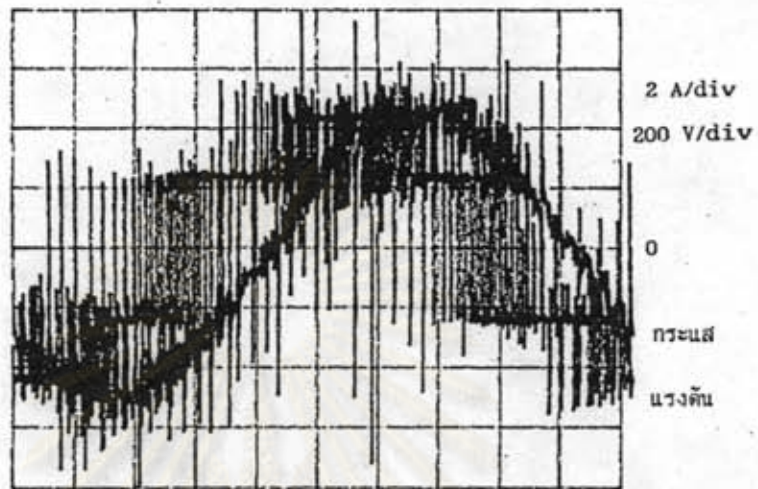
(ก)



2 ms/div

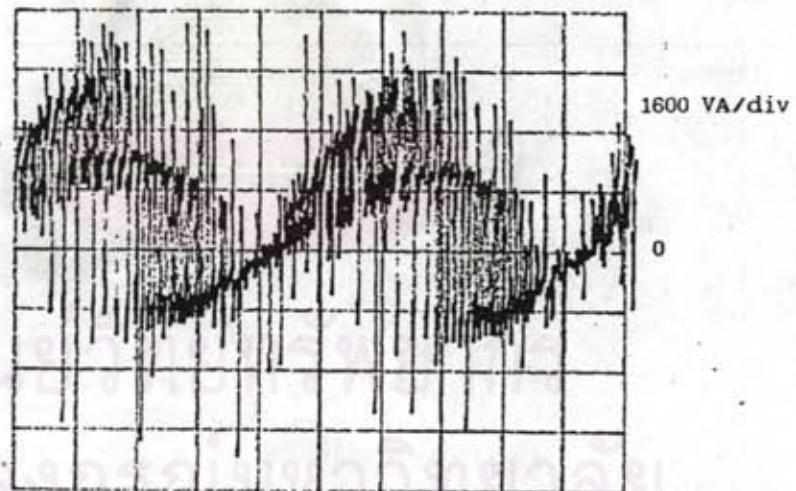
(ข)

- ภาพที่ 4.15 ก) รูปคลื่นของกระแสและแรงดันเฟสของมอเตอร์ เมื่อมอเตอร์ทำงานที่ภาวะไว้ไหลด
- ข) ผลคูณของแรงดันและกระแสเฟสของมอเตอร์



2 ms/div

(ก)

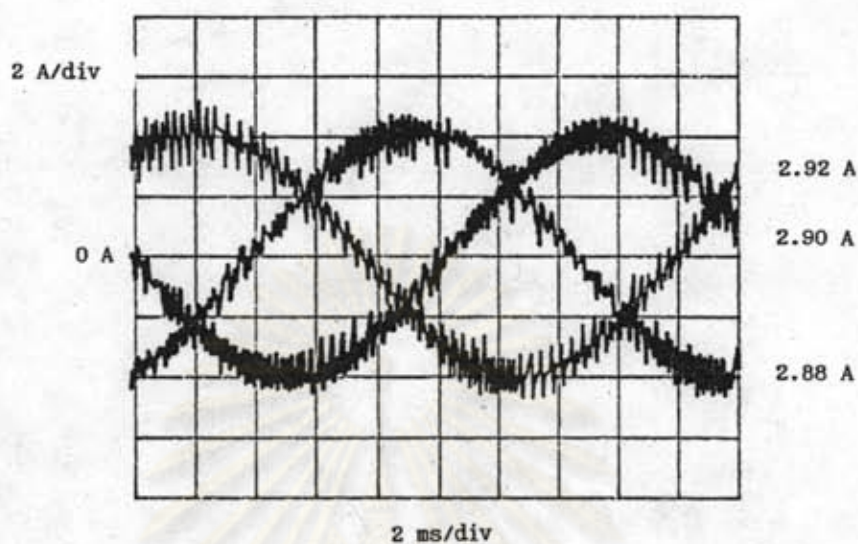


2 ms/div

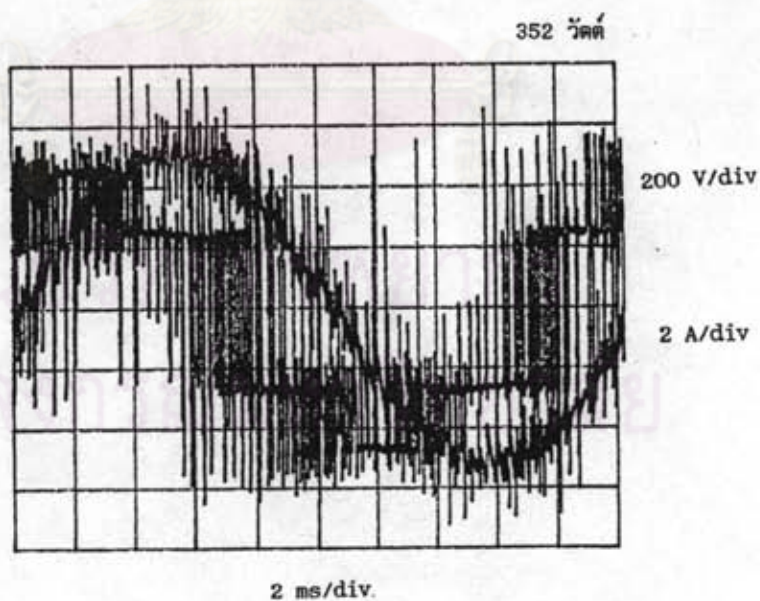
(ข)

- ภาพที่ 4.16 ก) รูปคลื่นของกระแสและแรงดันเฟสของมอเตอร์เมื่อมอเตอร์ทำงานที่  
ภาวะโหลดเต็ม
- ข) ผลคูณของแรงดันและกระแสเฟสของมอเตอร์

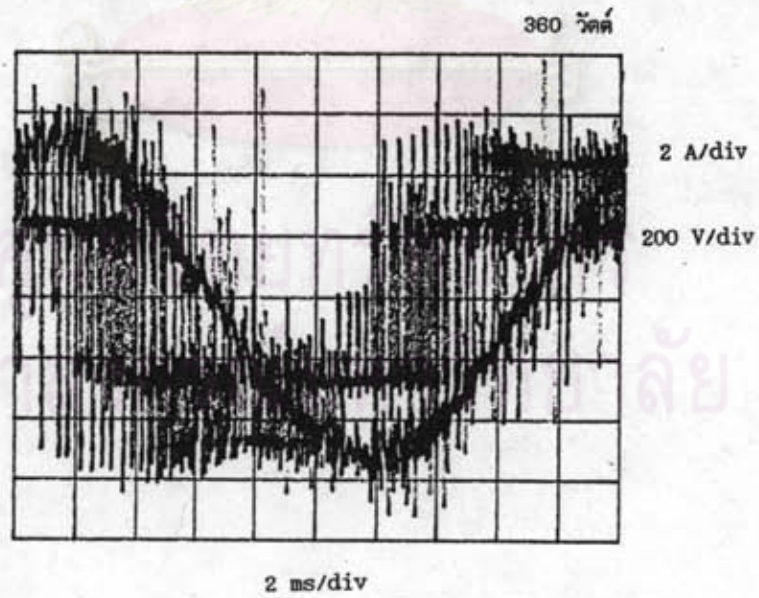
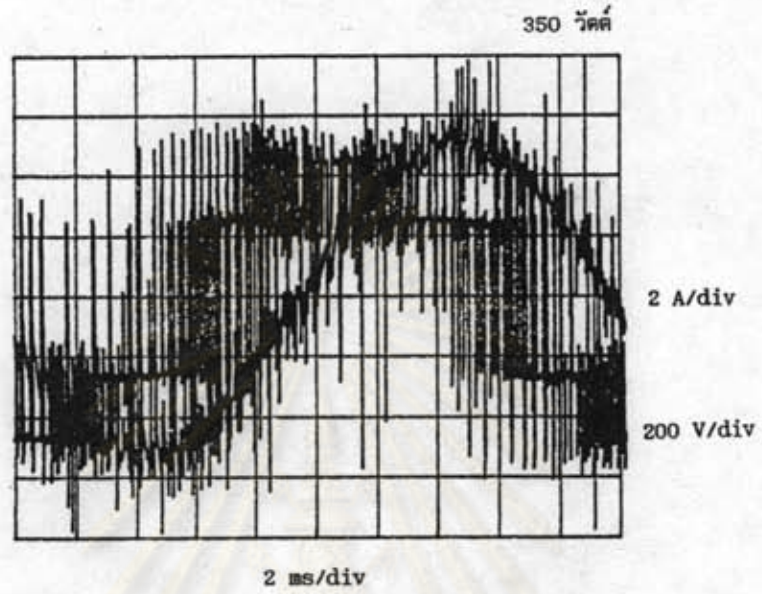




ภาพที่ 4.17 รูปคลื่นและขนาดของกระแสมอเตอร์แต่ละเฟส



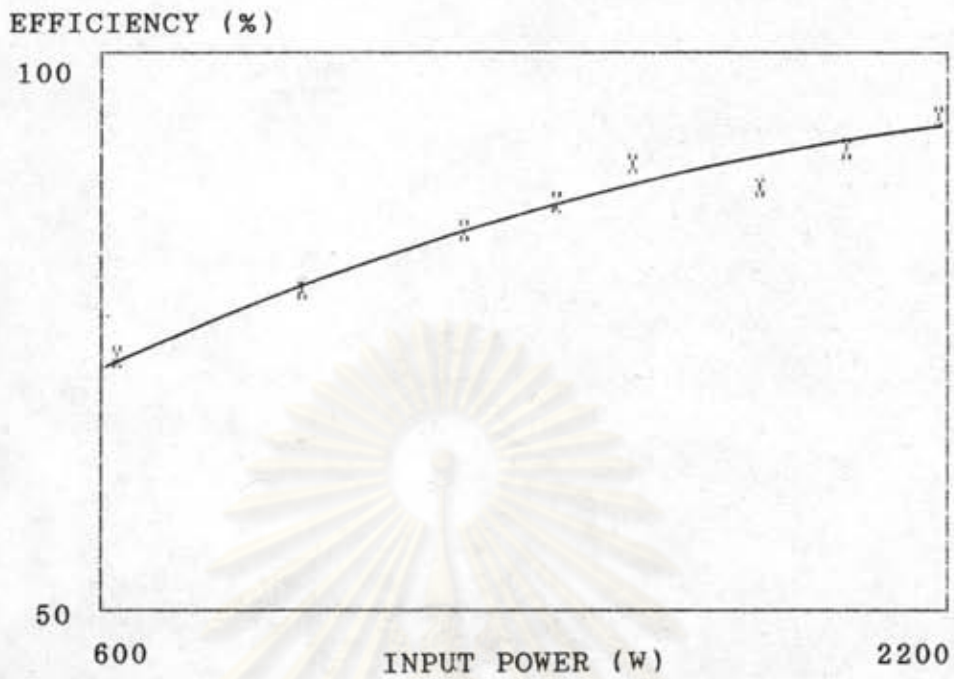
ภาพที่ 4.18 การวัดกำลังงานของมอเตอร์แต่ละเฟส



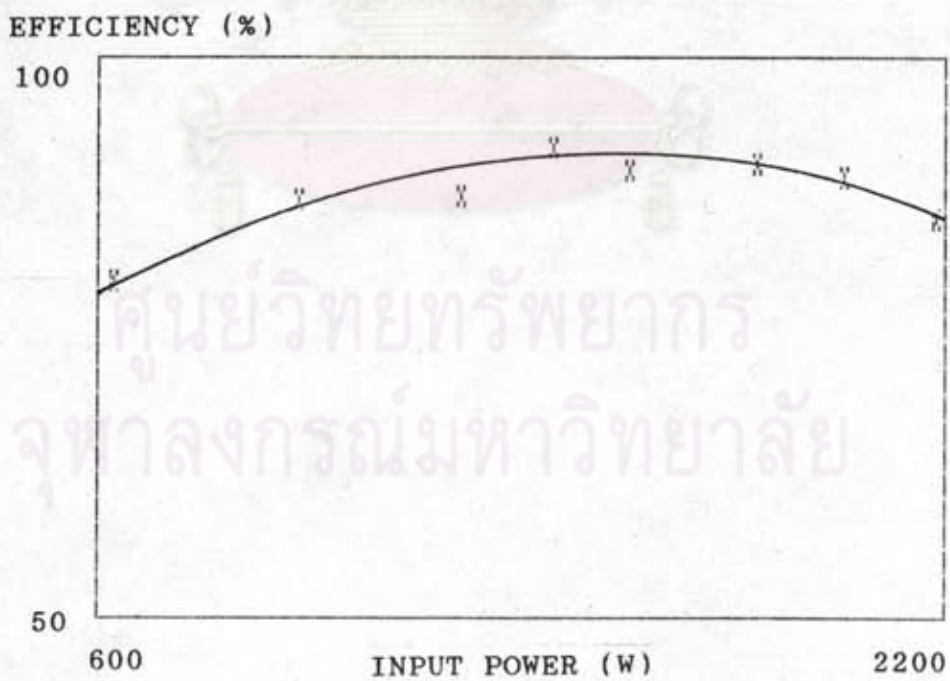
ภาพที่ 4.18 (ต่อ) การวัดกำลังงานของมอเตอร์แต่ละเฟส

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพและตัวประกอบกำลังของระบบ  
ที่ความเร็วรอบของมอเตอร์เท่ากับ 1420 รอบต่อนาที

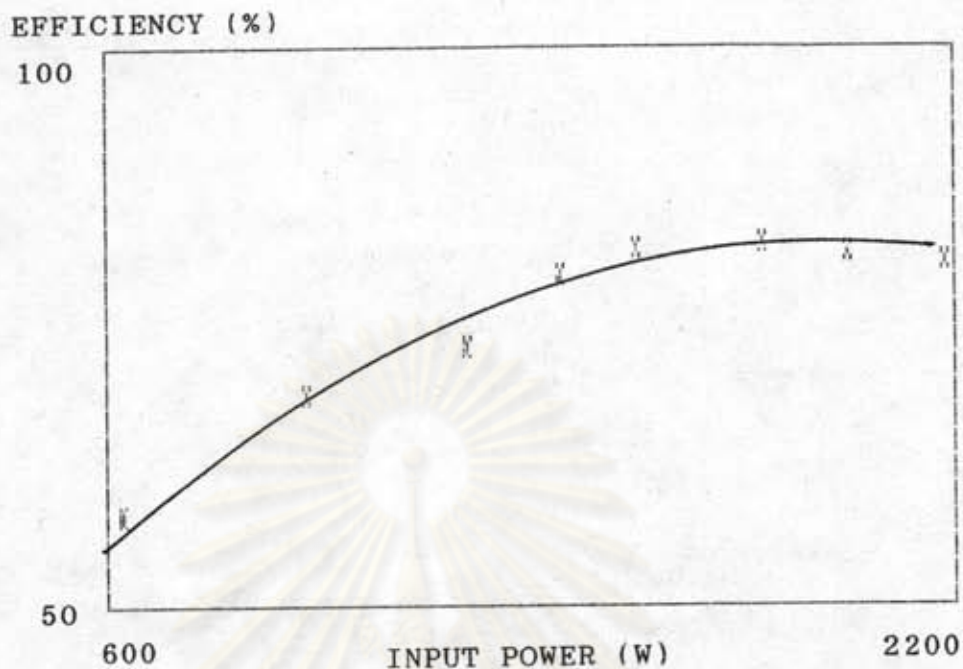
กำลังเข้าวงจรเรียงกระแส			กำลังด้านออกของวงจรเรียงกระแส			กำลังด้านออกของวงจรอินเวอร์เตอร์			ประสิทธิภาพของวงจรเรียงกระแส	ประสิทธิภาพของวงจรอินเวอร์เตอร์	ประสิทธิภาพรวมของระบบ
แรงดัน ไฟฟ้ $V_{rms}$ (V)	กระแส ไฟฟ้ $I_{rms}$ (A)	Power pf (W)	แรงดัน ไฟฟ้ $V_{rms}$ (V)	กระแส ไฟฟ้ $I_{rms}$ (A)	Power (W)	แรงดัน ไฟฟ้ $V_{rms}$ (V)	กระแส ไฟฟ้ $I_{rms}$ (A)	pf (W)	(%)	(%)	(%)
228	1.15	0.80	630	0.65	457	308	3.08	0.13	365	72.54	58.00
228	1.63	0.88	978	1.10	770	310	3.12	0.23	672	78.73	68.71
228	2.04	0.92	1284	1.45	1075	313	3.16	0.32	940	83.72	73.20
228	2.30	0.93	1458	1.80	1260	314	3.24	0.38	1158	86.42	79.42
228	2.50	0.94	1602	2.08	1455	316	3.26	0.42	1308	90.82	81.65
228	2.86	0.94	1848	2.32	1682	321	3.30	0.48	1520	91.02	82.30
228	3.06	0.96	2010	2.62	1835	318	3.32	0.52	1638	91.30	81.49
228	3.30	0.97	2184	2.94	2060	318	3.40	0.54	1764	94.32	80.76



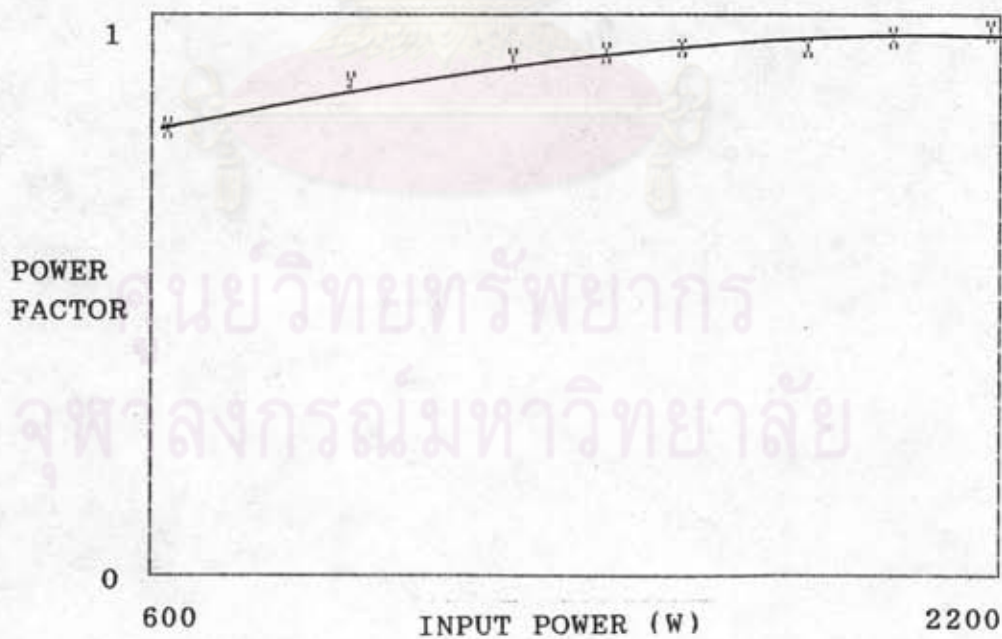
ภาพที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของวงจรเรียงกระแสและกำลังงาน  
ด้านเข้าของวงจรเรียงกระแส ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 1420 รอบต่อวินาที



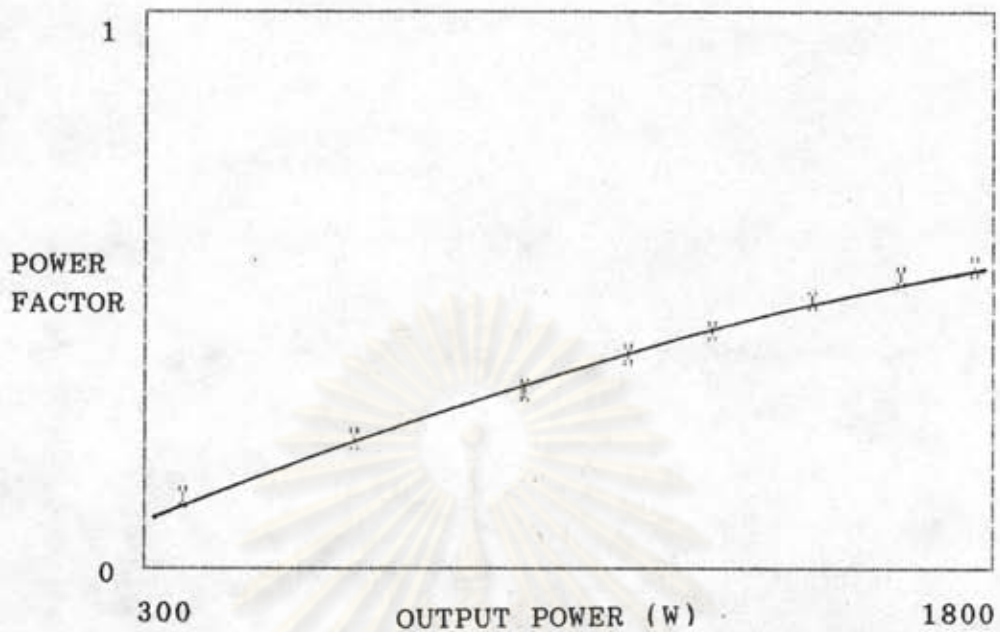
ภาพที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของวงจรอินเวอร์เตอร์และกำลังงาน  
ด้านเข้าของวงจรเรียงกระแส ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 1420 รอบต่อวินาที



ภาพที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของวงจรรวมและกำลังงานด้านเข้าของวงจรเรียงกระแส ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 1420 รอบต่อวินาที



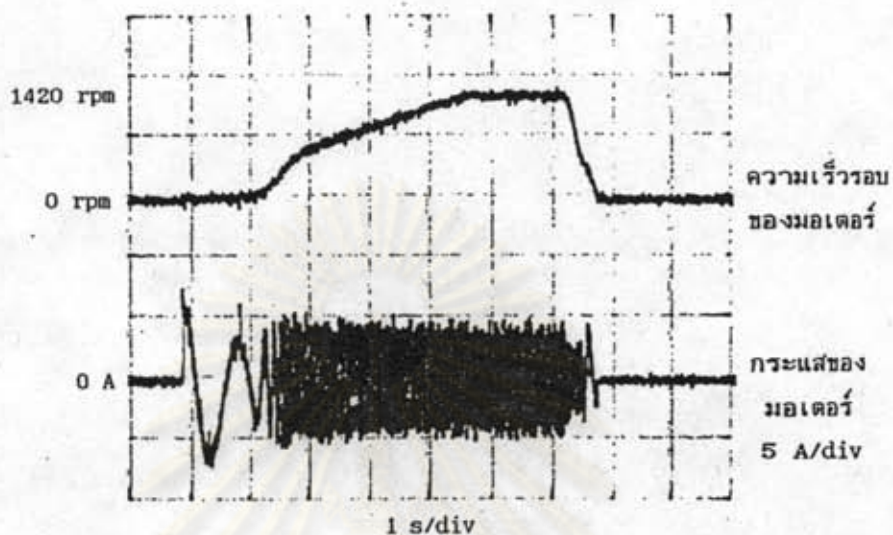
ภาพที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกำลังของวงจรเรียงกระแสและกำลังงานด้านเข้าของวงจรเรียงกระแส ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 1420 รอบต่อวินาที



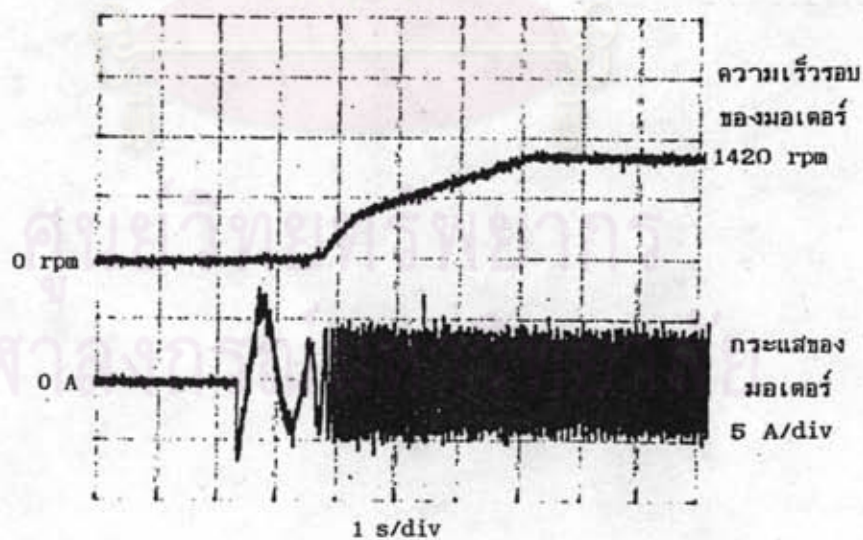
ภาพที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกำลังของอินเวอร์เตอร์และกำลังงานด้านออกของวงจรอินเวอร์เตอร์ ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 1420 รอบต่อนาที

## 8. การทดสอบคุณสมบัติพลวัต (dynamic characteristic)

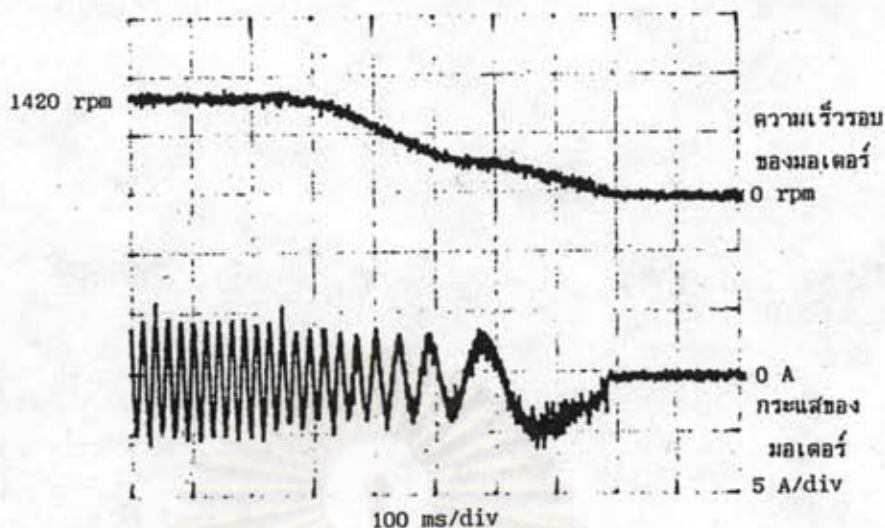
8.1 ขั้นตอนที่ 1 ทำการศึกษาคุณสมบัติ ในขณะที่อินเวอร์เตอร์เริ่มจ่ายไฟให้กับมอเตอร์และตัดไฟออกจากมอเตอร์ โดยการบันทึกค่ากระแสและความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วย storage oscilloscope โดยต่อวงจรทดสอบดังภาพที่ 4.1 และทำการเริ่มเดินเครื่องให้มอเตอร์มีความเร็วรอบเริ่มจากหยุดนิ่งจนถึงค่าพิกัด และให้ลดความเร็วลงจนหยุดนิ่งที่ภาวะไว้ไหลด ดังภาพที่ 4.24, 4.25, 4.26 จากภาพที่ 4.25 จะเห็นได้ว่ามอเตอร์จะเริ่มออกตัวหมุนช้ากว่าคำสั่งให้เริ่มหมุนประมาณ 1 วินาที เนื่องจากกระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์ในตอนเริ่มต้นนั้นยังมีความถี่ต่ำอยู่ และมอเตอร์จะเริ่มหมุนเมื่อความถี่ของกระแสมีค่าสูงขึ้น



ภาพที่ 4.24 สัญญาณความเร็วรอบและกระแสของมอเตอร์เมื่อทำการเริ่มเดินเครื่องและหยุดเดินเครื่องมอเตอร์ ที่ภาวะไว้ไหล

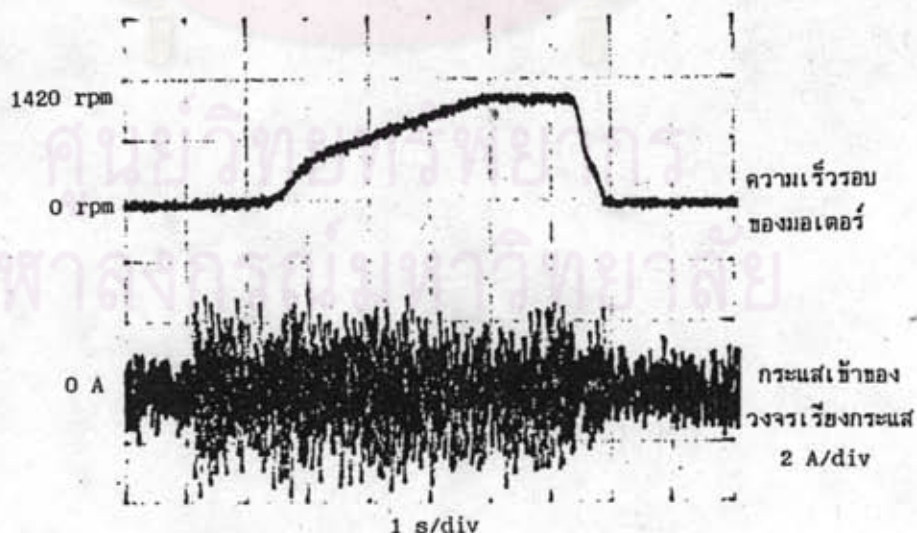


ภาพที่ 4.25 สัญญาณความเร็วรอบและกระแสของมอเตอร์เมื่อทำการเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ ที่ภาวะไว้ไหล



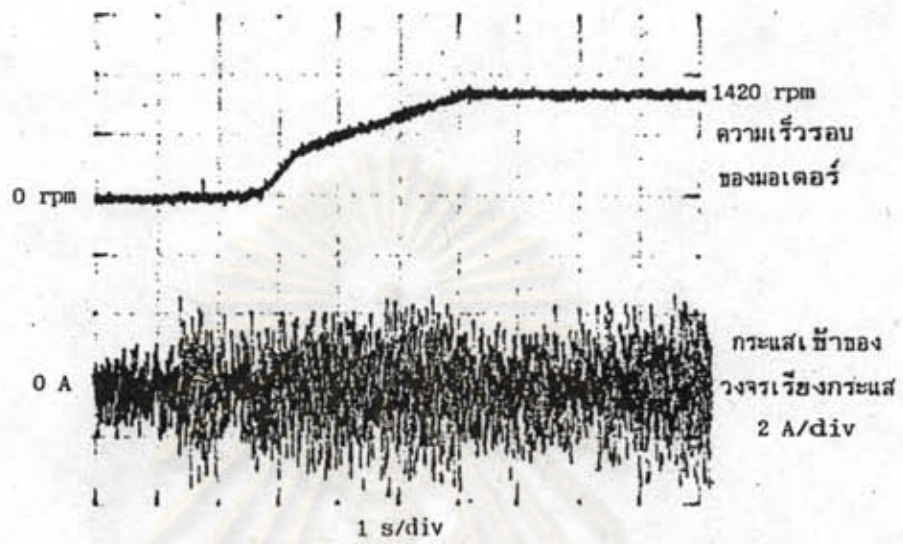
ภาพที่ 4.26 สัญญาณความเร็วรอบและกระแสของมอเตอร์เมื่อทำการหยุดเดินเครื่องมอเตอร์ ที่ภาวะไว้ไหล

8.2 ขั้นตอนที่ 2 ทำการศึกษาผลของกระแสทางด้านเข้าของวงจรเรียงกระแสเมื่อทำการเริ่มเดินเครื่องและหยุดเดินเครื่องมอเตอร์ โดยการบันทึกค่ากระแสเข้าของวงจรเรียงกระแสและความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วย storage oscilloscope โดยต่อวงจรทดสอบดังภาพที่ 4.1 และทำการเริ่มเดินเครื่องให้มอเตอร์มีความเร็วรอบเริ่มจากหยุดนิ่งจนถึงค่าพิกัด และให้ลดความเร็วลงจนหยุดนิ่งที่ภาวะไว้ไหล ดังภาพที่ 4.27, 4.28, 4.29

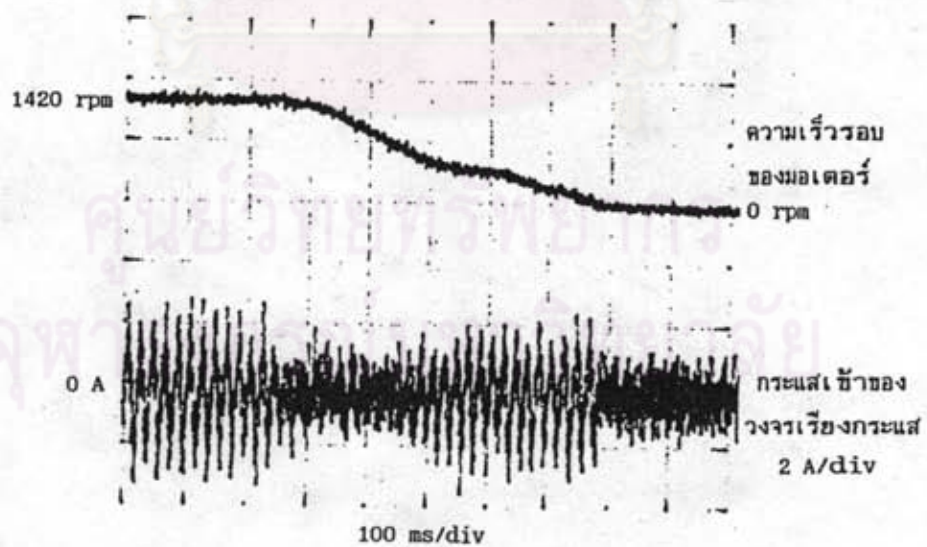


ภาพที่ 4.27 สัญญาณความเร็วรอบและกระแสเข้าของวงจรเรียงกระแสเมื่อทำการเริ่มเดินเครื่องและหยุดเดินเครื่องมอเตอร์ ที่ภาวะไว้ไหล



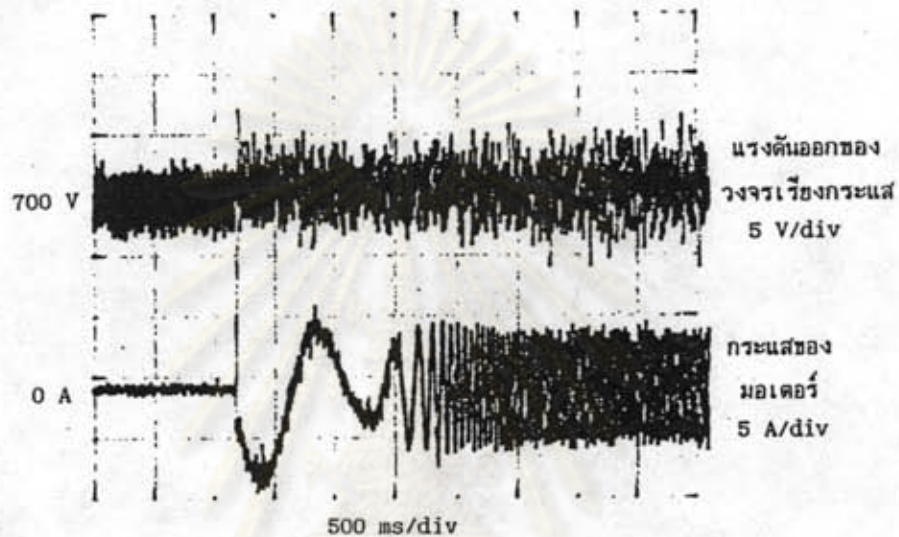


ภาพที่ 4.28 สัญญาณความเร็วรอบและกระแสเข้าของวงจรเรียงกระแส  
เมื่อทำการเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ ที่ภาวะไว้ไหล

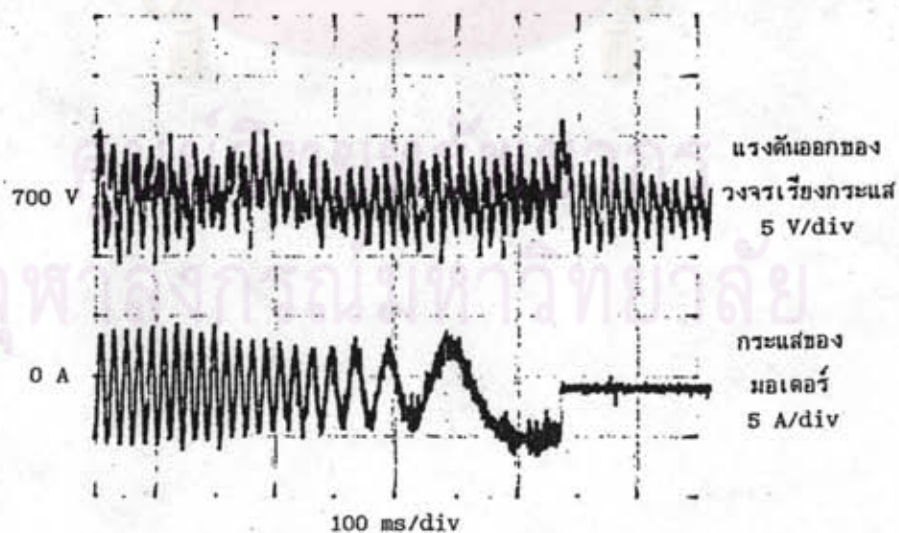


ภาพที่ 4.29 สัญญาณความเร็วรอบและกระแสเข้าของวงจรเรียงกระแส  
เมื่อทำการหยุดเดินเครื่องมอเตอร์ ที่ภาวะไว้ไหล

8.3 ขั้นตอนที่ 3 ทำการศึกษาผลของแรงดันด้านออกของวงจรเรียงกระแส เมื่อทำการเริ่มเดินเครื่องและหยุดเดินเครื่องมอเตอร์ ที่ภาวะไว้ไหลด โดยการบันทึกค่าแรงดันด้านออกของวงจรเรียงกระแส และค่ากระแสของมอเตอร์ ดังภาพที่ 4.30 และ 4.31 ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่อเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์แรงดันด้านออกของวงจรเรียงกระแสจะมีค่าเฉลี่ยที่สูงขึ้นเล็กน้อย แต่ก็สามารถคุมค่าแรงดันออกได้ค่อนข้างจะคงที่ทั้งในตอนเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์และตอนหยุดเดินเครื่องมอเตอร์

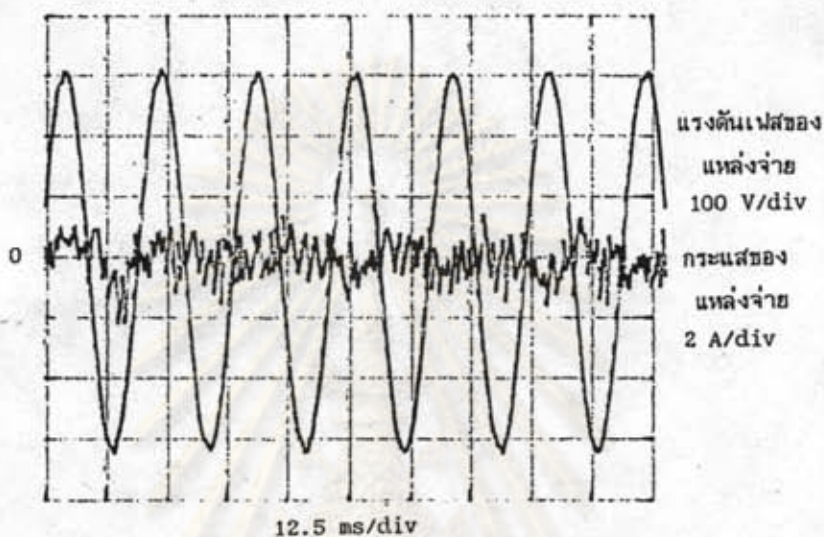


ภาพที่ 4.30 สัญญาณของแรงดันออกของวงจรเรียงกระแสและกระแสมอเตอร์ เมื่อทำการเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ ที่ภาวะไว้ไหลด



ภาพที่ 4.31 สัญญาณของแรงดันออกของวงจรเรียงกระแสและกระแสมอเตอร์ เมื่อทำการหยุดเดินเครื่องมอเตอร์ ที่ภาวะไว้ไหลด

8.4 ขั้นตอนที่ 4 ทำการศึกษาผลของการเบรกมอเตอร์ที่มีต่อการคืนพลังงานกลับสู่แหล่งจ่ายของวงจรเรียงกระแส โดยการบันทึกค่าแรงดันเฟสและกระแสของแหล่งจ่าย เมื่อทำการเบรกมอเตอร์ ดังภาพที่ 4.32 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการคืนพลังงานกลับสู่แหล่งจ่ายในช่วงที่กระแสมีเฟสตรงกันข้ามกับแรงดัน



ภาพที่ 4.32 รูปคลื่นของกระแสและแรงดันเฟสของแหล่งจ่ายเมื่อทำการเบรกมอเตอร์

ศูนย์วิทยพัทยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย