



บทที่ 4

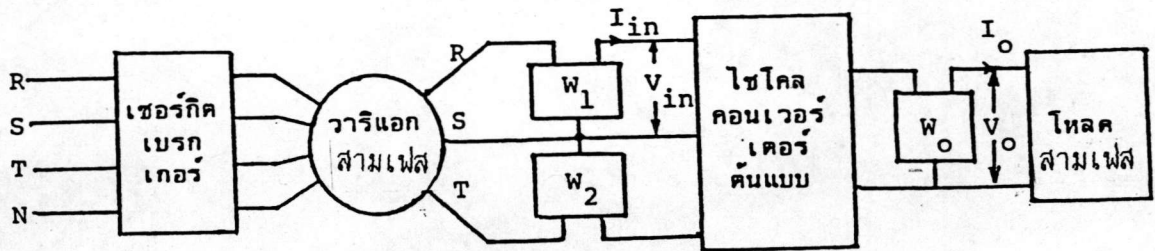
สมรรถนะของไซโคลคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบ

4.1 คำนำ

ในบทนี้จะขอกล่าวถึงการทดลองหาสมรรถนะ (performance) ของไซโคลคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นตามรายละเอียดในบทที่ 3 ผู้วิจัยวิทยานิพนธ์ได้ทดลองต่อโหลดรวมสามชนิดเข้ากับไซโคลคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบ โหลดชนิดแรกได้แก่ตัวต้านทานในรูปของรีโอสแตต (rheostat) โหลดชนิดที่สองได้แก่ตัวต้านทานในรูปของรีโอสแตตต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ โหลดชนิดที่สามได้แก่มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 5.5 kW, 380 V, 50 Hz, 1500 rpm เหตุผลในการใช้โหลดชนิดแรกและชนิดที่สองก็เพื่อทดสอบโปรแกรมที่ใช้กับไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญในการควบคุมการทำงานของไซโคลคอนเวอร์เตอร์ ส่วนเหตุผลที่โหลดชนิดหลังก็เพื่อศึกษาตัวแปรและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบไซโคลคอนเวอร์เตอร์ในภาวะการทำงานตามจุดประสงค์ที่แท้จริงของเครื่องแปลงผันกำลังแบบนี้ ผลการทดลองจะเน้นเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับโหลดชนิดหลังนี้เป็นส่วนใหญ่

4.2 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเป็นไปตามแผนภาพในรูปที่ 32 ในรูปนี้แหล่งจ่ายเป็นแบบ 3 เฟส 4 สาย ขนาดแรงดันระหว่างสาย 380 โวลต์ เมื่อผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์และวาริแอกแล้ว ระบบแรงดันกลายเป็นแบบ 3 เฟส 3 สาย โดยที่แรงดันระหว่างสายไม่เกิน 110 โวลต์ การวัดกระแส แรงดัน และกำลัง ทั้งทางด้านเข้าและทางด้านออกของไซโคลคอนเวอร์เตอร์ ใช้วัตต์มิเตอร์แบบอ่านค่าอาร์เอ็มเอสจริง (true-rms wattmeter) ซึ่งสามารถอ่านค่ากระแสในสาย และแรงดันระหว่างสายได้ในตัวโดยไม่ต้องต่อแอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์เพิ่มเติม เหตุผลที่ต้องใช้วัตต์มิเตอร์แบบนี้ก็เพราะแรงดันและ/หรือกระแสที่เกี่ยวข้องกับไซโคลคอนเวอร์เตอร์มีรูปคลื่นไม่เป็นไซนูซอยด์นั่นเอง

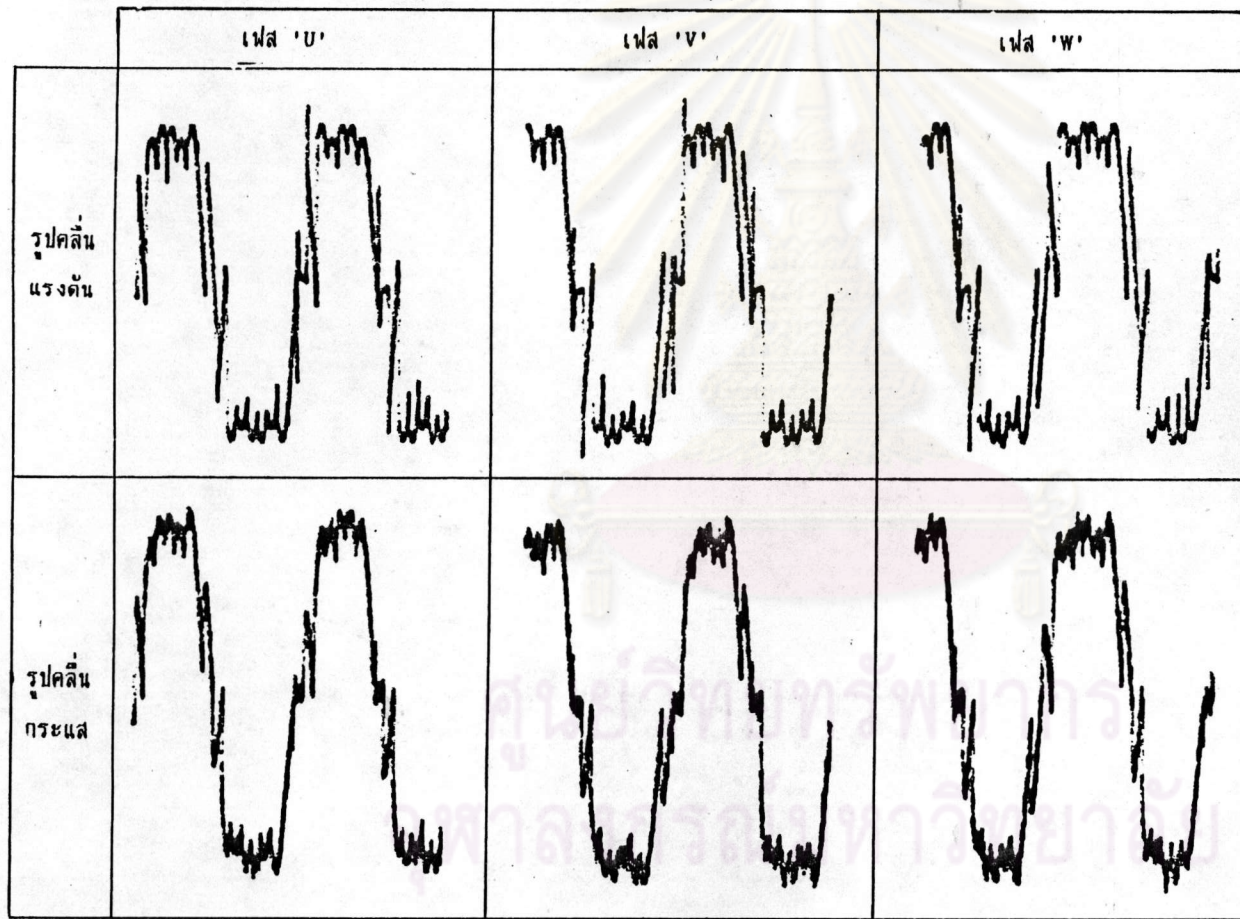


รูปที่ 32 แผนภาพชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองไซโคลคอนเวอร์เตอร์

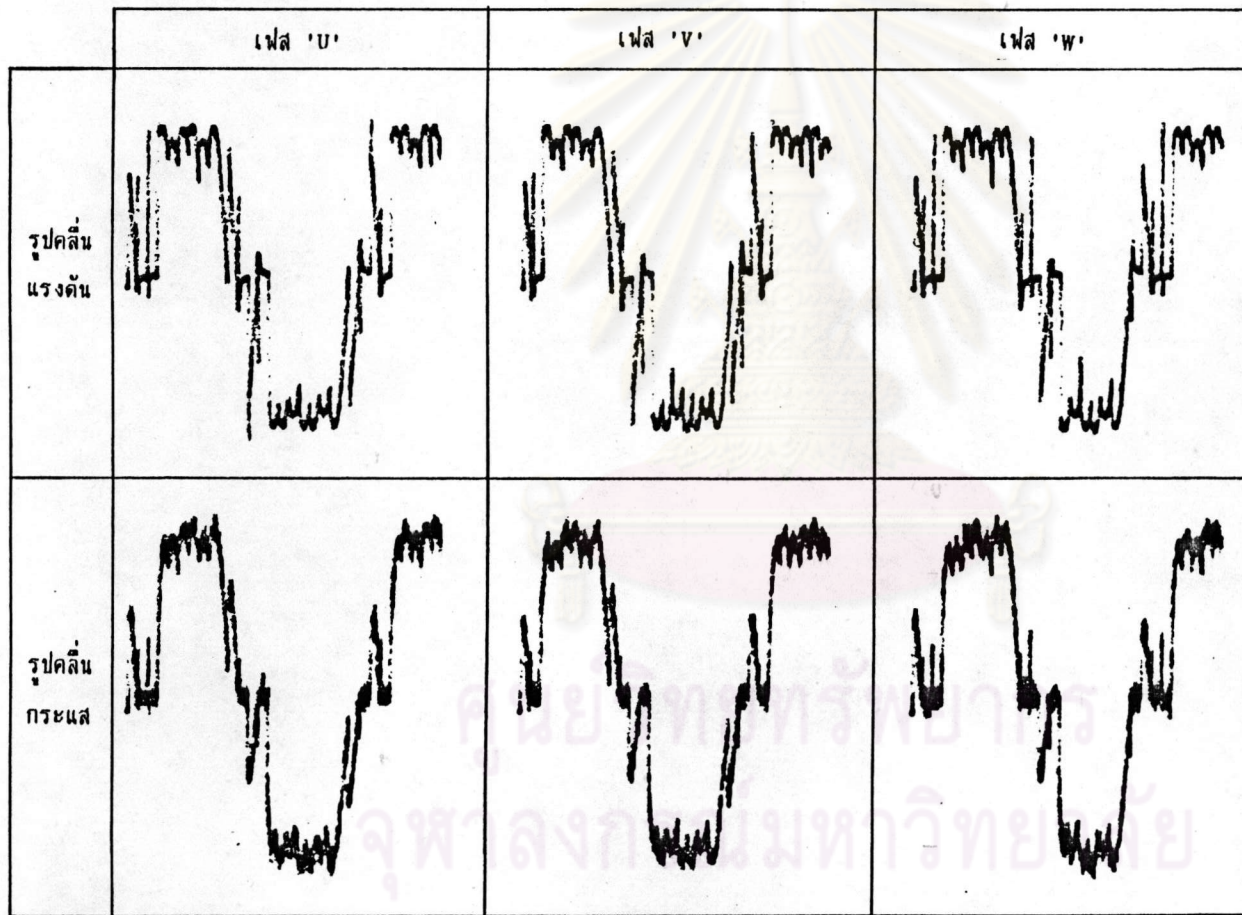
4.3 ตัวอย่างผลการทดลองเมื่อใช้ตัวต้านทานเป็นโหลด

ในที่นี้จะขอยกผลการทดลองที่ค่าแรงดันด้านเข้า $V_{in} = 25$ โวลต์ ความถี่ด้านเข้า $f_s = 50$ เฮิรตซ์ และความถี่ด้านออก $f_o = 16.67$ และ 12.5 เฮิรตซ์ ซึ่งสอดคล้องกับค่าตัวแปร $N = 2$ และ 8 ในสมการ (27) (หัวข้อ 3.9 ของบทที่ 3) มาแสดงเป็นตัวอย่าง รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่โหลดชนิดตัวต้านทานสามเฟสเป็นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 33 และ 34 ในรูปทั้งสองนี้เราจะเห็นว่ารูปคลื่นกระแสด้านออก i_o กับรูปคลื่นแรงดันด้านออก v_o มีลักษณะคล้ายกันมาก เราจะสังเกตเห็นด้วยว่ามีช่วงเวลาที่ $i_o = 0$ อยู่ระหว่างช่วงที่ i_o มีค่าเฉลี่ยมากกว่าศูนย์กับช่วงที่ i_o มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าศูนย์ ลักษณะนี้เกิดจากการที่ไม่โครโปรเซสเซอร์ต้องรอให้กระแส i_o มีค่าเป็นศูนย์ก่อนที่จะจุดชนวนไทรสเตอร์ในวงจรเรียงกระแสให้กระแสไหลผ่านโหลดในทิศทางตรงข้ามกับตอนก่อนที่ i_o จะมีค่าเป็นศูนย์ โปรดสังเกตว่าในกรณีที่น่ามาแสดงนี้ $(N+16)$ ในสมการ (27) มีค่าเท่ากับ 18 และ 24 ดังนั้นการจุดชนวนของไทรสเตอร์ ในแต่ละรอบของรูปคลื่นแรงดันด้านออก จะมีจำนวน 18 และ 24 ครั้ง (นับได้จากจำนวนพัลส์ยอดแหลมในแต่ละรอบของรูปคลื่น)

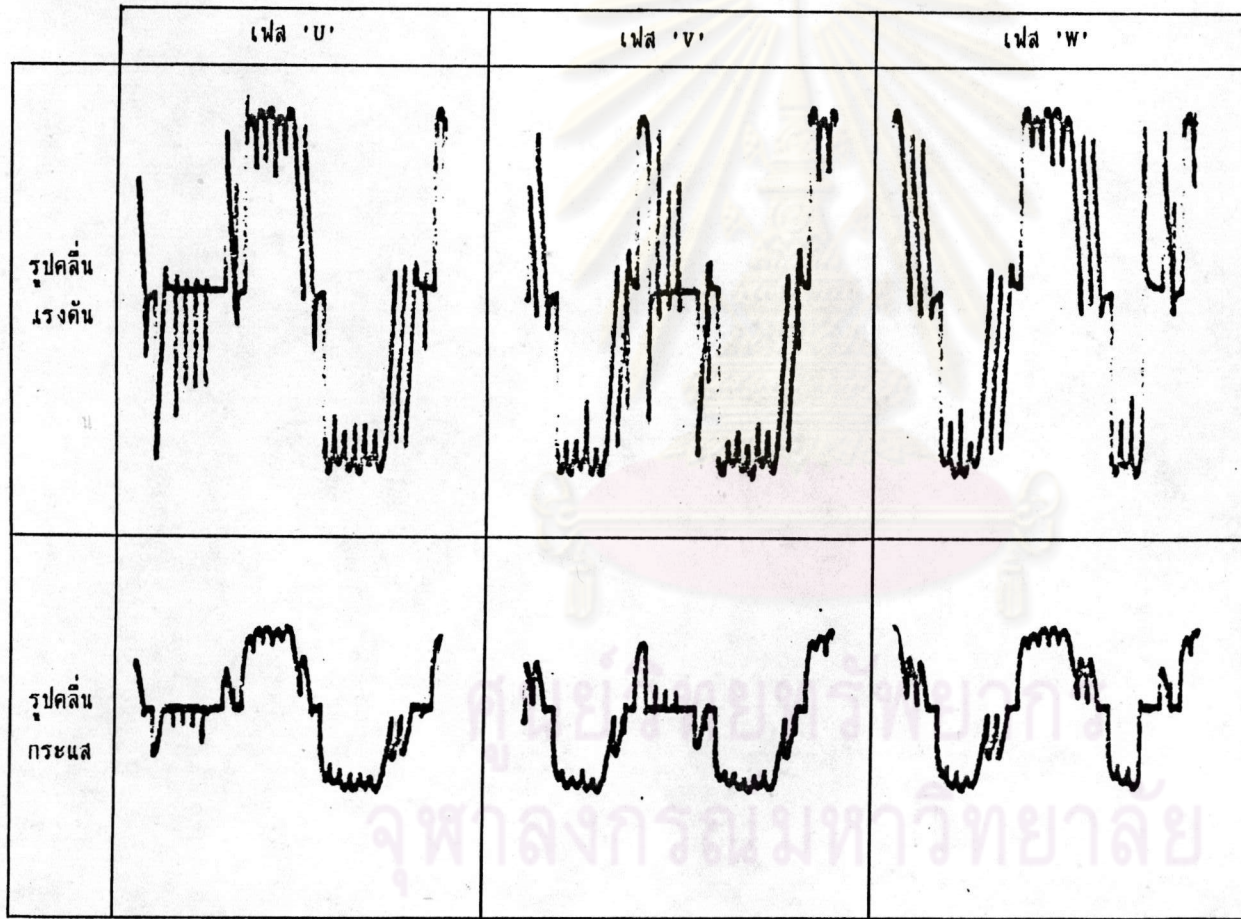
เมื่อทดลองที่แรงดันด้านเข้า $V_{in} = 60$ โวลต์ และความถี่ด้านออกเท่ากับ 16.67 เฮิรตซ์ ปรากฏว่ารูปคลื่นแรงดันและกระแสที่โหลดเป็นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 35 ซึ่งก็ผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นในรูปที่ 33 คือไทรสเตอร์ในวงจรเรียงกระแส นำกระแสอย่างไม่ต่อเนื่องเป็นบางช่วง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า การเพิ่มแรงดันด้านเข้าทำให้กระแสไหลมีอัตราการเปลี่ยนแปลง di/dt สูงขึ้น แรงดันตกคร่อมความเหนี่ยวนำ L ที่ต่ออนุกรมกับไทรสเตอร์จึงมีค่าสูงขึ้นและเหลือแรงดันไปไบแอสไทรสเตอร์ได้น้อย ผลก็คือกระแสไหลมีค่าน้อยและไม่ต่อเนื่อง



รูปที่ 33 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของความต้านทาน (49.6 โอห์ม) ที่ความถี่ 16.67 เฮิรตซ์
(แรงดันด้านเข้า 25 โวลต์)



รูปที่ 34 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของความต้านทาน (43.6 โอห์ม) ที่ความถี่ 12.5 เฮิรตซ์
(แรงดันด้านเข้า 25 โวลต์)



รูปที่ 35 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของความต้านทาน (43.6 โอห์ม) ที่ความถี่ 16.67 เฮิรตซ์
(แรงดันค่านเข้า 60 โวลต์)



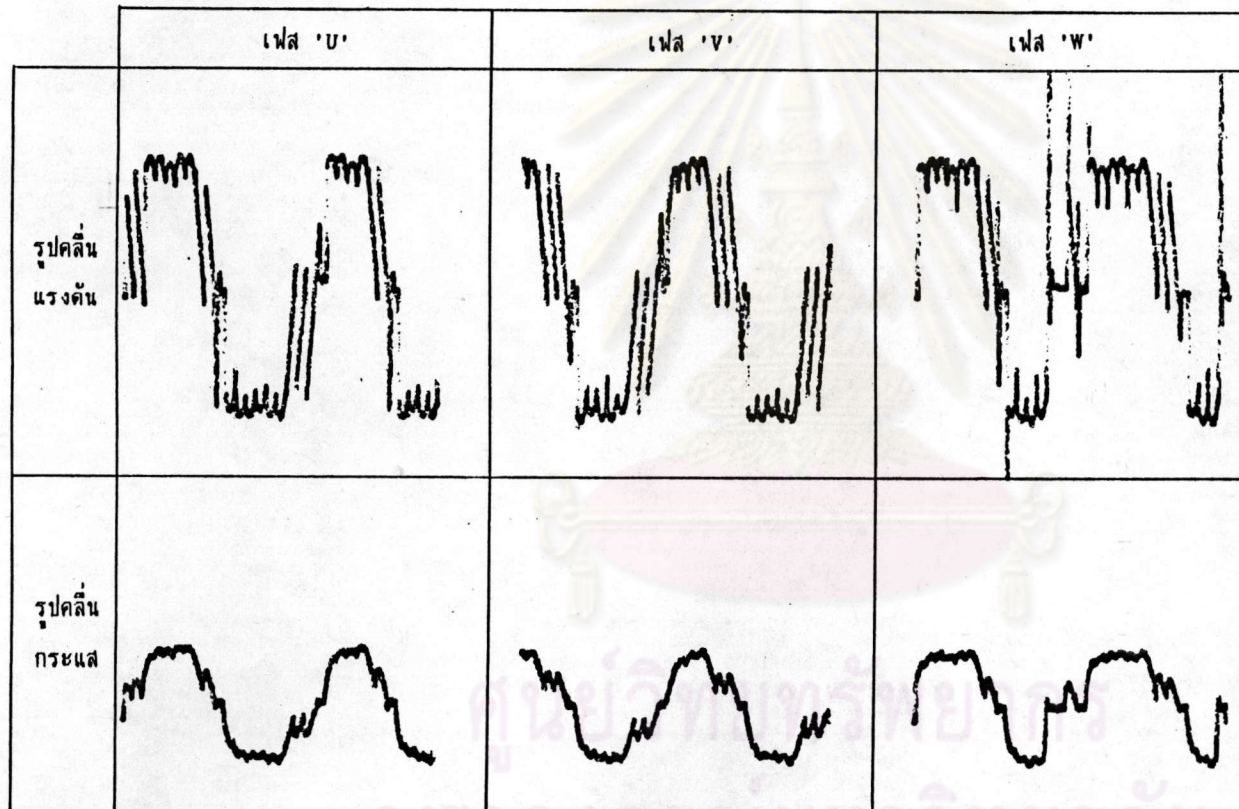
4.4 ตัวอย่างผลการทดลองเมื่อใช้ตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำเป็นโหลด

ที่ค่าแรงดันด้านเข้า $V_{in} = 25$ โวลต์ ความถี่ด้านเข้า $f_s = 50$ เฮิรตซ์ และ ความถี่ด้านออก $f_o = 16.67$ และ 12.5 เฮิรตซ์ รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่โหลดชนิด RL เป็นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 36 และ 37 เราจะเห็นว่ารูปคลื่นแรงดันและกระแสมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างค่อนข้างชัดเจน คือรูปคลื่นกระแสราบเรียบกว่ารูปคลื่นแรงดัน อันเป็นผลมาจากคุณสมบัติของความเหนี่ยวนำของโหลด เมื่อทดลองที่ $V_{in} = 60$ โวลต์ และ $f_o = 16.67$ เฮิรตซ์ ปรากฏว่ารูปคลื่นแรงดันและกระแสที่โหลดเป็นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 38 ซึ่งก็ต่างกับรูปคลื่นในรูปที่ 36 ทำนองเดียวกับที่รูปคลื่นในรูปที่ 35 ต่างกับรูปคลื่นในรูปที่ 33

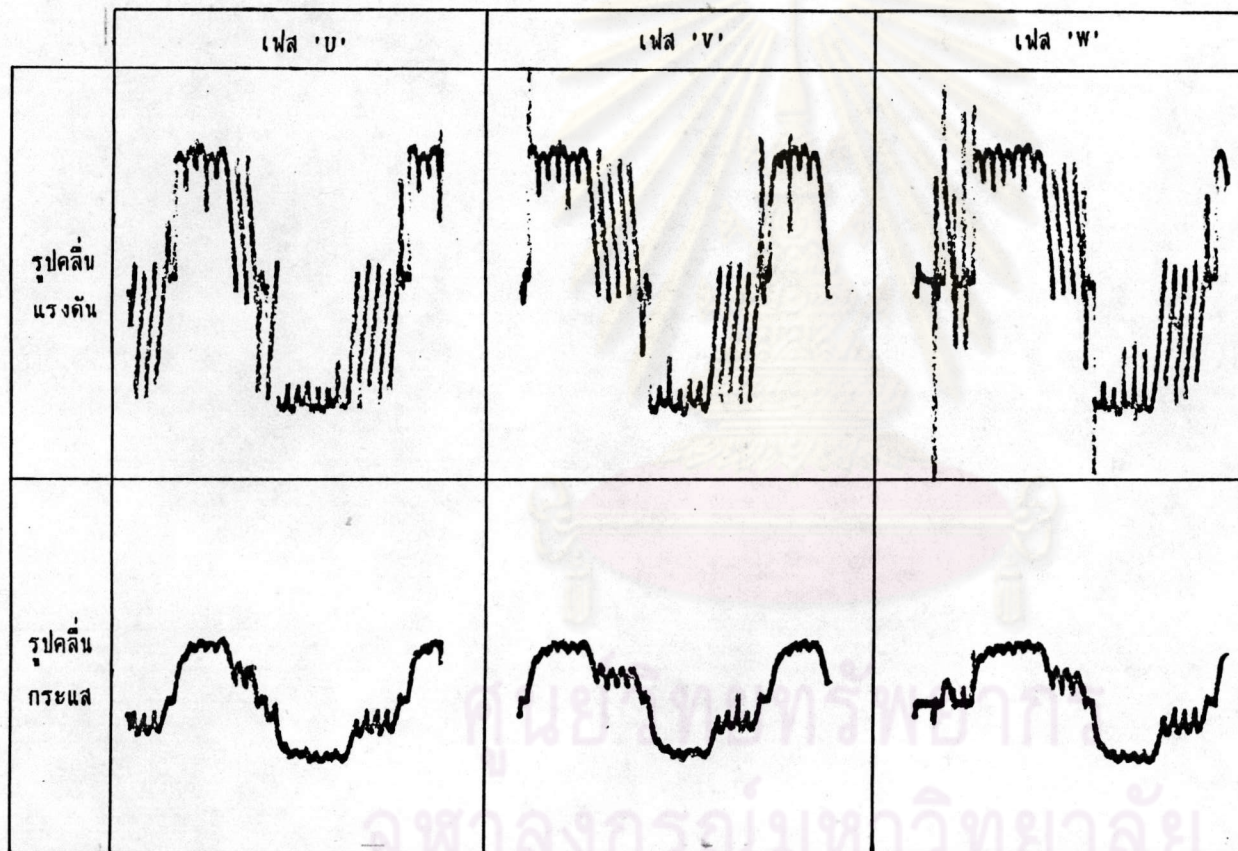
4.5 ผลการทดลองเมื่อใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นโหลด

มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่ใช้เป็นโหลดมีพิกัด 5.5 kW, 380 V, 50 Hz, 1500 rpm ในการทดลองใช้มอเตอร์ดังกล่าวนี้เป็นโหลดของไซโคลคอนเวอร์เตอร์ ผู้วิจัยได้สังเกตรูปคลื่นของแรงดัน v_o และ i_o ที่มอเตอร์ หลังจากมอเตอร์ได้หมุนด้วยความเร็วปลาย (terminal speed) ที่คงตัวแล้ว โดยที่ความถี่ด้านออก f_o ของไซโคลคอนเวอร์เตอร์อยู่ในช่วงที่ทดลอง คือประมาณ $5 - 16.67$ เฮิรตซ์ เนื่องจากเป็นการใช้มอเตอร์ที่ความเร็วต่ำกว่าความเร็วพิกัด และเนื่องจากระบบไซโคลคอนเวอร์เตอร์สามารถรับกระแสได้จำกัด (ไทรสเตอร์ในวงจรเรียงกระแสรับกระแสเต็มที่ได้อีกไม่เกิน 10 แอมป์) ผู้วิจัยจึงทดลองให้มอเตอร์หมุนโดยไม่มีโหลด และจำกัดกระแสของมอเตอร์ไว้ที่ค่าไม่เกิน 7.5 A โดยปรับค่ามอดูเลชันของไทรสเตอร์และปรับแรงดันเข้าของไซโคลคอนเวอร์เตอร์ ทำให้ไซโคลคอนเวอร์เตอร์จ่ายแรงดันด้านออกต่ำกว่าค่าทางทฤษฎีที่เป็นสัดส่วนกับความถี่ด้านออก

ตารางที่ 4 และตารางที่ 5 แสดงตัวอย่างค่าเป็นตัวเลขของพารามิเตอร์กับตัวแปรต่าง ๆ ที่วัดได้จากการทดลองใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำดังกล่าวข้างต้นเป็นโหลดของไซโคลคอนเวอร์เตอร์ ส่วนผลการทดลองในรูปของกราฟมีแสดงไว้ในรูปที่ 39 และรูปที่ 40 ค่าตัวประกอบกำลังในที่นี้หาจากกำลังจริงผลรวม (ในหน่วยวัตต์) ของทั้ง 3 เฟสหารด้วยกำลังปรากฏผลรวม (ในหน่วยโวลต์-แอมป์) ของทั้ง 3 เฟส

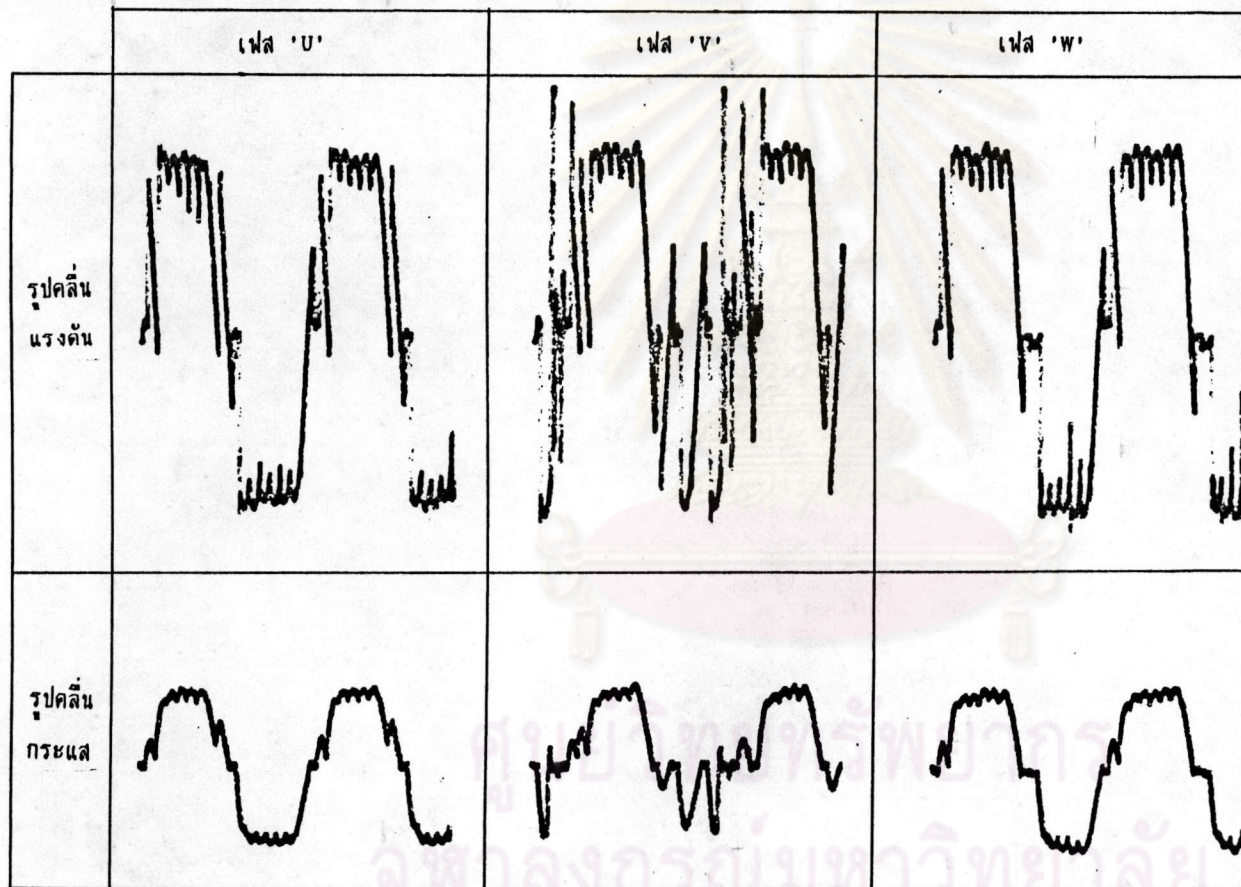


รูปที่ 36 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของความต้านทาน (49.6 โอห์ม)
 ต่ออนุกรมกับความเหนี่ยวนำ (ประมาณ 100 มิลลิเฮนรี) ที่ความถี่ 16.67 เฮิรตซ์
 (แรงดันด้านเข้า 50 โวลต์)



รูปที่ 37 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของความต้านทาน (43.6 โอห์ม)

ต่ออนุกรมกับความเหนี่ยวนำ (ประมาณ 100 มิลลิเฮนรี) ที่ความถี่ 12.5 เฮิรตซ์
(แรงดันค่านเข้า 50 โวลต์)



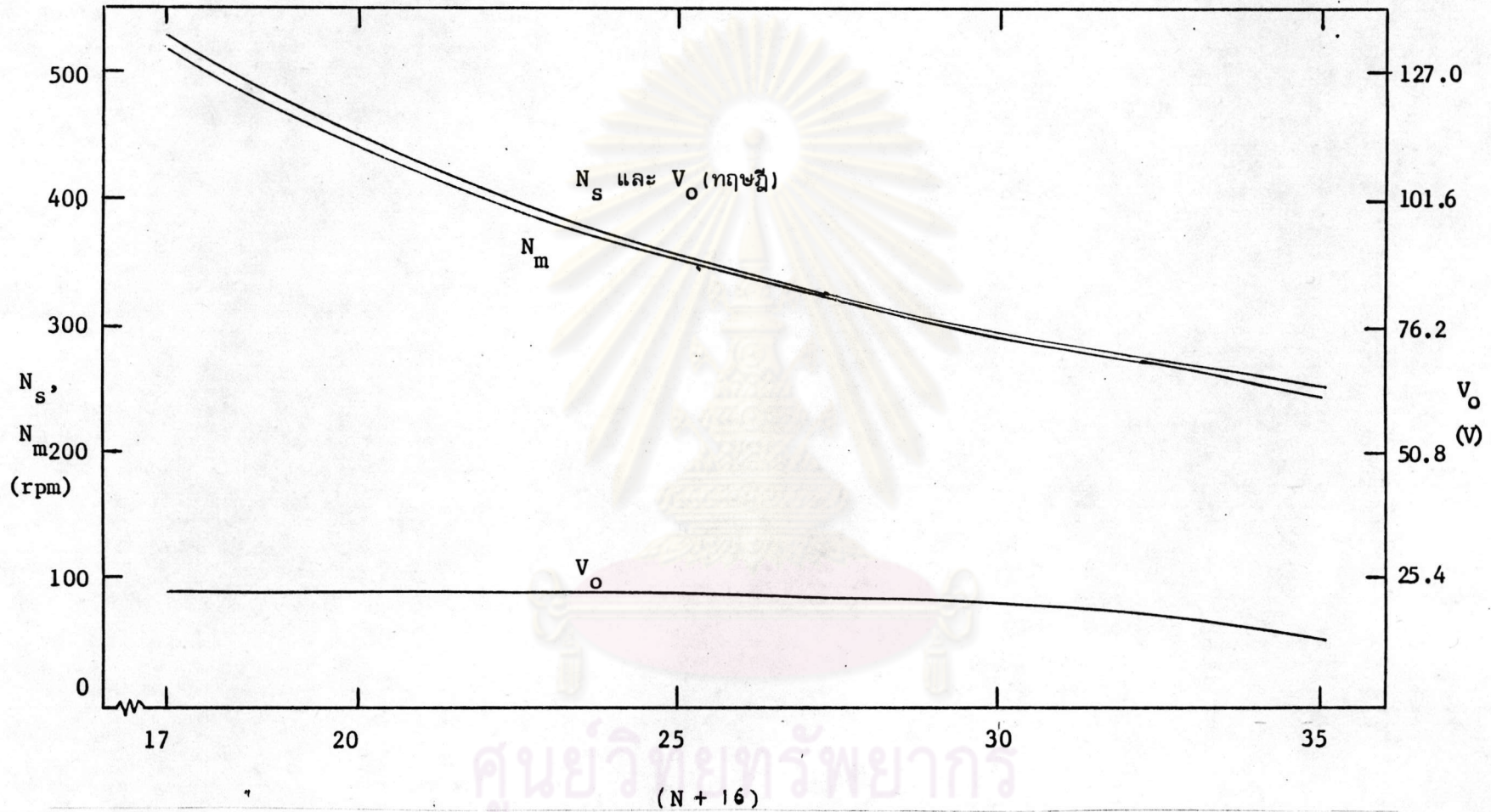
รูปที่ 38 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของความต้านทาน (43.6 โอห์ม)
 ต่ออนุกรมกับความเหนี่ยวนำ (ประมาณ 100 มิลลิเฮนรี) ที่ความถี่ 12.5 เฮิรตซ์
 (แรงดันด้านเข้า 60 โวลต์)

ตารางที่ 4 ข้อมูลการทดลองใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นโหลดของไซโคลคอนเวอร์เตอร์
ที่ความถี่ต่าง ๆ เมื่อแปรตามค่าพารามิเตอร์ N (มอเตอร์ไม่มีโหลด)

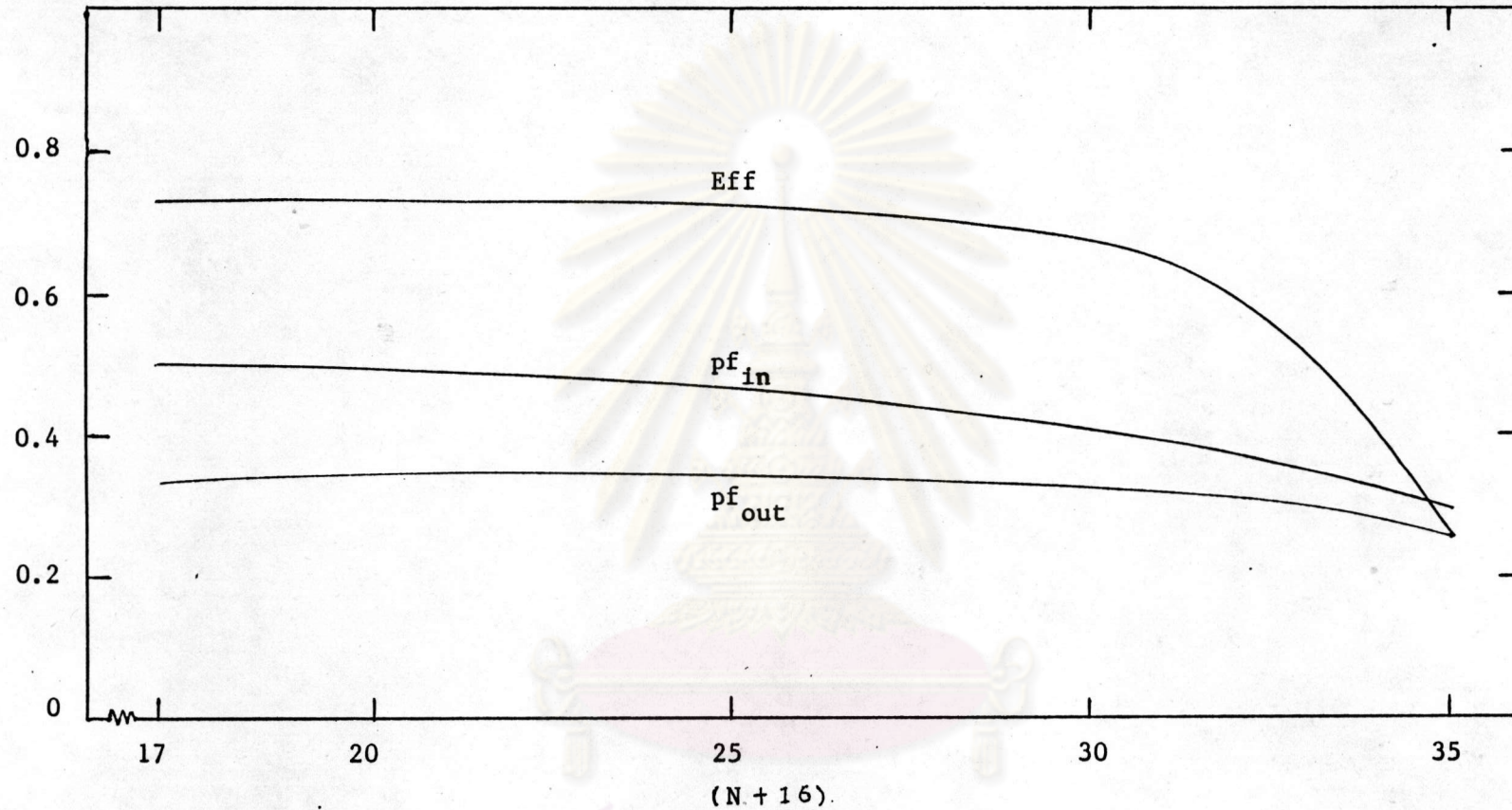
N	กระแสเข้า ไซโคลคอนเวอร์เตอร์ (แอมแปร์)			กำลังงานเข้า ไซโคลคอนเวอร์เตอร์ (วัตต์)		ความเร็วรอบ ของมอเตอร์ (รอบต่อนาที)		แรงดันเข้า มอเตอร์ (โวลต์)			กระแสเข้า มอเตอร์ (แอมแปร์)			กำลังงานเข้า มอเตอร์ (วัตต์)		
	R	S	T	W_1	W_2	N_s	N_m	U	V	W	U	V	W	U	V	W
1	4.12	2.56	4.24	9.3	60.4	529.4	515.5	17.85	22.42	24.70	0	3.22	4.22	0	23.33	44.4
2	4.40	4.22	4.36	10.8	75.9	500.0	486.8	21.77	22.81	23.51	4.39	2.32	2.12	11.38	15.5	33.5
3	4.13	4.32	4.03	22.6	63.6	473.7	460.5	21.7	21.9	23.1	5.4	1.35	2.0	16.66	17.21	27.5
4	3.94	4.00	3.90	15.8	61.2	450.0	439.9	22.3	21.3	22.6	4.7	1.16	1.9	16.2	12.0	23.9
5	5.00	4.90	3.70	26.4	66.9	428.6	413.6	21.3	20.4	21.5	4.4	1.59	2.1	19.1	20.7	26.9
6	4.2	4.2	4.0	14.9	66.3	409.1	398.0	21.7	20.7	21.5	3.7	1.32	2.2	12.0	16.4	26.4
7	4.2	4.4	4.5	14.9	64.4	391.3	382.0	21.45	21.7	22.8	4.7	1.5	2.5	18.1	16.1	27.4
9	3.8	4.2	4.2	14.4	64.4	360.0	352.0	17.6	21.8	21.1	4.6	1.9	1.8	19.2	19.1	24.0
10	3.0	3.2	3.1	0	50.0	346.2	344.0	22.1	21.4	20.9	2.6	1.2	1.3	3.4	12.0	13.3
11	2.7	3.3	3.2	0	45.0	333.3	331.0	22.0	21.9	21.1	2.6	1.4	1.1	5.6	14.8	14.2
13	3.3	3.5	3.4	0	48.9	310.3	308.0	20.2	19.9	20.9	2.1	1.3	1.9	4.4	10.9	18.0
15	3.8	3.6	3.5	0	58.3	290.3	287.0	18.8	18.6	19.8	2.4	1.3	2.2	7.0	12.9	21.9
16	3.1	3.2	2.9	0	41.5	281.3	279.0	19.9	17.9	19.6	2.3	0.9	1.7	8.0	6.0	10.6
17	2.6	2.9	3.4	13.1	49.7	272.7	267.0	15.4	14.8	15.4	1.8	1.7	1.4	4.3	9.8	7.7
19	2.6	2.9	2.5	9.5	34.2	257.1	250.0	13.9	12.3	13.4	1.6	1.6	1.2	3.3	6.7	5.3

ตารางที่ 5 ผลการทดลองใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นโหลดของไซโคลคอนเวอร์เตอร์
ที่ความถี่ต่าง ๆ เมื่อแปรตามค่าพารามิเตอร์ N (มอเตอร์ไม่มีโหลด)

N	กำลังเข้า ไซโคลคอนเวอร์เตอร์ (โวลต์-แอมป์)	กำลังเข้า ไซโคลคอนเวอร์เตอร์ (วัตต์)	ตัวประกอบกำลัง ด้านเข้า pf_{in}	กำลังออก ไซโคลคอนเวอร์เตอร์ (โวลต์-แอมป์)	กำลังออก ไซโคลคอนเวอร์เตอร์ (วัตต์)	ตัวประกอบกำลัง ด้านออก pf_{out}	ประสิทธิภาพ ของไซโคลฯ (%)
1	144.0	69.71	0.484	176.4	67.7	0.384	97.2
2	171.1	86.6	0.506	199.9	60.4	0.302	69.7
3	164.5	86.2	0.524	194.2	61.4	0.316	71.2
4	156.1	77.0	0.493	172.5	52.9	0.307	68.7
5	179.3	93.2	0.520	171.3	66.7	0.389	71.5
6	163.5	81.2	0.497	154.9	54.8	0.354	67.5
7	172.7	81.3	0.471	190.4	61.6	0.324	75.8
9	160.8	78.8	0.490	160.4	62.3	0.389	79.1
10	122.6	50.0	0.408	110.3	28.7	0.260	57.4
11	121.3	45.0	0.371	111.1	34.6	0.312	76.9
13	134.5	48.9	0.364	108.0	33.3	0.308	68.1
15	143.7	58.3	0.406	112.9	41.8	0.371	71.7
16	121.3	41.5	0.342	95.2	24.6	0.258	53.3
17	117.3	62.8	0.535	74.4	21.8	0.293	34.7
19	105.5	43.7	0.414	58.8	15.8	0.269	36.2



รูปที่ ๑๑ การแปรค่าแรงดันด้านออก (V_o) ของไซโคลคอนเวอร์เตอร์ และการแปรค่าความเร็วของมอเตอร์ (N_m) เทียบกับจำนวนครั้ง ($N + 16$) ของการจุดชนวนไทรสเตอร์ในหนึ่งรอบของแรงดันด้านออก



รูปที่ 40 การแปรค่าตัวประกอบกำลังด้านเข้า (pf_{in}) ตัวประกอบกำลังด้านออก (pf_{out}) และประสิทธิภาพ (Eff) ของไซโคลคอนเวอร์เตอร์ เทียบกับจำนวนครึ่ง ($N+16$) การจุดชนวนไทรสเตอร์ในหนึ่งรอบของแรงดันด้านออก

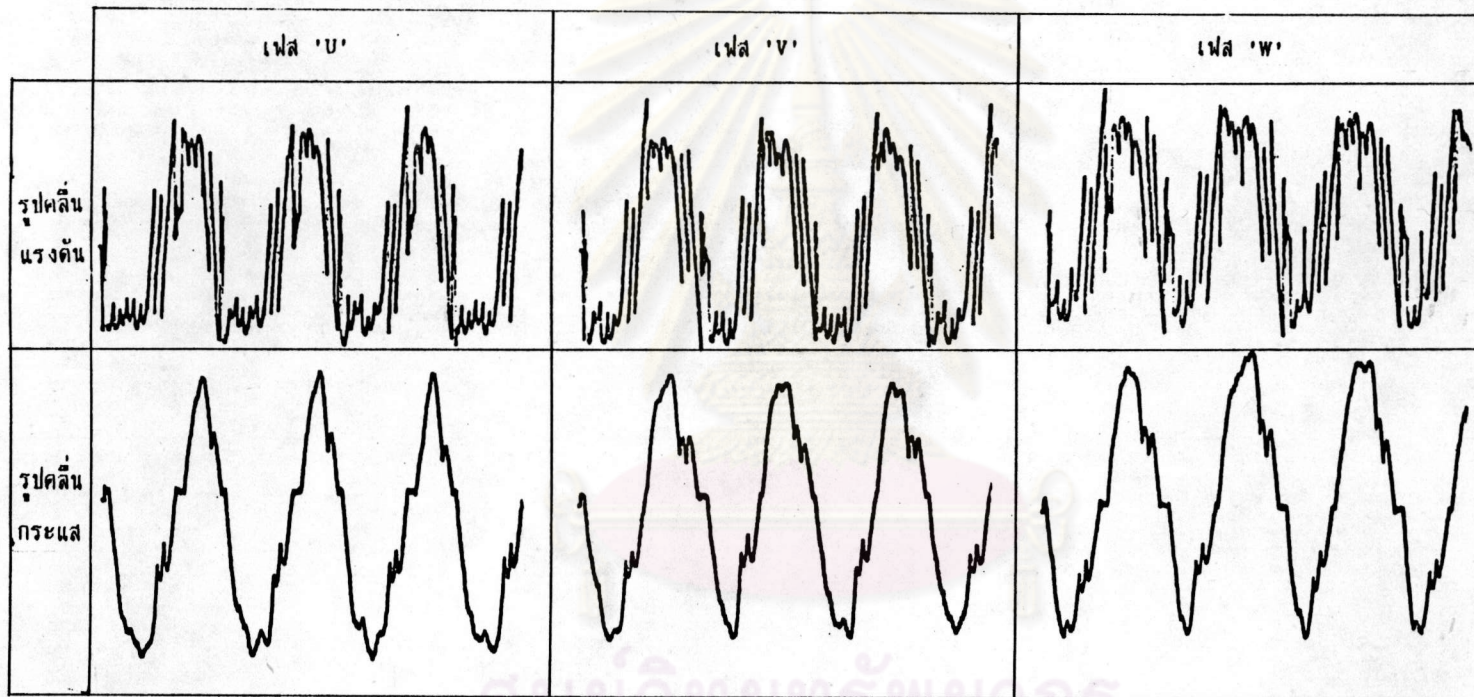
รูปคลื่นแรงดัน v_o และกระแส i_o ที่ความถี่ด้านออกของไซโคลคอนเวอร์เตอร์ $f_o = 16.67$ เฮิรตซ์ ขณะที่มอเตอร์เริ่มเดินเครื่อง มีแสดงไว้ในรูปที่ 41 รูปคลื่นกระแส i_o มีลักษณะต่อเนื่องในแต่ละครึ่งรอบของแรงดันออก แต่จะมีค่าเป็นศูนย์ในช่วงเวลาที่มีการสลับเปลี่ยนระหว่างวงจรเรียงกระแสชุดบวกกับชุดลบ

ตัวอย่างของรูปคลื่นแรงดัน v_o และกระแส i_o ที่ความถี่ด้านออกของไซโคลคอนเวอร์เตอร์ $f_o = 16.67, 12.5, 10$ และ 7.5 เฮิรตซ์ ซึ่งก็สอดคล้องกับ $N = 2, 8, 14$ และ 24 ตามลำดับนั้น มีแสดงไว้ในรูปที่ 42, 43, 44 และ 45 ตามลำดับ

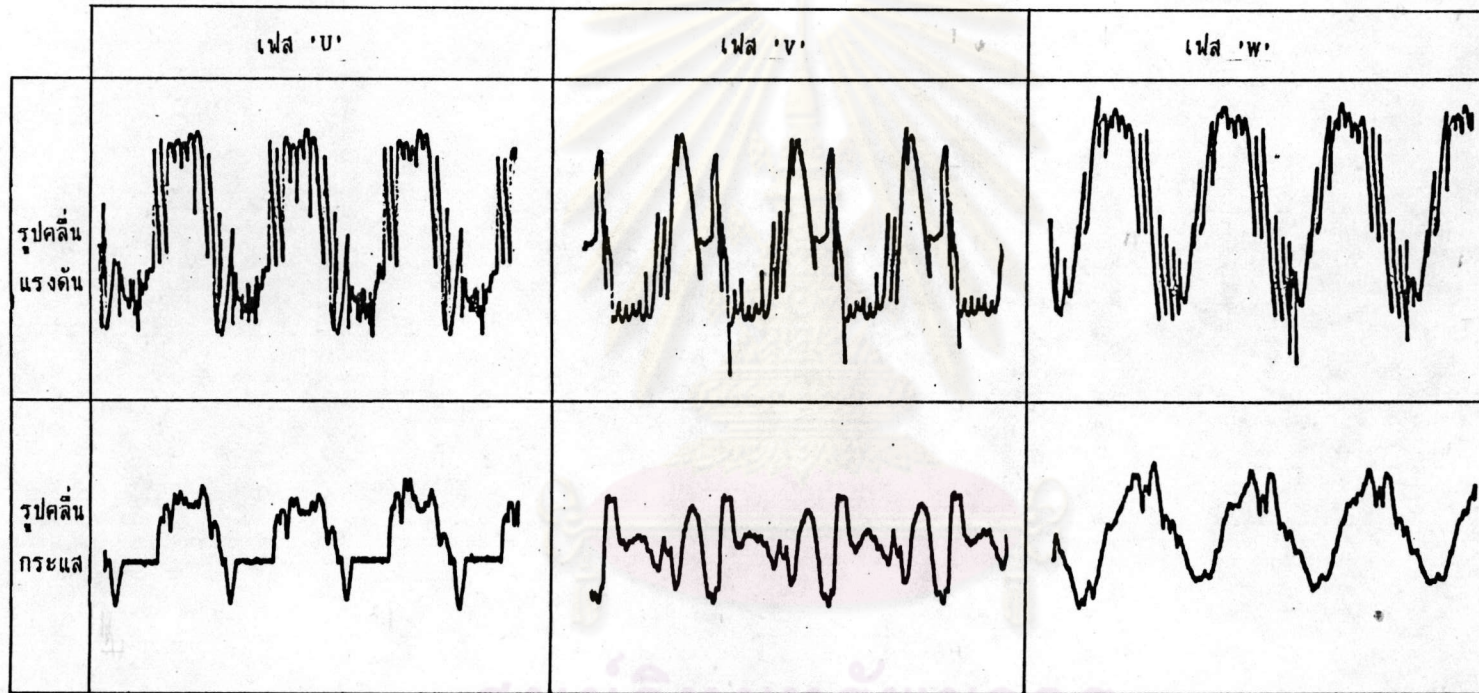
จากตารางที่ 5 และรูปที่ 35 จะเห็นได้ว่าความเร็วของมอเตอร์ (N_m) มีค่าใกล้เคียงความเร็วซิงโครนัส (N_s) [โดยที่สลิป (slip) $s = (N_s - N_m)/N_s$ มีค่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์] นอกจากนี้ N_m จะลดลงตามการลดค่าความถี่ด้านออกของไซโคลคอนเวอร์เตอร์ (ในขณะที่พารามิเตอร์ N มีค่าเพิ่มขึ้น) ซึ่งก็เป็นไปตามทฤษฎีการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เนื่องจากการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ไม่มีโหลด ดังนั้นค่าตัวประกอบกำลังของมอเตอร์ (คือ pf_{out} ของไซโคลคอนเวอร์เตอร์) จึงมีค่าต่ำ คืออยู่ในช่วง 0.26 - 0.39 ดังที่ปรากฏอยู่ในตารางที่ 5 และรูปที่ 40 ส่วนตัวประกอบกำลังทางด้านเข้าของไซโคลคอนเวอร์เตอร์ (คือ pf_{in}) ตามตารางที่ 5 และรูปที่ 40 มีค่าอยู่ในช่วง 0.34 - 0.50 ซึ่งสูงกว่า pf_{out} ในทางทฤษฎี pf_{in} ของแต่ละเฟสจะต่ำกว่า pf_{out} แต่ผลที่ปรากฏในที่นี้กลับกันทางทฤษฎี ซึ่งก็คงเป็นเพราะไซโคลคอนเวอร์เตอร์ของเราเป็นแบบ 3 เฟส - 3 เฟส ทำให้ค่าฮาร์มอนิกที่ 3, 6, 9, ... ในระบบหักล้างกันจนเกือบหมด และค่า pf ผลรวมทางด้านเข้าของไซโคลคอนเวอร์เตอร์มีค่าสูงกว่ากรณีที่ไซโคลคอนเวอร์เตอร์เป็นแบบ 3 เฟส - 1 เฟส

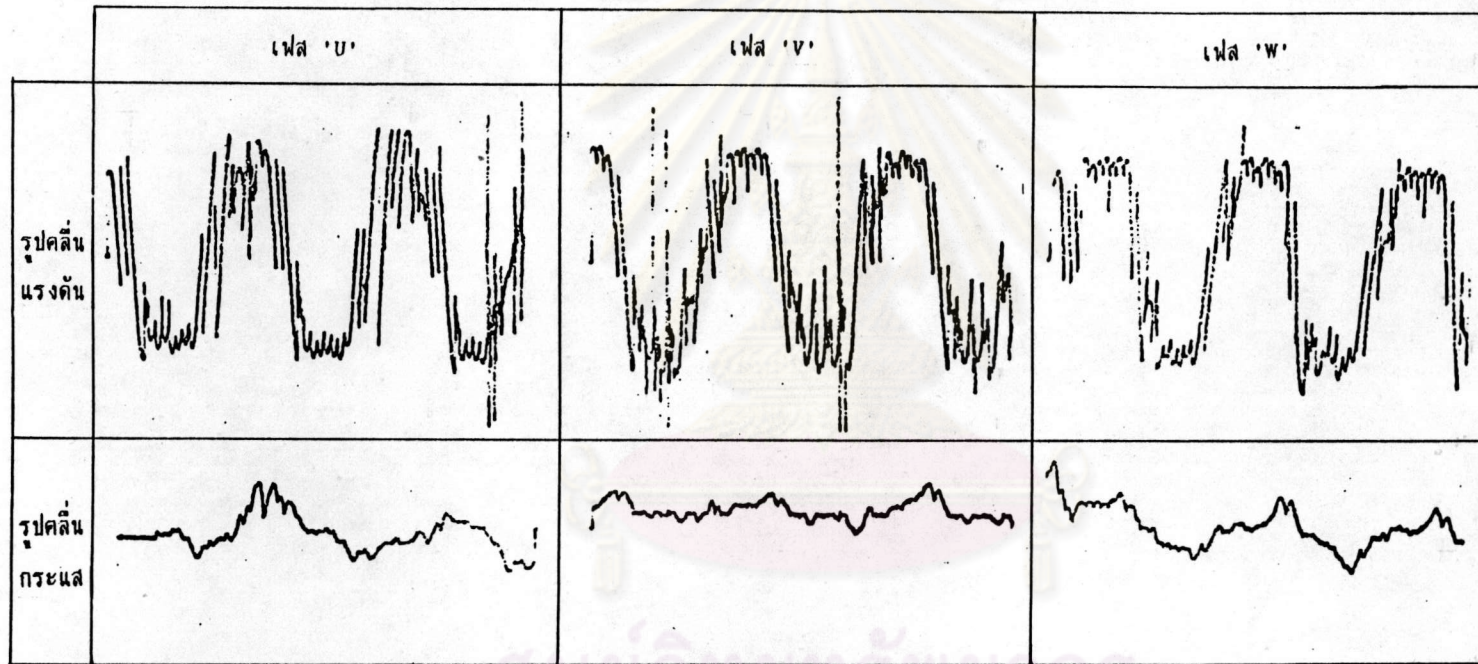
จากตารางที่ 5 และรูปที่ 40 เราพบด้วยว่าประสิทธิภาพของไซโคลคอนเวอร์เตอร์มีค่าต่ำลงอย่างเห็นได้ชัดหลังจากค่าพารามิเตอร์ N เพิ่มขึ้นสูงกว่า 14 (ความถี่ด้านออกต่ำกว่า 10 เฮิรตซ์) ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากว่าเมื่อ f_o มีค่าต่ำนั้น จำนวนครั้งการจุดชนวนต่อคาบเวลามีค่าสูงขึ้น ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังในการสวิตช์ (switching loss) ของไทรสเตอร์ และการสูญเสียกำลังเชิงฮาร์มอนิก (harmonic loss) ทั้งในมอเตอร์และในไซโคลคอนเวอร์เตอร์มากกว่าที่ f_o ค่าสูงซึ่งใช้จำนวนครั้งการจุดชนวนไทรสเตอร์ต่อหน่วยเวลาเป็นค่าต่ำกว่า



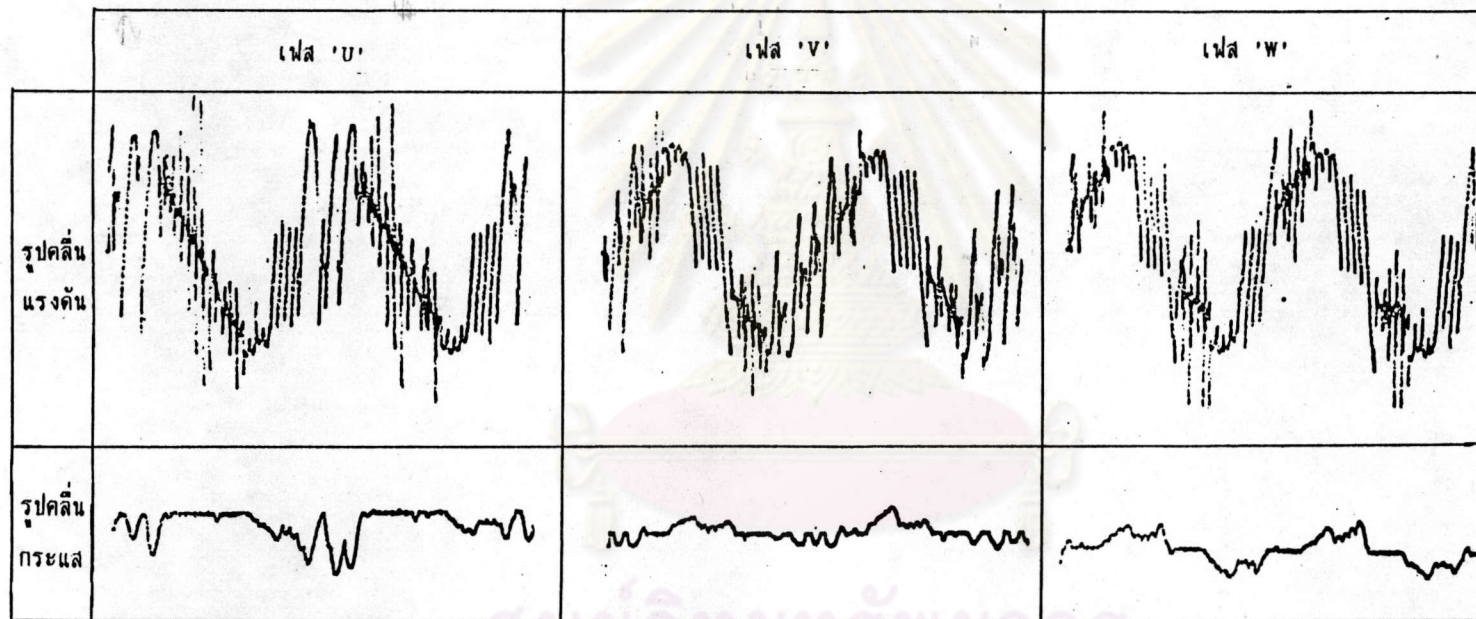
รูปที่ 41 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของมอเตอร์ขณะเริ่มเดินเครื่อง ที่ความถี่ 16.67 เฮิรตซ์



รูปที่ 42 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของมอเตอร์ขณะทำงาน ที่ความถี่ 16.67 เฮิรตซ์



รูปที่ 43 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของมอเตอรั้นะทำงาน ที่ความถี่ 12.5 เฮิรตซ์



รูปที่ 44 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของมอเตอร์ฯทำงาน ที่ความถี่ 10 เฮิรตซ์

	เฟส 'U'	เฟส 'V'	เฟส 'W'
รูปคลื่น แรงดัน			
รูปคลื่น กระแส			

รูปที่ 45 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของมอเตอร์ทำงาน ที่ความถี่ 7.5 เฮิรตซ์

จากรูปที่ 42, 43, 44, และ 45 เราจะเห็นว่าแรงดัน v_o ที่ความถี่ f_o ค่าสูง มีรูปคลื่นใกล้เคียงคลื่นไซน์มากกว่า v_o ที่ f_o ค่าต่ำ ในขณะที่กระแส i_o มีค่ากระแสตรงอยู่ทุกเฟสในทุกค่าความถี่ f_o แสดงว่าที่ f_o ค่าสูงนั้น แรงดัน v_o มีปริมาณฮาร์มอนิกต่ำกว่าเมื่อ f_o มีค่าต่ำ การสูญเสียเชิงฮาร์มอนิกที่ f_o ค่าสูงจึงน่าจะมีค่าต่ำกว่าที่ f_o ค่าต่ำ ซึ่งก็สนับสนุนปรากฏการณ์ที่ประสิทธิภาพของไซโคลคอนเวอร์เตอร์มีค่าต่ำลง ดังที่ปรากฏในตารางที่ 5 และรูปที่ 40

ตารางที่ 6 และตารางที่ 7 แสดงตัวอย่างค่าเป็นตัวเลขของพารามิเตอร์กับตัวแปรต่าง ๆ ที่วัดได้จากการทดลองใช้ไซโคลคอนเวอร์เตอร์ ในงานวิจัยนี้ จ่ายกำลังให้แก่มอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถจ่ายโหลดค่าต่าง ๆ ได้ ผลการทดลองในรูปของกราฟมีแสดงไว้ในรูปที่ 46 และรูปที่ 47 มอเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้มีพิกัด 5.5 Hp, 4 kW, 220 V, 15 A, 50 Hz, 2910 rpm (ความเร็วเชิงโครนัส 3000 rpm)

รูปคลื่นแรงดัน v_o และกระแส i_o ที่ความถี่ด้านออกของไซโคลคอนเวอร์เตอร์ $f_o = 16.67$ เฮิร์ตซ์ ขณะที่มอเตอร์เริ่มเดินเครื่อง มีแสดงไว้ในรูปที่ 48 รูปคลื่นกระแส i_o มีค่าสูงเช่นเดียวกับรูปคลื่นกระแสในรูปที่ 41

จากรูปที่ 7 และรูปที่ 46 เราพบด้วยว่าประสิทธิภาพของไซโคลคอนเวอร์เตอร์มีค่าต่ำ (ประมาณ 55 %) ขณะที่โหลดของมอเตอร์มีค่าน้อย เมื่อเพิ่มโหลดขึ้นมาอีกเล็กน้อย ค่าประสิทธิภาพ (EFF) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก (เป็นประมาณ 94 %) และจะลดลงไปเมื่อเพิ่มโหลดขึ้นไปอีก (ปรากฏการณ์นี้สอดคล้องกับการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำทั่ว ๆ ไปซึ่งตัวประกอบกำลังมีค่าต่ำมากเมื่อไม่มีโหลด แต่จะสูงขึ้นถึงค่าสูงสุดเมื่อมีโหลด) ตัวประกอบกำลังด้านเข้า (pf_{in}) และตัวประกอบกำลังด้านออก (pf_{out}) มีค่าสูงขึ้นไปพร้อมกันเมื่อเพิ่มโหลดขึ้นไป แสดงว่าไซโคลคอนเวอร์เตอร์จะทำงานได้ดีในขณะที่มีโหลดพอสมควรซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 49 และรูปที่ 50 ที่จะกล่าวถึงต่อไป

เมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำทำงานที่ความเร็วใกล้เคียงค่าความเร็วเชิงโครนัส (N_s) ค่ากระแสจะลดลงมาจากขณะเริ่มเดินเครื่องมาก ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 49 ว่ากระแสในแต่ละเฟสจะไหลอย่างไม่มีต่อเนื่อง อันเป็นผลมาจากการใช้กำลังงานในการทำงานน้อยนั่นเอง

รูปคลื่นแรงดัน v_o และกระแส i_o ของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะมีโหลด เป็นดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 50 เราจะเห็นค่ายอดของรูปคลื่นกระแส i_o มีค่าสูงขึ้น และกระแสมีแนวโน้มว่าจะไหลอย่างต่อเนื่องมากขึ้น เมื่อเพิ่มโหลดขึ้นไปอีก

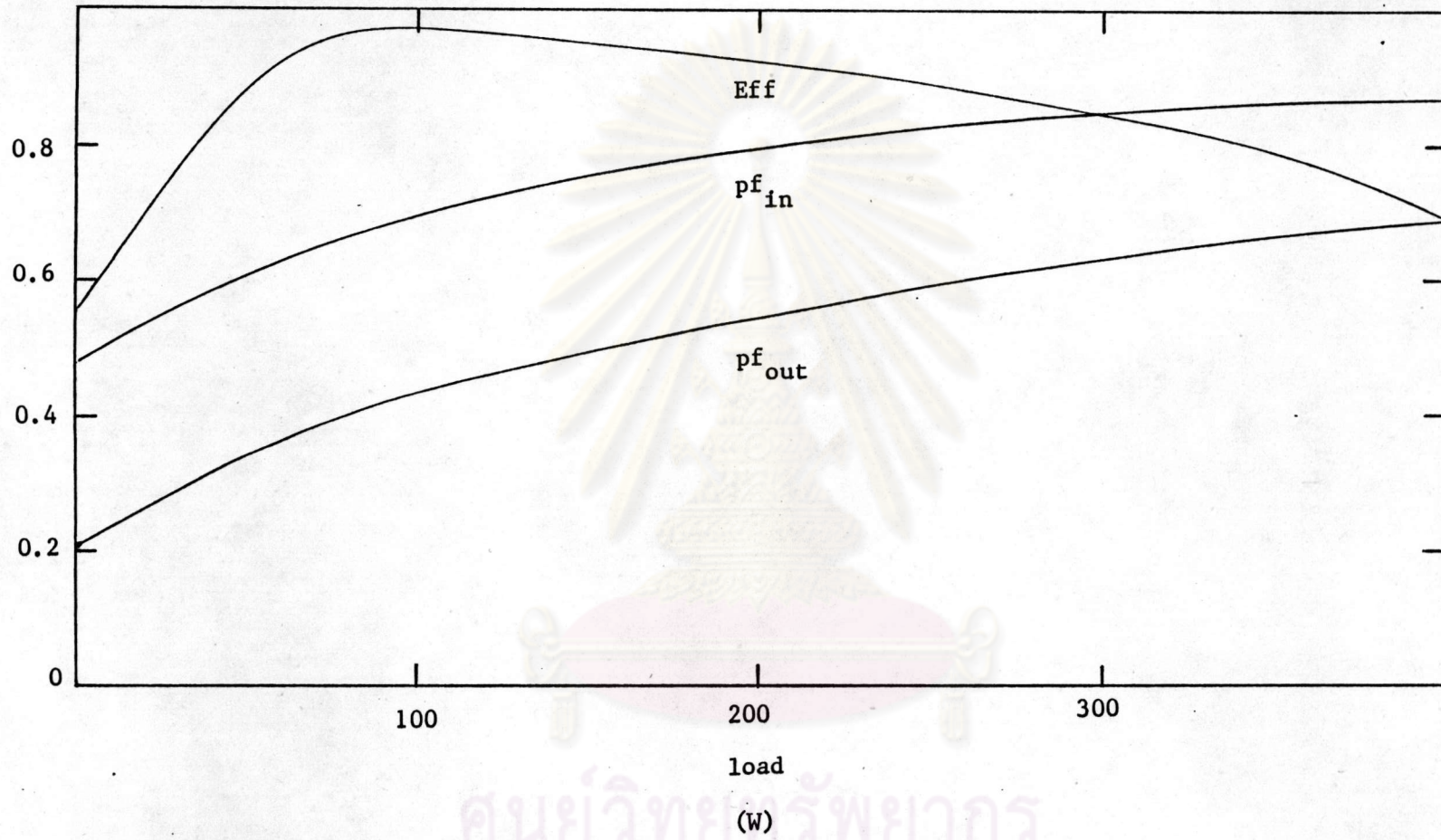
ตารางที่ 6 ผลการทดลองใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นโหลดของไซโคลคอนเวอร์เตอร์
ที่ค่าโหลดต่าง ๆ ที่ความถี่ 16.67 เฮิรตซ์ (มอเตอร์รับโหลด)

โหลดของ เครื่องกำเนิด เหนี่ยวนำ (วัตต์)	แรงดันเข้า ไซโคลคอนเวอร์เตอร์ (โวลต์)			กระแสผ่าน ไซโคลคอนเวอร์เตอร์ (แอมแปร์)			กำลังงานเข้า ไซโคลคอนเวอร์เตอร์ (วัตต์)		ความเร็วรอบ ของมอเตอร์ (รอบต่อนาที)	แรงดันเข้า มอเตอร์ (โวลต์)			กระแสผ่าน มอเตอร์ (แอมแปร์)			กำลังงานเข้า มอเตอร์ (วัตต์)		
	RS	ST	TR	R	S	T	W ₁	W ₂		U	V	W	U	V	W	U	V	W
0.0	99.6	98.2	95.7	3.36	1.30	4.05	-49.5	322.5	991.5	139.0	139.5	138.7	1.75	1.80	1.82	48	54	57.0
67.0	98.0	96.7	94.0	3.75	1.82	4.50	0	363.5	986.0	134.0	134.1	133.6	2.13	2.09	2.14	106.7	113.3	118.8
132.0	97.2	96.2	93.0	4.15	2.31	5.01	40.1	408.6	981.0	130.9	131.4	130.3	2.33	2.28	2.33	138.1	136.3	141.9
191.6	96.3	95.1	91.9	4.58	2.82	5.50	78.6	455.5	973.5	126.0	126.4	125.2	2.55	2.49	2.54	165.4	161	167.6
243.9	94.9	94.3	90.6	5.11	3.41	6.1	118.1	512.6	966.0	120.7	121.2	120.5	2.79	2.73	2.82	190.4	187.4	195.6
283.8	94.2	93.4	89.7	5.74	4.06	6.79	161.0	571.1	959.5	117.2	118.9	118.2	2.99	2.95	3.03	210.3	209.0	216.2
325.2	93.0	92.7	88.6	6.49	4.80	7.59	207.6	635.7	946.5	113.4	113.5	112.8	3.33	3.29	3.35	240.3	236.9	244.4
363.3	92.2	91.2	87.3	7.43	5.74	8.64	256.5	715.5	932.5	109.9	109.8	108.9	3.70	3.65	3.74	271.0	267.2	275.3
393.6	89.66	89.9	85.3	9.80	7.41	10.5	369.1	843.1	916.0	106.1	106.0	105.3	4.14	4.08	4.19	304.3	300.0	312.0

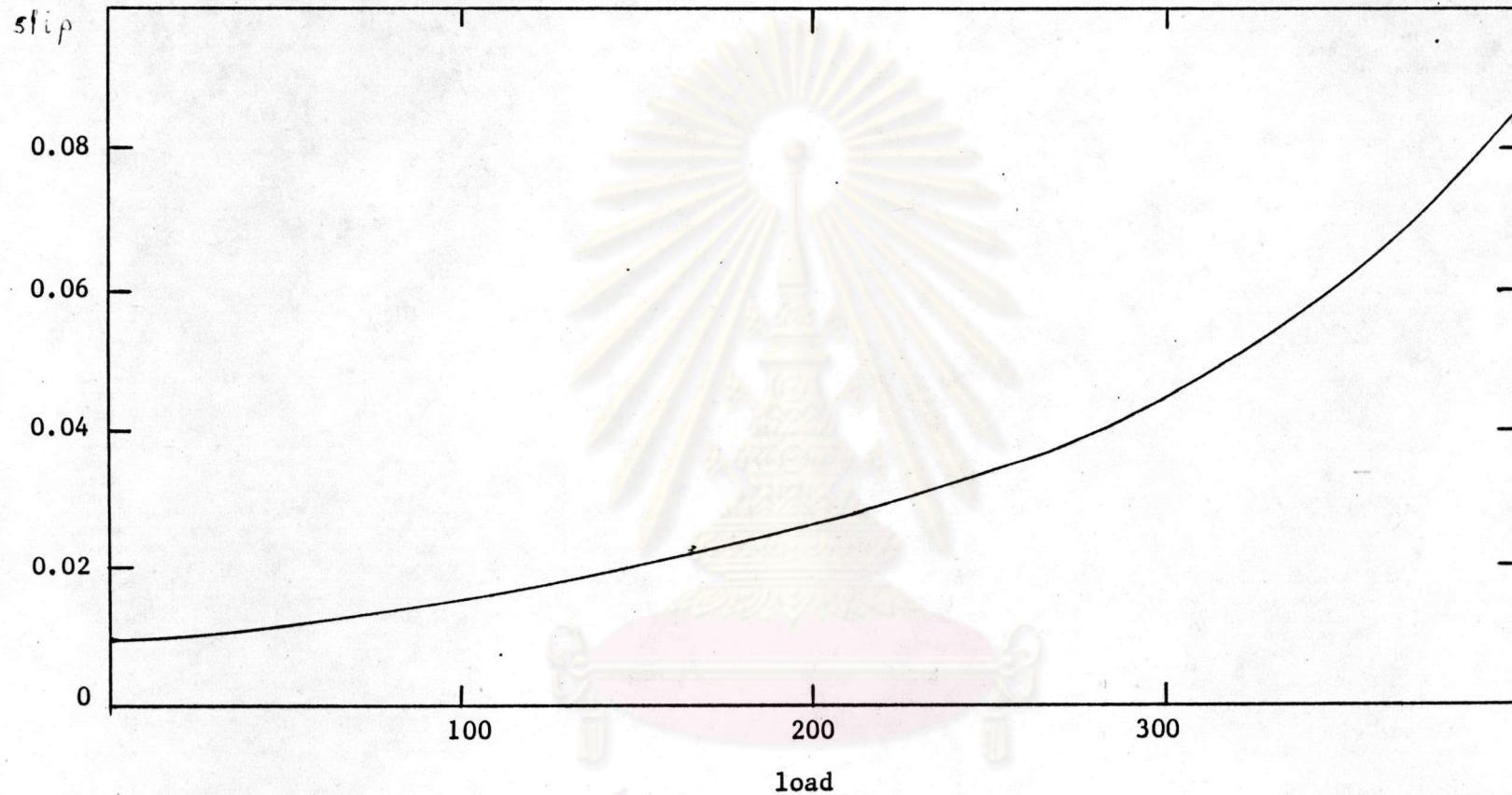
ตารางที่ 7 ข้อมูลการทดลองใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นโหลดของไซโคลคอนเวอร์เตอร์
ที่ค่าโหลดต่าง ๆ ที่ความถี่ 16.67 เฮิรตซ์ (มอเตอร์รับโหลด)

โหลดของ เครื่องกำเนิด ไฟฟ้า (วัตต์)	กำลังเข้า ไซโคลคอนเวอร์เตอร์ (โวลต์-แอมป์)	กำลังเข้า ไซโคลคอนเวอร์เตอร์ (วัตต์)	ตัวประกอบกำลัง ด้านเข้า $P_{f_{in}}$	สลิป (%)	กำลังออก ไซโคลคอนเวอร์เตอร์ (โวลต์-แอมป์)	กำลังออก ไซโคลคอนเวอร์เตอร์ (วัตต์)	ตัวประกอบกำลัง ด้านออก $P_{f_{out}}$	ประสิทธิภาพ ของไซโคลฯ (%)
0.0	492.0	273.0	0.555	0.0085	746.8	159.0	0.213	58.24
67.0	559.5	363.5	0.650	0.014	851.6	338.8	0.398	93.20
132.0	632.2	448.7	0.710	0.019	908.2	416.3	0.458	92.78
191.6	703.3	534.1	0.759	0.027	954.0	494.0	0.518	92.49
243.9	787.5	630.7	0.801	0.034	1007.4	573.4	0.569	90.91
283.8	885.3	732.1	0.827	0.041	1059.3	635.5	0.600	86.81
325.2	996.7	843.3	0.846	0.054	1128.9	721.6	0.639	85.57
363.3	1136.2	972.0	0.855	0.068	1214.7	813.5	0.670	83.69
393.6	1412.4	1212.5	0.858	0.084	1312.9	916.3	0.698	75.57

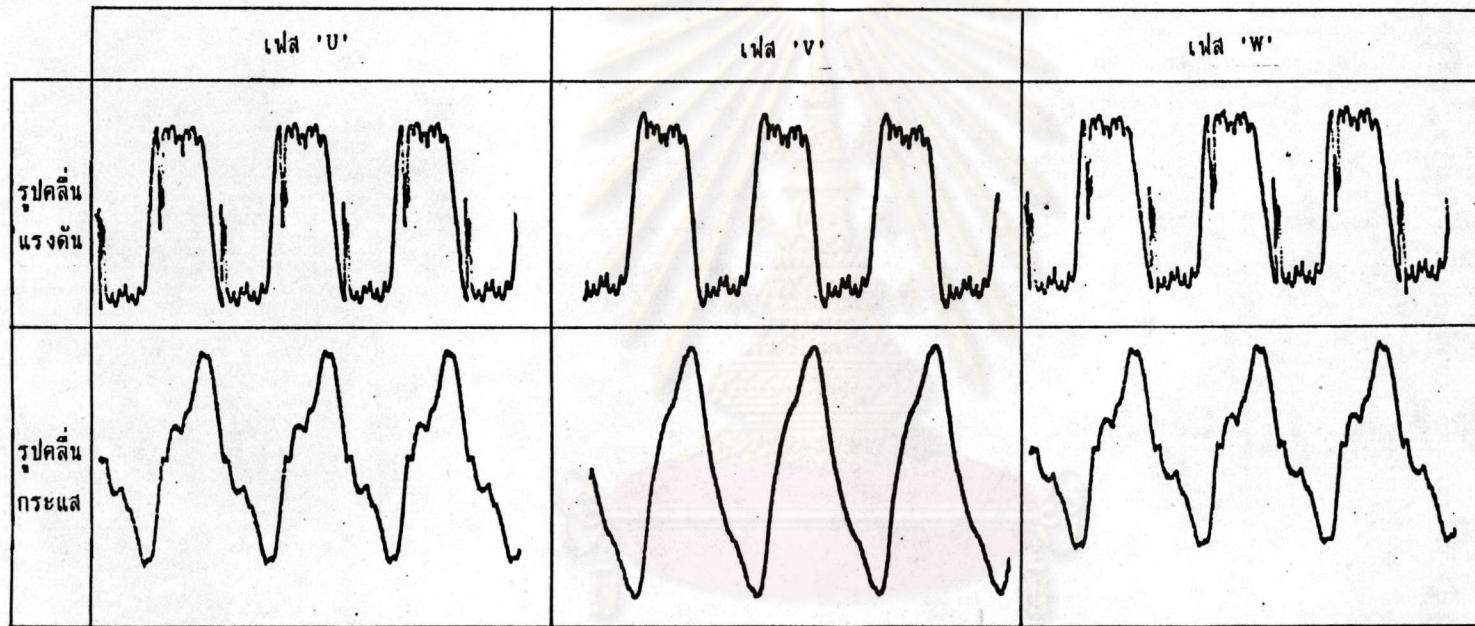
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 46 การแปรค่าตัวประกอบกำลังด้านเข้า (pf_{in}) ตัวประกอบกำลังด้านออก (pf_{out}) และประสิทธิภาพ (Eff) ของไซโคลคอนเวอร์เตอร์เทียบกับค่าโหลดต่าง ๆ

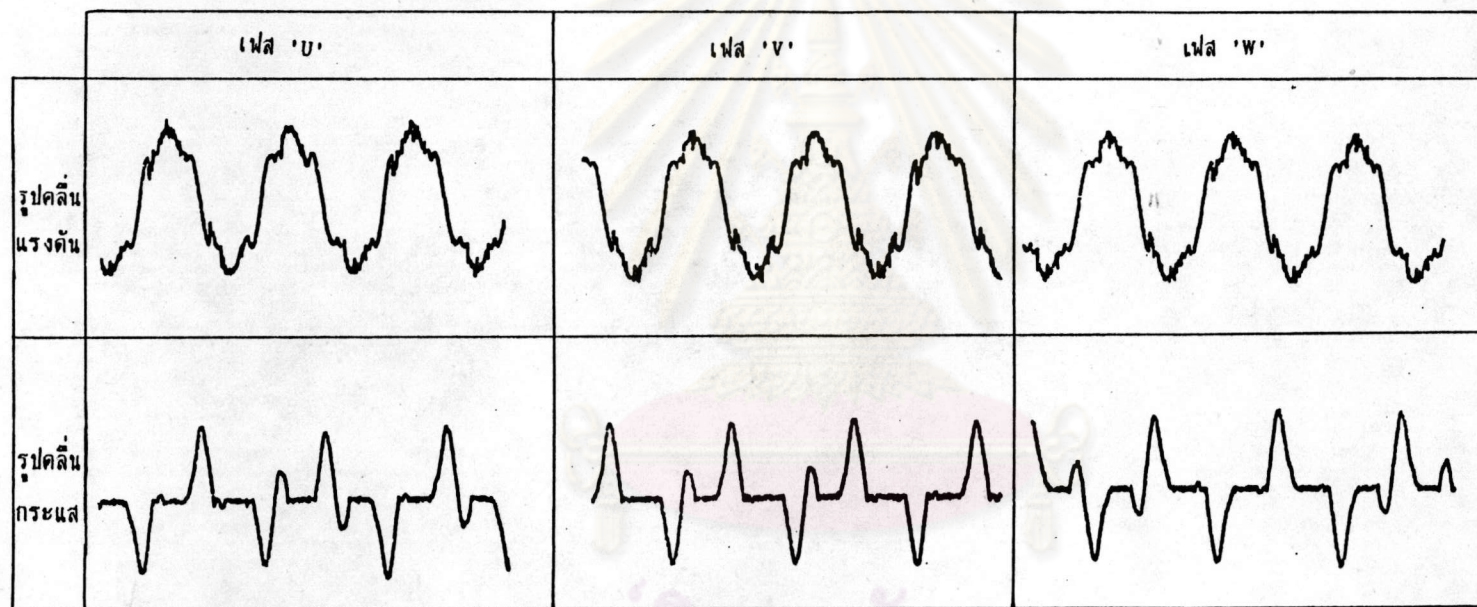


รูปที่ 47 การแปรค่าสลิป (s) ของไซโคลคอนเวอร์เตอร์เทียบกับค่าโหลดต่าง ๆ

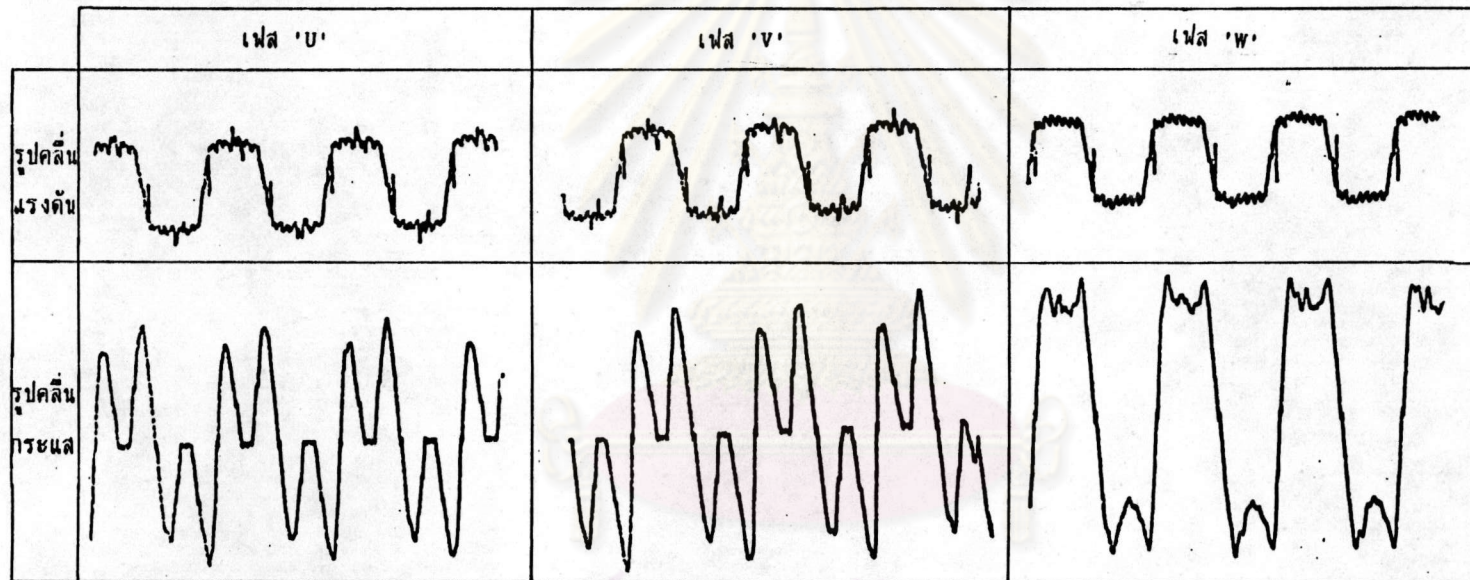


รูปที่ 48 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของมอเตอร์ขณะเริ่มเดินเครื่อง ที่ความถี่ 16.67 เฮิรตซ์
(ใช้โปรแกรมควบคุมชุดเดิม)

ศูนย์วิจัยจรวดอวกาศ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 49 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของมอเตอร์ขณะทำงาน (ไม่มีโหลด) ที่ความถี่ 16.67 เฮิรตซ์
(ใช้โปรแกรมควบคุมชุดเดิม)



รูปที่ 50 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของมอเตอร์เหนี่ยวนำทำงาน (มีโหลด) ที่ความถี่ 16.67 เฮิรตซ์
(ใช้โปรแกรมควบคุมชุดเดิม)