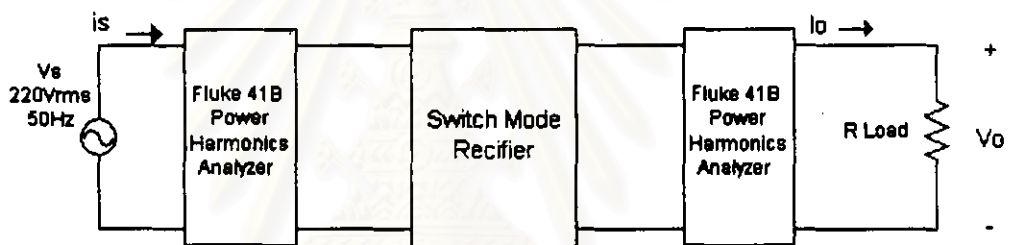


บทที่ 4

การทดสอบ

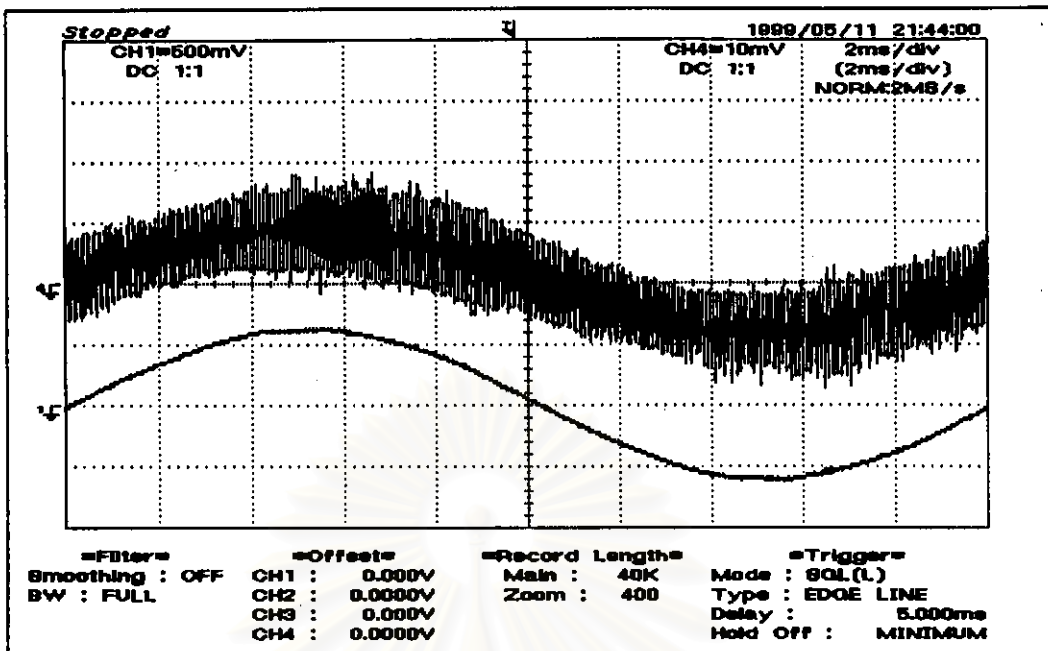
การทดสอบวงจร

ได้มีการทดสอบการทำงานของวงจรโดย

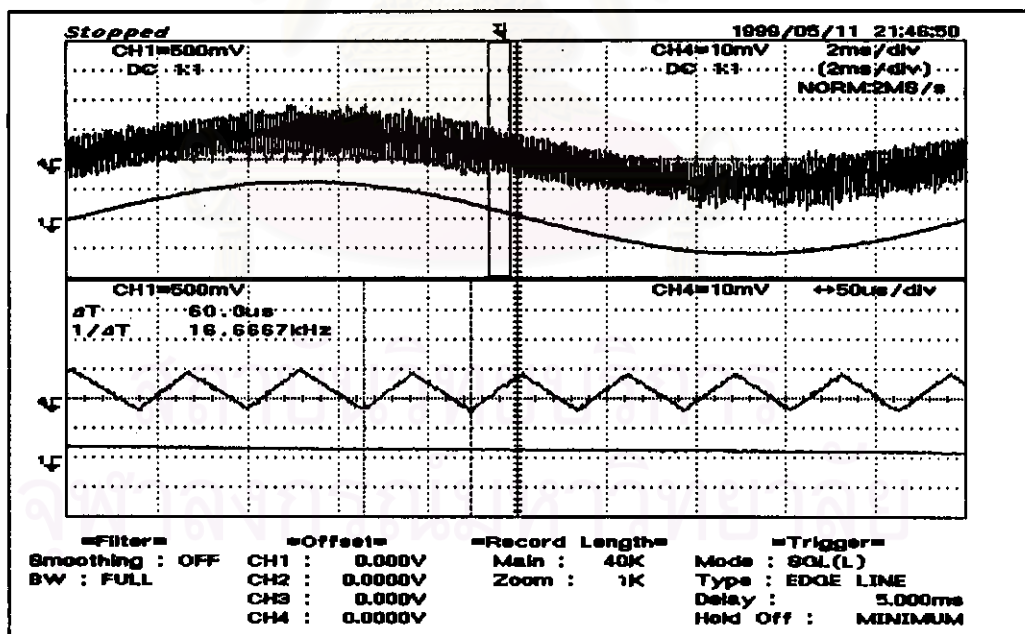


รูปที่ 4.1 การทดสอบการทำงานของวงจร

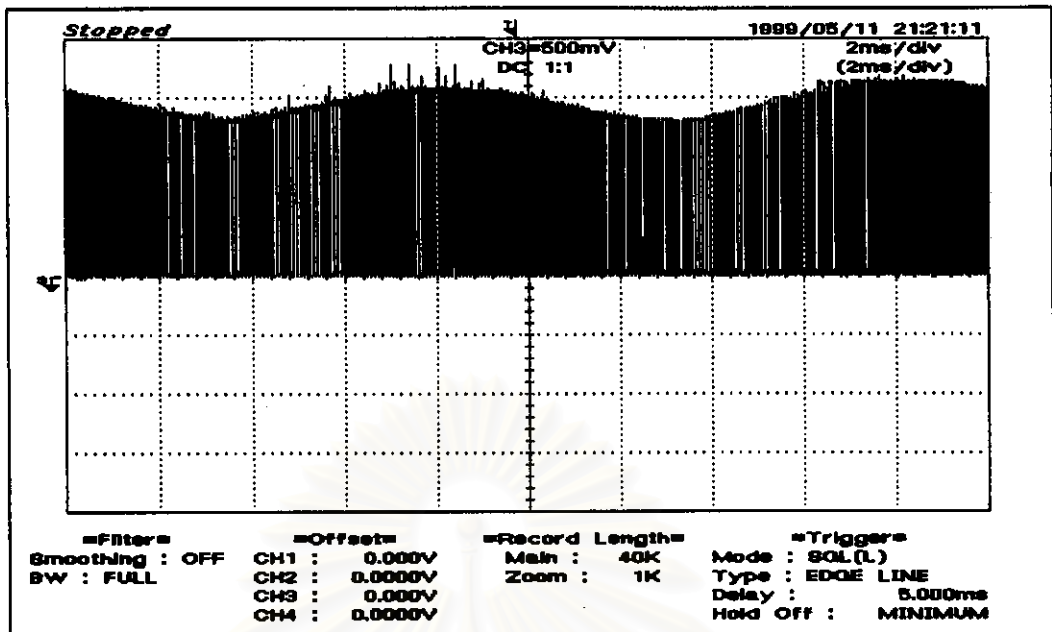
รูปที่ 4.1 แสดงการต่อวงจรการทดสอบวงจรเรียงกระแสแบบวิธีแบบวิธีสวิตช์ ใช้ ออสซิลโลสโคป YOKOGAWA DL-1540 ร่วมกับ อุปกรณ์วัดกระแส TEKTRONIX AM-503S สำหรับการวัดรูปคลื่นแรงดันและกระแสของวงจร และใช้ POWER HARMONICS ANALYZER รุ่น FLUKE 41B สำหรับการวัดค่าประกอบกำลัง, ความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิก, กำลังไฟฟ้าและกระแสฮาร์มอนิก



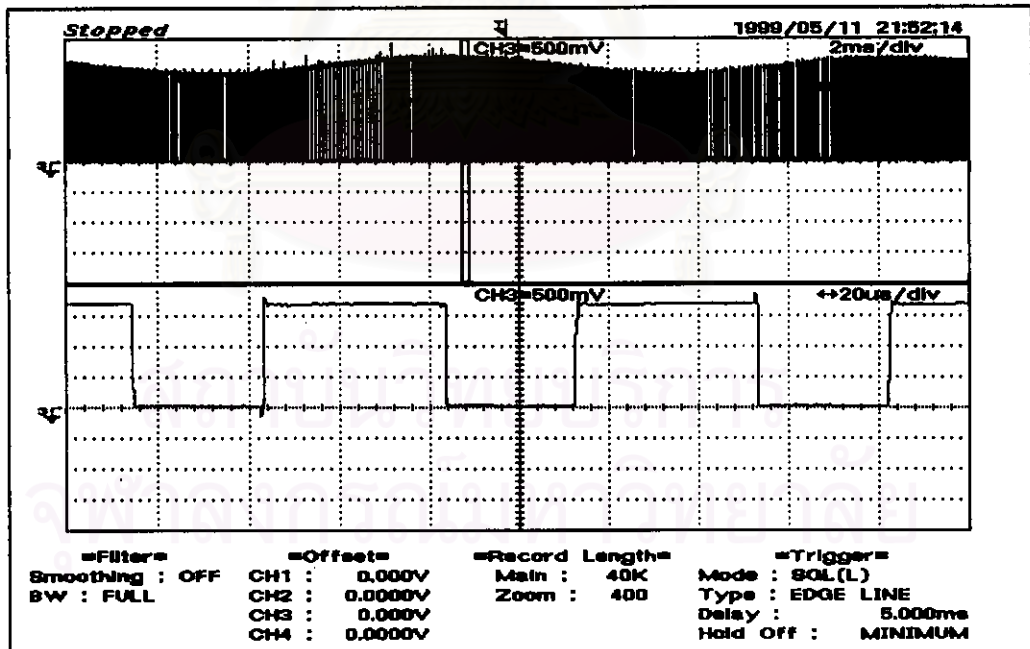
รูปที่ 4.2 กระแสด้านเข้าของวงจร (2 A / ช่อง, รูปบน) มีค่าเท่ากับ 1.191 A.rms และแรงดันด้านเข้าของวงจร (250 V/ช่อง, รูปล่าง) มีค่าเท่ากับ 220 Vrms



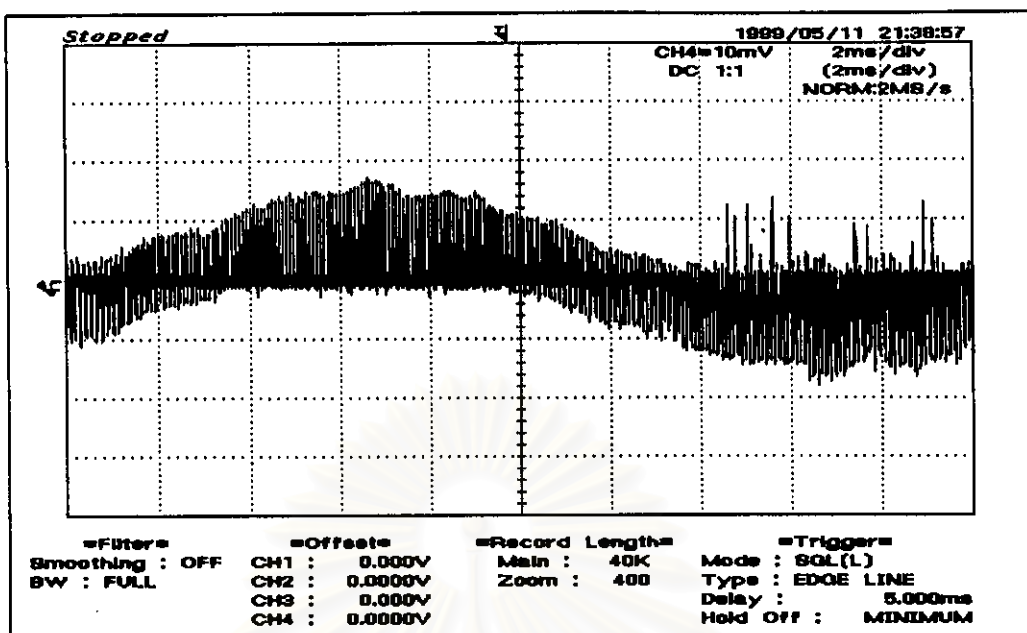
รูปที่ 4.3 รูปขยายของกระแสด้านเข้า(2 A. / ช่อง, รูปบน)และแรงดันด้านเข้า (250 V. / ช่อง, รูปล่าง) โดยที่กระแสด้านเข้ามีแถบฮิสเทอเรซิสประมาณ 2.3 A. และมีความถี่สูงสุดในการสวิตช์ประมาณ 16.6667 kHz.



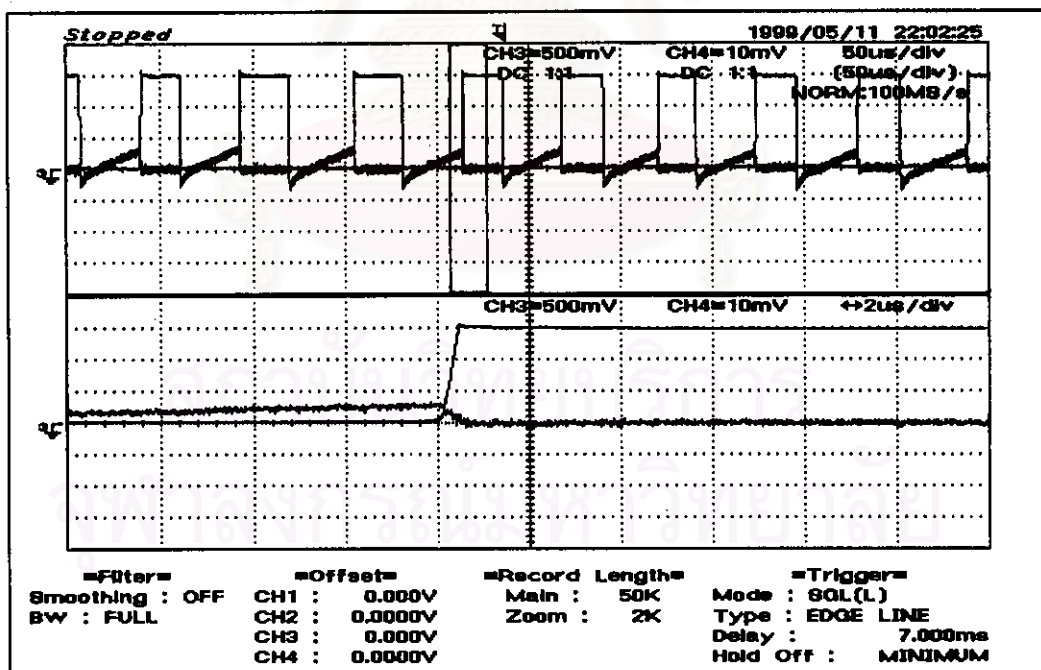
รูปที่ 4.4 แรงดันตกคร่อมสวิทช์ S1 (250 V./ช่อง) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 860 โวลต์



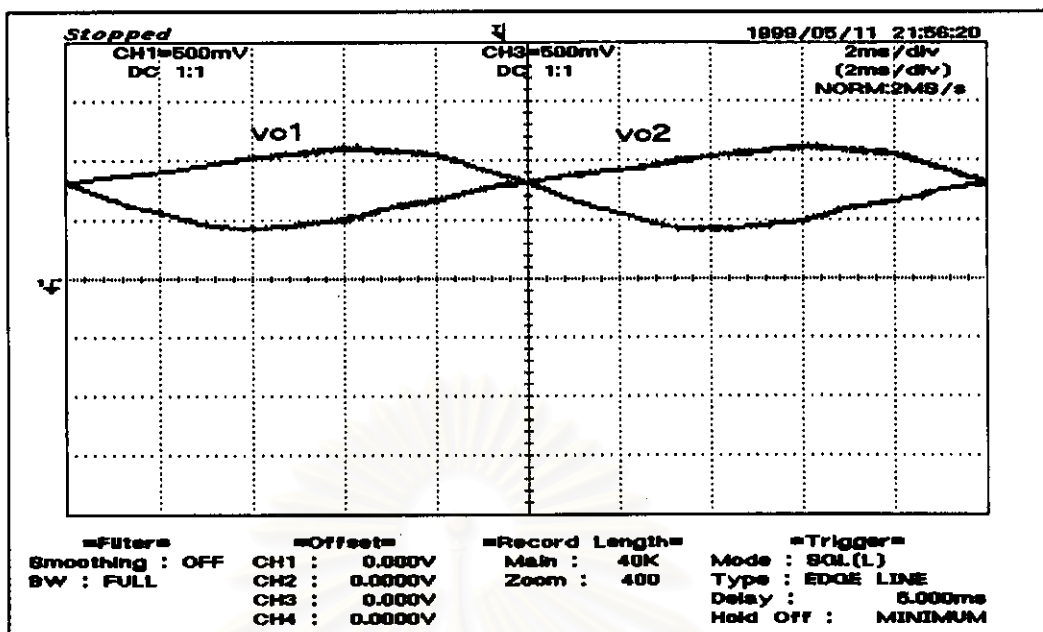
รูปที่ 4.5 รูปขยายของแรงดันตกคร่อมสวิทช์ S1 (250 V./ช่อง) จะเห็นว่าไม่มีแรงดันยอดแหลมตกคร่อมสวิทช์ในช่วงที่สวิทช์ด้ดวงจร



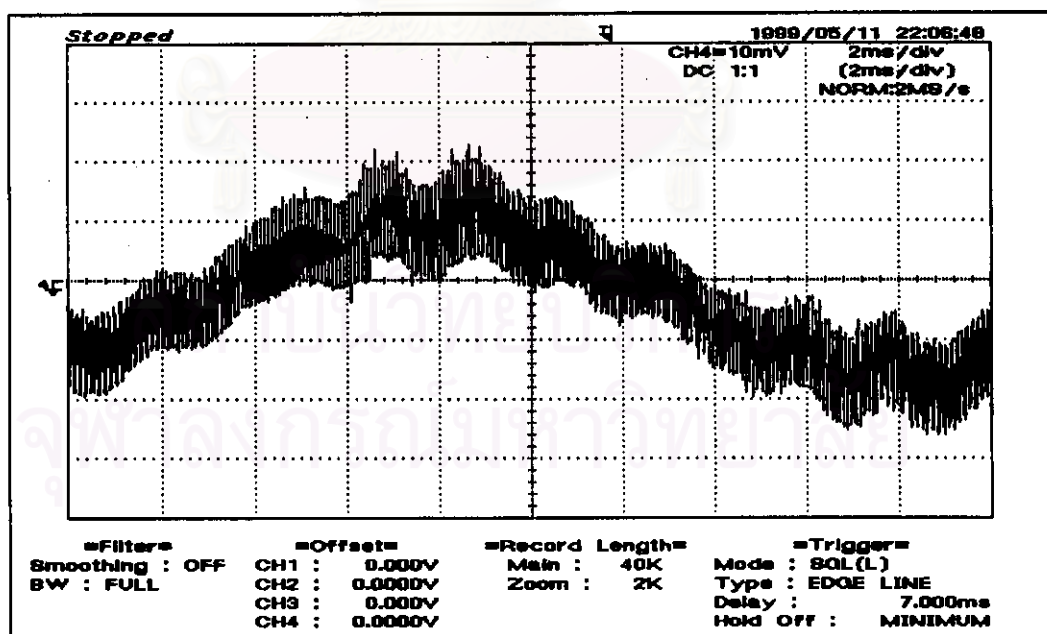
รูปที่ 4.6 กระแสผ่านสวิทช์ S1 (5 A. /ช่อง) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 8.4 A.



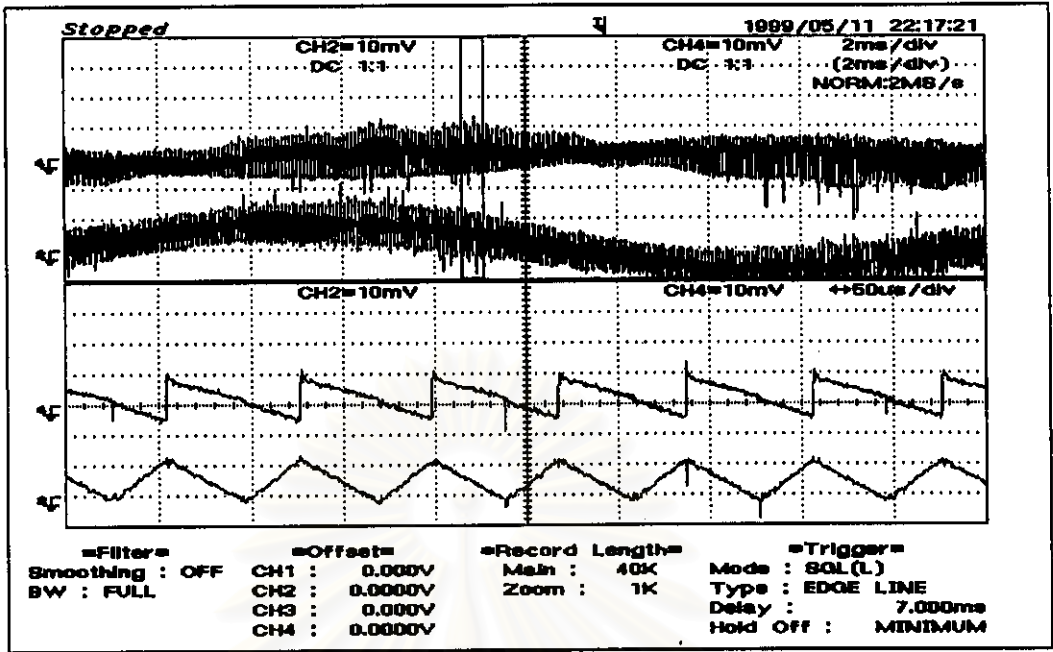
รูปที่ 4.7 รูปขยายแรงดัน (250 V. /ช่อง) และกระแสของสวิทช์ S1 (5 A. /ช่อง) ขณะสวิทช์ S1 คัดวงจร ณ เวลา 7 ms.



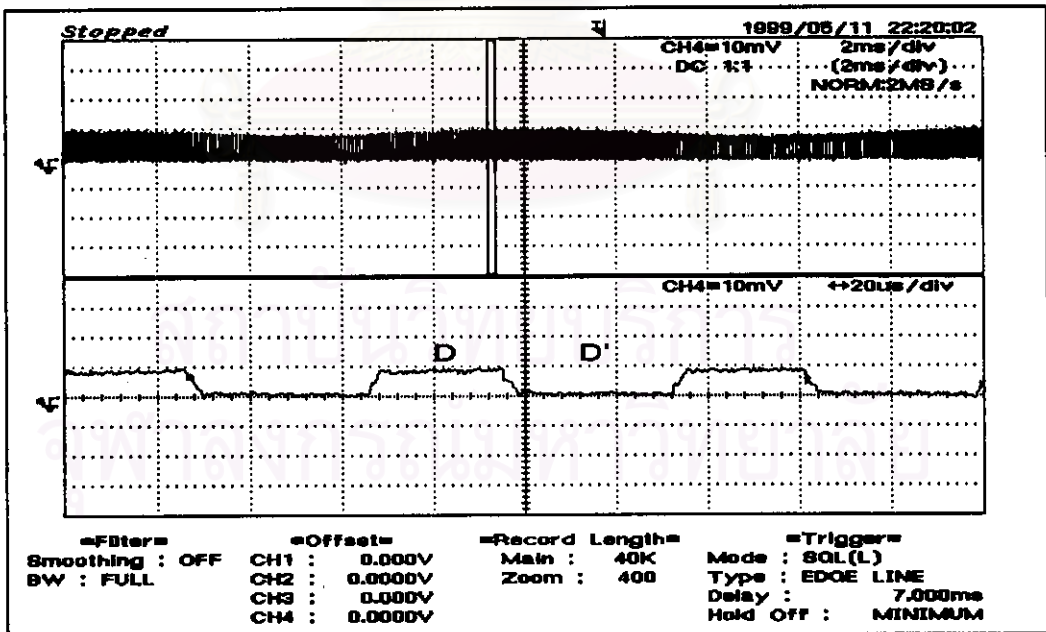
รูปที่ 4.8 แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C1 และ C2 (250 V/ช่อง) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 555 V. และต่ำสุดเท่ากับ 220 V.



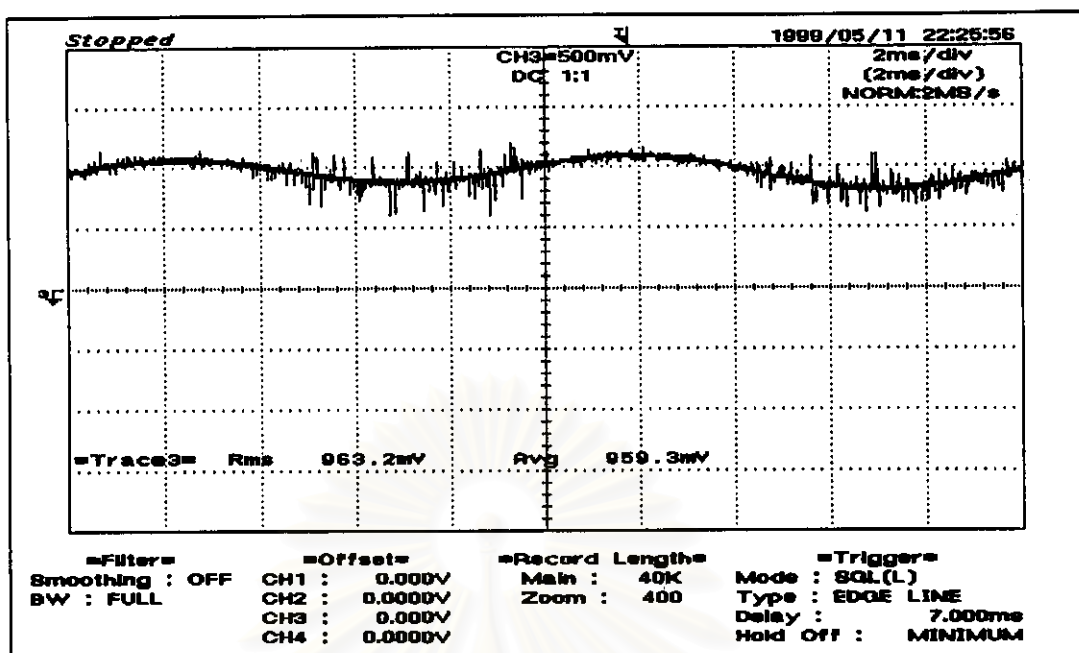
รูปที่ 4.9 กระแสของตัวเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ (Lmf) (2 A/ช่อง) มีค่าสูงสุดด้านบวกเท่ากับ 4.04 A. และมีค่าสูงสุดด้านลบเท่ากับ -5.16 A.



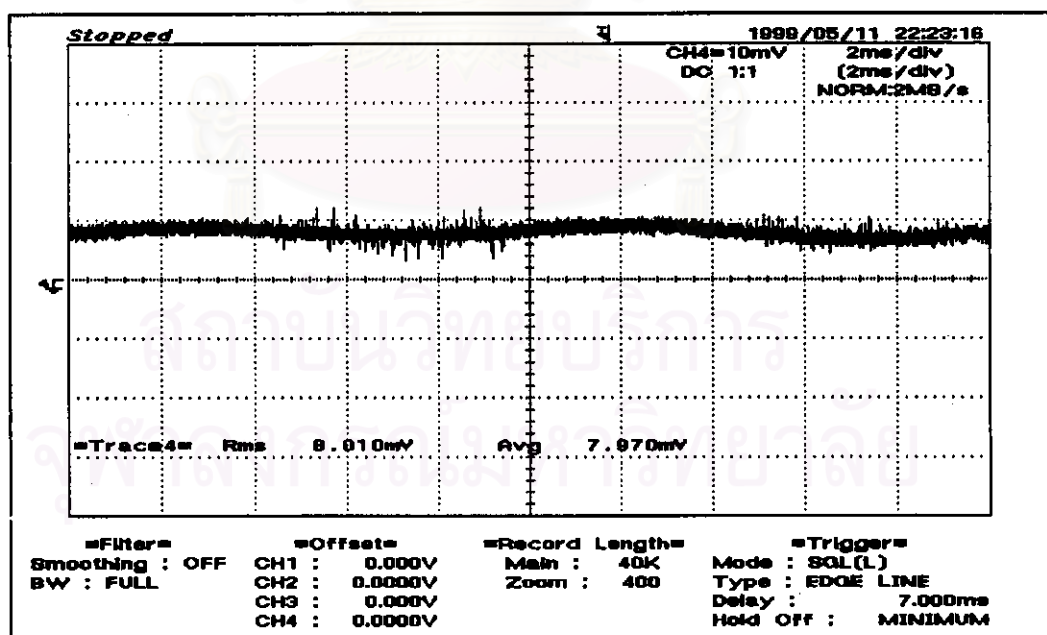
รูปที่ 4.12 กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ C2 (5 A. / ช่อง, รูปบน) และกระแสต้านเข้า (2 A. / ช่อง, รูปล่าง)



รูปที่ 4.13 กระแสต้านเข้าของหม้อแปลง (2 A. / ช่อง)



รูปที่ 4.14 แรงดันด้านออกของวงจร (vo) (25 V./ช่อง) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 47.965 V. และมีค่า RMS เท่ากับ 48.16 V.



รูปที่ 4.15 กระแสด้านออกของวงจร (io) (5 A./ช่อง) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.985 A. และมีค่า RMS เท่ากับ 4.05 A.

รูปที่ 4.2 แสดงรูปคลื่นกระแสด้านเข้า (i_s) และแรงดันด้านเข้าของวงจร (v_s) และรูปที่ 4.3 แสดงรูปขยายของรูปคลื่นกระแสด้านเข้าและแรงดันด้านเข้าของวงจร แรงดันด้านเข้ามีค่าเท่ากับ 220 V.rms. ค่าเฉลี่ยของกระแสด้านเข้ามีรูปคลื่นใกล้เคียงไซน์และมีเฟสตรงกับแรงดันด้านเข้า โดยที่มีแถบฮิสเตอร์เรซิสของกระแสด้านเข้าประมาณ 2.3 A. และวัดความถี่การสวิตช์สูงสุดได้เท่ากับ 16.6667 kHz. การที่แถบฮิสเตอร์เรซิสของกระแสด้านเข้ามีค่าเกินค่าที่กำหนดไว้เล็กน้อย เนื่องจากค่าเวลาในการหยุดนำกระแสของสวิตช์ IGBT. (t_{off}) ที่มีค่า 1.5 μ s. ทำให้กระแสจริงพุ่งเกินค่าที่กำหนดไว้เมื่อวงจรควบคุมสั่งให้สวิตช์ตัดวงจร

รูปที่ 4.4 แสดงรูปคลื่นของแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์ S1 (v_{S1}) แรงดันตกคร่อมสวิตช์สูงสุดเท่ากับ 860 V. และไม่มีแรงดันขดแหลมตกคร่อมสวิตช์ในขณะที่สวิตช์ตัดวงจร ดังจะเห็นได้จากรูปขยายในรูปที่ 4.5 จะเห็นว่ารูปคลื่นแรงดันตกคร่อมสวิตช์ที่ได้จากการทดลองจะเหมือนกับที่ได้จากการจำลองการทำงาน

รูปที่ 4.6 แสดงรูปคลื่นของกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ S1 (i_{S1}) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 8.4 A. ทั้งด้านบวก (กระแสไหลผ่านสวิตช์) และด้านลบ (กระแสไหลผ่านไดโอดที่ต่อขนานกับสวิตช์)

รูปที่ 4.7 แสดงรูปขยายของแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์และกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ ในขณะที่สวิตช์ตัดวงจร จะพบว่าไม่มีแรงดันขดแหลมตกคร่อมสวิตช์ในขณะที่สวิตช์ตัดวงจร

รูปที่ 4.8 แสดงแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C1 (v_{C1}) และตัวเก็บประจุ C2 (v_{C2}) แรงดันสูงสุดมีค่าเท่ากับ 555 V. และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 220 V. รูปคลื่นแรงดันที่ได้จากการทดลองจะมีรูปร่างใกล้เคียงกับรูปคลื่นที่ได้จากการจำลองการทำงาน

รูปที่ 4.9 แสดงรูปคลื่นกระแสของตัวเหนี่ยวนำความถี่ต่ำที่ต่อขนานกับขดปฐมภูมิของหม้อแปลง (i_{Lmf}) มีค่าสูงสุดด้านบวกเท่ากับ 4.04 A. และมีค่าสูงสุดด้านลบเท่ากับ -5.16 A. ดังนั้นมีค่า องค์ประกอบไฟตรงเท่ากับ -0.56 A. จากสมการที่ 2.15 กระแส $\langle i_{Lm} \rangle$ มีค่าเท่ากับ $-N \cdot \langle i_o \rangle \cdot \langle D \rangle$ โดยที่ $N = 0.35$, $\langle i_o \rangle = 3.985$ A. (จากการทดลอง) และ $\langle D \rangle = 0.5$ ได้ $\langle i_{Lm} \rangle = 0.69$ A. ซึ่งก็ใกล้เคียงกัน

จากรูปพบว่ากระแส มีลักษณะเรโซแนนซ์ที่ความถี่ต่ำ (รูปคลื่นความถี่ต่ำที่ขี้อยู่บนรูปคลื่นที่ความถี่สายกำลัง) ซึ่งจากการพิจารณาวงจรพบว่าตัวเหนี่ยวนำ L_{mf} ที่ขนานกับ L_m และตัวเก็บประจุด้านเข้าของวงจร จะเกิดการเรโซแนนซ์ที่ความถี่ต่ำ (Domingos Savio Lyrio Simonetti, Javier Sebastian and Javier Uceda, 1997)

$$\text{ความถี่เรโซแนนซ์ } f_{\text{resonance}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ โดย } L = L_{mlf}/L_m \text{ ประมาณ } 5 \text{ mH และ}$$

$$C = C_1 = C_2 = 20 \text{ uF.}$$

$$= 503 \text{ Hz.}$$

จากการพิจารณารูปคลื่นก็พบว่าความถี่เรโซแนนซ์มีค่าประมาณเท่า 500 Hz เช่นกัน โดยการพิจารณาค่ายอดถึงยอดของรูปคลื่นความถี่ต่ำที่ขึ้นอยู่กับรูปคลื่นความถี่สายกำลังมีค่าเวลาประมาณ 1 ช่องหรือ 2 ms.

รูปที่ 4.10 แสดงรูปคลื่นแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ ($v_{L_{mlf}}$) มีค่ายอดของแรงดันด้านบวกเท่ากับ 555 V. (เท่ากับแรงดันตกคร่อม C_1 สูงสุด) และมีค่ายอดของแรงดันด้านลบเท่ากับ 555 V. (เท่ากับแรงดันตกคร่อม C_2 สูงสุด)

รูปที่ 4.11 แสดงรูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ C_1 (i_{C1}) และ กระแสด้านเข้าของวงจร (i_g) โดยที่ขนาดของความลาดชันของกระแสด้านเข้าช่วง D' (ค่าความลาดชันเป็นลบ) จะเท่ากับขนาดของความลาดชันของกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ C_1

รูปที่ 4.12 แสดงรูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ C_2 (i_{C2}) และ กระแสด้านเข้าของวงจร (i_g) โดยที่ขนาดของความลาดชันของกระแสด้านเข้าช่วง D (ค่าความลาดชันเป็นบวก) จะเท่ากับขนาดของความลาดชันของกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ C_2 (แต่ความลาดชันของกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ C_2 มีค่าเป็นลบ)

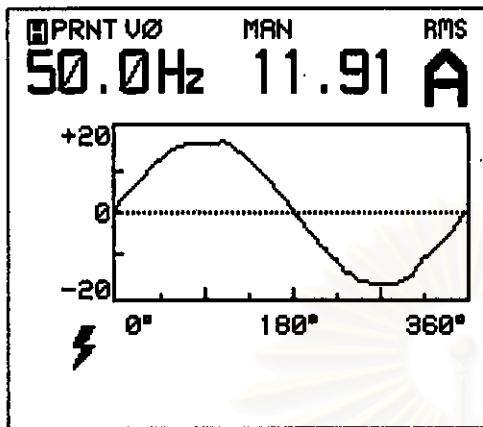
รูปที่ 4.13 แสดงรูปคลื่นกระแสที่ไหลเข้าขดปฐมภูมิของหม้อแปลง ในช่วง D กระแสที่ไหลผ่านขดปฐมภูมิของหม้อแปลงจะมีค่าเท่ากับ $(N \cdot i_{L_f} + i_{L_m})$ และในช่วง D' กระแสที่ไหลผ่านขดปฐมภูมิของหม้อแปลงจะมีค่าเท่ากับ (i_{L_m})

รูปที่ 4.14 แสดงรูปคลื่นแรงดันด้านออกของวงจร (v_o) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 47.965 V. ค่าอาร์เอ็มเอสเท่ากับ 48.16 V. และค่าแรงดันกระแสเพิ่มเท่ากับ $55-40 = 15$ V. ความถี่ของแรงดันกระแสเพิ่มเท่ากับ 100 Hz. รูปคลื่นแรงดันที่ได้จากการทดลองจะมีรูปร่างใกล้เคียงกับรูปคลื่นที่ได้จากการจำลองการทำงาน

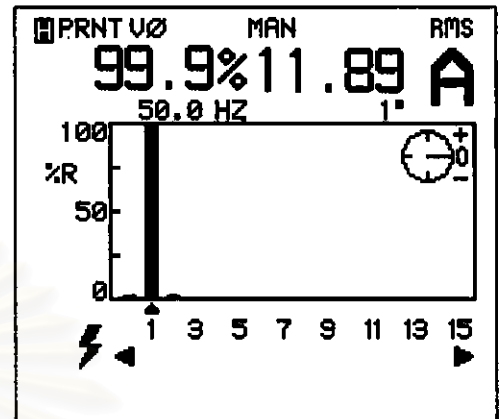
รูปที่ 4.15 แสดงรูปคลื่นกระแสด้านออกของวงจร (i_o) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.985 A. และมีค่าอาร์เอ็มเอสเท่ากับ 4.05 A. และค่ากระแสเพิ่มเท่ากับ $4.48-3.58 = 0.9$ A. ความถี่ของกระแสเพิ่มเท่ากับ 100 Hz. รูปคลื่นแรงดันที่ได้จากการทดลองจะมีรูปร่างใกล้เคียงกับรูปคลื่นที่ได้จากการจำลองการทำงาน

ได้มีการวัดกำลังไฟฟ้าและค่าฮาร์โมนิกของกระแสโดยใช้ POWER HARMONICS ANALYZER รุ่น FLUKE 41B เนื่องจากโพรบวัดกระแสที่ใช้มีเอาต์พุตเท่ากับ 10mV/A. แต่

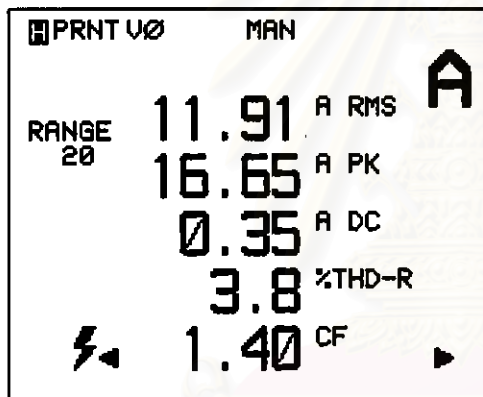
POWER HARMONICS ANALYZER ระบุให้ใช้โพรบวัดกระแสมีเอาต์พุตเท่ากับ 1mV./A. ดังนั้นค่ากระแสและกำลังที่ได้ออกมาจะต้องลดลงไปสิบเท่าด้วย ซึ่งได้ผลออกมาดังนี้



(ก)

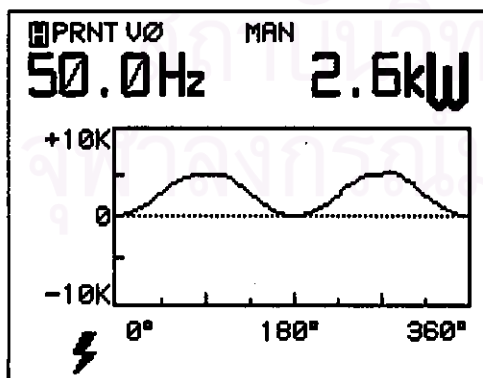


(ข)

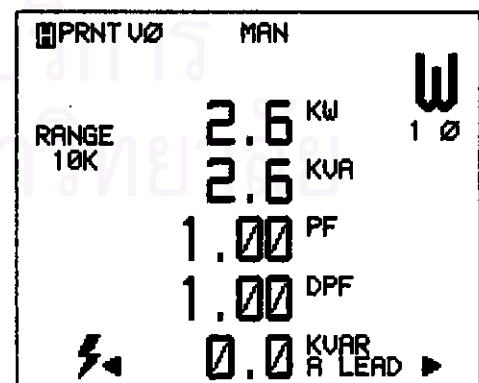


(ค)

รูปที่ 4.16 ค่ากระแสที่วัดได้จาก POWER HARMORNICS ANALYZER

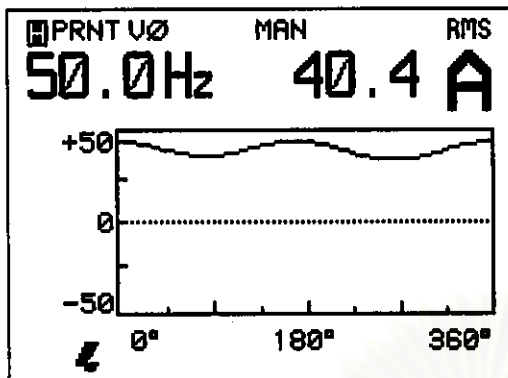


(ก)

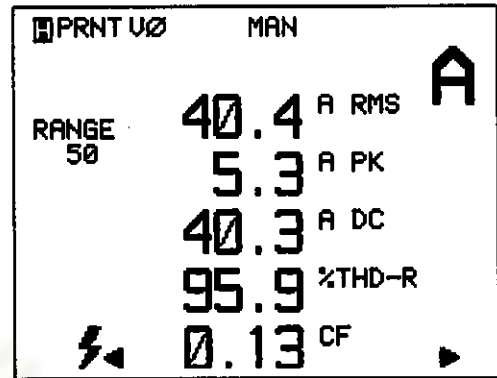


(ข)

รูปที่ 4.17 ค่ากำลังด้านเข้าที่วัดได้จาก POWER HARMORNICS ANALYZER

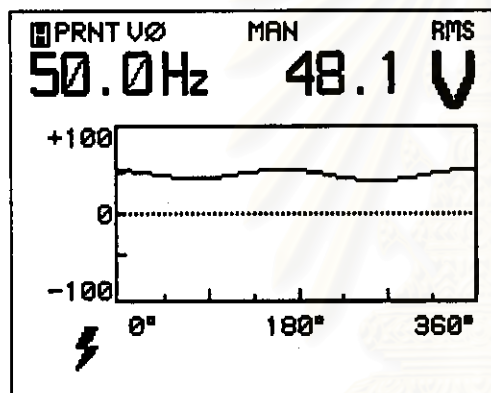


(ก)

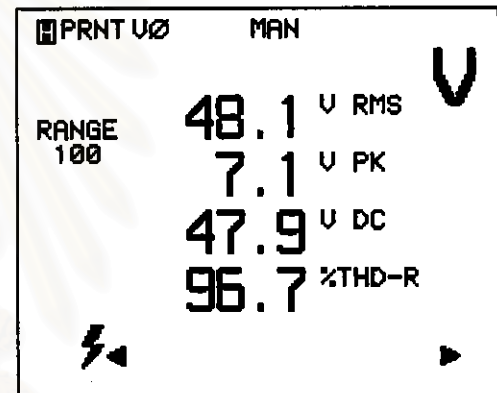


(ข)

รูปที่ 4.18 ค่ากระแสด้านออกที่วัดได้จาก POWER HARMORNICS ANALYZER

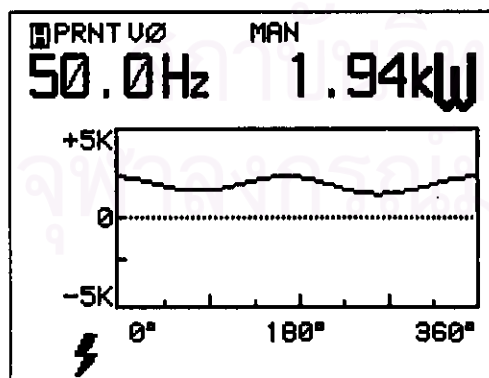


(ก)

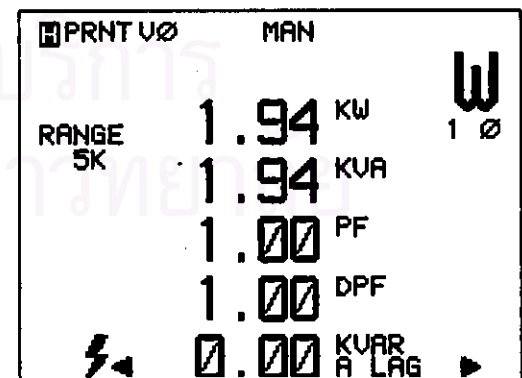


(ข)

รูปที่ 4.19 ค่าแรงดันด้านออกที่วัดได้จาก POWER HARMORNICS ANALYZER



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.20 ค่ากำลังด้านออกที่วัดได้จาก POWER HARMORNICS ANALYZER

จากผลที่ได้พบว่ากระแสด้านเข้ามีค่ากระแสฮาร์มอนิกส์ที่ต่ำมาก โดยที่มีค่าตัวประกอบกำลังใกล้เคียงหนึ่ง เครื่อง POWER HARMONICS ANALYZER เครื่องนี้มีความละเอียดในการวัดตัวประกอบกำลังเท่ากับ ± 0.02 ดังนั้นประมาณได้ว่าวงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตซ์วงจรนี้มีตัวประกอบกำลังไม่ต่ำกว่า 0.98 และกระแสด้านเข้ามีค่าความเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกเท่ากับ 3.8 % ค่า อาร์เอ็มเอส เท่ากับ 1.191 A. ค่าตัวประกอบค่ายอด (CF.) เท่ากับ 1.40 และกำลังด้านเข้าเท่ากับ 260 W.

กระแสด้านออกมีค่า อาร์เอ็มเอส. เท่ากับ 4.04 A. แรงดันด้านออกมีค่า อาร์เอ็มเอส. เท่ากับ 48.1 V. และกำลังด้านออกมีค่าเท่ากับ 194 W.

คำนวณประสิทธิภาพของวงจรได้ $194/260 = 74.6 \%$.

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการใช้ POWER HARMONICS ANALYZER วัดกำลังด้านเข้าของวงจร และตารางที่ 2 แสดงข้อมูลที่ได้จากการใช้ POWER HARMONICS ANALYZER วัดกำลังด้านออกของวงจร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Single Phase Readings - 05/12/99 08:37:52

Location: Power Electronics Research Laboratory, Chulalongkorn University
 Circuit/Phase: input power
 Date: 05/12/99 08:37:52
 Observer: Mr. Yutthachai Sillapawicham
 real current and power value = reading current and power value divide by 10

Summary Information			Record Information			
		Voltage	Current	Max	Average	Min
Frequency	49.99	RMS	219.7	V RMS		
Power (1 Phase)		Peak	307.7	A RMS		
KW	2.61	DC Offset	-0.2	V Peak		
KVA	2.62	Crest	1.4	A Peak		
KVAR	0.03	THD Rms	1.02	V THD-R%		
Peak KW	5.13	THD Fund	1.02	A THD-R%		
Phase	1° lead	HRMS	2.3	KWatts		
Total PF	1.00	KFactor		KVA		
DPF	1.00			TPF		
				DPF		
				Frequency		

Harmonic Information			1 Phase		1 Phase		1 Phase	
	Freq.	V Mag	%V RMS	V Ø°	I Mag	%I RMS	I Ø°	Power (KW)
DC	0.00	0.19	0.09	0	0.35	2.97	0	0.00
1	49.99	219.69	99.98	0	11.89	99.90	1	2.61
2	99.98	0.14	0.06	-79	0.33	2.74	89	0.00
3	149.97	0.78	0.36	64	0.08	0.70	72	0.00
4	199.96	0.02	0.01	-150	0.09	0.71	-70	0.00
5	249.95	0.81	0.37	-164	0.11	0.93	-141	0.00
6	299.94	0.03	0.01	142	0.01	0.11	-17	0.00
7	349.94	1.28	0.58	45	0.20	1.71	18	0.00
8	399.93	0.06	0.03	-164	0.06	0.55	72	0.00
9	449.92	1.17	0.53	-133	0.05	0.41	156	0.00
10	499.91	0.03	0.01	-44	0.04	0.37	98	0.00
11	549.90	0.53	0.24	18	0.03	0.25	-33	0.00
12	599.89	0.00	0.00	-75	0.03	0.28	-146	0.00
13	649.88	0.30	0.14	-174	0.04	0.36	-13	0.00
14	699.87	0.02	0.01	-86	0.04	0.34	-31	0.00
15	749.86	0.23	0.11	-24	0.04	0.32	30	0.00
16	799.85	0.02	0.01	-36	0.04	0.37	113	0.00
17	849.84	0.22	0.10	41	0.02	0.20	78	0.00
18	899.83	0.05	0.02	117	0.04	0.38	-179	0.00
19	949.82	0.16	0.07	-122	0.02	0.21	-130	0.00
20	999.82	0.05	0.02	64	0.04	0.30	-40	0.00
21	1049.81	0.38	0.17	0	0.05	0.42	-1	0.00
22	1099.80	0.05	0.02	57	0.02	0.18	-186	0.00
23	1149.79	0.13	0.06	100	0.02	0.15	4	0.00
24	1199.78	0.06	0.03	2	0.03	0.24	169	0.00
25	1249.77	0.17	0.08	-57	0.05	0.43	-161	0.00
26	1299.76	0.08	0.04	-7	0.04	0.31	-75	0.00
27	1349.75	0.20	0.09	13	0.02	0.21	37	0.00
28	1399.74	0.03	0.01	119	0.04	0.34	-96	0.00
29	1449.73	0.08	0.04	-20	0.03	0.22	-27	0.00
30	1499.72	0.02	0.01	-97	0.02	0.15	79	0.00
31	1549.71	0.11	0.05	-8	0.02	0.20	-117	0.00

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ได้จากการใช้ POWER HARMONICS ANALYZER วัดกำลังด้านเข้า
 ของวงจร

Single Phase Readings - 05/12/99 08:50:21

Location: Power Electronics Research Laboratory, Chulalongkorn University
 Circuit/Phase: output power
 Date: 05/12/99 08:50:21
 Observer: Mr. Yutthachai Sillapawicharn
 real current and power value = reading current and power value divide by 10

Summary Information

Frequency 49.99
 Power (1 Phase)
 KW 1.94
 KVA 1.94
 KVAR 0.00
 Peak KW 2.45
 Phase 4° lag
 Total PF 1.00
 DPF 1.00

Voltage
 RMS 48.08
 Peak 7.06
 DC Offset 47.88
 Crest 0.15
 THD Rms 96.70
 THD Fund 379.85
 HRMS 4.27
 KFactor

Current
 40.41
 5.28
 40.28
 0.13
 95.92
 339.39
 3.24
 OL

Record Information

Max Average Min
 V RMS
 A RMS
 V Peak
 A Peak
 V THD-R%
 A THD-R%
 KWatts
 KVA
 TPF
 DPF
 Frequency

Harmonic Information

DC	1 Phase			1 Phase			1 Phase		
	Freq.	V Mag	%V RMS	V ∅°	I Mag	%I RMS	I ∅°	Power (KW)	
0.00	47.88	99.57	0	40.26	99.64	0	0	1.93	
1	49.99	1.13	25.32	0	0.96	28.07	-4	0.00	
2	99.98	4.27	95.99	115	3.24	95.04	105	0.01	
3	149.97	0.08	1.76	13	0.09	2.57	30	0.00	
4	199.96	0.02	0.53	96	0.01	0.37	54	0.00	
5	249.95	0.01	0.18	120	0.01	0.37	110	0.00	
6	299.94	0.04	0.88	-59	0.03	0.92	-49	0.00	
7	349.94	0.02	0.35	-131	0.02	0.55	-76	0.00	
8	399.93	0.02	0.35	-23	0.03	0.73	40	0.00	
9	449.92	0.07	1.58	69	0.03	0.92	87	0.00	
10	499.91	0.04	0.88	-163	0.00	0.00	65	0.00	
11	549.89	0.02	0.53	-175	0.02	0.55	178	0.00	
12	599.89	0.01	0.18	63	0.01	0.37	56	0.00	
13	649.88	0.04	0.88	176	0.04	1.10	-149	0.00	
14	699.87	0.01	0.18	-145	0.01	0.37	90	0.00	
15	749.86	0.03	0.70	84	0.02	0.55	31	0.00	
16	799.85	0.03	0.70	172	0.01	0.37	129	0.00	
17	849.84	0.01	0.18	-13	0.03	0.92	38	0.00	
18	899.83	0.02	0.35	-180	0.02	0.55	129	0.00	
19	949.82	0.04	0.88	-91	0.02	0.55	-99	0.00	
20	999.82	0.01	0.18	-105	0.02	0.55	-153	0.00	
21	1049.81	0.01	0.18	88	0.01	0.18	-102	0.00	
22	1099.80	0.01	0.18	-122	0.01	0.37	-88	0.00	
23	1149.79	0.03	0.70	-143	0.01	0.18	-65	0.00	
24	1199.78	0.03	0.70	-12	0.00	0.00	-143	0.00	
25	1249.77	0.02	0.35	110	0.01	0.37	57	0.00	
26	1299.76	0.02	0.35	-162	0.01	0.18	-34	0.00	
27	1349.75	0.02	0.35	-136	0.03	0.73	-150	0.00	
28	1399.74	0.01	0.18	-180	0.03	0.73	96	0.00	
29	1449.73	0.02	0.35	14	0.01	0.37	-20	0.00	
30	1499.72	0.02	0.35	112	0.01	0.18	-6	0.00	
31	1549.71	0.01	0.18	43	0.02	0.55	25	0.00	

ตารางที่ 2 ข้อมูลที่ได้จากการใช้ POWER HARMORNICS ANALYZER วัดค่าทางด้านออก
 ของวงจร