บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลองผู้ทดลองได้ทำการศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการเกิด Resonance โดยการศึกษาเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

การเลือกชนิดของภาชนะและขดลวดเหนี่ยวนำ ซึ่งได้มีการออกแบบขดลวดอยู่หลายแบบเพื่อที่จะได้ขดลวดที่สามารถสร้าง Flux ได้มากที่สุดซึ่งใช้ความถี่ที่ 45 KHz ขดลวดที่ออกแบบได้ดีที่สุดคือ ลวดทองแดงเบอร์ 30 S .W.G จำนวน 27 เส้นพันตีเกลียวเข้าหากันแล้วนำมาขดเป็นแผ่นจำนวน 45 รอบซึ่งการพันตีเกลียวเข้าหากันหลายเส้นเป็นการลดการสูญเสียในเส้นลวดเนื่องจาก Skin Effect การคำนวณหาค่า C Resonance ดังนี้

ใช้ค่า C Resonance เท่ากับ 150 nF ระยะห่างระหว่างภาชนะกับขดลวดเท่ากับ 0.4 cm ซึ่งสามารถหาค่าพารามิเตอร์ของโหลดต่างๆได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าอิมพีแดนซ์ Z (Ω) ของขดลวดเหนี่ยวนำ

ชนิด	10 kHz	20 kHz	45 kHz	100 kHz
No-load	10.29	20.55	46.2	102.62
Zebra 16 cm.	7.44	12.6	25.5	53.89
Sun 16 cm.	8.7	14.65	29.54	62.3
Sun 20 cm.	8.48	13.56	26.27	54.23

ตารางที่ 4.2 ค่าความต้านทาน R (Ω) ของขดลวดเหนี่ยวนำ

ชนิด	10 kHz	20 kHz	45 kHz	100 kHz
No-load	0.283	0.354	0.533	0.928
Zebra 16 cm.	2.41	2.63	3.18	4.4
Sun 16 cm.	2.44	3.41	5.85	11.2
Sun 20 cm.	8.48	13.56	26.27	54.23

ตารางที่ 4.3 ค่าความเหนี่ยวนำ L (μH)ของขดลวดเหนี่ยวนำ

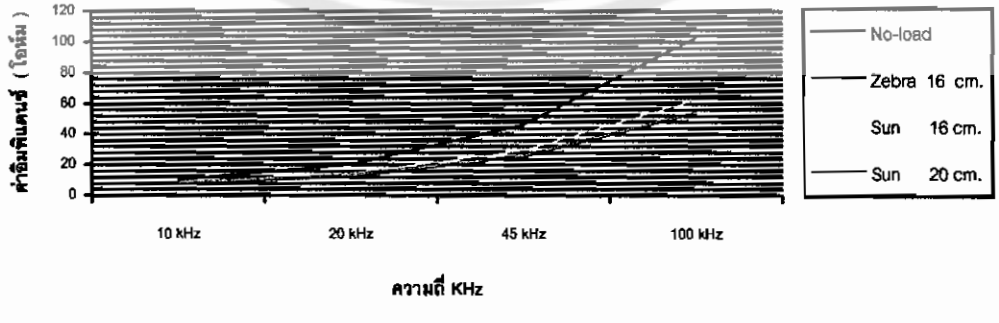
ชนิด	10 kHz	20 kHz	45 kHz	100 kHz
No-load	163.7	163.65	163.54	163.3
Zebra 16 cm.	112.1	109.14	101.74	85.45
Sun 16 cm.	133.9	129.18	117.41	91.5
Sun 20 cm.	126.9	122.1	110.1	83.7

ตารางที่ 4.4 ค่าความจุ (C) ของขดลวดเหนี่ยวนำ

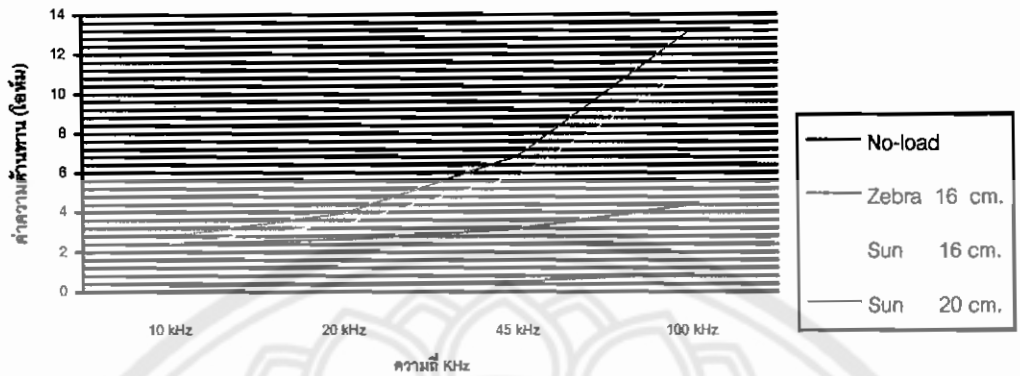
ชนิด	10 kHz	20 kHz	45 kHz	100 kHz
No-load	1.557uF	2.16	6.979	15.5nF
Zebra 16 cm.	2.082uF	3.31	13.138	30.514nF
Sun 16 cm.	1.78uF	3.064	13.013	26.15nF
Sun 20 cm.	1.821 uF	2.84	11.26	30.6nF

ตารางที่ 4.5 มุมเฟส ϕ (degree)ของขดลวดเหนี่ยวนำ

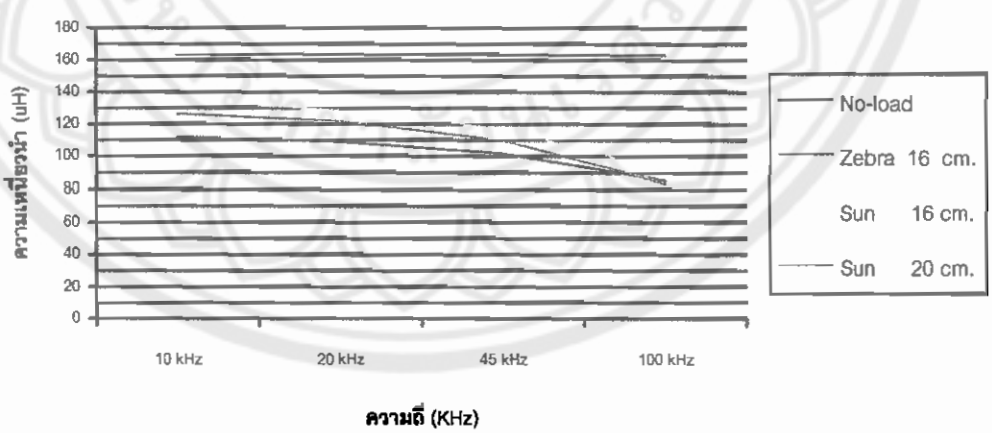
ชนิด	10 kHz	20 kHz	45 kHz	100 kHz
No-load	-88.41	-88.53	-88.8	-89.5
Zebra 16 cm.	-71	-72.55	-76.44	-85
Sun 16 cm.	-73.78	-74.42	-76.04	-79.58
Sun 20 cm.	-70.1	-70.67	-72.11	-75.28



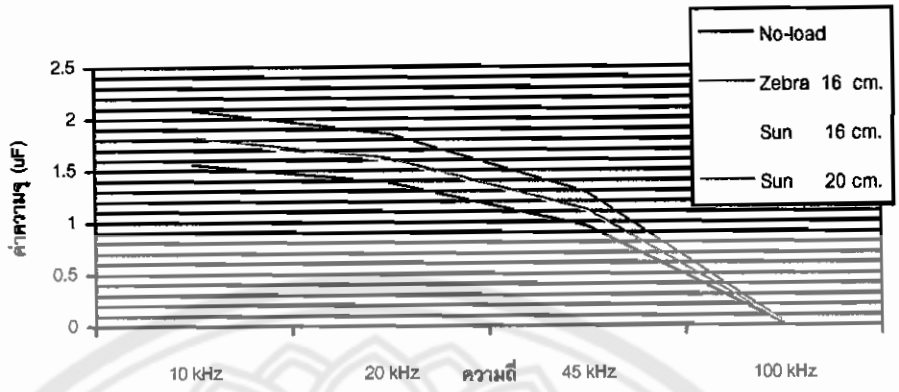
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ต่าง ๆ



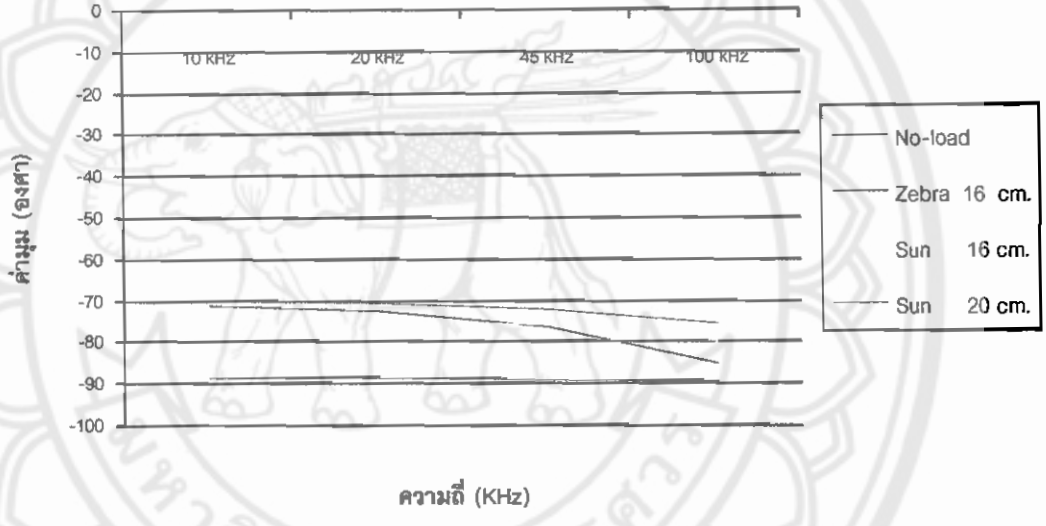
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับค่าความถี่ต่าง ๆ



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหนี่ยวนำที่ความถี่ต่าง ๆ



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเก็บประจุที่ความถี่ต่าง ๆ



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมเฟสที่ความถี่ต่าง ๆ

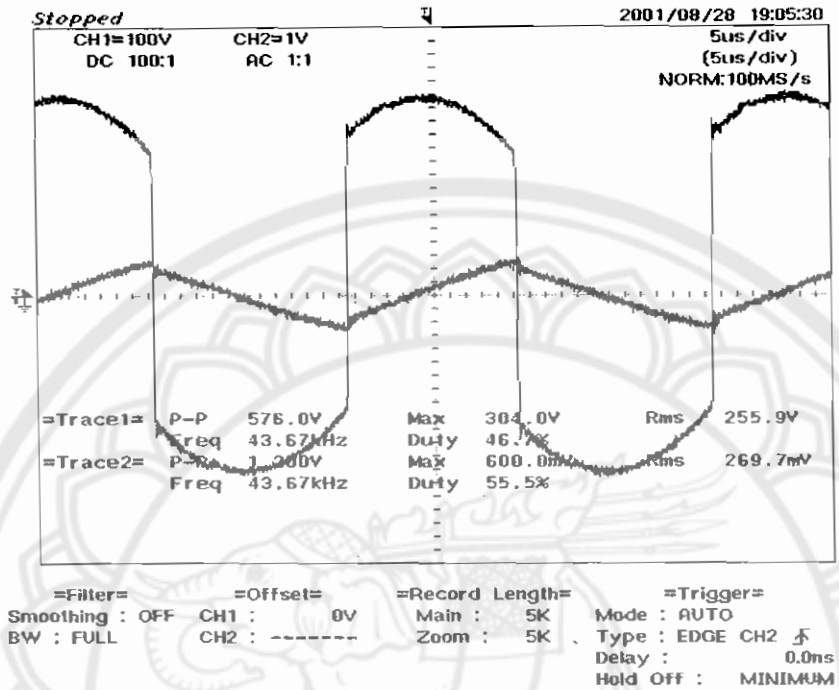
จะเห็นว่าถ้าหากความถี่สูงขึ้น ค่าอิมพีแดนซ์ก็จะสูงขึ้นด้วย จาก

$$Z = R + j\omega L + 1/j\omega C \qquad (4.1)$$

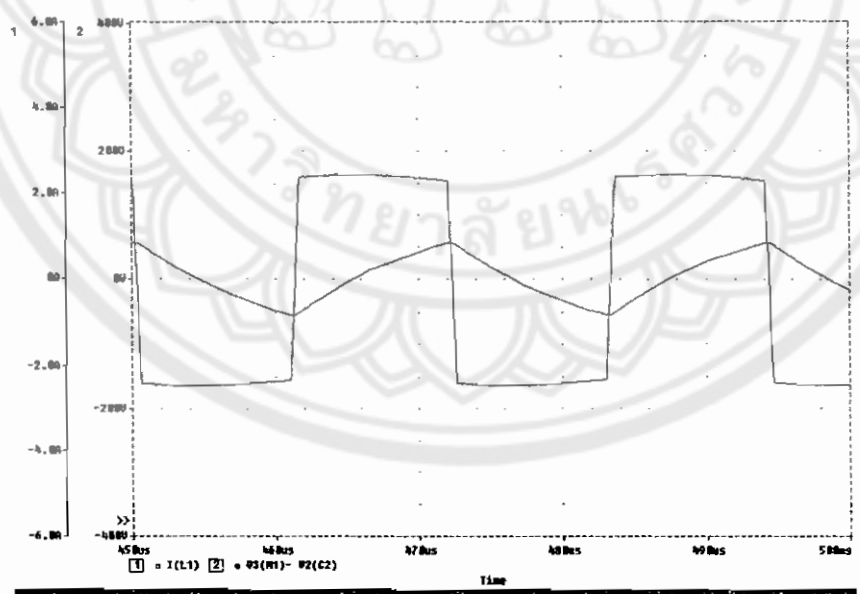
ซึ่ง $\omega = 2\pi f$ ถ้า f มาก X_L ก็จะมีค่ามากขึ้น X_C มีค่าน้อยลง แต่เนื่องจาก ค่า C นั้นมีค่าน้อยมาก เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นหรือลดลงจึงไม่ค่อยมีผลกับค่า Z นัก

จากการทดลองได้ทำการเก็บข้อมูลรูปคลื่นแรงดันที่ตกคร่อมโหลดและกระแสโหลดเปรียบเทียบกับการนำค่าที่วัดพารามิเตอร์ต่างแล้วนำไป Simulate จากโปรแกรม PSPICE ได้ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 รูปคลื่นแรงดันที่ตกคร่อมโหลดและกระแสโหลดเปรียบเทียบกับการนำค่าที่วัดพารา

มิเตอร์ต่างแล้วนำไป Simulate จากโปรแกรม PSPICE ขณะที่ไม่มีโหลด (ไม่มีภาชนะวางอยู่บนขดลวดเหนี่ยวนำ)

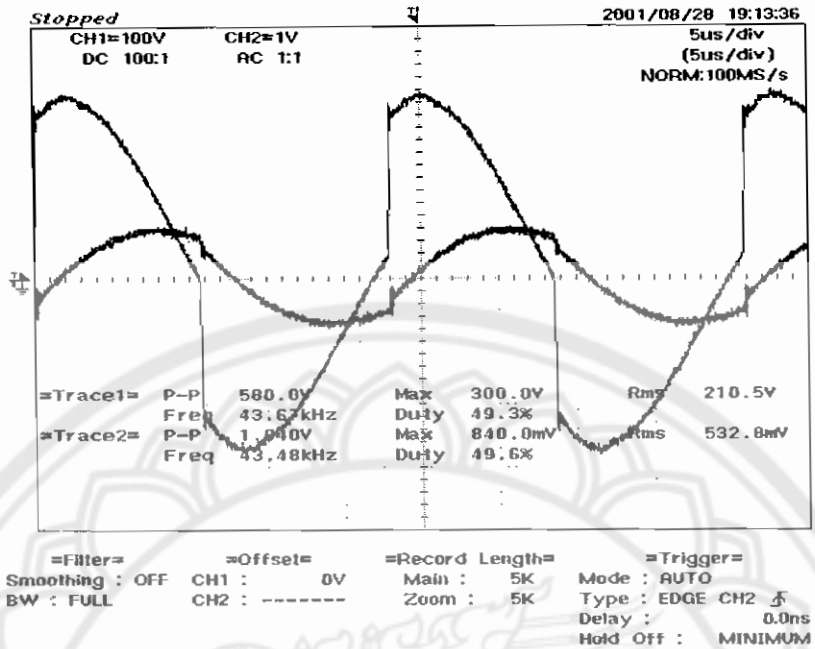


รูปที่ 4.6 ลูกคลื่นแรงดันและกระแสขณะไม่มีโหลดที่ได้จากการทดลอง

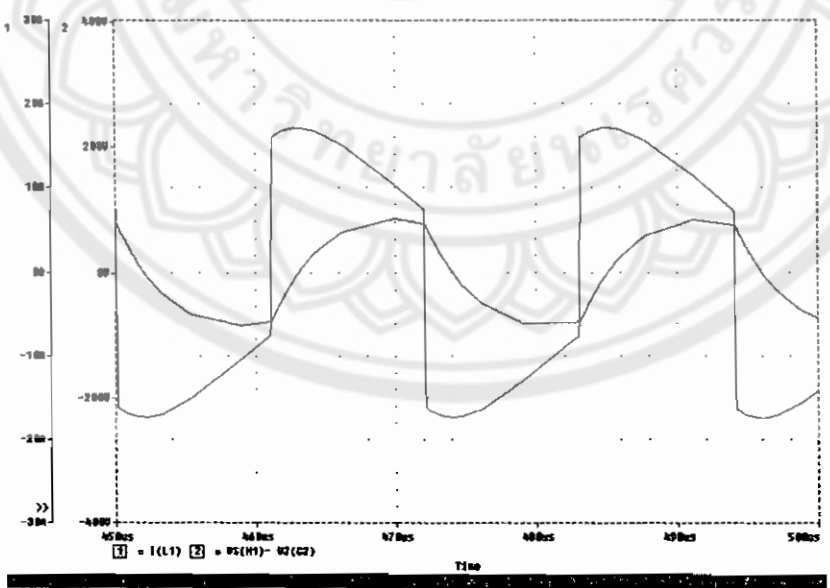


รูปที่ 4.7 ลูกคลื่นแรงดันและกระแสขณะไม่มีโหลดที่ได้จากการ simulate

รูปคลื่นแรงดันที่ตกคร่อมโหลดและกระแสโหลดเปรียบเทียบกับการนำค่าที่วัดพารามิเตอร์ต่างแล้วนำไป Simulate จากโปรแกรม PSPICE โดยใช้หม้อตราหัวม้าลายขนาด 16 cm

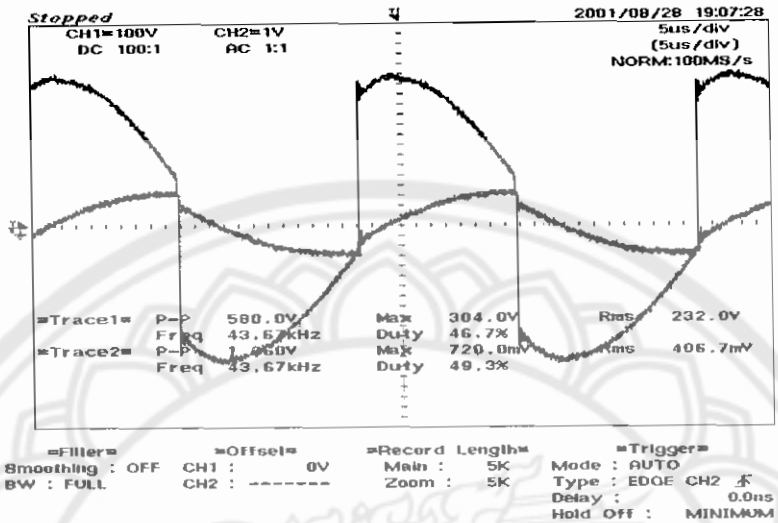


รูปที่ 4.8 ลูกคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลดและกระแสโหลดของหม้อตราหัวม้าลาย 16 cm ที่ได้จากการทดลอง

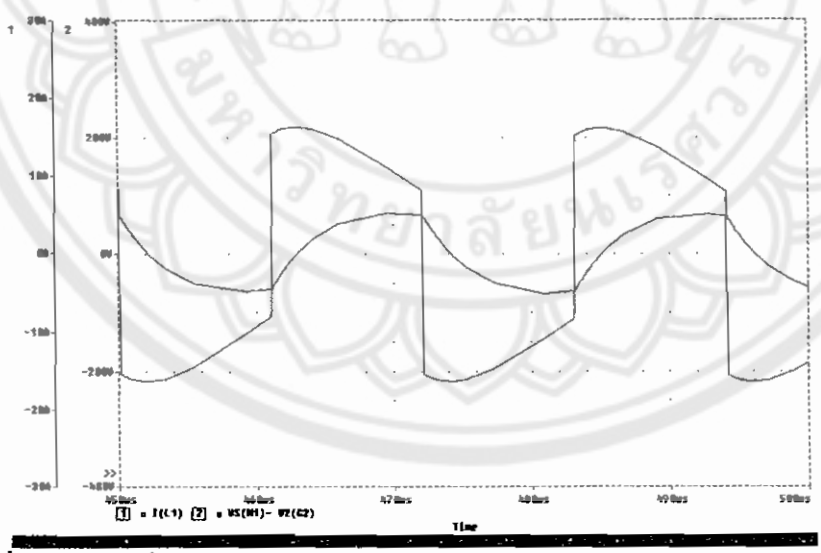


รูปที่ 4.9 ลูกคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลดและกระแสโหลดของหม้อตราหัวม้าลาย 16 cm ที่ได้จากการ simulate

รูปคลื่นแรงดันที่ตกคร่อมโหลดและกระแสโหลดเปรียบเทียบกับการนำค่าที่วัดพารามิเตอร์ต่างแล้วนำไป Simulate จากโปรแกรม PSPICE โดยใช้หม้อตราพระอาทิตย์ขนาด 16 cm

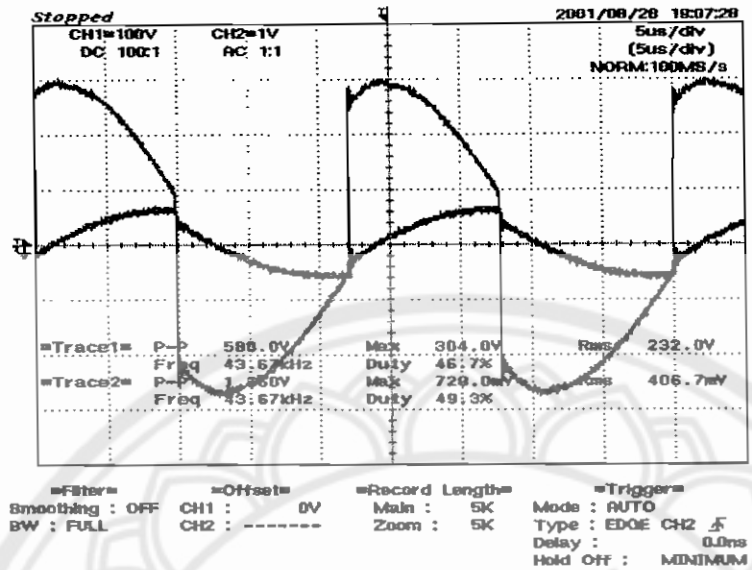


รูปที่ 4.10 ลูกคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลดและกระแสโหลดของหม้อตราพระอาทิตย์ 16 cm ที่ได้จากการทดลอง

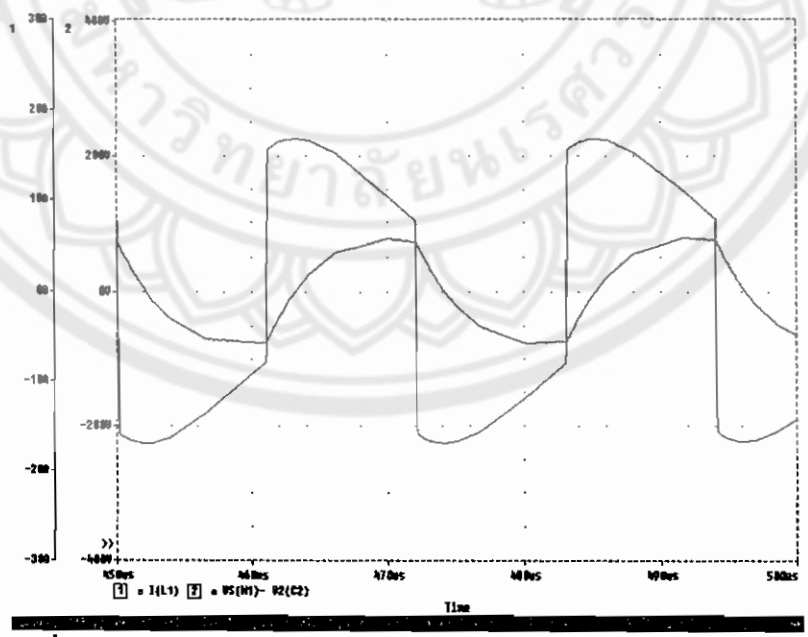


รูปที่ 4.11 ลูกคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลดและกระแสโหลดของหม้อตราพระอาทิตย์ 16 cm ที่ได้จากการ simulate

รูปคลื่นแรงดันที่ตกคร่อมโหลดและกระแสโหลดเปรียบเทียบกับการนำค่าที่วัดพารามิเตอร์ต่างแล้วนำไป Simulate จากโปรแกรม PSPICE โดยใช้หม้อตราพระอาทิตย์ขนาด 20 cm



รูปที่ 4.12 ลูกคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลดและกระแสโหลดของหม้อตราพระอาทิตย์ 20 cm ที่ได้จากการทดลอง



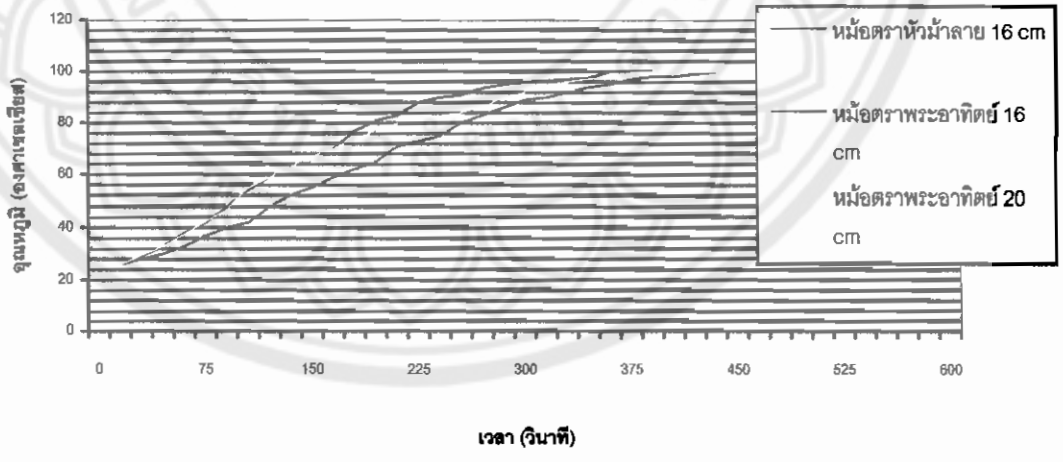
รูปที่ 4.13 ลูกคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลดและกระแสโหลดของหม้อตราพระอาทิตย์ 20 cm ที่ได้จากการ simulate

การทดลองวัดอุณหภูมิของน้ำที่ได้จากการใช้หม้อหุงต้มเหนียวนำความถี่สูงโดยใช้ความถี่ที่ 43.67 KHz ต้มน้ำ 0.5 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง 26 C° อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 26 C°ที่แรงดัน 300 vdc กระแส 3.2 A

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบระยะเวลาในการเดือดและอุณหภูมิของหม้อแต่ละชนิด

TIME (SECOND)	หม้อตราหัวม้าลาย ขนาด 16 cm	หม้อตราพระอาทิตย์ ขนาด 16 cm	หม้อตราพระอาทิตย์ ขนาด 20 cm
0	26	26	26
15	26	26	26.5
30	29	28	29.5
45	33	30	33
60	38	33	37.5
75	42	37	42.5
90	48	40	47
105	54	42	55
135	63	52	63
150	67	55	67
165	70	59	70
180	77	62	74
195	81	65	77
210	83	71	80
225	88	73	82.5
240	90	75	83
255	91	80	84
270	93.5	83	86
285	95	86	90
300	96	89	92
315	96.5	90	95
330	97	92	96
345	97.5	94	97
360	100	95	98

TIME (SECOND)	หม้อตราหัวม้าลาย ขนาด 16 cm	หม้อตราพระอาทิตย์ ขนาด 16 cm	หม้อตราพระอาทิตย์ ขนาด 20 cm
375	100	97	99.5
390	100	98	100
405	100	98	100
420	100	99	100
435	100	100	100
450	100	100	100
465	100	100	100
480	100	100	100
495	100	100	100
510	100	100	100
525	100	100	100
540	100	100	100



รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำ ที่ใช้หม้อแต่ละชนิดต้ม โดยปริมาณน้ำเท่ากัน คือ 0.5 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง 26 องศาเซลเซียส ความถี่ 30 kHz แรงดัน 300 Vdc

จากการเปรียบเทียบอุณหภมิของน้ำแล้วทำให้ผู้ทดลองสามารถทราบได้ว่าภาชนะตราหัวม้าลายขนาด 16cm สามารถทำให้อุณหภมิของน้ำถึงจุดเดือดเร็วที่สุดจึงใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของภาชนะตราหัวม้าลายขนาด 16cm เป็นหลักในการออกแบบ

การทดลองปรับอุณหภูมิมีการปรับได้ 2 แบบคือปรับที่แรงดันและปรับด้วยความถี่ ผู้ทดลองเลือกการปรับที่ความถี่เนื่องจากคอนโทรลได้ง่ายและ Saturate แต่การลดอุณหภูมินั้นวงจรที่ได้ออกแบบมานั้นต้องเพิ่มความถี่เพราะจะได้เพิ่มค่าอิมพิแดนซ์ของวงจรทำให้กระแสและ Flux ลดลง

ดังนั้นการใช้ความถี่ในการสวิตชิ่งเดิมที่ 45 KHz แล้วต้องเพิ่มความถี่ขึ้นไปอีกจะเป็นผลเสียต่อมอสเฟตเนื่องสวิตชิ่งที่ความถี่สูงมากเกินไป ผู้ทดลองจึงออกแบบความถี่ที่ใช้ในการสวิตชิ่งใหม่โดยได้คำนึงถึงกระแสที่จะไหลผ่านวงจรและขดลวดนั้นมอสเฟตและขดลวดทนได้หรือไม่ ความถี่ที่ออกแบบมาใหม่คือ 26 KHz ใช้ C Resonance 300 nF ซึ่งได้มาจากการคำนวณต่อไปนี้

การทดลองโดยใช้ความถี่ 26-45 KHz ใช้ C Resonance 300 nF ที่แรงดัน 311 V กระแสจะมีค่าประมาณ 5 A ที่ 26 KHZ แต่ทดลองออกแบบระบบป้องกัน Over Current ที่ 5 เท่านั้นอีกทั้งจะทำให้มอสเฟตร้อนเกินไปอาจจะทนไม่ไหวเมื่อใช้เวลาต้มนานๆ จึงต้องเพิ่มความถี่ขึ้นเป็น 30 –45 KHzใช้ C Resonance 300 nF ที่แรงดัน 311 V กระแสจะมีค่าประมาณ 3 Aที่ 30 KHZ มอสเฟตไม่ร้อนเกินไปและทนกับความร้อนไหวเมื่อใช้เวลาต้มนานๆ

รูปคลื่นแรงดันที่ตกคร่อมโหลดและกระแสโหลดเปรียบเทียบกับการนำค่าที่วัดพารามิเตอร์ต่างแล้วนำไป Simulate จากโปรแกรม PSPICE โดยใช้หม้อชนิดต่างๆมีดังนี้ที่ใช้ความถี่ในการต้ม 30 kHz การทดลองวัดอุณหภูมิของน้ำที่ได้จากการใช้หม้อหุงต้มเหนียวนำความถี่สูงโดยใช้ความถี่ที่ 30 kHz ต้มน้ำ 0.5 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง 26 C^{o} อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 26 C^{o}ที่แรงดัน 300 vdc กระแส 3A

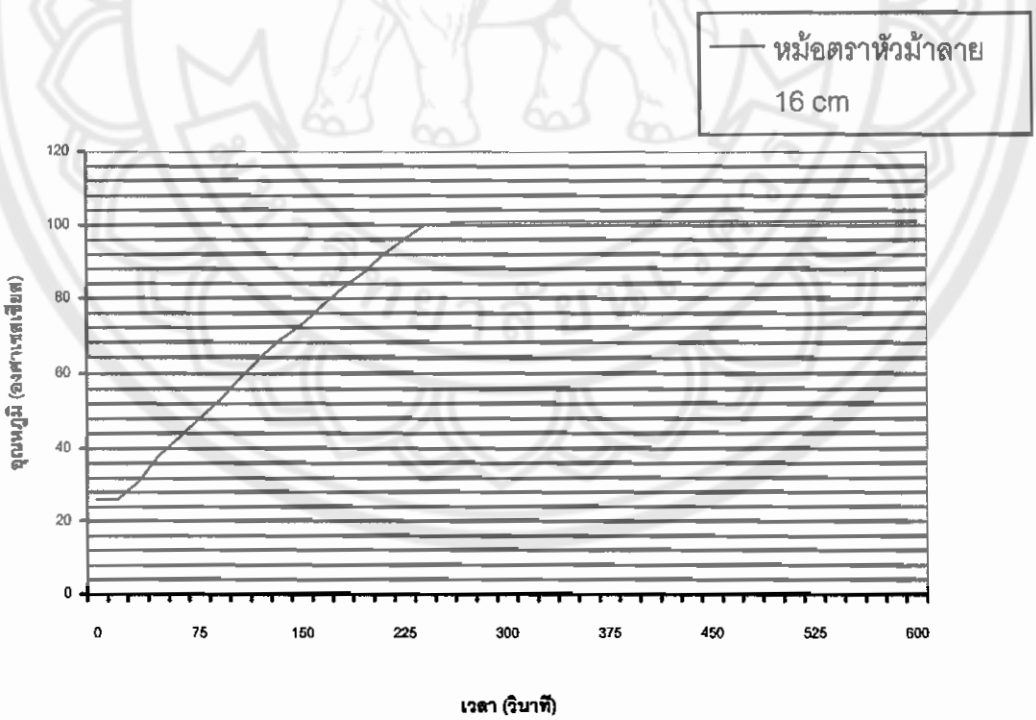
ตารางที่ 4.7 อุณหภูมิของน้ำที่ต้มด้วยหม้อตราหัวม้าลาย ขนาด 16 cmโดยต้มน้ำ 0.5 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง 26 ^{o}C ที่ความถี่ 30 kHz แรงดัน 300Vdc และกระแส 3 A

TIME (SECOND)	หม้อตราหัวม้าลาย ขนาด 16 cm
0	26
15	26
30	31
45	38
60	43

TIME (SECOND)	หม้อตราหัวม้าลาย ขนาด 16 cm
75	48
90	53
105	59
120	64
135	69
150	73
165	78
180	83
195	87
210	92
225	96
240	100
255	100
270	101
285	101
300	101
315	101
330	101
345	101
360	101
375	101
390	101
405	101
420	101
435	101
450	101
465	101
480	101
495	101

TIME (SECOND)	หม้อตราหัวม้าลาย ขนาด 16 cm
510	101
525	101
540	101
555	101
570	101
585	101
600	101

ส่วนการทดลองหม้อตราพระอาทิตย์ขนาด 16 cm ต้มน้ำ 0.5 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง 26 C° อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 26 C°ที่แรงดัน 300 vdc กระแส 2 A ปรากฏว่าเกิดเสียงดังที่หม้อจึงหยุดการทดลอง

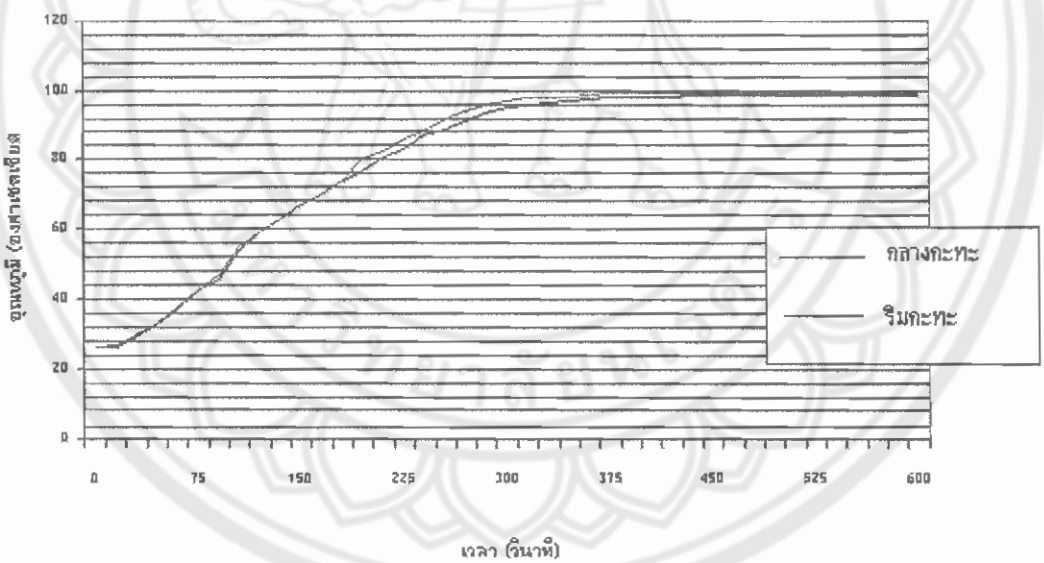


รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำและระยะเวลาในการต้มโดยใช้หม้อตราหัวม้าลายขนาด 16 cm ต้มน้ำ 0.5 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง 26 °C 30 kHz แรงดัน 311 Vdc

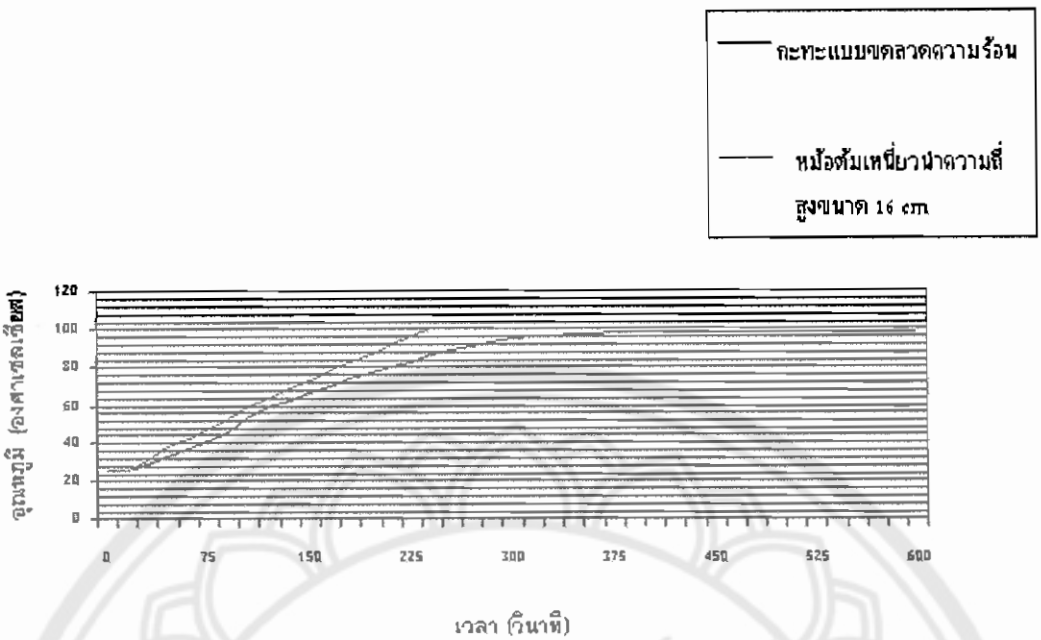
ตารางที่ 4.8 อุณหภูมิของน้ำที่ต้มด้วยการใช้กะทะไฟฟ้าแบบขดลวดความร้อนขนาด 1000วัตต์ ต้มน้ำ 0.5 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง 26 C° อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 26 C°

TIME (SECOND)	Temp.C° ด้านริมกะทะ	Temp. C° ด้านกลางกะทะ
0	26	26
15	26	26.5
30	29	29.5
45	33	33
60	37	37.5
75	42	42.5
90	46	47
105	54	55
120	59	59
135	63	63
150	67	67
165	70.4	70
180	77	74
195	81	77
210	83	80
225	87	82.5
240	89	86
255	91	88.5
270	93.5	92
285	95	94
300	96	96
315	96.5	97
330	97	98
345	97.5	98
360	98	98.5
375	98	99
390	98	99
405	98	99

TIME (SECOND)	Temp.C° ด้านริมกะทะ	Temp. C° ด้านกลางกะทะ
420	98	99
435	98	99
450	98	99
465	98	99
480	98	99
495	98	99
510	98	99
525	98.5	99
540	98.5	99
555	98.5	99



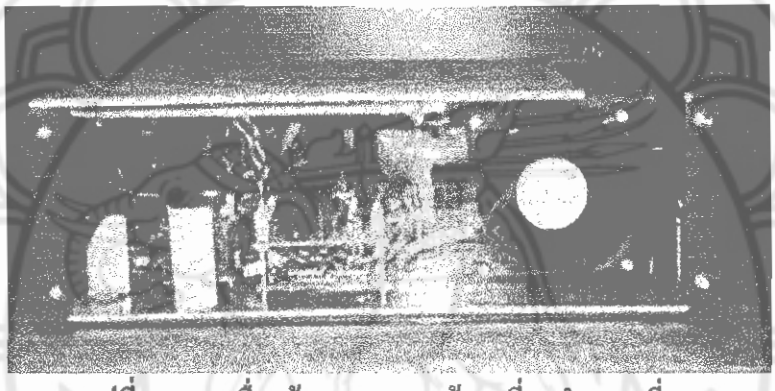
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำและระยะเวลาในการต้มโดยใช้กะทะไฟฟ้าขนาด 1000 วัตต์ ต้มน้ำ 0.5 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง 26 °C



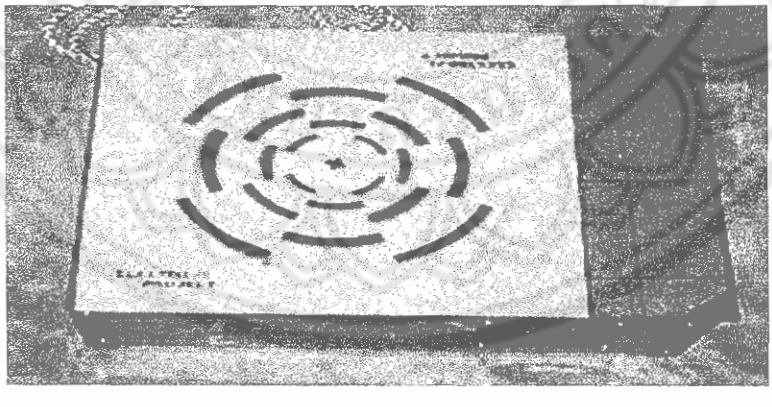
รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบระหว่างกะทะไฟฟ้ากับหม้อต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงขนาด 1000 วัตต์ และ 930 วัตต์ ตามลำดับ ที่ใช้ต้มน้ำ 0.5 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง 26 C°

รูปที่ 4.18 วงจรต้นแบบของวงจรคอนโทรล และวงจรเพาเวอร์ของหม้อต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง

รูปที่ 4.19 วงจรต้นแบบของขดลวดเหนี่ยวนำ



รูปที่ 4.20 เครื่องต้นแบบเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง



รูปที่ 4.21 แผ่นฉนวนซึ่งใช้เป็นระยะแก็ป ความหนา 4 มิลลิเมตร ระหว่างหม้อกับขดลวด