



เตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงสำหรับระบบไฟกระแสตรงแรงดันต่ำ

HIGH FREQUENCY INDUCTION COOKING

FOR LOW DC VOLTAGE APPLICATION

นายจักรพันธ์	เอี่ยมศิริรักษ์	รหัส 45362712
นายชัยวัฒน์	นมเนย	รหัส 45362738
นายณัฐพล	ถาวรกุล	รหัส 45362753
นายโชติชัย	สลีอ่อน	รหัส 45363306

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 17 ส.ค. 2549
เลขทะเบียน..... 4900011
เลขเรียกหนังสือ.....
มหาวิทยาลัยนเรศวร

15075634
ร.ร.
จ.จ.ม.
ด.จ.ร.
e.2

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2548



ใบรับรองโครงการวิศวกรรม

หัวข้อโครงการ	เตาหุงต้มเหนียวนำความถี่สูงสำหรับระบบไฟกระแสตรงแรงดันต่ำ		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายจักรพันธ์	เอี่ยมศิริรักษ์	รหัส 45362712
	นายชัยวัฒน์	นมเนย	รหัส 45362738
	นายณัฐพล	ถาวรกุล	รหัส 45362753
	นายโชติชัย	สลีอ่อน	รหัส 45363306
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2548		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้ โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ
(ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

.....กรรมการ
(ดร.สุรเชษฐ์ กานต์ประชา)

หัวข้อโครงการ	เตาหุงต้มเหนียวนำความถี่สูงสำหรับระบบไฟกระแสตรงแรงดันต่ำ		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายจักรพันธ์	เอี่ยมศิริรักษ์	รหัส 45362712
	นายชัยวัฒน์	นมเนย	รหัส 45362738
	นายถัฐพล	ถาวรกุล	รหัส 45362753
	นายโชคชัย	สลีอ่อน	รหัส 45363306
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2548		

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาและออกแบบสร้างเตาหุงต้มเหนียวนำความถี่สูงสำหรับระบบไฟกระแสตรงแรงดันต่ำ วัตถุประสงค์หลักของโครงการนี้คือออกแบบเตาหุงต้มเหนียวนำความถี่สูงในระบบไฟกระแสตรงแรงดันต่ำสำหรับประยุกต์ใช้ในระบบพีวี

วงจรพูลบริจด์อินเวอร์เตอร์ถูกใช้ในวงจรกำลังและไมโครโปรเซสเซอร์ถูกใช้ในการสร้างสัญญาณต่าง ๆ ซึ่งผลลัพธ์จากโครงการนี้แสดงให้เห็นว่าการสร้างความร้อนจากเตาหุงต้มเหนียวนำความถี่สูงนี้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการใช้งานจริง

Project title	HIGH FREQUENCY INDUCTION COOKING FOR DC LOW VOLTAGE APPLICATION		
Name	Mr. Juckapun	Iamsirirak	ID. 45362712
	Mr. Chaiwat	Nomnoey	ID. 45362738
	Mr. Nutthapon	Thawonkul	ID. 45362735
	Mr. Chotchai	Salagoon	ID. 45363306
Project advisor	Dr. Somyot	Kiattivanichvilai	
Major	Electrical Engineering		
Department	Electrical and Computer Engineering		
Academic year	2005		

.....

ABSTRACT

This project studies a design of high frequency induction cooking for low dc voltage application. The main purpose of this project is the design of induction cooking in low voltage for some applications such as PV systems.

Full bridge inverter circuit is implemented in power circuit and microprocessor is used for signal generations, The results show the heat generation from a developed induction cooking which practical work.

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการวิจัย	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่ออังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบข่ายของโครงการ	2
1.4 แผนการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 งบประมาณของโครงการ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า และวงจรอินเวอร์เตอร์	4
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า	4
2.1.1 สนามแม่เหล็ก	4
2.1.2 สนามแม่เหล็กรอบตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหล	5
2.1.3 สนามแม่เหล็กในขดลวด	5
2.2 วงจรอินเวอร์เตอร์	6
2.2.1 วงจรแปลงผันกระแสตรงเป็นกระแสสลับหรืออินเวอร์เตอร์	6
2.2.2 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เต็ม	6

สารบัญ (ต่อ)

2.3 หม้อแปลงไฟฟ้า	7
2.3.1 หลักการทำงานของหม้อแปลง	7
2.3.2 กำลังไฟฟ้าในหม้อแปลงอุดมคติ	10
2.3.3 หม้อแปลงใช้งานจริง	10
2.3.4 โวลต์เตจเรกกูเรชั่นและประสิทธิภาพ	13
บทที่ 3 การออกแบบโครงงานและวิเคราะห์วงจร	15
3.1 วงจรขับเคลื่อน โดยใช้ หลักการ Bootstrap	15
3.2 วงจรฟูลบริดจ์เรกติไฟเออร์	15
3.3 การผันขดลวดเหนี่ยวนำ	16
3.4 การวิเคราะห์วงจรโดยใช้โปรแกรม PSPICE VERSION 9.1	17
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	21
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	33
เอกสารอ้างอิง	35
ภาคผนวก	36
ประวัติผู้ทำโครงงาน	57

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	2
3.1	18
(ก-1) บันทึกผลการทดลองจากแปลค่าความถี่เท่ากับ 20 kHz ที่สภาวะแรงดัน 93 V. อุณหภูมิห้อง 31 °C	38
(ก-2) บันทึกผลการทดลองจากแปลค่าความถี่เท่ากับ 30 kHz ที่สภาวะแรงดัน 93 V. อุณหภูมิห้อง 31 °C	40
(ก-3) บันทึกผลการทดลองจากแปลค่าความถี่เท่ากับ 41.67 kHz ที่สภาวะแรงดัน 93 V. อุณหภูมิห้อง 31 °C	42
(ก-4) บันทึกผลการทดลองจากแปลค่าความถี่เท่ากับ 50 kHz ที่สภาวะแรงดัน 93 V. อุณหภูมิห้อง 31 °C	44
(ก-5) บันทึกผลการทดลองจากแปลค่าความถี่เท่ากับ 62.5 kHz ที่สภาวะแรงดัน 93 V. อุณหภูมิห้อง 31 °C	46
(ก-6) บันทึกผลการทดลองจากแปลค่าความถี่เท่ากับ 71.4 kHz ที่สภาวะแรงดัน 93 V. อุณหภูมิห้อง 31 °C	48
(ก-7) บันทึกผลการทดลองจากแปลค่าความถี่เท่ากับ 83kHz ที่สภาวะแรงดัน 93 V. อุณหภูมิห้อง 31 °C	50
(ก-8) บันทึกผลการทดลองจากแปลค่าความถี่เท่ากับ 100 kHz ที่สภาวะแรงดัน 93 V. อุณหภูมิห้อง 31 °C	52

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ตัวอย่างเตาหุงต้มเหนียวนำความถี่สูง	1
2.1 สนามแม่เหล็กรอบๆ แท่งแม่เหล็ก	4
2.2 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า	5
2.3 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เต็ม	6
2.4 หลักการทำงานของหม้อแปลง (ก)	7
2.4 หลักการทำงานของหม้อแปลง (ข)	8
2.5 เวกเตอร์ไดอะแกรมของหม้อแปลงเมื่อไร้โหลด	11
2.6 ขณะที่ mutual flux ลดลง	12
2.7 ฟลักซ์ในแกนแม่เหล็กจึงเหลือเพียง mutual flux	12
2.8 ค่าความต้านทาน R_1 และ R_2 ของขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง	13
2.9 วงจรหม้อแปลง เมื่อย้ายค่าความต้านทานจากด้านทุติยภูมิไปไว้ทางด้านปฐมภูมิ	14
2.10 วงจรหม้อแปลง เมื่อย้ายค่าความต้านทานจากปฐมภูมิไปไว้ทางด้านทุติยภูมิ	14
3.1 วงจรขับเคลื่อน (Gate Driver) โดยใช้ หลักการ Bootstrap	15
3.2 วงจรพูลบริดจ์เรกติไฟเออร์	15
3.3 แสดงการสร้างวงจร โดยใช้โปรแกรม Schematic	17
3.4 แสดงรูปของสัญญาณพัลส์ ที่ใช้ควบคุมการทำงานของ MOSFET แต่ละตัว (V1-V4)	18
3.5 วิธีการวิเคราะห์	19
3.6 แสดงแรงดันด้านออกที่ตกคร่อมตัวต้านทานและขดลวดเหนียวนำ	20
3.7 แสดงแรงดันด้านออกที่ตกคร่อมตัวต้านทานและขดลวดเหนียวนำ โดยตั้งค่าเดด ไทม์ 2 μ s	20
4.1 เตาหุงต้มเหนียวนำความถี่สูงที่ใช้ทำการทดลอง	21
4.2 สัญญาณจาก PIC877 เข้าที่ขา High ของ IR 2110	22
4.3 สัญญาณจาก PIC877 เข้าที่ขา LOW ของ IR 2110	22
4.4 สัญญาณที่ขาออกของมอสเฟตซึ่งใช้จ่าย โหลด	23
4.5 สัญญาณที่ขาออกของมอสเฟตซึ่งใช้จ่าย โหลด (จาก โปรแกรม Pspice)	23
4.6 สัญญาณที่ขาออกของมอสเฟตซึ่งมีการนำขดลวดมาต่อในวงจร	24
4.7 สัญญาณที่ขาออกของมอสเฟตขณะนำหม้อสแกนแลสมวางบนขดลวด	24

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับเวลาที่ค่าความถี่ 20 kHz	25
4.9 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับเวลาที่ค่าความถี่ 30 kHz	26
4.10 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับเวลาที่ค่าความถี่ 41.67 kHz	26
4.11 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับเวลาที่ค่าความถี่ 50 kHz	27
4.12 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับเวลาที่ค่าความถี่ 62.5 kHz	28
4.13 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับเวลาที่ค่าความถี่ 71.4 kHz	28
4.14 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับเวลาที่ค่าความถี่ 83 kHz	29
4.15 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับเวลาที่ค่าความถี่ 100 kHz	30



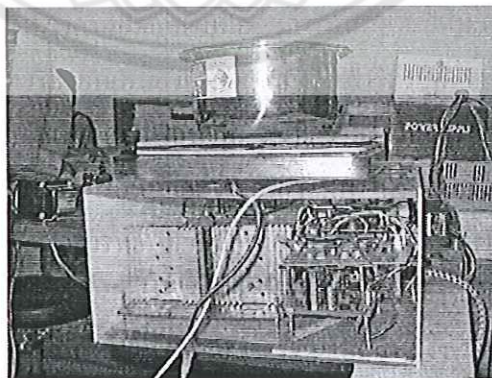
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

วิถีชีวิตของคนไทยในปัจจุบันเปลี่ยนแปลงไปมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องอาหารการกิน ดังนั้น รูปแบบการใช้เตาหุงต้มจึงมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย กลายเป็นการใช้เพื่ออุ่นอาหารเป็นหลัก ความสะดวกในการใช้ รูปแบบของการประกอบอาหาร รวมทั้งแนวโน้มของราคาเชื้อเพลิงหรือแหล่งพลังงานที่ใช้ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการใช้เตาหุงต้มในรูปแบบต่างๆ แล้ว ดูเหมือนว่าการใช้เตาไฟฟ้าค่อนข้างสะดวกในการใช้ เพราะเพียงแค่เสียบปลั๊กไฟก็ใช้งานได้ทันที และยังเป็นพลังงานที่สะอาด เหตุที่เราเลือกเตาไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำนั้นเพราะมีการใช้เวลาน้อยกว่าเตาทั่วไปที่กระจายความร้อนจากตรงกลางออกไป แต่เตาหุงต้มแบบเหนี่ยวนำนั้นจะกระจายความร้อนพร้อมกันทั่วทั้งแผ่นภาชนะ

ในปัจจุบันมีความก้าวหน้าทางด้านอิเล็กทรอนิกส์อย่างมาก โดยได้มีการพัฒนาวงจรรินเวอร์เตอร์ ความถี่สูงที่สามารถถ่ายโอนความร้อนเหนี่ยวนำด้วยกำลังไฟฟ้าในระดับสูง ๆ โดยอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ อุปกรณ์สวิตช์บางชนิด เช่น มอสเฟต หรือ ไอบีจีที ซึ่งมีความไวในการสวิตช์สูง จะทำให้อุปกรณ์ในวงจรรินเวอร์เตอร์มีขนาดเล็กลงมีน้ำหนักเบาและจ่ายกำลังไฟฟ้าในระดับสูงขึ้น ได้ทำให้อินเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพสูงกว่าในอดีตมากจากการที่เตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงสำหรับระบบไฟกระแสสลับได้มีผู้ประดิษฐ์ขึ้นมาใช้กันอย่างแพร่หลาย คณะผู้จัดทำจึงเห็นว่าเราควรมีการพัฒนาเตาหุงต้มเหนี่ยวนำ ความถี่สูงสำหรับไฟกระแสตรงขึ้นมาเนื่องจากในอนาคตอันใกล้พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ จะเข้ามามีบทบาทในวิถีชีวิตของมนุษย์มากขึ้น เพื่อทดแทนพลังงานจำพวกน้ำมันและก๊าซธรรมชาติที่ใกล้จะหมดไปในอนาคตซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์นั้นเป็นไฟกระแสตรงที่เก็บสะสมพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ จึงเหมาะสมอย่างยิ่งกับเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงสำหรับระบบไฟกระแสตรงแรงดันต่ำ



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 สร้างต้นแบบเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง (High Frequency Induction Cooking) ซึ่งใช้กับหม้อสแตนเลส ขนาด 200 วัตต์
- 1.2.2 สามารถควบคุมอุณหภูมิของน้ำได้ และควบคุมความสม่ำเสมอของอุณหภูมิได้

1.3 ขอบข่ายของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงแบบฟูลบริดจ์ ทฤษฎีหม้อแปลงไฟฟ้า การพันขดลวดเหนี่ยวนำและวงจรควบคุม
- 1.3.2 สร้างวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงวงจรควบคุมและขดลวดเหนี่ยวนำให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
- 1.3.3 หม้อหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตได้ 200 วัตต์

1.4 แผนการดำเนินงาน

ตารางขั้นตอนการดำเนินโครงการตั้งแต่ เดือนพฤศจิกายน 2547 – ตุลาคม 2548

กิจกรรม	ปี2547		ปี2548										
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	
1. ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูล	←	→											
2. ออกแบบวงจร		←	→										
3. ทดลองต่อวงจรและทดสอบการทำงานของวงจร				←	→								
4. ตรวจสอบและแก้ไข จุดบกพร่องของงาน								←	→				
5. สรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่มโครงการ											←	→	

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ต้นแบบเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงได้ (High Frequency Induction Cooking) และสามารถนำไปใช้งานได้

1.5.2 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงแบบพูลบริดจ์ การพันขดลวดเหนี่ยวนำและวงจรควบคุม

1.5.3 เป็นแนวทางในการพัฒนาเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง (High Frequency Induction Cooking) เช่น กำหนดคุณทฤษฎี และเวลาที่ใช้ในการหุงต้ม ได้

1.6 งบประมาณของโครงการ

1.6.1 มอสเฟต	1,000	บาท
1.6.2 ตัวต้านทาน,ขดลวดเหนี่ยวนำ ,ตัวเก็บประจุ,แหล่งจ่ายไฟ DC	1,500	บาท
1.6.3 วัสดุและอุปกรณ์อื่น ๆ	1,500	บาท
รวม	4,000	บาท



บทที่ 2

ทฤษฎีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าและวงจรอินเวอร์เตอร์

ทฤษฎีที่นำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบเพื่อสร้างเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงคือทฤษฎีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า หม้อแปลงและวงจรอินเวอร์เตอร์ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า

ในปี 1831 Faraday ได้ทำการทดลองและค้นพบความจริงเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวดอันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงผ่านขดลวดนั้นไปมา ซึ่งหลังจากนี้ไม่นาน Lenz ได้ทำการศึกษาและสรุปเป็นกฎไว้ ดังต่อไปนี้

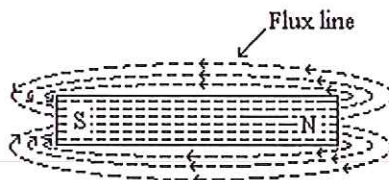
กฎข้อที่ 1 Lenz's Law กล่าวว่า “ในวงจรปิดใดๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงการไหลของกระแสในวงจร ย่อมทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นในวงจรมานั้น โดยแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรมีทิศทางตรงกันข้ามกับการเปลี่ยนแปลงการไหลของกระแสในวง” [1]

กฎข้อที่ 2 Faraday's Law กล่าวว่า “การเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างปลายของขดลวดหรือ Loop อันหนึ่งนั้นเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กที่ล้อมรอบขดลวดนั้น ๆ หรือการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างปลายของแท่งตัวนำอันหนึ่งนั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการที่ตัวนำตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็กนั้นๆ ต่อหนึ่งหน่วยเวลา” [1]

$$V = L \frac{di}{dt} \quad (2.1)$$

2.1.1 สนามแม่เหล็ก (Magnetic field)

บริเวณรอบ ๆ แท่งแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet) จะมีเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Flux Lines) กระจายอยู่รอบๆ โดยวิ่งจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ของแท่งแม่เหล็ก บริเวณที่มีแรงแม่เหล็กนี้เรียกว่า “สนามแม่เหล็ก (Magnetic Field)” โดยความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Strength) ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อบริเวณพื้นที่ การวัดสนามแม่เหล็กจะใช้การวัดจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อพื้นที่หน้าตัดที่สนามแม่เหล็กผ่าน



รูปที่ 2.1 สนามแม่เหล็กรอบๆ แท่งแม่เหล็ก [1]

ซึ่งจะได้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic flux density) เท่ากับ

$$B = \frac{\phi}{A} \quad (2.2)$$

เมื่อ

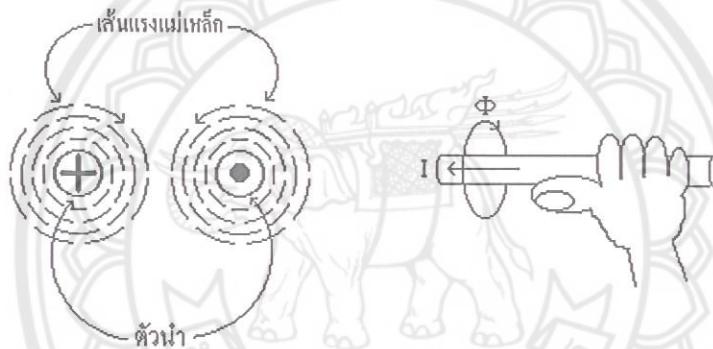
B คือ ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic flux density) มีหน่วยเป็น Tesla (T)

ϕ คือ ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux) มีหน่วยเป็น Webber (wb)

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่เส้นแรงแม่เหล็กวิ่งผ่าน มีหน่วยเป็น square meter (m^2)

2.1.2 สนามแม่เหล็กรอบตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหล

ถ้ามีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำ (Conductor) จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆ ตัวนำนั้น ลักษณะนี้เรียกว่า “แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnet)”



รูปที่ 2.2 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า [1]

Ampere's Right – Hand Rule เป็นกฎที่ทำให้ทราบทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน โดยให้นิ้วหัวแม่มือชี้ทิศทางกระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำ และนิ้วที่เหลือทั้งสี่นิ้ว จะแสดงทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบตัวนำนั้น

2.1.3 สนามแม่เหล็กในขดลวด

ถ้ามีขดลวดที่มีจำนวนรอบ 1 รอบ และมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กในทิศทางดังรูปที่ 2.2 ซึ่งจะเห็นว่า เส้นแรงแม่เหล็กมีทิศพุ่งออกผ่านศูนย์กลางของขดลวด ถ้าขดลวดมีจำนวนรอบมากลักษณะทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะเป็นดังรูปที่ 2.2 ซึ่งทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กทราบได้จากกฎมือขวา Cork's Screw Rule ดังรูปที่ 2.2 โดยนิ้วทั้งสี่ชี้ทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวด ส่วนนิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก

2.2 วงจรอินเวอร์เตอร์(Inverter)

2.2.1 วงจรแปลงผันกระแสตรงเป็นกระแสสลับหรือวงจรอินเวอร์เตอร์ (Dc to Ac inverter)

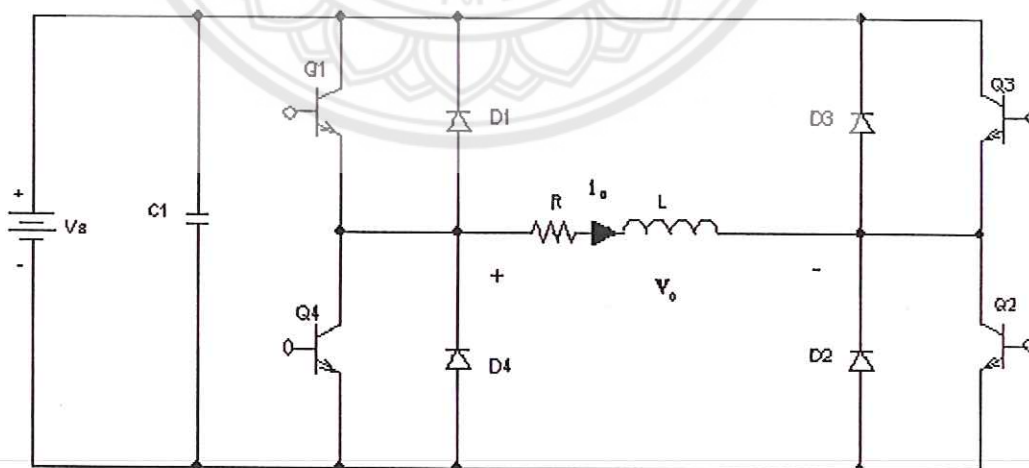
วงจรแปลงผันกระแสตรงเป็นกระแสตรงหรืออินเวอร์เตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแรงดันอินพุตกระแสตรงเป็นแรงดันเอาต์พุตกระแสสลับที่มีขนาดและความถี่ตามต้องการ นั่นคือทั้งแรงดันเอาต์พุตและความถี่สามารถปรับได้ อินพุตของวงจรอินเวอร์เตอร์เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งอาจ เป็นได้ทั้งแบตเตอรี่, เซลเชื้อเพลิง, โซลาร์เซลล์หรือแหล่งจ่ายกระแสตรง อื่น ๆ เอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

- เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว ตัวอย่างเช่น 120 V ที่ 60 Hz
- เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ตัวอย่างเช่น 220/380 V ที่ 50 Hz

ในทางปฏิบัติรูปคลื่นเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์มักประกอบด้วยแรงดันความถี่มูลฐานและฮาร์โมนิกทำให้รูปคลื่นรวมไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ การลดฮาร์โมนิก หรือทำให้มีค่าต่ำสุดทำได้โดยใช้เทคนิคในการสวิตช์และวงจรฟิลเตอร์ที่เหมาะสม วงจรอินเวอร์เตอร์ใช้มากในอุตสาหกรรม เช่น การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสสลับที่ปรับความเร็วได้, เครื่องทำความร้อนแบบเหนี่ยวนำ(Induction Heating) , แหล่งจ่ายกำลังไฟสำรอง เป็นต้น วงจรที่ได้ใช้จะมีหลายแบบ อย่างไรก็ตามในโครงการนี้เลือกใช้ วงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เต็ม (Full Bridge Inverters)

2.2.2 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เต็ม (Full bridge inverters)

วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้มักจะใช้ทรานซิสเตอร์กำลังหรือมอสเฟตกำลังเป็นสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ทั้งนี้เพราะการหยุดนำกระแสหรือการปิดทรานซิสเตอร์ ทำได้โดยง่ายอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เต็ม ประกอบด้วย ขอปเปอร์ 4 ตัว ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เต็ม [2]

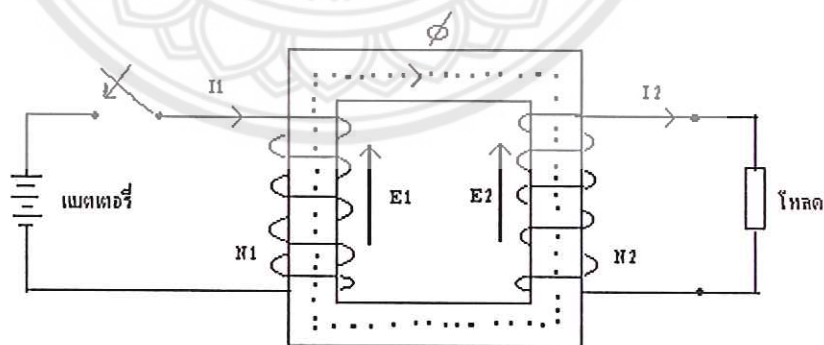
เมื่อทรานซิสเตอร์ Q_1 ทำงานและ Q_2 ทำงานในเวลาเดียวกัน จะเกิดแรงดันอินพุต (V_s ตกรวมโพล) ถ้าทรานซิสเตอร์ Q_3 และ Q_4 ทำงานในเวลาเดียวกัน แรงดันตกรวมโพลจะกลับขั้วเป็น $-V_s$ จากรูปที่ 2.5 ขณะทรานซิสเตอร์แต่ละคู่ปิด จะเกิดแรงดันย้อนกลับมีค่าเป็น V_s เราจึงเรียก อินเวอร์เตอร์นี้ว่า อินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เต็ม (Full Bridge Inverters) ไดโอด $D_1, D_2, D_3,$ และ D_4 ทำหน้าที่เป็นไดโอดป้อนกลับ(Feed Back) ในกรณีที่โพลเป็นตัวเหนี่ยวนำ

2.3 หม้อแปลงไฟฟ้า (Tranfomer)

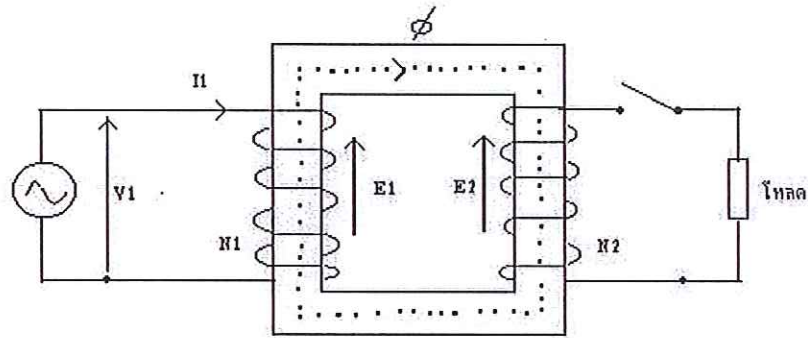
หม้อแปลงเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ใช้ถ่ายโอน(Transfer) พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับจากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่ง โดยความถี่ไม่เปลี่ยนแปลงแต่เป็นการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นหรือลดต่ำลงได้ตามต้องการหม้อแปลงที่มีแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิสูงกว่าด้านทุติยภูมิ เรียกว่า หม้อแปลงเพิ่มลด ถ้าแรงดันด้านปฐมภูมิต่ำกว่าด้านทุติยภูมิ เรียกว่าหม้อแปลงเพิ่มแรงดัน หม้อแปลงที่มีแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิเท่ากับด้านทุติยภูมิ เรียกว่า หม้อแปลงหนึ่งต่อหนึ่ง (One to one transformer)

2.3.1 หลักการทำงาน

เราสามารถอธิบายหลักการทำงานหรือพฤติกรรมของหม้อแปลงได้โดยใช้หม้อแปลงในรูปที่ 2.4 ก. ซึ่งมีขดลวดที่ 1 ต่อกับแบตเตอรี่โดยต่อผ่านสวิตช์และขดลวดที่ 2 ต่อกับตัวความต้านทานหนึ่งตัวในขณะที่สวิตช์ปิดวงจรจะมีกระแสไหลผ่านขดลวดที่ 1 สร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้นในแกนเหล็ก โดยมีทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กในทิศทางตามเข็มนาฬิกาจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดแต่ละขดซึ่งจะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับจำนวนรอบของขดลวด และอัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กที่ตัดผ่านขดลวดแต่ละขด (สมมติว่าไม่มี leakage flux) ด้วยเส้นแรงแม่เหล็กจำนวนเดียวกัน (เรียกว่า mutual flux)



รูปที่ 2.4 (ก) หลักการทำงานของหม้อแปลง [3]



รูปที่ 2.4 (ข) หลักการทำงานของหม้อแปลง [3]

จากรูปที่ 2.4 (ก) เมื่อวงจรขดลวดปฐมภูมิต่อกับแบตเตอรี่เพื่อใช้ประกอบอธิบายพฤติกรรมของหม้อแปลงและจากรูปที่ 2.4 (ข) เมื่อวงจรขดลวดปฐมภูมิต่อกับแหล่งจ่ายไฟ เอ.ซี. (Sinusoidal source) และวงจรขดลวดทุติยภูมิเป็นวงจรเปิด แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดที่ 1 คือ

$$e_1 = N_1 \frac{v\phi}{vt} \quad (2.3)$$

และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดขดที่ 2 คือ

$$e_2 = N_2 \frac{v\phi}{vt} \quad (2.4)$$

เมื่อ

N_1 = จำนวนรอบขดลวดขดที่ 1

N_2 = จำนวนรอบขดลวดขดที่ 2

จะเห็นว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสของขดลวดทุติยภูมิในรูปที่ 2.4(ก.) เกิดขึ้นในขณะที่ mutual flux เปลี่ยนแปลง (ขณะสับสวิทช์ปิดวงจร) เมื่อ mutual flux คงที่ (กระแสจากแบตเตอรี่คงที่) ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับศูนย์ และกระแส $i_2 = 0$ ด้วย

สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของหม้อแปลง (E.M.F. equation)

ให้ N_1 = จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ

N_2 = จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ

$P_0 = V_1 I_0 \cos \phi_0 =$ ค่าสูงสุดของฟลักซ์ ในแกนหม้อแปลงเป็นเวเบอร์ (Weber)

$$\phi_m = B_m A \quad (2.5)$$

เมื่อ

$B_m =$ ค่าสูงสุดของความหนาแน่นของฟลักซ์ในแกนหม้อแปลงเป็นเวเบอร์/ม.²

หรือ เทสลา (Tesla)

$A =$ พื้นที่หน้าตัดของแกนหม้อแปลงเป็น ม.²

$f =$ ความถี่ของแรงดันไฟฟ้า V_1 เป็น Hz

ค่า r.m.s. ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดปฐมภูมิ

$=$ (แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ / รอบ) X จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ

$$E_1 = 4.44 f N_1 \phi_m \quad \text{โวลต์} \quad (2.6)$$

หรือ

$$E_1 = 4.44 f N_1 B_m A \quad \text{โวลต์} \quad (2.7)$$

ในทำนองเดียวกัน

ค่า r.m.s. ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดทุติยภูมิ

$$E_2 = 4.44 f N_2 \phi_m \quad \text{โวลต์} \quad (2.8)$$

หรือ

$$E_2 = 4.44 f N_2 B_m A \quad \text{โวลต์} \quad (2.9)$$

อัตราส่วนแรงดันของหม้อแปลง (Voltage transformation ratio), K

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1} = K \quad (2.10)$$

หรือ

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} = K \quad (2.11)$$

ค่าคงที่ K มีชื่อเรียกว่า "อัตราส่วนแรงดัน" หรือ "อัตราส่วนจำนวนรอบ" ของหม้อแปลง

2.3.2 กำลังไฟฟ้าในหม้อแปลงอุดมคติ

หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ หมายถึง หม้อแปลงที่ไม่มีการสูญเสียใดๆ เลย ดังนั้นกำลังอินพุตจะมีค่าเท่ากับกำลังเอาต์พุต ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{กำลังอินพุต (VA)} = \text{กำลังเอาต์พุต (VA)} \quad (2.12)$$

$$V_1 I_1 = V_2 I_2 \quad (2.13)$$

หรือ

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{K} \quad (2.14)$$

2.3.3 หม้อแปลงที่ใช้งานจริง (Actual transformer)

หม้อแปลงที่ใช้งานจริงแตกต่างจากหม้อแปลงในอุดมคติ เนื่องจากหม้อแปลงที่ใช้ในจริงย่อมต้องมีค่าความต้านทานในขดลวดทั้งสองชุด ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียในขดลวดทองแดง (Copper loss) การเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์ในแกนเป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก (Iron loss or Core loss) และการสูญเสียที่เกิดจากลัดวงจรฟลักซ์ เราสามารถพิจารณาการทำงานของหม้อแปลงที่ใช้งานจริง โดยไม่คำนึงถึงการสูญเสียที่เกิดจากลัดวงจรฟลักซ์เป็นสองกรณี

ก. หม้อแปลงเมื่อไร้โหลด (No-load)

ข. หม้อแปลงเมื่อมีโหลด (On-load)

หม้อแปลงเมื่อไร้โหลด (Transformer on no-load)

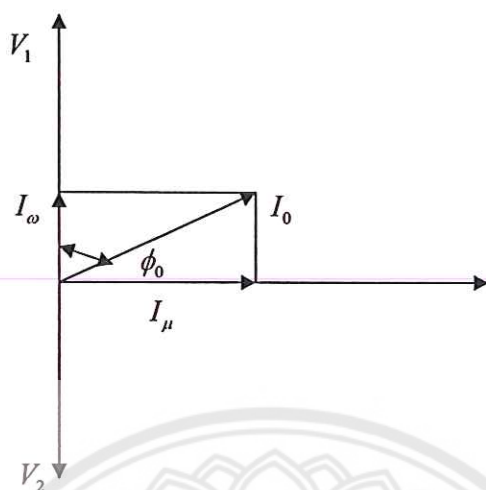
เมื่อจ่ายแรงดัน V_1 ให้กับหม้อแปลงที่ไม่โหลดต่ออยู่ หรือวงจรขดลวดทุติยภูมิเป็นวงจรเปิด กระแส I_0 ที่ไหลในขดลวดปฐมภูมิจะมีค่าน้อยมาก (เมื่อเทียบกับกระแสเมื่อหม้อแปลงจ่ายโหลดเต็มพิกัด) ดังนั้นการสูญเสียในขดลวดทองแดงด้านปฐมภูมีย่อมมีค่าน้อยด้วย (ไม่มีการสูญเสียในขดลวดทองแดงด้านทุติยภูมิ เนื่องจากเป็นวงจรเปิด) ดังนั้นเฟสเซอร์ของกระแสเมื่อไร้โหลดด้านปฐมภูมิ (No-load primary input current) I_0 จะล้าหลังแรงดันไฟฟ้า V_1 เป็นมุม ϕ_0 (เมื่อมุม $\phi_0 < 90^\circ$)

ดังนั้นกำลังอินพุตของหม้อแปลงเมื่อไร้โหลด จึงหาได้จาก

$$P_0 = V_1 I_0 \cos \phi_0 \quad (2.15)$$

เมื่อ $\cos \phi_0$ เป็นเพาเวอร์แฟกเตอร์เมื่อไร้โหลดด้านปฐมภูมิ

สภาวะการทำงานของหม้อแปลงที่ใช้ในงานจริง เมื่อไร้โหลด สามารถนำมาเขียนเป็นเวกเตอร์ไดอะแกรมดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เวกเตอร์ไดอะแกรมของหม้อแปลงเมื่อไร้โหลด จะสังเกตว่ากระแส [3]

ด้านปฐมภูมิเมื่อไร้โหลด I_0 ประกอบด้วยกระแสสองส่วนคือ I_w และ I_μ

- กระแสส่วนที่อินเฟสกับแรงดันไฟฟ้า V_1 เรียกว่า กระแสใช้งาน (Active or working current) หรือ กระแสที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก (I_w) รวมทั้งการสูญเสียในขดลวดทองแดงด้านปฐมภูมิ (Primary Copper loss) จำนวนน้อย

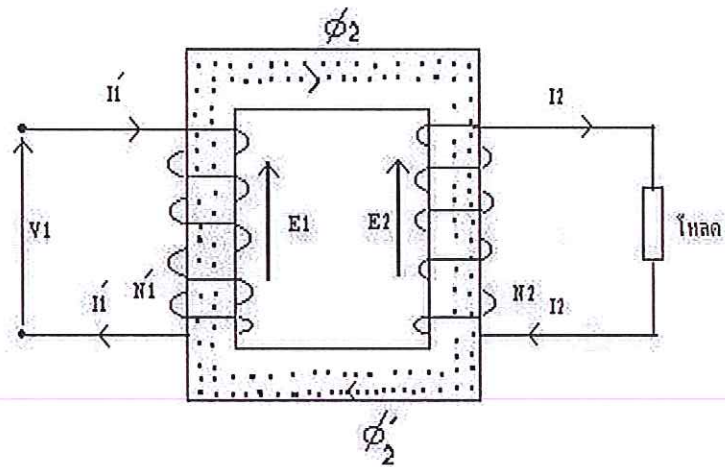
$$I_w = I_0 \cos \phi_0 \quad (2.16)$$

- กระแสส่วนที่ล่าหลัง หรือตั้งฉากกับแรงดันไฟฟ้า V_1 เรียกว่า กระแสสร้างฟลักซ์ (กระแสที่ทำให้เกิด mutual flux) หรือ กระแสแมกเนไตน์ " I_μ " กระแสส่วนนี้จะอินเฟสกับฟลักซ์และไม่ทำให้เกิดการสูญเสียใด ๆ ในหม้อแปลง

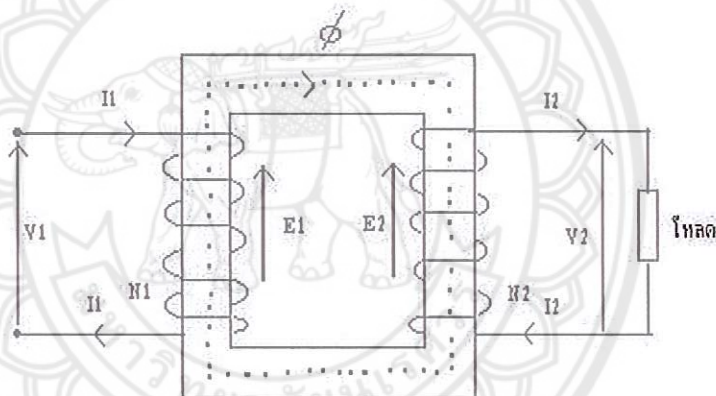
$$I_\mu = I_0 \sin \phi_0 \quad (2.17)$$

จากเวกเตอร์ไดอะแกรมจะสังเกตเห็นว่ากระแส I_0 คือผลบวกทางเวกเตอร์ของกระแส I_w และ I_μ ดังนั้น

$$I_0 = \sqrt{I_w^2 + I_\mu^2} \quad (2.18)$$



รูปที่ 2.6 ขณะที่ mutual flux ลดลง ทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้าน E_1 ลดลงเกิดกระแส I_2 โหลดเพิ่มขึ้นในขดลวดปฐมภูมิ สร้างฟลักซ์ ϕ_2' มีขนาดเท่ากันแต่มีทิศตรงข้ามกับฟลักซ์ ϕ_2 จึงหักล้างกันหมด [2]



รูปที่ 2.7 ฟลักซ์ในแกนแม่เหล็กจึงเหลือเพียง mutual flux [3]

นั่นหมายความว่า โหลดทางด้านทุติยภูมิจะเปลี่ยนแปลงไปเท่าใดก็ตาม ฟลักซ์ทั้งหมดในแกนแม่เหล็กหม้อแปลงยังคงมีค่าเท่าเดิม คือเท่ากับฟลักซ์ในสภาวะไร้โหลดด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นทำให้การสูญเสียในแกนเหล็กมีค่าคงที่ทุกสภาวะ โหลดด้วยเมื่อ $\phi_2 = \phi_2'$

$$N_2 I_2 = N_1 I_2' \quad (2.19)$$

$$I_2' = \frac{N_2}{N_1} \times I_2 \quad (2.20)$$

$$I'_2 = KI_2 \quad (2.21)$$

ดังนั้นในขณะที่หม้อแปลงจ่ายโหลดกระแสทางด้านปฐมภูมิจึงประกอบด้วยกระแสสองส่วนคือ กระแส I_0 และกระแส I_2' เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I_1 = I_0 + I_2 \quad (2.22)$$

รูปที่ 2.7 เมื่อโหลดเป็นความต้านทาน ซึ่งมีค่า p.f. = 1 ดังนั้นกระแสด้านทุติยภูมิ I_2 จึงอินเฟส กับ E_2 หรือ V_2 เป็นสาเหตุให้มีกระแสไหลเพิ่มขึ้นทางด้านปฐมภูมิ คือ I_2' ซึ่งมีเฟสตรงข้าม และมีขนาดเท่ากับ I_2 ($K=1$) ดังนั้นกระแสด้านปฐมภูมิ I_1 จึงเป็นผลบวกเวกเตอร์ของกระแส I_0 และ I_2 และ I_1 จะล่าหลังแรงดันไฟฟ้า V_1 เป็นมุม ϕ_1 ในรูป ข. เมื่อโหลดเป็นอินดักทีฟ ซึ่งมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ล่าหลังจึงทำให้กระแสด้านทุติยภูมิ I_2 ล่าหลัง E_2 เป็นมุม ϕ_2 จะมีกระแสเพิ่มขึ้นทางด้านปฐมภูมิ คือ I_2 เช่นเดิม ดังนั้นกระแส I_1 คือ ผลบวกทางเวกเตอร์ของ I_0 และ I_2 และเวกเตอร์ของ I_1 จะล่าหลัง V_1 เป็น มุม ϕ_1 เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างแอมแปร์-เทิร์นของขดลวดปฐมภูมิ และทุติยภูมิของหม้อแปลงเมื่อจ่ายโหลด (ถ้าไม่คำนึงถึง I_0) ได้ดังนี้

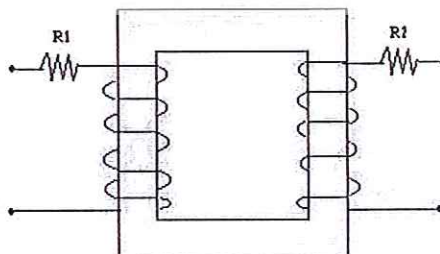
$$N_1 I_2 = N_1 I_1 = N_2 I_2 \quad (2.23)$$

$$\frac{I'_2}{I_2} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = K \quad (2.24)$$

2.3.4 โวลต์เตจเรกูเรชัน และประสิทธิภาพ (Voltage regulation and efficiency)

ค่าความต้านทานสมมูล (Equivalent resistance) ให้ R_1 = ความต้านทานของขดลวดด้านปฐมภูมิ

R_2 = ความต้านทานของขดลวดด้านทุติยภูมิ

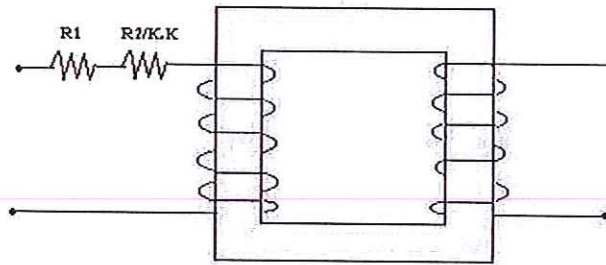


รูปที่ 2.8 แสดงค่าความต้านทาน R_1 และ R_2 ของขดลวดปฐมภูมิ

และขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง [3]

ค่าความต้านทานสมมูลย์ของหม้อแปลงที่ขลวดปฐมภูมิจะมีค่าเป็น R_{01} เมื่อ

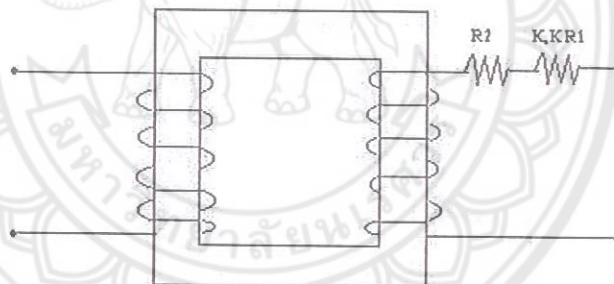
$$R_{01} = R_1 + R_2 / K^2 \quad (2.25)$$



รูปที่ 2.9 วงจรหม้อแปลง เมื่อย้ายค่าความต้านทานจากด้านทุติยภูมิไปไว้ทางด้านปฐมภูมิ

ค่าความต้านทานสมมูลย์ของหม้อแปลงที่ขลวดปฐมภูมิจะมีค่าเป็น R_{02} เมื่อ

$$R_{02} = R_2 + K^2 R_1 \quad (2.26)$$



รูปที่ 2.10 วงจรหม้อแปลง เมื่อย้ายค่าความต้านทานจากปฐมภูมิไปไว้ทางด้านทุติยภูมิ โดยมี R_{02} เป็นค่าความต้านทานทั้งหมดของหม้อแปลงที่ขลวดทุติยภูมิ

หลังจากที่ได้ศึกษาทฤษฎีบทที่ 2 แล้ว ต่อไปในบทที่ 3 จะกล่าวถึงการออกแบบและวิเคราะห์วงจร เพื่อสร้างเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง

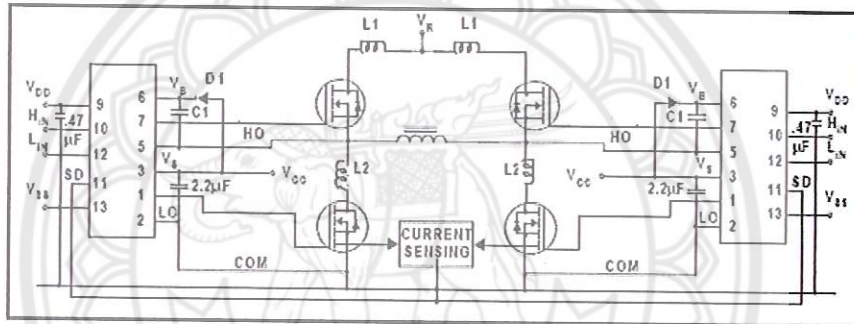
บทที่ 3

การออกแบบโครงงานและวิเคราะห์วงจร

การออกแบบโครงงานและการวิเคราะห์วงจร การออกแบบโครงงานนั้นจะกล่าวถึงการออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำ และวงจรควบคุมต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง และหลังจากนั้นจะทำการวิเคราะห์วงจรอินเวอร์เตอร์โดยใช้โปรแกรม Pspice ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

3.1 วงจรขับเคลื่อน (Gate driver) โดยใช้ หลักการ Bootstrap

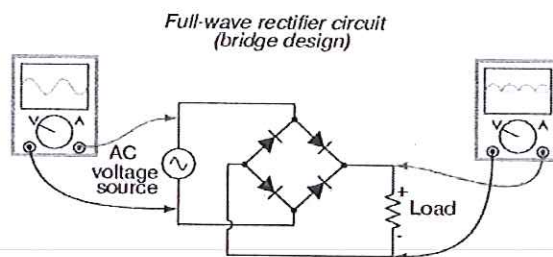
วงจรขับเคลื่อน (Gate Driver) ที่ทำจะใช้ หลักการ Bootstrap โดยหลักการของ Bootstrap คือ เมื่อมีแรงดันขนาดหนึ่งหน่วยจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านเข้ามาที่ไอซี IR 2110 ซึ่งแรงดันที่ผ่านเข้ามา จะถูกทำให้มีขนาดเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้เพียงพอต่อการนำไปใช้งาน เช่น การขับมอสเฟต เป็นต้น โดยทั้งนี้การต่อวงจรสามารถทำได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วงจรขับเคลื่อนโดยใช้ หลักการ Bootstrap [2]

3.2 วงจรฟูลบริดจ์เรกติไฟเออร์ (Full bridge rectifier)

หลักการทำงานคือ ทำการแปลงสัญญาณไฟจากรูปของไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรง โดยการต่อสัญญาณไฟกระแสสลับผ่านไดโอดบริดจ์เรกติไฟเออร์จะได้สัญญาณไฟกระแสตรงออกมา โดยทั้งนี้การต่อวงจรสามารถทำได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรฟูลบริดจ์เรกติไฟเออร์ [2]

3.3 การพันขดลวดเหนี่ยวนำ

ขดลวดเหนี่ยวนำเป็นตัวที่จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นไปตัดกับแผ่นตัวนำหรือหม้อ เพื่อทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่ผิวตัวนำหรือหม้อ

วิธีการพันขดลวด

1. ใช้ลวดอบน้ำยาเบอร์ 30 S.W.G.จำนวน 27 เส้นตีเกลียวเข้าด้วยกัน
2. พันเป็นวงจรรูปจาน(แบบ DISK) จำนวน 45 รอบ
3. เคลือบน้ำยาเพื่อให้คงรูปและเป็นฉนวน

หลังจากทำการพันขดลวดตามวิธีที่ได้กล่าวมาจะได้แผ่นขดลวดเหนี่ยวนำที่มีค่าประมาณ $300 \mu H$ แต่จะมีการคลาดเคลื่อนบ้างเนื่องมาจากการพันขดลวดมีการตีเกลียวและแต่ละรอบนั้นไม่สามารถที่จะพันขดลวดให้ชิดกันได้ทุกจุด จะเกิดเป็นช่องอากาศเล็กๆ ซึ่งจะมีผลต่อความยาวของเส้นลวดทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของค่าเหนี่ยวนำไปบ้างเล็กน้อย

หมายเหตุ:

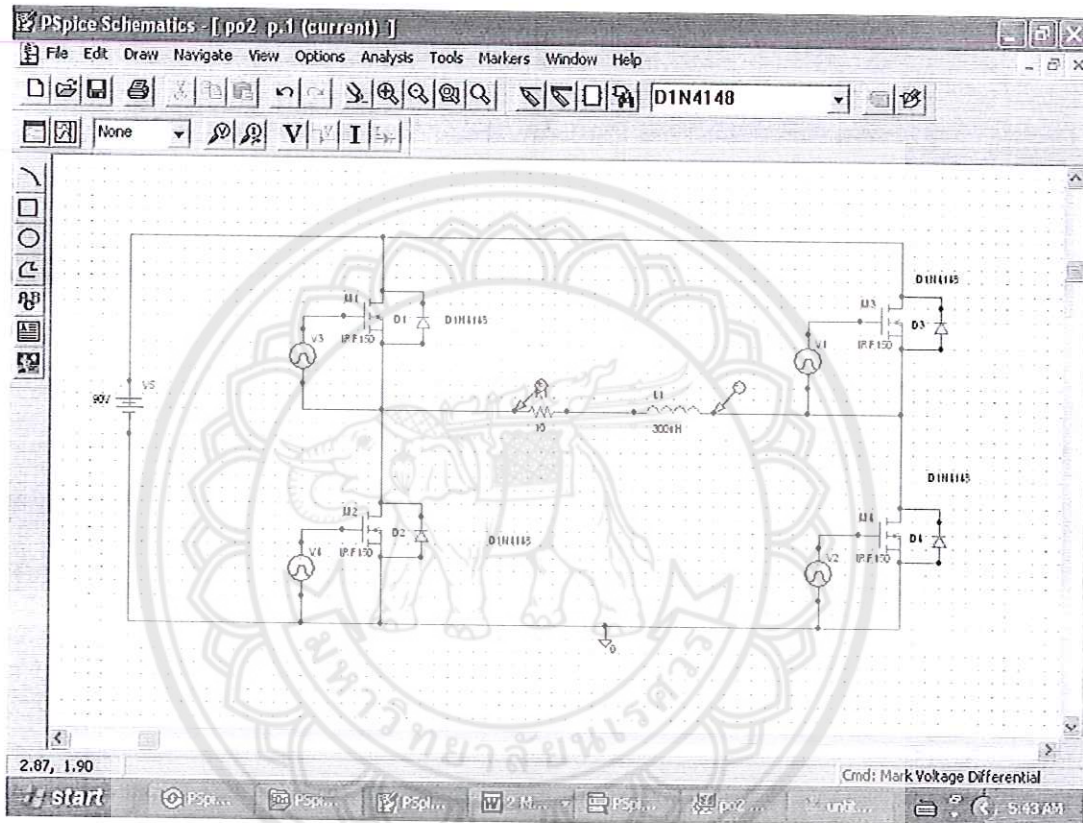
1. เหตุผลที่ใช้วิธีการพันขดลวดแบบจานคือต้องการทำให้ได้พื้นที่ของสนามแม่เหล็กให้ได้มากที่สุด
2. ที่ใช้ขดลวดชั้นเดียวเพราะถ้าใช้ขดลวด 2 ชั้นหรือมากกว่า ขดลวดแต่ละชั้นจะสร้างสนามแม่เหล็กมาตัดกันเองทำให้เกิดความร้อนที่ขดลวด ซึ่งเป็นสาเหตุให้ฉนวนของขดลวดเสียหายได้



3.4 การวิเคราะห์วงจรโดยใช้โปรแกรม PSPICE VERSION 9.1(STUDENT VERSION)

ขั้นตอนในการจำลองผลการทำงานของวงจร (Simulation of Circuit)

1. เข้าโปรแกรม PSPICE VERSION 9.1และทำการวาดภาพวงจรที่จะนำไปใช้งานโดยใช้โปรแกรม Schematic โดยทำการวางอุปกรณ์ทุกชนิดที่ใช้ตามตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งจะต้องต่อกราวด์ด้วยเพื่อให้กระแสไหลครบวงจร



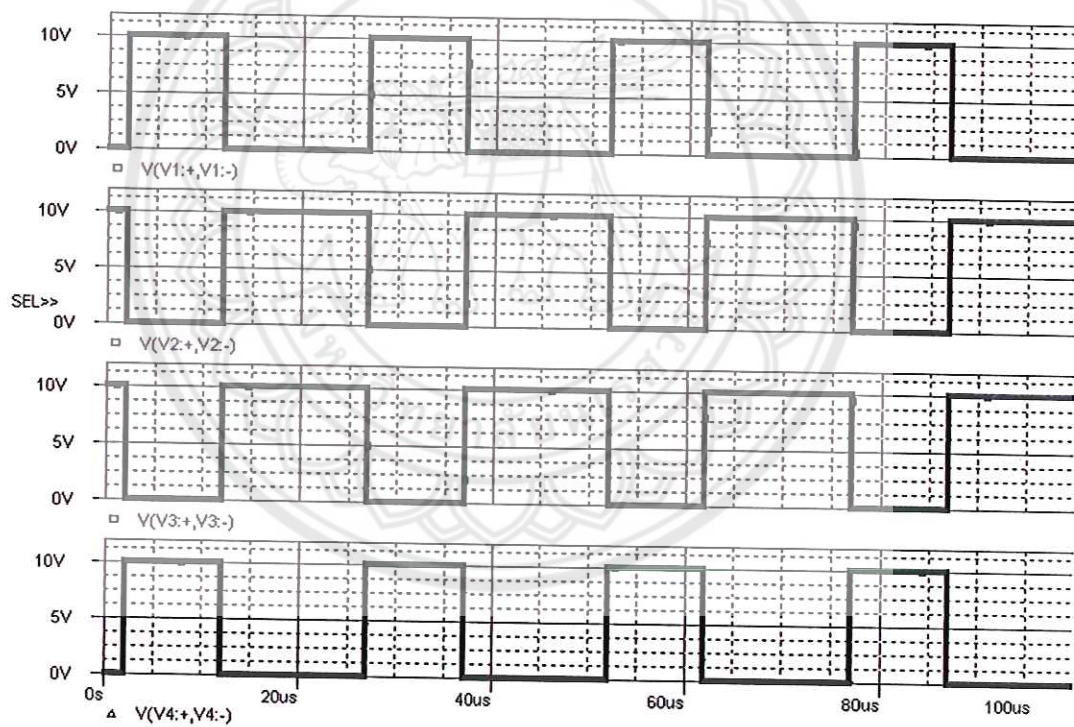
รูปที่ 3.3 แสดงการสร้างวงจรโดยใช้โปรแกรม Schematic

2. กำหนดเงื่อนไขการจำลองการทำงาน วิธีของการวิเคราะห์ซึ่งมีการกำหนดเงื่อนไขต่างๆดังนี้
 - 2.1 กำหนดเงื่อนไขการตั้งสัญญาณพัลส์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของ MOSFET แต่ละตัวซึ่งสัญญาณพัลส์แต่ละตัว (V1-V4) มีค่าดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าที่ใช้ตั้งสัญญาณพัลส์

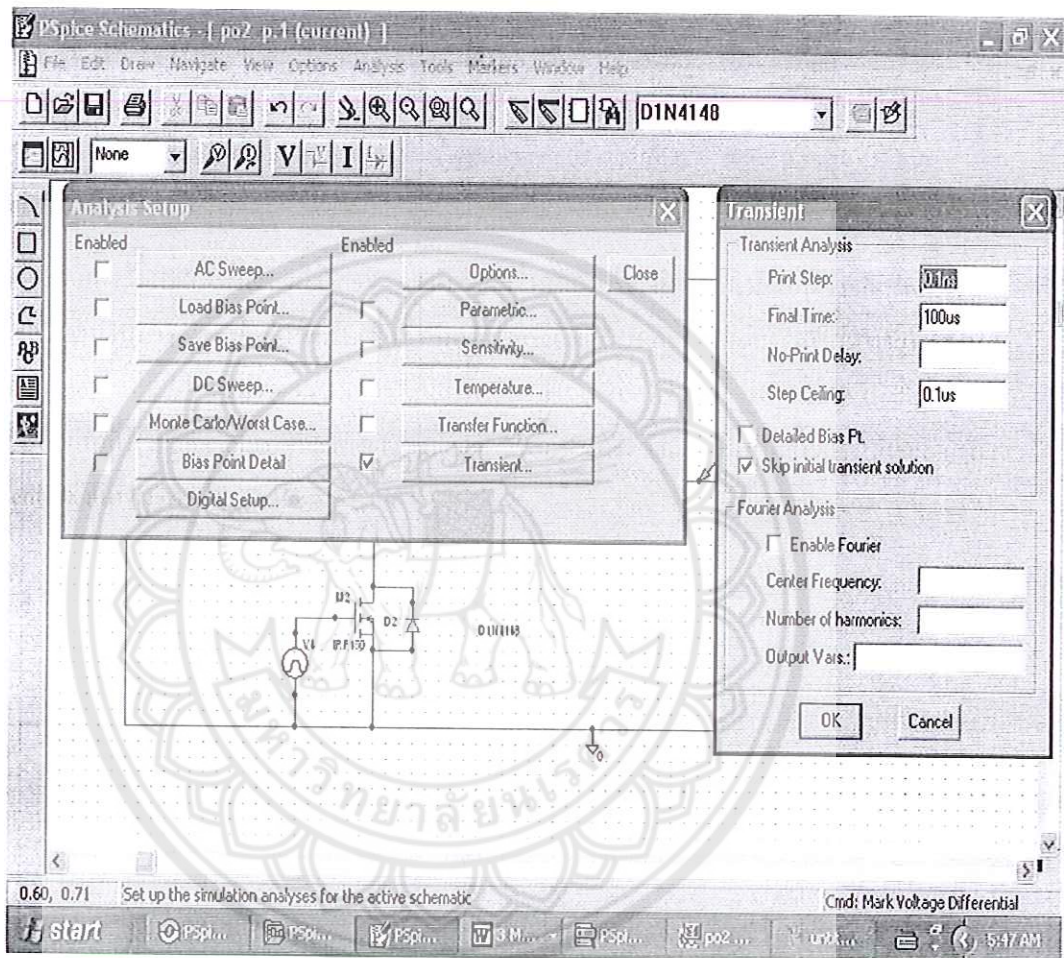
สัญญาณพัลส์	V1	V2	V3	V4
V1	10	0	0	10
V2	0	10	10	0
TD	2 μ s	2 μ s	2 μ s	2 μ s
TR	0.1 \pm s	0.1 \pm s	0.1 \pm s	0.1 \pm s
TF	0.1 \pm s	0.1 \pm s	0.1 \pm s	0.1 \pm s
PER	10 μ s	10 μ s	10 μ s	10 μ s
PW	25 μ s	25 μ s	25 μ s	25 μ s

ซึ่งค่าที่ได้กำหนดจากตารางสามารถนำมาสร้างเป็นสัญญาณพัลส์ได้ดังรูปที่ 3.4 โดยการตั้งสัญญาณพัลส์ ดังตารางทำให้ได้ค่าคาบเวลาและความถี่เป็น 50 μ s และ 20 kHz



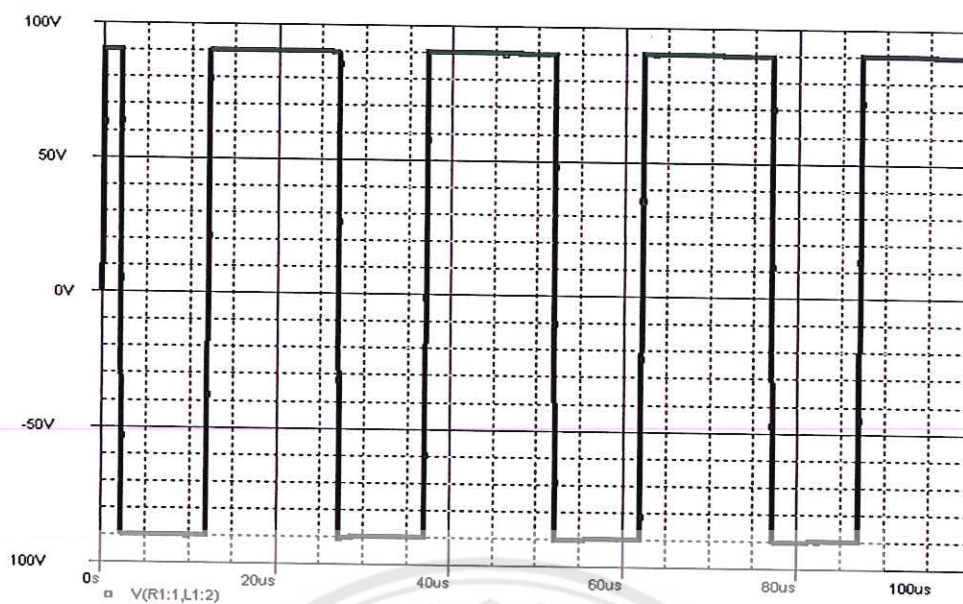
รูปที่ 3.4 แสดงรูปของสัญญาณพัลส์ (V1-V4)

2.2 วิธีการวิเคราะห์ (Analysis Setup) ทำได้โดยการคลิกที่ Setup จากนั้นเลือก Transient กำหนดช่วงเวลาเริ่มต้นในการแสดงผล (Print Step) ให้มีค่าเท่ากับ $0.1 \mu s$ และเลือกช่วงเวลาสุดท้ายที่ใช้ในการแสดงผล (Final Time) ให้มีค่าเท่ากับ $100 \mu s$ และเลือกความละเอียดในการพิมพ์ (Step Ceiling) เท่ากับ $0.1 \mu s$ แล้วเลือกที่ Skip initial transient solution เพื่อเป็นการข้ามการแก้ปัญหาเริ่มต้นของสภาวะ Transient ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.5

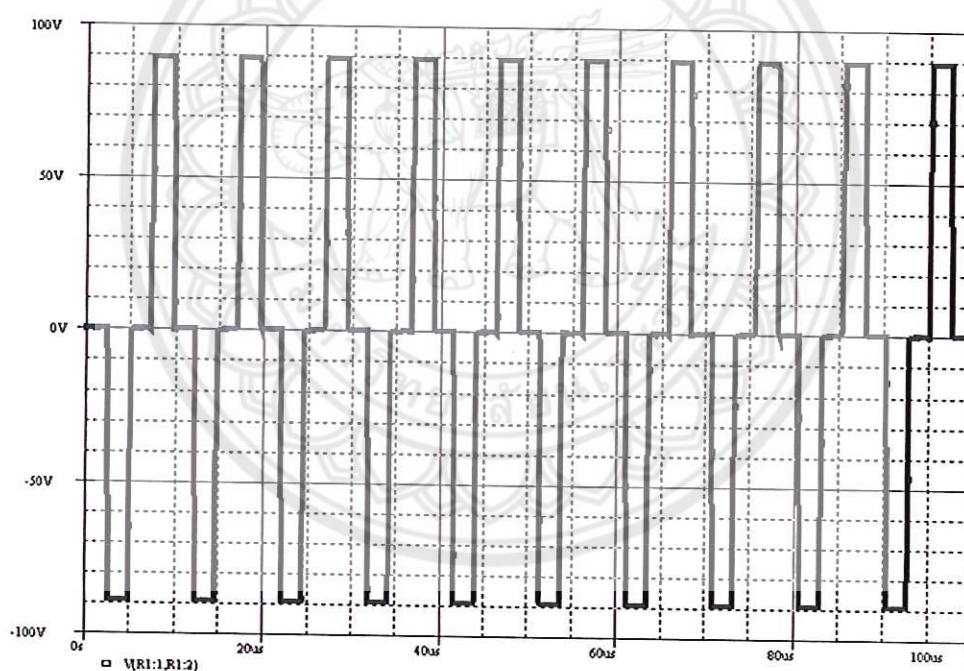


รูปที่ 3.5 วิธีการวิเคราะห์(Analysis Setup)

3.ทำการวิเคราะห์วงจร โดยการคลิกที่ Simulation ซึ่งจะดังรูปที่ 3.6 ซึ่งเป็นรูปของแรงดันด้านออกที่ตกร่อมตัวต้านทานและขดลวดเหนี่ยวนำส่วนรูปที่ 3.7 แสดงแรงดันด้านออกที่ตกร่อมตัวต้านทานและขดลวดเหนี่ยวนำโดยตั้งค่าเคปไทน์ $2 \mu s$ ซึ่งผลการทดลองตรงตามทฤษฎีที่กล่าวไว้ในบทที่ 2



รูปที่ 3.6 แสดงแรงดันด้านออกที่ตกคร่อมตัวต้านทานและขดลวดเหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.7 แสดงแรงดันด้านออกที่ตกคร่อมตัวต้านทานและขดลวดเหนี่ยวนำโดยตั้ง
ค่าเดดไทม์ $2 \mu\text{s}$

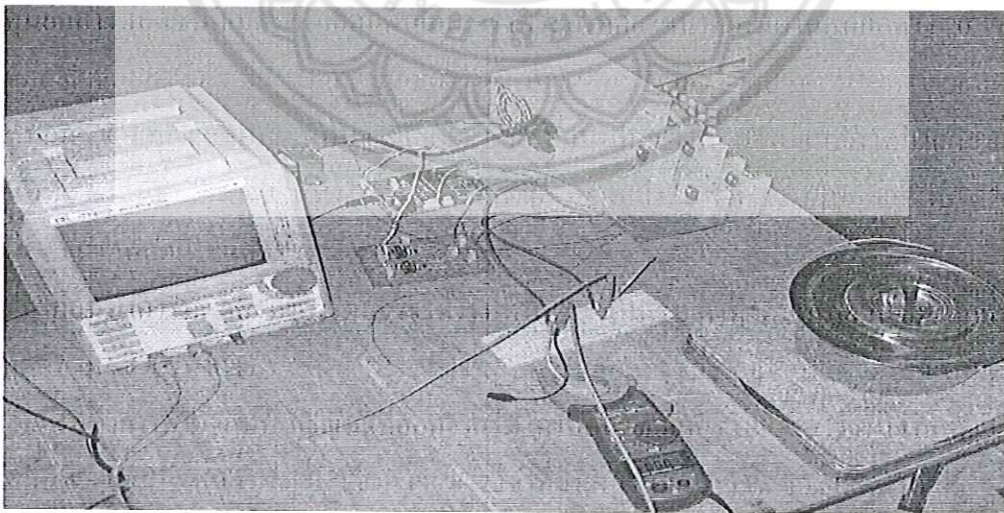
หลังจากทำการออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำ และวงจรควบคุม ต่อไปจะทำการสร้างเตาหุงต้ม
เหนี่ยวนำความถี่สูงและบันทึกผลการทดลองซึ่งจะกล่าวต่อไปในบทที่ 4

บทที่ 4

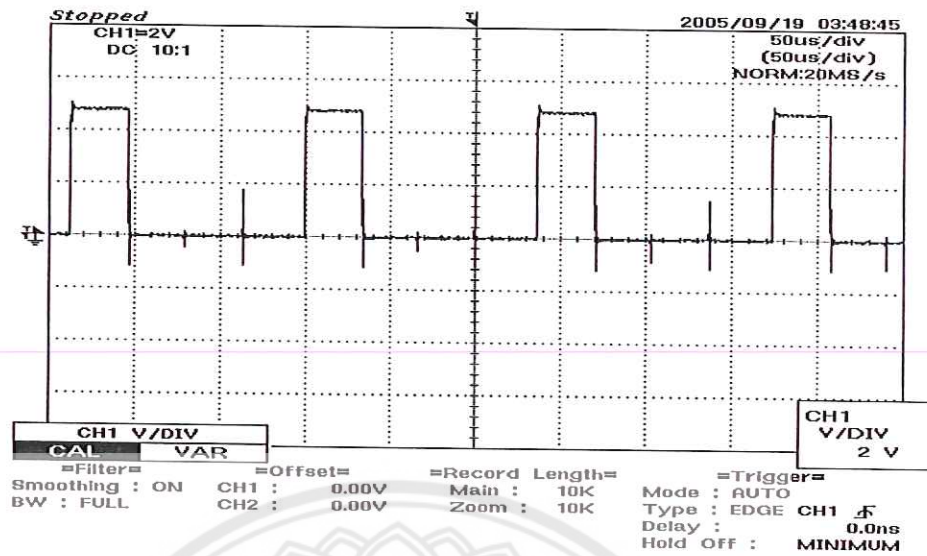
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในส่วนของการทดลองผู้ทดลองได้ศึกษาการทดลองด้วยวิธีการแปลค่าความถี่ที่ความถี่ค่าต่าง ๆ กัน ทั้งนี้จุดประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงว่า ที่ความถี่ค่าต่าง ๆ กันนั้นจะมีผลต่ออุณหภูมิความร้อนของน้ำในหม้ออย่างไร โดยก่อนที่จะทำการแปลค่าความถี่ต่าง ๆ นั้น ได้ทำการศึกษา และออกแบบอุปกรณ์ คือ หม้อสแตนเลส ขนาดเล็ก และหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งหม้อและขดลวดที่เลือกใช้คือหม้อสแตนเลส トラหัวมีลาย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร หม้อสแตนเลสตราพระอาทิตย์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร หม้อสแตนเลส ตราพระอาทิตย์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร และขดลวดตีเกลียวซึ่งได้มีการออกแบบอยู่หลายแบบแต่แบบที่เลือกใช้คือแบบที่ใช้การขดลวดตีเกลียว 27 เส้นและ พันวน 45 รอบ แบบจาน(disk) ซึ่งเป็นแบบที่สร้างฟลักซ์แม่เหล็กได้มากกว่าแบบอื่นที่ออกแบบไว้ ส่วนหม้อแปลงไฟฟ้าได้ทำการเลือกซื้อหม้อแปลงไฟฟ้าที่ ขนาดพิกัดแรงดัน 220 VAC / 90VDC ขนาดพิกัดกระแส 5 A.

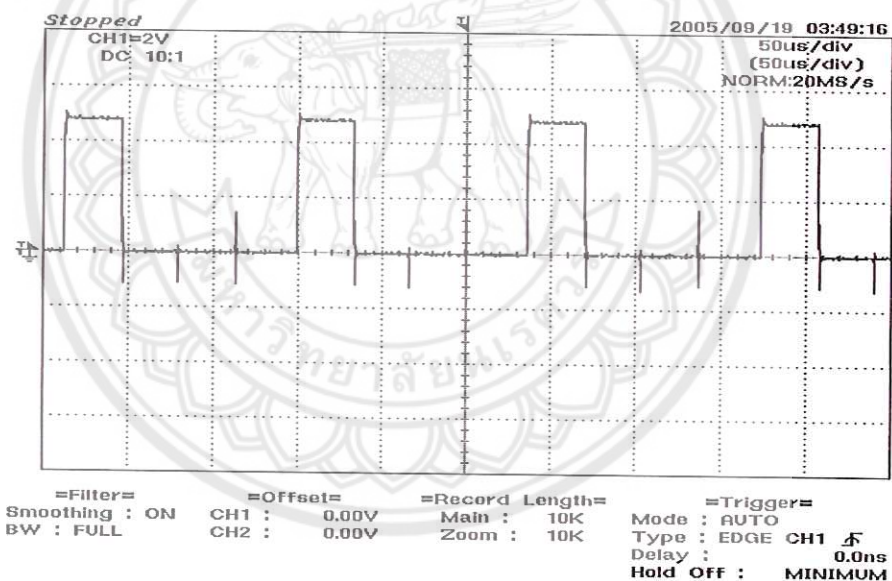
ก่อนทำการทดลองทำการต่อวงจรดังรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นรูปเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงที่ใช้ทำการทดลองหลังจากทำการต่อนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณ โดยตรวจสอบตามลำดับ โดยเริ่มแรกทำการตรวจสอบสัญญาณที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC 877) พบว่ามีสัญญาณดังรูปที่ 4.2และ4.3ซึ่งเป็นรูปของสัญญาณจาก PIC877 เข้าที่ขา HIGHและ LOWของ IR 2110



รูปที่ 4.1 เตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงที่ใช้ทำการทดลอง

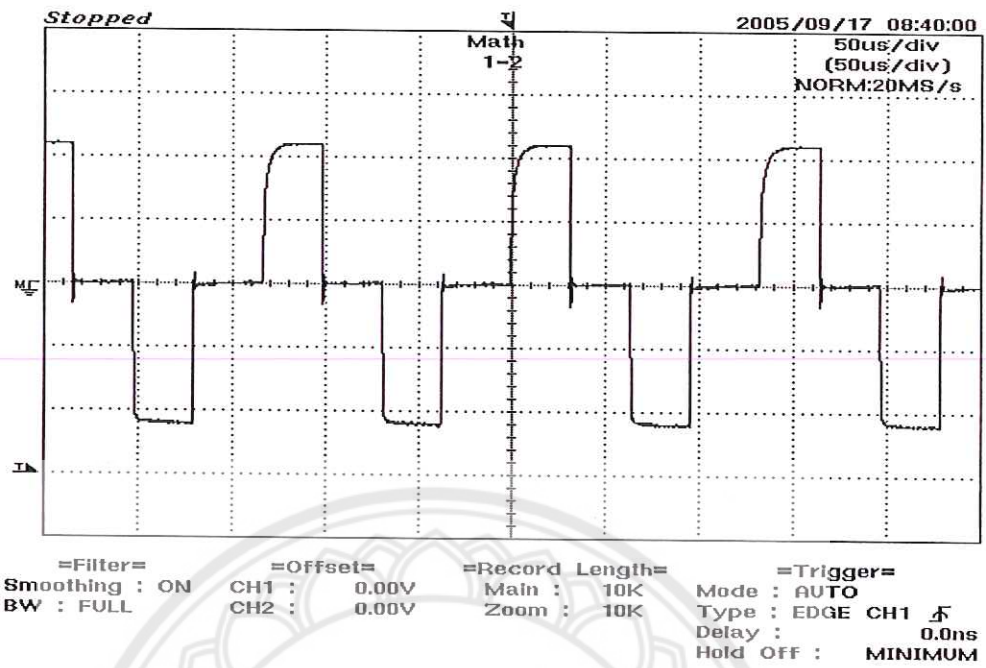


รูปที่ 4.2 สัญญาณจาก PIC877 เข้าที่ขา HIGH ของ IR 2110

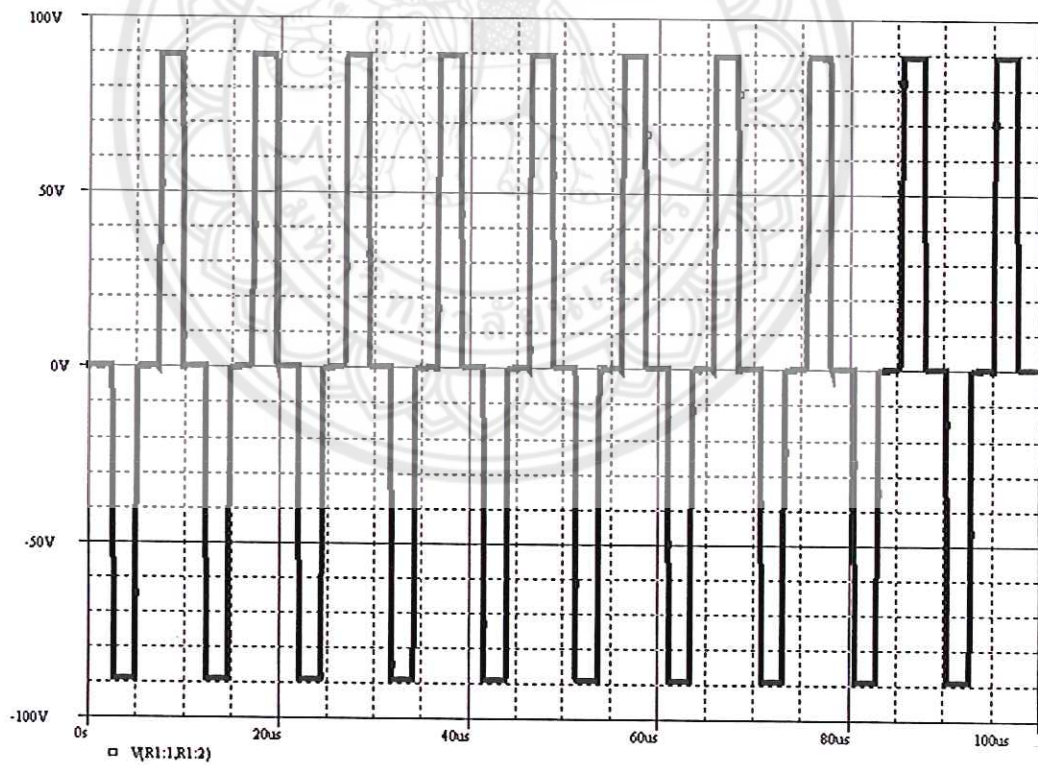


รูปที่ 4.3 สัญญาณจาก PIC877 เข้าที่ขา LOW ของ IR 2110

หลังจากวัดสัญญาณที่ออกจาก PIC877 แล้วจากนั้นทำการจ่ายแรงดันไฟกระแสตรงขนาด 90 V. แล้วตรวจสอบสัญญาณที่ออกจากมอสเฟตซึ่งเป็นสัญญาณเดียวกันกับที่ออกมาจากขา 5 ของ IR 2110 ซึ่งใช้จ่ายให้กับโหลด โดยได้สัญญาณออกมาเป็นดังรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ขาออกของมอสเฟตซึ่งใช้จ่ายโหลด โดยสัญญาณที่ได้มีลักษณะตรงกันกับรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นรูปสัญญาณได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Pspice

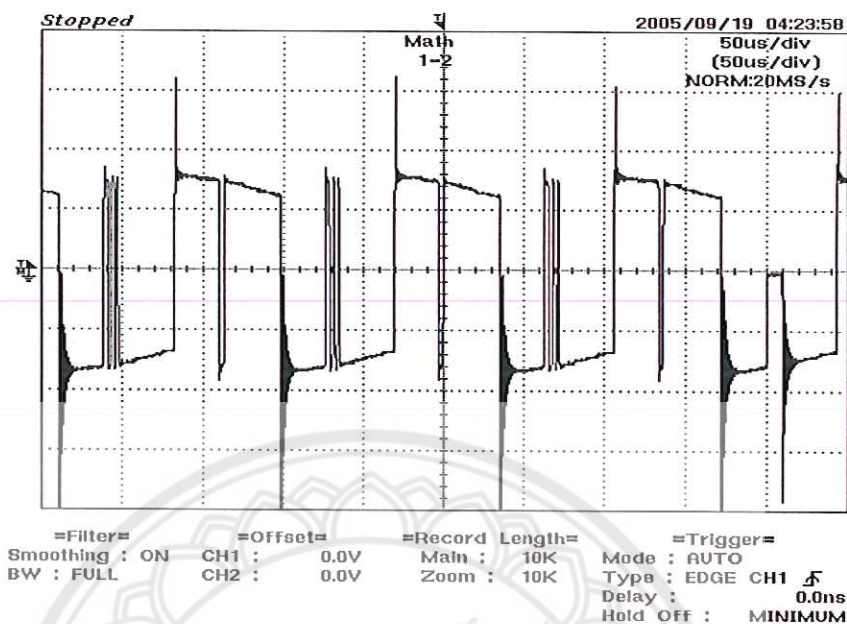


รูปที่ 4.4 สัญญาณที่ขาออกของมอสเฟตซึ่งใช้จ่ายโหลด



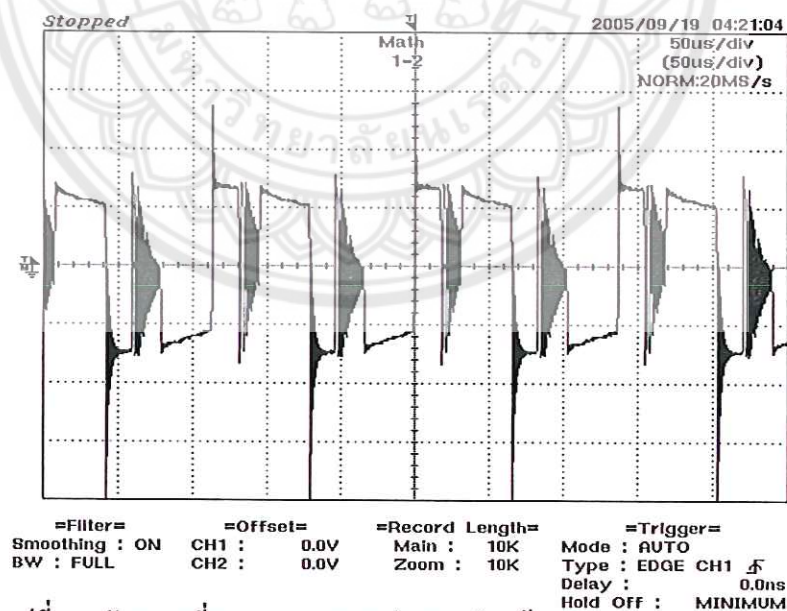
รูปที่ 4.5 สัญญาณที่ขาออกของมอสเฟตซึ่งใช้จ่ายโหลด (จากโปรแกรม Pspice)

ต่อจากนั้น ทำการนำขดลวดที่พันไว้มาต่อซึ่งพบว่ากรณีที่นำขดลวดมาต่อในวงจร ซึ่งพบว่า สัญญาณที่ได้จากรูปที่ 4.4 เปลี่ยนไปเป็นดังรูปที่ 4.6 ซึ่งทั้งนี้เกิดจากค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด



รูปที่ 4.6 สัญญาณที่ขาออกจากมอสเฟตซึ่งมีการนำขดลวดมาต่อในวงจร

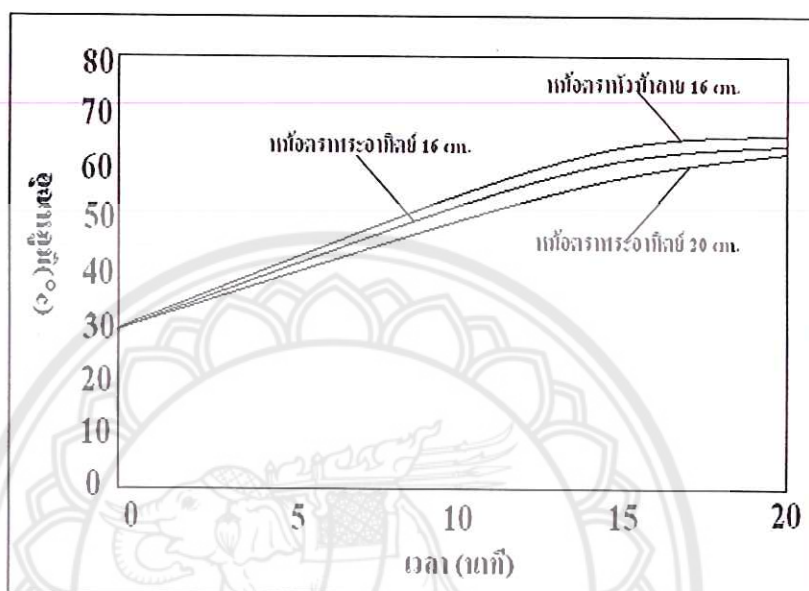
หลังจากนำขดลวดมาต่อในวงจรแล้ว จากนั้นนำโหลด (หม้อสแตนเลส) มาวางบน ขดลวด แล้ววัดสัญญาณ ได้ดังรูปที่ 4.7ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัญญาณมีความผิดเพี้ยนมากขึ้นทั้งนี้เกิดจากค่าความเหนี่ยวนำที่เพิ่มจากหม้อสแตนเลส



รูปที่ 4.7 สัญญาณที่ขาออกจากมอสเฟตขณะนำหม้อสแตนเลสมาวางบนขดลวด

การทดลองจะทำการแปลค่าความถี่ที่ความถี่ค่าต่าง ๆ โดยจะทำการแปลค่าจากค่าความถี่ต่ำ ไปสู่ค่าความถี่ที่สูง โดยขอบข่ายของความถี่ที่ทำการแปลค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 20-100 kHz ซึ่งใช้น้ำ ในการทดสอบ 500 cm³ และจับเวลา 20 นาที เริ่มการแปลค่าความถี่ครั้งแรกที่ค่าความถี่ 20 kHz โดยใช้หม้อสแตนเลสทั้ง 3 ชนิด ที่สภาวะแรงดัน 90 V. อุณหภูมิห้อง 31 °c ซึ่งจากผลการทดลอง สามารถนำมาวาดกราฟได้ดังรูปที่ 4.8

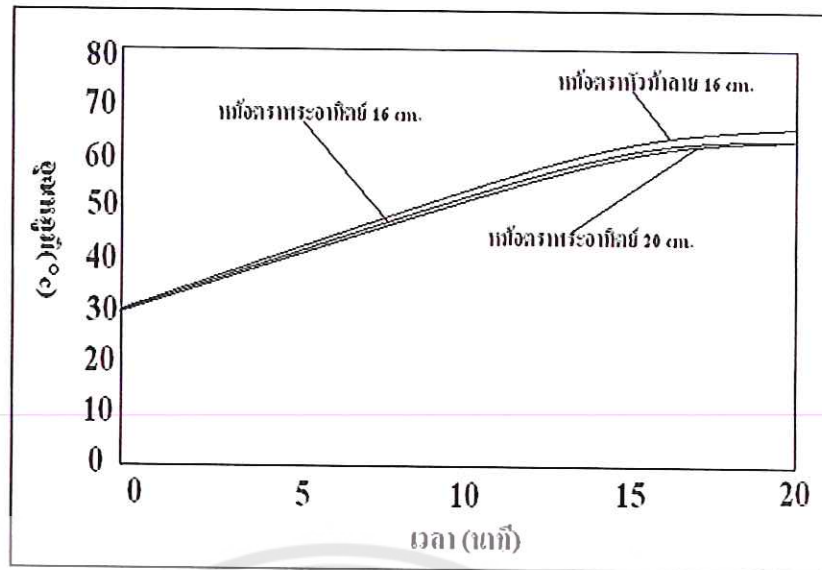
4900011



15675634
 2/5
 922507
 2548
 c.2

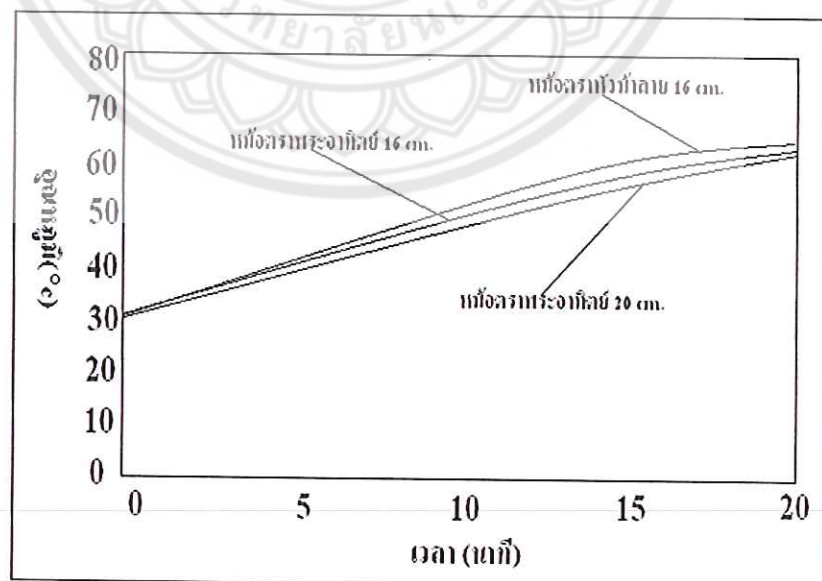
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับเวลาที่ค่าความถี่ 20 kHz

จากรูปที่ 4.8 พบว่าอุณหภูมิค่อยเพิ่มขึ้นจนสิ้นสุดการจับเวลาที่ 20 นาที โดยสภาวะที่ไหลด เป็นหม้อสแตนเลสตราหัวม้าลาย ขนาด 16 เซนติเมตร มีได้ค่าอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 68.2 °c ที่ ค่ากระแส 3.12 A. ส่วนหม้อสแตนเลสตราพระอาทิตย์ ขนาด 16 เซนติเมตร ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ วัดได้เท่ากับ 65.4 °c ที่ขนาดกระแส 3.23 A. ส่วนหม้อสแตนเลสตราพระอาทิตย์ ขนาด 20 เซนติเมตร ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้เท่ากับ 66.8 °c ขนาดกระแส 3 A. ขึ้นต่อไปทำการทดลอง แปลค่าความถี่ครั้งที่ 2 โดยกำหนดค่าความถี่ที่ 30 kHz โดยทำการทดสอบที่สภาวะแรงดัน 90 V. อุณหภูมิห้อง 31 °c ซึ่งจากผลการทดลองสามารถนำมาวาดกราฟได้ดังรูปที่ 4.9



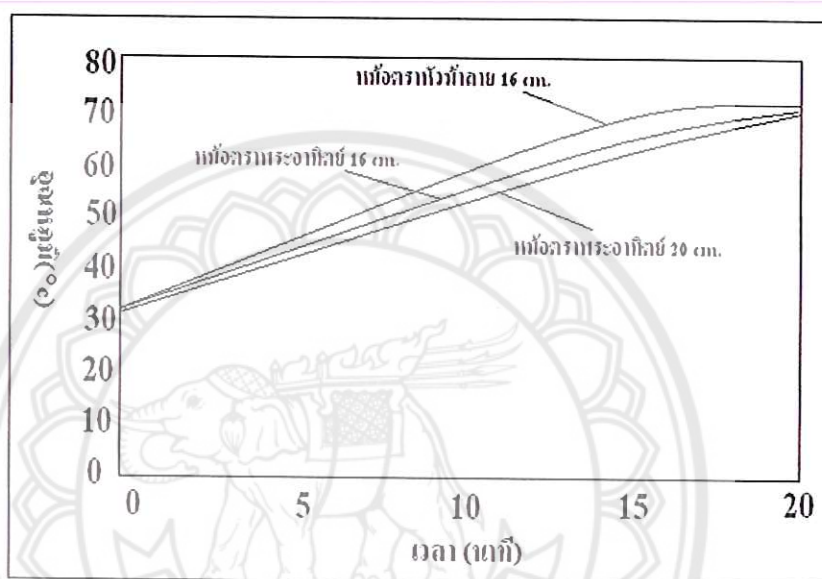
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับที่ค่าความถี่ 30 kHz

จากรูปที่ 4.9 พบว่าอุณหภูมิค่อยเพิ่มขึ้นจนสิ้นสุดการจับเวลาที่ 20 นาที โดยสภาวะที่ไหลคเป็น หม้อสแตนเลสตราหัวม้าลาย ขนาด 16 เซนติเมตร ได้ค่าอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 66.6°C ที่ขนาด กระแส 2.91 A. ส่วน หม้อสแตนเลสตราพระอาทิตย์ ขนาด 16 เซนติเมตร ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่วัด ได้เท่ากับ 64°C ที่ขนาดกระแส 3.02 A. ส่วนหม้อสแตนเลสตราพระอาทิตย์ ขนาด 20 เซนติเมตร ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้เท่ากับ 65.6°C ที่ขนาดกระแส 2.83 A. ขึ้นต่อไปทำการทดลองแปล ค่าความถี่ครั้งที่ 3 โดยกำหนดค่าความถี่ที่ 41.67 kHz โดยทำการทดสอบที่สภาวะแรงดัน 90 V. อุณหภูมิห้อง 31°C ซึ่งจากผลการทดลองสามารถนำมาวาดกราฟได้ดังรูปที่ 4.10



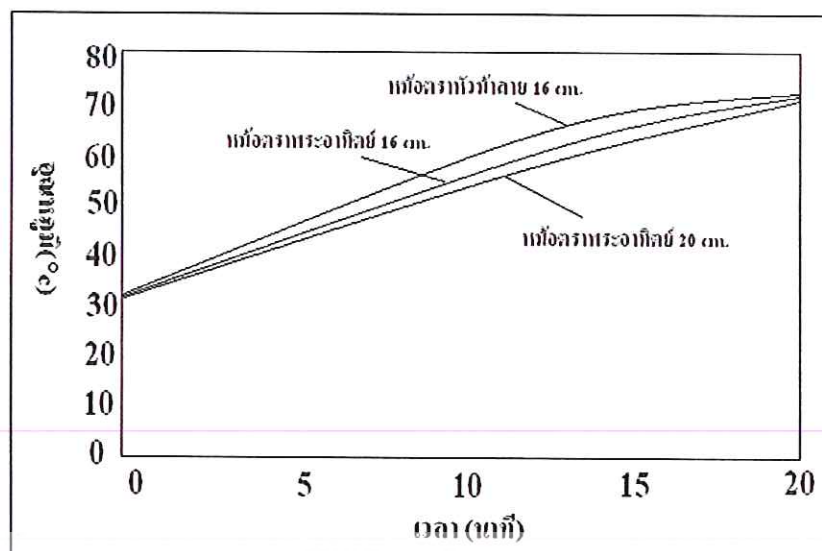
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับเวลาที่ค่าความถี่ 41.67 kHz

จากรูปที่ 4.10 พบว่าอุณหภูมิค่อยเพิ่มขึ้นจนถึงสิ้นสุดการจับเวลาที่ 20 นาที โดยสถานะที่ไหลค เป็นหม้อสแตนเลสตราหัวม้าลาย ขนาด 16 เซนติเมตร ได้ค่าอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 67.6°C ที่ขนาด กระแส 2.68 A. ส่วน หม้อสแตนเลสตราพระอาทิตย์ ขนาด 16 เซนติเมตร ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่วัด ได้เท่ากับ 66.2°C ที่ขนาดกระแส 2.72 A. ส่วนหม้อสแตนเลสตราพระอาทิตย์ ขนาด 20 เซนติเมตร ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้เท่ากับ 67.6°C ที่ขนาดกระแส 2.58 A. . ขั้นตอนไปทำการทดลองแปล ค่าความถี่ครั้งที่ 4 โดยกำหนดค่าความถี่ที่ 50 kHz โดยทำการทดสอบที่สภาวะแรงดัน 90 V. อุณหภูมิห้อง 31°C ซึ่งจากผลการทดลองสามารถนำมาวาดกราฟได้ดังรูปที่ 4.11



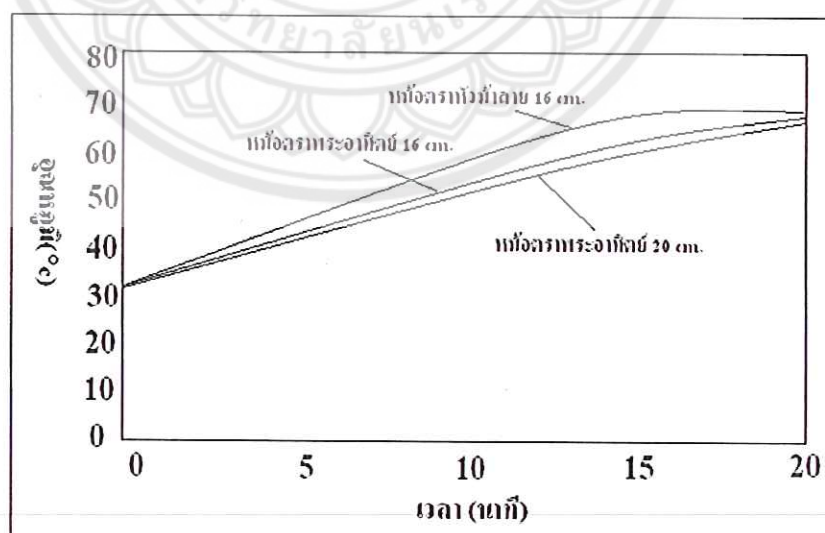
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับเวลาที่ค่าความถี่ 50 kHz

จากรูปที่ 4.11 พบว่าอุณหภูมิค่อยเพิ่มขึ้นจนถึงสิ้นสุดการจับเวลาที่ 20 นาที โดยสถานะที่ไหลค เป็นหม้อสแตนเลสตราหัวม้าลาย ขนาด 16 เซนติเมตร ได้ค่าอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 67.8°C ที่ขนาด กระแส 2.43 A. ส่วนหม้อสแตนเลสตราพระอาทิตย์ ขนาด 16 เซนติเมตร ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่วัด ได้เท่ากับ 66.6°C ที่ขนาดกระแส 2.45 A. ส่วนหม้อสแตนเลสตราพระอาทิตย์ ขนาด 20 เซนติเมตร ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้เท่ากับ 67.5°C ที่ขนาดกระแส 2.40 A. ขั้นตอนไปทำการทดลองแปล ค่าความถี่ครั้งที่ 5 โดยกำหนดค่าความถี่ที่ 62.5 kHz โดยทำการทดสอบที่สภาวะแรงดัน 90 V. อุณหภูมิห้อง 31°C ซึ่งจากผลการทดลองสามารถนำมาวาดกราฟได้ดังรูปที่ 4.12



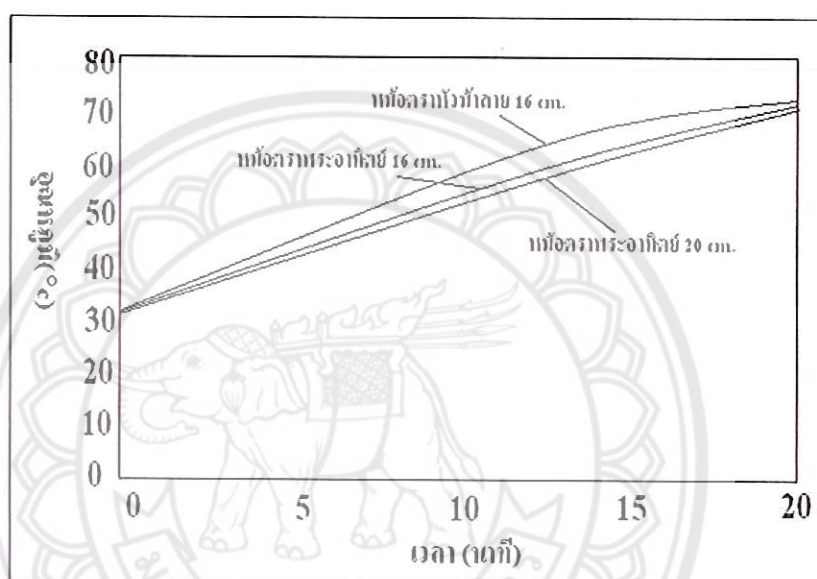
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับเวลาที่ค่าความถี่ 62.5 kHz

จากรูปที่ 4.12 พบว่าอุณหภูมิค่อยเพิ่มขึ้นจนถึงสิ้นสุดการจับเวลาที่ 20 นาที โดยสถานะที่ไหลคเป็นหม้อสแตนเลสตราหัวมีลาย ขนาด 16 เซนติเมตร ได้ค่าอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 69.0°C ที่ขนาดกระแส 2.22 A. ส่วนหม้อสแตนเลสตราพระอาทิตย์ ขนาด 16 เซนติเมตร ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้เท่ากับ 68.2°C ที่ขนาดกระแส 2.22 A. ส่วนหม้อสแตนเลสตราพระอาทิตย์ ขนาด 20 เซนติเมตร ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้เท่ากับ 68.8°C ที่ขนาดกระแส 2.16 A. .ขั้นตอนไปทำการทดลองแปลค่าความถี่ครั้งที่ 7 โดยกำหนดค่าความถี่ที่ 71.4 kHz โดยทำการทดสอบที่สภาวะแรงดัน 90 V. อุณหภูมิห้อง 31°C จากผลการทดลองสามารถนำมาวาดกราฟได้ดังรูปที่ 4.13



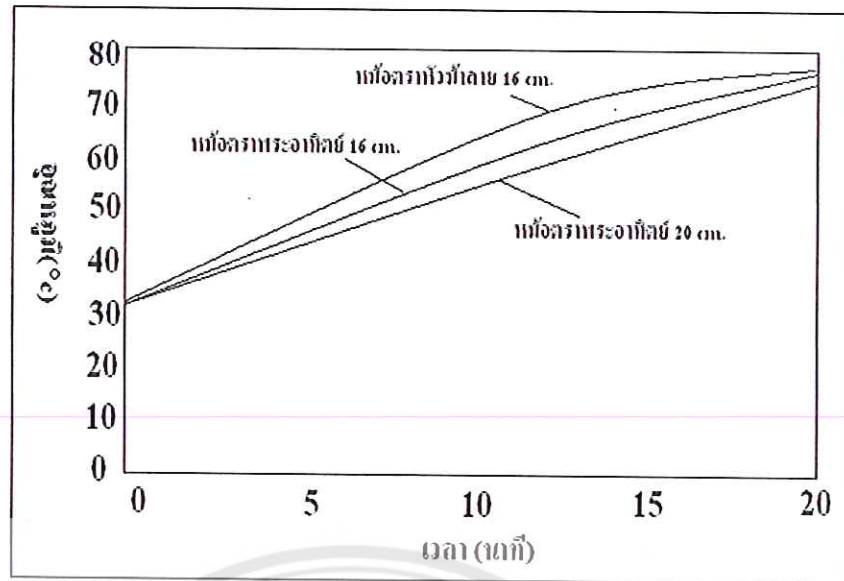
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับเวลาที่ค่าความถี่ 71.4 kHz

จากรูปที่ 4.13 พบว่าอุณหภูมิค่อยเพิ่มขึ้นจนถึงสิ้นสุดการจับเวลาที่ 20 นาที โดยสภาวะที่โหลด เป็นหม้อสแตนเลสตราหัวม้าลาย ขนาด 16 เซนติเมตร ได้ค่าอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 65.4°C ที่ขนาด กระแส 1.92 A. ส่วนหม้อสแตนเลสตราพระอาทิตย์ ขนาด 16 เซนติเมตร ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้ เท่ากับ 63.2°C ที่ขนาดกระแส 1.93 A. ส่วนหม้อสแตนเลสตราพระอาทิตย์ ขนาด 20 เซนติเมตร ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้เท่ากับ 64.8°C ที่ขนาดกระแส 1.85 A. ขึ้นต่อไปทำการทดลองแปล ค่าความถี่ครั้งที่ 7 โดยกำหนดค่าความถี่ที่ 83 kHz โดยทำการทดสอบที่สภาวะแรงดัน 90 V. อุณหภูมิห้อง 31°C จากผลการทดลองสามารถนำมาวาดกราฟได้ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับเวลาที่ค่าความถี่ 83 kHz

จากรูปที่ 4.14 พบว่าอุณหภูมิค่อยเพิ่มขึ้นจนถึงสิ้นสุดการจับเวลาที่ 20 นาที โดยสภาวะที่โหลด เป็นหม้อสแตนเลสตราหัวม้าลาย ขนาด 16 เซนติเมตร ได้ค่าอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 68.0°C ที่ขนาด กระแส 1.59 A. ส่วนรองลงมาคือ หม้อสแตนเลสตราพระอาทิตย์ ขนาด 16 เซนติเมตร ค่า อุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้เท่ากับ 66.8°C ที่ขนาดกระแส 1.61 A. ส่วนหม้อสแตนเลสตราพระอาทิตย์ ขนาด 20 เซนติเมตร ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้ เท่ากับ 68.2°C ที่ขนาดกระแส 1.55 A. ขึ้นต่อไป ทำการทดลองแปลค่าความถี่ครั้งที่ 8 โดยกำหนดค่าความถี่ที่ 100 kHz โดยทำการทดสอบที่ สภาวะแรงดัน 90 V. อุณหภูมิห้อง 31°C จากผลการทดลองสามารถนำมาวาดกราฟได้ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับเวลาที่ค่าความถี่ 100 kHz

จากรูปที่ 4.15 พบว่าอุณหภูมิค่อยเพิ่มขึ้นจนถึงสุดการจับเวลาที่ 20 นาที โดยสภาวะที่โหลดเป็นหม้อสแตนเลสตราหัวมีทาลาย ขนาด 16 เซนติเมตร ได้ค่าอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 70.3°C ที่ขนาดกระแส 1.25 A. ส่วนหม้อสแตนเลสตราพระอาทิตย์ ขนาด 16 เซนติเมตร ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้เท่ากับ 69.2°C ที่ขนาดกระแส 1.26 A. ส่วนหม้อสแตนเลสตราพระอาทิตย์ ขนาด 20 เซนติเมตร ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้เท่ากับ 70.2°C ที่ขนาดกระแส 1.22 A.

จากการทดลองทั้งหมดจะสังเกตเห็นได้ว่ายิ่งค่าความถี่สูงมากขึ้นเท่าใด ค่ากระแสโหลดก็จะลดลงตามไปด้วย และส่วนในของเรื่องอุณหภูมิความร้อนจะสังเกตเห็นได้ว่าในระยะเวลาการทดลอง 20 นาที ที่ค่าความถี่ที่สูงกว่าสามารถทำให้อุณหภูมิของหม้อร้อนได้มากกว่าค่าความถี่ที่ต่ำกว่าและค่าอุณหภูมิเริ่มเข้าสู่จุดอิ่มตัว ซึ่งจากนั้นทำการหาค่าประสิทธิภาพของหม้อแต่ละชนิดที่ความถี่ 100 kHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ทำให้อุณหภูมิของหม้อทั้ง 3 ชนิดสูงสุดโดยเลือกใช้อุณหภูมิสูงสุดในช่วงเวลาก่อนเข้าสู่จุดอิ่มตัวคืออุณหภูมิที่เวลา 15 นาที โดยสามารถหาค่าประสิทธิภาพของหม้อทั้ง 3 ชนิดได้ดังนี้

$$\text{จากสูตร ค่าประสิทธิภาพ ; } \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (2.27)$$

$$\text{ซึ่ง } P_{in} = V_{dc} \times I_{dc} \quad (2.28)$$

$$P_{out} = \frac{Q_{out}}{t} \quad (2.29)$$

$$Q_{out} = mc\Delta T \quad (2.30)$$

โดยที่ c = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมีค่าเท่ากับ $4200 \left(\frac{J}{Kg.K} \right)$

m = ปริมาตร (Kg)

ΔT = อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส, °C)

t = เวลา(second)

V_{dc} = แรงดันกระแสตรง (Volt)

I_{dc} = กระแสตรง (Ampere)

จากสมการข้างต้นจะสามารถหาค่าประสิทธิภาพได้ดังนี้

ค่าประสิทธิภาพของหม้อตราหัวม้าลายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เซนติเมตรที่ความถี่ 100 kHz ในระยะเวลา 15 นาที คือ

$$\eta = \left(\frac{0.5 \times 4200 \times (63 - 31) / 960}{90 \times 1.25} \right) \times 100 = 62.22\%$$

ดังนั้น ค่าประสิทธิภาพของหม้อตราหัวม้าลายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร เท่ากับ 62.22%

ค่าประสิทธิภาพของหม้อตราพระอาทิตย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เซนติเมตรที่ความถี่ 100 kHz ในระยะเวลา 15 นาที คือ

$$\eta = \left(\frac{0.5 \times 4200 \times (60.6 - 31) / 960}{90 \times 1.26} \right) \times 100 = 57.10\%$$

ดังนั้น ค่าประสิทธิภาพของหม้อตราพระอาทิตย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร เท่ากับ 57.10%

ค่าประสิทธิภาพของหม้อตราพระอาทิตย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตรที่ความถี่ 100 kHz ในระยะเวลา 15 นาที คือ

$$\eta = \left(\frac{0.5 \times 4200 \times (59.6 - 31) / 960}{90 \times 1.22} \right) \times 100 = 56.98\%$$

ดังนั้น ค่าประสิทธิภาพของหม้อตราพระอาทิตย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร เท่ากับ 56.98%

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าประสิทธิภาพของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงที่มีโหลดเป็นหม้อ สแตนเลสตราหัวม้าลายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพดีที่สุด



บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

เตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงแบบใช้ฟลูบริดจ์อินเวอร์เตอร์สำหรับระบบไฟกระแสตรงแรงดันต่ำ สามารถให้ความร้อนได้ดีสำหรับภาชนะหุงต้มที่ทำด้วยสารเฟอร์โรแมกเนติก(Ferromagnetic) เช่น เหล็ก หรือสแตนเลส และหม้อแต่ละชนิดให้ประสิทธิภาพได้ไม่เท่ากัน จะต้องออกแบบอินเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับหม้อแต่ละชนิด ดังนั้นเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงจะใช้ได้ดีกับหม้อชนิดเดียวเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งการจากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าควรเลือกใช้หม้อตราห้วม้าลาย ขนาด 16 เซนติเมตร เพราะมีค่าประสิทธิภาพดีที่สุดและมีค่าความร้อนสูญเสียที่น้อยที่สุด ซึ่งสามารถคัมน์น้ำให้อุณหภูมิถึงจุดที่กำหนดไว้ที่ 70.3°C โดยใช้ไฟแรงดันต่ำต่อผ่านขดลวดความร้อน และการเลือกที่ความถี่ 100 kHz จะทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งเหมาะกับการอุ่นอาหาร หรือทำกรนึ่งอาหาร เช่น ขนมนึ่ง ทอดไข่ เป็นต้น

หม้อตราพระอาทิตย์ ขนาด 16 เซนติเมตรเมื่อสแตนเลสทำปฏิกิริยากับฟลักซ์แม่เหล็กได้น้อยกว่าหม้อตราห้วม้าลาย ขนาด 16 เซนติเมตร จึงไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เพราะค่าประสิทธิภาพต่ำกว่าไม่ดี และหม้อตราพระอาทิตย์ ขนาด 20 เซนติเมตร มีขนาดใหญ่เกินไปสำหรับนำมาใช้ในเตานี้จึงทำให้ค่าประสิทธิภาพต่ำลงไปด้วยเพราะค่าความร้อนสูญเสียมีค่ามาก และ ถ้าต้องการทำให้มีประสิทธิภาพดีกว่านี้ควรสร้างวงจรออกแบบอินเวอร์เตอร์ขึ้นมาใหม่เพื่อให้เหมาะสมกับขนาดและความหนาของหม้อ

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

1. หม้อแปลงที่เลือกใช้มีค่าพิกัดกระแสไม่เพียงพอโดยไม่สามารถทนกระแสที่โหลดต้องการได้ จึงทำให้เตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพซึ่งแนวทางแก้ไขก็คือ ต้องซื้อหม้อแปลงใหม่แต่ราคาของหม้อแปลงก็จะสูงมากขึ้นตามไปด้วย
2. เตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงนี้มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิช้าใช้เวลานานเนื่องจากการที่จ่ายแรงดันต่ำ ดังนั้นแนวทางแก้ไข คือ ต้องใช้แรงดันจากแหล่งจ่ายที่มีขนาดสูงขึ้น

แนวทางการพัฒนา

1. การเพิ่มวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์เข้าไปเพื่อให้ได้แรงดันที่สูงขึ้น และเพียงพอที่จะสามารถทำให้น้ำเดือด ภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว
2. การเพิ่มวงจร Soft start เพื่อลดการกระชากของกระแสที่สูง ขณะเริ่มทำงาน



เอกสารอ้างอิง

- [1] ชื่น ภู่วรรณ, อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 2 ,กรุงเทพมหานคร:ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2525.
- [2] Muhammad H. Rashid,"Power Electronics Circuits, Devices and Applications", Second edition ,New Jersey:Prentice-Hall,1993.
- [3] วิริยะ พิเชฐจำเริญ , พาวเวอร์อิเล็กทรอนิกส์, กรุงเทพมหานคร : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [4] โตศักดิ์ ทัศนานุตริยะ , ทฤษฎีการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า เล่ม 2 , กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น , 2542.







ตารางที่(ก-1) บันทึกผลการทดลองจากแปลค่าความถี่เท่ากับ 20 kHz
ที่สภาวะแรงดัน 90 V. อุณหภูมิห้อง 31 °C

ความถี่ 20 kHz	อุณหภูมิ (Temperature, °C)		
	หม้อต้มน้ำลาย 16 cm	หม้อต้มพระอาทิตย์ 16 cm	หม้อต้มพระอาทิตย์ 20 cm
เวลา (Time,minute)			
0	31	31	31
0.3	32	32	31.5
1	33	33	32.6
1.3	34	34	33.4
2	35	35	34.2
2.3	36	35.8	35.2
3	37	36.8	36
3.3	38.4	37.8	36.6
4	39.8	38.8	37.4
4.3	40.8	39.6	38
5	42	40.5	38.8
5.3	43	41.8	39.4
6	44	42.6	40.2
6.3	45	43.5	41
7	45.8	44.5	41.6
7.3	46.8	45.5	42.6
8	48	46.8	43.2
8.3	49	47.5	44
9	50	48.5	44.8
9.3	50.8	49.5	45.8
10	51.2	50.5	46.9
10.3	52.5	51.5	48
11	53.6	52.5	48.9
11.3	54.5	53.2	50
12	55.2	54	50.8
12.3	56	54.8	51.6

ความถี่ 20 kHz	อุณหภูมิ (Temperature, °C)		
เวลา (Time,minute)	หม้อคราไม้กลาย 16 cm	หม้อคราพระอาทิตย์ 16 cm	หม้อคราพระอาทิตย์ 20 cm
13	57	55.6	52.6
13.3	57.8	56.4	53.2
14	58.8	57.2	54
14.3	59.6	58	54.8
15	60.4	58.8	55.6
15.3	61	59.6	56.6
16	62	60.4	57.4
16.3	62.8	61.2	58.4
17	63.5	61.8	59.2
17.3	64.3	62.4	60
18	65	63	60.8
18.3	65.8	63.6	62
19	66.6	64.2	62.8
19.3	67.5	64.8	63.6
20	68.2	65.4	64.4

ตารางที่(ก-2) บันทึกผลการทดลองจากแปลค่าความถี่เท่ากับ 30 kHz
ที่สภาวะแรงดัน 90 V. อุณหภูมิห้อง 31 °c

ความถี่ 30 kHz	อุณหภูมิ (Temperature, °c)		
	หม้อต้มมาลา 16 cm	หม้อต้มพระอาทิตย์ 16 cm	หม้อต้มพระอาทิตย์ 20 cm
เวลา (Time,minute)			
0	31	31	31
0.3	31	31.8	32.2
1	31.8	33	33.4
1.3	32.8	34	34.6
2	34	35	35.6
2.3	35	36	36.5
3	36.2	37	37.4
3.3	37.2	37.8	38.3
4	38.4	38.6	39.2
4.3	39.5	39.4	40
5	41	40.6	41
5.3	41.8	41.4	41.9
6	43	42.2	43
6.3	44	43	44
7	45	43.8	45
7.3	46	44.6	46
8	47	45.8	47.2
8.3	48	46.4	48.4
9	49	47.4	49.6
9.3	50	48.6	50.8
10	50.8	49.5	51
10.3	52.8	50.5	51.5
11	53.2	51.4	52.2
11.3	54	52.4	52.8
12	54.7	53.2	53.4
12.3	55.5	54	54

ความถี่ 30 kHz	อุณหภูมิ (Temperature, °C)		
	หม้อคราม้าลาย (Time, minute)	หม้อคราพระอาทิตย์ 16 cm	หม้อคราพระอาทิตย์ 20 cm
13	56	54.7	54.3
13.3	57	55.5	54.9
14	58	56.4	55.1
14.3	58.8	57.2	55.8
15	59.5	58	56.3
15.3	60.2	58.6	57
16	60.8	59.2	57.8
16.3	61.5	59.8	58.6
17	62.2	60.4	59.2
17.3	63	61	60.1
18	63.7	61.6	60.8
18.3	64.3	62.2	61.8
19	65	62.8	62.6
19.3	65.8	63.4	63
20	66.6	64	63.6

ตารางที่(ก-3) บันทึกผลการทดลองจากแปลค่าความถี่เท่ากับ 41.67 kHz
ที่สภาวะแรงดัน 90 V. อุณหภูมิห้อง 31 °c

ความถี่ 41.67 kHz	อุณหภูมิ (Temperature,)			
	เวลา (Time, minute)	หม้อคราม้าลาย 16 cm	หม้อคราพระอาทิตย์ 16 cm	หม้อคราพระอาทิตย์ 20 cm
0		31	31	31
0.3		32	32	31.4
1		33	33	32
1.3		34	34	33.6
2		35.2	35	34.2
2.3		36.4	36	35.8
3		38.5	37	36.5
3.3		39	38.2	37.6
4		40	39	38.6
4.3		41	40.2	39.6
5		42	41.4	40.8
5.3		43	42.2	41.6
6		44	43	42.5
6.3		45.2	44	43.9
7		46	45	44.8
7.3		47	46	45.9
8		48	47	46.9
8.3		49	48	47.8
9		50	48.8	48.3
9.3		51	49.8	49.3
10		52	50.8	50.3
10.3		53	52	51.5
11		53.9	52.8	52.3
11.3		54.8	53.5	53.3
12		55.6	54.2	54.2

ความถี่ 41.67 kHz	อุณหภูมิ (Temperature, °C)			
	เวลา (Time, minute)	หม้อต้มน้ำลาย 16 cm	หม้อต้มพระอาทิตย์ 16 cm	หม้อต้มพระอาทิตย์ 20 cm
	12.3	56.4	54.9	54.3
	13	57.6	55.6	54.6
	13.3	58	56.4	56.2
	14	59	57.2	57
	14.3	60	58.2	57.2
	15	60.8	59	58.2
	15.3	61.2	59.8	59.3
	16	61.9	60.6	60.3
	16.3	62.2	61.3	61
	17	63.4	62	61.8
	17.3	64.2	62.7	62.4
	18	65	63.4	63
	18.3	65.6	64.1	63.6
	19	66.5	64.8	64.6
	19.3	67	65.5	65.2
	20	67.6	66.2	66

ตารางที่(ก-4) บันทึกผลการทดลองจากแปลค่าความถี่เท่ากับ 50 kHz
ที่สภาวะแรงดัน 90 V. อุณหภูมิห้อง 31 °C

ความถี่ 50 kHz	อุณหภูมิ (Temperature, °C)		
	หม้อต้มมาลา 16 cm	หม้อต้มพระอาทิตย์ 16 cm	หม้อต้มพระอาทิตย์ 20 cm
เวลา (Time, minute)			
0	31	31	31
0.3	31.5	32	31.2
1	32.2	33	32
1.3	33.8	34	32.8
2	34.6	35	33.6
2.3	35.8	36	34.8
3	37	37	36.1
3.3	38	38	37.3
4	39.2	39	38.2
4.3	40	40	39.2
5	41.2	41.4	40.3
5.3	42.2	42.2	41
6	43.5	43	41.8
6.3	44.6	44	43
7	45.5	45	44
7.3	46.5	46	45.2
8	47.5	47	46.6
8.3	48.5	48	47.6
9	49.4	49	48.6
9.3	50.5	50	49.6
10	51.4	51	50.8
10.3	52.2	52	51.9
11	53	53	52.8
11.3	54	54	53.9
12	55	54.6	54.4

ความถี่ 50 kHz	อุณหภูมิ (Temperature, °C)		
	หม้อต้มน้ำลาย (Time, minute)	หม้อตราพระอาทิตย์ 16 cm	หม้อตราพระอาทิตย์ 20 cm
12.3	56	55.4	55.2
13	56.8	56.2	56
13.3	57.8	57	56.7
14	58.8	58	57.7
14.3	59.4	58.8	58.2
15	60.2	59.4	59
15.3	61	60	59.8
16	61.8	61.8	60.8
16.3	62.5	62.5	61.6
17	63.5	63	62.4
17.3	64.2	63.6	63
18	64.8	64.2	63.6
18.3	65.8	64.8	63.9
19	66.2	65.4	64.7
19.3	67	66	65.5
20	67.8	66.6	66.2

ตารางที่(ก-5) บันทึกผลการทดลองจากแปลค่าความถี่เท่ากับ 62.5 kHz
ที่สภาวะแรงดัน 90 V.อุณหภูมิห้อง 31 °c

ความถี่ 62.5 kHz	อุณหภูมิ (Temperature, °C)		
	หม้อต้มน้ำลาย 16 cm	หม้อตราพระอาทิตย์ 16 cm	หม้อตราพระอาทิตย์ 20 cm
เวลา (Time, minute)			
0	31	31	31
0.3	32.2	32	31.6
1	33.5	33.2	32.4
1.3	34.8	34.2	33.6
2	36	35	34.4
2.3	37	36.2	35.2
3	38	37.4	36
3.3	39.2	38.4	36.8
4	40.2	39.4	37.2
4.3	41.2	40.4	38.2
5	42.2	41.4	39
5.3	43.6	42.4	39.6
6	44.8	43.6	40.4
6.3	45.5	44.8	41.6
7	46.5	45.6	43
7.3	47.8	46.5	43.8
8	48.8	47.6	45
8.3	49.8	48.6	46
9	50.8	49.6	46.8
9.3	51.6	50.5	47.9
10	52.8	51.5	49.2
10.3	53.8	52.8	50.4
11	54.8	53.6	51.6
11.3	55.2	54.6	52.6
12	56.2	55.6	53.6
12.3	57	56.6	54.9

ความถี่ 62.5 kHz	อุณหภูมิ (Temperature, °C)		
เวลา (Time, minute)	หม้อคราม้าลาย 16 cm	หม้อคราพระอาทิตย์ 16 cm	หม้อคราพระอาทิตย์ 20 cm
13	58	57.6	56.2
13.3	59	58.6	57.4
14	60	59.6	58.6
14.3	60.8	60.6	59.6
15	61.5	61.6	60.4
15.3	62.2	62.4	61.4
16	63	63.2	62.4
16.3	64	64	63.2
17	64.8	64.8	64.2
17.3	65.4	65.6	65
18	66	66.4	65.6
18.3	67	67	66.2
19	67.5	67.4	66.8
19.3	68.2	67.8	67.6
20	69	68.2	68

ตารางที่(ก-6) บันทึกผลการทดลองจากแปลค่าความถี่เท่ากับ 71.4 kHz
ที่สภาวะแรงดัน 90 V. อุณหภูมิห้อง 31 °c

ความถี่ 71.4 kHz	อุณหภูมิ (Temperature, °c)		
	หม้อคราม้าลาย 16 cm	หม้อคราพระอาทิตย์ 16 cm	หม้อคราพระอาทิตย์ 20 cm
เวลา (Time ,minute)			
0	31	31	31
0.3	32	32	31.6
1	33.4	33.5	32.6
1.3	34.4	34.5	33.3
2	35.2	35.5	33.9
2.3	36.5	36.5	34.6
3	37.6	37.5	35.4
3.3	38.5	38.5	36.2
4	39.5	39.5	36.9
4.3	40.8	40.5	38
5	41.7	41.5	39.3
5.3	42.5	42.4	40
6	43.6	43.4	41.2
6.3	44.5	44.4	42.2
7	45.5	45.2	43.4
7.3	46	46	44.2
8	47	46.8	45
8.3	48	47.6	45.9
9	49	48.4	47
9.3	49.8	49.2	47.9
10	50.7	50	48.8
10.3	51.2	50.8	49.4
11	52.2	51.6	50.2
11.3	53.1	52.4	51
12	54	53.2	51.6
12.3	55	53.8	52.6

ความถี่ 71.4 kHz	อุณหภูมิ (Temperature, °C)		
เวลา (Time, minute)	หม้อต้มน้ำลาย 16 cm	หม้อต้มพระอาทิตย์ 16 cm	หม้อต้มพระอาทิตย์ 20 cm
13	55.8	54.6	53.2
13.3	56.4	55.2	54.2
14	57.1	55.8	54.9
14.3	58	56.4	55.4
15	58.9	57	56.2
15.3	59.5	57.8	57
16	60.2	58.4	57.6
16.3	61	59	58.4
17	61.8	59.6	59
17.3	62.5	60.2	59.6
18	63	60.8	60.1
18.3	63.6	61.4	60.8
19	64.2	62	61.4
19.3	64.8	62.6	62.1
20	65.4	63.2	62.6

ตารางที่(ก-7) บันทึกผลการทดลองจากแปลค่าความถี่เท่ากับ 83 kHz
 ที่สภาวะแรงดัน 90 V. อุณหภูมิห้อง 31 °C

ความถี่ 83 kHz	อุณหภูมิ (Temperature, °C)		
	หม้อต้มน้ำลาย 16 cm	หม้อคราพะระอาทิตย์ 16 cm	หม้อคราพะระอาทิตย์ 20 cm
เวลา (Time,minute)			
0	31	31	31
0.3	32	32	31.6
1	34	33.5	32.4
1.3	35.5	35	33.2
2	36.5	36	33.8
2.3	37.8	37.4	34.8
3	39	38.4	38.2
3.3	40	39.4	39
4	41	40.4	39.6
4.3	41.8	41.4	40.8
5	43	42.6	41.4
5.3	44	43.6	42.4
6	45	44.6	43.2
6.3	46	45.6	44.2
7	47	46.6	45
7.3	47.8	47.4	45.9
8	48.8	48.4	46.4
8.3	49.9	49.4	47.2
9	50.6	50.4	48
9.3	51.8	51.4	49
10	52.5	52.4	49.8
10.3	53.3	53.2	50.8
11	54	54	51.6
11.3	55	54.8	52.8
12	56	55.6	53.8
12.3	57	56.4	54.8

ความถี่ 83 kHz	อุณหภูมิ (Temperature, °C)		
	หม้อต้มข้าวกลาย 16 cm	หม้อต้มราพระอาทิตย์ 16 cm	หม้อต้มราพระอาทิตย์ 20 cm
13	57.8	57.2	55.8
13.3	58.5	58	57
14	59.3	58.8	57.8
14.3	60	59.4	58.8
15	61	60.5	59.6
15.3	61.7	61.2	60.8
16	62.3	61.9	61.6
16.3	63	62.6	62.4
17	63.8	63.3	63.2
17.3	64.7	64	64
18	65.3	64.7	64.4
18.3	66	65.4	65
19	66.8	66	65.6
19.3	67.5	66.6	66.5
20	68	67.4	67

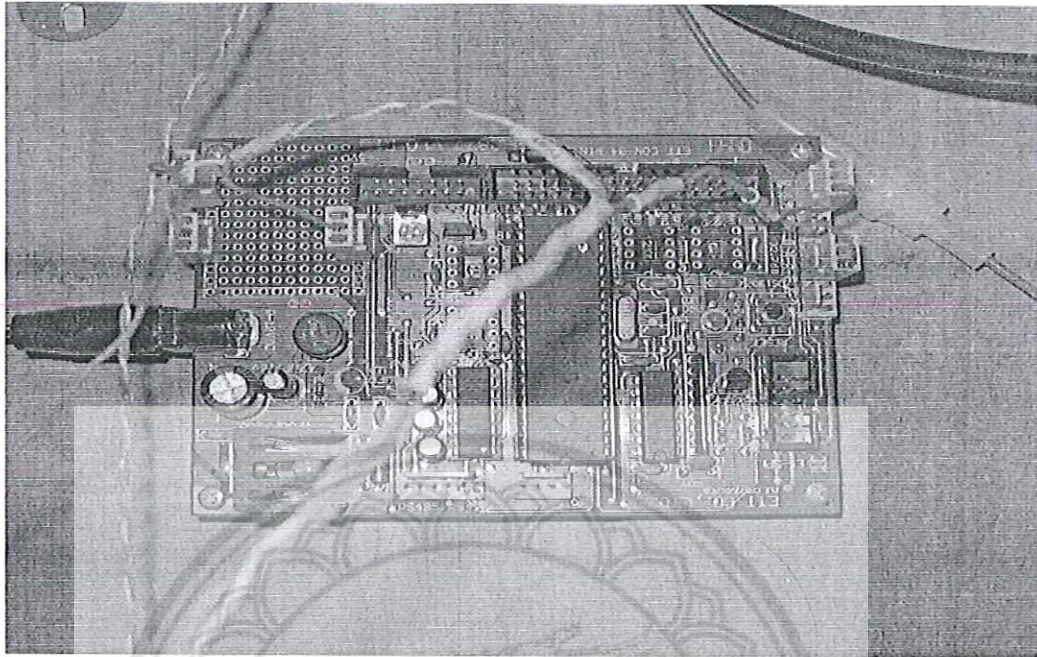
ตารางที่(ก-8) บันทึกผลการทดลองจากแปลค่าความถี่เท่ากับ 100 kHz
ที่สภาวะแรงดัน 90 V. อุณหภูมิห้อง 31 °c

ความถี่ 100 kHz	อุณหภูมิ (Temperature, °c)		
	หม้อต้มมีลาย 16 cm	หม้อต้มพระอาทิตย์ 16 cm	หม้อต้มพระอาทิตย์ 20 cm
เวลา (Time,minute)			
0	31	31	31
0.3	34	32.5	32
1	36	33.5	33
1.3	37	35	34
2	38.5	36	34.9
2.3	39.2	37.5	35.9
3	40.9	38.6	36.9
3.3	41.5	39.8	38
4	42.3	41	39.4
4.3	43.8	42.2	40.4
5	44.5	43	42
5.3	45.6	44	43
6	46.7	45	44.2
6.3	48	46	45.4
7	48.8	47	46.4
7.3	49.5	48	47.6
8	50.2	49	48.4
8.3	51.2	50	49.2
9	52.4	50.8	50.2
9.3	53.7	51.6	51.2
10	54.2	52.4	52
10.3	55	53.2	52.8
11	56	54	53.6
11.3	57	54.8	54.4
12	58	55.6	55.2
12.3	59	56.4	56
13	59.8	57.2	56.6

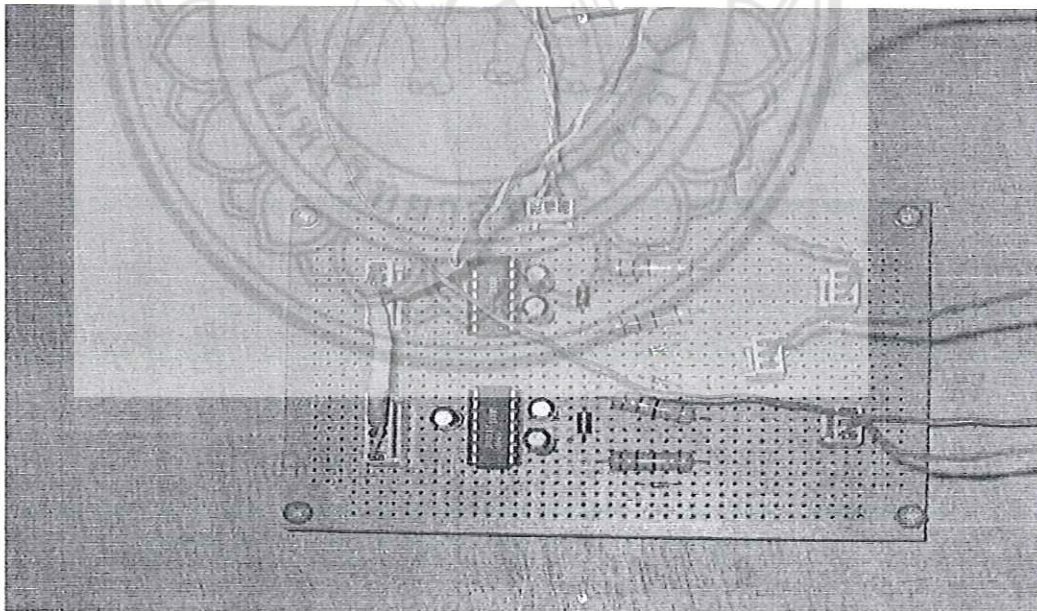
ความถี่ 100 kHz	อุณหภูมิ (Temperature, °C)		
เวลา (Time, minute)	หม้อต้มน้ำถาย 16 cm	หม้อต้มพระอาทิตย์ 16 cm	หม้อต้มพระอาทิตย์ 20 cm
13.3	60.7	58.2	57.2
14	61.7	59	58
14.3	62	59.8	58.8
15	63	60.6	59.6
15.3	63.8	61.4	60.4
16	64.5	62.2	61.2
16.3	65.3	63	62.2
17	66	64	63
17.3	66.8	65.2	63.8
18	67.5	66	64.6
18.3	68	66.8	65.1
19	68.8	67.6	65.8
19.3	69.5	68.4	66.8
20	70.3	69.2	67.8



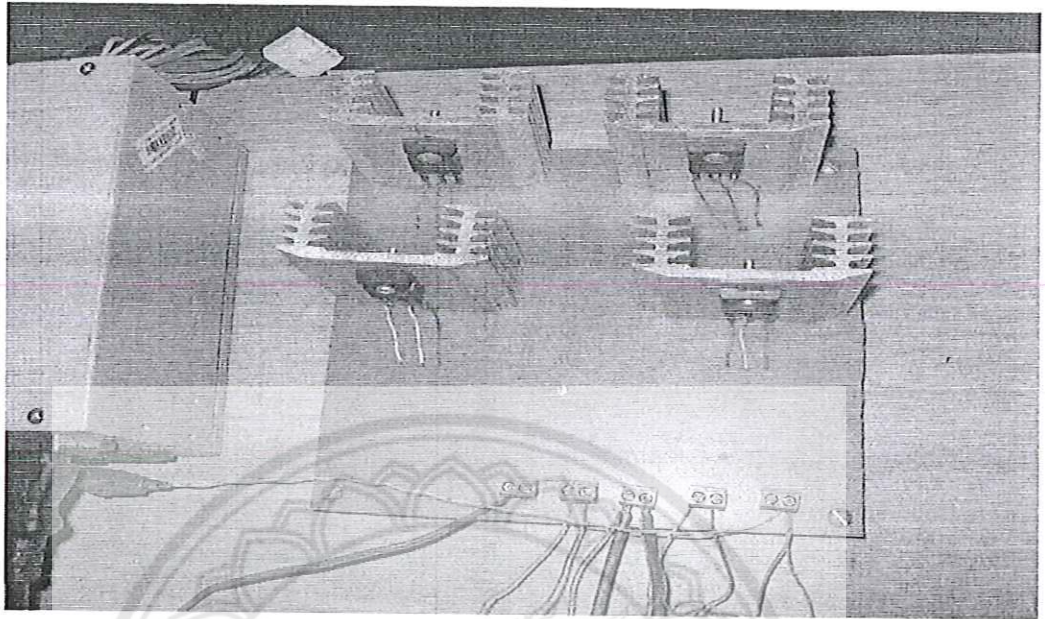
วงจรถูกตัดขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกสำหรับระบบไฟกระแสตรงแรงดันต่ำ



รูป ก. ชุดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 877



รูป ข. ชุดบอร์ดวงจรขับเกต (Gate Driver)



รูป ก. ชุดบอร์ดวงจรพูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์



ประวัติผู้ทำโครงการ

1. นายจักรพันธ์ เอี่ยมศิริรักษ์

จบการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จาก โรงเรียนเซนต์โยเซฟศรีเพชรบูรณ์ อ.เมือง
จ.เพชรบูรณ์ ที่อยู่บ้านเลขที่ 52 ม.2 ต.ท่าโรง อ.วิเชียรบุรี จ. เพชรบูรณ์ 67130
ปัจจุบันศึกษาอยู่ชั้นปีที่ 4 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

2. นายณัฐพล ถาวรกุล

จบการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จาก โรงเรียนตะพานหิน อ.ตะพานหิน จ.พิจิตร
ที่อยู่บ้านเลขที่ 46/4 ถนนร่มเกล้า ต.ตะพานหิน อ.ตะพานหิน จ.พิจิตร 66110
ปัจจุบันศึกษาอยู่ชั้นปีที่ 4 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

3. นายชัยวัฒน์ นมเนย

จบการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จาก โรงเรียนพิชัย อ.พิชัย จ.อุตรดิตถ์
ที่อยู่บ้านเลขที่ 63 ม.4 ต.บ้านโคน อ.พิชัย จ.อุตรดิตถ์ 53120
ปัจจุบันศึกษาอยู่ชั้นปีที่ 4 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

4. นายโชติชัย สลีอ่อน

จบการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จาก โรงเรียนเชียงกลาง"ประชาพัฒนา" ต.พระพุทธบาท
อ.เชียงกลาง จ.น่าน
ที่อยู่บ้านเลขที่ 7 ม.2 ต.พระพุทธบาท อ.เชียงกลาง จ.น่าน 55160
ปัจจุบันศึกษาอยู่ชั้นปีที่ 4 ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก