

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



เตาหุงต้มเหนี่ยวนำ
INDUCTION COOKING



นาย พิเศษฐ์ กล้าเกษตรวิทย์
นาย อุเทน ธรรมดา
นาย ไพกิต ศรีสังข์งาม
นาย สันติ รัตนรุ่งชัย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

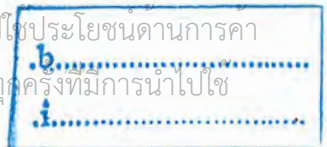
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 55599
วัน,เดือน,ปี 20 พ.ค. 2548



เตาหุงต้มเหนี่ยวนำ
INDUCTION COOKING



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2546

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เตาหุงต้มเหนี่ยวนำ (INDUCTION COOKING)

ผู้จัดทำ

- | | | |
|--------------|----------------|----------|
| 1 นาย พิเชษฐ | กล้าเกษตรวิทย์ | 44015116 |
| 2 นาย อุเทน | ธรรมดา | 44015137 |
| 3 นาย ไพทิต | ศรีสังข์งาม | 44015160 |
| 4 นาย ถันติ | รัตนรุ่งชัย | 44015175 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตาหุงต้มเหนียวน้ำ

| | | |
|-----------------|----------------|------------------|
| นาย พิเชษฐ | กล้าเกษตรวิทย์ | 44015116 |
| นาย อุเทน | ธรรมดา | 44015137 |
| นาย ไพกิต | ศรีสังข์งาม | 44015160 |
| นาย สันติ | รัตนรุ่งชัย | 44015175 |
| รศ.ดร.วิจิตร | กิณเรศ | อาจารย์ที่ปรึกษา |
| อาจารย์ ชัยทัต | มณีอินทร์ | อาจารย์ที่ปรึกษา |
| ปีการศึกษา 2546 | | |

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นกรนำเสนอการออกแบบและการสร้างหม้อต้มน้ำ โดยอาศัยการเหนียวน้ำความถี่สูงเพื่อนำไปใช้ในการหุงต้มอาหาร เพราะเตาหุงต้มอาหารในปัจจุบันนั้นจะใช้พลังงานที่สิ้นเปลืองมากและไม่ค่อยมีความปลอดภัยอีกด้วย โครงการนี้เป็นการศึกษาการถ่ายเทความร้อนโดยใช้หลักการเรโซแนนซ์ซึ่งจะใช้ DSP เบอร์ TMS230LF2406 ซึ่งมีความรวดเร็วในการประมวลผล และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องนั้นมีราคาถูก สร้างสัญญาณความถี่ 29-31 kHz ขั้ววงจรฮาร์ฟบริดจ์ อินเวอร์เตอร์ โดยมีไอจีบีทีเป็นอุปกรณ์สวิตช์และสามารถควบคุมระดับความร้อนได้โดยใช้หลักการควบคุมความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INDUCTION COOKING

Pichet Klakasetwit

Uthan Thammada

Paigit Srisungngam

Santi Rattanasungchai

Assoc.Prof.Dr.Vijit Kinaree Advisor

Mr.Chaitouch Manee-in Advisor

2003

Abstract

This project presents the design and the construction of a high frequency induction cooking pot for restaurant applications. The pot provides a compact size, high efficiency, energy saving. The input power is approximately 1.2 kW. This project is an application of heating transfer based on principle of resonance, using DSP TMS230LF2406 because of fast processing and small size of related devices. The operating frequency varies between 29 – 31 kHz. An IGBT half bridge inverter is used with heating level control technique.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการดำเนินการศึกษาและวิจัยจาก ผศ.ดร. วิจิตร กิณทรศ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ ผู้วิจัยซาบซึ่งในความอนุเคราะห์จากท่านและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณที่ลืมหืมเป็นอย่างสูงที่คอยดูแลเอาใจใส่โครงการนี้อย่างใกล้ชิด ขอขอบคุณในความช่วยเหลือและคำแนะนำทั้งทางด้านโปรแกรมและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ อย่างมากมายขอบคุณที่หนูที่คอยให้กำลังใจให้คำปรึกษาดีๆ แก่บ่อยๆ ขอขอบคุณพี่ศที่คอยให้คำปรึกษาทุกเมื่อขอบคุณพี่ติวที่คอยให้กำลังใจตลอด ขอขอบคุณพี่ดี , แบนซ์ ที่คอยให้คำปรึกษาและหาอุปกรณ์ให้เสมอเมื่อต้องการ ขอขอบคุณพี่ดี , พี่วีระ , พี่เจี๊ยบ , พี่โจ , พี่มิน และพี่ ป.โท ทุกท่านที่คอยให้คำปรึกษา ขอขอบคุณเพื่อนและน้องๆ ที่คอยให้คำปรึกษาและคอยให้กำลังใจที่ดีเสมอมาจนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ของผู้ร่วมทำโครงการนี้ทุกท่าน ผู้ที่เป็นกำลังใจอันยิ่งใหญ่ ผู้ที่คอยห่วงใยและคอยให้กำลังใจเสมอมาเมื่อยามเหน็ดเหนื่อยและท้อแท้จนทำให้โครงการนี้สำเร็จได้สมความปรารถนาของทุกคน

คุณค่าและประโยชน์อันพึงได้รับจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ร่วมทำโครงการนี้ขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นาย พิเชษฐ กล้าเกษตรวิทย์
นาย อุเทน ธรรมดา
นาย ไพทิด ศรีสังข์งาม
นาย สันติ รัตนรุ่งชัย

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อ | I |
| ABSTRACT | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญภาพ | VI |
| สารบัญตาราง | VIII |
| บทที่ 1 บทนำ | I |
| บทที่ 2 ทฤษฎีหลักการให้ความร้อนเหนี่ยวนำ | 3 |
| 2.1 บทนำ | 3 |
| 2.2 พื้นฐานของการเกิดความร้อนเหนี่ยวนำความถี่สูง | 3 |
| บทที่ 3 การวิเคราะห์หลักการการทำงานและการออกแบบวงจร | 10 |
| 3.1 บทนำ | 10 |
| 3.2 โครงสร้างของวงจรเตาหุงต้มแบบเหนี่ยวนำ | 10 |
| 3.2.1 วงจร EMI Filter | 11 |
| 3.2.2 วงจรเรียงกระแส (Rectifier) | 12 |
| 3.2.2.1 หลักการทำงาน | 12 |
| 3.2.2.2 การออกแบบไดโอด | 13 |
| 3.2.3 อินเวอร์เตอร์ | 13 |
| 3.2.3.1 หลักการทำงาน | 13 |
| 3.2.3.2 การออกแบบวงจรกำลังอินเวอร์เตอร์ | 14 |
| 3.2.3.3 วงจรเดค ไทม์ | 15 |
| 3.2.4 วงจรขับเคลื่อน (Gate Drives Circuit) | 16 |
| 3.2.5 วงจรป้องกันกระแสเกิน | 16 |
| 3.2.6 วงจรควบคุม | 17 |
| 3.2.6.1 ขั้นตอนการสร้างสัญญาณ PWM | 17 |
| 3.2.7 ชุดวงจร โหลดเรโซแนนซ์ | 19 |
| 3.2.7.1 การออกแบบวงจร | 19 |
| บทที่ 4 ผลการจำลองการทำงาน | 22 |
| 4.1 บทนำ | 22 |
| 4.2 การจำลองการทำงานเตาหุงต้มเหนี่ยวนำ | 22 |
| 4.2.1 การจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม Matlab | 22 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 4.2.1.1 คลื่นสัญญาณกระแส แรงดัน อินพุท และ เอาท์พุท | 24 |
| 4.2.1.2 รูปคลื่นสัญญาณกระแส แรงดัน ก่อนฟิลเตอร์กระแส | 29 |
| 4.2.1.3 รูปคลื่นสัญญาณกระแส แรงดัน ที่จุดเชื่อมโยง | 30 |
| 4.2.1.4 ผลการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า ประสิทธิภาพ และตัวประกอบกำลัง | 32 |
| บทที่ 5 ผลการทดลอง | 38 |
| 5.1 ผลการทดลองทางด้านอินพุทเมื่อมีการเปลี่ยนความถี่ต่างๆ | 38 |
| 5.2 สรุปผลการทดลอง | 42 |
| 5.3 ผลการทดลองทางด้านเอาท์พุทเมื่อมีการเปลี่ยนความถี่ต่างๆ | 42 |
| 5.4 สรุปผลการทดลอง | 46 |
| บทที่ 6 บทวิจารณ์และสรุป | 49 |
| 6.1 จุดเด่นของโครงงาน | 49 |
| 6.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนา | 49 |
| 6.3 ประโยชน์ที่ได้รับ | 50 |
| ภาพผนวก | |
| เอกสารอ้างอิง | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2.1 หลักการให้ความร้อนของเตาหุงต้มเหนียวน้ำ | 3 |
| รูปที่ 2.2 วงจรเทียบเท่าของเตาหุงต้มเหนียวน้ำกับภาชนะหุงต้ม | 4 |
| รูปที่ 2.3 อิมพีแดนซ์เทียบเท่าของขดลวดเหนียวน้ำกับภาชนะหุงต้ม | 4 |
| รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสกับระยะทางจากผิวของภาชนะหุงต้ม | 7 |
| รูปที่ 2.5 เส้นกราฟแสดงการหาค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของภาชนะหุงต้มจากตารางที่ 2-1 | 8 |
| รูปที่ 3.1 วงจรกำลังและวงจรควบคุมของเตาหุงต้มเหนียวน้ำ | 10 |
| รูปที่ 3.2 แสดงวงจร EMI Filter | 12 |
| รูปที่ 3.3 ชนิดของวงจรเรียงกระแสชนิด 1 เฟสแบบต่างๆ | 12 |
| รูปที่ 3.4 วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์ | 14 |
| รูปที่ 3.5 ลักษณะโมดูล ไอจีบีที และแผ่นระบายความร้อน | 15 |
| รูปที่ 3.6 สัญญาณขับเกท S_1 และ S_2 ที่มีการประวิงเวลา | 16 |
| รูปที่ 3.8 วงจรขยายสัญญาณขับ ไอจีบีที | 16 |
| รูปที่ 3.8 (a) แสดงวงจรป้องกันกระแสด้านขาเข้า (Input) | 17 |
| รูปที่ 3.8 (b) แสดงวงจรป้องกันกระแสเกินด้าน โหลด | 17 |
| รูปที่ 3.8 การสร้างสัญญาณ PWM แบบสมมาตร | 18 |
| รูปที่ 3.10 การสร้างสัญญาณ PWM แบบไม่สมมาตร | 19 |
| รูปที่ 3.11 วงจรโซ่แบนซ์และโหลด | 19 |
| รูปที่ 3.12 รูปทรงของขดลวดเหนียวน้ำของภาชนะก้นแบน | 20 |
| รูปที่ 3.13 ผังงานการหาค่าตัวเหนียวน้ำและตัวเก็บประจุรีโซแนนซ์ | 21 |
| รูปที่ 4.1 วงจรที่ใช้จำลองของเตาหุงต้มเหนียวน้ำ | 23 |
| รูปที่ 4.2 วงจรการจำลองเพื่อวัดรูปคลื่นแรงดัน กระแส จุด A และ B | 25 |
| รูปที่ 4.3 กระแส แรงดัน อินพุตและเอาต์พุตขณะทำงานที่ความถี่ 30 kHz | 26 |
| รูปที่ 4.4 กระแส แรงดัน อินพุตและเอาต์พุตขณะทำงานที่ความถี่ 35 kHz | 27 |
| รูปที่ 4.5 กระแส แรงดัน อินพุตและเอาต์พุตขณะทำงานที่ความถี่ 40 kHz | 28 |
| รูปที่ 4.6 วงจรการจำลองเพื่อวัดรูปคลื่นแรงดัน กระแส ที่จุด C | 29 |
| รูปที่ 4.7 รูปคลื่นกระแส (20V/A) และแรงดัน (1V/V) ที่วัดได้ | 30 |
| รูปที่ 4.8 วงจรการจำลองเพื่อวัดรูปคลื่นแรงดัน กระแส จุด D | 31 |
| รูปที่ 4.9 รูปคลื่นกระแส (50V/A) และแรงดัน (1V/V) ที่วัดได้ | 32 |
| รูปที่ 4.10 ผังงานขั้นตอนการคำนวณหาค่าต่างๆ | 33 |
| รูปที่ 4.11 กราฟค่ากำลังไฟฟ้ากับความถี่สวิตซ์ | 35 |
| รูปที่ 4.12 กราฟค่าตัวประกอบกำลังกับความถี่สวิตซ์ | 35 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ  ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 4.13 กราฟค่าประสิทธิภาพกับความถี่สวิตช์ | 36 |
| รูปที่ 4.14 กราฟค่า THD, กับค่าความถี่สวิตช์ | 36 |
| รูปที่ 5.1 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้าน input ที่ความถี่ 29 kHz | 39 |
| รูปที่ 5.2 แสดง Spectrum ของกระแสทางด้าน input ที่ความถี่ 29 kHz | 39 |
| รูปที่ 5.3 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้าน input ที่ความถี่ 30 kHz | 40 |
| รูปที่ 5.4 แสดง Spectrum ของกระแสทางด้าน input ที่ความถี่ 30 kHz | 40 |
| รูปที่ 5.5 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้าน input ที่ความถี่ 31 kHz | 42 |
| รูปที่ 5.6 แสดง Spectrum ของกระแสทางด้าน input ที่ความถี่ 31 kHz | 42 |
| รูปที่ 5.7 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้าน Output ที่ความถี่ 29 kHz | 43 |
| รูปที่ 5.8 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้าน Output ที่ความถี่ 29 kHz | 43 |
| รูปที่ 5.9 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้าน Output ที่ความถี่ 30 kHz | 44 |
| รูปที่ 5.10 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้าน Output ที่ความถี่ 30 | 44 |
| รูปที่ 5.11 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้าน Output ที่ความถี่ 31 kHz | 45 |
| รูปที่ 5.12 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้าน Output ที่ความถี่ 31 kHz | 45 |
| รูปที่ 5.13 กราฟค่ากำลังไฟฟ้ากับความถี่สวิตช์ | 47 |
| รูปที่ 5.14 กราฟค่าตัวประกอบกำลังกับความถี่สวิตช์ | 47 |
| รูปที่ 5.15 กราฟค่าประสิทธิภาพกับความถี่สวิตช์ | 48 |
| รูปที่ 5.16 กราฟค่า THD, กับค่าความถี่สวิตช์ | 48 |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ในภาชนะหุงต้มที่ความถี่ 30 kHz | 8 |
| ตารางที่ 4.1 ค่าต่างๆ ที่ได้จากการทำงาน | 34 |
| ตารางที่ 5.1 แสดงค่าต่างๆ ในขณะที่ปรับความถี่ในช่วงต่างๆ | 46 |



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบันอุปกรณ์ที่ใช้ให้ความร้อนในการหุงต้ม นั้นมีอยู่หลายชนิด โดยส่วนมากจะเป็นการใช้ขดลวดความร้อน และนำความร้อนที่ได้จากขดลวดถ่ายไปยังภาชนะอีกทีหนึ่ง ความร้อนที่เกิดขึ้นที่ภาชนะนั้นจะเป็นการให้ความร้อนโดยวิธีอ้อม ความร้อนไม่ได้ถ่ายทอดไปยังภาชนะโดยตรง ทำให้เวลานานในการหุงต้ม ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก ดังนั้นเพื่อลดพลังงานสูญเสียไปก็ต้องทำให้การหุงต้มเดือดโดยใช้เวลาน้อยที่สุด นั่นก็คือการทำให้ความร้อนเกิดขึ้นที่ภาชนะโดยตรงโดยใช้หลักการการความร้อนแบบเหนี่ยวนำ ซึ่งการให้ความร้อนเหนี่ยวนำ ก็คือการจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับความถี่สูงให้กับขดลวดเหนี่ยวนำ ขดลวดเหนี่ยวนำจะสร้างสนามแม่เหล็กที่เคลื่อนที่กับภาชนะหุงต้มทำให้เกิดกระแสไหลวนที่ก้นภาชนะ จะถ่ายเทความร้อนไปยังน้ำที่อยู่ในภาชนะทำให้น้ำเดือดในที่สุด ซึ่งวิธีดังกล่าวจะมีประโยชน์มากมายคือ ประหยัดพลังงาน มีความปลอดภัยต่อการใช้งาน ให้ความร้อนได้เร็วมาก มีประสิทธิภาพสูงเนื่องจากความร้อนที่จะเกิดขึ้นโดยตรงที่ก้นภาชนะหุงต้ม

สำหรับแหล่งจ่ายพลังงานที่ใช้ในการเหนี่ยวนำความร้อน เราจะใช้ความถี่สูงการใช้ความถี่สูง นั้นสามารถลดขนาดอุปกรณ์ ประเภท L และ C ได้สามารถให้กำลังไฟฟ้าสูงๆ อีกด้วยปัจจุบัน การวิจัยทางด้านเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ได้มีการพัฒนาไปอย่างมาก รวมถึงการพัฒนาอินเวอร์เตอร์ที่มีความถี่สูง โดยการใช้อุปกรณ์ประเภท MOSFET และ IGBT ซึ่งมีความไวในการสวิตซ์สูง

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการให้ความร้อน โดยการเหนี่ยวนำความถี่สูง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับเตาหุงต้มทั่วไป
- 1.2.3 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆ ในวงจรโซเนนชันนุกรม เช่น อิมพีแดนซ์ Quality Factor กำลังไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ
- 1.2.4 เพื่อศึกษาการประมวลผลแบบดิจิทัล (DSP) เบอร์ TMS320LF2406 มีความไวสูง

1.3 ขอบเขตการทำงาน

ศึกษาหลักการพื้นฐานของการกำเนิด ความร้อนแบบเหนี่ยวนำและศึกษาการประมวลผลสัญญาณแบบดิจิทัล (DSP)

1.4 วิธีการดำเนินงาน

- 1.4.1 ทำการวางแผนการทำงาน
- 1.4.2 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเตาหุงต้มเหี่ยวนำความถี่สูง
- 1.4.3 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอินเวอร์เตอร์รีโซแนนซ์แบบต่างๆ ที่สามารถใช้กับเตาหุงต้มได้อย่างเหมาะสม
- 1.4.4 ศึกษาการเขียนคำสั่งในการใช้งาน DSP เบอร์ TMS320LF2406
- 1.4.5 ออกแบบวงจรต่างๆ
- 1.4.6 ทดสอบพร้อมทั้งเก็บผลการทดลอง
- 1.4.7 เขียนและพิมพ์ปฏิญานิพนธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

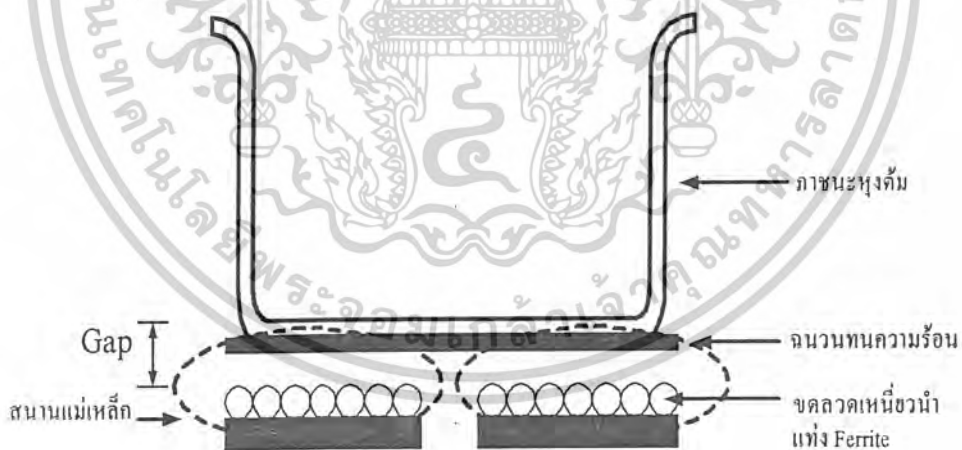
ทฤษฎีหลักการให้ความร้อนเหนี่ยวนำ

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง หลักการให้ความร้อนโดยอาศัยการเหนี่ยวนำความถี่สูงการพิจารณาวงจรเทียบเท่าของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำในลักษณะของหม้อแปลง เพื่อเป็นการวิเคราะห์ชุดโพลทฤษฎีเหนี่ยวนำได้ง่ายขึ้น โพลทฤษฎีเหนี่ยวนำที่ใช้วัสดุต่างชนิดกันจะมีค่าพารามิเตอร์ต่างกัน ดังนั้นวัสดุของภาชนะหุงต้มแต่ละชนิด จึงเป็นองค์ประกอบสำคัญในการพิจารณาและการออกแบบลักษณะการพันขดลวดเหนี่ยวนำเพื่อให้เหมาะสมกับโพลทฤษฎีเหนี่ยวนำนั้น ๆ

2.2 พื้นฐานของการเกิดความร้อนโดยการเหนี่ยวนำความถี่สูง

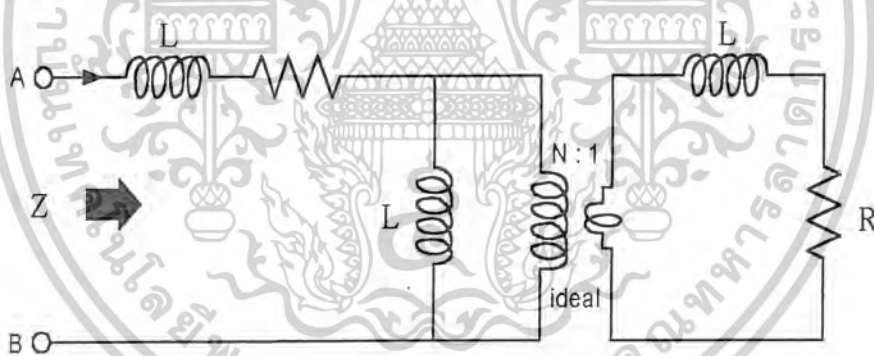
การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำนี้ ความร้อนจะเกิดขึ้นที่ภาชนะโดยตรงโดยอาศัยกระแสไหลวนในภาชนะหุงต้ม ทำให้เกิดความร้อนในเวลาอันรวดเร็วโดยจะมีหลักการพิจารณาเหมือนกับหม้อแปลง เพื่อหาค่าอินดักแตนซ์และความต้านทานเทียบเท่าต่างๆ ของขดลวดเหนี่ยวนำซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุของภาชนะแต่ละชนิด ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการพิจารณาเลือกใช้ภาชนะหุงต้มเหนี่ยวนำต่อไป



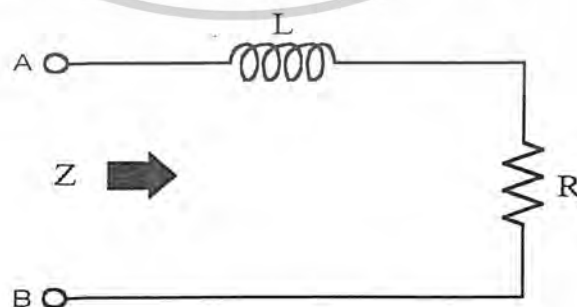
รูป 2.1 หลักการให้ความร้อนของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ จากรูปที่ 2.1 เมื่อป้อนกระแสสลับความถี่สูงให้กับขดลวดเหนี่ยวนำที่อยู่ใต้ภาชนะ ขดลวดเหนี่ยวนำจะสร้างสนามแม่เหล็กที่เกี่ยวคล้อง (Magnetic Flux) กับภาชนะหุงต้ม ถ้าภาชนะหุงต้มเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติเป็น สาร Ferro-Magnetic สนามแม่เหล็กที่เกี่ยวคล้องกับภาชนะหุงต้มจะทำให้เกิดกระแสไหลวน (Eddy Current) ในภาชนะหุงต้มเป็นเส้นทางปิด ทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน เป็นผลให้เกิดความร้อนขึ้นที่ก้นของภาชนะหุงต้มและจะถ่ายเทความร้อนไปยังน้ำในภาชนะหุงต้ม ทำให้น้ำเดือดได้ไฉนที่สุด ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะไม่มีการสัมผัสกันทางไฟฟ้าระหว่างขดลวดเหนี่ยวนำกับภาชนะ ทำให้ปลอดภัยต่อการใช้งาน เตาหุงต้มจะมีประสิทธิภาพในการหุงต้มสูง เนื่องจากความร้อนจะเกิดขึ้นที่ตัวภาชนะโดยตรง จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของขดลวดเหนี่ยวนำและไหลดภาชนะหุงต้มจะมีเส้นแรงแม่เหล็กที่เกี่ยวคล้องกันซึ่งกันและกัน ซึ่งมีลักษณะคล้ายหม้อแปลง โดยสามารถนำมาเขียนเป็นวงจรเทียบเท่าของหม้อแปลงดังรูปที่ 2.2 โดยภาชนะหุงต้มทำหน้าที่เป็นขดลวดทุติยภูมิมีจำนวนขดลวดเพียง 1 รอบ โดยมี Leakage Inductance ของภาชนะหุงต้ม L_v และความต้านทานของภาชนะ R_v ส่วนขดลวดทางด้านปฐมภูมิแทนด้วยขดลวดเหนี่ยวนำ โดยมี Leakage Inductance ของขดลวดเหนี่ยวนำ L_c ความต้านทานของขดลวดเหนี่ยวนำ R_c และ Magnetizing Inductance L_m ซึ่งมีค่าน้อย และเมื่อรวมกับ R_v และ L_v ทางด้านทุติยภูมิที่ย้ายมารวมกับด้านปฐมภูมิ แล้วจะได้อิมพีแดนซ์รวม Z_{eq} ประกอบด้วย R_{eq} และ L_{eq} ดังรูปที่ 2.3 ดังนั้นขดลวดเหนี่ยวนำและไหลดภาชนะหุงต้มนี้สามารถเขียนแทนด้วยวงจรเทียบเท่า



รูปที่ 2.2 วงจรเทียบเท่าของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำกับภาชนะหุงต้ม



รูปที่ 2.3 อิมพีแดนซ์เทียบเท่าของขดลวดเหนี่ยวนำกับภาชนะหุงต้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขดลวดเหนี่ยวนำและโพลคาชนะหุ้มสามารถเขียนแทนด้วยวงจรมุขกรเทียบเท่า ซึ่งประกอบด้วย อินдукแตนซ์เทียบเท่าและความต้านทานเทียบเท่า สามารถหาค่าได้ดังสมการ

$$R_{eq} = R_c + N^2 R_v \tag{2.1}$$

เมื่อ $R_{vp} = N^2 R_v$ ได้

$$R_{vq} = R_c + R_{vp} \tag{2.2}$$

$$L_{eq} = L_c + N^2 L_v \tag{2.3}$$

- โดยที่ N คือ จำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำ
- R_c คือ ความต้านทานของขดลวดปฐมภูมิหรือขดลวดเหนี่ยวนำ
- R_v คือ ความต้านทานของขดลวดทุติยภูมิหรือโพลคาชนะหุ้ม
- L_c คือ Leakage Inductance ทางด้านปฐมภูมิ
- L_v คือ Leakage Inductance ทางด้านทุติยภูมิ
- R_{vp} คือ ความต้านทานทางด้านปฐมภูมิ ของโพลคาชนะหุ้ม

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดเหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับ

$$P_c = I_c^2 R_c \tag{2.4}$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในโพลคาชนะหุ้มมีค่าเท่ากับ

$$P_v = I_v^2 R_v \tag{2.5}$$

เมื่อพิจารณาทางด้านปฐมภูมิจะได้

$$P_v = I_c^2 R_{vp} \tag{2.6}$$

เนื่องจาก

$$I_v = N I_c \tag{2.7}$$

- โดยที่ I_v คือ กระแสในโพลคาชนะหุ้ม
- I_c คือ กระแสในขดลวดเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นประสิทธิภาพของโหนดภาชนะหุงต้มจะได้ดังนี้

$$\eta = \frac{P_v}{P_v + P_c} \quad (2.8)$$

$$= \frac{I_v^2 R_v}{I_v^2 R_v + I_c^2 R_c} \quad (2.9)$$

$$= \frac{I_v^2 R_v}{\left[\frac{I_v^2}{N^2} \right] [R_v N^2] + I_c^2 R_c} \quad (2.10)$$

$$= \frac{I_v^2 R_v}{[I_c^2] R_{vp}] + I_c^2 R_c} \quad (2.11)$$

$$= \frac{R_{vp}}{R_{vp} + R_c} \quad (2.12)$$

$$= \frac{1}{1 + R_c / R_{vp}} \quad (2.13)$$

ความร้อนส่วนมากจะเกิดขึ้น โดยกระแสไหลวนในโหนดภาชนะหุงต้มที่บริเวณชั้นผิวนอกของภาชนะที่มีความลึกเท่ากับ δ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ของภาชนะหุงต้มดังสมการ

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{4\pi^2 \times 10^{-7}} \cdot \frac{\rho}{\mu_r f}} \quad (2.14)$$

โดยที่ ρ คือ สภาพความต้านทานทางไฟฟ้าของภาชนะ

f คือ ความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อน

μ_r คือ ความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

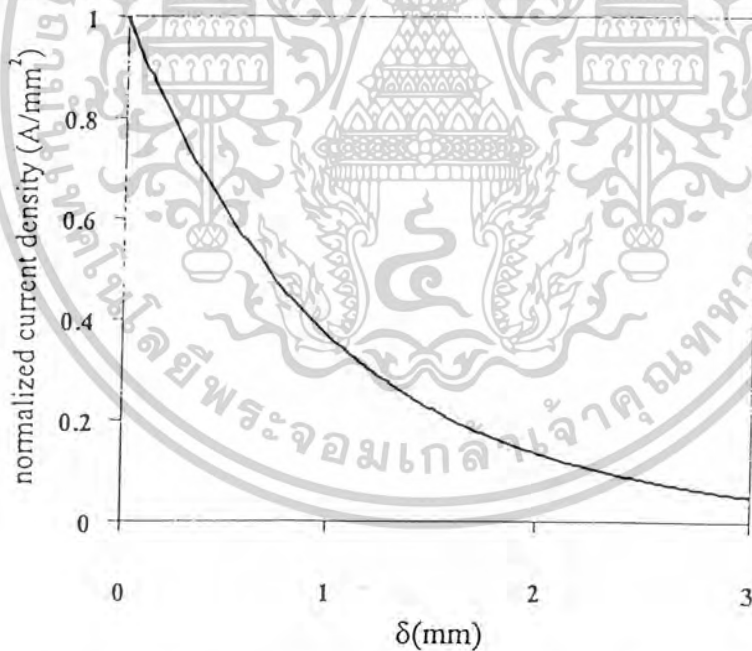
ดังนั้นความต้านทานที่ผิวของโพลีเอทิลีนสูงความถี่สูง R_v มีค่าดังนี้

$$R_v = \frac{P}{\delta} = \sqrt{4\pi^2 \times 10^{-7}} \cdot \sqrt{\rho\mu_r \cdot f} \quad (2.15)$$

จะได้กำลัง output ของโพลีเอทิลีนสูงความถี่สูง P_v ดังนี้

$$P_v = I_v^2 R_v = \sqrt{4\pi^2 \times 10^{-7}} \cdot (NI_c)^2 \cdot \sqrt{\rho\mu_r \cdot f} \quad (2.16)$$

จากสมการ(2.15)จะเห็นได้ว่าความต้านทานของโพลีเอทิลีนสูงความถี่สูง จะแปรผันโดยตรงกับความต้านทานทางไฟฟ้าของโพลีเอทิลีนสูงความถี่สูง ค่าความซึมซาบแม่เหล็กและความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนจากอินเวอร์เตอร์ จากสมการ (2.16) จะได้ว่าค่าการเพิ่มของเพาเวอร์เอทิลีนสูงความถี่สูงสามารถทำได้ โดยการเพิ่มความถี่ของกระแสในขดลวดเหนี่ยวนำและแอมแปร์-เทอรัน ของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสกับระยะทางจากผิวของโพลีเอทิลีนสูงความถี่สูง และจะลดลงเมื่อระยะทางจากผิวมากขึ้น

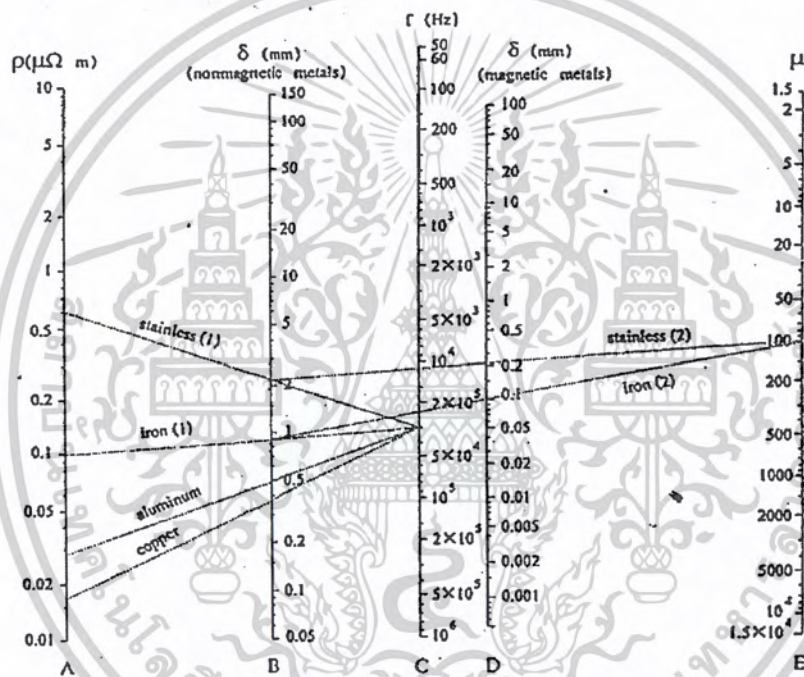


รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสกับระยะทางจากผิวของโพลีเอทิลีนสูงความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Material | Iron | Stainless | Aluminum | Copper |
|---|----------------------|---------------------|------------------------|------------------------|
| Resistivity ($\Omega \cdot m$) : ρ | 9.8×10^{-8} | 60×10^{-8} | 2.8×10^{-8} | 1.7×10^{-8} |
| Relative permeability : μ_r | 100 | 100 | 1 | 1 |
| Skin depth(mm) : δ | 0.999 | 0.225 | 0.486 | 0.378 |
| Surface resistivity($\Omega \cdot m$) : R_s | 11×10^{-4} | 27×10^{-4} | 0.575×10^{-4} | 0.448×10^{-4} |

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ในภาชนะหุงต้มที่ความถี่ 30 kHz



กรณีใช้วัสดุสาร Non-Ferro-Magnetic

ลากเส้นจากตำแหน่งบนสเกล ไปยังตำแหน่งบนสเกล f : c และอ่านค่าที่ได้บนสเกล

กรณีใช้วัสดุ Ferro-Magnetic

ลากเส้นระหว่างตำแหน่งบนสเกล และสเกล f : c จะได้จุดตัดกับตำแหน่งบนสเกล จากนั้นลากเส้นระหว่างจุดตัดนี้กับตำแหน่งบนสเกล จะได้จุดตัดใหม่ที่ตำแหน่งบนสเกล อ่านค่าที่ได้ตำแหน่งจุดตัดนี้

รูปที่ 2.5 เส้นกราฟแสดงการหาค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของภาชนะหุงต้มจากตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของภาชนะหุงต้มที่วัสดุต่าง ๆ กัน ที่ความถี่ 20 kHz จะเห็นว่าวัสดุที่ทำด้วยสาร non ferro-magnetic เช่น อลูมิเนียมและทองแดง มีสภาพความต้านทาน และความซึมซาบแม่เหล็ก ต่ำมากเมื่อเทียบกับสแตนเลสและเหล็กซึ่งทำด้วยสาร ferro-magnetic ดังนั้นการเพิ่มกำลังเอาต์พุตเพาเวอร์สำหรับ โหสที่ภาชนะทำด้วยสาร non ferro-magnetic สามารถกำหนดได้ตามสมการที่(2.16) คือเพิ่มความถี่ในขดลวดเหนี่ยวนำและเพิ่มจำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

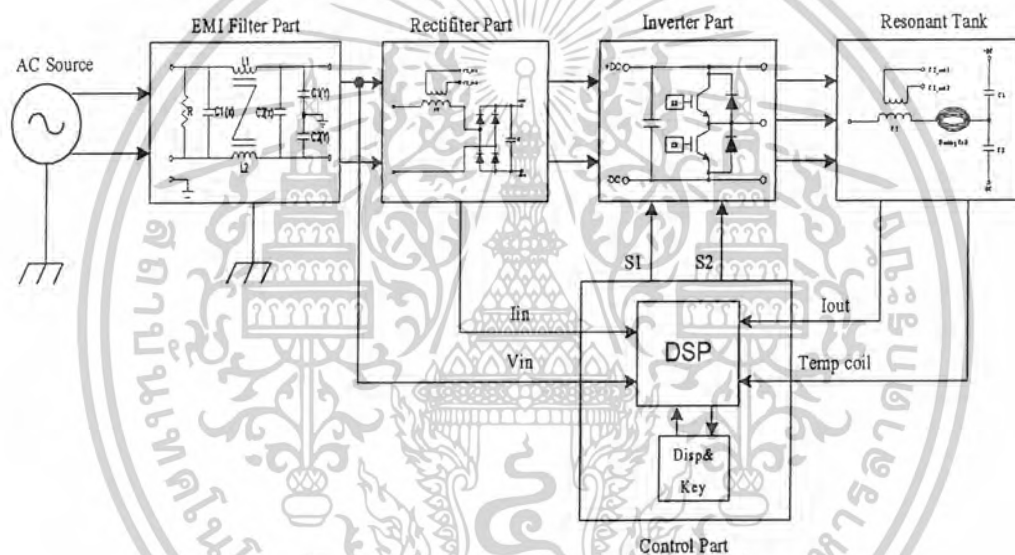
บทที่ 3

การวิเคราะห์หลักการทำงานและการออกแบบวงจร

3.1 คำนำ

ในบทนี้จะเป็นส่วนการออกแบบและการวิเคราะห์หลักการทำงานวงจร เพื่อนำไปส่งการรื้อสร้างทั้งวงจรควบคุมและวงจรกำลัง โดยรายละเอียดภายในได้กล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการออกแบบส่วนต่าง ๆ ของวงจรเตาหุงต้ม

3.2 โครงสร้างของวงจรเตาหุงต้มแบบเหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.1 วงจรกำลังและวงจรควบคุมของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนของการออกแบบจะต้องกำหนดคุณสมบัติการทำงานของเตาहुงค์ก่อน โดยที่กำหนดไว้มีดังนี้

| | |
|--|------------------------------|
| 1. พิกัดกำลังไฟฟ้า | 1.2 kW |
| 2. ระบบไฟฟ้าป้อนเข้า | 220 V \pm 10% 50 Hz |
| 3. มีระบบการป้องกัน คือ | |
| 3.1 ป้องกันกระแสด้านเข้าสูงเกิน | $\approx \geq 6.5 A_{rms}$ |
| 3.2 ป้องกันกระแสด้านออกสูงเกิน | $\approx \geq 27.5 A_{peak}$ |
| 3.3 ป้องกันอุณหภูมิสูงเกิน | |
| 3.4 ป้องกันไฟรั่วและไฟลุด | |
| 4. กระแสด้านเข้าใกล้เคียงชานซ์และมีตัวประกอบกำลังสูง | |
| 5. ปรับความร้อนได้อย่างต่อเนื่อง นุ่มนวล | |
| 6. ควบคุมด้วยระบบดิจิทัล | |

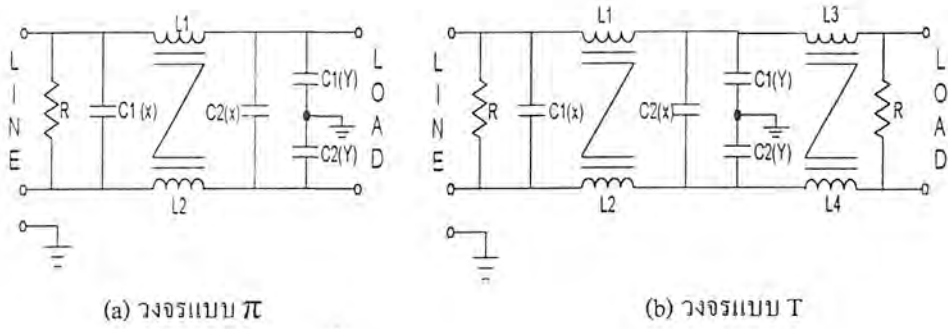
ตามคุณสมบัติที่ระบุไว้ข้างบน สามารถนำมาออกแบบวงจร และเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ ดังรูปที่ 3.1 โดยสามารถแยกพิจารณาการออกแบบได้เป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

3.2.1 วงจร EMI Filter

ในการทำงานของเตาहुงค์คัมเหนียวน่าจะใช้วงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อกำหนด ไฟฟ้ากระแสระดับความถี่สูง โดยมีการทำงานในลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสและความถี่สูงต่าง ๆ อย่างฉับพลัน ด้วยการทำงานดังกล่าวทำให้มีการสร้างสัญญาณรบกวน (Noise) ขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุทำให้การทำงานของระบบวงจรตัวเองหรือระบบใกล้เคียงเกิดการผิดพลาด ถ้าระดับสัญญาณรบกวนอยู่ในระดับที่มากเกินไป อุปกรณ์หรือระบบจะรับได้ สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะเป็นสัญญาณรบกวนของแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายทางอากาศ (Radiated) และสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายทางตัวนำ (Conducted)

ดังนั้นอินเวอร์เตอร์จำเป็นต้องมีวงจรฟิวเจอร์เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่จะออกไปภายนอกให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ วิธีการลดสัญญาณรบกวนที่จะออกไปภายนอกที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป คือ การต่อ LC ฟิวเจอร์คั่นอยู่ที่อินพุทกับระบบแรงดันไฟสลับ เพื่อลดสัญญาณรบกวนทั้งโหมดความแตกต่างและโหมดร่วม การต่อวงจร LC ฟิวเจอร์สามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น แบบพาย (π) หรือ แบบที (T) ดังรูปที่ 3.4 (a) และ 3.4 (b) ตามลำดับ แต่ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้คือ แบบ π เนื่องจากมีขนาดเล็กกว่าประหยัด และมีวงจรที่ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

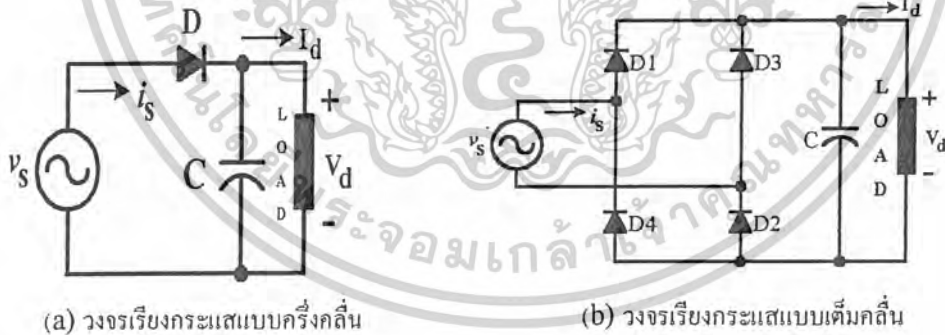


รูปที่ 3.2 แสดงวงจร EMI Filter

3.2.2 วงจรเรียงกระแส (Rectifier)

3.2.2.1 หลักการทำงาน

ในส่วนของวงจรนี้ ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ โดยใช้ไดโอดเป็นตัวเปลี่ยนขนาดและทิศทางของไดโอดขึ้นอยู่กับทิศทางของโหลดที่ต้องการ ไดโอดประเภทนี้จะเป็นชนิด Rectifier Diode ที่ไม่จำเป็นต้องมีความไวในการทำงานสูงนัก รูปแบบของวงจรจะถูกแบ่งตามชนิดของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้า คือ ชนิดสามเฟส และหนึ่งเฟส เนื่องจากโครงการนี้ออกแบบให้ขับไฟที่ป้อนเข้า 220 V, 1 เฟส ดังนั้น วงจรเรียงกระแสจึงใช้เป็นชนิด 1 เฟส ซึ่งรูปแบบของวงจรเรียงกระแสชนิดนี้ ยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier) และวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier) ดังแสดงตามรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ชนิดของวงจรเรียงกระแสชนิด 1 เฟสแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.2 การออกแบบไดโอด

ไดโอดที่ใช้ในโครงงานนี้ จะเป็นไดโอดกำลังชนิดเต็มคลื่นแบบโมดูล โดยพิกัดกำลังจะได้ตามสมการ คือ

$$P_{in} = V_{in} * I_{in} \cdot \cos \phi \quad (3.1)$$

โดยที่ P_{in} คือ กำลังไฟฟ้าด้านอินพุต (วัตต์ : W)
 V_{in} คือ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์ : V)
 I_{in} คือ กระแสไฟฟ้า (แอมป์ : A)
 $\cos \phi$ คือ ค่าประกอบกำลัง

ตามคุณสมบัติของเตาหุงต้มที่กำหนดไว้เป็น

| | | |
|-----------------------------|------|-------|
| พิกัดการทำงานของเครื่อง | 1200 | วัตต์ |
| ด้านอินพุตรับไฟฟ้ากระแสสลับ | 220 | โวลต์ |
| ตัวประกอบกำลังมีค่า | 0.99 | |

จากสมการ 3.1 จะได้

กระแสที่ไหลผ่านไดโอด 5.5 แอมป์

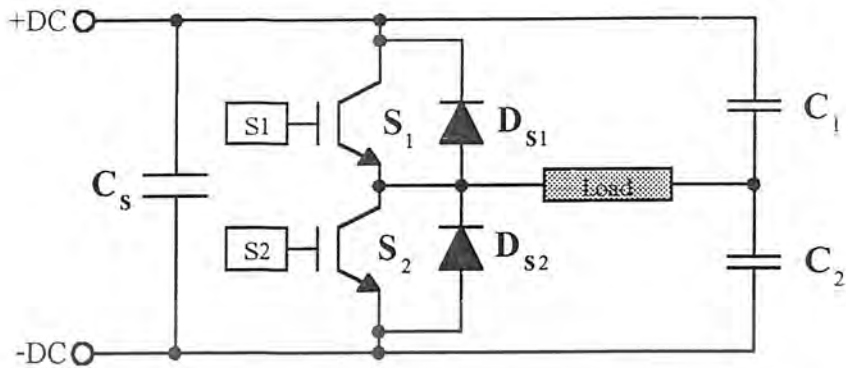
แต่เนื่องจากวงจรดังกล่าวมีการทำงานแบบสวิตซ์ ดังนั้น จึงกำหนดให้ไดโอดทำงานที่ 70% ของพิกัดตัวมันเอง จะได้ว่าไดโอดที่ควรเลือกมาใช้งานจะมีพิกัดกระแสอยู่ที่ 7.2 แอมป์ ดังนั้น จึงเลือกใช้ไดโอดขนาด 600 V 10 A นอกจากนี้ ในการใช้งานจริงต้องมีแผ่นระบายความร้อนอีกด้วย

3.2.3 อินเวอร์เตอร์

3.2.3.1 หลักการทำงาน

วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ได้เลือกนำมาใช้งานสำหรับโครงงานนี้ ได้เลือกแบบที่เป็นฮาล์ฟบริดจ์ (Half Bridge Inverter) ชนิดจ่ายแรงดัน (Voltage Source Inverter) ตามรูปที่ 3.3 เพราะเนื่องจากมีโครงสร้างของวงจรที่ง่าย แต่มีพิกัดการทำงานในช่วงปานกลาง (≤ 5 kW) โดยโครงงานนี้ได้กำหนดพิกัดกำลังไว้ที่ 1.2 kW ซึ่งเป็นที่เพียงพอสำหรับจะเลือกใช้งานอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ แต่ข้อเสียของอินเวอร์เตอร์แบบนี้คือ จะมีการลัดวงจรในกิ่งเดียวกัน (Short Branch) ซึ่งในการควบคุมการทำงานของ S_1 และ S_2 จึงต้องมีการหน่วงเวลาในการทำงานของสวิตซ์ทั้งสองตัว ไม่ให้ทำงานพร้อมกัน ซึ่งเรียกว่า วงจรเดดไทม์ (Dead Time Circuit) หรือวงจรประวิงเวลา ดังแสดงการทำงานได้ดังรูปที่ 3.4 นอกจากนี้ ในการส่งสัญญาณควบคุมไปควบคุมสวิตซ์ S_1 และ S_2 จะต้องผ่านวงจรแยกกราวด์ (Isolate Ground Circuit) และวงจรขับ (Gate Drives Circuit) ด้วย เพื่อแยกสัญญาณระหว่างวงจรควบคุมกับวงจรกำลังเป็นการป้องกันการรบกวนและความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับวงจรควบคุมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดกึ่งบริดจ์

3.2.3.2 การออกแบบวงจรกำลังอินเวอร์เตอร์

ในส่วนของวงจรกำลังได้เลือกใช้อุปกรณ์ที่เป็นแบบ ไอจีบีทีโมดูล ซึ่งภายในต่อเป็นวงจรฮาล์ฟบริดจ์อยู่แล้ว ในการหาพิกัดของไอจีบีที เราสามารถหาค่ากระแสที่ไหลผ่านสูงสุดได้จากสมการที่ 3.2

$$I_p = \frac{2 \cdot \pi \cdot P_o}{V} \quad (3.2)$$

โดย P_o คือ พิกัดกำลังไฟฟ้า (วัตต์)

V คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงต่ำสุด (โวลต์)

เมื่อพิกัดของเครื่องได้กำหนดไว้ที่ 1.2 kW อินพุตรับไฟฟ้า $220 \text{ V} \pm 10\%$ ซึ่งเมื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแล้วจะได้สูงสุดคือ

$$\begin{aligned} V_p &= (220 \pm 10\%) \cdot \sqrt{2} \\ &= 342.2 \text{ V} \end{aligned}$$

ตามสมการที่ (3.2) เมื่อแทนค่าจะได้ค่ากระแสสูงสุด คือ

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{2 \cdot \pi \cdot 1200}{(220 - 10\%) \sqrt{2}} \\ &= 26.9 \text{ A} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการใช้งาน โมดูลไอจีบีทีจำเป็นต้องเพื่อพิคัดในการใช้งานไว้ที่ 70 % เพื่อป้องกันการกระชากและการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่เกิดขึ้นทันทีทันใด จะได้ว่ากระแสสูงสุดที่เหมาะสมสำหรับไอจีบีทีจะมีค่าเท่ากับ 35 A ดังนั้น ไอจีบีทีที่เลือกมาใช้งานมีพิคัดเท่ากับ 35 A 600 V ซึ่งมีขาคามทองคลาดหัวไป โดยแสดงลักษณะของตัวอย่างคาวรูปที่ 3.5 (a) ในการใช้งานจริงจะต้องคึดคั้งบนแผ่นระบายความร้อนด้วย เพื่อระบายความร้อนให้กับไอจีบีที ป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากอุณหภูมิขณะทำงานที่ไอจีบีทีเกิน ดังแสดงภาพตัวอย่างของแผ่นระบายความร้อนในรูปที่ 3.5 (b) นอกจากนี้สำหรับงานที่มีพิคัดกำลังหรือความถี่สูงๆ ในทางปฏิบัติจำเป็นต้องต่อตัวเก็บประจุสแนบเปอร์ (Snubber Capacitor) ไว้ด้วยเพื่อลดสไปรค์แรงดันตกคร่อมไอจีบีที ไม่ให้สูงเกินกว่าที่ไอจีบีทีจะทานได้ ซึ่งตัวเก็บประจุดังกล่าวจะต้องค้อมกับจุดแรงดันเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง (ตามรูปที่ 3.4 คือ C_s) โดยค่าตัวเก็บประจุจะได้มาจากคำแนะนำของคู่มือใช้งานไอจีบีทีเบอร์นั้นๆ



(a) โมดูลไอจีบีที



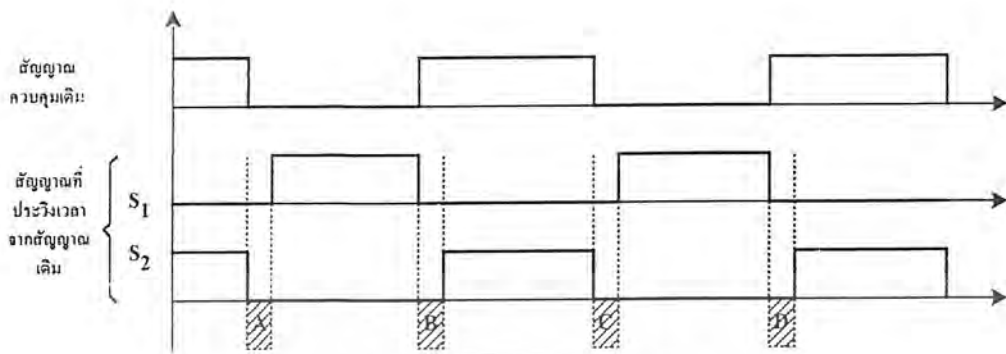
(b) แผ่นระบายความร้อน

รูปที่ 3.5 ลักษณะโมดูลไอจีบีที และแผ่นระบายความร้อน

3.2.3.3 วงจรเคดไทม์

คุณสมบัติของวงจรประวิงเวลา เป็นวงจรแบ่งสัญญาณที่ส่งมาจากวงจรกำเนิดสัญญาณ หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยโครงงานนี้ใช้ DSP เป็นตัวสั่งการก่อนจะนำไปควบคุมอุปกรณ์สวิตซ์ในชุดบน (S_1) และล่าง (S_2) ตามรูปที่ 3.3 โดยวงจรจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณประวิงเวลา เพื่อป้องกันไม่ให้ อุปกรณ์ลัดวงจรในทีเดียวกัน มีการทำงานพร้อมกันอาจเป็นผลทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้น ซึ่งจะทำให้ อุปกรณ์สวิตซ์นั้นเสียหายได้ โดยหลักการประวิงเวลาแสดงได้ดังรูปที่ 3.4 จะเห็นได้ว่าสัญญาณขั้นเทพ S_1 และ S_2 ต้องมีค่าเวลาหน่วงกันเล็กน้อยนั่นก็คือ ส่วนที่ แรเงา A, B, C และ D ในการกำหนดค่าประวิงเวลานี้ จะต้องมีความเหมาะสม โดยจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่ขึ้น (Rise Time) และตกลง (Fall Time) ของ อุปกรณ์สวิตซ์นั้น ๆ ตามที่ระบุไว้ในคู่มือการออกแบบใช้งาน (Data Sheet)

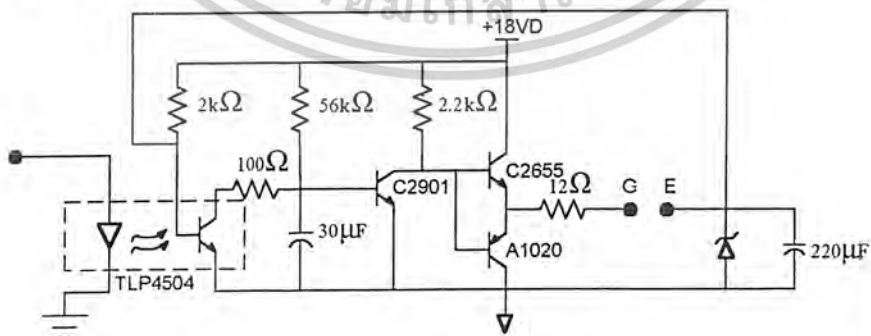
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 สัญญาณขั้วเกท S_1 และ S_2 ที่มีการประวิงเวลา

3.2.4 วงจรขั้วเกท (Gate Drives Circuit)

ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ออฟโตคัปเบิลเจอร์ (Opto Cuper) ทำหน้าที่ในการแยกวงจรควบคุมออกจากวงจรกำลัง เพื่อป้องกันการเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับวงจรคอนโทรลเลอร์ได้ และส่วนของวงจรขยายโดยใช้คลาสิก (Class AB) มีหลักการทำงานดังนี้ เริ่มต้นจากสัญญาณ PWM ผ่านเข้ามาในออฟโตคัปเบิลเจอร์ โดยในโครงงานนี้ใช้เบอร์ TLP4504 ซึ่งทำให้ LED (Light Emitting Diode) เปล่งแสงขึ้น และส่งสัญญาณแสงไปจุดชนวนให้ทรานซิสเตอร์ที่อยู่ภายในให้ทำงานเป็นสวิตช์ตามลักษณะของสัญญาณที่เข้าไป จากนั้น สัญญาณเอาท์พุทจะส่งต่อมายังส่วนของวงจรขยาย โดยเริ่มจากใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ C2901 เป็นตัวขยายสัญญาณและส่งสัญญาณมาที่ทรานซิสเตอร์ เบอร์ C2655 และเบอร์ A1020 ที่ต่อกันเป็นวงจรคลาสิกดังรูป ซึ่งไบแอส (Bias) ทรานซิสเตอร์ เบอร์ C2655 ได้ทำหน้าที่ขยายสัญญาณในโซลิตวอกและทรานซิสเตอร์ เบอร์ A1020 ทำหน้าที่ขยายในโซลิตวอกและลบขึ้นกับซีเนอร์ไดโอดสุดท้าย สัญญาณที่ได้จะส่งไปยังขาเกตของไอจีบีที โดยโครงงานนี้จะใช้ IGBT พิกัด 50 แอมป์ 600 โวลต์ รุ่น CM 100PY-24H

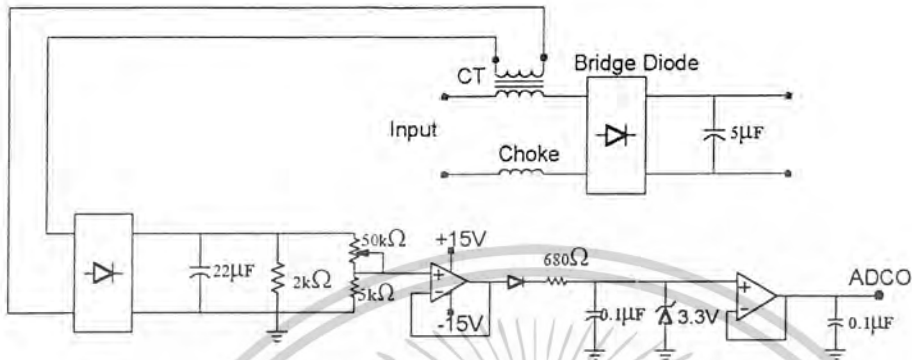


รูปที่ 3.7 วงจรขยายสัญญาณขั้วไอจีบีที

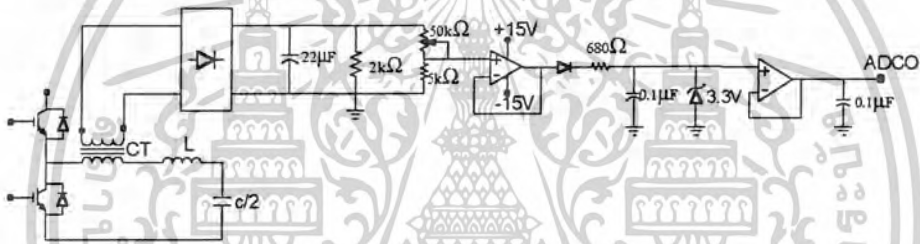
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 วงจรป้องกันกระแสเกิน

วงจรป้องกันกระแสเกินนี้ได้ออกแบบมาตรวจจับกระแสทั้งทางด้านเข้า (Input) และตรวจจับกระแสทางด้านโหลด ดังรูปที่ 6.10 (a) และรูปที่ 6.10 (b) ตามลำดับ



รูปที่ 3.8 (a) แสดงวงจรป้องกันกระแสด้านขาเข้า (Input)



รูปที่ 3.8 (b) แสดงวงจรป้องกันกระแสเกินด้าน โหลด

หลักการทำงานของวงจรป้องกันกระแสเกิน คือ การใช้ Current transformer เป็นตัวตรวจจับกระแสเข้ามาขั้ววงจรบริดจ์เร็คติไฟเออร์เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงผ่านชุดบัฟเฟอร์ หลังจากนั้นผ่านซีเนอร์ไดโอด เพื่อให้สามารถรักษาระดับแรงดันไม่ให้เกิดพิกัดที่ DSP จะรับได้ โดย DSP จะใช้ 3.3 โวลต์ โดย DSP จะประมวลผลสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยถ้ากระแสสูงเกินขีดปกติ ก็จะทำให้ DSP สั่งให้ตัดสัญญาณ PWM ออกทันที

3.2.6 วงจรควบคุม

สำหรับในส่วนของวงจรควบคุม ตามรูปที่ 1 โครงงานนี้ได้ใช้ DSP (Digital Signal Processing) เป็นตัวควบคุม โดยได้เลือกใช้ DSP เบอร์ TMS 320 LF2406 ของบริษัท Texas Instrument โดยมีฟังก์ชันการทำงานที่ครบถ้วน ดังนี้ คือ

- ตัวสร้างสัญญาณ พัลส์บวกลวเอ็ม (Pulse Width Modulation : PWM) 12 ช่องอิสระ
- ตัวสร้างการประวิงเวลา (Dead Time)
- ตัวขนาด 16 บิต 4 ช่องอิสระ
- ตัวนับฟิลส์จากเอ็นโคเดอร์ เพื่อกำหนดตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

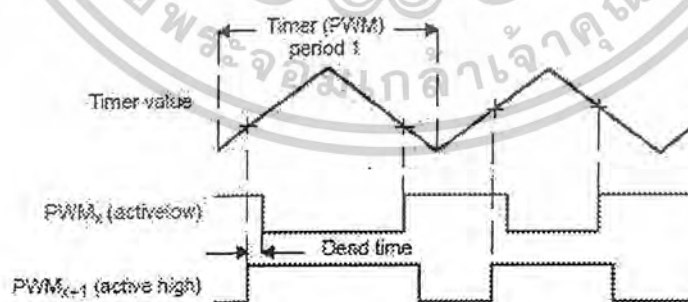
- ตัวคิดต่อสื่อสารอนุกรม
- อินพุท/เอาต์พุท พอร์ต 41 ช่อง
- ตัวรับอินเตอร์รับท์จากภายนอก 6 ช่อง
- ฮาร์ดแวร์การคูณแบบขนาด 16×16 ผลลัพธ์ 32 บิต
- หน่วยความจำ Ram ขนาด 544-16 bit และ Flash EEPROM ขนาด 32 K 16 bit

3.2.6.1 ขั้นตอนการสร้างสัญญาณ PWM

ขั้นตอนการสร้างสัญญาณ PWM โดยใช้ DSP

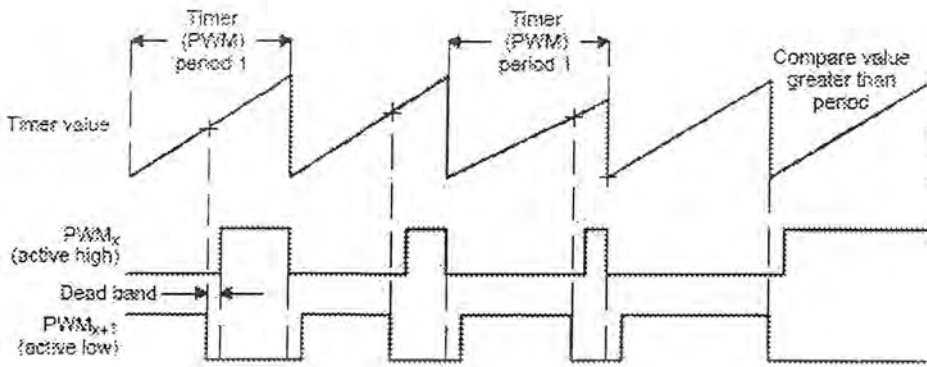
- กำหนดค่า Period ลงในรีจิสเตอร์ที่ชื่อ TxPR
- กำหนดค่า Compare ลงในรีจิสเตอร์ที่ชื่อ TxCMP
- เซตค่าลงใน Timer Control Registers (TxCON) โดย Timer จะทำงานหรือหยุดทำงานขึ้นอยู่กับค่าการเซตค่าในแต่ละบิตของรีจิสเตอร์ TxCON
- เซตค่าลงใน Overall GP Timer Control Register (GPTCON)
- เซตค่าลงใน Compare Control Register (COMCON)
- เซตค่าลงใน Compare Action Registers (ACTR)
- เซตค่าลงใน Dead-Band Timer Control Register DBTCON) เพื่อกำหนดค่า Dead Time ของสัญญาณ ซึ่ง DSP นี้สามารถสร้าง Dead-Time ได้ในตัว โดยไม่ต้องต่อ Hardware ภายนอก

การสร้างสัญญาณ PWM มี 2 แบบ คือ การสร้างสัญญาณ PWM แบบสมมาตร (Symmetric PWM Waveform Generation) และการสร้างสัญญาณ PWM แบบไม่สมมาตร (Asymmetric PWM Waveform Generation) โดยสามารถทำได้โดยการกำหนดค่าลงในแต่ละบิตของ Timer Control Register (TxCON)



รูปที่ 3.9 การสร้างสัญญาณ PWM แบบสมมาตร

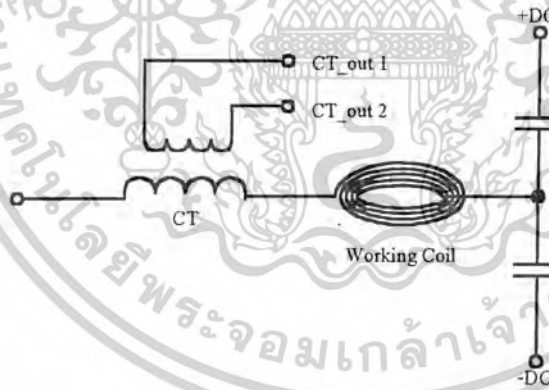
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 การสร้างสัญญาณ PWM แบบไม่สมมาตร

3.2.7 ชุดวงจรโหนดเรโซแนนซ์

ในส่วนของชุดขดลวดซึ่งขดเป็นวงกลม ให้พอดีกับกันหม้อ และทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์, ตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ (C_1 และ C_2) และหม้อแปลงตรวจจับกระแสเอาต์พุต (CT) เพื่อใช้ในวงจรป้องกันกระแสเอาต์พุตเกิน ตามรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 วงจรเรโซแนนซ์และโหลด

3.2.7.1 การออกแบบขงจร

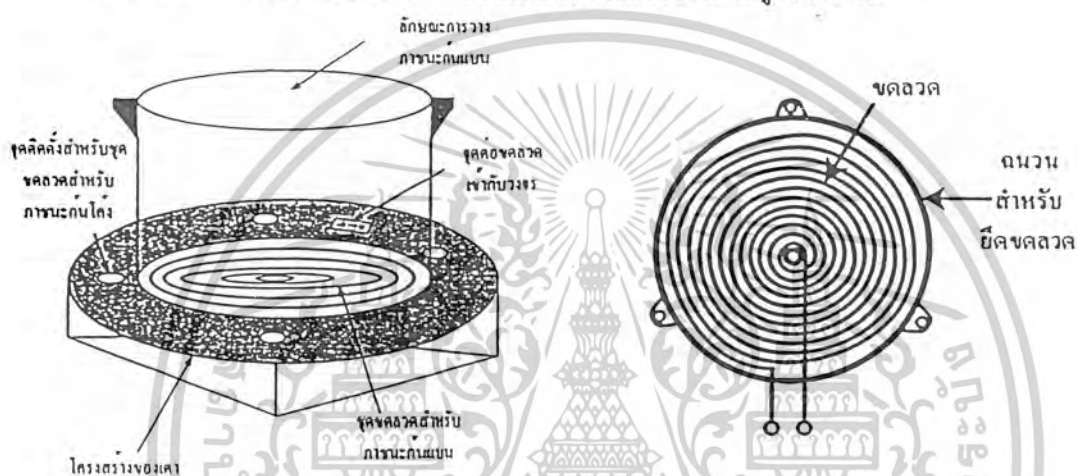
ในการออกแบบขดลวดจะพิจารณาจากผลที่ได้จากการจำลองและการทดลองควบคู่กันไป โดยตัวแปรที่สำคัญก็คือ ภาชนะหุ้มฉนวน ที่ขึ้นอยู่กับ ความหนาและชนิดของวัสดุ จะทำให้ค่าพารามิเตอร์ของวงจรนั้นเปลี่ยนแปลงไปในการออกแบบขึ้นต้น เพื่อหาค่าตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ สามารถพิจารณาได้จากสมการที่

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r C_r}} \tag{3.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

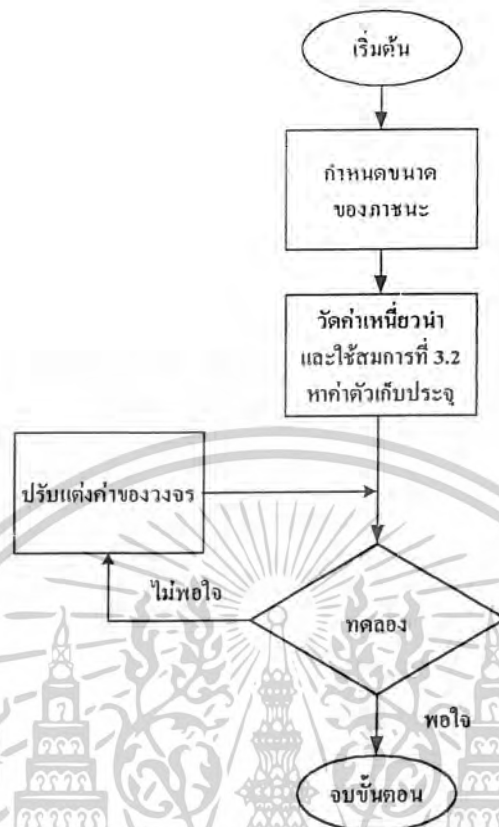
- เมื่อ f_r คือ ความถี่เรโซแนนซ์ (Hz)
 L_r คือ ตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ (H)
 C_r คือ ตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ (F)

งานวิจัยนี้จะต้องมีการออกแบบขดลวดให้สามารถใช้ได้กับภาชนะก้นแบน ดังนั้น จึงสามารถออกแบบรูปทรงอย่างคร่าว ๆ ได้ดังรูปที่ 3.12 โดยหลักการออกแบบจะแยกชุดขดลวดสำหรับภาชนะก้นแบนออกจากกันอย่างอิสระ ขดลวดสำหรับภาชนะก้นแบนจะติดตั้งอยู่กับเตาที่ตั้ง



รูปที่ 3.12 รูปทรงของขดลวดเหนี่ยวนำของภาชนะก้นแบน

สำหรับการลัดตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ แสดงให้เห็นตามผังงานรูปที่ 3.13 อธิบายได้ว่า ในการออกแบบต้องกำหนดขนาดของภาชนะให้แน่นอนเพื่อต้องการให้อัตราการไหลของพลังงานได้สูงสุด ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ภาชนะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 เซนติเมตร โดยพันชุดขดลวดให้มีขนาดเท่ากับภาชนะนั้น ๆ เมื่อได้ขดลวดที่มีรูปทรงตามต้องการ ต่อไปจะนำขดลวดดังกล่าวไปตรวจวัดค่าความเหนี่ยวนำ ตามสมการที่ ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ความถี่เรโซแนนซ์มีค่าเท่ากับ 30 kHz เพราะเป็นความถี่ที่ไม่สร้างสัญญาณรบกวนทางเสียงได้ และในการปรับเปลี่ยนกำลังงานเอาต์พุต จะปรับความถี่สวิตช์ไบนารี lagging ($f_x < f_r$) จะทำให้ความถี่เข้าใกล้การรบกวนทางเสียงได้ จนถึง 40 kHz ตามกราฟ จะได้อัตราส่วนการลดลงของกำลังงานเป็น 1.3 เท่าของพิกัด ก็จะเพียงพอ ซึ่งถ้าปรับไปมากกว่านี้จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง อันเนื่องมาจากการสูญเสียมากขึ้น ดังนั้น จึงสามารถหาค่าตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ได้ ซึ่งค่าดังกล่าวจะนำไปทำการทดลองและต้องมีการปรับแต่งให้วงจรทำงานได้ดีที่สุด



รูปที่ 3.13 ผังงานการหาค่าตัวเหนียวหน้าและตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์

นอกจากนี้ จะต้องการออกแบบฉนวนกันระหว่างขดลวดกับภาระ เพื่อป้องกันไม่ให้ส่วนใด ๆ ของภาระสัมผัสกับขดลวดเหนียวหน้าโดยตรง ฉนวนนี้จะเป็นฉนวนที่ทนความร้อนได้สูง เช่น เซรามิก แผ่นไมก้า หรืออื่น ๆ ซึ่งการเลือกมาใช้งานจะต้องคำนึงถึงน้ำหนัก ความทนทาน และราคาประกอบกัน ดังนั้น ความหนาของฉนวนจะต้องอยู่จุดเหมาะสมของการทำงาน ในส่วนนี้จะต้องมีการทดลองและปรับแต่งค่าเพื่อให้เครื่องทำงานได้ดีที่สุด

บทที่ 4

ผลการจำลองการทำงาน

4.1 บทนำ

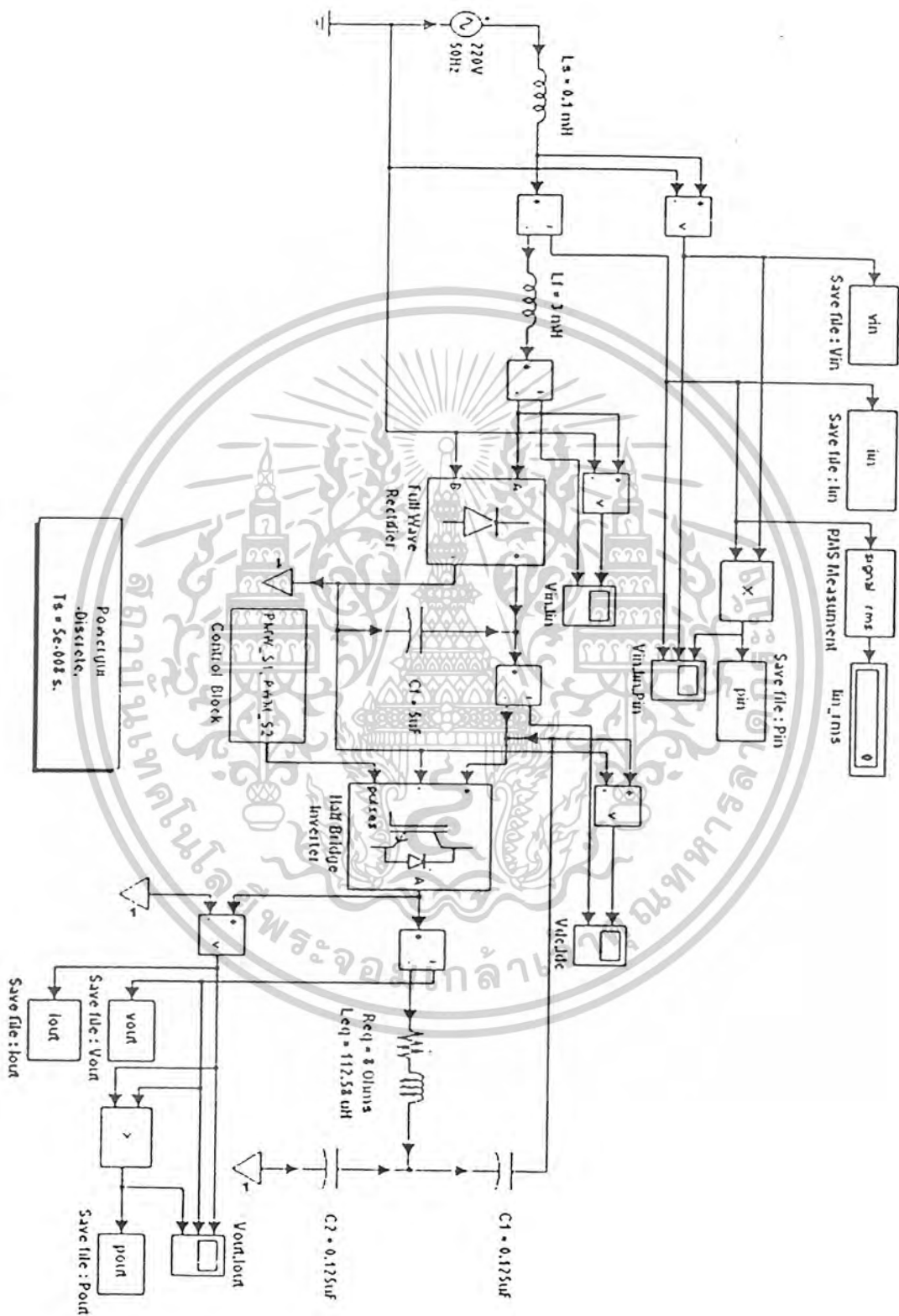
ในบทนี้จะกล่าวถึง การจำลองการทำงานของเตาหุงต้มเหนียวนำตามวงจรที่ออกแบบไว้ในบทที่ 3 จะเป็นการตรวจสอบการทำงานขึ้นต้นด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อทดสอบว่าวงจรที่ได้ออกแบบนั้นทำงานได้จริง ก่อนจะนำไปสร้างเป็นเครื่องเตาหุงต้มเหนียวนำต่อไป

4.2 การจำลองการทำงานเตาหุงต้มเหนียวนำ

ในการจำลองจะเป็นการตรวจสอบการทำงานของเครื่องทางไฟฟ้าเท่านั้น ซึ่งในบทนี้ จะเป็นการตรวจสอบในด้านประสิทธิภาพ กำลังไฟฟ้า ค่าความผิดพลาดของกระแสต้านเข้า ตัวประกอบกำลัง โดยใช้โปรแกรม Matlab

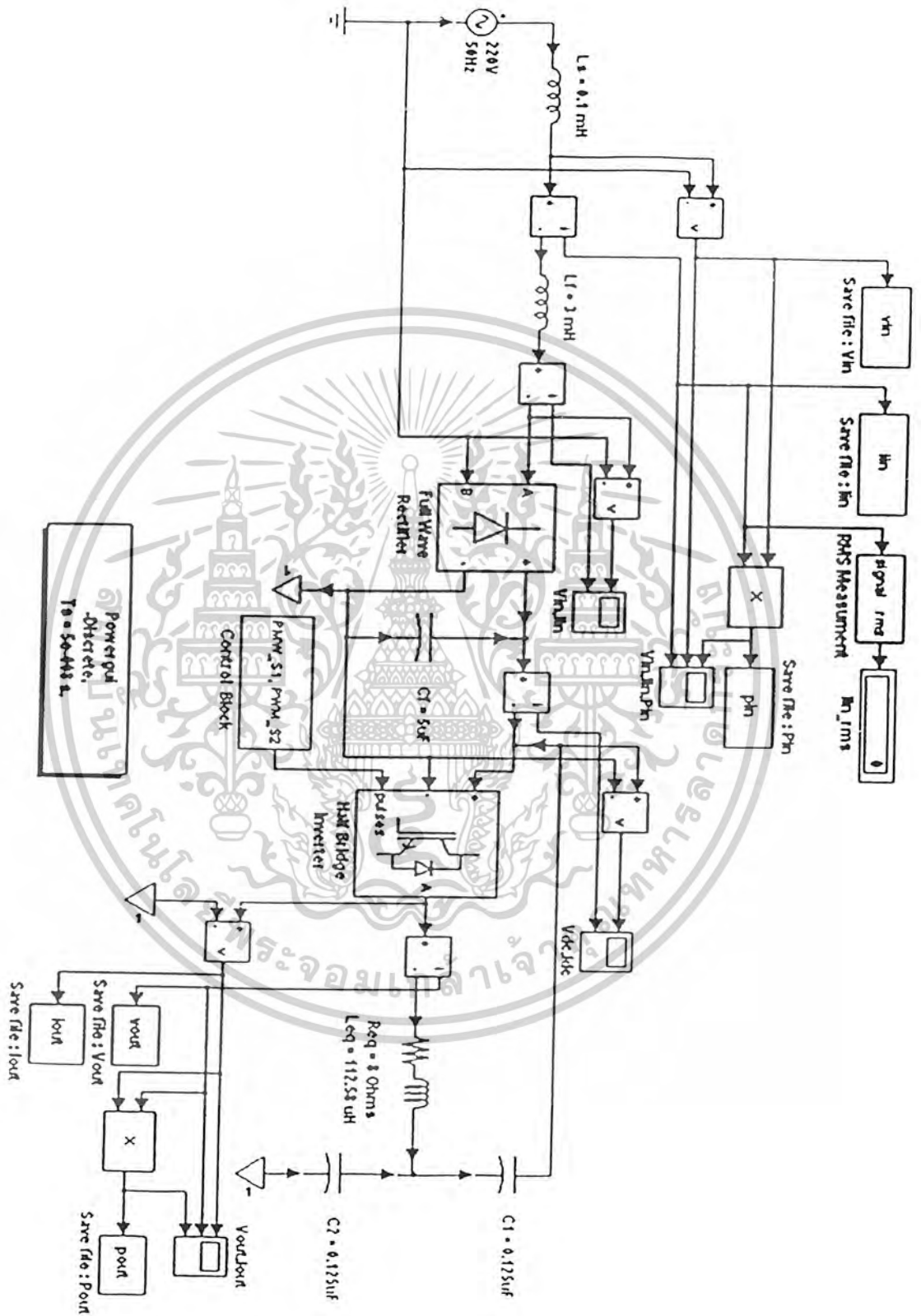
4.2.1 การจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม Matlab

โปรแกรมนี้เราจะใช้จำลองเพื่อตรวจสอบ ประสิทธิภาพ กำลังไฟฟ้า ค่าความผิดพลาดของกระแสต้านเข้า และกระแสค่าตัวประกอบกำลัง ขณะที่วงจรทำงานตามเงื่อนไขต่างๆ โดยใช้ Simulink ของโปรแกรม Matlab เวอร์ชัน 6.5 ซึ่งมีวงจรในการจำลองตามรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรที่ใช้จำลองของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 วงจรที่จำลองของเตาทุ้งต้มเหี่ยววาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

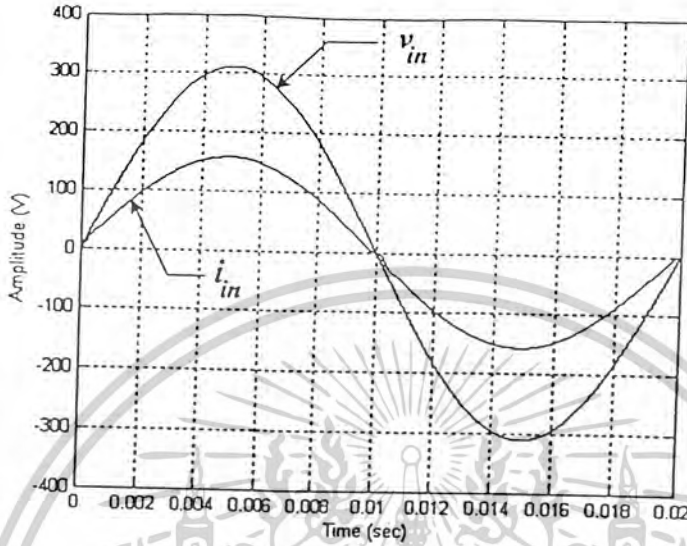
ตามรูปที่ 4.1 เมื่อกำหนดค่าตัวแปรของวงจรเพื่อใช้ในการจำลองได้ดังนี้

| | | | |
|-------------------------------|---|------|---------|
| ความถี่เรโซแนนซ์ | = | 30 | kHz |
| ตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ | = | 23.2 | μ H |
| ตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ | = | 1.2 | μ F |
| กำลังไฟฟ้า | = | 1.2 | kW |
| แรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า | = | 220 | V |
| ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า | = | 50 | Hz |

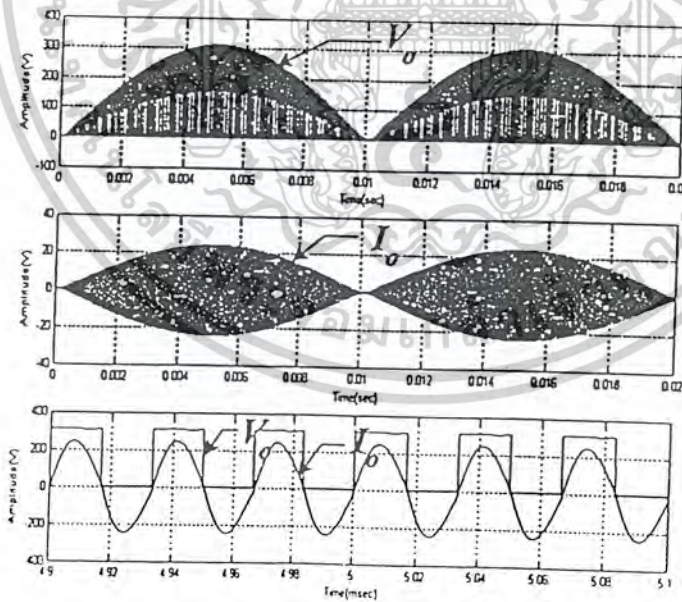
ในการจำลองการทำงานของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำ จะเป็นการตรวจสอบผลทางไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขต่างๆ ตามการทำงานของวงจรจริง ในที่นี้จะเปลี่ยนแปลงความถี่สวิตช์ของวงจรอินเวอร์เตอร์เป็นการตรวจสอบและเก็บรูปคลื่นไปคำนวณหาค่าต่างๆ โดยแบ่งจุดวัดและทดสอบเพื่อแสดงให้เห็นรูปคลื่นสัญญาณดังต่อไปนี้

4. 2.1.1 คลื่นสัญญาณกระแส แรงดัน อินพุท และ เอาท์พุท

ตามรูปวงจรที่ 4.2 รูปคลื่นที่แสดงให้เห็นในส่วนนี้ จุด A เป็นรูปคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท เมื่อฟิลเตอร์กระแส จุด B เป็นรูปคลื่นแรงดันและกระแสเอาท์พุทซึ่งรูปคลื่นได้แสดงให้เห็นตามรูปที่ 4.3 , 4.4 และ 4.5 ตามการเปลี่ยนแปลงความถี่สวิตช์ 30 , 35 และ 40 kHz ตามลำดับ

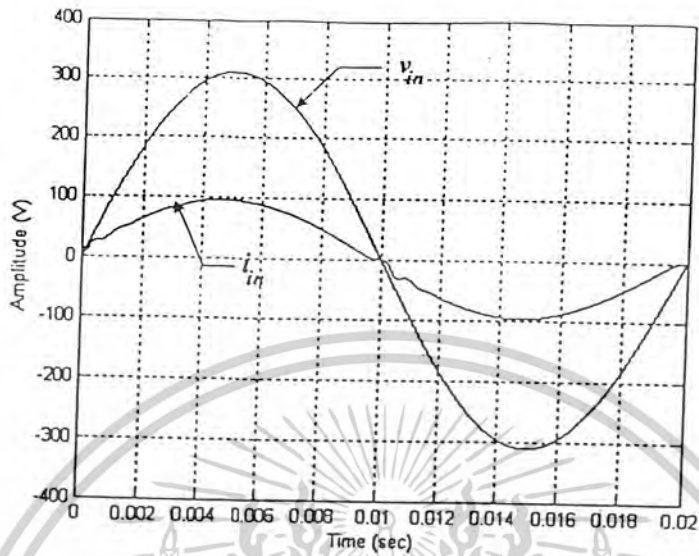


(a) แรงดัน (1V/V) และกระแสอินพุท (20V/A)

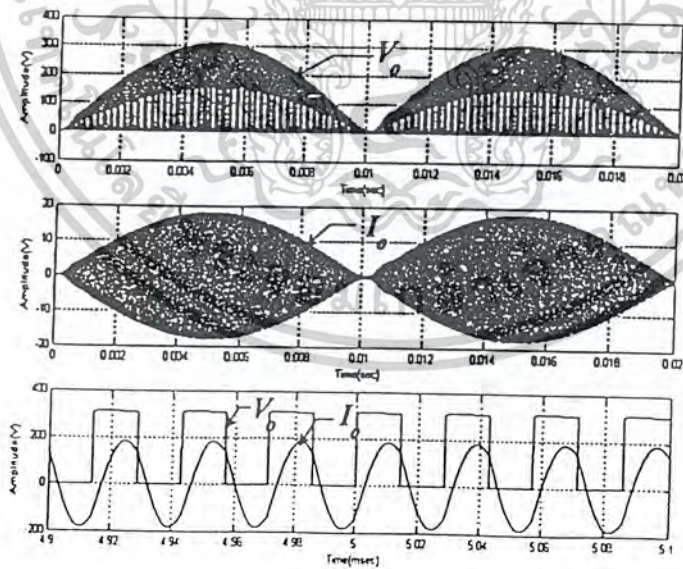


(b) รูปบน : แรงดันเอาต์พุท (1V/V) รูปกลาง : กระแสเอาต์พุท (1V/A)
รูปล่าง : ภาพขยายแรงดัน (1V/V) และกระแสเอาต์พุท (10V/A)

รูปที่ 4.3 กระแส แรงดัน อินพุทและเอาต์พุทของแอมพลิฟายเออร์ที่ความถี่ 30 kHz
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับนักเรียนเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

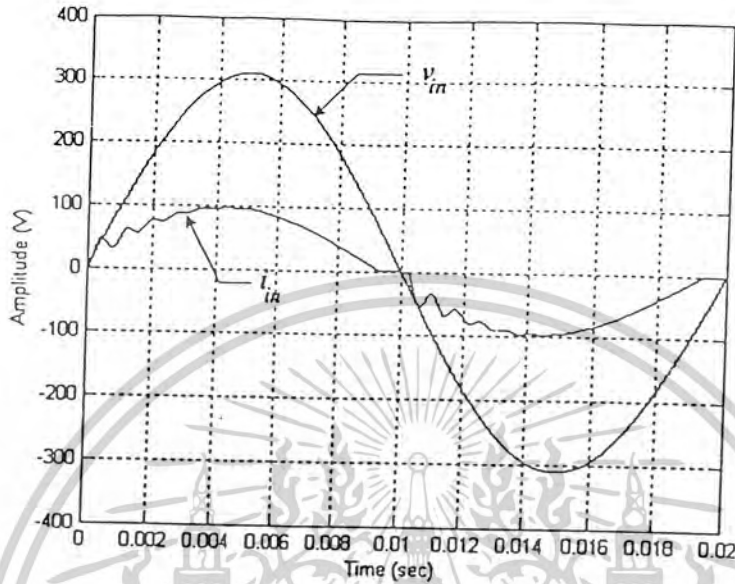


(a) แรงดัน (1V/V) และกระแสอินพุต (20V/A)

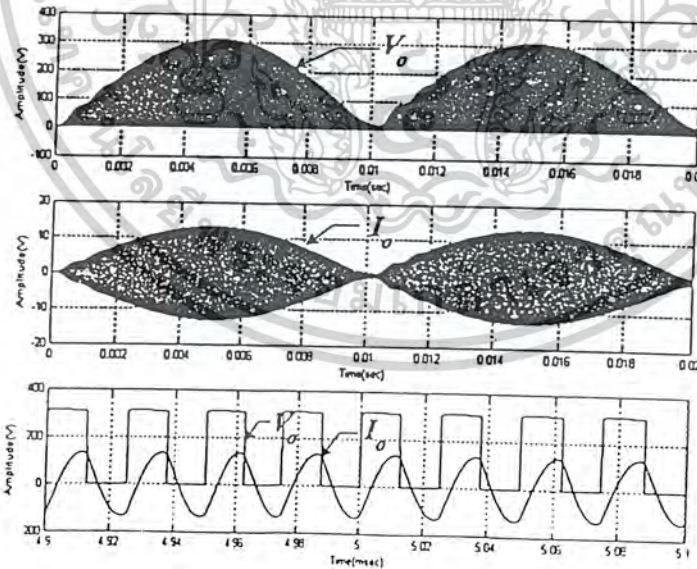


(b) รูปบน : แรงดันเอาต์พุต (1V/V) รูปกลาง : กระแสเอาต์พุต (1V/A)
รูปล่าง : ภาพขยายแรงดัน (1V/V) และกระแสเอาต์พุต (10V/A)

รูปที่ 4.4 กระแส แรงดัน อินพุตและเอาต์พุตขณะทำงานที่ความถี่ 35 kHz
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้สนใจได้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

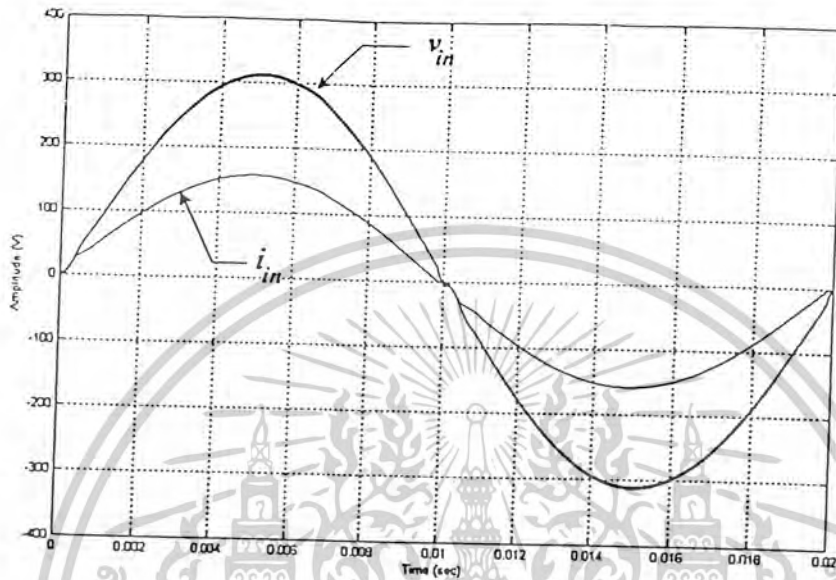


(a) แรงดัน (1V/V) และกระแสอินพุต (50 V/A)



(b) รูปบน : แรงดันเอาต์พุต (1V/V) รูปกลาง : กระแสเอาต์พุต (1V/A)
รูปล่าง : ภาพขยายแรงดัน (1V/V) และกระแสเอาต์พุต (10V/A)

รูปที่ 4.5 กระแสแรงดัน อินพุตและเอาต์พุตของแอมพลิฟายเออร์ที่ความถี่ 40 kHz
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

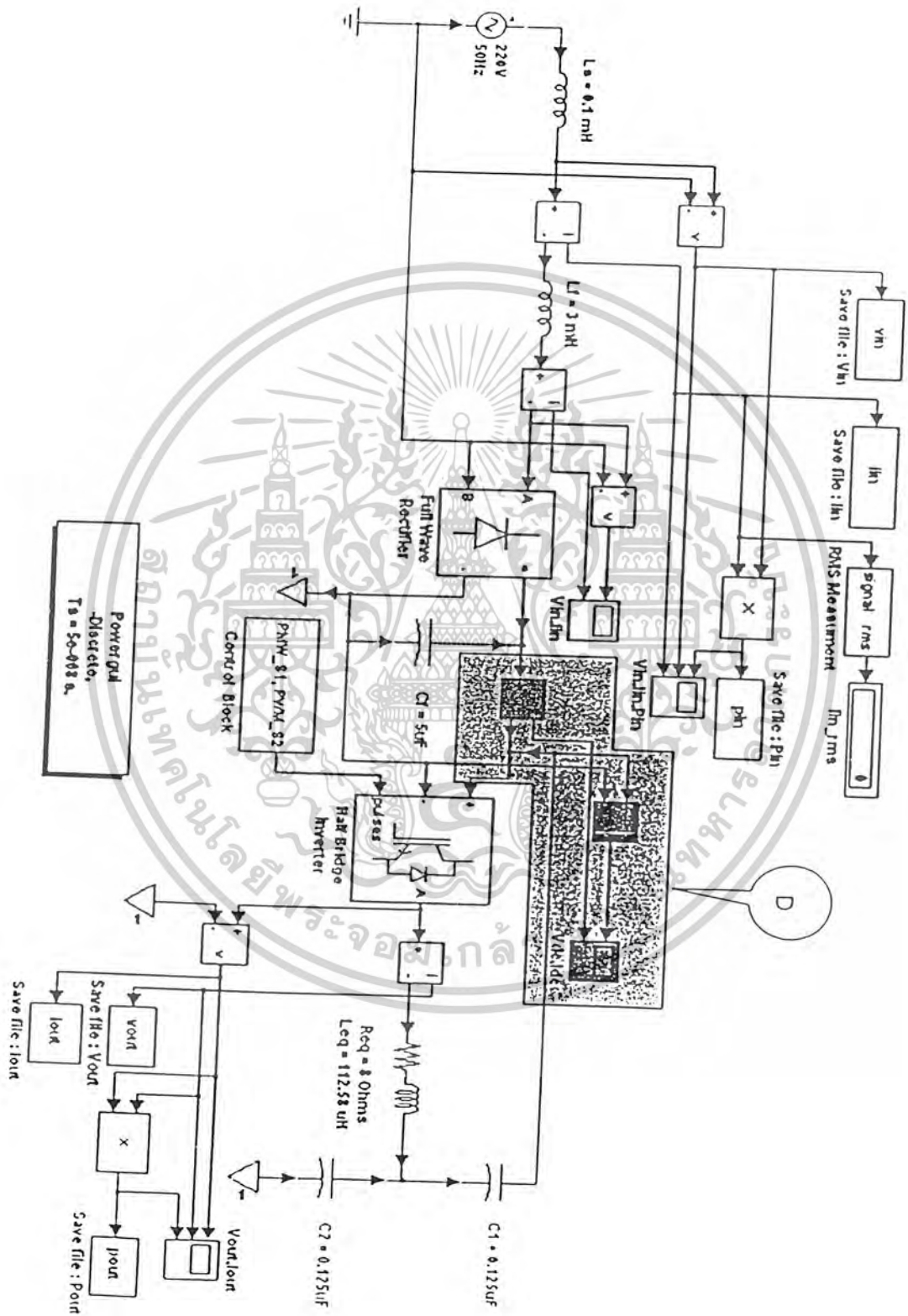


รูปที่ 4.7 รูปคลื่นกระแส (20V/A) และแรงดัน (1V/V) ที่วัดได้

4.2.1.3 รูปคลื่นสัญญาณกระแส แรงดัน ที่จุดเชื่อมโยง

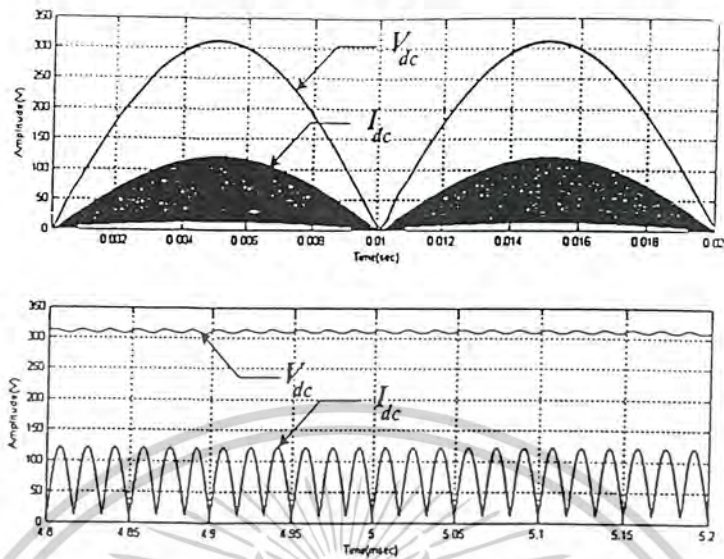
ตามวงจรที่ 4.8 รูปคลื่นในส่วนนี้คือ จุด D เป็นรูปคลื่น แรงดันและกระแสที่จุดเชื่อมโยง แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งแสดงให้เห็นรูปคลื่นที่ได้ตามรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 วงจรการจ่ายกำลังที่วัดรูปคลื่นแรงดันกระแสที่จุด D

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



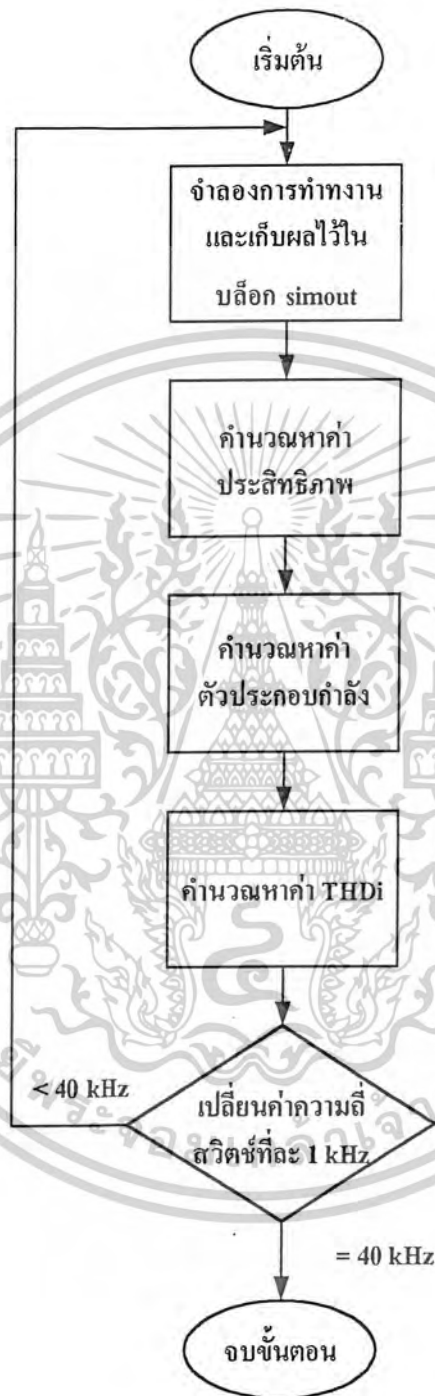
รูปที่ 4.9 รูปคลื่นกระแส และแรงดัน

รูปบน : กระแส (50V/A), รูปล่าง : ภาพขยายแรงดัน (1V/V)

4.2.1.4 ผลการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า ประสิทธิภาพ และตัวประกอบกำลัง

ในส่วนนี้เป็นผลการคำนวณที่ได้ของการจำลองการทำงานจากวงจร โดยมีขั้นตอนการคำนวณค่าต่างๆ ตามผังงานดังรูปที่ 4.10 ซึ่งรายละเอียดขั้นตอนอธิบายได้ว่า ในวงจรการจำลองจะต่อบล็อก simout เข้าไปในวงจร เพื่อใช้เป็นส่วนสำหรับเก็บข้อมูล จากนั้นเริ่มคั้นจำลองการทำงานที่ความถี่สวิตช์ 30 kHz เมื่อการจำลองการทำงานเสร็จสิ้นลง ก็จะนำข้อมูลที่อยู่ในบล็อก simout มาคำนวณเพื่อหาค่าต่างๆ ด้วยโปรแกรม Matlab อีกที จากนั้นปรับเปลี่ยนความถี่สวิตช์เพิ่มขึ้นทีละ 1 kHz และทำการทดลองเหมือนเดิม เราจะปรับความถี่สวิตช์เพิ่มขึ้นจนถึง 40 kHz ก็จะเพียงพอสำหรับการทดลอง เพราะถ้าปรับความถี่เพิ่มขึ้นมากกว่านี้จะทำให้การปฏิบัติงานจริงมีค่าการสูญเสียมากขึ้นเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเอาท์พุทแล้วมีน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ผังงานขั้นตอนการคำนวณหาค่าต่างๆ

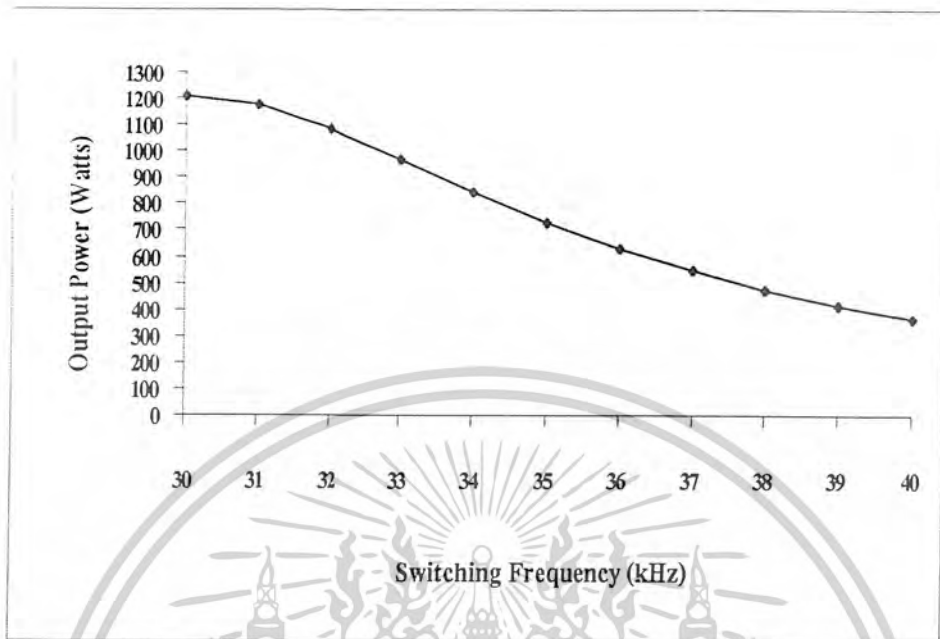
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่ได้จากการจำลอง เมื่อนำมาหาค่าต่างๆ จะได้อัตราตามตารางที่ 4.1 ดังต่อไปนี้
 ตารางที่ 4.1 ค่าต่างๆ ที่ได้จากการทำงาน

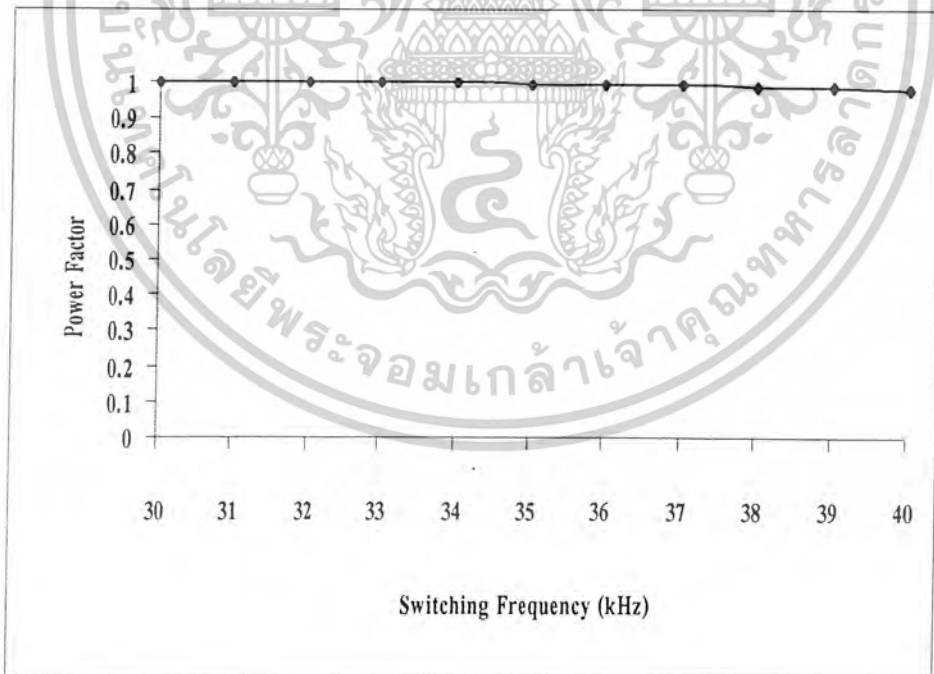
| Frequency (kHz) | I_{in} (A) | V_{in} (V) | P_{in} (W) | P_{out} (W) | PF | η (%) | %THD _d |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-------|---------------|-------------------|
| 30 | 5.554 | 220 | 1221.0 | 1210.0 | 0.998 | 99.1 | 1.13 |
| 31 | 5.403 | 220 | 1187.4 | 1176.6 | 0.998 | 99.1 | 1.23 |
| 32 | 4.999 | 220 | 1098.3 | 1087.7 | 0.998 | 99.0 | 1.42 |
| 33 | 4.460 | 220 | 979.4 | 969.3 | 0.998 | 98.9 | 1.72 |
| 34 | 3.897 | 220 | 854.9 | 845.4 | 0.997 | 98.8 | 2.18 |
| 35 | 3.372 | 220 | 738.8 | 730.0 | 0.996 | 98.8 | 2.76 |
| 36 | 2.913 | 220 | 637.0 | 628.8 | 0.994 | 98.7 | 3.49 |
| 37 | 2.524 | 220 | 550.6 | 542.9 | 0.992 | 98.6 | 4.53 |
| 38 | 2.200 | 220 | 478.4 | 471.1 | 0.988 | 98.5 | 5.77 |
| 39 | 1.931 | 220 | 418.3 | 411.4 | 0.985 | 98.4 | 6.70 |
| 40 | 1.709 | 220 | 368.3 | 361.8 | 0.980 | 98.2 | 8.03 |

จากค่าในตารางเมื่อนำมาเขียนเป็นกราฟ กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต ตัวประกอบกำลัง ประสิทธิภาพ และ THD_d เทียบกับการเปลี่ยนแปลงความถี่สวิตช์ต่างๆ ได้ตามรูปที่ 4.11, 4.12, 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

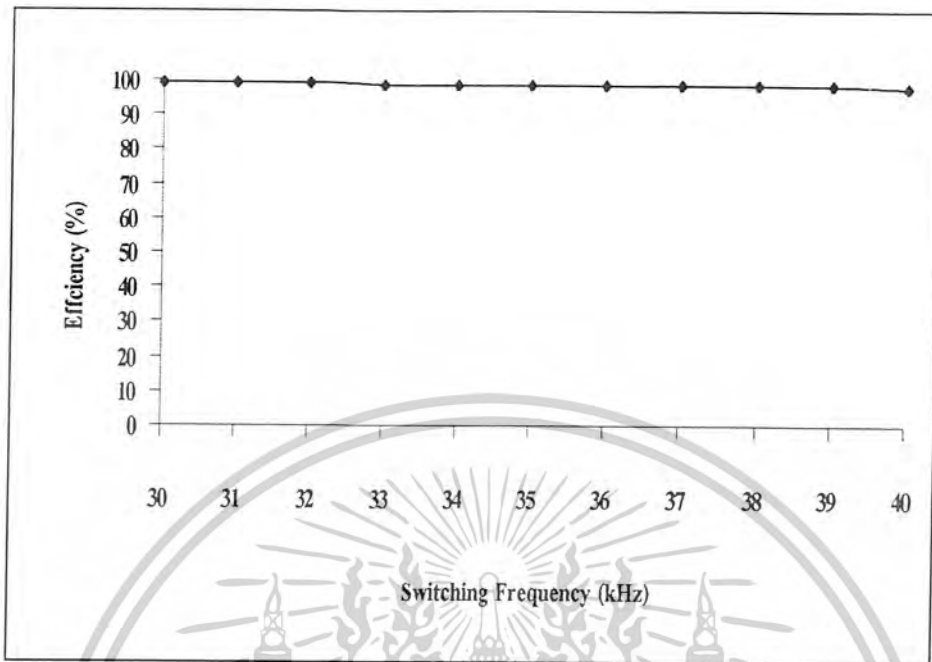


รูปที่ 4.11 กราฟค่ากำลังไฟฟ้ากับความเร็วสวิตช์

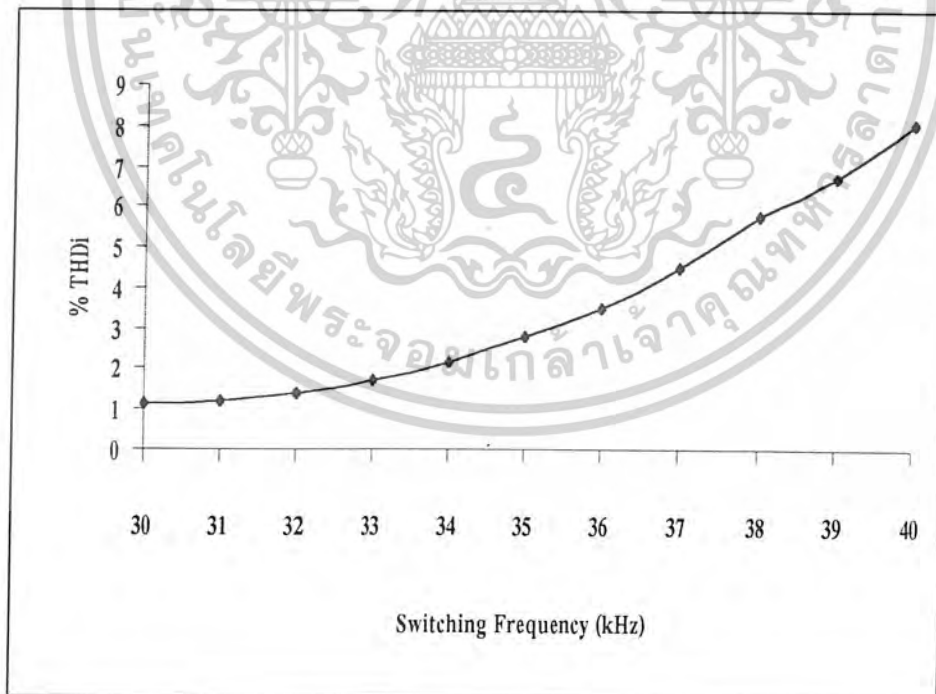


รูปที่ 4.12 กราฟค่าตัวประกอบกำลังกับความเร็วสวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟค่าประสิทธิภาพกับความถี่สวิตซ์



รูปที่ 4.14 กราฟค่า THD, กับค่าความถี่สวิตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าเอาท์พุทจะลดลงเมื่อเพิ่มความถี่สูงขึ้น โดยจะเปลี่ยนแปลงอยู่ในย่าน 350 -1200 W เป็นไปตามลักษณะควบคุมแบบเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าด้วยการควบคุมความถี่สวิตช์ นอกจากนี้ค่าอื่นๆ คือ ค่าตัวประกอบกำลัง และ ค่าประสิทธิภาพจะลดลงส่วนค่า THD, จะเพิ่มขึ้น โดยค่าตัวประกอบกำลังอยู่ที่ 0.98 – 0.99 ค่าประสิทธิภาพอยู่ที่ 98 – 99 % และ ค่า THD, อยู่ที่ 1.1 – 8 % ซึ่งในส่วนของค่า THD, นี้จะต้องนำไปเทียบกับค่ามาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ตอนต้นซึ่งได้แสดงในกราฟรูปที่ 4.15 , 4.16 และ 4.17 ภายใต้การเปลี่ยนแปลงความถี่สวิตช์ที่ 30 , 35 และ 40 kHz ตามลำดับ ด้วยเช่นกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 ผลการทดลองทางด้านอินพุทเมื่อมีการเปลี่ยนความถี่ต่างๆ

วัตถุประสงค์

เพื่อคุณลักษณะรูปคลื่นของสัญญาณแรงดัน และกระแส รวมถึง ขนาดพิกัดแรงดัน , กระแส , กำลังไฟฟ้าด้านอินพุท และ PF ที่ความถี่ต่างๆ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

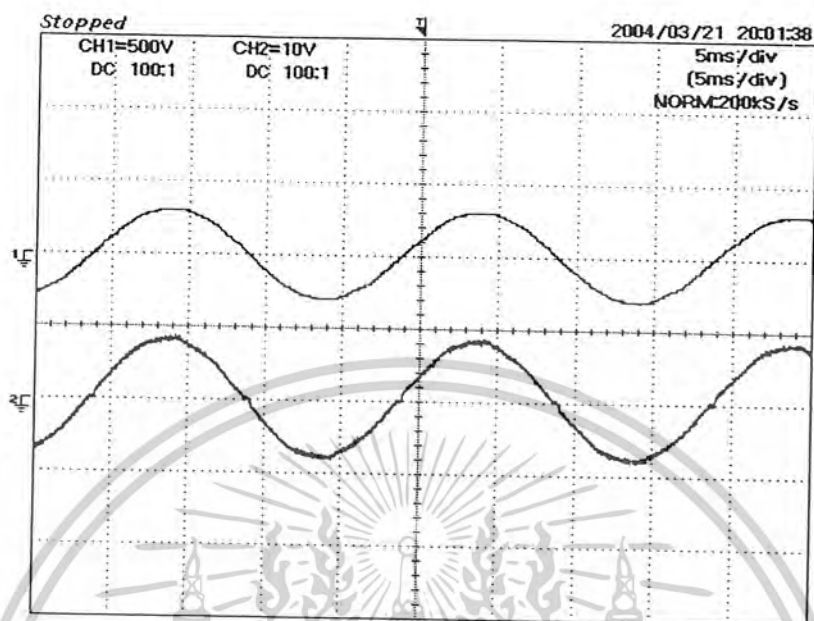
| | | |
|--|--|---------|
| 1. Variac 0-260 V, 15 A | | ตัว |
| 2. Digital Meter | | เครื่อง |
| 3. Storage Scope | | เครื่อง |
| 4. Current Probe | | ตัว |
| 5. Differential Probe | | ตัว |
| 6. Fluke 41 | | เครื่อง |
| 7. หม้อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 cm พร้อมบรรจุน้ำ 1 ลิตร | | ใบ |

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่วงจรตามที่ออกแบบไว้
2. ทดลองที่ละความถี่เริ่มจาก 40 kHz จนถึง 29 kHz
3. ปรับ Variac เพื่อเพิ่มแรงดันอินพุททีละ 50 V เพื่อคุณลักษณะของ โหลดจนถึง ค่าที่พิกัด
4. สังเกตรูปคลื่นทั้งกระแสและแรงดัน พร้อมกับบันทึกผลการทดลอง
5. นำรูปที่บันทึกได้มาแตก Spectrum เพื่อค่า Harmonic ต่างๆ
7. ใช้ Scope Fluke 41 จับค่าของอินพุทเพื่ออ่านค่า กำลังไฟฟ้า และ PF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

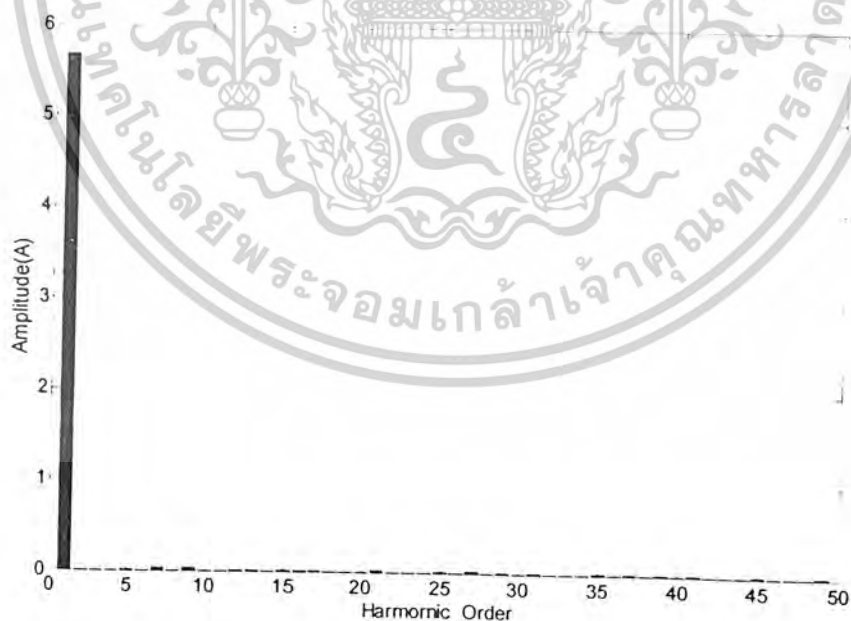
การทดลองทางด้าน input เมื่อมีการปรับความถี่ อินเวอร์เตอร์ ณ ความถี่ต่างๆ



รูปที่ 5.1 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้าน input ที่ความถี่ 29 kHz

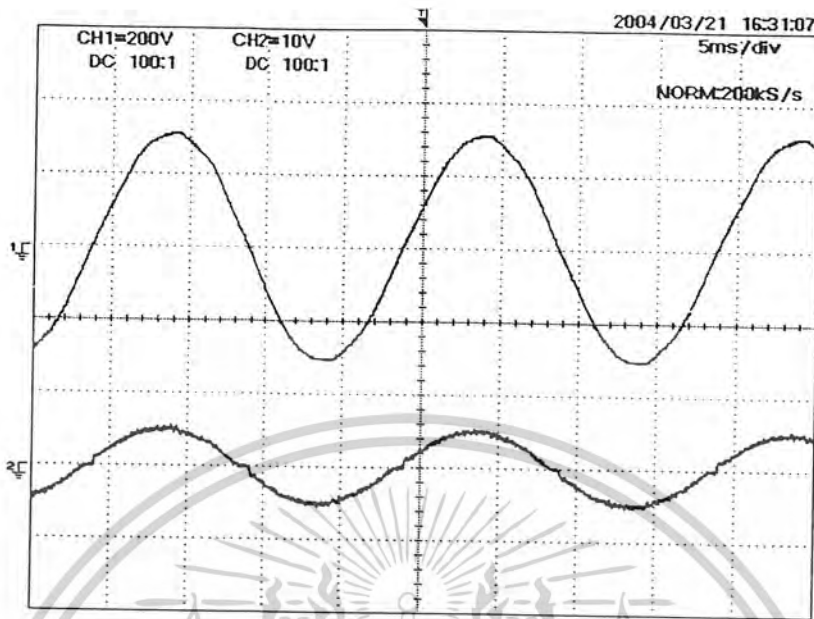
รูปบน 500 V/div, 5 ms/div

รูปล่าง 10 A/div, 5 ms/div



รูปที่ 5.2 แสดง Spectrum ของกระแสทางด้าน input ที่ความถี่ 29 kHz

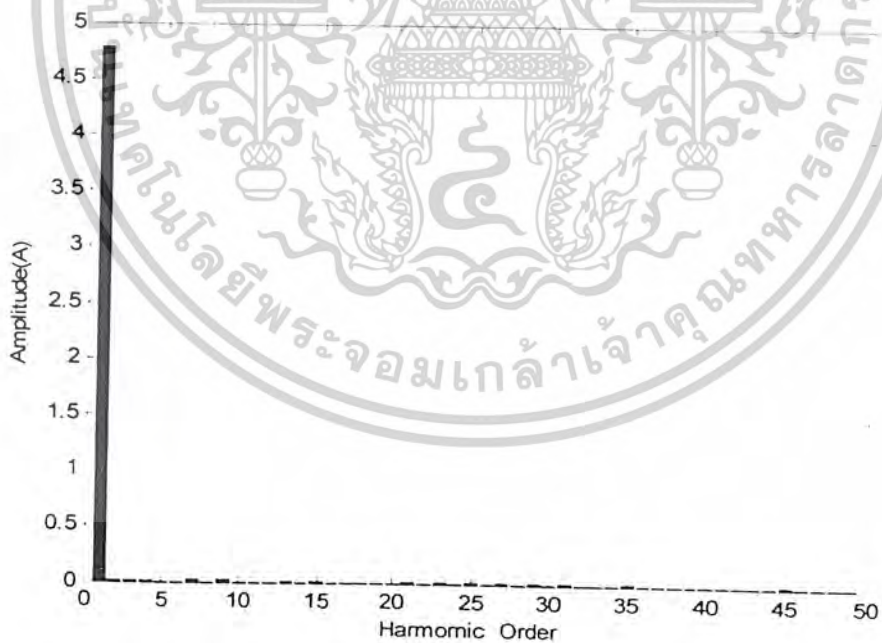
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสทางค่าน input ที่ความถี่ 30 kHz

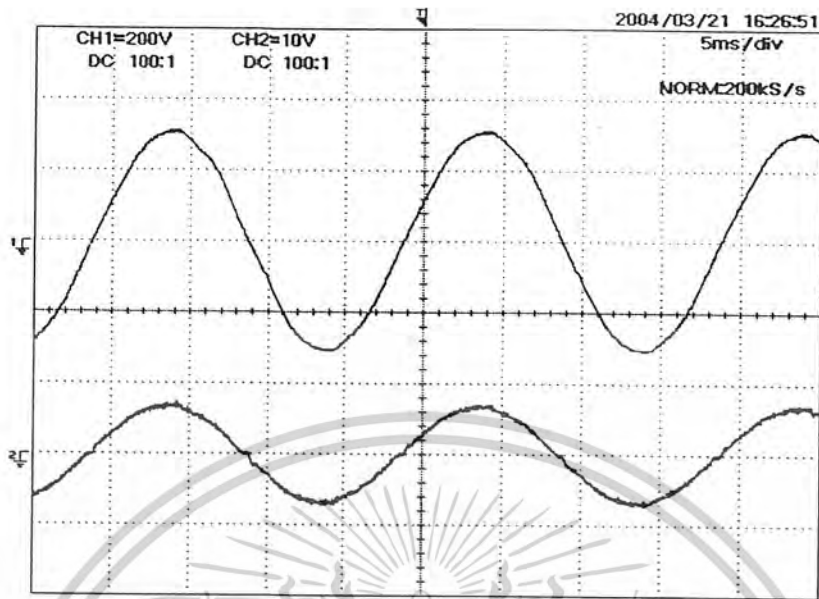
รูปบน 200 V/div, 5 ms/div

รูปล่าง 10 A/div, 5 ms/div



รูปที่ 5.4 แสดง Spectrum ของกระแสทางค่าน input ที่ความถี่ 30 kHz

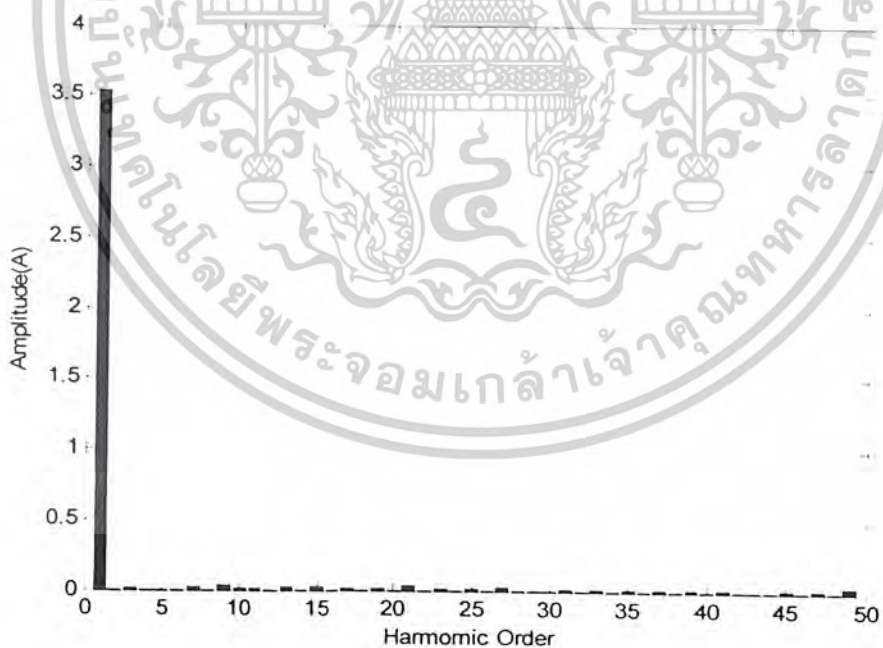
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสทางค่าน input ที่ความถี่ 31 kHz

รูปบน 200 V/div , 5 ms/div

รูปล่าง 10A/div , 5 ms/div



รูปที่ 5.6 แสดง Spectrum ของกระแสทางค่าน input ที่ความถี่ 31 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทางด้าน input จะได้ว่า PF ทางด้าน input จะคี่มากเมื่อความถี่ของการสวิตช์ซึ่งเข้าใกล้ความถี่เรโซแนนซ์ และกระแสก็จะมีค่าสูงสุดด้วยซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี

5.3 ผลการทดลองทางด้านเอาต์พุทเมื่อมีการเปลี่ยนความถี่ต่างๆ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพิสูจน์ว่าที่จุดเรโซแนนซ์โหลดสามารถดึงพลังงานได้สูงสุด
2. เพื่อศึกษาการทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ต่างๆ ที่ไม่ใช่จุดเรโซแนนซ์
3. เพื่อดูว่าที่ความถี่เรโซแนนซ์สามารถค้ำน้ำให้เดือดได้ภายในเวลาเท่าใด ต่างจากความถี่อื่น ๆ อย่างไร

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

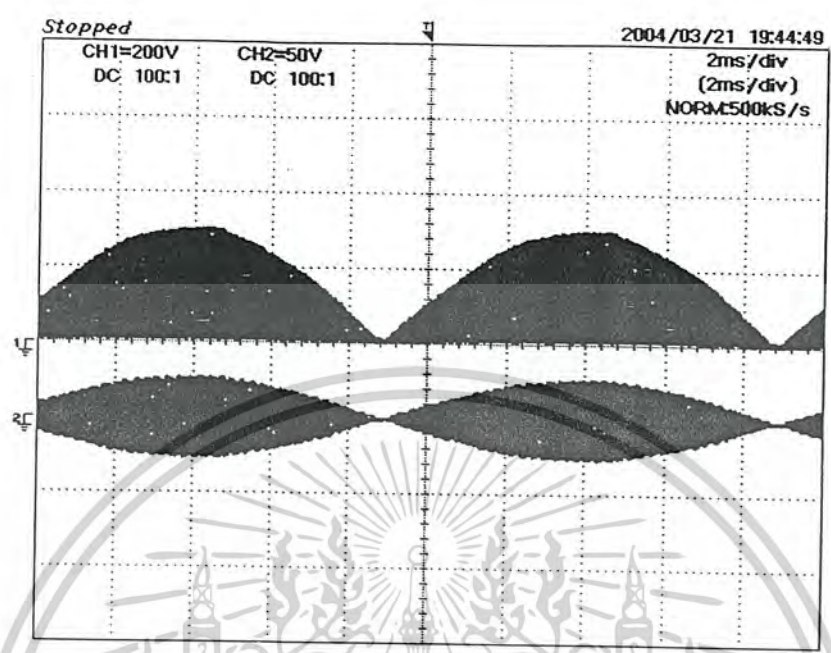
- | | | |
|--|--|---------|
| 1. Variac 0-260 V, 15 A | | ค้ำ |
| 2. Digital Meter | | เครื่อง |
| 3. Storage Scope | | เครื่อง |
| 4. Current Probe | | ค้ำ |
| 5. Differential Probe | | ค้ำ |
| 6. Fluke 41 | | เครื่อง |
| 7. หม้อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 cm พร้อมบรรจุน้ำ 1 ลิตร | | ใบ |

ขั้นตอนการทดลอง

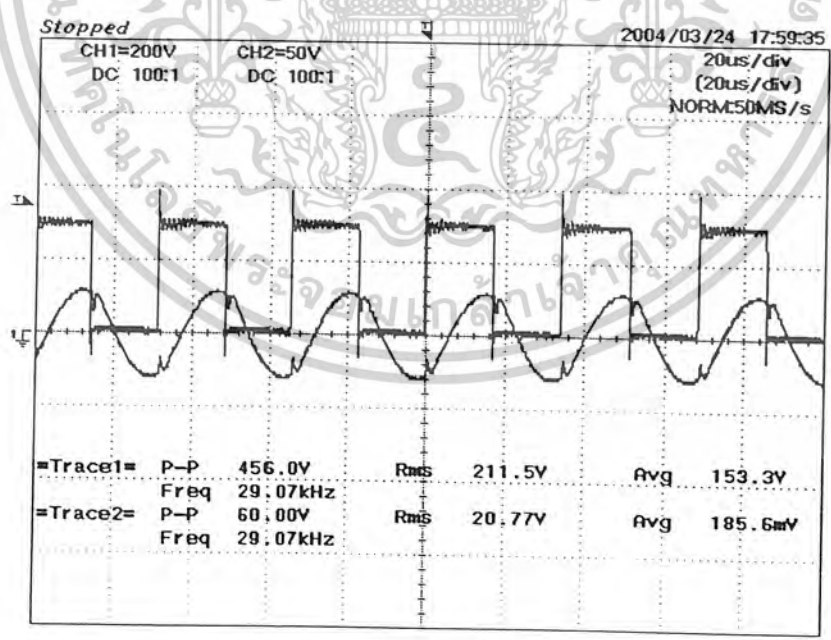
1. คอ่วงจรตามที่ออกแบบไว้
2. ทดลองที่ละความถี่เริ่มจาก 40 kHz จนถึง 29 kHz
3. ปรับ Variac เพื่อเพิ่มแรงดันอินพุททีละ 50 V เพื่อดูพฤติกรรมของโหลดจนถึง ค่าที่พิกัด
4. สังเกตรูปคลื่นทั้งกระแสและแรงดัน พร้อมกับบันทึกผลการทดลอง
5. เก็บรูปคลื่นเพื่อไปคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าทางด้าน Output โดยใช้โปรแกรม Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองทางด้าน Output เมื่อมีการปรับความถี่ อินเวอร์เตอร์ ณ ความถี่ต่างๆ

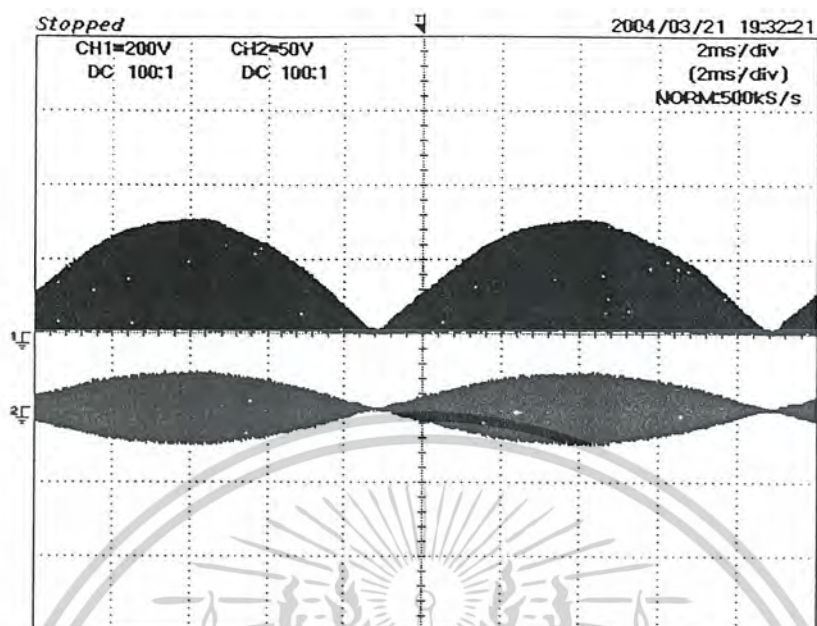


รูปที่ 5.7 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้าน Output ที่ความถี่ 29 kHz
 รูปบน 200 V/div, 2 ms/div
 รูปล่าง 50 V/div, 2 ms/div



รูปที่ 5.8 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้าน Output ที่ความถี่ 29 kHz

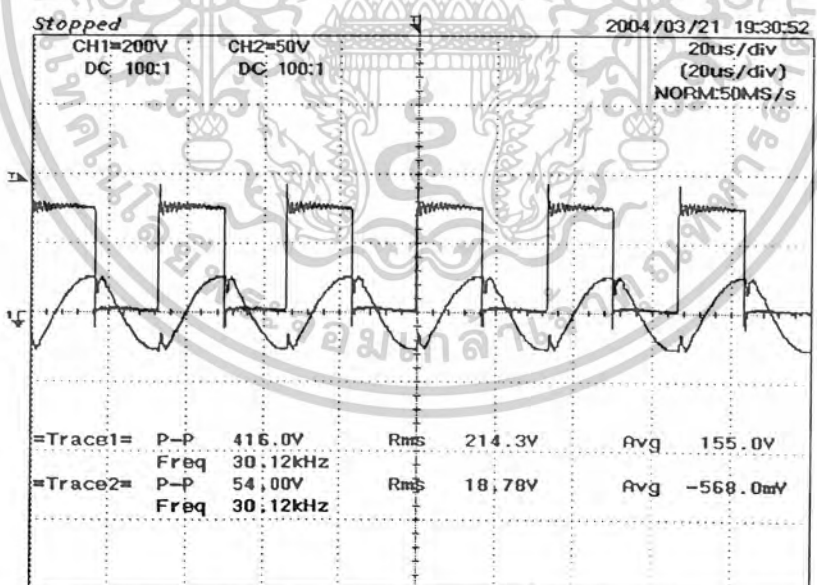
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้าน Output ที่ความถี่ 30 kHz

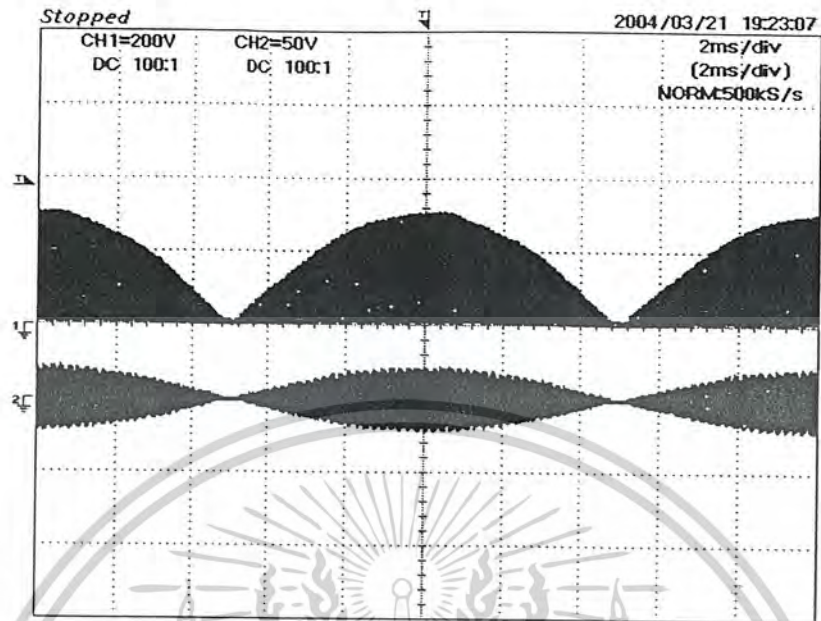
รูปบน 200 V/div, 2 ms/div

รูปล่าง 50 V/div, 2 ms/div



รูปที่ 5.10 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้าน Output ที่ความถี่ 30 kHz

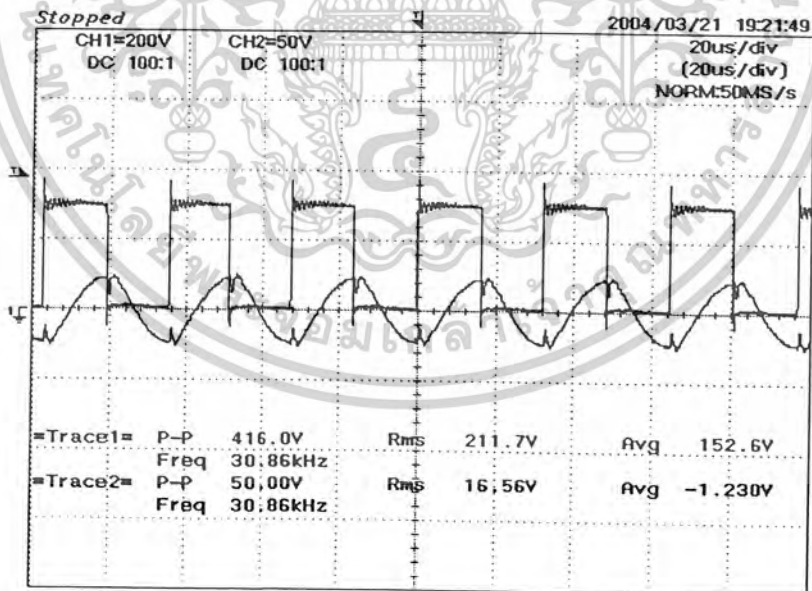
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้าน Output ที่ความถี่ 31 kHz

รูปบน 200 V/div, 2 ms/div

รูปล่าง 50 V/div, 2 ms/div



รูปที่ 5.12 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้าน Output ที่ความถี่ 31 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า -
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทำให้เราทราบว่าเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นจะทำให้กระแสไหลลดลงเรื่อยๆ ลดลงเนื่องจากความถี่นั้นๆ ห่างจากจุดเรโซแนนซ์มากๆ ซึ่งเป็นไปตามหลักการเรโซแนนซ์ และแรงดันก็จะลดลงด้วยเช่นกัน กำลังด้านเอาต์พุตต่ำลงส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลงเมื่อความถี่ห่างจากจุดเรโซแนนซ์มากๆ

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าต่างๆ ในขณะที่ปรับความถี่ในช่วงต่างๆ

| Frequency (kHz) | P_{in} (kW) | P_{out} (kW) | P.F. | %THD _i | V_{in} (V_{rms}) | I_{in} (A_{rms}) | V_{out} (V_{rms}) | I_{out} (A_{rms}) | η (%) |
|-----------------|---------------|----------------|------|-------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|
| 29 | 1.23 | 1.06 | 0.99 | 1.2 | 218 | 5.56 | 220.12 | 20.14 | 86.5 |
| 30 | 1.01 | 0.87 | 0.99 | 1.4 | 219 | 4.61 | 214.3 | 18.78 | 86.1 |
| 31 | 0.75 | 0.64 | 0.99 | 2.0 | 220 | 3.46 | 211.7 | 16.56 | 85.7 |
| 32 | 0.58 | 0.50 | 0.98 | 2.9 | 220 | 2.69 | 209.7 | 14.06 | 85.4 |
| 33 | 0.48 | 0.41 | 0.97 | 3.8 | 221 | 2.21 | 207.2 | 12.68 | 85.1 |
| 34 | 0.39 | 0.33 | 0.96 | 5.0 | 221 | 1.81 | 205.8 | 12.07 | 84.8 |
| 35 | 0.32 | 0.27 | 0.95 | 6.3 | 221 | 1.52 | 204.4 | 10.04 | 84.5 |
| 36 | 0.27 | 0.23 | 0.93 | 7.5 | 222 | 1.31 | 207.9 | 9.52 | 84.3 |
| 37 | 0.23 | 0.19 | 0.91 | 9.1 | 222 | 1.15 | 205 | 8.65 | 84.0 |
| 38 | 0.20 | 0.17 | 0.89 | 11.0 | 223 | 1.01 | 200 | 7.48 | 83.7 |
| 39 | 0.17 | 0.14 | 0.87 | 12.5 | 219 | 0.91 | 198.1 | 6.39 | 83.4 |
| 40 | 0.16 | 0.13 | 0.85 | 14.5 | 220 | 0.84 | 194.3 | 5.48 | 83.1 |

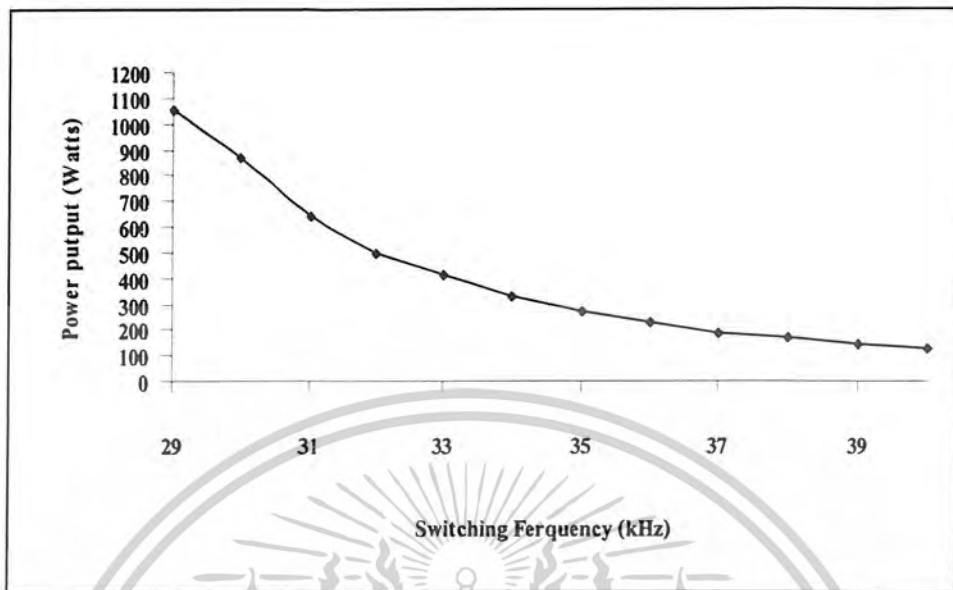
* หมายเหตุ

ในการหาค่าต่างๆทางด้านอินพุตและเอาต์พุต ได้มาจากการบันทึกกรุปคลื่นกระแส, แรงดันทางด้านอินพุตและเอาต์พุต ด้วย Digital storage scope. ขณะทำงานที่ความถี่ 29 – 40 kHz จากนั้นนำมาวิเคราะห์และหาค่าต่างๆ ด้วยโปรแกรม Matlab ตามสมการดังต่อไปนี้

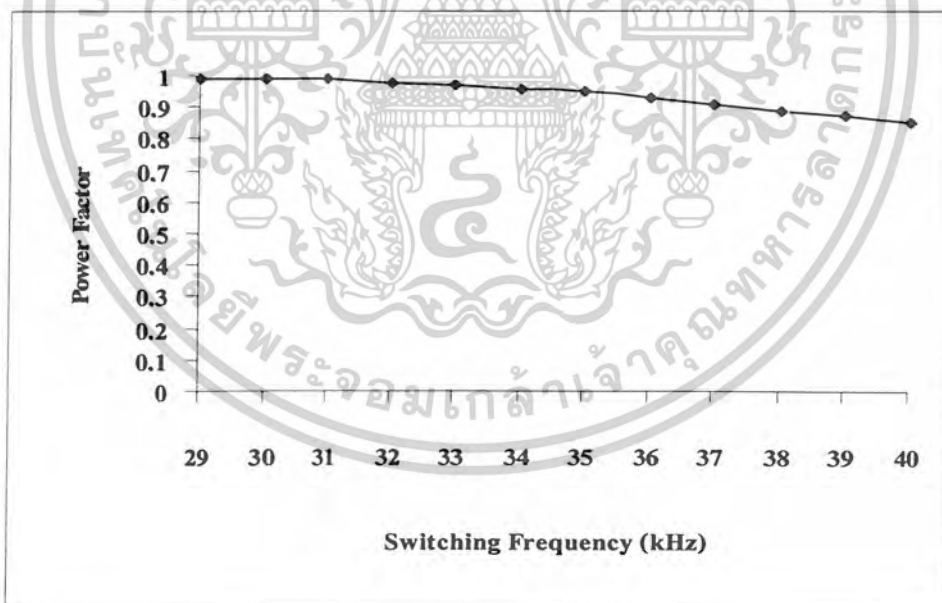
$$P_{in} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i \cdot i_i}{n}, \quad P_{out} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i \cdot i_i}{n}, \quad \% \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100, \quad PF = \frac{P_m}{V_m \cdot I_m}$$

$$\%THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{50} i_i^2}}{i_1} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

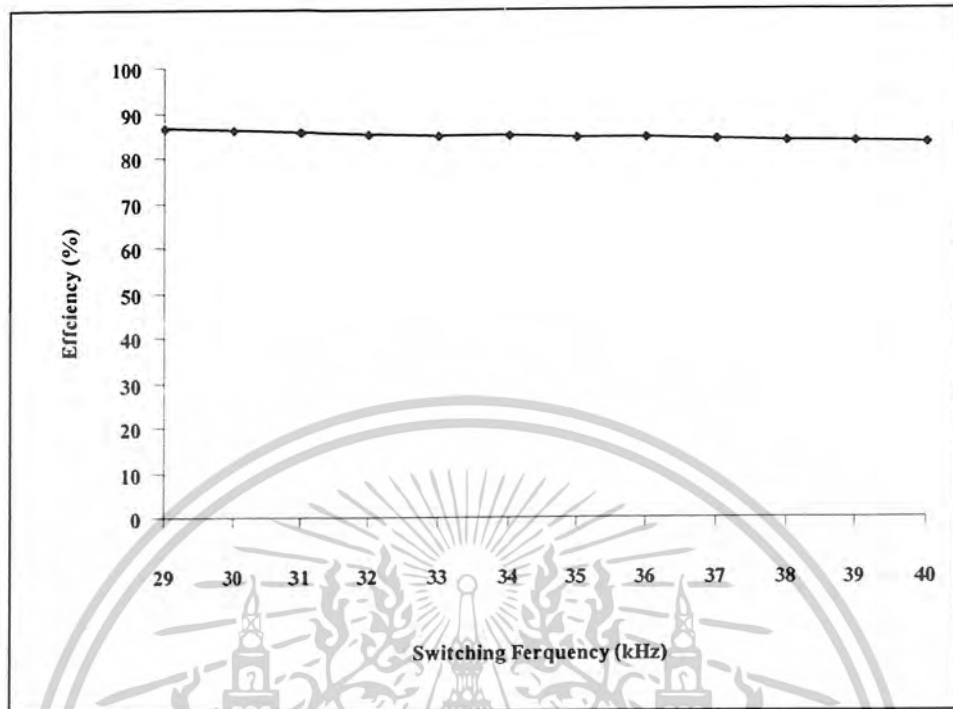


รูปที่ 5.13 กราฟค่ากำลังไฟฟ้ากับความถี่สวิตช์

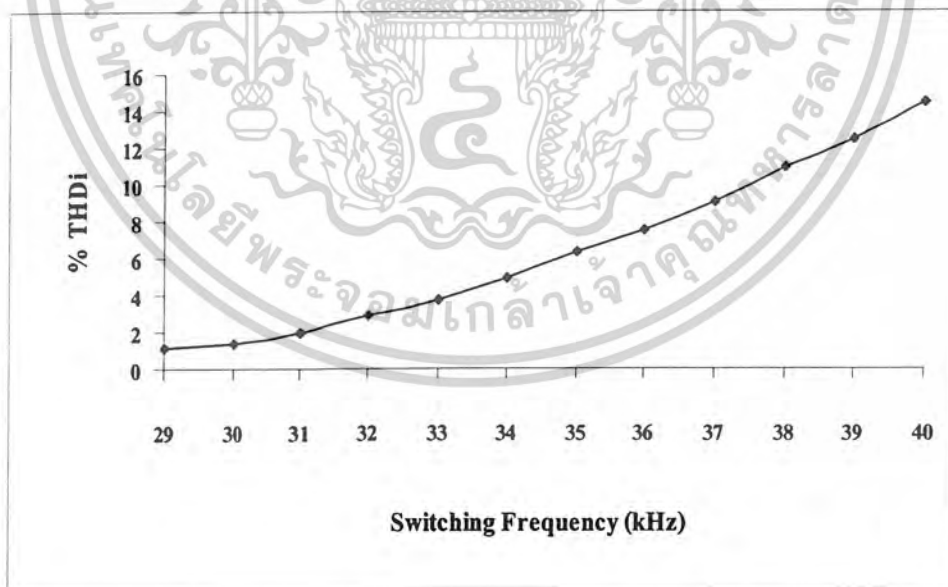


รูปที่ 5.14 กราฟค่าตัวประกอบกำลังกับความถี่สวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 กราฟค่าประสิทธิภาพกับความถี่สวิตช์



รูปที่ 5.16 กราฟค่า THD, กับค่าความถี่สวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทวิจารณ์และสรุป

จากโครงการนี้ ได้ทำการสร้างเตาหุงต้มเหนี่ยวนำ ทำงานที่ความถี่ 20 – 40 kHz โดยมีระดับแรงดันไฟฟ้าอินพุท จากการไฟฟ้า 220 V พิกัดกำลังทางค่านอินพุท 1.2 Kw ที่ความถี่สวิทซ์ซึ่ง 29 kHz ความถี่ที่ใช้ในการสวิทซ์ จะถูกกำหนดโดยความถี่รีโซแนนท์ แต่ทางปฏิบัติจุดการทำงานจะเลือกให้ความถี่ในการสวิทซ์สูงกว่าความถี่รีโซแนนซ์เล็กน้อย ซึ่งทำให้กระแสไหลคล้าหลังแรงดันเอาต์พุท โครงการนี้ได้ทำการแก้พาวเวอร์แฟกเตอร์ทางค่านอินพุท โดยการออกแบบสามารถทำให้ได้พาวเวอร์แฟกเตอร์ เท่ากับ 0.99 lagging และยังมีระบบการควบคุมกระแสทางค่านเอาต์พุทอีกด้วย

6.1 จุดเด่นของโครงการ

1. ขนาดของเตาหุงต้มมีขนาดกระทัดรัด คู่มือใช้งานง่าย และปลอดภัย
2. มีการสูญเสียพลังงานน้อย
3. มีค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์ที่ต่ำมาก
4. ประหยัดพลังงาน

6.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนา

1. โครงการนี้ใช้ลวดขนาดเบอร์ 30 จำนวน 16 เส้นพันติเกลียวรวมกัน แล้วนำมาขดเป็นรูปก้นหอยแบน จำนวน 43 รอบ และใช้ตัวเก็บประจุทางค่าน โหลดคือในลักษณะ C/2 โดยเลือกตัวเก็บประจุชนิดไมล้า ขนาด 0.1uF 600 V เมื่อทำการทดสอบให้เตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงทำงานที่พิกัด 1.2 kW ปรากฏว่าตัวเก็บประจุแบบที่ใช้นี้ ไม่สามารถทนกระแสได้ ทำให้ตัวเก็บประจุระเบิดขึ้น ดังนั้นจึงเปลี่ยนมาใช้ตัวเก็บประจุแบบ WIMA ขนาด 0.047 uF 1000 V นำมาต่อแบบขนานกันจำนวน 27 ตัวซึ่งเมื่อเปลี่ยนมาใช้ตัวเก็บประจุแบบ WIMA แล้วเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง สามารถที่จะทำงานได้ตามพิกัดกำลังที่ออกแบบไว้
3. โครงการนี้ได้ใช้หลักการเหนี่ยวนำความถี่สูงโดยใช้วงจร HALF BRIDGE INVERTERS เป็นตัวจ่ายแรงดันความถี่สูง ให้กับโหลดตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ โดยสัญญาณความถี่สูงจะถูกสร้างโดย DSP เบอร์ TMS320LF2406 ตัวที่ 50 % กลับสัญญาณ กันสอง ชุด นำสัญญาณที่ได้ผ่านวงจรเคดไทม์ 3.2 เพื่อจ่ายให้กับชุดขับสัญญาณ(Drive Circuit) ป้องกันการ Short กันของสวิทซ์ จึงออกแบบให้เหมาะสม เพราะถ้าชุดขับสัญญาณ ทำงานไม่ได้อาจเป็นที่มาของการเกิด Short ของสวิทซ์ ซึ่งโครงการนี้ได้เลือกใช้ IGBT เป็นอุปกรณ์สวิทซ์ ซึ่งมีราคาแพงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จากการทดลองพบว่า ถ้าใช้ตัวเก็บประจุที่กรองแรงดันมาก จะทำให้รีปเปิลมีค่าน้อยมีลักษณะแรงดันคงที่ที่เพาเวอร์เอด์พุทสูงแต่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ด้านอินพุทจะต่ำแต่เมื่อทำการเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุ ให้มีค่าน้อยลง แต่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านอินพุทจะมีค่าสูงขึ้น ดังนั้น จึงใช้เป็นข้อเปรียบเทียบได้ถึงข้อดีข้อเสียในจุดนี้ได้

6.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถจัดทำเตาหุงต้มเหี่ยวนำความถี่สูง ที่ประหยัดพลังงาน และมีประสิทธิภาพสูง เหมาะสำหรับนำไปใช้ในครัวเรือน หรือธุรกิจต่าง ๆ ได้ เพราะมีความปลอดภัยสูงด้วย
2. สามารถทำให้เข้าใจถึงระบบการทำงานต่าง ๆ ของเตา เพื่อนำไปสู่การประยุกต์ใช้กับงานอื่น ๆ ได้ เช่น เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง เตาอบเหี่ยวนำ และเครื่องชุบแข็ง โลหะ เป็นต้น
3. โครงการนี้ได้เลือกใช้ ไอจีบีที (IGBT) เป็นอุปกรณ์สวิตซ์ซิ่ง ซึ่งในโครงการอื่นได้มีการเลือกใช้ มอสเฟต เป็นอุปกรณ์สวิตซ์ซิ่ง จะเห็นได้ว่าในแต่ละครั้งจะมีการเลือกใช้ อุปกรณ์สวิตซ์ซิ่งที่มีการพัฒนาขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้น โครงการนี้จึงเป็นข้อมูลที่สำคัญ ที่เป็นต้นแบบของการใช้ อุปกรณ์สวิตซ์ซิ่งชนิดหนึ่ง เพื่อการวิจัยและพัฒนาต่อไป
4. สามารถออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ประหยัดพลังงาน เพื่อเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งในปัจจุบัน ที่มวลมนุษยกำลังแสวงหาพลังงานทดแทนมาสนองความต้องการของมนุษย์ ที่มีอยู่มากมายจนเกินปริมาณที่พลังงานมีอยู่บนโลก
5. โครงการนี้ได้ฝึกให้คณะผู้จัดทำ มีความวิริยะ อุตสาหะ อดทน และความพยายาม ที่จะมุ่งไปสู่ความสำเร็จคล่องตัวด้วยดี เพื่อเป็นการฝึกตนให้เป็นคนดีก่อนที่จะออกไปสู่การทำงานและการอยู่ร่วมกันในสังคมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของ INDUCTION COOKING

```
-----  
; System Name      :      Induction Heating  
;  
; File Name        :      Heat.ASM  
;  
; Description      :      PWM change frequency and duty cycle & Feedback Current in & out  
; Originator       :      i_vain@hotmail.com  
;  
; Target Device    :      F240, F243, F2407 To Select the target device see x24x_app.h file.  
-----
```

```
; History:
```

```
-----  
;08-04-2003      Release Rev 1.0  
-----
```

```
; External references  
-----
```

```
-----  
.include "x24x_app.h"  
-----  
.ref      SYS_INIT ,stack_start  
-----  
.ref      ADC04U_DRV,ADC04U_DRV_INIT  
-----  
;function call  
-----  
.ref      A4_ch_sel,C1_gain,C2_gain,C3_gain,C4_gain      ;inputs  
.ref      C1_out, C2_out, C3_out, C4_out                  ;Outputs  
-----  
.def      DELAY_500ms,DELAY_100ms  
-----  
.ref      FC_PWM_O_DRV_INIT                              ;function call  
-----
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Local Variable Declarations

```
.def GPR0 :General purpose registers.  
.def GPR1  
.def GPR2  
.def GPR3  
.def GPR4  
.bss GPR0,1 :General purpose registers.  
.bss GPR1,1  
.bss GPR2,1  
.bss GPR3,1  
.bss GPR4,1
```

: VECTOR TABLE (including RT monitor traps)

```
.sect "vectors"  
.def _c_int0  
RESET B _c_int0 : 00  
INT1 B PHANTOM : 02  
INT2 B T1_PERIOD_ISR : 04  
INT3 B PHANTOM : 06  
INT4 B PHANTOM : 08  
INT5 B PHANTOM : 0A  
INT6 B PHANTOM : 0C
```

```
.include "rtvecs.h"
```

Note: The above include line must be AFTER the user configurable.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
vectors. Do not change the place where this line is included.
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

=====

MAIN CODE - starts here

=====

.text

c_int0:

```
LDP    #GPR4
SPLK   #0000H,GPR4
CALL   SYS_INIT
CALL   ADC04U_DRV_INIT
```

POWER:

CHECK_SW:

```
CALL   DELAY_100ms
```

```
POINT_PF2
```

```
BIT    PADATDIR.BIT2
```

```
BCND   CHECK_SW,TC ;IF PORT C.1 is 1 (PWM_on)
```

```
CALL   DELAY_10ms
```

```
POINT_PF2
```

```
BIT    PADATDIR.BIT2
```

```
CALL   DELAY_10ms
```

```
BCND   CHECK_SW,TC
```

```
POINT_PF2
```

```
LACC   PADATDIR
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
5432109876543210 ;PORT C.1(Lcd) ON
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
OR      #0000001000000010b
SACL    PADATDIR
CALL    DELAY_10ms
```

CHECK_NSW:

```
POINT_PF2
BIT     PADATDIR.BIT2
CALL    DELAY_10ms
BCND    CHECK_NSW.NTC
```

RUN:

```
POINT_PF2
LACC    PBDATDIR
OR      #111111111000000B      ;Set BUZZER & FAN
SACL    PBDATDIR
CALL    DELAY_100ms
LACC    PBDATDIR
AND     #11111111011111B      ;Set BUZZER & FAN
SACL    PBDATDIR
POINT_PF2
        :5432109876543210
SPLK    #111111100010000B.PCDATDIR
CALL    DELAY_100ms
CALL    DELAY_100ms
SPLK    #111111100110000B.PCDATDIR
CALL    DELAY_100ms
CALL    DELAY_100ms
SPLK    #111111101010000B.PCDATDIR
CALL    DELAY_100ms
CALL    DELAY_100ms
SPLK    #111111110010000B.PCDATDIR
CALL    DELAY_100ms
CALL    DELAY_100ms
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CALL    DELAY_100ms
CALL    DELAY_100ms
SPLK    #1111111100110000B.PCDATDIR
CALL    DELAY_100ms
CALL    DELAY_100ms
SPLK    #1111111101010000B.PCDATDIR
CALL    DELAY_100ms
CALL    DELAY_100ms
SPLK    #111111110010000B.PCDATDIR
CALL    DELAY_100ms
CALL    DELAY_100ms

```

```
CALL    FC_PWM_O_DRV_INIT
```

```
-----
: System Interrupt Init
-----
```

```
-----
: Event Manager
-----
```

```
POINT_EV
```

```
SPLK    #0000001000000000b.IMRA          ;Enable T1 Underflow Int (i.e. Period)
```

```
SPLK    #0FFFFh,IFRA                    ; Clear all Group interrupt flags
```

```
SPLK    #0FFFFh,IFRB                    ; Clear all Group B interrupt flags
```

```
SPLK    #0FFFFh,IFRC                    ; Clear all Group C interrupt flags
```

```
32xx Core
```

```
POINT_PG0
```

```
SPLK    #0000000000000010b,IMR        ;En Int |v| 2 (T1 ISR)
```

```
SPLK    #0FFFFh, IFR                    ;Clear any pending Ints
```

```
EINT                                        ;Enable global Ints
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAIN: ;Main system background loop

M J:

B MAIN

LOOP DELAY

DELAY_500ms:

MAR *.AR7

LAR AR7,#09550H

B D_LOOP

DELAY_100ms:

MAR *.AR7

LAR AR7,#01DF2H

B D_LOOP

DELAY_10ms:

(mS)

MAR *.AR7 ; EX=> CLK = 20MHz = 50nS

LAR AR7,#02FDH ;AR7 = #0FFFFH (300H = 10mS)

; RPT = #0FFH

D_LOOP: RPT #0FFH ; THEN : TIME_DELAY_LOOP = 835.57mS

NOP

BANZ D_LOOP

RET

: Routine Name : TI_PERIOD_ISR

: Routine Type : ISR

:Description :

:Originator : Digital control systems Group - Texas Instruments

: History : เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

: Last Update : 08-04-2003
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) PERIOD_ISR:

Context save regs

```
MAR    *.ARI        ;ARI is stack pointer
MAR    *+           ;skip one position
SST    #1, *+       ;save ST1
SST    #0, *+       ;save ST0
SACH   *+           ;save acc high
SACL   *            ;save acc low
```

:NOTE: should use "read-modify-write" to clear Int flags & not SPLK!

POINT_EV

```
SPLK   #0FFFFh,IFRA ; Clear all Group A interrupt flags (T1 ISR)
```

:Start main section of ISR

ADC_READ:

```
CALL   ADC04U_DRV
```

READ_TEMP:

READ DATA FORM ADC03 AND SEND TO PORT_E

```
LDP    #C1_out
```

```
LACC   C3_out
```

```
SFR
```

```
SFR
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SFR
SFR
SFR
SFR
OR    #0FF00H

```

POINT_PF2

```

SPLK    #0000H.OCRC
SACL    PADATDIR

```

```

:-----
:  SET PERIOD AND DUTY CYCLE (50%)
:-----

```

```

PERIOD_LOW    .set    645
PERIOD_MID    .set    667
PERIOD_HI     .set    684

CMPR_LOW     .set    323
CMPR_MID     .set    334
CMPR_HI      .set    342

```

```

:-----
:  MAIN LOOP CHECK SWITCH
:-----

```

A 0:

```
CALL    DELAY_10ms
```

POINT_PF2

```
BIT     PADATDIR.BIT2
```

```
BCND    A_I,TC           ;IF PORT C.1 is 1 (PWM_on)
```

```
CALL    DELAY_10ms
```

A 0 1:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POINT_PF2

```

BIT          PADATDIR,BIT2
CALL         DELAY_10ms
BCND        A_0_1,NTC
LACC        PBDATDIR
OR           #1111111101000000B          :Set BUZZER & FAN
SACL        PBDATDIR
CALL         DELAY_100ms
LACC        PBDATDIR
AND         #1111111101111111B          :Set BUZZER & FAN
SACL        PBDATDIR
B           END_END

```

A_1:

POINT_PF2

```

BIT          PADATDIR,BIT3
BCND        A_2,TC
POINT_PF2   :5432109876543210
SPLK        #1111111100110000B,PCDATDIR :LED
LACC        PBDATDIR
OR           #0000000001000000B          :Set BUZZER
SACL        PBDATDIR
CALL         DELAY_100ms
LACC        PBDATDIR
AND         #1111111101111111B          :Set BUZZER
SACL        PBDATDIR

```

POINT_EV

```
SPLK #PERIOD*LOW,TIPER
```

31.5 kbz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

```
SPLK #CMPR LOW,CMPR1
```

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B PWM

A 2

POINT_PF2

BIT PADATDIR.BIT4

BCND A_3.TC

POINT_PF2

;5432109876543210

SPLK #111111101010000B,PCDATDIR ; LED

LACC PBDATDIR

OR #000000001000000B ;Set BUZZER & FAN

SACL PBDATDIR

CALL DELAY_100ms

LACC PBDATDIR

AND #111111110111111B ;Set BUZZER

SACL PBDATDIR

POINT_EV

SPLK #PERIOD_MID,TIPER ;30 khz

SPLK #CMPR_MID,CMPR1

B PWM

A 3:

POINT_PF2

BIT PADATDIR.BIT5

BCND PWM.TC

POINT_PF2

;5432109876543210

SPLK #111111110010000B,PCDATDIR ; LED

LACC PBDATDIR

OR #000000001000000B ;Set BUZZER

SACL PBDATDIR

CALL DELAY_100ms

LACC PBDATDIR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

AND    #11111111011111B    .Set BUZZER
SACL   PBDATDIR

```

POINT_EV

```

SPLK   #PERIOD_HI,T1PER    :29 khz
SPLK   #CMPR_HI,CMPR1
B      PWM

```

PWM:

```

B      END_ISR              : CLOSE LOOP (:)

```

CHECK_CUR_IN:

```

SETC   SXM
SETC   OVM
LDP    #C1_out
LACC   C1_out
SUB    #745DH                : SET CURRENT INPUT
'2.5V'=>(X/3.3)*2^15
; 745d=3.0 v
LDP    #GPR4
SACL   GPR4
BIT    GPR4,BIT15
BCND   END_END,NTC

```

CHECK_CUR_OUT:

```

LDP    # C1_out
LACC   C2_out
SUB    #6C9BH                : SET CURRENT OUTPUT
'1.3V'=>(X/3.3)*2^15
;6c9b=2.8v

```

```

LDP    #GPR4
SACL   GPR4
BIT    GPR4,BIT15

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BCND END_END,NTC

End main section of ISR

Context restore regs

END_ISR:

```
POINT_PG0
MAR    *,ARI           ;make stack pointer active
LACL   *-             ;Restore Acc low
ADDH   *-             ;Restore Acc high
LST    #0,*-          ;load ST0
LST    #1,*-          ;load ST1
EINT   ;Euqual CLRC INTM - Enable
RET
```

interrupts

END_END:

```
MAR    *,ARI           ;ARI is stack pointer
MAR    #+             ;skip one position
SST    #1,*+          ;save ST1
SST    #0,*+          ;save ST0
SACH   *+            ;save acc high
SACL   *              ;save acc low
CALL   DELAY_500ms
CALL   DELAY_500ms
```

POINT_PF2

```
SPLK   #0000000000000000B,MCRC      ;I/O port E and F
SPLK   #1111111100000000B,PEDATDIR  ;Port E
SPLK   #1111111100000001B,PFDATDIR
SPLK   #0000000000000000B,MCRA      ;I/O port E and F
SPLK   #0000011111111100B,PADATDIR  ;Port A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

:5432109876543210 :OUTPUT HI (1)
SPLK #1111111100000000B.PBDATDIR :Port B

:5432109876543210
SPLK #0000000000000000B.MCRB :I/O port C and d
SPLK #1111111100000000B.PCDATDIR
SPLK #1111111100000000B.PDDATDIR

```

POINT_EV

```
SPLK #1001000000000000b.TICON :Asym
```

POINT_PGO

```

MAR *,ARI :make stack pointer active
LACL *- :Restore Acc low
ADDH *- :Restore Acc high
LST #0,*- :load ST0
LST #1,*- :load ST1
SETC INTM
B POWER

```

ISR - PHANTOM

: Description: Dummy ISR, used to trap spurious interrupts.

: Modifies:

: Last Update: 16-06-95

PHANTOM B PHANTOM

PHANTOM1 B PHANTOM1

PHANTOM2 B PHANTOM2

PHANTOM3 B PHANTOM3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เมื่อกฎหมายใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PHANTOM4 B PHANTOM4
PHANTOM5 B PHANTOM5
PHANTOM6 B PHANTOM6

```

```

: File Name: Sys_init.asm
: Module Name: SYS_INIT
: Originator: Digital Control Systems Group:
: Texas Instruments
: Description: Initializes F24x/xx devices

```

```

: History:

```

```

: 9-15-2000 Release Rev 1.0

```

```

#include x24x_app.h

.def SYS_INIT_stack_start
.ref GPR0

stack_size .set 40h
stack_start .usect "stack",stack_size

```

```

SYS_INIT:

```

```

POINT_PF2

```

```

SPLK #0000000000000000B,MCRC ;I/O port E and F
SPLK #1111111100000000B,PEDATDIR ;Port E
SPLK #1111111100000001B,PFDATDIR

```

```

POINT_PG0

```

```

SETC INTM ;Disable interrupts
SPLK #0h,IMR ;Mask all Ints

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
SPLK    #0FFh, IFR    ;Clear all Int Flags 3
```

Int PDP interrupt flag after reset

```
LDP     #PIRQR0>>7
LACC    PIRQR0        ; Clear pending PDP flag
AND     #0FFFEh
SACL    PIRQR0
LACC    PIRQR2        ; Clear pending PDP flag
AND     #0FFFEh
SACL    PIRQR2
```

POINT_EV

```
LACC    EVAIFRA      ; Clear PDPINTA flag
OR      #0001h
SACL    EVAIFRA
LDP     #EVBIFRA>>7
LACC    EVBIFRA      ; Clear PDPINTB flag
OR      #0001h
SACL    EVBIFRA
```

POINT_B0

```
SPLK    #00C0h, GPR0 ;Set I wait states for I/O space
OUT     GPR0, WSGR
```

POINT_PF1

.if(x4_PLL)

```
SPLK    #0085h, SCSR1 ; x4 PLL, ADC en, EV1 en, clr Ill Addr flg
```

.endif

.if(x2_PLL)

```
SPLK    #0285h, SCSR1 ; x2 PLL, ADC en, EV1 en, clr Ill Addr flg
```

.endif

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Comment out if WD is to be active

```
SPLK    #006Fh, WD_CNTL    ;Disable WD if VCCP=5V
```

```
KICK_DOG
```

```
INIT_PORT:
```

```
POINT_PF2
```

```
SPLK    #0000000000000000B,MCRC    ;I/O port E and F
```

```
SPLK    #1111111100000000B,PEDATDIR    ;Port E
```

```
SPLK    #1111111100000001B,PFDATDIR
```

```
SPLK    #0000000000000000B,MCRA    ;I/O port E and F
```

```
SPLK    #0000001111111100B,PADATDIR    ;Port A
```

```
SPLK    #1111111100000000B,PBDATDIR    ;Port B
```

```
SPLK    #0000000000000000B,MCRB    ;I/O port C and D
```

```
SPLK    #1111111100000000B,PCDATDIR
```

```
SPLK    #1111111100000000B,PDDATDIR
```

```
POINT_PG0
```

```
CLRC    SXM    ;Clear Sign Extension Mode
```

```
CLRC    OVM    ;Reset Overflow Mode
```

```
CLRC    CNF    ;Config Block B0 to Data mem.
```

```
SPM    0
```

```
LAR    AR1, #stack_start    ;Init s/w stack pointer
```

```
MAR    *,AR1
```

```
POINT_B0
```

```
RET
```

```
; File Name : A4c4udrv.asm
```

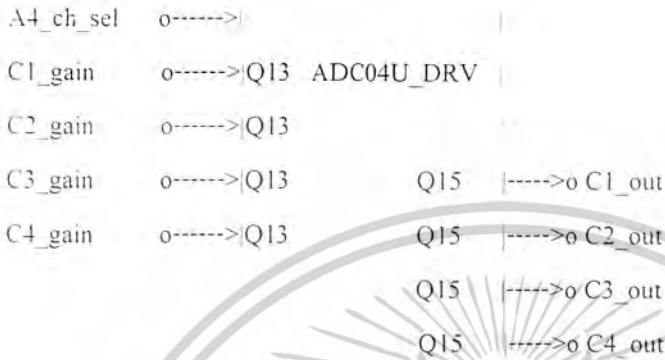
```
; Module Name: ADC04U_DRV
```

```
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
; Initialization Routine: ADC04U_DRV_INIT
```

```
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
```

Originator: Digital Control Systems Group Texas Instruments

Description: This module performs 4-channel AD conversion of unipolar signals.



Notes:

1. This is a Unipolar driver, i.e. expects the ADC input to be 0->Vcc with gnd referenced to 0v
2. Cx_gain has range of -3.999999 --> +3.999999 (i.e. Q13)
3. Cx_out has range 0 --> +0.999999 (i.e. Q15)

with:

$$1.0 \times (V_{refHi} - V_{refLo}) = +0.999999 \text{ (7FFFh)}$$

$$0.5 \times (V_{refHi} - V_{refLo}) = +0.5 \text{ (3FFFh)}$$

$$0.0 \times (V_{refHi} - V_{refLo}) = 0 \text{ (0000h)}$$

ADC_ch_sel HEX values vs Channels selected

| | | | C4 select |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| C3 select | C2 select | C1 select | |
| ----- | | | |

For x240

| | | |
|---------------|---------------|----------------|
| C1/C3 select: | 0,1,2...7 --> | Ch0,1,2,...7 |
| C2/C4 select: | 0,1,2...7 --> | Ch8,9,10,...15 |

For x243

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 C1/C2/C3/C4 select: 0,1,2...7 --> Ch0,1,2...7
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

For x2407

C1/C2/C3/C4 select: 0,1,2...F --> Ch0,1,2,...15

Target dependency: x240/243/2407

To Select the target device see x24x_app.h file.

History:

9-15-2000 Release Rev 1.0

(To use this Module, copy this section to main system file)

```
.ref ADC04U_DRV,ADC04U_DRV_INIT
:function call
.ref A4_ch_sel,C1_gain,C2_gain,C3_gain,C4_gain :inputs
.ref C1_out,C2_out,C3_out,C4_out :Outputs

.def ADC04U_DRV,ADC04U_DRV_INIT
:function call
.def A4_ch_sel,C1_gain,C2_gain,C3_gain,C4_gain :inputs
.def C1_out,C2_out,C3_out,C4_out :Outputs
```

.include x24x_app.h

.ref GPR0

:Alfas Variable declaration (to conserve .bss locations)

MASK .set GPR0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
| gain .usect "adc4udrv",1
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

C2_gain      .usect  "adc4udrv",1
C3_gain      .usect  "adc4udrv",1
C4_gain      .usect  "adc4udrv",1
C1_out       .usect  "adc4udrv",1
C2_out       .usect  "adc4udrv",1
C3_out       .usect  "adc4udrv",1
C4_out       .usect  "adc4udrv",1
A4_ch_sel    .usect  "adc4udrv",1
GPR0adc      .usect  "adc4udrv",1
GPR1adc      .usect  "adc4udrv",1

```

```

-----
ADC04U_DRV_INIT:
-----

```

```

LDP    #A4_ch_sel
SPLK   #1FFFh, C1_gain      ;Init with gain of 1
SPLK   #1FFFh, C2_gain      ;Init with gain of 1
SPLK   #1FFFh, C3_gain      ;Init with gain of 1
SPLK   #1FFFh, C4_gain      ;Init with gain of 1

LDP    #ADCL_CNTL1>>7
SPLK   #0, CALIBRATION      ;Zero the Cal reg.

SPLK   #010000000000000b,ADCL_CNTL1 ;Reset entire Module
SPLK   #0010000000010000b,ADCL_CNTL1 ;Acq = 2 x Clks
SPLK   #0010000100010000b,ADCL_CNTL1 ;Acq = 4 x Clks
SPLK   #0010001000010000b,ADCL_CNTL1 ;Acq = 6 x Clks
SPLK   #0010001100010000b,ADCL_CNTL1 ;Acq = 8 x Clks

                                           ;Cascaded mode

SPLK   #3, MAXCONV          ;Setup for 4 conversions

LDP    #A4_ch_sel
SPLK   #3210h, A4_ch_sel    ;default to Ch 1,0,2,3

RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD_CONVERT_DRV:

:Read 1st converted value

```
LDP    #ADCL_CNTL1>>7
LACC   ADC_RESULT0
SFR
AND    #7FFFh
LDP    #A4_ch_sel
SACL   C1_out
LT     C1_gain           ;la_gain in Q13
MPY    C1_out           ;Q13 x Q15 = Q28
PAC
SACH   C1_out.3         ;Convert final result to Q15
```

:Read 2nd converted value

```
LDP    #ADCL_CNTL1>>7
LACC   ADC_RESULT1
SFR
AND    #7FFFh
LDP    #A4_ch_sel
SACL   C2_out
LT     C2_gain           ;la_gain in Q13
MPY    C2_out           ;Q13 x Q15 = Q28
PAC
SACH   C2_out.3         ;Convert final result to Q15
```

:Read 3rd converted value

```
LDP    #ADCL_CNTL1>>7
LACC   ADC_RESULT2
SFR
```

```
AND    #7FFFh
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SACL   C3_out
LT     C3_gain          ;Ia_gain in Q13
MPY    C3_out          ;Q13 x Q15 = Q28
PAC
SACH   C3_out,3       ;Convert final result to Q15

```

:Read 4th converted value

```

LDP    #ADCL_CNTL1>>7
LACC   ADC_RESULT3
SFR
AND    #7FFh
LDP    #A4_ch_sel
SACL   C4_out
LT     C4_gain          ;Ia_gain in Q13
MPY    C4_out          ;Q13 x Q15 = Q28
PAC
SACH   C4_out,3       ;Convert final result to Q15

```

:Start another conversion

START_NXT:

```

LACC   A4_ch_sel
LDP    #ADCL_CNTL1>>7
SACL   CHSELSEQ1
SPLK   #011000000000000b,ADCL_CNTL2 ;Reset + SOC SEQ1
LDP    #A4_ch_sel
RET

```

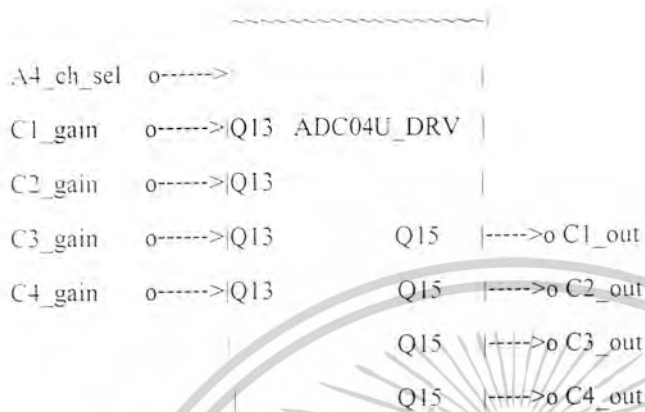
```

: File Name      :Ade4udrv.asm
: Module Name:   ADC04U_DRV
: Initialization Routine: ADC04U_DRV_INIT

```

Originator: Digital Control Systems Group
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 :Texas Instruments
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Description: This module performs 4-channel AD conversion of unipolar signals.



Notes:

1. This is a Unipolar driver, i.e. expects the ADC input to be 0->Vcc with gnd referenced to 0v
2. Cx_gain has range of -3.999999 --> +3.999999 (i.e. Q13)
3. Cx_out has range 0 --> +0.999999 (i.e. Q15)

with:

$$1.0 \times (V_{refHi} - V_{refLo}) = +0.999999 \quad (7FFFh)$$

$$0.5 \times (V_{refHi} - V_{refLo}) = +0.5 \quad (3FFFh)$$

$$0.0 \times (V_{refHi} - V_{refLo}) = 0 \quad (0000h)$$

ADC_ch_sel HEX values vs Channels selected

| C4 select | C3 select | C2 select | C1 select |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
|-----------|-----------|-----------|-----------|

For x240

| | | |
|---------------|---------------|-----------------|
| C1/C3 select: | 0,1,2...7 --> | Ch0,1,2,...,7 |
| C2/C4 select: | 0,1,2...7 --> | Ch8,9,10,...,15 |

For x243

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 C1/C2/C3/C4 select: 0,1,2...7 --> Ch0,1,2,...,7
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

For x2407

C1/C2/C3/C4 select: 0,1,2...F --> Ch0,1,2....15

: Target dependency: x240/243/2407

: To Select the target device see x24x_app.h file.

: History:

: 9-15-2000 Release Rev 1.0

:(To use this Module, copy this section to main system file)

.ref ADC04U_DRV, ADC04U_DRV_INIT :function call

.ref A4_ch_sel, C1_gain, C2_gain, C3_gain, C4_gain :inputs

.ref C1_out, C2_out, C3_out, C4_out :Outputs

.def ADC04U_DRV, ADC04U_DRV_INIT

:function call

.def A4_ch_sel, C1_gain, C2_gain, C3_gain, C4_gain :inputs

.def C1_out, C2_out, C3_out, C4_out :Outputs

.include x24x_app.h

.ref GPR0

:Alias Variable declaration (to conserve .bss locations)

MASK .set GPR0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

C1_gain .usect "adc4udrv",1
C2_gain .usect "adc4udrv",1
C3_gain .usect "adc4udrv",1
C4_gain .usect "adc4udrv",1
C1_out .usect "adc4udrv",1
C2_out .usect "adc4udrv",1
C3_out .usect "adc4udrv",1
C4_out .usect "adc4udrv",1
A4_ch_sel .usect "adc4udrv",1
GPR0adc .usect "adc4udrv",1
GPR1adc .usect "adc4udrv",1

```

```

=====
ADC04U_DRV_INIT:
=====

```

```

LDP #A4_ch_sel
SPLK #1FFFh,C1_gain ;Init with gain of 1
SPLK #1FFFh,C2_gain ;Init with gain of 1
SPLK #1FFFh,C3_gain ;Init with gain of 1
SPLK #1FFFh,C4_gain ;Init with gain of 1

```

```

LDP #ADCL_CNTL1>>7
SPLK #0,CALIBRATION ;Zero the Cal reg.
SPLK #0100000000000000b,ADCL_CNTL1 ;Reset entire Module
:
SPLK #0010000000010000b,ADCL_CNTL1 ;Acq = 2 x Clks
SPLK #0010000100010000b,ADCL_CNTL1 ;Acq = 4 x Clks
:
SPLK #0010001000010000b,ADCL_CNTL1 ;Acq = 6 x Clks
SPLK #0010001100010000b,ADCL_CNTL1 ;Acq = 8 x Clks

```

```

SPLK #3,MAXCONV ;Setup for 4 conversions

```

```

LDP #A4_ch_sel

```

```

SPLK #3210h,A4_ch_sel ;default to Ch 1,0,2,3

```

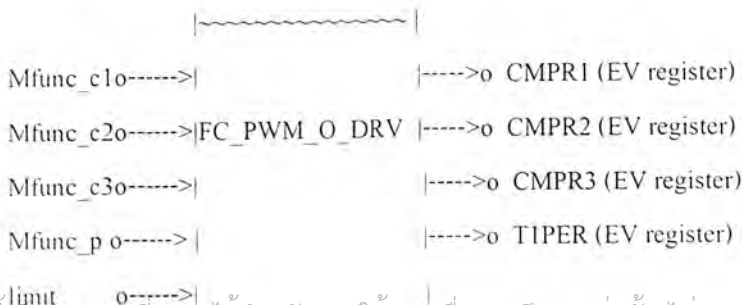
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 RET
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADUC04U_DRV:

.Read 1st converted value

```
LDP    #ADCL_CNTL1>>7
LACC   ADC_RESULT0
SFR
AND    #7FFFh
LDP    #A4_ch_sel
SACL   C1_out
LT     C1_gain      ;Ia_gain in Q13
MPY    C1_out      ;Q13 x Q15 = Q28
PAC
```

: File Name :pwmdrv.asm
: Module Name : FC_PWM_O_DRV
: Initialization Routine:FC_PWM_O_DRV_INIT
: Originator :Digital Control Systems Group
: Texas Instruments
: Description :The module implements over-modulation technique to increase DC bus voltage utilization of a voltage source inverter. The input 'limit' sets the extent of over-modulation. For example, limit = 0 means no over-modulation and limit = (timer period)/2 means maximum over-modulation.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

target dependency: x240/243/2407 Event Manager Timer1 & Full Compare

To Select the target device see x24x_app.h file.

History:

9-15-2000 Release Rev 1.0

(To use this Module, copy this section to main system file)

```
.ref FC_PWM_O_DRV_INIT :function-call
.ref Mfunc_c1, Mfunc_c2, Mfunc_c3, Mfunc_p :Inputs
.ref limit, period_max :Input
```

Note: CMPR1, CMPR2, CMPR3, T1PER are defined in .h file

Module definitions for external reference.

```
.def FC_PWM_O_DRV_INIT :function call
.ref DELAY_500ms, DELAY_100ms
```

```
.include x24x_app.h
```

FC_PWM_O_DRV_INIT:

```
FPERIOD_1 .set 526 :38khz
CMPR_1 .set 263 :DUTY = 50%
```

```
FPERIOD_2 .set 540 :37khz
CMPR_2 .set 270 :duty = 50%
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Configure Simple & Full Compare registers

```

SPLK #01ECh, DBTCON          ;200nS @ 25nS clk
SPLK #02ECh, DBTCON          ;400nS @ 25nS clk
SPLK #03ECh, DBTCON          ;600nS @ 25nS clk
SPLK #04ECh, DBTCON          ;0.8uS @ 25nS clk
SPLK #05ECh, DBTCON          ;1.0uS @ 25nS clk
SPLK #06ECh, DBTCON          ;1.2uS @ 25nS clk
SPLK #07ECh, DBTCON          ;1.4uS @ 25nS clk
SPLK #08ECh, DBTCON          ;1.6uS @ 25nS clk
SPLK #0000h, DBTCON          ;Disabled, i.e. Zero
SPLK #08ECh, DBTCON          ;3.2uS @ 50nS clk

SPLK #0000100110011001b,ACTR ;Full Action Cntl
SPLK #0000011001100110b,ACTR ;Full Action Cntl
SPLK #1010011000000000b,COMCON ;Compare Cntl
    
```

Enable Primary function on PWM1-PWM6 PWM outputs

```

POINT_PF2          ;OCRA.6 - OCRA.11
LACC OCRA
OR #0000000011000000b
SACL OCRA
SPLK #0000000000000000b,MCRC ;I/O port E and F
SPLK #1111111100000000b,PEDATDIR ;Port E
SPLK #1111111100000000b,PFDATDIR
CALL DELAY_100ms
CALL DELAY_500ms
    
```

POINT_EV

```

SPLK #FPERIOD_2,TIPER
SPLK #CMPR_2,CMPR1
CALL DELAY_100ms
    
```

```
CALL DELAY_500ms
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POINT_EV
SPLK #FPERIOD_3,T1PER
SPLK #CMPR_3,CMPR1

CALL DELAY_100ms
CALL DELAY_500ms

POINT_EV
SPLK #FPERIOD_4,T1PER
SPLK #CMPR_4,CMPR1

CALL DELAY_100ms
CALL DELAY_500ms

POINT_EV
SPLK #FPERIOD_5,T1PER
SPLK #CMPR_5,CMPR1

CALL DELAY_100ms
CALL DELAY_500ms

POINT_EV
SPLK #FPERIOD_6,T1PER
SPLK #CMPR_6,CMPR1

CALL DELAY_100ms
CALL DELAY_500ms

POINT_EV
SPLK #FPERIOD_7,T1PER
SPLK #CMPR_7,CMPR1

CALL DELAY_100ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
CALL DELAY_500ms
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POINT_EV

SPLK #FPERIOD_8,T1PER

SPLK #CMPR_8,CMPR1

CALL DELAY_100ms

CALL DELAY_500ms

POINT_EV

SPLK #FPERIOD_9,T1PER

SPLK #CMPR_9,CMPR1

CALL DELAY_100ms

CALL DELAY_500ms

POINT_EV

SPLK #FPERIOD_10,T1PER

SPLK #CMPR_10,CMPR1

CALL DELAY_100ms

CALL DELAY_500ms

POINT_PG0

CLRC INTM ;Disable interrupts

SPLK #0h, IMR ;Mask all Ints

SPLK #0FFh, IFR ;Clear all Int Flags 3

;Int PDP interrupt flag after reset

LDP #PIRQR0>>7

LACC PIRQR0 ; Clear pending PDP flag

AND #0FFFEh

SACL PIRQR0

LACC PIRQR2 ; Clear pending PDP flag

AND #0FFFEh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SACL PIRQR2

POINT_EV

LACC EVAIFRA ; Clear PDPINTA flag

OR #0001h

SACL EVAIFRA

LDP #EVBIFRA>>7

LACC EVBIFRA ; Clear PDPINTB flag

OR #0001h

SACL EVBIFRA

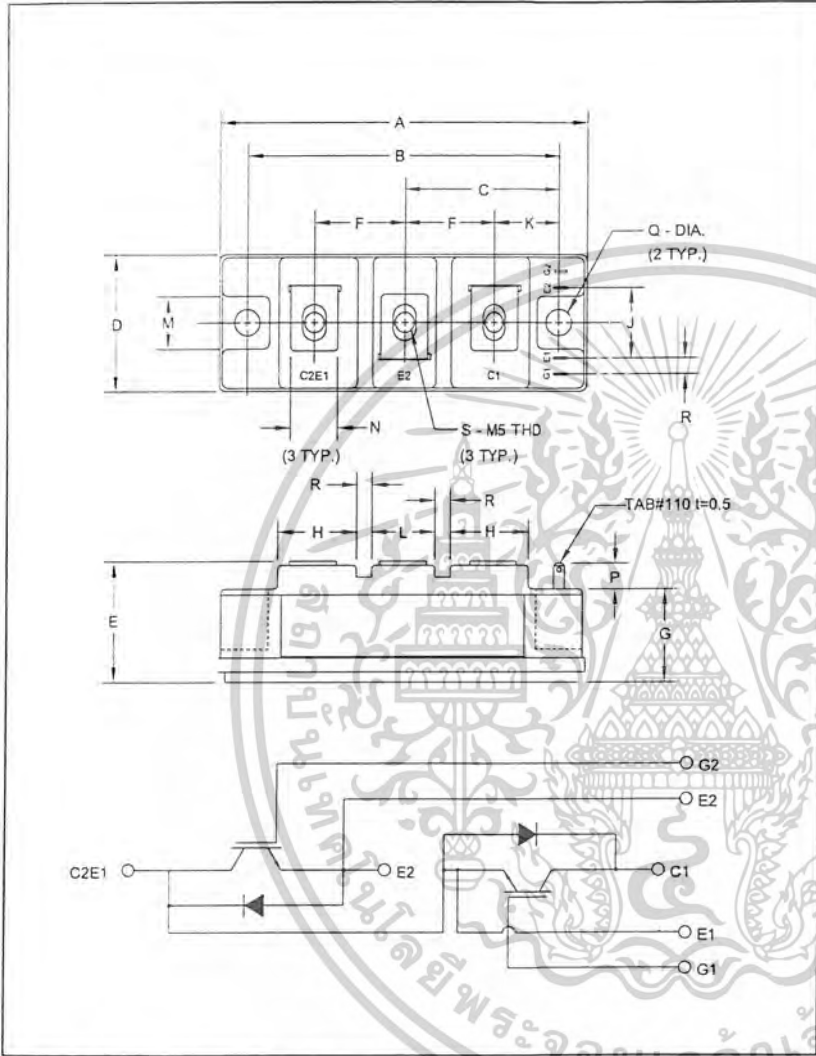
RET



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MITSUBISHI IGBT MODULES
CM50DY-12H

MEDIUM POWER SWITCHING USE
 INSULATED TYPE



Outline Drawing and Circuit Diagram

| Dimensions | Inches | Millimeters |
|------------|------------|-------------|
| A | 3.70 | 94.0 |
| B | 3.150±0.01 | 80.0±0.25 |
| C | 1.57 | 40.0 |
| D | 1.34 | 34.0 |
| E | 1.22 Max. | 31.0 Max. |
| F | 0.90 | 23.0 |
| G | 0.85 | 21.5 |
| H | 0.79 | 20.0 |
| J | 0.71 | 18.0 |

| Dimensions | Inches | Millimeters |
|------------|------------|-------------|
| K | 0.67 | 17.0 |
| L | 0.63 | 16.0 |
| M | 0.51 | 13.0 |
| N | 0.47 | 12.0 |
| P | 0.28 | 7.0 |
| Q | 0.256 Dia. | Dia. 6.5 |
| R | 0.16 | 4.0 |
| S | M5 Metric | M5 |

Description:

Mitsubishi IGBT Modules are designed for use in switching applications. Each module consists of two IGBTs in a half-bridge configuration with each transistor having a reverse-connected super-fast recovery free-wheel diode. All components and interconnects are isolated from the heat sinking baseplate, offering simplified system assembly and thermal management.

Features:

- Low Drive Power
- Low $V_{CE(sat)}$
- Discrete Super-Fast Recovery Free-Wheel Diode
- High Frequency Operation
- Isolated Baseplate for Easy Heat Sinking

Applications:

- AC Motor Control
- Motion/Servo Control
- UPS
- Welding Power Supplies

Ordering Information:

Example: Select the complete part module number you desire from the table below -i.e. CM50DY-12H is a 600V (V_{CES}), 50 Ampere Dual IGBT Module.

| Type | Current Rating Amperes | V_{CES} Volts (x 50) |
|------|---------------------------|---------------------------|
| CM | 50 | 12 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้วยประการ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sep. 1998,



CM50DY-12H

MEDIUM POWER SWITCHING USE
INSULATED TYPE

Absolute Maximum Ratings, $T_j = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

| Ratings | Symbol | CM600HU-12H | Units |
|--|-----------|-------------|------------------|
| Junction Temperature | T_j | -40 to 150 | $^\circ\text{C}$ |
| Storage Temperature | T_{stg} | -40 to 125 | $^\circ\text{C}$ |
| Collector-Emitter Voltage (G-E SHORT) | V_{CES} | 600 | Volts |
| Gate-Emitter Voltage (C-E SHORT) | V_{GES} | ± 20 | Volts |
| Collector Current ($T_c = 25^\circ\text{C}$) | I_C | 50 | Amperes |
| Peak Collector Current ($T_j \leq 150^\circ\text{C}$) | I_{CM} | 100* | Amperes |
| Emitter Current** ($T_c = 25^\circ\text{C}$) | I_E | 50 | Amperes |
| Peak Emitter Current** | I_{EM} | 100* | Amperes |
| Maximum Collector Dissipation ($T_c = 25^\circ\text{C}$) | P_c | 250 | Watts |
| Mounting Torque, M5 Main Terminal | - | 1.47-1.96 | N · m |
| Mounting Torque, M6 Mounting | - | 1.96-2.94 | N · m |
| Weight | - | 190 | Grams |
| Isolation Voltage (Main Terminal to Baseplate, AC 1 min.) | V_{iso} | 2500 | Vrms |

* Pulse width and repetition rate should be such that the device junction temperature (T_j) does not exceed $T_{j(max)}$ rating.

** Represents characteristics of the anti-parallel, emitter-to-collector free-wheel diode (FWDI).

Static Electrical Characteristics, $T_j = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

| Characteristics | Symbol | Test Conditions | Min. | Typ. | Max. | Units |
|--------------------------------------|---------------|--|------|------|-------|---------------|
| Collector-Cutoff Current | I_{CES} | $V_{CE} = V_{CES}, V_{GE} = 0V$ | - | - | 1.0 | mA |
| Gate Leakage Current | I_{GES} | $V_{GE} = V_{GES}, V_{CE} = 0V$ | - | - | 0.5 | μA |
| Gate-Emitter Threshold Voltage | $V_{GE(th)}$ | $I_C = 5\text{mA}, V_{CE} = 10V$ | 4.5 | 6.0 | 7.5 | Volts |
| Collector-Emitter Saturation Voltage | $V_{CE(sat)}$ | $I_C = 50A, V_{GE} = 15V$ | - | 2.1 | 2.8** | Volts |
| | | $I_C = 50A, V_{GE} = 15V, T_j = 150^\circ\text{C}$ | - | 2.15 | - | Volts |
| Total Gate Charge | Q_G | $V_{CC} = 300V, I_C = 50A, V_{GE} = 15V$ | - | 150 | - | nC |
| Emitter-Collector Voltage | V_{EC} | $I_E = 50A, V_{GE} = 0V$ | - | - | 2.8 | Volts |

** Pulse width and repetition rate should be such that device junction temperature rise is negligible.

Dynamic Electrical Characteristics, $T_j = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

| Characteristics | Symbol | Test Conditions | Min. | Typ. | Max. | Units |
|-------------------------------|---------------------|--|------|------|------|---------------|
| Input Capacitance | C_{ies} | | - | - | 5.0 | nF |
| Output Capacitance | C_{oes} | $V_{GE} = 0V, V_{CE} = 10V$ | - | - | 1.8 | nF |
| Reverse Transfer Capacitance | C_{res} | | - | - | 1.0 | nF |
| Resistive | Turn-on Delay Time | $t_{d(on)}$ | - | - | 200 | ns |
| | Rise Time | t_r | | | 300 | ns |
| Switching | Turn-off Delay Time | $t_{d(off)}$ | | | 200 | ns |
| | Fall Time | t_f | | | 300 | ns |
| Diode Reverse Recovery Time | t_{rr} | $I_E = 50A, di_E/dt = -100A/\mu\text{s}$ | - | - | 110 | ns |
| Diode Reverse Recovery Charge | Q_{rr} | $I_E = 50A, di_E/dt = -100A/\mu\text{s}$ | - | 0.14 | - | μC |

Thermal and Mechanical Characteristics, $T_j = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

| Characteristics | Symbol | Test Conditions | Min. | Typ. | Max. | Units |
|--------------------------------------|---------------|------------------------------------|------|------|-------|--------------------|
| Thermal Resistance, Junction to Case | $R_{th(j-c)}$ | Per IGBT | - | - | 0.50 | $^\circ\text{C/W}$ |
| Thermal Resistance, Junction to Case | $R_{th(j-c)}$ | Per FWDI | - | - | 1.00 | $^\circ\text{C/W}$ |
| Contact Thermal Resistance | $R_{th(c-f)}$ | Per Module, Thermal Grease Applied | - | - | 0.075 | $^\circ\text{C/W}$ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขหรือดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

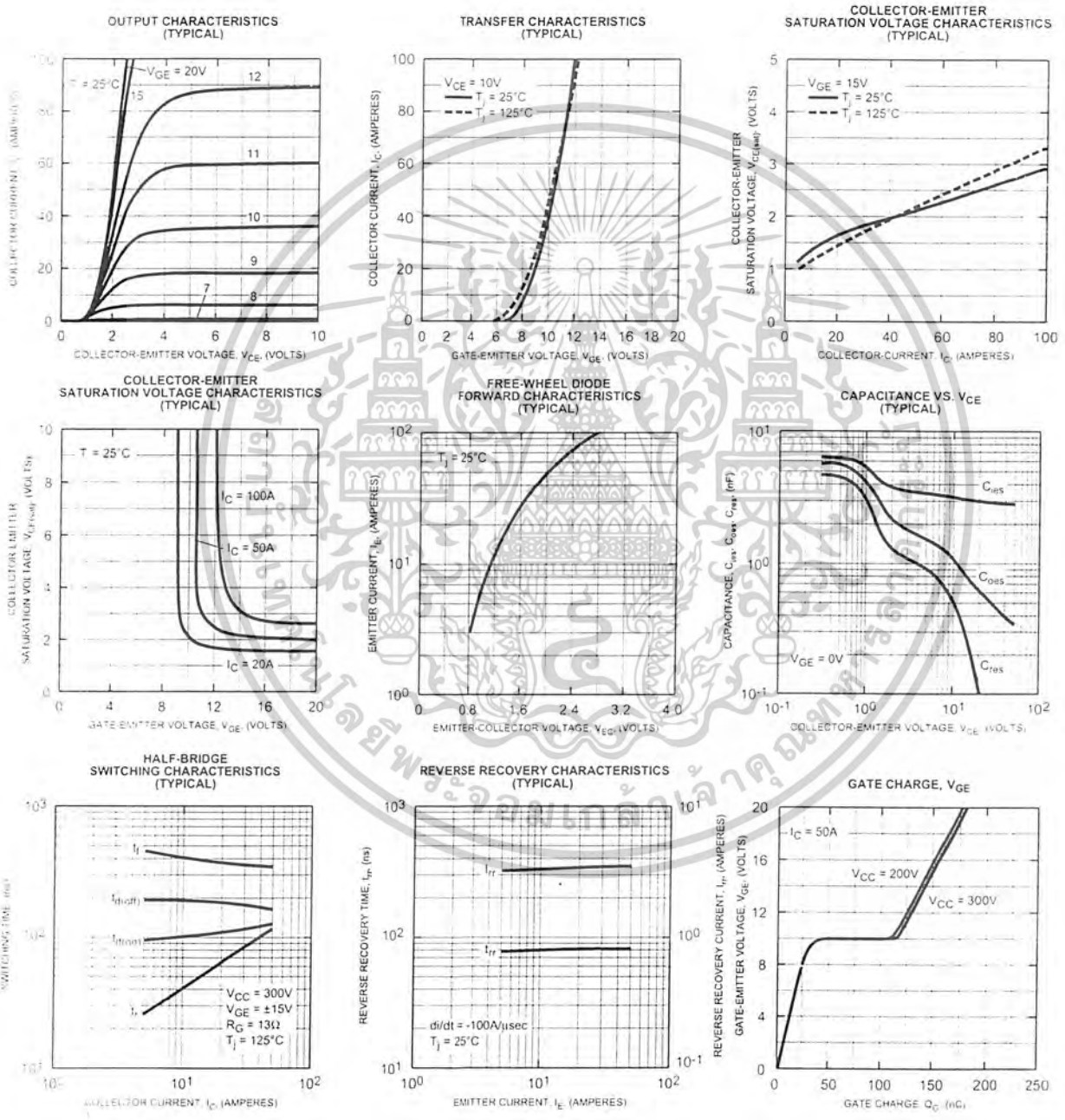
Sep 1998

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CM50DY-12H

MEDIUM POWER SWITCHING USE
INSULATED TYPE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

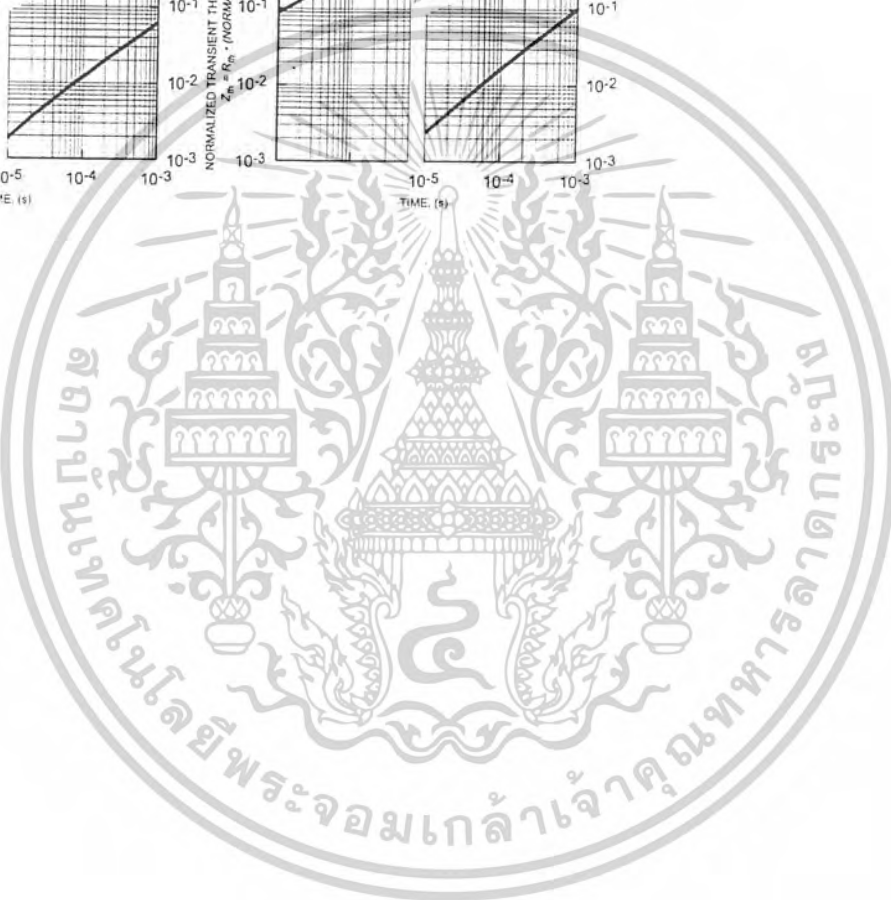
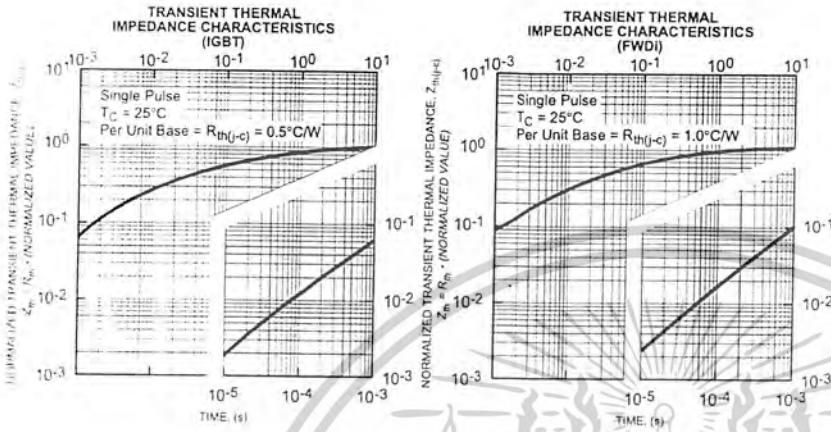
Sep 1998

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CM50DY-12H

MEDIUM POWER SWITCHING USE
INSULATED TYPE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในบริษัทฯ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารอ้างอิง

1. สิทธิโชค สินรัตน์, “การวิเคราะห์เตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงชนิดควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยความถี่”, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. รศ.ดร. โคทม อาริยาและบุษรณา กุลวิทิต, “เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540
3. Muhammad H.Rashid, “Power Eletronics Handbook” .Academic Press,2001.
4. TMS320LF/LC240XA DSP Controllers Reference Guide. Texas Instruments



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้