สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ข

กิตติกรรมประกาศ.....ค

สารบัญ.....ง

สารบัญตาราง.....ฉ

สารบัญรูป.....ช

ลำดับสัญลักษณ์.....ฎ

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน.....2

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....2

1.3 ขอบข่ายของโครงงาน.....2

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....3

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....3

1.6 งบประมาณที่ใช้.....4

บทที่ 2 วงจรฮาร์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์และหลักการควบคุม.....5

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า.....5

2.1.1 สนามแม่เหล็ก (Magnetic field).....5

2.1.2 แรงเคลื่อนแม่เหล็ก (Magnetomotive Force , MMF).....7

2.1.3 ความเหนี่ยวนำ (Inductance).....7

2.1.4 การสูญเสียในแกนแม่เหล็ก (Magnetic Core Loss).....8

2.1.5 eddy current loss.....9

2.2 หลักการเรโซแนนซ์.....10

2.3 หลักการทำงานพื้นฐานของวงจร.....14

2.4 เงื่อนไขของวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟต.....15

2.5 หม้อแปลงไฟฟ้า.....19

2.5.1 กำลังไฟฟ้าในหม้อแปลงอุดมคติ.....21

2.5.2 หม้อแปลงที่ใช้งานจริง (Actual transformer).....22

สารบัญ (ต่อ)

2.5.3 โวลท์เตจเรกกูเลชั่น และประสิทธิภาพ (Voltage Regulation and Efficiency).....26
2.5.4 ลีกเกจฟลักซ์และลีคเกจรีแอคแตนซ์ (Leakage flux and leakagereactance).....27
2.5.5 การทดสอบในสภาวะวงจรเปิด (Open-circuit or no-load test).....29
2.5.6 การทดสอบในสภาวะลัดวงจร (Short circuit test).....29
2.5.7 การสูญเสียในหม้อแปลง (Losses in a transformer).....32
2.5.8 ประสิทธิภาพของหม้อแปลง (Efficiency of a transformer).....33

บทที่ 3 การออกแบบโครงงานหม้อหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง.....35
3.1 วงจร DC Supply สำหรับจ่ายให้วงจรคอนโทรล.....35
3.2 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator).....36
3.3 วงจรสร้างเดดไทม์.....37
3.4 วงจรขับเกต(Driving Circuit).....38
3.5 วงจรกำลัง (Power Circuit).....41
3.6 วงจร Soft Start.....42
3.7 การวิเคราะห์วงจรโดยใช้การ Simulate จากโปรแกรม PSPICE.....42
3.8 การพันขดลวดเหนี่ยวนำ.....47

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....48

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองโครงงานหม้อหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง.....65

เอกสารอ้างอิง.....66
ประวัติผู้ทำโครงงาน.....67

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงงานตั้งแต่ เดือนพฤศจิกายน 2543 ถึง กันยายน 2544.....3

4.1 ค่าอิมพีแดนซ์ Z (Ω) ของขดลวดเหนี่ยวนำ.....48

4.2 ค่าความต้านทาน R (Ω) ของขดลวดเหนี่ยวนำ.....48

4.3 ค่าความเหนี่ยวนำ L (μH)ของขดลวดเหนี่ยวนำ.....49

4.4 ค่าความจุ (C) ของขดลวดเหนี่ยวนำ.....49

4.5 มุมเฟส ϕ (degree)ของขดลวดเหนี่ยวนำ.....49

4.6 เปรียบเทียบระยะเวลาในการเดือดและอุณหภูมิของหม้อแต่ละชนิด.....56

4.7 อุณหภูมิของน้ำที่ต้มด้วยหม้อดราหัวม้าลาย ขนาด 16 cm โดยต้มน้ำ 0.5 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง 26 °C ที่ความถี่ 30 kHz แรงดัน 300Vdc และกระแส 3 A.....58

4.8 อุณหภูมิของน้ำที่ต้มด้วยการใช้กะทะไฟฟ้าแบบขดลวดความร้อนขนาด 1000วัตต์ ต้มน้ำ 0.5 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง 26 C° อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 26 C°.....61

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 วงจรโดยรวมของโครงงานเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง.....1

2.1 สนามแม่เหล็กรอบๆ แท่งแม่เหล็ก.....5

2.2 ทิศทางการไหลกระแส.....6

2.3 วงจรสมมูลของขดลวด.....8

2.4 Hysteresis Loop.....8

2.5 การใช้เหล็กบาง ๆ มาซ้อนอัดเป็นแกนแม่เหล็ก.....9

2.6 เส้นโค้งเรโซแนนซ์.....10

2.7 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม.....11

2.8 เส้นโค้งแรงดัน V_R, V_L, V_C และกระแส I กับความถี่ของวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกร.....13

2.9 วงจรฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ วงจรเรคติไฟเออร์ และวงจรควบคุมกระแสเริ่มต้น.....14

2.10 วงจรเทียบเท่าของวงจรฮาร์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ วงจรเรคติไฟเออร์ และวงจรควบคุมกระแส.....14

2.11 ตัวเก็บประจุแฝงที่ต่ออยู่ที่ขาต่าง ๆ ภายในตัวเพาเวอร์มอสเฟต.....16

2.12 ลักษณะแรงดันและกระแสที่ขาเกตขณะเพาเวอร์มอสเฟตถูกไบแอสให้นำกระแส.....16

2.13 ตัวอย่างของ gate charge chart.....17

2.14 ลักษณะการชาร์จประจุที่ขาเกตตามเวลาที่มีผลต่อการเริ่มนำกระแส (ก) และผล เมื่อเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต (ข).....18

2.15 หลักการทำงานของหม้อแปลง.....20

2.16 เวคเตอร์ไดอะแกรมของหม้อแปลงเมื่อไร้โหลดในรูปดังกล่าว จะสังเกตเห็นว่า กระแสด้านปฐมภูมิเมื่อไร้โหลด I_0 ประกอบด้วยกระแสสองส่วนคือ I_ω และ $I\mu$ 23

2.17 ขณะที่ mutual flux, Ø ลดลง ทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้าน E_1 ลดลงเกิดกระแส I_2 ไหลเพิ่มขึ้นในขดลวดปฐมภูมิ สร้างฟลักซ์ $Ø_2$ มีขนาดเท่ากันแต่มีทิศทางตรงข้ามกับฟลักซ์ $Ø_2$จึงหักล้างกันหมด.....24

2.18 ฟลักซ์ในแกนเหล็กจึงเหลือเพียง mutual flux.....24

2.19 เวคเตอร์ไดอะแกรมของหม้อแปลงเมื่อจ่ายโหลด.....25

2.20 แสดงค่าความต้านทาน R_1 และ R_2 ของขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง.....26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.21 วงจรของหม้อแปลง เมื่อย้ายค่าความต้านทานจากด้านทุติยภูมิไปไว้ทางด้านปฐมภูมิ.....26

2.22 วงจรของหม้อแปลง เมื่อย้ายค่าความต้านทานจากด้านปฐมภูมิไปไว้ทางด้านทุติยภูมิ โดยมี R_{02} เป็นค่าความต้านทานทั้งหมดของหม้อแปลงที่ขดลวดทุติยภูมิ.....27

2.23 ความต้านทาน R_1 และ R_2 ค่าลีกเกจรีแอคแตนซ์ X_1 และ X_2 ของขดลวดทั้งสองชุดในหม้อแปลง.....27

2.24 ค่าอิมพีแดนซ์สมมูลย์ของหม้อแปลงที่ขดลวดทุติยภูมิ จะมีค่าเป็น Z_{02}.....28

2.25 การต่อวงจรทดสอบในสภาวะวงจรเปิดเพื่อหาค่าการสูญเสียในแกนเหล็ก.....28

2.26 การต่อวงจรในสภาวะลัดวงจร เพื่อหาค่าการสูญเสียในขดลวดทองแดง.....29

2.27 เวกเตอร์ไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วด้านขดลวดทุติยภูมิกับกระแสโหลดที่ค่า p.f. ล้าหลัง.....30

2.28 เวคเตอร์ไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วด้านขดลวดทุติยภูมิกับกระแสโหลดที่ค่า p.f. นำหน้า.....31

2.29 เวคเตอร์ไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วด้านขดลวดทุติยภูมิกับกระแสโหลดที่ค่า p.f. เป็นหนึ่ง.....31

3.1 วงจร DC Supply สำหรับจ่ายให้กับวงจรคอนโทรล.....35

3.2 วงจรสร้างพัลส์.....36

3.3 สัญญาณที่ออกจากวงจรสร้างพัลส์.....36

3.4 สัญญาณก่อนเข้าวงจรเดดไทม์.....37

3.5 วงจรเดดไทม์.....38

3.6 สัญญาณที่ออกจากวงจรเดด์ไทม์ มีค่าเดด์ไทม์เท่ากับ 2 μs.....38

3.7 วงจรขับเกต.....39

3.8 สัญญาณที่ออกจากวงจรขับเกตตัวที่ 1.....40

3.9 สัญญาณที่ออกจากวงจรขับเกตตัวที่ 2.....40

3.10 สัญญาณที่ออกจากวงจรขับเกตตัวที่ 1 และตัวที่ 2 โดยมี เดด์ไทม์ 2 μs.....41

3.11 วงจรกำลัง.....41

3.12 วงจร Soft Start.....42

3.13 แสดงตัวอย่างการวางอุปกรณ์วงจรที่ต้องการจะ simmulate.....43

3.14 แสดงการตั้งค่าของมอสเฟตตัวที่ 1.....44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.15 แสดงการตั้งค่าของมอสเฟตตัวที่ 2.....44

3.16 แสดงการกำหนดเงื่อนไขในการ simulate.....45

3.17 สัญญาณที่ได้จากการ Simulate ของวงจรคอนโทรลของมอสเฟตตัวที่ 1.....45

3.18 สัญญาณที่ได้จากการ Simulate ของวงจรคอนโทรลของมอสเฟตตัวที่ 2.....46

3.19 สัญญาณที่ได้จากการ Simulate ของวงจรคอนโทรลของมอสเฟตตัวที่ 1 และตัวที่ 2 โดยมีเดดไทม์ 2 us.....46

3.20 สัญญาณแรงดันและกระแสที่ผ่านโหลด R,L ของวงจรด้าน POWER.....47

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ต่าง ๆ.....49

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับค่าความถี่ต่าง ๆ.....50

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหนี่ยวนำที่ความถี่ต่าง ๆ.....50

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเก็บประจุที่ความถี่ต่าง ๆ.....51

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมเฟสที่ความถี่ต่าง ๆ.....51

4.6 ลูกคลื่นแรงดันและกระแสขณะไม่มีโหลดที่ได้จากการทดลอง.....52

4.7 ลูกคลื่นแรงดันและกระแสขณะไม่มีโหลดที่ได้จากการ simulate.....52

4.8 ลูกคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลดและกระแสโหลดของหม้อตราหัวม้าลาย 16 cm ที่ได้จากการทดลอง.....53

4.9 ลูกคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลดและกระแสโหลดของหม้อตราหัวม้าลาย 16 cm ที่ได้จากการ simulate.....53

4.10 ลูกคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลดและกระแสโหลดของหม้อตราพระอาทิตย์ 16 cm ที่ได้จากการทดลอง.....54

4.11 ลูกคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลดและกระแสโหลดของหม้อตราพระอาทิตย์ 16 cm ที่ได้จากการ simulate.....54

4.12 ลูกคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลดและกระแสโหลดของหม้อตราพระอาทิตย์ 20 cm ที่ได้จากการทดลอง.....55

4.13 ลูกคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลดและกระแสโหลดของหม้อตราพระอาทิตย์ 20 cm ที่ได้จากการ simulate.....55

4.14 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำ ที่ใช้หม้อแต่ละชนิดต้ม โดยปริมาณน้ำเท่ากัน คือ 0.5 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง 26 องศาเซลเซียส ความถี่ 30 kHz แรงดัน 300 Vdc.....57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำและระยะเวลาในการต้มโดยใช้หม้อตราหัวม้าลายขนาด 16 cm ต้มน้ำ 0.5 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง 26 °C 30 kHz แรงดัน 311 Vdc.....60

4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำและระยะเวลาในการต้มโดยใช้กะทะไฟฟ้าขนาด 1000 วัตต์ ต้มน้ำ 0.5 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง 26 °C.....62

4.17 การเปรียบเทียบระหว่างกะทะไฟฟ้ากับหม้อต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงขนาด 1000 วัตต์ และ 930 วัตต์ ตามลำดับ ที่ใช้ต้มน้ำ 0.5 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง 26 C°.....63

4.18 วงจรต้นแบบของวงจรคอนโทรล และวงจรเพาเวอร์ของหม้อต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง.....63

4.19 วงจรต้นแบบของขดลวดเหนี่ยวนำ.....64

4.20 เครื่องต้นแบบเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง.....64

4.21 แผ่นฉนวนซึ่งใช้เป็นระยะแก็ป ความหนา 4 มิลลิเมตร ระหว่างหม้อกับขดลวด.....64

ลำดับสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
B	ความหนาแน่น	เวบเบอร์ต่อ
	สนามแม่เหล็ก	ตารางเมตร
C	ตัวเก็บประจุ	ฟารัด
I	กระแสไฟฟ้า	แอมแปร์
L	ความเหนี่ยวนำ	เฮนรี่
R	ความต้านทาน	โอห์ม
V	แรงดันไฟฟ้า	โวลต์
$\varnothing$	ฟลักซ์แม่เหล็ก	เวบเบอร์
μ	ค่าความซึมซาบสนามแม่เหล็ก	-
f	ความถี่ไฟฟ้า	Hz