

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.3 แนวทางการแก้ปัญหา	3
1.4 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
1.5 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	8
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
1.7 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย	8
1.8 วิธีการทำวิจัย	9
บทที่ 2 คุณลักษณะอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า	12
2.1 บทนำ	12
2.2 ส่วนประกอบอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า	12
2.3 วงจรอินเวอร์เตอร์และเทคนิคพีดับเบิลยูเอ็ม	13
2.4 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า	16
2.5 การควบคุมตัวประกอบกำลัง	20
2.6 ผลของฮาร์มอนิกและตัวเหนี่ยวนำ L_g	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 การตรวจสอบและป้องกันสภาวะ Islanding	22
2.7.1 การตรวจสอบการเลื่อนเฟสกลับ	23
2.7.2 การตรวจสอบโดยทดสอบปรับความถี่แรงดันอินเวอร์เตอร์	24
2.7.3 การป้องกันสภาวะ Islanding	25
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์และวงจรต่อกับกริดระบบไฟฟ้า	26
3.1 บทนำ	26
3.2 ส่วนประกอบวงจรอินเวอร์เตอร์และวงจรต่อกับกริดระบบไฟฟ้า	26
3.3 ขนาดพิกัดอินเวอร์เตอร์	28
3.4 ขนาดพิกัดแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง	28
3.5 ขนาดพิกัดไอจีบีที	28
3.5.1 ตัวเก็บประจุ C_d ที่บัลลิสต์	28
3.5.2 วงจรสับเบรสำหรับไอจีบีที	32
3.6 ขนาดพิกัดหม้อแปลงกำลัง	33
3.7 ขนาดตัวเหนี่ยวนำ L_g	35
บทที่ 4 การออกแบบและสร้างวงจรควบคุมและ โปรแกรมระบบควบคุม	42
4.1 บทนำ	42
4.2 การออกแบบวงจรควบคุม	42
4.2.1 ส่วนประกอบวงจรควบคุม	42
4.2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์	43
4.2.3 ชิพดีดับเบิลยูเอ็ม	45
4.2.4 วงจรขับเคลื่อนไอจีบีที	50
4.2.5 วงจรตรวจวัดจุดตัดศูนย์แรงดันกริดระบบไฟฟ้า	51
4.2.6 วงจรตรวจวัดแรงดันกระแสตรง	51
4.2.7 วงจรตรวจวัดแรงดันกริดระบบไฟฟ้า	52
4.2.8 วงจรตรวจวัดกระแสไฟตรง	52
4.2.9 วงจรตรวจวัดกระแสกริดระบบไฟฟ้า	53

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 แนวคิดและหลักการออกแบบโปรแกรมระบบควบคุม	53
4.3.1 โครงสร้างโปรแกรมระบบควบคุม	54
4.3.2 โปรแกรมตรวจวัดสัญญาณเชิงโครโมโซมและความถี่	56
4.3.3 โปรแกรมควบคุมชิปพีดีบีเบิลยูเอ็ม	57
4.3.4 โปรแกรมแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล	58
4.3.5 โปรแกรมควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุด	59
4.3.6 โปรแกรมควบคุมตัวประกอบกำลัง	60
4.3.7 โปรแกรมตรวจสอบการเลื่อนเฟสขั้วเปลี่ยน	60
4.3.8 โปรแกรมปรับความถี่แรงดันอินเวอร์เตอร์	61
4.3.9 ข้อกำหนดการตรวจสอบแรงดันเพื่อต่อกับกริดระบบไฟฟ้า	62
4.3.10 ข้อกำหนดการหยุดต่อกับกริดระบบไฟฟ้า	62
4.4 ปัญหาสัญญาณรบกวนระบบควบคุม	62
บทที่ 5 ผลการทดสอบอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า	65
5.1 บทนำ	65
5.2 วงจรทดสอบ อุปกรณ์และเครื่องมือวัดไฟฟ้า	65
5.3 วิธีการคำนวณตัวประกอบกำลัง ประสิทธิภาพ	67
5.4 ผลการทดสอบจ่ายกำลังเอาต์พุตต่อกับกริดระบบไฟฟ้า	67
5.5 ผลการทดสอบควบคุมตัวประกอบกำลัง	75
5.6 ผลการทดสอบสถานะ Islanding	78
5.7 สรุปผลการทดสอบ	79
บทที่ 6 สรุป	80
6.1 สรุป	80
6.2 ข้อเสนอแนะ	81

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	82
ภาคผนวก	84
ภาคผนวก ก คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ 2MBI50L-060L	85
ภาคผนวก ข รายละเอียดทางเทคนิคของ AD636	89
ภาคผนวก ค รูปถ่ายอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์	93
ภาคผนวก ง รายละเอียดวงจรควบคุม	98
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ขนาดตัวเหนี่ยวนำ L_g ด้วยโปรแกรม Pspice	100
ภาคผนวก ฉ โปรแกรมภาษาซี	114
ประวัติผู้เขียน	125

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	เปรียบเทียบข้อกำหนดผลิตภัณฑ์อินเวอร์เตอร์ของต่างประเทศ 4 รายการ	6
1.2	เปรียบเทียบข้อกำหนดอินเวอร์เตอร์ของต่างประเทศกับอินเวอร์เตอร์ในวิทยานิพนธ์นี้	7
1.3	ข้อกำหนดพิกัดกำลังอินพุตและเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์	8
1.4	ข้อกำหนดระบบควบคุมของอินเวอร์เตอร์	9
1.5	ข้อกำหนดในการแสดงผลและการป้องกันอินเวอร์เตอร์	9
3.1	ผลการคำนวณตัวเหนี่ยวนำ L_g ($P_g=1,000W$, $V_g=230V$, $V_{inv}=230V$)	35
4.1	รูปแบบบิตข้อมูล Control word ของชิปพีดีบีเบิลยูเอ็ม	46
4.2	ตำแหน่งการเขียนบิตลงไป ใน Register bank ข้อมูลขนาด 16 บิต	47
4.3	รูปแบบบิตข้อมูล Status word ของชิปพีดีบีเบิลยูเอ็ม	47
5.1	ผลการทดสอบจ่ายกำลังเอาต์พุต แรงดันกระแสตรง 85 โวลต์	68
5.2	ผลการทดสอบจ่ายกำลังเอาต์พุต แรงดันกระแสตรง 96 โวลต์	69
5.3	ผลการทดสอบจ่ายกำลังเอาต์พุต แรงดันกระแสตรง 98 โวลต์	70
5.4	ผลการทดสอบจ่ายกำลังเอาต์พุต แรงดันกระแสตรง 100 โวลต์	71
5.5	ผลการทดสอบควบคุมตัวประกอบกำลัง แรงดันกระแสตรง 85-136 โวลต์	76

สารบัญภาพ

รูป		หน้า
1.1	แผนภาพสาริตรบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน	2
1.2	แผนผังวิธีการดำเนินการวิจัย	10
2.1	แผนผังส่วนประกอบอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า	13
2.2	วงจรอินเวอร์เตอร์และการผสมสัญญาณตามความกว้างพัลส์	14
2.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง m_a กับ V_{INV}	15
2.4	วงจรอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า	16
2.5	แผนภาพเฟสเซอร์แรงดันและกระแส	17
2.6	วงจรสมมูลของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า	19
2.7	รูปคลื่นสัญญาณต่าง ๆ ที่มุมกำลังเป็นบวก	19
2.8	รูปคลื่นสัญญาณต่าง ๆ ที่มุมกำลังเป็นลบ	20
2.9	แผนผังการตรวจวัดสัญญาณกริดระบบไฟฟ้า	24
2.10	แสดงรูปคลื่นสัญญาณที่เกิดขึ้นด้วยวิธีตรวจสอบการเลื่อนเฟสฉบับพลัน	24
2.11	แสดงผลจากการปรับความถี่แรงดันอินเวอร์เตอร์	25
3.1	วงจรอินเวอร์เตอร์และวงจรต่อกับกริดระบบไฟฟ้า	27
3.2	รูปคลื่นแรงดันชั่วครู่ตกคร่อมไอจีบีที	29
3.3	แรงดันตกคร่อมไอจีบีที (CH 4) กระแสอินเวอร์เตอร์ (CH 3)	30
3.4	แรงดันอินเวอร์เตอร์ (CH 4) กระแสอินเวอร์เตอร์ (CH 3) (ไม่ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า)	31
3.5	แรงดันอินเวอร์เตอร์ (CH 4) กระแสอินเวอร์เตอร์ (CH3) (ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า)	31
3.6	แรงดันอินเวอร์เตอร์ (CH 2) กระแสอินเวอร์เตอร์ (CH 4) (เมื่อต่อ C_d แล้ว)	32
3.7	วงจรสับเบอร์ดต่อกับไอจีบีที	33
3.8	วงจรสมมูลของหม้อแปลงกำลังขนาด 2,400 วีเอ ด้านแรงดันต่ำ	34
3.9	รูปคลื่นแรงดันและกระแสกริดระบบไฟฟ้า	
	ตัวเหนี่ยวนำ L_{gLS} 2.2 มิลลิเฮนรี แกนอากาศ ติดตั้งด้านแรงดันต่ำ	37
3.10	รูปคลื่นแรงดันและกระแสกริดระบบไฟฟ้า	
	ตัวเหนี่ยวนำ L_{gLS} 5.0 มิลลิเฮนรี แกนอากาศ ติดตั้งด้านแรงดันต่ำ	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
3.11 รูปคลื่นแรงดันและกระแสกริกระบบไฟฟ้า แรงดันอินเวอร์เตอร์ (ตัวเหนี่ยวนำ L_g 11.0 มิลลิเฮนรี 0.01 โอห์ม แกน EI ติดตั้งด้านแรงดันสูง)	38
3.12 รูปคลื่นแรงดันและกระแสกริกระบบไฟฟ้า แรงดันอินเวอร์เตอร์ (ตัวเหนี่ยวนำ L_g 34.6 มิลลิเฮนรี 0.02 โอห์ม แกน EI ติดตั้งด้านแรงดันสูง)	39
3.13 รูปคลื่นแรงดันและกระแสกริกระบบไฟฟ้า แรงดันอินเวอร์เตอร์ (ตัวเหนี่ยวนำ L_g 51.2 มิลลิเฮนรี 0.03 โอห์ม แกน EI ติดตั้งด้านแรงดันสูง)	40
3.14 รูปคลื่นแรงดันและกระแสกริกระบบไฟฟ้า แรงดันอินเวอร์เตอร์ (ตัวเหนี่ยวนำ L_g 78.8 มิลลิเฮนรี 0.04 โอห์ม แกน EI ติดตั้งด้านแรงดันสูง)	41
4.1 แผนภาพวงจรควบคุมอินเวอร์เตอร์	43
4.2 แผนภาพการจัดพื้นที่หน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์	45
4.3 แผนผังโครงสร้างชิปพีดีบีเบิลยูเอ็ม	46
4.4 แผนภาพการเชื่อมต่อชิปพีดีบีเบิลยูเอ็มและไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณเกต	49
4.5 วงจรปรับช่วงเวลา blanking time	49
4.6 สัญญาณพีดีบีเบิลยูเอ็มสี่สัญญาณที่นำไปต่อกับวงจรจับเกต	50
4.7 วงจรจับเกตไอจีบีที สำหรับ 1 ตัว	50
4.8 วงจรตรวจวัดจุดตัดศูนย์แรงดันกริกระบบไฟฟ้า	51
4.9 วงจรตรวจวัดแรงดันกระแสตรง	51
4.10 วงจรตรวจวัดแรงดันกริกระบบไฟฟ้า	52
4.11 วงจรตรวจวัดกระแสไฟตรง	52
4.12 วงจรตรวจวัดกระแสกริกระบบไฟฟ้า	53
4.13 แผนภาพกรอบโครงสร้างโปรแกรมระบบควบคุม	54
4.14 แผนผังโปรแกรมตรวจวัดสัญญาณเชิงโครโมโซมและคำนวณความถี่	56
4.15 แผนผังโปรแกรมกำหนดค่าเริ่มต้นชิปพีดีบีเบิลยูเอ็ม	57
4.16 แผนภาพกรอบโปรแกรมส่งข้อมูลเพื่อควบคุมชิปพีดีบีเบิลยูเอ็ม	58
4.17 แผนผังโปรแกรมควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุด	59
4.18 แผนผังโปรแกรมควบคุมตัวประกอบกำลัง	60

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป		หน้า
4.19	แผนผังโปรแกรมตรวจสอบการเลื่อนเฟสฉบับหลัก	61
4.20	รูปคลื่นแรงดันอินเวอร์เตอร์สร้างขึ้นมาผิดพลาด	63
5.1	วงจรทดสอบอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า	66
5.2	กราฟตัวประกอบกำลังและประสิทธิภาพ (แรงดันกระแสตรงคงที่ 85 โวลต์)	68
5.3	กราฟตัวประกอบกำลังและประสิทธิภาพ (แรงดันกระแสตรงคงที่ 96 โวลต์)	69
5.4	กราฟตัวประกอบกำลังและประสิทธิภาพ (แรงดันกระแสตรงคงที่ 98 โวลต์)	70
5.5	กราฟตัวประกอบกำลังและประสิทธิภาพ (แรงดันกระแสตรงคงที่ 100 โวลต์)	71
5.6	รูปคลื่นแรงดันและกระแสกริดระบบไฟฟ้า ($P_g=170W$) $V_g=236.1V$, $I_g=0.98A$, $PF=0.735$, $P_g=170W$, $\eta=54.4\%$ ($V_d=98.3V$, $I_d=3.18A$)	72
5.7	รูปคลื่นแรงดันและกระแสกริดระบบไฟฟ้า ($P_g=240W$) $V_g=237.0V$, $I_g=1.35A$, $PF=0.75$, $P_g=240W$, $\eta=63.0\%$ ($V_d=98V$, $I_d=3.89A$)	72
5.8	รูปคลื่นแรงดันและกระแสกริดระบบไฟฟ้า ($P_g=300W$) $V_g=237.5V$, $I_g=1.57A$, $PF=0.80$, $P_g=300W$, $\eta=57.8\%$ ($V_d=98V$, $I_d=5.29A$)	72
5.9	รูปคลื่นแรงดันและกระแสกริดระบบไฟฟ้า ($P_g=400W$) $V_g=236.5V$, $I_g=1.8A$, $PF=0.94$, $P_g=400W$, $\eta=58.3\%$ ($V_d=98V$, $I_d=7.0A$)	73
5.10	รูปคลื่นแรงดันและกระแสกริดระบบไฟฟ้า ($P_g=600W$) $V_g=235.7V$, $I_g=2.73A$, $PF=0.932$, $P_g=600W$, $\eta=68.4\%$ ($V_d=98V$, $I_d=8.95A$)	73
5.11	รูปคลื่นแรงดันและกระแสกริดระบบไฟฟ้า ($P_g=740W$) $V_g=237.8V$, $I_g=3.22A$, $PF=0.966$, $P_g=740W$, $\eta=70.7\%$ ($V_d=98.3V$, $I_d=10.65A$)	73
5.12	รูปคลื่นแรงดันและกระแสกริดระบบไฟฟ้า ($P_g=880W$) $V_g=237.9V$, $I_g=3.85A$, $PF=0.961$, $P_g=880W$, $\eta=73.1\%$ ($V_d=98V$, $I_d=12.28A$)	74
5.13	รูปคลื่นแรงดันและกระแสกริดระบบไฟฟ้า ($P_g=1,080W$) $V_g=237.2V$, $I_g=4.27A$, $PF=0.965$, $P_g=1,080W$, $\eta=74.1\%$ ($V_d=98.7V$, $I_d=14.76A$)	74
5.14	กราฟแสดงตัวประกอบกำลังและประสิทธิภาพ (แรงดันกระแสตรง 85-136 โวลต์)	77
5.15	รูปคลื่นแรงดันกริดระบบไฟฟ้า เมื่อเกิดสภาวะ Islanding	78