สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 สมมติฐานของงานวิจัย	4
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	6
1.4 ขอบเขตของโครงงาน	7
1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย	7
1.6 ประโยชน์ของโครงงาน	8
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**9**
2.1 บทนำ	9
2.2 หลักการของวงจรเรียงกระแส 1 เฟสเต็มคลื่น	10
2.3 หลักการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟตรง	18
2.4 หลักการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์	28
2.5 หลักการของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010	48
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	51
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการโครงการ	**52**
3.1 บทนำ	52
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน	52
3.3 Flowchart การดำเนินงาน	53
3.4 การออกแบบวงจรภาคควบคุม	54

หน้า

3.5 การออกแบบวงจรภาคกำลัง 61

3.6 การออกแบบและอุปกรณ์เพิ่มเติม 66

บทที่ 4 ผลการทดสอบโครงการ **69**

4.1 บทนำ 69

4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดพื้นฐานที่ใช้ในการทดสอบ 69

4.3 การทดสอบวงจรสร้างสัญญาณควบคุมด้วยบอร์ดประมวลผลสัญญาณ 69

4.4 การทดสอบวงจรเรียงกระแส 1 เฟสเต็มคลื่นแบบควบคุมเฟส 72

4.5 การทดสอบวงจรแปลงผันกำลังไฟตรงแบบทอนระดับแรงดัน 76

4.6 การทดสอบวงจรแปลงผันกำลังไฟตรงแบบทบระดับแรงดัน 81

4.7 การทดสอบวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบ FFM 180° 84

4.8 การทดสอบวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบ FFM 120° 87

4.9 สรุปการทดสอบ 89

บทที่ 5 สรุปผลโครงการและข้อเสนอแนะ **91**

5.1 บทนำ 91

5.2 สรุปผลโครงการวิจัย 92

5.3 ข้อเสนอแนะ 93

เอกสารอ้างอิง 95

ภาคผนวก ก. รายละเอียดของอุปกรณ์ 96

ภาคผนวก ข. โปรแกรมสร้างสัญญาณควบคุมด้วยภาษาซี 124

ประวัติคณะผู้วิจัย 148

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของ 1 Phase Bipolar และ 1 Phase Uni-polar Inverter	40
2.2	สภาวะทำงานของสวิตซ์ (Switching states) ในวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส	42
3.1	ข้อมูลสำหรับการเลือกใช้เซนเซอร์กระแส LTS 25-NP	67

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	บล็อกไดอะแกรมส่วนประกอบของระบบสมองกลฝังตัว	1
1.2	โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของตระกูล dsPIC30F	2
1.3	ตัวอย่างการควบคุมวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังระดับห้องปฏิบัติการ	4
1.4	อินเวอร์เตอร์ในงานอุตสาหกรรม	4
1.5	อินเวอร์เตอร์ในงานพลังงานทดแทน	5
1.6	แผนภาพการเชื่อมโยงของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง	5
2.1	แผนภาพการเชื่อมโยงของระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง	9
2.2	วงจรเรียงกระแส 1 เฟสเต็มคลื่นควบคุมเฟส	10
2.3	วงจรเรียงกระแส 1 เฟสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงแทปกลาง โหลดตัวต้านทาน	12
2.4	วงจรเรียงกระแส 1 เฟสเต็มคลื่นแบบวงจรสะพาน โหลดตัวต้านทาน	13
2.5	วงจรเรียงกระแส 1 เฟสเต็มคลื่นแบบสะพาน โหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ	15
2.6	วงจรเรียงกระแส1 เฟสเต็มคลื่นแบบสะพาน โหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ	17
2.7	วงจรพื้นฐานการแปลงผันกำลังไฟตรง	19
2.8	โครงสร้างวงจร Buck Converter	19
2.9	วงจรสมมูลของ Buck Converter ขณะสวิตช์นำกระแส	20
2.10	วงจรสมมูลของ Buck Converter ขณะสวิตช์หยุดนำกระแส	20
2.11	รูปคลื่น v_L, i_L และ i_C ช่วงเวลาสภาวะอยู่ตัวในวงจร Buck Converter	21
2.12	รูปคลื่นกระแส i_C และแรงดัน v_o ในวงจร Buck Converter	21
2.13	โครงสร้างวงจร Boost Converter	22
2.14	วงจรสมมูลของ Boost Converter ขณะสวิตช์นำกระแส	22
2.15	วงจรสมมูลของ Boost Converter ขณะสวิตช์หยุดนำกระแส	23
2.16	กราฟความสัมพันธ์ (V_o/V_{in}) กับ Duty Cycle ของ Boost Converter เชิงทฤษฎีและปฏิบัติ	24
2.17	รูปคลื่น v_L และ i_L ในวงจร Boost Converter	24
2.18	รูปคลื่นกระแส i_C และแรงดัน v_o ในวงจร Boost Converter	25
2.19	โครงสร้างวงจร Buck-Boost Converter	25
2.20	วงจรสมมูลของ Buck-Boost Converter ขณะสวิตช์นำกระแส	26

ภาพที่		หน้า
2.21	วงจรสมมูลของ Boost Converter ขณะสวิตช์หยุดนำกระแส	26
2.22	รูปคลื่น v_L และ i_L ในวงจร Buck-Boost Converter	27
2.23	รูปคลื่นกระแส i_C และแรงดัน v_o ในวงจร Buck-Boost Converter	27
2.24	โครงสร้างการศึกษาวงจรอินเวอร์เตอร์โดยทั่วไป	29
2.25	การควบคุมโหลดไฟสลับด้วยสวิตซ์โหมดอินเวอร์เตอร์	29
2.26	การควบคุมโหลดไฟสลับด้วยสวิตซ์โหมดอินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้า	30
2.27	วงจรจำลอง 1 Phase Half Bridge Inverter	30
2.28	หลักการสร้างสัญญาณ PWMและแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส	31
2.29	กราฟ $\frac{(\hat{v}_{A0})_1}{(V_d/2)} = f(m_a)$ ในวงจรอินเวอร์เตอร์	32
2.30	สัญญาณพีดับบลิวเอ็มและแรงดันขาออกขณะโอเวอร์มอดูเลชั่น $(m_a > 1)$	32
2.31	ความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่แรงดันขาออกของ SPWM Inverter เมื่อ $m_a = 0.8, m_f = 15$	33
2.32	ความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่แรงดันขาออกของ SPWM Inverter เมื่อ $m_a = 1.5, m_f = 15$	33
2.33	วงจร Half Bridge Square wave Inverter ชนิด 1 เฟสและรูปคลื่น	34
2.34	วงจร Full Bridge Square wave Inverter ชนิด 1 เฟสและรูปคลื่น	35
2.35	วงจร 1 Phase Bipolar SPWM Inverter และรูปคลื่น	36
2.36	ความถี่ฮาร์โมนิกส์ของแรงดันขาออกของ 1 phase Bipolar SPWM Inverter ที่ $m_a = 1.0, m_f = 15$	37
2.37	วงจร 1 Phase Uni-polar SPWM Inverter และรูปคลื่น	38
2.38	รูปคลื่นสัญญาณควบคุมของ 1 phase Uni-Polar PWM Inverter	39
2.39	ความถี่ฮาร์โมนิกส์ของแรงดันขาออกของ 1 phase Un-polar PWM Inverter ที่ $m_a = 1.0, m_f = 15$	39
2.40	อินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยมแบบ FFM 180° Inverter	41
2.41	การต่อโหลดแบบ Delta และแบบ Wye	42
2.42	วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบ FFM 180° เมื่อโหลดต่อแบบ Wye	43
2.43	ความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นของแรงดันสายไฟขาออกของวงจร FFM 180°	43
2.44	วงจรสมมูลการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบ FFM 120° โหลดต่อแบบวาย	44
2.45	รูปคลื่นของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยมแบบ FFM 120° Inverter	45
2.46	วงจรจำลองของ SPWM Inverter	46

ภาพที่		หน้า
2.47	สัญญาณควบคุม (v_{g1}, v_{g3}, v_{g5}) และแรงดันสายไฟขาออกของ 3 Phase SPWM Inverter	46
2.48	แรงดันสายไฟและความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นใน 3 Phase SPWM Inverter	47
2.49	ลักษณะโครงสร้างภายนอกของไอซี dsPIC30F2010	50
3.1	Flow Chart การดำเนินงานโครงการ	53
3.2	วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงคงที่ 15 VDC และ 5 VDC	54
3.3	วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงคงที่ 50 VDC	55
3.4	วงจรส่วนสร้างสัญญาณควบคุมประยุกต์ด้วย dsPIC30F2010	56
3.5	วงจร Controller Board ที่ประยุกต์ด้วย dsPIC30F2010 ในโครงการ	57
3.6	ชุดวงจรเชื่อมต่อสัญญาณแบบ PICKIT/ICD2 ที่ใช้ในโครงการ	57
3.7	แหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงแบบวงจร Flyback แยกส่วนสำหรับวงจรขับเกต 8 วงจร	58
3.8	วงจรขับเกตด้วยไอซี TLP250	59
3.9	แหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงประยุกต์ด้วยวงจร Flyback Converter	59
3.10	วงจรพื้นฐานของ Flyback Converter	60
3.11	วงจรขับเกตที่ใช้แหล่งจ่ายแบบวงจรเรียงกระแส	60
3.12	วงจรขับเกตที่ประยุกต์ใช้ Flyback Converter เป็นแหล่งจ่ายในโครงการ	61
3.13	วงจรเรียงกระแส 1 เฟสเต็มคลื่นแบบควบคุมเฟส	61
3.14	แผงวงจรเรียงกระแสที่ประกอบเสร็จแล้ว	62
3.15	วงจร DC Buck Converter	63
3.16	วงจร DC Boost Converter	63
3.17	วงจรแปลงผันกำลังไฟตรงที่ประกอบเสร็จแล้ว	64
3.18	วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส	65
3.19	แผงวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบเต็มคลื่นที่ประกอบเสร็จแล้ว	66
3.20	วงจรตรวจวัดแรงดัน	66
3.21	วงจรที่ใช้ประกอบการสร้างวงจรเซนเซอร์ LTS 25-NP	67
3.22	วงจรการใช้งาน LTS 25-NP ร่วมกับวงจร dsPIC30F2010	67
3.23	ตัวอย่างการจำลองการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังด้วยโปรแกรม PSIM	68
4.1	วงจรสร้างสัญญาณควบคุมด้วยการประยุกต์ใช้ dsPIC30F2010	70
4.2	รูปคลื่นสัญญาณขาออกแบบ PWM ที่ขา 26 (ขา AN6/OCFA/RB6) จาก dsPIC30F2010	71

ภาพที่		หน้า
4.3	รูปคลื่นสัญญาณขาออกที่ขา PWM1L (ขา 18 จากไอซี 74AC244)	71
4.4	วงจรทดสอบการทำงานของวงจรเรียงกระแส 1 เฟสเต็มคลื่นแบบควบคุมเฟส	72
4.5	รูปคลื่นสัญญาณควบคุม V_{GK1} และ V_{GK2} ที่มุมนำกระแส (α) ที่ 30 องศา	73
4.6	รูปคลื่นสัญญาณควบคุม V_{GK1} และ V_{GK2} ที่มุมนำกระแส (α) ที่ 60 องศา	74
4.7	รูปคลื่นแรงดันและกระแสโหลด ที่มุมนำกระแส (α) 30 องศา ขณะโหลด R เท่ากับ 100 Ω	74
4.8	รูปคลื่นแรงดันและกระแสโหลด ที่มุมนำกระแส (α) 60 องศา ขณะโหลด R เท่ากับ 100 Ω	75
4.9	รูปคลื่นแรงดันและกระแสโหลด ที่มุมนำกระแส (α) 30 องศา ขณะโหลด RL $100\Omega + j\omega(50mH)$	75
4.10	รูปคลื่นแรงดันและกระแสโหลด ที่มุมนำกระแส (α) 60 องศา ขณะโหลด RL $100\Omega + j\omega(50mH)$	76
4.11	วงจรสำหรับทดสอบการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟตรงแบบ DC Buck Converter	77
4.12	รูปคลื่นสัญญาณควบคุม V_{GS} ของ Power MOSFET Q1 ในภาพที่ 4.11 ขณะค่า Duty Cycle เท่ากับ 0.25	78
4.13	รูปคลื่นแรงดันและกระแสโหลด (V_{Load}, I_{Load}) ของวงจร DC Buck Converter ขณะค่า Duty Cycle เท่ากับ 0.25	78
4.14	รูปคลื่นสัญญาณควบคุม V_{GS} ของ Power MOSFET Q1 ในภาพที่ 4.11 ขณะค่า Duty Cycle เท่ากับ 0.5	79
4.15	รูปคลื่นแรงดันและกระแสโหลด (V_{Load}, I_{Load}) ของวงจร DC Buck Converter ขณะค่า Duty Cycle เท่ากับ 0.5	79
4.16	รูปคลื่นสัญญาณควบคุม V_{GS} ของ Power MOSFET Q1 ในภาพที่ 4.11 ขณะค่า Duty Cycle เท่ากับ 0.75	80
4.17	รูปคลื่นแรงดันและกระแสโหลด (V_{Load}, I_{Load}) ของวงจร DC Buck Converter ขณะค่า Duty Cycle เท่ากับ 0.75	80
4.18	วงจรสำหรับทดสอบการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟตรงแบบ DC Boost Converter	81

ภาพที่		หน้า
4.19	รูปคลื่นสัญญาณควบคุม V_{GS} ของ Power MOSFET Q1 ในภาพที่ 4.18 ขณะค่า Duty Cycle เท่ากับ 0.25	82
4.20	รูปคลื่นแรงดันและกระแสโหลด (V_{Load}, I_{Load}) ของวงจร DC Boost Converter ขณะค่า Duty Cycle เท่ากับ 0.25	82
4.21	รูปคลื่นสัญญาณควบคุม V_{GS} ของ Power MOSFET Q1 ในภาพที่ 4.18 ขณะค่า Duty Cycle เท่ากับ 0.7	83
4.22	รูปคลื่นแรงดันและกระแสโหลด (V_{Load}, I_{Load}) ของวงจร DC Boost Converter ขณะค่า Duty Cycle เท่ากับ 0.7	83
4.23	วงจรสำหรับทดสอบการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส	84
4.24	รูปคลื่นสัญญาณที่ขาเกต V_{GS} ของสวิตซ์ Q1 และ Q3 ในวงจร 3 Phase FFM 180° Inverter ที่ความถี่หลักขาออก 100 Hz.	85
4.25	รูปคลื่นสัญญาณที่ขาเกต V_{GS} ของสวิตซ์ Q3 และ Q5 .oวงจร 3 Phase FFM 180° Inverter ที่ความถี่หลักขาออก 100 Hz.	86
4.26	รูปคลื่นแรงดันเฟสและแรงดันสายไฟขาออกของวงจร 3 Phase FFM 180° Inverter ที่ความถี่หลักขาออก 100 Hz.	86
4.27	วงจรสำหรับทดสอบการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส	87
4.28	รูปคลื่นสัญญาณที่ขาเกต V_{GS} ของสวิตซ์ Q1 และ Q3 ในวงจร 3 Phase FFM 120° Inverter ที่ความถี่หลักขาออก 100 Hz.	88
4.29	รูปคลื่นสัญญาณที่ขาเกต V_{GS} ของสวิตซ์ Q3 และ Q5 ในวงจร 3 Phase FFM 120° Inverter ที่ความถี่หลักขาออก 100 Hz.	88
4.30	รูปคลื่นแรงดันเฟสและแรงดันสายไฟขาออก ของวงจร 3 Phase FFM 120° Inverter ที่ความถี่หลักขาออก 100 Hz.	89