

บทคัดย่อ

ชื่อโครงการ : ชุดควบคุมระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังด้วยบอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัล
ชื่อนักวิจัย : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันชัย ทรัพย์สิงห์
: นาย ทรงกลด ศรีปรานค์

โครงการวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง โดยการใช้บอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัล เป็นชุดควบคุมสัญญาณ ทั้งนี้ เพื่อให้เป็นต้นแบบสำหรับการศึกษาเชิงปฏิบัติการในแปลงผันกำลังไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ในหลักสูตรระดับปริญญาตรี ของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

องค์ประกอบหลักของการควบคุมระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังสำหรับการแปลงผันกำลังไฟฟ้าในโครงการประกอบด้วย 3 ส่วนคือ 1. วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง 2. ชุดเชื่อมต่อสัญญาณควบคุมด้วยบอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัล และ 3. โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการควบคุม ทั้งนี้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ามีอยู่ 3 วงจรคือ วงจรแปลงผันกำลังไฟตรงแบบทระดับแรงดันชนิดเหลื่อมเฟส วงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบเต็มสะพาน และวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

ผลการทดสอบระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังสำหรับการแปลงผันกำลังไฟฟ้า แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานได้ตามที่ตั้งจุดประสงค์ไว้ เหมาะสำหรับการใช้งานในห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

คำสำคัญ : การแปลงผันกำลังไฟฟ้า บอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัล
E mail Address : w_subsingha@hotmail.com
ระยะเวลาโครงการ : 2 ปี

Abstract

Project name : Digital Signal Processing Based Power Electronics Control Experiment Set

Researcher : Asst. Prof. Dr. Wanchai Subsingha
: Songklod Sri-prang

This research is to design and build the Power Converter circuits, together with Digital Signal Processing Based controls, in order to use as practical experiments in a class of Power Electronics Laboratory in school of Electrical Engineering, Faculty of Engineering.

It has 3 main functions in this research “Digital Signal Processing Based Power Electronics Control Experiment Set”. Firstly, they are power converter circuits. Secondly, it is a digital signal processing interface board. And, thirdly, the computer program which will be used for controlling. Therefore, the power converter in this research is comprised in 3 circuits. The Interleaved DC Boost Converter, the Full Bridge Single Phase Inverter and the Three Phase Inverter.

The results shows that the Digital Signal Processing Based Power Electronics Control Experiment Set can be operated correctly, and it is most suitable for the experiment test for Electrical Engineering students in a class of Power Electronics Laboratory.

Key words : Power Converter, Digital Signal Processing Board

E mail Address : w_subsingha@hotmail.com

Period of project : 2 years

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากคณะผู้วิจัยได้รับทุนวิจัยจากงบประมาณวิจัยประจำปี 2555 ของสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ ซึ่งคณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง มา ณ. ที่นี้

ขอขอบคุณ คณาจารย์ที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยนี้ทุกท่าน ทั้งจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และ จากสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ได้เอื้อเฟื้อเวลาและช่วยในการจัดหาอุปกรณ์ประกอบชุดทดลองให้เป็นอย่างดี และท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และสาธารณูปโภคในการสร้าง ประกอบ และทดสอบงานวิจัย จนประสบความสำเร็จได้ด้วยดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ทรัพย์สิงห์

นาย ทรงกลด ศรีปรารักษ์

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	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.4 ขอบเขตของโครงการ	5
1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย	5
1.6 ประโยชน์ของโครงการ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 บทนำ	6
2.2 หลักการวงจรเรียงกระแสแบบแรงดันคงที่	6
2.3 หลักการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟตรง	10
2.4 หลักการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์	20
2.4 หลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010	44
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	47
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการโครงการ	48
3.1 บทนำ	48
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน	48
3.3 Flowchart การดำเนินงาน	49
3.4 การออกแบบวงจรภาคควบคุม	50
3.5 การออกแบบวงจรภาคกำลัง	56

	หน้า
3.6 การออกแบบและอุปกรณ์เพิ่มเติม	65
3.7 การสร้างและทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง	69
บทที่ 4 ผลการทดสอบโครงการ	49
4.1 บทนำ	71
4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดพื้นฐานที่ใช้ในการทดสอบ	71
4.3 การทดสอบวงจรสร้างสัญญาณควบคุมด้วยบอร์ดประมวลผลสัญญาณ	71
4.4 การทดสอบวงจรแปลงผันกำลังไฟตรงแบบ Interleaved DC Boost Converter	74
4.5 การทดสอบการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบ Full Bridge	78
4.6 การทดสอบการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบ SPWM	82
4.5 สรุปการทดสอบ	85
บทที่ 5 สรุปผลโครงการและข้อเสนอแนะ	87
5.1 บทนำ	87
5.2 สรุปผลโครงการวิจัย	88
5.3 ข้อเสนอแนะ	89
เอกสารอ้างอิง	91
ภาคผนวก รายละเอียดของอุปกรณ์	92
ประวัติคณะผู้วิจัย	120

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของ 1 Phase Bipolar และ 1 Phase Uni-polar Inverter	32
2.2	สภาวะทำงานของสวิตช์ (Switching states) ในวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส	34
3.1	ข้อมูลสำหรับการเลือกไอซีเซนเซอร์กระแส LTS 25-NP	66

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ทั่วไปในงานอุตสาหกรรม	2
1.2	อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในงานพลังงานทดแทน	3
1.3	ตัวอย่างการควบคุมวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังระดับห้องปฏิบัติการ	4
1.4	ไดอะแกรมส่วนประกอบของระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังในโครงการ	4
2.1	ไดอะแกรมการเชื่อมโยงของระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง	7
2.2	บล็อกไดอะแกรมของระบบแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า	7
2.3	วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น	7
2.4	วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้ Center tap transformer	8
2.5	วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบวงจร Bridge	8
2.6	วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงชนิดครึ่งคลื่นขณะใช้วงจร Capacitor Filter	9
2.7	วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงชนิดเต็มคลื่นขณะใช้วงจร Capacitor Filter	9
2.8	วงจร Voltage Regulator โดยใช้ไอซี 78xx	10
2.9	วงจรพื้นฐานการแปลงผันกำลังไฟตรง	11
2.10	โครงสร้างวงจร Buck Converter	11
2.11	วงจรสมมูลของ Buck Converter ขณะสวิตช์นำกระแส	12
2.12	วงจรสมมูลของ Buck Converter ขณะสวิตช์หยุดนำกระแส	12
2.13	รูปคลื่น v_L , i_L และ i_C ช่วงเวลาสภาวะอยู่ตัวในวงจร Buck Converter	13
2.14	รูปคลื่นกระแส i_C และแรงดัน v_o ในวงจร Buck Converter	13
2.15	โครงสร้างวงจร Boost Converter	14
2.16	วงจรสมมูลของ Boost Converter ขณะสวิตช์นำกระแส	14
2.17	วงจรสมมูลของ Boost Converter ขณะสวิตช์หยุดนำกระแส	15
2.18	กราฟความสัมพันธ์ (V_o/V_{in}) กับ Duty Cycle ของ Boost Converter	16
	เชิงทฤษฎีและปฏิบัติ	
2.19	รูปคลื่น v_L และ i_L ในวงจร Boost Converter	16
2.20	รูปคลื่นกระแส i_C และแรงดัน v_o ในวงจร Boost Converter	17
2.21	โครงสร้างวงจร Buck-Boost Converter	17
2.22	วงจรสมมูลของ Buck-Boost Converter ขณะสวิตช์นำกระแส	18

รูปที่	หน้า
2.23 วงจรสมมูลของ Boost Converter ขณะสวิตช์หยุดนำกระแส	18
2.24 รูปคลื่น v_L และ i_L ในวงจร Buck-Boost Converter	19
2.25 รูปคลื่นกระแส i_C และแรงดัน v_o ในวงจร Buck-Boost Converter	19
2.26 โครงสร้างการศึกษาวงจรอินเวอร์เตอร์โดยทั่วไป	21
2.27 การควบคุมโพลไฟสลับด้วยสวิตช์โหมคอินเวอร์เตอร์	21
2.28 การควบคุมโพลไฟสลับด้วยสวิตช์โหมคอินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้า	22
2.29 วงจรจำลอง 1 Phase Half Bridge Inverter	22
2.30 หลักการสร้างสัญญาณ PWM และแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส	23
2.31 กราฟ $\frac{(\hat{v}_{A0})_1}{(V_d/2)} = f(m_a)$ ในวงจรอินเวอร์เตอร์	24
2.32 สัญญาณพีคดับลิวเอ็มและแรงดันขาออกขณะโอเวอร์มอดูเลชัน ($m_a > 1$)	24
2.33 ความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่แรงดันขาออกของ SPWM Inverter เมื่อ $m_a = 0.8, m_f = 15$	25
2.34 ความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่แรงดันขาออกของ SPWM Inverter เมื่อ $m_a = 1.5, m_f = 15$	25
2.35 วงจร Half Bridge Square wave Inverter ชนิด 1 เฟสและรูปคลื่น	26
2.36 วงจร Full Bridge Square wave Inverter ชนิด 1 เฟสและรูปคลื่น	27
2.37 วงจร 1 Phase Bipolar SPWM Inverter และรูปคลื่น	28
2.38 ความถี่ฮาร์โมนิกส์ของแรงดันขาออกของ 1 phase Bipolar SPWM Inverter ที่ $m_a = 1.0, m_f = 15$	29
2.39 วงจร 1 Phase Uni-polar SPWM Inverter และรูปคลื่น	30
2.40 รูปคลื่นสัญญาณควบคุมของ 1 phase Uni-Polar PWM Inverter	31
2.41 ความถี่ฮาร์โมนิกส์ของแรงดันขาออกของ 1 phase Un-polar PWM Inverter ที่ $m_a = 1.0, m_f = 15$	31
2.42 อินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยมแบบ FFM 180° Inverter	33
2.43 การต่อโพลแบบ Delta และแบบ Wye	34
2.44 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบ FFM 180° เมื่อโพลต่อแบบ Wye	35
2.45 ความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นของแรงดันสายไฟขาออกของวงจร FFM 180°	35
2.46 วงจรสมมูลการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบ FFM 120° ขณะโพลต่อแบบวาย	36
2.47 รูปคลื่นของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยมแบบ FFM 120° Inverter	37
2.48 วงจรจำลองของ SPWM Inverter	38

รูปที่	หน้า
2.49 สัญญาณควบคุม (v_{g1}, v_{g3}, v_{g5}) และแรงดันสายไฟขาออกของ 3 Phase SPWM Inverter	38
2.50 แรงดันสายไฟและความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นใน 3 Phase SPWM Inverter	39
2.51 รูปคลื่นแรงดันเฟสและแรงดันสายไฟขาออกของอินเวอร์เตอร์แบบ FFM 180°	40
2.52 รูปคลื่นแรงดันเฟสขาออกตามหลักการเทคนิคการเลือกกำจัดฮาร์โมนิกส์	41
2.53 ความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นที่แรงดันขาออกของวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ด้วยเทคนิคการเลือกกำจัดฮาร์โมนิกส์	43
2.54 ลักษณะโครงสร้างภายนอกของไอซี dsPIC30F2010	46
3.1 Flow Chart การดำเนินงานโครงการ	49
3.2 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงคงที่ 15 VDC และ 5 VDC	50
3.3 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงคงที่ 50 VDC	51
3.4 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงที่สร้างในโครงการ	51
3.5 การเชื่อมต่อระบบเพื่อควบคุมวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังในโครงการ	52
3.6 วงจรส่วนที่ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุมประยุกต์ด้วย dsPIC30F2010	53
3.7 วงจร dsPIC30F2010 Controller Board ที่สร้างในโครงการ	53
3.8 ชุดวงจรเชื่อมต่อสัญญาณแบบ PICKIT/ICD2 ที่ใช้ในโครงการ	54
3.9 แหล่งจ่ายแรงดันแยกส่วน 6 ชุดสำหรับวงจรขับเคลื่อน	55
3.10 วงจรขับเคลื่อนด้วยไอซี TLP250	55
3.11 ส่วนของวงจรขับเคลื่อนในวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบ Full Bridge	56
3.12 วงจร Buck Converter	56
3.13 วงจร Boost Converter	57
3.14 วงจรแปลงผันกำลังไฟตรงที่ประกอบเสร็จแล้ว	58
3.15 วงจร Interleaved Boost Converter	59
3.16 วงจรแปลงระดับแรงดันไฟตรงแบบ Interleaved Boost Converter ที่ประกอบแล้ว	60
3.17 แผงวงจร Interleaved Boost Converter ที่ติดตั้งพร้อมทั้ง dsPIC30F2010 Controller Board ชุดตรวจวัดแรงดันและกระแส	60
3.18 วงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบเต็มคลื่น	61
3.19 แผงวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบเต็มคลื่นที่ประกอบเสร็จแล้ว	61
3.20 แผงวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบเต็มคลื่นพร้อม dsPIC30F2010 Controller Board	62

รูปที่	หน้า
3.21 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส	63
3.22 ส่วนของวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสที่ใช้ในโครงการ	64
3.23 แผงวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบเต็มคลื่นที่ประกอบเสร็จแล้ว	65
3.24 วงจรตรวจวัดแรงดัน	65
3.25 วงจรที่ใช้ประกอบการสร้างวงจรเซนเซอร์ LTS 25-NP	66
3.26 วงจรการใช้งาน LTS 25-NP ร่วมกับ dsPIC30F2010	67
3.27 ขดลวดเหนี่ยวนำที่ใช้ในโครงการ	68
3.28 ตัวอย่างการจำลองการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังด้วยโปรแกรม PSIM	69
3.29 การสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังในโครงการ	70
3.30 การทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังในโครงการ	70
4.1 วงจรสร้างสัญญาณควบคุมด้วย dsPIC30F2010	72
4.2 รูปคลื่นสัญญาณขาออกแบบ PWM ที่ขา 26 (ขา AN6/OCFA/RB6) จาก dsPIC30F2010(โดยมีขนาดสัญญาณที่ 5 V.)	73
4.3 รูปคลื่นสัญญาณขาออกที่ขา PWM1L (ขา 18 จากไอซี 74AC244) (โดยมีขนาดสัญญาณที่ 5 V.)	73
4.4 วงจรสำหรับทดสอบการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟตรงแบบ Interleaved DC Boost Converter	74
4.5 รูปคลื่นสัญญาณควบคุมที่ขา 26 จาก dsPIC30F2010 (PWM1L)	76
4.6 รูปคลื่นสัญญาณควบคุมที่ขาเกตของ Power MOSFET สวิตช์ S1 (PWM1L จาก ไอซี 74AC244)	76
4.7 รูปคลื่นสัญญาณควบคุมที่ขาเกตของ Power MOSFET สวิตช์ S2 (PWM1H จาก ไอซี 74AC244)	77
4.8 รูปคลื่นสัญญาณควบคุม กระแสขาเข้า และกระแสขาออกจากวงจร Interleaved DC Boost Converter	77
4.9 วงจรสำหรับทดสอบการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส	78
4.10 รูปคลื่นสัญญาณ SPWM ที่ขา 26 และขา 24 (PWM1L และ PWM2L) จาก dsPIC30F2010 (โดยมีขนาดสัญญาณที่ 5 V.)	80
4.11 รูปคลื่นสัญญาณ SPWM ที่ขา 18 และ 14 (PWM1L และ PWM2L) จาก ไอซี 74AC244 (โดยมีขนาดสัญญาณที่ 5 V.)	80

รูปที่	หน้า
4.12 รูปคลื่นสัญญาณ SPWM ที่ขา 14, 12 และ 9, 10 จากไอซี IR2110 ตัวบน (PWM1L และ PWM1H จากไอซี 74AC244) โดยมีขนาดสัญญาณที่ 15 V.	81
4.13 รูปคลื่นแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส โดยมีขนาดสัญญาณที่ 30 V.	81
4.14 วงจรสำหรับทดสอบการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส	82
4.15 รูปคลื่นสัญญาณ SPWM ที่ขา 26, ขา 24 และขา 22 จาก dsPIC30F2010 (PWM1L, PWM2L และ PWM3L ตามลำดับ) โดยมีขนาดสัญญาณที่ 5 V.	83
4.16 รูปคลื่นสัญญาณ SPWM ที่ขา 18, ขา 14 และขา 9 จากไอซี 74AC244 (PWM1L, PWM2L และ PWM3L ตามลำดับ) โดยมีขนาดสัญญาณที่ 5 V.	84
4.17 รูปคลื่นสัญญาณ SPWM ที่ขา 21, ขา 20 และขา 19 ที่ โมดูล IPM PS22052 (PWM1L, PWM2L และ PWM3L ตามลำดับ) โดยมีขนาดสัญญาณที่ 5 V.	84
4.18 รูปคลื่นแรงดันไฟขาออก (V_{UV}) ของวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส (ระหว่างขา 23 กับ ขา 24 ของโมดูล IPM PS22052) โดยมีขนาดสัญญาณสูงสุดที่ 30 Vpp.	85