



สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
 บทที่ 1 บทนำ	 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 ระยะเวลาทำการวิจัยและแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	4
 บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	 5
2.1 แหล่งกำเนิดพลังงานทดแทน	7
2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้า กระแสตรงสามระดับแบบพีดับบลิวเอ็ม (Three-Level PWM Rectifier)	12
2.3 วงจรทบระดับแรงดัน	16
2.4 อินเวอร์เตอร์สามระดับ	18
2.5 โครงสร้างและการทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้า กระแสสลับ	23
2.6 อุปกรณ์อื่นๆ	27
 บทที่ 3 การออกแบบ	 33
3.1 แหล่งกำเนิดพลังงานทดแทน	33
3.2 การออกแบบวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบสาม ระดับ	42
3.3 การออกแบบแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง	47
3.4 การออกแบบวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบสาม ระดับ	55
3.5 การออกแบบวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบสาม ระดับ	63



สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	68
4.1 แหล่งกำเนิดพลังงานทดแทน	68
4.2 การทดสอบการทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้าแบบสามระดับกระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง	77
4.3 การจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง	81
4.4 การทดสอบการทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบสามระดับ	87
4.5 การจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบสามระดับ	98
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	103
5.1 สรุปผลการวิจัย	103
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	106
เอกสารอ้างอิง	109
ภาคผนวก	111



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ชนิดของแผงเซลล์แบ่งตามวัสดุและประสิทธิภาพการใช้งานในห้องทดลองและใช้ในงานจริง	10
2.2	ขนาดของกังหันลม	11
2.3	สถานะการสวิตช์ในแต่ละเฟส	19
3.1	ค่าพารามิเตอร์ของลมในประเทศไทย	37
3.2	ค่าพารามิเตอร์ของใบพัดกังหันลม	38
3.3	ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร	39
3.4	กลุ่มเวกเตอร์แรงดัน	67
4.1	รายละเอียดของวงจรการจำลองการทำงาน	78
4.2	ค่าพารามิเตอร์การจำลองการทำงานใน MATLAB/SIMULINK	82
4.3	ผลการทดสอบที่สภาวะแรงดันต่างๆของวงจรทบระดับแรงดัน	86
4.4	รายละเอียดของระบบในการจำลองการทำงาน	90
4.5	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงาน	98



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ตัวอย่างระบบพลังงานทดแทนที่ใช้วงจรแปลงผันพลังงาน	2
1.2	แผนผังการควบคุมวงจรแปลงผันพลังงาน	2
2.1	วงจรแปลงพลังงานและวงจรควบคุมแบบง่าย	5
2.2	แหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้า	6
2.3	กราฟแสดงเป้าหมายของยุทธศาสตร์พลังงานทดแทนของประเทศไทย	7
2.4	แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลมในประเทศไทย	8
2.5	Solar Cell	9
2.6	โครงสร้างของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงสามระดับแบบพีดับบลิวเอ็ม (Three-Level PWM Rectifier)	13
2.7	แผนภูมิการไหลของกำลังไฟฟ้าของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงสามระดับแบบพีดับบลิวเอ็ม	16
2.8	วงจรแปลงผันแบบทบระดับแรงดัน	16
2.9	วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส	17
2.10	วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส	17
2.11	วงจรอินเวอร์เตอร์สามระดับ	18
2.12	สัญญาณสวิตช์ในแต่ละกลุ่ม	20
2.13	หลักการสร้างรูปแบบพีดับเบิลยูเอ็มแบบ SPWM	20
2.14	รูปคลื่นพีดับเบิลยูเอ็มแบบเทคนิคการกำจัดฮาร์มอนิกส์	21
2.15	การสวิตช์แบบดิสคอนทินูอัสพีดับเบิลยูเอ็ม 120 องศาที่ค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์เท่ากับ 0.8 ความถี่ของสัญญาณอ้างอิง = 50 HZ ความถี่สัญญาณแคเรียร์ = 1 kHz	21
2.16	การสวิตช์แบบเจนเนอไรเซชันดิสคอนทินูอัสพีดับเบิลยูเอ็ม 30 องศาที่ค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์เท่ากับ 0.8 ความถี่ของสัญญาณอ้างอิง = 50 Hz ความถี่สัญญาณแคเรียร์ = 1 kHz	22
2.17	ลักษณะการสวิตช์แบบสเปซเวกเตอร์พีดับเบิลยูเอ็ม ที่ค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์เท่ากับ 0.8 ความถี่ของสัญญาณอ้างอิง = 50 Hz และความถี่สัญญาณแคเรียร์ = 1 kHz	22
2.18	โครงสร้างวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบสามระดับ	23



สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.19	วงจรสมมูลในอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังในอุดมคติ	25
2.20	พิกัดกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังและการประยุกต์ใช้งาน	25
2.21	สัญลักษณ์ของไอจีบีทีและโครงสร้างไอจีบีที	26
2.22	(ก) คุณสมบัติระหว่างกระแสและแรงดันของ IGBT (ข) ลักษณะสมบัติการถ่ายโอนของ IGBT	26
2.23	Front Panel และ Block Diagram	27
2.24	Data Acquisition รุ่น NI USB-6008	28
2.25	โครงสร้างของตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเบอร์ ADMCF326BST	30
2.26	สถาปัตยกรรมของตัวประมวลผลหลักของ ADMCF326BST	30
2.27	บอร์ด eZdsp TMS 320F2812	30
2.28	การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลกับตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล	31
3.1	ปริมาณแสงอาทิตย์ในระยะเวลา 1 วัน	33
3.2	ไพแรนอมิเตอร์บนดาดฟ้าอาคาร	34
3.3	วงจรขยายสัญญาณ	34
3.4	การเลือกชนิดของข้อมูลและช่องสัญญาณต่อไพแรนอมิเตอร์ที่รับเข้า NI USB-6008	35
3.5	ลักษณะการทำงานของโปรแกรม	35
3.6	Source Code ของโปรแกรม LabVIEW	36
3.7	การจำลองโมเดลของลม	37
3.8	จำลองความเร็วลมที่ความเร็วลมต่างกัน	37
3.9	การจำลองโมเดลการทำงานของใบพัดกังหันลม	38
3.10	ทอร์คของใบพัดกังหันลม	38
3.11	การจำลองเพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส แม่เหล็กถาวร	39
3.12	การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรในสถานะ cut in	39
3.13	การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรในสถานะปกติ	40
3.14	การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรในสถานะ cut out	40



สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.15	แบบจำลองของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบสามระดับ	42
3.16	ระบบควบคุมของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงสามระดับแบบ VOC	44
3.17	ส่วนการควบคุมวงจรแปลงผันแบบ VOC ในโปรแกรม MATLAB/Simulink	44
3.18	ส่วนการตรวจจับมุมเฟสของแรงดัน	45
3.19	ส่วนการแปลงแกนจาก 3 เฟส abc เป็น d-q	45
3.20	ส่วนการปรับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	46
3.21	ส่วนการปรับค่ากระแส	46
3.22	วงจรทบระดับแรงดัน	47
3.23	บล็อกฟังก์ชันโอนย้าย Transfer Function ตัวควบคุมชนิด PI	48
3.24	กราฟแสดง Step Response จากการสุ่มค่าเริ่มต้น	49
3.25	กราฟแสดง Step Response ที่ได้จากกฎของ Ziegler-Nichols	49
3.26	โครงสร้างพื้นฐานและส่วนประกอบของวงจรพืซ-ฟูลคอนเวอร์เตอร์	50
3.27	ขาต่างๆภายในตัวไอซี	50
3.28	วงจรขับเคลื่อนสำหรับวงจรทบระดับและวงจรพืซ-ฟูลคอนเวอร์เตอร์	54
3.29	วงจรการตรวจจับสัญญาณแรงดัน	54
3.30	วงจรภาคจ่ายไฟวงจรกำลัง	55
3.31	ดีซีลิงค์ (DC Link)	55
3.32	โครงสร้างและสัญลักษณ์ของ SKM75GB063D	57
3.33	วงจรอินเวอร์เตอร์	57
3.34	วงจรสมมูลของวงจรกรองที่ใช้ในการออกแบบ	58
3.35	ตัวประมวลเชิงดิจิทัลเบอร์ TMS320F2812	61
3.36	โครงสร้างและสัญลักษณ์ของ CMOS Hex Buffer/Converters # CD4050B	61
3.37	SKHI 22B board	62
3.38	วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง	63
3.39	วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ	65



สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.40	แบบจำลองอย่างง่ายของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ	65
3.41	สถานะสวิตช์ของวงจรแปลงผันไฟฟ้าแบบสามระดับ	67
4.1	การทดสอบการวัดและบันทึกข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์	68
4.2	ตำแหน่งการแสดงผลของโปรแกรม	69
4.3	ค่าที่ได้จากการวัดด้วย data logger กับจำลองจากโปรแกรม LabVIEW วันที่ 1	69
4.4	ค่าที่ได้จากการวัดด้วย data logger กับจำลองจากโปรแกรม LabVIEW วันที่ 2	70
4.5	ค่าที่ได้จากการวัดด้วย data logger กับจำลองจากโปรแกรม LabVIEW วันที่ 3	70
4.6	ความเร็วลมและความเร็วรอบ	71
4.7	ความเร็วลมและแรงดันไฟฟ้าขณะจ่ายโหลด	71
4.8	ความเร็วลมและกระแสไฟฟ้าขณะจ่ายโหลด	71
4.9	ความเร็วลมและกำลังเอาต์พุตขณะจ่ายโหลด	72
4.10	กระแสไฟฟ้าและแรงดันขณะจ่ายโหลด	72
4.11	กระแสไฟฟ้าและกำลังเอาต์พุตขณะจ่ายโหลด	72
4.12	การปรับโหลดและกำลังเอาต์พุตที่จ่ายโหลดที่ 14 m/s	72
4.13	การปรับโหลดและกำลังเอาต์พุตที่จ่ายโหลดที่ 21 m/s	73
4.14	การปรับโหลดและกำลังเอาต์พุตที่จ่ายโหลดที่ 25 m/s	73
4.15	เปรียบเทียบการปรับโหลดและกำลังเอาต์พุตที่จ่ายโหลด	73
4.16	การจำลองการทำงานของกังหันลมด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK	74
4.17	ความเร็วลมที่ความเร็วเริ่มทำงาน Cut in 2 m/s	74
4.18	แรงบิดที่สภาวะเริ่มทำงาน Cut in 2 m/s	74
4.19	กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตที่สภาวะเริ่มทำงาน Cut in 2 m/s	75
4.20	รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าสภาวะเริ่มทำงาน Cut in 2 m/s	75
4.21	ความเร็วลมที่ความเร็วทำงานปกติ Normal 9 m/s	75
4.22	แรงบิดที่สภาวะทำงานปกติ Normal 9 m/s	75
4.23	กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตที่สภาวะทำงานปกติ Normal 9 m/s	76
4.24	รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะทำงานปกติ Normal 9 m/s	76
4.25	ความเร็วลมที่ความเร็วในช่วง Cut out 35 m/s	76



สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.26	แรงบิดที่สภาวะทำงาน Cut out 35 m/s	76
4.27	กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตที่สภาวะทำงาน Cut out 35 m/s	77
4.28	รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะทำงาน Cut out 35 m/s	77
4.29	วงจรจำลองการทำงานของระบบ	77
4.30	แรงดันแหล่งจ่ายในวงจรแปลงผันฯแบบสามระดับ	78
4.31	แรงดันของตัวเก็บประจุ C1 ของวงจรแปลงผันฯแบบสามระดับ	78
4.32	แรงดันของตัวเก็บประจุ C2 ของวงจรแปลงผันฯแบบสามระดับ	79
4.33	แรงดันด้านออกของวงจรแปลงผันฯแบบสามระดับ	79
4.34	แรงดันตกคร่อมที่ตัวอุปกรณ์สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ (IGBT) ในวงจรแปลงผันฯแบบสามระดับ	79
4.35	แรงดันแหล่งจ่ายในวงจรแปลงผันฯแบบสองระดับ	80
4.36	แรงดันของตัวเก็บประจุ C หรือแรงดันด้านออกของวงจรแปลงผันฯแบบสองระดับ	80
4.37	แรงดันตกคร่อมที่ตัวอุปกรณ์สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ (IGBT) ในวงจรแปลงผันฯแบบสองระดับ	80
4.38	วงจรการจำลองของวงจรทระดับแรงดันใน MATLAB/SIMULINK	81
4.39	การจำลองแรงดันที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่แรงดัน 48 V คงที่	82
4.40	การจำลองแรงดันที่ออกจากวงจรเรียงกระแส	82
4.41	การจำลองแรงดันที่ออกจากวงจรวงจรทระดับแรงดัน	83
4.42	การจำลองแรงดันที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สภาวะแรงดันเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน	83
4.43	การจำลองแรงดันที่ออกจากวงจรเรียงกระแส	83
4.44	การจำลองแรงดันที่ออกจากวงจรวงจรทระดับแรงดัน	83
4.45	สัญญาณที่ใช้ขับสวิตช์ Mosfet ของวงจรทระดับแรงดัน	84
4.46	สัญญาณที่ใช้ขับสวิตช์ Mosfet ของวงจรพุก-พูลคอนเวอร์เตอร์	85
4.47	แรงดันของวงจรเรียงกระแสและวงจรทระดับแรงดันเมื่อสภาวะแรงดันคงที่	85
4.48	แรงดันของวงจรเรียงกระแสและวงจรทระดับแรงดันเมื่อสภาวะแรงดันเกิดการเปลี่ยนแปลง	86



สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.49	ภาพรวมวงจรอินเวอร์เตอร์สามระดับ	87
4.50	รูปคลื่นแรงดันทางด้านขาออก ezDSP TMS320F2812	88
4.51	รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าทางด้านขาออกของวงจรขับเคลื่อน	88
4.52	ค่าแรงดันที่ผ่านวงจรเรียงกระแส 3 เฟส	89
4.53	ค่าแรงดันเมื่อต่อคาปาซิเตอร์	89
4.54	สัญญาณพีคเบิลยูเอ็มในเฟส A	90
4.55	สัญญาณพีคเบิลยูเอ็มในเฟส B	91
4.56	สัญญาณพีคเบิลยูเอ็มในเฟส C	91
4.57	สัญญาณพีคเบิลยูเอ็มรวมเฟส A, B, C	92
4.58	รูปคลื่นแรงดัน V_{ab} ที่โหลดความต้านทาน 1 kW 200 โอห์ม แรงดัน 600V	92
4.59	รูปคลื่นแรงดัน V_{bc} ที่โหลดความต้านทาน 1 kW 200 โอห์ม แรงดัน 600V	93
4.60	รูปคลื่นแรงดัน V_{ca} ที่โหลดความต้านทาน 1 kW 200 โอห์ม แรงดัน 600V	93
4.61	รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ารวม V_{ab} , V_{bc} , V_{ca} แรงดัน 600 V	93
4.62	กระแสในสาย I_a ของวงจรอินเวอร์เตอร์	94
4.63	กระแสในสาย I_b ของวงจรอินเวอร์เตอร์	94
4.64	กระแสในสาย I_c ของวงจรอินเวอร์เตอร์	94
4.65	แรงดันเฟส V_{an} ของวงจรอินเวอร์เตอร์	95
4.66	แรงดันเฟส V_{bn} ของวงจรอินเวอร์เตอร์	95
4.67	แรงดันเฟส V_{cn} ของวงจรอินเวอร์เตอร์	95
4.68	วัดแรงดัน V_{ab} , V_{bc} , V_{ca} เมื่อต่อโหลดขนาด 1 กิโลวัตต์	96
4.69	สัญญาณขา G1 กับ G3 เฟส A	96
4.70	สัญญาณขา G2 กับ G4 เฟส A	97
4.71	สัญญาณขา G1 กับ G2 เฟส B	97
4.72	เปรียบเทียบสัญญาณ G1 เฟส A กับ สัญญาณ G1 เฟส B	97
4.73	วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบสามระดับในโปรแกรม MATLAB/SIMULINK	98
4.74	บล็อกควบคุมวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Rectifier) ในโปรแกรม MATLAB/SIMULINK	99



สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.75	กระแสด้านเข้าที่ได้รับจากแหล่งกำเนิดพลังงาน	99
4.76	กระแสด้านเข้าของเฟส A	100
4.77	กระแสด้านเข้าของเฟส B	100
4.78	กระแสด้านเข้าของเฟส C	100
4.79	แรงดันด้านเข้าที่ได้รับจากแหล่งกำเนิดพลังงาน	101
4.80	แรงดันที่ DC-Link	101
4.81	แรงดันที่ตัวเก็บประจุตัวที่ 1	101
4.82	แรงดันที่ตัวเก็บประจุตัวที่ 2	102
4.83	กระแสด้านออกที่ผ่านวงจรแปลงผันฯ	102
4.84	แรงดันด้านออกที่ผ่านวงจรแปลงผันฯ	102