

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการต่อความต้านทานจากภายนอกเข้ากับโรเตอร์แบบพ่นขดลวด.....	8
2.2 แสดงการจ่ายแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟส.....	9
2.3 แสดงรูปคลื่นไซน์ของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นโดยกระแสไฟฟ้า 3 เฟส.....	9
2.4 แสดงการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส 2 ขั้ว.....	10
2.5 แสดงทิศทางของการเกิดของกระแสไฟฟ้าและเส้นแรงแม่เหล็กในโรเตอร์ของมอเตอร์ เหนี่ยวนำเฟสเดียว.....	12
2.6 แสดงรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าที่สเตเตอร์และโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	13
2.7 ตำแหน่งการวางขดลวดของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว.....	13
2.8 แสดงวงจรของคาปาซิเตอร์รันมอเตอร์ชนิดค่าเดียว.....	15
2.9 แสดงคุณลักษณะระหว่างแรงบิดกับเปอร์เซ็นต์ความเร็วของคาปาซิเตอร์รันมอเตอร์ ชนิดค่าเดียว.....	15
2.10 แสดงวงจรการกลับทิศทางหมุนของคาปาซิเตอร์รันมอเตอร์ชนิดค่าเดียว.....	16
2.11 แสดงวงจรของคาปาซิเตอร์รันมอเตอร์ชนิด 2 ค่า.....	17
2.12 การใช้เทคนิค PWM กับวงจรทอนระดับ.....	18
2.13 วงจรและรูปคลื่นสัญญาณของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบ PWM.....	21
2.14 รูปคลื่นของแรงดันและกระแสของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส แสดงช่วงกำลังงาน ไม่ไหลสู่โหลด.....	22
2.15 โครงสร้างมอเตอร์และเวกเตอร์แรงดันระหว่างขด Run กับขด Start.....	23
2.16 โครงสร้างสวิตช์ 3 เฟส.....	23
2.17 เวกเตอร์แสดงแรงดันการควบคุมมอเตอร์.....	24
2.18 พิกัดเวกเตอร์ในระบบสามเฟส และ space vector $\mathbf{u}(t)$	26
2.19 ช่วงเวลาการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์.....	27
2.20 แสดงเวกเตอร์ปริภูมิ.....	29
2.21 การหาค่าเวลาเสถียรของ SVM.....	31
2.22 รูปแบบของ SVM.....	33
2.23 รูปสัญญาณ 3 เฟสของการมอดูเลต space vector ($M = 0.8, f_{sn} = 18$).....	34,35
2.24 การมอดูเลชันเกิน.....	36
2.25 แสดงโครงสร้างภายใน FPGA.....	38

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.26 แสดงขั้นตอนออกแบบบน FPGA.....	38
3.1 บล็อกไดอะแกรมของอินเวอร์เตอร์ SVM PWM.....	41
3.2 สวิตช์และเวกเตอร์.....	42
3.3 เวกเตอร์สำหรับหา ครรชนีการมอดดูเลต.....	42
3.4 เวกเตอร์การหามุม.....	43
3.5 โครงสร้างของชุดขับสวิตช์ IGBT สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส.....	45
3.6 โครงสร้างของชุดขับสวิตช์ IGBT สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส.....	45
3.7 วงจรภาคขับสวิตช์ IGBT.....	46
3.8 วงจรแปลงระดับแรงดัน และป้องกันการลัดวงจรของสวิตช์.....	47
3.9 วงจรเรกติไฟเออร์และทวิแรงดัน.....	48
3.10 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน.....	49
3.11 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ใช้โปรแกรม PSPICE จำลองการทำงาน.....	49
3.12 ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน.....	50
3.13 บล็อกไดอะแกรมส่วนรับ-ส่งค่าพารามิเตอร์เพื่อส่งให้ FPGA.....	51
3.14 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51.....	52
3.15 แสดงบล็อกไดอะแกรมโครงสร้างภายใน.....	53
3.16 บอร์ดเนกประสงค์ที่ใช้สร้างสัญญาณ PWM.....	53
4.1 บล็อกไดอะแกรมส่วนรับ-ส่งค่าตัวแปรเพื่อส่งให้ FPGA.....	54
4.2 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สำหรับรับ-ส่งค่าตัวแปร.....	55
4.3 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมในส่วน MCS-51.....	57
4.4 วงจรขับอินเวอร์เตอร์ สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ 1 เฟส.....	58
4.5 วงจรขับอินเวอร์เตอร์ สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ 3 เฟส.....	59
4.6 เวกเตอร์แรงดันไฟฟ้าที่สร้างโดยอินเวอร์เตอร์.....	60
4.7 กราฟแสดงการสวิตช์.....	61
4.8 สัญญาณ SVM PWM ที่มี delay time.....	62
4.9 Vector modulation และการเลื่อนเฟส.....	63
4.10 ฟังก์ชันบล็อกในการออกแบบระบบ.....	64
4.11 ฟังก์ชันบล็อกในการออกแบบระบบ 3เฟส.....	65

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1 เครื่องมือวัดสัญญาณ Digital Storage Scope ยี่ห้อ Tektronix รุ่น TDS220.....	66
5.2 วงจรแปลงระดับแรงดัน.....	67
5.3 รูปสัญญาณ PWM เอาท์พุทของ CD4050B ที่ V_a (CH1) และ $\overline{V_a}$ (CH2)	68
5.4 รูปขยายสัญญาณ PWM ที่ เอาท์พุทของ CD4050B ที่ V_a (CH1) และ $\overline{V_a}$ (CH2) แสดง ความถี่การสวิตช์ 5KHz	68
5.5 รูปขยายสัญญาณ PWM ที่ เอาท์พุทของ CD4050B ที่ V_a (CH1) และ $\overline{V_a}$ (CH2) แสดง dead time 2.5 μ S active low.....	68
5.6 รูปสัญญาณ PWM ที่ เอาท์พุทของ CD4050B ที่ V_a (CH1) และ $\overline{V_a}$ (CH2) ผ่านวงจร กรองความถี่ต่ำผ่าน.....	69
5.7 รูปสัญญาณ PWM ที่ เอาท์พุทของ CD4050B ที่ V_b (CH1)และ $\overline{V_b}$ (CH2)	69
5.8 รูปขยายสัญญาณ PWM ที่ เอาท์พุทของ CD4050B ที่ V_b (CH1) และ $\overline{V_b}$ (CH2) แสดง ความถี่การสวิตช์ 5KHz	69
5.9 รูปขยายสัญญาณ PWM ที่ เอาท์พุทของ CD4050B ที่ V_b (CH1) และ $\overline{V_b}$ (CH2) แสดง dead time 2.5 μ S active low.....	70
5.10 รูปสัญญาณ PWM ที่ เอาท์พุทของ CD4050B ที่ V_b (CH1) และ $\overline{V_b}$ (CH2) ผ่านวงจร กรองความถี่ต่ำผ่าน.....	70
5.11 รูปสัญญาณ PWM ที่ เอาท์พุทของ CD4050B ที่ V_c (CH1) และ $\overline{V_c}$ (CH2)	70
5.12 รูปขยายสัญญาณ PWM ที่ เอาท์พุทของ CD4050B ที่ V_c (CH1) และ $\overline{V_c}$ (CH2) แสดง ความถี่การสวิตช์ 5KHz	71
5.13 รูปขยายสัญญาณ PWM ที่ เอาท์พุทของ CD4050B ที่ V_c (CH1) และ $\overline{V_c}$ (CH2) แสดง dead time 2.5 μ S active low.....	71
5.14 รูปสัญญาณ PWM ที่ เอาท์พุทของ CD4050B ที่ V_c (CH1) และ $\overline{V_c}$ (CH2) ผ่านวงจร กรองความถี่ต่ำผ่าน.....	71
5.15 รูปสัญญาณ PWM ที่ เอาท์พุทของ CD4050B ที่ V_a (CH1) และ V_b (CH2) เทียบกัน.....	72
5.16 รูปสัญญาณ PWM ที่ เอาท์พุทของ CD4050B ที่ V_a (CH1) และ V_b (CH2) เทียบกันโดย ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน.....	72
5.17 รูปสัญญาณ ที่ เอาท์พุทของ CD4050B ที่ V_a (CH1) ลบ V_b (CH2)	72
5.18 รูปสัญญาณ PWM ที่ เอาท์พุทของ CD4050B ที่ V_b (CH1) และ V_c (CH2) เทียบกัน.....	73

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.19 รูปสัญญาณ PWM ที่เอาต์พุตของ CD4050B ที่ V_b (CH1) และ V_c (CH2) ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน.....	73
5.20 รูปสัญญาณ PWM ที่เอาต์พุตของ CD4050B ที่ V_b (CH1) ลบ V_c (CH2)	73
5.21 รูปสัญญาณ PWM ที่เอาต์พุตของ CD4050B ที่ V_c (CH1) และ V_a (CH2) เทียบกัน.....	74
5.22 รูปสัญญาณ PWM ที่เอาต์พุตของ CD4050B ที่ V_c (CH1) และ V_a (CH2) ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน.....	74
5.23 รูปสัญญาณ PWM ที่เอาต์พุตของ CD4050B ที่ V_c (CH1) ลบ V_a (CH2)	74
5.24 วงจรเรกติไฟเออร์และทวิแรงดัน	75
5.25 วงจรทวิเรียงดันที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟตรงที่จ่ายให้กับชุดสวิตช์ IGBT.....	75
5.26 วงจรภาคขับเคลื่อนสวิตช์ IGBT ประกอบไปด้วยชุด opto isolate และชุดสวิตช์ IGBT.....	76
5.27 รูปสัญญาณ PWM ที่ขาเกิดของสวิตช์ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)	76
5.28 รูปขยายสัญญาณ PWM ที่ขาเกิดของสวิตช์ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)	77
5.29 รูปขยายสัญญาณ PWM ที่ขาเกิดของสวิตช์ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)แสดง Dead time...77	77
5.30 รูปสัญญาณ PWM ที่ขาเกิดของสวิตช์ Q3V(CH1) และ Q6V(CH2)	77
5.31 รูปขยายสัญญาณ PWM ที่ขาเกิดของสวิตช์ Q3V(CH1) และ Q6V(CH2)	78
5.32 รูปขยายสัญญาณ PWM ที่ขาเกิดของสวิตช์ Q3V(CH1) และ Q6V(CH2) แสดง Deadtime...78	78
5.33 รูปสัญญาณ PWM ที่ขาเกิดของสวิตช์ Q5W(CH1) และ Q2W(CH2)	78
5.34 รูปขยายสัญญาณ PWM ที่ขาเกิดของสวิตช์ Q5W(CH1) และ Q2W(CH2)	79
5.35 รูปขยายสัญญาณ PWM ที่ขาเกิดของสวิตช์ Q5W(CH1) และ Q2W(CH2) แสดง Deadtime...79	79
5.36 รูปสัญญาณที่ขา C, E ของสวิตช์ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)	80
5.37 รูปขยายสัญญาณที่ขา C, E ของสวิตช์ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)	80
5.38 รูปสัญญาณที่ขา C, E ของสวิตช์ Q3V(CH1) และ Q6V(CH2)	80
5.39 รูปขยายสัญญาณที่ขา C, E ของสวิตช์ Q3V(CH1) และ Q6V(CH2)	81
5.40 รูปสัญญาณที่ขา C, E ของสวิตช์ Q5W(CH1) และ Q2W(CH2)	81
5.41 รูปขยายสัญญาณที่ขา C, E ของสวิตช์ Q5W(CH1) และ Q2W(CH2)	81
5.42 สัญญาณ Out put PWM แรงดันสายที่ U และ V.....	82
5.43 สัญญาณ Out put PWM แรงดันสายที่ U และ V ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน.....	82
5.44 สัญญาณ Out put PWM แรงดันสายที่ V และ W.....	83

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.45 สัญญาณ Out put PWM แรงดันสายที่ V และW ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	83
5.46 สัญญาณ Out put PWM แรงดันสายที่ W และU	83
5.47 สัญญาณ Out put PWM แรงดันสายที่ W และU ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	84
5.48 รูปขยายสัญญาณแสดง Dead time $1\mu S$ ที่ขาเกิดของ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)	84
5.49 รูปขยายสัญญาณแสดง Dead time $2\mu S$ ที่ขาเกิดของ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)	85
5.50 รูปขยายสัญญาณแสดง Dead time $3\mu S$ ที่ขาเกิดของ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)	85
5.51 รูปขยายสัญญาณแสดง Dead time $4\mu S$ ที่ขาเกิดของ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)	85
5.52 รูปขยายสัญญาณแสดง Dead time $5\mu S$ ที่ขาเกิดของ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)	86
5.53 รูปแสดงสัญญาณ ความถี่การสวิตช์ $2KHz$ ที่ขาเกิดของ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)	86
5.54 รูปแสดงสัญญาณ ความถี่การสวิตช์ $5KHz$ ที่ขาเกิดของ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)	87
5.55 รูปแสดงสัญญาณ ความถี่การสวิตช์ $10KHz$ ที่ขาเกิดของ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)	87
5.56 รูปแสดงสัญญาณ ความถี่การสวิตช์ $15KHz$ ที่ขาเกิดของ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)	87
5.57 รูปแสดงสัญญาณ ความถี่การสวิตช์ $20KHz$ ที่ขาเกิดของ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)	88
5.58 รูปแสดงสัญญาณ ความถี่การสวิตช์ $80KHz$ ที่ขาเกิดของ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)	88
5.59 รูปสัญญาณไฟสลับความถี่ $30Hz$ โดยวัดที่ v_{UV} (CH1) และ v_{WV} (CH2)	89
5.60 รูปสัญญาณไฟสลับความถี่ $40Hz$ โดยวัดที่ v_{UV} (CH1) และ v_{WV} (CH2)	89
5.61 รูปสัญญาณไฟสลับความถี่ $60Hz$ โดยวัดที่ v_{UV} (CH1) และ v_{WV} (CH2)	89
5.62 รูปสัญญาณไฟสลับความถี่ $75Hz$ โดยวัดที่ v_{UV} (CH1) และ v_{WV} (CH2)	90
5.63 รูปสัญญาณไฟสลับความถี่ $100Hz$ โดยวัดที่ v_{UV} (CH1) และ v_{WV} (CH2)	90
5.64 รูปสัญญาณไฟสลับความถี่ $160Hz$ โดยวัดที่ v_{UV} (CH1) และ v_{WV} (CH2)	90
5.65 รูปสัญญาณไฟสลับวัด ที่ v_{UV} (CH1) และ v_{WV} (CH2) , Modulation Index = 100%.....	91
5.66 รูปสัญญาณไฟสลับวัด ที่ v_{UV} (CH1) และ v_{WV} (CH2) , Modulation Index = 75%.....	91
5.67 รูปสัญญาณไฟสลับวัด ที่ v_{UV} (CH1) และ v_{WV} (CH2) , Modulation Index = 50%.....	92
5.68 รูปสัญญาณไฟสลับวัด ที่ v_{UV} (CH1) และ v_{WV} (CH2) , Modulation Index = 25%.....	92
5.69 วงจรชุดสวิตช์ และวงจรเรียงกระแส 3เฟส.....	93
5.70 วงจรเรียงกระแส 3เฟสที่ใช้ในการจำลองการทำงาน โดย Pspice.....	93
5.71 ผลการจำลองการทำงานวงจรเรียงกระแส 3เฟส.....	94

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.72 ชุดขับอินเวอร์เตอร์ 3เฟสขณะต่ออยู่กับ Variac 1เฟส 3ตัว ที่ทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายแรงดัน 3เฟสให้กับชุดไดโอดเรียงกระแส 3เฟส แบบ 6คลื่น.....	96
5.73 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบอินเวอร์เตอร์กับการจ่ายโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่มีภาระทางกล.....	97
5.74 Digital Power Meter 3 Phase ยี่ห้อ YOKOKAWA รุ่น WT1030 ที่ใช้บันทึกผล.....	97
5.75 Siemens Measurement and Analyzing Unit (วัดทอร์ก, วัดความเร็วรอบ, วัดกำลังที่จ่ายโหลด จากการ ทำงานของมอเตอร์)	98
5.76 การต่อ Motor เข้ากับ Generator ผ่าน Coupling.....	98
5.77 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3เฟส.....	99
5.78 ชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์ 3เฟส ที่ประกอบไปด้วย บอร์ดชุดขับ IGBT บอร์ด FPGA บอร์ดคอนโทรลเลอร์.....	99
5.79 บอร์ดอินเวอร์เตอร์ในส่วนของชุดสวิตช์ IGBT.....	100
5.80 ภาพหน้าจอคอมพิวเตอร์ขณะทำการโปรแกรม FPGA	100
5.81 Block Diagram การต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	101
5.82 มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับ 1เฟส ขนาด 1แอมป์ (750W)	104
5.83 แผนภาพการต่อภายในมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ 1เฟส.....	105
5.84 กระแสที่ขด Run ขณะมอเตอร์เริ่มทำงาน.....	105
5.85 กระแสที่ขด Run ขณะทำงานปกติ.....	106
5.86 กระแสที่ขด Start ขณะเริ่มทำงาน.....	106
5.87 กระแสที่ขด Start ขณะทำงานปกติ.....	106
5.88 แรงดันที่ขด Run ขณะเริ่มทำงาน.....	107
5.89 แรงดันที่ขด Run ขณะทำงานปกติ.....	107
5.90 แรงดันที่ขด Start ขณะเริ่มทำงาน.....	107
5.91 แรงดันที่ขด Start ขณะทำงานปกติ.....	108
5.92 แรงดันที่ขด Start (Ch1) เทียบกับที่ขด Run (Ch2)	108
5.93 แรงดันที่ขด Start (Ch1) เทียบกับที่ขด Run (Ch2)	108
5.94 รูปสัญญาณ PWM เอาท์พุทของ CD4050B ที่ V_a (CH1) และ $\bar{V}_a$ (CH2)	109

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.95 รูปขยายสัญญาณ PWM ที่เอาต์พุตของ CD4050B ที่ V_a (CH1) และ $\overline{V_a}$ (CH2) แสดง ความถี่การสวิตช์ 2KHz	109
5.96 รูปสัญญาณ PWM ที่เอาต์พุตของ CD4050B ที่ V_b (CH1) และ $\overline{V_b}$ (CH2)	110
5.97 รูปขยายสัญญาณ PWM ที่เอาต์พุตของ CD4050B ที่ V_b (CH1) และ $\overline{V_b}$ (CH2) แสดง ความถี่การสวิตช์ 2KHz	110
5.98 รูปสัญญาณ PWM ที่เอาต์พุตของ CD4050B ที่ V_c (CH1) และ $\overline{V_c}$ (CH2)	110
5.99 รูปขยายสัญญาณ PWM ที่เอาต์พุตของ CD4050B ที่ V_c (CH1) และ $\overline{V_c}$ (CH2) แสดง ความถี่การสวิตช์ 2KHz	111
5.100 รูปสัญญาณ PWM ที่ขาเกิดของสวิตช์ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)	111
5.101 รูปขยายสัญญาณ PWM ที่ขาเกิดของสวิตช์ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)	112
5.102 รูปสัญญาณ PWM ที่ขาเกิดของสวิตช์ Q3V(CH1) และ Q6V(CH2)	112
5.103 รูปขยายสัญญาณ PWM ที่ขาเกิดของสวิตช์ Q3V(CH1) และ Q6V(CH2)	112
5.104 รูปสัญญาณ PWM ที่ขาเกิดของสวิตช์ Q5W(CH1) และ Q2W(CH2)	113
5.105 รูปขยายสัญญาณ PWM ที่ขาเกิดของสวิตช์ Q5W(CH1) และ Q2W(CH2)	114
5.106 รูปขยายสัญญาณแสดง Dead time 10 μ S ที่ขาเกิดของ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)	114
5.107 รูปขยายสัญญาณแสดง Dead time 5 μ S ที่ขาเกิดของ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)	114
5.108 รูปขยายสัญญาณแสดง Dead time 5 μ S ที่ขาเกิดของ Q3V(CH1) และ Q6V(CH2)	115
5.109 รูปขยายสัญญาณแสดง Dead time 5 μ S ที่ขาเกิดของ Q5W(CH1) และ Q2W(CH2)	115
5.110 รูปขยายสัญญาณแสดง Dead time 3 μ S ที่ขาเกิดของ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)	115
5.111 รูปขยายสัญญาณแสดง Dead time 3 μ S ที่ขาเกิดของ Q3V(CH1) และ Q6V(CH2)	116
5.112 รูปขยายสัญญาณแสดง Dead time 3 μ S ที่ขาเกิดของ Q5W(CH1) และ Q2W(CH2)	116
5.113 รูปขยายสัญญาณแสดง Dead time 2 μ S ที่ขาเกิดของ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)	117
5.114 เฟสต่าง 45 องศา ของสัญญาณที่ ขาเกิดของ Q1U เทียบ ขาเกิดของ Q3V	117
5.115 เฟสต่าง 90 องศา ของสัญญาณที่ ขาเกิดของ Q1U เทียบ ขาเกิดของ Q3V.....	118
5.116 เฟสต่าง 135 องศา ของสัญญาณที่ ขาเกิดของ Q1U เทียบ ขาเกิดของ Q3V.....	118
5.117 เฟสต่างของสัญญาณที่ ขาเกิดของ Q1U เทียบ ขาเกิดของ Q3V จะมีค่าต่างกัน 180 องศา.....	118
5.118 รูปสัญญาณที่ขา C, E ของสวิตช์ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)	119
5.119 รูปขยายสัญญาณที่ขา C, E ของสวิตช์ Q1U(CH1) และ Q4U(CH2)	119

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.120 รูปสัญญาณที่ขา C, E ของสวิตช์ Q3V(CH1) และ Q6V(CH2)	120
5.121 รูปขยายสัญญาณที่ขา C, E ของสวิตช์ Q3V(CH1) และ Q6V(CH2)	120
5.122 รูปสัญญาณที่ขา C, E ของสวิตช์ Q5W(CH1) และ Q2W(CH2)	120
5.123 รูปขยายสัญญาณที่ขา C, E ของสวิตช์ Q5W(CH1) และ Q2W(CH2)	121
5.124 รูปสัญญาณแรงดันที่ขด Start(CH1) และขด Run(CH2) $f = 60 \text{ Hz}$	121
5.125 รูปสัญญาณแรงดันที่ขด Start(CH1) และขด Run(CH2) $f = 50 \text{ Hz}$	122
5.126 รูปสัญญาณแรงดันที่ขด Start(CH1) และขด Run(CH2) $f = 45 \text{ Hz}$	122
5.127 รูปสัญญาณแรงดันที่ขด Start(CH1) และขด Run(CH2) $f = 40 \text{ Hz}$	122
5.128 รูปสัญญาณแรงดันที่ขด Start(CH1) และขด Run(CH2) $f = 35 \text{ Hz}$	123
5.129 รูปสัญญาณแรงดันที่ขด Start(CH1) และขด Run(CH2) $f = 30 \text{ Hz}$	123
5.130 รูปแรงดันหลักมูล ที่ขด Start(Ch1) และขด Run(Ch2) $f = 50 \text{ Hz}$	124
5.131 รูปแรงดันหลักมูล ที่ขด Start(Ch1) และขด Run(Ch2) $f = 45 \text{ Hz}$ (วัดผ่านวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน)	124
5.132 รูปแรงดันหลักมูล ที่ขด Start(Ch1) และขด Run(Ch2) $f = 40 \text{ Hz}$ (วัดผ่านวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน)	125
5.133 รูปแรงดันหลักมูล ที่ขด Start(Ch1) และขด Run(Ch2) $f = 35 \text{ Hz}$ (วัดผ่านวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน)	125
5.134 รูปแรงดันหลักมูล ที่ขด Start(Ch1) และขด Run(Ch2) $f = 30 \text{ Hz}$ (วัดผ่านวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน)	126
5.135 รูปสัญญาณกระแสที่ขด Start(Ch1) และขด Run(Ch2) $f = 50 \text{ Hz}$	126
5.136 รูปสัญญาณกระแสที่ขด Start(Ch1) และขด Run(Ch2) $f = 45 \text{ Hz}$	127
5.137 รูปสัญญาณกระแสที่ขด Start(Ch1) และขด Run(Ch2) $f = 40 \text{ Hz}$	127
5.138 รูปสัญญาณกระแสที่ขด Start(Ch1) และขด Run(Ch2) $f = 35 \text{ Hz}$	127
5.139 รูปสัญญาณกระแสที่ขด Start(Ch1) และขด Run(Ch2) $f = 30 \text{ Hz}$	128