

อินเวอร์เตอร์แบบพัลส์วิดท์มอดูเลชันที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์
สำหรับการขับนำมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ



นายวีรพงษ์ ศิริวัน

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2530

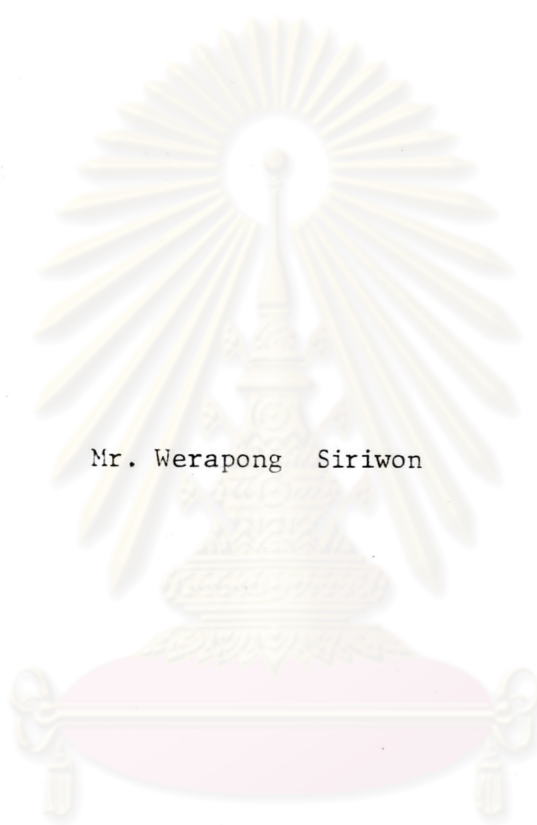
ISBN 974-567-798-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

012627

11029224x

A MICROPROCESSOR-BASED PULSE-WIDTH-MODULATION INVERTER
FOR INDUCTION MOTOR DRIVES



Mr. Werapong Siriwon

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1987

ISBN 974-567-798-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ อินเวอร์เตอร์แบบพัลส์วิดท์มอดูเลชันที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์

สำหรับการขับนำมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ

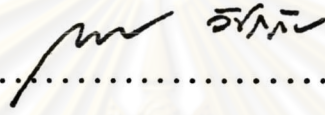
โดย นายวีรพงษ์ คีรีวัน

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

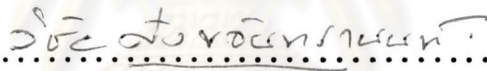
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โคทม อาริยา

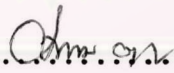


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรภักย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ วิชัย คังขจันทรานนท์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โคทม อาริยา)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชาตรี ศรีไพพรรณ)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชณี โพธารามิก)

หัวข้อวิทยานิพนธ์ อินเวอร์เตอร์แบบพัลส์วิตช์มอดูเลชันที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์
สำหรับการขับนำมอเตอร์ แบบเหนี่ยวนำ

ชื่อนิสิต นายวีรพงษ์ ศิริวัน

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โคทม อาริยา

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2529



บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงการออกแบบสร้างและทดสอบ เครื่องควบคุมความเร็วของ มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ขนาด 5 เควีเอ ซึ่งสามารถใช้ในการขับนำมอเตอร์เหนี่ยวนำ สามเฟสได้ถึงขนาดประมาณ 5 แรงม้าสามารถปรับความถี่ได้ระหว่าง 5 เฮิรตซ์ถึง 50 เฮิรตซ์ โดยปรับความถี่ได้ครั้งละ 1 เฮิรตซ์ โดยมี V/f คงที่ เครื่องควบคุมความเร็วของมอเตอร์ เหนี่ยวนำนี้จะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ Z-80 ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรมอดูเลเตอร์ทำหน้าที่สร้างสัญญาณแบบปรับความกว้างของพัลส์ จำนวน 3 เฟส ที่ขาออกและ สัญญาณนี้จะนำไปใช้ควบคุมการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ สัญญาณแบบปรับความกว้างของพัลส์นี้ใช้วิธีการมอดูเลตแบบเชิงเลข โดยการคำนวณของการสวิตช์เพื่อกำจัดฮาร์โมนิกส์ต่ำของสัญญาณขาออก โดยการเลือกมุมการสวิตช์ที่เหมาะสมทำให้สามารถกำจัดฮาร์โมนิกส์ที่ความถี่ต่ำกว่า 250 เฮิรตซ์ โดยจำกัดความถี่การสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ไว้ที่ไม่เกิน 300 เฮิรตซ์ ส่วนของ วงจรอินเวอร์เตอร์นั้น เป็นแบบบริดจ์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์กำลังเป็นสวิตช์ นอกจากนั้นยังมีระบบป้องกันวงจรต่าง ๆ ที่นำมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นเครื่องควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ สำเร็จรูป และได้ทำการทดสอบกับโหลดที่เป็นมอเตอร์ และโหลดที่เป็นความต้านทานจนได้ผล ตามพิกัดที่ได้ออกแบบไว้

Thesis Title A MICROPROCESSOR-BASED PULSE-WIDTH-MODULATION INVERTER
FOR INDUCTION MOTOR DRIVES

Name Mr. Werapong Siriwon

Thesis Advisor Assistant Professor Gothom Arya, Doc.Ing.

Department Electrical Engineering

Academic Year 1986



ABSTRACT

This thesis presents the design, construction and test of a variable speed controller for three phase induction motor drives rated 5 kVA. The controller can be used to drive three phase induction motor up to 5 horsepower. The output frequency can be varied from 5 Hz to 50 Hz, and frequency variation by steps of one Hertz with a constant V/f characteristic. A microprocessor-based digital pulsewidth modulator is designed by using a Z-80 microprocessor. The modulator generates precision three-phase pulse width modulation (PWM) waves at the output, and can be used to drive an inverter. The PWM waves are calculated by using harmonic elimination method. With appropriate switching angles the maximum switching frequency is limited to 300 Hz and harmonics below 250 Hz are eliminated. A transistor bridge inverter is used in this controller. The variable speed controller has been constructed in a complete set including protection circuits and has been tested.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โคทม อาริยา ที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัยมาด้วยดีโดยตลอด อีกทั้งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ พรศักดิ์สิทธิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชณี โพธารามิก ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์นี้ ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้กล่าวนามมาข้างต้น ตลอดจนคณาจารย์และบุคลากรของห้องปฏิบัติการวิจัย อิเล็กทรอนิกส์กำลังทุกท่านที่มีส่วนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณ คุณวิจิตร เหลืองเจริญโต ครูปฏิบัติการของห้องวิจัย อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการจัดอุปกรณ์และทดสอบ เครื่องควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นจนสำเร็จ เรียบร้อย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูป	ญ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความ เบื้องต้น	1
1.2 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสสลับแบบ เหนี่ยวนำ	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.4 ขอบ เขตการวิจัย	4
2. เครื่องควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำ	5
2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ	
2.2 ลักษณะสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	6
2.3 ลักษณะสมบัติของเครื่องควบคุมความเร็ว โดยการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าและความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ	8
2.4 ชนิดของเครื่องควบคุมความเร็วแบบปรับความถี่	11
2.5 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบมอดูเลตความกว้างพัลส์	15
3. การกำจัดฮาร์มอนิกส์ในอินเวอร์เตอร์แบบมอดูเลตความกว้างพัลส์	17
3.1 การมอดูเลตความกว้างพัลส์	17
3.2 อินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์	17
3.3 การกำจัดฮาร์มอนิกส์ในอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์	19
3.4 การ เฉลยสมการไม่ เชิงเส้นโดยวิธีนิว เมอริคอล	23
3.5 การหาค่าตอบ โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์	24
3.6 ผลการคำนวณหาค่ามุมของการสวิตช์	27
3.7 การประยุกต์ใช้งานสัทภาพแบบมอดูเลตความกว้างพัลส์	31

4.	วงจรมอดูเลเตอร์แบบความกว้างพัลส์โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์	34
4.1	ข้อกำหนดในการออกแบบ	34
4.2	การออกแบบวงจรมอดูเลเตอร์	37
4.3	การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานของวงจรมอดูเลเตอร์	50
4.4	การทดสอบวงจรมอดูเลเตอร์	56
4.5	ผลการทดสอบวงจรมอดูเลเตอร์	57
4.6	วงจรมอดูเลเตอร์แบบความกว้างพัลส์โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์	63
5.	การประกอบและทดสอบวงจรอินเวอร์เตอร์	70
5.1	ส่วนประกอบของวงจรภาคจ่ายกำลัง	70
5.2	ระบบป้องกันวงจร	77
5.3	การประกอบวงจรภาคต่าง ๆ ของเครื่องควบคุมความเร็วมอเตอร์	83
5.4	ผลการทดสอบเครื่องควบคุมความเร็ว	85
6.	สรุปและข้อเสนอแนะ	102
6.1	สรุปผลการวิจัย	102
6.2	ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไป	102
	เอกสารอ้างอิง	106
ภาคผนวก ก.	โปรแกรมคำนวณหาค่ามุมการสวิตช์	111
ภาคผนวก ข.	โปรแกรมควบคุมการทำงานของวงจรมอดูเลเตอร์	114
ประวัติผู้เขียน		149

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
5.1	ผลการทดสอบ เมื่อไหลตเป็นความต้านทาน	86
5.2	ผลการทดสอบ เมื่อไหลตเป็นมอเตอร์ขนาด 5.5 แรงม้า	94



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	บล็อกไดโอดแกรมของ เครื่องขับน้ำมอเตอร์แบบ เหนี่ยวนำ	3
2.1	แสดงลักษณะสมบัติของความ เร็ว แรงบิด และกระแสของมอเตอร์	7
2.2	เส้นโค้งลักษณะสมบัติระหว่างแรงบิดกับความเร็วของมอเตอร์ เหนี่ยวนำ	8
2.3	ลักษณะสมบัติระหว่างแรงบิดกับความเร็วของมอเตอร์ เหนี่ยวนำที่ ความถี่ต่าง ๆ ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า เมื่อฟลักซ์ในช่องอากาศมีค่าคงที่	9
2.4	ลักษณะของ " โวลต์ต่อ เฮิรตซ์"	9
2.5	แรงบิดและกระแสกับความถี่ที่โหลดคงที่และไม่มีแรงดันออฟเซ็ท	10
2.6	" โวลต์ต่อ เฮิรตซ์" เมื่อมีการชด เชยแรงดันไฟฟ้า	10
2.7	บล็อกไดโอดแกรมภาคจ่ายกำลังของ เครื่องควบคุมแบบปรับความถี่	11
2.8	เครื่องควบคุมความเร็วแบบแหล่งพลังงาน เป็นแหล่งแรงดันปรับค่าได้	12
2.9	เครื่องควบคุมความเร็วแบบแหล่งพลังงาน เป็นแหล่งกระแส	13
2.10	เครื่องควบคุมความเร็วแบบมอดู เลตความกว้างพัลส์	14
2.11	วงจรรินเวอร์เตอร์ตาม เอกสารอ้างอิง [1]	15
2.12	วงจรรินเวอร์เตอร์ตาม เอกสารอ้างอิง [29]	16
2.13	วงจรรินเวอร์เตอร์ตาม เอกสารอ้างอิง [30]	16
3.1	วงจรรินเวอร์เตอร์กึ่งบริดจ์หนึ่ง เฟส	18
3.2	ตัวอย่างสัณฐานที่ได้จากการสวิตซ์ของวงจรรูปที่ 3.1	18
3.3	วงจรรินเวอร์เตอร์สาม เฟสแบบกึ่งบริดจ์	19
3.4	สัณฐานขาออกที่มีการสวิตซ์ M ครั้งใน เศษหนึ่งส่วนสี่วัฏจักร	19
3.5	ขั้นตอนการ เฉลยสมการ โดยคอมพิวเตอร์	26
3.6	ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบหลักมูล a_1 กับมุมการสวิตซ์ α เมื่อ $M = 2$	27
3.7	ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบหลักมูล a_1 กับมุมการสวิตซ์ α เมื่อ $M = 3$	28
3.8	ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบหลักมูล a_1 กับมุมการสวิตซ์ α เมื่อ $M = 5$	29

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.9	ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบหลักมูล a_1 กับมุมการสวิตช์ α เมื่อ $M = 7$	29
3.10	ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบหลักมูล a_1 กับมุมการสวิตช์ α เมื่อ $M = 9$	30
3.11	ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบหลักมูล a_1 กับมุมการสวิตช์ α เมื่อ $M = 13$	30
3.12	ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบหลักมูล a_1 กับมุมการสวิตช์ α เมื่อ $M = 23$	30
3.13	แพตเทิร์นการสวิตช์ที่ใช้ในเอกสารอ้างอิง [8]	32
3.14	แพตเทิร์นการสวิตช์ที่ใช้ในเอกสารอ้างอิง [27]	33
4.1	สัญญาณ PWM	35
4.2	ก) แสดงการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบหลักมูล a_1 กับความถี่หลักมูล f_0 และแสดงการเลือกพารามิเตอร์ M ในแต่ละช่วงความถี่ f_0 ด้วย ข) ความถี่การสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์เมื่อเลือกพารามิเตอร์ M ตามรูป ก) ค) ความถี่ของฮาร์มอนิกส์แรกที่ไม่เป็นศูนย์เมื่อเลือกพารามิเตอร์ตามรูป ก)	36
4.3	แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรมอดูเลเตอร์	37
4.4	ภาคประมวลผลกลาง	39
4.5	วงจรการต่อหน่วยความจำ	42
4.6	วงจรกำเนิดสัญญาณเพื่อให้ค่ามุมการสวิตช์	44
4.7	วงจรสร้างสัญญาณการสวิตช์เพื่อขับนำเบสของทรานซิสเตอร์กำลัง	45
4.8	วงจรรับสัญญาณเลือกความถี่	47
4.9	วงจรควบคุมการ RUN/STOP	48
4.10	วงจรหน่วยแสดงผลของความถี่ขาออก	49

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 แสดงโพลีชาร์ทของ MAIN PROGRAM	51
4.12 แสดงโพลีชาร์ทของโปรแกรมอ่านความถี่ของสัญญาณขาออกและ แสดงผล	552
4.13 แสดงโพลีชาร์ทของโปรแกรมหาตำแหน่งเริ่มแรกของข้อมูลของ แพตเทิร์นการสวิตช์	53
4.14 แสดงโพลีชาร์ทของโปรแกรมสร้างตารางของแพตเทิร์นการสวิตช์	54
4.15 โพลีชาร์ทของโปรแกรมสร้างสัญญาณการสวิตช์	55
4.16 โพลีชาร์ทของโปรแกรมอินเตอร์พท์เพื่อขอข้อมูลนับชุดใหม่	56
4.17 สัญญาณขั้วนำที่ความถี่ขาออก ($M = 2$)	58
4.18 สัญญาณขั้วนำที่ความถี่ขาออก 40 เฮิรตซ์ ($M = 3$)	58
4.19 สัญญาณขั้วนำที่ความถี่ขาออก 20 เฮิรตซ์ ($M = 5$)	59
4.20 สัญญาณขั้วนำที่ความถี่ขาออก 15 เฮิรตซ์ ($M = 7$)	59
4.21 สัญญาณขั้วนำที่ความถี่ขาออก 10 เฮิรตซ์ ($M = 9$)	60
4.22 สเปกตรัมของสัญญาณ PWM เมื่อ $a_1 = 1.0, M = 2, f_o = 50\text{Hz}$	60
4.23 สเปกตรัมของสัญญาณ PWM เมื่อ $a_1 = 0.86, M = 3, f_o = 40\text{Hz}$	61
4.24 สเปกตรัมของสัญญาณ PWM เมื่อ $a_1 = 0.55, M = 5, f_o = 40\text{Hz}$	61
4.25 สเปกตรัมของสัญญาณ PWM เมื่อ $a_1 = 0.48, M = 7, f_o = 15\text{Hz}$	62
4.26 สเปกตรัมของสัญญาณ PWM เมื่อ $a_1 = 0.4, M = 9, f_o = 10\text{Hz}$	62
4.27 บล็อกไดอะแกรมของวงจรมอดูเลเตอร์ตามเอกสารอ้างอิง [21]	63
4.28 สเปกตรัมของสัญญาณ PWM จากวงจรตามรูปที่ 4.27	64
4.29 วงจรมอดูเลเตอร์ตามเอกสารอ้างอิง [8]	65
4.30 สเปกตรัมของแรงดันขาออกของวงจรตามรูปที่ 4.29	66
4.31 วงจรมอดูเลเตอร์ตามเอกสารอ้างอิง [27]	67
4.32 สเปกตรัมของแรงดันขาออกของวงจรตามรูปที่ 4.31	68
4.33 บล็อกไดอะแกรมของวงจรมอดูเลเตอร์ที่ใช้ในเอกสารอ้างอิง [28]	68
4.34 สเปกตรัมของแรงดันขาออกของวงจรรูปที่ 4.33	69

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1 การเชื่อมต่อหลัก	71
5.2 แหล่งจ่ายไฟตรงหลัก	73
5.3 วงจรอินเวอร์เตอร์	75
5.4 แสดงวงจรภายในของทรานซิสเตอร์เบอร์ QM 50DY-2H	76
5.5 วงจรตรวจจับแรงดัน	78
5.6 วงจรป้องกันแรงดันเกิน	79
5.7 วงจรระบายกระแสออกจากตัวเก็บประจุของแหล่งจ่ายไฟตรงหลัก	81
5.8 วงจรป้องกันแรงดันขาด	82
5.9 วงจรป้องกันกระแสเกิน	83
5.10 แสดงการต่อสายไฟระหว่างแผงวงจร	84
5.11 บล็อกไดอะแกรมของการต่อวงจรทดสอบโหลด เป็นความต้านทาน	85
5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับแรงดันขาออก	87
5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับกำลังขาออก	88
5.14 รูปบน : แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ 50 Hz; 300 V/cm รูปล่าง : กระแสผ่านสาย ; 10 A/cm สเกลเวลา 5 ms/cm	89
5.15 รูปบน : แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ 40Hz; 300V/cm รูปล่าง : กระแสผ่านสาย ; 10A/cm สเกลเวลา 5 ms/cm	90
5.16 รูปบน : แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ 20Hz; 300V/cm รูปล่าง : กระแสผ่านสาย ; 10A/cm สเกลเวลา 10 ms/cm	91
5.17 รูปบน : แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ 15Hz; 300V/cm รูปล่าง : กระแสผ่านสาย ; 10A/cm สเกลเวลา 20 ms/cm	92

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.18 รูปบน : แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ 10Hz; 300V/cm รูปล่าง : กระแสผ่านสาย ; 10A/cm สเกลเวลา 20ms/cm	93
5.19 บล็อกไดอะแกรมการต่อวงจรของสองมอเตอร์ 5.5 แรงม้า	94
5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับแรงดันขาออก	96
5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับกำลังขาออก	96
5.22 รูปบน : แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ 50Hz; 500V/cm รูปล่าง : กระแสผ่านสาย ; 10A/cm สเกลเวลา 5 ms/cm	97
5.23 รูปบน : แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ 40 Hz; 500V/cm รูปล่าง : กระแสผ่านสาย ; 10A/cm สเกลเวลา	98
5.24 รูปบน : แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ 20Hz; 500V/cm รูปล่าง : กระแสผ่านสาย ; 5 A/cm สเกลเวลา 10 ms/cm	99
5.25 รูปบน : แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ 15Hz; 500V/cm รูปล่าง : กระแสผ่านสาย ; 5A/cm สเกลเวลา 20 ms/cm	100
5.26 รูปบน : แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ 15Hz; 500v/cm รูปล่าง : กระแสผ่านสาย ; 2 A/cm สเกลเวลา 20 ms/cm	101