

การแก้ไขผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสเตเตอร์สำหรับ
ระบบควบคุมเวกเตอร์ไร้เซ็นเซอร์วัดความเร็วที่ใช้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ



นาย นิธิสาร ฉนกร

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

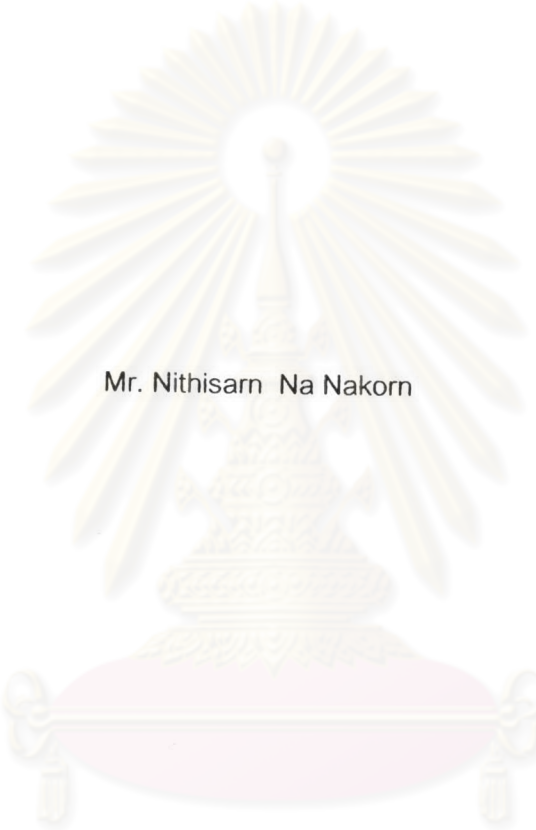
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4984-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

121336581

A METHOD TO ALLEVIATE EFFECT OF STATOR RESISTANCE VARIATION ON
AN INDUCED-VOLTAGE-BASED SPEED-SENSORLESS VECTOR CONTROL SYSTEM



Mr. Nithisarn Na Nakorn

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4984-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การแก้ไขผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสเตเตอร์
สำหรับ ระบบควบคุมเวกเตอร์ไร้เซ็นเซอร์วัดความเร็วที่ใช้แรงเคลื่อน
เหนี่ยวนำ

โดย

นาย นิธิสาร ณ นคร


สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

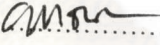
อาจารย์ที่ปรึกษา

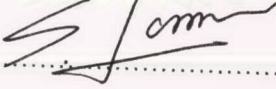
อาจารย์ ดร. สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์

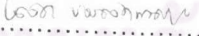
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. เตีรก ลาวันย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ยุทธนา กุลวิฑิต)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เดวิด บรรเจิดพงษ์ชัย)

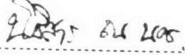
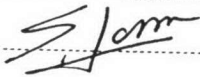
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4370363721: MAJOR POWER ELECTORNICSS

KEY WORD: SPEED SENSORLESS / STATOR RESISTANCE ESTIMATION / STABILITY / SENSITIVITY
/ MRAS

NITHISARN NA NAKORN: A METHOD TO ALLEVIATE EFFECT OF STATOR RESISTANCE VARIATION ON AN INDUCED-VOLTAGE-BASED SPEED-SENSORLESS VECTOR CONTROL SYSTEM. THESIS ADVISOR: SOMBOON SANGWONGWANICH, D.Eng., 87 pp. ISBN 974-17-4984-8.

This thesis investigates the effect of stator resistance variation of an induction motor on an induced-voltage-based speed-sensorless vector control system, and proposes an approach to improve of the sensorless system to deal with such an effect. Two methods to alleviate the problem are then proposed. The first method reduces the sensitivity of the speed estimator against the resistance variation by designing a robust feedback matrix gain for the speed estimator. On the other hand, the second method reduces the parameter error by estimating both the rotor speed and the stator resistance simultaneously. To cope with the stability problem, the thesis also introduces a stability analysis method for the simultaneous estimation of both the speed and stator resistance, and obtains a practical and completes stability condition. The derived stability condition can explain why the system becomes unstable in some operation and is used for stabilizing the speed-sensorless system over the whole operating region. Finally, experimental results are given to confirm the validity of the proposed methods.

Department..... Electrical Engineering..... Student's signature 
Field of study..... Electrical Engineering..... Advisor's signature 
Academic year..... 2003.....

นิตินสาร ฅ นกร : การแก้ไขผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสเตเตอร์ สำหรับระบบควบคุมเวกเตอร์ไร้เซนเซอร์วัดความเร็วที่ใช้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ. (A METHOD TO ALLEVIATE EFFECT OF STATOR RESISTANCE VARIATION ON AN INDUCED-VOLTAGE-BASED SPEED-SENSORLESS VECTOR CONTROL SYSTEM) อ.ที่ปรึกษา: อ.ดร. สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์, 87 หน้า. ISBN 974-17-4984-8.

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีต่อระบบควบคุมเวกเตอร์ไร้เซนเซอร์วัดความเร็วที่ใช้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ และนำเสนอแนวทางการปรับปรุงระบบควบคุมดังกล่าวเพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้น วิธีการลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานสเตเตอร์ที่นำเสนอมีอยู่สองแนวทาง แนวทางแรกเป็นการออกแบบเมตริกซ์ขยายป้อนกลับให้ระบบประมาณค่าความเร็วมีความคงทนและลดความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานสเตเตอร์ สำหรับแนวทางที่สองเป็นการประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์ไปพร้อมๆกับการประมาณค่าความเร็ว ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวคิดในการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบที่มีทั้งการประมาณค่าความเร็วและค่าความต้านทานสเตเตอร์พร้อมกันจนได้เงื่อนไขที่ชัดเจน ซึ่งนำมาสู่การอธิบายปรากฏการณ์การขาดเสถียรภาพของระบบในบางย่านการทำงานและใช้เป็นประโยชน์ในการออกแบบระบบประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์ให้มีเสถียรภาพทุกย่านการทำงาน สุดท้ายได้แสดงผลการทดลองเพื่อยืนยันประสิทธิภาพของวิธีการแก้ไขต่างๆที่นำเสนอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....
ปีการศึกษา.....2546.....
ลายมือชื่อนิติน..... นิติน ฅ นกร.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... S/om.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความช่วยเหลือและเอาใจใส่อย่างดียิ่งของ อาจารย์ คร. สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ที่ให้โอกาส คำแนะนำและความช่วยเหลือด้านต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยและพัฒนาด้านความคิดต่างๆตลอดมา ขอขอบคุณบริษัท เอ.พี. วาย เอ็นจิเนียริง จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์และเครื่องมือในการทำการวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้อง ผู้ซึ่งให้โอกาสทางการศึกษาและเป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมา



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเบื้องต้น.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	4
1.3 ขอบเขตโครงการวิจัย.....	4
1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงาน.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2. การประมาณค่าความเร็วที่ใช้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำและผลกระทบจากความผิดพลาดของค่าความต้านทานสเตเตอร์.....	6
2.1 การประมาณค่าความเร็วที่ใช้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ.....	6
2.2 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำต่อระบบควบคุม.....	10
2.2.1 ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำร่วมสมมูล.....	10
2.2.2 ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน โรเตอร์สมมูล.....	13
2.2.3 ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลรวม.....	15
2.2.4 ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสเตเตอร์.....	16
3. การประมาณค่าความเร็วที่มีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานสเตเตอร์.....	19
3.1 การออกแบบเมตริกซ์ขยายป้อนกลับที่ทำให้ระบบประมาณค่าความเร็วมีความคงทน.....	19
3.1.1 ความมีเสถียรภาพของระบบประมาณค่าความเร็วที่มีการป้อนกลับค่าความผิดพลาดผ่านเมตริกซ์ขยาย.....	20
3.1.2 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสเตเตอร์ต่อระบบประมาณค่าความเร็วที่มีการป้อนกลับค่าความผิดพลาดผ่านเมตริกซ์ขยาย.....	23
3.1.3 การออกแบบเมตริกซ์ขยายป้อนกลับ.....	24
3.2 ผลการทดลอง.....	25

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
4. การประมาณค่าความเร็วที่ใช้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำและมีการประมาณค่าความต้านทาน สเคเตอร์พร้อมกัน.....	34
4.1 วิธีการประมาณค่าความเร็วและค่าความต้านทานสเคเตอร์.....	34
4.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบประมาณค่าความเร็วและความต้านทานสเคเตอร์.....	35
4.2.1 เสถียรภาพของการประมาณค่าความต้านทานสเคเตอร์.....	36
4.2.2 เสถียรภาพของการประมาณค่าความเร็วและค่าความต้านทานสเคเตอร์.....	39
4.3 การออกแบบระบบประมาณค่าความต้านทานสเคเตอร์.....	44
4.4 การออกแบบอัตราขยายปรับตัวของระบบประมาณค่าความต้านทานสเคเตอร์.....	48
4.5 ข้อจำกัดในการประมาณค่าความเร็วและค่าความต้านทานสเคเตอร์.....	50
4.6 ผลการทดลอง.....	51
5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	61
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	61
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในลำดับถัดไป.....	62
รายการอ้างอิง.....	63
บรรณานุกรม.....	64
ภาคผนวก.....	65
ภาคผนวก ก.....	66
ภาคผนวก ข.....	74
ภาคผนวก ค.....	83
ภาคผนวก ง.....	86
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	87

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ ก1 พิกัดและพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้ในงานวิจัย.....	68
ตารางที่ ก2 อัตราขยายปรับตัวและอัตราขยาย PI ที่ใช้ในการทดลอง.....	68



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 1.1 โครงสร้างของระบบควบคุมแวกเตอร์ไร้เซนเซอร์วัดความเร็ว.....	2
รูปที่ 1.2 โครงสร้างระบบประมาณค่าความเร็วโดยใช้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ.....	3
รูปที่ 1.3 โครงสร้างระบบประมาณค่าความเร็วที่มีการป้อนกลับค่าความผิดพลาดผ่านเมตริกซ์ขยาย.....	3
รูปที่ 1.4 โครงสร้างระบบประมาณค่าความเร็วที่การประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์พร้อมกับความเร็ว.....	3
รูปที่ 2.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่อ้างอิงโรเตอร์ฟลักซ์ในสภาวะอยู่ตัว.....	7
รูปที่ 2.2 การประมาณค่าความเร็วที่ใช้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่ใช้หลักการของ MRAS.....	8
รูปที่ 2.3 ความผิดพลาดในการประมาณค่าความเร็วโรเตอร์เมื่อความเหนี่ยวนำร่วมสมมูลเปลี่ยนแปลง.....	12
รูปที่ 2.4 ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าความเร็วโรเตอร์เมื่อความต้านทานโรเตอร์สมมูลเปลี่ยนแปลง.....	14
รูปที่ 2.5 ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าความเร็วโรเตอร์เมื่อความเหนี่ยวนำรั่วไหลรวมเปลี่ยนแปลง.....	16
รูปที่ 2.6 ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าความเร็วเมื่อความต้านทานสเตเตอร์เปลี่ยนแปลง.....	17
รูปที่ 3.1 ระบบประมาณค่าความเร็ว ที่มีการป้อนกลับผ่านเมตริกซ์ขยาย H.....	19
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมระบบประมาณค่าความเร็วบนแกนอ้างอิงสเตเตอร์.....	21
รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมระบบประมาณค่าความเร็วบนแกนอ้างอิงโรเตอร์ฟลักซ์.....	21
รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมระบบประมาณค่าความเร็วบนแกนอ้างอิงโรเตอร์ฟลักซ์ ที่ลดรูปเป็นลักษณะสัญญาณเข้าออกเดี่ยว (SISO).....	22
รูปที่ 3.5 ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าความเร็วของระบบประมาณค่าความเร็วเดิมที่ไม่มีเมตริกซ์ขยาย (ซ้าย) และระบบที่มีเมตริกซ์ขยาย ตามที่ออกแบบ (ขวา).....	25
รูปที่ 3.6 ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดและความเร็วของมอเตอร์เมื่อไม่มีเมตริกซ์ขยายป้อนกลับ และ $\Delta R_s = -8\%$	27
รูปที่ 3.7 ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดและความเร็วของมอเตอร์เมื่อไม่มีเมตริกซ์ขยายป้อนกลับ และ $\Delta R_s = +14\%$	28
รูปที่ 3.8 ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดและความเร็วของมอเตอร์เมื่อมีเมตริกซ์ขยายป้อนกลับ และ $\Delta R_s = -8\%$	29

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 3.9 ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดและความเร็วของมอเตอร์ เมื่อมีเมตริกซ์ขยายป้อนกลับ และ $\Delta R_s = +14\%$	30
รูปที่ 3.10 ผลตอบสนองของสภาวะชั่วครู่ขณะเร่งความเร็วของมอเตอร์จาก 200 rpm ไป 1200 rpm ($\Delta R_s = 0$)	31
รูปที่ 3.11 ผลตอบสนองของสภาวะชั่วครู่ขณะเร่งความเร็วของมอเตอร์จาก 1200 rpm ไป 200 rpm ($\Delta R_s = 0$)	31
รูปที่ 3.12 ผลตอบสนองของสภาวะชั่วครู่ขณะกลับทิศความเร็วของมอเตอร์จาก +1450 rpm ไป -1450 rpm ($\Delta R_s = 0$)	32
รูปที่ 3.13 ผลตอบสนองของสภาวะชั่วครู่ขณะกลับทิศความเร็วของมอเตอร์จาก -1450 rpm ไป +1450 rpm ($\Delta R_s = 0$)	32
รูปที่ 3.14 ผลตอบสนองของสภาวะชั่วครู่ขณะใส่โหลดพิกัดเมื่อมอเตอร์ทำงานที่ความเร็ว 200 rpm ($\Delta R_s = 0$)	33
รูปที่ 3.15 ผลตอบสนองของสภาวะชั่วครู่ขณะใส่โหลดพิกัดเมื่อมอเตอร์ทำงานที่ความเร็ว 1200 rpm ($\Delta R_s = 0$)	33
รูปที่ 4.1 ระบบประมาณค่าความเร็วและค่าความต้านทานสเตเตอร์.....	35
รูปที่ 4.2 วงรอบของการประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์.....	36
รูปที่ 4.3 ผลจำลองการทำงานของระบบประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์ ที่ใช้เมตริกซ์ ขยาย K_2 เท่ากับ K_1 ที่ความเร็ว 200 rpm โหลด +10 Nm.....	38
รูปที่ 4.4 ผลจำลองการทำงานของระบบประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์ ที่ใช้เมตริกซ์ ขยาย K_2 เท่ากับ K_1 ที่ความเร็ว 200 rpm โหลด -10 Nm.....	38
รูปที่ 4.5 วงรอบการประมาณค่าความเร็วและค่าความต้านทานสเตเตอร์พร้อมกัน.....	39
รูปที่ 4.6 ตำแหน่งเชิงมุมของสเปซเวกเตอร์ต่างๆ บนแกนอ้างอิงโรเตอร์ฟลักซ์.....	42
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของย่านการทำงานของมอเตอร์กับเครื่องหมายของตัวแปร ความเร็วเชิงมุม.....	44
รูปที่ 4.8 ผลจำลองการทำงานของระบบประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์ ที่ใช้เมตริกซ์ ขยาย K_2 ดังสมการ(4.31) ที่ความเร็ว 200 rpm โหลด +10 Nm.....	46
รูปที่ 4.9 ผลจำลองการทำงานของระบบประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์ ที่ใช้เมตริกซ์ ขยาย K_2 ดังสมการ(4.31) ที่ความเร็ว 200 rpm โหลด -10 Nm.....	46
รูปที่ 4.10 วงรอบการประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์บนแกนอ้างอิงกระแสสเตเตอร์.....	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.11 วงรอบประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์แบบ SISO.....	49
รูปที่ 4.12 รูปคลื่นขณะทำการประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์ที่ความเร็ว 200 rpm โดยใส่โหลดพิกัด +10 Nm. และ $\Delta R_s = -8\%$	52
รูปที่ 4.13 รูปคลื่นขณะทำการประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์ที่ความเร็ว 1200 rpm โดยใส่โหลดพิกัด +10 Nm. และ $\Delta R_s = -8\%$	52
รูปที่ 4.14 รูปคลื่นขณะทำการประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์ที่ความเร็ว 200 rpm โดยใส่โหลดพิกัด -10 Nm. และ $\Delta R_s = -8\%$	53
รูปที่ 4.15 รูปคลื่นขณะทำการประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์ที่ความเร็ว 1200 rpm โดยใส่โหลดพิกัด -10 Nm. และ $\Delta R_s = -8\%$	53
รูปที่ 4.16 รูปคลื่นขณะทำการประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์ที่ความเร็ว 200 rpm โดยใส่โหลดพิกัด +10 Nm. และ $\Delta R_s = +14\%$	54
รูปที่ 4.17 รูปคลื่นขณะทำการประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์ที่ความเร็ว 1200 rpm โดยใส่โหลดพิกัด +10 Nm. และ $\Delta R_s = +14\%$	54
รูปที่ 4.18 รูปคลื่นขณะทำการประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์ที่ความเร็ว 200 rpm โดยใส่โหลดพิกัด -10 Nm. และ $\Delta R_s = +14\%$	55
รูปที่ 4.19 รูปคลื่นขณะทำการประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์ที่ความเร็ว 1200 rpm โดยใส่โหลดพิกัด -10 Nm. และ $\Delta R_s = +14\%$	55
รูปที่ 4.20 ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดและความเร็วของมอเตอร์ เมื่อมีการประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์.....	56
รูปที่ 4.21 ผลตอบสนองชั่วครู่ขณะเร่งความเร็วของมอเตอร์จาก 200 rpm ไป 1200 rpm เมื่อมีการประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์.....	57
รูปที่ 4.22 ผลตอบสนองชั่วครู่ขณะเร่งความเร็วของมอเตอร์จาก 1200 rpm ไป 200 rpm เมื่อมีการประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์.....	57
รูปที่ 4.23 ผลตอบสนองสถานะชั่วครู่ขณะกลับทิศความเร็วของมอเตอร์ +1450 rpm ไป -1450 rpm ขณะไร้โหลด เมื่อมีการประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์.....	58
รูปที่ 4.24 ผลตอบสนองสถานะชั่วครู่ขณะกลับทิศความเร็วของมอเตอร์ -1450 rpm ไป +1450 rpm ขณะไร้โหลด เมื่อมีการประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์.....	58
รูปที่ 4.25 ผลตอบสนองสถานะชั่วครู่ขณะกลับทิศความเร็วของมอเตอร์ +200 rpm ไป -200 rpm ที่โหลดพิกัด เมื่อมีการประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์.....	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.26 ผลตอบสนองสถานะชั่วครู่ขณะกลับทิศความเร็วของมอเตอร์ -200 rpm ไป +200 rpm ที่โหลดพิกัด เมื่อมีการประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์.....	59
รูปที่ 4.27 ผลตอบสนองสถานะชั่วครู่ขณะใส่โหลดพิกัดแบบขั้นให้กับมอเตอร์ที่ความเร็ว 200 rpm เมื่อมีการประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์.....	60
รูปที่ 4.28 ผลตอบสนองสถานะชั่วครู่ขณะใส่โหลดพิกัดแบบขั้นให้กับมอเตอร์ที่ความเร็ว 1200 rpm เมื่อมีการประมาณค่าความต้านทานสเตเตอร์.....	60
รูปที่ ก.1 โครงสร้างฮาร์ดแวร์ของระบบที่ใช้ในการทดสอบ.....	67
รูปที่ ก.2 ไดอะแกรมสถานะและการเรียกใช้อินเทอร์พรีต.....	69
รูปที่ ก.3 ไดอะแกรมเวลาของซอฟต์แวร์ส่วนการควบคุมกระแส.....	72
รูปที่ ก.4 ไดอะแกรมเวลาของซอฟต์แวร์ส่วนการควบคุมความเร็ว.....	73

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย