ระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเวกเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

นาย โสภณ สมัยรัฐ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2538

ISBN 974-631-966-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16716140

VECTOR CONTROL OF AN INDUCTION MOTOR USING A MICROCONTROLLER

MR. SOPON SMAIRATH

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974-631-966-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์ : ระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเวกเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
โดย : นาย โสภณ สมัยรัฐ
ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. สมบูรณ์ แสงวงค์วาณิชย์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. โคทม อารียา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. สมบูรณ์ แสงวงค์วาณิชย์)

.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. มงคล เดชนครินทร์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุทธนา กุลวิทิต)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

โสภณ สมัยรัฐ : ระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเวกเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (VECTOR CONTROL OF AN INDUCTION MOTOR USING A MICROCONTROLLER) อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร. สมบูรณ์ แสงวงค์วาณิชย์, 84 หน้า. ISBN 974-631-966-3

วิทยานิพนธ์นี้กล่าวถึงการออกแบบ และสร้าง ระบบควบคุมแบบเวกเตอร์สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ เพื่อเป็นการปรับปรุงการควบคุมมอเตอร์ แทนการควบคุมแบบวงรอบเปิด V/F ซึ่งมีลักษณะการตอบสนองของความเร็วต่อคำสั่งและโหลดได้ไม่ดี ระบบควบคุมแบบเวกเตอร์ที่เสนอ จะทำการควบคุมแรงดันของอินเวอร์เตอร์ ด้วยหลักการแยกการควบคุมกระแสกระตุ้นที่สร้างฟลักซ์ในโรเตอร์และกระแสที่ทำให้เกิดแรงบิดให้มีอิสระต่อกัน กระแสทั้งสองจะมีทิศตั้งฉากกัน ทำให้ได้ลักษณะการควบคุมที่คล้ายคลึงกับมอเตอร์กระแสตรง ระบบควบคุมในที่นี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์โดยตรง โดยอาศัยหลักการของสเปซเวกเตอร์ (Space Vector) บนแกนอ้างอิงสเตเตอร์ซึ่งอยู่กับที่ ผลการทดสอบที่ได้แสดงถึงสมรรถนะของระบบที่ได้พัฒนาขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต โสภณ สมัยรัฐ

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2537 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C317756 : MAJOR POWER ELECTRONICS
KEY WORD: VOLTAGE VECTOR/ VECTOR CONTROL/ MICROCONTROLLER/SELF-COMMISSIONING
SOPON SMAIRATH : VECTOR CONTROL OF AN INDUCTION MOTOR USING A MICROCONTROLLER. THESIS ADVISOR : DR. SOMBOON SANGWONGWANICH 84 pp. ISBN 974-631-966-3

This thesis presents a design and implementation method of vector control of an induction motor using a microcontroller. Its responses to speed command and load change are superior to those of the conventional control method with constant V/F. The proposed system controls stator voltage according to the decoupling control method. As a result, independent control of orthogonal field and torque currents is then achieved. The so-controlled induction motor then behaves like a separately excited direct current motor. Implementation is done by using a microcontroller to directly generate the pulse-width modulation pattern based on the voltage space vector expressed in the stationary stator reference frame. Experimental results verify the feasibility of the proposed system.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต โสภณ สมัยรัฐ

สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2537 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลือและเอาใจใส่อย่างดียิ่งของ อาจารย์ ดร. สมบูรณ์ แสงวงค์วาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ที่ให้คำแนะนำตลอดจนความช่วยเหลือต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยตลอดมา อีกทั้งท่านอาจารย์ทั้งหลายที่ให้วิชาความรู้ตั้งแต่อดีตจนกระทั่งปัจจุบัน ตลอดจนทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดาของข้าพเจ้า ผู้ซึ่งให้โอกาสทางการศึกษา ให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้าน และให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา

โสภณ สมัยรัฐ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญเรื่อง	ช
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฌ

บทที่

1 บทนำ 1
2 ทฤษฎีการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเวกเตอร์ 6
3 อินเวอร์เตอร์แบบเวกเตอร์แรงดัน 21
4 ผลการทดสอบระบบ 36
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 64
รายการอ้างอิง 66
ภาคผนวก 68
ประวัติผู้เขียน 73

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 แรงดันในแกน d-q ที่ต้องชดเชยตามมุมของเวกเตอร์กระแสสเตเตอร์..... 51

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

1.1 การควบคุมแบบ V/F 2

2.1 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส แบบกรงกระรอก 8

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมต่างๆ ของเวกเตอร์ของกระแส 11

2.3 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองของโรเตอร์ฟลักซ์ 11

2.4 บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่จ่ายด้วยแหล่งจ่ายแรงดัน 13

2.5 บล็อกไดอะแกรมหลังจากชดเชยแรงดันเหนี่ยวนำในส่วนที่เชื่อมโยง 14

2.6 บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ป้อนด้วยแหล่งจ่ายแรงดัน โดยการแยกการควบคุมให้มีอิสระต่อกัน ในกรณีที่ละเลยการล้าหลังของกระแสกระตุ้น 15

2.7 โครงสร้างของระบบควบคุมแบบเวกเตอร์ด้วยแหล่งจ่ายแรงดัน แบบแยกการควบคุมให้มีอิสระต่อกัน (Decoupling control) 17

2.8 ผลการจำลองการเร่งความเร็วจาก 500->1500 rpm 18

2.9 ผลการจำลองการลดความเร็วจาก 1500->500 rpm 18

2.10 ผลการจำลองการกลับทิศทางการหมุน -1500->1500 rpm 18

2.11 ผลการจำลองการเพิ่มโหลดแบบขั้นบันได 19

2.12 ผลการจำลองการลดโหลดแบบขั้นบันได 19

2.13 ผลการจำลองการเร่งความเร็วจาก 1000->1100 rpm 19

2.14 ผลการจำลองการลดความเร็วจาก 1100->1000 rpm 20

3.1 (ก) แบบจำลองชุดอินเวอร์เตอร์ 21

(ข) เวกเตอร์แรงดันของชุดอินเวอร์เตอร์ 21

3.2 ส่วนประกอบของเวกเตอร์แรงดัน 22

3.3 เวกเตอร์แรงดันบนแกนอ้างอิงสเตเตอร์ (d-q) 24

3.4 แผนผังเวลารูปแบบการสวิทช์ 25

3.5 เวกเตอร์แรงดันบนแกนอ้างอิง d-q และแกนอ้างอิง α–β 25

3.6 แผนภาพวิธีการหาเซ็กเตอร์ของเวกเตอร์แรงดัน 26

3.7 บล็อกไดอะแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบบอร์ดเดียว 27

3.8 ภาคกำลัง 28

3.9 สัญญาณ PWM ขับนำเกทที่ความถี่ 50 Hz 29

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.10 แรงดันระหว่างสายของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 50 Hz 30
3.11 รูปคลื่นของกระแสที่ความถี่ 50 Hz 30
3.12 ชุดตรวจจับความเร็ว 31
3.13 ภาคแสดงความเร็วแบบตัวเลขดิจิตอลและแอนะล็อก 32
3.14 ชุดตรวจจับกระแส 33
3.15 โครงสร้างของระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเวกเตอร์ 33
3.16 ไดอะแกรมเวลาของซอฟต์แวร์โมดูล 35
4.1 การทดสอบการเร่งความเร็วจาก 500 - 1420 rpm 37
4.2 การทดสอบการลดความเร็วจาก 1420 - 500 rpm 38
4.3 บล็อกไดอะแกรมของวงจรตรวจจับแรงดันไฟตรง 39
4.4 การทดสอบการเร่งความเร็วมื่อมีการชดเชยแรงดันไฟตรง 40
4.5 การทดสอบการลดความเร็วมื่อมีการชดเชยแรงดันไฟตรง 41
4.6 การทดสอบการกลับทิศทางการหมุนจาก -1420 - 1420 rpm 43
4.7 กระแสของมอเตอร์ที่ไม่มีการชดเชยการประวิงเวลาที่ความถี่ 50 Hz 44
4.8 กระแสของมอเตอร์ที่ไม่มีการชดเชยการประวิงเวลาที่ความถี่ 25 Hz 44
4.9 กระแสของมอเตอร์ที่ไม่มีการชดเชยการประวิงเวลาที่ความถี่ 16.7 Hz 45
4.10 กระแสของมอเตอร์ที่ไม่มีการชดเชยการประวิงเวลาที่ความถี่ 3.3 Hz 45
4.11 กระแสของมอเตอร์ที่ไม่มีการชดเชยการประวิงเวลาที่ความถี่ 1.6 Hz 46
4.12 กระแสของมอเตอร์ที่ไม่มีการชดเชยการประวิงเวลาที่ความถี่ 0.3 Hz 46
4.13 ไดอะแกรมเวลาแสดงผลของการประวิงเวลา 47
4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันที่หายไป 47
4.15 แสดงแรงดันเฟสที่หายไปเทียบกับจุด n ของคาปาซิเตอร์ 48
4.16 แรงดันเฟสของแรงดันที่หายไป 49
4.17 บล็อกไดอะแกรมของการชดเชยการประวิงเวลา 51
4.18 รูปคลื่นกระแสในกรณีกลับทิศการสหมุน หลังการชดเชยผลการประวิงเวลา 52
4.19 กระแสของมอเตอร์ที่มีการชดเชยการประวิงเวลาที่ความถี่ 50 Hz 53
4.20 กระแสของมอเตอร์ที่มีการชดเชยการประวิงเวลาที่ความถี่ 25 Hz 54
4.21 กระแสของมอเตอร์ที่มีการชดเชยการประวิงเวลาที่ความถี่ 16.7 Hz 54
4.22 กระแสของมอเตอร์ที่มีการชดเชยการประวิงเวลาที่ความถี่ 3.3 Hz 55

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.23 กระแสของมอเตอร์ที่มีการชดเชยการประวิงเวลาที่ความถี่ 1.6 Hz..... 55
4.24 กระแสของมอเตอร์ที่มีการชดเชยการประวิงเวลาที่ความถี่ 0.3 Hz..... 56
4.25 วงจรสมมูลของมอเตอร์ที่มีการสูญเสียในแกน..... 57
4.26 แบบจำลองขดลวดของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีการสูญเสียในแกน..... 57
4.27 ผลการจำลองที่มอเตอร์คำนึงถึงผลของการสูญเสียของแกนเหล็ก..... 58
4.28 แสดงระบบการโหลดแบบขั้น..... 59
4.29 การทดสอบการเพิ่มโหลดแบบขั้น..... 60
4.30 การทดสอบการลดโหลดแบบขั้น..... 61
4.31 การทดสอบการเร่งความเร็วแบบขั้นในช่วงแคบจาก 1000 - 1100 rpm..... 62
4.32 การทดสอบการลดความเร็วแบบขั้นในช่วงแคบจาก 1100 - 1000 rpm..... 63

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University