

ระบบควบคุมเวกเตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันไร้เซนเซอร์วัดความเร็วสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ

นาย สุรพงศ์ สุวรรณกวิน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539

ISBN 974-634-940-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**A VOLTAGE-SOURCE-TYPE SPEED-SENSORLESS VECTOR CONTROL
SYSTEM FOR INDUCTION MOTORS**

MR. SURAPONG SUWANKAWIN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Electrical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-634-940-6

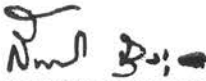
หัวข้อวิทยานิพนธ์ : ระบบควบคุมมอเตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันไว้เช่นเซอร์วัดความเร็วสำหรับ
มอเตอร์เหนี่ยวนำ

โดย : นาย สุรพงศ์ สุวรรณกวิน

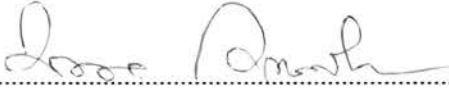
ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

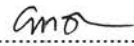

..... คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ จงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. มงคล เชนครินทร์)


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


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. โคทม อาริยา)


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



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

สุรพงศ์ สุวรรณกวิน : ระบบควบคุมเวกเตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันไร้เซนเซอร์วัดความเร็วสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ (A VOLTAGE-SOURCE TYPE SPEED-SENSORLESS VECTOR CONTROL SYSTEM FOR INDUCTION MOTORS) อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์ 100 หน้า. ISBN 974-634-940-6

วิทยานิพนธ์นี้แสดงถึงวิธีใหม่ในการออกแบบและสร้างระบบควบคุมเวกเตอร์ไร้เซนเซอร์วัดความเร็วสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ ระบบนี้มีการตอบสนองต่อคำสั่งและโหลดที่ดีโดยยังคงมีลักษณะการควบคุมเป็นแบบวงรอบเปิด เพื่อให้สามารถนำไปใช้ทดแทนการควบคุมแบบ V/F ได้ด้วย งานวิจัยที่นำเสนอนี้ได้ศึกษาถึงขีดจำกัดในการทำงานโดยการวิเคราะห์ถึงเสถียรภาพของระบบประมาณค่าความเร็วด้วยวิธีพารามตริก และเสนอวิธีการแก้ไขเพื่อให้ระบบมีช่วงการทำงานที่มีเสถียรภาพกว้างขึ้น นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงหลักเกณฑ์ในการออกแบบระบบประเมินค่าความเร็ว เพื่อให้ระบบโดยรวมมีผลตอบสนองที่ดีเช่นเดียวกับการควบคุมเวกเตอร์แบบดั้งเดิมที่ใช้เซนเซอร์วัดความเร็ว ระบบที่ได้พัฒนาขึ้นยังมีโครงสร้างที่ง่ายต่อการนำไปสร้างจริง ทั้งนี้อาศัยการย้ายระบบประมาณค่าความเร็วไปอยู่บนแกนอ้างอิงเดียวกันกับระบบควบคุมแบบเวกเตอร์ซึ่งอยู่บนแกนหมุนของโรเตอร์ฟลักซ์ แล้วบูรณาการแบบจำลองของมอเตอร์ของระบบย่อยทั้งสองส่วนเข้าด้วยกัน ทำให้ระบบโดยรวมปราศจากความซ้ำซ้อน ซึ่งเป็นการมองระบบแบบองค์รวมแตกต่างจากการมองเป็นส่วน ๆ อย่างที่เป็นมาในอดีต ผลการจำลองการทำงานและผลการทดลองที่ได้ แสดงถึงสมรรถนะของระบบที่ได้พัฒนาขึ้น

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C715888 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: VECTOR CONTROL / SPEED-SENSORLESS / ADAPTIVE CONTROL / STABILITY ANALYSIS

SURAPONG SUWANKAWIN : A VOLTAGE-SOURCE-TYPE SPEED-SENSORLESS VECTOR CONTROL SYSTEM FOR INDUCTION MOTORS.

THESIS ADVISOR : SOMBOON SANGWONGWANICH. 100 PP. ISBN 974-634-940-6

In this thesis we present a novel design and implementation method for a speed- sensorless vector control system of an induction motor. Our aim is to achieve good responses to speed commands and loads with the overall system still being in the open loop configuration, and therefore can replace the existing V/F inverters. The stability limitation of the speed estimation system has been analyzed by the parametric approach, from which we can obtain analytical conditions for stability. Following these conditions, we can enlarge the stable region to render the stability of the speed estimation. We also develop a design guideline for speed estimation system to obtain satisfactory performance comparable to the conventional vector control system with speed-sensor. Furthermore, the structure of the developed system is simple to implement, because we construct the speed estimation subsystem on the same rotor flux reference frame as the vector control subsystem, and then merge the induction motor model of both subsystems together to eliminate model redundancy. The way we view the overall system in the integral sense is different from the fragmental one taken in the past. Simulation and experimental results verify the feasibility of the proposed system.

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา..... 2539

ลายมือชื่อนิสิต..... ส.พ. ส.พ. ส.พ.

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ในโครงการพัฒนางจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่ออุตสาหกรรม พ.ศ. 2539 และโครงการศึกษากันกุฎิ โดยมีอาจารย์ ดร. สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษา ให้ความช่วยเหลือและดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดี ตลอดจนบุคลากรในห้องวิจัยปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์กำลังทุกท่าน ขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา ที่ให้โอกาสทางการศึกษาและเป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมา

สุรพงศ์ สุวรรณกวิน

สารบัญเรื่อง

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญเรื่อง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ซ

บทที่

1 บทนำ.....	1
2 ทฤษฎีการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเวกเตอร์ไร้เซนเซอร์วัดความเร็ว.....	4
3 เสถียรภาพและการออกแบบระบบประเมินความเร็ว.....	16
4 โครงสร้างของระบบควบคุมเวกเตอร์ไร้เซนเซอร์วัดความเร็ว.....	47
5 โครงสร้างฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบ.....	56
6 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ	62
7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	83
รายการอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก.....	87
ประวัติผู้เขียน.....	100

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 ระบบควบคุมแวกเตอร์โดยใช้เซนเซอร์วัดความเร็ว.....	2
1.2 ระบบควบคุมแบบแวกเตอร์ไร้เซนเซอร์วัดความเร็ว.....	2
2.1 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส แบบกรงกระรอก.....	4
2.2 โครงสร้างของระบบสังเกตแบบปรับตัวสำหรับประเมินค่าความเร็ว.....	8
2.3 โครงสร้างของระบบควบคุมแวกเตอร์แบบแรงดันโดยอาศัยการควบคุมแยกอิสระ.....	11
2.4 โครงสร้างของระบบควบคุมความเร็วด้วยระบบควบคุมแบบแวกเตอร์ไร้เซนเซอร์วัดความเร็ว.....	13
2.5 ผลการจำลองการทำงานของระบบควบคุมแวกเตอร์แบบไร้เซนเซอร์วัดความเร็วที่สถานะอยู่ตัว ณ ค่าความเร็วต่างๆ.....	14
2.6 ผลการจำลองการเร่งความเร็วจาก 500->1420 rpm และลดความเร็วจาก 1420->500 rpm. ของระบบควบคุมแบบแวกเตอร์ไร้เซนเซอร์วัดความเร็ว.....	15
2.7 ผลการจำลองการเร่งความเร็วจาก 500->1420 rpm และลดความเร็วจาก 1420->500 rpm ของระบบควบคุมแบบแวกเตอร์โดยใช้เซนเซอร์วัดความเร็ว.....	15
3.1 บล็อกไดอะแกรมของค่าผิดพลาดในระบบประมาณค่าความเร็ว	17
3.2 แสดงกระบวนการแปลงระบบประมาณค่าความเร็วบนแกนสเตเตอร์ไปยังแกนโรเตอร์-ฟลักซ์.....	19
3.3 ระบบประมาณค่าความเร็วบนแกน โรเตอร์ฟลักซ์	19
3.4 วงรอบปิดของระบบประมาณค่าความเร็วแบบสัญญาณเข้าออกเดี่ยว (SISO) บนแกนโรเตอร์ฟลักซ์	20
3.5 ตำแหน่งขั้วและศูนย์ของระบบประมาณค่าความเร็วในขณะที่มีโหลดแบบคีนพลังงานขนาด -10 Nm โดยไม่มีการป้อนกลับ ($K_p=2, K_f=400, H_1' = 0, H_2' = 0$).....	25
3.6 ผลการจำลองการทำงานของระบบในขณะที่มีโหลดแบบคีนพลังงานขนาด -10 Nm โดยไม่มีการป้อนกลับ ($K_p=2, K_f=400, H_1' = 0, H_2' = 0$)	25
3.7 ตำแหน่งขั้วและศูนย์ของระบบประมาณค่าความเร็วในขณะที่มีโหลดแบบคีนพลังงานขนาด -10 Nm โดยมีการป้อนกลับ ($K_p=2, K_f=400, H_1' = 0, H_2' = -0.9 R_s \bullet I$)	26
3.8 ผลการจำลองการทำงานของระบบในขณะที่มีโหลดแบบคีนพลังงานขนาด -10 Nm โดยมีการป้อนกลับ ($K_p=2, K_f=400, H_1' = 0, H_2' = -0.9 R_s \bullet I$)	26
3.9 ตำแหน่งของขั้วและศูนย์ของระบบประมาณค่าความเร็วขณะทำงานในย่านการเบรก	

สารบัญญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
แบบปลั๊กกิ้งโดยไม่มีการป้อนกลับ ($K_p=2, K_f=400, H_1' = 0, H_2' = 0$)	27
3.10 ผลการจำลองการทำงานของระบบขณะทำงานในย่านการเบรกแบบปลั๊กกิ้งโดยไม่มี การป้อนกลับ ($K_p=2, K_f=400, H_1' = 0, H_2' = 0$).....	27
3.11 ตำแหน่งของขั้วและศูนย์ของระบบประมาณค่าความเร็วขณะทำงานในย่านการเบรก แบบปลั๊กกิ้งโดยมีการป้อนกลับ ($K_p=2, K_f=400, H_1' = 0, H_2' = -0.9R_s \bullet I$).....	28
3.12 ผลการจำลองการทำงานของระบบขณะทำงานในย่านการเบรกแบบปลั๊กกิ้งโดยมีการ ป้อนกลับ ($K_p=2, K_f=400, H_1' = 0, H_2' = -0.9R_s \bullet I$).....	28
3.13 การเกิดศูนย์ที่ฝั่งขวาของระนาบจำนวนเชิงซ้อน s ของระบบประมาณค่าความเร็วใน ย่านการทำงานต่างๆของมอเตอร์	29
3.14 ระบบประมาณค่าความเร็วที่มีสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการตรวจจับกระแส	30
3.15 โพลพล็อตของฟังก์ชันโอนย้าย $G'_{22}(s)$ ณ จุดทำงานต่างๆ.....	31
3.16 ผลการจำลองการทำงานของระบบโดยการเร่งความเร็ว 500->1420 rpm และลดความเร็ว 1420->500 rpm ที่อัตราขยายแบบปรับตัว $K_p=2, K_f=40$	32
3.17 ผลการจำลองการทำงานของระบบโดยการเร่งความเร็ว 500->1420 rpm และลดความเร็ว 1420->500 rpm ที่อัตราขยายแบบปรับตัว $K_p=2, K_f=400$	33
3.18 ผลการจำลองการทำงานของระบบโดยการเร่งความเร็ว 500->1420 rpm และลดความเร็ว 1420->500 rpm ที่อัตราขยายแบบปรับตัว $K_p=2, K_f=800$	34
3.19 โพลพล็อตของฟังก์ชันโอนย้าย $G'_{22}(s)$ ในกรณีที่มีการป้อนกลับ $H_1' = 0,$ $H_2' = -0.9R_s \bullet I$ ณ จุดทำงานต่างๆที่ความถี่สลิป $\omega_s = 13.33rad / s$	35
3.20 ผลการจำลองการทำงานของระบบโดยการเร่งความเร็ว 500->1420 rpm และลดความเร็ว 1420->500 rpm ที่อัตราขยายแบบปรับตัว $K_p=2, K_f=400$ โดยมีการป้อนกลับ $H_1' = 0, H_2' = 0.9R_s \bullet I$	36
3.21 ผลการจำลองการทำงานของระบบโดยการเร่งความเร็ว 500->1420 rpm และลดความเร็ว 1420->500 rpm ที่อัตราขยายแบบปรับตัว $K_p=0.5, K_f=40$	37
3.22 ผลการจำลองการทำงานของระบบโดยการเร่งความเร็ว 500->1420 rpm และลดความเร็ว 1420->500 rpm ที่อัตราขยายแบบปรับตัว $K_p=0.25, K_f=400$	38
3.23 ผลการจำลองการทำงานของระบบโดยการเร่งความเร็ว 500->1420 rpm และลดความเร็ว 1420->500 rpm ที่อัตราขยายแบบปรับตัว $K_p=4, K_f=40$	39
3.24 ผลการจำลองการทำงานของระบบโดยการเร่งความเร็ว 500->1420 rpm และลดความเร็ว	

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
1420->500 rpm ที่อัตราขยายแบบปรับตัว $K_p=4, K_f=400$	40
3.25 โบทพล็อตของฟังก์ชันโอนย้ายวงรอบปิดระหว่างสัญญาณรบกวนกับความเร็วประมาณ ($K_f=400, \omega_m^* = 1420 \text{ rpm}$)	41
3.26 ผลการจำลองการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัวที่ $\omega_m^* = 1420 \text{ rpm}$ ณ อัตราขยาย K_p, K_f ต่างๆ โดยให้สัญญาณออฟเซ็ทของกระแสมีค่าเป็น 0.4 A	43
3.27 ผลการจำลองการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัวที่ $\omega_m^* = 1000 \text{ rpm}$ ณ อัตราขยาย K_p, K_f ต่างๆ โดยให้สัญญาณออฟเซ็ทของกระแสมีค่าเป็น 0.4 A.....	44
3.28 ผลการจำลองการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัวที่ $\omega_m^* = 500 \text{ rpm}$ ณ อัตราขยาย K_p, K_f ต่างๆ โดยให้สัญญาณออฟเซ็ทของกระแสมีค่าเป็น 0.4 A.....	45
3.29 ผลการจำลองการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัวที่ $\omega_m^* = 100 \text{ rpm}$ ณ อัตราขยาย K_p, K_f ต่างๆ โดยให้สัญญาณออฟเซ็ทของกระแสมีค่าเป็น 0.4 A.....	46
4.1 โครงสร้างของระบบควบคุมเวกเตอร์ไร้เซนเซอร์วัดความเร็วทั่วไป	47
4.2 โครงสร้างของระบบควบคุมเวกเตอร์ไร้เซนเซอร์วัดความเร็วที่พัฒนาขึ้นใหม่	48
4.3 ระบบควบคุมเวกเตอร์ไร้เซนเซอร์วัดความเร็วหลังการบูรณาการแบบมีการป้อนกลับใน การควบคุมแยกอิสระ.....	52
4.4 ผลการจำลองการทำงานของระบบที่มีการบูรณาการ โดยทำการเร่งความเร็ว 500->1420 rpm และลดความเร็ว 1420->500 rpm ที่อัตราขยายแบบปรับตัว $K_p=2, K_f=400$	53
4.5 ผลการจำลองการทำงานของระบบที่มีการบูรณาการ ในขณะที่มีโหลดแบบคั่นพลังงาน ขนาด -10 Nm ($K_p=2, K_f=400$)	54
4.6 ผลการจำลองการทำงานของระบบที่มีการบูรณาการ โดยทำการเร่งความเร็ว 500->1420 rpm และลดความเร็ว 1420->500 rpm ที่อัตราขยายแบบปรับตัว $K_p=2, K_f=400$ โดยมีการป้อนกลับ ($H_1 = 0, H_2 = -0.9 R_s \cdot I$).....	55
5.1 รูปแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์สวิตช์กำลังของอินเวอร์เตอร์.....	57
5.2 ส่วนตรวจจับสัญญาณกระแส	57
5.3 ส่วนตรวจจับแรงดันจากแหล่งจ่ายและแรงดันบัสไฟตรง.....	58
5.4 ชุดตรวจจับความเร็ว.....	58
5.5 โครงสร้างของระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเวกเตอร์ไร้เซนเซอร์วัดความเร็ว.....	59
5.6 ไดอะแกรมเวลาของซอฟต์แวร์โมดูล.....	61
6.1 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^*=1420 \text{ rpm}, K_p=0.5$ และ $K_f=40$	64

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.2 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^*=1420$ rpm, $K_p=4$ และ $K_f=40$	64
6.3 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^*=1420$ rpm, $K_p=0.5$ และ $K_f=400$	65
6.4 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^*=1420$ rpm, $K_p=4$ และ $K_f=400$	65
6.5 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^*=1000$ rpm, $K_p=0.5$ และ $K_f=40$	66
6.6 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^*=1000$ rpm, $K_p=4$ และ $K_f=40$	66
6.7 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^*=1000$ rpm, $K_p=0.5$ และ $K_f=400$	67
6.8 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^*=1000$ rpm, $K_p=4$ และ $K_f=400$	67
6.9 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^*=500$ rpm, $K_p=0.5$ และ $K_f=40$	68
6.10 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^*=500$ rpm, $K_p=4$ และ $K_f=40$	68
6.11 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^*=500$ rpm, $K_p=0.5$ และ $K_f=400$	69
6.12 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^*=500$ rpm, $K_p=4$ และ $K_f=400$	69
6.13 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^*=100$ rpm, $K_p=0.5$ และ $K_f=40$	70
6.14 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^*=100$ rpm, $K_p=4$ และ $K_f=40$	70
6.15 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^*=100$ rpm, $K_p=0.5$ และ $K_f=400$	71
6.16 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^*=100$ rpm, $K_p=4$ และ $K_f=400$	71
6.17 ผลการทดสอบระบบโดยการเร่งความเร็วจาก 500->1420 rpm ที่ $K_p=0.5, K_f=40$	72
6.18 ผลการทดสอบระบบโดยการลดความเร็วจาก 1420->500 rpm ที่ $K_p=0.5, K_f=40$	72
6.19 ผลการทดสอบระบบโดยการเร่งความเร็วจาก 500->1420 rpm ที่ $K_p=2, K_f=40$	73
6.20 ผลการทดสอบระบบโดยการเร่งความเร็วจาก 1420->500 rpm ที่ $K_p=2, K_f=40$	73
6.21 ผลการทดสอบระบบโดยการเร่งความเร็วจาก 500->1420 rpm ที่ $K_p=4, K_f=40$	74
6.22 ผลการทดสอบระบบโดยการเร่งความเร็วจาก 1420->500 rpm ที่ $K_p=4, K_f=40$	74
6.23 ผลการทดสอบระบบโดยการเร่งความเร็วจาก 500->1420 rpm ที่ $K_p=4, K_f=40$ โดยทำ การเปรียบเทียบกระแสจริง (i_{su}) กับกระแสประเมิน (\hat{i}_{su})	75
6.24 ผลการทดสอบระบบโดยการลดความเร็วจาก 1420->500 rpm ที่ $K_p=4, K_f=40$ โดยทำ การเปรียบเทียบกระแสจริง (i_{su}) กับกระแสประเมิน (\hat{i}_{su})	75
6.25 ผลการทดสอบระบบโดยการเร่งความเร็วจาก 500->1420 rpm ที่ $K_p=0.5, K_f=400$	76
6.26 ผลการทดสอบระบบโดยการลดความเร็วจาก 1420->500 rpm ที่ $K_p=0.5, K_f=400$	76
6.27 ผลการทดสอบระบบโดยการเร่งความเร็วจาก 500->1420 rpm ที่ $K_p=2, K_f=400$	77
6.28 ผลการทดสอบระบบโดยการลดความเร็วจาก 1420->500 rpm ที่ $K_p=2, K_f=400$	77

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.29 ผลการทดสอบระบบโดยการเร่งความเร็วจาก 500->1420 rpm ที่ $K_p=4, K_f=400$	78
6.30 ผลการทดสอบระบบโดยการลดความเร็วจาก 1420->500 rpm ที่ $K_p=4, K_f=400$	78
6.31 ผลการทดสอบระบบโดยการเร่งความเร็วจาก 500->1420 rpm ที่ $K_p=2, K_f=800$	79
6.32 ผลการทดสอบระบบโดยการลดความเร็วจาก 1420->500 rpm ที่ $K_p=2, K_f=800$	79
6.33 ผลการทดสอบระบบโดยการเร่งความเร็วจาก 500->1420 rpm ที่ $K_p=4, K_f=800$	80
6.34 ผลการทดสอบระบบโดยการลดความเร็วจาก 1420->500 rpm ที่ $K_p=4, K_f=800$	80
6.35 ผลการทดสอบระบบแวกเตอร์ที่ใช้เซนเซอร์วัดความเร็วโดยการเร่งความเร็วจาก 500-> 1420 rpm	81
6.36 ผลการทดสอบระบบแวกเตอร์ที่ใช้เซนเซอร์วัดความเร็วโดยการลดความเร็วจาก 1420-> 500 rpm	81
6.37 ผลการทดสอบระบบโดยการกลับทิศ 1420 -> -1420 rpm.....	82
6.38 ผลการทดสอบระบบแวกเตอร์ที่ใช้เซนเซอร์วัดความเร็วโดยการกลับทิศ 1420 -> -1420 rpm	82