ระบบควบคุมการลื่นไถลขณะห้ามล้อ

นายสมบุญ ทุนทวีสิน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2539

ISBN 974-633-535-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17011942

AN AUTOMOTIVE SLIP CONTROL BRAKING SYSTEM

Mr. Sombun Tundhaveesin

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Mechanical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-633-535-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบควบคุมการลื่นไถลขณะห้ามล้อ
โดย	นายสมบุญ ทุนทวีสิน
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ พูลพร แสงบางปลา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.มานิจ ทองประเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ พูลพร แสงบางปลา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

ปราโมทย์ เดชะอำไพ ..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ เดชะอำไพ)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สมบุญ ทุนทวีสิน : ระบบควบคุมการลื่นไถลขณะห้ามล้อ (AN AUTOMOTIVE SLIP CONTROL BRAKING SYSTEM) อ.ที่ปรึกษา : รศ. พูลพร แสงบางปลา, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร. วิทยา ยงเจริญ, 159 หน้า. ISBN 974-633-535-9

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาระบบควบคุมการลื่นไถลในขณะห้ามล้อ โดยจัดทำแบบจำลองระบบ ABS และออกแบบระบบควบคุมเป็นระบบไฮดรอลิกที่มีลิ้นเข็มเซอร์โวเป็นอุปกรณ์ดัดต่อระหว่างแม่ปั๊มห้ามล้อกับก้ามปูห้ามล้อ และมีตัวกระตุ้นแบบโซลินอยด์เป็นอุปกรณ์สร้างความดัน ตัวกระตุ้นแบบโซลินอยด์ที่สร้างขึ้นมีคุณลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น การควบคุมเป็นแบบ PID ใช้คอมพิวเตอร์สั่งงานในลักษณะไม่ต่อเนื่องมีคาบเวลาสุ่ม 20 มิลลิวินาที การทดสอบทำบนแบบจำลองระบบ ABS โดยการปรับภาระน้ำหนักกดตั้งแต่ 300 - 600 กิโลกรัม เมื่อทำการห้ามล้อ ระบบ ABS สามารถควบคุมล้อที่ลื่นไถลให้อยู่ในช่วง 5 - 20 %การลื่นไถล และไม่ปรากฏว่าพบอาการเต้นย้อนกลับมายังคันเหยียบห้ามล้อ

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C418113 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEY WORD: ANTILOCK BRAKE SYSTEM / SOLENOID / SENSOR / CONTROL
SOMBUN TUNDHAVEESIN : AN AUTOMOTIVE SLIP CONTROL BRAKING SYSTEM : ASSOC. PROF. PHULPORN SANGBANGPLA AND ASSOC. PROF. WITHAYA YONGCHAREON, Ph.D. 159 PP. ISBN 974-633-535-9

This research aims to study slip control braking system by making an ABS model and designing a hydraulic control system. The system has a servo needle valve as an shut - off valve, located between the master cylinder and the caliper and a non - linear solenoid actuator to build up pressure. This system is controlled by computer using discrete PID action, with 20 millisecond - sampling period. The test was done on the ABS model by varying the load from 300 - 600 kilograms. When brake is applied. The slip wheel can be controlled by the ABS to be in the range of 5 - 20 percentage slip ratio without kickback action against the pedal brake.

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้โดยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ พูลพร แสงบางปลา และรองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ ที่ท่านได้สละเวลาให้คำแนะนำปรึกษา และให้ข้อคิดต่าง ๆ เกี่ยวกับการดำเนินงานวิจัย ด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ เดชะอำไพ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธีรศิลป์ ทุมวิภาต อาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ให้คำแนะนำปรึกษาและกำลังใจเสมอมา , บริษัท สยามนิสสัน ออโตโมบิล จำกัด ช่วยอนุเคราะห์อุปกรณ์ชิ้นส่วนรถกระบะ BIG M , คุณวันชัย คหะแก้ว ผู้ช่วยรองผู้จัดการใหญ่ด้านวิศวกรรม และคุณวัชระ จารึก ผู้จัดการส่วนทดสอบรถยนต์ บริษัท สยามนิสสัน ออโตโมบิล จำกัด ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับอุปกรณ์ชิ้นส่วนรถกระบะ BIG M , คุณศักดิ์สิทธิ์ งามแดน ผู้จัดการด้านวิจัยและพัฒนา บริษัท จี.อี.พี. จำกัด , คุณวรวุฒิ สุวัฒนพันธุ์กุล ผู้จัดการฝ่ายเทคนิค บริษัท จันทร์เกษมอินเตอร์เนทชั่นแนล จำกัด และคุณเมธี มนตรีโชค เจ้าของร้านรอยัล เอ็นจิเนียริ่ง ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย และคุณองุ่น โสดาดี เจ้าหน้าที่ประสานงาน ฯ ฝ่ายบัณฑิตศึกษา ให้คำแนะนำปรึกษา

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และขอขอบคุณ พี่ชาย ที่ได้ส่งเสริมและสนับสนุนในทุก ๆ สิ่ง พร้อมทั้งให้กำลังใจมาตลอดจนสำเร็จการศึกษา

นายสมบุญ ทุนทวีสิน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ช

สารบัญภาพ..... ช

บทที่

1. บทนำ..... 1

2. ระบบการควบคุมการลื่นไถลขณะห้ามล้อ..... 6

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตัวกระตุ้นแบบโซลินอยด์และลิ้นเข็มเซอร์โว..... 23

4. การควบคุมแบบป้อนกลับ..... 37

5. การทดลอง..... 48

6. ผลการทดลอง..... 58

7. สรุปและข้อเสนอแนะ..... 74

รายการอ้างอิง..... 78

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ทรานสดิวเซอร์ความดัน..... 79

ภาคผนวก ข. การออกแบบตัวกระตุ้นแบบโซลินอยด์..... 88

ภาคผนวก ค. เพาเวอร์แอมปลิไฟเออร์..... 93

ภาคผนวก ง. ชุดขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมน แอมปลิไฟเออร์..... 96

ภาคผนวก จ. ชุดดีโคดเดอร์..... 99

ภาคผนวก ฉ. การ์ดอินเตอร์เฟส..... 100

ภาคผนวก ช. ผังโปรแกรมโครงสร้าง..... 102

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ซ. การตอบสนองของล้อทั้งสอง และอัตราการลื่นไถล..... 148

ภาคผนวก ฌ. ภาพแสดงอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการวิจัย..... 156

ประวัติผู้เขียน..... 159

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 การปรับค่าของซิกเลอร์ - นิโคลส์ โดยวิธีพรอซเอซ รีเอคชั่น..... 45

4.2 การปรับค่าของซิกเลอร์ - นิโคลส์ โดยวิทีอัลทิเมท ไซเคิล..... 45

6.1 ตารางค่าเกน (gain schedule)..... 62

6.1 ต่อ ตารางค่าเกน (gain schedule)..... 63

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงแรงห้ามล้อของยางล้อและแรงด้านข้างของยางล้อ..... 7

2.2 เส้นโค้ง $\mu - \lambda$ ที่แปรเปลี่ยนตามสภาพถนนที่มีสภาวะแห้ง, เปียก และน้ำแข็ง..... 8

2.3 แสดงเส้นโค้ง $\mu - \lambda$ ที่ความเร็วต่างกัน..... 8

2.4 แสดงคุณลักษณะเส้นโค้ง $\mu - \lambda$ ของยางล้อกับพื้นถนน ช่วงการลื่นไถลที่สามารถเชื่อถือได้อยู่ที่ 5 - 20% การลื่นไถล..... 9

2.5 แสดงระบบไฮดรอลิกอย่างง่าย..... 9

2.6 แสดงวงจรระบบห้ามล้อ..... 12

2.7 แสดงบล็อคไดอะแกรมของคาลิเปอร์..... 15

2.8 แสดงไดอะแกรมรูปอิสระ (FBD) ของล้อรถยนต์ขณะทำการห้ามล้อ..... 16

2.9 แสดงบล็อคไดอะแกรม การเคลื่อนที่ของล้อรถยนต์..... 17

2.10 แสดงบล็อคไดอะแกรมของการลื่นไถล..... 18

2.11 แสดงไดอะแกรมรูปอิสระ (FBD) ของตัวรถยนต์ขณะทำการห้ามล้อ..... 18

2.12 แสดงบล๊อคไดอะแกรมของการเคลื่อนที่ของรถยนต์..... 19

2.13 แสดงบล๊อคไดอะแกรม แบบจำลองยานยนต์ทางพลศาสตร์..... 21

2.14 แสดงบล็อคไดอะแกรม แบบจำลองยานยนต์ล้อเดียวอย่างง่าย..... 22

3.1 รูปแบบตัวกระตุ้นแบบโซลินอยด์..... 23

3.2 แสดงบล็อคไดอะแกรม ตัวกระตุ้นแบบโซลินอยด์..... 25

3.3 แสดงบล็อคไดอะแกรมของลูกสูบเคลื่อนที่..... 27

3.4 แสดงขนาดมิติ ตัวกระตุ้นแบบโซลินอยด์..... 28

3.5 แสดงบล็อคไดอะแกรม แรงกระทำในตัวกระตุ้นแบบโซลินอยด์..... 31

3.6 แสดงบล็อคไดอะแกรมแบบจำลองคณิตศาสตร์ของตัวกระตุ้น แบบโซลินอยด์..... 31

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.7 รูปแบบลิ้นเข็มเซอร์โวอย่างง่าย..... 32

3.8 แสดงบล็อคไดอะแกรมทางไฟฟ้าของมอเตอร์เซอร์โว..... 33

3.9 แสดงบล็อคไดอะแกรม แรงบิดมอเตอร์..... 33

3.10 แสดงบล็อคไดอะแกรมโวลท์เต็จย้อนกลับของมอเตอร์..... 34

3.11 แสดงลิ้นเข็มเซอร์โว..... 34

3.12 แสดงบล็อคไดอะแกรมของมอเตอร์..... 36

3.13 แสดงบล็อคไดอะแกรม ลิ้นเข็มเซอร์โว..... 36

4.1 วงจรควบคุมป้อนกลับ..... 37

4.2 การอินทิเกรตแบบไม่ต่อเนื่อง..... 40

4.3 การอนุพันธ์แบบไม่ต่อเนื่อง..... 42

4.4 ผลการตอบสนองรูปตัว S..... 44

4.5 แสดงบล็อคไดอะแกรมการควบคุมแบบป้อนกลับ
ของลิ้นเข็มเซอร์โวโดยตัวควบคุมแบบ PID..... 46

4.6 แสดงบล็อคไดอะแกรมการควบคุมแบบป้อนกลับ ของตัวกระตุ้น
แบบโซลินอยด์ โดยใช้ตารางค่าเกนเข้าช่วยในการปรับค่าเกน
ตัวควบคุมแบบ PID..... 46

4.7 แสดงบล็อคไดอะแกรมการควบคุมป้อนกลับของระบบ ABS โดย
ตัวควบคุมแบบ PID..... 47

5.1 แสดงวงจรระบบ ABS..... 49

5.2 แสดงชุดคานกดอย่างง่าย..... 50

5.3 วงจรรับและส่งสัญญาณที่ใช้ในงานควบคุมระบบ ABS..... 52

5.4 แสดงคอนโทรลเวิร์ด #7..... 53

5.5 แสดงคอนโทรลเวิร์ด #15..... 54

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.6 แสดงการต่อระหว่างเคานเตอร์ 0 , เคานเตอร์1 และเคานเตอร์2..... 54
6.1 แสดงตำแหน่งของลิ้นเข็มเซอร์โวต่อเวลา โดยใช้วิธีอัลทิเมท ไซเคิล
ปรับจนมีการแกว่งตัว..... 59
6.2 แสดงการเปิดลิ้นเข็มเซอร์โว โดยใช้ค่าเกนตัวควบคุมจากตาราง 4.2..... 59
6.3 แสดงผลการตอบสนองการปิดลิ้นเข็มเซอร์โว..... 60
6.4 แสดงผลการตอบสนองการเปิดลิ้นเข็มเซอร์โว..... 60
6.5 แสดงเส้นโค้งรูปตัว S โดยวิธีพรอซเอซ รีเอคชั่น..... 61
6.6 แสดงแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดัน P กับค่า Td..... 63
6.7 แสดงการตอบสนองความดันต่อเวลา แบบขั้นบันไดหนึ่งหน่วย
ก.) ความดัน 6 - 10 บาร์
ข.) ความดัน 4 - 6 บาร์..... 65
6.8 แสดงความเร็วเชิงมุมของล้อที่ถูกควบคุมกับล้ออ้างอิงต่อเวลา
ใช้วิธีอัลทิเมท ไซเคิล ปรับจนมีการแกว่งตัว..... 66
6.9 แสดงค่าอัตราลื่นไถลต่อเวลา ใช้วิธีอัลทิเมท ไซเคิล ปรับจนมีการแกว่งตัว
ก.) แสดงช่วงเวลา 0 - 10 วินาที
ข.) ทำการขยายภาพใช้ช่วงเวลาที่ 2 - 3 วินาที..... 67
6.10 แสดงความเร็วเชิงมุมของล้อที่ถูกควบคุมกับล้ออ้างอิงต่อเวลา
ทดสอบปรับภาระน้ำหนักที่ 450 กิโลกรัม..... 69
6.11 แสดงอัตราลื่นไถลต่อเวลา ทดสอบปรับภาระน้ำหนักที่ 450 กิโลกรัม... 70
6.12 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนอัตราลื่นไถลต่อเวลา
ทดสอบปรับภาระน้ำหนักที่ 450 กิโลกรัม..... 70

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.13 แสดงคำสั่งความดันต่อเวลา ทดสอบรับภาระน้ำหนักที่ 450 กิโลกรัม
ก.) แสดงช่วงเวลา 0 - 10 วินาที
ข.) ทำการขยายภาพใช้ช่วงเวลาที่ 0 - 1 วินาที แสดงคำสั่งความดันกับความดันที่ผลิตได้ต่อเวลา..... 71
6.14 แสดงความเร็วเชิงมุมของล้อที่ถูกควบคุมกับล้ออ้างอิงต่อเวลา ทดสอบปรับภาระน้ำหนักที่ 600 กิโลกรัม..... 72
6.15 แสดงความเร็วเชิงมุมของล้อที่ถูกควบคุมกับล้ออ้างอิงต่อเวลา ทดสอบปรับภาระน้ำหนักที่ 300 กิโลกรัม..... 72
6.16 แสดงอัตราลื่นไถลต่อเวลา ทดสอบปรับภาระน้ำหนักที่ 600 กิโลกรัม... 73
6.17 แสดงอัตราลื่นไถลต่อเวลา ทดสอบปรับภาระน้ำหนักที่ 300 กิโลกรัม... 73
ก.1 สเตรนเกจ..... 79
ก.2 วงจรวีทสโตนบริดจ์พื้นฐาน..... 80
ก.3 วิธีชดเชยอุณหภูมิในการวัดความเครียด..... 82
ก.4 ทรานสดิวเซอร์ความดันและตำแหน่งติดตั้งสเตรนเกจ..... 83
ก.5 วงจรบริดจ์ที่ใช้กับทรานสดิวเซอร์ความดัน..... 85
ก.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความต่างศักย์ไฟฟ้าออกของทรานสดิวเซอร์ความดัน1..... 86
ก.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความต่างศักย์ไฟฟ้าออกของทรานสดิวเซอร์ความดัน2..... 87
ข.1 แบบภาพรายละเอียด กระบอกเสื้อบนและกระบอกเสื้อล่างของตัวกระตุ้นแบบโซลินอยด์..... 89
ข.2 แบบภาพรายละเอียด ลูกสูบอยู่กับที่และลูกสูบเคลื่อนที่ของตัวกระตุ้นแบบโซลินอยด์..... 90

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ข.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับความดัน
ของตัวกระตุ้นแบบโซลินอยด์..... 91
ข.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความดัน
ของตัวกระตุ้นแบบโซลินอยด์..... 92
ค.1 วงจรเพาเวอร์แอมปลิไฟเออร์..... 93
ค.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าเข้ากับ
ความต่างศักย์ไฟฟ้าออกของชุดเพาเวอร์แอมปลิไฟเออร์
สำหรับขับตัวกระตุ้นแบบโซลินอยด์..... 95
ค.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าเข้ากับ
ความต่างศักย์ไฟฟ้าออกของชุดเพาเวอร์แอมปลิไฟเออร์
สำหรับขับลิ้นเข็มเซอร์โว..... 95
ง.1 วงจรชุดขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมน แอมปลิไฟเออร์..... 96
ง.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณไฟฟ้าเข้ากับสัญญาณไฟฟ้าออก
ของชุดขยายสัญญาณแบบอินสตรูแอมปลิไฟเออร์สำหรับ
ทรานสดิวเซอร์ความดัน1..... 97
ง.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณไฟฟ้าเข้ากับสัญญาณไฟฟ้าออก
ของชุดขยายสัญญาณแบบอินสตรูแอมปลิไฟเออร์สำหรับ
ทรานสดิวเซอร์ความดัน2..... 98
จ.1 วงจรชุดดีโคดเดอร์..... 99
จ.2 แสดงสัญญาณเข้าและสัญญาณออกสำหรับชุดดีโคดเดอร์..... 99
ช.1 แสดงความเร็วเชิงมุมของล้อที่ถูกควบคุมกับล้ออ้างอิงสัมพันธ์กับเวลา
ทดสอบรับภาระน้ำหนักที่ 600 กิโลกรัม..... 149

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ซ.2 แสดงค่าอัตราลื่นไถลสัมพันธ์กับเวลา
ทดสอบรับภาระน้ำหนักที่ 600 กิโลกรัม..... 149
ซ.3 แสดงความเร็วเชิงมุมของล้อที่ถูกควบคุมกับล้ออ้างอิงสัมพันธ์กับเวลา
ทดสอบรับภาระน้ำหนักที่ 550 กิโลกรัม..... 150
ซ.4 แสดงค่าอัตราลื่นไถลสัมพันธ์กับเวลา
ทดสอบรับภาระน้ำหนักที่ 550 กิโลกรัม..... 150
ซ.5 แสดงความเร็วเชิงมุมของล้อที่ถูกควบคุมกับล้ออ้างอิงสัมพันธ์กับเวลา
ทดสอบรับภาระน้ำหนักที่ 500 กิโลกรัม..... 151
ซ.6 แสดงค่าอัตราลื่นไถลสัมพันธ์กับเวลา
ทดสอบรับภาระน้ำหนักที่ 500 กิโลกรัม..... 151
ซ.7 แสดงความเร็วเชิงมุมของล้อที่ถูกควบคุมกับล้ออ้างอิงสัมพันธ์กับเวลา
ทดสอบรับภาระน้ำหนักที่ 450 กิโลกรัม..... 152
ซ.8 แสดงค่าอัตราลื่นไถลสัมพันธ์กับเวลา
ทดสอบรับภาระน้ำหนักที่ 450 กิโลกรัม..... 152
ซ.9 แสดงความเร็วเชิงมุมของล้อที่ถูกควบคุมกับล้ออ้างอิงสัมพันธ์กับเวลา
ทดสอบรับภาระน้ำหนักที่ 450 กิโลกรัม..... 153
ซ.10 แสดงค่าอัตราลื่นไถลสัมพันธ์กับเวลา
ทดสอบรับภาระน้ำหนักที่ 450 กิโลกรัม..... 153
ซ.11 แสดงความเร็วเชิงมุมของล้อที่ถูกควบคุมกับล้ออ้างอิงสัมพันธ์กับเวลา
ทดสอบรับภาระน้ำหนักที่ 350 กิโลกรัม..... 154
ซ.12 แสดงค่าอัตราลื่นไถลสัมพันธ์กับเวลา
ทดสอบรับภาระน้ำหนักที่ 350 กิโลกรัม..... 154

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ซ.13 แสดงความเร็วเชิงมุมของล้อที่ถูกควบคุมกับล้ออ้างอิงสัมพันธ์กับเวลา
ทดสอบรับภาระน้ำหนักที่ 300 กิโลกรัม..... 155
ซ.14 แสดงค่าอัตราลื่นไถลสัมพันธ์กับเวลา
ทดสอบรับภาระน้ำหนักที่ 300 กิโลกรัม..... 155
ฌ.1 ชุดแบบจำลอง ABS..... 156
ฌ.2 ชุดคันเหยียบห้ามล้อ และตัวกระตุ้นแบบโซลินอยด์ 157
ฌ.3 ลิ้นเข็มเซอร์โว และทรานสดิวเซอร์ความดัน..... 157
ฌ.4 ชุดดีโคดเดอร์ , ชุดขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมน แอมปลิไฟเออร์
และเพาเวอร์แอมปลิไฟเออร์..... 158
ฌ.5 การ์ดอินเตอร์เฟส และคอมพิวเตอร์..... 158