

การควบคุมและการวัดแรงบิดของไดนาโมมิเตอร์แบบกระแสหมุนวน

นาย วิศิษฐ์ วิพัฒน์เกษมสุข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

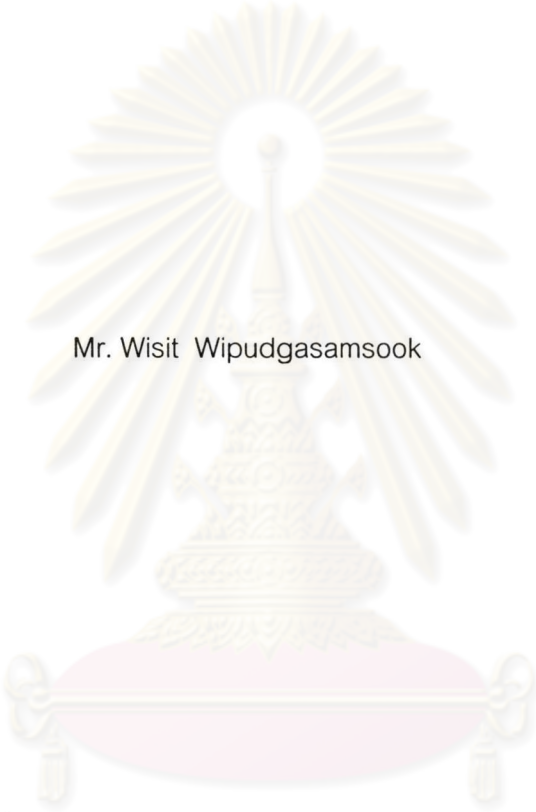
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1616-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CONTROL AND MEASUREMENT OF TORQUE ON AN EDDY CURRENT DYNAMOMETER



Mr. Wisit Wipudgasamsook

ศูนย์วิทยทรัพยากร

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

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-53-1616-4

วิศิษฐ์ วิพัฒน์เกษมสุข : การควบคุมและการวัดแรงบิดของไดนาโมมิเตอร์แบบกระแส
 หมุนวน. (CONTROL AND MEASUREMENT OF TORQUE ON AN EDDY CURRENT
 DYNAMOMETER) อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ. สถาพร สุปรีชากร, 96 หน้า. ISBN 974-53-
 1616-4.

เนื่องจากไดนาโมมิเตอร์แบบกระแสหมุนวนเป็นไดนาโมมิเตอร์แบบเข็มชนิดหนึ่ง ที่
 สามารถควบคุมภาระ(โหลด) โดยการเปลี่ยนแปลงแรงเบรกที่โรเตอร์ แรงเบรกที่กล่าวถึงนี้เป็นแรง
 เบรกที่เกิดจากอำนาจแม่เหล็กที่มีผลมาจากแม่เหล็กไฟฟ้า และแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวน
 นำบนโรเตอร์ การควบคุมแรงเบรกของไดนาโมมิเตอร์ชนิดนี้ ใช้วิธีการควบคุมฟลักซ์แม่เหล็กที่
 ขดลวด โดยทำการปรับปริมาณกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับขดลวด ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้
 ผู้วิจัยได้นำวงจรควบคุมแรงเคลื่อนไฟฟ้าและตัวต้านทานปรับค่าได้ มาใช้ร่วมกันเพื่อควบคุม
 ปริมาณกระแสที่ขดลวด

ในส่วนของวัดแรงบิดของไดนาโมมิเตอร์ โดยทั่วไป เป็นการใช้ตาชั่งสปริง หรือ โหลดเซลล์
 ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน คือ การใช้ตาชั่งสปริงมีข้อเสียที่ต้องคอยปรับตำแหน่ง
 ของแขนสเตเตอร์ให้ตั้งฉากกับแนวแรงอยู่เสมอ ส่วนโหลดเซลล์มีข้อเสียที่ราคาอุปกรณ์ค่อนข้างสูง
 ผู้วิจัยจึงได้คิดค้นเครื่องมือสำหรับวัดแรงบิดในรูปแบบใหม่ขึ้น เพื่อที่จะลดข้อเสียเหล่านั้น โดย
 เครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้ได้นำระบบไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ประมวลผลในรูปแบบดิจิทัล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล..... ลายมือชื่อนิสิต *วิศิษฐ์ วิพัฒน์เกษมสุข*
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *Att*
 ปีการศึกษา.....2547..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

##4570546421 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: EDDY CURRENT DYNAMOMETER / FORCE MEASUREMENT / MICROCONTROLLER

WISIT WIPUDGASAMSOOK : CONTROL AND MEASUREMENT OF TORQUE ON
AN EDDY CURRENT DYNAMOMETER. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF.
STAPORN SUPRICHAKORN, 96 pp. ISBN 974-53-1616-4.

Eddy current dynamometer is a kind of absorption dynamometer whose load can be controlled by changing the brake force at the rotor. Such brake force is produced from interaction between electromagnetic field and magnetic field from eddy current. The control of brake force is a control of magnetic flux by varying coil excitation current. The researcher had applied voltage regulator circuit together with variable resistor for such control.

Generally, force measurement on a dynamometer are done by spring scale or a load cell ,each with advantage and limitations. The spring scale is disadvantageous for the need to level its torque arm, while the weak point of the load cell is its high cost. The researcher had tried to overcome all these shortcomings by implementing a microcontroller to compile and process all data digitally.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department ...Mechanical Engineering... Student 's signature... *วิศิษฐ์ วิวัฒน์นพนธ์*
Field of study...Mechanical Engineering. Advisor 's signature... *Staporn*
Academic year.....2004..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของ รองศาสตราจารย์ สถาพร สุปรีชากร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษา แนวทางการแก้ปัญหา และ ข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คณิต วัฒนวิเชียร ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จัตรชัย หงษ์อุเทน และ ดร. วิศณุ พงศ์พิพัฒน์ อาจารย์กรรมการวิทยานิพนธ์ ซึ่งทุกท่านได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็น ประโยชน์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ครู สราวุธ อาปนกะพันธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำทางด้าน เทคนิค ในระหว่างการสร้างและประกอบชุดทดลอง

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ฝ่ายช่างเทคนิคประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่เอื้ออำนวย ความสะดวกในด้านอุปกรณ์เครื่องมือกล และช่วยสอนการใช้เครื่องจักรต่างๆ

ขอขอบคุณ ร้าน นิวฟ้าศิลป์(วงเวียน22) ที่ได้ช่วยแก้ไขปัญหาในการทำงานเข้ารหัส จน สามารถนำมาใช้งานได้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณวรเทพ และคุณเขมพัฒน์ เพื่อนสมัยเรียนปริญญาตรี ที่ให้ความช่วยเหลือ และปรึกษาในด้านไมโครคอนโทรลเลอร์และการเขียนโปรแกรมมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ พี่ๆ นิสิตปริญญาโททุกท่านที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาด้าน วิชาการ ตลอดจนแบ่งปันความสนุกสนานให้กันและกันเรื่อยมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้ชีวิต การศึกษา และกำลังใจตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
รายการสัญลักษณ์.....	ฏ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญ และที่มาของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2. ผลงานวิจัยที่ผ่านมา.....	3
3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
3.1 กล่าวนำ.....	5
3.2 การทำงานของเครื่องไดนาโมมิเตอร์ชนิดกระแสหมุนวน.....	6
3.3 การออกแบบสปริง.....	9
3.3.1 คุณสมบัติทางกลของขดลวดสปริง.....	9
3.3.2 ความเค้นในสปริงขดรับแรงกด.....	10
3.3.3 การยืดหดของสปริงขด.....	13
3.3.4 ความแข็งตึงของสปริง.....	14
3.3.5 สปริงขดแบบดิ่ง.....	14

บทที่	หน้า
3.4 โครงสร้างของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์.....	16
3.4.1 การจัดขาของไอซี.....	18
3.5 โครงสร้างพื้นฐานของโปรแกรมภาษาซีที่ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์.....	20
3.6 การเขียนโปรแกรมภาษาซีเบื้องต้น.....	23
3.6.1 การกำหนดชนิดค่าคงที่และตัวแปร.....	23
3.6.2 ตัวดำเนินการในโปรแกรมภาษา C(Operator).....	25
3.6.3 ตัวแปรชนิดอะเรย์.....	27
3.6.4 คำสั่งควบคุมต่างๆในภาษา C.....	28
3.7 การใช้งานไทเมอร์/เคาน์เตอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	31
3.7.1 การทำงานเป็นไทเมอร์.....	31
3.7.2 การทำงานเป็นเคาน์เตอร์.....	31
3.7.3 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้อง.....	32
3.7.4 โหมดการทำงานของไทเมอร์ 0 และ 1.....	34
3.8 การอินเทอร์รัพท์.....	35
4. ขั้นตอนการสร้างและการคำนวณ.....	37
4.1 การวัดแรงบิดของไดนาโมมิเตอร์.....	37
4.1.1 ส่วนประกอบของเครื่องมือวัดแรงบิด.....	37
4.1.2 ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือวัดแรงบิด.....	38
4.1.3 การวัดมุมของจานเข้ารหัส.....	47
4.1.4 การวัดความเร็วรอบของโรเตอร์.....	51
4.2 การออกแบบชุดสมดุลแรง.....	53
4.2.1 การคำนวณหาขนาดขดลวดสปริง.....	53
4.2.2 การประเมินค่าคงที่ของสปริง.....	54
4.2.3 การออกแบบบรอก.....	55
4.3 วิธีการคำนวณหาค่าแรงบิดและกำลังทางกล.....	56
4.4 การทดสอบเพื่อหาค่าต่างๆที่ใช้ในการคำนวณแรงบิด.....	57
4.4.1 การทดสอบเพื่อหาแรงดึงภายในสปริงเริ่มต้น(F_i).....	57
4.4.2 การทดสอบเพื่อหาค่าคงที่ของสปริง (k).....	58

บทที่	หน้า
4.5 การควบคุมแรงบิด.....	67
5. ความเที่ยงตรงของการวัดแรงบิด.....	70
5.1 ตัวแปรที่มีผลต่อความเที่ยงตรงในการวัดแรงบิด.....	70
5.2 การคำนวณหาค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่เกิดจากตัวแปร k และ θ	72
5.3 การเปรียบเทียบผลจากเครื่องมือวัดแรงบิดกับลูกตุ้มน้ำหนัก.....	74
6. สรุปและข้อเสนอแนะ.....	75
6.1 ข้อสรุปเกี่ยวกับการวัดและการควบคุมแรงบิด.....	75
6.2 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการวัดและการควบคุมแรงบิด.....	76
รายการอ้างอิง.....	77
ภาคผนวก.....	78
ภาคผนวก ก โปรแกรมคำนวณแรงบิดและกำลังงานประกอบคำอธิบาย.....	79
ภาคผนวก ข แบบรายละเอียดดรอกและสปริง.....	89
ภาคผนวก ค แบบรายละเอียดตัวเข้ารหัส.....	92
ภาคผนวก ง รายละเอียดของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	94
ภาคผนวก จ คุณสมบัติของ CPU (AT89S8252).....	95
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	96

สารบัญญัตราสาร

ตารางที่	หน้า
3.1 คุณสมบัติทางกลของขดลวดสปริง.....	9
3.2 ความเค้นขั้นต้นของสปริงขดแบบดึง.....	14
3.3 ค่าความเค้นเฉือนออกแบบสำหรับวัสดุสปริง.....	15
4.1 การทดสอบหาค่าคงที่ของสปริงในช่วงที่ขดสปริงเริ่มแยกจากกัน.....	57
4.2 การทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงเพิ่มโหลด ครั้งที่ 1.....	59
4.3 การทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงลดโหลด ครั้งที่ 1.....	59
4.4 การทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงเพิ่มโหลด ครั้งที่ 2.....	60
4.5 การทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงลดโหลด ครั้งที่ 2.....	60
4.6 การทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงเพิ่มโหลด ครั้งที่ 3.....	61
4.7 การทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงลดโหลด ครั้งที่ 3.....	61
4.8 การทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงเพิ่มโหลด ครั้งที่ 4.....	62
4.9 การทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงลดโหลด ครั้งที่ 4.....	62
4.10 การทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงเพิ่มโหลด ครั้งที่ 5.....	63
4.11 การทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงลดโหลด ครั้งที่ 5.....	63
4.12 การทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงเพิ่มโหลด ครั้งที่ 6.....	64
4.13 การทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงลดโหลด ครั้งที่ 6.....	64
4.14 การทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงเพิ่มโหลด ครั้งที่ 7.....	65
4.15 การทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงลดโหลด ครั้งที่ 7.....	65
4.16 ค่าเฉลี่ยของค่าคงที่สปริงที่น้ำหนักต่างๆในช่วงการเพิ่มโหลด.....	66
4.17 ค่าเฉลี่ยของค่าคงที่สปริงที่น้ำหนักต่างๆในช่วงการลดโหลด.....	66
4.18 ผลการทดสอบวงจรปรับแรงดันแบบ PWM.....	68
5.1 แสดงค่าความละเอียดของตัวเข้ารหัสเป็นระบบดิจิทัลตลอด 360 องศา.....	70
5.2 ข้อมูลแสดงระยะยืดที่คิดจากมุมหมุนของรอกกับระยะยืดจริงของสปริง.....	71
5.3 แสดงความแตกต่างของค่าคงที่สปริงเฉลี่ยที่น้ำหนักต่างๆในช่วงการเพิ่มโหลดกับ ค่าคงที่สปริงที่ใช้ในการคำนวณ.....	73

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
3.1 Cradle d-c Dynamometer	7
3.2 สปริงชด	10
3.3 ค่าตัวประกอบ K	12
3.4 การรวมความเค้นในสปริงชด	12
3.5 การยืดหดของลวดสปริง	13
3.6 สปริงชดแบบดิ่งซึ่งมีขอกกลมในแนวศูนย์กลางชด	16
3.7 แสดงโครงสร้างหลักๆของไมโครคอนโทรลเลอร์	17
3.8 แสดงการจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89S8252	18
4.1 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องมือวัดแรงบิด	38
4.2 Schematic Diagram ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	39
4.3(ก) การต่อวงจรแบบไบอัสตรงของ LED	40
4.3(ข) การต่อวงจรแบบไบอัสกลับของไฟโตไดโอด	40
4.4 การต่อไฟโตไดโอดเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์	41
4.5 จานเข้ารหัส	42
4.6 จานกำเนิดสัญญาณพัลส์	42
4.7 โมดูล LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด	43
4.8 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับโมดูล LCD	44
4.9 การต่อสวิทช์เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์	44
4.10 การติดตั้งรอกและสปริง	45
4.11 แสดงภาพการติดตั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และชุดเซนเซอร์เข้ากับกล่อง	46
4.12 ชุดเซนเซอร์และจานเข้ารหัสทางแสง	49
4.13 ภาพแสดงรหัสเกรย์ความละเอียด 10 บิต	49
4.14 วงจรปรับแรงดันไฟฟ้าแบบ PWM	68
4.15 Schematic Diagram วงจรปรับแรงดันไฟฟ้าแบบ PWM	69
4.16 ตัวต้านทานปรับค่าได้	69

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	คำอธิบาย	หน่วย
T	แรงบิด	ft-lb
F	แรงที่วัดได้ที่รัศมี r	lb
r	ความยาวแกนโมเมนต์	ft
P	กำลัง	ft-lb/min
bhp	แรงม้าเบรก	hp
n	ความเร็วในการหมุน	รอบ/นาที
σ_u	ความต้านแรงดึงต่ำสุด	N/mm^2
τ_n	ความต้านแรงเฉือนทนทาน	N/mm^2
τ_d	ความเค้นเฉือนออกแบบ	N/mm^2
d	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดสปริง	mm
E	ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น	kN/mm^2
G	โมดูลัสเฉือนของวัสดุ	kN/mm^2
τ_y	ค่าความต้านแรงเฉือนคราก	N/mm^2
D_o	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของขดลวดสปริง	mm
D_i	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของขดลวดสปริง	mm
D	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของขดลวดสปริง	mm
C	ดัชนีสปริง	-
K_s	ตัวประกอบความเค้นเฉือน	-
K_c	ตัวประกอบความโค้ง	-
K	ตัวประกอบของวาล์ว	-
F	แรงภายนอกที่ใช้ดึงสปริง	N
F_i	แรงดึงขั้นต้น	N
δ	ระยะยืดสปริงเมื่อคิดจากมุมรอก	mm
δ'	ระยะยืดจริงของสปริง	mm
k	ค่าคงที่ของสปริง	N/mm

τ_i	ความเค้นขั้นต้น	N/mm^2
θ	มุมหมุนของรอก	องศา
r	รัศมีรอก	m
F_{ini}	แรงภายในสปริงขณะที่มีการ Pretension	N
P	กำลังทางกล	W
ω	ความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์	rad/s



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย