เครื่องชั่งน้ำหนักแบบอิเลคตรอนิคส์

นาย ไพฑูรย์ วิเศษการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2527

ISBN 974-564-006-9

009821

I16804740

AN ELECTRONIC WEIGHTMETER

Mr. Paitoon Wisaskarn

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1984

ISBN 974-564-006-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบอิเลคตรอนิคส์
โดย	นาย ไพฑูรย์ วิเศษการ
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ประโมทย์ อุณหไวทยะ
	รองศาสตราจารย์ กฤษดา วิศวธีรานนท์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จุมพล พรหมพิทักษ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ยาตรี ศรีไพพรรณ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประโมทย์ อุณหไวทยะ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ กฤษดา วิศวธีรานนท์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบอิเลคทรอนิคส์
ชื่อนิสิต	นาย ไพฑูรย์ วิเศษการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ประโมทย์ อุณหัโวทยะ
	รองศาสตราจารย์ กฤษดา วิศวธีรานนท์
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2527

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างเครื่องชั่งน้ำหนักแบบอิเลคตรอนิคส์แสดงผลด้วยตัวเลข ได้ออกแบบโหลดเซลล์ให้ทำหน้าที่เปลี่ยนค่าน้ำหนักของวัตถุให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ภายในโหลดเซลล์ประกอบด้วยยื่นส่วนรับน้ำหนักแบบคอลัมน์ และสเตรนเกจแบบความต้านทาน ความสามารถในการรับน้ำหนักของโหลดเซลล์แต่ละอันสูงถึง 20 เมตริกตัน และออกแบบอินดิเคเตอร์เพื่ออ่านสัญญาณทางไฟฟ้าจากโหลดเซลล์ ภายในประกอบด้วยวงจรขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมนเตชั่น วงจรกรองสัญญาณ และวงจรแสดงค่าน้ำหนักเป็นตัวเลข $4\frac{1}{2}$ หลัก เครื่องชั่งที่ออกแบบสร้างนี้ สามารถจะเลือกใช้เป็นแบบโหลดเซลล์เดียว หรือโหลดเซลล์ 4 อันก็ได้ ทั้งระบบเมื่อทดสอบและปรับเทียบแล้ว จะมีค่าความไม่เป็นเชิงเส้นดีกว่า $\pm$ 0.05 % เต็มพิกัด และค่าความแม่นยำในการชั่ง $\pm$ 0.15 % เต็มพิกัด ซึ่งผลที่ได้นี้อยู่ในระดับที่น่าพอใจ

Thesis title AN ELECTRONIC WEIGHTMETER

Name Mr. Paitoon Wi-saskarn

Thesis Advisor Associate Professor Pramoht Unhavaithaya, Dr.-Ing.

Associate Professor Krisda Visvathiranon

Department Electrical Engineering

Academic Year 1984

ABSTRACT

This thesis presents the design and construction of a digital displayed electronic weightmeter. Loadcells are designed to convert the weight of the mass to electrical signal. The sensing elements of loadcells are compressive column type, to which the resistance strain gages are bonded. Each loadcell can bear the maximum 20 metric tons load. The indicator is designed to amplify electrical signal from load cells by using instrumentation amplifier, filters and displaying the weight in 4½ digits. The weightmeter can select to operate with 1 or 4 loadcells. The system has been tested and proved to have nonlinearity better than $\pm$ 0.05 % F.S. and accuracy of $\pm$ 0.15 % F.S., which are reasonable.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ประโมทย์ อุณหไวทยะ และรองศาสตราจารย์ กฤษดา วิศวธีรานนท์ ที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา อีกทั้งรองศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ สัมฤวรรณ ประจำภาควิชา วิศวกรรมโยธา ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับเครื่องมือในการทดสอบกำลังวัสดุ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ที่กล่าวนามมาแล้วข้างต้น

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้การสนับสนุนเงินทุนแก่วิทยานิพนธ์นี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย . . . . . ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ . . . . . จ
กิตติกรรมประกาศ . . . . . ฉ
สารบัญตาราง . . . . . ฌ
สารบัญรูปภาพ . . . . . ฎ
ปทานุกรมศัพท์ . . . . . ฑ
สัญญลักษณ์ . . . . . ฒ

บทที่

1. บทนำ 1
   1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
   1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
   1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 2
2. ทฤษฎีของเครื่องชั่งน้ำหนัก 4
   2.1 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบแมคคานิคส์ 4
   2.2 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบอิเลคตรอนิคส์ 6
   2.3 ทรานส์ดิวเซอร์ 7
   2.4 อินดิเคเตอร์ 18
3. การออกแบบสร้างและทดสอบอินดิเคเตอร์ 30
   3.1 ข้อกำหนดในการออกแบบอินดิเคเตอร์ 30
   3.2 บล็อคไดอะแกรมของอินดิเคเตอร์ที่จะออกแบบสร้าง 31
   3.3 ภาครวมสัญญาณ 34
   3.4 ภาคจ่ายไฟป้อนโหลดเซลล์ 34
   3.5 ภาคปรับสัญญาณ 41
   3.6 ภาคแสดงผลเชิงเลข 49
   3.7 ภาคจ่ายไฟหลัก 57
   3.8 การประกอบเครื่อง 59

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่

4. การออกแบบสร้างและทดสอบโหลดเซลล์ 61
4.1 ข้อกำหนดในการออกแบบโหลดเซลล์ 61
4.2 การออกแบบยืนสั่วน่รับน้ำหนัก 62
4.3 การเลือกสเตรนเกจแบบความต้านทาน 66
4.4 วงจรสเตรนเกจ 71
4.5 กาวและการติดสเตรนเกจ 72
4.6 ผลการทดสอบโหลดเซลล์ 76
4.7 ข้อสรุปในการออกแบบโหลดเซลล์ 85
5. สรุปและข้อเสนอแนะ 87
5.1 สรุปผลการวิจัย 87
5.2 ข้อเสนอแนะ 88
เอกสารอ้างอิง 89
ภาคผนวก ก. พระราชบัญญัติเกี่ยวกับเครื่องชั่ง 90
ภาคผนวก ข. รายละเอียดและคุณสมบัติของไอซีเบอร์ต่าง ๆ 95
ภาคผนวก ค. ข้อมูลการทดสอบอินดิเคเตอร์ 105
ภาคผนวก ง. ข้อมูลคำเพาะของโลหะ 109
ภาคผนวก จ. ข้อมูลการทดสอบโหลดเซลล์ 114
ประวัติผู้เขียน 131

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวนำยึดต่าง ๆ 10

2.2 แสดงข้อเปรียบเทียบของสเตรนเกจแบบต่าง ๆ 12

2.3 เปรียบเทียบการจัดวงจรวีทสโตนบริดจ์แบบต่าง ๆ 18

3.1 ค่าความร้อนที่ยอมให้เกิดได้ในสเตรนเกจ 36

3.2 เปรียบเทียบไอซีแปลงเอทูดีเบอร์ต่าง ๆ 51

4.1 ข้อกำหนดต่าง ๆ ของโหลดเซลล์ของบริษัทฟิลิปส์ 61

4.2 ผลการคำนวณขนาดชิ้นส่วนรับน้ำหนัก 64

4.3 ตัวอย่างรายละเอียดของสเตรนเกจยี่ห้อ KYOWA 68

4.4 แสดงชนิดและคุณสมบัติของสเตรนเกจยี่ห้อ KYOWA 70

4.5 การขยายอุณหภูมิเนื่องจากสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของวัสดุ 70

4.6 กาวชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ติดสเตรนเกจ 75

4.7 ผลการทดสอบค่าความไม่เป็นเชิงเส้นของโหลดเซลล์ 78

4.8 ผลการทดสอบค่าฮิสเตอรีซีสของโหลดเซลล์ 80

4.9 ผลการทดสอบค่าการรับน้ำหนักซ้ำ ๆ ของโหลดเซลล์ 81

4.10 ผลการทดสอบผลของอุณหภูมิต่อโหลดเซลล์ 83

4.11 ผลการทดสอบผลของอุณหภูมิต่อความไว 84

ค.-1 ข้อมูลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของภาคจ่ายไฟป้อนโหลดเซลล์ 106

ค.-2 ข้อมูลและผลการทดสอบหาค่าความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรปรับสัญญาณ 106

ค.-3 ข้อมูลการทดสอบผลของอุณหภูมิต่อวงจรปรับสัญญาณ 107

ค.-4 ข้อมูลการทดสอบภาคแสดงผลเชิงเลขโดยเปรียบเทียบกับดิจิตอลมัลติ-
มิเตอร์ HEWLETT PACKARD 3465B 107

ค.-5 ข้อมูลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของภาคแสดงผลเชิงเลข . 108

จ.-1 ข้อมูลและผลการทดสอบโหลดเซลล์เบอร์ 1 ด้วยน้ำหนักเต็มพิกัด
20000 กิโลกรัม 115

จ.-2 ข้อมูลและผลการทดสอบโหลดเซลล์เบอร์ 2 ด้วยน้ำหนักเต็มพิกัด
20000 กิโลกรัม 116

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ค.-3 ข้อมูลและผลการทดสอบโหลดเซลล์เบอร์ 3 ด้วยน้ำหนักเต็มพิกัด 20000 กิโลกรัม 117

ค.-4 ข้อมูลและผลการทดสอบโหลดเซลล์เบอร์ 4 ด้วยน้ำหนักเต็มพิกัด 20000 กิโลกรัม 118

ค.-5 ข้อมูลและผลการทดสอบโหลดเซลล์ขนานกัน 4 อัน ด้วยน้ำหนักเต็มพิกัด 20000 กิโลกรัม 119

ค.-6 ข้อมูลและผลการทดสอบโหลดเซลล์ยี่ห้อ KYOWAด้วยน้ำหนักเต็มพิกัด 20000 กิโลกรัม 120

ค.-7 ข้อมูลและผลการทดสอบโหลดเซลล์เบอร์ 1 ด้วยน้ำหนักเต็มพิกัด 5000 กิโลกรัม 121

ค.-8 ข้อมูลและผลการทดสอบโหลดเซลล์เบอร์ 2 ด้วยน้ำหนักเต็มพิกัด 5000 กิโลกรัม 122

ค.-9 ข้อมูลและผลการทดสอบโหลดเซลล์เบอร์ 3 ด้วยน้ำหนักเต็มพิกัด 5000 กิโลกรัม 123

ค.-10 ข้อมูลและผลการทดสอบโหลดเซลล์เบอร์ 4 ด้วยน้ำหนักเต็มพิกัด 5000 กิโลกรัม 124

ค.-11 ข้อมูลและผลการทดสอบโหลดเซลล์ขนานกัน 4 อัน ด้วยน้ำหนักทดสอบ 5000 กิโลกรัม 125

ค.-12 ข้อมูลและผลการทดสอบโหลดเซลล์ยี่ห้อ KYOWA ด้วยน้ำหนักเต็มพิกัด 5000 กิโลกรัม 126

ค.-13 ข้อมูลการทดสอบผลของอุณหภูมิต่อโหลดเซลล์เบอร์ 1 127

ค.-14 ข้อมูลการทดสอบผลของอุณหภูมิต่อโหลดเซลล์เบอร์ 2 127

ค.-15 ข้อมูลการทดสอบผลของอุณหภูมิต่อโหลดเซลล์เบอร์ 3 128

ค.-16 ข้อมูลการทดสอบผลของอุณหภูมิต่อโหลดเซลล์เบอร์ 4 128

ค.-17 ข้อมูลการทดสอบผลของอุณหภูมิต่อโหลดเซลล์ขนานกัน 4 อัน . . . 129

ค.-18 ข้อมูลการทดสอบผลของอุณหภูมิต่อความไวของโหลดเซลล์ 130

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 เครื่องชั่งแบบไม่แสดงค่าน้ำหนักด้วยตัวเอง 5

2.2 เครื่องชั่งแบบกึ่งแสดงค่าน้ำหนักด้วยตัวเอง 5

2.3 เครื่องชั่งแบบแสดงค่าด้วยตัวเอง 5

2.4 แสดงเครื่องชั่งน้ำหนักรถบรรทุกแบบอิเลคตรอนิคส์ 6

2.5 แสดงชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบต่าง ๆ 8

2.6 แสดงโครงสร้างของสเตรนเกจแบบเส้นลวดและแผ่นโลหะบาง 10

2.7 แสดงสเตรนเกจแบบสารกึ่งตัวนำแบบต่าง ๆ 11

2.8 วงจรโพเทนชิโอมิเตอร์ 13

2.9 วงจรวีทสโตนบริดจ์ 13

2.10 การจัดวงจรแบบที่ 1 15

2.11 การจัดวงจรแบบที่ 2 15

2.12 การจัดวงจรแบบที่ 3 16

2.13 การจัดวงจรแบบที่ 4 17

2.14 แสดงบล็อคไดอะแกรมของอินดิเคเตอร์ 19

2.15 การต่อโหลดเซลล์แบบอนุกรม 20

2.16 การต่อโหลดเซลล์แบบขนาน 21

2.17 วงจรสมมูรณ์ของโหลดเซลล์ 2 อันต่อขนานกัน 21

2.18 วงจรขยายแบบฮอบเปอร์ไม้เฟท 24

2.19 วงจรขยายสัญญาณผลต่างใช้ออปแอมป์ 24

2.20 แสดงการปรับปรุงวงจรขยายสัญญาณผลต่าง 24

2.21 วงจรขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมนเตชั่น 25

2.22 โครงสร้างของวงจรแปลงเอทูดีแบบ Successive approximation type 27

2.23 โครงสร้างของวงจรแปลงแบบ Dual slope type 28

2.24 แสดงช่วงเวลาการทำงานของวงจรแปลงแบบ Dual Slope type . . 28

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.1 บล็อคไดอะแกรมของอินดิเคเตอร์ 31

3.2 วงจรของภาครวมสัญญาณ 32

3.3 ด้านหน้าของกล่องรวมสัญญาณ 33

3.4 รายละเอียดภายในกล่องรวมสัญญาณ 33

3.5 วงจรล้มมูลย์ของการปรับความไวโหลดเซลล์ 34

3.6 วงจรของภาคจ่ายไฟป้อนโหลดเซลล์ 38

3.7 แสดงค่าแรงดันริปเปิ้ลของภาคจ่ายไฟป้อนโหลดเซลล์ 40

3.8 วงจรขยายแบบอินสตรูเมนเตชั่นที่ใช้ไอซีเบอร์ LM 321 42

3.9 วงจรขยายแบบอินสตรูเมนเตชั่นที่ใช้ไอซีเบอร์ LM 725 42

3.10 แสดงไดอะแกรมของ LH 0038C 44

3.11 วงจรของภาคปรับสัญญาณ 45

3.12 การหาค่า CMRR 49

3.13 แสดงส่วนประกอบภายในของไอซี ICL 7135 52

3.14 วงจรแปลงเอกูดี 54

3.15 วงจรแสดงผล 56

3.16 ภาคจ่ายไฟหลัก 58

3.17 แสดงรายละเอียดภายในกล่องอินดิเคเตอร์ 60

3.18 แสดงด้านหน้าของกล่องอินดิเคเตอร์ 60

4.1 กราฟระหว่างความเค้นและความเครียด 62

4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักเต็มพิกัด ความเค้นจุดคลากและเส้น
ผ่าศูนย์กลางของชิ้นส่วนรับน้ำหนัก 65

4.3 แสดงรูปร่างของชิ้นส่วนรับน้ำหนัก 66

4.4 แสดงความยาวเกจ 67

4.5 ระหัสของสเตรนเกจ 70

4.6 แสดงการปรับศูนย์วงจรสเตรนเกจ 71

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.7 แสดงการติดสเตรนเกจ 73
4.8 แสดงยื่นส่วนรับน้ำหนักที่ติดสเตรนเกจแล้ว 73
4.9 แสดงโหลดเซลล์ที่หุ้มด้วยกระบอกโลหะพร้อมกับอินดิเคเตอร์ และกล่องรวมสัญญาณ 75
4.10 เครื่องทดสอบกำลังวัสดุที่ใช้ทดสอบโหลดเซลล์ 77
4.11 แสดงโหลดเซลล์ที่วางอยู่บนเครื่องมือทดสอบกำลังวัสดุ 77
4.12 กราฟแสดงผลการทดสอบของโหลดเซลล์ 79
4.13 กราฟแสดงผลของอุณหภูมิต่อโหลดเซลล์ 82

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปทานุกรมศัพท์

กระแสคงที่ = Constant Current

เกจแฟคเตอร์ = Gage factor

คาน = Beam

ค่าคงตัวในการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ = Temperature drift

ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ = Temperature coefficient

ความแม่นยำในการวัด = Accuracy

ความเค้น = Stress

ความเครียด = Strain

คอลัมน์ = Column

จุดคลาก = Yeild point

ชิ้นส่วนรับน้ำหนัก = Sensing element

เชิงเลข = Digital

ดัมมี่เกจ = Dummy gage

ทรานสดิวเซอร์ = Transducer

พื้นที่กริด = Grid area

ภาคปรับสัญญาณ = Signal Conditioner

ภาครวมสัญญาณ = Summing unit

ภาคจ่ายไฟป้อนโหลดเซลล์ = Excite supply

ภาคแสดงผลเชิงเลข = Digital display

รหัสเลขไบนารี = Binary code

รหัสเจ็ดยีด = 7-Segment display

แรงดึง = Tension

แรงอัด = Compression

แรงดันคงที่ = Constant voltage

วงแหวน = Proving ring

วงจรโพเทนชิโอมิเตอร์ = Potentiometer circuit

วงจรวีทสโตนบริดจ์ = Wheatstone bridge

วงจรแปลงเอทูดี = A/D Converter

วงจรขยายแบบช็อปเปอร์ = Chopper Amplifier

วงจรขยายแบบสัญญาณผลต่าง = Differential Amplifier

วัสดุที่ใช้ทำแผ่นรอง = Backing material

สเตรนเกจแบบความต้านทาน = Resistance strain gage

สเตรนเกจแบบเส้นลวด = Wire strain gage

สเตรนเกจแบบแผ่นโลหะบาง = Foil strain gage

โหลดเซลล์ = Load cell

อินดิเคเตอร์ = Indicator

อานาลอก = Analog

อบ = Cure

แอคทีฟเกจ = Active gage

ฮิสเตอรีซิส = Hysteresis

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญญลักษณ์

A = พื้นที่หน้าตัดยื่นส่วนรับน้ำหนัก (ซม.^{2})

A_G = พื้นที่กริดยองสเตรนเกจ (มม.^{2})

E = โมดูลัสแห่งความยืดหยุ่น (กก./ซม.^{2})

F = น้ำหนักที่กระทำ (กก.)

G = เกจแฟคเตอร์

L = ความยาว (ซม.)

P_G = ความร้อนที่เกิดขึ้นในสเตรนเกจ (มิลลิวัตต์/มม.^{2})

R = ความต้านทาน (โอห์ม)

S = ความไวยองวงจรวีทสโตนบริดจ์

V = แรงดันที่จ่ายให้วงจร (โวลท์)

V_o = แรงดันออกยองวงจร (โวลท์)

r = อัตราส่วนยอง R_2/R_1 ในวงจรวีทสโตนบริดจ์

= ความเครียด (ซม./ซม.)

= ความเค้น (กก./ซม.^{2})

= ค่าความต้านทานจำเพาะ (โอห์ม-ซม.)

= เทอมยองค่าความไม่เป็นเชิงเส้น

= Poison's ratio

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย