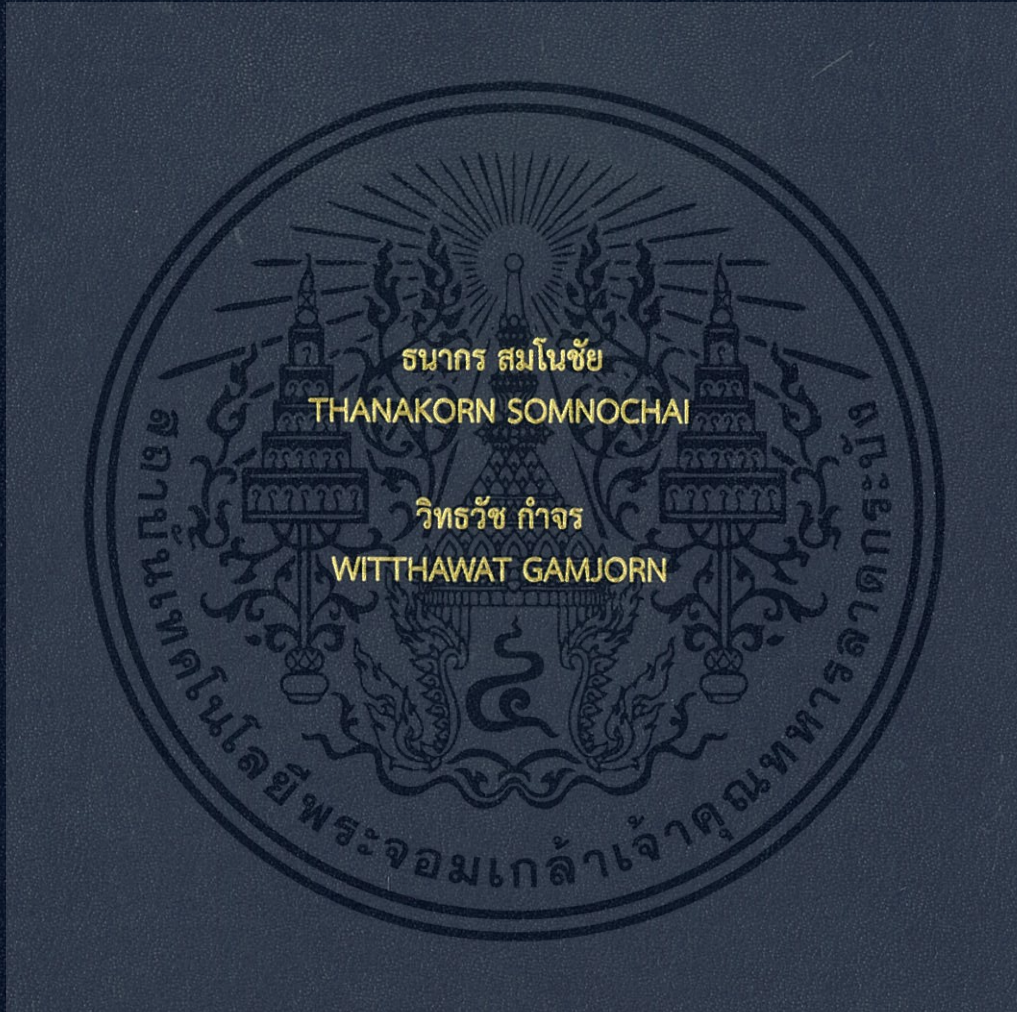


เครื่องชั่งน้ำหนักผู้ป่วยบนเตียง
WEIGHT SCALE FOR A PATIENT ON BED



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องชั่งน้ำหนักผู้ป่วยบนเตียง

WEIGHT SCALE FOR A PATIENT ON BED



T143864



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 143864
วัน,เดือน,ปี 04 10 2559

b. 12810307
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานพ.ศ.2558 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2558

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องชั่งน้ำหนักผู้ป่วยบนเตียง

WEIGHT SCALE FOR A PATIENT ON BED

ผู้จัดทำ นายธนากร สมโนชัย รหัสประจำตัว 55010530

นายวิฑริช กัจจร รหัสประจำตัว 55011144

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบจากอาจารย์ที่ปรึกษาเรียบร้อยแล้ว



(ดร.เทอดศักดิ์ ลีวาททอง)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์

เครื่องชั่งน้ำหนักผู้ป่วยบนเตียง

นักศึกษา

นายธนากร สมโนชัย รหัสประจำตัว 55010530

นายวิฑริช กำจร รหัสประจำตัว 55011144

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ปีการศึกษา

2558

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์

ดร. เทอดศักดิ์ ลีวหาทอง

บทคัดย่อ

แพทย์จำเป็นต้องทราบข้อมูลต่างๆของผู้ป่วยเช่น เพศ อายุ ความดันโลหิต และน้ำหนัก เพื่อใช้ในการวินิจฉัยโรค เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่เหมาะสมสำหรับชั่งน้ำหนักผู้ป่วยที่ไม่สามารถลุกจากเตียงได้ เช่นผู้ป่วยที่เป็นอัมพาต หรือผู้สูงอายุ ดังนั้นปริญญาานิพนธ์นี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องชั่งน้ำหนักผู้ป่วยบนเตียง ซึ่งเครื่องชั่งน้ำหนักนี้สามารถที่ส่งข้อมูลน้ำหนักไปแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ผ่านการสื่อสารแบบ Bluetooth

Thesis Title	Weight Scale for a patient on bed
Student	Mr.Thanakorn Somnochai Student ID. 55010530 Mr.Witthawat Gamjorn Student ID. 55011144
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Electronics Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Dr. Thursdak Leauhatong

ABSTRACT

Physician need to know patient information, such as age, sex, blood pressure and weight in order to diagnostic disease. The weight scale that use currently is unsuitable for weighing patients who cannot get off a bed, for example, paralysis patient and elderly. Purposes of this thesis is to study and design weight scale for a patient on bed. This weight scale can send weight data to be displayed on computer by via Bluetooth.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.เทอดศักดิ์ ลีวหาทอง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนทั้งด้านความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษาในการทำวิจัย อุปกรณ์ต่างๆ และสถานที่ในการทำงาน

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และด้านความรู้ และรุ่นพี่ปริญญาโท รวมไปถึงตึกภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ ที่เป็นสถานที่ทำงานให้เสร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องสมุดที่ให้การช่วยเหลือในการยืมหนังสือ สืบค้นข้อมูล จึงใคร่ขอขอบพระคุณผู้มีอุปการคุณทุกท่านมา ณ ที่นี้

ธนากร สมโนชัย
วิทวัช กำจร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญ (ต่อ)	V
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
สารบัญรูป (ต่อ).....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	3
2.1 เซ็นเซอร์ในการชั่งน้ำหนัก	3
2.2 วงจรบริดจ์ (Bridge Circuit).....	4
2.2.1 วงจรบริดจ์ในสถานะสมดุล.....	5
2.2.2 วงจรบริดจ์ในสถานะไม่สมดุล.....	7
2.3 สเตรนเกจ (Strain Gage)	10
2.4 โหลดเซลล์	13
2.5 วงจรขยายสัญญาณ.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	16
3.1 คุณสมบัติของเครื่องชั่งน้ำหนักผู้ป่วยบนเตียง.....	17
3.2 การออกแบบเครื่องชั่งน้ำหนักผู้ป่วยบนเตียง.....	17
3.2.1 เซ็นเซอร์ Load cell ขนาด 50kg.....	17
3.2.2 การออกแบบวงจรกรองสัญญาณ.....	17
3.2.3 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณ.....	18
3.2.4 วงจรขยายแบบรวมสัญญาณ (Summing Amplifier).....	18
3.2.5 วงจร Buffer.....	19
3.2.6 Bluetooth.....	20
3.2.4 Microcontroller.....	21
3.3 ขั้นตอนการทำงาน.....	24
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	30
4.1 ผลการทดสอบของการชั่งน้ำหนัก 0-600kg อัตราขยาย 250 เท่า.....	30
4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักจริงกับน้ำหนักที่ชั่งได้.....	31
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง.....	33
เอกสารอ้างอิง.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

4.1 ผลการทดสอบของการชั่งน้ำหนัก 0-600kg อัตราขยาย 250 เท่า.....30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เตียงที่ใช้ในโรงพยาบาล.....	1
2.1 โหลดเซลล์ต่างๆ.....	3
2.2 วงจรบริดจ์.....	4
2.3 วงจรบริดจ์ในสภาวะสมดุล.....	5
2.4 วงจรบริดจ์ในสภาวะไม่สมดุล.....	7
2.5 การบีบอัดของสเตรนเกจในวงจรวีทสโตนบริดจ์.....	8
2.6 วงจรบริดจ์เมื่อเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟ.....	9
2.7 การต่อสเตรนเกจเป็นวงจร Wheatstone bridge.....	9
2.8 สเตรนเกจแบบยึดติด.....	10
2.9 สเตรนเกจแบบไม่ยึดติด.....	10
2.10 การคำนวณหาความเค้น.....	11
2.11 สเตรนเกจแบบโลหะ และสเตรนเกจแบบสารกึ่งตัวนำ.....	12
2.12 เซนเซอร์โหลดเซลล์ที่ใช้งานในโปรเจกต์นี้.....	13
2.13 วงจรขยายแรงดันแบบ Instrument Amplifier.....	14
3.2.1 load cell ขนาด 50kg.....	17
3.2.3 instrument amplifier128.....	18
3.2.4 Summing Amplifier เมื่อมีการป้อนกลับแบบลบ.....	19
3.2.5 วงจร Buffer.....	19
3.2.6 Bluetooth HC-05.....	20
3.2.7.1 PIC 18F 4520	22
3.2.7.2 การเรียงขาของ PIC	23
3.3.1 การออกแบบแผ่นวงน้ำหนักร.....	25
3.3.2 การทดสอบชั่งน้ำหนักลงบน load cell.....	25
3.3.3 แมคคานิคของเครื่องชั่งน้ำหนัก.....	26
3.3.4 ลาย PCB ส่วนของ INA128.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3.5 ลาย PCB ส่วนของ Microcontroller.....	27
3.3.6 การทดลองซิงน้ำหนักรวมกัน.....	27
3.3.7 schematic ส่วนของ Microcontroller.....	28
3.3.8 schematic ส่วนของ INA 128.....	29
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและน้ำหนัก อัตราขยาย 250 เท่า.....	31
4.3 ซิงน้ำหนักด้วยแท่งเหล็กมาตรฐานแล้วแสดงผลด้วย LCD.....	31
4.4 หน้าต่างแสดงน้ำหนักจากโปรแกรม Visual Studio.....	32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการรักษาพยาบาลผู้ป่วยตามโรงพยาบาลต่างๆ ข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญของผู้ป่วย ได้แก่ อายุ เพศ น้ำหนัก อุณหภูมิร่างกาย และความดันโลหิต โดยน้ำหนักเป็นข้อมูลที่ได้จากการชั่งน้ำหนักผู้ป่วย ซึ่งการชั่งน้ำหนักผู้ป่วยทั่วไปสามารถใช้ตาชั่งแบบที่เป็นแบบเหยียบได้ อย่างไรก็ตามมีบางกรณีที่ผู้ป่วยบางรายไม่สามารถชั่งน้ำหนักด้วยตัวเองได้ เช่น ผู้ป่วยที่ขาหัก ผู้ป่วยสูงอายุหรือผู้ป่วยที่เป็นอัมพาตช่วยเหลือตัวเองไม่ได้ ในกรณีนี้ทางโรงพยาบาลจำเป็นต้องใช้ตาชั่งแบบพิเศษโดยที่ผู้ป่วยสามารถชั่งน้ำหนักได้ในขณะที่ยังคงนอนอยู่บนเตียง



รูปที่ 1.1 เตียงที่ใช้ในโรงพยาบาล

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อพัฒนาเครื่องชั่งน้ำหนักผู้ป่วยแบบใหม่ทดแทนเครื่องชั่งน้ำหนักแบบเดิมที่มีอยู่ในโรงพยาบาลเครื่องชั่งที่พัฒนาขึ้นมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. สามารถชั่งน้ำหนักของผู้ป่วยได้ โดยที่ผู้ป่วยไม่ต้องลุกไปชั่งน้ำหนักด้วยตัวเอง
2. เครื่องชั่งสามารถใช้งานได้อย่างสะดวก

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

เครื่องชั่งน้ำหนักเตียงผู้ป่วยจะสามารถชั่งน้ำหนักของผู้ป่วยได้ ในขณะที่ผู้ป่วยไม่ต้องลุกไปชั่งน้ำหนักเอง โดยตัวของเครื่องชั่งจะมีการติดตั้ง Load cell ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์วัดแรงกดเมื่อทำการชั่ง จากนั้นวิเคราะห์และควบคุมด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วส่งผลที่ได้ผ่าน Bluetooth ขึ้นแสดงบนคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

เครื่องชั่งน้ำหนักผู้ป่วยบนเตียงจะสามารถแสดงผลน้ำหนักบนคอมพิวเตอร์ได้ เมื่อมีการชั่งน้ำหนักลงบนแท่นเหยียบของเครื่องชั่งทั้ง 4 เครื่อง น้ำหนักที่สามารถรองรับได้ไม่เกิน 200kg ต่อ 1 เครื่องชั่ง โดยที่ไม่ต้องให้ผู้ป่วยลุกไปชั่งน้ำหนักด้วยตัวเอง

ระยะเวลาการทำโครงการ

ตั้งแต่ 22 มกราคม 2559 ถึงวันที่ 17 เมษายน 2559

ออกแบบและทำแมคคานิคของเครื่องชั่งให้มีขนาดเล็กลง	22 มกราคม – 24 มกราคม
ทดสอบเครื่องชั่งที่ปรับใหม่ทั้ง 4 เครื่อง	25 มกราคม – 26 มกราคม
แก้ไขปัญหาน้ำหนักออกมาไม่ตรง	26 มกราคม – 30 มกราคม
การสร้างแผ่นวงจรขยายแรงดัน 4 แผ่น	5 กุมภาพันธ์ – 6 กุมภาพันธ์
การสร้างแผ่นวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มี Bluetooth	7 กุมภาพันธ์ – 8 กุมภาพันธ์
ทำการทดลองและเขียนโปรแกรมรวมรวมทั้ง 4 เครื่อง	17 กุมภาพันธ์ – 29 กุมภาพันธ์
เขียนโปรแกรม Visual Studio เพื่อแสดงผลบนคอมพิวเตอร์	5 มีนาคม – 20 มีนาคม
ทดลองชั่งน้ำหนักให้แสดงผลบนคอมพิวเตอร์	21 มีนาคม – 30 มีนาคม
แก้ไขเรื่องน้ำหนักที่แสดงออกมาไม่ตรงและแก้ไขส่วนของโปรแกรม	1 เมษายน – 17 เมษายน
การวิเคราะห์ผลและการสรุปผล การจัดทำรูปเล่มโครงการ	22 เมษายน – 24 เมษายน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

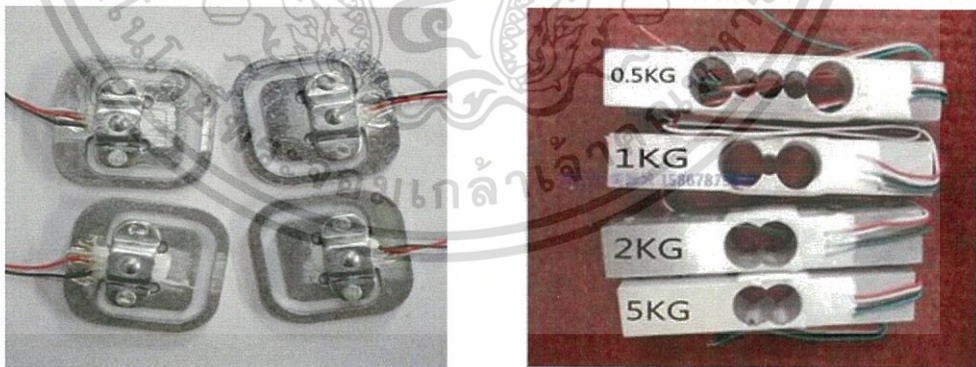
1. ได้เครื่องชั่งน้ำหนักเตียงผู้ป่วย ที่สามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวก
2. ช่วยลดงบประมาณของโรงพยาบาลในการจัดหาเครื่องชั่งน้ำหนักผู้ป่วย สำหรับผู้ป่วยไม่สามารถลุกไปชั่งน้ำหนักด้วยตัวเองได้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 เซ็นเซอร์ในการชั่งน้ำหนัก

ในปัจจุบันเครื่องมือวัดน้ำหนักที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมคือโหลดเซลล์ (Load Cell) แบบสเตรนเกจ (Strain Gage) แสดงดังรูปที่ 2.1 เหมาะสำหรับใช้วัดการเปลี่ยนแปลงความต้านทานที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์วัดความเครียดหรือสเตรนเกจ การใช้สเตรนเกจมีความยุ่งยาก แต่ต่อมาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้สเตรนเกจกลายเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานได้ง่ายขึ้นในขณะที่มีราคาถูกลง ปัจจุบันนี้แม้ในระดับห้องปฏิบัติการที่ต้องการวัดด้วยความแม่นยำสูง ยังคงมีความจำเป็นต้องใช้ตาชั่งแบบคานในการชั่งวัดอยู่ แต่ในงานอุตสาหกรรม ได้มีการใช้โหลดเซลล์แบบ โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ คือ อุปกรณ์ที่แปลงจากแรงหรือน้ำหนักที่กระทำกับโหลดเซลล์เป็นกระแสไฟฟ้า แล้วกระแสไฟฟ้าจะส่งไปที่ระบบประมวลผลที่แสดงค่าเป็นตัวเลข หลักการทำงานเบื้องต้นของโหลดเซลล์ คือ เมื่อมีแรงกระทำกับโหลดเซลล์ จะเกิดการเปลี่ยนรูปทางกลของโหลดเซลล์อย่างชั่วคราว ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าของ สเตรนเกจที่ติดตั้งบนโหลดเซลล์ และ แสดงออกมาในรูปแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากวงจรบริดจ์ โหลดเซลล์มักประกอบไปด้วย 4 สเตรนเกจต่อแบบ วงจร Wheatstone bridge

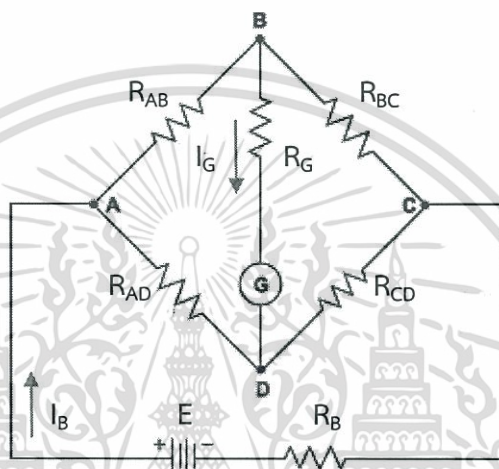


รูปที่ 2.1 โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วงจรบริดจ์ (Bridge Circuit)

วงจรบริดจ์ (Bridge Circuit) หมายถึง วงจรที่ประกอบด้วยค่าความต้านทาน 4 ตัว ต่อเป็นวงจรถ่าย กับวงจรสตาร์ - เดลต้า โดยมีกัลวานอมิเตอร์ (Galvanometer) ต่อเชื่อมระหว่างจุดต่อของค่าความต้านทาน R_{AB} กับ R_{AD} และ R_{BC} กับ R_{CD} ที่จุด B , D ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วงจรบริดจ์

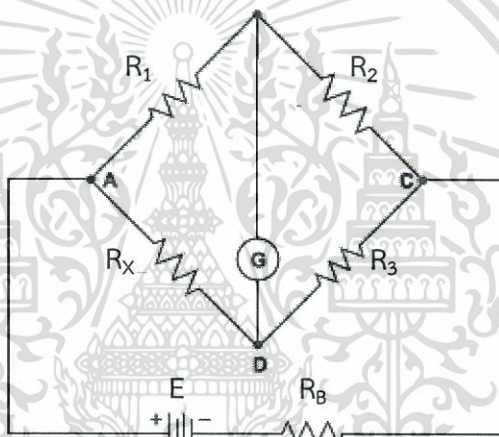
วงจรบริดจ์ สามารถแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ คือ

1. วงจรบริดจ์ในสภาวะสมดุล (Balanced Bridge Circuit)
2. วงจรบริดจ์ในสภาวะไม่สมดุล (Unbalanced Bridge Circuit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 วงจรบริดจ์ในสถานะสมดุล (Balanced Bridge Circuit)

ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Circuit) วงจรบริดจ์ที่ใช้กันมากคือวีทสโตนบริดจ์ (Wheatsytone Bridge) ซึ่งจะใช้วิธีการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้โดยวงจรบริดจ์จะประกอบด้วยค่าความต้านทาน 4 ค่า คือ R_1 , R_2 , R_3 (ค่าความต้านทานค่าคงที่) และ R_x (ค่าความต้านทานไม่ทราบค่า) ดังรูปที่ 2.3 การปรับค่าความต้านทานในวงจรบริดจ์จะปรับที่ความต้านทาน R_3 โดยปรับจนตำแหน่งของเข็มกัลป์วานอร์มิเตอร์ ซึ่งค่าที่ตำแหน่งศูนย์ในสภาวะอย่างนี้เรียกว่า สภาวะวงจรบริดจ์สมดุล (Balance Bridge Circuit) เนื่องจากจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกัลป์วานอร์มิเตอร์ ($I_G=0$) และค่าแรงดันระหว่างจุด B และ D จะมีค่าเท่ากัน นั่นคือ $V_B = V_D$



รูปที่ 2.3 วงจรบริดจ์ในสถานะสมดุล

ในสภาวะบริดจ์สมดุลนี้จะได้ความสัมพันธ์ของสมการจากวงจรรูปที่ 2.3 เมื่อวงจรบริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล แรงดันที่ตกคร่อม R_1 กับ R_x จะมีค่าเท่ากัน ($R_1 = R_x$) และแรงดันตกคร่อม R_2 กับ R_3 มีค่าเท่ากัน ($R_2 = R_3$) เช่นเดียวกัน ดังนั้นจะได้สมการ คือ

$$V_{R1} = V_{Rx} \quad (2.1)$$

และ
$$V_{R2} = V_{R3} \quad (2.2)$$

พิจารณาจากกฎของโอห์ม (Ohm's Law) จะได้

$$V_{R1} = I_1 R_1, \quad V_{R2} = I_1 R_2, \quad V_{R3} = I_2 R_3, \quad V_{Rx} = I_2 R_x$$

แทนค่า V_{R1} , V_{R2} , V_{R3} และ V_{Rx} ลงในสมการที่ (2.1) และ (2.2)

$$I_1 R_1 = I_2 R_x \quad (2.3)$$

$$I_1 R_2 = I_2 R_3 \quad (2.4)$$

เมื่อเอาสมการที่ (2.4) ทหารสมการที่ (2.5) จะได้

$$\frac{I_1 R_1}{I_1 R_2} = \frac{I_2 R_x}{I_2 R_3} \quad (2.5)$$

จะได้

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_3}$$

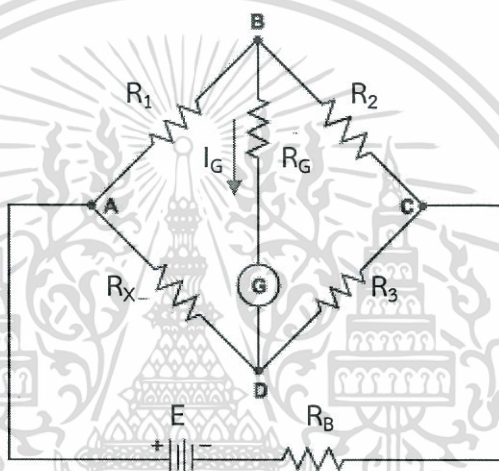
หรือ
$$R_1 R_3 = R_2 R_x \quad (2.6)$$

หรือ
$$R_x = \frac{R_1 R_3}{R_2} \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 วงจรบริดจ์ในสถานะไม่สมดุล (Unbalanced Bridge Circuit)

ในสภาวะวงบริดจ์ไม่สมดุลเกิดจากอัตราส่วนของค่าความต้านทานในวงจรวัดไม่เท่ากัน นั่นคือ $R_1/R_2 \neq R_x/R_3$ ทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมความต้านทานในวงจรวัดไม่เท่ากันด้วย คือ $V_{R1} \neq V_{R2}$ และ $V_{R3} \neq V_{R4}$ ส่งผลให้ค่าความต่างศักย์ที่จุด A และ B มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ คือ $V_{AB} \neq 0$ จึงทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหล ผ่านกัลป์วานอมิเตอร์ (I_G) เข็มของกัลป์วานอมิเตอร์จะชี้และเบี่ยงเบนตามปริมาณกระแสที่ไหลผ่านสภาวะ แบบนี้เรียกว่า สภาวะวงบริดจ์ไม่สมดุล (Unbalanced Bridge Circuit) ดังรูปที่ 2.4

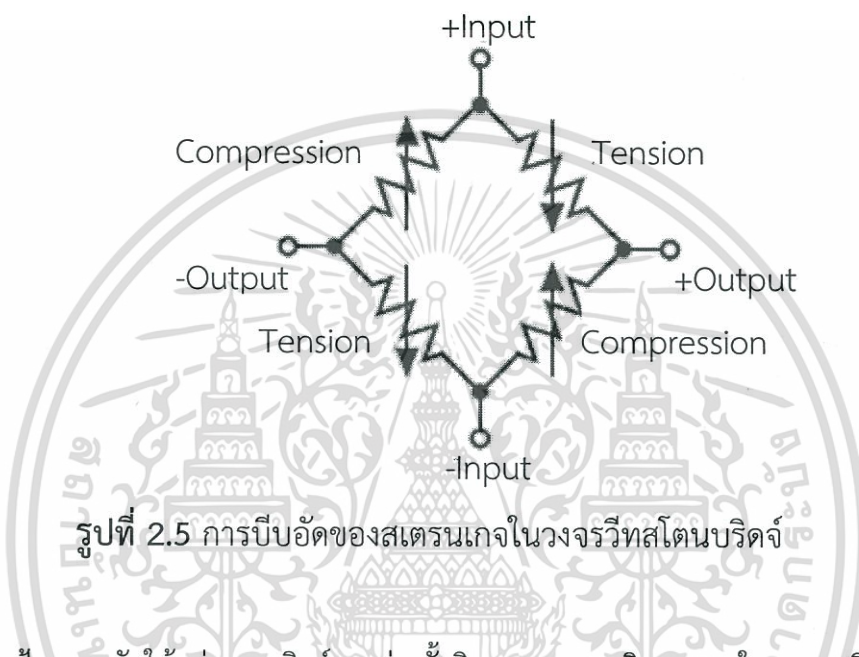


รูปที่ 2.4 วงจรบริดจ์ในสถานะไม่สมดุล

ในสภาวะบริดจ์ไม่สมดุลจะได้ $V_{R1} \neq V_{Rx}$, $V_{R2} \neq V_{R3}$, และ $V_{AB} \neq 0$ เมื่อ

$$R1 R2 \neq Rx R3$$

เนื่องจากค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปมีค่าค่อนข้างต่ำ ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงนิยมนำสเตรนเกจมาใช้งานโดยต่อวงจรแบบวีทสโตนบริดจ์ดังในรูปที่ 2.5

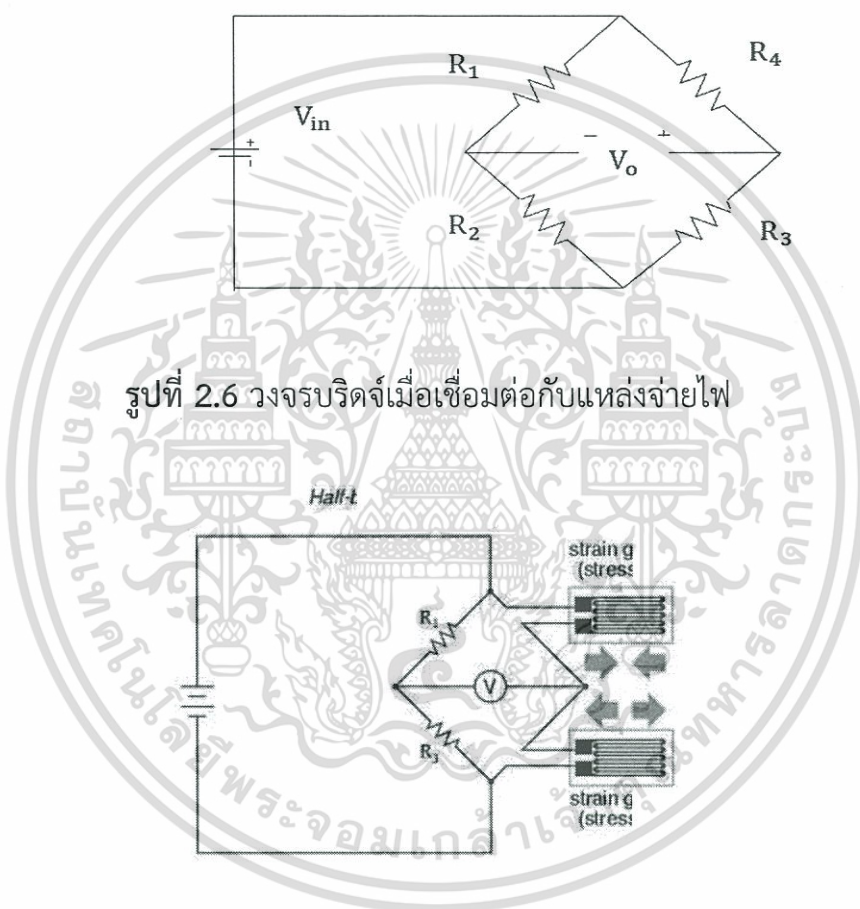


รูปที่ 2.5 การบีบอัดของสเตรนเกจในวงจรวีทสโตนบริดจ์

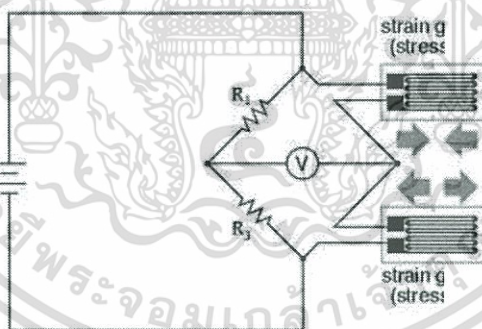
เมื่อเราป้อนแรงดันให้แก่วงจรบริดจ์ระหว่างขั้วอินพุตบวกและอินพุตลบ ในสภาวะที่ยังไม่มีแรงมากระทำหรือยังไม่มีน้ำหนักมากระทำต่อโหนดเซลล์ ค่าความต้านทานของสเตรนเกจภายในจะมีค่าเท่ากันทำให้วงจรบริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล แรงดันเอาต์พุตที่ออกมาระหว่างขั้วเอาต์พุตบวกและเอาต์พุตลบจะมีค่าเป็นศูนย์ และเมื่อมีแรงมากระทำหรือมีน้ำหนักมากระทำต่อโหนดเซลล์จะทำให้สเตรนเกจยืดออกหรือหุบเข้าจะทำให้ค่าความต้านทานภายใน สเตรนเกจของแต่ละตัวนั้นเปลี่ยนค่าไป ทำให้วงจรบริดจ์อยู่ในสภาวะที่ไม่สมดุล ทำให้สามารถวัดแรงดันที่เอาต์พุตออกมาได้ ยิ่งมีน้ำหนักหรือวัตถุที่มากระทำต่อโหนดเซลล์มากเพียงใดก็จะทำให้ค่าความต้านทานของสเตรนเกจนั้นเปลี่ยนค่าไปมากขึ้นและยังทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่ามากขึ้นด้วย

อย่างไรก็ตามแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากวงจรบริดจ์นั้นมีค่าน้อยมากจึงต้องอาศัยวงจรขยายสัญญาณเพื่อให้แรงดันเอาต์พุตนั้นมีค่าเพิ่มมากขึ้นเพื่อที่จะนำแรงดันที่ได้ไปประมวลผลในกระบวนการต่อไปโดยแรงดันเอาต์พุตภายในวงจรวีทสโตนบริดจ์จะเป็นไปตามสมการ

$$V_o = \left[\frac{R_3}{R_3+R_4} - \frac{R_2}{R_1+R_2} \right] V_{in} \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.6 วงจรบริดจ์เมื่อเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 2.7 การต่อสเตรนเกจเป็นวงจร Wheatstone bridge

ค่าแรงดัน V_{out} เป็นไปตามสมการ

$$V_{out} = \frac{\Delta RE}{R} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สเตรนเกจ (Strain Gage)

เป็นตัวแปลงแบบเฉื่อยงาน (Passive Transducer) ซึ่งทำหน้าที่แปลงแรงดึงที่ภาษาทางกลศาสตร์เรียกว่า ความเครียด (Strain) กระทำบนตัวอุปกรณ์ให้เป็นการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้า สเตรนเกจ จึงมีการนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น การวัดน้ำหนัก ความดัน แรงเชิงกล และการเคลื่อนที่ สเตรนเกจสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบยึดติด (Bonded Strain Gage) และแบบไม่ยึดติด (Unbonded Strain Gage) โดยสเตรนเกจทั้งสองชนิดจะมีลักษณะโครงสร้างและการทำงานที่คล้ายกันคือทำด้วยเส้นลวดเล็กๆขดไปขดมาและนำไปติดกับวัตถุที่ต้องการตรวจวัดความเครียด



รูปที่ 2.8 สเตรนเกจแบบยึดติด

รูปที่ 2.9 สเตรนเกจแบบไม่ยึดติด

เมื่อสเตรนเกจ ถูกยึดออกความยาวของเส้นลวดจะเพิ่มขึ้นในขณะที่พื้นที่หน้าตัดจะลดลง ทำให้ความต้านทานของเส้นลวดเพิ่มขึ้นเนื่องจากความต้านทานโลหะตัวนำจะแปรค่าโดยตรงตามความยาวและแปรผกผันกับพื้นที่หน้าตัด โดยเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (2.10)$$

R คือ ค่าความต้านทานของขดลวดตัวนำมีหน่วยเป็นโอห์ม

ρ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานของลวดตัวนำที่ใช้ทำสเตรนเกจมีหน่วยเป็นโอห์ม-เมตร

L คือ ความยาวของขดลวดตัวนำมีหน่วยเป็นตารางเมตร

A คือ พื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำมีหน่วยเป็นตารางเมตร

เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของลวดตัวนำเมื่อได้รับแรงกระทำแล้วจะพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นสองประการคือ ความยาวของลวดตัวนำเปลี่ยนไปจากเดิม และความต้านทานของลวดตัวนำก็เปลี่ยนไปจากเดิม เพราะฉะนั้นถ้านำค่าทั้งสองชนิดนี้ไปทำการเทียบสัดส่วนกันก็จะได้ค่าตัวประกอบชนิดหนึ่งซึ่งมีชื่อเรียกว่า ค่าตัวประกอบเกจ หรือ Gage factor ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$K = \frac{(\Delta R)R}{(\Delta L)L} \quad (2.11)$$

K คือ ค่าตัวประกอบเกจ

ΔR คือ ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปของลวดตัวนำหลังจากถูกแรงกระทำ

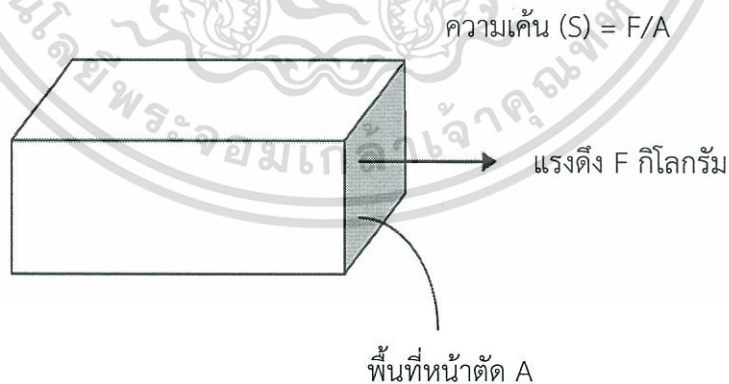
R คือ ค่าความต้านทานของลวดตัวนำเริ่มแรกก่อนถูกแรงกระทำ

ΔL คือ ค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปของลวดตัวนำหลังจากถูกแรงกระทำ

L คือ ค่าความยาวของลวดตัวนำก่อนถูกแรงกระทำ

และเนื่องจากค่า $\frac{(\Delta L)}{L}$ ได้รับการกำหนดชื่อทางกลศาสตร์ว่าค่าคงตัวความเครียด แทนด้วยตัวแปร

ϵ จึงสามารถเขียนสมการได้เป็น $K = \frac{(\Delta R)R}{\epsilon}$ สมมติว่าแรงทางกลศาสตร์ที่กระทำต่อวัสดุโครงสร้างดังกล่าวมีค่าเท่ากับ F ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตร และพื้นที่หน้าตัดของวัสดุดังกล่าวมีค่าเท่ากับ A ตารางเมตร



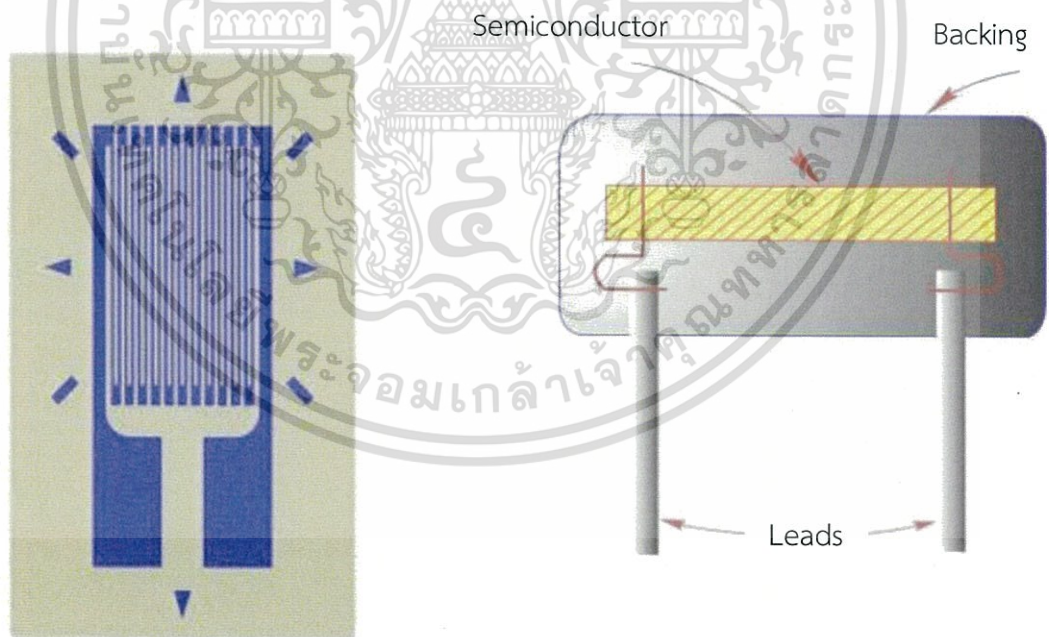
รูปที่ 2.10 การคำนวณหาความเค้น

จะสามารถคำนวณหาค่าความเค้นที่กระทำต่อวัสดุนั้นได้จากสมการ

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.12)$$

- σ คือ ค่าความเค้นของวัสดุ
 F คือ แรงที่กระทำต่อวัสดุ
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ

อุปกรณ์สเตรนเกจสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ แบบโลหะ และ แบบสารกึ่งตัวนำ สำหรับสเตรนเกจแบบโลหะลวดตัวนำเป็นลวดชนิดอ่อนโดยลวดตัวนำเป็นลวดชนิดอ่อนโดยทั่วไปมีขนาดเล็ก เพราะนิยมใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง นอกจากนี้ยังมีสเตรนเกจแบบโลหะชนิดที่ลวดตัวนำมาจากแผ่นโลหะบางๆซึ่งมีขนาดใหญ่และมีความเที่ยงตรงสูงกว่าแบบลวดชนิดอ่อนสำหรับ สเตรนเกจแบบสารกึ่งตัวนำนิยมใช้งานในกรณีที่ต้องการเอาท์พุทที่มีระดับสูงมีความไวสูง ตัวประกอบเกจอยู่ในช่วง 50 ถึง 200 แต่มีความเป็นเชิงเส้นต่ำและอาจทำงานผิดพลาดในสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง



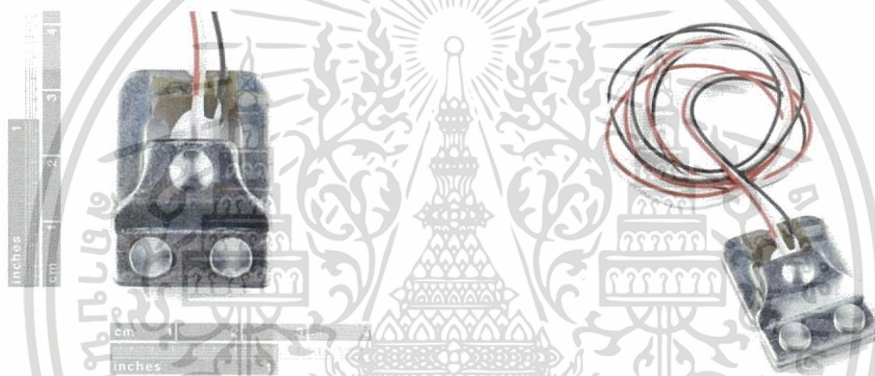
รูปที่ 2.11 สเตรนเกจแบบโลหะ และสเตรนเกจแบบสารกึ่งตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 โหลดเซลล์

โหลดเซลล์ คือ เซนเซอร์ที่สามารถแปลงค่าแรงกด หรือแรงดึงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้ เหมาะสำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกลของชิ้นงาน (Mechanical Properties of Parts) โหลดเซลล์ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท ได้แก่ การชั่งน้ำหนัก การทดสอบแรงกดของชิ้นงาน การทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงาน การทดสอบการเข้ารูปชิ้นงาน (Press fit) ใช้สำหรับงานทางด้านวัสดุ โลหะ ทดสอบโลหะ ชิ้นส่วนรถยนต์ วิศวกรรมโยธา ทดสอบคอนกรีต ทดสอบไม้ ฯลฯ

โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ (Strain Gauge Load cell) ซึ่งใช้ในการทำโครงการนี้หลักการทำงานของ โหลดเซลล์ ประเภทนี้ก็คือ เมื่อมีน้ำหนักมากระทำ ความเครียด (Strain) จะเปลี่ยนเป็นความต้านทานทางไฟฟ้าใน สัดส่วนโดยตรงกับแรงที่มากระทำ ปกติแล้วมักจะใช้เกจวัดความเครียด 4 ตัว



รูปที่ 2.12 โหลดเซลล์ 50 kg

ในทางปฏิบัติการใช้งานโหลดเซลล์เพียงแค่อายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับโหลดเซลล์ตามขั้วอินพุตที่กำหนดของโหลดเซลล์แรงดันเอาต์พุตที่ได้ก็จะแปรผันตรงกับแรงที่มากระทำต่อโหลดเซลล์ ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะยังคงมีค่าน้อยอยู่มาก จึงต้องนำไปผ่านวงจรขยายสัญญาณก่อนเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการต่อไปโดยส่งสัญญาณเข้าไปยังกระบวนการประมวลผลแรงดันที่ได้จากการขยายสัญญาณเพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลในไมโครคอนโทรลเลอร์จากนั้นจึงส่งไปยังกระบวนการแสดงผลทางจอ LCD โดยโหลดเซลล์ที่จำหน่ายในปัจจุบันมีหลายชนิดหลายแบบ ขึ้นอยู่กับว่าจะนำไปใช้งานแบบไหน

2.5 วงจรขยายสัญญาณ

วงจรขยายสัญญาณการวัดแบบปรับอัตราขยายได้ (Instrumentation Amplifiers) เป็นวงจรขยายอุปกรณ์วัดมาตรฐานที่นิยมใช้กันมากในระบบการวัดและระบบการควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากในระบบการวัดระบบหนึ่ง อาจมีการเชื่อมต่อเพื่อรับสัญญาณจากตัวตรวจรู้ที่ต่างชนิดกัน ซึ่งสัญญาณที่ได้ตัวตรวจรู้หลายประเภทมักจะมีช่วงของระดับที่แตกต่างกันไป ดังนั้นการปรับอัตราขยายได้จะทำให้ทุกๆ ช่องสัญญาณถูกปรับให้อาพท์พุทมีระดับแรงดันที่เท่ากันทำให้สะดวกในการนำไปเชื่อมต่อกับวงจรส่วนอื่นต่อไป



รูปที่ 2.13 Instrument Amplifier 128

วงจรรขยายอุปกรณ์การวัดจะมีอัตราขยายของวงจรถะ สามารถปรับการขยายแรงดันได้ด้วย โฟเทนซีอิมิตอร์ เพียงตัวเดียว โดยสามารถวิเคราะห์เพื่อหาอัตราขยายได้ดังนี้

$$V_0 = A(V_2 - V_1) \quad (2.13)$$

และ
$$V_1 = I(2R_1 - R_G) + V_4 \quad (2.14)$$

$$V_{S1} = I(R_G) + V_{S2} \quad (2.15)$$

จาก
$$I = \frac{V_{S1} - V_{S2}}{R_G} \quad (2.16)$$

$$V_1 = (2R_1 - R_G) \left(\frac{V_{S1} - V_{S2}}{R_G} \right) + V_4$$

$$V_2 - V_1 = \left(\frac{2R_1 + R_G}{R_G} \right) (V_{S2} - V_{S1})$$

ดังนั้น
$$V_0 = \frac{1 + 2R_1}{R_G} (V_{S1} - V_{S2}) \quad (2.17)$$

อัตราขยายแรงดัน

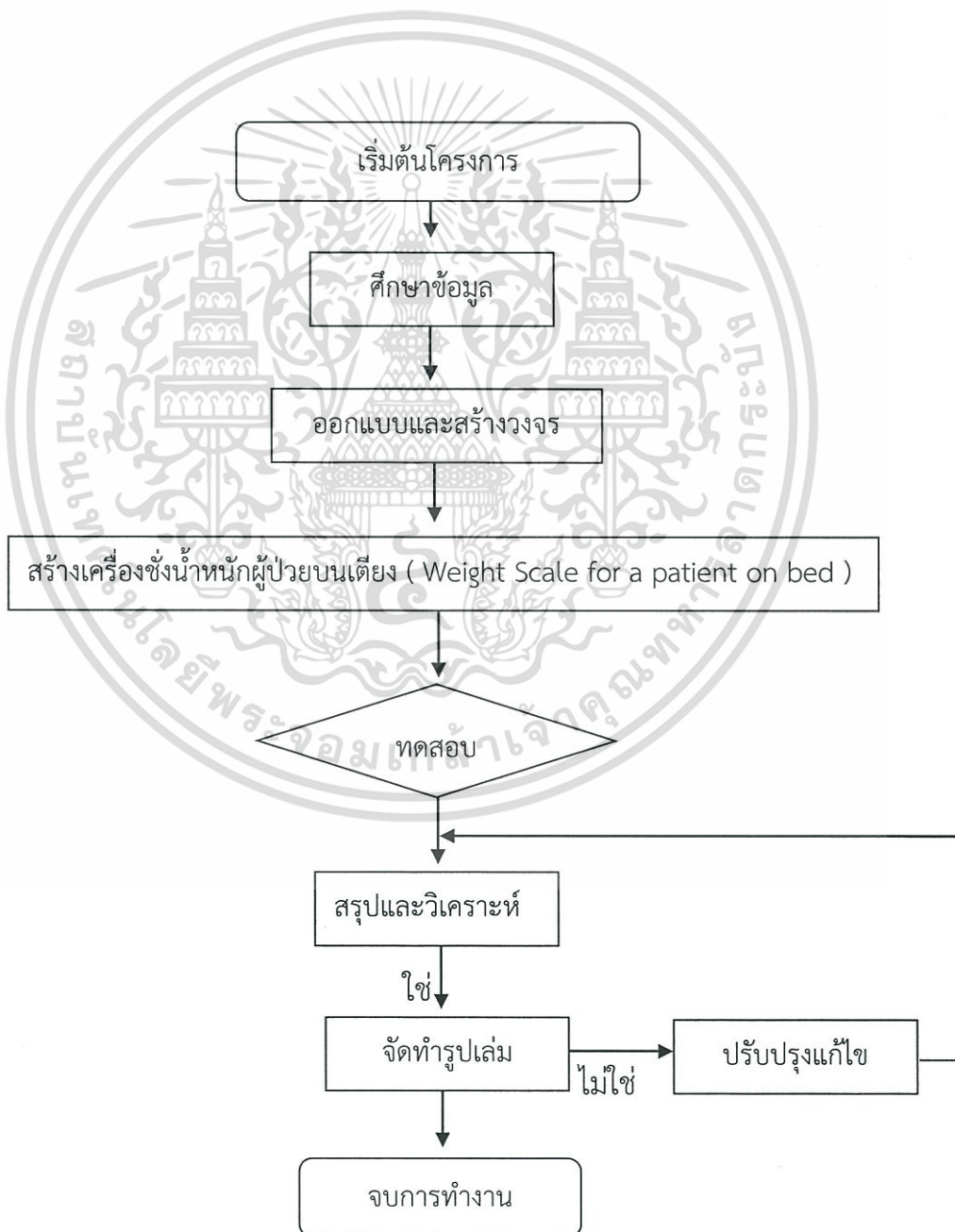
$$A_v = 1 + \frac{2R_1}{R_G} \quad (2.18)$$

จากสมการความสัมพันธ์จะเห็นว่า R_G อัตราขยายของวงจรถะถูกเปลี่ยนแปลงได้โดยค่าความต้านทาน ซึ่งถ้าความต้านทาน R_G มีค่าสูงจะทำให้อัตราขยายของวงจรถ่าและในทำนองเดียวกัน ถ้า R_G มีค่าเป็นอนันต์อัตราขยายจะมีค่า เป็น 1 และถ้า R_G มีค่าเป็นศูนย์ จะทำให้อัตราขยายของวงจรมีค่าใกล้เคียง A_v หรืออัตราขยายวงรอบเปิดของ ออปแอมป์สำหรับ R สามารถกำหนดค่า ให้เป็นค่าอื่นๆ ที่ไม่เท่ากันได้เพื่อให้ให้อัตราการขยายแรงดันในส่วนวงจรถะลบลัญญาน มีค่าเปลี่ยนไป ซึ่งจะทำให้ให้อัตราการขยายโดยรวมของวงจรถะเปลี่ยนไปด้วย

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

ในการปฏิบัติงานให้สำเร็จได้ตามวัตถุประสงค์ ภายในระยะเวลาที่กำหนดนั้นจำเป็นต้องมีการวางแผนโครงการเพื่อให้ทราบถึงแนวทางและขั้นตอนในการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง แผนโครงการดังกล่าวสามารถเขียนเป็นแผนผังการดำเนินงานได้ในการทำโครงการอิเล็กทรอนิกส์สามารถเขียนเป็นแผนการแสดงขั้นตอนในการดำเนินงานโดยสรุปเพื่อที่จะให้เห็นภาพโดยรวมในการจัดทำโครงการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การคำนวณและออกแบบ

เครื่องชั่งน้ำหนักผู้ป่วยบนเตียง (Weight Scale for a patient on bed)

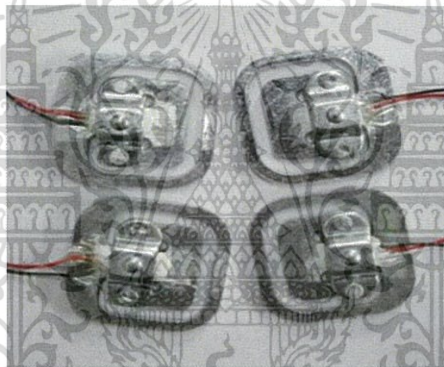
3.1 คุณสมบัติของเครื่องชั่งน้ำหนักผู้ป่วยบนเตียง คือ

สามารถชั่งน้ำหนักผู้ป่วยได้ 200kg ต่อ1เครื่องชั่ง มีทั้งหมด 4 เครื่อง แสดงผลบนคอมพิวเตอร์

3.2 การออกแบบเครื่องชั่งน้ำหนักผู้ป่วยบนเตียง

3.2.1 เซ็นเซอร์ Load cell ขนาด 50 kg

ในการออกแบบเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลนั้นต้องทำการแปลงน้ำหนักที่ได้เป็นแรงดันเสียก่อน ถึงจะสามารถนำไปประมวลผลต่อได้ จึงจำเป็นต้องใช้ Load cell ในการแปลงน้ำหนักเป็นแรงดัน ในที่นี้ใช้ขนาด 50 kg โดยใช้ทั้งหมด 4 ตัว จึงจะสามารถรองรับน้ำหนักขนาด 200 kg ได้



รูปที่ 3.2.1 load cell ขนาด 50kg จำนวน 4 ตัว

3.2.2 การออกแบบวงจรกรองสัญญาณ (Filter)

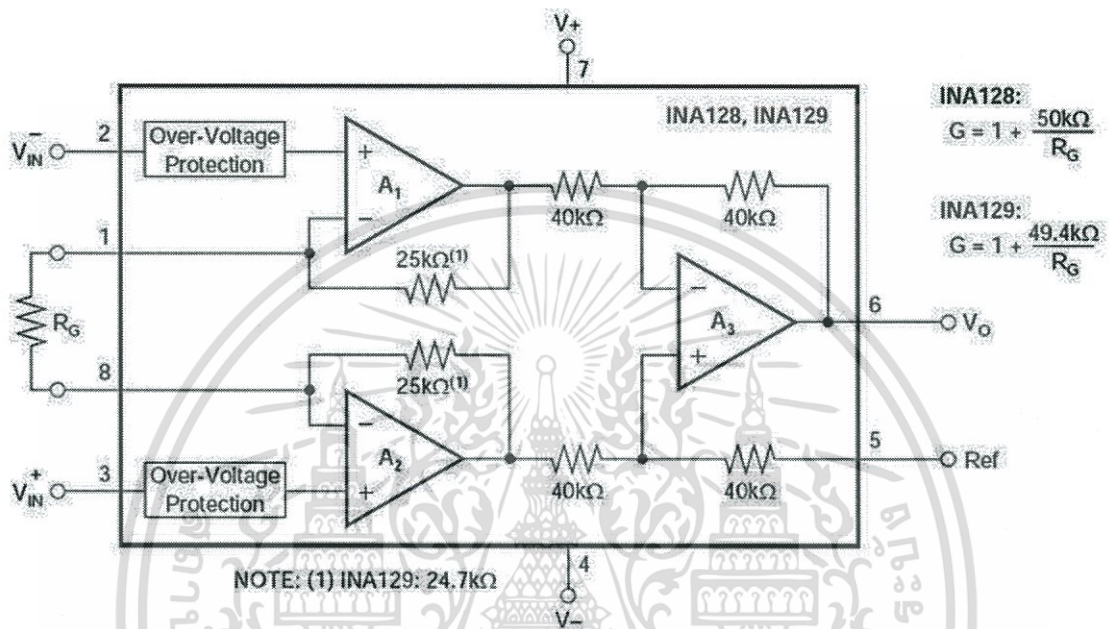
low pass filter $F = 0.159/RC$

เนื่องจากความถี่ของวงจรมีค่า 50Hz และใช้ค่าตัวเก็บประจุ 1 ไมโครฟารัด

จึงใช้ความต้านทานขนาด 4000 โอห์ม มาใช้ในการกรอง

3.2.3 การออกแบบวงจรรขยายสัญญาณ (Operational Amplifiers)

เนื่องจากแรงดันที่ได้จาก Load cell มีค่าที่น้อยมาก จึงใช้ instrument amplifier เพื่อให้ได้ อัตราขยายที่เพิ่มมากขึ้น โดยใช้อัตราขยาย 250เท่า ($R=200$ โอห์ม) เพื่อให้ได้ Output ตามที่ต้องการ



รูปที่ 3.2.3 วงจรภายใน instrument amplifier128

3.2.4 วงจรรขยายแบบรวมสัญญาณ (Summing Amplifier)

วงจรรขยายสัญญาณแบบรวมสัญญาณ คือ วงจรออปแอมป์ที่รวมอินพุตตั้งแต่ 2 อินพุตขึ้นไปมารวมกันและแรงดันเอาต์พุตจะเท่ากับผลรวมของแรงดันอินพุตคูณกับอัตราขยายของวงจรรวม

$$i_1 + i_2 + i_3 = i \quad (3.1)$$

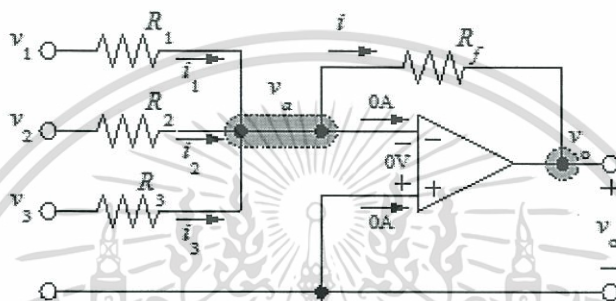
$$i_1 = \frac{v_1 - v_a}{R_1} \quad i_2 = \frac{v_2 - v_a}{R_2} \quad i_3 = \frac{v_3 - v_a}{R_3} \quad (3.2)$$

$$i = \frac{v_a - v_o}{R_f} \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_a = 0 \quad (3.4)$$

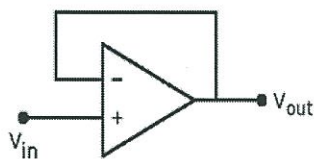
$$v_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} v_1 + \frac{R_f}{R_2} v_2 + \frac{R_f}{R_3} v_3\right) \quad (3.5)$$



รูปที่ 3.2.4 Summing Amplifier เมื่อมีการป้อนกลับแบบลบ

3.2.5 วงจร Buffer

วงจรบัฟเฟอร์หรือวงจรกันชน เป็นวงจรที่ใช้เชื่อมวงจรสองวงจรเข้าด้วยกัน เช่นระบบไอซีที่ต่างตระกูลกันหรือทรานซิสเตอร์ที่ไม่แมทซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์กัน คือวงจรที่จำเป็นต้องใช้บัฟเฟอร์เพราะคุณสมบัติของออปแอมป์ทางเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำ เมื่อเชื่อมต่อกับวงจรอื่นแล้วจะไม่ทำให้วงจรอื่นมีผลแตกต่างไปจากเดิม วงจรบัฟเฟอร์นั้นจะมีอัตราขยายเท่ากับ 1

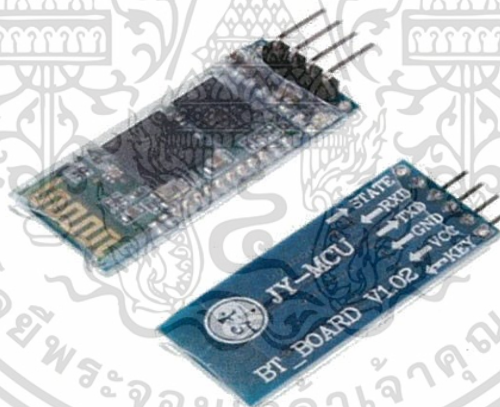


รูปที่ 3.2.5 วงจร Buffer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 Bluetooth

Bluetooth คือ ระบบสื่อสารของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบสองทาง ด้วยคลื่นวิทยุระยะสั้น (Short-Range Radio Links) โดยปราศจากการใช้สายเคเบิล หรือ สายสัญญาณเชื่อมต่อ และไม่จำเป็นต้องใช้การเดินทางแบบเส้นตรงเหมือนกับอินฟราเรด ซึ่งถือว่าเพิ่มความสะดวกมากกว่าการเชื่อมต่อแบบอินฟราเรด ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์มือถือ กับอุปกรณ์ ในโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่นก่อนๆ Bluetooth จะใช้สัญญาณวิทยุความถี่สูง 2.4 GHz. แต่จะแยกย่อยออกไป ตามแต่ละประเทศ ระยะทำการของ Bluetooth จะอยู่ที่ 5-10 เมตร โดยมีระบบป้องกันโดยใช้การป้อนรหัสก่อนการเชื่อมต่อ และ ป้องกันการดักสัญญาณระหว่างสื่อสาร โดยระบบจะสลับช่องสัญญาณไปมา จะมีความสามารถในการเลือกเปลี่ยนความถี่ที่ใช้ในการติดต่อเองอัตโนมัติ โดยที่ไม่จำเป็นต้องเรียงตามหมายเลขช่อง ทำให้การดักฟังหรือลักลอบขโมยข้อมูลทำได้ยากขึ้น โดยหลัก ของ Bluetooth จะถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากใช้การขนส่งข้อมูลในจำนวนที่ไม่มาก อย่างเช่น ไฟล์ภาพ, เสียง, แอปพลิเคชันต่างๆ และสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ขอให้อยู่ในระยะที่กำหนดไว้เท่านั้น (ประมาณ 5-10 เมตร) นอกจากนี้ยังใช้พลังงานต่ำ กินไฟน้อย และสามารถใช้งานได้นาน โดยไม่ต้องนำไปชาร์จไฟบ่อยๆ



รูปที่ 3.2.6 Bluetooth HC – 05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.7 Microcontroller

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (อังกฤษ: Microcontroller) คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู, หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน

โครงสร้างโดยทั่วไป

โครงสร้างโดยทั่วไป ของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit)
2. หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกระดานขดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำ (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีพรอม (EEPROM: Erasable Electrically Read-Only Memory) สามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง
3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก ใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุต เพื่อรับสัญญาณ อาจจะใช้การกดสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น
4. ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่างซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus) , บัสแอดเดรส (Address Bus) และ บัสควบคุม (Control Bus)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับวงจรถ่ายทอดสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้น มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

3.2.7.1 PIC (Peripheral Interface Controller)

PIC คือ microcontroller อีกตระกูลหนึ่ง ย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller ซึ่ง concept ของ microcontroller ตระกูลนี้ก็คือ รวมทุกอย่างไว้ในตัวของ PIC เช่น PROGRAM MEMORY, RAM, EEPROM, SERIAL, I2C, PWM, A/D ฯลฯ โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอก ในตัวของ PIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผล รวมทั้งหน่วยความจำ ซึ่งทำให้เหมือนกับ

CPU

รูปที่ 3.2.7.1 PIC 18F 4520

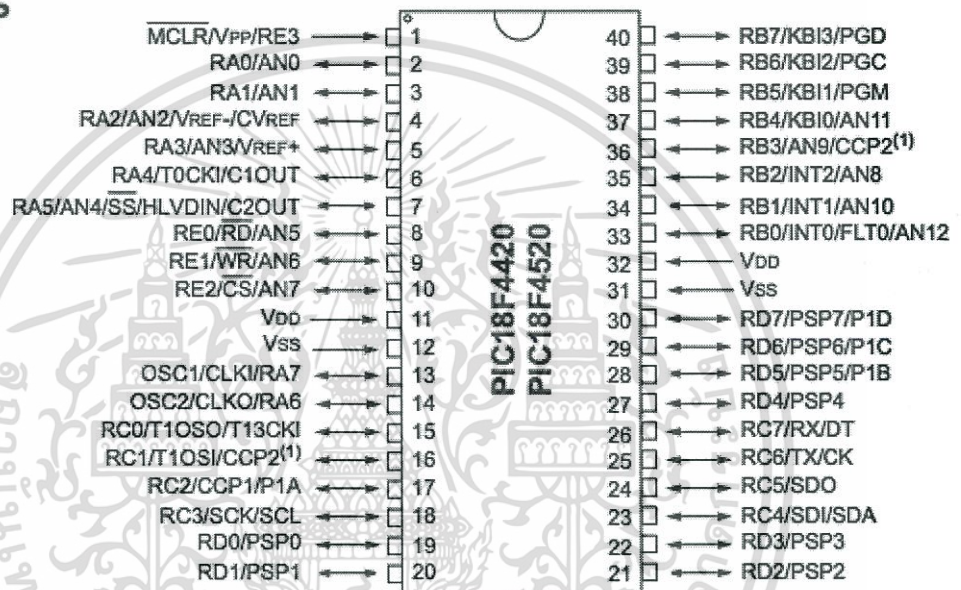
หน่วยความจำของ PIC

หน่วยความจำของ PIC จะค่อนข้างน้อย คืออยู่ระหว่าง 512 words ถึง 4K words แต่ในปัจจุบัน บริษัท microchip ซึ่งเป็นเจ้าของ PIC ได้พัฒนาจนทำให้ memory ของ PIC มีขนาดเป็นหลายสิบกิโลไบต์ และมีที่คาดว่าจะขยายได้ใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ในเรื่องของการนับขนาดของหน่วยความจำของ PIC จะนับไม่เหมือนปกติ โดยที่หนึ่งคำสั่งของ PIC จะมีขนาด 14 bits ดังนั้นเราจะเรียกว่า 1 word ของ PIC จะมีขนาด 14 bits เช่น PIC16F84A ระบุว่ามีความจำ 1 K (ซึ่งหมายถึง 1 Kword ถ้าคำนวณให้เป็นแบบ 1 byte = 8 bit จะได้ว่า $1 \times 1,024 \times 14 = 14,336$ bits ดังนั้นก็คือ $14,336 / (8 \times 1,024) = 1.75K$ bytes นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดด้อยของ PIC ก็คือ program memory มีลักษณะเป็น page ทาง Microchip เองก็คงเห็นจุดด้อยตรงนี้จึงได้พัฒนาออกมาเป็น PIC18CXXX ซึ่ง PROGRAM MEMORY ไม่ถูกแบ่งเป็น page อีกต่อไป และเพิ่มคำสั่ง ASSEMBLY เป็น 77 คำสั่ง รวมทั้งออกแบบให้ PROGRAM MEMORY มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อรองรับ การเขียนโปรแกรมภาษา C หลังจากนั้นจึงได้ออก PIC18FXXX ตามมาพร้อมกับ ICD2

40-Pin PDIP



รูปที่ 3.2.7.2 การเรียงขาของ PIC

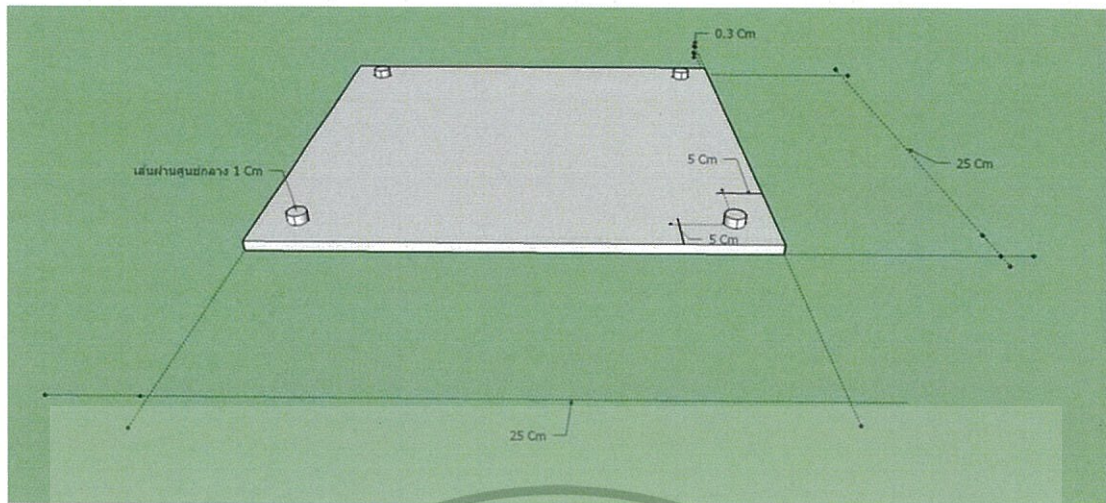
คุณสมบัติของ PIC18CXXX, PIC18FXXX (FLASH MCUs)

- มีคำสั่งในภาษา assembly 77 คำสั่ง
- มี I/O, มี Timer มากกว่า 1 ตัว, Watch dog, I2C, USART, SPI, PWM, CAN
- มี A/D ขนาด 10 bits
- สามารถต่อกับ program memory ภายนอก โดยอ้างได้ถึง 64K x 16 Program memory
- มี Program memory เป็นแบบ Flash ทำให้สามารถโปรแกรมใหม่ได้หลายครั้ง
- ในตระกูล 18FXXX มี EEPROM ภายใน
- ในตระกูล 18FXXX สนับสนุน In Circuit Debugging (ICD)

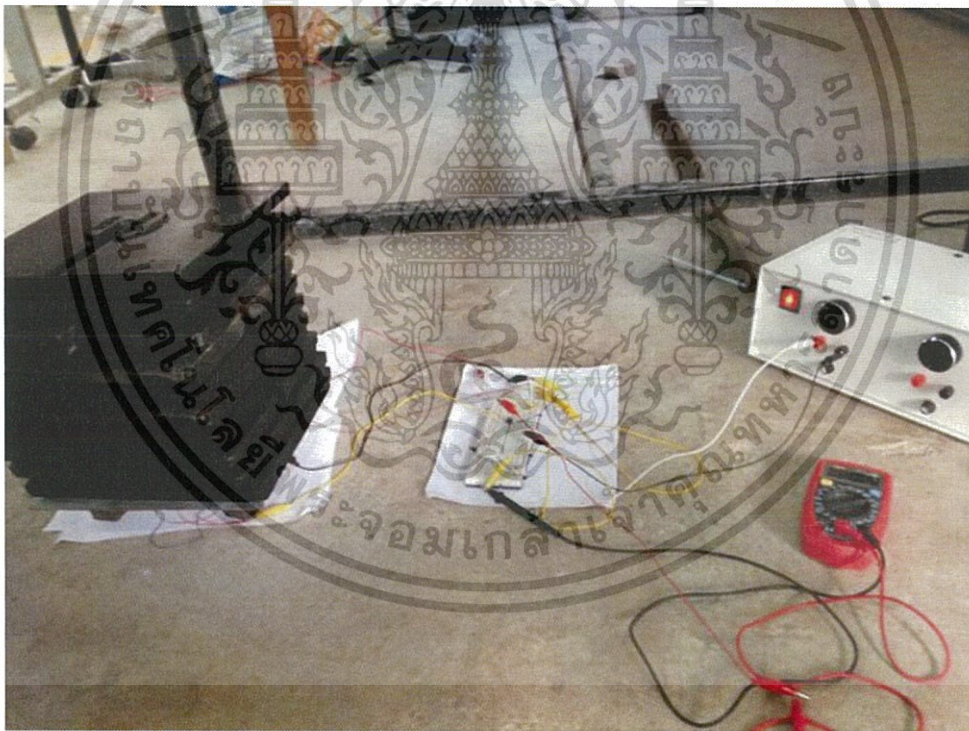
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการทำงาน

- 1) ใช้โปรแกรม Altium ในการวาด Schematic ขึ้นมา
- 2) ใช้โปรแกรม Altium สร้างแผ่น PCB (มาจากการ update Schematic) ทำการ Route หรือลากลายวงจร
- 3) นำวงจรที่ลากลายเสร็จแล้วไปปรี้น ใส่กระดาษอาร์ตมัน โดยใช้เครื่องปรี้นเลเซอร์
- 4) นำกระดาษอาร์ตมันที่ได้มารีดลงแผ่น PCB (แผ่นทองแดงหน้าเดียว) โดยต้องใช้เตารีดที่ความร้อนสูงสุด รีดจนกว่าลายวงจรจะติดลงไปบนแผ่น PCB ทุกซอกทุกมุมนำแผ่น PCB นั้นไปล้างน้ำเพื่อถูหรือลอกกระดาษส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องออกไป ถ้าเกิดว่าส่วนไหนที่วงจรขาดหายไป ให้ใช้ ปากกา Permanent เติมลงไปเพื่อให้ครบสมบูรณ์ ถูกต้อง
- 5) นำแผ่น PCB นั้นไปล้างน้ำเพื่อถูหรือลอกกระดาษส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องออกไป ถ้าเกิดว่าส่วนไหนที่วงจรขาดหายไป ให้ใช้ปากกา Permanent เติมลงไปเพื่อให้ครบสมบูรณ์ ถูกต้อง
- 6) นำแผ่น PCB ที่ได้ (ครบถ้วน ถูกต้อง สมบูรณ์) ไปแช่ลงในกรดกัดปรี้นที่เตรียมไว้การเตรียมกรดกัดปรี้น (นำกรดกัดปรี้นที่เป็นก้อน ไปละลายในน้ำ ยิ่งกรดมีความเข้มข้น มากเท่าไร ยิ่งทำปฏิกิริยาต่อแผ่นทองแดงหน้าเดียวได้มากเท่านั้น)
- 7) ได้แผ่นวงจรที่มีลายทองแดงตามที่ลากลายไว้ใน Altium ออกมา
- 8) นำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ มาบัดกรีลงบนลายทองแดง
- 9) ออกแบบร่างแมคคาทรอนิกส์ของเครื่องซึ่งน้ำหนักเพียงผู้ป่วย
- 10) ตัดเหล็กให้ได้รูปตามแบบที่ร่างไว้และทำการเชื่อม
- 11) ทำเครื่องซึ่งน้ำหนักเพียงผู้ป่วยออกมาทั้งหมด 4 เครื่อง
- 12) เขียนโปรแกรมใน MPLAB IDE เพื่อทำการรวมผลน้ำหนักทั้ง 4 เครื่อง ให้ส่งผลผ่าน Bluetooth เขียนโปรแกรมใน Visual Studio เพื่อเป็นโปรแกรมแสดงผลบนคอมพิวเตอร์
- 13) แก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ทำการปรับปรุง และตรวจสอบความเรียบร้อย

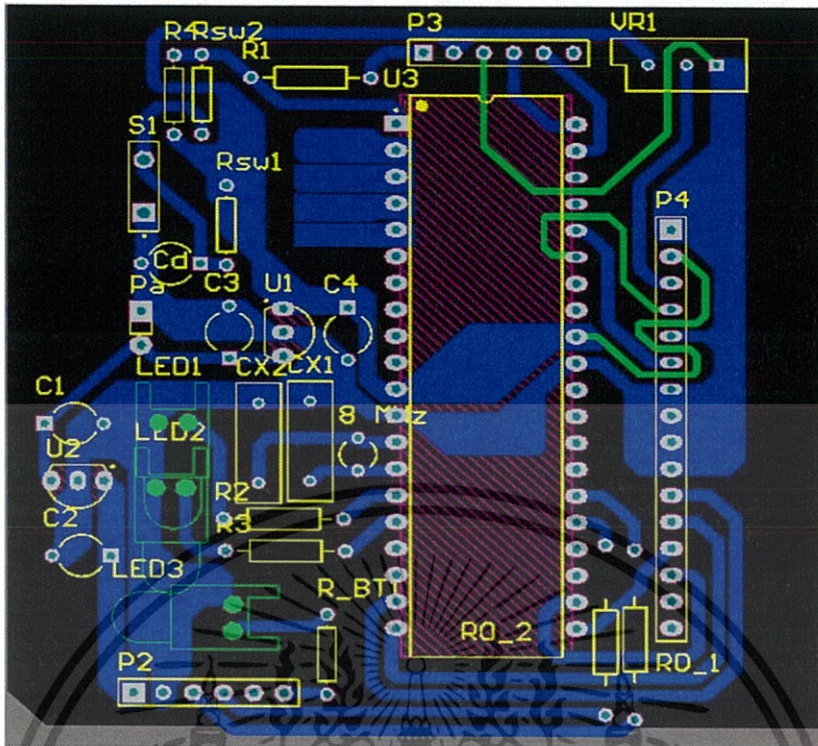


รูปที่ 3.3.1 การออกแบบแท่นวางน้ำหนัก



รูปที่ 3.3.2 การทดสอบชั่งน้ำหนักลงบน load cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



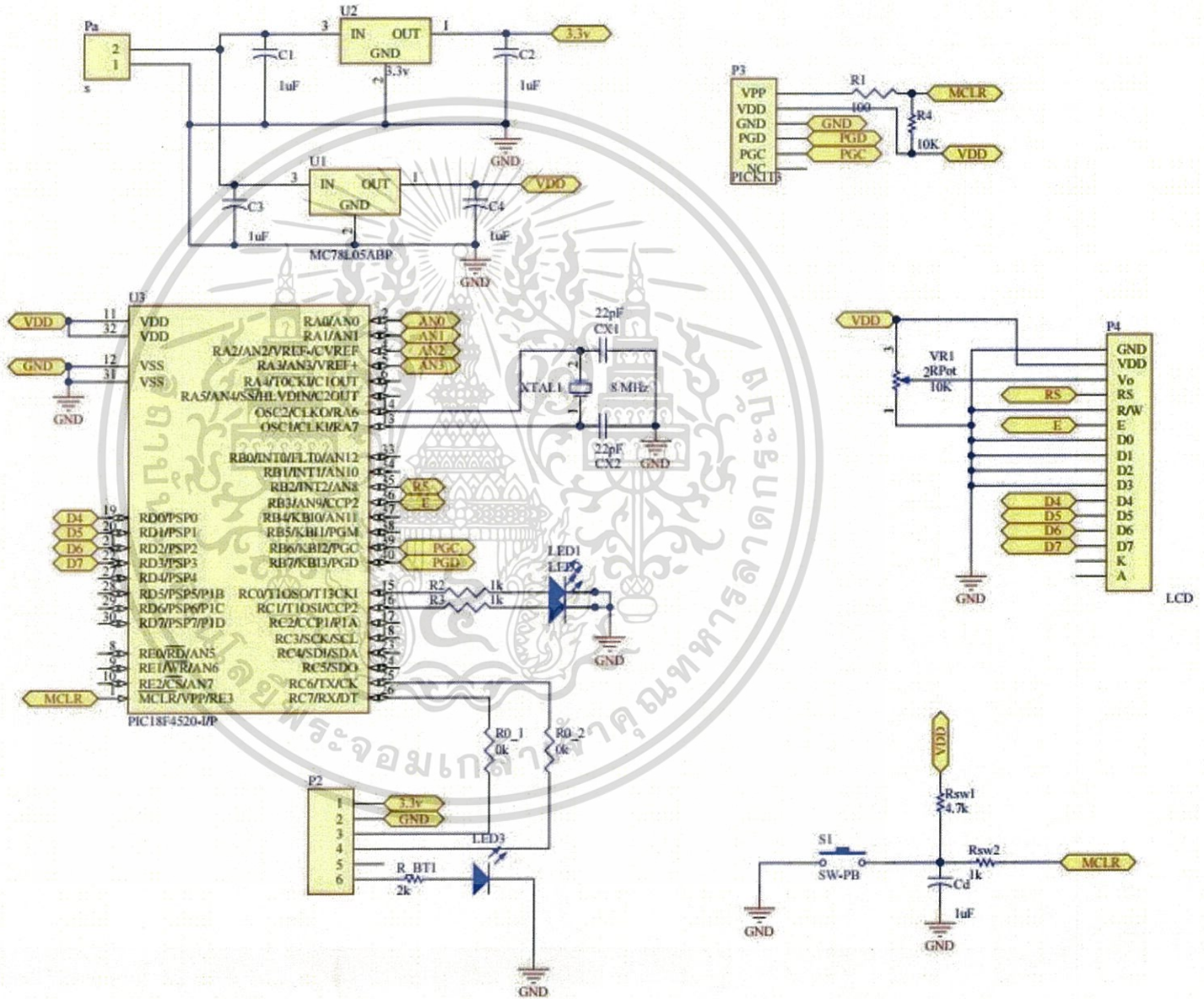
รูปที่ 3.3.5 ลาย PCB ส่วนของ Microcontroller



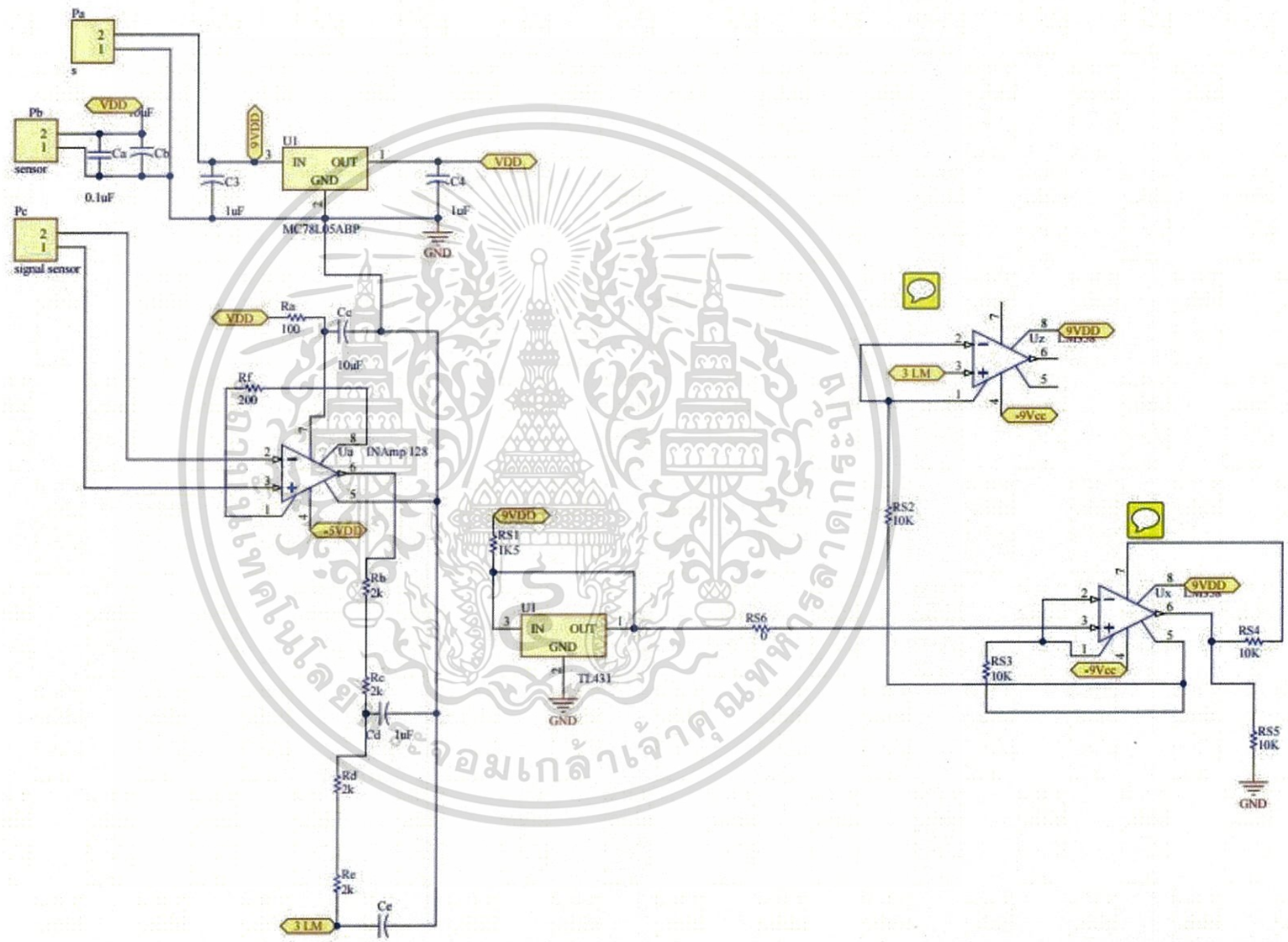
รูปที่ 3.3.6 การทดลองซั่งน้ำหนักรวมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3.7 schematic ส่วนของ Microcontroller



รูปที่ 3.3.8 schematic ส่วนของ INA 128



บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 วิธีการทดสอบ

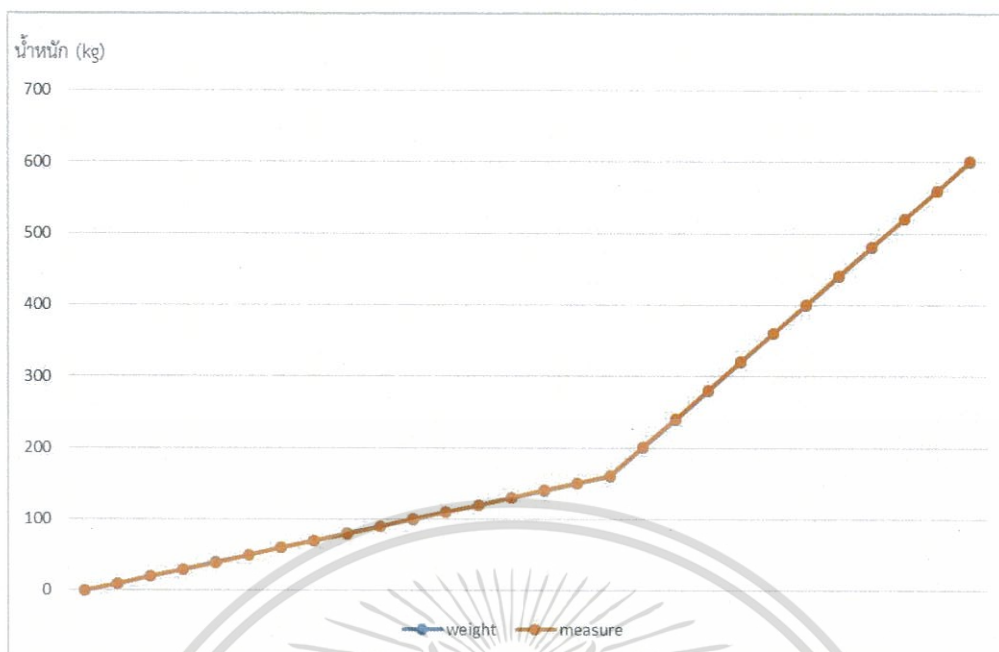
ทำการทดสอบโดยใช้แท่งเหล็กมาตรฐาน 1kg, 2kg, 5kg และ 10kg ในการชั่ง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบของการชั่งน้ำหนัก 0-600kg อัตราขยาย 250 เท่า

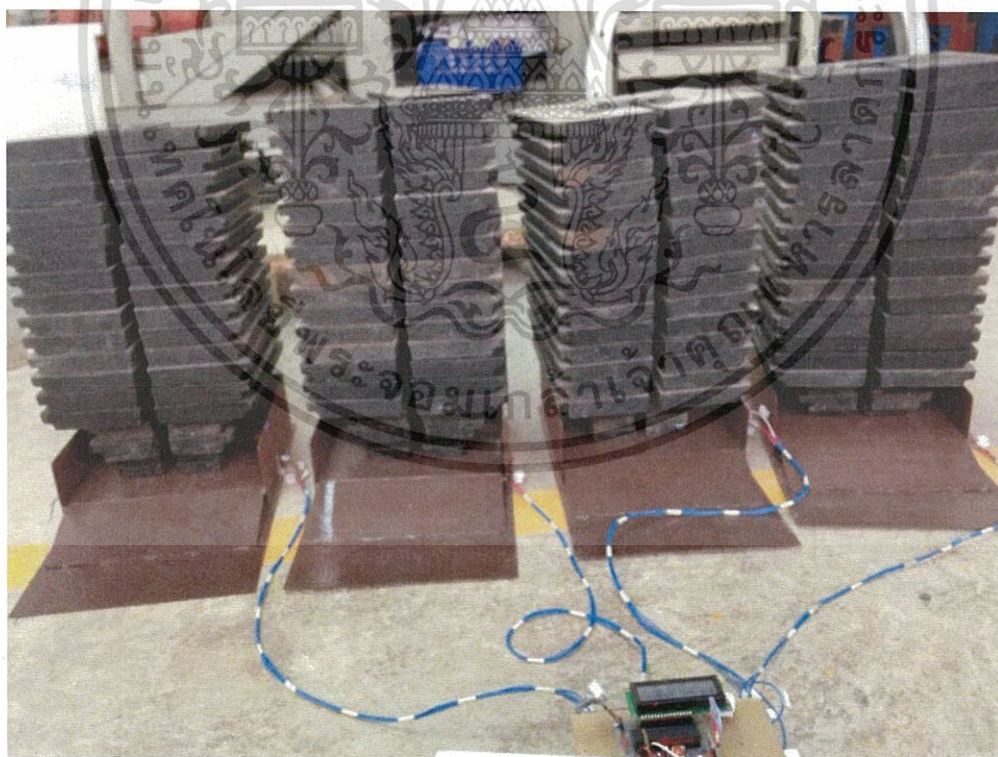
weight	measure	weight	measure
0	0.0	200	201.5
10	9.9	240	241.1
20	19.9	90	90.3
30	30.1	280	280.9
40	39.6	320	321.0
50	49.8	360	360.8
60	60.3	400	400.4
70	70.2	440	440.9
80	79.9	480	480.9
100	101.1	520	520.8
110	109.9	560	559.6
120	119.7	600	601.2
130	130.7		
140	141.2		
150	151.2		
160	161.1		

จากการทดลองพบว่าน้ำหนักที่อ้างอิงกับน้ำหนักที่แสดงมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ $\pm 1\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

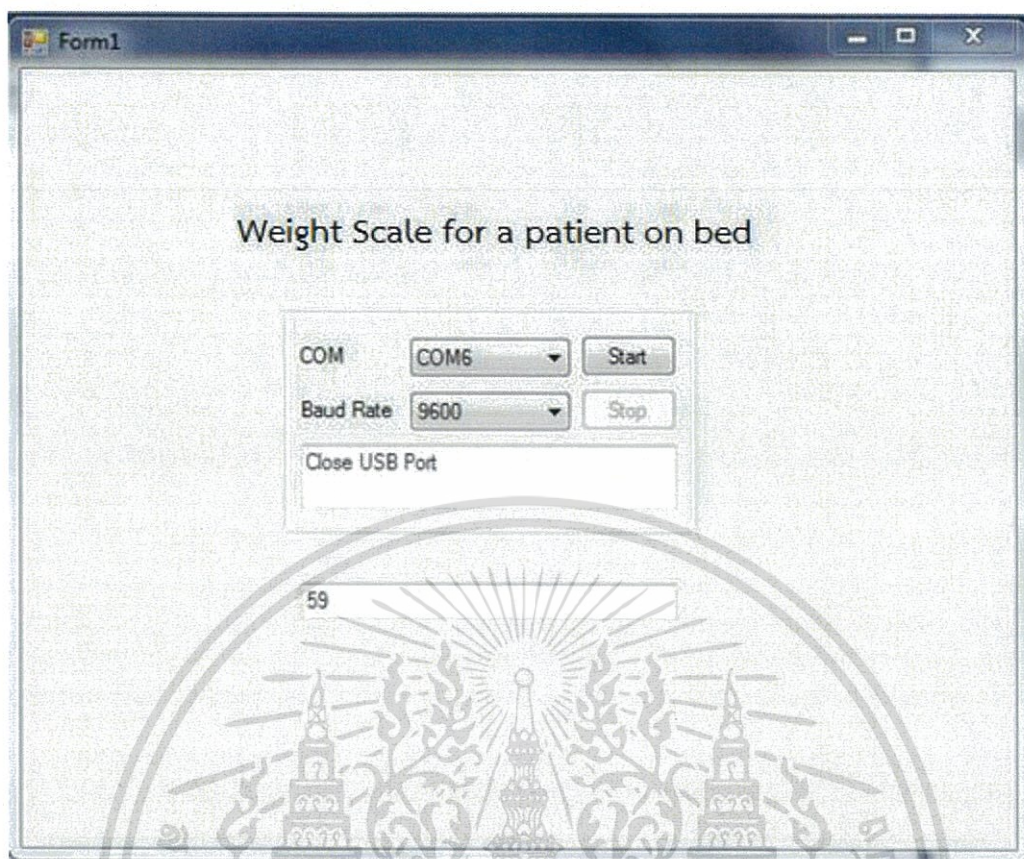


รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักจริงกับน้ำหนักที่ชั่งได้



รูปที่ 4.3 ชั่งน้ำหนักด้วยแท่งเหล็กมาตรฐานแล้วแสดงผลด้วย LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 หน้าต่างแสดงน้ำหนักจากโปรแกรม Visual Studio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองโดยการต่อ Load cell จะพบว่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ โดยการวัดจากมิเตอร์พบว่าผลที่ได้มีค่าน้อยมาก จึงทำการต่อเข้ากับวงจรขยายแรงดัน (instrument amplifier) เพื่อขยาย Output ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น จากนั้นทำการทดสอบโดยประกอบ Load cell เข้ากับตัวเครื่องชั่งแล้วทดลองชั่งน้ำหนักตั้งแต่ 0 – 600kg แล้วบันทึกผลที่ได้เพื่อที่จะนำค่าที่ได้ plot กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักอ้างอิงกับแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความชันเพื่อเขียนลงในโปรแกรม MPLAB และทำการรวมน้ำหนักทั้ง 4 เครื่องแล้วส่งให้ส่งผลที่ได้ผ่าน Bluetooth แสดงบนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Visual Studio

5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อชั่งน้ำหนัก แล้วทำการเปรียบเทียบระหว่างชั่งน้ำหนักเพียงเครื่องเดียวกับชั่งน้ำหนักพร้อมกันทั้ง 4 เครื่อง ให้ผลออกมาไม่เท่ากัน เนื่องจาก Load cell แต่ละตัวมี output sensitivity หน่วย mV / V ที่ $1.0 \pm 15\%$ เมื่อรวม Load cell หลายตัวเข้าด้วยกันจึงเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น จึงต้องทำการแก้ไขในส่วนของวงจรและส่วนของโปรแกรม

เอกสารอ้างอิง

- [1] Highfield, Roger. Antarctic's birds thrive on warmth, The Daily Telegraph 18 August 1993
- [2] Maritime Journal (Mercator Media). Load cell testing gets straight to the point, 20 December 2010.
- [3] R.F. Coughlin, F.F. Driscoll Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits (2nd Ed.1982. ISBN 0-13-637785-8) p.161.
- [4] Moore, Davis, Coplan Building Scientific Apparatus (2nd Ed. 1989 ISBN 0-201-13189-7) p.407.
- [5] Smither, Pugh and Woolard, CMRR Analysis of the 3-op-amp instrumentation amplifier, Electronics letters, Volume 13, Issue 20, 29 September 1977, page 594.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้