

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อ.....   | (3)  |
| Abstract.....   | (5)  |
| กิตติกรรมประกาศ.....  | (7)  |
| สารบัญ.....   | (8)  |
| รายการตาราง.....  | (10) |
| รายการภาพประกอบ.....  | (12) |
| ตัวย่อและสัญลักษณ์.....   | (15) |
| บทที่   |      |
| 1. บทนำ.....  | 1    |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย.....  | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์.....   | 2    |
| 1.3 ขอบเขตการวิจัย.....   | 2    |
| 1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย.....   | 2    |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....  | 3    |
| 2. ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....   | 4    |
| 2.1 ลักษณะทางสรีรวิทยาของกล้ามเนื้อ "Biceps Brachii" และสัญญาณไฟฟ้า<br>จากกล้ามเนื้อ..... | 4    |
| 2.2 การคำนวณแรงที่ใช้ยกน้ำหนักเมื่อแขนอยู่ในสถานะสมดุล.....                               | 6    |
| 2.3 เทคนิคการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการประมวลผลสัญญาณไฟฟ้า<br>จากกล้ามเนื้อ.....       | 10   |
| 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....  | 13   |
| 3. การออกแบบเครื่องขยายสัญญาณ.....  | 16   |
| 3.1 การออกแบบวงจร.....  | 16   |
| 3.2 การทดสอบคุณสมบัติและการทำงานของเครื่องขยายสัญญาณ.....                                 | 25   |
| 4. วิธีการทดลองและการประมวลผล.....  | 28   |
| 4.1 การวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ.....  | 28   |

## สารบัญ(ต่อ)

| บทที่   | หน้า |
|---|------|
| 4.2 การบันทึกสัญญาณ.....  | 29   |
| 4.3 การวิเคราะห์สัญญาณ.....   | 31   |
| 5. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....  | 41   |
| 5.1 การทดสอบอาสาสมัครกับชุดต้นแบบ.....  | 41   |
| 5.2 การทดสอบอาสาสมัครกับชุดทดสอบ.....   | 58   |
| 5.3 การทดสอบหาค่าดัชนีที่ชี้วัดความแตกต่างของการทดสอบแต่ละคนกับเส้น<br>มาตรฐาน..... | 60   |
| 6. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....                                       | 68   |
| บรรณานุกรม.....   | 74   |
| ภาคผนวก ก โปรแกรม labVIEW for Windows V6.0i.....                                    | 77   |
| ภาคผนวก ข ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์.....                                      | 84   |
| ประวัติผู้เขียน.....  | 100  |

## รายการตาราง

| ตาราง  | หน้า |
|--|------|
| 2-1 แสดงคุณสมบัติของ Z - transform.....  | 12   |
| 3-1 ผลการทดลองวงจรในภาพประกอบ 3-2 .....  | 18   |
| 3-2 ผลการทดลองวงจรของความถี่ต่ำแบบบัตเตอร์เวิร์ทซ์อันดับสอง.....                                       | 22   |
| 3-3 ผลการทดลองวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส.....   | 23   |
| 3-4 ผลการทดลองของเครื่องขยายสัญญาณ.....  | 25   |
| 3-5 ผลการทดลองการขยายสัญญาณแบบ Differential Mode.....  | 26   |
| 3-6 ผลการทดลองการขยายแบบ Common Mode.....  | 27   |
| 5-1 ผลการทดลองการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงดันประสิทธิผลของชุดต้นแบบน้ำหนัก<br>100 กรัม ที่มุม 45 องศา.....  | 45   |
| 5-2 ผลการทดลองการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงดันประสิทธิผลของชุดต้นแบบน้ำหนัก<br>300 กรัม ที่มุม 45 องศา.....  | 46   |
| 5-3 ผลการทดลองการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงดันประสิทธิผลของชุดต้นแบบน้ำหนัก<br>500 กรัม ที่มุม 45 องศา.....  | 46   |
| 5-4 ผลการทดลองการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงดันประสิทธิผลของชุดต้นแบบน้ำหนัก<br>700 กรัม ที่มุม 45 องศา.....  | 47   |
| 5-5 ผลการทดลองการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงดันประสิทธิผลของชุดต้นแบบน้ำหนัก<br>900 กรัม ที่มุม 45 องศา.....  | 47   |
| 5-6 ผลการทดลองการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงดันประสิทธิผลของชุดต้นแบบน้ำหนัก<br>100 กรัม ที่มุม 90 องศา.....  | 48   |
| 5-7 ผลการทดลองการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงดันประสิทธิผลของชุดต้นแบบน้ำหนัก<br>300 กรัม ที่มุม 90 องศา.....  | 48   |
| 5-8 ผลการทดลองการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงดันประสิทธิผลของชุดต้นแบบน้ำหนัก<br>500 กรัม ที่มุม 90 องศา.....  | 49   |
| 5-9 ผลการทดลองการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงดันประสิทธิผลของชุดต้นแบบน้ำหนัก<br>700 กรัม ที่มุม 90 องศา.....  | 49   |
| 5-10 ผลการทดลองการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงดันประสิทธิผลของชุดต้นแบบน้ำหนัก<br>900 กรัม ที่มุม 90 องศา..... | 50   |

## รายการตาราง(ต่อ)

| ตาราง   | หน้า |
|---|------|
| 5-11 ผลการทดลองการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงดันประสิทธิผลของชุดต้นแบบน้ำหนัก<br>100 กรัม ที่มุม 135 องศา..... | 50   |
| 5-12 ผลการทดลองการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงดันประสิทธิผลของชุดต้นแบบน้ำหนัก<br>300 กรัม ที่มุม 135 องศา..... | 51   |
| 5-13 ผลการทดลองการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงดันประสิทธิผลของชุดต้นแบบน้ำหนัก<br>500 กรัม ที่มุม 135 องศา..... | 51   |
| 5-14 ผลการทดลองการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงดันประสิทธิผลของชุดต้นแบบน้ำหนัก<br>700 กรัม ที่มุม 135 องศา..... | 52   |
| 5-15 ผลการทดลองการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงดันประสิทธิผลของชุดต้นแบบน้ำหนัก<br>900 กรัม ที่มุม 135 องศา..... | 52   |
| 5-16 ผลการทดลองการวิเคราะห์ด้วยวิธีอโตริเกรซซีฟของชุดต้นแบบน้ำหนัก<br>100 กรัม ที่มุม 90 องศา.....      | 55   |
| 5-17 ผลการทดลองการวิเคราะห์ด้วยวิธีอโตริเกรซซีฟของชุดต้นแบบน้ำหนัก<br>300 กรัม ที่มุม 90 องศา.....      | 55   |
| 5-18 ผลการทดลองการวิเคราะห์ด้วยวิธีอโตริเกรซซีฟของชุดต้นแบบน้ำหนัก<br>500 กรัม ที่มุม 90 องศา.....      | 56   |
| 5-19 ผลการทดลองการวิเคราะห์ด้วยวิธีอโตริเกรซซีฟของชุดต้นแบบน้ำหนัก<br>700 กรัม ที่มุม 90 องศา.....      | 56   |
| 5-20 ผลการทดลองการวิเคราะห์ด้วยวิธีอโตริเกรซซีฟของชุดต้นแบบน้ำหนัก<br>100 กรัม ที่มุม 90 องศา.....      | 57   |
| 5-21 ค่าดัชนีป้องกันความคลาดเคลื่อนด้วย Slope Percent Difference และ MSE ของ<br>แต่ละวิธี.....          | 63   |
| 6-1 การจำแนกค่า BMI ตามเกณฑ์ของ IOTF.....   | 70   |
| 6-2 ค่า BMI และผลการวิเคราะห์ของอาสาสมัคร.....  | 70   |

## รายการภาพประกอบ

| ภาพประกอบ   | หน้า |
|---|------|
| 2-1 ตำแหน่งของกล้ามเนื้อ "Biceps Brachii" .....   | 5    |
| 2-2 ตัวอย่างสัญญาณไฟฟ้าจากกล้ามเนื้อ.....   | 6    |
| 2-3 คานชนิดที่ 1 มีจุดหมุนอยู่ตรงกลาง.....  | 7    |
| 2-4 คานชนิดที่ 2 มีแรงต้านทานอยู่ตรงกลาง.....   | 7    |
| 2-5 คานชนิดที่ 3 มีแรงพยายามอยู่ตรงกลาง.....  | 8    |
| 2-6 แผนภาพ Rigid Body การยกน้ำหนักเมื่อแขนทำมุม 45 องศา.....                                  | 9    |
| 2-7 รูปแบบสมการอตรีเกรซซีฟจะปรับสัมประสิทธิ์ให้ใกล้เคียงกับสัญญาณที่<br>ต้องการมากที่สุด..... | 12   |
| 3-1 วงจรของ Spinelli, E. M. และ Mayosky, M. A. ....   | 17   |
| 3-2 วงจรขยายที่สามารถกำจัดแรงดันออฟเซตเมื่อใช้กับวงจรรวมเบอร์ INA114.....                     | 17   |
| 3-3 ผลตอบสนองของวงจรถ่ายในภาพประกอบ 3-2.....  | 19   |
| 3-4 ความสามารถในการกำจัดแรงดันออฟเซตอยู่ในย่าน -150 ถึง 150 มิลลิโวลต์.....                   | 19   |
| 3-5 วงจรรองความถี่ต่ำแบบแบตเตอรี่เวดจ์อันดับสอง.....  | 20   |
| 3-6 ผลตอบสนองของวงจรรองความถี่ต่ำแบบแบตเตอรี่เวดจ์อันดับสองในอุดมคติ.....                     | 21   |
| 3-7 ผลตอบสนองของวงจรรองความถี่ต่ำแบบแบตเตอรี่เวดจ์อันดับสองในการทดลอง.                        | 22   |
| 3-8 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส.....  | 23   |
| 3-9 ผลตอบสนองของวงจรถ่ายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส.....  | 24   |
| 3-10 ผลตอบสนองของเครื่องขยายสัญญาณ.....   | 26   |
| 4-1 ลักษณะของอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี.....                                      | 28   |
| 4-2 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์ตามลักษณะของเส้นใยกล้ามเนื้อ.....          | 28   |
| 4-3 ตัวอย่างลักษณะของการยกน้ำหนักที่มุม 90 องศา.....  | 29   |
| 4-4 โพลซาร์ทของโปรแกรมบันทึกสัญญาณ.....   | 30   |
| 4-5 ตัวอย่างสัญญาณกล้ามเนื้อและMarker.....  | 31   |
| 4-6 สัญญาณที่บันทึกและสัญญาณที่ปรากฏบนจอสโคปขณะที่แขนอยู่นิ่ง.....                            | 31   |
| 4-7 สัญญาณที่บันทึกและสัญญาณที่ปรากฏบนจอสโคปขณะที่ยกน้ำหนัก.....                              | 31   |
| 4-8 โพลซาร์ทของโปรแกรมความถี่มีเดีย.....  | 32   |
| 4-9 ตัวอย่างความถี่มีเดียและค่าเฉลี่ย น้ำหนัก 500 กรัม ที่มุม 45 องศา.....                    | 33   |

## รายการภาพประกอบ(ต่อ)

| ภาพประกอบ   | หน้า |
|---|------|
| 4-10 ตัวอย่างความถี่มีเดียนและค่าเฉลี่ย น้ำหนัก 500 กรัม ที่มุม 90 องศา.....        | 33   |
| 4-11 ตัวอย่างความถี่มีเดียนและค่าเฉลี่ย น้ำหนัก 500 กรัม ที่มุม 135 องศา.....       | 34   |
| 4-12 โพลซาร์ทของโปรแกรมคำนวณค่าแรงดันประสิทธิผล.....                                | 34   |
| 4-13 โพลซาร์ทการหาค่าเฉลี่ยและค่า SD ของวิธีแรงดันประสิทธิผล.....                   | 35   |
| 4-14 ตัวอย่างสัญญาณแรงดันประสิทธิผลและค่าเฉลี่ย น้ำหนัก 100 กรัม 90 องศา.....       | 35   |
| 4-15 ตัวอย่างสัญญาณแรงดันประสิทธิผลและค่าเฉลี่ย น้ำหนัก 300 กรัม 90 องศา.....       | 36   |
| 4-16 ตัวอย่างสัญญาณแรงดันประสิทธิผลและค่าเฉลี่ย น้ำหนัก 500 กรัม 90 องศา.....       | 36   |
| 4-17 ตัวอย่างสัญญาณแรงดันประสิทธิผลและค่าเฉลี่ย น้ำหนัก 700 กรัม 90 องศา.....       | 36   |
| 4-18 ตัวอย่างสัญญาณแรงดันประสิทธิผลและค่าเฉลี่ย น้ำหนัก 900 กรัม 90 องศา.....       | 37   |
| 4-19 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์อตรีเกรซซีฟทั้ง 10 อันดับของอาสาสมัครคนที่หนึ่ง.....       | 37   |
| 4-20 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์อตรีเกรซซีฟทั้ง 10 อันดับ ของอาสาสมัครคนที่สอง.....        | 38   |
| 4-21 โพลซาร์ทของโปรแกรมคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของวิธีอตรีเกรซซีฟ.....                  | 38   |
| 4-22 โพลซาร์ทการหาค่าเฉลี่ยและค่า SD ของวิธีอตรีเกรซซีฟ.....                        | 39   |
| 4-23 ลักษณะของสัมประสิทธิ์อตรีเกรซซีฟอันดับที่ 1 ที่น้ำหนัก 100 กรัม 90 องศา..      | 39   |
| 4-24 ลักษณะของสัมประสิทธิ์อตรีเกรซซีฟอันดับที่ 1 ที่น้ำหนัก 300 กรัม 90 องศา..      | 39   |
| 4-25 ลักษณะของสัมประสิทธิ์อตรีเกรซซีฟอันดับที่ 1 ที่น้ำหนัก 500 กรัม 90 องศา..      | 40   |
| 4-26 ลักษณะของสัมประสิทธิ์อตรีเกรซซีฟอันดับที่ 1 ที่น้ำหนัก 700 กรัม 90 องศา..      | 40   |
| 4-27 ลักษณะของสัมประสิทธิ์อตรีเกรซซีฟอันดับที่ 1 ที่น้ำหนัก 900 กรัม 90 องศา..      | 40   |
| 5-1 ความถี่มีเดียนเมื่อเปรียบเทียบกับแรงที่มุม 45 องศา ของอาสาสมัครทั้ง 10 คน.....  | 41   |
| 5-2 ความถี่มีเดียนเมื่อเปรียบเทียบกับแรงที่มุม 90 องศา ของอาสาสมัครทั้ง 10 คน.....  | 42   |
| 5-3 ความถี่มีเดียนเมื่อเปรียบเทียบกับแรงที่มุม 135 องศา ของอาสาสมัครทั้ง 10 คน..... | 42   |
| 5-4 ความถี่มีเดียน ณ มุมต่างๆที่น้ำหนัก 100 กรัม ของอาสาสมัครทั้ง 10 คน.....        | 43   |
| 5-5 ความถี่มีเดียน ณ มุมต่างๆที่น้ำหนัก 300 กรัม ของอาสาสมัครทั้ง 10 คน.....        | 43   |
| 5-6 ความถี่มีเดียน ณ มุมต่างๆที่น้ำหนัก 500 กรัม ของอาสาสมัครทั้ง 10 คน.....        | 43   |
| 5-7 ความถี่มีเดียน ณ มุมต่างๆที่น้ำหนัก 700 กรัม ของอาสาสมัครทั้ง 10 คน.....        | 44   |
| 5-8 ความถี่มีเดียน ณ มุมต่างๆที่น้ำหนัก 900 กรัม ของอาสาสมัครทั้ง 10 คน.....        | 44   |
| 5-9 แรงดันประสิทธิผลเฉลี่ยเปรียบเทียบกับแรงที่มุม 45 องศา ของชุดต้นแบบ.....         | 53   |

## รายการภาพประกอบ(ต่อ)

| ภาพประกอบ   | หน้า |
|---|------|
| 5-10 แรงดันประสิทธิผลเฉลี่ยเปรียบเทียบกับแรงที่มุม 90 องศา ของชุดต้นแบบ.....  | 53   |
| 5-11 แรงดันประสิทธิผลเฉลี่ยเปรียบเทียบกับแรงที่มุม 135 องศา ของชุดต้นแบบ.....   | 54   |
| 5-12 กราฟค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ของอตรีเกรซซีฟเปรียบเทียบกับแรงที่มุม 90 องศา...  | 57   |
| 5-13 กราฟของอาสาสมัครชุดทดสอบทั้ง 16 คน เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีการหาค่าแรงดัน<br>ประสิทธิผล สำหรับมุม 90 องศา.....         | 58   |
| 5-14 กราฟของอาสาสมัครชุดทดสอบทั้ง 16 คน เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีอตรีเกรซซีฟ<br>สำหรับมุม 90 องศา.....                       | 59   |
| 5-15 ลักษณะหน้าตาต่างแสดงผลของโปรแกรมที่ใช้คำนวณ.....   | 61   |
| 5-16 โพลซาร์ทในการประมวลผลหาค่าดัชนีทั้ง 2 ตัว.....   | 62   |
| 5-17 กราฟดัชนีค่าความแตกต่างของความชันของวิธีอตรีเกรซซีฟกับอาสาสมัคร....  | 64   |
| 5-18 กราฟดัชนี MSE ของวิธีอตรีเกรซซีฟกับอาสาสมัคร.....  | 64   |
| 5-19 กราฟดัชนีค่าความแตกต่างของความชันของวิธีแรงดันประสิทธิผลกับอาสาสมัคร   | 65   |
| 5-20 กราฟดัชนี MSE ของวิธีแรงดันประสิทธิผลกับอาสาสมัคร.....   | 65   |
| 5-21 กราฟเปรียบเทียบค่าของดัชนีค่าความแตกต่างของความชันที่ได้จากวิธีอตรี-<br>เกรซซีฟกับวิธีค่าแรงดันประสิทธิผล.....       | 66   |
| 5-22 กราฟเปรียบเทียบค่าปกติของ MSE ระหว่างวิธีอตรีเกรซซีฟและค่าแรงดัน<br>ประสิทธิผล.....                                  | 67   |
| 6-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า BMI กับค่าเฉลี่ยของแรงดันประสิทธิผลพร้อมกับเส้น<br>Regression ของอาสาสมัครทั้งหมด.....         | 72   |
| 6-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า BMI กับค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์อตรีเกรซซีฟพร้อม<br>กับเส้น Regression ของอาสาสมัครทั้งหมด..... | 73   |
| ก-1 หน้าตาต่างแสดงผลของโปรแกรมบันทึกสัญญาณ.....   | 78   |
| ก-2 หน้าตาต่างแสดงผลของโปรแกรมการวิเคราะห์ด้วยความถี่มีเดีย.....  | 79   |
| ก-3 หน้าตาต่างแสดงผลของโปรแกรมการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงดันประสิทธิผล.....   | 80   |
| ก-4 หน้าตาต่างแสดงผลของโปรแกรมการวิเคราะห์ด้วยวิธีอตรีเกรซซีฟ.....  | 81   |
| ก-5 หน้าตาต่างแสดงผลของโปรแกรมที่ใช้ทดสอบ.....  | 82   |
| ก-6 หน้าตาต่างแสดงผลของโปรแกรมที่สามารถนำผลที่ได้มาปรับค่าความชันได้.....   | 83   |

## ตัวย่อและสัญลักษณ์

|           |   |   |
|-----------|---|---|
| AR        | = | วิธีการออโตรีเกรสซีฟ (Autoregressive)                 |
| BMI       | = | ค่าดัชนีมวลกาย (Body Mass Index)                      |
| c         | = | ตัวเก็บประจุ (Capacitor)                              |
| CMRR      | = | อัตราการลดทอนสัญญาณร่วม (Common Mode Rejection Ratio) |
| dB        | = | หน่วยวัดอัตราขยาย (Decibel)                           |
| EMG       | = | สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyogram)                |
| f         | = | ความถี่ (Frequency)                                   |
| Hz        | = | หน่วยวัดความถี่ (Hertz)                               |
| m         | = | ค่าความชันของเส้นตรง (Slope)                          |
| MSE       | = | ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาด (Mean Square Error)   |
| R         | = | ตัวต้านทาน (Resister)                                 |
| T         | = | แรงดึงของกล้ามเนื้อ (Tension)                         |
| SD        | = | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)              |
| V         | = | หน่วยวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage)                         |
| $V_i$     | = | แรงดันอินพุท (Input Voltage)                          |
| $V_o$     | = | แรงดันเอาต์พุท (Output Voltage)                       |
| $V_{rms}$ | = | แรงดันประสิทธิผล (Root Mean Square Voltage)           |