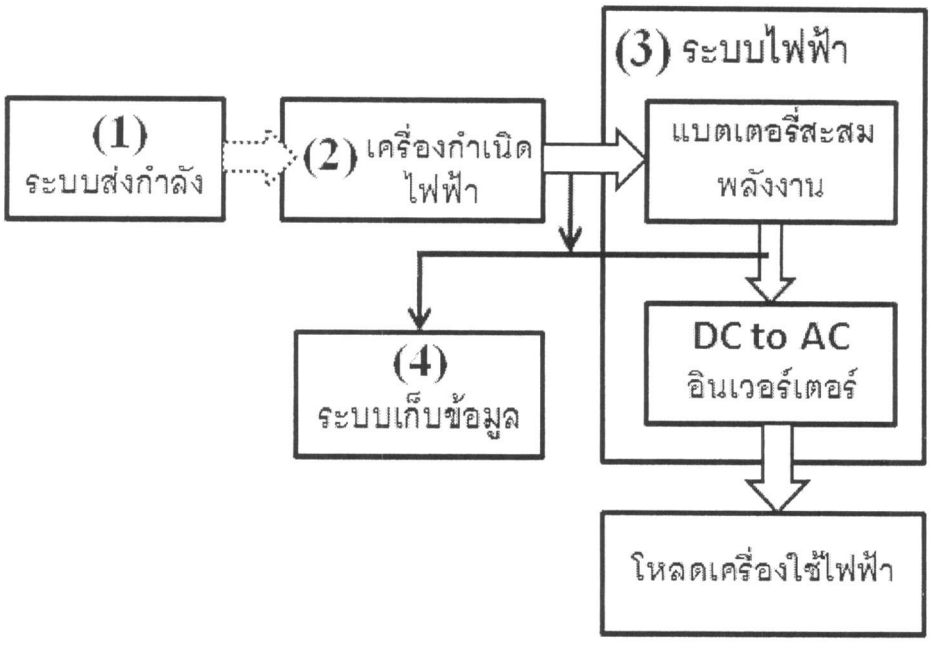
# บทที่ 3
# การดำเนินงานวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างและบล็อกไดอะแกรมของงานวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วย ระบบส่งกำลังจากการออกกำลังกาย เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าและระบบการเก็บข้อมูล

## 3.1 โครงสร้างและบล็อกไดอะแกรมของงานวิจัย

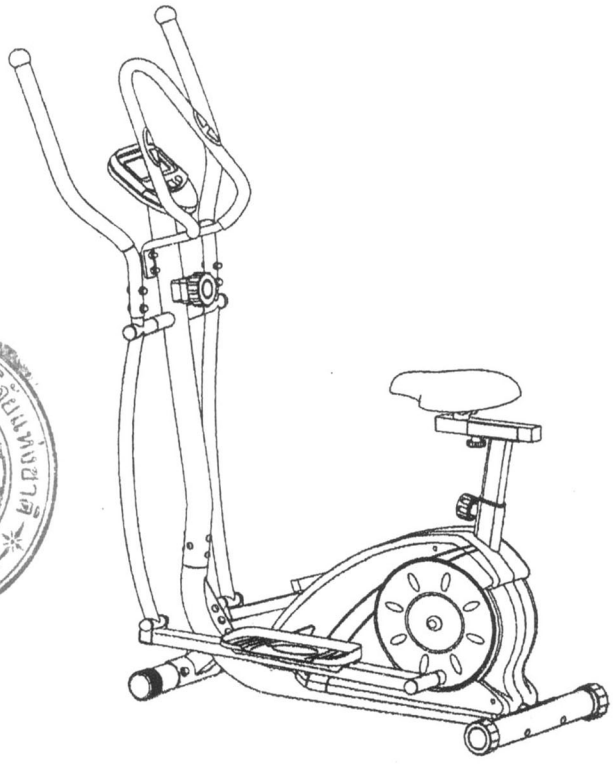
โครงสร้างของงานวิจัยประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลัก ดังแสดงในบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3-1




รูปที่ 3- 1 บล็อกไดอะแกรมของงานวิจัย

## 3.2 ระบบส่งกำลัง

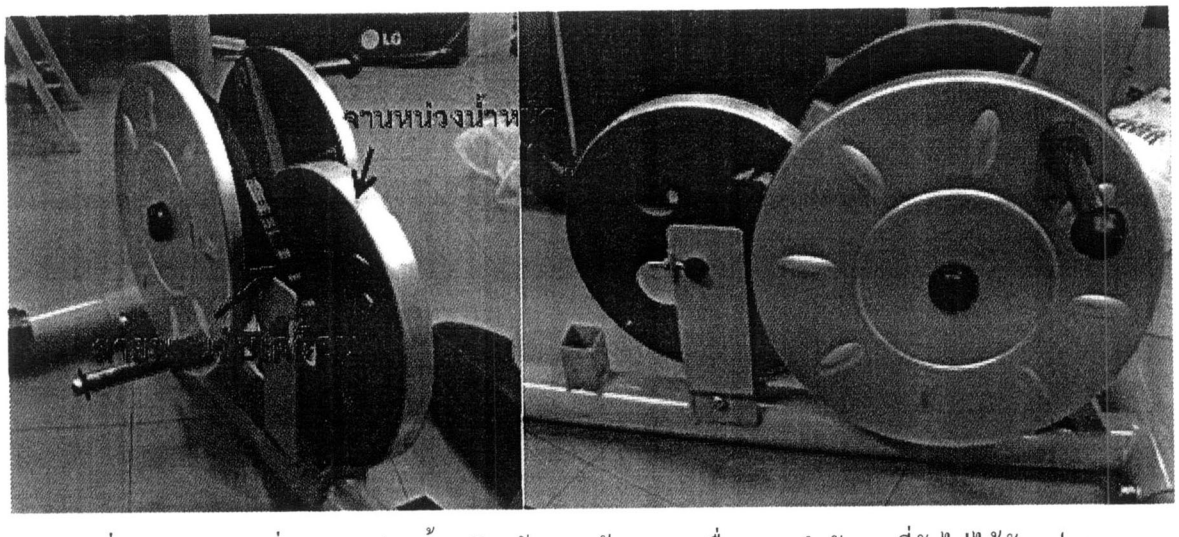
ในการออกแบบระบบส่งกำลังแบบจักรยานออกกำลังกายในโครงงานของกิตติธัช วิราภรณ์ และสัมมา สุวรรณพงศ์ [3] พบว่ามีปัญหาระบบทางกลที่มีการส่งกำลังที่ไม่เสถียรเท่าที่ควร อีกทั้งเป็นการออกกำลังกายแค่ส่วนของขาเท่านั้น ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้เครื่องออกกำลังกายแบบ Elliptical Bike มาเป็นต้นกำลังในการขับ เนื่องจากสามารถเผาผลาญพลังงานได้ดี [5] โดยมีอัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกายสำหรับคนที่มีน้ำหนักประมาณ 60 กิโลกรัม ที่ 212.7 calories ในเวลา 30 นาที อีกทั้งมีการออกกำลังกายในหลายส่วนของร่างกาย เนื่องจากการออกแบบต้นกำลังให้มีประสิทธิภาพดีดำเนินการได้ยาก อีกทั้งชิ้นส่วนที่เหมาะสมหาได้ยาก เพื่อให้งานวิจัยเป็นไปได้ในระยะเวลาที่กำหนด จึงใช้เครื่องออกกำลังกายที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมาดัดแปลงใช้เป็นต้นกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังแสดงในรูป 3-2



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 3- 2 เครื่องออกกำลังกายแบบ Elliptical Bike

ในการออกแบบสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือความเร็วรอบของการขับเคลื่อนของชุดส่งกำลังไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งมีความเร็วรอบต่ำ ประมาณ 400 รอบต่อนาที จากการวัดและคำนวณพบว่าชุดส่งกำลังขับของเครื่องออกกำลังกายเลือกมาดัดแปลงให้สามารถให้ความเร็วรอบได้ตามวัตถุประสงค์ แต่ต้องมีการดัดแปลงและออกแบบเพื่อติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้เหมาะสมกับชุดต้นกำลังซึ่งมีเนื้อที่จำกัด โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของจานหน่วงน้ำหนักมีขนาด 11 นิ้ว ระยะห่างชุดยึดเพลาของล้อหน่วงน้ำหนัก ของของเนื้อที่ดังกล่าวเป็นข้อมูลที่ใช้สำหรับออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อไป




รูปที่ 3- 3 ชุดขับเคลื่อนชุดหน่วงน้ำหนักสร้างแรงต้านของเครื่องออกกำลังกายที่ยังไม่ได้ดัดแปลง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
28 ก.ค. 2555

## 3.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

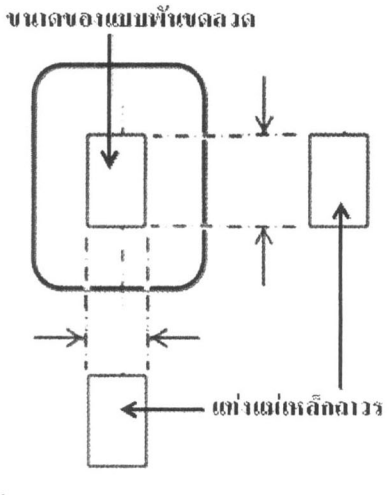
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำการออกแบบเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร แบบเส้นเส้นแรงแม่เหล็กตามแนวแกนผ่านแกนอากาศ (Axial-Flux permanent magnet air-cored generator) เนื่องจากมีความเร็วรอบต่ำ และไม่มีแกนเหล็กที่ชุดขดลวดอยู่กับที่ (Stator) จึงทำให้มีน้ำหนักเบา การออกแบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1)ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) ที่ยึดขดลวดตัวนำ และ 2) ส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor) สำหรับยึดแม่เหล็กถาวร โดยกำหนดพิกัดกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่ที่ 250 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 12 $V_{DC}$

### 3.3.1 การออกแบบส่วนที่อยู่กับที่ (Stator)

ในส่วนของส่วนที่อยู่กับที่ประกอบไปด้วยขดลวด ซึ่งต้องทำการคำนวณหาขนาดของขดลวดและจำนวนรอบที่พัน โดยจะใช้ทฤษฎีในบทที่ 2 มาคำนวณ โดยเริ่มต้นจากการคำนวณขนาดของเส้นลวดทองแดงจากพิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดจะเป็นไฟฟ้ากระสลับ ใช้สูตรการคำนวณหากระแสจากสูตรกำลังไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้สมการ(3) และกำหนดให้มีค่า $cos\theta$ = 0.8 โดยประมาณ

$$I = \left(\frac{P}{\mathrm{V}\cos\theta}\right) \text{ แทนค่า } I = \left(\frac{250\mathrm{W}}{13.33\mathrm{Vrms}\times 0.8}\right) = 23.44\ \mathrm{A}$$

ค่ากระแสที่ได้เป็นค่ากระแสรวมทั้งหมดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งมี 5 เฟส ดังนั้นหาค่ากระแสของขดลวดในแต่ละเฟสได้ 23.44 A/5 = 4.69 แอมป์ต่อเฟส จากค่ากระแสต่อเฟสนำไปเทียบขนาดของลวดทองแดงในตารางที่ 3.3.1 โดยมีการพันขดลวด 70 รอบต่อขดลวด ทั้งหมด 10 ขด สำหรับพิกัด 250 วัตต์ แรงดัน 12 โวลต์ [2]โดยขดลวดมีขนาดเท่ากับพื้นที่ของขั้วแม่เหล็กถาวร ดังรูป 3-4 ความหนาของสเตเตอร์มีขนาด 22 มิลลิเมตรและแบบสเตเตอร์แสดงในรูป 3-5 โดยทำการวางและยึดขดลวดด้วยการเทเรซิ่นตามแบบดังรูป 3-6

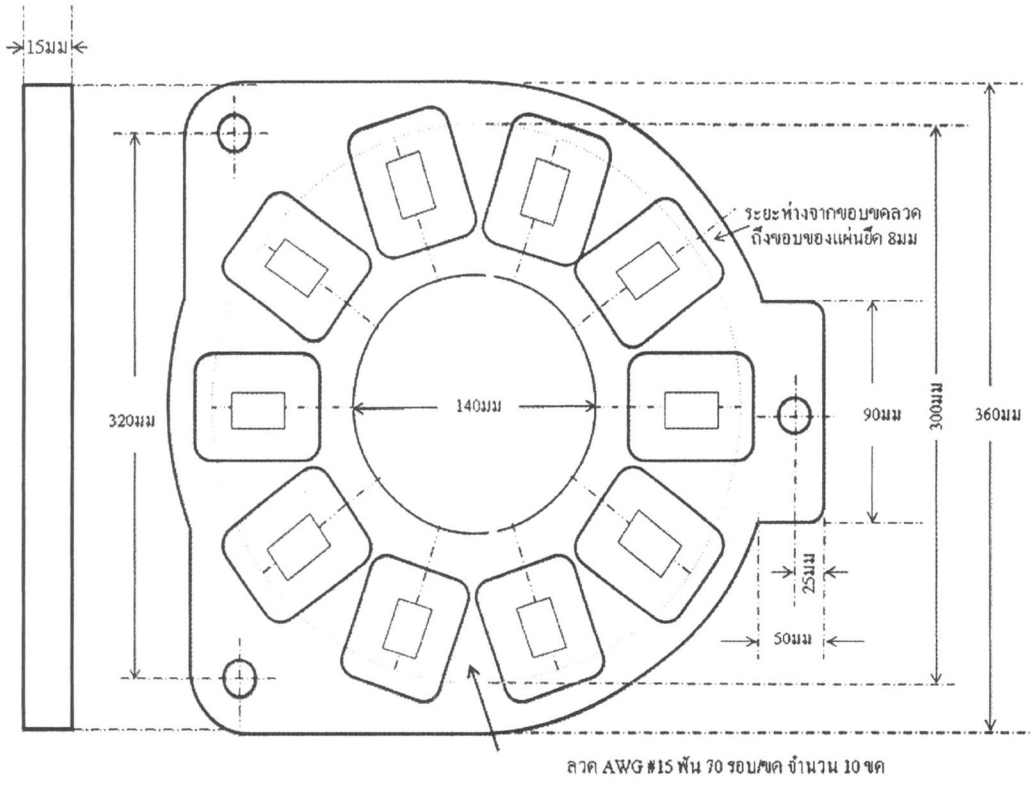



รูปที่ 3- 4 ขนาดของแบบสำหรับพันขดลวด

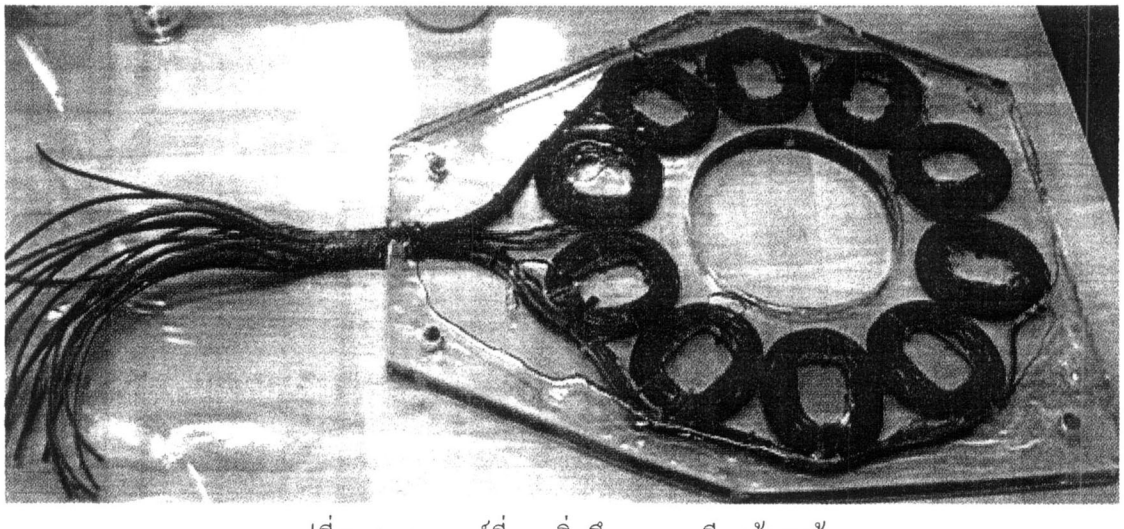
ตารางที่ 3.1 ตารางคุณลักษณะของขดลวดมาตรฐาน AWG

| AWG gauge | Conductor Diameter Inches | Conductor Diameter mm | Ohms per 1000 ft | Ohms per km | Maximum amps for chassis wiring | Maximum amps for power transmission | Maximum freqency for 100% skin depth for solid conductor copper |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OOOO | 0.46 | 11.684 | 0.049 | 0.16072 | 380 | 302 | 125 Hz |
| OOO | 0.4096 | 10.40384 | 0.0618 | 0.202704 | 328 | 239 | 160 Hz |
| OO | 0.3648 | 9.26592 | 0.0779 | 0.255512 | 283 | 190 | 200 Hz |
| 0 | 0.3249 | 8.25246 | 0.0983 | 0.322424 | 245 | 150 | 250 Hz |
| 1 | 0.2893 | 7.34822 | 0.1239 | 0.406392 | 211 | 119 | 325 Hz |
| 2 | 0.2576 | 6.54304 | 0.1563 | 0.512664 | 181 | 94 | 410 Hz |
| 3 | 0.2294 | 5.82676 | 0.197 | 0.64616 | 158 | 75 | 500 Hz |
| 4 | 0.2043 | 5.18922 | 0.2485 | 0.81508 | 135 | 60 | 650 Hz |
| 5 | 0.1819 | 4.62026 | 0.3133 | 1.027624 | 118 | 47 | 810 Hz |
| 6 | 0.162 | 4.1148 | 0.3951 | 1.295928 | 101 | 37 | 1100 Hz |
| 7 | 0.1443 | 3.66522 | 0.4982 | 1.634096 | 89 | 30 | 1300 Hz |
| 8 | 0.1285 | 3.2639 | 0.6282 | 2.060496 | 73 | 24 | 1650 Hz |
| 9 | 0.1144 | 2.90576 | 0.7921 | 2.598088 | 64 | 19 | 2050 Hz |
| 10 | 0.1019 | 2.58826 | 0.9989 | 3.276392 | 55 | 15 | 2600 Hz |
| 11 | 0.0907 | 2.30378 | 1.26 | 4.1328 | 47 | 12 | 3200 Hz |
| 12 | 0.0808 | 2.05232 | 1.588 | 5.20864 | 41 | 9.3 | 4150 Hz |
| 13 | 0.072 | 1.8288 | 2.003 | 6.56984 | 35 | 7.4 | 5300 Hz |
| 14 | 0.0641 | 1.62814 | 2.525 | 8.282 | 32 | 5.9 | 6700 Hz |
| 15 | 0.0571 | 1.45034 | 3.184 | 10.44352 | 28 | 4.7 | 8250 Hz |
| 16 | 0.0508 | 1.29032 | 4.016 | 13.17248 | 22 | 3.7 | 11 k Hz |
| 17 | 0.0453 | 1.15062 | 5.064 | 16.60992 | 19 | 2.9 | 13 k Hz |
| 18 | 0.0403 | 1.02362 | 6.385 | 20.9428 | 16 | 2.3 | 17 kHz |
| 19 | 0.0359 | 0.91186 | 8.051 | 26.40728 | 14 | 1.8 | 21 kHz |
| 20 | 0.032 | 0.8128 | 10.15 | 33.292 | 11 | 1.5 | 27 kHz |
| 21 | 0.0285 | 0.7239 | 12.8 | 41.984 | 9 | 1.2 | 33 kHz |
| 22 | 0.0254 | 0.64516 | 16.14 | 52.9392 | 7 | 0.92 | 42 kHz |
| 23 | 0.0226 | 0.57404 | 20.36 | 66.7808 | 4.7 | 0.729 | 53 kHz |
| 24 | 0.0201 | 0.51054 | 25.67 | 84.1976 | 3.5 | 0.577 | 68 kHz |
| 25 | 0.0179 | 0.45466 | 32.37 | 106.1736 | 2.7 | 0.457 | 85 kHz |
| 26 | 0.0159 | 0.40386 | 40.81 | 133.8568 | 2.2 | 0.361 | 107 kH |
| 27 | 0.0142 | 0.36068 | 51.47 | 168.8216 | 1.7 | 0.288 | 130 kHz |
| 28 | 0.0126 | 0.32004 | 64.9 | 212.872 | 1.4 | 0.226 | 170 kHz |
| 29 | 0.0113 | 0.28702 | 81.83 | 268.4024 | 1.2 | 0.182 | 210 kHz |
| 30 | 0.01 | 0.254 | 103.2 | 338.496 | 0.86 | 0.142 | 270 kHz |
| 31 | 0.0089 | 0.22606 | 130.1 | 426.728 | 0.7 | 0.113 | 340 kHz |
| 32 | 0.008 | 0.2032 | 164.1 | 538.248 | 0.53 | 0.091 | 430 kHz |

ผลของการเทียบค่ากระแสในตารางตรงกับลวดขนาด AWG gauge #15 หรือ ใช้ AWG gauge #18 พันคู่ 2 เส้นพร้อมกัน

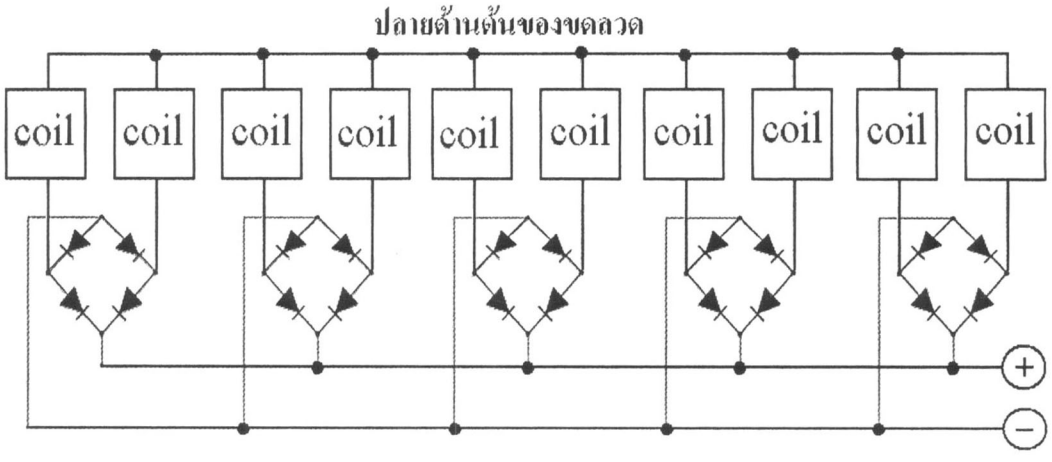



รูปที่ 3- 5 แบบการวางขดลวดสเตเตอร์



รูปที่ 3- 6 สเตเตอร์ที่เทเรซิ่นยึดขดลวดเรียบร้อยแล้ว

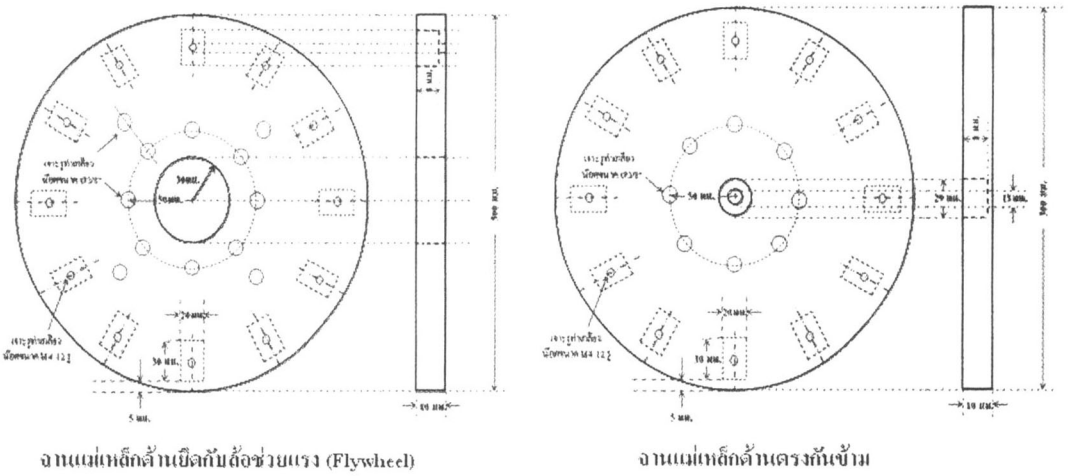
เมื่อทำการยึดขดลวดด้วยการเทเรซิ่นตามขนาดที่ออกแบบไว้ การต่อวงจรของขดลวดที่สเตเตอร์เป็นการต่อแบบสตาร์ (Y) โดยการนำปลายด้านที่เป็นต้นของขดลวดของทุกขดมาต่อเข้าด้วยกัน และนำด้านปลายของขดลวดต่อเข้ากับไดโอดบริจด์ (Bridge Rectifier) จำนวน 5 ตัว และต่อด้านออกที่เป็นขั้วเดียวกันเข้าด้วยกัน ดังรูปวงจร 3-7




รูปที่ 3- 7 วงจรการต่อขดลวดสเตเตอร์

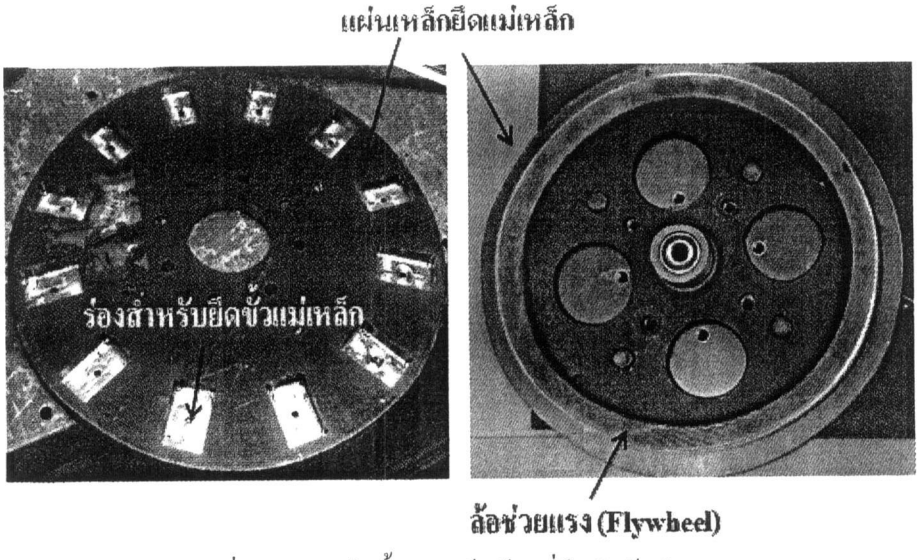
### 3.3.2 การออกแบบส่วนเคลื่อนที่ (Rotor)

ในการออกแบบส่วนที่เคลื่อนที่ จะประกอบไปด้วยแผ่นเหล็กสำหรับยึดแม่เหล็กถาวรเพื่อให้เกิดขั้วแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทั้งหมด 12 คู่ โดยแม่เหล็กถาวรที่ใช้ในงานวิจัยเป็นแบบ Neodymium Magnets ขนาด 30 มม. ×20มม.×10 มม. มีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสูงประมาณ 4000 Gauss หรือ 4 Tesla เนื่องจากชุดต้นกำลังมีเนื้อที่จำกัดในการติดตั้งเครื่องกำเนิด ซึ่งต้องคิดระยะความหนาทั้งหมดของเครื่องกำเนิดรวมทั้งล้อช่วยแรงชุดขับ จึงมีความจำเป็นต้องมีการออกแบบแผ่นโรเตอร์ ให้สามารถติดตั้งลงในเนื้อที่ดังกล่าว ในงานของอาจารย์บรรจงขยันกิจ [2] จะยึดแท่งแม่เหล็กถาวรกาวติดเหล็ก และเทเรซิ่นยึดอีกครั้ง ซึ่งความหนาของจานโรเตอร์ เท่ากับความหนาของแผ่นเหล็กรวมกับความหนาของแท่งแม่เหล็กถาวร แต่เนื่องจากพื้นที่ติดตั้งมีจำกัดจึงต้องทำการเซาะร่องของแผ่นเหล็กกลมเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 300 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตรใช้ยึดแท่งแม่เหล็กถาวร แล้วนำแท่งแม่เหล็กฝังลงในร่องลึกลงไปประมาณ 8 มิลลิเมตร จากความหนาของแท่งแม่เหล็กที่ 10 มิลลิเมตร ดังแบบแสดงในรูป 3-8

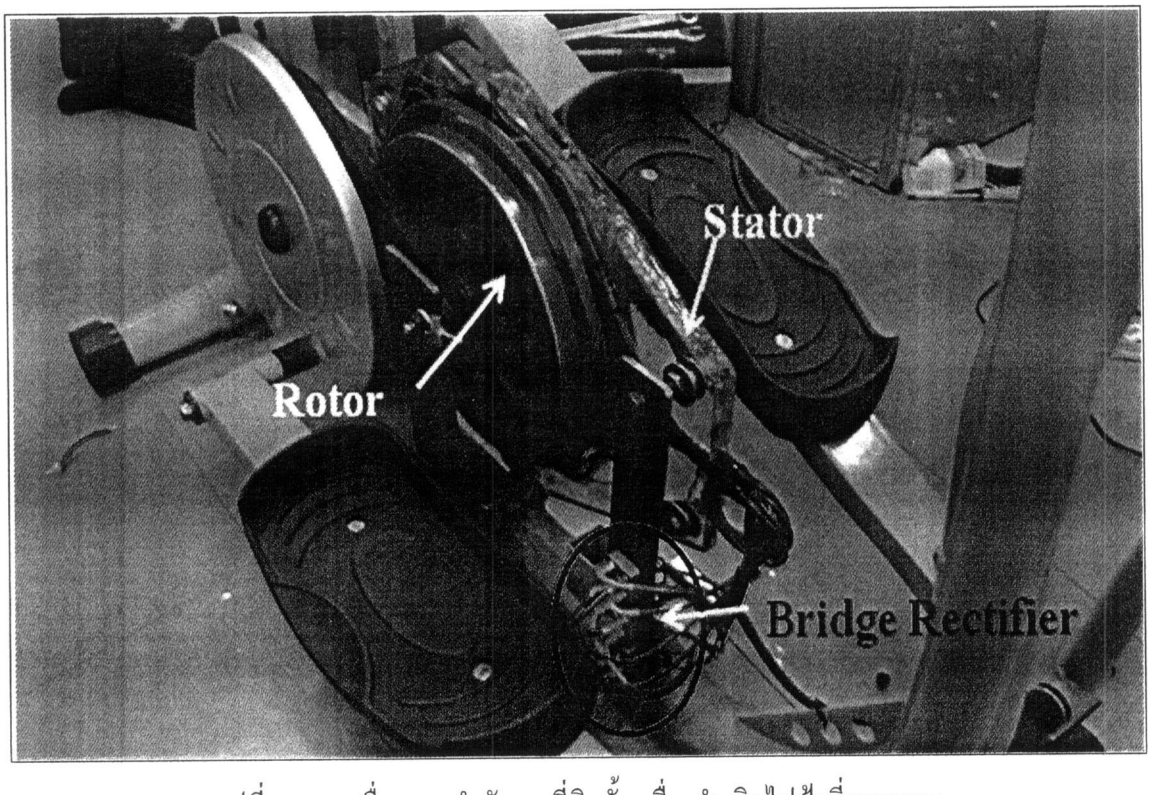



รูปที่ 3- 8 แบบของจานยึดขั้วแม่เหล็ก

นอกจากนี้ทำการกลึงลดขนาดของล้อถ่วงน้ำหนักหรือล้อช่วยแรง (Flywheel) ซึ่งมีมูเล่สำหรับขับโดยสายพานติดอยู่ ออกแบบให้ยึดติดกับแผ่นเหล็กที่ทำการเซาะร่อง ดังรูป 3-9 ผลจากการฝังแท่งแม่เหล็กพบว่าแท่งแม่เหล็กสามารถยึดตัวมันเองกับแผ่นเหล็กในร่องโดยไม่ต้องใช้กาวหรือเทเรซิ่นในการยึด อีกทั้งความหนาของแผ่นโรเตอร์รวมกับขั้วแม่เหล็กเพิ่มออกมาเพียงข้างละ 2 มิลลิเมตร ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าความหนารวมประมาณ 52 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถติดตั้งลงในพื้นที่จำกัดของเครื่องออกกำลังกาย ดังแสดงในรูป 3-10




รูปที่ 3- 9 จานยึดขั้วแม่เหล็กด้านที่ยึดกับล้อช่วยแรง

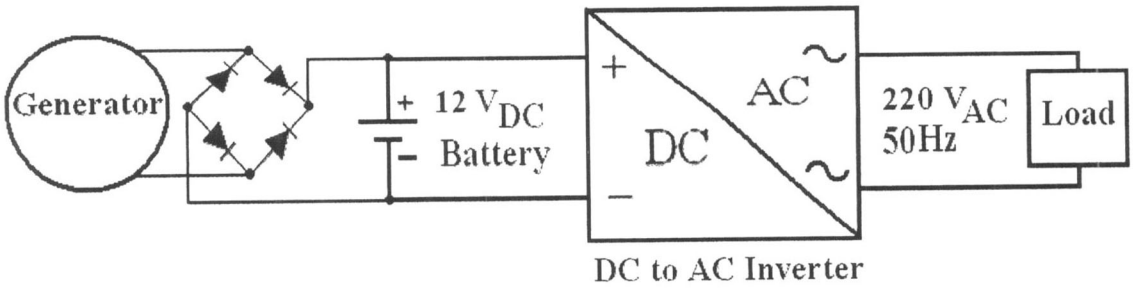



รูปที่ 3- 10 เครื่องออกกำลังกายที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ออกแบบ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

## 3.4 ระบบไฟฟ้า

จากบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 3-1 ระบบไฟฟ้าจะประกอบด้วยแบตเตอรี่ และอินเวอร์เตอร์ โดยแบตเตอรี่มี 2 หน้าที่หลักคือ 1. เก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการออกกำลังกายผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2. เป็นแหล่งจ่ายพลังงานหลัก โดยความสามารถในการจ่ายพลังงานขึ้นอยู่กับโหลด แบตเตอรี่ที่เลือกใช้ในงานวิจัยมีขนาดความจุ 55 แอมป์-ชั่วโมง ซึ่งจะต่ออยู่กับอินเวอร์เตอร์ขนาด 1000 วัตต์ เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงดันไฟฟ้าและความถี่ใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ หลักในการเลือกขนาดของอินเวอร์เตอร์พิจารณาจากโหลด ซึ่งในงานวิจัยมีจุดประสงค์ที่จะนำระบบไฟฟ้าไปใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการใช้กำลังงานสูง เช่น หม้อหุ้งข้าวไฟฟ้า 300-500 วัตต์ และกะทะไฟฟ้าประมาณ 700 วัตต์




รูปที่ 3- 11 ระบบไฟฟ้าของโครงการวิจัย

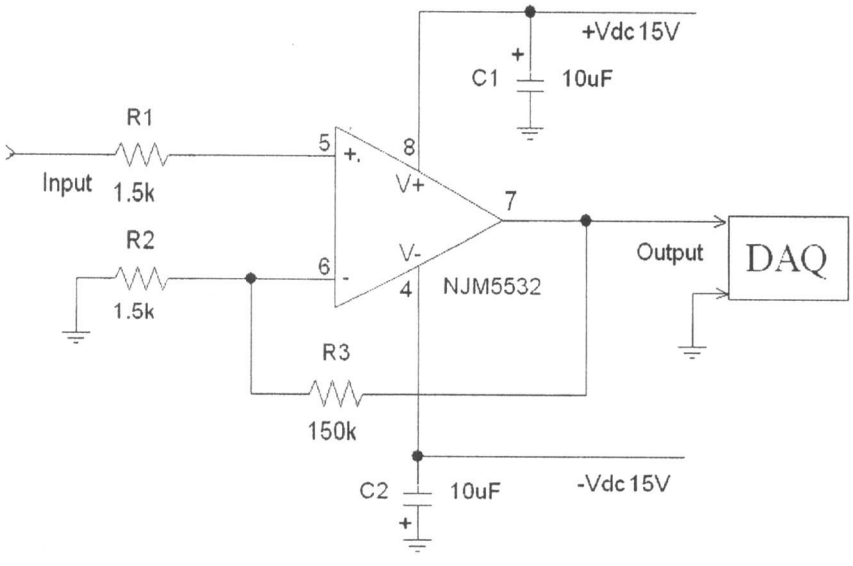
## 3.5 ระบบเก็บข้อมูล

ข้อมูลของกระแส และแรงดันไฟฟ้าจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ในเรื่องของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการออกกำลังกาย และการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย โดยจะใช้อุปกรณ์การรับข้อมูล Data Acquisition; DAQ NI USB 6009 ร่วมกับคอมพิวเตอร์ในการวัดและอ่านและบันทึกค่า โปรแกรม Lab VIEW ใช้ในการควบคุมการเก็บบันทึก และแสดงผล พารามิเตอร์ที่ต้องการวัดและบันทึก คือ กระแส และแรงดันที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพราะจะมีค่าไม่คงที่เนื่องมาจากการออกกำลังกาย โดยจะนำค่าที่เก็บตลอดช่วงการออกกำลังกายมาหาค่ากำลังไฟฟ้ารวมในแต่ละครั้งมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างการเผาผลาญพลังงานและพลังงานไฟฟ้าที่ได้

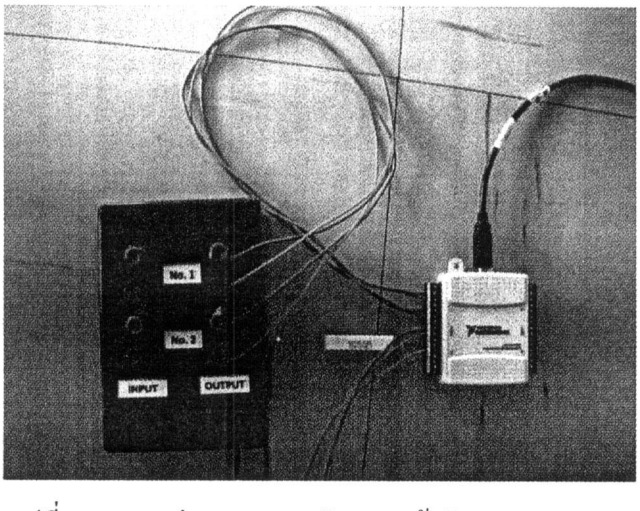
### 3.5.1 การวัดกระแส

การวัดค่ากระแสไฟฟ้า จะใช้การวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานชันท์ที่ต่ออนุกรมกับวงจรที่ต้องการวัดกระแสที่จุดนั้นๆ โดยความต้านทานชันท์ที่นำมาใช้มีขนาด 50A/75mV สามารถจะวัดกระแสได้สูงสุด 50 แอมป์ ซึ่งเมื่อมีกระแสไหลในวงจรตั้งแต่ 0-50 แอมป์ จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ความต้านทานชันท์ตั้งแต่ 0 - 75 mV แต่เนื่องจาก DAQ ไม่สามารถรับแรงดันไฟฟ้าในระดับมิลลิโวลต์ได้ จึง

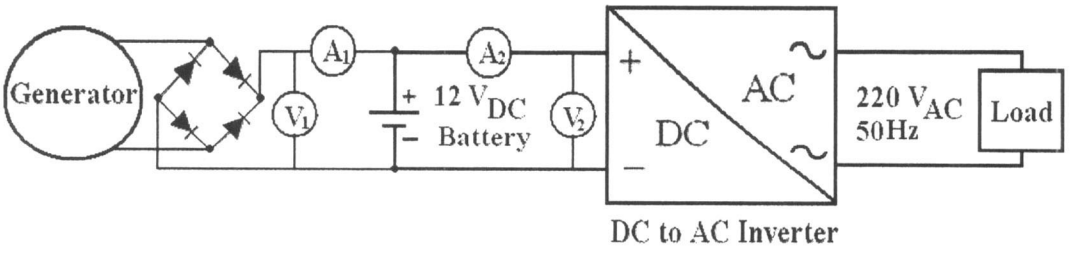
จำเป็นต้องทำการขยายแรงดันไฟฟ้าที่มาจากความต้านทานชันท์ขึ้นมา โดยใช้ออปแอมป์ในการขยายสัญญาณ ดังรูปวงจร 3-12 และการต่อวงจรขยายไปยัง DAQ รูป 3-13 โดยจะทำการวัดกระแสที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ($A_1$) และกระแสรวมที่เข้าอินเวอร์เตอร์($A_2$) ดังรูปที่ 3-14




รูปที่ 3- 12 วงจรขยายแรงดันตกคร่อมความต้านทานชันท์



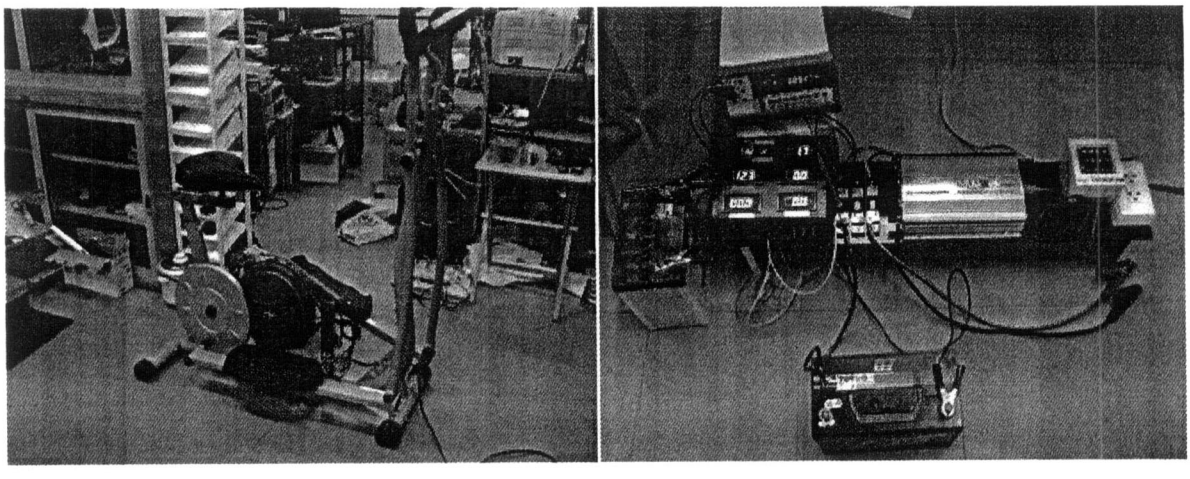

รูปที่ 3- 13 การต่อวงจรขยายสัญญาณเข้ากับ NI USB-6009




รูปที่ 3- 14 จุดวัดกระแสและแรงดันในระบบไฟฟ้า

## 3.6 สรุปการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการดำเนินงานวิจัยในส่วนต่างๆ ได้แก่การออกแบบและดัดแปลง ชุดส่งกำลังจากเครื่องออกกำลังกายแบบ Elliptical Bike สำหรับขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งมีการออกแบบให้ได้ตามพิกัดและสามารถติดตั้งกับเครื่องออกกำลังกายได้ นอกจากนี้ยังเสนอระบบการรับและจ่ายพลังงานไฟฟ้า รวมไปถึงการวัดค่ากระแส และแรงดันเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป ซึ่งระบบที่ออกแบบมาจะนำไปทดลองในบทต่อไป



รูปที่ 3- 15 เครื่องออกกำลังกายที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(ซ้าย) และระบบการจ่ายไฟฟ้า(ขวา)