**Brushed DC Motor : การทดลองที่ 1**

**จุดประสงค์**

1. เพื่อให้สามารถอธิบายหลักการทำงานของ DC Motor และความสามารถของ Motor Torque Constant และ Back EMF Constant ของ DC Motor ได้
2. เพื่อให้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของ Speed, Torque, Current, Power, %Efficiency ได้เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป
3. เพื่อให้สามารถอธิบายกระบวณการ Signal Conditioning, Signal Processing ทั้งหมดได้ตั้งแต่ต้นจน จบกระบวณการ รวมถึงหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้จริงกับแรงดันไฟฟ้าที่ ออกมาจาก Hall Current Sensor และอธิบายกระบวณการ Unwrap ค่า

**สมมติฐาน**

1. ค่าของ Speed แปรผันตรงกับค่าแรงดันไฟฟ้า
2. ค่าของ Current ขึ้นอยู่กับ Load หรือ Torque ที่เพิ่มขึ้น
3. ค่าของ Power จะเพิ่มขึ้นเมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

**ตัวแปร**

* ตัวแปรต้น
  + ค่าความถี่หรือสัญญาณ PWM
  + ค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า
  + โหมดการขับ H-Bridge
* ตัวแปรตาม
  + ความเร็วรอบของมอเตอร์
  + กระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้
  + แรงบิดของมอเตอร์
* ตัวแปรควบคุม
  + แหล่งจ่ายไฟ
  + สภาพแวดล้อมและอุณหภูมิในห้อง
  + การตั้งค่าไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32G474RE

**นิยามศัพท์เฉพาะ**

* DC Motor : มอเตอร์ที่ใช้กระแสตรงในการหมุน ทำงานโดยการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล WCS1700
* Hall Current Sensor : เซ็นเซอร์ที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมอเตอร์
* H-Bridge : วงจรที่ใช้ในการควบคุมทิศทางของมอเตอร์ โดยการสลับการไหลของกระแสไปยังมอเตอร์
* Duty Cycle : สัดส่วนของเวลาที่สัญญาณ PWM อยู่ในสถานะ HIGH ซึ่งส่งผลต่อความเร็วของมอเตอร์

**นิยามเชิงปฏิบัติการ**

* Duty Cycle ของมอเตอร์ : ความยาวของการเปิดสัญญาณ PWM ระยะเวลาสูงสุดในหนึ่งช่วงเวลา โดย จะตั้งค่าความยาวของการเปิดปิดในค่าต่างๆ เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์
* Torque ที่มอเตอร์ผลิต : แรงบิดที่มอเตอร์สามารถสร้างได้ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ โดยการวัดจากกระแสไฟ ที่ Hall Current Sensor วัดได้
* น้ำหนักที่โหลดเซลล์วัด : ค่าแรงที่มอเตอร์สามารถกดได้ วัดโดยโหลดเซลล์ที่ใช้ตรวจสอบน้ำหนัก

**วิธีดำเนินการทดลอง**

**วัสดุอุปกรณ์**

1. Nidec Components Geared DC Geared Motor, 12 V dc, 20 Ncm, 70 rpm, 6mm Shaft Diameter
2. Incremental Encoder AMT103-V
3. Warner Electric Magnetic Particle Clutches MPB12
4. WCS1700 Hall Current Sensor
5. Cytron MDD20A Motor Driver
6. Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอัปโหลด
7. MotorXplorer

**ขั้นตอนการดำเนินงาน**

1. เชื่อมต่อ Incremental Encoder AMT103-V เข้ากับ STM32G474RE
2. เพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าขาเข้าตั้งแต่ 0 – 3.3 V โดยที่เพิ่มครั้งละ 0.5 V พร้อมทั้งเก็บค่าความเร็วรอบและแรงบิด
3. หาค่าเฉลี่ยของค่าที่เก็บได้
4. เก็บค่ากระแสไฟฟ้าจาก Power Supply เพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าจาก 0 – 3.3 V ครั้งละ 0.5 V

**ผลการทดลอง**

1. ความเร็วรอบ (Speed)

|  |  |
| --- | --- |
| V (Volt) | Speed (RPM) |
| 0 | 0 |
| 0.5 | 0.225495 |
| 1 | 7.765011 |
| 1.5 | 52.77814 |
| 2 | 96.07936 |
| 2.5 | 133.9902 |
| 3 | 200.3272 |
| 3.3 | 230.0128 |

ตารางที่ 1 ความเร็วรอบ (RPM) เมื่อเทียบกับแรงดันไฟฟ้า (Voltage)

รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (RPM) กับแรงดันไฟฟ้า (Voltage)

1. แรงบิด (Torque)

|  |  |
| --- | --- |
| V (Volt) | Torque (Nm) |
| 0 | 0.008132 |
| 0.5 | 0.010374 |
| 1 | 0.041364 |
| 1.5 | 0.059057 |
| 2 | 0.096745 |
| 2.5 | 0.11476268 |
| 3 | 0.13441 |
| 3.3 | 0.16236 |

ตารางที่ 2 แรงบิด (Nm) เมื่อเทียบกับแรงดันไฟฟ้า (Voltage)

รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด (Nm) กับแรงดันไฟฟ้า (Voltage)

1. A computer and machine on a table

   Description automatically generatedกระแสไฟฟ้า

* ที่แรงดัน 0 V

รูปที่ 3 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากระดับแรงดันไฟฟ้า 0 V

* A machine and computer on a table

  Description automatically generatedที่แรงดัน 0.5 V

รูปที่ 4 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากระดับแรงดันไฟฟ้า 0.5 V

* A computer and machine on a table

  Description automatically generatedที่แรงดัน 1 V

รูปที่ 5 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากระดับแรงดันไฟฟ้า 1 V

* A computer with a machine and wires on a table

  Description automatically generatedที่แรงดัน 1.5 V

รูปที่ 6 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากระดับแรงดันไฟฟ้า 1.5 V

* ที่แรงดัน 2 V

A computer with a machine and wires

Description automatically generated with medium confidenceรูปที่ 7 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากระดับแรงดันไฟฟ้า 2 V

* ที่แรงดัน 2.5 V

รูปที่ 8 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากระดับแรงดันไฟฟ้า 2.5 V

* A computer with a machine and wires

  Description automatically generated with medium confidenceที่แรงดัน 3 V

รูปที่ 9 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากระดับแรงดันไฟฟ้า 3 V

* A computer and machine on a table

  Description automatically generatedที่แรงดัน 3.3 V

รูปที่ 9 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากระดับแรงดันไฟฟ้า 3 V

รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (A) กับแรงดันไฟฟ้า (Voltage)

**สรุปผลการทดลอง**

* กราฟ Speed (RPM) – Voltage (V)
  + ความเร็วรอบของมอเตอร์ (Speed) เพิ่มขึ้นในเชิงเส้นตามแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ในช่วงแรก เนื่องจากแรงดันที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้น ในช่วงแรงดันสูงสุด อัตราการเพิ่มขึ้นของความเร็วอาจเริ่มชะลอตัว เนื่องจากผลกระทบจากโหลดและข้อจำกัดทางกายภาพ เช่น แรงเสียดทานหรือแรงดันย้อนกลับ (Back EMF) ที่เพิ่มขึ้น
* กราฟ Torque (Nm) – Voltage (V)
  + แรงบิด (Torque) เพิ่มขึ้นเมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์
* กราฟ Current (A) – Voltage (V)
  + กระแสไฟฟ้า (Current) เพิ่มขึ้นตามแรงดันไฟฟ้า

**อภิปรายผลการทดลอง**

จากผลการทดลอง พบว่าแรงดันไฟฟ้ามีผลโดยตรงต่อพฤติกรรมของมอเตอร์ DC ทั้งความเร็ว แรงบิด และกระแสไฟฟ้า แต่ในช่วงแรงดันไฟฟ้าสูงสุด จะมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น การสูญเสียพลังงานและข้อจำกัดทางกายภาพของมอเตอร์เข้ามามีบทบาท

**Brushed DC Motor : การทดลองที่ 2**

**จุดประสงค์**

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของ Speed, Torque, Current, Power, %Efficiency เมื่อ Load Torque ที่กระทำต่อ DC Motor ผ่านการปรับ Load Torque ด้วย Magnetic Particle Clutches เปลี่ยนแปลงไป
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของ Duty Cycle, Frequency, Speed, และ Current ทั้งในเงื่อนไขแบบ No Load และ Full Load

**สมมติฐาน**

1. ความสัมพันธ์ของ Speed, Torque, Current, Power, %Efficiency กับ Load Torque
   1. เมื่อ Load Torque เพิ่มขึ้น
      1. **Speed** จะลดลง เนื่องจากมอเตอร์ต้องใช้พลังงานมากขึ้นเพื่อเอาชนะแรงบิดที่สูงขึ้น
      2. **urrent** จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากมอเตอร์ต้องดึงกระแสเพิ่มเพื่อสร้างแรงบิดที่สูงขึ้น
      3. **Power (กำลังไฟฟ้า)** จะเพิ่มขึ้น แต่ไม่ใช่เชิงเส้น เนื่องจากพลังงานที่สูญเสีย (Losses) จะเพิ่มขึ้นด้วย
      4. **%Efficiency** จะลดลงที่โหลดสูง เนื่องจากพลังงานสูญเสียในรูปของความร้อนเพิ่มขึ้น (แรงเสียดทานและความต้านทานในขดลวด)
2. ความสัมพันธ์ของ Duty Cycle, Frequency, Speed, และ Current
   1. No Load Condition (โหลดต่ำ)
      1. **Speed** จะเพิ่มขึ้นเมื่อ Duty Cycle และ Frequency เพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงดันเฉลี่ยที่จ่ายให้มอเตอร์เพิ่มขึ้น
      2. **Current** จะอยู่ในระดับต่ำและคงที่ เนื่องจากไม่มีโหลดมากระทำ
   2. Full Load Condition (โหลดสูง)
      1. **Speed** จะยังเพิ่มขึ้นตาม Duty Cycle แต่ในอัตราที่ช้ากว่า เนื่องจากโหลดสูงทำให้แรงดันเฉลี่ยต้องเอาชนะโหลดที่เพิ่มขึ้น
      2. Current จะเพิ่มขึ้นชัดเจนเมื่อ Duty Cycle เพิ่มขึ้น เพื่อสร้างแรงบิดเพียงพอต่อการหมุน

**การทดลองที่ 2.1**

**ตัวแปร**

* ตัวแปรต้น
  + แรงดันไฟฟ้าขาเข้า
* ตัวแปรตาม
  + กระแสไฟฟ้า
  + ความเร็วรอบ
  + แรงบิด
* ตัวแปรควบคุม
  + สถานะของ Load ทดสอบทั้งสองเงื่อนไข (Full-Load และ No-Load)
  + แหล่งจ่ายไฟ
  + สภาพแวดล้อม อุณหภูมิในห้อง

**นิยามศัพท์เฉพาะ**

* DC Motor : มอเตอร์ที่ใช้กระแสตรงในการหมุน ทำงานโดยการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล WCS1700
* Hall Current Sensor : เซ็นเซอร์ที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมอเตอร์
* H-Bridge : วงจรที่ใช้ในการควบคุมทิศทางของมอเตอร์ โดยการสลับการไหลของกระแสไปยังมอเตอร์
* Duty Cycle : สัดส่วนของเวลาที่สัญญาณ PWM อยู่ในสถานะ HIGH ซึ่งส่งผลต่อความเร็วของมอเตอร์

**นิยามเชิงปฏิบัติการ**

* Duty Cycle ของมอเตอร์ : ความยาวของการเปิดสัญญาณ PWM ระยะเวลาสูงสุดในหนึ่งช่วงเวลา โดย จะตั้งค่าความยาวของการเปิดปิดในค่าต่างๆ เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์
* Torque ที่มอเตอร์ผลิต : แรงบิดที่มอเตอร์สามารถสร้างได้ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ โดยการวัดจากกระแสไฟ ที่ Hall Current Sensor วัดได้
* น้ำหนักที่โหลดเซลล์วัด : ค่าแรงที่มอเตอร์สามารถกดได้ วัดโดยโหลดเซลล์ที่ใช้ตรวจสอบน้ำหนัก

**อุปกรณ์การทดลอง**

1. Nidec Components Geared DC Geared Motor, 12 V dc, 20 Ncm, 70 rpm, 6mm Shaft Diameter
2. Incremental Encoder AMT103-V
3. Warner Electric Magnetic Particle Clutches MPB12
4. WCS1700 Hall Current Sensor
5. Cytron MDD20A Motor Driver
6. Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอัปโหลด
7. MotorXplorer

**ขั้นตอนดำเนินงาน**

1. เตรียมมอเตอร์ในสภาวะ No Load หรือ ไม่มี Load Torque
2. เพิ่มแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 0-3.3 V ครั้งละ 0.5 V
3. เก็บค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละครั้ง เมื่อไม่มี Load Torque
4. เตรียมมอเตอร์ในสถาวะ Stall Load หรือ Load Torque สูงสุดและทำเช่นเดียวกัน

**ผลการทดลอง**

1. กระแสไฟฟ้าที่ใช้ เมื่อไม่มี Load Torque
   1. A computer and machine on a table

      Description automatically generatedที่ 0 V

รูปที่ 11 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ในระดับ 0 V

* 1. A machine and computer on a table

     Description automatically generatedที่ 0.5 V

รูปที่ 12 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ในระดับ 0.5 V

* 1. A computer and machine on a table

     Description automatically generatedที่ 1 V

รูปที่ 13 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ในระดับ 1 V

* 1. A computer with a machine and wires on a table

     Description automatically generatedที่ 1.5 V

รูปที่ 14 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ในระดับ 1.5 V

* 1. A computer with a machine and wires

     Description automatically generatedที่ 2 V

รูปที่ 15 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ในระดับ 2 V

* 1. A computer with a machine and wires

     Description automatically generated with medium confidenceที่ 2.5 V

รูปที่ 16 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ในระดับ 2.5 V

* 1. A computer with a machine and wires

     Description automatically generated with medium confidenceที่ 3 V

รูปที่ 17 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ในระดับ 3 V

* 1. A computer and machine on a table

     Description automatically generatedที่ 3.3 V

รูปที่ 18 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ในระดับ 3.3 V

|  |  |
| --- | --- |
| V (Volt) | Current (A) |
| 0 | 0.292 |
| 0.5 | 0.323 |
| 1 | 0.365 |
| 1.5 | 0.401 |
| 2 | 0.424 |
| 2.5 | 0.446 |
| 3 | 0.464 |
| 3.3 | 0.47 |

ตารางที่ 3 กระแสไฟฟ้า (A) เมื่อเทียบกับแรงดันไฟฟ้า (Voltage)

รูปที่ 19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (A) กับแรงดันไฟฟ้า (Voltage) แบบไม่มี Load Torque

1. กระแสไฟฟ้าที่ใช้ เมื่อมี Load Torque สูงสุด
   1. A computer with a digital display and a white box

      Description automatically generated with medium confidenceA computer with a digital display

      Description automatically generatedA computer with a digital display and a digital display

      Description automatically generated with medium confidenceที่ 0 V

รูปที่ 20 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ในระดับ 0 V

* 1. A computer with a digital display

     Description automatically generatedA computer with a digital display

     Description automatically generatedA computer with a white device on it

     Description automatically generatedที่ 0.5 V

รูปที่ 21 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ในระดับ 0.5 V

* 1. A computer with a digital display

     Description automatically generatedA computer with a digital display

     Description automatically generatedA computer with a digital display

     Description automatically generatedที่ 1 V

รูปที่ 22 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ในระดับ 1 V

* 1. A computer with a digital device

     Description automatically generatedA computer with a digital display

     Description automatically generatedA computer with a digital device

     Description automatically generatedที่ 1.5 V

A computer with a digital device

Description automatically generatedรูปที่ 23 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ในระดับ 1.5 V

* 1. A computer with a digital display

     Description automatically generatedA computer with a digital device

     Description automatically generatedที่ 2 V

รูปที่ 24 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ในระดับ 2 V

* 1. A computer with a digital display

     Description automatically generatedA computer with a digital device

     Description automatically generatedA computer with a digital device

     Description automatically generated with medium confidenceที่ 2.5 V

รูปที่ 25 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ในระดับ 2.5 V

* 1. A computer with a digital device

     Description automatically generatedA computer with a digital display

     Description automatically generatedA computer with a digital display

     Description automatically generatedที่ 3 V

รูปที่ 26 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ในระดับ 3 V

* 1. A computer with a digital device

     Description automatically generatedA computer with a digital display

     Description automatically generatedA computer with a digital display

     Description automatically generatedที่ 3.3

รูปที่ 27 กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ในระดับ 3.3 V

|  |  |
| --- | --- |
| V (Volt) | Current (A) |
| 0 | 0.292 |
| 0.5 | 0.323 |
| 1 | 0.365 |
| 1.5 | 0.401 |
| 2 | 0.424 |
| 2.5 | 0.446 |
| 3 | 0.464 |
| 3.3 | 0.47 |

ตารางที่ 4 กระแสไฟฟ้า (A) เมื่อเทียบกับแรงดันไฟฟ้า (Voltage)

รูปที่ 28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (A) กับแรงดันไฟฟ้า (Voltage) แบบ Load Torque สูงสุด

รูปที่ 29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (A) แบบ Load Torque สูงสุดกับแบบไม่มี Load Torque เมื่อเทียบกับแรงดันไฟฟ้า (Voltage)

**สรุปผลการทดลอง**

* ในสภาวะ No-load:
  + Current จะต่ำและคงที่: เมื่อมอเตอร์ไม่ได้รับแรงบิดจากโหลด (No-load), กระแสที่มอเตอร์ดึงจะไม่สูงมาก เนื่องจากมอเตอร์ทำงานเพียงเล็กน้อยและไม่มีการต่อต้านจากแรงบิด (Torque) สูง
  + กราฟจะมีค่า Current ที่คงที่ในระดับต่ำเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้น
* ในสภาวะ Stall-load:
  + Current จะสูงขึ้นตามแรงดันที่เพิ่มขึ้น: เมื่อโหลดเพิ่มขึ้นมอเตอร์จะต้องดึงกระแสมากขึ้นเพื่อเอาชนะแรงบิดที่สูงขึ้น
  + กราฟของ Current ในสภาวะนี้จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มแรงดัน และจะมีลักษณะการเพิ่มขึ้นที่ชัดเจนขึ้นเมื่อเทียบกับในสภาวะ No-load

**อภิปรายผลการทดลอง**

ผลการทดลองยืนยันสมมติฐานที่ว่าเมื่อ Load Torque เพิ่มขึ้น Current จะเพิ่มขึ้นในสภาวะ Load Torque สูงสุดเนื่องจากมอเตอร์ต้องการกระแสเพิ่มขึ้นเพื่อสร้างแรงบิดที่เพียงพอในการเอาชนะแรงต้านทานจาก Load

ในสภาวะ No-load Current ไม่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่ม Load Torque มากนัก เพราะมอเตอร์ไม่ได้มีการต่อต้านจากLoad ที่มีขนาดใหญ่ จึงแสดงให้เห็นว่า Current ยังคงอยู่ในระดับต่ำและคงที่

**การทดลองที่ 2.2**

**ตัวแปร**

* ตัวแปรต้น
  + Load Torque (แรงบิดที่กระทำกับมอเตอร์ ซึ่งถูกปรับโดย Magnetic Particle Clutches)
* ตัวแปรตาม
  + Current (กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมอเตอร์)
* ตัวแปรควบคุม
  + แหล่งจ่ายไฟ
  + สภาพแวดล้อม อุณหภูมิในห้อง
  + แรงดันไฟฟ้าขาเข้า

**นิยามศัพท์เฉพาะ**

* DC Motor : มอเตอร์ที่ใช้กระแสตรงในการหมุน ทำงานโดยการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล WCS1700
* Hall Current Sensor : เซ็นเซอร์ที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมอเตอร์
* H-Bridge : วงจรที่ใช้ในการควบคุมทิศทางของมอเตอร์ โดยการสลับการไหลของกระแสไปยังมอเตอร์
* Duty Cycle : สัดส่วนของเวลาที่สัญญาณ PWM อยู่ในสถานะ HIGH ซึ่งส่งผลต่อความเร็วของมอเตอร์

**นิยามเชิงปฏิบัติการ**

* Duty Cycle ของมอเตอร์ : ความยาวของการเปิดสัญญาณ PWM ระยะเวลาสูงสุดในหนึ่งช่วงเวลา โดย จะตั้งค่าความยาวของการเปิดปิดในค่าต่างๆ เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์
* Torque ที่มอเตอร์ผลิต : แรงบิดที่มอเตอร์สามารถสร้างได้ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ โดยการวัดจากกระแสไฟ ที่ Hall Current Sensor วัดได้
* น้ำหนักที่โหลดเซลล์วัด : ค่าแรงที่มอเตอร์สามารถกดได้ วัดโดยโหลดเซลล์ที่ใช้ตรวจสอบน้ำหนัก

**อุปกรณ์การทดลอง**

1. Nidec Components Geared DC Geared Motor, 12 V dc, 20 Ncm, 70 rpm, 6mm Shaft Diameter
2. Incremental Encoder AMT103-V
3. Warner Electric Magnetic Particle Clutches MPB12
4. WCS1700 Hall Current Sensor
5. Cytron MDD20A Motor Driver
6. Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอัปโหลด
7. MotorXplorer

**ขั้นตอนดำเนินงาน**

1. เชื่อมต่อ Incremental Load Cell เข้ากับ STM32G474RE
2. เพิ่มขนาด Load Torque ตั้งแต่ 0.6 – 0.85 Nm ครั้งละ 0.01 Nm
3. เปิดใช้งาน DC Motor และเก็บค่า Current ที่อ่านได้ในแต่ละครั้ง

**ผลการทดลอง**

กระแสไฟฟ้าที่อ่านที่แรงดัน 3.3 V

* **A digital device with wires and a monitor

  Description automatically generated with medium confidence**ที่ Load Torque 0.6 Nm

รูปที่ 30 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.6 Nm

* **A device with a screen and wires

  Description automatically generated**ที่ Load Torque 0.61 Nm

รูปที่ 31 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.61 Nm

* **A device with a screen and wires

  Description automatically generated**ที่ Load Torque 0.62 Nm

รูปที่ 32 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.62 Nm

* **A close-up of a device

  Description automatically generated**ที่ Load Torque 0.63 Nm

รูปที่ 33 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.63 Nm

* **A digital device with wires connected to a computer

  Description automatically generated**ที่ Load Torque 0.64 Nm

รูปที่ 34 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.64 Nm

* **A digital device with wires connected to a computer

  Description automatically generated**ที่ Load Torque 0.65 Nm

รูปที่ 35 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.65 Nm

* **A digital device with wires and a screen

  Description automatically generated with medium confidence**ที่ Load Torque 0.66 Nm

รูปที่ 36 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.66 Nm

* **A digital device with wires connected to a computer

  Description automatically generated**ที่ Load Torque 0.67 Nm

รูปที่ 37 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.67 Nm

* **A digital device with wires connected to a computer

  Description automatically generated**ที่ Load Torque 0.68 Nm

รูปที่ 38 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.68 Nm

* **A digital device with a screen and wires

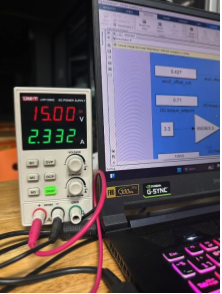
  Description automatically generated**ที่ Load Torque 0.69 Nm

รูปที่ 39 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.69 Nm

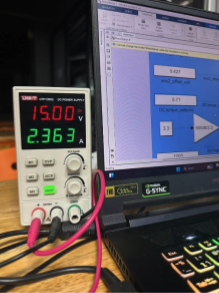
* **A digital device with a screen and wires

  Description automatically generated**ที่ Load Torque 0.70 Nm

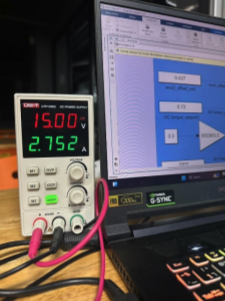
รูปที่ 40 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.70 Nm

* ที่ Load Torque 0.71 Nm

รูปที่ 41 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.71 Nm

* ****ที่ Load Torque 0.72 Nm

รูปที่ 42 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.72 Nm

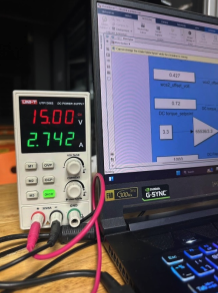
* ****ที่ Load Torque 0.73 Nm

รูปที่ 43 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.73 Nm

* **A device with buttons and wires

  Description automatically generated**ที่ Load Torque 0.74 Nm

รูปที่ 44 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.74 Nm

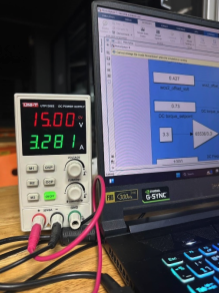
* ****ที่ Load Torque 0.75 Nm

รูปที่ 45 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.75 Nm

* **A close up of a device

  Description automatically generated**ที่ Load Torque 0.76 Nm

รูปที่ 46 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.76 Nm

* ****ที่ Load Torque 0.77 Nm

รูปที่ 47 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.77 Nm

* **A device with a screen and wires

  Description automatically generated**ที่ Load Torque 0.78 Nm

รูปที่ 48 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.78 Nm

* **A close up of a device

  Description automatically generated**ที่ Load Torque 0.79 Nm

รูปที่ 49 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.79 Nm

* **A device with a screen and wires

  Description automatically generated**ที่ Load Torque 0.80 Nm

รูปที่ 50 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.80 Nm

* **A close-up of a device

  Description automatically generated**ที่ Load Torque 0.81 Nm

รูปที่ 51 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.81 Nm

* **A close up of a device

  Description automatically generated**ที่ Load Torque 0.82 Nm

รูปที่ 52 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.82 Nm

* **A white electronic device with a screen and wires

  Description automatically generated**ที่ Load Torque 0.83 Nm

รูปที่ 53 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.83 Nm

* **A close-up of a device

  Description automatically generated**ที่ Load Torque 0.84 Nm

รูปที่ 54 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.84 Nm

* **A device with a screen and wires

  Description automatically generated**ที่ Load Torque 0.85 Nm

รูปที่ 55 กระแสไฟฟ้า (A) ที่อ่านได้ที่ Load Torque 0.85 Nm

|  |  |
| --- | --- |
| Load Torque (Nm) | Current (A) |
| 0.6 | 2.345 |
| 0.61 | 2.388 |
| 0.62 | 2.325 |
| 0.63 | 2.344 |
| 0.64 | 2.358 |
| 0.65 | 2.345 |
| 0.66 | 2.335 |
| 0.67 | 2.324 |
| 0.68 | 2.389 |
| 0.69 | 2.343 |
| 0.7 | 2.335 |
| 0.71 | 2.332 |
| 0.72 | 2.363 |
| 0.73 | 2.752 |
| 0.74 | 2.765 |
| 0.75 | 2.742 |
| 0.76 | 3.255 |
| 0.77 | 3.281 |
| 0.78 | 3.279 |
| 0.79 | 3.569 |
| 0.8 | 3.548 |
| 0.81 | 3.536 |
| 0.82 | 4.889 |
| 0.83 | 4.871 |
| 0.84 | 4.889 |
| 0.85 | 4.862 |

ตารางที่ 5 Load Torque (Nm) เทียบกับ Current (A)

รูปที่ 56 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (A) เทียบกับ Load Torque (Nm)

**สรุปผลการทดลอง**

* ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) และแรงบิดที่โหลด (Load Torque)
  + กราฟ Current vs Load Torque แสดงแนวโน้มว่า Current เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของ Load Torque
  + ความสัมพันธ์มีลักษณะใกล้เคียงเชิงเส้นในช่วง Load Torque ที่ต่ำ แต่เริ่มมีการเบี่ยงเบนจากความเป็นเส้นตรงเมื่อ Load Torque อยู่ในช่วงสูงกว่า 0.72 Nm
* ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุด
  + กระแสไฟฟ้าต่ำสุดถูกวัดที่ Load Torque = 0.6, ซึ่งมีกระแสไฟฟ้าต่ำสุดที่เหมาะสมกับการทำงานในสภาวะโหลดเบา
  + กระแสไฟฟ้าต่ำสุดถูกวัดที่ Load Torque = 0.6, ซึ่งมีกระแสไฟฟ้าต่ำสุดที่เหมาะสมกับการทำงานในสภาวะโหลดเบา
* กระแสไฟฟ้าต่ำสุดถูกวัดที่ Load Torque = 0.6, ซึ่งมีกระแสไฟฟ้าต่ำสุดที่เหมาะสมกับการทำงานในสภาวะโหลดเบา
  + กระแสไฟฟ้าต่ำสุดถูกวัดที่ Load Torque = 0.6 ซึ่งมีกระแสไฟฟ้าต่ำสุดที่เหมาะสมกับการทำงานในสภาวะโหลดเบา
  + ในช่วงหลัง (0.72 - 0.85), อัตราการเพิ่มขึ้นของ Current เริ่มชะลอตัวเล็กน้อย อาจเป็นเพราะผลกระทบจากการสูญเสียพลังงาน (Losses) หรือข้อจำกัดทางกลของมอเตอร์

**อภิปรายผลการทดลอง**

จากทฤษฎีของมอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) พบว่า กระแสไฟฟ้า (Current) มีความสัมพันธ์โดยตรงกับแรงบิด (Torque) ซึ่งสามารถแสดงในรูปสมการว่า กล่าวคือ แรงบิดมีค่าแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมอเตอร์ ในช่วงที่โหลดเบา มอเตอร์ต้องการกระแสไฟฟ้าต่ำเพื่อสร้างแรงบิดที่เพียงพอต่อการหมุนของโรเตอร์ แต่เมื่อโหลดเพิ่มขึ้น มอเตอร์จำเป็นต้องดึงกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเพื่อสร้างแรงบิดที่มากขึ้นให้สามารถเอาชนะแรงต้านจากโหลดได้ ส่งผลให้ค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของโหลดแรงบิด (Load Torque)

และเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของโหลดอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะช่วงที่แรงบิดอยู่ในช่วงที่สูง การเพิ่มของกระแสไฟฟ้าจะมาพร้อมกับการสูญเสียพลังงานในระบบ (Losses)

**Stepper Motor**

**จุดประสงค์**

* 1. อธิบายหลักการทำงานของ Stepper Motor ได้อย่างละเอียด
  2. อธิบายความสัมพันธ์ของความเร็ว (Speed) เมื่อความถี่ (Frequency) ของสัญญาณที่จ่ายเข้า Stepper Motor เปลี่ยนแปลงไป
  3. อธิบายผลกระทบของรูปแบบการ Drive แบบ Full-Step, Half-Step และ Micro-Step ต่อความเร็วและตำแหน่งของ Stepper Motor
  4. เข้าใจกระบวนการ Signal Conditioning และ Signal Processing ทั้งหมด

**หลักการทำงาน**

Stepper Motor เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่ทำงานโดยหมุนทีละขั้น (step) ซึ่งสามารถควบคุมตำแหน่ง การหมุน ความเร็ว และทิศทางได้อย่างแม่นยำ จึงเหมาะสำหรับงานที่ต้องการการควบคุมตำแหน่งที่แน่นอน

เช่น หุ่นยนต์เครื่องพิมพ์ 3D และระบบอัตโนมัติในอุตสาหกรรม

**Stepper Motor : การทดลองที่ 1**

**จุดประสงค์**

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของความเร็ว (Speed) เมื่อความถี่ (Frequency) ของสัญญาณที่จ่ายเข้า Stepper Motor เปลี่ยนแปลงไป

**สมมติฐาน**

ความเร็วในการหมุนของ Stepper Motor จะเพิ่มขึ้นโดยแปรพันตรงกับความถี่ที่จ่ายเข้าไป และเมื่อมีความถี่ถึงค่าหนึ่งแล้วมอเตอร์จะหลุดออกจาก step นั้น

**ตัวแปร**

* ตัวแปรต้น
  + รูปแบบการ Drive Stepper Motor แบบ Full - Step และ Half Step
  + ความถี่ (Frequency) ในการสั่ง Drive Stepper Motor
* ตัวแปรตาม
  + ลักษณะการหมุน
  + ความเร็ว (Speed) ในการหมุน
* ตัวแปรควบคุม
  + แรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ
  + การตั้งค่าไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32G474RE
  + Stepper Motor
  + Stepper Driver

**วิธีดำเนินการทดลอง**

1. เชื่อมต่อ Nucleo STM32G474RE เข้ากับบอร์ด MotorXplorer
2. ปรับโหมดของ Stepper Motor Driver
3. ปรับความถี่ของ Stepper Motor ให้มีความถี่ที่ต่างกัน 10 ความถี่
4. เปลี่ยนโหมดของ Stepper Motor Driver และทำข้อที่ 3 อีกครั้ง

A white sheet with black text

Description automatically generated

รูป Datasheet ของ HANPOSE - Stepper Motor 11HS2810

จาก Datasheet ของ HANPOSE - Stepper Motor 11HS2810 สามารถบอกได้ว่ามอเตอร์ตัวนี้มีลักษณะเป็น Hybrid Stepper Motor และมอเตอร์ตัวนี้จะหมุน 1.8 องศาเมื่อได้รับคำสั่งให้เคลื่อนที่ 1 Step อีกทั้ง Stepper Motor นี้เป็นมอเตอร์แบบ **2-Phase Bipolar** ซึ่งต้องการการจ่ายพลังงานสลับระหว่างสอง Phase เพื่อสร้างการหมุน

**ผลการทดลอง**

เมื่อทดลองปรับโหมดของ Stepper Motor Driver เป็นโหมด Full-Step และจ่ายความถี่ตั้งแต่ 5000 , 10000 , 15000 , 20000 , 25000 , 30000 , 35000 , 40000 , 45000 และ 50000 Hz พร้อมทั้งคำนวณความเร็วเชิงมุม ()

จากสูตร

*โดย* Steps/rev *ในการ* Drive *แบบ* Full-Step *ของ* Stepper Motor 11HS2810 *คำนวณได้จากสูตร*

จะได้ผลการทดลองเป็นความเร็วเชิงมุมของการ Drive แบบ Full-Step ดังนี้

|  |  |
| --- | --- |
| ความถี่ (Hz) | ความเร็วเชิงมุม (rad/s) |
| 5000 |  |
| 10000 |  |
| 15000 |  |
| 20000 |  |
| 25000 |  |
| 30000 |  |
| 35000 |  |
| 40000 |  |
| 45000 |  |
| 50000 |  |