

ชื่อ

- นาย ภูตะวัน ณะอ้อ รหัสนักศึกษา 66340500041
- นายรัชชยุต อุดมศิริ รหัสนักศึกษา 66340500046
- นางสาวสุภัทสร นิมเกิดผล รหัสนักศึกษา 66340500060

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้หลัก

- การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้หลักนักศึกษาต้องสามารถออกแบบการทดลองโดยใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ในการ สืบเสาะพฤติกรรม ปรากฏการณ์ ทดลอง บันทึกผลการทดลอง สรุปผล และอภิปรายผลการทดลอง เข้าใจหลักการทำงานของเซ็นเซอร์ และอุปกรณ์ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องได้ ตลอดจนใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ สถิติ และศาสตร์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรม MATLAB เพื่อเก็บผลการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง วิเคราะห์ความเที่ยงตรง ความแม่นยำ ได้อย่างถูกต้อง และมีเหตุผลรองรับตรวจสอบความถูกต้องเทียบกับทฤษฎีที่น่าเชื่อถือ
- นักศึกษาต้องสามารถอธิบายความสามารถในการรับรู้ปริมาณทางฟิสิกส์ของเซ็นเซอร์ทั้งหมดตั้งแต่ต้นจนจบกระบวนการได้ เช่น การอธิบายการวัดกระแสไฟฟ้าของ Current Sensor
- นักศึกษาต้องสามารถกำหนด ตัวแปรในการทดลองได้อย่างถูกต้องและสมเหตุสมผล ไม่ว่าจะเป็น ตัวแปรต้น ตัวแปรตาม ตัวแปรควบคุม อธิบายจุดประสงค์การทดลอง อธิบายสมมติฐานให้สอดคล้องกับตัวแปรที่กำหนด นิยามเชิงปฏิบัติการ และมีทฤษฎีที่น่าเชื่อถือรองรับ เช่น ทฤษฎีทางฟิสิกส์ หรือข้อมูลจาก Datasheet
- นักศึกษาต้องสามารถออกแบบวิธีการทดลองเพื่อหาคำตอบให้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้ย่อยทั้งหมดได้ด้วยตนเองอย่างถูกต้องตามหลักวิทยาศาสตร์
- อธิบายที่มาของผลการทดลองนั้นได้ โดยใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ ไฟล์ Simulink, mlx ฯลฯ และชุดการทดลองพร้อมบอร์ด Microcontroller ที่ TA จัดเตรียมให้เบื้องต้น
- นักศึกษาต้องสามารถเขียนรายงาน สัญลักษณ์ และสมการทางวิทยาศาสตร์ ได้อย่างถูกต้อง ทั้งขนาด และรูปแบบอักษร การเว้นช่องไฟ การเว้นขอบกระดาษ การเว้นระยะพิมพ์ ให้ได้ระยะที่เหมาะสมตามหลักสากล

1. DC Motor with WCS1700 Hall Current Sensor

1.1. จุดประสงค์

- 1.1.1. นักศึกษาสามารถอธิบายหลักการทำงานของ DC Motor รวมถึง Motor-Torque Constant และ Back-EMF Constant ได้
- 1.1.2. นักศึกษาสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง Speed, Torque, Current, Power, และ %Efficiency ได้เมื่อปรับเปลี่ยน Load Torque ผ่าน Magnetic Particle Clutches และแรงดันไฟฟ้า Input ผ่านการปรับ Duty Cycle และ Frequency ของ PWM
- 1.1.3. นักศึกษาสามารถอธิบายและควบคุมการทำงานของ H-Bridge Drive Mode ได้ทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่ Sign-Magnitude, Locked Anti-Phase, Async Sign-Magnitude โดยสามารถปฏิบัติการควบคุมในรูปแบบ Sign-Magnitude และ Locked Anti-Phase ได้
- 1.1.4. นักศึกษาสามารถอธิบายกระบวนการ Signal Conditioning และ Signal Processing ทั้งหมด ตั้งแต่การอ่านค่าจาก Incremental Encoder และ Hall Current Sensor รวมถึง:วิธีการคิดและขั้นตอนก่อน-หลังการ Calibrate Sensor, วิธีจัดการข้อมูลที่ได้รับ, สมการความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้จริงกับแรงดันที่ออกจาก Hall Current Sensor, การอธิบายกระบวนการ Unwrap ค่า
- 1.1.5. นักศึกษาสามารถเขียนโปรแกรมและใช้งาน MATLAB และ Simulink ร่วมกับ Nucleo STM32G474RE เพื่อใช้สัญญาณจาก Incremental Encoder และ Hall Current Sensor เป็น Input, แสดงผลแบบ Real-Time ด้วย Data Inspector และแสดงสัญญาณ Output ที่แปรผันตาม Input โดยผลลัพธ์ประกอบด้วยความเร็วเชิงมุมและกระแสไฟฟ้าในหน่วย SI derived

1.2. สมมติฐาน

- 1.2.1. การควบคุมแรงบิดและความเร็วของ DC Motor สามารถปรับได้อย่างแม่นยำโดยการเปลี่ยนแปลง Duty Cycle และความถี่ของ PWM บน H-Bridge Drive
- 1.2.2. กระแสไฟฟ้าที่วัดได้จาก Hall Current Sensor มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับแรงบิดและความเร็วของมอเตอร์
- 1.2.3. การปรับแรงบิดด้วย Magnetic Particle Clutches จะส่งผลต่อประสิทธิภาพและกำลังของ DC Motor ตามคาดการณ์จากสมการทางฟิสิกส์

1.3. ตัวแปร

1.3.1. ตัวแปรต้น

Duty Cycle และความถี่ของ PWM

ค่า Load Torque ที่ปรับเปลี่ยนผ่าน Magnetic Particle Clutches

1.3.2. ตัวแปรตาม

ความเร็วเชิงมุมของ DC Motor (Angular Speed)

กระแสไฟฟ้าที่ใช้ (Current)

แรงบิด (Torque)

ประสิทธิภาพ (%Efficiency)

1.3.3. ตัวแปรควบคุม

แรงดันไฟฟ้าอินพุตของ DC Motor

อุณหภูมิและสภาพแวดล้อม

1.4. นิยามศัพท์เฉพาะ

1.4.1.PWM (Pulse Width Modulation)

วิธีการควบคุมพลังงานที่จ่ายให้มอเตอร์โดยการปรับช่วงเวลาที่สัญญาณอยู่ในสถานะเปิดและปิด

1.4.2.H-Bridge Drive

วงจรที่ใช้ควบคุมทิศทางและแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์

1.4.3.Magnetic Particle Clutches

อุปกรณ์ที่ใช้แม่เหล็กในการส่งผ่านแรงบิดระหว่างแกนหมุนสองแกน

1.5. นิยามเชิงปฏิบัติการ

1.5.1.PWM Duty Cycle

อัตราส่วนระหว่างเวลาที่สัญญาณ PWM อยู่ในสถานะเปิดต่อรอบเวลา

1.5.2.ความเร็วเชิงมุม (Angular Speed)

อัตราการเปลี่ยนแปลงมุมที่มอเตอร์หมุน มีหน่วยเป็น rad/s หรือ rpm.

1.5.3.กระแสไฟฟ้า (Current)

ค่าที่วัดได้จาก Hall Current Sensor ซึ่งแสดงถึงกระแสที่มอเตอร์ใช้จริง

1.6. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.7. วิธีดำเนินการทดลอง

1.7.1.ศึกษาหลักการทำงานและคุณสมบัติของ DC Motor, Hall Current Sensor, และ Magnetic Particle Clutches

1.7.2.สร้างวงจร H-Bridge Drive และตั้งค่า PWM ด้วย MATLAB/Simulink

1.7.3.ติดตั้ง Hall Current Sensor และ Magnetic Particle Clutches ในระบบ

1.7.4.ปรับค่า Duty Cycle, Frequency และ Load Torque ตามตัวแปรที่กำหนด

1.7.5.เก็บข้อมูลกระแสไฟฟ้า, ความเร็วเชิงมุม และแรงบิดแบบเรียลไทม์

1.7.6.วิเคราะห์ผลลัพธ์และหาความสัมพันธ์ของตัวแปร

1.8. วัสดุอุปกรณ์

1.8.1.Nidec Components Geared DC Geared Motor, 12 V dc, 20 Ncm, 70 rpm, 6mm Shaft Diameter จำนวน 1 อัน

1.8.2.Incremental Encoder AMT103-V จำนวน 1 อัน

1.8.3.Warner Electric Magnetic Particle Clutches MPB12 จำนวน 1 อัน

1.8.4.WCS1700 Hall Current Sensor จำนวน 1 อัน

1.8.5.Cytron MDD20A Motor Driver จำนวน 1 อัน

1.8.6.Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด

1.8.7. MotorXplorer จำนวน 1 ชุด - ฐานสามารถบรรจุบอร์ดควบคุม, Breadboard, 3D-Print ใช้สำหรับการประกอบกับ DC Motor

1.9. ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.9.1.เชื่อมต่อ DC Motor กับ H-Bridge Drive และเชื่อมต่อกับ Nucleo Board

1.9.2.ติดตั้ง Hall Current Sensor เพื่อวัดกระแส และ Encoder เพื่อวัดความเร็ว

1.9.3.สร้างโปรแกรมควบคุมใน MATLAB/Simulink

1.9.4.ทดสอบระบบโดยการปรับ Duty Cycle และ Load Torque

1.9.5.บันทึกข้อมูลจาก Data Inspector ใน MATLAB

1.9.6.วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้และสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ

1.10. ผลการทดลอง

1.10.1. ไม่สามารถเก็บผลการทดลองได้เนื่องจากบอร์ดมีปัญหา

1.11. สรุปผล

1.11.1. ไม่สามารถสรุปผลการทดลองได้เนื่องจากบอร์ดมีปัญหา

1.12. อภิปรายผล

1.12.1. ไม่สามารถอภิปรายผลการทดลองได้เนื่องจากบอร์ดมีปัญหา

1.13. ข้อเสนอแนะ

1.14. เอกสารอ้างอิง(แนบ link)

เนื่องจากบอร์ดมีปัญหา

2. Stepper Motor

2.1. จุดประสงค์

- 2.1.1. เพื่อศึกษาและเข้าใจหลักการทำงานของ Stepper Motor
- 2.1.2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบการไดรฟ์ของ Stepper Motor ได้แก่ Full-Step และ Half-Step
- 2.1.3. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การควบคุมความเร็วของ Stepper Motor ในรูปแบบ Open-Loop Speed Control
- 2.1.4. เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของสัญญาณควบคุม (Frequency) กับความเร็วของ Stepper Motor
- 2.1.5. เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ใช้กับความเร็วของ Stepper Motor
- 2.1.6. เพื่ออธิบายผลกระทบของการไดรฟ์แบบ Full-Step และ Half-Step ต่อการควบคุมความเร็วและตำแหน่งของ Stepper Motor
- 2.1.7. เพื่อสร้างความเข้าใจในกระบวนการ Signal Conditioning และ Signal Processing จากค่าที่ได้จาก Incremental Encoder และ Hall Current Sensor
- 2.1.8. เพื่อศึกษาและอธิบายกระบวนการการ Unwrap ค่า พร้อมทั้งจัดการข้อมูลทั้งก่อนและหลังการ Calibrate Sensor
- 2.1.9. เพื่อพัฒนาโปรแกรมควบคุม Stepper Motor โดยใช้ MATLAB และ Simulink ร่วมกับบอร์ด Nucleo STM32G474RE
- 2.1.10. เพื่อสร้างและแสดงผลข้อมูลสัญญาณ Output (ความเร็วเชิงมุมและกระแสไฟฟ้า) แบบ Real-Time ในหน่วย SI Derived ผ่าน Data Inspector ใน MATLAB
- 2.1.11. เพื่อสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณ Input และ Output ของ Stepper Motor แบบ Real-Time

2.2. สมมติฐาน

- 2.2.1. การปรับความถี่ของสัญญาณ PWM ที่จ่ายให้กับ Stepper Motor จะมีผลต่อความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยมอเตอร์จะหมุนได้เร็วขึ้นเมื่อความถี่ของสัญญาณ PWM เพิ่มขึ้น ซึ่งในทางกลับกัน หากความถี่ลดลง จะทำให้มอเตอร์หมุนช้าลง

2.2.1 การปรับความถี่ของสัญญาณ PWM ที่จ่ายให้กับ Stepper Motor จะมีผลต่อความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยมอเตอร์จะหมุนได้เร็วขึ้นเมื่อความถี่ของสัญญาณ PWM เพิ่มขึ้น ซึ่งในทางกลับกัน หากความถี่ลดลง จะทำให้มอเตอร์หมุนช้าลง

2.2.2 การเลือกโหมดการขับเคลื่อนมอเตอร์ (Full-Step, Half-Step, Micro-Step) จะส่งผลต่อความละเอียดของการควบคุมตำแหน่งและความเร็วรอบของ Stepper Motor

2.3 ตัวแปร

2.3.1. ตัวแปรต้น (Independent Variables):

- ความถี่ PWM
- โหมดการขับเคลื่อนมอเตอร์ (Full-Step, Half-Step, Micro-Step)

2.3.2. ตัวแปรตาม (Dependent Variables):

- ความเร็วรอบของ Stepper Motor
- ตำแหน่งของ Stepper Motor
- กระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้

2.3.3. ตัวแปรควบคุม (Controlled Variables):

- แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้า
- อุณหภูมิของมอเตอร์และส่วนประกอบอื่นๆ
- คุณสมบัติของมอเตอร์

2.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

2.4.1. Stepper Motor: มอเตอร์ที่หมุนทีละขั้น (step) โดยที่แต่ละขั้นจะมีมุมหมุนคงที่ เช่น 1.8° ต่อการหมุนหนึ่งรอบ

2.4.2. PWM (Pulse Width Modulation): วิธีการควบคุมสัญญาณไฟฟ้าโดยการปรับสัดส่วนระหว่างเวลาที่สัญญาณเปิด (high) และปิด (low) ซึ่งส่งผลต่อพลังงานที่จ่ายให้กับมอเตอร์

2.4.3. Full-Step, Half-Step, Micro-Step: โหมดการขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งและความเร็ว โดยใน Micro-Step จะมีความละเอียดในการควบคุมสูงสุด

2.4.4. Incremental Encoder: เซ็นเซอร์ที่ใช้ตรวจจับการหมุนของมอเตอร์และแปลงการหมุนเป็นสัญญาณดิจิทัล

2.4.5. Hall Current Sensor: เซ็นเซอร์ที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้

2.5 นิยามเชิงปฏิบัติการ

- 2.5.1 การปรับความถี่ PWM: การเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณ PWM ที่จ่ายให้กับ Stepper Motor โดยการปรับค่าความถี่นี้ส่งผลต่อการหมุนของมอเตอร์และความเร็วของมัน การขับมอเตอร์ในโหมดต่างๆ: การเลือกโหมดการขับมอเตอร์ที่แตกต่างกัน (Full-Step, Half-Step, Micro-Step) เพื่อควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์
- 2.5.2 การขับมอเตอร์ในโหมดต่างๆ: การเลือกโหมดการขับมอเตอร์ที่แตกต่างกัน (Full-Step, Half-Step, Micro-Step) เพื่อควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์
- 2.5.3 การประมวลผลสัญญาณ: การใช้ Incremental Encoder และ Hall Current Sensor เพื่อรวบรวมข้อมูลตำแหน่งและกระแสไฟฟ้า เพื่อนำมาประมวลผลในระบบ

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- 2.6.1 การศึกษาเกี่ยวกับ Stepper Motor Drive Modes (Full-Step, Half-Step, Micro-Step)
- 2.6.2 การศึกษาเกี่ยวกับ PWM Control in Stepper Motors และผลกระทบที่มีต่อความเร็วและตำแหน่ง
- 2.6.3 การใช้ Incremental Encoders and Hall Current Sensors ในการควบคุมและตรวจจับตำแหน่งของมอเตอร์

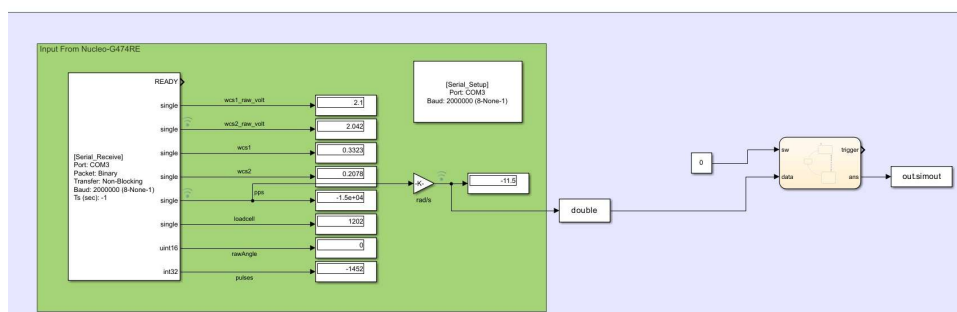
2.7 วิธีดำเนินการทดลอง

เนื่องจากตัวบอร์ดที่ได้รับมามีปัญหาคือ ชาร์ปเปี้ยว ทำให้เกิดมุมที่มีความผิดเป็นพิเศษ ส่งผลให้ทอร์กมากจนทำให้ stepper motor ไม่สามารถหมุนได้ในค่าความถี่ ที่ควรจะเป็น ทำให้คณะผู้ทดสอบคิดพิจารณาถึงการแก้ไขปัญหา จึงได้ถอดโหนดอื่นๆออก ให้เหลือเพียง stepper motor และ Incremental Encoder AMT103-V เพื่อให้ได้ค่าที่สมจริง ลดความผิดพลาดของอุปกรณ์ทดลอง



รูปภาพ ขณะทำการทดลอง

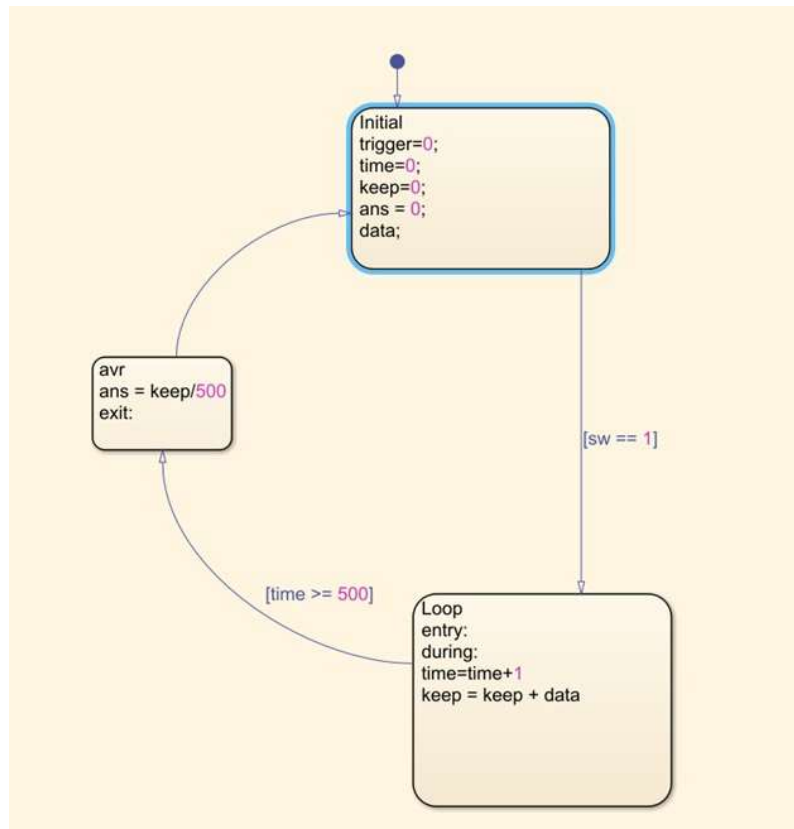
จากนั้น ทำการเชื่อมต่อ Stepper Motor, Incremental Encoder เข้ากับบอร์ด Nucleon STM32G474RE ตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ความถี่ PWM, โหมดการขับเคลื่อน (Full-Step, Half-Step, Micro-Step) และใช้ MATLAB และ Simulink เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์และแสดงผลข้อมูลในรูปแบบกราฟที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ Input และ Output



รูปภาพ โค้ดการทำงานของ MATLAB

เนื่องจากข้อมูลดิบที่อ่านจาก Incremental Encoder มีสัญญาณรบกวนเป็นจำนวนมาก จึงใช้ MATLAB ในการหาค่าเฉลี่ยใน 1 ช่วงเวลา เก็บมาจำนวน 500 ค่า จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ย โดยที่ใช้ค่า

500 เนื่องจากคณะผู้ทดสอบได้ทดลองหาค่าที่เหมาะสมว่าค่ามีความแม่นยำ จึงใช้ข้อมูลจำนวน 500 ค่า ในการหาค่าเฉลี่ย จากนั้นเก็บค่าไปพอดกราฟและวิเคราะห์ข้อมูล



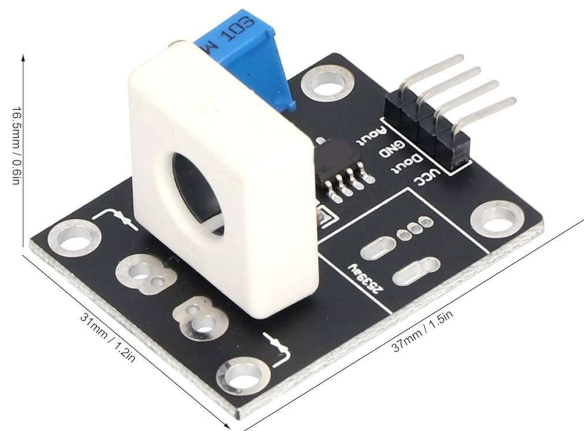
2.8 วัสดุอุปกรณ์



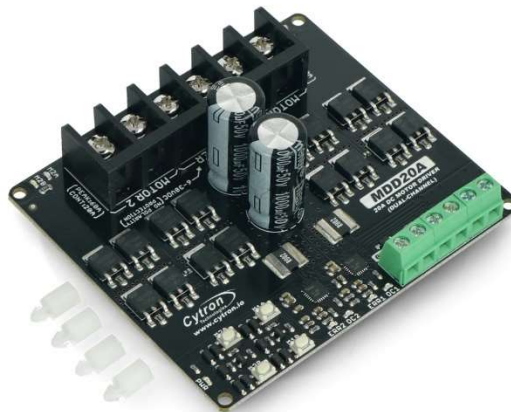
2.8.1 RS PRO Hybrid, Permanent Magnet Stepper Motor



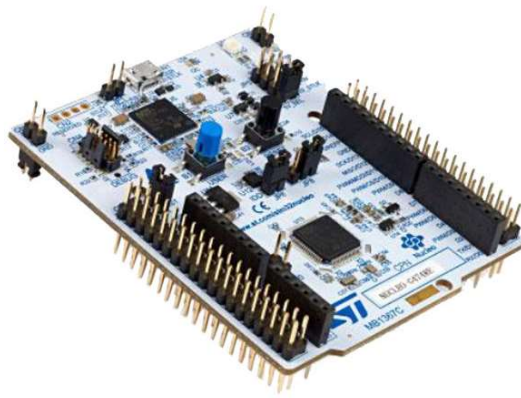
2.8.2 Incremental Encoder AMT103-V



2.8.3 WCS1700 Hall Current Sensor



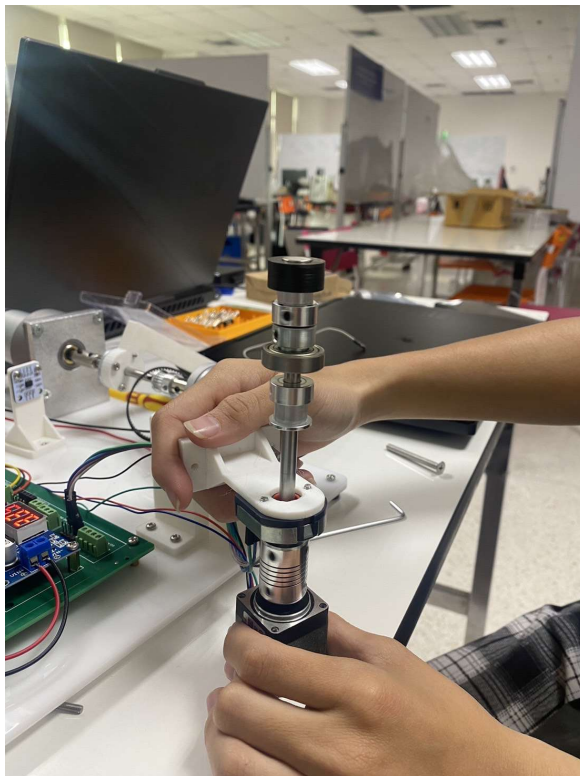
2.8.4 Cytron MDD20A Motor Driver



2.8.5 Nucleo STM32G474RE

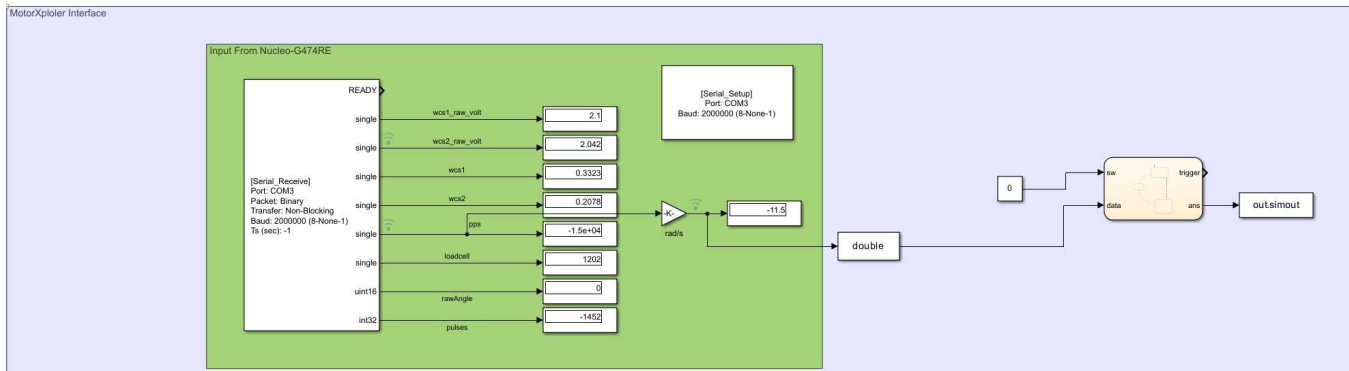
2.8.6 MotorXplorer

2.9 ขั้นตอนการดำเนินงาน



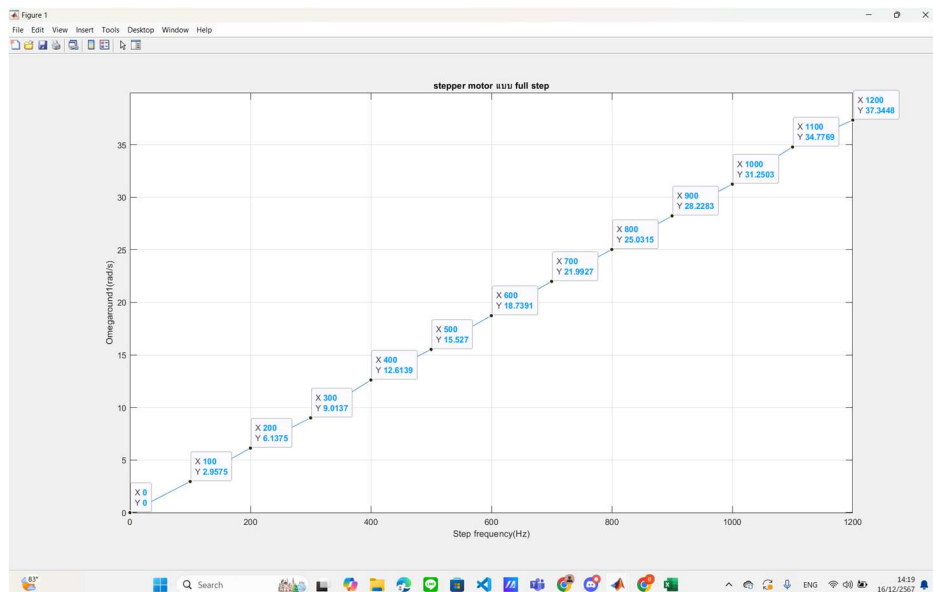
2.9.1 ต่อเชื่อมอุปกรณ์ทั้งหมด (Stepper Motor, Encoder, Hall Sensor, Driver, Nucleo Board)

2.9.2 ตั้งค่า PWM และโหมดการขับเคลื่อนมอเตอร์



2.9.3 เขียนโปรแกรมใน MATLAB/Simulink เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์

2.9.4 รับค่า Input จาก Encoder และ Hall Sensor



2.9.5 แสดงผล Output ในรูปแบบกราฟจาก Data Inspector ใน MATLAB Simulink

2.10 ผลการทดลอง

2.10.1 ข้อมูลที่ได้รับจากการทดลองแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลง ของ ความเร็วรอบ และ ตำแหน่ง ของมอเตอร์ตามการปรับ ความถี่ PWM และการเปลี่ยนโหมดการขับเคลื่อนมอเตอร์

2.10.2 การเลือกโหมด Full-Step, Half-Step, Micro-Step ส่งผลต่อความละเอียดและ ความเร็วในการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์

2.10.3 มีค่าคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง จากอุปกรณ์ที่ไม่มีคุณภาพและค่าคลาดเคลื่อนจากโรงงาน

2.11. สรุปผล

การปรับความถี่ PWM และโหมดการขับมอเตอร์สามารถควบคุมความเร็วและตำแหน่งของ Stepper Motor ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อนำกราฟที่ได้ไปเทียบกับ data sheet อีกทั้งโหมด Micro-Step ให้ความละเอียดสูงสุดในการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ แม้จะมีความเร็วต่ำ ความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ PWM และ ความเร็วของมอเตอร์ เป็นไปตามทฤษฎีที่ความถี่ที่สูงขึ้นทำให้มอเตอร์หมุนได้เร็วขึ้น

2.12 อภิปรายผล

- 2.11.1 ปัจจัยที่มีผลต่อผลการทดลองได้แก่ ความถี่ PWM, โหมดการขับมอเตอร์, และการปรับความเร็วในแต่ละโหมด
- 2.11.2 ในการทดลองนี้ โหมด Micro-Step ทำให้มอเตอร์มีความละเอียดในการควบคุมตำแหน่งสูงสุด แต่ลดความเร็วรอบ
- 2.11.3 การใช้ Incremental Encoder และ Hall Current Sensor ช่วยในการวัดตำแหน่งและกระแสของมอเตอร์อย่างแม่นยำ

2.12 ข้อเสนอแนะ

คัดสรรจัดหาอุปกรณ์ที่มีคุณภาพมากกว่านี้รวมถึงการจัดเวลาดำเนินการให้อยู่ในขอบเขตที่เหมาะสม

2.13 เอกสารอ้างอิง

- 2.13.1 Stepper Motor Drive Modes: <https://www.stepperonline.com>
- 2.13.2 PWM Control in Stepper Motors: <https://www.tescaglobal.com>
- 2.13.3 Incremental Encoders and Hall Current Sensors: <https://www.analog.com>

3. Brushless DC Motor

3.1. จุดประสงค์

- 3.1.1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของมอเตอร์ BLDC (Brushless DC Motor)
- 3.1.2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Sensorless Control และ Sensor-based Control ในการควบคุมมอเตอร์ BLDC
- 3.1.3. เพื่อทำความเข้าใจเทคนิคการควบคุม BLDC Motor แบบต่างๆ ได้แก่ Trapezoidal, Sinusoidal และ Field-Oriented Control (FOC)
- 3.1.4. เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่าง 6-Step Control และ FOC ในด้านการเปลี่ยนและจัดการเวกเตอร์ของกระแสไฟฟ้า
- 3.1.5. เพื่อศึกษาการทำงานและการตั้งค่า PWM และผลกระทบของความถี่ PWM ต่อความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์
- 3.1.6. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง Back EMF และ Hall Sensor กับการควบคุมมอเตอร์ BLDC
- 3.1.7. เพื่อเรียนรู้การใช้งาน Oscilloscope 4 Channels ในการจับสัญญาณ 3 เฟสของมอเตอร์ BLDC
- 3.1.8. เพื่อพัฒนาทักษะการวิเคราะห์กราฟสัญญาณไฟฟ้าและเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการทดลองกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.2. สมมติฐาน

- 3.2.1. การควบคุม BLDC Motor แบบ FOC ให้แรงบิดที่เสถียรกว่าแบบ 6-Step Control
- 3.2.2. Feedback จาก Hall Sensor มีความแม่นยำกว่าการใช้ Back EMF ใน Sensorless Control
- 3.2.3. การปรับความถี่ PWM ส่งผลต่อความเร็วรอบและแรงบิดของมอเตอร์

3.3. ตัวแปร

3.3.1. ตัวแปรต้น

ความถี่ PWM

3.3.2. ตัวแปรตาม:

ความเร็วรอบของมอเตอร์

รูปแบบของกราฟสัญญาณไฟฟ้า

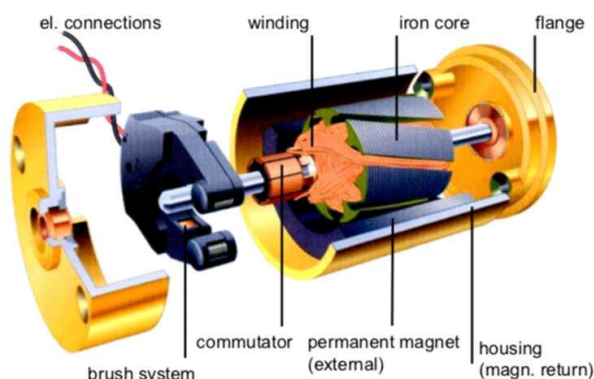
3.3.3. ตัวแปรควบคุม:

BLDC Motor และพารามิเตอร์มอเตอร์

สภาพแวดล้อมการทดลอง (แรงดันไฟฟ้า, อุณหภูมิ)

3.4. นิยามศัพท์เฉพาะ

3.4.1.Brushless DC Motor (BLDC Motor)



รูปแสดง Brushless DC Motor (BLDC Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน มีการทำงานโดยใช้แม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) และสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าบนขดลวดเพื่อสร้างแรงบิด หมุนโดยไม่มีการสัมผัสระหว่างส่วนหมุนและส่วนอยู่นิ่ง จึงลดการสึกหรอและมีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์ชนิดมีแปรงถ่าน

3.4.2.Back EMF (Electromotive Force)

เป็นแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวดของมอเตอร์ไฟฟ้าเนื่องจากการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและตัวนำไฟฟ้าในมอเตอร์ ตามกฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law of Electromagnetic Induction) แรงดันนี้จะเกิดขึ้นตรงกันข้ามกับทิศทางของแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์

3.4.3.RPM (Revolutions Per Minute)

หน่วยวัดความเร็วของการหมุนของโรเตอร์ในมอเตอร์ หมายถึงจำนวนรอบที่โรเตอร์หมุนได้ในหนึ่งนาที

3.5. นิยามเชิงปฏิบัติการ

3.5.1.Sensorless Control

การควบคุมมอเตอร์ BLDC โดยไม่ใช้เซ็นเซอร์ในการตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์ แต่ใช้สัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเอง เช่น Back EMF (แรงเคลื่อนกลับทางแม่เหล็กไฟฟ้า) ในการประเมินตำแหน่ง

3.5.2.Sensor-based Control

การควบคุมมอเตอร์ BLDC โดยใช้เซ็นเซอร์ เช่น Hall Effect Sensor ตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์โดยตรง ทำให้การควบคุมแม่นยำกว่า Sensorless Control

3.5.3.Hall Effect Sensor

เซ็นเซอร์ที่ใช้หลักการของ Hall Effect ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก ซึ่งสามารถบอกตำแหน่งของโรเตอร์ในมอเตอร์ BLDC ได้

3.5.4.Six-Step Commutation

วิธีการควบคุมมอเตอร์ BLDC แบบง่าย โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับไปยังขดลวดทั้ง 3 แบบขั้นตอน ซึ่งมีทั้งหมด 6 ขั้นตอนในหนึ่งรอบของการหมุน

3.5.5.Space Vector Modulation (SVM)

เทคนิคการสร้างแรงดันไฟฟ้ารูปเวกเตอร์โดยใช้การปรับ PWM ในการควบคุมเวกเตอร์สนามแม่เหล็ก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์และลดความสูญเสีย

3.5.6.Zero Crossing

จุดที่กราฟสัญญาณไฟฟ้าตัดแกน 0 ซึ่งมักใช้ใน Sensorless Control เพื่อตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์ผ่าน Back EMF

3.5.7.Permanent Magnet Synchronous Machine (PMSM)

มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรที่ทำงานด้วยสนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวรและการกระตุ้นกระแสในขดลวด มีหลักการทำงานคล้ายกับ BLDC Motor แต่ใช้การควบคุมแบบไซน์ (Sinusoidal) เป็นหลัก

3.6. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.6.1.กฎของฟาราเดย์

เมื่อมีสนามแม่เหล็กเคลื่อนผ่านขดลวด จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าภายในขดลวด ขนาดของ Back EMF แปรผันตรงกับความเร็วมอเตอร์และความเข้มของสนามแม่เหล็ก

ดังนั้นการนี้

$$E_b = k_e * \omega$$

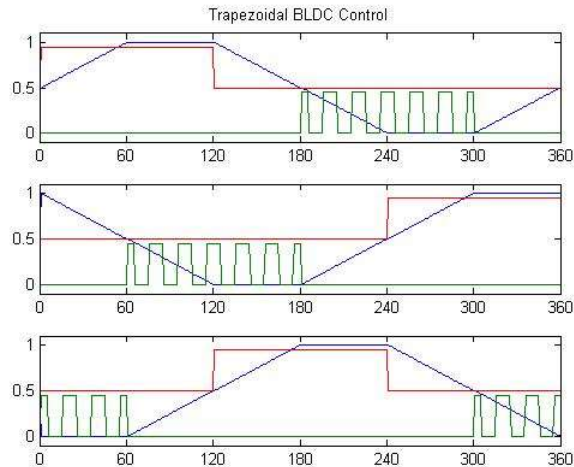
E_b คือ Back EMF (แรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับ)

k_e คือ ค่าคงที่ของมอเตอร์

ω คือ ความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์

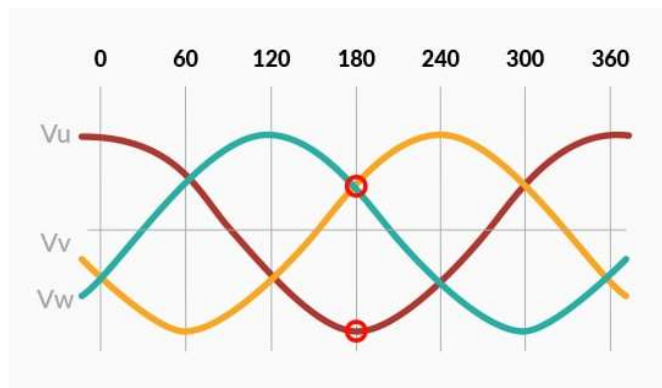
Back EMF มีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์ ทำให้เป็นปัจจัยที่ช่วยควบคุมความเร็วของมอเตอร์

3.6.2.Trapezoidal Control



เทคนิคการควบคุมมอเตอร์ BLDC โดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าลงบนขดลวดแบบ Trapezoidal หรือรูปคลื่นสี่เหลี่ยมคางหมู ทำให้ได้แรงบิดที่ค่อนข้างคงที่ในช่วงความเร็วต่างๆ

3.6.3.Sinusoidal Control



เทคนิคการควบคุมมอเตอร์ BLDC โดยใช้แรงดันไฟฟ้ารูปคลื่นไซน์ ทำให้การหมุนของโรเตอร์มีความนุ่มนวลมากขึ้นและลดเสียงรบกวน แต่ต้องการการคำนวณที่ซับซ้อนกว่า Trapezoidal

3.6.4.Field-Oriented Control (FOC)

Field-Oriented Control (FOC) หรือที่เรียกว่า Vector Control เป็นวิธีการควบคุมมอเตอร์ที่ซับซ้อนและแม่นยำ ซึ่งถูกนำมาใช้กับมอเตอร์ Brushless DC (BLDC) และ AC เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการทำงานของมอเตอร์ หลักการสำคัญของ FOC คือการแยกองค์ประกอบของกระแสไฟฟ้าในสเตเตอร์ออกเป็นสองส่วน ได้แก่ องค์ประกอบที่สร้างแรงบิดและองค์ประกอบที่สร้างฟลักซ์แม่เหล็ก ทำให้สามารถควบคุมทั้งสองส่วนได้อย่างอิสระ Pulse Width Modulation (PWM) วิธีการปรับค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าที่ส่ง

ให้มอเตอร์ โดยการเปลี่ยนความกว้างของพัลส์สัญญาณไฟฟ้าความถี่สูง ใช้ในการควบคุมความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์

3.7. วิธีดำเนินการทดลอง

ทางคณะผู้จัดทำได้ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ การควบคุมมอเตอร์ในงานวิจัยนี้ใช้วิธี 6-step control ผ่าน x-nucleo-ihm08m1 และ nucleo stm32g474re โดยใช้โปรแกรม Motor Workbench 6.3.2 สำหรับการตั้งค่าและควบคุมระบบการเก็บข้อมูลดำเนินการด้วย oscilloscope แบบ 4 ช่องสัญญาณ เพื่อวัดและบันทึกสัญญาณ Back EMF (Electromotive Force) ของ Brushless DC Motor ในช่วงความเร็วรอบ (RPM) ที่แตกต่างกัน โดยแต่ละช่วงมีระยะห่าง 2,000 RPM เริ่มตั้งแต่ 0 ถึง 8,000 RPM ทั้งในทิศทางตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา จากนั้นข้อมูลสัญญาณที่ได้ถูกนำไปวิเคราะห์ตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

3.8. วัสดุอุปกรณ์

3.8.1.Brushless DC Motor A2212

3.8.2.STMICROELECTRONICS X-NUCLEO-IHM08M1

3.8.3.nucleo stm32g474re

3.8.4.Oscilloscope 4 channel

3.8.5.BLDCXploer

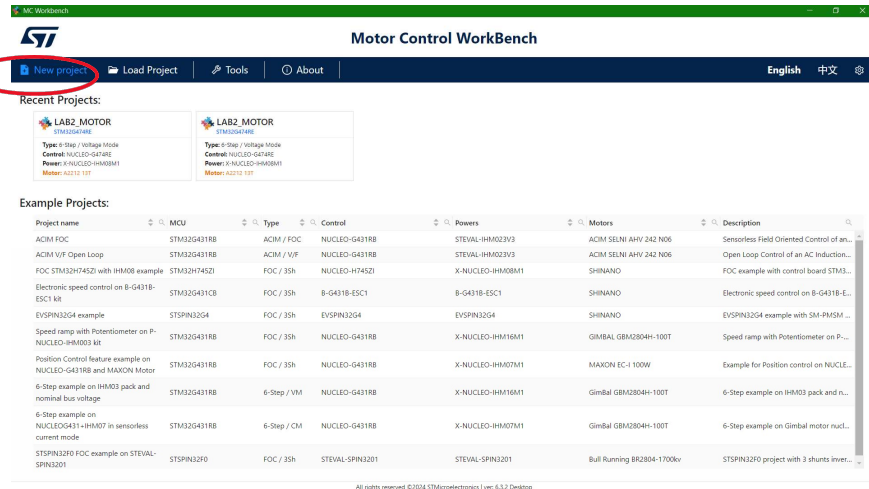
3.9. ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.9.1.ติดตั้ง nucleo stm32g474re เข้ากับ powerbord

STMICROELECTRONICS X-NUCLEO-IHM08M1

3.9.2.Setup Motor Workbench 6.3.2

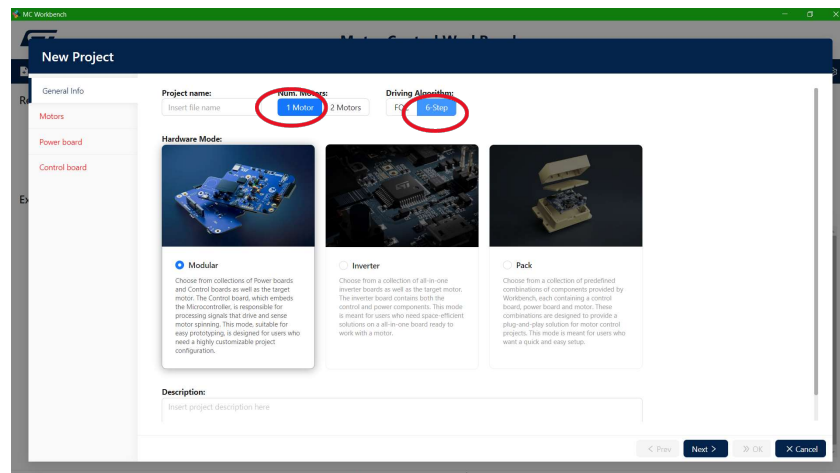
3.9.2.1. สร้างโปรเจคใหม่



รูปแสดง การสร้างโปรเจกใหม่

3.9.2.2. เลือกจำนวน BrushlessDCMotor และ

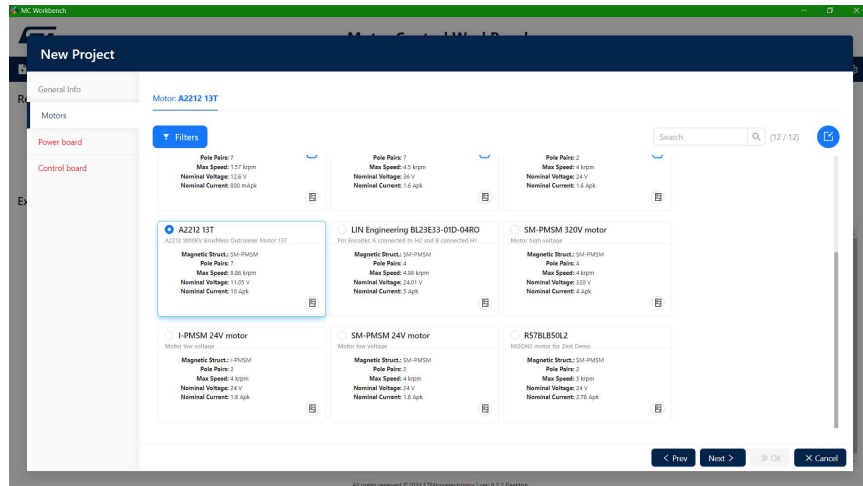
รูปแบบที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์สำหรับโปรเจกใหม่ที่เราสร้างสำหรับการทดลองนี้
คือ 1 ตัวคุมแบบ6-step



รูปแสดง การเลือกจำนวนมอเตอร์และรูปแบบที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์

3.9.2.3. เลือกBrushlessDCMotor รุ่นที่ใช้งานใน

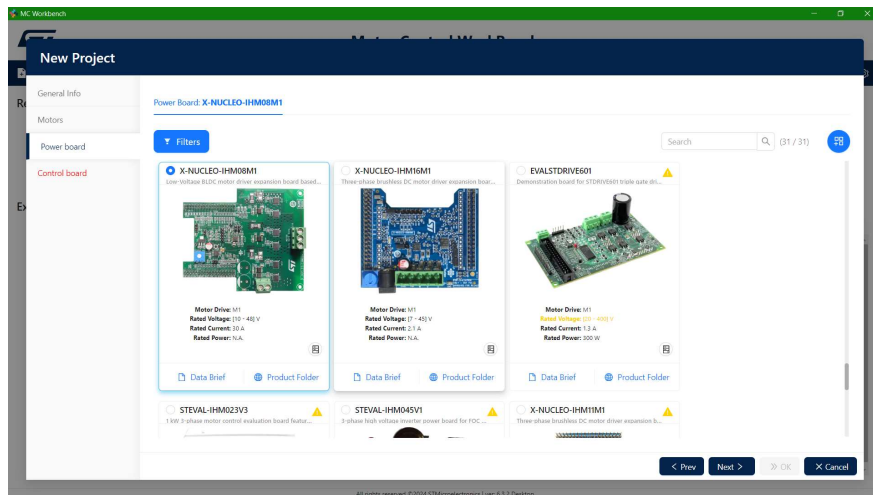
การทดลองนี้คือ BrushlessDCMotor รุ่น A2212 13T



รูปแสดง การเลือกชนิดของ BrushlessDCMotor

3.9.2.4. เลือกPower bord ที่จะใช้ทดลองซึ่งในที่นี้

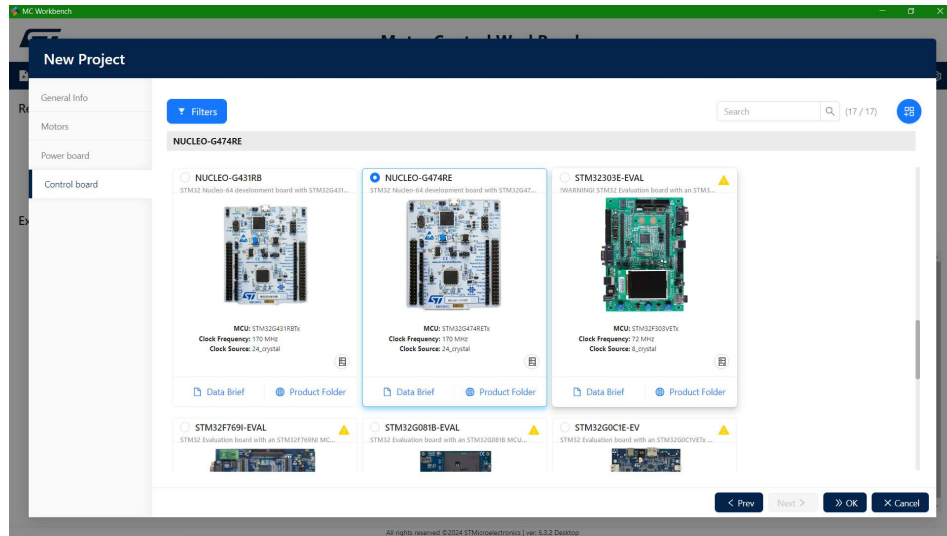
คือ STMICROELECTRONICS X-NUCLEO-IHM08M1



รูปแสดง การเลือกชนิดของ Power bord

3.9.2.5. เลือกmicro controller ที่ใช้ในการทดลอง

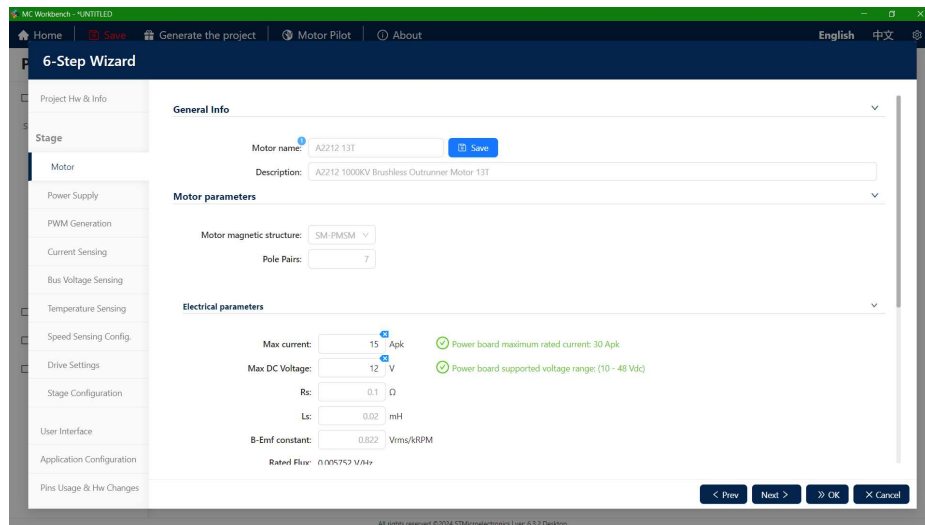
ในการทดลองนี้คือ nucleo stm32g474re



รูปแสดง การเลือกmicrocontrollerที่ใช้ในการทดลอง

3.9.2.6. ตั้งค่า BrushlessDCMotor โดยตั้งMax

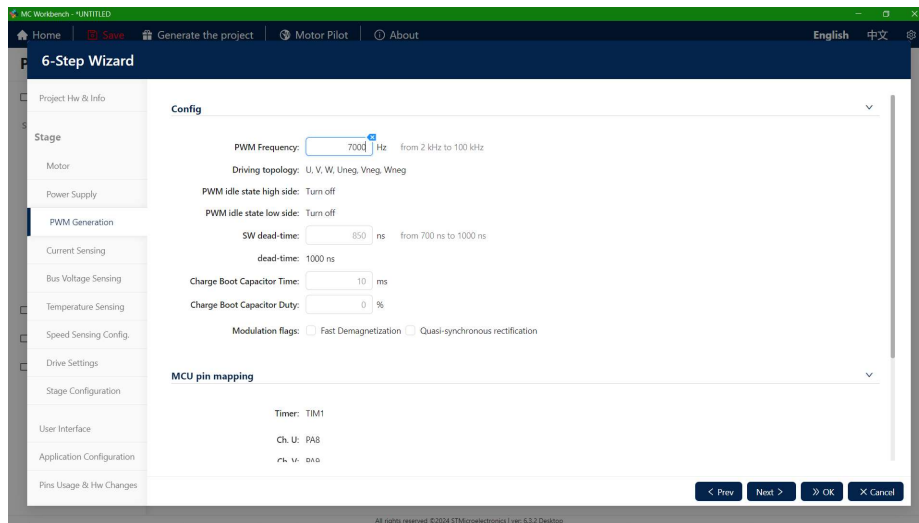
current 15 Apk และ MaxDCVoltage ที่12 V



รูปแสดง การตั้งค่า BrushlessDCMotor

3.9.2.7. ตั้งค่า PWM Generation โดยตั้งตั้งค่า

PWM frequency ของ brushless DC Motor ที่ 7000 Hz

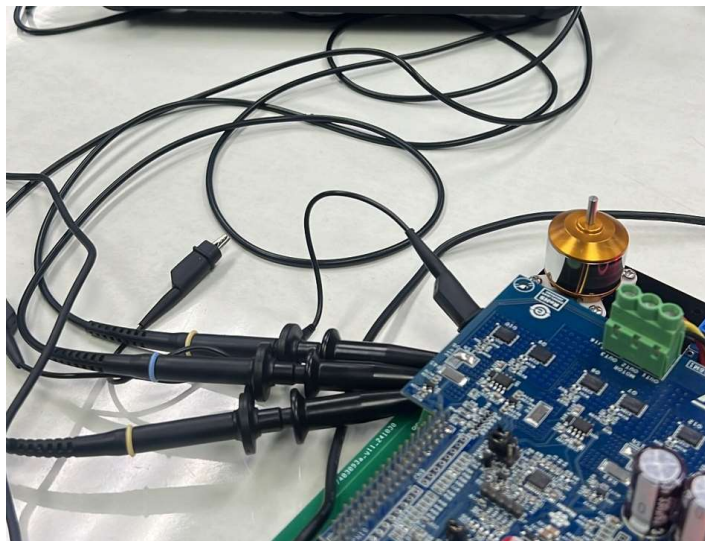


รูปแสดงการตั้งค่า

3.9.3. เก็บผลการทดลองตั้งค่า

3.9.3.1. นำसानของ Oscilloscope มาเสียบที่สาย

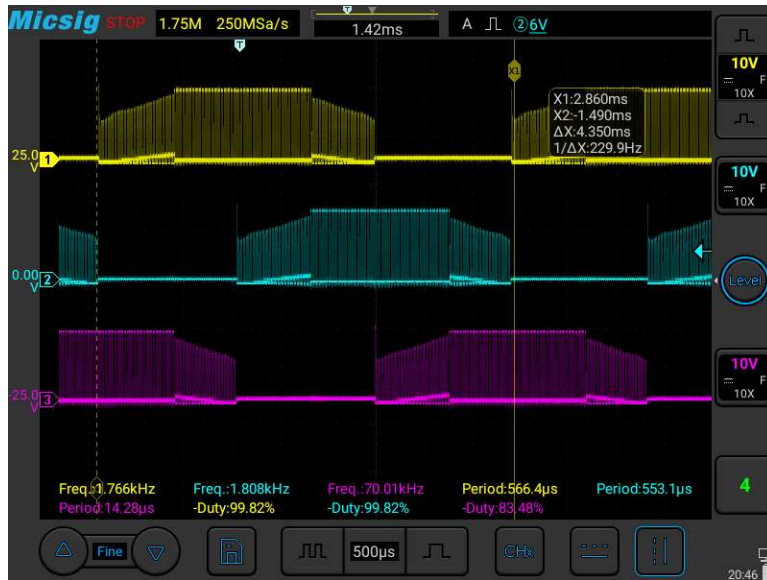
U W V ของ brushless DC Motorจากนั้นเก็บค่าสัญญาณในความเร็วต่างๆของ
brushless DC Motor



รูปแสดง การเสียบสาย Oscilloscope

3.10. ผลการทดลอง

3.10.1. ผลการทดลองสัญญาณ back emf ที่ตอบสนองของขา U W V



รูปแสดง สัญญาณ Back emf ที่ความเร็ว 2000 RPM



รูปแสดง สัญญาณ Back emf ที่ความเร็ว 4000 RPM



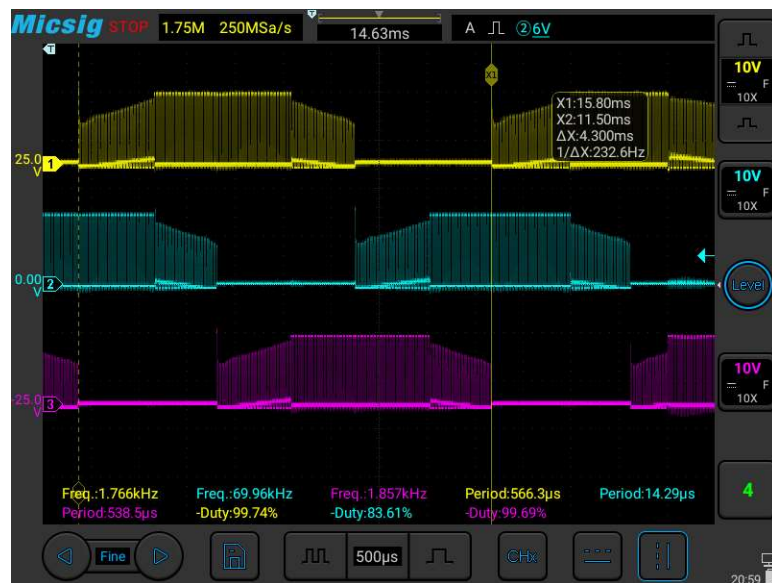
รูปแสดง สัญญาณ Back emf ที่ความเร็ว 6000 RPM



รูปแสดง สัญญาณ Back emf ที่ความเร็ว 8000 RPM



รูปแสดง สัญญาณ Back emf ที่ความเร็ว -2000 RPM(ทวนเข็ม)



รูปแสดง สัญญาณ Back emf ที่ความเร็ว -4000 RPM(ทวนเข็ม)



รูปแสดง สัญญาณ Back emf ที่ความเร็ว -6000 RPM(ทวนเข็ม)



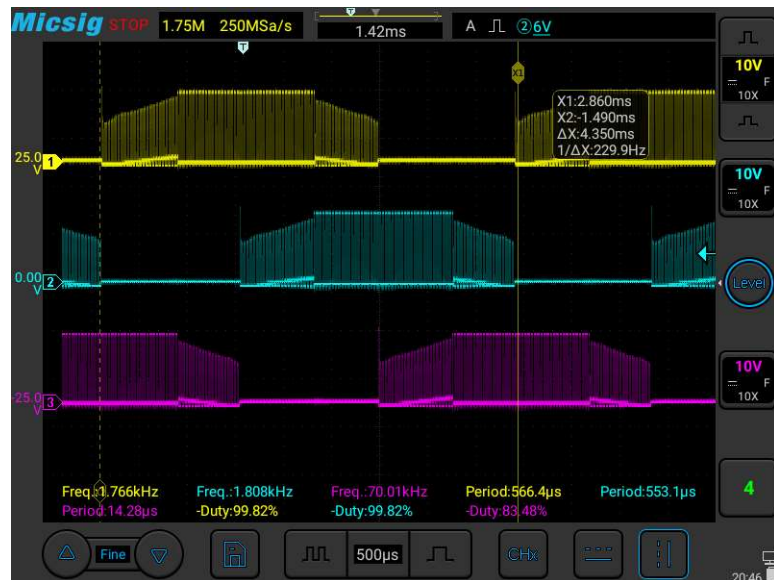
รูปแสดง สัญญาณ Back emf ที่ความเร็ว -8000 RPM(ทวนเข็ม)

3.11. สรุปผล

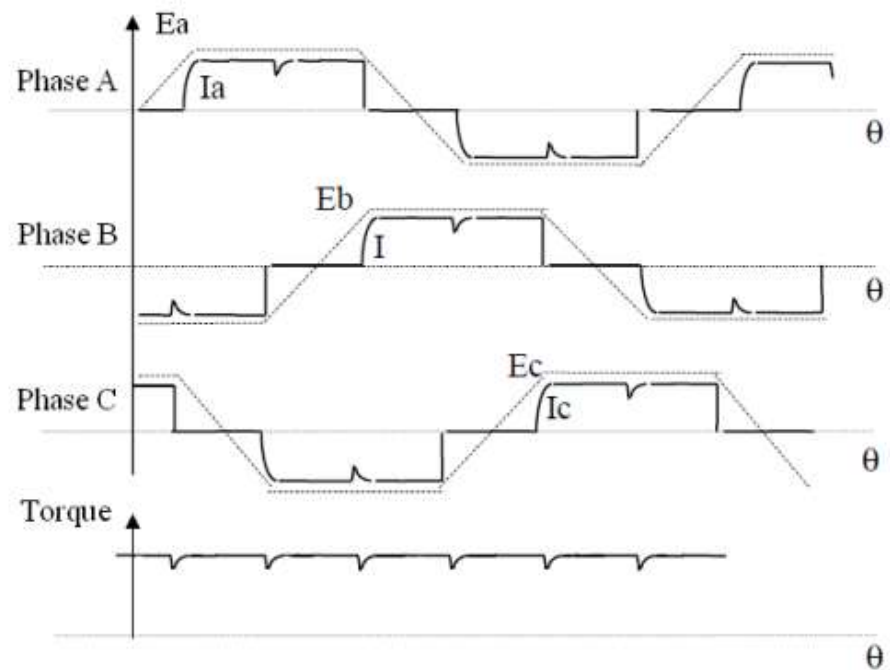
จากผลการทดลองกราฟออสซิลโลสโคปแสดงให้เห็นจะได้กราฟรูปแบบ Trapezoidal ที่มี phase shift กันที่ 120 องศา ซึ่งสัญญาณที่ได้มีความสมมาตรกันทำอนุมานได้ว่ามอเตอร์สามารถทำงานได้สมดุลจากผลการทดลองถ้ามอเตอร์มีความเร็วที่เพิ่มขึ้นความถี่ PWM ก็จะเพิ่มขึ้นตาม

3.12. อภิปรายผล

ผลการทดลองเมื่อนำค่าที่อ่านได้จากออสซิลโลสโคปจะได้กราฟสัญญาณ back emf รูปแบบ Trapezoidal ที่มี phase shift กัน 120 องศา ซึ่งเป็นไปตามรูปแบบทั่วไปของของ Brushless DC Motor ตามรูปเปรียบเทียบด้านล่าง



รูปแสดง สัญญาณ Back Emf จาก ผลการทดลอง



รูปแสดง สัญญาณ Back Emf ทั่วไปของมอเตอร์

ผลการจากทดลองถ้ามอเตอร์มีความเร็วที่เพิ่มขึ้นความถี่ PWM ก็จะเพิ่มขึ้นตามซึ่งเป็นไปตามสมการ
คำนวณความเร็วรอบของ brushless DC Motor ซึ่งเมื่อลองคำนวณทณะความเร็วที่ 2000 RPM ตามรูปผล
การทดลองด้านบนแล้วจะค่าความเร็วรอบที่ใกล้เคียงกับค่าความเร็วที่ใช้ในการทดลองเป็น

$$RPM = \frac{f_e \times 60}{Pole\ Pairs}$$

$$RPM = \frac{229.9 \times 60}{7}$$

$$RPM = \frac{13,794}{7}$$

$$RPM \approx 1971\ RPM$$

3.13. ข้อเสนอแนะ

คัดสรรจัดหาอุปกรณ์ที่มีคุณภาพให้เหมาะกับค่าเทอมที่นักศึกษาได้ทำการชำระมากกว่านี้ รวมถึงการ
จัดเวลางานให้อยู่ในขอบเขตที่เหมาะสม ควรพิจารณาว่าเกิดการล่าช้าเพราะเหตุใด แล้วทำการปรับและแก้ไข
ไม่ให้เกิดขึ้นอีกนะครับ เพราะทำการแจกและมอบหมายงานเกินกำหนดที่ได้วางแผนไว้จากตารางของในรายวิชา
แล้วก็ยังเกิดการล่าช้าอีก

3.14. เอกสารอ้างอิง(แนบ link)

<https://www.pmdcorp.com/resources/type/articles/get/field-oriented-control-foc-a-deep-dive-article>

<https://www.mathworks.com/help/mcb/ref/sixstepcommutation.html>

<https://www.mathworks.com/discovery/space-vector-modulation.html>

<https://www.mathworks.com/help/sps/powersys/ref/permanentmagnetsynchronous-machine.html>