บทที่ 4

วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยเพื่อศึกษาการใช้พลังงานจากสองแหล่งอย่างมีประสิทธิภาพด้วย การเสริมกำลังเครื่องจักรกลโดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยมีเงื่อนไขว่าจะต้องใช้พลังงานที่มีราคาถูกกว่าเป็นหลักซึ่งในที่นี้คือ พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์และสามารถรักษาความเร็วของระบบตามที่กำหนดได้ นั้นจำเป็นต้องใช้วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการศึกษาวิจัยมีรายการดังต่อไปนี้คือ

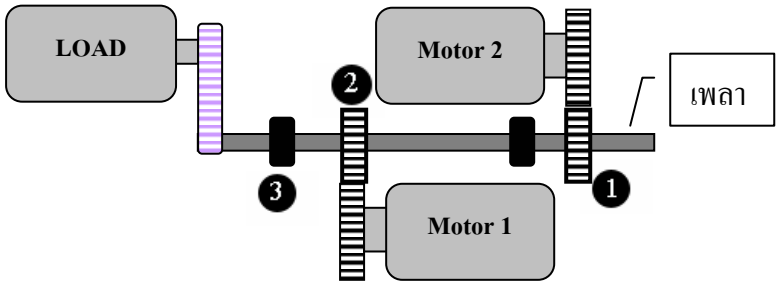
1. ตะกั่วสำหรับเชื่อมและบัดกรี
2. กาวซิลิโคนใช้คู่กับปืนกาว (glue gun)
3. ท่อหด
4. สายไฟ
5. แผ่นลายวงจรอเนกประสงค์แบบจุดไข่ปลา จำนวน 3 แผ่น
6. ซ็อคเก็ต (Socket) ขนาด 8 ขา จำนวน 2 ตัว
7. ตัวต้านทานค่าต่างๆ
8. ตัวแยกกราวด์ทางแสงเบอร์ PC817 จำนวน 2 ตัว
9. ตัวแยกกราวด์ทางแสงเบอร์ H21A1 จำนวน 1 ตัว
10. ไอซีเบอร์ LM339 จำนวน 1 ตัว
11. มอสเฟตเบอร์ IRF353 จำนวน 2 ตัว
12. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ CP-PIC V3 EXP ของบริษัทอีทีทีจำกัด (ETT CO., LTD.) จำนวน 1 บอร์ด
13. แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC Power Supply) ขนาด 12 โวลต์ 2 เครื่อง
14. สายสื่อสารอนุกรม (Serial Line) แบบ RS-232 จำนวน 1 เส้น
15. มอเตอร์ 14 โวลต์ 25 วัตต์ จำนวน 2 ตัว
16. เฟืองแบบหมุนทางเดียว (Free Wheel) จำนวน 2 ตัว
17. เฟืองตรง (Spur Gear) จำนวน 2 ตัว

18. จานเอนโคดเดอร์ (Encoder Disk) 1 แผ่น
19. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Generator)
20. หลอดไฟ 12 โวลต์ 5 วัตต์ จำนวน 3 หลอด
21. รีเลย์ 220 VAC 5AMPS, 6 VDC จำนวน 5 ตัว

โดยการการวิจัยได้แบ่งออกเป็นขั้นตอนดังนี้

4.2 ออกแบบและสร้างชุดการเสริมกำลังเครื่องจักรกล

สำหรับในขั้นตอนนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างชุดทดลองการเสริมกำลังเครื่องจักรกลซึ่งประกอบไปด้วยมอเตอร์จำนวนสองตัวที่สามารถขับโหลดพร้อมๆ กันได้โดยที่มอเตอร์ตัวที่มีความเร็วช้ากว่าจะไม่เป็นภาระของมอเตอร์ตัวที่มีความเร็วสูงกว่า ดังนั้นชุดทดลองต้องใช้ชุดเฟืองที่สามารถหมุนได้ในทิศทางเดียวโดยอีกทางจะหมุนฟรี โดยส่วนประกอบเบื้องต้นแสดงดังภาพประกอบ 4-1



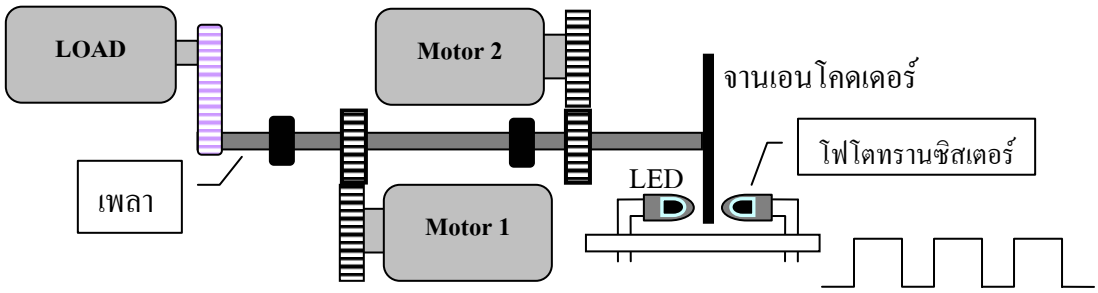
❶ และ ❷ เป็นเฟืองที่สามารถหมุนในทิศทางเดียว

❸ ตลับลูกปืน

ภาพประกอบ 4-1 ชุดการเสริมกำลังเครื่องจักรกล

4.3 ออกแบบและสร้างฮาร์ดแวร์เพื่อวัดความเร็วของระบบ

ในการวัดความเร็วของระบบได้ทำการออกแบบโดยทำการติดตั้งแผ่นเอนโคดเดอร์ (Encoder Disk) ที่เพลาของระบบโดยที่ลักษณะของเอนโคดเดอร์แสดงดังภาพประกอบ 4-3 ซึ่งเป็นแผ่นกลมที่ประกอบด้วยรูจำนวนมากอยู่ที่ขอบรอบนอกของแผ่นกลม และมีไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด (Infrared LED) ติดตั้งที่ด้านหนึ่งของแผ่นกลมเพื่อเป็นแหล่งกำเนิดแสง จำนวนช่องบนแผ่นกลมที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีจำนวน 60 ช่อง

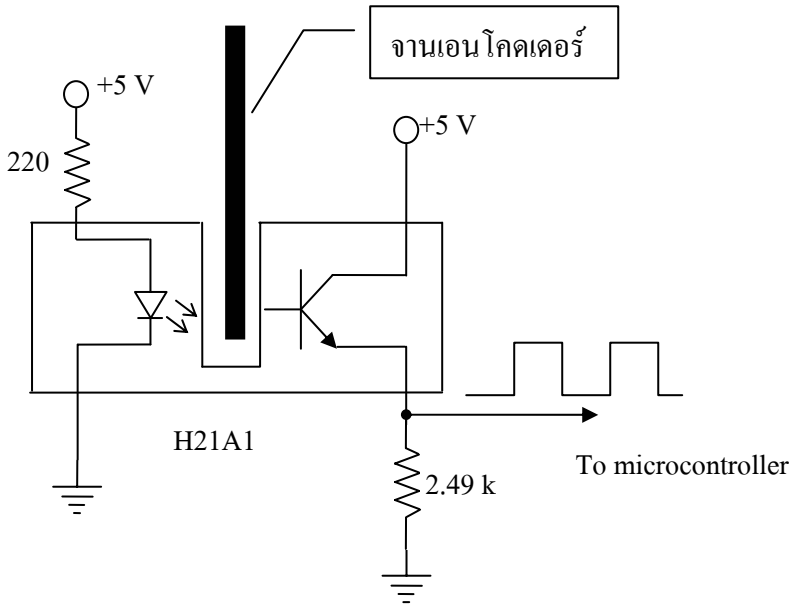


ภาพประกอบ 4-2 เอนโคดเดอร์ตรวจจับความเร็ว

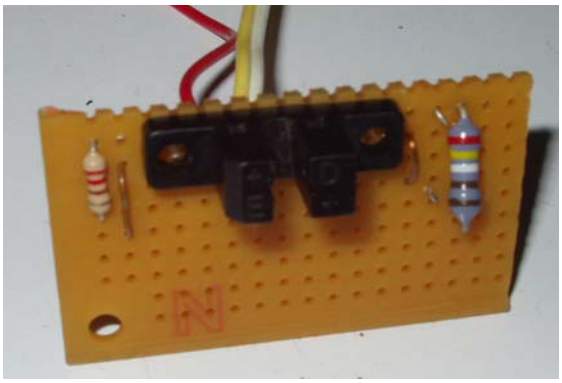
ภาพประกอบ 4-3 จานเอนโคดเดอร์

ตัวรับสัญญาณอินฟราเรดนั้นจะถูกติดตั้งในตำแหน่งตรงข้ามกับไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด ในขณะที่เพลาและจานกลมหมุนจะทำให้แสงสามารถผ่านไปยังตัวรับได้หากตรงกับช่องบนจานกลมพอดี ผลคือทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์ซึ่งเป็นตัวรับสัญญาณอินฟราเรดนำกระแส

ตามจังหวะที่แสงผ่านมาได้ ซึ่งเราจะได้สัญญาณจากขาคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์เป็นลอจิกสูง – ต่ำเป็นจังหวะ สัญญาณนี้จะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการวัดความถี่ จากการออกแบบโดยใช้จานที่มีจำนวน 60 ช่องนั้นจะได้ค่าความเร็วของระบบที่มีหน่วยเป็นรอบต่อนาทีเท่ากับความถี่ที่วัดได้ เนื่องจากความถี่ที่วัดได้มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาทีดังนั้นจำนวนรอบในหนึ่งนาที คือ ความถี่ที่วัดได้คูณด้วย 60 แต่ความถี่ที่วัดได้เกิดจากการตัดของลำแสงกับจานกลมที่มีจำนวนช่อง 60 ช่อง ดังนั้นจำนวนรอบที่เพลาหมุนในหนึ่งนาที คือความถี่ที่วัดได้ในหน่วยรอบต่อนาทีหารด้วย 60 ดังนั้นความเร็วของเพลาในหน่วยรอบต่อนาที คือความถี่ที่วัดได้จากตัวตรวจจับความเร็วนั่นเอง



ภาพประกอบ 4-4 วงจรวัดความเร็ว



ภาพประกอบ 4-5 แสดงวงจรที่ใช้ในการวัดความเร็วของระบบ

ภาพประกอบ 4-6 แสดงจานเอ็นโคดเดอร์และวงจรในการวัดความเร็วของระบบ

4.4 ออกแบบและสร้างฮาร์ดแวร์เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์

จากสมการความเร็วของมอเตอร์

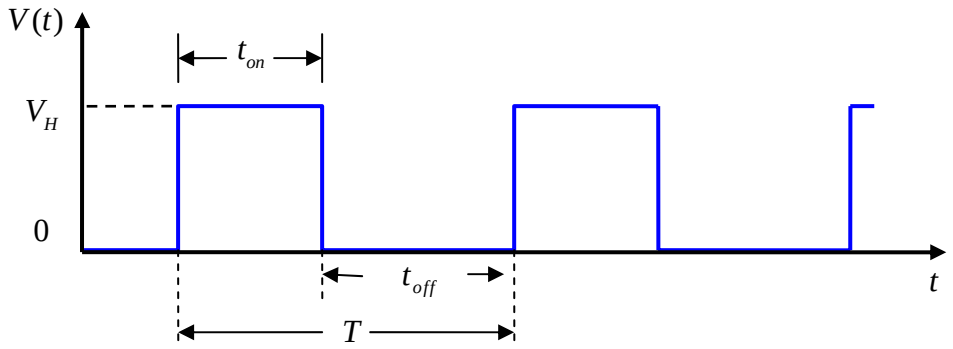
$$n = \frac{V - I_a r_a}{K\phi} \tag{4.1}$$

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร ϕ จะมีค่าคงที่จะได้

$$n = \frac{V - I_a r_a}{K'} \tag{4.2}$$

โดยที่ K' เป็นค่าคงที่

ดังนั้นในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์จะสามารถทำได้ 2 วิธี คือ โดยการปรับค่ากระแสอาร์เมเจอร์และการปรับค่าความต่างศักย์ที่ให้กับมอเตอร์ ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการปรับความต่างศักย์ที่ให้กับมอเตอร์โดยใช้เทคนิค PWM (Pulse Width Modulation) โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างความถี่ที่คงที่แต่ช่วงเวลาของลอจิกสูงและต่ำอาจจะมีค่าที่แตกต่างกัน โดยแรงดันที่ได้จะเป็นไปตามสมการ (4.6)



ภาพประกอบ 4-7 การปรับแรงดันโดยใช้เทคนิค PWM

$$V_{out} = \frac{1}{T}\int_0^T V(t)dt = \frac{1}{T}\left(\int_0^{t_{on}} V_H dt + \int_t^T 0dt\right) \tag{4.3}$$

$$V_{out} = \frac{t_{on}}{T}V_H \tag{4.4}$$

ให้

$$D = \frac{t_{0n}}{T} \tag{4.5}$$

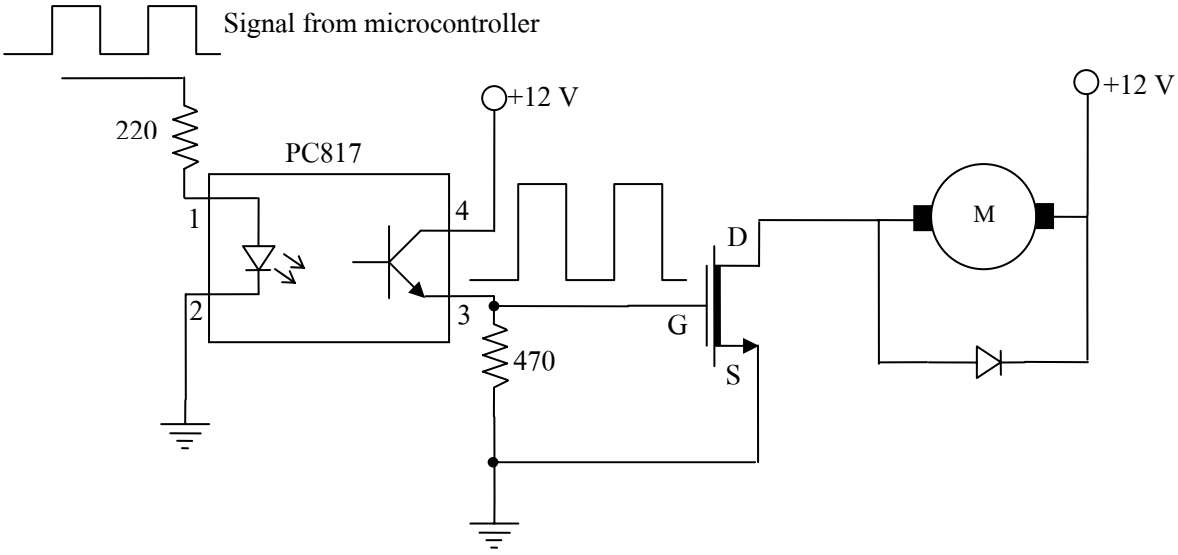
จะได้

$$V_{out} = DV_H \tag{4.6}$$

เมื่อ D คือ ค่าวัฏจักรงาน (Duty Cycle)

จากสมการ(4.6) จะเห็นว่าแรงดันแปรผันตรงกับค่า วัฏจักรงาน ดังนั้นในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์จะต้องปรับค่าวัฏจักรงานเพื่อให้ได้ค่าความเร็วที่ต้องการ

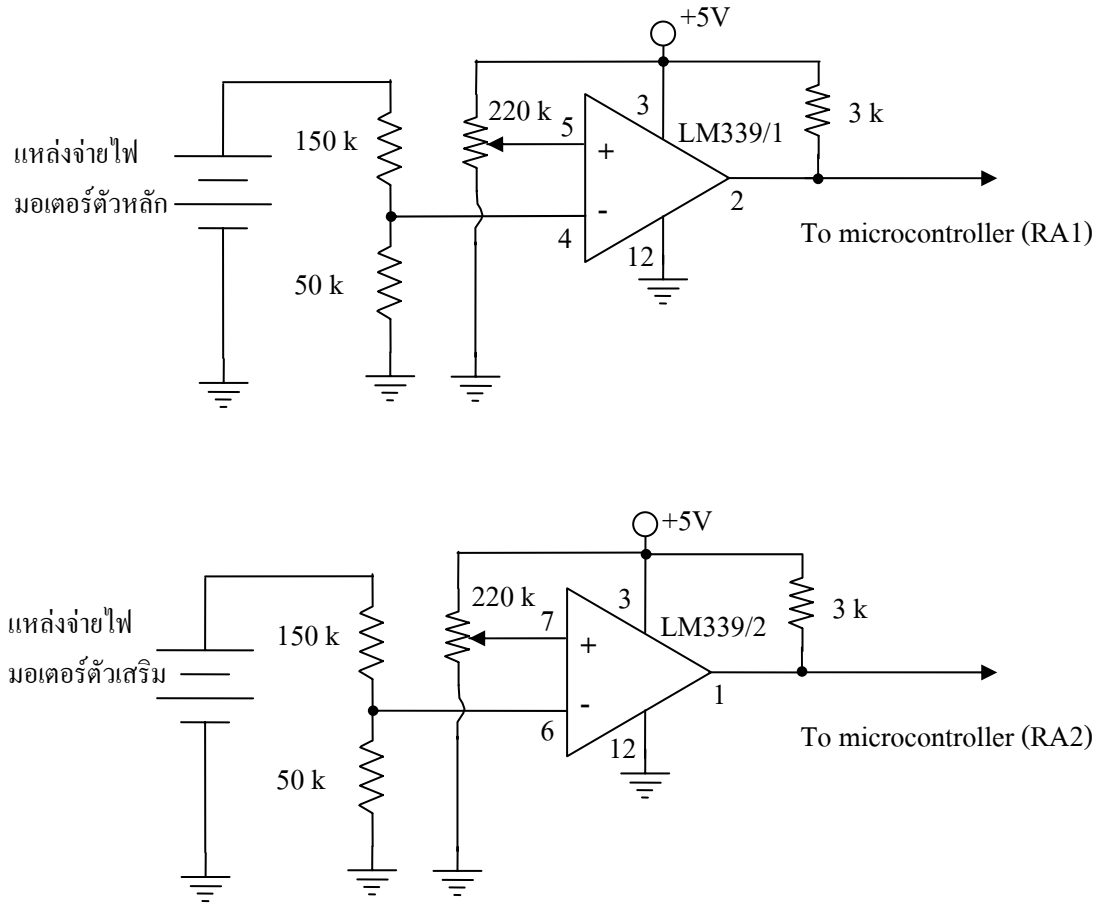
สัญญานความถี่ที่สร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งไปยังตัวแยกกราวด์ทางแสง (Opto - Isolator) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าตัวเชื่อมโยงทางแสง (Opto – Coupler) โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้ตัวแยกกราวด์ทางแสงเบอร์ PC817 หลังจากสัญญาณผ่านตัวแยกกราวด์ทางแสงค่าความต่างศักย์ของสัญญาณจะเพิ่มขึ้นเป็น 12 โวลต์ จากนั้นสัญญาณควบคุมนี้จะส่งไปยังส่วนของวงจรขับกระแสสูงโดยผ่านไปยังขาเกตของมอสเฟตเบอร์ IRF 530 ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ เปิด-ปิด เพื่อเปลี่ยนค่าวัฏจักรงาน ซึ่งความเร็วของมอเตอร์จะขึ้นกับค่าวัฏจักรงานดังกล่าว



ภาพประกอบ 4-8 วงจรขับและควบคุมความเร็วมอเตอร์

4.5 ออกแบบและสร้างฮาร์ดแวร์ในส่วนของการป้องกันความเสียหายของมอเตอร์

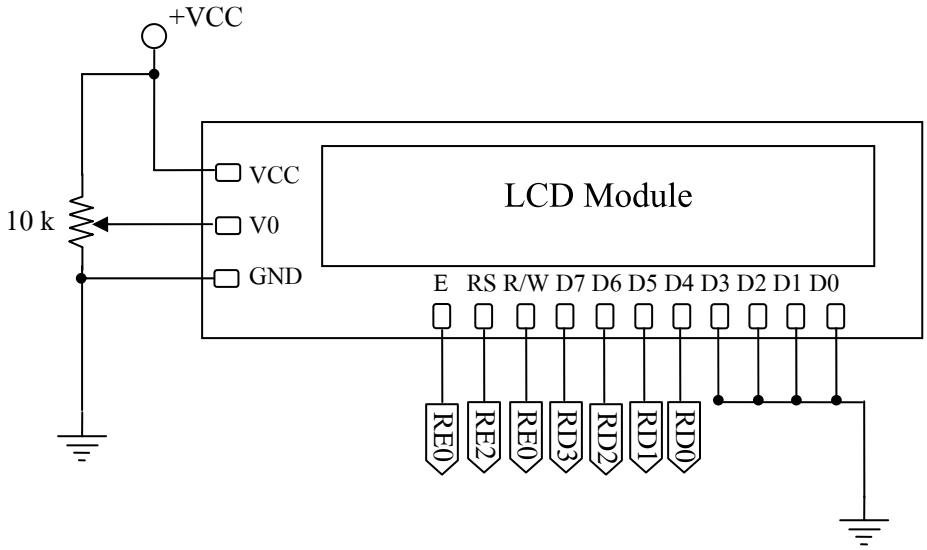
ในส่วนนี้ได้ทำการออกแบบวงจรตรวจจับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟที่จ่ายให้กับมอเตอร์ทั้งสองตัวเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับมอเตอร์โดยมีเงื่อนไขว่า ถ้าแหล่งจ่ายไฟมีแรงดันน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันสูงสุดของมอเตอร์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 14 โวลต์ระบบจะต้องสั่งหยุดมอเตอร์และให้มอเตอร์ตัวนั้นมีสถานะไม่พร้อมในทำงาน จากภาพประกอบ 4-9 แรงดันจะถูกแบ่งออกด้วยวงจรแบ่งศักย์ (Voltage Divider) ให้เหลือหนึ่งในสี่ส่วนของแรงดันขาเข้า จากนั้นจะผ่านไอซี LM339 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน ถ้าแรงดันหลังจากผ่านวงจรแบ่งศักย์มีค่าน้อยกว่า 7/4 โวลต์ ก็จะส่งผลทำให้เอาท์พุตของไอซี LM339 มีค่าเป็นลอจิกสูง คือ 5 โวลต์ แต่ถ้าแรงดันมีค่ามากกว่า 7/4 โวลต์ เอาท์พุตของไอซี LM339 มีค่าเป็นลอจิกต่ำ หรือ 0 โวลต์ซึ่งค่าลอจิกนี้จะถูกตรวจเช็คด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อนำไปตัดสินใจว่าจะมอเตอร์แต่ละตัวสามารถทำงานได้หรือไม่ต่อไป



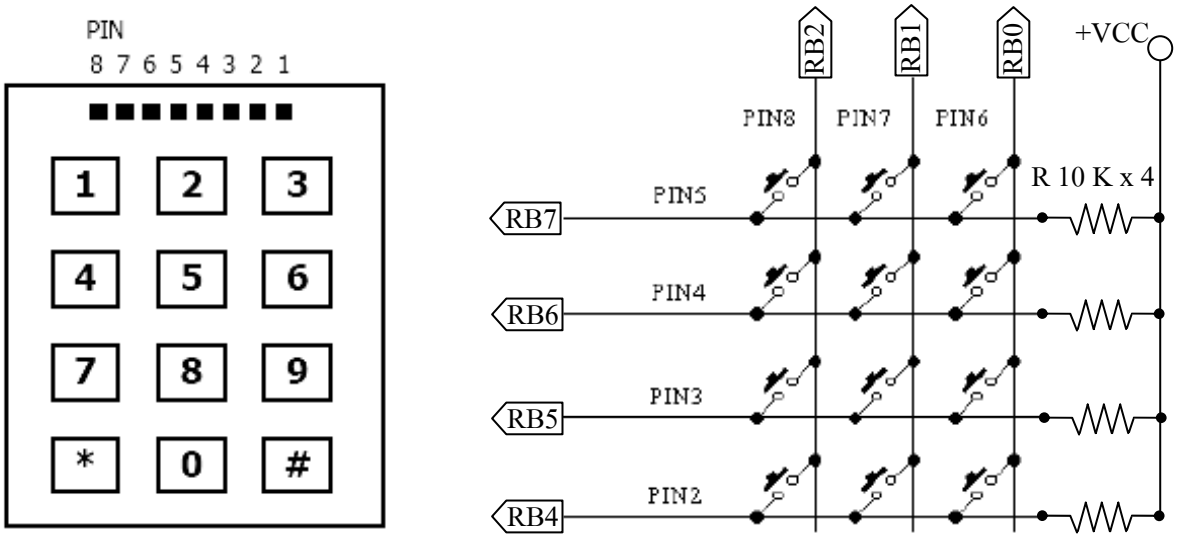
ภาพประกอบ 4-9 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

4.6 ออกแบบส่วนการรับค่าความเร็วอ้างอิงและแสดงผล

ในส่วนนี้จะเป็นการออกแบบการรับค่าความเร็วอ้างอิงจากผู้ใช้งานโดยรับค่าจากคีย์สวิตซ์ ระบบจะแจ้งค่าความเร็วอ้างอิงปัจจุบันก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงทางจอแสดงผลแบบแอลซีดี ซึ่งหลังจากรับค่าจากผู้ใช้งานแล้วระบบจะแจ้งให้ทราบว่าค่าใหม่ที่ต้องการตั้งมีค่าเท่าใดผู้ใช้ต้องทำการยืนยันการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว โดยหลังจากผู้ใช้ยืนยันการเปลี่ยนแปลงค่า ระบบจะจัดเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำแบบ EEPROM ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีการจ่ายไฟให้กับหน่วยความจำ เมื่อทำการปิดเครื่องแล้วทำการเปิดในครั้งต่อไป ค่าต่างๆที่ได้ทำการตั้งค่าไว้ก็จะยังถูกจัดเก็บไว้ และสามารถอ่านค่าออกมาใช้งานได้ตามปกติ

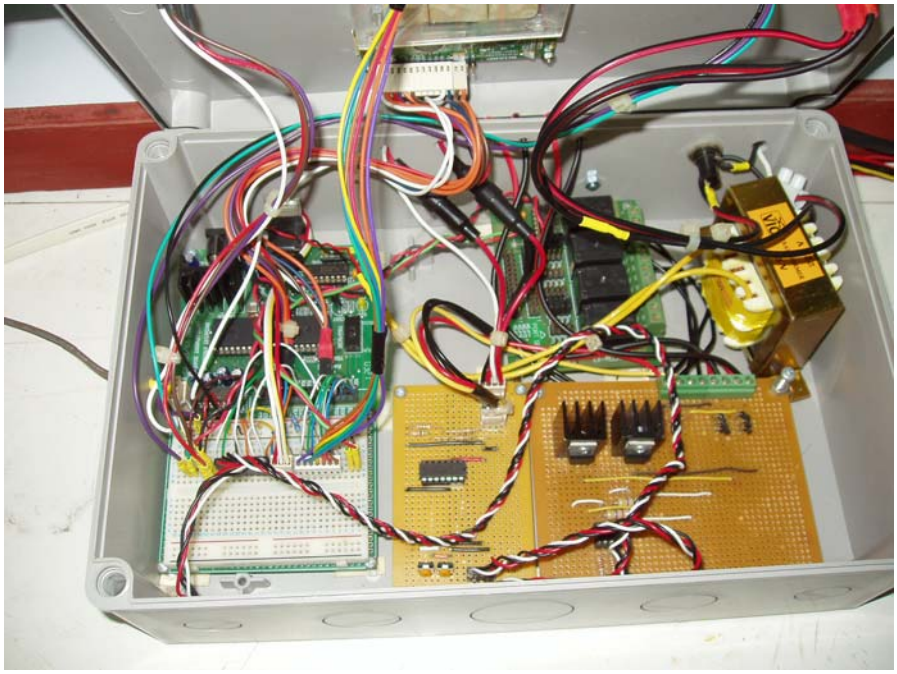


ภาพประกอบ 4-10 การต่อ LCD แบบ 4 บิต



ภาพประกอบ 4-11 การต่อคีย์สวิตซ์แบบเมตริกขนด 4x3

ภาพประกอบ 4-12 แสดงกล่องควบคุม



ภาพประกอบ 4-13 แสดงภายในกล่องควบคุม

4.7 ออกแบบซอฟแวร์เพื่อควบคุมการเสริมกำลังและควบคุมความเร็ว

ในการออกแบบซอฟแวร์เพื่อควบคุมการเสริมกำลังและควบคุมความเร็วนั้นจะทำการออกแบบโดยเน้นการใช้พลังงานจากแหล่งที่มีราคาถูกเป็นหลัก แหล่งพลังงานที่มีราคาถูกไม่เพียงพอแล้วจึงจะนำพลังงานที่มีราคาแพงกว่ามาใช้งาน ซอฟแวร์ในส่วนนี้ได้พัฒนาบนไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458 ของบริษัทไมโครชิป โดยที่ซอฟแวร์ส่วนนี้จะมีหน้าที่ในการเลือกแหล่งพลังงานที่จะนำมาใช้ ซึ่งก็คือการเลือกให้มอเตอร์ตัวใดทำงานนั่นเอง ซึ่งประกอบไปด้วย 3 กรณี คือ มอเตอร์ตัวหลักทำงานเพียงตัวเดียว มอเตอร์ทั้งสองทำงานร่วมกันและกรณีมอเตอร์ตัวเสริมทำงานเพียงตัวเดียว ซึ่งในการตัดสินใจเพื่อทำงานในแต่ละกรณี มีดังนี้

- **มอเตอร์ตัวหลักเท่านั้น**

  จะทำงานในกรณีนี้เมื่อ มอเตอร์ตัวหลักสามารถทำงานในการขับภาระได้ความเร็วอยู่ในช่วงที่กำหนดได้ คือ ไม่ต่ำกว่าความเร็วอ้างอิง เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีนี้ ถือว่าเป็นการทำงานในกรณีแบบปกติ

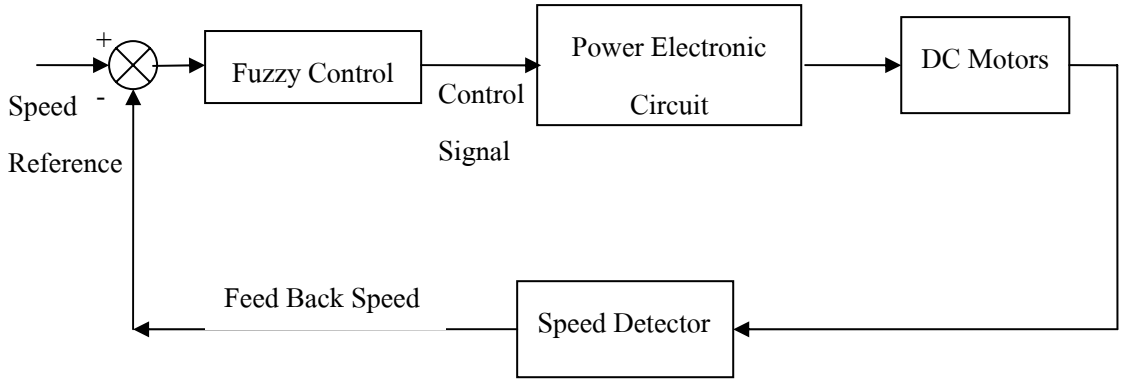
- **มอเตอร์ทั้งสองทำงานร่วมกัน**

  กรณีนี้ ถือว่าเป็นกรณีที่มีการเสริมกำลัง ระบบจะทำงานในกรณีนี้ เมื่อมอเตอร์ตัวหลักไม่สามารถทำงานในช่วงความเร็วที่กำหนดได้ โดยค่าความเร็วของระบบต่ำกว่าระดับอ้างอิงเกิน 10 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้มอเตอร์ตัวเสริมเข้ามาเสริมการทำงานและขับภาระร่วมกัน โดยระบบจะกลับไปสู่ปกติเมื่อความเร็วของระบบเกิดการพุ่งเกิน (Over Shoot) มีความเร็วของระบบมากกว่าความเร็วอ้างอิงเกิน 10 เปอร์เซ็นต์

- **มอเตอร์ตัวเสริมทำงานตามลำพัง**

  กรณีนี้ ถือว่าเป็นกรณีที่มีการเสริมกำลัง ระบบจะทำงานในกรณีนี้ เมื่อมอเตอร์ตัวหลักมีสถานะไม่พร้อมในการทำงาน อันเนื่องมาจาก แรงดันของแหล่งจ่ายไฟที่จ่ายให้กับมอเตอร์ตัวหลักไม่เพียงพอ และจะมีการออกจากกรณีการทำงานแบบนี้ เมื่อระบบตรวจเช็คพบว่ามอเตอร์ตัวหลักมีสถานะพร้อมในการทำงานแล้ว

ในส่วนของการควบคุมความเร็วของมอเตอร์นั้น เนื่องจากระบบมีกรณีในการขับเคลื่อนภาระ ซึ่งยากต่อการหาสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อแทนระบบ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จะใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีในการควบคุมเพื่อรักษาความเร็วให้คงที่ตามความเร็วอ้างอิงที่กำหนด



ภาพประกอบ 4-14 ผังงานควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงด้วยฟัซซีลอจิก

4.8 การออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก

ในส่วนนี้เป็นการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกสำหรับควบคุมความเร็วของระบบ โดยแบ่งเป็นส่วนๆ ดังนี้

4.8.1 อินพุตของตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก

อินพุตของระบบมีจำนวน 2 ตัว คือ

ค่าความผิดพลาด (Error, E) ซึ่งหาได้จากความแตกต่างระหว่างความเร็วอ้างอิง (Speed reference, N_{ref}) กับความเร็วของระบบที่วัดได้ (Speed of System, N)

$$E = N_{ref} - N$$

ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาด (Error Change, Ech) ซึ่งหาได้จากความแตกต่างระหว่างค่าความผิดพลาดล่าสุด (Present error, $E_{present}$) กับค่าความผิดพลาดก่อนหน้านั้น (Previous Error, E_{pre})

$$Ech = E_{present} - E_{pre}$$

4.8.2 กำหนดค่าระดับขั้นของอินพุต

เนื่องจากค่าอินพุตที่เป็นไปได้ของระบบอยู่ในช่วงกว้าง ดังนั้นจึงต้องมีการแบ่งอินพุตออกเป็นช่วงๆ และกำหนดค่าระดับขั้นให้กับแต่ละช่วงของอินพุตเพื่อเป็นการลดอินพุตของตัวคุมแบบฟัซซีลอจิก

ค่าระดับขั้นของค่าความผิดพลาดและค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาด กำหนดดังนี้

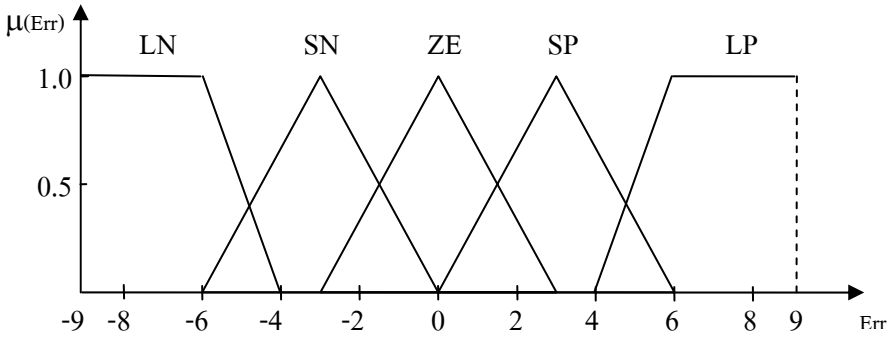
ตาราง 4-1 ค่าระดับขั้นของค่าความผิดพลาดและค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาด

ค่าความผิดพลาด	ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาด	ค่าระดับขั้น
E >= 340	Ech>= 180	9
300 <= E < 340	160 <= Ech < 180	8
260 <= E < 300	140 <= Ech < 160	7
220 <= E < 260	120 <= Ech < 140	6
180 <= E < 220	100 <= Ech < 120	5
140 <= E < 180	80 <= Ech < 100	4
100 <= E < 140	60 <= Ech < 80	3
60 <= E < 100	40 <= Ech < 60	2
20 <= E < 60	20 <= Ech < 40	1
-20 <= E < 20	-20 <= Ech < 20	0
-60 <= E < -20	-40 <= Ech < -20	-1
-100 <= E < -60	-60 <= Ech < -40	-2
-140 <= E < -100	-80 <= Ech < -60	-3
-180 <= E < -140	-100 <= Ech < -80	-4
-220 <= E < -180	-120 <= Ech < -100	-5
-260 <= E < -220	-140 <= Ech < -120	-6
-300 <= E < -260	-160 <= Ech < -140	-7
-340 <= E < -300	-180 <= Ech < -160	-8
E < -340	Ech < -180	-9

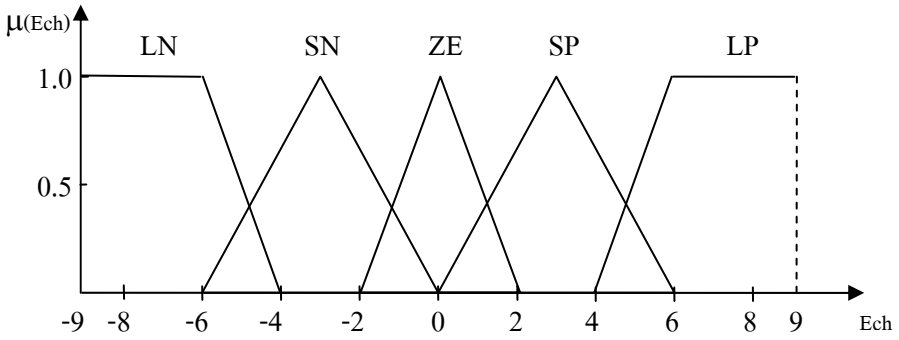
4.8.3 กำหนดฟัซซีเซต

เป็นการกำหนดรูปร่างของฟัซซีเซตของอินพุตและเอาท์พุตครอบคลุมขอบเขตของข้อมูลที่เราสนใจ โดยรูปร่างของฟัซซีเซตที่เรากำหนดนั้นก็คือ ฟังก์ชันที่ใช้กำหนดค่าความเป็นสมาชิกของสมาชิกภายในเซตแต่ละตัว โดยได้กำหนดตัวแปรเชิงภาษาของอินพุตและเอาท์พุตแทนฟัซซีเซตแต่ละเซต ดังนี้

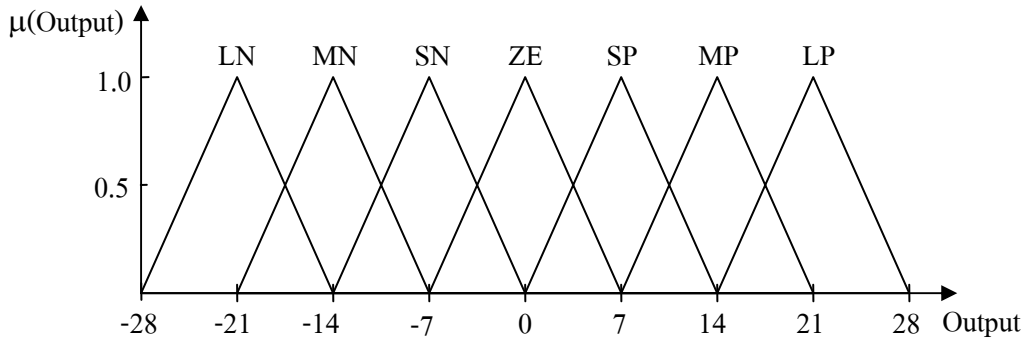
- Large Positive (LP)
- Medium Positive (MP)
- Small Positive (SP)
- Zero (ZE)
- Small Negative (SN)
- Medium Negative (MN)
- Large Negative (LN)



ภาพประกอบ 4-15 ฟัซซีเซตของค่าความผิดพลาด



ภาพประกอบ 4-16 ฟัซซีเซตของค่าการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด



ภาพประกอบ 4-17 ฟัซซีเซตของเอาท์พุตระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์

4.8.4 เงื่อนไขการควบคุมหรือกฎการควบคุม (Fuzzy Rule Base)

กฎการควบคุมจะสร้างจากความสัมพันธ์ระหว่างฟัซซีเซตของอินพุตและเอาท์พุต จำเป็นต้องอาศัยความเข้าใจเป็นอย่างดีเกี่ยวกับระบบที่เราจะทำการควบคุม อาจต้องอาศัยประสบการณ์หรือการทดลองในการกำหนด ซึ่งกฎที่ใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในงานวิจัยนี้สามารถเขียนได้ดังนี้

If E is LN AND Ech is LN Then Output is LN

If E is LN AND Ech is SN Then Output is MN

If E is LN AND Ech is ZE Then Output is SN

If E is LN AND Ech is SP Then Output is SN

If E is LN AND Ech is LP Then Output is ZE

If E is SN AND Ech is LN Then Output is MN

If E is SN AND Ech is SN Then Output is MN

If E is SN AND Ech is ZE Then Output is SN

If E is SN AND Ech is SP Then Output is ZE

If E is SN AND Ech is LP Then Output is SP

If E is ZE AND Ech is LN Then Output is SN

If E is ZE AND Ech is SN Then Output is SN

If E is ZE AND Ech is ZE Then Output is ZE

If E is ZE AND Ech is SP Then Output is SP

If E is ZE AND Ech is LP Then Output is SP

If E is SP AND Ech is LN Then Output is SN

If E is SP AND Ech is SN Then Output is ZE

If E is SP AND Ech is ZE Then Output is SP

If E is SP AND Ech is SP Then Output is SP

If E is SP AND Ech is LP Then Output is MP

If E is LP AND Ech is LN Then Output is ZE

If E is LP AND Ech is SN Then Output is SP

If E is LP AND Ech is ZE Then Output is SP

If E is LP AND Ech is SP Then Output is MP

If E is LP AND Ech is LP Then Output is LP

สามารถเขียนอยู่ในรูปแบบตารางได้ดังนี้

ตาราง 4-2 กฎการควบคุมของตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบฟัซซี

E \ Ech	LN	SN	ZE	SP	LP
LN	LN	MN	SN	SN	ZE
SN	MN	MN	SN	ZE	SP
ZE	SN	SN	ZE	SP	SP
SP	SN	ZE	SP	SP	MP
LP	ZE	SP	SP	MP	LP

4.8.5 หาค่าเอาท์พุตของตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก

ค่าอินพุตหนึ่งค่าอาจเป็นสมาชิกของหลายฟัซซีเซตแต่ละฟัซซีเซตของอินพุตก็จะได้ค่าเอาท์พุตออกมาค่าหนึ่งทำให้อินพุตแต่ละค่าอาจได้ค่าเอาท์พุตออกมาหลายๆ ค่า ดังนั้นจำเป็นต้องทำการหาค่าเอาท์พุตที่แท้จริงออกมา ซึ่งสามารถหาได้จากสูตร

$$Y = \frac{\sum(\mu_n y_n)}{\sum \mu_n}$$

เนื่องจากในการควบคุมทั้งหมดใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมีข้อจำกัดขนาดหน่วยความจำและความเร็วในการประมวลผล ดังนั้น ค่าเอาท์พุตที่เป็นไปได้ทั้งหมดแล้วเก็บไว้ในหน่วยความจำประเภทรอม ค่าเอาท์พุตที่เป็นไปได้ทั้งหมดแสดงดังตาราง 4-3 ค่าเอาท์พุตที่ได้นี้จะเป็นตัวที่นำไปเป็นค่าที่ใช้ในการกำหนดค่าวัฏจักรงานโดยที่ค่าวัฏจักรงานเป็นไปตามสมการ(4.7)

$$D = Pre_{Duty} + Y \tag{4.7}$$

เมื่อ D คือ ค่าวัฏจักรงานใหม่

Pre_{Duty} คือ วัฏจักรงานที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ปัจจุบัน

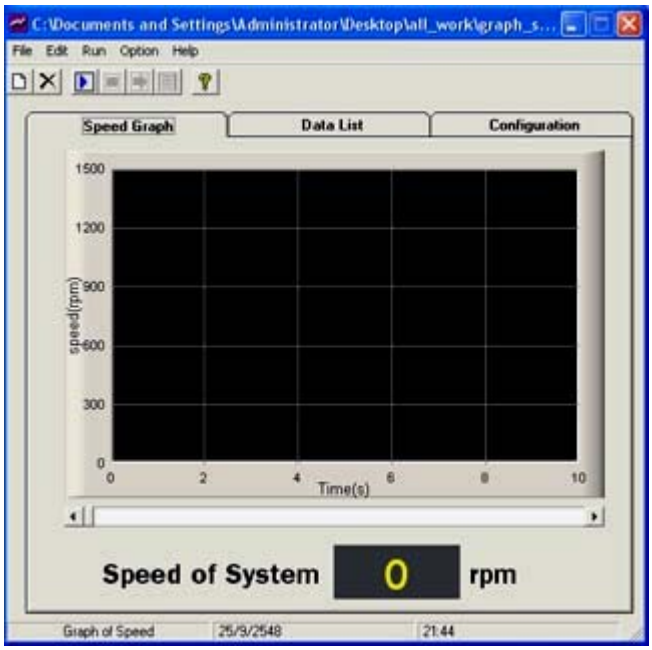
Y คือ ค่าเอาท์พุตที่ได้ตัวควบคุมความเร็วแบบฟัซซีลอจิก

ตาราง 4-3 ตารางเอาท์พุตของตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบฟัซซีลอจิก

E \ Ech	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-9	-21	-21	-21	-21	-18	-14	-14	-14	-10	-7	-7	-7	-7	-7	-3	0	0	0	0
-8	-21	-21	-21	-21	-18	-14	-14	-14	-10	-7	-7	-7	-7	-7	-3	0	0	0	0
-7	-21	-21	-21	-21	-18	-14	-14	-14	-10	-7	-7	-7	-7	-7	-3	0	0	0	0
-6	-21	-21	-21	-21	-18	-14	-14	-14	-10	-7	-7	-7	-7	-7	-3	0	0	0	0
-5	-18	-18	-18	-18	-18	-14	-14	-14	-10	-7	-4	-4	-4	-4	0	3	3	3	3
-4	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-10	-7	-4	0	0	0	4	7	7	7	7
-3	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-10	-7	-4	0	0	0	4	7	7	7	7
-2	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-7	-4	-1	3	3	3	4	7	7	7	7
-1	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-6	-3	0	4	4	4	4	7	7	7	7
0	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-3	0	3	7	7	7	7	7	7	7	7
1	-7	-7	-7	-7	-4	-4	-4	-4	0	3	3	7	7	7	10	10	10	10	10
2	-7	-7	-7	-7	-3	-3	-3	1	4	4	7	7	7	11	11	11	11	11	11
3	-7	-7	-7	-7	-4	0	0	0	4	7	7	7	7	7	11	14	14	14	14
4	-7	-7	-7	-7	-4	0	0	0	4	7	7	7	7	7	11	14	14	14	14
5	-3	-3	-3	-3	0	4	4	4	4	7	10	11	11	11	15	18	18	18	18
6	0	0	0	0	3	7	7	7	7	7	10	14	14	14	18	21	21	21	21
7	0	0	0	0	3	7	7	7	7	7	10	14	14	14	18	21	21	21	21
8	0	0	0	0	3	7	7	7	7	7	10	14	14	14	18	21	21	21	21
9	0	0	0	0	3	7	7	7	7	7	10	14	14	14	18	21	21	21	21

4.9 ออกแบบและสร้างซอฟท์แวร์เพื่อรับข้อมูลความเร็วของระบบ

เป็นการสร้างและออกแบบซอฟท์แวร์เพื่อรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์โดยส่งข้อมูลมายังพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ เมื่อได้รับข้อมูลความเร็วของระบบโปรแกรมจะทำการพล็อตกราฟแบบเวลาจริง (Real Time) และเก็บข้อมูลไว้ในรูปแบบฐานข้อมูลโดยผู้ใช้สามารถส่งข้อมูลนี้ไปยังโปรแกรมประเภท ตารางคำนวณ เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลอีกครั้ง สามารถศึกษารายละเอียดในการใช้งานโปรแกรมที่ ภาคผนวก ข



ภาพประกอบ 4-18 แสดงโปรแกรมที่รับข้อมูลความเร็วของระบบ

4.10 ทำการทดลองการเสริมกำลังของเครื่องจักรกล

สำหรับในขั้นตอนนี้เป็นการทดลองการเสริมกำลังของเครื่องจักรกล มอเตอร์ตัวหลักจะใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนมอเตอร์ตัวเสริมจะใช้พลังงานจากไฟฟ้าภายในบ้านของการไฟฟ้า แต่เพื่อความสะดวกในการทดลอง ที่จำเป็นต้องจำลองสถานการณ์การปรับแรงดันแหล่งจ่ายไฟของมอเตอร์ตัวหลัก เพื่อดูการตอบสนองของระบบต่อการรบกวนดังกล่าว จึงใช้แหล่งจ่ายไฟจำนวน 2 เครื่อง โดยมอเตอร์ตัวหลักจะใช้แหล่งจ่ายไฟที่สามารถปรับค่าความต่างศักย์ของแหล่งจ่ายได้ โดยทำการจัดอุปกรณ์การทดลองดังภาพประกอบ 4-20 ซึ่งความเร็วของระบบที่

วัดได้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งข้อมูลทั้งหมดไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม เพื่อทำการจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลและพล็อตกราฟแบบเวลาจริง ในการทดลองนั้นจะแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ตอน คือ

ตอนที่ 1

ทำการทดลองโดยจ่ายภาระ ให้กับระบบโดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง จ่ายกระแสให้กับหลอดไฟขนาด 12 โวลต์ กระแส 5 แอมแปร์ ทำหน้าที่เป็นภาระของระบบ ในการทดลองจะทำการจ่ายไฟ 12 โวลต์ ให้กับมอเตอร์ทั้งสอง โดยกำหนดค่าความเร็วอ้างอิงเท่ากับ 1000 รอบต่อนาที หลังจากนั้นจะทำการสตาร์ทมอเตอร์ แล้วรอให้ความเร็วของระบบเข้าสู่ระดับอ้างอิง แล้วทำการจ่ายภาระให้กับระบบโดยแบ่งเป็นสองขั้นตอนเป็นกรณีๆ ดังนี้

ตาราง 4-4 การทดลองจ่ายภาระให้ระบบ

จ่ายภาระให้กับระบบในขั้นแรก (หลอด)	**จ่ายภาระให้กับระบบในขั้นที่สอง (หลอด)**
1	0
1	2
1	3
2	0
2	1
2	3
3	0
3	1
3	2

ตอนที่ 2

ในตอนที่ 2 ได้ทำการทดลองโดยจ่ายภาระ ให้กับระบบโดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง จ่ายกระแสให้กับหลอดไฟขนาด 12 โวลต์ กระแส 5 แอมแปร์ ทำหน้าที่เป็นภาระของระบบ ในการทดลองจะทำการจ่ายไฟ 9 โวลต์ ให้กับมอเตอร์ตัวหลัก ส่วนมอเตอร์ตัวเสริมจ่ายแรงดันตามปกติที่ 12 โวลต์ กำหนดค่าความเร็วอ้างอิงเท่ากับ 1000

รอบต่อนาที ทำการสตาร์ทมอเตอร์ รอให้ความเร็วของระบบเข้าสู่ระดับอ้างอิง จากนั้นทำการจ่ายภาระให้กับระบบตามตาราง 4-4

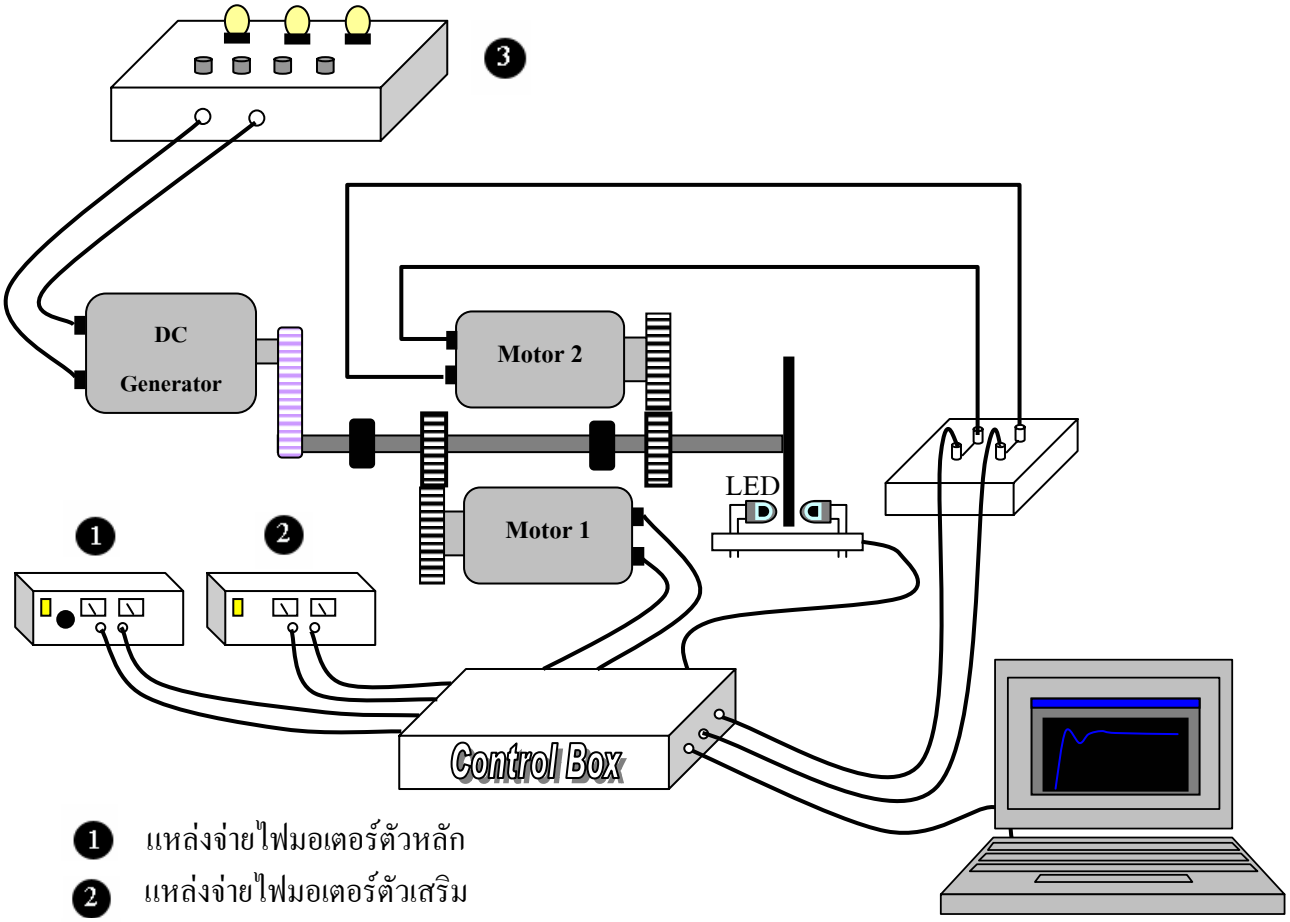
ตอนที่ 3

สำหรับในขั้นตอนนี้ เป็นการทดลองปรับค่าความต่างศักย์แหล่งจ่ายไฟของมอเตอร์ตัวหลัก ให้มีค่าเปลี่ยนแปลง เพื่อดูการตอบสนองการทำงานของระบบควบคุม โดยใช้แหล่งจ่ายไฟที่สามารถปรับค่าได้ให้กับมอเตอร์ตัวหลัก ในการทดลองนี้จะไม่มีการจ่ายภาระให้กับระบบ โดยในตอนแรกจะจ่ายไฟ 12 โวลต์ตามปกติ หลังจากสตาร์ทมอเตอร์แล้ว จะรอให้ความเร็วของระบบเข้าสู่ความเร็วอ้างอิง จากนั้นทำ การปรับค่าความต่างศักย์ของแหล่งจ่ายไฟตัวหลัก ซึ่งจะแบ่งเป็นขั้นตอนและกรณี ดังนี้

ตาราง 4-5 การทดลองปรับความต่างศักย์แหล่งจ่ายไฟมอเตอร์ตัวหลัก

ปรับความต่างศักย์มอเตอร์ตัวหลักขั้นที่หนึ่ง (โวลต์)	**ปรับความต่างศักย์มอเตอร์ตัวหลักขั้นที่สอง (โวลต์)**
9	12
9	6
9	0
6	12
6	9
0	12
0	9

ภาพประกอบ 4-19 แสดงส่วนประกอบของส่วนขับเคลื่อน



1 แหล่งจ่ายไฟมอเตอร์ตัวหลัก

2 แหล่งจ่ายไฟมอเตอร์ตัวเสริม

3 กล่องควบคุมเพื่อเลือกภาระที่จ่ายให้กับระบบ

ภาพประกอบ 4-20 การจัดอุปกรณ์ในการทดลอง