



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 14
The 14th Electrical Engineering Network 2022

EENET 2022

25-27 MAY 2022 Hilton Phuket Arcadia Resort & Spa, Phuket

CONFERENCE TOPICS

1. Electrical Power (PW)
2. Electronics, Circuit and Communication (EC)
3. Power Electronics (PE)
4. Computer and Information Technology (CP)
5. Control Systems and Instrumentation (CT)
6. Digital Signal Processing (DS)
7. Energy and Energy Saving (ES)
8. Innovation and Invention (IN)
9. General Electrical Engineering (GN)
10. Special Session on Electrical Engineering (SS)

| | | |
|--------|---|-----|
| GN-918 | เครื่องบันทึกการดูแลกิจวัตรเบื้องต้นสำหรับผู้สูงอายุ ปฎิมากร จันท์พริ้ม ยะมิน แสงสินธุ์ และ ศิริธัญญา จันท์บำรุง | 632 |
| GN-919 | การออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอสำหรับวงจรแปลงผันแบบซิงคิฟิค สันติ หวังนิพนพานโต ศักดา พรหมเหมือน เสถียร ธัญญศรีรัตน์ ชนัญญ์ชัย วุฒิชัยยาวัฒน์ และ พิษณุ ศรีธงชัย | 636 |
| GN-920 | กล้องถ่ายภาพอัตโนมัติด้วยเซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวพีไออาร์ กิตติกานต์ อนุชาติ มนัสญา ลี้มบริบูรณ์ วริยา รัตนพันธ์ และ กิตติธัช พาพลเพ็ญ | 640 |
| GN-921 | ระบบควบคุมการให้น้ำต้นมัจจุเพื่อกำจัดเพลี้ยไฟ ควบคุมผ่านสมาร์ตโฟน ขวัญจิต ออกเวหา กฤษฎา เจริญมูล ดนัยทองวัช และ วุฒิไกร จันท์ขามเรียน | 644 |
| GN-922 | การศึกษาแบบจำลองเพิ่มเติมของสายส่งไฟฟ้าระยะปานกลางในกรณีที่เกิดการไหลของกำลังไฟฟ้า พรเทพ ปัญญาแก้ว | 648 |
| GN-923 | การออกแบบและสร้างชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงให้มีค่าคงที่ ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ไวพจน์ ศุภาวรเสถียร และ สันติสุข สว่างกล้า | 652 |
| GN-926 | แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและตำแหน่งอิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสร้างกรตไฮโปคลอรัส ด้วยวิธีอิเล็กทรอนิกส์ วันทิศา ปาลีเอกวุฒิ และ ยุทธนา กันทะพะเยา | 656 |
| GN-928 | แผ่นนำส่งยาจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ควบคุมด้วยสนามไฟฟ้าจากภายนอกสำหรับโรคความดันโลหิตสูง พิชชาพร จารุเฉลิมรัตน์ กัญญาณัฐ แมงทับ และ สุมณมาลย์ เนียมกลาง | 660 |
| GN-929 | การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการตรวจวัดระบบแสงสว่างภายในตู้โดยสารโดยโปรแกรมไดอะล็อกซ์ ศิริวดี เกาคำแก้ว ญาณิศา พรหมเริง ประเมษฐ์ นวมโคกสูง โยธิน หล้าสกุล นพณัฐ จิตกริยาน อนันท์ เกสูงเนิน เกรียงกมล มงคลเมือง และ ศิริชัย ลาภาสระน้อย | 664 |
| GN-930 | เครื่องชาร์จพลังงานแสงอาทิตย์ปรับมุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์บันทึกค่าลงฐานข้อมูลไฟร์เบส ควบคุมโดยไอเอสพี 32 สุเทพ ทัทวัช นรณัฐ สงวนศักดิ์โยธิน นลินรัตน์ วิศวกิตติ พกิจ สุวัฒน์ ยงยุทธ นาราชกูร์ และ วิภาวัลย์ นาคทรัพย์ | 668 |
| GN-932 | การจำแนกป้ายจราจรโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ 2 มิติ สำหรับรถยนต์ขับเคลื่อนอัตโนมัติ กันตพงศ์ สุจริตพงษ์พันธ์ นิชกานต์ เต็มสายทอง และ กิตติธัช พาพลเพ็ญ | 672 |
| GN-933 | การศึกษาค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมในการตัดเหล็กแผ่นด้วยเครื่องตัด CNC จุฑาศินี พรพุทธศรี ชูเกียรติ โชติกเสถียร และ อานนท์ อิศรมงคลรักษ์ | 676 |
| GN-934 | ระบบรายงานสถานการณ์ทำงานการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศผ่านระบบอินเทอร์เน็ต รุ่งเพชร ก่องนอก ธนาณัติ ขยันวงศ์ ธีรภัทร อุดทภู วุฒิชัย สง่างาม กฤติเดช บัวใหญ่ ยุทธนา คงจัน สมศักดิ์ วัชรคุปต์ ดุสิต อุทิศสุนทร และ พันธุ์พงษ์ อภิชาติกุล | 680 |
| GN-937 | ระบบจำลองขนถ่ายมูลนกกระทาผ่านอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่ง คชพงศ์ สุมานนท์ และ อภิษฎา ทองรักษ์ | 684 |



การออกแบบและสร้างชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงให้มีค่าคงที่ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

Design and Construction of DC Motor Constant Speed Controlled Set Controlled by Microcontroller

ไวยพจน์ สุภบวรเสถียร¹ และ สันติสุข สว่างกล้า¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

38 ถนนเพชรเกษม แขวงบางหว้า เขตภาษีเจริญ กรุงเทพมหานคร 10160 โทรศัพท์ 089-458-9155

E-mail: vyapote.sup@siam.edu, santisuk@siam.edu

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงให้มีค่าคงที่ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้การควบคุมความกว้างของพัลส์ในการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงโดยมีการตรวจจับความเร็วรอบ เพื่อควบคุมให้ความเร็วรอบมอเตอร์มีค่าคงที่ตามที่ตั้งจากคีย์แพด โดยมีจอแอลซีดีทำหน้าที่แสดงค่าความเร็วรอบที่ต้องการ ชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงที่นำเสนอได้ถูกสร้างขึ้นและทำการทดสอบ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงการทำงานที่น่าพอใจโดยมีค่าความผิดพลาดของความเร็วไม่เกิน $\pm 2\%$

คำสำคัญ : ชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงให้มีค่าคงที่, ไมโครคอนโทรลเลอร์, การควบคุมความกว้างของพัลส์

Abstract

This article presents the design and construction of DC motor constant speed controlled set controlled by microcontroller. The pulse width modulation (PWM) is used for controlling the speed of DC motor by speed sensor for control constant speed of DC motor according to selection from keypad. The LCD is displayed the setting speed. The proposed machine is constructed and tested. Its performance is demonstrated to be satisfactory and has an error of speed not greater than $\pm 2\%$

Keywords : DC Motor Constant Speed Controlled Set, Microcontroller, Pulse Width Modulation

1. บทนำ

ปัจจุบันมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นงานควบคุมสายพานลำเลียงในกระบวนการผลิตในงานอุตสาหกรรม หรือการขับเคลื่อนยานพาหนะที่ใช้ไฟฟ้า (EV) ซึ่งในอนาคตอันใกล้จะมีการใช้อย่างกว้างขวางเพื่อ

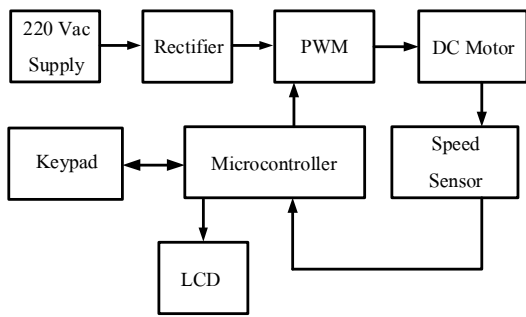
ทดแทนยานพาหนะที่ใช้น้ำมัน เพราะการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เป็นการประหยัดพลังงานและลดมลภาวะทางอากาศได้อีกด้วย จากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงให้มีค่าคงที่ที่ต้องการมีความจำเป็นอย่างยิ่งในระบบควบคุมอัตโนมัติใด ๆ ที่ต้องใช้มอเตอร์กระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อนกลไก ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งอาจจะใช้วิธีการควบคุมแบบพื้นฐานทั่วไป เช่นการควบคุมด้วยวิธีการใช้ตัวต้านทานปรับค่าโดยต่ออนุกรมกับมอเตอร์หรือใช้วิธีการการควบคุมโดยการเปลี่ยนค่าของระดับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ แต่การควบคุมในวิธีดังกล่าวถึงแม้ว่าจะควบคุมความเร็วมอเตอร์ได้แต่ที่ระดับความเร็วต่ำจะส่งผลให้แรงบิดต่ำตามไปด้วย ดังนั้นจึงเกิดแนวความคิดในการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยการจ่ายกระแสไฟให้กับมอเตอร์เป็นช่วง ๆ โดยอาศัยกระแสไฟที่ป้อนให้กับมอเตอร์ให้เป็นค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วง ซึ่งเรียกว่าวิธีของการมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ (PWM : Pulse Width Modulation) และมีการตรวจจับความเร็วรอบเพื่อควบคุมให้ความเร็วรอบมอเตอร์มีค่าคงที่ตามที่ตั้งจากคีย์แพด แสดงค่าความเร็วรอบที่ต้องการทางจอแอลซีดี โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม มีวัตถุประสงค์เพื่อความสะดวกในการใช้งาน นอกจากนี้ยังมีความแม่นยำในการควบคุม โดยมีขอบเขตการทำงานดังนี้

1. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม
2. ใช้พลังงานจากไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V
3. กำหนดค่าความเร็วรอบมอเตอร์ด้วยคีย์แพด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0000-9999 รอบ/นาที
4. แสดงค่าความเร็วรอบมอเตอร์ที่ต้องการทางจอแอลซีดี
5. ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ให้มีค่าคงที่โดยไม่ขึ้นอยู่กับสถานะของโหลดโดยมีค่าความผิดพลาดของความเร็วไม่เกิน $\pm 2\%$

2. การออกแบบและดำเนินการสร้าง

2.1 บล็อกไดอะแกรมรวมของงานที่นำเสนอ

การออกแบบและสร้างชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงให้มีค่าคงที่ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ มีบล็อกไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 1

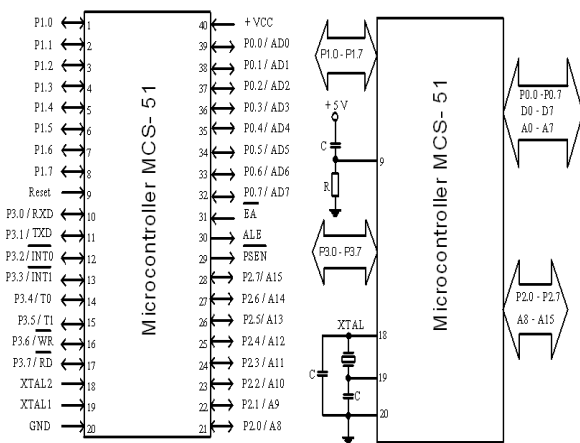


รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมรวมของงานที่นำเสนอ

หลักการดำเนินงานมีดังนี้ เมื่อเริ่มการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับคำสั่งจากคีย์แพด (Keypad) เพื่อกำหนดค่าความเร็วรอบที่ต้องการเป็นรอบ/นาที แสดงค่าความเร็วรอบที่ต้องการทางจอแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD) เมื่อกำหนดค่าความเร็วรอบที่ต้องการผ่านการกดคีย์แพดแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์โดยใช้หลักการมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ (PWM : Pulse Width Modulation) โดยมีการตรวจจับความเร็วรอบ (Speed Sensor) เพื่อควบคุมให้ความเร็วรอบมอเตอร์มีค่าตามที่ตามค่าที่กำหนดจากคีย์แพด ถ้าความเร็วรอบที่ตรวจจับได้มีค่าต่ำกว่าค่าที่ต้องการ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งเพิ่มค่า PWM จนได้ความเร็วตามค่าที่ต้องการ แต่ถ้าความเร็วรอบที่ตรวจจับได้มีค่าสูงกว่าค่าที่ต้องการ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งลดค่า PWM จนได้ความเร็วตามค่าที่ต้องการ

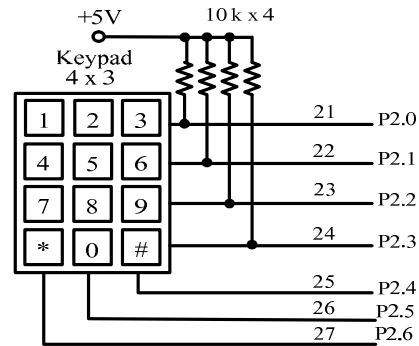
2.2 การออกแบบวงจรรวมของงานที่นำเสนอ

การออกแบบและสร้างชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ กระแสตรงให้มีค่าตามที่ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ประกอบไปด้วยวงจรตัวควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 (Megawin 82G516) วงจรคีย์แพด (Keypad) วงจรแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD) วงจรตรวจจับความเร็วรอบ (Speed Sensor) วงจรควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (PWM) ดังรูปที่ 2-6



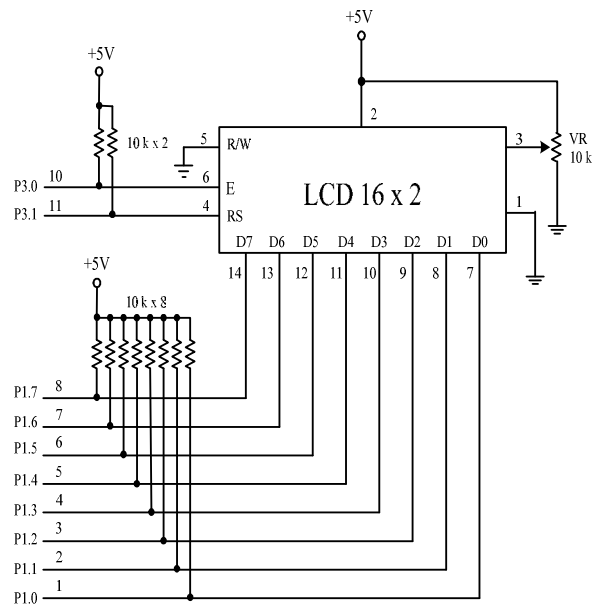
รูปที่ 2 วงจรตัวควบคุม MCS-51 (Megawin 82G516)

จากรูปที่ 2 ตัวควบคุม MCS-51 เลือกใช้รุ่น Megawin 82G516 เพราะว่ามี ความคงทนสามารถทำงานต่อเนื่องได้เป็นปีแบบมีเสถียรภาพสูงเนื่องจาก มีระบบป้องกันสัญญาณรบกวนการทำงานจากภายนอกได้ดี



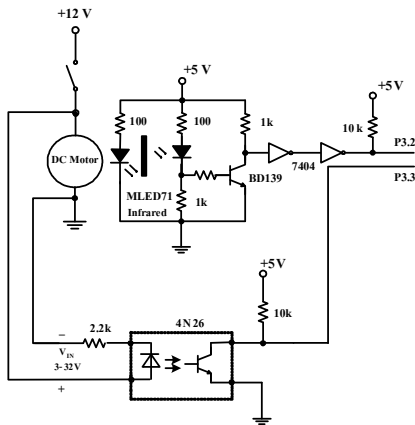
รูปที่ 3 วงจรคีย์แพด (Keypad)

จากรูปที่ 3 เป็นการต่อโมดูล Keypad โดยใช้พอร์ต P2.4-P2.6 เป็น Output เพื่อส่งลอจิก “0” มาที่ละกดคีย์เพื่อตรวจสอบการกดคีย์ทั้ง 4 แถว โดยใช้พอร์ต P2.0-P2.3 เป็น Input ยกตัวอย่าง ถ้า P2.6 = “0” แล้ว Input P2.0 = “0” สรุปว่ากดคีย์ 1 ถ้า P2.1 = “0” สรุปว่ากดคีย์ 4 ถ้า P2.2 = “0” สรุปว่ากดคีย์ 7 ถ้า P2.3 = “0” สรุปว่ากดคีย์ * ถ้า P2.0-P2.3 = “1” สรุปว่าไม่มีการกดคีย์ใดๆ



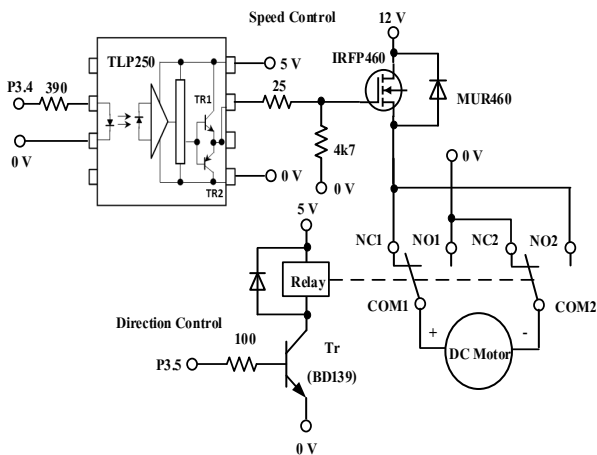
รูปที่ 4 วงจรแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD)

จากรูปที่ 4 เป็นการต่อโมดูล LCD กับพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งใช้พอร์ตควบคุม 2 พอร์ต โดยพอร์ต P3.0-P3.1 ควบคุมการเขียน รหัสคำสั่งหรือเขียนข้อมูล ส่วนพอร์ต P1.0-P1.7 เป็นสายสัญญาณรหัสคำสั่งหรือรหัสข้อมูลเพื่อใช้แสดงค่าความเร็วรอบมอเตอร์



รูปที่ 5 วงจรตรวจจับความเร็วรอบ (Speed Sensor)

จากรูปที่ 5 เป็นการต่อวงจรตรวจจับความเร็วรอบมอเตอร์กับพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งใช้พอร์ต P3.2 เป็น Input เพื่อนับจำนวนรอบการหมุนของมอเตอร์ ส่วนพอร์ต P3.3 เป็น Input เพื่อตรวจจับการทำงานของมอเตอร์



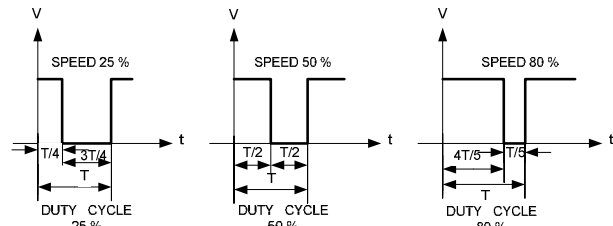
รูปที่ 6 วงจรควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (PWM)

จากรูปที่ 6 เป็นการต่อวงจรควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์แบบควบคุมความกว้างของพัลส์ (PWM) ซึ่งใช้พอร์ต P3.4 เป็น Output เพื่อส่งสัญญาณ PWM ไปควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ตามค่าที่กำหนดจากคีย์แพด ส่วนพอร์ต P3.5 เป็น Output เพื่อควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ถ้า P3.5 = "0" มอเตอร์จะหมุนตามเข็มนาฬิกา แต่ถ้า P3.5 = "1" มอเตอร์จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา

การควบคุมความเร็วรอบแบบควบคุมความกว้างของพัลส์ (PWM)

หรือการปรับ Duty Cycle อธิบายได้จากรูปที่ 7 ซึ่งเป็นการควบคุมกระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์ โดยการจ่ายแรงดันให้กับมอเตอร์เป็นช่วง

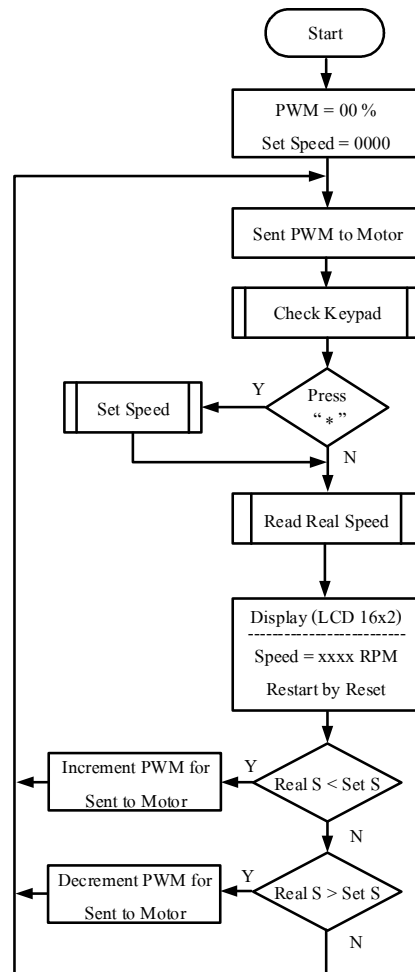
กระแสไฟที่มอเตอร์ได้รับจะเป็นค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในช่วง "On" โดยความถี่ของการ On และ Off คงที่และสูงพอ (500-1000 Hz) เราสามารถเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ โดยทำให้ช่วง On มีเวลาที่มากกว่าช่วง Off กระแสเฉลี่ยที่มอเตอร์ได้รับจะมีค่ามากกว่า 50 % ความเร็วรอบของมอเตอร์จะมากกว่า 50 % ด้วย และถ้าหากต้องการลดความเร็วรอบของมอเตอร์ลง ให้ลดช่วง On ให้มีเวลาน้อยกว่าช่วง Off



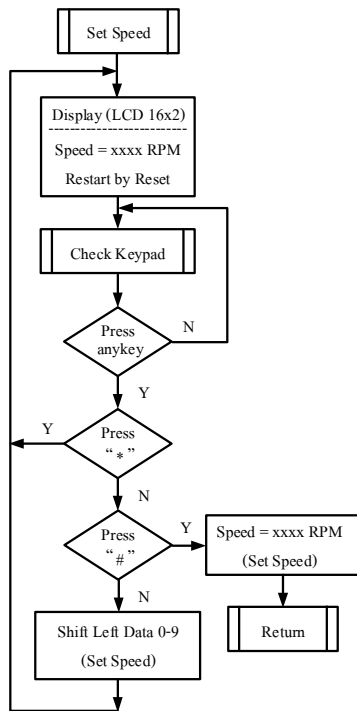
รูปที่ 7 การควบคุมความเร็วรอบแบบปรับความกว้างของพัลส์ (PWM)

2.3 การออกแบบแผนผังการทำงานของงานที่นำเสนอ

การออกแบบและสร้างชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ กระแสตรงให้มีค่าคงที่ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ มีแผนผังการทำงานดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แผนผังการทำงานของงานที่นำเสนอ



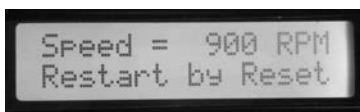
รูปที่ 8 แผนผังการทำงานของงานที่นำเสนอ (ต่อ)

3. การทดลองและผลการทดลองการทำงานของงานที่นำเสนอ

การทดลองการทำงานของชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ กระแสตรงให้มีค่าคงที่ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการทดลองใช้ DC Motor 12 V 4000 RPM 200 W วัดความเร็วรอบหน่วยเป็นรอบต่อนาที (RPM) โดยใช้เครื่องวัด Fluke 931 ทำการทดลอง 9 ครั้งที่มีความเร็วรอบ 600, 900, 1200, 1500, 1800, 2100, 2400, 2700 และ 3000 RPM โดยได้ผลการทดลองดังนี้

3.1 ผลการทดลองกำหนดค่าความเร็วรอบมอเตอร์ 900 รอบ/นาที

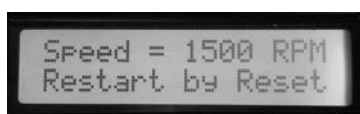
การแสดงผลที่หน้าจอแอลซีดีเป็นดังรูปที่ 9 ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดความเร็วรอบมอเตอร์ด้วย Fluke 931 คือ 909 รอบ/นาที



รูปที่ 9 กำหนดค่าความเร็วรอบมอเตอร์ 900 รอบ/นาที

3.2 ผลการทดลองกำหนดค่าความเร็วรอบมอเตอร์ 1500 รอบ/นาที

การแสดงผลที่หน้าจอแอลซีดีเป็นดังรูปที่ 10 ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดความเร็วรอบมอเตอร์ด้วย Fluke 931 คือ 1522 รอบ/นาที



รูปที่ 10 กำหนดค่าความเร็วรอบมอเตอร์ 1500 รอบ/นาที

ผลการทดลองทั้งหมด 9 ครั้งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1 รวมทั้งค่าความผิดพลาดของความเร็วรอบเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

ตารางที่ 1 สรุปผลการทดลองควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

| ครั้งที่ | Set Speed [รอบต่อนาที] | Real Speed [รอบต่อนาที] | Error [เปอร์เซ็นต์] |
|----------|------------------------|-------------------------|---------------------|
| 1 | 600 | 606 | 1.00 |
| 2 | 900 | 909 | 1.00 |
| 3 | 1,200 | 1,215 | 1.25 |
| 4 | 1,500 | 1,522 | 1.47 |
| 5 | 1,800 | 1,830 | 1.67 |
| 6 | 2,100 | 2,136 | 1.71 |
| 7 | 2,400 | 2,442 | 1.75 |
| 8 | 2,700 | 2,749 | 1.81 |
| 9 | 3,000 | 3,055 | 1.83 |

4. สรุป

จากผลการทดลองการทำงานของชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงให้มีค่าคงที่ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นนี้ พบว่าเป็นไปตามขอบเขตและวัตถุประสงค์ที่ทางคณะผู้จัดทำคาดหวังไว้ คือ มีความสะดวกในการใช้งาน นอกจากนี้ยังมีความแม่นยำในการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ให้มีค่าคงที่โดยไม่ขึ้นอยู่กับสภาวะของโหลด โดยมีค่าความผิดพลาดของความเร็วไม่เกิน $\pm 2\%$ ซึ่งถือเป็นข้อดีที่มีการปรับปรุงและพัฒนาขึ้นมาจากวิธีการเดิมที่ความเร็วรอบไม่คงที่ สรุปได้ว่าชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงให้มีค่าคงที่ที่ทางคณะผู้จัดทำได้ออกแบบและสร้างขึ้นมานี้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นำไปใช้งานได้จริง นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นเครื่องต้นแบบเพื่อพัฒนาต่อยอดในเรื่องการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงให้มีค่าคงที่ได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] กองพล อารีรักษ์. (2556). รายงานการวิจัยเรื่องการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ่นสำหรับรถไฟฟ้า. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[2] การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้การควบคุมความกว้างของพัลส์. (ม.ป.ป.). เข้าถึงได้จาก <https://www.orientalmotor.co.th/>

[3] ข้อมูลเกี่ยวกับทรานซิสเตอร์มอสเฟต. (ม.ป.ป.). เข้าถึงได้จาก <https://th.jf-parede.pt/what-is-mosfet-working>

[4] ไมโครคอนโทรลเลอร์. (ม.ป.ป.). เข้าถึงได้จาก <http://www.silaresearch.com>