

การพัฒนาการป้องกันฟอลต์และเฝ้าติดตามมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิด 3 เฟส ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

DEVELOPMENT OF FAULT PROTECTION AND MONITORING OF THREE-PHASE MOTOR WITH INTERNET OF THING

สิริวิช ทัดสวน¹ และ ประสิทธิ์ สุขเสริม^{2*}

¹อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

19/1 ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160, siriwicht@sau.ac.th

^{2*}อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

19/1 ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160, prasits@sau.ac.th

*ผู้พิมพ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-2807-4500-27 ต่อ 313 อีเมล: prasits@sau.ac.th

Siriwich Tadsuan¹ and Prasit Sukserm^{2*}

¹ Lecturer, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Southeast Asia University, 19/1 Petchkasem Road, Nongkhangphlu, Nongkhaem,
Bangkok 10160, Thailand, siriwicht@sau.ac.th

^{2*} Lecturer, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Southeast Asia University, 19/1 Petchkasem Road, Nongkhangphlu, Nongkhaem,
Bangkok 10160, Thailand, prasits@sau.ac.th

*Corresponding Author Tel.0-2807-4500-27 ext. 313 Email:prasits@sau.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบเฝ้าติดตามการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิด 3 เฟส ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อช่วยลดความยุ่งยาก เพิ่มความสะดวกและรวดเร็วในด้านระบบติดตามและการป้องกันความเสียหายกับมอเตอร์ โดยมีขั้นตอนการออกแบบและสร้างวงจรตรวจรู้แรงดันไฟฟ้า 0-260 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 0-5 แอมป์ ความเร็วรอบมอเตอร์ 0-1,490 รอบ/นาทีและอุณหภูมิขดลวด 0-150 องศาเซลเซียส โดยใช้เอ็มชียู ESP8266 ที่มีโมดูลอินเทอร์เน็ตไร้สายขนาดคลื่นความถี่ 2.4 GHz เป็นตัวประมวลผลและความคุมการทำงานรวมถึงสื่อสารข้อมูลกับคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของเน็ตพาย การควบคุมการทำงานของมอเตอร์สามารถควบคุมได้ทั้งที่กล่องควบคุมหรือรีโมททางไกลโดยใช้สมาร์ตโฟน แอปเลต หรือคอมพิวเตอร์ ข้อมูลทั้งหมดถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำของคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ ในกรณีที่เกิดฟอลต์ขึ้นกับมอเตอร์ เอ็มชียู ESP8266 จะทำ

การสั่งหยุดการทำงานระบบของมอเตอร์ พร้อมกับส่งข้อมูลชนิดของความผิดปกติที่เกิดขึ้นไปยัง คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ ผลการทดสอบของเครื่องดังกล่าว สามารถทำการป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับ มอเตอร์อันเนื่องมาจากฟอลต์และติดตามผลการทำงานของมอเตอร์ได้อย่างเป็นที่น่าสนใจ

คำสำคัญ: ฟอลต์, มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, ระบบเฝ้าติดตาม

ABSTRACT

This research developed a fault protection and monitoring of three-phase induction motor with internet of thing. The purposes of this research are to decrease difficulties and to increase convenient of monitoring system and to protect the three-phase induction motor. The designed and implemented of the voltage sensor range is at 0-260V, current sensor range is at 0-5 A, speed sensor range is at 0-1,490 rpm, and temperature sensor range is 0-150 °C, used ESP8266 microcontroller include with Wifi 2.4 GHz module for processing, operating control and communication with Cloud server of Netpie. Motor control can be controlled either in the control box or remote mode by using a smartphone, tablet or computer. Then data of all parameters were recorded to Cloud server of Netpie. In the event of a fault with the motor The MCU ESP8266 will stop the motor system and sending data about the type of abnormalities to Cloud server. The test data of the fault protection and monitoring of three-phase motor with internet of thing set indicate a well operation and satisfactory results.

KEYWORDS: Fault, Induction motor, Internet of thing, Monitoring system

1. บทนำ

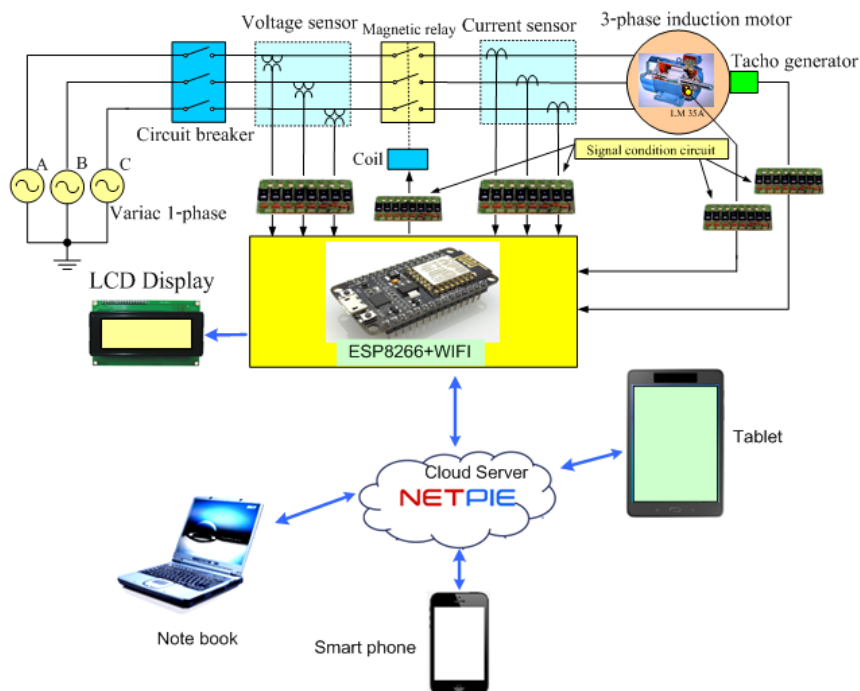
ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปได้มีการประยุกต์ใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟสเป็นจำนวนมาก ดังนั้นในกระบวนการผลิตจึงไม่ต้องการให้มอเตอร์เหนี่ยวนำในสายการผลิตเกิดความเสียหาย ได้มีงานวิจัยจำนวนมากได้ให้ความสำคัญกับการพัฒนาสร้างระบบป้องกันมอเตอร์เพื่อให้ครอบคลุมฟอลต์ในรูปแบบต่างๆ ได้มากขึ้น จากงานวิจัยของ Colak et al. [1] Tadsuan et al. [2] ได้ออกแบบและสร้างระบบป้องกันมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยใช้เซ็นเซอร์ต่างๆ จากนั้นใช้ตัวควบคุมแบบดิจิทัล เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์และ PLC เป็นตัวตัดสินใจรูปแบบฟอลต์ Bayindir et al. [3] ได้นำไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ 18F452 มาใช้ในการประมวลผลและควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า โดยมีภาคอินพุตรับค่าอนาล็อกเป็นแรงดันและกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส ส่วนงานวิจัยของ Kolla and Varatharasa [4], Kolla and Altman S

[5], Ghate and Dudul [6], Cho et al. [7] ได้นำปัญญาประดิษฐ์ด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมมาช่วยในการตัดสินใจรูปแบบฟอลต์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ส่วน Samanta et al. [8] ได้นำปัญญาประดิษฐ์เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมและจินตนาการที่นำมาใช้ในการตรวจสอบความผิดปกติของเบร้งมอเตอร์ จากงานของ Bose [9] ได้ใช้ปัญญาประดิษฐ์เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมเช่นเดียวกัน แต่นำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังและงานด้านการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า Sirikunchittavorn and Manop [10] ได้วิจัยโดยใช้สัญญาณกระแสและแรงดันของมอเตอร์มาวิเคราะห์ ด้วยปัญญาประดิษฐ์แบบ Support vector Machine(SVM) ผลจากการวินิจฉัยระดับความรุนแรงของฟอลต์สเตเตอร์มีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องมากกว่า 99% จากนั้น Tangsiriyorakul and Tudsum [11] ได้มีการพัฒนาการตรวจจับฟอลต์เพิ่มจากเดิมจาก [4-5] โดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมเช่นเดียวกันมาช่วยในการตรวจจับฟอลต์อันเนื่องมาจากลำดับเฟสของแรงดันที่ผิดปกติและฟอลต์เนื่องจากความเร็วรอบมอเตอร์สูงเกินกว่าความเร็วที่แผ่นป้ายชื่อโดยมีสาเหตุจากการจ่ายแรงดันที่มีความถี่ไฟฟ้าสูงมากกว่าปกติที่แผ่นป้ายชื่อ Tejar et al. [12] ได้มีการพัฒนาระบบเฝ้าติดตามมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้วยการสื่อสารแบบไร้สาย (SMS) โดยมีการออกแบบและสร้างวงจรตรวจรู้ต่าง ๆ และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการประมวลผลและควบคุมการทำงาน รวมถึงการใช้โมดูล GSM เป็นตัวสื่อสารแบบไร้สาย แต่ยังมีข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือการส่งข้อความผ่านโมดูล GSM แต่ละครั้งจะมีค่าใช้จ่ายสูงทำให้การทำงานของระบบมีต้นทุนเพิ่มขึ้นและข้อมูลที่ได้รับและบันทึกลงฮาร์ดดิสก์นั้น ถ้าระบบการรักษาความปลอดภัยไม่ดีพออาจมีความเสี่ยงกับการสูญหายของข้อมูลอันเนื่องจากไวรัสคอมพิวเตอร์ และฮาร์ดดิสก์อาจเสียหายเมื่อมีการเคลื่อนย้ายบ่อย ๆ รวมถึงรูปแบบการใช้งานทำได้เฉพาะคอมพิวเตอร์ตัวที่ติดตั้งซอฟต์แวร์เพื่อเชื่อมต่อกับโมดูล GSM เพียงตัวเดียวเท่านั้น

2. กรอบแนวคิดการวิจัย

ในยุคปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมคอมพิวเตอร์มีการพัฒนาการขึ้นอย่างรวดเร็ว สาขาวิชาด้านอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Thing) เป็นอีกสาขาวิชาหนึ่งที่สามารถตอบโจทย์ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ในหลาย ๆ ด้านอย่างแท้จริง และเมื่อนำมาแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นนั้น สามารถทำให้ลดต้นทุนและเวลาในการบริหารจัดการระบบ ลดข้อผิดพลาด เพิ่มผลผลิตและระบบมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยที่นำเสนอนี้ คณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการนำอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งมาประยุกต์ใช้ โดยได้ออกแบบและสร้างวงจรตรวจรู้แรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้า ความเร็วรอบมอเตอร์และอุณหภูมิขดลวด และใช้ MCU ESP8266 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อร่วมกับโมดูลอินเทอร์เน็ตไร้สายขนาดคลื่นความถี่ 2.4 GHz เป็นตัวประมวลผลและความคุมการทำงานรวมถึงติดต่อกับคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของเน็ตพาย การควบคุมและติดตามการทำงานของมอเตอร์สามารถทำได้ทั้งผ่านงานสนามหรือรีโมททางไกลโดยใช้

สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต หรือคอมพิวเตอร์ ข้อมูลต่าง ๆ จะถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำของเซิร์ฟเวอร์ตลอดระยะเวลา ในกรณีที่เกิดฟอลต์ขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวประมวลผลจะทำการสั่งหยุดการทำงานของระบบของมอเตอร์ พร้อมกับส่งข้อมูลชนิดของความผิดปกติที่เกิดขึ้นไปยังคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ จากที่กล่าวมาแสดงให้เห็นถึงความคล่องตัวและมีเสถียรภาพการทำงานที่ครอบคลุมมากกว่างานวิจัยที่ผ่านมา โครงสร้างระบบการป้องกันและเฝ้าติดตามมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิด 3 เฟส ด้วยอินเทอร์เน็ทของสรรพสิ่งที่นำเสนอแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างระบบการป้องกันและเฝ้าติดตามมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิด 3 เฟส ด้วย อินเทอร์เน็ทของสรรพสิ่ง

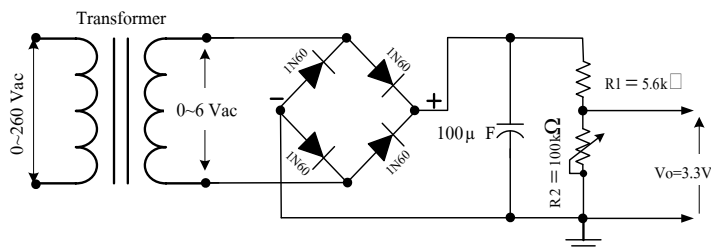
3. การออกแบบระบบป้องกันมอเตอร์

3.1 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบด้านฮาร์ดแวร์ ซึ่งมีส่วนประกอบภาคต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2 ถึงรูปที่ 8

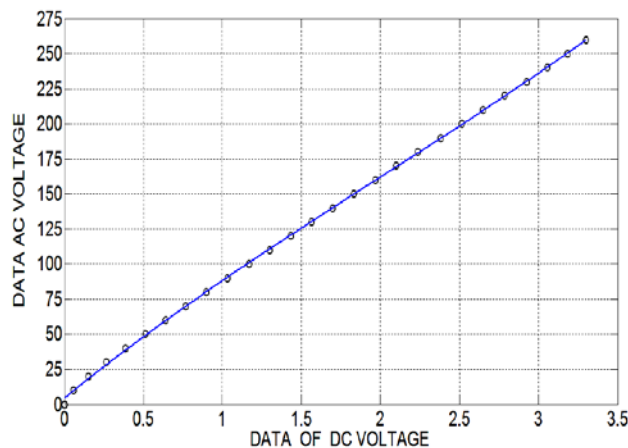
3.1.1 ภาคตรวจรู้แรงดันไฟฟ้า [10]

จากรูปที่ 2 เป็นวงจรตัวตรวจรู้แรงดันไฟฟ้าที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น โดยทำการทดสอบ เก็บข้อมูลของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ V_{ac} เทียบกับ V_{out} แล้วนำค่าที่ได้ไปสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์โดยอาศัยวิธีการกำลังสองน้อยสุด (Least-Square method) ได้ดังสมการที่ 1 และแสดงความสัมพันธ์ดังกราฟรูปที่ 3



รูปที่ 2 วงจรตัวตรวจรู้แรงดันไฟฟ้า

$$V_{ac} = 4.28310493137883 + 92.18251503652557V_{dc} - 9.99325745481258V_{dc}^2 + 1.67477968792074V_{dc}^3 \quad (1)$$

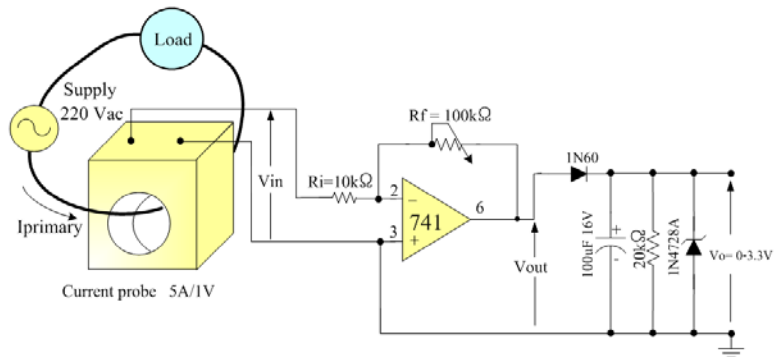


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟสลับกับแรงดันไฟตรง

3.1.2 ภาคตรวจรู้กระแสไฟฟ้า

จากรูปที่ 4 เป็นวงจรตัวตรวจรู้กระแสไฟฟ้าที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น รูปที่ 5 เป็นหม้อแปลงกระแสที่ใช้เป็นตัวตรวจรู้ ได้ทำการทดสอบเก็บข้อมูลของกระแสไฟฟ้าสลับ i_{ac} เทียบกับ V_{out} แล้ว

นำค่าที่ได้ไปสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์โดยอาศัยวิธีการกำลังสองน้อยสุด (Least-Square method) ได้ตั้งสมการที่ 2 และแสดงความสัมพันธ์ดังกราฟรูปที่ 6

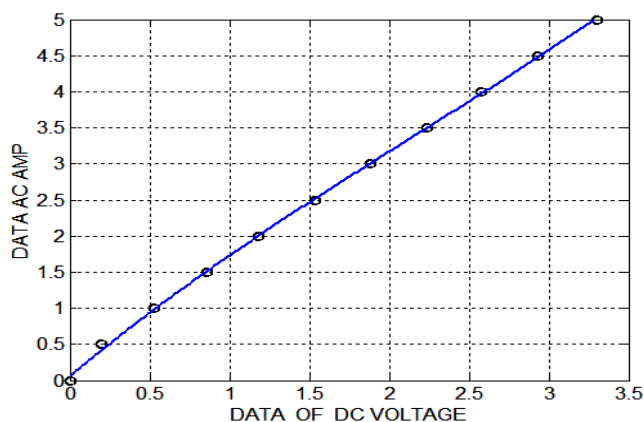


รูปที่ 4 วงจรตัวตรวจรู้กระแสไฟฟ้า



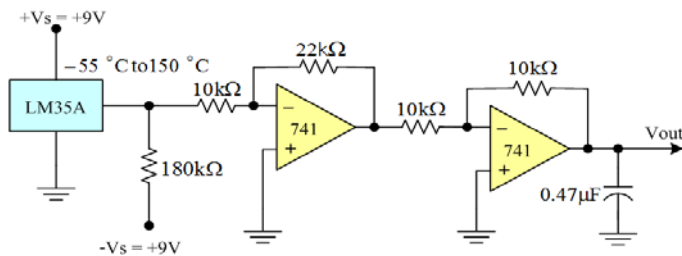
รูปที่ 5 หม้อแปลงกระแสที่ใช้เป็นตัวตรวจรู้

$$iac = 0.06089713804591 + 1.85480636219403Vdc - 0.21551764680618Vdc^2 + 0.03301839292730Vdc^3 \quad (2)$$



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟสลับกับแรงดันไฟตรง

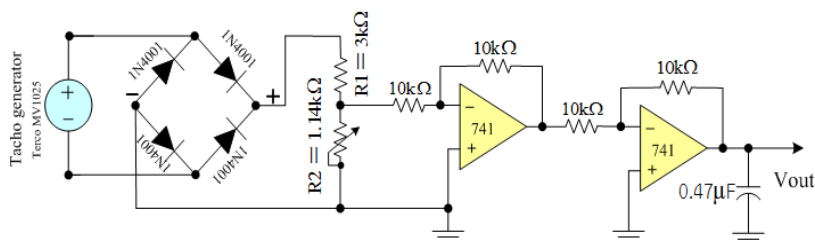
จากรูปที่ 7 ภาควงจรรวจรัอุณหภูมิงานใต้ใช้งานไอซี LM35A ในการตรวจรัอุณหภูมิ
ขดลวดมอเตอร์ โดยการติดตั้งฝังไว้ที่ขดลวดมอเตอร์ สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ออกจาก LM 35A จะ
เป็นอินพุตให้กับอปแอมป์ที่ต่อเป็นวงจรขยายแรงดันแบบกลับเฟส โดยการออกแบบกำหนดให้
อุณหภูมิขดลวด 150 °C ต่อสัญญาณแรงดันขาออกของอปแอมป์ 3.3 V



รูปที่ 7 วงจรตัวตรวजूอุณหภูมิ

3.1.4 ภาคตรวจรู้ความเร็ว 1,490rpm: Signal voltage (3.3 V_{dc})

งานวิจัยนี้ได้ใช้เทคโนโลยีเทอร์เรเตอร์ ยี่ห้อ Terco รุ่น MV 1025 ในการตรวจวัดความเร็วรอบในการออกแบบดังรูปที่ 8 ใช้เรกติฟายเออร์แบบเต็มคลื่นเป็นตัวช่วยกำหนดช่วงของสัญญาณที่นำไปใช้ให้คงที่ไม่แปรเปลี่ยนตามทิศทางการหมุนของมอเตอร์ จากนั้นออกแบบหาค่าความต้านทานที่เหมาะสมเพื่อลดแรงดันไฟฟ้าให้เหลือแรงดันไฟฟ้าขาออก 3.3 V ที่ความเร็วรอบมอเตอร์ขณะไม่มีภาระ 1,490 r.p.m.

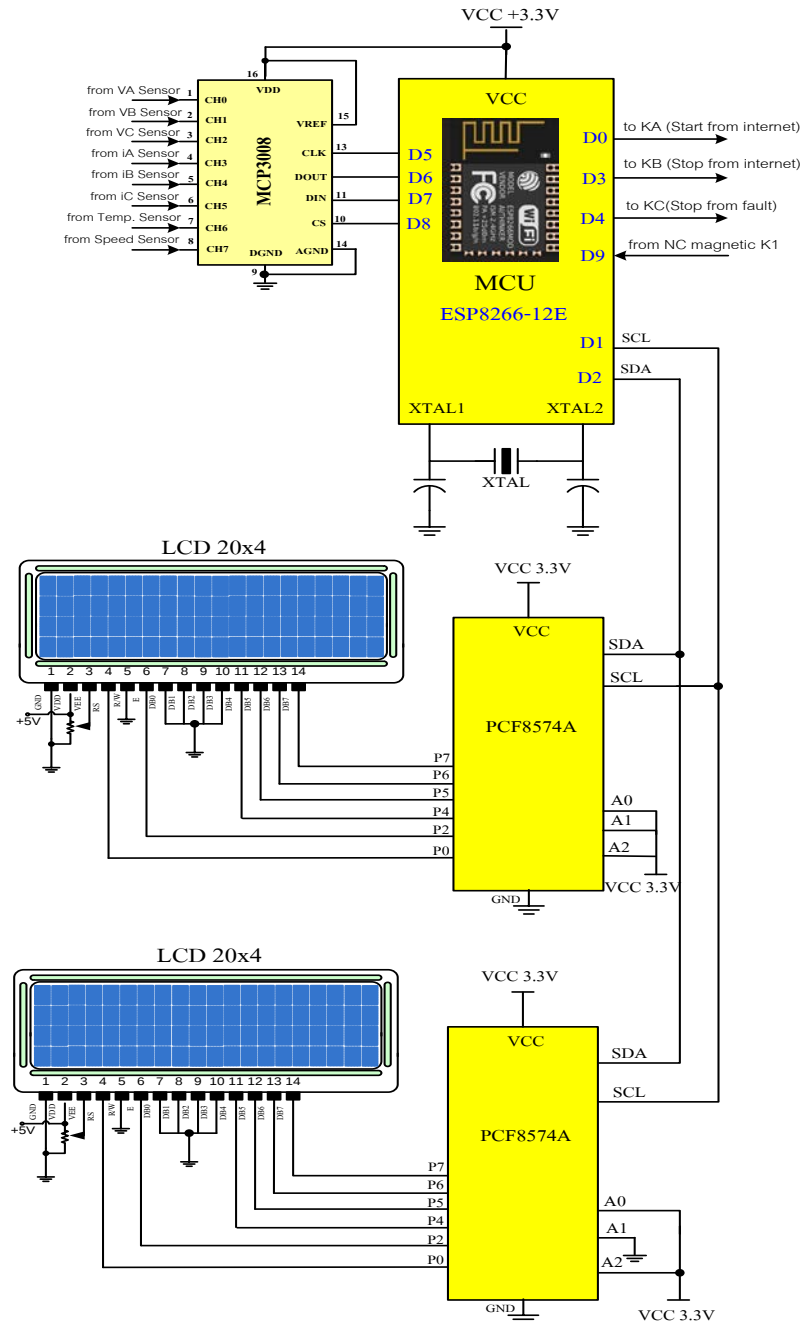


รูปที่ 8 วงจรตรวจรู้ความเร็วรอบมอเตอร์

3.1.5 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของวงจรภาคประมวลผลและวงจรภาคแสดงผล

จากรูปที่ 9 เป็นวงจรภาคประมวลผลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด ESP8266 ที่ต่อร่วมกับโมดูล Wifi ที่ใช้ความถี่ 2.4 GHz ในการสื่อสาร และได้เลือกใช้ IC เบอร์ MCP3008 ทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกที่รับมาจากภาคตรวจจับทั้ง 8 ช่องสัญญาณเป็นสัญญาณ

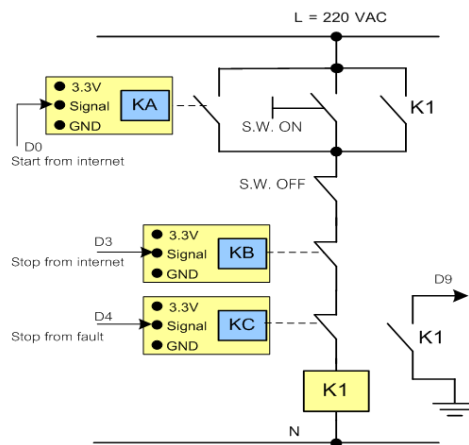
ดิจิทัล ส่วนภาคแสดงผลได้ออกแบบใช้จอแบบ LCD 20x4 จำนวน 2 โมดูล เพื่อแสดงค่าของอินพุตและสถานะของฟลิตที่เกิเกิดขึ้น



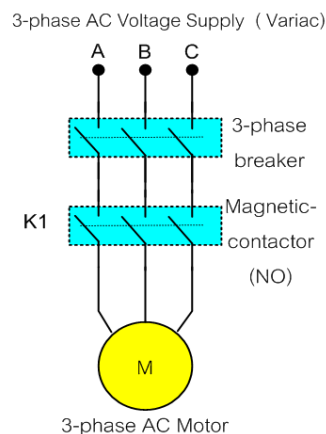
รูปที่ 9 วงจรการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับภาคอินพุต ภาคแสดงผล ภาคป้องกัน และภาคสื่อสาร

3.1.6 วงจรควบคุมและวงจรกำลังมอเตอร์

จากวงจรควบคุมมอเตอร์ดังรูปที่ 10 กรณีที่ต้องการเริ่มต้นการทำงานของมอเตอร์โดยกดปุ่มเริ่มบนสมาร์ตโฟนจะมีสัญญาณออกจากขา D0 ขั้วรีเลย์ ส่งผลทำให้หน้าสัมผัสแมกเนติกคอนแทรกเตอร์ของวงจรกำลังดังรูปที่ 11 ต่อมอเตอร์เข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า แต่ถ้าต้องการหยุดการทำงานสามารถทำได้โดยการกดปุ่มหยุดบนสมาร์ตโฟนจะมีสัญญาณออกจากขา D3 ขั้วรีเลย์ ส่งผลทำให้หน้าสัมผัสแมกเนติกคอนแทรกเตอร์ของวงจรกำลังตัดมอเตอร์ออกจากแหล่งจ่าย หรือในกรณีที่เกิดฟอลต์จะมีสัญญาณออกจากขา D4 ส่งผลทำให้หน้าสัมผัสแมกเนติกคอนแทรกเตอร์ของวงจรกำลังตัดมอเตอร์ออกจากแหล่งจ่ายเช่นกัน นอกจากนี้ยังมีปุ่มสวิตซ์ที่ใช้เริ่มและหยุดที่อยู่บนหน้าตู้ควบคุมอีกจุดหนึ่งด้วย



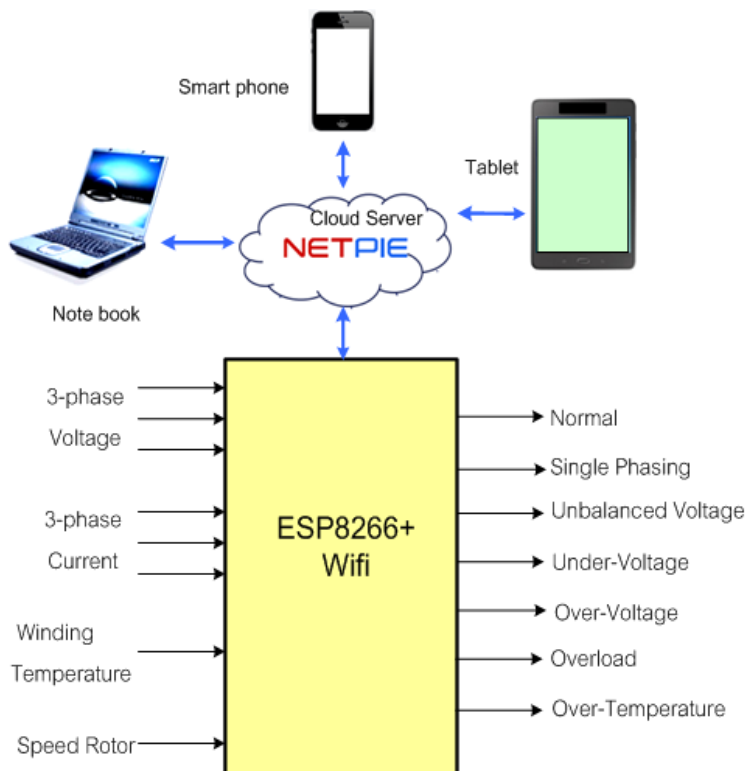
รูปที่ 10 วงจรภาคควบคุมมอเตอร์



รูปที่ 11 วงจรภาคกำลังมอเตอร์

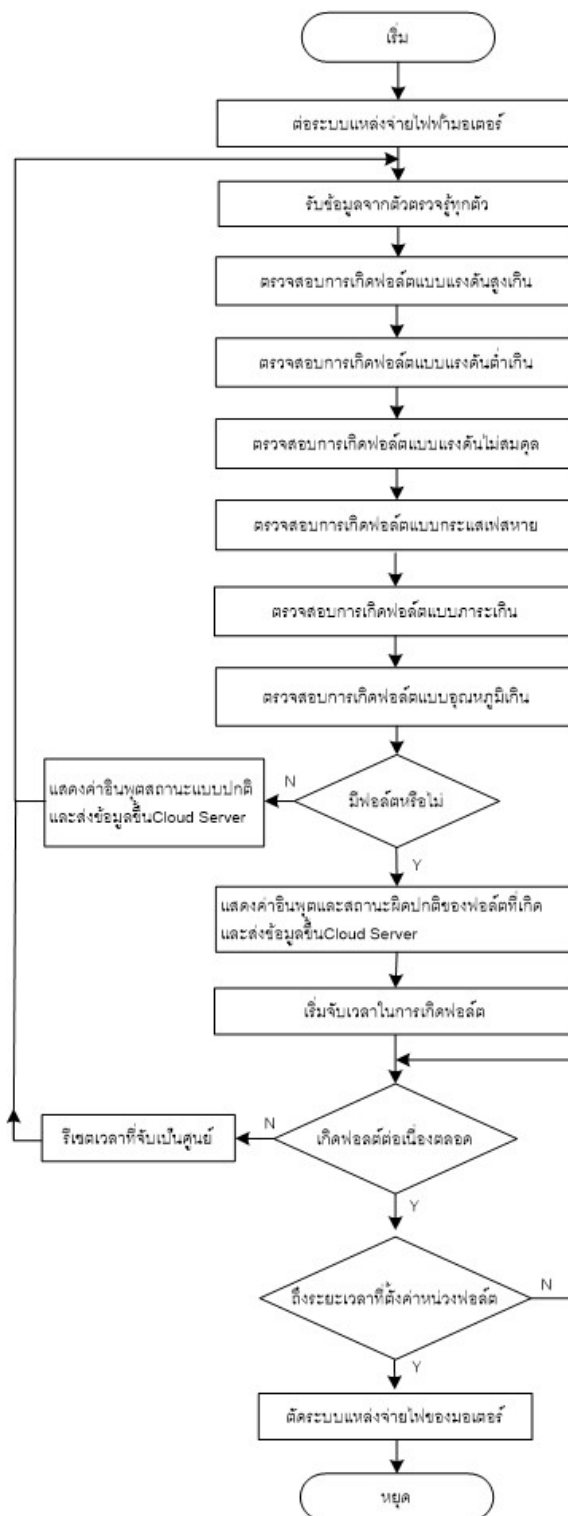
3.2 การออกแบบโปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

จากรูปที่ 12 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ ESP8266 ที่นำเสนอ โดยสัญญาณอินพุตรับค่ามาจาก IC เบอร์ MCP 3008 ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยมีสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส สัญญาณอุณหภูมิของขดลวด และสัญญาณความเร็วของมอเตอร์



รูปที่ 12 อินพุตและเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์

ส่วนภาคเอาต์พุตได้กำหนด 7 รูปแบบ ได้แก่ ไม่เกิดฟอลต์(Normal) เฟสหาย (Single phasing) แรงดันไม่สมดุล (Unbalanced voltage) แรงดันสูงเกิน (Over voltage) แรงดันต่ำเกิน (Under voltage) ภาระเกิน (Overload) อุณหภูมิขดลวดสูงเกิน(Over temperature) และนอกจากนั้นตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ESP8266 สื่อสารกับคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของเน็ตพาย ผ่านอินเทอร์เน็ตไร้สายขนาดคลื่นความถี่ 2.4 GHz อีกด้วย



รูปที่ 13 แผนผังการทำงานของซอฟต์แวร์ที่ออกแบบ

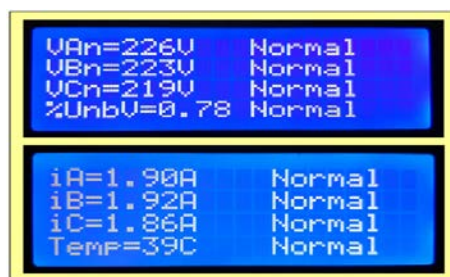
ตารางที่ 1 การกำหนดช่วงข้อมูลของฟอลต์ของมอเตอร์ [13-14]

Fault	Signal condition
Normal (N)	แรงดันเฟส 198 ถึง 242 V_{rms} ($\pm 10\%$ ของ 220 V_{rms}) [13-14] กระแส 0.5 ถึง 2.31 A_{rms} (กระแส no-load ถึง 110% ของกระแสฟัด) อุณหภูมิขดลวดไม่เกิน 100 °C (เพื่อป้องกันการเสียหายในงานวิจัยนี้กำหนดไว้ไม่เกิน 100°C)
Single phasing (SP)	กระแสต่ำกว่า 0.5 A_{rms}
Unbalanced voltage (UB)	เปอร์เซ็นต์แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลมีค่าไม่เกิน 5% [13-14] $\%V_{UB} = \frac{V_{max\ dev}}{V_{avg}} \times 100 ; V_{avg} = \frac{V_{RS} + V_{ST} + V_{TS}}{3}$ เมื่อ $\%V_{UB}$ = เปอร์เซ็นต์แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล V_{avg} = แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยระหว่างเฟส (V) $V_{max\ dev}$ = แรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนสูงสุดระหว่างเฟสใดเฟสกับ V_{avg} V_{RS}, V_{ST}, V_{TS} = แรงดันระหว่างเฟส (V)
Under voltage (UV)	แรงดันต่ำกว่า 198 V_{rms} ทั้ง 3 เฟส [13-14]
Over voltage (OV)	แรงดันสูงกว่า 242 V_{rms} ทั้ง 3 เฟส [13-14]
Overload (OL)	กระแสมากกว่า 2.31 A_{rms}
Over temperature (OT)	อุณหภูมิขดลวดมากกว่า 100°C [15]

4. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

4.1 ผลการทดสอบ

รูปที่ 14 ถึงรูปที่ 20 เป็นผลการทดสอบของฟอลต์แต่ละแบบที่แสดงด้วยจอ LCD ส่วนรูปที่ 21 ถึงรูปที่ 27 เป็นผลการทดสอบของฟอลต์แต่ละแบบเช่นกัน แต่แสดงบน free board ของเน็ตพาย



รูปที่ 14 ค่าต่าง ๆ เมื่อเกิดสภาวะปกติ

UAn=224V	Normal
UBn=226V	Normal
UCn=219V	Normal
%UnbU=1.04	Normal

iA=0.08A	SPhasingA
iB=1.58A	Normal
iC=1.51A	Normal
Temp=38C	Normal

รูปที่ 15 ค่าต่าง ๆ เมื่อเกิด Single Phasing fault ของเฟส A

UAn=242V	Normal
UBn=225V	Normal
UCn=199V	Normal
%UnbU=5.21	Over

iA=1.61A	Normal
iB=1.25A	Normal
iC=0.91A	Normal
Temp=38C	Normal

รูปที่ 16 ค่าต่าง ๆ เมื่อเกิด Unbalanced voltage fault ที่ $\%V_{UB} = 5.21 \%$

UAn=173V	Under
UBn=173V	Under
UCn=171V	Under
%UnbU=0.67	Normal

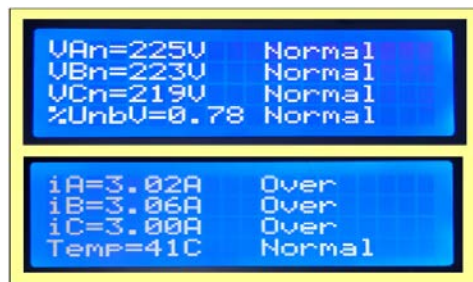
iA=1.82A	Normal
iB=1.88A	Normal
iC=1.82A	Normal
Temp=43C	Normal

รูปที่ 17 ค่าต่าง ๆ เมื่อเกิด Under voltage fault

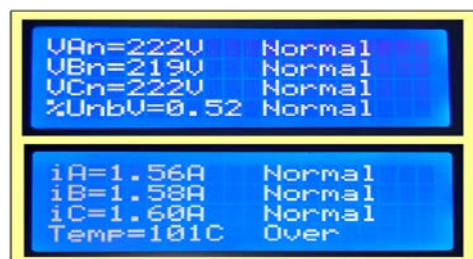
UAn=255V	Over
UBn=258V	Over
UCn=254V	Over
%UnbU=0.45	Normal

iA=1.60A	Normal
iB=1.71A	Normal
iC=1.59A	Normal
Temp=36C	Normal

รูปที่ 18 ค่าต่าง ๆ เมื่อเกิด Over voltage fault



รูปที่ 19 ค่าต่าง ๆ เมื่อเกิด Overload fault



รูปที่ 20 ค่าต่าง ๆ เมื่อเกิด Over temperature fault



รูปที่ 21 สัญญาณต่าง ๆ เมื่อเกิดสภาวะปกติ



รูปที่ 22 สัญญาณต่าง ๆ เมื่อเกิด Single Phasing fault ของเฟส A



รูปที่ 23 สัญญาณต่าง ๆ เมื่อเกิด Unbalanced voltage fault ที่ $\%V_{UB} = 5.21\%$



รูปที่ 24 สัญญาณต่าง ๆ เมื่อเกิด Under voltage fault



รูปที่ 25 สัญญาณต่าง ๆ เมื่อเกิด Over voltage fault



รูปที่ 26 สัญญาณต่าง ๆ เมื่อเกิด Overload fault



รูปที่ 27 สัญญาณต่าง ๆ เมื่อเกิด Over temperature fault

รูปที่ 28 เป็นสัญญาณอินพุตแรงดันมอเตอร์ กระแสมอเตอร์ อุณหภูมิขดลวดมอเตอร์ และความเร็วรอบมอเตอร์ โดยจะถูกบันทึกไว้ในคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของเน็ตพาย ทำให้ผู้ใช้งานสามารถดู

ข้อมูลขณะเวลาปัจจุบันและเวลาย้อนหลังได้ ซึ่งข้อมูลต่าง ๆ นี้จะมีประโยชน์มากในด้านการวิเคราะห์ความผิดปกติ ๆ ที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ หรือนำไปวางแผนในเรื่องของการซ่อมบำรุงมอเตอร์ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 28 การบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของมอเตอร์ด้วย feed ของเน็ตพาย

4.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

4.2.1 สภาวะปกติของมอเตอร์

รูปที่ 14 และ รูปที่ 21 เป็นสัญญาณต่าง ๆ เมื่อมอเตอร์ทำงานในสภาวะปกติ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส รวมถึงอุณหภูมิขดลวดอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด เห็นได้ว่าที่สภาวะนี้ไม่ได้แสดงการเกิดสภาวะผิดปกติแต่อย่างใด ๆ ตลอดช่วงการทำงาน

4.2.2 การเกิดฟอลต์ของมอเตอร์แบบเฟสหาย

รูปที่ 15 และรูปที่ 22 เป็นสัญญาณต่าง ๆ เมื่อมอเตอร์ทำงานในสภาวะเมื่อเกิดการผิดปกติแบบเฟสหาย (Single Phasing fault) เป็นกรณีของสายเฟส A ถูกตัดขาดไป ($i_A = 0.08A$) เห็นได้ว่าที่สภาวะนี้มีการแสดงสภาวะผิดปกติให้เห็นที่หน้าจอ LCD และที่ Widget แบบดวงไฟให้เห็น

4.2.3 การเกิดฟอลต์ของมอเตอร์แบบแรงดันไม่สมดุล

รูปที่ 16 และรูปที่ 23 เป็นสัญญาณต่าง ๆ เมื่อมอเตอร์ทำงานในสภาวะเมื่อเกิดการผิดปกติแบบแรงดันไม่สมดุล (Unbalanced voltage fault) โดยกำหนดให้เฟส A มีค่าสูง (242V) เฟส B มีค่าระดับปกติ (225V) และเฟส C มีค่าต่ำ (199 V) เห็นได้ว่าที่สภาวะนี้สามารถแสดงการเกิดสภาวะผิดปกติ เมื่อเกิดการผิดปกติแบบแรงดันไม่สมดุลได้อย่างทันที โดยมีค่า $\%UV = 5.21\%$ ซึ่งมากกว่าค่าที่ตั้งไว้ที่ 5%

4.2.4 การเกิดฟอลต์ของมอเตอร์แบบแรงดันต่ำเกิน

รูปที่ 17 และรูปที่ 24 เป็นสัญญาณต่าง ๆ เมื่อมอเตอร์ทำงานในสภาวะเมื่อเกิดการผิดปกติแบบ แรงดันต่ำเกิน (Under voltage fault) โดยที่แรงดันทั้ง 3 เฟส มีค่าอยู่ในช่วง 171 V ถึง 173 V ซึ่งค่าต่ำกว่าเกณฑ์ (198 V) เห็นได้ว่าที่สภาวะนี้สามารถแสดงการเกิดสภาวะผิดปกติ เมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่าสภาวะปกติทั้ง 3 เฟสอย่างทันที

4.2.5 การเกิดฟอลต์ของมอเตอร์แบบแรงดันสูงเกิน

รูปที่ 18 และรูปที่ 25 เป็นสัญญาณต่าง ๆ เมื่อมอเตอร์ทำงานในสภาวะเมื่อเกิดการผิดปกติแบบแรงดันสูงเกิน (Over voltage fault) โดยที่แรงดันทั้ง 3 เฟส มีค่าอยู่ในช่วง 254 V ถึง 258 V ซึ่งค่าสูงกว่าเกณฑ์ (242 V) เห็นได้ว่าที่สภาวะนี้สามารถแสดงการเกิดสภาวะผิดปกติ เมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงกว่าสภาวะปกติทั้ง 3 เฟสอย่างทันที

4.2.6 การเกิดฟอลต์ของมอเตอร์แบบภาระเกิน

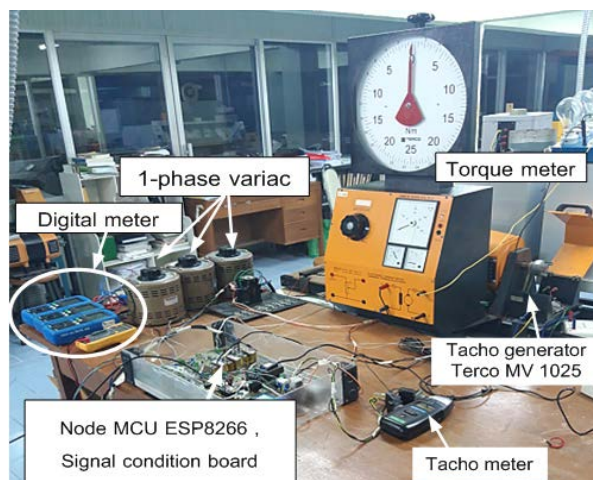
รูปที่ 19 และรูปที่ 26 เป็นสัญญาณต่าง ๆ เมื่อมอเตอร์ทำงานในสภาวะเมื่อเกิดการผิดปกติแบบภาระเกิน (Overload fault) โดยที่กระแสทั้ง 3 เฟส มีค่าอยู่ในช่วง 3.0 A ถึง 3.06 A ซึ่งค่าสูงกว่าเกณฑ์ (2.31 V) เห็นได้ว่าที่สภาวะนี้สามารถแสดงการเกิดสภาวะผิดปกติ เมื่อกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส มีค่าสูงกว่ากระแสที่ปกติของมอเตอร์ทั้ง 3 เฟสอย่างทันที

4.2.7 การเกิดฟอลต์ของมอเตอร์แบบอุณหภูมิสูงเกิน

รูปที่ 20 และรูปที่ 27 เป็นสัญญาณต่าง ๆ เมื่อมอเตอร์ทำงานในสภาวะเมื่อเกิดการผิดปกติแบบอุณหภูมิสูงเกิน (Over temperature fault) โดยที่ค่าอุณหภูมิขดลวดมีค่า 101 °C ซึ่งค่าสูงกว่าเกณฑ์ (100 °C) เห็นได้ว่าที่สภาวะนี้สามารถแสดงการเกิดสภาวะผิดปกติอย่างทันที

5. สรุป

ระบบป้องกันฟอลต์และเฝ้าติดตามมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิด 3 เฟสด้วยอินเทอร์เน็ทของสรรพสิ่งที่ออกแบบและสร้างประกอบไปด้วยภาคการตรวจรู้ ภาคประมวลผล ภาคแสดงผล ภาคควบคุมและภาคกำลัง ภาคประมวลผลใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ESP8266 ที่ต่อร่วมกับโมดูล Wifi ที่ใช้ความถี่ 2.4 GHz การควบคุมและแสดงผลสามารถทำได้ทั้งหน้าตู้ควบคุมหรือบนสมาร์ทโฟน จากผลการทดสอบความผิดปกติของแต่ละกรณีเครื่องป้องกันดังกล่าวสามารถสั่งตัดแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามอเตอร์ได้เป็นอย่างดี และสามารถแสดงสถานการณ์การทำงานบนสมาร์ทโฟนแบบเวลาจริง ข้อมูลเข้าต่าง ๆ ได้ถูกบันทึกไว้ในคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของเน็ตพาย เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการวิเคราะห์ การวางแผนการใช้งาน การซ่อมบำรุงอื่น ๆ



รูปที่ 29 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในการทดสอบระบบ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้อำนวยการสำนักวิจัยและคณะกรรมการวิจัยที่กรุณาให้ความเห็นชอบในการอนุมัติงบประมาณ โดยโครงการนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย จากมหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ปีการศึกษา 2561 ตามสัญญาขอรับทุนอุดหนุนการวิจัย หมายเลข ST001/2561

References

- [1] Colak I, Celik H, Sefa I, Demirbas S. Online protection systems induction motors. Energy Conversion and Management 2005;46:2773-86.
- [2] Tadsuan S, Sukserm P, Tapeantong S. Fault detection and protection of induction motor. SAU Journal of Science and Technology;1(1):12-27. (In Thai)
- [3] Bayindir R, Sefa I, Colak I, Bektas A. Fault detection and protection of induction motors using sensors. IEEE Transactions on energy conversion 2008;23(3):734-41.
- [4] Kolla S, Varatharasa L. Identifying three-phase induction motor faults using artificial neural networks. ISA Transaction 2000;39:433-9.
- [5] Kolla S, Altman S. Artificial neural network based fault identification scheme implementation for a three-phase induction motor. ISA Transaction 2007;46:261-6.
- [6] Ghatte VN, Dudul SV. Cascade neural network-based fault classifier for three phase Induction motor. IEEE Transactions on Industrial Electronics 2011;58(5):1555-63.
- [7] Cho HC, Knowles J, Fadali MS, Lee KS. Fault detection and isolation of induction motors using recurrent neural networks and dynamic Bayesian Modeling. IEEE Transactions on control system technology 2010;18(2):430-7
- [8] Samanta B, Al-Balushi KR, Al-Araimi SA. Bearing fault detection using artificial neural networks and genetic algorithm, EURASIP Journal on Applied Signal Processing 2004;3:366-77.
- [9] Bose BK. Neural network applications in power electronics and motor drives an introduction and perspective. IEEE Transactions on Industrial Electronics 2007;54(1):14-33.
- [10] Sirikunchittavorn O, Manop C. SVM-based induction motor monitoring and diagnosis using voltage and current. The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok 2013;23(2):305-14. (In Thai)

- [11] Tangsiriworakul C, Tudsum S. Fault detection and protection of induction motor using artificial neural network. The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok 2013;23(1):42-51. (In Thai)
- [12] Tejar T, Tadsuan S, Tapeantong S. The development of temperature monitoring instrument for studying heat at terminal junction of oil immersed distribution transformers of PEA. Proc. 31st Electrical Engineering Conference (EECON-37); 2014 Nov 19-21. p. 137-40. (In Thai)
- [13] Jouanne A, Banerjee B. Assessment of voltage unbalance. IEEE Transaction on Power Delivery 2001;16(4):782-90.
- [14] IEEE Recommended practice for monitoring electric power quality. IEEE Std 1159-1995.
- [15] Brancatoa EL. Estimation of lifetime expectancies of motor. IEEE Electrical Insulation Magazine 1992;8(3):5-13.

ประวัติผู้เขียนบทความ



สิริวิษ ทัดสวน ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท (วศ.ม. ไฟฟ้า) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
งานวิจัยที่สนใจ: คุณภาพไฟฟ้า การศึกษากำลังไฟฟ้าสูญเสียและความร้อนในเครื่องจักรกลไฟฟ้า การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมกับเครื่องจักรกลไฟฟ้า และการควบคุม ติดตามและป้องกันเครื่องจักรไฟฟ้าด้วยระบบ Internet of Thing (IOT)



ประสิทธิ์ สุขเสริม ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (ค.บ. ไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และปริญญาโท (ค.อ.ม. ไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
งานวิจัยที่สนใจ: เครื่องจักรกลไฟฟ้า การออกแบบระบบส่องสว่าง ระบบควบคุม

Article History:

Received: April 4, 2019

Revised: August 7, 2019

Accepted: August 14, 2019