

การตรวจจับและป้องกันมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

ชาญวิทย์ ตั้งสิริวรกุล^{1*} และ สิริวิช ทัดสวน²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างชุดตรวจจับฟอลต์และชุดป้องกันมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบกรงกระรอก โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการตัดสินใจแยกประเภทของฟอลต์ในรูปแบบต่างๆ โดยออกแบบอินพุตจำนวน 8 อินพุต คือตัวตรวจรู้แรงดันไฟฟ้า 3 ชุด กระแสไฟฟ้า 3 ชุด อุณหภูมิขดลวด 1 ชุด และความเร็วรอบของมอเตอร์ 1 ชุด โดยที่อินพุตเหล่านี้ถูกคำนวณเป็นค่า RMS และส่งเข้าตัวโครงข่ายประสาทเทียมที่มีการเรียนรู้แบบแพร่กลับ ส่วนภาคเอาต์พุตได้กำหนดแบ่งออกเป็น 10 เอาต์พุต ได้แก่ ปกติ เฟสหาย แรงดันไม่สมดุล แรงดันสูงเกิน แรงดันต่ำเกิน ล็อกโรเตอร์ ภาระเกิน

อุณหภูมิสูงเกิน ความเร็วรอบเกินและลำดับเฟสผิด ส่วนภาคซอฟต์แวร์ได้ทำการออกแบบ GUI ด้วยโปรแกรม MATLAB ให้มีการต่อเชื่อมกับการ์ด DAQ แบบเวลาจริง เพื่อติดต่อกับชุดตรวจรู้ด้านอินพุตทั้ง 8 ช่องสัญญาณ รวมถึงส่งสัญญาณเอาต์พุต 1 ช่องสัญญาณไปควบคุมการตัดต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าของมอเตอร์ ผลลัพธ์ของชุดแสดงผลและชุดป้องกันมอเตอร์สามารถตรวจจับและป้องกันฟอลต์ที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้อย่างน่าพึงพอใจ

คำสำคัญ: โครงข่ายประสาทเทียม ฟอลต์ การป้องกันมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

² รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-2555-2000 ต่อ 6322 อีเมล: cwtk@kmutnb.ac.th



Fault Detection and Protection of Induction Motor Using Artificial Neural Network

Chanwit Tangsiriworakul^{1*} and Sirivit Tudsum²

Abstract

This paper presents the design and implementation of a system for detecting and protecting faults of three-phase induction motor using Artificial Neural Networks (ANNs). The developed 8 inputs are composed of 3 voltage signals, 3 current signals, a winding temperature signal and a speed signal. These inputs were calculated to determine the RMS value to be sent to the back propagation neural network. The 10-output classification of the motor's status include the normal, single phasing, unbalanced voltage, over voltage, under voltage, locked rotor, over load, over

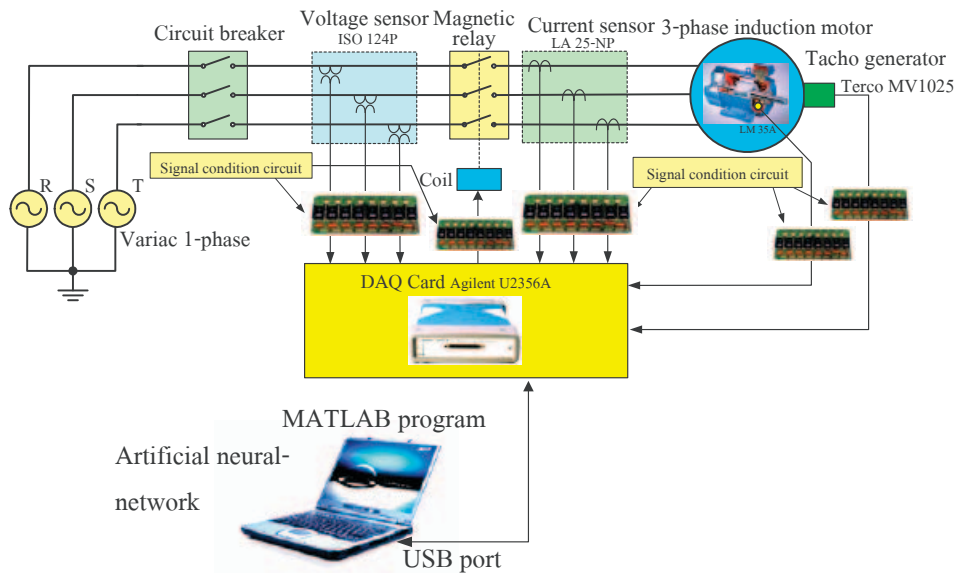
temperature, over speed and phase sequence types. The software is designed and implemented with graphical user interface (GUI) based technique in MATLAB program for interfacing with real-time DAQ card. The DAQ card receives 8 input signals from the sensor set and sends the output signal to control the switch of motor supply. The experimental results show that the proposed system can detect and protect the faults effectively.

Keyword: Artificial Neural Network, Fault, Protection, Induction Motor

¹ Assistant Professor, Department of Electronic Computer Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

² Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, South-East Asia University.

* Corresponding Author, Tel. 0-2555-2000 Ext.6322, E-mail: cwtk@kmutnb.ac.th



รูปที่ 1 ระบบตรวจจับและป้องกันฟอลต์ของมอเตอร์ไฟฟ้าที่นำเสนอ

1. บทนำ

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปได้มีการประยุกต์ใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟสจำนวนมาก เช่น ระบบสายพานลำเลียง ลิฟท์ บั๊มน้ำ เป็นต้น เนื่องจากมอเตอร์เหนี่ยวนำมีข้อได้เปรียบหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ชนิดอื่นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว [1]-[7] ดังนั้น ในกระบวนการผลิตจึงไม่ต้องการให้มอเตอร์เหนี่ยวนำเกิดความเสียหาย เพราะฉะนั้นการตรวจจับฟอลต์และป้องกันมอเตอร์เหนี่ยวนำจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ แต่ถ้าพิจารณาถึงระบบป้องกันมอเตอร์แล้ว ระบบป้องกันที่ใช้อยู่ยังไม่ครอบคลุมและไม่สามารถระบุฟอลต์ที่จะเกิดขึ้นกับมอเตอร์และอุปกรณ์ประกอบรวมได้ แต่ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยจำนวนมาก [1]-[7] ได้ให้ความสำคัญกับการพัฒนาสร้างระบบตรวจจับฟอลต์และป้องกันมอเตอร์เพื่อให้ครอบคลุมฟอลต์ในรูปแบบต่างๆ ได้มากขึ้น เช่น งานวิจัย [2], [3], [5]-[7] ได้นำเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมมาช่วยในการตัดสินใจรูปแบบฟอลต์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำจากงานวิจัยที่ [1], [4] ได้ออกแบบและสร้างระบบป้องกันมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยใช้ตัวตรวจวัดต่างๆ

มากกว่างานวิจัย [2],[3] ในการวัดสัญญาณอินพุต จากนั้นใช้ตัวควบคุมแบบดิจิทัล เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือ PLC เป็นตัวตัดสินใจรูปแบบฟอลต์ในลักษณะเขียนโปรแกรมแบบเปรียบเทียบเพื่อระบุรูปแบบฟอลต์ต่างๆ

2. หลักการ

2.1 ระบบป้องกันมอเตอร์

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบการตรวจจับฟอลต์และป้องกันของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งครอบคลุมรูปแบบฟอลต์ที่จะเกิดขึ้นได้มากกว่างานวิจัยที่ผ่านมา [1]-[4] โดยได้ออกแบบดังแสดงในรูปที่ 1 จากรูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของระบบที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ โดยภาคอินพุตประกอบด้วยสัญญาณแรงดันและกระแสทั้ง 3 เฟส สัญญาณอุณหภูมิและความเร็วของมอเตอร์รวมทั้งหมด 8 อินพุต จากนั้นออกแบบและสร้างวงจรที่เปลี่ยนสัญญาณที่ตรวจวัดได้เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าแบบอนาลอกมีขนาดไม่เกิน 10 โวลต์ เพื่อเป็นอินพุตให้กับการ์ด DAQ ที่ต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์ทาง USB พอร์ต สัญญาณอินพุตทั้งหมดจะถูกนำ

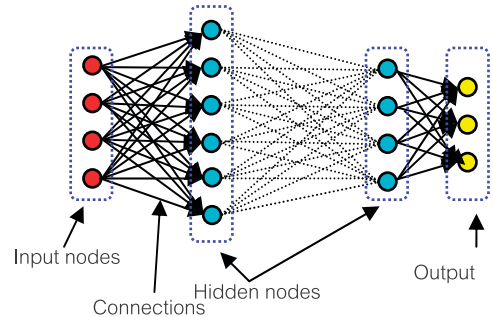
ไปแสดงและประมวลผลแบบเวลาจริง (RealTime) ด้วยโปรแกรม MATLAB ที่มีการออกแบบ GUI และใช้โครงข่ายประสาทเทียม (ได้ทำการสอนไว้แล้ว) เป็นตัวตัดสินใจ เมื่อตรวจพบฟอลต์จะส่งสัญญาณผ่านการ์ด DAQ ไปยังวงจรควบคุม เพื่อไปตัดระบบไฟฟ้ากำลังที่จ่ายให้กับมอเตอร์ต่อไป

2.2 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นการจำลองรูปแบบการทำงานของเซลล์สมองมนุษย์หรือเรียกว่า นิวรอน (ตัวเซลล์) โดยการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมจะมีโครงสร้างดังรูปที่ 2 คือเมื่อมีอินพุตเข้ามายังโครงข่ายจะนำค่าอินพุตคูณกับน้ำหนักประสาทของแต่ละขา ผลที่ได้จากอินพุตทุกๆ ขาของนิวรอนจะเอามารวมกันแล้วก็นำมาเทียบกับ Threshold ที่กำหนดไว้ จากนั้นนิวรอนก็จะส่งเอาต์พุตออกไป ค่าเอาต์พุตนี้ก็จะถูกส่งไปยังอินพุตของนิวรอนอื่นๆ ที่เชื่อมกันในโครงข่าย

สิ่งสำคัญที่ต้องทราบค่าน้ำหนักประสาท (Weight) และ Threshold ซึ่งเป็นค่าที่ไม่แน่นอน แต่สามารถกำหนดให้คอมพิวเตอร์ปรับค่าเหล่านั้นได้โดยการสอนให้รู้จักและจำรูปแบบของสิ่งที่ต้องการ เรียกว่าการเรียนรู้แบบแพร่กลับ (Back Propagation) ซึ่งเป็นกระบวนการย้อนกลับของการรู้จำในการฝึกเครือข่ายแบบไปข้างหน้า (Feed-forward Neural Network) เพื่อใช้ในการปรับปรุงน้ำหนักคะแนนของเครือข่าย (Network Weight) หลังจากที่มีการใส่รูปแบบข้อมูลสำหรับฝึกให้แก่เครือข่ายในแต่ละครั้งแล้วค่าที่ได้รับ (เอาต์พุต) จากเครือข่ายจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลที่คาดหวัง แล้วทำการคำนวณหาความผิดพลาดซึ่งค่าความผิดพลาดนี้จะถูกส่งกลับเข้าสู่เครือข่ายเพื่อใช้แก้ไขค่าน้ำหนักคะแนนต่อไป

การเรียนรู้แบบแพร่กลับเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นวิธีหนึ่งที่ยอมรับในเปอร์เซปตรอนหลายชั้น เพื่อปรับค่าน้ำหนักในเส้นเชื่อมต่อระหว่างโหนดให้เหมาะสม ซึ่งการปรับค่านี้นี้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้กับค่าเอาต์พุตที่เราต้องการ โดยขั้นตอนการเรียนรู้แบบแพร่กลับเป็นดังนี้



รูปที่ 2 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

1. อินพุต I ของแต่ละนิวรอนในชั้นกลางและชั้นเอาต์พุตแสดงดังสมการ 1

$$I_i = \sum_{j=1}^n (W_{ij} X_j + h_i) \quad (1)$$

เมื่อ

X คือค่าเอาต์พุตของนิวรอนชั้นก่อนหน้า

h คือค่าไบอัส

W คือค่าน้ำหนักประสาท

2. เอาต์พุตของนิวรอนชั้นกลางและชั้นเอาต์พุต (y) มีค่าเท่ากับ $f(I)$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันแบบ Log-sigmoid แสดงดังสมการ 2

$$f(I) = \frac{1}{1 + e^{-I}} \quad (2)$$

3. ช่วงระหว่างการฝึกสอนค่าน้ำหนักประสาทจะมีการเปลี่ยนแปลงตามหลักการ Delta-rule แสดงดังสมการ 3

$$\Delta W_{ij} = \eta E f(I) + \alpha \Delta W_{ij}^{previous} \quad (3)$$

เมื่อ

η คือค่าคงที่ของการเรียนรู้ (Learning Constant)

α คือค่าคงที่ของโมเมนตัม (Momentum Constant)

โดยที่ η และ α กำหนดอยู่ในช่วง 0.0 ถึง 1.0 ขึ้นกับการประยุกต์ใช้งาน

4. ค่าผิดพลาดของชั้นเอาต์พุต คือค่าที่เกิดจากค่าที่

ต้องการลบด้วยค่าที่แท้จริง แสดงดังสมการ 4

$$E_i^{output} = y_i^{desired} - y_i^{actual} \quad (4)$$

5. ค่าผิดพลาดจากชั้นกลาง คือค่าที่ถูกแพร่กลับจากชั้นเอาต์พุตคูณกับ $\frac{df(I_i^{middle})}{dI}$ แสดงดังสมการ 5

$$E_i^{middle} = \frac{df(I_i^{middle})}{dI} \sum_{j=1}^n W_{ij} E_i^{output} \quad (5)$$

หลังจากโครงข่ายที่ถูกฝึกสอนแบบออฟไลน์ โดยมีการกำหนดค่าน้ำหนักประสาทที่เหมาะสมแล้วจะได้เพิ่มข้อมูลที่นำไปใช้งานในระบบป้องกันมอเตอร์

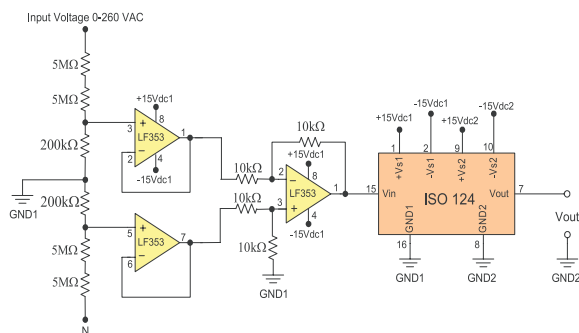
3. การออกแบบระบบป้องกันมอเตอร์

3.1 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์

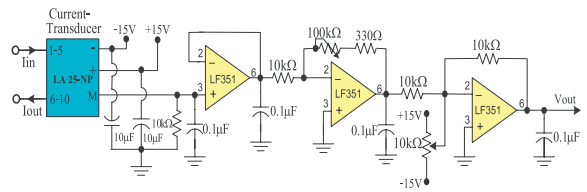
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบด้านฮาร์ดแวร์ [8] ซึ่งมีส่วนประกอบภาคต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3 ถึง 7 ส่วนรายละเอียดมอเตอร์แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของมอเตอร์ที่ใช้ทดสอบ

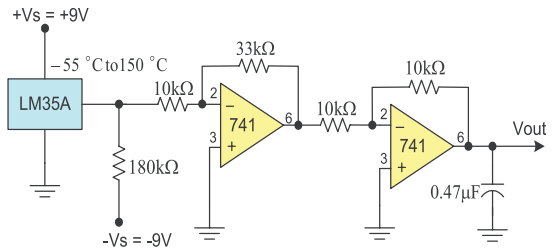
Power = 1 HP	Pole = 4
Voltage	Current
$\Delta = 220 \text{ V}$ $Y = 380 \text{ V}$	$\Delta = 3.64 \text{ A}$ $Y = 2.1 \text{ A}$
Speed = 1,450 rpm	Frequency = 50 Hz
Insulation Class = F	
Limiting hot spot temperature 155 °C	



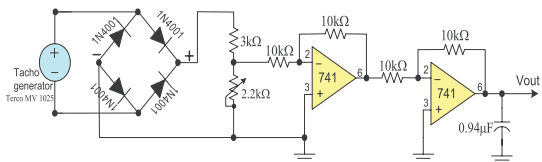
รูปที่ 3 วงจรตรวจรู้แรงดันไฟฟ้า



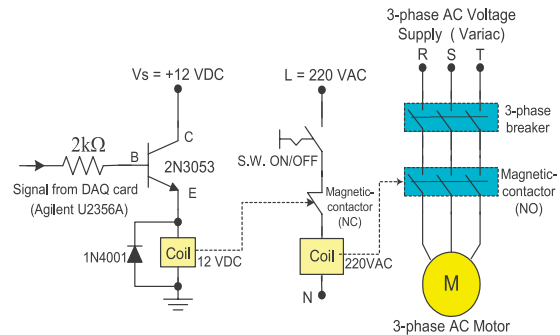
รูปที่ 4 วงจรตรวจรู้กระแสไฟฟ้า



รูปที่ 5 วงจรตรวจรู้อุณหภูมิ



รูปที่ 6 วงจรตรวจรู้ความเร็ว



รูปที่ 7 วงจรควบคุมและวงจรกำลัง

3.1.1 ภาคตรวจรู้แรงดันไฟฟ้า (Voltage Sensor)

Voltage L-L (380V) หรือ Voltage L-N (220V) : Signal Voltage (4.44V) อัตราส่วนคือ 49.549 : 1

3.1.2 ภาคตรวจรู้กระแสไฟฟ้า (Current Sensor) [6]

Current (1A) : Signal Voltage (1V) อัตราส่วนคือ 1 : 1

3.1.3 ภาคตรวจรู้อุณหภูมิ (Temperature Sensor)

Winding Temperature (150°C) : Signal Voltage (4.95V) อัตราส่วนคือ 30.303 : 1

3.1.4 ภาควิชาความเร็ว (Speed Sensor) Speed Rotor (1,490 rpm.) : Signal Voltage (5V) อัตราส่วนคือ 298 : 1

3.1.5 ภาควิชาควบคุมและวงจรกำลังมอเตอร์

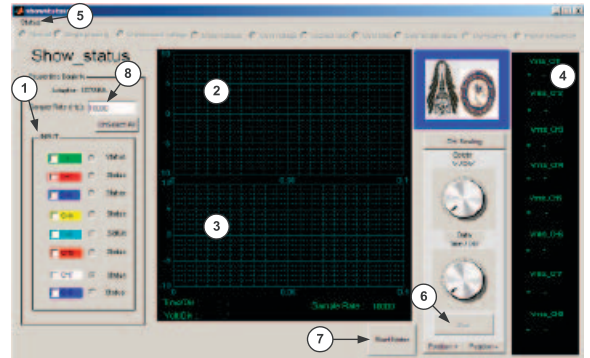
3.2 การออกแบบ GUI (Graphical User Interface)

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบ GUI ซึ่งมีส่วนประกอบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 8 โดยเพิ่มเติมจาก [9]

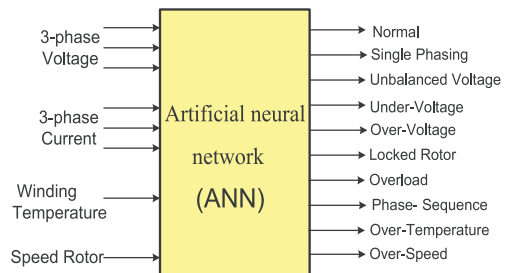
1. เป็นส่วนเลือกช่องสัญญาณ (Channel)
2. เป็นส่วนแสดงรูปภาพสัญญาณแรงดันและอุณหภูมิขดลวดที่อยู่ในแต่ละ Channel รวมถึงค่า V/DIV, Time/DIV และ Sample Rate
3. เป็นส่วนแสดงรูปภาพสัญญาณของกระแสและความเร็วรอบมอเตอร์ที่อยู่ในแต่ละ Channel รวมถึงค่า V/DIV, Time/DIV และ Sample Rate
4. เป็นส่วนแสดงค่า Vrms ในแต่ละ Channel
5. แสดงสถานะของมอเตอร์ในขณะนั้น
6. เป็นส่วนกำหนดค่า V/DIV และ TIME/DIV ซึ่งเป็นแบบ Volume และยังมีปุ่ม Start เพื่อให้เริ่มการทำงานของโปรแกรม รวมถึงมีปุ่ม Position +, Position - เพื่อปรับ Scale ให้เลื่อนขึ้นลงได้ตามความต้องการ
7. เป็นปุ่มที่ใช้ในการเริ่มการทำงานของมอเตอร์ หลังจากที่เกิดข้อผิดพลาดในสถานะต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าสามเฟส
8. เลือก Sampling Rate

3.3 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม

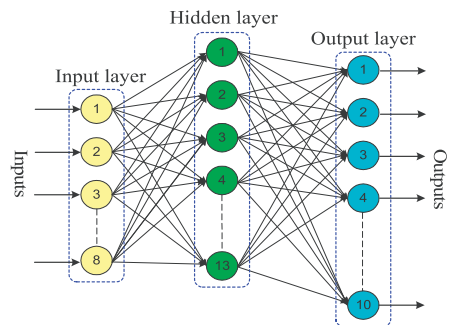
จากรูปที่ 2 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอ โดยสัญญาณอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย แรงดันและกระแสไฟฟ้า 3 เฟส อุณหภูมิของขดลวด และความเร็วของมอเตอร์ ส่วนภาคเอาต์พุตได้กำหนด 10 รูปแบบ ได้แก่ ปกติ เฟสหาย แรงดันไม่สมดุล แรงดันสูงเกิน แรงดันต่ำเกิน ล็อกโรเตอร์ ภาระเกิน อุณหภูมิขดลวดสูงเกิน ความเร็วรอบเกิน และลำดับเฟสผิด งานวิจัยนี้ได้ออกแบบโครงข่ายที่มี 1 ชั้นซ่อน ซึ่งมีรูปแบบ คือชั้นอินพุต (8) – กลาง (13) – ชั้นเอาต์พุต (10) แสดงดังรูปที่ 9 โดยมีการกำหนดช่วงข้อมูลของฟอลต์



รูปที่ 8 โครงสร้างของ GUI ที่ได้จากการออกแบบ



รูปที่ 9 อินพุตและเอาต์พุตของ ANN ที่นำเสนอ



รูปที่ 10 โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในงานวิจัย

ดังตารางที่ 2 รวมถึงจำนวนชุดข้อมูลฝึกสอนของฟอลต์แต่ละกรณีดังตารางที่ 3 ส่วนการฝึกสอนใช้คำสั่งนิวรอนในซอฟต์แวร์โปรแกรม MATLAB โดยใช้วิธีการเรียนรู้แบบแพร่กลับ ใช้ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบ Log-sigmoid กำหนดค่าจำนวนรอบการเรียนรู้ 380,000 รอบและใช้คอมพิวเตอร์แบบ Notebook ยี่ห้อ acer (emachines) รุ่น D725 CPU-T4300 Pentium หน่วยความจำขนาด 1 GB จากการทดสอบใช้เวลาในการเรียนรู้ทั้งสิ้น 4 ชั่วโมง 29 นาที 32 วินาที

ตารางที่ 2 การกำหนดช่วงข้อมูลของฟอลต์

Fault	Signal Condition
Normal (N)	แรงดัน 3.996 ถึง 4.884 Vrms ($\pm 10\%$ ของ 4.44 Vrms) กระแส 0.5 ถึง 2.1 Vrms (กระแส no-load ถึงกระแสพิิกัด)
Single Phasing (SP)	แรงดัน 3.996 ถึง 4.884 Vrms กระแสต่ำกว่า 0.5 Vrms
Unbalanced Voltage (UB)	เปอร์เซ็นต์แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลมีค่าไม่เกิน 2% [8] $\%V_{UB} = \frac{V_{\max dev}}{V_{avg}} \times 100 ; V_{avg} = \frac{V_{RS} + V_{ST} + V_{TR}}{3}$ เมื่อ $\%V_{UB}$ = เปอร์เซ็นต์แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล V_{avg} = แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยระหว่างเฟส (V) $V_{\max dev}$ = แรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนสูงสุดระหว่างเฟสใดเฟสหนึ่งกับ V_{avg} , V_{RS} , V_{ST} , V_{TR} = แรงดันระหว่างเฟส (V)
Under Voltage (UV)	แรงดันต่ำกว่า 3.996 Vrms ทั้ง 3 เฟส
Over Voltage (OV)	แรงดันสูงกว่า 4.884 Vrms ทั้ง 3 เฟส
Locked Rotor (LR)	กระแส 4.611 ถึง 5 Vrms $I_{LR} = I_{rated} \left[\frac{V_{rated}}{V_{sc}} \right] = 2.1 \left[\frac{380}{173} \right] = 4.61A$ V_{sc} คือแรงดันที่พิกัดกระแสกรณีมอเตอร์ถูกยึดอยู่กับที่
Overload (OL)	กระแส 2.11 ถึง 4.61 Vrms
Over Temperature (OT)	แรงดัน 4.62 ถึง 4.95 Vrms (คิดที่ตั้งแต่ 140°C ถึง 150°C)
Over Speed (OS)	แรงดัน 5.1 ถึง 7 Vrms (คิดที่มากกว่า 1,520 - 2,086 rpm)
Phase Sequence (PS)	แรงดัน VSN 0 ถึง -8V ณ เวลา t=0

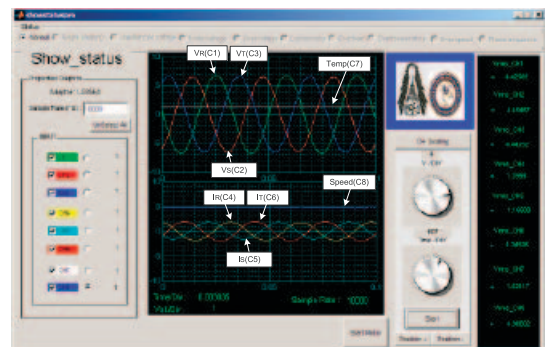
ตารางที่ 3 จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอนของฟอลต์แต่ละกรณี

Fault	Data set
Normal(N)	403
Single phasing(SP)	183
Unbalanced voltage(UB)	909
Under voltage(UV)	80
Over voltage(OV)	218
Locked rotor(LR)	61
Overload(OL)	61
Over temperature(OT)	51
Over speed(OS)	86
Phase sequence(PS)	148
Total fault	2,200

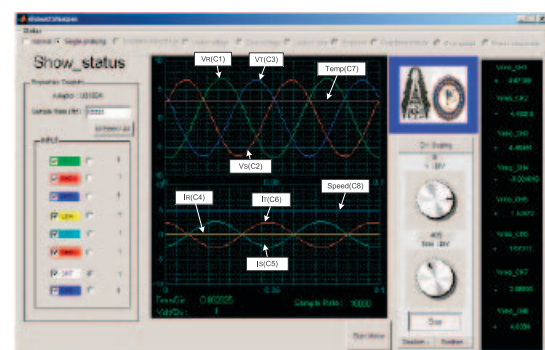
4. ผลการทดสอบ

รูปที่ 11 ถึง 20 เป็นผลการทดสอบในแต่ละกรณีจากรูปที่ 18 ได้จำลองสถานการณ์ใบพัดมอเตอร์เกิดการแตกหักขณะใช้งานส่งผลให้การระบายความร้อนของตัวมอเตอร์ไม่ดีพอหรือมีการนำมอเตอร์ไปใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงๆ ซึ่งมีโอกาสทำให้ฉนวนมอเตอร์เกิดการเสื่อมสภาพจนเสียหายได้ [10]

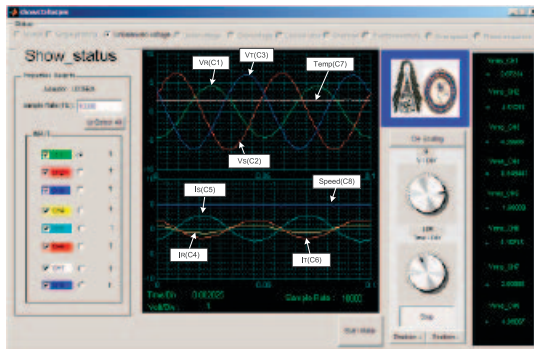
จากรูปที่ 19 ได้ทดสอบโดยใช้เครื่องกำเนิดแบบซิงโครนัสเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีความถี่ 60Hz ให้กับมอเตอร์ ซึ่งทำให้สนามแม่เหล็กหมุนมีค่าเป็น 1,800 rpm และจากรูปที่ 21 เป็นภาพถ่ายจริงขณะเก็บผล ตารางที่ 4 และตารางที่ 5 เป็นผลของการทดสอบในสภาวะที่เกิดฟอลต์ของแต่ละกรณี



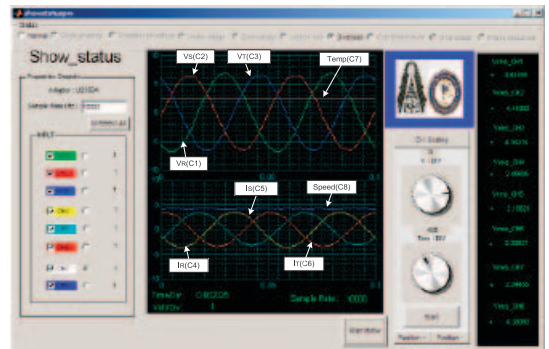
รูปที่ 11 สัญญาณต่างๆ เมื่อเกิดสภาวะ Normal



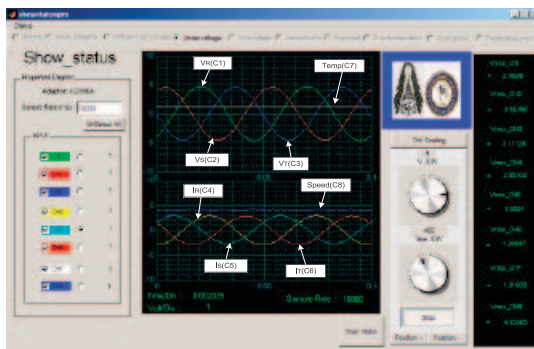
รูปที่ 12 สัญญาณต่างๆ เมื่อเกิด Single Phasing Fault



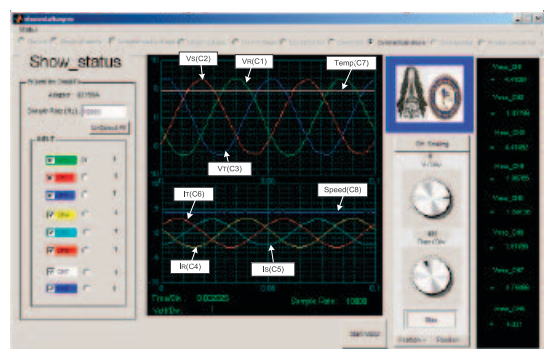
รูปที่ 13 สัญญาณต่างๆ เมื่อเกิด Unbalanced Voltage Fault



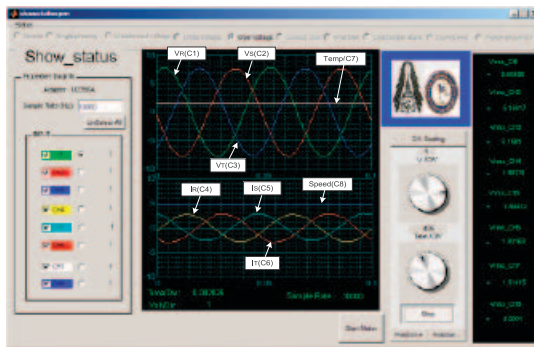
รูปที่ 17 สัญญาณต่างๆ เมื่อเกิด Overload Fault



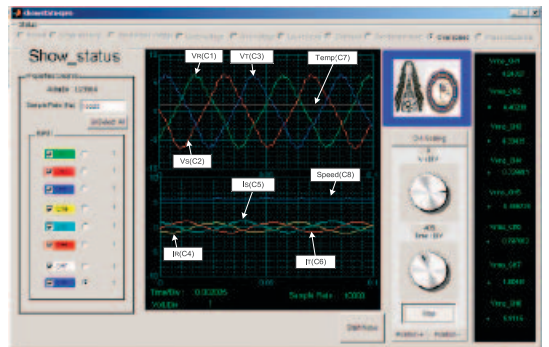
รูปที่ 14 สัญญาณต่างๆ เมื่อเกิด Under Voltage Fault



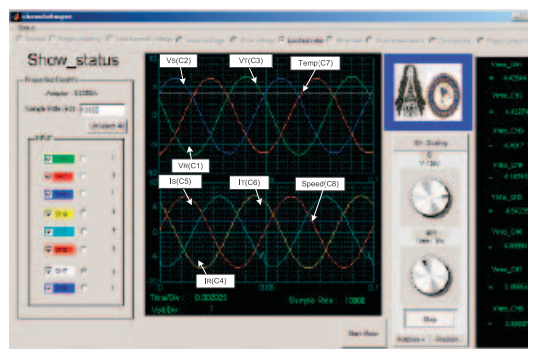
รูปที่ 18 สัญญาณต่างๆ เมื่อเกิด Over Temperature Fault



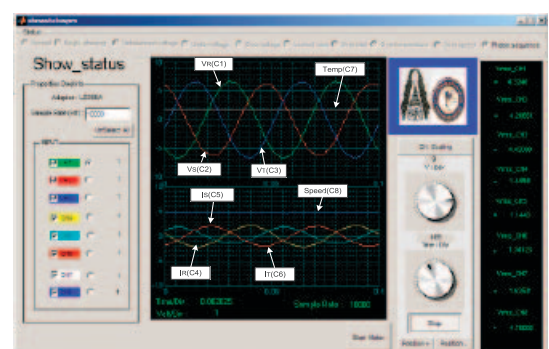
รูปที่ 15 สัญญาณต่างๆ เมื่อเกิด Over Voltage Fault



รูปที่ 19 สัญญาณต่างๆ เมื่อเกิด Over Speed Fault



รูปที่ 16 สัญญาณต่างๆ เมื่อเกิด Locked Rotor Fault



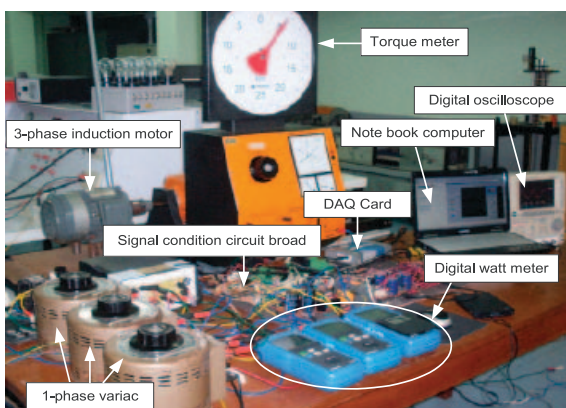
รูปที่ 20 สัญญาณต่างๆ เมื่อเกิด Phase Sequence Fault

ตารางที่ 4 อินพุตสัญญาณแรงดัน กระแส อุณหภูมิ ความเร็วรอบและเอาต์พุต ในสภาวะที่เกิดฟอลต์ของแต่ละกรณี จากการทดสอบแบบออนไลน์

Fault	Input								Output									
	VRN	VSN	VTN	IR	IS	IT	Temp	Speed	NM	SP	UB	UV	OV	LR	OL	OT	OS	PS
Normal (N)	4.425	4.455	4.442	1.296	1.166	1.345	1.521	4.988	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Single Phasing (SP)	4.474	4.492	4.464	-0.02	1.626	1.673	2.968	4.839	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Unbalanced Voltage (UB)	2.872	4.512	4.299	0.548	1.680	1.197	2.009	4.891	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Under Voltage (UV)	3.100	3.143	3.111	2.051	1.852	1.960	1.316	4.153	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Over Voltage (OV)	5.062	5.167	5.158	1.882	1.804	1.932	1.514	4.922	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Locked Rotor (LR)	4.435	4.423	4.402	5.163	4.542	4.889	3.859	2.099	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Overload (OL)	4.417	4.411	4.363	2.498	2.156	2.308	2.345	4.281	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Over Temperature (OT)	4.411	4.432	4.415	1.998	1.697	1.918	4.755	4.327	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Over Speed (OS)	4.243	4.402	4.334	0.730	0.807	0.797	1.005	5.912	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Phase Sequence (PS)	4.325	4.207	4.431	1.448	1.144	1.341	1.635	4.760	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

ตารางที่ 5 อินพุตจริงของแรงดัน กระแส อุณหภูมิ ความเร็วรอบและเอาต์พุต ในสภาวะที่เกิดฟอลต์ของแต่ละกรณี จากการทดสอบแบบออนไลน์

Fault	Input							
	VRN	VSN	VTN	IR (A)	IS (A)	IT (A)	Temp (°C)	Speed (r.p.m)
Normal (N)	219.25	220.74	220.09	1.296	1.166	1.345	46.09	1,486
Single Phasing (SP)	221.68	222.57	221.18	-0.02	1.626	1.673	89.93	1,442
Unbalanced Voltage (UB)	142.30	223.56	213.01	0.548	1.680	1.197	60.87	1,457
Under Voltage (UV)	153.60	155.73	154.14	2.051	1.852	1.960	39.878	1,237
Over Voltage (OV)	250.81	256.01	255.57	1.882	1.804	1.932	45.87	1,466
Locked Rotor (LR)	219.74	219.15	218.11	5.163	4.542	4.889	116.93	625
Overload (OL)	218.85	218.56	216.18	2.498	2.156	2.308	71.06	1,275
Over Temperature (OT)	218.56	219.60	218.75	1.998	1.697	1.918	144.09	1,289
Over Speed (OS)	210.23	218.11	214.74	0.730	0.807	0.797	30.45	1,761
Phase Sequence (PS)	214.29	208.45	219.55	1.448	1.144	1.341	49.54	1,418



รูปที่ 21 ภาพถ่ายจริงขณะเก็บผลของชุดตรวจจับฟอลต์ และป้องกันมอเตอร์เหนี่ยวนำที่นำเสนอ

5. สรุป

ชุดตรวจจับฟอลต์และป้องกันมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่ออกแบบและสร้างมีภาคอินพุตเป็นสัญญาณแรงดัน และกระแสทั้ง 3 เฟส สัญญาณอุณหภูมิ และความเร็วของมอเตอร์รวม 8 อินพุต เพื่อเป็นสัญญาณอินพุตให้กับการ์ด DAQ ยี่ห้อ Agilent รุ่น U2356A ที่ต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์ Notebook ผ่าน USB พอร์ต สัญญาณอินพุตทั้งหมดได้ถูกนำไปแสดงเป็นกราฟเส้นและประมวลผลเป็นค่า Vrms ในรูปแบบเวลาจริงด้วยโปรแกรม MATLAB ที่มีการออกแบบ GUI และใช้โครงข่ายประสาทเทียมเป็นตัวตัดสินใจ และเมื่อตรวจจับฟอลต์แต่ละชนิดจะส่งสัญญาณผ่านพอร์ตเอาต์พุตของการ์ด DAQ ออกไปยังวงจรควบคุม

เพื่อไปตัดระบบไฟฟ้ากำลังที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ซึ่งผลการทดสอบสามารถตรวจจับฟอลต์ได้ครบรูปแบบที่นำเสนอ และสามารถป้องกันมอเตอร์เหนี่ยวนำได้ ซึ่งให้ผลเป็นที่น่าสนใจ

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบและในการสอบเทียบ

1. Data Acquisition Card ยี่ห้อ Agilent รุ่น U2356A
2. Torque Meter ยี่ห้อ Terco รุ่น MV 1026
3. Tacho Generator ยี่ห้อ Terco รุ่น MV 1025
4. DC Machine ยี่ห้อ Terco รุ่น MV 1028
5. Synchronous Machine ยี่ห้อ Terco รุ่น MV 1008
6. Digital Oscilloscope ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น DL1640
7. Differential Probe ยี่ห้อ Tektronix รุ่น P5200
8. Digital Wattmeter ยี่ห้อ Metrix รุ่น PX110
9. Tachometer ยี่ห้อ Digicon รุ่น DT-250TP
10. Temperature Indicator ยี่ห้อ Digicon รุ่น ID-8
11. Variac 1 เฟส

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยจนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี และนายวุฒิกร จิตพฤกษา นายกรณียัทธ วัชรธรรมกิจ และนางสาวบัวแก้ว ศรีสร้อย ที่มีส่วนช่วยในการพัฒนาซอฟต์แวร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] I. Colak H. Celik, I. Sefa, and S. Demirbas "Online Protection Systems Induction Motors," *Energy Conversion and Management*, vol.46, pp. 2773-2786, 2005.
- [2] S. Kolla and L. Varatharasa, "Identifying Three-Phase Induction Motor Faults using Artificial Neural Networks," *ISA Transaction*, vol.39, pp. 433-439, 2000.
- [3] S. Kolla and S. Altman, "Artificial Neural Network based Fault Identification Scheme Implementation for a Three-phase Induction Motor," *ISA Transaction*, vol.46, pp. 261-266, 2007.
- [4] R. Bayindir, I. Sefa, I. Colak, and A. Bektas, "Fault Detection and Protection of Induction Motors Using Sensors," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, pp. 734 – 741, 2008.
- [5] B. K. Bose, "Neural Network Applications in Power Electronics and Motor Drives-An Introduction and Perspective," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, pp. 14-33, 2007.
- [6] V. N. Ghate and S. V. Dudul, "Cascade Neural-Network-Based Fault Classifier for Three-Phase Induction Motor," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, pp. 1555-1563, 2011.
- [7] H. C. Cho, J. Knowles, M. S. Fadali, and K. S. Lee, "Fault Detection and Isolation of Induction Motors using Recurrent Neural Networks and Dynamic Bayesian Modeling," *IEEE Transactions on Control System Technology*, pp. 430-437, 2010.
- [8] C. Tangsiriworakul and S. Tadsuan, "Design and Operation of IPM type IGBT Driver," *PEC 6*, 8-9 may 2551, Prince of Songkla University (in Thai).
- [9] W. Jitpruegsa, K. Rukhatmakij, and B. Srisoi, "Artificial Neural Network based Approach for a Three-phase Induction Motor Fault Detection Implemented using MATLAB," Student's Project, Department of Electronics Engineering Technology, CIT, KMUTNB, 2552 (in Thai).
- [10] S. Tadsuan and B. Suechoey, "Design of Winding Temperature Mathematical Model of Three-Phase Induction Motor with PWM Inverter Supply," in 31st *Electrical Engineering Conference (EECON-31)*, 29-30 October 2551, Royal Hills Golf Resort and spa, Nakhonnayok Provin