

การตรวจจับและป้องกันฟอลต์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ Fault Detection and Protection of Induction Motor

สิริวิช ทัดสวน^{1*} ประสิทธิ์ สุขเสริม¹ เชิดชัย บุญแดนไพโร²และศุภเดช ตะเพียนทอง³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ กทม. 10160

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ กทม. 10160

³การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อำเภอบ้านแพ้ว(สมุทรสาคร 2) สมุทรสาคร 74120

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-2807-4500-27 ต่อ 388 อีเมล : siriwicht@sau.ac.th

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างชุดตรวจรู้ ชุดป้องกันฟอลต์ และการเฝ้าติดตามการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส แบบกรงกระรอก ขนาดแรงดันไฟฟ้า 380 V_{L-L} ขนาดกำลังไฟฟ้า 1 แรงม้า ขั้วแม่เหล็กจำนวน 4 ขั้ว ความถี่ไฟฟ้า 50 เฮิร์ตซ์ โดยใช้เทคนิคการเปรียบเทียบในการตัดสินใจแยกประเภทของฟอลต์ในรูปแบบต่างๆ โดยออกแบบอินพุตจำนวน 8 อินพุต คือ ตัวตรวจรู้แรงดัน 3 ชุด กระแสไฟฟ้า 3 ชุด อุณหภูมิขดลวด 1 ชุด และความเร็วรอบของมอเตอร์ 1 ชุด ส่วนภาคเอาต์พุตได้ออกแบบเป็น 10 เอาต์พุต ได้แก่ ปกติ เฟสหาย แรงดันไม่สมดุล แรงดันสูงเกิน แรงดันต่ำเกิน ล็อกโรเตอร์ ภาระเกิน อุณหภูมิสูงเกิน ความเร็วรอบเกินและลำดับเฟสผิด ส่วนภาคซอฟต์แวร์ได้ทำการออกแบบGUI ด้วยโปรแกรมMATLAB ให้มีการต่อเชื่อมกับการ์ดDAQ แบบเวลาจริง เพื่อติดต่อกับชุดตรวจรู้ด้านอินพุตทั้ง 8 ช่องสัญญาณ รวมถึงส่งสัญญาณเอาต์พุต 1 ช่องสัญญาณไปควบคุมการตัดต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าของมอเตอร์ ผลลัพธ์ของชุดแสดงผลและชุดป้องกันมอเตอร์สามารถตรวจจับและป้องกันฟอลต์ที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้อย่างที่นำพึงพอใจ

คำสำคัญ : ฟอลต์ การป้องกัน มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เทคนิคการเปรียบเทียบ การ์ดDAQ

Abstract : This paper presents designs and implementation to sensor set, fault protection set and monitoring for three-phase squirrel-cage induction motor, 380V_{L-L}, 1HP, 4 pole, 50 Hz and fault identification scheme for motor using comparison technique. The 8 inputs designs are voltage sensor 3 unit, current sensor 3 unit, winding temperature sensor 1 unit and speed sensor 1 unit. The 10 outputs designs are normal, single phasing, unbalanced voltage, over voltage, under voltage, locked rotor, over load, over temperature, over speed and phase sequence. The soft ware, design and implementation to graphics user interface(GUI) with MATLAB program, real time interface with 8 input channel and 1 output channel of DAQ card to control switch of supply motor. The test results, the monitoring and fault protection motor set able display and fault protects satisfy to induction motor.

Keyword : Fault, Protection, Induction motor, Comparison technique, DAQ card

1. บทนำ

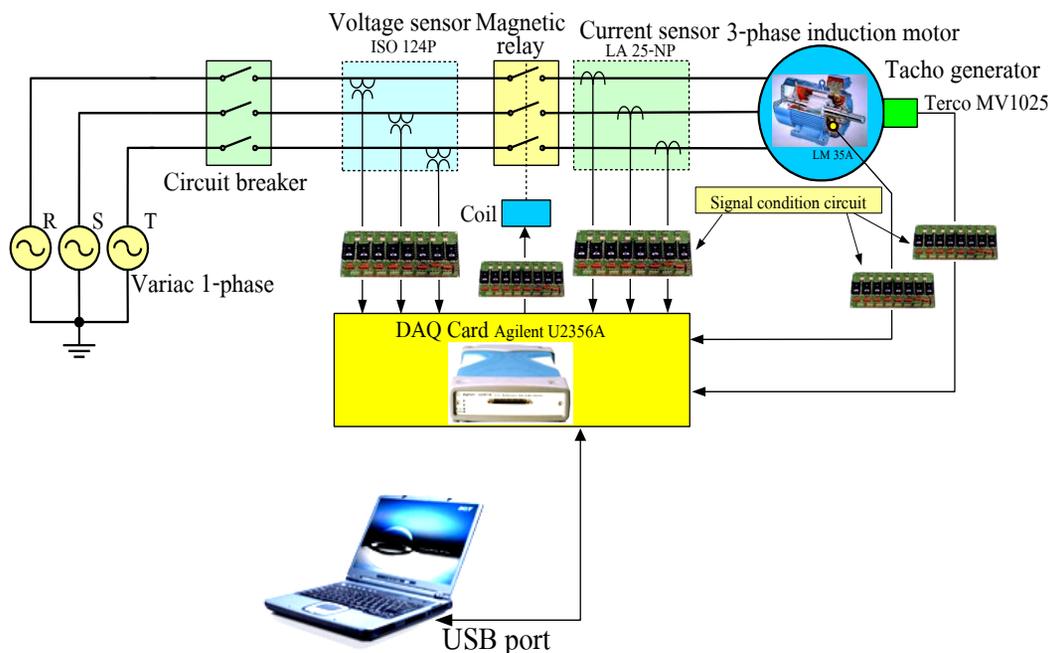
ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปได้มีการประยุกต์ใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟสจำนวนมาก เช่น ระบบสายพานลำเลียง ลิฟท์ บั๊มน้ำ เป็นต้น เนื่องจากมอเตอร์เหนี่ยวนำมีข้อได้เปรียบหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ชนิดอื่นๆ ดังนั้น ในกระบวนการผลิตจึงไม่ต้องการให้มอเตอร์เหนี่ยวนำในสายการผลิตเกิดความเสียหาย เพราะฉะนั้นการป้องกันฟอลต์มอเตอร์เหนี่ยวนำจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ แต่ถ้าพิจารณาถึงระบบป้องกันมอเตอร์แล้ว ระบบป้องกันที่ใช้อยู่ยังไม่ครอบคลุมรูปแบบฟอลต์ที่จะเกิดขึ้นกับมอเตอร์และอุปกรณ์ประกอบรวมได้ แต่ในปัจจุบันได้มีการนำงานวิจัยจำนวนมาก[1]-[8] ได้ให้ความสำคัญกับการพัฒนาสร้างระบบป้องกันมอเตอร์เพื่อให้ครอบคลุมฟอลต์ในรูปแบบต่างๆได้มากขึ้น เช่น งานวิจัย [2],[3],[5]-[8] ได้นำเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมมาช่วยใน

การตัดสินใจรูปแบบฟอลต์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ จากงานวิจัยที่[1],[4]ได้ออกแบบและสร้างระบบป้องกันมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยใช้ตัวตรวจรู้ต่างๆมากกว่างานวิจัย [2],[3]ในการวัดสัญญาณอินพุต จากนั้นใช้ตัวควบคุมแบบดิจิทัล เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือ PLC เป็นตัวตัดสินใจรูปแบบฟอลต์ในลักษณะเขียนโปรแกรมแบบเปรียบเทียบเพื่อระบุรูปแบบฟอลต์ต่างๆ

2. หลักการ

ระบบป้องกันมอเตอร์

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบการตรวจจับและป้องกันฟอลต์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้เทคนิคการเปรียบเทียบที่ครอบคลุมรูปแบบฟอลต์ที่จะเกิดขึ้นได้มากกว่างานวิจัยที่ผ่านมา[1]-[4] โดยได้ออกแบบดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างระบบป้องกันฟอลต์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้เทคนิคการเปรียบเทียบในการตัดสินใจ

จากรูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของระบบที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ โดยภาคอินพุตประกอบด้วยสัญญาณแรงดันและกระแสทั้ง 3 เฟส สัญญาณอุณหภูมิและความเร็วของมอเตอร์รวมทั้งหมด 8 อินพุต จากนั้นออกแบบและสร้างวงจรที่เปลี่ยนสัญญาณที่ตรวจวัดได้เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าแบบอนาลอกมีขนาดไม่เกิน 10 โวลต์ เพื่อเป็นอินพุตให้กับการ์ดDAQที่ต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์ทางUSB พอร์ต สัญญาณอินพุตทั้งหมดจะถูกนำไปแสดงและประมวลผลแบบเวลาจริง(Real time) ด้วยโปรแกรมMATLABที่มีการออกแบบGUI และมีการเขียนโปรแกรมโดยใช้เทคนิคการเปรียบเทียบ เมื่อ

ตรวจพบเจอฟอลต์จะส่งสัญญาณผ่านการ์ดDAQไปยังวงจรควบคุม เพื่อไปตัดระบบไฟฟ้ากำลังที่จ่ายให้กับมอเตอร์ต่อไป

3. การออกแบบระบบป้องกันมอเตอร์

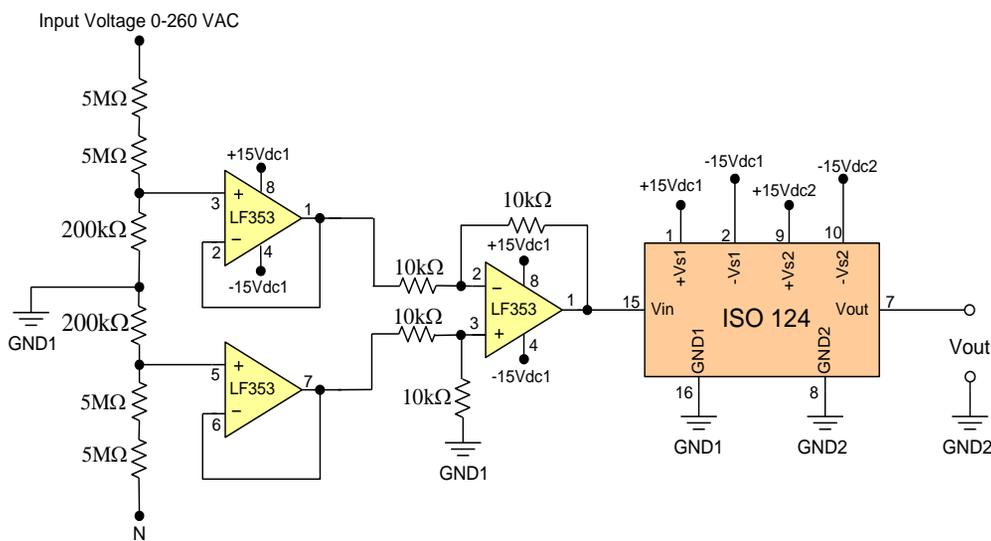
3.1 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบด้านฮาร์ดแวร์[8]-[9] ซึ่งมีส่วนประกอบภาคต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2 ถึงรูปที่ 6 ส่วนรายละเอียดมอเตอร์แสดงดังตารางที่ 1

3.1.1 ภาคตรวจจู้แรงดันไฟฟ้า(Voltage sensor)

Voltage L-L (380V) หรือ Voltage L-N (220V) Voltage(220V) : Signal voltage(4.44V)

อัตราส่วนคือ 49.549 : 1

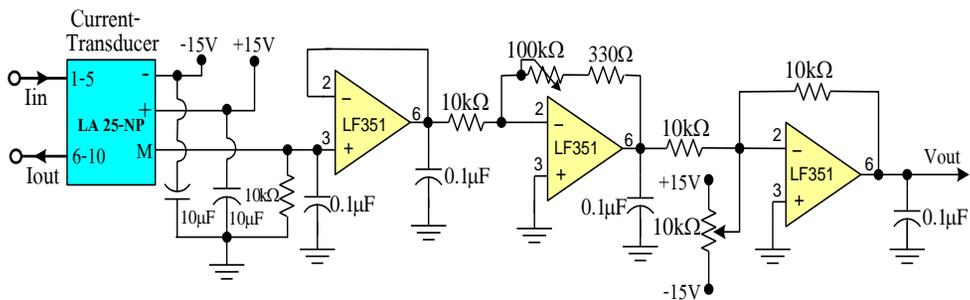


รูปที่ 2 วงจรตรวจจู้แรงดันไฟฟ้า

3.1.2 ภาควจรู้อักรกระแสไฟฟ้า (Current sensor)[9]

Current (1A) : Signal voltage(1V)

อัตราส่วนคือ 1 : 1

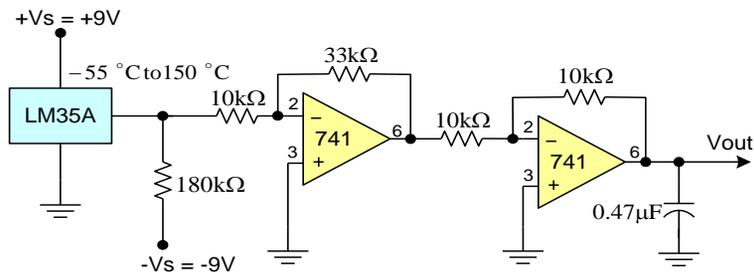


รูปที่ 3 วงจรตรวจรู้อักรกระแสไฟฟ้า

3.1.3 ภาควจรู้อุณหภูมิ (Temperature sensor)

Winding temperature(150°C) : Signal voltage(4.95V)

อัตราส่วนคือ 30.303 : 1

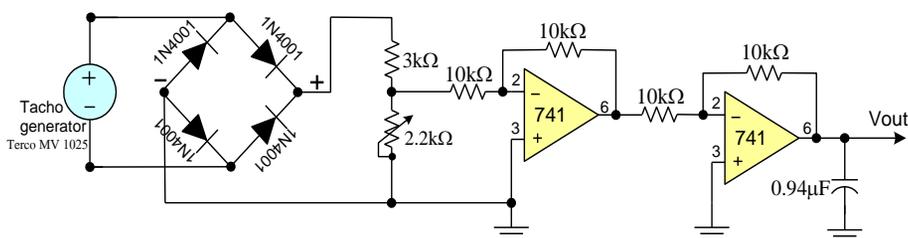


รูปที่ 4 วงจรตรวจรู้อุณหภูมิ

3.1.4 ภาควจรู้อักรความเร็ว (Speed sensor)

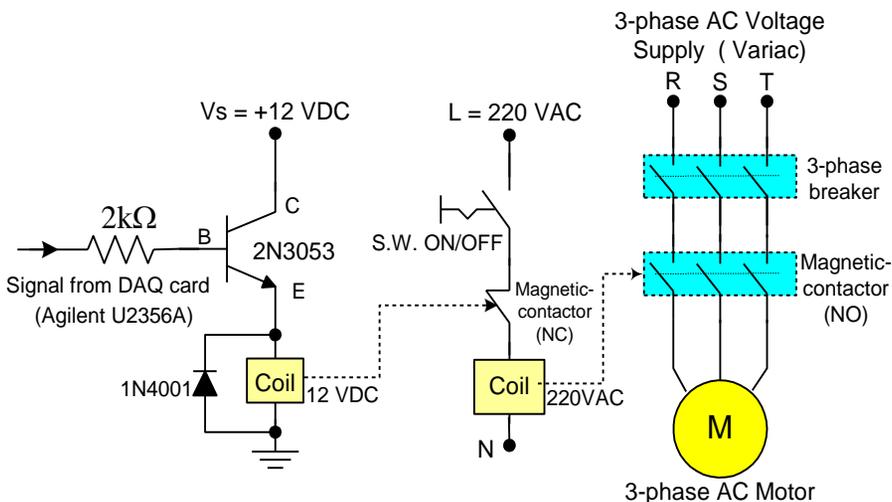
Speed rotor(1,490 r.p.m.) : Signal voltage (5V)

อัตราส่วนคือ 298 : 1



รูปที่ 5 วงจรตรวจรู้อักรความเร็ว

3.1.5 ภาคควบคุมและวงจรกำลังมอเตอร์



รูปที่ 6 วงจรควบคุมและวงจรกำลังมอเตอร์

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของมอเตอร์ที่ใช้ทดสอบ

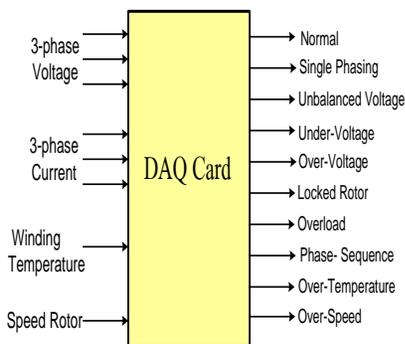
Power = 1 HP	Pole = 4
Voltage $\Delta = 220\text{ V } Y=380\text{ V}$	Current $\Delta=3.64\text{ A } Y=2.1\text{ A}$
Speed= 1,450 rpm	Frequency = 50 Hz
Insulation Class = F	
Limiting hot spot temperature 155 °C[10]	

3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์

3.2.1 การออกแบบโดยใช้เทคนิคการเปรียบเทียบ

จากรูปที่ 7 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของการ์ดDAQ ที่นำเสนอ โดยสัญญาณอินพุตทั้ง 8 ประกอบด้วยแรงดันและกระแสไฟฟ้า 3 เฟส ตัวตรวจรู้อุณหภูมิของขดลวดและตัวตรวจรู้ความเร็วของมอเตอร์ สัญญาณอินพุตดังกล่าวนี้จะถูกส่งต่อไปยังภาคการประมวลผลของโปรแกรมMatlab เพื่อเข้าสู่ระบบการตัดสินใจ ส่วนภาคเอาต์พุตได้กำหนด 10 รูปแบบ ได้แก่ ไม่เกิดฟอลต์ (Normal) เฟสหาย (Single phasing)แรงดันไม่สมดุล (Unbalanced voltage)แรงดัน สูงเกิน (Over voltage)

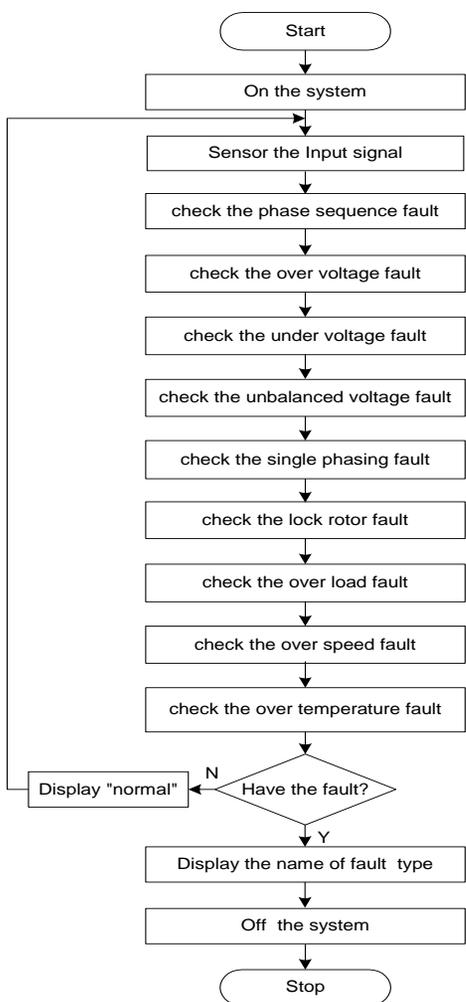
แรงดันต่ำเกิน (Under voltage) ล็อกโรเตอร์ (Locked rotor) ภาระเกิน (Overload) ลำดับเฟส (Phase sequence) อุณหภูมิขดลวดสูงเกิน (Over temperature) และความเร็วสูงเกิน (Over Speed) เป็นต้น



รูปที่ 7 อินพุตและเอาต์พุตของการ์ดDAQ

จากรูปที่ 8 แสดงผังงานการทำงานของซอฟต์แวร์ที่ออกแบบโดยใช้เทคนิคการเปรียบเทียบ โดยเริ่มจากจ่ายกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายให้กับมอเตอร์ จากนั้นจะมีการตรวจสอบการเกิดฟอลต์ของแต่ละกรณีเรียง

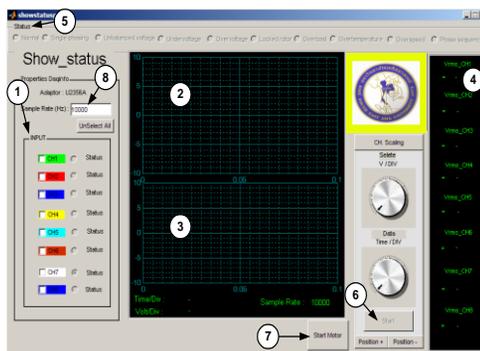
ตามลำดับ เมื่อตรวจสอบไม่เจอการเกิดฟอลต์ก็จะย้อนกลับขึ้นไปตรวจสอบตลอดระยะเวลาที่มอเตอร์ทำงาน แต่ถ้ากรณีตรวจพบเจอการเกิดฟอลต์จะมีการส่งสัญญาณสั่งให้แมกเนติกรีเลย์ปลดแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ออกจากระบบทันที



รูปที่ 8 ผังงานการทำงานของซอฟต์แวร์ที่ออกแบบโดยใช้เทคนิคการเปรียบเทียบ

3.2.2 การออกแบบ GUI (Graphical User Interface)

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบ GUI[8] ซึ่งมีส่วนประกอบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 9 ส่วนการกำหนดช่วงข้อมูลของฟอลต์แสดงดังตารางที่ 2

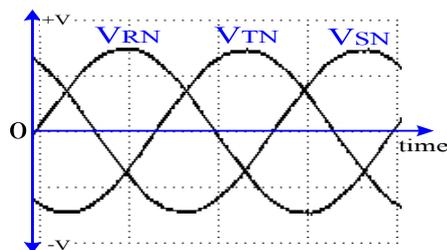


รูปที่ 9 โครงสร้างของ GUI ที่ได้จากการออกแบบ

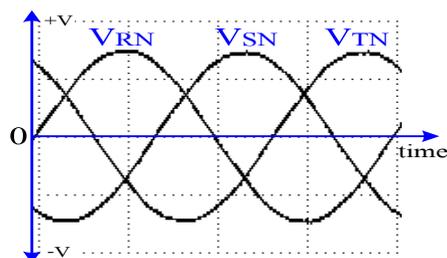
1. เป็นส่วนเลือกช่องสัญญาณ (Channel)
2. เป็นส่วนแสดงรูปกราฟสัญญาณแรงดันและอุณหภูมิขดลวดที่อยู่ในแต่ละ Channel รวมถึงค่า V/DIV, Time/DIV และ Sample Rate ด้วย
3. เป็นส่วนแสดงรูปกราฟสัญญาณของกระแสและความเร็วรอบมอเตอร์ที่อยู่ในแต่ละ Channel รวมถึงค่า V/DIV, Time/DIV และ Sample Rate ด้วย
4. เป็นส่วนแสดงค่า VRMS ในแต่ละ Channel
5. แสดงสถานะของมอเตอร์ในขณะนั้น
6. เป็นส่วนกำหนดค่า V/DIV และ TIME/DIV ซึ่งเป็นแบบ volume และยังมีปุ่ม Start เพื่อให้เริ่มการทำงานของโปรแกรมรวมถึงมีปุ่ม Position +, Position - เพื่อปรับ Scale ให้เลื่อนขึ้นลงได้ตามความต้องการ
7. เป็นปุ่มที่ใช้ในการเริ่มการทำงานของมอเตอร์หลังจากที่เกิดข้อผิดพลาดในสถานะต่างๆ ของมอเตอร์เห็นขวนำไฟฟ้าสามเฟส
8. เลือก Sampling rate

ตารางที่ 2 การกำหนดช่วงข้อมูลของฟอลต์

Fault	Signal condition
Normal(N)	แรงดัน 3.996 ถึง 4.884 Vrms (±10% ของ 4.4Vrms) กระแส 0.5 ถึง 2.1Vrms (กระแส load ถึง กระแสพิทัก)
Single phasing(SP)	แรงดัน 3.996 ถึง 4.884Vrms กระแสต่ำกว่า 0.5 Vrms
Unbalanced voltage(UB)	เปอร์เซ็นต์แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลมีค่าไม่เกิน 2% [11],[12] $\%V_{UB} = \frac{V_{maxdev}}{V_{avg}} \times 100$; $V_{avg} = \frac{V_{RS} + V_{ST} + V_{TR}}{3}$ เมื่อ $\%V_{UB} = \text{เปอร์เซ็นต์แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล}$ $V_{avg} = \text{แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยระหว่างเฟส}$ (V) $V_{maxdev} = \text{แรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนสูงสุดระหว่างเฟสใดเฟสหนึ่งกับ } V_{avg}$ $V_{RS}, V_{ST}, V_{TR} = \text{แรงดันสายถึงสาย}$ (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 4.61 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} คือแรงดันที่กักกระแสกรณีมอเตอร์ถูกยึดอยู่กับที่
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 1,520-2,086rpm)
Phase sequence(PS)	แรงดัน VSN 0 ถึง -8Vณ.เวลา=0 (ดังรูปที่ 10)



(ก) สภาวะปกติ



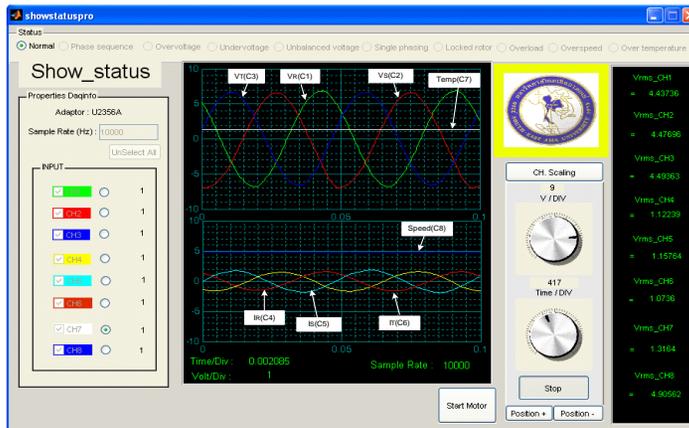
(ข) สภาวะผิดปกติ

รูปที่ 10 สัญญาณลำดับเฟสของแรงดันมอเตอร์

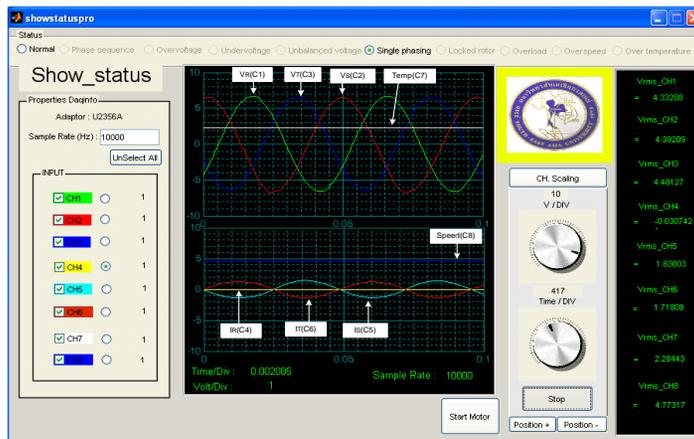
4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดสอบ

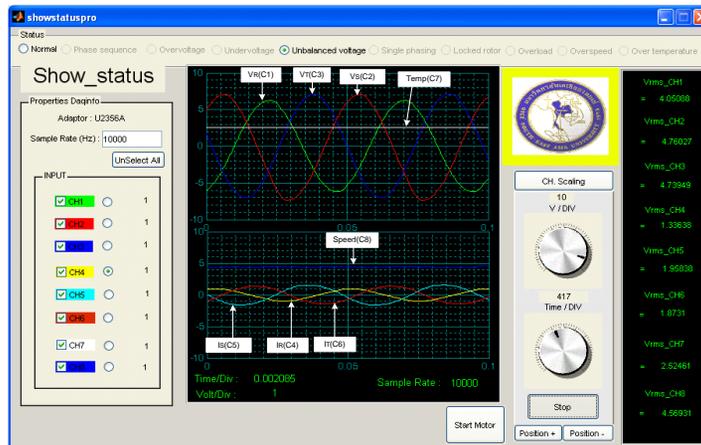
รูปที่ 11 ถึง 20 เป็นผลการทดสอบในแต่ละกรณี จากรูปที่ 18 ได้จำลองสถานการณ์ว่าใบพัดมอเตอร์เกิดแตกหักขณะใช้งานทำให้การระบายความร้อนของตัวมอเตอร์ไม่ดีพอ หรือมีการนำมอเตอร์ไปใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงๆ ซึ่งมีโอกาสทำให้ฉนวนมอเตอร์เกิดเสื่อมสภาพจนเสียหาย [10],[13] ซึ่งงานวิจัยได้จำลองโดยการถอดใบพัดระบายความร้อนของมอเตอร์ออกขณะมอเตอร์ทำงาน ส่วนรูปที่ 19 ได้ใช้เครื่องกำเนิดแบบซิงโครนัสเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์โดยมีความเร็วรอบมอเตอร์ที่ 1,701 r.p.m. และจากรูปที่ 21 ภาพถ่ายจริงขณะเก็บผลของชุดตรวจจับและป้องกันฟอลต์ของมอเตอร์เห็นขวนำตารางที่ 3 และตารางที่ 4 เป็นผลของการทดสอบในสภาวะที่เกิดฟอลต์ของแต่ละกรณี



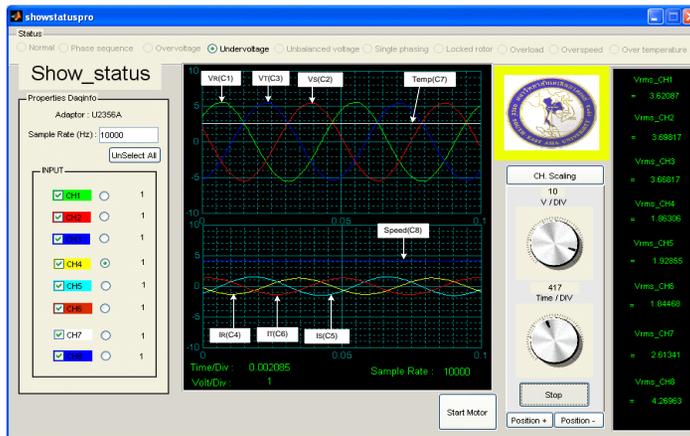
รูปที่ 11 สัญญาณ เมื่อเกิดสภาวะ Normal



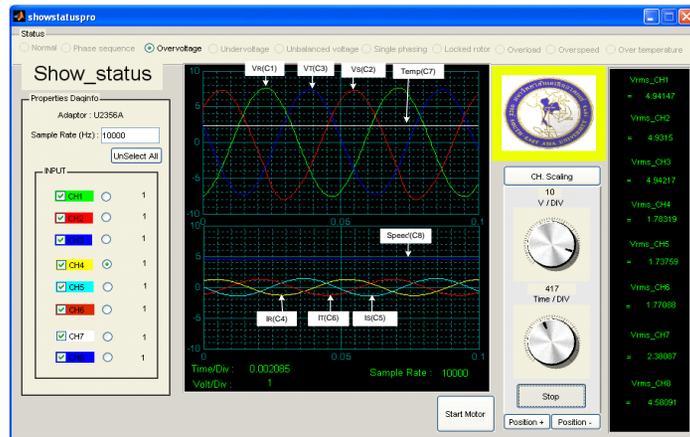
รูปที่ 12 สัญญาณเมื่อเกิด Single Phasing fault ที่เฟส R



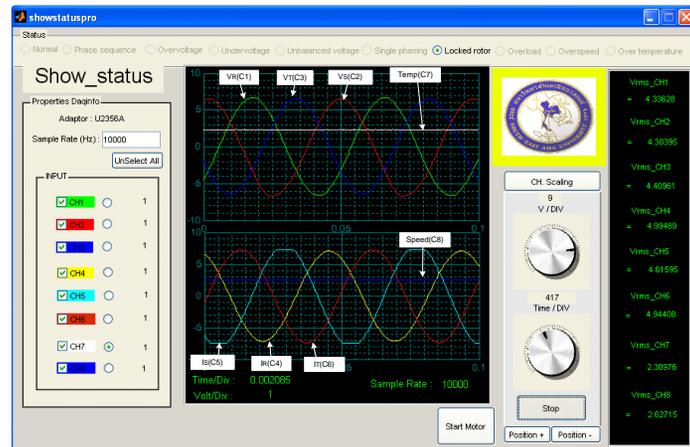
รูปที่ 13 สัญญาณเมื่อเกิด Unbalanced voltage fault



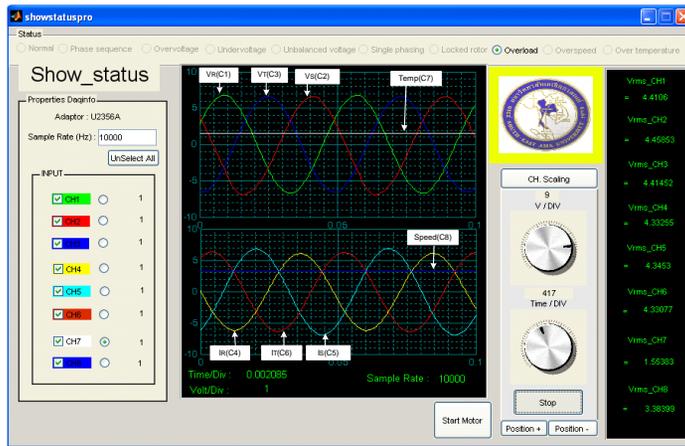
รูปที่ 14 สัญญาณเมื่อเกิด Under voltage fault



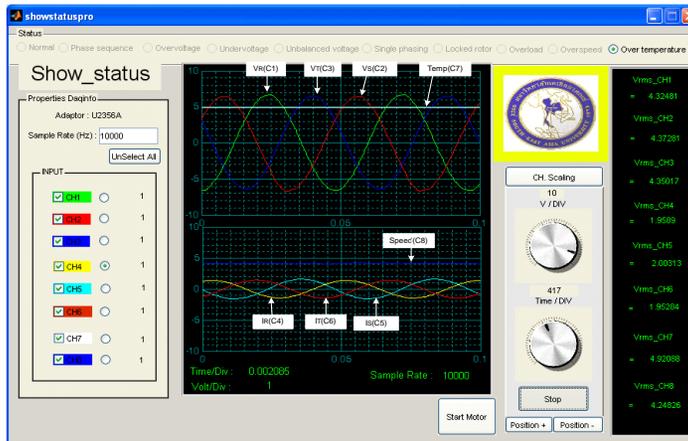
รูปที่ 15 สัญญาณ เมื่อเกิด Over voltage fault



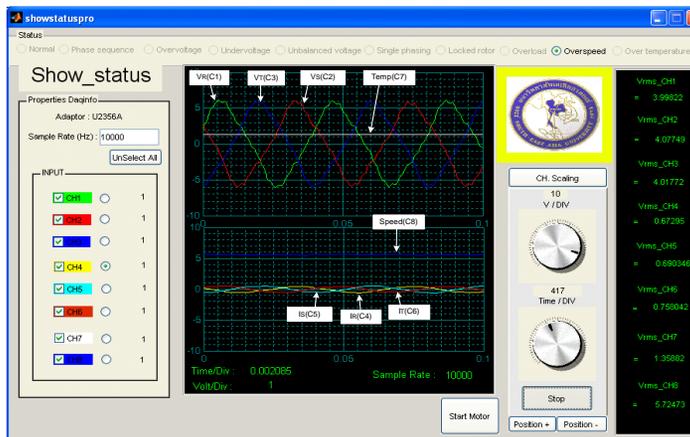
รูปที่ 16 สัญญาณ เมื่อเกิด Locked rotor fault



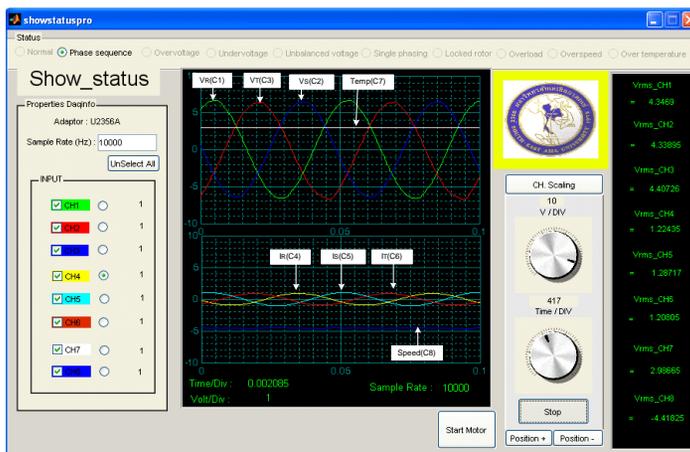
รูปที่ 17 สัญญาณ เมื่อเกิด Overload fault



รูปที่ 18 สัญญาณ เมื่อเกิด Over temperature fault



รูปที่ 19 สัญญาณ เมื่อเกิด Over speed fault



รูปที่ 20 สัญญาณเมื่อเกิด Phase sequence fault

4.2 วิเคราะห์ผล

4.2.1 สภาวะปกติของมอเตอร์

รูปที่ 11 เป็นสัญญาณต่างๆ เมื่อมอเตอร์ทำงานในสภาวะปกติ เห็นได้ชัดที่สภาวะนี้ไม่ได้แสดงการเกิดสภาวะผิดปกติแต่อย่างใด ตลอดช่วงการทำงาน

4.2.2 การเกิดฟอลต์ของมอเตอร์แบบเฟสหาย

รูปที่ 12 เป็นสัญญาณต่างๆ เมื่อมอเตอร์ทำงานในสภาวะเมื่อเกิดการผิดปกติแบบเฟสหาย(Single Phasing fault) โดยที่รูป 12 เป็นกรณีของเฟส R

4.2.3 การเกิดฟอลต์ของมอเตอร์แบบแรงดันไม่สมดุล

รูปที่ 13 เป็นสัญญาณต่างๆเมื่อมอเตอร์ทำงานในสภาวะเมื่อเกิดการผิดปกติแบบแรงดันไม่สมดุล

$$\bar{V}_{RN} = 200.75 \angle 0^\circ, \bar{V}_{SN} = 235.87 \angle -120^\circ$$

$$\bar{V}_{TN} = 234.83 \angle 120^\circ$$

$$\bar{V}_{RS} = \bar{V}_{RN} - \bar{V}_{SN} = 378.498 \angle 32.66^\circ$$

$$\bar{V}_{ST} = \bar{V}_{SN} - \bar{V}_{TN} = 407.639 \angle 89.92^\circ$$

$$\bar{V}_{TR} = \bar{V}_{TN} - \bar{V}_{RN} = 377.582 \angle -32.59^\circ$$

แรงดันสายถึงสายเฉลี่ย คือ

$$V_{avg} = \frac{V_{RS} + V_{ST} + V_{TS}}{3}$$

$$\therefore V_{avg} = \frac{378.498 + 407.639 + 377.582}{3} = 387.9067$$

ขนาดผลต่างของแรงดันสายถึงสายกับค่าขนาดแรงดันสายถึงสายเฉลี่ยที่เกิดขึ้น มี 3 ค่าคือ

$$= |378.498 - 387.9067| = 9.408 \text{ V}$$

$$= |407.6393 - 387.9067| = 19.732 \text{ V}$$

$$= |377.5828 - 387.9067| = 10.3239 \text{ V}$$

เมื่อต้องการหาค่า %V_{UB} จะใช้ค่าขนาดผลต่างของแรงดันสายถึงสายกับค่าขนาดแรงดันสายถึงสายเฉลี่ยที่เกิดขึ้นที่มีค่ามากที่สุดคือ 19.732 V มาใช้ในการคำนวณจะได้

$$\%V_{UB} = \frac{V_{max\ dev}}{V_{avg}} \times 100$$

$$\therefore \%V_{UB} = \frac{19.732}{387.9067} \times 100 = 5.09\%$$

เห็นได้เป็นที่สภาวะนี้สามารถแสดงการเกิดสภาวะผิดปกติเมื่อเกิดการผิดปกติแบบแรงดันไม่สมดุลได้อย่างทันที

4.2.4 การเกิดฟอลต์ของมอเตอร์แบบแรงดันต่ำเกิน

รูปที่ 14 เป็นสัญญาณต่างๆ เมื่อมอเตอร์ทำงานในสภาวะเมื่อเกิดการผิดปกติแบบแรงดันต่ำเกิน (Under voltage fault) โดยที่แรงดันทั้ง 3 เฟสมีค่า 179.41 V ถึง 183.24 V เห็นได้เป็นที่สภาวะนี้สามารถแสดงการเกิดสภาวะผิดปกติเมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่าต่ำสภาวะปกติทั้ง 3 เฟสอย่างทันที

4.2.5 การเกิดฟอลต์ของมอเตอร์แบบแรงดันสูงเกิน

รูปที่ 15 เป็นสัญญาณต่างๆ เมื่อมอเตอร์ทำงานในสภาวะเมื่อเกิดการผิดปกติแบบแรงดันสูงเกิน (Over voltage fault) โดยที่แรงดันทั้ง 3 เฟสมีค่าประมาณ 244 V เห็นได้เป็นที่สภาวะนี้สามารถแสดงการเกิดสภาวะผิดปกติเมื่อแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสมีค่าสูงกว่าสภาวะปกติทั้ง 3 เฟสอย่างทันที

4.2.6 การเกิดฟอลต์ของมอเตอร์แบบโรเตอร์หยุดหมุน

รูปที่ 16 เป็นสัญญาณต่างๆ เมื่อมอเตอร์ทำงานในสภาวะเมื่อเกิดการผิดปกติโรเตอร์หยุดหมุน (Locked rotor fault) ซึ่งกระแสทั้ง 3 เฟสมีค่า 4.6159A ถึง 4.99481 A เห็นได้เป็นที่สภาวะนี้สามารถแสดงการเกิดสภาวะผิดปกติเมื่อกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสมีค่าสูงกว่ากระแสที่ปกติของมอเตอร์มาก (โรเตอร์ใกล้หยุดหมุน) ทั้ง 3 เฟสอย่างทันที

4.2.7 การเกิดฟอลต์ของมอเตอร์แบบภาระเกิน

รูปที่ 17 เป็นสัญญาณต่างๆ เมื่อมอเตอร์ทำงานในสภาวะเมื่อเกิดการผิดปกติแบบภาระเกิน (Overload fault) ซึ่งกระแสทั้ง 3 เฟสมีค่าประมาณ 4.3 A เห็นได้เป็นที่สภาวะนี้สามารถแสดงการเกิดสภาวะผิดปกติเมื่อกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสมีค่าสูงกว่ากระแสที่ปกติของมอเตอร์ (แต่น้อยกว่ากระแสในสภาวะ Lock rotor) ทั้ง 3 เฟสอย่างทันที

4.2.8 การเกิดฟอลต์ของมอเตอร์แบบอุณหภูมิสูงเกิน

รูปที่ 18 เป็นสัญญาณต่างๆ เมื่อมอเตอร์ทำงานในสภาวะเมื่อเกิดการผิดปกติแบบอุณหภูมิสูงเกิน (Over temperature fault) มีค่าอุณหภูมิขดลวดมีค่า 149.12°C เห็นได้เป็นที่สภาวะนี้สามารถแสดงการเกิดสภาวะผิดปกติอย่างทันทีทันทีทันใดเมื่ออุณหภูมิขดลวดมอเตอร์มีค่าตั้งแต่ 140 °C ขึ้นไป

4.2.9 การเกิดฟอลต์ของมอเตอร์แบบความเร็วรอบเกิน

รูปที่ 19 เป็นสัญญาณต่างๆ เมื่อมอเตอร์ทำงานในสภาวะเมื่อเกิดการผิดปกติแบบความเร็วรอบเกิน (Over Speed fault) มีค่าความเร็วรอบมอเตอร์ที่ 1,701 r.p.m. เห็นได้เป็นที่สภาวะนี้สามารถแสดงการเกิดสภาวะผิดปกติอย่างทันทีทันใดเมื่อความเร็วรอบมอเตอร์มากกว่า 1,500 r.p.m. ขึ้นไป

4.2.10 การเกิดฟอลต์ของมอเตอร์แบบลำดับเฟสผิด

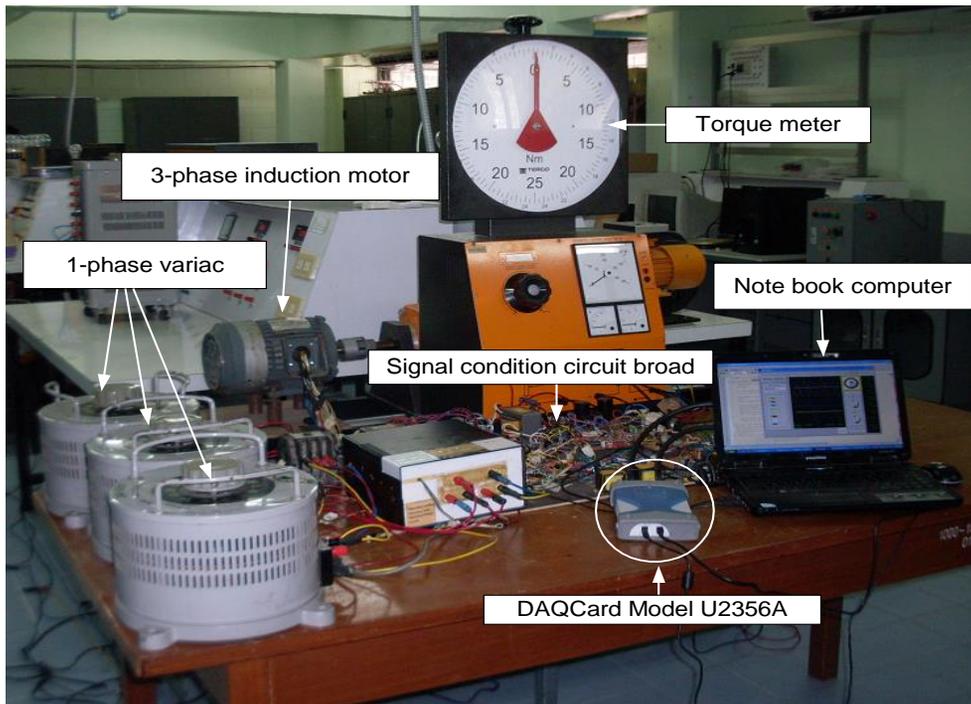
รูปที่ 20 เป็นสัญญาณต่างๆ เมื่อมอเตอร์ทำงานในสภาวะเมื่อเกิดการผิดปกติแบบลำดับเฟสผิด (Phase sequence fault) โดยมีการสลับสายเฟสที่แหล่งจ่ายเข้ามอเตอร์เพียงคู่ใดคู่หนึ่ง ก็จะส่งผลทำให้ทิศทางของตัวหมุน (Rotor) มีทิศทางตรงข้ามกับเมื่อลำดับเฟสถูกต้อง

ตารางที่ 3 อินพุตสัญญาณแรงดัน กระแส อุณหภูมิ ความเร็วรอบและเอาต์พุต ในสภาวะที่เกิดฟอล์ยของแต่ละกรณี จาก การทดสอบแบบออนไลน์

Fault	Input								Output									
	VRN	VSN	VTN	IR	IS	IT	Temp	Speed	NM	SP	UB	UV	OV	LR	OL	OT	OS	PS
N Fig.11	4.4300	4.4770	4.4936	1.1224	1.1576	1.0736	1.3164	4.9056	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SP Fig.12	4.3329	4.3921	4.4013	0.0307	1.8300	1.7181	2.2844	4.7732	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
UB Fig.13	4.0508	4.7602	4.7394	1.3363	1.9583	1.8731	2.5246	4.5693	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
UV Fig.14	3.6208	3.6981	3.6681	1.8630	1.9285	1.8447	2.6134	4.2696	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
OV Fig.15	4.9414	4.9315	4.9421	1.7831	1.7375	1.7708	2.3808	4.5809	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
LR Fig.16	4.3362	4.3839	4.4096	4.9948	4.6159	4.9440	2.3097	2.6271	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
OL Fig.17	4.4106	4.4585	4.4145	4.3325	4.3453	4.3307	1.5538	3.3839	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
OT Fig.18	4.3248	4.3728	4.3501	1.9580	2.0031	1.9528	4.9208	4.2482	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
OS Fig.19	3.9982	4.0774	4.0177	0.6729	0.6903	0.7580	1.3588	5.7247	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
PS Fig.20	4.3469	4.3389	4.4072	1.2244	1.2871	1.2080	2.9866	4.4182	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

ตารางที่ 4 อินพุตจริงของแรงดัน กระแส อุณหภูมิ ความเร็วรอบและเอาต์พุต ในสภาวะที่เกิดฟอล์ยของแต่ละกรณีจาก การทดสอบแบบออนไลน์

Fault	Input							
	VRN	VSN	VTN	IR (A)	IS (A)	IT (A)	Temp(°C)	Speed(r.p.m)
N Fig.11	219.50	221.83	222.66	1.1224	1.1576	1.0736	39.89	1462
SP Fig.12	214.69	217.63	218.08	0.0307	1.8300	1.7181	69.225	1422
UB Fig.13	200.72	235.87	234.83	1.3363	1.9583	1.8731	76.50	1362
UV Fig.14	179.41	183.24	181.75	1.8630	1.9285	1.8447	79.19	1272
OV Fig.15	244.84	244.35	244.88	1.7831	1.7375	1.7708	72.15	1365
LR Fig.16	214.86	217.22	218.49	4.9948	4.6159	4.9440	69.99	783
OL Fig.17	218.54	220.92	218.74	4.3325	4.3453	4.3307	47.08	1008
OT Fig.18	214.29	216.67	215.55	1.9580	2.0031	1.9528	149.12	1266
OS Fig.19	198.11	202.03	199.08	0.6729	0.6903	0.7580	41.18	1706
PS Fig.20	215.39	214.99	218.37	1.2244	1.2871	1.2080	90.50	1317



รูปที่ 21 ภาพถ่ายจริงขณะเก็บผลของชุดตรวจจับและป้องกันฟลัดต์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยใช้เทคนิคการเปรียบเทียบ

5. สรุปผล

ชุดตรวจจับและป้องกันฟลัดต์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่ออกแบบและสร้างมีภาคอินพุตเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส สัญญาณอุณหภูมิ และความเร็วของมอเตอร์รวม 8 อินพุต เพื่อเป็นอินพุตให้กับการ์ดDAQยี่ห้อAgilent รุ่น U2356A ที่ต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์แบบ Note book ยี่ห้อ acer(emachines) รุ่น D725 CPU-T4300 Pentium หน่วยความจำ ขนาด 1 GB)ทางUSBพอร์ต สัญญาณอินพุตทั้งหมดได้ถูกนำไปแสดงเป็นกราฟเส้นจำนวน 2 หน้าต่าง(หน้าต่างที่1 เป็นกราฟสัญญาณแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสและอุณหภูมิขดลวด หน้าต่างที่ 2 เป็นกราฟสัญญาณกระแสไฟฟ้า3 เฟส และความเร็วรอบมอเตอร์) และประมวลผลเป็นค่า V_{rms} ในรูปแบบเวลาจริงด้วยโปรแกรมMATLAB ที่มีการออกแบบ GUI และใช้

เทคนิคการเปรียบเทียบเป็นตัวตัดสินใจ และเมื่อตรวจพบเจอฟลัดต์แต่ละชนิดจะส่งสัญญาณผ่านพอร์ตเอาท์พุตของการ์ดDAQออกไปยังวงจรควบคุม เพื่อไปตัดระบบไฟฟ้ากำลังที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ซึ่งผลลัพธ์จากการทดสอบของฟลัดต์แต่ละกรณี ได้ผลลัพธ์เป็นไปอย่างน่าพึงพอใจ

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบและในการสอบเทียบ

1. Data Acquisition Card ยี่ห้อ Agilent รุ่น U2356A
2. Torque Meter ยี่ห้อTerco รุ่น MV 1026
3. Tacho Generator ยี่ห้อ Terco รุ่น MV1025
4. DC Machine ยี่ห้อ Terco รุ่น MV 1028
5. Synchronous Machine ยี่ห้อ Terco รุ่น MV1008
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

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,” *IEEE Transactions on Control System Technology*, pp. 430-437, 2010.
- [8] ชาญวิทย์ ตั้งสิริวรกุล และ สิทธิวิษ ทัดสวน, “การตรวจจับและป้องกันมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 23 ฉบับที่ 1 มกราคม - เมษายน 2556
- [9] ชาญวิทย์ ตั้งสิริวรกุลและสิทธิวิษ ทัดสวน, “การศึกษาออกแบบและสร้างชุดขับไอจีบีทีแบบไอพีเอ็ม,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 6 (PEC-6) 8-9 พ.ค.2551 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา
- [10] Emanuel L. Brancatoa, “Estimation of Lifetime Expectancies of motor,” *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Ma/June, pp. 5-13, 1992.
- [11] Annette von Jouanne and Basudeb Banerjee, “Assessment of Voltage Unbalance,” *IEEE Transaction on Power Delivery*, VOL. 16, NO. 4, pp.782-790, 2001.
- [12] IEEE Std 1159-1995 IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality.
- [13] สิทธิวิษ ทัดสวนและสุรัตน์ ศิริรอด, “การศึกษาอุณหภูมิของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสต่อขนาดใบพัดระบายอากาศ เมื่อใช้แหล่งจ่ายไฟดับเบิลยูเอ็ม อินเวอร์เตอร์,” วารสารวิศวกรรมสารเอเชียอาคเนย์ ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 ธ.ค.-พ.ค. 2551



สิริวิษ ทัตสวน : สำเร็จ
การศึกษาระดับปริญญาโท
(วศ.ม.ไฟฟ้า) สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง ปัจจุบันดำรง

ตำแหน่งรองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า งานวิจัยที่สนใจได้แก่ คุณภาพไฟฟ้า
กำลัง การออกแบบตัวกรองฮาร์มอนิก การศึกษา
กำลังไฟฟ้าสูญเสียและความร้อนในเครื่องจักรกลไฟฟ้า
ระบบขับเคลื่อนและป้องกันมอเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์
กำลัง ระบบสมองกลฝังตัว การประยุกต์ใช้โครงข่าย
ประสาทเทียมกับเครื่องจักรกลไฟฟ้าและการ
ประยุกต์ใช้ขบวนการทางสัญญาณกับเครื่องจักรกล
ไฟฟ้า



ประสิทธิ์ สุขเสริม : สำเร็จ
การศึกษาระดับปริญญาโท
(ค.อ.ม.ไฟฟ้า) มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระ
นครเหนือ ปัจจุบันดำรง

ตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า งานวิจัยที่สนใจได้แก่ เครื่องจักรกล
ไฟฟ้า การออกแบบระบบส่องสว่าง ระบบควบคุม



สุกเดช ตะเพียนทอง : สำเร็จ
การศึกษาระดับปริญญาตรี
(วศ.บ.ไฟฟ้า) มหาวิทยาลัย
เอเชียอาคเนย์ การทำงาน
วิศวกรระดับ 4 การไฟฟ้าส่วน

ภูมิภาค งานวิจัยที่สนใจได้แก่ คุณภาพไฟฟ้ากำลัง
การศึกษากำลังไฟฟ้าสูญเสียและความร้อนในหม้อ
แปลงไฟฟ้า ระบบสมองกลฝังตัว



เชิดชัย บุญแดนไพร : สำเร็จ
การศึกษาระดับปริญญาตรี
(วศ.บ.ไฟฟ้า) มหาวิทยาลัย
เอเชียอาคเนย์ ปัจจุบันกำลัง
ศึกษาระดับปริญญาโท
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ งานวิจัยที่สนใจได้แก่
การออกแบบและติดตั้งระบบปรับอากาศขนาดใหญ่