

การศึกษาความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3-เฟส ด้วยการวิเคราะห์สัญญาณกระแส

The Study of 3-Phase Induction Motor Faults Using Current Signal Analysis

ศุภชัย อรุณพันธ์^{1*} สาวิตร ตันทนุช² สุระพล เขียวมนตรี³ และมนัส เกื้อกุลกิจการ⁴
^{1,2,3,4}ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
 E-mail: supachaisir@hotmail.com^{*}

Supachai Aroonphun^{1*} Sawit Tanthanuch² Surapon Teanmontree³ and Manas Kuekoonkitjakan⁴
^{1,2,3,4}Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112
 E-mail: supachaisir@hotmail.com^{*}

บทคัดย่อ

มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3-เฟสเป็นส่วนประกอบของเครื่องจักรกลที่มีใช้อย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรม ดังนั้นการบำรุงรักษามอเตอร์ จึงเป็นส่วนสำคัญในการควบคุมคุณภาพของผลผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตทำให้ลดเวลาและค่าใช้จ่าย งานวิจัยนี้นำเสนอการวินิจฉัยความผิดปกติของมอเตอร์ โดยการวิเคราะห์คุณลักษณะของสัญญาณกระแส มอเตอร์ที่ถูกใช้เป็นต้นแบบในการวินิจฉัยนี้ เป็นมอเตอร์ 3-เฟส .5 และ 2 แรงม้า 50 เฮิร์ตซ์ และจำลองความผิดปกติ 3 ลักษณะ ได้แก่ การลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ การรั่วลงดิน และการหายไปของขดลวดบางเฟส ผลการศึกษาด้วยการจำลองเครื่องมือนี้วัดเสมือนจากโปรแกรม LabVIEW พบว่า สามารถจำแนกคุณลักษณะฮาร์มอนิกสัณฐานของมอเตอร์ที่ผิดปกติได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นระบบตรวจวัดแบบออนไลน์และระบบบำรุงรักษาอัจฉริยะโดยไม่ต้องถอดรื้อ

คำหลัก สัญญาณกระแส มอเตอร์เหนี่ยวนำ ฮาร์มอนิกสัณฐาน

Abstract

Three-phase induction motors are widely used in industrial work. Thus the maintenance must be required and appreciated for quality control and productivity management. This article proposes a technique for diagnosing motor failures by current signature analysis. The 3-phase .5 and 2 hp 50-Hz motor is demonstrated and tested with 3 faults: stator short-turn, earth fault and open circuit one phase. In the experimental result, current harmonics are recorded and interpreted using virtual

instrument from LabVIEW programming and characteristics of faults are found and statistically classified. Moreover the technique is powerful to implement for on-line monitoring and intelligent maintenance with non-invasive diagnosis.

Keywords: current signal , Induction motor , Current harmonic

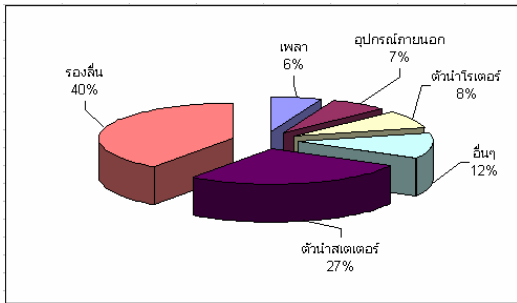
1. บทนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3-เฟส เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพราะมีความแข็งแรง ทนทาน ราคาถูก ประสิทธิภาพสูง การบำรุงรักษาต่ำ เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งมักเกิดความเสียหายเนื่องจากสาเหตุหลายอย่าง ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์สามารถตรวจสอบได้หลายวิธี เช่น ใช้เครื่องวัดการสั่นและสัญญาณรบกวน วัดอุณหภูมิ การใช้อินฟราเรด การใช้ไมโครและโครงข่ายประสาทเทียม การวิเคราะห์สัญญาณกระแสมอเตอร์และวิธีอื่น ๆ สำหรับบทความนี้จะนำเสนอวิธีการตรวจสอบความผิดปกติของมอเตอร์โดยการศึกษาความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3-เฟสด้วยการวิเคราะห์สัญญาณกระแสด้วยการใช้การ์ด DAQ ของโปรแกรม LabVIEW ตรวจสอบฮาร์มอนิกสัณฐานที่เกิดขึ้นที่สเตเตอร์ขณะมอเตอร์ทำงานทั้งแบบสตาร์ทและเตลต้า ทั้งนี้ฮาร์มอนิกสัณฐานที่เกิดขึ้นจะบ่งบอกถึงความผิดปกติของมอเตอร์ที่เกิดจากสาเหตุต่าง ๆ ได้ เพื่อป้องกันการเสียหายที่จะรุกรามเป็นปัญหาใหญ่ต่อไป

2. ความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

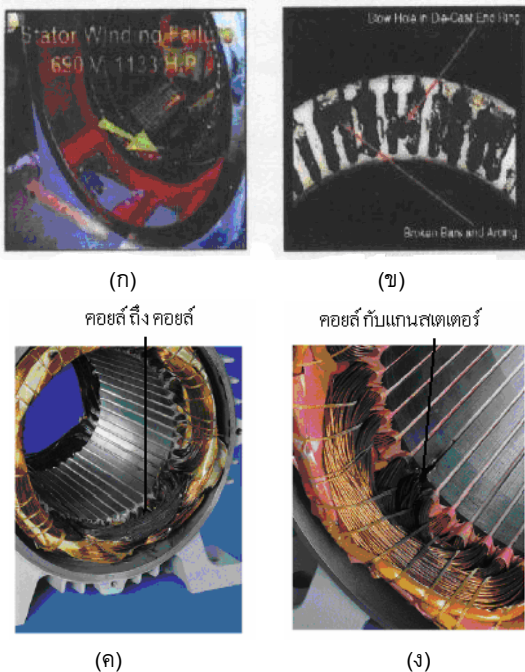
จากข้อมูลงานวิจัยที่ค้นคว้า พบว่าความผิดปกติของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ความผิดปกติภายในและความผิดปกติภายนอก สำหรับมอเตอร์

เหินยวนำความผิดพลาดแบ่งเป็นเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของส่วนต่าง ๆ ได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เปอร์เซนต์ความผิดพลาดของส่วนประกอบต่างๆ ในมอเตอร์เหินยวนำ [1]

ความผิดพลาดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจะนำไปสู่ความเสียหายให้กับมอเตอร์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อตรงต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการดำเนินงานของภาคอุตสาหกรรม ดังนั้น การศึกษาถึงสาเหตุความผิดพลาดต่าง ๆ เหล่านี้ ทำให้เข้าใจดีขึ้นในการป้องกันกระแสเกิน แรงดันเกิน แรงดันตก ลำดับเฟสของไฟฟ้า เพื่อปลดวงจรออกไปก่อนที่มอเตอร์จะเสียหาย และความจำเป็นที่จะต้องหมั่นบำรุงรักษามอเตอร์ตามระยะเวลาที่กำหนด และเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันให้ถูกต้อง เพื่อลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ ทำให้มอเตอร์มีอายุการใช้งานได้นานตามความต้องการ

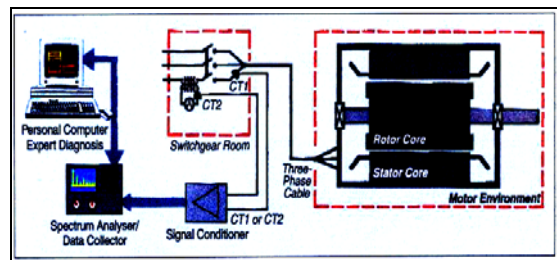


รูปที่ 2 ตัวอย่างที่เกิดจากความผิดพลาดบางส่วน ในเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหินยวนำ [1]

งานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะศึกษาความผิดพลาดของมอเตอร์ไฟฟ้าเหินยวนำ 3-เฟส จากความผิดพลาดที่เกิดขึ้นภายในตัวมอเตอร์ โดยการจำลองความผิดพลาดจากสาเหตุอันเกิดจากการลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ได้แก่การลัดวงจรระหว่างขดลวดถึงขดลวด (coil to coil) การลัดวงจรระหว่างขดลวดถึงกราวด์ (coil to ground) และกรณีวงจรเปิด (open circuit)

3. ระบบการวิเคราะห์โดยพิจารณาผลจากฮาร์มอนิกส์กระแสสเตเตอร์

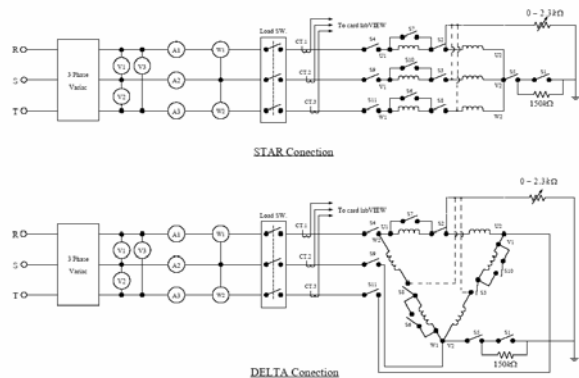
MCSA เป็นระบบการวิเคราะห์สัญญาณกระแสสเตเตอร์ส่วนใหญ่แล้วจะหมายถึงการวิเคราะห์กับมอเตอร์เหินยวนำ วิธีนี้ มีข้อดีคือเป็นการวิเคราะห์จากข้อมูลที่สามารรถตรวจจับได้ง่ายกว่าสัญญาณอื่น ๆ ระบบการวินิจฉัยโดยใช้ MCSA แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมของการวิเคราะห์สัญญาณกระแสของ 3-เฟสมอเตอร์ [1]

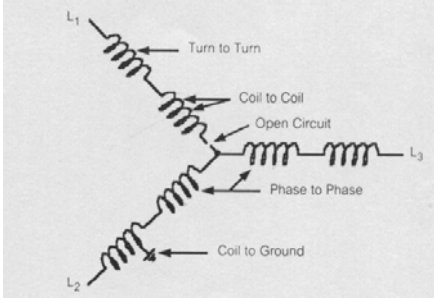
จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าเป็นการวิเคราะห์การตรวจจับสเปกตรัมที่เกิดขึ้นรวมอยู่ในกระแสสเตเตอร์ การวินิจฉัยด้วยวิธีดังกล่าวจะต้องมีเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (spectrum analyzer) สำหรับใช้แปลงไปยังโดเมนความถี่ก่อนการวินิจฉัยโดยใช้โปรแกรมประยุกต์ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม IabVIEW วิเคราะห์สเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจากความผิดพลาดของสัญญาณกระแสสเตเตอร์จากสาเหตุต่าง ๆ ได้

4. วงจรขดลวดมอเตอร์ที่ใช้จำลองความผิดพลาด



รูปที่ 4 วงจรขดลวดมอเตอร์ที่ใช้จำลองความผิดพลาดกรณีลัดวงจรที่สเตเตอร์ ทั้ง 2 แบบ

มอเตอร์ที่ใช้ทดลองในงานวิจัยนี้ ได้สั่งพันเป็นกรณีพิเศษ จำนวน 2 ตัว โดยต่อสายที่ปลายคอล์ยออกเป็นสองส่วนต่อเข้ากับสวิตช์ เพื่อให้ขดลวดลัดวงจรระหว่างคอล์ยถึงคอล์ย กรณีวงจรเปิดบางเฟส หรือกรณีขดลวดรั่วลงกราวด์ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 โหมดความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3-เฟส [2]

5. วงจรเสมือนของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

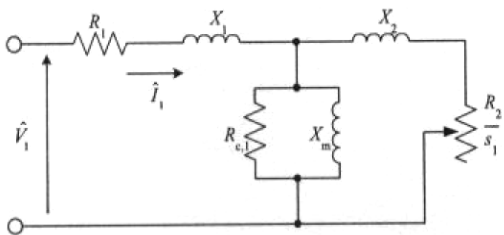
ความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนหรือความเร็วซิงโครนัส (N_s) จะขึ้นอยู่กับความถี่ของจำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (p) และความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้า (f) ดังสมการที่ 1

$$N_s = \frac{120 f}{p} \tag{1}$$

ความเร็วของโรเตอร์ (N_r) จะหมุนไปในทิศทางเดียวกับความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดจากความถี่มูลฐานในช่องอากาศ ความเร็วของโรเตอร์สามารถหาค่า per unit slip ได้ดังสมการที่ 2

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s} \tag{2}$$

ในการวิเคราะห์คุณลักษณะทางปฏิบัติของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถที่จะกำหนดได้จากวงจรเสมือนมาตรฐานต่อเฟส โดยมีส่วนของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเป็นรูปไซน์ความถี่มูลฐาน ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 วงจรเสมือนของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำตามมาตรฐาน

- เมื่อ \hat{V}_1 เป็นค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ป้อนเข้าความถี่มูลฐาน
- \hat{I}_1 เป็นค่ากระแสป้อนเข้าความถี่มูลฐาน
- R_1 เป็นค่าความต้านทานที่สเตเตอร์
- R_2 เป็นค่าความต้านทานโรเตอร์ที่ transfer to stator
- X_1 เป็นค่า Stator Leakage reactance
- X_2 เป็นค่า Rotor Leakage reactance transfer to stator
- X_m เป็นค่า Magnetizing reactance
- $X_{c,1}$ เป็นค่า Core loss resistance ที่ความถี่มูลฐาน

มอเตอร์เหนี่ยวนำได้รับไฟจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่มีเฟสห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า(phase-shifted) หรือ $\frac{2\pi}{3}$ เรเดียน กระแสทั้ง 3-เฟส สามารถหาค่าได้ตามสมการ

$$\begin{aligned} i_a &= I_m \cos(\omega t - \phi) \\ i_b &= I_m \cos\left(\omega t - \phi - \frac{2\pi}{3}\right) \\ i_c &= I_m \cos\left(\omega t - \phi + \frac{2\pi}{3}\right) \end{aligned} \tag{3}$$

- เมื่อ i_a คือกระแสของเฟส A (A)
- i_b คือกระแสของเฟส B (A)
- i_c คือกระแสของเฟส C (A)
- I_m ค่ากระแสสูงสุดของแต่ละเฟส (A)
- ω คือความเร็วเชิงมุม (rad/sec)
- ϕ คือมุมล้าหลังของเพาเวอร์แฟกเตอร์(rad)
- t คือเวลา (sec)

เนื่องจากกระแสแต่ละเฟสทำมุมห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้าที่มีลักษณะสมมาตรกัน ผลรวมของกระแสทั้งสามเฟสมีค่าเป็นศูนย์ ค่านี้สามารถหาได้โดยใช้สมการที่ 4

$$i_a + i_b + i_c = 0 \tag{4}$$

ในส่วนองแรงเคลื่อนแต่ละเฟสก็มีมุมที่ห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้าเหมือนกัน หรือมีค่าเท่ากับ $\frac{2\pi}{3}$ เรเดียน เมื่อใช้แรงเคลื่อนเฟส A เป็นตัวเปรียบเทียบ แรงเคลื่อนทั้งสามเฟสอธิบายได้จากสมการ 5

$$v_a = V_m \cos(\omega t)$$

$$v_b = V_m \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \tag{5}$$

$$v_c = V_m \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) = V_m \cos\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$$

เมื่อ v_a คือแรงเคลื่อนเฟส A (v)
 v_b คือแรงเคลื่อนเฟส B (v)
 v_c คือแรงเคลื่อนเฟส C (v)
 V_m คือค่าแรงเคลื่อนสูงสุดของแต่ละเฟส(v)
 ในรูปโพล่าฟอร์มแรงเคลื่อนทั้งสามเฟสสามารถเขียนได้
 ดังสมการที่ 6

$$\begin{aligned} \bar{V}_a &= V_m \angle 0^\circ \\ \bar{V}_b &= V_m \angle -120^\circ = V_m \angle -\frac{2\pi}{3} \\ \bar{V}_c &= V_m \angle -240^\circ = V_m \angle -\frac{4\pi}{3} \end{aligned} \tag{6}$$

อนึ่ง เนื่องจากแรงเคลื่อนแต่ละเฟสมีมุมห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้าและสมมาตรกันทั้งสามเฟส ผลรวมของแรงเคลื่อนทั้งสามเฟสในลักษณะนี้จึงมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังสมการที่ 7

$$v_a + v_b + v_c = 0 \tag{7}$$

ระบบแรงเคลื่อนสามเฟสอธิบายให้อยู่ในแบบของแรงเคลื่อนเฟส (phase voltage ; v_p) หรือแรงเคลื่อนไลน์ (line voltage ; v_l) ความสัมพันธ์ระหว่าง v_p และ v_l อธิบายได้จากสมการ 8

$$v_l = \sqrt{3} v_p \tag{8}$$

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าสมการที่ใช้เพื่อพิสูจน์การเกิดฮาร์โมนิกส์ความถี่สูง (f_{st}) เมื่อขดลวดสเตเตอร์ลัดรอบ (Short turns) ดังสมการที่ 9

$$f_{st} = f_1 \left[\frac{n}{p} (1-s) \pm k \right] \tag{9}$$

เมื่อ s คือสลลิป f_1 คือความถี่มูลฐาน (Fundamental) , p คือจำนวนขั้วแม่เหล็ก $n=1,2,3...$ และ $k=1,3,5.....$ ผลของการทดลองจะได้เสนอในลำดับถัดไป

6 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย

งานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม LabVIEW version 8 เป็นตัวเครื่องมือจับสัญญาณฮาร์โมนิกส์กระแสจากหม้อแปลงกระแส(CT) จำนวน 3 ตัว โดยสัญญาณที่ออกมาจะเป็นสัญญาณอนาล็อกนำเข้าทางพอร์ตอนาล็อกของการ์ด DAQ และแสดงผลของสัญญาณที่ได้ทางมอนิเตอร์ของเครื่องมือที่ได้จำลองไว้



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 7 (ก),(ข) หม้อแปลงกระแส (CT),การ์ด DAQ USB 6009
 (ค) ชุดควบคุมการจ่ายไฟและสวิตช์แม่เหล็ก
 (ง) Tachometer ทดสอบความเร็วรอบ

เมื่อมอเตอร์ทำงานในสภาพที่มอเตอร์สมบูร์ณ ผลรวมของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่ขดลวดสเตเตอร์จะสมดุลทั้งสามเฟส ความเร็วรอบของสนามแม่เหล็กหมุนหาได้จากสมการที่ 1 และความเร็วรอบที่โรเตอร์หาได้จากสมการที่ 2 ความแตกต่างระหว่างความเร็วทั้งสองเรียกว่าความเร็วสลลิป หาได้จากสมการที่ 3 ความถี่ที่เกิดขึ้นกรณีขดลวดลัดวงจร หาได้จากสมการที่ 9

7 ผลการทดลอง

7.1 ผลการทดลองแบบสตาร์ (Y-Connection) Motor No 1



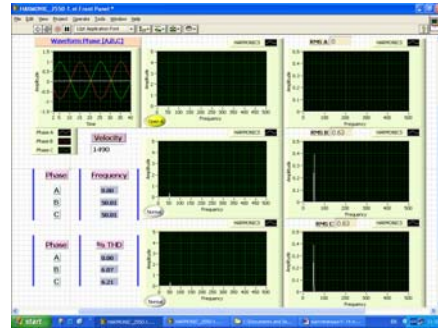
รูปที่ 8 ทดสอบมอเตอร์ 3-phase, 2 hp, 220/380 volts.4 poles squirrel cage induction motot (noload -test)

วิธีการทดลอง

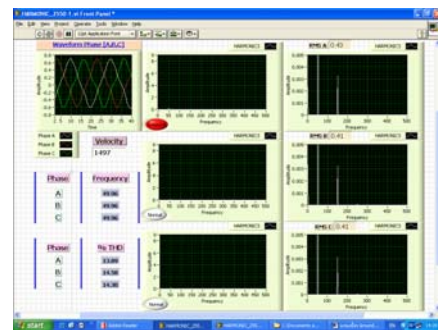
การจำลองความผิดปกติของมอเตอร์เมื่อต่อแบบสตาร์ จะจ่ายแรงดันให้ต่ำกว่าปกติของมอเตอร์เพื่อความปลอดภัยของอุปกรณ์ โดยการปรับ variac ให้ได้ค่าที่ 100 volts แล้วทำการ On switch ต่าง ๆ ตามเงื่อนไข เพื่อศึกษาการลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ การรั่วลงกราวด์ และกรณีวงจรเปิดบางเฟส

จากการทดสอบกับมอเตอร์จำนวน 5 ตัว ที่ได้สิ่งพหุเป็นกรณีพิเศษ เพื่อใช้สำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้ ให้ผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นจึงขอยกตัวอย่างการทดลองกับมอเตอร์ 3-เฟส ขนาด 2 แรงม้า 4-โพล ชนิดโรเตอร์แบบกรงกระรอก โดยการลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า ขดลวดจะลัดรอบเพียง 1 ใน 4 ของจำนวนรอบทั้งหมดของแต่ละเฟส

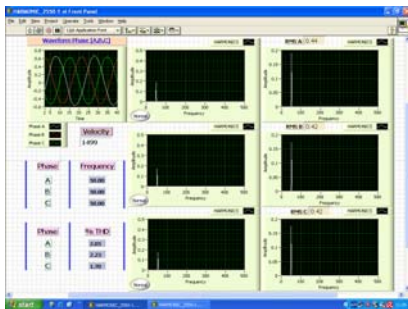
ผลการทดลองของการเปลี่ยนแปลงฮาร์มอนิกกระแสแอมป์ต่างๆ แสดงดังรูปที่ 9 – 14 และสรุปความผิดปกติจากสาเหตุต่างๆ ของมอเตอร์ดังกล่าวตามตาราง ที่ 1-4 ดังนี้



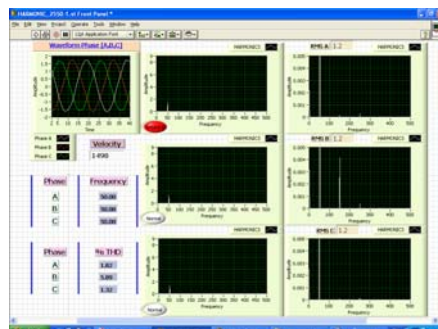
รูปที่ 12 สภาวะวงจรเปิดเฟส A



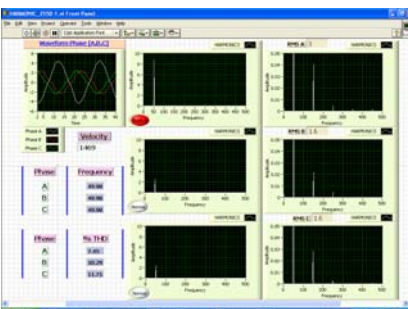
รูปที่ 13 สภาวะขดลวดรั่วลงกราวด์เฟส A เมื่อต่อแบบสตาร์



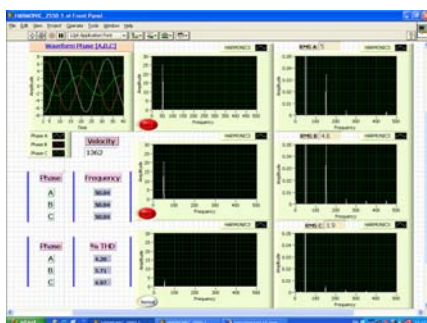
รูปที่ 9 สภาวะมอเตอร์ปกติ



รูปที่ 14 สภาวะขดลวดรั่วลงกราวด์เฟส A เมื่อต่อแบบเดลต้า



รูปที่ 10 สภาวะมอเตอร์ลัดวงจรเฟส A



รูปที่ 11 สภาวะมอเตอร์ลัดวงจรเฟส AB

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงฮาร์มอนิกกระแสแอมป์กรณีลัดวงจร 1 เฟส

Status	Phase	RMS	Normal	RMS ที่เพิ่มขึ้น(เท่า)	THD	Normal	THD ที่เพิ่มขึ้น(เท่า)
Short A	Phase A	3	0.44	6.82	7.45	2.05	3.25
	Phase B	1.6	0.42	3.81	10.29	2.23	4.61
	Phase C	1.6	0.42	3.81	11.10	1.70	6.53
Short B	Phase A	1.6	0.44	3.64	10.71	2.05	5.22
	Phase B	2.9	0.42	6.30	6.86	2.23	3.08
	Phase C	1.5	0.42	3.57	11.18	1.70	6.58
Short C	Phase A	1.6	0.44	3.64	11.11	2.05	5.42
	Phase B	1.5	0.42	3.57	11.57	2.23	5.19
	Phase C	2.9	0.42	6.30	6.94	1.70	4.05

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงฮาร์มอนิกกระแสแอมป์กรณีลัดวงจร 2 เฟส

Status	Phase	RMS	Normal	RMS ที่เพิ่มขึ้น(เท่า)	Harmonic 3
Short AB	Phase A	5	0.44	11.36	0.125
	Phase B	4.6	0.42	10.95	0.078
	Phase C	1.9	0.42	4.52	0.018
Short BC	Phase A	2	0.44	4.55	0.022
	Phase B	5.6	0.42	13.33	0.125
	Phase C	5.9	0.42	14.05	0.080
Short AC	Phase A	6.1	0.44	13.86	0.080
	Phase B	2	0.42	4.76	0.020
	Phase C	5.7	0.42	13.57	0.125

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงฮาร์มอนิกกระแสกรณีวงจรเปิด 1 เฟส

Status	Phase	RMS	Normal	RMS ที่เพิ่มขึ้น(เท่า)	THD	Normal	THD ที่เพิ่มขึ้น(เท่า)
Open A	Phase A	-	0.44	-	-	-	-
	Phase B	0.63	0.42	1.50	2.23	6.07	0.37
	Phase C	0.63	0.42	1.50	1.70	6.21	0.27
Open B	Phase A	0.64	0.44	1.45	2.05	5.53	0.37
	Phase B	-	0.42	-	-	-	-
	Phase C	0.64	0.42	1.52	1.70	5.43	0.31
Open C	Phase A	0.65	0.44	1.48	2.05	5.14	0.40
	Phase B	0.64	0.42	1.52	2.23	5.16	0.43
	Phase C	-	0.42	-	-	-	-

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงฮาร์มอนิกกระแสกรณีขดลวดรั่วลงกราวด์ 1 เฟส

Status	Phase	RMS	Normal	RMS ที่เพิ่มขึ้น(เท่า)	Harmonic 3	THD
Ground A	Phase A	0.43	0.44	0.96	0.003	13.89
	Phase B	0.41	0.42	0.96	0.003	14.58
	Phase C	0.41	0.42	0.96	0.003	13.96
Ground B	Phase A	0.43	0.44	0.96	0.003	13.82
	Phase B	0.41	0.42	0.96	0.003	13.86
	Phase C	0.41	0.42	0.96	0.003	14.97
Ground C	Phase A	0.43	0.44	0.96	0.003	13.82
	Phase B	0.41	0.42	0.96	0.003	13.89
	Phase C	0.41	0.42	0.96	0.003	13.33

จากตารางผลการทดลองที่ 1-4 พบว่า การเปลี่ยนแปลงฮาร์มอนิกกระแสกรณีขดลวดจร 1 เฟส นั้นหากกระแส RMS ของเฟสใดมีอัตราการเพิ่มขึ้นมากที่สุด ผลรวมของฮาร์มอนิกที่ 75 และ 125 มากที่สุด ในขณะที่ THD เพิ่มขึ้นในอัตราที่น้อยสุด ดังตารางที่ 1 พบว่ามีกระแสขดลวดจรที่เฟสนั้น

กรณีที่ขดลวดจรทั้ง 2 เฟสนั้นพบว่า 2 เฟสใดที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของกระแส RMS มากพอๆกันในขณะที่ยังเฟสกลับมีการเพิ่มขึ้นของกระแส RMS น้อยกว่า และฮาร์มอนิกที่ 3 ของทั้ง 2 เฟสมีค่าสูงพอๆกันและอีกเฟสมีค่าฮาร์มอนิกที่ 3 น้อยกว่าสรุปได้ว่า มีการขดลวดจรที่เฟส 2 เฟสดังกล่าว

การเปลี่ยนแปลงฮาร์มอนิกกระแสกรณีวงจรเปิด 1 เฟสพบว่าเฟสนั้นๆจะไม่มีค่ากระแส RMS และมีการเพิ่มขึ้นของกระแส RMS และ THD ใน 2 เฟสที่เหลือเล็กน้อย

การเปลี่ยนแปลงฮาร์มอนิกกระแสกรณีขดลวดรั่วลงกราวด์ เฟสใดเฟสหนึ่งพบว่า กระแส RMS มีค่าเท่าเดิม ฮาร์มอนิกที่ 3 จะเพิ่มขึ้นทั้ง 3 เฟส THD ก็เพิ่มขึ้นทั้ง 3 เฟส ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการรั่วลงกราวด์ wave form phase จะบิดเบี้ยวอย่างเห็นได้ชัด

8. สรุป

ถึงแม้ว่าสัญญาณฮาร์มอนิกกระแสที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรกลไฟฟ้าจากสาเหตุใด ๆ ก็ตาม เช่น ขดลวดสเตเตอร์ลัดรอบ การหายไปของขดลวดบางเฟส ที่เกิดขึ้น จะเหนี่ยวนำไปปรากฏในทุก ๆ เฟสของเครื่องจักรกลไฟฟ้าด้วยก็ตาม แต่ก็มีความแตกต่างกันบ้างในส่วนของคุณค่าหรือแอมพลิจูดเท่านั้น ทั้งนี้สาเหตุหลักก็เนื่องมาจากความแตกต่างกันของค่าพารามิเตอร์ปลั๊กย่อยในแต่ละเฟสนั่นเองซึ่งความผิดพร่องของมอเตอร์เหนี่ยวนำ จากสาเหตุต่างๆที่กล่าวมานั้น สามารถวิเคราะห์ได้จากการดูฮาร์มอนิกกระแสที่เกิดขึ้น ถ้ามีฮาร์มอนิกอันดับอื่นปะปนอยู่กับความถี่หลักมูลจำนวนมาก ก็จะทำให้สัญญาณหลักมูลผิดเพี้ยนไป การทำงานของมอเตอร์จะผิดปกติอันเป็นสาเหตุให้เกิดความผิดพร่องดังกล่าวแล้ว

ดังนั้นการศึกษาความผิดพร่องของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3-เฟส ด้วยการใช้วิเคราะห์สัญญาณกระแส จึงสามารถตรวจสอบความสมบูรณ์ของมอเตอร์ได้อย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องถอดหรือเครื่องจักรออก ทำให้การบำรุงรักษาสะดวก อันเป็นส่วนสำคัญในการควบคุมคุณภาพของผลผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้สูงขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 2547-2549

9. เอกสารอ้างอิง

[1] เถลิมาชาติ มานพ และชาญวิทย์ ตั้งสิริวิรุฑ “ข้อเสนอแนะสำหรับงานวินิจฉัยเครื่องจักรกลไฟฟ้า” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 3, 8-9 ธันวาคม 2547

[2] Bonnett, A.H. and Soukup, G.C. 1992. “ Cause and Analysis of Stator and Rotor Failures in Three-Phase Squirrel-Cage Induction motors.” IEEE Tran. Industry App. Vol. 28, No.4 July/August, pp. 921-937.

[3] Benbouzid, M.E.H. and Kliman, G.B. 2003. “ What stator current processing based technique to use for induction motor rotor faults diagnosis.” : IEEE Trans. On Energy Conversion, Vol. 35 , No.5, September/October. Pp.1007-1013.

[4] A.H. Bonnett and T. Albers, “Squirrel-Cage Rotor Option for AC Induction Motors” : IEEE Trans. On industry applications, Vol.37, No.4, July/August 2001,pp.1197-1208

[5] เถลิมาชาติ มานพ และชาญวิทย์ ตั้งสิริวิรุฑ “โรเตอร์กรงกระรอกสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ” (วารสารเทคนิค 211 มิถุนายน 2545) หน้า 115-142

[6] Thomas G. Habetler :“ Online Condition Monitoring and Diagnostics of Electric Machines” , Georgia Institute of Technology(Distinguished Lecture) pp.1-22

[7] Nandi, S. and Toliyat, H.A. 2002. “ Novel frequency-domain-based technique to detect stator interturn faults in induction machines using stator-induced voltages after switch-off.” : IEEE Trans. Ind. Applicat, vol. 38, No. 1, Jan/Feb, pp.101-109

[8] Thomson, W.T. and Fenger, M. 2001. “ Current signature analysis to detect induction motor faults.Industry Applications Magazine”.; IEEE, Vol, 7, Issue 4, July-Aug, pp.26-34