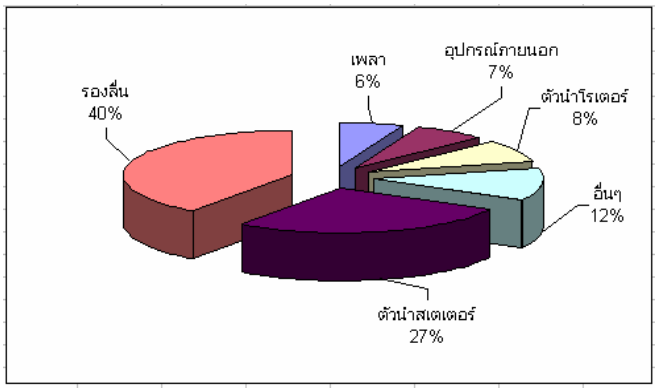
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ปัจจุบันมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำ (induction motors) เป็นต้นกำลังที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดในวงการอุตสาหกรรมทั่ว ๆ ไป เพราะเป็นพลังงานไฟฟ้าที่มีความสะดวกในการแปรรูปเป็นรูปอื่น มอเตอร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดได้แก่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ 3-เฟสเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น ความแข็งแรง ทนทาน ราคาถูก ประสิทธิภาพสูง ตลอดจนการบำรุงรักษาสะดวก

โดยทั่วไปมอเตอร์ที่ใช้งานไประยะหนึ่ง มักเกิดความผิดพร่อง ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเลือกมอเตอร์ที่ไม่เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน การเลือกระบบควบคุมไม่ถูกต้อง การติดตั้งและการเดินสายไฟฟ้าไม่ตรงกับความต้องการของมอเตอร์ หรือใช้สายผิดขนาด การใช้งานโดยไม่ได้ตรวจบำรุงรักษาเป็นเวลานาน ๆ สภาพของระบบไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงผิดปกติเป็นต้น จากสาเหตุสำคัญหลัก ๆที่ทำให้มอเตอร์เกิดการชำรุดเสียหายได้แสดงให้เห็นดังรายละเอียดของความผิดพร่องทั้งหมดที่แสดงดังภาพประกอบ 1-1



ภาพประกอบ 1-1 เปอร์เซ็นต์ความผิดพร่องของส่วนประกอบต่าง ๆ ในมอเตอร์เหนี่ยวนำ

จากสาเหตุหลัก ๆ ที่ทำให้มอเตอร์ผิดพร่อง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ ความผิดพร่องภายใน(internal failures) และความความผิดพร่องภายนอกตัวมอเตอร์(external failures) โดยแต่ละส่วนสามารถแยกแยะความผิดพร่องได้ดังนี้

1. ความผิดพร่องภายในตัวมอเตอร์(internal failures) เช่น
   - ลัดวงจรหรือลัดรอบในขดลวดสเตเตอร์ (short circuit ,short- turn in stator winding)
   - ขดลวดรั่วลงดิน (earth fault)
   - ความร้อนสูงในแบริ่ง (overheat in bearing)
   - การเสียดสีระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ เป็นต้น
2. ความผิดพร่องภายนอกตัวมอเตอร์ (external failures) ที่เป็นปัญหาและพบบ่อยคือ
   - Mechanical Overload
   - Supply voltage changes
   - Single phasing
   - Frequency changes เป็นต้น

ความผิดพร่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจะนำไปสู่ความเสียหายให้กับมอเตอร์ ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการดำเนินงานของภาคอุตสาหกรรม ดังนั้นการศึกษาถึงสาเหตุความผิดพร่องต่าง ๆ เหล่านี้ ทำให้เข้าใจดีขึ้นในการป้องกันกระแสเกิน แรงดันเกิน แรงดันตก ลำดับเฟสของไฟฟ้า เพื่อปลดวงจรออกไปก่อนที่มอเตอร์จะเสียหาย และความจำเป็นที่จะต้องหมั่นบำรุงรักษามอเตอร์ตามระยะเวลาที่กำหนดและเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันให้ถูกต้อง เพื่อลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ ทำให้มอเตอร์มีอายุการใช้งานได้นานตามความต้องการ

งานวิจัยนี้มีแนวคิดเพื่อศึกษาความผิดพร่องของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส จากความผิดพร่องที่เกิดขึ้นภายในตัวมอเตอร์ (Internal failures) โดยการจำลองความผิดพร่องจากสาเหตุอันเกิดจากการลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ได้แก่การลัดวงจรระหว่างขดลวดถึงขดลวด (coil to coil) การลัดวงจรระหว่างขดลวดถึงกราวด์ (coil to ground) กรณีวงจรเปิด (open circuit) กรณีความไม่สมมาตรของแกนโรเตอร์ (Unbalance rotor core)

1.2 การตรวจเอกสาร

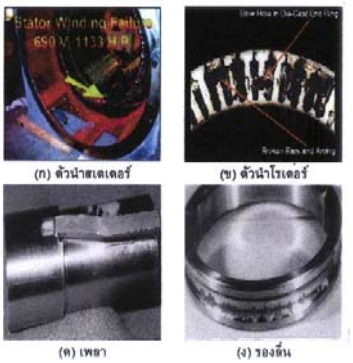
1.2.1 Suggestion for Electrical Machines Diagnosis : M.Chalermchat and T. Chanwit การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 3 , 8-9 ธันวาคม 2547

บทความนี้เป็นงานวิจัยที่นำเสนอข้อเสนอแนะสำหรับงานวินิจฉัยเครื่องจักรกลไฟฟ้าโดยใช้วิธีการวิเคราะห์สัญญาณกระแสมอเตอร์เพื่อตรวจจับความผิดพร่องในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

ซึ่งความผิดพร่องที่เกิดขึ้นกับส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ส่วนใหญ่แล้วจะมีผลมาจากความเค้น (stress) ที่ไปกระทำกับมอเตอร์ เช่น ปัญหาของแรงดันแบบ PWM (Pulse width modulation) ที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับของแรงดัน ตามการสวิตซ์ของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ซึ่งนอกจากนี้ความเค้นยังสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุด้วยกัน โดยสามารถแยกออกได้เป็น 9 ชนิด ดังแสดงในตาราง 1-1 เครื่องหมายถูก หมายถึงการมีผลต่อส่วนประกอบนั้น ๆ ของมอเตอร์ ส่วนภาพประกอบ 1-2 แสดงตัวอย่างความผิดพร่องของส่วนประกอบในเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ตารางที่ 1-1 สรุปความเค้น(stress) ที่มีผลทำให้เกิดความผิดพร่องกับส่วนประกอบต่าง ๆ ของมอเตอร์

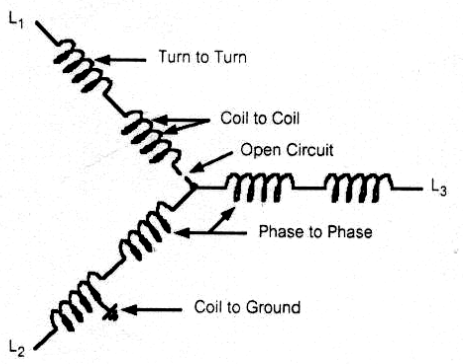
ชนิดของความเค้น	รองลื่น	ขดลวดสเตเตอร์	โรเตอร์	เพลา
ความร้อน	/	/	/	/
ไฟฟ้า/ไดอิเล็กตริก	/	/	/	
ทางกล	/	/	/	/
ไดนามิก	/		/	/
แรงกด				/
การสั่น/การกระตุก	/	/	/	/
การตกค้าง			/	/
แม่เหล็กไฟฟ้า	/	/	/	/
สิ่งแวดล้อม	/	/	/	/



ภาพประกอบ 1- 2 ตัวอย่างความผิดพร่องของบางส่วนประกอบในเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

1.2.2 Cause and Analysis of Stator and Rotor Failures in Three-Phase Squirrel–Cage Induction Motors Bonnelt,A.H. and Soukup, G.C.1992. IEEE Tran. Industry App. Vol. 28, No.4 July/August, pp. 921-937

บทความนี้กล่าวถึงการลัดวงจรของลวดตัวนำสเตเตอร์และโรเตอร์ ในกรณีการลัดวงจรระหว่างรอบของลวดสเตเตอร์ หรือเรียกสั้น ๆ ว่า การลัดรอบ (short - turn) เป็นสาเหตุหนึ่งที่เกิดขึ้นในมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีเปอร์เซ็นของการเกิดขึ้นอยู่ในลำดับต้นๆ จากสาเหตุสำคัญหลัก ๆ ที่ทำให้มอเตอร์เกิดการชำรุดเสียหายดังรายละเอียดของความเสียหายทั้งหมด ที่แสดงดังภาพประกอบ 1-1 มีมอเตอร์เหนี่ยวนำจำนวนมากที่ขดลวดสเตเตอร์ลัดรอบและรวมถึงวงแหวนลัดวงจรแตกร้าว โดยขดลวดสเตเตอร์จะเริ่มจากการลัดวงจรระหว่างรอบถึงรอบ ซึ่งเป็นผลมาจากการเสิร์จสวิตชิ่ง (switching surges) ผลจากฟ้าผ่า การสั่นสะเทือน โคโรน่าภายใน (internal corona) หรือการดิสชาร์จบางส่วน ปรากฏการณ์ทางเคมีที่เกิดขึ้นที่ฉนวนของขดลวด ความร้อนที่เกิดขึ้น ความไม่สมบูรณ์ของฉนวน การลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์แสดงให้เห็นดังภาพประกอบ 1-3

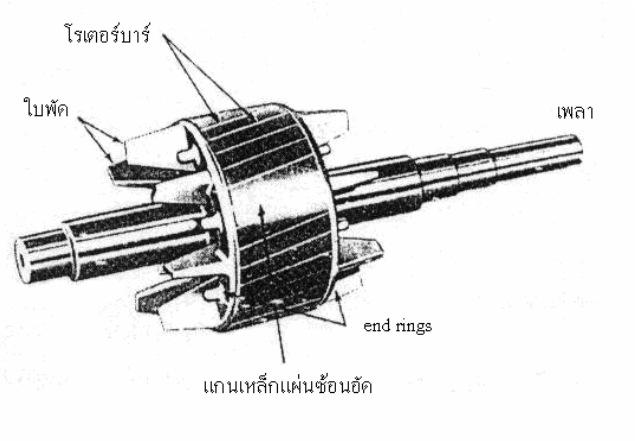


ภาพประกอบ 1-3 ความผิดพร่องของขดลวดสเตเตอร์ในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เมื่อขดลวดต่อแบบสตาร์

ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำนั้น บางสาเหตุเกิดมาจากการลุกลามของปัญหาเพียงเล็กน้อย ดังนั้นถ้ามีการบอกเหตุความผิดพร่องได้ล่วงหน้าในกรณีที่ยังไม่ร้ายแรงนัก ก็สามารถที่จะวางแผนเพื่อให้เสียค่าใช้จ่ายอันอาจจะเกิดขึ้นกับมอเตอร์ในด้านต่าง ๆ ได้น้อยที่สุด ซึ่งการวินิจฉัยความผิดพร่องของฉนวนสามารถใช้สเปกตรัมในโดเมนความถี่ (frequency domain) หรือสัญญาณในโดเมนเวลา (time domain) ก็ได้

1.2.3 Squirrel-Cage Rotor Options for AC Induction MotorA.H. Bonnett and T. Albers, IEEE Trans. On industry applications, Vol.37, No.4, July/August 2001,pp.1197-1208

เป็นบทความที่แนะนำให้รู้จักโครงสร้างและคุณสมบัติต่างๆ ของโรเตอร์อันจะเป็นพื้นฐานที่ดีสำหรับการตรวจวินิจฉัยความสมบูรณ์ของมอเตอร์ ในปัจจุบันมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำ (induction motors) ที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น ความแข็งแรง ทนทาน โดยเฉพาะโรเตอร์จะแข็งแรงกว่าสเตเตอร์ นอกจากนี้มอเตอร์เหนี่ยวนำยังมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน ทำให้การออกแบบและสร้างทำได้ง่ายกว่าเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ จากส่วนประกอบหลัก ๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่กับที่ (stator) และส่วนที่เคลื่อนที่ได้ (rotor) ทำให้การออกแบบสามารถกระทำได้กับสองส่วนนี้เท่านั้น แต่ส่วนที่อยู่กับที่ หรือที่เรียกว่า สเตเตอร์จะต้องถูกออกแบบเพื่อให้เป็นไปตามข้อบังคับ ซึ่งการออกแบบ โรเตอร์จะมีทางเลือกที่มากกว่า เช่น จำนวนของแท่งตัวนำ การเฉียงของสล็อต รูปร่างของสล็อต ช่องอากาศ วัสดุที่ใช้ทำแท่งตัวนำ ฉนวนของแท่งตัวนำ และกระบวนในการสร้างจะเป็นตัวแปร ซึ่งผู้ออกแบบจะกำหนดตามคุณลักษณะที่ต้องการ ภาพประกอบ 1-4 เป็นรูปโครงสร้างของโรเตอร์กรงกระรอกของมอเตอร์เหนี่ยวนำ



ภาพประกอบ 1-4 โครงสร้างของโรเตอร์กรงกระรอกของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

โรเตอร์กรงกระรอกประกอบด้วยเหล็กแผ่นซ้อนอัด (laminated steel) เพื่อนำพาฟลักซ์แม่เหล็ก การส่งผ่านความร้อน และโครงสร้างของกรง ส่วนแท่งตัวนำโรเตอร์ (rotor bars) มีหน้าที่นำพากระแสไฟฟ้าและสร้างแรงบิด(touqe) รองลื่น(bearing) จะติดอยู่กับเพลา(shaft) เพื่อกำหนดตำแหน่งของโรเตอร์ ใบพัด(fans) โดยปกติจะถูกติดตั้งไว้ที่โรเตอร์ เพื่อระบายความร้อนให้แก่มอเตอร์ โรเตอร์อาจจะประกอบด้วยรูระบายอากาศ (air duct) โดยเฉพาะโรเตอร์แบบสไปเดอร์ (spider) เพลาโรเตอร์โดยปกติแล้วจะทำมาจากเหล็กเบอร์ 1045 ซึ่งเป็นเกรดที่มีความแข็งแรงสูง หรือเหล็กที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันรวมถึงวัสดุอื่น ๆ สำหรับการนำมาประยุกต์ใช้ที่พิเศษ เช่น CR-MO 1442 สเตนเลส 416 และคาร์บอน 1144 ขนาดของเพลาจะออกแบบโดยพิจารณาจากแรงบิดทั้งในสภาวะปกติและสภาวะชั่วครู่ (transient) โรเตอร์จะต้องไม่เอียง และจะต้องไม่สัมผัสกับ สเตเตอร์ขณะที่เริ่มเดินและขณะเดิน (startup or running)

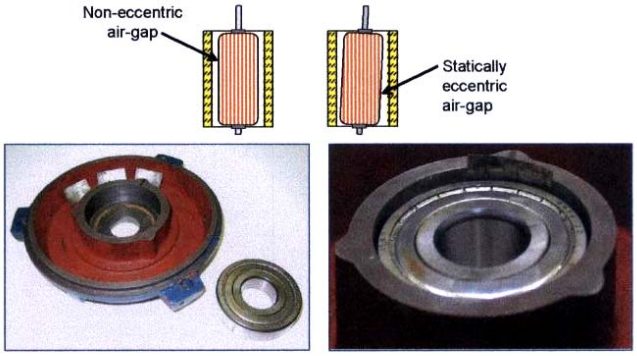
ความผิดพร่อง (failures) ของโรเตอร์โดยหลัก ๆ แล้ว เกิดจากการรวมกันของความเค้นต่าง ๆ ซึ่งกระทำที่โรเตอร์ โดยทั่วไปความเค้นเหล่านี้มีสาเหตุมาจากกรณีต่าง ๆ ดังนี้

1. ความร้อน
2. แม่เหล็กไฟฟ้า
3. แม่เหล็กไฟฟ้าตกค้าง
4. สภาวะพลวัต (dynamic)
5. สิ่งแวดล้อม
6. ทางกล

1.2.4 Online Condition Monitoring and Diagnostics of Electric Machines Thomas G. Habetler : Georgia Institute of Technology(Distinguished Lecture) pp.1-22

บทความนี้จะกล่าวถึงการวินิจฉัยความผิดพร่องของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส จากหลายสาเหตุ เช่นกรณีเมื่อมอเตอร์เยื้องศูนย์จะทำให้ช่องอากาศ(air gap)ไม่สมมาตร ช่องอากาศ(air gap)ของมอเตอร์เหนี่ยวนำนั้น หมายถึงช่องว่างที่อยู่ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางอันในของสเตเตอร์ กับเส้นผ่านศูนย์กลางอันนอกของโรเตอร์ ความยาวของช่องอากาศจะถูกคงที่ไว้ที่ค่าต่ำสุด เพื่อป้องกันการถึงกันทางกลระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์ ซึ่งขนาดของช่องอากาศจะมีอิทธิพลต่อคุณลักษณะในการทำงานบางอย่างของโรเตอร์

สนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ จะส่งกำลังไฟฟ้าข้ามผ่านช่องอากาศและเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าไปเป็นกำลังกล ช่องอากาศที่ยาวกว่าจำเป็นต้องใช้แรงแม่เหล็ก (magnetic force) มากกว่า เพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก (magnetic field) ถ้ากระแสแม่เหล็ก (magnetic current) มากขึ้น ค่าตัวประกอบกำลังจะต่ำลง ดังนั้นสำหรับค่าตัวประกอบกำลังที่ดีที่สุด ช่องอากาศควรจะมีขนาดที่เล็กที่สุด อย่างไรก็ตามในเรื่องของประสิทธิภาพที่เหมาะสมที่สุด ช่องอากาศควรจะมีขนาดที่ใหญ่ (กว้าง) เนื่องจากสามารถลดฟลักซ์ซิกแซก (zigzag flux) ลงได้ รวมทั้งความสูญเสียปลีกย่อย (stray loss) ก็จะถูกทำให้ลดลงด้วย ความไม่สมมาตรของโรเตอร์แสดงดังภาพประกอบ 1-5



ภาพประกอบ 1-5 ความไม่สมมาตรของแกนโรเตอร์

ปัญหาที่เพิ่มขึ้นตามมาของการดึงทางแม่เหล็กที่มากเกินไป คือ ทำให้เกิดเสียงรบกวนและการสั่น นอกจากนี้การรวมกันระหว่างฮาร์มอนิกของสเตเตอร์กับฮาร์มอนิกของโรเตอร์ยังทำให้เกิดแรงแนวรัศมี (radial force) และยังสามารถทำให้เกิดเสียงรบกวนทางแม่เหล็กและการสั่นเช่นกัน

1.2.5 Novel Frequency – Domain – Based Technique to Detect Stator Interturn Faults in Induction Mechnines Using Stator- Induced Voltage After Switch- off: Nandi, S. and Toliyat, H.A. 2002. IEEE Trans. Ind. Applicat, vol. 38, No. 1, Jan/Feb, pp.101-109

บทความนี้กล่าวถึงเรื่องของเทคนิคใหม่ที่อาศัยโดเมนความถี่ เพื่อตรวจจับความผิดพร่องภายในขดลวดสเตเตอร์ของเครื่องกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ที่ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าหลังเกิดการ switch-off ความผิดพร่องที่เกิดขึ้นในขดลวดสเตเตอร์ ปกติแล้วจะเกี่ยวข้องกับความผิดพร่องด้านฉนวน ได้แก่ ความผิดพร่องที่เกิดจากเฟสถึงกราวด์ (phase-to-ground) หรือเฟสถึงเฟส (phase-to-phase) เชื่อกันว่าความผิดพร่องเหล่านี้เกิดจากความผิดพร่องที่ไม่สามารถตรวจจับในการหมุนแต่ละครั้งได้ ซึ่งในที่สุดก็จะเพิ่มขึ้นสะสมกลายเป็นความผิดพร่องที่รุนแรง ตามรายงานในเรื่องความล้มเหลวของมอเตอร์ในเครื่องจักรไฟฟ้าพบว่าเกือบ 30-40% ที่เกิดจากสาเหตุดังกล่าว สาเหตุหลัก ๆ ของความผิดพร่องในเรื่องฉนวน สเตเตอร์มีดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิที่เกิดจากการหมุนหรือที่แกนสเตเตอร์สูง
2. การเกิดชั้นซ้อนในแกนหรือมีรอยแยกในช่องหรือข้อต่อ
3. ข้อต่อส่วนที่หมุนตอนปลายหลวม
4. เกิดการปนเปื้อนเนื่องมาจากน้ำมัน ความชื้น ความสกปรก
5. เกิดการลัดวงจรหรือความหนืดจากการเริ่มติดเครื่อง
6. การปล่อยกระแสไฟฟ้า
7. มีรอยรั่วซึมในระบบหล่อเย็น

งานวิจัยนี้ได้อภิปรายถึงรูปแบบการตรวจจับความผิดพร่องภายในสเตเตอร์ มีฮาร์มอนิกส์บางชนิดที่ขั้วของเครื่องจักรโดยวัดทันทีหลังจากเกิดการ switch-off โดยการศึกษาครั้งนี้ได้อธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นของฮาร์มอนิกส์เหล่านั้นอย่างเป็นเชิงฟิสิกส์

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาความผิดพร่องของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยการจำลองความผิดพร่องกรณีต่าง ๆ ได้แก่ การลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ การรั่วลงดิน กรณีวงจรเปิด และกรณีความไม่สมมาตรของแกนโรเตอร์

1.3.2 เพื่อศึกษาการวิเคราะห์สัญญาณกระแสของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส

1.3.3 พัฒนาเครื่องมือเพื่อตรวจจับสัญญาณกระแสของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาความผิดพร่องของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสโดยการจำลองความผิดพร่องกรณีต่าง ๆได้แก่

- เกิดการลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ ได้แก่ลัดวงจร 1 เฟส ลัดวงจร 2 เฟส
- เกิดการรั่วลงดิน
- เกิดการหายไปของขดลวดสเตเตอร์บางเฟส
- เกิดความไม่สมมาตรที่แกนโรเตอร์

1.4.2 ศึกษาการจำลองเครื่องมือวัดเสมือนด้วยการใช้โปรแกรม LabVIEW

1.4.3 ศึกษาคุณลักษณะของสัญญาณกระแสจากความผิดพร่องของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ตามเงื่อนไข

1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.5.1ศึกษาและค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ศึกษาคุณลักษณะของสัญญาณกระแส จากความผิดพร่อง ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ตามเงื่อนไข

1.5.3 ออกแบบและจำลองเครื่องมือวัดเสมือน วัดฮาร์มอนิกส์กระแสด้วยโปรแกรม LabVIEW

1.5.4 ทดสอบและเก็บข้อมูลสัญญาณฮาร์มอนิกส์กระแสจากทฤษฎีที่ศึกษา ได้โดยใช้เครื่องมือวัดเสมือนที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม LabVIEW

1.5.5 สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์ความผิดพร่องที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

1.5.6 เขียนวิทยานิพนธ์และแก้ไขข้อผิดพลาด

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 รู้และเข้าใจปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพร่องของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสโดยการจำลองความผิดพร่องกรณีต่าง ๆ ได้แก่การลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ การรั่วลงดิน กรณีการหายไปของขดลวดบางเฟส และกรณีความไม่สมมาตรของแกนโรเตอร์

1.6.2 สามารถวิเคราะห์ผลกระทบของสัญญาณฮาร์มอนิกส์กระแสต่อสมรรถนะของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส

1.6.3 สามารถนำเครื่องมือวัดเสมือนไปประยุกต์ใช้ในระบบการบำรุงรักษาเครื่องจักรกลแบบเวลาปัจจุบัน (real time maintenance) โดยไม่ต้องถอดรื้อชิ้นส่วนออก (non-invasive)