บทที่ 3

การวิเคราะห์ความผิดพร่องของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เนื่องจากคุณลักษณะที่ดีหลายประการของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ทำให้มีการนำมอเตอร์ชนิดนี้มาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งกล่าวได้ว่าทุกโรงงานอุตสาหกรรมนั้นต้องมีมอเตอร์เหนี่ยวนำอยู่ โดยทั่วไปแล้วในประเทศอุตสาหกรรมจะใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำประมาณ 40% ถึง 50% ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าทั้งหมด แต่ถึงแม้ว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำจะสามารถทำงานได้อย่างดีก็ตาม ก็ยังเกิดความผิดพร่องขึ้นได้ ถ้าความผิดพร่องถึงขั้นร้ายแรงก็อาจจะทำให้ต้องเปลี่ยนใหม่ แต่ถ้าผิดพร่องเพียงเล็กน้อยก็อาจจะสามารถนำไปซ่อมแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ถึงอย่างไรก็ตามไม่ว่าจะเป็นสาเหตุเพียงเล็กน้อยหรือมาก ก็จะส่งผลต่อการหยุดชะงักของกระบวนการผลิตทั้งหมดไป ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำบางสาเหตุนั้นมาจากการเสียหายเพียงเล็กน้อยแล้วลุกลามเป็นปัญหาใหญ่ ดังนั้นถ้ามีการบอกเหตุล่วงหน้าได้เช่น มอเตอร์เกิดการสั่น มีเสียงดังเกิดขึ้นผิดปกติหรือกรณีอื่นๆ ถ้าหากยังไม่ร้ายแรงมากนักก็สามารถที่จะวางแผนเพื่อทำให้เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และถึงแม้ว่าได้มีการตรวจเช็คอยู่เป็นประจำแล้วก็ตามก็ไม่สามารถทนต่อการชำรุดของมอเตอร์ได้ ความผิดพร่องที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์บางกรณีสามารถสังเกตได้ด้วยประสบการณ์ แต่บางกรณีจำเป็นต้องอาศัยสัญญาณที่อยู่ภายในตัวมอเตอร์มาทำการวิเคราะห์ สัญญาณดังกล่าวจะเกิดขึ้นที่ความถี่ต่างๆรวมอยู่ในกระแส แรงดันและอื่นๆ โดยสัญญาณในที่นี้หมายถึงสัญญาณฮาร์มอนิกส์กระแสที่เกิดขึ้นปะปนกับสัญญาณมูลฐานของมอเตอร์นั่นเอง ดังนั้นการเรียนรู้ถึงสาเหตุการเกิดขึ้นของฮาร์มอนิกส์ต่างๆ จะสามารถช่วยให้เราทำการวินิจฉัยได้ว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำดังกล่าวกำลังมีปัญหาเกิดขึ้น

3.1 ความผิดพร่องของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ความผิดพร่องของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor Faults) ส่วนใหญ่แล้วจะมีผลมาจากความเค้นที่ไปกระทำกับมอเตอร์โดยสามารถแยกออกได้เป็น 9 ชนิดดังตารางที่ 1-1 ในบทที่ 1 โดยแบ่งประเภทของการวินิจฉัยข้อผิดพร่องที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรกลไฟฟ้าได้ดังนี้

3.1.1 ความผิดพร่องที่เกิดจากขดลวดสเตเตอร์ ได้แก่กรณีวงจรเปิดหรือลัดวงจรของขดลวด 1 เฟส หรือมากกว่า

3.1.2 การต่อวงจรที่ผิดปกติของขดลวดมอเตอร์

3.1.3 แท่งตัวนำโรเตอร์แตกหัก หรือโรเตอร์และวงแหวนลัดวงจรร้าว

3.1.4 ความผิดพร่องของช่องอากาศแบบสเตติกส์และไดนามิก

3.1.5 เพลาไม่อยู่ในแนวเส้นตรง

3.1.6 ขดลวดสนามโรเตอร์ลัดวงจร

3.1.7 ความผิดพร่องของรองลื่นและชุดเฟือง

ความผิดพร่องดังกล่าวที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นสาเหตุทำให้เกิดอีกเหตุการณ์หนึ่งหรือมากกว่าดังต่อไปนี้

1. ช่องอากาศ แรงดันและกระแสไม่สมดุล
2. การกระเพื่อมของแรงบิดเพิ่มขึ้น
3. แรงบิดเฉลี่ยลดลง
4. ค่าการสูญเสียเพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพลดลง
5. ความร้อนเพิ่มขึ้น

วิธีการวินิจฉัยเพื่อการระบุความผิดพร่องดังกล่าวสามารถทำได้โดยอาศัยเครื่องมือหรือหลักการดังต่อไปนี้

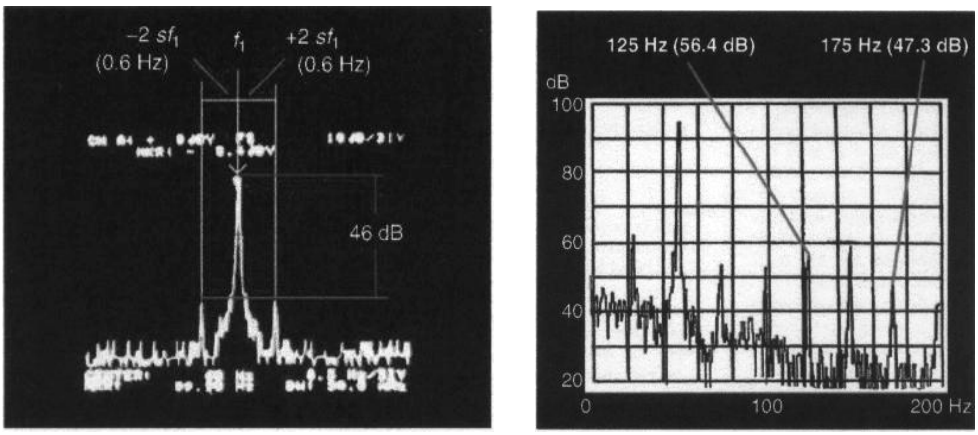
1. เครื่องแสดงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขดลวดหา (search coils)
2. การวัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้น
3. การใช้อินฟาเรด
4. เครื่องแพร่ความถี่วิทยุ
5. เครื่องวัดการสั่นและสัญญาณรบกวน
6. การวิเคราะห์ทางเคมี
7. การวัดสัญญาณรบกวนเสียง
8. การวิเคราะห์สัญญาณกระแสมอเตอร์ (MCSA)
9. การใช้โมเดลและเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม

สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการวิเคราะห์สัญญาณกระแสมอเตอร์เพื่อตรวจจับความผิดพร่องในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องหยุดกระบวนการผลิตที่ทำให้ต้องหยุดชะงักไป ซึ่งปัจจุบัน เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมากได้เล็งเห็นถึงความสำคัญนี้ของการตรวจจับสภาวะ (Condition monitoring) ของเครื่องจักรกลไฟฟ้า เทคนิคที่ใช้ในเครื่องแสดงสภาวะของเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่นิยมเป็นอย่างมากคือ การวิเคราะห์จากสัญญาณกระแสมอเตอร์ (Motor current signature analysis : MCSA) ซึ่งเทคนิคดังกล่าวจะเป็นการวินิจฉัยแบบไร้การสัมผัสเครื่องจักรกลและไม่ส่งผลต่อการสึกหรอของเครื่องจักรกลในอนาคตอีกด้วย

3.2 ทฤษฎีการวิเคราะห์สัญญาณกระแสมอเตอร์

ในการวิเคราะห์สัญญาณกระแสมอเตอร์หรือที่เรียกกันภายใต้ชื่อ MCSA ส่วนมากแล้วเราจะใช้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นหลัก ซึ่งการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้มีข้อดีคือเป็นการวิเคราะห์จากข้อมูลที่สามารถตรวจจับได้ง่ายกว่าสัญญาณอื่นๆ เช่น สัญญาณของเส้นแรงแม่เหล็กที่จำเป็นต้องใช้ขดลวดหา (Search coil) เป็นต้น ระบบวิธีการวินิจฉัยโดยใช้ MCSA แสดงดังภาพประกอบ4-1 ซึ่งจะวิเคราะห์โดยการตรวจจับสเปกตรัมที่เกิดขึ้นรวมอยู่ในสัญญาณกระแสสเตเตอร์ ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมประยุกต์ LabVIEW ภาพประกอบ 3-1 แสดงตัวอย่างสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจากความผิดพร่องของมอเตอร์ด้วยสาเหตุต่างๆ ภาพประกอบ 3-1(ก) แสดงสเปกตรัมของสัญญาณกระแสสเตเตอร์เมื่อมอเตอร์มีสภาพปกติ ซึ่งปรากฏความถี่มูลฐานเพียงความถี่เดียว ภาพประกอบ 3-1(ข) เมื่อขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำลัดรอบ (Short turn) ซึ่งจะทำให้เกิดฮาร์มอนิกส์ที่ความถี่สูง (f_{st}) ดังสมการ (3-1) ปะปนรวมอยู่ในสัญญาณกระแสสเตเตอร์

$$f_{st} = f_1\left[\frac{n}{p}(1-s)\pm k\right] \qquad (3\text{-}1)$$



(ก) มอเตอร์ในสภาพที่สมบูรณ์ (ข) กรณีขดลวดสเตเตอร์ลัดรอบ

ภาพประกอบ 3-1 สเปกตรัมที่เกิดขึ้นในกระแสสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

[ที่มา : William T. Thomson and Mark Fenger ; Current Signature Analysis to Detect Induction Motor Faults; IEEE Industry Application Magazine : July/August 2001.pp.30-33]

จากภาพประกอบ 3-1(ข) กรณีขดลวดสเตเตอร์ลัดรอบจะเกิดสเปกตรัมที่ความถี่ 125-Hz และ 175-Hz ส่วนกรณีเมื่อแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหัก (Broken rotor bars) จะทำให้เกิดฮาร์มอนิกส์ (f_b) ที่มีความถี่เท่ากับ $\pm 2sf_1$ ปรากฏอยู่ด้านข้างความถี่มูลฐาน ดังสมการ (3-2)

$$f_b = f_1(1 \pm 2s) \qquad (3\text{-}2)$$

เมื่อ s คือสลิป

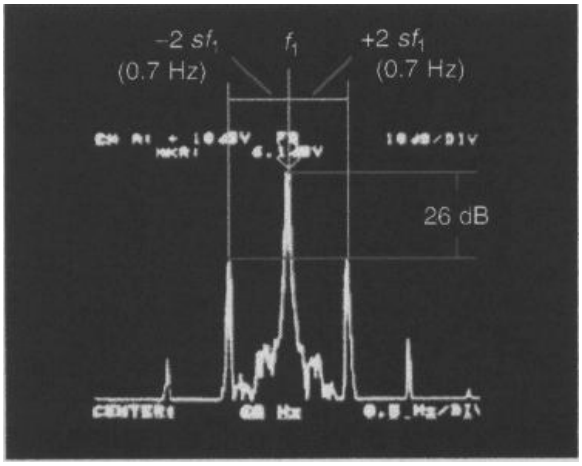
f_1 คือความถี่มูลฐาน (Fundamental frequency)

p คือจำนวนคู่ขั้วแม่เหล็ก

$n = 1,2,3.....$

$k = 1,3,5.....$

เมื่อแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหักแสดงให้เห็นดังภาพประกอบ 3-2



ภาพประกอบ 3-2 เมื่อแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหัก

[ที่มา : William T. Thomson and Mark Fenger ; Current Signature Analysis to Detect Induction Motor Faults; IEEE Industry Application Magazine : July/August 2001.pp.30-33]

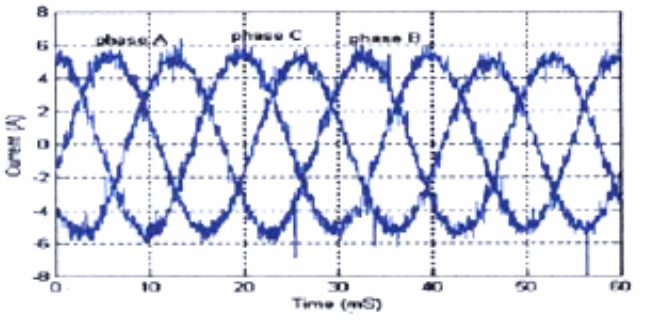
จากงานวิจัยหลายๆงานวิจัยพบว่าโหลดที่นำมาต่อเข้ากับมอเตอร์เหนี่ยวนำ หรือที่เรียกว่าการคัปปลิ้ง (Coupling) ที่ไม่สมดุลจะทำให้แนวเพลาไม่เป็นเส้นตรง (Shaft misalignment) จะมีผลทำให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกส์ (f_{ecc}) อยู่ด้านข้างของความถี่มูลฐาน ทั้งนี้สเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ดังกล่าวจะมีความสัมพันธ์ดังสมการ (3-3)

$$f_{ecc} = f_1\left[1 \pm k\left(\frac{1-s}{p}\right)\right] \qquad (3\text{-}3)$$

ถึงแม้ว่าสัญญาณฮาร์มอนิกส์ที่เกิดขึ้นในมอเตอร์เหนี่ยวนำจากสาเหตุใดๆก็ตาม เช่น รองลื่น (Bearing) เพลา (Shaft) โรเตอร์ (Rotor) ขดลวดสเตเตอร์ลัดรอบ ฯลฯ ที่เกิดขึ้นจะเหนี่ยวนำไปปรากฏในทุกๆเฟสของมอเตอร์ด้วยก็ตาม แต่ก็จะมีความแตกต่างกันบ้างในส่วนของขนาดแอมปลิจูด (Amplitude) เท่านั้น ทั้งนี้สาเหตุหลักก็เนื่องมาจากความแตกต่างกันของค่าพารามิเตอร์ปลีกย่อยในแต่ละเฟสนั่นเอง

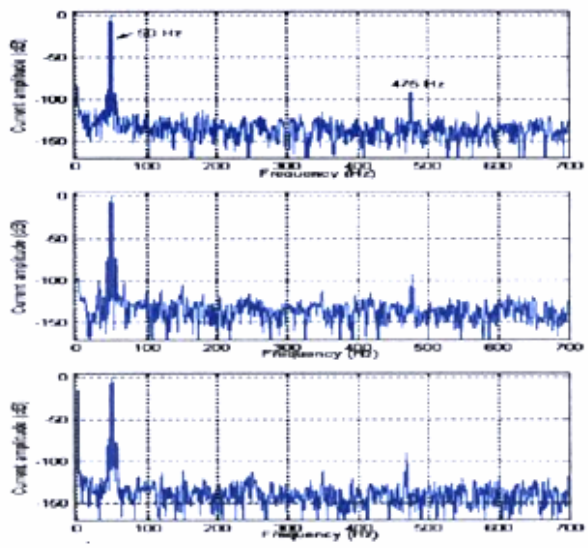
ในขณะที่มอเตอร์ทำงานจะทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงของค่าความนำช่องอากาศ (Air gap permeance) ไปด้วย ค่าความนำช่องอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา จะมีผลต่อฮาร์มอนิกส์บางประเภท โดยจะไปทำให้แอมปลิจูดเปลี่ยนแปลงตามค่าความนำช่องอากาศด้วย ที่สำคัญได้แก่ ฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจากความเป็นสล็อตของมอเตอร์ (slot harmonics) การวินิจฉัยความสมบูรณ์ของมอเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้ MCSA โดยหลักการแล้วจะอาศัยการตรวจจับจากความถี่ของอาร์มอนิกส์ฟอลต์ที่เกิดขึ้น แต่โดยข้อเท็จจริงมีฮาร์มอนิกส์บางสาเหตุที่ความถี่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ซึ่งจะมีฮาร์มอนิกส์หลายสาเหตุด้วยกัน โดยสามารถพิจารณาได้อย่างง่าย ๆ จากสมการที่มีค่าสลิปเป็นพารามิเตอร์สำคัญรวมอยู่ด้วย เช่นฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจากแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหัก มีความถี่ดังสมการที่ (3-2) ฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจากแนวแกนเพลาไม่ตรงมีความถี่ดังสมการที่ (3-3)

เมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำได้รับแหล่งจ่ายที่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสจากอินเวอร์เตอร์แบบ PWM ขณะที่ทำงานไร้โหลด มีรูปคลื่นแสดงให้เห็นดังภาพประกอบ 3-3



ภาพประกอบ 3-3 รูปคลื่นกระแสมอเตอร์ทั้ง 3 เฟส เมื่อแหล่งจ่ายเป็น PWM อินเวอร์เตอร์

จากรูปแสดงให้เห็นว่ารูปคลื่นทั้ง 3 เฟส มีลักษณะที่คล้ายกัน ทั้งนี้จะสามารถเห็นความแตกต่างได้ถ้าวิเคราะห์โดยใช้การแปลงฟูริเยร์ (Fourier transform) ไปยังโดเมนความถี่ (Frequency domain) ซึ่งจากภาพประกอบ 3-3 ในโดเมนเวลา (Time domain) เมื่อแปลงไปยังโดเมนความถี่จะได้ดังภาพประกอบ 3-4 โดยสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของกระแสสเตเตอร์เฟส A , B และ C ได้แสดงเรียงตามลำดับจากบนลงล่าง การประมวลผลได้จากการแปลงโดยใช้อัลกอริธึมของ FFT ในโปรแกรม MATLAB หรือโปรแกรม LabVIEW ก็ได้ จากภาพประกอบ 3-3 สเปกตรัมในแต่ละเฟสจะมีลักษณะที่แตกต่างกันเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะว่าการวางขดลวดสเตเตอร์ห่างกันเป็นระยะ 120 องศาไฟฟ้า ฮาร์มอนิกส์หลักที่เกิดขึ้นได้แก่ที่ความถี่ 50-Hz และด้านข้างของมูลฐาน ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะมีสาเหตุมาจากความเยื้องศูนย์กลาง(Eccentric) ของช่องอากาศเนื่องจากตำแหน่งของโรเตอร์ที่ผิดปกติ ทั้งนี้ความผิดปกติดังกล่าวอาจมีสาเหตุมาจากโรเตอร์ไม่สมดุล โหลดไม่สมดุล รวมถึงการติดตั้งเข้ากับโหลดที่แนวแกนเพลาไม่เป็นเชิงเส้น โดยที่สเปกตรัมจะไปปรากฏดังสมการที่(3-3)



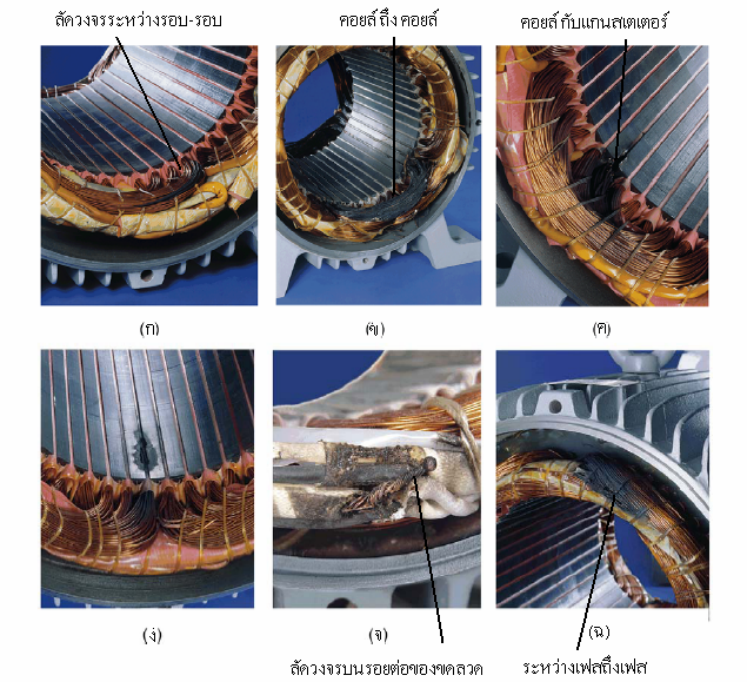
ภาพประกอบ 3-4 สเปกตรัมฮาร์มอนิกส์กระแสเฟส A , B และ C
ของภาพประกอบ 3-3 แสดงจากบนลงล่างตามลำดับ

3.3 การลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์

การลัดวงจรในขดลวดสเตเตอร์หรือเรียกสั้นๆว่าการลัดรอบ (Short turn) เป็นสาเหตุหนึ่งที่เกิดขึ้นในมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีเปอร์เซ็นต์ของการเกิดอยู่ในลำดับต้น ๆ จากสาเหตุสำคัญหลักๆที่ทำให้มอเตอร์เกิดการชำรุดเสียหาย ตัวอย่างของการลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ เช่นเกิดระหว่าง

รอบของเฟสเดียวกัน ระหว่างรอบของเฟสต่อเฟส หรือระหว่างรอบของเฟสทั้งหมด นอกจากนั้น การลัดวงจรระหว่างขดลวดตัวนำกับแกนสเตเตอร์ก็เกิดขึ้นได้เหมือนกัน ความผิดพร่องแต่ละชนิดของขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสรุปได้ดังนี้

▌ การลัดวงจรภายในระหว่างรอบของเฟสเดียวกัน ดังภาพประกอบ 3-5(ก) ลัดวงจรของขดลวด ดังภาพประกอบ 3-5(ข) ลัดวงจรระหว่างขดลวดและแกนสเตเตอร์ ดังภาพประกอบ 3-5(ค) และ 3-5(ง) ลัดวงจรบนรอยข้อต่อ ดังภาพประกอบ 3-5(จ) และลัดวงจรระหว่างเฟส ดังภาพประกอบ 3-5(ฉ) ความผิดพร่องเหล่านี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อแรงดันที่สเตเตอร์เปลี่ยนแปลงและเกิดรอยขูดขีดขึ้น



ภาพประกอบ 3-5 ตัวอย่างความเสียหายเนื่องจากการลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์

(ก) การลัดวงจรระหว่างรอบถึงรอบของเฟสเดียวกัน

(ข) การลัดวงจรระหว่างขดลวดถึงขดลวด

(ค) การลัดวงจรระหว่างขดลวดถึงแกนสเตเตอร์

(ง) การลัดวงจรระหว่างขดลวดถึงแกนสเตเตอร์

(จ) การลัดวงจรบนรอยต่อของขดลวด

(ฉ) การลัดวงจรระหว่างเฟสถึงเฟส

[ที่มา : Courtesy of Electromotors WEG SA, Brazil]

▌ ความร้อนเป็นผลให้วัสดุที่ใช้เป็นฉนวนลุกไหม้ อันเป็นผลให้ขดลวดลัดวงจรทั้งหมด สาเหตุเนื่องจากมอเตอร์รับโหลดเกินหรือเกิดหยุดหมุนอันเนื่องมาจากกำลังไฟจากแหล่งจ่ายลดลงหรือมากเกินไป ความผิดพร่องแบบนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการกลับทิศทางหมุนหรือการสตาร์ทมอเตอร์บ่อยๆ ผลของความผิดพร่องเหล่านี้แสดงให้เห็นดังภาพประกอบ 3-6(ก) และ3-6(ข)

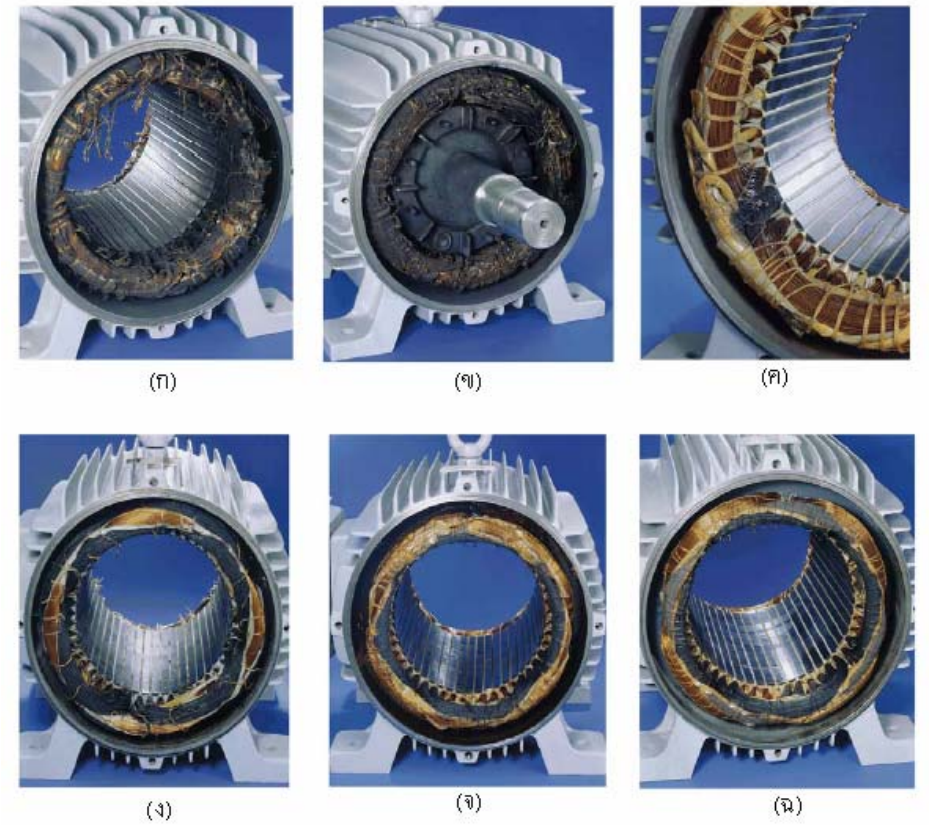
▌การที่แรงดันเปลี่ยนแปลงก็เป็นผลให้เกิดการลัดวงจรของขดลวดภายในขึ้นด้วยเหมือนกัน ดังแสดงในภาพประกอบ 3-6(ค) สาเหตุเช่นนี้เป็นผลสะท้อนมาจากการต่อสายระหว่างมอเตอร์กับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ เช่นแหล่งจ่ายไฟผลิตแรงเคลื่อนที่สูงกว่าที่ขดลวดสเตเตอร์จะทนได้ อนึ่งการเชื่อมโยงสายเคเบิ้ลระหว่างมอเตอร์กับแหล่งจ่ายไฟที่ยาวเกินไปก็สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนมากขึ้น ผลกระทบอันนี้เป็นผลสะท้อนมาจากการเปลี่ยนแปลงของแรงเคลื่อนไฟฟ้า

▌การลัดวงจรทั้งหมด หนึ่งเฟสหรือมากกว่าหนึ่งเฟสสามารถเกิดขึ้นเนื่องจากการหายไปขดขดลวดบางเฟส ซึ่งเป็นเหตุจากการที่ฟิวส์ขาด ความผิดพร่องของหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ความผิดพร่องเนื่องจากการต่อสายไฟผิด หรือความผิดพร่องของแหล่งจ่ายไฟ ดังเช่นที่แสดงในภาพประกอบ 3-6(ง) และ 3-6(จ)

▌การลัดวงจรในหนึ่งเฟสเป็นผลจากความไม่สมดุลของแรงเคลื่อนที่ขดลวดสเตเตอร์บ่อย ๆ ดังแสดงในภาพประกอบ 3-6(ฉ) การที่แรงเคลื่อนไม่สมดุลเพราะว่าภาระของระบบไฟไม่สมดุล การต่อขั้วของมอเตอร์ที่ไม่ถูกต้อง หรือการต่อขั้วในวงจรกำลังไม่ถูกต้อง นอกจากนั้นค่าแรงเคลื่อนที่ไม่สมดุลนั้นหมายความว่าในหนึ่งเฟสของแรงเคลื่อนที่สเตเตอร์มีค่าต่ำ หรือสูงกว่าเฟสอื่นๆ

จากความผิดพร่องของขดลวดสเตเตอร์ ได้แก่ วงจรเปิดหรือลัดวงจรของขดลวด 1-เฟส , 2-เฟส อันที่จริงแล้วความล้มเหลวของขดลวดสเตเตอร์ที่จะนำไปสู่การลัดวงจร สามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภท แต่สำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะกรณีขดลวดลัดวงจรระหว่างคอยล์ถึงคอยล์ ของขดลวด 1-เฟส , 2-เฟส กรณีวงจรเปิด กรณีรั่วลงกราวด์ โดยปกติแล้วความเสียหายที่รุนแรงนั้นเกิดมาจากปัญหาจากจุดเล็กน้อยก่อน อย่างเช่นกรณีเกิดการลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ ปัญหาเริ่มต้นนั้นมาจากขดลวดตัวนำที่มีอยู่อย่างมากมาย ในแต่ละชุดขดลวดเกิดการสั่นในขณะที่มอเตอร์กำลังทำงาน ซึ่งจะเป็นสาเหตุให้เกิดการลัดวงจรระหว่างรอบถึงรอบก่อนในหนึ่งชุดขดลวด และจะทำให้เกิดความร้อนแล้วส่งผลให้ขดลวดตัวนำเสื่อมสภาพลง ในที่สุดก็จะเกิดการลัดวงจร ซึ่งถ้าเป็นโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว เมื่อเกิดสภาวะเช่นนี้มอเตอร์จะทำงานต่อหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับความสามารถของอุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ แต่เนื่องจากปัญหาการลัดวงจรระหว่างรอบถึงรอบนั้นเป็นความล้มเหลวที่อยู่เหนือความสามารถของอุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ เนื่องจากเป็นความล้มเหลวที่น้อยมาก ทำให้อุปกรณ์ไม่สามารถตรวจสอบความผิดพลาดได้ และยิ่งไปกว่านั้นความร้อนที่

เพิ่มขึ้นก็จะขยายพื้นที่ออกไปจนกระทั่งเกิดความเสียหายตามมาคือฉนวนเฟสหรือกราวด์ถูกทำลาย จนกระทั่งเป็นสาเหตุให้เกิดความผิดพร่องเนื่องจากเฟสถึงเฟสในที่สุด



ภาพประกอบ 3-6 การลัดวงจรภายในขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3-เฟส

(ก) ลัดวงจรหนึ่งเฟสเนื่องจากมอเตอร์รับภาระเกิน

(ข) ลัดวงจรหนึ่งเฟสเนื่องจากมอเตอร์หยุดหมุน

(ค) ลัดวงจรภายในขดลวดเนื่องจากแรงดันไม่คงที่

(ง) ลัดวงจรหนึ่งเฟสเนื่องจากการหายไปของขดลวดเฟส a มอเตอร์ต่อแบบสตาร์

(จ) ลัดวงจรหนึ่งเฟสเนื่องจากการหายไปของขดลวดเฟส a มอเตอร์ต่อแบบเดลต้า

(ฉ) ลัดวงจรหนึ่งเฟสเนื่องจากแรงเคลื่อนที่สเตเตอร์ไม่สมดุล

[ที่มา : Courtesy of Electromotors WEG SA, Brazil]

3.4 การหายไปของขดลวดสเตเตอร์บางเฟส

หรือกรณีวงจรเปิด (Open-circuit single phase) จะทำการศึกษากรณีการทำงานของมอเตอร์ไม่สมบูรณ์คือมอเตอร์มีกระแสไหลเข้าขดลวดสเตเตอร์ไม่ครบทั้ง 3 เฟส โดยปกติแล้วการผิดพร่องของมอเตอร์ที่เกิดมาจากสาเหตุนี้ ถ้าเกิดขึ้นโดยการจำลองเนื่องจากที่สภาวะไม่มีภาระ ผลกระทบในด้านความเสียหายของมอเตอร์อาจไม่รุนแรงมากนัก เนื่องจากกระแสในอีกสองเฟสที่เหลือไม่ได้ขึ้นอยู่กับภาระ แต่ถ้ากรณีมอเตอร์มีภาระความเสียหายก็อาจจะเกิดได้มากกว่า ลักษณะอาการทางกลของมอเตอร์เนื่องจากความผิดปกติในกรณีนี้อาจจะสังเกตเห็นได้ไม่ชัดเจนนัก ต่างจากกรณีการลัดวงจรที่ขดลวดสเตเตอร์

3.5 กรณีแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหัก

จากภาพประกอบ 2-7 โรเตอร์หรือทุติยภูมิ (secondary) ชนิดกรงกระรอกของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ประกอบไปด้วยเพลา แผ่นเหล็กลามิเนตที่ซ้อนอัดกันเป็นรูปทรงกระบอกโดยที่ขนาดจะสัมพันธ์กับโครงสร้างของสเตเตอร์ในแต่ละพิกัดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ในด้านความผิดพร่องของโรเตอร์ W.T.Thomson และ M.Fenger ได้ทำการวิจัยโดยได้พบว่าแท่งตัวนำโรเตอร์ที่เริ่มมีการแตกร้าวจะไม่สร้างปัญหาให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ (ในช่วงแรกๆ ที่เริ่มแตกร้าว แต่จะส่งผลกระทบอย่างมากในเวลาต่อมา) ในช่วงระยะเวลาก่อนส่งผลกระทบอาจจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดความผิดพร่องจากส่วนประกอบอื่นของมอเตอร์ซึ่งเป็นที่สำคัญมาก เช่น ส่วนที่แตกหักของแท่งตัวนำอาจไปกระทบกับขดลวดของมอเตอร์โดยเฉพาะมอเตอร์ที่ใช้กับระบบไฟแรงสูงและที่อัตราความเร็วสูง ก็ยิ่งจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดความเสียหายอย่างมากต่อฉนวน ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดความเสียหายต่อขดลวดตามมา และมีผลทำให้มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสูงและเกิดการสูญเสียต่อกระบวนการผลิต นอกจากนี้แล้วการทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมที่อันตรายความผิดพร่องดังกล่าวยังเป็นสาเหตุทำให้เกิดประกายไฟ (sparking) ขึ้นมาได้ แท่งตัวนำโรเตอร์รวมถึงวงแหวนลัดวงจร (end ring) ที่มีการแตกร้าวอาจจะมีสาเหตุหลักมาจากความเค้น (stress) ที่ไปกระทำกับโรเตอร์ สาเหตุที่สำคัญได้แก่

- การเริ่มเดินแบบต่อกับแหล่งจ่ายไฟโดยตรง (direct-on-line starting) ทั้งนี้ตัวนำของโรเตอร์แบบกรงกระรอกไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อให้ทนต่อความร้อนและความเค้นทางกลที่มีค่าสูงในขณะเริ่มเดิน
- ภาระทางกลที่กระเพื่อม เช่นคอมเพลสเซอร์ที่มีลูกสูบสำหรับชักขึ้นลงหรือเครื่องบดหิน ซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้กรงของโรเตอร์มีความเค้นทางกลสูงได้
- ความไม่สมบูรณ์ของกรงโรเตอร์ในกระบวนการผลิต

การแตกหักของแท่งตัวนำโรเตอร์ที่เกิดจากสาเหตุต่าง ๆ ซึ่งเป็นผลให้มอเตอร์เหนี่ยวนำเสียหาย ซึ่งผลกระทบที่รู้จักกันดีในการทำให้แท่งตัวนำโรเตอร์ชำรุด ลักษณะที่เรียกว่าสเปกตรัมที่มีองค์ประกอบด้านข้างของสัญญาณกระแสสเตเตอร์ ที่อยู่ด้านซ้าย และขวา ของความถี่มูลฐาน องค์ประกอบด้านข้างที่ต่ำกว่า เกิดจากความไม่สมดุลของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในโรเตอร์กรงกระรอกของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ในขณะที่องค์ประกอบด้านขวาเป็นผลที่เกิดมาจากความเร็วของการกระเพื่อม มีสาเหตุมาจากผลของแรงบิดที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งความถี่ที่เกิดขึ้นนี้สามารถคำนวณได้จากสมการ (3-2) ที่กล่าวมาแล้ว องค์ประกอบดังกล่าวนี้สามารถใช้จำแนกรูปแบบความผิดพร่องของมอเตอร์เหนี่ยวนำได้ ซึ่งนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

3.6 ลักษณะอาการทางกลของมอเตอร์

ความสั่นสะเทือน (Vibration) คือการเคลื่อนที่ในลักษณะกลับไปกลับมาของมวล สามารถที่จะแสดงผลในรูปของความเร่ง หรือความเร็ว หรือระยะทาง และกำหนดได้ด้วยความถี่หรือการเปลี่ยนแปลงต่อหน่วยเวลา ความสั่นสะเทือนเป็นการเคลื่อนที่ทางไดนามิก ซึ่งเป็นผลมาจากการส่งแรงกระตุ้นไปยังมวล ทั้งนี้การวัดความสั่นสะเทือนจะช่วยให้

1.ป้องกันการบาดเจ็บของบุคลากรที่ทำงานควบคุมเครื่องจักรในบริเวณนั้น หากเครื่องจักรมีการสั่นสะเทือนมากเกินกว่าที่จะทนได้ ส่วนประกอบของเครื่องจะกระทบกันเองอย่างรุนแรง หรือหลุดแตกออกมา ทำให้ผู้ทำงานอยู่ในบริเวณนั้นเกิดการบาดเจ็บหรือถึงขั้นเสียชีวิตได้

2.ลดต้นทุน ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม หากการทำงานของเครื่องจักรสะดุดหยุดลงอันเนื่องมาจากความสั่นสะเทือนเกินระดับที่เครื่องสามารถทำงานได้

3.หลีกเลี่ยงการเปลี่ยนส่วนประกอบของเครื่องจักรที่มีต้นทุนสูงหรือในบางครั้งไม่สามารถซ่อมแซมได้ต้องมีการเปลี่ยนชุดใหม่ทั้งหมด

4.เสียค่าประกันเครื่องจักรในอัตราที่สูง เนื่องมาจากการสั่นนั้นเป็นสาเหตุทำให้เกิดการลัดวงจรของชุดขดลวดสเตเตอร์ ดังนั้นถ้าเราสามารถรู้ได้ถึงระดับความรุนแรงของการสั่น ก็จะสามารถทำนายความรุนแรงที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักรในขณะนั้น และยังสามารถที่จะช่วยให้บรรเทาความรุนแรงที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องจักรถ้าหากยังคงปล่อยให้เครื่องจักรยังทำงาน