บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

ในการดำเนินงานวิจัยซึ่งได้ทดลองกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส หลาย ๆ ตัว ผลการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงฮาร์มอนิกส์กระแสกรณีขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจร 1 เฟสนั้น ถ้าหากกระแสอาร์เอ็มเอส ; I_{rms} ของเฟสใดมีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงที่สุด ในขณะที่ THD เพิ่มขึ้นในอัตราน้อยสุด วิเคราะห์ได้ว่ากระแสลัดวงจรจะเกิดขึ้นที่เฟสนั้น

กรณีที่เกิดการลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ 2 เฟส พบว่า ถ้า 2 เฟสใดที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของกระแสอาร์เอ็มเอส; I_{rms} มากใกล้เคียงกัน ในขณะที่เฟสที่เหลือกลับมีการเพิ่มขึ้นของกระแสอาร์เอ็มเอส ; I_{rms} น้อยกว่า และฮาร์มอนิกส์อันดับ 3 ของทั้ง 2 เฟส มีค่าสูงใกล้เคียงกัน ส่วนอีก 1 เฟสที่เหลือมีค่าฮาร์มอนิกส์อันดับ 3 น้อยกว่า วิเคราะห์ได้ว่าเกิดการลัดวงจรที่ 2 เฟสดังกล่าว

การเปลี่ยนแปลงฮาร์มอนิกส์กระแสกรณีวงจรเปิดบางเฟส หรือกรณีที่มอเตอร์ทำงานไม่ครบ 3 เฟส พบว่า เฟสนั้น ๆ จะไม่มีค่ากระแสอาร์เอ็มเอส ; I_{rms} และไม่ปรากฏฮาร์มอนิกส์กระแสของเฟสนั้น แต่ใน 2 เฟสที่เหลือค่ากระแสอาร์เอ็มเอส ; I_{rms} และ THD จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

การเปลี่ยนแปลงฮาร์มอนิกส์กระแสกรณีขดลวดรั่วลงกราวด์เฟสใดเฟสหนึ่งพบว่า กระแสอาร์เอ็มเอส ; I_{rms} มีค่าใกล้เคียงกับตอนมอเตอร์ปกติ แต่ฮาร์มอนิกส์อันดับ 3 จะเพิ่มขึ้น ถ้าเป็นการต่อวงจรขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์ ฮาร์มอนิกส์อันดับ 3 จะเพิ่มขึ้นทั้ง 3 เฟส เท่ากัน แต่ถ้าวงจรขดลวดสเตเตอร์ต่อแบบเดลต้า ฮาร์มอนิกส์อันดับ 3 จะเกิดเฉพาะเฟสที่อยู่ถัดไปจากเฟสที่ลัดวงจรเรียงตามลำดับเฟส (phase sequence) และจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ THD ก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการรั่วลงกราวด์ ถ้าสังเกตกราฟของ wave form phase จะเห็นความผิดเพี้ยนของสัญญาณไซนูซอยดัลอย่างเห็นได้ชัด

การเปลี่ยนแปลงฮาร์มอนิกส์กระแสกรณีเกิดความไม่สมมาตรของแกนโรเตอร์นั้น พบว่ากระแสอาร์เอ็มเอส ; I_{rms} เพิ่มขึ้นทั้ง 3 เฟส และที่แตกต่างจากกรณีอื่น ๆ คือ ไม่ปรากฏฮาร์มอนิกส์อันดับ 3 แต่จะปรากฏฮาร์มอนิกส์อันดับ 5 และ 7 โดยผลที่ได้เป็นแบบเดียวกันทั้ง 2 กรณีคือเมื่อขดลวดสเตเตอร์ต่อวงจรแบบสตาร์และแบบเดลต้า โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทุกเงื่อนไขการทดลองได้แสดงไว้เป็นตารางสรุปความผิดพร่องของมอเตอร์ทุกกรณี ทุกเงื่อนไขท้ายบทที่ 4 แล้ว

ถึงแม้ว่าสัญญาณฮาร์มอนิกส์กระแสที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากสาเหตุใด ๆ ก็ตาม เช่นขดลวดสเตเตอร์ลัดรอบ การหายไปของขดลวดบางเฟสและกรณีอื่น ๆ ที่เกิดขึ้น จะเหนี่ยวนำไปปรากฏในทุก ๆ เฟส ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าด้วยก็ตาม แต่ก็จะมีความแตกต่างกันบ้างในส่วนของขนาดหรือแอมปลิจูดเท่านั้น ทั้งนี้สาเหตุหลักเนื่องมาจากว่ามีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ปลีกย่อยในแต่ละเฟสนั่นเอง ซึ่งความผิดพร่องของมอเตอร์เหนี่ยวนำ จากสาเหตุดังกล่าว สามารถวิเคราะห์ได้จากการดูฮาร์มอนิกส์กระแสที่เกิดขึ้น ถ้ามีฮาร์มอนิกส์กระแสอันดับอื่นปะปนอยู่กับความถี่หลักมูลจำนวนมาก ก็จะทำให้สัญญาณหลักมูลผิดเพี้ยนไป การทำงานของมอเตอร์จะมีความผิดปกติเกิดขึ้น อันเป็นสาเหตุของการเกิดความผิดพร่องดังกล่าวแล้ว

ดังนั้นการศึกษาความผิดพร่องของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ด้วยการวิเคราะห์สัญญาณกระแส จึงสามารถตรวจสอบความสมบูรณ์ของมอเตอร์ได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่จำเป็นต้องถอดรื้อชิ้นส่วนของเครื่องจักรออกแต่อย่างใด ทำให้การตรวจสอบ ตลอดจนการวางแผนการซ่อมบำรุงรักษามอเตอร์เป็นไปอย่างสะดวก รวดเร็ว ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในระบบควบคุมคุณภาพของผลผลิตและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้สูงขึ้น

5.2 งานที่ได้ดำเนินการ

5.2.1 ออกแบบมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

มอเตอร์ที่ใช้ในการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบเป็นกรณีพิเศษคือเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส จำนวน 5 ตัว ขนาด 0.5 , 1 , 1.5 , 2 , และ 5 hp. 50-Hz โดยนำไปพันขดลวดใหม่และต่อสายเท็ปออกมาโดยให้ผ่านสวิตซ์เพื่อนำมาต่อที่กล่องต่อสายข้างนอกเพื่อให้เกิดการลัดวงจรตามเงื่อนไข การลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์นั้นได้กำหนดไว้ที่ 1 ใน 4 ของจำนวนรอบทั้งหมดเพื่อความปลอดภัย ขณะทดลองมอเตอร์ชำรุดไป 2 ตัว คือขนาด 1 และ 5 แรงม้า

5.2.2 ออกแบบแผ่นจานไม่สมดุล

แผ่นจานไม่สมดุล เป็นเหล็กแผ่นกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว ด้านหนึ่งเจาะรูจำนวน 3 รู เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว อีกด้านหนึ่งเชื่อมน็อตตัวเมียขนาด 2 นิ้ว จำนวน 2 ตัว เพิ่มเข้าไปเพื่อให้น้ำหนักของทั้งสองด้านของแผ่นเหล็กไม่สมดุล นำไปสวมที่แกนมอเตอร์ เพื่อทดลองให้มอเตอร์เกิดความไม่สมดุลที่แกนโรเตอร์

5.2.3 ออกแบบTecho-gennerator

Techo-gennerator เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยนำไปต่อ coupling กับแกนของมอเตอร์ แล้วนำสัญญาณไฟฟ้าไปเข้าการ์ด A/D ของโปรแกรม LabVIEW เพื่อนำสัญญาณไปวิเคราะห์และเปลี่ยนเป็นความเร็วรอบ (velocity) เพื่อแสดงผลที่มอนิเตอร์

5.2.4 ออกแบบตัวตรวจรู้ (sensor)

ตัวตรวจรู้ที่ใช้ เป็นหม้อแปลงกระแสขนาด 5 A , 0.33 V จำนวน 3 ตัว ใช้เพื่อจับสัญญาณฮาร์มอนิกส์กระแสที่เกิดขึ้น ก่อนที่สัญญาณไฟฟ้า 3 เฟสจากระบบจ่ายไฟที่ป้อนเข้าขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ทั้ง 3 ชุด เพื่อนำเข้าสู่การ์ด A/D ของโปรแกรม LabVIEW เพื่อนำไปวิเคราะห์ที่เครื่องมือวัดเสมือนที่ได้ออกแบบขึ้น ค่าต่าง ๆ ตลอดจนรายละเอียดทั้งหมดของตัวตรวจรู้ได้แสดงไว้ที่ภาคผนวกท้ายเล่ม

5.2.5 ออกแบบเครื่องมือวัดเสมือน (virtual instruments)

เป็นส่วนสำคัญที่สุดของงานวิจัยนี้ ซึ่งใช้เวลาค่อนข้างมากเพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมเพื่อให้ทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ รูปร่างหน้าตาของเครื่องมือวัดเสมือนนี้ได้แสดงไว้ในบทก่อนหน้านี้แล้ว ผลของการเขียนโปรแกรมสร้างเครื่องมือวัดเสมือนมีดังนี้

1. สามารถได้เครื่องมือวัดเสมือนที่มีความสามารถวัดฮาร์มอนิกส์กระแส เพื่อบ่งบอกว่าเป็น Faults ประเภทไหนที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส
2. สามารถวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ
3. สามารถวัดค่าอาร์เอ็มเอสของกระแส; I_{rms} ที่ป้อนเข้าขดลวดสเตเตอร์ได้ ทั้ง 3 เฟส
4. สามารถวัดความถี่ได้อย่างถูกต้อง
5. สามารถวัด%THD ได้อย่างถูกต้อง
6. สามารถนำเครื่องมือวัดไปใช้ตรวจสอบความผิดพร่องของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ได้จริง

5.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบเครื่องมือวัดเสมือนที่ได้ เมื่อนำมาทดสอบการวัดค่า ฮาร์มอนิกส์กระแสเปรียบเทียบกับ FLUKE 43B และ Oscilloscope แล้ว พบว่ามีความถูกต้องแม่นยำที่เทียบเคียงกันได้ ในการนำไปใช้กับงานจริงนั้น ต้องนำอุปกรณ์ที่ใช้ทดลองทำการวิจัยทั้งหมดตลอดจนต้องมีเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ หรือคอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค เพื่อไปติดตั้งสำหรับตรวจสอบสัญญาณฮาร์มอนิกส์กระแสและสัญญาณอื่นๆ ที่ต้องการวัด เพื่อให้แสดงผลที่หน้าจอทั้งในภาวะที่มอเตอร์ทำงานขณะ

ปกติหรือขณะผิดปกติก็ได้ ซึ่งจะทำให้เราสามารถรู้เหตุการณ์ได้ล่วงหน้า และสามารถหาวิธีการแก้ไขเมื่อเจอเหตุที่ทำให้มอเตอร์ผิดพร่อง โดยที่ไม่จำเป็นต้องหยุดกระบวนการผลิตแต่ประการใด

แนวทางที่สามารถพัฒนาต่อไป

การทดลองอีกวิธีหนึ่งของงานวิจัยนี้ที่สามารถทำได้คือ โดยการนำค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ได้จาก Tacho-generator มาวิเคราะห์หาค่า RMS เพื่อแยกค่าฮาร์มอนิกส์ที่เกิดขึ้น เนื่องจากว่าเมื่อมอเตอร์มีความผิดพร่องจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่ง มีผลให้สนามแม่เหล็กที่ขดลวดสเตเตอร์ไม่สมดุล ผลที่ตามมาคือความเร็วของมอเตอร์จะเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นสัญญาณที่ได้จาก Tacho-generator ก็จะเปลี่ยนแปลง เมื่อนำสัญญาณเข้าการ์ด A/D และเข้าไปวิเคราะห์ที่เครื่องมือวัดเสมือนก็สามารถแยกฮาร์มอนิกส์กระแสได้ ซึ่งวิธีนี้ยังไม่ค่อยมีผู้ทำวิจัย

(ผู้วิจัยได้ทดลองทำตามวิธีดังกล่าวแต่ผลที่ได้จากการทดลอง ไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงสัญญาณระหว่างที่มอเตอร์ปกติกับมอเตอร์ผิดปกติแต่อย่างใด และเมื่อทดสอบโดยป้อนสัญญาณ noise แฝงเข้าไป ปรากฏว่าเครื่องมือวัดเสมือนแยกสัญญาณฮาร์มอนิกส์หลักมูลกับฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณ noise ได้ ทั้งนี้อาจเกิดจากความผิดพลาดของการใช้ Tacho-generator ซึ่งเกิดการชำรุดขณะทดลอง)

ในส่วนของงานวิจัยนี้ สามารถพัฒนาให้มีความสะดวกในการใช้มากยิ่งขึ้น โดยสามารถเขียนโปรแกรมเก็บข้อมูลที่แสดงอาการผิดพร่องของมอเตอร์ทุกเงื่อนไขไว้ในหน่วยความจำเพื่อให้คอมพิวเตอร์เรียนรู้ และให้แสดงผลที่มอนิเตอร์ เพื่อบอกให้ผู้ใช้รู้ว่าความผิดพร่องที่ผู้ใช้ป้อนข้อมูลเข้าไปนั้น ตรงตามที่โปรแกรมเก็บค่าไว้หรือไม่ ถ้าเงื่อนไขของความผิดพร่องที่ป้อนเข้าไปตรงกันก็จะแสดงค่าออกมาให้ทราบได้ ทำให้สะดวกในการตรวจสอบความผิดพร่องของมอเตอร์มากยิ่งขึ้น ซึ่งงานวิจัยนี้ยังสามารถที่จะนำไปพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นได้ในโอกาสต่อ ๆ ไป