

การพัฒนาเครื่องมือวัดและวิเคราะห์ความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ กรณีศึกษาการเกิดสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลย์ ธราธิป ภูระหงษ์

The Development of Measuring tool and Induction Motor Fault Analysis Case Study Voltage Unbalance Tharathip Phurahong

สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม ถ.นิตโย ต.หนองญาติ อ.เมือง จ.นครพนม 48000

Department of Industrial Electrical Technology, Nakhon phanom University, Nakhon phanom 48000

*Corresponding Author. E-mail address: tharathip_ph@hotmail.com

Received 23 August 2011; accepted 2 February 2012

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องมือวัดและวิเคราะห์ความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำกรณีศึกษาความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล เครื่องมือวัดประกอบด้วย วงจรตรวจวัดสัญญาณกระแส วงจรกรองความถี่ต่ำ ชุดแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล พัฒนาระบบแสดงผลโดยใช้โปรแกรมแลปวิวและวิเคราะห์ประมวลผลโดยใช้อัลกอริทึมของการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว ทำการจำลองและทดสอบการเกิดสภาวะแรงดันไม่สมดุลที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ขนาด 0.5 และ 1 แรงม้า

ผลการทดสอบพบว่าเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงผลสัญญาณกระแสและสเปกตรัมกระแสฮาร์โมนิกส์เนื่องจากสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลและสามารถนำไปใช้ในการพัฒนางานวิจัยเครื่องมือวัดในระดับห้องปฏิบัติการได้

คำสำคัญ: การผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล การประมวลผลสัญญาณ

Abstract

This research paper presents a development of the tool and motor current signal analysis case study fault voltage unbalance. The tool consist, current sensor circuit, low pass filter circuit, analog signal to digital signal circuit and analysis and processing the motor current signal using the fast fourier transform algorithm by Labview program. The testing the unbalance voltage with the three phase induction motor 0.5 and 1 HP.

The result of the testing show of the measuring tool can monitoring the current signal and harmonic current spectrum due to the unbalance voltage and can application to develop the measuring tool research in the laboratory.

Keywords: Fault induction motor, Voltage unbalance, Digital Signal Processing

บทนำ

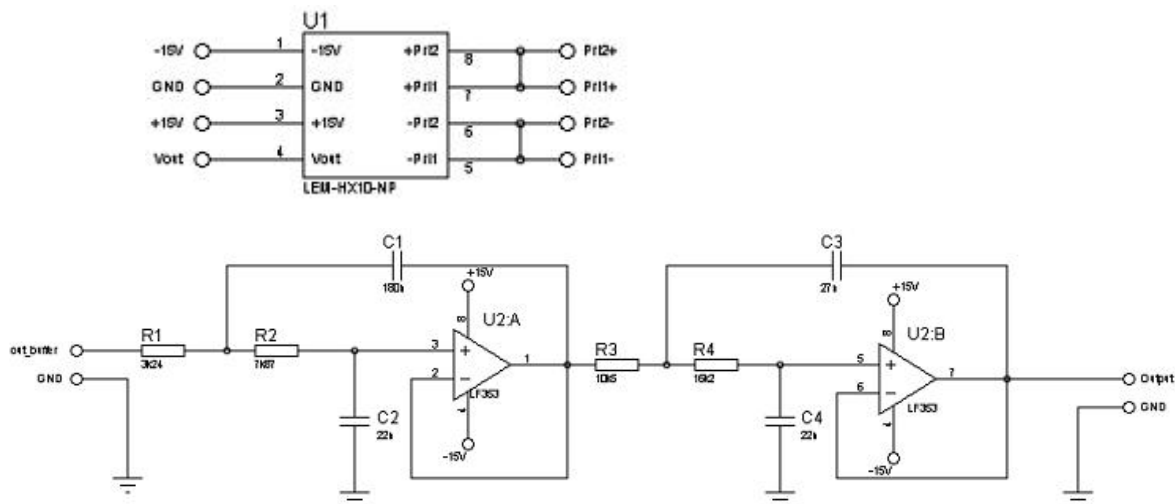
มอเตอร์จัดเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญสำหรับเครื่องจักรกลต่างๆ เนื่องจากทำหน้าที่เป็นเครื่องต้นกำลัง อาศัยการแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลเพื่อขับโหลดต่างๆ เมื่อมีการใช้งานระยะเวลาหนึ่งจะเกิดการเสื่อมสภาพและความผิดปกติต่างๆ เกิดขึ้น โดยส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากสาเหตุโรเตอร์และสเตเตอร์รับแรงที่เกิดจากสนามแม่เหล็กอยู่ตลอดเวลา ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากภาระทางกลจากความร้อนและทางไฟฟ้าส่งผลกระทบโดยตรงกับประสิทธิภาพในการทำงานและอายุการใช้งานของมอเตอร์ เทคโนโลยีในปัจจุบันที่นำมาใช้ตรวจสอบหรือวิเคราะห์ความเสียหายมอเตอร์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การตรวจวิเคราะห์ขณะที่มอเตอร์หยุดทำงาน (Offline Inspection) และการตรวจวิเคราะห์ในขณะที่มอเตอร์ทำงาน (Online Inspection) มีการทบทวนวรรณกรรม (เอกกมล และคณะ, 2554) ได้

นำเสนอเทคนิควิธีการหลายรูปแบบเพื่อนำมาวัดและบันทึกข้อมูล อาทิเช่น ค่าแรงดันและกระแสสเตเตอร์ ช่องว่างอากาศ ความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็กภายนอก ความเร็วและตำแหน่งโรเตอร์ แรงบิดเอาต์พุตอุณหภูมิภายในและภายนอก การสั่นสะเทือน เพื่อใช้ในการระบุความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ โดยทั่วไปการตรวจสอบสภาพการทำงานของมอเตอร์ขณะทำงาน จะใช้การวิเคราะห์จากความร้อนและการสั่นสะเทือนซึ่งจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ตรวจวัดที่โครงสร้างของมอเตอร์ทำให้มีต้นทุนในการพัฒนาระบบสูง การตรวจสอบกระแสสเตเตอร์ใช้ต้นทุนการพัฒนาตรวจสอบน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ทางกล บทความนี้ต้องการนำเสนอการพัฒนาเครื่องมือวัดและวิเคราะห์สัญญาณกระแสกรณีศึกษาการเกิดสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล โดยทำการแสดงผลการจำลองและผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ขนาด 0.5 และ 1 แรงม้า

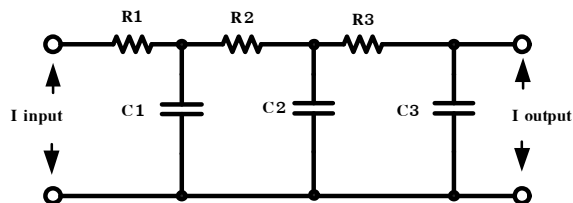
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

1. วงจรตรวจวัดสัญญาณกระแสสเตเตอร์ (Stator Current Signal Detection Circuit)

การตรวจวัดสัญญาณกระแสสเตเตอร์จะถูกกลทอนโดยใช้ เล็มเซ็นเซอร์ (Lam Sensor) ซึ่งใช้หลักการฮอลล์เอฟเฟ็ค (Hall Effect) มีการตอบสนองต่อความถี่สูงได้ดี และมีค่าความคลาดเคลื่อนของสัญญาณกระแสน้อยกว่าระบบหม้อแปลงกระแส (Current Transformer) สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้ LEM รุ่น HX10-NP พิกัดกระแส 20 A



รูปที่ 1 วงจรตรวจวัดสัญญาณกระแสสเตเตอร์



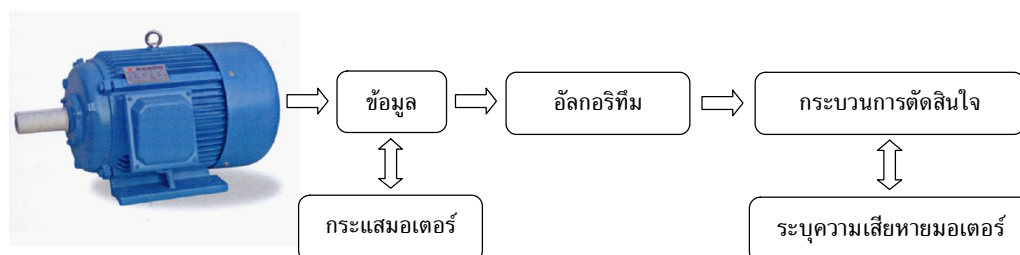
รูปที่ 2 วงจรตรวจวัดสัญญาณกระแสสเตเตอร์

2. วงจรกรองความถี่ต่ำ (Lowpass Filter Circuit)

วงจรกรองความถี่ต่ำทำหน้าที่กรองความถี่ตั้งแต่ 0 Hz จนถึงความถี่ที่กำหนดซึ่งเรียกว่า ความถี่คัทออฟ (Cutoff Frequency) ให้ผ่านไปโดยไม่มีการลดทอนของสัญญาณ และถ้าความถี่ของสัญญาณเข้ามีค่าเกินที่กำหนดไว้สัญญาณออกควรมีค่าเป็นศูนย์ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถจะทำได้เช่นนั้นได้ เนื่องจากการตอบสนองสัญญาณที่ความถี่ต่าง ๆ ของอุปกรณ์ประเภทพาสซีฟ จะเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไป ไม่เปลี่ยนแปลงทันทีทันใด ดังนั้น ผลที่ได้จึงเป็นดังรูปที่ 2

3. การวิเคราะห์สัญญาณกระแส (Current signal analysis)

กระแสสเตเตอร์สามารถตรวจวัดได้ง่ายถึงแม่่มือเตอร์จะอยู่ในสภาวะทำงานการวิเคราะห์สัญญาณมอเตอร์เป็นที่ยอมรับในการนำมาตรวจวินิจฉัยแยกความผิดปกติของมอเตอร์เนื่องจากวิธีนี้ไม่ต้องยุ่งเกี่ยวกับโครงสร้างของมอเตอร์ การวินิจฉัยความผิดปกติของมอเตอร์ประกอบด้วย การได้มาของข้อมูล (Data Acquisition) ก่อนกระบวนการ (Pre-Process) อัลกอริทึมการตรวจจับ (Detection Algorithm) และกระบวนการ (Post-process) หรือกระบวนการตัดสินใจสำหรับระบุความเสียหาย [2], [3] ที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ โดยมีแผนผังไดอะแกรมดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังไดอะแกรมระบบการวิเคราะห์ความผิดปกติของมอเตอร์

4. วิธีการดำเนินการ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการบันทึกข้อมูลใช้อุปกรณ์ Data Acquisition (DAQ) ต่อเชื่อมเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูล และส่งต่อไปเก็บไว้ที่หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ หรือเก็บอยู่ในรูปของไฟล์ข้อมูลเพื่อนำมาประมวลผลด้วยโปรแกรมแลปวิว โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ใช้สำหรับการประมวลผลข้อมูลที่ได้มาในลักษณะของสัญญาณ

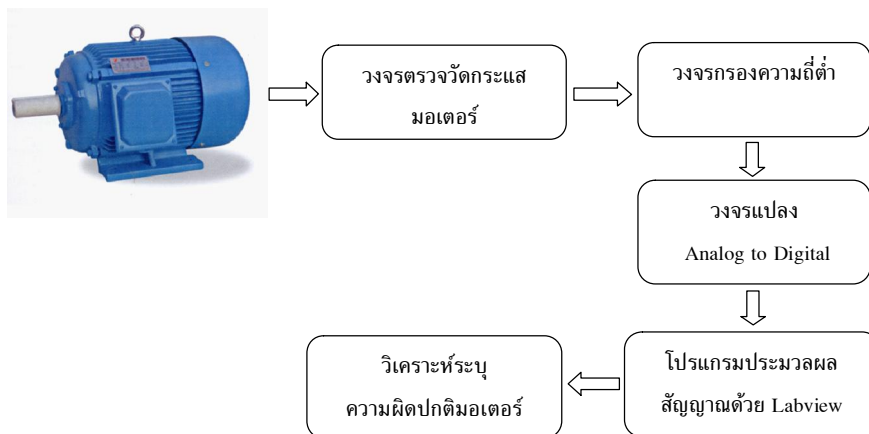
2. เซ็นเซอร์สัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อทำให้ระบบ DAQ สามารถเก็บข้อมูลและแสดงผลได้ เซ็นเซอร์ที่นิยมใช้ในงานวิศวกรรม เช่น Thermocouple, Pressure sensor, Accelerometer, Strain Gage, Force sensor, Torque sensor เป็นต้น

3. Signal conditioning เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ปรับปรุงสัญญาณทางไฟฟ้า สัญญาณที่ตรวจวัดจากเซ็นเซอร์บางชนิดจะมีระดับสัญญาณที่ต่ำเกินไปหรือสูงเกินไปหรือ

เซ็นเซอร์บางชนิดจะทำการกระตุ้นด้วย voltage current เพื่อให้สัญญาณทางไฟฟ้าออกมาจึงต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ปรับปรุงสัญญาณก่อนให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ DAQ ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์สำหรับ Signal conditioning หรือ กรองสัญญาณ

4. อุปกรณ์เก็บข้อมูล (DAQ Hardware) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์และมีหน้าที่แปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล หรือสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก ซึ่งจะทำให้ติดต่อและควบคุมผ่านทางคอมพิวเตอร์ได้

5. Software ใช้โปรแกรมแลปวิวในการเขียนคำสั่งต่าง ๆ เพื่อควบคุมการทำงานของระบบการเก็บข้อมูล (DAQ system) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความผิดปกติของมอเตอร์โดยมีแผนผังไดอะแกรมระบบการวิเคราะห์ความผิดปกติของมอเตอร์ดังนี้



รูปที่ 4 แผนผังไดอะแกรมระบบการวิเคราะห์สัญญาณกระแสมอเตอร์

5. วิธีการเตรียมการทดลอง

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้จัดทำเครื่องมือวิเคราะห์สัญญาณกระแสมอเตอร์โดยประกอบด้วยชุดวงจรเซ็นเซอร์สำหรับวัดกระแส ชุดวงจรกรองความถี่ต่ำ ชุดตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลและโปรแกรม Labview ใช้ในการประมวลผลสัญญาณและได้ทำการทดลองวัดกระแสมอเตอร์โดยจำลองการเกิดสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลโดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

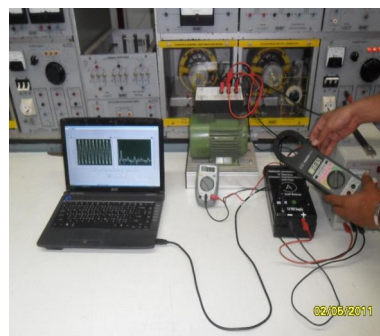
1. เตรียมมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส แรงดันไฟฟ้า 380 V ความถี่ 50 Hz ขนาด 0.5 แรงม้าและขนาด 1 แรงม้า จำนวนอย่างละ 1 ตัว

2. ชุดหม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส จำนวน 1 ชุด

3. ชุดเครื่องมือวัดและวิเคราะห์สัญญาณกระแสมอเตอร์ที่สร้างขึ้นจำนวน 1 ชุด

4. ดำเนินการต่อมอเตอร์แบบสตาร์ทและทำการสตาร์ททดลองการเกิดสภาวะแรงดันไม่สมดุลที่เฟส A, เฟส B และเฟส C โดยใช้หม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้า ในสภาวะไม่สมดุล 5%, 10% และ 15%

5. ทำการวัดและวิเคราะห์สัญญาณกระแสด้วยเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 5 ชุดเครื่องมือวัดและการเตรียมการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำในสภาวะแรงดันไม่สมดุล

ผลการศึกษา

ในงานวิจัยพัฒนาเครื่องมือวัดและวิเคราะห์สัญญาณกระแสมอเตอร์ได้ทำการทดลองและวิเคราะห์กระแสมอเตอร์ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลมีผลการวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การพัฒนาโปรแกรมเครื่องมือวัดด้วยโปรแกรม Labview ในการวิเคราะห์และประมวลผลสัญญาณและผลการทดลองการวัดและวิเคราะห์สัญญาณกระแสของมอเตอร์เหนี่ยวนำในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล ซึ่งมีผลการวิจัยดังนี้

1. ผลการพัฒนาโปรแกรมเครื่องมือวัดและวิเคราะห์สัญญาณกระแสของมอเตอร์

เมื่อ หมายเลข 1 คือ หน้าต่างแสดงผลสัญญาณกระแสในโดเมนเวลา

หมายเลข 2 คือ หน้าต่างแสดงผลสัญญาณกระแสในโดเมนความถี่

หมายเลข 3 คือ หน้าต่างแสดงผลค่าเฉลี่ยของสัญญาณในโดเมนเวลา

หมายเลข 4 คือ หน้าต่างแสดงผลค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของสัญญาณในโดเมนเวลา

หมายเลข 5 คือ หน้าต่างแสดงผลค่าสูงสุดของยอดคลื่นด้านบวกและลบของสัญญาณในโดเมนเวลา

หมายเลข 6 คือ หน้าต่างแสดงผลค่าสูงสุดของยอดคลื่นด้านลบของสัญญาณในโดเมนเวลา

หมายเลข 7 คือ หน้าต่างแสดงผลค่าสูงสุดของยอดคลื่นด้านบวกของสัญญาณในโดเมนเวลา

หมายเลข 8 คือ หน้าต่างแสดงผลค่าประสิทธิภาพของสัญญาณในโดเมนเวลา

หมายเลข 9 คือ หน้าต่างแสดงผลค่าขนาดของสัญญาณในโดเมนความถี่

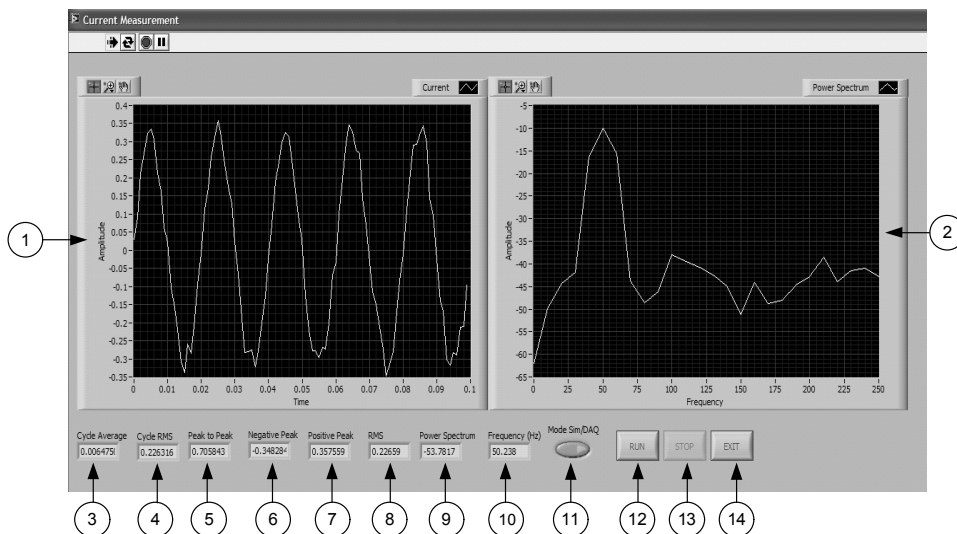
หมายเลข 10 คือ หน้าต่างแสดงผลค่าความถี่ของสัญญาณกระแส

หมายเลข 11 คือ หน้าต่างควบคุมการรับสัญญาณอินพุตและการจำลองสัญญาณกระแส

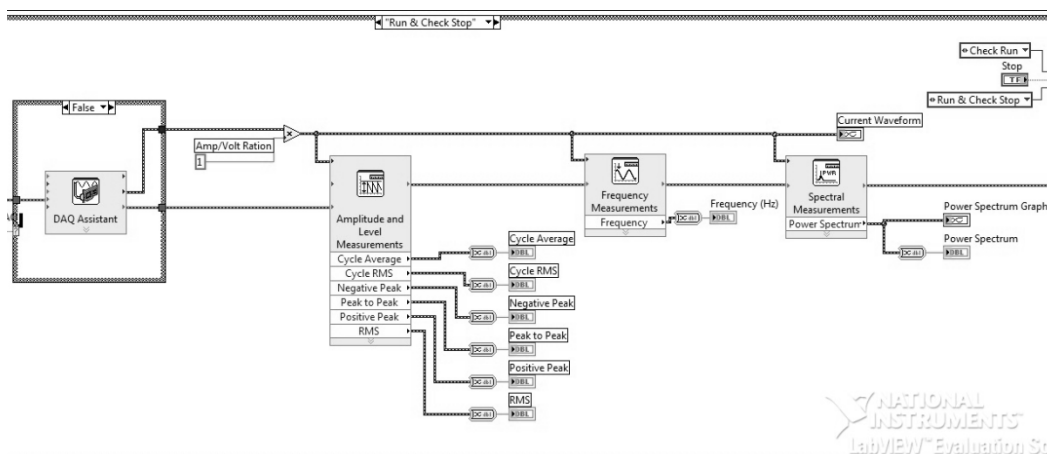
หมายเลข 12 คือ หน้าต่างควบคุมการเริ่มต้นทำงานของโปรแกรมเครื่องมือวัดและวิเคราะห์สัญญาณกระแส

หมายเลข 13 คือ หน้าต่างควบคุมการหยุดทำงานของโปรแกรมเครื่องมือวัดและวิเคราะห์สัญญาณกระแส

หมายเลข 14 คือ หน้าต่างควบคุมการออกจากโปรแกรมเครื่องมือวัดและวิเคราะห์สัญญาณกระแส

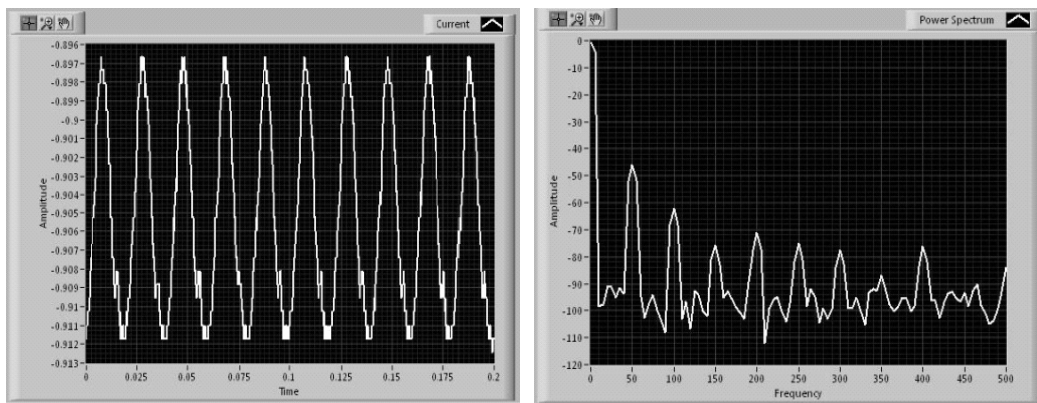


รูปที่ 6 หน้าต่างโปรแกรมแสดงผลการวัดและการวิเคราะห์สัญญาณกระแสของมอเตอร์

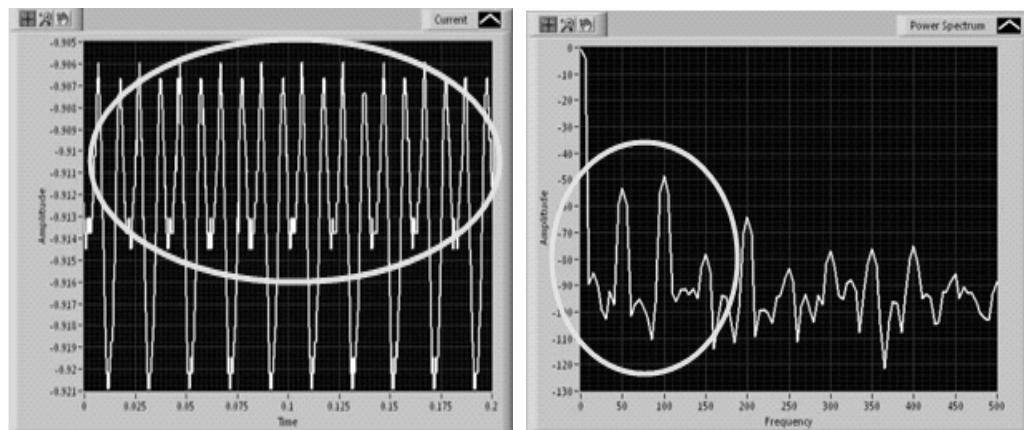


รูปที่ 7 หน้าต่างแสดงฟังก์ชันบล็อกของโปรแกรมเครื่องมือวัดและการวิเคราะห์สัญญาณกระแสของมอเตอร์

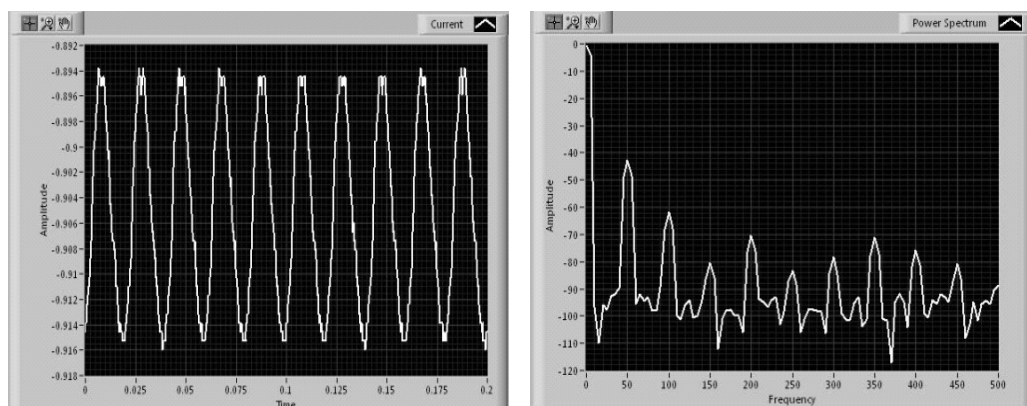
2. ผลการวิเคราะห์สัญญาณกระแสมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสขนาด 0.5 แรงม้า



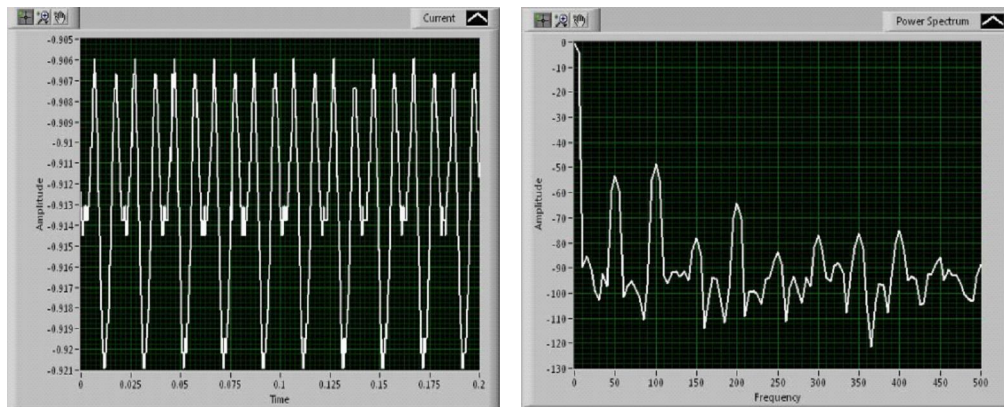
รูปที่ 8 สัญญาณทางเวลาและทางความถี่ของสัญญาณกระแสมอเตอร์ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าปกติที่เฟส A



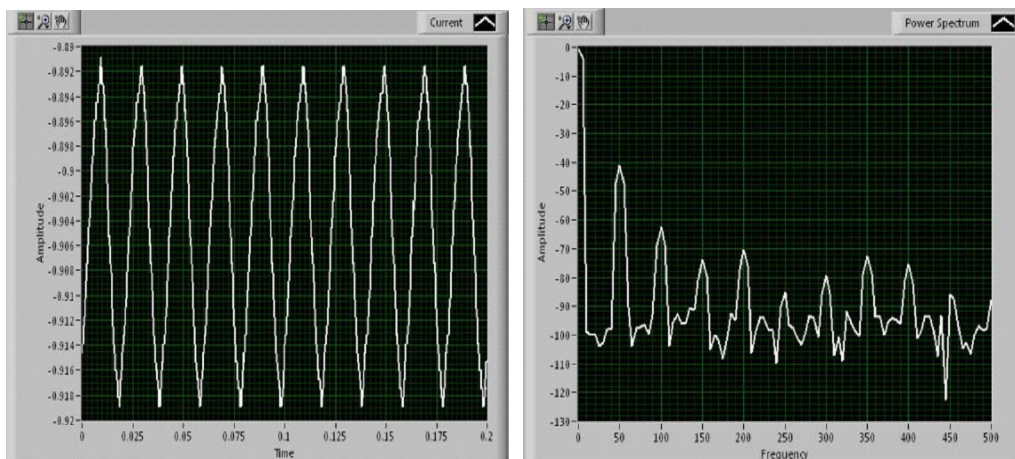
รูปที่ 9 สัญญาณทางเวลาและทางความถี่ของสัญญาณกระแสมอเตอร์ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลที่เฟส A



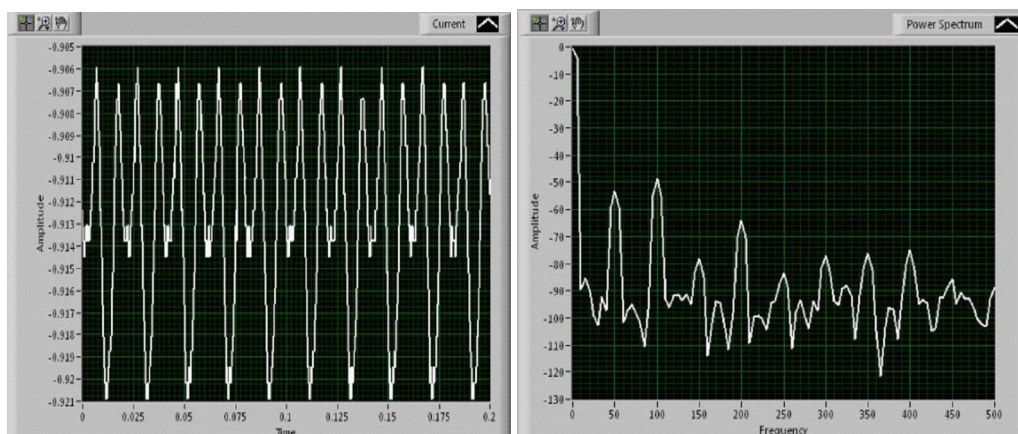
รูปที่ 10 สัญญาณทางเวลาและทางความถี่ของสัญญาณกระแสมอเตอร์ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าปกติที่เฟส B



รูปที่ 11 สัญญาณทางเวลาและทางความถี่ของสัญญาณกระแสมอเตอร์ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลที่เฟส B



รูปที่ 12 สัญญาณทางเวลาและทางความถี่ของสัญญาณกระแสมอเตอร์ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าปกติที่เฟส C



รูปที่ 13 สัญญาณทางเวลาและทางความถี่ของสัญญาณกระแสมอเตอร์ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลที่เฟส C

สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยเรื่องการพัฒนาเครื่องมือวัดและวิเคราะห์สัญญาณกระแสมอเตอร์นี้ได้แบ่งการวิจัยเป็น 2 ส่วนคือส่วนแรกเป็นการพัฒนาเครื่องมือวัดและส่วนที่สองคือการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมแลปวิว โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณกระแสด้วยอัลกอริทึม

ของการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast fourier transform) ทำการศึกษาสัญญาณกระแสมอเตอร์ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเกิดสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลส่งผลทำให้ปรากฏในสเปกตรัมโดยมีความถี่หลักบวกกับความถี่ในการหมุนของมอเตอร์คูณจำนวนขั้วแม่เหล็กหารสอง ($LF + NP/2$) แม้การไม่สมดุลของแรงดันจะเกิดขึ้นเล็กน้อยก็ตาม ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับผล

การศึกษาของ (Stewart V. Bowers, 2003) ที่ได้ทำการทดสอบมอเตอร์ขนาด 50 แรงม้าพบว่า ที่แรงดันไม่สมดุล 3% จะทำให้ขนาดแอมพลิจูดของความถี่ $LF + NP/2$ เปลี่ยนไป 0.61% ดังนั้น เครื่องมือวัดและวิเคราะห์สัญญาณกระแสที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาในงานวิจัยระดับห้องปฏิบัติการได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนด้านการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ทดลองจากวิทยาลัยเทคนิคนครพนม มหาวิทยาลัยนครพนม

เอกสารอ้างอิง

เอกกมล บุญยะผลานันท์ สุรพันธ์ ต้นสรวงษ์ และพูนศักดิ์ โกษียาภรณ์. (2554). การวิเคราะห์ความผิดพร่องของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ด้วยสเปกตรัมกระแส: การทบทวน. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 21(1).

B. M hl. (2003). *A Composite Drive with Separate Control of Force and Position*. Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Robotics. pp. 1606-1610.

B. M hl. (1997). *A Two Jointed Robot Arm with Elastic Drives and Active Oscillation Damping*. Workshop: Bio-Mechatronic Systems, IEEEERSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems.

Mitsubishi. (2005). *Introduction to FX Positioning Control System*. Mitsubichi Copperatio, Japan.

M GOPAL. (2004). *Digital Control and State Variable Methods*. Convention and Neural-Fuzzy Control System, 2nd edition International.

Peter Hamann & Thomas Mueller. (1990). *Omron C200H Operation Manual PLC*.

S.V. Bowers & K.R. Piety. (2003). *Proactive Motor Monitoring Through Temperature*. Shaft Current and Magnetic Flux Measurements; Computational Systems, Incorporated.