



## ผลกระทบของวินโดว์ฟังก์ชันในการตรวจจับความผิดพร้อมมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

**เอกกมล บุญยะผลานันท์\***

อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

**มีชัย โลหะการ**

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08-9790-8002 อีเมล: ekm@kmutnb.ac.th

รับเมื่อ 14 สิงหาคม 2557 ตอรับเมื่อ 4 ธันวาคม 2557

DOI: 10.14416/j.kmutnb.2014.12.003 © 2015 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของวินโดว์ฟังก์ชันในการตรวจจับความผิดพร้อมมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส วิธีดำเนินการวิจัยแบ่งเป็นการสร้างความผิดพร้อมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส และการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ผลกระทบของวินโดว์ฟังก์ชันในการตรวจจับความผิดพร้อมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ผลการวิจัยพบว่า วินโดว์ฟังก์ชันแบบ Hanning ให้ความถูกต้องของสัญญาณสเปกตรัมและมีโลบข้างเกิดขึ้นน้อยที่สุด

**คำสำคัญ:** ผลกระทบของวินโดว์ฟังก์ชัน ความผิดพร้อมมอเตอร์



## Effect of Window Function for Fault Detection in Three Phase Induction Motors

**Ekkamol Boonyapalanant\***

Lecturer, Department of Teacher Training in Electrical Engineering, Faculty of Technical Education, King Mounkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand

**Meechai Lohakan**

Assistant Professor, Department of Teacher Training in Electrical Engineering, Faculty of Technical Education, King Mounkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand

\* Corresponding Author, Tel. 08-9790-8002, E-mail: ekm@kmutnb.ac.th

Received 14 August 2014; Accepted 4 December 2014

DOI: 10.14416/j.kmutnb.2014.12.003 © 2015 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### Abstract

This research aims to study the effect of window function for fault detection in three phase induction motors. The research procedure is divided into 2 steps; simulation of the faults in three-phase induction motor, and the development of the analysis program to check the effect of window function fault detection in three-phase induction motor. The research can be concluded that the Hanning window function reported no spectral leakage with very little side lobe effect.

**Keywords:** Window Function Effect, Motors Fault

## 1. บทนำ

การวิเคราะห์สัญญาณกระแสมอเตอร์ (Motor Current Signature Analysis: MCSA) เพื่อเฝ้าสังเกตสถานะการทำงานของมอเตอร์นั้นมีวิธีการดังนี้ นำสัญญาณกระแสมอเตอร์มาวิเคราะห์สัญญาณสเปกตรัมด้วยวิธีการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform: FFT) การวิเคราะห์สัญญาณสเปกตรัมโดยการใช้ FFT ด้วยคอมพิวเตอร์นั้นมีการกำหนดช่วงเวลาเพื่อเก็บบันทึกสัญญาณที่ถูกสุ่มเข้าสู่อุปกรณ์อย่างต่อเนื่องเพื่อทำการวิเคราะห์สัญญาณในรูปของกล่องและแสดงผลการวิเคราะห์ออกมาในรูปของสเปกตรัม ถ้าช่วงเวลาในการบันทึกข้อมูลสามารถบันทึกสัญญาณในขั้นที่จุดเริ่มต้นและสิ้นสุดที่เคลื่อนที่ผ่านระดับศูนย์ได้ครบไซเคิล ผลของการวิเคราะห์สเปกตรัมด้วย FFT จะประกอบด้วยเส้นเพียงหนึ่งเส้นที่มีแอมพลิจูดและความถี่ถูกต้อง แต่ถ้าสัญญาณที่บันทึกได้นั้นไม่ได้เป็นสัญญาณที่มีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ระดับศูนย์สัญญาณที่ได้มีการตัดช่วงหรือเกิดความไม่ต่อเนื่องของสัญญาณขึ้น ซึ่งส่งผลให้ผลของการวิเคราะห์สเปกตรัมด้วย FFT ไม่ถูกต้องและผิดเพี้ยนไปโดยจะเกิดเส้นข้างเคียงขึ้นทั้งสองข้างของสัญญาณเส้นเดียว เส้นด้านข้างที่ปรากฏขึ้นนี้จะเรียกว่า การรั่วของสเปกตรัม (Spectral Leakage) [1]-[4] เพื่อลดผลที่เกิดขึ้นจากการรั่วของสเปกตรัมจำเป็นอย่างยิ่งที่ในช่วงการบันทึกสัญญาณจะต้องทำให้สัญญาณเริ่มต้นและสิ้นสุดเป็นระดับศูนย์ ซึ่งทำได้โดยการคูณจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดเป็นระดับศูนย์ โดยการคูณสัญญาณข้อมูลด้วยฟังก์ชันวินโดว์ การใช้ฟังก์ชันวินโดว์ที่ไม่เหมาะสมกับสัญญาณที่บันทึกนั้นจะส่งผลให้สัญญาณสเปกตรัมที่วิเคราะห์ได้นั้นไม่ถูกต้อง [1],[2] ดังนั้นผู้วิจัยจึงเกิดความสนใจที่จะศึกษาการเลือกใช้ฟังก์ชันวินโดว์และทดสอบถึงผลกระทบของการใช้ฟังก์ชันวินโดว์แต่ละชนิดที่มีต่อการวิเคราะห์สัญญาณสเปกตรัม

## 2. ทฤษฎี

### 2.1 ความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสเป็นเครื่องจักรไฟฟ้าที่มี

ความเชื่อถือได้สูง แต่ก็สามารถเกิดความผิดพลาดทางไฟฟ้าและทางกลขึ้นได้หลายชนิด ชนิดของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส สามารถแบ่งได้ดังนี้ [5]

1. การลัดวงจรและการเปิดวงจรของขดลวดสเตเตอร์
2. ตัวนำโรเตอร์แตกหักและแยกออกจากวงแหวนด้านท้าย
3. ความผิดปกติของช่องอากาศทางสถิต (Static) และพลวัต (Dynamic)
4. ความผิดพลาดของร่องเส้นและโรเตอร์ ความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นมากที่สุด [5]-[7] ได้แก่

1. ความผิดพลาดของสเตเตอร์
  2. ความผิดพลาดของโรเตอร์
  3. ความผิดพลาดของร่องเส้น ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ส่งผลต่อมอเตอร์ดังนี้ [8]
1. ความไม่สมดุลของแรงดันและกระแส
  2. เกิดการกระเพื่อมของแรงบิดที่เพลลาเพิ่มขึ้น
  3. แรงบิดเฉลี่ยที่เพลลาที่มีค่าลดลง
  4. ค่าความสูญเสียต่างๆ ในมอเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น
  5. ความร้อนเพิ่มขึ้นเกินกว่าจะยอมรับได้
- ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงเลือกความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่เกิดขึ้นมากที่สุดทั้ง 3 ชนิดสาเหตุและการวิเคราะห์ความผิดพลาดแต่ละชนิดอธิบายได้ดังนี้

2.1.1 ความผิดพลาดของตัวนำโรเตอร์แตกหัก ความผิดพลาดของโรเตอร์ที่เกิดขึ้นคือแท่งตัวนำโรเตอร์และวงแหวนด้านท้ายแตกหัก ซึ่งมีสาเหตุมาจากความเค้นที่เกิดขึ้นบนโรเตอร์ ความเค้นเหล่านั้นได้แก่ความเค้นทางความร้อน แม่เหล็กไฟฟ้า ทางกล พลวัต และสภาพแวดล้อม [5] นอกจากนี้ยังมีสาเหตุมาจากการสตาร์ทมอเตอร์ตรงซึ่งตัวนำโรเตอร์ไม่ได้ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะส่งผลทำให้เกิดความร้อนสูงและความเครียดทางกล การเชื่อมต่อโหลดที่มีการทำงานเป็นจังหวะกับ

เพลลาของโรเตอร์ส่งผลทำให้เกิดความเครียดทางกลสูง และความผิดพลาดในกระบวนการผลิตโรเตอร์ [9]

### 2.1.2 ความผิดพลาดของขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจร

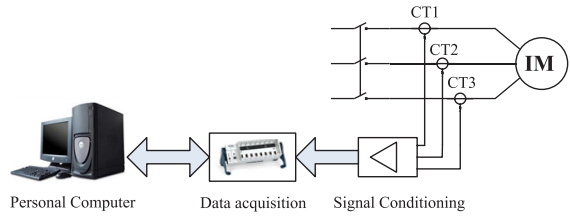
การลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์เป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมากที่สุดในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส สาเหตุของความผิดพลาดของขดลวดสเตเตอร์นั้นเกิดจากความเค้นต่างๆ ที่กระทำบนสเตเตอร์ ความเค้นที่เกิดขึ้นแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มได้แก่ ความเค้นจากความร้อน ความเค้นจากไฟฟ้า ความเค้นจากทางกลและสภาพแวดล้อม [5] นอกจากนี้ อาจเกิดจากความผิดพลาดระหว่างกระบวนการผลิตมอเตอร์ การใช้งานในสถานที่ที่ไม่เหมาะสม การระบายอากาศที่ไม่เพียงพอและอื่นๆ [10]

### 2.1.3 ความผิดพลาดของรองลื่น

ในสภาวะการทำงานปกติเมื่อภาระสมดุลและการวางแนวแกนเพลลาที่ดี จะเกิดรอยสึกหรอขึ้นเล็กน้อยที่พื้นผิวของวงแหวนทั้งสองและลูกกลิ้งเม็ดกลม การใช้งานในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น อยู่ในสถานที่ที่สามารถโดนน้ำ โดนกรด การติดตั้งที่ขาดความระมัดระวัง ทำให้มีเหวี่ยงหรือคราบสกปรกเกิดขึ้นที่รองลื่น และจะรบกวนเสื่อสภาพ เป็นสาเหตุที่เร่งให้รอยสึกหรอที่พื้นผิวของวงแหวนนี้ค่อยๆ เพิ่มขึ้น [11] นอกจากนี้ยังมีความเค้นชนิดต่างๆ ที่ทำให้เกิดความผิดพลาดของรองลื่นได้ ซึ่งสาเหตุและชนิดสามารถแบ่งได้ดังนี้ ภาระแบบสถิต และพลวัต ความร้อน ความสั่นสะเทือนและการกระแทก สภาพแวดล้อม กระแสไฟฟ้า และแรงเฉือน [12]

## 2.2 ระบบการวิเคราะห์สัญญาณกระแสมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

การวิเคราะห์สัญญาณกระแสมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสหรือที่เรียกว่า Motor Current Signature Analysis (MCSA) มีส่วนประกอบของระบบดังรูปที่ 1 จากระบบจะใช้ตัวตรวจจับกระแส (Current Sensor) ทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณกระแสของมอเตอร์ทั้ง 3 เฟส ทั้งขณะที่ไม่มีภาระและมีภาระ หลังจากนั้นสัญญาณกระแสถูกส่งต่อไปยังชุด Signal Conditioning เพื่อทำการปรับปรุงสัญญาณ



รูปที่ 1 ระบบการวิเคราะห์สัญญาณกระแสมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

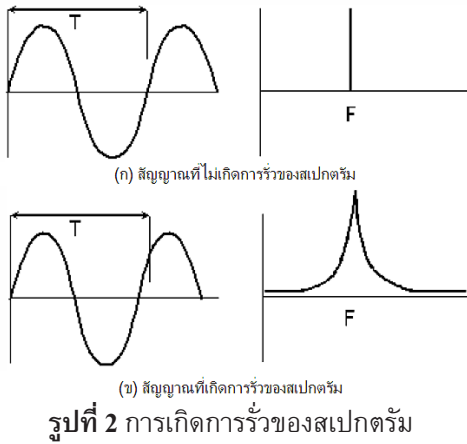
และแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล จากนั้นสัญญาณจะส่งผ่านชุด Data Acquisition เพื่อทำการประมวลผลบนโปรแกรมวิเคราะห์สัญญาณกระแสสเตเตอร์ โปรแกรมจะทำการเปลี่ยนสัญญาณกระแสที่อยู่ในรูปของโดเมนเวลาไปเป็นโดเมนความถี่หรือสเปกตรัม โดยใช้การแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว แล้วจึงทำการวิเคราะห์สัญญาณสเปกตรัมเพื่อวินิจฉัยความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ [9],[13]

### 2.3 การวิเคราะห์สัญญาณสเปกตรัม

สัญญาณกระแสที่ได้จากตัวตรวจจับกระแสเป็นคลื่นไซน์ที่แสดงอยู่บนโดเมนเวลาซึ่งยากต่อการวินิจฉัยสภาพหรือความผิดพลาดของมอเตอร์ ดังนั้นจำเป็นต้องใช้วิธีการแปลงสัญญาณที่มีลักษณะเป็นคาบมาเป็นสัญญาณที่มีลักษณะเป็นความถี่ต่างกัน โดยนำหลักการแปลงสัญญาณของฟูริเยร์มาใช้แปลงสัญญาณบนโดเมนเวลาให้เป็นสัญญาณบนโดเมนความถี่เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ เมื่อได้ข้อมูลของสัญญาณสเปกตรัมที่ประกอบด้วยความถี่ที่ต่างกัน จะสามารถวินิจฉัยความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ได้ละเอียด การวิเคราะห์สัญญาณที่อยู่บนโดเมนความถี่ก็คือ การวิเคราะห์สเปกตรัม

### 2.4 การปรับปรุงสัญญาณด้วยฟังก์ชันวินโดว์

การวิเคราะห์สัญญาณสเปกตรัมโดยการใช้ FFT ด้วยคอมพิวเตอร์นั้นมีการกำหนดช่วงเวลาเพื่อเก็บบันทึกสัญญาณที่ถูกสุ่มเข้าสู่บัพเฟอร์อย่างต่อเนื่องเพื่อทำการวิเคราะห์สัญญาณในรูปของกลุ่มและแสดงผลการ



วิเคราะห์ห้ออกมาในรูปของสเปกตรัม ถ้าช่วงเวลาในการบันทึกข้อมูลสามารถบันทึกสัญญาณในช่วงที่จุดเริ่มต้นและสิ้นสุดที่เคลื่อนที่ผ่านระดับศูนย์ได้ครบไซเคิล ผลของการวิเคราะห์สเปกตรัมด้วย FFT จะประกอบด้วยเส้นเพียงหนึ่งเส้นที่มีแอมพลิจูดและความถี่ถูกต้องดังรูปที่ 2(ก) แต่ถ้าสัญญาณที่บันทึกได้นั้นไม่ได้เป็นสัญญาณที่มีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ระดับศูนย์ สัญญาณที่ได้มีการตัดช่วงหรือเกิดความไม่ต่อเนื่องของสัญญาณขึ้น ซึ่งส่งผลให้ผลของการวิเคราะห์สเปกตรัมด้วย FFT ไม่ถูกต้องและผิดเพี้ยนไป โดยจะเกิดเส้นข้างเคียงขึ้นทั้งสองข้างของสัญญาณเส้นเดียว ดังรูปที่ 2 (ข) เส้นด้านข้างที่ปรากฏขึ้นนี้จะเรียกว่า การรั่วของสเปกตรัม (Spectral Leakage) เพื่อลดผลที่เกิดขึ้นจากการรั่วของสเปกตรัมจำเป็นอย่างยิ่งที่ในช่วงการบันทึกสัญญาณจะต้องทำให้สัญญาณเริ่มต้นและสิ้นสุดเป็นระดับศูนย์ซึ่งทำได้โดยการคูณสัญญาณข้อมูลด้วยฟังก์ชันวินโดว์ [1]-[4],[14] หลักการในการทำวินโดว์อาศัยทฤษฎีการคอนโวลูชันความถี่ (Frequency Convolution Theorem) พิจารณาตามสมการที่ (1)

$$y(t)=x(t) \times W_R(t) \Leftrightarrow Y(f)=X(f) \times W_R(f) \quad (1)$$

เมื่อ  $x(t)$  คือสัญญาณที่ต้องการแปลงฟูริเยร์แสดงในเทอมของเวลา

$W_R(t)$  คือฟังก์ชันในเทอมเวลาของวินโดว์



(ก) โรเตอร์แตกหัก 1 แท่งตัวนำ (ข) โรเตอร์แตกหัก 4 แท่งตัวนำ

**รูปที่ 3** การดัดแปลงให้ตัวนำโรเตอร์แตกหัก

$X(f)$  คือฟังก์ชันในเทอมของความถี่จากการแปลงฟูริเยร์ฟังก์ชัน  $x(t)$

$W_R(f)$  คือฟังก์ชันในเทอมของความถี่จากการแปลงฟูริเยร์ฟังก์ชัน  $W_R(t)$

### 3. วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 การศึกษาข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้า ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยกำหนดประเด็นไว้ดังนี้

3.1.1 ชนิดความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

3.1.2 วิธีการตรวจจับความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

3.1.3 วิธีการวิเคราะห์ความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

#### 3.2 การออกแบบความผิดพลาดของมอเตอร์

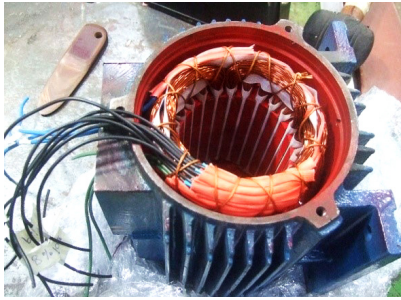
เพื่อให้เกิดสถานการณ์ความผิดพลาดแต่ละชนิดตามที่ได้ศึกษาข้อมูล ได้นำมอเตอร์มาดัดแปลงดังนี้

3.2.1 ความผิดพลาดของตัวนำโรเตอร์แตกหัก

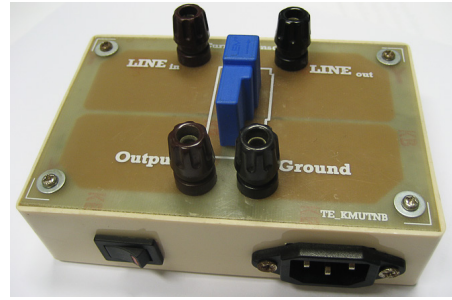
การดัดแปลงโรเตอร์ให้สถานการณ์ตัวนำโรเตอร์แตกหัก โดยนำโรเตอร์ไปเจาะที่แท่งตัวนำให้ขาดออกจากวงแหวนด้านท้ายและนำไปถ่วงสมดุลใหม่ แสดงดังรูปที่ 3

3.2.2 ความผิดพลาดของขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจร

การดัดแปลงขดลวดสเตเตอร์ให้เกิดการลัดวงจร โดยนำขดลวดสเตเตอร์ไปพันใหม่ และทำการแทปปลายขดลวดออกมาเพื่อให้สามารถเปลี่ยนแปลงจำนวนรอบของการลัดวงจรได้ แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ขดลวดสเตเตอร์ที่ดัดแปลงให้เกิดขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจร



รูปที่ 6 ตัวตรวจจับกระแสที่ติดตั้งบนแผงวงจรพิมพ์



รูปที่ 5 ร่องลึนที่เจาะรูที่วงแหวนด้านนอก

### 3.2.3 ความผิดพลาดของร่องลึน

การดัดแปลงร่องลึนให้เกิดความผิดพลาดที่วงแหวนด้านนอกโดยการเจาะรูที่วงแหวนด้านนอกด้วยเครื่อง EDM ให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 มม. แสดงดังรูปที่ 5

### 3.3 การออกแบบตัวตรวจจับกระแส

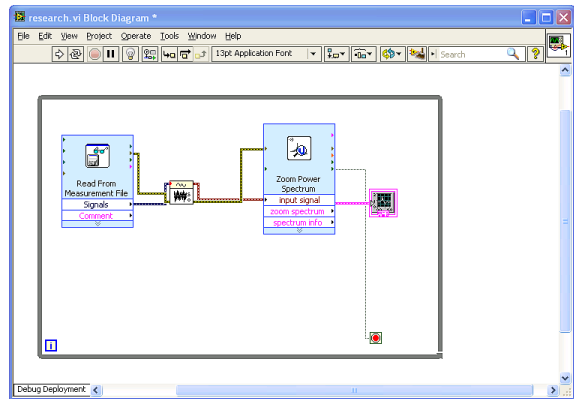
จากการออกแบบตัวตรวจจับกระแส ผู้วิจัยได้สร้างแผงวงจรพิมพ์เพื่อติดตั้งตัวตรวจจับกระแสและประกอบกล่องพลาสติกเพื่อความสะดวกในการใช้งาน ดังรูปที่ 6

### 3.4 การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ความผิดพลาด

แนวคิดของโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ความผิดพลาดมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส มีลำดับขั้นตอนการทำงานดังนี้

3.3.1 โปรแกรมจะรับสัญญาณกระแสมอเตอร์และสัญญาณความเร็วรอบที่ได้ต่อไว้กับชุด Data Acquisition โดยใช้ฟังก์ชัน DAQ Assistant

3.3.2 เมื่อได้รับสัญญาณกระแสมอเตอร์และความเร็ว



รูปที่ 7 บล็อกไดอะแกรมโปรแกรมวิเคราะห์สเปกตรัมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

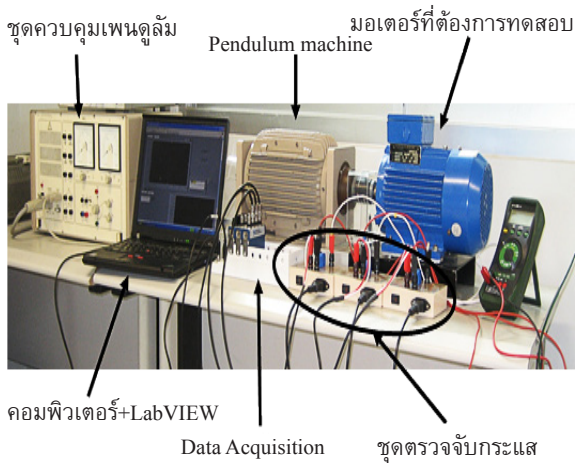
รอบแล้ว โปรแกรมจะนำสัญญาณกระแสไปคำนวณหาสเปกตรัมด้วยวิธี FFT เพื่อหาค่าความถี่ของแหล่งจ่าย โดยใช้ฟังก์ชัน Zoom Power Spectrum

3.3.3 เมื่อโปรแกรมคำนวณหาสัญญาณสเปกตรัมที่คำนวณ จะแสดงผลสัญญาณสเปกตรัมในหน้าต่าง

### 4. ผลการวิจัย

#### 4.1 ผลการสร้างโปรแกรมวิเคราะห์ผลกระทบของวินโดว์ฟังก์ชันในการตรวจจับความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

โปรแกรมวิเคราะห์ผลกระทบของวินโดว์ฟังก์ชันในการตรวจจับความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม LabVIEW รุ่น 8.2.1 มีโครงสร้างบล็อกไดอะแกรม แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 8 ชุดทดลองสำหรับการทดสอบมอเตอร์

#### 4.2 ผลการทดสอบโปรแกรมวิเคราะห์ผลกระทบของวินโดว์ฟังก์ชันในการตรวจจับความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

4.2.1 การทดสอบโปรแกรมวิเคราะห์ผลกระทบของวินโดว์ฟังก์ชันในการตรวจจับความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เครื่องมือและอุปกรณ์ประกอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์ความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่พัฒนาด้วยโปรแกรม LabVIEW เวอร์ชัน 8.2.1 การตรวจจับกระแสมอเตอร์ใช้ Hall-Effect Current Sensor ของ LEM รุ่น HY5-P การตรวจจับความเร็วรอบใช้ Tachogenerator ที่ให้แรงดันเอาต์พุต 1V/1000 rpm สัญญาณกระแสและความเร็วรอบต่อกับการ์ดรับสัญญาณรุ่น NI9215 with BNC 4 Ch.  $\pm 10V$  16-bit Simultaneous Analog Input ผ่าน DAQ รุ่น NI cDAQ-9172 การรับสัญญาณอินพุตมีกำหนดจำนวนข้อมูล 25000 ข้อมูล อัตราการสุ่มสัญญาณ 6250 เฮิร์ตซ์ จากนั้นนำมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ดัดแปลงไว้มาต่อเข้ากับชุดเพนดูลัม ดังแสดงในรูปที่ 8 แล้ว เชื่อมต่อชุดตรวจจับกระแสมอเตอร์กับชุด DAQ โดยผ่านพอร์ต USB เปิดโปรแกรม LabVIEW สั่งโปรแกรม LabVIEW ให้ทำงานโดยใช้ปุ่ม Run ที่ Tool Bar เมื่อต้องการเพิ่มโหลดให้กับมอเตอร์สามารถกดปุ่ม Down ที่ชุด Control Unit แล้ว

สังเกตผลที่ปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นผู้วิจัย จะทำการเปลี่ยนชนิดของการปรับปรุงสัญญาณเป็นชนิดต่างๆ เพื่อดูผลสัญญาณสเปกตรัมที่เกิดขึ้น

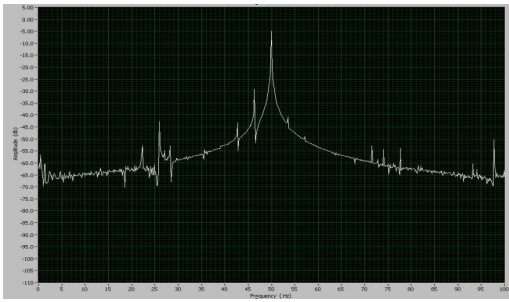
4.2.1.1 ผลการทดสอบโปรแกรมวิเคราะห์ผลกระทบของวินโดว์ฟังก์ชันในการตรวจจับความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดพลาดตัวนำโรเตอร์แตกหัก 4 แท่งตัวนำ

นำมอเตอร์ที่ดัดแปลงโรเตอร์ให้เกิดสภาวะการแตกหักของตัวนำโรเตอร์ 4 แท่งตัวนำมาต่อเข้ากับชุดเพนดูลัมและทำการทดสอบที่สภาวะภาระ 50% สัญญาณสเปกตรัมของกระแสมอเตอร์จากการทดสอบ แอมพลิจูดความถี่เมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นแสดงผลทางหน้าต่างโปรแกรมดังรูปที่ 9-14

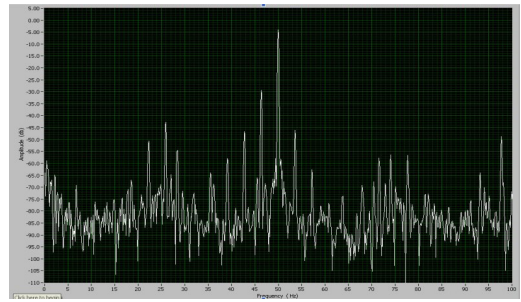
จากรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่าเมื่อไม่มีการปรับปรุงสัญญาณวินโดว์ฟังก์ชัน สเปกตรัมกระแสมอเตอร์ที่วิเคราะห์ได้แอมพลิจูดของความถี่มูลฐานมีค่าสูงสุดที่ -5 db และเกิดการรั่วของสเปกตรัมเกิดขึ้นอย่างมาก แอมพลิจูดที่แสดงถึงความผิดพลาดตัวนำโรเตอร์แตกหักยังปรากฏขึ้นทั้งสองข้างของความถี่มูลฐาน รูปที่ 10 ใช้การปรับปรุงสัญญาณแบบ Hanning สเปกตรัมกระแสมอเตอร์ไม่มีการรั่วของสเปกตรัม รูปที่ 11 ใช้การปรับปรุงสัญญาณแบบ Hamming สเปกตรัมกระแสเกิดการรั่วของสเปกตรัมเช่นเดียวกับเมื่อไม่มีการปรับปรุงสัญญาณและยังมีโลบข้างเกิดขึ้นด้วย รูปที่ 12-14 ใช้การปรับปรุงสัญญาณแบบ Blackman สเปกตรัมกระแสจะมีลักษณะคล้ายกับการปรับปรุงสัญญาณแบบ Hanning มีโลบข้างเกิดขึ้นมากกว่า

4.2.1.3 ผลการทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดพลาดขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจรที่ 4%

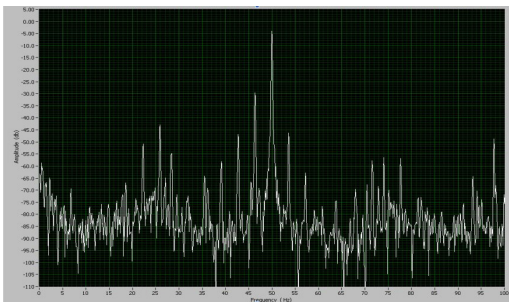
นำมอเตอร์ที่ดัดแปลงขดลวดสเตเตอร์ให้เกิดสภาวะการลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ 4% มาต่อเข้ากับชุดเพนดูลัมและทำการทดสอบที่สภาวะภาระ 50% สัญญาณสเปกตรัมของกระแสมอเตอร์จากการทดสอบ แอมพลิจูดความถี่เมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นแสดงผลทางหน้าต่างโปรแกรมดังรูปที่ 15-20



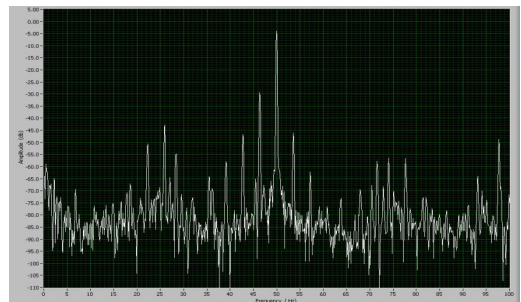
รูปที่ 9 สเปกตรัมกระแสเมื่อตัวนำโรเตอร์แตกหัก 4 แห่ง  
ตัวนำ ไม่มีการปรับปรุงสัญญาณ



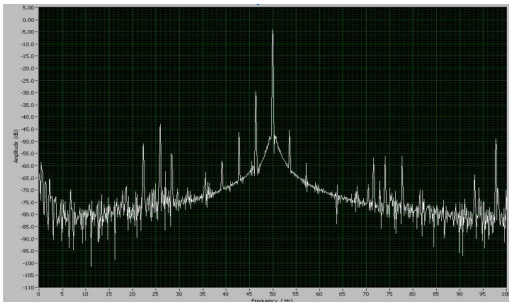
รูปที่ 12 สเปกตรัมกระแสเมื่อตัวนำโรเตอร์แตกหัก 4 แห่ง  
ตัวนำ การปรับปรุงสัญญาณแบบ Blackman



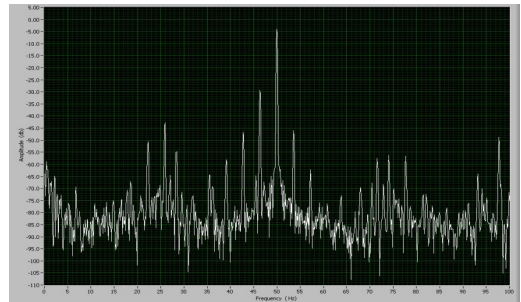
รูปที่ 10 สเปกตรัมกระแสเมื่อตัวนำโรเตอร์แตกหัก 4 แห่ง  
ตัวนำ การปรับปรุงสัญญาณแบบ Hanning



รูปที่ 13 สเปกตรัมกระแสเมื่อตัวนำโรเตอร์แตกหัก 4 แห่ง  
ตัวนำ การปรับปรุงสัญญาณแบบ Blackman Harris



รูปที่ 11 สเปกตรัมกระแสเมื่อตัวนำโรเตอร์แตกหัก 4 แห่ง  
ตัวนำ การปรับปรุงสัญญาณแบบ Hamming

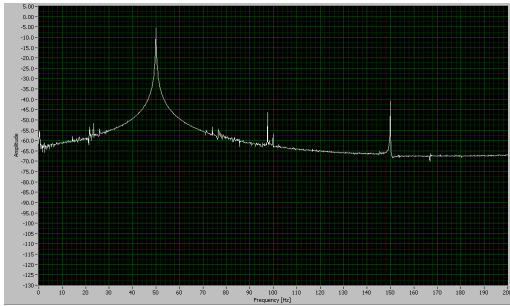


รูปที่ 14 สเปกตรัมกระแสเมื่อตัวนำโรเตอร์แตกหัก 4 แห่ง  
ตัวนำ การปรับปรุงสัญญาณแบบ Exact Blackman

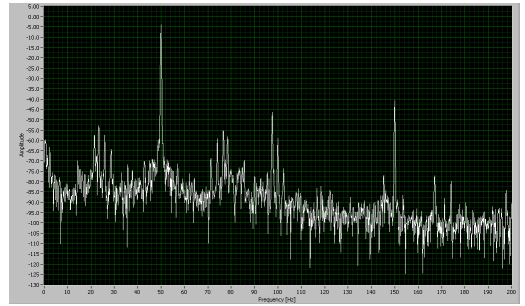
จากรูปที่ 15 จะเห็นได้ว่าเมื่อไม่มีการปรับปรุงสัญญาณวินโดว์ฟังก์ชัน สเปกตรัมกระแสมอเตอร์ที่วิเคราะห์ได้แอมพลิจูดของความถี่มูลฐานมีค่าสูงสุดที่ -5db และเกิดการรั่วของสเปกตรัมเกิดขึ้นอย่างมาก รูปที่ 16 ใช้การปรับปรุงสัญญาณแบบ Hanning สเปกตรัมกระแส

มอเตอร์ไม่มีการรั่วของสเปกตรัมเกิดขึ้น รูปที่ 17 ใช้การปรับปรุงสัญญาณแบบ Hamming สเปกตรัมกระแสเกิดการรั่วของสเปกตรัมเช่นเดียวกับเมื่อไม่มีการปรับปรุงสัญญาณและยังมีโลบข้างเกิดขึ้นด้วย รูปที่ 18-20 โดยใช้การปรับปรุงสัญญาณแบบ Blackman สเปกตรัมกระแส

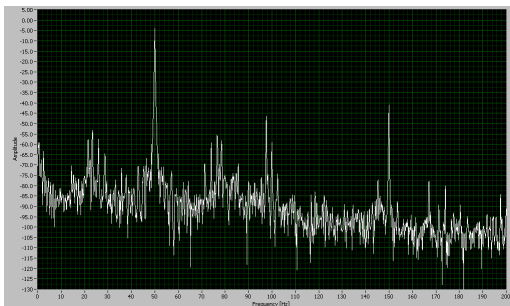




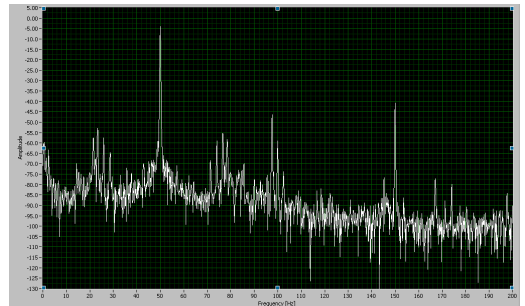
รูปที่ 15 สเปกตรัมกระแสเมื่อขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจร 4% ไม่มีการปรับปรุงสัญญาณ



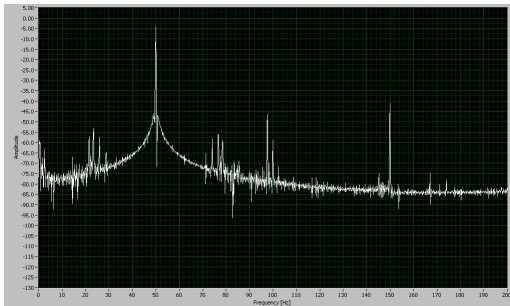
รูปที่ 18 สเปกตรัมกระแสเมื่อขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจร 4% การปรับปรุงสัญญาณแบบ Blackman



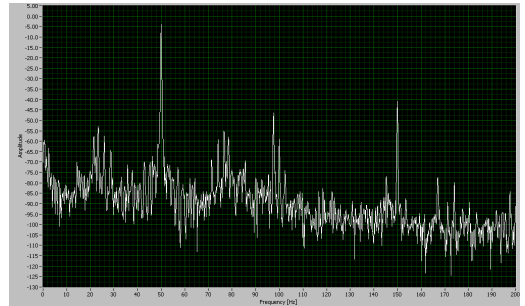
รูปที่ 16 สเปกตรัมกระแสเมื่อขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจร 4% การปรับปรุงสัญญาณแบบ Hanning



รูปที่ 19 สเปกตรัมกระแสเมื่อขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจร 4% การปรับปรุงสัญญาณแบบ Blackman Harris



รูปที่ 17 สเปกตรัมกระแสเมื่อขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจร 4% การปรับปรุงสัญญาณแบบ Hamming

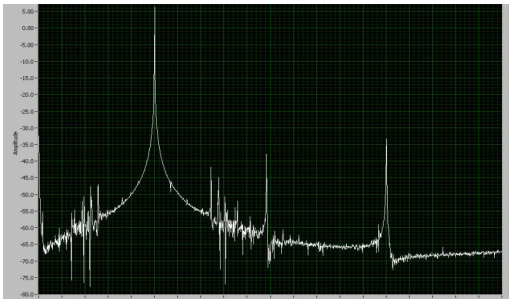


รูปที่ 20 สเปกตรัมกระแสเมื่อขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจร 4% การปรับปรุงสัญญาณแบบ Exact Blackman

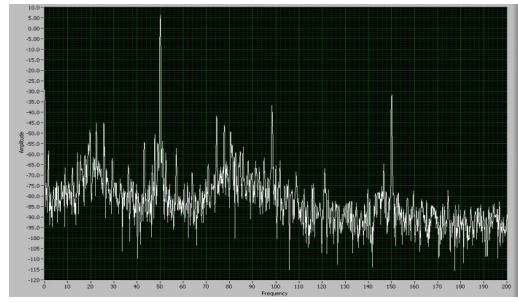
จะมีลักษณะคล้ายกับการปรับปรุงสัญญาณแบบ Hanning มีโลบข้างเกิดขึ้นมากกว่า

4.2.1.4 ผลการทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ความผิดพร่องของรอนไลน์ เมื่อมอเตอร์ทำงานในสภาวะภาระ 50 %

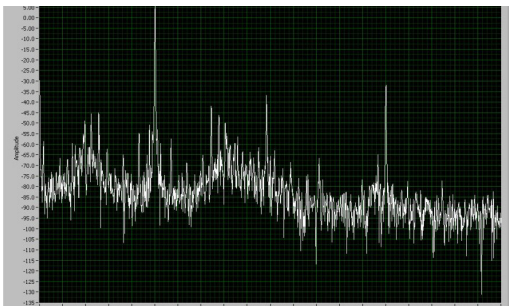
นำมอเตอร์ที่ดัดแปลงรอนไลน์มาต่อเข้ากับชุดเพนดูลัม และทดสอบที่สภาวะภาระทำการทดสอบที่สภาวะภาระ 50% สัญญาณสเปกตรัมของกระแสมอเตอร์จากการทดสอบแอมพลิจูดความถี่เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นแสดงผลทางหน้าต่างโปรแกรมดังรูปที่ 21-26



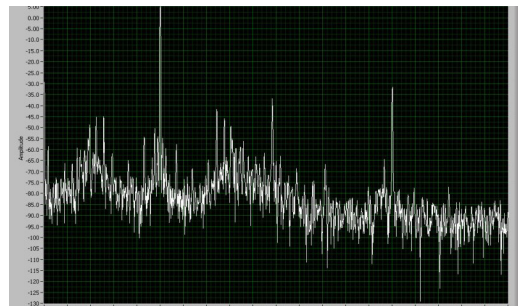
รูปที่ 21 สเปกตรัมกระแสเมื่อเกิดความผิดพร่องที่รองเส้น  
ไม่มีการปรับปรุงสัญญาณ



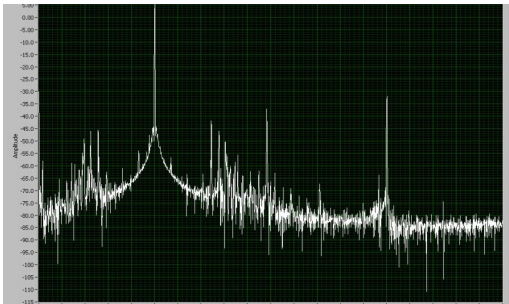
รูปที่ 24 สเปกตรัมกระแสเมื่อเกิดความผิดพร่องที่รองเส้น  
การปรับปรุงสัญญาณแบบ Blackman



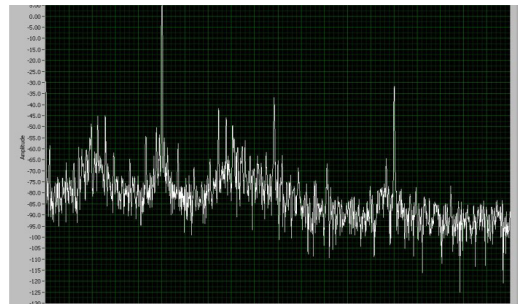
รูปที่ 22 สเปกตรัมกระแสเมื่อเกิดความผิดพร่องที่รองเส้น  
การปรับปรุงสัญญาณแบบ Hanning



รูปที่ 25 สเปกตรัมกระแสเมื่อเกิดความผิดพร่องที่รองเส้น  
การปรับปรุงสัญญาณแบบ Blackman Harris



รูปที่ 23 สเปกตรัมกระแสเมื่อเกิดความผิดพร่องที่รองเส้น  
การปรับปรุงสัญญาณแบบ Hamming



รูปที่ 26 สเปกตรัมกระแสเมื่อเกิดความผิดพร่องที่รองเส้น  
การปรับปรุงสัญญาณแบบ Exact Blackman

จากรูปที่ 21 จะเห็นได้ว่าเมื่อไม่มีการปรับปรุงสัญญาณวินโดว์ฟังก์ชัน สเปกตรัมกระแสมอเตอร์ที่วิเคราะห์ได้แอมพลิจูดของความถี่มูลฐานมีค่าสูงสุดที่ 5 db และเกิดการรั่วของสเปกตรัมเกิดขึ้นอย่างมาก รูปที่ 22 ใช้การปรับปรุงสัญญาณแบบ Hanning สเปกตรัมกระแส

มอเตอร์ไม่มีการรั่วของสเปกตรัมเกิดขึ้น รูปที่ 23 ใช้การปรับปรุงสัญญาณแบบ Hamming สเปกตรัมกระแสเกิดการรั่วของสเปกตรัมเช่นเดียวกับเมื่อไม่มีการปรับปรุงสัญญาณและยังมีโลบข้างเกิดขึ้นด้วย รูปที่ 24-26 ใช้การปรับปรุงสัญญาณแบบ Blackman สเปกตรัมกระแสจะ

มีลักษณะคล้ายกับการปรับปรุงสัญญาณแบบ Hanning มีโลบข้างเกิดขึ้นมากกว่า

จากการทดลองเปลี่ยนการปรับปรุงสัญญาณแบบต่างนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้การปรับปรุงสัญญาณแบบ Hanning จะให้สเปกตรัมที่ถูกต้องและมีค่าโลบข้างน้อยที่สุด

## 5. อภิปรายผล

การปรับปรุงสัญญาณเพื่อการวิเคราะห์สเปกตรัมนั้นในการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้จากฟังก์ชันโปรแกรม LabVIEW ที่ได้กำหนดไว้แล้ว จะพบว่าชนิดของวินโดว์ฟังก์ชันมีผลต่อสัญญาณสเปกตรัมที่วิเคราะห์ได้อย่างมาก ถ้าผู้ใช้งานเลือกชนิดฟังก์ชันวินโดว์ไม่เหมาะสมกับลักษณะของสัญญาณที่ได้จากการตรวจจับจะส่งผลให้เกิดการรั่วของสเปกตรัม (Spectral Leakage) และเกิดโลบข้าง (Side Lobe) ขึ้นอย่างมาก ส่งผลให้การวิเคราะห์สัญญาณสเปกตรัมเพื่อวินิจฉัยความผิดปกติของมอเตอร์เกิดความผิดพลาดไปด้วย สัญญาณที่ได้จากการตรวจจับในการวิจัยครั้งนี้เป็นกระแสของมอเตอร์ที่มีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ที่ต่อเนื่องกันตลอดเวลาและมีความถี่ที่แสดงถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นหลายช่วงความถี่ที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นวินโดว์ฟังก์ชันที่เหมาะสมกับสัญญาณลักษณะเช่นนี้คือฟังก์ชันวินโดว์แบบ Hanning ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่กล่าวไว้ว่า ฟังก์ชันวินโดว์ Hanning เหมาะสำหรับนำไปใช้วิเคราะห์สัญญาณช่วงเวลาที่สั้นกว่าช่วงเวลาของสัญญาณมากกว่าช่วงเวลาการวินโดว์สัญญาณที่มีความถี่ใกล้เคียงกัน แต่แอมพลิจูดมีความแตกต่างกันมากและยังเหมาะกับการใช้งานอื่นๆ ทั่วไป [14]

## 5.1 ข้อเสนอแนะงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้พบประเด็นที่ควรเสนอแนะดังนี้

5.1.1 ควรเพิ่มชนิดของวินโดว์ฟังก์ชันที่ใช้ในการวิจัยให้ครบทุกชนิดตามทฤษฎี ซึ่งในโปรแกรม LabVIEW มีวินโดว์ฟังก์ชันไม่ครบทุกชนิด

5.1.2 ควรเพิ่มชนิดของความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ให้มากขึ้นเช่น การเยื้องศูนย์แกนเพลลา โหลดไม่สมดุล การสึกหรอของเฟืองเกียร์ เป็นต้น

5.1.3 ควรเพิ่มชนิดของตัวตรวจจับสัญญาณที่ใช้ในการวิเคราะห์ความผิดปกติของมอเตอร์ เช่น ตัวตรวจจับการสั่นสะเทือน ตัวตรวจจับคลื่นเสียง เป็นต้น

## 6. สรุป

การพิจารณาเลือกฟังก์ชันวินโดว์ชนิดต่างๆ มาใช้งานขึ้นอยู่กับลักษณะของสัญญาณและตำแหน่งของความถี่ที่ต้องการบนโดเมนความถี่ ในการวิจัยครั้งนี้ต้องการวิเคราะห์ลักษณะสัญญาณเป็นแบบคาบเวลาที่มีช่วงเวลานาน ดังนั้นจึงเลือกใช้ฟังก์ชันวินโดว์ที่สามารถวิเคราะห์สัญญาณได้ถูกต้อง สัญญาณที่มีความถี่ใกล้เคียงกันแต่แอมพลิจูดมีความแตกต่างกันมาก และมีการรั่วไหลของสเปกตรัมต่ำที่สุด ดังนั้นฟังก์ชันวินโดว์ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการวิจัยได้แก่ฟังก์ชันวินโดว์แบบ Hanning

## 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] K.M.M. Prabhu and J.P. Agrawal, "Selection of data windows for digital signal processing," in *Acoustics, Speech, and Signal Processing, IEEE International Conference on ICASSP '78.*, 1978, vol. 3, pp. 79, 82.
- [2] Bing Ji, Shengsuo Niu, Zhirui Liang, Yuyang Miao, and Danye Wu, "Fast Fourier transform harmonic analysis based on nine terms minimum side-lobe cosine-sum window," in *Power Engineering and Automation Conference (PEAM), 2012 IEEE*, 18-20 Sept. 2012, vol., no., pp.1-5.



- [3] S. Rapuano and F.J. Harris, "An introduction to FFT and time domain windows," *Instrumentation & Measurement Magazine IEEE*, vol. 10, no. 6, pp. 32, 44, December, 2007.
- [4] V. Staudt, "Effects of window functions explained by signals typical to power electronics," in *Harmonics and Quality of Power Proceedings, 1998. Proceedings. 8th International Conference On*, 14-18 Oct. 1998, vol. 2, pp. 952-957.
- [5] A.H. Bonnett and G.C. Soukup, "Cause and analysis of stator and rotor failures in three-phase squirrel-cage induction motors," *Industry Applications, IEEE Transactions*, vol. 28, no. 4, pp. 921-937, 1992.
- [6] "Report of Large Motor Reliability Survey of Industrial and Commercial Installations, Part I.," *Industry Applications IEEE Transactions*, vol. IA-21, no. 4, pp. 853-864, 1985.
- [7] O.V. Thorsen and M. Dalva, "Condition monitoring methods, failure identification and analysis for high voltage motors in electrochemical industry," in *Proceeding 8th Inst. Elec. Eng. Int. Conf., EMD'97*. University of Cambridge, 1997, pp. 109-113.
- [8] S. Nandi and H.A. Toliyat, "Fault diagnosis of electrical machines-a review," in *Electric Machines and Drives, 1999. International Conference IEMD '99*, 1999, pp. 219-221.
- [9] W.T. Thomson and M. Fenger, "Current signature analysis to detect induction motor faults," *Industry Applications Magazine IEEE*, vol. 7, no. 4, pp. 26-34, 2001.
- [10] G.G. Acosta, C.J. Verucchi, and E.R. Gelso, "A current monitoring system for diagnosing electrical failures in induction motors," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 20, no. 4, pp. 953-965, 2006.
- [11] R.R. Schoen, et al. "Motor bearing damage detection using stator current monitoring," *Industry Applications, IEEE Transactions*, vol. 31, no. 6, pp. 1274-1279, 1995.
- [12] A.H. Bonnett, "Cause and analysis of anti-friction bearing failures in AC induction motors," in *Pulp and Paper Industry Technical Conference, 1993. Conference Record of 1993 Annual*, 1993, pp. 36-46.
- [13] W.T. Thomson, "KEEP MOTORS TURNING VIA MOTOR CURRENT SIGNATURE ANALYSIS," in *IMC-2003 the 18th International Maintenance Conference*, 2003, pp. 1-15.
- [14] Pongsatorn Puongkaew, "A Stator Current Analysis Program for Fault Detection in Three Phase Induction Motors," Dissertation for the master degree, Master of Engineering in Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering, Chiang Mai University, 2001.