ชุดวัดความสม่ำเสมอของคอมมิวเตเตอร์ด้วยเลเซอร์เซนเซอร์

พิสุทธิ์ จันทร์ชัยชนะกุล*
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
เอกกมล บุญยะผลานันท์
อาจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-2555-2000 ต่อ 3343 อีเมล: pjk@kmutnb.ac.th
รับเมื่อ 15 กันยายน 2557 ตอบรับเมื่อ 10 เมษายน 2558 เผยแพร่ออนไลน์ 21 พฤษภาคม 2558
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2015.04.002 © 2015 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) สร้างเครื่องวัดความสม่ำเสมอของคอมมิวเตเตอร์ด้วยเลเซอร์เซนเซอร์ 2) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวัดความสม่ำเสมอของคอมมิวเตเตอร์ วิธีดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการสร้างเครื่องวัดความสม่ำเสมอของคอมมิวเตเตอร์ด้วยเลเซอร์เซนเซอร์ โดยออกแบบและจัดสร้างฐานสำหรับยึดเซนเซอร์พร้อมข้อต่อเพื่อให้ปรับระดับเซนเซอร์ได้ และสร้างแบบจำลองซี่คอมมิวเตเตอร์ที่ชำรุดในลักษณะต่างๆ เพื่อใช้ในการทดสอบ และขั้นตอนที่สองเป็นการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวัดความสม่ำเสมอของซี่คอมมิวเตเตอร์ โดยแสดงในรูปของกราฟพิกัดแบบเชิงขั้ว และมีกราฟอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบผลให้เห็นว่าผิวของคอมมิวเตเตอร์นั้นสม่ำเสมอหรือไม่ ผลจากวิจัยพบว่า 1) เครื่องวัดความสม่ำเสมอของคอมมิวเตเตอร์ด้วยเลเซอร์สามารถวัดความสม่ำเสมอของคอมมิวเตเตอร์และแบบจำลองในลักษณะต่างๆ ได้ 2) โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวัดความสม่ำเสมอของคอมมิวเตเตอร์สามารถแสดงผลออกมามีลักษณะคล้ายกับของจริง และสามารถนำไปประเมินผลต่อการชำรุดหรือสึกหรอของคอมมิวเตเตอร์ได้

คำสำคัญ: ความสม่ำเสมอซี่คอมมิวเตเตอร์ เลเซอร์เซนเซอร์

การอ้างอิงบทความ: พิสุทธิ์ จันทร์ชัยชนะกุล และ เอกกมล บุญยะผลานันท์, "ชุดวัดความสม่ำเสมอของคอมมิวเตเตอร์ด้วยเลเซอร์เซนเซอร์," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 25, ฉบับที่ 2, หน้า 211 - 217, พ.ค. - ส.ค. 2558. http://dx.doi.org/10.14416/j.kmutnb.2015.04.002

The Commutator Surface Measuring Set Using Laser Sensor

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

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

* Corresponding Author, Tel. 0-2555-2000 Ext. 3343, E-mail: pjk@kmutnb.ac.th
Received 15 September 2014; Accepted 10 April 2015; Published online: 21 May 2015
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2015.04.002 © 2015 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research aimed to 1) create the commutator surface measuring set by using a laser sensor. 2) develop the commutator surface measuring program. The research was divided into 2 parts. First, the commutator surface measuring set using a Laser Sensor was designed and constructed with a sensor base and joint in order to properly adjust the level of coupling sensor. The commutator fault models were also designed as the testing model. The second part was the software development for measuring the commutator surface, which was demonstrated in a form of polar plot and reference graph in order to compare the smooth surface result. As result, the commutator surface measuring set could effectively measure the smooth surface and fault model. By the same token, the designed software was able to measure and demonstrate the surface smoothness effectively. Therefore, the developed measuring set can be further applied for commutator damage estimation.

Keywords: Commutator Smoot Surface, Laser Sensor

Please cite this article as: P. Janchaichanakun and E. Boonyapalanant, "The Commutator Surface Measuring Set Using Laser Sensor," *J. KMUTNB*, Vol. 25, No. 2, pp. 211 - 217, May. - Aug. 2015 (in Thai). http://dx.doi.org/10.14416/j.kmutnb.2015.04.002

1. บทนำ

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ดังนั้นมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ต้นกำลังที่นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรม มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถแบ่งตามชนิดแหล่งจ่ายที่ป้อนให้กับมอเตอร์ คือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ แม้ในปัจจุบันจะนิยมใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับมากกว่ากระแสตรงก็ตาม แต่ตามโรงงานอุตสาหกรรมก็ยังใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอยู่พอสมควร เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถควบคุมความเร็วได้ง่ายกว่า มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีส่วนประกอบต่างๆ ได้แก่ ขดลวดสนามแม่เหล็ก ขั้วแม่เหล็ก โครงมอเตอร์ อาร์มาเจอร์ และคอมมิวเตเตอร์ ซึ่งคอมมิวเตเตอร์ ประกอบขึ้นจากแท่งทองแดงที่เรียงรอบเป็นรูปวงแหวน สวมติดอยู่กับปลายเพลาของอาร์มาเจอร์ และระหว่างช่องเรียงของแท่งทองแดงที่ประกอบเป็นคอมมิวเตเตอร์จะมีฉนวนกั้นเพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าระหว่างช่องไม่ให้ไหลผ่านถึงกัน ฉนวนนี้ทำด้วยแผนไมล่า หน้าที่ของคอมมิวเตเตอร์คือเป็นจุดที่เชื่อมต่อกับปลายขั้วของขดลวดอาร์มาเจอร์ และเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดหรือคอยล์ของอาร์มาเจอร์ที่พันรอบแกนอาร์มาเจอร์ คอมมิวเตเตอร์ยังมีส่วนที่รับสัมผัสกับแปรงถ่านขณะมอเตอร์ทำงาน และขณะที่ทำการหมุนอยู่นั้นสภาวะปกติที่จำเป็นต้องรักษาให้อยู่ในระดับคงที่ [1] คือการสัมผัสของแปรงถ่านกับคอมมิวเตเตอร์แต่ละช่อง จำเป็นต้องมีการระมัดระวังไม่ให้เกิดการสปาร์ค ที่มีศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของการลดการอาร์คของคอมมิวเตเตอร์ [2] หรือการเพิ่มขนาดของพื้นที่ผิวของแปรงถ่านกับคอมมิวเตเตอร์ [3] และการใช้วัสดุไฟเบอร์ผสมโลหะทำเป็นคอมมิวเตเตอร์แทน [4]

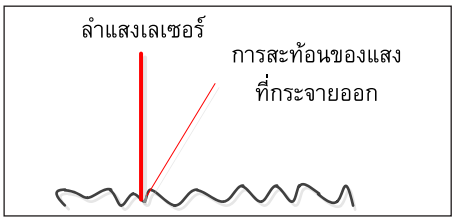
ดังนั้นจะเห็นได้ว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือคอมมิวเตเตอร์ที่สำผัสกับแปรงถ่าน ถ้าผิวคอมมิวเตเตอร์มีหน้าสัมผัสที่ไม่สม่ำเสมอกับแปรงถ่าน เนื่องจากการใช้งานเป็นเวลานานโดยไม่มีการบำรุงรักษา จะทำให้บริเวณผิวของคอมมิวเตเตอร์ไม่เรียบสม่ำเสมอกัน ส่งผลให้การส่งผ่านกระแสไฟฟ้าของคอมมิวเตเตอร์ไปยังขดลวดอาร์มาเจอร์ทำได้ไม่เต็มประสิทธิภาพและขับโหลดได้ไม่เต็มที่ จำเป็นต้องมีการซ่อมบำรุง ซึ่งการซ่อมบำรุงคอมมิวเตเตอร์นั้นทำได้โดยการเปลี่ยนหรือกลึง เพื่อให้ผิวของคอมมิวเตเตอร์มีความสม่ำเสมอกัน แต่การกลึงนั้นอาจส่งผลให้ผิวของคอมมิวเตเตอร์มีผิวที่ไม่สม่ำเสมอกัน จำเป็นต้องมีการวัดและตรวจสอบก่อนนำไปประกอบ

ปัจจุบันอุปกรณ์ที่สามารถวัดความสม่ำเสมอของของคอมมิวเตเตอร์นี้ยังมีน้อย ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และมีราคาค่อนข้างสูง บริษัทส่วนมากยังขาดเครื่องมือวัดความสม่ำเสมอของของคอมมิวเตเตอร์ จึงต้องจ้างบริษัทอื่นที่มีเครื่องมือวัดเพื่อทำการวัด ทำให้เสียทั้งเวลาในการรับส่งของ และมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้ามีการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความสม่ำเสมอของของคอมมิวเตเตอร์จะทำให้ผู้ประกอบการลดค่าใช้จ่าย ใช้เวลาในการซ่อมบำรุงน้อยลงและสามารถตรวจสอบเองได้

2. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

2.1 เลเซอร์เซนเซอร์

การใช้งานของเลเซอร์เซนเซอร์เป็นที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายในการตรวจจับวัตถุ เพราะเป็นการตรวจสอบแบบไม่สัมผัส (Sensorless) ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีการสัมผัสผิวระหว่างคอมมิวเตเตอร์และเซนเซอร์ เลเซอร์เซนเซอร์ที่นำมาใช้คือเลเซอร์ดิสเพลสเมนต์เซนเซอร์ด้วยหลักการวัดแบบสามเหลี่ยม คือการส่งลำแสงเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์และการสะท้อนกลับจากพื้นผิวของชิ้นงาน มีระบบเลนส์ผ่านตัวรับที่ได้รับการออกแบบมาโดยเฉพาะ ลำแสงดังกล่าวจะถูกโฟกัสลงบนแผงตรวจจับ จะตรวจจับค่าสูงสุดของการกระจายปริมาณแสงของลำแสงดังกล่าว ที่อยู่ภายในพื้นที่ที่ถูกลำแสงส่อง และถูกนำมาคำนวณหาระยะตำแหน่งของชิ้นงานที่เป็นจริง เมื่อตำแหน่งของชิ้นงานที่สัมพันธ์กับเซนเซอร์เปลี่ยนไป ตำแหน่งของลำแสงที่สะท้อนออกมากระทบที่แผงก็จะเปลี่ยนไปด้วย การเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งดังกล่าว



รูปที่ 1 การสะท้อนแสงของเซนเซอร์

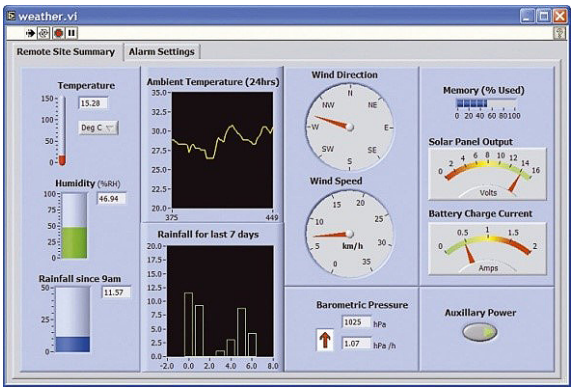
รูปที่ 2 Data Acquisition

จะถูกนำมาวิเคราะห์โดยคอนโทรลเลอร์ซึ่งสามารถคำนวณการเปลี่ยนแปลงตามระยะของวัตถุได้ และสามารถป้องกันความผันแปรของข้อมูลโดยการเฉลี่ยการสะท้อนแสงที่กระจายออกมา ซึ่งเกิดจากแสงที่สะท้อนออกมาขนาดเล็กที่เกิดจากพื้นผิวที่ขรุขระของชิ้นงาน จึงสามารถวัดได้อย่างแม่นยำแม้กับพื้นผิวที่มีรอยตะปุ่มตะป่ำ ในโหมดผิวมันเงาเหมือนกระจกหรือแบบโปร่งใสก็สามารถตรวจจับวัตถุได้และตรวจจับได้อย่างมีเสถียรภาพ แม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงชิ้นงานจากวัตถุที่มีพื้นผิวที่มันเงาเหมือนกระจกไปเป็นวัตถุโปร่งใสก็ตาม โดยมีหลักการสะท้อนแสงของเซนเซอร์ ดังรูปที่ 1

จากคุณสมบัติข้างต้นที่กล่าวมาจึงได้เลือกใช้เลเซอร์ดิสเพลสเมนต์เซนเซอร์ รุ่น HL-G108-A-C5 ของพานาโซนิกเป็นอุปกรณ์ในการวัด

2.2 Data Acquisition (DAQ)

Data Acquisition หรือเรียกแบบย่อว่า DAQ คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณดิจิทัล และนำเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อทำการจัดเก็บหรือแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 2

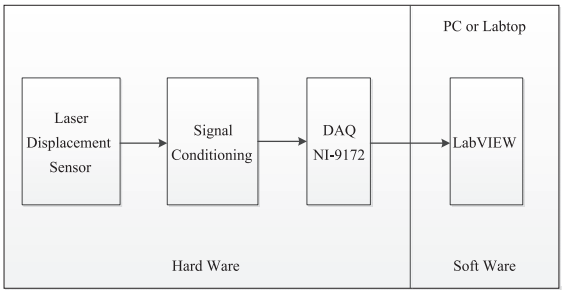


รูปที่ 3 ลักษณะของโปรแกรม LabVIEW

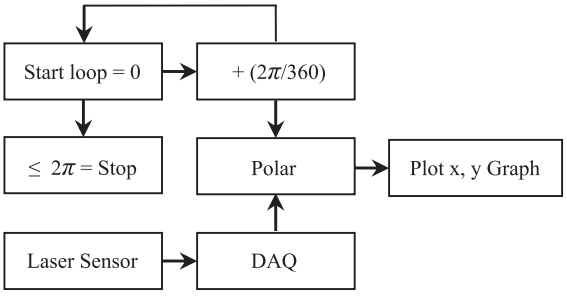
2.3 โปรแกรม LabVIEW

โปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อนำมาใช้ในด้านการวัดและแสดงผลวัดสำหรับงานทางวิศวกรรมดังรูปที่ 3

คำว่า LabVIEW ย่อมาจากคำว่า Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench จุดประสงค์หลักของโปรแกรมนี้ คือการจัดการในด้านการวัดและแสดงผลอย่างมีประสิทธิภาพ โปรแกรม LabVIEW ประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ช่วยในการวัด สิ่งที่โปรแกรม LabVIEW แตกต่างจากโปรแกรมอื่นคือโปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphical User Interface) ไม่จำเป็นต้องเขียนโค้ดหรือคำสั่งใด ๆ ทั้งสิ้นและที่สำคัญลักษณะของภาษาที่ใช้ในโปรแกรมนี้จะเรียกว่าภาษาภาพหรือภาษา G (Graphical Language) ซึ่งจะแทนการเขียนโปรแกรมแบบ Text เช่น ภาษา C และภาษา BASIC โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาโดยโปรแกรม LabVIEW จะเรียกว่า Virtual Instrument หรือเรียกย่อ ๆ ว่า VI เพราะลักษณะที่ปรากฏทางจอภาพเมื่อผู้ใช้ใช้งานจะเหมือนกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางวิศวกรรม ในขณะเดียวกันหลังฉากของอุปกรณ์เสมือนจริงเหล่านั้นจะเป็นการทำงานของฟังก์ชันโปรแกรมย่อย โดยโปรแกรมหลักเหมือนกับโปรแกรมทั่วไปสำหรับ VI ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญสามส่วนคือ Front Panel, Block Diagram, Icon และ Connector ทั้งหมดนี้จะประกอบกันขึ้นมาเป็นอุปกรณ์เสมือนจริง



รูปที่ 4 การออกแบบชุดเครื่องวัด

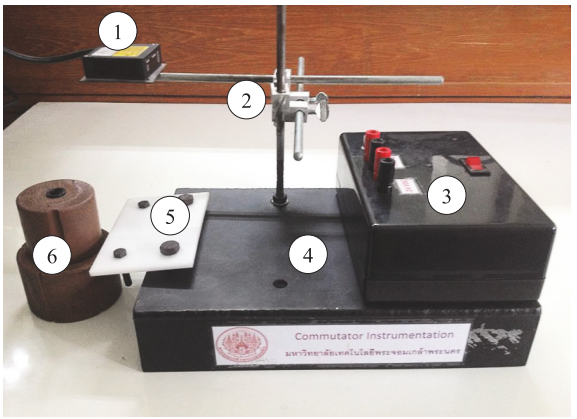


รูปที่ 5 ไดอะแกรมของโปรแกรม

3. แนวคิดและการออกแบบ

แนวคิดในการสร้างเครื่องมือวัดความสม่ำเสมอคอมมิวเตเตอร์ดังรูปที่ 4 ทำได้โดยใช้เลเซอร์เซนเซอร์ส่งลำแสงไปที่บริเวณผิวของคอมมิวเตเตอร์และสะท้อนกลับมาที่ตัวรับสัญญาณ โดยสัญญาณนี้จะแปลงเป็นระดับแรงดันซึ่งขึ้นอยู่กับสัญญาณที่สะท้อนกลับมา แล้วนำแรงดันนี้เข้าสู่อินพุตของ DAQ [5], [6] เพื่อแปลงระดับแรงดันแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลส่งข้อมูลสู่คอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต USB และใช้โปรแกรม LabVIEW เป็นตัวจัดการสัญญาณทั้งเก็บข้อมูล และนำค่าต่างจากการวัดไปพล็อตเป็นกราฟแบบเชิงขั้ว พร้อมสร้างกราฟอ้างอิงเพื่อใช้เปรียบเทียบและประเมินผลต่อไป การออกแบบโปรแกรมเพื่อเก็บข้อมูล การวัด และพล๊อตกราฟด้วยโปรแกรม LabVIEW แสดงดังรูปที่ 5

จากรูปที่ 5 จะกำหนดการบันทึกค่าและพล๊อตกราฟทุกๆ 1 องศาจากเลเซอร์เซนเซอร์ผ่าน DAQ และพล็อตกราฟเป็นแบบเชิงขั้วจนครบ 361 ค่าแล้วหยุดการบันทึกค่า



หมายเลข 1 คือ เลเซอร์เซนเซอร์
หมายเลข 2 คือ ชุดข้อต่อปรับระดับเซนเซอร์
หมายเลข 3 คือ ชุดแหล่งจ่ายไฟ
หมายเลข 4 คือ ฐานเครื่องวัด
หมายเลข 5 คือ ตัวล๊อคระหว่างฐาน
หมายเลข 6 คือ แบบจำลองคอมมิวเตเตอร์

รูปที่ 6 โครงสร้างฐานจับยึดเซนเซอร์

4. เครื่องมือวัดและการทดลอง

เครื่องมือวัดความสม่ำเสมอของคอมมิวเตเตอร์แบ่งผลการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) เครื่องมือวัดความสม่ำเสมอของคอมมิวเตเตอร์ และ 2) ผลการวัดความสม่ำเสมอของคอมมิวเตเตอร์และแบบจำลอง

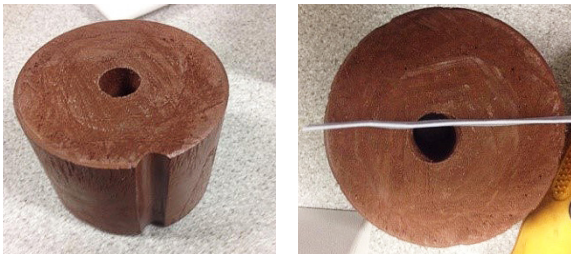
4.1 เครื่องมือวัดความสม่ำเสมอของคอมมิวเตเตอร์

ออกแบบให้ฐานเครื่องมือวัดมีขนาดความกว้าง 20 ซม. ความยาว 30 ซม. และความสูง 5 ซม. มีตัวล็อคฐานเซนเซอร์กับฐานมอเตอร์ มีข้อต่อปรับระดับได้ และกล่องแหล่งจ่ายไฟ ยึดติดอยู่กับฐานดังรูปที่ 6

4.2 ผลการวัดความสม่ำเสมอของคอมมิวเตเตอร์และแบบจำลอง

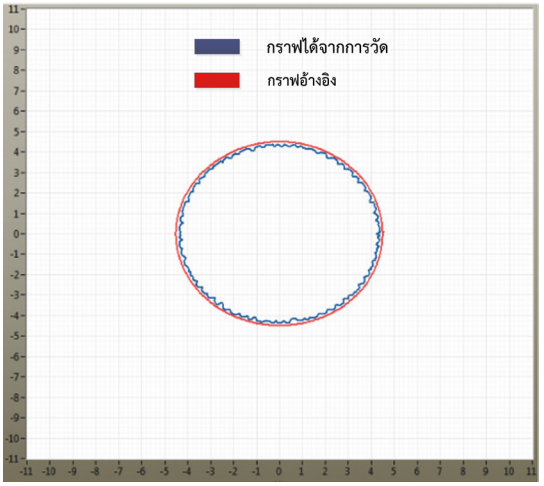
ในหัวข้อนี้จะเป็นการทดลองการวัดโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ที่ออกแบบขึ้นจากแนวคิด แสดงผลในรูปของกราฟแบบเชิงขั้ว ซึ่งได้ทำการวัดความสม่ำเสมอของชิ้นงานทั้งแบบผิวเรียบและผิวไม่เรียบ ด้วยโปรแกรม LabVIEW

รูปที่ 7 การวัดคอมมิวเตเตอร์

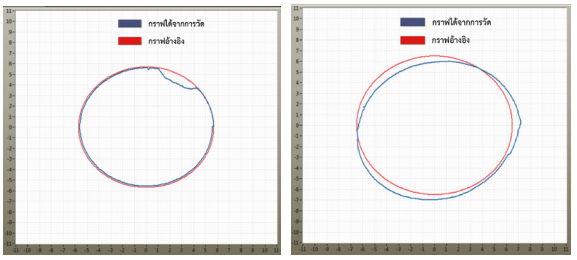


(ก) แบบเว้า (ข) แบบไม่ได้ศูนย์กลาง

รูปที่ 9 แบบจำลองคอมมิวเตเตอร์แบบต่างๆ



รูปที่ 8 กราฟแบบเชิงขั้วจากการวัดผิวคอมมิวเตเตอร์



(ก) ผลจากแบบเว้า (ข) ผลจากแบบไม่ได้ศูนย์กลาง

รูปที่ 10 ผลการพล็อตกราฟจากแบบจำลอง

4.2.1 ผลการวัดความสม่ำเสมอของคอมมิวเตเตอร์จากรูปที่ 7 แสดงตำแหน่งการวัดคอมมิวเตเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และนำผลจากการวัดพล็อตเป็นกราฟแบบเชิงขั้วแสดงในรูปที่ 8

รูปที่ 8 แทนเส้นสีทึบ (ด้านใน) เป็นผลจากการวัดด้วยเลเซอร์เซนเซอร์ และเส้นสีเทา (ด้านนอก) เป็นกราฟอ้างอิง จากกราฟด้านในแสดงให้เห็นถึงลักษณะผิวของคอมมิวเตอร์ที่ไม่เรียบเสมอกันเนื่องจากระหว่างซี่คอมมิวนั้นถูกกั้นด้วยฉนวนไฟฟ้า และกราฟด้านนอกนั้นเกิดจากการกำหนดค่าคงที่ที่ใช้เปรียบเทียบผลจากการวัด ซึ่งจากรูปที่ 8 นั้นกราฟที่ได้มีลักษณะเหมือนของจริง

4.2.2 ผลการวัดความสม่ำเสมอของแบบจำลองคอมมิวเตเตอร์รูปที่ 9 และผลจากการวัดในรูปที่ 10

รูปที่ 9 ก) เป็นแบบจำลองของคอมมิวเตอร์ที่มีลักษณะความเสียหายที่เกิดจากการอาร์ค ทำให้บริเวณผิวเกิดเป็นรอยเว้าเข้าไป รูป ข) เป็นแบบจำลองหลังจากที่ทำการซ่อมบำรุงแล้วด้วยวิธีการกลึง แต่ผลจากการกลึงทำให้คอมมิวเตเตอร์ไม่ได้ศูนย์กลาง และรูปที่ 10 เป็นผลจากการวัดและพล็อตกราฟแบบเชิงขั้วจากแบบจำลองในรูปที่ 9 ก) และ ข) ผลจากการพล็อตกราฟแบบเชิงขั้วของแบบจำลองทั้งสอง มีลักษณะเว้าหรือไม่ได้ศูนย์กลางเหมือนกับแบบจำลอง ซึ่งจะเห็นว่าจากแบบจะลองนั้นพล็อตออกมาแล้วมีลักษณะบิดเบี้ยวเมื่อเทียบกับกราฟอ้างอิง จากกราฟนี้เมื่อนำไปประเมินผลแล้วแสดงว่าผิวคอมมิเตเตอร์นั้นไม่เรียบเสมอกัน ต้องนำไปกลึงหรือขึ้นรูปใหม่นั้นเอง

5. สรุป

การวิจัยครั้งนี้แบ่งเป็นส่วนแรกคือการออกแบบและจัดสร้างฐานสำหรับยึดเซนเซอร์พร้อมข้อต่อเพื่อให้ปรับ

ระดับเซนเซอร์ได้ และสร้างแบบจำลองซี่คอมมิวเตเตอร์ที่ชำรุดในลักษณะต่างๆ เพื่อใช้ในการทดสอบ และส่วนที่สองเป็นการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวัดความสม่ำเสมอของซี่คอมมิวเตเตอร์โดยแสดงในรูปกราฟแบบเชิงขั้วและมีกราฟอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบผลให้เห็นว่าผิวของคอมมิวเตเตอร์นั้นสม่ำเสมอหรือไม่ จากผลวิจัยพบว่าเครื่องวัดสามารถวัดความสม่ำเสมอของคอมมิวเตเตอร์และแบบจำลองในลักษณะต่าง ๆ ได้ และโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวัดความสม่ำเสมอของคอมมิวเตเตอร์สามารถแสดงผลออกมามีลักษณะคล้ายกับของจริงที่สามารถนำไปประเมินผลต่อการชำรุดหรือสึกหรอของคอมมิวเตเตอร์ได้

เอกสารอ้างอิง

[1] F. Flinders, J. Zhang, and W. Oghanna, "Investigation on excessive commutator and brush wears in DC traction machines," *Power Electronics and Drive Systems*, 1999. PEDS '99. Proceedings of the IEEE 1999 International Conference, vol. 1, pp.200-205, 1999.

[2] F. Pavlovcic and J. Nastran, "Avoiding Drawn Arcs Between Sliding Contacts of Commutators," *Power Electronics and Motion Control Conference 2006*, EPE-PEMC 2006, pp.1808-1813, Aug. 30 -Sept. 1, 2006.

[3] Y. Niwa and Y. Akiyama, "The relation of a brush life to the commutator width and brush width ratio of a universal motor," *Power Electronics and Drive Systems, 2009. PEDS 2009*, pp.1384-1389, 2-5 Nov, 2009.

[4] L. Brown, D. Kuhlmann-Wilsdorf, and W. Jesser, "A Study of Metal Fiber Brush Operation on Slip Rings and Commutators," *Electrical contacts-2006, proceedings of the fifty-second ieee holm conference*, pp.238-243, Sept, 2006.

[5] Lu. Manman, F. Nian, W. Lutang, H. Zhaoming, and S. Xiaofei, "DAQ application of PC oscilloscope for chaos fiber-optic fence system based on LabVIEW," *Communications and Photonics Conference and Exhibition 2011*, pp.1-8, 13-16 Nov, 2011.

[6] N.V. Kirianaki and S.Y. Yurish, "Advanced DAQ board for frequency-time parameters of electric signals," *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications 2003*, pp.150-153, 8-10 Sept, 2003.