



การสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัสความเร็วรอบต่ำชนิดแม่เหล็กถาวรจากมอเตอร์ เหลือทิ้ง

ชัยนุสนธ์ เกษตรพงศ์ศาล*

อาจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

มนตรี สุขเลื่อง

อาจารย์ สถาบันวิจัยระบบพลังงาน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-7735-5665 อีเมล: chainuson.kas@gmail.com

รับเมื่อ 8 สิงหาคม 2557 ตอรับเมื่อ 20 เมษายน 2558 เผยแพร่ออนไลน์ 10 กันยายน 2558

DOI: 10.14416/j.kmutnb.2015.04.005 © 2015 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

มอเตอร์เหลือใช้จากอุตสาหกรรมกำลังกลายเป็นขยะเพิ่มมากขึ้นในประเทศไทย การใช้แม่เหล็กถาวรเป็นส่วนของโรเตอร์ในมอเตอร์เหล่านี้ สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ ดังนั้น การนำเอามอเตอร์ไฟฟ้าเชิงโครนัสที่เหลือทิ้งมาสร้างเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานที่ความเร็วรอบต่ำนั้น สามารถลดปริมาณขยะจากอุตสาหกรรมได้ สมรรถนะของการพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัสความเร็วรอบต่ำโดยใช้โรเตอร์ ชนิดแม่เหล็กถาวรจากมอเตอร์เหลือทิ้งสามารถให้กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 6,000 วัตต์ ที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที ความถี่ 49.4 เฮิรตซ์ ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าร้อยละ 72.61 และฮาร์มอนิก (THDv%) เฉลี่ยร้อยละ 1.6 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ามอเตอร์เหลือทิ้งสามารถปรับปรุงเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับระบบกักหน้ลมหรือกักหน้่น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ฮาร์มอนิก มอเตอร์ไฟฟ้าเชิงโครนัส มอเตอร์เหลือทิ้ง



Fabrication of Permanent Magnet for Low Speed Synchronous Generators Using Waste Motors

Chainuson Kasagepongsran*

Lecturer, Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Surattani Rajabhat University, Surat Thani, Thailand

Montri Suklueng

Lecturer, Energy System Research Institute Prince of Songkla University, Songkhla, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0-7735-5665, E-mail: chainuson.kas@gmail.com

Received 8 August 2014; Accepted 20 April 2015; Published online: 10 September 2015

DOI: 10.14416/j.kmutnb.2015.04.005 © 2015 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

In Thailand the number of waste motors discarded is increasing. Permanent magnets used as a part of rotor in these motors can be reused. Therefore, waste synchronous motor magnets which can be fabricated into low speed electrical generators can reduce the waste of industrial production. A low speed synchronous generator made from permanent magnets in rotor from a waste motor generated 6,000 watts at a speed of 500 rpm with a frequency of 49.4 Hz. The efficiency of this generator was 72.61% with a harmonic percentage (THDv%) of 1.6. The result showed that waste motors can be modified to be electrical generators to power wind turbines or hydropower plants with high efficiency.

Keywords: Generator, Harmonic, Synchronous Motor, Waste Motor

1. บทนำ

เนื่องจากโลกก้าวสู่สังคมแห่งอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีส่งผลให้มีซากขยะจากอุตสาหกรรมประกอบด้วยส่วนอิเล็กทรอนิกส์สายไฟฟ้ามอเตอร์และพลาสติกเป็นต้นวัสดุเหล่านี้มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกมุมโลก โดยมีรายงานจาก UNEP ในปี 2009 มีขยะเพิ่มขึ้นประมาณ 40 ล้านตันต่อปี [1] สารเคมีซึ่งเป็นสารประกอบของวัสดุทางเทคโนโลยียังสามารถแปรสภาพเป็นมลพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม [2], [3] จากรายงานของ WEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) [4] ร้อยละ 60.20 เป็นโลหะเนื่องมาจาก โลหะเป็นโครงสร้างหลักที่ทำให้ความแข็งแรงต่อผลิตภัณฑ์

การนำกลับมาใช้งานใหม่หรือปรับปรุงแก้ไขโครงสร้างใหม่จึงเป็นแนวทางหนึ่งเพื่อลดขยะทางเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมในประเทศไทย [5] มอเตอร์เป็นเครื่องต้นกำลังสำหรับงานทางด้านเกษตร และอุปกรณ์หลักในภาคอุตสาหกรรม โดยในแต่ละปีมีมอเตอร์ที่ชำรุด แล้วเหลือทิ้งเป็นขยะมากมาย จากการใช้งานอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าเกิดความเสียหายบางเครื่องสามารถซ่อมแซมได้บางเครื่องต้องทิ้งหรือนำไปขายเป็นของเก่าแสดงดังรูปที่ 1 มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ (Repair) โดยเปลี่ยนมอเตอร์ ซึ่งขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าเป็นเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้า เป็นการเพิ่มคุณค่าของมอเตอร์เหลือทิ้ง ลดปริมาณขยะจากเครื่องมือทางไฟฟ้าและลดภาระการบริโภคไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าหลัก หากนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ไปเป็นเครื่องต้นกำลังของระบบกังหันลมและกังหันน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าได้

ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้พัฒนา มอเตอร์เหลือทิ้งแบบซิงโครนัส 3 เฟส เป็นเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบกังหันลมในการผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก

2. การออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่



รูปที่ 1 ซากมอเตอร์ที่ถูกนำมาทิ้งและนำมาขายเป็นของเก่า

เปลี่ยนแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า มีส่วนประกอบหลักสองส่วนคือ สเตเตอร์ (Stator) และโรเตอร์ (Rotor) ส่วนของสเตเตอร์คือส่วนหลักที่ยึดกับระบบโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีชุดขดลวดเพื่อรับการเหนี่ยวนำจากเส้นแรงแม่เหล็กของโรเตอร์เพื่อเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้า ส่วนของโรเตอร์เป็นส่วนที่สร้างสนามแม่เหล็ก และหมุนอยู่แกนกลางของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยสามารถรับแรงบิดหรือพลังงานกลผ่านแกนเหล็กที่เชื่อมต่อกับต้นกำลัง [6] เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ เป็นต้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอาศัยการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กตามหลักการของไมเคิล ฟาราเดย์ (Faraday's law) [7] โดยการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กขึ้นกับเวลาดังสมการที่ (1)

$$E = \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

ขนาดของฟลักซ์แม่เหล็กมีพื้นที่หน้าตัดคงที่ตามความยาวแกนเหล็กดังสมการที่ (2)

$$\phi = \frac{\mu_r \mu_0 A}{L} \times N_{ph} I \quad (2)$$

การพันขดลวดเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าเป็นแบบกระจาย ดังนั้นค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induce emf)

ต้องคูณด้วยค่าแฟกเตอร์การพันขดลวด k_w ดังสมการที่ (3) ซึ่งประกอบด้วย ค่าแฟกเตอร์การพันกระจายขดลวด k_d การกระจายของมุมเฟส (σ) จำนวนร่องสลิต/เฟส/ขั้วแม่เหล็ก (g) สมการที่ (4) และพิทช์แฟกเตอร์ k_p โดยที่ ε คือมุมพิทช์สั้น (Short Chord Angle) สมการที่ (5) แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในหนึ่งเฟส ($E_{rms} / phase$) สมการที่ (6) [8], [9]

$$k_w = k_d k_p \quad (3)$$

$$k_d = \frac{\sin\left(\frac{\sigma}{2}\right)}{g \sin\left(\frac{\sigma}{2g}\right)} \quad (4)$$

$$k_p = \cos\left(\frac{\varepsilon}{2}\right) \quad (5)$$

$$E_{rms} = \sqrt{2} \pi k_w N \phi \quad (6)$$

สามารถคำนวณจำนวนการพันขดลวดต่อเฟส ($N/Phase$) [10], [11] ได้จากสมการที่ (7)

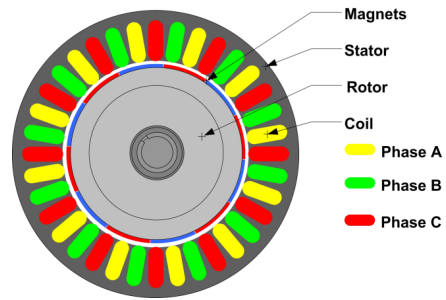
$$N = \frac{E_{rms}}{4.44 f k_w \phi} \quad (7)$$

การเลือกขนาดของขดลวดพิจารณาจากความหนาแน่นกระแส (J_A) ในแท่งตัวนำดังสมการที่ (8)

$$J_A = \frac{6 N_{ph} a I_{rms}}{k_{sf} N_s A_{slot}} \quad (8)$$

3. การดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยส่วนของสเตเตอร์โดยผู้วิจัยเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเหลือทิ้งขนาด 10 กิโลวัตต์ คำนวณจากจำนวนขดลวดสูงสุดต่อสลิต (Slot) ต่อเฟส (Phase) ขนาดของขดลวด และการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กขึ้นกับเวลา พบว่าสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ไม่น้อยกว่า



รูปที่ 2 ลักษณะการลงขดลวดในสเตเตอร์



รูปที่ 3 การรองฉนวนไมก้าในร่องสลิตบนสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4,000 วัตต์ จากนั้นทำการถอดชิ้นส่วนต่างๆ ได้แก่ ฝาครอบเพลานแกนเหล็ก และขดลวดจากแผ่นเหล็กบาง (Laminated Sheet Steel) ซึ่งออกแบบมาสำหรับลดกระแสไหลวน (Eddy Current) ในแกนเหล็กที่จะส่งผลทำให้เกิดความร้อนและทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าลดลง [12] มอเตอร์ไฟฟ้าที่มีจำนวนร่องสลิตเท่ากับ 36 ร่อง และการพันขดลวดในสเตเตอร์ ประกอบด้วยขดลวดจำนวน 3 ชุด ได้แก่ขดลวดชุด A, B และ C แต่ละชุดวางห่างกัน 120 องศา แสดงดังรูปที่ 2 การลงขดลวดในสเตเตอร์เลือกใช้ลวดเบอร์ SWG#18 จำนวน 40 รอบต่อ 1 ร่องสลิต ทำให้ได้รอบการพันขดลวดเท่ากับ 480 รอบต่อเฟส ลักษณะการพันขดลวดบนสเตเตอร์แสดงดังรูปที่ 2 โดยการพันขดลวดจะต้องรองแผ่นไมก้าในร่องสลิต เพื่อให้เกิดความเป็นฉนวนระหว่างแผ่นเหล็กซิลิโคนกับขดลวดทองแดง และป้องกันขดลวดทองแดงถลอก แสดงดังรูปที่ 3



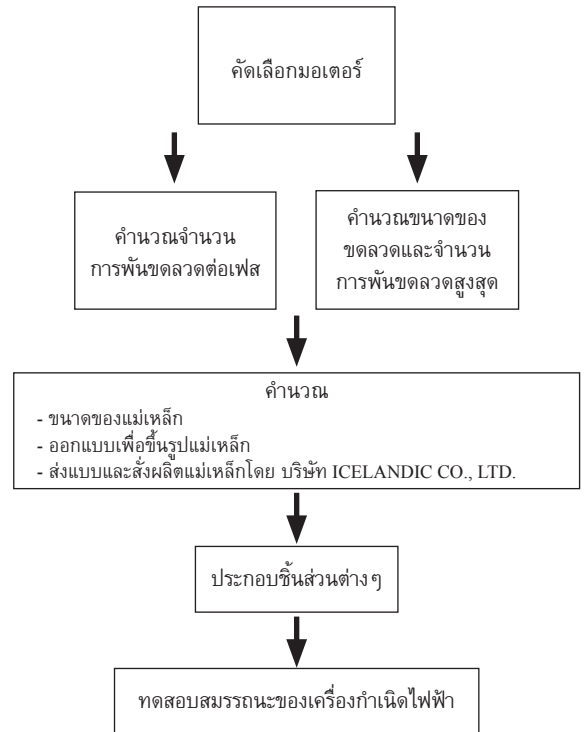
รูปที่ 4 สเตเตอร์ที่ติดตั้งชุดขดลวดและเคลือบด้วยวานิช



รูปที่ 5 แกนโรเตอร์ที่ประกอบแม่เหล็กถาวร Neodymium จำนวน 12 โพล 48 ก้อน

ชุดขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในการออกแบบทดลองมีการบิดร่องสลิตที่สเตเตอร์เพื่อลดการต้านแรงบิดขณะเริ่มหมุน (Cogging Torque) [6] ซึ่งมีผลต่อการออกตัวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [13], [14] ขั้นตอนต่อมาคือการเคลือบวานิช และอบขดลวดสเตเตอร์ แสดงดังรูปที่ 4 และทำการทดสอบความเป็นฉนวนของขดลวดในแต่ละชุดเพื่อไม่ให้มีการลัดวงจรของแต่ละชุดหรือแกนเหล็ก

ส่วนแกนโรเตอร์ประกอบด้วยแม่เหล็ก จำนวน 12 โพล 48 ก้อน แสดงดังรูปที่ 5 ประกอบแม่เหล็กเข้ากับผิวนอกของโรเตอร์ด้วยกาวติดโลหะ (Loctite Glue) และเปลี่ยนดัลบลูกปืนของแกนโรเตอร์

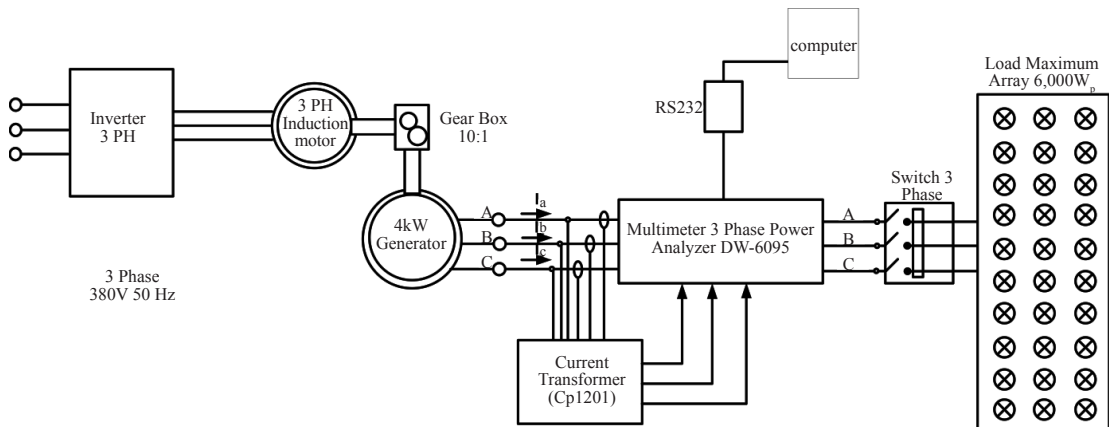


รูปที่ 6 ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนต่างๆ ของการสร้างเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้า

ขั้นตอนต่างๆ ของการสร้างเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าความเร็วรอบต่ำ จากมอเตอร์เหลือทิ้งแสดงดังรูปที่ 6 เริ่มต้นจากการคัดเลือกมอเตอร์ไฟฟ้า คำนวณจำนวนการพันขดลวดต่อเฟส แต่เนื่องจากเป็นมอเตอร์เหลือทิ้งขนาดความยาวของสเตเตอร์ และจำนวนของร่องสลิตมีจำกัด ดังนั้นในการเลือกมอเตอร์มาใช้งานต้องคำนวณขนาดของขดลวดและจำนวนการพันขดลวดสูงสุดเสมอเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมมากที่สุด การออกแบบแม่เหล็กและสั่งผลิตแม่เหล็กโดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้บริษัท ICELANDIC CO., LTD. เป็นผู้ผลิตแม่เหล็ก ประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน และทดสอบสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ข้อควรระวังในการประกอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1. ขั้วของแม่เหล็ก ขณะติดตั้งต้องติดสลักขั้วแม่เหล็กคือ N S N S N S



รูปที่ 7 ไดอะแกรมที่ใช้ในการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2. ระวังอุบัติเหตุจากการติดแม่เหล็กเข้ากับโรเตอร์ เช่น หนีบน้ำ

3. ต้องระวังอย่าให้สารกระตุ้น (Activator) และสารยึดติด (Adhesive) เข้าตาหรือสูดดมเข้าจมูก

4. พื้นที่ทำงานควรเป็นพื้นที่ มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก ปราศจากผงโลหะ

การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อหาคุณลักษณะของแรงดันไฟฟ้าในขณะที่มีการะโหลดต่างๆ ทำโดยการต่อวงจรแสดงดังรูปที่ 7 ต้นกำลังในการขับเคลื่อนระบบใช้มอเตอร์กระแสสลับขนาด 3 แรงม้า ปรับความเร็วรอบด้วยอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ต่อกับชุดทดรอบ 10:1 และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ โดยการใช้คัลลิปแอมป์ Cp1201 คล้องกับสายไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และต่ออุปกรณ์สวิตช์เปิด-ปิด (Switch 3 Phase) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า (Power Analyzer DW-6095) เป็นอุปกรณ์บันทึกข้อมูล และเชื่อมต่อข้อมูลแบบอนุกรม (RS232) ผ่านช่องสัญญาณพอร์ต (USB) กับคอมพิวเตอร์ทดลองปรับความเร็วรอบมอเตอร์วัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่เอาท์พุทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4. ผลการทดลอง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สร้างจากมอเตอร์เหลือทิ้ง ทดสอบที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที ผลการทดลองพบว่า

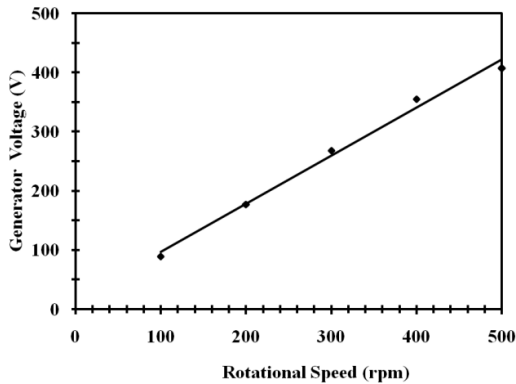


รูปที่ 8 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับหลอดไส้

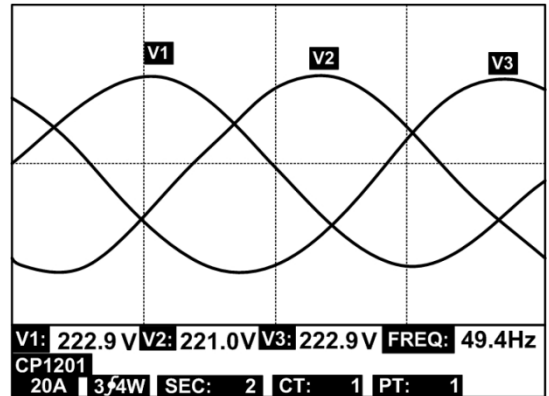


รูปที่ 9 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับเครื่องเจียรมือ

ให้แสงสว่างของหลอดไส้กำลังวัตต์สูงดังรูปที่ 8 และสามารถนำไฟฟ้ามาใช้งานกับเครื่องเจียรมือ ดังรูปที่ 9 และตารางที่ 1 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยในขณะเปิดวงจร

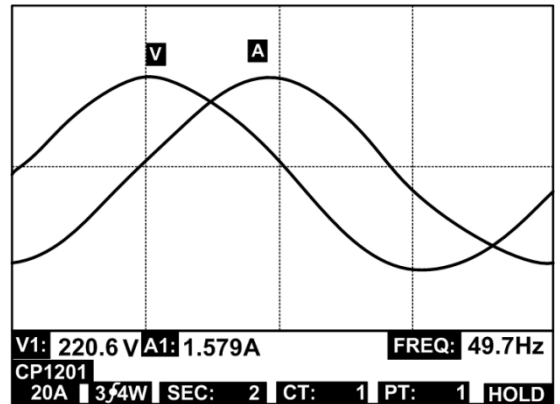


รูปที่ 11 สัญญาณคลื่นไซน์ในขณะเปิดวงจร

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขนาดไม่ต่ำกว่า 4,000 วัตต์

ลำดับ	ชื่อพารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
1	ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ซิงโครนัสแบบแม่เหล็กถาวร
2	ขนาดของขดลวด	18#SWG
3	จำนวนเฟส	3 เฟส
4	จำนวนขั้วแม่เหล็ก	12 ขั้ว
5	จำนวนรอบของขดลวด	480 รอบ/เฟส
6	ความต้านทานขดลวดเฟส A	2.00 Ω/เฟส
7	ความต้านทานขดลวดเฟส B	2.05 Ω/เฟส
8	ความต้านทานขดลวดเฟส C	2.00 Ω/เฟส
9	ความเหนี่ยวนำขดลวดเฟส A	14.5 mH/เฟส
10	ความเหนี่ยวนำขดลวดเฟส B	14.5 mH/เฟส
11	ความเหนี่ยวนำขดลวดเฟส C	14.5 mH/เฟส
12	ความต้านทานฉนวนเฟส A-กราวด์	>35 G Ω /เฟส
13	ความต้านทานฉนวนเฟส B-กราวด์	>35 G Ω /เฟส
14	ความต้านทานฉนวนเฟส C-กราวด์	>35 G Ω /เฟส

ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในขณะเปิดวงจรพบว่าแรงดันไฟฟ้าแปรผันอย่างเป็นเชิงเส้นกับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าง่ายรูปที่ 10

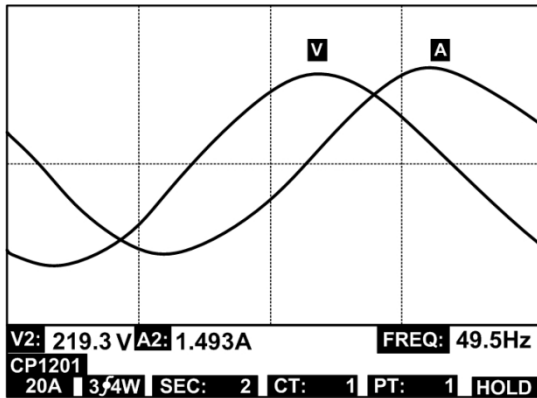


รูปที่ 12 สัญญาณของแรงดันไฟฟ้า (V) และกระแสไฟฟ้า (A) ของเฟส A

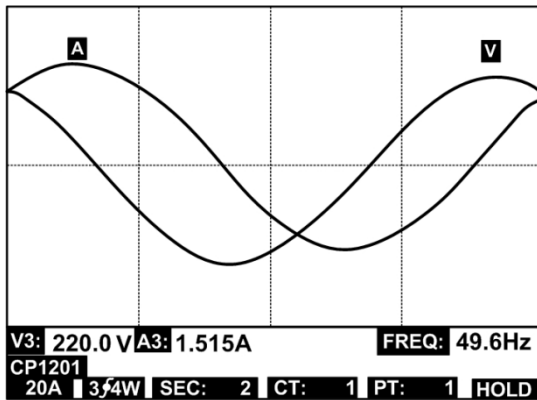
ผลการทดลองวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าในขณะเปิดวงจรได้รูปแบบสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine Wave) ซึ่งมีมุมเฟสห่างกัน 120 องศา ความเร็ว 500 รอบต่อนาที แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 222.27 โวลต์ ความถี่เท่ากับ 49.4 เฮิรตซ์ แสดงดังรูปที่ 11

ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับเครื่องเจียร์มือ (รูปที่ 9) หรือโหลดแบบขดลวดทำให้เกิดการล่าหลัง (Lagging) ของกระแสไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 12 ถึง 14

ผลการทดสอบสัญญาณฮาร์โมนิกซึ่งเป็นส่วนประกอบในรูปแบบของคลื่นไซน์โดยขีดจำกัดความเพี้ยน



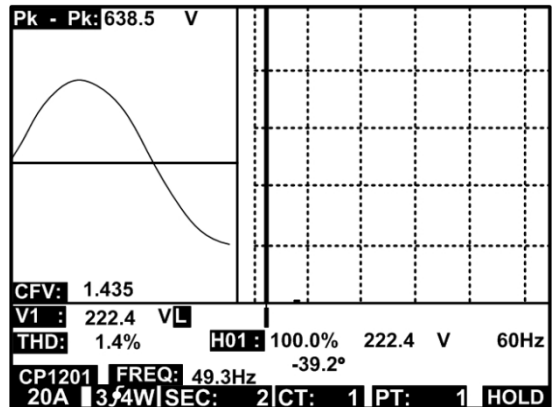
รูปที่ 13 สัญญาณของแรงดันไฟฟ้า (V) และกระแสไฟฟ้า (A) ของเฟส B



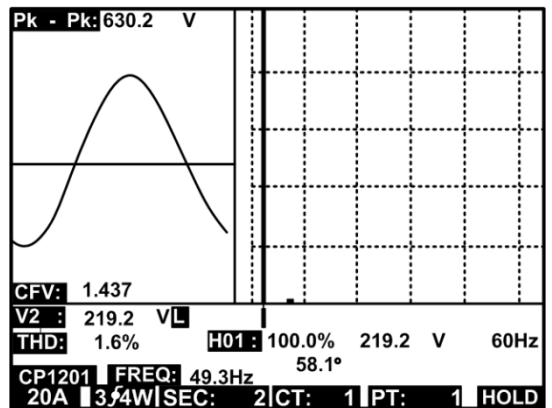
รูปที่ 14 สัญญาณของแรงดันไฟฟ้า (V) และกระแสไฟฟ้า (A) ของเฟส C

ฮาร์มอนิก (THDv%) อยู่ที่ร้อยละ 5 ของแรงดันสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใดๆ ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อรวม 0.4 kV ตามมาตรฐานการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [15] ผลการทดลองพบว่าค่าฮาร์มอนิกเฟส A, B และ C วัดได้ร้อยละ 1.4, 1.6 และ 1.9 ตามลำดับ แสดงให้เห็นค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกจากการทดลองในแต่ละเฟสมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 67.2 ดังรูปที่ 15-17

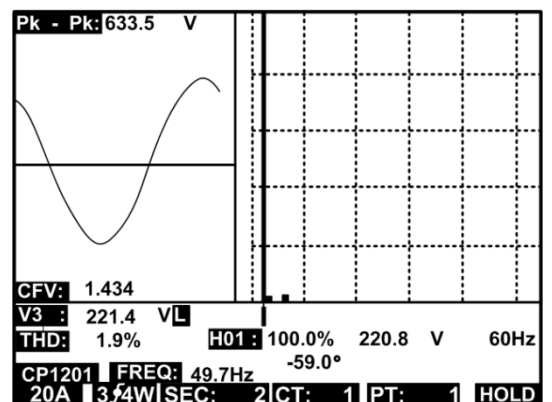
จากรูปที่ 18 มุมเฟสแสดงเวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบสามเฟสโดยมุมต่างกันที่ประมาณ 120 องศา



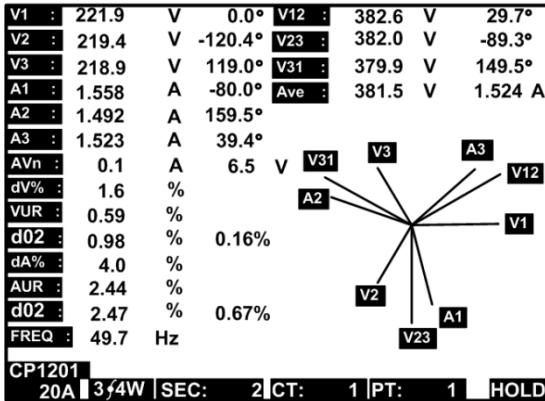
รูปที่ 15 สัญญาณฮาร์มอนิกแรงดันไฟฟ้า ของเฟส A



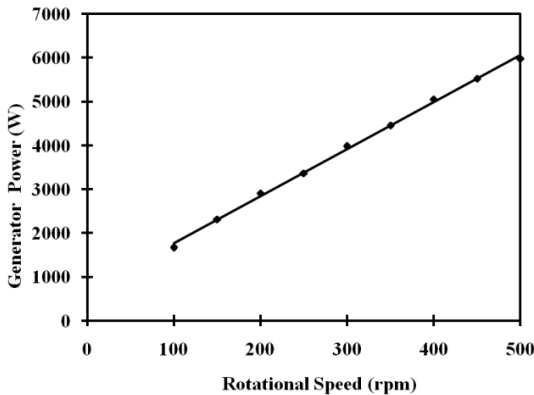
รูปที่ 16 สัญญาณฮาร์มอนิกแรงดันไฟฟ้า ของเฟส B



รูปที่ 17 สัญญาณฮาร์มอนิกแรงดันไฟฟ้า ของเฟส C



รูปที่ 18 มุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังไฟฟ้า

การทดสอบหาจุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถจ่ายพลังงานได้สูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ โดยนำค่าของกำลังไฟฟ้าขณะที่กระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสมีค่าไม่เกิน 15 แอมแปร์ ดังรูปที่ 19 แสดงให้เห็นชัดเจนว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถผลิตได้สูงสุด 6,000 วัตต์

การหาประสิทธิภาพ (η) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหาได้จากสมการที่ 9

$$Efficiency = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (9)$$

สำหรับค่า P_{out} เป็นค่าที่ได้จากการทดลองในที่นี้ เท่ากับ 4,460 วัตต์ ส่วนค่า P_{in} สามารถหาได้จากสมการที่ (10)

$$P_{in} = P_{out} + P_{losses}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{copper\ loss} + P_{core\ loss} + P_{rotation\ loss} \quad (10)$$

กำลังที่สูญเสียที่ขดลวดทองแดง $P_{copper\ loss}$ มีค่าประมาณ 1,254.53 วัตต์ กำลังที่สูญเสียที่แกน $P_{core\ loss}$ และ $P_{rotation\ loss}$ มีค่าประมาณ 480.15 วัตต์ [6] นำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แทนในสมการที่ (9) จะได้ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าย่อยละ 72.61

5. สรุป

การสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งโครนัสความเร็วรอบต่ำ ชนิดแม่เหล็กถาวรจากมอเตอร์เหลือทิ้งขนาดกำลังการผลิตไม่ต่ำกว่า 4,000 วัตต์ ที่กระแสไฟฟ้าไม่เกิน 15 แอมแปร์ สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดประมาณ 6,000 วัตต์ ความเร็ว 500 รอบต่อนาที ความถี่ 49.4 เฮิร์ตซ์ ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประมาณร้อยละ 72.61 และฮาร์มอนิก THDv% เฉลี่ยร้อยละ 1.6 ซึ่งผลจากการทดลองสามารถนำเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้านี้ไปใช้เป็นเครื่องต้นกำลังของระบบกักเก็บลมและกักเก็บน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 (เพิ่มเติม)

เอกสารอ้างอิง

- [1] X. Yang, L. Sun, J. Xiang, and S. Hu S. Su, "Pyrolysis and dehalogenation of plastics from waste electrical and electronic equipment (WEEE)," *A review. Waste Management*, vol. 33, no. 2, pp. 462–473, 2013.
- [2] Y.-Y. Long, Y.-J. Feng, S.-S. Cai, L.-F. Hu, and D.-S. Shen, "Reduction of heavy metals in residues from the dismantling of waste electrical



- and electronic equipment before incineration,” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 272, pp. 59–65, 2014.
- [3] S. Umair, A. Björklund, and E. E. Petersen, “Social impact assessment of informal recycling of electronic ICT waste in Pakistan using UNEP SETAC guidelines,” *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 95, pp. 46–57, 2015.
- [4] R. Wang Z. Xu, “Recycling of non-metallic fractions from waste electrical and electronic equipment (WEEE),” *A review. Waste Management*, vol. 34, no. 8, pp. 1455–1469, 2014.
- [5] C. Nair, T. P. Polprasert, and K. Yamamoto, “strategies for water conservation and reuse in the industrial sector of Thailand, in Water Pollution Control in Asia,” *Editors. Pergamon*, pp. 593–599, 1988.
- [6] Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering King Mongkut's University of Technology North Bangkok, “Research and Development of Low Speed WindTurbine Generators for Manufacturer in Country,” *Final Report, Energy Policy And Planning Office (EPPO), Ministry Of Energy Thailand*, 2011.
- [7] M. J. Crooks, D. B. Litvin, P. W. Matthew, R. Macaulay, and J. Shaw, “One-piece Faraday generator: A paradoxical experiment from 1851,” *Am. J. Phys.*, vol. 46, no. 7, pp. 729–731, 1978.
- [8] M. Murugesh Kumar, *Induction and Synchronous Machines*, Vikas Publishing PVT LTD, vol. 5, pp. 219–274, 2009.
- [9] S. Ghosh, *Fundamentals of Electrical and Electronics Engineering*, Prentice-Hall of India Private Limited, vol. 2, pp. 439–446, 2005.
- [10] J. P. Tewari, *Basic Electrical Engineering*, New Age International Publishers, vol. 1, pp. 521–534, 2003.
- [11] O’Kelly D, *Performance and control of electrical machines*, McGraw-Hill International Editions, electrical engineering series, 1992.
- [12] G. Casinovi and G. M. Veca, “Eddy current losses in the armature of a superconducting turbine-generator,” *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 18, pp. 1725–1727, 1982.
- [13] D. Spalek, “Electromagnetic torque components in the synchronous salient-pole machine,” *The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, vol. 16, pp. 129–143, 1997.
- [14] D. Spalek, “Fast analytical model of induction motor for approaching rotor eccentricity,” *The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, vol. 18, pp. 570–586, 1999.
- [15] P. Thammavong and K. Kveeyarn, “Principle of Harmonics Standard in Power System of Thailand,” *Kasetsart engineering journal*, vol. 83, no. 26, pp. 56–63, 2013.