

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำพลังงานลมแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากำลัง ขนาด 750 วัตต์

Analysis of A 750 W Grid Connected Wind Induction Generator

ณัฐพงษ์ ประพฤติ (Nuttapong Praprut)^{1*} ดร.พุทธพร เสวตสกุลานนท์ (Dr.Budhapon Sawetsakulanond)**

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาคุณลักษณะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำพลังงานลมแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากำลังขนาด 750 W ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังไฟฟ้าจริง อัตราเร็วลมกับกำลังไฟฟ้าจริง อัตราเร็วลมกับความเร็วรอบ รวมถึงแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ทำการทดสอบทั้งในห้องปฏิบัติการร่วมกับแท่นทดสอบ และเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้ตัวต้นกำลังจำลองพลังงานลม ตั้งแต่ 0–9 m/s จากผลการทดสอบพบว่ามอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถทำงานในสถานะที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในขณะที่ต่ออยู่กับระบบไฟฟ้าได้ที่อัตราเร็วลมตั้งแต่ 6 m/s ขึ้นไป

ABSTRACT

This paper presents a study of characteristics of a 750 W grid connected wind induction generator. A study of relationship between speed and real power, wind speed and real power, wind speed and speed including voltage and current is given. Tests both in a laboratory with a test rig and grid connection using a prime mover acting as a wind emulator in a wind velocity range between 0–9 m/s have been conducted. According to testing results, It is found that the induction motor is able to operate as a generator in grid connection at wind speed above 6 m/s.

คำสำคัญ: กังหันลม พลังงานลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

Keywords: Wind turbine, Wind energy, Induction generator

¹ Correspondent author: nuttapong_power@hotmail.com

* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

** อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

บทนำ

ในปัจจุบันการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมนั้นเป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นพลังงานทดแทนรูปแบบหนึ่งที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้โดยไม่เป็นปัญหากับสิ่งแวดล้อม พลังงานดังกล่าวเป็นพลังงานที่ได้รับการยอมรับว่าสะอาด ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมในขณะที่ใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานลมที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้จากพื้นที่ชายฝั่งทะเล ภูเขา ของประเทศโดยไม่มีขีดจำกัดในส่วนในช่วงเวลาและฤดูกาล โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานลมนั้นมีประโยชน์ต่อชุมชนเมืองและชนบทที่อยู่ห่างไกลความเจริญ ดังนั้นหากเราสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประเทศก็สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้น รวมทั้งเป็นการรักษาสีสิ่งแวดล้อมอีกด้วย วัตถุประสงค์ของงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการศึกษาคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากำลัง [1–2]

ผลจากการวิจัยจะเป็นแนวทางในการประยุกต์ในการใช้พลังงานลมอย่างกว้างขวาง รวมทั้งสอดคล้องตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน และพลังงานทดแทน

หลักการของระบบ

1. ทฤษฎีพลังงานลม

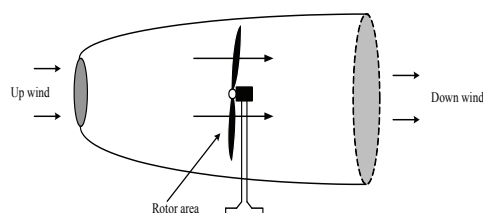
พลังงานลมคือมวลอากาศซึ่งเคลื่อนที่ไปบนผิวโลกตามแนวนอนในทุกทิศทางด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน พลังงานลมเกิดจากอิทธิพลของดวงอาทิตย์ โดยบริเวณพื้นผิวโลกแต่ละส่วนได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ไม่เท่ากัน จึงเป็นเหตุให้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงเกิดการลอยตัวสูงขึ้น และอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำไหลเข้ามาแทนที่ จึงทำให้มวลของอากาศเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นซึ่งเราเรียกว่าลม พลังงานลมเป็นพลังงานจลน์ที่เกิดจากลมในหนึ่งหน่วยเวลา (Wind power) ค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาตรของอัตราเร็วลม (v) โดยขนาดอัตราเร็วลม

3 เมตร/วินาที จะมีกำลังลมต่อพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางเมตร มีค่าเท่ากับ 9 วัตต์/ตารางเมตร ณ ที่อัตราเร็วลม 10 เมตร/วินาที ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 325 วัตต์/ตารางเมตร และที่อัตราเร็วลม 50 เมตร/วินาที (อัตราเร็วลมพายุเฮอริเคน) จะมีกำลังสูงถึง 40,560 วัตต์/ตารางเมตร ตามทฤษฎีแล้วกังหันลมสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุดแค่ 16 ใน 27 ส่วนหรือประมาณ 59.3 % ของพลังงานจลน์ของลม เราสามารถพิจารณากำลังลมจากสมการที่ (1) [1–2]

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (1)$$

เมื่อ P_w คือ กำลังลม (W)
 ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (มีค่าเท่ากับ 1.225 kg/m^3)
 A คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)
 V คือ อัตราเร็วลม (m/s)

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 1 พลังงานลมจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานกลเพื่อขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ในทางปฏิบัติแล้วพลังงานลมไม่สามารถถ่ายเทให้กับใบพัดได้ทั้งหมด นั่นหมายความว่ามวลของอากาศที่ปะทะเข้ากับใบพัดจะต้องหยุดสนิทอยู่กับที่บริเวณพื้นที่หน้าตัดของใบพัดทั้งหมด โดยสมการที่ (2) สามารถอธิบายพลังงานทั้งหมดที่ใบพัดสามารถเปลี่ยนรูปได้จากพลังงานลม



ภาพที่ 1 อัตราเร็วลมที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด

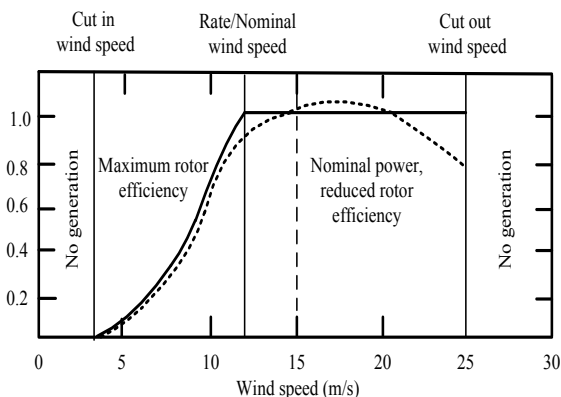
$$P_{wr} = P_w C_p = \frac{1}{2} \rho A_R V^3 C_p \quad (2)$$

เมื่อ P_{wr} คือ กำลังของลม (W)

C_p คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะของใบพัด

A_R คือ พื้นที่กวาดของใบพัด (m^2)

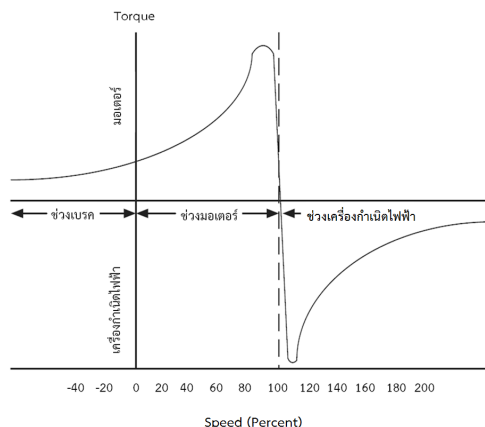
พลังงานที่ได้รับจากกังหันลมจะมีเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับอัตราเร็วลม แต่ความสัมพันธ์นี้ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง ณ ที่อัตราเร็วลมต่ำในช่วง 1-3 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะยังไม่ทำงานจึงยังไม่สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ อัตราเร็วลมระหว่าง 2.5-5 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะเริ่มทำงานเรียกช่วงนี้ว่าช่วงเริ่มอัตราเร็วลม (Cut in wind speed) และที่อัตราเร็วลมในช่วง 12-15 เมตรต่อวินาที เรียกว่าช่วงอัตราเร็วลมปกติ (Nominal or Rate wind speed) ซึ่งเป็นช่วงที่กังหันลมทำงานอยู่บนปกติ กำลังสูงสุดของตัวมันเอง ในช่วงที่อัตราเร็วลมได้ระดับไปสู่ช่วงอัตราเร็วลมปกติซึ่งเป็นการทำงานของกังหันลมด้วยประสิทธิภาพสูงสุด (Maximum rotor efficiency) ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยค่านี้ขึ้นอยู่กับอัตราการกระตุ่นความเร็ว (tip speed ratio) และในช่วงเลยอัตราเร็วลม (Cut out wind speed) คือช่วงที่อัตราเร็วลมสูงกว่า 25 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะหยุดทำงานเนื่องจากอัตราเร็วลมสูงเกินไป ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อกลไกและระบบของกังหันลมได้



ภาพที่ 2 กำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลม [1]

2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

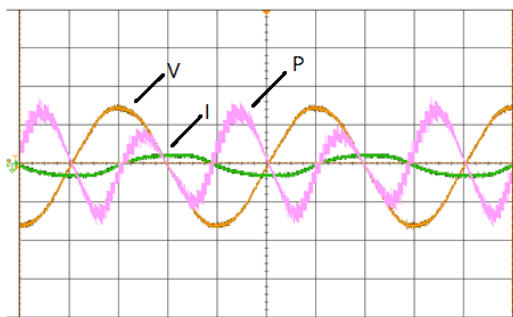
ในสภาวะแรกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะทำงานในโหมดมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แล้วทำการหมุนโรเตอร์ด้วยตัวต้นกำลัง (Prime mover) ให้มีความเร็วรอบสูงกว่าความเร็วซิงโครนัส จะทำให้ แรงบิดเหนี่ยวนำ (τ_{ind}) กลับทิศทางและทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเปลี่ยนเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เหนี่ยวนำ เมื่อหมุนโรเตอร์ให้มีความเร็วรอบเกินค่าความเร็วซิงโครนัส (N_s) ค่าสลิปจะเป็นลบและเมื่อ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำถูกหมุนด้วยแรงบิดมากขึ้นจะทำให้กำลังงานมากขึ้น เนื่องจาก Induction Machine ไม่มีขดลวดสนามแยกต่างหาก (โรเตอร์เป็นแบบ Squirrel-cage) ดังนั้นเมื่อ Induction Machine ทำงานเป็น Induction Generator จึงไม่สามารถจ่ายกำลังงานรีแอกทีฟ (var) แต่ Induction Generator จะเป็นตัวรับกำลังงานรีแอกทีฟ (var) จากภายนอก เพื่อที่จะนำไปสร้างสนามแม่เหล็ก ในช่องอากาศ คุณสมบัติของ Induction Machines ในโหมดการทำงานต่างๆ แสดงดังภาพที่ 3



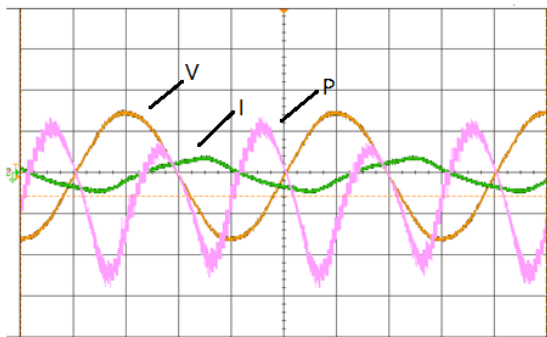
ภาพที่ 3 คุณสมบัติของ Induction Machines ในโหมดการทำงานต่างๆ

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

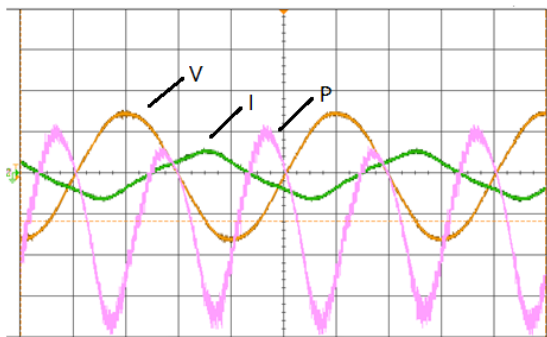
รายละเอียดป้ายพิกัดมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 1 HP (0.75 kW) ที่ใช้ในการทดสอบ แสดงดังตารางที่ 1



ภาพที่ 7 แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าจริง
ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm



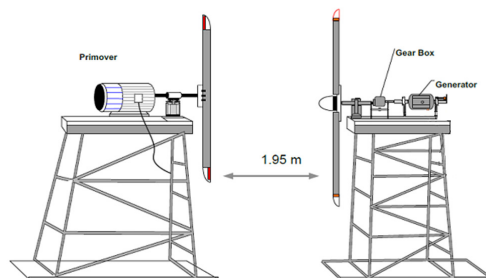
ภาพที่ 8 แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าจริง
ที่ความเร็วรอบ 1550 rpm



ภาพที่ 9 แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าจริง
ที่ความเร็วรอบ 1600 rpm

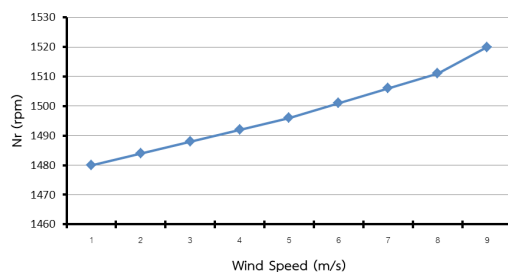
3. การทดสอบคุณลักษณะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำพลังงานลมแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากำลัง

ศึกษาและวิเคราะห์การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำพลังงานลมเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าที่อัตราเร็วลมต่างๆ (0-9 m/s) โดยใช้ Induction Motor เป็นตัวจำลองตัวต้นกำลังพลังงานลม (Prime Mover) ควบคุมความเร็วรอบด้วย Inverter แสดงดังภาพที่ 10



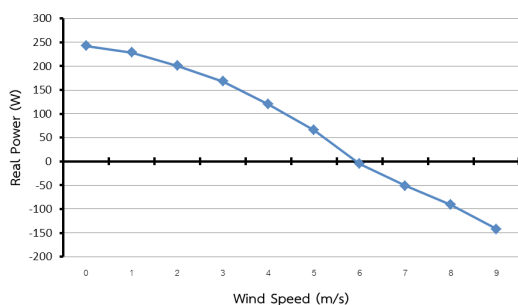
ภาพที่ 10 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำพลังงานลม

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วลมกับความเร็วนำแสดงดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วลมกับความเร็วนำ

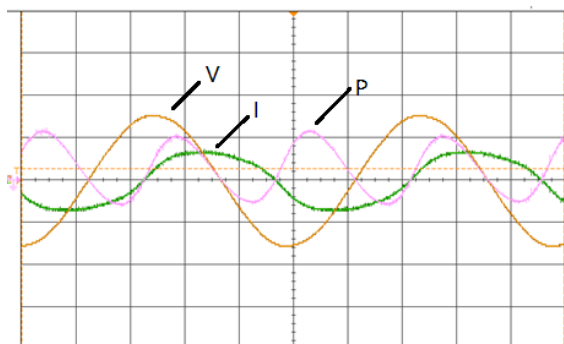
จากภาพที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วลมกับความเร็วนำ พบว่าที่อัตราเร็วลม 0-9 m/s ความเร็วนำจะอยู่ระหว่าง 1480 - 1520 rpm จากนั้นทำการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่อัตราเร็วลม 0-9 m/s ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 12



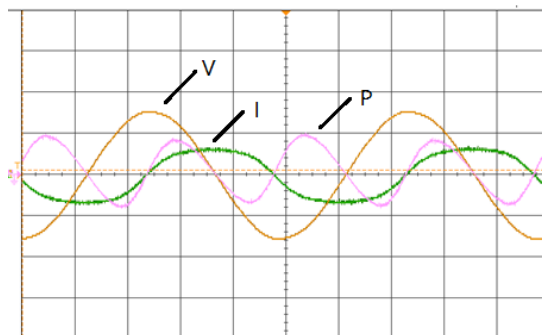
ภาพที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วลมกับกำลังไฟฟ้าจริง

จากภาพที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วลมกับความเร็วรอบ พบว่าเมื่ออัตราเร็วลมอยู่ระหว่าง 0–5 m/s Induction Machine อยู่ในสภาวะ Motor และเมื่ออัตราเร็วลมตั้งแต่ 6 m/s ขึ้นไป Induction Machine เริ่มอยู่ในสภาวะ Generator สังเกตได้จากค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ติดลบ

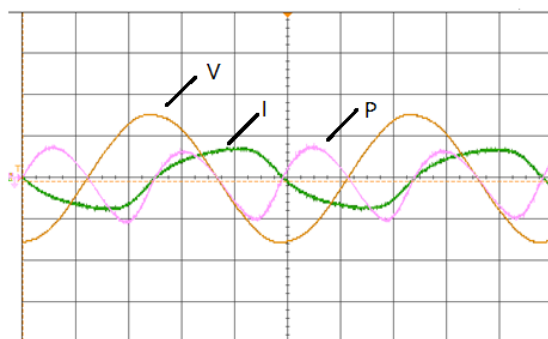
รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าจริง ที่อัตราเร็วลมต่างๆ จากผลการทดสอบจริงแสดงดังภาพที่ 13 ถึงภาพที่ 15 ตามลำดับ



ภาพที่ 13 แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าจริง ที่อัตราเร็วลม 3 m/s



ภาพที่ 14 แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าจริง ที่อัตราเร็วลม 6 m/s



ภาพที่ 15 แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าจริง ที่อัตราเร็วลม 9 m/s

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ สามารถทำงานในสภาวะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่ออยู่ในระบบไฟฟ้า (Grid) ที่อัตราเร็วลมตั้งแต่ 6 m/s ขึ้นไป แต่เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำไม่มีขดลวดสนามแยกต่างหาก (โรเตอร์แบบกรงกระรอก) ดังนั้นเมื่อมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำงานในสภาวะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จึงไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power : var) ได้ ส่งผลให้ตัวประกอบกำลังมีค่าต่ำ ดังนั้นในงานวิจัยต่อไปจะศึกษาถึงการต่อตัวเก็บประจุร่วมเพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลังทางไฟฟ้า

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้ขอขอบคุณ นักศึกษาโครงการวิศวกรรมเครื่อง การศึกษาและวิเคราะห์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากำลัง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีมหานคร ให้ความช่วยเหลือ การทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

1. Wang L, Ya-Feng Y, Sung-Chun K. Analysis of grid-connected induction generators under three-phase balanced conditions. Proceedings of The IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. 2002; 1: 413-417.
2. Sen PK, Nelson JP. Application guidelines for induction generators. Proceeding of The IEEE International Electric Machines and Drives Conference Record. 1997: WC1/5.1-WC1/5.3.
3. The Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators, IEEE Std. 112TM -2004.