

การออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นตัวเองขับเคลื่อนด้วยกังหันน้ำเชื่อมต่อ เข้าระบบกริด

วิโรจน์ บัวงาม*, กฤษฎา สมฆ้อง , นันทภพ ไทยสมบูรณ์ และชาญณรงค์ เรไร

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

*wirot@webmail.npru.ac.th

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเองขับเคลื่อนด้วยกังหันน้ำเชื่อมต่อเข้าระบบกริด การออกแบบงานวิจัยทำการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส ขนาด 2.2 กิโลวัตต์ 4 ขั้วแม่เหล็ก การออกแบบงานวิจัยโดยการหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เพื่อหาค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมสำหรับการสร้างสนามแม่เหล็กสำหรับการกระตุ้นด้วยตัวเองของมอเตอร์เหนี่ยวนำทำให้เปลี่ยนจากมอเตอร์เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ นอกจากนี้มีการจำลองตัวต้นกำลังสำหรับขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเองด้วยกังหันน้ำชนิดคาปแลน โดยกำลังเอาต์พุตจากตัวต้นกำลังจากการจำลองของกังหันน้ำนั้นจะนำไปจำลองกำลังเอาต์พุตผ่านชุดขับเคลื่อนที่สามารถปรับความเร็วรอบและเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ การทดสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำโดยการจำลองเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำผ่านกังหันน้ำตัวต้นกำลัง และระดับความสูงหัวน้ำที่ไหลผ่านกังหันน้ำ การทดสอบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเข้ากับระบบกริดโดยการจำลองเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำผ่านกังหันน้ำที่อัตราการไหล 0.05-0.10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีและเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของหัวน้ำระดับ 0.5-1.4 เมตร จากผลการทดลองพบว่าการเปลี่ยนอัตราการไหลและระดับความสูงของระดับน้ำจะส่งผลทำให้กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลเข้าที่ระบบกริดเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำกระตุ้นด้วยตัวเอง กังหันน้ำ

The design of a self-excited hydro turbine-driven generator system connected to the grid

Wirot Buangam*, Kidsada Somkong, Nuntapop Thaisomboon and Charnarong Rarai

Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology,
Nakhon Pathom Rajabhat University
*wirot@webmail.npru.com

Abstract

This paper presents the design of a self-excited hydro turbine-driven generator system connected to the grid. The research design involved testing to find the parameters of a three-phase induction motor with a capacity of 2.2 kW 4 poles. The research design also involved finding the parameters of the induction motor to determine the appropriate capacitance value for building the generated excitation system, transforming the motor into a self-excited generator. Additionally, initial power simulations were conducted to drive the self-excited hydro turbine-driven generator system with a Kaplan-type water turbine. The output power from the turbine simulation was then used to simulate the output power through a control drive system capable of adjusting the rotational speed and connecting to the self-excited generator. The performance of the self-excited hydro turbine-driven generator system was tested by simulating changes in the water flow rate through the turbine and the headwater level passing through the turbine. Experimental results showed that changes in the flow rate and headwater level had an impact on the output power from the self-excited hydro turbine-driven generator system connected to the grid, increasing the output power flow into the grid.

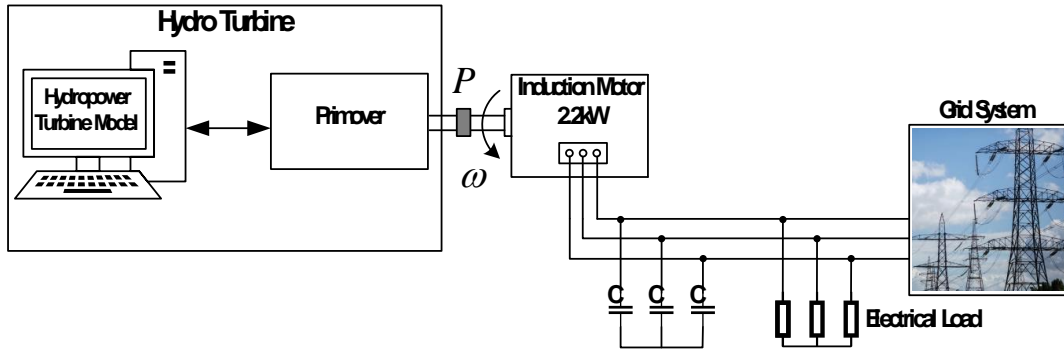
Keywords: Self-Excited Induction Generator, Hydro Turbine

1. บทนำ

ปัจจุบันการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะใช้เชื้อเพลิงจากธรรมชาติ เช่น ก๊าซ น้ำมัน ถ่านหิน เพื่อสนองความต้องการของการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความต้องการเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้ามากขึ้นแต่ผลกระทบที่ตามมาจากการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงฟอสซิลคือมลภาวะ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก หรือ ฝุ่น PM2.5 ดังนั้นเพื่อลดผลกระทบจากการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานฟอสซิลจำเป็นต้องใช้พลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เฉพาะตอนกลางวัน ดังนั้นการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานน้ำจึงเป็นพลังงานที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ตลอดเวลาเมื่อมีน้ำไหลผ่านกังหันน้ำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำ โดยทั่วไปการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำเป็นเครื่องกำเนิดแบบซิงโครนัสที่มีขนาดใหญ่ แต่ถ้าต้องการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำในสถานที่ห่างไกลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสจะไม่เหมาะสมเพราะราคาแพง และต้องมีการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นคณะวิจัยจึงเห็นความสำคัญของการสร้างพลังงานไฟฟ้าสำหรับสถานที่ห่างไกลด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเองขับเคลื่อนด้วยพลังงานน้ำต่อเข้าระบบกริด โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำกระตุ้นด้วยตัวเองเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีโครงสร้างและระบบการผลิตไฟฟ้าง่าย สามารถประยุกต์ใช้กับตัวต้นกำลังขับเคลื่อนด้วยพลังงานน้ำ หรือพลังงานลมได้ ดังนั้นการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเองสำหรับกังหันน้ำเชื่อมต่อกับระบบกริดสามารถพัฒนาระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าสำหรับจ่ายไฟฟ้าให้กับพื้นที่ห่างไกล หรือพื้นที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ ตลอดจนการผลิตไฟฟ้าเสริมเข้าระบบไฟฟ้าสำหรับพื้นที่ที่มีน้ำไหลผ่านทำให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้ตลอดเวลา

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

รายละเอียดวิธีการดำเนินงานวิจัย การออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นตัวเองสำหรับกังหันน้ำ มีการออกแบบขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 3 ส่วน คือ ออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำกระตุ้นด้วยตัวเอง การออกแบบจำลองกังหันน้ำสำหรับเป็นตัวต้นกำลังสำหรับขับเคลื่อนเครื่องกำเนิด และการทดสอบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเองเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเชื่อมต่อกับระบบกริด

2.1 ออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำกระตุ้นด้วยตัวเองขนาด 2.2kW

2.1.1 การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของวงจรสมมูล นั้นได้จากการทดสอบ คือ การทดสอบหาค่าความต้านทานของขดลวด การทดสอบยึดโรเตอร์ การทดสอบสถานะไม่มีโหลด ในการวิจัยทำการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส 2.2 kW (3 HP) 4 ขั้วแม่เหล็ก ความถี่ 50 Hz ต่อแบบสตาร์ พิกัดแรงดันไฟฟ้า 380 V กระแสไฟฟ้า 5 A เพาเวอร์แฟกเตอร์ 0.82 ความเร็วรอบ 1420 รอบต่อนาที โดยพิกัดมอเตอร์เหนี่ยวนำดังกล่าวมีพิกัดสูงทำให้สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้าได้สูงเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง โดยขั้นตอนการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ดังนี้

2.1.2 การทดสอบหาค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์

การทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์ทำได้ด้วยการใช้วิธีโวลต์-แอมป์ ทดสอบโดยจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้าที่ปลายขดลวดของมอเตอร์และต่อเครื่องมือวัดสำหรับวัดแรงดันและกระแสที่ไหลเข้าขดลวด ในการทดสอบทำการปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องแต่ไม่เกินพิกัดของขดลวด จากนั้นทำการบันทึกผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการหาค่าความต้านทานของขดลวดมอเตอร์เหนี่ยวนำ

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V)	17	23.2	28.8	35.1
กระแสไฟฟ้ากระแสตรง (A)	1	2	3	4

จากตารางที่ 1 นำค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบเพื่อคำนวณหาค่าความต้านทานด้านสเตเตอร์ $R_1 = 5.9W$ ของพิกัดมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

2.1.3 การทดสอบแบบยึดโรเตอร์

การทดสอบแบบยึดโรเตอร์เป็นการทดสอบแบบยึดโรเตอร์มอเตอร์ไม่ให้เกิดการหมุน และการจ่ายแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายเข้ามอเตอร์ตามพิกัดค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ โดยที่ค่าสลิป $S = 1$ ดังนั้นค่าความต้านทาน

$R_2/S = R_2$ เมื่อ R_2 คือความต้านทานของโรเตอร์ที่อ้างอิงจากสเตเตอร์ และในสภาวะ I_1 ? I_0 ดังนั้นค่าความต้านทาน R_c และค่ารีแอคแตนซ์ X_m สามารถหาค่าได้ โดยผลการทดสอบแบบยัดโรเตอร์แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบมอเตอร์แบบยัดโรเตอร์

แรงดันไฟฟ้า (V)			กระแสไฟฟ้า (A)			กำลังไฟฟ้า (W)			ตัวประกอบกำลัง		
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
86.54	86.27	86.42	5.03	5.01	5.03	463	462	463	0.95	0.95	0.95

จากตารางที่ 2 สามารถคำนวณหาค่ารีแอคแตนซ์ด้านสเตเตอร์ และโรเตอร์มีค่า $X_1 = X_2 = 3.86W$

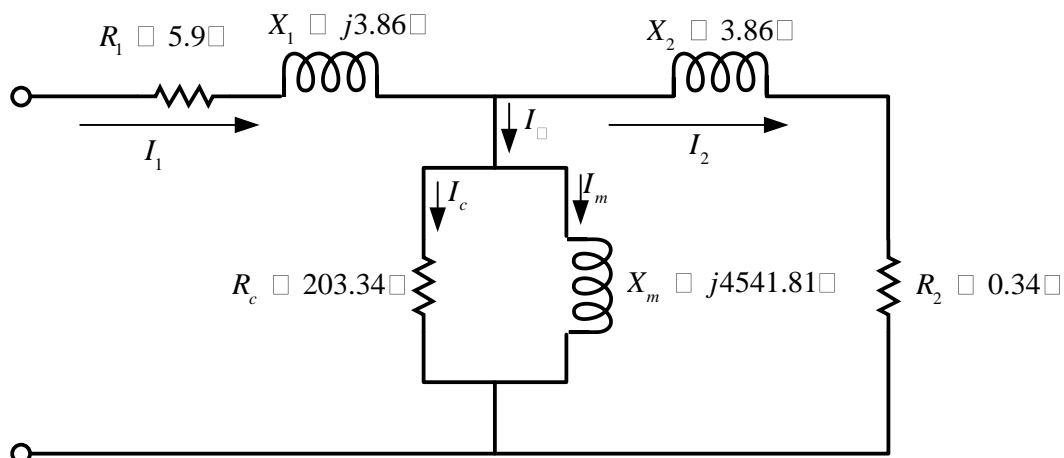
2.2.2 การทดสอบสถานะไม่มีโหลด

การทดสอบสถานะไม่มีโหลดเป็นการทดสอบมอเตอร์ขณะไม่มีภาระทางกล โดยการควบคุมให้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ หมุนที่ความเร็วที่ติดตามขนาดของแรงดันที่กัก โดยไม่มีโหลดต่ออยู่ที่เพลลาของมอเตอร์ ดังนั้นความเร็วรอบของโรเตอร์ N_r มีความเร็วสูงส่งผลให้ค่าสลิป S มีค่าต่ำ และกระแสไฟฟ้าที่โรเตอร์มีค่าต่ำมาก ทำให้ค่าความสูญเสียที่ขดลวดทองแดงที่โรเตอร์ มีค่าต่ำมากเช่นกัน จึงไม่คิดค่าสูญเสียในส่วนนี้ ดังนั้นผลการทดสอบมอเตอร์สถานะไม่มีโหลดแสดงดังตารางที่ 3

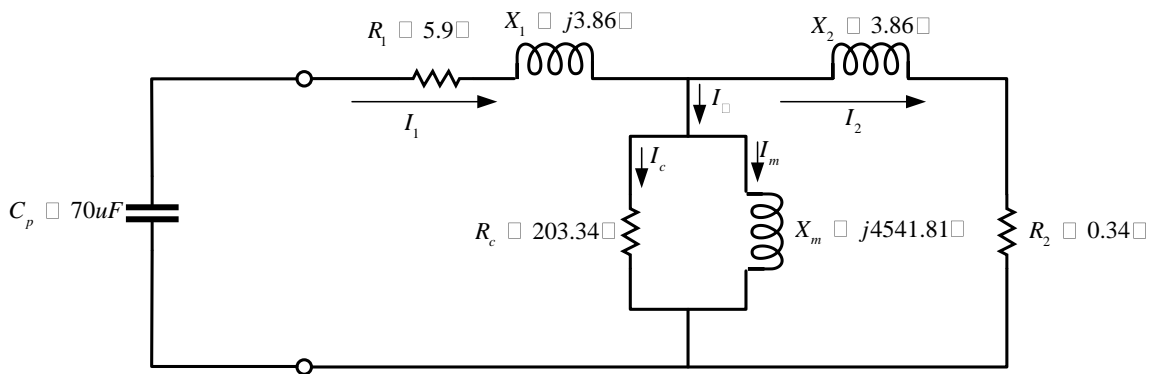
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบมอเตอร์สถานะไม่มีโหลด

แรงดันไฟฟ้า (V)			กระแสไฟฟ้า (A)			กำลังไฟฟ้า (W)		
A	B	C	A	B	C	A	B	C
380	379.6	380.34	2.30	2.29	2.33	0.312	0.298	0.314

จากตารางที่ 3 การทดสอบสถานะไม่มีโหลดโหลด ได้ทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากับมอเตอร์ให้ได้ค่าแรงดันเท่ากับแรงดันที่กักของเนมเพลต โดยค่าที่ได้จากการทดสอบจะใช้ในคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ ความต้านทานสูญเสียของขดลวด $R_c = 203.34\Omega$ และรีแอคแตนซ์ $X_m = 4541.81\Omega$ จากผลการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำด้วยวิธีการทดสอบหาความต้านทานของขดลวด การทดสอบแบบยัดโรเตอร์ และการทดสอบขณะไม่มีโหลด สามารถนำผลการทดสอบคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าและสามารถแสดงวงจรสมมูลของมอเตอร์แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ได้จากการคำนวณ



ภาพที่ 3 วงจรสมมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำต่อกับตัวเก็บประจุ

2.2.2 การคำนวณขนาดตัวเก็บประจุ

การออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเองนั้นจะต้องมีการออกแบบตัวเก็บประจุให้เหมาะสมสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เพื่อใช้สำหรับสร้างกระแสกระตุ้นจากตัวเก็บประจุทำให้เกิดปรากฏการณ์การกระตุ้นด้วยตนเอง ดังนั้นวิธีการออกแบบตัวเก็บประจุของเครื่องกำเนิดเหนี่ยวนำกระตุ้นด้วยตัวเองจะใช้ค่า X_m โดยหาค่าจากสมการที่

(1) เมื่อความเร็วเชิงมุม $\omega_s = 2\pi f_s$

$$X_m = \omega_s L_m = 2\pi f_s L_m \quad (1)$$

$$L_m = \frac{X_m}{2\pi f_s} = \frac{4541.81}{2 \times 3.14 \times 50} \quad (2)$$

$$L_m = 14.46H$$

$$C_p = \frac{1}{\omega_r^2 L_m} = \frac{1}{314^2 \times 14.46} \quad (3)$$

$$C_p = 70\mu F$$

จากสมการที่ (1) ถึง (3) เมื่อสามารถทราบวิธีหาค่าตัวเก็บประจุ สามารถเขียนวงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเองโดยใช้ตัวเก็บประจุขนาดดังภาพที่ 3

2.3 การทดสอบสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำกระตุ้นด้วยตัวเอง

การทดสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้วยการต่อตัวเก็บประจุขนาด $70mF$ เข้าที่ขั้วของมอเตอร์และขับเคลื่อนมอเตอร์ด้วยตัวต้นกำลังด้วยมอเตอร์ขนาด $3kW$ ขับเคลื่อนด้วยชุดขับเคลื่อนแบบปรับเปลี่ยนความถี่ได้ โดยการทดสอบสถานะการเกิดการกระตุ้นด้วยตัวเองของเครื่องกำเนิดเหนี่ยวนำโดยการปรับความเร็วของตัวต้นกำลังให้มีความเร็วรอบ 1460 รอบต่อนาที และทำการวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำกระตุ้นด้วยตัวเองแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ปรากฏการณ์การกระตุ้นด้วยตัวเองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำกระตุ้นด้วยตัวเอง

จากภาพที่ 4 แสดงปรากฏการณ์การกระตุ้นด้วยตัวเองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากแรงกลทำให้เกิดการหมุนของมอเตอร์ที่ต่อตัวเก็บประจุที่ขั้วของมอเตอร์ ขณะที่มอเตอร์หมุนอยู่และมีกระแสไฟฟ้าตกค้างทำให้เกิดการกระตุ้นตัวเองเมื่อความเร็วของมอเตอร์เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จากปรากฏการณ์การกระตุ้นด้วยตัวเองของมอเตอร์เพิ่มขึ้นแสดงดังภาพที่ 4 พบว่าเมื่อความเร็วของมอเตอร์เพิ่มส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่ม ถ้าความเร็วรอบของมอเตอร์สูงขึ้นถึงความเร็วเชิงโคโรนัสทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจะมีขนาด 207.43 V ขนาดกระแสไฟฟ้า 1.33 A โดยค่าทั้งสองเป็นการวัดค่าต่อเฟส

2.4 ออกแบบจำลองกังหันน้ำสำหรับขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ

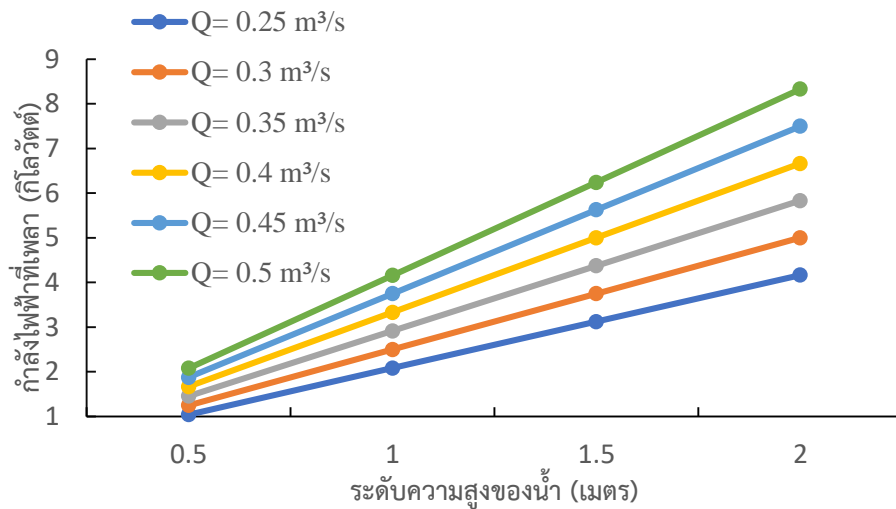
การออกแบบกังหันน้ำต้นกำลังสำหรับขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำกระตุ้นด้วยตัวเอง โดยจำลองกังหันน้ำแบบคาปลาน คุณสมบัติของกังหันน้ำแบบนี้เหมาะสำหรับระดับศักยภาพน้ำต่ำอยู่ในช่วง 3-20 เมตร[5] ข้อมูลของกังหันสำหรับจำลองเพื่อหาความเร็วรอบในการขับเคลื่อนมอเตอร์ด้วยตัวต้นกำลัง โดยใช้ข้อมูลจากงานวิจัยของ F.U. Khan และคณะ[4] ค่าพารามิเตอร์ของกังหันน้ำแบบคาปลานขนาดเล็กที่สำหรับการคำนวณ โดยพารามิเตอร์ต่างๆ ของกังหันแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ของกังหันน้ำแบบคาปลาน[4]

พารามิเตอร์	ค่า
ความสูงของหัวน้ำ	0.5-2 m
อัตราการไหล	0.25-0.5 m^3/s
อัตราส่วนการไหล	0.7
อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางของความกว้าง	0.3
อัตราส่วนความเร็ว	1.6
จำนวนใบกังหัน	4
จำนวนใบน้ำร่อง	10
ประสิทธิภาพของไฮดรอลิก	0.90
ประสิทธิภาพทั้งหมด	0.85
เส้นผ่านศูนย์กลางรันเนอร์	0.34 m

จากตารางที่ 4 ค่าประสิทธิภาพของไฮดรอลิกของกังหันเป็นอัตราส่วนของกำลังที่ได้จากกังหันกับกำลังน้ำมีค่า 0.90 ดังนั้นการคำนวณสำหรับกังหันคาปลานขนาดเล็กเพื่อหาความเร็วรอบและแรงบิดโดยใช้พารามิเตอร์จากตารางที่ 1 โดยการ

เปลี่ยนอัตราการไหลน้ำของกังหันน้ำตัวต้นกำลังและระดับความสูงของหัวน้ำ ผลของการเปลี่ยนแปลงระดับอัตราการไหลผ่านกังหันและระดับความสูงของหัวน้ำแสดงดังภาพที่ 5

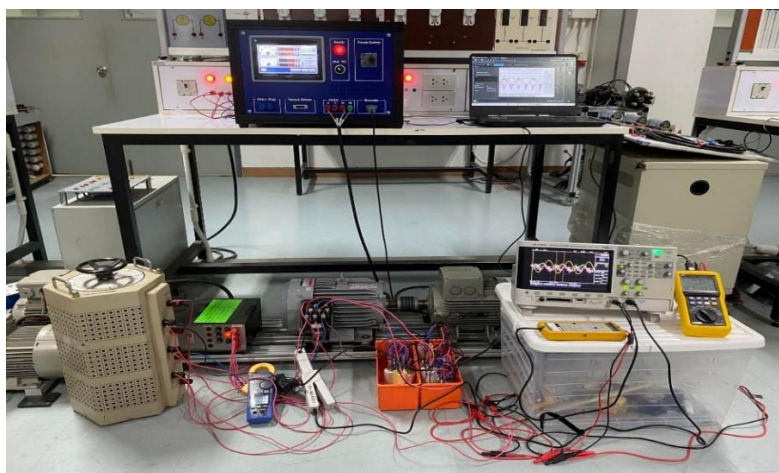


ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระดับความสูงของน้ำที่ 0.5-2 เมตร อัตราการไหลที่ 0.25-0.5 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีและกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของกังหันน้ำ

จากภาพที่ 5 แสดงผลการจำลองกังหันน้ำโดยกำหนดอัตราการไหลของน้ำผ่านกังหันคงที่ 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และเปลี่ยนระดับความสูงของหัวน้ำพบว่าเมื่อระดับความสูงของหัวน้ำสูงขึ้นส่งผลทำให้ความเร็วรอบและกำลังเอาต์พุตของกังหันน้ำสูงขึ้น

3. ผลการทดลอง

การทดสอบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำกระตุ้นด้วยตัวเองเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากำลังด้วยการเชื่อมต่อชุดต้นกำลังซึ่งเป็นการจำลองความเร็วรอบจากกังหันน้ำแบบคาลปแลนแสดงดังภาพที่ 6 การทดสอบสภาวะการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระตุ้นด้วยตัวเองด้วยการกำหนดการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลช่วง 0.05-0.10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของหัวน้ำที่ 0.5-1.4 เมตร โดยผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำ และระดับของหัวน้ำการคำนวณจากข้อมูลของกังหันน้ำจาก [4]



ภาพที่ 6 การทดสอบสภาวะการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเชื่อมต่อเข้าระบบไฟฟ้ากำลังที่อัตราการไหล

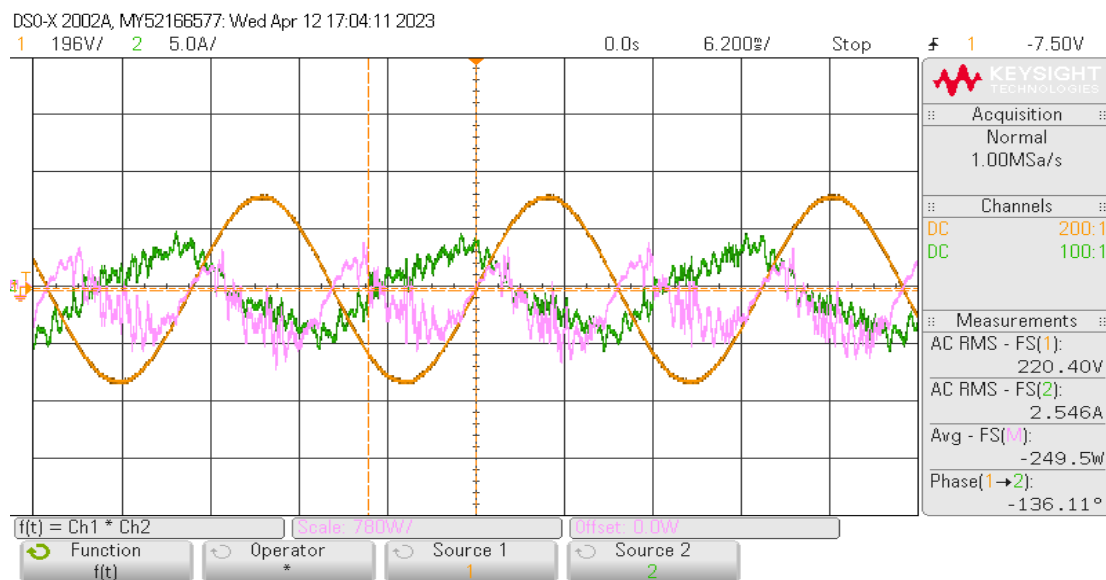
3.1 การทดสอบสภาวะการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเชื่อมต่อเข้าระบบไฟฟ้ากำลังที่อัตราการไหลคงที่ 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

การทดสอบส่งกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำกระตุ้นด้วยตัวเองโดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำคงที่ 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีและเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของหัวน้ำที่ระดับ 0.5 – 1.4 เมตร โดยการปรับค่าความเร็วของตัวต้นกำลังจากการจำลองของกังหันโดยผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการคำนวณความเร็วรอบของกังหันและค่ากำลังไฟฟ้าที่อัตราการไหล 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

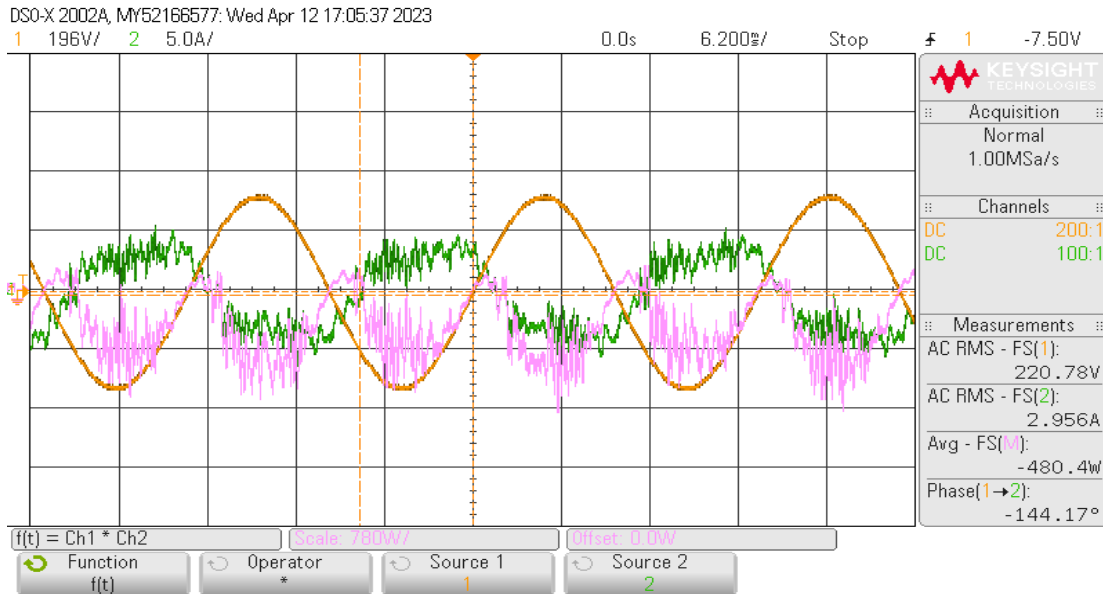
ระดับหัวน้ำ (m)	อัตราการไหลน้ำ (m ³ /s)	ความเร็วรอบ (rpm)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)	ตัวประกอบกำลัง	กำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA)	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Var)	แรงบิด (N.m.)
0.5	0.05	1522	220	2.4	-251.3	-0.46	542.4	-445.4	7.08
0.65	0.05	1527	220	2.5	-289.7	-0.52	547.3	-421.0	8.08
0.8	0.05	1530	220	2.5	-332.6	-0.59	562.6	-403.0	8.99
0.95	0.05	1533	221	2.6	-367.1	-0.64	574.6	-391.7	9.76
1.1	0.05	1536	221	2.7	-402.7	-0.69	594.5	-375.4	10.54
1.25	0.05	1540	221	2.8	-444.6	-0.72	612.1	-373.3	11.20
1.4	0.05	1542	221	2.9	-471.9	-0.75	639.1	-356.4	11.95

หวนหาสูงจนส่งผลทาให้ความเร็วของกังหันสูงจนส่งผลต่อกระแสเพพา และกาลงเพพาเพมขนตามความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำกระตุ้นด้วยตัวเอง โดยกำลังไฟฟ้าจะมีค่าลบคือกำลังไฟฟ้าจะไหลจากเครื่องกำเนิดเหนี่ยวนำกระตุ้นด้วยตัวเองไหลเข้าระบบไฟฟ้ากำลัง



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ของปริมาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ระดับความสูงของน้ำ 0.5 เมตร

จากภาพที่ 7 ที่อัตราการไหล 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และความสูงของหัวน้ำ ที่ 0.5 เมตร ค่าแรงดันไฟฟ้า 220.78 V ค่ากระแสไฟฟ้า 2.546 A และกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตที่วัดค่าได้ -249.5 W



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ของปริมาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ระดับความสูงของน้ำ 1.4 เมตร

จากภาพที่ 8 ที่อัตราการไหล 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และความสูงของหัวน้ำ ที่ 1.4 เมตร ค่าแรงดันไฟฟ้า 220.78 V ค่ากระแสไฟฟ้า 2.956 A และกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตที่วัดค่าได้ -480 W

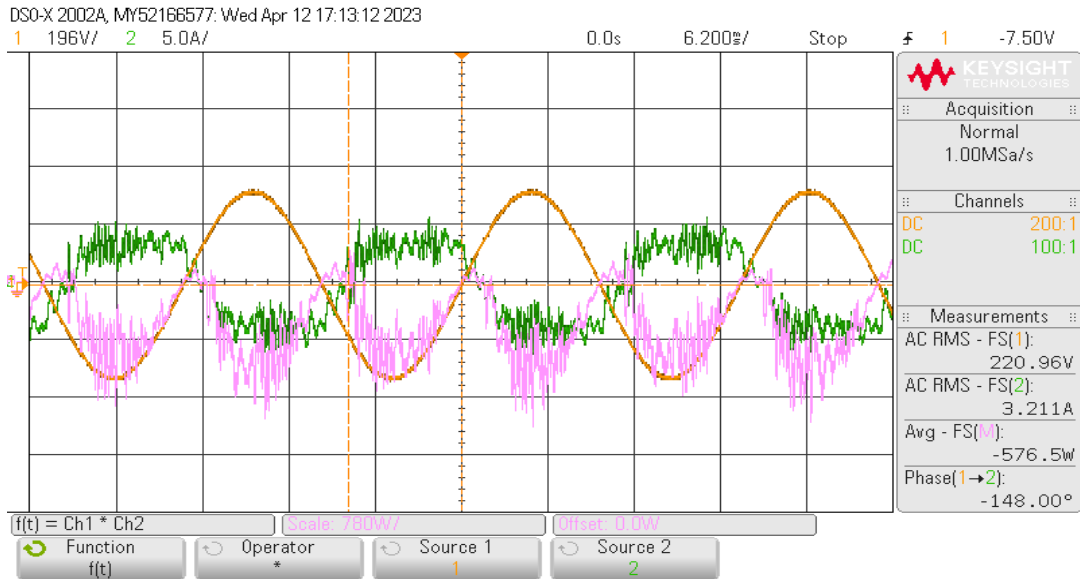
3.2 การทดสอบสภาวะการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเชื่อมต่อเข้าระบบไฟฟ้ากำลังที่อัตราการไหลคงที่ 0.10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

การทดสอบส่งกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำกระตุ้นด้วยตัวเองโดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำ คงที่ 0.10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีและเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของหัวน้ำที่ระดับ 0.5 – 1.4 เมตร โดยการปรับค่าความเร็วของตัวต้นกำลังจากการจำลองของกังหันโดยผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 7

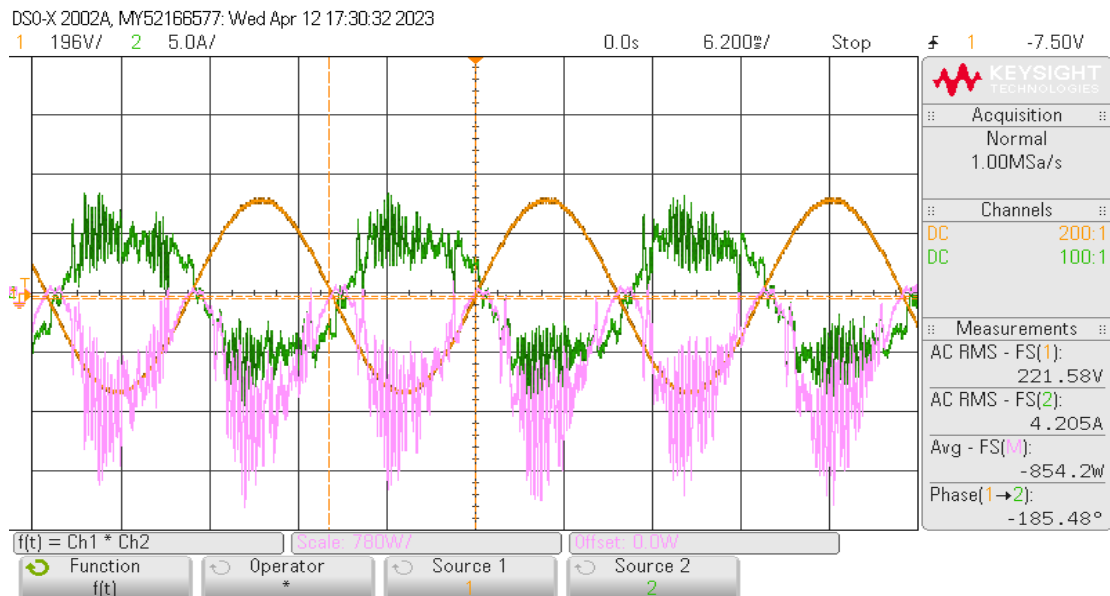
ตารางที่ 7 ผลการคำนวณความเร็วรอบของกังหันและค่ากำลังไฟฟ้าที่อัตราการไหล 0.10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ระดับ เฮดน้ำ (m)	อัตราการ ไหลน้ำ (m ³ /s)	ความเร็ว รอบ (rpm)	แรงดัน ไฟฟ้า (V)	กระแส ไฟฟ้า (A)	กำลัง ไฟฟ้า (W)	ตัว ประกอบ กำลัง	กำลังไฟฟ้า ปรากฏ (VA)	กำลังไฟฟ้า สูญเสีย (Var)	แรงบิด (N.m)
0.5	0.10	1555	221	3.1	-567.1	-0.83	681.3	-301.2	14.16
0.65	0.10	1563	221	3.3	-650.7	-0.87	744.4	-263.9	16.16
0.8	0.10	1572	221	3.6	-727.2	-0.90	804.5	-222.6	17.98
0.95	0.10	1578	221	3.8	-778.8	-0.91	846.3	-190.5	19.53
1.1	0.10	1582	221	4.0	-823.8	-0.92	884.5	-166.2	21.09
1.25	0.10	1588	221	4.2	-872.7	-0.93	932.4	-133.6	22.40
1.4	0.10	1592	221	4.4	-905.6	-0.93	965.3	-116.3	23.90

อัตราการไหลจาก 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เป็น 0.10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พบว่าความเร็วรอบของกังหันเพิ่มขึ้น และเพิ่มระดับความสูงของหัวน้ำส่งผลทำให้ค่ากระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามลำดับ



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ของปริมาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ระดับความสูงของน้ำ 0.5 เมตร



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ของปริมาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ระดับความสูงของน้ำ 1.4 เมตร

จากภาพที่ 10 ที่อัตราการไหล 0.10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และความสูงของหัวน้ำ ที่ 1.4 เมตร ซึ่งเส้นสีเขียวเป็นสัญญาณแรงดันที่วัดค่าได้ 221.58 โวลต์ ส่วนเส้นสีชมพูเป็นสัญญาณกระแสที่วัดค่าได้ 4.205 แอมแปร์ และเส้นสีชมพูเป็นสัญญาณกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตที่วัดค่าได้ -854.2 วัตต์

4. บทสรุป

บทความการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเองขับเคลื่อนด้วยกังหันน้ำเชื่อมต่อเข้ากับระบบกริดแสดงถึงการออกแบบออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำกระตุ้นด้วยตัวเองด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส 380 โวลต์ 2.2 กิโลวัตต์ การออกแบบหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์และหาค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมกับการเกิดปรากฏการณ์กระตุ้นตัวเองเพื่อแปลงจากมอเตอร์เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ การทดสอบการทำงานทำการจำลองพารามิเตอร์กังหันน้ำแบบคาปลานโดยการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำผ่านกังหัน และระดับหัวน้ำเพื่อหาความเร็วจากกังหันสำหรับปรับตัวต้นกำลังในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำกระตุ้นด้วยตัวเองเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า

ผลการทดสอบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำกระตุ้นด้วยตัวเองเข้ากับระบบไฟฟ้าด้วยการปรับเปลี่ยนอัตราการผลิตของน้ำผ่านกังหัน และระดับหัวน้ำของกังหันพบว่าเมื่อพารามิเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งมีการเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้กำลังไฟฟ้าที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเพิ่ม โดยงานวิจัยได้ทดสอบระดับอัตราการผลิตของน้ำอยู่ระหว่าง 0.05-0.10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และความสูงของหัวน้ำ 0.5-1.4 เมตร โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำกระตุ้นด้วยตัวเองสามารถจ่ายพลังงานเข้าสู่ระบบไฟฟ้ากำลังได้ จากการสอบพบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถผลิตไฟฟ้าได้ในสถานะมีอัตราการผลิตของน้ำและระดับหัวน้ำต่ำโดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้สร้างระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกลที่มีแหล่งน้ำไหลผ่านที่มีอัตราการผลิตของน้ำและระดับหัวน้ำไม่สูงได้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่มอบทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้ ภายใต้อำนาจของโครงการ วิชาการวิจัยบูรณาการนักศึกษาและอาจารย์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น และความเป็นเลิศทางวิชาการ ปีงบประมาณ 2566 ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สนับสนุนสถานที่และเครื่องมือสำหรับงานวิจัยให้สำเร็จได้ในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Nuttapon Praprut and Budhapon Sawetsakulanond. (2016). Analysis of A 750W Grid Connected Wind Induction Generator. *KKU Res J (GS)*, 16(3), 120-126. (In Thai)
- [2] Tiraput Satayatum and Vijit Kinnares. (2555). Transient and Steady State Analysis of a Two-phase Self-excited Induction Generator Using Mathematical Model. *The Journal of KMUTNB*, 22(2), 285-294. (In Thai)
- [3] Sawetsakulanond, B., Hothongkham P. and Kinnares, V. (2008). Investigation on the Performance between Standard and High Efficiency Induction Machines operating as Grid Connected Induction Generators : *Proc. ICSET*, pp.949-954.
- [4] Buangam, W., Sawetsakulanond B. and Kinnares, V. (2016). Implementation of FPGA and real-time processor for islanding monitoring and protection of grid connected induction generator : 2016 19th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), pp.1-5.
- [4] Khan, F.U., Rahman, W.U. and Ahmad.M.M. (2021). Modeling, Simulation, and Fabrication of Micro Kaplan Turbine. *international journal of scientific & technology research*, 10(6), pp.64-76.
- [5] Kumar, S., Sireesha, B., Singh, J.G. and Salam, P. A. (2023). Low-head Pico-hydro Plant using the Pump as Turbine (PaT) and Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) for Isolated Loads: Experimental Studies: *International Energy Journal*, pp.121-140.
- [6] Mallik, D., & Ahmed, J. (2018). Analysis of Self Excited Induction Generator for Standalone Micro-Hydro Scheme. *ADB Journal of Electrical and Electronics Engineering (AJEEE)*, 2(2), 22-31.
- [7] Murthy, S. S., Bhuvanewari, G., Gao, S. and Gayathri, M. S. L. (2008). Performance Analysis of a Self Excited Induction Generator with Digitally Controlled Electronic Load Controller for Micro Hydel Power Generation : 2008 Joint International Conference on Power System Technology and IEEE Power India Conference, pp.1-6.