

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
CHARACTERISTIC ANALYSIS OF INDUCTION GENERATOR



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 61947
วัน,เดือน,ปี..... 25 ก.ค. 2549

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีประโยชน์
b.....
i.....

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวิเคราะห์คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

Characteristic Analysis of Induction Generators

ผู้จัดทำ

1. นาย จูติพงษ์ งามถิ่น รหัสประจำตัว 45015094

2. นาย สมบัติ โขวงษ์ รหัสประจำตัว 45015120



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. พิชิต ล้ายอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

นายฐิติพงษ์ งามถิ่น 45015094

นายสมบัติ โขวงษ์ 45015120

รศ. พิชิต ลำยอง อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

เนื่องจากคุณสมบัติที่ตีบางประการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ทำให้มีการศึกษาค้นคว้าด้านนี้อย่างต่อเนื่อง ถึงแม้ว่าจะมีวัตถุประสงค์หรือแนวทางที่แตกต่างกันออกไป ด้วยสาเหตุนี้จึงเป็นที่มาของการทำโครงการนี้ เพื่อที่จะรวบรวมแนวทางของการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำไปใช้งานตามรูปแบบต่างๆ มาวิเคราะห์โดยยึดวิธีการใช้งานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นสำคัญ ซึ่งมีลักษณะคือแบบเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเข้ากับระบบเครือข่ายของการไฟฟ้าโดยตรง, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเองโดยการนำตัวเก็บประจุมาใช้งานร่วม และแบบแหล่งจ่ายกระตุ้นแยกด้วยการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากอินเวอร์เตอร์ที่นำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อให้สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้ การใช้วิจารณ์ในการหาวิธีในการเปรียบเทียบทำให้เกิดผลลัพธ์ทั้งข้อดีและข้อเสียตามลักษณะการใช้งานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โครงการนี้จึงได้หากลวิธีในการวิเคราะห์คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแต่ละแบบ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีแนวทางไปในทิศทางเดียวกัน หลังจากนั้นจึงนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกับทฤษฎี เพื่อทดสอบความถูกต้องของหลักการที่กำหนดไว้ และจากการพิจารณาโดยภาพรวมสามารถพิสูจน์ได้ว่า การใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำพิกัด 3 เฟส 4 โพล 50 เฮิร์ตซ์ 220/380 โวลต์ 1 แรงม้า ร่วมกับอินเวอร์เตอร์สำหรับชาร์จแบตเตอรี่ จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธีการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำไปใช้งานในรูปแบบอื่น ๆ ดังที่ได้มีการกล่าวมาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHARACTERISTIC ANALYSIS OF INDUCTION GENERATOR

Thitiphong Ngarmthin

Sombat Chowong

Assc.Prof. Pichit Lumyong Advisor

2004

ABSTRACT

Because something of a good qualifications of induction generator have to be motivated and interested for researcher although there are the way different. For this reason, all these become the points to do this project to fine the ways to use to apply for follow the many patterns by using the ways of grid-connected induction generator, Self-excited induction generator with capacitor and apply inverter for charging into batteries. Using discretion to find the ways to compare always get the result there are positive and negative by the ways to use of induction generator. So this project would like to look for the tips to tested through the same ways. Later on we bring the result to compare with calculating from Theory and for insist of correct follow this theory. By the total of using induction generator 3-phase 4-pole 50-Hz 220/380-V 1-Hp can improve that using apply inverter for charging into batteries give more efficiency than other the ways to connecting that referred to.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

อันปริญญาบัตรฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงไปไม่ได้เลย หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและความร่วมด้วยช่วยกันจากหลาย ๆ ฝ่าย บุคคลแรกจะเป็นใครไปไม่ได้เลย นอกจากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร คือท่านอาจารย์ รศ. พิชิต ถ้ายอง ที่ชี้ทางสว่างให้กับคณะผู้จัดทำด้วยดีเสมอมา รู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างมาก ทางคณะต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ นักศึกษาปริญญาโทที่ให้คำปรึกษาตลอดมา ท่านแรกคือ คุณเปี่ยมภูมิ สฤกพฤกษ์ ที่ช่วยแนะนำหลาย ๆ สิ่ง หลาย ๆ อย่างให้กับคณะผู้จัดทำเป็นอย่างมาก, คุณประสิทธิ์ภาพ ปัญญานันท์ และคุณธนาพันธุ์ แสนสุข ซึ่งเคยทำวิจัยเรื่องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นตนเอง และยังได้เอื้อเฟื้อข้อมูลการทดสอบตลอดจนคำแนะนำดี ๆ

ขอขอบคุณ คุณพันรบ ชินบุตร ที่ช่วยแนะนำและอนุเคราะห์ข้อมูลการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบต่อกับระบบการไฟฟ้าโดยตรงและการทดสอบมอเตอร์พิกัด 1 แรงม้าต่าง ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากกับโครงการนี้

ขอขอบคุณ คุณปรีชา ชูจิต เพื่อนที่เคยร่วมทำโครงการนี้มาด้วยกัน ถึงแม้ว่าจะไม่ได้มีชื่อขึ้นหน้าปกปริญญาบัตรร่วมกัน แต่ก็ยังไม่ทอดทิ้งกันในยามที่หนทางมืดมน และยังได้ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องอินเวอร์เตอร์เป็นอย่างดี คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอให้ท่านสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีโดยเร็ว

ขอขอบคุณ เพื่อนร่วมห้องเรียนและห้องโครงการที่ให้ความทรงจำดี ๆ และบทเรียนต่าง ๆ ตลอดการเดินทางที่ได้ทำงานร่วมกันมา ถึงแม้จะเป็นช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ก็ตาม

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระมหาคุณบูรพาภิรมย์ที่เปรียบประดุจมหาปฐพีและแผ่นฟ้าอันกว้างใหญ่ที่คอยปกป้องผืนแผ่นดิน ความรักแลห่วงใยที่มีต่อลูกมีมากเกินกว่าที่ลูกจะรู้จะเข้าใจ

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 วิธีดำเนินการศึกษา	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	4
2.1 โครงสร้างของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	5
2.2 ทฤษฎีการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	6
2.3 ลักษณะการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำไปใช้งาน	7
บทที่ 3 วงจรสมมูลของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	10
3.1 รูปแบบวงจรสมมูล (Equivalent circuit model)	10
3.2 วิธีการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์	14
3.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบ	16
บทที่ 4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเชื่อมกับเครือข่าย	18
4.1 วิธีการทดสอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเชื่อมกับเครือข่าย	18
4.2 ผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเชื่อมต่อกับเครือข่าย เมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบสตาร์	21
4.3 ผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเชื่อมต่อกับเครือข่าย เมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเดลต้า	29
4.4 สรุปผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเชื่อมต่อกับเครือข่าย	37
บทที่ 5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเอง	38
5.1 หลักการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเอง	38
5.2 หลักการวิเคราะห์ขนาดของตัวเก็บประจุ	38
5.3 การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเอง	40
5.4 ผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเอง	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
5.5 สรุปผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเองขณะไม่มีโหลด	51
5.6 การทดลองเปลี่ยนแปลงค่าคาปาซิเตอร์ตามโหลด	52
5.7 สรุปผลการทดลองเปลี่ยนแปลงค่าคาปาซิเตอร์ตามโหลด	55
บทที่ 6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบแหล่งจ่ายกระตุ้นแยก	56
6.1 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบแหล่งจ่ายกระตุ้นแยก	56
6.2 การนำเอาอินเวอร์เตอร์มาดัดแปลงใช้งาน	57
6.3 หลักการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่คั่นกำลังไฟฟ้าผ่านอินเวอร์เตอร์	59
6.4 การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจ่ายพลังงานผ่านอินเวอร์เตอร์ไปไว้ใน แบตเตอรี่	61
บทที่ 7 สรุป	78
บรรณานุกรม	81
ภาคผนวก	82



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 3.1 แสดงการหาค่าความต้านทานที่ทดสอบด้วยไฟฟ้ากระแสตรง	16
ตารางที่ 3.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า	17
ตารางที่ 4.1 แสดงค่า R_c กับ X_m เมื่อแรงดันไฟฟ้าถูกเปลี่ยนแปลงไปจากพิกัด	20
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองเมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบสตาร์	21
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองเมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเดลต้า	29
ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองขณะไม่มีภาระเมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 แรงม้าแบบสตาร์	41
ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดลองขณะไม่มีภาระเมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 แรงม้าแบบเดลต้า	46
ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดลองเปลี่ยนแปลงค่าตัวคปาซิเตอร์ตามภาระของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	52
ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบสตาร์	62
ตารางที่ 6.2 ผลการทดลองต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเดลต้า	66
ตารางที่ 6.3 ผลการทดลองคืนพลังงานสูงสุดทุกความถี่โดยต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบสตาร์	71
ตารางที่ 6.4 ผลการทดลองคืนพลังงานสูงสุดทุกความถี่โดยต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบเดลต้า	73
ตารางที่ 7.1 สรุปการเปรียบเทียบการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำในแบบต่างๆ	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้าที่

รูปที่ 2.1 แสดงการใช้งานเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับในวงการอุตสาหกรรม	4
รูปที่ 2.2 ภาพตัดของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดกรงกระรอก	5
รูปที่ 2.3 โหมมคการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	6
รูปที่ 2.4 แสดงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ต่อเข้ากับระบบเครือข่าย	7
รูปที่ 2.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ตัวกระตุ้นแยกออกจากระบบโดยใช้อินเวอร์เตอร์	8
รูปที่ 2.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ตัวกระตุ้นแยกออกจากระบบโดยใช้ตัวเก็บประจุ	9
รูปที่ 3.1 รูปแบบวงจรสมมูลของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อเฟส	10
รูปที่ 3.2 การพัฒนาวงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	11
รูปที่ 3.3 วงจรสมมูลแบบประมาณของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	11
รูปที่ 3.4 ไดอะแกรมแสดงการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	13
รูปที่ 3.5 วงจรสมมูลจากการทดสอบขณะเปิดวงจร	14
รูปที่ 3.6 วงจรการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า	14
รูปที่ 3.7 วงจรการทดสอบหาค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์	15
รูปที่ 3.8 วงจรการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบยึดตัว โรเตอร์	15
รูปที่ 4.1 แสดงการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเชื่อมกับเครือข่าย	18
รูปที่ 4.2 แสดงการต่อวงจร Power meter 1 เฟส และ 3 เฟส กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	19
รูปที่ 4.3 แสดงการต่ออุปกรณ์เพื่อการทดลองคืนพลังงานผ่าน Variac เข้าระบบการไฟฟ้า	19
รูปที่ 4.4 แสดงรูปคลื่นตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง เมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบสตาร์ที่ระดับ 44.12 V, 2.0 A และมุม $\phi = 111.68$ องศา	27
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ากับค่าสลิปที่ระดับเปอร์เซ็นต์แรงดันไฟฟ้าต่าง ๆ เมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบสตาร์	27
รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการทดลองกับการคำนวณที่แรงดันไฟฟ้า 50 % ของพิกัดเมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบสตาร์	28
รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการทดลองกับการคำนวณที่แรงดันไฟฟ้าพิกัด เมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบสตาร์	28
รูปที่ 4.8 แสดงรูปคลื่นตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง เมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบเดลต้าที่ระดับ 89.52 V, 2.03 A และมุม $\phi = 139.72$ องศา	34
รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ากับค่าสลิปที่ระดับเปอร์เซ็นต์แรงดันไฟฟ้าต่าง ๆ เมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเดลต้า	34
รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการทดลองกับการคำนวณที่แรงดันไฟฟ้า 50 % ของพิกัดเมื่อต่อเครื่องกำเนิดแบบเดลต้า	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการทดลองกับการคำนวณที่แรงดันไฟฟ้าพิกัด เมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเคลด้า	35
รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการทดลองกับค่าสลิป ที่แรงดันไฟฟ้า 50 % และที่ แรงดันไฟฟ้าพิกัด ของการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบสตาร์และแบบเคลด้า เข้ากับระบบเครือข่าย	36
รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟสกับค่าสลิป ที่เปอร์เซ็นต์แรงดันไฟฟ้าของ การต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบสตาร์และแบบเคลด้าเข้ากับระบบเครือข่าย	36
รูปที่ 5.1 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นด้วยตัวเอง	38
รูปที่ 5.2 แรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นด้วยตัวเองขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า	39
รูปที่ 5.3 แสดงรูปการทดลองและการวัดค่าต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	40
รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์กับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเมื่อต่อแบบสตาร์	49
รูปที่ 5.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์กับกระแสไฟฟ้าเมื่อต่อแบบสตาร์	50
รูปที่ 5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์กับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเมื่อต่อแบบเคลด้า	50
รูปที่ 5.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์กับกระแสไฟฟ้าเมื่อต่อแบบเคลด้า	51
รูปที่ 5.8 กราฟการเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุตามขนาดของโหลดความต้านทาน ที่ความเร็วโรเตอร์ 1258 rpm	53
รูปที่ 5.9 กราฟการเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุตามขนาดของโหลดความต้านทาน ที่ความเร็วโรเตอร์ 1352 rpm	54
รูปที่ 5.10 กราฟการเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุตามขนาดของโหลดความต้านทาน ที่ความเร็วโรเตอร์ 1517 rpm	54
รูปที่ 5.11 กราฟการเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุตามขนาดของโหลดความต้านทาน ที่ความเร็วโรเตอร์ 1628 rpm	55
รูปที่ 6.1 การติดตั้ง Induction Generator กับแหล่งจ่ายกระตุ้นแยกจากการไฟฟ้า	56
รูปที่ 6.2 ประยุกต์ใช้งานให้สามารถปรับความถี่ตามความเร็วต้นกำลังขับ และความถี่ด้านขับ โหลดไม่เปลี่ยนแปลง	57
รูปที่ 6.3 แสดงวงจรและ โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ควบคุมมอเตอร์โดยทั่วไป	57
รูปที่ 6.4 แสดงการตัดแปลงอินเวอร์เตอร์ให้สามารถสะสมพลังงานเก็บเข้าแบตเตอรี่ได้	58
รูปที่ 6.5 แสดงการทำงานของอินเวอร์เตอร์ใน 4 จตุภาค (Four-Quadrant)	60
รูปที่ 6.6 แสดงการต่ออุปกรณ์เพื่อการทดลองคืนพลังงานผ่านอินเวอร์เตอร์แล้วเก็บพลังงาน ในแบตเตอรี่	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 6.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสลิปกับกำลังไฟฟ้าที่ความถี่ต่าง ๆ เมื่อเครื่องกำเนิด ต่อแบบสตาร์	70
รูปที่ 6.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสลิปกับกำลังไฟฟ้าที่ความถี่ต่าง ๆ เมื่อเครื่องกำเนิด ต่อแบบเดลต้า	70
รูปที่ 6.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถกินได้ ที่พิกัดกระแส กับความเร็วโรเตอร์เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อแบบสตาร์	75
รูปที่ 6.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถกินได้ ที่พิกัดกระแส กับความเร็วโรเตอร์เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อแบบเดลต้า	76
รูปที่ 6.11 แสดงประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์เมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบสตาร์ และแบบเดลต้า	76
รูปที่ 7.1 ยานการกินกำลังไฟฟ้าของการต่อในแต่ละแบบ	78



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานลม จัดเป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่งซึ่งใช้ไม่มีวันหมด และปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีกังหันลมเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าก็ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้หลายประเทศทั่วโลกให้ความสนใจในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม โดยเฉพาะในทวีปยุโรป ประเทศที่มีกังหันลมมากที่สุดในปัจจุบันคือ ประเทศเยอรมนี โดยตัวเลขล่าสุดในปี 2001 เยอรมนีผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมถึง 8,754 เมกะวัตต์ รองลงมาคือ สหราชอาณาจักร ผลิตกระแสไฟฟ้าจากฟาร์มกังหันลมได้ 4,200 เมกะวัตต์ ตามมาด้วยสเปน 3,300 เมกะวัตต์ เดนมาร์ก 2,400 เมกะวัตต์ ซึ่งเมื่อดูจากขนาดประเทศแล้ว สเปนถือว่าเป็นดาวรุ่ง รองลงมาคือสหรัฐอเมริกา

ยกตัวอย่างประเทศเดนมาร์ก ซึ่งมีการส่งเสริม และสนับสนุนการใช้กังหันลมผลิตไฟฟ้าอย่างจริงจังและต่อเนื่อง ทั้งนี้ ประเทศเดนมาร์ก มีการส่งออกเทคโนโลยีกังหันลมและสนับสนุนพลังงานลมมากที่สุดในโลก (คิดเป็นร้อยละ 50 ของการกักกังหันลมของโลก) โดยมีบริษัทชั้นนำเป็นผู้ผลิตกังหันลมรายใหญ่ของประเทศ เนื่องจากมีศักยภาพพลังงานลมสูง ปัจจุบันประเทศเดนมาร์กมีกำลังการผลิตจากพลังงานลมสูงถึง 2,400 เมกะวัตต์ หรือคิดเป็นร้อยละ 14 ของกำลังการผลิตติดตั้งของประเทศ และตั้งเป้าหมายไว้ว่าจะเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมเป็น 5,000 เมกะวัตต์ ภายในปี ค.ศ. 2010 เกาะแซมโซ (Samsoe) เป็นตัวอย่างที่เห็นได้ชัดในการสนับสนุนการใช้พลังงานลมผลิตไฟฟ้าของประเทศเดนมาร์ก และปัจจุบันเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียง โดยเป็นเกาะที่ใช้กังหันลมผลิตไฟฟ้ามากที่สุด จำนวน 11 ตัว กำลังผลิตแต่ละประมาณ 2.3 เมกะวัตต์ หรือสามารถผลิตไฟฟ้าได้โดยเฉลี่ยรวมเท่ากับ 28,000 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี ขณะเดียวกันสิ่งที่น่าสนใจคือ เจ้าของกังหันลมโดยส่วนใหญ่ จะเป็นเกษตรกรหรือกลุ่มสหกรณ์ ซึ่งชี้ให้เห็นถึงการผลิตพลังงานกับชุมชนที่สามารถอยู่ร่วมกันได้

ทั้งนี้ จากอนุสัญญาเกียวโต (Kyoto Protocol) ที่กำหนดให้ประเทศที่พัฒนาแล้ว ต้องลดการปล่อยก๊าซ CO₂ หรือก๊าซเรือนกระจก ดังนั้นการส่งเสริมการใช้พลังงานลม จึงเป็นแนวทางหนึ่งของประเทศเดนมาร์กในการลดการปล่อยก๊าซ CO₂ โดยมีเป้าหมายที่จะลดการปล่อย ก๊าซดังกล่าวให้ได้จำนวน 21 % ภายในปี 2008 – 2012 เมื่อเทียบกับปี 1990

ประเทศไทย แม้ว่าขณะนี้การใช้พลังงานลมจะยังมีไม่มากเท่าที่ควร แต่จากการศึกษาแผนที่ศักยภาพพลังงานลม ซึ่งจัดทำโดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน พบว่าแหล่งพลังงานลมที่ดีที่จะสามารถติดตั้งกังหันลมและพัฒนาได้ในอนาคต โดยมีกำลังลมเฉลี่ยทั้งปีระดับ 3 (Class 3) หรือมีความเร็วลม 6.4 เมตร/วินาที ขึ้นไปที่ความสูง 50 เมตร อยู่ที่ภาคใต้บริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออก เริ่มตั้งแต่จังหวัดนครศรีธรรมราช สงขลา ปัตตานี และอุทยานแห่งชาติต่างๆ เช่น คอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ รวมถึงบริเวณเทือกเขาด้านทิศตะวันตกตั้งแต่ภาคใต้ตอนบนจรดภาคเหนือตอนล่าง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม แม้เป็นพลังงานสะอาด แต่ปัจจุบันพบว่ายังมีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่สูงอยู่และจำเป็นต้องได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐ อย่างไรก็ตามในอนาคตคาดว่าเทคโนโลยีดังกล่าวจะมีการพัฒนาให้ก้าวหน้ามากขึ้น และต้นทุนการผลิตที่ลดต่ำลง ซึ่งจะส่งผลให้มีการใช้กังหันลมในการผลิตไฟฟ้ามากขึ้น และเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซ CO₂ ของโลก

ในการทำโครงการนี้ กล่าวถึงเรื่องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เป็นการทำให้เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสทำงานในสถานะที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งได้มีการจัดทำปฏิญานิพนธ์ในหัวข้อที่เกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้มาหลายครั้งแล้ว โครงการนี้จึงได้มีแนวคิดที่จะนำผลการทดลองของแต่ละปีที่มีแนวทางการจัดทำที่แตกต่างกันออกไป มาทำการวิเคราะห์แต่ละแนวทางหาข้อดีข้อเสียของแต่ละวิธีการต่อไป

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำไปใช้งานและรวบรวมแนวความคิดต่าง ๆ นำมาเปรียบเทียบหา ข้อดี-ข้อเสีย ด้านสมรรถนะทางไฟฟ้าของแต่ละชนิดได้

1.2.2 ต้องการพิจารณาหาความสัมพันธ์ผลของการทดสอบกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ผลกระทบตลอดจนประสิทธิภาพที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้

1.2.3 เพื่อเป็นการนำเสนอแนวคิดและเพื่อศึกษาหาความเหมาะสมของการนำไปใช้งานหรือนำไปพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อไปได้

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ในการนำเสนอเทคนิคและกระบวนการวิเคราะห์คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยทำการทดสอบกับเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ขนาด 1 แรงม้า ซึ่งมีการเก็บค่าการทดสอบไว้แล้ว โครงการนี้จะทำการวิเคราะห์คุณลักษณะเพื่อให้สามารถอธิบายความเป็นไปได้ของกำลังการผลิตและความสูญเสียในส่วนต่าง ๆ จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำของการนำไปใช้งานในแต่ละชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

การศึกษาด้านกำลังการผลิตที่ได้จากแท่นทดสอบมีความแตกต่าง โดยสิ้นเชิงจากการนำไปใช้งานจริง เพราะต้นกำลังของการทดสอบมีความถี่ของการหมุนคงที่ แต่การนำไปใช้กับพลังงานจากลมจริง ๆ จะมีความถี่ในการหมุนที่ไม่คงที่ จึงมีผลทำให้การผลิตกำลังไฟฟ้าที่ได้ออกมามีค่าไม่คงที่เช่นกัน

ในการทำโครงการนี้จะพิจารณาในย่านของการทำงานปกติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเท่านั้น ซึ่งหมายความว่าอยู่ในช่วงที่สนามแม่เหล็กไม่เกิดการอิ่มตัวจากความเร็วที่สูงเกินไป เพื่อที่จะยืนยันกับทฤษฎีได้ตามความเหมาะสม อีกทั้งยังไม่คำนึงถึงฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้น เพราะมีความละเอียดอ่อนเกินกว่าจะศึกษาให้เข้าใจได้จากการทำโครงการนี้

1.4 วิธีดำเนินการศึกษา

การทำโครงการนี้ เริ่มด้วยการการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ โดยมีขั้นตอนรายละเอียดต่าง ๆ เป็นลำดับดังนี้

โดยเริ่มจากรายละเอียดในบทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โหมคการทำงานที่ได้ให้ความสำคัญแรงบิดกับความเร็วย้อนมาแสดงเป็นกราฟ ลักษณะการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำไปใช้งานทั้ง 3 แบบ ซึ่งจะได้แสดงรายรายละเอียดในบทต่อ ๆ ไป

ในบทที่ 3 จะกล่าวถึงวงจรสมมูลของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำและการนำค่านั้นไปคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า ค่าสูญเสีย แต่ละส่วนของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และได้แสดงค่าพารามิเตอร์จากการทดสอบตามทฤษฎีที่กล่าวไว้ด้วย

บทที่ 4 กล่าวถึงการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเข้ากับระบบเครือข่ายของการไฟฟ้าโดยตรง รวมทั้งมีผลการทดลอง โดยอ้างอิงจากข้อมูลที่เกี่ยวข้องและมีการนำทฤษฎีมาคำนวณ พร้อมทั้งเปรียบเทียบค่าจากการทดลองกับค่าจากการคำนวณ

บทที่ 5 นำเรื่องการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเองด้วยการนำตัวเก็บประจุมาใช้งานร่วม ซึ่งผลการทดลองที่กล่าวจะอ้างอิงจากข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ในบทที่ 6 จะกล่าวในเรื่องการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากอินเวอร์เตอร์ที่นำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อให้สามารถชาร์จแบตเตอรี่ โดยมีลำดับขั้นตอนการทดสอบอ้างอิงจากข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 7 จะนำการใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั้ง 3 แนวทางที่ได้กล่าวมาแล้วในบทต้น ๆ มาเปรียบเทียบกันให้เห็น ข้อดี - ข้อเสีย เปรียบเทียบกันในด้านสมรรถนะทางไฟฟ้า

บทที่ 2

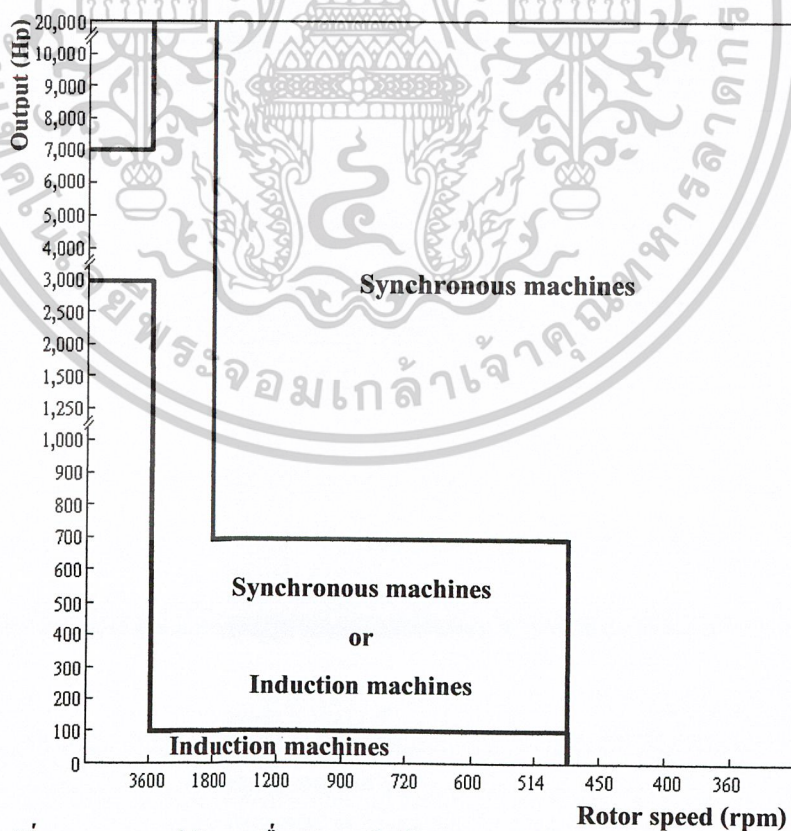
ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เครื่องจักรกลไฟฟ้าสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 2 กลุ่มด้วยกัน คือ

- เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งใช้งานระดับปานกลางที่ขนาดไม่สูงมากนัก
- เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งถูกใช้งานในวงการอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง

ในกรณีของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับนั้นยังสามารถแยกออกไปเป็นหลักใหญ่ ๆ อีก 2 ชนิด คือ เครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัส (Synchronous Machines) ซึ่งมีความเร็วรอบของโรเตอร์เท่ากับความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน และอีกชนิดคือ เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induction machines) ซึ่งความเร็วของโรเตอร์จะไม่เท่ากับความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำจึงถูกเรียกอีกอย่างว่า เครื่องจักรกลอะซิงโครนัส

เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถพบเห็นการทำงานทั่วไปทั้ง มอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และเบรก มีทั้งเฟสเดียวและหลายเฟส โดยจะออกแบบตามระบบกำลังไฟฟ้าของแต่ละประเทศผู้ใช้งาน โดยจะนิยมใช้เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด ซึ่งพอจะสรุปการจัดเป็นแนวทางตามความเหมาะสมในการนำเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัสและเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำไปใช้งานตามรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงการใช้งานเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับในวงการอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

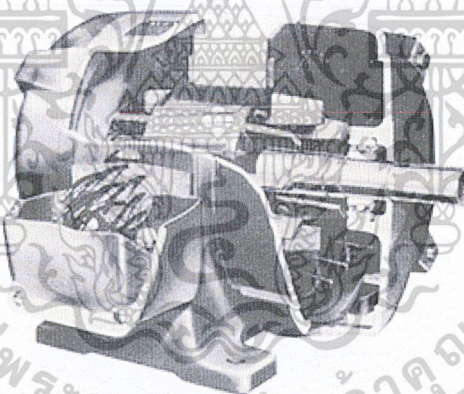
2.1 โครงสร้างของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

การพิจารณาหลักการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำ 3 เฟส ทั้งเพื่อเป็นพื้นฐานในการเรียนรู้และการประยุกต์ใช้งานเครื่องจักรกลดังกล่าวต่อไป ซึ่งในปัจจุบันเห็นได้ว่าเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำถูกนำไปใช้งานในกระบวนการการผลิตทางอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีโครงสร้างแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ สเตเตอร์ (stator) เป็นส่วนที่อยู่กับที่ และ โรเตอร์ (rotor) เป็นส่วนที่หมุนเคลื่อนที่ ซึ่งประกอบติดกับเพลาขับเคลื่อน ระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์จะมีช่องว่างอากาศห่างกันประมาณ 0.4 มิลลิเมตร ถึง 4 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับพิสัยของมอเตอร์

สเตเตอร์ ทำจากแผ่นเหล็กซิลิกอนบางๆ (silicon sheet steel) เคลือบด้วยฉนวนไฟฟ้า และจะนำมาอัดซ้อนเป็นแกน (lamination) โดยยึดเข้าด้วยกันกับโครงเหล็กรูปทรงกระบอกที่เป็นโครงสร้างภายนอก ร่องสลิตจะใช้สำหรับใส่ขดลวดทองแดงเคลือบฉนวนไฟฟ้า โดยมีฉนวนเช่น ไมก้า (Mica) รองกันระหว่างขดลวดทองแดงและแกนเหล็ก

โรเตอร์ ประกอบด้วยแผ่นเหล็ก วางซ้อนกันเป็นแกน และยึดติดกับเพลาหมุน โรเตอร์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดด้วยกัน คือ

ก.) โรเตอร์ชนิดกรงกระรอก (Squirrel cage type rotor) ซึ่งประกอบด้วยแท่งตัวนำที่ทำมาจากอลูมิเนียม หรือทองแดง ฝังอยู่ในร่องสลิตของโรเตอร์ โดยที่ตัวนำดังกล่าวนี้ถูกฉลัดวงจรที่ปลายทั้งสองด้านด้วยตัวนำ อลูมิเนียมหรือทองแดงรูปวงแหวน

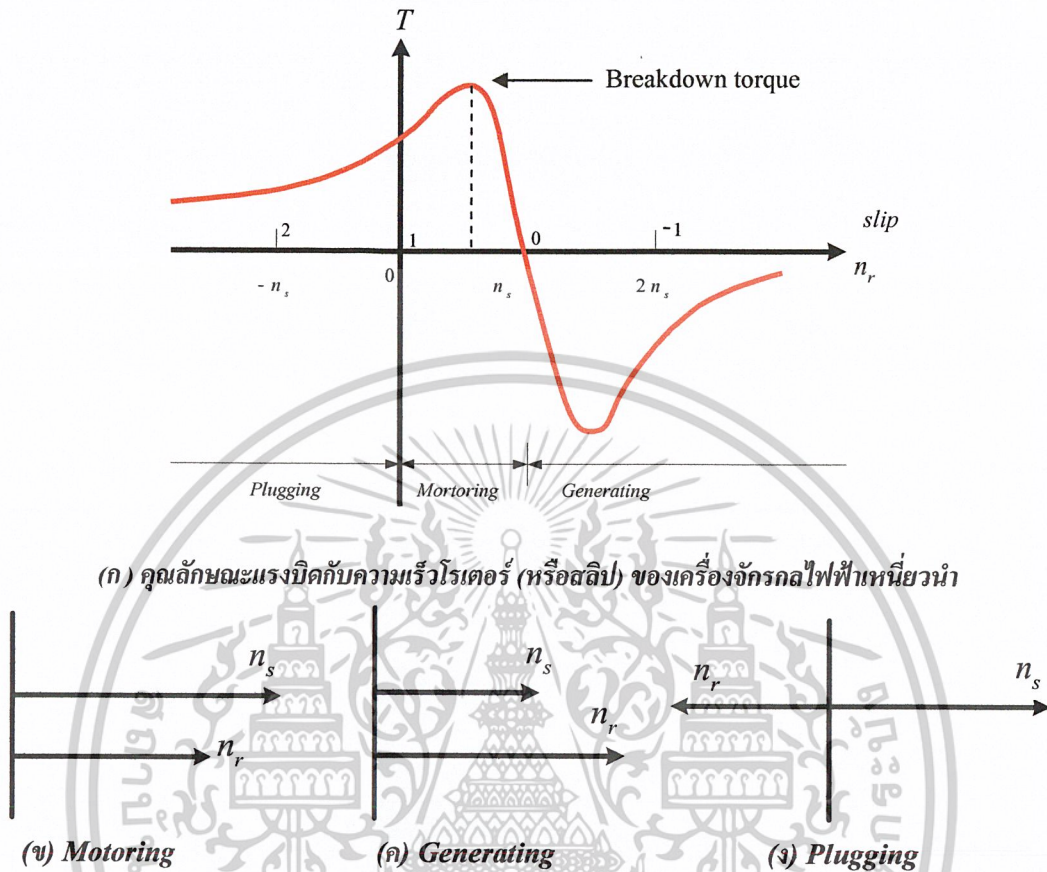


รูปที่ 2.2 ภาพตัดของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดกรงกระรอก

ข.) โรเตอร์ชนิดขดลวดพัน (Wound rotor type rotor) ซึ่งลักษณะการพันของขดลวดเหมือนกับขดลวดสเตเตอร์ โดยที่ขั้วของขดลวดโรเตอร์ถูกต่อเข้ากับวงแหวนลื่น (slip rings) ทั้ง 3 ชุด และโรเตอร์ชนิดดังกล่าวนี้สามารถต่อความต้านทานจากวงจรภายนอกเข้าไปได้ ทั้งนี้เพื่อจุดประสงค์ในการปรับปรุงรูปคลื่นของแรงเคลื่อนแม่เหล็ก (magnitomotive force; mmf) แรงบิดที่เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำสร้างขึ้นและการควบคุมความเร็ว โดยที่การวางขดลวดเป็นลักษณะวางแบบกระจายทั้งที่โรเตอร์และสเตเตอร์ในแต่ละเฟส ดังนั้นเมื่อกระแสไหลผ่านขดลวดที่วางกระจาย มันจะทำให้เกิดการกระจายของแรงเคลื่อนแม่เหล็กในลักษณะรูปคลื่นไซน์ซอซอดัลย์ (sinusoidal) ในช่องว่างอากาศ

2.2 ทฤษฎีการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

การทำงานของเครื่องจักรกลเหนี่ยวนำแบ่งออกเป็น 3 โหมดการทำงาน ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โหมดการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

2.2.1 โหมดการทำงานเป็นมอเตอร์ (Motoring)

ถ้าขดลวดสเตเตอร์ถูกต่ออยู่กับแหล่งจ่าย 3 เฟส โรเตอร์จะหมุนในทิศทางตามสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ ซึ่งถือว่าเป็นโหมดการทำงานตามปกติของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยที่ความเร็ว $n_r < n_s$ มีค่าสลิป $0 < s < 1$ ดังรูปที่ 2.3 (ข)

2.2.2 โหมดการทำงานเป็นเครื่องกำเนิด (Generating)

ในกรณีที่ปรับความเร็วของระบบขับเคลื่อนให้มีค่าสูงกว่าความเร็ว n_s และการหมุนของระบบยังอยู่ในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ ดังรูปที่ 2.3 (ค) เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะสร้างแรงบิดที่เรียกว่า “generating torque” แรงบิดดังกล่าวนี้จะมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการหมุนของโรเตอร์ (หรือตรงข้ามกับสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์นั่นเอง) ซึ่งการทำงานในโหมดนี้ยังสามารถใช้ประโยชน์ในการหยุดของเครื่องจักรในระบบขับเคลื่อนที่เรียกว่า “regenerative braking” โดยที่ความเร็ว $n_r > n_s$ มีค่าสลิป $s < 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 โหมคการทำงานโดยความเร็วโรเตอร์กลับทิศทาง (Plugging)

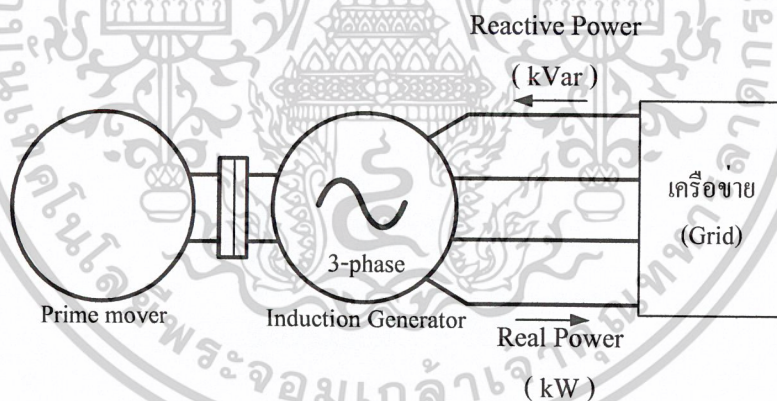
โหมคการทำงานนี้สามารถประยุกต์ใช้ในการหยุดหมุนมอเตอร์อย่างทันทีทันใดได้โดยอาศัยการทำให้สนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์หมุนในทิศทางตรงข้ามกับการหมุนของโรเตอร์ และขบวนการดังกล่าวนี้ เรียกว่า “Plugging operation” มีค่าสลิป $s > 1$ ดังรูปที่ 2.3 (ง) ซึ่งจะทำให้ความเร็วของมอเตอร์กลับมาเป็นศูนย์อย่างรวดเร็วและเพิ่มขึ้นในทิศทางที่ตรงกันข้ามจนกว่าแหล่งจ่ายจะถูกปลดออกที่ความเร็วเป็นศูนย์

2.3 ลักษณะการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำไปใช้งาน

เราสามารถแบ่งประเภทของการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำไปใช้งานได้ตามลักษณะของการเชื่อมต่อได้ดังนี้

2.3.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ต่อเชื่อมกับเครือข่าย (Grid-connected Induction Generator)

หลักการการทำงานเมื่อต่อเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำเข้ากับระบบเครือข่าย (Grid-system) โดยตรง ซึ่งยังไม่มีตัวต้นกำลัง (Prime mover) มันจะแสดงพฤติกรรมเป็นมอเตอร์ และรับกำลังไฟฟ้าจากระบบเครือข่าย โดยหมุนด้วยความเร็วโรเตอร์ (rotor speed) ซึ่งต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัส เนื่องจากมีค่าสลิป แต่เมื่อเราให้ตัวต้นกำลังไปยังโรเตอร์ ในทิศทางความเร็วเดิมจนความเร็วของโรเตอร์มากกว่าความเร็วซิงโครนัส ขณะนี้เองที่ทิศทางของกำลังไฟฟ้าจะไหลกลับสู่ระบบเครือข่าย



รูปที่ 2.4 แสดงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ต่อเข้ากับระบบเครือข่าย

ซึ่งเป็นสภาพที่เครื่องจักรไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเริ่มแสดงพฤติกรรมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อแสดงพฤติกรรมเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำจะมีข้อจำกัดคือ ถึงแม้ว่าจะสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง (กิโลวัตต์) ให้กับระบบเครือข่ายแล้วก็ตาม แต่ยังคงไม่สามารถสร้างกำลังไฟฟ้าจินตภาพ (กิโลวาร์) ขึ้นมาเองได้ ในทางตรงกันข้าม กลับมีความต้องการกำลังไฟฟ้าจินตภาพจากระบบเครือข่ายอีกด้วย ทั้งนี้เพื่อต้องการนำไปสร้างสนามแม่เหล็ก (Electromagnetic field) ที่ส่วนกระตุ้น (exciting) สำหรับแรงดันไฟฟ้าและความถี่จะขึ้นอยู่กับระบบเครือข่ายที่ต่ออยู่ แต่จะไม่ขึ้นกับความเร็วของโรเตอร์เลย

ระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ต่อกับระบบเครือข่าย ข้อดีที่สำคัญคือเป็นระบบที่ง่ายไม่ซับซ้อนและไม่ต้องการตัวต้นกำลังที่มีความเร็วคงที่ แต่ต้องการตัวต้นกำลังที่มีความเร็วของโรเตอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

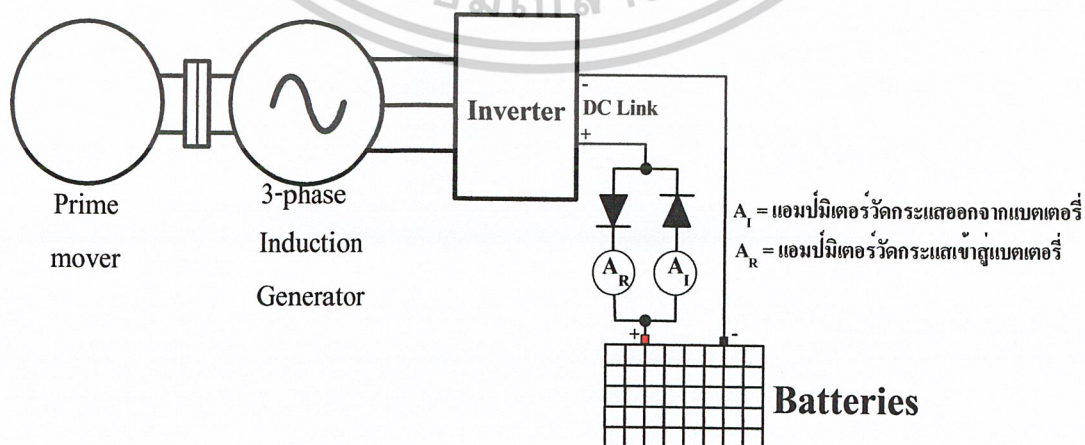
มากกว่าความเร็วซึ่ง โครนัสเท่านั้น จึงพบกันอย่างแพร่หลายในระบบพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาจากพลังงานลม โดยใช้กังหันลมขนาดกลาง (Medium Wind Turbine) และขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine) ที่ใช้สำหรับผลิตกำลังไฟฟ้าแบบต่อเชื่อมกับเครือข่าย ส่วนใหญ่จะมีการติดตั้งแบบหลายตัวเป็นทุ่งกังหันลม (Wind Turbine Farm) ทั้งบนบกและในทะเล ซึ่งในส่วนของประเทศไทยนั้น ระบบนี้ได้นำมาใช้ที่สถานีพลังงานทดแทนพรหมเทพ อยู่ที่แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต (ซึ่งอยู่ห่างจากกรุงเทพฯ 900 กิโลเมตร ที่สถานีฯ นี้ซึ่งแต่เดิมไม่มีเครื่องอำนวยความสะดวกใด ๆ มาก่อน แต่ด้วยแรงลมตะวันตกเฉียงใต้จากทะเลอันดามันในช่วงมรสุม อีกทั้งความเข้มแสงอาทิตย์ ที่ค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดทั้งปี แหลมพรหมเทพนี้ จึงเป็นที่ตั้งสมบูรณ์แบบ สำหรับการทดลองเซลล์แสงอาทิตย์ และกังหันลม) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าร่วม เซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมขนาดเล็ก (Small Wind Turbine) เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เป็นชนิด 3 เฟส ขนาดแรงดัน 400 โวลต์ 50 Hz กังหันลมเครื่องนี้ติดตั้งใช้งานเมื่อเดือนกรกฎาคม 2539 ที่สถานีพลังงานทดแทนที่เกาะภูเก็ต ซึ่งปัจจุบันใช้งานอยู่ 3 เครื่อง ได้แก่ กังหันลมขนาด 10 กิโลวัตต์ จำนวน 2 เครื่อง เป็นกังหันลมที่ผลิตไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อประจุแบตเตอรี่ 240 โวลต์ ชุดเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์

2.3.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบที่แยกจากเครือข่าย (Isolated Induction Generator)

การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบนี้จะทำงานเพียงลำพังและจ่ายภาระทางไฟฟ้าเฉพาะ (Specific load) ค่าหนึ่งเท่านั้น แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

ก.) แบบแหล่งจ่ายกระตุ้นแยก (Separate-Excited Induction Generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบนี้จะสร้างแหล่งจ่าย ขึ้นมาเพื่อนำ ไปสร้างสนามแม่เหล็กหมุนซึ่งอาจจะใช้แบตเตอรี่ แล้วใช้อินเวอร์เตอร์ เพื่อทำการแปลงพลังงานของแบตเตอรี่ที่เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงมาเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ และภายในของอินเวอร์เตอร์จะต้องมีตัวเก็บประจุ ถ้าไม่มีตัวเก็บประจุจะทำให้ไม่เกิดการสร้างแรงดันไฟฟ้า (Build-up) เพราะไม่มีการชดเชยกำลังไฟฟ้าจินตภาพให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ



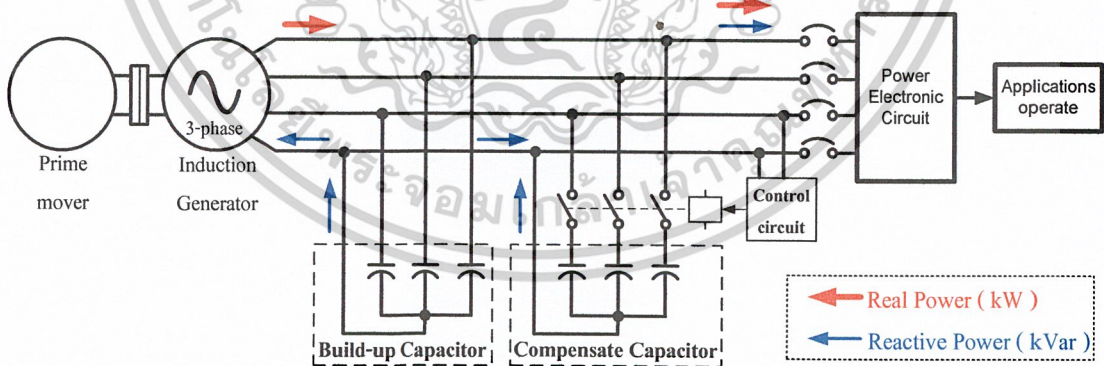
รูปที่ 2.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ตัวกระตุ้นแยกออกจากระบบโดยใช้อินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทํางานจะคล้ายกับระบบที่ต่อเข้ากับเครือข่ายโดยตรง โดยเริ่มต้นจะจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ที่มาจากอินเวอร์เตอร์เข้าไปยังเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เพื่อนํามาสร้างสนามแม่เหล็กหมุน (Rotating Magnetic Field) โดยที่ขณะนี้เครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะแสดงพฤติกรรมเป็นมอเตอร์และรับกำลังไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์ หลังจากนั้นจึงค่อยจ่ายตัวต้นกำลังทางกลเข้าไปทางเพลาของเครื่องจักรที่ต่ออยู่กับโรเตอร์ จนความเร็วของโรเตอร์มากกว่าความเร็วซิงโครนัสซึ่งเป็นความเร็วที่ได้จากค่าสนามแม่เหล็กหมุน และในขณะนี้เองที่กำลังไฟฟ้าจะกลับทิศโดยไหลกลับไปยังแหล่งจ่ายซึ่งเป็นพฤติกรรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยสามารถจ่ายโหลดได้โดยตรงและสามารถนำกลับไปสะสมในแบตเตอรี่ได้ โดยสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าและความถี่ในการใช้งานได้จากการควบคุมแรงดันไฟฟ้าและความถี่ของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งต้องมีการควบคุมที่เหมาะสมกับความเร็วของโรเตอร์ตลอดจนภาระโหลดที่อาจมีการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่คงที่และเหมาะสมตลอดย่นการใช้งาน สิ่งที่ต้องพิจารณาอีกประการคือ แหล่งจ่ายกระแสกระตุ้นเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กซึ่งในที่นี้คือแบตเตอรี่ ต้องมีขนาดเพียงพอต่อการกระตุ้นสร้างสนามแม่เหล็กของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ข.) แบบกระตุ้นด้วยตัวเอง (Self-Excited Induction Generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะได้รับกระแสกระตุ้นจากตัวเก็บประจุ ในกรณีเช่นนี้ไม่จำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับจากภายนอก มีหลักการคล้ายกับอินเวอร์เตอร์ แต่สามารถใส่ค่าตัวเก็บประจุเพิ่มเข้าไปในระบบได้อีก โดยมากแล้วจะนำ 2 แบบนี้มาใช้ผสมกัน รูปที่ 2.6 จะมีการเพิ่มค่าของตัวเก็บประจุตามขนาดภาระทางไฟฟ้า โดยมีชุดควบคุมการเพิ่มและลดค่าของตัวเก็บประจุเพื่อให้เหมาะสมกับความเร็วโรเตอร์และขนาดของโหลด



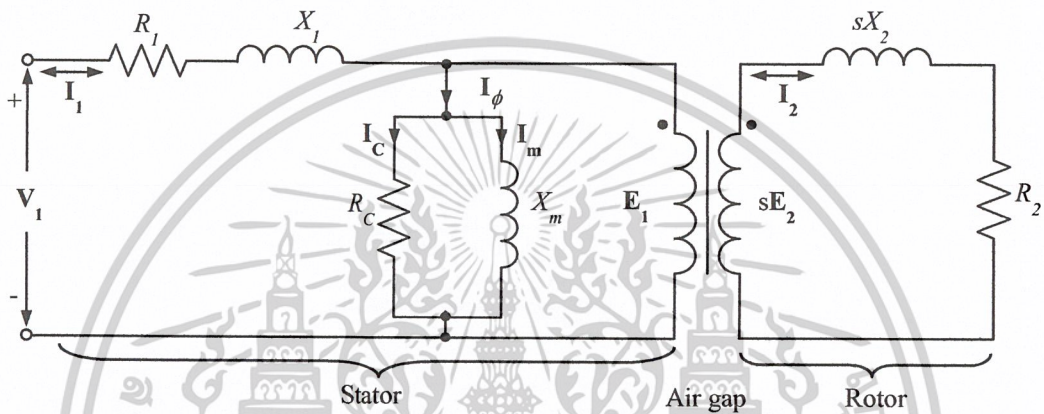
รูปที่ 2.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ตัวกระตุ้นแยกออกจากระบบโดยใช้ตัวเก็บประจุ

บทที่ 3

วงจรมุมของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

3.1 รูปแบบวงจรมุม (Equivalent circuit model)

การศึกษาสมรรถนะของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะพิจารณาจากวงจรมุม โดยมีลักษณะเหมือนกับวงจรมุมของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งข้อแตกต่างของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ต่างจากหม้อแปลงไฟฟ้าคือมีช่องว่างอากาศ (Air gap) ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 รูปแบบวงจรมุมของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อเฟส

3.1.1 วงจรมุมของสเตเตอร์ต่อเฟส (Per Phase Stator Equivalent Circuit)

วงจรมุมทางไฟฟ้าของสเตเตอร์ต่อเฟสสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 (ก)

เมื่อกำหนดให้

V_1 คือแรงดันไฟฟ้าพิกัดของสเตเตอร์

E_1 คือแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำสร้างจากฟลักซ์แม่เหล็กที่ช่องว่างอากาศ

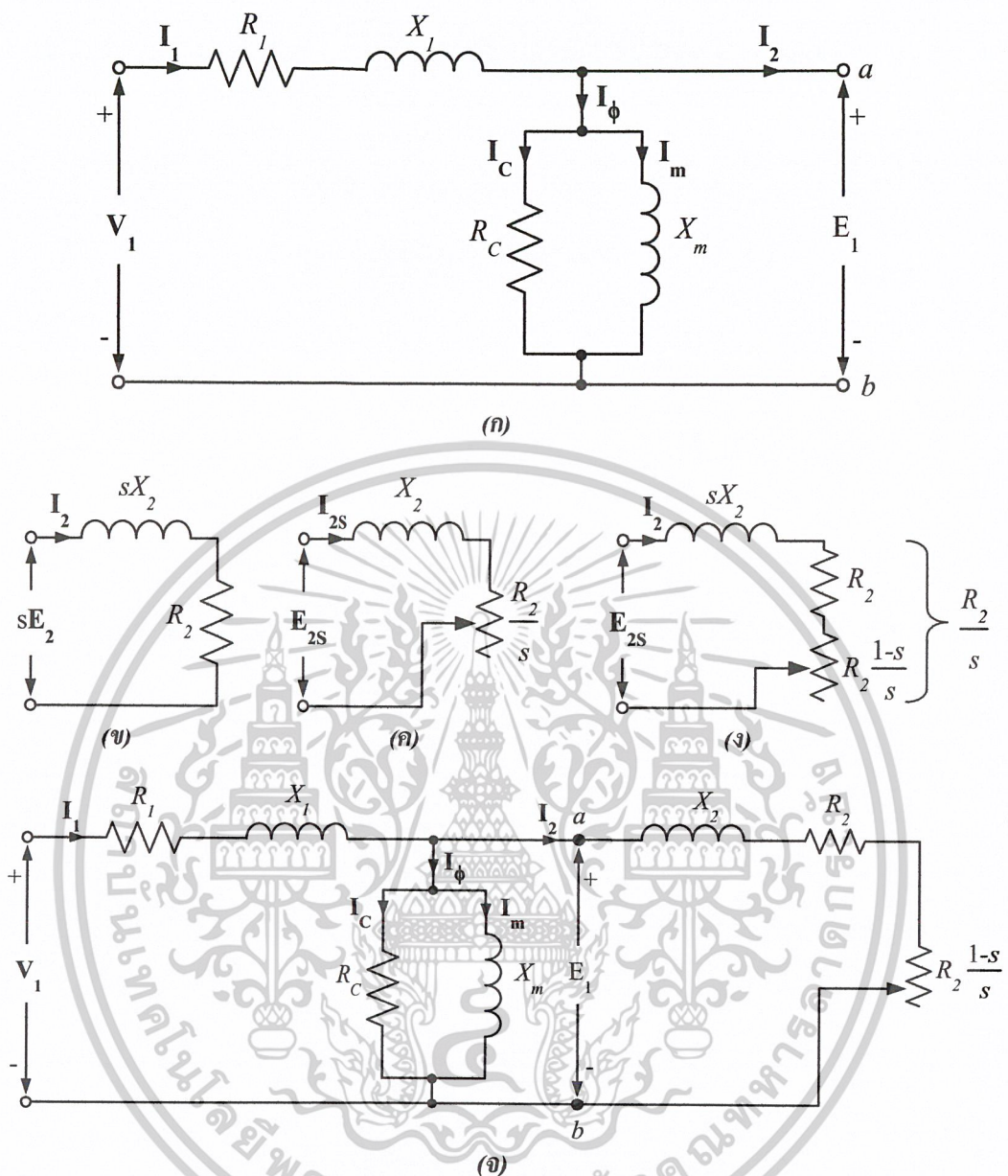
R_1 คือค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์ต่อเฟสขณะหยุดนิ่ง

X_1 คือค่าลิกเกจรแอคแตนซ์ (leakage reactance) ต่อเฟสที่สเตเตอร์

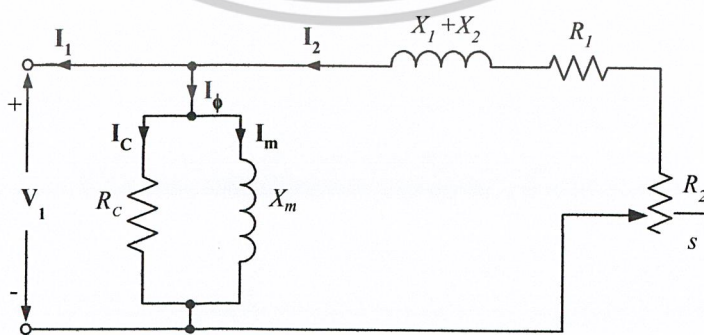
X_m คือค่าลิกเกจรแอคแตนซ์จากการทำแม่เหล็ก (magnetizing reactance) ที่สเตเตอร์ต่อเฟส

R_c คือค่าความต้านทานจากการสูญเสียที่แกนเหล็ก (core loss resistance) ที่สเตเตอร์ต่อเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การพัฒนาวงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.3 วงจรสมมูลแบบประมาทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 วงจรสมมูลของโรเตอร์ต่อเฟส (Per Phase Rotor Equivalent Circuit)

ค่าความถี่ของวงจรโรเตอร์จะเปลี่ยนไปตามค่าสลิป วงจรสมมูลของโรเตอร์ที่สลิป s ใด ๆ แสดงดังรูปที่ 3.2 (ข) ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ทางไฟฟ้าที่โรเตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าสลิป

$$X_{2s} = sX_2 \quad (3.1)$$

เมื่อกำหนดให้

X_{2s} คือค่ารีแอกแตนซ์ต่อเฟสของโรเตอร์ที่ค่าสลิปใด ๆ

X_2 คือค่ารีแอกแตนซ์ต่อเฟสของโรเตอร์ขณะหยุดนิ่ง

$$E_{2s} = sE_2 \quad (3.2)$$

เมื่อกำหนดให้

E_2 คือค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของโรเตอร์ต่อเฟสขณะอยู่นิ่ง

E_{2s} คือค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของโรเตอร์ต่อเฟสที่ค่าสลิปใด ๆ

และสำหรับกระแสในวงจรสมมูลโรเตอร์ I_{2s} ที่ความถี่ด้านโรเตอร์ กำหนดได้ตามสมการที่ (3.3)

$$I_{2s} = \frac{sE_2}{R_2 + jsX_2} \quad (3.3)$$

เมื่อกำหนดให้

R_2 คือค่าความต้านทานของขดลวดโรเตอร์ต่อเฟสขณะหยุดนิ่ง

X_2 คือค่ารีแอกแตนซ์ต่อเฟสที่ขดลวดโรเตอร์

ในส่วนประกอบทางด้านภาระ (load component) I_2 ของกระแสทางด้านสเตเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแรงเคลื่อนแม่เหล็กเพื่อต่อต้านแรงเคลื่อนแม่เหล็กทางด้านโรเตอร์เพื่อรักษาระดับฟลักซ์แม่เหล็กในช่องว่างอากาศไว้ และสมมติให้จำนวนรอบของขดลวดด้านสเตเตอร์และด้านโรเตอร์เท่ากัน ดังนั้นค่ากระแสทางด้านสเตเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแรงเคลื่อนแม่เหล็กเพื่อต่อต้านแรงเคลื่อนแม่เหล็กทางด้านโรเตอร์ I_2 และกระแสในวงจรสมมูลของโรเตอร์ I_{2s} จึงมีความสัมพันธ์เป็น

$$I_2 = I_{2s} \quad (3.4)$$

จากสมการ(3.4) จะทำให้สามารถเขียนสมการ (3.3) ใหม่ดังนี้คือ

$$I_2 = \frac{E_2}{\frac{R_2}{s} + jX_2} \quad (3.5)$$

จากวงจรสมมูลรูปที่ 3.2 (ค) ค่ากำลังไฟฟ้าต่อเฟสที่ส่งผ่าน (transfer) ผ่านช่องว่างอากาศ (power transfer across air gap) P_g จะได้

$$P_g = I_2^2 \frac{R_2}{s} \quad (3.6)$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากขดลวดทองแดงที่โรเตอร์ต่อเฟสซึ่งเกิดขึ้นในรูปความร้อนสามารถหาได้จาก

$$P_{cu,2} = I_2^2 R_2 = sP_g \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังไฟฟ้าที่ออกจากโรเตอร์ (rotor output – electromagnetic power)

$$P_e = P_g - P_{cu,2} \tag{3.8}$$

ดังนั้นจากรูปที่ 3.2 (ง) จะเห็นว่าความเร็วขึ้นอยู่กับเทอม $R_2 \frac{(1-s)}{s}$ ดังนั้น กำลังทางกลของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถแสดงได้ดังนี้คือ

$$P_e = (1-s)P_g = I_2^2 R_2 \frac{(1-s)}{s} \tag{3.9}$$

ค่าแรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic torque)

$$T_e = \frac{P_e}{\omega_r} = \frac{P_g}{\omega_s} \tag{3.10}$$

กำลังไฟฟ้าที่ออกจากมอเตอร์ (output power – mechanical power)

$$P_o = P_e - \text{Rotational and Core Losses} \tag{3.11}$$

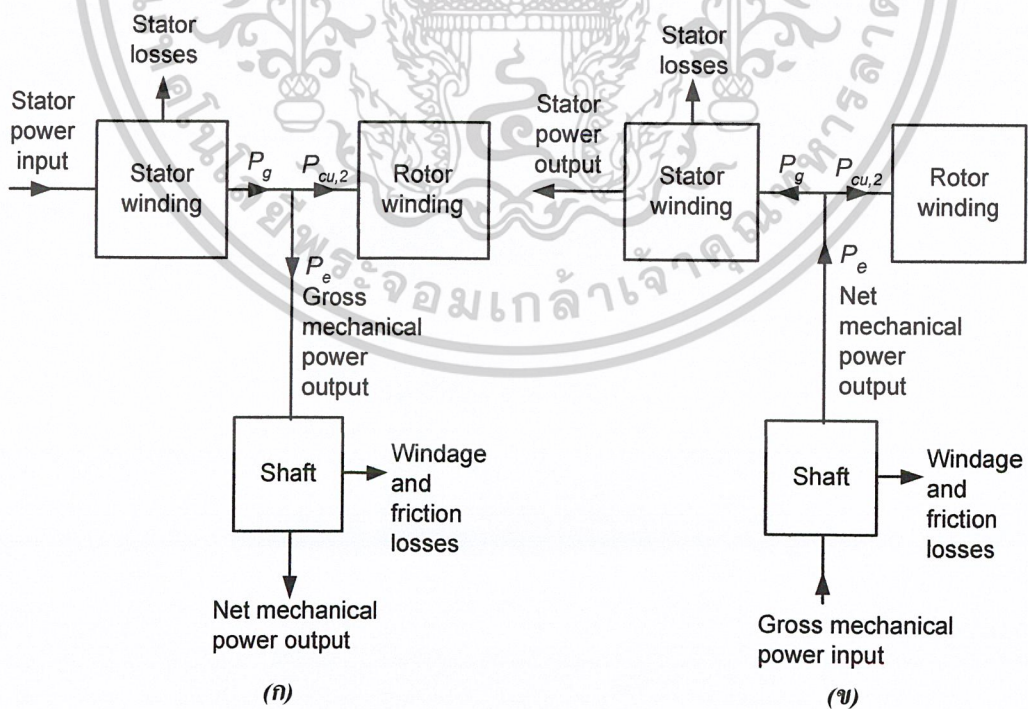
เมื่อทำงานเป็นมอเตอร์จะได้

$$P_g : P_{cu,2} : P_e = 1 : s : (1-s) \tag{3.12}$$

เมื่อทำงานในโหมดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเป็น

$$P_g : P_{cu,2} : P_e = 1 : s : (1+s) \tag{3.13}$$

สามารถเขียนไดอะแกรมได้เป็นดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ไดอะแกรมแสดงการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

(ก) Motoring mode (ข) Generating mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

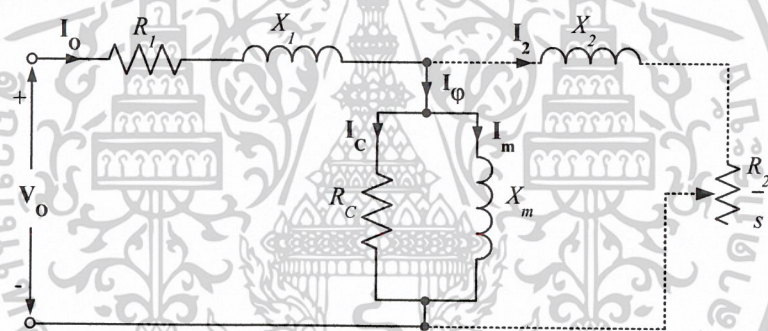
3.2 วิธีการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์

ค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูล R_C , X_m , R_1 , R_2 , X_1 และ X_2 สามารถคำนวณได้จากผลการทดสอบขณะไร้โหลด (No-Load test) การทดสอบโดยยึดตัวโรเตอร์ให้อยู่นิ่ง (Blocked – rotor test) และจากการวัดค่าความต้านทานไฟตรง (DC resistance) ของขดลวดสเตเตอร์

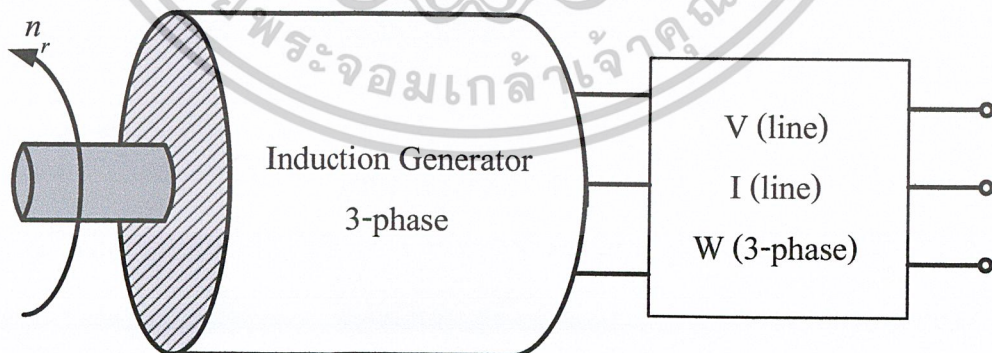
3.2.1 การทดสอบขณะไม่มีภาระทางกล (No – Load test)

การทดสอบขณะไม่มีภาระทางกล ทำได้เช่นเดียวกับการทดสอบขณะเปิดวงจร (Open circuit test) ของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งทำให้ทราบค่ากระแสกระตุ้น (exciting current) และการสูญเสียเนื่องจากการหมุน (rotational losses)

จากรูปที่ 3.2 (จ) ขณะไม่มีภาระทางกลความเร็วรอบของมอเตอร์จะมีค่าเกือบเท่ากับความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน จึงทำให้ค่าสลิปมีค่าต่ำมากมีค่าเกือบเป็นศูนย์ เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่านส่วนของ $\frac{R_2}{s}$ มีค่าน้อยมาก ด้วยเหตุนี้จึงสมมติให้ไม่มีกระแส I_2 ไหลในวงจร ดังนั้นจะไม่คิดค่ากระแสดังกล่าว สามารถแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรสมมูลจากการทดสอบขณะเปิดวงจร



รูปที่ 3.6 วงจรการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า

- ทดสอบที่พิกัดแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ยังไม่มีภาระทางกล ดังแสดงในรูปที่ 3.6
- จดบันทึกค่า แรงดันไฟฟ้า V , กระแสไฟฟ้า I , และกำลังไฟฟ้า W และต้องเปลี่ยนให้เป็นค่าต่อเฟส V_o, I_o, W_o [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

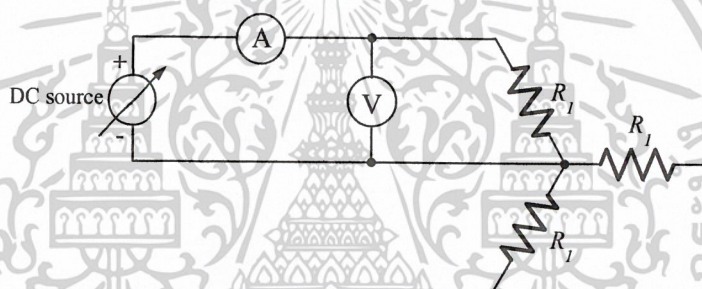
$$\phi_o = \cos^{-1} \frac{P_o}{V_o I_o} \tag{3.14}$$

$$R_c = \frac{V_o^2}{P_o} \tag{3.15}$$

$$X_m = \frac{V_o}{I_o \sin \phi_o} \tag{3.16}$$

3.2.2 การทดสอบด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (Direct-Current test)

เมื่อใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ค่ารีแอกแตนซ์จะไม่มี เพราะความถี่กระแสตรงมีค่าเป็นศูนย์ ปรับแรงดันไฟฟ้าที่ DC source เพื่อทำการวัดกระแส Direct - current ของความต้านทานที่ขดลวดสเตเตอร์ R_l ด้วยการประยุกต์ใช้กฎของโอห์ม การต่อวงจรขดลวดสเตเตอร์เป็นไปตามรูปที่ 3.7

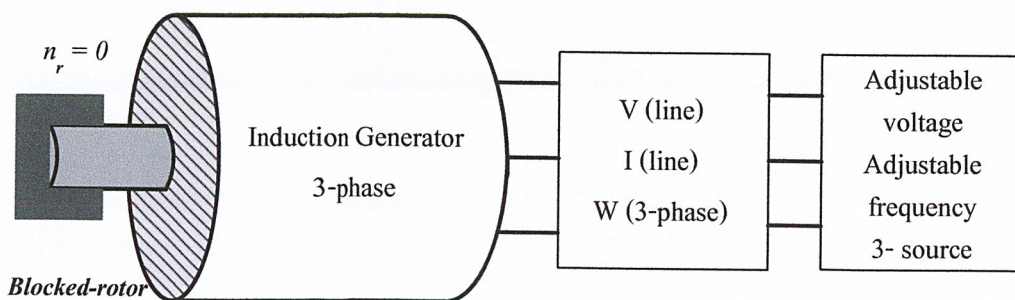


รูปที่ 3.7 วงจรการทดสอบหาค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์

$$R_l = \frac{V_{dc}}{I_{dc}} \tag{3.17}$$

3.2.3 การทดสอบโดยยึดตัวโรเตอร์ (The Blocked - Rotor Test)

การทดสอบโดยยึดตัวโรเตอร์ให้อยู่ที่หนึ่งนั้น ทำได้เหมือนกับการทดสอบขณะลัดวงจร (Short circuit test) ในหม้อแปลง ซึ่งทำให้ทราบค่าลิกเกอจิมพีแดนซ์ (leakage impedance) โดยการทดสอบดังกล่าวนี้กระทำภายใต้เงื่อนไขของกระแสโรเตอร์ และความถี่เดียวกัน สำหรับข้อกำหนด IEEE ความถี่จะลดลง 25 % จากความถี่ที่พิกัดขณะทดสอบด้วยการยึดตัวโรเตอร์ให้อยู่ที่หนึ่ง [9]



รูปที่ 3.8 วงจรการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบยึดตัวโรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักผู้จัดทำเห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทดสอบที่พิกัดกระแสไฟฟ้าในขณะที่มอเตอร์อยู่ในสภาพยึดโรเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.8
- จดบันทึกค่า แรงดันไฟฟ้า V , กระแสไฟฟ้า I , และกำลังไฟฟ้า W และต้องเปลี่ยนให้เป็นค่าต่อเฟส V_b, I_b, W_b [7]

$$\phi_b = \cos^{-1} \frac{P_b}{V_b I_b} \tag{3.18}$$

$$Z_b = \frac{V_b}{I_b} = R_b + jX_b \tag{3.19}$$

$$R_b = \frac{P_b}{I_b^2} \tag{3.20}$$

$$X_b = \sqrt{(Z_b)^2 - (R_b)^2} = \frac{V_b \sin \phi_b}{I_b} \tag{3.21}$$

$$R_b = R_1 + R_2 \tag{3.22}$$

$$X_b = X_1 + X_2 \tag{3.23}$$

การสูญเสียที่แกนเหล็กต่อเฟส $= I_c^2 R_c$ (3.24)

การสูญเสียจากแรงเสียดทานต่อเฟส $= I_2^2 R_2 \left[\frac{1 - s_{no-load}}{s_{no-load}} \right]$ (3.25)

ขณะทดสอบกำหนดให้ความถี่ที่สเตเตอร์เท่ากับความถี่ที่ใช้ทดสอบและเท่ากับความเร็วโรเตอร์เพราะสลิปมีค่าเป็นหนึ่ง ถ้ากำหนดให้ $X'_b = X'_1 + X'_2$ คือค่าลิกเกจรีแอกแตนซ์ที่ความถี่ทดสอบ f_t

$$X_b = X_1 + X_2 = \frac{f_b}{f_t} X'_b \tag{3.26}$$

3.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบ

ซึ่งได้ทำการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสพิกัด 1 Hp, 220 V/380 V, 4 pole, 50 Hz เป็นดังนี้

- No-load : $V = 220.18 \text{ V}, I = 1.06 \text{ A}, \phi = 82.33^\circ, P_o = 31.09 \text{ watts}$
- Blocked – rotor : $V = 51.99 \text{ V}, I = 2.03 \text{ A}, \phi = 46.89^\circ, P_b = 72.16 \text{ watts}$
- DC resistance :

V_{dc} (V)	I_U (A)	R_U (Ω)	I_V (A)	R_V (Ω)	I_W (A)	R_W (Ω)
2.00	0.24	8.33	0.23	8.70	0.23	8.70
4.00	0.45	8.89	0.45	8.89	0.46	8.70
6.00	0.66	9.09	0.68	8.82	0.67	8.96
8.00	0.88	9.09	0.90	8.89	0.90	8.89
10.00	1.11	9.01	1.11	9.01	1.11	9.01
12.00	1.32	9.09	1.35	8.89	1.33	9.02
ค่าความต้านทาน R_l เฉลี่ย = 8.88 Ω						

ตารางที่ 3.1 แสดงการหาค่าความต้านทานที่ทดสอบด้วยไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่าที่ได้จากการทดสอบนำมาใช้คำนวณตามสมการข้างต้นได้ว่า

$$R_c = \frac{V_o^2}{P_o}$$

$$= \frac{220.18^2}{31.09} = 1556.31 \Omega$$

$$X_m = \frac{V_o}{I_o \sin \phi_o}$$

$$= \frac{220.18}{1.06 \times \sin 82.33^\circ} = 209.59 \Omega$$

$$Z_b = \frac{V_b}{I_b} = R_b + jX_b$$

$$= \frac{51.99}{2.03 \angle -46.89^\circ} = 17.52 + j18.69 \Omega$$

$$R_2 = \frac{R_b}{2}$$

$$= \frac{17.52}{2} = 8.76 \Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_b}{2}$$

$$= \frac{18.69}{2} = 9.34 \Omega$$

สามารถแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณได้ดังนี้

R_1	8.88 Ω
R_2	8.76 Ω
X_1	9.34 Ω
X_2	9.34 Ω
R_c	1556.31 Ω
X_m	209.59 Ω

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า

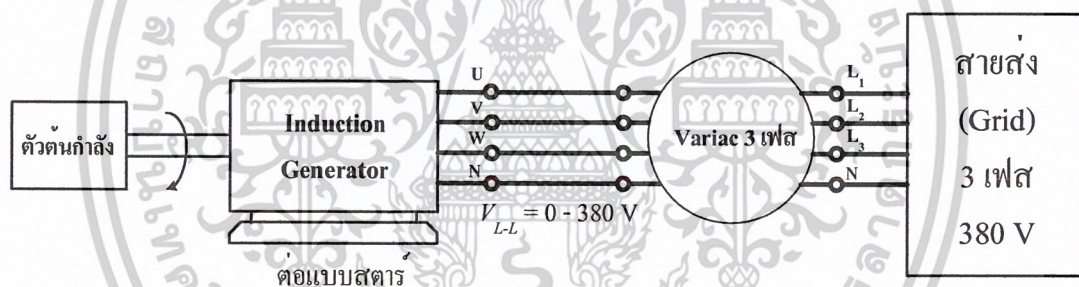
บทที่ 4

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเชื่อมกับเครือข่าย

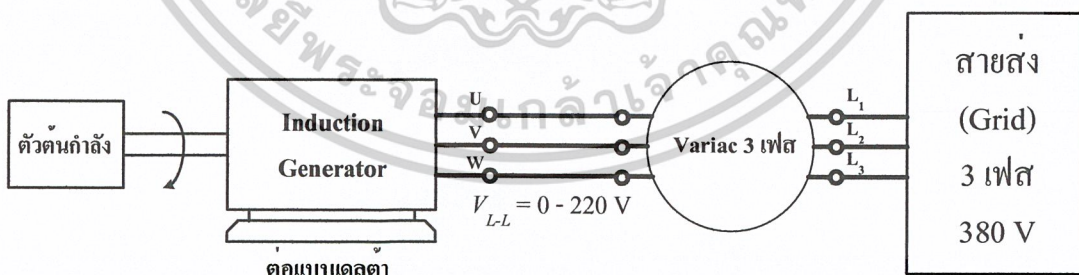
การศึกษาในกรณีนี้สามารถพบเห็นการใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำบ่อย ๆ ในการใช้งานจากการพัฒนากังหันลมเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้กังหันลมขนาดกลาง (Medium Wind Turbine) และขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine) ส่วนใหญ่จะมีการติดตั้งแบบหลายตัวเป็นทุ่งกังหันลม (Wind Turbine Farm) ทั้งบนบกและในทะเล

4.1 วิธีการทดสอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเชื่อมกับเครือข่าย

ในการนำเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส 380 V พิกัด 1 แรงม้า มาทำงานในโหมดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้แท่นปรับความเร็วรอบ แสดงดังรูปที่ 4.1(ก) และรูปที่ 4.1(ข) เป็นการต่อวงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบสตาร์และเดลต้าตามลำดับ โดยในรูปที่ 4.1(ก) สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ Variac ได้สูงสุดเท่ากับพิกัด 380 V แต่หากต่อเป็นแบบเดลต้าดังรูปที่ 4.1(ข) จะปรับแรงดันไฟฟ้าด้านออกที่ Variac ได้สูงสุดเพียง 220 V เพราะพิกัดแรงดันไฟฟ้าของขดลวดต่อเฟสเป็น 220 V



(ก) เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อแบบสตาร์

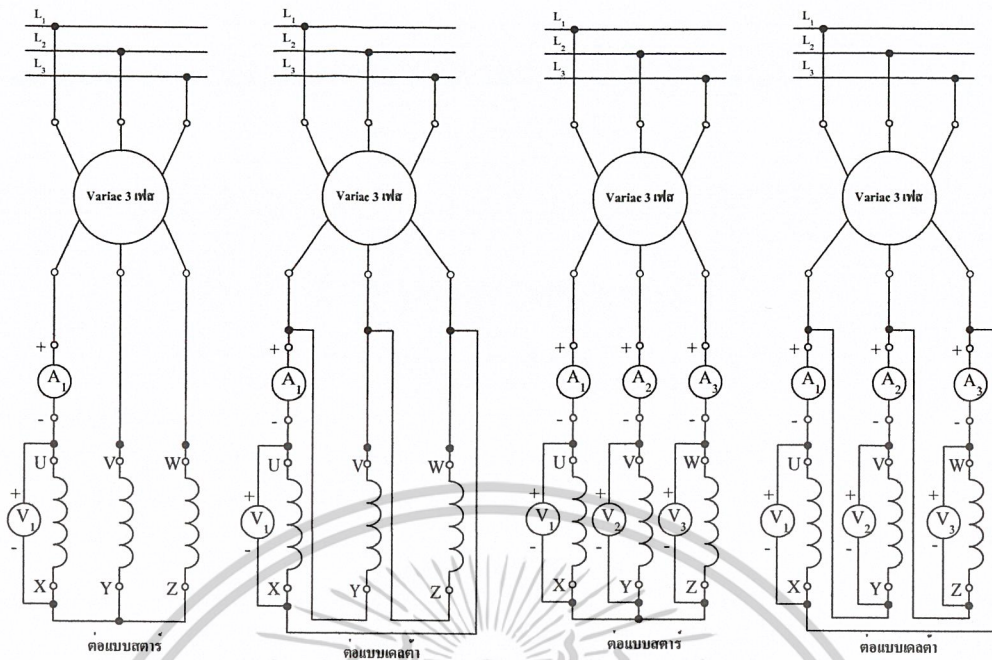


(ข) เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อแบบเดลต้า

รูปที่ 4.1 แสดงการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเชื่อมกับเครือข่าย

ในการทดสอบได้ใช้ Power analyzer meter ในการวัดค่าเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งมีความสะดวกเป็นอย่างมาก ซึ่งในการต่อวงจรแต่ละ element ของเครื่องวัด ได้แสดงให้เห็นในรูปที่ 4.2

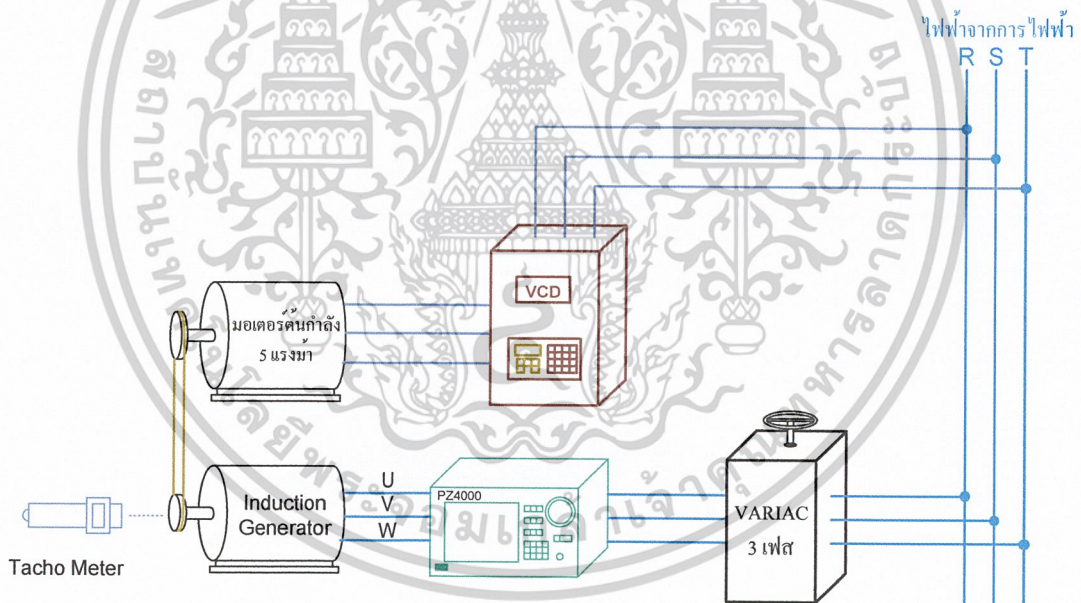
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) เครื่องมีขั้ววัด 1 เฟส

(ข) เครื่องมีขั้ววัด 3 เฟส

รูปที่ 4.2 แสดงการต่อวงจร Power meter 1 เฟส และ 3 เฟส กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ



รูปที่ 4.3 แสดงการต่ออุปกรณ์เพื่อการทดลองคืนพลังงานผ่าน Variac เข้าสู่ระบบกรไฟฟ้า

4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- | | |
|---|-------|
| 1. แทนทดสอบปรับความเร็วต้นกำลังและตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ | 1 ชุด |
| 2. ตัวต้นกำลัง มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 5 แรงม้า | 1 ตัว |
| 3. เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำพิกัด 1 แรงม้า 4 โพล 50 เฮิรตซ์ 220/380 โวลท์ | 1 ตัว |
| 4. อินเวอร์เตอร์ใช้ปรับความเร็วรอบต้นกำลัง (VCD 3-phase) | 1 ตัว |
| 5. Power meter (PZ4000) | 1 ตัว |
| 6. Variac 3 เฟส | 1 ตัว |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

7. Tachometer

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อดวงจรการทดลองดังรูปที่ 4.3 โดยต่อเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำทดสอบเป็นแบบสตาร์
2. ตรวจสอบทิศทางการหมุนของต้นกำลังและเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำทดสอบให้หมุนไปในทิศทางเดียวกัน
3. ปรับอินเวอร์เตอร์ที่ขับเคลื่อนกำลังให้เกิดความเร็วรอบที่เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำทดสอบประมาณ 1,500 รอบต่อนาที (อัตราทดจากตัวต้นกำลังกับเครื่องจักรกลไฟฟ้าทดสอบประมาณ 1 : 1.32 รอบ)
4. ปรับแรงดันไฟฟ้าที่ Variac ให้มีแรงดันไฟฟ้าต่อเฟสที่ 10 % ของพิกัด แล้วจดบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้า, มุมเฟส และความเร็วรอบโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เพิ่มความเร็วรอบโรเตอร์ขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นและจดบันทึกแต่ละค่า จนกว่ากระแสไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดจะถึงพิกัด 2 A หรือจนกว่าความเร็วรอบโรเตอร์ที่สูงไม่เกิน 3,000 รอบต่อนาที
5. ทดลองซ้ำจากข้อ 3 และข้อ 4 อีกครั้ง และเพิ่มแรงดันไฟฟ้าต่อเฟสที่ Variac เป็น 20 % ของพิกัดแรงดันไฟฟ้าจนถึง 110 % ของพิกัดแรงดันไฟฟ้า
6. ทดลองซ้ำทั้งหมดโดยเปลี่ยนการต่อดวงจรของเครื่องจักรกลทดสอบเป็นแบบเดลต้า

ในการนำค่าจากการคำนวณไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองต้องเทียบค่า R_c และ X_m ใหม่ โดยได้ค่าจากการทดลองเครื่องจักรกลไฟฟ้าในสถานะที่เป็นมอเตอร์และไม่มีภาระทางกล แล้วใช้สมการที่ (3.15) และสมการที่ (3.16) หาค่า R_c และ X_m ตามลำดับ ค่าที่ได้เป็นดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า R_c กับ X_m เมื่อแรงดันไฟฟ้าถูกเปลี่ยนแปลงไปจากพิกัด

V	I_U	I_V	I_W	I_{avg}	ϕ_U	ϕ_V	ϕ_W	ϕ_{avg}	PF	$Power$	R_c	X_m
22	0.16	0.16	0.16	0.16	61.60	59.60	59.20	60.13	0.50	1.75	276.11	156.31
44	0.21	0.22	0.21	0.21	68.20	68.30	68.40	68.30	0.37	3.47	557.81	222.14
66	0.28	0.28	0.28	0.28	71.60	70.00	72.00	71.20	0.32	5.96	731.43	248.41
88	0.37	0.37	0.37	0.37	74.80	74.20	75.20	74.73	0.26	8.57	903.26	246.46
110	0.45	0.43	0.44	0.44	74.60	75.80	76.60	75.67	0.25	11.98	1009.85	259.31
132	0.54	0.55	0.54	0.54	78.60	81.20	81.20	80.33	0.17	12.04	1146.82	247.83
154	0.64	0.65	0.63	0.64	78.40	75.80	81.80	78.67	0.20	19.32	1227.65	246.28
176	0.76	0.75	0.74	0.75	80.80	76.40	82.00	79.73	0.18	23.42	1322.53	238.79
198	0.91	0.90	0.87	0.89	81.00	77.20	82.00	80.07	0.17	30.40	1289.68	225.25
220	1.09	1.10	1.07	1.09	83.00	78.40	82.50	81.30	0.15	36.16	1338.44	203.97
242	1.38	1.37	1.27	1.34	84.00	80.00	83.20	82.40	0.13	42.83	1367.21	181.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณจะใช้วงจรสมมูลดังรูปที่ 3.2 (จ) และใช้ค่าพารามิเตอร์จากตารางที่ 3.2 ทั้งนี้การที่ต้องใช้วงจรสมมูลแบบเต็มมาคำนวณเพราะว่ากระแสไฟฟ้าจากการทดลองมีค่าต่ำ หากใช้วงจรสมมูลแบบประมาณจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูง

4.2 ผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเชื่อมต่อกับเครือข่าย เมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบสตาร์

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองเมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบสตาร์

แรงดันไฟฟ้า 22 V (10% ของพิกัด)								
n_r	$slip$	V_{phase}	ค่าจากการทดลอง			ค่าจากการคำนวณ		
			I_{phase}	ϕ_{phase}	P_{3-pha}	I_{phase}	ϕ_{phase}	P_{3-pha}
1500	0.000	21.82	0.10	84.03	0.71	-	-	-
1550	-0.033	22.03	0.15	108.03	-2.97	0.136	88.31	0.27
1599	-0.066	22.10	0.21	118.58	-6.66	0.199	119.23	-6.43
1650	-0.100	22.27	0.30	122.14	-10.66	0.237	127.34	-9.60
1701	-0.134	22.27	0.36	121.81	-12.78	0.289	129.32	-12.23
1751	-0.167	22.27	0.44	120.20	-14.79	0.355	131.54	-15.72
1801	-0.201	22.37	0.50	118.78	-16.19	0.489	132.81	-22.28
1852	-0.235	22.35	0.56	116.48	-16.59	0.562	134.65	-26.48
1900	-0.267	22.34	0.60	114.36	-16.64	0.648	127.35	-26.35
1950	-0.300	22.25	0.65	111.91	-16.07	0.715	125.41	-27.65
2000	-0.333	22.17	0.68	109.47	-15.10	0.732	120.65	-24.82
2050	-0.367	22.16	0.72	107.33	-14.22	0.786	118.02	-24.55
2101	-0.401	22.20	0.75	105.38	-13.16	0.888	116.36	-26.25
2200	-0.467	22.04	0.78	101.80	-10.57	0.921	110.32	-21.15
2302	-0.535	22.11	0.82	98.72	-8.21	0.986	105.00	-16.93
2402	-0.601	22.06	0.84	96.09	-5.86	1.066	101.73	-14.34
2500	-0.667	22.10	0.85	93.98	-3.92	1.103	98.09	-10.29
2602	-0.735	22.08	0.86	92.01	-2.01	1.113	95.65	-7.26
2702	-0.801	22.09	0.87	90.51	-0.51	1.132	93.24	-4.24
2801	-0.867	22.09	0.88	89.16	0.85	1.143	90.09	-0.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้า 44 V (20% ของพิกัด)								
n_r	$slip$	V_{phase}	ค่าจากการทดลอง			ค่าจากการคำนวณ		
			I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$
1500	0.000	44.09	0.19	82.96	3.19	-	-	-
1602	-0.068	44.67	0.43	128.61	-35.96	0.348	133.75	-32.25
1700	-0.133	44.24	0.79	133.96	-72.69	0.647	135.34	-61.08
1802	-0.201	44.27	1.15	130.59	-98.94	1.032	133.24	-93.89
1902	-0.268	44.30	1.46	125.21	-111.95	1.364	132.44	-122.31
2000	-0.333	44.19	1.70	119.91	-112.38	1.567	127.56	-126.63
2100	-0.400	44.17	1.91	114.49	-105.08	1.768	120.32	-118.27
2162	-0.441	44.12	2.00	111.68	-97.84	1.941	115.15	-109.17

แรงดันไฟฟ้า 66 V (30% ของพิกัด)								
n_r	$slip$	V_{phase}	ค่าจากการทดลอง			ค่าจากการคำนวณ		
			I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$
1500	0.000	66.94	0.28	84.94	5.04	-	-	-
1550	-0.033	66.34	0.42	121.09	-42.96	0.326	110.01	-22.20
1602	-0.068	66.33	0.63	133.13	-85.57	0.517	133.74	-71.16
1652	-0.101	66.42	0.90	137.30	-131.50	0.824	135.56	-117.23
1700	-0.133	66.48	1.17	137.89	-172.52	1.089	137.98	-161.35
1751	-0.167	66.49	1.46	136.88	-211.84	1.289	141.27	-200.57
1802	-0.201	66.31	1.72	134.97	-241.25	1.563	140.23	-238.98
1850	-0.233	66.31	1.97	132.62	-265.50	1.786	137.23	-260.81
1872	-0.248	66.33	2.00	132.16	-267.66	1.903	134.48	-265.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้า 88 V (40% ของพิกัด)								
n_r	$slip$	V_{phase}	ค่าจากการทดลอง			ค่าจากการคำนวณ		
			I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$
1500	0.000	88.30	0.35	83.19	10.99	-	-	-
1526	-0.017	88.41	0.41	106.22	-30.60	0.359	99.49	-15.68
1552	-0.035	88.56	0.55	122.94	-79.75	0.568	111.32	-54.87
1576	-0.051	88.72	0.65	129.47	-110.48	0.654	125.35	-100.71
1601	-0.067	88.71	0.84	134.94	-157.16	0.716	138.92	-143.69
1626	-0.084	88.59	1.02	137.77	-200.14	0.987	140.24	-201.65
1652	-0.101	88.61	1.20	139.32	-241.71	1.132	143.26	-241.14
1676	-0.117	88.50	1.38	139.94	-281.24	1.230	144.91	-267.20
1700	-0.133	88.68	1.51	140.07	-308.46	1.354	144.56	-293.48
1725	-0.150	88.58	1.73	139.61	-349.75	1.588	144.13	-342.03
1752	-0.168	88.76	1.86	139.45	-375.73	1.869	143.89	-402.07
1776	-0.184	88.80	2.04	138.51	-407.69	1.961	141.80	-410.49

แรงดันไฟฟ้า 110 V (50% ของพิกัด)								
n_r	$slip$	V	ค่าจากการทดลอง			ค่าจากการคำนวณ		
			I	ϕ	$P_{3-เฟส}$	I	ϕ	$P_{3-เฟส}$
1500	0.000	109.77	0.43	85.32	11.74	-	-	-
1525	-0.017	110.93	0.53	109.47	-59.12	0.431	101.29	-28.07
1552	-0.035	111.05	0.67	123.30	-122.91	0.549	123.23	-100.17
1575	-0.050	110.99	0.83	130.71	-179.60	0.696	133.86	-160.67
1602	-0.068	111.03	1.02	135.58	-242.66	0.906	140.80	-233.82
1625	-0.083	111.28	1.23	138.33	-305.73	1.097	143.79	-295.59
1651	-0.101	111.29	1.44	140.39	-370.90	1.335	145.49	-367.25
1676	-0.117	111.16	1.66	141.09	-429.72	1.554	145.91	-429.14
1702	-0.135	111.25	1.88	141.33	-490.15	1.798	145.60	-495.13
1716	-0.144	111.18	2.01	141.20	-523.26	1.921	145.23	-526.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้า 132 V (60% ของพิกัด)								
n_r	$slip$	V_{phase}	ค่าจากการทดลอง			ค่าจากการคำนวณ		
			I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$
1500	0.000	132.53	0.66	86.62	15.47	-	-	-
1527	-0.018	132.62	0.66	111.93	-98.52	0.555	105.76	-59.94
1550	-0.033	132.78	0.79	122.2	-167.69	0.703	124.68	-159.22
1575	-0.050	133.10	1.02	131.19	-266.91	0.881	134.16	-245.16
1601	-0.067	133.02	1.24	136.19	-357.38	1.098	139.23	-331.84
1625	-0.083	133.28	1.45	138.91	-438.16	1.367	143.51	-439.43
1651	-0.101	133.06	1.74	140.85	-538.64	1.568	144.23	-507.85
1674	-0.116	133.13	2.01	141.46	-627.91	1.888	145.47	-621.21

แรงดันไฟฟ้า 154 V (70% ของพิกัด)								
n_r	$slip$	V_{phase}	ค่าจากการทดลอง			ค่าจากการคำนวณ		
			I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$
1500	0.000	154.01	0.63	84.64	27.19	-	-	-
1526	-0.017	154.22	0.75	109.44	-115.18	0.638	103.17	-67.25
1552	-0.035	154.86	0.96	123.73	-247.14	0.856	112.06	-149.36
1577	-0.051	154.73	1.21	131.86	-373.88	1.023	125.34	-274.68
1600	-0.067	154.98	1.43	135.88	-477.96	1.282	139.74	-454.83
1625	-0.083	154.83	1.75	139.07	-614.12	1.564	140.46	-560.20
1652	-0.101	154.99	1.97	140.35	-704.92	1.789	142.25	-657.72
1658	-0.105	154.76	2.06	140.94	-743.01	1.975	144.98	-750.71

แรงดันไฟฟ้า 176 V (80% ของพิกัด)								
n_r	$slip$	V_{phase}	ค่าจากการทดลอง			ค่าจากการคำนวณ		
			I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$
1500	0.000	176.12	0.75	87.43	17.76	-	-	-
1510	-0.007	176.47	0.78	92.63	-18.85	0.712	88.05	12.82
1522	-0.015	176.56	0.85	103.81	-106.84	0.789	95.23	-38.09
1530	-0.020	176.97	0.92	110.11	-167.02	0.895	100.35	-85.37
1541	-0.027	177.01	0.98	114.43	-215.01	0.902	118.98	-232.10
1552	-0.035	177.38	1.05	119.17	-272.33	0.942	122.57	-269.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้า 176 V (80% ของพิกัด)(ต่อ)								
n_r	$slip$	V_{phase}	ค่าจากการทดลอง			ค่าจากการคำนวณ		
			I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$
1562	-0.041	177.33	1.14	123.61	-334.23	0.987	126.59	-312.99
1570	-0.047	177.55	1.26	126.33	-398.24	1.036	130.87	-361.08
1580	-0.053	177.48	1.35	129.15	-452.80	1.240	134.35	-461.41
1590	-0.06	177.66	1.50	131.85	-534.81	1.389	136.54	-537.36
1600	-0.067	177.52	1.63	134.12	-603.95	1.456	138.45	-580.30
1610	-0.073	177.30	1.72	134.91	-646.64	1.616	140.76	-665.81
1621	-0.081	177.16	1.86	136.75	-718.10	1.765	142.03	-739.53
1631	-0.087	177.25	1.99	137.37	-778.55	1.900	143.07	-807.55

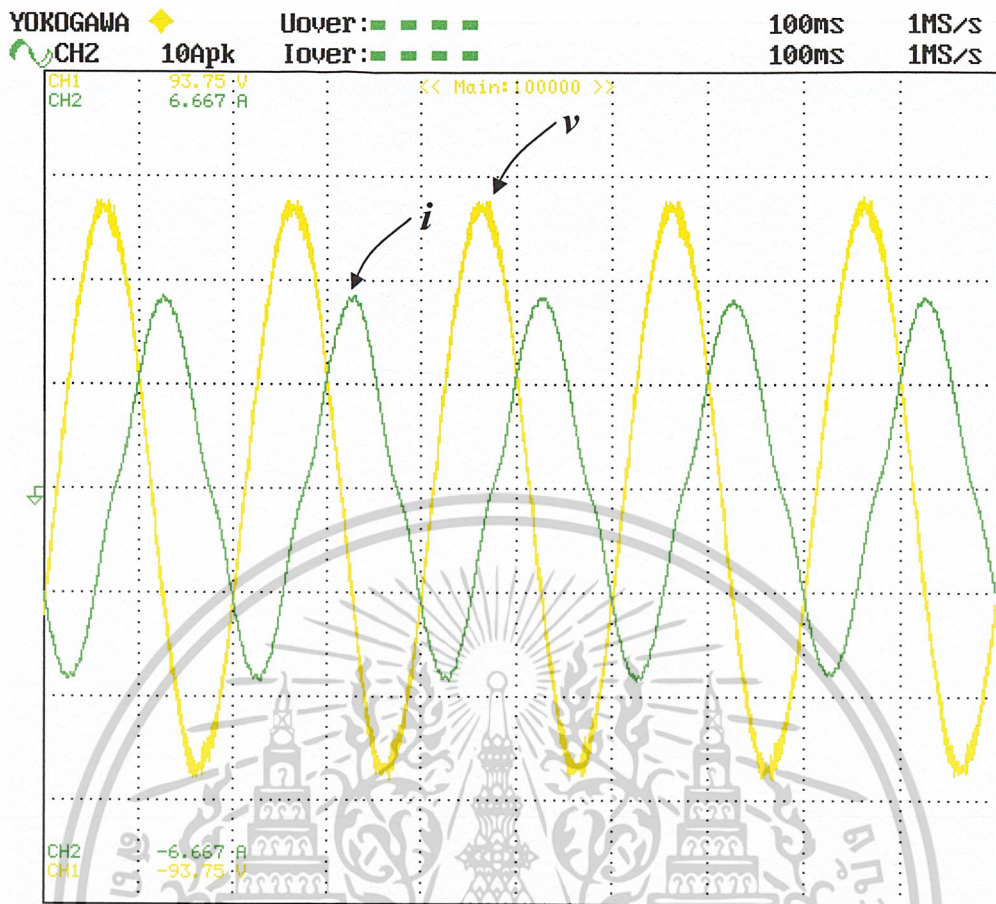
แรงดันไฟฟ้า 198 V (90% ของพิกัด)								
n_r	$slip$	V_{phase}	ค่าจากการทดลอง			ค่าจากการคำนวณ		
			I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$
1500	0.000	197.72	0.89	86.76	29.83	-	-	-
1512	-0.008	198.21	0.95	95.57	-54.71	0.880	91.29	-11.75
1522	-0.015	198.22	1.00	102.39	-127.98	0.902	97.86	-73.35
1530	-0.020	198.27	1.07	106.95	-184.68	0.956	110.68	-200.90
1540	-0.027	197.87	1.15	113.25	-269.94	0.986	115.47	-251.85
1550	-0.033	198.03	1.22	117.01	-329.97	1.089	120.32	-326.61
1560	-0.040	197.63	1.35	121.77	-421.11	1.143	128.56	-422.42
1570	-0.047	197.43	1.46	124.74	-492.78	1.254	132.89	-505.48
1581	-0.054	198.18	1.61	128.25	-593.34	1.356	137.89	-598.08
1590	-0.060	198.09	1.79	130.66	-692.71	1.506	140.23	-687.89
1600	-0.067	198.05	1.91	132.36	-765.03	1.653	143.56	-790.10
1610	-0.073	197.40	2.01	133.55	-820.52	1.731	145.21	-841.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

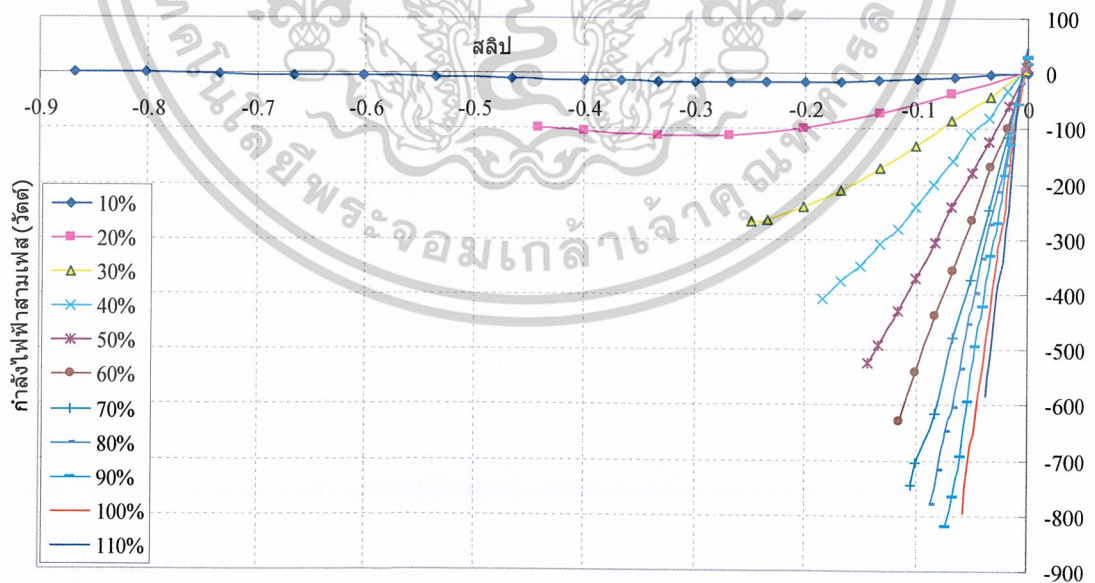
แรงดันไฟฟ้า 220 V (100% ของพิกัด)								
n_r	$slip$	V_{phase}	ค่าจากการทดลอง			ค่าจากการคำนวณ		
			I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$
1500	0.000	220.64	1.12	88.38	20.95	-	--	-
1510	-0.007	220.70	1.16	93.77	-50.63	1.010	89.80	2.33
1521	-0.014	220.18	1.22	99.65	-134.75	1.040	98.42	-100.59
1530	-0.020	220.82	1.33	107.02	-257.7	1.080	105.56	-191.92
1539	-0.026	221.08	1.39	109.41	-306.15	1.150	111.96	-285.23
1550	-0.033	221.59	1.53	114.72	-426.17	1.260	118.63	-401.34
1560	-0.040	220.98	1.65	119.07	-531.16	1.370	123.69	-503.79
1570	-0.047	220.71	1.81	121.93	-632.09	1.490	127.84	-605.22
1580	-0.053	220.85	1.91	123.83	-705.63	1.630	131.17	-710.93
1586	-0.057	221.01	2.06	125.76	-796.25	1.720	132.87	-775.86

แรงดันไฟฟ้า 242 V (110% ของพิกัด)								
n_r	$slip$	V_{phase}	ค่าจากการทดลอง			ค่าจากการคำนวณ		
			I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$
1500	0.000	242.67	1.47	87.52	46.31	-	-	-
1512	-0.008	242.69	1.51	92.40	-46.07	1.335	91.40	-23.74
1521	-0.014	242.39	1.61	98.70	-176.87	1.353	100.25	-175.07
1531	-0.021	241.66	1.69	104.81	-313.92	1.386	105.25	-264.30
1542	-0.028	243.76	1.83	107.65	-406.20	1.456	112.23	-402.82
1551	-0.034	244.50	1.96	110.68	-507.45	1.540	127.65	-689.99
1556	-0.037	243.50	2.04	113.05	-582.04	1.590	120.39	-587.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

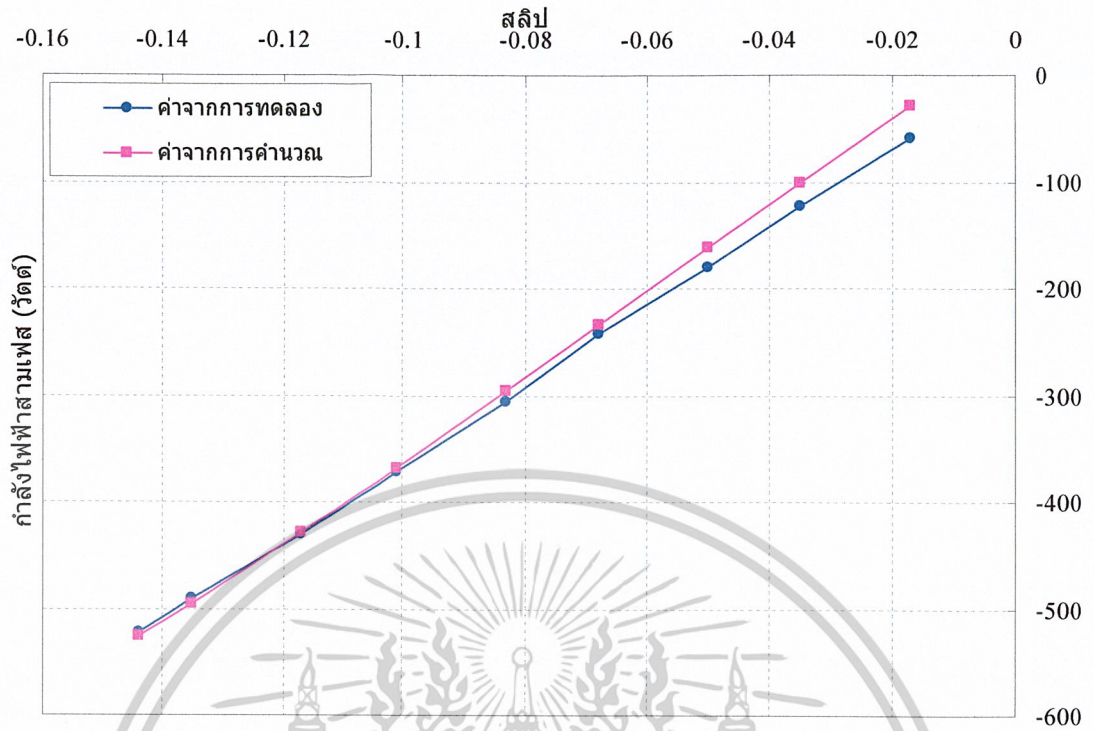


รูปที่ 4.4 แสดงรูปคลื่นตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง เมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบสตาร์
 ที่ระดับ 44.12 V, 2.0 A และมุม $\phi = 111.68$ องศา

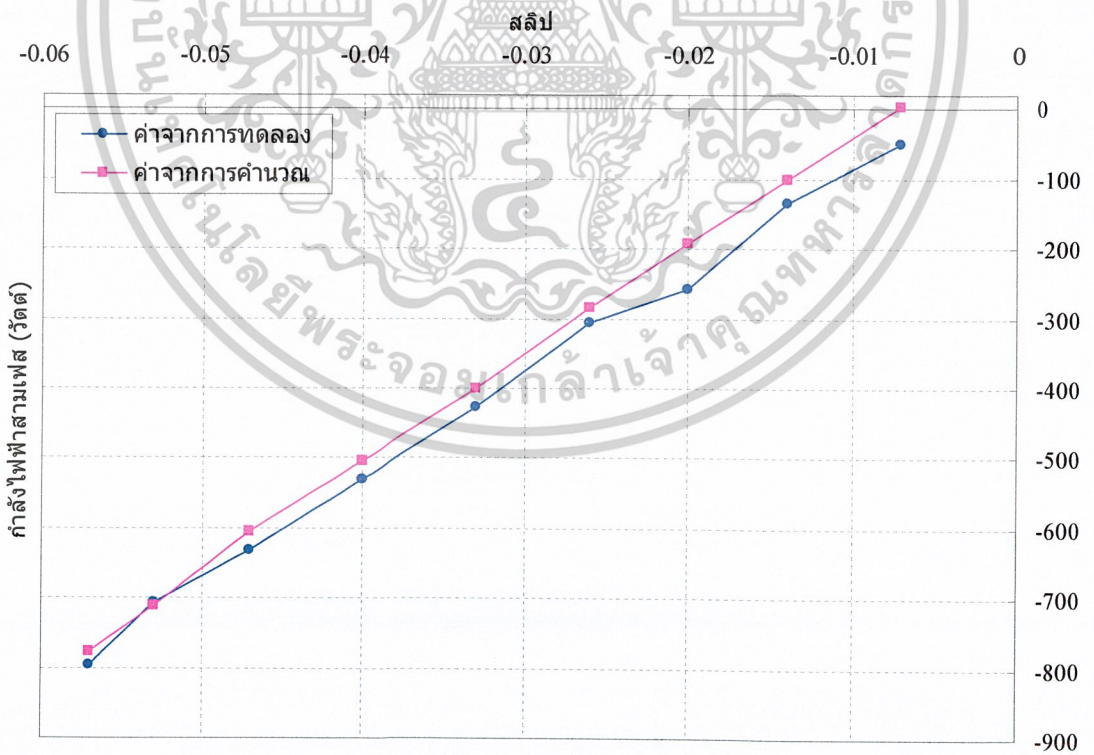


รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ของกำลังไฟกับค่าสลลปที่ระดับเปอร์เซ็นต์แรงดันไฟฟ้าต่าง ๆ
 เมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบสตาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการทดลองกับการคำนวณที่แรงดันไฟฟ้า 50 % ของพิกัด เมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบสตาร์



รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการทดลองกับการคำนวณที่แรงดันไฟฟ้าพิกัด เมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบสตาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเชื่อมต่อกับเครือข่าย เมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเดลต้า

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองเมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเดลต้า

แรงดันไฟฟ้า 22 V (10% ของพิกัด)								
n_r	$slip$	V_{phase}	ค่าจากการทดลอง			ค่าจากการคำนวณ		
			I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-phase}$	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-phase}$
1500	0.000	22.82	0.12	79.15	1.57	-	-	-
1551	-0.034	23.31	0.17	107.53	-3.58	0.141	88.95	0.18
1601	-0.067	23.67	0.26	117.96	-8.49	0.184	114.56	-5.43
1652	-0.101	23.91	0.32	120.56	-11.60	0.259	127.91	-11.41
1702	-0.135	24.05	0.42	121.06	-15.56	0.345	132.61	-16.85
1750	-0.167	24.01	0.49	120.03	-17.59	0.431	133.69	-21.44
1800	-0.200	24.03	0.55	118.62	-18.99	0.529	133.42	-26.19
1851	-0.234	23.96	0.61	116.32	-19.44	0.611	130.80	-28.70
1901	-0.267	23.88	0.68	114.20	-19.88	0.692	128.24	-30.68
1951	-0.301	23.72	0.72	111.42	-18.69	0.764	125.34	-31.45
2002	-0.335	23.65	0.75	109.37	-17.74	0.831	122.26	-31.47
2052	-0.368	23.56	0.79	107.03	-16.29	0.889	119.25	-30.70
2100	-0.400	23.46	0.81	105.40	-15.06	0.937	116.42	-29.34
2151	-0.434	23.44	0.83	103.30	-13.46	0.983	113.53	-27.60
2200	-0.467	23.37	0.85	101.69	-12.05	1.020	110.90	-25.51
2301	-0.534	23.23	0.88	98.34	-8.87	1.070	105.98	-20.53
2402	-0.601	23.16	0.90	95.69	-6.18	1.110	101.73	-15.68
2500	-0.667	22.88	0.89	93.44	-3.68	1.130	98.18	-11.04
2600	-0.733	22.87	0.90	91.59	-1.72	1.150	95.08	-6.99
2701	-0.801	22.81	0.91	90.00	0.00	1.169	92.38	-3.32
2802	-0.868	22.75	0.91	88.59	1.53	1.219	90.07	-0.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้า 44 V (20% ของพิกัด)								
n_r	$slip$	V_{phase}	ค่าจากการทดลอง			ค่าจากการคำนวณ		
			I_{phase}	ϕ_{phase}	P_{3-pha}	I_{phase}	ϕ_{phase}	P_{3-pha}
1500	0.000	43.85	0.20	84.26	2.57	-	-	-
1551	-0.034	44.69	0.29	119.22	-19.18	0.220	110.78	-10.47
1600	-0.067	45.00	0.43	129.95	-37.01	0.345	133.26	-31.92
1650	-0.100	45.31	0.64	134.10	-60.16	0.512	140.81	-53.94
1701	-0.134	45.36	0.80	134.42	-75.72	0.696	142.36	-75.00
1750	-0.167	45.40	0.99	133.12	-92.26	1.227	135.94	-120.09
1800	-0.200	45.48	1.15	131.57	-104.20	1.392	132.51	-128.34
1850	-0.233	45.30	1.31	129.05	-112.16	1.530	129.08	-131.08
1901	-0.267	45.32	1.49	126.11	-119.15	1.660	125.45	-130.90
1950	-0.300	45.14	1.60	123.65	-120.06	1.770	122.06	-127.23
2002	-0.335	45.00	1.73	120.60	-118.54	1.870	118.74	-121.39
2052	-0.368	44.87	1.84	117.86	-115.56	1.947	115.73	-113.79
2103	-0.402	44.77	1.93	115.43	-111.31	1.870	118.74	-120.77
2152	-0.435	44.62	2.01	112.75	-104.05	1.947	115.73	-113.16

แรงดันไฟฟ้า 66 V (30% ของพิกัด)								
n_r	$slip$	V_{phase}	ค่าจากการทดลอง			ค่าจากการคำนวณ		
			I_{phase}	ϕ_{phase}	P_{3-pha}	I_{phase}	ϕ_{phase}	P_{3-pha}
1500	0.000	65.86	0.28	78.94	10.46	-	-	-
1553	-0.035	66.53	0.41	121.69	-42.88	0.323	118.96	-31.22
1602	-0.068	66.69	0.62	133.98	-85.86	0.527	138.39	-78.83
1651	-0.101	67.00	0.89	138.34	-133.35	0.779	144.02	-126.71
1700	-0.133	67.03	1.18	138.75	-177.65	1.044	144.66	-171.25
1750	-0.167	66.88	1.45	137.91	-215.43	1.316	143.08	-211.10
1800	-0.200	67.05	1.71	135.78	-246.65	1.580	140.40	-244.88
1850	-0.233	66.99	1.99	133.35	-274.53	1.843	137.14	-271.52
1857	-0.238	66.89	2.03	132.94	-277.51	1.875	136.65	-273.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้า 88 V (40% ของพิกัด)								
n_r	slip	V_{phase}	ค่าจากการทดลอง			ค่าจากการคำนวณ		
			I_{phase}	ϕ_{phase}	P_{3-pha}	I_{phase}	ϕ_{phase}	P_{3-pha}
1500	0.000	87.79	0.35	82.04	12.87	-	-	-
1525	-0.017	88.22	0.43	110.53	-39.91	0.357	98.61	-14.14
1551	-0.034	88.73	0.53	122.76	-75.77	0.438	119.85	-58.03
1577	-0.051	88.88	0.67	131.66	-118.22	0.572	137.23	-111.96
1602	-0.068	89.21	0.84	136.40	-162.80	0.727	139.12	-147.12
1625	-0.083	89.47	1.00	139.03	-201.65	0.882	142.43	-187.64
1650	-0.100	89.49	1.23	140.57	-254.44	1.058	144.25	-230.52
1676	-0.117	89.60	1.39	141.16	-291.65	1.356	144.89	-298.17
1701	-0.134	89.47	1.62	140.90	-336.40	1.427	144.76	-312.82
1726	-0.151	89.20	1.74	141.04	-362.69	1.607	144.10	-348.33
1752	-0.168	89.57	1.93	140.31	-398.04	1.803	143.03	-387.08
1765	-0.177	89.52	2.03	139.73	-415.36	1.897	142.38	-403.53

แรงดันไฟฟ้า 110 V (50% ของพิกัด)								
n_r	slip	V_{phase}	ค่าจากการทดลอง			ค่าจากการคำนวณ		
			I_{phase}	ϕ_{phase}	P_{3-pha}	I_{phase}	ϕ_{phase}	P_{3-pha}
1500	0.000	110.92	0.44	80.70	23.82	-	-	-
1525	-0.017	110.58	0.51	110.01	-58.35	0.430	100.84	-26.83
1550	-0.033	110.90	0.62	122.40	-110.88	0.533	121.63	-92.99
1575	-0.050	111.56	0.80	131.66	-177.97	0.700	133.86	-162.33
1600	-0.067	111.74	1.07	137.90	-266.63	0.896	140.44	-231.56
1624	-0.083	111.40	1.27	140.41	-326.56	1.095	143.75	-295.12
1652	-0.101	112.05	1.46	141.86	-385.74	1.348	145.50	-373.45
1676	-0.117	111.91	1.69	142.54	-451.18	1.564	145.91	-434.85
1702	-0.135	111.85	1.93	142.55	-513.06	1.804	145.61	-499.40
1711	-0.141	111.66	2.05	142.42	-545.28	1.834	145.38	-505.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้า 132 V (60% ของพิกัด)								
n_r	$slip$	V_{phase}	ค่าจากการทดลอง			ค่าจากการคำนวณ		
			I_{phase}	ϕ_{phase}	P_{3-pha}	I_{phase}	ϕ_{phase}	P_{3-pha}
1500	0.000	132.32	0.53	85.19	17.71	-	-	-
1524	-0.016	131.99	0.58	104.39	-56.68	0.542	102.99	-48.24
1552	-0.035	132.40	0.78	124.10	-172.80	0.694	124.15	-154.74
1575	-0.050	132.65	1.00	134.07	-277.62	0.878	134.16	-243.43
1600	-0.067	132.48	1.23	138.76	-367.30	1.109	140.30	-339.18
1626	-0.084	132.65	1.51	141.73	-472.40	1.371	143.61	-439.20
1650	-0.100	132.40	1.76	143.12	-557.60	1.620	145.03	-527.29
1675	-0.117	131.88	2.09	143.65	-664.71	1.882	145.47	-613.42

แรงดันไฟฟ้า 154 V (70% ของพิกัด)								
n_r	$slip$	V_{phase}	ค่าจากการทดลอง			ค่าจากการคำนวณ		
			I_{phase}	ϕ_{phase}	P_{3-pha}	I_{phase}	ϕ_{phase}	P_{3-pha}
1500	0.000	153.86	0.64	83.48	33.33	-	-	-
1526	-0.017	155.23	0.70	107.98	-100.34	0.642	103.18	-68.14
1552	-0.035	155.86	0.96	127.21	-272.02	0.804	122.98	-204.61
1575	-0.050	156.02	1.13	133.06	-360.48	1.020	133.35	-327.73
1601	-0.067	156.29	1.51	138.94	-534.55	1.303	139.90	-467.32
1625	-0.083	155.98	1.83	141.76	-670.75	1.583	143.10	-592.37
1650	-0.100	156.15	2.12	142.90	-790.97	1.893	144.71	-723.82

แรงดันไฟฟ้า 176 V (80% ของพิกัด)								
n_r	$slip$	V_{phase}	ค่าจากการทดลอง			ค่าจากการคำนวณ		
			I_{phase}	ϕ_{phase}	P_{3-pha}	I_{phase}	ϕ_{phase}	P_{3-pha}
1500	0.000	175.53	0.74	84.88	34.54	-	-	-
1525	-0.017	176.33	0.85	109.99	-153.17	0.749	102.55	-86.09
1549	-0.033	175.64	1.04	123.43	-301.61	0.906	120.81	-244.53
1574	-0.049	176.91	1.31	131.72	-463.04	1.166	132.41	-417.36
1602	-0.068	177.42	1.73	138.17	-687.71	1.513	139.49	-612.27
1625	-0.083	176.90	2.05	140.70	-839.83	1.814	142.54	-764.16

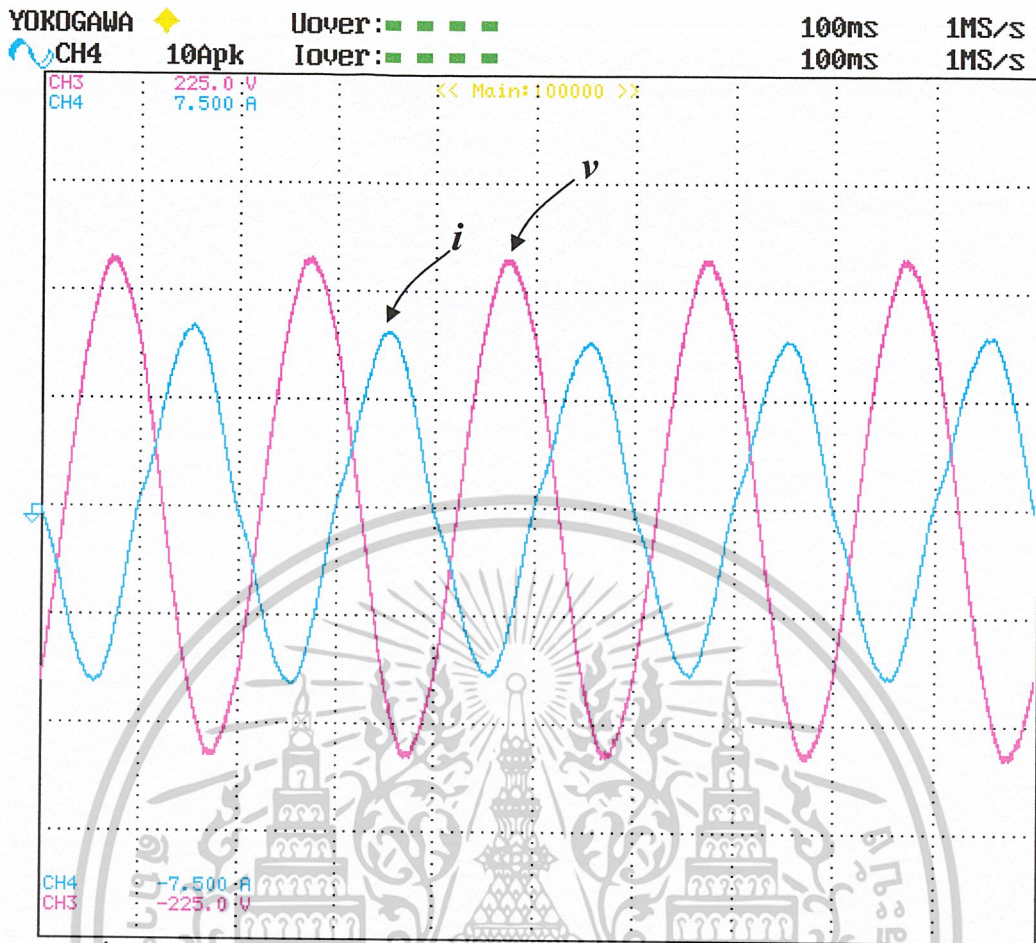
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้า 198 V (90% ของพิกัด)								
n_r	$slip$	V_{phase}	ค่าจากการทดลอง			ค่าจากการคำนวณ		
			I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$
1500	0.000	198.53	0.89	84.58	49.96	-	-	-
1524	-0.016	198.46	0.96	103.83	-137.20	0.882	100.48	-95.50
1550	-0.033	199.51	1.24	120.92	-381.36	1.074	119.56	-317.13
1577	-0.051	198.42	1.62	130.95	-633.58	1.374	131.66	-543.60
1600	-0.067	199.03	1.87	134.59	-784.28	1.691	137.56	-745.13
1607	-0.071	199.39	2.05	136.00	-882.52	1.793	138.78	-806.73

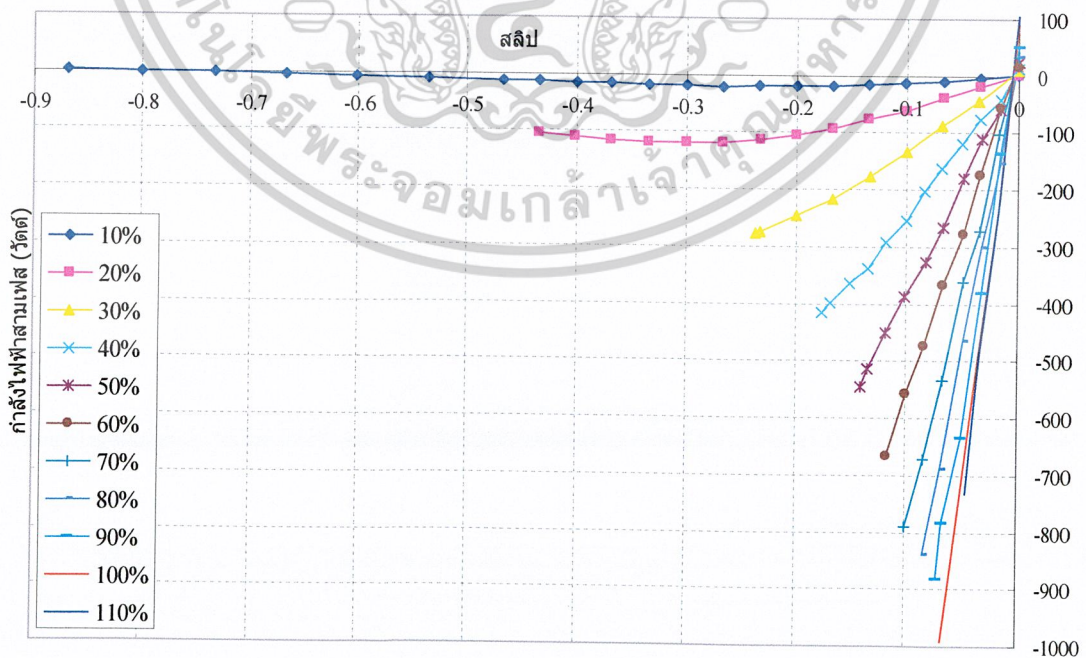
แรงดันไฟฟ้า 220 V (100% ของพิกัด)								
n_r	$slip$	V_{phase}	ค่าจากการทดลอง			ค่าจากการคำนวณ		
			I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$
1500	0.000	219.86	1.06	82.55	90.57	-	-	-
1525	-0.017	220.02	1.22	105.40	-213.32	1.267	81.60	-134.60
1549	-0.033	220.59	1.48	117.70	-456.51	1.322	99.31	-155.81
1575	-0.050	220.70	1.81	126.21	-707.56	1.526	114.70	-464.67
1600	-0.067	220.39	2.25	131.86	-990.95	1.763	123.20	-705.51

แรงดันไฟฟ้า 242 V (110% ของพิกัด)								
n_r	$slip$	V_{phase}	ค่าจากการทดลอง			ค่าจากการคำนวณ		
			I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$
1500	0.000	242.33	1.36	83.79	106.64	-	-	-
1526	-0.017	242.85	1.56	102.00	-235.54	1.322	99.31	-155.81
1551	-0.034	242.90	1.79	112.02	-489.32	1.526	114.70	-464.67
1570	-0.047	243.61	2.09	118.61	-731.75	1.763	123.20	-705.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

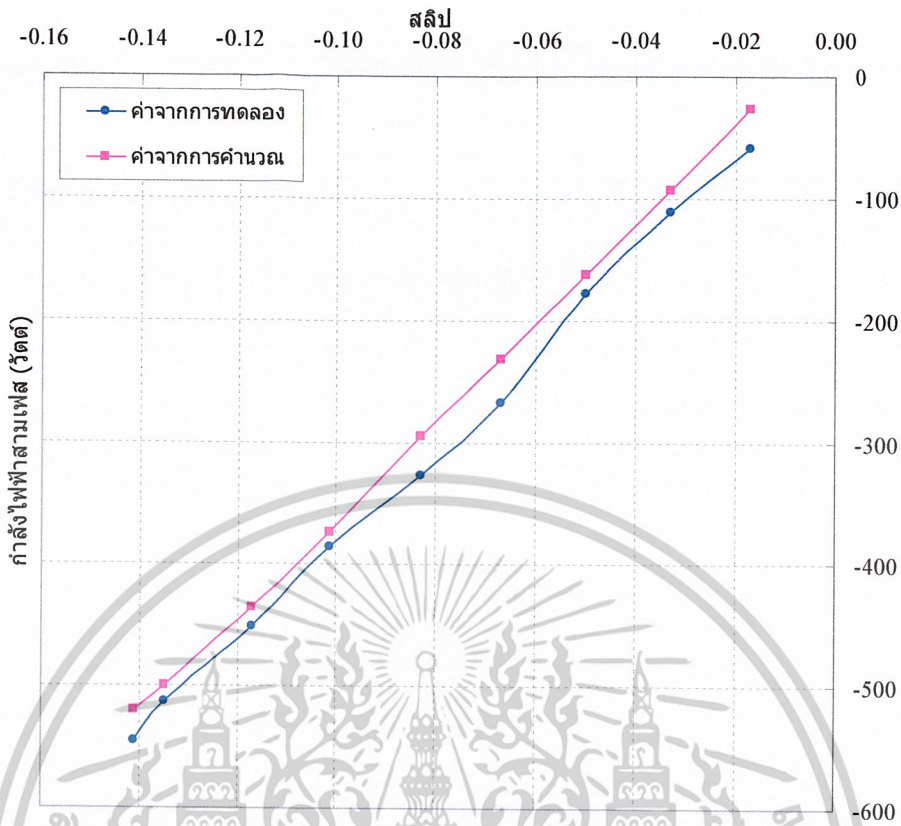


รูปที่ 4.8 แสดงรูปคลื่นตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง เมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเคลื่อนที่ ที่ระดับ 89.52 V, 2.03 A และมุม $\phi = 139.72$ องศา

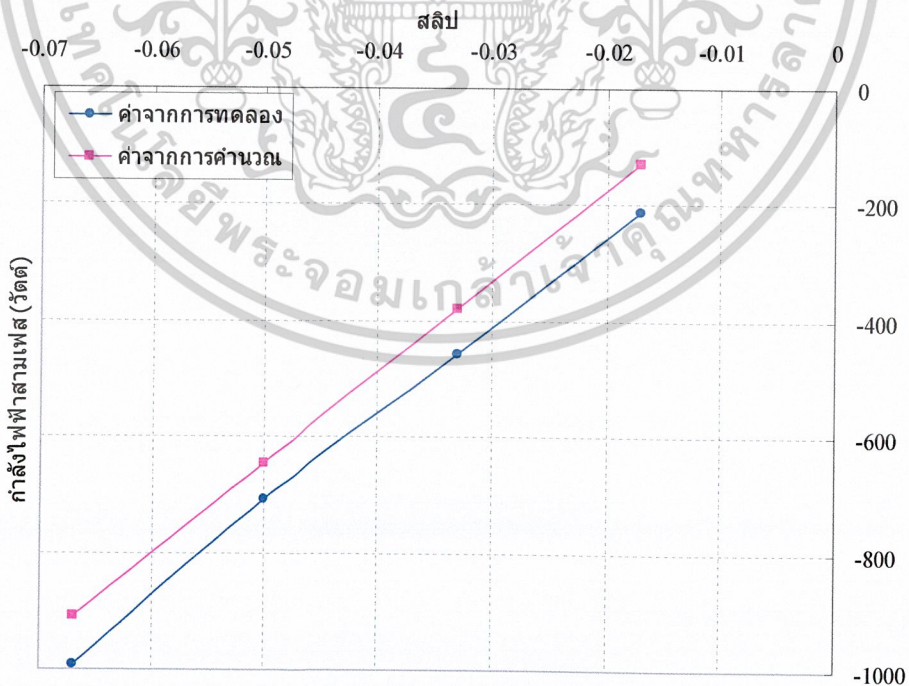


รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ากับค่าสลิปที่ระดับเปอร์เซ็นต์แรงดันไฟฟ้าต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเคลื่อนที่ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

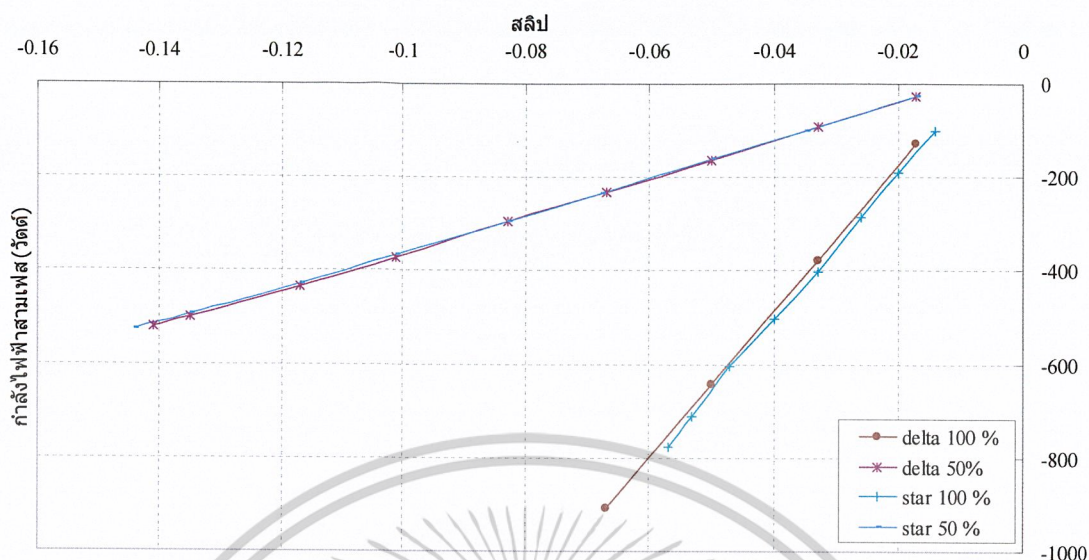


รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการทดลองกับการคำนวณที่แรงดันไฟฟ้า 50 % ของที่กัก
เมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเดลต้า

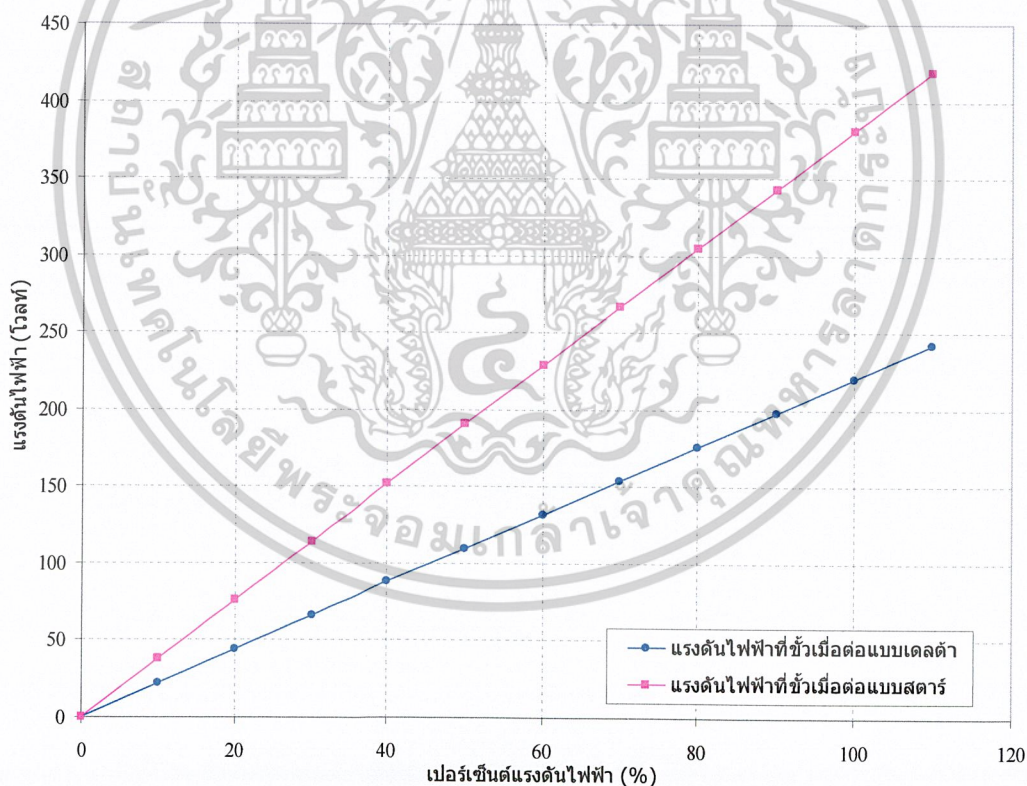


รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการทดลองกับการคำนวณที่แรงดันไฟฟ้าที่กัก
เมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเดลต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้จากการทดลองกับค่าสลลป ที่แรงดันไฟฟ้ 50 % และที่แรงดันไฟฟ้ปกติของการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้หน้ย่นำแบบสตาร์และแบบเดลต้าเข้ากับระบบเครือข้ย



รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ระหว่างสลลปกับค่าสลลป ที่เปอร์เซ็นต์แรงดันไฟฟ้ของการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้หน้ย่นำแบบสตาร์และแบบเดลต้าเข้ากับระบบเครือข้ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 สรุปผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเชื่อมต่อกับเครือข่าย

จากตารางการทดลอง โดยความสัมพันธ์ของกราฟเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่สามารถจ่ายคืนให้กับระบบเครือข่าย (กำลังไฟฟ้าที่ได้เป็นลบ) สามารถกล่าวได้ว่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายคืนจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่ออยู่ และค่ากระแสไฟฟ้าจะแปรผันตามความเร็วโรเตอร์ เมื่อความเร็วโรเตอร์มากขึ้นกำลังไฟฟ้าจะมากขึ้นด้วย และเมื่อเราปรับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนถึงพิกัดเราจะสามารถเพิ่มความเร็วโรเตอร์ได้เพียงเล็กน้อยก็จะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานที่กระแสพิกัด ซึ่งในความเป็นจริงเรายังสามารถเพิ่มความเร็วโรเตอร์เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้ามากขึ้นแต่ไม่กระทำเนื่องจากจะทำให้กระแสเกินพิกัด มีผลทำให้เกิดความร้อนสะสมและฉนวนของขดลวดจะเสื่อมสภาพเร็ว หรืออายุการใช้งานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะสั้นลง

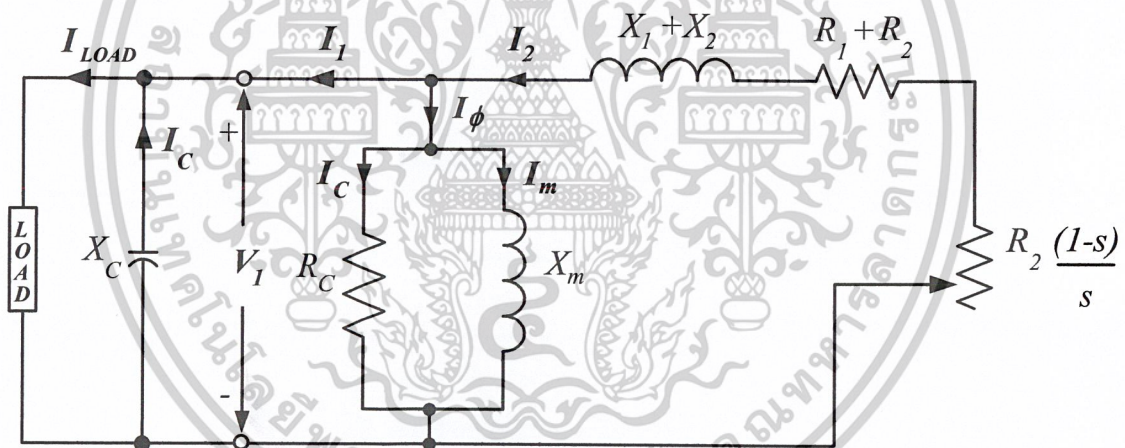
จากกราฟการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจ่ายกำลังไฟฟ้าออกมาจากการทดลองและคำนวณซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าพารามิเตอร์ R_c และ X_m ที่ใช้ในการคำนวณจะต้องเปลี่ยนแปลงตามแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป และเมื่อสังเกตดูกำลังไฟฟ้าตามค่าสลิปต่าง ๆ ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำผลิตได้ เมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเซลล์ต้าและแบบสตาร์ ที่ค่าสลิปเดียวกันจะได้กำลังไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกัน แต่จะสังเกตว่าได้กำลังไฟฟ้าจากการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเซลล์ต้าพิกัดแรงดันไฟฟ้าจะต่ำกว่าเพราะแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดสเตเตอร์ทนได้เพียงแค่ว่า 220 โวลต์ ในขณะที่การต่อแบบสตาร์จะสามารถรับแรงดันไฟฟ้าได้ 380 โวลต์ อาจจะกล่าวได้ว่า ไม่ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีวิธีการต่อแบบใดกับระบบแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานทั่วไป กำลังไฟฟ้าที่ได้จะได้ออกมาเท่ากัน เราควรลดอุปกรณช่วยที่สิ้นเปลืองออกไป เพื่อลดค่าใช้จ่าย

บทที่ 5

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเอง

5.1 หลักการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเอง

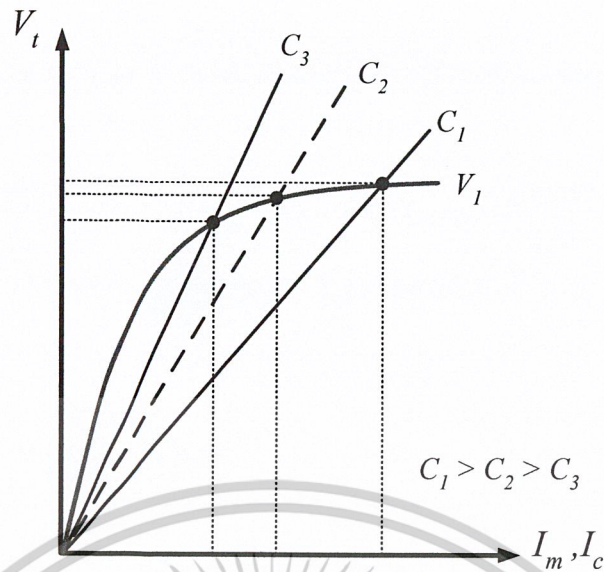
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเอง จะถูกกระตุ้นด้วยกำลังไฟฟ้าจินตภาพที่ได้จากตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่ที่ขั้วสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ดังรูปที่ 5.1 และใช้ตัวต้นกำลังขั้วที่เพลลาของโรเตอร์จะทำให้สนามแม่เหล็กที่ตกค้าง (residual flux) ในโรเตอร์ที่อยู่ภายในวงจรแม่เหล็กของโรเตอร์ตัดกับขดลวดที่สเตเตอร์ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นมาเล็กน้อย ขณะเดียวกันแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้จะไปตกคร่อมที่ตัวเก็บประจุทำให้เกิดกระแสเนื่องจากตัวเก็บประจุ กระแสไฟฟ้านี้เองจึงเป็นส่วนที่เพิ่มกระแสนี้ในการสร้างสนามแม่เหล็กของส่วนกระตุ้นให้กับเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำให้มีแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและกระแสเนื่องมาจากตัวเก็บประจุก็จะเพิ่มขึ้นตามแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมซึ่งจะไปมีผลทำให้กระแสที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงจุดสมดุล หรือเรียกว่า Built-Up Point และจะไม่มีการสร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อไปอีก[4]



รูปที่ 5.1 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นด้วยตัวเอง

5.2 หลักการวิเคราะห์ขนาดของตัวเก็บประจุ

การวิเคราะห์หาขนาดของตัวเก็บประจุเริ่มต้นที่เหมาะสม พิจารณาจากความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าสร้างเส้นแรงแม่เหล็กและกระแสไฟฟ้าตัวเก็บประจุของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขณะไม่มีภาระไฟฟ้า สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 5.2 จะพบว่าเมื่อขนาดของตัวเก็บประจุมีค่ามากขึ้นแรงดันไฟฟ้าที่สร้างก็มีค่ามากขึ้นด้วย ในทางกลับกันหากเราควบคุมขนาดของแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ ความเร็วรอบของโรเตอร์ที่มีตัวเก็บประจุค่าน้อย ๆ ต่ออยู่จะต้องใช้ความเร็วรอบที่สูงกว่าค่าตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่ ๆ เพราะความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าจินตภาพต่างกันนั่นเอง



รูปที่ 5.2 แรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระตุ้นด้วยตัวเองขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า

ในสถานะไม่มีภาระทางไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าจากตัวเก็บประจุ ($I_c = V_1/X_c$) จะมีค่าเท่ากับกระแสสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก ($I_m = V_1/X_m$) ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว V_1 เป็นฟังก์ชันของ I_m โดยมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นจนกว่าจะถึงจุดอิ่มตัวของแกนเหล็กซึ่งเป็นจุดที่ไม่ดี จุดตัดของกราฟ V_1 กับขนาดของ C ดังรูปที่ 5.2 ซึ่งเป็นจุดทำงาน โดยจะเป็นจุดที่ $V_1/X_c = V_1/X_m$ เมื่อ $I/X_c = I/X_m$ และ $X_c = 1/\omega C$ กำหนดให้ความถี่ที่ทำงานมีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ ด้วยขนาดของตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับ C ดังนั้นค่าความถี่ที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเองขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า สามารถพิจารณาได้ดังสมการที่ (5.1) [11]

$$f = \frac{1}{2\pi C X_m} \quad (5.1)$$

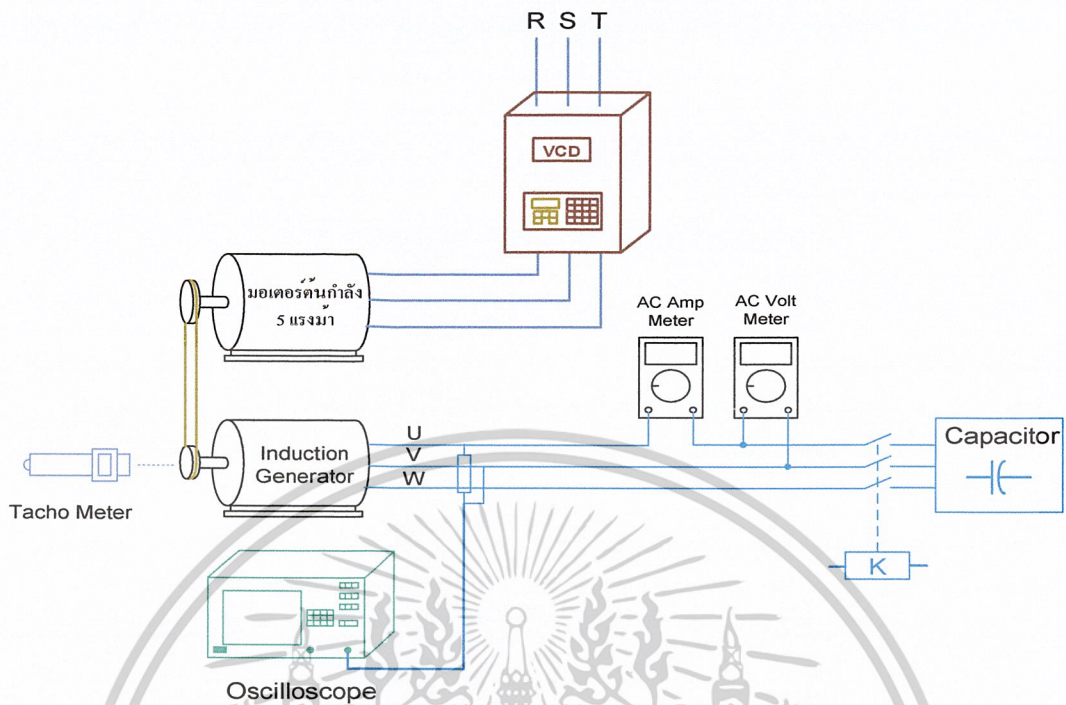
ในสถานะที่มีโหลดต่ออยู่ กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ $V_1 I_2 \cos \phi_2$ เพื่อที่จะจ่ายให้โหลดชนิดความต้านทาน R และค่ากำลังสูญเสียที่ R_c โดยที่ค่ากระแสไฟฟ้าจินตภาพ (reactive currents) รวมกันได้เท่ากับศูนย์ ดังสมการที่ (5.2) [11]

$$\frac{V_1}{X_c} = \frac{V_1}{X_L} + \frac{V_1}{X_m} + I_2 \sin \phi_2 \quad (5.2)$$

สมการที่ (5.2) เป็นสมการที่ใช้สำหรับหาแรงดันไฟฟ้าขาออก V_1 ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขณะมีโหลด

สมการที่ (5.1) และสมการที่ (5.2) ใช้สำหรับหาค่าความถี่และแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าที่พู่ทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อรู้ค่าปาซิแตนซ์และทั้งสองสมการสามารถใช้หาค่าของคาปาซิแตนซ์เมื่อรู้ค่าความถี่และแรงดันไฟฟ้าได้เช่นเดียวกัน

5.3 การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเอง



รูปที่ 5.3 แสดงรูปการทดลองและการวัดค่าต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

5.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. แท่นทดสอบติดตั้งต้นกำเนิดและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	1	ตัว
2. Inverter (VCD 3-phase)	1	ตัว
3. Tacho Meter	1	ตัว
4. Junction Box	1	ตัว
5. Watt Meter	1	ตัว
6. AC Amp Meter	1	ตัว
7. AC Volt Meter	1	ตัว
8. Magnetic contactor	1	ตัว
9. สายไฟ	40	เส้น

5.3.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. ตรวจสอบทิศทางหมุนของมอเตอร์ต้นกำเนิดกับทิศทางหมุนของเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้มีทิศทางเดียวกันก่อน
2. กำหนดค่าคาปาซิเตอร์ไว้หนึ่งค่า โดยต่อวงจรของตัวเก็บประจุเป็นแบบสตาร์
3. สับสวิทช์วงจรตัวเก็บประจุด้วย Magnetic contactor
4. ทำการเดินเครื่องต้นกำเนิดตัวขับและปรับให้ความเร็วรอบโรเตอร์ของมอเตอร์ที่ทำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขึ้นไปเรื่อยๆ จนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสร้างแรงดันได้ จดบันทึกค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ปรับความเร็วรอบของต้นกำลังให้ความเร็วรอบโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีความเร็วมากขึ้นเป็นลำดับและจดบันทึกค่า
6. เปลี่ยนค่าคาปาซิเตอร์ให้มากขึ้นแล้วทำการทดลองซ้ำอีกและค่ากระแสไม่ควรเกินพิกัด

5.4 ผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเอง

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองขณะไม่มีภาระเมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 แรงม้าแบบสตาร์

C 12.5 μF					
n_r	V_{phase}	I_{phase}	f	n_s	s
1082	3	0	0	0	0
1401	6	0	0	0	0
1498	8	0	0	0	0
1613	12	0	52.0	1560	-0.0340
1648	15	0	54.1	1623	-0.0154
1688	248	1	56.1	1683	-0.0030
1725	262	1.1	57.4	1722	-0.0017
1774	280	1.2	58.9	1767	-0.0040
1828	299	1.3	60.9	1827	-0.0005

C 15 μF					
n_r	V_{phase}	I_{phase}	f	n_s	s
1140	3	0	0	0	0
1414	6	0	0	0	0
1484	8	0	0	0	0
1490	15	0	49.5	1485	-0.0034
1538	228	1	51.2	1536	-0.0013
1565	240	1.1	52.0	1560	-0.0032
1618	259	1.2	53.6	1608	-0.0062
1644	267	1.3	54.5	1635	-0.0055
1677	279	1.4	55.7	1671	-0.0036
1724	294	1.5	57.3	1719	-0.0029

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C 17.5 μ F					
n_r	V_{phase}	I_{phase}	f	n_s	s
972	3	0	0	0	0
1253	6	0	0	0	0
1296	8	0	0	0	0
1351	10	0	45.0	1350	-0.0007
1396	14	0	45.5	1365	-0.0227
1422	208	1	47.2	1416	-0.0042
1458	222	1.1	48.4	1452	-0.0041
1520	244	1.2	50.4	1512	-0.0053
1548	253	1.3	51.4	1542	-0.0039
1567	260	1.4	52.0	1560	-0.0045
1603	272	1.5	53.2	1596	-0.0044
1663	292	1.6	55.2	1656	-0.0042

C 20 μ F					
n_r	V_{phase}	I_{phase}	f	n_s	s
920	3	0	0	0	0
1156	6	0	0	0	0
1226	8	0	0	0	0
1276	11	0	42.0	1260	-0.0127
1290	13	0	42.2	1266	-0.0190
1301	14	0	42.4	1272	-0.0228
1329	196	1	44.1	1323	-0.0045
1368	211	1.1	45.4	1362	-0.0044
1416	228	1.2	47.0	1410	-0.0043
1446	238	1.3	47.9	1437	-0.0063
1459	243	1.4	48.4	1452	-0.0048
1488	253	1.5	49.3	1479	-0.0061
1528	265	1.6	50.6	1518	-0.0066

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C 22.5 μ F					
n_r	V_{phase}	I_{phase}	f	n_s	s
892	3	0	0	0	0
1112	6	0	0	0	0
1174	8	0	0	0	0
1202	10	0	40.0	1200	-0.0017
1212	11	0	40.1	1203	-0.0075
1231	13	0	40.3	1209	-0.0182
1280	193	1	42.3	1269	-0.0087
1296	200	1.1	43.0	1290	-0.0047
1327	211	1.2	44.0	1320	-0.0053
1373	227	1.3	45.5	1365	-0.0059
1395	234	1.4	46.2	1386	-0.0065
1415	241	1.5	47.0	1410	-0.0035
1448	251	1.6	48.0	1440	-0.0056
1477	261	1.7	49.0	1470	-0.0048
1516	273	1.8	50.1	1503	-0.0086

C 25 μ F					
n_r	V_{phase}	I_{phase}	f	n_s	s
954	3	0	0	0	0
1129	6	0	0	0	0
1165	8	0	0	0	0
1193	11	0	39.7	1191	-0.0017
1205	181	1	39.9	1197	-0.0067
1231	191	1.1	40.8	1224	-0.0057
1257	201	1.2	41.6	1248	-0.0072
1282	209	1.3	42.6	1278	-0.0031
1305	217	1.4	43.3	1299	-0.0046
1331	226	1.5	44	1320	-0.0083
1382	242	1.6	45.7	1371	-0.0080
1397	247	1.7	46.2	1386	-0.0079
1425	256	1.8	47.1	1413	-0.0085
1461	267	1.9	48.4	1452	-0.0062
1486	275	2.0	49.3	1479	-0.0047

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C 27.5 μ F					
n_r	V_{phase}	I_{phase}	f	n_s	s
838	3	0	0	0	0
1014	6	0	0	0	0
1067	8	0	0	0	0
1100	10	0	36.4	1092	-0.0073
1110	11	1	36.5	1095	-0.0137
1170	181	1.1	38.8	1164	-0.0052
1198	191	1.2	39.7	1191	-0.0059
1226	200	1.3	40.6	1218	-0.0066
1260	212	1.4	41.6	1248	-0.0096
1281	219	1.5	42.4	1272	-0.0071
1300	225	1.6	42.9	1287	-0.0101
1330	235	1.7	44.0	1320	-0.0076
1371	248	1.8	45.2	1356	-0.0111
1383	251	1.9	45.7	1371	-0.0088
1422	263	2.0	47.0	1410	-0.0085

C 30 μ F					
n_r	V_{phase}	I_{phase}	f	n_s	s
812	3	0	0	0	0
962	6	0	0	0	0
1024	8	0	0	0	0
1051	10	0	35.0	1050	-0.0010
1060	11	1	35.1	1053	-0.0066
1118	173	1.1	37.0	1110	-0.0072
1140	180	1.2	37.7	1131	-0.0080
1177	194	1.3	38.9	1167	-0.0086
1185	197	1.4	39.2	1176	-0.0077
1217	207	1.5	40.2	1206	-0.0091
1248	217	1.6	41.3	1239	-0.0073
1274	225	1.7	42.1	1263	-0.0087
1297	233	1.8	42.8	1284	-0.0101
1326	243	1.9	43.8	1314	-0.0091
1345	248	2.0	44.3	1329	-0.0120
1370	256	2.1	45.1	1353	-0.0126
1389	262	2.2	45.7	1371	-0.0131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C 32.5 μ F					
n_r	V_{phase}	I_{phase}	f	n_s	s
800	3	0	0	0	0
957	6	0	0	0	0
1000	8	0	0	0	0
1032	11	0	34.3	1029	-0.0029
1080	167	1.1	35.7	1071	-0.0084
1115	179	1.2	36.8	1104	-0.0100
1135	186	1.3	37.4	1122	-0.0116
1156	194	1.4	38.2	1146	-0.0087
1187	204	1.5	39.3	1179	-0.0068
1208	210	1.6	40.0	1200	-0.0067
1227	217	1.7	40.5	1215	-0.0099
1260	227	1.8	41.6	1248	-0.0096
1280	234	1.9	42.3	1269	-0.0087
1305	241	2.0	43.0	1290	-0.0116
1325	248	2.1	43.8	1314	-0.0084
1350	256	2.2	44.5	1335	-0.0112

C 35 μ F					
n_r	V_{phase}	I_{phase}	f	n_s	s
800	3	0	0	0	0
900	6	0	0	0	0
957	8	0	0	0	0
982	10	0	32.1	963	-0.0197
1040	160	1.1	34.4	1032	-0.0078
1060	168	1.2	35	1050	-0.0095
1080	176	1.3	35.7	1071	-0.0084
1114	187	1.4	36.8	1104	-0.0091
1138	195	1.5	37.6	1128	-0.0089
1148	198	1.6	37.9	1137	-0.0097
1175	208	1.7	38.8	1164	-0.0095
1200	216	1.8	39.7	1191	-0.0076
1237	227	1.9	40.9	1227	-0.0081
1256	233	2.0	41.4	1242	-0.0113
1267	237	2.1	41.8	1254	-0.0104
1290	243	2.2	42.5	1275	-0.0118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C 40 μ F					
n_r	V_{phase}	I_{phase}	f	n_s	s
720	4	0	0	0	0
873	6	0	0	0	0
946	11	0	0	0	0
1001	157	1.2	33.1	993	-0.0080
1032	167	1.3	34	1020	-0.0117
1053	175	1.4	34.8	1044	-0.0086
1073	182	1.5	35.4	1062	-0.0104
1110	194	1.6	36.6	1098	-0.0109
1120	197	1.7	37.0	1110	-0.0090
1160	209	1.8	38.2	1146	-0.0122
1181	216	1.9	38.9	1167	-0.0120
1200	222	2.0	39.5	1185	-0.0126
1217	227	2.1	40.0	1200	-0.0141
1245	237	2.2	40.9	1227	-0.0146

C 42.5 μ F					
n_r	V_{phase}	I_{phase}	f	n_s	s
725	3	0	0	0	0
840	6	0	0	0	0
884	8	0	0	0	0
900	10	0	29.9	897	-0.0033
930	140	1	30.5	915	-0.0163
952	148	1.1	31.4	942	-0.0106
972	155	1.2	32.1	963	-0.0093
984	160	1.3	32.5	975	-0.0092
1004	166	1.4	33.1	993	-0.0110
1037	177	1.5	34.1	1023	-0.0136
1049	181	1.6	34.6	1038	-0.0106
1068	188	1.7	35.3	1059	-0.008
1100	198	1.8	36.3	1089	-0.0100
1125	206	1.9	37.0	1110	-0.0135
1134	209	2.0	37.2	1116	-0.0161
1156	215	2.1	37.8	1134	-0.0190
1178	233	2.2	38.7	1161	-0.0146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดลองขณะไม่มีภาระเมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 แรงม้าแบบเดลต้า

C 5 μ F					
n_r	V_{phase}	I_{phase}	f	n_s	s
1099	4	0	0	0	0
1220	5	0	0	0	0
1289	6	0	0	0	0
1376	7	0	45	1350	-0.0192
1395	8	0	45.2	1356	-0.0287
1435	9	0	45.4	1362	-0.0536
1473	12	0	49.0	1470	-0.0020
1487	13	0	49.2	1476	-0.0074
1548	228	1	51.4	1542	-0.0038
1578	241	1.1	52.4	1572	-0.0038
1616	255	1.2	53.8	1614	-0.0012

C 7.5 μ F					
n_r	V_{phase}	I_{phase}	f	n_s	s
1048	5	0	0	0	0
1135	6	0	0	0	0
1165	8	0	0	0	0
1210	10	0	40.2	1206	-0.0033
1244	14	0	41.4	1242	-0.0016
1276	195	1.1	42.3	1269	-0.0055
1297	202	1.1	42.9	1287	-0.0077
1311	207	1.2	43.5	1305	-0.0046
1333	215	1.3	44.1	1323	-0.0075
1350	221	1.3	44.8	1344	-0.0044
1374	229	1.4	45.6	1368	-0.0043
1402	238	1.5	46.4	1392	-0.0071
1427	246	1.6	47.3	1419	-0.0056

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

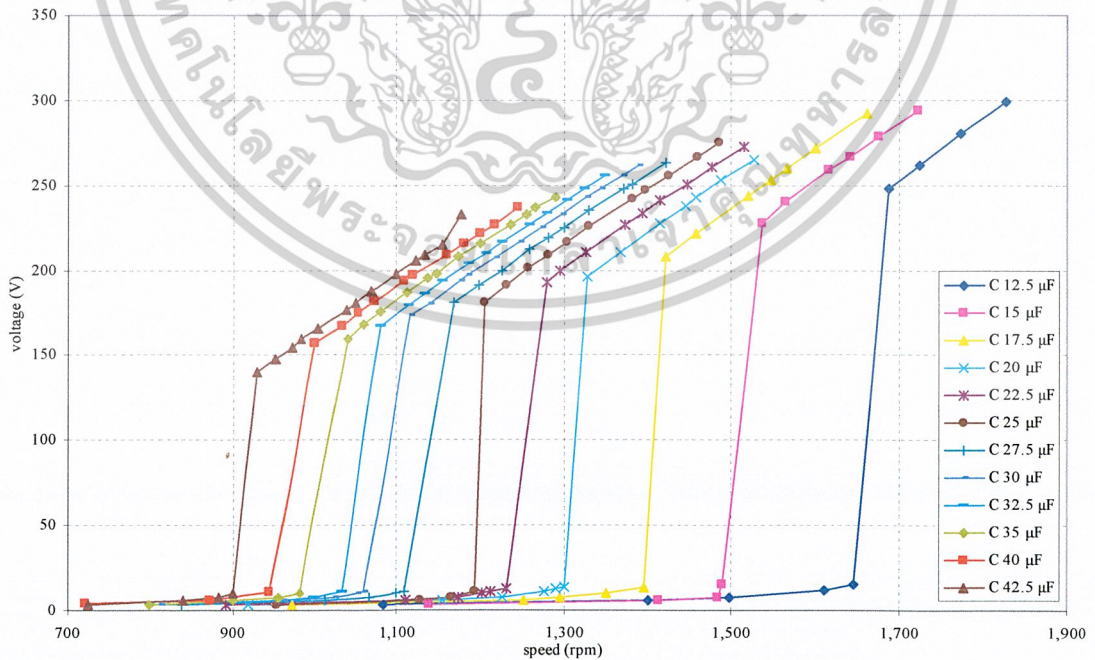
C 10 μ F					
n_r	V_{phase}	I_{phase}	f	n_s	s
1017	7	0	0	0	0
1048	9	0	0	0	0
1060	10	0	35.3	1059	-0.0009
1073	12	0	35.6	1068	-0.0046
1082	13	0	36	1080	-0.0018
1110	168	1	36.8	1104	-0.0054
1133	176	1.1	37.5	1125	-0.0071
1167	190	1.2	38.6	1158	-0.0077
1199	200	1.4	39.7	1191	-0.0067
1226	208	1.5	40.6	1218	-0.0065
1247	215	1.6	41.0	1230	-0.0138
1260	220	1.6	41.8	1254	-0.0047
1277	225	1.7	42.2	1266	-0.0086
1300	233	1.8	43.0	1290	-0.0077
1321	239	1.8	43.7	1311	-0.0076
1333	243	1.9	44.0	1320	-0.0098
1351	249	2.0	44.8	1344	-0.0052

C 12.5 μ F					
n_r	V_{phase}	I_{phase}	f	n_s	s
507	3	0	0	0	0
778	4	0	0	0	0
852	5	0	0	0	0
890	6	0	0	0	0
929	8	0	0	0	0
962	11	0	32.0	960	-0.0020
981	144	1	32.4	972	-0.0092
1000	152	1.1	33.1	993	-0.0070
1028	163	1.2	34.0	1020	-0.0078
1084	182	1.4	35.8	1074	-0.0093
1114	192	1.5	36.8	1104	-0.0090
1173	211	1.8	38.7	1161	-0.0103
1204	220	1.9	39.7	1191	-0.0109
1229	228	2.0	40.6	1218	-0.009
1241	232	2.1	40.9	1227	-0.0114
1263	239	2.2	41.6	1248	-0.0120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

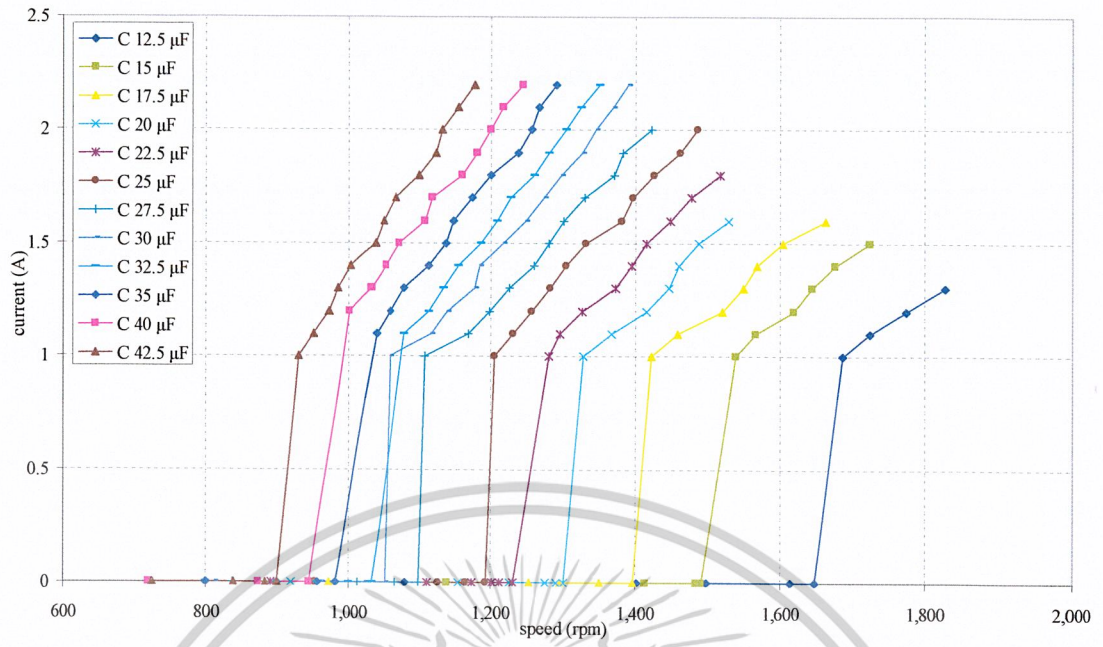
C 15 μF					
n_r	V_{phase}	I_{phase}	f	n_s	s
331	2	0	0	0	0
596	3	0	0	0	0
720	4	0	0	0	0
766	5	0	0	0	0
848	7	0	0	0	0
876	9	0	29	873	-0.0034
907	137	1.1	30	897	-0.0111
954	155	1.3	32	945	-0.0095
984	164	1.4	32	972	-0.0123
1011	174	1.5	33	999	-0.0120
1039	183	1.7	34	1029	-0.0097
1048	186	1.7	35	1035	-0.0125
1084	197	1.9	36	1071	-0.0121
1115	207	2.1	37	1098	-0.0154
1143	216	2.2	38	1125	-0.0160
1157	220	2.3	38	1137	-0.0175

สามารถนำค่าจากการทดลองมาแสดงความสัมพันธ์ได้เป็นกราฟดังต่อไปนี้

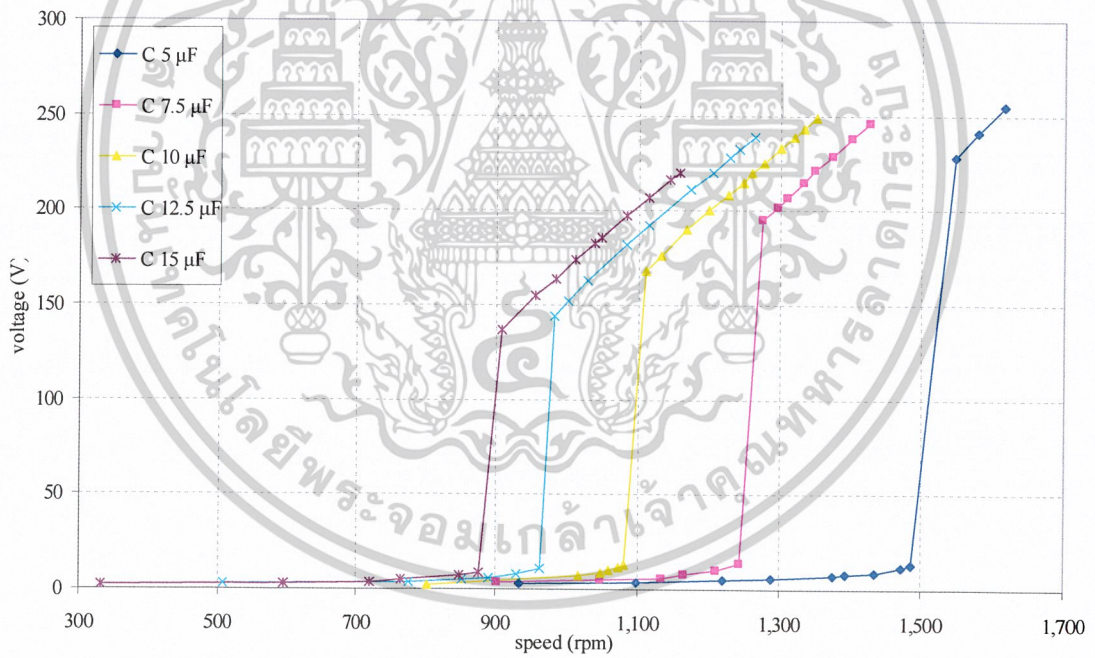


รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์กับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเมื่อต่อแบบสตาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

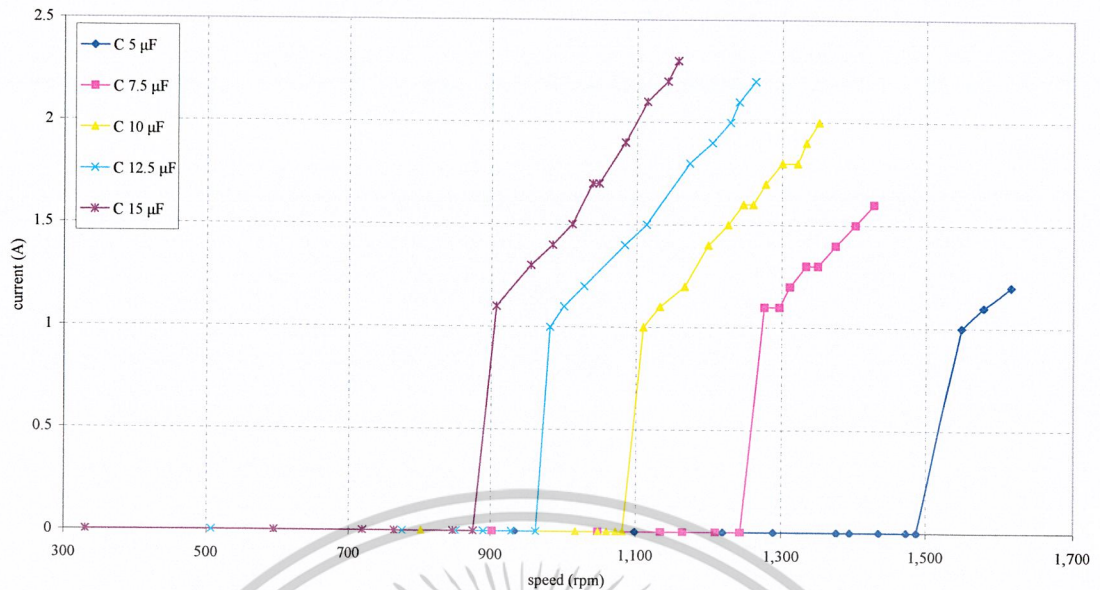


รูปที่ 5.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์กับกระแสไฟฟ้าเมื่อต่อแบบสตาร์



รูปที่ 5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์กับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเมื่อต่อแบบเดลต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโรเตอร์กับกระแสไฟฟ้าเมื่อต่อแบบเดลต้า

5.5 สรุปผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเองขณะไม่มีโหลด

จากกราฟความสัมพันธ์ที่ได้แสดงไว้ในรูปกราฟทั้งแบบการต่อตัวคาปาซิเตอร์แบบสตาร์และเดลต้าจะพบได้ว่า หากค่าตัวคาปาซิเตอร์มีค่าน้อย จุด built up แรงดันไฟฟ้าจะอยู่สูงก็จะต้องมีความเร็วโรเตอร์ที่ความเร็วรอบสูงจึงจะสร้างแรงดันไฟฟ้าได้ และเมื่อเพิ่มค่าคาปาซิเตอร์ให้มีค่ามากขึ้น ความเร็วรอบโรเตอร์ที่จะทำให้สร้างแรงดันไฟฟ้าก็จะน้อยลงตามลำดับดังกราฟ และเมื่อเปรียบเทียบการต่อตัวคาปาซิเตอร์แบบสตาร์กับแบบเดลต้าจะเห็นได้ว่าการต่อตัวคาปาซิเตอร์แบบเดลต้าจะใช้คาปาซิเตอร์ในการ built up แรงดันไฟฟ้าที่มีค่าน้อยกว่าการต่อตัวคาปาซิเตอร์แบบสตาร์ที่พิกัดความเร็วรอบโรเตอร์เดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากแรงดันต่อเฟสของการต่อแบบเดลต้ามีค่า $\sqrt{3}$ เท่าของการต่อแบบสตาร์ ในการเพิ่มและลดขนาดของตัวคาปาซิเตอร์จะต้องมีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบด้วย โดยจะต้องคำนึงถึงพิกัดของกระแสไฟฟ้าที่ตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้น

5.6 การทดลองเปลี่ยนแปลงค่าคาปาซิเตอร์ตามโหลด

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดลองเปลี่ยนแปลงค่าตัวคาปาซิเตอร์ตามภาระของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ที่ความเร็วโรเตอร์ 1258 rpm													
C	Load Rated (watt)	V_T (volt)	I_T (A)	I_L (A)	f (Hz)	n_s (rpm)	slip (p.u.)	$P_{CU,S}$ (watt)	P_{C,P_M} (watt)	P (watt)	P_{CON} (watt)	$P_{CU,R}$ (watt)	Eff (p.u.)
30 μ F	no load	220	1.76	0	41	1,230	0.0228	26.98	45.45	0	72.43	1.65	0
	20	215	1.73	0.11	41	1,230	0.0228	26.07	43.41	23.65	93.13	2.12	24.83
	40	213	1.71	0.18	41	1,230	0.0228	25.47	42.61	38.34	106.42	2.42	35.23
	60	209	1.68	0.25	41	1,230	0.0228	24.58	41.02	52.25	117.86	2.68	43.35
	80	204	1.65	0.36	41	1,230	0.0228	23.71	39.08	73.44	136.24	3.10	52.71
	100	198	1.63	0.46	41	1,230	0.0228	23.14	36.82	91.08	151.04	3.44	58.96
	120	192	1.61	0.52	40	1,200	0.0483	22.58	34.62	99.84	157.04	7.59	60.65
32.5 μ F	140	188	1.60	0.62	40	1,200	0.0483	22.3	33.19	116.56	172.05	8.32	64.62
	40	219	1.86	0.18	41	1,230	0.0228	30.13	45.04	39.42	114.6	2.61	33.63
	60	215	1.85	0.25	41	1,230	0.0228	29.81	43.41	53.75	126.97	2.89	41.39
	80	210	1.81	0.37	41	1,230	0.0228	28.53	41.42	77.70	147.65	3.36	51.45
	100	205	1.79	0.47	41	1,230	0.0228	27.91	39.47	96.35	163.73	3.37	57.54
	120	200	1.78	0.58	40	1,200	0.0483	27.60	37.57	116.00	181.16	8.76	61.08
	140	196	1.76	0.63	40	1,200	0.0483	26.98	36.08	123.48	186.54	9.02	63.14
35 μ F	160	192	1.75	0.69	40	1,200	0.0483	26.67	34.62	132.48	193.77	9.37	65.22
	180	186	1.74	0.78	40	1,200	0.0483	26.37	32.49	145.08	203.94	9.86	67.86
35 μ F	60	221	2.05	0.26	41	1,230	0.0228	36.60	45.87	57.46	139.93	3.19	40.15

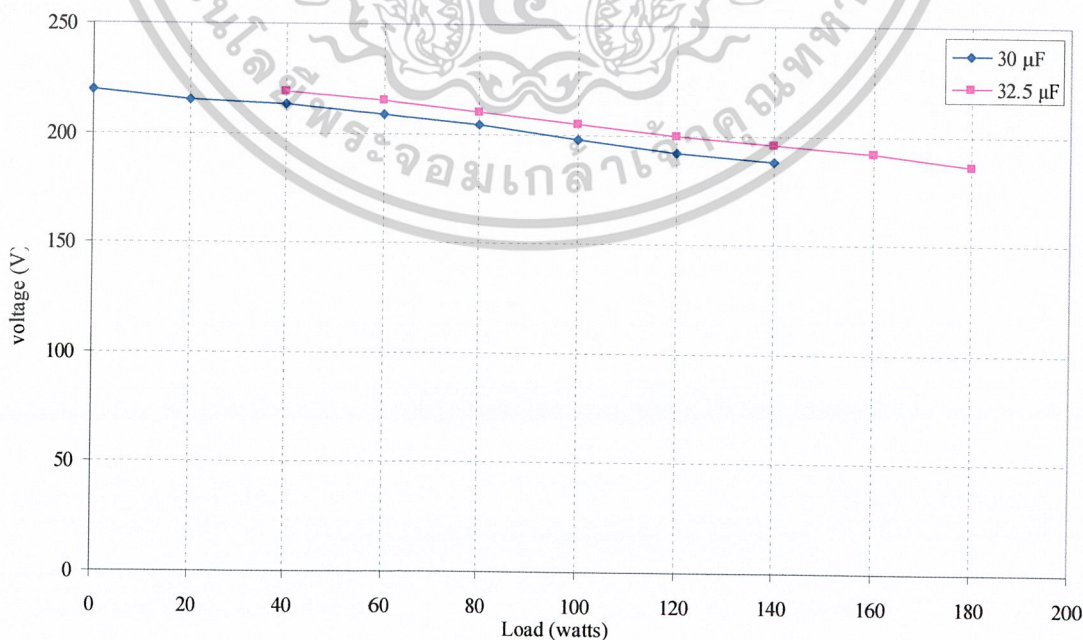
ที่ความเร็วโรเตอร์ 1352 rpm													
C	Load Rated (watt)	V_T (volt)	I_T (A)	I_L (A)	f (Hz)	n_s (rpm)	slip (p.u.)	$P_{CU,S}$ (watt)	P_{C,P_M} (watt)	P (watt)	P_{CON} (watt)	$P_{CU,R}$ (watt)	Eff (p.u.)
22.5 μ F	no load	220	1.4	0	45	1,350	0.0015	17.07	45.45	0	62.53	0.09	0
	20	215	1.36	0.11	45	1,350	0.0015	16.11	43.41	23.65	83.17	0.12	28.39
	40	210	1.35	0.18	44	1,320	0.0242	15.87	41.42	37.8	95.09	2.31	38.81
	60	205	1.32	0.25	44	1,320	0.0242	15.18	39.74	51.25	105.89	2.57	47.25
	80	199	1.3	0.35	44	1,320	0.0242	14.72	37.19	69.65	121.56	2.95	55.94
	100	191	1.27	0.44	44	1,320	0.0242	14.05	34.26	84.04	132.35	3.21	62.00
	120	181	1.25	0.54	43	1,290	0.0481	13.61	30.77	97.74	142.12	6.83	65.62
25 μ F	60	219	1.57	0.3	44	1,320	0.0242	21.47	45.04	65.70	132.21	3.21	48.52
	80	215	1.56	0.37	44	1,320	0.0242	21.20	43.41	79.55	144.16	3.49	53.88
	100	208	1.54	0.47	44	1,320	0.0242	20.66	40.63	97.76	159.05	3.86	60.01
	120	202	1.53	0.58	43	1,290	0.0481	20.39	38.32	117.16	175.87	8.54	63.56
	140	198	1.52	0.64	43	1,290	0.0481	20.12	36.82	126.72	183.66	8.83	65.83
	160	190	1.51	0.73	43	1,290	0.0481	19.86	33.90	138.7	192.46	9.25	68.76
	180	183	1.5	0.78	43	1,290	0.0481	19.60	31.45	142.74	193.79	9.31	70.28
27.5 μ F	100	219	1.75	0.49	43	1,320	0.0242	26.67	45.04	107.31	179.03	4.34	58.52
	120	214	1.74	0.59	43	1,290	0.0481	26.37	43.01	126.26	195.64	9.40	61.58
	140	209	1.73	0.66	43	1,290	0.0481	26.07	41.02	137.94	205.03	9.85	64.19
	160	203	1.73	0.76	43	1,290	0.0481	25.92	38.70	154.28	218.9	10.52	67.25
	180	198	1.71	0.81	43	1,290	0.0481	25.47	36.82	160.38	222.67	10.7	68.72
	200	191	1.7	0.89	43	1,290	0.0481	25.17	34.26	169.99	229.42	11.03	70.70
	220	182	1.69	0.97	42	1,260	0.073	24.88	31.11	176.54	232.52	16.98	70.76
30 μ F	140	220	1.94	0.66	43	1,290	0.0481	33.46	45.45	145.2	224.11	10.77	61.82
	160	215	1.94	0.72	43	1,290	0.0481	32.78	43.41	154.8	230.99	11.10	63.94
	180	210	1.93	0.82	43	1,290	0.0481	32.78	41.42	172.2	246.4	11.84	66.68
	200	203	1.92	0.92	43	1,290	0.0481	32.44	38.70	186.76	257.91	12.40	69.09
	220	196	1.91	1.02	42	1,260	0.073	32.11	36.08	199.92	268.11	19.58	69.49
	240	191	1.91	1.06	42	1,260	0.073	31.77	34.26	202.46	268.5	19.60	70.27
	260	186	1.9	1.1	42	1,260	0.073	31.44	32.49	204.6	268.53	19.61	71.01
32.5 μ F	160	222	2.1	0.73	43	1,290	0.0481	38.41	46.28	162.06	246.76	11.86	62.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความเร็วโรเตอร์ 1517 rpm													
C	Load Rated (watt)	V_T (volt)	I_T (A)	I_L (A)	f (Hz)	n_s (rpm)	slip (p.u.)	$P_{Cu,S}$ (watt)	P_{C,P_M} (watt)	P (watt)	P_{CON} (watt)	$P_{Cu,R}$ (watt)	Eff (p.u.)
15	no load	220	1.10	0.00	50.4	1,512	-0.0033	10.54	45.45	0.00	55.99	0.19	0.00
	20	212	1.05	0.11	50.2	1,506	-0.0073	9.60	42.21	23.32	75.13	0.55	30.81
	40	205	1.03	0.18	50.0	1,500	-0.0113	9.15	39.47	36.90	85.52	0.97	42.67
	60	196	1.00	0.24	49.7	1,491	-0.0174	8.17	36.08	47.04	91.83	1.60	50.35
	80	179	0.90	0.34	49.6	1,488	-0.0195	7.06	30.09	60.86	98.01	1.91	60.91
17.5 μ F	80	221	1.30	0.37	49.6	1,488	-0.0195	14.72	45.87	81.77	142.36	2.77	56.34
	100	211	1.25	0.48	49.3	1,479	-0.0257	13.61	41.81	101.28	156.70	4.03	63.01
	120	199	1.25	0.58	49	1,470	-0.0320	13.61	37.19	115.42	166.22	5.31	67.29
	140	189	1.20	0.62	49	1,470	-0.0320	12.54	33.55	117.18	163.27	5.22	69.55
	160	173	1.15	0.66	49	1,470	-0.0320	11.52	28.11	114.18	153.81	4.92	71.94
20 μ F	160	220	1.56	0.75	48	1,440	-0.0535	21.20	45.45	163.90	230.55	12.33	67.48
	180	211	1.55	0.84	48	1,440	-0.0535	20.93	41.81	177.24	239.98	12.83	70.11
	200	198	1.54	0.91	48	1,440	-0.0535	20.66	38.82	180.18	237.65	12.71	71.97
	220	182	1.50	0.95	48	1,440	-0.0535	19.60	31.11	177.45	228.16	12.20	73.83
22.5 μ F	200	219	1.80	0.97	48	1,440	-0.0535	28.22	45.04	211.34	284.60	15.22	70.49
	220	212	1.80	1.06	48	1,440	-0.0535	28.22	42.21	224.72	295.15	15.78	72.27
	240	204	1.78	1.10	48	1,440	-0.0535	27.60	39.08	224.40	291.08	15.56	73.18
	260	194	1.75	1.14	47	1,410	-0.0759	26.67	35.35	220.19	282.21	21.42	72.52
25 μ F	280	168	1.60	1.15	47	1,410	-0.0759	22.30	26.51	193.20	242.01	18.36	74.20
	260	220	2.10	1.21	47	1,410	-0.0759	38.41	45.45	266.20	350.06	26.57	70.68

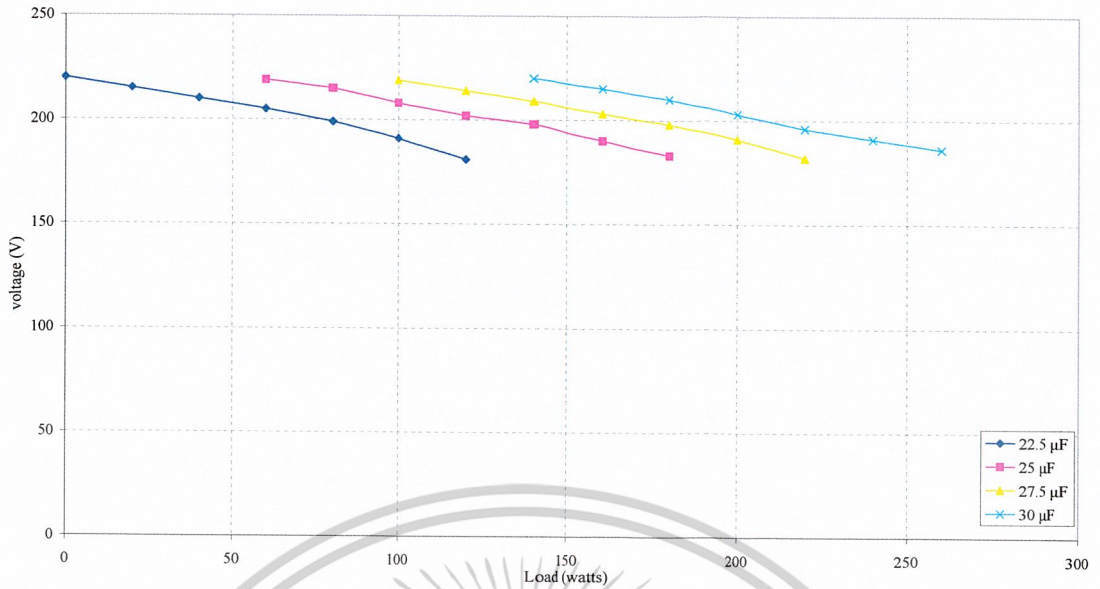
ที่ความเร็วโรเตอร์ 1628 rpm													
C	Load Rated (watt)	V_T (volt)	I_T (A)	I_L (A)	f (Hz)	n_s (rpm)	slip (p.u.)	$P_{Cu,S}$ (watt)	P_{C,P_M} (watt)	P (watt)	P_{CON} (watt)	$P_{Cu,R}$ (watt)	Eff (p.u.)
12.5 μ F	no load	220	0.95	0.00	54	1,620	-0.0049	7.86	45.45	0.00	53.31	0.26	0.00
	20	208	0.90	0.11	54	1,620	-0.0049	7.06	40.63	22.88	70.57	0.35	32.26
	40	195	0.85	0.18	54	1,620	-0.0049	6.29	35.71	35.10	77.10	0.38	45.30
	60	174	0.80	0.23	53	1,590	-0.0239	5.57	28.43	40.02	74.02	1.77	52.80
15 μ F	120	216	1.25	0.60	52	1,560	-0.0436	13.61	43.82	129.60	187.03	8.15	66.40
	140	204	1.20	0.65	52	1,560	-0.0436	12.54	39.08	132.60	184.22	8.03	68.97
	160	185	1.16	0.68	52	1,560	-0.0436	11.72	32.14	125.80	169.66	7.40	71.05
17.5 μ F	180	224	1.55	0.86	52	1,560	-0.0436	20.93	47.12	192.64	260.69	11.36	70.81
	200	210	1.54	0.94	52	1,560	-0.0436	20.66	41.42	197.40	259.48	11.31	72.90
	220	187	1.46	1.00	52	1,560	-0.0436	18.57	32.84	187.00	238.41	10.39	75.16
20 μ F	260	220	1.90	1.21	51	1,530	-0.0641	31.44	45.45	266.20	343.09	21.98	72.92
	280	204	1.86	1.28	51	1,530	-0.0641	30.13	39.08	261.12	330.33	21.16	74.29
22.5 μ F	300	222	2.12	1.43	50	1,500	-0.0853	39.15	46.28	317.46	402.89	34.38	72.60

สามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของการเพิ่มโหลดกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป โดยจะแสดงให้เห็นดังรูปกราฟต่อไปนี้

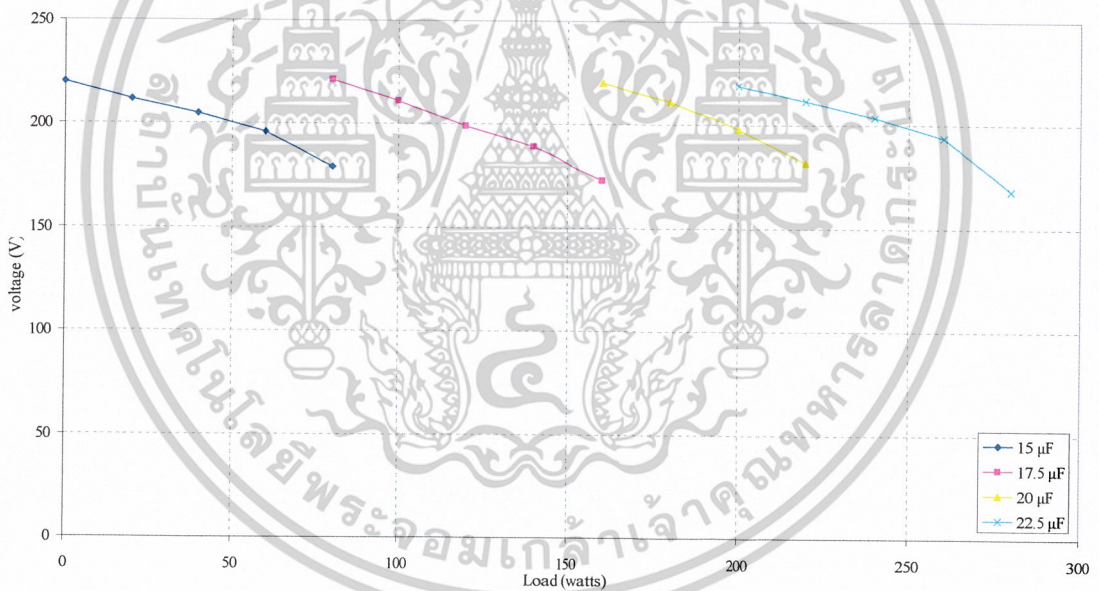


รูปที่ 5.8 กราฟการเปลี่ยนแปลงค่าตัวเก็บประจุตามขนาดของโหลดความต้านทาน ที่ความเร็วโรเตอร์ 1258 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

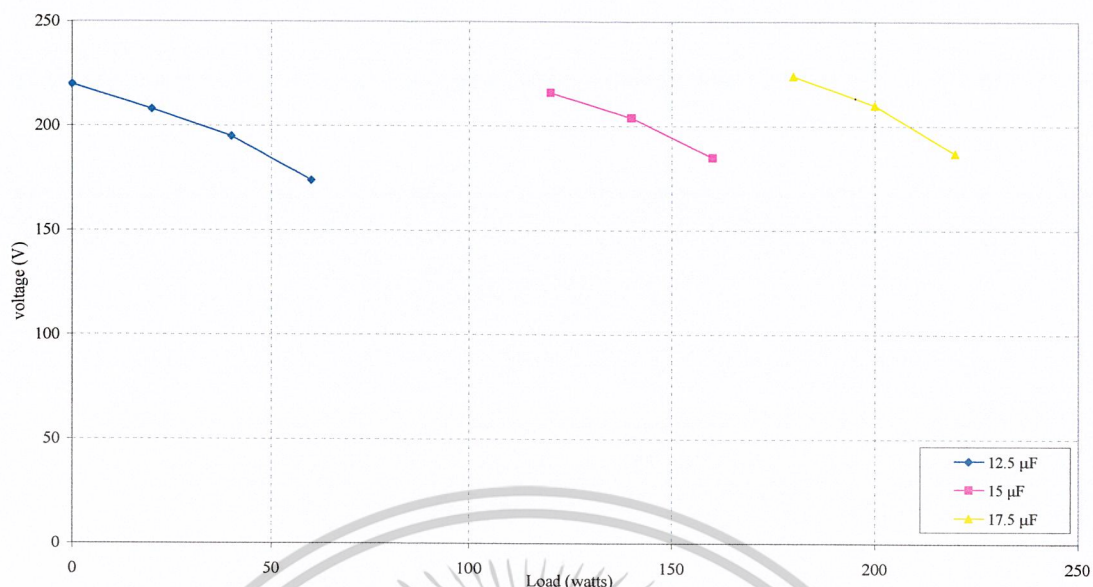


รูปที่ 5.9 กราฟการเปลี่ยนแปลงค่าตัวเก็บประจุตามขนาดของโหลดความต้านทาน ที่ความเร็วโรเตอร์ 1352 rpm



รูปที่ 5.10 กราฟการเปลี่ยนแปลงค่าตัวเก็บประจุตามขนาดของโหลดความต้านทาน ที่ความเร็วโรเตอร์ 1517 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 กราฟการเปลี่ยนแปลงค่าตัวเก็บประจุตามขนาดของโหลดความต้านทาน ที่ความเร็วโรเตอร์ 1628 rpm

5.7 สรุปผลการทดลองเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าคาปาซิเตอร์ตามโหลด

เมื่อได้ทดสอบขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้าแล้ว ในการทดลองนี้จึงได้มีการใส่ภาระทางไฟฟ้าโดยใช้ โหลดความต้านทานเพิ่มให้กับชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ พบว่าความถี่ของระบบจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ถ้าความเร็วรอบของโรเตอร์มากความถี่ก็จะมากตามไปด้วย เมื่อซบความเร็วรอบของโรเตอร์ที่ความเร็วรอบคงที่ไว้ค่าหนึ่ง แล้วทำการเปลี่ยนแปลงค่าคาปาซิเตอร์เพิ่มขึ้นจะมีความสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้โหลดได้มากขึ้น และถ้าหากให้คาปาซิเตอร์มีค่าเปลี่ยนแปลงตามภาระทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปจะสามารถรักษาระดับแรงดันให้อยู่ในช่วงที่กำหนดได้ระดับหนึ่ง แต่เมื่อเปลี่ยนแปลงโหลดให้มีค่ามากขึ้นจะพบว่าแรงดันไฟฟ้าจะลดต่ำลงจนเป็นศูนย์ที่ขนาดของโหลดค่าหนึ่ง ทั้งนี้เพราะว่าขนาดของคาปาซิเตอร์ที่มีอยู่ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟให้กับการสร้างสนามแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้อย่างเพียงพอ ในลักษณะเดียวกันการเพิ่มค่าคาปาซิเตอร์ตามโหลดมากเกินไปจะทำให้กระแสไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกินพิกัดจนสามารถก่อให้เกิดความเสียหายกับตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้

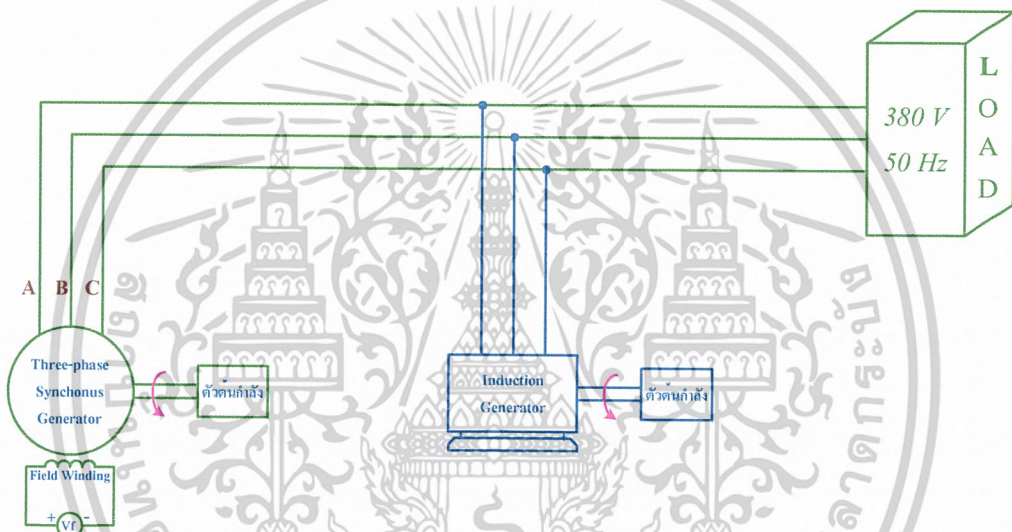
อย่างไรก็ตามการนำวิธีการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเองไปจ่ายโหลดโดยตรงจะไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร เพราะความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อโหลดเพิ่มขึ้นจะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่ได้รับความเสียหายได้ อีกทั้งความถี่ไม่คงที่ มีฮาร์โมนิกส์เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าควรที่จะนำกำลังไฟฟ้าที่ได้ไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่จะเป็นการดีกว่านำไปใช้งานโดยตรง

บทที่ 6

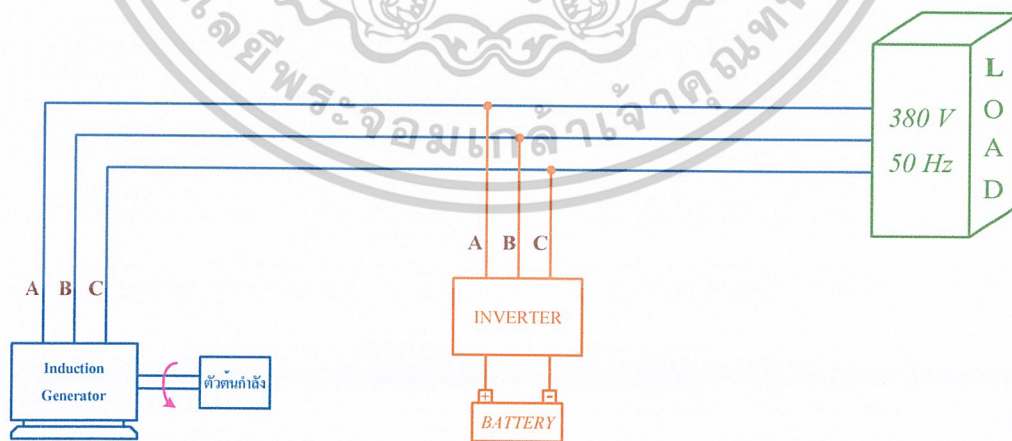
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบแหล่งจ่ายกระตุ้นแยก

6.1 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบแหล่งจ่ายกระตุ้นแยก

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำในแบบนี้ จะมีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับกระตุ้นการสร้างสนามแม่เหล็กหมุนในตัวมอเตอร์เหนี่ยวนำ และถ้าหากขั้วมอเตอร์เหนี่ยวนำให้มีความเร็วมากกว่าความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนแล้ว ($n_r > n_s$) มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำก็จะแสดงพฤติกรรมเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยจะสามารถจ่ายพลังงานไปยังโหลดได้ โดยแหล่งจ่าย (Source) ที่ใช้อาจเป็นซิงโครนัสเจนเนอเรเตอร์ หรือ อินเวอร์เตอร์ก็ได้ ดังรูปที่ 6.1



(ก) การต่อ Induction Generator ร่วมกับ Synchronous Generator



(ข) การต่อ Induction Generator ร่วมกับ Inverter

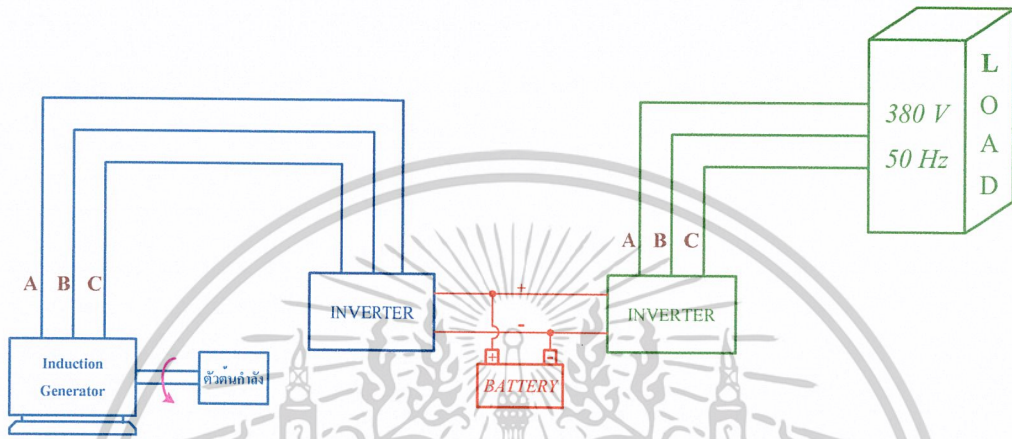
รูปที่ 6.1 การติดตั้ง Induction Generator กับแหล่งจ่ายกระตุ้นแยกจากการไฟฟ้า

ในโครงการที่ได้ทำการศึกษาได้ใช้อินเวอร์เตอร์ที่มีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาดมาดัดแปลง

เพื่อให้สามารถสะสมพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่ได้ในทุกความถี่ของอินเวอร์เตอร์ โดยจะทำการปรับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

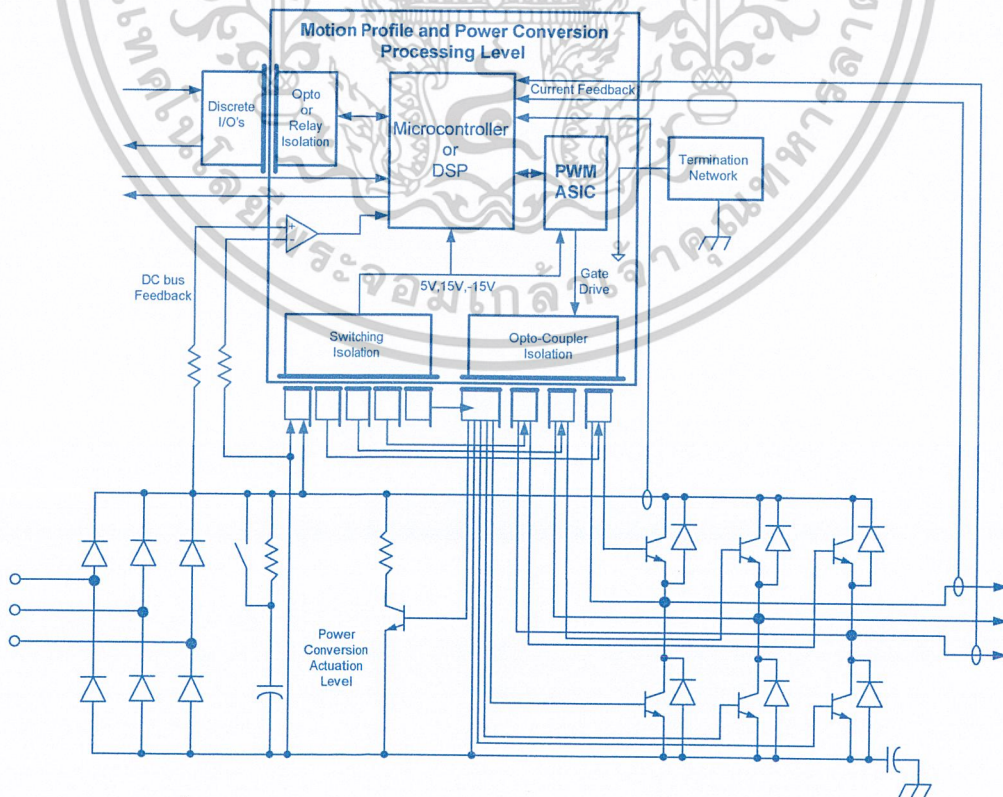
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ที่เหมาะสมและสัมพันธ์กับความถี่รอบของโรเตอร์ (n_r) เพื่อที่จะสามารถคืนพลังงานได้สูงสุด และมีความเหมาะสมตลอดย่านการใช้งาน โดยลักษณะการต่อจะคล้าย ๆ กับรูปที่ 6.1(ข) จะแตกต่างกันตรงที่จะไม่ต่อเข้ากับโหลดโดยตรงเพราะว่า ถ้าหากต่อเข้ากับโหลดโดยตรงแล้วเมื่อเราทำการปรับลดความถี่ที่อินเวอร์เตอร์ความถี่ของทั้งระบบจะลดลง ซึ่งจะมีผลกับโหลดโดยตรง โดยแนวทางการแก้ไขคือ จะต้องนำเอาอินเวอร์เตอร์มาต่อร่วมด้วย จะทำการต่อโดยให้ตัวแรกต่ออยู่กับ โหลดส่วนตัวที่สองต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยมีแบตเตอรี่เป็นตัวสะสมพลังงาน ดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 ประยุกต์ใช้งานให้สามารถปรับความถี่ตามความเร็วต้นกำลังขับและความถี่ด้านขับโหลดไม่เปลี่ยนแปลง

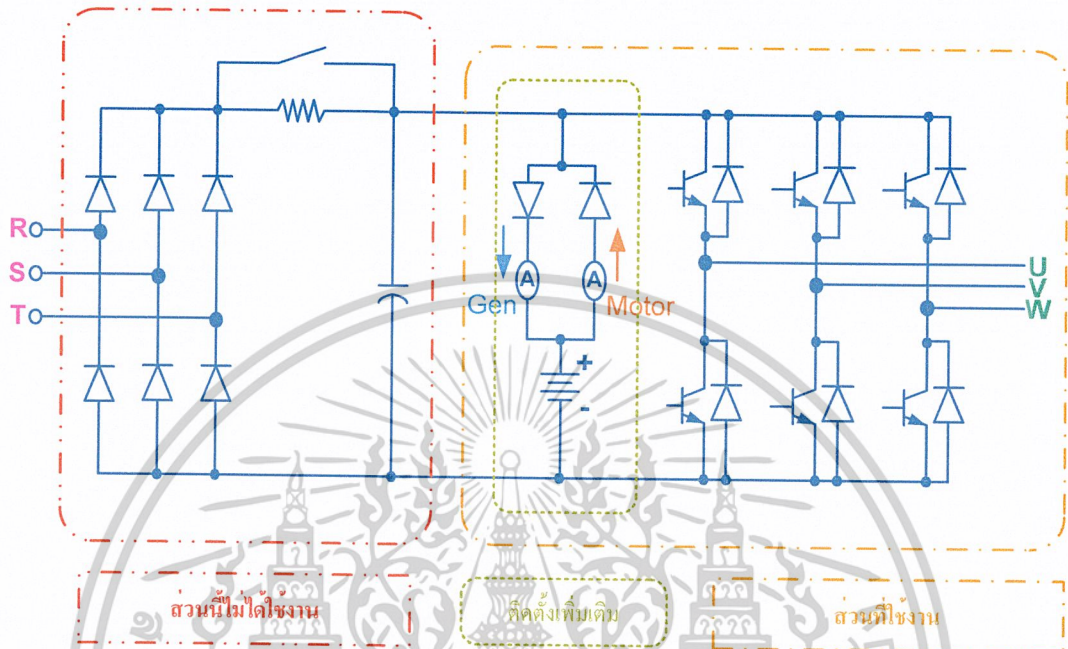
6.2 การนำเอาอินเวอร์เตอร์มาดัดแปลงใช้งานกับการทดสอบ



รูปที่ 6.3 แสดงวงจรและโครงสร้างของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ควบคุมมอเตอร์โดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในหอพักเท่านั้น เมื่อผู้เช่าเห็นเอกสารฉบับนี้ขอสงวนสิทธิ์ในการค้า ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าหากต้องการให้มอเตอร์เหนี่ยวนำทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยให้พลังงานที่ได้ นั้นเก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่ จะต้องทำการตัดแปลงโดยการต่อแอมป์มิเตอร์อนุกรมกับไดโอดจำนวน 2 ชุด แล้วนำมาต่อขนานกันโดยให้ไดโอดต่อสลับชั่วคราว แล้วต่อเข้ากับส่วน DC Link ของอินเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 6.4



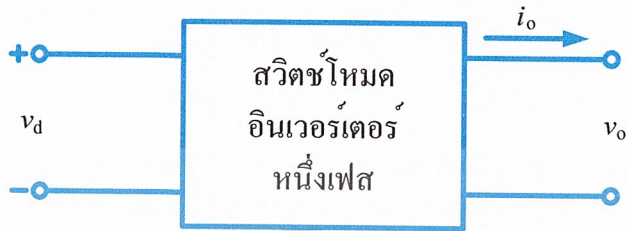
รูปที่ 6.4 แสดงการตัดแปลงอินเวอร์เตอร์ให้สามารถสะสมพลังงานเก็บเข้าแบตเตอรี่ได้

จากรูปที่ 6.4 ส่วนที่เป็นวงจรเรกติไฟาย จะไม่มีการใช้งาน แรงดันในส่วน DC Link จะได้มาจากแบตเตอรี่แทนและมีแอมป์มิเตอร์เป็นตัวบอกสถานะการเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือมอเตอร์ ถ้าหากแสดงสถานะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอินเวอร์เตอร์จะทำงานในย่านการคืนพลังงาน (Regenerative) มาสะสมไว้ในแบตเตอรี่ ซึ่งถ้าหากแบตเตอรี่เต็มจะไม่สามารถชาร์จกระแสเข้าไปได้อีกทำให้แรงดันไฟตรงที่ขั้วมีค่ามากขึ้นจนถึงค่า ๆ หนึ่งจะทำให้อินเวอร์เตอร์หยุดทำงานเนื่องจากชุดป้องกันการทำงานภายในตัวอินเวอร์เตอร์เอง

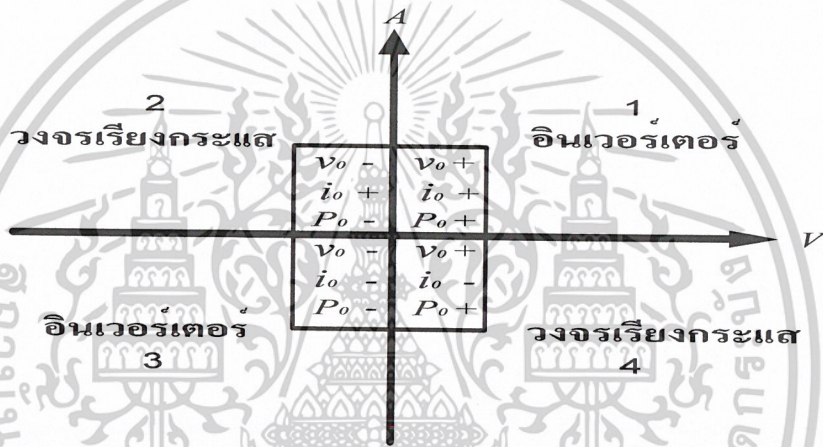
หน้าที่หลัก ๆ ของอินเวอร์เตอร์ในโครงการที่ได้ศึกษานี้คือ เป็นตัวกำหนดความถี่และควบคุมการสร้างสนามแม่เหล็ก (Excited) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยค่ากระแสกระตุ้นนี้เป็นตัวทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก และอินเวอร์เตอร์ยังมีหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรงอีกด้วย ส่วนความสามารถในการจ่ายกำลังงานไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับค่าสลิป และแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำซึ่งจะเปลี่ยนไปตามความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่เราทำการปรับเปลี่ยนซึ่งเป็นไปตามหลักการควบคุมแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่ (V/f) คงที่ และในการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้จะกำหนดให้ขนาดกระแสจะต้องไม่เกินพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับสเตเตอร์ได้

6.3 หลักการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่คืนกำลังไฟฟ้าผ่านอินเวอร์เตอร์

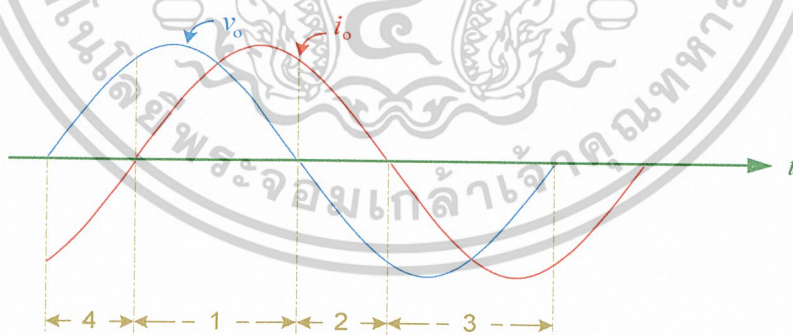
ตามแนวคิดพื้นฐานของสวิตช์โหมดย้อนของอินเวอร์เตอร์ ถ้าสมมุติว่าแรงดันด้านออก (v_o) และกระแสด้านออก (i_o) ถูกกรองความถี่สูงออกไปแล้วเหลือเฉพาะความถี่มูลฐาน (Fundamental) ดังนั้นแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ได้จะเป็นรูปคลื่นไซน์



(ก) แรงดันและกระแสขาเข้าและขาออก

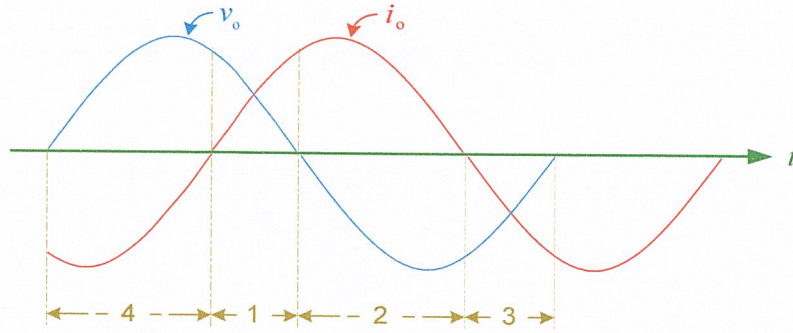


(ข) โหมดการทำงานใน 4 จตุภาค



(ค) แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสด้านออกเมื่อขับโหลดเป็นมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง) แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสด้านออกเมื่อโพลคอมอเตอร์แสดงพฤติกรรมเป็นเครื่องกำเนิด

รูปที่ 6.5 แสดงการทำงานของอินเวอร์เตอร์ใน 4 จตุภาค (Four-Quadrant)

โหมดที่ 1 อินเวอร์เตอร์

(v_o) เป็นบวก (i_o) เป็นบวก (P_o) เป็นบวก คือกำลังไฟจะถูกส่งมาจากด้านไฟฟ้ากระแสตรง (v_d) ออกไปทางกระแสลับ (v_o)

โหมดที่ 2 เรียงกระแส

(v_o) เป็นลบ (i_o) เป็นบวก (P_o) เป็นลบ คือ กำลังไฟจะถูกส่งผ่านจากทางด้านไฟฟ้ากระแสลับ (v_o) ไปด้านไฟฟ้ากระแสตรง (v_d)

โหมดที่ 3 อินเวอร์เตอร์

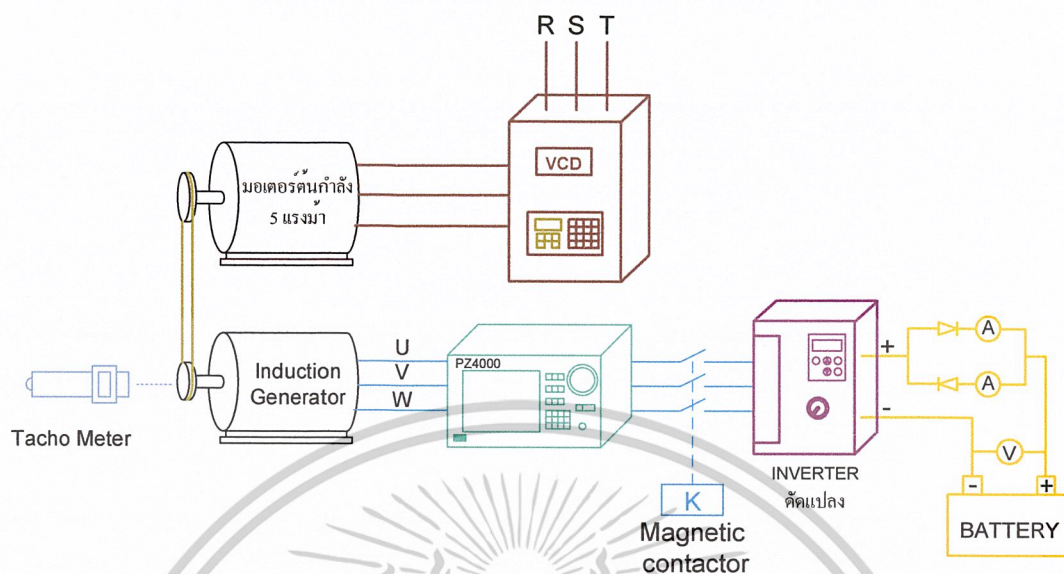
(v_o) เป็นลบ (i_o) เป็นลบ (P_o) เป็นบวก คือ กำลังไฟ

โหมดที่ 4 เรียงกระแส

(v_o) เป็นบวก (i_o) เป็นลบ (P_o) เป็นลบ

โดยจากรูปที่ 6.5 (ค) จะเห็นได้ว่าช่วงโหมด 1 กับ 3 จะมีช่วงกว้างกว่าช่วงโหมด 2 กับ 4 นั้น แสดงว่ากำลังไฟส่วนใหญ่จะถูกส่งผ่านจากแบตเตอรี่ไปยังโพลคอมอเตอร์ซึ่งแสดงพฤติกรรมเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปเก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่ถ้าหาก (i_o) ล้าหลัง (v_o) เป็นมุม 90° พอดี จะทำให้ช่วงโหมด 1 กับ 3 มีช่วงกว้างกว่า 2 กับ 4 จะไม่มีการส่งผ่านพลังงานเกิดขึ้นหรือกำลังไฟเป็นศูนย์นั่นเอง

6.4 การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจ่ายพลังงานผ่านอินเวอร์เตอร์ไปไว้ในแบตเตอรี่



รูปที่ 6.6 แสดงการต่ออุปกรณ์เพื่อการทดลองกินพลังงานผ่านอินเวอร์เตอร์แล้วเก็บพลังงานในแบตเตอรี่

6.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. แทนติดตั้งต้นกำลังและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	1	ตัว
2. Inverter (VCD 3-phase)	1	ตัว
3. Tacho Meter	1	ตัว
4. Inverter (ที่ตัดแปลงแล้ว)	1	ตัว
5. Diode	2	ตัว
6. DC Amp Meter	2	ตัว
7. DC Volt Meter	1	ตัว
8. Lead-Acid Battery 12 V	20	ลูก
9. Magnetic contactor	1	ตัว
10. Watt Meter PZ4000	1	ตัว
11. สายไฟ	40	เส้น
12. Junction Box	1	ตัว

6.4.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. ตรวจสอบทิศทางการหมุนของมอเตอร์ต้นกำลังกับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้มีทิศทางเดียวกันก่อน
2. ปรับความถี่อินเวอร์เตอร์ตัวที่ตัดแปลงที่ 10 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการเดินเครื่องตัวต้นกำลังขับเคลื่อนและปรับให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ทำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเท่ากับ 300 rpm (เท่ากับความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนที่ 10 Hz)
4. สับสวิทช์วงจรด้วย Magnetic contactor
5. ปรับความเร็วต้นกำลังให้มอเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความเร็วมากกว่าสนามแม่เหล็กหมุนตามลำดับ
6. ทำการวัดและบันทึกค่าต่างๆ ตามลำดับโดยพิจารณากระแสไม่ควรเกินกระแสพิสัย (2 A)
7. ทำการปรับความถี่อินเวอร์เตอร์ตัวที่ตัดแปลงเพิ่มขึ้นตามลำดับและทดสอบซ้ำตามข้อ 3

6.4.3 การทดลองที่ 6.1

แสดงให้เห็นว่าการคืนพลังงานจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยควบคุมจากอินเวอร์เตอร์จะคืนกำลังงานมากขึ้นอยู่กับความถี่ที่เราปรับและค่าสลิป โดยการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสตาร์ และแบบเดลต้า

ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบสตาร์

ความถี่ 10 Hz $n_s = 300$ rpm									
n_r	slip	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-phase}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	Loss (Inverter)
302	-0.0067	58.16	0.49	84.57	8.09	261.00	0.00	0.00	-8.09
326	-0.0867	59.75	0.63	92.67	-5.27	261.10	0.00	0.00	5.27
351	-0.1700	61.20	0.91	98.86	-25.59	261.30	0.07	18.29	7.30
375	-0.2500	61.85	1.23	101.48	-45.39	261.50	0.14	36.60	8.79
400	-0.3333	62.24	1.66	101.98	-64.30	262.00	0.20	52.40	11.90
426	-0.4200	62.33	2.17	100.82	-76.28	262.40	0.23	60.35	15.93

ความถี่ 20 Hz $n_s = 600$ rpm									
n_r	slip	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-phase}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	Loss (Inverter)
603	-0.0050	78.51	0.45	84.14	10.80	261.30	0.00	0.00	-10.80
624	-0.0400	80.42	0.56	96.93	-16.36	261.40	0.03	7.84	8.52
650	-0.0833	81.78	0.77	106.62	-53.68	261.70	0.16	41.87	11.81
676	-0.1267	82.73	1.00	110.94	-88.88	262.90	0.30	78.87	10.01
698	-0.1633	83.44	1.22	112.99	-119.08	264.00	0.42	110.46	8.62
725	-0.2083	84.14	1.55	114.31	-161.17	265.00	0.56	148.40	12.77
750	-0.2500	84.69	1.92	114.61	-203.25	266.40	0.70	186.48	16.77
776	-0.2933	85.19	2.27	114.48	-240.72	267.90	0.83	222.36	18.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 30 Hz $n_s = 900$ rpm									
n_r	slip	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-phase}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	Loss (Inverter)
902	-0.0022	95.08	0.45	87.04	6.67	262.10	0.00	0.00	-6.67
927	-0.0300	96.58	0.52	99.84	-25.70	262.20	0.08	20.98	4.72
949	-0.0544	97.88	0.66	109.84	-65.68	262.70	0.22	57.79	7.88
975	-0.0833	98.89	0.87	116.41	-114.67	263.50	0.40	105.40	9.27
1001	-0.1122	99.95	1.12	119.68	-165.55	265.00	0.59	156.35	9.20
1024	-0.1378	100.50	1.36	121.21	-212.95	265.80	0.75	199.35	13.60
1050	-0.1667	101.27	1.64	122.00	-264.02	267.40	0.94	251.36	12.67
1074	-0.1933	101.83	1.94	122.35	-317.28	268.40	1.10	295.24	22.04
1101	-0.2233	102.42	2.24	122.08	-366.03	269.80	1.28	345.34	20.68
1124	-0.2489	102.67	2.50	122.18	-409.94	271.00	1.40	379.40	30.54

ความถี่ 40 Hz $n_s = 1200$ rpm									
n_r	slip	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-phase}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	Loss (Inverter)
1203	-0.0025	108.18	0.45	88.02	5.05	260.60	0.00	0.00	-5.05
1225	-0.0208	109.84	0.51	101.14	-32.15	261.00	0.10	26.10	6.05
1252	-0.0433	111.61	0.65	113.95	-88.35	262.20	0.23	60.31	28.04
1276	-0.0633	112.76	0.83	120.95	-144.05	263.90	0.44	116.12	27.93
1300	-0.0833	114.03	1.10	124.76	-213.95	266.00	0.74	196.84	17.11
1326	-0.1050	115.30	1.32	127.20	-276.05	267.70	0.98	262.35	13.71
1352	-0.1267	116.30	1.58	128.34	-341.75	269.80	1.21	326.46	15.29
1375	-0.1458	117.47	1.81	128.73	-399.29	272.10	1.40	380.94	18.35
1402	-0.1683	119.85	2.13	128.77	-478.67	277.40	1.65	457.71	20.96
1426	-0.1883	123.94	2.39	128.01	-547.00	285.00	1.88	535.80	11.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 50 Hz $n_s = 1500$ rpm									
n_r	$slip$	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-phase}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	$Loss$ (Inverter)
1503	-0.0020	119.99	0.44	88.28	4.74	260.00	0.00	0.00	-4.74
1527	-0.0180	121.68	0.54	107.65	-59.21	260.70	0.18	46.93	12.29
1550	-0.0333	122.91	0.66	118.06	-114.30	262.00	0.40	104.80	9.50
1575	-0.0500	124.13	0.87	127.09	-194.93	264.00	0.68	179.52	15.41
1600	-0.0667	125.40	1.06	130.27	-258.01	266.00	0.93	247.38	10.63
1627	-0.0847	126.44	1.30	132.91	-335.74	268.00	1.20	321.60	14.14
1653	-0.1020	127.52	1.54	134.15	-409.03	270.00	1.48	399.60	9.43
1675	-0.1160	129.37	1.75	134.56	-476.29	273.50	1.70	464.95	11.34
1701	-0.1340	131.51	2.04	134.68	-565.64	277.50	1.96	543.90	21.74
1726	-0.1507	134.90	2.31	134.58	-656.18	284.00	2.18	619.12	37.06

ความถี่ 60 Hz $n_s = 1800$ rpm									
n_r	$slip$	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-phase}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	$Loss$ (Inverter)
1801	-0.0006	119.65	0.37	85.27	10.83	260.00	0.00	0.00	-10.83
1826	-0.0144	121.81	0.44	105.95	-43.78	260.60	0.14	36.48	7.30
1852	-0.0289	123.18	0.52	117.00	-87.91	262.50	0.28	73.50	14.41
1876	-0.0422	124.37	0.71	125.84	-154.45	264.60	0.56	148.18	6.28
1902	-0.0567	125.83	0.89	130.09	-215.87	267.00	0.78	208.26	7.61
1927	-0.0706	127.27	1.08	132.52	-277.91	269.90	1.00	269.90	8.01
1951	-0.0839	129.12	1.27	133.67	-340.23	272.90	1.20	327.48	12.75
1974	-0.0967	134.16	1.49	134.45	-420.52	280.00	1.42	397.60	22.92
2001	-0.1117	139.97	1.78	134.79	-526.58	295.90	1.72	508.95	17.63
2025	-0.1250	144.14	2.01	134.80	-613.05	304.00	1.96	595.84	17.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็ว 70 Hz $n_s = 2100$ rpm									
n_r	slip	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-ph\alpha}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	Loss (Inverter)
2101	-0.0005	123.31	0.32	86.38	7.57	263.70	0.00	0.00	-7.57
2126	-0.0124	124.25	0.36	102.54	-28.73	263.90	0.10	26.39	2.34
2153	-0.0252	124.84	0.51	120.89	-98.44	264.90	0.30	79.47	18.97
2178	-0.0371	126.12	0.63	123.64	-132.89	266.20	0.48	127.78	5.11
2200	-0.0476	127.13	0.73	129.94	-178.49	267.80	0.61	163.36	15.14
2228	-0.0610	129.12	0.92	130.06	-228.11	269.70	0.81	218.46	9.65
2251	-0.0719	130.26	1.07	131.80	-277.40	271.40	0.98	265.97	11.43
2276	-0.0838	131.11	1.18	135.00	-327.63	273.50	1.15	314.53	13.11
2300	-0.0952	132.79	1.40	132.57	-377.29	276.50	1.30	359.45	17.84
2324	-0.1067	135.08	1.58	134.85	-450.42	287.90	1.53	440.49	9.93
2348	-0.1181	139.93	1.80	135.19	-536.97	296.70	1.73	513.29	23.68
2373	-0.1300	143.45	2.00	133.60	-593.85	304.20	1.91	581.02	12.83

ความเร็ว 80 Hz $n_s = 2400$ rpm									
n_r	slip	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-ph\alpha}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	Loss (Inverter)
2401	-0.0004	119.31	0.30	86.89	5.83	262.50	0.00	0.00	-5.83
2426	-0.0108	122.14	0.35	105.57	-34.23	263.20	0.09	23.69	10.54
2452	-0.0217	122.44	0.41	118.80	-73.08	264.40	0.14	63.46	9.63
2477	-0.0321	124.31	0.53	125.88	-116.72	265.70	0.40	106.28	10.44
2502	-0.0425	128.09	0.63	130.14	-155.32	267.20	0.55	146.96	8.36
2527	-0.0529	126.67	0.84	131.96	-212.92	268.90	0.70	188.23	24.69
2550	-0.0625	128.42	0.92	132.60	-239.65	270.80	0.84	227.47	12.18
2576	-0.0733	130.49	1.07	133.84	-291.22	272.60	0.99	269.87	21.34
2600	-0.0833	129.92	1.26	133.92	-340.38	274.80	1.12	307.78	32.61
2625	-0.0938	133.83	1.36	133.45	-375.24	279.50	1.24	346.58	28.66
2649	-0.1038	139.59	1.58	134.61	-465.25	291.20	1.45	422.24	43.01
2675	-0.1146	142.98	1.76	134.48	-528.95	298.40	1.62	483.41	45.54
2700	-0.1250	144.37	1.94	133.38	-575.61	305.30	1.78	543.43	32.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 90 Hz $n_s = 2700$ rpm									
n_r	slip	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-phase}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	Loss (Inverter)
2702	-0.0007	122.06	0.26	85.22	7.81	263.60	0.00	0.00	-7.81
2724	-0.0089	122.71	0.29	100.14	-18.86	264.00	0.06	15.84	3.02
2750	-0.0185	123.14	0.35	115.83	-56.82	264.80	0.20	52.96	3.86
2774	-0.0274	124.43	0.46	123.16	-93.11	266.00	0.34	90.44	2.67
2802	-0.0378	126.79	0.56	128.14	-131.08	267.20	0.47	125.58	5.50
2827	-0.0470	128.07	0.67	129.34	-164.16	269.10	0.60	161.46	2.70
2851	-0.0559	129.32	0.79	131.11	-200.24	270.60	0.73	197.54	2.70
2876	-0.0652	130.76	0.94	131.11	-242.97	272.30	0.86	234.18	8.79
2900	-0.0741	132.55	1.07	131.30	-281.08	273.90	0.97	265.68	15.40
2923	-0.0826	135.18	1.14	131.75	-306.50	276.40	1.09	301.28	5.22
2950	-0.0926	136.43	1.32	133.10	-370.27	286.20	1.24	354.89	15.38
2975	-0.1019	138.60	1.47	132.79	-414.37	291.10	1.36	395.90	18.47
3002	-0.1119	141.98	1.64	132.66	-472.50	298.90	1.50	448.35	24.15
3025	-0.1204	144.87	1.78	132.09	-518.25	303.10	1.60	484.96	33.29

ตารางที่ 6.2 ผลการทดลองต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเซลล์

ความถี่ 10 Hz $n_s = 300$ rpm									
n_r	slip	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-phase}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	Loss (Inverter)
301	-0.0033	97.44	0.91	77.44	57.91	254	0.000	0.00	-57.91
326	-0.0867	92.24	1.18	92.13	-12.12	254	0.000	0.00	12.12
351	-0.1700	97.37	1.40	93.66	-26.18	254	0.063	16.00	10.18
375	-0.2500	103.36	2.46	94.50	-59.90	254	0.097	24.64	35.26
401	-0.3367	107.13	2.61	97.46	-108.86	254	0.098	24.89	83.97

ความถี่ 20 Hz $n_s = 600$ rpm									
n_r	slip	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-phase}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	Loss (Inverter)
601	-0.0017	125.48	0.83	88.37	8.86	254	0.000	0.00	-8.86
625	-0.0417	132.11	1.13	96.90	-53.90	254	0.120	30.48	23.42
650	-0.0833	142.89	1.42	104.11	-147.97	255	0.450	114.75	33.22
676	-0.1267	147.75	1.70	109.53	-251.31	256	0.790	202.24	49.07
700	-0.1667	148.09	2.22	110.84	-351.19	258	1.080	278.64	72.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 30 Hz $n_s = 900$ rpm									
n_r	$slip$	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-phase}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	$Loss$ (Inverter)
901	-0.0011	158.44	0.79	85.15	31.71	256	0.000	0.00	-31.71
926	-0.0289	161.85	0.95	99.77	-78.03	256	0.248	63.49	14.54
950	-0.0556	164.50	1.21	109.08	-195.20	258	0.708	182.66	12.53
975	-0.0833	166.92	1.56	114.59	-324.44	259	1.184	306.66	17.79
1000	-0.1111	168.97	2.02	116.31	-452.94	260	1.676	435.76	17.18

ความถี่ 40 Hz $n_s = 1200$ rpm									
n_r	$slip$	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-phase}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	$Loss$ (Inverter)
1200	0.0000	182.28	0.77	82.51	54.96	256	0.000	0.00	-54.96
1225	-0.0208	186.22	0.91	101.38	-100.31	257	-0.360	92.52	7.79
1251	-0.0425	189.24	1.17	113.32	-262.73	260	0.950	247.00	15.73
1274	-0.0617	192.05	1.48	119.38	-418.90	261	1.528	398.81	20.09
1299	-0.0825	194.62	1.86	122.43	-582.37	264	2.139	564.70	17.67
1323	-0.1025	196.78	2.25	123.94	-742.25	265	2.719	720.54	21.72

ความถี่ 50 Hz $n_s = 1500$ rpm									
n_r	$slip$	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-phase}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	$Loss$ (Inverter)
1500	0.0000	204.06	0.77	83.65	51.93	258	0	0	-51.93
1527	-0.0180	208.14	0.90	102.91	-125.14	259	0.490	126.91	-1.77
1552	-0.0347	211.61	1.18	117.28	-344.51	261	1.210	315.81	28.70
1575	-0.0500	213.88	1.45	123.48	-512.88	263	1.890	497.07	15.81
1600	-0.0667	216.25	1.79	127.76	-709.91	266	2.590	688.94	20.97
1626	-0.0840	218.87	2.17	129.97	-915.73	269	3.330	895.77	19.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 60 Hz $n_s = 1800$ rpm									
n_r	<i>slip</i>	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-phase}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	<i>Loss (Inverter)</i>
1801	-0.0006	205.72	0.62	85.23	31.87	260	0	0	-31.87
1826	-0.0144	208.93	0.72	105.39	-119.27	260	0.390	101.40	17.87
1850	-0.0278	211.60	0.90	117.27	-260.90	261	0.969	252.91	7.99
1874	-0.0411	213.94	1.13	124.81	-414.38	264	1.536	405.50	8.88
1900	-0.0556	216.33	1.41	129.68	-584.28	266	2.172	577.75	6.53
1926	-0.0700	218.37	1.71	132.54	-759.18	267	2.780	742.26	16.92
1950	-0.0833	220.23	2.03	133.83	-927.90	270	3.360	907.20	20.70
1976	-0.0978	222.46	2.42	134.84	-1136.48	272	3.960	1077.12	59.36

ความถี่ 70 Hz $n_s = 2100$ rpm									
n_r	<i>slip</i>	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-phase}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	<i>Loss (Inverter)</i>
2101	-0.0005	206.22	0.53	85.08	27.86	260	0	0	-27.86
2124	-0.0114	209.06	0.60	102.32	-79.63	260	0.291	75.66	3.97
2149	-0.0233	211.3	0.74	116.95	-212.6	262	0.784	205.41	7.19
2176	-0.0362	214.07	0.97	125.46	-359.9	264	1.33	351.12	8.78
2200	-0.0476	215.85	1.17	130.33	-491.58	266	1.81	481.46	10.12
2226	-0.06	217.84	1.46	133.11	-650.29	268	2.38	637.84	12.45
2250	-0.0714	219.68	1.70	134.67	-785.34	270	2.85	769.50	15.84
2276	-0.0838	221.72	1.96	135.4	-927.34	271	3.35	907.85	19.49
2301	-0.0957	223.7	2.23	135.74	-1073.23	273	3.85	1051.05	22.18

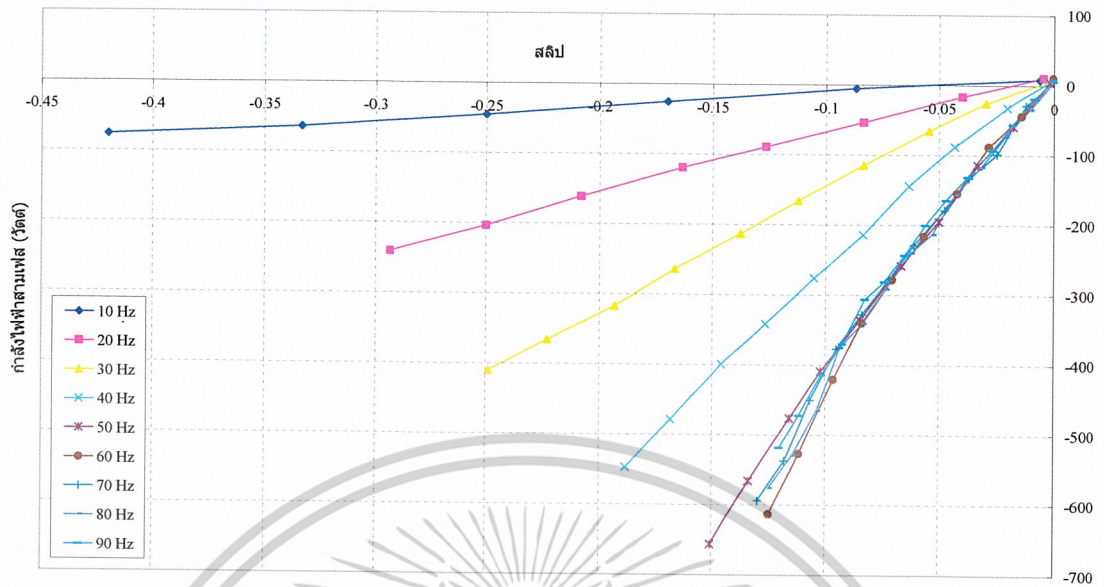
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 80 Hz $n_s = 2400$ rpm									
n_r	$slip$	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-phase}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	$Loss$ (Inverter)
2402	-0.0008	207.02	0.49	84.25	30.49	261	0	0	-30.49
2425	-0.0104	209.27	0.51	102.1	-67.12	262	0.24	62.62	4.5
2449	-0.0204	212.11	0.66	116.44	-186.15	262	0.66	172.92	13.23
2474	-0.0308	214.31	0.81	124.24	-294.10	264	1.09	287.76	6.34
2500	-0.0417	216.01	1.04	130.18	-433.56	265	1.56	413.4	20.16
2526	-0.0525	218.08	1.27	132.87	-563.50	268	2.05	549.4	14.10
2551	-0.0629	220.33	1.53	134.48	-709.50	270	2.54	685.8	23.70
2577	-0.0738	221.42	1.70	135.39	-803.44	271	2.89	783.19	20.25
2601	-0.0838	223.35	1.90	135.78	-912.85	273	3.29	898.17	14.68
2626	-0.0942	225.78	2.13	135.91	-1036.25	276	3.70	1021.2	15.05

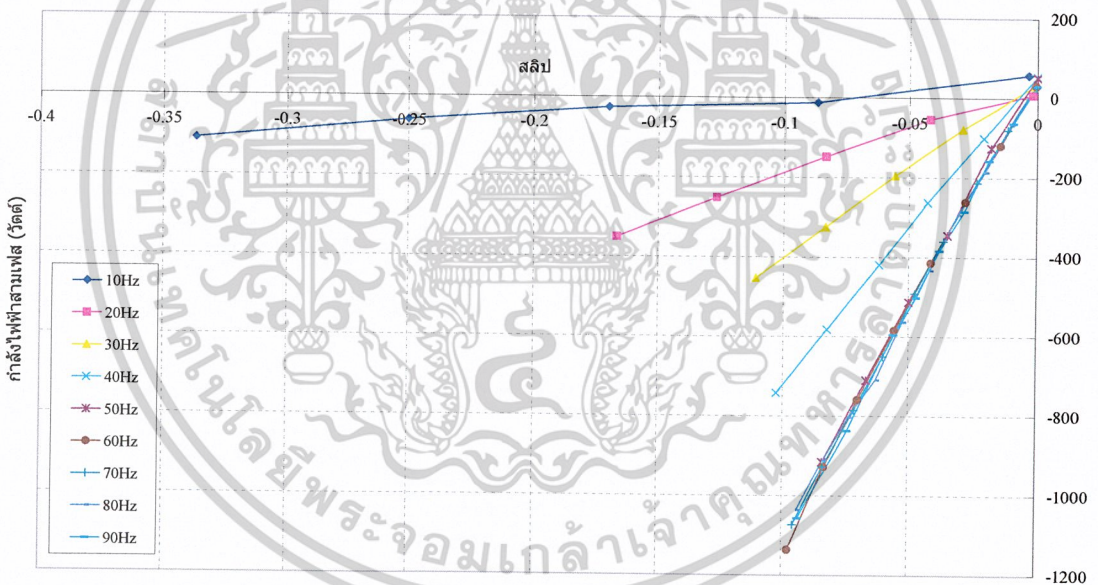
ความถี่ 90 Hz $n_s = 2700$ rpm									
n_r	$slip$	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-phase}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	$Loss$ (Inverter)
2700	0	207.35	0.41	82.87	31.58	262	0	0	-31.58
2725	-0.0093	210.39	0.46	102.44	-62.95	262	0.24	62.88	0.07
2751	-0.0189	212.24	0.57	115.5	-157.34	263	0.56	147.28	10.06
2776	-0.0281	214.95	0.76	125.51	-285.03	264	1.03	271.92	13.11
2802	-0.0378	216.23	0.95	128.52	-383.80	266	1.4	372.4	11.40
2827	-0.047	218.94	1.14	132.34	-502.10	268	1.82	487.76	14.34
2851	-0.0559	219.53	1.29	134.46	-595.06	270	2.19	591.3	3.76
2900	-0.0741	223.77	1.75	135.48	-837.14	274	2.95	808.3	28.84
2953	-0.0937	228.45	2.16	135.63	-1057.24	280	3.66	1024.8	32.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำเอาผลการทดลองมาทำการแสดงเป็นกราฟจะได้รูปดังต่อไปนี้



รูปที่ 6.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสลิปกับกำลังไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆเมื่อเครื่องกำเนิดต่อแบบสตาร์



รูปที่ 6.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสลิปกับกำลังไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆเมื่อเครื่องกำเนิดต่อแบบเดลต้า

6.4.4 สรุปผลการทดลองที่ 6.1

จากรูปกราฟทั้งสองที่ความถี่ต่างๆจะเห็นกำลังงานได้น้อยลงเป็นอัตราส่วนตามความถี่นั้นซึ่งเป็นผลมาจากอินเวอร์เตอร์ปรับลดแรงดันตามอัตราส่วน V/f จึงทำให้การสร้างกำลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้น้อยลงตามระดับแรงดันที่อินเวอร์เตอร์ป้อนให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและที่ความถี่ตั้งแต่ 50 – 90 Hz การกินกำลังงานจะมีค่าใกล้เคียงกันสังเกตได้จากกราฟซึ่งเส้นกราฟจะทับกันที่เป็นเช่นนี้เพราะอินเวอร์เตอร์จะทำงานในย่านกำลังไฟฟ้างที่ เมื่อเปรียบเทียบที่ความถี่เดียวกันถ้าสลิปติดลบมากขึ้นหรือความเร็วรอบโรเตอร์มากกว่าสนามแม่เหล็กหมุนมากขึ้นกำลังไฟฟ้าที่กินได้จะสูงขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4.5 การทดลองที่ 6.2

แสดงให้เห็นว่าการคืนพลังงานจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยควบคุมจากอินเวอร์เตอร์ โดยจะคืนกำลังงานที่พิกัดกระแสซึ่งจะได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ในที่นี้จะปรับความถี่ทุกๆ 1Hz และมีการต่อ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสตาร์และแบบเดลต้า

ตารางที่ 6.3 ผลการทดลองคืนพลังงานสูงสุดทุกความถี่โดยต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบสตาร์

f	n_s	n_r	$slip$	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	$Loss$ (Inverter)
10	300	413	-0.3767	63.48	1.99	103.65	-89.43	254	0.24	60.96	28.47
11	330	452	-0.3697	64.33	1.98	106.56	-108.91	255	0.3	76.50	32.41
12	360	487	-0.3528	65.44	2.07	105.37	-107.71	255	0.35	89.25	18.46
13	390	521	-0.3359	67.52	2.08	106.48	-119.52	256	0.41	104.96	14.56
14	420	556	-0.3238	69.26	2.08	107.34	-128.81	257	0.45	115.65	13.16
15	450	588	-0.3067	70.75	2.08	108.27	-138.4	257	0.49	125.93	12.47
16	480	622	-0.2958	72.91	2.05	109.36	-148.64	258	0.53	136.74	11.9
17	510	658	-0.2902	75.47	2.06	110.25	-161.43	258	0.59	152.22	9.21
18	540	696	-0.2889	80.20	1.98	111.16	-171.96	259	0.64	165.76	6.20
19	570	730	-0.2807	82.31	2.08	112.12	-193.4	259	0.70	181.30	12.10
20	600	764	-0.2733	85.60	2.01	113.30	-204.17	260	0.73	189.80	14.37
21	630	796	-0.2635	86.95	2.01	114.72	-219.26	260	0.77	200.20	19.06
22	660	831	-0.2591	87.40	2.08	114.58	-226.86	261	0.81	211.41	15.45
23	690	863	-0.2507	86.75	2.01	117.29	-239.84	261	0.85	221.85	17.99
24	720	898	-0.2472	89.82	2.01	118.39	-257.52	262	0.9	235.80	21.72
25	750	929	-0.2387	91.11	1.99	118.45	-259.12	262	0.94	246.28	12.84
26	780	964	-0.2359	93.44	2.01	118.97	-272.9	263	0.99	260.37	12.53
27	810	993	-0.2259	94.6	2.01	118.96	-276.21	263	1.00	263.00	13.21
28	840	1028	-0.2238	95.82	1.99	119.97	-285.76	264	1.05	277.20	8.56
29	870	1060	-0.2184	96.61	2.04	119.96	-295.27	264	1.09	287.76	7.51
30	900	1091	-0.2122	97.59	2.09	120.26	-308.35	264	1.12	295.68	12.67
31	930	1123	-0.2075	98.95	2.00	123.06	-323.87	264	1.15	303.60	20.27
32	960	1159	-0.2073	99.88	2.02	124.41	-342.05	265	1.21	320.65	21.4
33	990	1189	-0.201	103.15	1.97	125.23	-351.66	265	1.24	328.60	23.06
34	1020	1220	-0.1961	106.83	1.98	125.59	-369.31	265	1.28	339.20	30.11
35	1050	1253	-0.1933	107.51	2.00	126.43	-383.06	265	1.31	347.15	35.91
36	1080	1287	-0.1917	107.07	2.07	126.6	-396.43	266	1.37	364.42	32.01
37	1110	1322	-0.191	109.43	2.04	127.28	-405.65	266	1.42	377.72	27.93
38	1140	1353	-0.1868	111.4	1.98	127.89	-406.39	266	1.46	388.36	18.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

f	n_s	n_r	$slip$	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-\text{เฟส}}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	$Loss$ (Inverter)
39	1170	1387	-0.1855	114.03	1.99	128.57	-424.43	267	1.51	403.17	21.26
40	1200	1422	-0.1850	116.02	2.02	129.86	-450.61	267	1.57	419.19	31.42
41	1230	1454	-0.1821	118.32	2.00	130.63	-462.28	267	1.60	427.20	35.08
42	1260	1484	-0.1778	120.20	1.99	131.66	-476.99	268	1.64	439.52	37.47
43	1290	1516	-0.1752	120.32	2.02	131.87	-486.66	268	1.68	450.24	36.42
44	1320	1547	-0.172	122.90	1.99	131.98	-490.76	269	1.71	459.99	30.77
45	1350	1579	-0.1696	123.19	1.98	132.47	-494.08	269	1.75	470.75	23.33
46	1380	1610	-0.1667	125.16	2.01	132.54	-510.27	270	1.79	483.30	26.97
47	1410	1642	-0.1645	124.82	2.07	133.28	-531.40	270	1.83	494.10	37.30
48	1440	1674	-0.1625	126.81	2.05	133.57	-537.53	270	1.87	504.90	32.63
49	1470	1707	-0.1612	126.53	2.03	134.72	-542.20	271	1.92	520.32	21.88
50	1500	1742	-0.1613	129.39	2.02	135.04	-554.83	272	1.97	535.84	18.99
51	1530	1779	-0.1627	129.87	1.99	135.68	-554.70	272	1.96	533.12	21.58
52	1560	1814	-0.1628	129.92	2.01	135.03	-554.25	272	1.96	533.12	21.13
53	1590	1850	-0.1635	130.49	1.98	135.83	-555.97	273	1.95	532.35	23.62
54	1620	1885	-0.1636	130.67	2.02	134.10	-551.07	273	1.95	532.35	18.72
55	1650	1924	-0.1661	130.68	2.04	134.4	-559.56	274	1.96	537.04	22.52
56	1680	1960	-0.1667	131.65	2.00	135.41	-562.53	274	1.96	537.04	25.49
57	1710	1997	-0.1678	131.74	1.99	135.48	-560.77	274	1.96	537.04	23.73
58	1740	2032	-0.1678	131.26	2.01	135.09	-560.55	274	1.94	531.56	28.99
59	1770	2070	-0.1695	130.52	2.04	134.01	-554.98	274	1.95	534.3	20.68
60	1800	2108	-0.1711	130.27	2.03	134.56	-556.65	275	1.95	536.25	20.40
61	1830	2145	-0.1721	130.00	2.05	132.90	-544.24	275	1.95	536.25	7.99
62	1860	2180	-0.172	129.15	2.07	132.60	-542.87	275	1.93	530.75	12.12
63	1890	2215	-0.172	129.4	2.07	132.71	-545.05	275	1.93	530.75	14.30
64	1920	2254	-0.174	130.29	2.03	133.12	-542.36	275	1.92	528.00	14.36
65	1950	2289	-0.1738	129.33	2.04	133.63	-546.13	275	1.90	522.50	23.63
66	1980	2326	-0.1747	128.22	2.05	133.08	-538.6	275	1.90	522.50	16.10
67	2010	2364	-0.1761	127.95	2.09	132.7	-544.05	275	1.90	522.50	21.55
68	2040	2396	-0.1745	128.75	2.09	132.71	-547.56	275	1.87	514.25	33.31
69	2070	2430	-0.1739	130.79	1.99	134.05	-542.89	275	1.87	514.25	28.64
70	2100	2466	-0.1743	130.81	1.98	133.98	-539.56	275	1.87	514.25	25.31
71	2130	2512	-0.1793	130.33	2.05	132.57	-542.23	275	1.87	514.25	27.98
72	2160	2546	-0.1787	130.10	2.02	132.31	-530.71	275	1.85	508.75	21.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

f	n_s	n_r	$slip$	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	$Loss$ (Inverter)
73	2190	2592	-0.1836	129.83	1.99	132.96	-528.21	275	1.84	506.00	22.21
74	2220	2622	-0.1811	129.78	2.00	132.96	-530.66	276	1.84	507.84	22.82
75	2250	2661	-0.1827	129.62	2.01	132.98	-532.86	276	1.84	507.84	25.02
76	2280	2696	-0.1825	129.95	2.06	131.54	-532.56	276	1.82	502.32	30.24
77	2310	2732	-0.1827	130.19	2.00	131.64	-519.03	276	1.80	496.8	22.23
78	2340	2767	-0.1825	131.3	2.02	131.27	-524.84	276	1.80	496.8	28.04
79	2370	2803	-0.1827	129.89	2.00	131.08	-512.11	276	1.78	491.28	20.83
80	2400	2844	-0.185	128.79	2.02	130.84	-510.39	276	1.78	491.28	19.11
81	2430	2882	-0.186	130.27	2.04	130.04	-512.89	276	1.77	488.52	24.37
82	2460	2923	-0.1882	130.8	1.99	130.68	-509.00	276	1.77	488.52	20.48
83	2490	2960	-0.1888	130.11	2.03	129.51	-504.12	276	1.76	485.76	18.36
84	2520	3000	-0.1905	130.25	2.06	128.23	-498.12	276	1.75	483.00	15.12
85	2550	3038	-0.1914	129.58	2.08	128.01	-497.92	276	1.73	477.48	20.44

ตารางที่ 6.4 ผลการทดลองคืนพลังงานสูงสุดทุกความถี่โดยต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเดลต้า

f	n_s	n_r	$slip$	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	$Loss$ (Inverter)
10	300	367	-0.2233	43.35	2.00	102.75	-57.40	246.1	0.12	29.53	27.87
11	330	400	-0.2121	47.10	2.06	106.54	-82.87	246.8	0.21	51.83	31.04
12	360	429	-0.1917	51.19	2.00	108.40	-96.95	247.4	0.27	66.80	30.15
13	390	464	-0.1897	55.19	2.09	111.06	-124.35	248.0	0.37	91.76	32.59
14	420	498	-0.1857	59.06	2.05	113.10	-142.64	249.2	0.46	114.63	28.01
15	450	529	-0.1756	62.93	2.02	115.10	-161.77	250.3	0.53	132.66	29.11
16	480	561	-0.1688	66.83	2.01	116.57	-180.34	250.7	0.61	152.93	27.41
17	510	593	-0.1627	70.67	2.01	117.90	-199.30	251.6	0.69	173.60	25.70
18	540	623	-0.1537	74.78	2.05	119.26	-224.79	252.7	0.75	189.53	35.26
19	570	657	-0.1526	78.58	2.08	120.58	-248.86	253.7	0.84	213.11	35.75
20	600	688	-0.1467	82.29	2.03	121.58	-261.93	254.1	0.90	228.69	33.24
21	630	719	-0.1413	86.16	2.06	122.87	-288.43	254.9	0.98	249.80	38.63
22	660	751	-0.1379	89.99	2.04	123.99	-307.74	255.6	1.05	268.38	39.36
23	690	782	-0.1333	93.70	2.03	124.87	-326.88	256.0	1.12	286.72	40.16
24	720	816	-0.1333	97.57	2.04	125.95	-350.22	256.7	1.23	315.74	34.48
25	750	851	-0.1347	101.38	2.04	126.41	-368.63	257.2	1.34	344.65	23.98
26	780	881	-0.1295	105.07	2.03	127.17	-385.84	257.7	1.40	360.78	25.06
27	810	912	-0.1259	108.82	2.03	127.69	-404.18	258.1	1.47	379.41	24.77
28	840	943	-0.1226	112.63	2.06	128.35	-431.67	258.5	1.53	395.51	36.16

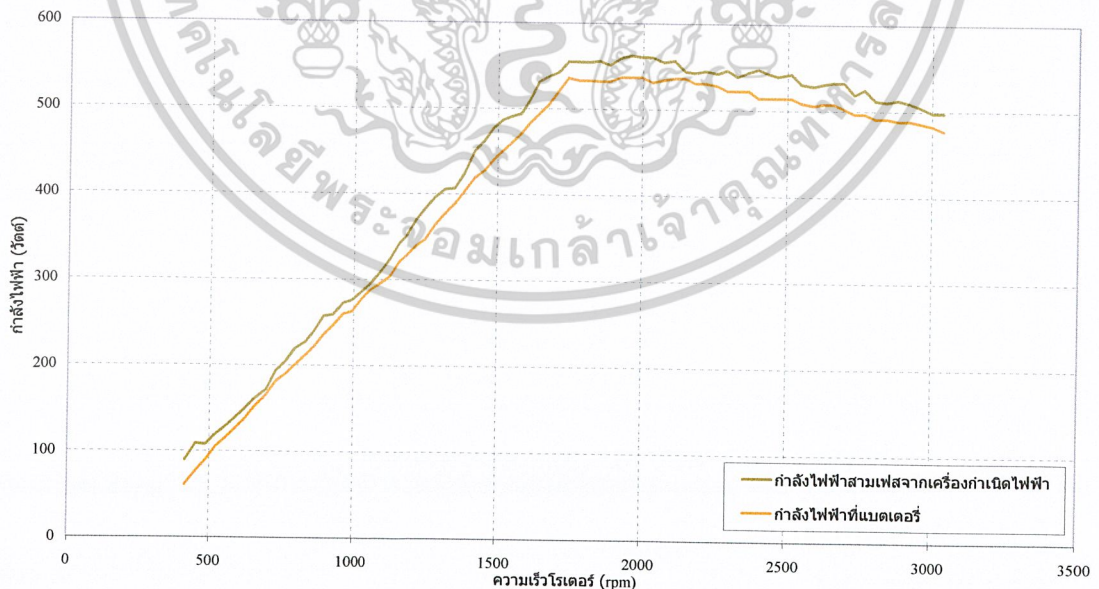
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

f	n_s	n_r	$slip$	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-w\phi}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	$Loss$ (Inverter)
29	870	967	-0.1115	116.15	2.00	128.78	-436.49	258.8	1.60	414.08	22.41
30	900	1005	-0.1167	119.94	2.07	129.77	-476.01	259.1	1.66	430.11	45.91
31	930	1036	-0.1140	123.75	2.04	130.55	-491.64	259.4	1.74	451.36	40.28
32	960	1067	-0.1115	127.40	2.09	131.29	-526.09	259.7	1.80	467.46	58.63
33	990	1098	-0.1091	131.09	2.06	131.17	-533.31	259.9	1.88	488.61	44.70
34	1020	1129	-0.1069	134.74	2.06	131.64	-552.74	260.2	1.96	509.99	42.75
35	1050	1157	-0.1019	138.40	2.02	131.85	-559.01	260.4	1.98	515.59	43.42
36	1080	1190	-0.1019	141.43	2.01	132.27	-574.49	260.6	2.02	526.41	48.07
37	1110	1223	-0.1018	146.03	2.06	132.75	-612.30	261.1	2.14	558.75	53.54
38	1140	1250	-0.0965	149.49	2.02	132.88	-615.22	261.1	2.16	564.06	51.16
39	1170	1282	-0.0957	153.11	2.02	133.36	-637.36	261.2	2.24	585.09	52.27
40	1200	1316	-0.0967	157.15	2.07	133.72	-673.18	261.2	2.38	621.56	51.62
41	1230	1345	-0.0935	160.66	2.02	133.99	-676.20	262.0	2.38	623.56	52.64
42	1260	1375	-0.0913	169.52	2.02	134.06	-713.68	262.2	2.44	639.77	73.91
43	1290	1406	-0.0899	168.18	2.02	137.43	-750.94	262.5	2.52	661.50	89.44
44	1320	1439	-0.0902	172.98	2.06	134.63	-749.19	262.7	2.65	696.16	53.03
45	1350	1471	-0.0896	176.78	2.06	134.93	-769.70	264.5	2.72	719.44	50.26
46	1380	1498	-0.0855	180.47	2.05	134.92	-781.80	265.0	2.75	728.75	53.05
47	1410	1529	-0.0844	184.28	2.01	134.91	-784.51	265.2	2.78	737.26	47.25
48	1440	1561	-0.0840	188.30	2.01	135.33	-808.30	265.5	2.85	756.68	51.62
49	1470	1591	-0.0823	191.41	2.01	135.45	-824.17	266.0	2.92	776.72	47.45
50	1500	1625	-0.0833	193.72	2.01	136.13	-841.28	266.3	3.05	812.22	29.07
51	1530	1658	-0.0837	193.72	2.01	136.13	-841.28	266.9	3.15	840.74	0.55
52	1560	1697	-0.0878	194.90	2.09	138.04	-908.71	267.1	3.25	868.08	40.64
53	1590	1730	-0.0881	194.44	2.04	138.34	-889.90	268.0	3.25	871.00	18.90
54	1620	1764	-0.0889	195.39	2.04	138.39	-894.95	268.0	3.29	881.72	13.23
55	1650	1795	-0.0879	195.13	2.03	139.59	-904.39	268.2	3.20	858.24	46.15
56	1680	1827	-0.0875	195.24	2.00	140.09	-899.46	268.0	3.20	857.60	41.86
57	1710	1864	-0.0901	195.33	2.02	140.56	-914.16	268.4	3.25	872.30	41.86
58	1740	1899	-0.0914	195.99	2.00	140.74	-910.51	268.7	3.35	900.15	10.36
59	1770	1929	-0.0898	196.05	2.02	141.29	-928.91	268.7	3.30	886.71	42.20
60	1800	1963	-0.0906	196.21	2.03	141.66	-937.23	269.0	3.30	887.70	49.53
61	1830	1998	-0.0918	196.24	2.02	142.12	-938.18	269.2	3.35	901.82	36.36
62	1860	2029	-0.0909	196.37	2.00	142.40	-933.49	269.3	3.32	894.08	39.42
63	1890	2066	-0.0931	196.53	2.00	142.72	-938.26	269.7	3.40	916.98	21.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

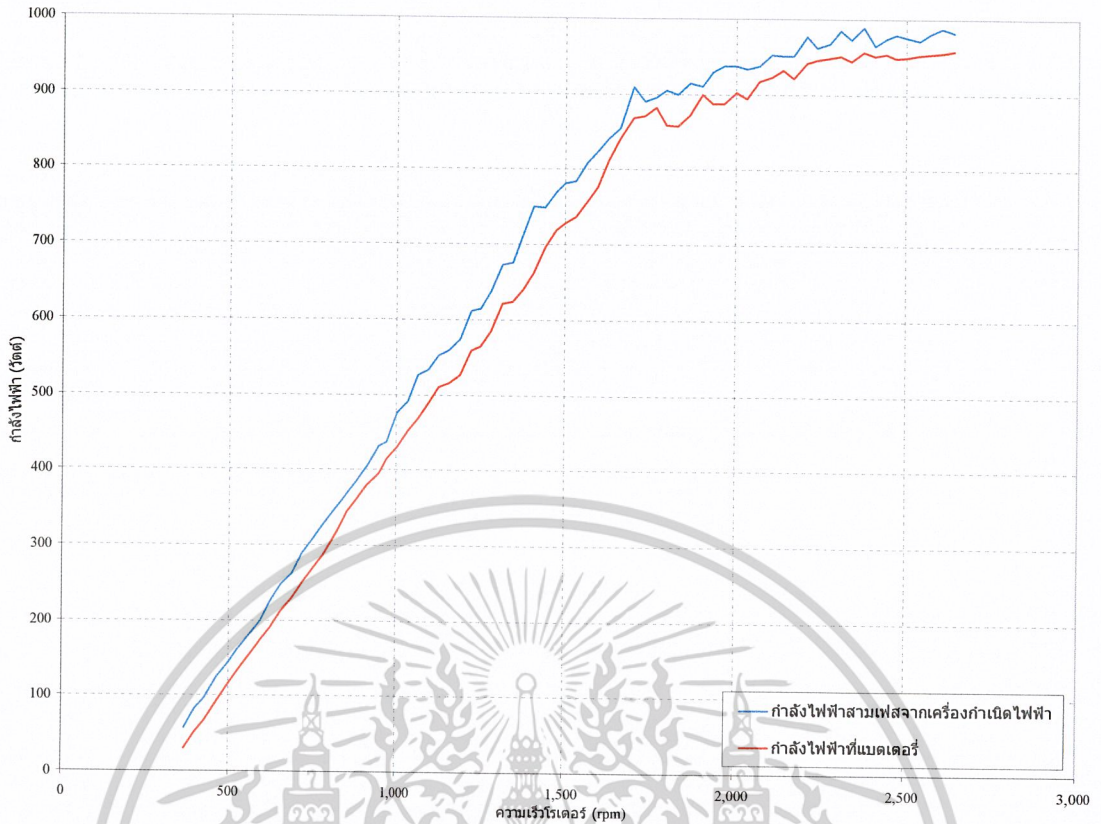
f	n_s	n_r	$slip$	V_{phase}	I_{phase}	ϕ_{phase}	$P_{3-เฟส}$	V_{dc}	I_{dc}	P_{dc}	$Loss$ (Inverter)
64	1920	2100	-0.0938	197.09	2.02	142.93	-952.98	269.9	3.42	923.06	29.93
65	1950	2134	-0.0944	196.93	2.04	142.15	-951.66	270.1	3.45	931.85	19.81
66	1980	2165	-0.0934	197.00	2.01	143.25	-951.82	270.2	3.41	921.38	30.44
67	2010	2203	-0.0960	197.10	2.05	143.72	-977.17	270.6	3.48	941.69	35.48
68	2040	2233	-0.0946	197.52	2.02	143.53	-962.57	270.9	3.49	945.44	17.13
69	2070	2270	-0.0966	197.60	2.02	143.82	-967.50	270.9	3.50	948.15	19.35
70	2100	2305	-0.0976	198.29	2.05	143.84	-984.58	271.0	3.51	951.21	33.37
71	2130	2336	-0.0967	197.82	2.05	143.08	-972.64	271.2	3.48	943.78	28.86
72	2160	2373	-0.0986	198.17	2.05	144.27	-989.35	271.6	3.52	956.03	33.32
73	2190	2405	-0.0982	198.73	2.00	144.03	-965.02	271.6	3.50	950.60	14.42
74	2220	2438	-0.0982	198.48	2.01	144.51	-974.48	271.9	3.51	954.37	20.11
75	2250	2470	-0.0978	197.97	2.02	144.73	-979.48	271.9	3.49	948.93	30.55
76	2280	2504	-0.0982	199.36	2.02	143.83	-975.28	272.2	3.49	949.98	25.30
77	2310	2539	-0.0991	199.20	2.01	143.96	-971.28	272.3	3.50	953.05	18.23
78	2340	2572	-0.0991	199.51	2.03	143.89	-981.60	272.6	3.50	954.10	27.50
79	2370	2606	-0.0996	199.08	2.04	144.37	-988.34	272.9	3.50	955.15	33.19
80	2400	2641	-0.1004	198.91	2.02	144.72	-982.55	272.9	3.51	957.88	24.67

สามารถนำเอาผลการทดลองมาทำการแสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้ได้ดังต่อไปนี้

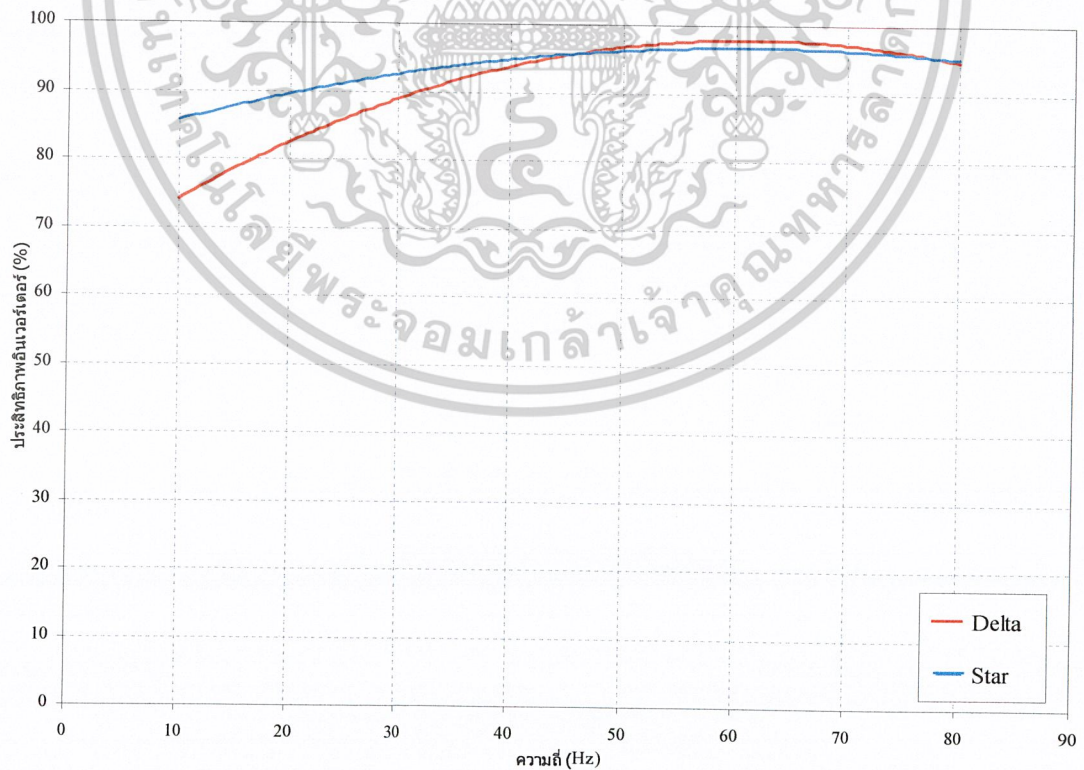


รูปที่ 6.9 กราฟแสดงการ เปรียบเทียบกําลังไฟฟ้สูงสุด ที่สามารถคืนได้ ที่พิกัดกระแสกับความเร็วโรเตอร์ เมื่อเครื่องกํานิดไฟฟ้หนึ่งยวนําคือแบบสตาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.10 กราฟแสดงการ เปรียบเทียบกำลังไฟสูงสุด ที่สามารถคืนได้ ที่พิกัดกระแสกับความเร็วโรเตอร์ เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหนีวนำต่อแบบเดลต้า



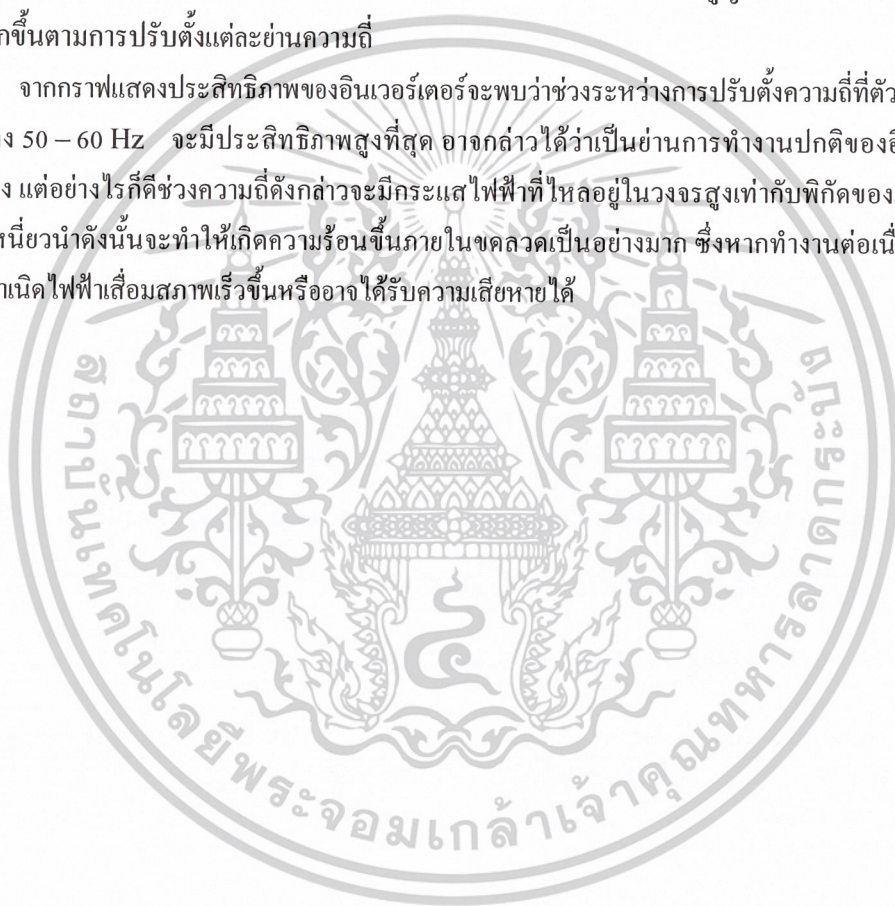
รูปที่ 6.11 แสดงประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์เมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหนีวนำแบบสตาร์และแบบเดลต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4.6 สรุปผลการทดลองที่ 6.2

จากกราฟการคืนพลังงานสูงสุดในช่วงความเร็วค่าต่ำ ๆ จนถึงความเร็วที่พิกัดของมอเตอร์กำลังไฟฟ้าที่คืนได้จะเป็นอัตราส่วนตาม V/f ตามคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์และหลังจากความเร็วพิกัดกำลังไฟฟ้าที่คืนได้จะมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยการต่อเครื่องกำเนิดแบบเซลล์กำลังไฟฟ้าที่คืนได้จะไม่ลดลงแต่การต่อเครื่องกำเนิดแบบสตาร์กำลังไฟฟ้าที่คืนได้จะตกลงเล็กน้อยเพราะกำลังสูญเสียมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมาได้ เนื่องจากว่าพิกัดแรงดันไฟฟ้าขาออกของอินเวอร์เตอร์ตัดแปลงมีพิกัด 3 เฟส 220 โวลต์ เท่ากับแรงดันไฟฟ้าต่อเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพอดีทำให้การคืนพลังงานในการต่อแบบเซลล์กำลังไฟฟ้าช่วงความถี่สูง ๆ จึงมีค่าคงที่ และจากรูปกราฟจะเห็นได้ว่ากำลังงานที่คืนให้เบตเตอร์จริงๆ จะต่ำกว่าที่เครื่องกำเนิดผลิตได้เล็กน้อยทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียภายในอินเวอร์เตอร์ซึ่งมีค่ามากขึ้นตามการปรับตั้งแต่ละย่านความถี่

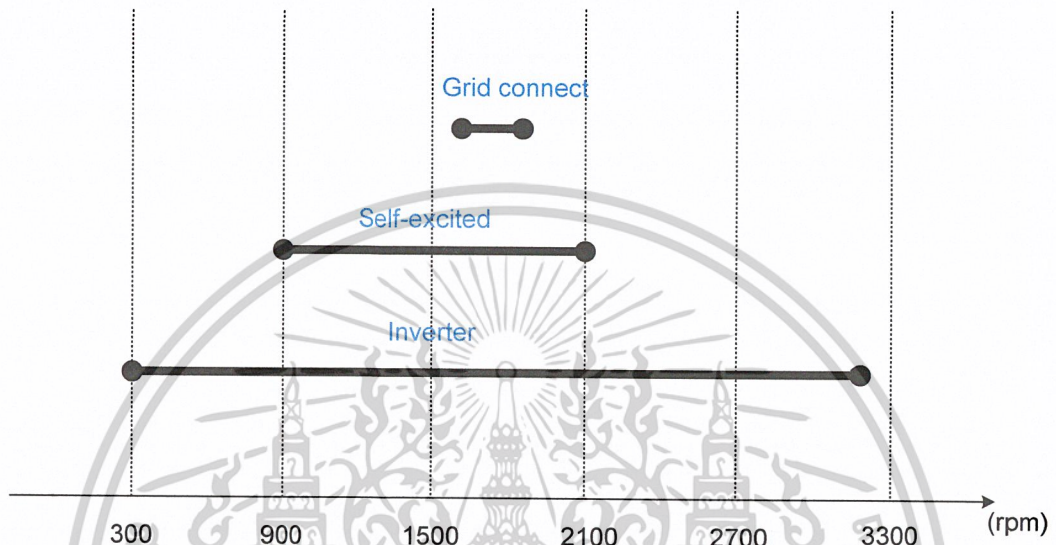
จากกราฟแสดงประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์จะพบว่าช่วงระหว่างการปรับตั้งความถี่ที่ตัวอินเวอร์เตอร์ตัดแปลง 50 – 60 Hz จะมีประสิทธิภาพสูงที่สุด อาจกล่าวได้ว่าเป็นย่านการทำงานปกติของอินเวอร์เตอร์ตัดแปลง แต่อย่างไรก็ดีช่วงความถี่ดังกล่าวจะมีกระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ในวงจรสูงเท่ากับพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำดังนั้นจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในขดลวดเป็นอย่างมาก ซึ่งหากทำงานต่อเนื่องอาจทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเสื่อมสภาพเร็วขึ้นหรืออาจได้รับความเสียหายได้



บทที่ 7

สรุป

เปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั้ง 3 แบบ



รูปที่ 7.1 ย่านการคืนกำลังไฟฟ้าของการต่อในแต่ละแบบ

ย่านการคืนกำลังไฟฟ้า จากภาพประกอบจะเห็นได้ว่าแบบต่อกับระบบเครือข่ายโดยตรงจะคืนกำลังไฟฟ้าได้ในช่วงประมาณ 1,550 rpm จนถึงประมาณ 1,800 rpm ทั้งนี้เนื่องจากต้องให้ความเร็วรอบโรเตอร์มากกว่าความเร็วซิงโครนัสเล็กน้อยจึงจะแสดงพฤติกรรมเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และในแบบกระตุ้นด้วยตัวเองนั้นจะคืนกำลังไฟฟ้าได้ในช่วง 900 rpm จนถึงประมาณ 2,000 rpm โดยต้องปรับค่าคาปาซิเตอร์ให้เหมาะสมกับความเร็วรอบโรเตอร์ ส่วนแบบการประยุกต์ใช้อินเวอร์เตอร์สามารถคืนกำลังไฟฟ้าได้ในช่วง 300 rpm จนถึง 3,000 rpm ทั้งนี้ต้องปรับความถี่อินเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับความเร็วโรเตอร์ด้วยเพื่อที่จะคืนกำลังไฟฟ้าสูงสุดทุกความเร็วรอบ โดยกำลังไฟฟ้าที่คืนได้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำในแต่ละแบบ

ความยากง่ายในการควบคุม แบบต่อกับระบบเครือข่ายโดยตรงเพียงแค่ให้ความเร็วรอบโรเตอร์มากกว่าความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนก็เพียงพอแล้ว แต่ต้องมีการควบคุมไม่ให้มีความเร็วสูงเกินไปเพราะจะทำให้กระแสไฟฟ้าเกินพิกัด

แบบกระตุ้นด้วยตัวเองถ้าหากจะควบคุมความถี่กับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่และเหมาะสมกับโหลดทำได้ค่อนข้างยากดังนั้นในการนำไปใช้งานจริงจะต้องแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงโดยผ่านวงจรเรียงกระแสแล้วเก็บสะสมพลังงานในแบตเตอรี่ก่อนแล้วต่อผ่านอินเวอร์เตอร์ไปยังโหลดซึ่งจะควบคุมความถี่และแรงดันให้คงที่ได้ และตัวเก็บประจุต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับความเร็วโรเตอร์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบกระตุ้นแยกจะต้องมีการออกแบบวงจรควบคุมความถี่ให้สัมพันธ์กับความถี่ของมอเตอร์ ซึ่งมีอยู่หลายวิธีแล้วแต่ความถนัดของผู้ออกแบบแต่ละคนแต่ต้องไม่ลืมว่ากระแสไม่ควรเกินพิกัด แต่ที่นี้ใช้อินเวอร์เตอร์จะพบได้ว่าพิกัดของอินเวอร์เตอร์มีผลอย่างมากในช่วงที่ความถี่สูง ๆ กำลังไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าต่ำลงเพราะค่า V/f มีค่าไม่คงที่ในย่านนั้น

ราคาของแต่ละระบบ ในการประยุกต์ใช้งานจริงต่อกับระบบโดยตรงจะทำได้ง่ายที่สุดและมีราคาถูกที่สุด ส่วนแบบกระตุ้นด้วยตัวเองถ้าหากจ่ายโหลดโดยตรงจะทำให้แรงดันไฟฟ้าตกและความถี่ก็ขึ้นอยู่กับความเร็วต้นกำลังซึ่งจะไม่ได้ 50 Hz พอดี ทำให้เกิดฮาร์โมนิกส์ จำเป็นที่จะต้องมีการเก็บพลังงานในแบตเตอรี่ก่อนแล้วใช้อินเวอร์เตอร์มาต่อเพื่อจ่ายโหลดอีกทีหนึ่ง ดังนั้นราคาอุปกรณ์ที่จะใช้มีมากขึ้นราคาก็สูงขึ้น สุดท้ายแบบอินเวอร์เตอร์ใช้อุปกรณ์มากที่สุดและมีราคาสูงที่สุด

การนำไปใช้งานจริง แบบต่อกับระบบโดยตรงจะมีข้อจำกัดในการใช้งานคือ ใช้ได้ในพื้นที่ที่มีไฟฟ้าจากการไฟฟ้าครอบคลุมถึงเท่านั้น ส่วนแบบกระตุ้นด้วยตัวเองกับแบบใช้อินเวอร์เตอร์สามารถใช้ในพื้นที่ที่ห่างไกลซึ่งไฟฟ้ายังเข้าไม่ถึงได้

การกินกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ แบบต่อกับระบบเครือข่ายโดยตรงทำได้ง่ายไม่ต้องมีอุปกรณ์ช่วยมากนัก ไม่มีฮาร์โมนิกส์รบกวนระบบ แต่ในแบบกระตุ้นด้วยตัวเองกับแบบใช้อินเวอร์เตอร์นั้นจะต้องต่อผ่านอินเวอร์เตอร์เพื่อจะรักษาระดับแรงดันกับความถี่ให้คงที่ก่อนที่จะต่อร่วมกับระบบไฟฟ้าได้ และจะเกิดฮาร์โมนิกส์รบกวนระบบ เนื่องจากรูปคลื่นที่ได้จากอินเวอร์เตอร์ไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ที่ 50 Hz

ตารางที่ 7.1 สรุปการเปรียบเทียบการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำในแบบต่างๆ

เรื่อง	Grid	Self-Excited	Inverter
ย่านการคืนกำลังไฟฟ้า	แคบ	ปานกลาง	กว้าง
ความยากง่ายในการควบคุม	ง่าย	ยาก	ยาก
ราคา	ถูก	แพง	แพงที่สุด
การนำไปใช้งานจริง	เฉพาะพื้นที่ ไฟฟ้าเข้าถึง	ได้ทุกที่	ได้ทุกที่
การคืนกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ	มีฮาร์โมนิกส์ รบกวนน้อย	มีฮาร์โมนิกส์ รบกวนมาก	มีฮาร์โมนิกส์ รบกวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยภาพรวมแล้วการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำไปใช้งานจริง สามารถกล่าวเป็นแนวโน้มได้ว่า สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาดเล็ก ที่ระดับกิโลวัตต์ควรที่จะนำกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่จะทำให้เกิดประสิทธิสูงกว่าการนำไปใช้ต่อกับระบบเครือข่ายโดยตรง แต่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่มีขนาดใหญ่ระดับเมกะวัตต์ขึ้นไปสามารถที่จะนำไปต่อกับระบบเครือข่ายการไฟฟ้าได้โดยตรง เพราะสามารถที่จะสร้างกำลังไฟฟ้าได้มากกว่ากำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในตัวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเอง อีกทั้งเมื่อคำนึงถึงการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาดใหญ่ ๆ ไปติดตั้งกับกังหันลมตามที่มีการใช้งานกันทั่วไป จะเป็นการสร้างชุดกังหันลมที่คุ้มค่าง่าการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ๆ ไปติดตั้ง

อย่างไรก็ตามในโครงการนี้ยังไม่ได้ทดสอบการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเองไปใช้ชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งหากทำได้ก็จะสามารถมีต้นทุนที่ต่ำกว่าการใช้อินเวอร์เตอร์อย่างมาก อีกทั้งการใช้อินเวอร์เตอร์ต้องมีการต่อวงจรภายในของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งหากไม่มีความรู้ด้านนี้มาก่อนอาจทำให้เกิดอันตรายได้ ควรที่จะให้มีการศึกษากันต่อไปในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

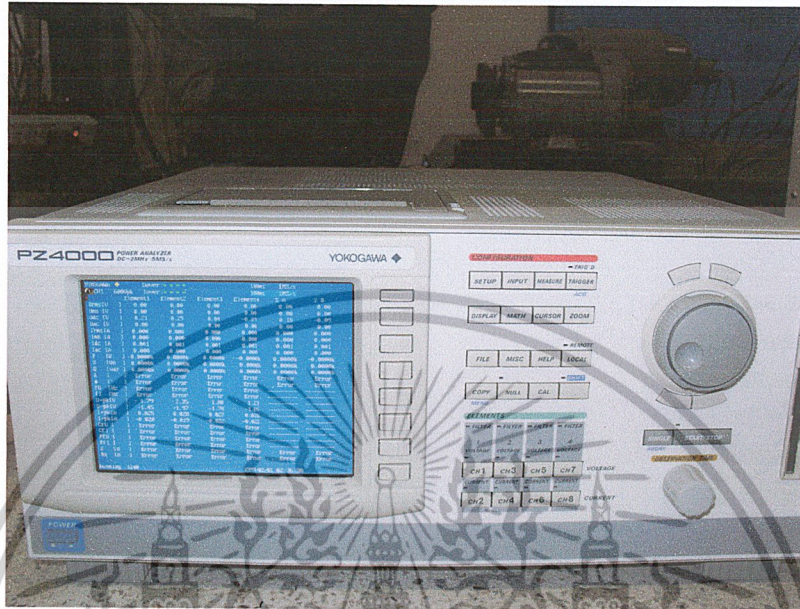
บรรณานุกรม

- [1] กนกภูมิ เรียนใจดีและคณะ, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ, ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544
- [2] เกียรติขจร วรปรัชญาและคณะ, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ, ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.
- [3] กิตติ ขจรประสิทธิ์และคณะ, การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเอง, ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.
- [4] พันธวิทย์ ชินบุตรและคณะ, การศึกษาช่วงย่านการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสแบบกระตุ้นด้วยตัวเอง, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 27, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2547.
- [5] ทรงฤทธิ์ ศิริวัฒน์, เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ 2, กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2540.
- [6] พุทธิพร เสวตสกุลานนท์, การวิเคราะห์ขนาดตัวเก็บประจุอย่างง่ายสำหรับอินดักชันเจนเนอเรเตอร์แบบกระตุ้นภายในตัวเอง, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 26, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546, หน้า 35-38.
- [7] ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย, เครื่องจักรไฟฟ้า, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [8] ถาวร อมตกิตติ, การส่งกำลังและประหยัดพลังงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ, กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2545.
- [9] A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr, Stephen D. Umans, **Electric Machinery**, Fourth Edition, McGraw-Hill, 1983, pp.409-434.
- [10] J. Shepherd, A. H. Morton, L. F. Spence, **higher Electrical Engineering**, Second Edition, Longman Scientific & Technical, 1970, pp.435-445.
- [11] Mukund R.Patel, **Wind and Solar Power System**, New York: CRC Press, 2000, pp.96-107,116-117.
- [12] C. B. Gray, **Electrical machines and drive systems**, Longman Scientific & Technical, 1989, pp.109-110,401-402.

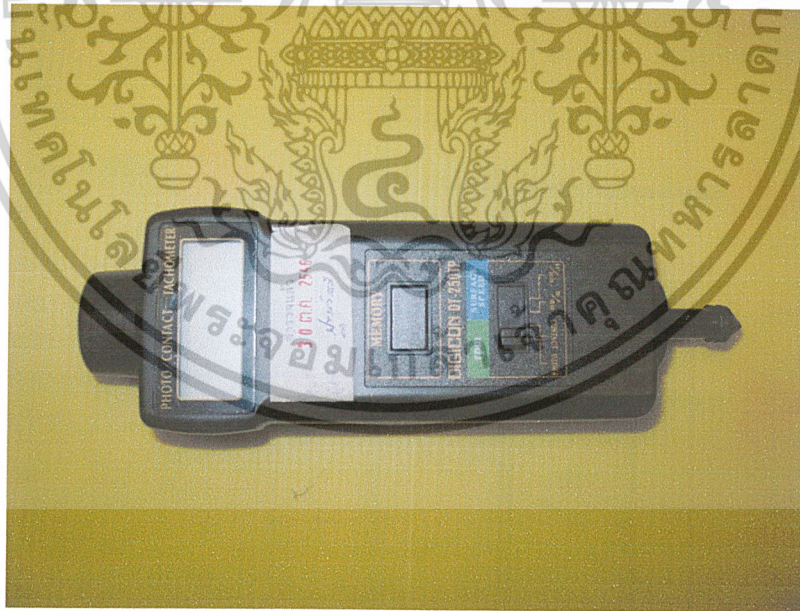
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

รูปเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



POWER ANALYZER METER

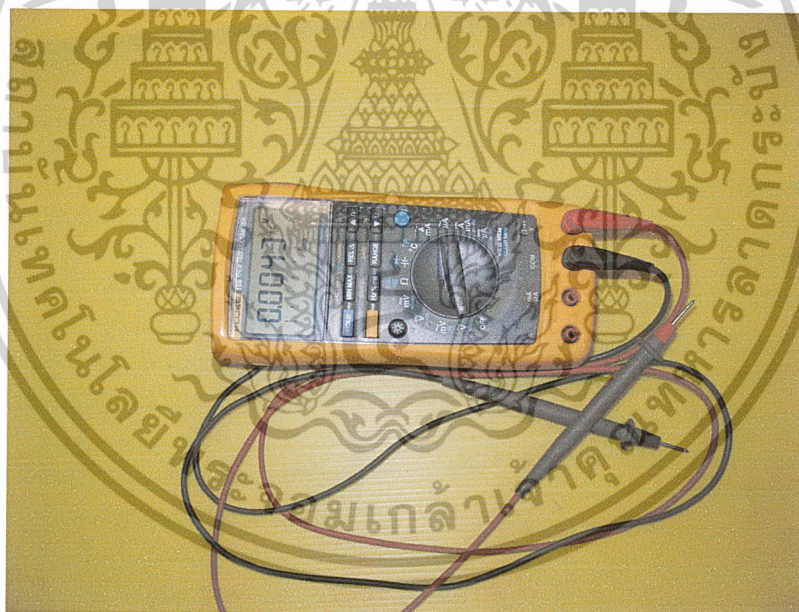


PHOTO/CONTACT TACHOMETER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DIGITAL CLAMP-ON METER



DIGITAL MULTIMETER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

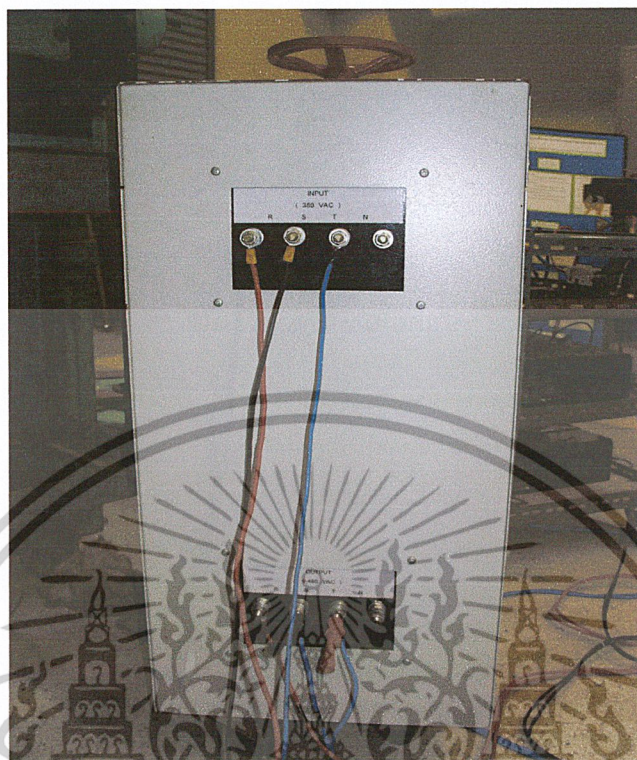


INVERTER



INVERTER ที่ตัดแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



VARIAC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้