

การจำลองการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่
ของระบบรีเจนเนอ์เรทีฟจากลิฟต์

**MODELLING OF POWER GRID CONNECTION WITH AN
UNSTABLE SOURCE FROM ELEVATOR ENERGY
REGENERATIVE UNIT (EERU)**

เอกรัตน์ นภกานต์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การจำลองการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่
ของระบบรีเจนเนอร์เรทีฟจากลิฟต์

เอกรัตน์ นภกานต์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์
ชื่อ - นามสกุล	นายเอกรัตน์ นภกานต์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญยัง ปลั่งกลาง, Dr.-Ing.
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

การทำงานของลิฟต์ในช่วงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีพลังงานไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน โดยผ่านตัวต้านทาน จากปัญหาดังกล่าว จึงมีแนวความคิดที่จะนำพลังงานสูญเสียจากระบบลิฟต์กลับมาใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับและการควบคุมการเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้ากลับสู่ระบบจำหน่าย เพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบลิฟต์

วิทยานิพนธ์นี้ นำเสนอการจำลองการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟ เพื่อจำลองและทดสอบการทำงาน โดยใช้หลักการ การไหลของกำลังไฟฟ้าในการป้อนกระแสสลับสู่ระบบด้วยเทคนิคเฟสล็อกลูป (phase lock loop, PLL) สำหรับการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย โดยจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink และทดสอบระบบด้วยการติดตั้งอินเวอร์เตอร์สำหรับงานอุตสาหกรรม

จากผลการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink เปรียบเทียบกับการทดสอบในงานจริง โดยใช้มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรขนาด 7.5 กิโลวัตต์ พบว่าการเชื่อมต่อระบบจำหน่ายของการไฟฟ้ากับระบบที่นำเสนอในสถานะชั่วคราว เป็นไปในแนวทางเดียวกันคือ สามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายได้ด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟในขณะที่มอเตอร์ทำงานในโหมดของเจนเนอเรเตอร์ ด้วยการควบคุมการไหลกระแสให้มีมุมเฟสต่างกัน 180 องศา ทำให้มีพลังงานจ่ายคืนกลับสู่ระบบจำหน่ายเฉลี่ยประมาณ 4 กิโลวัตต์หรือประมาณ 53 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดมอเตอร์ต้นกำลัง

คำสำคัญ: รีเจนเนอเรทีฟ เฟสล็อกลูป การไหลของกำลังไฟฟ้า

Thesis Title	Modelling of Power Grid Connection with an Unstable Source From Elevator Energy Regenerative Unit (EERU)
Name – Surname	Mr. Akeratana Noppakant
Program	Electrical Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Boonyang Plangklang, Dr.-Ing.
Academic Year	2013

ABSTRACT

In an elevator operating, some electrical energy is produced when elevator motor perform as a generator. This energy cannot be used in the system and has to convert to heat power via a resistive load or dump load. However, it would be useful, if the energy loss can be managed and regenerated back to the grid system in order to reduce energy consumption from the elevator. There is a method called regenerative technique the will be used as an elevator energy regenerative unit which consists of 2 main parts as: the DC to AC converter and the grid connected system controller.

This thesis presents the grid connected model of the unstable source from the DC to AC converter in the elevator energy regenerative unit (EERU). The model employs power flow technique using current loop control with phase lock loop (PLL) technique to inject current back to the distribution system. MATLAB/Simulink program is applied for model simulation. Then the proposed system is implemented and tested the performance of power grid synchronization with industrial inverter.

From the experiment, the simulation result was compared to implementation result that performed to the rated motor of 7.5 kW. It is found that proposed EERU system was able to connect with the power grid. The system can be synchronized the power from elevator to the power grid system when the elevator's motor is operated in generator mode with current flow control at 180 degree out of phase. As the result, the system can feed average power to the gird approximately 4 kW or around 53 percent of the rated motor.

Keywords : elevator energy regenerative unit (EERU), phase locked loop, power flow

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ โดยได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.สุรินทร์ แห่งมงาม ประธาน สอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วย ศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา จำสุวรรณ์ ผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งได้ให้ความกรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้อง มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งใน ความอนุเคราะห์ที่ได้รับ จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณเจ้าของเอกสาร บทความ คำรา หนังสือทุกท่านที่ผู้วิจัยใช้ในการสืบค้นข้อมูลที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ บริษัท ชันยู (ประเทศไทย) จำกัด และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัยตลอดช่วงเวลาของการศึกษา ทุกประการ

คุณค่าและประโยชน์จากการค้นคว้าอันพึงมีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบทดแทน บุญคุณต่อ นายวิจิตร นภกานต์ ผู้เป็นบิดา นางเยาวลักษณ์ นภกานต์ ผู้เป็นมารดา และครูอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้บรมสั่งสอนศิษย์มาตลอด ด้วยวิญญูณของความเป็นครู ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

เอกรัตน์ นภกานต์



สารบัญ

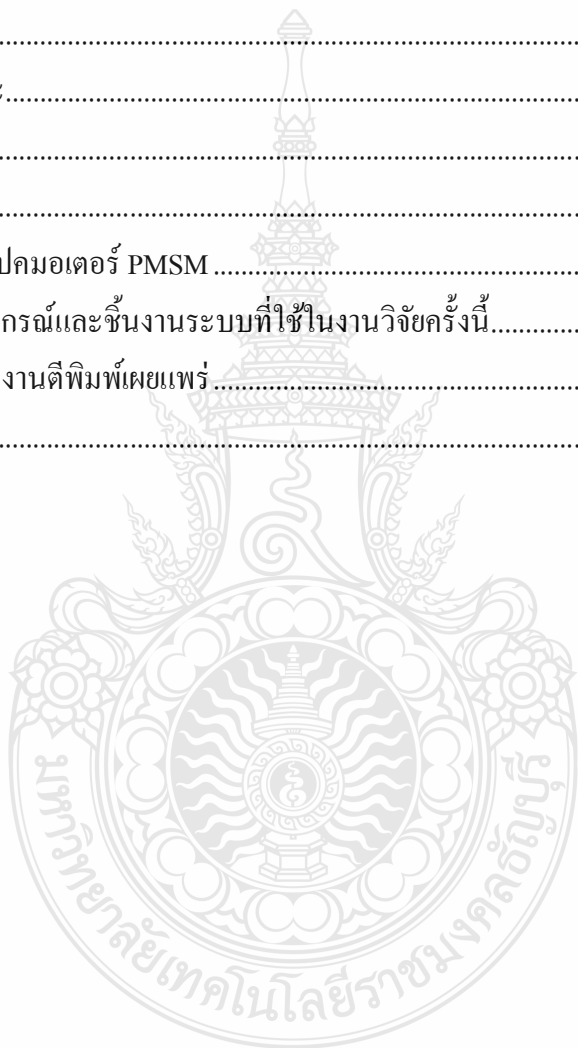
หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญรูป	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(12)
บทที่ 1 บทนำ	13
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	13
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	14
1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย.....	15
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	15
1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงาน	16
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	17
1.7 ข้อจำกัดของการวิจัย.....	17
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	19
2.3 สรุป	37
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	38
3.1 ขั้นตอนการศึกษาทฤษฎี.....	38
3.2 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	44
3.3 ขั้นตอนการจำลองด้วยการใช้อินเวอร์เตอร์อุตสาหกรรม	48
3.4 สรุปผลการดำเนินงาน	62
บทที่ 4 ผลการจำลองและการทดสอบ	63
4.1 การหาค่าจากจำลองการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรนัสแบบขั้วแม่เหล็กถาวร .	64
4.2 การติดตั้งแบบจำลองระบบลิฟต์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	65
4.3 ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink	69

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 ผลการทดสอบด้วยการจำลองการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิด ไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอร์เรทีฟจากลิฟต์.....	79
4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง	84
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	85
5.1 สรุปผล	85
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	86
รายการอ้างอิง	87
ภาคผนวก	89
ภาคผนวก ก สปคมอเตอร์ PMSM.....	90
ภาคผนวก ข อุปกรณ์และชิ้นงานระบบที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้.....	92
ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	100
ประวัติผู้เขียน	120



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 โหมดการทำงานของระบบลิฟต์ในสภาวะรีเจนเนอเรทีฟ.....	24
ตารางที่ 2.2 สรุปลักษณะของโหลดพื้นฐานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ.....	34
ตารางที่ 3.1 ตารางความสัมพันธ์การใช้พลังงานของลิฟต์.....	39
ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรที่ใช้ในการจำลองการทำงาน...	45
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลทางเทคนิคของมอเตอร์ ชนิด PM SYNCHRONOUS GEARLESS TRACTION MACHINE สำหรับงานวิจัย.....	66



สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 โครงสร้างของระบบลิฟต์ที่สามารถจ่ายพลังงานเข้าสู่ระบบ.....	13
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของระบบลิฟท์	20
รูปที่ 2.2 ลักษณะและองค์ประกอบลิฟต์ประเภทใช้เฟืองทด	22
รูปที่ 2.3 ลักษณะและองค์ประกอบลิฟต์ประเภทไม่ใช้เฟืองทด.....	23
รูปที่ 2.4 การทำงานของมอเตอร์ในสภาวะต่างๆ โดยเปรียบเทียบระหว่างความเร็วกับความเร่ง	25
รูปที่ 2.5 การทำงานของมอเตอร์ระหว่างความเร็วและแรงบิดในแต่ละช่วงเวลา.....	25
รูปที่ 2.6 มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร	26
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร 3 เฟส มีขั้วแม่เหล็ก 4 ขั้ว (2 คู่ขั้ว)	27
รูปที่ 2.8 วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรที่เทียบกับแกนอ้างอิงของโรเตอร์.....	28
รูปที่ 2.9 วงจรเล็อนเฟสโดยใช้เฟสบล็อกคู่.....	30
รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของเฟสบล็อกคู่	31
รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมของระบบสังเคราะห์ความถี่.....	32
รูปที่ 2.12 ผลตอบสนองของฟังก์ชันขั้นบันไดของระบบแบบที่ 1 อันดับ 2.....	33
รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ของค่ามุมระหว่างกระแสและแรงดันเมื่อใช้ L-C	35
รูปที่ 2.14 คอนเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบริคตไฟฟ้า.....	35
รูปที่ 2.15 การกำหนดทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้า	36
รูปที่ 2.16 การควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้า.....	37
รูปที่ 3.1 แผนภาพไดอะแกรมของระบบรีเจนเนอเรทีฟ.....	39
รูปที่ 3.2 วงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟส.....	40
รูปที่ 3.3 วงจรแปลงผันแรงดันแบบ B2B.....	41
รูปที่ 3.4 วงจรเรียงกระแสควบคุมได้แบบบริดจ์	42
รูปที่ 3.5 แบบจำลองการทำงานของซิงโครนัสมอเตอร์ใน MATLAB/Simulink	44
รูปที่ 3.6 แบบจำลองการทำงานของวงจร PLL ใน MATLAB/Simulink โดยใช้บล็อกสำเร็จรูป	46
รูปที่ 3.7 ไดอะแกรมแสดงแบบจำลองการทำงานของวงจรใน MATLAB/Simulink โดยใช้ บล็อกสำเร็จรูป	47
รูปที่ 3.8 แบบจำลองการทำงานการเชื่อมต่อบริคตของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ไม่คงที่ของระบบ รีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์ใน MATLAB /Simulink.....	48

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.9 ชุดทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟ.....	49
รูปที่ 3.10 การเชื่อมต่อกับระบบเดิมสำหรับการนำพลังงานที่เหลือกลับมาใช้งาน	50
รูปที่ 3.11 ไคอะแกรมของวงจรอินเวอร์เตอร์กำลัง.....	52
รูปที่ 3.12 ชุดไอจีบีทีโมดูล สำหรับภาคอินเวอร์เตอร์กำลัง.....	52
รูปที่ 3.13 วงจรชุดขับไอจีบีที สำหรับภาคอินเวอร์เตอร์กำลัง.....	53
รูปที่ 3.14 ชุดขับไอจีบีที สำหรับภาคอินเวอร์เตอร์กำลัง.....	54
รูปที่ 3.15 ไคอะแกรมวงจรสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มคอมพารเตเตอร์	54
รูปที่ 3.16 วงจรสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มคอมพารเตเตอร์	55
รูปที่ 3.17 ไคอะแกรมวงจรเคตีใหม่	55
รูปที่ 3.18 วงจรเคตีใหม่	56
รูปที่ 3.19 ไคอะแกรมวงจรเฟสล็อกกลุป.....	56
รูปที่ 3.20 วงจรเฟสล็อกกลุปบนชิ้นงาน	57
รูปที่ 3.21 โมดูลสำหรับวงจรสับเบอร์	57
รูปที่ 3.22 วงจรสมมูลของวงจรกรองที่ใช้ในการทดสอบ.....	58
รูปที่ 3.23 ค่า L วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	61
รูปที่ 3.24 ค่า C วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	62
รูปที่ 3.25 แมกเนติกส์คอนแทคเตอร์.....	62
รูปที่ 4.1 ไคอะแกรมแสดงจุดทดสอบของระบบจำลอง.....	64
รูปที่ 4.2 ไคอะแกรมแสดงจุดทดสอบของระบบจำลองบนชิ้นงานจริง	65
รูปที่ 4.3 มอเตอร์ซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรที่ใช้ในระบบลิฟต์ขนาด 7.4 กิโลวัตต์.....	66
รูปที่ 4.4 การต่อมอเตอร์แบบอินดักชันเข้ากับซิงโครนัสมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	67
รูปที่ 4.5 การติดตั้งมอเตอร์แบบอินดักชันเข้ากับซิงโครนัสมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร.....	67
รูปที่ 4.6 วงจรคอนเวอร์เตอร์กำลังสำหรับลิฟท์ ตามรูปที่ 4.1	68
รูปที่ 4.7 อินเวอร์เตอร์สำหรับการควบคุมอินดักชันมอเตอร์ ตามรูปที่ 4.1	68
รูปที่ 4.8 แบบจำลองการกลายสภาพเป็นมอเตอร์โดยเป็นแหล่งจ่ายให้กับการทำงานของระบบ รีเจนเนอเรทีฟ.....	69

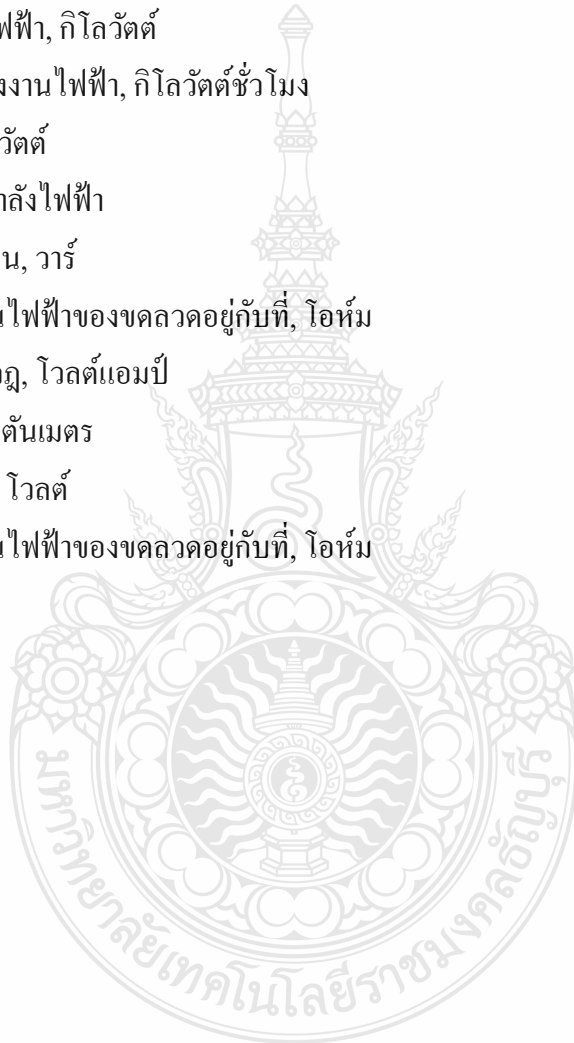
สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4.9 ผลจำลองการกลายสภาพเป็นมอเตอร์โดยเป็นแหล่งจ่ายให้กับการทำงานของระบบ รีเจนเนอเรทีฟเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงวัดที่จุด ตามรูปที่ 4.8	70
รูปที่ 4.10 แบบจำลองการทำงานของระบบรีเจนเนอเรทีฟ	71
รูปที่ 4.11 แรงดันด้านออกจากคอนเวอร์เตอร์กำลัง.....	72
รูปที่ 4.12 ขยายช่วง Off Grid แรงดันด้านกริดระบบ (ขยาย)	73
รูปที่ 4.13 แรงดันด้านออกจากคอนเวอร์เตอร์กำลัง.....	73
รูปที่ 4.14 กระแสคอนเวอร์เตอร์กำลังด้านกริดระบบ	74
รูปที่ 4.15 ผลการจำลองก่อนเข้าเฟสล็อกดูเปรียบเทียบต่อเฟส	75
รูปที่ 4.16 ผลการจำลองก่อนเข้าระบบจำหน่ายวัดแรงดันและกระแสต่อเฟส	75
รูปที่ 4.17 ผลการจำลองหลังเข้าระบบจำหน่ายวัดแรงดันและกระแสต่อเฟส.....	76
รูปที่ 4.18 ผลการจำลองหลังเข้าระบบจำหน่ายวัดแรงดันและกระแสต่อเฟส.....	77
รูปที่ 4.19 จำลองสัญญาณแบบไดนามิกส์แสดงการเคลื่อนที่ของลิฟต์ขึ้น-ลง	78
รูปที่ 4.20 ไดอะแกรมแสดงจุดที่ทำการทดสอบในงานจริง	79
รูปที่ 4.21 แรงดันกระแสตรงจากระบบที่ได้จากการทดลองวัดจากจุด D ตามรูปที่ 4.21.....	80
รูปที่ 4.22 แรงดันก่อนการเชื่อมต่อกับระบบกริดวัดจากจุด E ตามรูปที่ 4.21	80
รูปที่ 4.23 แรงดันและกระแสด้านออกของคอนเวอร์เตอร์กำลังด้านกริดผ่านวงจรกรอง ความถี่วัดจากจุด E ตามรูปที่ 4.21	81
รูปที่ 4.24 แรงดันหลังการเชื่อมต่อกับระบบกริดวัดจากจุด F ตามรูปที่ 4.21.....	81
รูปที่ 4.25 แรงดันและกระแสด้านออกของคอนเวอร์เตอร์กำลังด้านกริดผ่านวงจรกรอง ความถี่วัดจากจุด F ตามรูปที่ 4.21.....	82
รูปที่ 4.26 ค่าพลังงานไฟฟ้าขณะลิฟต์ขึ้น.....	82
รูปที่ 4.27 พลังงานไฟฟ้าขณะที่ลิฟต์เคลื่อนที่ใช้เครื่องวัดพลังงาน(มิเตอร์รุ่น MI 2292)	83
รูปที่ 4.28 ฮาร์โมนิกของคอนเวอร์เตอร์กำลังขณะที่ลิฟต์เคลื่อนที่.....	83
รูปที่ 4.29 ค่าพลังงานไฟฟ้าขณะที่ลิฟต์ลง.....	84

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

E	หน่วยพลังงานไฟฟ้า, กิโลวัตต์
E_f	ค่าแรงดันสนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำ, โวลต์
I_a	ค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวดอยู่กับที่, แอมป์
kVA	ขนาดพิกัดของหม้อแปลง, กิโลโวลต์แอมป์
kW	หน่วยพลังงานไฟฟ้า, กิโลวัตต์
kWh	หน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้า, กิโลวัตต์ชั่วโมง
P	กำลังไฟฟ้าจริง, วัตต์
P.F.	ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
Q	กำลังไฟฟ้าเสมือน, วาร์
R_s	ค่าความต้านทานไฟฟ้าของขดลวดอยู่กับที่, โอห์ม
S	กำลังไฟฟ้าปรากฏ, โวลต์แอมป์
T	แรงบิดหมุน, นิวตันเมตร
V	ค่าแรงดันไฟฟ้า, โวลต์
X_s	ค่าความต้านทานไฟฟ้าของขดลวดอยู่กับที่, โอห์ม
ω_s	ความเร็วเชิงมุม

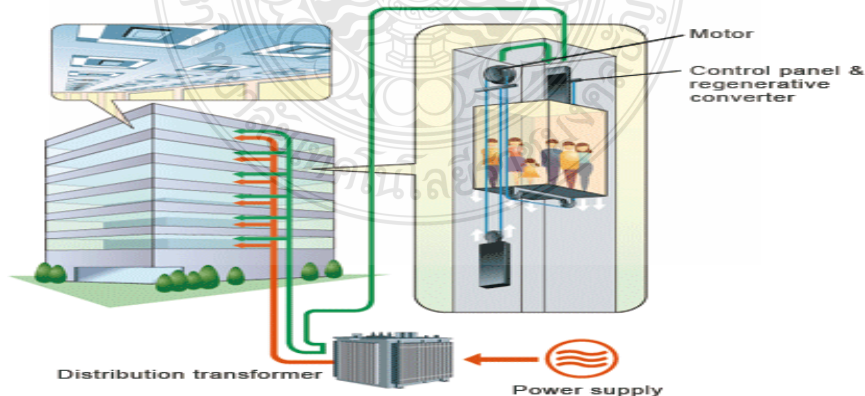


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การพัฒนาเทคโนโลยีด้านการอนุรักษ์พลังงานที่เกี่ยวข้องกับระบบลิฟต์ ยังรวมถึงการพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของลิฟต์แบบวงรอบปิด (Closed Loop Control) เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ให้ทำงานด้วยความเร็วในการเคลื่อนที่และมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งจุดจอดของลิฟต์ทำให้ลดการสูญเสียพลังงานที่ต้องใช้ในตัวต้านทานที่ใช้ในการเบรกและนอกจากนี้ยังได้นำพลังงานศักย์ที่สะสมอยู่ในน้ำหนักบรรทุกทุกกลับมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าป้อนกลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้ากำลังของลิฟต์และรวมถึงระบบไฟฟ้าของอาคารสำนักงานรวมทั้งลดความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเบรกลิฟต์ด้วยการแปลงพลังงานศักย์ที่ได้กลับไปเป็นพลังงานไฟฟ้าแทนที่จะทำให้เกิดพลังงานความร้อนที่ระบบเบรกซึ่งจะช่วยลดความต้องการใช้พลังงานในการระบายความร้อนที่ชุดเบรกในห้องลิฟต์ได้ด้วย ระบบดังกล่าวสามารถเรียกว่าระบบรีเจนเนอเรทีฟไดรฟ์หรือเรียกสั้นๆ ว่ารีเจนไดรฟ์ ดังนั้นถ้าลิฟต์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายเข้าระบบได้จะสามารถทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการใช้พลังงานของลิฟต์ให้มีประสิทธิภาพ ลดการใช้พลังงานจึงเป็นการพัฒนาระบบลิฟต์ที่สำคัญต่อการอนุรักษ์พลังงานจึงเป็นการพัฒนาระบบลิฟต์ที่สำคัญต่อการอนุรักษ์พลังงาน [1] แสดงดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 โครงสร้างของระบบลิฟต์ที่สามารถจ่ายพลังงานเข้าสู่ระบบ

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [2] เรื่องการศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากระบบลิฟต์ที่ใช้มอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟเป็นการศึกษาเรื่องการกลายสภาพของมอเตอร์โดยการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ซึ่งทำให้การศึกษาถึงข้อมูลในการผลิตสัญญาณในการผลิตพลังงานของมอเตอร์มีลักษณะของความไม่คงที่ แต่ไม่มีการนำสัญญาณที่ได้มาควบคุมด้วยวิธีการแบบใดเลย งานวิจัยเรื่อง [3] การออกแบบและการจำลองอินเวอร์เตอร์แบบสามเฟส สำหรับการเชื่อมต่อกับแผงพลังงานแสงอาทิตย์ได้นำเสนอการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นต้นกำเนิดและป้อนกลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้าแบบสามเฟสโดยใช้หลักการของ d-q ในการควบคุมการฉีดกระแสเข้าสู่ระบบ จากระบบนี้เป็นระบบที่มีการนำแบตเตอรี่มาทำการเก็บค่าประจุและทำการส่งจ่ายกลับเข้าสู่ระบบ จึงทำให้เกิดความแตกต่างเนื่องจากในวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอการเชื่อมต่อด้วยหลักการของกำลังไฟฟ้าแบบแอกทีฟและรีแอกทีฟ โดยไม่ใช้แบตเตอรี่ในการสำรองพลังงาน แต่จะใช้การเชื่อมต่อโดยตรงตามลักษณะของสัญญาณที่มอเตอร์ที่ทำงานในโหมดของเจนเนอเรเตอร์ผลิตพลังงานออกมา ดังนั้นการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์ ซึ่งในการเชื่อมต่อของสองระบบเข้าด้วยกันนั้น ต้องอาศัยปัจจัยหลายตัวในการจัดการ โดยสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ความถี่และเฟสให้ถูกต้องตรงกับระบบของสายส่งของการไฟฟ้าตลอดเวลาหรือที่เรียกว่าการซิงโครไนซ์เช่นกัน ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าในระบบก็ขึ้นอยู่กับพลังงานที่ระบบผลิตได้

วิทยานิพนธ์นี้จะเป็นการจำลองการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์ซึ่งเป็นการจำลองการเชื่อมต่อระบบกริดชนิดแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ โดยทำการจำลองและเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์ผลการเชื่อมต่อและป้อนพลังงานกลับสู่ระบบกำเนิดด้วยหลักการของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน และระบบการควบคุมด้วยวิธีการเฟสล็อก ลูป โดยทำการตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณในสถานะชั่วครู่ซึ่งเป็นการนำพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไปกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้งหนึ่งทำให้ทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่เดิม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์

1.2.2 จำลองการเชื่อมต่อระบบกริดชนิดแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์ประเมินผลการทำงานของระบบการเชื่อมต่อระบบกริด ของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์

1.2.4 เพื่อนำผลการศึกษากการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟมาประยุกต์ใช้ระบบลิฟต์

1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย

การหาแนวทางในการนำพลังงานจากแหล่งอื่นๆ มาช่วยในการประหยัดพลังงานจากการใช้ลิฟต์ เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าให้กับอาคาร ซึ่งจากการศึกษาพบว่าในการใช้ลิฟต์นั้นจะมีโหมดการทำงานอยู่ในช่วงหนึ่งที่มอเตอร์ไฟฟ้า ไม่ได้จ่ายไฟฟ้าแต่มีการหมุนด้วยความเร็วสูงตามแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งโหมดนี้เรียกว่า รีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative Mode) ดังนั้นการศึกษและพัฒนาการผลิตไฟฟ้าในช่วงนี้มาใช้งานเพื่อต่อไฟฟ้าคืนให้กับระบบในช่วงที่มอเตอร์กลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิด ในการผลิตไฟฟ้าและสามารถนำพลังงานที่สูญเสียมาผลิตไฟฟ้า โดยการเชื่อมต่อเพื่อป้อนพลังงานกลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายซึ่งมีระบบการผลิตแบบไม่คงที่มาเป็นตัวแปรสำคัญ จึงจำเป็นต้องมีการนำเอาหลักการของระบบอินเวอร์เตอร์สามเฟสที่มีค่าแรงดัน 380 โวลต์ และมีความถี่ 50-60 เฮิร์ต มาเป็นข้อจำกัดและมีเทคนิคในการเชื่อมต่อในการควบคุมมุมเฟสด้วยวงจรมอสเฟตและหลักการของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนในการป้อนกระแสกลับเข้าสู่ระบบ เพื่อสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบลิฟต์ได้

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 จำลองชุดการเชื่อมต่อระบบกริด ของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์โดยใช้อินเวอร์เตอร์ในระบบอุตสาหกรรม

1.4.2 วิเคราะห์ระบบการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

1.4.3 วิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink กับผลการทดลองจริงด้วยชุดทดสอบการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์ในห้องปฏิบัติการ

1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างระบบต้นแบบการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์โดยมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

1.5.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลต่างๆ เพื่อออกแบบระบบการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์เป็นการรวบรวมศึกษาข้อมูลต่างๆระบบลิฟต์หลักการทำงานการออกแบบระบบการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์

1.5.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลต่างๆ เพื่อออกแบบการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์เป็นขั้นตอนการศึกษารวบรวมข้อมูลและออกแบบการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์รวมทั้งการวัดและบันทึกผลการทำงานของระบบ

1.5.3 จำลองระบบเพื่อการติดตั้งจริงเป็นขั้นตอนการจำลองระบบต้นแบบ การเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์ ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

1.5.4 ทดสอบในห้องปฏิบัติการเป็นขั้นตอนการทดสอบระบบการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์

1.5.5 วิเคราะห์ผลพร้อมทั้งปรับปรุงเพื่อประสิทธิภาพของระบบ

1.5.6 สรุปวิเคราะห์ผลการทดลองและจัดทำรายงานการวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

การผลิตไฟฟ้าจากระบบลิฟต์ที่ใช้มอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร จะสามารถทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่เดิม โดยอาศัยการเชื่อมต่อระบบพลังงานไฟฟ้าเดิมกับระบบที่มีแหล่งจ่ายแบบไม่คงที่ได้เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการใช้พลังงานของลิฟต์ให้มีประสิทธิภาพ ลดการใช้พลังงานจึงเป็นการพัฒนาระบบลิฟต์ที่สำคัญต่อการอนุรักษ์พลังงานและส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานจากพลังงานสุญเปล่าเพื่อการประหยัดพลังงานในระบบลิฟต์ได้

1.7 ข้อยกจำกัดของการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้เป็นออกแบบการเชื่อมต่อระบบกริด ของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์โดยกำหนดขนาดแรงดันไฟฟ้าขาออกเป็นชนิด 3 เฟส 380 โวลต์ 50-60 เฮิร์ต โดยทดสอบแบบจำลองของมอเตอร์ในห้องปฏิบัติการ



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงรายละเอียดของการศึกษา ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อออกแบบและสร้างระบบต้นแบบผลิตไฟฟ้าจากการกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่องการศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากระบบลิฟต์ที่ใช้มอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ [2]

บทความนี้นำเสนอการผลิตไฟฟ้าจากระบบลิฟต์สำหรับมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟจากการศึกษาพบว่ามอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรในลิฟต์สามารถทำงานโดยเปลี่ยนสถานะทางกลเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ทันทีเมื่อมอเตอร์เกิดการหมุนโดยไม่ต้องจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ซึ่งมอเตอร์ก็สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมาจ่ายกลับเข้าระบบเรียกวิธีดังกล่าวมาข้างต้นว่ารีเจนเนอเรทีฟ (Energy Regenerative Unit : ERU) การศึกษานี้จะจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยกล่าวถึงการทำงานในวงจร ERU ซึ่งจะทำงานร่วมกับระบบ Inverter ที่มีอยู่เดิมในระบบลิฟต์โดยจะนำ DC Input Converter นำมาผ่านวงจร ERU เพื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้มาเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบต่อไป

งานวิจัยเรื่องการออกแบบและจำลองอินเวอร์เตอร์แบบสามเฟสสำหรับการเชื่อมต่อกับแผงพลังงานแสงอาทิตย์ [3]

บทความนี้นำเสนอ การเชื่อมต่อนับกริดจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยป้อนพลังงานไฟฟ้ากลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายโดยตรง ซึ่งในบทความนี้จะทำกานออกแบบและจำลองระบบอินเวอร์เตอร์แบบสามเฟสโดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink โดยคอนเวอร์เตอร์จะใช้แบบแหล่งจ่ายแรงดันซึ่งสามารถควบคุมการเชื่อมต่อนับกริดโดยใช้ d-q ในการควบคุมการฉีดกระแสเข้าสู่ระบบ เฟสสี่คือเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการปรับจูนความถี่และเฟสให้ตรงกับระบบจำหน่าย การออกแบบยังต้องใช้ตัวกรองความถี่ต่ำเพื่อทำการตัดสัญญาณที่มีความถี่ในช่วงความถี่สูงด้วย

งานวิจัยเรื่องการประยุกต์การควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์รีซิสสำหรับยูนิโพลาร์ พีดับเบิลยูเอ็มสำหรับการกรองแบบแอคทีฟ [4]

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์การควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์รีซิสสำหรับยูนิโพลาร์พีดับเบิลยูเอ็มสำหรับการกรองแบบแอคทีฟที่มีผลต่อค่าผิดพลาดของขนาดและคาบเวลา การปรับเปลี่ยนความถี่จะมีผลต่อการสร้างสัญญาณแบบฮิสเตอร์รีซิส ซึ่งจะรู้กันคือเป็นการป้อนกลับที่ใช้กันในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งจะมีผลต่อค่าฮาร์มอนิกส์และมีผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้า การประยุกต์นี้เป็นการควบคุมความกว้างของการปรับเปลี่ยนค่าความถี่ของสัญญาณฮิสเตอร์รีซิส ปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากการปรับเปลี่ยนความถี่เมื่อค่ากระแสวิ่งเข้าใกล้ศูนย์ ขนาดของสัญญาณและคาบเวลาที่ควบคุม โหลดกระแสและค่าระดับแรงดันเปลี่ยน การจำลองการทำงานนั้นได้ทำการปรับเปลี่ยนและควบคุมขนาดของสัญญาณให้มีความผิดพลาดน้อยที่สุด

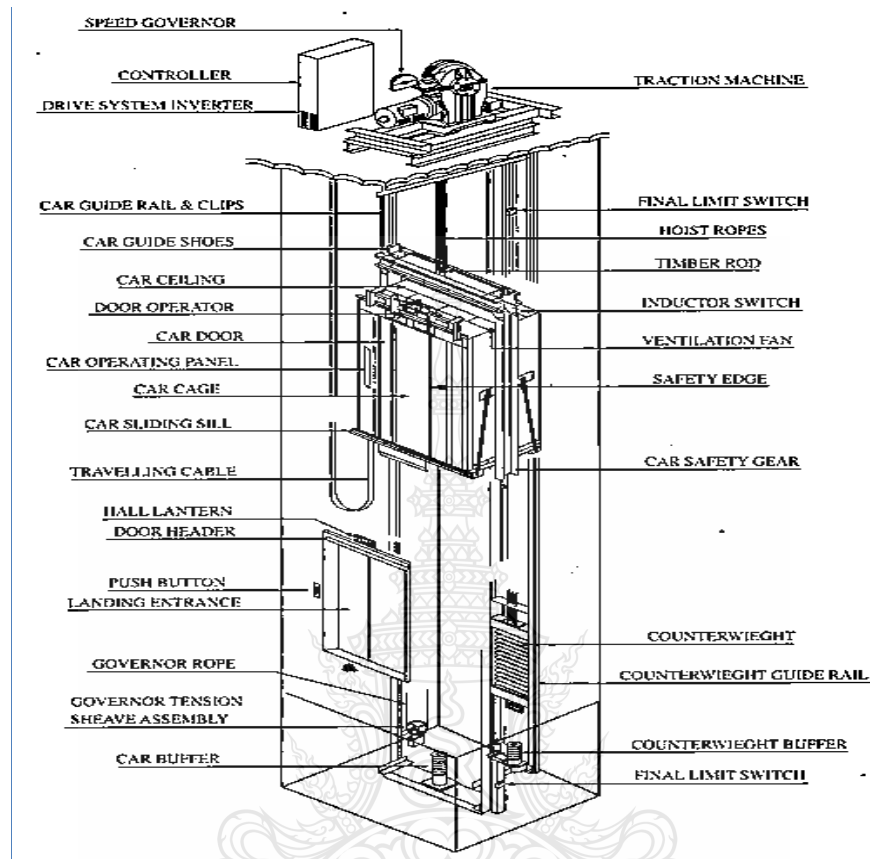
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ประวัติและที่มาของลิฟต์

ลิฟต์ที่ใช้พลังงานตัวแรกปรากฏขึ้นเมื่อกลางศตวรรษที่สิบเก้าในสหรัฐอเมริกา โดยถูกใช้เป็นกระเช้าส่งสินค้าขึ้นลงระหว่างสองชั้นในอาคารที่นิวยอร์กช่วงเวลาอันสำคัญของลิฟต์มาถึงในปี 1853 เมื่อ เอลิชา กราเวส โอทิส (Elisha Graves Otis ค.ศ.1811-1861) เจ้าของนามสกุลที่ปัจจุบันนี้ยังปรากฏอยู่บนลิฟต์จำนวนมาก ได้ออกแบบลิฟต์ซึ่งเน้นความปลอดภัยเป็นสำคัญ ถ้าระบบยกตัวของลิฟต์ล้มเหลวปล่อยผู้ลิฟต์ลงมา ระบบทำงานทั้งหมดของลิฟต์จะหยุดทำงาน โดยอัตโนมัติก่อนที่ผู้ลิฟต์จะตกถึงฐานเพลา ลิฟต์โอทิส (Otis Elevator) เพื่อการขนส่งผู้คนตัวแรกได้รับการติดตั้งภายในห้างสรรพสินค้า อี.วี. ฮอฟวูท (E.V. Houghwout Department) ในนิวยอร์กด้วยยอดเงินไม่ถึง 300 ดอลลาร์ ลิฟต์ของโอทิสใช้พลังงานไอน้ำ ปี 1867 ลีออนเอดูซ (Leon Edoux) ได้คิดค้นและประดิษฐ์ลิฟต์ที่ใช้พลังงานไฮดรอลิกขึ้นสิบปีต่อมา ลูกชายของโอทิสได้ตั้ง บริษัทโอทิส บราเธอร์ส (Otis Brothers Company) ขึ้นในนิวยอร์ก นิวยอร์ก บริษัทนี้ผลิตลิฟต์นับพันตัวและกลายเป็นบริษัทที่มีชื่อเสียงในวงการอุตสาหกรรม ด้านลิฟต์ ในปี 1873 มีการใช้ลิฟต์ของโอทิสกว่าสองพันตามอาคารพาณิชย์ต่างๆ ทั่วอเมริกา

ในประเทศไทย เริ่มมีการนำลิฟต์มาติดตั้งครั้งแรกในสมัยรัชกาลที่ 6 โดยการนำเข้าลิฟต์ที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องจักรจากอิตาลีมาติดตั้ง ณ พระที่นั่งอนันตสมาคมและติดตั้งลิฟต์ที่ขับเคลื่อนโดยแรงคนที่พระที่นั่งวโรภาสพิมาน พระราชวังบางปะอินเมื่อมีไฟฟ้าใช้จึงได้เริ่มนำเข้าลิฟต์จากต่างประเทศเพื่อติดตั้งตามหน่วยงานราชการพร้อมให้การดูแลบำรุงรักษาอันเป็นที่มาเริ่มแรกของการใช้ลิฟต์ในประเทศก่อนที่จะพัฒนามาโดยลำดับจวบจนปัจจุบัน

2.2.2 ส่วนประกอบของลิฟต์



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของระบบลิฟต์

ลิฟต์ทั่วไปประกอบไปด้วยส่วนหลักๆ ดังนี้

1. เครื่องจักรขับลิฟต์ (Traction Machine) เป็นอุปกรณ์หลักของระบบลิฟต์ทำหน้าที่ขับเคลื่อนลิฟต์ขึ้นลง
2. ชุดตุลถ่วง (Counterweight) ประกอบด้วยโครงเหล็กซึ่งบรรจุก้อนน้ำหนักที่ทำด้วยเหล็กหล่อทำหน้าที่ถ่วงดุลกับน้ำหนักของลิฟต์และจำนวนผู้โดยสารเพื่อให้มอเตอร์ลิฟต์ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ
3. รางลิฟต์ (Guide Rail) เป็นเหล็กรูปตัว T ทำหน้าที่นำร่องให้ลิฟต์วิ่งขึ้นลงในแนวที่กำหนดและรักษาตำแหน่งตัวลิฟต์ให้ตรงตัวและได้ศูนย์ตลอดเวลา รางลิฟต์มีหลายขนาดขึ้นอยู่กับขนาดของตัวลิฟต์น้ำหนักบรรทุกและความเร็วลิฟต์ เป็นต้น โดยทั่วไประบบลิฟต์จะมีรางขนาดใหญ่สำหรับนำร่องตัวลิฟต์และรางขนาดเล็กกว่าสำหรับนำร่องชุดตุลถ่วง

4. ตู้โดยสาร (Lift Car) ประกอบไปด้วยห้องโดยสารที่ยึดกับโครงเหล็กกล้าที่แข็งแรงพร้อมอุปกรณ์นิรภัย (Safety Gear) ป้องกันไม่ให้ลิฟต์ตกเมื่อสลิ้งขาด ตู้โดยสารมีขนาดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับประเภทและน้ำหนักบรรทุกของลิฟต์

5. บัฟเฟอร์ (Buffer) เป็นอุปกรณ์ป้องกันไม่ให้ตัวลิฟต์กระแทกกับพื้นบ่อลิฟต์กรณีลิฟต์วิ่งเลยชั้นล่างสุดเนื่องจากความผิดพลาดของระบบควบคุมบัฟเฟอร์จะผ่อนแรงกระแทกเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อผู้โดยสาร

6. ตู้คอนโทรล (Controller) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของลิฟต์ทั้งระบบ เช่น ควบคุมความเร็วควบคุมการเปิดปิดประตูจัดคิวการวิ่งรับส่งผู้โดยสาร เป็นต้นและชนิดของคอนโทรลดังกล่าวยังแตกต่างกันออกไปตามประเภทระบบขับเคลื่อนด้วย เช่น VVVF, DC Drive เป็นต้น

7. ประตูหน้าชั้น (Landing Door) ระบบลิฟต์โดยทั่วไปจะมีประตู 2 ส่วน คือส่วนประตูในลิฟต์ (Car Door) และส่วนประตูหน้าชั้นต่างๆ ตามจำนวนชั้นจอดของลิฟต์ปกติประตูหน้าชั้นจะเปิดปิดได้ก็ต่อเมื่อตัวลิฟต์จะต้องจอดอยู่ที่ชั้นนั้นและประตูที่ชั้นอื่นจะเปิดไม่ได้ทั้งนี้เพื่อให้การใช้งานมีความปลอดภัยสูงสุดประตูลิฟต์มีหลายแบบที่พบเห็นกัน โดยทั่วไปจะมี

- เปิดจากกึ่งกลาง (Center Opening)

- เปิดจากด้านข้าง (Slide Opening)

8. สลิ้งลิฟต์ (Wire Rope) ใช้สำหรับแขวนตัวลิฟต์และชุดลูกถ่วง และช่วยให้ลิฟต์ขึ้นลงด้วยแรงเสียดทานของลวดสลึงกับร่องของมุลเลย์

9. ปุ่มกด (Button) ใช้สำหรับเรียกลิฟต์รับส่งไปยังชั้นต่างๆ ที่ต้องการ แผงปุ่มกดมีอยู่ 2 ส่วน

- แผงปุ่มกดในลิฟต์ (Car Operating Panel) ประกอบด้วยปุ่มเรียกไปตามชั้นต่างๆ ปุ่มปิดเปิดประตู ปุ่มแจ้งเหตุและอินเตอร์คอม

- แผงปุ่มกดหน้าชั้น (Hall Button) ประกอบด้วยปุ่มเรียกลิฟต์มารับขาขึ้นและขาลงอย่างละปุ่ม

10. สายเคเบิล (Travelling Cable) เป็นสายไฟที่วิ่งขึ้นลงพร้อมกับตัวลิฟต์ทำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณ เช่น ปุ่มกดและสวิทช์ต่างๆ ที่ตู้ลิฟต์กับตู้คอนโทรลในห้องเครื่อง

2.2.3 ประเภทและชนิดเทคโนโลยีลิฟต์

ลิฟต์ส่วนใหญ่ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันเป็นลิฟต์ที่ใช้มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ต้นกำลังที่สำคัญ (Prime-Mover) ในการส่งกำลัง (Power Transmission) ซึ่งมีทั้งที่ส่งกำลังผ่านระบบไฮดรอลิก (Hydraulic

System) การส่งกำลังผ่านระบบเฟืองทด (Gear System) และการส่งกำลังโดยตรงโดยไม่มีระบบเฟืองทด (Gearless System) ลิฟต์ที่ใช้ระบบไฮดรอลิกมีอุปกรณ์ต้นกำลังและอุปกรณ์ส่งกำลังดังต่อไปนี้

1. มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Machine) ที่ใช้ในการส่งน้ำมันไฮดรอลิกไปอุปกรณ์ไฮดรอลิก

2. ระบบไฮดรอลิกซึ่งประกอบไปด้วยชุดควาล์วและมอเตอร์ไฮดรอลิก (Hydraulic Gear Motor) โดยเหตุที่ระบบไฮดรอลิกมีการส่งผ่านกำลังที่ไม่มีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับการส่งผ่านกำลังไปยังเฟืองทดโดยตรงทำให้ปัจจุบันลิฟต์ที่ใช้ระบบไฮดรอลิกแทบไม่มีการใช้งานอีกแล้ว

ลิฟต์ที่ใช้เฟืองทด (Geared Machine) ซึ่งปัจจุบันนับว่าเป็นประเภทลิฟต์ที่มีการใช้งานเป็นส่วนใหญ่ในประเทศไทยจะมีอุปกรณ์ต้นกำลังและอุปกรณ์ส่งกำลังดังต่อไปนี้

- มอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งเป็นมอเตอร์ที่มีแรงบิดขณะเริ่มเดินเครื่องสูง (High Starting Torque)
- ชุดเฟืองทด (Gear Box) ซึ่งนิยมใช้ Worm Gear เพื่อลดความเร็วรอบลงจากความเร็วรอบของมอเตอร์



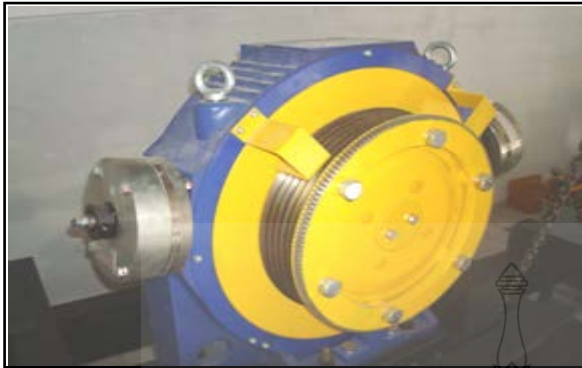
รูปที่ 2.2 ลักษณะและองค์ประกอบลิฟต์ประเภทใช้เฟืองทด

ลิฟต์ที่ไม่ใช้เฟืองทด (Gearless Machine) ซึ่งเป็นลิฟต์ที่มีการใช้งานมากเป็นส่วนใหญ่ในต่างประเทศและกำลังได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นในประเทศไทยมีอุปกรณ์ต้นกำลังและอุปกรณ์ส่งกำลังดังต่อไปนี้

- มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) หรืออาจเป็นมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดที่ใช้แม่เหล็กถาวรในชุดของโรเตอร์ (Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM)

- โดยเหตุที่ลิฟต์ชนิดนี้ไม่มีเฟืองทดความเร็วรอบของมอเตอร์ระบบจ่ายไฟฟ้ากำลังให้กับมอเตอร์จะต้องเป็นระบบที่สามารถปรับแรงดันและความถี่ของแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับจุดทำงาน

ของมอเตอร์โดยทั่วไปจะเรียกระบบจ่ายไฟฟ้ากำลังชนิดนี้ว่า VVVF หรือ Variable Voltage Variable Frequency



รูปที่ 2.3 ลักษณะและองค์ประกอบลิฟต์ประเภทไม่ใช้เฟืองทด

สำหรับลิฟต์ที่ไม่ใช้เฟืองทดที่ใช้มอเตอร์ PMSM จะต้องมีตัวต้านทานที่ใช้การระบายความร้อนในการเบรก (Dynamic Brake Resistor) เนื่องจากพลังงานกลในโรเตอร์ของมอเตอร์ซิงโครนัสจะถูกแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าซึ่งเมื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับตัวต้านทานจะทำให้พลังงานไฟฟ้าถูกแปลงไปเป็นพลังงานความร้อนทำให้พลังงานกลที่สะสมอยู่ในโรเตอร์หมดไปและหยุดหมุนในจุดที่ลิฟต์จอดได้พอดี โดยทั่วไปลิฟต์ที่ไม่ใช้เฟืองทดสามารถลดการสูญเสียพลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านเฟืองทดอีกทั้งลิฟต์ที่ใช้เฟืองทดซึ่งมอเตอร์ต้องหมุนด้วยความเร็วรอบที่สูงทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานอันเนื่องจากการเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของ (Friction Loss) และความเสียดทานลม ระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์ (Windage Loss)

2.2.4. เทคโนโลยีขับเคลื่อนแบบรีเจนเนอเรทีฟในลิฟต์ (Regenerative Drive Lift Technology)

ลิฟต์เป็นพาหนะที่ใช้ในการขนส่งในแนวดิ่งด้วยเหตุนี้ลิฟต์จึงเป็นพาหนะที่ใช้ภายในสิ่งปลูกสร้างที่มีความสูงไม่ว่าจะเป็นในอาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้า โรงงาน หอสูงเป็นต้นและโดยเหตุที่ลิฟต์มีการใช้ในอาคารสำนักงานจำนวนมากและเป็นอุปกรณ์หรือเครื่องจักรกลหนึ่งที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังเป็นอันดับที่ 3 รองจากระบบปรับอากาศและระบบไฟฟ้าแสงสว่างดังนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีการใช้พลังงานของลิฟต์ให้มีประสิทธิภาพจึงเป็นการพัฒนาที่สำคัญต่อการอนุรักษ์พลังงาน

การพัฒนาเทคโนโลยีด้านการอนุรักษ์พลังงานที่เกี่ยวข้องกับระบบลิฟต์ยังรวมถึงการพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของลิฟต์แบบวงรอบปิด (Closed Loop Control) เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ให้ทำงานด้วยความเร็วในการเคลื่อนที่ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งจุดจอดของลิฟต์ทำให้ลด

การสูญเสียพลังงานที่ต้องใช้ในตัวต้านทานที่ใช้ในการเบรกและนอกจากนี้ยังได้นำพลังงานศักย์ที่สะสมอยู่ในน้ำหนักบรรทุกทุกกลับมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าป้อนกลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้ากำลังของลิฟต์และรวมถึงระบบไฟฟ้าของอาคารสำนักงานรวมทั้งลดความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเบรกลิฟต์ด้วยการแปลงพลังงานศักย์ที่ได้กลับไปเป็นพลังงานไฟฟ้าแทนที่จะทำให้เกิดพลังงานความร้อนที่ระบบเบรกซึ่งจะช่วยลดความต้องการใช้พลังงานในการระบายความร้อนที่ชุดเบรกในห้องลิฟต์ได้ด้วยระบบดังกล่าวสามารถเรียกว่าระบบรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative Drive) หรือเรียกสั้นๆ ว่า รีเจนไดร์ฟ (Regen Drive) [5]

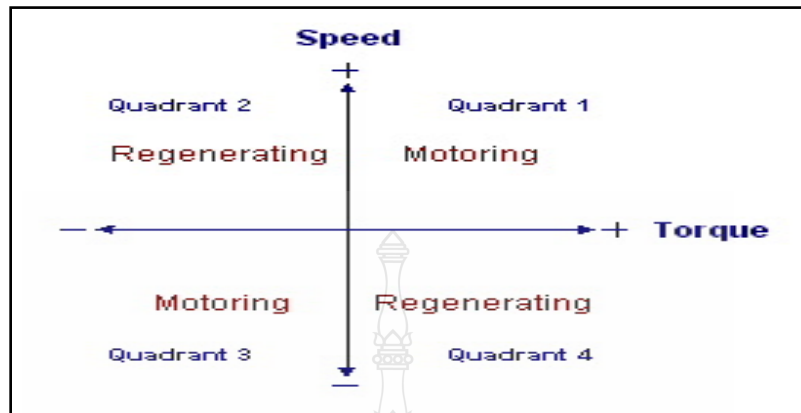
การทำงานของระบบรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative Drive) ในลิฟต์ มีการทำงานในบางช่วงที่ไม่ได้จ่ายไฟฟ้าให้มอเตอร์แต่มอเตอร์มีการหมุนเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งมอเตอร์สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมาได้ ซึ่งเรียกการทำงานในสภาวะนี้ว่า “รีเจนเนอเรทีฟ” โดยที่กระแสไฟฟ้างกล่าวสามารถจ่ายคืนให้ระบบไฟฟ้าได้

ตารางที่ 2.1 โหมดการทำงานของระบบลิฟต์ในสภาวะรีเจนเนอเรทีฟ

	น้ำหนัก บรรทุก > คู่ถ่วง	น้ำหนัก บรรทุก < คู่ถ่วง
ลิฟต์ขึ้น	ใช้พลังงานไฟฟ้า	ใช้แรงโน้มถ่วง(ผลิตไฟฟ้าได้)
ลิฟต์ลง	ใช้แรงโน้มถ่วง(ผลิตไฟฟ้าได้)	ใช้พลังงานไฟฟ้า

2.2.5 หลักการของ FOUR – QUADRANT OPERATION

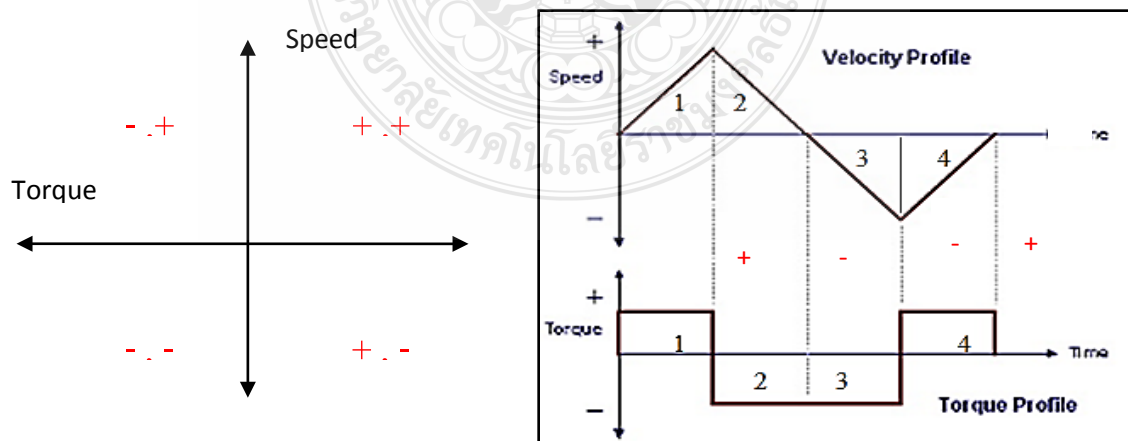
จากกราฟ เป็นการควบคุมความเร็วและแรงบิดในทิศทางทั้งบวกและลบ



รูปที่ 2.4 การทำงานของมอเตอร์ในสภาวะต่างๆ โดยเปรียบเทียบระหว่างความเร็วและแรงบิด

จากรูปที่ 2.4 การทำงานในควอดแดรนต์ที่ 1,3 จะถูกกำหนดให้เป็นมอเตอร์โหมด ซึ่งจะหมายความว่าความเร็วและแรงบิดเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และส่วนการทำงานในควอดแดรนต์ที่ 2,4 จะถูกกำหนดให้เป็นเครื่องกำเนิด หรือบางครั้งเรียกว่า รีเจนเนอเรทีฟโหมด

ซึ่งหมายความว่าความเร็วและแรงบิดอยู่ในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือ แรงบิดของมอเตอร์มีทิศทางสวนกลับกับทิศทางของการหมุนหรือความเร็วรอบของมอเตอร์ ซึ่งจะทำให้มอเตอร์สร้างพลังงานออกมา พลังงานนี้สามารถจ่ายกลับเข้าระบบไฟฟ้าได้ต่อไปหรือสามารถนำพลังงานนี้มาใช้ประโยชน์อีกครั้งหนึ่ง

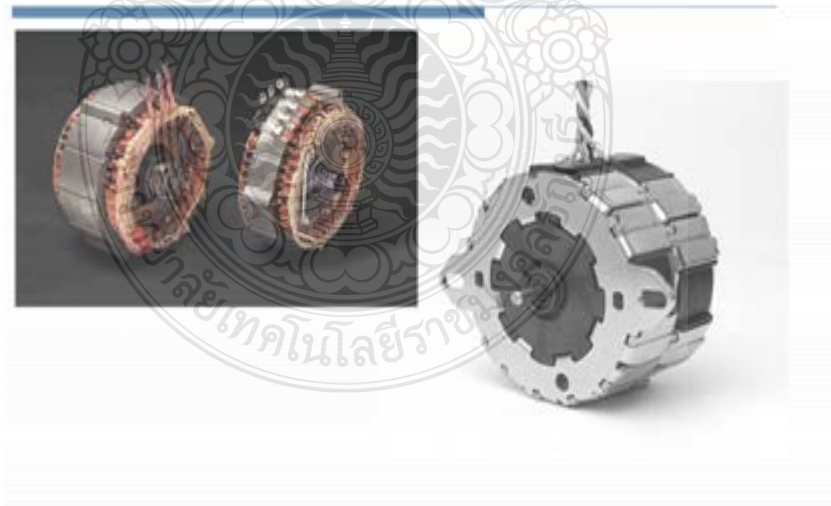


รูปที่ 2.5 การทำงานของมอเตอร์ระหว่างความเร็วและแรงบิดในแต่ละช่วงเวลา

จากรูปที่ 2.5 การทำงานในช่วงที่ 1 แสดงให้เห็นถึงการทำงานของมอเตอร์ซึ่งจะถูกเร่งด้วยความเร็วและแรงบิดไปในทิศทางบวก ส่วนการทำงานในช่วงที่ 2 ความเร็วยังคงมีค่าเป็นบวกและแรงบิดเป็นลบซึ่งจะทำให้การทำงานของมอเตอร์หยุดลงและจะกลับกลายเป็นเครื่องกำเนิดแทน และส่วนการทำงานในช่วงที่ 3 จะมีการทำงานคล้ายกับช่วงที่ 1 แต่ทิศทางจะตรงกันข้ามกันคือเป็นลบซึ่งจะยังคงเป็นการทำงานของมอเตอร์ ช่วงที่ 4 จะคล้ายกับ ช่วงที่ 2 แต่มีทิศทางตรงกันข้ามกัน [6]

2.2.6 มอเตอร์ซิงโครนัสแบบชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Synchronous Motor)

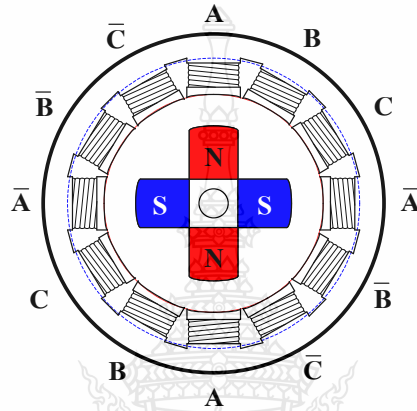
มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรเป็นที่นิยมใช้กันมากในงานอุตสาหกรรมเนื่องจากเป็นมอเตอร์ที่มีสัดส่วนแรงบิดต่อน้ำหนักสูงทำให้มีผลตอบสนองในการควบคุมที่รวดเร็วมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยต่ำสนามแม่เหล็กที่ตัวโรเตอร์จะเปลี่ยนจากการใช้ขดลวดพันรอบโรเตอร์เป็นการใช้แม่เหล็กถาวร โดยที่แม่เหล็กถาวรดังกล่าวจะทำมาจากเฟอร์ไรต์แบบ Hard Materials แต่เนื่องจากเฟอร์ไรต์แบบ Hard Materials จะมีค่า Remanence และ Coercive Force ต่ำทำให้แม่เหล็กถาวรจะมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากปัญหาของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรคือการไม่สามารถปรับค่ากระแสสนามได้ซึ่งทำให้ไม่สามารถปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังแรงบิดขณะเริ่มเดินเครื่องต่ำและแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับภายในมีค่าแปรตามความเร็วข้อดีของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรคือไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและขดลวดสร้างสนามที่ตัวโรเตอร์ทำให้ลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด



รูปที่ 2.6 มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร

โครงสร้างของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรแสดงดังรูปที่ 2.7 เป็นมอเตอร์ 3 เฟสมีขั้วแม่เหล็ก 4 ขั้ว (2 คู่ขั้ว) ประกอบด้วยขดลวดที่อยู่กับที่เรียกว่าขดลวดสเตเตอร์ (Stator Winding) และส่วนที่เคลื่อนที่เรียกว่าโรเตอร์ (Rotor) ซึ่งเป็นแม่เหล็กถาวร โดยมีช่องอากาศ (Air Gap) คั่นกลางระหว่างทั้ง

สองส่วนซึ่งโครงสร้างสเตเตอร์ของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรเหมือนกับมอเตอร์ซิงโครนัส 3 เฟสทั่วไปที่จ่ายไฟให้ขดลวดที่โรเตอร์คือมีขดลวดสเตเตอร์ 3 เฟสพันอยู่ในร่องสลอต (Slot) โดยที่ขดลวดมีการวางให้มีการกระจายเป็นไซน์ (Sinusoidal Distribution) เพื่อสร้างแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าให้หมุนเป็นวงกลมขณะที่ขดลวดบนโรเตอร์ถูกแทนด้วยแม่เหล็กถาวรทำให้ไม่มีค่าสูญเสียจากขดลวดถ้าเปรียบเทียบกับมอเตอร์ที่มีขดลวดที่กำลังเท่ากัน [7]

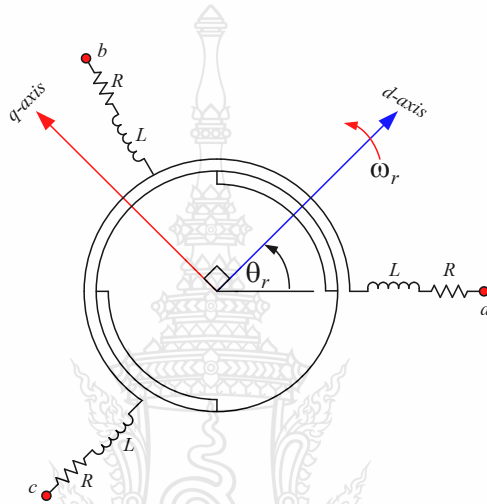


รูปที่ 2.7 โครงสร้างของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร 3 เฟสมีขั้วแม่เหล็ก 4 ขั้ว (2 คู่ขั้ว)

มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรจะมีตัวโรเตอร์แบบขั้วยื่น (Salient Pole Rotor) ซึ่งมีช่องว่างอากาศไม่สม่ำเสมอฟลักซ์แม่เหล็กในช่องอากาศตำแหน่งต่างๆจะมีการกระจายตัวไม่เท่ากันเนื่องจากต้องวิ่งผ่านความไม่สมมาตรของช่องอากาศใน 2 แกนหลักคือแกนแม่เหล็กของโรเตอร์ (Direct Axis) และแกนที่ตั้งฉากกัน (Quadrature Axis) ดังนั้นแรงดันที่ขั้วจึงถูกเหนี่ยวนำขึ้นใน 2 แกนหลักคือ V_d และ V_q [8]

มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Synchronous Motor; PMSM) มีข้อดีกว่ามอเตอร์ชนิดอื่นคือในมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสเตเตอร์จะประกอบด้วยกระแสสนามแม่เหล็กในแกนซึ่งเป็นองค์ประกอบในการสร้างสนามแม่เหล็กแต่ในมอเตอร์ซิงโครนัสเมื่อโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวรจึงไม่จำเป็นต้องมีกระแสสนามแม่เหล็กในแกนให้กับสเตเตอร์จากลักษณะดังกล่าวที่กำลังงานของมอเตอร์เท่าๆกันมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรจะทำงานที่ตัวประกอบกำลังสูงกว่าทำให้ประสิทธิภาพสูงกว่าด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ซิงโครนัสทั่วไปที่จะต้องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับโรเตอร์เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กให้กับโรเตอร์ดังนั้นในมอเตอร์ซิงโครนัสธรรมดาจึงต้องมีแปรงถ่านกับสลีปริงซึ่งนั่นทำให้มีการสูญเสียที่โรเตอร์และต้องการการบำรุงรักษาแปรงถ่านจากเหตุผล

ดังกล่าวจึงทำให้มีการพัฒนามาเป็นแบบมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรที่ไม่ต้องมีขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก (Field Coil) แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและวงแหวนสลิปริงเพราะถูกแทนที่ด้วยแม่เหล็กถาวรมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรมีแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้านกลับ (Back EMF) ที่เป็นไซน์ (Sinusoidal) ดังนั้นจึงต้องการกระแสเตอร์เป็นไซน์เพื่อสร้างแรงบิดให้คงที่เช่นเดียวกับมอเตอร์ซิงโครนัสนอกจากนั้นมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรยังมีน้ำหนักเบาขนาดเล็กและแรงเสียดทานต่ำกว่าเมื่อเทียบกับมอเตอร์ที่ค่าพิกัดเดียวกันแต่ข้อด้อยคือมีราคาแพงเนื่องจากราคาของแม่เหล็กถาวรที่มีราคาแพงและคุณสมบัติของแม่เหล็กแปรผันตามอุณหภูมิและเปลี่ยนแปลงตามเวลา [9] [10]



รูปที่ 2.8 วงจรสมมูลของมอเตอร์ซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรที่เทียบกับแกนอ้างอิงของโรเตอร์

จากวงจรสมมูลของมอเตอร์สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการแรงดันสามเฟสได้ดังนี้

$$v_q = R_s i_d + \omega_r \lambda_d + \frac{d}{dt} \lambda_q \quad (2.1)$$

$$v_d = R_s i_q - \omega_r \lambda_q + \frac{d}{dt} \lambda_d \quad (2.2)$$

ค่าฟลักซ์คูลองในแกนอ้างอิง q และแกนอ้างอิง d แสดงดังสมการที่ 2.1 และ 2.2

$$\lambda_q = L_q i_q \quad (2.3)$$

$$\lambda_d = L_d i_d + \lambda_{pm} \quad (2.4)$$

แทนสมการที่ 2.3 และ 2.4 ลงในสมการที่ 2.1 และ 2.2 จะได้

$$v_q = R_s i_q + L_q \frac{d}{dt} i_q + \omega_r (L_d i_d + \lambda_{pm}) \quad (2.5)$$

$$v_d = R_s i_d + L_d \frac{d}{dt} i_d - \omega_r L_q i_q + \frac{d}{dt} \lambda_{pm} \quad (2.6)$$

นอกจากสมการแรงดันของมอเตอร์ซึ่งโครน์สแบบแม่เหล็กถาวรยังมีสมการแรงบิดทางไฟฟ้าของมอเตอร์ที่นำมาใช้วิเคราะห์ผลต่างๆของตัวมอเตอร์

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{p}{2} [\lambda_d i_q - \lambda_p i_d] \quad (2.7)$$

แทนสมการที่ 2.3 และ 2.4 ลงในสมการที่ 2.7 จะได้

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{p}{2} [\lambda_{pm} i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \quad (2.8)$$

สมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดความเร็วเชิงมุมและตำแหน่งของมอเตอร์แสดงดังสมการที่ 2.9 ถึง 2.13

$$T_e = T_L + B\omega_m + J \frac{d}{dt} \omega_m \quad (2.9)$$

$$\omega_m = \int \left(\frac{T_e + T_L + B\omega_m}{J} \right) dt \quad (2.10)$$

$$\omega_r = \frac{d}{dt} \theta_r \quad (2.11)$$

$$\omega_m = \omega_r \left(\frac{2}{p} \right) \quad (2.12)$$

$$\theta_m = \theta_r \left(\frac{2}{p} \right) \quad (2.13)$$

R คือความต้านทานขดลวดของสเตเตอร์ในแต่ละเฟส

L คือความเหนี่ยวนำขดลวดของสเตเตอร์ในแต่ละเฟส

θ_r คือตำแหน่งเชิงมุมทางไฟฟ้าของโรเตอร์

ω_r คือความเร็วเชิงมุมทางไฟฟ้าของโรเตอร์

d - axis คือแกนอ้างอิงที่ตรงกับสนามแม่เหล็กของโรเตอร์ (Direct Axis)

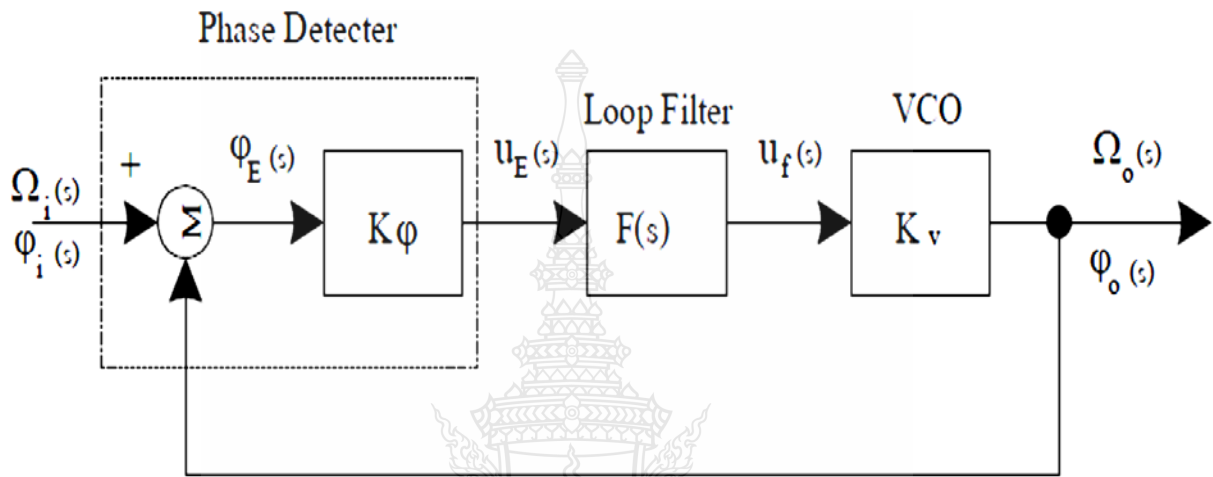
q - axis คือแกนอ้างอิงที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กของโรเตอร์ (Quadrature Axis)

λ_{pm} คือ ค่า flux แม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร

p คือ ค่าจำนวนขั้วของขั้วแม่เหล็ก

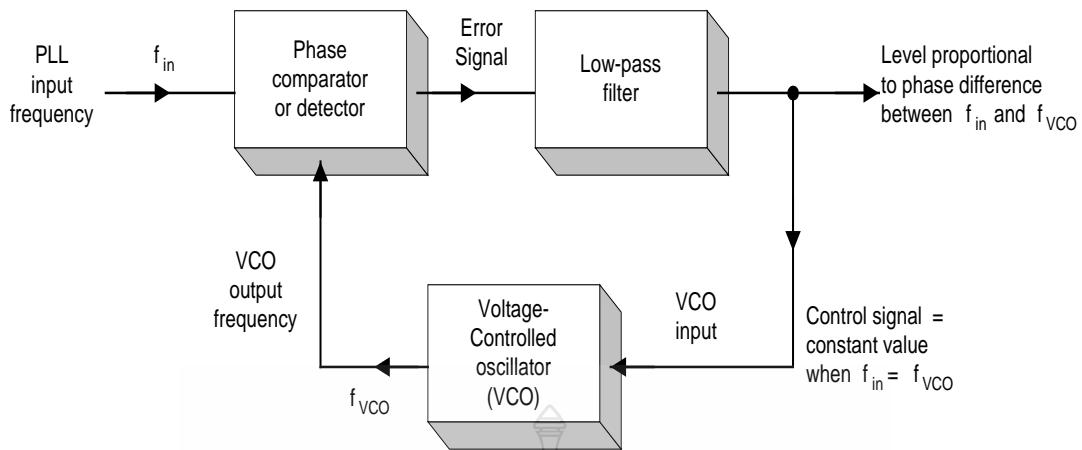
T_e คือ ค่าแรงบิดที่มอเตอร์ผลิตขึ้น

2.2.7 การเลื่อนเฟสสัญญาณ



รูปที่ 2.9 วงจรเลื่อนเฟสโดยใช้เฟสล็อก

ถึงแม้ว่าวงจรโครงข่าย RC สามารถสร้างเป็นวงจรเลื่อนเฟสได้แต่จะเป็นวงจรที่มีค่ามุมเลื่อนเฟสแปรตามความถี่ดังนั้นจะมีค่ามุมต่างเฟสที่แน่นอน ณ. ความถี่เดียวกันเท่านั้นจึงไม่เป็นที่นิยมในการใช้งานบางอย่างเช่นวงจรมอดูเลเตอร์แบบสมดุลย์ (Balanced Modulator) แขนงด้านบนแสดงถึงวงจรเลื่อนเฟสโดยใช้ PLL ซึ่งจะทำหน้าที่กำเนิดแรงดันเอาต์พุต (V_O) ที่นำหน้าแรงดันเอาต์พุตอยู่ 90° โดยที่ค่าของมุมต่างเฟสจะค่าคงที่ตลอดเวลา ที่ PLL อยู่ในสภาวะเฟสล็อก เฟสล็อกถูกนำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง เช่น ทำเป็น วงจรสังเคราะห์ความถี่เฟสล็อกเป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับ ดังแสดงบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของเฟสล็อกคูล

ด้านอินพุตคือส่วนของเฟสคอมพาราเตอร์ (Phase Comparator) หรือเฟสดีเทกเตอร์ (Phase-Detector) วิชีโอ (Voltage Control Oscillator : VCO) ทำหน้าที่สร้างสัญญาณป้อนกลับให้กับเฟสคอมพาราเตอร์ เฟสคอมพาราเตอร์ทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณสองสัญญาณและให้สัญญาณเอาต์พุตที่ออกมา ถ้าความถี่ของสัญญาณอินพุตทั้งสองเท่ากันถ้าความถี่ของสัญญาณอินพุตทั้งสองต่างกัน สัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากเฟสคอมพาราเตอร์ เมื่อนำมาป้อนให้กับวงจรกรองความถี่ต่ำ (Low-Pass Filter) จะได้อาต์พุตที่เป็นระดับสัญญาณ ที่นำไปใช้ป้อนให้กับวิชีโอ [11]

นี่คือการป้อนกลับแบบลูปปิด เพราะระดับสัญญาณที่ป้อนให้กับอินพุตวิชีโอ จะเปลี่ยนเป็นความถี่ที่เอาต์พุตของวิชีโอ ในการทำให้ความถี่ตรงกับอินพุตของเฟสล็อกคูล (PLL Input Frequency) ถ้าความถี่เอาต์พุตของวิชีโอเท่ากับกับความถี่อินพุตของเฟสล็อกคูลเฟสล็อกคูลจะอยู่ในสภาวะล็อก ระดับสัญญาณที่ควบคุมจะคงที่ตรงเท่ากับอินพุตของเฟสล็อกคูลยังคงที่ และการตรวจจับสัญญาณและการล็อกสัญญาณของเฟสล็อกคูล (PLL Capture and Lock) พอจะแบ่งได้ 3 สถานะการทำงาน คือ

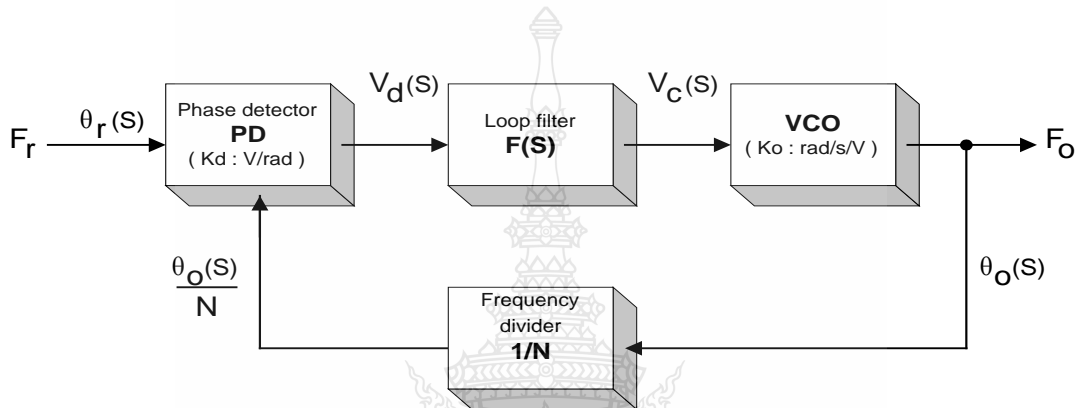
1. ทำงานอิสระ (Free-running)
2. ตรวจจับ (Capture)
3. ล็อก หรือ ติดตาม (Locked or Tracking)

ถ้าความถี่ของอินพุตและความถี่ของวิชีโอห่างกันมากเฟสล็อกคูลจะทำงานอย่างอิสระ (Free Running) ที่ความถี่วิชีโอ (Free Running Frequency) ถ้าความถี่ของอินพุตและความถี่ของวิชีโอใกล้เคียงกันเพียงพอ เฟสล็อกคูลจะพยายามติดตามเพื่อจับความถี่นั้น ช่วงความถี่ที่เฟสล็อกคูลสามารถติดตามจับได้นี้เรียกว่า พิสัยตรวจจับ (Capture Range) และเมื่อเฟสล็อกคูลติดตามจับความถี่ได้แล้ว ช่วงความถี่ที่

เฟสล็อกจะติดตามจับได้ตลอดเวลา (นั่นคือ เฟสล็อกสามารถติดตาม (ล็อกกับสัญญาณที่เข้ามา) ช่วงดังกล่าว เรียกว่า พิสัยการล็อก (Locked Range) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความต้านทานภายนอกกับคาปาซิเตอร์ภายนอก โดยทั่วไป พิสัยการล็อกจะกว้างกว่า พิสัยตรวจจับ

2.2.8 การสังเคราะห์ความถี่โดยเฟสล็อก (PLL Frequency Synthesis)

การสังเคราะห์ความถี่โดยเฟสล็อก ทำได้โดยระบบควบคุมป้อนกลับ ดังแสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมของระบบสังเคราะห์ความถี่

พารามิเตอร์ของระบบประกอบด้วย K_d เป็นเกนแฟลคเตอร์ของเฟสดีเทคเตอร์ (PD) มีหน่วยเป็น โวลต์ต่อเรเดียน (V/rad) $F(s)$ เป็นฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ของลูปฟิลเตอร์ (Loop Filter) K_o เป็นเกนแฟลคเตอร์ ของวีซีโอ มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาทีต่อ โวลต์ (rad/s/V) และ $1/N$ เป็นเกนแฟลคเตอร์ของตัวหารความถี่ (Frequency Divider) ซึ่งเป็นเลขจำนวนเต็ม สมมติว่าลูปอยู่ในสภาวะล็อก (Locked Condition) สัญญาณเอาท์พุทของเฟสดีเทคเตอร์เป็นสัดส่วนความแตกต่างเชิงเฟสของอินพุททั้งสองของเฟสดี-เทคเตอร์ โดย

$$V_d = K_d(\theta_r - \theta_o) \quad (2.14)$$

แรงดัน V_d จะถูกกำจัดส่วนประกอบที่ไม่ใช่สัญญาณดีซีโดยลูปฟิลเตอร์ แรงดันดีซีที่เอาท์พุทของลูป ฟิลเตอร์จะกำหนดความถี่เอาท์พุทของวีซีโอ ความถี่เป็นอนุพันธ์ของเฟส ดังนั้น

$$\frac{d\theta_o}{dt} = k_o V_c \quad (2.15)$$

ผลการแปลงลาปลาซของสมการที่ 2.15 คือ

$$s\theta_o(s) = k_o V_o(s) \quad (2.16)$$

หรือ

$$\theta_o(s) = \frac{k_o V_c(s)}{s} \quad (2.17)$$

และในทำนองเดียวกัน ผลการแปลงลาปลาซของสมการที่ 2.17 คือ

$$V_d(s) = k_d [\theta_r(s) - \theta_o(s)] \quad (2.18)$$

จากบล็อกของคูล์ปเฟดเตอร์ เราได้

$$V_c(s) = F(s)V_d(s) \quad (2.19)$$

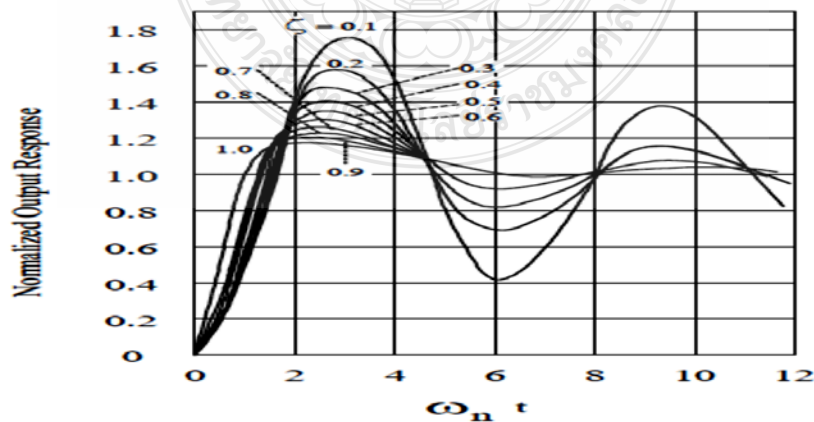
จากฟังก์ชันถ่ายโอนของคูล์ปปิด

$$B(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} \quad (2.20)$$

ดังนั้น

$$\frac{\theta_o(s)}{\theta_r(s)} = B(s) = \frac{\frac{k_o k_d F(s)}{s}}{1 + \frac{k_o k_d F(s)}{Ns}} \quad (2.21)$$

ความถี่ธรรมชาติ ω_n จะกำหนดคุณสมบัติพลวัต (Dynamic) ของวงจรถึงขึ้นอยู่กับการออกแบบ $F(s)$ ซึ่งควรให้ความถี่ตัดของวงจรมากกว่า ω_n ไม่น้อยกว่า 5-10 เท่า และความถี่ตัดของ $F(s)$ ควรจะน้อยกว่า F_r ประมาณ 5-10 เท่า เช่นกันเพื่อที่ F_r จะไม่ไปปรากฏที่อินพุทของวิธีโอการเล็อก ω_n อาจจะพิจารณาจากผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันได (Step Function) ของระบบอันดับสอง ตามรูปที่ 2.12




รูปที่ 2.12 ผลตอบสนองของฟังก์ชันขั้นบันไดของระบบแบบที่ 1 อันดับ 2

2.2.9 ทฤษฎีกำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า (Electrical Power) คือการนำเอากระแสมาคูณกับแรงดันอาจจะมีตัวประกอบกำลังมาคูณเพิ่มดังนั้นกำลังไฟฟ้าประกอบไปด้วยสามส่วนหลักๆคือหนึ่งค่ากำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ (Apparent Power) คือค่าที่กระแสคูณ (Cross Product) กับแรงดันสองค่ากำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) คือค่าที่กระแสคูณ (Cross Product) กับแรงดันแล้วคูณด้วย Cosine ของมุมระหว่างแรงดันกับกระแสหนึ่งๆ กำลังไฟฟ้ายอดท้ายคือค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power) คือค่าที่กระแสคูณ (Cross Product) กับแรงดันแล้วคูณด้วย Sine ของมุมระหว่างแรงดันกับกระแสหนึ่งๆซึ่งเรียก Cosine ของมุมระหว่างแรงดันกับกระแสว่า Power Factor [12]

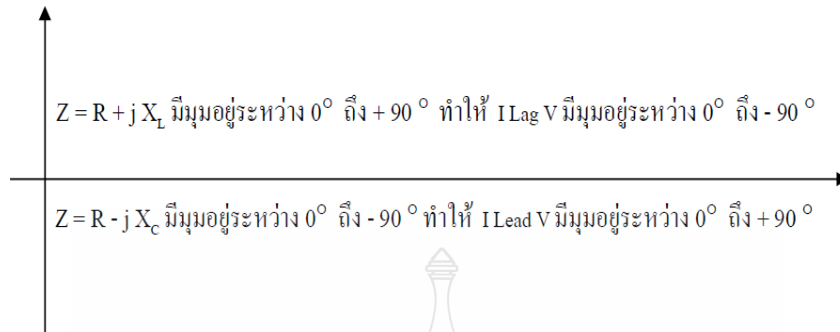
วงจรไฟฟ้ากระแสสลับจะมีความซับซ้อนกว่าวงจรไฟฟ้ากระแสตรงมากแต่อาจกล่าวโดยสรุปได้ว่าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับจำแนกโหนดพื้นฐานได้เป็น 3 กลุ่มดังตารางที่ 2.2 ซึ่งในสภาพการใช้งานจริงอาจมีคุณลักษณะเป็นการผสมกันของโหนดมากกว่า 1 กลุ่มการคำนวณจึงเป็นการคำนวณเลขจำนวนเชิงซ้อนแบบเวกเตอร์ซึ่งในที่นี้ขอนำเสนอเพื่อชี้ให้เห็นถึงคุณสมบัติเด่นๆ ที่แตกต่างกันเพื่อจะใช้ประกอบการอธิบายต่อไป

ตารางที่ 2.2 สรุปลักษณะของโหนดพื้นฐานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

	R ตัวต้านทาน (Resistor)	L ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)	C ตัวเก็บประจุ (Capacitor)
1. สัญลักษณ์			
2. ความต้านทานในวงจร หน่วยเป็น Ω	R	$X_L = \omega L = 2\pi fL$	$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$
3. ลักษณะทางคณิตศาสตร์	จำนวนจริง	จำนวนจินตภาพ +j	จำนวนจินตภาพ -j
4. วิธีการคำนวณ	แบบเวกเตอร์	แบบเวกเตอร์	แบบเวกเตอร์
5. ผลทางสัญญาณไฟฟ้า	I มีเฟสตรงกับ V	I มีเฟสตามหลัง V 90° หรือ I Lag V 90°	I มีเฟสนำหน้า V 90° หรือ I Lead V 90°
6. ชนิดกำลังไฟฟ้าที่ใช้	วัตต์ (W) เป็นจำนวนจริง	วาร์ (Var) เป็นจำนวนจินตภาพ +j	วาร์ (Var) เป็นจำนวนจินตภาพ -j
7. ลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้า	ใช้แล้วหมดไป	สะสมแล้วจ่ายคืน	สะสมแล้วจ่ายคืน
8. ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	1	0	0
9. ค่าที่วัดได้จาก Wattmeter	$-I^2R$	0 W	0 W

L และ C ถูกนำมาใช้ในรูปของค่า X_L และ X_C มีหน่วยเป็น Ω เช่นเดียวกับ R แต่เป็นจำนวนจินตภาพที่สามารถหักล้างกันเองได้เพราะ X_L และ X_C มีทิศทางตรงข้ามกัน (ทิศทาง +j กับ -j) ดังนั้นหากต้องการหักล้างคุณสมบัติของ X_L ก็อาจนำ X_C ที่เหมาะสมมาต่อในวงจรได้เพราะ X_L ทำให้สัญญาณกระแสตามหลังแรงดัน (I Lag V) 90° และ X_C ทำให้สัญญาณกระแสนำหน้าแรงดัน (I Lead V) 90° ดังนั้นถ้าในวงจรมีคุณลักษณะเป็นการผสมกันของโหนดมากกว่า 1 กลุ่มเช่น $R+jX_L$ หรือ $R-jX_C$ ก็

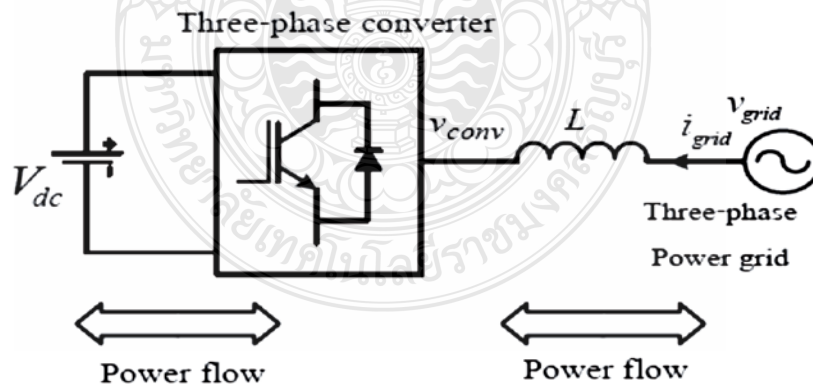
ทำให้ความต้านทานโดยรวมซึ่งเรียกว่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) : Z มีมุมอยู่ระหว่าง -90 ถึง $+90$ ทำให้กระแส $I = \frac{V}{Z}$ มีมุมเป็นดังนี้



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ของค่ามุมระหว่างกระแสและแรงดันเมื่อใช้ L-C

2.2.10 อินเวอร์เตอร์สามเฟสเชื่อมต่อบนระบบไฟฟ้า

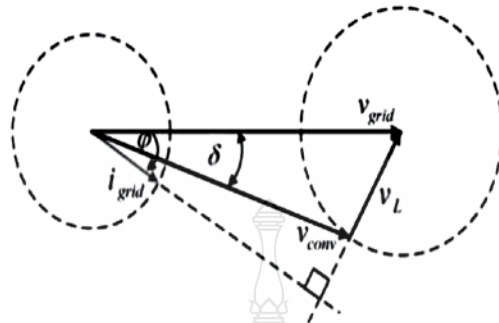
ในการเปลี่ยนแปลงพลังงานทดแทนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า นิยมใช้ชุดคอนเวอร์เตอร์เป็นวงจรแปรรูปพลังงาน โดยคอนเวอร์เตอร์นี้ด้านหนึ่งต่ออยู่กับระบบไฟฟ้าดีซี และอีกด้านจะต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับของการไฟฟ้าซึ่งอาจจะเป็นระบบกริดไฟฟ้าหนึ่งเฟสหรือสามเฟส ซึ่งเป็นคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์โหมด การทำงานของคอนเวอร์เตอร์นั้นแบ่งออกเป็น 2 สถานะ คือการทำงานในสถานะเรียงกระแส คือ การส่งกำลังไฟฟ้าจากด้านเอซีไปยังด้านดีซี และการทำงานในสถานะอินเวอร์เตอร์ คือ การส่งกำลังไฟฟ้าจากด้านดีซีไปยังด้านเอซี



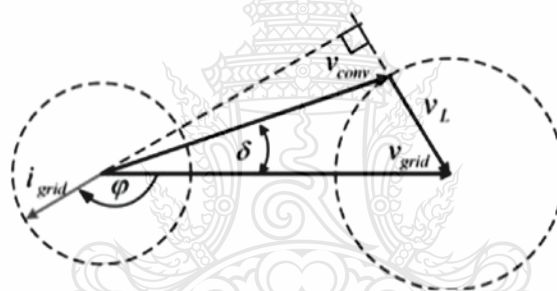
รูปที่ 2.14 คอนเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบนระบบกริดไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.14 กำหนดให้คอนเวอร์เตอร์ทำงานในสถานะเรียงกระแสตามกฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ในสถานะเรียงกระแสเขียนเวกเตอร์แรงดันได้ตามรูปที่ 2.15 (ก) เมื่อมุม ϕ เป็นมุมระหว่างแรงดัน

และกระแสของแหล่งจ่ายซึ่งอยู่ในช่วง 0-90 องศา และมุม δ เป็นมุมระหว่างแรงดันไฟฟ้าของกริดไฟฟ้า กับแรงดันเอซีของคอนเวอร์เตอร์



(ก) เวกเตอร์แรงดันและกระแสในสภาวะเรียงกระแส



(ข) เวกเตอร์แรงดันและกระแสในสภาวะอินเวอร์เตอร์

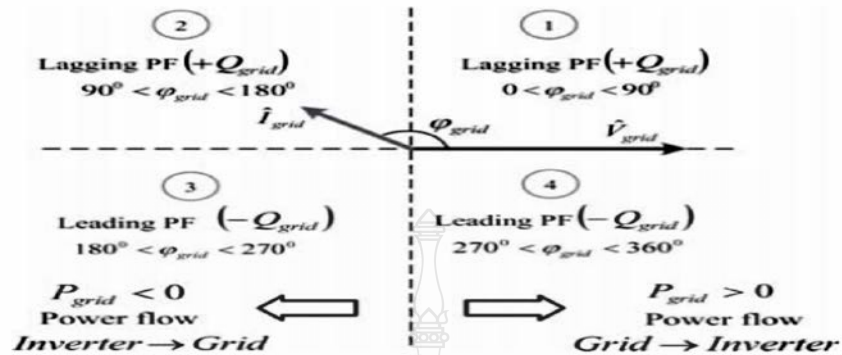
รูปที่ 2.15 การกำหนดทิศทางกำลังไหลของกำลังไฟฟ้า

$$P = \frac{V_{grid}^2}{\omega L} \left[\frac{V_{conv}}{V_{grid}} \sin \delta \right] \quad (2.22)$$

$$Q = \frac{V_{grid}^2}{\omega L} \left[1 - \frac{V_{conv}}{V_{grid}} \cos \delta \right] \quad (2.23)$$

จากสมการกำลังไฟฟ้า P และ Q สามารถควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้าทั้งสองด้วยการควบคุมขนาดและมุมเฟสของแรงดันคอนเวอร์เตอร์ที่มีความถี่มูลฐาน โดยกำหนดให้แรงดันที่กริดและกระแสที่กริดมีค่าคงที่ การกำหนดการไหลของกำลังไฟฟ้าในสภาวะอินเวอร์เตอร์ตามรูปที่ 2.15 (ข) ถูกกำหนดด้วยการปรับขนาดของแรงดันอินเวอร์เตอร์และมุมเฟส เป็นผลทำให้กระแสที่กริดมีมุมเฟสล่าหลังมากกว่า 90 องศา ทำให้กำลังไฟฟ้าไหลจากแหล่งจ่ายไฟตรงไปยังการไฟฟ้า ซึ่งในการควบคุมทิศ

ทางการไหลของกำลังไฟฟ้าใน 4 ควอร์แดนซ์ศึกษาได้จากรูปที่ 2.16 โดยควอร์แดนซ์ที่ 1 และ 4 กำลังไฟฟ้าไหลจากกริดไปยังอินเวอร์เตอร์ และควอร์แดนซ์ที่ 2 และ 3 กำลังไฟฟ้าไหลจากอินเวอร์เตอร์ไปยังกริด



รูปที่ 2.16 การควบคุมทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้า

2.3 สรุป

จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การทำงานของอินเวอร์เตอร์ในระบบสามเฟสเพื่อเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของไฟฟ้าซึ่งระบบจะต้องทำหน้าที่ในการปรับเปลี่ยนค่าแรงดันกระแสตรงให้เป็นแรงดันกระแสสลับตามพิกัดที่ต้องการจากนั้นต้องทำการควบคุมเพื่อปรับมุมเฟสและความถี่ให้ถูกต้อง และสามารถเข้ากับระบบจำหน่ายได้ จากการศึกษาทางทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจึงได้มุ่งเน้นประเด็นทางด้านของอินเวอร์เตอร์ในระบบสามเฟสเป็นหลัก โดยใช้หลักการของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนและเฟสล็อกกลูปในการควบคุมการปรับค่ามุมให้มีขนาดเท่ากับระบบจำหน่ายของไฟฟ้า

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

เพื่อการศึกษาการจำลองระบบต้นแบบผลิตไฟฟ้าจากการกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดของมอเตอร์ลิฟต์ด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟการจำลองเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อจะได้ทราบค่าต่างๆ ล่วงหน้าก่อนการออกแบบสร้างจริง ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink และพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งได้ข้อมูลจากผู้ผลิตในการจำลองการทำงาน โดยทำการทดลองในโหมคของเจนเนอเรเตอร์ เพื่อทำการศึกษาผลการใช้กำลังไฟฟ้าแล้วนำมาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบกันระหว่างชุดจำลองและโปรแกรม MATLAB/Simulink มีความใกล้เคียงกันอย่างไร เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

ขั้นตอนการดำเนินงานได้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นตอนแรกคือการศึกษาทฤษฎี ขั้นตอนที่สองการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และขั้นตอนสุดท้ายการออกแบบและทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยมีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink จากนั้นจึงได้ทำการทดสอบแบบจำลองที่ได้และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากมอเตอร์เชิงโรตัสแบบแม่เหล็กถาวรเพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์การใช้งานว่าลักษณะการทำงานที่แตกต่างกันอย่างไร

3.1 ขั้นตอนการศึกษาทฤษฎี

ศึกษาการทำงานของลิฟต์ซึ่งการทำงานของลิฟต์จะอาศัยมอเตอร์ไฟฟ้าในการหมุนตัวห้องโดยสาร (Passenger Car) และอีกด้านหนึ่งจะใช้ตุ้มน้ำหนักถ่วงไว้ เพื่อให้ห้องโดยสารเคลื่อนที่อย่างนุ่มนวลซึ่งโดยปกติตุ้มน้ำหนักถ่วงนี้จะมีน้ำหนักประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักห้องโดยสารเวลาบรรทุกเต็มพิกัดดังตารางที่ 3.1 ซึ่งหมายความว่า

1. ถ้าลิฟต์บรรทุกน้ำหนักต่ำกว่า 40-50 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดห้องโดยสารจะเบาว่าตุ้มน้ำหนักถ่วงลิฟต์จะใช้พลังงานเวลาเคลื่อนที่ลงเท่านั้นและไม่กินพลังงานเวลาเคลื่อนที่ขึ้น

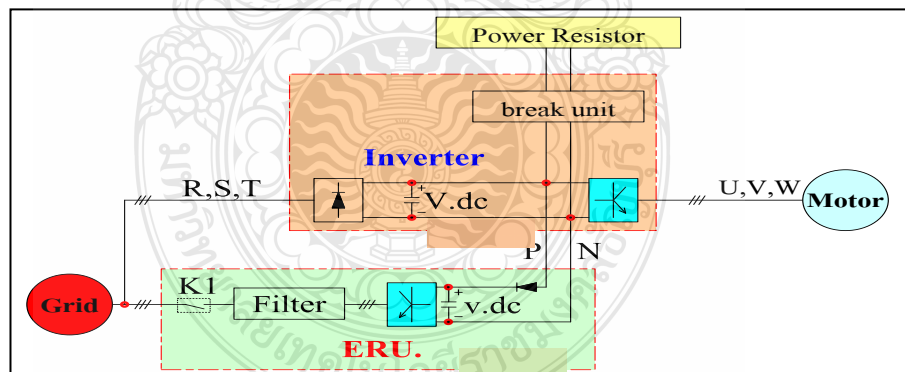
2. ถ้าลิฟต์บรรทุกน้ำหนักสูงกว่า 40-50 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดห้องโดยสารจะหนักกว่าตุ้มน้ำหนักถ่วงลิฟต์จะใช้พลังงานเวลาเคลื่อนที่ขึ้นเท่านั้นและไม่กินพลังงานเวลาเคลื่อนที่ลงซึ่งในช่วงเวลาที่ลิฟต์เคลื่อนที่โดยไม่ใช้พลังงานนั้นเราสามารถทำให้เกิดรีเจนเนอเรทีฟซึ่งก็คือการผลิตกระแสไฟฟ้าจ่ายคืนสู่ระบบไฟฟ้าขึ้นนั่นเองและยังรวมถึงช่วงที่มีการเบรคลิฟต์ซึ่งมอเตอร์จะกลายเป็นเจนเนอเรเตอร์ชั่วขณะในระบบแบบเดิมที่พลังงานส่วนนี้จะจ่ายผ่านตัวต้านทานให้กลายเป็นความร้อนทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์

ตารางที่ 3.1 ตารางความสัมพันธ์การใช้พลังงานของลิฟต์

	น้ำหนัก บรรทุก > คิวต์ถ่วง	น้ำหนัก บรรทุก < คิวต์ถ่วง
ลิฟต์ขึ้น	ใช้พลังงานไฟฟ้า	ใช้แรงโน้มถ่วง
ลิฟต์ลง	ใช้แรงโน้มถ่วง	ใช้พลังงานไฟฟ้า

3.1.1 ศึกษาการทำงานของระบบรีเจนเนอเรทีฟ

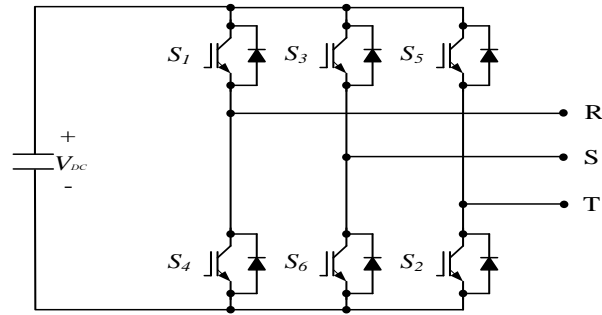
การออกแบบเพื่อศึกษาการทำงานของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากการควบคุมลิฟต์โดยความสามารถของลิฟต์ที่ผลิตไฟฟ้าจากการกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดของมอเตอร์ลิฟต์ด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟซึ่งระบบจะถูกออกแบบเพื่อให้ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบควบคุมแบบเดิมโดยจะเป็นระบบที่สร้างขึ้นมานำมาเชื่อมต่อกับระบบภาคกำลังในการขับเคลื่อนของลิฟต์ ซึ่งมีข้อได้เปรียบในกรณีที่มีข้อผิดพลาดจะไม่ส่งผลกระทบต่อระบบขับเคลื่อนของลิฟต์เสียหายและทำให้สามารถใช้งานลิฟต์ได้อย่างไม่มีผลกระทบใดๆ



รูปที่ 3.1 แผนภาพไดอะแกรมของระบบรีเจนเนอเรทีฟ

3.1.2 ศึกษาของอินเวอร์เตอร์และการเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่าย

อินเวอร์เตอร์ (Inverters) จะทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (DC to AC Converter) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้อาจปรับหรือควบคุมขนาดของแรงดันไฟฟ้าและความถี่ได้ วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้งานกับระบบลิฟต์เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์แบบสามเฟสเป็นวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบควบคุมได้ โดยสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าได้ทั้งขนาดและความถี่



รูปที่ 3.2 วงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟส

จากสมการที่ 3.1 สามารถที่จะคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้จากค่าแรงดันไฟตรงและค่าความถี่ในการสวิตช์ D_a , D_b และ D_c

$$\begin{aligned} u_{a0} &= \frac{U_{DC}}{3} (2D_a - D_b - D_c) \\ u_{b0} &= \frac{U_{DC}}{3} (2D_b - D_a - D_c) \\ u_{c0} &= \frac{U_{DC}}{3} (2D_c - D_b - D_a) \end{aligned} \quad (3.1)$$

โดยที่ u_a, u_b และ u_c คือค่าแรงดันเฟส
 U_{DC} คือค่าแรงดันไฟตรง

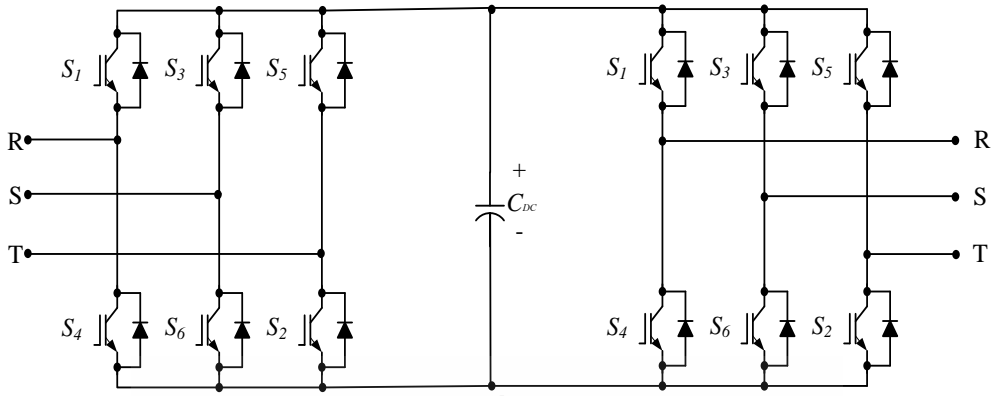
และสามารถหากระแสของแรงดันเชื่อมโยงไฟตรง ตามสมการที่ 3.2

$$i_{DC} = \begin{bmatrix} D_a & D_b & D_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

โดยที่ i_a, i_b, i_c คือ กระแสในสาย

1) อินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสามเฟสแบบพิดับเบิลยูเอ็มเพื่อที่จะให้ได้แรงดันที่สามารถควบคุมได้ทั้งขนาดและความถี่และมีความสมดุลสามเฟสจึงต้องมีเฟสห่างกัน 120 องศาของความถี่หลักมูล

2) วงจรแปลงผันแรงดันไบโพลาร์แบบหลังชนหลัง (Back to Back Bi-Polar Converter) จะประกอบไปด้วยคอนเวอร์เตอร์กำลังสองตัวต่อเรียงกันแบบคอมมอนร่วมโดยมีคาปาซิเตอร์ (Capacitor) เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างคอนเวอร์เตอร์กำลังด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและด้านกริกระบบ นอกจากนี้จะเป็นตัวกรองความถี่ของคอนเวอร์เตอร์กำลังด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะทำหน้าที่อยู่ในโหมดเรียงกระแสและทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับคอนเวอร์เตอร์กำลังด้านกริกระบบขณะทำหน้าที่เป็นอินเวอร์เตอร์เพื่อส่งผ่านกำลังไฟฟ้าแอกทิฟและกำลังไฟฟารีแอกทิฟเข้าสู่กริกระบบ



รูปที่ 3.3 วงจรแปลงผันแรงดันแบบ B2B

3) การออกแบบวงจรเรียงกระแสสามเฟสเต็มคลื่นด้วยไดโอดแบบบริดจ์ (3 Phase Full Bridge Diode Rectify) ใช้วงจรเรียงกระแสสามเฟสเต็มคลื่นแบบไดโอดบริดจ์ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขั้วแม่เหล็กถาวรเพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ในการคำนวณนี้กำหนดให้ต่ออยู่กับโหลดความต้านทานแรงดันไฟตรงแสดงในสมการที่ 3.3

$$\begin{aligned}
 V_{o,av} &= \frac{6}{2} \int_{60^\circ}^{120^\circ} V_{m,Line} \cdot \sin(\omega t) \cdot d(\omega t) \\
 &= \frac{6 \cdot V_{m,Line}}{2\pi} [-\cos(\omega t)]_{60^\circ}^{120^\circ} \\
 &= \frac{\pi}{3} \cdot V_{m,Line} \cdot [-\cos 120 + \cos 60] \\
 &= \frac{3 \cdot V_{m,Line}}{\pi} \\
 &= 0.95 V_{m,line} \\
 &= 0.95 \times \sqrt{2} \times 380 \\
 &\cong 510 \text{ V.}
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบไดโอดวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบไดโอดเป็นวงจรที่มีโครงสร้างง่ายๆ ไม่ซับซ้อนกระแสไฟฟ้าไดโอดจะเท่ากับกระแสไฟฟ้าโหลด เพื่อหากระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสของแหล่งจ่ายจะพิจารณาจากกฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ที่โหนด abc

$$\begin{aligned}
 i_a &= i_{D1} - i_{D4} \\
 i_b &= i_{D3} - i_{D6} \\
 i_c &= i_{D5} - i_{D2}
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

โดยไดโอดแต่ละตัวจะนำกระแสเพียงหนึ่งในสามของคาบเวลา ดังนั้นจะได้

$$i_{D,av} = \frac{1}{3} I_{o,av}$$

$$i_{D,rms} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{o,rms}$$

$$i_{s,rms} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_{o,rms}$$
(3.5)

- โดยที่
- $i_{D,av}$ คือกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของไดโอด
 - $i_{D,rms}$ คือรากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสไดโอด
 - $i_{s,rms}$ คือรากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสแหล่งจ่าย
 - $i_{o,av}$ คือกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่โหลด
 - $i_{o,rms}$ คือรากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสโหลด

ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยด้านออกหรือค่าองค์ประกอบไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าเท่ากับ

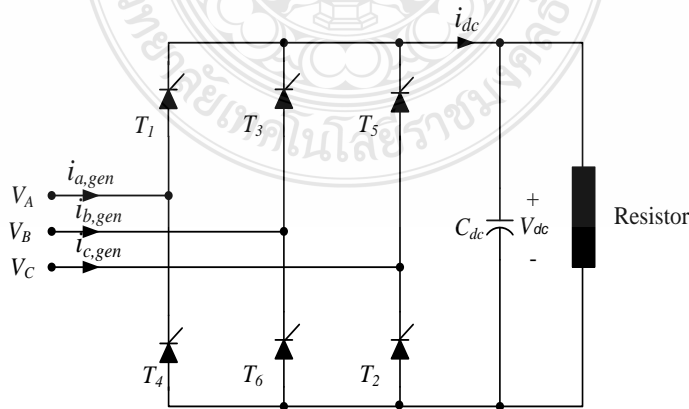
$$V_o = \frac{1}{\pi/3} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} V_{m,L-L} \sin(\omega t) d(\omega t) = 0.955 V_{m,L-L}$$
(3.6)

$V_{m,L-L}$ คือค่าแรงดันไฟฟ้าขดระหว่างสายซึ่งจะมีค่าเท่ากับ $\sqrt{2} V_{L-L,rms}$

ค่าแรงดันเฉลี่ยด้านออกมีความสัมพันธ์กับมุมหน้าวงนำกระแสไฟฟ้าและค่าขดของแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟส ดังสมการ

$$V_o = \frac{1}{\pi/3} \int_{\pi/3+\alpha}^{2\pi/3+\alpha} V_{m,L-L} \sin(\omega t) d(\omega t) = 0.955 V_{m,L-L} \cos \alpha$$
(3.7)

ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยด้านออกมีค่าสูงสุดเท่ากับกรณีไดโอดเมื่อ $\alpha = 0$ และมีค่าต่ำสุดเมื่อ $\alpha = 180$ องศา



รูปที่ 3.4 วงจรเรียงกระแสควบคุมได้แบบบริดจ์

4) หลักการทำงานและหน้าที่ของส่วนประกอบที่สำคัญของชุดอินเวอร์เตอร์

1) Rectifier circuit วงจรเรกติไฟเออร์ หรือวงจรเรียงกระแส ทำหน้าที่แปลงผันหรือเปลี่ยนจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงวงจรประกอบด้วย เพาเวอร์ไดโอด 4 ตัว กรณีที่อินพุตเป็นแบบเฟสเดียวหรือมีเพาเวอร์ไดโอด 6 ตัว กรณีที่อินพุตเป็นแบบสามเฟส ดังรูปที่ 3.4 (สำหรับอินเวอร์เตอร์บางประเภทจะใช้ SCR ทำหน้าที่เป็นวงจรเรกติไฟเออร์ซึ่งทำให้สามารถควบคุมระดับแรงดันในวงจรได้)

2) วงจรเชื่อมโยงทางดีซี หรือดีซีลิงก์ (DC Link) คือวงจรเชื่อมโยงระหว่างวงจรเรียงกระแสและวงจรอินเวอร์เตอร์ซึ่งจะประกอบด้วยคาปาซิเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ที่กักเก็บแรงดันไฟฟ้า 400 Vdc หรือ 800 Vdc โดยขึ้นอยู่กับแรงดันอินพุตว่าเป็นแบบเฟสเดียวหรือสามเฟส ทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากวงจรเรียงเรกติไฟเออร์ให้เรียบยิ่งขึ้นและทำหน้าที่เก็บประจุไฟฟ้าขณะที่มอเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงสั้นเนื่องจากการเบรกหรือมีการลดความเร็วรอบลงอย่างรวดเร็ว (สำหรับกรณีที่ใช้งานกับโหลดที่มีแรงเฉื่อยมากๆ และต้องการหยุดอย่างรวดเร็วจะเกิดแรงดันสูงย้อนกับมาตกร้อมคาปาซิเตอร์และทำให้คาปาซิเตอร์เสียหายได้ดังนั้นในทางปฏิบัติจะมีวงจรช้อปเปอร์โดยต่อค่าความต้านอนุกรมกับทรานซิสเตอร์และต่อขานานกับคาปาซิเตอร์ไว้โดยทรานซิสเตอร์จะทำให้ที่เป็นสวิตช์ตัดต่อควบคุมให้กระแสไหลผ่านค่าความต้านทานเพื่อลดพลังงานที่เกิดขึ้นพลังงานที่เกิดจากการ Regeneration จะป้อนกลับมาชาร์จประจุที่คอนเดนเซอร์ C ทำให้แรงดัน E มีค่าสูงขึ้น ถ้าแรงดันสูงกว่าค่าที่กำหนด ทรานซิสเตอร์ T ในวงจรเบรกจะทำงาน ทำให้มีกระแส I ไหล ผ่านตัวต้านทานเบรก R ทำให้ตัวต้านทานร้อน เป็นการเผาผลาญพลังงานที่เกิดจากการ Regeneration และพลังงานที่เก็บสะสมใน คอนเดนเซอร์ C ก็จะถูกคายออกมาด้วย ทำให้แรงดัน E มีค่าลดลง เมื่อลดลงต่ำกว่าค่าที่กำหนด ทรานซิสเตอร์ T จะหยุดทำงานกระแสเบรกก็จะหยุดไหล

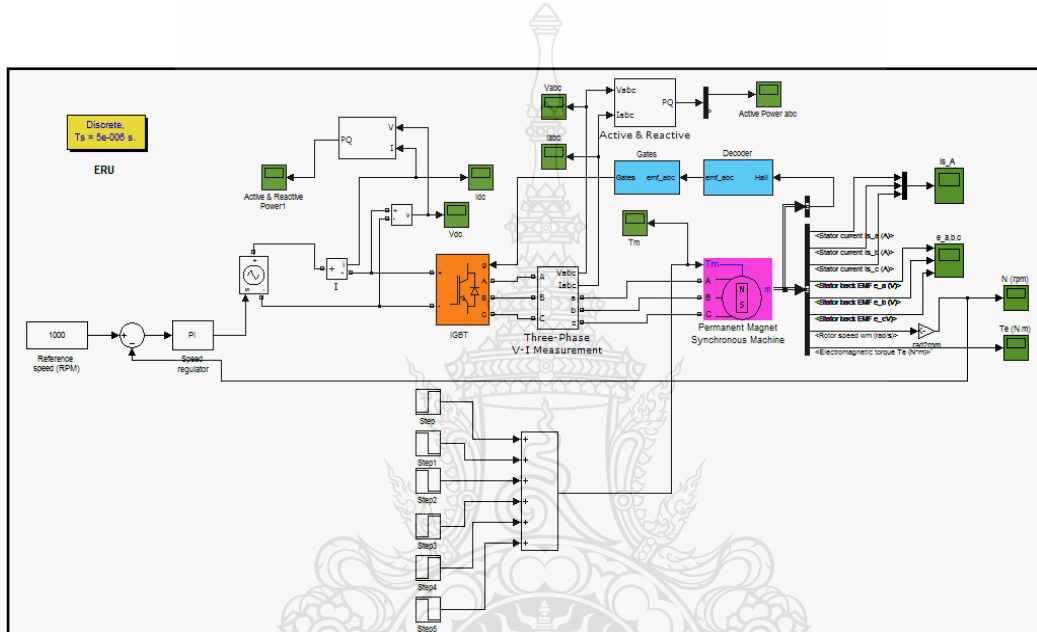
3) Inverter Circuit วงจรอินเวอร์เตอร์คือส่วนที่ทำหน้าที่แปลงผันจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (ที่ผ่านการกรองจากวงจรดีซีลิงก์) เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวงจรจะประกอบด้วย เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์กำลัง 6 ชุด (ปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้ IGBT) ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดต่อกระแสไฟฟ้าเพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยอาศัยเทคนิคที่นิยมใช้กันทั่วไปคือ PWM (Pulse Width Modulation)

4) Control Circuit วงจรควบคุมจะทำหน้าที่รับข้อมูลจากผู้ใช้เช่นรับข้อมูลความเร็วรอบที่ต้องการเข้าไปทำการประมวลผลและส่งนำเอาที่พุดออกไปควบคุมการทำงานของทรานซิสเตอร์เพื่อจ่ายแรงดันและความถี่ให้ได้ความเร็วรอบและแรงบิดตามที่ผู้ใช้งานต้องการ

3.2 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.2.1 การจำลองการทำงานของระบบรีเจนเนอเรทีฟ (Energy Regenerative Unit)

งานวิจัยนี้ ใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ในการสร้างแบบจำลองของระบบรีเจนเนอเรทีฟ โดยใช้ PM Synchronous Machine model ใน MATLAB/Simulink ทำการปรับค่า T_m ตามสภาวะของการทำงานตามหลักการของการเคลื่อนที่ของลิฟต์ โดยความเร็วรอบ, Electromagnetic Torque โดยวงจรที่ใช้ในการทดลอง แสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งจากการใช้ในลักษณะของบล็อกสำเร็จรูปที่ปรากฏอยู่ในโปรแกรมของ MATLAB/Simulink สำหรับค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการกำหนดในแบบจำลองการทำงาน



รูปที่ 3.5 แบบจำลองการทำงานของซิงโครนัสมอเตอร์ใน MATLAB/Simulink

จากรูปที่ 3.5 ใช้ Model Permanent Magnet Synchronous Machine (PMSM) MATLAB/Simulink เพื่อจำลองการทำงานของมอเตอร์ซึ่งการทำงานของวงจร MATLAB/Simulink ตามรูปที่ 3.5 จะได้นำมาเป็นกำหนดให้เป็นแหล่งจ่ายของวงจรในวงจรภาคกำลัง โดยตัวแปรที่กำหนดโหมดการทำงานของ PMSM คือ ค่าแรงบิด (T_m) ซึ่ง แรงบิด (T_m) เป็นบวก หมายถึงลักษณะการทำงานในโหมดที่เป็นมอเตอร์ และ แรงบิด(T_m) เป็นลบ หมายถึงลักษณะการทำงานในโหมดที่เป็นเจนเนอเรเตอร์ตามค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลอง การทำงานของวงจรโดยการกำหนดค่าซึ่งจะทำการป้อนค่าของแรงบิดให้มีค่าเป็นบวก มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรจะมาทำงานในรูปของมอเตอร์และเมื่อมีการป้อนค่าของแรงบิดเป็นค่าที่ติดลบ ซึ่งค่าที่ติดลบนั้นหมายถึงการทำงานในแบบของเจนเนอเรเตอร์จึงเป็นลักษณะการจำลองแบบการทำงานของลิฟต์ การกำหนดน้ำหนักของผู้โดยสารในลิฟต์จะไม่มีเพิ่มน้ำหนัก จึง

เปรียบเสมือนให้ลิฟต์ทำงานด้วยตัวเปล่า นั่นหมายถึงเมื่อลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นมอเตอร์จะทำงานเป็นเจนเนอเรเตอร์และเมื่อลิฟต์เคลื่อนที่ลงก็จะทำงานในส่วนของมอเตอร์

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ซึ่งโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรที่ใช้ในการจำลองการทำงาน

Parameters	Value
ความต้านทานฝั่งสเตเตอร์ (R_s)	0.5 Ohm
ความเหนี่ยวนำแนวแกนตรง (L_d)	9 mH
ความเหนี่ยวนำแนวแกนตั้งฉาก (L_q)	9 mH
จำนวนขั้วแม่เหล็ก (Pole)	20 pair
ฟลักซ์แม่เหล็กเหนี่ยวนำ (Magnetic Flux)	0.45 Vs
แรงบิดสูงสุด (Torque Max)	± 420 Nm
โมเมนต์ความเฉื่อย (J)	0.1 kg.m ²

จากตารางที่ 3.2 จำลองการทำงานของระบบด้วยการปรับค่า T_m ต่างๆ และดูค่ากำลังไฟฟ้าที่สถานะคงตัว โดยค่า Torque Max (T_m) เท่ากับ 625 Nm คือการบรรทุกภาระโหลดเต็มพิกัด ลักษณะการทำงานในโหมคของมอเตอร์ ส่วนค่า Torque Max (T_m) เท่ากับ -625 Nm คือการบรรทุกภาระโหลดเต็มพิกัด ลักษณะการทำงานในโหมคของเครื่องกำเนิด โดยในการจำลองการทำงานจะต้องทำการป้อนค่า Torque Max (T_m) ใน MATLAB/Simulink โดยค่า Torque Max (T_m) เมื่อเทียบกับน้ำหนักที่ลิฟท์บรรทุกจะต้องมีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 3.8 ดังนี้

$$T = 1.25 \times (L - 500) \tag{3.8}$$

โดย

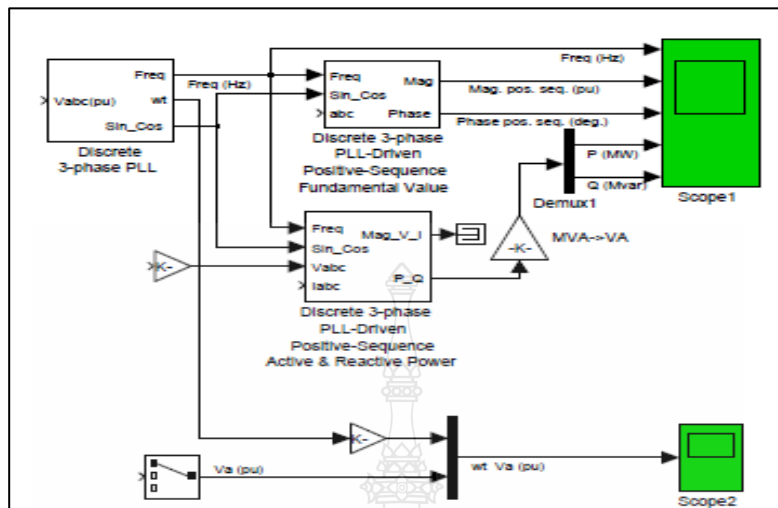
T คือ แรงบิดสุทธิของมอเตอร์

L คือ น้ำหนักบรรทุกของลิฟท์

3.1.2 การจำลองการทำงานของระบบควบคุม การเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์ระบบรีเจนเนอเรทีฟ (Elevator Energy Regenerative Unit)

ในวิทยานิพนธ์นี้ ใช้โปรแกรม MATLAB /Simulink ในการสร้างแบบจำลองระบบรีเจนเนอเรทีฟ โดยใช้ Three Phase PLL ด้วยหลักการของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนใน MATLAB/Simulink ทำการปรับค่าของมุมจากแหล่งจ่ายที่ระบบของอินเวอร์เตอร์ที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าเข้ามาได้ ดังนั้นการป้อนกลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายให้มีสถานะการทำงานตรงกันกับระบบจำหน่ายเดิม

โดยมีการอ้างอิงสัญญาณต้นแบบที่นำมาเพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิง ก่อนที่จะทำการป้อนกลับเข้าสู่ระบบ
 จำหน่ายของการไฟฟ้าได้

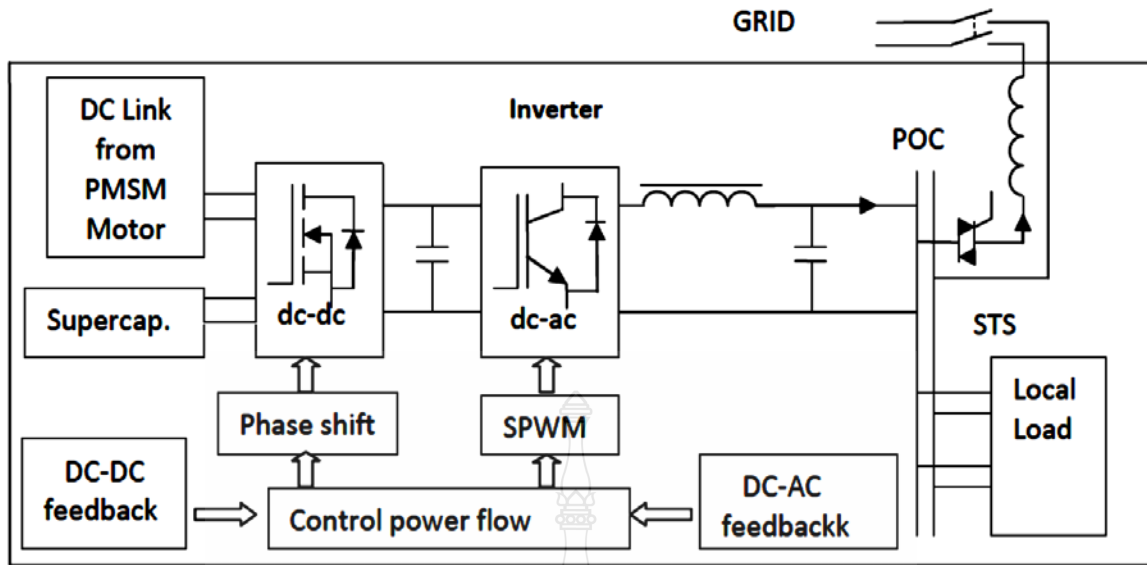


รูปที่ 3.6 แบบจำลองการทำงานของวงจร PLL ใน MATLAB/Simulink โดยใช้บล็อกสำเร็จรูป

จากรูปที่ 3.6 ใช้ PLL ใน MATLAB /Simulink เพื่อจำลองการทำงานของ การควบคุมการเชื่อมต่อกับระบบเฟสที่ระบบของลิฟต์สามารถผลิตพลังงานเพื่อให้สอดคล้องกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าโดยตัวแปรที่กำหนดโหมดการทำงานของ PLL คือ ค่าระดับแรงดันและกระแสตามค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลอง

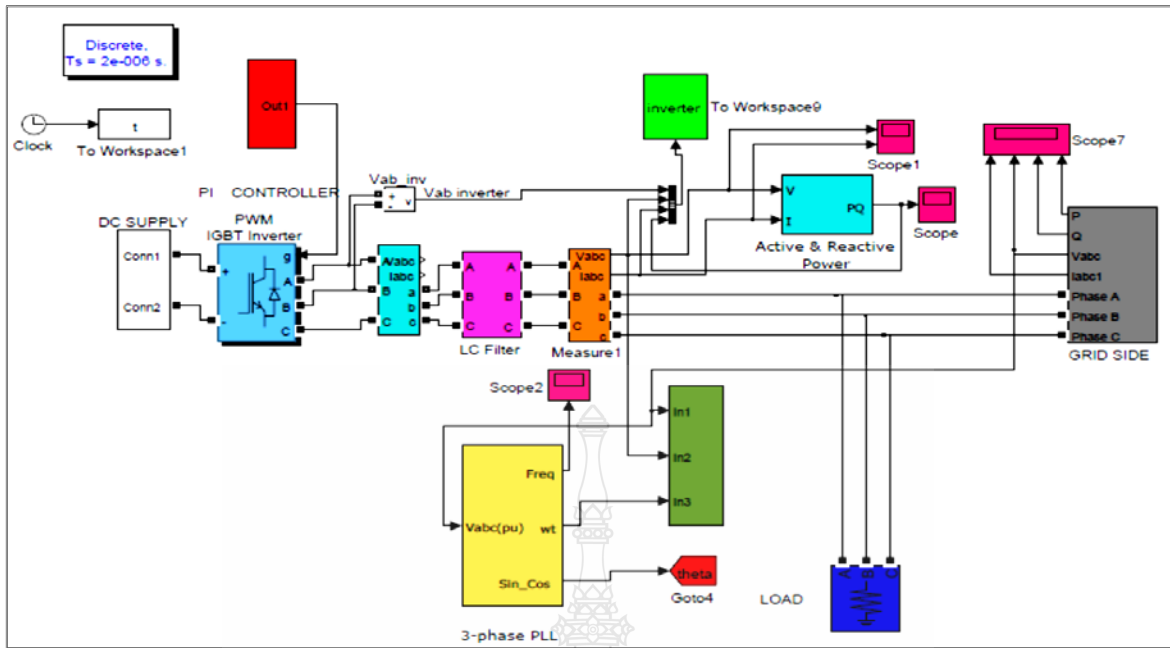
3.1.3 การจำลองการทำงานของ การเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบบริเจนเนอร์เรทีฟจากลิฟต์ (Elevator Energy Regenerative Unit)

ในวิทยานิพนธ์นี้ ใช้โปรแกรม MATLAB /Simulink การสร้างแบบจำลองของระบบบริเจนเนอร์เรทีฟโดยใช้ PM Synchronous Machine Model ใน MATLAB /Simulink ทำการปรับค่าของแหล่งจ่ายที่ Dc Link ป้อนกลับเข้าสู่ระบบให้มีสภาวะการทำงานที่ไม่คงที่ขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนที่ของระบบลิฟต์ ซึ่งจะประกอบด้วยคาปาซิเตอร์ที่มีขนาดใหญ่พิกัดแรงดัน ไฟฟ้า 400-700 Vdc ทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากวงจรตัวเรียงกระแสให้เรียบยิ่งขึ้นและทำหน้าที่เก็บประจุไฟฟ้าขณะที่มอเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงสั้นเนื่องจากการเบรคหรือมีการลดความเร็วรอบลงอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 3.7 โค้ดแอมแกรมแสดงแบบจำลองการทำงานของวงจรใน MATLAB/Simulink โดยใช้บล็อกสำเร็จรูป

จากรูปที่ 3.7 แสดงโค้ดแอมแกรมเพื่อกำหนดจุดที่ใช้ในการทดสอบเพื่อแสดงผลการทำงานในของแต่ละส่วนออกมา โดยจุดที่ทำการวัดเพื่อเก็บผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ซึ่งใช้บล็อกสำเร็จรูปทั้งหมด ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น การทำงานของแต่ละส่วนคือเมื่อมอเตอร์ทำงานในโหมดของเจนเนอเรเตอร์ค่าของแหล่งจะอยู่ในส่วนของ PMSM จากนั้นจะทำการแปลงแรงดันจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง คอนเวอร์เตอร์จะทำการขยายแรงดันเพื่อให้เป็นไปตามกำหนดอยู่ในระดับ 650-700Vdc ส่งผ่านเข้าสู่อินเวอร์เตอร์เพื่อปรับเปลี่ยนให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงสามเฟสที่พิกัด 380 โวลต์ 50 เฮิร์ต การควบคุมการทำงานของปรับเปลี่ยนค่ามุมระหว่างไฟฟ้าจากระบบรีเจนเนอเรทีฟกับระบบจำหน่ายให้มีความตรงกัน ในวิทยานิพนธ์นี้จะรูปแบบของเฟสบล็อกคู่ในการปรับค่ามุมเพื่อให้มีค่าที่ตรงกันและสามารถไหลกลับเข้าสู่ระบบได้ โดยการป้อนกลับเข้าสู่ระบบใช้หลักการของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนเป็นตัวกำหนดเพื่อตรวจสอบการทำงานของกระแสและรูปร่างลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในแต่ละเฟส



รูปที่ 3.8 แบบจำลองการทำงานการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบ รีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์ใน MATLAB /Simulink

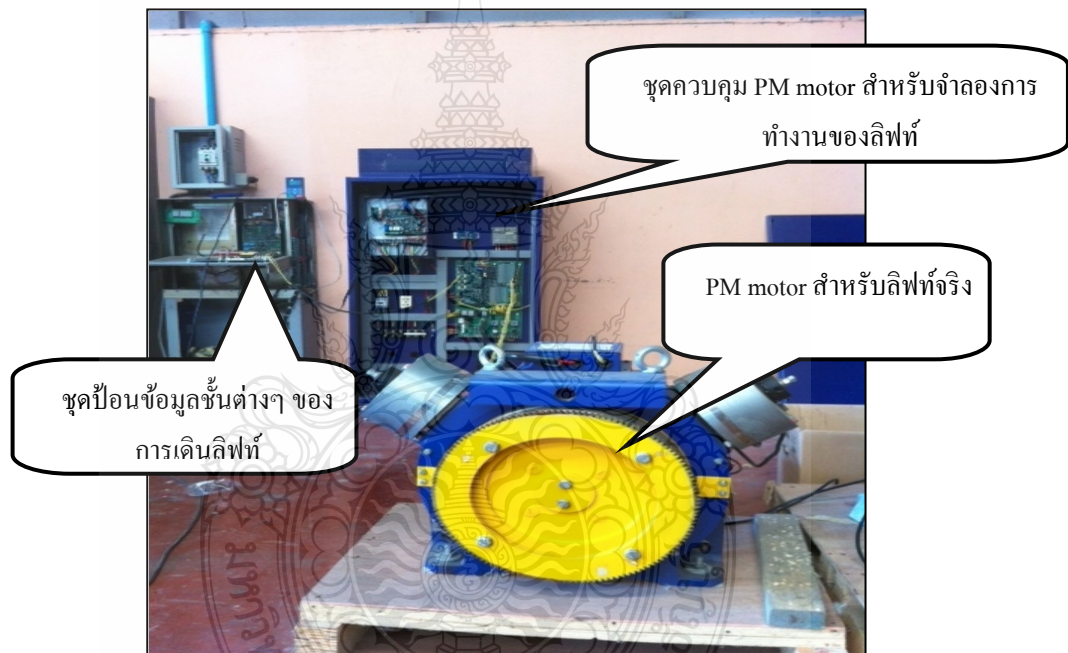
จากรูปที่ 3.8 ได้ทำการออกแบบ Model Elevator Energy Regeneration Unit (EERU) ใน MATLAB/Simulink เพื่อจำลองการทำงานของการสร้างวงจรภาคขยาย ซึ่งจะใช้วงจรของเฟสล็อกคูล์ซึ่งจะมีส่วนที่ข้องเกี่ยวกับอีกสามวงจรคือ วงจร Phase Detector วงจร Low Pass Filter และวงจร Voltage Control Oscillator โดยหลักการของวงจรเฟสล็อกคูล์ซึ่งมีความแตกต่างของมุมที่กริดและค่ามุมเฟสของแรงดันขาออกซึ่งสามารถมีการปรับเปลี่ยนลงสู่ระดับศูนย์ได้โดยการใช้ PI Controller ค่าเอาต์พุตที่ได้จาก PI Controller คือแรงดันที่มีความถี่ที่สามารถอินทิเกรตได้กับแรงดันเฟส และทำให้เชื่อมเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านั้นมีค่าความผิดพลาดน้อยลงและในกรณีค่าของพลังงานที่ระบบผลิตออกมาได้เป็นจำนวนน้อยนั้น ซึ่งการทำงานที่จะทำให้ค่าของกระแสไหลเข้าสู่ระบบแหล่งจ่ายของการไฟฟ้าซึ่งมีขนาดที่ใหญ่กว่าระบบผลิตจึงต้องอาศัยหลักการของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนเพื่อจะทำให้เกิดการไหลของกระแสเข้าสู่ระบบจำหน่ายได้

3.3 ขั้นตอนการจำลองด้วยการใช้อินเวอร์เตอร์อุตสาหกรรม

ในการจำลองชุดเชื่อมต่อการทำงานของการผลิตไฟฟ้าจากลิฟต์ด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟได้นำอินเวอร์เตอร์จากบริษัทชั้นนำ ประเทศไทยซึ่งเป็นอินเวอร์เตอร์แบบสามเฟสขนาด 10 กิโลวัตต์สำหรับการนำเอาพลังงานที่ได้จากการรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์ออกมาจ่ายพลังงานกลับคืนให้กับระบบได้พร้อมนี้ระบบการวัดเก็บข้อมูลนั้น การเชื่อมต่อจากการที่มีการผลิตไฟฟ้าจากลิฟต์ที่มีส่วนของชุดควบคุม โดยมี

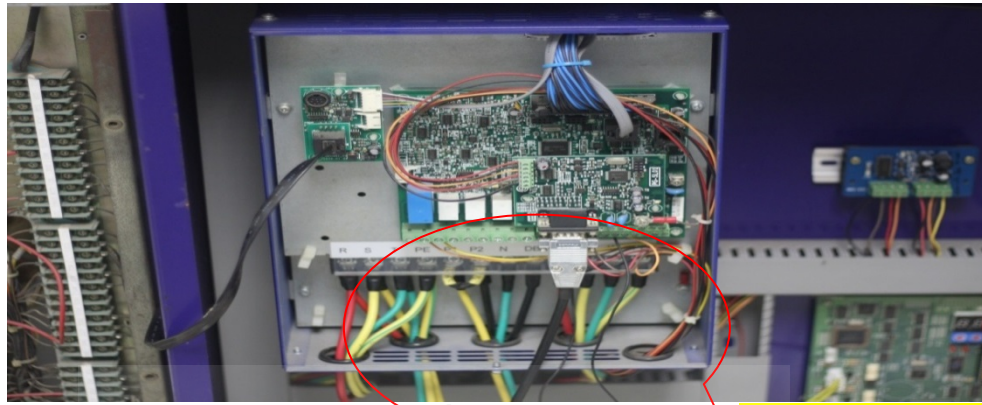
การใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์มาใช้ในการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบจำหน่าย จึงต้องมีการทดสอบการทำงาน ก่อนที่จะนำมาใช้ในชุดทดลองการออกแบบและวิธีการดำเนินการนั้นสามารถอธิบายได้ดังผังงานการ จำลองชุดเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายจากการผลิตไฟฟ้าจากลิฟท์ด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟ เข้ากับระบบวัดค่า และแสดงผลของพลังงานที่ได้ออกมาจากการผลิต และแสดงผลพลังงานที่ได้จากการผลิตไฟฟ้าที่ได้จาก ลิฟท์และเชื่อมต่อเพื่อป้อนกลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายของระบบรีเจนเนอเรทีฟ

3.3.1 ชุดเชื่อมต่อวงจรเพื่อใช้ในการถ่ายเทค่าพลังงานจากตัวต้านทานของลิฟต์ ในการเชื่อมต่อ ระบบที่จะมีการนำค่าพลังงานที่ถูกส่งคืนมาจากการหมุนของซิงโครนัสมอเตอร์ โดยการส่งกลับพลังงาน จะถูกส่งค่าพลังงานไปที่ตัวต้านทาน โดยจะเปลี่ยนเป็นค่าพลังงานความร้อนหรือที่เรียกว่าดัม โหลด การ นำค่าพลังงานกลับมาใช้เพื่อป้อนกลับคืนให้กับระบบจำหน่าย



รูปที่ 3.9 ชุดทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟ

การเชื่อมต่อกับระบบเดิมซึ่งจะเป็นการนำเอาค่าพลังงานไฟฟ้าที่เหลือจากการทำงานของ ซิงโครนัสมอเตอร์ส่งผ่านเข้าสู่เพาเวอร์รีซิสเตอร์ จุดที่ทำการเชื่อมต่อซึ่งจะได้อธิบายในรูปที่ 3.9 การ เชื่อมต่อพลังงานแบบที่นำประยุกต์ใช้งานเนื่องจากจะไม่ส่งผลกระทบต่อระบบเมื่อมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น และลิฟต์ยังสามารถทำงานได้ตามปกติ



จุดที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อ

รูปที่ 3.10 การเชื่อมต่อกับระบบเดิมสำหรับการนำพลังงานที่เหลือกลับมาใช้งาน

จากรูปที่ 3.10 เป็นจุดที่จะใช้เชื่อมต่อเพื่อใช้ในการดึงค่าพลังงานกลับมาใช้งาน ก่อนที่จะมีการเชื่อมต่อได้มีการวัดค่าพลังงานเพื่อตรวจสอบก่อนที่จะนำไปปรากฏว่าค่าพลังงานที่ได้มีค่าพลังงานแบบไม่คงที่เนื่องจากการใช้งาน ดังนั้นการกักเก็บพลังงานจึงมีส่วนสำคัญ การออกแบบในส่วนนี้จึงนำมีการนำตัวเก็บประจุจำนวน 4 ตัวทำการต่อขนานและลำดับกันเพื่อเป็นการเพิ่มค่าแรงดันให้ได้ตามพิกัดที่ต้องการ

การกำหนดให้แรงดันของความถี่หลักมูลที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำของวงจรรองความถี่ต่ำผ่านมีค่าไม่เกินร้อยละ 5 ของแรงดันในระบบไฟฟ้าปกติโดยจะเป็นการกำหนดค่าสูงสุดของตัวเหนี่ยวนำที่จะถูกนำมาใช้งานกำหนดให้แรงดันความถี่หลักมูลที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำของวงจรรองความถี่ต่ำผ่านมีค่าไม่เกินร้อยละ 5 ของแรงดันในระบบไฟฟ้าปกติ ซึ่งเป็นข้อกำหนดในการเลือกตัวเหนี่ยวนำค่ามากที่สุดที่สามารถใช้งานได้ สามารถหาได้จากสมการที่ 3.9

$$L_f \leq \frac{0.05V_{normal}}{2\pi f(i_{inv(rate)})} \quad (3.9)$$

$$L_f \leq \frac{0.05 \times 380}{2\pi \times 50 \times 20} = 3.025 \text{ มิลลิเฮนรี่}$$

กำหนดให้ค่ายอดของกระแสระเพื่อมสูงสุดที่ผ่านวงจรรองมีค่าไม่เกินร้อยละ 15 ของกระแสพิกัดของวงจรแปลงผัน ซึ่งเป็นข้อกำหนดในการเลือกตัวเหนี่ยวนำค่าน้อยที่สุดที่สามารถใช้งานได้ สามารถหาได้จากสมการที่ 3.10 โดยพิจารณาจากแรงดันขณะทีวัฏจักรงาน (Duty Cycle) ร้อยละ 50 ซึ่งจะมีค่ายอดของกระแสระเพื่อมสูงสุด

$$L_f \geq \frac{V_{L_f}}{2\Delta i_{inv} f_h} \quad (3.10)$$

$$L_f \geq \frac{380}{2 \times 0.15 \times 20 \sqrt{2} \times 40 \times 10^3} = 1.12 \text{ มิลลิเฮนรี}$$

กำหนดค่ากระแสแaggerเพิ่มที่โหลดไม่ให้เกินร้อยละ 5 ของกระแสแaggerเพิ่มที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุจกรองความถี่ ซึ่งเป็นข้อกำหนดในการเลือกตัวเก็บประจุค่าน้อยที่สุดที่สามารถใช้งานได้ โดยพิจารณาการแบ่งไหลของกระแสแaggerเพิ่มจากอัตราส่วนของอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุกับโหลด โดยโหลดจะคิดที่กรณีที่ย่ำที่สุดคือมีเพียงตัวต้านทานที่พิกัดเพียงอย่างเดียว สามารถหาได้จากสมการที่ 3.11

$$C_f \geq \frac{20}{2\pi f_h R_{rate}} \quad (3.11)$$

$$C_f \geq \frac{20}{2\pi \times 20 \times 10^3 \times 14.67} = 10.85 \text{ ไมโครฟารัด}$$

กำหนดค่า Damping factor เท่ากับ 1 เขียนอัตราส่วนระหว่างแรงดันด้านออกกับแรงดันที่วงจรแปลงผันสร้างได้ดังสมการที่ 3.12

$$\frac{V_o}{V_{inv}} = \frac{C_f R_f s + 1}{C_f L_f s^2 + C_f R_f s + 1} \quad (3.12)$$

จากสมการสามารถหาค่า Damping Factor ได้ดังสมการ 3.13

$$\xi_f = \frac{R_f}{2} \sqrt{\frac{C_f}{L_f}} \quad (3.13)$$

และที่ค่า Damping Factor เท่ากับ 1 จะได้ว่า

$$R_f = 2 \sqrt{\frac{L_f}{C_f}} \quad (3.14)$$

เมื่อแทนค่า R_f ลงในสมการจะได้สมการที่ 3.15

$$\frac{V_o}{V_{inv}} = \frac{2\sqrt{C_f L_f} s + 1}{C_f L_f s^2 + 2\sqrt{C_f L_f} s + 1} \quad (3.15)$$

จากสมการที่ 3.15 สามารถหาค่าผลคูณระหว่างตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองได้เท่ากับ

$$C_f L_f = 14.22 \times 10^{-9}$$

แต่เพื่อให้่ายในการออกแบบจะประมาณค่าเป็น

$$C_f L_f = 33 \times 10^{-9}$$

จากข้อกำหนดที่ 1 และ 2 สามารถเลือกค่าตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองเท่ากับ

$$L_f = 3 \text{ มิลลิเฮนรี่}$$

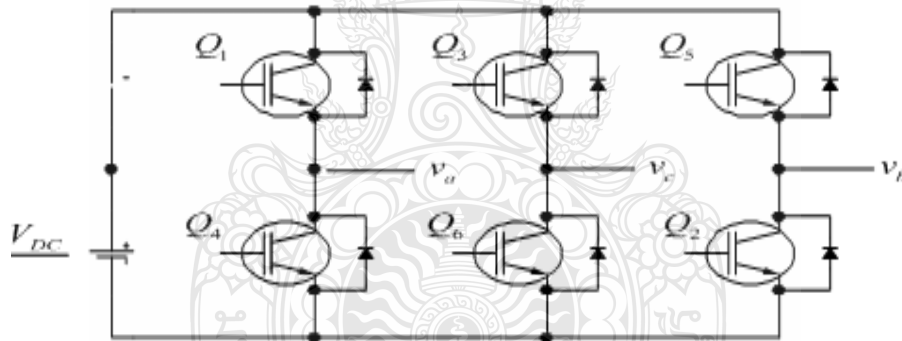
ดังนั้นจะได้ค่าตัวเก็บประจุของวงจรกรองเท่ากับ

$$C_f = 680 \text{ ไมโครฟารัดจำนวน 4 ตัว}$$

และจากสมการที่ 3.14 แทนค่าตัวเหนี่ยวนำ L_f และตัวเก็บประจุ C_f

3.3.2 ชุดภาคอินเวอร์เตอร์กำลัง

วงจรอินเวอร์เตอร์กำลังทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใช้โมดูลไดโอดกำลัง เพื่อเป็นวงจรเรียงกระแสแบบสามเฟสและใช้ไอจีบีทีโมดูลสำหรับการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับโดยใช้ชุดคอนเวอร์เตอร์กำลังในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับผ่านวงจรกรองแบบความถี่ต่ำผ่าน LC filter ก่อนเชื่อมต่อเข้ากับกริดระบบขนาดแรงดันสามเฟส 380 โวลต์ 50 เฮิร์ต



รูปที่ 3.11 ไลดอะแกรมของวงจรอินเวอร์เตอร์กำลัง

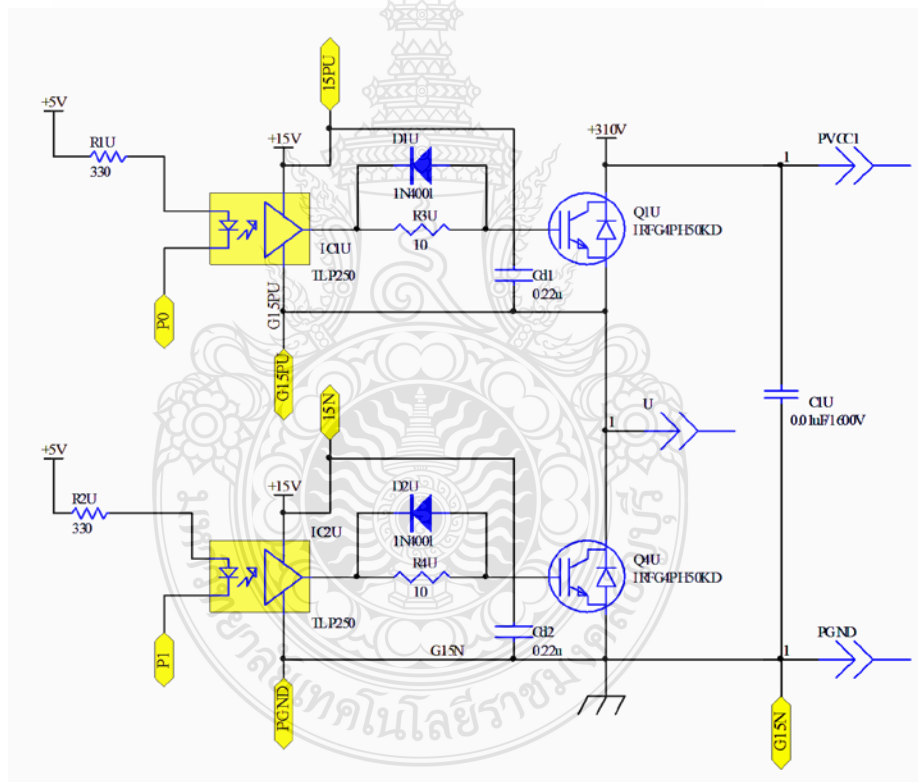


รูปที่ 3.12 ชุดไอจีบีทีโมดูล สำหรับภาคอินเวอร์เตอร์กำลัง

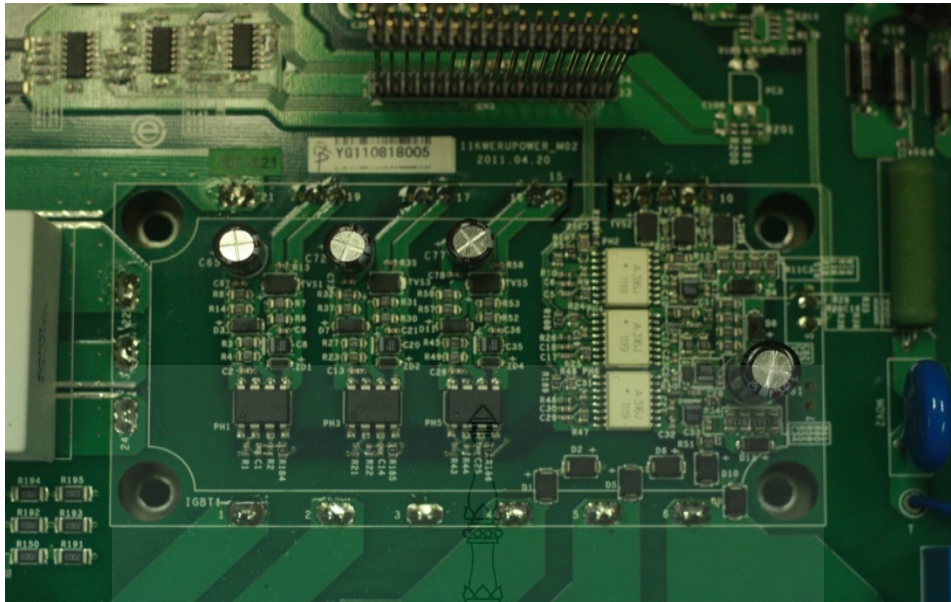
โมดูลภาคอินเวอร์เตอร์กำลังแบบสำเร็จ เป็นโมดูลด้านกริกระบบเชื่อมต่อกับตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุซึ่งจะทำหน้าที่ในการกรองสัญญาณก่อนที่จะถูกส่งต่อเพื่อให้สัญญาณที่ได้มีความสะอาดและเป็นสัญญาณแบบไซน์

3.3.3 ชุดขับสวิตช์ไอจีบีทีโมดูล

วงจรขับสวิตช์ไอจีบีทีโมดูลสำหรับการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับโดยใช้ Opto Isolate เบอร์ TLP250 เพื่อแยกแรงดันไฟต่ำกับแรงดันไฟสูงออกจากกัน ชุดคอนเวอร์เตอร์กำลังในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับผ่านวงจรกรองแบบความถี่ต่ำผ่าน LC filter ก่อนเชื่อมต่อเข้ากับกริกระบบขนาดแรงดันสามเฟส 380 โวลต์ 50 เฮิร์ต



รูปที่ 3.13 วงจรชุดขับไอจีบีที สำหรับภาคอินเวอร์เตอร์กำลัง

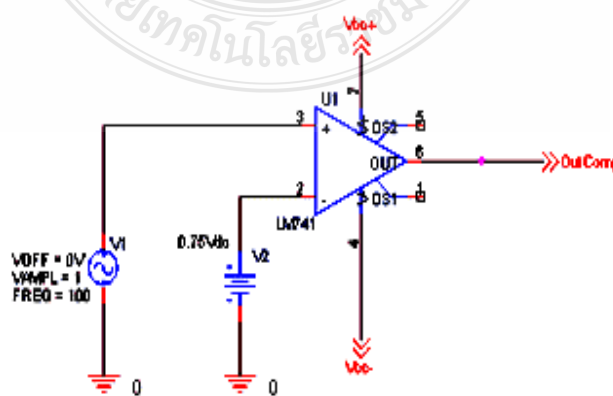


รูปที่ 3.14 ชุดขับไอจีบีที สำหรับภาคอินเวอร์เตอร์กำลัง

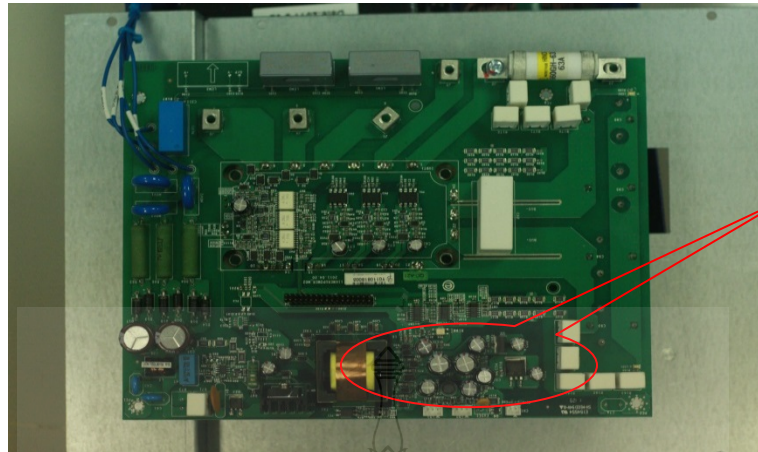
รูปที่ 3.13 และ 3.14 ชุดขับสวิตช์ไอจีบีทีโมดูล โดยออกแบบใช้ TLP 250 เพื่อแยกแรงดันไฟต่ำกับไฟสูงออกจากกัน และทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงสัญญาณขั้วนำระหว่างภาคควบคุมกับภาคอินเวอร์เตอร์และมีภาคเปรียบเทียบสัญญาณเพื่อทำการสร้างสัญญาณ PWM ป้อนให้แก่ TLP250

3.3.4 ชุดสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม

การออกแบบชุดสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มหรือที่เรียกว่าวงจรถอมพารเตอร์ เป็นวงจรที่ได้นำเอาสัญญาณ 2 สัญญาณมาเปรียบเทียบกันโดยการนำสัญญาณไวน์และสัญญาณซอว์ทูดต์มาเปรียบเทียบกันเพื่อสร้างเป็นสัญญาณพีดับเบิ้ลยูเอ็มป้อนให้กับวงจรถับสวิตช์ไอจีบีทีเบอร์ TLP250



รูปที่ 3.15 โค้ดแกรมวงจรสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มคอมพารเตอร์

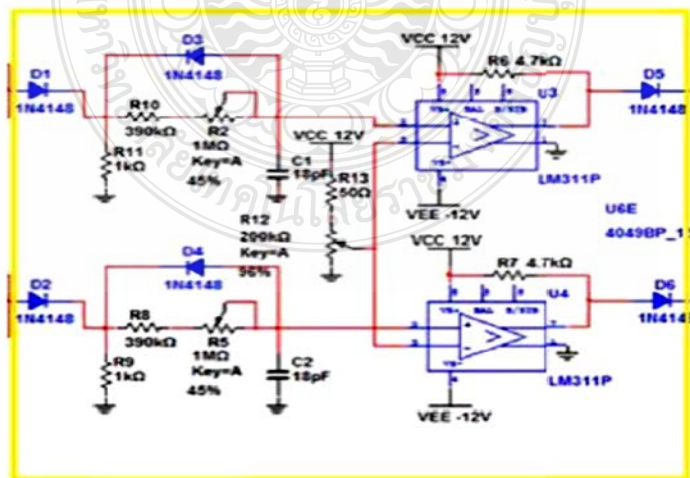


วงจรสร้าง
สัญญาณ
พีคดับลิวเอ็ม
คอมพารเตอร์

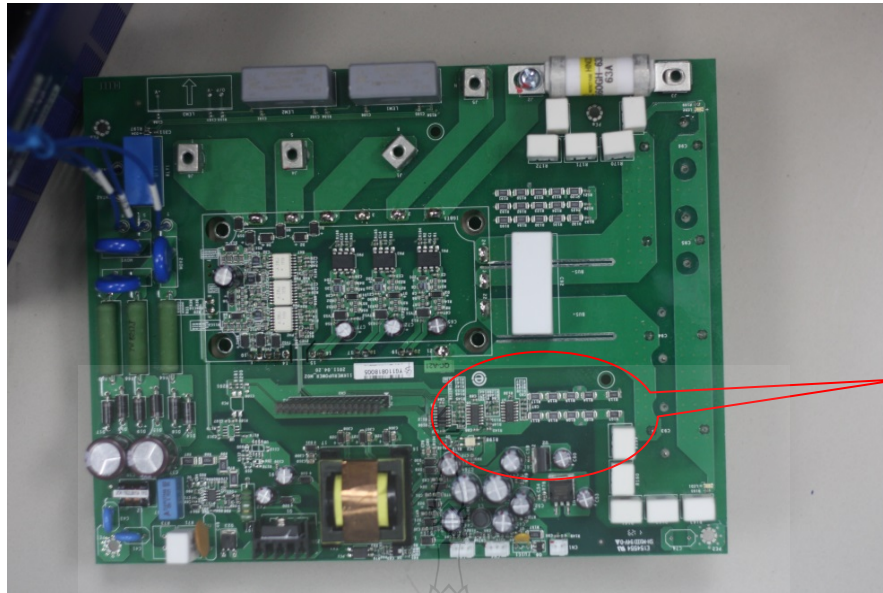
รูปที่ 3.16 วงจรสร้างสัญญาณพีคดับลิวเอ็มคอมพารเตอร์

3.3.5 วงจรเดย์ไทม์

การออกแบบชุดสร้างวงจรเดย์ไทม์เป็นวงจรที่ทำการหน่วงสัญญาณการสวิตช์เพื่อไม่ให้คิกการสวิตช์พร้อมกันในแต่ละกิ่ง ซึ่งถ้าหากมีการสวิตช์พร้อมกันจะเป็นการลัดวงจรของแหล่งจ่ายไฟตรงกับกราวด์ทำให้เกิดความเสียหายได้ การกำหนดช่วงเวลาในการเดย์ไทม์จึงจำเป็นต้องทราบช่วงเวลาที่เปิดและปิด ของไอจีบีทีที่ต้องอยู่ในช่วงเวลาที่เหมาะสม ถ้าหากช่วงเวลาเดย์ไทม์กว้างมากเกินไปจะทำให้ค่าเฉลี่ยแรงดันลดลงด้วย



รูปที่ 3.17 ไลอะแกรมวงจรเดย์ไทม์

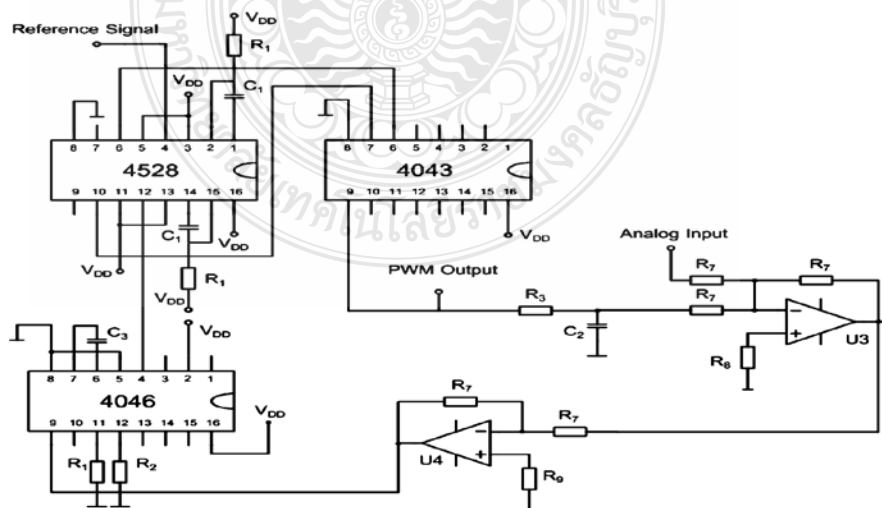


วงจร
เดค้ใหม่

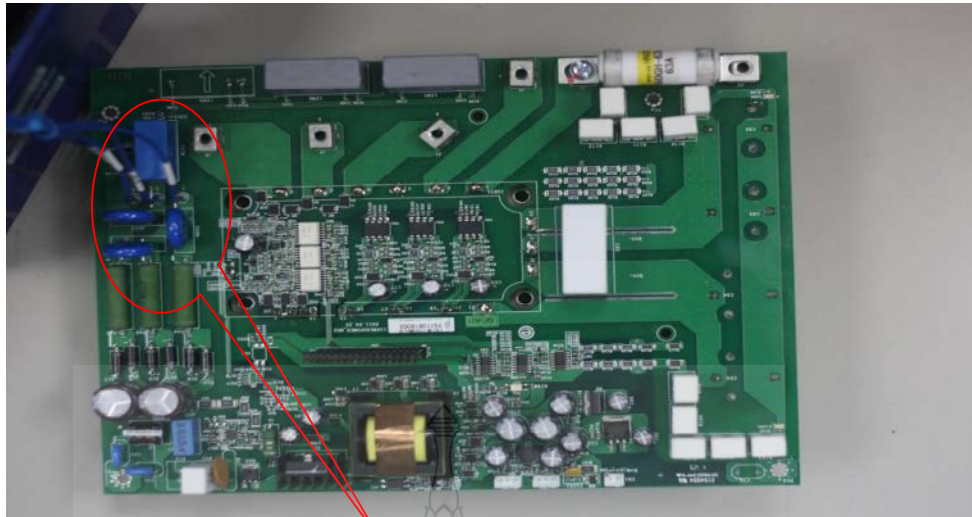
รูปที่ 3.18 วงจรเดค้ใหม่

3.3.6 วงจรเฟสล็อกกลุ่

การออกแบบชุดวงจรเฟสล็อกกลุ่เป็นวงจรที่ทำการสร้างสัญญาณเอาต์พุตให้มีความถี่สอดคล้องกับสัญญาณอินพุต โดยที่ระบบสามารถสร้างสัญญาณเอาต์พุตให้ติดตามความถี่ของสัญญาณอินพุตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง เฟสล็อกกลุ่จะประกอบด้วยวงจรสามส่วนคือ ภาครตรวจจับเฟส ภาครองความถี่ต่ำ และภาครอสซิเลเตอร์แบบเปลี่ยนความถี่ด้วยแรงดัน



รูปที่ 3.19 ไลอะแกรมวงจรเฟสล็อกกลุ่

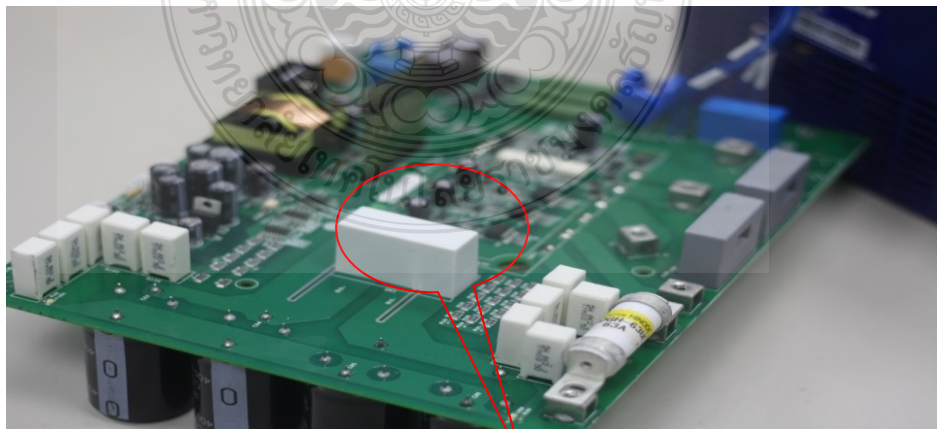


วงจรเฟสล็อกคู่

รูปที่ 3.20 วงจรเฟสล็อกคู่บนชิ้นงาน

3.3.7 วงจรสับเบอร์

การออกแบบชุดวงจรสับเบอร์เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากการสวิตช์ และป้องกันสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์จากการกระชากแรงดันและกระแสเกิน จากการทำงานของสวิตช์ที่ต่อกับโหลดที่มีตัวเหนี่ยวนำขนาดใหญ่จึงเปรียบเสมือนแหล่งจ่ายกระแสแฝงอยู่ภายในโหลด ทั้งนี้วงจรสับเบอร์จะมีไดโอดกำลังที่ต่อกลับขั้วคร่อมโหลดทำหน้าที่เป็นฟรีวิลลิงไดโอด ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้วงจรสับเบอร์แบบโมดูล โดยทำการต่อคร่อมที่อินพุตเพื่อป้องกันค่าแรงดันและกระแสเกินเนื่องจากการเบรคของลิฟต์ โมดูลที่ใช้เป็นของ EACO STC 1200V

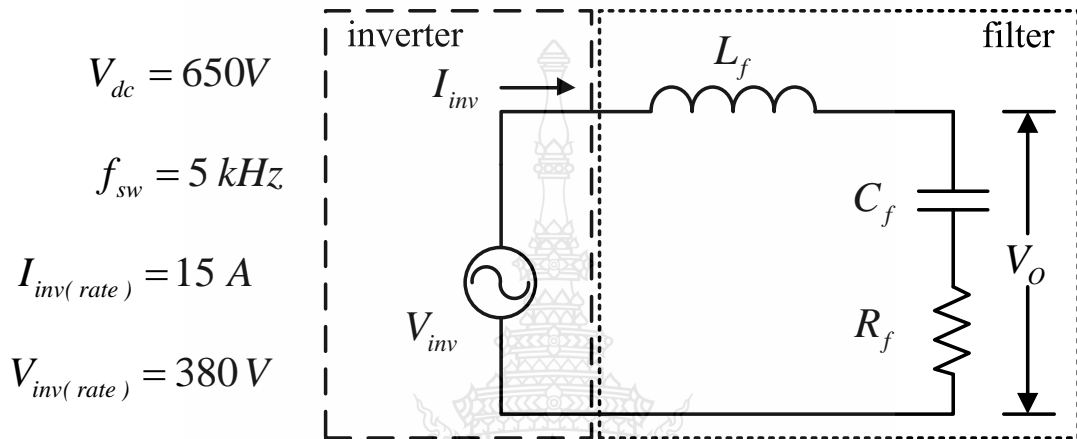


โมดูลสำหรับวงจรสับเบอร์

รูปที่ 3.21 โมดูลสำหรับวงจรสับเบอร์

3.3.8 วงจรกรองด้านเอาต์พุต

เนื่องจากแรงดันด้านออกของวงจรอินเวอร์เตอร์กำลังด้านกริระบบสร้างไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องต่อวงจรกรองที่ด้านออกของวงจรเพื่อกรองความถี่ที่ไม่ต้องการไม่ให้เข้าไปในระบบ ไฟฟ้ามากเกินไป โดยในการออกแบบจะไม่คำนึงถึงผลกระทบของโหลดและแรงดันในระบบไฟฟ้า เพื่อให้่ายในการออกแบบและสามารถเขียนวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 3.22 ซึ่งการออกแบบมีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 3.22 วงจรสมมูลของวงจรกรองที่ใช้ในการทดสอบ

กำหนดให้แรงดันความถี่หลักมูลที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านมีค่าไม่เกินร้อยละ 5 ของแรงดันในระบบไฟฟ้าปกติ ซึ่งเป็นข้อกำหนดในการเลือกตัวเหนี่ยวนำค่ามากที่สุดที่สามารถใช้งานได้ สามารถหาได้จากสมการที่ 3.17

$$L_f \leq \frac{0.05V_{normal}}{2\pi f(i_{inv(rate)})} \quad (3.17)$$

$$L_f \leq \frac{0.05 \times 380}{2\pi \times 50 \times 15} = 4.03 \text{ มิลลิเฮนรี่}$$

กำหนดให้ค่ายอดของกระแสสลับที่ผ่านสูงสุดที่ผ่านวงจรกรองมีค่าไม่เกินร้อยละ 15 ของกระแสพิคคของวงจรแปลงผัน ซึ่งเป็นข้อกำหนดในการเลือกตัวเหนี่ยวนำค่าน้อยที่สุดที่สามารถใช้งานได้ สามารถหาได้จากสมการที่ 3.18 โดยพิจารณาจากแรงดันขณะที่วัฏจักรงาน (Duty Cycle) ร้อยละ 50 ซึ่งจะมีค่ายอดของกระแสสลับที่ผ่านสูงสุด

$$L_f \geq \frac{V_{L_f}}{2\Delta i_{inv} f_h} \quad (3.18)$$

$$L_f \geq \frac{380}{2 \times 0.15 \times 15 \sqrt{2} \times 40 \times 10^3} = 1.49 \text{ มิลลิเฮนรี่}$$

กำหนดค่ากระแสกระเพื่อมที่ไหลไม่ให้เกิดรอยละ 5 ของกระแสกระเพื่อมที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุวงจรความถี่ ซึ่งเป็นข้อกำหนดในการเลือกตัวเก็บประจุค่าน้อยที่สุดที่สามารถใช้งานได้ โดยพิจารณาการแบ่งไหลของกระแสกระเพื่อมจากอัตราส่วนของอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุกับโหลด โดยโหลดจะคิดที่กรณีที่แย่ที่สุดคือมีเพียงตัวต้านทานที่พิกัดเพียงอย่างเดียว สามารถหาได้จากสมการที่ 3.19

$$C_f \geq \frac{20}{2\pi f_h R_{rate}} \quad (3.19)$$

$$C_f \geq \frac{20}{2\pi \times 40 \times 10^3 \times 12} = 6.63 \text{ ไมโครฟารัด}$$

กำหนดค่า Damping factor เท่ากับ 1 เขียนอัตราส่วนระหว่างแรงดันต้านออกกับแรงดันที่วงจรแปลงผันสร้างได้ดังสมการที่ 3.20

$$\frac{V_o}{V_{inv}} = \frac{C_f R_f s + 1}{C_f L_f s^2 + C_f R_f s + 1} \quad (3.20)$$

จากสมการที่ 3.30 สามารถหาค่า Damping Factor ได้ดังสมการ 3.21

$$\xi_f = \frac{R_f}{2} \sqrt{\frac{C_f}{L_f}} \quad (3.21)$$

และที่ค่า Damping Factor เท่ากับ 1 จะได้ว่า

$$R_f = 2 \sqrt{\frac{L_f}{C_f}} \quad (3.22)$$

เมื่อแทนค่า R_f สมการที่ 3.22 ลงในสมการที่ 3.20 จะได้สมการที่ 3.23

$$\frac{V_o}{V_{inv}} = \frac{2\sqrt{C_f L_f} s + 1}{C_f L_f s^2 + 2\sqrt{C_f L_f} s + 1} \quad (3.23)$$

จากสมการที่ 3.23 สามารถหาค่าผลคูณระหว่างตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองได้เท่ากับ

$$C_f L_f = 9.87 \times 10^{-9}$$

แต่เพื่อให้่ายในการออกแบบจะประมาณค่าเป็น

$$C_f L_f = 12 \times 10^{-9}$$

จากข้อกำหนดที่ 1 และ 2 สามารถเลือกค่าตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองเท่ากับ

$$L_f = 1.2 \text{ มิลลิเฮนรี่}$$

ดังนั้นจะได้ค่าตัวเก็บประจุของวงจรกรองเท่ากับ

$$C_f = 6.8 \text{ ไมโครฟารัด}$$

และจากสมการที่ 3.8 แทนค่าตัวเหนี่ยวนำ L_f และตัวเก็บประจุ C_f

การคำนวณหาค่าความถี่คัทออฟ (Cut off) ได้ดังสมการที่ 3.24

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (3.24)$$

โดยที่ f_0 คือค่าความถี่คัทออฟ

L คือค่าความเหนี่ยวนำ

C คือค่าตัวเก็บประจุ

การคำนวณหาค่าแรงดันตกคร่อมอินดักเตอร์ดังสมการที่ 3.25 และ 3.26

$$V_{la} = \frac{2}{3}V_{DC}, V_{ga} = \frac{1}{2}V_{DC} \quad (3.25)$$

$$V_L = \frac{2}{3}V_{DC} - \frac{1}{2}V_{DC} = \frac{1}{6}V_{DC} \quad (3.26)$$

โดยที่ V_L คือแรงดันตกคร่อมอินดักเตอร์

V_{DC} คือแรงดันเชื่อมโยงไฟตรง

การคำนวณหาค่าอินดักแตนซ์โดยค่าแรงดันกระแสเพื่อมร้อยละ 15-20 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.27

$$V_L = L \frac{\Delta I_L}{\delta T_s}, \Delta I_L = \delta T_s \frac{V_L}{L} \quad (3.27)$$

$$\Delta I_L = \delta \frac{V_L}{Lf_s} = \frac{1}{6} \frac{\delta V_{DC}}{Lf_s}$$

$$\delta = 1 - \frac{1}{4} = \frac{3}{4}$$

$$\Delta I_L = \frac{1}{8} \frac{V_{DC}}{Lf_s}$$

$$L = \frac{1}{8} \frac{V_{DC}}{\Delta I_L f_s}$$

โดยที่ V_L คือค่าแรงดันตกคร่อมความเหนี่ยวนำ

f_s คือความถี่ในการสวิตช์

V_{DC} คือแรงดันเชื่อมโยงไฟตรง

$\hat{\delta}$ คือค่าดิฟเฟอเรนเชียลในการสวิตช์สูงสุด

L คือค่าความเหนี่ยวนำกรองความถี่

การคำนวณหาค่าการพันขดลวดอินดักเตอร์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.28

$$L = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot A}{l} \quad (3.28)$$

โดยที่ L คือค่าความเหนี่ยวนำมีหน่วยเป็นเฮนรี

N คือจำนวนรอบของขดลวดมีหน่วยเป็นรอบ

μ คือค่าซึมซาบของวัสดุที่นำมาทำเป็นแกน

A คือพื้นที่หน้าตัดของแกนมีหน่วยเป็นตารางเมตร

l คือความยาวของแกนมีหน่วยเป็นเมตร



รูปที่ 3.23 ค่า L วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

รูปที่ 3.18 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเพื่อป้องกันความถี่ที่ไม่ต้องการจากการสวิตช์ซึ่งของไอจีบีทีเข้าไปกวนในกริดระบบที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องเชื่อมต่อเข้าไปไฟฟ้า ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ ค่าตัวเก็บประจุขนาด 12.5 ไมโครฟารัด พักดแรงดันไฟฟ้า 450 โวลต์ (12.5 μ F 450 VAC) ต่อขนานอยู่กับตัวเหนี่ยวนำขนาด 2.2 มิลลิเฮนรี



รูปที่ 3.24 ค่า C วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

3.3.9 การเลือกใช้ชุดเชื่อมต่อทางด้านกริดระบบกับแหล่งจำหน่าย

การเลือกอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสะพานไฟเพื่อเชื่อมต่อระหว่างระบบกริดกับแหล่งจำหน่าย ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้แมกเนติกคอนแทคเตอร์ซึ่งอาศัยการทำงานโดยอำนาจสนามแม่เหล็กในการปิดเปิด หน้าสัมผัส โดยอุปกรณ์ที่เลือกใช้ใช้งานเป็นแบบสามเฟสยี่ห้อ Fuji SCE04P มีความปลอดภัยสูงและสะดวกในการควบคุม



รูปที่ 3.25 แมกเนติกส์คอนแทคเตอร์

3.4 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการทดลองการจำลองการทำงานเพื่อศึกษาระบบการทำงานของมอเตอร์ในโหมดของเจนเนอเรเตอร์แสดงให้เห็นถึงค่าแรงดันที่มอเตอร์สามารถผลิตออกมาได้และได้ทำการเพิ่มค่าของแรงดันเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการที่จะนำไปใช้ในการเปลี่ยนให้เป็นแรงดันกระแสตรง จากการจำลองจะเห็นว่าเมื่อแรงดันกระแสตรงมีค่าน้อยกว่า 600 Vdc จะมีค่ากระแสที่สามารถไหลกลับเข้าสู่ระบบเพียง

เล็กน้อยการป้อนกลับเข้าสู่ระบบเมื่อมีแรงดันกระแสตรงมากกว่าที่กำหนดไว้ การชิง โครโนซ์กลับคืนสู่ระบบจำหน่ายจึงใช้วิธีการของเฟสล็อคคูลูป เพื่อนำค่าพลังงานที่ได้ป้อนกลับเข้าสู่ระบบจำหน่าย

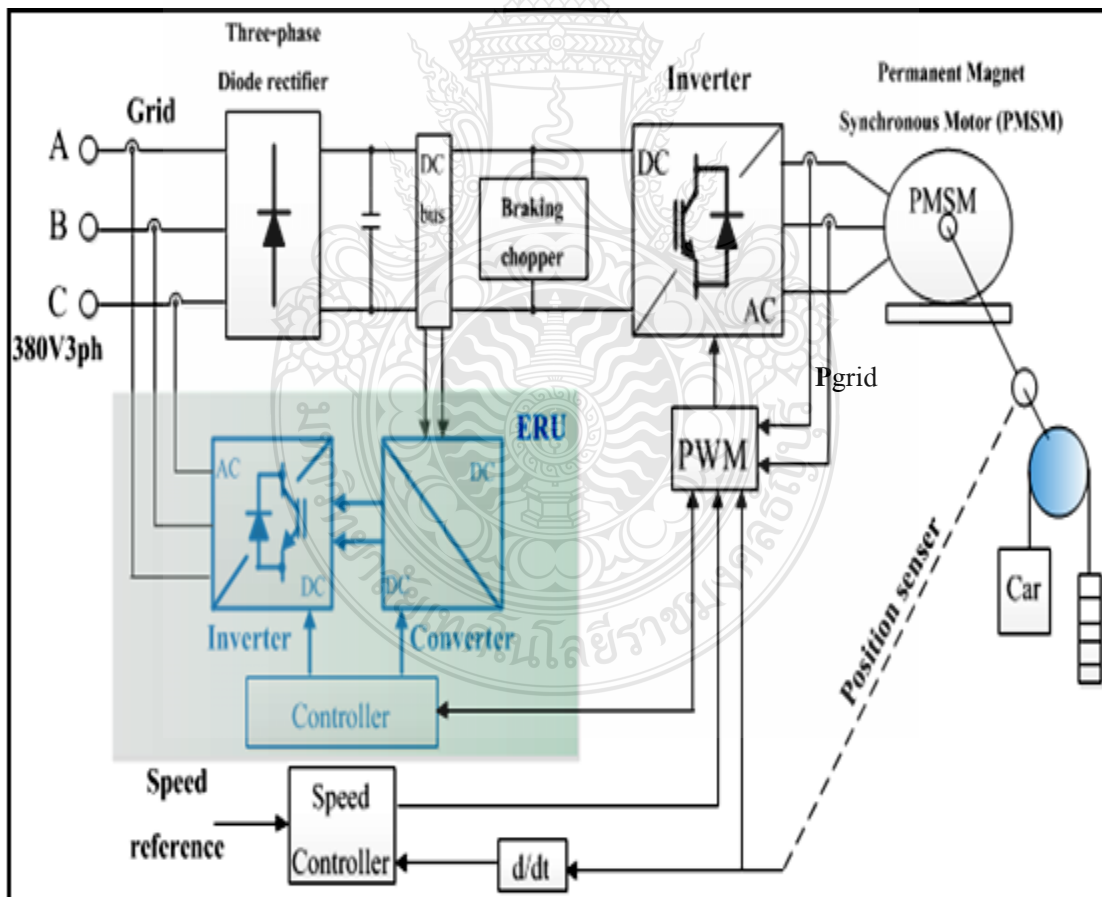


บทที่ 4

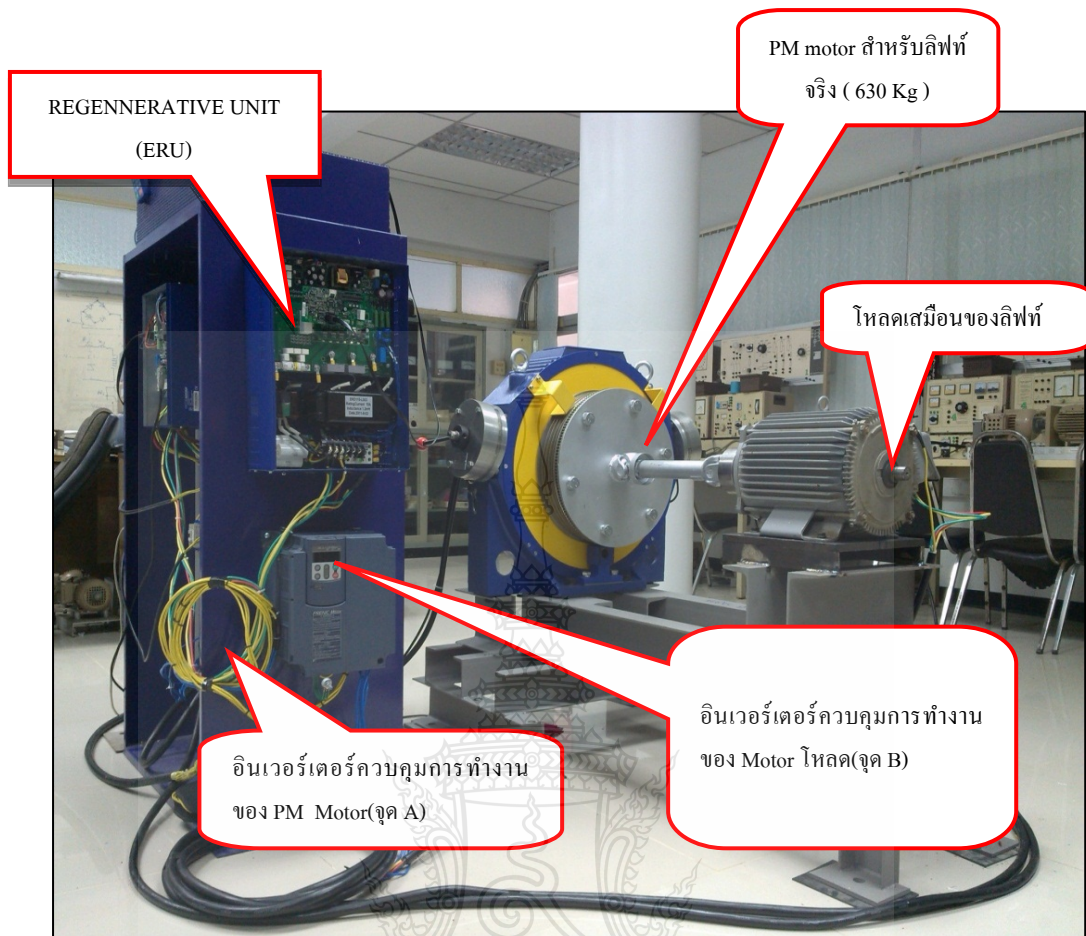
ผลการจำลองและการทดสอบ

การจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบบริเจนเนอร์รีฟจากลิฟต์ เพื่อใช้เป็นแบบจำลองของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบบริเจนเนอร์รีฟจากลิฟต์โดยการจำลองการทำงานและการทดสอบได้แบ่งเป็นการทดสอบออกเป็น 2 เงื่อนไข คือ

1. เมื่อสวิตช์ K1 ก่อนทำการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบเพื่อเชื่อมต่อกับระบบกริดของการไฟฟ้า เมื่อสวิตช์ K1 หลังทำการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบเพื่อเชื่อมต่อกับระบบกริดของการไฟฟ้า
2. จากเงื่อนไขที่ได้ทำการทดสอบสามารถอธิบายได้ตามไดอะแกรมและจุดที่ทำการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ไดอะแกรมแสดงจุดทดสอบของระบบจำลอง



รูปที่ 4.2 ไดอะแกรมแสดงจุดทดสอบของระบบจำลองบนชิ้นงานจริง

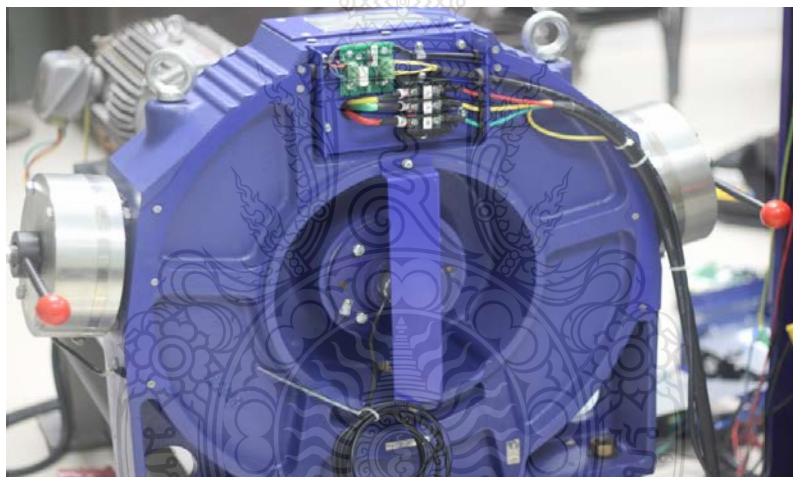
รูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงไดอะแกรมของการทำงานและแสดงจุดที่ใช้วัดค่าต่าง ๆ ที่เครื่องมือทำการเชื่อมต่อเพื่อแสดงลักษณะของสัญญาณที่ใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการทำงานและการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ที่แสดงการทำงานก่อนการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบกริดและหลังจากการเชื่อมต่อกับระบบกริดของการไฟฟ้า

4.1 การหาค่าจากจำลองการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบขั้วแม่เหล็กถาวร

แบบจำลองคณิตศาสตร์ของการเชื่อมต่อบริเวณกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบพลังงานเรทีฟจากลิฟต์นั้นมีความจำเป็นที่จะต้องหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ต้องการจะนำมาทำเป็นต้นแบบของแบบจำลองเสียก่อน การหาค่าพารามิเตอร์สามารถกำหนดได้ตารางที่ 4.1 ส่วนรูปที่ 4.3 เป็นมอเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาซึ่งเป็นแบบขั้วยื่นขนาด 7.4 กิโลวัตต์

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลทางเทคนิคของมอเตอร์ ชนิด PM SYNCHRONOUS GEARLESS TRACTION MACHINE สำหรับงานวิจัย

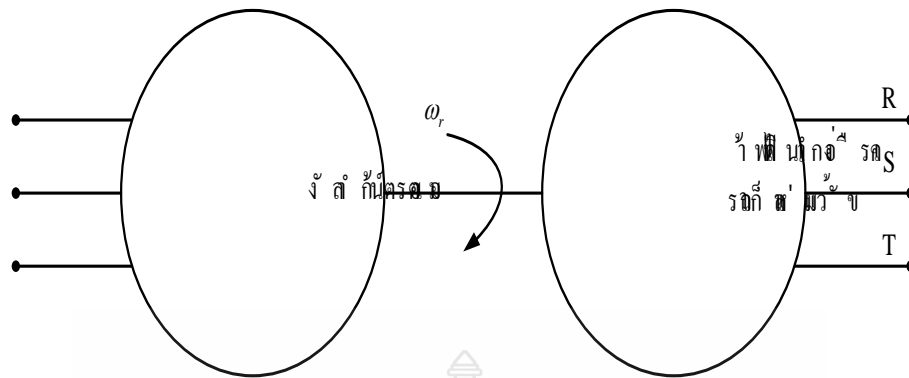
PM SYNCHRONOUS GEARLESS TRACTION MACHINE					
Name	GSD-MM1	Power	7.4 kW	Ser.No.	-
Type	407P4168Y	Torque	420N.m	Insulation	F
Load	630 kg	Voltage	380 V.	Prot.	IP-42
Speed	1.75 m/s	Current	18.5 A.	Rating	S5-66.7 %



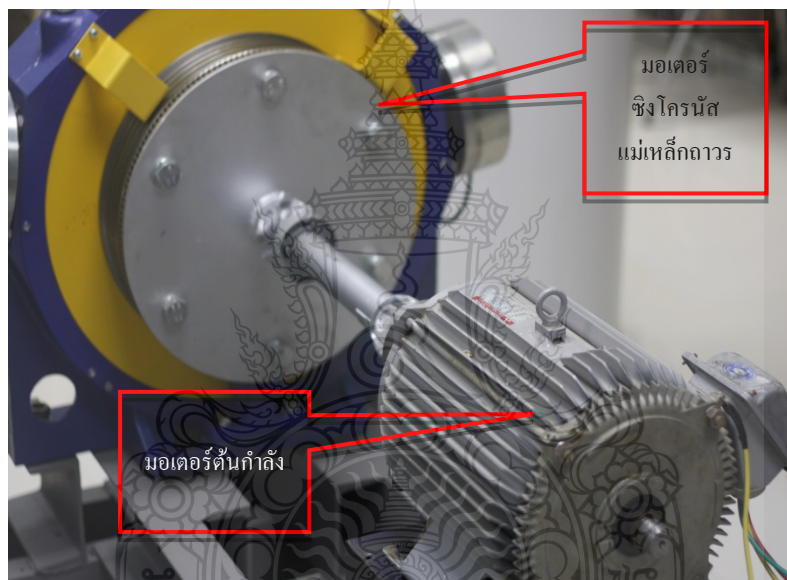
รูปที่ 4.3 มอเตอร์ซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรที่ใช้ในระบบลิฟต์ขนาด 7.4 กิโลวัตต์

4.2 การติดตั้งแบบจำลองระบบลิฟต์ที่ใช้ในการทดสอบ

ในการติดตั้งแบบจำลองของระบบลิฟต์เพื่อทำการทดสอบหาค่าต่างๆนั้นจะติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรกับมอเตอร์แบบอินดักชันเป็นตัวขับเคลื่อน โดยติดตั้งมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนกับอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์แบบอินดักชันได้แก่อินเวอร์เตอร์แบบควบคุมความถี่แบบปรับค่าได้และอุปกรณ์แปลงควบคุมการหมุนของมอเตอร์โดยจะต่อตามไดอะแกรมดังรูปที่ 4.4



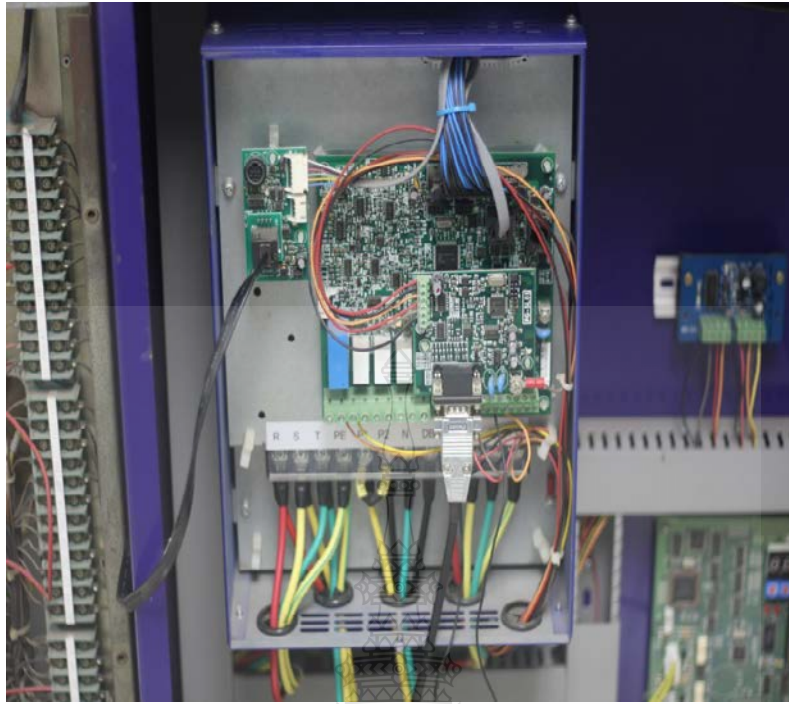
รูปที่ 4.4 การต่อมอเตอร์แบบอินดักชันเข้ากับซิงโครนัสมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 4.5 การติดตั้งมอเตอร์แบบอินดักชันเข้ากับซิงโครนัสมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

การติดตั้งชุดจำลองในระบบลิฟท์ เพื่อหาปริมาณการป้อนกลับในกรณีทีลิฟท์แปรสภาพกลายเป็นเจนเนอเรเตอร์จึงได้ทำการนำอินดักชันมอเตอร์มาเชื่อมต่อด้วยแกนเพลลาเหล็กและทำการป้อนซิงโครนัสมอเตอร์ให้กลายเป็นเจนเนอเรเตอร์

การติดตั้งอุปกรณ์ส่วนอื่นที่ทำหน้าในการจำลองระบบลิฟท์ประกอบด้วย ส่วนควบคุมการทำงานขึ้น – ลง ของลิฟท์ วงจรขับลิฟท์ และอินเวอร์เตอร์สำหรับอินดักชันมอเตอร์



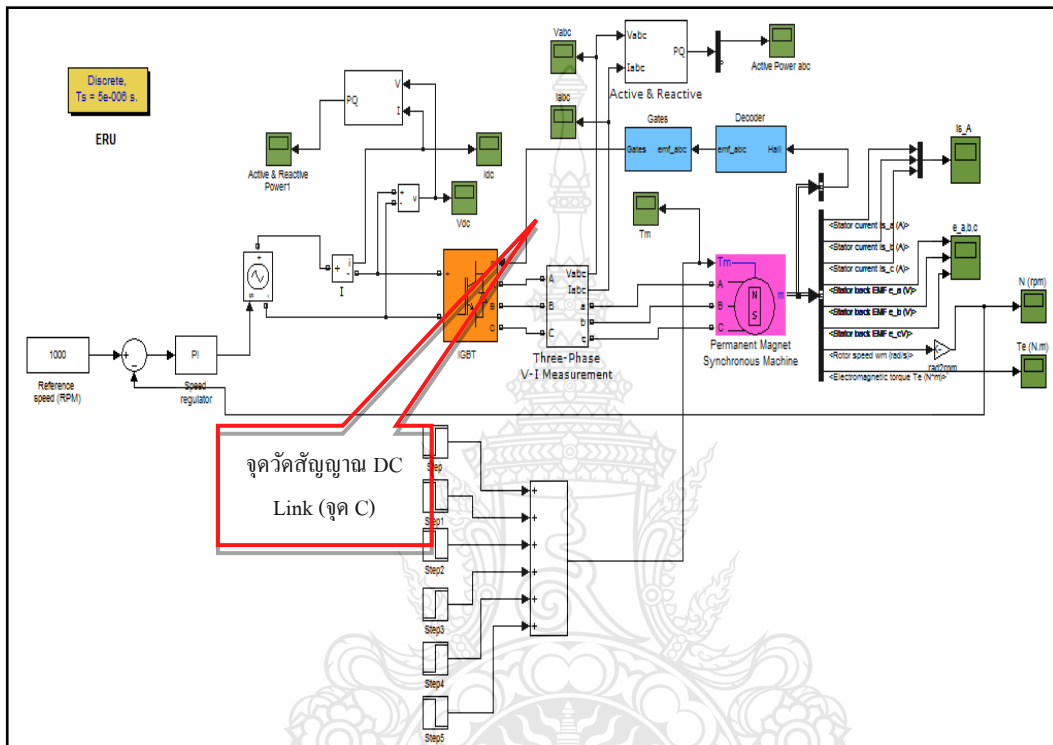
รูปที่ 4.6 วงจรคอนเวอร์เตอร์กำลังสำหรับลิฟท์ ตามรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.7 อินเวอร์เตอร์สำหรับการควบคุมอินคักชั่นมอเตอร์ ตามรูปที่ 4.1

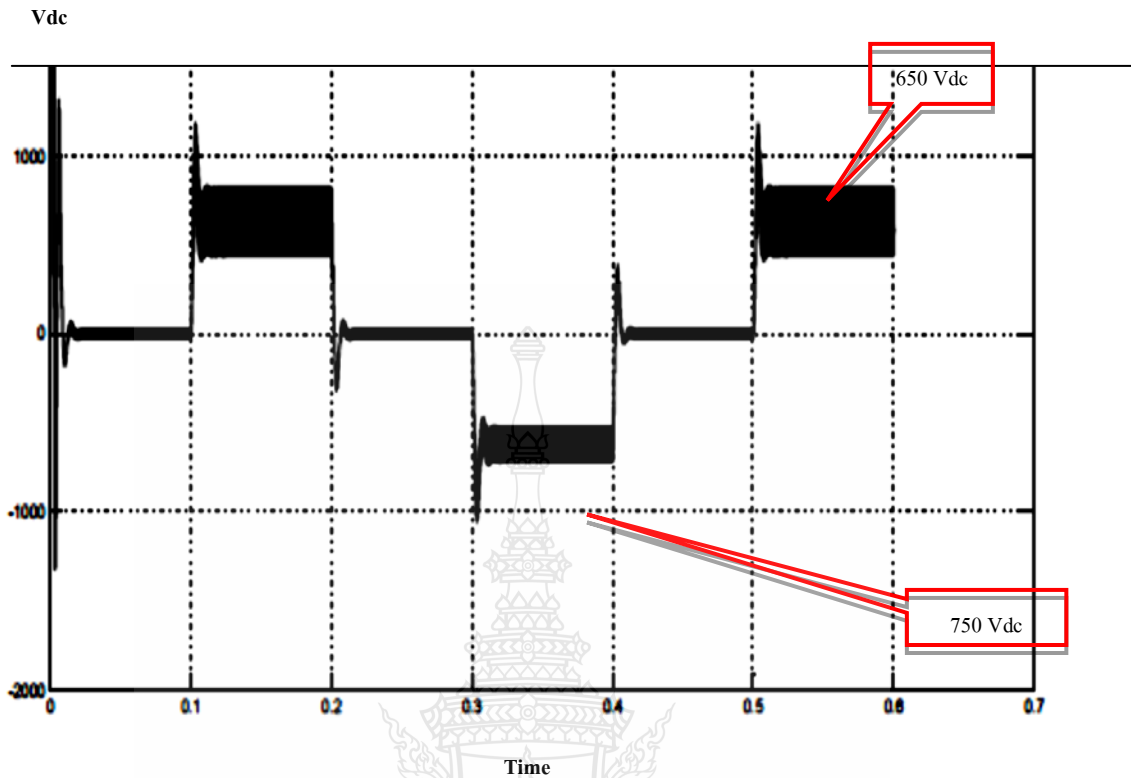
4.3 ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

การจำลองการทำงานของการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของไฟฟ้าจากระบบเบรเจนเนอร์เรทีฟจากลิฟท์ ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ก่อนนำผลที่ได้ไปทำการทดสอบจริง ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งผลการจำลองเป็นดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.8 แบบจำลองการกลายสภาพเป็นมอเตอร์โดยเป็นแหล่งจ่ายให้กับการทำงานของระบบเบรเจนเนอร์เรทีฟ

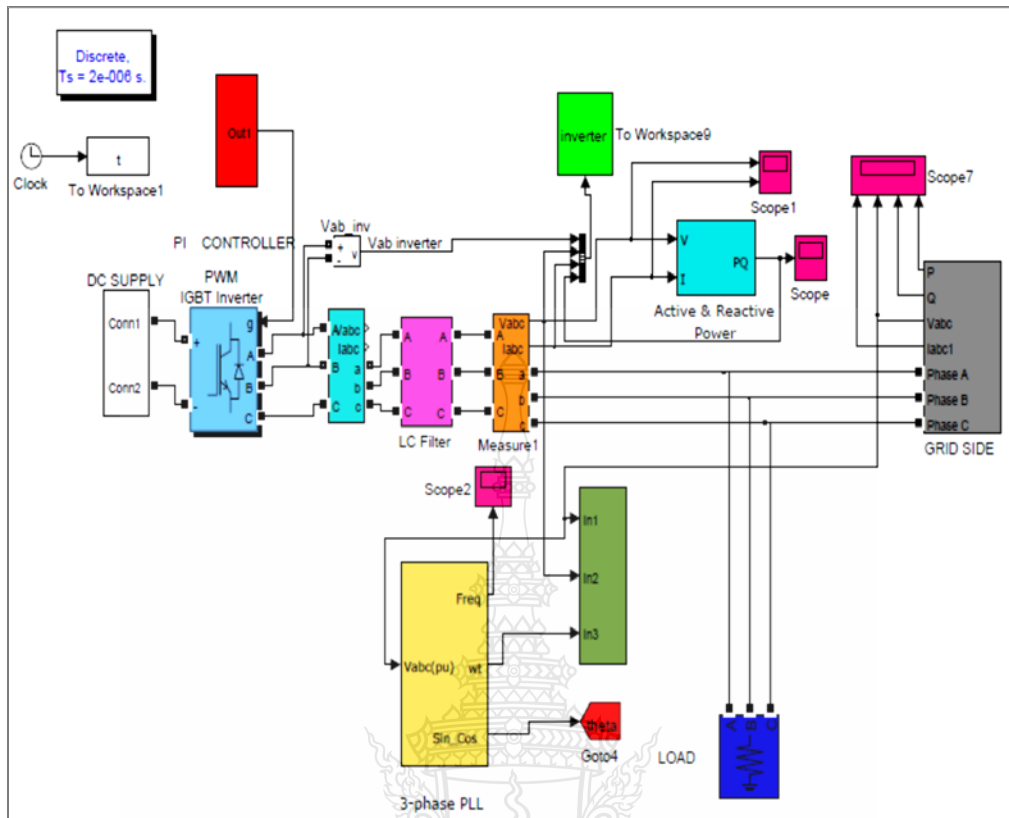
จากรูปที่ 4.8 เป็นการจำลองการทำงานในส่วนของต้นกำเนิดกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่จำลองการทำงานในส่วนของการกลายสภาพเป็นมอเตอร์และกลายสภาพเป็นเจนเนอร์เรเตอร์ โดยการจำลองดังกล่าวเป็นเป็นกำหนดค่าคาบเวลาซึ่งจะทำการป้อนค่าทอร์กให้กับมอเตอร์ การทำให้กลายสภาพเป็นมอเตอร์จะทำการกำหนดให้ค่าทอร์กเป็นบวกและกำหนดให้ทอร์กเป็นลบเพื่อให้มอเตอร์ทำงานเป็นเจนเนอร์เรเตอร์ รูปที่แสดงโดยโปรแกรม MATLAB/Simulink นั้นเป็นการนำบล็อกสำเร็จรูปมาใช้งานต่อเป็นวงจรเพื่อทำการจำลองการทำงานในการกลายสภาพเป็นเจนเนอร์เรเตอร์



รูปที่ 4.9 ผลจำลองการกลายสภาพเป็นมอเตอร์โดยเป็นแหล่งจ่ายให้กับการทำงานของระบบบริเจนเนอร์เรทีฟเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงวัดที่จุด ตามรูปที่ 4.8

รูปที่ 4.10 แรงดันเชื่อมต่อไฟตรงของระบบลิฟต์เป็นกราฟที่แสดงข้อมูลที่ระบบลิฟต์ทำงานในส่วนของมอเตอร์ การทำงานในส่วนของมอเตอร์เมื่อมีการเบรกเกิดขึ้นค่าของแรงดันจะพุ่งขึ้นสูงอยู่ที่ 650 Vdc จากนั้นจะเข้าสู่ระบบการเบรกจะเห็นว่าค่าที่ทำงานเพิ่มขึ้นจากเดิมเล็กน้อยจากนั้นระบบลิฟต์จะเคลื่อนที่ลงแล้วทำงานในส่วนของเจนเนอเรเตอร์ การทำงานในส่วนของเจนเนอเรเตอร์ เมื่อมีการเบรกเกิดขึ้นค่าของแรงดันจะพุ่งขึ้นสูงอยู่ที่ 750 Vdc จากนั้นค่าของแรงดันจะกลับเข้ามาคงที่ในช่วง 650 Vdc จะเห็นได้ว่าลักษณะของสัญญาณที่ได้ทำการจำลองนั้นต้องมีลักษณะที่ไมคงที่เนื่องจากพฤติกรรมการทำงานของลิฟต์ซึ่งมีทั้งการเบรกและการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง

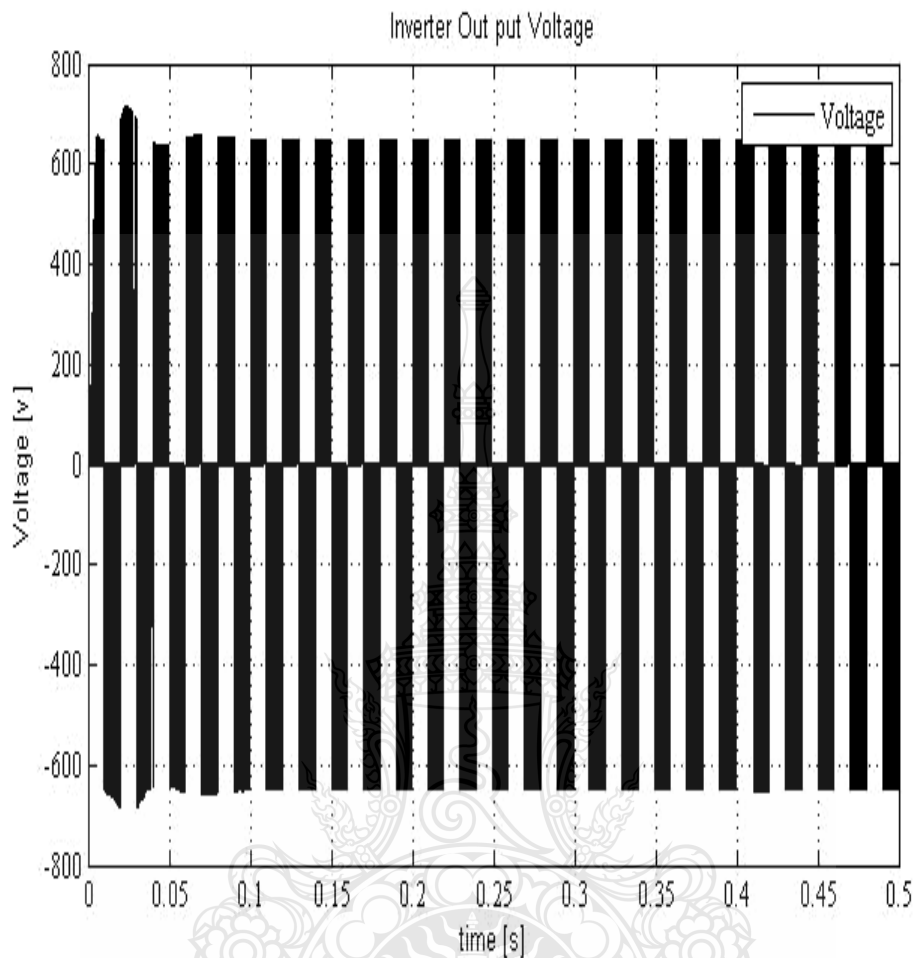
4.3.1 การจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ก่อนการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบกริดของการไฟฟ้า



รูปที่ 4.10 แบบจำลองการทำงานของระบบบริเจนเนอร์ที่ฟ

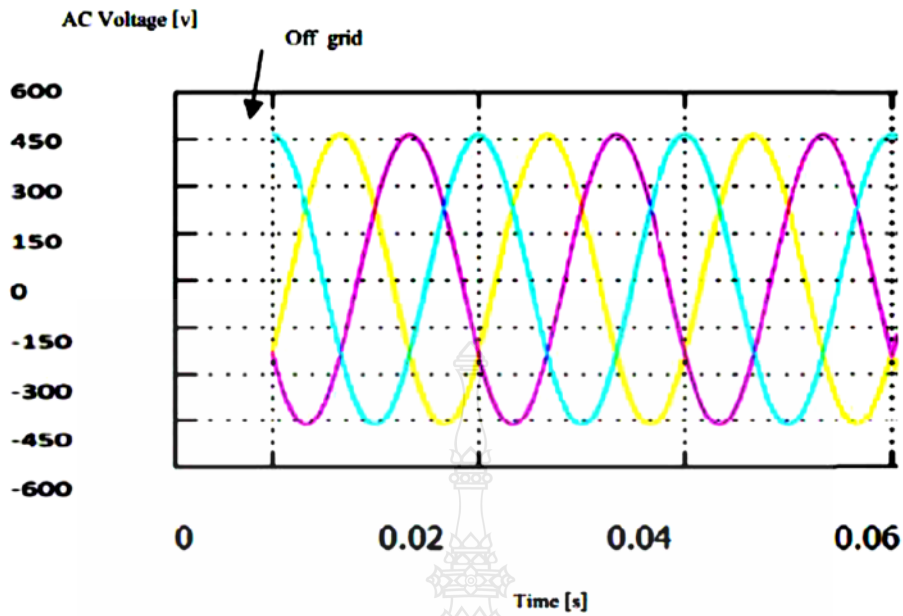
รูปที่ 4.10 แบบจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยการจำลองการทำงานเพื่อศึกษาการเชื่อมต่อระบบการทำงานของระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งแบบไม่คงที่แบบจำลองที่ใช้งานเป็นการนำบล็อกสำเร็จมาใช้งานแล้วทำการเชื่อมต่อโดยในการทำงานแต่ละบล็อกสามารถอธิบายได้คือ จากการทำงานแหล่งจากดีซีลิงค์ซึ่งเป็นผลมาจากวงจรการกลายสภาพเป็นมอเตอร์และเจนเนอร์เรเตอร์ ค่าของแรงดันกระแสตรงจะอยู่ในช่วงประมาณ 650-725 โวลต์ในโหมดของเจนเนอร์เรเตอร์ จากนั้นจะทำการส่งค่าเข้าสู่อินเวอร์เตอร์ซึ่งใช้บล็อกสำเร็จรูปเพื่อทำการเปลี่ยนจากแรงดันกระแสตรงให้เป็นแรงดันกระแสสลับเพื่อให้ได้ค่าแรงดัน 380 โวลต์ จากนั้นจึงส่งผ่านวงจรกรอง เพื่อให้สัญญาณมีความเรียบขึ้น แล้วจึงส่งผ่านเพื่อทำการเชื่อมต่อกับระบบกริดของการไฟฟ้าและมีโหนดในการเชื่อมต่อสัญญาณที่ใช้ในการควบคุม โดยจะใช้การบล็อกสำเร็จรูปของเฟสบล็อกสำหรับแรงดันสามเฟส เพื่อทำการปรับค่ามุมและความถี่ให้ตรงกับระบบจำหน่าย ก่อนที่จะทำการส่งค่าและป้อนกลับเข้าสู่ระบบ ในการจำลองการทำงานจะใช้การแสดงผลการทำงานแบบชั่วคราว ซึ่งจะได้แสดงรายละเอียดของรูปสัญญาณต่างๆ ต่อไป

1. ผลการจำลองก่อนการเชื่อมต่อกับระบบกริดของการไฟฟ้า



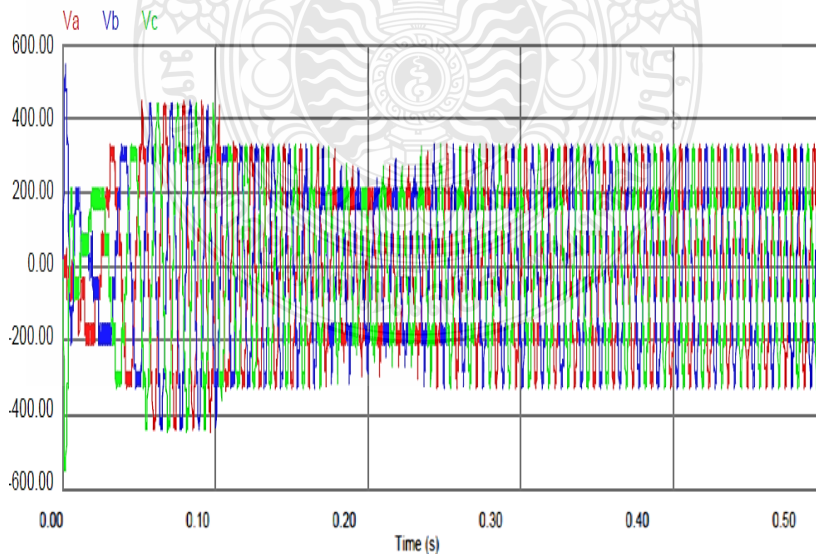
รูปที่ 4.11 แรงดันด้านออกจากคอนเวอร์เตอร์กำลัง

รูปที่ 4.11 แรงดันด้านออกจากคอนเวอร์เตอร์กำลังก่อนเข้าวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเพื่อลดสัญญาณรบกวนจากความถี่ที่เกิดจากการสวิตซ์ซิ่ง (Switching) หลุดรอดเข้าไปรบกวนระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในกริดระบบจะเห็นได้ว่าในช่วงเวลา 0 - 0.075 วินาที ของการทำงานระดับแรงดันยังมีการแกว่งตัวอยู่เนื่องจากระบบควบคุมกำลังปรับสัญญาณการสวิตซ์ให้ได้ตามค่าควบคุมที่ใช้แรงดันไฟฟ้าจากกริดระบบเป็นสัญญาณอ้างอิงในการสร้างสัญญาณควบคุมการสวิตซ์ให้ระดับแรงดันเหมาะสมสำหรับการเชื่อมต่อเข้ากริดระบบ โดยแสดงผลเป็นแรงดันสูงสุด



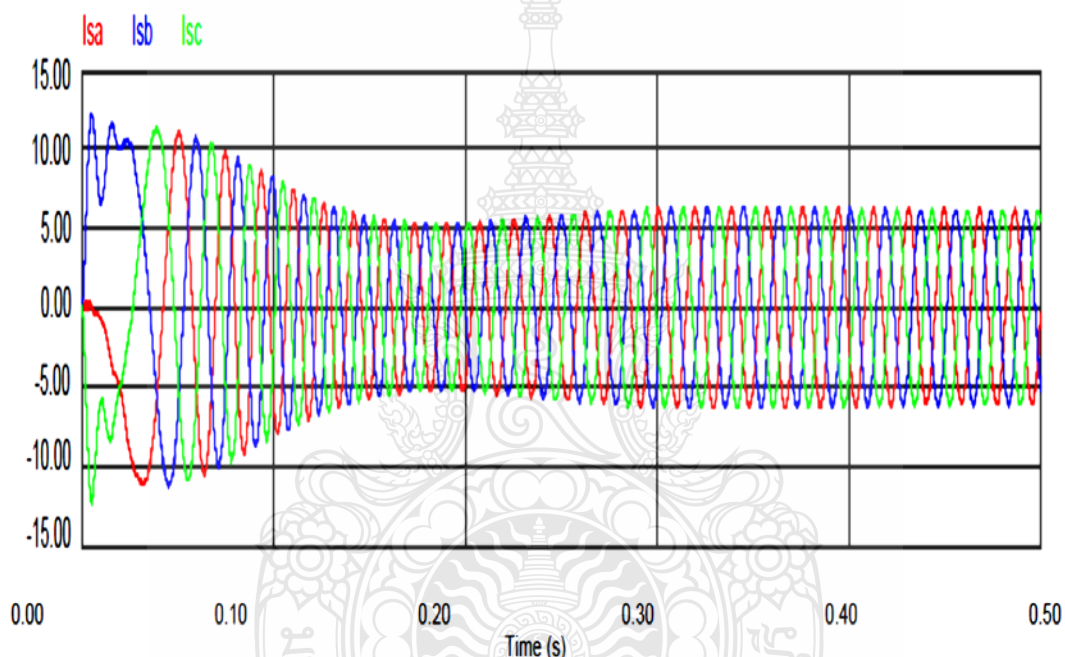
รูปที่ 4.12 ขยายช่วง Off Grid แรงดันด้านกริดระบบ (ขยาย)

รูปที่ 4.13 แรงดันด้านกริดระบบเมื่อมีการเชื่อมต่อระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับกริดระบบ เมื่อเวลา 0.02 วินาที จะสังเกตเห็นได้ว่าจะมีการกระเพื่อมของแรงดันและรูปคลื่น ไซน์มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย (รูปที่ 4.14) หลังจากนั้นที่เวลา 0.01 วินาที ก่อนที่จะมีการเข้าระบบกริด แรงดันก็จะมี การกระเพื่อมเล็กน้อยเช่นเดียวกับช่วงเชื่อมต่อกริดระบบต่างกันที่สัญญาณรูปคลื่น ไซน์



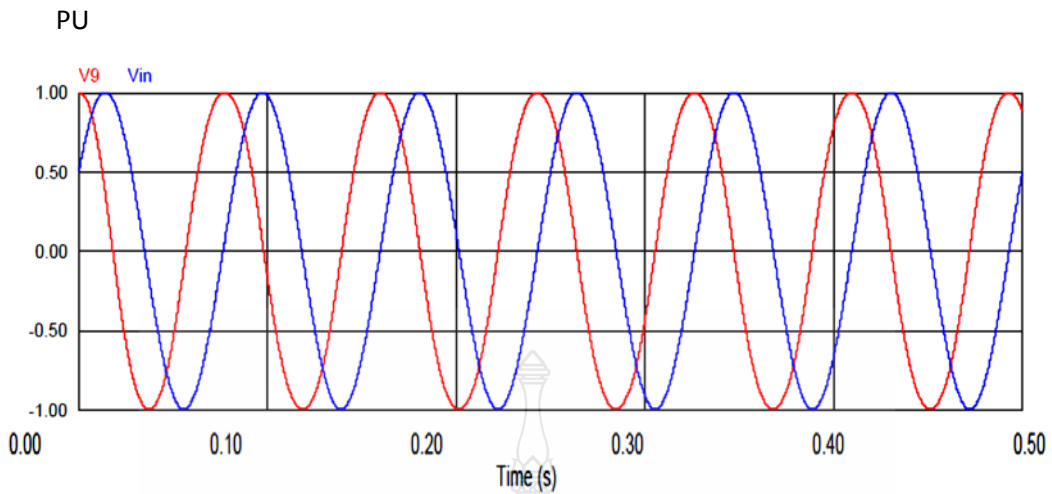
รูปที่ 4.13 แรงดันด้านออกจากคอนเวอร์เตอร์กำลัง

รูปที่ 4.14 แรงดันด้านออกจากคอนเวอร์เตอร์กำลังกริดระบบโดยผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแสดงเป็นค่าแรงดัน โดยเมื่อมีการเชื่อมต่อระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับกริดระบบเมื่อเวลา 0.10 วินาที จะสังเกตเห็นได้ว่า Phase C จะมีการกระเพื่อมของแรงดันและรูปคลื่นไซน์มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย รูปคลื่นสัญญาณจะอินเฟสกัน หลังจากนั้นที่เวลา 0.15 วินาที ขณะปลดโหลดออกจากกริดระบบ แรงดัน Phase C จะมีการกระเพื่อมเช่นเดียวกับช่วงเชื่อมต่อกริดระบบ แต่จะต่างกันที่สัญญาณรูปคลื่นไซน์ ขณะปลดโหลดจะมีการผิดรูปมากกว่าเนื่องจากการทำงานกำลังอยู่ในช่วงรูปคลื่นเป็นบวกและกำลังจ่ายโหลดเต็มพิกัดอยู่และระบบควบคุมพยายามรักษาเสถียรภาพของระบบให้ปกติได้เมื่อเวลาผ่านไป



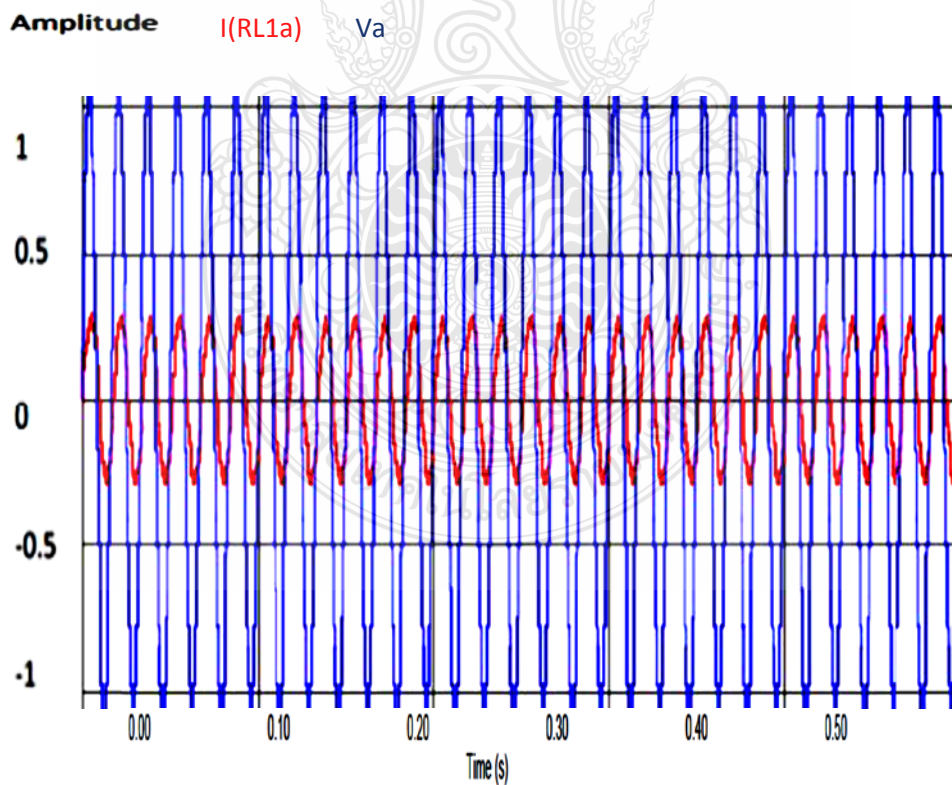
รูปที่ 4.14 กระแสคอนเวอร์เตอร์กำลังด้านกริดระบบ

รูปที่ 4.15 กระแสของคอนเวอร์เตอร์กำลังด้านกริดระบบก่อนถึงเวลาการเชื่อมต่อเข้ากริดระบบจะเห็นได้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังไม่มีการจ่ายกระแสเข้ากริดระบบและมีการเชื่อมต่อระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับกริดระบบเมื่อเวลา 0.1 วินาที พบว่าการจ่ายกระแสของคอนเวอร์เตอร์กำลังด้านกริดระบบให้กับโหลดจะค่อยๆเพิ่มขึ้น และคงที่เมื่อเวลา 0.3 วินาที ไปอย่างต่อเนื่องหลังจากนั้นที่เวลา 0.4 วินาที ในขณะเดียวกันจะเห็นได้ว่า Phase A นั้นอยู่ขณะรูปคลื่นเป็น 0 พอดี แต่ Phase B และ Phase C อยู่ในช่วงจ่ายกระแสสูงสุดพอดี ขณะปลดวงจรตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองความถี่จึงค่อยๆคายประจุและลดระดับลงมาจนเป็นศูนย์ในที่สุด



รูปที่ 4.15 ผลการจำลองก่อนเข้าเฟสลือกคลุมเปรียบเทียบกับเฟส

รูปที่ 4.16 ค่ากำลังไฟฟ้าของคอนเวอร์เตอร์กำลังด้านกริตระบบก่อนถึงเวลาการเชื่อมต่อเข้ากริตระบบจะเห็นว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบจำหน่ายมีค่าใกล้เคียงกันซึ่งความแตกต่างยังคงเหลือแค่การตรวจจับเฟสให้ค่าใกล้เคียงกัน

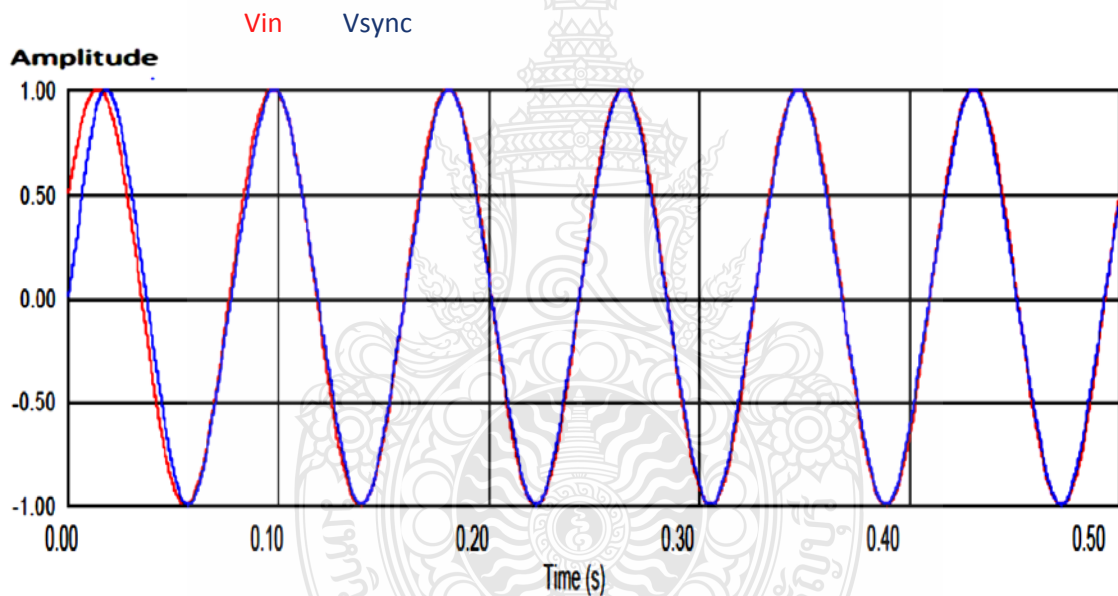


รูปที่ 4.16 ผลการจำลองก่อนเข้าระบบจำหน่ายวัดแรงดันและกระแสต่อเฟส

รูปที่ 4.17 เมื่อทำการจ่ายค่าพลังงานแก่โพลจะเห็นได้ว่าค่าของแรงดันและกระแสจะไหลไปสู่โพลตามหลักการของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนซึ่งจะทำให้แรงดันกับกระแสอยู่ในเฟสเดียวกัน

2. ผลการจำลองหลังการเชื่อมต่อกับระบบกริดของการไฟฟ้า

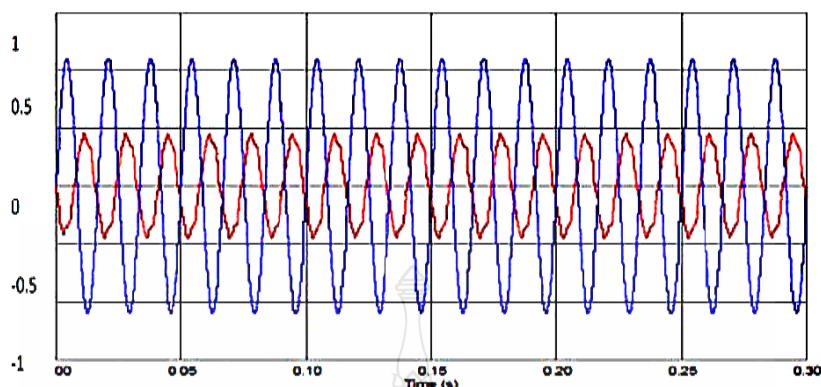
ผลการจำลองหลังจากที่ได้ทำการเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้าเป็นผลการทดลองที่ได้หลังจากการที่มีการชั้บวิตซ์เพื่อเชื่อมต่อกับระบบ จะเห็นได้ว่าหลังจากที่มีการเชื่อมต่อกับระบบกริดของการไฟฟ้าแล้วลักษณะของสัญญาณมีการเปลี่ยนไป โดยที่จะทำการวัดและจำลองในสภาวะชั่วคราว สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเมื่อมีการเชื่อมต่อแล้วคือ ค่าของมุมเมื่อมีการระหว่างเฟสทางด้านของระบบรีเนอรัเรทีฟกับระบบของการไฟฟ้าจะต้องเท่ากันและข้อสังเกตอีกอย่างหนึ่งก็คือ การที่มีค่าของกระแสกับแรงดันมีค่าต่างเฟสกัน 180 องศา



รูปที่ 4.17 ผลการจำลองหลังจากเข้าเฟสล็อกดูเปรียบเทียบต่อเฟส

รูปที่ 4.18 ค่ากำลังไฟฟ้าของคอนเวอร์เตอร์กำลังด้านกริดระบบก่อนถึงเวลาการเชื่อมต่อเข้ากับกริดระบบจะเห็นได้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบจำหน่ายนั้น เมื่อเวลาผ่านไป 0.05 วินาทีจะเห็นว่าค่าของมุมเฟสได้ปรับค่าให้ใกล้เคียงกัน และที่เวลา 0.1 วินาทีระบบได้ทำการซิงโครไนซ์เข้าสู่ระบบจำหน่าย

Amplitude

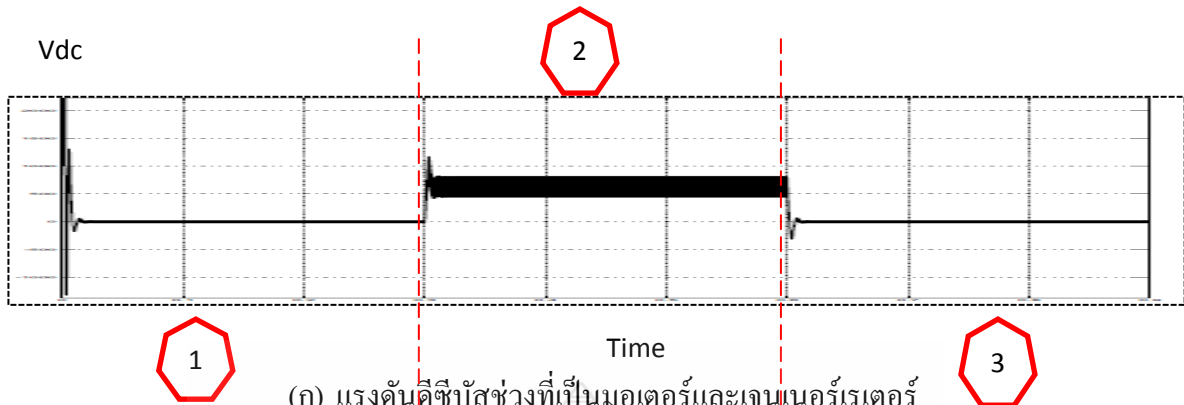


รูปที่ 4.18 ผลการจำลองหลังเข้าระบบจำหน่ายวัดแรงดันและกระแสต่อเฟส

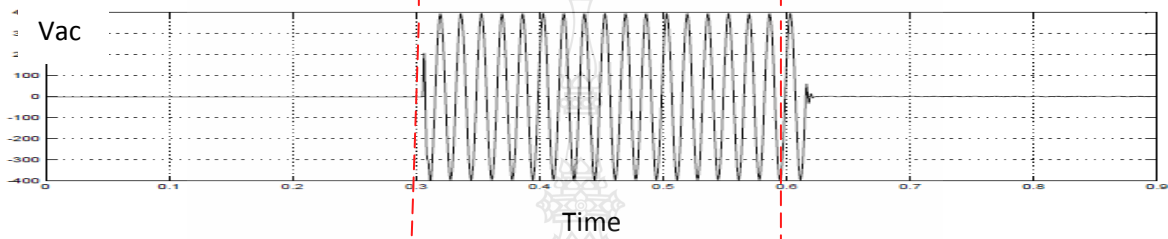
รูปที่ 4.19 เมื่อทำการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายจะเห็นได้ว่าค่าของแรงดันและกระแสจะไหลไปสู่โหลดตามหลักการของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนซึ่งจะทำให้แรงดันกับกระแสมีค่าแตกต่างกันที่มุมเฟส 180 องศาโดยหมายถึงค่าของกระแสได้ทำการไหลเข้าสู่ระบบจำหน่ายเช่นเดียวกัน

จากผลการจำลองการทำงานของการทำงานของการเชื่อมต่อบริการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไม่คงที่ของระบบบริเจนเนอร์ที่ฟลักลิฟต์เป็นการจำลองในสภาวะชั่วคราว ดังนั้นเมื่อมีการป้อนแรงดันกลับมาที่คัม โหลด จะทำการส่งสัญญาณเข้าอินเวอร์เตอร์เพื่อเปลี่ยนจากไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อให้มีขนาดเพียงพอเพื่อป้อนกลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายที่ 380 โวลต์ 50 เฮิร์ต โดยใช้สวิทช์ K1 เป็นตัวเชื่อมต่อ

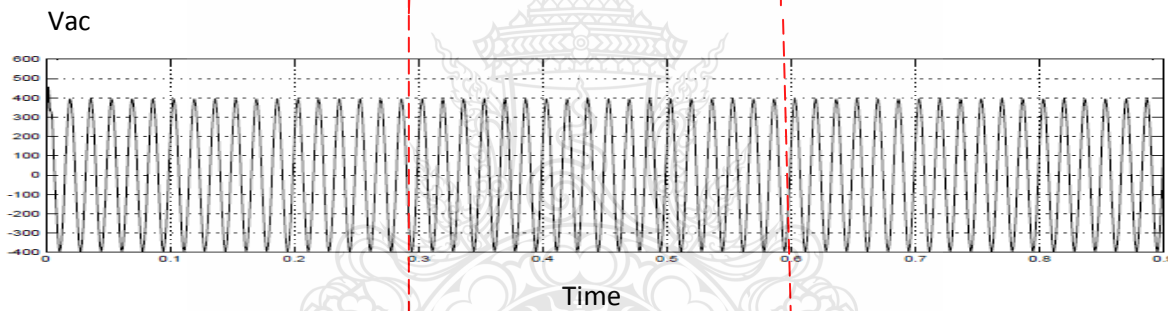
รูปที่ 4.20 การแสดงผลการทำงานแบบไดนามิกส์โดยการจำลองการทำงานเป็นการจำลองตามพฤติกรรมของลิฟต์ในช่วงหนึ่งรอบเวลา จะเห็นได้ว่าการทำงานในช่วงที่ 1,3 เป็นการทำงานในขณะที่ลิฟต์เคลื่อนที่ลง จะเห็นว่าสัญญาณเป็นการทำงานของมอเตอร์เนื่องจากไม่มีน้ำหนักในการบรรทุกทำให้ต้องจ่ายพลังงานให้กับตัวมอเตอร์ทำให้สวิทช์ K1 ไม่ได้ทำการต่อวงจรกับแหล่งกำเนิดค่าสัญญาณที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.20 และการทำงานในช่วงที่ 2 มอเตอร์ทำงานในโหมดของเจนเนอร์เรเตอร์เมื่อลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น สัญญาณของแหล่งกำเนิดจากมอเตอร์ผ่านดิซิบัสเริ่มมีค่าแรงดัน สวิทช์ K1 เชื่อมต่อกับระบบบริคิตของแหล่งจำหน่าย อินเวอร์เตอร์ทำการเปลี่ยนและขยายสัญญาณ ค่าของแรงดันและกระแสเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงด้วยความต่างเฟสกัน 180 องศา ดังนั้นตามหลักการของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนคือ มีการป้อนค่าแรงดันและกระแสกับเข้าสู่ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า



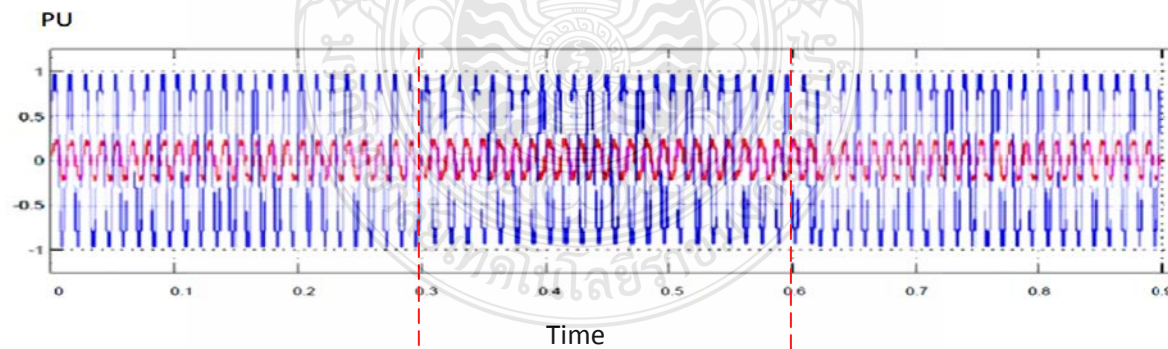
(ก) แรงดันดีซีบัสช่วงที่เป็นมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์



(ข) แรงดันด้านอินเวอร์เตอร์ยังไม่ต่อสวิตช์ K1



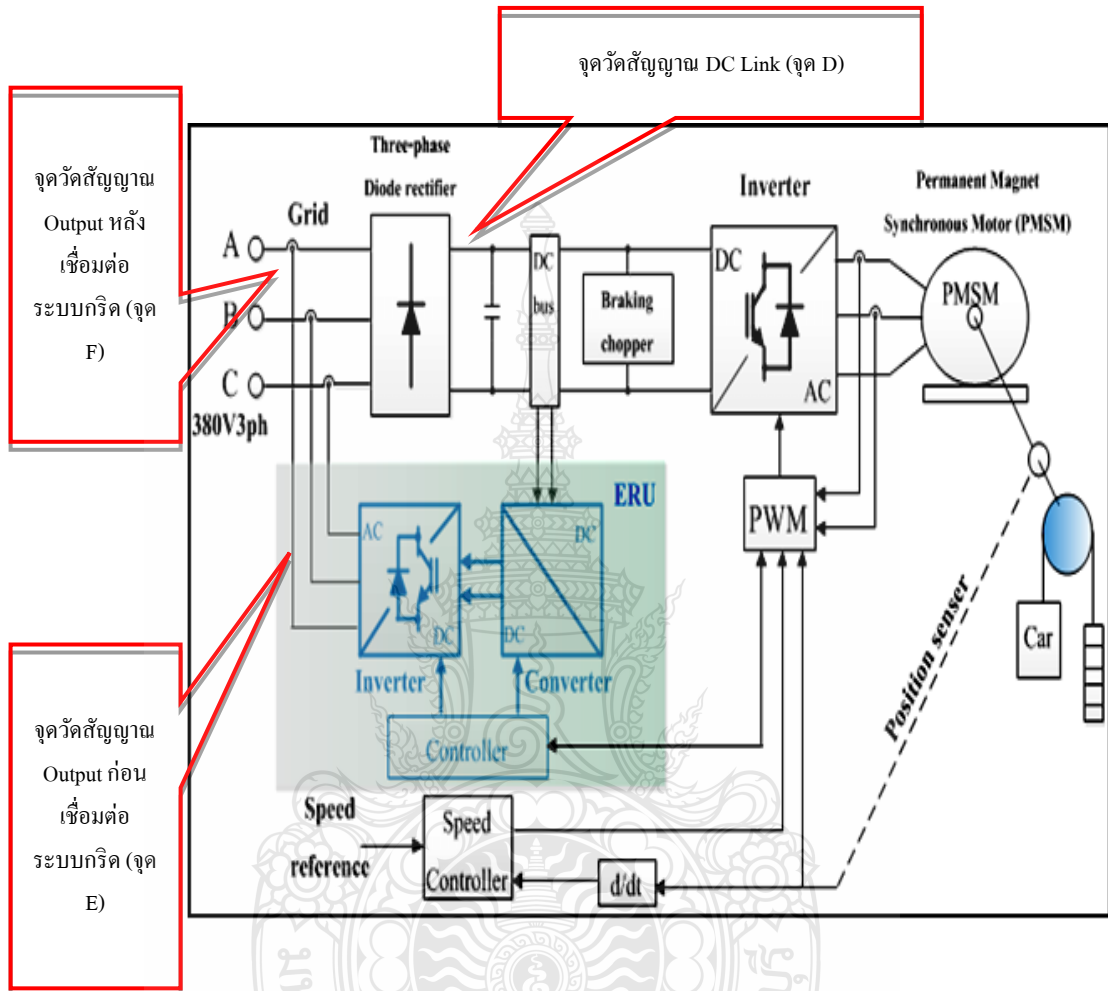
(ค) แรงดันด้านระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า



(ง) แรงดันและกระแสขณะต่อสวิตช์ K1

รูปที่ 4.19 จำลองสัญญาณแบบไดนามิกส์แสดงการเคลื่อนของลิฟต์ขึ้น-ลง

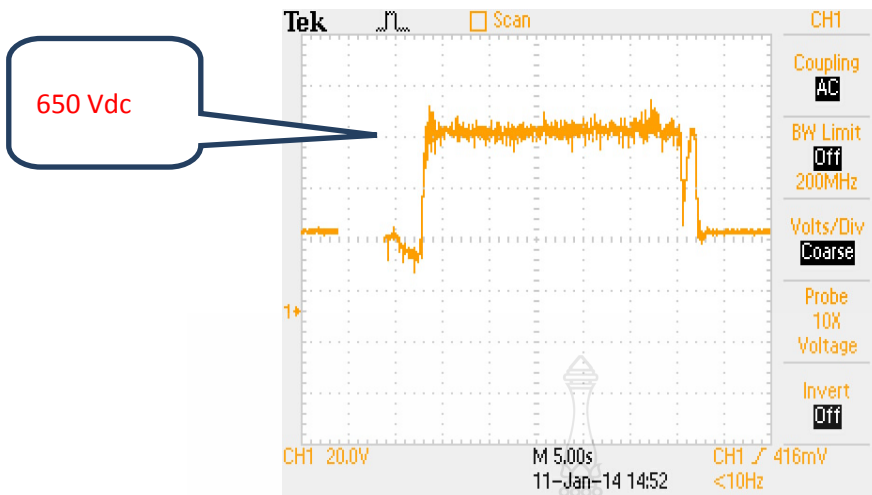
4.4 ผลการทดสอบด้วยการจำลองการเชื่อมต่อระบบกริด ของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ ของระบบบริเจนเนอร์เรทีฟจากลิฟต์



รูปที่ 4.20 ไดอะแกรมแสดงจุดที่ทำการทดสอบในงานจริง

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบบริเจนเนอร์เรทีฟจากลิฟต์ เพื่อใช้เป็นแบบจำลองของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบบริเจนเนอร์เรทีฟจากลิฟต์โดยการจำลองการทำงานและการทดสอบได้แบ่งเป็นการทดสอบออกเป็น 2 เงื่อนไข คือ

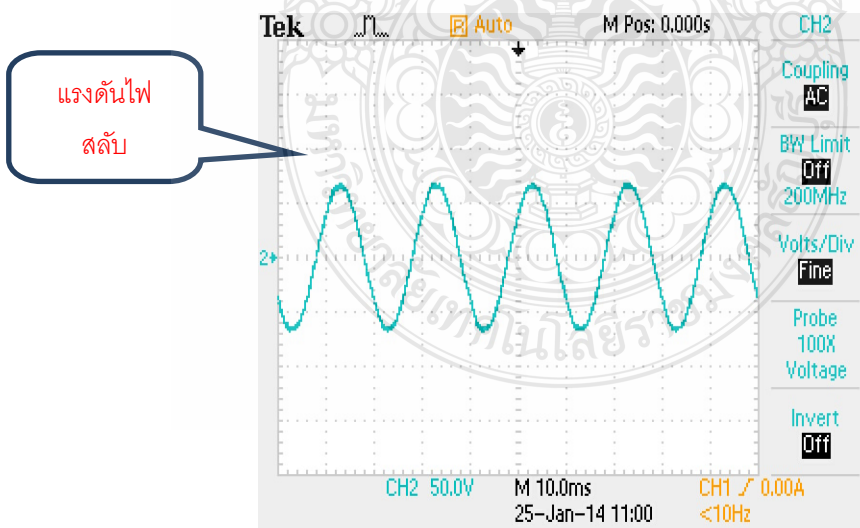
1. เมื่อสวิตช์ K1 ก่อนทำการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบเพื่อเชื่อมต่อกับระบบกริดของการไฟฟ้า
2. เมื่อสวิตช์ K1 หลังทำการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบเพื่อเชื่อมต่อกับระบบกริดของการไฟฟ้า



รูปที่ 4.21 แรงดันกระแสตรงจากระบบที่ได้จากการทดลองวัดจากจุด D ตามรูปที่ 4.21

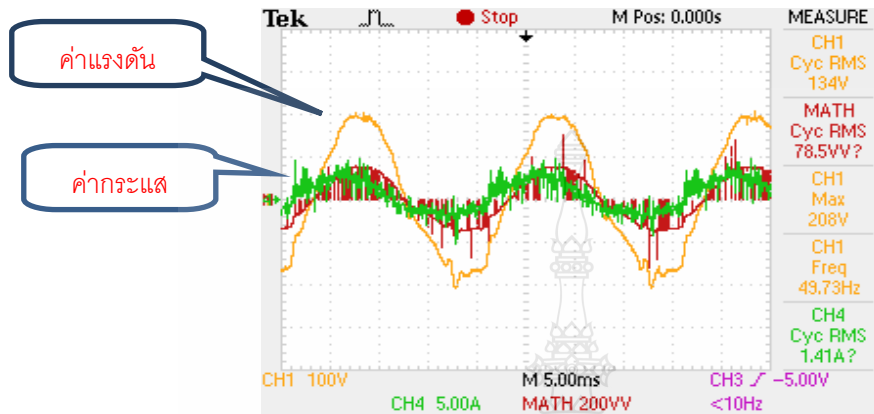
รูปที่ 4.22 แรงดันกระแสตรงก่อนเข้าระบบ ERU โดยวัดค่าด้วยเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้า “TEKTRONIX” TDS 2024C โดยในภาพแสดงแรงดันเมื่อเป็นเจนเนอเรเตอร์ตัวนั้นได้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแรงดันและคงที่ในระดับหนึ่งก่อนที่จะกลายสภาพกลับมาเป็นมอเตอร์โดยค่าแรงดันที่สามารถวัดได้ 650 โวลต์

- 1) เมื่อสวิตช์ K1 ก่อนทำการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบเพื่อเชื่อมต่อกับระบบกริดของการไฟฟ้า



รูปที่ 4.23 แรงดันก่อนการเชื่อมต่อกับระบบกริดวัดจากจุด E ตามรูปที่ 4.21

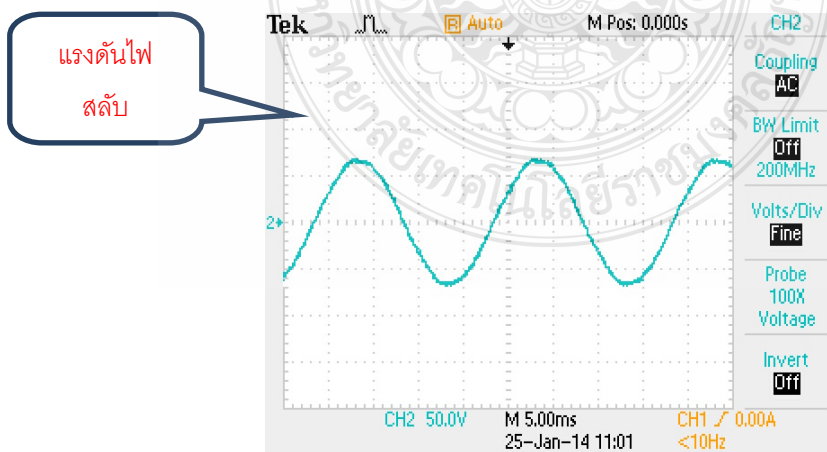
รูปที่ 4.23 แรงดันด้านกริตระบบผ่านวงจรงรองความถี่ต่ำเมื่อต่อเข้ากับตัวเครื่องมือวัด TEKTRONIC รุ่น TPS2024C โดยใช้ช่องวัดกระแสที่ CH2 สำหรับวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบ Line to Line โดยตั้งย่านวัด 1/100



รูปที่ 4.23 แรงดันและกระแสด้านนอกของคอนเวอร์เตอร์กำลังด้านกริตผ่านวงจรงรองความถี่วัดจาก จุด E ตามรูปที่ 4.21

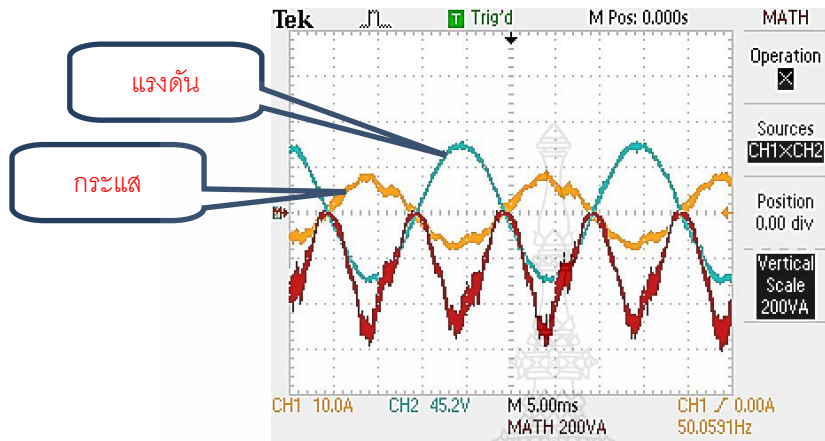
รูปที่ 4.24 แรงดันด้านออกจากคอนเวอร์เตอร์กำลังโดยผ่านวงจรงรองความถี่ต่ำจะเห็นได้ว่า ลักษณะรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าจะเป็นรูปไซน์ค่ากระแสและแรงดันจะอยู่ในเฟสเดียวกันตามหลักการของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน

2) เมื่อสวิตช์ K1 หลังทำการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบเพื่อเชื่อมต่อกับระบบกริตของการไฟฟ้า



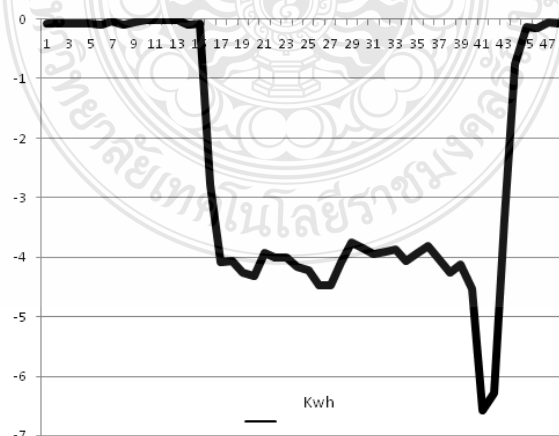
รูปที่ 4.24 แรงดันหลังการเชื่อมต่อกับระบบกริตวัดจากจุด F ตามรูปที่ 4.21

รูปที่ 4.25 แรงดันด้านกริตระบบผ่านวงจรรองความถี่ต่ำต่อเข้ากับเครื่องมือวัด TEKTRONIC รุ่น TPS2024C โดยใช้ช่องวัดกระแสที่ CH2 สำหรับวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบ Line to Line โดยตั้งย่านวัด 1/100



รูปที่ 4.25 แรงดันและกระแสด้านออกของคอนเวอร์เตอร์กำลังด้านกริตผ่านวงจรรองความถี่วัดจาก จุด F ตามรูปที่ 4.21

รูปที่ 4.26 แรงดันด้านออกจากคอนเวอร์เตอร์กำลังโดยผ่านวงจรรองความถี่ต่ำจะเห็นได้ว่า ลักษณะรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าจะเป็นรูปไซน์ค่ากระแสและแรงดันจะต่างเฟสกันอยู่ 180 องศาตาม หลักการของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน

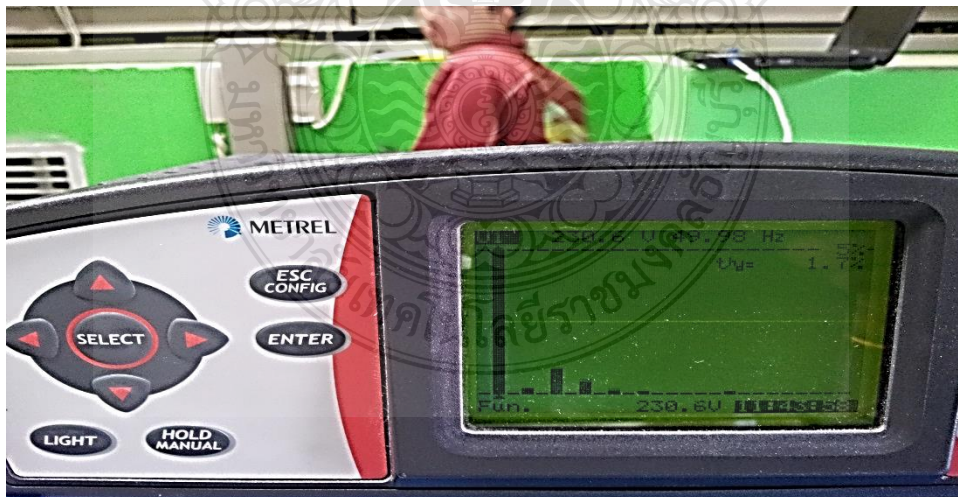


รูปที่ 4.26 ค่าพลังงานไฟฟ้าขณะทีลืฟต์ขึ้น



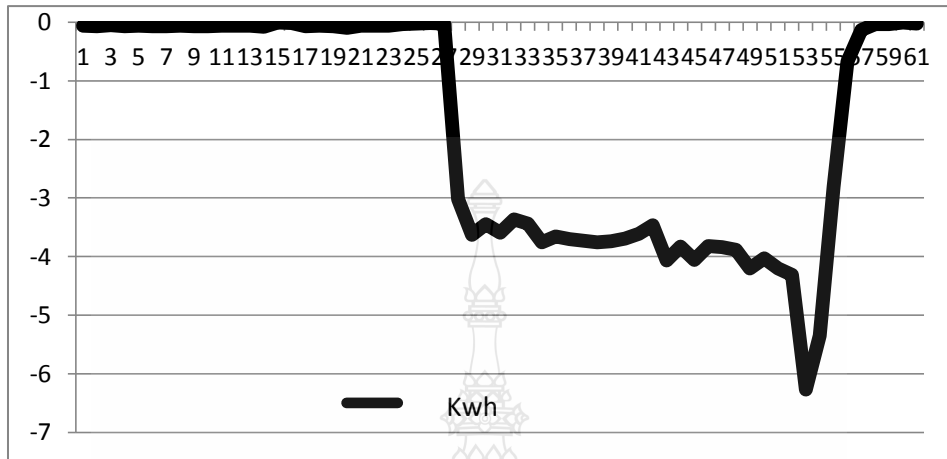
รูปที่ 4.27 พลังงานไฟฟ้าขณะทีลฟต์เคลื่อนที่ใช้เครื่องวัดพลังงาน(มิเตอร์รุ่น MI 2292)

รูปที่ 4.28 และ รูปที่ 4.29 ขณะทีลฟต์เคลื่อนที่ขึ้นค่าพลังงานที่ได้จากระบบมีจะค่ากลับคืนเฉลี่ยทีประมาณเพียง 4 กิโลวัตต์และสูงขึ้นไปทีประมาณ 7 กิโลวัตต์เนื่องจากมีการเบรกจึงเปรียบเสมือนการเพิ่มค่าเข้าอีกเล็กน้อย



รูปที่ 4.28 ฮาร์โมนิกของคอนเวอร์เตอร์กำลังขณะทีลฟต์เคลื่อนที่

รูปที่ 4.29 ฮาร์โมนิกที่เกิดจากการสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์กำลังด้านกริดระบบโดยผ่านผ่านวงจรรองความถี่ต่ำผ่านซึ่งพิจารณาอยู่ที่ลำดับที่ 3,5,7 และค่า THD ที่ 2.4 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.29 ค่าพลังงานไฟฟ้าขณะที่ลิฟต์ลง

รูปที่ 4.30 ค่าพลังงานที่ได้จากระบบมีค่ากลับคืนเฉลี่ยที่ประมาณเพียง 4 กิโลวัตต์และสูงขึ้นไปที่ประมาณ 7 กิโลวัตต์เนื่องจากการเบรคจึงเปรียบเสมือนการเพิ่มค่าเข้าอีกเล็กน้อย

4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองการควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้า โดยใช้ชุดอินเวอร์เตอร์แบบสามเฟสเชื่อมต่อกับกริด เป็นการควบคุมการไหลที่มีค่าตัวแปรในแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบบริเจนเนอร์เรทีฟจากลิฟต์การเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ และการจำลองระบบบริเจนเนอร์เรทีฟด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ พบว่าค่าทั้งสองมีความใกล้เคียงกัน สำหรับการทดสอบเพื่อให้กำลังไฟฟ้าจ่ายไปยังกริด กำลังไฟฟ้าที่ไหลจากอินเวอร์เตอร์แบบสามเฟสเข้าไปที่กริด โดยมีมุมของกระแสต่างกันอยู่ 180 องศา ซึ่งเป็นมุมที่ล้าหลังแรงดันสามารถคืนพลังงานให้กับแหล่งจ่ายนำได้ ด้วยหลักการของกำลังไฟฟ้า นอกจากนี้จะมีบางจุดที่ต้องแก้ไขในส่วนของฮาร์ดแวร์เพราะบางอุปกรณ์ไม่สามารถทำได้ตรงกับการคำนวณ และในบางส่วนต้องทำขึ้นมาทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบในภาพรวมการออกแบบและการติดตั้งเพื่อใช้ในการทดสอบ ผลของการทดสอบออกมาเป็นที่น่าพอใจในการจ่ายค่าพลังงานคืนกลับเข้าสู่ระบบ ดังนั้นจึงสามารถนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ออกแบบและสร้างชุดต้นแบบขึ้นมาไปใช้วิเคราะห์การเชื่อมต่อบริเจนเนอร์เรทีฟจากลิฟต์ได้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

ในส่วนของแนวทางในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งโครนัสแม่เหล็กถาวรในการเชื่อมต่อเข้ากับระบบกริดไฟฟ้า พอที่จะเป็นแนวทางสำหรับผู้สนใจ เพื่อที่จะนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในลักษณะนี้ไปใช้ หรือประยุกต์ใช้งาน กับแหล่งต้นกำเนิดพลังงานต่างๆ ที่ต้องการแปลงพลังงานต้นกำลังเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือเป็น แนวทางในการนำงานวิจัยนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น นอกจากนี้แล้วการจำลองระบบด้วย โปรแกรมทางคณิตศาสตร์ จะทำให้สามารถที่จะทราบปัญหาและอุปสรรคและเรียนรู้ถึงพฤติกรรม การทำงานของทั้งระบบ ทั้งนี้ เพื่อลดความผิดพลาดในการออกแบบเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้ามาใช้งานได้ โดยการจำลองการทำงานของระบบรีเจนเนอเรทีฟนี้จะสามารถทำให้ทราบถึงที่มาและที่ไปของพลังงาน และการจ่ายพลังงานกลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายของไฟฟ้าและจะช่วยให้ผู้สนใจนำหลักการของ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปใช้งานได้ทันที อันจะเป็นการสร้างประโยชน์ให้กับการพัฒนา แนวความคิด ด้านการพัฒนาและวิเคราะห์งานด้านอื่นด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ต่อไป

5.1 สรุปผล

การจำลองการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ารีเจนเนอเรทีฟจาก ลิปต์โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink และศึกษาทดสอบการทำงานจากการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ สำหรับงานอุตสาหกรรม โดยใช้การพิจารณาหลักการของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน รวมทั้งเทคนิคของเฟสล็อกลูป (phase lock loop, PLL) เพื่อทดสอบการเชื่อมต่อระบบรีเจนเนอเรทีฟ จากลิปต์กับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าและค่าพลังงานที่ได้จ่ายกลับคืนเข้าสู่ระบบไฟฟ้าจากผลการจำลองและ ทดสอบเปรียบเทียบพบว่าการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของ ระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิปต์ในสถานะชั่วคราว สามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายได้ด้วยวิธีการรี เจนเนอเรทีฟในขณะมอเตอร์ทำงานในโหมดของเจนเนอเรเตอร์ อินเวอร์เตอร์ที่นำมาทำการ ทดสอบเป็นอินเวอร์เตอร์ที่ใช้กับงานอุตสาหกรรม มีพิกัดการทำงานเป็นแบบสามเฟสและแรงดันที่ 380 โวลต์ ลักษณะของสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแสของอินเวอร์เตอร์มีความใกล้เคียงกับ สัญญาณจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า เมื่อระบบได้ทำการซิงโครไนส์จะเห็นได้ว่าค่าของแรงดันมี ความใกล้เคียงกับระบบจำหน่ายและในส่วนของกระแสจะมีค่าของมูมที่ต่างกันอยู่ 180 องศาตาม หลักการการควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน ทำให้มี

พลังงานจ่ายคืนให้แก่ระบบจำหน่ายสูงสุดที่ 7 กิโลวัตต์และค่าเฉลี่ยที่ 4 กิโลวัตต์ที่ฟิสิกส์มอเตอร์ทดสอบ 7.5 กิโลวัตต์และค่าความผันผวนฮาร์มอนิกส์รวมของระบบอยู่ที่ 2 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

การออกแบบการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์ ทำให้เราสามารถจำลองการทำงานของระบบได้อย่างแม่นยำ แต่สิ่งที่ควรคำนึงถึงด้วยอย่างที่ไม่ได้คือข้อจำกัดของอุปกรณ์จริงที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด ดังนั้นถ้าเป็นการลดขั้นตอนในการสร้างงานของนักวิจัยหรือผู้สนใจควรมีคู่มืออุปกรณ์ที่ต้องใช้จำหน่ายจริงในท้องตลาดเพื่ออ้างอิงจะทำให้สามารถเลือกใช้อุปกรณ์เป็นไปอย่างแม่นยำ และทราบปัญหาอันอาจจะเกิดจากการใช้อุปกรณ์เทียบเคียงหรือดัดแปลงและหาทางแก้ไขก่อนการสร้างชิ้นงานจริงได้

5.2.1 ในงานวิจัยในอนาคตควรเพิ่มชุดตรวจจับสัญญาณป้องกันความเสียหายให้กับอุปกรณ์เช่น อุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจร, อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน และอื่นๆ ที่จำเป็น

5.2.2 ในการทดลองควรมีอุปกรณ์ป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์ในระบบเช่น ฟิวส์, เซอร์คิตเบรกเกอร์ เป็นต้น เพราะจากการทดลองนี้มีความเสียหายของไอจีบีทีมากเนื่องจากลัดวงจร

5.2.3 ควรศึกษาการใช้งานของเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ให้แน่ใจก่อนใช้งาน ไม่เช่นนั้นแล้วอาจทำให้การวิเคราะห์การทำงานของระบบผิดพลาดได้ ในกรณีที่เครื่องมือมีค่าคลาดเคลื่อนสูง

5.2.4 การใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ในการจำลองการทำงานควรใช้ M-File เข้ามาควบคุมการทำงานด้วย เพราะจะทำให้โปรแกรมสามารถที่จะทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นควรมีคู่มือในการเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประกอบการออกแบบ จะทำให้การจัดวางอุปกรณ์หรือ ทำลายแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างแม่นยำ ทั้งนี้ควรเช็คยี่ห้อผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ในท้องตลาดเพื่อง่ายต่อการหาอุปกรณ์

5.2.5 ควรทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ที่จะนำมาประกอบกันเป็นระบบทีละส่วนก่อนเพื่อให้แน่ใจว่าการทำงานของส่วนประกอบนั้นๆ สามารถทำงานได้ปกติ แล้วค่อยนำไปประกอบเข้ากับวงจร เพราะไม่เช่นนั้นแล้วหากมีส่วนหนึ่งส่วนใดทำงานผิดพลาด จะทำให้หาสาเหตุได้ยาก หากไม่ทำการทดสอบให้แน่ใจก่อน

5.2.6 กรณีพบปัญหาการทำงานของระบบและได้พยายามหาทางแก้ไขแล้วแต่ยังไม่สำเร็จให้นำตัวออกจากปัญหา ก่อน แล้วค่อยทบทวนหาสาเหตุ บางทีอาจจะเป็นจุดเล็กๆ ที่ถูกมองข้ามไป

รายการอ้างอิง

- [1] ธนิศร์ พันธุ์ประยูร และ บุญยัง ปลั่งกลาง. “การประหยัดพลังงานในลิฟท์แบบรีเจนเนอเรทีฟกรณีศึกษาอาคารเรียนรวม”. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8.2-4 พ.ค. 2555. มหาสารคาม : 4 , 2555
- [2] H. Inaba, S. T. Nara, H. Takahashi & M. Nakazato, "High speed elevators controlled by current source inverter system with sinusoidal input and output" Volume 28 , Issue 4 ,Jul/aug 1992
- [3] Miss. Sangita R Nandurkar, Mrs. Mini Rajeev, “Design and simulation of three phase inverter for grid connected Photovoltaic system” : NCNTE 2012
- [4] Francisco D Freijedo, Jesus Dovel & Oscar Lopez, “Grid synchronization method for power converter,” pp.522-529,2009
- [5] Thanit Phanprayoon and Boonyang Plangklang, “Study of Energy Saving from Elevator Energy Regenerative Unit (EERU)” 10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium pp.105-108 December 5-8,2012
- [6] Sittichai Kantawong, Akeratana Noppakant, Boonyang Plangklang, “Study of Generator Reaction on Permanent Magnet Synchronous Motor for Energy Regenerative Applications” 10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, December 5-8,2012
- [7] ไพโรจน์ ธิปไตยกุล. การออกแบบตัวควบคุมชนิดกระทำย้อนกลับแบบอินทิกรัลปรับตัวเองสำหรับ มอเตอร์ซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าบัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , 2546
- [8] สิทธิชัย กันทะวงศ์ และ บุญยัง ปลั่งกลาง, “การศึกษาการกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร เพื่อการประยุกต์ใช้ผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟ”. การประชุมวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 5.18-20 พ.ค. 2555. มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ : 2555
- [9] ยุทธนา ขำสุวรรณ, “ระบบขับเคลื่อนไฟฟ้ากำลังขั้นสูง” ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2556
- [10] Boonyang Plangklang et al, Study of Generator Mode on Permanent Magnet synchronous Motor (PMSM) for Application on Elevator Energy Regenerative Unit (EERU), Elsevier & Science Direct, Energy Procedia 34 (2013), 382-389

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [11] Guan Chyan Hsieh & James C Hung, "Phase Lock Loop Techniques A Survey, " IEEE Transsaction on Industrial Electronics, Vol. 43, pp.50-60, December1999
- [12] จักรพงษ์ จารุมิศรี, บุญเรือง วังศิลาบัตร์ และ เสถียร รัชญญศิริรัตน์ "การดำเนินงานด้วยคิสเปซ สำหรับการควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์สามเฟส2กิโวลต์ต่อระบบกริดการไฟฟ้า". บทความวิจัย วารสารวิชาการปทุมวัน ปีที่ 2ฉบับที่ 3มกราคม-เมษายน2555





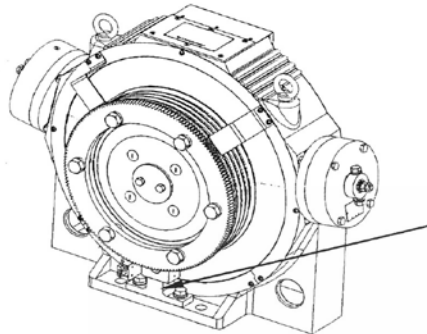
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก เรื่อง สเปคของมอเตอร์ PMSM

ภาคผนวก ข เรื่อง อุปกรณ์และชิ้นงานของระบบที่ใช้ในงานวิจัย

ภาคผนวก ค เรื่อง ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่





Base

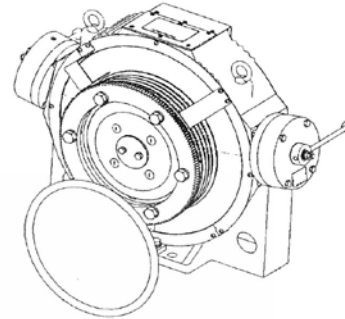


Fig.Traction without handwheel、
release handle

Fig.Install the handwheel、release
handle

Accessory Three:Trouble shooting

Possible cause	Possible cause	Inspection Method	Remedy
Traction doesn't work	Power cut	Measure the input voltage of converter	Contact the owner
	Coil of stator is interrupted	Check the three-phase voltage of traction	Contact the qualified personnel
	Safety chain is open circuit	Check the safety chain	Reset the safety chain
	Fault of converter	Check the converter	Treat according to the manual of converter
	Input parameter of control system doesn't matching	Check the input parameter	Input the right parameter
Elevator surfing or reverse	Connection of encoder is wrong	Check the connection	Connect according to the right connection method
Friction remains after releasing the brake	Voltage is abnormal	Check the input voltage of brake	Contact the qualified personnel
	Clearance is unsuitable	Check the clearance	Adjust the clearance
Traction reverse	Connection of phase is wrong	Check the connection of control cabinet and junction box	Exchange the two phases
Traction shake	Traction base is not horizontal or rigidity is low	Check it with gradienter	Adjust and equalize
	Rubber is unsuitable	Check the rubber	Change the rubber

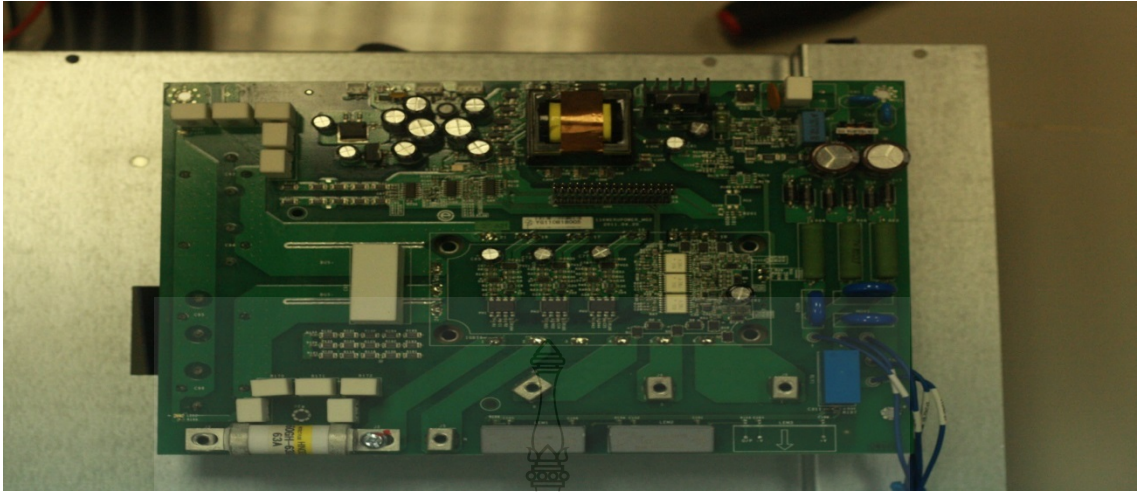


ภาคผนวก ข

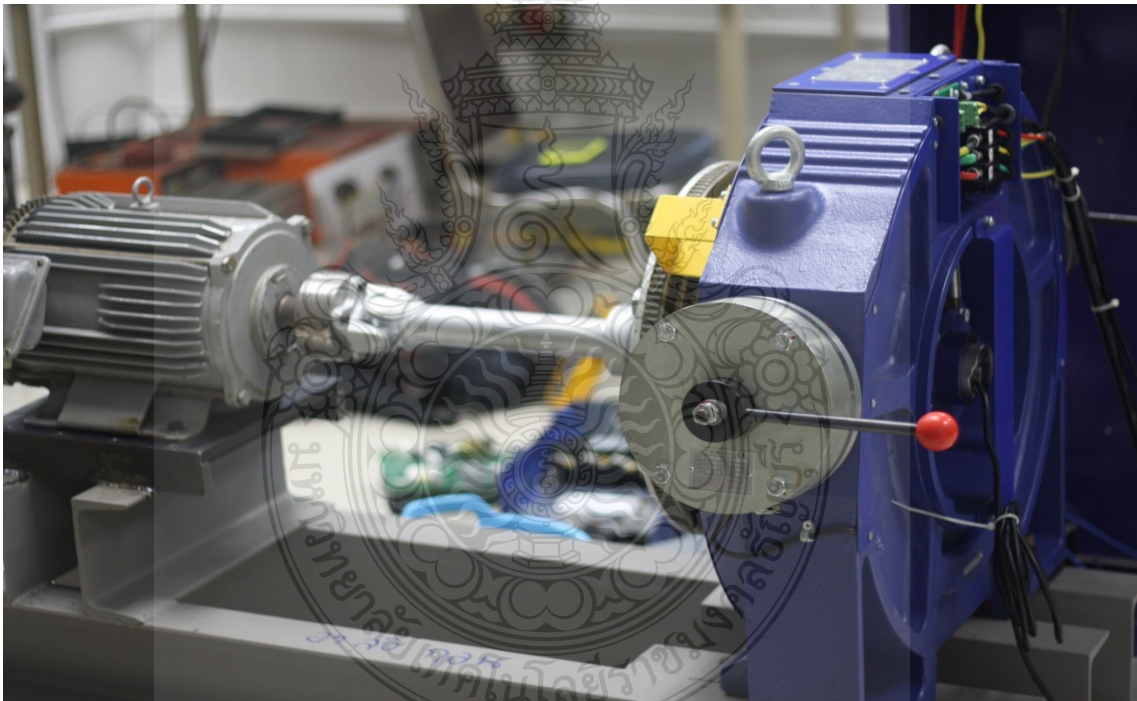
อุปกรณ์และชิ้นงานระบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้



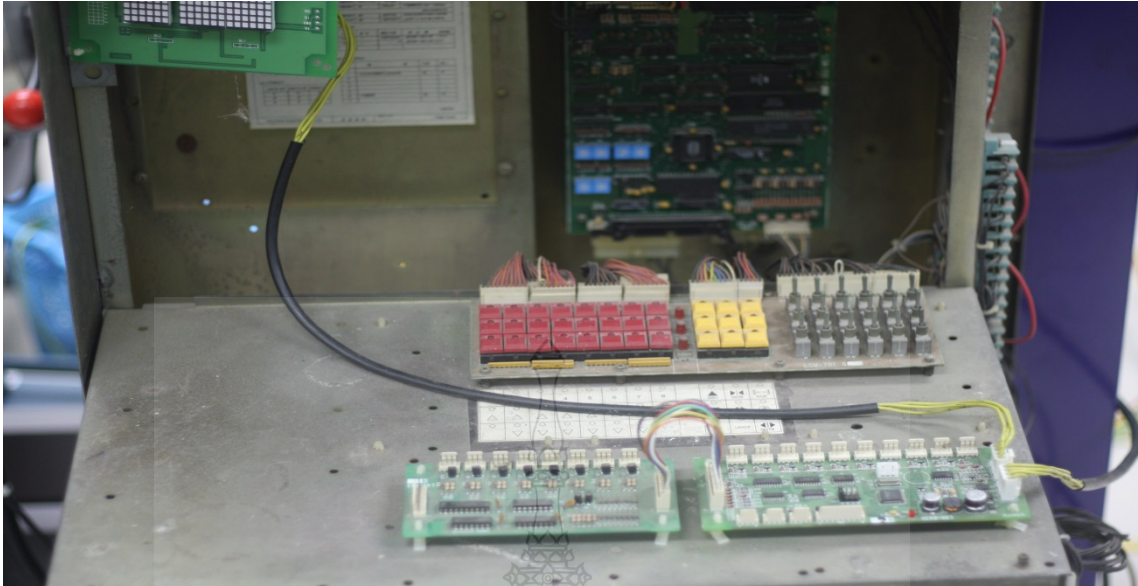
1. ชุดทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟ



2. รูปชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง



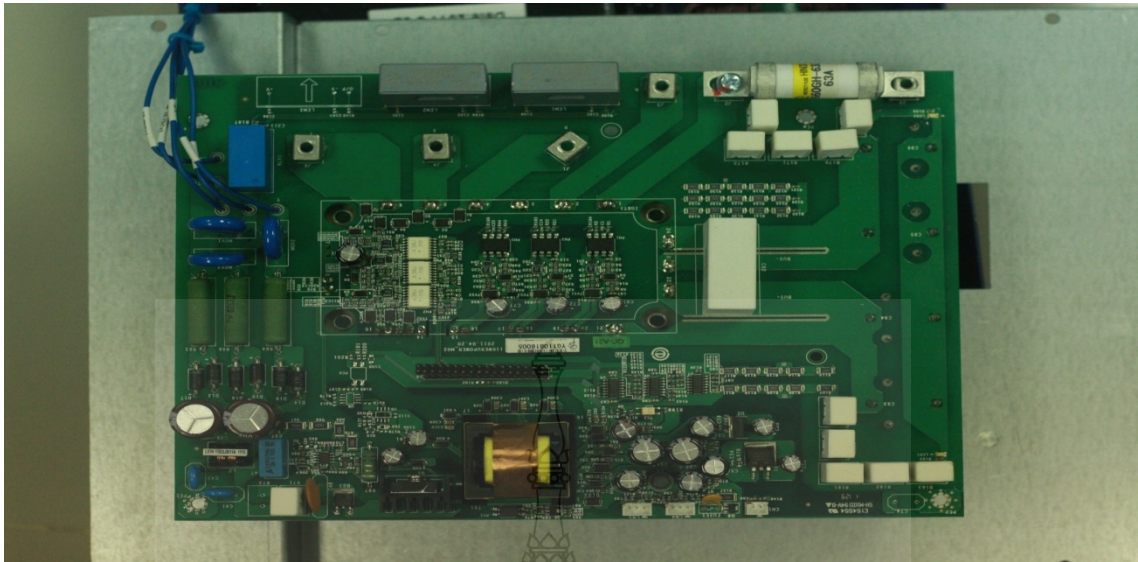
3. มอเตอร์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยอินคักซ์มอเตอร์และPMSM



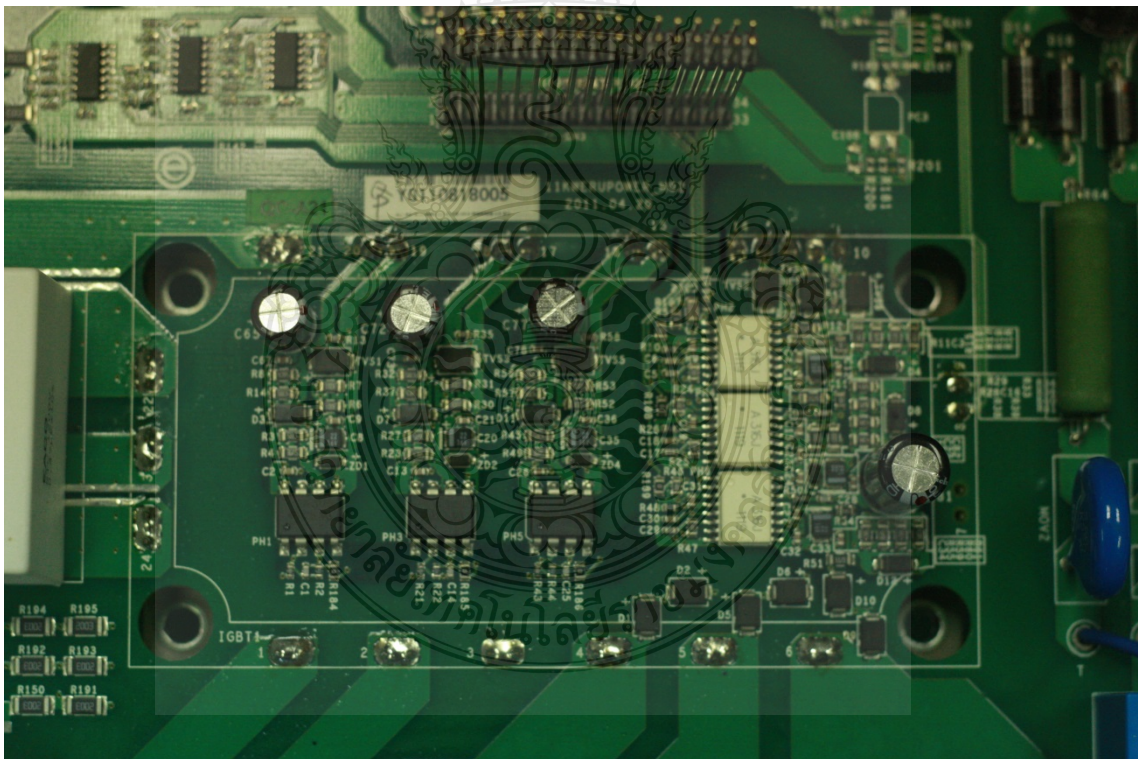
4. ชุดควบคุมการทำงานของลิฟต์



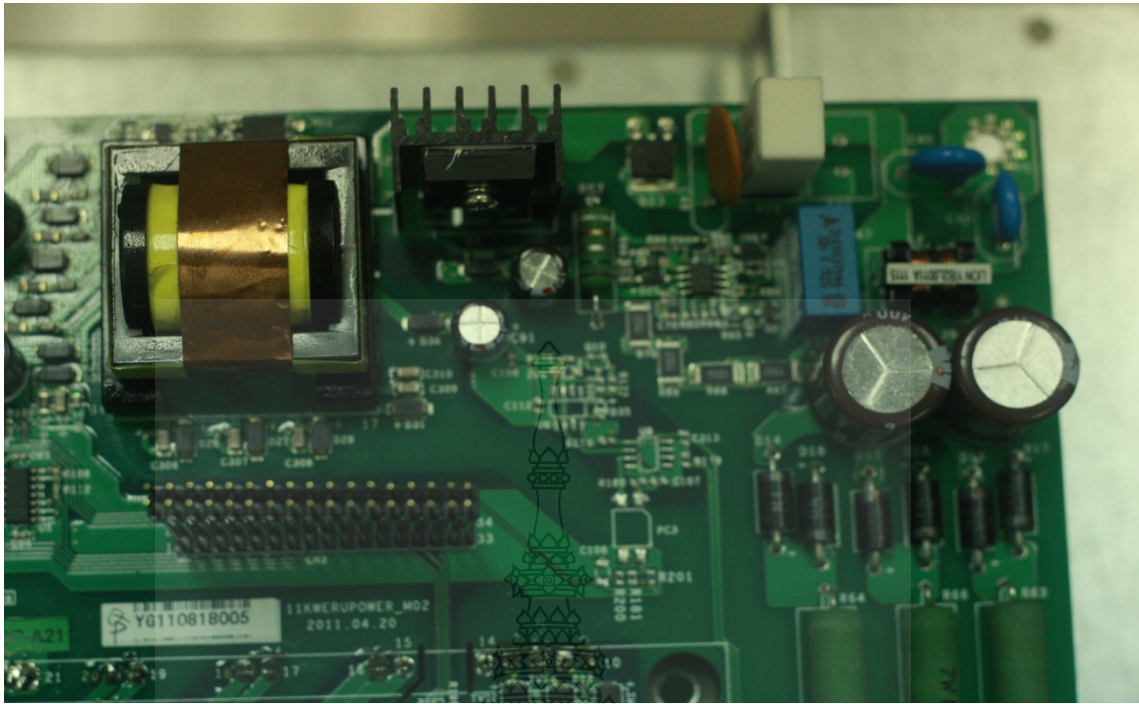
5. ชุดขับเคลื่อนกำลังของลิฟต์



6. ชุดวงจรของระบบรีเจนเนอเรทีฟ (EERU)



7. ชุดขับเคลื่อนสัญญาณขาเกทสำหรับ IGBT โมดูล



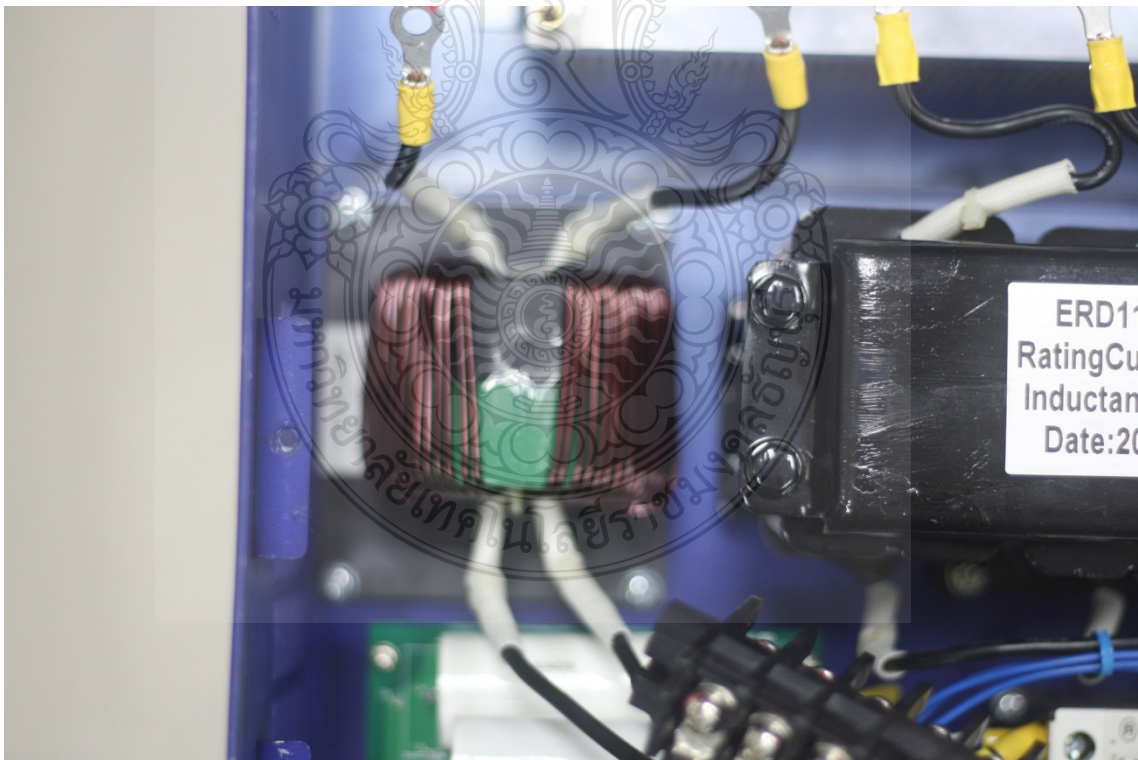
8. วงจรเฟสล็อกคูลูป



9. IGBT แบบโมดูลที่เลือกใช้งาน



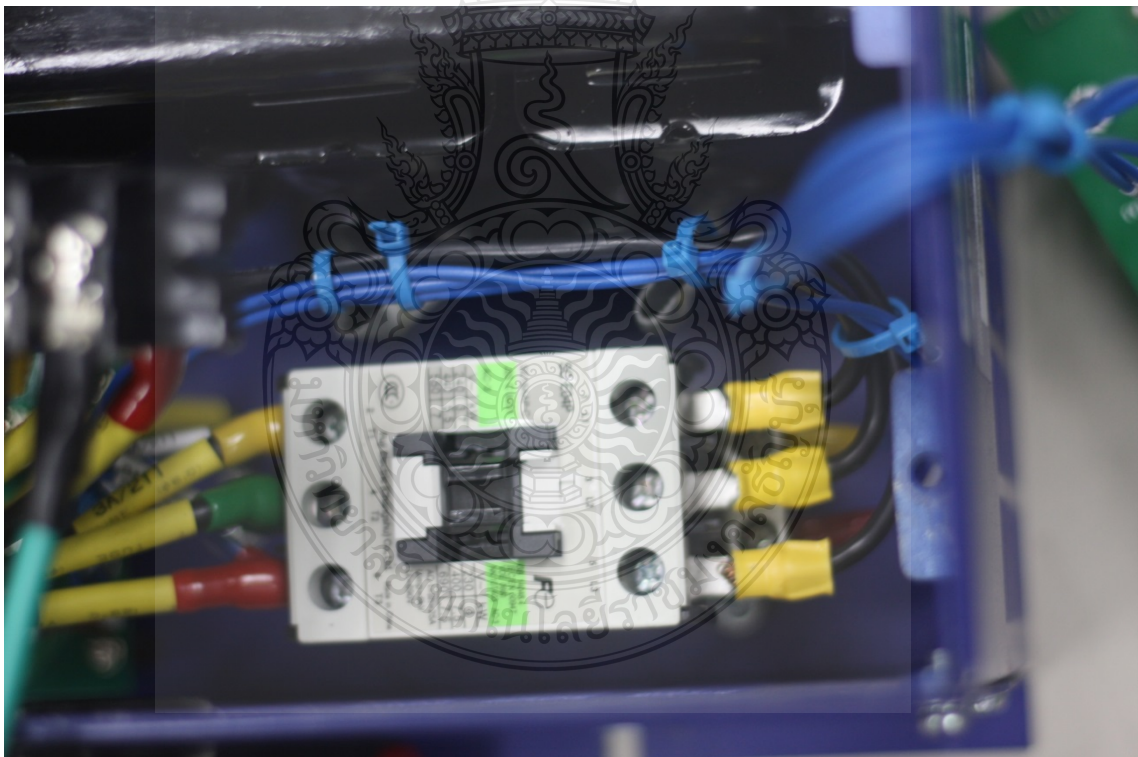
10. อินดักเตนซ์ที่ใช้งานฝั่งขาออกเพื่อรองความถี่



11. อินดักเตนซ์ฝั่งอินพุทเพื่อกำหนดให้สัญญาณมีความเป็นไซน์มากขึ้น



12. คาปาซิเตอร์ด้านเอาต์พุตสำหรับการกรองความถี่



13. แมคเนติกส์สวิตช์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อทั้งสองระบบเข้าด้วยกัน

ภาคผนวก ค
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

1. เอกรัตน์ นภกานต์และ บุญยัง ปลั่งกลาง, “การศึกษาการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดแบบไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอร์เรทีฟจากลิฟต์” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5, 27-29 มีนาคม 2556
2. เอกรัตน์ นภกานต์และ บุญยัง ปลั่งกลาง, “การศึกษาการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดแบบไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอร์เรทีฟจากลิฟต์” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36, 11-13 ธันวาคม 2556



2013
EENET
ELECTRICAL ENGINEERING NETWORK



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

บทความวิจัย

- ไฟฟ้ากำลัง
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง
- ไฟฟ้าสื่อสารและโทรคมนาคม
- ระบบควบคุมและการวัดคุม
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ
- พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน
- นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า

บทความวิชาการ

27-29 มีนาคม 2556 โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

EENET2013



คณะกรรมการวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

- | | |
|--|---------------------|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร. โสภณ โอฬารไพโรจน์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล | ประธานกรรมการ |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร. จวิฑ์ เกียรติชื่น
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย | กรรมการ |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เจนศักดิ์ เอกบุญธรรมวัฒน์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ | กรรมการ |
| 4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงษ์เทพคุณชวติ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย | กรรมการ |
| 5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ระวี ราชวิบูล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี | กรรมการ |
| 6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤษณ์พัฒน์ ภูมิภักดิ์พิชัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี | กรรมการ |
| 7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ นามะสิน
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า | กรรมการ |
| 8. อาจารย์ ดร. สุวิลา แก้วสวน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี | กรรมการ |
| 9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเชน สีสอน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี | กรรมการ |
| 10. อาจารย์ ดร. สุวิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์ประเสริฐ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ | กรรมการ |
| 11. อาจารย์ ดร. นัฐ ใจดี วิทยาลัยอาชีวศึกษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร | กรรมการ |
| 12. อาจารย์ประทีป กอสงสูร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก | กรรมการ |
| 13. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประมุข อุดมเดช
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ | กรรมการและเลขานุการ |



คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการ EENET2013 ประจำเครือข่าย

- | | |
|--|---------------|
| 1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิมลดา ภูษิต | ประธานกรรมการ |
| มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร | |
| 2. อาจารย์ ดร. ณัฐพงษ์ พันธุ์ชนะ | กรรมการ |
| มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร | |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วาสุณี ศรีสงคราม | กรรมการ |
| มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ | |
| 4. อาจารย์ ดร. นิธิโรจน์ พงศ์สุวรรณเจริญ | กรรมการ |
| มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี | |
| 5. อาจารย์ ดร. สาเมช ฑูตเขื่อน | กรรมการ |
| มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี | |
| 6. อาจารย์ ดร. ณรงค์พร พันธุ์คง | กรรมการ |
| มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี | |
| 7. อาจารย์ณรงค์ นันทกุล | กรรมการ |
| มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี | |
| 8. อาจารย์ ดร. วิวัฒน์ ทรัพย์ธรรม | กรรมการ |
| มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี | |
| 9. อาจารย์พิทักษ์ บุญบุญ | กรรมการ |
| มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี | |
| 10. อาจารย์อรรถพร คุ้มทรัพย์ | กรรมการ |
| มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี | |
| 11. อาจารย์จิระยุทธ เบ็ญจรัตน์ | กรรมการ |
| มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี | |
| 12. อาจารย์วิจิตร พงษ์ศรี | กรรมการ |
| มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี | |
| 13. อาจารย์ภัทรพงศ์ ชัยชนะ | กรรมการ |
| มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี | |



- | | |
|---|---------------------|
| 14. อาจารย์ ดร.ประสพโชค โพธิ์ทองคำ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี | กรรมการ |
| 15. อาจารย์ปวีร์วิฬี บุญมา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ | กรรมการ |
| 16. อาจารย์ทศพร พรหมสิทธิ์
สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน | กรรมการ |
| 17. อาจารย์ ดร.ณัฐโชติ วัคโทเจริญชัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร | กรรมการและเลขานุการ |

คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการ EENET2013 ด้านประชาสัมพันธ์

- | | |
|--|---------------------|
| 1. อาจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ หินขุนะ | ประธานกรรมการ |
| 2. อาจารย์อุทมนว สรรกสรรค์ | กรรมการ |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิทธิศักดิ์ วรรณรัฐ | กรรมการ |
| 4. อาจารย์อภิวรรุ ทองวัจน์ | กรรมการ |
| 5. อาจารย์ ดร.อติศร ก้อนวัน | กรรมการ |
| 6. นายสมยศ แสงจันทร์ | กรรมการ |
| 7. อาจารย์เกรียงไกร เจริญชัยพล | กรรมการและเลขานุการ |

คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการ EENET2013 ด้านบทความ

- | | |
|--|---------------|
| 1. อาจารย์ ดร.ณัฐโชติ วัคโทเจริญชัย | ประธานกรรมการ |
| 2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์โกศล นิธิโสภณ | กรรมการ |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์กนกสิทธิ์ วัลย์แก้ว | กรรมการ |
| 4. อาจารย์ ดร.อติศร ก้อนวัน | กรรมการ |
| 5. อาจารย์เกรียงไกร เจริญชัยพล | กรรมการ |
| 6. อาจารย์จตุรงค์ จตุรวิทย์ชัยสกุล | กรรมการ |
| 7. อาจารย์สุนศรี วรรณการ | กรรมการ |



- | | |
|---------------------------------|---------------------|
| 8. อาจารย์พนา คูสีตากร | กรรมการ |
| 9. อาจารย์อดิศักดิ์ วิริยกรรม | กรรมการ |
| 10. อาจารย์นิลमित นิลาส | กรรมการ |
| 11. อาจารย์ธนะกิจ วัฒนีกำธร | กรรมการ |
| 12. อาจารย์สาคร วุฒิพัฒน์พันธุ์ | กรรมการและเลขานุการ |

คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการ EENET2013 ด้านจัดทำเล่มบทความ

- | | |
|--------------------------------------|---------------------|
| 1. อาจารย์อรุณ ชลิ่งสุทธิ | ประธานกรรมการ |
| 2. อาจารย์สมเกียรติ ทองแก้ว | กรรมการ |
| 3. นายสมยศ แสงจันทร์ | กรรมการ |
| 4. อาจารย์มณัส บุญเกียรติทอง | กรรมการ |
| 5. อาจารย์เวทรินทร์ รัชฎาภิระเสริฐ | กรรมการ |
| 6. อาจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ | กรรมการและเลขานุการ |

คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการ EENET2013 ด้านสถานที่

- | | |
|-----------------------------------|---------------------|
| 1. อาจารย์ทง ลานธารทอง | ประธานกรรมการ |
| 2. อาจารย์อดิศักดิ์ วิริยกรรม | กรรมการ |
| 3. อาจารย์พูนศรี วรรณการ | กรรมการ |
| 4. อาจารย์จตุรงค์ จตุรเชิดชัยสกุล | กรรมการ |
| 5. อาจารย์สาคร วุฒิพัฒน์พันธุ์ | กรรมการ |
| 6. อาจารย์พนา คูสีตากร | กรรมการ |
| 7. อาจารย์มณัส บุญเกียรติทอง | กรรมการและเลขานุการ |



สาขามหาวิทยาลัยวังมณีและการอนุรักษ์พลังงาน

รหัสบทความ	ชื่อเรื่อง	หน้า
ES26	ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันน้ำฟ้า ศักดิ์ระวี ระวีกุล วิไลพร วัฒนาภ วิชาญ แคนงา พัลลภ ภูมิวิ วราวุธ วังศิริ และณัฐพงษ์ โนนเปลือย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	421
ES27	การผลิตกระแสไฟฟ้าจากปล่องลมและขนาดเก็ก ศักดิ์ระวี ระวีกุล กวีดี วงศ์ต้นธนา วิวิศย์ สพลม และศุภชัย แก้วสาธิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	425
ES28	เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแรงดันน้ำไหลในท่อรั่วปะเปา ขวัญใจ นาซิงภูมิ สักดิ์ระวี ระวีกุล พไลพร วัฒนาภ พัลลภ ภูมิวิ วราวุธ วังศิริ และณัฐพงษ์ โนนเปลือย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	429
ES29	ความเป็นไปได้ในการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำที่เขื่อนศรีนครินทร์ระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับระบบ โสมวิวัฒน์สำหรับ ส่วนน้ำอ่างจังหวัดน่านในลักษณะนิคมและเศรษฐศาสตร์ 'โสมวิวัฒน์ ปะที' กฤษณ์ชานันท์ ภูมิศักดิ์พิชญ์ และสุวิมล เกษมงาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	433
ES30	การจำลองการไหลในระบบไมโครกริดขนาด 5kW ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink มงคล บุญทอง และกฤษณ์ชานันท์ ภูมิศักดิ์พิชญ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	437
ES31	การศึกษาการเชื่อมต่อระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าในกรณีของระบบ นิคมเกษตรที่ท่ากออีศ ชณวัฒน์ นกทานต์ และบุญยัง ปิ่นกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	441
ES32	การศึกษากระบวนการคิดค้นควาารผลิตไฟฟ้าสำหรับครัวเรือนแบบฟาร์มในถัก อนุพงษ์ พงษ์ ฐิติยา ชื่นศิริว ษรินทร์ โสมกุล สอนชาติ พิศนภา สกนพิณจ เข็มมสุวรรณต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิราวุธ	445
ES33	การศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบการนำระบบแสงอาทิตย์มาผลิต ถนกร พอลสูงเนิน และสมชัย ศิริบุญโรจน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	449
ES34	การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อค่าการหักเหของไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในอานเขตธัญบุรี ธงชาติ แสงใหม่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	453

การศึกษาการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์ Study of power grid connection with an unstable source from Elevator Energy Regenerative Unit (EERU)

เอกรินทร์ นกานต์ และบุญยัง ปลั่งกลาง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี
จังหวัดปทุมธานี 12110 โทร 0-2549-3420 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: eg1322@gmail.com , boonyang.p@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ การเชื่อมต่อพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการใช้วิธีรีเจนเนอเรทีฟของเครื่องกำเนิดแบบมอเตอร์เชิงโรตารี่ชนิดแม่เหล็กถาวรเพื่อจะนำไปเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า จากการศึกษาพบว่าเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร และมอเตอร์นั้นก็จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าที่ปั่นให้กลายเป็นพลังงานเมื่อมีการหมุนจะทำให้มอเตอร์นั้นสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมาได้ ซึ่งจะเรียกการทำงานในสภาวะนี้ว่า รีเจนเนอเรทีฟ ทำให้สามารถนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากหมุนของมอเตอร์ไปประยุกต์และนำพลังงานที่สูญเสียกลับมาใช้ประโยชน์ โดยการป้อนกลับเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าได้อีกครั้ง การศึกษานี้จะจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink โดยการทำงานในวงจรในส่วนของเชิงโรตารี่มอเตอร์จะทำงานเป็นแบบวงรอบปิด (Closed Loop Control) ซึ่งมอเตอร์ที่ความเร็ว 1000 รอบควมคุมแบบพีไอ (PI Controller) ผ่านอินเวอร์เตอร์โดยใช้วิธี PWM ซึ่งใช้เทคนิคการสวิตซ์ของเอาต์พุตทรานซิสเตอร์ (Insulated Gate Bipolar Transistor : IGBTs) ผ่านระบบ Energy Regenerative Unit (ERU) และนำเข้าสู่ระบบกริด โดยพฤติกรรมของพลังงานไฟฟ้าที่ได้การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟที่ไม่คงที่และผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าขณะที่มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าวงจร Zero crossing จะทำหน้าที่ตรวจจับแรงดันกระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้าแล้วจึงสร้างสัญญาณ PWM โดยมีความถี่ 50 Hz มุมของรูปคลื่นไฟฟ้าจะถูกปรับแต่งโดยให้มีเฟสที่ตรงกันใกล้ที่มุมศูนย์องศาต่อคาบเวลา จากผลการทดลองนี้บทความจึงนำเสนอการออกแบบกริดคอนเนคอินเวอร์เตอร์ที่เหมาะสมด้วย

คำสำคัญ: รีเจนเนอเรทีฟ, กริดคอนเนคอินเวอร์เตอร์, วงจรปรับมุมศูนย์

Abstract

This paper presents a study of power grid connection with an unstable source from elevator energy regenerative unit (EERU). The system used a PMSM motor and ERU system at different speed to produce electricity as an unstable power source. To meet standard specifications in term of power quality and safety for grid connection,

the phase angle and the amplitude as well as the frequency of the grid voltage are considered. Phase lock loop (PLL) algorithm is therefore very important and selected for grid synchronization. The study is done by simulation using Matlab/simulink program. The simulation used phase lock loop to synchronize between two systems. The results of this simulation will lead to a proper design of the grid connection unit.

Keywords: regenerative, grid connected inverter, font size, zero crossing circuit

1. บทนำ

การเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์ ซึ่งในการเชื่อมต่อของสองระบบเข้าด้วยกันนั้น ต้องอาศัยปัจจัยหลายตัว ในการจัดการ โดยสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ความถี่และเฟสให้ถูกต้องตรงกับระบบของสายส่งของการไฟฟ้าตลอดเวลาหรือที่เรียกว่าการซิงโครไนซ์เช่นกัน ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าในระบบก็ขึ้นอยู่กับพลังงานทดแทนที่ผลิตได้

กริดคอนเนคอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานทดแทนที่อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่ทำหน้าที่เหมือนแหล่งจ่ายกระแส ในขณะที่ระบบสายส่งของการไฟฟ้าจะเป็นแหล่งจ่ายแรงดัน ดังนั้นความสามารถในการขนานแหล่งจ่ายทั้งสองเข้ากันได้ขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายตัวหนึ่งต้องทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสและอีกตัวเป็นแหล่งจ่ายแรงดัน ดังนั้นการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าต้องใช้กริดคอนเนคอินเวอร์เตอร์เพื่อผลิตความถี่และเฟสให้ถูกต้องตามระบบของสายส่งของการไฟฟ้าตลอดเวลา หรือที่เรียกว่าการซิงโครไนซ์เช่นกัน โดยแรงดันของระบบจ่ายของการไฟฟ้าที่จ่ายเข้าจะมีค่าแรงดันที่ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์

ในบทความนี้จะศึกษาถึงการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าซึ่งมีค่าของแหล่งที่ได้จากระบบรีเจนเนอเรทีฟนั้นไม่คงที่ โดยเนื้อหาในบทความนี้จะกล่าวถึง ระบบกริดคอนเนคอินเวอร์เตอร์ ในส่วนที่ 2, การจำลองการทำงานด้วย MATLAB/SIMULINK ในส่วนที่ 3, ผลการวิเคราะห์ในส่วนที่ 4 และสรุปผลในส่วนที่ 5

บทความวิจัย

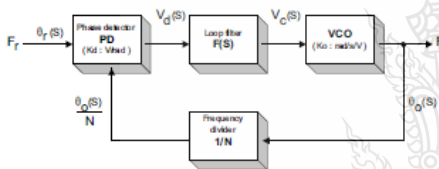
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

Proceedings of The 5th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET 2013)

2. ทฤษฎีและการดำเนินงาน

2.1 เทคนิคเชื่อมต่อบริการกริดของการไฟฟ้า

วงจรเฟสล็อกถูกเป็นวงจรตรวจจับเฟสและความถี่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณป้อนกลับให้กับเฟสคอมพาราเตอร์ เฟสคอมพาราเตอร์ทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณสองสัญญาณและให้สัญญาณเอาต์พุตที่ออกมา เมื่อความถี่ของสัญญาณอินพุตทั้งสองเท่ากันและถ้าความถี่ของสัญญาณอินพุตทั้งสองต่างกัน สัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากเฟสคอมพาราเตอร์ เมื่อนำมาป้อนให้กับวงจรกรองความถี่ต่ำ (Low-pass filter) จะได้อาต์พุตที่เป็นระดับสัญญาณที่นำไปใช้ป้อนให้กับวีซีโอคือการป้อนกลับแบบลูปปิด เพราะระดับสัญญาณที่ป้อนให้กับอินพุตวีซีโอจะเปลี่ยนเป็นความถี่ที่เอาต์พุตของวีซีโอในการพยายามทำให้ความถี่ตรงกับอินพุตของเฟสล็อก (PLL input frequency) ถ้าความถี่เอาต์พุตของวีซีโอเท่ากับกับความถี่อินพุตของเฟสล็อก เฟสล็อกจะอยู่ในสภาวะล็อก ระดับสัญญาณที่ควบคุมจะคงที่ครบเท่าที่อินพุตของเฟสล็อกอยู่ยังงั้น



รูปที่ 1 บล็อกโคจรแอมของเฟสล็อก

2.2 ข้อกำหนดสำหรับเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า

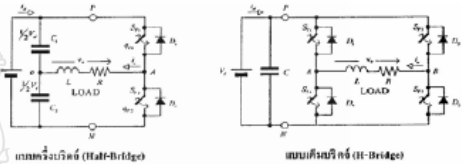
มาตรฐานการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าซึ่งมีผู้ใช้เชื่อมต่อกันเป็นระบบโครงข่าย ดังนั้นหากมีการจ่ายพลังงานเข้าไปสู่ระบบซึ่งมีลักษณะของสัญญาณที่มีรูปร่างคลื่นเพี้ยน หรือเกิดการลัดวงจร และเมื่อไฟฟ้าเกินขีด ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อกริดการเชื่อมต่อกับระบบ ดังนั้นการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายต้องคำนึงถึง Islanding Operation, AC under/over voltage condition, over/under Frequency condition Short circuit condition

2.3 หลักการของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) จะแปลงไฟกระแสสลับ (AC) จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าไปที่มีแรงดันและความถี่คงที่ ให้เป็นไฟกระแสตรง (DC) โดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) จากนั้นไฟ

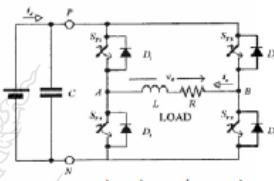
กระแสตรงจะถูกแปลงเป็นไฟกระแสสลับที่สามารถปรับขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit)

วงจรอินเวอร์เตอร์แบบครึ่งบริดจ์ที่นิยมใช้สำหรับแรงดันต่ำ โดยจะมีสารกึ่งตัวนำที่ถูควบคุม 2 ตัว



รูปที่ 2 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบครึ่งบริดจ์

วงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มบริดจ์ซึ่งจะประกอบด้วยสวิตช์บดล็อกจำนวน 4 ตัว



รูปที่ 3 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มบริดจ์

3. การจำลองการทำงานของระบบ

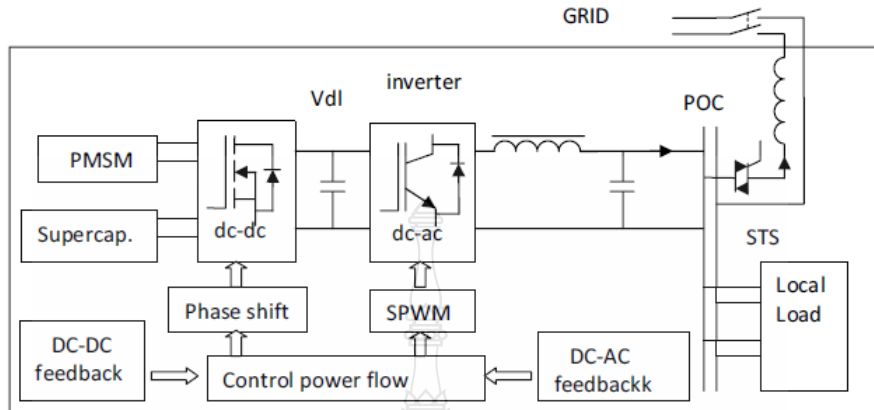
ในบทความนี้ได้ทำการจำลองระบบการทำงานของระบบรีเจนเนอเรทีฟโดยนำมาเชื่อมโยงกับระบบกริดคอนเนคอินเวอร์เตอร์เพื่อนำไปเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า

จากการทำงานของระบบซึ่งมีการทำงาน โดยอาศัยแหล่งจ่ายที่ไว้ระบบรีเจนเนอเรทีฟที่มีลักษณะในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ไม่คงที่ ดังนั้นการนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาใช้ เราใช้ IGBT เพื่อประกอบเป็นวงจร H Bridge ในการสร้างวงจรถ่าย ซึ่งจะใช้วงจรของเฟสล็อก ซึ่งจะมีส่วนที่ข้องเกี่ยวกับอีกสามวงจรคือ วงจร Phase Detector วงจร Low Pass Filter และ วงจร Voltage Control Oscillator โดยหลักการของวงจรเฟสล็อกซึ่งมีความแตกต่างของมุมที่กริดและค่ามุมเฟสของแรงดันขาออกซึ่งสามารถมีการปรับเปลี่ยนลงสู่ระดับศูนย์ได้โดยการใช้ PI Controller ค่าเอาต์พุตที่ได้จาก PI Controller คือแรงดันที่มีความถี่ที่สามารถอินทิเกรตได้กับแรงดันเฟส และทำให้เชื่อมเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าที่มีความคิดพลาดน้อยลง วงจรการทดลองดังรูปที่ 4

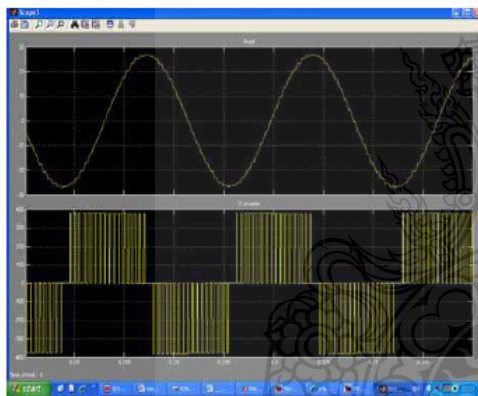
บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

Proceedings of The 5th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET 2013)



รูปที่ 4 การออกแบบการจำลองวงจรและทดสอบด้วย Matlab/simulink

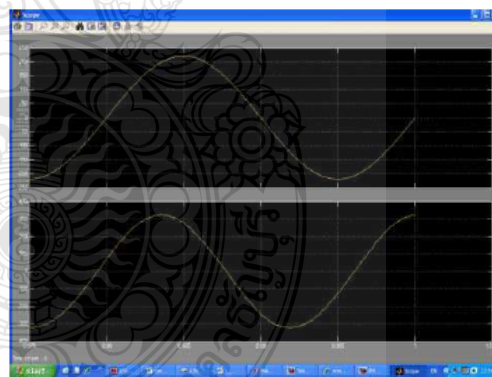


รูปที่ 5 ค่ากระแสและแรงดันที่ได้จากระบบรีเจนเนอเรทีฟ

รูปที่ 5 แสดงค่ากระแสและแรงดันที่ได้จากระบบรีเจนเนอเรทีฟ ค่าที่ได้จากรูปเกิดจากการหมุนของมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร ค่าของพลังงานที่ได้จากการหมุนนั้นถูกป้อนกลับผ่าน IGBT ซึ่งสามารถทำงานได้สองทิศทาง ป้อนกลับเข้าสู่ระบบ ERU เพื่อให้ได้แรงดันและกระแสออกมาตามค่าที่ต้องการ

จากรูปที่ 6 แสดงค่าแรงดันเปรียบเทียบจากระบบพลังงานรีเจนเนอเรทีฟกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า จากกราฟด้านบนแสดงค่าพลังงานที่ได้จากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าซึ่งค่าแรงดันที่ได้เปรียบกับค่าแรงดันจากกราฟด้านล่างซึ่งเป็นค่าแรงดันที่ออกมาจากระบบรีเจนเนอเรทีฟ จะเห็นได้ว่าค่าของมุมที่มีความแตกต่างกันจะทำให้เกิดผล

กระทบเมื่อเราทำการเชื่อมต่อทั้งสองระบบเข้าด้วยกัน ด้วยเหตุนี้จึงต้องนำพลังงานที่ได้จากระบบรีเจนเนอเรทีฟมาทำการปรับเปลี่ยนเพื่อให้สัญญาณทั้งสองนั้นอยู่ในเฟสเดียวกัน ซึ่งในบทความนี้จะใช้วงจรของเฟสล็อคขึ้นมาทำการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น คอผลที่ได้จากการแก้ปัญหาจะได้อีกในส่วนต่อไป



รูปที่ 6 ค่าแรงดันเปรียบเทียบจากระบบพลังงานรีเจนเนอเรทีฟกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า

4. วิเคราะห์ผลการทดลอง

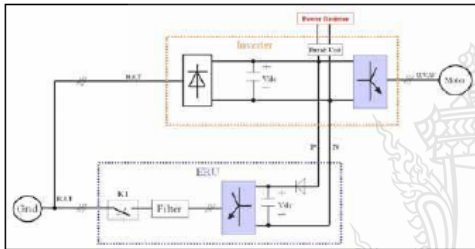
จากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม Matlab/ Simulink ในสภาวะที่โหลดต่างกันนั้นสามารถวิเคราะห์ได้ว่า เมื่อความเร็วของ

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

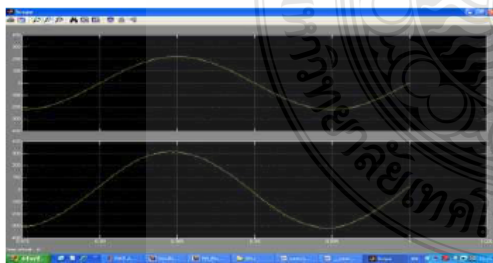
Proceedings of The 5th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET 2013)

มอเตอร์คงที่ และป้อนโหลดให้กับมอเตอร์ที่ 625, 0 Nm มอเตอร์ยังคงให้กำลังไฟฟ้าโดยวัดจากกราฟได้ค่า เป็นบวกและลบ ส่วนกระแสไฟฟ้าที่ DC Bus พบว่ามีกระแสไฟฟ้าออกมาเป็นบวกนั้นแสดงว่าสภาวะการทำงานยังคงทำงานเป็นมอเตอร์ แต่เมื่อป้อนโหลดขนาด -625 Nm กำลังไฟฟ้าที่ได้จากมอเตอร์โดยวัดจากกราฟนั้นมีค่าเป็นลบ และกระแสไฟฟ้าที่ DC Bus ก็มีค่าเป็นลบ นั้นแสดงว่ามอเตอร์มีสภาวะการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดกระแส โดยทั่วไปชุดขับมอเตอร์ในภาค Input นั้นจะใช้ชุด Diode Rectifier ทำให้การไหลของพลังงานไปในทิศทางเดียว ซึ่งเป็นกรับมอเตอร์แบบรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative Motor Driver) โดยใช้ IGBT ในการควบคุมซึ่งสามารถควบคุมให้พลังงานสามารถไหลได้ทั้งสองทิศทาง ซึ่งพลังงานที่ได้จากที่กล่าวมาจะนำไปจ่ายให้กับระบบของ ERU ดังรูปที่ 7 แล้วจึงส่งจ่ายเข้าสู่ระบบกริดเพื่อป้อนกลับสู่ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า



รูปที่ 7 หลักการชุดขับมอเตอร์แบบรีเจนเนอเรทีฟ

กล่าวคือ เมื่อมีการผลิตพลังงานออกมาจากระบบของ ERU ซึ่งค่าของแรงดันและค่าของม้วนนั้นมีความแตกต่างกันทำให้ไม่สามารถจ่ายคืนพลังงานให้กับระบบจำหน่ายได้ ดังนั้นจึงได้นำวงจรเฟสล็อกคูลูปมาทำการปรับแต่งค่าของม้วนเฟสมีความใกล้เคียงกัน



รูปที่ 8 ค่าพลังงานเปรียบเทียบระหว่างระบบจำหน่ายและระบบรีเจนเนอเรทีฟเมื่อมีการปรับแต่ง

จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการปรับแต่งและเปลี่ยนมุมของแรงดันและกระแสพบว่ารูปคลื่นสัญญาณไซน์เวฟที่มีมุมใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการปรับโดยใช้วงจรเฟสล็อกคูลูปนั้นสามารถแสดงผลการทำงานได้ใกล้เคียงกับความต้องการ

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาการเชื่อมต่อกับระบบรีเจนเนอเรทีฟกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเป็น Energy Regenerative Unit (ERU) เป็นลำดับต่อไป

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาระบบกริดเพื่อเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้าแบบแหล่งจ่ายไม่คงที่จากระบบรีเจนเนอเรทีฟโดยใช้แหล่งจ่ายที่มาจากการกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟของมอเตอร์ซึ่งโครนิสชนิดแม่เหล็กถาวร โดยการทำงานเมื่อมีการผลิตพลังงานออกมาแล้วต้องการที่จะจ่ายกลับเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้านั้นต้องการพิจารณาในหลาย ๆ ส่วนที่สำคัญคือการทำให้เฟสมีค่าที่ตรงกันและยังมีอีกหลาย ๆ ส่วนที่ไม่ได้กล่าวถึงคือ ค่าของ Islding ต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ดังนั้นการศึกษานี้จึงเป็นต้นแบบเพื่อนำไปประยุกต์กับการใช้งานจริง

เอกสารอ้างอิง

- [1] วรพจน์ ครอบรู้, ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานสำหรับนักเทคโนโลยีทางการศึกษาและผู้สนใจทั่วไป, ชลบุรี : คอมพิวเตอร์กราฟิก, 2539.
- [2] H. Inaba, S. T. Nara, H. Takahashi, S.M. Nakazato, "High speed elevators controlled by current source inverter system with sinusoidal input and output"
- [3] สิทธิชัย กันทะวงศ์ และ บุญยัง ปลั่งกลาง, "การศึกษาระบบกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของมอเตอร์ซึ่งโครนิสชนิดแม่เหล็กถาวรเพื่อการประยุกต์ใช้ผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟ", การประชุมวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 5, 18-20 ธ.ค. 2555, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ : 2555



เอกรัตน์ นกานต์ ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สนใจด้านระบบพลังงานทดแทน



บุญยัง ปลั่งกลาง จบการศึกษาระดับปริญญาเอก Kassel University สนใจด้านระบบพลังงานทดแทน ระบบไฟฟ้าแรงสูง

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36

The 36th Electrical Engineering Conference (EECON 36)

11-13 ธันวาคม 2556

ณ เฟลิกซ์ ริเวอร์แคว รีสอร์ท จ.กาญจนบุรี



Volume 1

(PW) ไฟฟ้ากำลัง

(PE) อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

Electrical Engineering Dept.
Faculty of Engineering
Kasetsart University
50 Ngamwongwan Road Latyao
Chatuchak Bangkok 10900
Tel: 02-797-0999 ext 1503, 1504
Fax: 02-579-7566



L&E



Reviewer

Channarong Banmongkol
Chanwit Boonchuay
Charnchai Pluempitiwiriyawej
Chatchai Suppitaksakul
Chawasak Rakpenthai
Chiranut Sa-ngjamsak
Chirasak Sinsukudomchai
Chirawat Wattapanich
Chirdpong Deelerpaiboon
Chowarit Mitsantisuk
Chutham Sawigun
Danucha Prasertsom
Decha Wilairat
Denchai Worasawate
Duang-arthit Srimoon
Dulpichet Rerkpreedapong
Dusit Thanapatay
Ekapon Siwapornsathain
Jakkree Srinonchat
Jeerasuda Koseeyaporn
Jirasak Chanwutitum
Jitkomut Songsiri
Jonglak Pahasa
Jukkrit Kluabwang
Jukkrit Tagapanij
Kamon Jirasereeamornkul
Kanadit Chetpattananondh
Kanchana Silawarawet
Kanjanapan Sukvichai
Keerati Chayakulkheeree
Khanittha Kaewdang
Kiatyuth Kveeyarn
Kiattisin Kanjanawanishkul
Kittisak Tripipatpornchai
Kittiwann Nimkerdphol

Organization

Chulalongkorn University
Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Chulalongkorn University
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
University of Phayao
Khon Kaen University
South-East Asia University
Walailak University
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Kasetsart University
Mahanakorn University of Technology
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Mahidol University
Kasetsart University
Rangsit University
Kasetsart University
Kasetsart University
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Chulalongkorn University
University of Phayao
Rajamangala University of Technology Lanna
Mahanakorn University of Technology
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Prince of Songkla University
Siam University
Kasetsart University
Sripatum University
Ubonratchathani University
Kasetsart University
Maharakham University
Rangsit University
Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Reviewer

Kobchai Dejhan
Komsan Hongesombut
Komson Daroj
Krischonme Bhumkittipich
Krissada Asavaskulkiet
Krit Angkeaw
Kulyos Audomvongseree
Kunnthphonng Srisathit
Kusumal Chalermyanont
Kwanchai Eurviriyankul
Mana Sriyudthsak
Manop Aorpimai
Miti Ruchanurucks
Mungkol Konghirun
Mongkol Raksapatcharawong
Monthon Nawong
Montree Siripruchyanun
Montri Karnjanadecha
Montri Somdunyanok
Naebboon Hoonchareon
Nalin Sidahao
Napat Sra-ium
Nararat Ruangchajitapun
Narong Buabthong
Narong Yoothanom
Nathabhat Phankong
Nattachote Rugthaicharoencheep
Nattapong Phanthuna
Nattavut Chayavanich
Nattaya Klairuang
Nattha Jindapetch
Natthaphob Nimpitiwan
Nimit Boonpirom
Nisachon Tangsangiumvisai
Nophadon Wiwatcharagoses

Organization

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Kasetsart University
Ubonratchathani University
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Mahidol University
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Chulalongkorn University
Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Prince of Songkla University
Rajamangala University of Technology Lanna
Chulalongkorn University
Mahanakorn University of Technology
Kasetsart University
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Kasetsart University
Dhurakij Pundit University
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Prince of Songkla University
Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Chulalongkorn University
Mahanakorn University of Technology
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Khon Kaen University
Thammasat University
Sripatum University
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Kasetsart Universit
Prince of Songkla University
Bangkok University
Sripatum University
Chulalongkorn University
King Mongkut's University of Technology North Bangkok

**Reviewer**

Wibool Piyawattanametha
Wijitra Petchakit
Wiklom Teerapabkajomdet
Wilaiporn Lee
Witoon Prommee
Witthawas Pongyart
Worakarn Wongsachua
Worapol Pongpech
Worawat Nakawiro
Wuthiporn Loetwassana
Wuttipong Kumwilaisak
Yan Zhao
Yongyuth Naras
Yongyuth Permpoontanalarp
Yutana Chongjarearn
Yuttana Kumsuwan
Yuttapong Jiraksopakun
Yutthana Kanthaphayao

Organization

National Electronics and Computer Technology Center
Walailak University
Prince of Songkla University
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Rajamangala University of Technology Lanna
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Ubonratchathani University
Dhurakij Pundit University
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Mahanakorn University of Technology
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Chulalongkorn University
Siam University
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Dhurakij Pundit University
Chiang Mai University
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi



สารบัญ

PE028	Implementation of Digital Peak Current Mode Control for a PV Grid-Connected Micro-Inverter	427
PE029	Development of a Matrix Converter based on Indirect Space Vector PWM for Renewable Energy Sources	431
PE030	Current Harmonic Improvement of Static Var Compensator System for Grid-connected Induction Generators Under Condition of Low Wind Speed	435
PE031	การเริ่มต้นเครื่องอย่างนุ่มนวลและการควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ฝั่งระบบไฟฟ้าสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทาง	439
PE032	อุปกรณ์ชดเชยที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมสถิตควบคุมด้วยแรงดันทางด้านโหลด โดยใช้อินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดันเฟสเดียวสามชุดเพื่อบรรเทาการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ	443
PE033	Slip Regulation Control of Asymmetrical parameter type Two-Phase induction motor Using Discontinuous Space Vector Pulse width modulation	447
PE034	ระบบควบคุมเวกเตอร์แบบไร้เซ็นเซอร์วัดตำแหน่งสำหรับเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทางที่มีการควบคุมกำลังรีแอกทีฟทางด้านโรเตอร์	451
PE035	การออกแบบอัตราขยายป้อนกลับอย่างง่ายสำหรับตัวสังเกตเต็มอันดับแบบปรับตัวของระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบไร้เซ็นเซอร์วัดความเร็ว	455
PE036	Rotor Position Estimation of Interior Permanent Magnet Synchronous Motors Based on Fictitious EMF with Switching Frequency Signal Injection	459
PE037	การควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยตัวควบคุมแบบพีไอและพีซีลอคจิก	463
PE038	State of Charge Estimation of Lithium-Ion Battery for Sensor Node in Wireless Sensor Network	467
PE039	Control of Solar/Wind Energy Power Plant with Supercapacitor Energy Storage	471
PE040	เครื่องแสดงสถานะแบตเตอรี่ในระบบสำรองไฟฟ้า	475
PE041	การพัฒนาวงจรทบระดับแรงดันแบบสองระดับที่มีอัตราขยายสูง	479
PE042	การศึกษาการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์	483
CM001	Performance Evaluation of Reconfigurable Random Interleavers with MAP Decoding for Video Sequence Transmission Systems	487
CM002	Linear Slope Delay Approximation for Equalization of Chrominance Delay Distortion	491
CM003	Frequency Down Converter by Using Second Order Forced Oscillator Based on Separate Time's Variable Analysis	495
CM004	FM Bandwidth Compression by Frequency Divider under Injection Locked Phenomena Based on Multi-time Variable Analysis	499
CM005	วิธีการหาความจุของสัญญาณของการสื่อสารแถบความถี่กว้างสำหรับสายส่งไฟฟ้าแรงต่ำภายในอาคาร	503

การศึกษาร่วมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์
Study of power grid connection with an unstable source from Elevator Energy Regenerative Unit (EERU)

เอกวิรัตน์ นกานต์ และ บุญยง ปลั่งกลาง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี
จังหวัดปทุมธานี 12110 โทร 0-2549-3420 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: eg1322@gmail.com, boonyang.p@en.rmutt.ac.th

PE042

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ การเชื่อมต่อพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการใช้วิธีรีเจนเนอเรทีฟของเครื่องกำเนิดแบบมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรเพื่อนำไปเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า จากการศึกษาการทำงานของลิฟต์แบบมอเตอร์แม่เหล็กถาวรพบว่าสามารถเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าได้เมื่อมีการหมุน โดยไม่มีแหล่งจ่าย ซึ่งจะเรียกการทำงานในสภาวะนี้ว่า รีเจนเนอเรทีฟ จึงศึกษาการนำพลังงานที่เกิดขึ้นซึ่งเป็นพลังงานสูญเสียกลับมาใช้ประโยชน์โดยการป้อนกลับเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าได้อีกครั้ง การศึกษานี้จะจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยการทำงานในวงจรในส่วนของซิงโครนัสมอเตอร์จะทำงานเป็นแบบวงรอบปิด (Closed Loop Control) ซึ่งมอเตอร์ที่ความเร็ว 1000 รอบควบคุมแบบพีไอ (PI Controller) ผ่านอินเวอร์เตอร์โดยใช้วิธี PWM ซึ่งใช้เทคนิคการสวิตชิ่งของเอาต์พุตทรานซิสเตอร์ (Insulated Gate Bipolar Transistor : IGBTs) ผ่านระบบ Energy Regenerative Unit (ERU) และนำเข้าสู่ระบบกริด โดยพฤติกรรมของพลังงานไฟฟ้าที่ได้การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟมีค่าไม่คงที่และผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า ขณะที่มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่มีค่ากระแสเพียงเล็กน้อยนั้น วงจร Hysteresis control จะทำหน้าที่สร้างกระแสอ้างอิงเพื่อให้กระแสที่ผลิตได้สามารถไหลเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าโดยใช้วงจร Phase lock loop และควบคุมด้วย Digital Signal Processing จากผลการทดลองนี้บทความจึงนำเสนอการออกแบบกริดคอนเนคชันอินเวอร์เตอร์ที่เหมาะสมด้วย

คำสำคัญ: รีเจนเนอเรทีฟ, กริดคอนเนคชันอินเวอร์เตอร์

Abstract

This paper presents a study of power grid connection with an unstable source from elevator energy regenerative unit (EERU). The investigated system used a Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM) and ERU system at different speed to produce electricity as an unstable power source. To meet standard specifications in term of power quality and safety for grid connection, the phase angle and the amplitude as well as the frequency of the grid voltage are considered.

Phase lock loop (PLL) algorithm is therefore very important and selected for grid synchronization. The study is done by simulation using MATLAB/Simulink program. The simulation used phase lock loop to synchronize between two systems. The results of this simulation will lead to a proper design of the grid connection unit.

Keywords: regenerative, grid connected inverter

1. คำนำ

ระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์ ซึ่งในการเชื่อมต่อของสองระบบเข้าด้วยกันนั้น ต้องอาศัยปัจจัยหลายตัวในการจัดการ โดยสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ความถี่และเฟสที่ถูกต้องตรงกับระบบของสายส่งของการไฟฟ้าตลอดเวลาหรือที่เรียกว่ากริดซิงโครไนซ์เซชัน ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าในระบบก็ขึ้นอยู่กับพลังงานทดแทนที่ผลิตได้

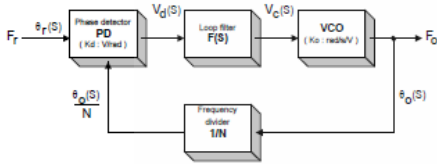
กริดคอนเนคชันอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานทดแทนที่อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่ทำหน้าที่เหมือนแหล่งจ่ายกระแสในขณะระบบสายส่งของการไฟฟ้าจะเป็นแหล่งจ่ายแรงดัน ดังนั้นความสามารถในการขนานแหล่งจ่ายทั้งสองเข้ากันได้ นั่นคือให้แหล่งจ่ายตัวหนึ่งคือทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสและอีกตัวเป็นแหล่งจ่ายแรงดัน ดังนั้นการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าต้องใช้กริดคอนเนคชันอินเวอร์เตอร์เพื่อผลิตความถี่และเฟสให้ถูกต้องตามระบบของสายส่งของการไฟฟ้าตลอดเวลา หรือที่เรียกว่ากริดซิงโครไนซ์เซชัน โดยแรงดันของระบบจ่ายของการไฟฟ้าที่จ่ายเข้าเป็นแบบ 3 เฟสและมีค่าแรงดันที่ 380 โวลต์

ในบทความนี้จะศึกษาถึงการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าซึ่งมีค่าของแหล่งที่ได้จากระบบรีเจนเนอเรทีฟนั้น ไม่คงที่ โดยเนื้อหาในบทความนี้จะกล่าวถึง ระบบกริดคอนเนคชันอินเวอร์เตอร์ ในส่วนที่ 2, การจำลองการทำงานด้วย MATLAB/Simulink ในส่วนที่ 3, ผลการวิเคราะห์ในส่วนที่ 4 และสรุปผลในส่วนที่ 5

2. เทคนิคเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้า

วงจรเฟสล็อกเป็นวงจรตรวจจับเฟสและความถี่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณป้อนกลับให้กับเฟสคอมพาราเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณสองสัญญาณและให้สัญญาณเอาท์พุทที่คงที่ออกมาเมื่อความถี่ของสัญญาณอินพุททั้งสองเท่ากันและถ้าความถี่ของสัญญาณ

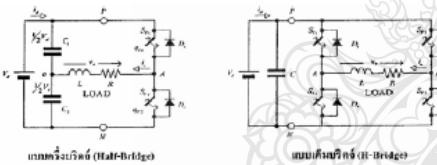
อินพุตทั้งสองต่างกัน สัญญาณเอาท์พุทที่ออกจากเฟสคอมพาราเตอร์ เมื่อนำมาป้อนให้กับวงจรกรองความถี่ต่ำ (Low-pass filter) จะได้ เอาท์พุทที่เป็นระดับสัญญาณที่นำไปใช้ป้อนให้กับ V_{co} คือการป้อนกลับแบบลูปปิด เพราะระดับสัญญาณที่ป้อนให้กับอินพุต V_{co} จะเปลี่ยนเป็นความถี่ที่เอาท์พุทของวีซีโอ ในการพยายามทำให้ความถี่ตรงกับอินพุทของเฟสล็อกกลุ๊ป (PLL input frequency) ถ้าความถี่เอาท์พุทของ V_{co} เท่ากันกับความถี่อินพุทของเฟสล็อกกลุ๊ป เฟสล็อกกลุ๊ปจะอยู่ในสภาวะล็อก ระดับสัญญาณที่ควบคุมจะคงที่ตรงเท่าที่อินพุทของเฟสล็อกกลุ๊ปยังคงที่



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของเฟสล็อกกลุ๊ป

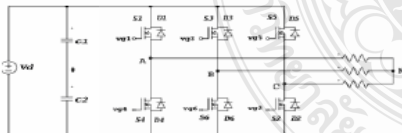
3. หลักการของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงไฟจากกระแสตรง (DC) ให้เป็นไฟกระแสสลับ โดยใช้หลักการควบคุมสวิตช์ อินเวอร์เตอร์สามารถแบ่งออกได้หลายชนิด รูปแบบวงจรที่ใช้งานโดยทั่วไปสำหรับอินเวอร์เตอร์มีอยู่ 2 แบบ คือวงจรแบบครึ่งบริดจ์ (Half Bridge) และวงจรเต็มบริดจ์ (Full Bridge) วงจรอินเวอร์เตอร์แบบครึ่งบริดจ์ที่นิยมใช้สำหรับแรงดันต่ำโดยจะมีสารกึ่งตัวนำที่ถูกควบคุม 2 ตัว



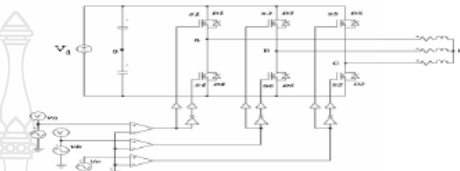
รูปที่ 2 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบครึ่งบริดจ์

วงจรงอินเวอร์เตอร์แบบเต็มบริดจ์ซึ่งจะประกอบด้วยสวิตช์บล็อกจำนวน 6 ตัว



รูปที่ 2 วงจรอินเวอร์เตอร์

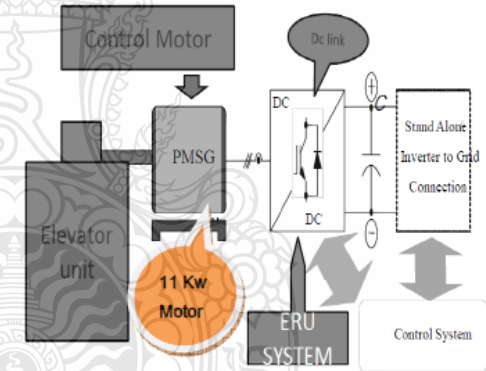
อินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบที่ดับลิแวม์ เปรียบเสมือนการต่อวงจรงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสจำนวน 3 ตัวเข้าด้วยกัน สัญญาณควบคุมเพื่อนำกระแสให้กับอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ในแต่ละกลุ่มวงจรแต่ละเฟสจะห่างกัน 120 องศาพิจารณาตามหลักสมมูลของไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ในระบบอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบที่ดับลิแวม์ยังแบ่งออกได้หลายชนิดตามเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณ



รูปที่ 3 โครงสร้างวงจรงอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบที่ดับลิแวม์

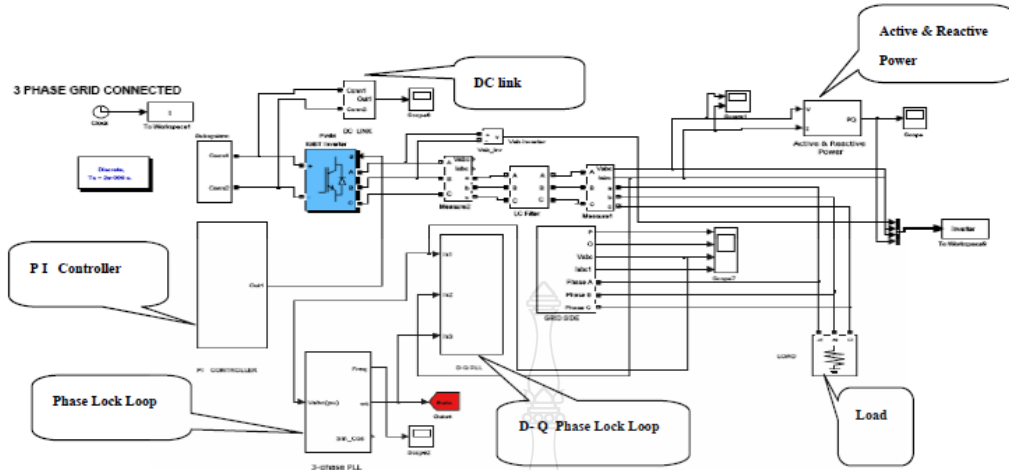
4. การจำลองการทำงานจากระบบ

ในบทความนี้ได้ทำการจำลองระบบการทำงานของระบบรีเจนเนอเรทีฟโดยนำมาเชื่อมโยงกับระบบกริดคอนเนคอินเวอร์เตอร์เพื่อนำไปเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า



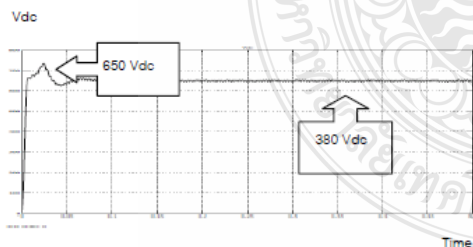
รูปที่ 4 วงจรการจำลองการทำงานจากระบบรีเจนเนอเรทีฟ

จากการทำงานของระบบซึ่งมีการทำงานโดยอาศัยแหล่งจ่ายที่ได้ระบบรีเจนเนอเรทีฟที่มีลักษณะ ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ไม่คงที่ ดังนั้นการนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาใช้ นั้น เราใช้ IGBT เพื่อประกอบเป็น วงจร H Bridge

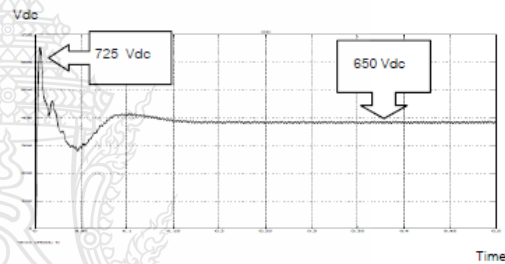


รูปที่ 5 วงจรการจำลองการทำงานของระบบวีเจนเนอร์ที่ฟ ด้วย Matlab / Simulink

ในการสร้างวงจรภาคขยาย ซึ่งจะใช้วงจรของเฟสล็อกคูลูปซึ่งจะมีส่วนที่ข้องเกี่ยวกับอีกสามวงจรถือ วงจรPhase Detector วงจร Low Pass Filter และวงจร Voltage Control Oscillator โดยหลักการของวงจรเฟสล็อกคูลูปซึ่งมีความแตกต่างของมุมที่กริดและค่ามุมเฟสของแรงดันขาออกซึ่งสามารถมีการปรับเปลี่ยนลงสู่ระดับศูนย์ได้โดยการใช้ PI Controller ค่าเอาพุทที่ได้จาก PI Controller คือแรงดันที่มีความถี่ที่สามารถอินทิเกรตได้กับแรงดันเฟส และทำให้เชื่อมเข้ากับระบบจำหน่ายของกริดไฟฟ้านั้นมีความผิดพลาดน้อยลง และในกรณีค่าของพลังงานที่ระบบผลิตออกมาได้เป็นจำนวนน้อยนั้น ซึ่งการทำงานที่จะทำให้ค่าของกระแสไหลเข้าสู่ระบบแหล่งจ่ายของกริดไฟฟ้านั้นซึ่งมีขนาดที่ใหญ่กว่าระบบผลิตจึงต้องอาศัยหลักการของ Hysteresis control ในการสร้างกระแสอ้างอิงเพื่อจะทำการผลิตคั่นให้เกิดการไหลของกระแสเข้าสู่ระบบจำหน่ายได้ การทดลองดังรูปที่ 5

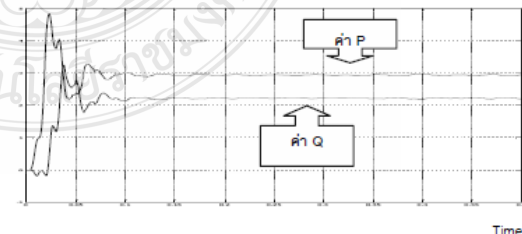


รูปที่ 6 แรงดันต่ำสุดที่วัดได้จาก DC Link เมื่อมีการหมุนของมอเตอร์ค่าทางจรรถนเวอร์เตอร์

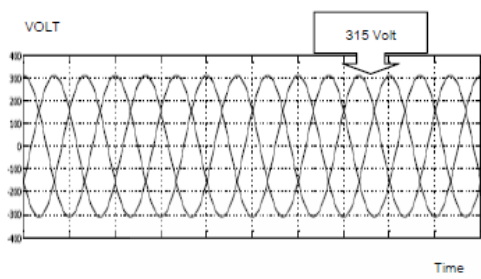


รูปที่ 7 แรงดันสูงสุดที่ได้จาก DC Link ค่าทางจรรถนเวอร์เตอร์

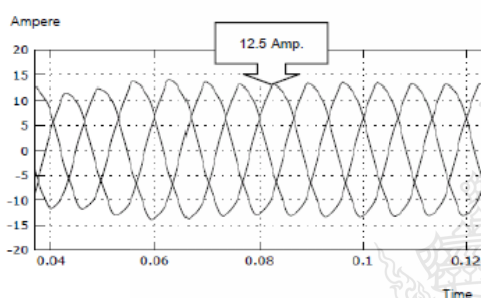
รูปที่ 5 เป็นวงจรคั่นแบบโดยใช้มอเตอร์ขนาด 11 Kw และทำการวัดค่าที่ได้ออกจาก dc link เพื่อกำหนดค่าที่ต่ำสุดและค่าที่สูงสุดเมื่อมีการผลิตพลังงานด้วยระบบวีเจนเนอร์ที่ฟ ผลที่ได้จากการทดสอบเป็นไปดังรูปที่ 6 และรูปที่ 7 ซึ่งแสดงแรงดันที่ได้ต่อค่าเวลาจากระบบวีเจนเนอร์ที่ฟ คั้งนั้นค่าที่ได้เกิดจากการหมุนของมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร ค่าของพลังงานที่ได้จากการหมุนนั้นถูกป้อนกลับผ่านวงจรบีก-บูทคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งสามารถทำการขยายแรงดันเพื่อป้อนเข้าสู่ระบบ ERU เพื่อทำให้แรงดันออกมาตามค่าที่ต้องการ



รูปที่ 8 ค่าของ P และ Q เมื่อทำการจำลองผ่านกริดอินเวอร์เตอร์ที่ได้จากระบบวีเจนเนอร์ที่ฟ



รูปที่ 9 ค่าแรงดันของแต่ละเฟสเมื่อทำการจำลองผ่านกริดอินเวอร์เตอร์ที่ได้จากระบบรีเจนเนอเรทีฟ



รูปที่ 10 ค่ากระแสของแต่ละเฟสเมื่อทำการจำลองผ่านกริดอินเวอร์เตอร์ที่ได้จากระบบรีเจนเนอเรทีฟ

จากรูปที่ 8 แสดงค่าพลังงานที่ได้จากระบบโดยทำการวัดค่าสัญญาณทางด้านของ P และ Q จะเห็นได้ว่าค่าของระดับสัญญาณมีการแกว่งก่อนที่จะสามารถรักษาระดับสัญญาณให้คงที่ด้วย PI controller และรูปสัญญาณรูปที่ 9 แสดงค่าของระดับสัญญาณแรงดันทั้งสามเฟส และรูปที่ 10 เป็นค่าของระดับสัญญาณกระแสของทั้งสามเฟส โดยทำการวัดทางด้านกริดคอนเน็คอินเวอร์เตอร์ของวงจร ซึ่งในบทความนี้จะใช้วงจรของเฟสล็อกคูลูบมาทำการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น โดยผลที่ได้จากการแก้ไขหาจะได้กล่าวในส่วนต่อไป

5. วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ในสภาวะที่โหลดต่างกันนั้นสามารถวิเคราะห์ได้ว่า เมื่อความเร็วของมอเตอร์คงที่ และป้อนโหลดให้กับมอเตอร์ที่ 625, 0 Nm มอเตอร์ยังคงให้กำลังไฟฟ้าโดยวัดจากกราฟได้ค่า เป็นบวกและลบ ส่วนกระแสไฟฟ้าที่ DC Bus พบว่ามีกระแสไฟฟ้าออกมาเป็นบวกนั้นแสดงว่าสภาวะการทำงานยังคงทำงานเป็นมอเตอร์ แต่เมื่อป้อนโหลดขนาด -625 Nm กำลังไฟฟ้าที่ได้จากมอเตอร์โดยวัดจากกราฟนั้นมีค่าเป็นลบ และกระแสไฟฟ้าที่ DC Bus ก็มีค่าเป็นลบ นั้นแสดงว่ามอเตอร์มีสภาวะการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดชั่วขณะ โดยทั่วไปชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ในภาค Input

นั้นจะใช้ชุด Diode Rectifier ทำให้การไหลของพลังงานไปในทิศทางเดียว ซึ่งเป็นการขับเคลื่อนมอเตอร์แบบรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative Motor Driver) โดยใช้ IGBT ในการควบคุมซึ่งสามารถควบคุมให้พลังงานสามารถไหลได้ทั้งสองทิศทาง ซึ่งพลังงานที่ได้จากที่กล่าวมาจะนำไปจ่ายให้กับระบบของ ERU ดังรูปที่ 7 แล้วจึงส่งจ่ายเข้าสู่ระบบกริดเพื่อป้อนกลับสู่ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า

กล่าวคือ เมื่อมีการผลิตพลังงานออกมาจากระบบของ ERU ซึ่งค่าของกระแสและแรงดันนั้นจะมีระดับน้อยมากเนื่องจากการหมุนของมอเตอร์นับว่าเป็นแหล่งจ่ายตัวหนึ่งที่มีความแตกต่างกันทำให้ไม่สามารถจ่ายคืนพลังงานให้กับระบบจำหน่ายได้ ดังนั้นจึงได้นำวงจรเฟสล็อกคูลูบมาทำการปรับแต่งค่าของมุมเฟสมีความใกล้เคียงกันเพื่อให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้ากลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าได้ อีกจุดหนึ่งที่น่าสนใจของระบบนี้คือ การที่มีค่าของระดับแรงดันที่ไม่คงที่เมื่อมีการผลิตพลังงานได้น้อยเกินกว่าที่จะสามารถไหลเข้าสู่ระบบได้ จึงได้นำเอาวงจร Hysteresis current controller จะทำหน้าที่ในการผลิตคลื่นกระแสที่มีค่าน้อยกว่าระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ดังนั้นวงจรนี้จะทำการสร้างสัญญาณอ้างอิงเพื่อให้ค่าของกระแสสามารถไหลเข้าสู่ระบบได้

6. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการระบบกริดแบบสามเฟส เพื่อเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้าแบบแหล่งจ่ายไม่คงที่จากระบบรีเจนเนอเรทีฟโดยใช้แหล่งจ่ายที่มาจากกริดกลายเป็นเครื่องกำเนิดด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟของมอเตอร์ซึ่งโคโรนาชนิดแม่เหล็กถาวร โดยการทำงานเมื่อมีการผลิตพลังงานออกมาแล้วต้องการที่จะจำหน่ายกลับเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้านั้นต้องการพิจารณาในหลาย ๆ ส่วนที่สำคัญคือการทำให้เฟสมีค่าที่ตรงกัน ค่าของความถี่และปริมาณของกระแสที่ระบบสามารถผลิตออกมาได้ โดยจะเห็นได้ว่าค่าของพลังงานที่ระดับในการผลิตพลังงานออกมาในลักษณะที่ไม่คงที่จึงต้องเป็นไปตามมาตรฐานการเชื่อมต่อกับระบบเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ดังนั้นการศึกษานี้จึงเป็นต้นแบบเพื่อนำไปประยุกต์กับการใช้งานจริง

เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Inaba, S. T. Nara, H. Takahashi, M. Nakazato, "High speed elevators controlled by current source inverter system with sinusoidal input and output" Volume 28, Issue 4, Jul/aug 1992
- [2] Miss. Sangita R Nandurkar, Mrs. Mini Rajeev, "Design and simulation of three phase inverter for grid connected Photovoltaic system": NCNTE 2012

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นายเอกรัตน์ นภกานต์
วัน เดือน ปีเกิด	21 มิถุนายน 2515
ที่อยู่	20/9 หมู่ 3 ต.หนองค้างพลู อ.หนองแขม จ.กรุงเทพมหานคร
การศึกษา	
พ.ศ. 2539	สำเร็จการศึกษาระดับอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมไฟฟ้าจากมหาวิทยาลัยสยาม
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2534 – 2536	พนักงานพัสดุ 3 องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย
พ.ศ. 2537 – 2549	ผู้จัดการฝ่ายเทคนิค บริษัทออลเวอร์ชั่นมอเตอร์วิ้ง
พ.ศ. 2550 – ปัจจุบัน	อาจารย์ประจำ มหาวิทยาลัยธนบุรี
เบอร์โทรศัพท์	084-454-3234
อีเมล	eg1322@gmail.com

