

การจำลองชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร
ด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟ

**MODELLING OF POWER GENERATION CONTROLLER FOR
PERMANENT MAGNET MOTOR ELEVATOR BY ENERGY
REGENERATIVE UNIT (ERU)**

สิทธิชัย ก้นทะวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การจำลองชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร
ด้วยวิธีจูนเนอร์เรทีฟ

สิทธิชัย กันทะวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟ
ชื่อ – นามสกุล	นายสิทธิชัย กันทะวงศ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญยัง ปลั่งกลาง, Dr.-Ing.
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

การทำงานของลิฟต์ในช่วงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีพลังงานไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน โดยผ่านตัวต้านทาน จากปัญหาดังกล่าว จึงมีแนวความคิดที่จะนำพลังงานสูญเสียจากระบบลิฟต์กลับมาใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ ซึ่งประกอบไปด้วยสองส่วนหลัก คือ การแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และการควบคุมการเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้ากลับสู่ระบบจำหน่าย เพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบลิฟต์

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการจำลองชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์แบบแม่เหล็กถาวร ด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟ เพื่อนำพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่ได้จากระบบลิฟต์ป้อนกลับเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า โดยทำการจำลองระบบการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับของชุดคืนพลังงาน (Energy Regenerative Unit:ERU) ที่ใช้เทคนิค 4 จตุภาค ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink และศึกษาความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่รับและจ่ายคืนระบบไฟฟ้ากับพิกัดน้ำหนักที่ลิฟต์บรรทุก

จากผลการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink พบว่าขณะที่มอเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 7.5 กิโลวัตต์ ERU สามารถคืนพลังงานเฉลี่ยประมาณ 4 กิโลวัตต์ และจากการทดสอบลิฟต์เปล่าขึ้นลงอัตโนมัติ เป็นเวลา 30 วันพบว่าสามารถคืนพลังงานได้ 81 กิโลวัตต์หรือประมาณ 43 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับลิฟต์ที่ไม่มีการติดตั้งระบบรีเจนเนอเรทีฟ

คำสำคัญ : ชุดควบคุมกำลังของลิฟต์ รีเจนเนอเรทีฟ ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร

Thesis Title	Modelling of Power Generation Controller for Permanent Magnet Motor Elevator by Energy Regenerative Unit (ERU)
Name - Surname	Mr. Sittichai Kantawong
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 (ERU) which consists of 2 main parts as: the DC to AC converter and the grid connected system controller.

This thesis presents a power control model of the permanent magnet motor with the regenerative method that the power loss from the elevator system is injected back to the grid system. The proposed DC to AC converter of the ERU using four quadrant techniques is modeled and simulated by MATLAB/Simulink program then it is implemented and tested the performance with the existence system. The relationship between power of ERU to power grid and the corresponding passenger load is also added into the study.

From the experiments, it shown that when the motor with rated of 7.5 kW operates as a generator, the proposed ERU can provide the energy average 4 kW back to the power grid system. The comparison of the energy consuming of the elevator system with and without ERU are also tested with the same condition for a period of 30 days. As the result, it is found that the system with ERU can save energy up to 81 kW approximately 43% of the total energy consuming in the system without ERU.

Keywords: power controller for motor elevator, regenerative, permanent magnet motor

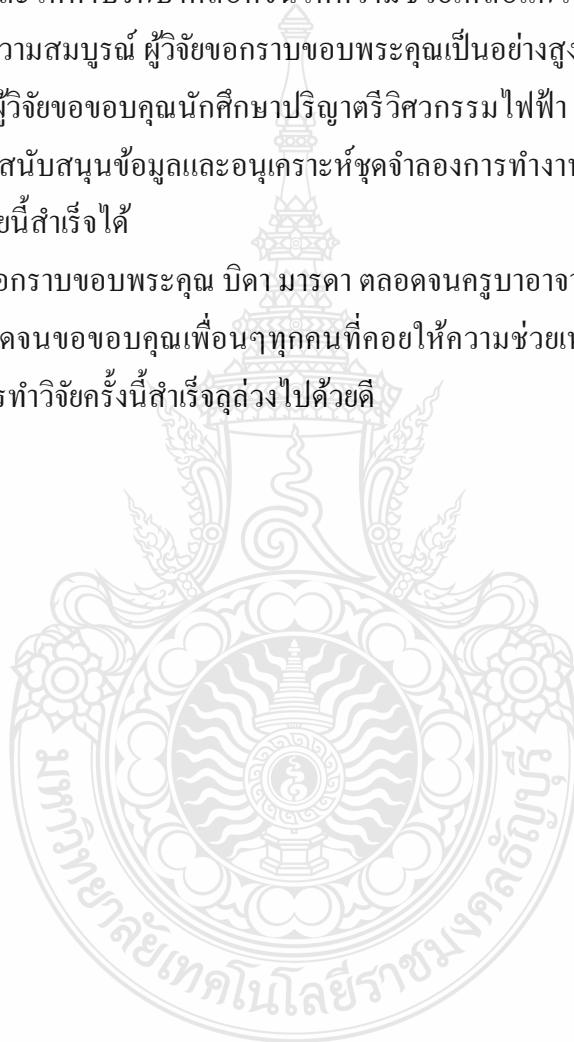
กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษชนม์ ภูมิภักติพิชน์ ดร.สุรินทร์ แห่งมงาม กรรมการสอบ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา ขำสุวรรณ ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมไฟฟ้า และบริษัทชั้นยู อีเลเวเตอร์ (ประเทศไทยจำกัด) ที่สนับสนุนข้อมูลและอนุเคราะห์ชุดจำลองการทำงานของลิฟต์มาร่วมในการทำวิจัยนี้ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ตลอดจนครูบาอาจารย์ทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจ ตลอดจนขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและเป็นกำลังใจเสมอมาจนการทำวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สิทธิชัย กันทะวงศ์



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(9)
สารบัญรูป.....	(10)
บทที่ 1 บทนำ.....	14
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	14
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	15
1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย	16
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	17
1.5 ขั้นตอนการวิจัย.....	17
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	18
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	21
2.3 การแบ่งประเภทของลิฟต์.....	23
2.4 ส่วนประกอบของลิฟต์.....	26
2.5 เทคโนโลยีในระบบลิฟต์.....	32
2.6 ระบบลิฟต์แบบรีเจนเนอเรทีฟ.....	33
2.7 การจำกัดพิบัติการทำงานของระบบขับเคลื่อน	36
2.8 มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร.....	38
2.9 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์และจ่ายไฟคืนกลับให้กับระบบไฟฟ้า	46
2.10 การวิเคราะห์พฤติกรรมการทำงานของระบบลิฟต์.....	50
2.11 อินเวอร์เตอร์	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.12 วงจรทบทระดับแรงดัน	55
2.13 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดสำหรับวงจรทบทระดับแรงดัน	60
2.14 อัตราระลอกคลื่น (Ripple Factor) ของแรงดันขาออก	61
2.15 สรุป.....	62
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	63
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	63
3.2 การจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรขณะกลายสภาพเป็น เครื่องกำเนิด	64
3.3 การออกแบบจำลองชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้าจากการกลายสภาพเป็นเครื่อง กำเนิดของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร	65
3.4 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ	75
3.5 การจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร	78
3.6 การออกแบบจำลองวงจรทบทระดับแรงดัน	83
3.7 การจำลองการทำงานของ ERU	87
3.8 ขั้นตอนการจัดเตรียมอุปกรณ์และปฏิบัติการ	90
3.9 ขั้นตอนการประกอบเครื่องมือตรวจวัด.....	92
3.10 สรุป.....	93
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	94
4.1 ผลการทดลอง	99
4.2 การคำนวณเศรษฐศาสตร์.....	106
4.3 สรุป.....	118
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	119
5.1 สรุปผลการวิจัย	119
5.2 ข้อเสนอแนะ	120

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
รายการอ้างอิง.....	121
ภาคผนวก.....	123
ภาคผนวก ก โปรแกรม Matlab/Simulink ที่ใช้ในการจำลอง.....	124
ภาคผนวก ข รุ่นมอเตอร์และรุ่นไอจีบีทีที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	129
ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	135
ประวัติผู้เขียน	171



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 โหมมดการทำงานของระบบลิฟต์.....	16
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบเครื่องควบคุมลิฟต์แบบรีเลย์และแบบไมโครคอมพิวเตอร์.....	25
ตารางที่ 2.2 โหมมดการทำงานของระบบลิฟต์.....	33
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติกระแสและแรงบิดของมอเตอร์เมื่อต่อกับแหล่งจ่ายไฟ และอินเวอร์เตอร์	53
ตารางที่ 2.4 ค่าอัตราขยายแรงดันของวงจรทบระดับแรงดันที่ Duty Cycle ต่างๆ	60
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลทางเทคนิคของมอเตอร์.....	64
ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้จำลองการทำงาน.....	79
ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบผลจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรขณะทำงานเป็น มอเตอร์และเครื่องกำเนิด.....	83
ตารางที่ 4.1 กำลังไฟฟ้าจากการจำลองที่ภาระบรรทุกต่างๆขณะลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น.....	96
ตารางที่ 4.2 กำลังไฟฟ้าจากการจำลองที่ภาระบรรทุกต่างๆขณะลิฟต์เคลื่อนที่ลง.....	96
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองกรณีลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น.....	102
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองกรณีลิฟต์เคลื่อนที่ลง	103
ตารางที่ 4.5 Annuity Factor.....	107
ตารางที่ 4.6 รายการราคาส่วนประกอบหลักของระบบลิฟต์และระบบรีเจนเนอเรทีฟ เพื่อนำไปใช้ในการ การคำนวณ.....	108
ตารางที่ 4.7 ตารางเปรียบเทียบจำนวนคนและจำนวนปีที่คุ้มทุนจากการคำนวณ	117

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 โหมมการทำงานของระบบลิฟต์ที่เป็นมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์.....	17
รูปที่ 2.1 ระบบลิฟต์ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน	21
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของระบบลิฟต์.....	26
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างตู้ควบคุมระบบลิฟต์	27
รูปที่ 2.4 มอเตอร์ไฟฟ้าพร้อมชุดเฟืองในระบบลิฟต์.....	28
รูปที่ 2.5 ล้อสายพานและมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	28
รูปที่ 2.6 เกียร์ชนิดเฟืองหนอน	29
รูปที่ 2.7 เกียร์ชนิดเฟืองก้นหอย	30
รูปที่ 2.8 การขับเคลื่อนไม่มีชุดเฟือง.....	30
รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของคัมถ่วงน้ำหนัก	31
รูปที่ 2.10 รางลิฟต์.....	31
รูปที่ 2.11 ห้องโดยสาร	32
รูปที่ 2.12 โหมมการทำงานของระบบลิฟต์ที่เป็นมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์	34
รูปที่ 2.13 การทำงานของมอเตอร์ในโหมมต่างๆ.....	34
รูปที่ 2.14 การทำงานของมอเตอร์ในโหมมต่างๆ.....	35
รูปที่ 2.15 การจำกัดการทำงานของระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า.....	37
รูปที่ 2.16 มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรต่อล้อสายพานโดยตรงแบบไม่ใช่เฟืองทด	38
รูปที่ 2.17 โครงสร้างของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร 3 เฟส	40
รูปที่ 2.18 แบบจำลองของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร	41
รูปที่ 2.19 วงจรสมมูลของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรที่เทียบกับแกนอ้างอิงของโรเตอร์ ..41	
รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างแกน qd และแกน abc	43
รูปที่ 2.21 ตัวอย่างวงจรขับเคลื่อนไม่มีระบบรีเจนเนอเรทีฟ.....	47
รูปที่ 2.22 ตัวอย่างวงจรขับเคลื่อนมีระบบรีเจนเนอเรทีฟ.....	47
รูปที่ 2.23 วงจรบล็อกไดอะแกรมพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์	48
รูปที่ 2.24 DC Bus Voltage ในสภาวะ Generating และ Motoring	49

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.25 ข้อมูลสภาพการใช้งานระบบลิฟต์.....	50
รูปที่ 2.26 การใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบของเครื่องจักร	51
รูปที่ 2.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับแรงดันและแรงบิด	52
รูปที่ 2.28 โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์.....	53
รูปที่ 2.29 โครงสร้างของวงจรถบขนาดแรงดัน.....	55
รูปที่ 2.30 วงจรสมมูลของวงจรถบระดับแรงดันขณะสวิตช์นำกระแส.....	56
รูปที่ 2.31 วงจรสมมูลของวงจรถบระดับแรงดันขณะสวิตช์หยุดนำกระแส	57
รูปที่ 2.32 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อม และกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในวงจรถบระดับแรงดัน	58
รูปที่ 2.33 รูปคลื่นแรงดันขาเข้าและแรงดันขาออกของวงจรถบระดับแรงดันเมื่อ $D = 0.5$	59
รูปที่ 2.34 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายแรงดันกับค่า Duty Cycle ของวงจรถบระดับแรงดัน	60
รูปที่ 2.35 รูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุและแรงดันขาออกในวงจรถบระดับแรงดัน	61
รูปที่ 3.1 วงจรระบบลิฟต์ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน.....	64
รูปที่ 3.2 กราฟความสัมพันธ์ของ และ กับมุมเฟสของโหลด.....	68
รูปที่ 3.3 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์.....	69
รูปที่ 3.4 ขนาดตัวเก็บประจุ	71
รูปที่ 3.5 ตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุ.....	71
รูปที่ 3.6 การหาค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ I_c ด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink.....	72
รูปที่ 3.7 ผลการหาค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ I_c ด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink.....	73
รูปที่ 3.8 ตัวต้านทานที่ใช้ขณะเบรก.....	74
รูปที่ 3.9 IGBT Modute 3 เฟส พิกัด 650Vของอินเวอร์เตอร์	75
รูปที่ 3.10 การควบคุมความเร็วรอบโดยระบบควบคุมแบบพีไอด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink	76
รูปที่ 3.11 ผลการตอบสนองของระบบควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อมีค่า K_p และ K_i เหมาะสมด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink.....	76
รูปที่ 3.12 ผลของความเร็วรอบและแรงบิดของมอเตอร์เมื่อมีค่า K_p และ K_i เหมาะสมด้วย โปรแกรม Matlab/Simulink	77

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.13 การจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink.....	78
รูปที่ 3.14 ผลจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรขณะทำงานเป็นมอเตอร์	80
รูปที่ 3.15 ผลจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรขณะทำงานเป็นเครื่องกำเนิด	81
รูปที่ 3.16 ผลจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรขณะทำงานเป็นเครื่องกำเนิด และทำงานเป็นมอเตอร์	82
รูปที่ 3.17 วงจรทบทวนขนาดแรงดันและค่าพารามิเตอร์	83
รูปที่ 3.18 ผลการจำลองวงจรทบทวนขนาดแรงดันโดยโปรแกรม Matlab/Simulink	84
รูปที่ 3.19 ชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟ	85
รูปที่ 3.20 ชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของการผลิตไฟฟ้าจากมอเตอร์ลิฟต์ ด้วยระบบERU	86
รูปที่ 3.21 Energy Regenerative Unit (ERU)	87
รูปที่ 3.22 การสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม.....	87
รูปที่ 3.23 สัญญาณควบคุมขาเกจของอินเวอร์เตอร์.....	88
รูปที่ 3.24 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันเฟสขาออกอินเวอร์เตอร์.....	89
รูปที่ 3.25 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า 3 เฟสที่ออกมาจาก ERU	89
รูปที่ 3.26 อุปกรณ์เพื่อใช้ประกอบเป็นชุดจำลองของมอเตอร์ลิฟต์แบบรีเจนเนอเรทีฟ	90
รูปที่ 3.27 การประกอบในส่วนของ Induction Motor กับ Inverter เข้าด้วยกัน	91
รูปที่ 3.28 การประกอบ PM Motor และ Induction Motor โดยเชื่อมต่อโดยเพลากลาง	91
รูปที่ 3.29 การประกอบเครื่องมือวัดเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของ ERU	92
รูปที่ 4.1 แสดงการวัดและเพื่อบันทึกค่าพารามิเตอร์ชุดจำลองแบบรีเจนเนอเรทีฟ	95
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับภาระบรรทุกของลิฟต์ กรณีที่ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น	97
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับภาระบรรทุกของลิฟต์ขณะลิฟต์เคลื่อนที่ลง.....	98
รูปที่ 4.4 รูปคลื่นแรงดันกระแสตรงจากดี.ซี.ลิงค์ ก่อนจะเข้าวงจร ERU	99
รูปที่ 4.5 รูปคลื่นแรงดันสามเฟสที่มีการรีเจนเนอเรทีฟแสดงค่าพารามิเตอร์ของชุดจำลอง เสมือนจริง	100

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.6 รูปคลื่นแรงดันสามเฟสที่ออกจาก ERU โดยการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink.....	100
รูปที่ 4.7 อาคาร 13 ชั้นที่ติดตั้งชุดควบคุมกำลังไฟฟ้า ERU และทำการตรวจวัดค่าพลังงาน.....	101
รูปที่ 4.8 กราฟกำลังไฟฟ้าขณะลิฟต์ขึ้น (No-Load) ทำงานเป็นเครื่องกำเนิด.....	102
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการคำนวณกับกำลังไฟฟ้าที่วัดได้กรณีลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น ..	103
รูปที่ 4.10 กราฟกำลังไฟฟ้าขณะลิฟต์ลง (Full-Load) ทำงานเป็นเครื่องกำเนิด	104
รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการคำนวณกับกำลังไฟฟ้าที่วัดได้กรณีลิฟต์เคลื่อนที่ลง .	104
รูปที่ 4.12 รูปคลื่นสัญญาณกำลังไฟฟ้า 3 เฟสที่ออกมาจาก ERU ได้จากการจำลองการทำงาน ด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink	105
รูปที่ 4.13 ข้อมูลการใช้พลังงานของระบบลิฟท์ในงานวิจัย	106
รูปที่ 4.14 การแบ่งช่วงการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้ากรณีลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น.....	109
รูปที่ 4.15 การแบ่งช่วงการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้ากรณีลิฟต์เคลื่อนที่ลง.....	110



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันพื้นที่การใช้งานมีอยู่จำกัด แนวโน้มการขยายตัวของความต้องการที่อยู่อาศัยและพื้นที่ประกอบธุรกิจมีค่อนข้างมาก เกี่ยวเนื่องกับความเป็นอยู่ในชีวิตประจำวันทำให้มีความจำเป็นต้องสร้างอาคารที่สูงขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ และสิ่งที่เป็นในอาคารสูงนั้นก็คือลิฟต์ เมื่อแนวโน้มที่จะมีอาคารสูงเพิ่มมากขึ้น ทำให้การติดตั้งและใช้งานของระบบลิฟต์จึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้ลิฟต์จึงเป็นพาหนะที่มีความสำคัญในการขนส่งแนวดิ่งของอาคารสูงไม่ว่าจะเป็นหอสูง ห้างสรรพสินค้า อาคารสำนักงานและโรงงานย่อมมีลิฟต์เป็นส่วนหนึ่งของอาคาร

ลิฟต์ถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการใช้ชีวิตประจำวันสำหรับการอยู่อาศัยในอาคารสูงเป็นอย่างยิ่งและลิฟต์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อน โดยเฉลี่ยลิฟต์เมื่อเทียบกับอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดอื่นๆจะใช้พลังงานไฟฟ้ามาก รองลงมาจากระบบปรับอากาศและแสงสว่างดังนั้นถ้าลิฟต์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายเข้าระบบได้ จะสามารถทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการใช้พลังงานของลิฟต์ให้มีประสิทธิภาพ ลดการใช้พลังงาน จึงเป็นการพัฒนาระบบลิฟต์ที่สำคัญต่อการอนุรักษ์พลังงาน[1]

ลิฟต์ส่วนใหญ่ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันเป็นลิฟต์ที่ใช้มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ต้นกำลังที่สำคัญ (Prime Mover) ในการส่งกำลัง (Power Transmission) ซึ่งมีทั้งที่ส่งกำลังผ่านระบบไฮดรอลิก (Hydraulic System) การส่งกำลังผ่านระบบเฟืองทด (Gear System) และการส่งกำลังโดยตรงโดยไม่มีระบบเฟืองทด (Gearless System) โดยทั่วไปลิฟต์ที่ไม่ใช่เฟืองทดสามารถลดการสูญเสียพลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านเฟืองทดอีกทั้งลิฟต์ที่ใช้เฟืองทดซึ่งมอเตอร์ต้องหมุนด้วยความเร็วรอบที่สูงทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานอันเนื่องมาจากความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส (Friction Loss) และความเสียดทานลมระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์ (Windage Loss)

การพัฒนาเทคโนโลยีด้านการอนุรักษ์พลังงานที่เกี่ยวข้องกับระบบลิฟต์ ยังรวมถึงการพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของลิฟต์แบบวงรอบปิด (Closed Loop Control) เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ให้ทำงานด้วยความเร็วในการเคลื่อนที่ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งจุดจอดของลิฟต์ทำให้อัตราการสูญเสียพลังงานที่ต้องใช้ในตัวต้านทานที่ใช้ในการเบรกและนอกจากนี้ยังได้นำพลังงานศักย์ที่สะสมอยู่ในน้ำหนักบรรทุกทุกกลับมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าป้อนกลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้ากำลังของลิฟต์และรวมถึงระบบไฟฟ้าของอาคารสำนักงาน อีกทั้งลดความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเบรกลิฟต์ด้วย

การแปลงพลังงานศักย์ที่ได้กลับ ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าแทนที่จะทำให้เกิดพลังงานความร้อนที่ระบบเบรกซึ่งจะช่วยลดความต้องการใช้พลังงานในการระบายความร้อนที่ชุดเบรกในห้องลิฟต์ ได้ด้วยระบบดังกล่าวสามารถเรียกว่าระบบ Regenerative Drive หรือเรียกสั้นๆว่า Regen Drive

จากปัญหาดังกล่าวนี้จึงจำเป็นที่จะต้องหาแนวทางในการนำพลังงานจากแหล่งอื่นๆ มาช่วยในการประหยัดพลังงานจากการใช้ลิฟต์ เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าให้กับอาคาร ซึ่งจากการศึกษาพบว่าในการใช้ลิฟต์นั้นจะมีโหมดการทำงานอยู่ในช่วงหนึ่งที่มอเตอร์ไฟฟ้า ไม่ได้จ่ายไฟฟ้าแต่มีการหมุนด้วยความเร็วสูงตามแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งโหมดนี้เรียกว่า รีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative Mode) ดังนั้น วิทยานิพนธ์นี้จึงศึกษาและจำลองชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าในการผลิตไฟฟ้าในช่วงนี้มาใช้งานเพื่อจ่ายไฟฟ้าคืนให้กับระบบในช่วงที่มอเตอร์กลายเป็นเครื่องกำเนิด ซึ่งเป็นแนวคิดใหม่ในการผลิตไฟฟ้าและสามารถนำพลังงานที่สูญเสียเปล่ามาผลิตไฟฟ้า โดยสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบลิฟต์ได้

วิทยานิพนธ์นี้จะเป็นการศึกษาการจำลองชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ (ERU) ซึ่งระบบการควบคุมการทำงานของระบบลิฟต์เดิม จะไม่สามารถนำพลังงานที่ลิฟต์สร้างขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้ แต่เมื่อติดตั้งวงจร (ERU) เสริมเข้าไปในระบบควบคุมของลิฟต์โดยที่ไม่ยุ่งเกี่ยวกับระบบการควบคุมของระบบลิฟต์เดิม จะสามารถนำพลังงานที่มอเตอร์ลิฟต์ผลิตขึ้นจ่ายกลับเข้าสู่ระบบต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดของมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ

1.2.2 เพื่อศึกษาและจำลองชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟโดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการประหยัดพลังงานเมื่อติดตั้งชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์จริงกับการจำลองชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

1.2.4 เพื่อนำผลการประหยัดพลังงานมาวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์หาจุดคุ้มทุนเมื่อติดตั้งชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ

1.2.5 เพื่อส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานสูญเสียเปล่าของมอเตอร์ลิฟต์

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

ระบบผลิตไฟฟ้าจากการกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ เป็นแนวคิดใหม่ในการนำมอเตอร์ไฟฟ้าของลิฟต์ซึ่งบางช่วงมีการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดจากปรากฏการณ์รีเจนเนอเรทีฟ ซึ่งปกติมอเตอร์ไฟฟ้าของลิฟต์จะใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณมาก เพราะลิฟต์ต้องใช้งานตลอดเวลา ยกตัวอย่างเมื่อช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น โดยไม่มีภาระนั้นระบบลิฟต์จะมีลูกตุ้มน้ำหนัก (Counter Weight) เป็นตัวถ่วงโดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลกเป็นตัวช่วยดึงทำให้เกิดช่วงที่มอเตอร์หมุนโดยไม่จ่ายไฟฟ้าดังโหมดที่ 2 แสดงดังรูปที่ 1.1 การทำงานของลิฟต์จะอาศัยมอเตอร์ไฟฟ้าในการหมุนตัวของห้องโดยสาร (Passenger Car) และอีกด้านหนึ่งจะใช้ตุ้มน้ำหนักถ่วงไว้เพื่อให้ห้องโดยสารเคลื่อนที่อย่างนุ่มนวล ซึ่งโดยปกติตุ้มน้ำหนักจะมีน้ำหนักประมาณ 40-50% ของน้ำหนักห้องโดยสารเวลาบรรทุกเต็มพิกัด ซึ่งหมายความว่า

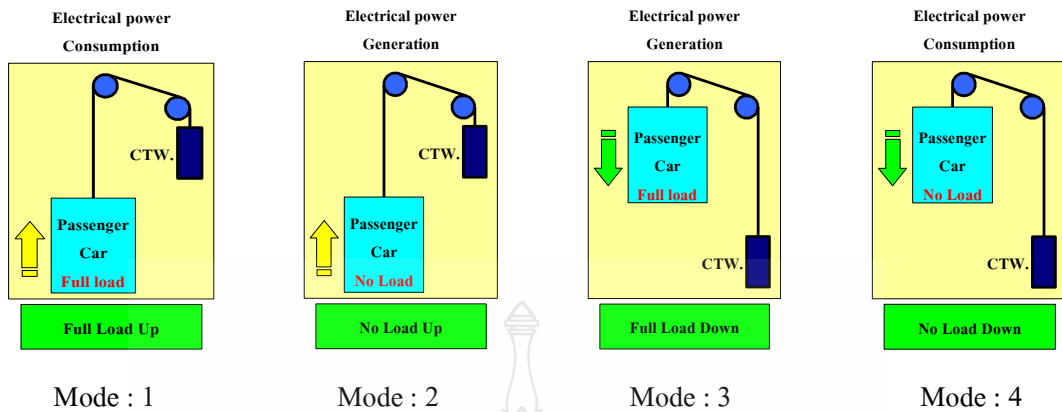
1.3.1 ถ้าลิฟต์บรรทุกน้ำหนักต่ำกว่า 40-50% ของพิกัด ห้องโดยสารจะเบากว่าตุ้มน้ำหนักลิฟต์จะใช้พลังงานเวลาเคลื่อนที่ลงเท่านั้น และไม่กินพลังงานเวลาเคลื่อนที่ขึ้น

1.3.2 ถ้าลิฟต์บรรทุกน้ำหนักสูงกว่า 40-50% ของพิกัด ห้องโดยสารจะหนักกว่าตุ้มน้ำหนักลิฟต์จะใช้พลังงานเวลาเคลื่อนที่ขึ้นเท่านั้น และไม่กินพลังงานเวลาเคลื่อนที่ลง

ซึ่งในช่วงเวลาที่ลิฟต์เคลื่อนที่โดยไม่ใช้พลังงานนั้นเราสามารถทำให้เกิดรีเจนเนอเรทีฟซึ่งก็คือการผลิตกระแสไฟฟ้าจ่ายคืนสู่ระบบไฟฟ้าขึ้นนั่นเอง และยังรวมถึงช่วงที่มีการเบรกของลิฟต์ซึ่งมอเตอร์จะกลายเป็นเครื่องกำเนิดชั่วขณะในระบบแบบเดิมนั้นพลังงานส่วนนี้จะจ่ายผ่านตัวต้านทานให้กลายเป็นความร้อนทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์

ตารางที่ 1.1 โหมดการทำงานของระบบลิฟต์

	น้ำหนักบรรทุก > ลูกตุ้มน้ำหนัก (Load > Counterweight)	น้ำหนักบรรทุก < ลูกตุ้มน้ำหนัก (Load < Counterweight)
ลิฟต์ขึ้น	Mode : 1 ใช้พลังงานไฟฟ้า (Motoring Mode)	Mode : 2 ใช้แรงโน้มถ่วง (Generating Mode)
ลิฟต์ลง	Mode : 3 ใช้แรงโน้มถ่วง (Generating Mode)	Mode : 4 ใช้พลังงานไฟฟ้า (Motoring Mode)



รูปที่ 1.1 โหมดการทำงานของระบบลิฟต์ที่เป็นมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาและจำลองชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

1.4.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink กับผลการทดลองจริงด้วยชุดทดสอบมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ

1.4.3 วิเคราะห์ผลของการประหยัดพลังงานทางด้านเศรษฐศาสตร์หาจุดคุ้มทุนเมื่อติดตั้งชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ

1.5 ขั้นตอนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและออกแบบจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ของระบบชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ โดยมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

1.5.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการออกแบบจำลองระบบชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ เป็นการรวบรวมศึกษาข้อมูลต่างๆ ระบบลิฟต์ หลักการทำงาน การออกแบบจำลอง และการติดตั้งระบบชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ

1.5.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการจำลองระบบควบคุมของชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ เป็นขั้นตอนการศึกษารวบรวม

ข้อมูลและจำลองการควบคุมระบบของชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อผลิตไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟรวมทั้งการวัดและบันทึกผลการทำงานของระบบ

1.5.3 ทดสอบการทำงานและเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบจริงกับการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink เป็นขั้นตอนการทดสอบจากระบบชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ติดตั้งจริง เพื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลอง ในการผลิตไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ และทดสอบหาค่าพลังงานป้อนกลับเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการหาจุดคุ้มทุน

1.5.4 สรุปวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.5.5 เขียนวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

การจำลองชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟเป็นการจำลองเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบลิฟต์ที่ใช้นมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร ซึ่งชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์นี้จะสามารถดึงพลังงานไฟฟ้าสูญเสียไปออกมาจากระบบลิฟต์ เพื่อทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่เดิม ลดการใช้พลังงานจึงเป็นการพัฒนาระบบลิฟต์ที่สำคัญต่อการอนุรักษ์พลังงานและส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานจากพลังงานสูญเสียไป เพื่อการประหยัดพลังงานในระบบลิฟต์ได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลิฟต์เป็นพาหนะที่ใช้ในการขนส่งที่จำเป็นสำหรับอาคารสูงซึ่งปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะมีการก่อสร้างอาคารสูงเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากพื้นที่ซึ่งมีอยู่จำกัด ดังนั้นการใช้ลิฟต์จึงมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ลิฟต์ทำงานด้วยระบบมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าสูง จึงได้มีการศึกษาและพัฒนาวิธีการที่ช่วยให้ลิฟต์ใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมน้อยลง

ดังนั้นจึงมีงานวิจัยเกี่ยวกับการควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ เพื่อให้มอเตอร์ลิฟต์สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลงมากที่สุด ผู้วิจัยได้รวบรวมทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไว้เป็นหัวข้อต่างๆดังนี้

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 งานวิจัยเรื่อง A Comparative Evaluation of line Regenerative and Non-Regenerative Vector Controlled Drives for AC Gearless Elevator หน้า 1431 – 1437 IEEE โดย Ashok B.Kulkarni , Hien Hguyen and E.W.Gaudet [2]

บทความนี้นำเสนอ การเปรียบเทียบมอเตอร์ลิฟต์ที่ไม่มีเฟืองทดระหว่างลิฟต์ที่ถูกรีเจนเนอเรทีฟและลิฟต์ที่ไม่มีกรรีเจนเนอเรทีฟ การเปรียบเทียบจะวิเคราะห์ถึงพารามิเตอร์ต่างๆ อาทิ ค่าพลังงาน แรงดัน กระแส ฮาร์โมนิกส์ เพาเวอร์แฟกเตอร์ ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดและความร้อนในห้องเครื่อง เมื่อขณะลิฟต์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดพลังงานที่ได้จากการรีเจนเนอเรทีฟ ถือได้ว่าเป็นพลังงานที่สะอาด ดังนั้นในบทความนี้จะแสดงให้เห็นว่า การควบคุมมอเตอร์ลิฟต์ที่ไม่มีเฟืองทดโดยการรีเจนเนอเรทีฟสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าลิฟต์ที่ไม่มีกรรีเจนเนอเรทีฟ

2.1.2 งานวิจัยเรื่อง Regenerative Power Control For VVVF Motor Drive (Critical Braking Method Applied To The Elevator) หน้า 97 – 105 IEEE โดย Masaki Nomura , Hiroyu Ikejima , Shigetaka Morita and Eiki Watanabe [3]

บทความนี้นำเสนอถึง เทคนิคการเบรกของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดเหนี่ยวนำ การควบคุมการเบรคนี่มอเตอร์ลิฟต์สามารถคืนพลังงานกลับสู่ระบบได้ (Regenerative Power) การเบรกจะใช้วิธีควบคุมที่ Slip ของมอเตอร์เหนี่ยวนำทำให้ลิฟต์สามารถให้พลังงานกลับออกมาได้ โดยการเบรคนี่ไม่ส่งผล

กระทบต่อการทำงานของลิฟต์ การควบคุมการเบรคด้วยวิธีนี้สามารถตัดตัวต้านทานที่อยู่ในระบบควบคุมออกได้ ซึ่งทำให้ชุดควบคุมลิฟต์มีขนาดเล็กลง

2.1.3 งานวิจัยเรื่อง การประหยัดพลังงานในลิฟต์แบบรีเจนเนอเรทีฟ กรณีศึกษาอาคารเรียนรวมการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8. 2-4 พ.ค. 2555.มหาสารคาม โดย ธนิศร์ พันธุ์ประยูร และ บุญยัง ปลั่งกลาง [4]

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์พลังงานที่ประหยัดได้ในระบบลิฟต์แบบรีเจนเนอเรทีฟมอเตอร์ที่ใช้ในระบบลิฟต์เป็นชนิดแม่เหล็กถาวรซึ่งไม่มีเฟืองทด ขับเคลื่อนด้วยอินเวอร์เตอร์ปรับแรงดันไฟฟ้าและความถี่ โดยให้ลิฟต์ทำงานในสถานะเต็มพิกัด สถานะสมดุลและสถานะไม่มีภาระเพื่อเปรียบเทียบผลจำลองการทำงานกับผลการทดลองจริง แสดงให้เห็นว่าในสถานะเต็มพิกัดและสถานะไม่มีภาระ ระบบสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 63 kWh และจากข้อมูลในสถานะการใช้งานซึ่งเป็นสภาพการจราจรจริงระบบสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากถึง 43%

2.1.4 งานวิจัยเรื่อง ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานสูญเสียของลิฟต์ด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟ โดย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ [5]

งานวิจัยนี้นำเสนอ วิธีการที่ช่วยให้ลิฟต์ใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมน้อยลง เช่น การใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์ การใช้มอเตอร์ขับโดยตรงไม่ผ่านเฟืองทด การปรับปรุงสายพานให้มีความเสียดทานน้อยลง การใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์ควบคุมกลุ่มของลิฟต์ให้ทำงานร่วมกัน และวิธีการรีเจนเนอเรทีฟที่กล่าวถึงในงานวิจัยนี้ โดยใช้หลักการที่ลิฟต์นั้นจะมีการทำงานในบางช่วงที่ไม่ต้องให้พลังงานไฟฟ้าแก่มอเตอร์โดยมอเตอร์นั้นหมุนไปได้เองตามแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งในช่วงนี้มอเตอร์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้การทำงานในลักษณะนี้เรียกว่ารีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative) แต่การนำระบบรีเจนเนอเรทีฟไปใช้แล้วจะประหยัดพลังงานได้มากหรือน้อยอย่างไรต้องพิจารณาถึงลักษณะการใช้งานของระบบลิฟต์ที่จะติดตั้งด้วย งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของระบบลิฟต์รีเจนเนอเรทีฟ และปัจจัยที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานในระบบลิฟต์รีเจนเนอเรทีฟ โดยทดลองกับระบบลิฟต์ที่ติดตั้ง ณ อาคารเรียนรวมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งเป็นลิฟต์ที่มีพิกัดบรรทุก 1,000 กิโลกรัมหรือผู้โดยสาร 15 คนใช้มอเตอร์ชนิดซิงโครนัสมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรขนาด 11 กิโลวัตต์ ความเร็ว 105 เมตรต่อนาที รับส่งผู้โดยสารจำนวน 13 ชั้น

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ประวัติและที่มาของลิฟต์

มนุษย์รู้จักใช้การขนส่งในแนวตั้งตั้งแต่สมัยจักรพรรดิโรมัน ซึ่งปรากฏเป็นหลักฐานกันว่ามีใช้ อยู่ในพระราชวังในกรุงโรมัน ซึ่งเป็นเหมือนหลวงของอิตาลีในปัจจุบันหรือแม้แต่ในสนามกีฬาของ พวกโรมันที่เรียกว่า “โคลิเซียม” ซึ่งใช้เป็นที่พักผ่อนระหว่างคนกับสิงโตสันนิษฐานจากซากที่เหลืออยู่ เราสามารถเห็นเป็นช่องทะลุระหว่างชั้นถึง 12 แห่ง ที่ใช้เป็นช่องในการส่งกรงสิงโตขึ้นไปยังสนามต่อสู้ ซึ่งเปรียบเทียบกับช่องลิฟต์ในปัจจุบัน



รูปที่ 2.1 ระบบลิฟต์ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน

ลิฟต์ที่ใช้พลังงานตัวแรกปรากฏขึ้นเมื่อกลางศตวรรษที่สิบเก้าในสหรัฐอเมริกา โดยถูกใช้เป็นกระเช้าส่งสินค้าขึ้นลงระหว่างสองชั้นในอาคารที่นิวยอร์ก ช่วงเวลาอันสำคัญของลิฟต์มาถึงในปี 1853 เมื่อ เอลิชา กราเวส โอทิส (Elisha Graves Otis ค.ศ.1811-1861) เจ้าของนามสกุลที่ปัจจุบันนี้ยัง ปรากฏอยู่บนลิฟต์จำนวนมาก ได้ออกแบบลิฟต์ซึ่งเน้นความปลอดภัยเป็นสำคัญ ถ้าระบบยกตัวของ ลิฟต์ล้มเหลวปล่อยผู้ลิฟต์ลงมา ระบบทำงานทั้งหมดของลิฟต์จะหยุดทำงาน โดยอัตโนมัติก่อนที่ผู้ ลิฟต์จะตกถึงฐานเพลา ลิฟต์โอทิส (Otis Elevator) เพื่อการขนส่งผู้คนตัวแรกได้รับการติดตั้งใน ห้างสรรพสินค้า อี.วี. ฮอฟวูท (E.V. Houghwout Department) ในนิวยอร์กด้วยยอดเงินไม่ถึง 300 ดอลลาร์ ลิฟต์ของโอทิสใช้พลังงานไอน้ำ ปี 1867 ลีออนเอดูซ (Leon Edoux) ได้คิดค้นและประดิษฐ์ ลิฟต์ที่ใช้พลังงานไฮดรอลิกขึ้นสิบปีต่อมา ลูกชายของโอทิสได้ตั้ง บริษัทโอทิส บราเธอร์ส (Otis Brothers Company) ขึ้นในบอร์โกเชียร์ นิวยอร์ก บริษัทนี้ผลิตลิฟต์นับพันตัวและกลายเป็นบริษัทที่มี ชื่อเสียงในวงการอุตสาหกรรม ด้านลิฟต์ ในปี 1873 มีการใช้ลิฟต์ของโอทิสกว่าสองพันตามอาคาร พาณิชยกรรมต่าง ๆ ทั่วอเมริกา

กระทั่งปี 1884 จึงเกิดลิฟต์ไฟฟ้าตัวแรกขึ้น โดยเป็นผลงานการคิดค้นของ แฟรงค์ สปราก (Frank Sprague ค.ศ.1857-1934) ติดตั้งในโรงงานฝ้ายที่ลอร์เรนซ์ แมสซาชูเซตส์ เขายังเป็นผู้ประดิษฐ์ การควบคุมด้วยระบบปุ่มกดอีกด้วยมีการใช้ลิฟต์ไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์ครั้งแรกเมื่อปี 1889 หลังมีการ ติดตั้งลิฟต์สองตัวในอาคารเคอเมอร์ส ในนิวยอร์ก เมื่อไฟฟ้าเป็นพลังงานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมาก ขึ้น มอเตอร์ไฟฟ้าก็ถูกนำมาผนวกเข้ากับเทคโนโลยีการผลิตลิฟต์โดยนักประดิษฐ์ชาว เยอรมัน เวอร์เนอร์ วอน ซิเมนส์ (Werner Von Siemens ค.ศ. 1816-1892) ทำการติดมอเตอร์ตรงกันลิฟต์และใช้ อุปกรณ์เกียร์ขยับเพลาซึ่งมีฟันเฟืองติดอยู่ที่เคลื่อนที่ขึ้นลงมีบัลติมอร์ในปี 1887 มีการนำไฟฟ้ามาใช้ เป็นแหล่งพลังงานให้ลิฟต์เคลื่อนที่ ลิฟต์นี้ใช้เชือกและก้ามปูพันไว้โดยรอบ แต่ติดปัญหาสำคัญอย่าง หนึ่งที่น่าไปสู่การเลิกใช้ลิฟต์ชนิดนี้คือ ความสูงของอาคารยิ่งเวลาผ่านไป อาคารก็ยิ่งสูงขึ้น ทำให้เลียง ไม่ได้ที่จะต้องเชือกยาวขึ้นก้ามปูเริ่มใหญ่ขึ้นเสียกระทั่งความ กว้างของอุปกรณ์ทั้งสองไม่ได้สมดุล เทคโนโลยีด้านมอเตอร์และเกียร์พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ในปี 1889 ลิฟต์ไฟฟ้าใช้เกียร์แบบต่อตรงก็ เอื้อให้สร้างอาคารได้สูงยิ่งขึ้นครั้นปี 1903 รูปแบบของลิฟต์ได้รับการพัฒนาให้เป็นลิฟต์ไฟฟ้าไร้เกียร์ ลิฟต์ประเภทนี้ใช้ติดตั้งในอาคารที่มีความสูงเกินหนึ่งร้อยชั้น ภายหลังมีการนำมอเตอร์ความเร็วหลาย ระดับเข้ามาปรับใช้แทนที่มอเตอร์ความเร็ว ระดับเดียว เพื่อช่วยในการจอดและทำให้การทำงาน โดยรวมของทั้งระบบมีความราบรื่นยิ่งขึ้น

เมื่อเวลาผ่านไป เทคโนโลยีแม่เหล็กไฟฟ้าก็เข้ามาแทนที่เชือกการควบคุมด้วยระบบสัญญาณ ที่หลากหลายเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของลิฟต์ผู้คิดค้นและผลิตลิฟต์ยังคงคำนึงถึงเรื่อง ความปลอดภัยอยู่ ตลอดเวลาด้วยตัวอย่างเช่น ชาร์ล โอทิส (Charles Otis ค.ศ. 1842-1910) บุตรชายของเอลิซา กราเวส โอทิส ผู้คิดค้นประดิษฐ์ลิฟต์ขึ้นมาเป็นคนแรกนั้น ได้พัฒนาปุ่ม นิรภัย (Safety) ซึ่งช่วยปรับปรุง ความสามารถในการหยุดของลิฟต์ที่กำลังจะขึ้นลงด้วยความเร็วเท่าใดก็ตามได้ปัจจุบันมีการนำ เทคโนโลยีที่ซับซ้อนมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น นำระบบแผ่นกั้นเข้ามามีใช้แทนระบบปุ่มกด มีการ ออกแบบกลไกเปิดปิดและตัวตัดต่าง ๆ เพื่อควบคุมความเร็วของลิฟต์ไม่ว่าจะอยู่ในสถานการณ์ใด ลิฟต์จำนวนมากทำงานเองโดยอิสระ แต่ก็มีอีกไม่น้อยที่ได้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยเสริมใน การทำงาน ลิฟต์สมัยใหม่คือปัจจัยทำให้การทำงานและพักอาศัยเหนือพื้นดินขึ้นไปหลายสิบ ชั้น เป็นไปได้ เมืองใหญ่มีแต่ตึกระฟ้าอย่างนิวยอร์ก ล้วนต้องพึ่งพิงลิฟต์ แม้กระทั่งในอาคารที่มีเพียงไม่กี่ ชั้น ลิฟต์ยังเป็นสิ่งจำเป็นที่ช่วยให้ผู้พิการขึ้นไปยังสำนักงานหรือที่พักอาศัย ได้ ลิฟต์ขนของก็มีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนกว่ากัน[6]

ในประเทศไทย เริ่มมีการนำลิฟต์มาติดตั้งครั้งแรกในสมัยรัชกาลที่ 6 โดยการนำเข้าลิฟต์ที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องจักรจากอิตาลีมาติดตั้ง ณ พระที่นั่งอนันตสมาคมและติดตั้งลิฟต์ที่ขับเคลื่อนโดยแรงคนที่พระที่นั่งวโร ภาสพิมาน พระราชวังบางปะอิน เมื่อมีไฟฟ้าใช้จึงได้เริ่มนำเข้าลิฟต์จากต่างประเทศเพื่อติดตั้งตามหน่วย งานราชการ พร้อมให้การดูแลบำรุงรักษาอันเป็นที่มาเริ่มแรกของการใช้ลิฟต์ในประเทศ ก่อนที่จะพัฒนาโดยลำดับจวบจนปัจจุบัน

ลิฟต์นั้นเริ่มต้นมาจากแบบครัม (Drum) คือการขับเคลื่อนใช้ม้วนสลิงซึ่งในภาษาเทคนิคเรียกว่า “เชือก” (Rope) และการทำงานก็คล้ายปั่นจั่นตอกเสาเข็มในปัจจุบัน ต่อมาเป็นพัฒนาเป็นแบบไฮดรอลิก (Hydraulic) ซึ่งทำงานโดยลูกสูบและแรงดันของเหลวทั้งแบบครัม และแบบไฮดรอลิกนี้ก็มีข้อจำกัดในการทำงานที่ขนาดครัมและความยาวของก้านสูบจึงทำให้ใช้กับอาคารสูงไม่ได้

จนกระทั่งมีผู้ประดิษฐ์ระบบขับเคลื่อนแบบแทรกชั่น (Traction) โดยมีก้านที่เรียกว่าล้อขับ (Sheave) ซึ่งมีร่องให้เชือกผ่านได้ ร่องนี้จะบีบรัดเส้นเชือกทำให้เกิดแรงดึงขับเคลื่อนตัวลิฟต์ได้ และอีกข้างหนึ่งถ่วงได้ด้วยน้ำหนักถ่วง ระบบนี้ทำให้สามารถใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อนได้ โดยในตอนแรกเป็นขับผ่านเฟืองทดที่มีอัตราทดไม่มากนัก แต่ในปัจจุบันมีการพัฒนาจนสามารถขับเคลื่อนได้โดยตรง

ลิฟต์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวดิ่ง ประกอบกับการก่อสร้างอาคารในปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะสร้างขึ้นไปในแนวสูง เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการใช้สอยของอาคาร เนื่องจากที่ดินจำกัดและมีราคาแพงเมื่อเป็นเช่นนี้ ลิฟต์จึงมีความสำคัญในการนำมาใช้กับระบบขนส่งและเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับอาคารที่มีความสูงมากๆ ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ขนส่งในแนวดิ่ง ใช้ในการโดยสารของคนหรือการบรรทุกสิ่งของขึ้นในระหว่างชั้น โดยทั่วไปแล้วลิฟต์จะใช้กับอาคารที่มีความสูง 4 ชั้นขึ้นไป ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของลิฟต์ได้เป็น 4 ประเภท

2.3 การแบ่งประเภทของลิฟต์

2.3.1 การแบ่งประเภทตามลักษณะของการขับเคลื่อน

1) การขับเคลื่อนแบบ Traction Drive สำหรับระบบจะใช้ลวดสลิง Rope 1 ชุด ยึดติดกับตัวลิฟต์รื้อยผ่านลูกกลอก (Groove Sheave) แล้วยึดกับน้ำหนักถ่วง (Counterweight) อีกด้านหนึ่งความเสียดทานระหว่างลวดสลิงกับ Sheave จะทำให้เกิดแรงในการยกขึ้นหรือลงของตัวลิฟต์นอกจากนี้ระบบ Traction Drive ยังสามารถแบ่งย่อยได้อีกคือ

1.1 เครื่องขับเคลื่อนแบบไม่มีเกียร์ (Gearless Traction Machine) ประกอบด้วยมอเตอร์ใช้ไฟฟ้าประกอบเข้าโดยตรงกับล้อเบรกและช่องสายเคเบิล สายเคเบิลที่แขวนตัวลิฟต์จะมาคล้องที่ช่องสายเคเบิลนี้ การที่ไม่มีเกียร์หมายถึง ตัวมอเตอร์จะหมุนเร็วเท่ากับช่องสายเคเบิลขับ โดยตรงและควบคุม

ความเร็ว โดยชุดมอเตอร์เจนเนอเรเตอร์หรืออินเวอร์เตอร์ใช้สำหรับความเร็วสูงกว่า 105 เซนติเมตร ต่อนาทีขึ้นไป ตัวมอเตอร์จะมีกำลังตั้งแต่ 20-375 HP โดยทั่วไปจะใช้กับลิฟต์โดยสาร ซึ่งมีน้ำหนัก สูงสุดไม่เกิน 2,500 kg ความเร็วต่ำสุดประมาณ 120 เมตรต่อนาที แต่โดยทั่วไปมักจะทำความเร็ว ระหว่าง 150 – 420 เมตรต่อนาที

1.2 เครื่องขับเคลื่อนมีเกียร์ (Gear Traction Machine) เครื่องขับเคลื่อนจะใช้ตัวเกียร์หรือเกียร์ ประกอบภายในซึ่งอยู่ตรงส่วนหน้าระหว่างมอเตอร์และช่องสายเคเบิล ตัวมอเตอร์สามารถใช้ เช่นเดียวกับแบบที่มีความเร็วสูง ขึ้นอยู่กับความเร็วของตัวลิฟต์ที่ต้องการ มอเตอร์มีกำลังระหว่าง 3 - 100HP ความเร็วต่ำกว่า 10.5 เมตรต่อนาทีโดยทั่วไปจะใช้ลิฟต์โดยสารบ้างแต่ส่วนใหญ่จะใช้กับลิฟต์ บรรทุกส่งของเครื่องชนิดแบบไม่มีเกียร์จะมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบมีเกียร์

2) การขับเคลื่อนแบบ Drum Drive สำหรับระบบนี้จะยึดด้านหนึ่งของลวดสลิงไว้กับด้านในของ ครอบกลโลหะ (Steel Drum) โดยแคลมป์ (Clamp) เพื่อความปลอดภัยส่วนอีกด้านหนึ่งยึดกับตัวลิฟต์ ตัว Drum จะต่อกับมอเตอร์เพื่อยกตัวลิฟต์ การลงโดยการหมุน Drum แต่เนื่องจากระบบ Traction Drive มีข้อดีมากกว่าระบบ Drum Drive จึงเลิกใช้ไปแล้ว

2.1 แบ่งประเภทตามการใช้งาน

1. ลิฟต์โดยสาร (Passenger Lift) ใช้สำหรับขนส่งผู้โดยสารในอาคารต่างๆมีรูปร่างเป็น ห้องสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดตั้งแต่ 6 คน ถึง 30 คน (450 – 2,000 Kg) ความเร็วตั้งแต่ 1 เมตร/วินาที จนถึง 5 เมตร/วินาที

2. ลิฟต์สินค้า (Good Lift) ลิฟต์ที่ออกแบบมาสำหรับขนส่งสินค้า

3. ลิฟต์สังเกตการณ์ หรือลิฟต์แก้ว (Panorama Lift) ลิฟต์ออกแบบให้มีช่องหน้าต่าง กระจกให้ผู้โดยสารเห็นภายนอก

4. ลิฟต์บรรทุกรถยนต์ (Car Lift) ลิฟต์ที่ออกแบบสำหรับบรรทุกรถยนต์

5. ลิฟต์ขนอาหาร (Drumwaiter Lift) ออกแบบมาสำหรับขนอาหารและเอกสาร

2.2 แบ่งตามลักษณะการทำงาน

1. ลิฟต์ไฟฟ้าเป็นลิฟต์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า ป้อนให้แก่มอเตอร์เพื่อลากตัวลิฟต์ใช้สำหรับ อาคารทุกประเภทตั้งแต่อาคารที่มีความสูงไม่มากนัก จนกระทั่งอาคารที่มีความสูงมากๆ

2. ลิฟต์ไฮดรอลิกส์ (Hydraulic Elevation) ตามปกติจะได้กรณีที่เป็นอาคารสูงไม่เกิน 6 ชั้น ลิฟต์ไฮดรอลิกส์จะใช้น้ำมันไฮดรอลิกส์เป็นตัวกลางในการส่งพลังงานเพื่อขับเคลื่อนลิฟต์ในแนวขึ้น ลงระหว่างชั้นสามารถทำได้ โดยการใส่พลังงานเข้าไปในน้ำมันไฮดรอลิกส์โดยใช้ปั๊มมอเตอร์และ ใช้ ช่วงลงทำได้โดยใช้พลังงานศักย์ของน้ำหนักตัว ลิฟต์โดยไม่ได้ใช้พลังงานภายนอก

2.3 แบ่งประเภทตามการควบคุม

ระบบการควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ ภายในลิฟต์หลังจากการได้รับคำสั่งจากปุ่มสัญญาณที่แผงวงจรลิฟต์จะส่งงานไปยังระบบควบคุม โดยสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. ระบบลิฟต์รีเลย์ (Relay Lift) เป็นลิฟต์ที่ควบคุมใช้วงจรรีเลย์ใช้ในการควบคุมการทำงานของลิฟต์ โดยการทำงานเป็นไปตามลำดับขั้นตอนของการเปิดปิดหน้าสัมผัสของรีเลย์แล้วนำผลของการเปิดปิดหน้าสัมผัสไปควบคุมวงจรคอนแทกเตอร์ ที่ใช้ในการขับเคลื่อนลิฟต์

2. ลิฟต์ไมโครคอมพิวเตอร์ (Microcomputer) ลิฟต์ที่ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์มาควบคุมการทำงานของลิฟต์สามารถเปลี่ยนแปลงได้ด้วยโปรแกรม โดยไม่ต้องแก้ไขฮาร์ดแวร์เครื่องควบคุมของไมโครคอมพิวเตอร์นิยมใช้การควบคุมของปุ่มลิฟต์ การที่นำไมโครคอมพิวเตอร์มาใช้ในการควบคุมลิฟต์นั้นก็เพื่อฟังก์ชันการทำงานของลิฟต์ สามารถปรับปรุงการบริการให้แก่ผู้ใช้ได้ง่าย เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานและประหยัดพลังงาน ลดขนาดของผู้ควบคุมและสามารถต่อเข้ากับระบบตรวจดูการทำงานของกลุ่มลิฟต์และบันทึกอัตราการใช้งานได้ ลิฟต์ไมโครคอมพิวเตอร์จะมีหน้าที่หลักอยู่ 3 อย่าง คือ การควบคุมการทำงานของลิฟต์การควบคุมความเร็ว และการติดต่อสื่อสารกับลิฟต์ตัวอื่นระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งแต่ละส่วนจะทำงานประสานกันเพื่อควบคุมการทำงานของลิฟต์เมื่อเครื่องควบคุมรับสัญญาณอื่นๆ เข้ามาแล้วจะทำการประเมินผลเพื่อควบคุมการทำงานของลิฟต์และทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลของสถานะการทำงานของลิฟต์ตัวอื่น เพื่อใช้ในการควบคุมกลุ่มลิฟต์ในขณะเดียวกันก็ปรับความเร็วของลิฟต์ให้เหมาะสมกับการทำงานเมื่อไมโครคอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลสำเร็จก็จะส่งที่ประมวลได้ออกไปสู่การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆของลิฟต์

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบเครื่องควบคุมลิฟต์แบบรีเลย์และแบบไมโครคอมพิวเตอร์

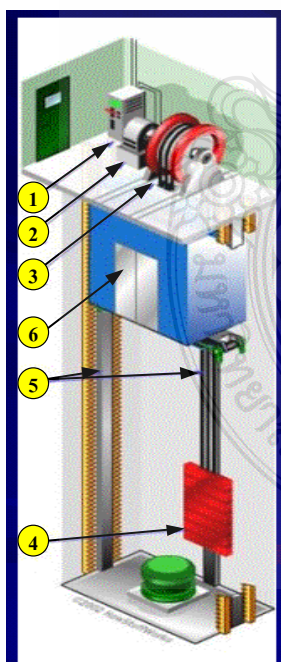
ข้อเปรียบเทียบ	เครื่องควบคุมแบบรีเลย์	เครื่องควบคุมแบบไมโครคอมพิวเตอร์
1. การทำงาน	ทำงานตามลำดับของวงจรรีเลย์ ถ้าจะแก้ไขการทำงานจะต้องแก้ไขวงจรรีเลย์ ซึ่งยุ่งยาก	ทำงานตามโปรแกรม ซึ่งสามารถแก้ไขได้สะดวก
2. ฟังก์ชันการทำงาน	มีน้อยและไม่สามารถทำฟังก์ชันที่ซับซ้อนได้	สามารถทำฟังก์ชันที่ซับซ้อนได้ด้วยการโปรแกรม
3. การซ่อมบำรุงรักษา	ต้องอาศัยประสบการณ์เพื่อตรวจดูว่ามีรีเลย์ตัวไหนเสีย ซึ่งจะเสียเวลามาก	สามารถดูจาก LED บอกสถานะการทำงาน หรือใช้ Diagnostic Program

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบเครื่องควบคุมลิฟต์แบบรีเลย์และแบบไมโครคอมพิวเตอร์(ต่อ)

4. ความเร็วในการทำงานของสวิทช์	การเปิดปิดของรีเลย์ต้องใช้สัมผัสซึ่งการใช้สวิทช์จะช้าอาจสึกได้	วงจรที่ใช้เป็นสารกึ่งตัวนำสวิทช์ไม่มีหน้าสัมผัสการทำงานจึงเร็ว
5. การควบคุมกลุ่มลิฟต์	เมื่อลิฟต์ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปวงจรจะมีขนาดใหญ่ขึ้นและเพิ่มความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น	สามารถพัฒนาต่อให้ใช้กับกลุ่มลิฟต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
6. ราคา	ถ้าจะให้การทำงานที่ซับซ้อนจำนวนรีเลย์จะมากขึ้นทำให้ราคาแพงขึ้น	ในงานที่ซับซ้อนราคาจะถูกกว่าแบบรีเลย์

2.4 ส่วนประกอบของระบบลิฟต์

ระบบลิฟต์ไฟฟ้าแบบ Traction Drive ซึ่งเป็นแบบที่นิยมใช้งานมากที่สุดมีส่วนประกอบหลัก 6 ส่วนดังรูปที่ 2.2 ดังนี้



1. ชุดควบคุมและขับเคลื่อนมอเตอร์ (Control and Drive)
2. มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor)
3. ล้อสายพาน (Sheave)
4. ตั้มน้ำหนัก (Counter Weight)
5. รางลิฟต์ (Rail)
6. ห้องโดยสาร (Passenger Car)

รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของระบบลิฟต์[6]

2.4.1 ชุดควบคุมและขับเคลื่อนมอเตอร์ (Control and Drive Unit)

ลิฟต์ที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจำเป็นต้องมีชุดขับที่เป็น วงจรตัวเรียงกระแส (Rectifier) เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนลิฟต์ที่ใช้มอเตอร์กระแสสลับใช้ชุดขับที่เป็น วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ปรับค่าแรงดันไฟฟ้าและความถี่เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้า (Variable Voltage Variable Frequency : VVVF) [7]

ส่วนการควบคุมการทำงานของลิฟต์นั้น แบ่งเป็นส่วนประกอบหลักๆ ได้ 2 ส่วน คือ คาร์คอนโทรลเลอร์ (Car Controller) และกรุปคอนโทรลเลอร์ (Group Controller) สำหรับในกรณีที่มีลิฟต์ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปทำงานสัมพันธ์กันจึงจะมีกรุปคอนโทรลเลอร์

1) คาร์คอนโทรลเลอร์ มีหน้าที่หลักอยู่ 2 ประการคือควบคุมการปฏิบัติงาน (Operation Control) และควบคุมการเคลื่อนที่ (Motion Control) ในส่วนควบคุมการปฏิบัติงานจะเก็บตำแหน่งของการเรียกภายในลิฟต์ ยกเลิกการเรียกภายในลิฟต์ที่ถูกตอบรับแล้วและควบคุมการทำงานของประตู ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่จะควบคุมการเริ่มต้นและหยุดตัวลิฟต์ โดยการสร้างสัญญาณซึ่งสัมพันธ์กับ อัตราเร่ง ความเร็ว และอัตราหน่วงของตัวลิฟต์ให้อยู่ในสภาพที่ปลอดภัยตลอดเวลา

2) กรุปคอนโทรลเลอร์ จะทำหน้าที่จัดการส่งลิฟต์ที่มีอยู่ทั้งหมดในกลุ่มโดยอัตโนมัติ โดยจะเลือกลิฟต์ตัวที่สามารถบริการได้เร็วที่สุดในการตอบรับการเรียกของผู้โดยสารกรุปคอนโทรลเลอร์ จะเก็บข้อมูล รูปแบบการจราจรไว้ ระหว่างช่วงที่มีการใช้ลิฟต์มากที่สุด และ ปรับปรุงการบริการให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยการกำหนดลำดับความสำคัญให้แก่ลิฟต์แต่ละตัวในการตอบรับแต่ละการเรียกภายนอกลิฟต์



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างตู้ควบคุมระบบลิฟต์[8]

2.4.2 มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor)

ในอดีตนิยมใช้มอเตอร์กระแสตรงในระบบลิฟต์เนื่องจากสามารถควบคุมการทำงานได้ง่าย แต่ในปัจจุบันความก้าวหน้าของเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังทำให้การควบคุม มอเตอร์กระแสสลับทำได้ง่ายขึ้น จึงนิยมใช้มอเตอร์กระแสสลับในระบบลิฟต์เนื่องจากมีราคาต่ำกว่าและค่าบำรุงรักษาต่ำกว่า



รูปที่ 2.4 มอเตอร์ไฟฟ้าพร้อมด้วยชุดเฟืองในระบบลิฟต์

2.4.3 ล้อสายพาน (Sheave) ของมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรแบบไม่มีเฟืองทด

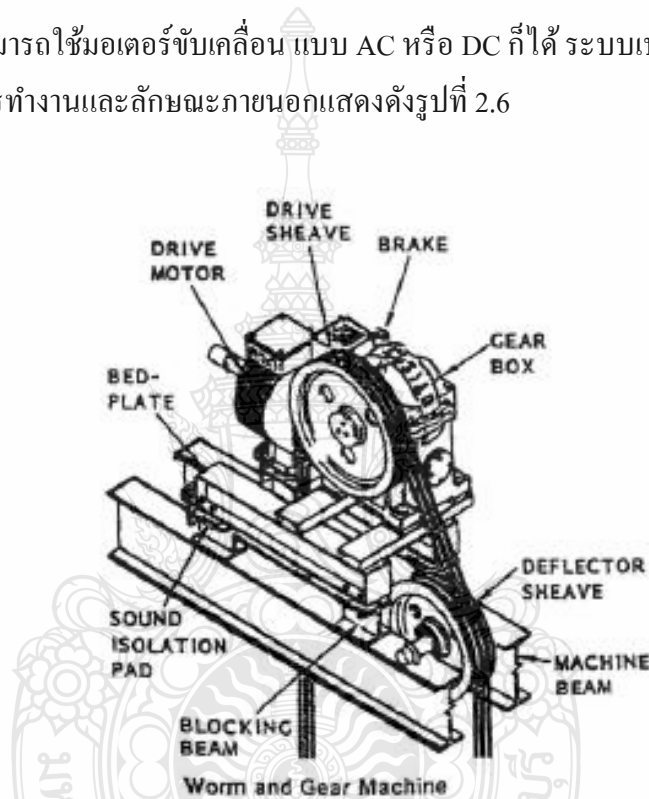


รูปที่ 2.5 ล้อสายพาน (Sheave) และมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

ใช้ในการจับสายพานหรือลวดสลิงที่ติดกับห้องโดยสารทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของห้องโดยสาร ซึ่งในปัจจุบันการจับล้อสายพานแบ่งได้สองประเภทคือ จับผ่านชุดเฟืองทด (Gear) และไม่ผ่านเฟืองทด (Gearless)

ก) การจับผ่านชุดเฟืองทด เหมาะสำหรับใช้งานที่ระดับความสูงปานกลางความเร็วไม่เกิน 105 เมตร/นาที น้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 13,600 ก.ก แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. Worm Geared Machine เครื่องลิฟท์แบบมีเกียร์ แบบเฟืองหนอนเป็นที่นิยมใช้มากกว่าแบบเฟืองกันหอย สามารถใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนแบบ AC หรือ DC ก็ได้ ระบบเบรกจะใช้แบบ Drum Brake ระบบกลไกการทำงานและลักษณะภายนอกแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 เกียร์ชนิดเฟืองหนอน

2. Helical geared Machine เครื่องลิฟท์ที่มีเกียร์แบบเฟืองกันหอยประกอบด้วยมอเตอร์ ชุดเกียร์ ดิสก์เบรก ไดรฟ์ชีพ (Drive Sheave) และดีฟเลกเตอร์ชีพ (Deflector Sheave) ระบบกลไกการทำงาน ลักษณะภายนอก แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เกียร์ชนิดเกียร์เฟืองกันหอย

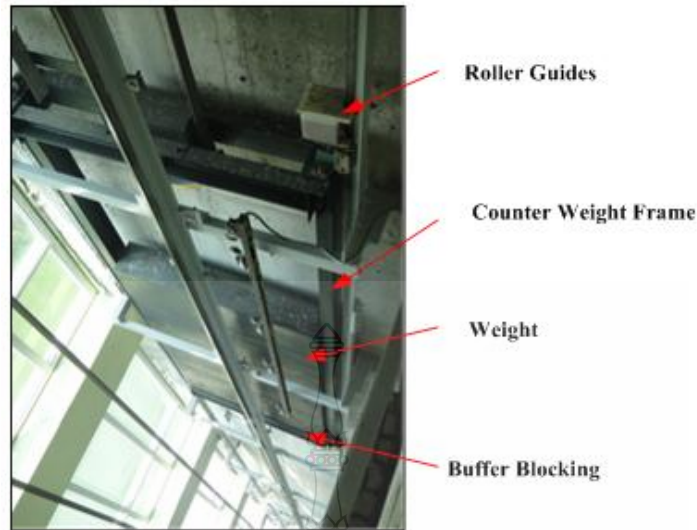
ข) การขับเคลื่อนไม่มีเกียร์ เหมาะสำหรับการใช้งานในอาคารสูงและต้องการความเร็วสูง มอเตอร์ขับเคลื่อนจะมีช่วงลอคความเร็วที่กว้าง (ปกติประมาณ 50 – 200 รอบ/นาที) มอเตอร์อาร์เมเจอร์ (Motor Armature) ไคร์ชีฟ (Drive Sheave) และเบรกจะอยู่บนเพลลาเดียวกัน ดีเฟลคเตอร์ชีฟอยู่ที่เครื่องลิฟต์เชิงไปทาง Counterweight ตัวอย่างของเครื่องลิฟต์ชนิดนี้ดัง แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การขับเคลื่อนไม่มีชุดเฟือง

2.4.4 ตั้มน้่านัก (Counter Weight)

น้ำนักถ่วงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่วงดุลย์ (Counter Weight) ในอุปกรณ์ลิฟต์แบบแทร์คชั่น (Traction Elevator) น้ำนักของลูกตัมถ่วงน้ำนัก (Counter Weight) จะจัดให้มีขนาดเท่ากับน้ำนักของตัวลิฟต์เปล่าบวกกับ 40-50 เปอร์เซ็นต์ [6] ของน้ำนักบรรทุกเต็มพิักดของลิฟต์ น้ำนักถ่วงนี้จะอยู่ในกรอบ (Frame) ซึ่งจะเคลื่อนที่ขึ้นและลงในราง



รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของคัมถ่วงน้ำหนัก

2.4.5 รางลิฟต์ (Rail)

รางมีลักษณะเป็นรูปตัว T เป็นองค์ประกอบของลิฟต์ที่ทำหน้าที่เป็นทางเดินของลิฟต์และคัมถ่วงน้ำหนักภายในช่องลิฟต์ รางเป็นองค์ประกอบสำคัญต่อคุณภาพในการขับเคลื่อนของลิฟต์ในลิฟต์แบบแทรคชั่น (Rail & Bracket) จะมีรางอยู่ 2 ชุด คือ ชุดหนึ่ง สำหรับตัวลิฟต์ และอีกชุดสำหรับคัมถ่วงน้ำหนัก รางยึดติดกับอาคารด้วยแบรคเก็ตทำให้รางอยู่ในตำแหน่งที่แน่นอน ที่ทำให้ลิฟต์เคลื่อนที่ได้อย่างนิ่มนวลและไม่มีเสียงดัง รางจะต้องถูกวางในแนวโค้งที่สมบูรณ์ ได้ฉากซึ่งกันและกัน และมีระยะห่างที่ถูกต้อง ซึ่งทำให้ลิฟต์เคลื่อนที่โดยปราศจากการแกว่ง สั่น เสียงดังหรือกระตุก แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 รางลิฟต์

2.4.6 ห้องโดยสาร (Passenger Car)

เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของลิฟต์ทำหน้าที่บรรทุกผู้โดยสารหรือสิ่งของต่างๆ ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักๆ คือ ตัวโครง, พื้น, ผนัง, และอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน



รูปที่ 2.11 ห้องโดยสาร (Passenger Car)

2.5 เทคโนโลยีในระบบลิฟต์ (Drive Lift Technology)

ลิฟต์เป็นพาหนะที่ใช้ในการขนส่งในแนวดิ่ง ด้วยเหตุนี้ลิฟต์จึงเป็นพาหนะที่ใช้ภายในสิ่งปลูกสร้างที่มีความสูง ไม่ว่าจะเป็นในอาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้า โรงงาน หอสูง เป็นต้น และโดยเหตุที่ลิฟต์มีการใช้ในอาคารสำนักงานจำนวนมากและเป็นอุปกรณ์หรือเครื่องจักรกลหนึ่งที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังเป็นอันดับที่ 3 รองจากระบบปรับอากาศและระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ดังนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีการใช้พลังงานของลิฟต์ให้มีประสิทธิภาพจึงเป็นการพัฒนาที่สำคัญต่อการอนุรักษ์พลังงาน จากการศึกษาข้อมูลเทคโนโลยีที่ใช้ในการอนุรักษ์พลังงานในระบบลิฟต์ทำให้รวบรวมได้ดังนี้

2.5.1 การใช้อินเวอร์เตอร์ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าโดยการปรับแรงดันไฟฟ้า และ ความถี่ (VVVF) ทำให้มอเตอร์ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ[7]

2.5.2 การขับเคลื่อนสายพานแบบไม่ใช้ชุดเฟือง โดยต่อตรงกับเพลามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง หรือ มอเตอร์ไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวร ทำให้ไม่เกิดพลังงานสูญเสียในชุดเฟือง

2.5.3 การปรับปรุงสายพานให้มีความเสียดทานลดลง และสามารถตัดโค้งได้มากขึ้นซึ่งจะช่วยลดขนาดและน้ำหนักของสายพาน

2.5.4 การควบคุมการทำงานของลิฟต์หลายๆตัวให้เกิดผลประหยัดสูงสุด ซึ่งใช้วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์

2.5.5 ใช้การทำงานบางช่วงของมอเตอร์มาผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อเก็บไว้ใช้งานหรือ จ่ายคืนให้ระบบไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า รีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative)[3]

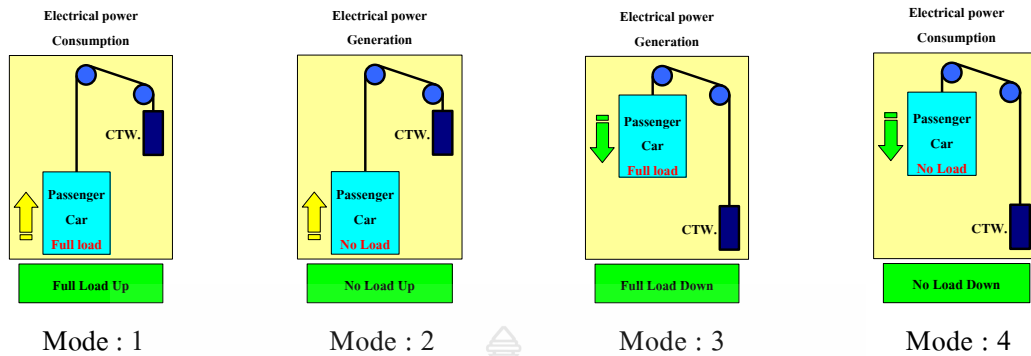
2.6 ระบบลิฟต์แบบรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative Elevator)

ระบบลิฟต์แบบรีเจนเนอเรทีฟเป็นระบบลิฟต์ที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้จากการทำงานในบางช่วงของลิฟต์ ซึ่งกระแสไฟฟ้านี้สามารถจ่ายคืนให้กับระบบของการไฟฟ้า (Grid) เก็บไว้ในแบตเตอรี่ หรือ Super Capacitor ซึ่งการทำงานบางช่วงของลิฟต์ที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าสามารถอธิบายได้ดังนี้[2]

ลิฟต์โดยทั่วไปจะมีตุ้มน้ำหนักซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 50% ของน้ำหนักบรรทุกเต็มพิกัดของลิฟต์บวกกับน้ำหนักห้องโดยสาร เช่นลิฟต์รับน้ำหนักบรรทุกเต็มพิกัดที่ 1,000 กิโลกรัม ห้องโดยสารเปล่าหนัก 1200 กิโลกรัม ตุ้มน้ำหนักจะหนักประมาณ 50% ของ 1,000 กิโลกรัม บวกกับ 1,200 กิโลกรัม เท่ากับ 1,700 กิโลกรัม ดังนั้นหากเราแบ่งโหมดการทำงานของลิฟต์เป็น 4 แบบดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 โหมดการทำงานของระบบลิฟต์ [1]

	น้ำหนักบรรทุก > ตุ้มน้ำหนัก (Load > Counterweight)	น้ำหนักบรรทุก < ตุ้มน้ำหนัก (Load < Counterweight)
ลิฟต์ขึ้น	Mode : 1 ใช้พลังงานไฟฟ้า (Motoring Mode)	Mode : 2 ใช้แรงโน้มถ่วง (Generating Mode)
ลิฟต์ลง	Mode : 3 ใช้แรงโน้มถ่วง (Generating Mode)	Mode : 4 ใช้พลังงานไฟฟ้า (Motoring Mode)

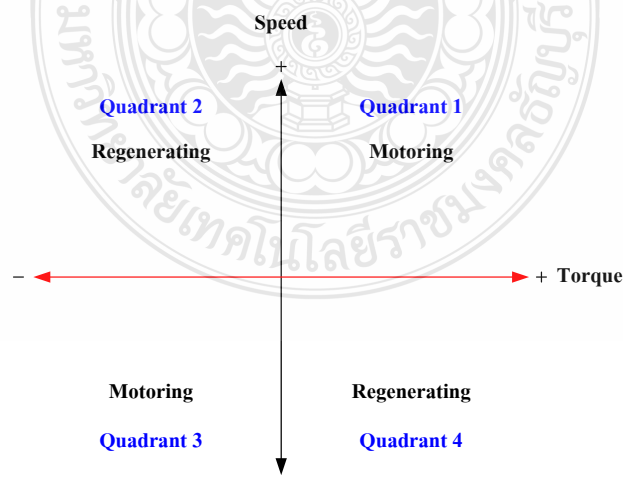


รูปที่ 2.12 โหมดการทำงานจากระบบลิฟต์ที่เป็นมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์

จากตารางที่ 2.2 อธิบายได้ดังนี้ ในโหมดที่ 1 น้ำหนักบรรทุกมากกว่าน้ำหนักคัมถ่วงเมื่อลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นต้องยกน้ำหนักบรรทุกที่มากกว่าขึ้นไปด้วยจึงต้องใช้พลังงานไฟฟ้า แต่ในโหมดที่ 3 ซึ่งน้ำหนักบรรทุกมากกว่าน้ำหนักคัมถ่วงเช่นกัน แต่ลิฟต์เคลื่อนที่ลงมาด้วยน้ำหนักที่มากกว่าของคัมถ่วง จึงไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า และในโหมดที่ 2 และ 4 ก็พิจารณาเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 2.12

จากตารางที่ 2.2 ในโหมดที่ 2 และ 3 เพลาของมอเตอร์สามารถหมุนได้โดยไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าป้อนเข้ามอเตอร์ ถ้าใช้มอเตอร์ไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวร เราสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้จากโหมดการทำงานดังกล่าว ซึ่งเรียกว่ารีเจนเนอเรทีฟ [2] ซึ่งพลังงานที่ได้อาจจะเก็บไว้ในแบตเตอรี่, Super Capacitor หรือ อาจจะป้อนคืนให้กับระบบไฟฟ้าดังรูปที่ 2.12

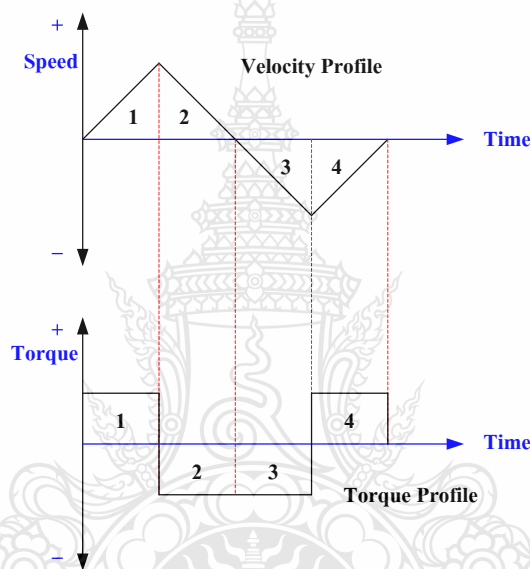
การทำงานในโหมดต่างๆของมอเตอร์ซิงโครนัสแบบแม่เหล็กถาวร สามารถอธิบายได้ด้วยรูปที่ 2.13 และรูปที่ 2.14 ดังนี้ [1]



รูปที่ 2.13 การทำงานของมอเตอร์ในโหมดต่างๆ

จากรูปที่ 2.13 การทำงานใน จตุภาค 1,3 จะถูกกำหนดให้เป็นมอเตอร์โหมค ซึ่งจะหมายความว่าความเร็วและแรงบิดเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ส่วนการทำงานใน จตุภาค 2,4 จะถูกกำหนดให้เป็นเครื่องกำเนิด หรือบางครั้งเรียกว่า รีเจนเนอเรทีฟโหมค

ซึ่งหมายความว่าความเร็วและแรงบิดอยู่ในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือ แรงบิดของมอเตอร์มีทิศทางสวนกลับกับทิศทางของการหมุนหรือความเร็วรอบของมอเตอร์ ซึ่งจะทำให้มอเตอร์สร้างพลังงานออกมา พลังงานนี้สามารถจ่ายกลับเข้าระบบไฟฟ้าได้ต่อไปหรือสามารถนำพลังงานนี้มาใช้ประโยชน์อีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 2.14 การทำงานของมอเตอร์ในโหมคต่างๆ

จากรูปที่ 2.14 การทำงานในช่วงที่ 1 แสดงให้เห็นถึงการทำงานของมอเตอร์ซึ่งจะถูกเร่งด้วยความเร็วและแรงบิดไปในทิศทางบวก ส่วนการทำงานในช่วงที่ 2 ความเร็วยังคงมีค่าเป็นบวกและแรงบิดเป็นลบซึ่งจะทำให้การทำงานของมอเตอร์หยุดลงแต่จะกลับกลายเป็นเครื่องกำเนิดแทน และส่วนการทำงานในช่วงที่ 3 จะมีการทำงานคล้ายกับช่วงที่ 1 แต่ทิศทางจะตรงกันข้ามกันคือเป็นลบซึ่งจะยังคงเป็นการทำงานของมอเตอร์ ช่วงที่ 4 จะคล้ายกับ ช่วงที่ 2 แต่มีทิศทางตรงกันข้ามกัน[9]

นั่นหมายถึงเมื่อมีการป้อนกระแสไฟฟ้าให้มอเตอร์สนามแม่เหล็กภายในมอเตอร์จะมีการสร้างแรงบิดขึ้นด้วยแรงบิดนี้จะทำให้เพลามอเตอร์หมุนการทำงานในลักษณะนี้เรียกว่า Motoring ซึ่งความเร็วรอบของเพลและแรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็กภายในมอเตอร์จะไปในทิศทางเดียวกัน ส่วนการทำงานอีกลักษณะหนึ่งคือ มีการหมุนเพลามอเตอร์ขดลวดของมอเตอร์ถูกสนามแม่เหล็กวิ่งผ่านเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นและถ้ามีการต่อ โหลดเข้ากับขั้วไฟฟ้าของมอเตอร์เกิดกระแสไฟฟ้า

ไหล ก็จะเกิดแรงบิดต้านการหมุนของเพลามอเตอร์ขึ้นการทำงานในลักษณะนี้เรียกว่า Generating ซึ่งความเร็วรอบของเพลาลูกและแรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็กภายในมอเตอร์จะไปในทิศทางตรงข้ามกัน

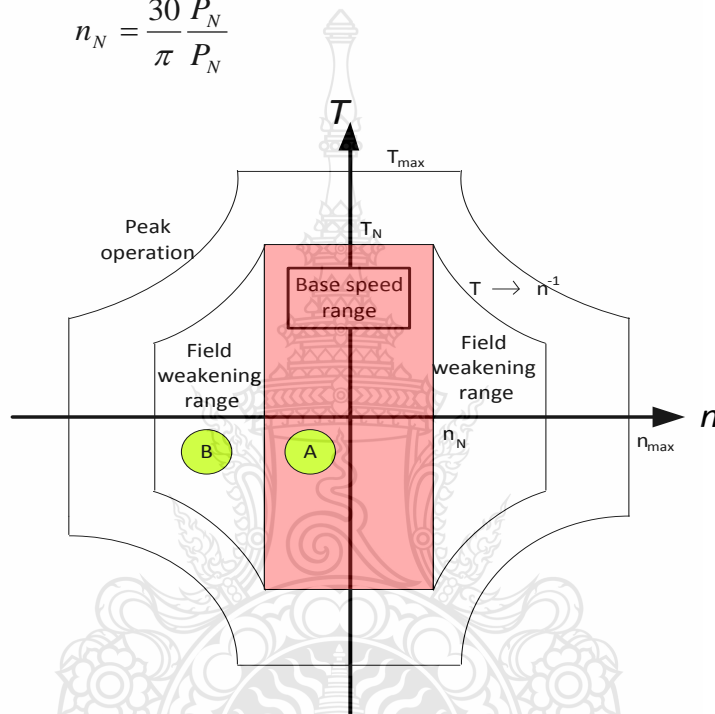
2.7 การจำกัดพิกัดการทำงานของระบบขับเคลื่อน[10]

การนำระบบขับเคลื่อนไปประยุกต์ใช้งานกับภาระงานหรือขับโหลดในลักษณะต่างๆ สิ่งที่ต้องพึงระวังในเรื่องของการจำกัดกำลังของเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดซึ่งสามารถพิจารณาได้จากแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบแสดงดังรูป 2.15 การพิจารณานั้นให้ดูจากความแตกต่างกันระหว่างระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบค่าปกติ(Nominal) และค่าจำกัดของปริมาณค่าสูงสุด (Peak) จากรูปแผนภาพเมื่อปริมาณค่าปกติของแรงบิด T_N และปริมาณค่าปกติของกำลัง P_N โดยลักษณะเปลี่ยนแปลงระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบอยู่ภายใต้พื้นที่กราฟของปริมาณค่าปกติทั้งแรงบิด T_N และความเร็วรอบ n_N ระบบขับเคลื่อนจะสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีเสถียรภาพในส่วนปริมาณค่าสูงสุดของแรงบิด T_{max} และกำลังสูงสุด P_{max} เครื่องจักรกลไฟฟ้าสามารถทำงานได้เพียงช่วงระยะเวลาสั้นเท่านั้นสาเหตุที่เป็นองค์ประกอบหลักที่ไม่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องที่จะต้องพิจารณา อาทิเช่น ผลของอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น, รวมทั้งเครื่องจักรกลไฟฟ้าอาจจะทำงานแบบไม่มีเสถียรภาพซึ่งจะส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานที่สั้นลงถ้าเครื่องจักรกลไฟฟ้าถูกทำงานให้เกินค่าจำกัดของพิกัดกำลังในระยะเวลาต่างๆ อาจทำให้เกิดอันตรายอันเนื่องมาจากความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้น โดยความร้อนนี้เกิดขึ้นเพราะกระแสไหลเกินค่าพิกัดในระยะเวลาต่างๆ หรือเครื่องจักรกลไฟฟ้าถูกใช้งานขับแรงบิดที่มีค่าสูงๆ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบทางกลศาสตร์ที่ต่ออยู่ที่เพลาลูกอาจจะได้รับความเสียหาย ในทำนองเดียวกันถ้าความเร็วรอบมีค่าสูงกว่าค่าจำกัดของพิกัดเป็นระยะเวลานานก็จะส่งผลกระทบทำให้เกิดความเสียหายต่อชุดดัดลูกปืนที่ช่วยจับยึดแกนเพลาลูกหรืออาจจะทำให้ โรเตอร์ได้รับความเสียหายได้เช่นกัน อันเกิดจากสาเหตุของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งเป็นอุบัติเหตุหลักของระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า ดังนั้นการใช้งานของเครื่องจักรกลไฟฟ้านั้นจะต้องทำงานอยู่บนพื้นที่ A และพื้นที่ B เท่านั้น (ดังแสดงพื้นที่การทำงานได้จากรูปที่ 2.15) โดยพื้นที่ A คือจุดการทำงานที่ค่าความเร็วรอบต่ำกว่าหรือเท่ากับความเร็วรอบพิกัด n_N หรือเรียกว่าพื้นที่ควบคุมแรงดัน (Voltage Control Area) ซึ่งทุกจุดการทำงานนั้นสามารถทำได้จากการปรับค่าแรงดันที่ป้อนเข้าทางด้านอินพุตของเครื่องจักรกลไฟฟ้า ซึ่ง ณ จุดการทำงานในกรณีที่ยุคหนึ่ง (ความเร็วรอบเท่ากับ 0 รอบ) เครื่องจักรกลไฟฟ้าก็ยังสามารถทำงานขับแรงบิดได้ทั้งค่าแรงบิดพิกัด T_N หรือแรงบิดสูงสุด T_{max} ได้ โหมดการทำงานนี้จะถูกเรียกว่า ย่านแรงบิดคงที่ (Constant Torque Range) กล่าวคือเมื่อความเร็วรอบมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงในลักษณะเชิงเส้นจะทำให้

กำลังเอาต์พุตของเครื่องจักรไฟฟ้าเพิ่มขึ้นหรือลดลงในลักษณะเชิงเส้นเช่นกัน (จนกระทั่งจนค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุตพิกัด ณ จุดทำงานที่ความเร็วรอบพิกัดและแรงดันพิกัด) ณ จุดการทำงานนี้สามารถที่จะคำนวณหาความเร็วรอบพิกัด n_N ได้จากสมการคือ

$$\omega_N T_N = P_N = 2\pi \frac{n_N}{60} P_N \quad \text{เมื่อ} \quad \omega_N = 2\pi \frac{n_N}{60} \quad (2.1)$$

$$n_N = \frac{30 P_N}{\pi P_N}$$



รูปที่ 2.15 การจำกัดการทำงานของระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า

พิจารณาจากสมการที่ 2.1 สำหรับกรณีที่มีการทำงานต่อเนื่องนั้นจะต้องไม่ให้จ่ายกำลังเกินกว่าค่ากำลังพิกัดเป็นระยะเวลานานๆ จากสมการดังกล่าวสามารถนำมาหาแรงบิดของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเมื่อทำงานกรณีที่ความเร็วรอบสูงกว่าความเร็วรอบพิกัดได้จากสมการคือ

$$T = \frac{P_N}{\omega} = \frac{30}{\pi m} P_N \quad (2.2)$$

เมื่อพิจารณาจากสมการที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าค่าแรงบิด T จะมีปริมาณที่ลดลงเมื่อเครื่องจักรกลไฟฟ้าทำงานที่ความเร็วรอบ n สูงกว่าความเร็วรอบพิกัด n_N ดังแสดงได้จากพื้นที่ B ดังรูปที่ 2.15 โดยเรียก

พื้นที่นี้ว่า ย่านกำลังคงที่ (Constant Power Range) หรือย่านการอ่อนแรงของสนามแม่เหล็ก (Field Weakening Range) กล่าวคือการทำงานในย่านคงที่นั้น(เพราะป้อนแรงดันและกระแสที่ค่าพิกัด) แต่สนามแม่เหล็กมีค่าที่ลดลงเนื่องจากความเร็วรอบสูงเกินกว่าความเร็วรอบพิกัด

2.8 มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร[11]

2.8.1 มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร

มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรเป็นมอเตอร์ที่มีโครงสร้างเหมือนกับมอเตอร์ซิงโครนัส 3 เฟสทั่วไปไปเพียงแต่ขดลวดฟิลด์ที่โรเตอร์จะถูกทดแทนด้วยแม่เหล็กถาวรทำให้มอเตอร์ชนิดนี้มีความสูญเสียที่ขดลวดต่ำและมีน้ำหนักเบาเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ชนิดอื่นที่มีกำลังเท่ากัน แต่ข้อด้อยของ มอเตอร์ชนิดนี้คือเรื่อง ราคาเนื่องจากแม่เหล็กถาวรนั้นมีราคาสูง และคุณสมบัติของแม่เหล็กถาวรจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและอายุการใช้งาน[7]

ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์กำลัง[12] ส่งผลให้การใช้งานมอเตอร์ซิงโครนัสแบบแม่เหล็กถาวรแพร่หลายมากยิ่งขึ้น โดยในอุตสาหกรรมลิฟท์ได้มีการประยุกต์มอเตอร์ชนิดนี้ทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเดิมที่เข้าร่วมกับเฟืองทด เนื่องจากมอเตอร์ซิงโครนัสแบบแม่เหล็กถาวรทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบลิฟท์ดีขึ้น และสำหรับระบบลิฟท์แบบรีเจนเนอเรทีฟ การใช้มอเตอร์ซิงโครนัสแบบแม่เหล็กถาวรจะทำให้การกลายสภาพเป็นเจนเนอเรเตอร์ทำได้ง่ายกว่าการใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเดิม[13]



รูปที่ 2.16 มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรต่อสายพาน โดยตรงไม่ใช่เฟืองทด

โดยสมการคุณลักษณะของมอเตอร์แม่เหล็กถาวรเป็นไปตามสมการที่ 2.3 ถึง 2.6 ดังนี้[13]

$$\frac{di_d}{dt} = \frac{1}{L_d}V_d - \frac{R}{L_d}i_d + \frac{L_q}{L_d}p\omega_r i_q \quad (2.3)$$

$$\frac{di_q}{dt} = \frac{1}{L_q}V_q - \frac{R}{L_q}i_q - \frac{L_d}{L_q}p\omega_r i_d - \frac{\lambda p\omega_r}{L_q} \quad (2.4)$$

$$T_e = 1.5p[\lambda i_q + (L_d - L_q)i_d i_q] \quad (2.5)$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J}(T_e - T_m) \quad (2.6)$$

โดย

L_d, L_q คือ ค่าความเหนี่ยวนำในแกน d และ q

R คือ ค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์

i_d, i_q คือ ค่า กระแสในแกน d และ q

V_d, V_q คือ ค่า แรงดันในแกน d และ q

ω_r คือ ความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์

λ คือ ค่าฟลักแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร

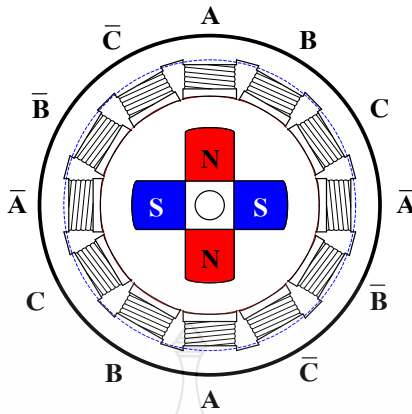
p คือ ค่าจำนวนคู่ของขั้วแม่เหล็ก

T_e คือ ค่าแรงบิดที่มอเตอร์ผลิตขึ้น

T_m คือ ค่าแรงบิดของโหลดและแรงเสียดทาน

2.8.2 โครงสร้างของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร[11]

โครงสร้างของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร แสดงดังรูปที่ 2.17 เป็นมอเตอร์ 3 เฟส มีขั้วแม่เหล็ก 4 ขั้ว (2 คู่ขั้ว) ประกอบด้วยขดลวดที่อยู่กับที่ เรียกว่า ขดลวดสเตเตอร์ (Stator Winding) และส่วนที่เคลื่อนที่ เรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) ซึ่งเป็นแม่เหล็กถาวร โดยมีช่องอากาศ (Air Gap) คั่นกลางระหว่างทั้งสองส่วน ซึ่ง โครงสร้างสเตเตอร์ของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรเหมือนกับมอเตอร์ซิงโครนัส 3 เฟสทั่ว ๆ ไป ที่จ่ายไฟให้ขดลวดที่โรเตอร์ คือ มีขดลวดสเตเตอร์ 3 เฟส พันอยู่ในร่องสลอต (Slot) โดยที่ขดลวดมีการวางให้มีการกระจายเป็นไซน์ (Sinusoidal Distribution) เพื่อสร้าง แรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าให้หมุนเป็นวงกลม ขณะที่ขดลวดบน โรเตอร์ถูกแทนด้วยแม่เหล็กถาวร ทำให้ไม่มีค่าสูญเสียจากขดลวด ถ้าเปรียบเทียบกับมอเตอร์ที่มีขดลวดที่กำลังเท่ากัน



รูปที่ 2.17 โครงสร้างของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร 3 เฟส มีขั้วแม่เหล็ก 4 ขั้ว (2 คู่ขั้ว)

มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร จะมีตัวโรเตอร์แบบขั้วยื่น (Salient Pole Rotor) ซึ่งมีช่องว่างอากาศไม่สม่ำเสมอ ฟลักซ์แม่เหล็กในช่องอากาศ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะมีการกระจายตัวไม่เท่ากัน เนื่องจากต้องวิ่งผ่านความไม่สมมาตรของช่องอากาศใน 2 แกนหลัก คือ แกนแม่เหล็กของโรเตอร์ (Direct Axis) และแกนที่ตั้งฉากกัน (Quadrature Axis) ดังนั้นแรงดันที่ขั้วจึงถูกเหนี่ยวนำขึ้นใน 2 แกนหลัก คือ V_d และ V_q มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Synchronous Motor; PMSM) มีข้อดีกว่ามอเตอร์ชนิดอื่น คือ ในมอเตอร์เหนี่ยวนำ กระแสเสถเตอร์จะประกอบด้วยกระแสสนามแม่เหล็กในแกน ซึ่งเป็นองค์ประกอบในการสร้างสนามแม่เหล็ก แต่ในมอเตอร์ซิงโครนัส เมื่อโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวรจึงไม่จำเป็นต้องมีกระแสสนามแม่เหล็กในแกนให้กับเสเตอร์[11]

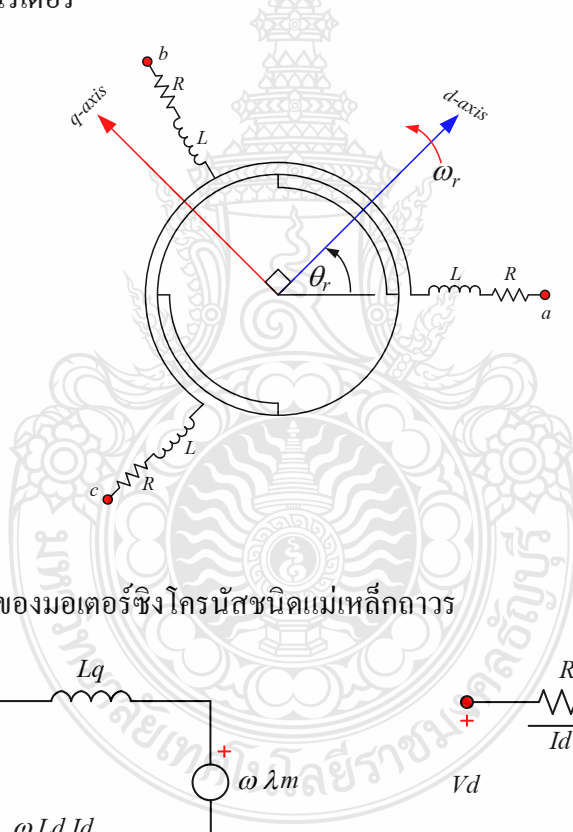
จากลักษณะดังกล่าวที่กำลังงานของมอเตอร์เท่าๆ กัน มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรจะทำงานที่ตัวประกอบกำลัง (Power Factor) สูงกว่า ทำให้ประสิทธิภาพสูงกว่าด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ซิงโครนัสทั่วไป ที่จะต้องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับโรเตอร์ เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กให้กับโรเตอร์ ดังนั้นในมอเตอร์ซิงโครนัสธรรมดา จึงต้องมีแปรงถ่านกับวงแหวนลื่นซึ่งนั่นทำให้มีการสูญเสียที่โรเตอร์ และต้องการการบำรุงรักษาแปรงถ่านจากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้มีการพัฒนาเป็นแบบมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร ที่ไม่ต้องมีขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก (Field Coil) แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและวงแหวนลื่น เพราะถูกแทนที่ด้วยแม่เหล็กถาวร[14]

มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร มีแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้านกลับ (Back EMF) ที่เป็นไซน์ (Sinusoidal) ดังนั้นจึงต้องการกระแสเสเตอร์เป็นไซน์ เพื่อสร้างแรงบิดให้คงที่ เช่นเดียวกับมอเตอร์ซิงโครนัสนอกจากนั้น มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรยังมีน้ำหนักเบา ชนิด

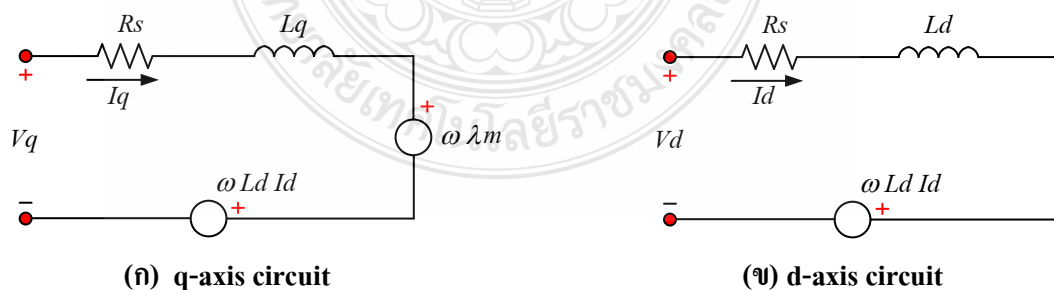
เล็ก และแรงเฉื่อยต่ำกว่าเมื่อเทียบกับมอเตอร์ที่ค่าพิกัดเดียวกัน แต่ข้อด้อย คือ มีราคาแพงเนื่องจาก ราคา ของแม่เหล็กถาวรที่มีราคาแพง และคุณสมบัติของแม่เหล็กแปรผันตามอุณหภูมิและ เปลี่ยนแปลงตามเวลา

2.8.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร[15,16,17]

แบบจำลองของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร ในรูปที่ 2.18 แสดงขดลวดสเตเตอร์ของ เฟส (abc) วางห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า และจุดต่อของแต่ละเฟสของ a,b และ c จะมีความต้านทานต่ออนุกรมกับความเหนี่ยวนำ โดยเทียบกับแกนของการอ้างอิงโรเตอร์ (แกน $d - q$) ที่หมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω_r ที่ตำแหน่งเชิงมุม θ_r วัฏระหว่างขดลวดสเตเตอร์ของแกนเอ (a-axis) และขดลวดโรเตอร์ของแกนดี (d-axis) ส่วนรูปที่ 2.19 แสดงวงจรสมมูลของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร ที่เขียนบนแกนอ้างอิงโรเตอร์



รูปที่ 2.18 แบบจำลองของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 2.19 วงจรสมมูลของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรที่เทียบกับแกนอ้างอิงของโรเตอร์[18]

จากแบบจำลองของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรในรูปที่ 2.18 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการแรงดันสามเฟส ได้ดังนี้

$$V_{abc} = R i_{abc} + \frac{d}{dt} (L i_{abc} + \lambda_{pm}(\theta)) \quad (2.7)$$

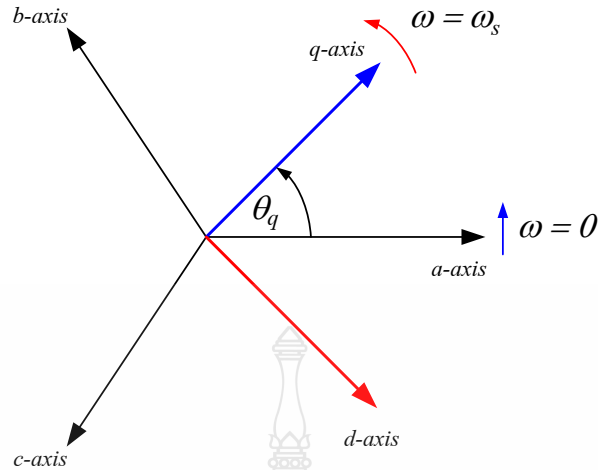
โดยที่ $\frac{d\lambda_{pm}(\theta)}{dt}$ คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\frac{d\lambda_{pm}(\theta)}{dt} = -\omega_r \lambda_{pm} \begin{bmatrix} \sin(\theta) \\ \sin(\theta_r - 2\pi/3) \\ \sin(\theta_r + 2\pi/3) \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

แทนสมการที่ 2.8 ลงในสมการที่ 2.7 จะได้

$$\begin{aligned} V_a &= R_s i_a + L \frac{d}{dt} i_a - \omega_r \lambda_{pm} \sin(\theta_r) \\ V_b &= R_s i_b + L \frac{d}{dt} i_b - \omega_r \lambda_{pm} \sin(\theta_r - 2\pi/3) \\ V_c &= R_s i_c + L \frac{d}{dt} i_c - \omega_r \lambda_{pm} \sin(\theta_r + 2\pi/3) \end{aligned} \quad (2.9)$$

การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับค่อนข้างสลับซับซ้อน ดังนั้นเพื่อให้การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงเกิดแนวความคิดที่จะมองมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อง่ายต่อการควบคุม และวิธีดังกล่าวสามารถทำได้โดยการโอนย้าย ตัวแปรต่างๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับให้มาอยู่บนแกนอ้างอิงของโรเตอร์ ($d-q$) ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ในรูปที่ 2.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกน qd และแกน abc [19]



รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างแกน qd และแกน abc

แกน $d-q$ ยังสามารถจะพิจารณาให้เป็นแกนที่อยู่กับที่ หรือเป็นแกนที่หมุนได้ด้วยความเร็วเชิงมุม (ω_r) ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมาก ในการจะพิจารณาสนามแม่เหล็กของมอเตอร์กระแสสลับให้อยู่ในรูปสนามแม่เหล็กของมอเตอร์กระแสตรง ที่หยุดนิ่งอยู่กับที่ สัญญาณแรงดันของมอเตอร์ซึ่งโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร จึงถูกอธิบายในมุมมองของกรอบอ้างอิงโรเตอร์ ($d-q$ Frame) โดยใช้สมการการแปลงจากปริมาณสามเฟสของปริมาณสองเฟส (Park's Transformation) แสดงดังสมการที่ 2.10 และ 2.11 (กรณีสามเฟสแบบสมดุล ปริมาณ (v_o, i_o) จะมีค่าเป็นศูนย์)

สมการของการแปลงค่าปริมาณจากสามเฟสเป็นปริมาณสองเฟสที่เขียนบนแกนอ้างอิง qd แสดงดังสมการที่ 2.10

$$[v_{qdo}] = [T_{qdo}(\theta_g)] [V_{abc}] \quad (2.10)$$

โดยที่ $[T_{qdo}(\theta_g)]$ ในรูปของเมตริกซ์ (Matrix) มีค่าเท่ากับ

$$[T_{qdo}(\theta_g)] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta_q & \cos(\theta_q - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta_q + \frac{2\pi}{3}) \\ \sin \theta_q & \sin(\theta_q - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta_q + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

จากสมการที่ 2.10 และ 2.11 จะได้สมการแรงดันของการแปลงค่าปริมาณสามเฟสเป็น ปริมาณสองเฟส ดังสมการที่ 2.10

$$\begin{bmatrix} V_q \\ V_d \\ V_o \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta_r & \cos(\theta_r - 120^\circ) & \cos(\theta_r + 120^\circ) \\ \sin \theta_r & \sin(\theta_r - 120^\circ) & \sin(\theta_r + 120^\circ) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

การควบคุมกระแสแบบฮิสเทอรีซิส (Hysteresis Control) และการควบคุมกระแสแบบปรับตาม สนามแม่เหล็ก (Field Oriented Control หรือ Vector Control) จะทำการเปรียบเทียบสัญญาณกระแส อ้างอิงกับสัญญาณกระแสจริงในแต่ละเฟส เนื่องจากสัญญาณแรงดันของมอเตอร์ซึ่ง โครนัสชนิด แม่เหล็กถาวร อธิบายในมุมมองของกรอบอ้างอิงโรเตอร์ (V_d, V_q) ทำให้สัญญาณกระแสจริงที่ได้ จะ อยู่ในมุมมองของกรอบอ้างอิงโรเตอร์ด้วย (i_q, i_d) จึงต้องการแปลงค่าสัญญาณกระแสจริงสอง เฟสเป็นสัญญาณกระแสจริงสามเฟส เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงในแต่ละเฟสต่อไป โดยใช้สมการการแปลงจากปริมาณสองเฟสเป็นปริมาณสามเฟส (Inverse Park's Transformation) แสดง ดังสมการที่ 2.13 และ 2.14[20]

สมการของการแปลงค่าปริมาณจากสองเฟสเป็นปริมาณสามเฟสที่เขียนบนแกนอ้างอิง qd แสดง ดังสมการที่ 2.13

$$[i_{abc}] = [T_{qdo}(\theta_q)^{-1}] [i_{qdo}] \quad (2.13)$$

โดยที่ $[T_{qdo}(\theta_q)^{-1}]$ ในรูปของเมตริกซ์ (Matix) มีค่าเท่ากับ

$$[T_{qdo}(\theta_q)^{-1}] = \begin{bmatrix} \cos \theta_q & \sin \theta_q & 1 \\ \cos\left(\theta_q - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta_q - \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \\ \cos\left(\theta_q + \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta_q + \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

จากสมการที่ 2.13 และ 2.14 จะได้สมการกระแสของการแปลงค่าปริมาณสองเฟสเป็นปริมาณ 3 เฟส ดังสมการที่ 2.15

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_r & \sin \theta_r & 1 \\ \cos(\theta_r - 120^\circ) & \sin(\theta_r - 120^\circ) & 1 \\ \cos(\theta_r + 120^\circ) & \sin(\theta_r + 120^\circ) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_q \\ i_d \\ i_o \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

จากวงจรมูลของมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรที่เทียบกับแกนอ้างอิงของโรเตอร์ ในรูปที่ 2.18 (ก.) และ 2.18 (ข.) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการแรงดันของมอเตอร์ซึ่งโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรที่แกนอ้างอิงคว และแกนอ้างอิงดี ในสมการที่ 2.16 และ 2.17 ตามลำดับ ดังนี้

$$v_q = R_s i_q + \omega_r \lambda_d + \frac{d}{dt} \lambda_q \quad (2.16)$$

$$v_d = R_s i_d - \omega_r \lambda_q + \frac{d}{dt} \lambda_d \quad (2.17)$$

ค่าฟลักซ์คั่งในแกนอ้างอิงคว และแกนอ้างอิงดี แสดงดังสมการที่ 2.18 และ 2.19

$$\lambda_q = L_q i_q \quad (2.18)$$

$$\lambda_d = L_d i_d + \lambda_{pm} \quad (2.19)$$

แทนสมการที่ 2.18 และ 2.19 ลงในสมการที่ 2.16 และ 2.17 จะได้

$$v_q = R_s i_q + L_q \frac{d}{dt} i_q + \omega_r (L_d i_d + \lambda_{pm}) \quad (2.20)$$

$$v_d = R_s i_d + L_d \frac{d}{dt} i_d + \omega_r L_q i_q + \frac{d}{dt} \lambda_{pm} \quad (2.21)$$

นอกจากสมการแรงดันของมอเตอร์ซึ่งโครนัสแบบแม่เหล็กถาวร ยังมีสมการแรงบิดทางไฟฟ้าของมอเตอร์ที่นำมาใช้วิเคราะห์ผลต่างๆของตัวมอเตอร์

สมการแรงบิดทางไฟฟ้าของมอเตอร์ แสดงดังสมการที่ 2.22

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} [\lambda_d i_q - \lambda_p i_d] \quad (2.22)$$

แทนสมการที่ 2.18 และ 2.19 ลงในสมการที่ 2.22 จะได้

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} [\lambda_{pm} i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \quad (2.23)$$

สมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด ความเร็วเชิงมุมและตำแหน่งของมอเตอร์ แสดงดังสมการที่ 2.24 ถึง 2.28

$$T_e = T_L + B\omega_m + J \frac{d}{dt} \omega_m \quad (2.24)$$

$$\omega_m = \int \left(\frac{T_e - T_L - B\omega_m}{J} \right) dt \quad (2.25)$$

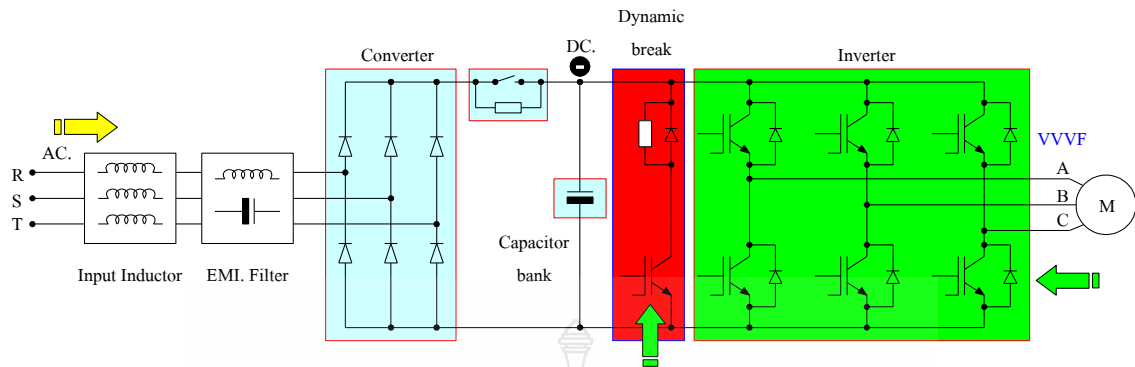
$$\omega_r = \frac{d}{dt} \theta_r \quad (2.26)$$

$$\omega_m = \omega_r \left(\frac{2}{p} \right) \quad (2.27)$$

$$\theta_m = \theta_r \left(\frac{2}{p} \right) \quad (2.28)$$

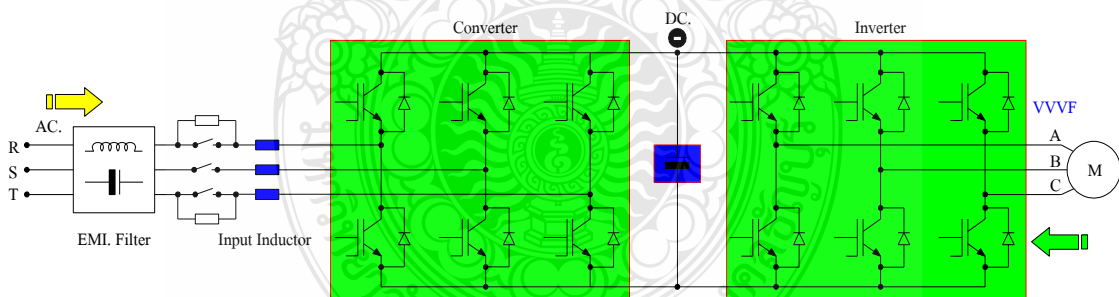
2.9 วงจรขับมอเตอร์และจ่ายไฟคืนกลับให้ระบบไฟฟ้า[21]

จากการทำงานของมอเตอร์ซึ่งโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลและ สามารถเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าได้นั้นจำเป็นต้องทำงานร่วมกับอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์และจ่ายกระแสไฟฟ้าคืนให้ระบบไฟฟ้าในกรณีที่มอเตอร์กลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิด โดยหลักการการทำงานแสดงในรูปที่ 2.21 และ 2.22



รูปที่ 2.21 ตัวอย่างวงจรขับเคลื่อนแบบไม่มีระบบรีเจนเนอเรทีฟ

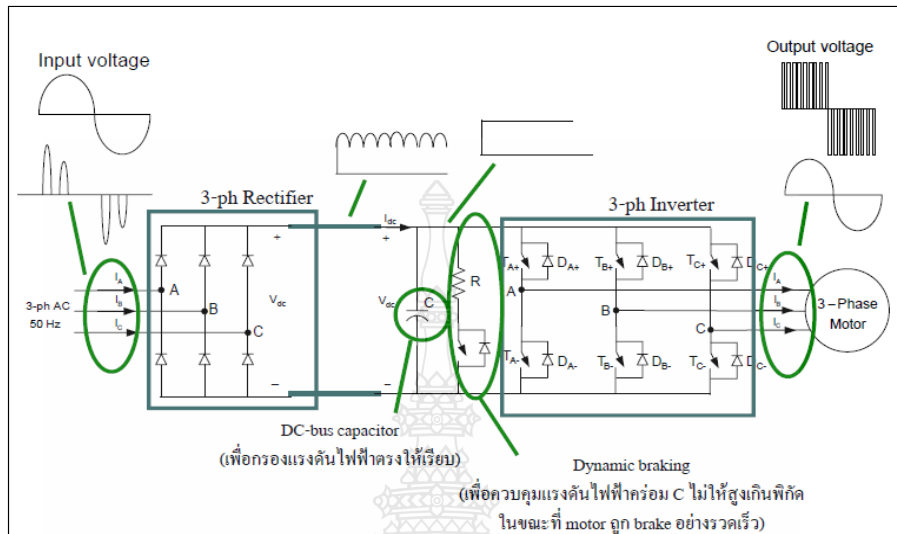
จากรูปที่ 2.21 ด้านบนเป็นวงจรขับเคลื่อนปกติซึ่งก็คืออินเวอร์เตอร์ที่ใช้งานกันทั่วไปทำงานโดยวงจรตัวเรียงกระแสไฟฟ้า (Rectifier) จาก Grid และใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ปรับรูปคลื่นตามต้องการเพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์โดยใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor) เป็นตัวเชื่อมทั้งภาควงจรตัวเรียงกระแสไฟฟ้าและอินเวอร์เตอร์ โดยปกติภาควงจรตัวเรียงกระแสไฟฟ้าจะใช้ไดโอดเป็นสวิตซ์ทำให้พลังงานสามารถไหลได้ทิศทางเดียวคือจาก Grid ไปเก็บที่ตัวเก็บประจุ (Capacitor) เท่านั้น ในสภาวะที่มอเตอร์กลายเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าจะไหลผ่าน Dynamic Break Resistor พลังงานไฟฟ้าจะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อนและสูญเสียออกไป



รูปที่ 2.22 ตัวอย่างวงจรขับเคลื่อนแบบมีระบบรีเจนเนอเรทีฟ

ส่วนรูปที่ 2.22 เป็นวงจรขับเคลื่อนแบบรีเจนเนอเรทีฟซึ่งมีข้อแตกต่างที่สำคัญจากวงจรขับเคลื่อนทั่วไปคือภาค วงจรตัวเรียงกระแส (Rectifier) จะใช้ IGBT เป็นสวิตซ์ ทำให้สามารถควบคุมทิศทางการไหลของพลังงานได้โดยเมื่อมอเตอร์กลายเป็นเจนเนอเรเตอร์กระแสไฟฟ้าจะไหลมาเก็บไว้ที่ตัวเก็บ

ประจุ (Capacitor) ทำให้แรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุ (DC Bus Voltage) สูงขึ้นวงจรควบคุมจะสั่งให้ภาควงจรตัวเรียงกระแสทำงานป้อนพลังงานไฟฟ้าคืนให้ Grid



รูปที่ 2.23 วงจรบล็อกไดอะแกรมพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์[12]

จากรูปที่ 2.23 บล็อกไดอะแกรมพื้นฐานอย่างง่าย ๆ ของอินเวอร์เตอร์ จะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ ๆ และมีการทำงานดังนี้

วงจรตัวเรียงกระแส (Rectifier Circuit) ทำหน้าที่แปลงผันหรือเปลี่ยนจากแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงวงจรประกอบด้วย เพาเวอร์ไดโอด 4 ตัว กรณีที่อินพุตเป็นแบบเฟสเดียว หรือมีเพาเวอร์ไดโอด 6 ตัว กรณีที่อินพุตเป็นแบบ 3 เฟส ดังรูปที่ 2.23 (สำหรับอินเวอร์เตอร์บางประเภทจะใช้ SCR ทำหน้าที่เป็นวงจรเรกติไฟเออร์ ซึ่งทำให้สามารถควบคุมระดับแรงดันในวงจรดีซีลิงก์ได้)

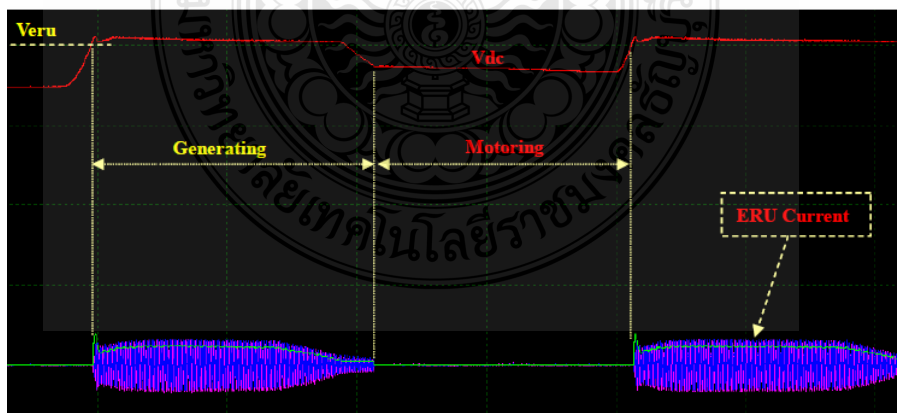
ดีซีลิงก์ (DC link) หรือ วงจรเชื่อมโยงทางดีซี ก็คือวงจรเชื่อมโยงระหว่างวงจรเรียงกระแสและวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะประกอบด้วยคาปาซิเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ พักตึงแรงดัน ไฟฟ้า 400 VDC หรือ 800 VDC โดยขึ้นอยู่กับแรงดันอินพุตว่าเป็นแบบเฟสเดียวหรือ 3 เฟส ทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากวงจรเรียงเรกติไฟเออร์ให้เรียบยิ่งขึ้นและทำหน้าที่เก็บประจุไฟฟ้า ขณะที่มอเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงสั้นเนื่องจากการเบรกหรือมีการลดความเร็วรอบลงอย่างรวดเร็ว สำหรับกรณีที่ใช้งานกับโหลดที่มีแรงเฉื่อยมาก ๆ และต้องการหยุดอย่างรวดเร็ว จะเกิดแรงดันสูงย้อนกลับมาตกคร่อมคาปาซิเตอร์และทำให้คาปาซิเตอร์เสียหายได้ ดังนั้นในทางปฏิบัติจะมีวงจร

ชอปเปอร์โดยต่อค่าความต้านอนุกรมกับทรานซิสเตอร์และต่อขานานกับคาปาซิเตอร์ไว้โดย ทรานซิสเตอร์จะทำให้ที่เป็นสวิตซ์ตัดต่อควบคุมให้กระแสไหลผ่านค่าความต้านทานเพื่อลดพลังงานที่เกิดขึ้น

พลังงานที่เกิดจากการรีเจนเนอเรชั่น จะป้อนกลับมาซาร์จประจุที่คอนเดนเซอร์ C ทำให้แรงดัน E มีค่าสูงขึ้น ถ้าแรงดันสูงกว่าค่าที่กำหนด ทรานซิสเตอร์ T ในวงจรเบรคจะทำงาน ทำให้มีกระแส I ไหลผ่านตัวต้านทานเบรค R ทำให้ตัวต้านทานร้อน เป็นการเผาผลาญพลังงานที่เกิดจากการรีเจนเนอเรชั่น และพลังงานที่เก็บสะสมใน คอนเดนเซอร์ C ก็จะถูกคายออกมาด้วย ทำให้แรงดัน E มีค่าลดลง เมื่อลดลงต่ำกว่าค่าที่กำหนด ทรานซิสเตอร์ T จะหยุดทำงาน กระแสเบรคก็จะหยุดไหล

วงจรรินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit) คือส่วนที่ทำหน้าที่แปลงผันจากแรงดันกระแสตรง (ที่ผ่านการกรองจากวงจรดีซีลิงค์) เป็นแรงดันกระแสสลับวงจรจะประกอบด้วยทรานซิสเตอร์กำลัง 6 ชุด (ปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้ IGBT) ทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ตัดต่อกระแสไฟฟ้าเพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยอาศัยเทคนิคที่นิยมใช้กันทั่วไปคือ PWM (Pule Width Modulation)

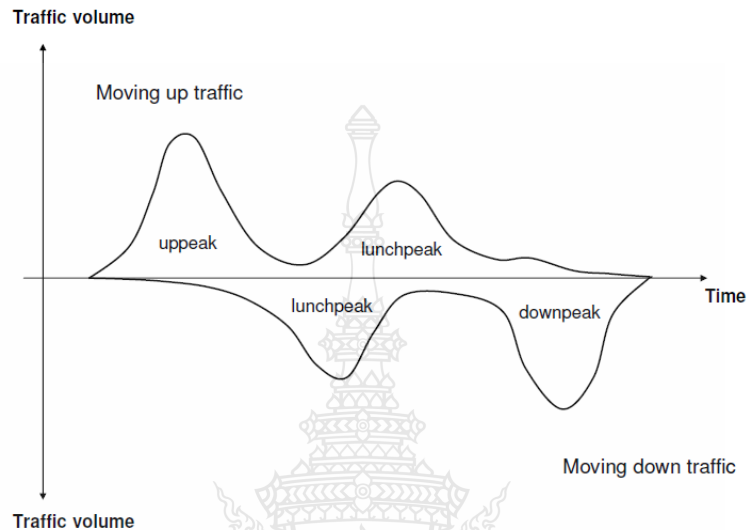
วงจรควบคุม (Control Circuit) จะทำหน้าที่รับข้อมูลจากผู้ใช้เช่น รับข้อมูลความเร็วรอบที่ต้องการเข้าไปทำการประมวลผล และส่งนำเอาตัวพุดออกไปควบคุมการทำงานของทรานซิสเตอร์เพื่อจ่ายแรงดันและความถี่ให้ได้ความเร็วรอบและแรงบิดตามที่ผู้ใช้งานต้องการ ซึ่งสัญญาณที่วัดได้จาก DC Bus Voltage แสดงในรูปที่ 2.24 เมื่อค่าของแรงดันที่เกิดขึ้นใน DC Bus Voltage มีค่าสูงขึ้น นั้นแสดงให้เห็นถึงสถานะของมอเตอร์กลายเป็นเจนเนอเรเตอร์ ซึ่งในทางตรงกันข้าม เมื่อ DC Bus Voltage มีค่าต่ำลงแสดงให้เห็นถึงสถานะการทำงานในโหมดของมอเตอร์



รูปที่ 2.24 DC Bus Voltage ในสถานะ Generating และ Motoring

2.10 การวิเคราะห์พฤติกรรมการทำงานของระบบลิฟต์

ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและกำลังไฟฟ้า ที่ได้จากการทดลองนี้สามารถนำไปใช้ร่วมกับข้อมูลการใช้งานลิฟต์ของอาคาร (Traffic Pattern) ดังรูปที่ 2.25 เพื่อใช้ประเมินศักยภาพการประหยัดพลังงานได้กล่าวคือ

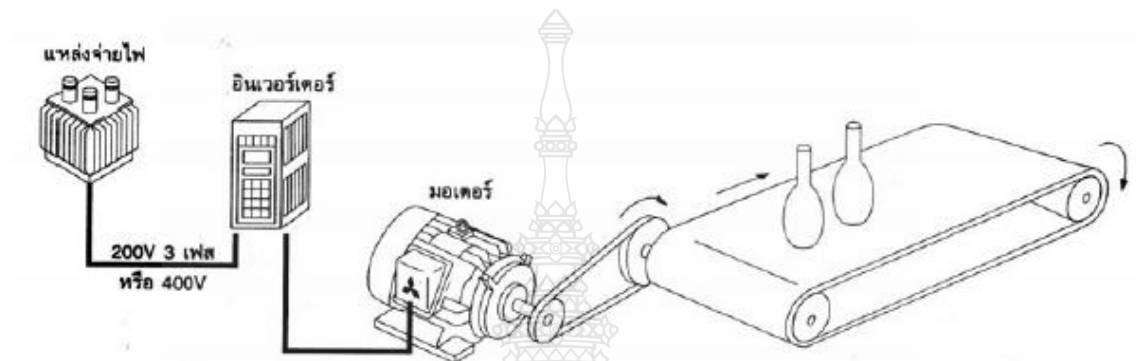


รูปที่ 2.25 ข้อมูลสภาพการใช้งานระบบลิฟต์ [Dr. San C M Hui, Lift Traffic Analysis]

- ช่วงเช้า ลิฟต์จะบรรทุกผู้โดยสารเกือบเต็มพิกัดเพื่อวิ่งขึ้น (Full load up) และ วิ่งตัวเปล่าลง (No Load Down) มารับผู้โดยสารอีก ซึ่งทั้งขาขึ้นและขาลงดังกล่าวลิฟต์จะต้องใช้พลังงานจาก Grid ในการทำงาน
- เวลาเที่ยงวัน ลิฟต์จะบรรทุกผู้โดยสารเกือบเต็มพิกัดเพื่อวิ่งลง (Full Load Down) และ วิ่งตัวเปล่าขึ้น (No load up) มารับผู้โดยสารอีก ซึ่งทั้งขาขึ้นและขาลงดังกล่าวลิฟต์จะคืนพลังงานให้ Grid
- เวลาบ่ายโมง ลิฟต์จะบรรทุกผู้โดยสารเกือบเต็มพิกัดเพื่อวิ่งขึ้น (Full Load Up) และ วิ่งตัวเปล่าลง (No Load Down) มารับผู้โดยสารอีก ซึ่งทั้งขาขึ้นและขาลงดังกล่าวลิฟต์จะต้องใช้พลังงานจาก Grid ในการทำงาน
- เวลาเย็น ลิฟต์จะบรรทุกผู้โดยสารเกือบเต็มพิกัดเพื่อวิ่งลง (Full Load Down) และ วิ่งตัวเปล่าขึ้น (No Load Up) มารับผู้โดยสารอีก ซึ่งทั้งขาขึ้นและขาลงดังกล่าวลิฟต์จะคืนพลังงานให้ Grid
- เวลาอื่นๆ ที่มีการใช้งานลิฟต์ระหว่างชั้น

2.11 อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากความสะดวกในการใช้งานและติดตั้ง ประสิทธิภาพที่ดี และเทคโนโลยีการควบคุมที่ก้าวหน้า ทำให้มีการนำมาใช้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เครื่องสูบน้ำ พัดลม รอก เกรน เครื่องอัดอากาศ เครื่องอัดของระบบปรับอากาศ รวมทั้งเครื่องจักรต่าง ๆ เช่น เครื่องปั่นด้าย เครื่องป้อนวัตถุดิบและระบบลิฟต์ เป็นต้น



รูปที่ 2.26 การใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบของเครื่องจักร

2.11.1 โครงสร้างและหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า ความถี่ ตลอดจนรูปคลื่นของไฟฟ้าก่อนป้อนเข้ามอเตอร์ เพื่อให้มอเตอร์กระแสสลับสามารถหมุนด้วยความเร็วต่าง ๆ ได้ตามความต้องการ โดยอาศัยหลักการพื้นฐานที่ว่าความเร็วรอบของมอเตอร์จะขึ้นกับความถี่ทางไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปในมอเตอร์ดังกล่าว

$$N = \frac{120f}{P} \cdot (1 - S) \quad (2.29)$$

เมื่อ

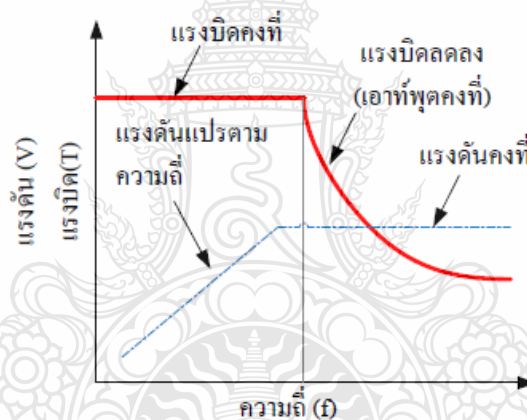
N คือ ความเร็วรอบ โรเตอร์ของมอเตอร์ (rpm)

f คือ ความถี่ทางไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟ (Hz)

P คือ จำนวนขั้วของมอเตอร์

S คือ สลิป

ดังนั้น หากเราปรับความถี่ทางไฟฟ้าเสียใหม่ก่อนป้อนเข้ามอเตอร์ มอเตอร์ก็จะหมุนด้วยความเร็วรอบใหม่ที่ต้องการ แต่ทั้งนี้ในการใช้งานอินเวอร์เตอร์ หากเปลี่ยนความถี่ไปโดยให้แรงดันไฟฟ้าคงที่ จะทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กเพิ่มมากขึ้นจนอิ่มตัว กระแสก็จะเพิ่มมากขึ้นและมอเตอร์ก็จะร้อนขึ้นจนเสียหายได้ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงต้องรักษาฟลักซ์แม่เหล็กให้มีค่าคงที่ ซึ่งทำได้โดยเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าไปตามความถี่ เนื่องจากฟลักซ์แม่เหล็กจะแปรผันตามอัตราส่วนของแรงดันและความถี่หรืออัตราส่วน V/f นอกจากนี้แล้ว อัตราส่วน V/f ยังส่งผลต่อค่าแรงบิดด้วยกล่าวคือแรงบิดจะแปรผันตามอัตราส่วน V/f ด้วยเช่นเดียวกัน ดังนั้น หากอัตราส่วน V/f มีค่าคงที่ ก็จะทำให้แรงบิดมีค่าคงที่ด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับแรงดันและแรงบิดแสดงได้ดังรูปที่ 2.27 การควบคุมอัตราส่วน V/f ให้มีค่าคงที่นี้เองทำให้อุปกรณ์นี้มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า VVVF (Variable Voltage Variable Frequency)

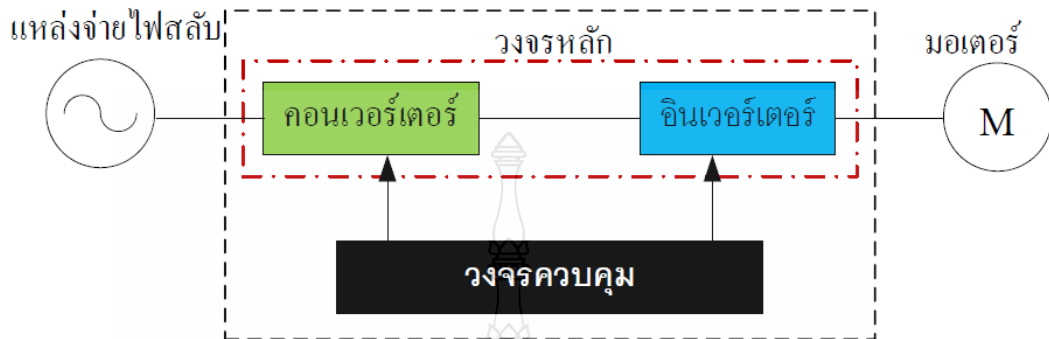


รูปที่ 2.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับแรงดันและแรงบิด

ในการใช้งานเราสามารถสร้างความถี่ที่สูงกว่า 50 Hz เพื่อให้มอเตอร์หมุนเร็วกว่าความเร็วรอบที่พิกัดได้ ซึ่งจะต้องเพิ่มแรงดันขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อความถี่เกินจาก 50 Hz แรงดันจะไม่เพิ่มตามไปด้วย เนื่องจากอินเวอร์เตอร์ไม่สามารถสร้างแรงดันเกินกว่าแรงดันไฟฟ้าสลับขาเข้าได้ ดังนั้นอัตราส่วน V/f จะลดลง และแรงบิดมอเตอร์จะลดลงด้วย การทำงานในช่วงนี้เป็นช่วงที่กำลังของมอเตอร์มีค่าคงที่เท่ากับพิกัด ยิ่งความเร็วรอบสูงขึ้นแรงบิดก็จะลดลง

โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์แสดงไว้ในรูปที่ 2.28 อินพุตของอินเวอร์เตอร์เป็นไฟกระแสสลับจากแหล่งจ่ายไฟ ซึ่งจะถูกแปลงเป็นไฟกระแสตรงโดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter) จากนั้นไฟกระแสตรงที่ได้จะถูกแปลงเป็นไฟกระแสสลับที่สามารถแปรขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งวงจรหลักทั้งสองวงรดังกล่าวนี้จะถูกควบคุมการทำงานโดย

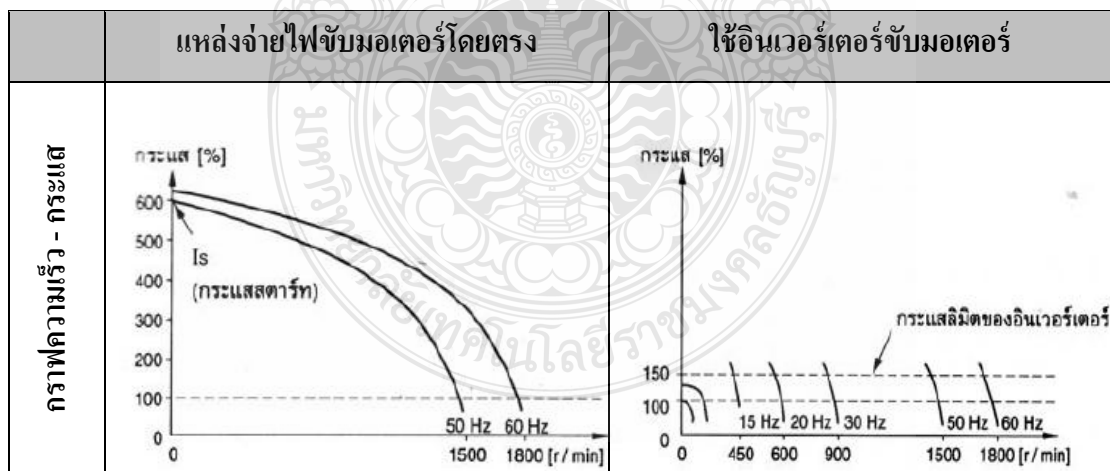
วงจรควบคุมอีกทีหนึ่ง อินเวอร์เตอร์ชนิดใช้งานทั่วไป (General Purpose Inverter) จะประกอบด้วย ส่วนคอนเวอร์เตอร์ และอินเวอร์เตอร์รวมอยู่ในเครื่องเดียวกัน



รูปที่ 2.28 โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์

ลักษณะสมบัติแรงบิดและกระแสของมอเตอร์ เมื่อถูกขับด้วยอินเวอร์เตอร์ เปรียบเทียบกับ กรณีที่มอเตอร์ต่อกับแหล่งจ่ายไฟแสดงได้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติกระแสและแรงบิดของมอเตอร์ เมื่อต่อกับแหล่งจ่ายไฟและ อินเวอร์เตอร์



ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติกระแสและแรงบิดของมอเตอร์ เมื่อต่อกับแหล่งจ่ายไฟและอินเวอร์เตอร์(ต่อ)

	แหล่งจ่ายไฟขับมอเตอร์โดยตรง	ใช้อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์
กราฟความเร็ว - กระแส		
จุดเด่น	<ul style="list-style-type: none"> - แรงบิดสตาร์ทที่สูง แต่กระแสสตาร์ทก็สูงด้วย - ความเร็วรอบจะคงที่และขึ้นอยู่กับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ 	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถควบคุมให้กระแสสตาร์ทมีค่าต่ำได้โดยการสตาร์ทจากความถี่ต่ำ ๆ แต่แรงบิดสตาร์ทก็จะต่ำด้วย - ความเร็วรอบสามารถปรับได้ ไม่ขึ้นกับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ

2.11.2 อินเวอร์เตอร์จะแบ่งตามลักษณะของวงจรอินเวอร์เตอร์

1) แบบแหล่งจ่ายกระแส (CSI)

จะควบคุมปริมาณกระแสที่จ่ายให้มอเตอร์ นอกเหนือไปจากแรงดันและความถี่ โดยจะมีความสามารถจำกัดกระแสตัวจอร์แดนมอเตอร์ได้ และต้องมีโหลดต่ออยู่ตลอดเวลาแม้กระทั่งขณะทดสอบ มักใช้งานกับมอเตอร์ขนาดใหญ่ และขับเคลื่อนได้ทีละชุด มีความสามารถในการส่งคืนกำลังไฟฟ้ากลับสู่ระบบในขณะเบรกได้ (Regenerative Braking) จึงทำให้สามารถให้หยุดมอเตอร์ที่ขับโหลดใหญ่ที่มีความเฉื่อยสูงๆ ได้

2) แบบแหล่งจ่ายแรงดัน (VSI)

จะควบคุมเฉพาะแรงดันและความถี่ที่ป้อนเข้ามอเตอร์ สามารถใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ที่หลายชุดได้พร้อมกัน VSI หรืออีกชื่อหนึ่ง คือ “Six-step” ใช้งานแพร่หลายในอดีต ปัจจุบันถูกแทนที่ด้วยอินเวอร์เตอร์แบบ Pulse-width-Modulation (PWM)

3) Pulse – width – Modulated units (PWM)

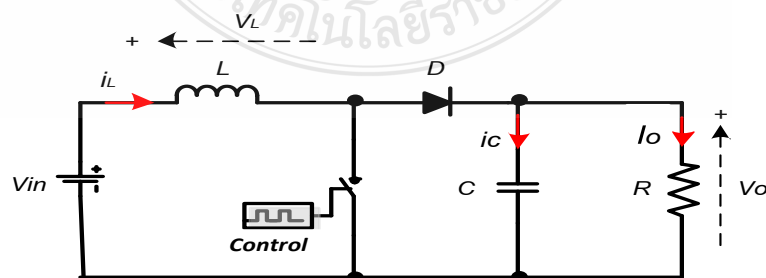
เป็นระบบที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบัน ตั้งแต่ขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ PWM ต่างจาก VSI และ CSI ตรงที่ใช้วงจรโคโอดบริดจ์ธรรมดาแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง แล้วภาคอินเวอร์เตอร์ใช้การมอดูเลชันความกว้างของรูปคลื่น เพื่อให้กระแสที่จ่ายเข้ามอเตอร์คล้ายคลื่นไซน์มากที่สุด ซึ่งจะทำความร้อนที่เกิดในตัวมอเตอร์ต่ำลง ปัญหาเรื่องฮาร์โมนิกส์ลดลง ปัจจุบันผู้ผลิตส่วนใหญ่มักใช้สวิตช์ประเภท IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors) ที่มีความถี่ในการสวิตช์สูงในช่วง 15-20 kHz ซึ่งทำให้มีเสียงรบกวนน้อยลง แต่อาจจะเกิดปัญหาในเรื่องฮาร์โมนิก การเสียหายของฉนวนและแบร์ริง

4) อุปกรณ์ควบคุมความเร็วแบบเวกเตอร์ (Vector Control)

สามารถควบคุมแรงบิดที่เกิดขึ้นได้ทั้งขนาดและทิศทาง และควบคุมความเร็วรอบได้อย่างแม่นยำ ซึ่งวงจรและการประมวลผลจะมีความซับซ้อนมาก ทำให้การควบคุมมอเตอร์กระแสสลับทำได้ดีเท่าเทียมกับมอเตอร์กระแสตรงแต่ตัดปัญหาเกี่ยวกับการบำรุงรักษาจากจิกของมอเตอร์กระแสตรงออกไป อินเวอร์เตอร์แบบเวกเตอร์จะมีราคาสูงกว่า 3 แบบแรกที่ควบคุมอัตราส่วน V/f เท่านั้น (บางครั้งเรียกว่า ควบคุมแบบสเกลาร์) แต่มีความแม่นยำและสมรรถนะที่ดีกว่า มีใช้งานในเครื่องผลิตกระดาษ เครื่องดึงลวด มอเตอร์ขับเคลื่อนหลอดฉาย ลิฟต์ความเร็วสูง เป็นต้น มีความเหมาะสมกับเครื่องจักรที่ต้องการแรงบิดที่ถูกต้องที่แต่ละความเร็ว หรือการควบคุมตำแหน่งที่แม่นยำ

2.12 วงจรทบทระดับแรงดัน[22]

วงจรทบทระดับแรงดันไฟตรง หรือวงจร Boost Converter เป็นวงจรที่ทำให้แรงดันขาออกของวงจรมีค่าสูงกว่าแรงดันขาเข้า และเนื่องจากรูปคลื่นแรงดันขาออกมีการกระเพื่อมจากสัญญาณควบคุม จึงนิยมต่อวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) แบบวงจร Pure C ขนานทางด้านขาออก เพื่อให้แรงดันขาออกมีความเป็นไฟตรงมากๆ ลักษณะวงจรทบทระดับแรงดันเป็นดังรูปที่ 2.29 อุปกรณ์สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้เชิงปฏิบัติในวงจรถูกแทนด้วยสวิตช์ควบคุมเชิงอุดมคติดังรูป



รูปที่ 2.29 โครงสร้างของวงจรทบทขนาดแรงดัน

เงื่อนไขในการทำงานของวงจรทบทระดับแรงดัน

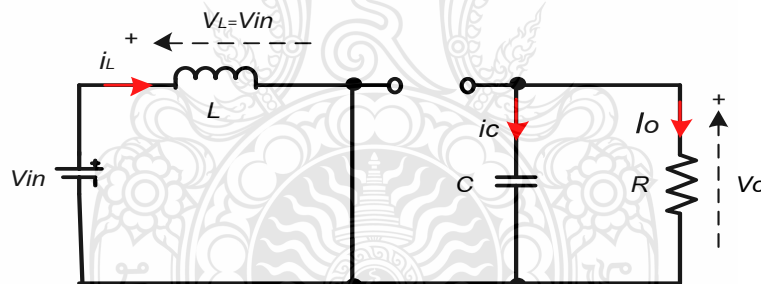
เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์การทำงานของวงจรทบทระดับแรงดันในสภาวะอยู่ตัว จะต้องมีการกำหนดเงื่อนไขการทำงานเสียก่อน เช่นเดียวกับในวงจรทอนระดับแรงดัน

1. รูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละคาบ จะค่าเท่ากันและเป็นบวกเสมอ
2. ค่าแรงดันเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะทำให้ผลรวมค่าผลคูณของแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับเวลา (Volt-Second) เป็นศูนย์
3. ค่ากระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุในแต่ละคาบเวลาจะเท่ากับศูนย์
4. กำลังไฟฟ้าขาเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าขาออก (พิจารณาวงจรทำงานแบบอุดมคติ)

2.12.1 หลักการทำงานของวงจรทบทระดับแรงดัน

การทำงานของวงจรแบ่งออกเป็น 2 จังหวะคือ ขณะสวิตช์นำกระแสและไม่นำกระแส

ขณะสวิตช์นำกระแส



รูปที่ 2.30 วงจรสมมูลของวงจรทบทระดับแรงดันขณะสวิตช์นำกระแส

ขณะสวิตช์นำกระแส กระแสจากแหล่งจ่ายจะไหลวนผ่านตัวเหนี่ยวนำดังแสดงในรูปที่ 2.30 ในขณะเดียวกันไดโอดจะได้รับการไบอัสย้อนกลับ (Reverse Bias) กระแสจึงไม่สามารถไหลผ่านได้ ทำให้สมการของวงจรเป็นดังนี้

$$V_{in} + V_L = 0 \quad (2.30)$$

$$V_{in} = V_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.31)$$

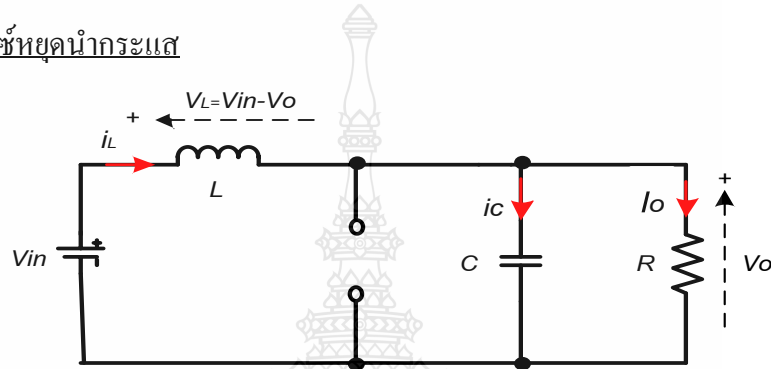
$$\frac{V_{in}}{L} = \frac{di_L}{dt}$$

เมื่อเทียบสมการที่ได้และกำหนดให้ $dt = DT$ ซึ่งเป็นช่วงเวลานำกระแสของสวิตช์แล้วจะได้

$$\frac{dt_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_{in}}{L} \quad (2.32)$$

$$\Delta i_{L,on} = \left(\frac{V_{in}}{L} \right) \cdot DT \quad (2.33)$$

ขณะสวิตช์หยุดนำกระแส



รูปที่ 2.31 วงจรสมมูลของวงจรทระดับแรงดันขณะสวิตช์หยุดนำกระแส

ขณะสวิตช์หยุดนำกระแสดังแสดงในรูปที่ 2.31 กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยทันทีทันใดโคโดจะถูกไบอัสไปหน้า (Forward Bias) ให้นำกระแส เป็นผลทำให้กระแสสามารถไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะได้สมการแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำได้ดังนี้

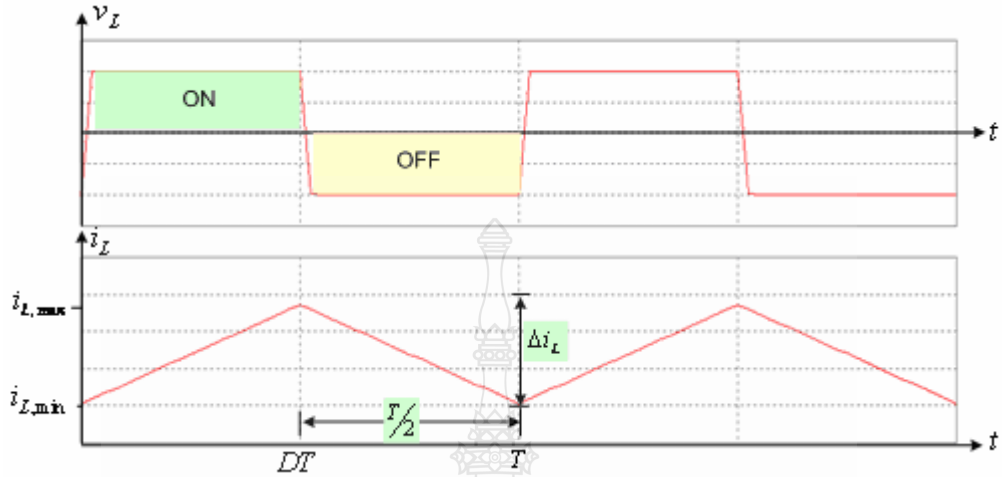
$$-V_{in} + V_L + V_o = 0 \quad (2.34)$$

$$V_L = (V_{in} - V_o) = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.35)$$

$$\frac{dt_L}{dt} = \left(\frac{V_{in} - V_o}{L} \right)$$

กำหนดให้ $dt = (1-D)T$ ในขณะสวิตช์หยุดนำกระแส ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าคงที่ และการลดลงของกระแสจะเป็นเชิงเส้นดังแสดงในรูปที่ 2.32 ทั้งนี้สมการการเปลี่ยนแปลงของกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์หยุดนำกระแสจะเป็นดังนี้

$$\Delta i_{L,off} = \frac{(V_{in} - V_o)}{L} \cdot (1-D)T \quad (2.36)$$



รูปที่ 2.32 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมและกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในวงจรทบทระดับแรงดัน

2.12.2 การคำนวณค่าในวงจรทบทระดับแรงดัน

ค่าอัตราขยายแรงดันของวงจร

อัตราขยายแรงดันของวงจรทบทระดับแรงดันสามารถคำนวณได้จากเงื่อนไขข้อที่หนึ่ง ซึ่งกำหนดว่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแต่ละคาบเวลา จะมีค่าเท่ากัน ซึ่งสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.37)$$

$$\left(\frac{V_{in}}{L}\right)DT + \left\{\left(\frac{V_{in} - V_o}{L}\right) \cdot (1-D)T\right\} = 0 \quad (2.38)$$

$$(V_{in})D + (V_{in} - V_o) \cdot (1-D) = 0$$

$$V_{in} - V_o(1-D) = 0$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1}{(1-D)} \quad (2.39)$$

หรือจากเงื่อนไขการทำงานข้อที่ 2. ที่กำหนดว่าผลรวมค่าผลคูณของแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับเวลา (Volt-Second) ของช่วงเวลานำกระแสและหยุดนำกระแสเป็นศูนย์ ซึ่งสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$V_{L,av} = (V_{L,on})(t_{on}) + (V_{L,off})(t_{off}) = 0 \quad (2.40)$$

$$V_{in}(t_{on}) + (V_{in} - V_o) \cdot (t_{off}) = 0 \quad (2.41)$$

แทนค่า $t_{on} = DT, t_{off} = (1-D)T$ ลงในสมการ (2.41)

$$(V_{in}DT) + (V_{in} - V_o) \cdot (1-D)T = 0$$

$$V_{in}DT - V_o(1-D)T = 0$$

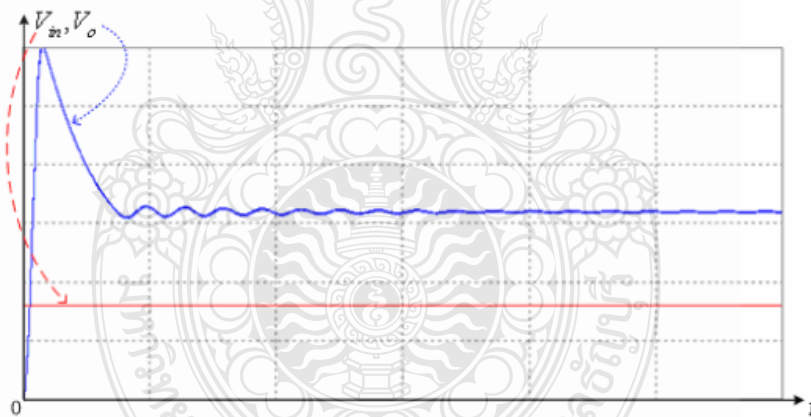
จะได้

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1}{(1-D)} \quad (2.42)$$

เมื่อ $V_{L,av}$ เป็นแรงดันเฉลี่ยตกรวมตัวเหนี่ยวนำ

$V_{L,on}$ เป็นแรงดันตกรวมตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์นำกระแส

$V_{L,off}$ เป็นแรงดันตกรวมตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์หยุดนำกระแส



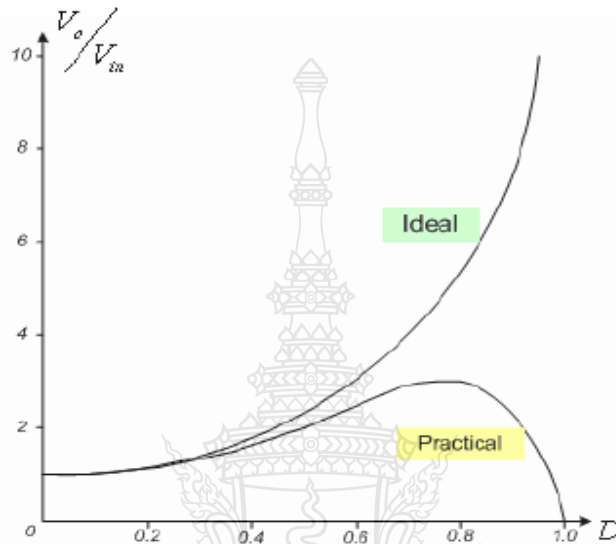
รูปที่ 2.33 รูปคลื่นแรงดันขาเข้าและแรงดันขาออกของวงจรทระดับแรงดันเมื่อ $D = 0.5$

ในรูปที่ 2.33 แสดงค่าแรงดันขาเข้าและขาออกของวงจรขณะกำหนดให้ค่า Duty Cycle เท่ากับ 0.5 (หรือ $D = 0.5$) ซึ่งแรงดันขาออกขณะอยู่ตัวของวงจรจะเป็น 200% ของขนาดแรงดันขาเข้า

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราขยายแรงดันกับ Duty Cycle ของวงจรแสดงดังตารางที่ 2.4 จะเห็นว่าในเชิงอุดมคติอัตราขยายสามารถเพิ่มสูงขึ้นได้จนถึงค่าอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติ แรงดันขาออกไม่สามารถมีค่าสูงขึ้นได้มากเท่าทางอุดมคติ เนื่องจากมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแต่ละส่วนของวงจร

ตารางที่ 2.4 ค่าอัตราขยายแรงดันของวงจรทระดับแรงดันที่ค่า Duty Cycle ต่างๆ

ค่า Duty Cycle	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
อัตราขยายแรงดัน	1.00	1.10	1.25	1.43	1.67	2.00	2.50	3.33	5.00	10.00	∞



รูปที่ 2.34 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายแรงดันกับค่า Duty Cycle ของวงจรทระดับแรงดัน

2.13 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดสำหรับวงจรทระดับแรงดัน

แรงดัน กระแสขาออกและกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของวงจรทระดับแรงดันควรอยู่ในโหมดต่อเนื่อง การคำนวณหาขนาดค่าที่เล็กที่สุดของตัวเหนี่ยวนำที่ทำให้วงจรทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง จะเริ่มที่การคำนวณค่ากระแสเฉลี่ยไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในสภาวะวิกฤติ ซึ่ง $i_{L,\min} = 0$

จากสมมติฐาน วงจรมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียเป็นศูนย์ ดังนั้น

$$P_i = P_o = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.43)$$

$$P_{in} = V_{in} \cdot I_{in} = V_{in} \cdot I_L \quad (2.44)$$

$$V_{in} \cdot I_L = \frac{V_o^2}{R}$$

ค่ากระแสสูงสุดและต่ำสุดที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

$$I_{L,\min} = \left(\frac{V_{in}}{(1-D)^2 \cdot R} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{V_{in} DT}{L} \right) \quad (2.45)$$

$$I_{L,\min} = \left(\frac{V_{in}}{(1-D)^2 \cdot R} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{V_{in} DT}{L} \right) \quad (2.46)$$

ดังนั้นค่ากระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำต่ำสุด ขณะสภาวะวิกฤติ $i_{L,\min} = 0$ สามารถเขียนจากสมการ 2.46 ได้ดังนี้

$$I_{L,\min} = \left(\frac{V_{in}}{(1-D)^2 \cdot R} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{V_{in} DT}{L} \right) = 0 \quad (2.47)$$

$$\left(\frac{V_{in}}{(1-D)^2 \cdot R} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{V_{in} \cdot DT}{L} \right)$$

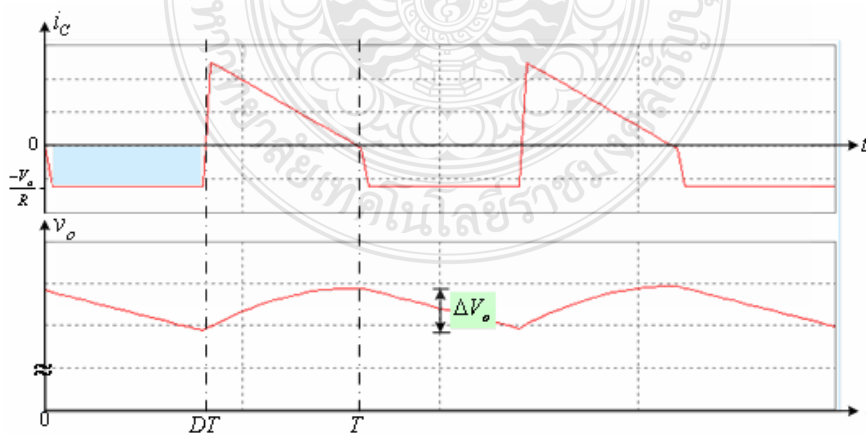
$$L_{\min} = \left(\frac{D(1-D)^2 \cdot R}{2 \cdot f} \right) \quad (2.48)$$

$$f = \left(\frac{D(1-D)^2 \cdot R}{2 \cdot L_{\min}} \right) \quad (2.49)$$

ค่าความเหนี่ยวนำเล็กที่สุดทำได้โดยการปรับค่า Duty Cycle ความต้านทานโหลด หรือความถี่สวิตช์

2.14 อัตราระลอกคลื่น (Ripple Factor) ของแรงดันขาออก

รูปคลื่นกระแสไหลผ่านตัวเก็บประจุและแรงดันขาออกในวงจรแสดงรูปที่ 2.35 ซึ่งจะเห็นว่าการกระเพื่อมของแรงดันขาออกสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงค่าของกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ



รูปที่ 2.35 รูปคลื่นกระแสไหลผ่านตัวเก็บประจุและแรงดันขาออกในวงจรทบทระดับแรงดัน

ในทางปฏิบัติจะไม่นิยมใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่เนื่องจากมีราคาแพงและใช้พื้นที่ติดตั้งมาก ขนาดของตัวเก็บประจุซึ่งสัมพันธ์กับค่าระลอกคลื่นแรงดันขาออกนี้สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{จาก} \quad \Delta Q = C \cdot \Delta V_o = I_o \cdot t_{on} \quad (2.50)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \Delta V_o = \frac{I_o \cdot t_{on}}{C} = \frac{V_o \cdot DT}{RC}$$

$$\text{จะได้} \quad \frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{DT}{RC} = \frac{D}{RC \cdot f} \quad (2.51)$$

$$\text{เมื่อ } i_o = \frac{V_o}{R} \text{ และ } t_{on} = DT$$

จากสมการ 2.51 ค่าระลอกคลื่นของแรงดันจะมีค่าน้อยลง ถ้าวงจรมีค่า Duty Cycle เข้าใกล้ค่าศูนย์ $D \rightarrow 0$ หรือโดยการเพิ่มค่าความต้านทานโหลดหรือเลือกใช้ค่าความถี่สวิตช์ (f) สูงๆ

2.15 สรุป

ลิฟต์ถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการใช้ชีวิตประจำวันสำหรับการอยู่อาศัยในอาคารสูง และลิฟต์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนเพื่อเคลื่อนที่ขึ้นและลงในแนวดิ่ง ลิฟต์นั้นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณมาก ส่งผลทำให้เกิดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าสูง จึงได้มีการศึกษาและพัฒนาระบบที่ช่วยให้ลิฟต์ใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมน้อยลง โดยใช้หลักการที่ลิฟต์นั้นจะมีการทำงานในบางช่วงที่ไม่ต้องให้พลังงานไฟฟ้าแก่มอเตอร์โดยมอเตอร์นั้นจะหมุนไปได้เองตามแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งในช่วงนี้มอเตอร์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ การทำงานในลักษณะนี้เรียกว่า รีเจนเนอเรทีฟโหมด (Regenerative Mode) โดยพลังงานที่ได้นั้นสามารถจ่ายคืนให้กับระบบไฟฟ้าโดยตรง (Grid) เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการใช้พลังงานของลิฟต์ให้มีประสิทธิภาพทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมและลดการใช้พลังงาน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อการศึกษาจำลองชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ การจำลองการทำงานของระบบถือได้ว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะนำมาวิเคราะห์หาค่าต่างๆก่อนการออกแบบสร้างจริง อาทิ แรงดันกระแสตรงที่มาจาก ดี.ซี.ลิงค์ขณะอยู่ในโหมดเจนเนอเรเตอร์ , แรงดันไฟฟ้าสามเฟสที่ออกจากชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ได้ว่าสามารถคืนกำลังไฟฟ้าได้มากน้อยเพียงใด ในโครงการวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ในการจำลองการทำงาน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการออกแบบจำลองระบบชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ เป็นการรวบรวมศึกษาข้อมูลต่างๆ ระบบลิฟต์ หลักการทำงาน การออกแบบจำลอง และการติดตั้งระบบชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ

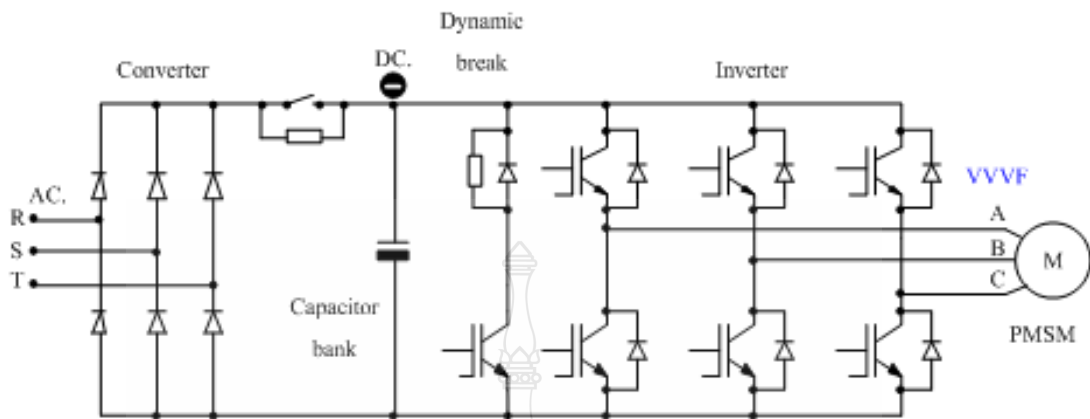
3.1.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการจำลองระบบควบคุมของชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร ด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ เป็นขั้นตอนการศึกษารวบรวมข้อมูลและจำลองการควบคุมระบบของชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อผลิตไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟรวมทั้งการวัดและบันทึกผลการทำงานของระบบ

3.1.3 ทดสอบการทำงานและเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบจริงกับการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink เป็นขั้นตอนการทดสอบจากระบบชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ติดตั้งจริงเพื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลอง ในการผลิตไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ และทดสอบหาค่าพลังงานป้อนกลับเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการหาจุดคุ้มทุน

3.1.4 สรุปวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1.5 จัดทำรายงานการวิจัย

3.2 การจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรขณะกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิด



รูปที่ 3.1 วงจรระบบลิฟต์ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน

หลักการการทำงานของระบบลิฟต์นี้จะประกอบไปด้วยชุดวงจรเรียงกระแส 3 เฟสเต็มคลื่นด้วยไดโอดแบบบริดจ์จะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและชุดวงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟสจะทำหน้าที่เป็นวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสแบบควบคุมได้โดยสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าได้ทั้งขนาดและความถี่ มอเตอร์ลิฟต์ที่ใช้ในวงจรนี้เป็นชนิดแม่เหล็กถาวร (PMSM) ขนาด 7.4kW แบบไม่มีเฟืองทด ซึ่งมีข้อมูลตามเนมเพลทดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลทางเทคนิคของมอเตอร์ ชนิด PM SYNCHRONOUS MOTOR GEARLESS TRACTION MACHINE สำหรับงานวิจัย

PM SYNCHRONOUS MOTOR GEARLESS TRACTION MACHINE					
Name	GSD-MM1	Power	7.4 kW	Ser.No.	-
Type	407P4168Y	Torque	420 N.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 %

3.3 การออกแบบจำลองชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้าจากการกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร

การออกแบบวงจรเรียงกระแส 3 เฟส เต็มคลื่นด้วยไดโอดแบบบริดจ์ (3 Phase Full Bridge Diode Rectify) ใช้วงจรเรียงกระแส 3 เฟสเต็มคลื่นแบบไดโอดบริดจ์ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส (Grid) เพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในการคำนวณนี้กำหนดให้ต่ออยู่กับโหลดความต้านทาน

$$\begin{aligned}
 V_{O,av} &= \frac{6}{2} \int_{60^\circ}^{120^\circ} V_{m,Line} \cdot \sin(\omega t) \cdot d(\omega t) & (3.1) \\
 &= \frac{6 \cdot V_{m,Line}}{2\pi} [-\cos(\omega t)]_{60^\circ}^{120^\circ} \\
 &= \frac{\pi}{3} \cdot V_{m,Line} \cdot [-\cos 120 + \cos 60] \\
 &= \frac{3 \cdot V_{m,Line}}{\pi} \\
 &= 0.95 V_{m,Line} \\
 &= 0.95 \cdot \sqrt{2} \cdot 380 \\
 &\cong 510V
 \end{aligned}$$

กรณี $V_{Line} = 400V$

$$V_{o,av} \cong 540V$$

วงจรเรียงกระแส 3 เฟส เต็มคลื่นด้วยไดโอดแบบบริดจ์ วงจรเรียงกระแส 3 เฟสแบบไดโอดเป็นวงจรที่มีโครงสร้างง่ายๆไม่ซับซ้อน กระแสไฟฟ้าไดโอดจะเท่ากับกระแสไฟฟ้าโหลด เพื่อหากระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสของแหล่งจ่ายจะพิจารณาจากกฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ที่โหนด abc

$$\begin{aligned}
 i_a &= i_{D1} - i_{D4} \\
 i_b &= i_{D3} - i_{D6} \\
 i_c &= i_{D5} - i_{D2}
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

โดยไดโอดแต่ละตัวจะนำกระแสเพียงหนึ่งในสามของคาบเวลา ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned}
 i_{D,av} &= \frac{1}{3} I_{O,av} \\
 i_{D,rms} &= \frac{1}{\sqrt{3}} I_{O,rms} \\
 i_{s,rms} &= \sqrt{\frac{2}{3}} I_{O,rms}
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$

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

ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยค่านอกหรือค่าองค์ประกอบไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าเท่ากับ

$$V_o = \frac{1}{\pi/3} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} V_{m,L-L} \sin(\omega t) d(\omega t) = 0.955 V_{m,L-L}
 \tag{3.4}$$

$V_{m,L-L}$ คือค่าแรงดันไฟฟ้ายอดระหว่างสายซึ่งจะมีค่าเท่ากับ $\sqrt{2} V_{L-L,rms}$
 และการหาแรงดันใช้งานหรือแรงดันอาร์เอ็มเอสค่านอกตั้งสมการ 3.5

$$\begin{aligned}
 V_{o,rms}^2 &= \frac{6}{2\pi} \int_{60^\circ}^{120^\circ} V_{m,Line} \cdot \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t) \\
 &= \frac{3V_{m,Line}}{2\pi} \cdot \left\{ \frac{\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{2} \right\}
 \end{aligned}
 \tag{3.5}$$

$$\begin{aligned}
 V_{o,rms} &= \sqrt{0.914 \cdot V_{m,Line}^2} \\
 &= 0.956 V_{m,Line} \\
 &= 0.95 \cdot \sqrt{2} \cdot 380 \\
 &\cong 510V
 \end{aligned}$$

กรณี $V_{Line} = 400V$

$$V_{o,av} \cong 540V$$

การหาค่ากระแสเฉลี่ยและอาร์เอ็มเอสหาออกสามารถทำได้ดังสมการ 3.6 และ 3.7 ดังนี้

$$I_{o,av} = \left[\frac{\sqrt{3} \cdot V_{m,ph}}{Z} \right] \cdot I_N \quad (3.6)$$

$$I_{o,rms} = \left[\frac{\sqrt{3} \cdot V_{m,ph}}{Z} \right] \cdot I_{RN} \quad (3.7)$$

จากข้อมูลทางเทคนิคของมอเตอร์ดังตาราง 3.1

ความเร็วซิงโครนัส

$$n_s = \frac{120f}{p} = \frac{120 \cdot 56Hz}{40} = 168rpm$$

$$\eta = 66.7\%$$

$$\eta = \frac{P_i}{P_o}$$

$$P_i = \frac{P_o}{\eta} = \frac{7400w}{0.667} = 11.095kW$$

$$V_L = \sqrt{3} \cdot V_{ph}$$

$$V_{ph} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220V$$

$$P_i = 3 \cdot V_{ph} \cdot I_{ph} \cdot \cos \theta$$

$$\cos \theta = 0.9 \quad ; \quad \theta = 25.84^\circ$$

$$11.095kW = 3 \cdot 220 \cdot I_{ph} \cdot 0.9$$

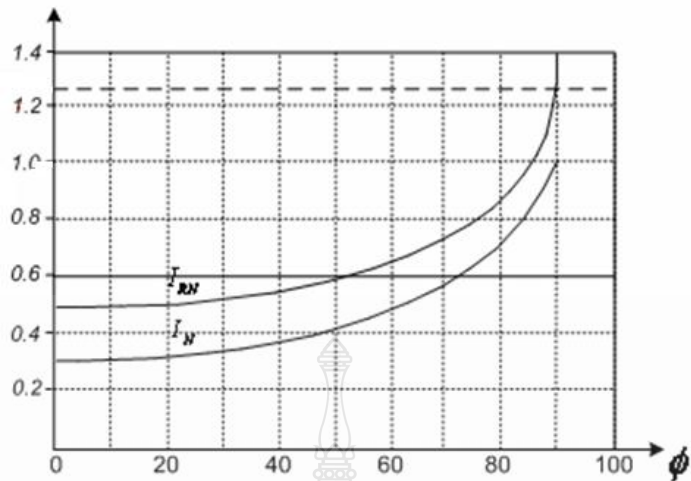
$$I_{ph} = \frac{11.095kW}{3 \cdot 220 \cdot 0.95} = 18.67A$$

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{220}{18.67} = 11.78$$

ดังนั้นสามารถหากระแสตามสมการ 3.6 และ 3.7

$$I_{o,av} = \left[\frac{\sqrt{3} \cdot V_{m,ph}}{Z} \right] \cdot I_N$$

หาค่า I_N ; $I_N = 0.3$



รูปที่ 3.2 กราฟความสัมพันธ์ของ I_N และ I_{RN} กับมุมเฟสของโหลด $\theta = 0^\circ \dots 90^\circ$ [20]
ดังนั้น

$$I_{o,av} = \left[\frac{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot 220}{11.78} \right] \cdot 0.3$$

$$= 13.72A$$

และหาค่า $I_{o,rms}$

$$I_{o,rms} = \left[\frac{\sqrt{3} \cdot V_{m,ph}}{Z} \right] \cdot I_{RN}$$

$$I_{RN} = 0.5$$

$$= \left[\frac{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot 220}{11.78} \right] \cdot 0.5$$

$$= 22.87A$$

จากสมการ 3.3 หากกระแสของไดโอด

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

$$= \frac{1}{3} \cdot 13.72A$$

$$= \frac{1}{3} \cdot 13.72A$$

$$= 4.57A$$

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

$$= \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 22.87 A$$

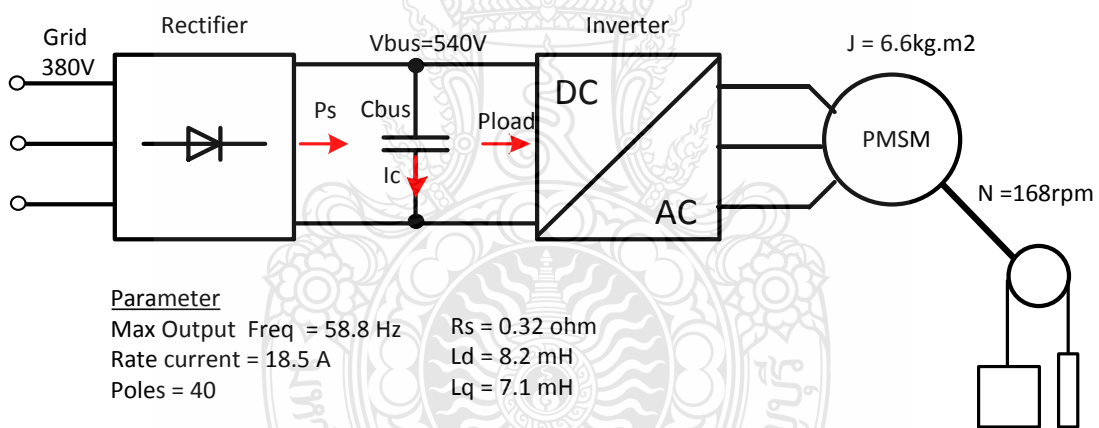
$$= 13.20 A$$

$$i_{s,rms} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_{O,rms}$$

$$= \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot 22.87 A$$

$$= 18.67 A$$

หาค่าตัวเก็บประจุ



รูปที่ 3.3 วงจรขับมอเตอร์

จากรูปที่ 3.3 เป็นวงจรในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ ในวงจรนี้จะมีตัวเก็บประจุเพื่อรับพลังงานย้อนกลับออกมาขณะมอเตอร์เบรกและป้องกันวงจรควบคุมเสียหายซึ่งจะติดตั้งอยู่ระหว่างวงจรเรียงกระแส 3 เฟสกับวงจรอินเวอร์เตอร์จึงนำมาคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุดังสมการ 3.8

$$E_C = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V_C^2 \quad (3.8)$$

$$P_C = P_S - P_{Load}$$

โดยที่	E_C	คือค่าพลังงานของตัวเก็บประจุ	[J]
	C	คือค่าของตัวเก็บประจุ	[F]
	V_C	คือค่าแรงดันของตัวเก็บประจุ	[V]
	P_C	คือค่ากำลังไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ	[W]
	P_S	คือค่ากำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟ	[W]
	P_{Load}	คือค่ากำลังไฟฟ้าของโหลด	[W]
	E_{Bus}	คือค่าพลังงานไฟฟ้าที่บัส	[J]
	V_{Bus}	คือค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัส	[V]

$$\frac{dE}{dt} = P_S - P_{Load}$$

$$E_{Bus} = \int [P_S - P_{Load}] dt \quad (3.9)$$

$$E_{Bus} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V_{Bus}^2 \quad (3.10)$$

จากสมการ 3.9

$$\begin{aligned} E_{Bus} &= \int [P_S - P_{Load}] dt \\ &= \int [11,095 - 7,400] dt \\ &= \int 3,695 dt \\ E_{Bus} &= 3,695t \end{aligned}$$

กำหนด $t = 0.05s$

$$E_{Bus} = 3,695 \cdot (0.05s)$$

$$E_{Bus} \cong 185$$

จากสมการ 3.10

$$E_{Bus} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V_{Bus}^2$$

$$C \cong \frac{E_{Bus} \cdot 2}{V_{Bus}^2}$$

$$\cong \frac{185 \cdot 2}{510^2}$$

$$\cong 1,423 \mu F$$

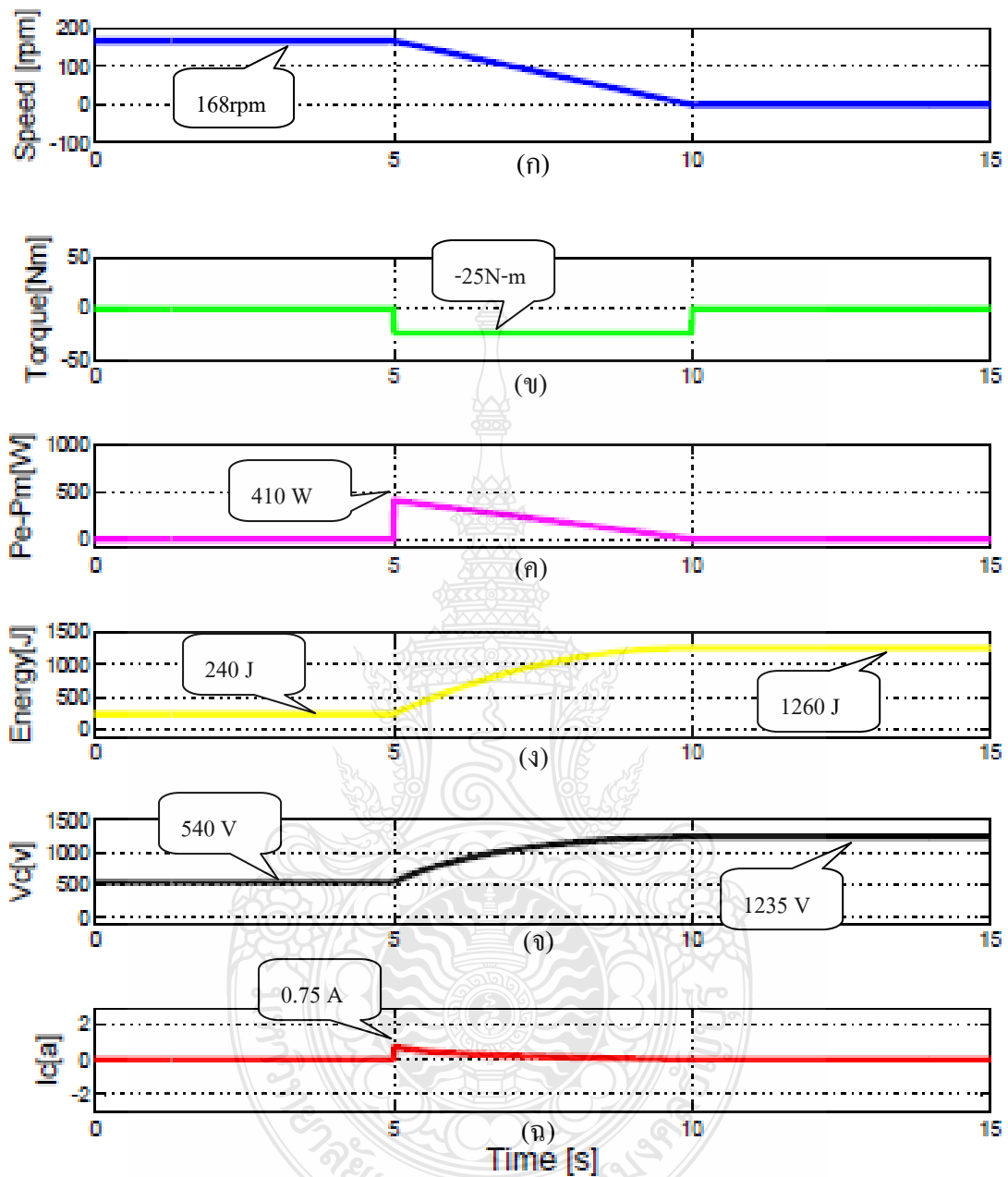
ดังนั้นจึงเลือกตัวเก็บประจุ ขนาด $3,300 \mu F$ $400v$ จำนวน 2 ตัว ยี่ห้อ (Nichicon) มาต่ออนุกรมกันเพื่อที่สามารถทนแรงดันไฟมากขึ้น ซึ่งจะได้ค่าตัวเก็บประจุรวมที่มีขนาด $1,650 \mu F$



รูปที่ 3.4 ขนาดตัวเก็บประจุ [$3,300 \mu F$ $400v$]



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บประจุ



รูปที่ 3.7 ผลการหาค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ I_c ด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink

(ก) กราฟความเร็วรอบของมอเตอร์ (ข) กราฟแรงบิดของมอเตอร์ (ค) กำลังไฟฟ้าที่ได้จากการเบรก (ง) พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการเบรก (จ) แรงดันไฟฟ้าตกรวมคาปาซิเตอร์ และ (ฉ) กระแสไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์

หาค่า Braking Resistor (ohm)

$$R_B = \frac{V_d^2}{P_B} \quad (3.11)$$

R_B = ค่าความต้านทานสูงสุด (ohm)

V_d = ค่าแรงดันไฟตรงที่ Bus (Volt)

P_B = กำลังไฟฟ้าที่โหลดสูงสุด (Watt)

จากสมการที่ 3.11 หาค่าความต้านทานสูงสุดขณะเบรกดังนี้

$$\begin{aligned} R_B &= \frac{V_d^2}{P_B} \\ &= \frac{540^2}{7400} \\ &= 39.4 \text{ ohm} \end{aligned}$$



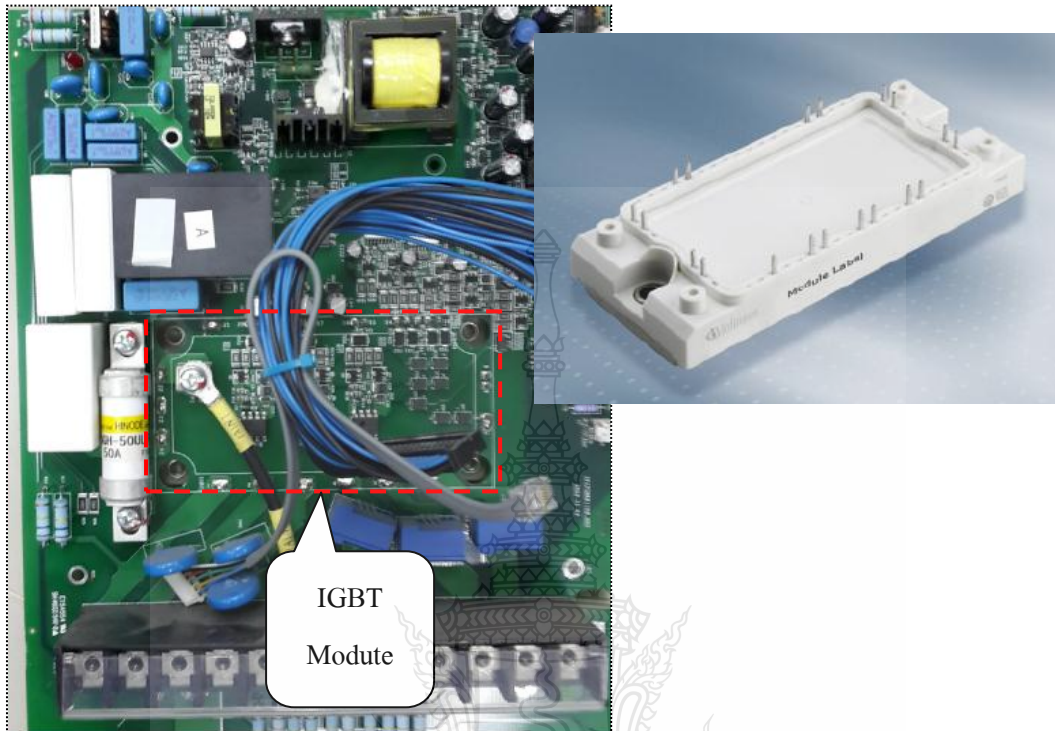
รูปที่ 3.8 ตัวต้านทานที่ใช้ขณะเบรก

การเลือกชนิดและพิกัดของอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ในวงจรอินเวอร์เตอร์แบบพีดับบลิวเอ็ม[20]

เนื่องจากความถี่สวิตซ์ในวงจรอินเวอร์เตอร์อยู่ที่ประมาณ 10kHz ซึ่งอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่สามารถทำงานที่ความถี่สวิตซ์นี้มีทั้ง Power MOSFET และ IGBT (เลือกอุปกรณ์ที่ควบคุมด้วยแรงดันเกตเนื่องจากง่ายต่อการออกแบบวงจรควบคุม)

ในทางทฤษฎีอุปกรณ์กักรทนแรงดันได้ที่ 400V แต่ในทางปฏิบัติควรเลือกที่ 150%-200% ของแรงดันที่ได้รับ จึงควรเลือกขนาดพิกัด 600-800V เพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ IGBT Module ที่มีขนาดพิกัด 650V 3เฟส



รูปที่ 3.9 IGBT Modute 3 เฟส พิกัด 650V ของอินเวอร์เตอร์

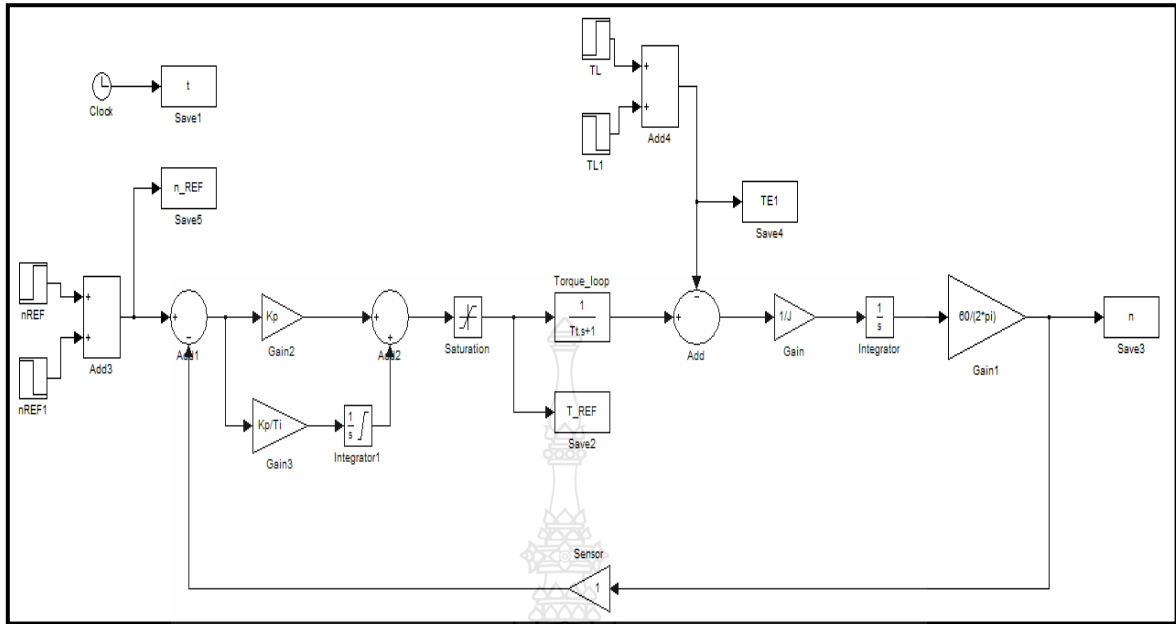
3.4 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ (PI Controller)

ระบบการทำงานจะวัดความเร็วรอบของมอเตอร์มาเปรียบเทียบกับความเร็วอ้างอิง (Speed Referent) ซึ่งผลตอบสนองของระบบนั้นจะถูกควบคุมโดยระบบควบคุมแบบพีไอ ดังนั้นการออกแบบระบบควบคุมพีไอ มีส่วนสำคัญเป็นอย่างมาก การออกแบบระบบควบคุมพีไอนั้น คือการหาค่าพารามิเตอร์ที่ประกอบด้วย K_p และ K_i ซึ่งในที่นี้การหาค่าพารามิเตอร์ทั้งสองนั้นใช้ Software Tool GUI ที่มีชื่อว่า SISOTOOL ซึ่งเป็นเครื่องมือใน Matlab/Simulink ช่วยในการหา ซึ่งจะมีฟังก์ชันการถ่ายโอนดังนี้

$$PI = K_p + K_i \frac{1}{s} \quad (3.12)$$

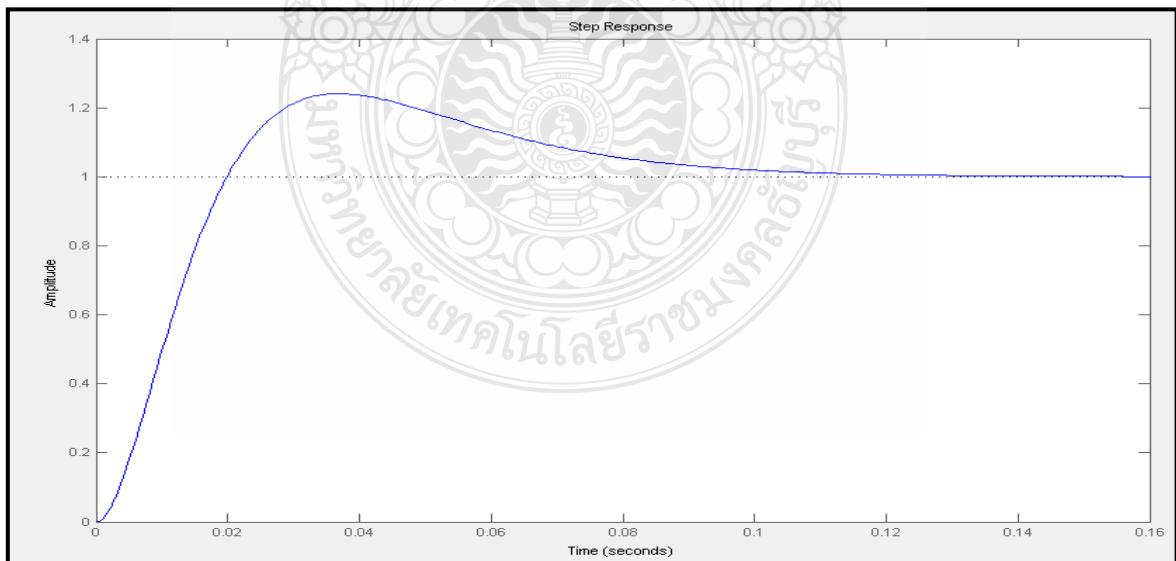
ดังนั้นจะได้ $K_p = 0.038$

$K_i = 57$



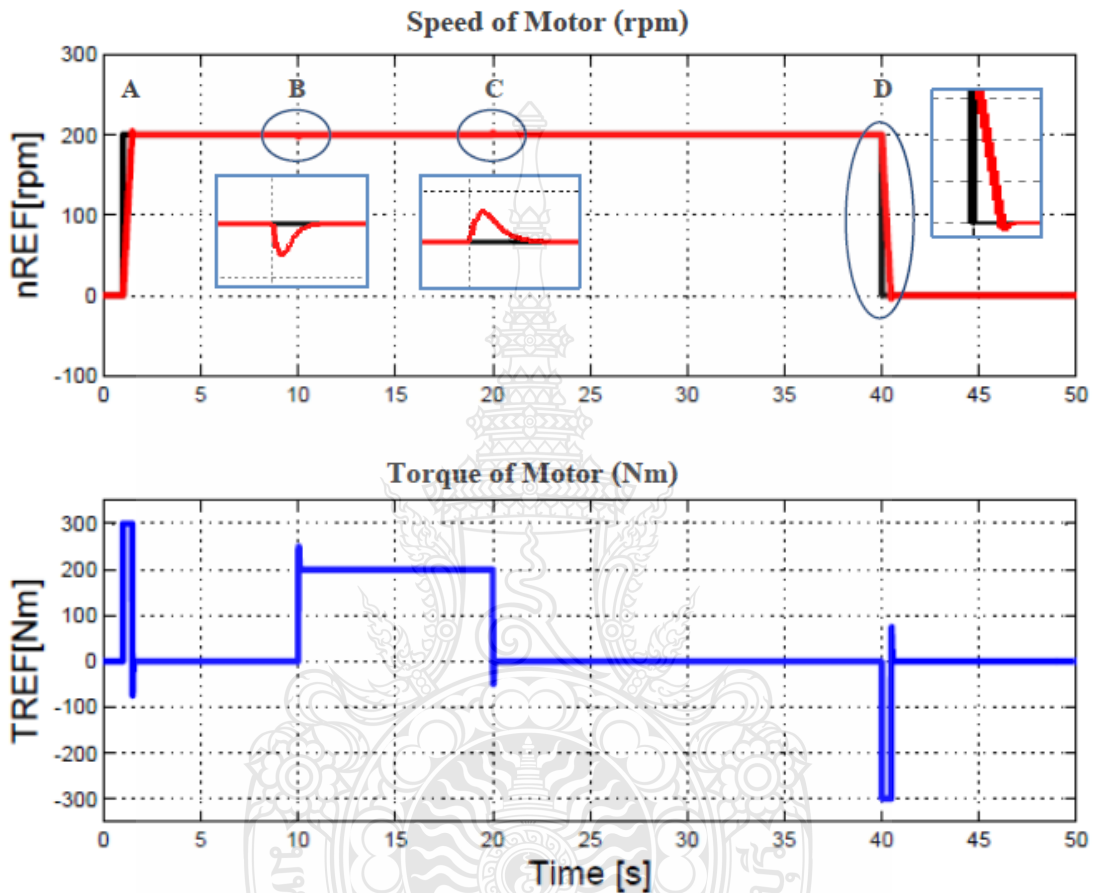
รูปที่ 3.10 การควบคุมความเร็วรอบโดยระบบควบคุมแบบฟีดแบ็คด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink

นำค่า K_p และ K_i ที่ได้ไปใส่ในโปรแกรม Matlab/Simulink ดังรูปที่ 3.10 เพื่อดูผลของความเร็วยรอบของมอเตอร์เมื่อไม่มีโหลดและความเร็วรอบเมื่อมีโหลดหรือแรงบิด (Torque) มากจะทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเพียงใด



รูปที่ 3.11 ผลการตอบสนองของระบบควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อมีค่า K_p และ K_i เหมาะสมด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink

จากรูปที่ 3.11 เป็นการแสดงผลตอบสนองของระบบซึ่งจะถูกควบคุมโดยระบบควบคุมแบบพีไอ เมื่อออกแบบค่า K_p และ K_i ที่เหมาะสมแล้วกราฟจะไม่มีการกระเพื่อมของสัญญาณ และจะโอเวอร์ชูตได้ไม่เกิน 20% แล้วจะค่อยๆเข้าสู่สภาวะปกติ (Steady State) ดังกราฟรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.12 ผลของความเร็วยกและแรงบิดของมอเตอร์เมื่อมีค่า K_p และ K_i เหมาะสมด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink

จากรูปที่ 3.12 จะเห็นได้ว่าการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์โดยระบบควบคุมแบบพีไอ เมื่อออกแบบค่า K_p และ K_i ที่เหมาะสมจะทำให้มอเตอร์มีความเร็วรอบคงที่ แม้จะมีการป้อนโหลดเข้าไป มอเตอร์ยังคงรักษาระดับความเร็วรอบให้คงที่สม่ำเสมอ

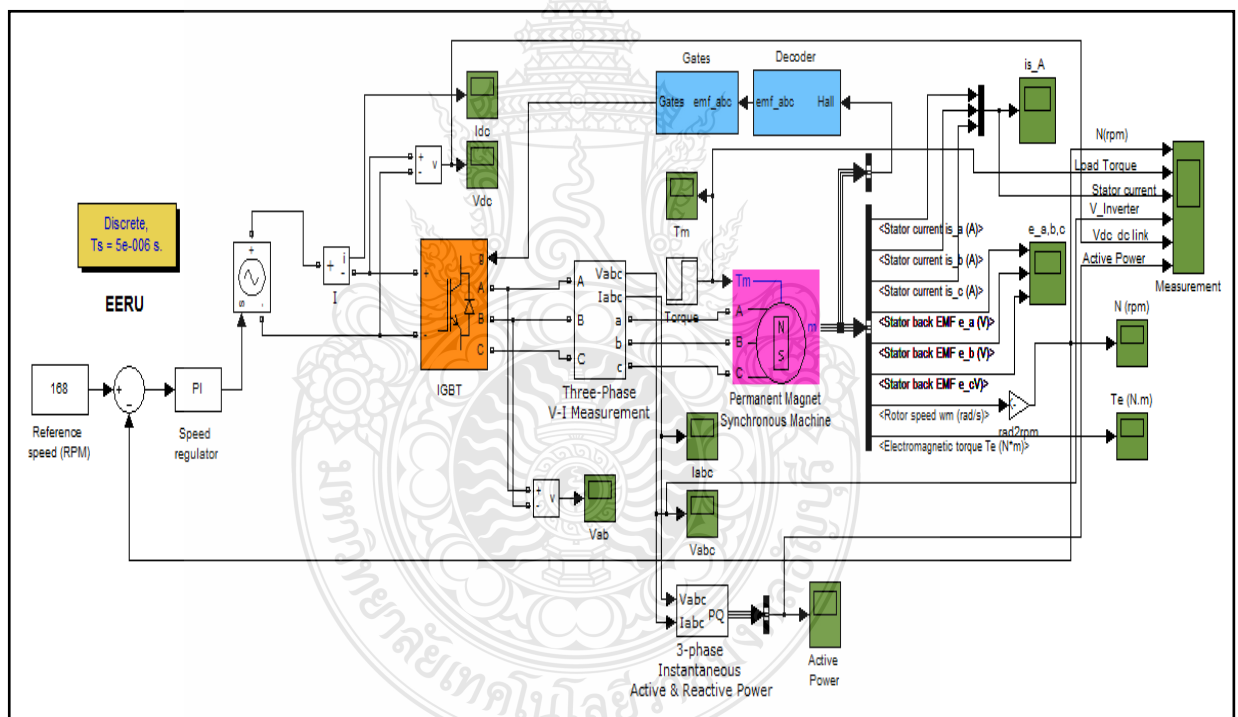
จุด A เป็นจุดเริ่มต้นที่ความเร็วรอบเพิ่มสูงขึ้นจนถึงความเร็วรอบที่ตั้งไว้ ซึ่งช่วงเวลาที่ความเร็วรอบกำลังเพิ่มขึ้นนั้น มอเตอร์ต้องการเอาชนะแรงเสียดทานจนเกิดแรงบิดที่เพิ่มสูงขึ้น (300Nm) และค่อยๆลดลงเมื่อความเร็วรอบเข้าสู่ความเร็วรอบอ้างอิงหรือความเร็วรอบที่ตั้งไว้

จุด B เป็นจุดที่เพิ่มแรงบิดให้กับมอเตอร์จะเห็นได้ว่าที่จุดนี้ความเร็วรอบลดลงเล็กน้อย

จุด C เป็นจุดที่ลดแรงบิดให้กับมอเตอร์จะเห็นได้ว่าที่จุดนี้ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นเล็กน้อยทั้งจุด A,B,C ไม่ส่งผลกระทบต่อความเร็วรอบมีการเปลี่ยนแปลง แม้มีการเพิ่ม-ลดของโหลด(แรงบิด) และยังคงทำงานในสถานะของมอเตอร์ต่อไป

จุด D เป็นจุดที่ความเร็วลดลงจนกระทั่งมอเตอร์หยุดช่วงนี้มอเตอร์จะทำงานกลายเป็นเครื่องกำเนิดชั่วขณะ กล่าวคือ เมื่อมอเตอร์มีความเร็วรอบเป็นบวกและมีทอร์กโหลดของมอเตอร์เป็นลบหรืออย่างหนึ่งอย่างใดซึ่งสวนทางกันนั้น จะทำให้มอเตอร์ทำงานกลายเป็นเครื่องกำเนิด เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าคืนให้กับระบบไฟฟ้า ซึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการเกิด รีเจนเนอเรทีฟ เดิมนี้พลังงานส่วนนี้จะจ่ายผ่านตัวต้านทานดัมป์โหลดให้กลายเป็นความร้อนทิ้งโดยเปล่าประโยชน์

3.5 การจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร



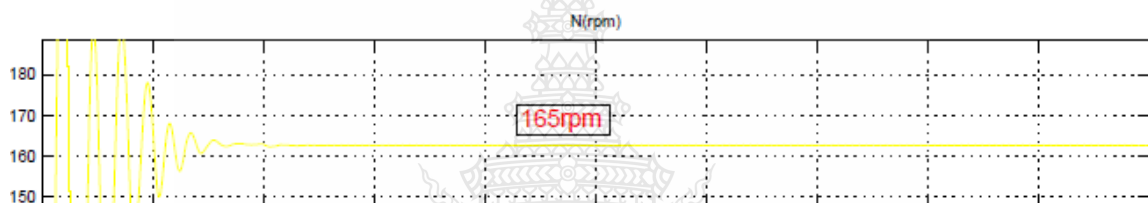
รูปที่ 3.13 การจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้จำลองการทำงาน (ข้อมูลทางเทคนิคของมอเตอร์ รุ่นGSD-MM1

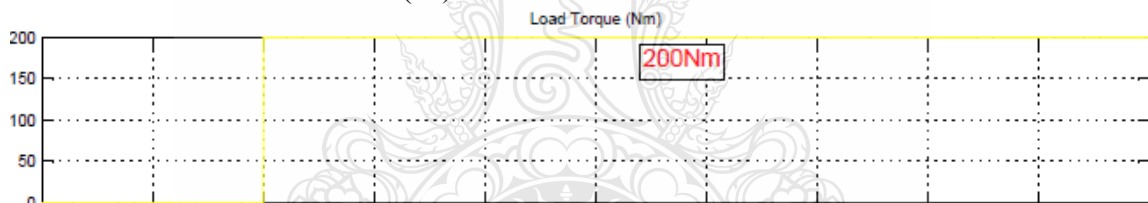
ขนาด 7.4kW)

Parameters	ค่าที่ใช้	Parameters	ค่าที่ใช้
Rs	0.32 Ohm	Torque	200 Nm
Ld, Lq	8.2 mH, 7.1 mH	J	6.6 kg.m ²
Pole (Pair)	20 คู่	Speed	168 rpm
Magnetic Flux	0.75 V.s	Kp,Ki	0.03 , 50

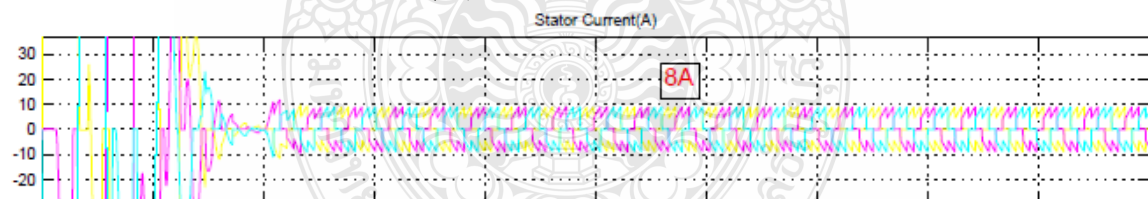
ผลการจำลอง (ขณะทำงานเป็นมอเตอร์)



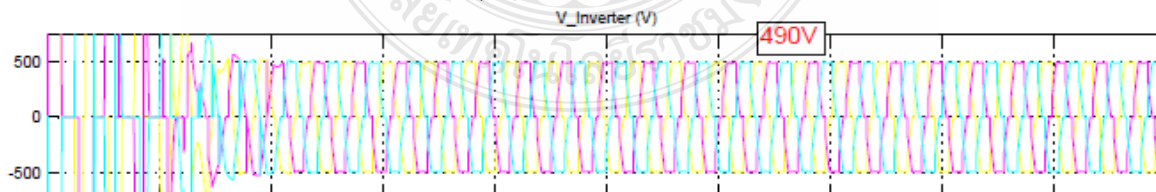
(ก) กราฟความเร็วรอบของมอเตอร์



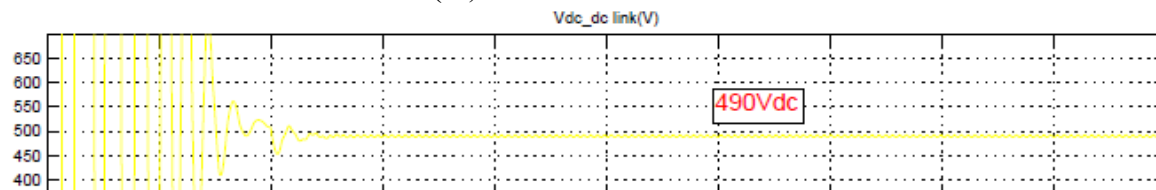
(ข) กราฟแรงบิดของมอเตอร์



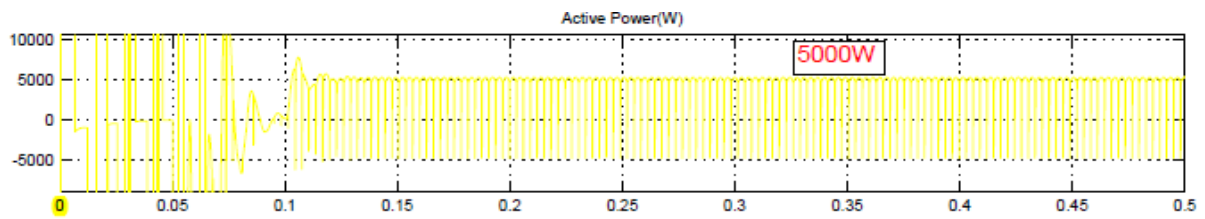
(ค) กระแสเตเตอร์เฟส A



(ง) แรงดันที่ออกมาจากอินเวอร์เตอร์



(จ) ดี.ซี.ลิงค์

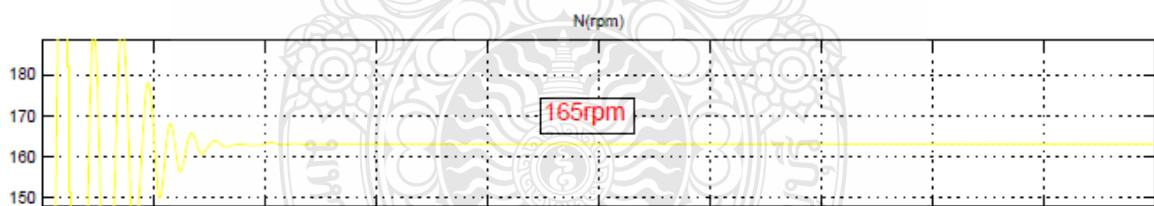


(ฉ) กำลังไฟฟ้า

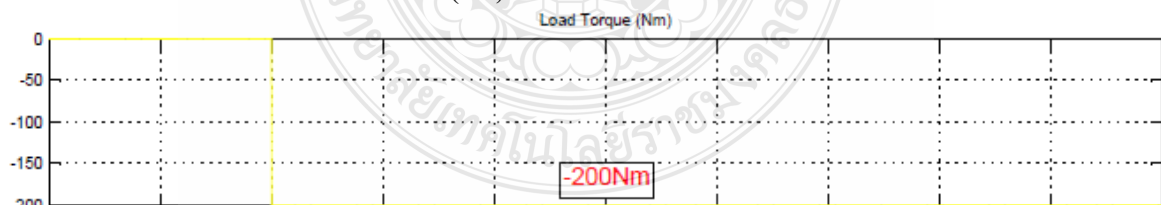
รูปที่ 3.14 ผลจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรขณะทำงานเป็นมอเตอร์
 (ก) กราฟความเร็วรอบของมอเตอร์ (ข) กราฟแรงบิดของมอเตอร์ (ค) กระแสสเตเตอร์เฟส A
 (ง) แรงดันที่ออกมาจากอินเวอร์เตอร์ (จ) ดี.ซี.ลิงค์ และ (ฉ) กำลังไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.14 การจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ขณะทำงานเป็นมอเตอร์ เมื่อมอเตอร์เริ่มเข้าสู่ความเร็วรอบคงที่ แรงบิดที่ได้จะมีค่าบวกตามหลักการทำงานของมอเตอร์ดังแสดงในรูป 2.13 แสดงให้เห็นถึงการทำงานไปในทิศทางเดียวกันทำให้มอเตอร์สถานะนี้ยังคงทำงานเป็นมอเตอร์ วัดค่ากระแสที่สเตเตอร์ได้ 8A มีแรงดันดี.ซี.ที่บัส 490V และมอเตอร์ใช้พลังงานในการขับเคลื่อน 5kW

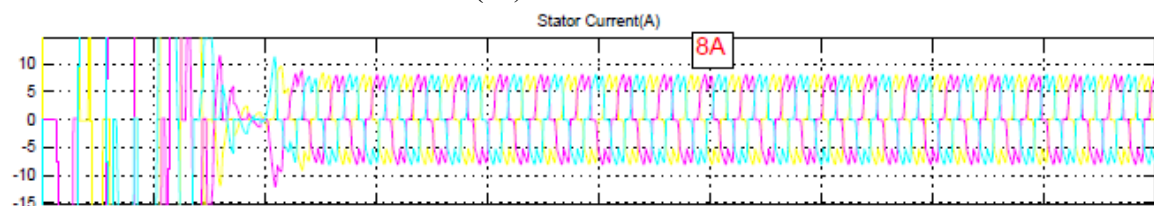
ผลการจำลอง (ขณะทำงานเป็นเครื่องกำเนิด)



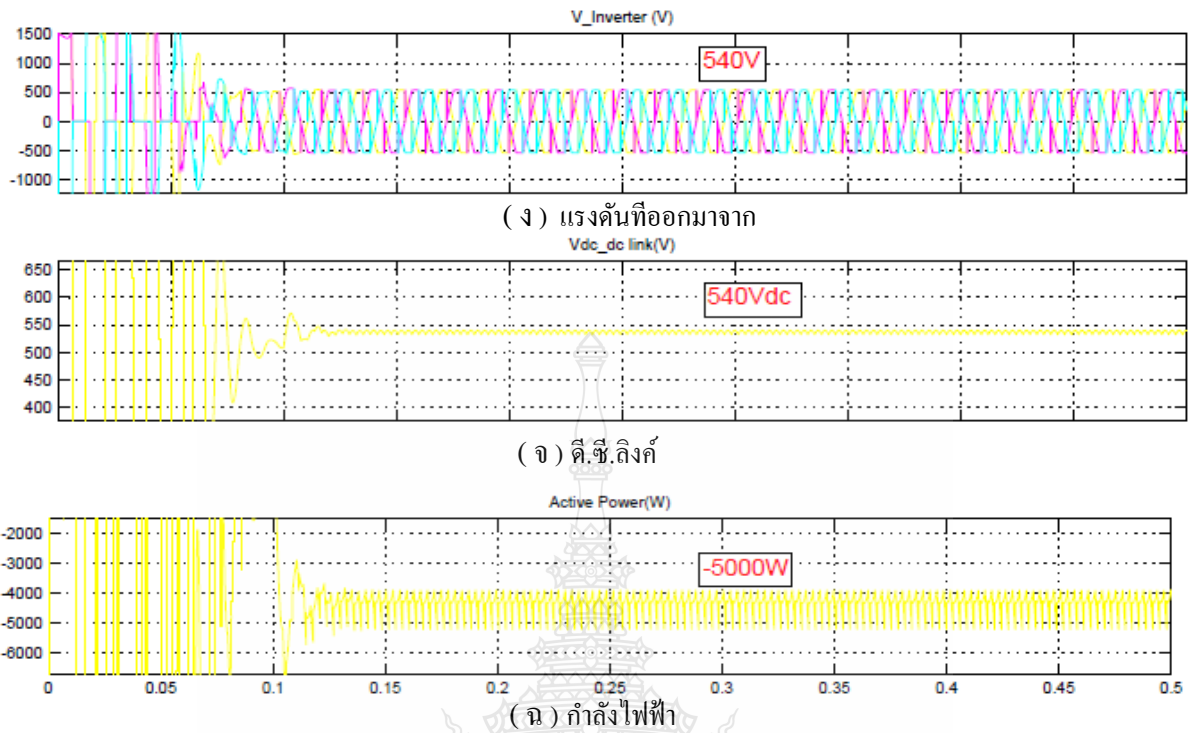
(ก) กราฟความเร็วรอบของมอเตอร์



(ข) กราฟแรงบิดของมอเตอร์



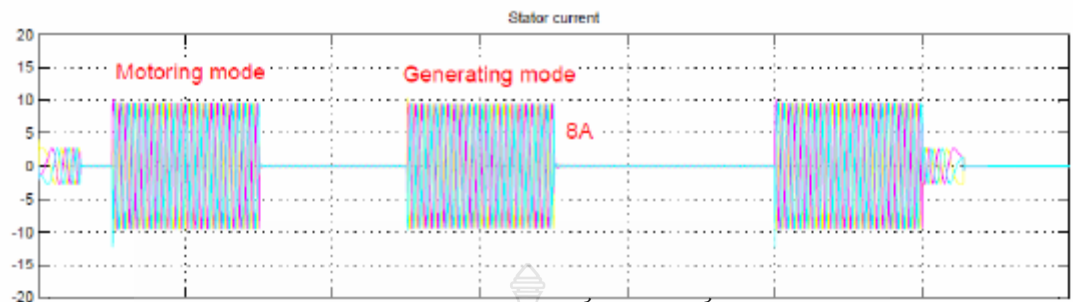
(ค) กระแสสเตเตอร์เฟส A



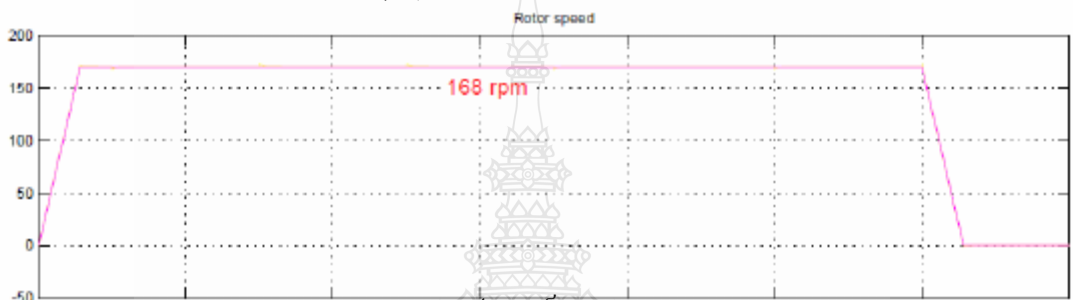
รูปที่ 3.15 ผลจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรขณะทำงานเป็นเครื่องกำเนิด

จากรูปที่ 3.15 การจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ขณะทำงานเป็นเครื่องกำเนิด เมื่อมอเตอร์เริ่มเข้าสู่ความเร็วรอบคงที่ แรงบิดที่ได้จะมีค่าลบตามหลักการทำงานของมอเตอร์ดังแสดงในรูป 2.13 แสดงให้เห็นถึงการทำงานไปในทิศทางสวนทางกันทำให้มอเตอร์สถานะนี้ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดวัดค่ากระแสที่สเตเตอร์ได้ 8A มีแรงดันดี.ซี.ที่บัส 540Vและมอเตอร์จะให้พลังงานออกมา 5 kW

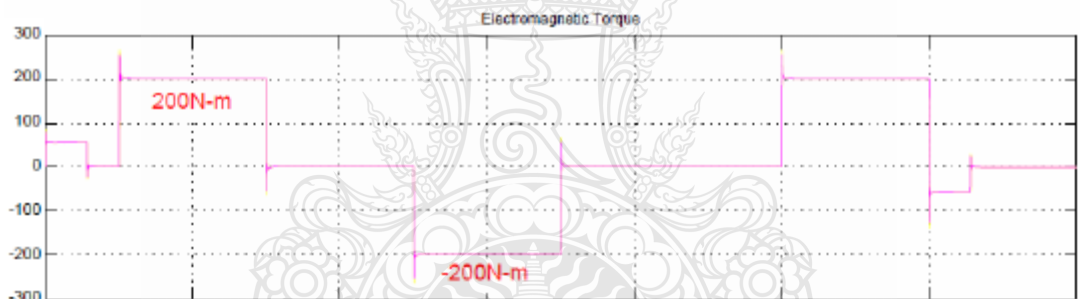
ผลการจำลองเปรียบเทียบช่วงการทำงานของมอเตอร์และเครื่องกำเนิด



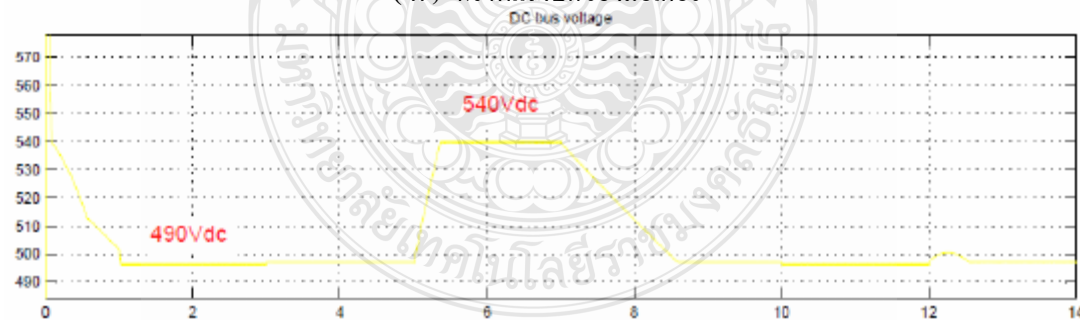
(ก) กระแสเตเตอร์ของมอเตอร์



(ข) กราฟความเร็วรอบของ



(ค) กราฟแรงบิดของมอเตอร์



(ง) แรงดันกระแสตรง (ดี.ซี.บัต)

รูปที่ 3.16 ผลจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรขณะทำงานเป็นเครื่องกำเนิดและทำงานเป็นมอเตอร์

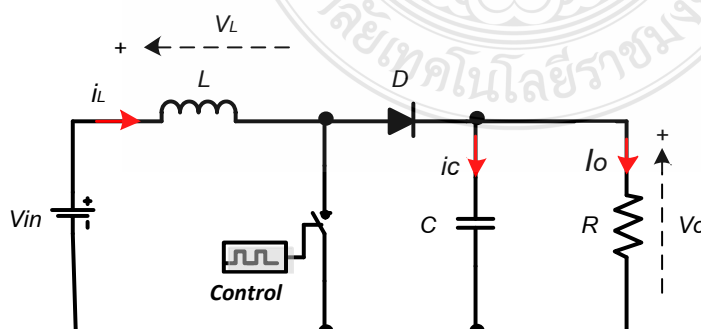
จากรูปที่ 3.16 เป็นการเปรียบเทียบการทำงานระหว่างมอเตอร์และเครื่องกำเนิด ซึ่งขณะจำลองจะป้อนโวลต์ที่มีทั้งค่าบวกและโวลต์ที่มีค่าลบเพื่อดูพฤติกรรมของมอเตอร์ จากผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า ขณะป้อนโวลต์เป็นบวกจะทำให้การทำงานของมอเตอร์เป็นมอเตอร์ แต่เมื่อป้อนโวลต์ที่มีค่าลบจะทำให้มอเตอร์กลายเป็นเครื่องกำเนิดทันที

ตารางที่ 3.3 ตารางเปรียบเทียบผลจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรขณะทำงานเป็นมอเตอร์และเครื่องกำเนิด

<i>Parameters</i>	<i>Motor</i>	<i>Generator</i>
Speed (rpm)	165	165
Load Troque (Nm)	200	-200
Stator Current (A)	8	8
Output Voltage Inverter (V)	490	540
DC Link (V)	490	540
Active Power (W)	5,000	-5,000

จากตารางที่ 3.3 เมื่อมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรทำงานที่โวลต์ต่างกัน ขณะที่ความเร็วรอบคงที่ จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขาออกของอินเวอร์เตอร์และดี.ซี.ลิงค์มีขนาดต่างกันซึ่งขณะที่ทำงานเป็นมอเตอร์แรงดันไฟฟ้าจะต่ำกว่าขณะทำงานเป็นเครื่องกำเนิดดังนั้นต้องเพิ่มหรือทบขนาดของแรงดันไฟฟ้า โดยใช้วงจรทบระดับแรงดัน (Boost Converter) ดังรูปที่ 3.17

3.6 การออกแบบจำลองวงจรทบระดับแรงดัน(Boost Converter)



$V_{in} = 490V_{dc}$
 $V_o = 540V_{dc}$
 $R = 50\Omega$
 $f_s = 10kHz$
 Ripple Voltage = 1%

รูปที่ 3.17 วงจรทบขนาดแรงดันและค่าพารามิเตอร์

Duty Cycle

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1}{(1-D)}$$

$$\frac{540V}{490V} = \frac{1}{(1-D)}$$

$$(1-D) = \frac{490V}{540V}$$

$$D = 1 - 0.9$$

$$D = 0.1$$

หา $I_{L,\min}$ ตัวเหนี่ยวนำต่ำสุด

$$I_{L,\min} = \frac{D(1-D)^2 \cdot R}{2 \cdot f_s}$$

$$= \frac{0.1 \cdot (1-0.1)^2 \cdot 50}{2 \cdot 10000}$$

$$I_{L,\min} = 202 \mu H$$

หาตัวเก็บประจุ C ที่Ripple 1%

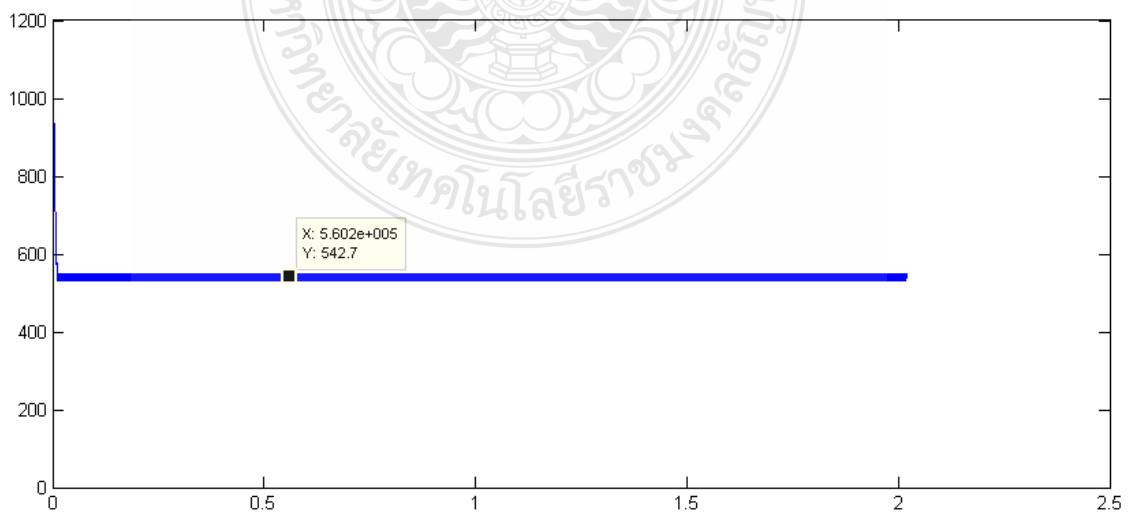
$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{R \cdot C \cdot f_s}$$

$$0.01 = \frac{0.1}{50 \cdot C \cdot 10000}$$

$$0.01 \cdot C = \frac{0.1}{50 \cdot 10000}$$

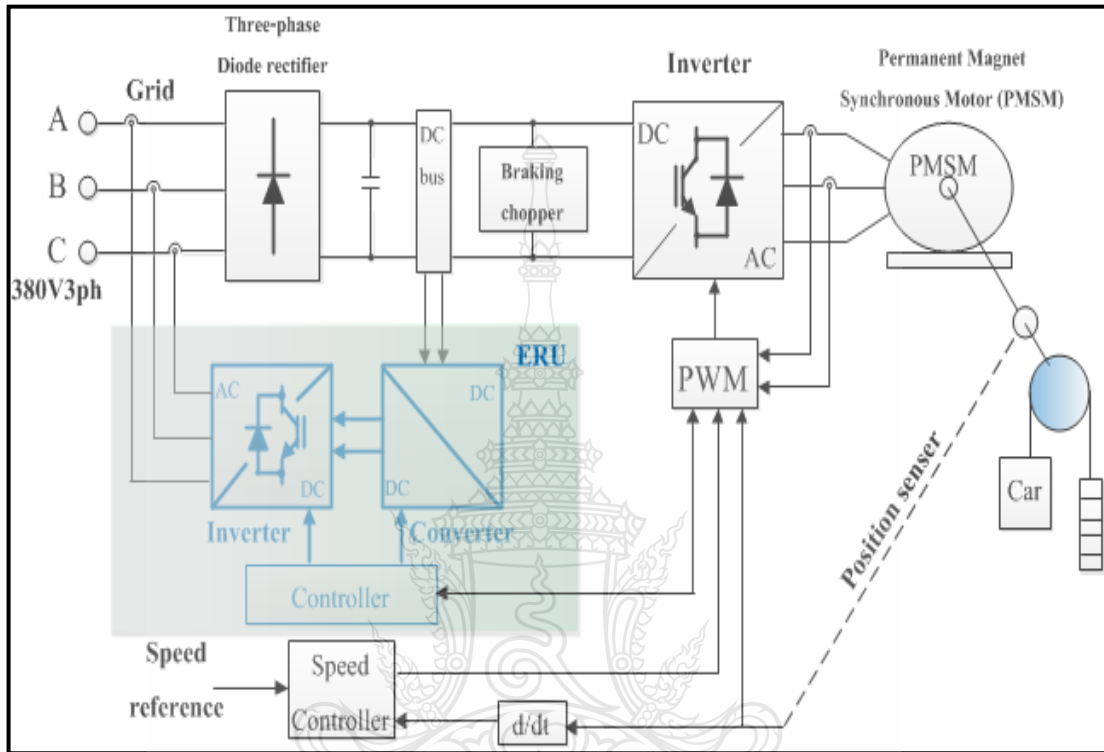
$$C = 20 \mu F$$

Result



รูปที่ 3.18 ผลการจำลองวงจรทขขนาดแรงดันโดยโปรแกรม Matlab/Simulink

จากรูปที่ 3.18 วัตถุประสงค์จากการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink จะได้แรงดัน Vdc Link จะอยู่ระหว่าง 540V – 600V

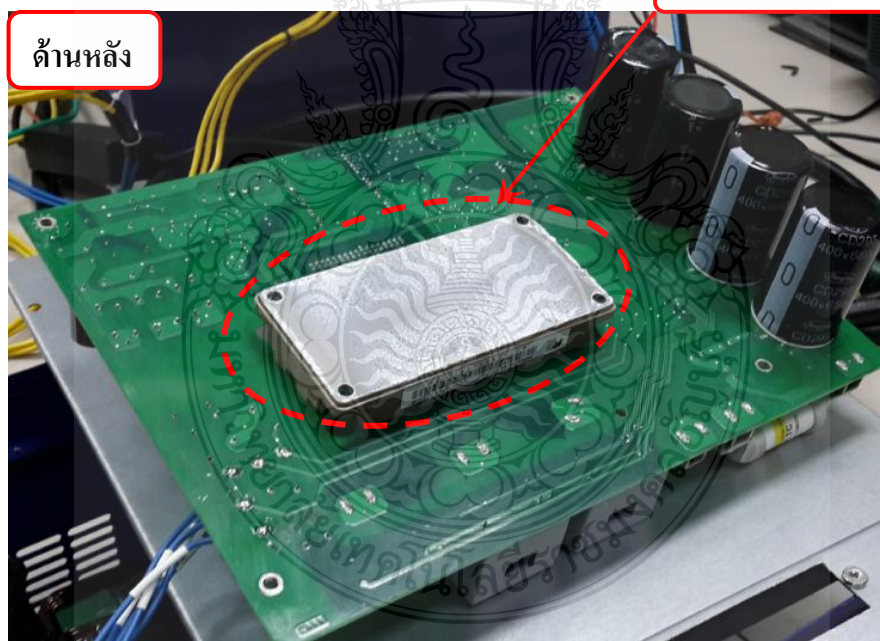
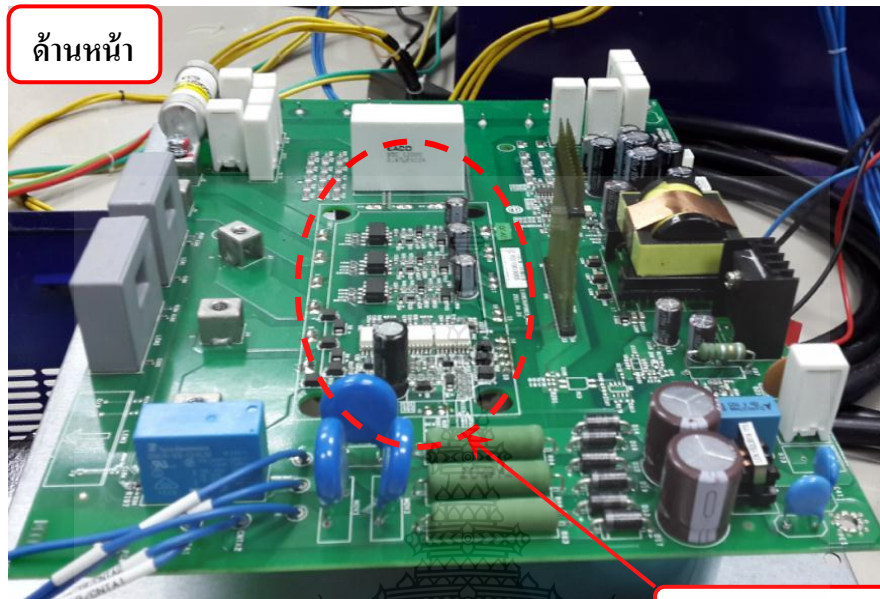


รูปที่ 3.19 ชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟ

จากรูปที่ 3.19 โดยทั่วไปชุดขับมอเตอร์ในภาค Input นั้นจะใช้ชุด Diode Rectifier ทำให้การไหลของพลังงานไปในทิศทางเดียว ซึ่งแนวคิดในรูปที่ 3.19 จะนำมาใช้เป็นแนวคิดเพื่อสร้างจำลองเป็นชุดขับมอเตอร์ ซึ่งเป็นการขับมอเตอร์แบบรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative Motor Driver) โดยใช้ IGBT ในการควบคุมซึ่งสามารถควบคุมให้พลังงานสามารถไหลได้ทั้งสองทิศทาง (Back to Back Bi-Polar Converter) กล่าวคือ ทิศทางหนึ่งเป็นการจ่ายพลังงานให้กับมอเตอร์ส่วนอีกทิศทางหนึ่งเป็นการจ่ายพลังงานกลับคืนไปยังระบบไฟฟ้าเมื่อกรณีที่มอเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิด

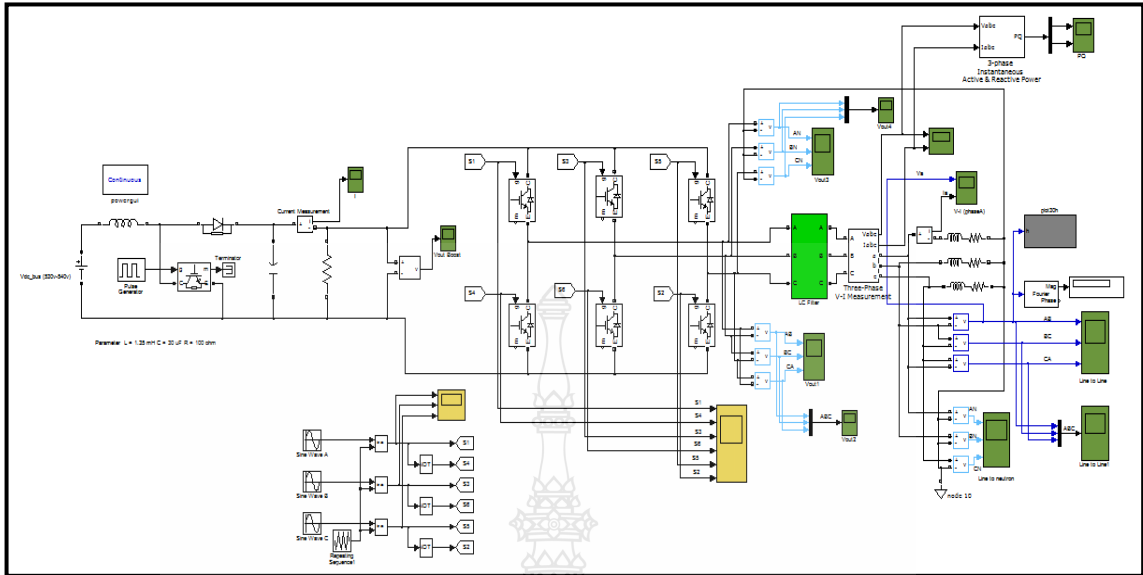
การแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับโดยชุดคอนเวอร์เตอร์กำลังจะใช้ไอจีบีที โมดูลยี่ห้อฟูจิอิเล็กทริก (Fuji Electric) รุ่น 7MBR100U4B120-50 หรือ 7MBR100VN120-50 ขนาด

1200V 100A ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ ผ่านวงจรกรองแบบความถี่ต่ำ ผ่าน LC filter ก่อนเชื่อมต่อเข้ากับกริดระบบขนาดแรงดัน 3 เฟส 380 โวลต์ 50 เฮิรตซ์



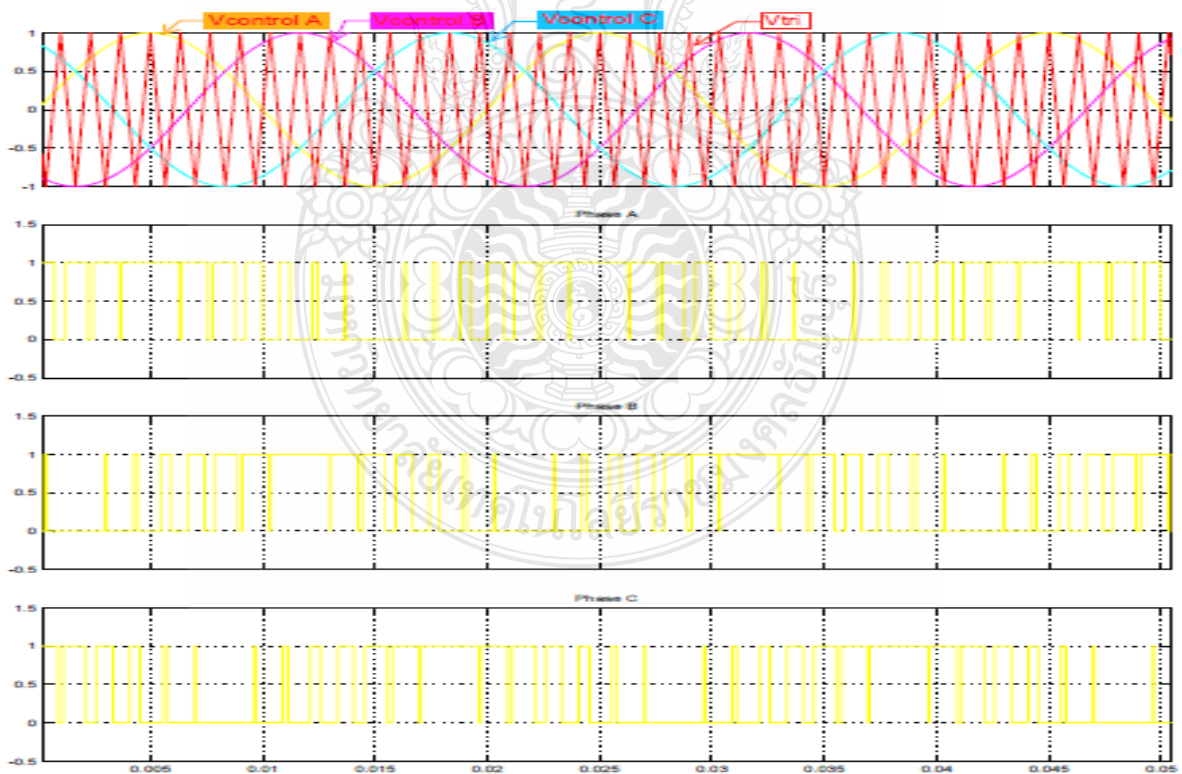
รูปที่ 3.20 ชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของการผลิตไฟฟ้าจากมอเตอร์ลิฟต์ด้วยระบบ ERU

3.7 การจำลองการทำงานของ ERU



รูปที่ 3.21 Energy Regenerative Unit (ERU)

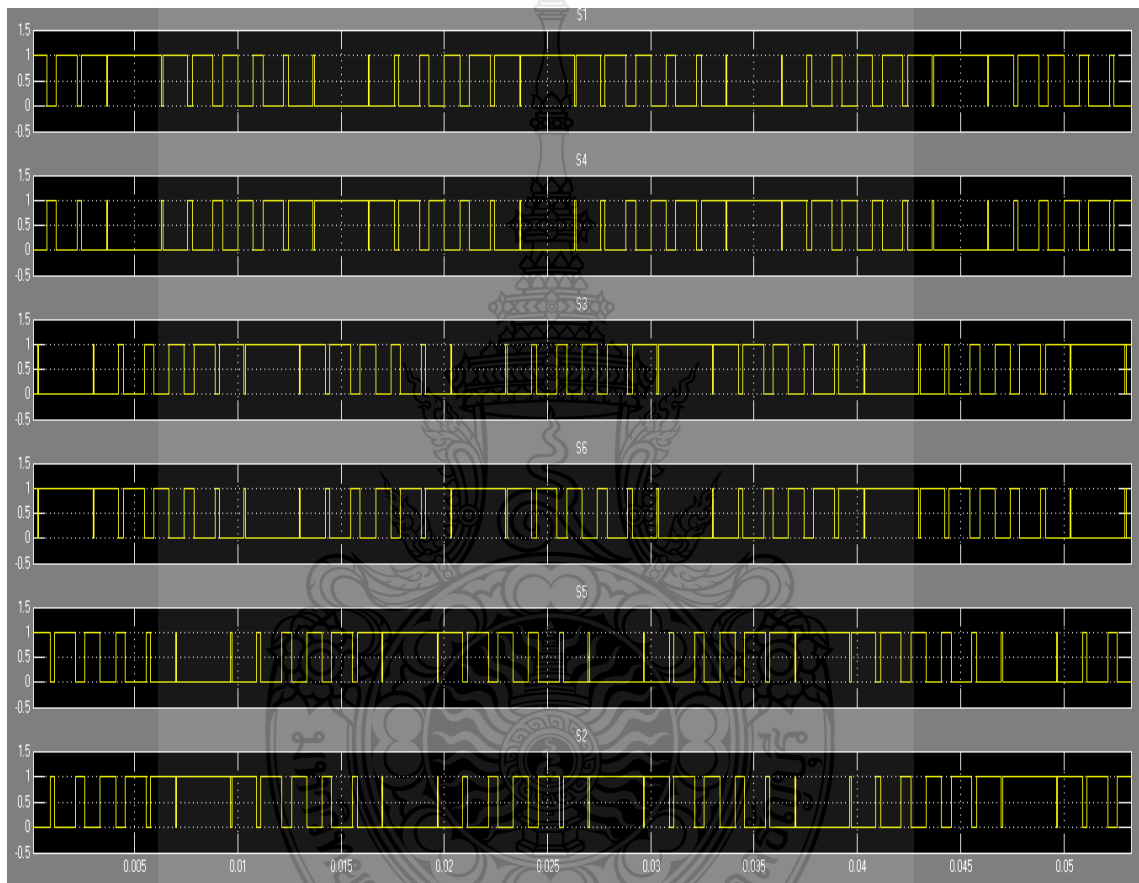
การสร้างสัญญาณควบคุมแบบ PWM



รูปที่ 3.22 การสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม

ในอินเวอร์เตอร์แบบพีดับบลิวเอ็ม อุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ในวงจร จะได้รับสัญญาณควบคุมแบบพีดับบลิวเอ็มด้วย ซึ่งสัญญาณควบคุมแบบพีดับบลิวเอ็ม หรือ “สัญญาณมอดูเลตตามความกว้างพัลส์” นี้ เกิดจากการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle Waveform) กับสัญญาณควบคุมรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal Waveform) ดังแสดงในรูป 3.22

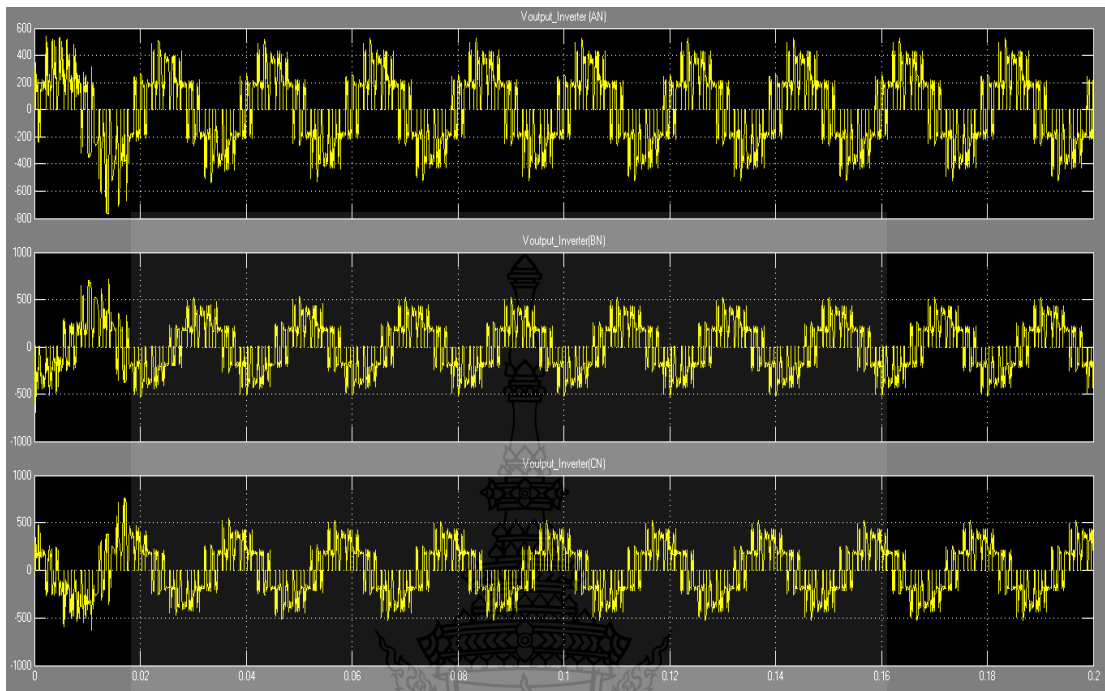
สัญญาณควบคุมขาเกจของอินเวอร์เตอร์



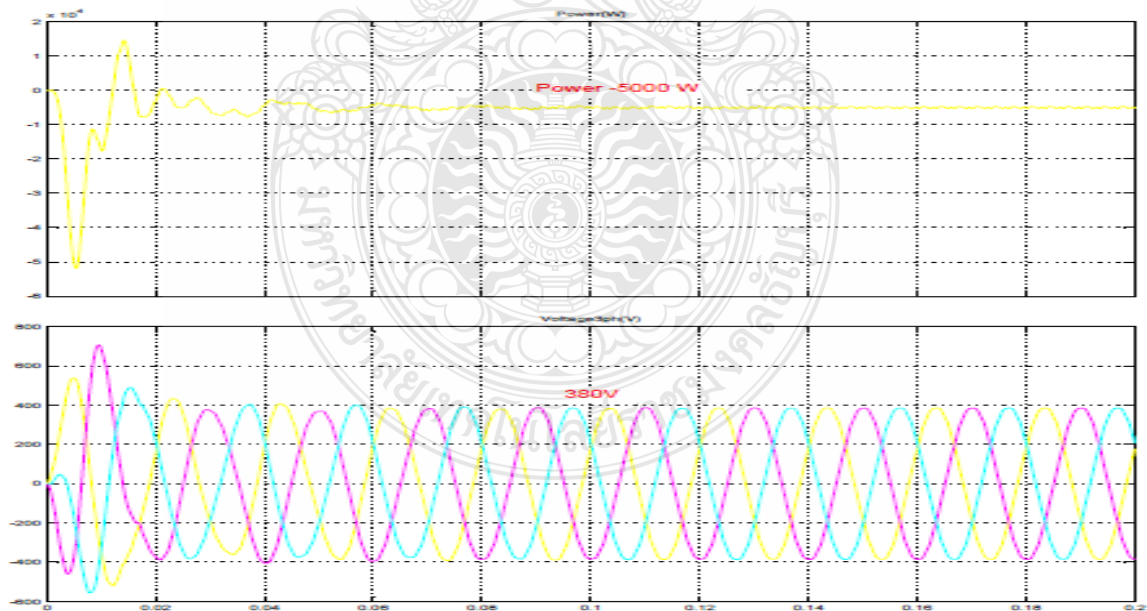
รูปที่ 3.23 สัญญาณควบคุมขาเกจของอินเวอร์เตอร์

จากรูป 3.23 สัญญาณควบคุมเพื่อนำกระแสให้กับอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ในแต่ละกลุ่มวงจรแต่ละเฟสจะห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้าพิจารณาตามหลักสมมูลของระบบไฟสลับ 3 เฟส เปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 3.22 ซึ่งสัญญาณจะเป็นตัวกำหนดรูปคลื่นแรงดันเฟสขาออกอินเวอร์เตอร์แสดงดังรูปที่ 3.24 ดังนั้นจะได้กำลังไฟและแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ที่พร้อมจะป้อนเข้าสู่ระบบไฟฟ้า (Grid) ดังแสดงในรูปที่ 3.25

รูปคลื่นแรงดันเฟสขาออกอินเวอร์เตอร์



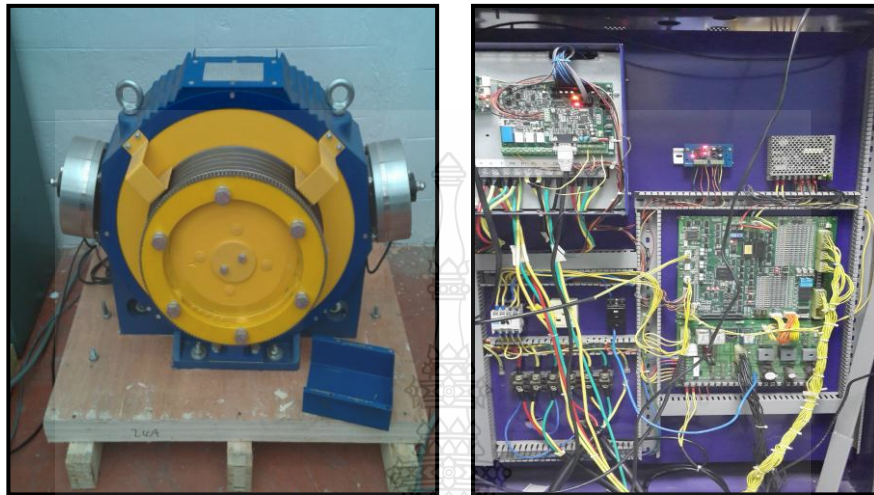
รูปที่ 3.24 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันเฟสขาออกอินเวอร์เตอร์



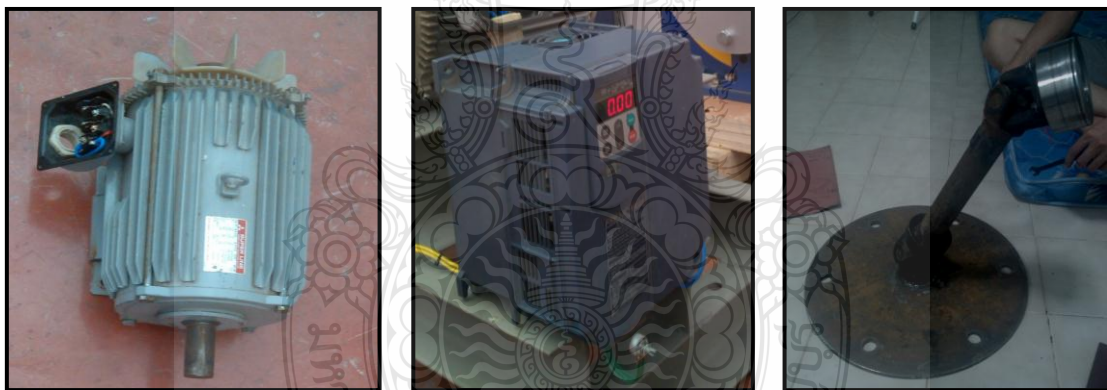
รูปที่ 3.25 รูปคลื่นสัญญาณแรงดัน ไฟฟ้าและกำลัง ไฟฟ้า 3 เฟสที่ออกมาจาก ERU(Grid)

3.8 ขั้นตอนการจัดเตรียมอุปกรณ์และปฏิบัติการ

จัดเตรียมอุปกรณ์ตามที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมาบางส่วนเพื่อประกอบเป็นชุดจำลองระบบรีเจนเนอเรทีฟและนำไปประยุกต์ใช้ในสถานที่จริงต่อไป ดังรูปที่ 3.26



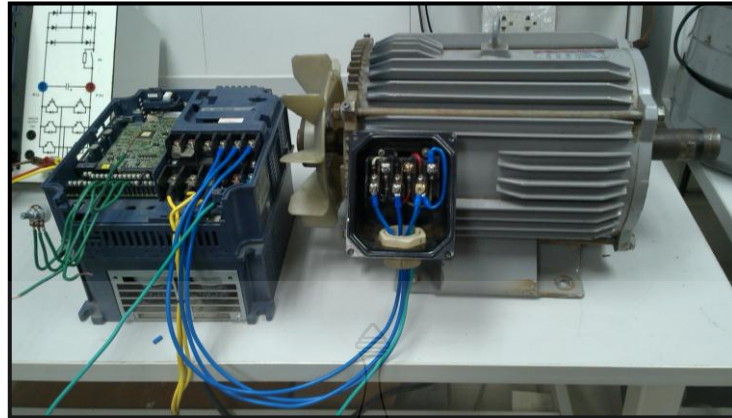
(ก) PM Motor (ข) Inverter สำหรับควบคุมลิฟต์



(ค) Induction Motor (ง) Inverter(Induction Motor) (จ) เฟลากลางขับเคลื่อนมอเตอร์

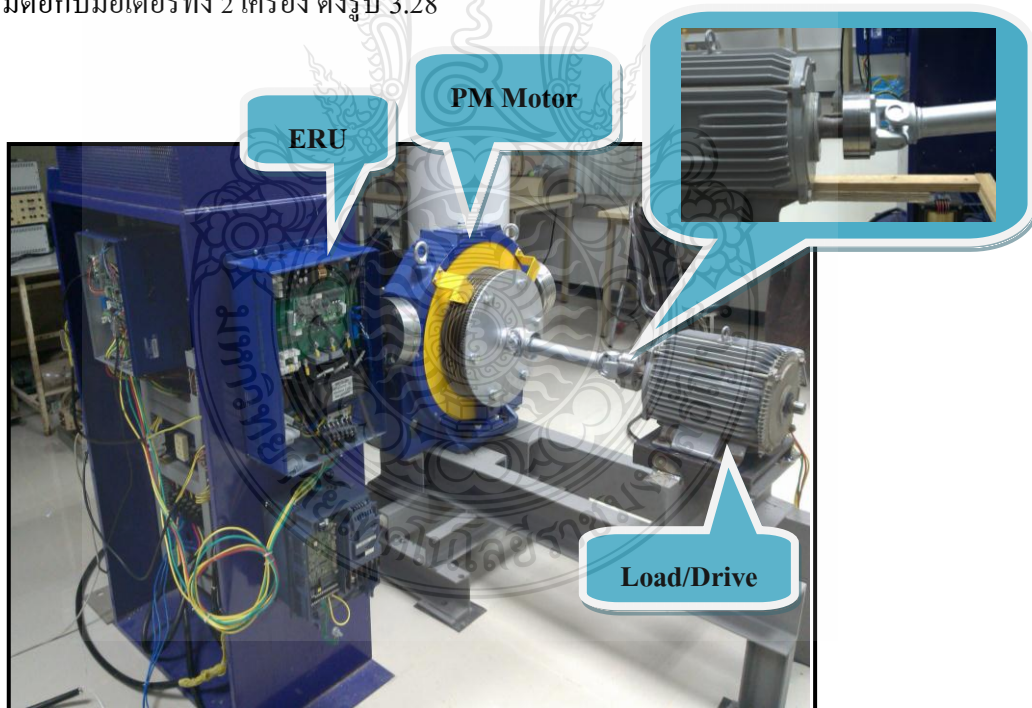
รูปที่ 3.26 อุปกรณ์เพื่อใช้ประกอบเป็นชุดจำลองของมอเตอร์ลิฟต์แบบรีเจนเนอเรทีฟ

การประกอบในส่วนของฮาร์ดแวร์ โดยเริ่มจากคุณลักษณะพิเศษของ PM Motor นั้นเป็นมอเตอร์ที่สามารถทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงความเร็วเชิงโคโรนัส (ในขณะที่ไม่รับแรงดันไฟฟ้าจาก Grid) ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทความข้างต้น PM Motor นั้นจะใช้ Inverter โมเดลเบอร์ EFC-A-40075A โดยหาขนาดโมเดลได้จาก ค่า Rate Power (kW) กับ Current (A) ของ PM Motor ให้สอดคล้องกับ Inverter เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคอนโทรล PM Motor ขนาด 10 HP (7.4 kW)



รูปที่ 3.27 การประกอบในส่วนของ Induction Motor กับ Inverter เข้าด้วยกันเพื่อใช้ทำหน้าที่เป็น โหลดของมอเตอร์ลิฟต์

นำส่วน PM Motor กับ Induction Motor ที่ทำหน้าที่เป็น Load ขับ PM Motor ในขณะที่ไม่รับ แรงดันไฟฟ้าจาก Grid มาประกอบกัน โดยเชื่อมต่อกันโดยเพลากลาง โดยปลายของเพลทั้งสองข้าง จะเชื่อมต่อกับมอเตอร์ทั้ง 2 เครื่อง ดังรูป 3.28



รูปที่ 3.28 การประกอบ PM Motor และ Induction Motor โดยเชื่อมต่อโดยเพลากลาง

ในส่วนของชุดจำลองระบบบริเจนเนอเรทีฟ (ERU) นั้นการจำลองในส่วนของ Load ให้แทน ด้วย Induction Motor เมื่อต้องการให้ PM Motor มีสถานะเป็น Generating Mode จะต้องให้ Induction

Motor เป็นตัวขับเคลื่อน PM Motor ให้หมุนตาม ซึ่งเปรียบเสมือน Load ที่มีน้ำหนักมากกว่าห้อง โดยสารเหมือนเป็นการใช้แรงโน้มถ่วงจึงมีสถานะเป็น Generating หากต้องการให้ PM Motor มีสถานะเป็น Motoring Mode Induction Motor จะทำหน้าที่เป็น Load ให้กับ PM Motor โดยการสร้างแรงต้านเพื่อเป็นโหลด (เปรียบเสมือนโหลดจริง) ในส่วนของการสร้างแรงต้านนั้นจะสร้างตามพฤติกรรมจากโหลดจริง

3.9 ขั้นตอนการประกอบเครื่องมือตรวจวัด



รูปที่ 3.29 การประกอบเครื่องมือวัดเพื่อทดสอบดูประสิทธิภาพของ ERU

การวัดจะแบ่งเป็นสองส่วนคือการวัดในส่วนของ ดี.ซี.ลิงค์ จากมอเตอร์มาเข้าอินเวอร์เตอร์ เพื่อทำให้เป็นแรงดันกระแสตรง ก่อนที่จะนำมาเข้า ERU เปรียบเสมือนการวัดอินพุต ของ ERU และอีกส่วนหนึ่งก็คือในส่วนทางด้านออกของ ERU หรือด้านเอาต์พุต เมื่อมีการคืนพลังงานและช่วงทำงานปกติ จึงมีการทำงานหลายโหมดจึงจำเป็นต้องมีการวัดค่าพารามิเตอร์ในแต่ละช่วงการทำงาน

เพื่อนำมาวิเคราะห์และดูพฤติกรรมการทำงานว่าตรงไปตามทฤษฎีหรือตามที่ได้มี การจำลองการทำงาน ในโปรแกรม MATLAB /Simulink ซึ่งค่าผลการตรวจวัดจะกล่าวในบทที่ 4

3.10 สรุป

จากการศึกษาออกแบบชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ (ERU) ซึ่งได้ทำการจำลองการทำงาน โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ในการดูผลจากการจำลองการทำงาน โดยเริ่มศึกษาจากการกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรเพื่อดูพฤติกรรมของมอเตอร์ไปจนถึงชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ (ERU) หลังจากนั้นจึงได้มีการสร้างชุดจำลองระบบรีเจนเนอเรทีฟขึ้นมาจะทำการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับผลการจำลองจากโปรแกรมในบทที่ 4 เพื่อเอาพลังงานที่ได้จากระบบรีเจนเนอเรทีฟจ่ายคืนสู่ระบบไฟฟ้า (Grid) ต่อไป



บทที่ 4

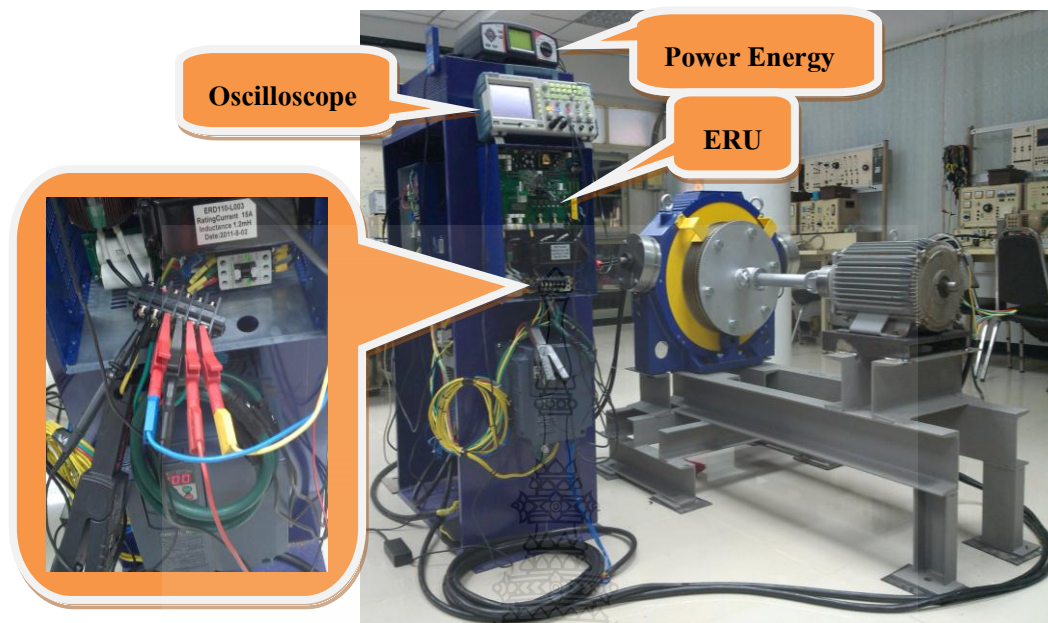
ผลการทดลอง

ปัจจุบันลิฟต์เป็นพาหนะมีความสำคัญในการขนส่งแนวตั้งของอาคารสูงไม่ว่าจะเป็นหอสูง ห้างสรรพสินค้า อาคารสำนักงานและโรงงานย่อมมีลิฟต์เป็นส่วนหนึ่งของอาคาร ลิฟต์นั้นถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามาก รองลงมาจากระบบปรับอากาศและแสงสว่าง ดังนั้นถ้าลิฟต์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายเข้าระบบได้ จะสามารถทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการใช้พลังงานของลิฟต์ให้มีประสิทธิภาพลดการใช้พลังงาน จึงเป็นการพัฒนาระบบลิฟต์ที่สำคัญต่อการอนุรักษ์พลังงาน

จากการออกแบบและวิเคราะห์ผลกราฟโดยการจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรและชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ (ERU) ที่ได้ในบทที่ 3 ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ยังไม่เพียงพอในการที่จะสรุปได้ว่าชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟนั้นช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ ในบทที่ 4 นี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลการจำลองโดยโปรแกรม MATLAB/Simulink จากบทที่ 3 กับผลการทดลองจริงว่า ERU สามารถนำพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียเปล่ากลับมาใช้ประโยชน์ได้จริงและทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่เดิม โดยจะพิจารณาค่ากำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสที่ใช้จ่ายกลับคืนสู่ Grid

รีเจนเนอเรทีฟโหมคนั้น จะทำงานเมื่อมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรในระบบลิฟต์เกิดการหมุนโดยไม่ต้องจ่ายไฟฟ้าหรือเกิดการเบรคของมอเตอร์นั้นกล่าวคือช่วงที่ลิฟต์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้จะอยู่ในกรณีเมื่อลิฟต์ขึ้นน้ำหนักบรรทุกต้องน้อยกว่าค้ำถ่วงน้ำหนักและขณะที่ลิฟต์ลงน้ำหนักบรรทุกมากกว่าค้ำถ่วงโดยทั้งสองกรณี จะอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกจุดค้ำมอเตอร์ให้เกิดการหมุนโดยไม่ใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อน ลิฟต์ สามารถแบ่งโหมคการทำงานจากระบบลิฟต์ได้ตามตารางที่ 1.1 ดังกล่าวมาแล้วในบทที่ 1

การติดตั้งระบบจำลองเสมือนจริงเพื่อทดสอบวัดผลของชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ (ERU) โดยจะทำการติดตั้งเครื่องมือวัดให้กับชุดจำลองโดยมีเครื่องวัด อาทิเช่น ออสซิลโลสโคป พาวเวอร์เอนเนอร์จี เป็นต้น ซึ่งออสซิลโลสโคปจะนำไปใช้วัดดูรูปคลื่นในส่วนของ DC Voltage ก่อนเข้าวงจร (ERU) และกระแสของมอเตอร์ พาวเวอร์เอนเนอร์จีจะใช้วัดค่ากำลังไฟฟ้าและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แล้วทำการบันทึกค่าพารามิเตอร์เพื่อนำค่ามาวิเคราะห์และสรุปเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขและกราฟและทำการปรับปรุงแก้ไขต่อไป ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการวัดและเพื่อบันทึกค่าพารามิเตอร์ชุดจำลองแบบรีเจนเนอเรทีฟ

หลักการการทำงานของชุดจำลองระบบรีเจนเนอเรทีฟ เนื่องจากระบบการทำงานของลิปต์นั้นจะแบ่งออกเป็น 4 ช่วง ดังต่อไปนี้

- ในช่วงที่ 1 ลิปต์ขึ้น ห้องโดยสารมีสถานะเป็น Full Load ซึ่งหนักกว่าตุ้มน้ำหนัก PM Motor จึงใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนจึงมีสถานะเป็น Motoring Mode
- ในช่วงที่ 2 ลิปต์ขึ้น ห้องโดยสารมีสถานะเป็น No Load ซึ่งเบากว่าตุ้มน้ำหนัก PM Motor จึงไม่ใช้พลังงานไฟฟ้าแต่จะใช้แรงโน้มถ่วงแทนจึงมีสถานะเป็น Generating Mode
- ในช่วงที่ 3 ลิปต์ลง ห้องโดยสารมีสถานะเป็น Full Load ซึ่งหนักกว่าตุ้มน้ำหนัก PM Motor จึงไม่ใช้พลังงานไฟฟ้าแต่จะใช้แรงโน้มถ่วงแทนจึงมีสถานะเป็น Generating Mode
- ในช่วงที่ 4 ลิปต์ลง ห้องโดยสารมีสถานะเป็น No Load ซึ่งเบากว่าตุ้มน้ำหนัก PM Motor จึงใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนจึงมีสถานะเป็น Motoring Mode

จากผลการจำลองการทำงาน ค่าภาระบรรทุกน้ำหนัก และกำลังไฟฟ้าที่ได้ แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 กำลังไฟฟ้าจากการจำลองที่ภาระบรรทุกต่างๆ ขณะลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น

ภาระบรรทุก [kg]	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
กำลังไฟฟ้า [kW]	-7.3	-5.8	-4.7	-3.1	-1.7	0.2	1.7	3.1	4.7	5.8	7.3

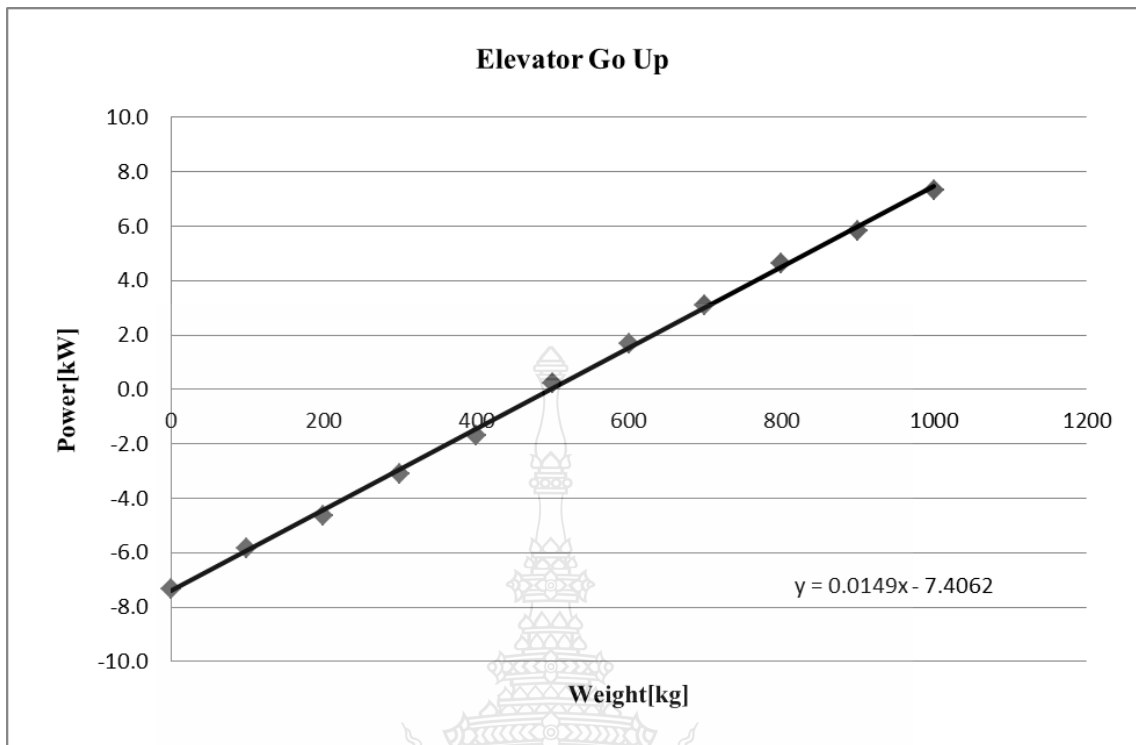
ตารางที่ 4.2 กำลังไฟฟ้าจากการจำลองที่ภาระบรรทุกต่างๆ ขณะลิฟต์เคลื่อนที่ลง

ภาระบรรทุก [kg]	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
กำลังไฟฟ้า [kW]	7.3	5.8	4.7	3.1	1.7	0.2	-1.7	-3.1	-4.7	-5.8	-7.3

จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 แสดงให้เห็นว่า

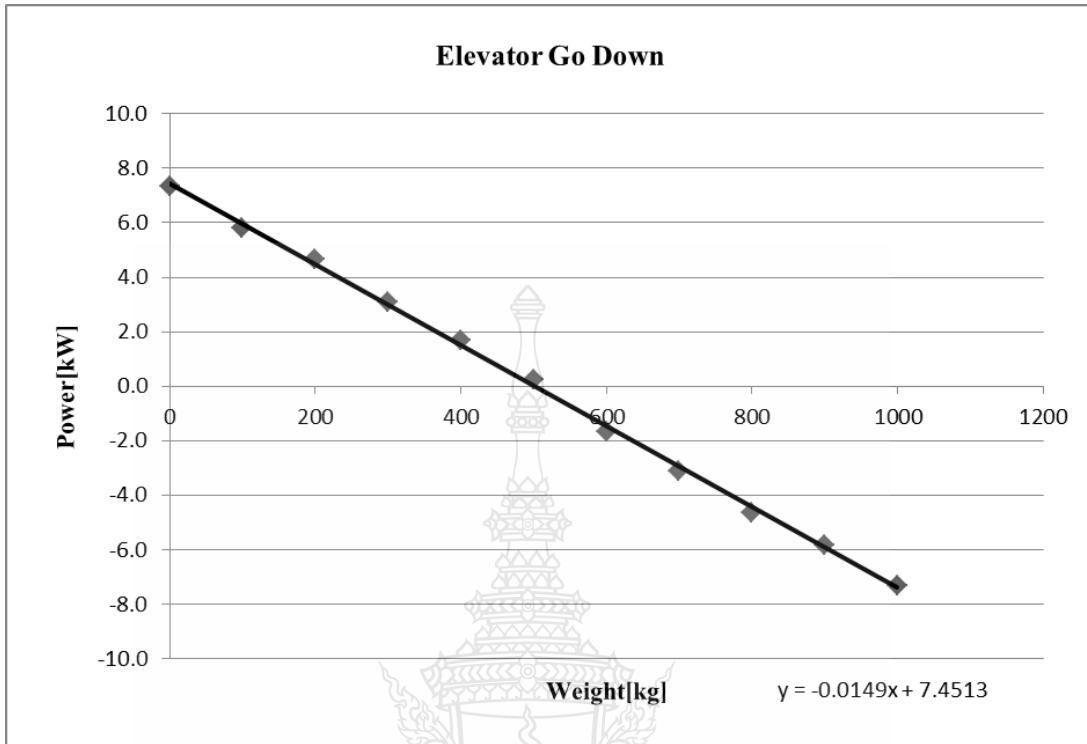
1. เมื่อลิฟต์บรรทุกน้ำหนักมากกว่า 500 กิโลกรัมวิ่งขึ้น มอเตอร์จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจาก Grid เนื่องจากน้ำหนักห้องโดยสารที่ต้องดึงขึ้น มากกว่า ตุ่มถ่วง
2. เมื่อลิฟต์บรรทุกน้ำหนักมากกว่า 500 กิโลกรัมวิ่งลง มอเตอร์จะป้อนพลังงานไฟฟ้าให้ Grid เนื่องจากน้ำหนักห้องโดยสารที่ต้องปล่อยลง มากกว่า ตุ่มถ่วง
3. เมื่อลิฟต์บรรทุกน้ำหนักน้อยกว่า 500 กิโลกรัมวิ่งขึ้น มอเตอร์ป้อนพลังงานไฟฟ้าให้ Grid เนื่องจากน้ำหนักห้องโดยสารที่ต้องดึงขึ้น น้อยกว่า ตุ่มถ่วง
4. เมื่อลิฟต์บรรทุกน้ำหนักน้อยกว่า 500 กิโลกรัมวิ่งลง มอเตอร์จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจาก Grid เนื่องจากน้ำหนักห้องโดยสารที่ต้องปล่อยลง น้อยกว่า ตุ่มถ่วง
5. เมื่อลิฟต์บรรทุกน้ำหนักประมาณ 500 กิโลกรัมเคลื่อนที่ขึ้น หรือเคลื่อนที่ลง มอเตอร์จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจาก Grid น้อยมากเนื่องจากน้ำหนักห้องโดยสารเท่ากับน้ำหนัก ตุ่มถ่วง

ซึ่งความสัมพันธ์ที่กล่าวมาทั้งหมด สามารถเขียนเป็นกราฟเพื่ออธิบายได้ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 และจากกราฟดังกล่าวสามารถใช้วิธีการทางสถิติเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้าและน้ำหนักภาระที่บรรทุก ทั้งในกรณีที่ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น หรือกรณีที่ลิฟต์เคลื่อนที่ลง



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับภาระบรรทุกของลิฟต์ กรณีที่ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น

จากกราฟ รูปที่ 4.2 กรณีกำลังไฟฟ้า (Power) ที่เกิดขึ้นมีค่าติดลบ หมายถึงระบบการทำงานของมอเตอร์ซึ่งโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าคืนให้ Grid และถ้า Power เป็นบวก หมายถึงมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจาก Grid จากกราฟ กรณีลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นตัวเปล่า จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าที่เป็นลบ นั่นหมายถึงมีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าคืนให้ Grid เนื่องจากน้ำหนักห้องโดยเบากว่าคัมถ่วง เพลาของมอเตอร์หมุนด้วยน้ำหนักคัมถ่วงที่ใช้แรงโน้มถ่วงของโลก ทั้งตัวลงในแนวตั้ง แต่กรณีเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกมากขึ้นกำลังไฟฟ้าที่จ่ายคืนให้ Grid ก็ลดลงจนถึงจุดที่น้ำหนักบรรทุกประมาณ 500 กิโลกรัม ซึ่งเป็นจุดที่น้ำหนักของห้องโดยสารรวมกับน้ำหนักบรรทุก เท่ากับ น้ำหนักคัมถ่วงพอดี ทำให้ไม่มีการใช้กำลังไฟฟ้าหรือใช้กำลังไฟฟ้าน้อยมากในการเคลื่อนที่ และเมื่อน้ำหนักบรรทุกเกินกว่า 500 กิโลกรัมขึ้นไป ซึ่งเป็นจุดที่น้ำหนักห้องโดยสารรวมกับน้ำหนักบรรทุก เท่ากับ น้ำหนักคัมถ่วง มอเตอร์เริ่มใช้กำลังไฟฟ้าเพื่อดึงให้ห้องโดยสารเคลื่อนที่ขึ้นและใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่บรรทุกที่พิกัด 1,000 กิโลกรัม



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับการบรรทุกของลิฟต์ขณะลิฟต์เคลื่อนที่ลง

จากกราฟในรูปที่ 4.3 ลักษณะการทำงานของระบบลิฟต์คล้ายกับกราฟในรูปที่ 4.2 ที่มีค่าติดลบ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ จากกราฟถ้าลิฟต์เคลื่อนที่ลงตัวเปล่าจะใช้กำลังไฟฟ้าจาก Grid เนื่องจากน้ำหนักห้องโดยเบากว่าคัมถ่วงมอเตอร์ต้องใช้กำลังงานดึงคัมถ่วงขึ้น เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกมากขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ใช้ก็ลดลงจนถึงจุดที่น้ำหนักบรรทุกประมาณ 500 กิโลกรัมซึ่งเป็นจุดที่น้ำหนักห้องโดยสารรวมกับน้ำหนักบรรทุก เท่ากับ น้ำหนักคัมถ่วงพอดีทำให้ไม่มีการใช้กำลังไฟฟ้าหรือใช้กำลังไฟฟ้าน้อยมากในการเคลื่อนที่ และเมื่อน้ำหนักบรรทุกเกินกว่า 500 กิโลกรัมขึ้นไป ซึ่งเป็นจุดที่น้ำหนักห้องโดยสารรวมกับน้ำหนักบรรทุก หนักกว่า น้ำหนักคัมถ่วง ห้องโดยสารเคลื่อนที่ลงโดยไม่ใช้กำลังงานไฟฟ้าจุดให้เพลามอเตอร์หมุนและจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนสู่ Grid โดยกำลังไฟฟ้าจะสูงสุดเมื่อบรรทุกน้ำหนักที่พิกัด 1000 กิโลกรัม

จากกราฟ ในรูปที่ 4.2 และ 4.3 สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า ทิศทางการเคลื่อนที่ และน้ำหนักบรรทุก ได้ดังนี้

$$P = d \times (0.015L - 7.4) \quad (4.1)$$

โดย

P คือ กำลังไฟฟ้า [kW]

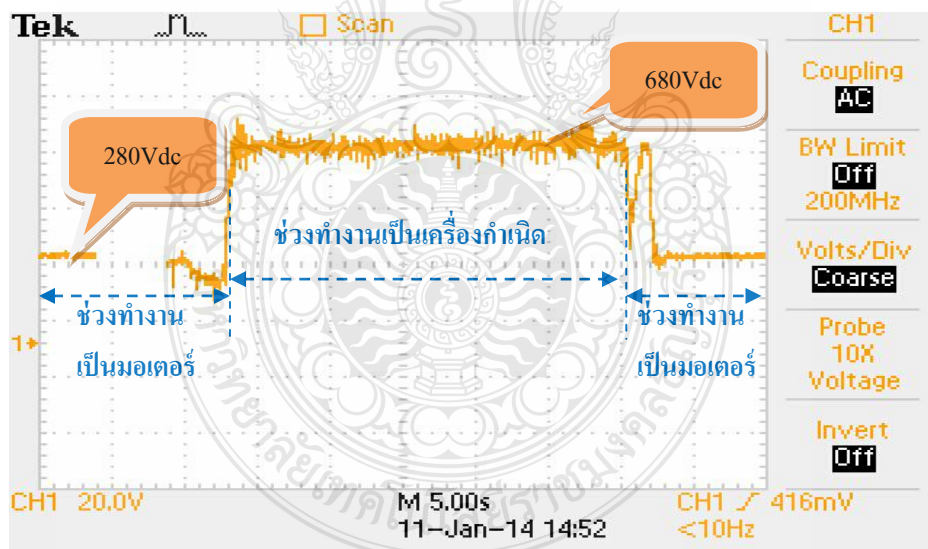
d คือ ทิศทางการเคลื่อนที่ ขึ้นเท่ากับ 1 , ลงเท่ากับ -1

L คือ น้ำหนักบรรทุก [kg]

สำหรับระบบลิฟต์ทั่วไปที่ไม่มีระบบรีเจนเนอเรทีฟจะไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้ากลับคืนให้ Grid ได้ ซึ่งโดยส่วนมากกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในส่วนนี้จะถูกทำให้สูญเสียไปในตัวต้านทาน ทำให้การใช้พลังงานของระบบลิฟต์ดังกล่าวมีค่าสูงกว่าการใช้พลังงานของระบบลิฟต์แบบรีเจนเนอเรทีฟ

4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 ผลการทดสอบแรงดันกระแสตรงจากดี.ซี.ลิงค์ ขณะมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรกลายเป็นเครื่องกำเนิดชั่วขณะกับชุดจำลองเสมือนจริง



รูปที่ 4.4 รูปคลื่นแรงดันกระแสตรงจากดี.ซี.ลิงค์ ก่อนจะเข้าวงจร ERU

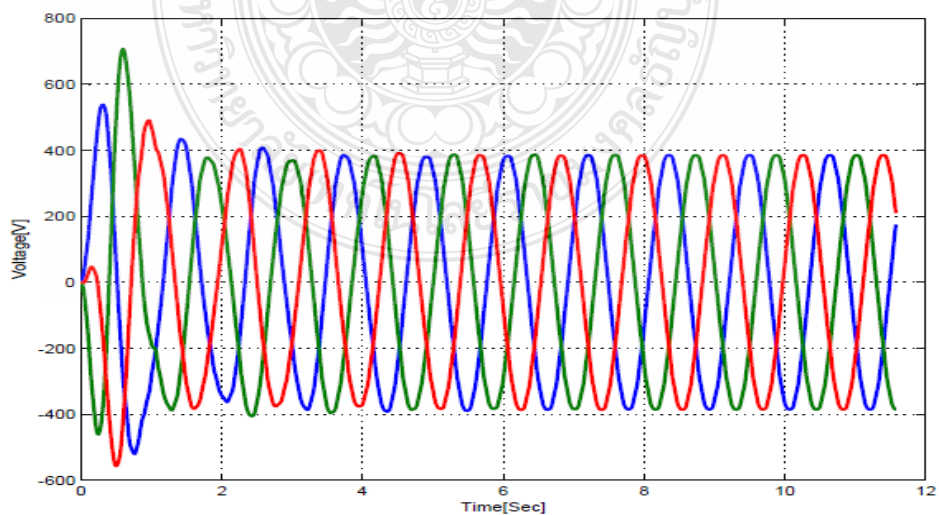
จากรูปที่ 4.4 เป็นรูปคลื่นแรงดันกระแสตรงจากดี.ซี.ลิงค์ที่ตรวจวัดได้ ซึ่งเป็นช่วงที่มอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรทำงานกลายเป็นเครื่องกำเนิดชั่วขณะ เมื่อลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นขณะไร้โหลดและเคลื่อนที่ลงขณะโหลดเต็มพิกัด

4.1.2 ผลการทดสอบแรงดัน 3 เฟสที่ออกมาจากชุดควบคุมกำลังไฟฟ้า ERU ของชุดจำลองเสมือนจริง จากการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ของการคืนพลังงานในขณะที่โหมดการทำงานรีเจนเนอเรทีฟสามารถนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้แสดงออกมารูปแบบของรูปคลื่น ที่พร้อมนำกลับมาใช้งานคืนสู่ระบบ Grid ดังรูป4.5



รูปที่ 4.5 รูปคลื่นแรงดันสามเฟสที่มีการรีเจนเนอเรทีฟแสดงค่าพารามิเตอร์ของชุดจำลองเสมือนจริง

จากรูป4.5 เป็นรูปคลื่นแรงดันสามเฟสที่วัดได้จากชุดควบคุมกำลังไฟฟ้า ERU จะแสดงค่าของความถี่ ที่ 50 Hz แรงดันเฟส และแรงดันระหว่างเฟส แสดงให้เห็นว่าจากการสร้างชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร สามารถได้พลังงานคืนได้จริง



รูปที่ 4.6 รูปคลื่นแรงดันสามเฟสที่ออกจาก ERU โดยการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink

จากรูป 4.6 เป็นรูปคลื่นแรงดันสามเฟสที่ออกจาก ERU โดยการจำลองด้วยด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นแรงดันสามเฟสที่มีการรีเจนเนอเรทีฟที่มีการตรวจวัดกับชุดจำลองเสมือนจริง พบว่ามีรูปคลื่นแรงดันที่ได้จากชุดจำลองเสมือนจริงมีลักษณะที่ไม่เรียบเล็กน้อยเนื่องจากตรวจพบค่าฮาโมนิกในระบบ และขนาดของแรงดันไฟฟ้ามีค่าที่ใกล้เคียงกัน

4.1.3 ผลการทดสอบกำลังไฟฟ้า 3 เฟสที่ออกมาจากชุดควบคุมกำลังไฟฟ้า ERU



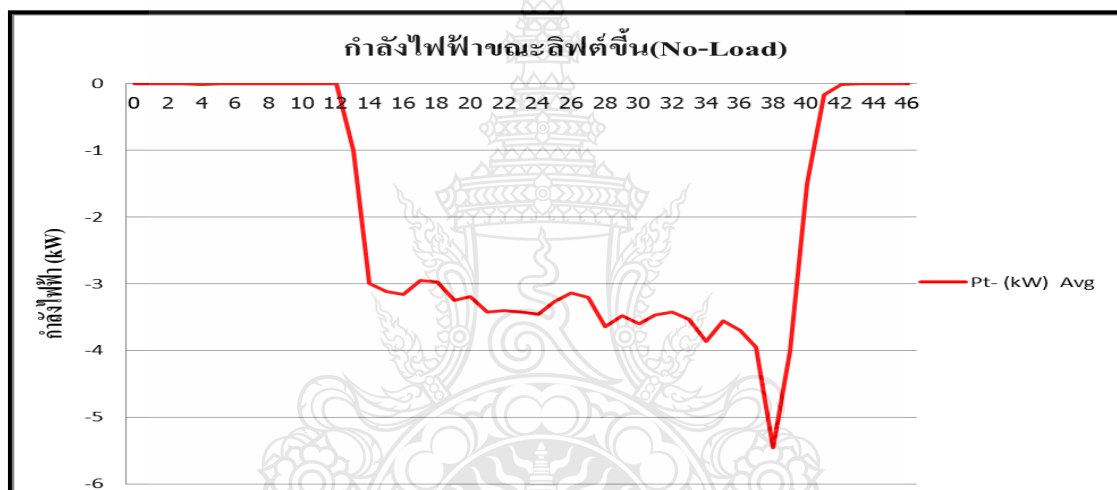
รูปที่ 4.7 อาคาร 13 ชั้นที่ติดตั้งชุดควบคุมกำลังไฟฟ้า ERU และทำการตรวจวัดค่าพลังงาน

การวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจากชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าแบบรีเจนเนอเรทีฟหรือ ERU โดยจะมีการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ด้วยใช้เครื่องมือวัด Power Energy เพื่อวัดค่าและทำการบันทึกผลของการทำงาน ซึ่งการทำงานของลิฟท์จะมีการทำงาน 2 ช่วงการทำงาน คือในตอนที่ทำหน้าที่เป็นมอเตอร์และในช่วงที่ทำงานเป็นเจนเนอเรเตอร์ กล่าวคือช่วงที่ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดจะเป็นช่วงการคืนพลังงานกลับคืนสู่ระบบกริด หลังจากการบันทึกค่าการทำงาน จึงนำมาพล็อตเป็นกราฟแสดงข้อมูลการทำงานของระบบตามรูปที่ 4.8 – 4.11

จากการทดลองให้ลิฟท์บรรทุกผู้โดยสารจำนวน 0-10 คน บันทึกน้ำหนักและกำลังไฟฟ้าที่ใช้หรือจ่ายคืนให้ Grid เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้กับการคำนวณตามสมการที่ 4.1 ได้ผลดังนี้

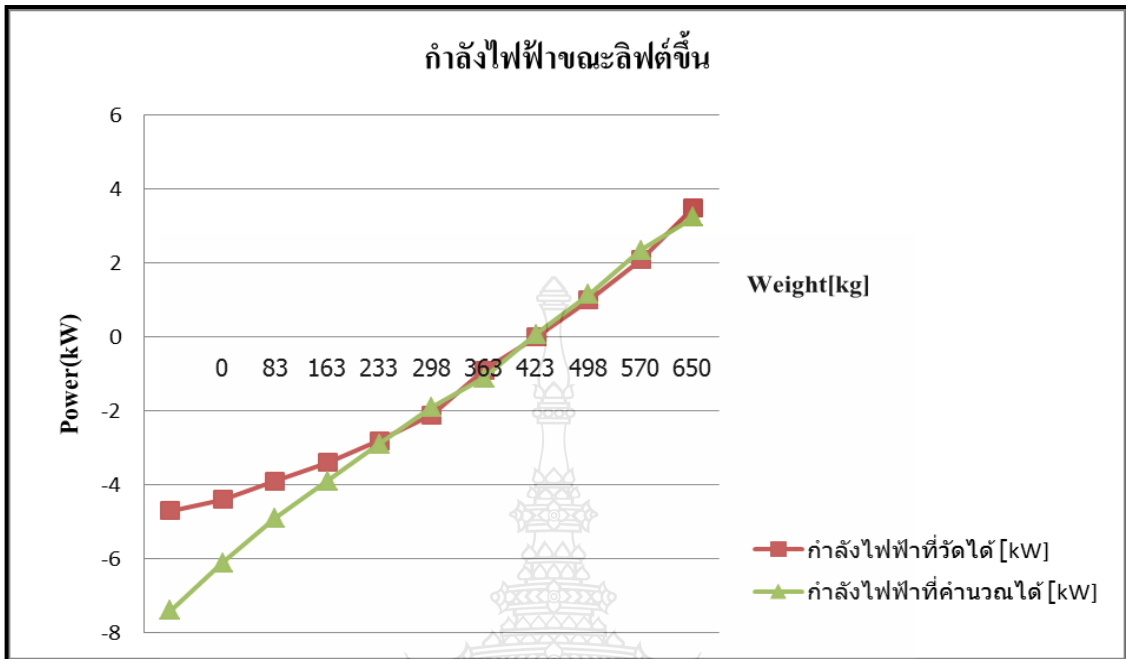
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองกรณีลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น(No-Load)

จำนวนผู้โดยสาร [คน]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
น้ำหนักบรรทุกทุก [kg]	0	83	163	233	298	363	423	498	570	650	710
กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ [kW]	-4.7	-4.4	-3.9	-3.4	-2.8	-2.1	-0.9	0	1	2.1	3.5
กำลังไฟฟ้าที่ คำนวณได้ [kW]	-7.4	-6.1	-4.9	-3.9	-2.9	-1.9	-1.1	0.1	1.2	2.4	3.3



รูปที่ 4.8 กราฟกำลังไฟฟ้าขณะลิฟต์ขึ้น (No-Load) ทำงานเป็นเครื่องกำเนิด

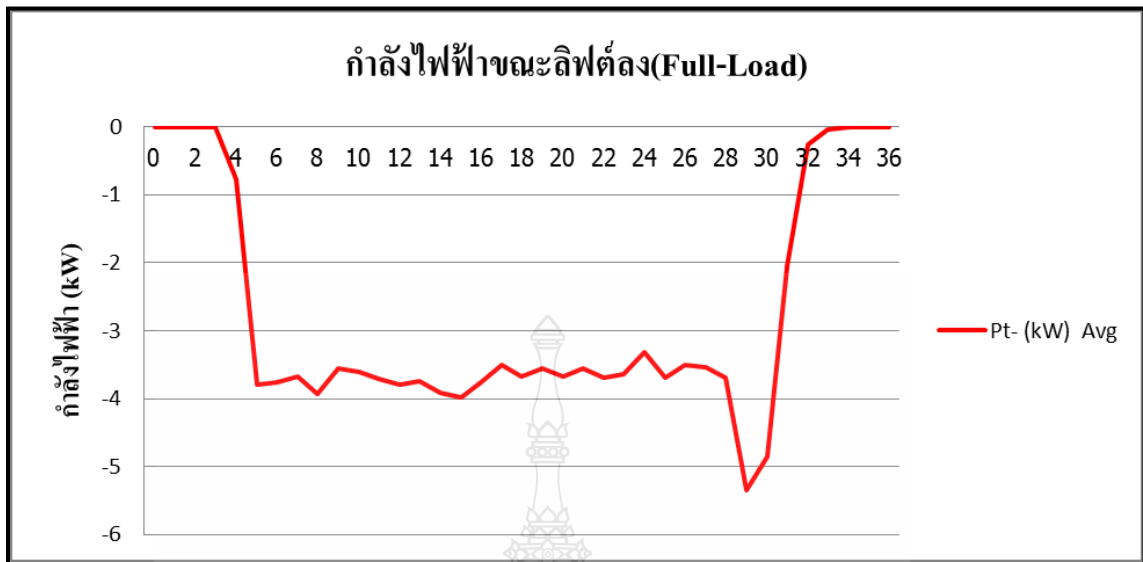
จากตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณและการทดสอบจริง ในภาระบรรทุกต่างๆของลิฟท์ กรณีลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น (ไม่มีโหลด) โดยค่าที่ได้จากการตรวจวัด เมื่อทำงานเป็นเครื่องกำเนิดค่าที่ตรวจวัดได้จะต่ำกว่าการคำนวณ ซึ่งได้ผลการวัดค่ากำลังไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการคำนวณกับกำลังไฟฟ้าที่วัดได้กรณีลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น

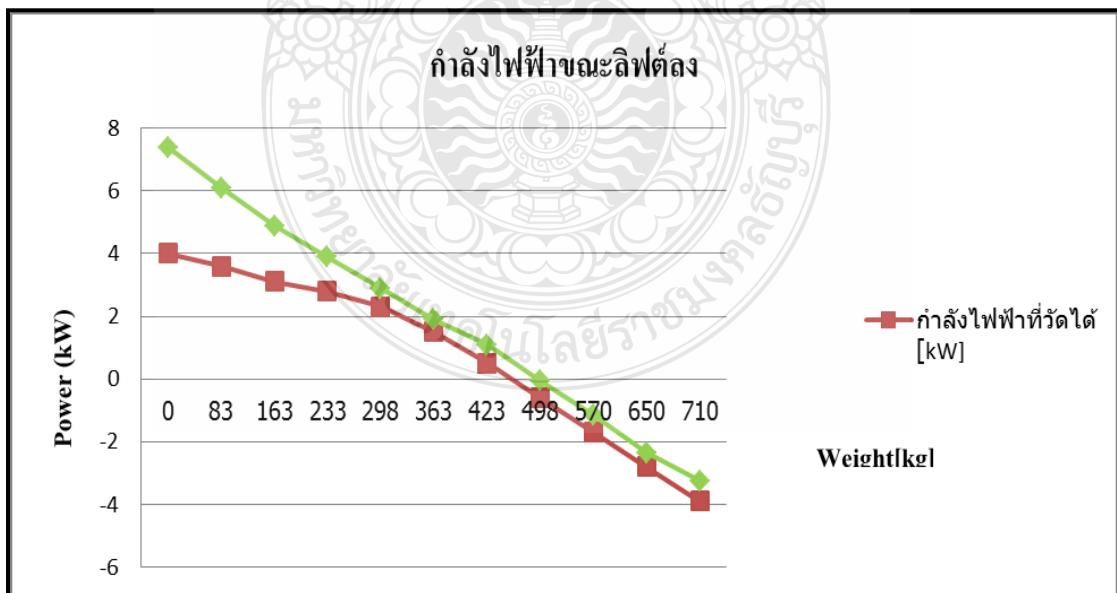
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองกรณีลิฟต์เคลื่อนที่ลง(Full-Load)

จำนวนผู้โดยสาร [คน]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
น้ำหนักบรรทุก [kg]	0	83	163	233	298	363	423	498	570	650	710
กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ [kW]	4	3.6	3.1	2.8	2.3	2.3	1.5	0.5	-0.6	-1.7	-3.9
กำลังไฟฟ้าที่ คำนวณได้ [kW]	7.4	6.1	4.9	3.9	2.9	1.9	1.1	-0.1	-1.2	-2.4	-3.3

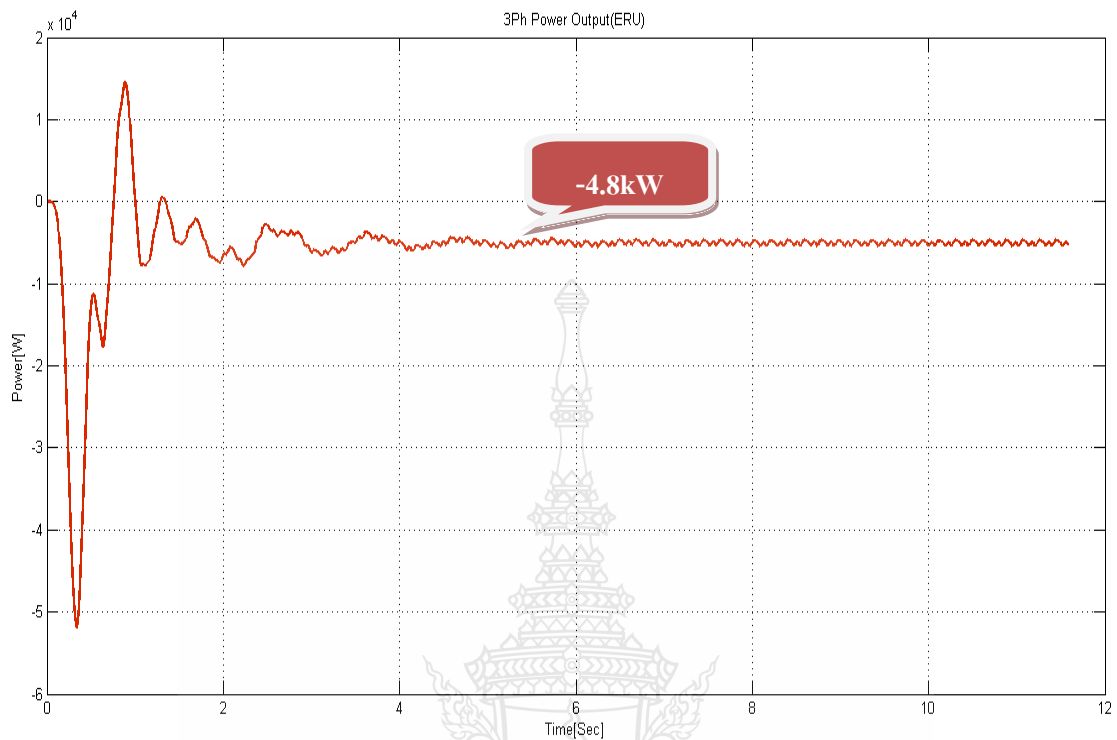


รูปที่ 4.10 กราฟกำลังไฟฟ้าขณะลิฟต์ลง(Full-Load)ทำงานเป็นเครื่องกำเนิด

จากตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณและการทดสอบจริง ในภาวะบรรทุกต่างๆของลิฟท์ กรณีลิฟต์เคลื่อนที่ลง (โหลดเต็มพิกัด) โดยค่าที่ได้จากการตรวจวัด เมื่อทำงานเป็นเครื่องกำเนิดค่าที่ตรวจวัดได้จะใกล้เคียงค่าที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งได้ผลการวัดกำลังไฟฟ้าดังรูปที่ 4.10

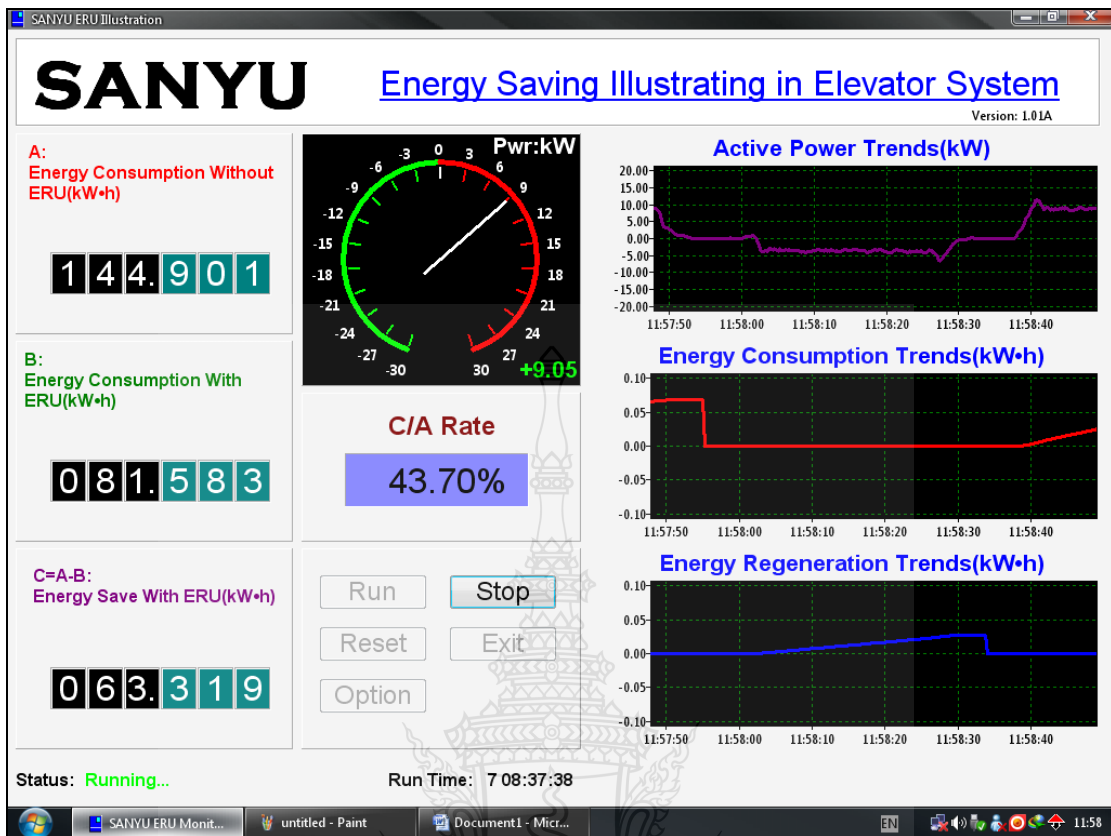


รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการคำนวณกับกำลังไฟฟ้าที่วัดได้กรณีลิฟต์เคลื่อนที่ลง



รูปที่ 4.12 รูปคลื่นสัญญาณกำลังไฟฟ้า 3 เฟสที่ออกมาจาก ERU ได้จากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink

จากรูปที่ 4.12 รูปคลื่นสัญญาณกำลังไฟฟ้า 3 เฟสที่ออกมาจาก ERU ได้จากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.8 และ 4.10 ซึ่งเป็นผลของกำลังไฟฟ้า ERU ที่ตรวจวัดจากการทดสอบใช้งานจริงค่าของกำลังไฟฟ้าทั้งสองมีค่าที่ใกล้เคียงกันนั้นแสดงให้เห็นว่าผลของกำลังไฟฟ้าที่ได้จาก ERU สามารถจ่ายคืนให้กับ Grid ได้ประมาณ 3-5kW และลิฟต์นั้นจะสามารถประหยัดพลังงานได้มากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับการจัดการระบบขนส่งของลิฟต์ ถ้ามีการบริหารจัดการควบคุมการใช้ลิฟต์ที่ดีจะสามารถประหยัดพลังงานได้มากและคุ้มค่าต่อการลงทุน



รูปที่ 4.13 ข้อมูลการใช้พลังงานของระบบลิฟท์ในงานวิจัย

จากรูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าการพิจารณาข้อมูลเหล่านี้ประกอบจะทำให้สามารถประมาณค่าการประหยัดพลังงานที่จะได้หลังจากติดตั้งระบบรีเจนเนอเรทีฟได้ สำหรับในระบบลิฟท์ในงานวิจัยนี้ได้ติดตั้งระบบบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานในกรณีไม่ติดตั้งระบบรีเจนเนอเรทีฟ และกรณีติดตั้งระบบรีเจนเนอเรทีฟ (พลังงานที่ใช้จาก Grid ลบ พลังงานที่จ่ายคืน Grid) เก็บข้อมูลเป็นเวลา 30 วันพบว่าระบบรีเจนเนอเรทีฟสามารถช่วยประหยัดพลังงานได้ 62 kWh หรือ 43.7%

4.2 การคำนวณเศรษฐศาสตร์

โดยทั่วไปการคำนวณพื้นฐานเกี่ยวกับการไหลเวียนของเงินในโครงการต่างๆ (Cash Flow) มีอยู่ 2 ชนิดคือวิธี Static และวิธี Dynamic โดยวิธีแบบที่สองจะมองเห็นการไหลเวียนเงินสดที่เกิดขึ้นผ่านปัจจัยต่างๆ อย่างไรก็ตามก็มีหลักการในการพิจารณาด้านเศรษฐศาสตร์หลายแบบ แต่สำหรับการคำนวณนี้จะนำหลักการโดนามิคของรูปแบบ Annuity Method มาใช้พิจารณาเศรษฐศาสตร์ของระบบ

ไฟฟ้าของระบบลิฟต์ หลักการ Annuity Method หลักทั่วไปของวิธีนี้คือวิธีคิดเงินรายได้เป็นรายปีโดยจะคิดในรูปแบบอนุกรมของการชำระหนี้ วิธีคิดเงินรายได้เป็นรายปีจะมีค่าตรงกับกำไรไหลเวียนของเงินสดเฉลี่ยประจำปีซึ่งมีวิธีการคำนวณตามสมการ 4.2

$$a = NPV \cdot \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (4.2)$$

เมื่อ a = Annuity (จำนวนเงินที่จะต้องชำระต่อปี)
 NPV = (Net Present Value) เงินลงทุนปัจจุบันสุทธิ
 i = ดอกเบี้ย
 n = จำนวนปีในการวางแผน (ปี)

จากสมการ 4.2 พจน์ตัวแปรอนุกรมที่เป็นตัวคูณเงินลงทุนปัจจุบัน (NPV) นั้นเรียกว่า Annuity Factor ซึ่งสามารถที่จะคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์และนำมาแสดงเป็นตารางได้ดังตารางที่ 4.5 ตามระยะเวลาในการวางแผนและดอกเบี้ยที่กำหนดในอัตราต่างๆ

ตารางที่ 4.5 Annuity Factor โดยทั่วไปของดอกเบี้ยที่กำหนดและปีของโครงการ

	$n = 5$	$n = 10$	$n = 15$	$n = 20$	$n = 25$
$i = 5$	23.10	12.95	9.63	8.02	7.10
$i = 8$	25.05	14.90	11.68	10.19	9.37
$i = 10$	26.38	16.27	13.15	11.75	11.02
$i = 20$	33.44	23.85	21.39	20.54	20.21

เงินลงทุนปัจจุบันสุทธิ (NPV) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4.3

$$NPV = \sum_{t=0}^n NCF_t (1+i)^{-t} \quad (4.3)$$

เมื่อ: NPV = (Net Present Value) เงินลงทุนปัจจุบันสุทธิ
 NCF_t = กระแสเงินสดสุทธิที่เวลา t

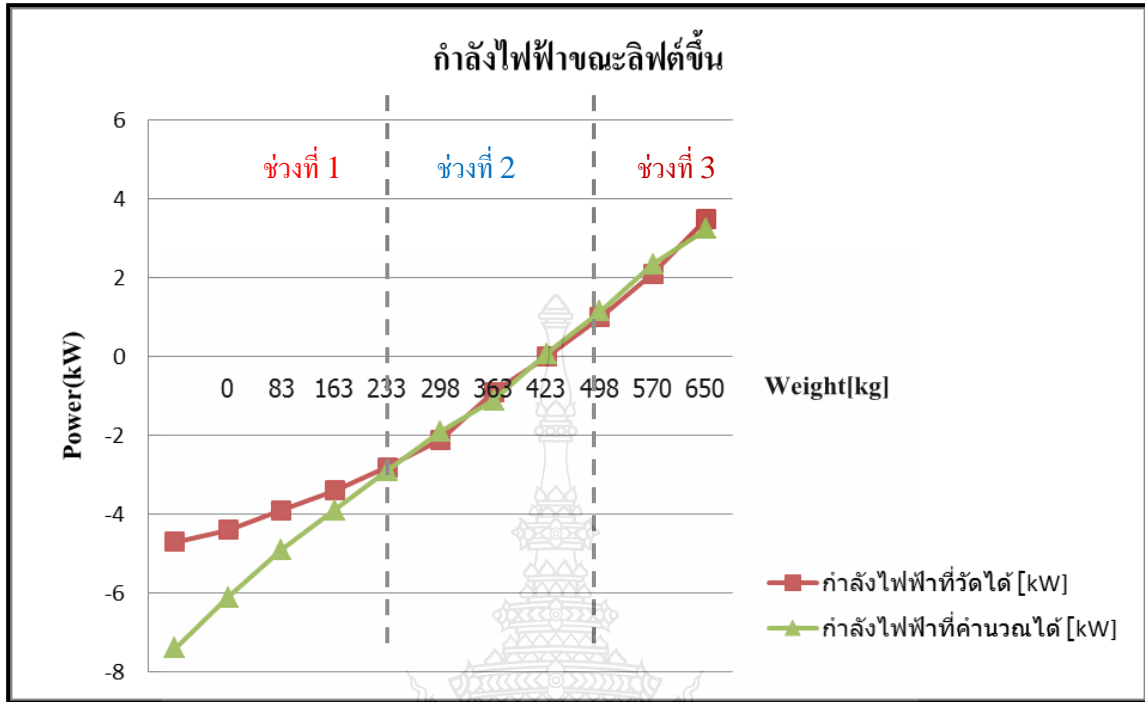
t	=	เวลาของกระแสเงิน
i	=	ดอกเบี้ย
n	=	จำนวนปีในการวางแผน (ปี)

ตารางที่ 4.6 รายการราคาส่วนประกอบหลักของระบบลิฟต์และระบบรีเจนเนอเรทีฟ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณ

รายการ	ราคา
Permanent magnet motor (PM motor) -ขนาด 7.4 kW Load 1000 kg.	115,000 บาท
Inverter -ขนาด 7.4 kW	135,000 บาท
Energy regenerative unit (ERU) -ขนาด 7.4 kW	145,000 บาท
ชุด Controller	195,000 บาท
Total	590,000 บาท

4.2.1 การคำนวณหาพลังงานที่ได้คืน

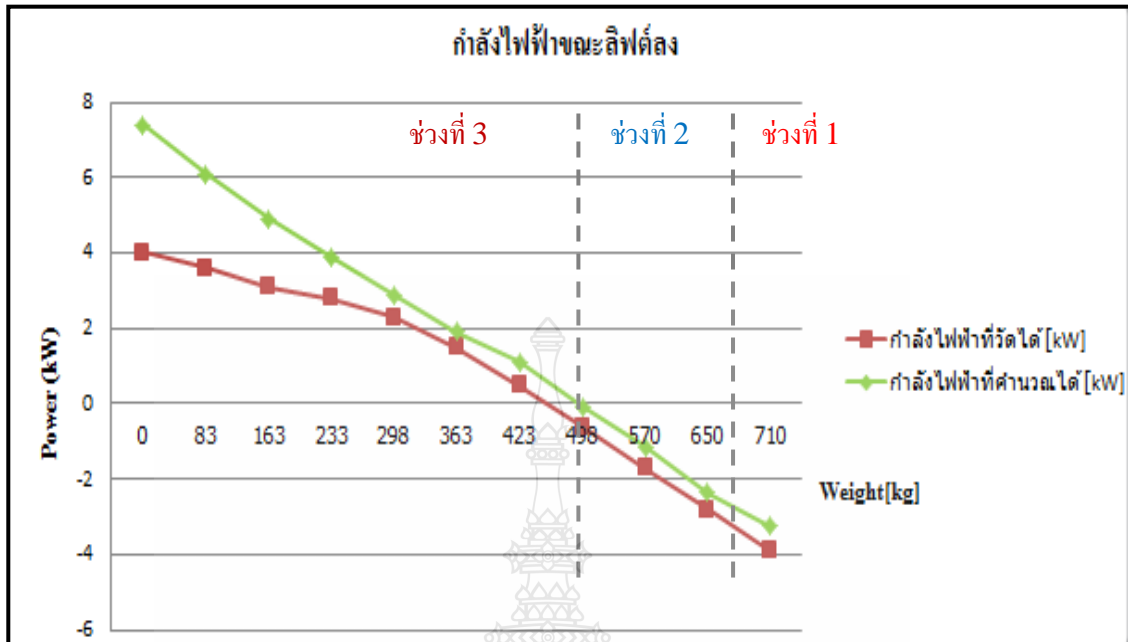
ลิฟต์ที่พิจารณามีมอเตอร์ขับเคลื่อน ขนาด 7.4 kW (ขนาดบรรทุก 700 kg, สำหรับผู้โดยสาร 10 คน) จากที่กล่าวมาแล้ว ได้ทำการจำลองการทำงานที่เป็นอาคารสูง 13 ชั้น ความสูง 55 เมตร พิกัดบรรทุกเต็มพิกัด 700 กิโลกรัม หรือประมาณ 10 คน ตุ่มถ่วงน้ำหนักมีค่าประมาณ 1,500 กิโลกรัม ความเร็วในการเคลื่อนที่ของห้องโดยสาร 105 เมตรต่อนาที ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าแบบ Gearless Permanent Magnet ขนาด 7.4 kW มีการติดตั้งระบบรีเจนเนอเรทีฟ เข้ากับระบบการทำงานของลิฟต์ เพื่อวัตถุประสงค์ผลิตกระแสไฟฟ้าป้อนคืนให้กับระบบไฟฟ้า การทดลองเพื่อสังเกตพฤติกรรมของลิฟต์จริงได้ผลการทดลองดังที่ได้กล่าวมาในเบื้องต้น



รูปที่ 4.14 การแบ่งช่วงการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้ากรณีลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น

รูปที่ 4.14 จะเป็นการแบ่งช่วงการทำงานในแต่ละช่วงการทำงานเพื่อนำมาคิดค่าความคุ้มทุน ส่วนในการแบ่งช่วงนั้นจะพิจารณาเลือกจากช่วงที่มีการสิ้นพลังงานมากที่สุดอยู่ในช่วงที่ 1 และช่วงที่มีการสิ้นพลังงานอยู่ในระดับกลางจนถึงต่ำสุด อยู่ในช่วงที่ 2 และช่วงที่ 3 จะคิดในโหมดที่ไม่มี การสิ้นพลังงานเพื่อนำข้อมูลในแต่ละช่วงการทำงานมาทำการสมมติการใช้งาน เพื่อจะได้หาจำนวนปีที่จะทำการคืนทุน การแบ่งช่วงนี้ใช้กับกรณีลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น

ในส่วนของการแบ่งช่วงการทำงานในกรณีลิฟต์เคลื่อนที่ลง จะมีกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างออกไป จากกรณีลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าน้อยกว่า จึงมีการแบ่งช่วงการคำนวณใหม่ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำมาคำนวณ การแบ่งช่วงการคำนวณแบ่งตามรูปที่ 4. 15



รูปที่ 4.15 การแบ่งช่วงการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้ากรณีลิฟต์เคลื่อนที่ลง

จากกราฟของผลการทดลองเราสามารถนำมาคำนวณ โดยจะคิดในสองช่วงคือช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นกับลง

- ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น

แบ่งเป็น 3 ช่วงที่มีการกินพลังงาน

ช่วงที่ 1 ผู้โดยสาร 0 คน เคลื่อนที่ขึ้น ใช้เวลา 45 s จากการใช้โหลดต่อวัน วันละ 8 ชั่วโมง มีการกินพลังงาน 5 kW หากค่าพลังงานออกมาเป็นกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง

$$\frac{(5 \text{ kW}) \times (45 \text{ s})}{60} \times \frac{1}{60} = 0.0625 \text{ kWh}$$

ถ้ามีการใช้งานลิฟต์ใน 1 ชั่วโมง ช่วงลิฟต์ขึ้นประมาณ 30 ครั้ง ใช้เวลาทั้งหมด 8 ชั่วโมงต่อหนึ่งวัน หากพลังงานที่ได้ต่อปีออกมาเป็น Unit ใ้ดังนี้

$$0.0625 \text{ kWh} \times 30 \times 8 \times 365 = 5,475 \text{ Unit}$$

คิดค่าไฟหน่วยละ 4 บาท ดังนั้นจะได้เงินคืนจากการกินพลังงานดังนี้

$$4 \times 5,475 = 21,900 \text{ บาท/ปี}$$

จากสมการ $a = NPV \times (\text{Annuity Factor})$

จากตาราง 4.6 ค่าใช้จ่ายค่าใช้จ่ายการติดตั้ง ERU มีค่าเท่ากับ 145,000 บาท
ดังนั้นสามารถหาค่า Annuity Factor เพื่อนำมาหาค่าความคุ้มทุน

$$\text{Annuity Factor} = \frac{21,900}{145,000} = 0.15103$$

จากตาราง 4.5 คาดการณ์คืนทุนที่ 5 -10 ปี (เมื่อคิดดอกเบี้ย 5%)
ดังนั้นคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน (n) ปี

$$a = NPV \cdot \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

$$21,900 = 145,000 \cdot \frac{0.05 \cdot (1+0.05)^n}{(1+0.05)^n - 1}$$

$$\frac{21,900}{145,000} = \frac{0.05 \cdot (1+0.05)^n}{(1+0.05)^n - 1}$$

$$0.15103 = \frac{0.05 \cdot (1+0.05)^n}{(1+0.05)^n - 1}$$

$$0.15103 \cdot ((1.05)^n - 1) = 0.05 \cdot (1.05)^n$$

$$0.15103 \cdot (1.05)^n - 0.15103 = 0.05 \cdot (1.05)^n$$

นำ 0.05 หารตลอด

$$3.026 \cdot (1.05)^n - 3.026 = (1.05)^n$$

นำ $(1.05)^n$ หารตลอด

$$3.026 - \frac{3.026}{(1.05)^n} = 1$$

$$3.026 - 1 = \frac{3.026}{(1.05)^n}$$

$$2.026 = \frac{3.026}{(1.05)^n}$$

$$(1.05)^n = \frac{3.026}{2.026}$$

$$(1.05)^n = 1.493$$

$$\begin{aligned} \ln \cdot (1.05)^n &= \ln \cdot 1.493 \\ n \cdot \ln \cdot (1.05) &= \ln \cdot 1.493 \\ n \cdot 0.049 &= 0.4 \\ n &= \frac{0.4}{0.049} \\ n &= 8.1 \text{ ปี} \end{aligned}$$

จากการคำนวณในช่วงที่ 1 ใช้เวลาในการคืนทุนเป็นระยะเวลา 8 ปี โดยคิดดอกเบี้ยที่ 5%

ช่วงที่ 2 ผู้โดยสาร 5 คน เคลื่อนที่ขึ้น ใช้เวลา 45 s จากการใช้โหลดต่อวัน วันละ 8 ชั่วโมง มีการคืนพลังงาน 3 kW หาค่าพลังงานออกมาเป็นกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง

$$\frac{(3 \text{ kW}) \times (45 \text{ s})}{60} \times \frac{1}{60} = 0.0375 \text{ kWh}$$

ถ้ามีการใช้งานลิฟต์ใน 1 ชั่วโมง ช่วงลิฟต์ขึ้นประมาณ 30 ครั้ง ใช้เวลาทั้งหมด 8 ชั่วโมงต่อหนึ่งวัน หาพลังงานที่ได้ต่อปีออกมาเป็น Unit ได้ดังนี้

$$0.0375 \text{ kWh} \times 30 \times 8 \times 365 = 3,285 \text{ Unit}$$

คิดค่าไฟหน่วยละ 4 บาท ดังนั้นจะได้เงินคืนจากการคืนพลังงานดังนี้

$$4 \times 3,285 = 13,140 \text{ บาท/ปี}$$

จากสมการ

$$a = NPV \times (\text{Annuity Factor})$$

จากตาราง 4.6 ค่าใช้จ่ายค่าใช้จ่ายการติดตั้ง ERU มีค่าเท่ากับ 145,000 บาท

ดังนั้นสามารถหาค่า Annuity Factor เพื่อนำมาหาค่าความคุ้มทุน

$$\text{Annuity Factor} = \frac{13,140}{145,000} = 0.090$$

จากตาราง 4.5 คาดการณ์คืนทุนที่ 15-20 ปี (เมื่อคิดดอกเบี้ย 5%)

ดังนั้นคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน (n) ปี

$$\begin{aligned}
 a &= NPV \cdot \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \\
 13,140 &= 145,000 \cdot \frac{0.05 \cdot (1+0.05)^n}{(1+0.05)^n - 1} \\
 \frac{13,140}{145,000} &= \frac{0.05 \cdot (1+0.05)^n}{(1+0.05)^n - 1} \\
 0.090 &= \frac{0.05 \cdot (1+0.05)^n}{(1+0.05)^n - 1} \\
 0.090 \cdot ((1.05)^n - 1) &= 0.05 \cdot (1.05)^n \\
 0.090 \cdot (1.05)^n - 0.090 &= 0.05 \cdot (1.05)^n
 \end{aligned}$$

นำ 0.05 หารตลอด

$$1.8 \cdot (1.05)^n - 1.8 = (1.05)^n$$

นำ $(1.05)^n$ หารตลอด

$$1.8 - \frac{1.8}{(1.05)^n} = 1$$

$$1.8 - 1 = \frac{1.8}{(1.05)^n}$$

$$0.8 = \frac{1.8}{(1.05)^n}$$

$$(1.05)^n = \frac{1.8}{0.8}$$

$$(1.05)^n = 2.25$$

$$\ln \cdot (1.05)^n = \ln \cdot 2.25$$

$$n \cdot \ln \cdot (1.05) = \ln \cdot 2.25$$

$$n \cdot 0.049 = 0.4$$

$$n = \frac{0.81}{0.049}$$

$$n = 16.5 \text{ ปี}$$

จากการคำนวณในช่วงที่ 2 ใช้เวลาในการคืนทุนเป็นระยะเวลา 16 ปี โดยคิดดอกเบี้ยที่ 5%

ช่วงที่ 3 ผู้โดยสาร 10 คน เคลื่อนที่ขึ้น ใช้เวลา 45 s จากการใช้โหดต่อวัน วันละ 8 ชั่วโมง ไม่มีการ
คืนพลังงาน

- ลิฟต์เคลื่อนที่ลง

แบ่งเป็น 3 ช่วงที่มีการคืนพลังงาน

ช่วงที่ 1 ผู้โดยสาร 10 คน เคลื่อนที่ลง ใช้เวลา 45 s จากการใช้โหดต่อวัน วันละ 8 ชั่วโมง มีการคืน
พลังงาน 4 kW หาค่าพลังงานออกมาเป็นกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง

$$\frac{(4 \text{ kW}) \times (45 \text{ s})}{60} \times \frac{1}{60} = 0.05 \text{ kWh}$$

ถ้ามีการใช้งานลิฟต์ใน 1 ชั่วโมง ช่วงเคลื่อนที่ลงประมาณ 30 ครั้ง ใช้เวลาทั้งหมด 8 ชั่วโมง
ต่อหนึ่งวัน หาพลังงานที่ได้ต่อปีออกมาเป็น Unit ได้ดังนี้

$$0.05 \text{ kWh} \times 30 \times 8 \times 365 = 4,380 \text{ Unit}$$

คิดค่าไฟหน่วยละ 4 บาท ดังนั้นจะได้เงินคืนจากการคืนพลังงานดังนี้

$$4 \times 4,380 = 17,520 \text{ บาท/ปี}$$

จากสมการ

$$a = NPV \times (\text{Annuity Factor})$$

จากตาราง 4.6 ค่าใช้จ่ายค่าใช้จ่ายการติดตั้ง ERU มีค่าเท่ากับ 145,000 บาท

ดังนั้นสามารถหาค่า Annuity Factor เพื่อนำมาหาค่าความคุ้มทุน

$$\text{Annuity Factor} = \frac{17,520}{145,000} = 0.121$$

จากตาราง 4.5 คาคัดการณ์คืนทุนที่ 10 ปี (เมื่อคิดดอกเบี้ย 5%)

ดังนั้นคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน (n) ปี

$$a = NPV \cdot \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

$$17,520 = 145,000 \cdot \frac{0.05 \cdot (1+0.05)^n}{(1+0.05)^n - 1}$$

$$\frac{17,520}{145,000} = \frac{0.05 \cdot (1+0.05)^n}{(1+0.05)^n - 1}$$

$$0.121 = \frac{0.05 \cdot (1 + 0.05)^n}{(1 + 0.05)^n - 1}$$

$$0.121 \cdot ((1.05)^n - 1) = 0.05 \cdot (1.05)^n$$

$$0.121 \cdot (1.05)^n - 0.121 = 0.05 \cdot (1.05)^n$$

นำ 0.05 หารตลอด

$$2.42 \cdot (1.05)^n - 2.42 = (1.05)^n$$

นำ $(1.05)^n$ หารตลอด

$$2.42 - \frac{2.42}{(1.05)^n} = 1$$

$$2.42 - 1 = \frac{2.42}{(1.05)^n}$$

$$1.42 = \frac{2.42}{(1.05)^n}$$

$$(1.05)^n = \frac{2.42}{1.42}$$

$$(1.05)^n = 1.70$$

$$\ln \cdot (1.05)^n = \ln \cdot 1.70$$

$$n \cdot \ln \cdot (1.05) = \ln \cdot 1.70$$

$$n \cdot 0.049 = 0.53$$

$$n = \frac{0.53}{0.049}$$

$$n = 10.8 \text{ ปี}$$

จากการคำนวณในช่วงที่ 1 (ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น) ใช้เวลาในการคืนทุนเป็นระยะเวลา 10 ปี โดยคิดดอกเบี้ยที่ 5%

ช่วงที่ 2 ผู้โดยสาร 8 คน เคลื่อนที่ลง ใช้เวลา 45s จากการใช้โหลดต่อวันวันละ 8 ชั่วโมง มีการคืนพลังงาน 2 kW หากค่าพลังงานออกมาเป็นกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง

$$\frac{(2 \text{ kW}) \times (45 \text{ s})}{60} \times \frac{1}{60} = 0.025 \text{ kWh}$$

ถ้ามีการใช้งานลิฟต์ใน 1 ชั่วโมง ช่วงเคลื่อนที่ลงประมาณ 30 ครั้ง ใช้เวลาทั้งหมด 8 ชั่วโมงต่อหนึ่งวัน หากพลังงานที่ได้ต่อปีออกมาเป็น Unit ได้ดังนี้

$$0.025 \text{ kWh} \times 30 \times 8 \times 365 = 2,190 \text{ Unit}$$

คิดค่าไฟหน่วยละ 4 บาท ดังนั้นจะได้เงินคืนจากการคืนพลังงานดังนี้

$$4 \times 2,190 = 8,760 \text{ บาท/ปี}$$

จากสมการ $a = NPV \times (\text{Annuity Factor})$

จากตาราง 4.6 ค่าใช้จ่ายค่าใช้จ่ายการติดตั้ง ERU มีค่าเท่ากับ 145,000 บาท
ดังนั้นสามารถหาค่า Annuity Factor เพื่อนำมาหาค่าความคุ้มทุน

$$\text{Annuity Factor} = \frac{8,760}{145,000} = 0.06$$

จากตาราง 4.5 คาค่าการคืนทุนที่ 25 ปีขึ้นไป (เมื่อคิดดอกเบี้ย 5%)

ดังนั้นคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน (n) ปี

$$a = NPV \cdot \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

$$8,760 = 145,000 \cdot \frac{0.05 \cdot (1+0.05)^n}{(1+0.05)^n - 1}$$

$$\frac{8,760}{145,000} = \frac{0.05 \cdot (1+0.05)^n}{(1+0.05)^n - 1}$$

$$0.06 = \frac{0.05 \cdot (1+0.05)^n}{(1+0.05)^n - 1}$$

$$0.06 \cdot ((1.05)^n - 1) = 0.05 \cdot (1.05)^n$$

$$0.06 \cdot (1.05)^n - 0.06 = 0.05 \cdot (1.05)^n$$

นำ 0.05 หารตลอด

$$1.21 \cdot (1.05)^n - 1.21 = (1.05)^n$$

นำ $(1.05)^n$ หารตลอด

$$1.21 - \frac{1.21}{(1.05)^n} = 1$$

$$1.21 - 1 = \frac{1.21}{(1.05)^n}$$

$$0.21 = \frac{1.21}{(1.05)^n}$$

$$(1.05)^n = \frac{1.21}{0.21}$$

$$\begin{aligned}
 (1.05)^n &= 5.76 \\
 \ln \cdot (1.05)^n &= \ln \cdot 5.76 \\
 n \cdot \ln \cdot (1.05) &= \ln \cdot 5.76 \\
 n \cdot 0.049 &= 1.75 \\
 n &= \frac{1.75}{0.049} \\
 n &= 35.7 \text{ ปี}
 \end{aligned}$$

จากการคำนวณในช่วงที่ 2 (ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น) ใช้เวลาในการกินทุนเป็นระยะเวลา 35 ปี โดยคิดดอกเบี้ยที่ 5% แสดงว่าการใช้งานในช่วงนี้จะมีการกินพลังงานที่น้อยใช้เวลาในการกินทุนนาน

ช่วงที่ 3 ผู้โดยสาร 0 คน เคลื่อนที่ขึ้น ใช้เวลา 45 s จากการใช้โหลดต่อวัน วันละ 8 ชั่วโมง ไม่มีการกินพลังงาน

ตารางที่ 4.7 ตารางเปรียบเทียบจำนวนคนและจำนวนปีที่คุ้มทุนจากการคำนวณ

จำนวนคน	จำนวนปีที่คุ้มทุน (ปี)	
	ลิฟต์ขึ้น	ลิฟต์ลง
0 - 3	8	-
4 - 7	16	35
8 - 10	-	10

จากตารางที่ 4.7 สรุปผลการคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าการหาพลังงานที่ได้กินเพื่อหาจุดคุ้มทุนของการติดตั้งชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ลิฟต์นั้น สามารถกินทุนได้อย่างเร็วที่สุดในระยะ 8 ปี

4.3 สรุป

จากการจำลองการทำงานพบว่าภาระบรรทุกับกำลังไฟฟ้าของลิฟต์มีความสัมพันธ์กันในลักษณะเป็นเชิงเส้น โดยถ้าภาระบรรทくな้อยกว่าครึ่งหนึ่งของพิกัด ERU จะจ่ายไฟฟ้าให้ Grid เมื่อลิฟต์วิ่งขึ้นและจะใช้ไฟฟ้าจาก Grid เมื่อลิฟต์วิ่งลง และถ้าภาระบรรทกมากกว่าครึ่งหนึ่งของพิกัด ERU จะใช้ไฟฟ้าจาก Grid เมื่อลิฟต์วิ่งขึ้นและจะจ่ายไฟฟ้าให้ Grid กรณีลิฟต์เคลื่อนที่ลง จากการจำลองจะเห็นว่า ลิฟต์สามารถกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดและจ่ายไฟฟ้าได้จริง จากนั้นจึงออกแบบจำลองวงจรเพื่อควบคุมมอเตอร์ลิฟต์จากโปรแกรม ขึ้นมาเพื่อศึกษา เปรียบเทียบ ผลทดสอบและวิเคราะห์ผล กับระบบลิฟต์จริง นอกจากนั้นยังได้ ออกแบบชุดควบคุมกำลังไฟฟ้า ERU จากลิฟต์โดยการนำอุปกรณ์ลิฟต์จริงมาติดตั้งเพื่อจำลองการทำงานของลิฟต์โดยควบคุมการทำงานให้เป็นไปตามเงื่อนไขจริงๆ ของลิฟต์ และเมื่อมีการสร้างชุดชุดควบคุมกำลังไฟฟ้า ERU ขึ้นมาและทำการทดสอบและวัดผล ก็แสดงให้เห็นว่ามีการคืนพลังงานจริง และนำผลที่ได้มาพัฒนาปรับปรุง วิเคราะห์ผลนำไปติดตั้งในลิฟท์จริงเพื่อเก็บข้อมูลสรุปผล ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างภาระบรรทุกับกำลังไฟฟ้าของลิฟต์ได้ถูกทดสอบโดยเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้กับค่าที่วัดได้จากระบบจริงพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน สมการความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำไปใช้ร่วมกับข้อมูลสภาพการใช้งานของระบบลิฟต์เพื่อประเมินศักยภาพการประหยัดพลังงานได้ สำหรับงานวิจัยนี้ซึ่งได้ติดตั้งระบบลิฟต์ที่มีระบบรีเจนเนอเรทีฟ ณ อาคารเรียนรวมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และได้มีการบันทึกข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ พบว่าลิฟท์ที่มีระบบรีเจนเนอเรทีฟ สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 62 kWh หรือคิดเป็น 43% เมื่อเทียบกับลิฟท์ที่ไม่มีการติดตั้งระบบรีเจนเนอเรทีฟ

การคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์จะให้เห็นได้ว่าการคืนทุนในแต่ละช่วงแตกต่างกันออกไปซึ่งจะขึ้นอยู่กับโหมดการทำงานในแต่ละโหมดการทำงาน ถ้ามีการควบคุมการใช้งานลิฟต์ได้จะสามารถคืนทุนได้อย่างเร็วที่สุดคือ 8 ปี ในช่วงการทำงานที่ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นแบบไม่มีโหลด ซึ่งทำให้เห็นชัดเจนว่ามีความน่าเชื่อถือในการที่จะลงทุนติดตั้ง ERU

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ลิฟต์เป็นพาหนะที่ใช้ในการขนส่งที่จำเป็นสำหรับอาคารสูง อาทิ ห้างสรรพสินค้า อาคารสำนักงาน ซึ่งปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะมีการก่อสร้างอาคารสูงเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากพื้นที่ซึ่งมีอยู่จำกัด ดังนั้นการใช้ลิฟต์จึงมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ลิฟต์ทำงานด้วยระบบมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณมาก รองลงมาจากระบบปรับอากาศและแสงสว่าง ส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าสูง จึงได้มีการศึกษาและพัฒนาวิธีการที่ช่วยให้ลิฟต์ใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมน้อยลง เช่น การใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์, การใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนโดยตรงไม่ผ่านเฟืองทด, การปรับปรุงสายพานให้มีความเสียดทานน้อยลง, การใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์ควบคุมกลุ่มของลิฟต์ให้ทำงานร่วมกัน และวิธีการรีเจนเนอเรทีฟที่กล่าวถึงในงานวิจัยนี้ โดยใช้หลักการที่ลิฟต์นั้นจะมีการทำงานในบางช่วงที่ไม่ต้องให้พลังงานไฟฟ้าแก่มอเตอร์โดยมอเตอร์นั้นหมุนไปได้เองตามแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งในช่วงนี้มอเตอร์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้การทำงานในลักษณะนี้เรียกว่า รีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative) แต่การนำระบบรีเจนเนอเรทีฟไปใช้แล้วจะประหยัดพลังงานได้มากหรือน้อยอย่างไรต้องพิจารณาถึงลักษณะการใช้งานของระบบลิฟต์ที่จะติดตั้งด้วย งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของระบบลิฟต์แบบรีเจนเนอเรทีฟ และปัจจัยที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานในระบบลิฟต์แบบรีเจนเนอเรทีฟ โดยนำชุดควบคุมกำลังไฟฟ้ามาทดสอบกับระบบจำลองของลิฟต์จริงและทดสอบกับระบบลิฟต์ที่ติดตั้ง ณ อาคารเรียนรวมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

จากการจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink โดยเริ่มศึกษาจากการกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรเพื่อดูพฤติกรรมของมอเตอร์ไปจนถึงชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ (ERU) หลังจากนั้นจึงได้มีการสร้างชุดจำลองการควบคุมกำลังไฟฟ้าแบบรีเจนเนอเรทีฟขึ้นมาเพื่อทดสอบตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบและเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์จากโปรแกรม นั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการของรีเจนเนอเรทีฟนั้นมีการคืนพลังงานได้จริง สามารถทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการใช้พลังงานของลิฟต์ให้มีประสิทธิภาพลดการใช้พลังงาน พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากลิฟต์ที่มีระบบรีเจนเนอเรทีฟ สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 62 kWh หรือคิดเป็น 43% เมื่อเทียบกับลิฟต์ที่ไม่มีการติดตั้งระบบรีเจนเนอเรทีฟ

จากการคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่า การหาพลังงานที่ได้คืนเพื่อหาจุดคุ้มทุนของการติดตั้งชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ลิฟต์นั้น สามารถคืนทุนได้อย่างเร็วที่สุดในระยะ 8 ปี ซึ่งทำให้เห็นชัดเจนว่ามีความน่าเชื่อถือในการที่จะลงทุนติดตั้ง ERU

5.2 ข้อเสนอแนะ

ลิฟต์ที่มีระบบรีเจนเนอเรทีฟสามารถประหยัดพลังงานได้มากหรือน้อยนั้น จะขึ้นอยู่กับการจัดการระบบขนส่งและการทำงานของลิฟต์ ถ้ามีการบริหารจัดการควบคุมการใช้ลิฟต์ที่ดีจะสามารถประหยัดพลังงานได้มากและคุ้มค่าต่อการลงทุน



รายการอ้างอิง

- [1] http://www.danahermotion.com/education_training/motor/four-quadrant_operation
(August,2012)
- [2] Ashok B. Kulkarni, Hien Nguyen and E. W. Gaudet, Thyssen Dover Elevator, "A Comparative Evaluation of Line Regenerative and Non-Regenerative Vector Controlled Drives for AC Gearless Elevators"
- [3] Nomura M., Ikejima H., Morita S., Watanabe E., "Regenerative Power Control for VVVF Motor Drive (critical braking method applied to elevator)
- [4] ชนิษฐ์ พันธุ์ประยูร และ บุญยัง ปลั่งกลาง. "การประหยัดพลังงานในลิฟต์แบบรีเจนเนอเรทีฟกรณีศึกษาอาคารเรียนรวม". การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8. 2-4 พ.ค. 2555. มหาสารคาม : 4 , 2555
- [5] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, "ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานสูญเสียเปล่าของลิฟต์ด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟ". ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [6] <http://www.rmutphysics.com/charud/howstuffwork/howstuff1/elevator/elevatorthai3.htm>
- [7] H. Inaba, S. T. Nara, H. Takahashi, M. Nakazato, "High speed elevators controlled by current source inverter system with sinusoidal input and output".
- [8] GIE Elevator Frequency Converter, Shanghai GIE EM CO.,LTD
- [9] Dal Y. Ohm, "Dynamic Model of PM Synchronous Motor", Drivetech, Inc., Blacksburg, Virginia
- [10] ยุทธนา ขำสุวรรณ,ระบบขับเคลื่อนไฟฟ้าแรงสูงภาควิชาวิศวกรรมศาสตรมหาวิทาลัยเชียงใหม่ 2556
- [11] เสนีย์ เทียนเขียว. การสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดประลองเรื่องการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์. วิทยานิพนธ์ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549.

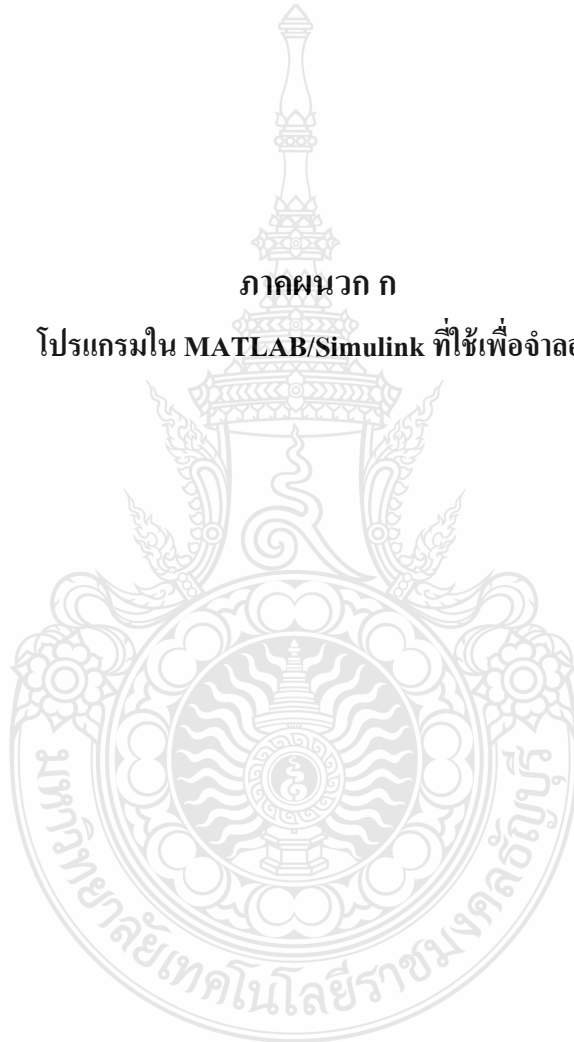
- [12] สิทธิชัย กัณฑ์วงษ์ เอกรัตน์ นภกานต์ และบุญยัง ปลั่งกลาง, “การศึกษาการกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร เพื่อการประยุกต์ใช้ผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟ”. การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5. 18 - 20 ธ.ค. 2555 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
- [13] ปฏิพัทธ์ ทวนทอง, การควบคุมมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรแบบควบคุมแรงบิดโดยตรง วิทยานิพนธ์ ปีการศึกษา 2544, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [14] วรพจน์ รอบรู้. ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานสำหรับนักเทคโนโลยีทางการศึกษาและผู้สนใจทั่วไป. ชลบุรี : คอมพิวเตอร์กราฟิก, 2539.
- [15] ภัทรา กุลเดชชัยชาญ, ศึกษาการจำลองระบบควบคุมมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร. ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยบูรพา, 2551
- [16] พงษ์ศักดิ์ นันทนพิบูล, การประมาณตำแหน่งโรเตอร์ของมอเตอร์ซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรโดยวิธีการไล่ความถี่สูง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549.
- [17] วิสุทธิ์ ชูทอง และศศิธร แยมกรานต์, การออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ซิงโครนัส แบบแม่เหล็กถาวรด้วยโปรแกรม MATLAB และ SIMULINK. วิทยานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2544.
- [18] Bose, Bimal K. Modern Power Electronics and AC Drives. India-Delhi : Pearson Education, 2002.
- [19] Ong, Chee-Mun. Dynamic Simulation of Electric Machinery using MATLAB/Simulink. New Jersey : Prentice-Hall
- [20] ไพโรจน์ บริกัปปกุล, การออกแบบตัวควบคุมชนิดกระทำย้อนกลับแบบอินทิกรัลปรับตัวเองสำหรับมอเตอร์ซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546.
- [21] เอกรัตน์ นภกานต์ และบุญยัง ปลั่งกลาง, “การศึกษาการเชื่อมต่อระบบกริดของการไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ของระบบรีเจนเนอเรทีฟจากลิฟต์”. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5 . 27 - 29 มี.ค. 2556 ประจวบคีรีขันธ์
- [22] วันชัย ทรัพย์สิงห์, “เอกสารประกอบการสอนวิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง”. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.



ภาคผนวก

- ภาคผนวก ก โปรแกรมใน MATLAB/Simulink ที่ใช้เพื่อจำลอง
- ภาคผนวก ข รุ่นมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรที่ไม่ใช้เกียร์ทดและไอจีบีที
โมดูลของระบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้
- ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

ภาคผนวก ก
โปรแกรมใน MATLAB/Simulink ที่ใช้เพื่อจำลอง



การหาค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ Ic ตามรูปที่ 3.6

M-File

```
%please set Config para at 10e-3
```

```
J = 6.6; %kg.m^2
```

```
c = 1650e-6;
```

```
t_min = 0;
```

```
t_max = 15;
```

```
%plot %
```

```
figure(1)
```

```
subplot(6,1,1)
```

```
plot(t,n,'blue','LineWidth',3);
```

```
grid on;
```

```
ylabel('Speed [rpm]','FontSize',14);
```

```
axis ([t_min t_max -100 200]);
```

```
subplot(6,1,2)
```

```
plot(t,T,'green','LineWidth',3);
```

```
grid on;
```

```
ylabel('Torque[Nm]','FontSize',14);
```

```
axis ([t_min t_max -50 50]);
```

```
%power machine status Gen
```

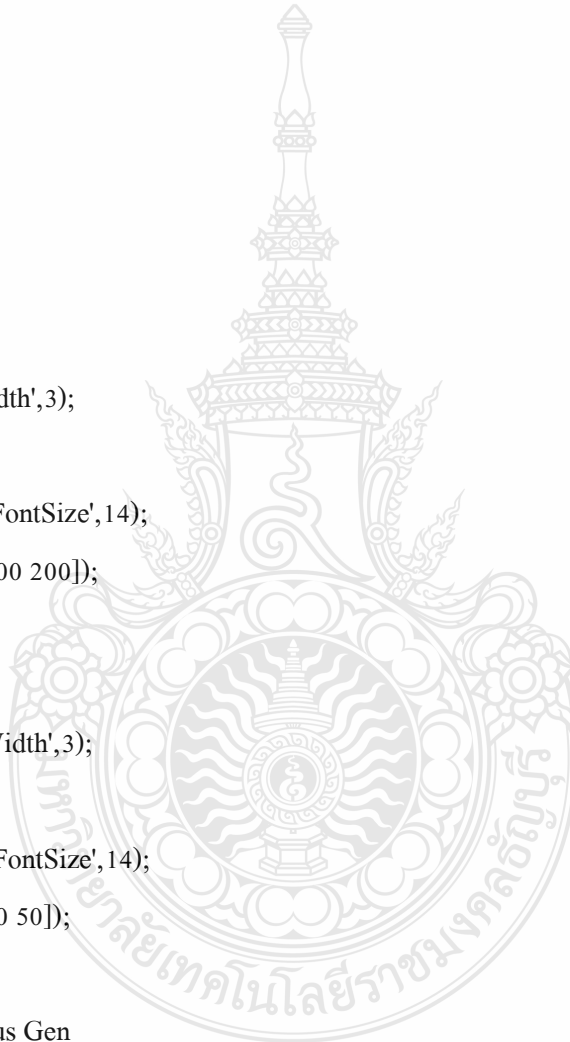
```
subplot(6,1,3)
```

```
plot(t,Pc,'magenta','LineWidth',3);
```

```
grid on;
```

```
ylabel('Pe-Pm[W]','FontSize',14);
```

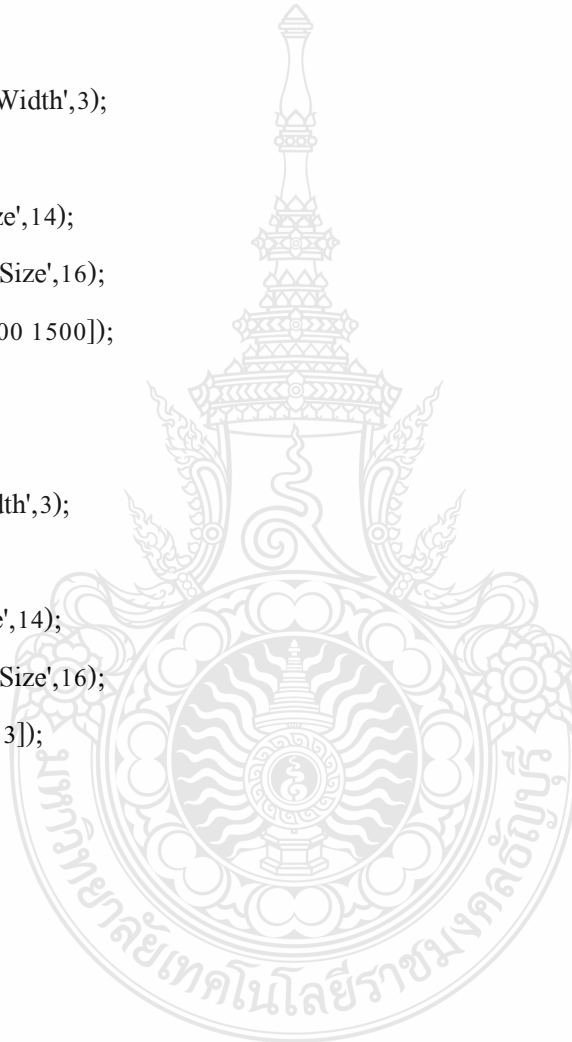
```
axis ([t_min t_max -100 1000]);
```



```
subplot(6,1,4)
plot(t,Ec,'yellow','LineWidth',3);
grid on;
ylabel('Energy[J]','FontSize',14);
axis ([t_min t_max -100 1500]);
```

```
subplot(6,1,5)
plot(t,Vc,'black','LineWidth',3);
grid on;
ylabel('Vc[v]','FontSize',14);
xlabel('Time [s]','FontSize',16);
axis ([t_min t_max -100 1500]);
```

```
subplot(6,1,6)
plot(t,ic,'red','LineWidth',3);
grid on;
ylabel('Ic[a]','FontSize',14);
xlabel('Time [s]','FontSize',16);
axis ([t_min t_max -3 3]);
```



การควบคุมความเร็วรอบโดยระบบควบคุมแบบพีไอ ตามรูป 3.10

M-File

```
J = 6.6 %kg.m^2
Km = 60/(2*pi*J);
Tt = 4e-3; %second
MotorTF = tf([Km],[Tt 1 0]);%Motor Model
Kp = 1;
Ti = 1;
piTF = tf([Kp*Ti Kp],[Ti 0]);%PI function
sisotool(MotorTF,piTF);%Call sisotool
%PM = 53degree
Ti = 0.038;
%Kp/Ti = 1500
Kp = 1500*Ti;
Tmax = 500;
Tmin = -500;
%#####
t_min = 0;
t_max = 50;
figure(1)
subplot(2,1,1)
plot(t,n_REF,'black','LineWidth',3);
grid on;
ylabel('nREF[rpm]','FontSize',16)
axis ([t_min t_max -100 300]);
hold on;
plot(t,n,'red','LineWidth',3);
hold off;
```

```
subplot(2,1,2)
plot(t,T_REF,'blue','LineWidth',3);
grid on;
ylabel('TREF[Nm]','FontSize',16)
xlabel('Time [s]','FontSize',16)
axis ([t_min t_max -350 350]);
```





ภาคผนวก ข

รุ่นมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรที่ไม่ใช้เกียร์ทดและ ไอจีบีที โมดูลของระบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้

Type:GSD-MM1

Input Voltage:380V



- Input voltage: AC380V, 50Hz
- Insulation class: F Standard
- Protection Grade: IP42 (Totally-enclosed selfcooling type)
- Lubrication: Grease
- Work duty: S5-66.7% ED
- Weight:345kg
- Max. overload torques: 200% rated torques
- Rated Load:630-1000kg
- Rated Speed:0.5-1.75m/s
- Shaft Load:3000kg
- Brake: Drum brake
- Type:MPB-150
- Braking torque:1470Nm
- Operating voltage: DC 110V
- Holding voltage:DC 55V
- Encoder:ERN 1387

Product Type	Speed m/s	Rated Load kg	Rated Torque N•m	Motor Speed r/min	Motor					Main sheave		Roping
					Rated Power kW	Rated Voltage V	Rated Current A	Poles P	Fre. Hz	Dia. mm	Rope(Dia.xNo.xPitch) mm×R×mm	
GSD-MM1	0.5	630	420	48	2.1	230	7	20	15.9	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	0.63	630	420	61	2.7	290	7	20	20	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	0.75	630	420	72	3.2	220	10.8	20	23.9	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	1.0	630	420	96	4.2	290	10.8	20	32	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	1.5	630	420	144	6.3	250	18.5	20	47.7	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	1.6	630	420	153	6.8	260	18.5	20	50.9	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	1.75	630	420	168	7.4	290	18.5	20	56	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	0.5	750	475	48	2.4	230	7.7	20	15.9	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	0.63	750	475	61	3	290	7.7	20	20	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	0.75	750	475	72	3.6	220	12	20	23.9	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	1.0	750	475	96	4.7	290	12	20	32	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	1.5	750	475	144	7.2	250	20.8	20	47.7	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	1.6	750	475	153	7.6	260	20.8	20	50.9	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	1.75	750	475	168	8.3	290	20.8	20	56	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	0.5	800	500	48	2.5	230	8.2	20	15.9	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	0.63	800	500	61	3.2	290	8.2	20	20	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	0.75	800	500	72	3.8	220	12.8	20	23.9	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	1.0	800	500	96	5	290	12.8	20	32	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	1.5	800	500	144	7.6	250	22	20	47.7	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	1.6	800	500	153	8.1	260	22	20	50.9	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	1.75	800	500	168	8.8	290	22	20	56	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	0.5	900	570	48	2.9	230	9.7	20	15.9	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	0.63	900	570	61	3.6	290	9.7	20	20	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	0.75	900	570	72	4.3	220	14.5	20	23.9	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	1.0	900	570	96	5.6	290	14.5	20	32	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	1.5	900	570	144	8.5	250	25	20	47.7	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	1.6	900	570	153	9.2	260	25	20	50.9	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	1.75	900	570	168	10	290	25	20	56	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	0.5	1000	625	48	3.1	230	10.5	20	15.9	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	0.63	1000	625	61	3.9	290	10.5	20	20	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	0.75	1000	625	72	4.7	220	16.1	20	23.9	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	1.0	1000	625	96	6.2	290	16.1	20	32	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	1.5	1000	625	144	9.4	250	27.5	20	47.7	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	1.6	1000	625	153	10	260	27.5	20	50.9	400	Φ10×5×15	2:1
GSD-MM1	1.75	1000	625	168	11	290	27.5	20	56	400	Φ10×5×15	2:1

7MBR100VN120-50

IGBT Module

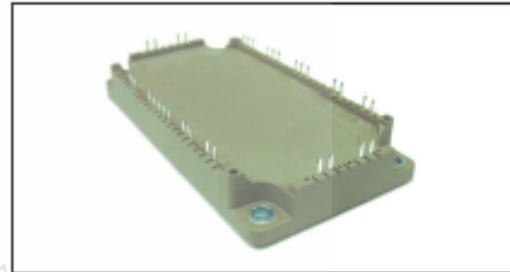
IGBT MODULE (V series) 1200V / 100A / PIM

■ Features

- Low $V_{CE(sat)}$
- Compact Package
- P.C. Board Mount Module
- Converter Diode Bridge Dynamic Brake Circuit
- RoHS compliant product

■ Applications

- Inverter for Motor Drive
- AC and DC Servo Drive Amplifier
- Uninterruptible Power Supply



■ Maximum Ratings and Characteristics

● Absolute Maximum Ratings (at $T_c=25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Items	Symbols	Conditions	Maximum ratings	Units	
Inverter	Collector-Emitter voltage	V_{CE}	1200	V	
	Gate-Emitter voltage	V_{GE}	± 20	V	
	Collector current	I_C	Continuous $T_c=80^\circ\text{C}$	100	A
		I_{CP}	1ms $T_c=80^\circ\text{C}$	200	
		$-I_C$		100	
		$-I_C$ pulse	1ms	200	
Collector power dissipation	P_C	1 device	520	W	
Brake	Collector-Emitter voltage	V_{CE}	1200	V	
	Gate-Emitter voltage	V_{GE}	± 20	V	
	Collector current	I_C	Continuous $T_c=80^\circ\text{C}$	75	A
		I_{CP}	1ms $T_c=80^\circ\text{C}$	150	
	Collector power dissipation	P_C	1 device	385	W
	Repetitive peak reverse voltage (Diode)	VRRM		1200	V
Converter	Repetitive peak reverse voltage	VRRM	1600	V	
	Average output current	I_a	50Hz/60Hz, sine wave	100	A
	Surge current (Non-Repetitive)	I_{sm}	10ms, $T_J=150^\circ\text{C}$	520	A
	PI (Non-Repetitive)	I_{PI}	half sine wave	1352	A's
Junction temperature	T_J	Inverter, Brake Converter	175 150	°C	
Operating junction temperature (under switching conditions)	T_{Jop}	Inverter, Brake	150		
		Converter	150		
Case temperature	T_c		125		
Storage temperature	T_{stg}		-40 to +125		
Isolation voltage	between terminal and copper base (*1)	V_{is}	AC : 1min.	2500	VAC
	between thermistor and others (*2)				
Borew torque	Mounting (*3)	M5	3.5	N m	

Note *1: All terminals should be connected together during the test.

Note *2: Two thermistor terminals should be connected together, other terminals should be connected together and shorted to base plate during the test.

Note *3: Recommendable value : 2.5-3.5 Nm (M5)

● Electrical characteristics (at T_J = 25°C unless otherwise specified)

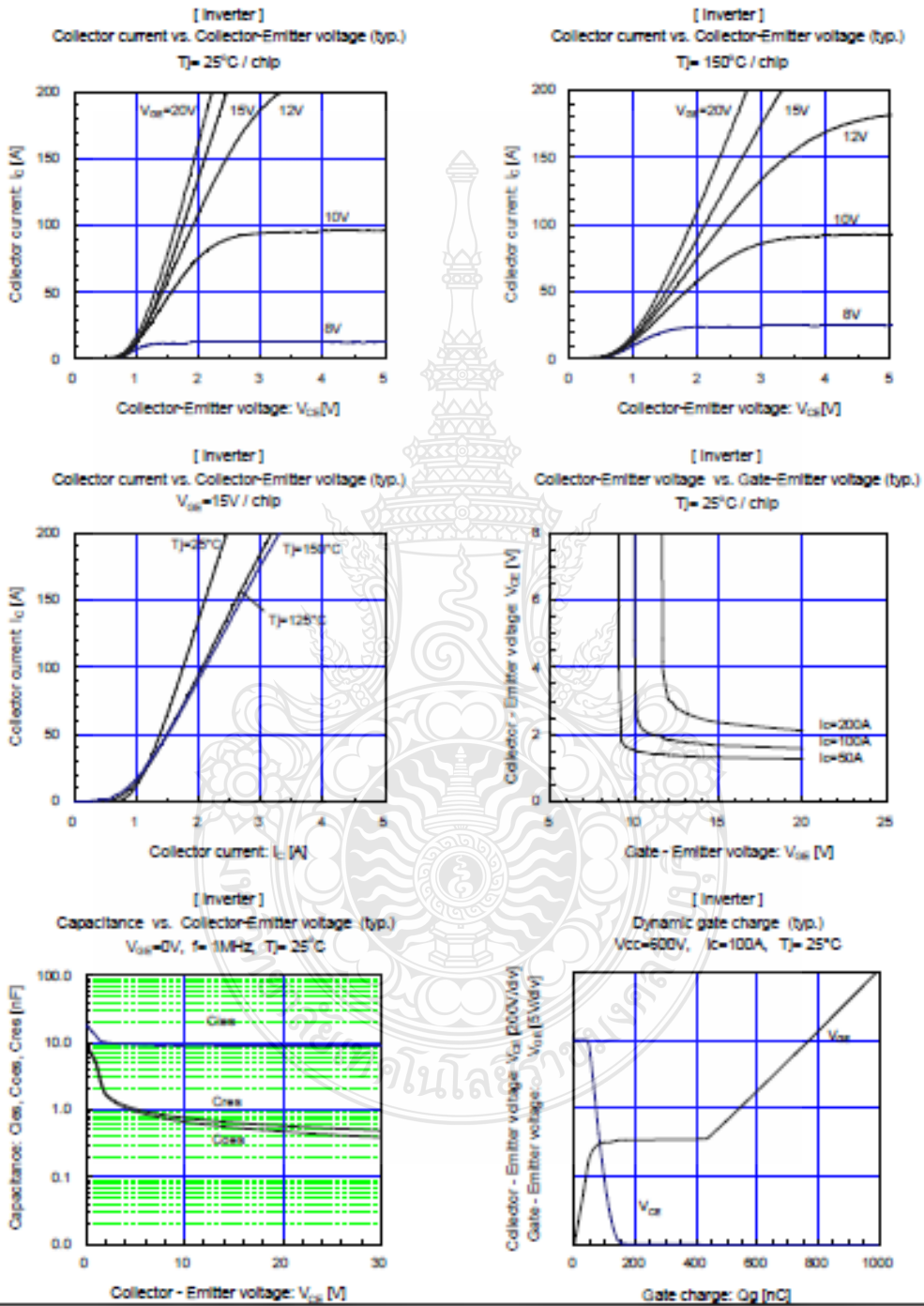
Items	Symbols	Conditions	Characteristics			Units		
			min.	typ.	max.			
Inverter	Zero gate voltage collector current	I _{oss}	V _{GE} = 0V, V _{CE} = 1200V	-	-	1.0	mA	
	Gate-Emitter leakage current	I _{ges}	V _{GE} = 0V, V _{GE} = ±20V	-	-	200	nA	
	Gate-Emitter threshold voltage	V _{GE(th)}	V _{GE} = 20V, I _C = 100mA	6.0	6.5	7.0	V	
	Collector-Emitter saturation voltage	V _{CE(sat)} (terminal)	V _{GE} = 15V I _C = 100A	T _J = 25°C	-	2.20	2.65	V
				T _J = 125°C	-	2.50	-	
				T _J = 150°C	-	2.55	-	
		V _{CE(sat)} (chip)	V _{GE} = 15V I _C = 100A	T _J = 25°C	-	1.75	2.20	
				T _J = 125°C	-	2.05	-	
				T _J = 150°C	-	2.10	-	
	Input capacitance	C _{ies}	V _{CE} = 10V, V _{GE} = 0V, f = 1MHz	-	9.1	-	nF	
	Turn-on time	t _{on}	V _{CE} = 600V I _C = 100A V _{GE} = +15 / -15V R _{th} = 1.60	-	0.39	1.20	μs	
		t _r		-	0.09	0.60		
		t _f (f)		-	0.03	-		
	Turn-off time	t _{off}	R _{th} = 1.60	-	0.53	1.00	μs	
		t _r		-	0.06	0.30		
Forward on voltage	V _F (terminal)	I _F = 100A	T _J = 25°C	-	2.15	2.60	V	
			T _J = 125°C	-	2.30	-		
			T _J = 150°C	-	2.25	-		
	V _F (chip)	I _F = 100A	T _J = 25°C	-	1.70	2.15		
			T _J = 125°C	-	1.85	-		
			T _J = 150°C	-	1.80	-		
Reverse recovery time	t _{rr}	I _F = 100A	-	-	0.1	μs		
Brake	Zero gate voltage collector current	I _{oss}	V _{GE} = 0V V _{CE} = 1200V	-	-	1.0	mA	
	Gate-Emitter leakage current	I _{ges}	V _{GE} = 0V V _{GE} = +20 / -20V	-	-	200	nA	
	Collector-Emitter saturation voltage	V _{CE(sat)} (terminal)	V _{GE} = 15V I _C = 75A	T _J = 25°C	-	2.20	2.65	V
				T _J = 125°C	-	2.55	-	
				T _J = 150°C	-	2.60	-	
		V _{CE(sat)} (chip)	V _{GE} = 15V I _C = 75A	T _J = 25°C	-	1.85	2.30	
				T _J = 125°C	-	2.20	-	
				T _J = 150°C	-	2.25	-	
	Turn-on time	t _{on}	V _{CE} = 600V I _C = 75A	-	0.39	1.20	μs	
		t _r		-	0.09	0.60		
	Turn-off time	t _{off}	V _{GE} = +15 / -15V R _{th} = 2.20	-	0.53	1.00	μs	
		t _r		-	0.06	0.30		
	Reverse current	I _{RRM}	V _{CE} = 1200V	-	-	1.00	mA	
	Forward on voltage	V _F (chip)	I _F = 100A	terminal	-	1.95	2.40	V
		chip	-	-	1.50	-		
Reverse current	I _{RRM}	V _{CE} = 1600V	-	-	1.0	mA		
Thermistor	Resistance	R	T = 25°C	-	5000	-	Ω	
	T = 100°C	465	495	520				
B value	B	T = 25 / 50°C	3305	3375	3450	K		

● Thermal resistance characteristics

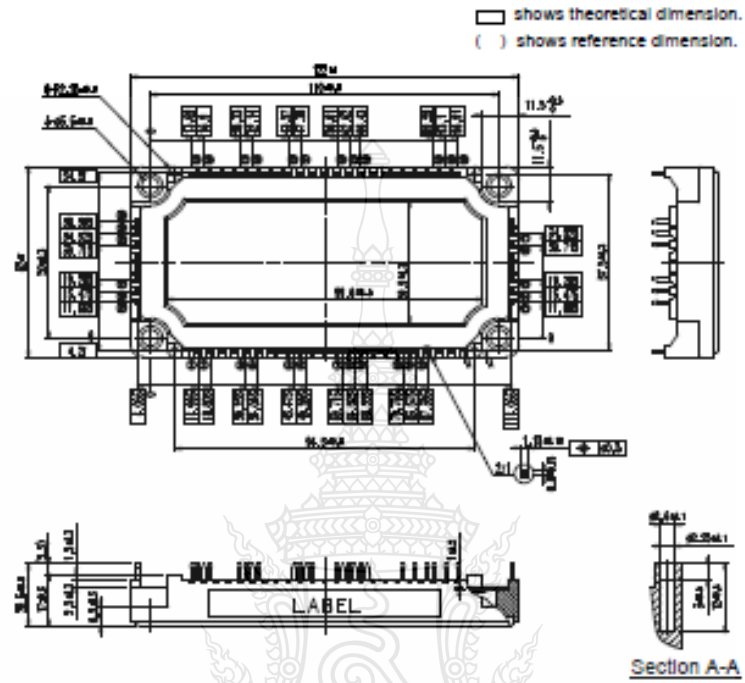
Items	Symbols	Conditions	Characteristics			Units
			min.	typ.	max.	
Thermal resistance (1device)	R _{th(j-c)}	Inverter IGBT	-	-	0.29	°C/W
		Inverter FWD	-	-	0.44	
		Brake IGBT	-	-	0.39	
		Converter Diode	-	-	0.43	
Contact thermal resistance (1device) (*4)	R _{th(c-f)}	with Thermal Compound	-	0.05	-	

Note *4: This is the value which is defined mounting on the additional cooling fin with thermal compound.

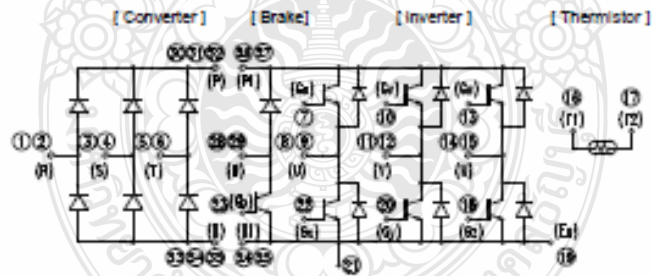
■ Characteristics (Representative)



■ Outline Drawings, mm



■ Equivalent Circuit Schematic



ภาคผนวก ค
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

- สิทธิชัย กัณฑ์วงษ์ เอกรัตน์ นภกานต์ และบุญยัง ปลั่งกลาง, “การศึกษาการกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร เพื่อการประยุกต์ใช้ผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟ”, การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5 , 18 - 20 ธันวาคม 2555 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
- S. Kantawong A. Noppakant and B. Plangklang, “Study of Generator Reaction on Permanent Magnet Synchronous Motor for Energy Regenerative Applications”, The 10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, December 5-8 2012
- สิทธิชัย กัณฑ์วงษ์ และ บุญยัง ปลั่งกลาง, “การศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากระบบลิฟต์ที่ใช้มอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5 , 27-29 มีนาคม 2556
- สิทธิชัย กัณฑ์วงษ์ และ บุญยัง ปลั่งกลาง, “การศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6 , 26-28 มีนาคม 2557

CALL FOR PAPER



การประชุมสัมมนาทางวิชาการ ครั้งที่ 5 พลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

The 5th Thailand Renewable Energy for Community Conference (TREC-5)

ณ หอประชุม adiCET
โครงการเชียงใหม่ เว็ลด์ กรีน ซีที
วิทยาเขตสะเลวง-บึเหล็ก มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
18 – 20 ธันวาคม 2555

กำหนดการสำคัญ

1. **เปิดรับบทความ**
- 14 กุมภาพันธ์ 2555 เป็นต้นไป
2. **วันสุดท้ายของการส่งบทความ**
- 15 กรกฎาคม 2555
3. **วันประกาศผลการพิจารณาบทความ**
- 30 กรกฎาคม 2555
4. **วันสุดท้ายของการส่งบทความฉบับสมบูรณ์**
- 30 สิงหาคม 2555
5. **วันประกาศผลการพิจารณาบทความ**
- 30 กันยายน 2555
6. **วันสุดท้ายของการส่งบทความฉบับปรับปรุง**
- 15 ตุลาคม 2555
7. **แจ้งผลการตอบรับอย่างเป็นทางการ**
- 30 ตุลาคม 2555

ควรมีเป็นมา

ปัจจุบันเกิดวิกฤตทางด้านพลังงานทั่วโลกส่งผลให้ประเทศไทยต้องมีการนิยมนโยบายในการดำเนินการเร่งส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานและการใช้พลังงานทดแทนในชุมชน ในโอกาสที่สถาบันพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย (adiCET) มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ได้รับเกียรติให้จัด การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ (TREC) ครั้งที่ 5 เรื่อง "พลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย" ระหว่างวันที่ 18 - 20 ธันวาคม 2555 เพื่อยกย่องความรู้ใหม่ เพิ่มเติมความรู้ใหม่ให้แก่ชุมชนด้านเทคโนโลยีพลังงานทดแทนและสร้างเครือข่ายการใช้พลังงานของชุมชนให้พึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืน กลุ่มของสาขาบทความที่สามารถส่งเข้างาน นำเสนอในงาน TREC ครั้งที่ 5 คือ

กลุ่มที่ 1 – เทคโนโลยีชุมชน (Community Technology)

กลุ่มที่ 2 – เทคโนโลยีพลังงานทดแทนใหม่

กลุ่มที่ 3 – พลังงานเพื่อการเกษตร (Energy for Agriculture)

กลุ่มที่ 4 – การศึกษาพลังงานทดแทนในชุมชน

กลุ่มที่ 5 – การศึกษาพลังงานทดแทนในชุมชน

กลุ่มที่ 6 – การศึกษาพลังงานทดแทนในชุมชน

กลุ่มที่ 7 – การศึกษาพลังงานทดแทนในชุมชน

ส่งบทความเข้าร่วมการประชุมเป็นไฟล์ pdf ไฟล์

อีเมล: trec5.chd@gmail.com

ดาวน์โหลดแบบฟอร์มได้ไปเว็บไซต์การประชุม

www.adicet.cmu.ac.th/trec-5

รายละเอียดเพิ่มเติมติดต่อ

สำนักงานสถาบันพัฒนาเศรษฐกิจและชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

โทรศัพท์ - โทรสาร 053-885-871 อีเมล: trec5.chd@gmail.com หรือ trec5.chd@gmail.com เว็บไซต์: www.adicet.cmu.ac.th/trec-5

สารบัญ

บทความ	หน้า	
Oral Presentation Session		
กลุ่มที่ 1 ไฟฟ้าชุมชน (CP)		
CP001	การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์และรูปแบบกำหนดการเชิงเส้นสำหรับการหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณีศึกษาจังหวัดสุพรรณบุรี กฤษณนท์ สานธิ สุรินทร์ แห่งมงาม	1
CP002	กักเก็บน้ำเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ วรรณกร พรหมอารีย์	9
CP003	การศึกษาการกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรเพื่อการประยุกต์ใช้ผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟ สิทธิชัย กันทะวงศ์ เอกรัตน์ นภกานต์ และบุญยัง ปลั่งกลาง	16
CP004	การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเชิงเส้นชนิดสเตเตอร์คู่ โดยใช้เทคนิคสเปซเวกเตอร์ฟิลส์วิทมอดูเลชัน อรรณนท์ บัวศรี วันชัย ทรัพย์สิงห์	22
CP005	การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อช่วยคำนวณรายการอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายสายส่งชิงอากาศ 22 kV กุลเดชา อนุกุลภิมย์ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์	28
CP006	การศึกษาเสถียรภาพแรงดันของระบบ PEA 22KV เชื่อมกับกักเก็บลมล่าตะคอง ชนสิทธิ์ จันเงิน กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์	34
CP007	การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรขนาด 5 kW ชาคริต จินลอย วีรชัย ไรยนรินทร์ เดชา อินทร์ไธโล่	42
CP008	การประเมินด้านเทคนิคการใช้เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบเตือนภัยน้ำท่วมพื้นที่ต้นน้ำน่าน ไตรรัตน์ ปะที กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์	49

การศึกษาการกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิด
แม่เหล็กถาวร เพื่อการประยุกต์ใช้ผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟ
Study of Generator Reaction on Permanent Magnet Synchronous Motor for Energy
Regenerative Applications

สิทธิชัย กันทะวงศ์ เกร็ดณี นภกานต์ และบุญยัง ปลั่งกลาง
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถนนรังสิต - นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรีจังหวัดปทุมธานี 12110 โทร 0-2549-3571 โทรสาร 0-2549-3422
E-mail: boonyang.p@en.mutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ การกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในวิธีการรีเจนเนอเรทีฟพลังงาน Energy Regenerative Unit (ERU) จากการศึกษาพบว่าเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร และมอเตอร์นั้นก็จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กลายเป็นพลังงานกล แต่เมื่อใดมอเตอร์ไม่มีการต้องขับโหลดมากหรือไม่มีการจ่ายไฟฟ้าแต่มีการหมุนจะทำให้มอเตอร์นั้นสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมาได้ ซึ่งจะเรียกการทำงานในสภาวะนี้ว่า รีเจนเนอเรทีฟ โดยกระแสไฟฟ้าง่ายสามารถจ่ายคืนให้กับระบบไฟฟ้า ทำให้สามารถนำไปทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมเป็นการประยุกต์โดยนำพลังงานที่สูงเปลืองกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกครั้งการศึกษาจะจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม Matlab Simulink โดยการทำงานในวงจรจะทำงานเป็นแบบวงรอบปิด (Closed Loop Control) ซึ่งมอเตอร์จะถูกควบคุมความเร็วรอบที่ 1000RPM ด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ (PI Controller) ผ่านอินเวอร์เตอร์โดยใช้วิธี PWM ซึ่งใช้เทคนิคการสวิตซ์ของเอาต์พุตทรานซิสเตอร์ (Insulated Gate Bipolar Transistor : IGBTs) โดยขณะจำลองจะป้อนโหลดที่มีทั้งค่าบวกและโหลดที่มีค่าลบเพื่อดูพฤติกรรมของมอเตอร์ จากผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า ขณะป้อนโหลดเป็นบวกจะทำให้การทำงานของมอเตอร์เป็นมอเตอร์ แต่เมื่อป้อนโหลดที่มีค่าลบจะทำให้มอเตอร์กลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดทันที จากผลการทดลองนี้บทความจึงนำเสนอการออกแบบ ERU ที่เหมาะสมด้วย

คำสำคัญ : รีเจนเนอเรทีฟ , การเปลี่ยนสภาพเป็นเครื่องกำเนิดของมอเตอร์, มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร

1. บทนำ

มอเตอร์ (Motor) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สำคัญอย่างหนึ่งซึ่งทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล มอเตอร์เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของมนุษย์ในการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น พัดลม, เครื่องปรับอากาศ, เครื่องบดอาหารและอื่น ๆ เครื่องมือเทคโนโลยีทางการศึกษาหลายชนิดใช้มอเตอร์ในการทำงาน [1]

มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Synchronous Motor: PMSM) เป็นที่ใช้กันมากในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นมอเตอร์ที่สัดส่วนแรงบิดต่อน้ำหนักสูง ทำให้มีผลตอบสนองต่อการ

ควบคุมความเร็ว มีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยต่ำขนาดเล็กและน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับ มอเตอร์ไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังเท่ากันและมีการกระจายความร้อนได้ดี ค่าการสูญเสียต่ำ ทำให้สามารถ นำไปใช้ในด้านอื่น ๆ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมที่มีแก๊สหรือน้ำมันที่ไวไฟและ ทำงานโดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม [2]

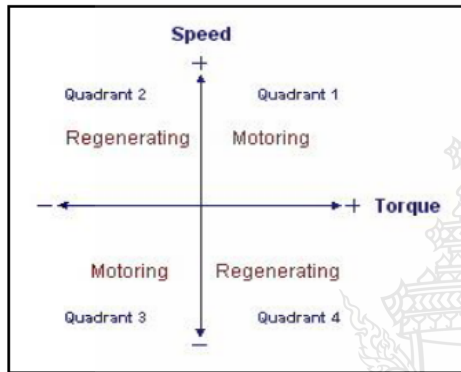
ในบทความนี้จะศึกษาถึงการกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร ซึ่งจะอธิบายการทำงานด้วย 4 Quadrant โดยเนื้อหาในบทความนี้จะกล่าวถึง การทำงานของ 4 Quadrant ในส่วนที่ 2, การจำลองการทำงานของระบบด้วย Matlab

Simulink ในส่วนที่ 3, ผลการวิเคราะห์ในส่วนที่ 4 และสรุปผลในส่วนที่ 5

2. ทฤษฎีและการดำเนินงาน

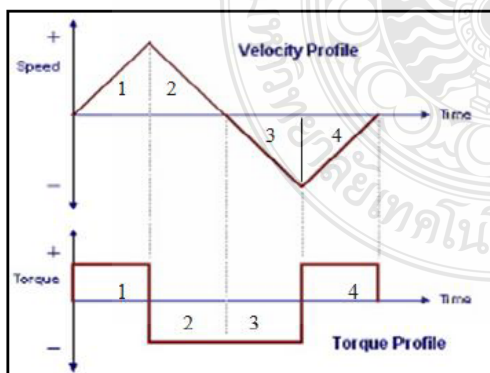
2.1 หลักการของ FOUR – QUADRANT OPERATION

จากกราฟ เป็นการควบคุมความเร็วและแรงบิดในทิศทางทั้งบวกและลบ



รูปที่ 1 แสดงการทำงานของมอเตอร์ในสภาวะต่างๆโดยเปรียบเทียบระหว่างความเร็วและแรงบิด

จากรูปที่ 1 การทำงานใน Quadrant 1,3 จะถูกกำหนดให้เป็นมอเตอร์โหมด ซึ่งจะหมายความว่าความเร็วและแรงบิดเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ส่วนการทำงานใน Quadrant 2,4 จะถูกกำหนดให้เป็นเครื่องกำเนิด หรือบางครั้งเรียกว่า รีเจนเนอเรทีฟโหมด



รูปที่ 2 แสดงกราฟการทำงานของมอเตอร์ระหว่างความเร็วและแรงบิดในแต่ละช่วงเวลา

ซึ่งหมายความว่าความเร็วและแรงบิดอยู่ในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือ แรงบิดของมอเตอร์มีทิศทางสวนกลับกับทิศทางของการหมุนหรือความเร็วรอบของมอเตอร์ ซึ่งจะทำให้มอเตอร์สร้างพลังงานออกมา พลังงานนี้สามารถจ่ายกลับเข้าระบบไฟฟ้าได้ต่อไปหรือสามารถนำพลังงานนี้มาใช้ประโยชน์อีกครั้งหนึ่ง

จากรูปที่ 2 การทำงานในช่วงที่ 1 แสดงให้เห็นถึงการทำงานของมอเตอร์ซึ่งจะถูกเร่งด้วยความเร็วและแรงบิดไปในทิศทางบวก ส่วนการทำงานในช่วงที่ 2 ความเร็วยังคงมีค่าเป็นบวกและแรงบิดเป็นลบซึ่งจะทำให้การทำงานของมอเตอร์หยุดลงแต่จะกลับกลายเป็นเครื่องกำเนิดแทน และส่วนการทำงานในช่วงที่ 3 จะมีการทำงานคล้ายกับช่วงที่ 1 แต่ทิศทางจะตรงกันข้ามกันคือเป็นลบซึ่งจะยังคงเป็นการทำงานของมอเตอร์ ช่วงที่ 4 จะคล้ายกับช่วงที่ 2 แต่มีทิศทางตรงกันข้ามกัน [3]

2.2 มอเตอร์ซิงโครนัสแบบชนิดแม่เหล็กถาวร

(Permanent Magnet Synchronous Motor)

สมการคุณลักษณะของมอเตอร์แม่เหล็กถาวรเป็นไปตามสมการที่ (1) - (4) ซึ่งจะนำไปประยุกต์เพื่อทดสอบในโปรแกรม MATLAB

$$\frac{di_d}{dt} = \frac{1}{L_d} v_d - \frac{R}{L_d} i_d + \frac{L_q}{L_d} p \omega_r i_q \quad (1)$$

$$\frac{di_q}{dt} = \frac{1}{L_q} v_q - \frac{R}{L_q} i_q - \frac{L_d}{L_q} p \omega_r i_d - \frac{\lambda p \omega_r}{L_q} \quad (2)$$

$$T_e = 1.5 p [\lambda i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \quad (3)$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J} (T_e - F \omega_r - T_m) \quad (4)$$

โดยที่

L_d, L_q คือ ค่า Inductance ในแกน d และ q

R คือ ค่า Resistance ของขดลวด Stator

i_d, i_q คือ ค่า กระแสในแกน d และ q

V_d, V_q คือ ค่า แรงดันในแกน d และ q

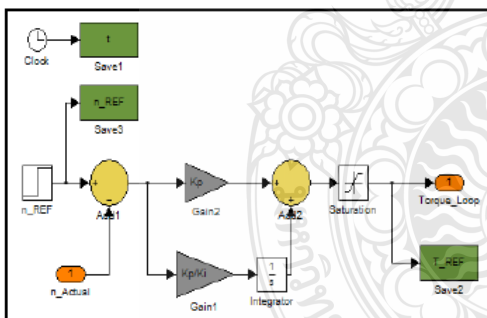
ω_r คือ ความเร็วเชิงมุมของ Rotor

- λ คือ ค่า flux แม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร
- p คือ ค่าจำนวนคู่ของขั้วแม่เหล็ก
- T_e คือ ค่าแรงบิดที่มอเตอร์ผลิตขึ้น

2.3 หลักการควบคุมความเร็วรอบโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ (PI Controller)

ระบบการทำงานจะวัดความเร็วรอบของมอเตอร์มาเปรียบเทียบกับความเร็วอ้างอิง (Speed Referent) ซึ่งผลตอบสนองของระบบนั้นจะถูกควบคุมโดยระบบควบคุมแบบพีไอ ดังนั้นการออกแบบระบบควบคุมพีไอนั้นคือการหาค่าพารามิเตอร์ที่ประกอบด้วย K_p และ K_i ซึ่งในที่นี้การหาค่าพารามิเตอร์ทั้งสองนั้นใช้ Software Tool GUI ที่มีชื่อว่า SISOTOOL ซึ่งเป็นเครื่องมือใน Matlab/Simulink ช่วยในการหา ซึ่งจะมีฟังก์ชันการถ่ายโอนดังนี้

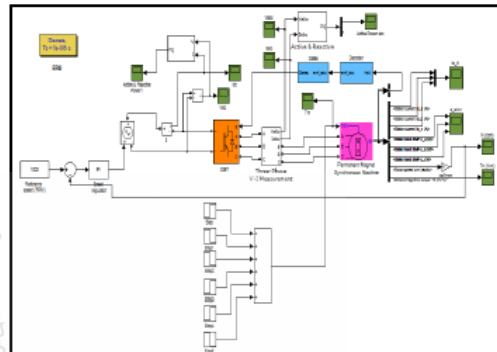
$$PI(s) = \frac{K_p [K_i(s) + 1]}{K_i(s)} \quad (5)$$



รูปที่ 3 วงจรการควบคุมความเร็วรอบโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ

3. การจำลองการทำงานของระบบ

ในบทความนี้ได้ทำการจำลองระบบการทำงานของมอเตอร์ซึ่งโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟด้วยโปรแกรม Matlab Simulink



รูปที่ 4 วงจรที่ใช้จำลองการทำงานของมอเตอร์ซึ่งโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยโปรแกรม Matlab Simulink

โดยจะจำลองการทำงานของมอเตอร์รักษาความเร็วรอบคงที่ที่ 1000 RPM แล้วป้อนภาระโหลดที่ค่า 625 Nm , 0 Nm , -625 Nm เพื่อดูพฤติกรรมของมอเตอร์ตามไดอะแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานตามรูปที่ 4

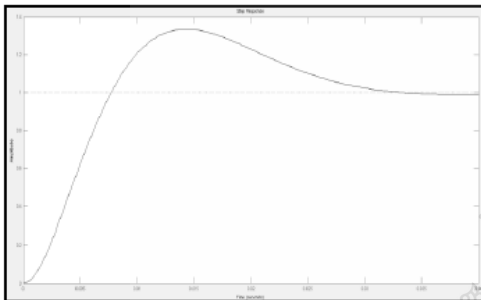
โดยจะกำหนดค่า พารามิเตอร์ ต่างๆที่ใช้ในการจำลองการทำงานดังตารางที่ 1 ดังนี้ [5]

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ ที่ใช้จำลองการทำงาน

Parameters	ค่าที่ใช้
R	0.5 Ohm
Ld, Lq	9 mH
Pole	20 คู่
Magnetic Flux	1.1 Vs
Torque	+/- 625 Nm
J	0.1 kg.m ²

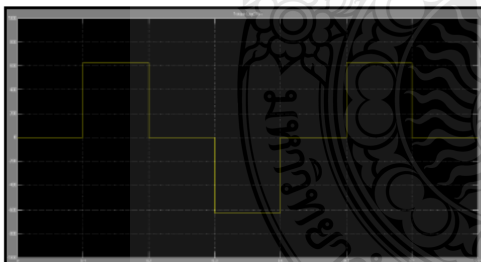
ก่อนการจำลองการทำงานของมอเตอร์ซึ่งโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรในรูปที่ 4 จะต้องหาค่า K_p และ K_i ก่อนแล้วดูผลการจำลองดังรูปที่ 5 จากการจำลองการทำงานของระบบโดยป้อนค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 1 ซึ่งในช่วงที่มอเตอร์มีแรงบิดเป็นบวก โดยมีความเร็วรอบคงที่ที่ 1000 RPM ที่ DC Bus ยังคงให้กระแสเป็นบวก นั้นหมายความว่ามอเตอร์ยังคงทำงานเป็นมอเตอร์ แต่เมื่อช่วงที่มอเตอร์มีแรงบิดเป็นลบโดยมีความเร็วรอบคงที่ที่ 1000 RPM เช่นกันนั้นที่ DC Bus จะให้กระแสเป็นลบ นั่นคือมอเตอร์มีการทำงานเป็นเครื่องกำเนิด

ทันที ที่กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จะมีการเปลี่ยนแปลงตอนที่มอเตอร์มีโหลด ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงนั้น จะมีทั้งกำลังไฟฟ้าเป็นบวกและลบ ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่เป็นลบนั้นหมายถึงการจ่ายไฟฟ้กลับคืนให้แหล่งจ่าย (ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) แสดงผลการจำลองการทำงานตามรูปที่ 5 – รูปที่ 10



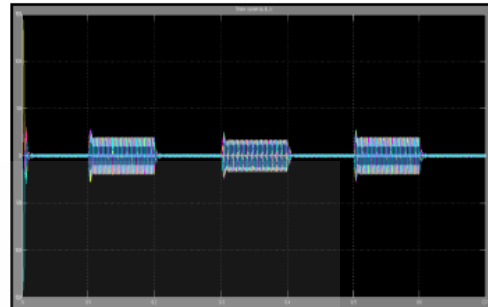
รูปที่ 5 แสดงผลตอบสนองของระบบเมื่อออกแบบค่า Kp และ Ki

เป็นการแสดงผลตอบสนองของระบบซึ่งจะถูกควบคุมโดยระบบควบคุมแบบพีไอ เมื่อออกแบบค่า Kp และ Ki ที่เหมาะสมแล้ว กราฟจะโอเวอร์ชูตได้ไม่เกิน 20%แล้วจะค่อยๆเข้าสู่สภาวะปกติ (Steady State) ดังกราฟรูปที่ 5

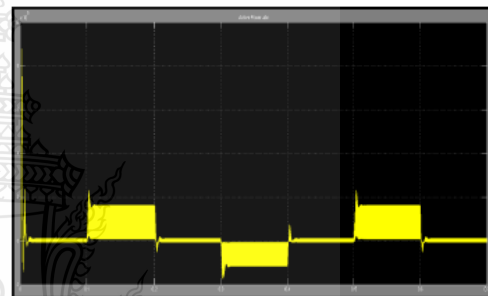


รูปที่ 6 แสดง Motor Torque เท่ากับ +625/-625 Nm

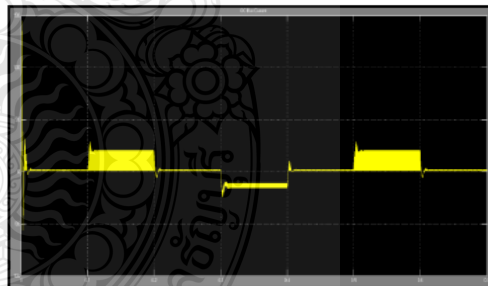
เมื่อป้อน Torque ให้กับมอเตอร์ดังรูปที่ 6 แล้ว สังเกต ดูพฤติกรรมการทำงานของมอเตอร์ซึ่งโครนอสชนิดแม่เหล็กถาวร ในขณะที่ความเร็วรอบของมอเตอร์คงที่ จะสามารถเห็นผลของกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าได้ตามรูปที่ 7 และรูปที่ 8



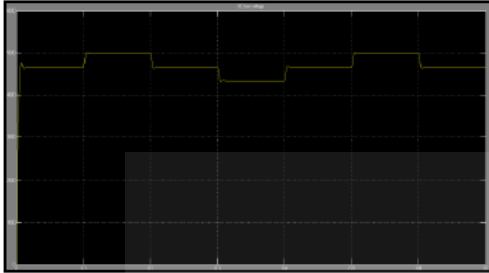
รูปที่ 7 แสดงกระแสที่สเตเตอร์ในช่วงที่ Torque ต่างกัน



รูปที่ 8 แสดงกำลังไฟฟ้าในช่วงที่ Torque ต่างกัน



รูปที่ 9 แสดงกระแสที่ DC Bus



รูปที่ 10 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ DC Bus

4. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการจำลองการทำงานของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร ซึ่งสรุปได้ผลจากการจำลองการทำงาน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร เมื่อมีสภาวะ การทำงานที่โหลดต่างกัน

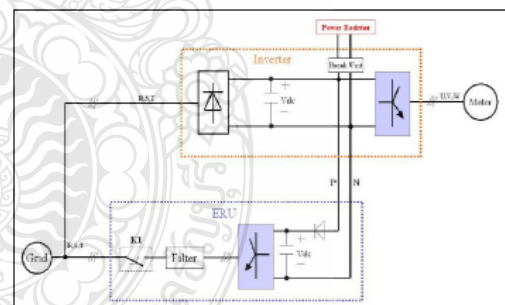
Torque Load	สภาวะการทำงาน				
	DC Bus		Motor		
	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กำลังไฟฟ้า (kW)
625	19	5000	±19	±5000	160
0	1.5	4600	±1.5	±4600	+1.2 (max) -0.5 (min)
- 625	-16	4300	±16	±4300	-115

จากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม Matlab Simulink ในสภาวะที่โหลดต่างกันนั้นสามารถวิเคราะห์ได้ว่า เมื่อความเร็วของมอเตอร์คงที่ และป้อนโหลดให้กับมอเตอร์ที่ 625 , 0 Nm มอเตอร์ยังคงให้กำลังไฟฟ้าโดยวัดจากกราฟได้ค่า เป็นบวกและลบ ส่วนกระแสไฟฟ้าที่ DC Bus พบว่ามีกระแสไฟฟ้าออกมาเป็นบวกนั้นแสดงว่า สภาวะการทำงานยังคงทำงานเป็นมอเตอร์ แต่เมื่อป้อนโหลดขนาด -625 Nm กำลังไฟฟ้าที่ได้จากมอเตอร์โดยวัด

จากกราฟนั้นมีค่าเป็นลบ และกระแสไฟฟ้าที่ DC Bus ก็มีค่าเป็นลบ นั้นแสดงว่ามอเตอร์มีสภาวะการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดชั่วขณะ (จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่โหลดมีค่าเป็นลบ)

โดยทั่วไปชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ในภาค Input นั้นจะใช้ชุด Diode Rectifier ทำให้การไหลของพลังงานไปในทิศทางเดียว ซึ่งแนวคิดในรูปที่ 11 จะนำมาใช้เป็นแนวคิดเพื่อสร้างจำลองเป็นชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ ซึ่งเป็นการขับเคลื่อนแบบรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative Motor Driver) โดยใช้ IGBT ในการควบคุมซึ่งสามารถควบคุมให้พลังงานสามารถไหลได้ทั้งสองทิศทาง กล่าวคือ ทิศทางหนึ่งเป็นการจ่ายพลังงานให้กับมอเตอร์ส่วนอีกทิศทางหนึ่งเป็นการจ่ายพลังงานกลับคืนไปยังระบบไฟฟ้าเมื่อกรณีที่มอเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิด นอกจากนี้ระบบรีเจนเนอเรทีฟยังให้ผลทางฮามอนิกส์ที่ต่ำกว่าระบบปกติอีกด้วย[4]

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาพฤติกรรมการทำงานของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร จากการศึกษาจะเห็นว่ามอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร มีการเปลี่ยนเป็นเครื่องกำเนิดได้จริงจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งาน เป็น Energy Regenerative Unit (ERU) ได้ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 หลักการชุดขับเคลื่อนมอเตอร์แบบรีเจนเนอเรทีฟ

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร โดยการทำงานของมอเตอร์เมื่อโหลดมีขนาดต่างกันจะส่งผลให้มอเตอร์มีสภาวะการทำงานเปลี่ยนไปคือ จะกลายเป็นเครื่องกำเนิดได้ชั่วขณะกล่าวคือ เมื่อมอเตอร์มี

ความเร็วรอบเป็นบวกและมีทอร์คโหลตของมอเตอร์เป็นลบ หรืออย่างหนึ่งอย่างใดซึ่งสวนทางกันนั้น จะทำให้มอเตอร์ ทำงานกลายเป็นเครื่องกำเนิด เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าคืน ให้กับระบบไฟฟ้า ซึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการเกิด รีเจนเนอเรทีฟ เดิมทีพลังงานส่วนนี้จะจ่ายผ่านตัวต้านทาน ตั้บป้โหลตให้กลายเป็นความร้อนทิ้งโดยเปล้ประโยชน์ จากการศึกษานี้จะนำไปประยุกต์ต่อยอดกับการเคลื่อนที่ ของลิฟท์ในช่วงเวลาลิฟท์ขึ้นลิฟท์ลงและยังรวมถึงช่วงเวลา ที่มีการเบรกของลิฟท์จากปรากฏการณ์รีเจนเนอเรทีฟ

จากผลการจำลองพบว่าที่ DC Bus ยังคงมีค่า แรงดันไฟฟ้าและค่าของกระแสไฟฟ้ามาก ดังนั้นกรณี ทดสอบกับอุปกรณ์ควร์นำตัวต้านทานมาต่อคร่อมเพื่อ ป้องกันตัวเก็บประจุ ช้ารุดเสียหายเนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้เกิน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] วรพจน์ รอบรู้. ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานสำหรับ นักเทคโนโลยีทางการศึกษาและผู้สนใจทั่วไป. ชลบุรี : คอมพิวเตอร์กราฟิก, 2539.
- [2] ไพโรจน์ บริรักษ์กุล. การออกแบบตัวควบคุมชนิด กระจายย้อนกลับแบบอินทิกรัลปรับตัวเอง สำหรับมอเตอร์ ซิงโครนัสแม่เหล็กถาวร. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , 2546.
- [3]http://www.danahermotion.com/education_training/motor/four-quadrant_operation (August,2012)
- [4] H. Inaba, S. T. Nara, H. Takahashi, M. Nakazato. "High speed elevators controlled by current source inverter system with sinusoidal input and output"
- [5] ธนิศร์ พันธุ์ประยูร และ บุญยัง ปลั่งกลาง. "การประหยัดพลังงานในลิฟท์แบบรีเจนเนอเรทีฟ กรณีศึกษา อาคารเรียนรวม". การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8. 2-4 พ.ค. 2555. มหาสารคาม : 4 , 2555

10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium

Energy Technology, Environmental and Social Impact, Nanotechnology and Material Technology, Energy Economic and Management, Nuclear Technology, New Technology and Other topics related to energy field.

On December 5-8, 2012

**Sunee grand hotel,
Ubon-ratchathani**

Organized by



Co-organized by



CONTENT

ET43	Control of Parallel-Connected AC to DC Converters with Droop Technique for DC Microgrid Application <i>C. Tarasantisuk V. Chunkag and P. Thounthong</i>	61
ET45	Design of Matlab/Simulink Modeling of Fixed-Pitch Angle Wind Turbine Simulator <i>P. Jansuya and Y. Kumsuwan</i>	62
ET46	Closed Loop Speed Control of Induction Generator with Scalar-Control Inverters <i>A. Upasan and Y. Kumsuwan</i>	63
ET47	Study of Generator Reaction on Permanent Magnet Synchronous Motor for Energy Regenerative Applications <i>S. Kantawong, A. Noppakant and B. Plangklang</i>	64
ET48	Ethanol Production from Rice Straw by Simultaneous Saccharification and Co-Fermentation <i>N. Suriyachai, V. Champreda, N. Laosiripojana, and P. Unrean</i>	65
ET49	High Voltage Gain Interleaved DC Boost Converter Application for Photovoltaic Generation System <i>W. Khadmun and W. Subsingha</i>	66
ET50	Influence of Bath Temperature on the Properties of In ₂ S ₃ Films Grown by Chemical Bath Deposition <i>G.R. Gopinath, R.W. Miles and K.T. Ramakrishna Reddy</i>	67
ET51	Unsteady Surface Pressures and Airload of a Pitching Airfoil <i>Supakit Worasinchai Grant Ingram and Robert Dominy</i>	68
ET52	Fast Pyrolysis of Jatropha Residue with Alumina Based Catalysts using Pyrolysis-Gas Chromatography/Mass Spectrometry <i>Prangtip Kaewpengkrow, Duangduen Atong and Viboon Sricharoenchaikul</i>	69
ET54	Selective Synthesis of Monoglycerides in a Capillary Microreactor <i>Matee Sirisin, Chawalit Ngamcharussrivichai, Sirilux Poompradub</i>	70

International Scientific Advisory Committee:**General Chair:**

Assoc.Prof.Dr. Namyoot SONGTHANAPITAK RMUTT, Thailand

General Co-Chair:

Prof. Dr. Kiyoshi YOSHIKAWA Kyoto Uni., Japan

Asst. Prof. Dr. Panpetch CHININTORN RMUTT, Thailand

Organizing Chair:

Asst. Prof. Dr. Sommai PIVSA-ART RMUTT, Thailand

Prof. Dr. Takeshi YAO Kyoto Uni., Japan

Organizing Co-Chair:

Prof. Dr. Hideaki OHGAKI Kyoto Uni., Japan

International Scientific Committees:

Prof. Dr. Susumu YOSHIKAWA Kyoto Uni., Japan

Prof. Dr. Phadungsak RATTANADECHO TU, Thailand

Prof. Dr. Shiro SAKA Kyoto Uni., Japan

Prof. Dr. Hitomi OHARA Kyoto Uni., Japan

Prof. Dr.-Ing. Habil Ingo STADLER FH Koeln, Germany

Prof. Dr. Young S. CHAI Korea

Prof. Dr. Nipon TANGTHAM KU, Thailand

Prof. Dr. Masayoshi OKUBO Osaka Uni, Japan

Prof. Dr. Somchai WONGWISES KMUTL, Thailand

Prof. Dr. Nadarajah MITHULANANTHAN UQ, Australia

Prof. Dr. Yukio OGATA Kyoto Uni., Japan

Prof. Dr. Yuichi ANADA Hokkaido Info. Uni., Japan

Prof. Dr. Narongrit SOMBATSOMPOP KMUTT, Thailand

Assoc. Prof. Dr. Bandit FUNGTAMMASAN KMUTT, Thailand

Assoc. Prof. Dr. K. Srinivas REDDY IIT-Madras, India

Assoc. Prof. Dr. David Jan COWAN IUPUI, USA

Assoc. Prof. Dr. Per B ZETTERLUND Australia

Assoc. Prof. Dr. Vjitt KINNARES KMUTL, Thailand

Assoc. Prof. Dr. Yoshikazu SUZUKI Japan

Assoc. Prof. Dr. Thawatch KERDCHEUN RMUTI, Thailand

Assoc. Prof. Dr. Wakin PIYARAT SWU, Thailand

Assoc. Prof. Dr. Seiichi KAWAHARA Nakaoga Uni., Japan

Assoc.Prof.Dr. Kawee SRIKULKIT CU, Thailand

Asst. Prof. Dr. Somchai HIRANVAROMDOM RMUTT, Thailand

Asst. Prof. Dr. Wanchai SUBSINGHA RMUTT, Thailand

Asst. Prof. Dr. Thanapong SUWANNASRI KMUTNB, Thailand

Asst. Prof. Dr. Napapom PHUANGPORNPIITAK KU, Thailand

Asst. Prof. Dr. Boonrit PRASARTKAEW RMUTT, Thailand

Asst. Prof. Dr. Supakit SUTTRUENGWONG SU, Thailand

Asst. Prof. Dr. Vallop PHUPA RMUTP, Thailand

Asst. Prof. Dr. Pramook UNAHALEKHAKA RMUTSB, Thailand

Dr. Arthit Sode-Yome	EGAT, Thailand
Dr. Sei-ichi AIBA	Japan
Dr. Wirachai ROYNARIN	RMUTT, Thailand
Dr. Yuttana KAMSUWAN	RMUTT, Thailand
Dr. Jakkree SRINONCHAT	RMUTT, Thailand
Dr. Chatchai SOPPAPITAKSAKUL	RMUTT, Thailand
Dr. Pinit SRITHORN	RMUTI, Thailand
Dr. Uthen KAMNAN	RMUTL, Thailand
Dr. Cattariya SUWANNASRI	KMUTNB, Thailand
ASEAN Committee:	
Prof. Dr. Yoyok Wahyu Subroto	UGM, Indonesia
Prof. Dr. Wega TRISUNAYANTI	UGM, Indonesia
Prof. Dr. Tumiran	UGM, Indonesia
Prof. Dr. Jun LI	NYU, Singapore
Prof. Dr. INTHAN	ITB, Indonesia
Prof. Dr. Khamphone NANTHAVONG	NOL, Laos
Prof. Dr. Kampui SOUTHISOMBHAT	NOL, Laos
Prof. Dr. Yew Wei LEONG	NYU, Singapore
Prof. Dr. Nguyen Minh TAN	HU, Vietnam
General Secretary:	
Asst. Prof. Dr. Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand
Dr. Sumonman NIAMLANG	RMUTT, Thailand
Technical Program Chair:	
Asst. Prof. Dr. Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand
Area: Energy Technology (ET)	
Dr. Wirachai ROYNARIN	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Boonrit PRASARTKAEW	RMUTT, Thailand
Dr. Sathapron THONGWIK	RMUTT, Thailand
Dr. Nathabhat PHANKONG	RMUTT, Thailand
Area: Environmental and Social Impact (ES)	
Dr. Nithiwat CHOOSAKUL	RMUTT, Thailand
Area: Nanotechnology and Materials Science (NM)	
Dr. Sorapong PAVASUPREE	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Kitipong KIMAPONG	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Sirichai TORSAKUL	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Warunee ARIYAWIRIYANANT	RMUTT, Thailand
Area: Energy Economic and Management (EM)	
Assoc. Prof. Dr. Natha KUPTHASTHIEN	RMUTT, Thailand
Dr. Surin NGAEMNGAM	RMUTT, Thailand
Dr. Pinnapat IEMSOMBOON	RMUTT, Thailand
Area: New Energy Technology (NT)	
Dr. Boonyang PLANGKLANG	RMUTT, Thailand
Area: Nuclear Technology (NU)	
Asst. Prof. Dr. Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand

10th EMSES 2012

Exhibition Chair:

Dr. Amnoiy REUNGWAREE RMUTT, Thailand
Dr. Winai CHANPENG RMUTT, Thailand

Local Arrangement Chair

Dr. Sorapong PAVASUPREE RMUTT, Thailand
Dr. Natee SRISAWAT RMUTT, Thailand

Registration and Finance Chair

Dr. Sumonman NIAMLANG RMUTT, Thailand
Dr. Supapom THOMSORN RMUTT, Thailand
Weerapom PIVSA-ART RMUTT, Thailand

Publicity Chair

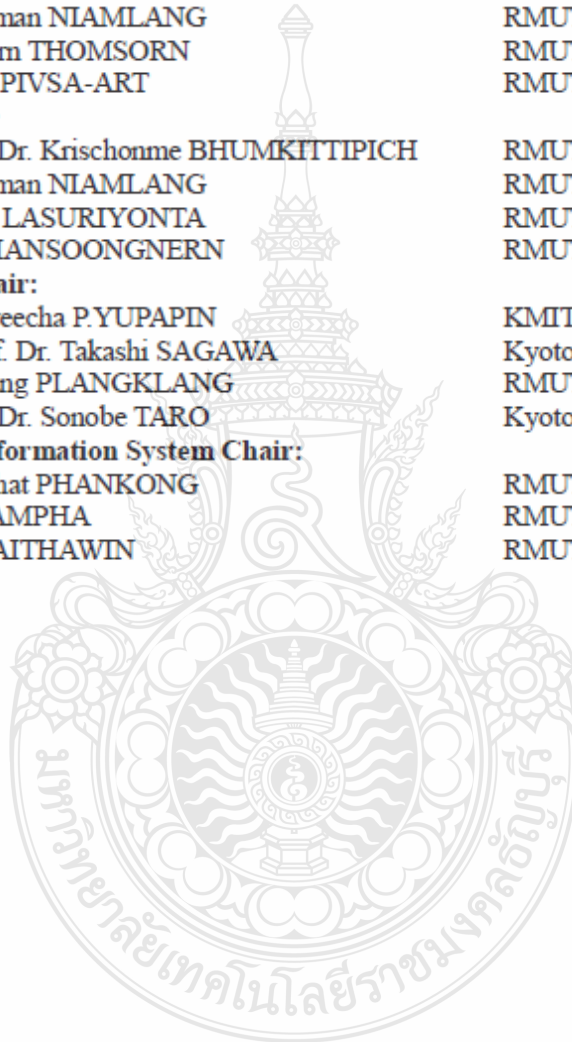
Asst. Prof. Dr. Krischonme BHUMKITTIPICH RMUTT, Thailand
Dr. Sumonman NIAMLANG RMUTT, Thailand
Dr. Montip LASURIYONTA RMUTT, Thailand
Somchai BIANSOONGNERN RMUTT, Thailand

Publication Chair:

Prof. Dr. Preecha P.YUPAPIN KMITL, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Takashi SAGAWA Kyoto Uni., Japan
Dr. Boonyang PLANGKLANG RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Sonobe TARO Kyoto Uni., Japan

Website and Information System Chair:

Dr. Nathabhat PHANKONG RMUTT, Thailand
Phongsuk AMPHA RMUTT, Thailand
Deachrat JAITHAWIN RMUTT, Thailand



Study of Generator Reaction on Permanent Magnet Synchronous Motor for Energy Regenerative Applications

S. Kantawong A. Noppakant and B.Planklang

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110
E-mail: h3s_k@hotmail.com, eg1322@gmail.com, boonyang.p@en.rmutt.ac.th

Abstract— This article presents the operating principle of transformation from permanent magnet synchronous motor to function as Generator in Energy regenerative mode. From experiment it is observed that when voltage is fed into permanent magnet motor, the electric input energy is converted to mechanical energy. On the other way, when motor is rotated without supplying input power while no load or light load, it generated electric output energy. This situation is call "Regenerative". This electric output energy can be fed back to the system for replacement of the energy that has been used. The study is done by simulation using Matlab/simulink program. The simulation used closed loop control, Motor is running at 1000 RPM, controlled by PI controller though an inverter with PWM controller switching waveform from insulated gate bipolar transistor :IGBT). The characteristic of motor is observed while feeding both positive and negative load. When feed with positive load it behaves as motor and with negative load it suddenly behaves as generator. This experiment will lead to a proper design of Energy Regenerative Unit (ERU).

Keywords— Regenerative, Transformation of motor to generator, Permanent magnet synchronous motor

1. INTRODUCTION

Motor is an electrical device which converts electrical energy into mechanical energy. Motor is an appliance with daily life use tools. Such as fans, air conditioners, machine tool technology, education and many other types of motors used in machines [1].

Permanent Magnet Synchronous Motors (PMSM) are widely used in industries applications because the ratio torque to weight is high effectively respond to the speed control, low moment of inertia, small size with lightweight compared to the same size of electric motors and have a good heat dissipation. The low loss motor can be used in dangerous industries such as oil and gas or flammable without causing environmental problems [2].

Thus this paper will study the Synchronous permanent magnet motor that transform into generator. The 4 Quadrants will be described. By the content of this article will discuss the 4 Quadrant in section 2, the simulation of the system with Matlab/Simulink in section 3, the results in section 4 and conclusions in section 5.

2. THEORY AND IMPLEMENTATION.

2.1 PRINCIPLES OF FOUR – QUADRANT OPERATION.

Figure 1 shows a graph of the speed and torque control in both the positive and negative directions.

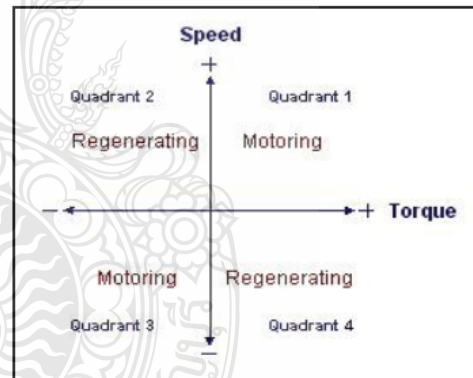


Figure 1, the comparison between the various state motor speed and torque.

From figure 1, progress in Quadrant 1,3 are defined as motor mode which means that the speed and torque is in the same direction. The progress in Quadrant 2,4 are assigned to be a generator, sometimes called regenerative mode.

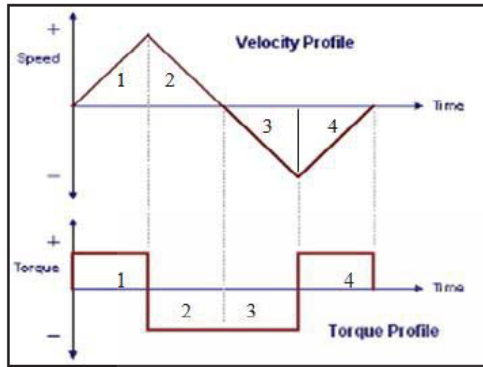


Figure 2, A graph of the speed and torque of the motor during each time period.

This means that the speed and torque is in the opposite direction. The torque of the motor's and motor speed is in different direction of rotation. This will cause the motor to produce power. This energy is fed back into the electrical system or can continue to be able to use this power again.

Figure 2 illustrates the two engaged in a work which is being accelerated by the motor speed and torque in the positive direction. During the second phase, the speed still is a positive and a negative torque which the motor is stopped, but it turns out to be generator. The work of the third phase will work similar to the first phase, but the direction is opposite to the negative, which is still a function of the motor phase 4 is similar to the second phase but with the opposite direction [3].

2.2 PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR

The characteristics of the permanent magnet motor according to equations (1) - (4), which is applied to test the program in MATLAB SIMULINK.

$$\frac{di_d}{dt} = \frac{1}{L_d}v_d - \frac{R}{L_d}i_d + \frac{L_q}{L_d}p\omega_r i_q \quad (1)$$

$$\frac{di_q}{dt} = \frac{1}{L_q}v_q - \frac{R}{L_q}i_q - \frac{L_d}{L_q}p\omega_r i_d - \frac{\lambda p\omega_r}{L_q} \quad (2)$$

$$T_e = 1.5p[\lambda i_q + (L_d - L_q)i_d i_q] \quad (3)$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J}(T_e - F\omega_r - T_m) \quad (4)$$

Where:

L_d, L_q be Inductance of the d and q

R be Resistance of Stator

i_d, i_q be current of d and q

V_d, V_q be voltage of d and q

ω_r be velocity of anle Rotor

λ be magnetics flux of motor

p be number of pole

T_e be torque produce by motor

2.3 PRINCIPLE OF SPEED CONTROL USING A PI CONTROLLER.

The system will measure the speed of the motor that is compared with speed Reference, the response of the system is controlled by a PI controller. Therefore, the design of PI controller system is very important part. The PI controller is designed and to find the parameters K_p and K_i for this simulation, both the Software Tool GUI, a tool called SISOTOOL in Matlab / Simulink is used to help in the transfer function as follows.

$$PI(s) = \frac{Kp[Ki(s) + 1]}{Ki(s)} \quad (5)$$

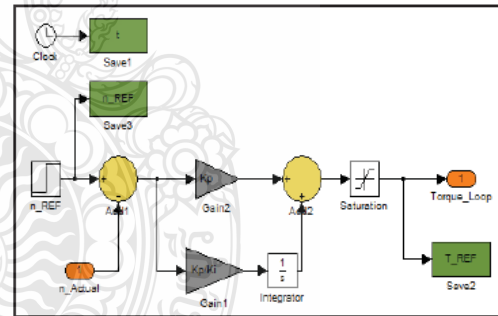


Figure 3, Speed control circuit with PI controller.

3. A SIMULATION OF THE SYSTEM

As mentioned, in this paper, a simulation system of permanent magnet synchronous motors is done by Matlab/Simulink as shown in figure 4.

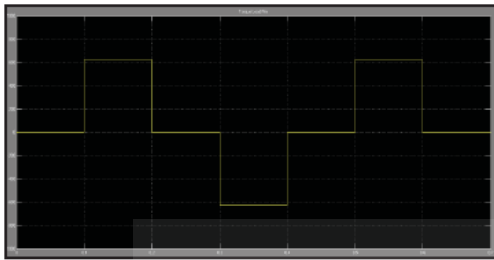


Figure 6, The example values are selected from a typical PM motor which 625 Nm, 0 Nm, -625 Nm are entered.

From figure 6, the system is fed torque to a motor and then considered the behavior of permanent magnet synchronous motors while keeping constant speed. The current and voltage results are showed as figure 7 and figure 8.

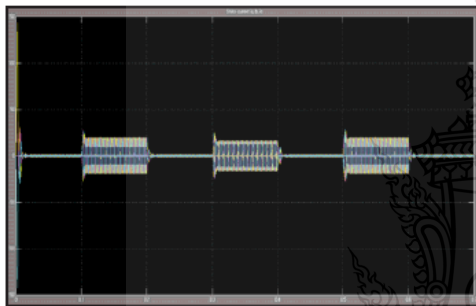


Figure 7, The currents at stator of permanent synchronous magnet motor during each time period when torque has change.



Figure 8, The power of permanent synchronous magnet motor during each time period when torque has change.

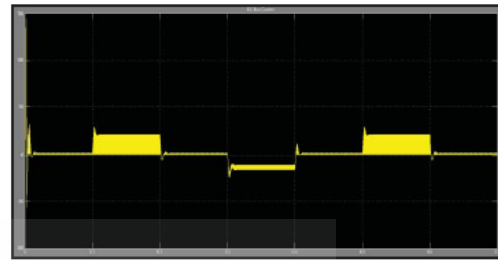


Figure 9, The power at DC input converter of permanent synchronous magnet motor during each time period when torque has changed.

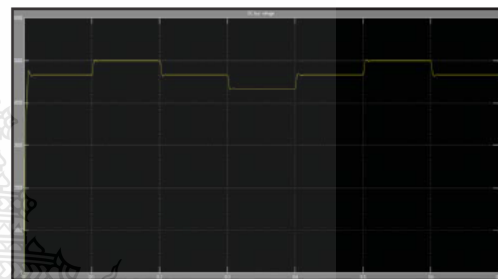


Figure 10, The voltage on the DC input converter.

4. RESULTS

Simulation results of permanent magnet synchronous motor are summarized in Table 2.

Table 2, results of when operating conditions at different loads.

Torque Load	STATUS				
	DC Input Converter		Motor		
	Current (A)	Voltage (V)	Current (A)	Voltage (V)	Power (kW)
625	19	5000	±19	±5000	160
0	1.5	4600	±1.5	±4600	+1.2 (max) -0.5 (min)
-625	-16	4300	±16	±4300	-115

By simulation program at different load, using Matlab/ Simulink, the motor speed is kept constant, the load for motor is 625, 0 Nm, motor is working and having both a positive and negative power. The motor current at DC input converter is a positive current. It means that the motor is running and remains to work as a motor. When the system input load is -625 Nm, the power measured from the motor is negative and the DC input converter voltage is also negative. It means that the motor is

operating as a temporary generator. It happens practically at a time when the load is removed.

Normally for this regenerative energy, it can be controlled to feed back to the grid by a diode rectifier to flow the current direction. The paper proposes the new design conceptual model with regenerative drive in figure 11 which used IGBT to control the power flow in bi-directional. This means that one direction is feeding the power to motor and other direction is fed back to the system as a generator [4].

Therefore, this study can be able to support the idea and design to the Energy Regenerative Unit (ERU) as shown in Figure 11.

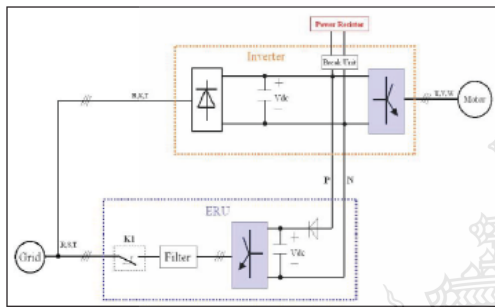


Figure 11, proposed ERU integrated system

5. CONCLUSIONS

The study of synchronous permanent magnet motor is performed via simulation to study the behavior of the motor in a generator mode called regenerative mode. If the motor is run in different load, when the motor has a positive speed and torque load, it can function to be as a generator. In generator mode, it can feed back the power to the system. This is the so-called "generative phenomenon". Normally nowadays, this power is wasted via dump load resistor in order to protect the elevator system. This study proposed the regenerative energy to be used as Energy Regenerative Unit (ERU) that is fed waste energy from the elevator to the grid when the elevator moves upward, downward, and break.

REFERENCES

- [1] Vorapote knowing basic electrical and electronic technologies for educational and general interest. Chonburi: Computer Graphics, 2539.
- [2] Pirote Brikapkul., The design of the feedback controller in integral self-adjusting. For synchronous motors, permanent magnet. Master degree thesis. Electrical Engineering. King Rama Institute of Technology northern bangkok campus, 2546.
- [3] http://www.danahermotion.com/education_training/motor/four-quadrant-operation (August, 2012).
- [4] H. Inaba, S. T. Nara, H. Takahashi & M. Nakazato, "High speed elevators controlled by current source inverter system with sinusoidal input and output".
- [5] Thanit punprayong and Boonyong plungkalm medium "energy saving elevators Tree Generation Initiative. Building a case study ". Conference on Energy Network of Thailand 8. 2-4 May 2555. Installed: 4, 2555.

2013
EENET

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.โกศล โอฬารไพโรจน์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล | ประธานกรรมการ |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัช เกิดชื่น
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน | กรรมการ |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ | กรรมการ |
| 4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิสุทธิ์ พงศ์พฤกษธาตุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย | กรรมการ |
| 5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ระวี ระวีกุล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน | กรรมการ |
| 6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี | กรรมการ |
| 7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสิทธิ์ นางทิน
สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน | กรรมการ |
| 8. อาจารย์ ดร.สุริยา แก้วอาษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน | กรรมการ |
| 9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุเทน คำน่าน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา | กรรมการ |
| 10. อาจารย์ ดร.วุฒิวัดน์ คงรัตน์ประเสริฐ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ | กรรมการ |
| 11. อาจารย์ ดร.นัฐ โชติ รักไทยเจริญชีพ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร | กรรมการ |
| 12. อาจารย์ประหัด กองสุข
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก | กรรมการ |
| 13. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อุณหเลขกะ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ | กรรมการและเลขานุการ |



สาขาบทความพลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน

รหัสบทความ	ชื่อเรื่อง	หน้า
ES09 บทความชมเชย	การศึกษาสมรรถนะและวันค่าของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันเสมือนดีเซล ชลกาญจน์ วงศ์ก่อทรัพย์ ณทพร จินดาประเสริฐ รัชศาสตร์ สุเพ็งคำ และสมใจ เพียรประสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	353
ES10	การศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากระบบลิฟต์ที่ใช้มอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร ด้วยวิธีการ รีเจนเนอเรทีฟ สิทธิชัย กันทะวงศ์ และบุญยัง ปลั่งกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	357
ES11	การออกแบบ โคมถนนแอลอีดีเพื่อการประหยัดพลังงาน รุ่งเพชร ก่องนอก วุฒิชัย สง่างาม มงคล พรหมจันทัก และอภิรักษ์ เปรมาสวัสดิ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	361
ES12	การศึกษาเชิงเปรียบเทียบผลของการใช้โคมความถี่สูงที่ตราสินค้าต่างๆ ที่มีต่อค่าความสว่างเพื่อ การประหยัดพลังงานไฟฟ้า : กรณีศึกษาอาคารธรรมมาคา วัดปัญญานันทาราม ชุตินันท์ อู่ยาย โสม มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย	365
ES13	การประยุกต์ใช้วิวัฒนาการของเทคโนโลยีไดโอดเปล่งแสงเพื่อการส่องสว่าง ปฏิภาณ เกิดลาภ และสมศักดิ์ วัระโรง มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย	369
ES14	การเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของหลอดแอลอีดีกำลังสูงกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์ ปฏิภาณ เกิดลาภ และสมศักดิ์ วัระโรง มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย	373
ES15	การปรับปรุงกำลังไฟฟ้าสูงสุดและประสิทธิภาพของแผงไฟโคโวลตาอิกโดยใช้เทคนิค การเชื่อมค่อ สันติ มั่นคง และสมชัย หิริญวโรดม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	377
ES16	การศึกษาเปรียบเทียบและปรับปรุงจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ขณะ ต่อร่วมกับวงจรทอนระดับแรงดันไฟตรง ที่ทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่องและ ไม่ต่อเนื่อง จุฑาทิพย์ แหมมา และอนุศักดิ์ บิศลาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	381

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

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

การศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากระบบลิฟต์ที่เชื่อมมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร ด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ

Study of Power Generation for Permanent Magnet Motor Elevator by Energy Regenerative Unit (ERU)

สิทธิชัย กันทะวงศ์ และบุญยัง ปลั่งกลาง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ถนนรังสิต - นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 โทร 0-2549-3571 โทรสาร 0-2549-3422

E-mail: h3s_k@hotmail.com , boonyang.p@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวเกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าจากระบบลิฟต์สำหรับมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ จากการศึกษาพบว่ามอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรในลิฟต์โดยมีขนาด 11kW สามารถทำงานโดยเปลี่ยนสถานะทางกลเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ทันทีเมื่อมอเตอร์เกิดการหมุนโดยไม่ต้องจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ ซึ่งมอเตอร์ก็สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมาจ่ายกลับเข้าระบบเรียกวิธีดังกล่าวมาข้างต้นว่า รีเจนเนอเรทีฟ (Energy Regenerative Unit : ERU) ซึ่งเป็นการนำพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้งหนึ่งทำให้ทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่เดิม[1] การศึกษานี้จะจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink โดยกล่าวถึงการทำงานในวงจร ERU ซึ่งจะทำงานร่วมกับระบบ Inverter ที่มีผู้คิดในระบบลิฟต์ โดยจะนำ DC Input Converter มาคำนวณวงจร ERU เพื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ จากวงจรได้จำลองการทำงาน ERU เป็นชนิด Single Phase จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าขณะที่มอเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดอยู่นั้น วงจร ERU จะรับแรงดัน DC ที่ออกมาจาก Inverter ของระบบลิฟต์เดิมแปลงเป็นแรงดัน AC เพื่อจ่ายเข้าระบบต่อไป

คำสำคัญ: การผลิตไฟฟ้าจากระบบลิฟต์, รีเจนเนอเรทีฟ, ERU

Abstract

This article presents the Power Generation for Permanent Magnet Motor Elevator by Energy Regenerative Unit (ERU). The study reveals that permanent magnet motors with rated 11 kW in elevators work by changing mechanical energy into electricity when the motor is rotating without power. The motor is capable of producing electrical energy back into the grid system. This situation is call "Regenerative mode" which is the wasted energy can be used once again [1]. The study is done by simulation using Matlab/simulink program. ERU and Inverter System will work together in existing elevator system. ERU is used to convert DC voltage to AC voltage. The Proposed ERU is

operating as Single Phase module. From experiment, it is observed that when the motor operates as a generator then ERU will receive DC voltage from the inverter in elevator system to convert to AC voltage that can be fed into the grid system.

Keywords: power generation for elevator, regenerative, ERU

1. บทนำ

ปัจจุบันลิฟต์เป็นพาหนะมีความสำคัญในการขนส่งแนวตั้งของอาคารสูงไม่ว่าจะเป็นหอสูง ห้างสรรพสินค้า อาคารสำนักงานและโรงงานย่อมมีลิฟต์เป็นส่วนหนึ่งของอาคาร ลิฟต์นั้นถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามาก รองลงมาจากระบบปรับอากาศและแสงสว่าง ดังนั้นถ้าลิฟต์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายเข้าระบบได้จะสามารถทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการใช้พลังงานของลิฟต์ให้มีประสิทธิภาพลดการใช้พลังงาน จึงเป็นการพัฒนาระบบลิฟต์ที่สำคัญต่อการอนุรักษ์พลังงาน[3]

ในบทความนี้จะศึกษาถึงการผลิตไฟฟ้าจากระบบลิฟต์สำหรับมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ ซึ่งจะอธิบายการทำงานและส่วนประกอบต่างๆของระบบลิฟต์ อธิบายหลักการทำงานด้วย 4 Quadrant และการรีเจนเนอเรทีฟ สมการควบคุมลักษณะของมอเตอร์แม่เหล็กถาวร หลักการควบคุมความเร็วรอบ ในส่วนที่ 2, การจำลองการทำงานของระบบด้วย Matlab/Simulink ในส่วนที่ 3, ผลการวิเคราะห์ในส่วนที่ 4 และสรุปผลในส่วนที่ 5

2. ทฤษฎีและการดำเนินงาน

2.1 ระบบทั่วไปของลิฟต์แบบรีเจนเนอเรทีฟ

โดยปกติโครงสร้างของระบบลิฟต์จะประกอบด้วย 6 ส่วนหลัก ดังรูปที่ 1 ดังนี้[2]

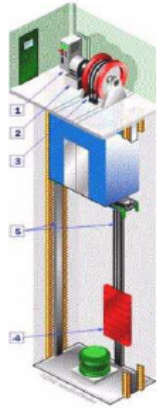
1. ระบบควบคุม (Control System)
2. มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor)
3. รอกหรือล้อสายพาน (Sheave)

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

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

4. ตั้มน้ำหนัก (Counterweight)
5. ราง (Guide Rails)
6. ห้องโดยสาร (Passenger Car)



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของระบบลิฟต์
(ที่มา : ฟิสิกส์ราชมงคล ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล)

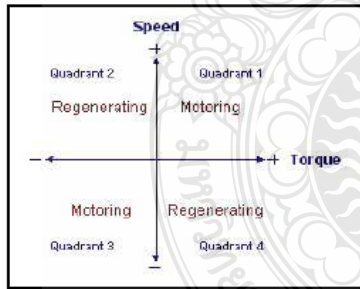
มอเตอร์นั้นกล่าวคือช่วงที่ลิฟต์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้จะอยู่ในกรณีเมื่อลิฟต์ขึ้นน้ำหนัก บรรทุกต้องน้อยกว่าค้มน้ำหนักและขณะ ที่ลิฟต์ลงน้ำหนักบรรทุกมากกว่าค้มน้ำหนักโดยทั้งสองกรณี จะอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกจุดตั้งมอเตอร์ให้เกิดการหมุนโดยไม่ต้องจ่ายไฟฟ้าในการขับเคลื่อน ลิฟต์ สามารถแบ่งโหมดการทำงานของระบบลิฟต์ได้ตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 โหมดการทำงานของระบบลิฟต์

	น้ำหนักบรรทุก > ค้มน้ำหนัก	น้ำหนักบรรทุก < ค้มน้ำหนัก
ลิฟต์ขึ้น	1. ใช้พลังงานไฟฟ้า	2. ใช้แรงโน้มถ่วง
ลิฟต์ลง	3. ใช้แรงโน้มถ่วง	4. ใช้พลังงานไฟฟ้า

2.2 หลักการของ FOUR – QUADRANT OPERATION

จากกราฟ เป็นการควบคุมความเร็วและแรงบิดในทิศทางทั้งบวกและลบ



รูปที่ 2 การทำงานของมอเตอร์ในสภาวะต่างๆโดยเปรียบเทียบระหว่างความเร็วและแรงบิด

จากรูปที่ 2 การทำงานใน Quadrant 1,3 จะถูกกำหนดให้เป็นมอเตอร์โหมค ซึ่งจะหมายความว่าความเร็วและแรงบิดเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ส่วนการทำงานใน Quadrant 2,4 จะถูกกำหนดให้เป็นเครื่องกำเนิด หรือบางครั้งเรียกว่า รีเจนเนอเรทีฟโหมค[1]
รีเจนเนอเรทีฟโหมค จะทำงานเมื่อมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรในระบบลิฟต์เกิดการหมุนโดยไม่ต้องจ่ายไฟฟ้าหรือเกิดการเบรคของ

2.3 มอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Motor)

สามารถคุณลักษณะของมอเตอร์แม่เหล็กถาวรเป็นไปตามสมการที่ (1)- (4) ซึ่งจะนำไปประยุกต์เพื่อทดสอบในโปรแกรม MATLAB

$$\frac{di_d}{dt} = \frac{1}{L_d} v_d - \frac{R}{L_d} i_d + \frac{L_q}{L_d} p \omega_r i_q \quad [A] \quad (1)$$

$$\frac{di_q}{dt} = \frac{1}{L_q} v_q - \frac{R}{L_q} i_q - \frac{L_d}{L_q} p \omega_r i_d - \frac{\lambda p \omega_r}{L_q} \quad [A] \quad (2)$$

$$T_e = 1.5 p [\lambda i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \quad [Nm] \quad (3)$$

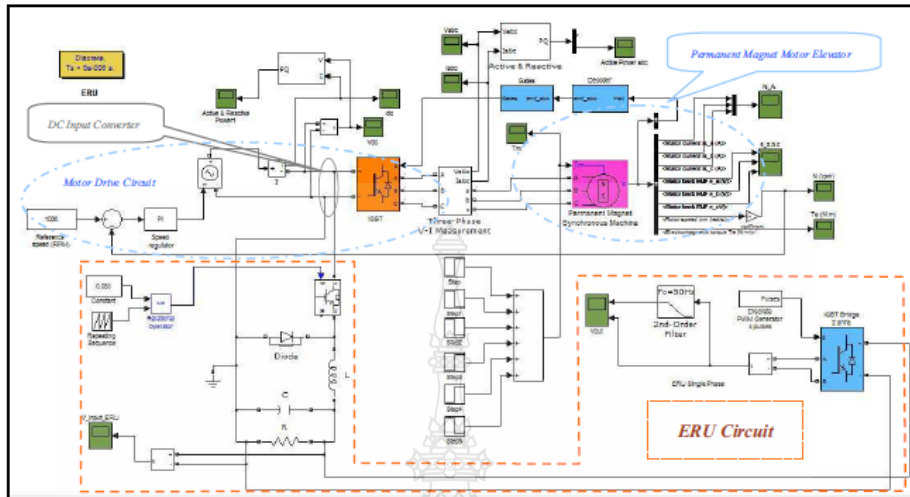
$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J} (T_e - F \omega_r - T_m) \quad [rad/s] \quad (4)$$

- โดยที่
- L_d, L_q คือ ค่า Inductance ในแกน d และ q [H]
 - R คือ ค่า Resistance ของขดลวด Stator [Ω]
 - i_d, i_q คือ ค่า กระแสในแกน d และ q [A]
 - V_d, V_q คือ ค่า แรงดันในแกน d และ q [V]
 - ω_r คือ ความเร็วเชิงมุมของ Rotor [rad/s]
 - λ คือ ค่า flux แม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร [Wb]
 - p คือ ค่าจำนวนขั้วของขั้วแม่เหล็ก
 - T_e คือ ค่าแรงบิดที่มอเตอร์ผลิตขึ้น [Nm]

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

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



รูปที่ 3 วงจรที่ใช้จำลองการทำงานของการผลิตไฟฟ้าจากมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีเรเจนเนอเรทีฟโดยโปรแกรมMatlab

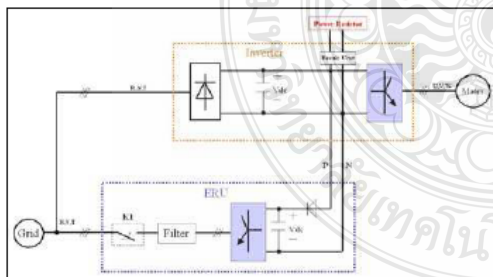
2.4 หลักการควบคุมความเร็วรอบ

ระบบการทำงานจะวัดความเร็วรอบของมอเตอร์มาเปรียบเทียบกับความเร็วอ้างอิง (Speed Referent) ซึ่งผลคูณสองของระบบนั้นจะถูกควบคุมโดยระบบควบคุมแบบฟีดแบ็ค ซึ่งจะมีฟังก์ชันการถ่ายโอนดังนี้[1]

$$P(s) = \frac{Kp[Ki(s) + 1]}{Ki(s)} \quad (5)$$

3. การจำลองการทำงานของระบบ

ในบทความนี้ได้ทำการจำลองระบบการผลิตไฟฟ้าจากระบบลิฟต์สำหรับมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีเรเจนเนอเรทีฟด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink

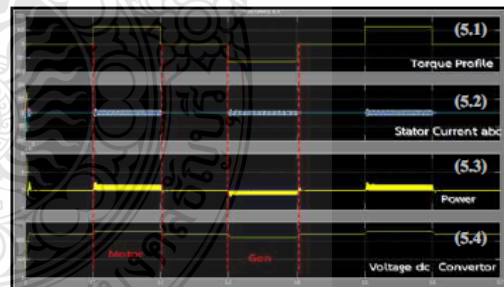


รูปที่ 4 หลักการชุดขับเคลื่อนมอเตอร์แบบเรเจนเนอเรทีฟ

จากรูปที่ 3,4 โดยทั่วไปชุดขับเคลื่อนในภาค Input นั้นจะใช้ชุด Diode Rectifier ทำให้การไหลของพลังงานไปในทิศทางเดียว ซึ่งแนวคิดในรูปที่ 3,4 จะนำมาใช้เป็นแนวคิดเพื่อสร้างจำลองเป็นชุดขับ

มอเตอร์ ซึ่งเป็นการขับเคลื่อนแบบเรเจนเนอเรทีฟ (Regenerative Motor Driver) โดยใช้ IGBT ในการควบคุมซึ่งสามารถควบคุมให้พลังงานสามารถไหลได้ทั้งสองทิศทาง กล่าวคือ ทิศทางหนึ่งเป็นการจ่ายพลังงานให้กับมอเตอร์ส่วนอีกทิศทางหนึ่งเป็นการจ่ายพลังงานกลับคืนไปยังระบบไฟฟ้าเมื่อกรณีมอเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิด[1]

หลังจากมอเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิด ชุด ERU จะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าที่มาจาก DC Input Converter จากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้ IGBT ในการควบคุมผ่าน Filter แล้วจ่ายเข้าสู่ระบบการไฟฟ้าต่อไป



รูปที่ 5 ผลของการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ก่อนเข้าวงจร ERU

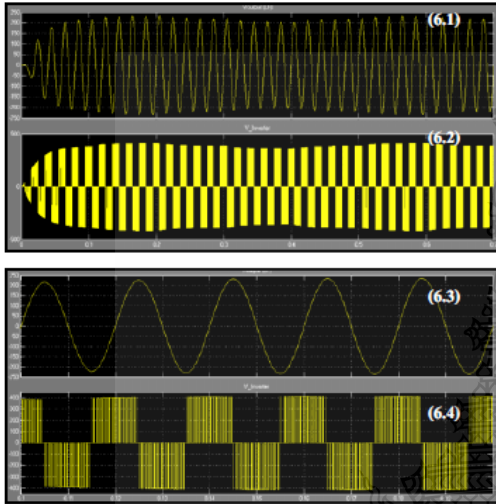
จากรูปที่ 5 เป็นผลการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์เพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะของกราฟในช่วงเวลาต่างๆ โดยการเปลี่ยนแปลงของทอร์ก(5.1) ที่ความเร็วรอบคงที่เมื่อโหลดหรือทอร์ก มีขนาดต่างกัน จะส่งผลให้มอเตอร์มีสภาวะการทำงานเปลี่ยนไปคือ จะกลายเป็นเครื่องกำเนิดได้ชั่วขณะกล่าวคือ เมื่อมอเตอร์มีความเร็วรอบเป็นบวกและมีทอร์กโหลดของมอเตอร์เป็นลบหรืออย่างหนึ่งอย่างใดจึงสวนทางกันนั้น

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

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

จะทำให้มอเตอร์ทำงานกลายเป็นเครื่องกำเนิด โดยผลกราฟแรงดัน(5.4)ที่ได้ (Voltage dc Converter) เป็นลักษณะตามรูปที่ 5 แล้วจะป้อนเข้าวงจร ERU ต่อไปเพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าคืนให้กับระบบการไฟฟ้า



รูปที่ 6 ผลของแรงดันไฟฟ้า 1 เฟส ที่ออกจากวงจร ERU จากรูปที่ 6 เป็นการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าขนาด 1 เฟสที่ออกมาจากวงจร ERU กับช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงของมอเตอร์ทอร์ค โดยกราฟ (6.2)(6.4)เป็นรูปคลื่นแรงดัน 1 เฟส ที่ออกมาจาก ERU ที่ยังคงเป็นรูปคลื่นแรงดันสี่เหลี่ยม จากนั้นแรงดันจะถูกกรองจนได้สัญญาณรูปคลื่นไซน์ดังกราฟ(6.1)(6.3) ดังนั้นจากวงจรรูปที่ 3 วงจร ERU จะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส

4.การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการจำลองการทำงานดังรูปที่ 7 ของการผลิตไฟฟ้าจากระบบลิฟต์สำหรับมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีวีเจเนอเรทีฟ ซึ่งสรุปได้ผลจากการจำลองการทำงานดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลของแรงดันขาเข้าและแรงดันขาออกเมื่อผ่านวงจร ERU

แรงดันขาเข้า (DC Input Voltage)	แรงดันขาออก (AC Output Voltage)	
	Square Wave 1Ø	Sine Wave 1Ø
390 Vdc	400Vac	230 Vac

จากตาราง 2 แรงดันขาเข้า ERU เป็นแรงดัน DC เหลือเป็นผลจากการกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดของมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร ที่มีการเปลี่ยนแปลงของทอร์ค ขณะที่ความเร็วคงที่โดยไม่ต้องจ่ายพลังงาน

ไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ เมื่อแรงดัน DC ที่ออกมาจากระบบ Inverter ของลิฟต์ เริ่มผ่านอุปกรณ์แปลงแรงดัน DC-AC(ERU) จะทำให้แรงดันขาออก ERU เป็นลักษณะ Square Wave และเมื่อแรงดันผ่านชุดกรองสัญญาณ (Filter) ทำให้รูปคลื่นแรงดันเป็น Sine Wave แรงดันดังกล่าวสามารถนำไปเข้าอุปกรณ์เชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า (Grid Connected System)



รูปที่ 7 การทดสอบวัดพลังงานจากชุดตัวอย่างลิฟต์

5.สรุปและข้อเสนอแนะ

ERU เป็นวงจรที่สามารถนำไปเชื่อมต่อกับระบบลิฟต์เดิมที่ใช้มอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร เพื่อที่วงจร ERU จะทำงานในขณะที่ไม่ได้จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ ทำให้ระบบลิฟต์ประหยัดพลังงานในช่วงที่ไม่ต้องจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์อีกทั้งยังสามารถผลิตไฟฟ้าจากมอเตอร์ลิฟต์เมื่อลิฟต์ทำงานด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งเป็นการนำพลังงานไฟฟ้าที่สูญเปล่ากลับมาใช้ประโยชน์ได้จริงและทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่เดิม

เอกสารอ้างอิง

[1] สิทธิชัย กันทะวงศ์ เอกภรณ์ นภกานต์ และบุญยัง ปลั่งกลาง “การศึกษา การกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของมอเตอร์เชิงโคโรนินชนิดแม่เหล็กถาวร เพื่อการประยุกต์ใช้ผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีวีเจเนอเรทีฟ”. การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 5. 18 - 20 ธ.ค. 2555 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

[2] ธนิศร์ พันธุ์ประยูร และ บุญยัง ปลั่งกลาง. “การประหยัดพลังงานในลิฟท์แบบวีเจเนอเรทีฟ กรณีศึกษาอาคารเรียนรวม”. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8. 2-4 พ.ค. 2555. มหาสารคาม : 4 , 2555

[3] http://www.danahermotion.com/education_training/motor/four-quadrant_operation (August,2012)



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล **ครั้งที่ ๖**

6th Electrical Engineering Network 2014
of Rajamangala University of Technology Conference

นวัตกรรมวิจัยแห่งเทคโนโลยี ตอบสนองเออีซีด้านโครงข่ายพลังงาน
Technology Research Innovation for Responding to the Energy Network of AEC

Volume I

- ๑ ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- ๒ พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน (ES)
- ๓ อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- ๔ นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ (IN)



๒๖ - ๒๘ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๗

ณ มาริโทม์ ปาร์คแอนสปารีสอร์ท จังหวัดกระบี่



ดำเนินการโดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี กาญจนะเคชะ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร กิณเรศ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.กิริติ ชยะกุลศิริ	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
รองศาสตราจารย์ ดร.บัลลังก์ เนียมมณี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ หวังนิพนพานโต	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
รองศาสตราจารย์ ดร.เสถียร รัชัญญศิริรัตน์	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ อุคฆนรรษากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
รองศาสตราจารย์ ดร.กานนท์ เกิดชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอิสาน
รองศาสตราจารย์ ดร.โกศล โอฬารไพโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
รองศาสตราจารย์ชัยณรงค์ วิเศษศักดิ์วิชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
รองศาสตราจารย์สมพันธ์ อำพาวัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัฐฐาจินดาเพ็ชร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภัชกรณ์ อารีย์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ สากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชฌู	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชัย หิรัญวโรดม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ เรืองวาริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำเร็จ อินท่าไม้	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพงษ์ จารุมิตร	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชัย ครอบกิจศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอิสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อุณหเลขกะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา สาละริงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภักดิ์วัฒน์ จันทร์ศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤตวิทย์ บัวใหญ่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอิสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจนศักดิ์ เอกบุรณะ วัฒนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์พงษ์ ศรีสถิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรถพล ป้อมสถิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เศรษฐธรรมรงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุเทน คำนำน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันไชย คำเสน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พานิช อินตะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา ยืนยงกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษณุ ทองเล็ก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นาถยา คล้ายเรือ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญยฤทธิ์ ประสาทแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ โสทรโยม	มหาวิทยาลัยสยาม

26-28 มีนาคม 2557 มาริโทม์ ปาร์คแอนสปิริสอร์ท จังหวัดกระบี่

C-I

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธชัย ศิลปวิจารณ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษดา ยิ่งขยัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาวิตรี ตันพานิช	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์รัชวิชัย ทางรัตนสุวรรณ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย แคงแอม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทง ลานธารทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญ์ คารางษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรารุช ทองกุลภัทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เฉลิมพล เรืองพัฒนาวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วารุณี กรุดพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พันธ์พงศ์ อภิชาติกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชชุ ทิพย์ประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิสุทธิ พงษ์พฤกษชาติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมคิด ถิลาชนะชัยพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์ ดร.วฤทธิ์ วิชกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อาจารย์ ดร.ณัฐภัทร พันธุ์คง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.พศุคน นินทนาวงศา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.ศิริชัย เจริญล้ำเลิศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.กิตติวัฒน์ นิ่มเกิดผล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.วิเชียร อุปลแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.สุริยา แก้วอาษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.กฤตยา สมสัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.พรเทพ บุญญาแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.พิชัย อยู่ปล้ำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.นิธิโรจน์ พรสุวรรณเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.เมธา ทิศกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.นำพน พิพัฒน์ไพบูลย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.สันหวัจน์ ทองแดง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.เสกสรร พลสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.ณัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.พนา คูสิตากร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ เคชฟุ้ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.พลิชฐ์ สุวรรณภิงการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.ชลกาญจน์ วงศ์ก้อทรัพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.อุมารินทร์ แสงพานิช	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

อาจารย์ ดร.ศรีสุภา ไชยทองสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์ ดร.สมพร ศรีวัฒนพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์ ดร.ประจวบ อินระวงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.พินิจ ศรีธรรม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.วรรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.มงคล กุฬิมา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.ประสพโชค ให้ทองคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.มนตรี สมคุดยกนก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.ไกรฤกษ์ เขยชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.พิชิต กิตติสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.วิวัฒน์ ทิพजर	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.วิฑูรย์ พรหมมี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.นพพร พัชรประภิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.ชาญยุทธ์ กาญจนพิบูลย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ เคลือบวัง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.พลกฤษณ์ ทุนคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.ยุพดี หัตถสิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.ขวัญชัย เอื้อวิริยานุกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.สุภงข โดโพนุลย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.อนนท์ นำอิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.ศุกกิต แก้วดวงตา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.จัดจตุฤทธิ์ ทองปรอน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.ธีรศักดิ์ สมศักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.วุฒิวัฒน์ คงรัตนประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์ ดร.สายชล ชูคเจือจัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์ ดร.นิธิวัฒน์ ชูสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.พิทักษ์ บุญนุ่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์ ดร.ปฏิมากร จันทร์พริ้ม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์ ดร.ชยานิชฐ์ บุญสนิท	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ดร.สุวิทย์ อัจริยะเมต	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ดร.อรรด พยอมหอม	การไฟฟ้านครหลวง
อาจารย์พินิจ จิตจริง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์นิติพงศ์ ปานกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ภัทรพงศ์ อัญชันภาติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาจารย์สมยศ สันติมาลัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาจารย์วุฒิไกร จันทร์ขามเรียน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาจารย์ตะวัน ขุนอาสา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์มนัส บุญเกียรติทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ศาสกร วุฒิพัฒน์พันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทความสาขาพลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน (ES)		หน้า
ES-C		
ES17	การออกแบบและประยุกต์ใช้งานต้นแบบโซลาร์เซลล์ในงานเกษตรกรรม 'รุ่งเพชร ก่องนอก 'รุ่งเรือง วังไธสง 'อัครพล อินทร์หมื่นไวย 'ดุสิต อุทิศสุนทร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์	269
ES18	กรณีศึกษาการระบายความร้อนของหอหล่อเย็นด้วยฮีทปั๊ม สุทธินันท์ คั่นโพธิ์ รุ่งเพชร ก่องนอก ธนินันท์ อาจศึก วรารัตน์ ว่องปรัชญา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	273
ES19	การศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธี บทความ การรีเจนเนอเรทีฟ ชมชัย สิทธิชัย กั้นทะวงษ์ บุญยัง ปลั่งกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	277
ES20	การควบคุมการปลดปล่อยยาเบนโซอิกจากพอลิอะคริลาไมด์ไฮโดรเจล ผลของขนาดรูพรุน ความเข้มข้นไฟฟ้าและแหล่งจ่ายไฟฟ้า สุนทรี นาคแท้ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์ สุมนมาลย์ เนียมกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	281
ES21	การจัดการและการควบคุมการใช้พลังงานสำหรับตู้ทำน้ำเย็น อิสริย์ วงศ์ศรีใส วิชัย สายคติกรณ์ กฤตวิทย์ บัวใหญ่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	285
ES22	การผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก คมกฤษณ์ ศรีสุวรรณ ภาณุมาศ แสนพวง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	289
ES23	การศึกษาศักยภาพในการลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในโรงงานอุตสาหกรรม ประเภทโลหะประดิษฐ์ เครื่องจักร และอุปกรณ์ รัชฎาพร คำภู นาดยา คล้ายเรือง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	293
ES24	การศึกษาและปรับปรุงคุณภาพกระแสสำหรับหลอดแอลอีดี ชัชนันท์ ลิ้มปะนะวัสส์ กัปตัน ปวีร์วัฒน์ นรินทร์ วัฒนกุล มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	297
ES-D		
ES25	การศึกษาผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าต่อสมบัติเชิงกลไฟฟ้าของยางสังเคราะห์สำหรับใช้ในงาน แขนจักรกล นภนันท์ บุญชู สุมนมาลย์ เนียมกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	301

การศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ

Study of Power Generation Controller for Permanent Magnet Motor

Elevator by Energy Regenerative Unit (EERU)

สิทธิชัย กันทะวงศ์ และ บุญยง ปลั่งกลาง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ถนนรังสิต - นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 โทร 0-2549-3571 โทรสาร 0-2549-3422

E-mail: h3r_k@hotmail.com, boonyang.p@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวเกี่ยวกับการศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟจากการศึกษาพบว่ามอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรในลิฟต์โดยมีขนาด 5.5 kW สามารถทำงานโดยเปลี่ยนสถานะทางกลเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ทันทีเมื่อมอเตอร์เกิดการหมุนโดยไม่ต้องจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ ซึ่งมอเตอร์ก็สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมาจ่ายกลับเข้าระบบเรียกวิธีดังกล่าวว่า รีเจนเนอเรทีฟ (Energy Regenerative Unit : ERU) ซึ่งเป็นการนำพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้งหนึ่ง ทำให้ทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่เดิม[1] การศึกษานี้จะจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยกล่าวถึงการทำงานในวงจร ERU ซึ่งจะทำงานร่วมกับระบบ Inverter ที่มีอยู่เดิมในระบบลิฟต์ โดยจะนำ DC Bus มาผ่านวงจร ERU เพื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ จากวงจรได้จำลองการทำงาน ERU เป็นชนิด 3 เฟส จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าขณะที่มอเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดอยู่นั้น วงจร ERU จะรับแรงดัน DC ที่ออกมาจาก Inverter ของระบบลิฟต์เดิมแปลงเป็นแรงดัน AC เพื่อจ่ายเข้าระบบต่อไป

คำสำคัญ: ชุดควบคุมกำลังของมอเตอร์ลิฟต์, รีเจนเนอเรทีฟ, ERU

Abstract

This paper presents the Power Generation of Power Controller Systems for Permanent Magnet Motor Elevator by Energy Regenerative Unit (ERU). The study reveals that permanent magnet motors with rated 5.5 kW in elevators which is working by transferring mechanical energy into electricity when the motor is rotating without power. The motor is capable of producing electrical energy back into the grid system. This situation is call "Regenerative mode" which is the wasted energy can be used once again [1]. The study is done by simulation using MATLAB/Simulink program. The investigated ERU

and Inverter System will be used to study in existing elevator system.

The Proposed ERU is used to convert DC voltage to AC voltage. The ERU is operating as Three Phase module. From experiment, it is observed that when the motor operates as a generator then ERU will receive DC voltage from the inverter in elevator system to convert to AC voltage that can be fed into the grid system.

Keywords: power controller for elevator, regenerative, ERU

1. บทนำ

ปัจจุบันลิฟต์เป็นพาหนะที่มีความสำคัญในการขนส่งแนวตั้งของอาคารสูงไม่ว่าจะเป็นหอสูง ห้างสรรพสินค้า อาคารสำนักงานและโรงงานย่อมมีลิฟต์เป็นส่วนหนึ่งของอาคาร ลิฟต์นั้นถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามาก รองลงมาจากระบบปรับอากาศและแสงสว่าง ดังนั้นถ้าลิฟต์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายเข้าระบบได้ จะสามารถทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการใช้พลังงานของลิฟต์ให้มีประสิทธิภาพลดการใช้พลังงาน จึงเป็นการพัฒนาระบบลิฟต์ที่สำคัญต่อการอนุรักษ์พลังงาน[3]

ในบทความนี้จะศึกษาถึงการผลิตไฟฟ้าจากชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟซึ่งจะอธิบายการทำงานและส่วนประกอบต่างๆของระบบลิฟต์ อธิบายหลักการการทำงานด้วย 4 Quadrant และการรีเจนเนอเรทีฟ หลักการของลิฟต์-คอนเวอเตอร์ สมการคุณลักษณะของมอเตอร์แม่เหล็กถาวร หลักการควบคุมความเร็วรอบ ในส่วนที่ 2, การจำลองการทำงานของระบบในส่วนที่ 3, ผลการวิเคราะห์ในส่วนที่ 4 และสรุปผลในส่วนที่ 5

2. ทฤษฎีและการดำเนินงาน

2.1 ระบบทั่วไปของลิฟต์แบบรีเจนเนอเรทีฟ

โดยปกติโครงสร้างของระบบลิฟต์จะประกอบด้วย 6 ส่วนหลัก ดังรูปที่ 1 ดังนี้[1]

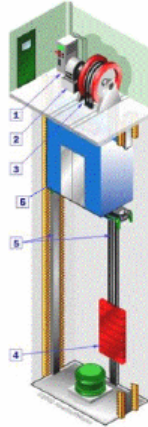
1. ระบบควบคุม (Control System)

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceedings of the 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)

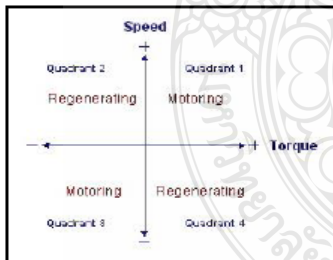
2. มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor)
3. รอกหรือล้อสายพาน (Sheave)
4. คีมถ่วงน้ำหนัก (Counterweight)
5. ราง (Guide Rails)
6. ห้องโดยสาร (Passenger Car)



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของระบบลิฟท์
(ที่มา : ฟิสิกส์ราชมงคล ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล)

2.2 หลักการของ FOUR – QUADRANT OPERATION

จากกราฟ เป็นการควบคุมความเร็วและแรงบิดในทิศทางทั้งบวกและลบ



รูปที่ 2 การทำงานของมอเตอร์ในสภาวะต่างๆ โดยเปรียบเทียบระหว่างความเร็วและแรงบิด

จากรูปที่ 2 การทำงานใน Quadrant 1,3 จะถูกกำหนดให้เป็นมอเตอร์โหมด ซึ่งจะหมายความว่าความเร็วและแรงบิดเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ส่วนการทำงานใน Quadrant 2,4 จะถูกกำหนดให้เป็นเครื่องกำเนิดหรือบางครั้งเรียกว่า รีเจนเนอเรทีฟโหมด

รีเจนเนอเรทีฟโหมด จะทำงานเมื่อมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรในระบบลิฟท์เกิดการหมุนโดยไม่ต้องจ่ายไฟฟ้าหรือเกิดการเบรคของ

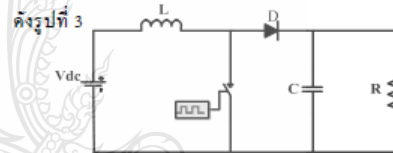
มอเตอร์นั้นกล่าวคือช่วงที่ลิฟต์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้จะอยู่ในกรณีเมื่อลิฟต์ขึ้นน้ำหนัก บรรทุกต่อน้อยกว่าคีมถ่วงน้ำหนักและขณะ ที่ลิฟต์ลงน้ำหนักบรรทุกมากกว่าคีมถ่วง โดยทั้งสองกรณี จะอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกจุดตั้งมอเตอร์ให้เกิดการหมุน โดยไม่ใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อน ลิฟต์ สามารถแบ่งโหมดการทำงานจากระบบลิฟต์ได้ตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 โหมดการทำงานจากระบบลิฟท์

	น้ำหนักบรรทุก > คีมถ่วง	น้ำหนักบรรทุก < คีมถ่วง
ลิฟต์ขึ้น	1. ใช้พลังงานไฟฟ้า	2. ใช้แรงโน้มถ่วง
ลิฟต์ลง	3. ใช้แรงโน้มถ่วง	4. ใช้พลังงานไฟฟ้า

2.3 หลักการของ DC BOOST CONVERTER

วงจร DC Boost Converter เป็นวงจรไฟฟ้ากระแสตรงแบบยกแรงดันซึ่งจะเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้สูงกว่าแรงดันด้านเข้า โดยลักษณะของวงจร Boost Converter มีลักษณะดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 วงจร DC Boost Converter

โดยมีสมการ(1) - (4) ดังต่อไปนี้

ขณะสวิตช์ ON

$$v_L = v_m = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad [V] \quad (1)$$

$$i_L(DT_{sw}) = \frac{1}{L} \int_0^{DT_{sw}} v_m dt + I_{L,min} \quad [A] \quad (2)$$

ขณะสวิตช์ OFF

$$v_L(t) = (v_m - v_o) = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad [V] \quad (3)$$

$$i_L(T_{sw}) = \frac{1}{L} \int_0^{T_{sw}} (v_m - v_o) dt + I_{L,max} \quad [A] \quad (4)$$

v_o = แรงดันเอาต์พุต [V]

v_m = แรงดันอินพุต [V]

v_L = แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ [V]

I_L = กระแสตัวเหนี่ยวนำ [A]

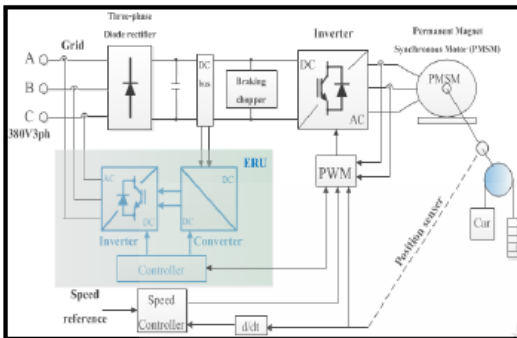
D = ค่า Duty Cycle

T_{sw} = คาบเวลาสวิตช์

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceedings of the 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)



รูปที่ 4 ชุดควบคุมการทำงานของการผลิตไฟฟ้าจากมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟ

2.4 มอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Synchronous Motor)

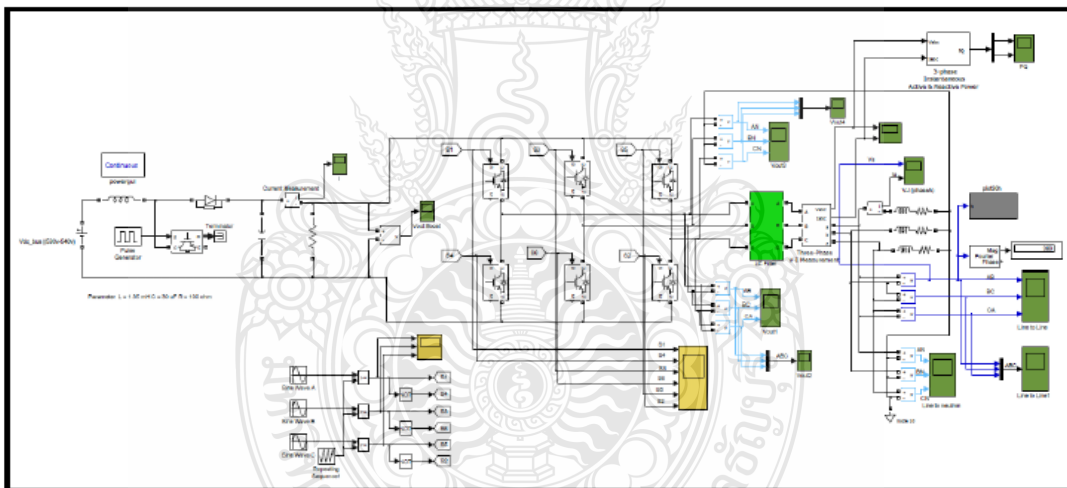
สมการคุณลักษณะของมอเตอร์แม่เหล็กถาวรเป็นไปตามสมการที่ (5) - (8) ซึ่งจะนำไปประยุกต์เพื่อทดสอบในโปรแกรม MATLAB

โดยที่

- L_d, L_q คือ ค่า Inductance ในแกน d และ q [H]
- R คือ ค่า Resistance ของขดลวด Stator [Ω]
- i_d, i_q คือ ค่า กระแสในแกน d และ q [A]
- V_d, V_q คือ ค่า แรงดันในแกน d และ q [V]
- ω_r คือ ความเร็วเชิงมุมของ Rotor [rad/s]
- λ คือ ค่า flux แม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร [Wb]
- p คือ ค่าจำนวนคู่ของขั้วแม่เหล็ก
- T_e คือ ค่าแรงบิดที่มอเตอร์ผลิตขึ้น [Nm]
- T_m คือ ค่าแรงบิดที่เพลา [Nm]
- J คือ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยทั้งหมดของมอเตอร์ [kg/m²]
- F คือ ค่าแรงเสียดทานรวมของมอเตอร์และโหลด [N]

2.5 หลักการควบคุมความเร็วรอบ

ระบบการทำงานจะวัดความเร็วรอบของมอเตอร์มาเปรียบเทียบกับความเร็วอ้างอิง (Speed Referent) ซึ่งผลตอบสนองของ



รูปที่ 5 Energy Regenerative Unit (ERU)

ระบบนั้นจะถูกควบคุมโดยระบบควบคุมแบบฟีดแบ็คซึ่งจะมีฟังก์ชันการถ่ายโอนดังนี้[1]

$$\frac{di_d}{dt} = \frac{1}{L_d} v_d - \frac{R}{L_d} i_d + \frac{L_q}{L_d} p \omega_r i_q \quad [A] \quad (5)$$

$$PI(s) = K_p + K_i \frac{1}{s} \quad (9)$$

$$\frac{di_q}{dt} = \frac{1}{L_q} v_q - \frac{R}{L_q} i_q - \frac{L_d}{L_q} p \omega_r i_d - \frac{\lambda p \omega_r}{L_q} \quad [A] \quad (6)$$

$$T_e = 1.5 p [\lambda i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \quad [Nm] \quad (7)$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J} (T_e - F \omega_r - T_m) \quad [rad/s] \quad (8)$$

3. การจำลองการทำงานของระบบ

ในบทความนี้ได้ทำการจำลองระบบการผลิตไฟฟ้าจากระบบลิฟต์สำหรับมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

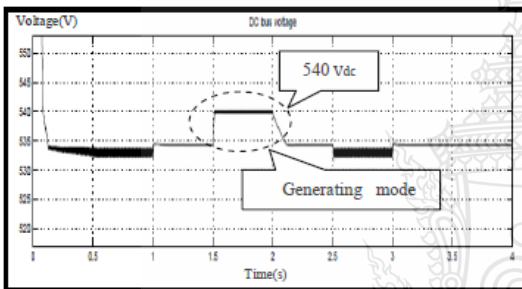
บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceedings of the 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)

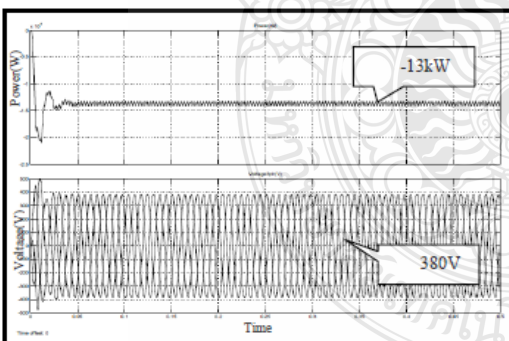
จากรูปที่ 4,5 โดยทั่วไปชุดขับมอเตอร์ในภาค Input นั้นจะใช้ชุด Diode Rectifier ทำให้การไหลของพลังงานไปในทิศทางเดียว ซึ่งแนวคิดในรูปที่ 4,5 จะนำมาใช้เป็นแนวคิดเพื่อสร้างจำลองเป็นชุดขับมอเตอร์ ซึ่งเป็นการขับมอเตอร์แบบรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative Motor Driver) โดยใช้ IGBT ในการควบคุมซึ่งสามารถควบคุมให้พลังงานสามารถไหลได้ทั้งสองทิศทาง กล่าวคือ ทิศทางหนึ่งเป็นการจ่ายพลังงานให้กับมอเตอร์ ส่วนอีกทิศทางหนึ่งเป็นการจ่ายพลังงานกลับคืนไปยังระบบไฟฟ้าเมื่อกรณีมอเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิด[2]

หลังจากมอเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิด ชุด ERU จะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าที่มาจาก DC Bus จากไฟฟ้ากระแสตรงแล้วเพิ่มแรงดันไฟฟ้าก่อนจะเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้ IGBT ในการควบคุมผ่าน Filter แล้วจ่ายเข้าสู่ระบบการไฟฟ้าต่อไป



รูปที่ 6 ผลจำลองการทำงานของแรงดันไฟฟ้า ERU

จากรูปที่ 6 เป็นผลของแรงดันไฟฟ้า ก่อนจะเข้าสู่ตัวจอร์ ERU เพื่อกลับคืนสู่ระบบของการไฟฟ้าเมื่อทำงานเป็นเครื่องกำเนิด



รูปที่ 7 ผลของกำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ที่ออกจากจอร์ ERU

จากรูปที่ 7 เป็นผลกราฟของกำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ที่ออกมาจาก ERU เมื่อกำลังไฟฟ้า (Power) ที่เกิดขึ้นมีค่าติดลบ แสดงถึงมีการจ่ายพลังงานคืนให้ Grid ดังนั้นจากจอร์รูปที่ 4 จอร์ ERU จะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

4.การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการจำลองการทำงานดังกล่าว ของการผลิตไฟฟ้าจากระบบลิฟต์สำหรับมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟ ซึ่งสรุปได้ผลจากการจำลองการทำงานดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าเมื่อผ่านจอร์ ERU

Input of ERU (DC Bus)	Output of ERU	
	Power 3Ø	Voltage 3Ø
530 - 540 Vdc	13kW	380 Vac

จากตาราง 2 แรงดันขาเข้า ERU เป็นแรงดัน DC เป็นผลจากการกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดของมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร ที่มีการเปลี่ยนแปลงของทอร์ก ขณะที่ความเร็วคงที่โดยไม่ต้องจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ เมื่อแรงดัน DC ที่ออกมาจากระบบ Inverter ของลิฟต์เดิมซึ่งจะทำการเพิ่มระดับแรงดันให้สูงขึ้นด้วยจอร์ DC Boost Converter ผ่านอุปกรณ์แปลงแรงดัน DC-AC จะทำให้แรงดันขาออก ERU เป็นลักษณะ Square Wave และเมื่อแรงดันผ่านชุดกรองสัญญาณ (Filter) ทำให้รูปคลื่นแรงดันเป็น Sine Wave แรงดันดังกล่าวสามารถนำไปเข้าอุปกรณ์เชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า (Grid Connected System)

5.สรุปและข้อเสนอแนะ

ERU เป็นวงจรที่สามารถนำไปเชื่อมต่อกับระบบลิฟต์เดิมที่ใช้มอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร เพื่อที่จอร์ ERU จะทำงานในขณะที่ไม่ได้จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ ทำให้ระบบลิฟต์ประหยัดพลังงานในช่วงที่ไม่ต้องจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์อีกทั้งยังสามารถผลิตไฟฟ้าจากมอเตอร์ลิฟต์เมื่อลิฟต์ทำงานด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งเป็นการนำพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียกลับมาใช้ประโยชน์ได้จริงและทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่เดิม

เอกสารอ้างอิง

- [1] ธนศิริ พันธุ์ประยูร และ บุญยัง ปลั่งกลาง. "การประหยัดพลังงานในลิฟท์แบบรีเจนเนอเรทีฟ กรณีศึกษาอาคารเรียนรวม". 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"
- [3] http://www.danahermotion.com/education_training/motor/four-quadrant_operation (August, 2012)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นายสิทธิชัย กันทะวงศ์
วัน เดือน ปีเกิด	28 เมษายน 2524
ที่อยู่	131 หมู่ 10 ต.ทุ่งฝาย อ.ลำปาง-แจ้ห่ม อ.เมือง จ.ลำปาง
การศึกษา	
พ.ศ. 2547	สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขต ภาคพายัพ
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2547 – 2548	ตำแหน่ง วิศวกรออกแบบ(หม้อแปลง) บริษัทไทตาบูนิจ จำกัด
พ.ศ. 2549 – 2552	ตำแหน่ง วิศวกรออกแบบ(ระบบไฟฟ้าอาคาร) บริษัทเครือเจริญโภค ภัณฑ์ จำกัด
พ.ศ. 2553 – ปัจจุบัน	ตำแหน่ง วิศวกรระดับ 5 ฝ่ายควบคุมระบบส่งและจำหน่าย การประปานครหลวง
เบอร์โทรศัพท์	0-813-865-158
อีเมล	h3s_k@hotmail.com

