การพัฒนาระบบเบรคมอเตอร์ชนิดเซฟตี้เบรค

Developement of Break-Motor System , Saftety Break Type

โดย

นายจิระศักดิ์ ธเนศวโรดม

นายชัชวาลย์ ฮาสุวรรณกิจ

นายพิเชษฐ์ วรพรพิพัฒน์

นายเอนก สมบูรณ์ศรี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2536

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาระบบเบรคมอเตอร์ชนิดเซฟตี้เบรค

ผู้จัดทำ

1.นายจิระศักดิ์ ธเนศวโรดม 33100057

2.นายชัชวาลย์ ฮาสุวรรณกิจ 33100079

3.นายพิเชษฐ์ วรพรพิพัฒน์ 33100254

4.นายเอนก สมบูรณ์ศรี 33100531

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ประภาษ ไพรสุวรรณา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

033138

การพัฒนาระบบเบรคมอเตอร์ชนิดเซฟตี้เบรค

DEVELOPMENT OF BRAKE MOTOR SYSTEM ,SAFETY BRAKE TYPE

โดย จิระศักดิ์ ธเนศวโรดม
ชัชวาลย์ ชาสุวรรณกิจ
พิเชษฐ์ วรพรพิพัฒน์
เอนก สมบูรณ์ศรี
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ประภาษ ไพรสุวรรณา

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ เป็นการพัฒนาระบบเบรคมอเตอร์ ชนิดเซฟตี้เบรค (Safety Brake type) ซึ่งทำการศึกษาและติดตั้งระบบเพิ่มเติมจากระบบเดิมที่มีอยู่ ใช้แบตเตอร์รี่ 48 โวลย์และตัวต้นกำลังเป็นมอเตอร์กระแสตรง (DC motor) ซึ่งคับปลิ้ง (Coupling) กับระบบต้นกำลังเดิมโดยผ่านระบบคลัทช์(Clutch) เมื่อระบบไฟฟ้าขัดข้องหรือไฟดับ วงจรควบคุมจะทำการโอนย้าย (Transfer) จากระบบเดิมเข้าสู่ระบบสำรอง ซึ่งจะทำงานแบบอินเตอร์ล๊อค (Interlock) กัน จากนั้นจะทำการคับปลิ้งมอเตอร์กระแสตรงผ่านระบบคลัทช์ พร้อมกับจ่ายพลังงานให้กับขดลวดโซลินอยด์ (Soliniod) เพื่อทำการปลดเบรค มอเตอร์กระแสตรง จะขับลิฟต์ลงมายังชั้นที่ 1 และดอร์โอเปอร์เรเตอร์ (door operator) ทำการเปิดประตูโดยอัตโนมัติและจะคืนภาระทำงานให้กับระบบเดิม

Abstract

This paper is about the developement of brake motor system, safety brake type. For study to method and add installation of system to the old elevator system. As usesing 48 volts system of battery and power drive is direct current motor.The d.c. motor is coupled to old system by cluth system. When the electrical system fails , the control circuit will transfer the regulation system to this reserved system which working interlock together. Then couple d.c.motor by clutch system and supply energy for solinoid to release the brake. The d.c. motor will take the elevator down to the first floor. And the door operator will open the door automatically and return working to the regulation system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ลิฟต์และทฤษฎีการคำนวณที่ใช้ในการทดลอง	2
2.1.)ลิฟต์และคำนิยาม	2
2.1.1.)ลิฟต์โดยทั่วๆ ไป	2
2.1.2.)ลักษณะโครงสร้างและส่วนประกอบของลิฟต์	3
2.1.3.)การทำงานของระบบลิฟต์ในภาวะปกติ	19
2.2.)ปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อไฟปกติดับ	20
2.3.)การแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น	20
2.3.1.)โดยวิธีช่วยเหลือด้วยมือ (Manual Method)	20
2.3.2.)โดยวิธีอัตโนมัติ (Automatic Method)	20
2.4.)ทฤษฎีการคำนวณที่ใช้ในการทดลอง	23
2.4.1.)ทฤษฎีการคำนวณหาขนาดมอเตอร์	23
2.4.2.)การตั้งสายพานเพื่อส่งกำลังให้แก่โหลด	39
2.4.3.)แรงทางกลและพลังงานสะสม	44
บทที่ 3 วงจรควบคุม,วงจรหน่วงเวลา,วงจรอัดประจุแบตเตอร์รี และการทำงาน	53
3.1.)อุปกรณ์หลักและหน้าที่ในวงจรควบคุม	53
3.2.)การทำงานของวงจรควบคุม	54
3.3.)การทำงานของวงจรหน่วงเวลา	56
3.4.)วงจรอัดประจุแบตเตอร์รี	56
3.4.1.)ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแบตเตอร์รี	56
3.4.2.)พารามิเตอร์ในการอัดประจุ	59
3.4.3.)วิธีการอัดประจุแบตเตอร์รี	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4.)การประยุกต์การใช้งาน 61

3.4.5.)การเลือกใช้แบตเตอร์รีในโครงงานนี้ 62

3.4.6.)หลักการประจุแบตเตอร์รีในโครงงานนี้ 62

3.4.7.)การทำงานของวงจรเครื่องอัดประจุแบตเตอร์รี 63

3.5.)รูปแสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ 69

บทที่ 4 การทดลองและหลักการสร้าง 72

4.1.)การทดลองเพื่อศึกษาหาข้อมูล 72

4.1.1)ข้อมูลที่เกี่ยวกับการหาขนาดของขดลวดโซลินอยด์ 72

4.1.2)ข้อมูลที่เกี่ยวกับการหาขนาดของมอเตอร์ 73

4.1.3)การคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ 75

4.2.)การต่อประกับมอเตอร์กับโหลด 76

4.3.)การทำงานของคลัทช์ 77

4.4.)การออกแบบโซลินอยด์และการทดสอบ 78

บทที่ 3 บทวิจารณ์และสรุป 84

กิตติกรรมประกาศ 85

หนังสืออ้างอิง 86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

บทที่ 2 ลิฟต์และทฤษฎีการคำนวณที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 2.1 แสดงวิธีการแขวนแบบต่างๆ 4

รูปที่ 2.2 แสดงมอเตอร์ชนิดกรงกระรอก 5

รูปที่ 2.3 แสดงมอเตอร์หลายอัตราเร็ว 7

รูปที่ 2.4 แสดงเบรคแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสตรง 9

รูปที่ 2.5 แสดงลูกรอก 10

รูปที่ 2.6 แสดงตัวถ่วงน้ำหนัก 11

รูปที่ 2.7 แสดงไดอะแกรมสำหรับตัวถ่วงน้ำหนัก 13

รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบของลิฟต์ 16

รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบของตัวขับเคลื่อน 18

รูปที่ 2.10 แสดงอิเลคโตรแมกเนติคเบรค 22

รูปที่ 2.11 แสดงทิศทางกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง 23

รูปที่ 2.12 แสดงทิศทางการเกิดแรงบิดในตัวนำ 24

รูปที่ 2.13 แสดงแรงบิดในตัวนำ 25

รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างของขั้วสนามแม่เหล็ก 26

รูปที่ 2.15 แสดงร่องสล็อตของแกนอาร์เมเจอร์ 27

รูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างของอาร์เมเจอร์ 28

รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะคอมมิวเตเตอร์ 29

รูปที่ 2.18 แสดงแปรงถ่านและที่ยึดแปรงถ่าน 30

รูปที่ 2.19 แสดงวงจรเพื่อทดสอบแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ 33

รูปที่ 2.20 แสดงเคิร์ฟของแรงบิด - ความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง 36

รูปที่ 2.21 แสดงการต่อโหลดระหว่างมอเตอร์ต้นกำลังกับเครื่องจักร 37

รูปที่ 2.22 แสดงการวัดค่าต่างๆ สำหรับการหาค่าแรงดึงต่ำสุดบนสายพาน 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 2.23 แสดงการเคลื่อนที่ทางกลของแท่งเหล็กภายใต้ค่า mmf ของขดลวดที่มีค่าคงที่ 45

รูปที่ 2.24 แสดงการเคลื่อนที่ทางกลของแท่งเหล็ก ภายใต้เส้นแรงแม่เหล็กที่มีค่าคงที่ในช่องอากาศ 47

รูปที่ 2.25 แสดงอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับตัวอย่างที่ 2.3 49

รูปที่ 2.26 แสดงหน้าสัมผัสและวงจรเสมือน 51

รูปที่ 2.27 แสดงหน้าสัมผัสกระแสตรง 52

บทที่ 3 วงจรควบคุม, วงจรหน่วงเวลา, วงจรอัดประจุแบตเตอร์รี และการทำงาน

รูปที่ 3.1 (a) แสดงวงจรควบคุม 65

(b) แสดงวงจรควบคุม และเปิด-ปิดประตู 66

รูปที่ 3.2 แสดงวงจรหน่วงเวลา 67

รูปที่ 3.3 แสดงวงจรอัดประจุแบตเตอร์รี 68

รูปที่ 3.4 แสดงแผงวงจรควบคุม 69

รูปที่ 3.5 แสดงการติดตั้ง S_2 69

รูปที่ 3.6 แสดงการติดตั้ง S_3 และ S_6 70

รูปที่ 3.7 แสดงการติดตั้ง S_4 70

รูปที่ 3.8 แสดงการติดตั้ง S_5 71

รูปที่ 3.9 แสดงการติดตั้ง $S_{/1}$ - $S_{/6}$ 71

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

รูปที่ 4.1 แสดงการทดสอบโดยออกแรงดึงคานปลดเบรค 72

รูปที่ 4.2 แสดงการหาแรงฉุดเพลาให้เริ่มหมุน 73

รูปที่ 4.3 แสดงการต่อสายพานขับโหลด 76

รูปที่ 4.4 แสดงคลัทช์ที่ต่ออยู่กับเพลาของมอเตอร์กระแสตรง 77

รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะของโซลินอยด์ที่ทำการสร้าง 78

รูปที่ 4.6 แสดงวงจรทดสอบโซลินอยด์ 79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 แสดงโครงสร้างทางกลของระบบเบรค 80

รูปที่ 4.8 แสดงการติดตั้งโครงสร้างการปลดเบรคให้กับระบบลิฟต์ 81

รูปที่ 4.9 แสดงการยึดโครงสร้างทางกลกับจุดที่จะทำการปลดเบรค 82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงงาน

วัตถุประสงค์ของโครงงานนี้ คือ เมื่อเกิดระบบไฟฟ้าขัดข้อง หรือไฟดับ วงจรควบคุมจะสามารถทำการโอนย้ายจากระบบเดิมเข้าสู่ระบบสำรอง พร้อมทั้งมอเตอร์กระแสตรงสามารถขับลิฟต์ลงยังชั้นที่ 1 และหลังจากนั้นจะคืนการทำงานให้กับระบบเดิมได้อย่างเรียบร้อยปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันลิฟท์มีการใช้กันอย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นลิฟท์สำหรับโดยสาร , บรรทุกสิ่งของ หรือลิฟท์ในโรงงานอุตสาหกรรม ระบบลิฟท์ได้ถูกพัฒนาขึ้นให้เหมาะสมกับ การใช้งานและความปลอดภัยของผู้ใช้ ไม่ว่าจะเป็นทางด้านโครงสร้าง ,แทรฟฟิค ดีซายด์ (Traffic design) ,ระบบควบคุม ,ระบบเกียร์ หรือแม้แต่ระบบความปลอดภัย ระบบลิฟท์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันเป็นระบบเซฟตี้เบรค ปัญหาอย่างหนึ่งของลิฟท์ระบบนี้คือลิฟท์ค้างเมื่อระบบไฟฟ้าขัดข้องหรือดับ ปริญญานิพนธ์เรื่องการพัฒนาระบบเบรคมอเตอร์ซนิดเซฟตี้เบรคนี้เป็นแนวความคิดหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยจะทำการศึกษาและติดตั้งระบบเพิ่มเติมจากระบบเดิมที่มีอยู่โดยไม่เกี่ยวข้องกับระบบเดิม โดยมีขั้นตอนการศึกษาและการดำเนินการดังนี้

ทฤษฎีและหลักการ : ในขั้นนี้จะทำการศึกษาทฤษฎี และหลักการการทำงานของลิฟท์ กล่าวถึงลักษณะ โครงสร้างและส่วนประกอบของลิฟท์โดยทั่ว ๆ ไป หลักการทำงานและปัญหาเมื่อเกิดระบบไฟขัดข้อง ,การหาขนาดมอเตอร์ และทฤษฎีของโซลินอยด์

การคำนวณและการสร้าง : กล่าวการคำนวณหาขนาดมอเตอร์ , การคำนวณและการพันขดลวด โซลินอยด์

การทดลองและผลการทดลอง : ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงการทดลองและผลการทดลองของ การทดสอบแรงที่ใช้การออกตัวเพื่อนำมาหาขนาดมอเตอร์ ,การทดสอบขดลวดเหนี่ยวนำ , การทดสอบมอเตอร์ นอกจากนั้นก็อยู่ในขั้นของการติดตั้ง การทดสอบระบบและการแก้ไขปรับปรุงไปพร้อม ๆ กัน เป็นลำดับด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ลิฟต์และทฤษฎีที่ใช้ในการทดลอง

2.1) ลิฟต์และคำนิยาม

ความหมายของลิฟต์ (Lift)หรือตัวยก คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการยกขึ้น-ลงแบบถาวรระหว่างพื้นที่ต่างระดับ 2 ระดับ หรือมากกว่านั้น และรวมหมายถึงเป็นพาหนะสำหรับขนส่งผู้โดยสาร และ/หรือสิ่งของอื่น ๆ โดยจะเคลื่อนที่อยู่ระหว่างร่างที่ถูกยึดแน่นอยู่กับที่ และมีรอกเป็นตัวชักขึ้น-ลงในลักษณะเป็นแนวตั้งฉากกับพื้น หรือในแนวลาดเอียง ทำมุมจากแนวตั้งฉากน้อยกว่า 15 องศา

2.1.1) ลิฟต์โดยทั่ว ๆ ไป

ลิฟต์ที่มีใช้กันอยู่โดยทั่ว ๆไปนั้นมีหลายประเภท ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ตามคุณลักษณะหลาย ๆ อย่าง แต่คุณลักษณะที่สำคัญที่สุดที่ใช้ในการพิจารณาในการแบ่งประเภทของลิฟต์คือวิธีการขับเคลื่อน (Drive Method) ซึ่งมีผลทำให้มีความแตกต่างกันในหลักการออกแบบและมีความแตกต่างกันในทางโครงสร้างของส่วนประกอบของลิฟต์

ชนิดของลิฟต์ที่แบ่งออกได้ตามคุณลักษณะที่ใช้ในการขับเคลื่อนลิฟต์มีดังนี้ คือ

1. ลิฟต์ที่เคลื่อนที่ได้โดยใช้ไฟฟ้า (Electric Elevators)
2. ลิฟต์ที่เคลื่อนที่ได้โดยใช้กำลังขับของของเหลว (Hydraulic Elevator) เช่น น้ำมัน
3. ลิฟต์ที่เคลื่อนที่ได้โดยใช้กำลังของลม (Pneumatic Elevator)

เนื่องจากลิฟต์ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ ส่วนใหญ่เป็นลิฟต์ที่เคลื่อนที่ได้โดยใช้ไฟฟ้า ดังนั้นต่อไปจึงขอกล่างถึงเฉพาะเรื่องของลิฟต์ที่เคลื่อนที่ได้โดยใช้ไฟฟ้าเท่านั้น

ลิฟต์ที่เคลื่อนที่โดยใช้ไฟฟ้า อาจแบ่งออกเป็น

ก.) การขับโดยใช้กำลังลากของเครื่องจักร (Traction Drive) โดยใช้เชือกแขวนไว้ ซึ่งเป็นการขับเคลื่อนที่อาศัยแรงเสียดทานในร่องของการขับเคลื่อนล้อในลูกรอกของเครื่องจักร

ข.) การขับเคลื่อนในทางบวก (Position Drive) ซึ่งเป็นการแขวนด้วยโซ่หรือเชือก และอาศัยการขับเคลื่อนด้วยวิธีอื่นมากกว่าอาศัยแรงเสียดทาน (การขับแบบดรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Drum drive))

มาตรฐานของอังกฤษ BS 5655:PART 5:1987 ได้แบ่งลิฟต์ที่เคลื่อนที่ได้โดยใช้ไฟฟ้าแบบการขับ โดยใช้กำลังลากของเครื่องจักรออกเป็น 7 ชนิด โดยแบ่งตามคุณสมบัติความสัมพันธ์ภายนอกระหว่างขนาดกับภาระ (กิโลกรัม) ,ความเร็วในการเคลื่อนที่ (เมตร/วินาที) และการติดตั้ง

ตัวแปรหลักที่สำคัญทางเทคนิคของลิฟต์คือ พิกัดภาระ (Rated Load) มีหน่วยเป็นกิโลกรัม และพิกัดความเร็ว (Rated Speed) ในการเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็นเมตร/วินาที ซึ่งส่วนประกอบต่าง ๆ จะถูกสร้างขึ้นจากความสัมพันธ์ของตัวแปรเหล่านี้ที่ภาวะการใช้งานปกติ และจะต้องได้รับการรับรองจากโรงงานผู้ผลิต

น้ำหนักของผู้โดยสารแต่ละคนที่ใช้ในการคำนวณ ใช้ค่าเฉลี่ยประมาณ 75 กิโลกรัม/คน นอกจากนี้ยังมีคุณลักษณะของตัวแปรอื่นๆ ที่จะต้องพิจารณาร่วมด้วยคือ

ก. ความสูงในการเคลื่อนที่ (ระยะทางที่ห้องผู้โดยสารเคลื่อนที่ขึ้น), จำนวนการหยุด และกำแหน่งที่หยุด

ข. ขนาดของช่องทาง (Elevator Well), ขนาดของห้องผู้โดยสาร (Car)และขนาดของห้องเครื่องจักร

ค. แรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย , จำนวนของการเริ่มต้นสตาร์ทต่อชั่วโมง และค่าอัตราจำนวนการใช้ลิฟต์สูงสุด ต่อจำนวนการใช้ทั้งหมด ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง (Load Factor)

ง. ระบบควบคุม

จ. บริเวณพื้นที่ และการจัดวางประตูห้องผู้โดยสาร และชนิดของตัวทำงาน (Type of Operator)

ฉ. จำนวนของลิฟต์และตำแหน่งในการสร้าง

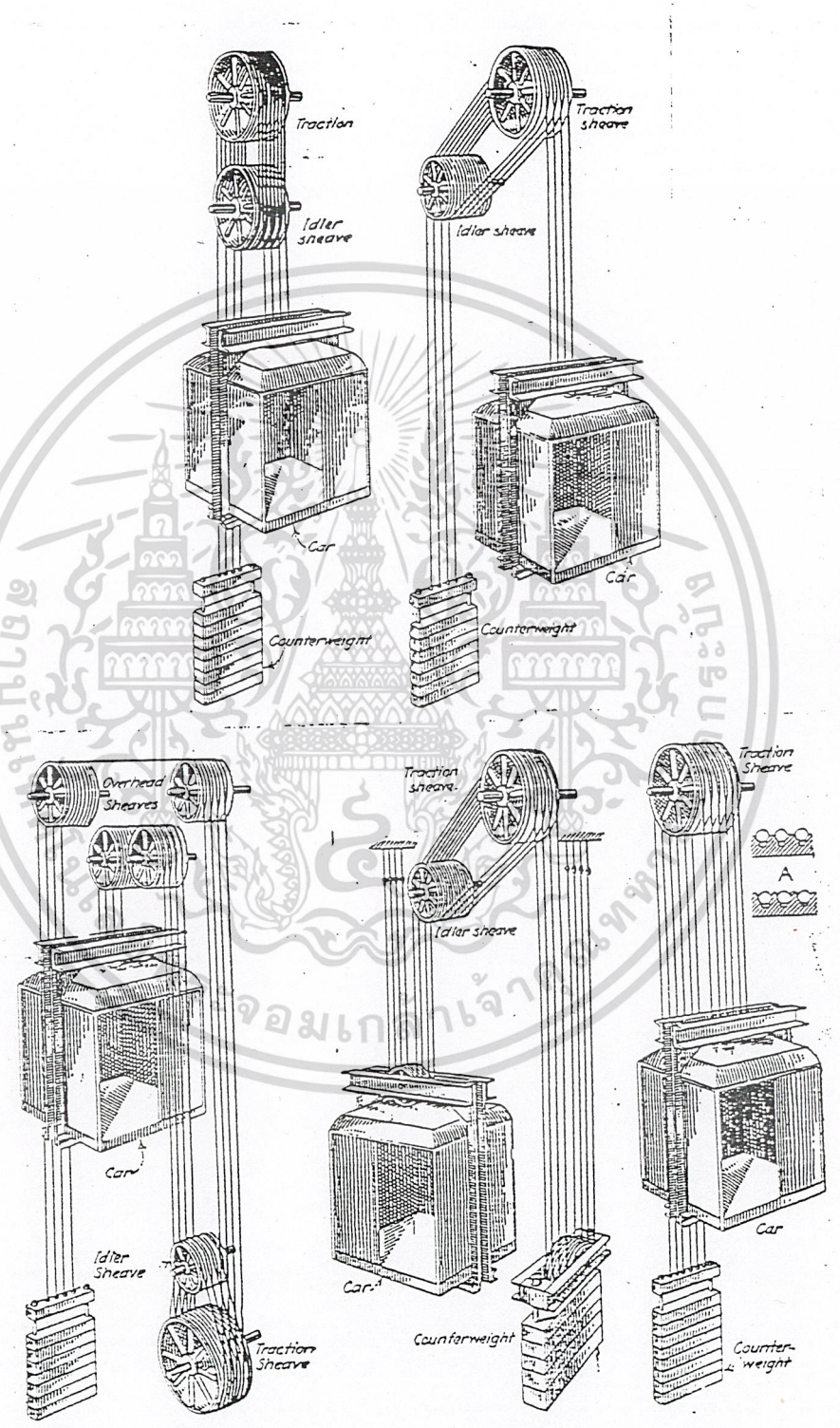
ช. สภาพแวดล้อม

2.1.2) ลักษณะโครงสร้างของลิฟต์และส่วนประกอบ

ลิฟต์ที่ติดตั้งสมบูรณ์สามารถใช้งานได้ในภาวะปกติ จะต้องประกอบด้วยอุปกรณ์หลาย ๆ ส่วนซึ่งรวมกัน เรียกว่าระบบลิฟต์ ซึ่งจะกล่าวถึงส่วนประกอบหลัก ๆ ที่มีความสำคัญดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. วิธีของการแขวน (Suspension Means) ห้องผู้โดยสาร และตัวถ่วงน้ำหนัก (Counterweight) ซึ่งมีทั้งการใช้เชือกเหล็ก และใช้โซ่แขวน



รูปที่ 2.1 แสดงวิธีการแขวนแบบต่าง ๆ

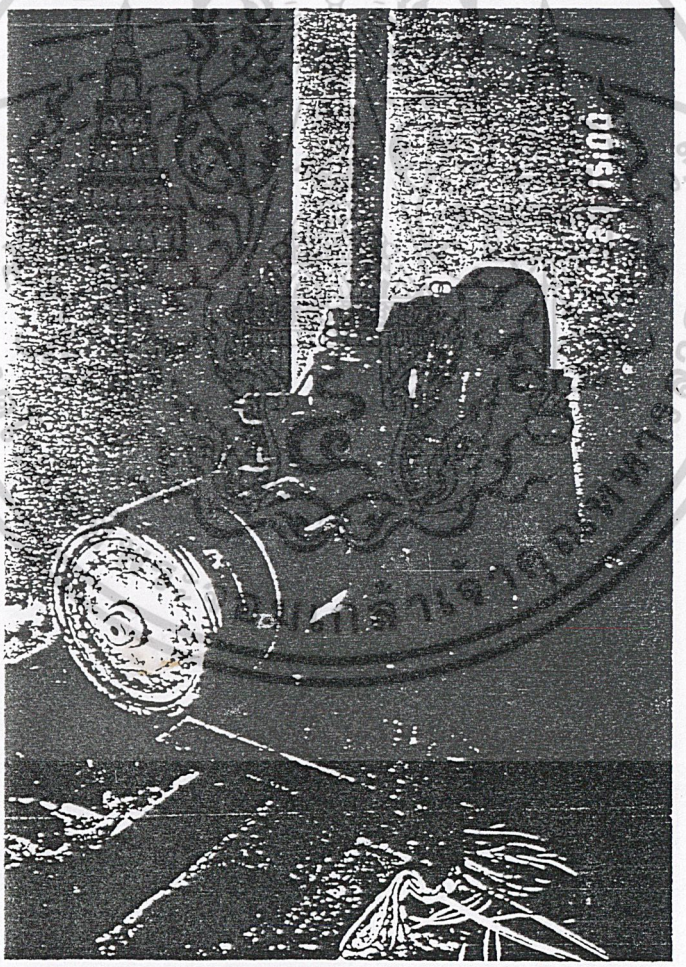
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. เครื่องจักรที่ใช้ขับเคลื่อนลิฟต์ (Driving Machine)

1. มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor)

- มอเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Motor)

มอเตอร์แบบนี้ถูกใช้อย่างกว้างขวางในลิฟต์ที่มีความเร็วต่ำและปานกลาง จะไม่นำไปใช้ในลิฟต์ความเร็วสูงเหมือนดังเช่น เครื่องจักรลากดึงโดยตรงแบบใหม่แต่เมื่อเราต้องการใช้ในระดับความเร็วสูง ๆ เช่น ในลิฟต์ที่มีความเร็วเกินกว่า 400 fmp มอเตอร์กระแสตรง (Direct Current Motor) ทั่วไปที่ควบคุมได้ด้วยแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ก็สามารถนำมาใช้ได้ผลดี มอเตอร์กระแสสลับ (Alternating Current Motor) เคยใช้กันในลิฟต์ที่มีความเร็วสูงถึง 700 fmp แต่เดี๋ยวนี้โดยที่วไปถูกจำกัดลงมา



รูปที่ 2.2 แสดงมอเตอร์ชนิดกรงกระรอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหลือ 200 fmp หรือน้อยกว่านั้น เพราะข้อเสียเปรียบที่ว่าให้แรงบิดเริ่มต้นที่น้อยกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก โดยทั่วๆไปจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในงานเกี่ยวกับลิฟต์ ในทางปฏิบัติพบว่าในลิฟต์แบบวอร์มเกียร์ (Worm Gear) มอเตอร์นี้ต้องให้แรงบิดถึง 200 % ของแรงบิดที่ภาระเต็มพิกัด (Full Load) เพื่อสตาร์ท (Start)และเร่งเครื่องในการชักรอก สำหรับในกรณีที่ลิฟต์นั้นบรรทุกเต็มพิกัด ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยสำหรับมอเตอร์กระแสสลับแบบกรงกระรอกนี้จะถูกออกแบบให้มีแรงบิดถึง 250 % ของแรงบิดที่ภาระเต็มพิกัด แต่แรงบิดที่สูงเช่นนี้จะทำให้ผู้โดยสารที่ใช้ลิฟต์ขณะที่มีน้ำหนักบรรทุกไม่มากเกิดการกระแทกได้ อันเนื่องมาจากอัตราเร่งอย่างรวดเร็วนั่นเอง ซึ่งความยุ่งยากที่เกิดขึ้นนี้ในทางปฏิบัติสามารถแก้ไขได้ โดยการต่ออนุกรมตัวความต้านทานเข้าไปในขดลวดสตาร์ทเตอร์ (Startor Coil) ซึ่งจะไปลดแรงบิดของมอเตอร์ลงในระหว่างการสตาร์ท หลังจากที่มอเตอร์สตาร์ทเสร็จแล้ว ความต้านทานนี้ก็จะถูกปลดออกจากวงจร ซึ่งจะทำให้ไม่ไปเป็นภาระของมอเตอร์ แต่จะช่วยให้มอเตอร์สตาร์ทได้อย่างนุ่ม

- มอเตอร์แบบพันขดลวด (Wound-rotor Motor)

ในอดีต เคยใช้มอเตอร์ชนิดนี้กับลิฟต์ที่จะต้องมีส่วนควบคุม ที่จะทำการตัดความต้านทานที่ใช้ในการสตาร์ทมอเตอร์ ออกเป็นขั้นๆ

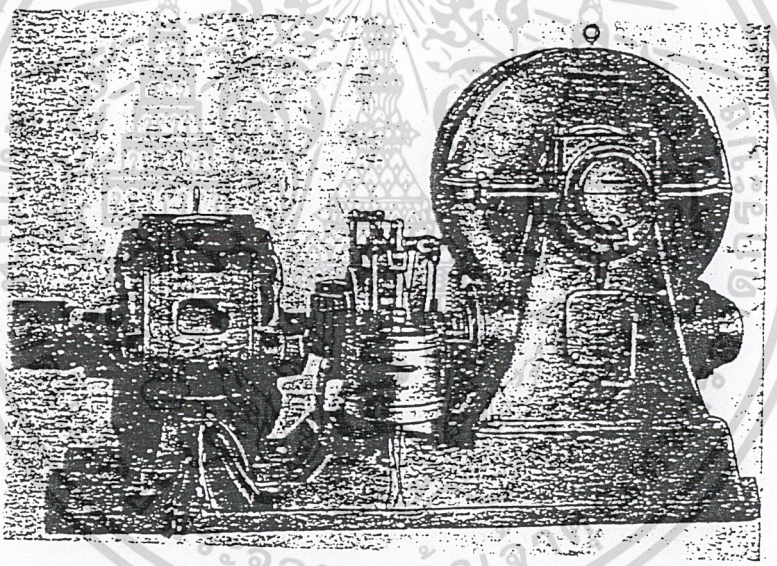
ในปัจจุบัน มอเตอร์แบบกรงกระรอกซึ่งมีแรงบิดสูงๆถูกนำมาใช้แทนที่มอเตอร์แบบพันขดลวด ซึ่งมีความยุ่งยากซับซ้อนในการควบคุม และมีราคาแพง อย่างไรก็ตามก็ยังไม่มีมอเตอร์ที่สามารถลดความเร็วพิกัดในการหยุดลิฟต์มากไปกว่ามอเตอร์กรงกระรอกความเร็วเดียว (Single Speed) ซึ่งทำให้มีการนำมอเตอร์แบบสองความเร็ว (Two Speed) มาใช้

- มอเตอร์แบบหลายความเร็ว (Multi Speed Motor)

แม้ว่าระบบลิฟต์ที่ดีจะสามารถลดความเร็วลิฟต์ลงในความเร็ว 150-200 fmp แต่ก็ยังคงมีความต้องการที่จะต้องลดความเร็วลงไปถึง 60 fmp ก่อนการตัดกำลังออกจากมอเตอร์ ซึ่งในงานบริการบรรทุกสินค้าแล้ว ต้องสามารถลดลงไปถึง 10 fmp ในมอเตอร์กระแสตรงนั้น ความเร็วลิฟต์สามารถปรับได้ด้วยการปรับวงจรควบคุม ดังนั้นความเร็วใดๆในขณะจะหยุด ที่ต้องการส่วนใหญ่ก็สามารถปรับได้ มอเตอร์กระแสสลับเมื่อถูกลดภาระหนักๆลง ความต้านทานที่ต่ออยู่กับตัวสเตเตอร์ (Stator) หรือโรเตอร์ (Rotor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำให้ลิฟต์มีความเร็วเพิ่มขึ้นแทนที่จะลดลง ในขณะรับภาระหนัก มอเตอร์จะเป็นตัวจ่ายกำลังให้แก่ระบบและระหว่างการทำการเบรคและทำการควบคุมลิฟต์ ถ้าหากมีความต้านทานต่อเข้าไปในวงจร ความเร็วของมอเตอร์จะต้องเพิ่มขึ้น เพื่อขับกระแสที่จำเป็นและเพื่อทำการเบรค จึงจะสามารถควบคุมลิฟต์ได้ด้วยเหตุผลที่กล่าวมานี้ ทำให้ลิฟต์ต้องหยุดในขณะที่มีความเร็วเต็มพิกัด ถ้าหากใช้มอเตอร์ความเร็วเดียว เงื่อนไขนี้ทำให้เกิดข้อจำกัดในความเร็วของลิฟต์ที่ใช้มอเตอร์ชนิดความเร็วเดียวอยู่ราวๆความเร็ว 50 fpm หากต้องการเพิ่มความเร็วขึ้นกว่านี้ก็ต้องใช้มอเตอร์ที่มีความเร็ว 2 ระดับ ซึ่งมักจะเป็นแบบกรงกระรอก ผู้ประกอบการเกี่ยวกับลิฟต์บางรายก็ใช้มอเตอร์แบบหลายความเร็วในลิฟต์ทุกความเร็ว



รูปที่ 2.3 แสดงมอเตอร์หลายอัตราเร็ว

มอเตอร์แบบหลายความเร็วนี้ถูกสร้างขึ้นในรูปแบบที่ต่างกัน 3 รูปแบบคือ

แบบที่ 1 ถูกสร้างให้มีขดลวดเดียวที่สามารถให้ความเร็วได้ต่างกันสองความเร็ว โดยการแบ่งขดลวดออกเป็นกลุ่มๆ มอเตอร์แบบนี้ถูกจำกัดในเรื่องของช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการเปลี่ยนความเร็ว ซึ่งจะอยู่ในช่วงระดับ 1 กับ 4 โดยการแบ่งกลุ่มของขดลวดภายใต้เครื่องควบคุมที่เหมาะสม ซึ่งจะให้ขั้ว 2 จำนวนที่ต่างกัน เช่น 24 ขั้วกับ 6 ขั้ว ในวงจร 60 รอบ แบบ 24 ขั้ว จะทำให้มอเตอร์มีความเร็วซิงโครนัส (synchronous) 300 fmp และ 6 ขั้ว จะให้ความเร็วซิงโครนัส 1200 fmp

แบบที่ 2 ของการสร้างมอเตอร์สองความเร็ว คือ การพันขดลวดในสเตเตอร์ด้วยขดลวดสองขด แต่พันในสล๊อตเดียวกัน ขดลวดสองขดนี้จะถูกแบ่งเป็นกลุ่มๆ เพื่อให้ขั้วต่างๆ กัน เช่น 24 ขั้ว 6 ขั้ว ซึ่งจะให้อัตราส่วนของความเร็วเช่นเดียวกับเครื่องที่ใช้ขดลวดเดียว มอเตอร์ชนิดนี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อ ให้สามารถเปลี่ยนความเร็วได้สูงระหว่างระดับหนึ่งกับระดับหก เช่น ถ้าหากความเร็วต่ำเป็น 150 rpm ความเร็วสูงจะเป็น 900 rpm มอเตอร์แบบนี้ถูกสร้างเพื่อใช้ในลิฟต์ที่มีความเร็วสูงถึง 700 rpm

แบบที่ 3 ของมอเตอร์สองความเร็ว ประกอบด้วยมอเตอร์สองตัวที่แยกจากกัน โดยบนแกนสเตเตอร์ตัวหนึ่งมี 16 ขั้ว และอีกตัวหนึ่งมี 4 ขั้ว ซึ่งแบบนี้จะให้ความเร็วเปลี่ยนจากหนึ่งเป็นสี่เท่า มอเตอร์แบบนี้จะถูกจำกัดในเรื่องช่วงกว้างในการเปลี่ยนความเร็ว โดยแฟคเตอร์เดียวกันที่เกิดในมอเตอร์แบบขดคู่

2. เฟืองจักรกล (Mechanical Gearing)

3. เบรค (Brake)

ระบบเบรคของลิฟต์ต้องตั้งการทำงานแบบอัตโนมัติหากมีการขาดการจ่ายไฟในส่วนกำลัง และหรือขาดการจ่ายไฟไปยังวงจรควบคุม ซึ่งเป็นเบรคเสียดทานจักรกลไฟฟ้า (Electromechanical Friction Brake) เบรคต้องมีคุณสมบัติในการหยุดเครื่องจักร เมื่อห้องผู้โดยสารมีโหลด 125% ของพิกัดโหลดขณะที่ทำงานที่พิกัดอัตราเร็ว

เบรคต้องใช้แรงอัดสปริงหรือแรงดึงดูด และสามารถปลดเบรคด้วยแบบแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) หรือแบบไฮดรอลิคไฟฟ้า (electrohydraulic) การอินเทอร์รัพต์ (Interruption) ของกระแสต้องถูกควบคุมโดยอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่เป็นอิสระกันอย่างน้อยสองตัว และเบรคนั้นต้องถูกออกแบบให้สามารถปลดเบรคด้วยมือได้

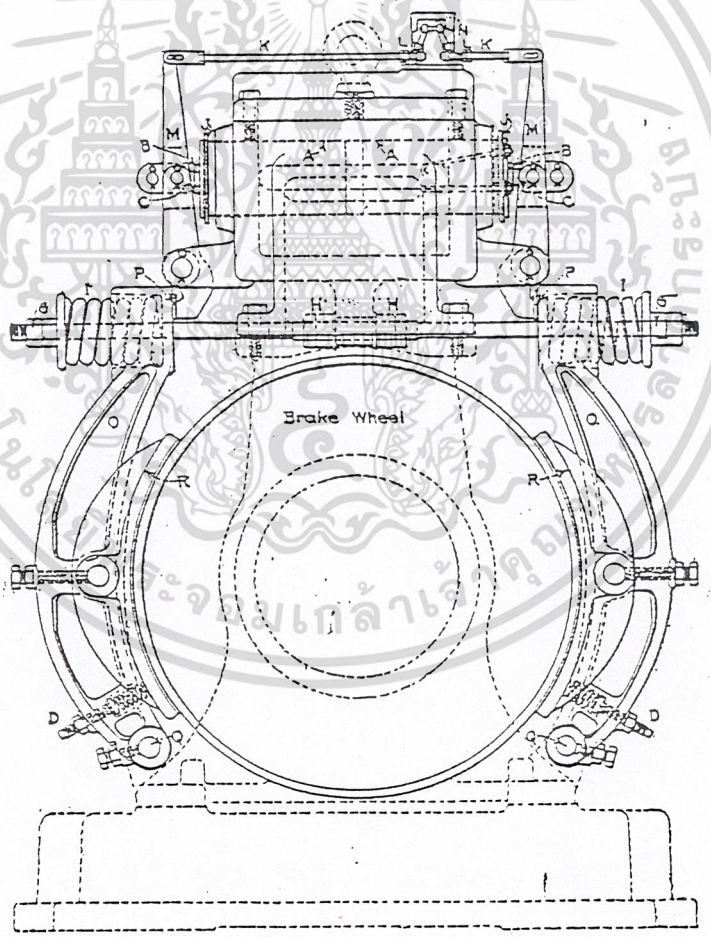
เบรคของลิฟต์ส่วนมากเป็นแบบแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบด้วย ชุดสปริง,แท่นเบรคกับฝาประกับ และชุดของแม่เหล็ก การปลดเบรคทำได้โดยการกระตุ้นโซลินอยด์ เมื่อไม่มีพลังงานแท่นเบรคจะเกาะอยู่ที่ดรัมเบรค (Brake Drum)ด้วยผลของสปริงอันและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเหนี่ยวนำแรงบิดของเบรค การออกแบบเบรคในระยะหลังนี้ใช้งานได้ง่ายมาก แต่มีโครงสร้างที่ยุ่งยากมากขึ้น สปริงเสียดทานต้องพอดี (Fit) กับแท่นเบรคเพื่อป้องกันการลาก (Trailing) บนเบรคดรัม แท่นเบรคถูกจัดให้มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงทำจากทองเหลืองหรือทองแดง ฝาประกับส่วนมากทำจากไฟเบอร์แบบถัก ช่องว่างเริ่มต้นระหว่างฝาประกับเบรคและดรัมถูกตั้งให้ใกล้กันมากเพื่อการเบรคได้เร็ว

ในรูปที่ 2.4 แรงเบรคถูกเหนี่ยวนำโดยสปริงกดสองตัว และแม่เหล็กถูกติดตั้งไว้ระหว่างปลายด้านบนของแขนทำงาน ฝาประกับถูกติดตั้งโดยตรงบนแขนทำงาน



รูปที่ 2.4 แสดงเบรคแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

033138

4. ลูกรอก,กว้านหรือล้อเฟืองที่ใช้กับโซ่ (Sheav , Drum or Chain Sprockets)

รูปที่ 2.5 แสดงลูกรอก

5. จานต่อเพลา , เพลา (Shafts) , เพลาตอนที่วางอยู่บนฝาประกับเพลา (Journals) และลูกปืน (Bearing)

6. โครงของเครื่องจักร (Machine Frame)

ค. ห้องผู้โดยสาร ซึ่งเป็นพาหนะสำหรับผู้โดยสารและ/หรือภาระอื่นๆ ซึ่งประกอบ

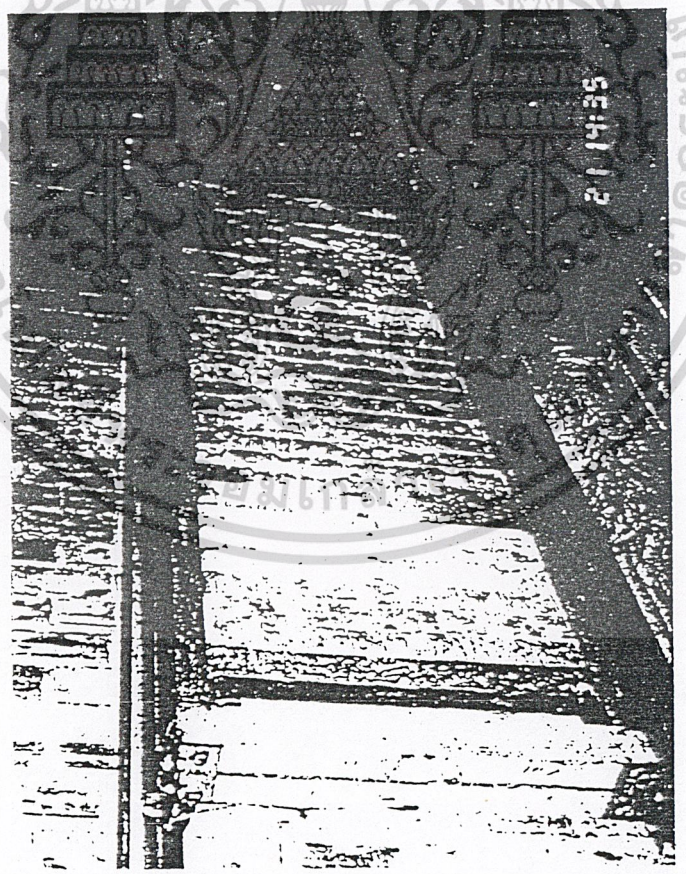
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยเชือก (Sling), โครงสร้างที่ต่อกับเชือกแขวน, แท่นรองรับผู้โดยสาร

ซึ่งมีอุปกรณ์อื่นๆ ประกอบอยู่ด้วยคือ

- ฟันเฟืองแบบแขวน
- รางนำทางสำหรับการเคลื่อนที่ของห้องผู้โดยสาร
- เฟืองนิรภัย
- ประตูห้องผู้โดยสารและตัวเปิด-ปิดประตู

ง. ตัวถ่วงน้ำหนัก เพื่อให้เกิดความสมดุลย์ของน้ำหนักที่สภาวะเต็มพิกัดภาระ และเป็นการลดกำลังขับของมอเตอร์จึงได้มีการเพิ่มอุปกรณ์ช่วยถ่วงน้ำหนักให้กับลิฟต์ โดยการบรรทุกแท่งเหล็กไว้ในด้านตรงกับข้ามกับห้องผู้โดยสารซึ่งเรียกว่าตัวถ่วงน้ำหนัก ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งการคำนวณหาขนาดของตัวถ่วงน้ำหนักนี้ ถ้าเป็นการติดตั้งลิฟต์ที่ใช้ในระยะสูงๆ จะคำนึงถึงน้ำหนักของสายเคเบิลที่เคลื่อนที่ขึ้น-ลงด้วย



รูปที่ 2.6 แสดงตัวถ่วงน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางอุดมคติสามารถคำนวณหาน้ำหนักของตัวถ่วงน้ำหนักเพื่อให้เกิดความสมดุลย์ได้ดังนี้

$$(K+\alpha*Q)*g_n + (H-z)*q_L*g_n + z*q_k*g_n + y*q_s*g_n = Z*g_n + z*q_L*g_n + (H-z)*q_k*g_n \quad (1)$$

เมื่อ Z คือน้ำหนักของตัวถ่วงน้ำหนัก (กิโลกรัม)

α คือเปอร์เซ็นต์อัตราส่วนของภาระเต็มพิกัดกับสภาพสมดุลย์ โดยตัวถ่วงน้ำหนัก ซึ่งโดยทั่วไปใช้ค่าประมาณ 45-50 %

K คือน้ำหนักของห้องผู้โดยสาร (กิโลกรัม)

Q คือน้ำหนักของภาระเต็มพิกัด (กิโลกรัม)

H คือระยะทางเคลื่อนที่ของห้องผู้โดยสาร (เมตร)

q_L คือหน่วยน้ำหนักของเส้นเชือกที่แขวน (กิโลกรัม/เมตร)

q_k คือหน่วยน้ำหนักของสายเคเบิลชดเชย (กิโลกรัม/เมตร)

q_s คือหน่วยน้ำหนักของเส้นเชือกที่เคลื่อนที่ขึ้น-ลงตามห้องผู้โดยสาร (กิโลกรัม/เมตร)

y คือความยาวแปรเปลี่ยนของสายเคเบิล ที่เคลื่อนที่ขึ้น-ลงตามห้องผู้โดยสารที่อยู่ในระดับต่ำกว่าห้องผู้โดยสาร (เมตร)

z คือระยะทางแปรเปลี่ยนจากห้องผู้โดยสารถึงระดับต่ำสุดของตำแหน่งห้องผู้โดยสาร

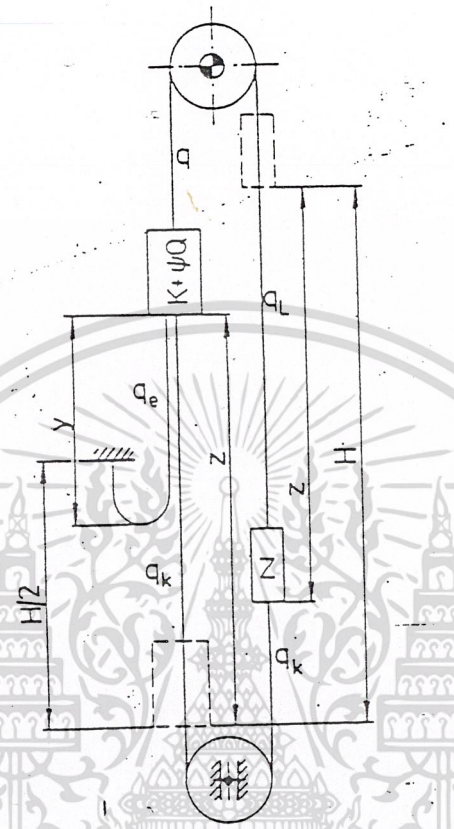
g_n คือแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตร/วินาที^{2})

ความสัมพันธ์ของ y และ z อาจเขียนให้อยู่ในรูปง่ายขึ้นได้เมื่อไม่คำนึงถึงค่าความยาวของสายเคเบิลที่เคลื่อนที่ขึ้น-ลง ซึ่งมีค่ามากกว่า H/2 เพียงเล็กน้อย ซึ่งทำให้มีความแตกต่างกันน้อยมาก ในกรณีที่ติดตั้งลิฟต์ในระยะสูงๆ

เขียนความสัมพันธ์ของ y กับ z ใหม่ได้เป็น

$$y = z/2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงไดอะแกรมสำหรับคำนวณตัวถ่วงน้ำหนัก

แทนค่าลงในสมการที่ (1) จะได้

$$K+\gamma^*Q + H^*Q_L + z^*(q_k-q_L+q_s/2) = Z + H^*q_k + z^*(q_L-q_k) \qquad (2)$$

$$K + \gamma^*Q + H^*q_L = Z + H^*q_k \qquad (3)$$

เมื่อ

$$q_k - q_L + q_s/2 = q_L - q_k \qquad (4)$$

จากสมการที่ (4) กำหนดหน่วยของสายเคเบิลขดเซย คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q_k = q_L - q_s/4$$

แทนค่า q_k ในสมการที่ (3) จะได้น้ำหนักของตัวถ่วงน้ำหนักที่ถูกต้องคือ

$$Z = K + \gamma * Q + H * q_s/4$$

แต่ในทางปฏิบัติจะคำนวณคร่าวๆและคิดค่าเปอร์เซ็นต์อัตราส่วนของภาระเต็มพิกัดกับสภาพสมดุลย์โดยตัวถ่วงน้ำหนัก ซึ่งโดยทั่วไปใช้ค่า 50 % คือ

$$Z = K + Q/2$$

หรือ

น้ำหนักของตัวถ่วงน้ำหนัก = น้ำหนักของห้องผู้โดยสาร + Q/2

ตัวถ่วงน้ำหนักมักจะประกอบด้วยโครงเหล็ก (เพื่อความปลอดภัยในการบรรจุแท่งเหล็ก) และมีแท่งเหล็กบรรจุอยู่ เรียกว่าฟิลเล่อร์ (Filler) และในการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงจะต้องอยู่ในแนวรางนำทางเท่านั้น ซึ่งถ้าฟิลเลอร์ทำจากโลหะ และมีความเร็วไม่เกิน 1 เมตร/วินาที แล้วอย่างน้อยที่สุดจะต้องมีเหล็กดาม 2 แท่ง เพื่อความปลอดภัย หรือฟิลเลอร์อาจจะเป็นเหล็กหล่อ (Cast-Iron)หรือ เป็นแผ่นเหล็ก (Steel Plates) หรือในบางครั้งอาจจะเป็นบล็อคคอนกรีต (Concrete Blocks) ก็ได้

จ. ช่องทางการเคลื่อนที่ของลิฟต์ คือช่องว่างที่มีระยะตั้งแต่พื้นล่างจนภาระทั้งถึงหลังคา ที่มีขนาดพื้นที่เพียงพอสำหรับการเคลื่อนที่ของห้องผู้โดยสาร และตัวถ่วงน้ำหนัก รวมทั้งพื้นที่ในการจัดวางอุปกรณ์ที่ช่วยในการเคลื่อนที่ต่างๆ เช่น รางนำทาง สายเคเบิ้ล (Cable) และอุปกรณ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น เครื่องรับน้ำหนัก (Buffer) และเครื่องกันชน (Bumper) ที่อยู่ในช่องว่างชั้นล่าง

ฉ. เกียร์นิรภัย เป็นอุปกรณ์ทางกลที่ใช้สำหรับหยุดหรือยึดห้องผู้โดยสาร หรือตัวถ่วงน้ำหนักไว้บนรางนำทาง ในกรณีที่เกิดความบกพร่องในการเบรคหรือเนื่องจากการหย่อนของเส้นเชือกหรือโซ่ หรือเนื่องจากห้องผู้โดยสารเคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วที่เกินความเร็วที่กำหนดไว้ เกียร์นิรภัยจะติดอยู่ที่ของของตัวลิฟต์ทั้งสองข้าง และเมื่อเกียร์นิรภัยทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำพร้อมกันทั้งสองข้าง และใช้งานร่วมกับตัวตรวจจับความเร็วเกิน (Overspeed Governor) เมื่อเกิดความเร็วผิดปกติขึ้น ตัวตรวจจับความเร็วเกินจะสั่งให้มอเตอร์หยุดทำงาน จากนั้นเกียร์นิรภัยก็จะทำงานหรืออาจจะทำงานไปพร้อมๆกันก็ได้

เกียร์นิรภัยของลิฟต์ แบ่งตามลักษณะพื้นฐานได้ดังนี้

1.)ชนิดทำงานทันที จะทำการเพิ่มความดันเพื่อไปหนีบรางอย่างรวดเร็ว ช่วงเวลาในการทำงาน และระยะทางจะสั้นมาก แรงที่ใช้หน่วงกับระยะทางในการหยุดจะไม่มีการยืดหยุ่นหรือเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพของลิฟต์ใช้กับลิฟต์ที่มีความเร็วไม่เกิน 0.63 เมตร/วินาที ในยุโรป และไม่เกิน 0.75 เมตร/วินาที ในอเมริกา

2.)ชนิดทำงานทันทีแบบมีตัวสะสมพลังงาน การทำงานจะมีการสะสมพลังงานเมื่อถึงค่าที่กำหนดจึงจะทำงาน ระยะทางในการหยุดจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่ใช้สะสมพลังงาน ใช้กับความเร็วไม่เกิน 1 เมตร/วินาที ในยุโรป และ 2.5 เมตร/วินาที ในอเมริกา

3.)ชนิดค่อยๆเพิ่มแรง เมื่อเกิดความเร็วผิดปกติ จะค่อยๆเพิ่มความดันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนลิฟต์หยุด ช่วงเวลา และระยะทางขึ้นอยู่กับน้ำหนักของระบบที่เคลื่อนที่ ใช้กับความเร็วไม่เกิน 1 เมตร/วินาทีในยุโรป

ในการปลดเกียร์นิรภัยหลังจากทำงานแล้วนั้น ทำได้โดยยกตัวลิฟต์ขึ้น เมื่อปลดแล้วจะต้องทำให้เกียร์นิรภัยพร้อมที่จะใช้งานครั้งต่อไป

ช. เครื่องรับน้ำหนักหรือตัวกันกระแทก จะติดตั้งอยู่ทางตอนล่างของช่องทางการเคลื่อนที่ของลิฟต์ ซึ่งจะต้องทำแท่นที่พื้นชั้นล่างให้สูงอย่างน้อย 0.5 เมตร จะเป็นชนิดสปริงหรือเป็นชนิดน้ำมันก็ได้ขึ้นอยู่กับพิกัดความเร็วของลิฟต์ และการออกแบบให้สามารถเก็บสะสมหรือดูดกลืน และกระจายพลังงานจลน์ของห้องผู้โดยสารและตัวถ่วงน้ำหนัก

ตัวกันกระแทกโดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

1.)ชนิดที่มีการสะสมพลังงาน

2.)ชนิดที่มีการกระจายพลังงาน

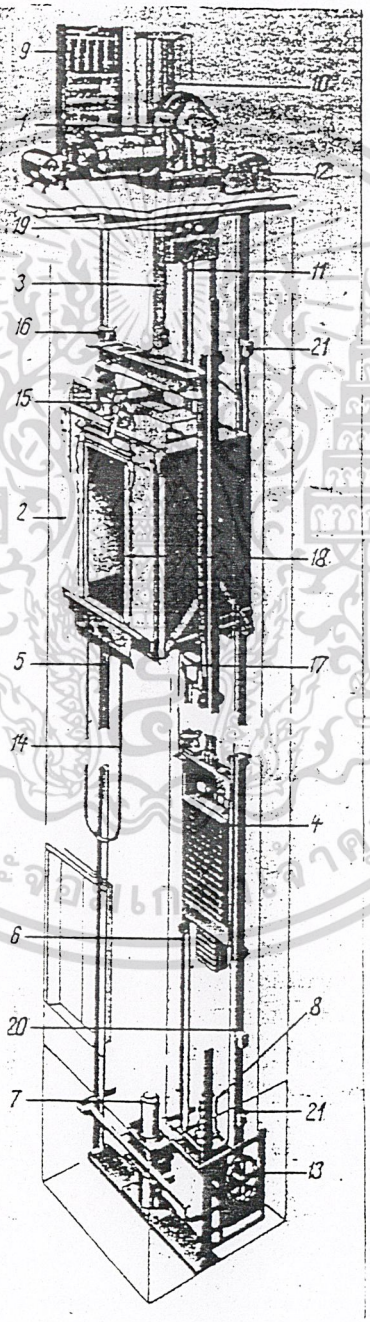
ช. การติดตั้งไฟฟ้า (Electric Installation) เป็นการติดตั้งระบบไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเป็นแหล่งจ่ายพลังงานในการขับเคลื่อนลิฟต์ รวมทั้งระบบความปลอดภัย และระบบแสงสว่าง

ฌ. ระบบควบคุม (Control System) คือระบบที่ถูกออกแบบขึ้นเพื่อใช้ในการควบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุมการทำงานของระบบลิฟต์ทั้งหมด

นอกเหนือจากส่วนประกอบที่กล่าวมาแล้วนั้น ระบบลิฟต์ยังประกอบด้วยส่วนอื่นๆ คือ หลายส่วนดังแสดงในรูปที่ 2.8

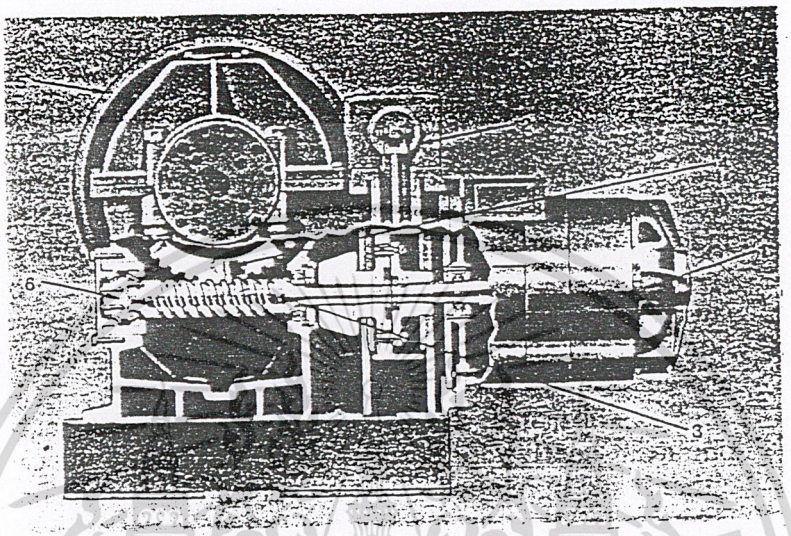


รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้าง และส่วนประกอบของลิฟต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เครื่องจักรที่ใช้ขับเคลื่อนลิฟต์
2. ห้องผู้โดยสาร
3. เส้นเชือกแขวน
4. ตัวถ่วงน้ำหนัก
5. รางนำทางของการเคลื่อนที่ของห้องผู้โดยสาร
6. รางนำทางของการเคลื่อนที่ของตัวถ่วงน้ำหนัก
7. เครื่องรับน้ำหนักห้องผู้โดยสาร
8. เครื่องรับน้ำหนักของตัวถ่วงน้ำหนัก
9. ตัวควบคุมการทำงานของระบบลิฟต์
10. ตัวเลือก
11. แถบการขับตัวเลือก
12. เครื่องควบคุมความเร็วเกิน
13. ตัวควบคุมความตึงของมู่เล่
14. สายเคเบิ้ลที่เคลื่อนที่ขึ้น-ลงตามห้องผู้โดยสาร
15. ตัวเปิด-ปิดประตู
16. ลูกกลิ้งนำทาง
17. เพื่องปลอดภัยสำหรับห้องโดยสาร
18. ระบบความนิรภัยของประตูสำหรับห้องผู้โดยสาร
19. มู่เล่เบี่ยง
20. ลิมิตสวิทซ์นิรภัย (Safety Limit Switch)
21. ลิมิตสวิทซ์สุดท้าย (Final Limit Switch)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. มอเตอร์กระแสสลับ
2. เบรคกระแสตรง
3. เกลียวตัวหนอน(Worm)และแกนเกลียว(Worm Shaft)ของเครื่องจักร
4. ล้อเฟือง
5. ลูกล้อที่ใช้ในการดึง
6. ส่วนของลูกบืนและตัวหมุน

รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบของตัวขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3) การทำงานของระบบลิฟต์ในภาวะปกติ

การทำงานของระบบลิฟต์ในภาวะปกติ จะอาศัยระบบไฟกระแสสลับ 380 โวลต์ 3 เฟส ไปจ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งเป็นตัวขับเคลื่อนลิฟต์ ส่วนระบบควบคุมนั้นจะใช้ระบบไฟกระแสตรง 110 โวลต์โดยมีตัวแปลงกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง (Inverter) เป็นตัวแปลงกระแสสลับให้เป็นไฟกระแสตรง 110 โวลต์เพื่อใช้ในระบบควบคุม

การเคลื่อนที่ของลิฟต์จะเคลื่อนที่ตามการสั่งของวงจรควบคุม โดยเมื่อมีการกดปุ่มเรียกลิฟต์ ระบบวงจรควบคุมจะสั่งให้มีการปลดเบรคที่มอเตอร์ออก โดยป้อนไฟกระแสตรงเข้าที่ก้ามเบรค และมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) ก็จะทำการขับเคลื่อนลิฟต์ให้เคลื่อนที่ขึ้น-ลง ตามคำสั่งของวงจรควบคุม เมื่อถึงชั้นที่ถูกเรียก ลิฟต์จะหยุด และเปิดประตูโดยการทำงานของตัวเปิด-ปิดประตู (Door Operator) ซึ่งใช้ระบบไฟกระแสตรง 110 โวลท์ เช่นเดียวกับระบบควบคุม

โดยหลักการทำงานทางกล (Mechanical) ของลิฟต์แล้วจะอาศัยตัวถ่วงน้ำหนักถ่วงไว้ข้างหนึ่ง และอีกข้างหนึ่งเป็นห้องผู้โดยสาร เพื่อช่วยลดกำลังขับของมอเตอร์โดยที่รอกเดี่ยว และเส้นเชือก (Rope) เป็นตัวพยุงห้องผู้โดยสารกับตัวถ่วงน้ำหนักไว้ โดยน้ำหนักของตัวห้องผู้โดยสารจะหาได้จากสูตรที่ใช้ในทางปฏิบัติ ดังนี้

น.น.ของห้องผู้โดยสาร = CTW - 1/2*Full Load

CTW : น.น.ของตัวถ่วงน้ำหนัก (counter weigth)

Full Load : น.น.รวมของจำนวนผู้โดยสารสูงสุดที่ห้องผู้โดยสารสามารถบรรจุได้

ในกรณีที่สมมติว่า ถ้าไม่มีก้ามเบรคจับยึดมอเตอร์ไว้ ถ้าห้องผู้โดยสารอยู่ในภาวะที่ไม่มีผู้โดยสารเลย (No Load) จะทำให้ห้องผู้โดยสารเคลื่อนที่ขึ้น เนื่องจากน้ำหนักของตัวถ่วงน้ำหนักมีมากกว่าน้ำหนักของห้องผู้โดยสาร แต่ในกรณีที่มีผู้โดยสารอยู่เต็มพิกัด (Full Load) ห้องผู้โดยสารก็อาจจะเคลื่อนที่ลงเพราะมีน้ำหนักรวมมากกว่า ในกรณีที่มีผู้โดยสารอยู่ (On Load) แต่อาจจะไม่เต็มพิกัดห้องผู้โดยสารอาจจะเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงหรืออยู่กับที่ก็ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนผู้โดยสารที่มีน้ำหนักรวมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.) **ปัญหาที่เกิดขึ้นของลิฟต์เมื่อไฟปกติดับ**

เมื่อเกิดไฟฟ้าดับขึ้น ลิฟต์จะหยุดทันทีและห้องผู้โดยสารจะค้างอยู่ที่ตำแหน่งที่ลิฟต์อยู่ในขณะที่ไฟดับ ซึ่งอาจจะอยู่ที่ชั้นหรือระหว่างชั้นก็ได้ และเนื่องจากระบบเบรคมอเตอร์เป็นระบบเบรคปลอดภัย (Safety Brake)ดังนั้นเมื่อไฟดับ ก้ามเบรคจะจับยึดมอเตอร์ให้หยุดนิ่งทันที เพื่อไม่ให้ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น-ลงตามน้ำหนักของตัวถ่วงน้ำหนัก หรือตามน้ำหนักรวมของจำนวนผู้โดยสารภายในลิฟต์ ซึ่งเป็นระบบป้องกันที่มีอยู่ในลิฟต์ทุกตัวในปัจจุบันนี้

2.3.) **การแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น**

2.3.1.) โดยวิธีช่วยเหลือด้วยมือ (Manual Method) โดยปกติแล้วเมื่อเกิดปัญหาไฟดับ และลิฟต์ค้าง จะมีการแก้ไขปัญหาเพื่อช่วยเหลือผู้โดยสารที่อยู่ในห้องผู้โดยสารได้โดยอาศัยคนที่อยู่ภายนอก คือ

ผู้โดยสารที่อยู่ภายในลิฟต์ จะต้องกดปุ่มสัญญาณเตือน (Alarm) เพื่อให้คนที่อยู่ภายนอกไปปลดเบรคด้วยมือ และหมุนจานที่ติดกับเพลามอเตอร์ (Wind Wheel) ด้วยมือบนชั้นสูงสุดซึ่งเป็นที่ติดตั้งของห้องเครื่องลิฟต์ เพื่อให้ลิฟต์เคลื่อนที่ไปยังชั้นที่ใกล้เคียงที่สุดแล้วก็ลงมาง้างประตูชั้นนอก และประตูชั้นในออก แต่ผู้ที่จะช่วยเหลือได้ตามขั้นตอนนี้ จะต้องเป็นผู้ที่รู้ว่าควรจะทำอะไร ที่ไหนบ้าง ดังนั้นในจุดนี้จึงเป็นจุดบกพร่องที่ควรทำการแก้ไขและปรับปรุง

2.3.2.) โดยวิธีอัตโนมัติ (Automatic Method)

จากปัญหาที่เกิดขึ้นดังที่กล่าวมาข้างต้นนั้น จึงมีแนวความคิดที่จะแก้ปัญหานี้โดยให้ห้องผู้โดยสารของลิฟต์สามารถเคลื่อนที่ไปที่ชั้นหนึ่ง และเปิดประตูเองโดยวิธีอัตโนมัติทั้งหมดแทนที่การใช้มือทุกขั้นตอนโดยไม่มีการเข้าไปยุ่งเกี่ยวภายในระบบ หรือเปลี่ยนแปลงระบบควบคุมเดิมเลย

หลักการทำงานจะมี 4 ขั้นตอน คือ

1.ตัดระบบไฟปกติออกและให้ระบบโอนย้ายเข้าสู่ระบบสำรอง

2.คัปปลิ้งมอเตอร์กระแสตรง (Coupling DC Motor)

3.ทำการปลดเบรค

4.นำห้องผู้โดยสารลงและเปิดประตูค้างไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยขั้นตอนการทำงานทั้งหมดจะทำงานตามคำสั่งของวงจรควบคุมที่ออกแบบขึ้นใหม่

1). ขั้นตอนตัดระบบไฟปกติออกก่อน

ก่อนที่จะให้ระบบทั้งหมดเข้าสู่ระบบสำรอง จะต้องตัดระบบไฟปกติเดิม คือไฟกระแสสลับออกก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้มีการสับสนในการทำงานขณะที่ทำงานอยู่ในระบบสำรองหากไฟที่ดับไปเป็นเวลาเพียงชั่วครู่แล้วกลับคืนสู่สภาพปกติเช่นเดิมอีกครั้ง ดังนั้นจึงต้องป้องกันไว้ จนกว่าการทำงานในระบบสำรองจะเสร็จสิ้นสมบูรณ์ จึงจะคืนระบบให้แก่ระบบเดิม

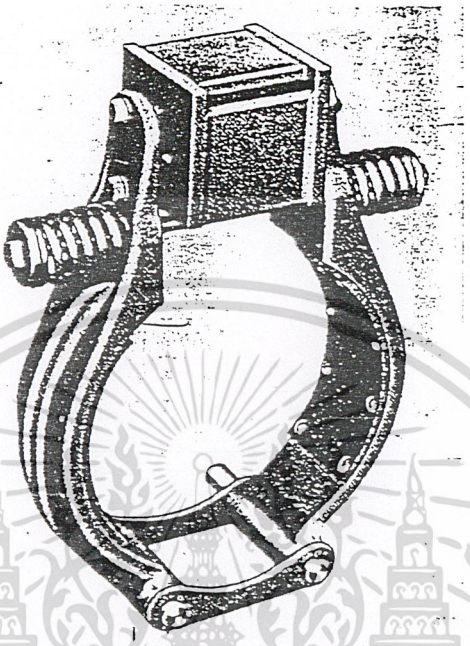
2). คัปปลิ้งมอเตอร์กระแสตรง

หลังจากตัดระบบไฟเดิมออกแล้ว ก็ทำการคัปปลิ้งมอเตอร์กระแสตรงเข้ากับมอเตอร์ขับเคลื่อนลิฟต์ (Motor Drive) โดยใช้ระบบคลัทช์ (Clutch) ซึ่งลักษณะการทำงานของระบบคลัทช์คือเมื่อลิฟต์ทำงานด้วยระบบไฟปกติ มอเตอร์กระแสตรงจะหมุนฟรี (Free) ไปพร้อมๆกับมอเตอร์ขับเคลื่อนที่ใช้ขับเคลื่อนลิฟต์ แต่ถ้าในกรณีไฟดับ และระบบการทำงานของลิฟต์เข้าสู่ระบบสำรอง แล้วมอเตอร์กระแสตรงจะถูกดูดเข้าไปคัปปลิ้งกับมอเตอร์ขับเคลื่อน ตามการควบคุมของวงจรควบคุม และก็จะเป็นตัวขับให้มอเตอร์ขับเคลื่อนทำงานขับเคลื่อนลิฟต์อีกทีหนึ่ง จนกระทั่งห้องผู้โดยสารของลิฟต์เคลื่อนที่ลงถึงชั้นที่ 1 และตัดระบบไฟสำรองออก คืนระบบลิฟต์ให้กับระบบไฟเดิม มอเตอร์กระแสตรงก็จะหลุดออกกลับไปยังตำแหน่งเดิม และระบบลิฟต์ก็จะอยู่ในสภาพพร้อมที่จะทำงานเหมือนเดิมทุกอย่างเมื่อระบบไฟกระแสสลับปกติกลับคืนมา

3). ทำการปลดเบรค

ในสภาวะปกติไม่ได้ใช้งานลิฟต์หรือขณะไฟดับก็ตาม ระบบเบรคชนิดเซฟตี้เบรคจะทำการล็อคลิฟต์ไว้ไม่ให้เคลื่อนที่ ดังนั้นในการที่จะเคลื่อนห้องผู้โดยสารลงมายังชั้น 1 นั้นจะต้องทำการปลดเบรคออกซึ่งใช้โซลินอยด์เป็นตัวออกแรงง้างก้ามเบรค โดยจ่ายไฟกระแสตรงให้กับขดลวดเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงอิเลคโตรแมกเนติกเบรค (Electromagnetic DC Brake)

4). นำห้องผู้โดยสารลงและเปิดประตูทิ้งไว้

เมื่อคัปปลิ้งมอเตอร์กระแสตรง และปลดเบรคแล้วมอเตอร์กระแสตรง จะหมุนทำให้ห้องผู้โดยสารเคลื่อนที่ลงไปชั้นหนึ่ง โดยส่วนนี้จะอาศัยวงจรควบคุมเพื่อเช็คดูว่าถึงชั้นที่ 1 หรือยัง (ดูรายละเอียดในส่วนของวงจรควบคุมที่ออกแบบไว้อีกที่หนึ่ง)

เมื่อห้องผู้โดยสารเคลื่อนที่ถึงชั้นที่ 1 แล้ว ก็ให้เปิดประตูออก โดยการสลับขั้วของมอเตอร์ที่เป็นตัวขับเคลื่อนการปิด-เปิดประตูโดยอาศัยหลักการหมุนกลับทิศทางของการสลับขั้วของมอเตอร์โดยทั่วๆไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.) ทฤษฎีการคำนวณที่ใช้ในการทดลอง

2.4.1.) ทฤษฎีการคำนวณของมอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล โดยมีหลักการทำงานคือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านแท่งตัวนำที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดแรงขึ้นในแท่งตัวนำซึ่งสูตรการคำนวณแรง (F) บนแท่งตัวนำเป็นดังนี้

$$F = BIL$$

F = แรงที่เกิดในตัวนำ (นิวตัน,N)

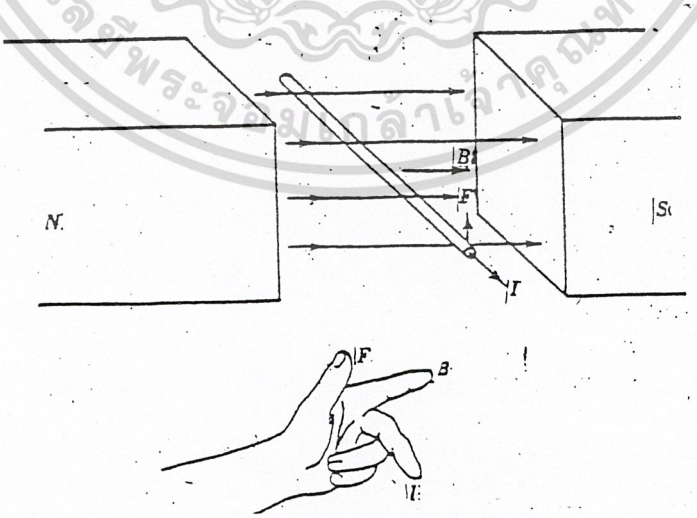
B = ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (เวเบอร์ต่อตารางเมตร,Wb/m^2)

I = กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในตัวนำ (แอมแปร์,A)

L = ความยาวตัวนำ (เมตร,m)

ทิศทางของแรง (Direction of Force)

ถ้าทราบตำแหน่งของขั้วแม่เหล็ก (ขั้วเหนือและขั้วใต้) ทำให้เราทราบทิศทางของฟลักซ์และทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำ เราอาจหาทิศทางของแรงที่เกิดขึ้นในตัวนำได้โดยใช้กฎของมือซ้าย (left-hand rule) ของเฟลมมิง



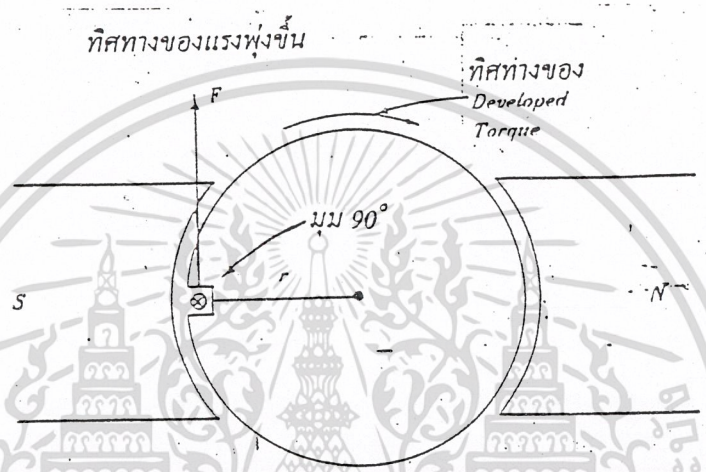
รูปที่ 2.11 แสดงทิศทางกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกางนิ้วทั้ง 3 ให้มีลักษณะตั้งฉาก ดังรูปที่ 1 นิ้วชี้แทนทิศทางของฟลักซ์แม่เหล็ก (B) นิ้วกลางแทนทิศทางของกระแสไฟฟ้า (I) และนิ้วหัวแม่มือแทนทิศทางของแรงที่เกิดขึ้นในตัวนำ (F)

<u>แรงบิดที่เกิดในตัวนำเดี่ยว (Torque Developed by a Conductor)</u>

แรงที่เกิดขึ้นในตัวนำซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับกระแสไฟฟ้าในตัวนำ (จากกฎมือซ้าย) เป็นตัวกลางสำคัญที่ทำให้มอเตอร์หมุนและส่งพลังงานกลออกมาภายนอกได้



รูปที่ 2.12 แสดงทิศทางการเกิดแรงบิดในตัวนำ

จากรูปที่ 2.12 ตัวนำฝังตัวอยู่ในแท่งโลหะทรงกระบอกที่หมุนได้อย่างอิสระ เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้ตัวนำจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำส่งผลให้เกิดแรง (F) แรงนี้มีทิศทางตั้งฉากกับรัศมีของแท่งโลหะ (r) และเป็นสาเหตุของการบิดตัวหมุนเป็นวงกลมของแท่งโลหะ แรงประเภทนี้เราเรียกว่าแรงบิด (Torque ; T) ค่าแรงบิดหาได้โดยนำแรงที่เกิดขึ้นในตัวนำไปคูณกับรัศมีของแท่งโลหะทรงกระบอกที่ตั้งฉากกับแรงนั้น

$$T = F \times r$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T = แรงบิด (นิวตัน-เมตร,N-m)

F = แรงที่เกิดในตัวนำ (นิวตัน,N)

r = รัศมีของรูปทรงกระบอกที่ตั้งฉากกับแรง (เมตร,m)

$$T = BILr$$

T = แรงบิด (นิวตัน-เมตร,N-m)

B = ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (เวเบอร์ต่อตารางเมตร,Wb/m^2)

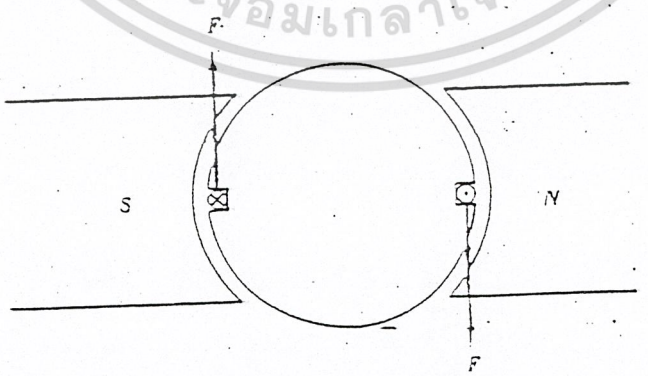
I = กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในตัวนำ (แอมแปร์,A)

L = ความยาวตัวนำ (เมตร,m)

r = รัศมีของรูปทรงกระบอกที่ตั้งฉากกับแรง (เมตร,m)

<u>แรงบิดที่เกิดในขดลวด (Torque Developed by a Coil)</u>

ขณะที่ขดลวดตัวนำจำนวน 1 รอบวางตัวอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะมีด้านของตัวนำ 2 ด้านที่อยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็ก ดังนั้นจึงเกิดแรงและแรงบิดขึ้นทั้ง 2 ด้าน



รูปที่ 2.13 แสดงแรงบิดในขดลวดตัวนำ

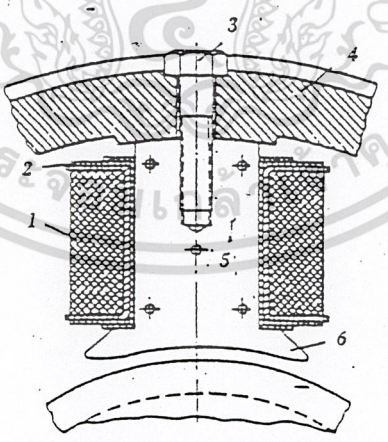
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นแรงที่เกิดจากการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้ขดลวดตัวนำ (ซึ่งฝังตัวอยู่ในแห่งโลหะทรงกระบอกที่หมุนตัวได้อย่างอิสระ) โดยมีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าขดลวดทางด้านซ้ายมือและไหลออกจากขดลวดทางขวามือ จากกฎมือซ้ายของเฟลมมิงเราทราบว่าที่ตัวนำด้านซ้ายมือจะเกิดแรงที่มีทิศทางพุ่งขึ้นด้านบน ส่วนด้านขวามือแรงจะมีทิศทางพุ่งลงด้านล่าง เนื่องจากแรงมีทิศทางต่างกันจึงเกิดแรงบิดเสริมกัน (ดังรูปที่ 2.13) และทำให้แห่งโลหะทรงกระบอกหมุนไปได้

โครงสร้างของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง (DC Machine Construction)

ขั้วสนามแม่เหล็ก (Field Poles)

ขั้วสนามแม่เหล็กเป็นส่วนที่สร้างฟลักซ์แม่เหล็ก เมื่อตัวนำในอาร์เมเจอร์หมุนตัดผ่านฟลักซ์แม่เหล็กนี้จะเกิดการเหนี่ยวนำขึ้น



รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างของสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

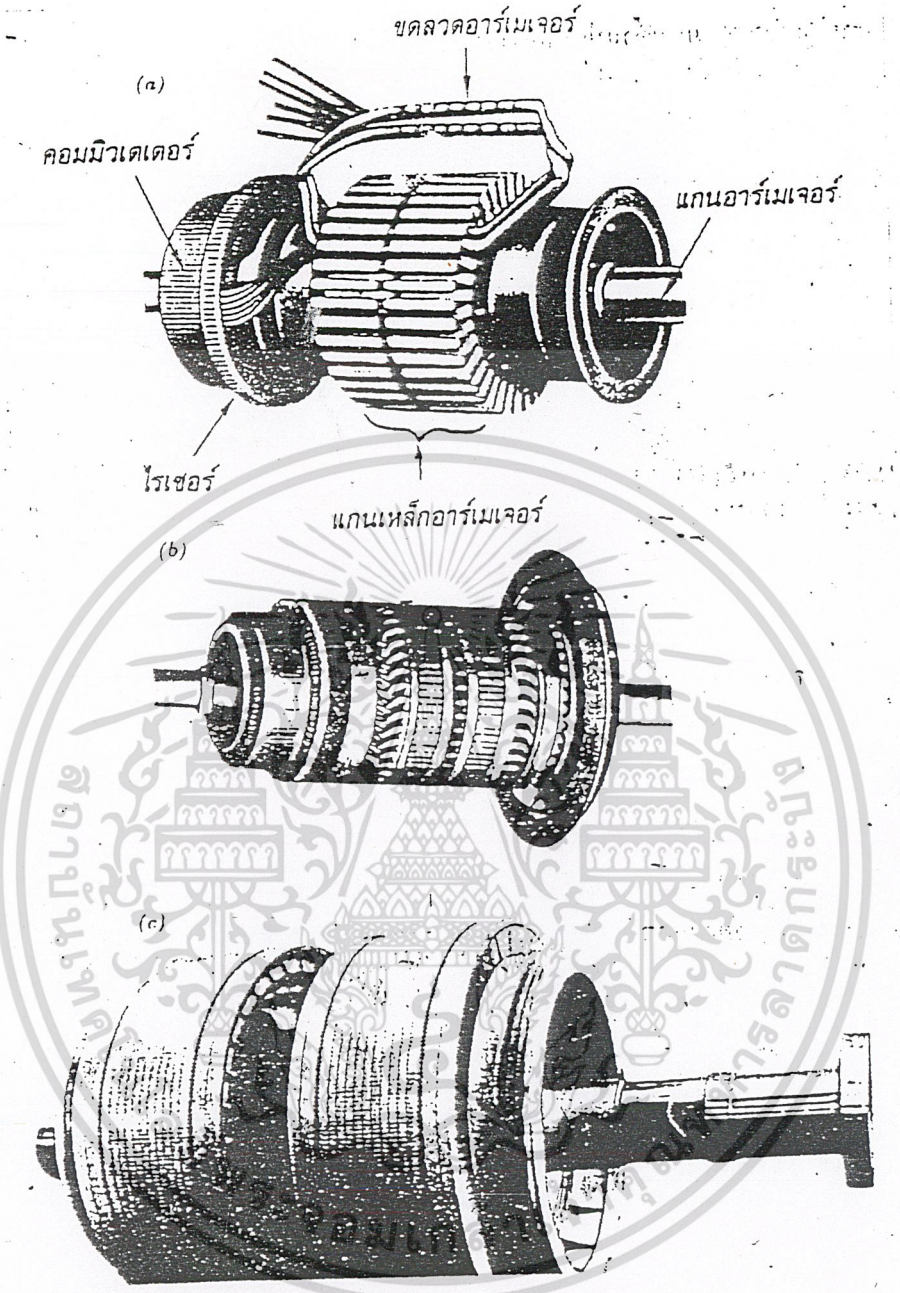
แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core)

แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ทำจากแผ่นเหล็กบางๆ แต่ละแผ่นอาบน้ำยาวานิชหรือกั้นด้วยกระดาษแล้วนำไปอัดเป็นรูปแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (รูปที่ 2.16) สาเหตุที่ต้องใช้แผ่นลามิเนททำแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ก็เพื่อลดความสูญเสียเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวน (Eddy current loss) ที่เกิดขึ้นในตัวอาร์เมเจอร์เอง

แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ จะมีร่องสล็อตมากมายสำหรับฝังขดลวดตัวนำลงไปในร่องเหล่านี้ (รูปที่ 2.15)

รูปที่ 2.15 แสดงร่องสล็อตของแกนอาร์เมเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงส่วนประกอบของอาร์เมเจอร์

รูป 2.16a เป็นรูปขณะพันขดลวดลงร่องสล็อตของอาร์เมเจอร์

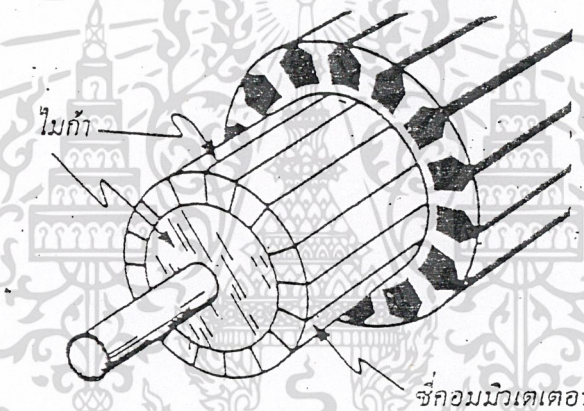
รูป 2.16b แสดงให้เห็นอาร์เมเจอร์เมื่อพันขดลวดและประกอบเสร็จแล้ว

รูป 2.16c เป็นอาร์เมเจอร์ที่ใช้กับเครื่องกลไฟฟ้าที่กำลังสูง ประกอบด้วยอาร์เมเจอร์ 2 ทุ่นอยู่บนแกนอาร์เมเจอร์แกนเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมมิวเตเตอร์ (Commutator)

คอมมิวเตเตอร์ประกอบด้วยซี่ทองแดงหลายๆ ซี่อัดกดด้วยความร้อนแล้วนำไปกลึงผิวให้เป็นรูปทรงกระบอก ซี่คอมมิวเตเตอร์แต่ละซี่คั่นด้วยฉนวนไมก้าเพื่อไม่ให้ต่อถึงกัน (รูปที่ 2.17)



รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะคอมมิวเตเตอร์

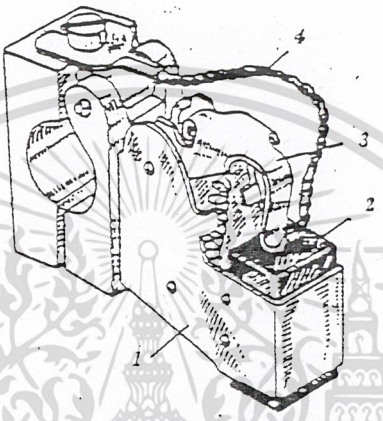
คอมมิวเตเตอร์มีหน้าที่ 2 อย่าง คือ

- ทำหน้าที่รับและเรียงแรงดันไฟฟ้าจากขดลวดอาร์เมเจอร์เพื่อส่งไปยังแปรงถ่าน ขณะเครื่องกลไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- ทำหน้าที่รับแรงดันไฟฟ้าจากแปรงถ่าน เพื่อส่งไปยังขอลวดอาร์เมเจอร์ขณะที่เครื่องกลไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปรงถ่านและที่ยึดแปรงถ่าน (Brush and Brush Holder)

แท่งแปรงถ่านอาจทำจากส่วนผสมของคาร์บอนกันแกรไฟท์ หรือ คาร์บอนกับทองแดง ชุดของแปรงถ่านประกอบด้วย



รูปที่ 2.18 แสดงแปรงถ่านและที่ยึดแปรงถ่าน

หมายเลข 1 กล่องใส่แปรงถ่าน (Brush-Holder Box)

หมายเลข 2 แท่งแปรงถ่าน (Brush)

หมายเลข 3 สปริงแรงอัด (Pressure Spring)

ทำหน้าที่กดแปรงถ่านให้สัมผัสกับพื้นผิวของคอมมิวเตเตอร์ด้วยแรง 1.5-2.5 N/cm^2 สามารถปรับค่าของแรงที่กดได้

หมายเลข 4 หางเปียแปรงถ่าน (Brush Pigtail)

เป็นทางผ่านของกระแสไฟฟ้าที่ถูกส่งเข้ามายังแปรงถ่านหรือถูกส่งออกจากแปรงถ่านสู่วงจรภายนอก

เครื่องกลไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า แปรงถ่านจะทำหน้าที่รวบรวมกระแสไฟฟ้าจากซี่คอมมิวเตเตอร์ส่งไปสู่วงจรภายนอก และเมื่อเครื่องกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นมอเตอร์ แปรงถ่านจะทำหน้าที่รับแระแสไฟฟ้าจากวงจรภายนอกส่งไปยังคอมมิวเตเตอร์

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC MOTORS)

สมการพื้นฐานของมอเตอร์

(BASIC MOTOR EQUATION)

ในเบื้องต้น ได้กล่าวถึงการเกิดแรงบิดพื้นฐานที่เกิดจากตัวนำหมุนตัดกับฟลักซ์แม่เหล็กดังสมการ (T=BILr) จากสมการดังกล่าวเราสามารถหาค่าแรงบิดเฉลี่ยที่เกิดจากการหมุนของอาร์เมเจอร์โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพ (physical parameter) ของมอเตอร์ (เช่น ความยาวตัวนำ รัศมีของอาร์เมเจอร์ พื้นที่ของแกนอาร์เมเจอร์ เป็นต้น) ให้เป็นค่าคงที่ สมการแรงบิดจะเปลี่ยนเป็นดังนี้

$$T = K \phi I_a$$

เมื่อ T = แรงบิดที่อาร์เมเจอร์

K = ค่าคงที่ของพารามิเตอร์ทางกายภาพของมอเตอร์

ϕ = ฟลักซ์แม่เหล็กต่อขั้ว

I_a = กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

สมการ $T = K \phi I_a$ เป็นสมการแรงบิดพื้นฐานทางไฟฟ้า ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าแรงบิดของมอเตอร์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ (I_a) และฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดจากแกนเหล็ก (ϕ)

ในทำนองเดียวกันเราสามารถเขียนสมการพื้นฐานทางกลหรืออัตราเร่งได้ดังนี้ คือ

$$a = T/J$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ T = แรงบิดที่อาร์เมเจอร์

a = อัตราเร่ง (acceleration)

J = โมเมนต์ความเฉื่อย (moment of inertia) ของการหมุนตัวทั้งหมด

จากสมการ a = T/J สรุปได้ว่า การที่มอเตอร์จะหมุนได้นั้น ต้องมีอัตราเร่ง(a) มากกว่าความเฉื่อยในการหมุนตัว (J) ของอาร์เมเจอร์

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและกำลังไฟฟ้า

(Relation between Torque and Power)

Output ของมอเตอร์อาจเป็นแรงบิด (T) หรือกำลังไฟฟ้าา (P) ก็ได้ P จะอยู่ในรูปปริมาณของพลังงานไฟฟ้า (แรงดันไฟฟ้าคูณด้วยกระแสไฟฟ้า) ส่วน T อยู่ในรูปพลังงานกล (การหมุนตัว) ดังสมการ a = T/J แต่ถ้ารู้ค่าใดค่าหนึ่ง (P หรือ T) ก็จะสามารถคำนวณหาอีกค่าหนึ่งได้

$$T = 1000P/w$$

เมื่อ T = output torque (นิวตัน-เมตร,N-m)

P = output power (กิโลวัตต์,KW)

S = ความเร็วรอบในระบบอังกฤษ

w = ความเร็วรอบในระบบ SI (เรเดียน/วินาที,rad/s)

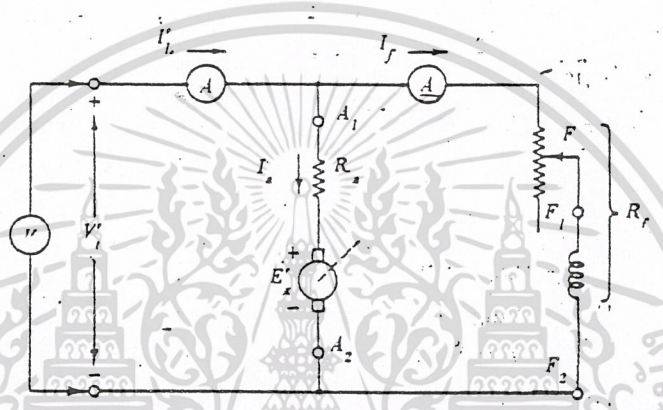
ในกรณีนี้ ค่า P เป็น output power ค่า T จะต้องเป็น output torque ด้วย และถ้า P เป็นกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ (developed power,$E'_g I_a$) จะต้องเป็นแรงบิดที่อาร์เมเจอร์ (developed torque) เช่นกัน

แรงดันไฟฟ้าต้านกลับ (Back Electromotive Force ; Back EMF)

ถ้าจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้อาร์เมเจอร์ จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในอาร์เมเจอร์ ซึ่งจะสร้างแรง (force) ขึ้น และส่งผลให้เกิดแรงบิด (torque) จึงทำให้มอเตอร์หมุนได้

เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง หรือเผยแพร่ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่มอเตอร์หมุน มีแรงดันไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ส่วนหนึ่งที่มีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้มอเตอร์ เราเรียกว่าแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ (Back EMF , E'_g)



รูปที่ 2.19 แสดงวงจรเพื่อทดสอบแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ

จากสมการ $a = T/J$ ทำให้ทราบว่าแรงบิดที่จะทำให้มอเตอร์หมุนได้นั้นจะต้องเกิดอัตราเร่ง (a) เพื่อเอาชนะความเฉื่อยให้ได้ เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้มอเตอร์ (ดังรูปที่ 2.19) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำและเกิดแรงบิด ส่งผลให้เกิดอัตราเร่งเพื่อหมุนอาร์เมเจอร์อย่างต่อเนื่องเช่นกัน จนกระทั่งมอเตอร์มีความเร็วรอบคงที่ นั่นคือ อัตราเร่งเท่ากับศูนย์ แรงบิดจะเป็นศูนย์ด้วย เมื่อเป็นเช่นนี้จึงสันนิษฐานตามสมการ $T = K\phi I_a$ ได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์กลายเป็นศูนย์ แต่เนื่องจากแรงดันไฟฟ้ายังคงถูกจ่ายให้มอเตอร์อยู่ เราจึงสันนิษฐานว่ามีแรงดันไฟฟ้าอื่นที่เกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์ที่มีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงข้ามกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้เราเรียกว่าแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ (Back EMF,E'_g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในข้อสันนิษฐานของเรากล่าวว่า ขณะที่มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์มีค่าเป็นศูนย์นั้น ตามความเป็นจริงแล้วกระแสไฟฟ้าส่วนนี้จะไม่เป็นศูนย์ แต่จะมีอยู่จำนวนหนึ่งเพื่อสร้างแรงบิดมาหักล้างความฝืดของมอเตอร์ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ (V'_t) จะต้องมากกว่าแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ (E'_g) ดังสมการต่อไปนี้

$$E'_g = V'_t - I_a R_a$$

เมื่อ E'_g = Back EMF

V'_t = แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วที่จ่ายให้มอเตอร์

I_a = กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

R_a = ความต้านทานของขดลวดในอาร์เมเจอร์

จากรูปที่ 2.19 จะเห็นว่า ทิศทางของ E'_g จะสวนกันทิศทางของ I_a เมื่อ I_a เป็นส่วนประกอบของสมการแรงบิด ($T = K\phi I_a$) จึงสรุปได้ว่า E'_g จะเป็นตัวต้านแรงบิดหรือตัวต้านการหมุนของมอเตอร์นั่นเอง

<u>เคอร์ฟแรงบิด-ความเร็วรอบ</u>

<u>(Torque-Speed Curve)</u>

ก่อนที่จะเขียน curve แรงบิด-ความเร็วรอบได้ ต้องหาค่าแรงบิดที่โหลด (Load torque) ให้ได้เสียก่อน โดยนำสมการ $T = K \phi I_a$ มาพิจารณาและกำหนดให้ค่าฟลักซ์คงที่ จะได้สมการใหม่เป็น

$$T = K' I_a$$

เมื่อ $K' = K\phi$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ (อัตราเร่งเป็น 0) แรงบิดที่สร้างขึ้นในอาร์เมเจอร์ (developed torque) จะเท่ากับแรงบิดที่โหลด (load torque) จากสมการ $T = K'I_a$ ถ้าให้ load torque เป็น T_L

$$T_L = K'I_a$$

จากสมการ $E'_g = V'_t - I_aR_a$ ทำให้ทราบว่า

$$I_a = (V'_t - E'_g)/R_a$$

แทนค่า I_a ลงในสมการ $T_L = K'I_a$

$$T_L = K'(V'_t - E'_g)/R_a$$

ถ้าให้ค่า E'_g เป็นค่าคงที่ K"

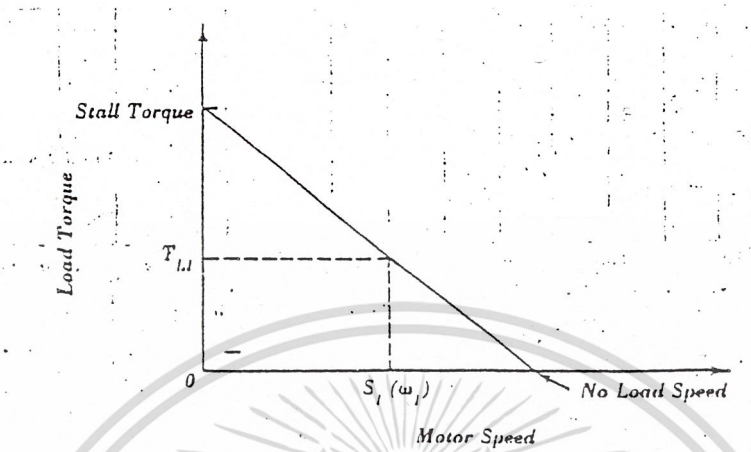
$$T_L = K'V'_t/R_a - K'K''S/R_a$$

ถ้าให้ $K_m = K'/R_a$ และ $K_B = K'K''/R_a$

$$T_L = K_mV'_t - K_Bw$$

เมื่อนำ f มาเขียน curve โดยค่า V'_t เป็นค่าที่กำหนดให้จะได้ curve ที่เรียกว่า Torque-Speed curve ในรูปที่ 2.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 แสดงเคิร์ฟของแรงบิด-ความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง

จาก curve ในรูปที่ 2.20 ทำให้เราทราบว่าขณะมอเตอร์หมุนตัวเปล่า(no load) ค่าแรงบิดที่โหลด (load torque, T_L) มีค่าเป็นศูนย์ เมื่อต่อโหลดเข้าไปความเร็วรอบจะลดลงมาที่ S_1 (w_1 ในระบบ SI) แต่ load torque จะเพิ่มเป็น T_{L1} ถ้าเพิ่มโหลดอย่างต่อเนื่องความเร็วจะลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นกันจนกระทั่งในที่สุด มอเตอร์จะหยุดหมุน ค่าแรงบิดของโหลด load torque ต่ำสุดที่ทำให้มอเตอร์หยุดหมุนขณะนี้เรียกว่า stall torque

ประโยชน์ของ torque-speed curve ก็คือ เป็นเครื่องมือทำนายความเร็วของมอเตอร์ที่โหลดใดๆ ก็ได้

<u>ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (Motor Efficiency)</u>

Input power ของมอเตอร์เป็นพลังงานไฟฟ้าและ Output power จะเป็นพลังงานกล การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ก็คือ การเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลนั่นเอง เมื่อเป็นเช่นนี้เราสามารถนำสมการ $n(\%) = 100P_o/P_i$

เอกสารนี้มีไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

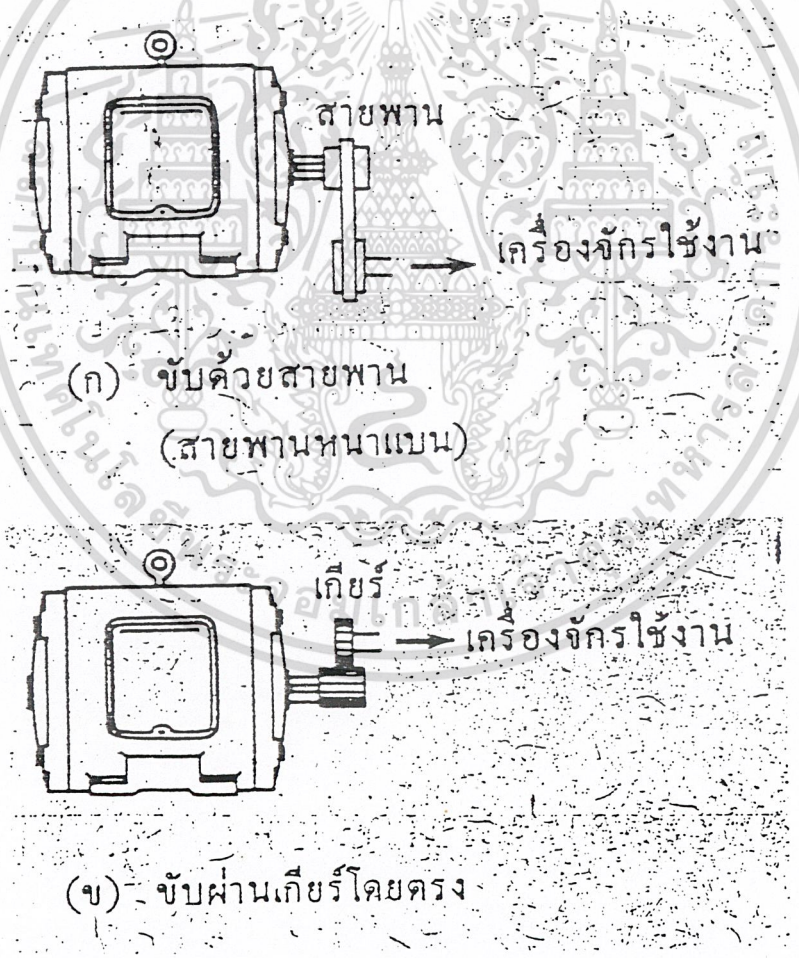
มาเขียนใหม่ได้เป็น

$$n(\%) = 100(P_i - losses)/P_i$$

เมื่อ $P_o = P_i - losses$

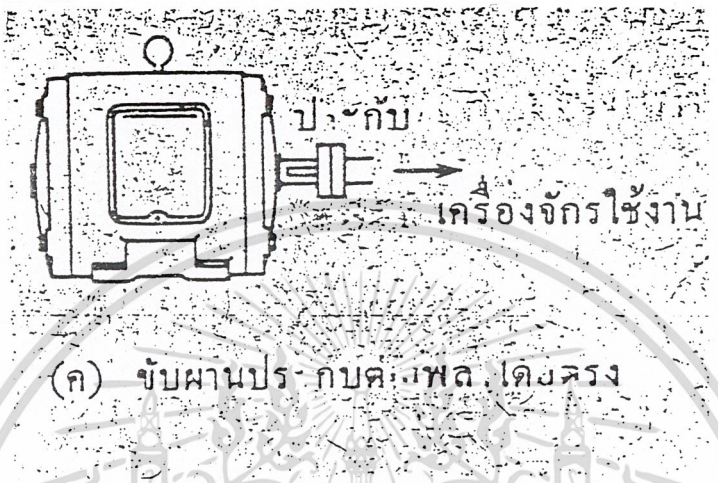
การต่อประกับเครื่องจักรโหลด

การต่อประกับเครื่องเข้าด้วยกันมีอยู่หลายวิธีที่จะสามารถส่งกำลังจากมอเตอร์เข้าสู่เครื่องจักรโหลดใช้งานตามต้องการสามารถทำได้โดยวิธีส่งกำลังทางสายพาน การใช้เกียร์ทดหรือลดการต่อประกับเพลาเข้าด้วยกันโดยตรง ฯลฯ (ดูรูปที่ 2.11 ประกอบ)



รูปที่ 2.21 แสดงวิธีต่อโหลดระหว่างมอเตอร์ต้นกำลังกับเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) ขับผ่านประกับคัปเพล.โดยตรง

รูปที่ 2.21 (ต่อ)แสดงวิธีต่อโหลดระหว่างมอเตอร์ต้นกำลังกับเครื่องจักร

การเลือกวิธีต่อจะต้องคำนึงถึงชนิดของเครื่องจักรโหลดสถานที่ที่จะทำการติดตั้ง ฯลฯ ซึ่งจะไม่มีวิธีมาตรฐานวางไว้ตายตัว

เพื่อยกตัวอย่างการต่อประกับเครื่องจักรโหลดประเภทต่างๆ เข้าด้วยกันเสริมความเข้าใจดังนี้

ปั๊มของไหล : ตามธรรมดาจะใช้วิธีต่อประกับเพลาเข้าด้วยกันโดยตรง

ปั๊มอัดลม : ใช้วิธีต่อประกับเพลาโดยตรง หรือใช้วิธีส่งกำลังทางสายพาน

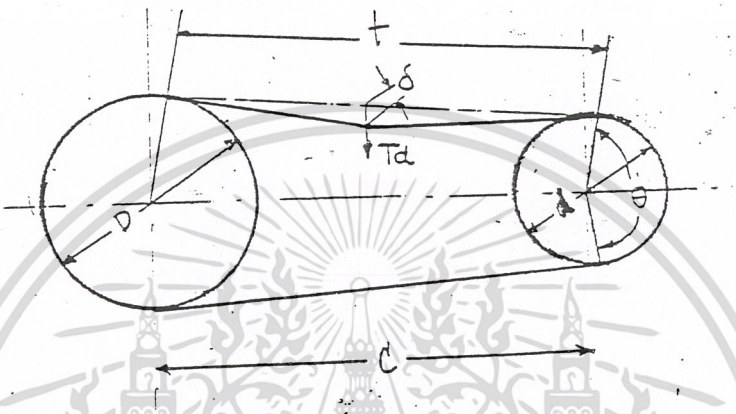
พัดลม และโบลาเวอร์ : ตามธรรมดาจะใช้วิธีต่อประกับเพลาเข้าด้วยกันโดยตรง

เครื่องสี ขัด และบด : ส่วนใหญ่จะใช้เกียร์ลดรอบ และต่อกับเพลาโดยตรงประกอบกัน แต่ในบางครั้งอาจใช้วิธีต่อสายพานอยู่บ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.) การตั้งสายพานเพื่อส่งกำลังให้แก่โหลด

ในการติดตั้งสายพานเพื่อส่งกำลังให้แก่โหลดนั้นจะต้องมีการคำนวณเพื่อหาค่าแรงตึงต่ำสุดบนสายพานที่ต้องการใช้งานเพื่อให้สามารถขับโหลดได้, หาค่าความหย่อนโหลดของสายพาน และค่าระยะทางหย่อนของสายพาน



รูปที่ 2.22 แสดงการวัดค่าต่างๆ สำหรับหาค่าแรงตึงต่ำสุดบนสายพาน

สำหรับการหาค่าแรงตึงต่ำสุดบนสายพาน (T_s) หาได้จากสมการ

$$T_s = 0.9\left[37.5(25-F)H_d/(F*N*v) + (w*v^2)/g\right] \quad \text{(ก.ก.)}$$

เมื่อ

F : แฟคเตอร์แก้ไขของมุมสัมผัส (ดูตารางที่ 1)

H_d : ค่าแรงม้าที่ออกแบบใช้งาน = (ค่าแรงม้าจริง)*(ค่าสัมประสิทธิ์ของการโอเวอร์โหลด)

ค่าแรงม้าจริงคำนวณจาก 1 แรงม้า = 0.746(กิโลวัตต์) และค่าของสัมประสิทธิ์ของการโอเวอร์โหลดใช้ประมาณ 1.3

N : จำนวนสายพาน (ชิ้น)

v : ความเร็วของสายพาน (เมตรต่อวินาที)

w : น้ำหนักของสายพานต่อหน่วยความยาว (กิโลกรัมต่อเมตร)(ดูตารางที่ 2)

g : ค่าอัตราเร่งจากแรงดึงดูดของโลก = 9.8 เมตร/วินาที^{2}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(D-d)/C	มุมสัมผัสของมู่เล่ตัวเล็ก	แฟคเตอร์แก้ไข F
0.0	180	1.00
0.1	174	0.99
0.2	169	0.97
0.3	163	0.96
0.4	157	0.94
0.5	151	0.93
0.6	145	0.91
0.7	140	0.89

ตารางที่ 1 แสดงแฟคเตอร์แก้ไขสำหรับมุมสัมผัส F

D : เส้นผ่าศูนย์กลางมู่เล่ตัวใหญ่

d : เส้นผ่าศูนย์กลางมู่เล่ตัวเล็ก

C : ระยะห่างระหว่างเพลา (ดูรูปที่ 2.22)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของสายพาน	รูปร่าง	W(กก./เมตร)
สายพานตัววี ชนิดธรรมดา	A	0.12
	B	0.20
	C	0.37
	D	0.67
	E	1.02
สายพานตัววีแคบ	3V	0.08
	5V	0.20
	8V	0.50

ตารางที่ 2 แสดงชนิดของสายพานและน้ำหนักต่อหน่วยความยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของสายพาน	รูปร่าง	W(กก./เมตร)
สายพานต้าวี ชนิดธรรมดา	A	1.5
	B	2.0
	C	3.0
	D	6.0
	E	11.0
สายพานต้าวีแคบ	3V	2.0
	5V	5.0
	8V	10.0

ตารางที่ 2(ต่อ) แสดงชนิดของสายพานและน้ำหนักต่อหน่วยความยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับค่าความหย่อนโหลด (T_d) นั้นหาได้จากสมการ

$$T_d = (G*T_s + Y)/16 \qquad \text{(กิโลกรัม)}$$

เมื่อ

G : สัมประสิทธิ์แรงตึงของสายพาน

1.3 - 1.5 เมื่อใช้สายพานใหม่

1.0 - 1.3 เมื่อปรับสายพานใช้แล้วให้ตึง

Y : ค่าคงตัว (กิโลกรัม)(หาได้จากตารางที่ 3)

ค่าระยะทางหย่อนของสายพาน (▽) หาได้จากสมการ

$$\nabla = 0.016*t \text{ (มม.)}$$

$$t = \sqrt{\{C^2-(D-d)^2/4\}} \text{ (มม.)} \qquad \text{(ดูรูปที่ 2.22)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.) แรงทางกลและพลังงานสะสม

ในระบบวงจรแม่เหล็กนั้นพลังงานซึ่งเกิดจากแหล่งจ่ายทางไฟฟ้าจะถูกสะสมอยู่ในรูปของสนามแม่เหล็ก เมื่อมีส่วนหนึ่งส่วนใดของวงจรแม่เหล็กที่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ จะทำให้เกิดมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานจากพลังงานทางไฟฟ้าไปเป็นพลังงานทางกลหรืออาจเปลี่ยนจากพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า ในที่นี้จะทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานทางไฟฟ้า, พลังงานทางกลและพลังงานทางสนามแม่เหล็ก โดยไม่คำนึงถึงความสูญเสียของพลังงานที่เกิดขึ้น

เมื่อส่วนของวงจรแม่เหล็กมีการเคลื่อนที่จะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่สะสมอยู่ในระบบ ในการศึกษาจะมีข้อจำกัดดังนี้คือ

1) ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงทางกลเกิดขึ้นค่ากระแสในขดลวดจะต้องไม่เปลี่ยนแปลง

2) เส้นแรงแม่เหล็กจะต้องมีค่าคงที่ ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่ากระแสในขดลวด

<u>กรณีที่ 1</u> การเคลื่อนที่ทางกลโดยที่ค่า mmf ของขดลวดมีค่าคงที่

พิจารณาการทดลองแบบพื้นฐานที่มีขดลวดพันอยู่บนแกนเหล็กที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเหนี่ยวนำเป็นอนันต์ ซึ่งมีช่องอากาศที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ดังในรูปที่ 1 แท่งเหล็กสามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวราบ เพื่อเปลี่ยนแปลงระยะของช่องอากาศซึ่งเดิมยาว x ทางด้านขวาของรูปนี้ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กในช่องอากาศและกระแสในขดลวด สำหรับช่องอากาศยาว x และ x+dx ถ้าแหล่งจ่ายทางไฟฟ้าจ่ายกระแสคงที่ i และเส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่างเปลี่ยนแปลงไป $d\phi$ เมื่อความยาวของช่องว่างลดลงจาก x+dx เป็น x ในช่วงเวลา dt ค่าศักดาที่ถูกเหนี่ยวนำในขดลวดจะมีค่าเป็น

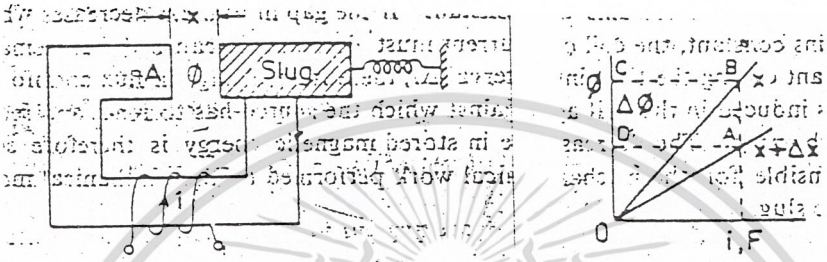
$$e = Nd\Phi/dt \qquad (1)$$

แหล่งจ่ายจะต้องจ่ายพลังงานซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$dw_s = eidt = Nid\phi \qquad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในพื้นที่ ABCD ในรูปที่ 2.23(b)



(a) (b)

รูปที่ 2.23 แสดงการเคลื่อนที่ทางกลของแท่งเหล็กภายใต้ค่า mmf ของขดลวดที่มีค่าคงที่

การเพิ่มของเส้นแรงแม่เหล็กจะเป็นการเพิ่มพลังงานที่สะสมในสนามแม่เหล็ก ด้วยซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$W_f = \int Nid\phi = \int Nid\phi - \int Nid\phi \qquad (3)$$

ในพื้นที่สามเหลี่ยม OAB สมดุลของระบบจะเป็นไปตามสมการ

พลังงานไฟฟ้า = พลังงานสะสมที่เพิ่มขึ้น + งานทางกลที่ทำได้ (4)

$$dW_s = dW_f + dW_m \qquad (5)$$

หรือ

งานทางกล dW_m = dW_s - dW_f = พื้นที่ ABCD - พื้นที่ OAB (6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่พื้นที่ทั้งสองนี้มีขนาดที่เท่ากันคือ AB,AD และ BC ดังนั้น

$$\text{พื้นที่ ABCD} = 2*\text{พื้นที่ OAB}$$

และ

$$dW_s - dW_f = (1/2)dW_s = dW_f \qquad (7)$$

ในทางกล

$$dW_m = dW_f = (1/2)dW_S \qquad (8)$$

แสดงให้เห็นว่างานทางกลและพลังงานสะสมที่เพิ่มขึ้น ทั้งคู่จะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของพลังงานทางไฟฟ้าที่ป้อนเข้า ความสัมพันธ์นี้รู้จักกันดีในชื่อว่า กฎ 50-50 ของระบบแม่เหล็กที่เป็นเชิงเส้น ซึ่งจะเกิดในระบบที่เป็นเชิงเส้น เมื่อพลังงานทางไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ระบบให้ค่า mmf ที่เป็นค่าคงที่แก่วงจร

แรงดึงดูดระหว่างหน้าขั้วมีค่าเท่ากับลบเกรเดียนท์ของงานที่ทำในทิศที่เป็นการลดระยะทาง x

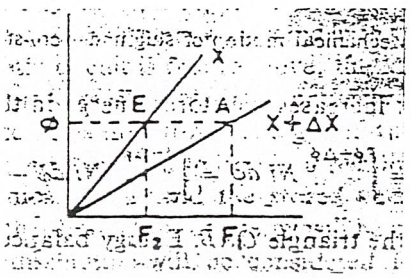
$$f_m = -dW_m/dx = -dW_f/dx \qquad (9)$$

<u>กรณีที่ 2</u> การเคลื่อนที่ทางกลโดยที่เส้นแรงแม่เหล็กคงที่

งานทางกลสามารถถูกทำโดยระบบในขณะที่เส้นแรงแม่เหล็กในวงจรแม่เหล็กมีค่าคงที่ ถ้าช่องว่างในรูปที่ 2 ลดลงขณะที่ ϕ มีค่าคงที่ กระแสในขดลวดต้องลดลงเพราะ ϕ มีค่าคงที่ตลอดช่วงเวลา dt ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กและไม่มีศักดาเหนี่ยวนำขึ้นมาด้านในขดลวด

การลดของค่าพลังงานแม่เหล็กสะสมมีผลให้เกิดงานทางกลโดยการเคลื่อนที่ของแท่งเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 แสดงการเคลื่อนที่ทางกลของแท่งเหล็กภายใต้เส้นแรงที่มีค่าคงที่ในช่องอากาศ

ในเทอมของสมดุลพลังงาน

$$0 = dW_f + dW_m \quad \text{หรือ} \quad dW_m = -dW_f \tag{10}$$

$$f_m = -dW_m/dx = dW_f/dx \tag{11}$$

เปรียบเทียบสมการ (9) และ (11) จะสังเกตได้ว่างานทางกลเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของพลังงานแม่เหล็กสะสม ในฟังก์ชันของระยะทางระหว่างหน้าขั้ว ถ้าพลังงานแม่เหล็กไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระยะ x ก็จะไม่เกิดการเคลื่อนที่ทางกล เมื่อทำการเคลื่อนแท่งเหล็กในสภาวะที่ mmf คงที่ แรงจะมีค่าเท่ากับอัตราการเพิ่มของพลังงานสะสม ในขณะที่เส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่ แรงทางกลมีค่าเท่ากับอัตราการลดลงของพลังงานแม่เหล็กสะสม ซึ่งเกี่ยวข้องกับค่า x

พลังงานสะสมสามารถเขียนได้ง่ายในเทอมของความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก, ขนาดของวงจรแม่เหล็กและปริมาณอื่นๆ ที่สามารถวัดได้ โดยปกติจะถูกใช้ในการออกแบบรีเลย์ และเครื่องมือทางแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วๆ ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพลังงานสะสมต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของสนามแม่เหล็กคือ

$$W_{fo} = (1/2)B^2/\mu = (1/2)\mu H^2 = (1/2)\phi^2/\mu A^2 = (1/2)\mu\,(Ni)^2/x^2 \qquad (12)$$

เมื่อ

B = ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก

H = ความเข้มของสนามแม่เหล็ก

และ

A = พื้นที่ของหน้าขั้ว

ค่าของพลังงานที่สะสมอยู่คือ

$$W_f = (1/2\mu)B^2Ax = (1/2)\mu H^2Ax = (1/2)\phi^2x/\mu A = (1/2)F^2A\mu/x \qquad (13)$$

ค่าความต้านทานทางแม่เหล็กของช่องว่างคือ

$$R = x/\mu A \qquad P = 1/R = \mu A/x \qquad (14)$$

พลังงานแม่เหล็กสามารถเขียนได้หลายรูปแบบดังนี้

$$W_f = (1/2)\phi^2R_{(x)} = (1/2)H^2Px^2 = (1/2)F^2P_{(x)} = (1/2)L_{(x)}i^2 \qquad (15)$$

แรงทางกลจากสมการ (2.29) และ (2.31) คือ

<u>กรณีที่ 1 mmf คงที่</u>

$$f_m = -dW_f/dx = -1/2F^2dP/dx$$

$$= 1/2F^2\ A/X^2 \qquad (16)$$

F = ค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2 เส้นแรงแม่เหล็กคงที่

$$f_m = dw_f/dX = 1/2 \ {}^2dR/dX \qquad (17)$$

$$= 1/2 \ \phi^2 \ 1/\mu A$$

ϕ = ค่าคงที่

สมการเหล่านี้จะถูกประยุกต์มาใช้ในการวิเคราะห์ และออกแบบของอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าอย่างง่าย

ตัวอย่าง 2.3 อุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าอย่างง่าย

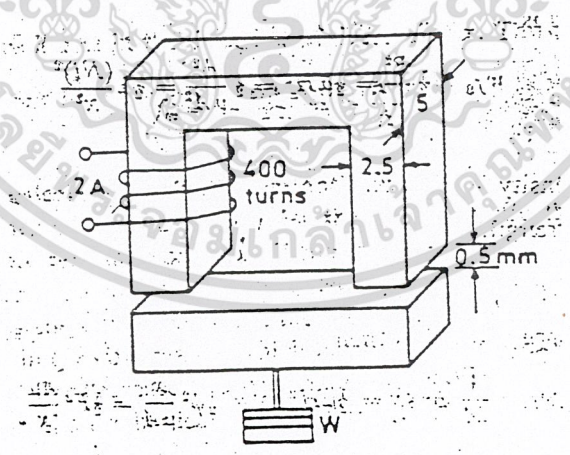
รูป 3 แสดงขดลวด 400 รอบ พันอยู่บนแกนเหล็กซิลิกอน มีค่าสัมประสิทธิ์สูงมากและมีกระแสไหลผ่าน 2 A หน้าขั้วมีพื้นที่ 2.5 * 5 cm^2 เมื่อระยะช่องว่างเป็น 0.5 mm.

จงคำนวณหา

ก) ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก และเส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่าง

ข) พลังงานที่สะสมในรูปของสนามแม่เหล็ก

ค) น้ำหนักที่สามารถยกได้ เมื่อ $\mu_o = 4\pi * 10^{-7}$ H/m



รูปที่ 2.25 แสดงอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับตัวอย่างที่ 2.3

คำตอบ

ก) เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ความเหนี่ยวนำของแกนมีค่ามากๆ ค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กผ่านช่องอากาศเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$H_g = Ni/l$

$= 400*2/10^{-3} = 0.8*10^6$ A/m

$B_g = \mu_o H_g = 1$ T

และ $\Phi_g = B_o A$

$= 1*2.5*5*10^{-4} = 1.25$ mWb

ข) พลังงานที่สะสมในช่องว่างต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

$1/2 \ {}_oH^2{}_g = 0.4*10^6$ J/m^2

ปริมาตรของสนามแม่เหล็ก $= 2.5*5*1*10^{-7} = 1.25*10^{-6}$ m^3

พลังงานสะสมในรูปสนามแม่เหล็ก

$W_f = 0.4*10^{-6}*1.25*10^{-6} = 0.5$ J

ค) กระแสในคอยล์มีค่าคงที่ 2 A ดังนั้น

$f_m = 2*1/2 \ F^2\mu_o A/X^2$

$= \mu_o H^2 A = 320 = 1005$ N

เมื่อกระแสมีค่าคงที่ในคอยล์ แรงทางกลมีค่าผกผันกำลังสองของระยะของช่องว่างดังสมการ

$f_m = 1/2 \ F^2\mu_o A/X^2$

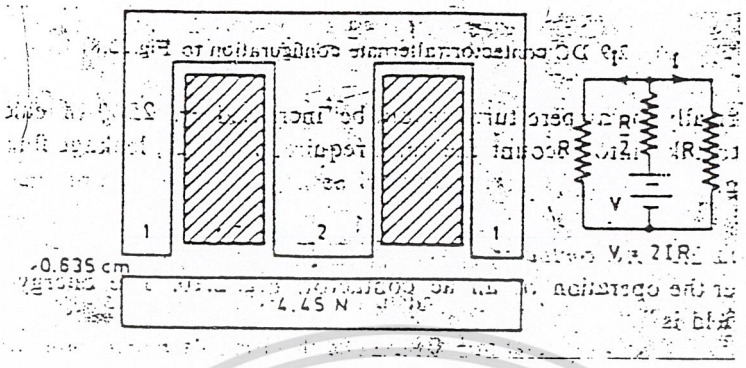
F = ค่าคงที่

ถ้าช่องว่างระหว่างหน้าขั้วเพิ่มเป็น 5 mm. จะสามารถยกน้ำหนักได้เพียง 10 N ด้วยกระแส 2 A ในคอยล์ ถ้าต้องการยกน้ำหนักขนาด 1000 N เมื่อช่องว่างเป็น 5 mm. กระแสในคอยล์จะต้องเป็น 20 A

<u>ตัวอย่าง 2.4</u> หน้าสัมผัสกระแสตรง

หน้าสัมผัสกระแสตรงตัวหนึ่ง ทำด้วยขดลวดพันรอบแกนกลางของแม่เหล็ก 3 ขา ดังรูป 4 กำหนดให้สามารถออกแรงดึงน้ำหนัก 4.45 N ที่ระยะห่าง 0.063 cm. จงหาแรงเคลื่อนแม่เหล็กในเส้นลวด ถ้าพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กทั้ง 3 ขา มีขนาด 6.45 ,12.9 และ 6.45 cm^2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 แสดงหน้าสัมผัสและวงจรเสมือน

<u>คำตอบ</u> แกนนอกต้องออกแรงดึง 4.45/4 = 1.1125 N

ค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่สำหรับแกนนอก หาได้จากความสัมพันธ์

$$f_m = 1/2\ F^2\mu_o A/g^2$$

หรือ $F^2 = 2f_m g^2/\mu_o A$

$$= 2*1.1125*(0.635*10^{-2})/4\ *10^{-7}*6.45*10^{-4}$$

$$= 0.11*10^{-6}$$

ดังนั้น F = 333 AT

ค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่ต้องการในขดลวด มีค่าเป็นสองเท่าของค่าที่ได้ สังเกตุว่า

$$F^2/g^2 = 2f_m/\mu_o A \qquad (20)$$

ดังนั้นถ้าช่องว่างมีขนาดเล็กลงและต้องการให้หน้าสัมผัสออกแรงดึงเท่าเดิม ค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กในขดลวดจะมีค่าลดลงในอัตราเดียวกัน นอกจากนั้น

$$F^2A = 2f_m g^2/\mu_o$$

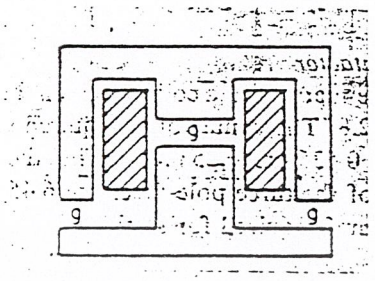
และการลดลงของพื้นที่แกน จะเพิ่มค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กของขดลวด ถ้าต้องการให้หน้าสัมผัสออกแรงดึงเท่าเดิม ที่ระยะห่างเท่าเดิม

ที่แรงเคลื่อนแม่เหล็ก 333 AT ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กของช่องว่างมีค่า

$$B = \mu_o H_g = \mu_o F/g = 0.66 \text{ Tesla สำหรับ } g = 0.653 \text{ cm.}$$

ขั้นตอนการคำนวณนี้สามารถใช้ได้กับแกนเหล็กที่มีรูปร่างดังรูป 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 แสดงหน้าสัมผัสกระแสตรง

โดยปกติค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กจะต้องมีค่าเพิ่มขึ้น 25% ของค่าที่คำนวณได้ เพื่อชดเชยค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กของแกนเหล็ก , เส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วงจรควบคุม, วงจรหน่วงเวลา, วงจรอัดประจุแบตเตอร์รี่ และการทำงาน

3.1.) อุปกรณ์หลักและหน้าที่ในวงจรควบคุม

อุปกรณ์	หน้าที่
K_1	เป็นตัวตัดต่อไฟเลี้ยงที่จ่ายให้กับระบบเดิม
RL_0	จ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรและตัดไฟเลี้ยงของ K_1 ในขณะที่ระบบสำรองกำลังทำงานอยู่
RL_1	ควบคุมการปิดประตู
RL_2	จ่ายไฟเลี้ยงให้วงจรขับลิฟต์
RL_3, RL_4	กำหนดทิศทางการจ่ายไฟเลี้ยงเข้ามอเตอร์ประตูเพื่อเปิดหรือปิดประตู
RL_5	ควบคุมการเปิดประตู
RL_6	คงสภาพไฟเลี้ยงที่จ่ายให้ RL_5 เมื่อเปิดประตูในกรณีที่ลิ้นประตูถูกกด
RL_7	ต่อสายของขดอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์ประตูเข้ากับระบบสำรอง
RL_8	ต่อไฟเลี้ยงจากระบบสำรองเข้าขดฟิลด์ของมอเตอร์ประตู
$RL_{/1}$	จ่ายไฟเลี้ยงให้โซลีนอยด์เพื่อทำการปลดเบรค
$RL_{/2}$	จ่ายไฟเลี้ยงให้มอเตอร์
S_1	ตัดการทำงานของระบบสำรองเมื่อระบบสำรองทำงานเสร็จสมบูรณ์ ติดอยู่ที่ขอบริมของประตูด้านนอกของชั้นล่างสุด
S_2	ตรวจดูว่าตัวลิฟต์ปิดประตูเรียบร้อยแล้วหรือยัง ติดอยู่ที่แนวกลางของประตูที่ตัวลิฟต์
S_3	คอยตัดไฟเลี้ยงของระบบขับลิฟต์เมื่อลิฟต์ลงมาถึงชั้นล่างสุดแล้ว ติดอยู่ที่พื้นของชั้นล่างสุด
S_4	เปิดประตูฉุกเฉินเมื่อลิ้นประตูถูกกด ติดอยู่ที่ลิ้นของประตูที่ตัวลิฟต์
S_5	ตัดระบบเปิดประตูฉุกเฉินเมื่อทำการเปิดประตูเรียบร้อยแล้ว ติดอยู่ที่ขอบริมของประตูที่ตัวลิฟต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S_6 จ่ายไฟให้วงจรเปิดประตูเมื่อลิฟต์ลงมาจอดชั้นล่างแล้ว ติดอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกับ S_3

S_7 เปลี่ยนทางเดินของกระแสที่จ่ายให้โซลีนอยด์ของระบบตัดเบรคให้ผ่านตัวต้านทานเพื่อลดกระแสที่จ่ายให้หลังจากโซลีนอยด์ทำงานแล้ว

$S_{/1}$-$S_{/6}$ ตรวจดูว่าประตูด้านนอกของทุกชั้นปิดเรียบร้อยหรือไม่ ติดอยู่ที่แนวกลางของประตูด้านนอก

3.2.) การทำงานของวงจรควบคุม

ในขณะที่ไฟ $220V_{AC}$ ยังไม่ดับ K_1 จะทำงาน ทำให้หน้าสัมผัสของ NC ของ K_1 เปิดวงจรออกทำให้วงจรหน่วงเวลาไม่มีไฟป้อนเข้า แต่เมื่อเกิดไฟ AC ดับขึ้น หน้าสัมผัส K_1 จะไม่ทำงาน ซึ่งก็คือหน้าสัมผัส NC จะกลายเป็นสะพานไฟระหว่างไฟ 24 V_{DC} เข้ากับวงจรควบคุมโดยจะเริ่มในส่วนวงจรหน่วงเวลา ซึ่งวงจรหน่วงเวลานี้จะทำการหน่วงเวลาประมาณ 4-5 วินาที เมื่อไฟ AC ขาดไปเกิน 4-5 วินาที จะทำให้วงจรหน่วงเวลาได้รับไฟ 24 V_{DC} ซึ่งจะทำให้ตัวรีเลย์ RL_1 ทำงานจาก NO ไปเป็น NC ต่อวงจรควบคุมทางส่วนหลังทั้งหมดเข้ากับไฟ 24 V_{DC} เมื่อระบบสำรองทำงานตัว RL_o จะตัดวงจรจ่ายไฟของไฟ AC ที่เป็นไฟเลี้ยงของ K_1 ซึ่งจะยังไม่ทำงานจนกระทั่งระบบสำรองจะทำงานเสร็จแล้ว แม้ว่าจะมีไฟ AC เข้ามาก่อนก็ตาม เมื่อระบบสำรองทำงานเสร็จเรียบร้อยแล้วจะต่อวงจรจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ K_1 และพร้อมที่จะทำงานเมื่อมีไฟ AC เข้ามาที่ K_1 ซึ่งจะเป็นตัวจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรลิฟต์เดิม

ขณะที่ RL_o ทำงาน RL_o จะต่อวงจรไฟเลี้ยงให้วงจรควบคุมอีกส่วนหนึ่งที่เหลือด้วย โดยที่ RL_7 จะทำการต่อไปยังขดอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ประตูของลิฟต์โดยจะได้รับไฟเลี้ยงขดลวดจากระบบสำรอง RL_8 จะทำการจ่ายไฟจากระบบสำรองเข้ากับขดลวดฟิลด์ของมอเตอร์ประตูของลิฟต์ ถ้าขณะที่ไฟดับลิฟต์จอดอยู่ที่ชั้น 1 ประตูของลิฟต์จะถูกเปิดออกเรียบร้อย จะทำให้ S_1 ซึ่งเป็น NC ก็จะเปิดวงจรออกซึ่งจะมีผลทำให้ระบบสำรองไม่ทำงาน แต่ถ้าขณะไฟ AC เกิดดับแต่ลิฟต์ไม่ได้จอดอยู่ที่ชั้น 1 S_2 จะทำการตรวจดูว่าประตูลิฟต์เปิดอยู่หรือไม่ ถ้าเปิดอยู่หน้าสัมผัส NC ของ S_2 จะต่อวงจรจ่ายไฟเลี้ยงให้กับรีเลย์ RL_1 ซึ่ง RL_1 จะทำการจ่ายไฟเลี้ยงต่อไปยัง RL_3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ RL_4 เพื่อที่จะทำการปิดประตูลิฟต์ ในขณะที่ประตูลิฟต์กำลังปิดอยู่ ถ้ามีสิ่งที่ขวางประตูลิฟต์อยู่ ซึ่งสิ่งที่ขวางอยู่จะทำให้ลิ้นประตูของลิฟต์ถูกกดซึ่งจะมีสวิทช์ S_4 ซึ่งติดอยู่ตรงกลางของประตูลิฟต์ จะทำการไปเปิดประตูลิฟต์ แล้วค่อยทำการปิดอีกครั้งหนึ่ง การทำงานในช่วงของลิ้นประตูลิฟต์ที่ถูกกดก็คือ S_4 จะเป็นสวิทช์ที่จะจ่ายไฟเลี้ยงให้กับตัวรีเลย์ RL_5 และส่วน RL_6 จะทำให้การเปิดประตูลิฟต์ค้างอยู่จนกว่าการเปิดจะเรียบร้อยซึ่งจะไปทำให้สวิทช์ S_5 ทำงานโดยเปิดวงจรออกทำให้ RL_5 และ RL_6 ถูกตัดไฟเลี้ยงทำให้ไม่ทำงาน และจะวนกลับมาที่สวิทช์ S_2 จะต่อวงจรให้ทำการปิดประตูลิฟต์อีกครั้ง เมื่อประตูปิดเรียบร้อย NC ของ S_2 จะต่อวงจรเอาไว้และตัวสวิทช์ $S_{/1}$-$S_{/6}$ เป็นหน้าสัมผัส NO ซึ่งจะติดอยู่ที่ประตูลิฟต์ที่ตึกแต่ละชั้นคือชั้น 1 ถึงชั้น 6 ตามลำดับถ้าสวิทช์ $S_{/1}$-$S_{/6}$ ที่ตรวจดูว่าประตูทุกชั้นถูกปิดแล้วจะทำการจ่ายไฟเลี้ยงให้กับรีเลย์ $RL_{/2}$ และ $RL_{/2}$ จะจ่ายไฟให้กับ $RL_{/1}$ $RL_{/2}$ จะจ่ายไฟเลี้ยงระบบคลัทช์ $RL_{/1}$ ทำการปลดเบรคที่ด้านบนที่ตัวมอเตอร์ของระบบลิฟต์เดิม และ $RL_{/2}$ จะเป็นตัวจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ดีซีที่ใช้ขับลิฟต์เพื่อนำลิฟต์ลง

ส่วนของการปลดเบรคเริ่มจาก เมื่อหน้าสัมผัส NO ของ RL_2 ทำงานจ่ายกระแสไปยัง NC ของ S_7 และย้ายไปยังตัวรีเลย์ RL_1 ซึ่งส่งผลให้หน้าสัมผัส NO ของ $RL_{/1}$ ทำการจ่ายไฟให้กับโซลีนอยด์ในขณะเริ่มแรกเพราะต้องใช้กระแสในการเริ่มต้นปลดมากกว่าขณะที่ทำงาน เมื่อโซลีนอยด์ทำงาน สวิทช์ S_7 จะทำงานทำให้กระแสผ่านทางด้านความต้านทานแทนเพราะว่าด้วยเหตุผลที่เมื่อโซลีนอยด์ทำงานแล้วจะใช้กระแสที่น้อยกว่าขณะเริ่มและตัวโซลีนอยด์ยังคงทำงานอยู่ได้

ถ้าไฟดับขณะที่ลิฟต์อยู่ระหว่างชั้นและประตูด้านนอกของลิฟต์ทุกชั้นถูกปิดเรียบร้อยจะทำการเลื่อนลิฟต์มาชั้นล่างทันที เมื่อลิฟต์เลื่อนลงมาอยู่ที่ชั้น 1 จะมากดสวิทช์ S_3 เปิดวงจรออกทำให้ $RL_{/2}$ หยุดทำงานทำให้มอเตอร์หยุดทำงานไปด้วยทำให้ลิฟต์หยุดที่ชั้น 1 และ $RL_{/1}$, $RL_{/2}$ หยุดทำงาน ขณะที่ลิฟต์กด S_3 พร้อมกับกดสวิทช์ S_6 ด้วย S_6 จะจ่ายไฟให้กับ RL_5 และหน้าสัมผัสของ RL_5 จะจ่ายไฟให้กับ RL_4 เพื่อที่จะทำการจ่ายไฟเลี้ยงให้กับมอเตอร์ที่ใช้เปิดประตูเพื่อที่จะทำการเปิดประตูให้เรียบร้อย เมื่อประตูลิฟต์ถูกเปิดออกที่ชั้น 1 เรียบร้อยแล้ว ประตูลิฟต์จะดันถูกสวิทช์ S_1 ทำให้หน้าสัมผัส NC ของ S_1 เปิดวงจรทั้งหมดออก ทำให้ตัดไฟเลี้ยงที่ RL_0, RL_1, RL_7 และ RL_8 ระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บบสำรองทั้งหมดจะหยุดทำงาน และตัว NC ของ RL_o จะกลับมาเหมือนเดิมเพื่อต่อไฟเลี้ยงให้กับ K_1 และ K_1 พร้อมที่จะทำงานได้ทันทีที่มีไฟ AC เข้ามา และตัว K_1 นี้จะเป็นตัวจ่ายไฟให้กับระบบลิฟต์เดิม ก็เป็นอันสิ้นสุดการทำงานของระบบสำรอง

3.3.) การทำงานของวงจรหน่วงเวลา

เมื่อเกิดไฟ AC ดับขึ้น หน้าสัมผัส K_1 จะไม่ทำงาน ซึ่งก็คือหน้าสัมผัส NC ซึ่งจะเป็นสะพานไฟต่อระหว่างไฟ 24 V_{DC} เข้ากับวงจรควบคุมโดยจะเริ่มในส่วนของวงจรหน่วงเวลา ซึ่งวงจรนี้จะหน่วงเวลา 4 วินาทีซึ่งเวลาที่หน่วงนี้ขึ้นอยู่กับค่า 1/RC ของวงจร ซึ่งค่า 1/RC นี้เรียกว่า time constant วงจรหน่วงเวลาที่ใช้นี้มีค่า R = 2.5 kohms C = 1000 μF ดังนั้น ดังนั้น 1/RC = 4 วินาที ดังรูปที่ 3.2

3.4.) วงจรอัดประจุแบตเตอร์รี

3.4.1) <u>ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแบตเตอร์รี</u>

แบตเตอร์รี่ที่ใช้ในโครงงานนี้ เป็นแบตเตอร์รีแบบ lead-acid ซึ่งเราจะกล่าวถึงแบตเตอร์รี่แบบ lead-acid ชนิดต่างๆ อย่างคร่าวๆ ดังนี้

<u>non spill lead-acid battery</u> แบ่งเป็น 2 ชนิดได้แก่

1.standard battery

แบตเตอร์รีชนิดนี้เมื่อไม่ได้ใช้งานจะมี self-discharge ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ต้องมีการอัดประจุใหม่ ทุกๆ 4-6 สัปดาห์เพื่อชดเชยค่า self-discharge แบตเตอร์รีนี้เหมาะสำหรับการใช้งานในช่วงสั้นๆ

2.permanent battery

แบตเตอร์รีชนิดนี้สามารถเก็บในที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสได้หลายเดือนโดยไม่ต้องมีการดูแลรักษา และสามารถอัดประจุให้กับแบตเตอร์รีทุกๆ 10 เดือน และมี self discharge ต่ำ เนื่องจากใช้ lead alloy ชนิดพิเศษ เหมาะสำหรับใช้ในงานพิเศษที่ต้องการ อายุการใช้งานสูงกว่าแบบ standard battery

<u>recombining sealed lead-acid battery</u>

ปกติแล้วเมื่อแบตเตอร์รีอัดประจุจนถึงระดับ overcharge กรดซัลฟุริกที่เป็นอิเลค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โตรไลต์จะเกิดปฏิกิริยาเป็นกาซ H_2 และ O_2 ทำให้ความเข้มข้นของอิเลคโตรไลต์เพิ่มขึ้น เราต้องมีการเติมน้ำกลั่น มิฉะนั้นแบตเตอร์รีจะเสื่อมคุณภาพได้ การเติมน้ำกลั่นเป็นการจำกัดวงในการใช้งานแบตเตอร์รี ฉะนั้นเราจึงมีการพัฒนาาาแบตเตอร์รีใช้งานโดยไม่ต้องเติมน้ำกลั่น

1) แบตเตอร์รีแบบ non-recombining หรือ partially recombining ใช้วิธีการอัดประจุที่ยุ่งยากซับซ้อนมาก ซึ่งจะช่วยชลอการเกิดกาซให้น้อยที่สุด

2) แบตเตอร์รีแบบ fully recombining โดยกาซที่เกิดขึ้นคือ H_2 และ O_2 จะรวมตัวกันเป็นน้ำ ทำให้ปริมาตรของอิเล็คโตรไลต์ไม่ลดลง

1.partially recombining

แบตเตอร์รีแบบนี้ไม่ต้องบำรุงรักษาใดๆ และไม่ต้องอัดประจุให้ถึงระดับ overcharge เพื่อให้แบตเตอร์รีเต็ม ในกรณีที่อุณหภูมิใช้งานสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมมากๆ แบตเตอร์รีจะเกิดกาซ ทำให้ความดันสูงขึ้น ซึ่งแบตเตอร์รีจะมีวาล์ที่คอยเปิดให้กาซออกไปในทันที และวาาล์จะปิดโดยอัตโนมัติเมื่อความดันกาซต่ำลง ด้วยเหตุนี้จึงใช้ได้กับทุกสภาาะแวดล้อม แบตเตอร์รีแบบนี้จะปิดผนึกไว้ ซึ่งภายในแบตเตอร์รีจะไม่เกิดกาซอีกทั้งมีความต้านทานภายในต่ำ และจ่ายกระแสได้สูง ภายใต้การอัดประจุแบบรักษาระดับแรงดันคงที่ จะอัดประจุด้วยกระแสอัดประจุสูงๆ ในตอนเริ่มต้นและในขั้นที่ 2 เมื่อแรงดันย้อนกลับของแบตเตอร์รีเริ่มสูงและต้องควบคุมกระแสในการอัดประจุ เมื่อแบตเตอร์รีเต็มจะต้องรักษาระดับแรงดันแบตเตอร์รีโดยลดกระแสให้เหลือน้อยๆ เพื่อไม่ให้เกิด over voltage และป้องกัน electrolyte loss partially recombining แบตเตอร์รีแบบ lead-acid ที่ขนาดความจุเดียวกันสามารถต่อกันเป็นอนุกรมหรือขนานก็ได้ ถ้าอัดประจุแบตเตอร์รีแบบอนุกรม จะใช้แรงดันสูงและกระแสน้อยๆ ถ้าอัดประจุแบตเตอร์รีแบบขนาน จะใช้แรงดันต่ำและกระแสสูงๆ แบตเตอร์รีแบบนี้สามารถอัดประจุและคายประจุได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ -20 ถึง 50 องศาเซลเซียส ซึ่งดีกว่าแบบ Ni-cad

2.fully recombining sealed battery

โครงสร้างคล้ายๆ กับแบบ standard cylindrical Ni-cad เหมาะสำหรับใช้งาน standby ใช้ alloy plate grids ชนิดพิเศษและมีการรวมตัวของกาซ O_2 ที่ดี อายุการใช้งานขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานและสภาาะแวดล้อม มีความต้านทานภาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในต่ำ อัตราการ discharge สูง การอัดประจุส่วนใหญ่เป็นแบบ constant voltage , constant current , taper charging , pulse charging และอื่นๆ

ขบวนการปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี

A) $PbO_2 + Pb + H_2SO_4 \text{ -------> } PbSO_4 + PbSO_4 + H_2O$

B) ในขั้นตอนสุดท้ายของการ charge จะเกิด O_2 ที่ขั้วบวก

$H_2O \text{ -------> } 0.5O_2 + 2H^+ + 2e^-$

O_2 จะถูกดูดซับที่ขั้วลบ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาดังนี้

$Pb + 0.5O_2 + H_2SO_4 \text{ -------> } PbSO_4 + H_2O$

ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซและการดูดซับก๊าซ อธิบายโดยสมการ

(positive) $PbSO_4 \text{ -------> } PbO_2 \text{ -------> } O_2$

(negative) $PbSO_4 \text{ -------> } Pb(O_2)$

O_2 ที่เกิดจากขั้วบวก จะถูกขั้วลบดูดซับและเกิดปฏิกิริยา แต่ก๊าซ O_2 บางส่วนจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนความดันสูง แบตเตอร์รีจะมีช่องระบายความดันก๊าซนี้เรียกว่า เซฟตี้วาวล์(safety valve)

สำหรับก๊าซ H_2 ก็เกิดขึ้นเช่นกันเมื่อมีการ overcharge ที่ขั้วลบ

$2H^+ + 2e^- \text{ -------> } H_2$

3.4.2) พารามิเตอร์ในการอัดประจุ

1.การชดเชยทางอุณหภูมิของการอัดประจุ

โดยการอัดประจุ จะปรับค่าแรงดันที่อัดประจุ ซึ่งต้องมีการชดเชยทางอุณหภูมิโดยการตรวจจับอุณหภูมิของสภาวะแวดล้อม

2.เวลาที่อัดประจุเสร็จ

เวลาที่แบตเตอร์รีถูกอัดประจุเต็ม ขึ้นอยู่กับสภาวะการ discharge และลักษณะการอัดประจุ รวมทั้งอุณหภูมิด้วย

3.อุณหภูมิในขณะการอัดประจุ

- ควรอัดประจุที่อุณหภูมิในช่วง 0 ถึง 40 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิที่การอัดประจุมีประสิทธิภาพดีคือในช่วง 5 ถึง 35 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่อุณหภูมิต่ำกว่าหรือสูงกว่าที่กำหนด อาจทำให้การอัดประจุได้ไม่มากหรือร้อนเกินไป

4.overcharge

การอัดประจุเพิ่มขึ้นอีก หลังจากแบตเตอร์รีอัดประจุเต็มแล้ว เรียกว่า overcharge ซึ่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องมีผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอร์รีสั้นลง

3.4.3) วิธีการอัดประจุแบตเตอร์รี

1.constant current charging

วิธีนี้มีข้อดีตรงที่ว่าไม่จำเป็นต้องมีการชดเชยทางอุณหภูมิเหมือน constant voltage charging แต่มีข้อเสียคือ ต้องระวังเรื่องเวลาในการอัดประจุโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในการอัดประจุด้วยกระแสสูงๆ ซึ่งแบตเตอร์รีจะเต็มภายในเวลาอันสั้นๆ เท่านั้น การอัดประจุด้วยอัตราสูงมีผลทำให้แรงดันที่แบตเตอร์รีสูงเกินไป น้ำจะเกิดแตกตัวและความร้อนเกิดขึ้น การอัดประจุแบบนี้อาจใช้ในการอัดประจุใหม่ให้กับแบตเตอร์รีที่เก็บไว้นานแล้ว ซึ่งสามารถอัดประจุแบตเตอร์รีได้ที่เดียวหลายๆ ลูก

2.constant voltage charging

อาจใช้ในกรณีที่ต้องการให้แบตเตอร์รีอยู่ในสภาวะ fully charge เสมอโดยต้องระวัง เรื่องอัตราการอัดประจุสูงเกินไป การอัดประจุแบบนี้ทำให้แรงดันทางด้านเอาท์พุทมีเสถียรภาพ พร้อมทั้งมีความจุกระแสสูง สำหรับในช่วงที่แรงดันแบตเตอร์รี มีค่าต่ำๆ ความต้านทานแบตเตอร์รีมีค่าน้อยมาก ฉะนั้นกระแสที่อัดประจุจึงมีค่าสูงมาก เป็นผลให้เครื่องอัดประจุต้องมีขนาดใหญ่และราคาแพง อีกทั้งยังทำให้เกิดความร้อนภายในแบตเตอร์รี ซึ่งปกติเครื่องอัดประจุแบบ constant voltage จะมีอุปกรณ์ช่วยในการจำกัดกระแสเริ่มต้น โดยใช้ constant current regulation ในช่วงสุดท้ายของการอัดประจุ กระแสจะถูกลดลงอย่างอัตโนมัติ ซึ่งไม่ทำให้เกิดสลายตัว

3.tapered current charging

เป็นวิธีการอัดประจุแบตเตอร์รีที่ง่ายไม่ซับซ้อนและราคาถูก วงจรการอัดประจุประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง, วงจรเรคติฟาย และค่าความต้านทานที่เหมาะสมสำหรับจำกัดกระแส แต่วิธีนี้ไม่เหมาะสำหรับในการอัดประจุแบตเตอร์รี แบบ lead-acid ปิดผนึก เนื่องจากกระแสที่ใช้อัดประจุ จะกระเพื่อมตามแรงดันไฟไลด์ ซึ่งทำให้แรงดันแบตเตอร์รีเปลี่ยนแปลงไปด้วย แต่ก็สามารถลดผลอันนี้โดยการใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่มีแรงดัน

เอกสารนี้เป็นสิทธิ์ของ[illegible] ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านทุติยภูมิสูงกว่าแรงดันแบตเตอร์รีและเลือกค่าความต้านทานที่เหมะสมในการจำกัดกระแส tapered current charger สามารถใช้แทน constant current charger ได้ และสามารถอัดประจุแบตเตอร์รีหลายๆ ลูกในครั้งเดียว

4.combination charging (two-step)

วิธีนี้บางทีเรียกว่า "two-rate" หรือ "two-step" เกิดจากการรวม 2 วิธีคือ constant current กับ constant voltage เข้าด้วยกัน โดยในขั้นแรกจะใช้วิธีการอัดประจุเร็วและขั้นที่สองจะอัดประจุด้วยกระแสค่าต่ำๆ การสวิทช์จากขั้นแรกไปยังขั้นที่สองอาจทำได้หลายวิธี เช่น ตรวจสอบแรงดันที่แบตเตอร์รี หรือควบคุมเวลาในการอัดประจุ หรือ ตรวจสอบกระแสในการอัดประจุ เป็นต้น

3.4.4) <u>การประยุกต์การใช้งาน</u>

การประยุกต์การใช้งานของ sealed lead-acid battery แบ่งอย่างกว้างเป็น 2 แบบคือ

1.cyclic operation

การทำงานเป็นแบบรอบๆ ต้องการเวลาในการอัดประจุสั้นและต้องป้องกันการอัดประจุและ discharge เกิน สิ่งสำคัญในการอัดประจุด้วยเทคนิค constant voltage คือ การรักษาเอาท์พุทไว้ที่ระดับสุดท้ายของการอัดประจุ และจำกัดกระแสให้ต่ำกว่าค่าที่ออกแบบไว้สูงสุด ถ้าแบตเตอร์รีถูกอัดประจุในช่วงอุณหภูมิสภาวะแวดล้อมกว้างๆ จะต้องมีการชดเชยทางอุณหภูมิด้วย มิฉะนั้นการอัดประจุสูงไปหรือต่ำไปในที่อุณหภูมิสูงหรืออุณหภูมิต่ำ

2.staneby/back up charging

ใช้ในงานประเภทสำรองเอาไว้ใช้ในยามต้องการ ปกติจะเก็บในสภาวะแบตเตอร์รีเต็มตลอดเวลาและจ่ายพลังงานไปให้โหลดเมื่อไฟไลน์ผิดปกติ ซึ่งการทำงานแบบนี้แบ่งออกเป็น 2 โหมด

ก)trickle charge

ระบบนี้ปกติเอซีไลน์ จะจ่ายพลังงานให้โหลด หรืออุปกรณ์ในขณะที่แบตเตอร์รีไม่ได้ถูกต่อกับโหลด ถ้าเกิดความผิดปกติกับไฟเอซีไลน์ขึ้น วงจรแบตเตอร์รีจะถูกเชื่อมเข้ากับโหลดเพื่อจ่ายพลังงาน trickle charge จะต้องพิจารณาการชดเชยสำหรับ self

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

discharge โดยการอัดประจุแบตเตอร์รีต่อเนื่องที่กระแสคงที่ ค่าต่ำๆ เพื่อให้แบตเตอร์รีอยู่ในสภาวะ fully charge ตลอดเวลา ในกรณี deep discharge จะต้องอัดประจุแบตเตอร์รีเป็นเวลานาน

ข)float charge

ระบบนี้โหลดและแบตเตอร์รีต่อกันแบบขนานกับวงจรเรคติฟาย ระบบนี้จะใช้ได้เฉพาะการอัดประจุแบบ constant voltage เท่านั้น ซึ่งแรงดันที่อัดประจุต้องมีเสถียรภาพ การกระเพื่อมอย่างมากของแรงดันที่อัดประจุ มีผลให้แบตเตอร์รี discharge เพียงเล็กน้อย constant voltage charger ต้องออกแบบให้จ่ายได้ที่โหลดมีค่าสูงสุด มิฉะนั้น จะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอร์รีสั้นลง ตามปกติอายุการใช้งานของแบตเตอร์รีแบบ float charge

3.4.5) <u>การเลือกใช้แบตเตอร์รีในโครงงานนี้</u>

ในโครงงานนี้ แบตเตอร์รีที่เลือกใช้นั้น จะเป็นชนิด lead-acid โดยมีช่องระบายความดันก๊าซ(safety valve) ขนาด 70 แอมป์-ชั่วโมง การอัดประจุแบตเตอร์รีเป็นแบบ voltage constant เนื่องจากแบตเตอร์รีในแหล่งจ่ายสำรองจะทำงานแบบ standby หรือ back up ซึ่งแบตเตอร์รีเป็นแหล่งพลังงานสำรองที่ต้องนำมาใช้ในสภาวะเกิดความผิดปกติกับไฟไลน์ ฉะนั้นแบตเตอร์รีจะต้องถูกอัดประจุให้ตลอดเวลาโดยในช่วงที่แบตเตอร์รีเต็มจะต้องอัดประจุให้กับแบตเตอร์รีด้วยอัตราการอัดประจุต่ำๆ เพื่อชดเชยค่าแรงดัน เนื่องจากความต้านทานภายในแบตเตอร์รี การต่อวงจรแบตเตอร์รีเป็นแบบ float charge

3.4.6) <u>หลักการประจุแบตเตอร์รีในโครงงานนี้</u>

จากที่กล่าวมาแล้ว เราใช้แบตเตอร์รีแรงดัน 12.6 โวลท์ ขนาด 70 แอมป์-ชั่วโมง จำนวน 4 ลูกต่ออนุกรมกัน ให้ได้แรงดันประมาณ 50 โวลท์ แต่เครื่องอัดประจุแบตเตอร์รีจะทำการอัดประจุด้วยแรงดัน 13.5 โวลท์เพื่อชดเชยค่าการสูญเสียเนื่องจากแรงดันตกคร่อมความต้านทานภายในแบตเตอร์รี เมื่อเวลาใช้งานจริงแบตเตอร์รีจะจ่ายแรงดันไฟตรง 12.6 โวลท์ สำหรับในโครงงานนี้แบตเตอร์รีถูกใช้งานในหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานสำรองให้แก่ระบบสำรองฉุกเฉินของลิฟต์ ฉะนั้นแบตเตอร์รีมีได้ถูกใช้งานบ่อยครั้งนัก แต่แบตเตอร์รีจะต้องถูกอัดประจุให้เต็มตลอดเวลา เพื่อให้พร้อมที่จะจ่าย

เอกสารนี้ถือเป็นลิขสิทธิ์ของผู้เขียน ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟได้ทันทีเมื่อเกิดไฟดับ ดังนั้นในโครงงานนี้จึงเลือกเครื่องอัดประจุแบตเตอร์รีแบบแรงดันคงที่ ที่ 54 โวลท์ และมีกระแสสูงสุด 10 แอมป์ โดยเมื่อนำแบตเตอร์รีไปใช้งานจริงจะจ่ายแรงดันเพียง 50 โวลท์เนื่องจากแรงดันตกคร่อมความต้านทานภายในไป 4 โวลท์

3.4.7) <u>การทำงานของวงจรเครื่องอัดประจุแบตเตอร์รี</u>

การอัดประจุแบตเตอร์รี จะอัดประจุด้วยไฟกระแสตรง 54 โวลต์โดยการใช้ไฟไลน์ AC 220 โวลท์ แปลงแรงดันให้เหลือเพียง 50 โวลท์ เข้าสู่วงจรเรคติฟาย ซึ่งเป็นไดโอดบริดจ์ที่ทนกระแสได้สูงถึง 10 แอมป์ ตัวเก็บประจุทนแรงดันสูง ทำหน้าที่กรองความถี่ต่ำให้เหลือเป็นแรงดันไฟตรง ทำหน้าที่กรองแรงดันไฟตรงให้เรียบขึ้นเพื่ออัดประจุให้แก่แบตเตอร์รีและไดโอด 2 ตัวที่ต่อไว้ทางด้านหน้าก่อนเข้าวงจรควบคุม มีไว้เพื่อแยกกระแส ที่จะไหลเข้าไปในวงจรควบคุม ซึ่งมีค่าน้อย ให้ออกจากกระแสที่ไหลไปอัดประจุให้แก่แบตเตอร์รีซึ่งมีค่าสูง ตัวเก็บประจุทำหน้าที่กรองแรงดันไฟตรงให้เรียบขึ้น สำหรับวงจรควบคุม โดยใช้ไอซีเบอร์ LM 723 ทำหน้าที่ในการควบคุมให้แรงดันในการอัดประจุคงที่ และวงจรนี้ยังช่วยปรับแรงดันที่ใช้ในการประจุแบตเตอร์รีให้ได้ค่าตามที่ต้องการด้วย ขา 6 ของไอซีจะไปไบแอสขาเบสของทรานซิสเตอร์ ทำให้มีกระแสสามารถไหลผ่านทรานซิสเตอร์ไปอัดประจุยังแบตเตอร์รีได้ถึง 10 แอมป์ ต่อจากนั้นจะมีหน้าคอนแทคของรีเลย์ทำหน้าที่เป็นสวิทช์เปิดปิดการจ่ายกระแสที่อัดประจุให้กับแบตเตอร์รี ต่อจากนั้นก็มีไดโอดต่ออนุกรมอยู่ ก่อนเข้าไปประจุแบตเตอร์รี ไดโอดนี้ป้องกันไม่ให้ไฟกระแสตรงจากแบตเตอร์รีจ่ายย้อนกลับมาให้กับเครื่องอัดประจุแบตเตอร์รี

สำหรับความต้านทาน R_1,R_2 และ R_3 ใช้ในการกำหนดค่าแรงดันเอาท์พุท โดยคำนวณได้จากอัตราส่วนของค่าความต้านทาน R_1 และ R_3 สำหรับค่าแรงดันเอาท์พุทพื้นฐานดังนี้

$$V_o = 7[(R_1+R_3)/R_3]$$

สำหรับที่ $10K < R_3 < 100K$

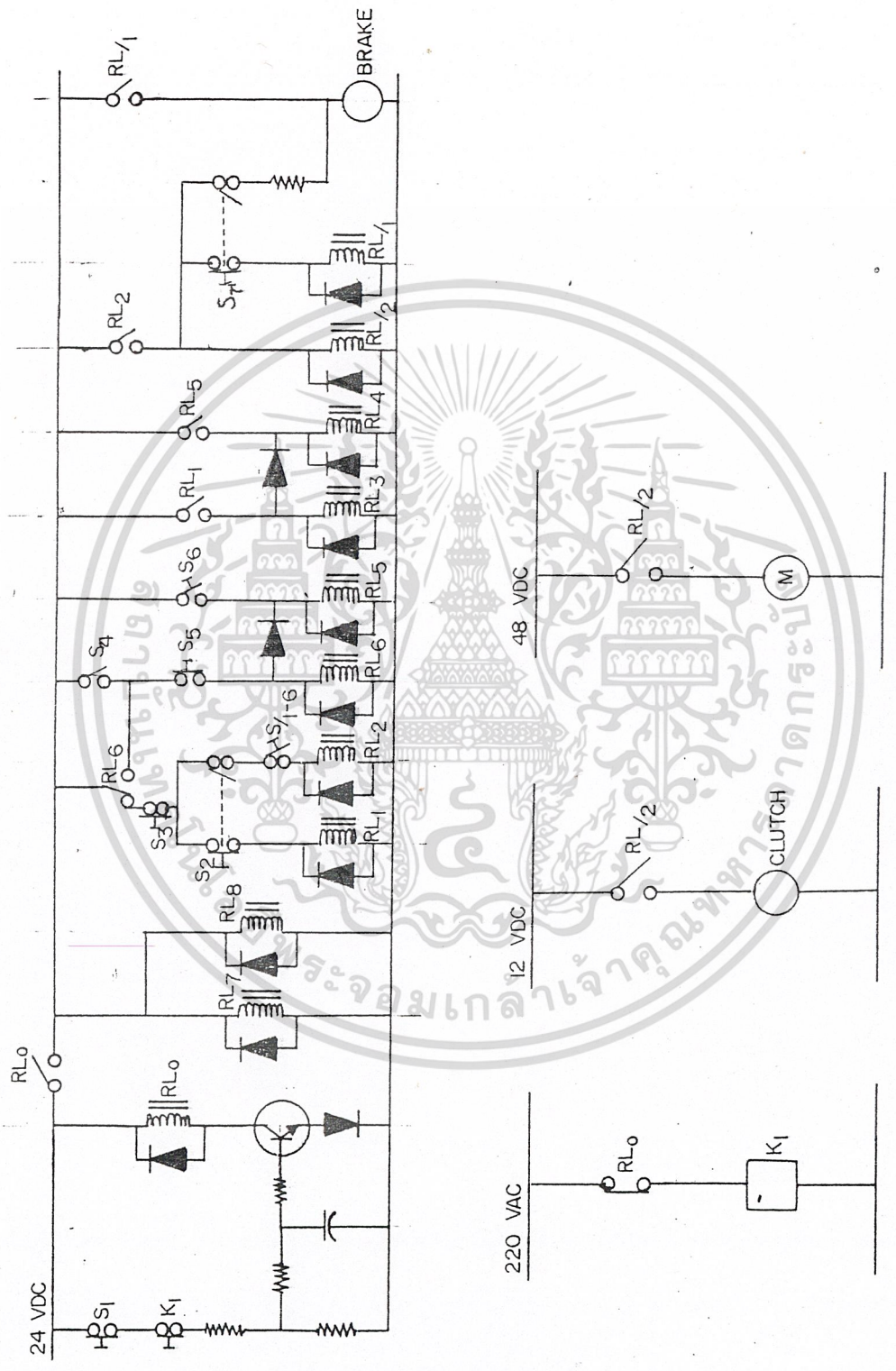
โดยสามารถปรับค่าแรงดันเอาท์พุทได้ในช่วง 40 โวลท์ถึง 56 โวลท์ จากการปรับค่าความต้านทานของ R_2

สำหรับ ซีเนอร์ไดโอด 56 โวลท์ เปรียบเสมือนตัวค่าคงที่ ที่คอยตรวจสอบแรงดันเอาท์พุท เมื่อแรงดันของแบตเตอร์รีขึ้นถึงระดับที่มีการอัดประจุเต็มที่แล้ว ทำให้ซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

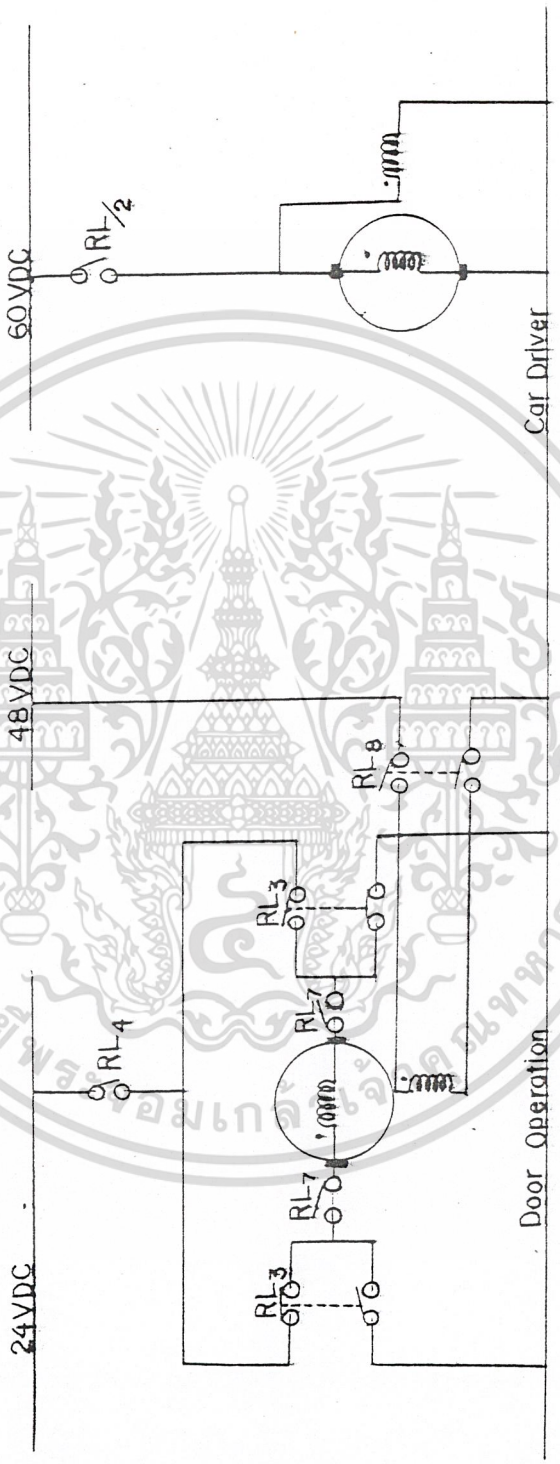
เนอร์เป็นตัวนำ จะมีกระแสไหล และเกิดกระแสไปทริกขาเกทของ SCR ทำให้ตัดกระแสในการอัดประจุแบตเตอร์รีออกทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



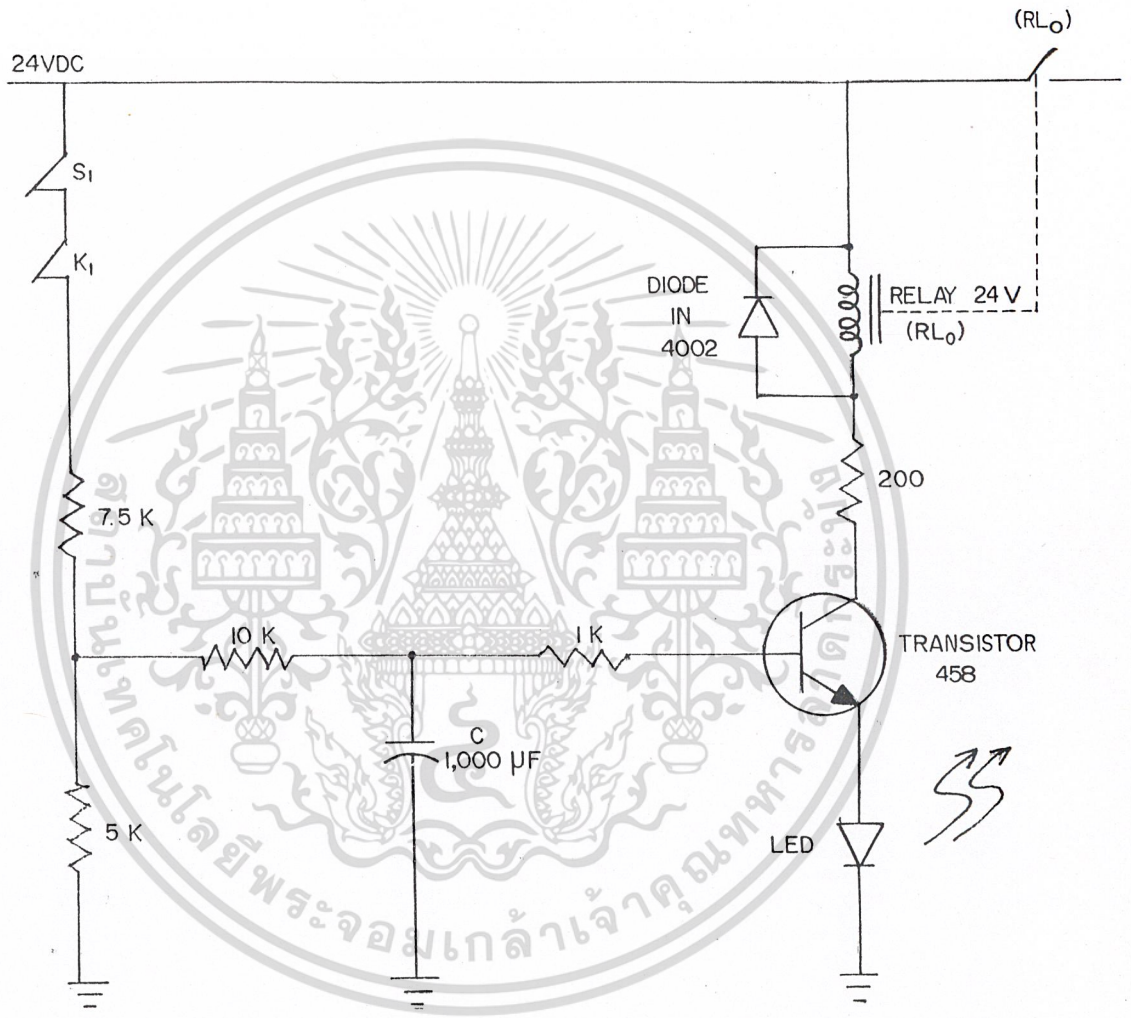
รูปที่ 3.1(a) แสดงวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



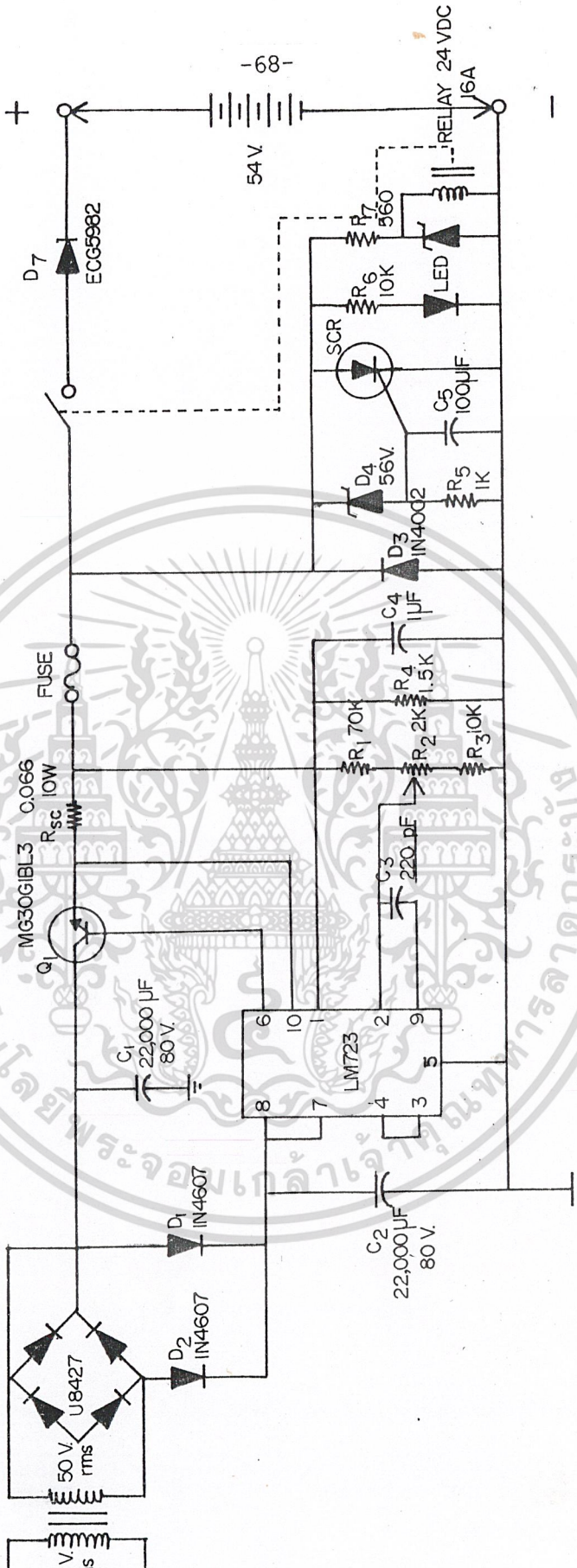
รูปที่ 3.1(b) แสดงวงจรควบคุม และเปิด-ปิดประตู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรหน่วงเวลา

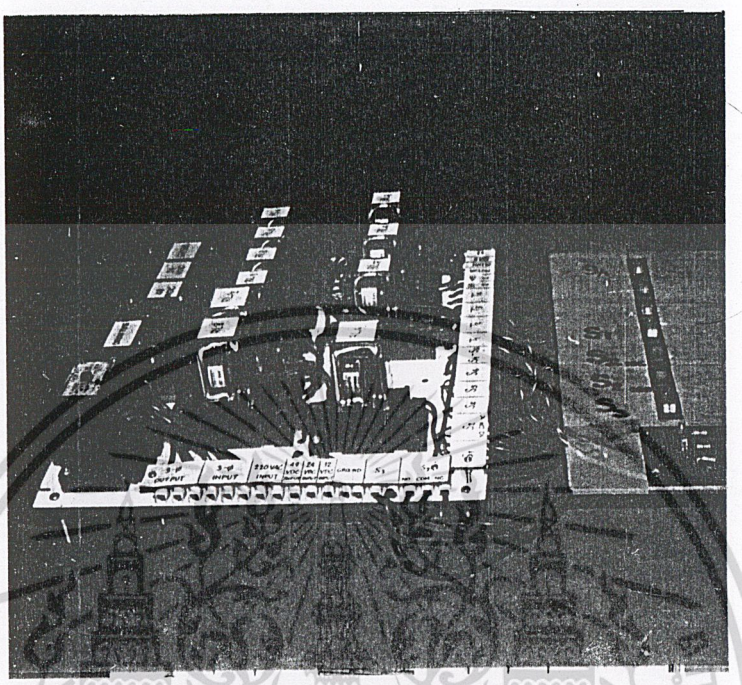
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรอัดประจุแบตเตอร์รี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

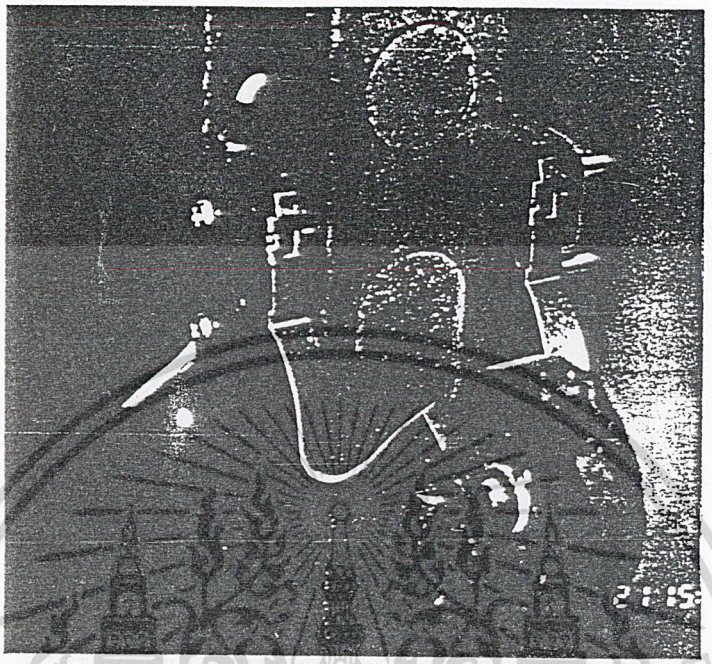
3.5) รูปแสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ



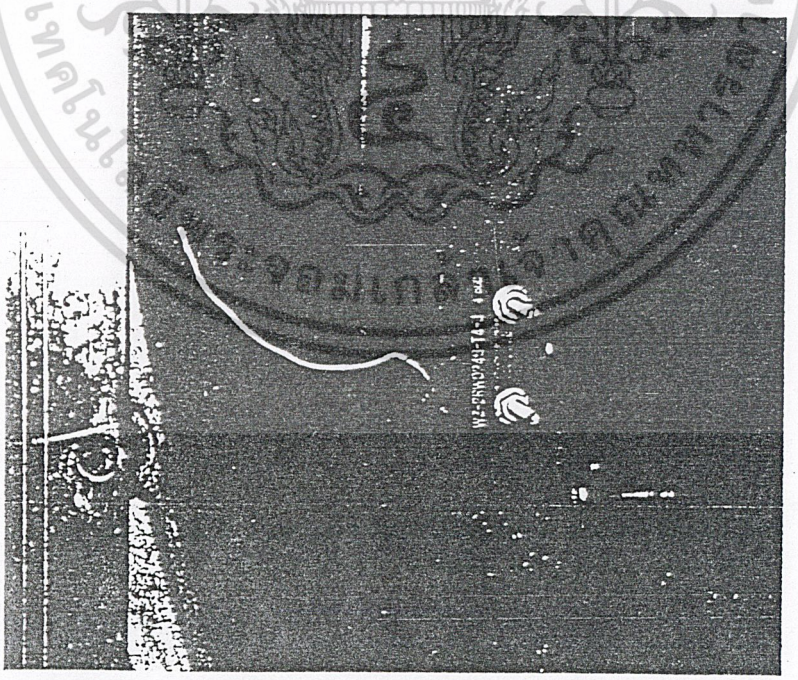
รูปที่ 3.4 แสดงแผงวงจรควบคุม

รูปที่ 3.5 แสดงการติดตั้ง S_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

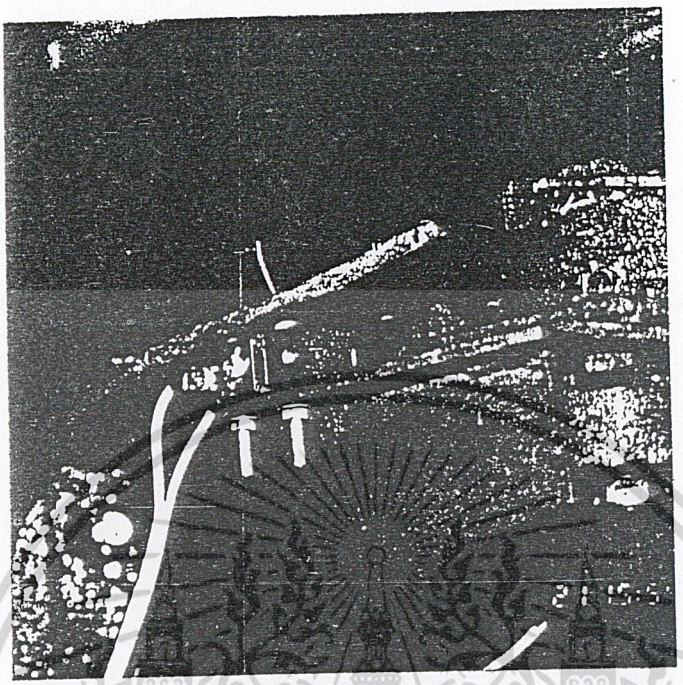


รูปที่ 3.6 แสดงการติดตั้ง S_3 และ S_6

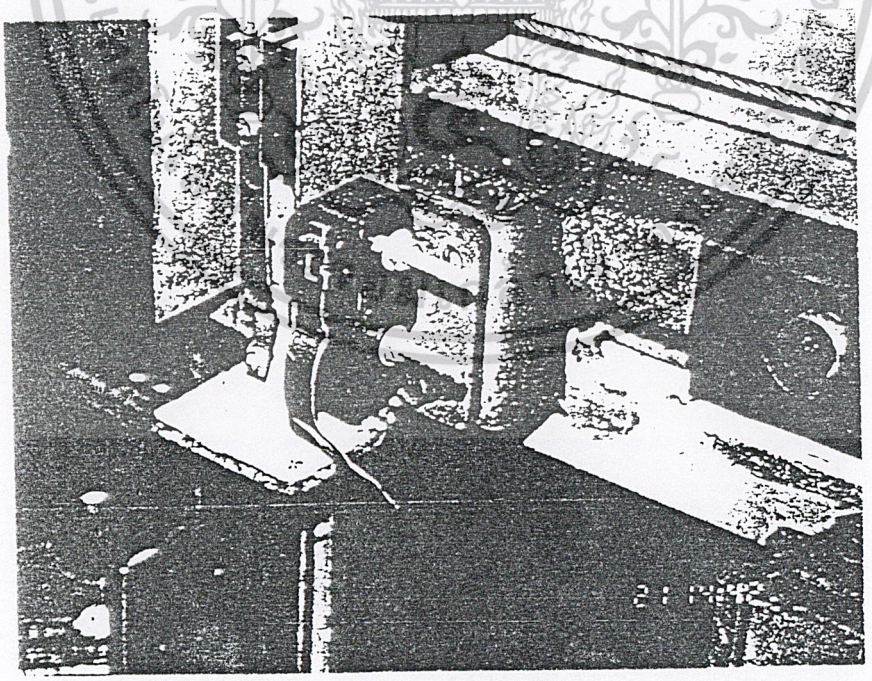


รูปที่ 3.7 แสดงการติดตั้ง S_4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงการติดตั้ง S_5



รูปที่ 3.9 แสดงการติดตั้ง S_1 - S_6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

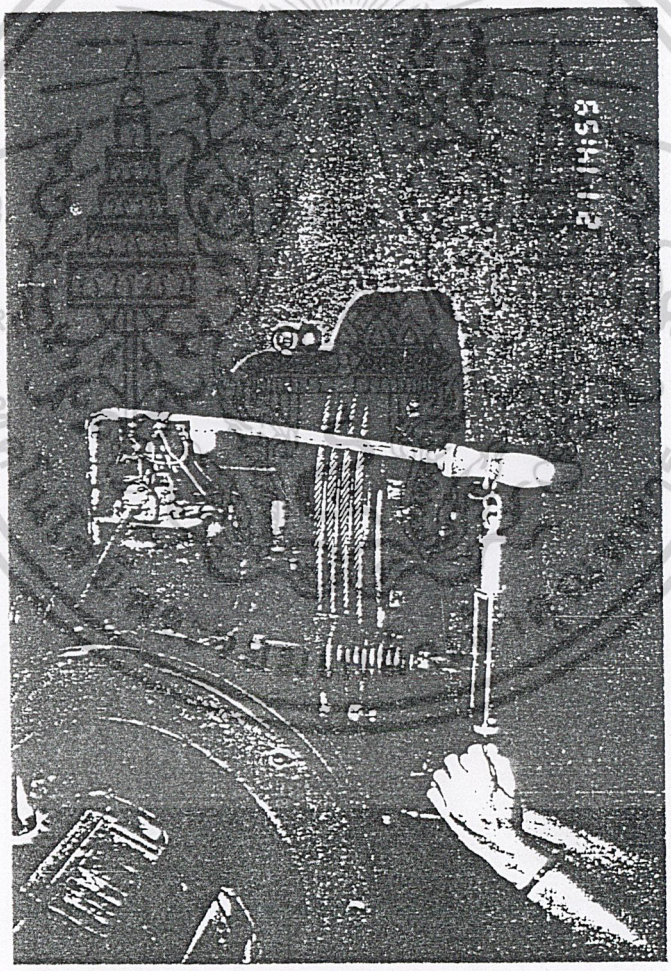
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1) การทดลองเพื่อศึกษาข้อมูล

จากแนวความคิดและหลักการแก้ปัญหาโดยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน จำเป็นต้องทราบข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับลิฟท์ที่ต้องการปรับปรุง เพื่อใช้ประโยชน์ในการคำนวณหาขนาดของมอเตอร์กระแสตรง และโซลินอยด์

4.1.1) ข้อมูลที่เกี่ยวกับการหาขนาดของโซลินอยด์ (solinoid)



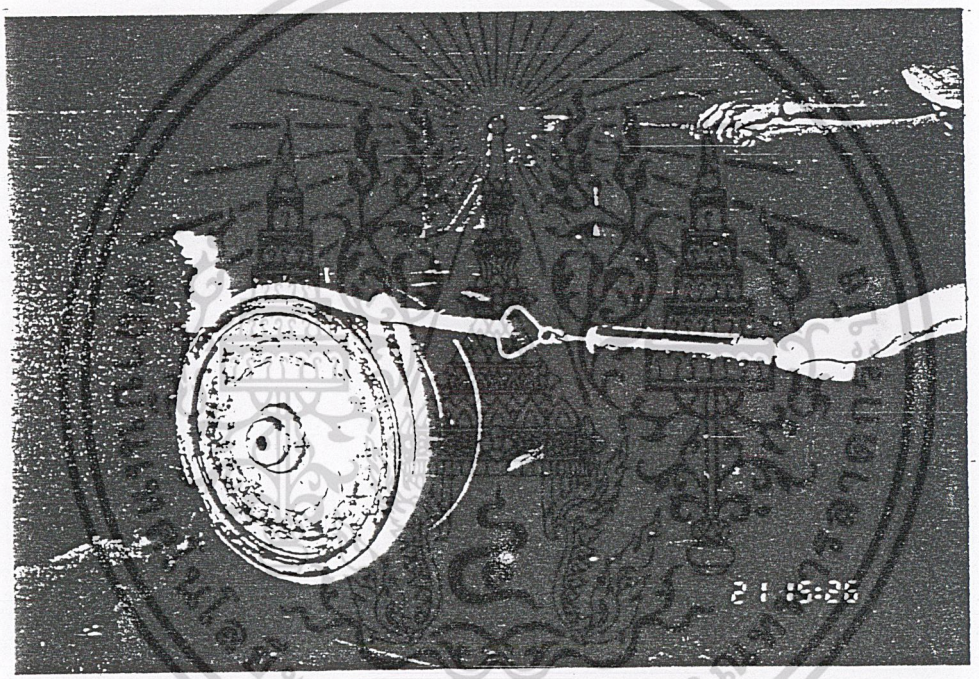
รูปที่ 4.1 แสดงการทดสอบโดยออกแรงดึงคานปลดเบรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ผลดังนี้

1) แรงที่ใช้กดเบรคอย่างน้อยที่สุด	160	นิวตัน
2) ระยะขจัดของแรง	0.03	เมตร

4.1.2) ข้อมูลเกี่ยวกับการหาขนาดของมอเตอร์



รูปที่ 4.2 แสดงการหาแรงฉุดเพลาให้เริ่มหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบโดยออกแรงดึงดังรูป ได้ผลดังนี้

1) ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองหาแรงออกตัว

ครั้งที่	แรง F ที่ใช้ดึงทำให้มอเตอร์หมุนได้(นิวตัน)	ระยะรัศมีขจัด (เมตร)	การหมุนของมอเตอร์
1	305	0.2	หมุน
2	300	0.2	หมุน
3	290	0.2	หมุน
4	280	0.2	หมุน
5	275	0.2	หมุน
6	250	0.2	หมุน
7	245	0.2	หมุน
8	240	0.2	ไม่หมุน

ในการทดลองครั้งที่ 1 ถึง 5 ใช้แรงระหว่าง 275-305 นิวตัน เป็นช่วงที่การเริ่มหมุนของมอเตอร์ออกตัวได้ดี

ส่วนการทดลองที่ 6 ถึง 7 เป็นการทดลองออกแรง 245-250 นิวตันดึงมอเตอร์ให้หมุนโดยยังสามารถหมุนได้

การทดลองในครั้งที่ 8 ใช้แรงดึง 240 นิวตัน ซึ่งเป็นแรงที่มากที่สุดที่ไม่ทำให้มอเตอร์หมุนได้เพราะฉะนั้น แรงที่น้อยที่สุดที่ทำให้มอเตอร์หมุนได้คือ 245 นิวตัน ที่ระยะรัศมีขจัด 0.2 เมตร ซึ่งจะนำไปคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ที่เล็กที่สุดที่จะสามารถทำงานได้

<u>หมายเหตุ</u> : การทดลองหาแรงที่ใช้ในการหมุนในระยะทางที่คงที่นี้ เป็นแรงที่ทำให้มอเตอร์เริ่มหมุน ซึ่งตามทฤษฎีก็คือ ถ้ามอเตอร์สามารถเริ่มต้นหมุนได้ กำลังงานที่ใช้หลังจากมอเตอร์หมุนแล้ว จะมีค่าน้อยกว่ากำลังงานที่ใช้ในตอนเริ่มต้นหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) รัศมีของจานที่ติดกับเพลาของมอเตอร์ = 20 ซม.

3) หมุนจานที่ติดกับเพลาด้วยมือ 20 รอบ ลิฟท์สามารถเคลื่อนที่ได้ 93 ซม.

4) ระยะความสูง 1 ชั้น = 3.5 เมตร

เพราะฉะนั้นระยะทางที่ยาวที่สุดที่ลิฟต์ต้องเคลื่อนที่ คือจากพื้นชั้น 6 ถึงพื้นชั้นที่ 1 โดยสมมติว่าความหนาของพื้นชั้นที่ 1 เท่ากับชั้นอื่น ๆ และไม่ตัดทิ้ง จะได้ระยะทางทั้งหมด = 3.5x5 = 17.5 เมตร

4.1.3) การคำนวณหาขนาดของมอเตอร์

จากข้อมูลที่ได้ หมุนจานที่ติดกับเพลาด้วยมือ 20 รอบ ลิฟท์สามารถเคลื่อนที่ได้ 93 ซม. และระยะทางที่ยาวที่สุดที่ลิฟท์ต้องเคลื่อนที่ 17.5 เมตร

ดังนั้นต้องหมุนจานเพลา = (17.5x20)/0.93 = 376.34 = 377 รอบ

ในการเลือกขนาดของมอเตอร์จะต้องกำหนดจะต้องกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ของการหมุนจานที่ติดกับมอเตอร์ก่อน

<u>กรณีต้องการความเร็ว 200 rpm</u> : (คิดที่แรงที่น้อยที่สุดที่ทำให้มอเตอร์เริ่มหมุนได้)

จาก

$$P = Tw$$

; $w = 2\pi N/60$

; $T = Fr$

เพราะฉะนั้น $P = (Frx2x\pi xN)/60$

$= (245x0.2x2\pi x200)/60$

$= 1026.2536$ watt หรือ 1.4 แรงม้า

คำนวณเวลาที่ลิฟท์เคลื่อนที่จากชั้น 6 ถึง ชั้น 1 :

หมุน 200 รอบ ใช้เวลา 1 นาที

ถ้า " 377 " ——— " 377/200 = 1.885 นาที

นั่นคือ ต้องใช้เวลา 1 นาที 53.1 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีต้องการความเร็ว 100 rpm : (ใช้วิธีคำนวณเช่นเดียวกัน) จะได้เป็น

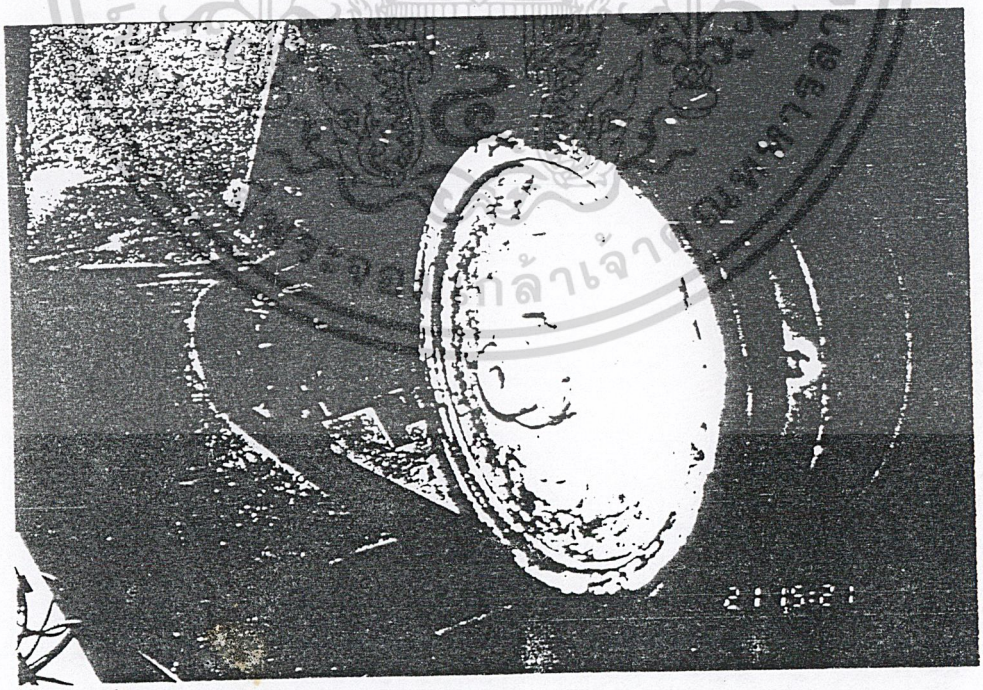
P = 513.13 watt หรือ = 0.688 แรงม้า

และต้องใช้เวลา 3 นาที 46.2 นาที

จากการคำนวณเปรียบเทียบการเลือกความเร็ว 200 rpm กับ 100 rpm จะเห็นได้ว่าถ้าเลือกความเร็วยิ่งช้า ขนาดของมอเตอร์ก็ยิ่งมีขนาดเล็กลง แต่ถ้าจะใช้เวลามากขึ้น เพราะฉะนั้น ในโครงงานนี้ จึงเลือกความเร็ว 200 rpm และจะได้ขนาดของมอเตอร์ที่เล็กที่สุดที่จะสามารถขับเคลื่อนลิฟท์ได้ 1 แรงม้าครึ่ง และทำให้ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ลิฟท์ลงมาถึงชั้น 1 ไม่มากจนเกินไป

4.2) การต่อประกับมอเตอร์กับโหลด

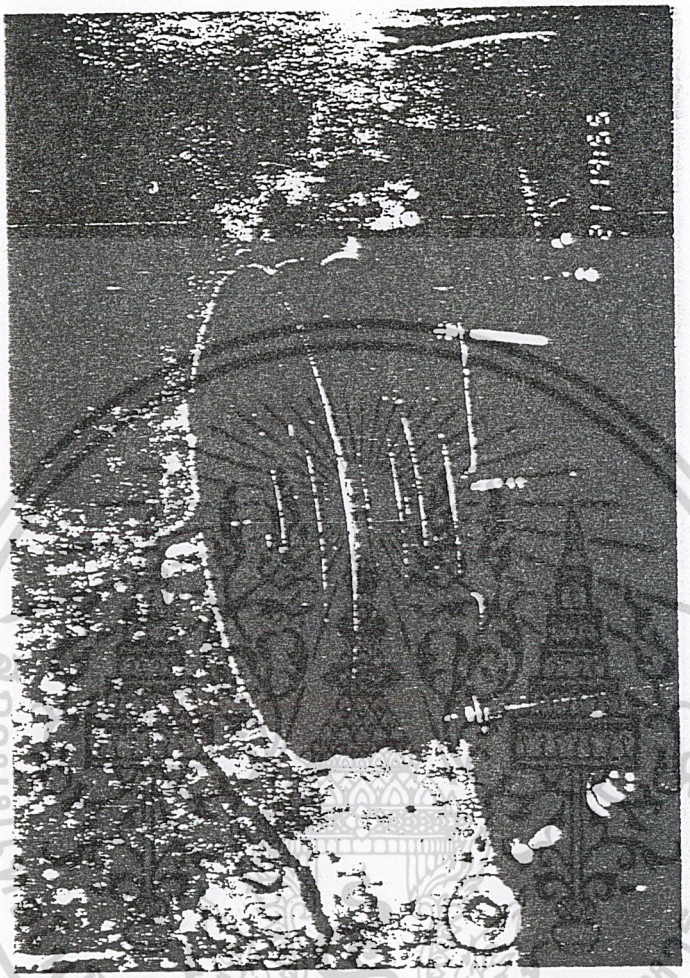
การต่อประกับ จะใช้วิธีการขับด้วยสายพาน ผ่านคลัทช์ที่ต่ออยู่กับเพลาของมอเตอร์ก ระแสตรงสายพานจะเป็นตัวส่งกำลังระหว่างมูเล่ที่คลัทช์ กับมูเล่ที่ติดอยู่กับเพลาของมอเตอร์ลิฟท์เดิม ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงการต่อสายพานขับโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3) การทำงานของคลัทช์



รูปที่ 4.4 แสดงคลัทช์ที่ต่ออยู่กับเพลาของมอเตอร์กระแสตรง

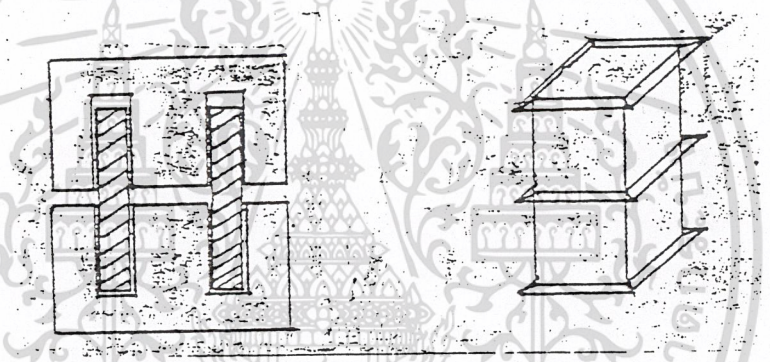
ขณะลิฟท์ทำงานปกติ มอเตอร์ลิฟท์จะขับโหลดเท่าเดิม แม้จะมีสายพานต่ออยู่ เนื่องจากคลัทช์ยังไม่ทำงาน สายพานจะหมุนฟรี แต่ขณะไฟดับมอเตอร์กระแสตรงจะทำงานขับลิฟท์แทนมอเตอร์ลิฟท์เพื่อให้ลิฟท์เคลื่อนที่ลงมาที่ชั้น 1 เพื่อความปลอดภัยของผู้โดยสาร ในการขับลิฟท์ขณะไฟดับนั้น วงจรควบคุมจะสั่งต่อวงจรไฟฟ้าให้กับคลัทช์และมอเตอร์กระแสตรงเพื่อขับลิฟท์โดยส่งกำลังผ่านทางสายพาน ดังนั้นประโยชน์ของคลัทช์คือ ทำให้มอเตอร์ลิฟท์ไม่มีการขับโหลดเพิ่มขึ้นจากปกติ และคลัทช์จะทำงานเมื่อต้องการจะใช้มอเตอร์กระแสตรงทำงานขับลิฟท์ขณะไฟดับเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4) การออกแบบโซลินอยด์ และการตรวจสอบ

โซลินอยด์ใช้เป็นต้นกำลังในการปลดระบบเบรคทางกล อาศัยหลักการสนามแม่เหล็ก โดยเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด จะทำให้เกิดแรงทางแม่เหล็ก ที่สามารถดึงโลหะที่เป็นตัวนำทางแม่เหล็กได้ แรงดังกล่าวจะถูกนำมาใช้เป็นต้นกำลังงาน เพื่อใช้ในการปลดเบรคต่อไป

โซลินอยด์ที่ทำการออกแบบและสร้างขึ้นมานั้น เป็นโซลินอยด์ที่สร้างจากแกน E ขนาด 1.5 นิ้ว หนา 1.5 นิ้ว 2 อันประกบกัน โดยใช้ bobbin 2 ตัวยึดติดกันดังรูป



ก) ข)

รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะของโซลินอยด์ที่ทำการสร้าง

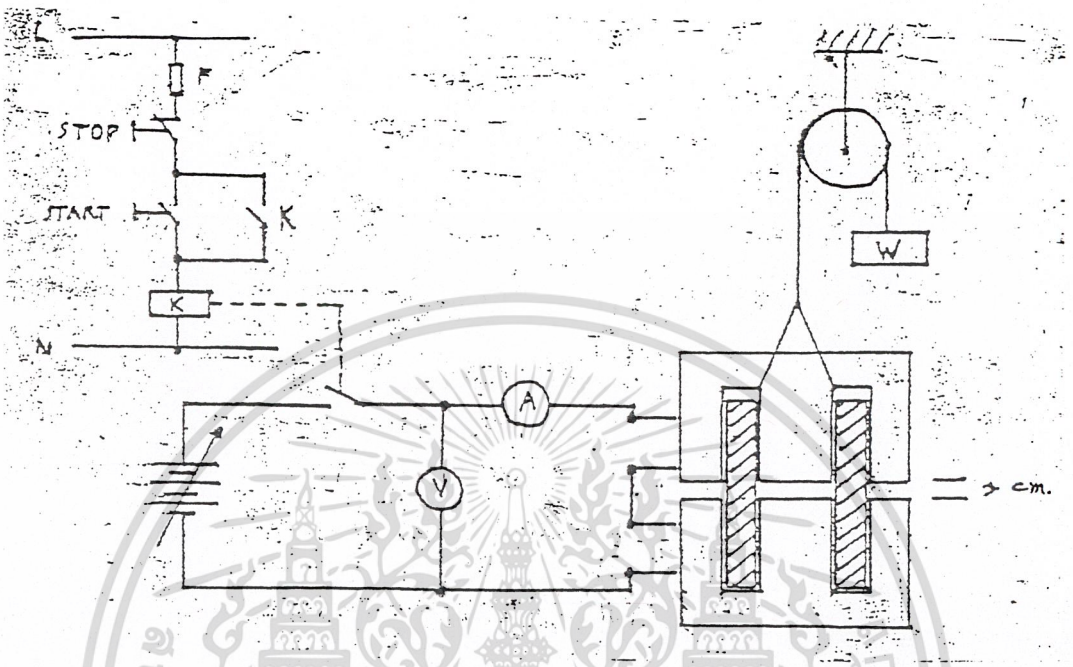
ก) ลักษณะของแกนเหล็กรูปตัว E 2 ตัว ที่ได้ออกแบบไว้

ข) แสดงการประกบกันของ bobbin 2 อัน

การพันขดลวดในแต่ละ bobbin จะมีจำนวนรอบเท่ากับ 340 รอบเท่ากัน โดยใช้สายเบอร์ 18 มีขนาดความโต 0.48 นิ้ว , 1.219 ม.ม. พื้นที่หน้าตัด 1.188 ตาราง ม.ม. , 2.048 เซอคูลามิล ทนกระแสเมื่อเป็นลวดเปล่าได้ 10 A น้ำหนักต่อความยาว 100 m 0.93 ก.ก. ความต้านทานของลวดต่อความยาว 100 m 1.703 โอห์ม

การทดสอบคุณสมบัติของโซลินอยด์ ทำโดยการเซ็ทอุปกรณ์ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงวงจรทดสอบโซลินอยด์

ในการทดสอบโซลินอยด์ มีวงจรควบคุมที่ใช้แมกนีติกคอนแทคเตอร์ เป็นตัวตัดต่อวงจรหลักโดยมีการป้อนศักดาไฟฟ้า ให้กับโซลินอยด์ที่ระดับ 20, 30, 40 , 45 โวลต์ ระยะห่างระหว่างแกนรูปตัว E ทั้งสองเท่ากับ 3 cm. ในการทดสอบที่ระดับแรงดันต่าง ๆ นั้น จะเพิ่มค่าของลูกน้ำหนักขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งแกน E ทั้งสองไม่สามารถดึงน้ำหนักขึ้นมาได้ จึงบันทึกค่าน้ำหนักที่ดึงได้มากที่สุด และได้ผลการทำสอบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V(volt)	I(amp)	gap(cm)	Weight(Kg)
20	7.5	3	6
30	10.8	3	10
40	14.0	3	14.5
45	15.4	3	16.5

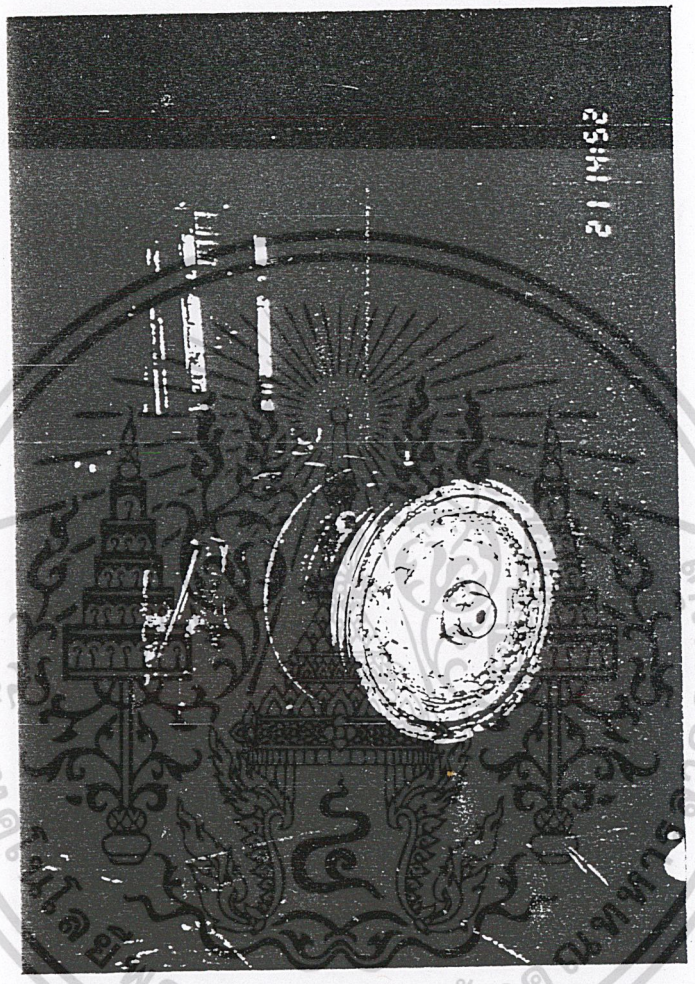
ผลจากการทดสอบพบว่า โซลินอยด์ที่ได้สร้างขึ้นนี้ สามารถใช้งานปลดระบบเบรคได้ตามความต้องการ

ในการนำโซลินอยด์ไปใช้งานเพื่อการปลดระบบเบรค จะมีโครงสร้างทางกลที่เป็นตัวส่งถ่ายพลังงานจากโซลินอยด์ โครงสร้างดังกล่าวมีลักษณะดังรูป

รูปที่ 4.7 แสดงโครงสร้างทางกลของระบบปลดเบรค

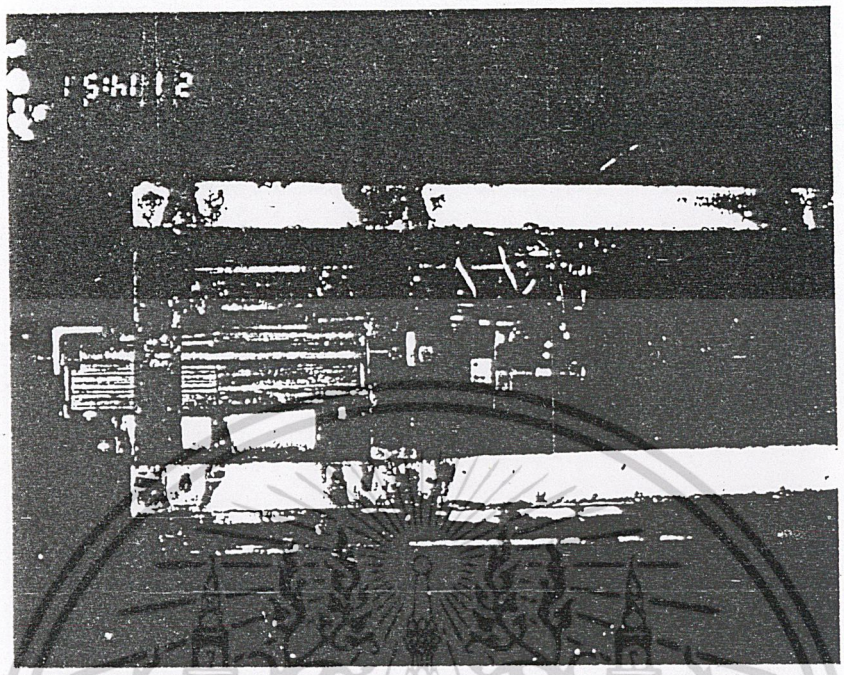
เอกสารนี้ ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากร ... งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาโซลินอยด์มาประกอบกับโครงสร้างส่งพลังงาน แล้วนำไปติดตั้งกับระบบลิฟท์เพื่อใช้ในการปลดเบรค ดังรูปที่ 8



รูปที่ 4.8 แสดงการติดตั้งโครงสร้างการปลดเบรคให้กับระบบลิฟท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงการยึดโครงสร้างทางกลกับจุดที่จะทำการปลดเบรคลิฟท์

โครงสร้างทางกลที่สร้างขึ้น สามารถแยกออกเป็นสองส่วนดังนี้

-ส่วนอยู่กับที่ เป็นส่วนที่แกน E ของโซลินอยด์ที่ไม่ต้องการให้เคลื่อนที่ยึดติดไว้อยู่และตัวโครงสร้างจะจับยึดอยู่กับโครงสร้างของลิฟท์ดังรูป

-ส่วนเคลื่อนที่ เป็นส่วนที่แกน E ของโซลินอยด์ที่เคลื่อนที่ลงยึดติดอยู่ และยังเป็นตัวส่งกำลังจากโซลินอยด์เพื่อปลดระบบเบรคของลิฟท์

การทดสอบโดยป้อนไฟให้กับโซลินอยด์หลังการติดตั้ง ได้ผลการทดสอบดังนี้

i/p	V	12	24
o/p	A	4	8
	V	10	22

ผลการปลดระบบเบรค เป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่ระดับ 12 โวลย์ การปลดเบรคยังไม่สมบูรณ์ มีการเสียดสีกันระหว่างเพลากับก้ามเบรค
- ที่ระดับ 24 โวลย์ การปลดเบรคจะสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

การพัฒนาระบบเบรคมอเตอร์ชนิดเซฟตี้เบรคนี้ เป็นระบบใหม่ที่ยังไม่เคยมีการติดตั้งใช้งานกันทั่วไป แต่เป็นแนวคิดหนึ่งที่ใช้แก้ปัญหาลิฟท์ค้าง ขณะระบบไฟฟ้าเกิดขัดข้อง หรือไฟดับ เพื่อความสะดวกในการช่วยเหลือและความปลอดภัยของผู้โดยสารลิฟท์ สำหรับหลักการของระบบนั้น มีดังนี้

- เริ่มด้วยการตัดระบบไฟปกติออก และให้ระบบโอนย้ายเข้าสู่ระบบสำรองซึ่งทำงานอินเตอร์ล็อคกัน เพื่อป้องกันการสับสนในการทำงานระหว่างระบบทั้งสองในการณีที่ไฟกลับคืนสู่ภาวะปกติก่อนการทำงานเสร็จสิ้นของระบบสำรอง
- ทำการคับปลิ้งมอเตอร์กระแสตรงเข้ากับระบบต้นกำลังเดิม ผ่านระบบคลัทช์พร้อมกับปลดเบรคโดยใช้ไฟกระแสตรงกระตุ้นขดลวดโซลินอยด์
- จากนั้นนำลิฟท์ลงมายังชั้นที่ 1 และเปิดประตูค้างไว้ เสร็จแล้วจึงคืนการทำงานให้กับระบบเดิม

ขั้นตอนการออกแบบและการทดสอบ ได้ทำการสรุปดังนี้

- ขดลวดโซลินอยด์ : สามารถทำการปลดเบรคได้สมบูรณ์
- มอเตอร์กระแสตรง และคลัทช์ : ติดตั้งมอเตอร์กระแสตรงติดตั้งระบบคลัทช์สามารถทำงานได้ดี
- วงจรควบคุม : ในการออกแบบใช้อุปกรณ์แมกเนติคคอนแทคเตอร์ รีเลย์ลิมิตสวิตส์ และวงจรหน่วงเวลาในการตรวจสอบไฟปกติดับ ประกอบกันขึ้นเป็นวงจรควบคุม
- วงจรชาร์จแบตเตอร์รี : สามารถชาร์จแบตเตอร์รีที่แรงดันและกระแสตามต้องการ เมื่อแบตเตอร์รีเต็มก็สามารถตัดวงจรออกได้

<u>หมายเหตุ</u> : เนื่องจากมีเหตุขัดข้องบางประการทำให้ทดลองระบบสำรองไม่ได้ จึงไม่ได้ทำการติดตั้งจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีตามวัตถุประสงค์เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ประภาษ ไพรสุวรรณา ที่ช่วยอำนวยความสะดวกทั้งในด้านอุปกรณ์และคำแนะนำที่มีประโยชน์อย่างมาก ตลอดจนคุณสุรชัย สิงห์บูรพา ,คุณหนึ่งฤทัย แสงสว่าง ,คุณอัครเดช ตุลาพันธ์ ,คุณเอกชัย อาจอนุรักษ์ ที่ได้ให้ข้อมูลและคำแนะนำในวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้จัดทำ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1.พีระศักดิ์ วรสุนทรโรสถ,รศ.ดร.,และ มาบูชิ มาตาริชาวา,"เทคนิคการซ่อมแซมเลือกประเภทและติดตั้งมอเตอร์เหนี่ยวนำ",บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด ,300 หน้า,2521

2.มงคล ทองสงคราม,"เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง",บริษัท รามาการพิมพ์ จำกัด ,215 หน้า,2523.

3.Fred A. Annett , "Elevator", McGraw - Hill Copany, 388 p. ,1960.

4.G.C.Barney ,"Elevator Technology" ,International Association of Elevator Engineers / Ellis Horwood Limited,354 p.,1986

5.สุรชัย สิงห์บูรพา,หนึ่งฤทัย แสงสว่าง,อัครเดช ตุลาพันธ์,และ เอกชัย อาจอนุรักษ์,"การพัฒนาเบรคมอเตอร์ชนิดเซฟตี้เบรค",ปริญญานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้