สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดจำลองการทำงานของลิฟท์

ELEVATOR MODULE

โดย

นายไชยพร ตำแหน่งจีน

นายสราวุธ ทรัพย์ประภา

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 86877
วัน,เดือน,ปี 16 ส.ค. 2552

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ชุดจำลองการทำงานของลิฟท์		
	ELEVATOR MODULE		
ชื่อนักศึกษา	นายไชยพร	ตำแหน่งจีน	NO. 35-103097
	นายสราวุธ	ทรัพย์ประภา	NO. 35-103122
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์นิกร	สุขุตมตันติ	
ภาควิชา	เทคนิคอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2537		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
( )

.....กรรมการ
( )

.....กรรมการ
( )

.....กรรมการ
( )

.....กรรมการ
( )

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดจำลองการทำงานของลิฟท์

ELEVATOR MODULE

โดย	นายไชยพร	ตำแหน่งจีน	NO. 35-103097
	นายสราวุธ	ทรัพย์ประภา	NO. 35-103122
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.นิกร สุขุตมตันติ		
ปีการศึกษา	2537		

บทคัดย่อ

ลักษณะของลิฟท์ที่สร้างขึ้นนี้จะเป็นลิฟท์จำลองจำนวน 4 ชั้น ใช้ CPU เบอร์ Z-80 เป็นหัวใจสำคัญในการรับคำสั่งและปฏิบัติงานตามคำสั่งทุกอย่างด้วย CPU ตัวนี้เพียงตัวเดียว และจะใช้ DC MOTOR ขนาด แรงดัน 110 V เป็นตัวขับเคลื่อนลิฟท์ ทั้งนี้สาเหตุที่ใช้ CPU ในการควบคุมนั้น ก็เนื่องมาจากลิฟท์ที่ใช้งานจริงๆในปัจจุบันนั้น ส่วนใหญ่หรือเกือบจะทั้งหมดใช้ CPU เป็นตัวควบคุมแทบทั้งสิ้น ทั้งนี้ก็เป็นเพราะว่าลิฟท์ที่ใช้ CPU มีความสามารถในการทำงานสูงเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์อื่นๆ ไม่ว่าจะเป็น PLC หรือ ลิฟท์ที่ใช้ RELAY แต่อย่างไรก็ตามลิฟท์จำลองตัวนี้ ก็มีข้อจำกัดในการทำงานซึ่งเนื่องมาจาก ความซับซ้อนทางกลไก ที่ไม่สามารถเลียนแบบของจริงได้ทั้งหมด ซึ่งแทบจะเป็นไปไม่ได้เลยที่เราจะสามารถเลียนแบบจากลิฟท์จริงๆได้ ส่วนสำคัญที่เราพยายามแสดงให้เห็น ก็คือความสามารถของ โปรแกรมการทำงาน ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญที่สุดของลิฟท์ และเราก็แสดงให้เห็นความสามารถของ โปรแกรมการทำงาน ว่าดีเยี่ยมมากเพียงใด สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องทุกขั้นตอนโดยไม่ผิดพลาด เหมือนกับลิฟท์ที่ใช้งานอยู่จริงทุกประการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELEVATOR MODULE

BY	CHAIYAPORN	TUMNHANGJEEN	NO. 35-103097
	SARAWUT	SUBPHAPHA	NO. 35-103122
ADVISER	NIKORN	SUKUTAMATUNTI	
YEAR	2537		

ABSTRACT

THIS ELEVATOR MODULE IS SIMULATED ABOUT FOUR-STOREYED. WHICH HAVE MAIN CPU NO. Z-80 IS IMPORTANT FOR OPERATE ALL THEM AND DRIVED BY DC. MOTOR 110 V. DUE TO THE ACTUAL LIFT IS OPERATED BY CPU. BECAUSE CPU IS HIGHER CAPABILITY THAN PLC AND RELAY. WHENEVER THIS ELEVATOR MODULE IS LIMIT ON OPERATE BECAUSE SOME PART IS COMPLEXITY THAT WE CAN'T SIMULATE THAT BEYOND THIS CLASS. MAIN OBJECT IN THIS PROJECT THAT WE ATTEMPT TO PRESENT IS PROCESSING PROGRAM THAT. CAN OPERATE WITH ACCURACY SAME AS ACTUAL ELEVATOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ก็ด้วยความช่วยเหลือของ เพื่อนๆ และรุ่นพี่หลายท่าน ที่ช่วยแนะนำในการทำงานและให้กำลังใจตลอดเวลาที่ทำงาน และที่สำคัญที่สุดก็คงจะเป็น คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ซึ่งเป็นสถานที่ ที่ใช้ทำปริญญานิพนธ์ รวมทั้งช่วยสนับสนุนด้าน เครื่องมือและอุปกรณ์เป็นอย่างดี ถ้าขาดส่วนนี้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงจะสำเร็จลุล่วงไปได้ยาก จึงขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทยมา ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ ทางผู้จัดทำก็ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ช่วยสนับสนุนด้านการเงินและกำลังใจในการทำงานตลอดมา จนผู้จัดทำสำเร็จการศึกษา

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1. ส่วนประกอบของลิฟท์	
1.1 ส่วนประกอบของลิฟท์	1
1.2 หน้าที่ของส่วนประกอบที่สำคัญของลิฟท์	3
บทที่ 2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	
2.1 สมการพื้นฐานของมอเตอร์	29
2.2 แรงดันไฟฟ้าต้านกลับ	30
2.3 กำลังที่เกิดขึ้นในมอเตอร์	32
2.4 สภาวะที่เกิดกำลังสูงสุด	32
2.5 แรงบิดที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์	32
2.6 แรงบิดที่เกิดขึ้นที่เพลา	33
2.7 ความแตกต่างของความเร็ว	33
2.8 ชนิดของมอเตอร์	33
2.9 คุณสมบัติของมอเตอร์แต่ละชนิด	34
บทที่ 3 อุปกรณ์ควบคุมกำลัง	
3.1 หลักการทำงานและลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์	38
3.2 การจุดชนวนไธริสเตอร์	43
3.3 อัตราปกติของไธริสเตอร์	47
3.4 การระมัดระวังป้องกันไธริสเตอร์ขณะใช้งาน	49
3.5 วงจรจุดชนวนด้วยพัลส์	56
3.6 การควบคุมการเรียงกระแสเฟสเดี่ยว	60
บทที่ 4 การทำงานของวงจรควบคุม	
4.1 การทำงานของวงจรควบคุม MOTOR	65
4.2 การทำงานของวงจร CPU	76
เอกสารอ้างอิง	86
ภาคผนวก ก	88
ภาคผนวก ข	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

ส่วนประกอบของลิฟท์

STRUCTURE OF ELEVATOR

1.1 ส่วนประกอบของลิฟท์

ลิฟท์โดยทั่วไปจะมีส่วนประกอบที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน กล่าวคือ ประกอบไปด้วยตัวตู้ลิฟท์ และน้ำหนักถ่วง แขวนยึดติดเข้าด้วยกัน โดยลวดสลิงที่คล้องผ่านรอก ซึ่งขับเคลื่อนรอกนี้ด้วยมอเตอร์ที่ตัวตู้ลิฟท์สามารถเลื่อนขึ้น - ลงได้ จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบใหญ่ ๆ ดังนี้

1.1.1 ส่วนประกอบที่เป็นส่วนของห้องเครื่องลิฟท์ (MACHINE ROOM)

1) TRACTION MACHINE & MOTOR
2) MAGNET BRAKE
3) SPEED GOVERNOR
4) FLOOR CONTROLLER
5) BEAM PULLEY
6) PANALY

1.1.2 ส่วนประกอบที่อยู่ภายในช่องลิฟท์ (HOIST WAY)

1) GUIDE RAIL
2) ROPE
   - MAIN ROPE
   - GOVERNOR ROPE
3) COMPENSATING CHAIN
4) COMPENSATING ROPE
5) TENSION PULLEY
   - COMPENSATING ROPE TENSION PULLEY
   - GOVERNOR ROPE TENSION PULLEY
   - FLOOR CONTROLLER TENSION PULLEY
6) STEEL TAPE
7) TAIL CORD (TRAVELLING CABLE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) LANDING DEVICES

- SHIELDERPLATE
- SLOW DOWN CAM

9) SWITCH

- LIMIT SWITCH
- FINAL LIMIT SWITCH
- PIT SWITCH

10) COUNTER WEIGHT

11) BUFFER

- SPRING BUFFER
- OIL BUFFER

12) WIRING &PIPING

13) CAR CAGE ASSEMBLY

1.2.3. ส่วนประกอบของลิฟท์ ตู้ลิฟท์ (CAGE)

1) OPERATION BOARD

- MAIN OPB
- SUB OPB

2) CARPOSITION INDICATOR

3) ILLUMINATION INSIDE CAGE

- FLUORESCENT OR INCANDESENT LAMP
- EMERGENCY LAMP

4) INTERCOMMUNICATION EQUIPMENT

5) CAGE

6) GUIDE SHOE , GUIDE ROLLER & OILER

7) WEIGHTING DEVICE

8) SLOW DOWN SWITCH

9) LANDING DEVICE

- R.M. POSITION

10) CAGE SLOW DOWN CAM

11) SAFETY DEVICE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.4. ส่วนประกอบของประตูลิฟท์

1) DOOR MACHINE

- CAGE DOOR
- HATCH DOOR
- GATE SWITCH
- TYPE DOOR MACHINE

2) LINK MACHANISM

3) DOOR LOCK SWITCH

4) DOOR SAFETY

- SHOE TYPE
- PHOTO TYPE
- INDUCTION TYPE

5) JAMP & SILL

6) HALL BUTTON

7) HALL LANTERN

8) HALL INDICATOR

1.2 หน้าที่ของส่วนประกอบที่สำคัญของลิฟท์

ส่วนประกอบของลิฟท์มีหน้าที่ดังนี้ คือ

1.2.1 TRACTION MACHINE & MOTOR เป็นอุปกรณ์หลักที่มีความสำคัญมากสำหรับระบบลิฟท์ กล่าวคือจะเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนลิฟท์

ELEVATOR MOTOR แบ่งเป็นชนิดใหญ่ ๆ ได้สองชนิดคือ

1) ALTERNATING CURRENT MOTOR หรือ มอเตอร์กระแสสลับ แบ่งออกเป็น

ก. ONE SPEED MOTOR เป็นมอเตอร์ชนิด 3-phase INDUCTION MOTOR ที่ถูกออกแบบมาใช้กับแรงบิดสูง และมีแรงเฉื่อยน้อย ภายในจะประกอบด้วย STATOR ที่มี 6 ขั้ว และออกแบบเป็น INDUCTION MOTOR ทั่ว ๆ ไป แต่ในบางกรณี ที่มอเตอร์มีขนาดแรงขับมาก ๆ หรือลิฟท์ขนาด ใหญ่ จะใช้ MOTOR ชนิดที่เป็นขดลวดด้วย

ข. TWO SPEED MOTOR เป็น AC MOTOR ที่ขดลวด STATOR มีสองกลุ่ม พันอยู่ร่วมกัน คือ กลุ่มหนึ่งมี 6 POLE และอีกกลุ่มหนึ่งมี 24 POLE สำหรับความเร็วสูงและความเร็วต่ำตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) DIRECT CURRENT MOTOR หรือมอเตอร์กระแสตรง

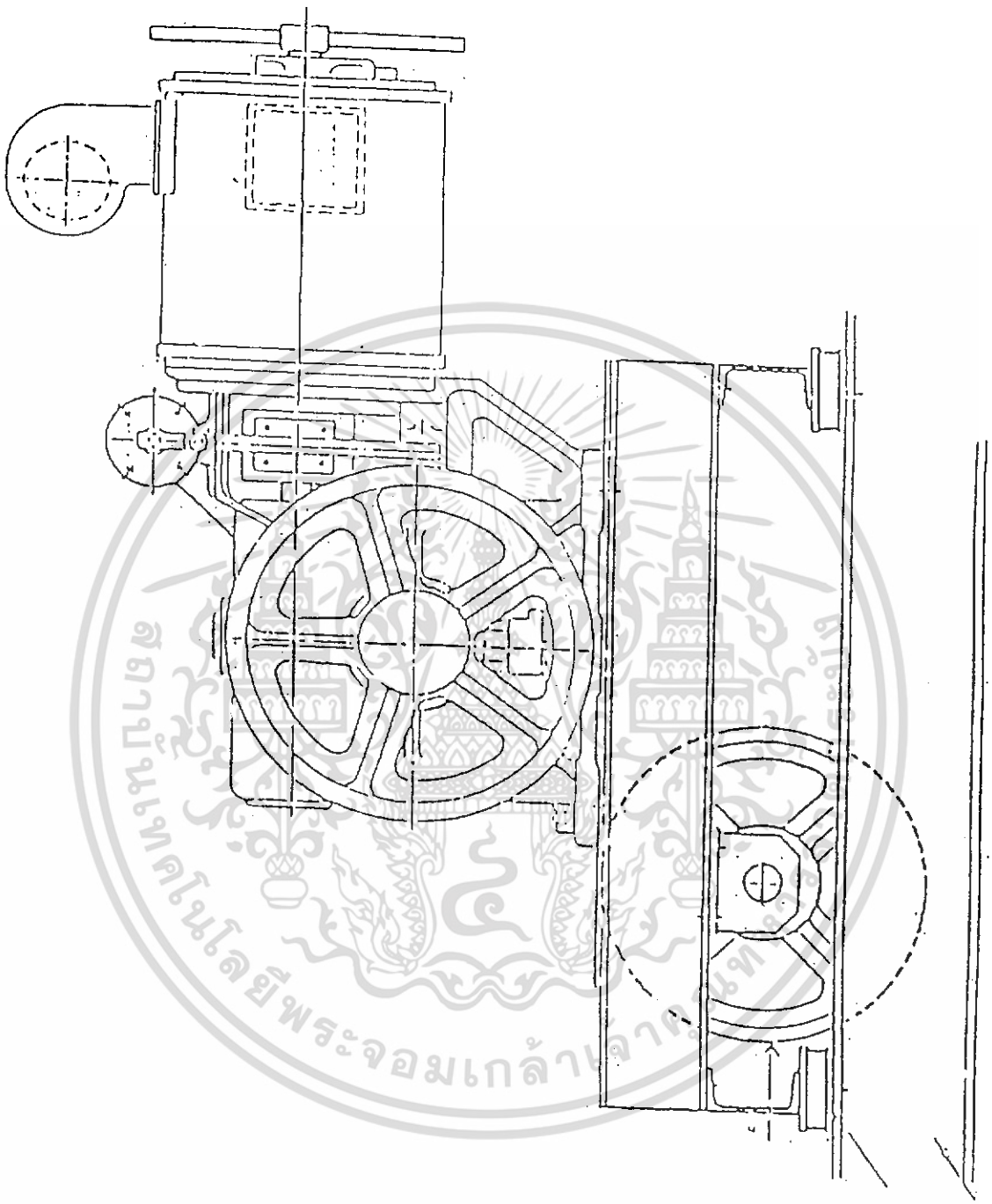
สำหรับลิฟท์ที่มีความเร็วสูงส่วนใหญ่ จะใช้มอเตอร์ชนิดนี้เนื่องจากสามารถ ควบคุมความเร็วของลิฟท์ให้เพิ่มขึ้นและลดลง ได้นิ่มนวลกว่าชนิด AC MOTOR ในรุ่นแรก ๆ ของระบบลิฟท์ชนิดนี้ จะใช้ร่วมกับ MOTOR GENERATOR ซึ่ง มันจะเป็นตัวจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับ DC MOTOR เพื่อควบคุมความเร็ว โดยใช้อุปกรณ์ประเภท THYRISTOR เข้ามาแทน

1.2.2 TRACTION MACHINE คือระบบถ่ายกำลังงานจากมอเตอร์ไปยังตัวลิฟท์ โดยใช้หลักการของ แรงเสียดทาน ระหว่างตัวรอก กับสลิงที่คล้องผ่านรอก แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1) GEARLESS TRACTION MACHINE เป็นระบบถ่ายทอดกำลังที่ใช้ระบบขับเคลื่อนโดยตรง โดยไม่ผ่านระบบเกียร์ ทดรอบของรอก ที่ใช้แขวนสลิง ตัวลิฟท์จะต่อโดยตรงกับเพลาของมอเตอร์รวมทั้งระบบหยุดลิฟท์ (BRAKE DRUM) ด้วย ระบบนี้ส่วนใหญ่จะใช้กับลิฟท์ที่มีความเร็วสูง (ประมาณไม่ต่ำกว่า 20 เมตร / นาที)

2) GEARED TRACTION MACHINE สำหรับลิฟท์ที่มีความเร็วไม่สูงมาก (ปกติความเร็วต่ำกว่า 105 เมตร/นาทีจะใช้ระบบนี้ซึ่งเป็นระบบถ่ายทอดกำลังจากมอเตอร์ไปยังรอกขับเคลื่อนกับตัวลิฟท์โดยผ่านระบบเกียร์ทดรอบลงมา และชนิดของเกียร์นั้นจะขึ้นอยู่กับความเร็วและชนิดของลิฟท์

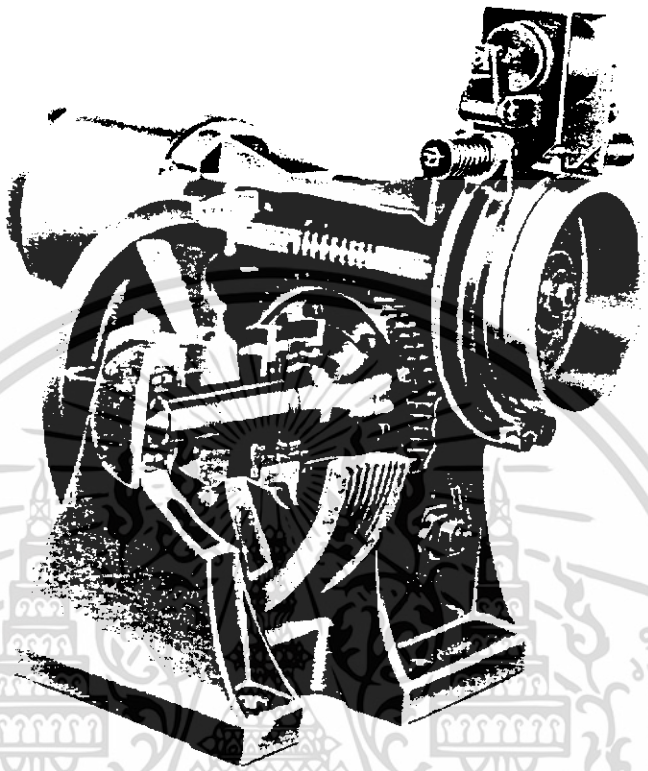
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 TRACTION MACHINE & MOTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GEARED TRACTION MACHINE นี้ จะมีระบบหยุดลิฟท์ (BRAKE DRUM) ระหว่างเพลาของมอเตอร์ของระบบเกียร์



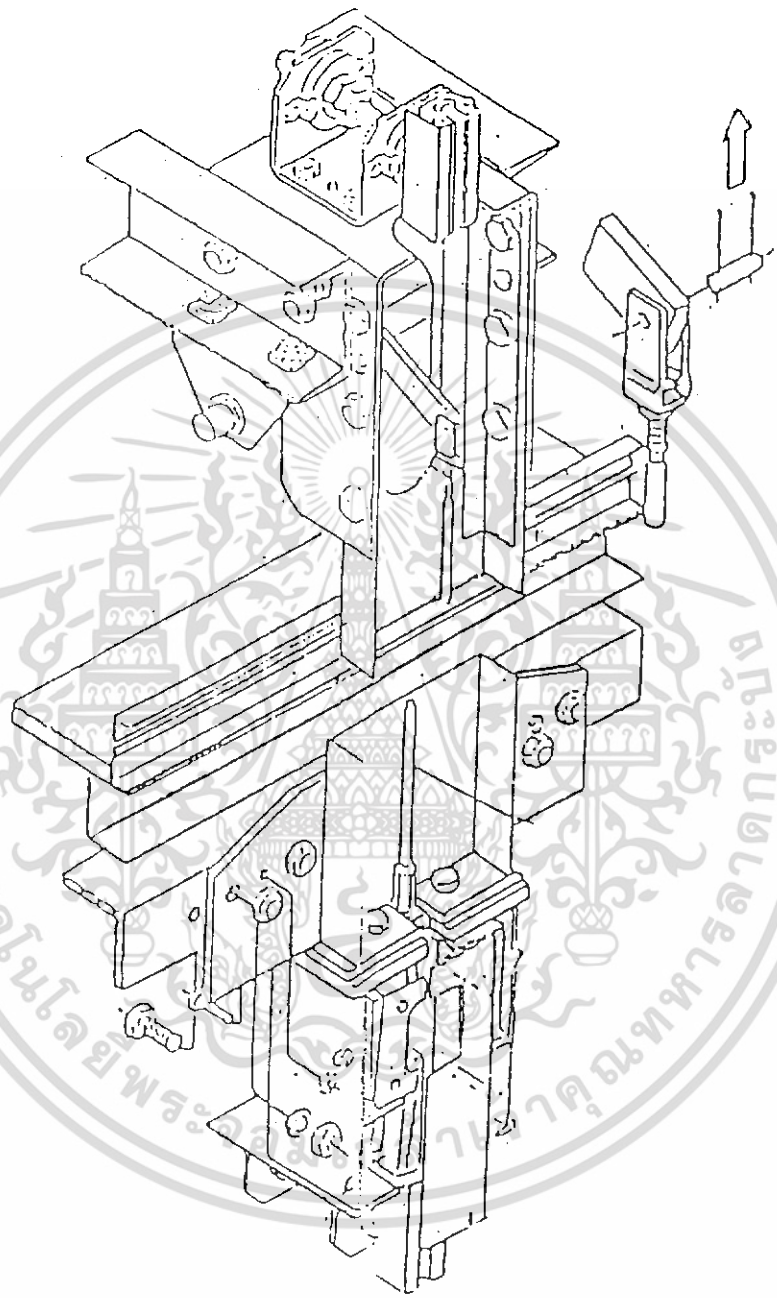
รูปที่ 1.2 TRACTION MACHINE

1.2.3. SAFETY BEVICE (SAFETY CATCH)เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ด้านล่างของตู้ลิฟท์ที่ทำงานด้วยระบบทางกลเพื่อบังคับให้ลิฟท์หยุดการเคลื่อนที่ในกรณีลิฟท์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเกินกว่า 135 % ของความเร็วสูงสุด การทำงาน จะทำงานเมื่อสลิงของ (GOVERNER) ถูกจับยึดโดย GOVERNER WEIGHTทำให้สลิงหยุดการเลื่อนที่ทันใดในขณะที่ตัวลิฟท์ ยังคงเคลื่อนที่อยู่ทำให้เกิดลักษณะการกระชากขึ้นซึ่งการกระชากนี้จะทำให้ดึงก้านเหล็ก ทำให้แท่งเหล็กเคลื่อนที่บีบตัวเข้ารางลิฟท์ทำให้ลิฟท์หยุดได้ แบ่ง ออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1) R TYPE ใช้สำหรับลิฟท์ที่มีความเร็วไม่เกิน 45เมตร / นาที ใช้ลูกล้อในการกดราง

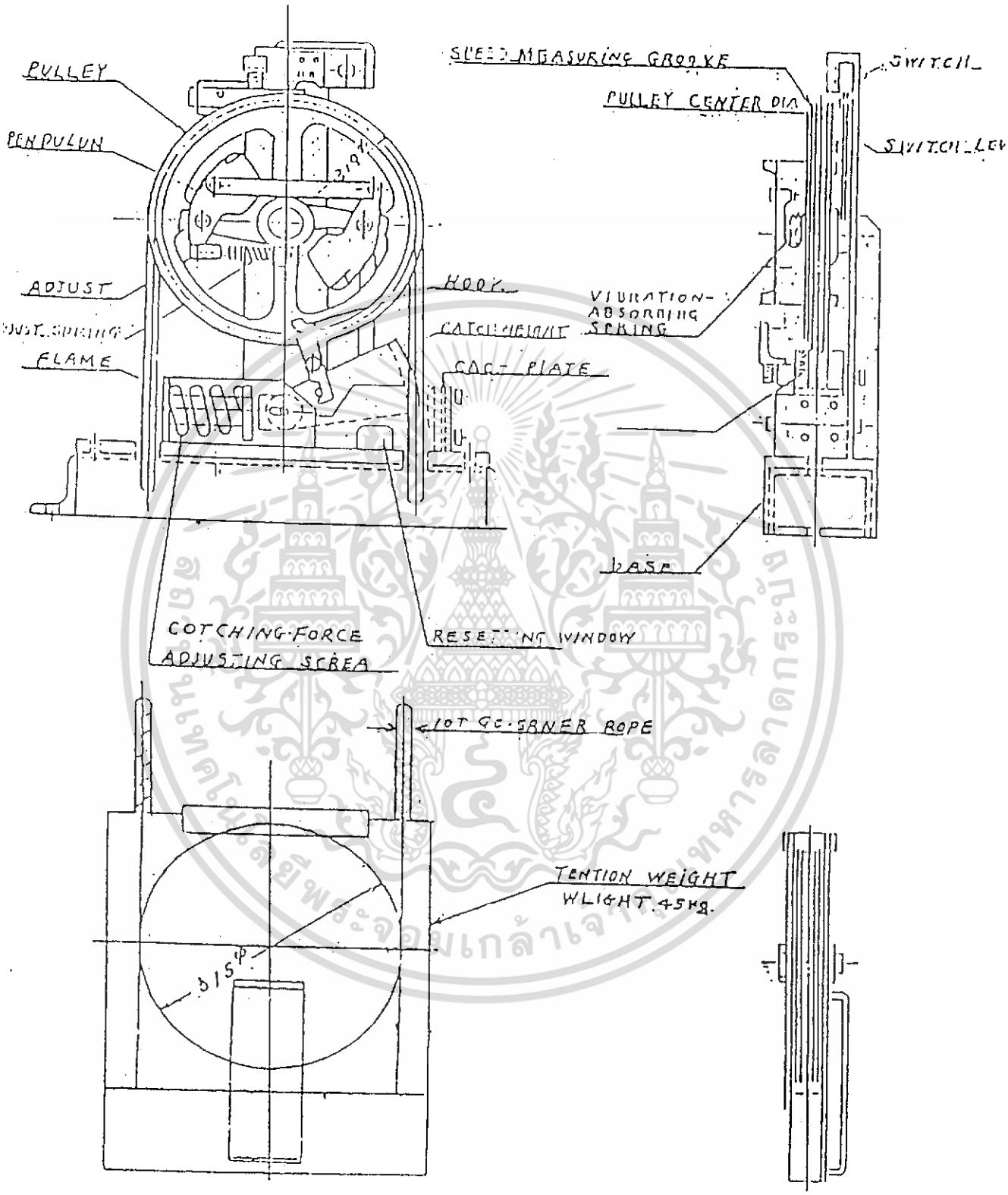
2) M TYPE ใช้สำหรับลิฟท์ที่มีความเร็วเกิน 45 เมตร / นาที ใช้ลักษณะลิ่มสามเหลี่ยมในการกดกับราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



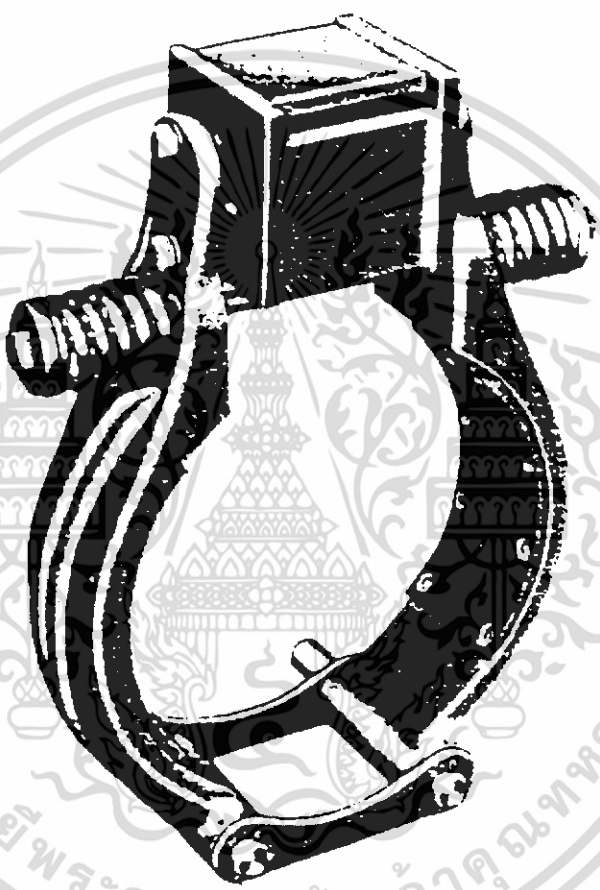
รูปที่ 1.3 SAFETY DEVICE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 PULLEY AND SAFETY DEVICE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

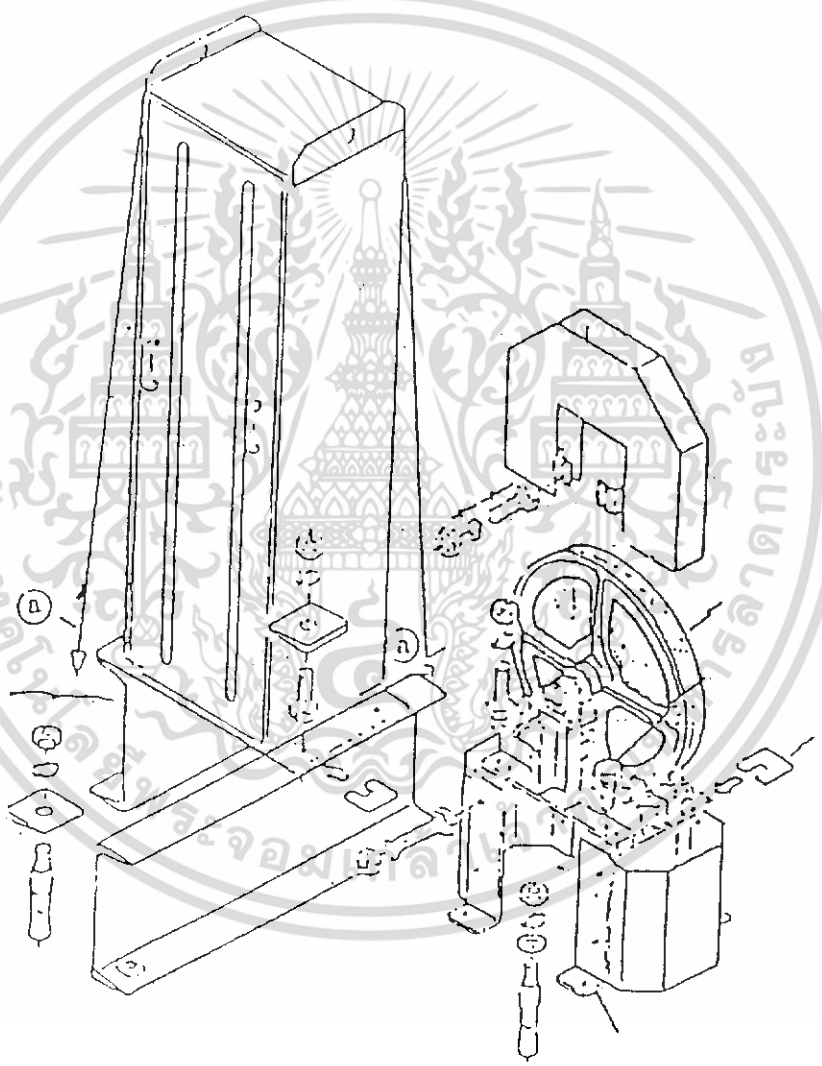


รูปที่ 1.5 BRAKE TYPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

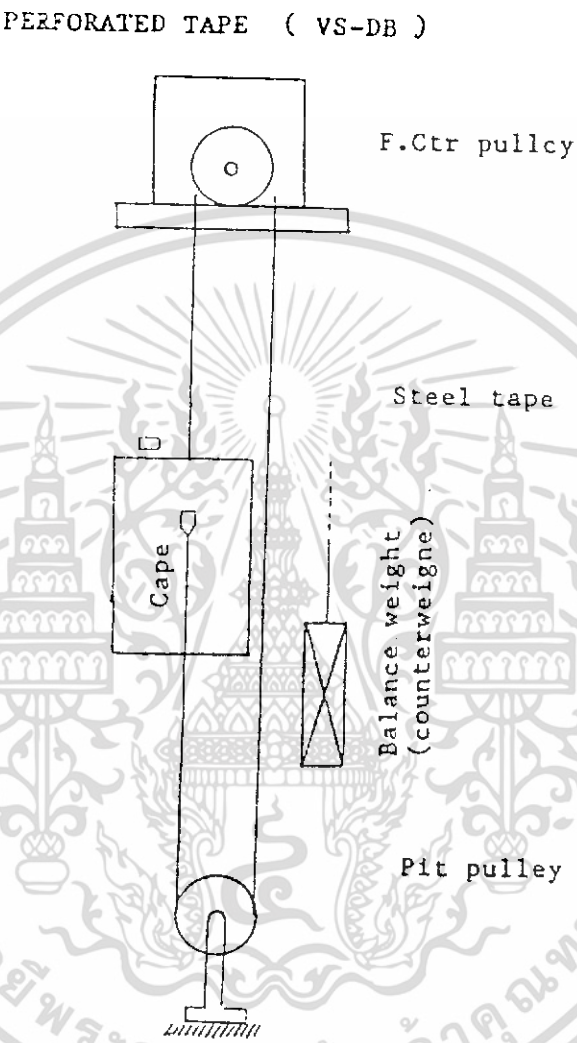
1.2.4. FLOOR CONTROLLER มีลักษณะเป็นตู้คอนโทรลภายในประกอบด้วย คอนโทรลไฟฟ้าที่มีการเคลื่อนที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของตัวลิฟท์โดยอาศัยเฟืองทดรอบ จากฟันเฟืองที่มีการหมุนรอบที่มีการหมุน รอบแกนแผ่นเหล็กที่เรียกว่า STEEL TAPE ที่ติดยึดกับตัวลิฟท์

FLOOR CONTROLER มีหน้าที่ตรวจเช็ค ตำแหน่งของตัวลิฟท์ว่าอยู่ที่ชั้นใด ควบคุมไฟบอกชั้นทิศทางการเคลื่อนที่และการเข้าออกของลิฟท์ให้ถูกต้องและตรงความต้องการของผู้ใช้ลิฟท์



รูปที่ 1.6 FLOOR CONTROLLER

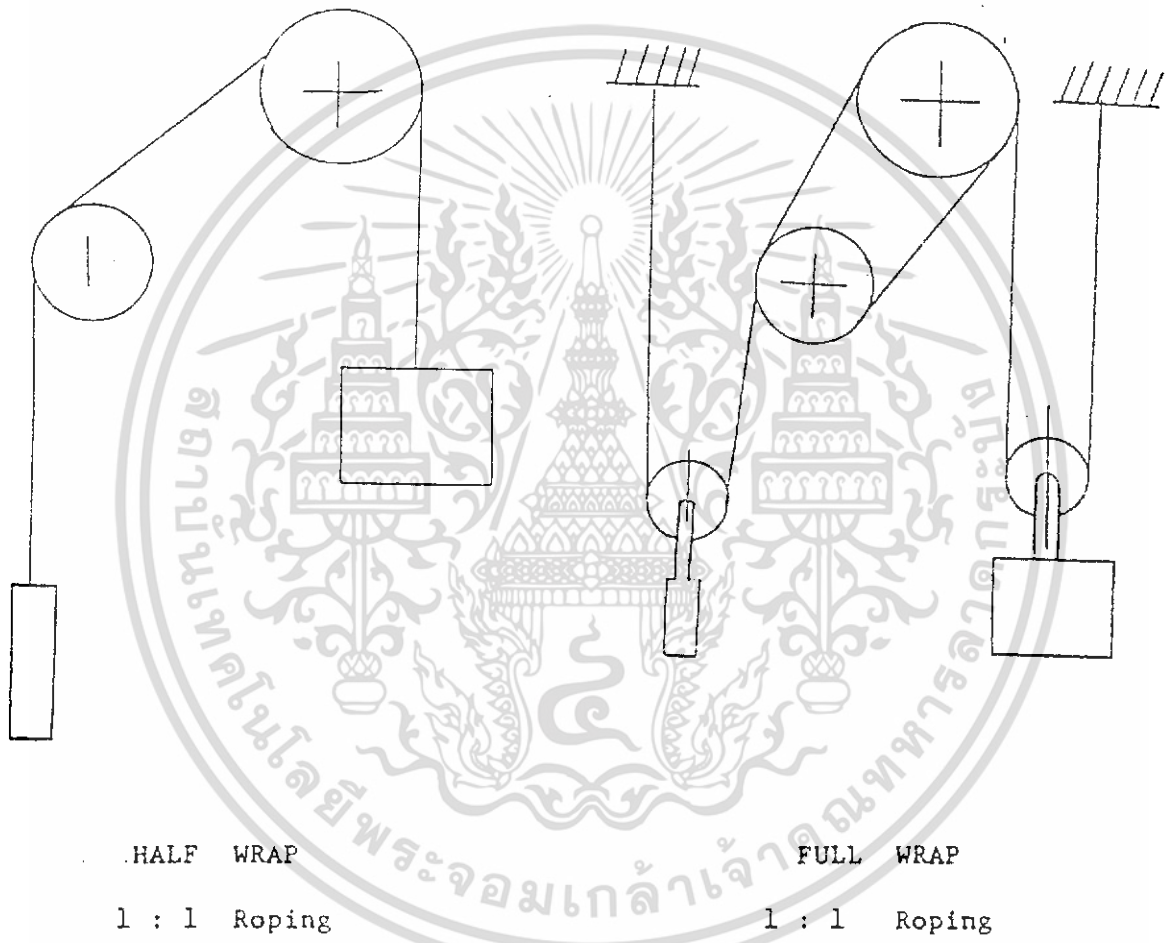
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.7 STEELTAPE INSTALLATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.5.ROPES AND THE ROPING หรือส่วนใหญ่เรียกกันว่าสลิง มีหน้าที่หิ้วและดึงตู้ลิฟท์ และน้ำหนักถ่วง (COUNTER WEIHT) ให้เคลื่อนที่ขึ้นลง โดยอาศัยแรงเสียดทานระหว่าง ROPES กับ SHEAVE ROPING หรือ การแขวนของสลิงนั้น มี 2 ลักษณะ คือ



รูปที่ 1.8 ROPES AND THE ROPING

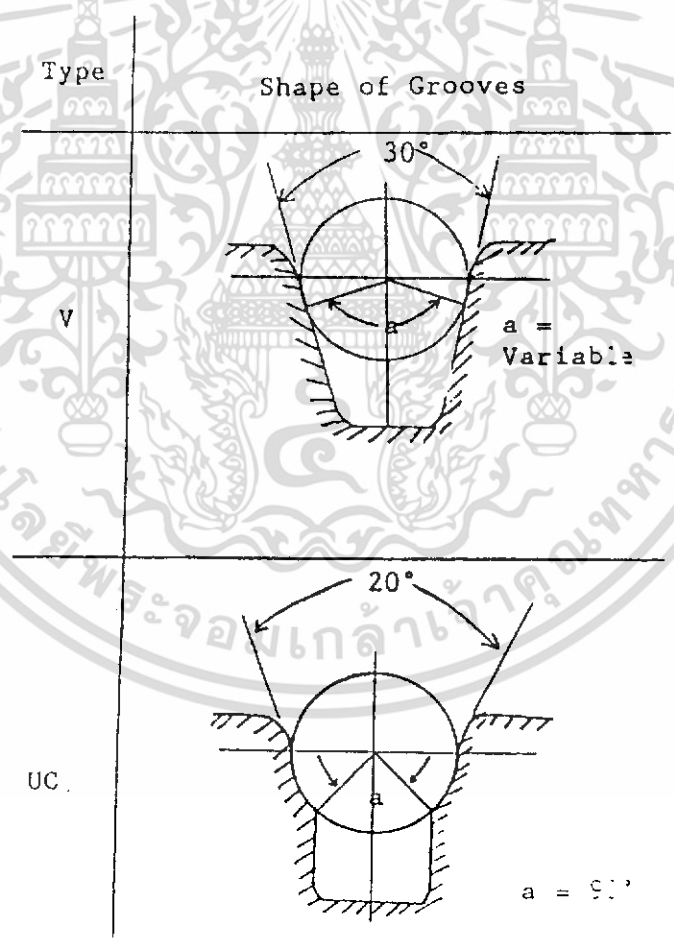
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.6 SHEAVE หรือมู่เลย์นี้ใช้สำหรับพาดสลิง และทำให้สลิงเคลื่อนที่เพื่อที่จะดึงให้ลิฟท์ขึ้นหรือลงตามต้องการจำนวนร่อง (GROOVE)ของมู่เลย์ จะขึ้นอยู่กับขนาดน้ำหนักบรรทุกของลิฟท์ร่องของมู่เลย์นี้จะมีลักษณะต่าง ๆ กัน ตามความต้องการของแรงเสียดทานที่จะต้องไปให้เกิดการลื่นไหลของสลิงกับร่องมู่เลย์

SHEAVE มี 2 ชนิดคือ

1) MAIN SHEAVE เป็นมู่เลย์ที่เชื่อมต่อโดยตรงกับ TRACTION MACHINE เป็นตัวดึงให้สลิงเคลื่อนที่

2) DEFLEXTION SHEAVE หรือ DREAM PULLEY มีหน้าที่ถ่างสลิง ให้มีระยะห่างจากตัวตู้ ลิฟท์ตามระยะที่เหมาะสม

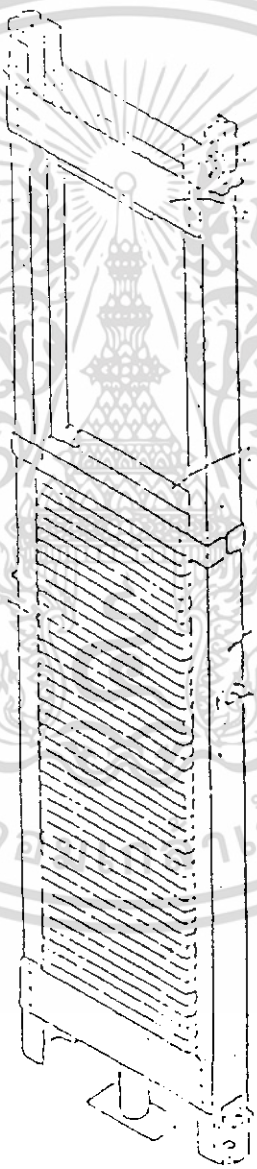


รูปที่ 1.9 SHEAVE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.7 COUNTER WEIGHT COMPENSATING CHAIN AND ROPE

COUNTER WEIGHT มีหน้าที่ เป็นน้ำหนักถ่วงของตัวตู้ลิฟท์ และดึง ROPE ให้มีความตึงเพียงพอที่จะทำให้เกิดความเสียดทานระหว่างมู่เลย์ และ ROPE การที่ต้องถ่วงตัวลิฟท์นี้ให้เกิดความสมดุลระหว่างตัวตู้ลิฟท์และ COUNTER WEIGHT จะทำให้เกิดประโยชน์คือ ลดภาระของมอเตอร์ลดลงก็จะทำให้เกิดการประหยัดและสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่า น้ำหนักรวมของ COUNTER WEIGHT จะเท่ากับน้ำหนักตัว ลิฟท์จริง รวมกับครึ่งหนึ่งของน้ำหนักของลิฟท์ COUNTER WEIGHT นี้จะประกอบไปด้วย โครงลูกถ่วง (counter weight frame) ลูกถ่วง (SUB WEIGHT)



รูปที่ 1.10 COUNTER WEIGHT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPENSATING CHAIN AND ROPE เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ถ่วงตัวลิฟท์ ให้เกิดความสมดุลย์ของน้ำหนักของตัวลิฟท์ชนิดหนึ่งเช่นกัน ในกรณีที่ลิฟท์มีระยะการเคลื่อนที่ขึ้นลงมากกว่า 30 เมตรขึ้นไป เมื่อระยะการเคลื่อนที่ของลิฟท์มากกว่า 30 เมตรนี้ น้ำหนักของ CABLE ก็จะมีผลต่อน้ำหนักของ ลิฟท์ ด้วย ในกรณีที่ลิฟท์อยู่ชั้นบนและชั้นล่าง จึงต้องมีการชดเชยน้ำหนักด้วย COMPENSATING CHAIN และ ROPEซึ่ง COMPENSATING CHAIN และ ROPE นี้จะยึดติดอยู่ระหว่างด้านล่าง ของ ตัวตู้ลิฟท์และด้านล่างของCOUNTER WEIGHT FRAME การที่จะเลือกว่าจะใช้โซ่หรือสลิงนั้น จะ ขึ้นอยู่กับขนาดบรรทุก ระยะทางเคลื่อนที่ของตัวลิฟท์และความเร็ว

1.2.8 GUIDE RAILS หรือรางของระบบลิฟท์โดยปกติจะมีรูปตัดเป็นรูปตัว T ทำจากเหล็กหนามีหน้าที่เป็นตัวบังคับให้ตัวลิฟท์และ COUNTER WEIGHT เคลื่อนที่ขึ้นและลงโดยไม่ส่ายไปมา การเลือกใช้กับลิฟท์นั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดและน้ำหนักของตัวลิฟท์ ลักษณะการติดตั้งรางเข้ากับโครงสร้างและระยะจับยึดราง

การแบ่งประเภทของรางจะแบ่งตามน้ำหนักเป็นกิโลกรัมต่อความยาว 1 เมตรและมาตรฐานความยาวของรางก็คือ 5 เมตร

รูปที่ 1.11 GUIDE RAILS

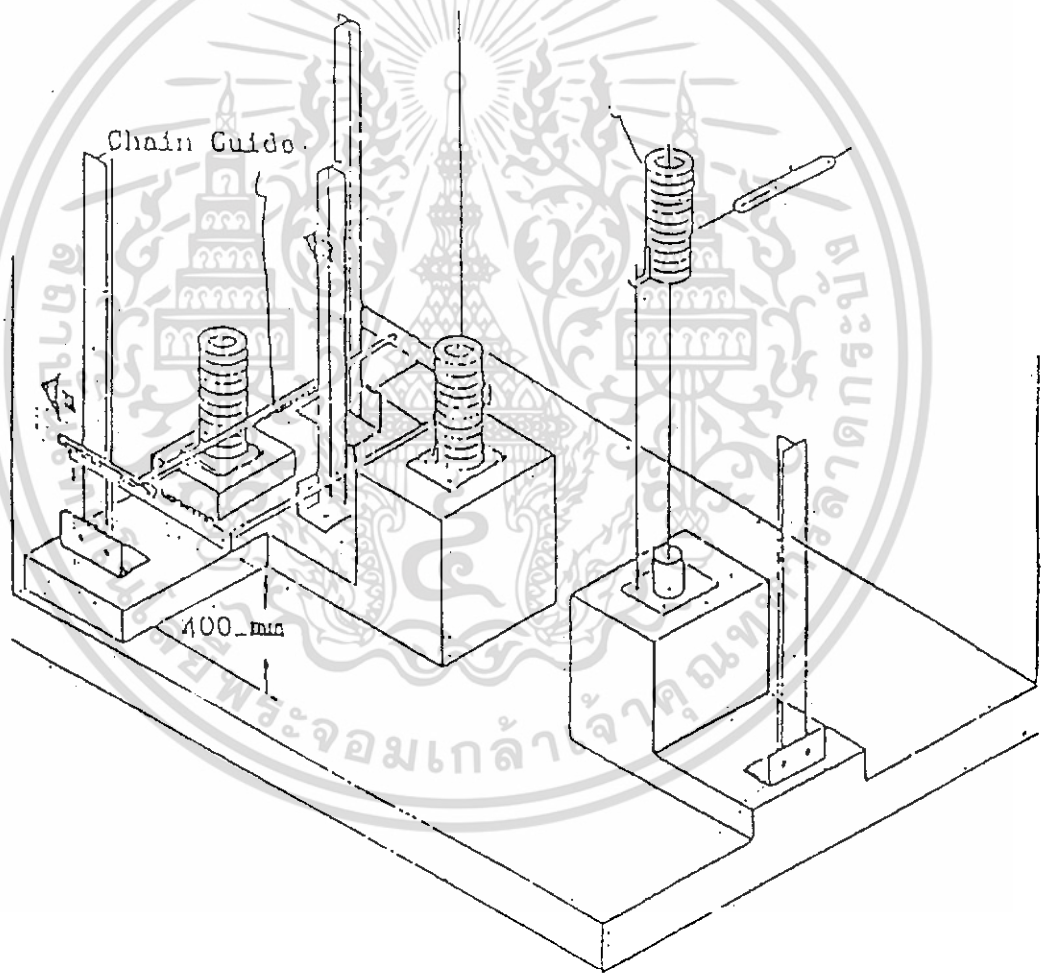
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.9 BUFFER เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ภายในบ่อลิฟท์ มีหน้าที่ ป้องกันมิให้ตัวลิฟท์วิ่งเลยชั้นล่างสุดลงมากระแทกกับก้นบ่อลิฟท์ อันเนื่องมาจากเกิดอุบัติเหตุหรือระบบควบคุมลิฟท์เกิดการขัดข้อง ซึ่งไม่สามารถ บังคับให้ลิฟท์หยุดลงได้

BUFFER มี 2 ชนิด คือ

1) SPRING BUFFER ใช้กับความเร็วไม่เกิน 60 เมตร/นาที

2) OIL BUFFER ใช้กับความเร็วตั้งแต่ 90 เมตร/นาที ขึ้นไป



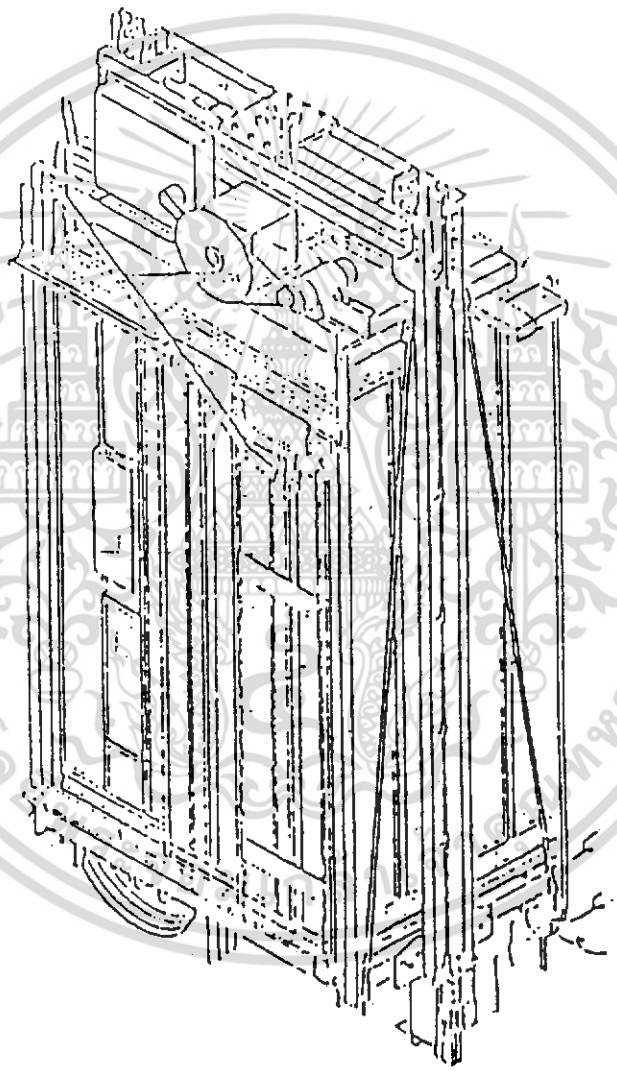
รูปที่ 1.12 BUFFER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.13 CONSTRUCTION OF OIL BUFFER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
86877

1.2.10 CAR (CAGE) หรือตู้ลิฟท์ หรือห้องโดยสารลิฟท์มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมประกอบด้วย ประตูลิฟท์ ผนังข้าง ผนังหลัง เพดาน แผงควบคุมลิฟท์ ไฟแสดงตำแหน่งลิฟท์พัดลมระบายอากาศ พื้นลิฟท์ มีหน้าที่บรรทุกผู้โดยบสารและสิ่งของขึ้นลง



รูปที่ 1.14 CAR (CAGE)

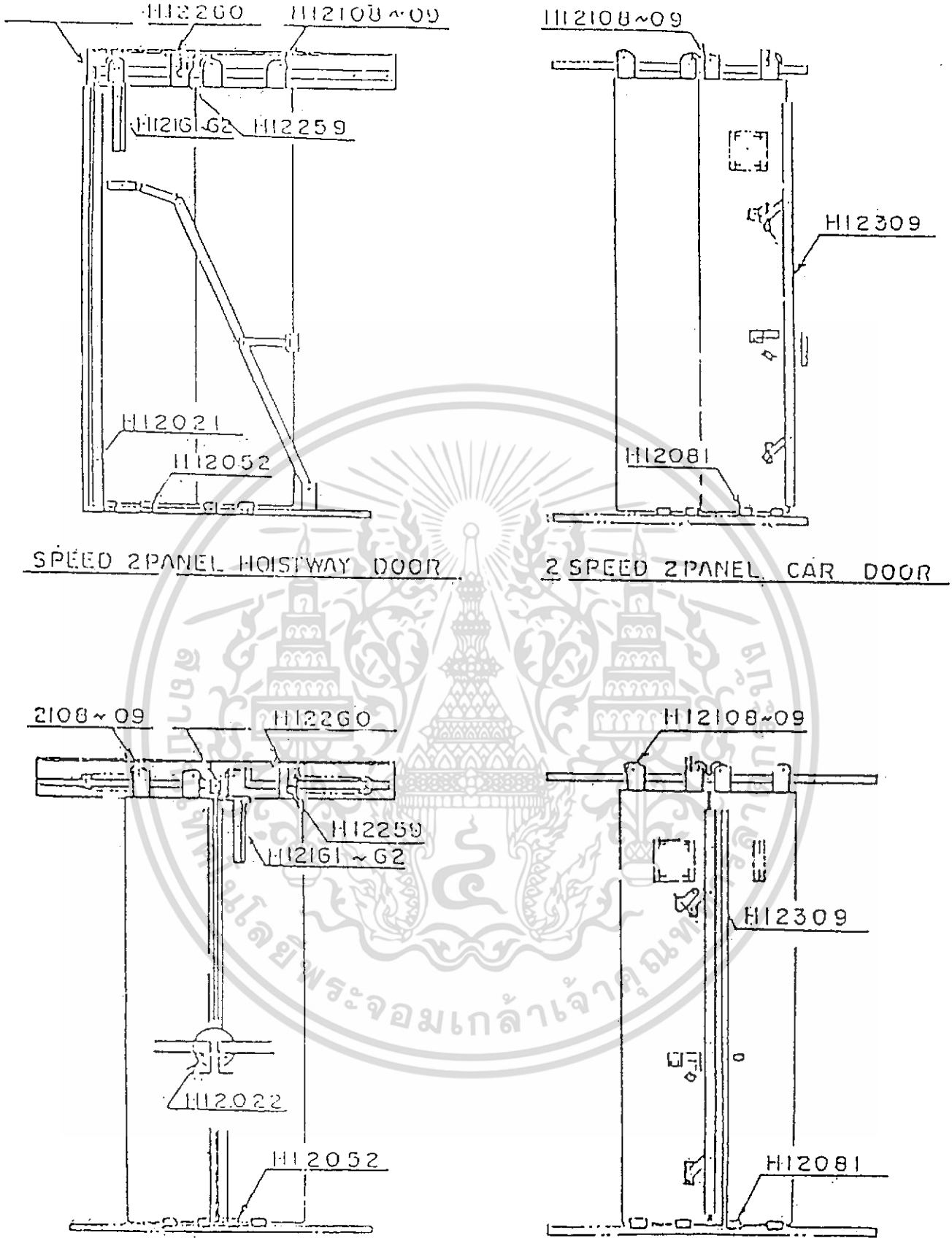
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.11 DOOR OPERATION MACHANISM แบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

1) SIDE SLIDING คือการทำงานของประตูแบบเปิดออกทางด้านแนวนอน

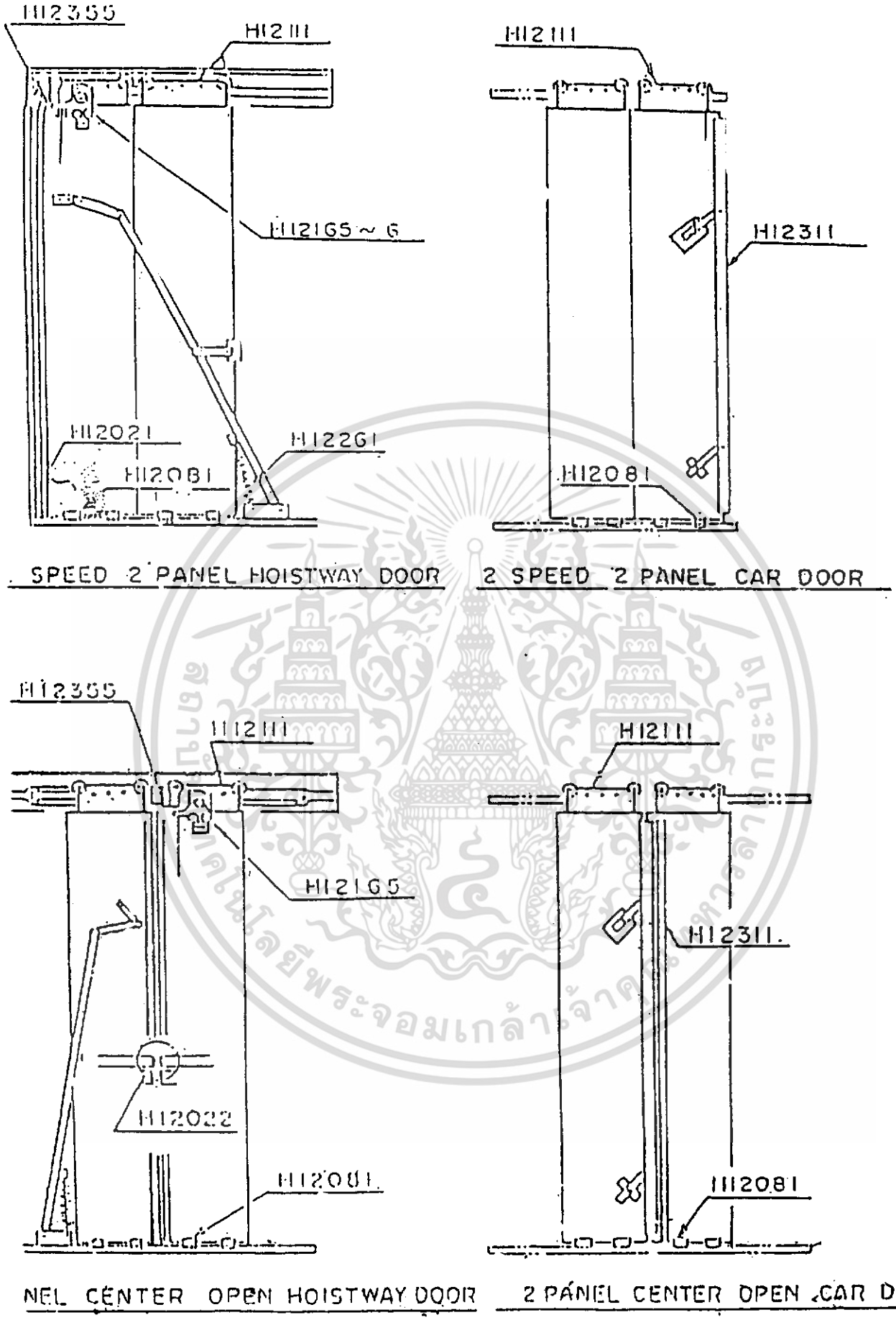
2) UP SLIDING คือการทำงานของประตูลิฟท์แบบเปิดออกทางแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



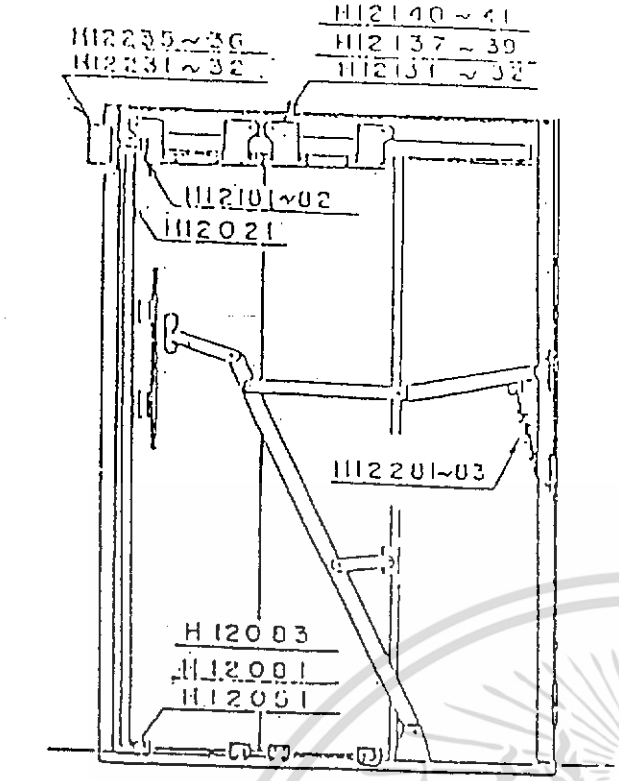
รูปที่ 1.15 DOOR TYPE SM-VP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

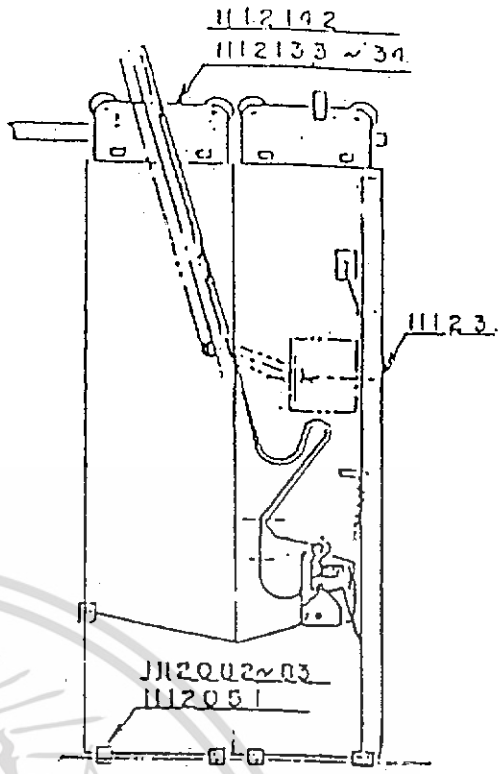


รูปที่ 1.16 DOOR TYPE SM-G2

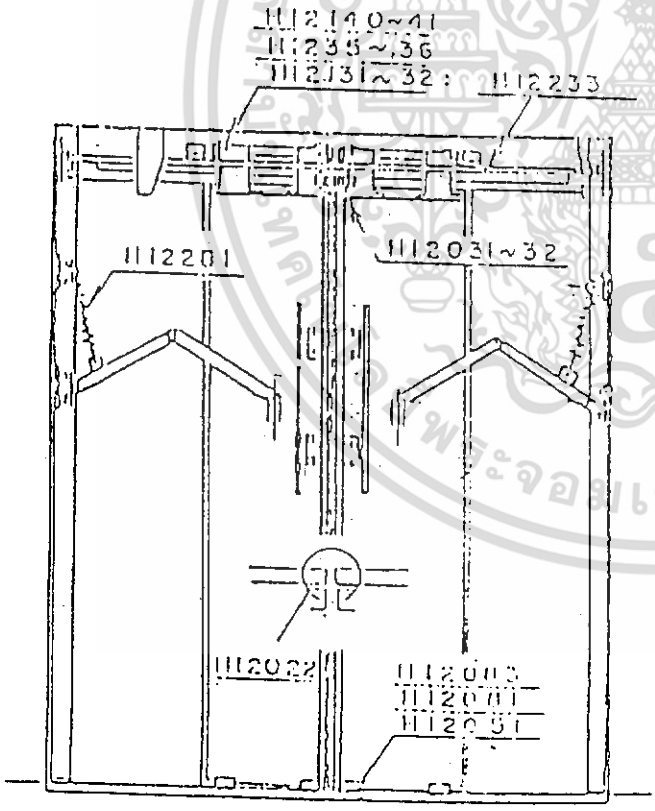
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



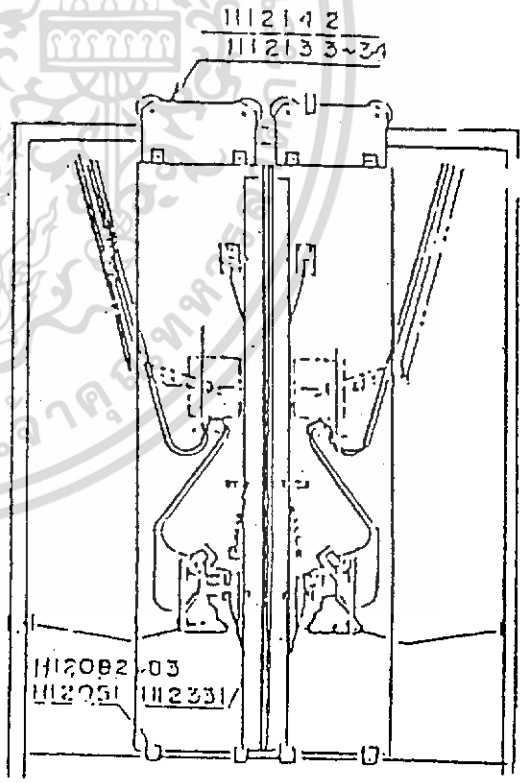
2 SPEED 2 PANEL HOISTWAY DOOR



2 SPEED 2 PANEL CAR DOOR



1 SPEED 2 PANEL CENTER OPEN HOISTWAY DOOR

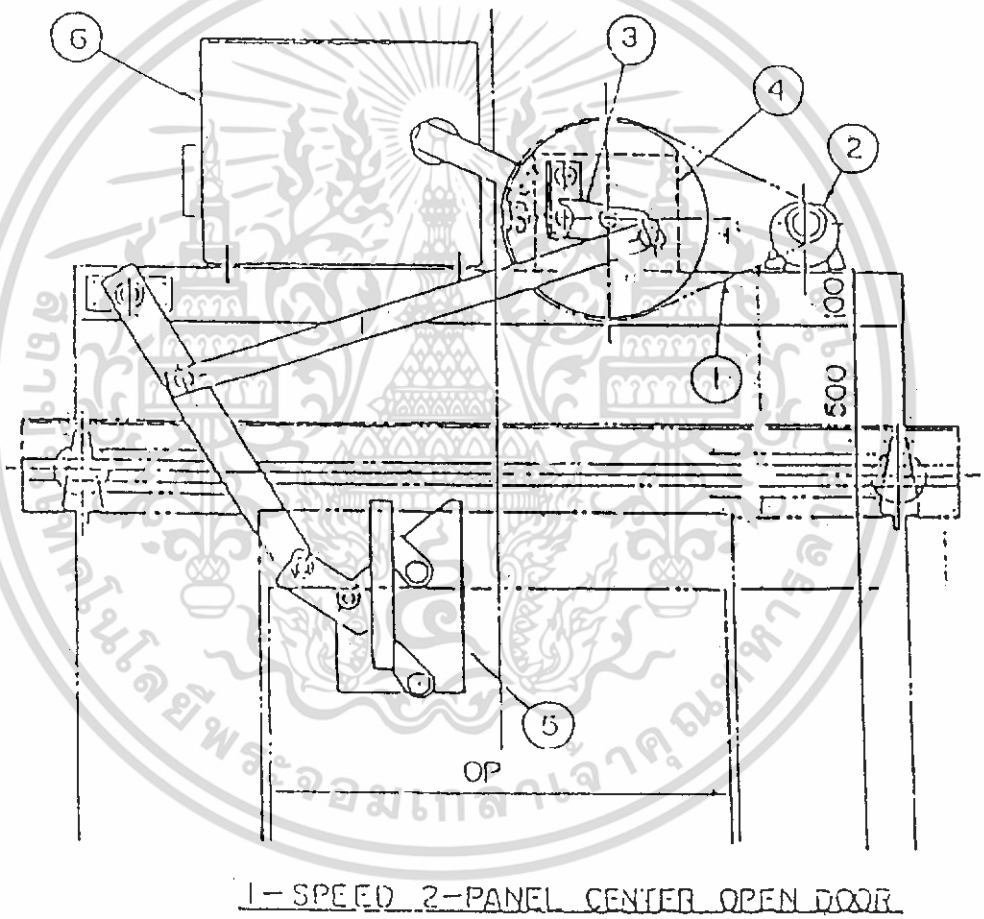


1 SPEED 2 PANEL CENTER OPEN CAR DOOR

รูปที่ 1.17 DOOR TYPE DM-D

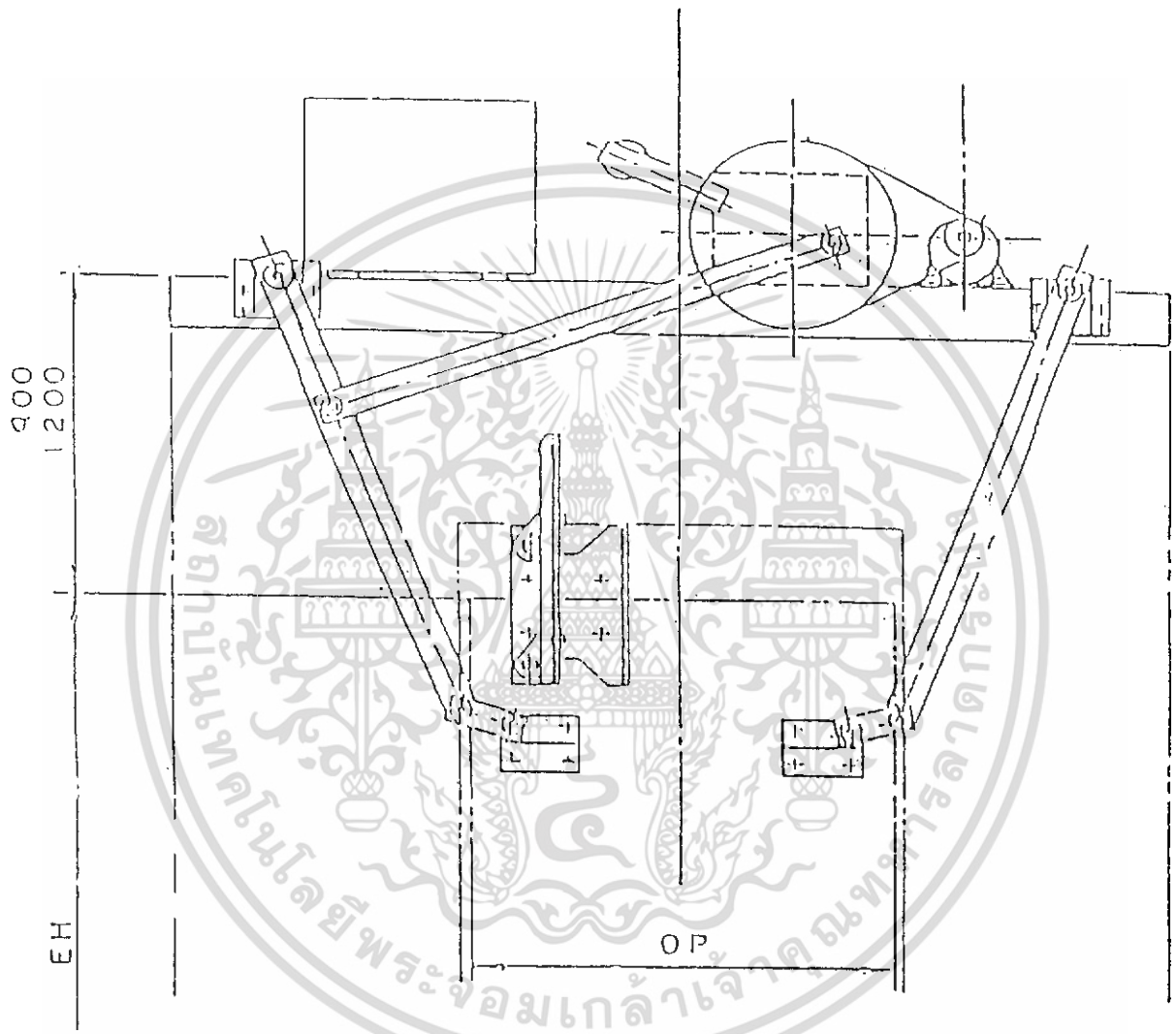
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของระบบการเปิด-ปิดประตูลิฟท์จะทำงานโดยอาศัยบานประตูของตัวลิฟท์เป็นตัวพาให้ประตูนอก (HATCH DOOR) เปิดออก ดังนั้นการที่ประตูนอกจะเปิดออกได้นั้นจะต้องอยู่ในช่วงระยะหนึ่งเท่านั้นซึ่งเรียกว่า DOOR ZONE ต้นกำลังของการเปิด-ปิดประตูนี้จะมาจาก DOOR MOTOR MACHINEที่ติดอยู่บนหลังคาลิฟท์นั่นเอง



รูปที่ 1.18 DOOR MOTOR MACHINE

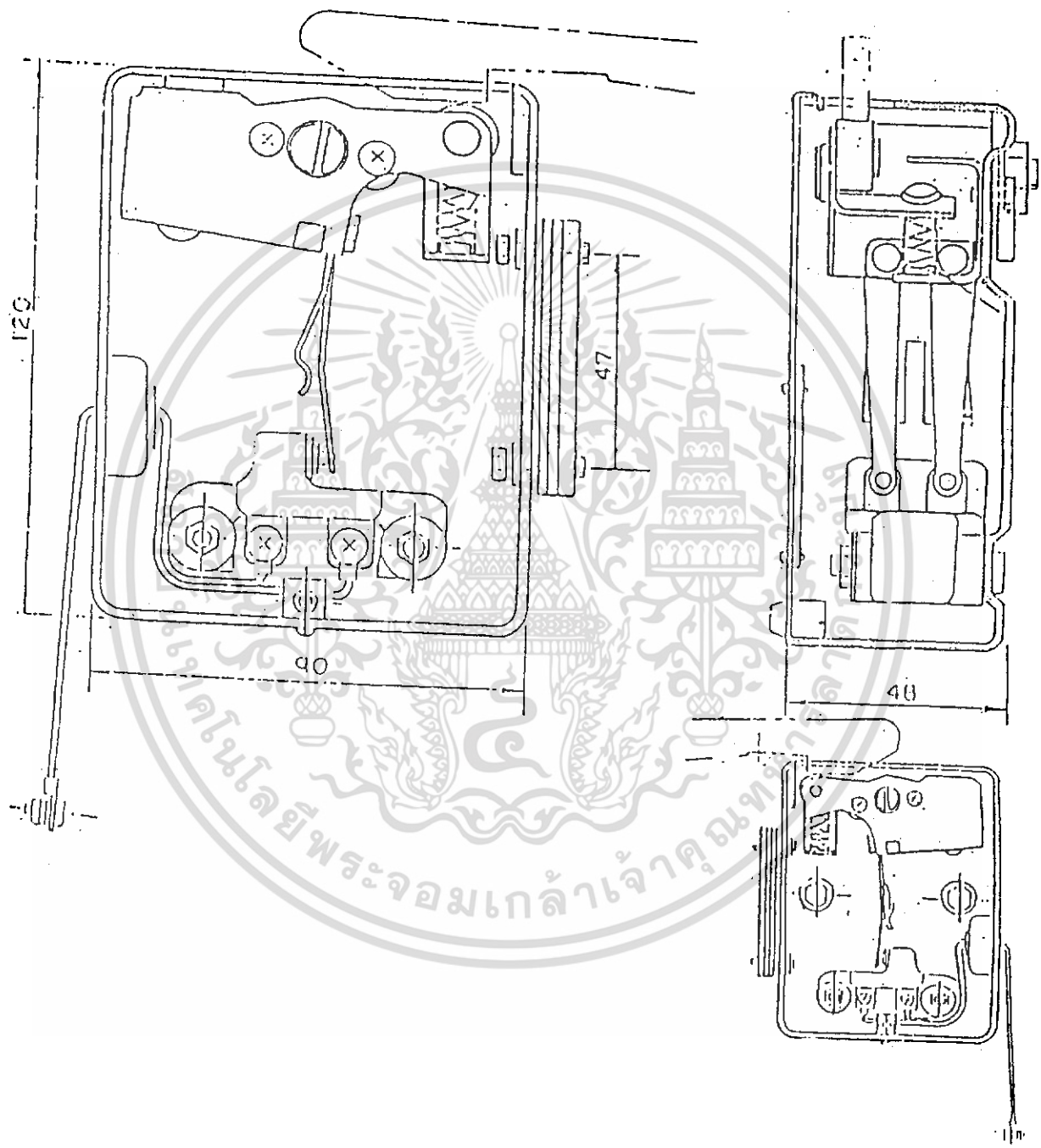
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.19 DOOR OPERATION TYPE SM-SC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

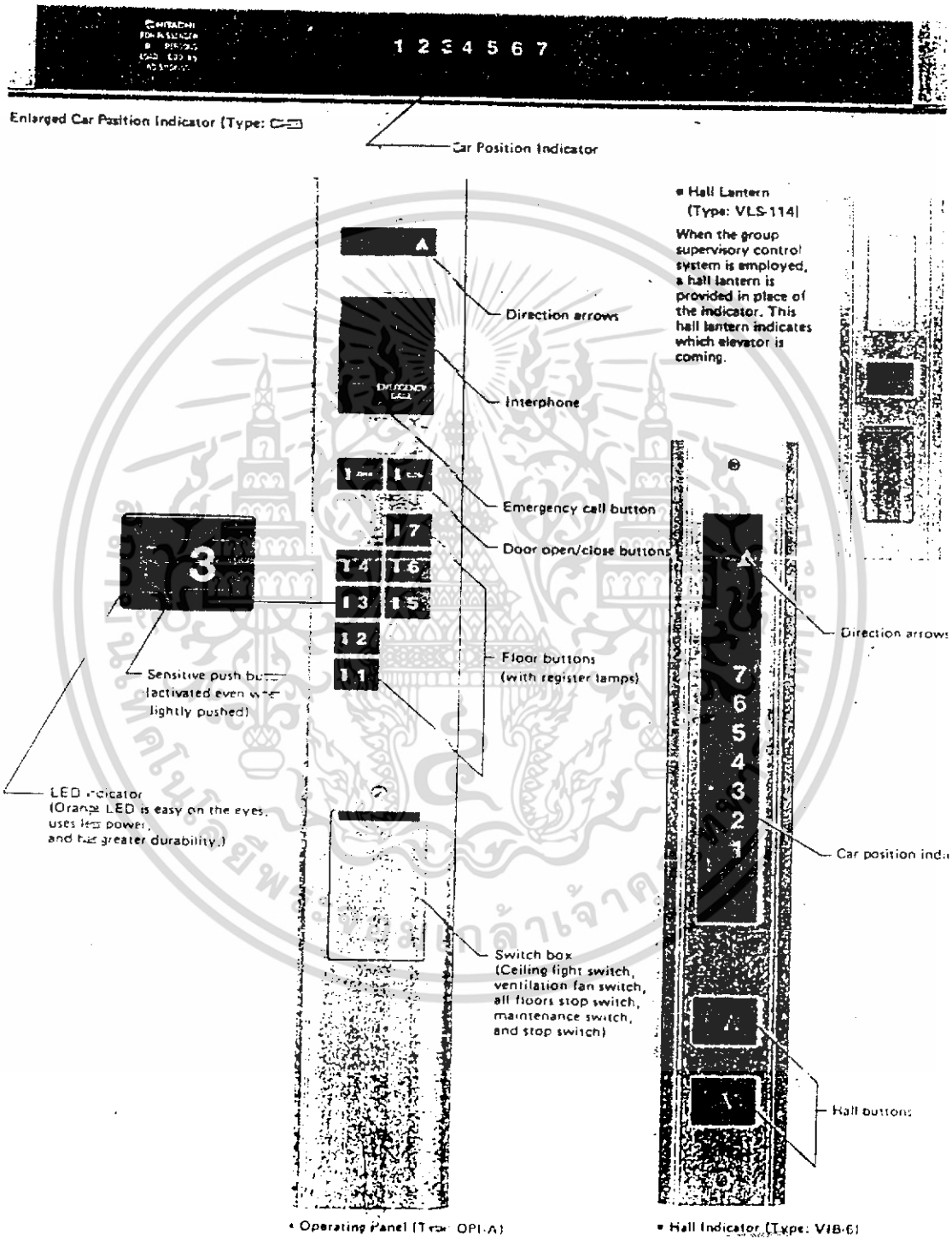
สำหรับประตูนอก (HATCH DOOR) นี้จะไม่สามารถเปิดออกโดยบุคคลที่อยู่ภายนอกได้โดยจะมีกลไกทางกลเป็นตัวตั้งไว้ เรียกว่า DOOR LOCK แต่จะเปิดประตูนี้ได้โดยใช้กุญแจซึ่งออกแบบโดยเฉพาะตามยี่ห้อของลิฟท์



รูปที่ 1.20 DOOR LOCK SWITCH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.12 INDICATOR คืออุปกรณ์ที่แสดงหรือแจ้งให้ผู้โดยสารและผู้ที่ต้องการจะใช้ลิฟท์ทราบตำแหน่งของตัวลิฟท์ ทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวลิฟท์ รูปแบบและลักษณะของ INDICATOR มีลักษณะรูปแบบขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้และบริษัทผู้ผลิต



รูปที่ 1.21 INDICATOR

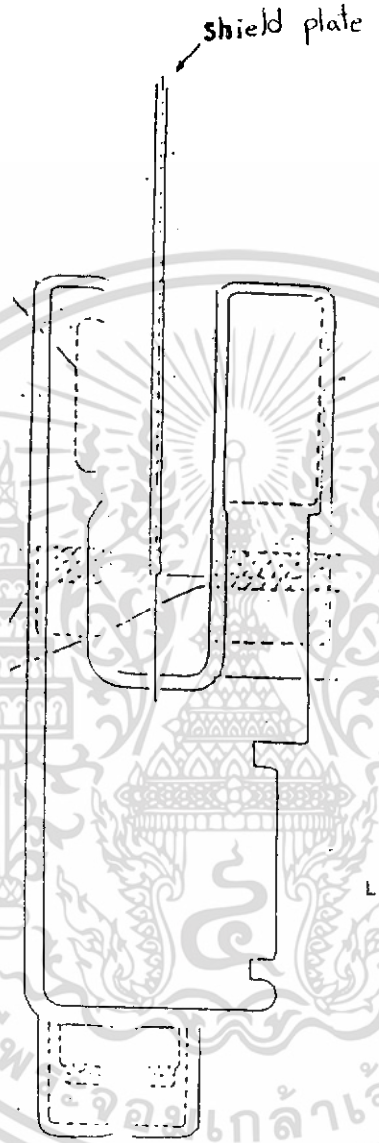
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.13 LANDING DEVICE คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบระดับชั้นของตัวลิฟท์เพื่อให้ลิฟท์หยุดตรงตามระดับชั้นจริงของอาคาร ภายหลังจากที่ลิฟท์ได้ คำสั่งให้ลดความเร็วลง เพื่อเข้าจอดในชั้นที่ได้รับคำสั่งแล้ว อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบนี้จะใช้ทฤษฎีของ MAGNETIC FIELD LANDING DEVICE นี้ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

13.1 POSITION DETECTOR ติดตั้งอยู่บนหลังคาลิฟท์

13.2 SHEILDING PLATE เป็นแผ่นเหล็กติดตั้งอยู่ภายในช่องลิฟท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.22 LANDING DEVICE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

(DC MOTORS)

2.1 สมการพื้นฐานของมอเตอร์ (BASIC MOTOR EQUATION)

แรงบิดพื้นฐานที่เกิดจากตัวนำหมุนตัดกับฟลักแม่เหล็กดังสมการ (T = BIlr) จากสมการดังกล่าวเราสามารถขยายความ เพื่อหาค่าแรงบิดเฉลี่ยที่เกิดจากการหมุนของอาร์เมเจอร์โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพ (physical parameter) ของมอเตอร์ (เช่น ความยาวของตัวนำ รัศมีของอาร์เมเจอร์ เป็นต้น) ให้เป็นค่าคงที่ สมการแรงบิดจะเปลี่ยนเป็นดังนี้

$$T = K\phi I_a \qquad (2.1)$$

เมื่อ

T = แรงบิดที่อาร์เมเจอร์

K = ค่าคงที่ของพารามิเตอร์ทางกายภาพของมอเตอร์

ϕ = ฟลักแม่เหล็กต่อขั้ว

I_a = กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์

สมการ 2.1 เป็นสมการแรงบิดพื้นฐานทางไฟฟ้า ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าแรงบิดของมอเตอร์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ (I_a)และฟลักแม่เหล็กที่เกิดจากแกนเหล็ก (ϕ)

ในทำนองเดียวกันเราสามารถเขียนสมการพื้นฐานทางกล หรืออัตราเร่งได้ดังนี้ คือ

$$= \frac{T}{J} \qquad (2.2)$$

เมื่อ

T = แรงบิดที่อาร์เมเจอร์

α = อัตราเร่ง (acceleration)

J = โมเมนต์ความเฉื่อย (moment of inrtia) ของการหมุนตัวทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ 2.2 สรุปได้ว่า การที่มอเตอร์จะหมุนได้นั้น ต้องมีอัตราเร่ง (α) มากกว่าความเฉื่อยในการหมุนตัว (J) ของอาร์เมเจอร์

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและกำลังไฟฟ้า (Relationship between Torque and Power)

Output ของมอเตอร์อาจเป็นแรงบิด (T) หรือกำลังไฟฟ้า (P) ก็ได้ P จะอยู่ในรูปปริมาณของพลังงานไฟฟ้า (แรงดันไฟฟ้าคูณด้วยกระแสไฟฟ้า) ส่วน T อยู่ในรูปพลังงานกล (การหมุนตัว) ดังสมการ 2.3 แต่ถ้ารู้ค่าใดค่าหนึ่ง (P หรือ T) ก็จะสามารถคำนวณหาอีกค่าหนึ่งได้

ระบบ SI $$T = \frac{1000P}{\omega} \qquad (2.3)$$

เมื่อ

T = output torque

P = putput power

S = ความเร็วรอบในระบบอังกฤษ

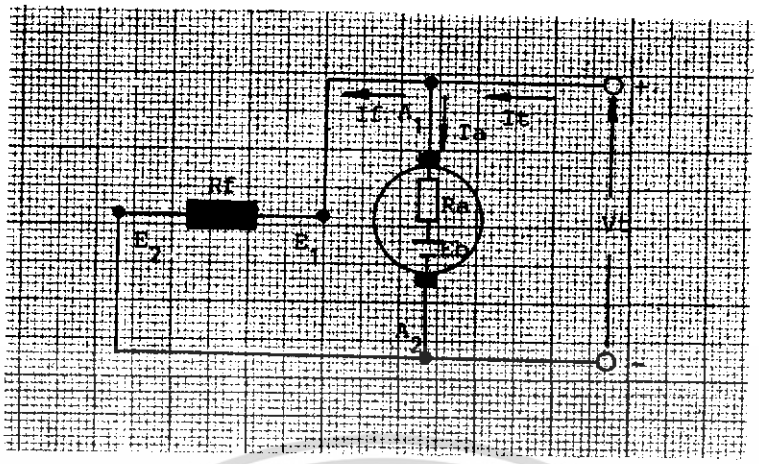
w = ความเร็วรอบในระบบ SI

ในกรณีนี้ ค่า P เป็น output power ค่า T จะต้องเป็น output torque ด้วย และถ้า P เป็นกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ (developed power, (EgIa)) จะต้องเป็นแรงบิดที่อาร์เมเจอร์ (developed torque) เช่นกัน

2.2 แรงดันไฟฟ้าต้านกลับ (BACK ELECTROMOTIVE FORCE: BACI EMF)

แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้าน เกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อขดลวดตัวนำหมุนอยู่ในสนามแม่เหล็ก มันจะตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำขึ้นในขดลวด แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นนี้ จะมีทิศทางขัดขวางกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า ที่จ่ายให้มอเตอร์ จึงเรียกว่า "แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้าน" (Back e.m.f.) ซึ่งมันจะ เกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์ของมอร์เตอร์เสมอ ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่มีผลต่อการใช้งานจริง ๆ ในอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ จึงมีค่าเท่ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จะจ่ายให้ ลบด้วยแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ จึงเขียนสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 วงจรแสดงวงจรสมมูลของ MOTOR

$$V_t = I_a R_a + E_b \quad (2.4)$$

หรือ $$I_a R_a = V_t - E_b \quad (2.5)$$

เมื่อ

E_b = แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้าน หน่วย Volt

V_t = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ หน่วย Volt

I_a = กระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์ หน่วย A

R_a = ความต้านทานของขดลวดในอาร์เมเจอร์ หน่วย Ohm

จากสมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

$$E_g = K\phi N \quad (2.6)$$

ดังนั้น

$$E_b = K\phi N \quad (2.7)$$

จากสมการข้างต้น จะเห็นว่าเมื่อเราให้ค่า K และ ϕ มีค่าคงที่แล้ว ค่า E_b จะขึ้นอยู่กับ N (speed) เพียงอย่างเดียว

$$E_b \sim N \text{ (speed)} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กำลังที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ (Power Develope in Motor)

จากสมการที่ (2.4) แรงเคลื่อนไฟฟ้าของมอเตอร์ นำเอาค่า I_a คูณตลอดเพื่อหา Power จะได้คือ

$$_tI_a = I_aE_b + I_aR_a \text{ VtIa} \qquad (2.9)$$

จะได้

V_tI_a = กำลังงานจ่ายให้กับมอเตอร์ หน่วย Volt

I_aE_b = P_m กำลังงานที่เกิดขึ้นที่อาร์เมเจอร์ หน่วย Watt

$I_a R_a$ = กำลังงานการสูญเสียที่เกิดขึ้นที่อาร์เมเจอร์ หน่วย Watt

2.4 สภาวะที่เกิดกำลังสูงสุด (Condition for Maximum Power = Pmax)

จากสมการที่ (2.9)

เราสามารถหา Power output ได้คือ

$$P = V_tI_a - I_a^2R_a \qquad (2.10)$$

เราสามารถหาค่าของ Pmax สูงสุดได้จากการ Differentiate Pmax เทียบกับ I_a แล้วให้เท่า O (ศูนย์) ดังนั้นสภาวะที่เกิดกำลังสูงสุด (Pmax) คือ

$$E_b = \frac{V_t}{2} \qquad (2.11)$$

การที่มอเตอร์จะเกิด Maximum Power นั้น จะต้องทำให้มอเตอร์ที่ speed อยู่ที่ค่า ๆ หนึ่งซึ่งค่านั้นทำให้เกิดค่าของ $E_b = \frac{V_t}{2}$ แต่ในทางปฏิบัตินั้นจะไม่ เกิดสภาวะ เช่นนี้เพราะว่าจะทำให้กระแสมีค่ามากเกินไปกว่าค่า Rated ของกระแสปกติในมอเตอร์ ($I_a = \frac{V_t}{R_a}$)

2.5 แรงบิดที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ (Armature Torque of a Motor)

ให้ T_a เป็นแรงบิดที่เกิดขึ้นจากอาร์เมเจอร์เมื่อมอเตอร์วิ่งด้วยความเร็ว N_a รอบ/วินาทีโดย T_a เป็น N-m

$$T_a = 0.159x\frac{POZI_A}{A} \qquad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 แรงบิดที่เกิดขึ้นที่เพลา (Shaft Torque (Tsh))

แรงบิดที่เอาไปใช้งานก็คือ แรงบิดที่แกน (T_{sh}) .

แรงม้าที่ได้จากเพลาหมุนของมอเตอร์ก็คือ B.H.P นั้น ซึ่งเป็นแรงม้าที่ได้ จากการหยุดมอเตอร์ (Brake Horse Power = B.H.P.)

$$T_{sh} = 735.5x\frac{B.H.P}{2\pi N_S}. \qquad (2.13)$$

เมื่อ N_s = ความเร็วของการหมุน r.p.s

แต่แรงบิดที่เกิดขึ้นที่ Armature จะต้องจ่ายให้แก่การสูญเสียจากความฝืดที่ เราเรียกว่า Friction and Windage Lose (Pf)

Loss Torque = 0.159 x Friction and Iron/N_s (2.14)

เมื่อ Ns = Round / Second

= r.p.s

2.7 ความแตกต่างของความเร็ว (Speed Requlation)

Speed Regulation คือ ผลต่างของความเร็วระหว่างไม่มีโหลดกับตอน เมื่อได้รับโหลดเต็มที่

$$\text{speed regu} = \frac{\text{No-Load - Full load speed x100}}{\text{Full load speed}} \qquad (2.15)$$

2.8 ชนิดของมอเตอร์ (Type of Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นมีด้วยกันหลายชนิด แต่ละชนิดจะเรียกตามวิธีการ ต่อขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coils) ของมันเข้ากับวงจรอาร์เมเจอร์ คุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์แต่ละชนิดนั้น จะขึ้นอยู่กับสภาพของโหลดกำหนดเอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

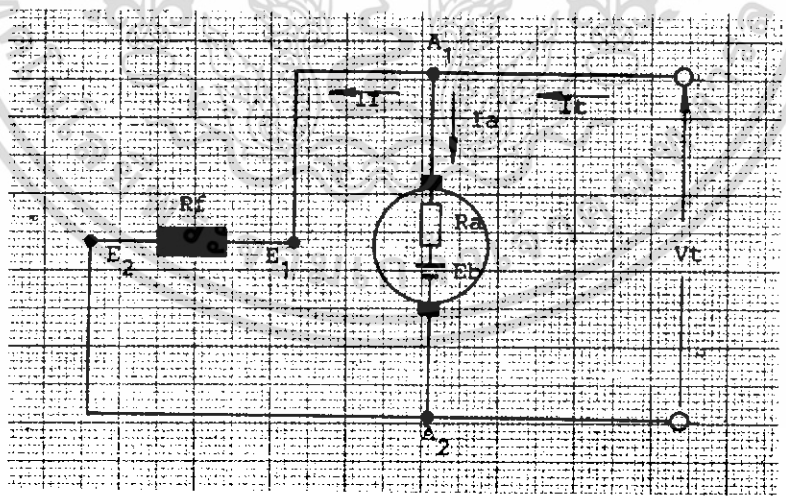
1. ชั้นท์มอเตอร์ (Shunt Motor)
2. เซรีส์มอเตอร์ (Series Motor)
3. คอมเพานด์มอเตอร์ (Compound Motor)

นอกจากนี้ยังแบ่งชนิดของมอเตอร์ตามลักษณะของการปกปิดมอเตอร์ คือ

- 1. Totally Enclose มอเตอร์ชนิดนี้ปิดหมดเลยใช้ในงานที่แช่อยู่ในของ เหลวหรือในที่ที่มีความชื้นมากจึงต้องหุ้มมอเตอร์ให้มิดชิด ไม่ให้ความชื้นเข้าไปทำ ลายอาร์เมเจอร์
- 2. Semi Enclose มีบางส่วนของมอเตอร์เปิดทั้งนี้เพื่อที่จะได้อาศัยอากาศ เป่าทำให้มอเตอร์ไม่ร้อนจัด แต่ต้องปิดไว้บ้างเพื่อกันไม่ให้ฝุ่นในโรงงานปลิวเข้าไปทำให้สกปรก
- 3. Totally Open ทุกส่วนของมอเตอร์เปิดหมด แบบนี้การทำให้มอเตอร์ เย็น (Cooling Systems) ดีกว่า 2 แบบแรก แต่ในโรงงานจะต้องไม่มีสิ่งที่ เป็นอันตรายต่อมอเตอร์ เช่น สะเก็ดไฟซึ่งเกิดจากการเชื่อมหรือหินลับ ปลิวเข้าไป ทำอันตรายต่อมอเตอร์ เป็นต้น

2.9 คุณสมบัติของมอเตอร์แต่ละชนิด (Characteristics of Motor)

2.9.1 ชั้นท์มอเตอร์ (Shunt Motor)



รูป 2.2 แสดงวงจร Shunt Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการของแรงบิด (torque) ที่ 2.1

$$T = K\phi I_a$$

แต่ค่าของ ϕ แปรผันตามค่าของ I_f ($\phi \sim I_f$)

แต่ $$I_f = V_f/R_f$$

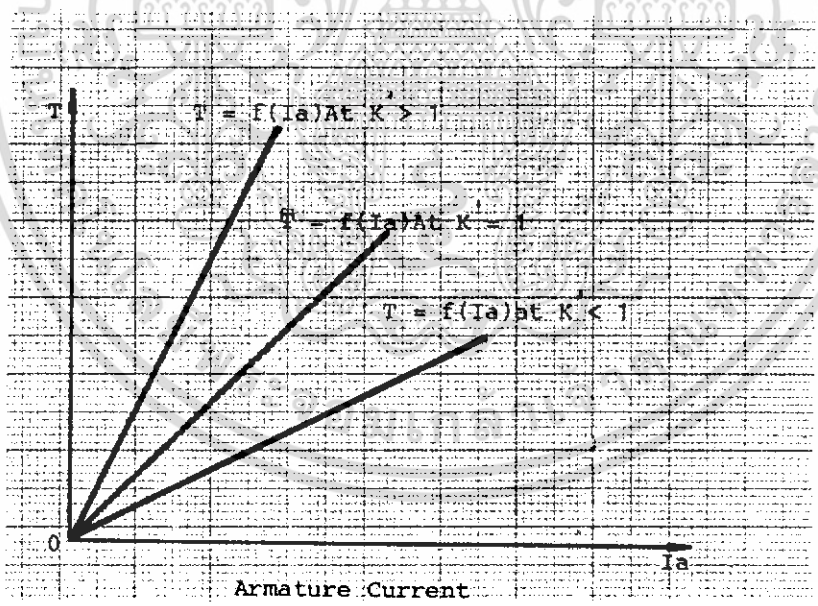
$$I_f = \text{Constant}$$

เมื่อค่าของ I_f คงที่ทำให้ค่าของ ϕ (Flux) คงที่ด้วย

ให้ $$K\phi = K'$$

$$T = K' I_a \qquad (2.16)$$

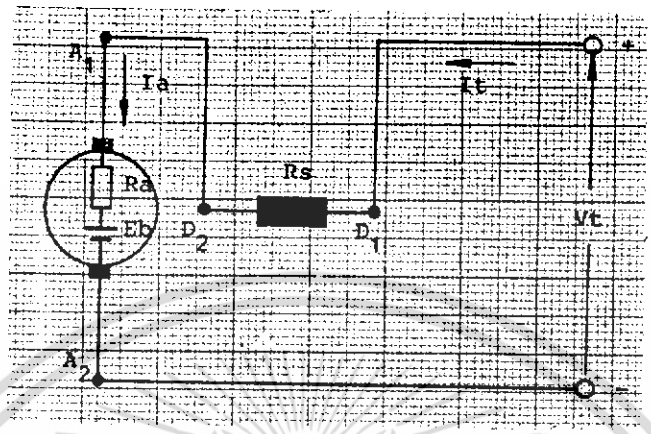
ถ้าให้ $I_a = 1$, K จะเป็น Slop ของเส้น และถ้าเรากำหนด I_a ให้มากกว่า 1 หรือน้อยกว่า 1 เราจะได้กราฟดังรูป 2.3



รูป 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I_a กับ T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 เซรีส์มอเตอร์ (Series Motor)



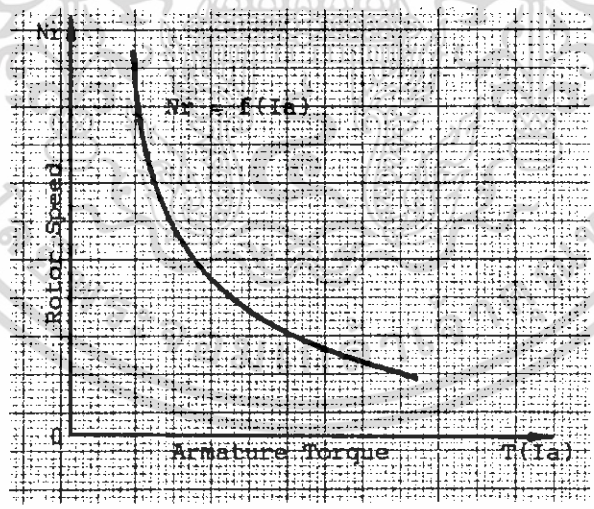
รูป 2.4 แสดงวงจร Series Motor

จากสมการของ Torque

ค่าของ K คือ ค่าคงที่ของสมการ T มีค่าเท่ากับ

$$K = 0.159\ PZ/A \qquad (2.17)$$

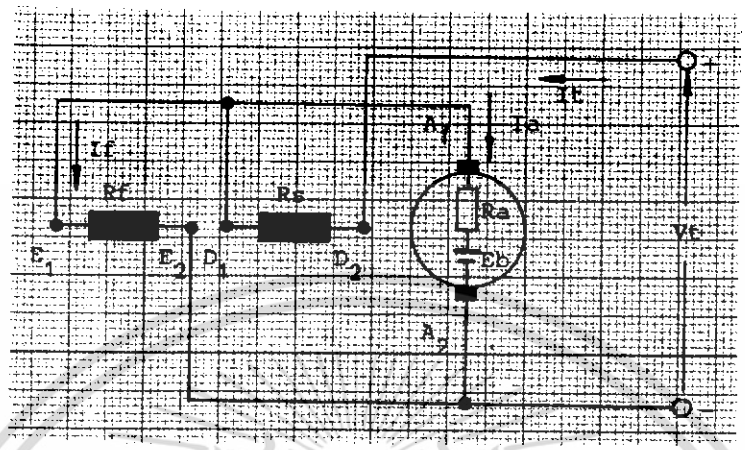
จากสมการ Torque ข้างบน เราสามารถเขียนเป็นกราฟได้



รูป 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ I_a ของ Series Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3 คอมเพานด์มอเตอร์ (Compound Motor)



รูป 2.6 แสดงวงจร Compound Motor

คอมเพานด์มอเตอร์มีอยู่ 2 อย่าง คือ

1. คิวมูเลทีฟคอมเพานด์มอเตอร์ (Cumulative Compound Motor)
2. ดิฟเฟอเรนเชียลคอมเพานด์มอเตอร์ (Differential Compound Motor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

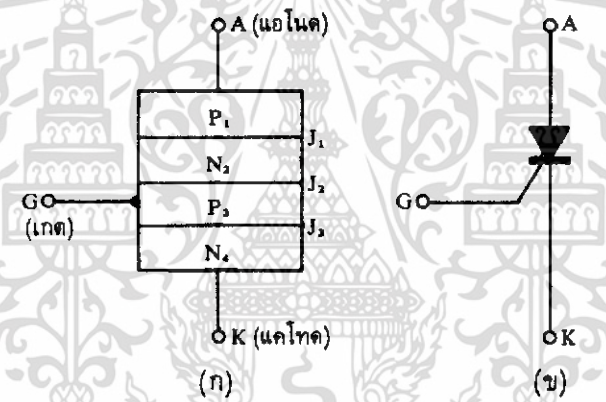
บทที่ 3

อุปกรณ์ควบคุมกำลัง
POWER THYRISTOR

เอสซีอาร์ (SCR = Silicon controlled rectifier) เป็นไธริสเตอร์ชนิดที่มีสามขั้วคือ แอโนด แคโทด และเกต มีคุณสมบัติให้กระแสไหลได้ทิศทางเดียวจากแอโนดไปยังแคโทด

3.1 หลักการทำงานและลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์

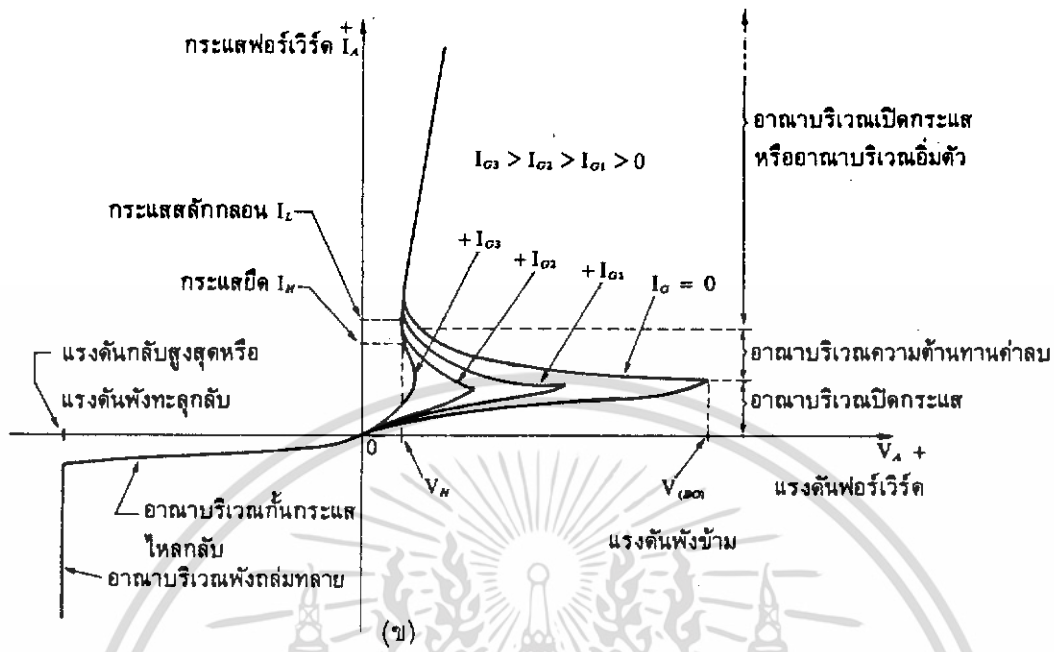
เอสซี อาร์ เป็นไธริสเตอร์ชนิดหนึ่งที่มีสามขั้วเรียกว่า แอโนด (A) และแคโทด (K) และเกต (G) ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 3.1 (ก) และเขียนสัญญลักษณ์แทนด้วยรูปที่ 3.1 (ข)



รูปที่ 3.1 (ก) โครงสร้างของ SCR (ข) สัญลักษณ์ของ SCR

เส้นโค้งลักษณะสมบัติดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยให้ยึดถือหลักที่ว่า กระแสแคโนด I_Aและกระแสเกต I_G มีค่าบวกถ้ากระแสไหลเข้าสู่ขั้วของเอสซีอาร์ และแรงดันแอโนด V_A และแรงดันเกต V_G มีค่าบวกถ้าแอโนดและเกตมีศักย์สูงกว่าแคโทด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 เส้นโค้งลักษณะสมบัติของเอสซีอาร์

ให้แรงดันแอโนด V_A มีค่าเริ่มต้นจากน้อยไปหามาก โดยให้ $I_G = 0$ และเพิ่มค่าแรงดันแอโนดจากศูนย์ให้สูงขึ้นทางบวก หรือในทิศฟอร์เวิร์ด เราจะเห็นกระแส I_A เพิ่มค่าจากศูนย์เพียงเล็กน้อย เรียกว่า " เอสซีอาร์อยู่ในสภาวะปิดกระแส" แต่เมื่อแรงดัน V_A เพิ่มค่าสูงถึงค่า $V_{(BO)}$ ซึ่งเรียกว่า "แรงดันพังข้าม" (breakover voltage) แล้วเอสซีอาร์เปลี่ยนสถานะเข้าสู่สภาวะเปิดประแสได้เองโดยต้องการเวลาชั่วครู่หนึ่ง เรียกว่า "เวลาเปิดกระแส" (turn-on time) เรียกช่วงนี้ว่า "อาณาบริเวณเปิดกระแส หรือ อาณาบริเวณกั้นกระแสทิศฟอร์เวิร์ด" (cut-off region) หรือ forward blocking region)

ถ้าควบคุมกระแส I_A ให้เพิ่มค่าสูงขึ้นทีละน้อยด้วยการเพิ่มค่าแรงดันแอโนด จะเห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าของ V_{AA} ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งเมื่อภายหลังที่ค่าแรงดัน V_A นี้ได้ผ่านค่าแรงดันพังข้าม $V_{(BO)}$ แล้วสามารถแบ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงนี้ออกได้เป็นสองช่วง ช่วงแรกเป็นช่วงที่แรงดันแอโนด V_A ลดค่าลงจากแรงดันพังข้าม $V_{(BO)}$ ไปสู่ค่า V_H และกระแส I_A เพิ่มค่าสูงขึ้นจากค่า $I_{(BO)}$ (อยู่ตรงจุดเกินแรงดันพังข้าม $V_{(BO)}$) ไปสู่ค่า I_H (อยู่ตรงจุดเกิด V_H) โดยกระแส I_H นี้เป็นค่ากระแสที่น้อยที่สุดที่สามารถรักษาให้เอสซีอาร์อยู่ในสถานะเปิดกระแส เรียกกระแสนี้ว่า "กระแสยึด หรือ กระแสโฮลดิง" (holding current) โดยช่วงนี้เป็นช่วงของการที่เอศซีอาร์กำลังเปลี่ยนสถานะจากสภาวะปิดกระแสเข้าสู่สภาวะเปิดกระแส เรียกช่วงนี้ว่า "อาณาบริเวณของความต้านทานค่าลบ" (negative resistance region) ช่วงที่สองเป็นช่วงที่กระแส I_A มีค่าใหญ่กว่ากระแสยึด I_H เล็กน้อยไปจนถึงค่าที่ใหญ่มากมายโดยแรงดันแอโนดเพิ่มค่าสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย เรียกช่วงที่สองนี้ว่า "อาณาบริเวณเปิดกระแส หรือ อาณาบริเวณอิ่มตัว" (high conduction region หรือ saturation region) กระแส I_A ที่ไหลอยู่ในช่วงนี้มีค่าใหญ่มากจะสามารถทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

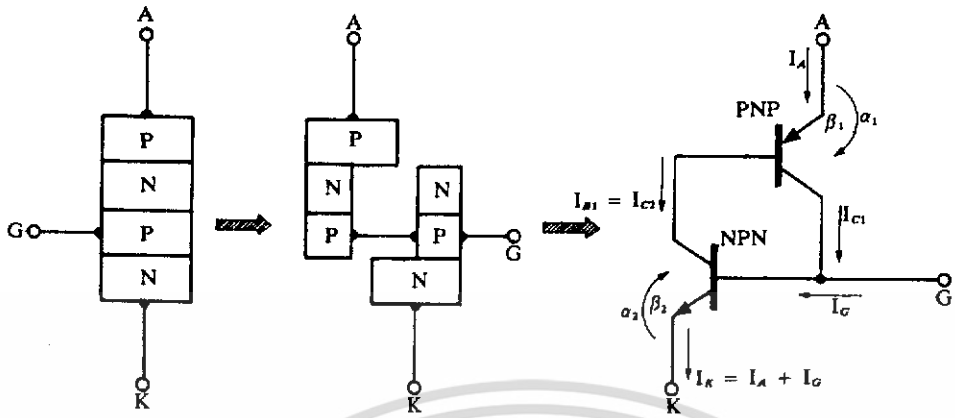
อันตรายต่อเอสซีอาร์ให้ชำรุดเสียหายได้ จึงจำเป็นต้องใช้ความต้านทาน ที่มีค่าใหญ่เข้าต่อเป็นอนุกรมในวงจรแอโนด เพื่อจำกัดกระแส I_A ไม่ให้ใหญ่มากเกินไป ถ้าต้องการให้เอสซีอาร์ที่อยู่ในสถานะเปิดกระแสเปลี่ยนกลับไปสู่สถานะปิดกระแสให้ลดกระแสแอโนด I_A ให้มีค่าต่ำกว่ากระแสยึด I_H ในขณะที่ $I_G = 0$ ยังมีกระแสอีกชื่อหนึ่งคือ "กระแสสลักกลอน" (latching current) I_L ซึ่งนิยามว่าเป็น กระแสที่เล็กที่สุดที่สามารถรักษาให้เอสซีอาร์อยู่ในสถานะเปิดกระแสทันทีทันได ภายหลังจากเปลี่ยนสถานะจากสภาวะปิดกระแสไปสู่สภาวะเปิดกระแสโดยปลดเอาสัญญาณป้อนเข้าเกตออก ซึ่งเมื่อได้ลดกระแส I_H ให้ต่ำกว่ากระแส I_L ได้แล้ว เอสซีอาร์จะหยุดเปิดกระแส เราเรียกช่วงนี้ว่า "อาณาบริเวณปิดกระแสหรืออาณาบริเวณกั้นกระแสทิศฟอร์เวิร์ด (forward blocking region) การเปลี่ยนสภาวะนี้ต้องการเวลาชั่วครู่หนึ่ง เรียกว่า " เวลาปิดกระแส" (turn-off time) การลดกระแสแอโนดให้ต่ำกว่ากระแสสลักกลอน I_L แล้วเปลี่ยนกลับเพิ่มกระแสสูงขึ้นไปใหม่ในระยะเวลาที่สั้นกว่าเวลาปิดกระแสของเอสซีอาร์ แล้วเอสซีอาร์จะกลับเข้าสู่สถานะเปิดกระแสต่อไปตามเดิม กระแสเกต I_G มีอิทธิพลมากในการช่วยให้เอสซีอาร์จากสภาวะปิดกระแสเข้าสู่สภาวะเปิดกระแสได้ง่ายขึ้นโดยไม่ต้องใช้แรงดันแอโนด V_A สูงมาก ซึ่งเมื่อเราจัดให้ I_G มีค่าใหญ่มากขึ้นจะยิ่งทำให้แรงดันพังข้ามของเอสซีอาร์ต่ำลง

เมื่อจัดให้แรงดันแอโนด V_A มีค่าลบหรือมีแรงดันกลับ (reverse voltage) กระแสแอโนดจะไหลกลับทางและมีค่าน้อยมาก เรียกช่วงนี้ว่า "อาณาบริเวณกั้นกระแสไหลกลับ"(reverse blocking region) ต่อเมื่อเพิ่มค่าแรงดันแอโนดค่าลบไปจนถึงค่าเรียกว่า " แรงดันพังทะลุกลับ" (reverse breakdown voltage) กระแสแอโนดจะไหลเพิ่มค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยทั่วๆ ไป ผู้ผลิตเอสซีอาร์จะออกแบบให้เอสซีอาร์มีค่าแรงดันพังทะลุกลับมีค่าเท่ากับหรือใหญ่กว่าค่าแรงดันพังข้ามทิศฟอร์เวิร์ดในขณะ $I_G = 0$

อาจอธิบายกลไกการทำงานของเอสซีอาร์ได้ โดยอาศัยทฤษฎีของรอยต่อพีเอ็น หรือโดยอาศัยวงจรสมมูลแบบทรานซิสเตอร์ ซึ่งในที่นี้อธิบายด้วยวิธีหลังวิธีเดียว คือ คิดให้เอสซีอาร์ มีโมเดลเป็นทรานซิสเตอร์ โดยให้ชั้นพีเอ็นของเอสซีอาร์ ถูกแบ่งออกเป็นตัวทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็น และ พีเอ็นพี สองตัวเข้าต่อกันด้วยวิธีการป้อนกลับค่าบวกดังแสดงในรูปที่ 3.3

เมื่อป้อนแรงดันแอโนดในทิศฟอร์เวิร์ดให้กับเอสซีอาร์ ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวก็จะมีแรงดันเข้าไปเลี้ยงอีมิตเตอร์ (emitter) และคอลเล็กเตอร์ (collector) ในทิศฟอร์เวิร์ดแต่ทรานซิสเตอร์ทั้งสองยังอยู่ในสภาวะปิดกระแส ต่อมาเพิ่มแรงดันแอโนดถึงค่าแรงดันพังข้าม $V_{(BO)}$ คอลเล็คเตอร์ของทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็น ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ตัวล่างมีศักย์ลบปรากฏอยู่จะเข้าไปกระตุ้นเบส (base) ของทรานซิสเตอร์พีเอ็นพี ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ตัวบนให้เปิดการทำงานนำกระแสคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ตัวบน จึงมีศักย์บวกปรากฏสูงขึ้นและส่งเข้ากระตุ้นเบสของทรานซิสเตอร์ตัวล่างให้เปิดกระแสมากขึ้น คอลเล็คเตอร์ของทรานซิสเตอร์ตัวล่างก็จะมีศักย์ลบปรากฏมากขึ้นและเข้ากระตุ้นเบสของทรานซิสเตอร์ตัวบนให้เปิดการนำกระแสมากขึ้น ซึ่งผลอันนี้จะวนกลับมากระตุ้นทรานซิสเตอร์ตัวล่างอีก กระบวนการนี้เป็นการป้อนกลับค่าบวก ซึ่งผลสุดท้ายจะทำให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวนำกระแสอยู่ในสภาวะอิ่มตัว ก็จะมีกระแสแอโนดของเอสซีอาร์ไหลได้สูงมากและเอสซีอาร์เข้าอยู่ในสภาวะเปิดกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 โมเดลของเอสซีอาร์แบบวงจรทรานซิสเตอร์

ถ้าต้องการให้เอสซีอาร์เปลี่ยนจากสภาวะเปิดกระแสกลับเข้าสู่สภาวะปิดกระแส เราก็ลดขนาดของกระแสแอโนด I_A ลงให้ต่ำกว่ากระแสยึด I_H (ถ้า $I_G > 0$) กระแสคอลเล็คเตอร์ตัวบนจะลดต่ำลงมาก ไม่พอที่จะกระตุ้นให้เบสของทรานซิสเตอร์ตัวล่างเปิดให้กระแสได้ต่อไป ศักย์ที่คอลเล็คเตอร์ของทรานซิสเตอร์ตัวล่างก็จะลดน้อยลงมากไม่พอที่จะไปกระตุ้นเบสของทรานซิสเตอร์ตัวบนให้เปิดนำกระแสต่อไปอีกทรานซิสเตอร์ก็หยุดนำกระแส ดังนั้น เอสซีอาร์จึงเปลี่ยนสภาวะกลับเข้าสู่สภาวะปิดกระแส

ถ้าเอาแรงดันแอโนดค่าลบเข้าต่อกับเอสซีอาร์ ทรานซิสเตอร์ทั้งสองต่อจะอยู่ในสภาวะถูกไบแอสกลับทาง จึงมีกระแสแอโนดไหลได้น้อยมาก เมื่อป้อนแรงดันค่าลบที่มีค่าสูงมากที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวเกิดพังถล่มทลายจึงจะมีกระแสแอโนดไหลได้สูงมากและเอสซีอาร์ก็ชำรุด

เพื่อความเข้าใจที่ดี อาจใช้คณิตศาสตร์เข้าช่วยอธิบาย โดยจะพิจารณาเห็นวงป้อนกลับที่อยู่ภายในของเอสซีอาร์มีค่ากระแสเกน (current gain) มีค่า

$$G = \beta_1 x \beta_2 \qquad (3.1)$$

เมื่อ

G เป็นค่ากระแสเกนรวม

β_1 และ β_2 เป็นค่ากระแสเกนชนิดอีมิตเตอร์ร่วมของทรานซิสเตอร์พีเอ็นพี และเอ็นพีเอ็นตามลำดับ

และมีนิยามว่าเป็นอัตราส่วนของกระแสคอลเล็คเตอร์ต่อกระแสเบส (ซึ่งมีหนังสือหลายเล่มนิยมเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ h_{FE} หรือ α_E) ถ้า I_{CBO1} เป็นกระแสรั่วในคอลเล็คเตอร์ของทรานซิสเตอร์ พีเอ็นพี เมื่อต่อวงจรเบสร่วม เราจะเขียนได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{C1} = \beta_1 (I_{C2} + I_{CBO1}) + I_{CBO1} \qquad (3.2)$$

เมื่อ

I_{C1} เป็นกระแสคอลเล็คเตอร์ของทรานซิสเตอร์พีเอ็นพี และเป็นกระแสเบสของทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็น

I_{C2} เป็นกระแสคอลเล็คเตอร์ของทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็น

ถ้า I_{CBO2} เป็นกระแสรั่วในคอลเล็คเตอร์ของทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็นเมื่อต่อวงจรแบบเบสร่วม จะได้

$$I_{C2} = \beta_2 (I_{C2} + I_{CBO2}) + I_{CBO2} \qquad (3.3)$$

และกระแสแอโนด คือ

$$I_A = I_{C1} + I_{C2} \qquad (3.4)$$

โดยการคำนวณ สามารถหากระแสแอโนด I_A จากสมการที่ (3.2) ถึง (3.4) ได้เป็น

$$I_A = \frac{(1+\beta_1)(1+\beta_2)(I_{CBO1} + I_{CBO2})}{1-G} \qquad (3.5)$$

ในตอนเริ่มต้นถึงแม้มีแรงดันแอโนดป้อนเข้าทิศฟอร์เวิร์ด แต่เอสซีอาร์ยังอยู่ในสภาวะปิดกระแส และมีค่าต่ำทั้งคู่ และ G มีค่าน้อยกว่าหนึ่งมาก ดังนั้น ส่วนของสมการที่ (3.5) มีค่าเข้าใกล้หนึ่งเป็นผลให้กระแสแอโนด I_A มีค่าสูงกว่าผลบวกของกระแสรั่วของทรานซิสตอร์แต่ละตัวเพียงเล็กน้อย

เพื่อที่จะเปลี่ยนเอสซีอาร์จากสภาวะปิดกระแสให้เข้าสู่สภาวะเปิดกระแส จะทำได้ด้วยการเพิ่มค่ากระแสเกนรวม G มีค่าเข้าหาหนึ่ง (คือ $\beta_1 \times \beta_2 \rightarrow 1$) ทำให้ได้ I_A ซึ่งในปฏิบัติจะทำได้หลายวิธีดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป แต่ในที่นี้ใช้วิธีการป้อนกระแสเข้าเกตและใช้แรงดันสูงป้อนเข้าที่แอโนดก็จะทำให้เอสซีอาร์เปลี่ยนสภาวะเปิดกระแส

ถ้าลดกระแสแอโนด I_A ลงให้ต่ำกว่ากระแสยึด I_H จะทำให้เกน G มีค่าลดลง ทำให้ เอสซีอาร์เปลี่ยนสภาวะกลับเข้าสู่สภาวะปิดกระแสและถ้าป้อนแรงดันเข้าเอสซีอาร์กลับทางก็เป็นการลดค่าเกน G และค่าเกน G จะเพิ่มมากขึ้นอีกครั้งหนึ่งเมื่อแรงดันกลับทางนั้นมีค่าสูงเท่ากับค่าแรงดันถล่มทลายของทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัว

อาจวิเคราะห์วงจรทรานซิสเตอร์ที่เป็นโมเดลของเอสซีอาร์ โดยอาศัยค่ากระแสเกน "α หรือ α_B"ของทรานซิสเตอร์เมื่อต่อแบบเบสร่วมซึ่งมีนิยามว่าเป็นอัตราส่วนของกระแส คอลเล็คเตอร์ต่อ กระแสอีมิตเตอร์ โดยมีความสัมพันธ์กับกระแสเกน β ของทรานซิสเตอร์เมื่อต่อแบบอีมิตเตอร์ร่วมดังนี้

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \qquad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งอาจเขียนสมการเกนของทรานซิสเตอร์ได้ดังนี้

$$I_C = -\alpha I_E + I_{CBO} \qquad (3.7)$$

เมื่อ

I_C และ I_E เป็นกระแสคอลเล็คเตอร์และกระแสอีมิตเตอร์ตามลำดับ

I_{CBO} เป็นกระแสรั่วในคอลเล็คเตอร์ของทรานซิสเตอร์เมื่อต่อวงจรแบบเบสร่วม

ดังนั้น สามารถเขียนสมการของทรานซิสเตอร์แต่ละตัวได้ดังนี้

พีเอ็นพี $$I_A - I_{C2} = \alpha_1 I_A + I_{CBO1} \qquad (3.8)$$

เอ็นพีเอ็น $$I_{C2} = \alpha_2 (I_A + I_G) + I_{CBO2} \qquad (3.9)$$

เมื่อ

α_1 และ α_2 เป็นค่ากระแสเกนของทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็นและพีเอ็นพีตามลำดับ

I_G เป็นกระแสเกตของเอสซีอาร์

โดยการนำสมการที่ (3.9) เข้าแทนค่าในสมการที่ (3.8) เพื่อขจัด I_A แล้วคำนวณหากระแสแอโนด I_A จะได้

$$I_A = \frac{I_{DBO1} + I_{CBO2} + \alpha_1 I_G}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} \qquad (3.10)$$

ค่า $(\alpha_1+\alpha_2)$ ในสมการที่ (3.10) นี้มีพฤติกรรมคล้ายค่า G ในสมการที่ (3.5) โดยที่ $(\alpha_1+\alpha_2)\rightarrow 0$, $I_A \rightarrow I_{CL} = I_{CBO1}+I_{CBO2}$, เมื่อกระแสรั่วรวมทั้งหมดซึ่งในกรณีนี้จะสมนัยกับเอสซีอาร์อยู่ในสภาวะปิดกระแส ต่อเมื่อ $(\alpha_1+\alpha_2)\rightarrow 1, I_A \rightarrow \infty$ เอสซีอาร์ก็จะอยู่ในสภาวะป้อนกลับค่าบวกซึ่งทำให้เอสซีอาร์อยู่ในสถานะเปิดกระแส

3.2 การจุดชนวนไธริสเตอร์

ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 3.1 ไธริสเตอร์ สามารถเปลี่ยนสภานะจากสภาวะปิดกระแสเข้าสู่สภาวะเปิดกระแสได้โดยอาศัยกระบวนการป้อนกลับค่าบวกที่เกิดขึ้นในตัวไธริสเตอร์ ถ้าสามารถควบคุมให้มีกระบวนการนี้เกิดขึ้นได้ก็สามารถจุดชนวน (trigger) ให้ไธริสเตอร์เปิดกระแสได้

วิธีการใดๆ ที่ทำให้กระแสอีมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็นของรูปที่ 3.3 มีค่าเพิ่มขึ้นก็จะมีผลให้ไธริสเตอร์เปิดกระแสได้ วิธีการเหล่านี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ป้อนแรงดันค่าบวกเข้าที่ขั้วเกต การป้อนแรงดันค่าบวกเข้าที่ขั้วเกตของเอสซีอาร์ จะมีกระแสเกตพุ่งเข้าเบสของทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็นของรูปที่ 3.3 เป็นผลให้มีกระแสเกตเพิ่มค่าสูงขึ้นและเกิดมีกระบวนการป้อนกลับค่าบวกเกิดขึ้น เอสซีอาร์ก็จะเปิดนำกระแสได้ วิธีการนี้เป็นวิธีที่เรานิยมใช้จุดชนวนให้ไธริสเตอร์เปิดนำกระแสทั่วๆไป

2) ใช้ "แสง" (รังสีพลังงาน) ช่วยจุดชนวน ไธริสเตอร์แบบที่ใช้แสงจุดชนวนนี้เป็นแบบที่เรียกว่า "แอลเอเอสซีอาร์" (LASCR = light activated SCR สร้างขึ้นโดยให้มีช่องโปร่งแสงเพื่อให้แสงลอดไปถึงสารพีที่เป็นขั้วเบสของทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็นในรูปที่ 3.3 ด้วยคุณสมบัติรอยต่อพีเอ็นที่สามารถเกิดคู่ของอิเล็กตรอน และโฮล ขึ้นได้เมื่อมีรังสีพลังงานตกกระทบ

3) ใช้แรงดันพังข้ามทำให้ไธริสเตอร์เปิดกระแส โดยการป้อนแรงดันสูงเข้าระหว่างแอโนดกับแคโทดของไธริสเตอร์ในทิศฟอร์เวิร์ด จะทำให้ชั้นปลอดพาหะที่รอยต่อ J_2 กว้างออกและแรงดันจะไปทำให้พาหะข้างน้อยหลุดเพิ่มออกมา เมื่อแรงดันแอโนดถึงค่าแรงดันพังข้าม $V_{(BO)}$ ก็ทำให้รอยต่อ J_2 เกิดพังถล่มทลาย ทำให้รอยต่อ J_2 กลายเป็นถูกฟอร์เวิร์ดไบแอส ทำให้กระแสแอโนดไหลผ่านไธริสเตอร์ได้มากมายและ ไธริสเตอร์ จึงเข้าอยู่ในสภาวะเปิดกระแส

4) ใช้การเปลี่ยนแปลงแรงดันต่อเวลาในอัตราสูง (dv/dt) เข้าจุดชนวน เมื่อแรงดันที่ต่ออยู่ระหว่างแอโนดกับแคโทดของไธริสเตอร์ในทิศฟอร์เวิร์ด เปลี่ยนแปลงค่าด้วยอัตราเร็วสูง จะทำให้เกิดกระแสเกตชั่วครู่ซึ่งกระแสนี้เกิดขึ้นจากค่าความจุ C ระหว่างแอโนดกับเกตและระหว่างเกตกับแคโทดด้วยค่าตามสูตร

$$I = C\frac{dv}{dt} \qquad (3.11)$$

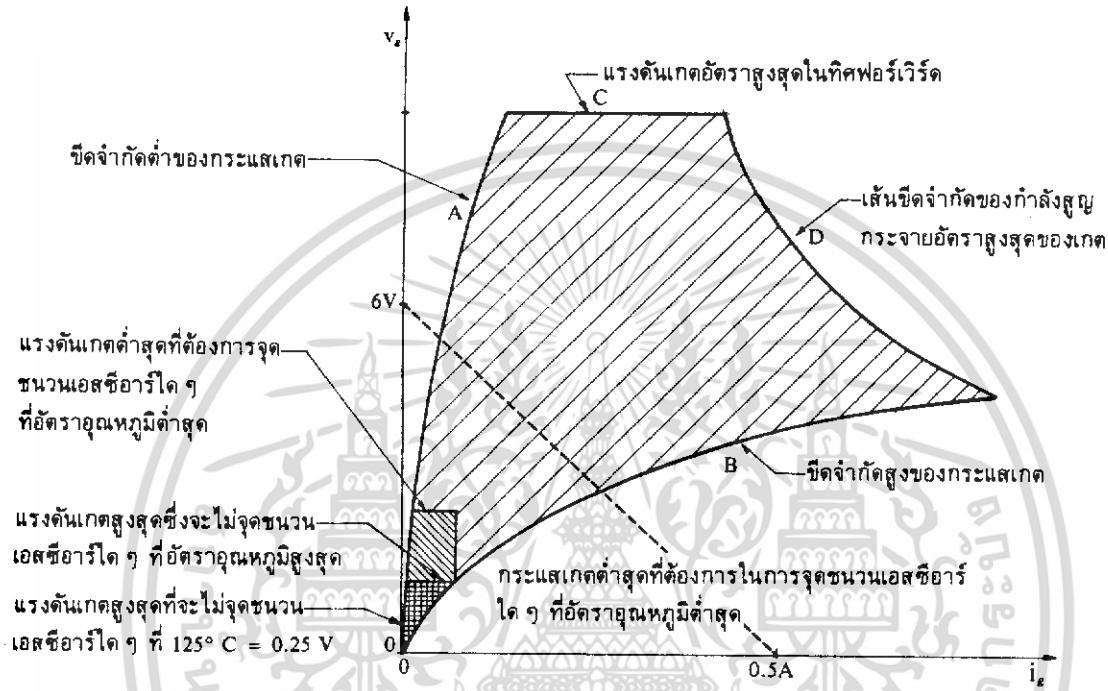
กระแสเกตนี้จะไปทำให้เกิดกระบวนการป้อนกลับค่าบวกขึ้นและไธริสเตอร์ก็เข้าอยู่ในสภาวะเปิดกระแส

5) ใช้อุณหภูมิสูงเข้าจุดชนวน ที่อุณหภูมิสูงรอยต่อ J_2 ตามปกติถูกไบแอสกลับ จะมีพาหะข้างน้อย ซึ่งทำให้กลายเป็นกระแสรั่วมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าทุกๆ ครั้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น $80^{\circ}C$ ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิสูงมากพอก็จะมีพาหะข้างน้อยจำนวนมากที่ทำให้เกิดเป็นกระแสที่มีขนาดสูงพอที่จะไปทำให้เกิดกระบวนการป้อนกลับค่าบวกและทำให้ไธริสเตอร์สามารถเข้าสู่สภาวะเปิดกระแสได้

วิธีการต่างๆ ดังกล่าวข้างบนนี้วิธีที่หนึ่ง ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้แรงดันค่าบวกป้อนเข้าเกต จะเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด ศักย์บวกที่ดีที่ป้อนให้เกตต้องสามารถให้กระแสเกตเป็นพัลส์ที่มีสันหน้าสูงชัน และเนื่องจากเมื่อไธริสเตอร์เปิดกระแสก็สามารถนำกระแสต่อไปได้โดยไม่ต้องการกระแสเกตอีก ดังนั้น กระแสเกตควรเป็นพัลส์ที่มีช่วงสั้นๆ แต่มีความสูงของพัลส์สูงขึ้นเมื่อช่วงของพัลส์สั้นลง ก็สามารถทำให้ไธริสเตอร์เปิดกระแสได้ดีและทำงานเชื่อถือได้ดี โดยลักษณะสมบัติระหว่างแรงดันกับกระแสของเกตจะคล้ายกับลักษณะสมบัติของไดโอดแต่จะเปลี่ยนไปบ้างระหว่างไธริสเตอร์แต่ละตัวและได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.4 ซึ่งเป็นอาณาบริเวณที่ล้อมรอบด้วยขีดจำกัดต่ำและขีดจำกัดสูงของกระแสเกต ค่าแรงดันเกตสูงสุด และเส้นไฮเพอร์โบลาที่แทนกำลังสูงสุดของเกต ภายในอาณาบริเวณนี้เราสามารถแบ่งออกเป็นบริเวณ 3 บริเวฯณ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณที่ หนึ่ง อยู่ใกล้จุดกำเนิดและแสดงด้วยเส้นแรเงาตัดกันเป็นบริเวณที่ถูกจำกัดด้วยค่าแรงดันเกตสูงสุด ที่ไม่สามารถจุดชนวนไธริสเตอร์ใดๆ แต่ไธริสเตอร์อาจทำงานบริเวณนี้เมื่อไธริสเตอร์ไม่ต้องการกระแสเกต เช่น การจุดชนวนด้วยแรงดันพังทะลุที่ป้อนเข้าที่แอโนด หรือจุดชนวนด้วย dv/dt วิธีการเหล่านี้นับว่าเป็นสิ่งรบกวนการเปิดไธริสเตอร์ให้นำกระแสตามต้องการซึ่งต้องหาวิธีการป้องกัน



รูปที่ 3.4 เส้นโค้งลักษณะสมบัติระหว่างแรงดันกับกระแสของเกต

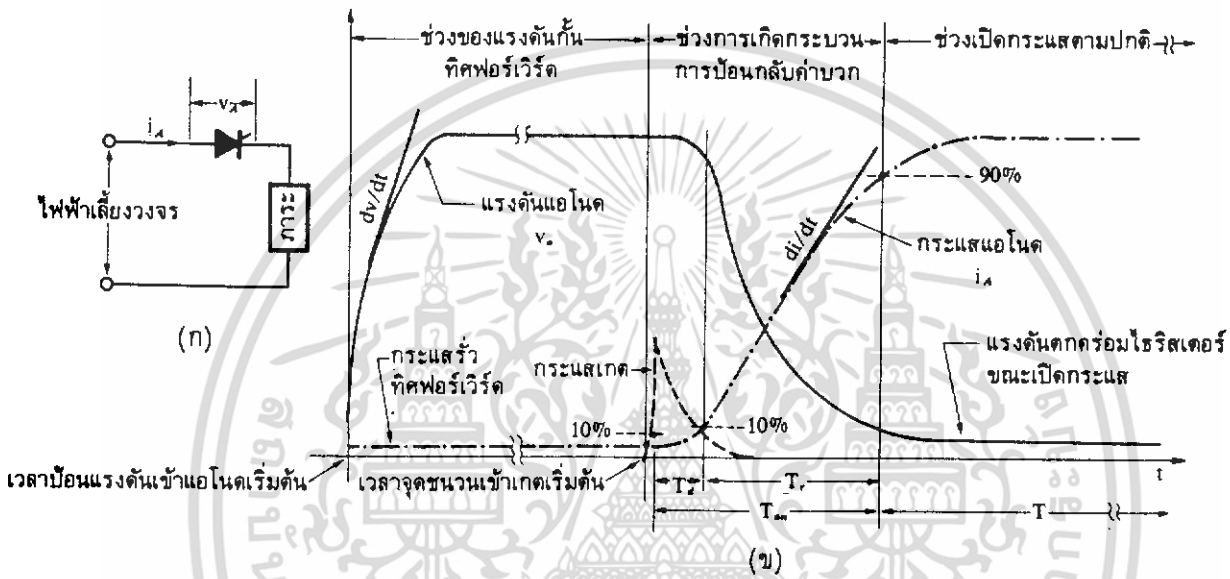
บริเวณที่ สอง แสดงด้วยเส้นแรเงาถี่ ๆ เป็นบริเวณที่อยู่ใกล้กับบริเวณซึ่งแสดงตำแหน่งของจุดจุดชนวนต่าง ๆ ที่ขึ้นอยู่กับอุณภูมิ ล้อมรอบด้วยแรงดันเกตและกระแสเกตที่มีค่าต่ำสุดที่ต้องใช้ในการจุดชนวน ไธริสเตอร์ต่างๆ ที่อุณหภูมิของรอยต่อมีอัตราต่ำสุดหรือ เป็นอาณาบริเวณของจุดจุดชนวนต่ำสุดที่แท้จริงของไธริสเตอร์ทุกตัว โดยถ้าใช้จุดจุดชนวนอยู่ในบริเวณนี้วงจรเกต ต้องการกำลังสูง เมื่ออุณภูมิของรอยต่อมีค่าต่ำลงเกตก็ยิ่งต้องการกำลังป้อนเข้าแรงขึ้น เพื่อเปิดให้ไธริสเตอร์นำกระแส บริเวณนี้จึงไม่ควรใช้เพราะว่า สัญญาณในบริเวณนี้ไม่สามารถจุดชนวนไธริสเตอร์ ได้ทุกตัวเสมอไปหรืออาจไม่สามารถจุดชนวนไธริสเตอร์ใดๆ แม้แต่ตัวเดียวก็เป็นได้

บริเวณที่ สาม แสดงด้วยเส้นแรเงาห่าง เป็นบริเวณแสดงตำแหน่งของจุดจุดชนวนที่ใช้ได้ดีและทำงานเชื่อถือได้ จึงเป็นบริเวณที่ชอบใช้ขับวงจรเกต ซึ่งมีเส้นล้อมรอบ A,B,C และ D โดย A เป็นเส้นขีดจำกัด ต่ำของกระแสเกต B เป็นเส้นขีดจำกัดสูงของกระแสเกต C เป็นเส้นที่ระบุถึงค่าแรงดันเกตอัตราสูงสุดในทิศฟอร์เวิร์ด และ D เป็นเส้นขีดจำกัดของกำลังสูญกระจายอัตราของเกต ถ้าจุดของการจุดชนวนอยู่ภายใน บริเวณนี้ไธริสเตอร์จะเปิดกระแสเสมอ ถ้าจุดจุดชนวนอยู่ในส่วนล่างซ้ายมือของบริเวณ จะเป็นจุดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมในการใช้งาน ถ้าจุดจุดชนวนอยู่ทางส่วนบนขวามือของอาณาบริเวณ จะทำให้ไธริสเตอร์เปิดกระแสอย่างรวดเร็ว แต่ต้องการกระแสเกตสูงซึ่งอาจต้องการใช้ในวงจรบางชนิด ถ้าหากจุดจุดชนวนอยู่นอก บริเวณนี้จะทำให้ไธริสเตอร์เกิดชำรุดเสียหาย

เมื่อไธริสเตอร์ได้เปิดกระแสจะต้องการเวลาชั่วครู่หนึ่งจึงจะสิ้นสุดกระบวนการนี้ โดยจะมีศักย์คร่อมไธริสเตอร์เปลี่ยนแปลงจากแรงดันพังทะลุลดลงสู่ศักย์คาคร่อมไธริสเตอร์ ขณะเปิดกระแส (ซึ่งมีค่าต่ำประมาณ 1 ถึง 1.5 โวลต์) และมีนิยามเกี่ยวกับเวลาในการเปิดกระแสต่างๆ



รูปที่ 3.5 (ก) วงจรไธริสเตอร์กับภาระ
(ข) การเปลี่ยนแปลงกระแสและการเปลี่ยนแรงดันของไธริสเตอร์ขณะเปิดกระแส

รูปที่ 3.5 (ข) แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงชั่วครู่ของแรงดันและกระแสในระหว่างไธริสเตอร์เปิดกระแส ซึ่งเราสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง คือ

ช่วงแรก เป็นช่วงที่ไธริเตอร์อยู่ในสถานะแรงดันกั้นทิศฟอร์เวิร์ด ซึ่งเป็นสถานะที่เกิดขึ้นตอนเริ่มต้นของการป้อนแรงดันเข้าไธริสเตอร์แต่ยังไม่จุดชนวน ประจุต่างๆ ในไธริสเตอร์จะมีการเคลื่อนไหวเปลี่ยนแปลง จนกระทั่งรอยต่อต่างๆ เข้าสู่สถานะคงที่ จะทำให้แรงดันเปลี่ยนแปลงจากศูนย์ไปค่าแรงดัน ที่ป้อนเข้า ถ้าแรงดันนี้มีค่าไม่สูงเกินกว่าแรงดันพังข้าม $V_{(BO)}$ จึงยังไม่มีการเปิดกระแส มีแต่เพียงกระแสรั่วไหลเพียงเล็กน้อย โดยรอยต่อ J_2 อยู่ในสถานะไบแอสกลับ ค่าความเก็บประจุของรอยต่อ J_2 จะช่วยส่งกระแสจำนวนมากผ่านเข้าสู่ชั้น P_3 ซึ่งเป็นชั้นที่มีขั้วเกตเข้าต่อ จึงอาจเป็นผลทำให้ไธริสเตอร์เปิดกระแสได้โดยเราไม่ต้องการ เพื่อให้ไธริสเตอร์ทำงานได้ถูกต้องเราต้องพิจารณาอัตรา dv/dt สูงสุดที่ไธริสเตอร์สามารถทนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงที่สอง เป็นช่วงที่ไธริสเตอร์อยู่ในสถานะการป้อนกลับค่าบวกซึ่งเกิดขึ้นเมื่อป้อนสัญญาณจุดชนวนเข้าที่เกต ซึ่งจะเป็นผลทำให้ไธริสเตอร์เปิดกระแส การเปิดกระแสจะเริ่มต้นขึ้นที่บริเวณเล็กๆ ของชั้นที่เกตเข้าต่อคิว แล้วแผ่ขยายออกไปด้วยอัตราเร็วประมาณ 0.1 มิลลิเมตรต่อไมโครวินาที ถ้าบริเวณเกตมีพื้นที่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร จะต้องการเวลาประมาณ 100 ไมโครวินาทีที่จะเปิดกระแสได้เต็มพื้นที่ ของเกต ในขณะนั้นแรงดันทิศฟอร์เวิร์ด สามารถเข้าสถานะคงที่ได้ก่อนกระแส ทั้งนี้ เพราะว่าการเปิดกระแสเริ่มต้นที่บริเวณเล็กมาก กระแสจึงมีความหนาแน่นสูงมาก ถ้าอัตราของการเพิ่มกระแสมีค่าสูงมากด้วย ก็จะเป็นสาเหตุให้มีความร้อน เกิดขึ้นในบริเวณเล็กๆ นั้น ซึ่งสามารถทำให้ไธริสเตอร์ชำรุดเสียหายได้ จึงทำให้เราต้องพิจารณาถึงอัตรา dv/dt สูงสุดขณะเปิดกระแสของไธริสเตอร์ด้วย

ช่วงที่สาม เป็นช่วงที่ไธริสเตอร์เปิดกระแสตามปกติ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อการเปิดกระแสได้ผ่าขยายไปทั่วอาณาบริเวณของชั้น P_3 ทั้งหมด

3.3 อัตราปกติของไธริสเตอร์

การนำไธริสเตอร์ไปใช้ในวงจรไฟฟ้า เราจำเป็นต้องเลือกใช้ให้อยู่ภายในอัตราปกติ (rating) ของแรงดันกระแสและกำลังที่ผู้ผลิตไธริสเตอร์ได้กำหนดมาให้ ดังต่อไปนี้

3.3.1 อัตราแรงดันปกติ (voltage rating) นิยามว่าเป็นอัตราปกติต่อเนื่องของไธริสเตอร์ที่มีคุณสมบัติทนทานต่อแรงดันสูงสุดที่ป้อนเข้าในทิศฟอร์เวิร์ดและทิศกลับทางโดยไม่มีการพังทะลุ ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่างๆ ของรอยต่อ ที่พิสัยของการปฏิบัติงานตามที่ผู้ผลิตได้ระบุไว้ อัตราแรงดันปกติมีอยู่ 3 แบบ คือ

1) แรงดันกลับ V_{RMS} และ V_{RSM} เป็นค่าแรงดันกลับสูงสุดชั่วขณะที่ป้อนเข้าไธริสเตอร์ให้แคโทดเป็นบวก เมื่อเทียบกับแอโนด โดยไม่มีการป้อนกระแสเข้าเกตแล้วไธริสเตอร์สามารถทนทานต่อแรงดันนี้ แต่ถ้าให้แรงดันมีค่าสูงเกินกว่าค่านี้ก็อาจทำให้มีการเกิดพังถล่มทลายขึ้นภายในไธริสเตอร์และทำให้ไธริสเตอร์ชำรุดเสียหาย

2) แรงดันกั้นทิศฟอร์เวิร์ดยอดสูงสุด V_{DRM} (prak off-state blocking voltage หรือ repetitive peak off-state voltage) เป็นค่าแรงดันยอดสูงสุดชั่วขณะในทิศฟอร์เวิร์ดที่ไธริสเตอร์สามารถกั้นไม่ให้ไธริสเตอร์เข้าสู่สภาวะเปิดกระแสเมื่อรอยต่อมีอุณหภูมิสูงสุดเท่าที่สามารถยอมให้ได้และโดยเกตมีการไบแอสตามเงื่อนไขที่ได้ระบุ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ V_{DRM}

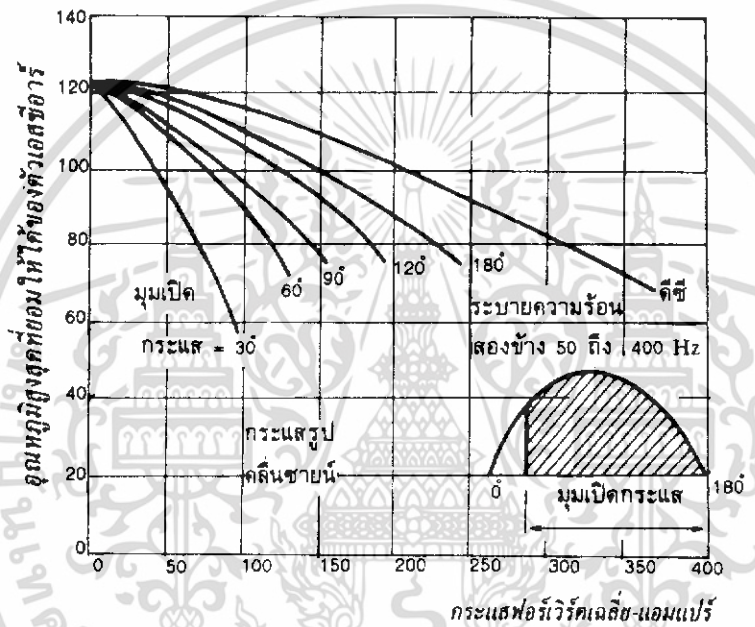
3) แรงดันฟอร์เวิร์ดยอดสูงสุด PFV (peak forward voltage) เป็นค่าแรงดันทิศฟอร์เวิร์ดยอดสูงสุดชั่วขณะ ซึ่งจะทำให้ไธริสเตอร์ที่อยู่ในสภาวะปิดกระแสเปลี่ยนสถานะเข้าสู่สภาวะเปิดกระแสที่อุณหภูมิอันหนึ่งขณะวงจรเกตเปิดออก โดยไธริสเตอร์ไม่ชำรุดเสียหาย

3.3.2 อัตราปกติในการเพิ่มค่าแรงดันฟอร์เวิร์ด (dv/dt) นิยามว่าเป็นค่าสูงสุดของการเพิ่มค่าแรงดันทิศฟอร์เวิร์ด (ระหว่างแอโนดกันแคโทดของไธริสเตอร์) ต่อเวลา ที่สามารถทำให้ไธริสเตอร์เปลี่ยนสถานะ จากสภาวะปิดกระแสเข้าสู่สภาวะเปิดกระแสถึงแม้ว่าแรงดันแอโนด V_A มีค่าต่ำและกระแสเกตเท่ากับศูนย์ อัตราปกตินี้มีคุณสมบัติขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 อัตรากระแสปกติ เป็นค่าสูงสุดของกระแสแอโนดค่าอาร์เอ็มเอสหรือค่าดีซีที่ไธริสเตอร์สามารถทนทานได้โดยนิยามไว้บนพื้นฐานของการที่กระแสไหลต่อเนื่องสม่ำเสมอ (recurrent) และกระแสไหลไม่สม่ำเสมอ (non-recurrent) คือ

1) อัตรากระแสปกติไหลต่อเนื่องสม่ำเสมอ นิยามว่าเป็นค่าสูงสุดของกระแสแอโนด ค่าอาร์เอ็มเอส หรือค่าดีซี เฉลี่ยที่ทำให้ไธริสเตอร์มีอุณหภูมิของรอยต่อสูงขึ้นไม่เกินอุณหภูมิรอยต่อสูงสุดที่ยอมให้ได้โดย ไธริสเตอร์ไม่เป็นอันตราย ซึ่งมีเส้นโค้งลักษณะสมบัติสำหรับมุมเปิดกระแส (conduction angle) ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 อัตราปกติของกระแสเฉลี่ยสูงสุดของเอสซีอาร์อนุกรม C380

2) อัตรากระแสปกติไหลไม่สม่ำเสมอ นิยามว่าเป็นค่าสูงสุดของกระแสแอโนด ที่ไหลกระโชก (surge) แล้วทำให้ไธริสเตอร์มีอุณหภูมิของรอยต่อสูงกว่าอุณหภูมิของรอยต่อในกรณีที่กระแสไหลต่อเนื่องสม่ำเสมอ โดยไธริสเตอร์สามารถทนทานได้ในเวลาสั้นๆ อัตราสำหรับกระแสแบบนี้กำหนดให้ไว้ด้วยเส้นโค้งกระแสกระโชก และเส้นโค้งของอัตรา I_{2t} ปกติ

3.3.4 อัตราปกติในการเพิ่มค่ากระแสฟอร์เวิร์ด (di/dt) นิยามว่าเป็น ค่าสูงสุดของอัตราการเพิ่มค่าขึ้นของกระแส di ต่อเวลา dt (=di/dt) โดยไม่ทำให้ไธริสเตอร์ชำรุดเสียหายได้ ทั้งนี้เพราะว่า เมื่อกระแสฟอร์เวิร์ดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วยอัตราเร็วสูงที่เปรียบเทียบได้กับอัตราเร็วของการแผ่ตัวของกระบวนการเปิดกระแสกระจายข้ามรอยต่อ จะทำให้มีความหนาแน่นของกระแสค่าใหญ่มากในอาณาบริเวณรอยต่อเป็นสาเหตุให้เกิดความร้อนขึ้นมากมายในหย่อมแคบๆ ซึ่งอาจทำให้ไธริสเตอร์ชำรุดเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 อัตรากำลังปกติ (power rating) อัตราปกตินี้เกิดขึ้นเมื่อมีกระแสไหลและมีแรงดันฟอร์เวิร์ด
ตกคร่อมไธริสเตอร์ ซึ่งช่วยให้เราพิจารณาถึงเรื่องกำลังสูญ (power loss) ได้ละเอียดขึ้นและจะเป็นข้อมูลช่วยเราในการออกแบบระบบระบายความร้อน การที่มีกำลังสูญเกิดขึ้นในไธริสเตอร์แล้วทำให้รอยต่อต่างๆ มีอุณหภูมิสูงขึ้น ถ้าเราระบายอากาศออกได้ไม่ดีพอ จะทำให้อัตรากำลังปกติของไธริสเตอร์ลดลง

3.4 การระมัดระวังป้องกันไธริสเตอร์ขณะใช้งาน

ไธริสเตอร์เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถชำรุดได้เมื่อมีกระแสไหลมากเกินขนาด เมื่อมีแรงดันสูงเกินขนาด และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงชั่วครู่ในรูปแบบใดๆ เกิดขึ้น (ทั้งขนาดและอัตราการเปลี่ยนแปลง) เรามีวิธีระมัดระวังป้องกันหลายวิธีในวิธีเหล่านี้มีหลายวิธีที่เป็นวงจรยุ่งยากและมีราคาแพง วิธีการระมัดระวังป้องกันต่างๆ มีดังต่อไปนี้

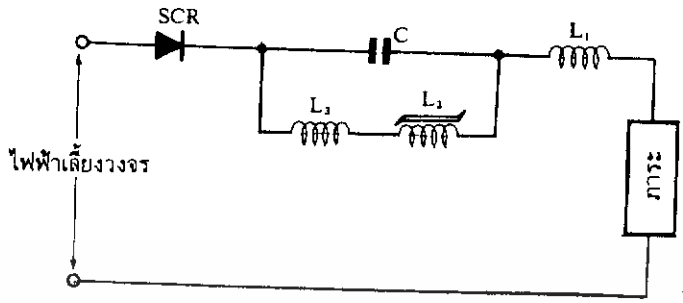
3.4.1 การป้องกันกระแสมากเกินขนาด เมื่อมีกระแสไหลมากเกินขนาด (overcurrent) หรือ กระแสฟอลต์ (fault current) เกิดขึ้น เราอาจระมัดระวังป้องกันไม่ให้ไธริสเตอร์ชำรุดเสียหายได้ด้วยวิธีการที่อยู่กับลักษณะของแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่เป็นแบบ "อ่อน" (soft) หรือที่เป็นแบบ "แข็งทื่อ" (stiff) คือ

1) แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบอ่อน จะมีอิมพีแดนซ์ต่ออนุกรมอยู่ ซึ่งอิมพีแดนซ์นี้อาจเป็นอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายไฟอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง หรือค่าเหนี่ยวนำและค่าความต้านทานของภาระโดยจะทำหน้าที่จำกัดอัตราการเพิ่มขึ้นของกระแสในระหว่างวงจร เกิดฟอลต์ (fault) ค่าของฟอลต์จะเสมือนหนึ่งเป็นการลัดวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าผ่านไธริสเตอร์ เราสามารถป้องกันได้สองวิธี คือ

(ก) คำนวณหาค่ากระแสฟอลต์ แล้วเลือกไธริสเตอร์ที่มีอัตรากระแสกระโชกให้สามารถทนต่อกระแสฟอลต์นี้ได้ วิธีการนี้เราต้องเลือกใช้ไธริสเตอร์ที่มีขนาดใหญ่กว่าอัตราภาระเต็มตามปกติแล้ว ไม่ต้องการวงจรป้องกันแบบอื่น เพื่อกำจัดกระแสฟอลต์อีก

(ข) ใช้วิธีเปิดวงจรฟอลต์ให้ขาดออกด้วยฟิวส์เบรกเกอร์ตัดวงจร (curcuit breaker) หรือสิ่งประดิษฐ์อื่นๆ ที่ใช้ในการตัดวงจร วิธีการนี้มีหลักการสำคัญอยู่ว่า เบรกเกอร์ต้องการเวลาในการทำงานหลายมิลลิวินาที ซึ่งไธริสเตอร์จะต้องสามารถแบกกระแสฟอลต์ในช่วงเวลานี้ได้ เพราะฉะนั้นเราสามารถใช้วิธีการนี้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีเรกูเลชันที่ดีเพื่อจำกัดกระแสอัตราการเพิ่มค่าเริ่มต้นของกระแสซึ่งโดยทั่วๆไป เรานิยมใช้วิธีการทางไฟฟ้า ให้วงจรมีอิมพีแดนซ์สูงขึ้นทันทีที่กระแสไหล เกินขนาดเกิดขึ้นโดยไม่ต้องใช้เบรกเกอร์จริงๆ เช่น อาศัยคุณสมบัติวงจรเรโซแนนซ์ (ที่ความถี่พื้นฐานของกระแสภาระ) เข้าต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ในช่วงของการทำงานตามปกติ C และ L_1 จะเข้าเรโซแนนซ์แบบอนุกรม ซึ่งทำให้อิมพีแดนซ์มีค่าศูนย์ต่อกระแสภาระและ L_2 ที่ต่อขนานอยู่เป็นตัวเหนี่ยวนำที่อิ่มตัวได้ แต่ในช่วงของการทำงาน ตามปกติ L_2 นี้ไม่อิ่มตัวจึงมีค่าอิมพีแดนซ์สูง ดังนั้นกระแสภาระไหลผ่านทาง CL_1 เท่านั้น ต่อเมื่อมีกระแสไหลเกินขนาดจะมีกระแสบางส่วนไหลผ่าน L_2 มากขึ้น ทำให้ L_2 เข้าอยู่ในสภาวะอิ่มตัวเป็นผลให้ L_2 มีอิมพีแดนซ์ต่ำทำให้ C และ L_3 เข้าเรโซแนนซ์แบบขนาน ซึ่งมีอิมพีแดนซ์สูงเข้าหาอินฟินิตี้ทำให้กระแสมีค่าลดต่ำลงเป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

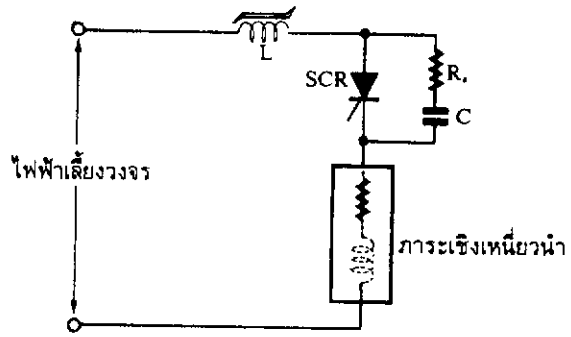


รูปที่ 3.7 วงจรป้องกันกระแสไหลเกินขนาดโดยอาศัยวงจรเรโซแนนซ์

2) แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบแข็งหื่อ เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ไม่อิมพีแดนซ์หรือมีอิมพีแดนซ์ ค่าน้อยมากต่ออนุกรมอยู่จึงเป็นผลให้มีอัตราการเพิ่มค่ากระแสเริ่มต้น (di/dt) สูงมาก ซึ่งจะไปทำอันตรายต่อไธริสเตอร์ วิธีการง่ายๆ คือใช้ตัวเหนี่ยวนำเข้าต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า (ซึ่งจะกลายเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าอ่อน) แต่วิธีการนี้จะทำให้เรกูเลชันไม่ดี ดังนั้นจึงต้องใช้ฟิวส์ เข้าตัดวงจร แต่เราไม่สามารถใช้ฟิวส์ ได้เสมอไป เพราะฟิวส์จะต้องมีความสามารถในการตัดกระแสได้สูงและรวดเร็วจึงมีราคาแพง เมื่อนำไปใช้ในวงจรกำลังต่ำก็ไม่มีประโยชน์เพราะว่าฟิวส์ที่ตัดด้วยความเร็วสูงมีราคาแพงกว่าไธริสเตอร์จึงควรหันไปใช้วิธีการอื่น

3.4.2 การป้องกันอัตราการเพิ่มค่าของกระแสแอโนด (di/dt) ในระหว่างที่ไธริสเตอร์กำลังเปิดกระแสจะมีกระแสแอโนดไหลเพิ่มค่าขึ้นด้วยอัตราเร็วสูง di/dt จะทำให้ไธริสเตอร์ชำรุดได้ จึงได้มีการระบุอัตรา di/dt ปกติจำกัดเอาไว้ เราสามารถป้องกันไม่ให้ di/dt มีค่าเกินกว่าอัตราปกติได้ด้วยการใช้ภาระที่มีค่าเหนี่ยวนำผสมอยู่ด้วย ใช้ตัวเหนี่ยวนำตัวเล็กๆ หรือใช้ตัวเหนี่ยวนำที่อิ่มตัวได้เข้าต่ออนุกรมกับสายไฟฟ้าเลี้ยงวงจร ถ้าเป็นตัวเหนี่ยวนำอิ่มตัวได้จะหน่วงอัตราการเพิ่มค่าของกระแสให้ช้าลงเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว ตัวเหนี่ยวนำจะอิ่มตัว และมีค่าอิมพีแดนซ์น้อยมาก หรือใช้ตัวเก็บประจุเข้าต่อคร่อมไธริสเตอร์จะช่วยแบ่งกระแส C.dv/dt เมื่อมีแรงดันเปลี่ยนแปลงให้ออกไปจากไธริสเตอร์ แต่เพื่อจำกัดไม่ให้มีกวัดแกว่งค่าเล็ก จึงให้ความต้านทานค่าเล็ก R_S ต่ออนุกรมไว้ด้วยดังแสดงในรูปที่ 3.8 เรียก R นี้ว่า "ตัวต้านทานเสิร์จ" (Surge resistor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 การป้องกันอัตราการเพิ่มค่าของกระแสแอโนด di/dt

3.4.3 การป้องกันแรงดันสูงเกินขนาด ถ้ามีแรงดันเกินขนาดทิศฟอร์เวิร์ดเข้าไธริสเตอร์ เมื่อแรงดันสูงถึงค่าแรงดันพังทะลุ (V_{BO}) ไธริสเตอร์จะเปิดนำกระแสถ่ายเทแรงดันสูงเกินขนาดไปสู่สภาวะอื่นหรือส่วนอื่นของวงจร จึงไม่มีอันตรายแต่จะมีการไหลแรงเกินขนาด เราอาจป้องกันได้ด้วยวิธีที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.4.1 สิ่งสำคัญนั้นถ้า แรงดันกลับสูงเกินกว่าค่าแรงดันกลับ V_{RRM} ป้อนเข้าไธริสเตอร์ ไธริสเตอร์จะ

ทนทานไม่ได้และต้องชำรุดในกรณีเช่นนี้เราสามารถป้องกันได้ด้วยการใช้ไดโอดที่สามารถแบกกระแสได้เท่าๆ กับ ไธริสเตอร์แต่ทนแรงดันกลับได้มากกว่าเข้าต่ออนุกรมกับไธริสเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.9 (ก) หรือ ใช้ไดโอดตัวเล็กกว่าเข้าต่อขนานกับไธริสเตอร์แต่กลับขั้วกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.9 (ข) เรียกไดโอดในรูปที่ 3.9 (ข) นี้ว่า "ไดโอดป้อนกลับ" (feedback diode) โดยไดโอดป้อนกลับนี้มีคุณสมบัติที่จะไปทำให้เวลาปิดกระแสของวงจรสั้นลง เนื่องจากมีแรงดันเหนี่ยวนำเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงกระแส (V = L. di/dt) ดังนั้น จะต้องติดตั้งไดโอดไว้ใกล้ไธริสเตอร์ให้มากที่สุดและเดินสายไฟฟ้าให้สั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้

รูปที่ 3.9 วงจรป้องกันแรงดันกลับทางสูงเกินขนาด
(ก) โดยใช้ไดโอดเข้าต่ออนุกรม
(ข) โดยใช้ไดโอดเข้าต่อขนานแต่กลับขั้วกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 การป้องกันแรงดันกระโชกหรือแรงดันเปลี่ยนแปลงชั่วครู่ แรงดันกระโชกหรือการเปลี่ยนแปลงแรงดันชั่วครู่จะทำให้ไธริสเตอร์เปิดกระแสด้วยวิธี dv/dt ซึ่งเป็นวิธีการที่เราไม่ต้องการและถือเป็นสิ่งรบกวนการเปิดไธริสเตอร์ให้นำกระแส เราต้องหาวิธีป้องกัน

แรงดันกระโชกและแรงดันเปลี่ยนแปลงชั่วครู่เกิดขึ้นในวงจรเนื่องจาก

(1) สับสวิตช์ทางขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงที่ใช้จ่ายไฟฟ้าเลี้ยงวงจร จะมีกระแสไหลพุ่งเข้าหม้อแปลงอย่างรวดเร็วทำให้เกิดการกวัดแกว่งขึ้น ในขดลวดทุติภูมิ เนื่องจากค่าเก็บประจุกระจายอยู่ระหว่างขดลวดและรีแอ็คแตนซ์รั่ว เป็นสาเหตุทำให้เกิดแรงดันมีค่าเป็นสองเท่าของค่าแรงดันเลี้ยงวงจร ช่วงสูงสุดคร่อมสิ่งประดิษฐ์

(2) การยกสวิตช์ทางขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง เป็นผลให้มีการลดค่าใช้จ่ายของฟลักซ์ลงอย่างรวดเร็วทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดทุติภูมิเป็นแรงดันเปลี่ยนแปลงชั่วครู่ ที่มีค่าใหญ่มาก

(3) การสับสวิตช์ทางขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงลดแรงดัน (step-down transformer) ค่าตัวเก็บประจุระหว่างขดลวดปฐมภูมิกับทุติยภูมิทำให้มีแรงดันเปลี่ยนแปลงชั่วครู่ ค่าใหญ่เกิดขึ้นทางขดลวดทุติยภูมิ

(4) การยกสวิตช์ทางด้านภาระหรือการตัดวงจร เนื่องจากเครื่องป้องกันกระแสเกินขนาดทำงานเป็นผลให้ค่าเหนี่ยวนำหรือรีแอ็คตีฟ ในภาระให้เกิดมีแรงดันเปลี่ยนแปลงชั่วครู่ L.di/dt ค่าใหญ่

(5) ผลของประจุค้างอยู่ในสารกึ่งตัวนำซึ่งจะมีมากในฟรีวีลลิงไดโอด และอินเวอร์เตอร์บางแบบ เนื่องจากประจุค้างจะไม่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชั่วครู่ แต่การที่กระแสนี้หยุดลงอย่างรวดเร็วเมื่อรอยต่อกลับฟื้นคืนตัวจะทำให้เกิดแรงดันยอดแหลม (spike) ที่เป็นอันตราย

(6) ฟ้าผ่าจะทำให้เกิดแรงดันสูงขึ้นในสายไฟฟ้าชั่วครู่มีค่าหลายกิโลโวลต์

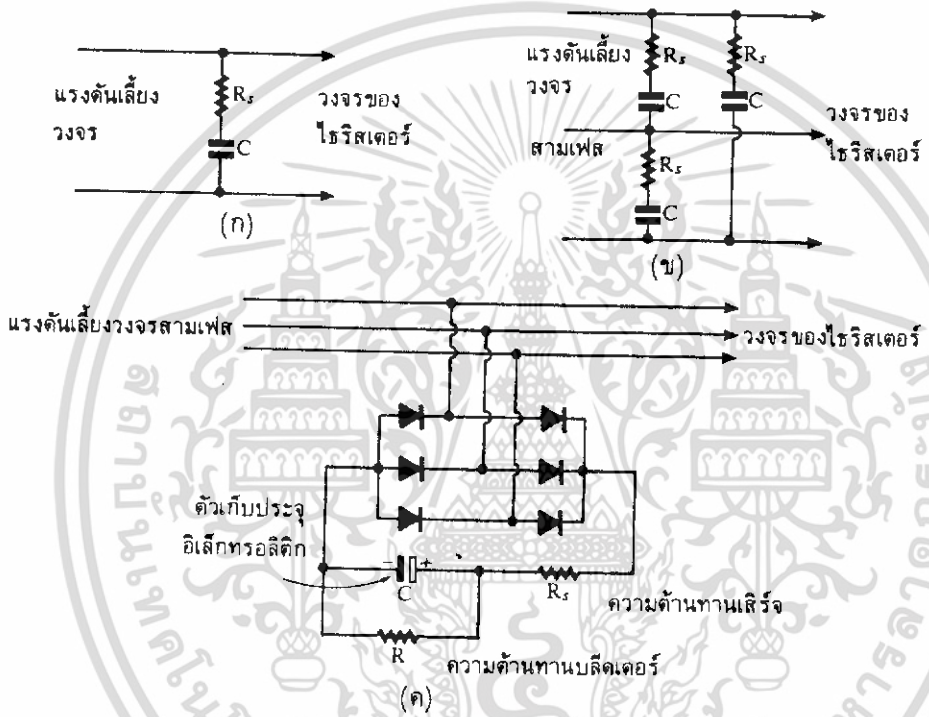
(7) แรงดันสูงเกินขนาดเนื่องจากภาระที่มีการป้องกันกลับค่าบวก เช่น แรงเคลื่อนไฟฟ้าโต้กลับ ทำให้เกิดมีแรงดันกลับสูงเกินขนาด

วิธีป้องกันที่ง่ายและมีราคาถูก คือใช้ RC เข้าต่อคร่อมสายไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 3.10 (ก) และถ้าเป็นสายไฟฟ้าแบบสามเฟสก็อาจต่อดังวงจรที่แสดงในรูปที่ 3.10 (ข) หรือรูปที่ 3.10 (ค) ซึ่งอาจเป็นวงจรที่ดีกว่าเพราะว่าสามารถใช้ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กทรอลิติก (electrolyticcapacitor) ที่มีขนาดเล็กลงได้ ตัวความต้านทานเสิร์จ (surge resistor) R_S จะป้องกันไม่ให้เกิดการกวัดแกว่งค่าเล็ก ตัวความต้านทานบลีดเดอร์ (bleeder resistor) มีความต้านทานค่าใหญ่ใช้ถ่ายประจุออกจากตัวเก็บประจุเมื่อวงจรถูกตัดไฟฟ้าเลี้ยงวงจรออกแทนที่เราจะใช้ RC ต่อคร่อมสายไฟฟ้าเลี้ยงวงจรเราอาจใช้ RC ต่อคร่อมเอสซีอาร์แต่ละตัวเหมือนกับที่ใช้ในรูปที่ 3.8 ซึ่งสำหรับกรณีนี้ได้เขียนแสดงไว้ในรูปที่ 3.11 (ก) เราเรียกวงจรนี้ว่า "วงจรสนับเบอร์" (snubber circuit) เพื่อที่วงจรสนับเบอร์จะทำงานได้ดีขึ้น เราอาจใช้ไดโอดฟื้นตัวกลับคืนเร็ว (fast recovery diode) D เข้าต่อขนานกับ R_S ดังแสดงในรูปที่ 3.11 (ข) เมื่อแรงดันกระโชกเข้ามา D จะเปิดกระแสเข้าประจุ C และ C จะทำหน้าที่คล้ายสปริงคือมีพฤติการณ์เหมือนกับมีการลัดวงจรเกิดขึ้น แรงดันของวงจรจะลดค่าลงพร้อมกันนั้น ก็เบี่ยงกลับไปที่ไธริสเตอร์ต่อเมื่อ C ได้รับประจุเต็มที่แล้วกระแสจะหยุดไหลผ่าน C และไปไหลผ่านไธริสเตอร์ทั้งหมด เมื่อ D ได้ฟื้นตัวกลับคืนแล้วกระแสที่ไหลผ่าน C นั้นจะไหลผ่าน R_S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

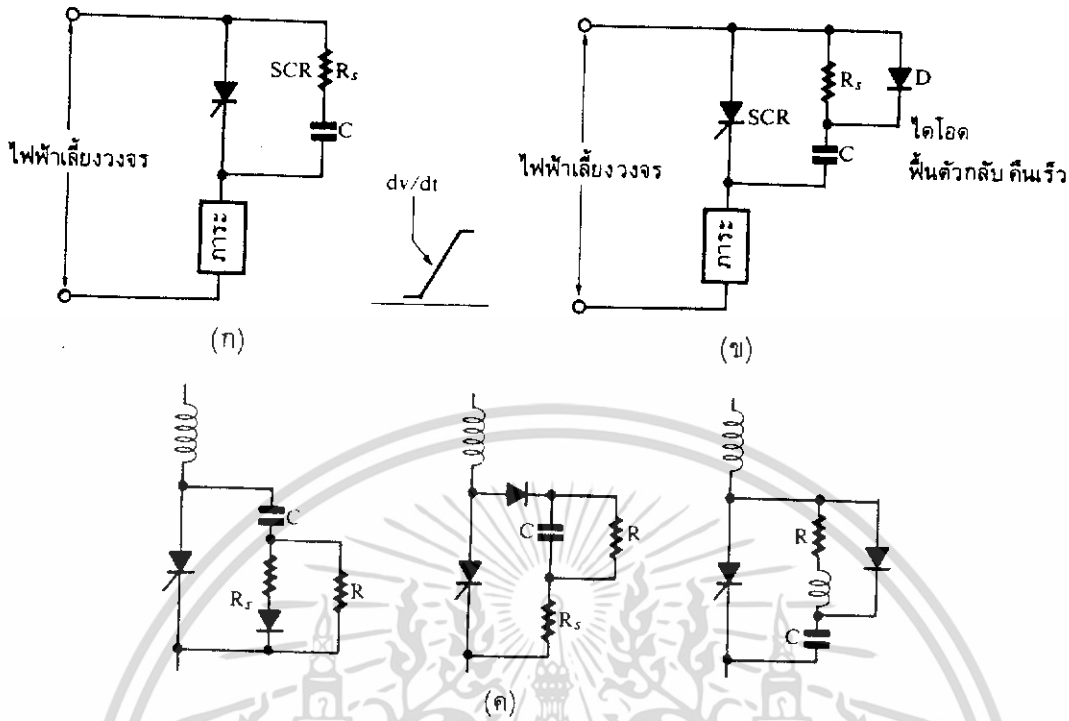
ด้วย และ R_S ทำหน้าที่ลดขนาดการกวัดแกว่งค่าเล็กที่เกิดขึ้นและจำกัดกระแสในช่วงไธริสเตอร์ เปิดกระแส ซึ่งในตอนเริ่มแรกของช่วงนี้ C จะถ่ายประจุออก และไหลผ่านไธริสเตอร์ ส่วน D ใช้ทำหน้าที่ลดการเปลี่ยนแปลงชั่วครู่ของพาหะที่ค้างอยู่ฟื้นตัว กลับคืน นอกจากนี้เราอาจต่อเป็นวงจรต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.11 (ค)

การเลือกใช้ค่า R_S และ C จะขึ้นอยู่กับการทดลองทำดูและเลือกเอาค่าที่ให้ผลดีที่สุดนอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับอัตรา di/dt และ dv/dt ที่ผู้ผลิตได้ระบุให้ไว้ เราต้องเลือกใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่มีค่าเหนี่ยวนำต่ำที่สุด ดังนั้น เราควร



รูปที่ 3.10 วงจรป้องกันแรงดันกระโชกสำหรับ (ก) สายไฟฟ้าเฟสเดี่ยว (ข) สายไฟฟ้าสามเฟส (ค) สายไฟฟ้าสามเฟสที่ใช้ในวงจร RC เดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 วงจรป้องกันแรงดันเปลี่ยนแปลงชั่วครู่ โดยใช้ (ก) วงจรสนับเบอร์ (ข) วงจรสนับเบอร์และไดโอดฟื้นตัวกลับคืนเร็ว (ค) วงจรอื่นๆ

เลือกใช้ตัวต้านทานที่ประดิษฐ์ขึ้นจากผงถ่านและเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่สามารถทำงานในย่านความถี่สูงได้ดี ถ้าหากเลือกใช้ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กทรอลิติกค่าสูงๆ จะมีค่ารีแอ็คแตนซ์เหนี่ยวนำมากที่ความถี่สูงเราต้องแก้ด้วยใช้ตัวเก็บประจุชนิดของความถี่สูงค่า 0.1 ถึง 1.0 ไมโครฟารัดเข้าต่อขนานการเดินสายจะต้องใช้สายสั้นๆ และติดตั้งไว้ใกล้ไธริสเตอร์ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

เราอาจคำนวณหาค่า C เริ่มต้นจากสูตรสำเร็จรูปดังนี้

$$C = \frac{10 I_F}{V} \qquad (3.12)$$

เมื่อ

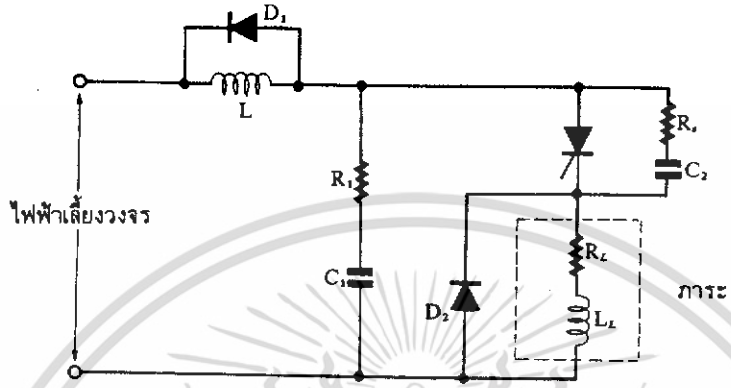
C เป็นค่าของตัวเก็บประจุ(ไมโครฟารัด)

I_F เป็นอัตรากระแสฟอร์เวิร์ดสูงสุดของไธริสเตอร์ (แอมแปร์)

V เป็นอัตราแรงดันกลับยอดสูงสุดของไธริสเตอร์ (โวลต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 แสดงการป้องกันไธริสเตอร์ต่างๆ รวมและใช้ฟรีวีลลิงไดโอด D เข้าช่วยถ่ายเทพลังงานแม่เหล็กที่เก็บไว้ในตัวเหนี่ยวนำให้สูญกระจายไปมิให้เข้าไปยุ่งเกี่ยวกับไธริสเตอร์โดยลดกระแสฟอร์เวิร์ดผ่านไธริสเตอร์ให้มีค่าน้อยกว่ากระแสยึดของไธริสเตอร์ด้วยการเบี่ยงเบนกระแสให้ไหล ไปในฟรีวีลลิงไดโอด

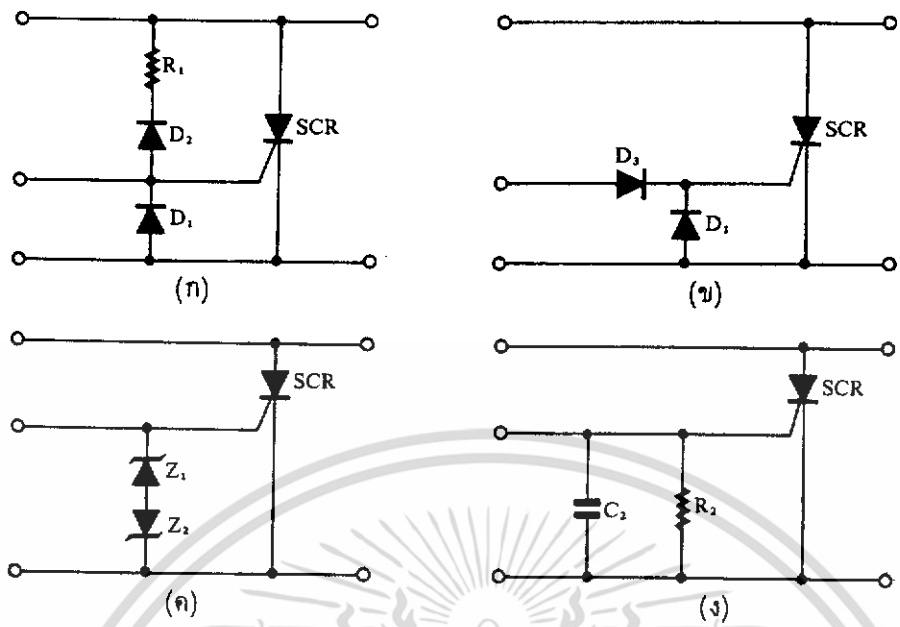


รูปที่ 3.12 วงจรรวมการป้องกันไธริสเตอร์และการใช้ฟรีวีลลิงไดโอด

3.4.5 การป้องกันเกตของไธริสเตอร์ เนื่องจากเกตของไธริสเตอร์สามารถทนทานต่อแรงดันและกำลังได้ต่ำ เมื่อมีแรงดันและกระแสเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในวงจรใกล้ๆ ไธริสเตอร์จะทำให้มีการเหนี่ยวนำที่เราไม่ต้องการ เกิดขึ้นในวงจรเกต เราจึงจำเป็นต้องเดินสายไฟฟ้าในวงจรเกตให้ดีด้วยการเดินสายไฟฟ้าให้ชิดกันและถ้าจะให้ดีควรปิดคู่ของสายไฟฟ้าให้เป็นเกลียวเพื่อสัญญาณเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากันและมีทิศตรงข้ามและจะได้หักล้างกันให้หมดไปและการชีลด์ (shielding) การต่อลงดิน (grounding) และการกรอง (filtering) เป็นสิ่งที่จำเป็นที่ควรทำ นอกจากนี้เรายังสามารถใช้วงจรบางอย่างเข้าช่วยป้องกันเกตของไธริสเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.13 โดยรูปที่ 3.13(ก) เป็นวงจรป้องกัน เมื่อเกตถูกเหนี่ยวนำให้มีศักย์เป็นบวกเมื่อเทียบกับแอโนด R_1 D_2 จะช่วยเบี่ยงเบนกระแสให้ไหลเลี่ยงไปจึงทำให้กำลังสูญกระจายกลับทางในเอสซีอาร์ ลดค่าลงและเนื่องจากเกตไม่ควรมีศักย์เป็นลบเทียบกับแคโทดให้มากกว่าจำนวนจำกัดอันหนึ่ง (ซึ่งเอสซีอาร์บางเบอร์ทนทานได้ 5 โวลต์ 6 โวลต์ หรือ 10 โวลต์ ควรตรวจสอบให้แน่นอนจากสมุดคู่มือ) ไดโอด D_1 จะช่วยยึดค่าแรงดันตกคร่อมแคโทดให้มีค่าประมาณ 1 โวลต์ เมื่อเกตมีศักย์เป็นลบเทียบกับแคโทด

รูปที่ 3.13 (ข) D_1 และ D_2 จะช่วยทำให้แน่ใจว่าเกตจะได้รับสัญญาณบวกเทียบกับแคโทดเสมอ และซีเนอร์ไดโอด Z_1 และ Z_2 ในรูปที่ 3.13 (ค) จะช่วยป้องกัน แรงดันบวกหรือลบเกินขนาดเข้าถึงเกต ซึ่งวงจรนี้จะเป็นประโยชน์เมื่อใช้สัญญาณเอซีเข้าจุดชนวนที่เกต ส่วนรูปที่ 3.13 (ง) ตัวเก็บประจุ C_1 จะใช้กับวงจรเอสซีอาร์กำลังต่ำเมื่อใช้สัญญาณดีซีเข้าจุดชนวนเท่านั้น โดย C_1 จะทำหน้าที่ป้องกันแรงดันเปลี่ยนแปลงชั่วครู่ในสายไฟฟ้า ตัวต้านทาน R_1 ใช้จำกัดค่า dv/dt ระหว่างเกตกับแคโทดและแบ่งกระแสไม่ให้ไหลเข้าเกตมากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 วงจรป้องกันเกตของเอสซีอาร์

(ก) เมื่อเกตเป็นบวกเทียบกับแอโนด (ข) เมื่อเกตเป็นลบเทียบกับแคโทด

(ค) เมื่อใช้สัญญาณเอซีเข้าจุดฉนวน (ง) เมื่อใช้สัญญาณดีซีเข้าจุดชนวนเอสซีอาร์

3.5 วงจรจุดชนวนด้วยพัลส์

ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2 แล้วว่า สัญญาณที่ใช้จุดชนวนที่ดีควรเป็นพัลส์ที่มีช่วงสั้นๆ มีความสูงมาก และสันหน้าจะต้องชัน สัญญาณนี้จะทำให้กำลังสูญกระจายของเกตมีค่าลดลงกว่าสองวิธีที่กล่าวแล้วข้างบน และยังมีข้อดีที่ยิ่งใหญ่กว่าวิธีจุดชนวนด้วยไฟฟ้าดีซีอยู่ที่สามารถใช้หม้อแปลงเข้าต่อในวงจรเกตทำให้เราสามารถแยกวงจรเกตออกจากวงจรของแหล่งสัญญาณที่ใช้ควบคุมเกต เป็นผลให้เราสามารถควบคุมเกตได้อย่างอิสระ และง่าย

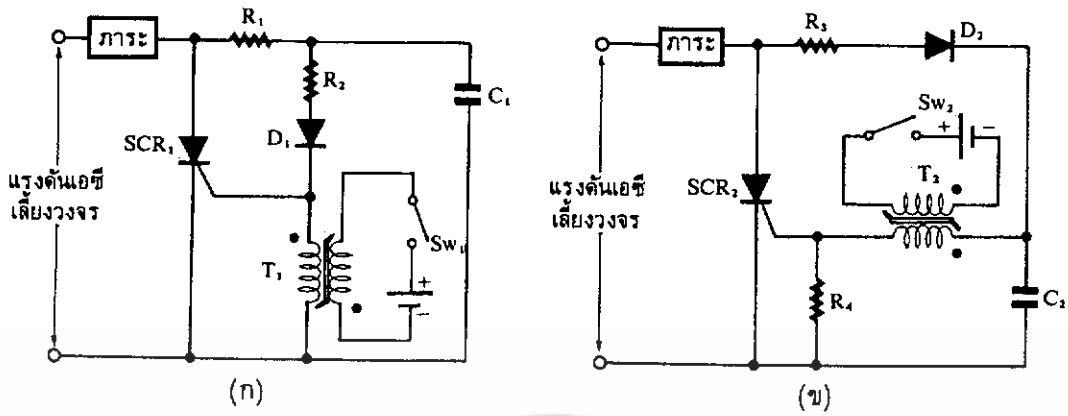
สามารถแบ่งวงจรออกเป็นสองพวกใหญ่ๆ คือ

-วิธีจุดชนวนด้วยพัลส์เดี่ยว (หรือ จุดชนวนด้วยการปิดเปิดพัลส์ง่ายๆ)

-วิธีจุดชนวนด้วยขบวนพัลส์ (หรือ จุดชนวนด้วยเครื่องกำเนิดพัลส์แบบต่างๆ)

(ก) วิธีจุดชนวนด้วยพัลส์เดี่ยว โดยการใช้หม้อแปลงที่มีแกนสามารถอิ่มตัวได้ (saturable core transformer) เข้ามาช่วยดังแสดงในรูปที่ 3.14 สวิตช์ SW ที่เห็นอยู่ในรูปอาจเป็นวงจรมัลติไวเบรเตอร์ แบบเสถียรหนึ่งสถานะ (monostable multivibrator) ซึ่งสร้างขึ้นจาก ทรานซิสเตอร์ยูเจที (UJT = unijunction transistor) หรือ อาจเป็นวงจรไทม์เมอร์ (timer) 555 ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 วงจรจุดชนวนครึ่งคลื่นที่ใช้หม้อแปลงที่มีแกนสามารถอิ่มตัวได้เข้าต่อ

(ก) แบบอนุกรม

(ข) แบบขนาน

ในรูปที่ 3.14 (ก) ใช้ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงที่สามารถอิ่มตัวได้ T_1 ต่อขนานกับเกตของเอสซีอาร์ เริ่มต้นหม้อแปลง T_1 ไม่อิ่มตัว กระแสไหลผ่าน R_1,R_2 และ D_1 เข้าสู่เกตของเอสซีอาร์ในช่วงแรกของครึ่งวัฏจักรบวก เป็นผลทำให้เอสซีอาร์เปิดกระแสถ้าหม้อแปลง T_1 อิ่มตัวขดลวดของหม้อแปลง T_1 นี้มีอิมพีแดนซ์ ต่ำกระแสที่เคยไหลผ่านเกตจะเปลี่ยนทางเดินมาไหลผ่านขดลวดของหมื้อแปลง T_1 แทน ซึ่งเท่ากับปลดเอาสัญญาณจุดชนวนออกจากเกตทำให้เราสามารถตั้งต้นเตรียมการเปิดกระแสเอสซีอาร์ได้ใหม่เมื่อครึ่งวัฏจักรลบมาถึง แล้วเราจะสามารถจุดชนวนได้ด้วยการป้อนแรงดันบวกเข้าทางขดลวดปฐมภูมิ ของหม้อแปลงหรือปิดสวิตช์ SW_1 ลง ตัวเก็บประจุ C ใช้เป็นเครื่องกรองคลื่นที่จะมารบกวนสัญญาณเกต ซึ่งเป็นสาเหตุเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงชั่วครู่ที่รวดเร็วมาก (fast transient) ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเอซีในรูป 3.18 (ข) ใช้ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงที่สามารถอิ่มตัวได้ T_2 ต่อ อนุกรมกับตัวเก็บประจุ C_2 และเกตของเอสซีอาร์ ในตอนเริ่มแรกของครึ่งวัฏจักรบวก T_2 ยังไม่อิ่มตัวกระแสไหลผ่าน R_3 และ D_2 แล้วประจุเข้า C_2 เมื่อครึ่งวัฏจักรบวกผ่านไปสอง-สาม องศา T_2 จะเข้าอยู่ในสภาวะอิ่มตัวเป็นผลให้ C_2 ถ่ายประจุเข้าเกตของเอสซีอาร์ อย่างรวดเร็ว เป็นสาเหตุให้ไธริสเตอร์นำกระแส ถ้าตอนเริ่มต้นของครึ่งวัฏจักรบวก T_2 อิ่มตัว กระแสจะไม่ไหลเข้าประจุ C_2 แต่จะไหลผ่านขดลวดทุติยภูมิของ T_2 ผ่านเข้าเกต และความต้านทาน R_4 โดย R_4 นี้จะป้องกันไม่ให้แรงดันเกตมีค่าสูงเกินกว่าค่าสูงสุดของ แรงดันคร่อมเกต ดังนั้นเอสซีอาร์จะไม่เปิดกระแส เมื่อ T_2 อิ่มตัวแล้วก็เป็นการตั้งต้นใหม่ เตรียมพร้อมสำหรับการจุดชนวนต่อไปด้วยการป้อนแรงดันบวกเข้าทางขั้วอินพุตหรือ ปิด SW_1 ลง

(ข) วิธีจุดชนวนด้วยขบวนพัลส์ โดยการใช้เครื่องกำเนิดพัลส์ ซึ่งอาจเป็นวงจร กวัดแกว่งรีแล็กเซชัน (relaxation oscillator) วงจรฟลิป-ฟลอป (flip-flop) วงจรมัลติไวเบรเตอร์แบบเสถียร (astable multivibrator) เป็นต้น ดังวงจรในรูปที่ 3.15 (ก) ซึ่งเป็นวงจรที่ใช้หม้อแปลงพัลส์ที่มีขดลวดสองขดอัตราส่วน 1: 1 เข้าต่อระหว่างเกตกับแคโทด ของไธริสเตอร์ หรืออาจมีความต้านทาน R ต่ออนุกรม เพื่อลดกระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

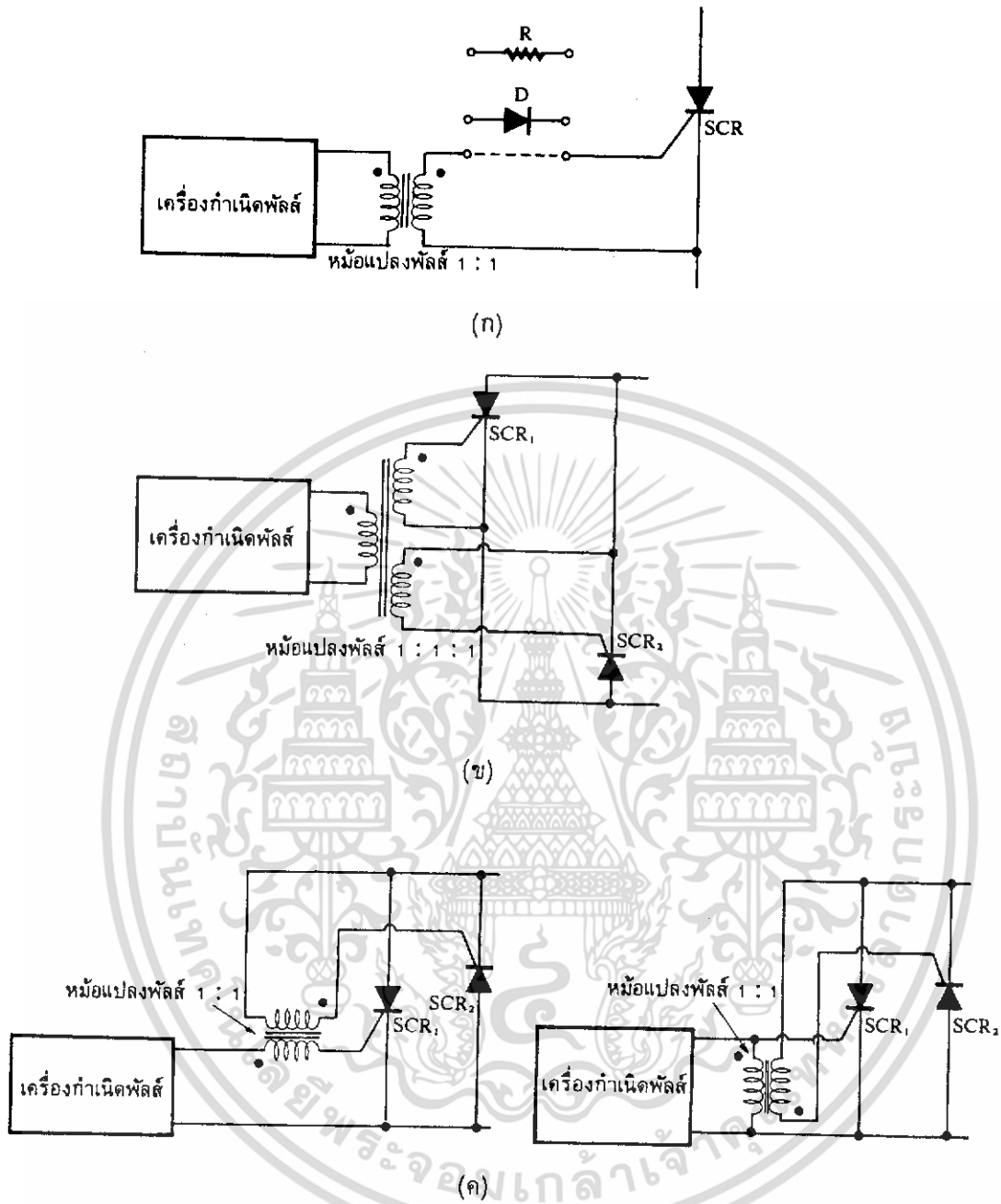
แสเกตให้เท่ากันเมื่อใช้หม้อแปลงสามขดลวด 1:1:1 ต่อเข้ากับเกตของไธริสเตอร์สองตัว หรืออาจใช้ไดโอด D เข้าต่ออนุกรมเพื่อป้องกัน การไหลกลับของกระแสเกตในกรณีที่มีการเกิดการกวัดแกว่งเล็กๆ หรือ ริงกิง (ringing) เข้าแทรกหรือเมื่อมีพัลส์กลับทางเกิดขึ้นที่เอาต์พุตของหม้อแปลง ในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนสูง เราอาจจำเป็นต้องต่อความต้านทานเป็นภาระของขดลวดทุติยภูมิเพื่อป้องกันการจุดชนวน ผิดพลาด รูปที่ 3.15 (ข) และ (ค) เป็นวงจรที่ใช้ในการจุดชนวนเอสซีอาร์สองตัวแบบต่างๆ

ขอให้สังเกตว่า วงจรข้างต้นนี้ต้องใช้หม้อแปลงพัลส์ที่มีคุณสมบัติข้างล่างนี้

(1) ต้องพันขดลวดให้มีจำนวนมากเพื่อที่ค่าเหนี่ยวนำมีค่าสูงซึ่งจะไปทำให้กระแสทำให้เป็นแม่เหล็ก (magnetizing current) มีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับกระแสพัลส์ใน ระหว่างที่มีพัลส์เข้ามา

(2) เนื่องจากพัลส์มีทิศทางเดียว อาจทำให้แกนของหม้อแปลงอิ่มตัว เราจำเป็นต้องทำให้แกนของหม้อแปลงมีช่องอากาศ (air gap) เพื่อป้องกันไม่ให้หม้อแปลงอิ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แผนผังการใช้เครื่องกำเนิดพัลส์เข้าจุดชนวนเอสซีอาร์

(ก) โดยจุดชนวน SCR 1 ตัว ผ่านหม้อแปลง สอง ขด

(ข) โดยจุดชนวน SCR 2 ตัว ผ่านหม้อแปลง สาม ขด

(ค) โดยจุดชนวน SCR 2 ตัว ผ่านหม้อแปลง สอง ขด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) สำหรับหม้อแปลงที่ใช้จุดชนวนไธริสเตอร์ตัวเดียว ควรมีคับปลิงแน่น (tight-coupling) ระหว่างขดลวดปฐมภูมิกับขดทุติยภูมิ สำหรับหม้อแปลงที่ใช้จุดชนวนไธริสเตอร์หลายตัวควรมีรีแอ็คแตนซ์รั่ว (leakage reactance) ตามมาตรฐานที่ระบุเพื่อที่จะช่วยแบ่งกระแสให้เท่ากัน

(4) ตามปกติค่าเก็บประจุระหว่างขดลวดต่างๆ ไม่มีความสำคัญ แต่อาจกลายเป็นทางเดินของสัญญาณความถี่สูงที่เราไม่ต้องการ

การทดสอบหม้อแปลงพัลส์จะทำได้ด้วยการป้อนสัญญาณพัลส์เข้าตัวความต้านทานขนาด 20 โอห์ม แล้วนำตัวความต้านทานนี้เข้าต่อ กับขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงพัลส์เมื่อป้อนสัญญาณพัลส์อย่างเดียวกันผ่านเข้าทางขดลวดปฐมภูมิ ให้เราตรวจรูปคลื่นของพัลส์คร่อมตัวความต้านทานทั้งสองกรณี ถ้าพบว่ามีรูปคลื่นอย่างเดียวกันแสดงว่าหม้อแปลงพัลส์นั้นมีคุณสมบัติดีมากสามารถนำมาใช้ได้ การสูญหายของสัญญาณอาจมีบ้างให้เราชดเชยด้วยการเพิ่มขนาดพัลส์จากเครื่องกำเนิดพัลส์

3.6 การควบคุมการเรียงกระแสเฟสเดี่ยว

เราสามารถควบคุมกระแสได้ด้วยวิธี "ควบคุมเฟส" (phase control) ซึ่งเป็นวิธีการทำให้มีการเรียงกระแสในช่วงมุมต่างๆ ของวัฏจักรกำลัง (power cycle) หรือเป็นกระบวนการที่ปิด-เปิดไฟฟ้าเอซีเลี้ยงวงจรไปสู่ภาระด้วยกระแสที่แปรค่าตามแต่จะต้องการ โดยบังคับให้มีการนำกระแสเพียงส่วนหนึ่งของวัฏจักร วิธีการนี้เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมกำลังเฉลี่ยป้อนเข้าสู่ภาระ เช่น หลอดไฟฟ้า ขดลวดความร้อน มอเตอร์ ไฟฟ้าดีซีเลี้ยงวงจร ฯลฯ การควบคุมจะทำได้ด้วยการควบคุมมุมเฟสของคลื่นเอซีที่ไธริสเตอร์ เปิดกระแสให้ไหลผ่านในช่วงที่เหลืออยู่ของวัฏจักร และอาจปิดกระแสเมื่อครึ่งวัฏจักรลบได้มาถึง ซึ่งเป็นวิธีการหยุดไหลตามธรรมชาติที่เรียกว่า "การทำให้กระแสหยุดไหลด้วยแรงดันของสายไฟฟ้า"

โดยการใช้ไธริสเตอร์เป็นสิ่งประดิษฐ์ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ เรามีการควบคุมเฟสเบื้องต้นหลายรูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.16 ซึ่งมีภาระเป็นความต้านทาน หรือเป็นตัวเหนี่ยวนำที่มีฟรีวีลลิงไดโอดต่อคร่อม โดยมีการควบคุมการเรียงกระแสขึ้นกับช่วงคลื่น คือ

(1) ควบคุมในช่วงครึ่งคลื่น (controlled half-wave) ดังแสดงในรูปที่ 3.16 (ก)

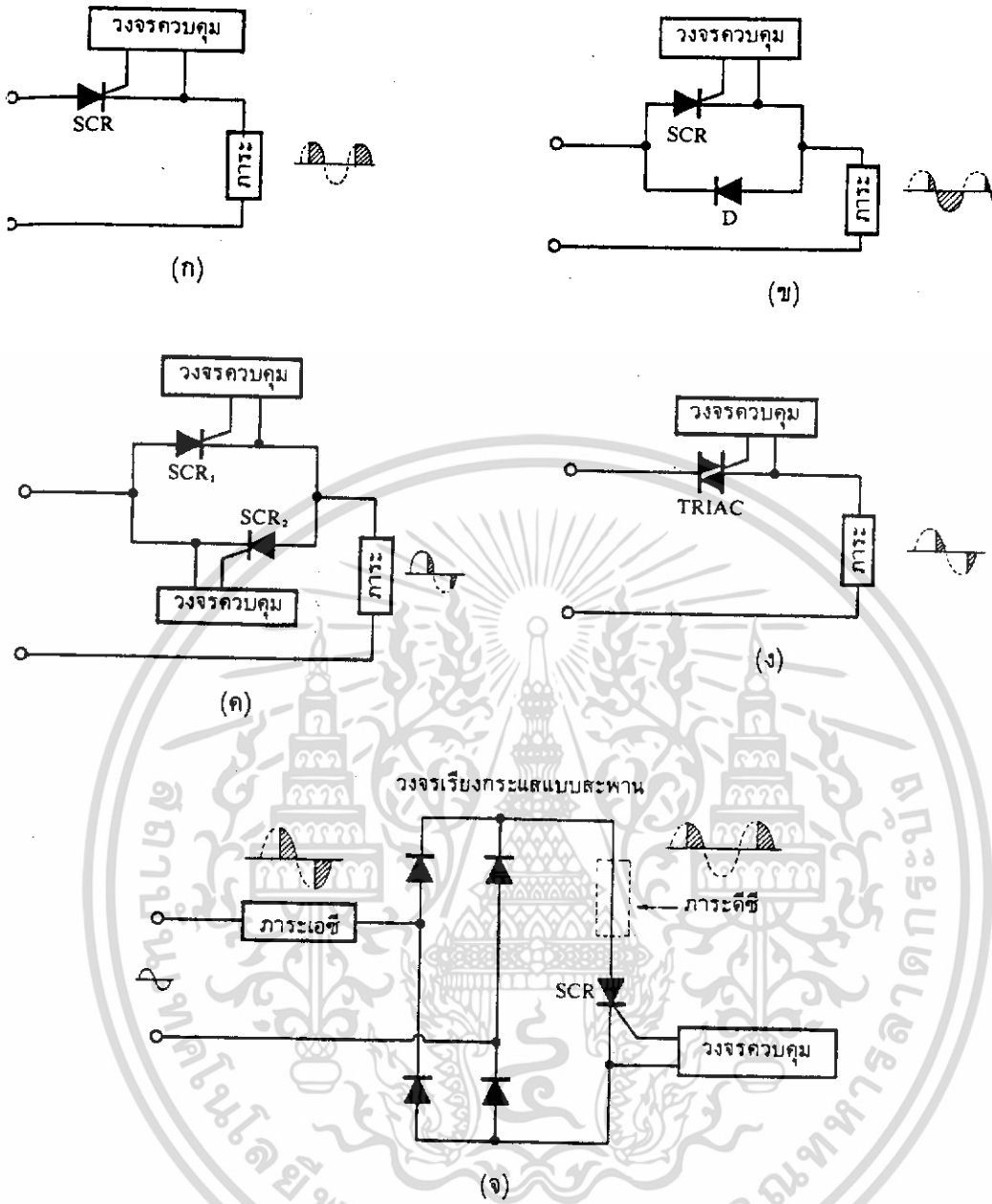
(2) ควบคุมในช่วงครึ่งคลื่นผสมกับครึ่งคลื่นคงที่ (controlled half-wave plus fixed half-wave) ดังแสดงในรูปที่ 3.16 (ข)

(3) ควบคุมเต็มคลื่น (controlled full-wave) ดังแสดงในรูปที่ 3.16 (ค) โดยใช้เอสซีอาร์สองตัวขนานกันแต่กลับขั้วกัน และรูปที่ 3.16 (ง) โดยใช้ไตรแอ็ค

(4) ควบคุมเต็มคลื่นสำหรับภาระเอซี หรือ ภาระดีซี (controlled full-wave for ac or dc load) ดังแสดงในรูปที่ 3.16 (จ)

นอกจากนี้ ยังมีการเรียงกระแสที่ถูกควบคุมสำหรับวงจรสามเฟสและหกเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 วงจรเบื้องต้น ของการควบคุมเฟสเอซี

(ก) การควบคุมในช่วงครึ่งคลื่น

(ข) ควบคุมในช่วงครึ่งคลื่นผสมกับครึ่งคลื่นคงที่

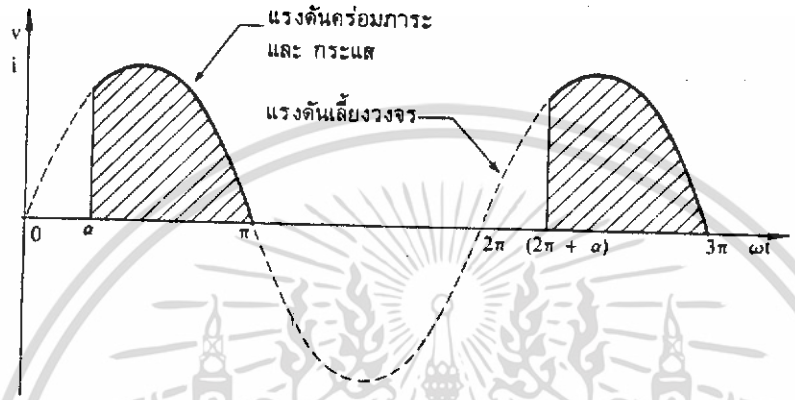
(ค) ควบคุมเต็มคลื่นโดยใช้เอสซีอาร์

(ง) ควบคุมเต็มคลื่นโดยใช้ไตรแอ็ค

(จ) ควบคุมเต็มคลื่นสำหรับภาระเอซีหรือภาระดีซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.1 การควบคุมในช่วงครึ่งคลื่น วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดใช้ควบคุมกระแสที่ไหลทิศทางเดียว เหมาะสมกับภาระดีซีที่มีวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.16 (ก) ซึ่งอาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า การควบคุมการเรียงกระแสครึ่งคลื่น โดยมีมุมจุดชนวน จาก 0° ถึง 180° ถ้าวงจรในรูปที่ 3.16 (ก) มีภาระเป็นความต้านทานล้วนๆ จะมีรูปคลื่นของแรงดันคร่อมภาระและกระแส ดังแสดงในรูปที่ 3.17



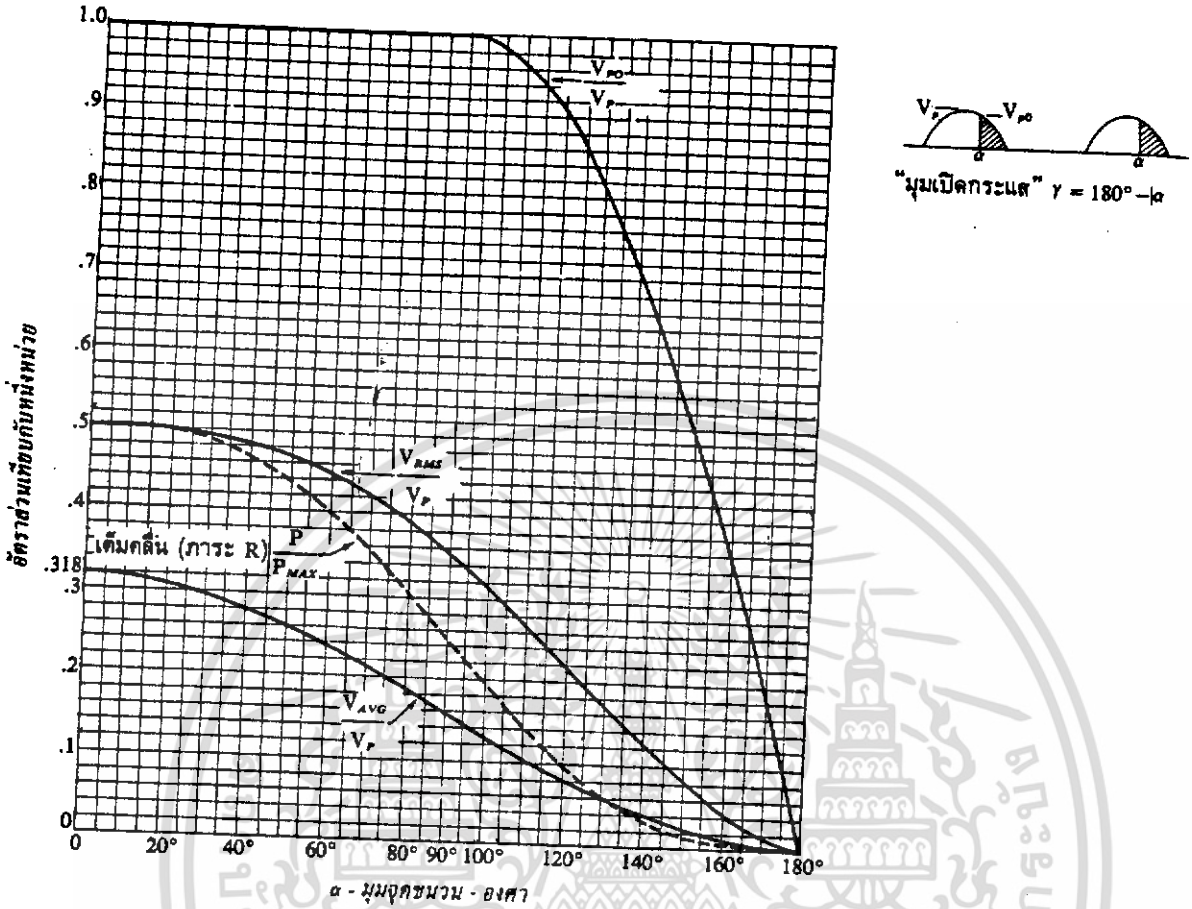
รูปที่ 3.17 รูปคลื่นของแรงดันและกระแสของภาระที่เป็นความต้านทาน
ของวงจรรูปที่ 3.16 (ก) สำหรับการควบคุมในช่วงครึ่งคลื่น

เราสามารถคำนวณหาค่าแรงดันเฉลี่ยของแบบควบคุมในช่วงครึ่งคลื่นได้ค่าดังนี้

$$AVG = \frac{A_O}{2} = \frac{2^{1/2} V(1+COS\alpha)}{2\pi} = \frac{V_p}{2\pi}(1+COS\alpha) \quad (3.13)$$

โดยเราอาจเขียนรูปแสดงความสัมพันธ์ของ แรงดันค่าเฉลี่ย แรงดันค่าอาร์เอ็มเอส แรงดันค่ายอดสูงสุด และกำลังของภาระความต้านทาน ซึ่งต่างเป็นฟังก์ชันกับมุมจุดชนวน ดังแสดงในรูปที่ 3.18

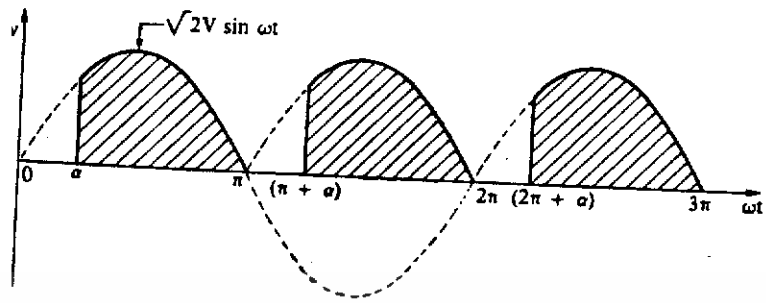
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 เส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันค่าเฉลี่ย ค่าอาร์เอ็มเอส ค่ายอดสูงสุด และกำลัง (กรณีที่มีภาระเป็นความต้านทาน) เป็นฟังก์ชันกับมุมจุดชนวน สำหรับการควบคุมในช่วงครึ่งคลื่น

3.6.2 การควบคุมการเรียงกระแสเต็มคลื่น วงจรเบื้องต้นของกรณีนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.16 (จ) ซึ่งเป็นวงจรที่มีการควบคุมกระแสไหลเข้าภาระดีซีโดยกระทำเต็มช่วงคลื่น ซึ่งมุมจุดชนวน มีค่ามุมเปลี่ยนจาก 0° ถึง 180° และให้รูปคลื่นของแรงดันคร่อมภาระดังแสดงในรูปที่ 3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 รูปคลื่นของแรงดันคร่อมภาระสำหรับการควบคุมการเรียงกระแสเต็มคลื่น

สามารถคำนวณหาค่าแรงดันเฉลี่ย ได้ดังนี้

$$_{avg} = \frac{V_P(1+COS\alpha)}{\pi} \qquad (3.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทำงานของวงจรควบคุม
CONTROLED CIRCUIT OPERATION

การทำงานของวงจรนี้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

4.1 การทำงานของวงจรควบคุม MOTOR

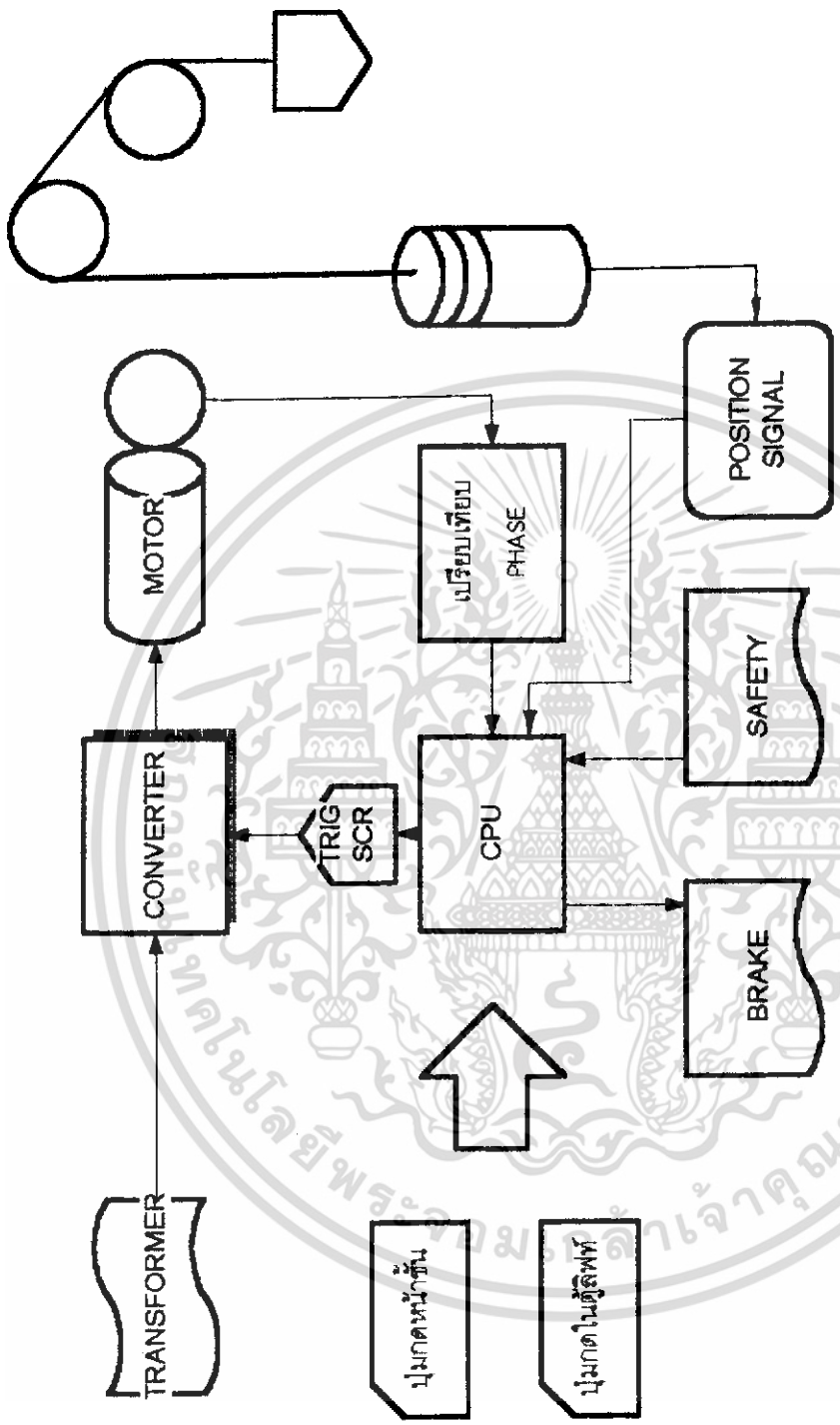
วงจรนี้ ทำหน้าที่ เป็นวงจร phase control เพื่อจ่ายแรงดัน ให้ DC motor ซึ่งการปรับเปลี่ยนแรงดัน เพื่อให้การทำงานของ ลิฟท์มีความนุ่มนวลนั้น จะอาศัยแรงดัน DC จากภายนอก การทำงานของวงจรเริ่มต้นจาก รับสัญญาณไฟฟ้า AC 220 volt มาเข้าวงจร zero crossing ซึ่งก่อนที่สัญญาณ AC นี้ จะเข้าไปยังวงจรนี้นั้น จะถูกทำให้รูปคลื่นเปลี่ยนไปโดยอาศัย สัญญาณ DC เข้ามาซึ่งสัญญาณ DC นี้จะรับมาจากวงจร digital to analog convertor ซึ่งเป็น IC เบอร์ DAC 0808 ต่อร่วมกับ IC เบอร์ 741 และ เบอร์ 351 เพื่อขยายให้มี gain ตามที่ต้องการ IC DAC 0808 นี้จะถูกควบคุมโดยสัญญาณ digital 4 bit จาก CPU อีกต่อหนึ่ง สัญญาณที่ออกมาจากวงจร zero crossing นี้ จะมีลักษณะของ pule ที่มีคาบความกว้างของ pule เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณ DC ที่เข้ามา สัญญาณ pule O/P ของวงจรนี้ จะถูกทำให้ pule เป็นซีกบวกโดย diode เบอร์ 1N914

หลังจากนี้สัญญาณ pule ชุดนี้จะถูกควบคุมโดยวงจรกำหนดทิศทาง ของ motor ที่ถูกกำหนดโดยวงจน set direction ซึ่งถูกนำมาจาก CPU อีกครั้งหนึ่ง โดยสัญญาณ direction จะถูกนำมา nand กับสัญญาณ pule และ O/P ของ nand gate ถูกนำไปขับ IC analog switch เพื่อ switch เอาสัญญาณ pule ความถี่ประมาณ 10 KHz จาก IC เบอร์ 741 ซึ่งทำหน้าที่เป็น oscilator สาเหตุที่ต้องใช้ pule ความถี่สูงนี้ก็เพราะว่า เพื่อให้การ coupling ผ่านหม้อแปลงมีกำลังสูงที่สุด สัญญาณนี้ได้จาก analog switch จะมีอยู่ทั้งหมด 4 เส้น คือ A+,A-,B+,B-

สัญญาณ A- และ A+ จะนำไป trig SCR ทั้งซีกบวกและซีกลบ ในช่วง Forward และสัญญาณ B- และ B+ จะทำหน้าที่ trig SCR ซีกบวกและซีกลบ ในช่วง reverse สัญญาณแต่ละชุดจะถูกป้อนเข้าชุด drive ซึ่งเป็น transistor PNP และ NPN ทำหน้าที่ขับสัญญาณออกทางหม้อแปลง เพื่อส่งเข้าไปยังชุด bridge controls ซึ่งเป็น SCR จำนวน 8 ตัว ใช้ในช่วง forward จำนวน 4 ตัว และช่วง reverse 4 ตัว วงจร bridge controls นี้จะถูกป้อนสัญญาณ I/P เป็น AC 110 V และมี O/P ไปยัง motor

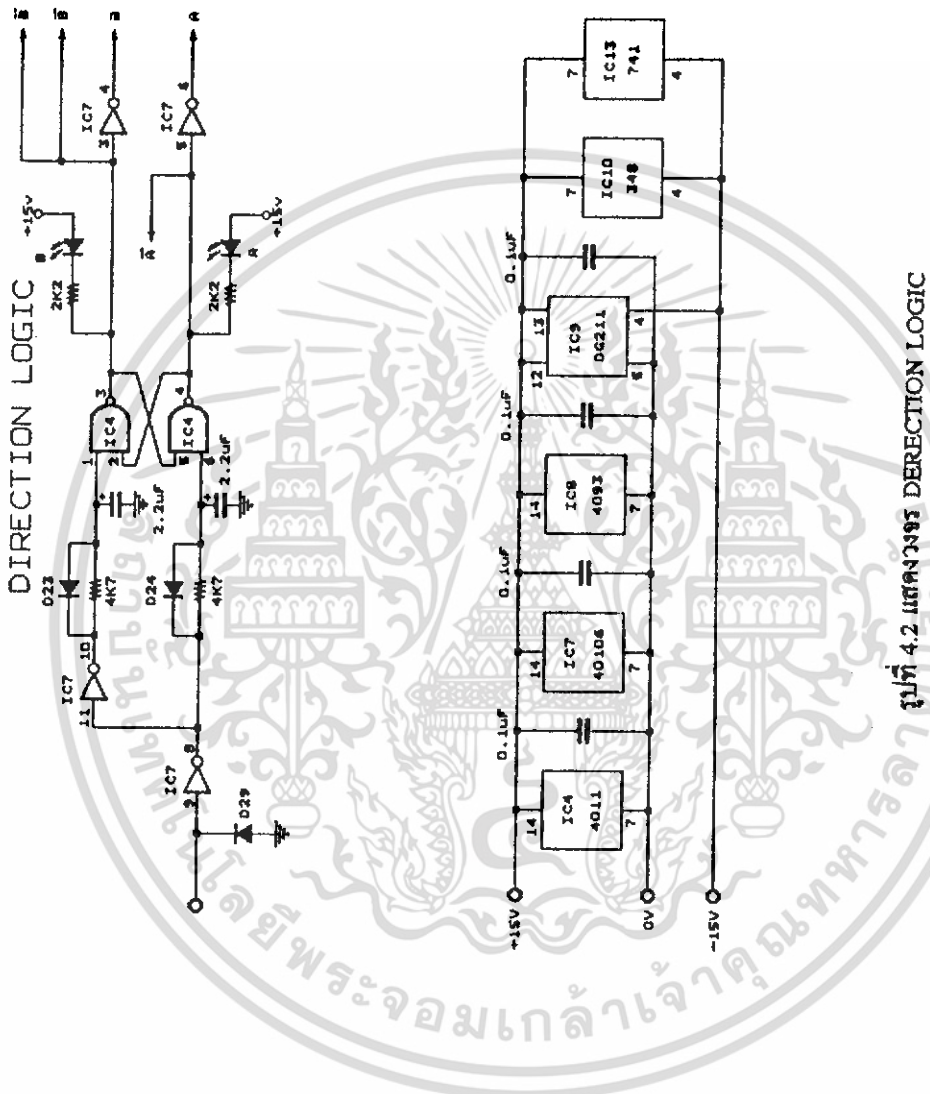
ส่วนสัญญาณ ตามจุดต่างๆ ของวงจร และการออกแบบแผ่น PCB แสดงดังรูป 4.1-4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



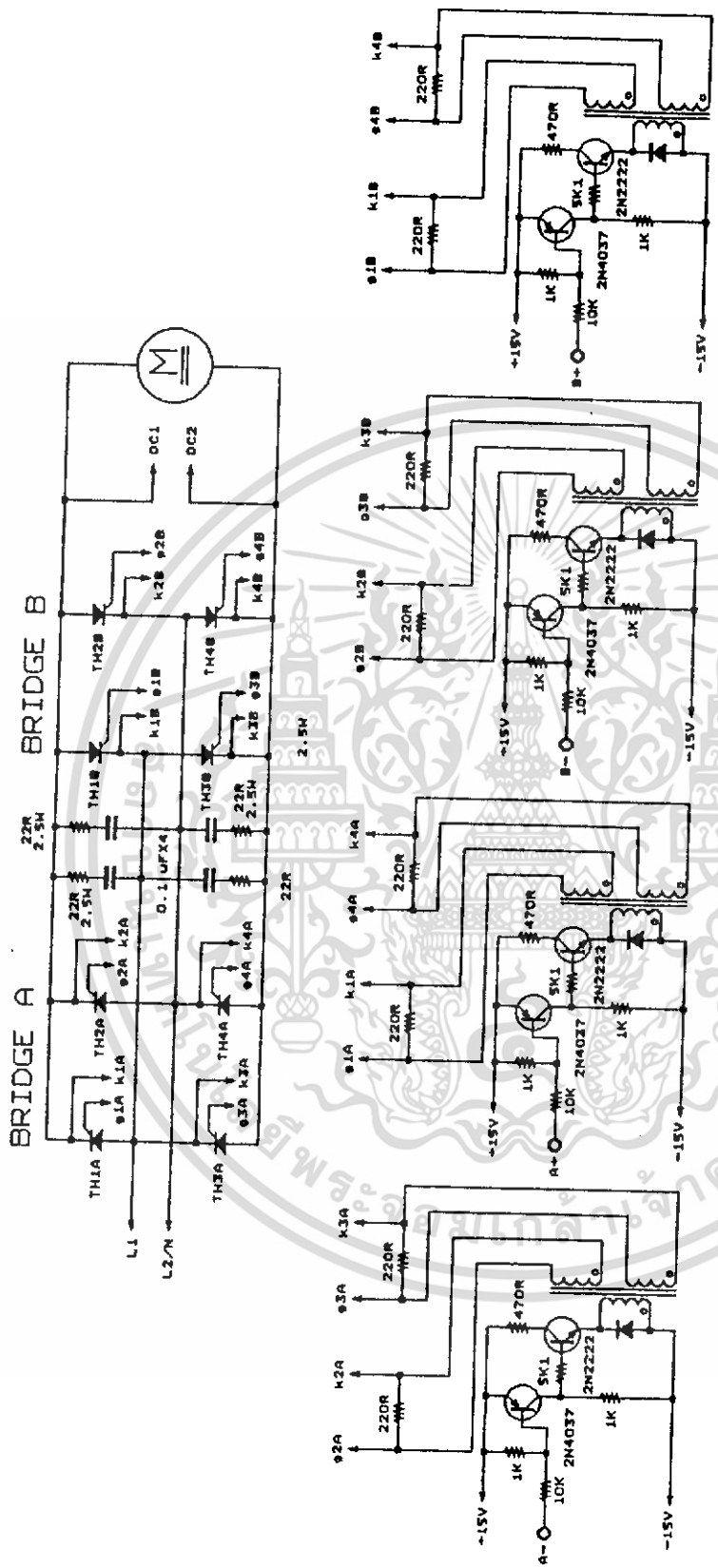
รูปที่ 4.1 BLOCK DIAGRAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



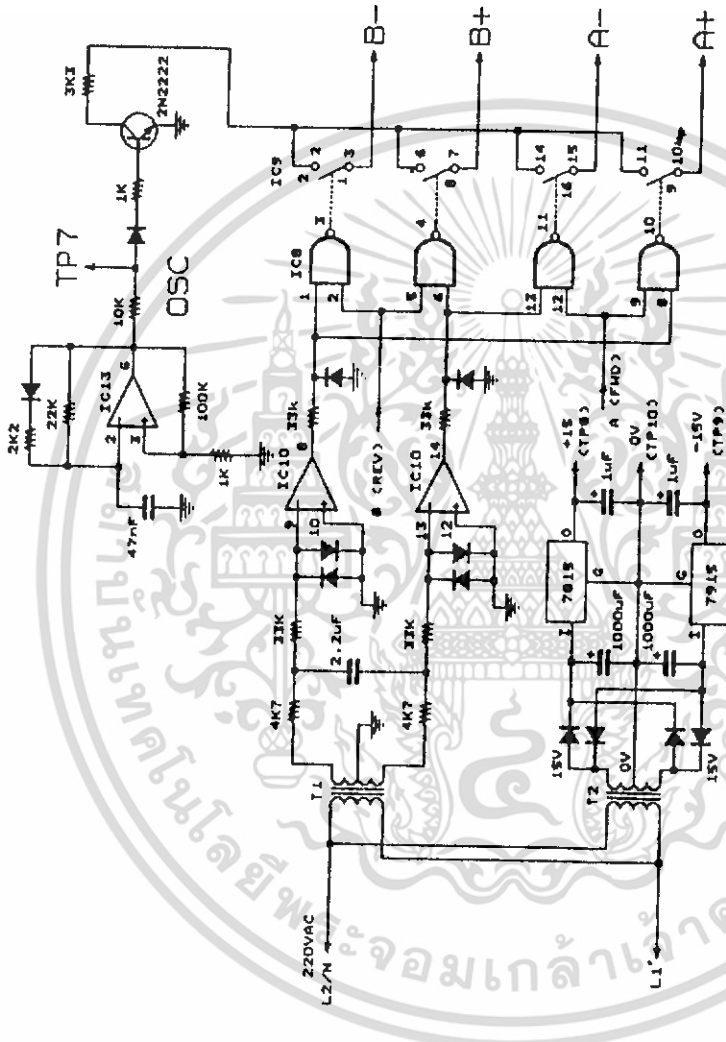
รูปที่ 4.2 แสดงวงจร DERECTION LOGIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



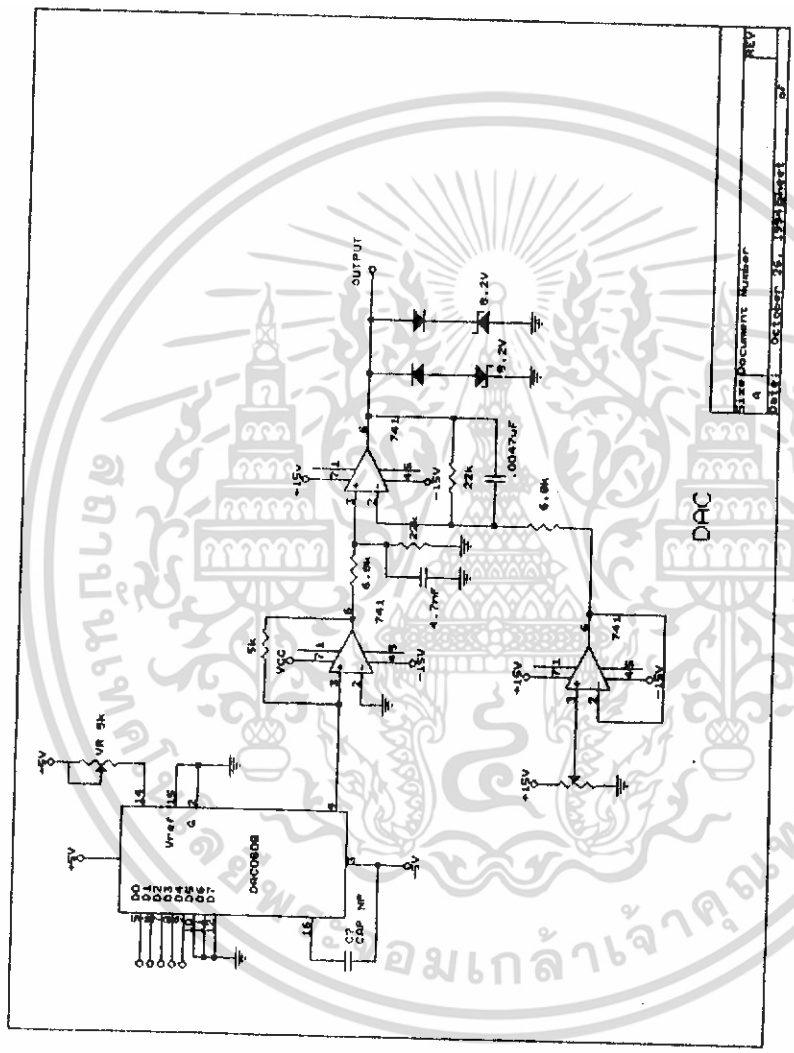
รูปที่ 4.3 แสดงวงจร TRIG SCR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



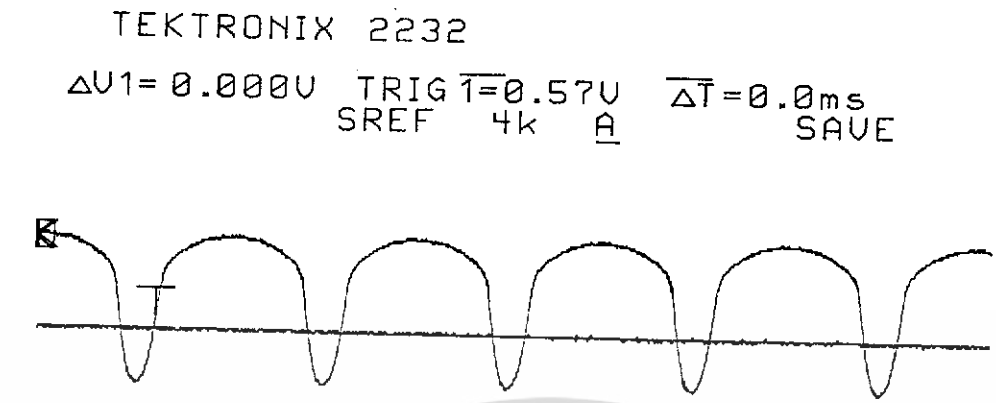
รูปที่ 4.4 แสดงวงจร ควบคุมสัญญาณ TRIG SCR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

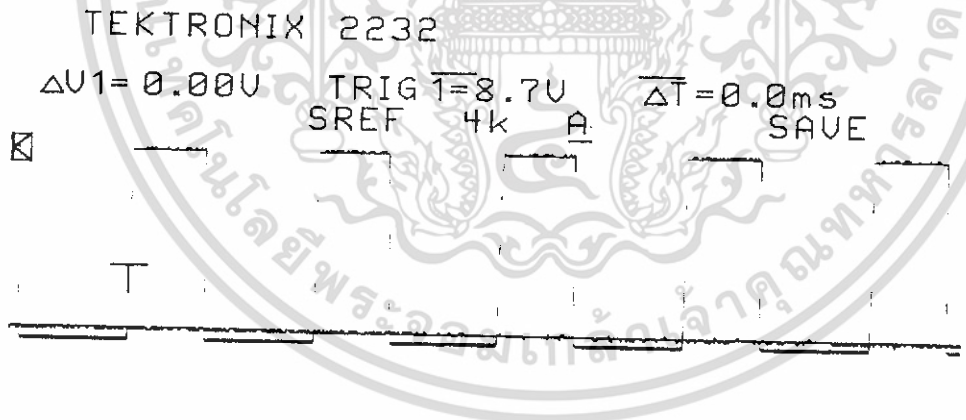


รูปที่ 4.5 แสดงวงจร DAC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

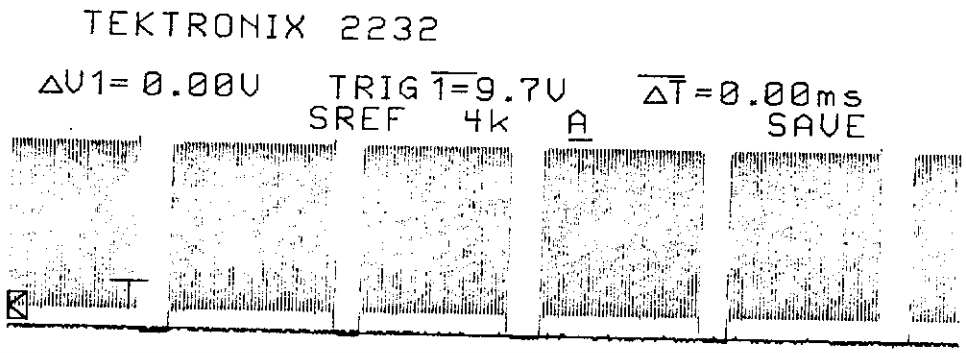


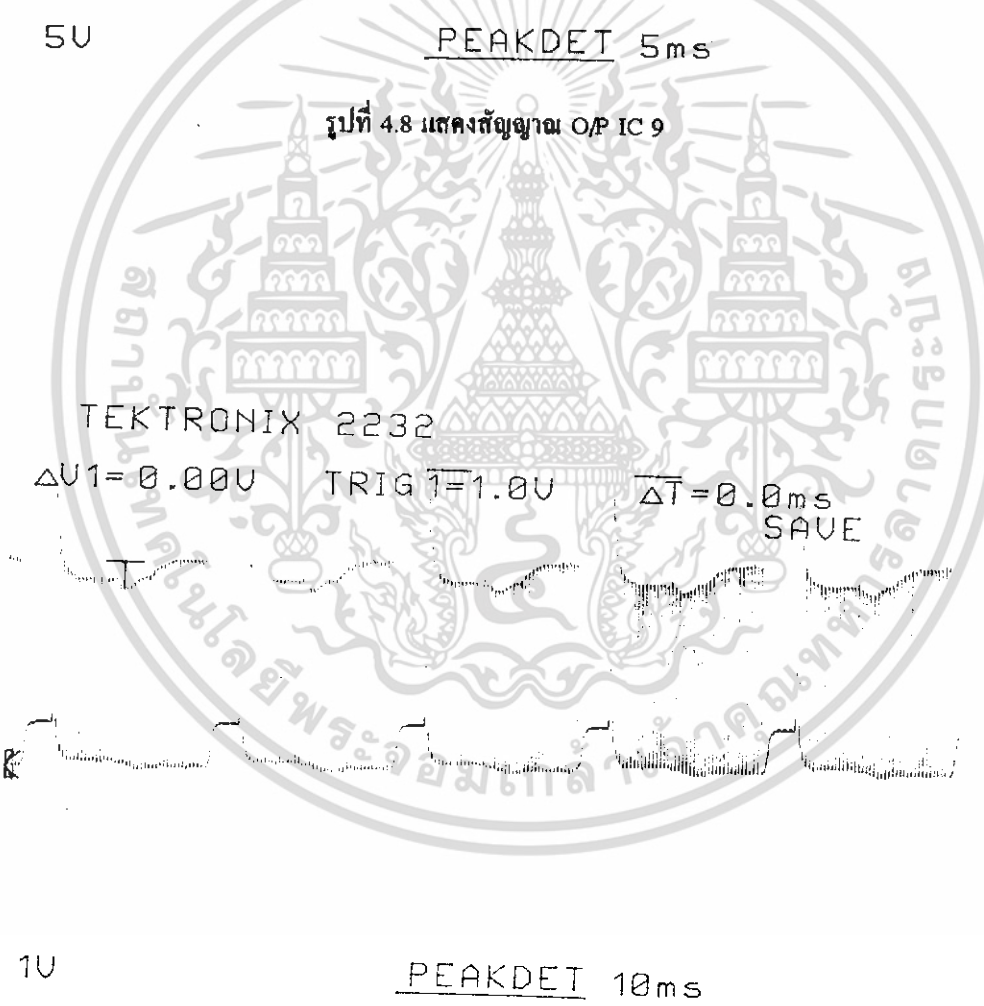
รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณ ณ จุด I/P IC 10



รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณ ณ จุด O/P IC 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

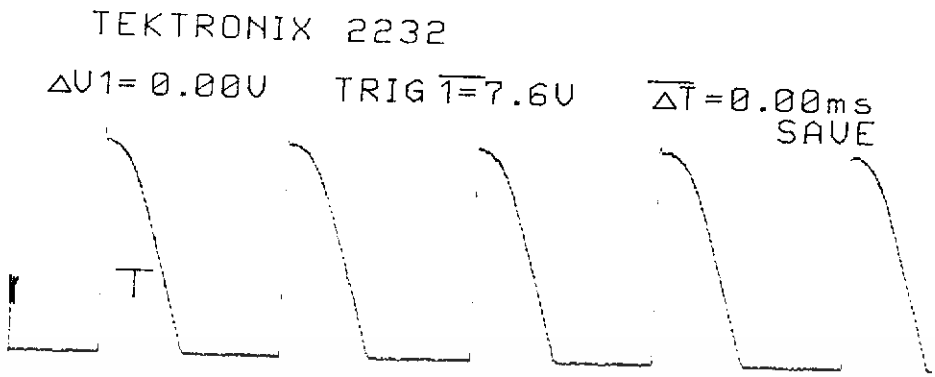




รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณ O/P IC 9

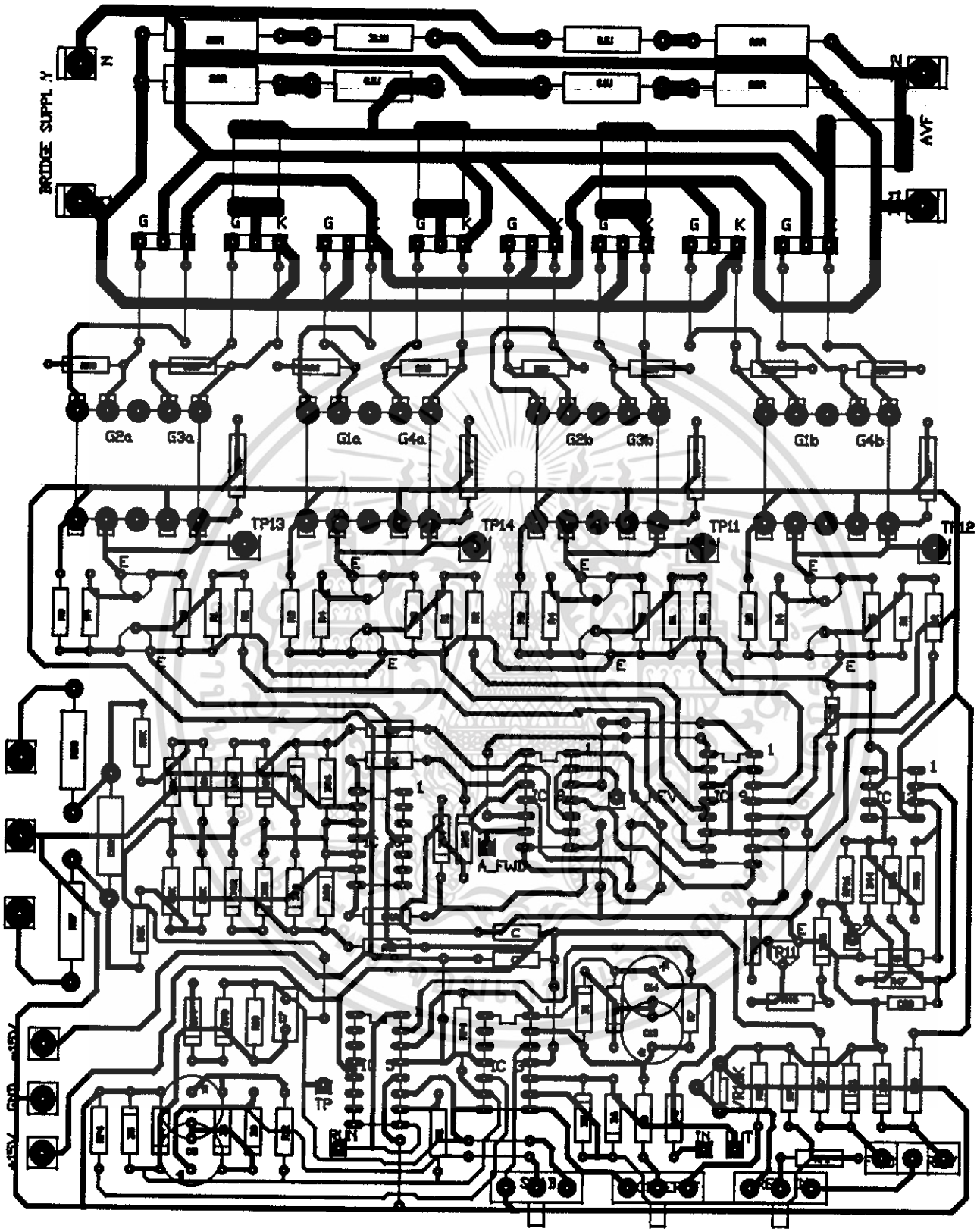
รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณ O/P TRANSFORMER TRIG SCR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



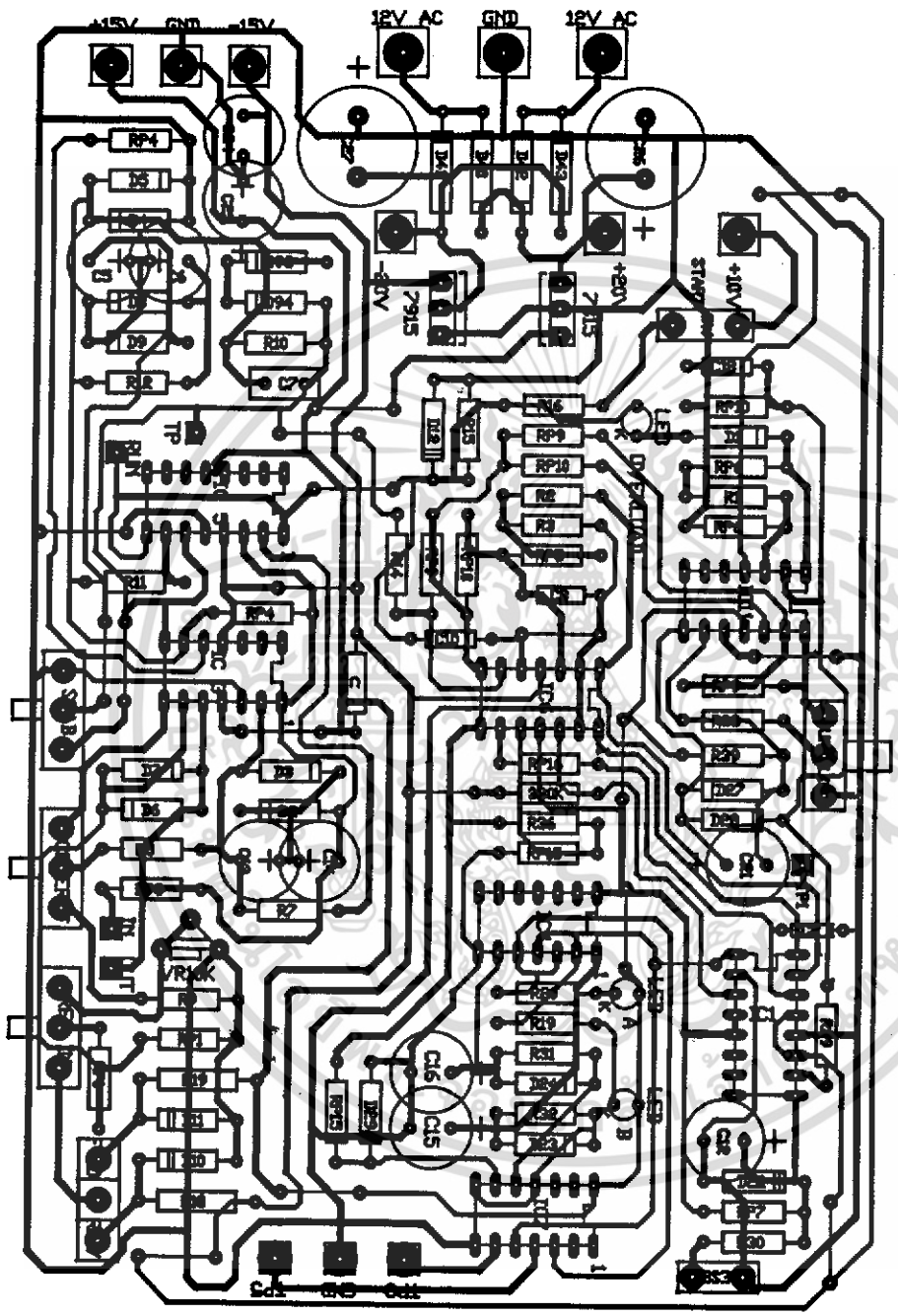
รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณ O/P MOTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดง ตำแหน่ง CONTROL MOTOR1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดง ลายวงจร CONTROL MOTOR2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทำงานของวงจร CPU

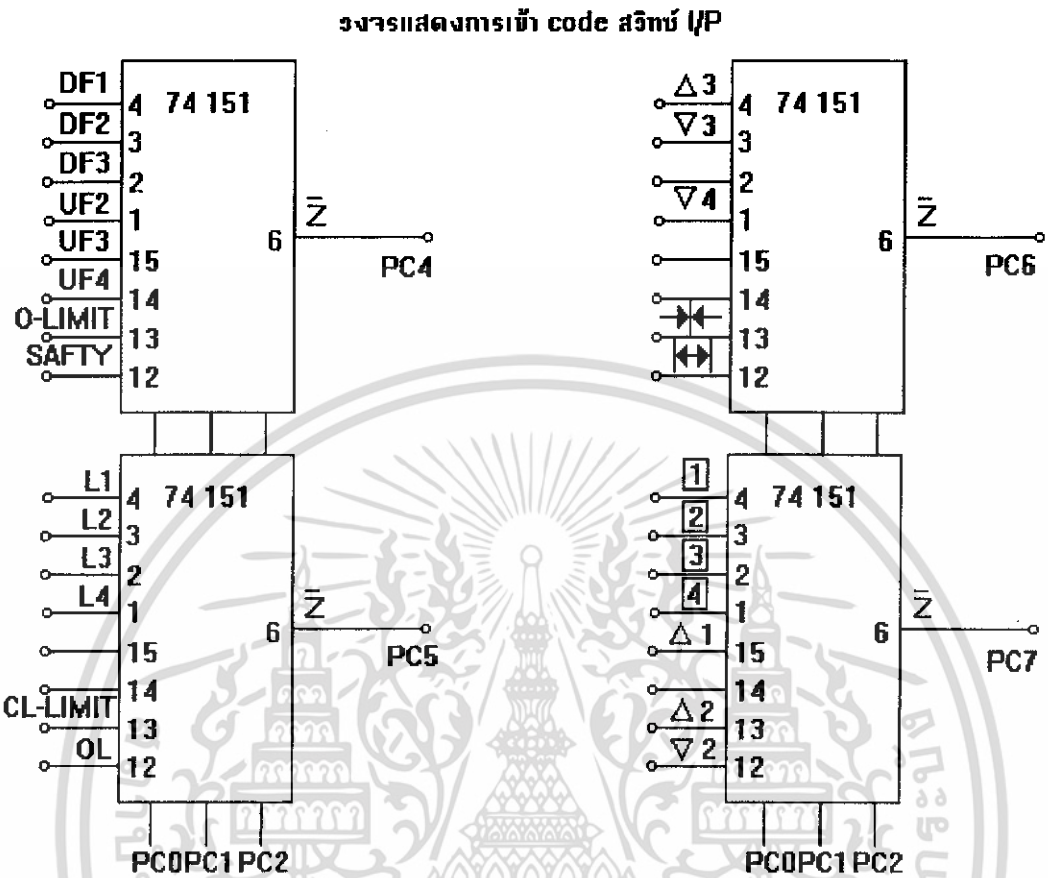
การทำงานของวงจรนี้ จะใช้บอร์ด IC เบอร์ Z-80 ของบริษัท ETT ในบอร์ดจะประกอบไปด้วย CPU เบอร์ Z-80 ,8255 ,Z-80 CTC ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการควบคุม โปรแกรมทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ใน EPROM เบอร์ 2764 และการทำงานก็จะกระทำผ่านทาง Input ,Output port ทาง IC port 8255 ทั้ง 2 ตัว โดยที่ 8255 แต่ละตัวจะมี port การใช้งานดังนี้

8255 ตัวแรก จะมีหมายเลข port เป็น B0-B3 และมีสัญญาณควบคุมเป็น 90 ซึ่งจะกำหนดให้ port B0 เป็น Input port ทั่วๆไปของวงจร ,port B1 เป็น Output port ทำหน้าที่ส่งสัญญาณควบคุมต่างๆภายในลิฟท์ ,B2 เป็น Output port ซึ่งจะส่งสัญญาณขับ 7-segment แสดงชั้นของลิฟท์ และส่งสัญญาณขับ motor โดยผ่านทางวงจร DAC

8255 ตัวที่ 2 มีหมายเลข port เป็น C0-C3 และมีสัญญาณควบคุมเป็น 88 ซึ่งจะกำหนดให้ port C0 เป็น Output port ส่งค่าแสดงผลไปยัง LED ปุ่มหน้าชั้น C1 เป็น Output port ส่งค่าแสดงผลไปยัง LED หน้าลิฟท์อีก port หนึ่ง C2 เป็น Input port ของ key board input ซึ่งการต่อ key input จะต่อในลักษณะของ data selector โดยใช้ IC เบอร์ 74151 เป็น IC multiplexer 8 to 1 line จำนวน 4 ตัว ซึ่งจะได้ จำนวน key ทั้งหมด 32 key

ดังนั้นสัญญาณ Input ทั้งหมดของลิฟท์จะถูกส่งเข้ามาประมวลผลที่ CPU แล้ว CPU ก็จะส่งค่าไปยัง Out put ต่างๆ หลังจากการประมวลผลเรียบร้อยแล้ว ซึ่งการต่อวงจรบางส่วนได้แสดงดังรูป 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงการต่อวงจร ENCODER SWITCH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทำงานในส่วนของโปรแกรม
PROGRAMMING

การทำงานในส่วนของซอฟท์แวร์ จะประกอบด้วย โปรแกรมหลัก และ โปรแกรมย่อยในส่วนต่าง ๆ สำหรับการทำงานในส่วนของโปรแกรมหลัก ในขณะเริ่มต้นจะมีการเซ็ตค่าของสถานะเริ่มต้นให้กับลิฟท์ โดยที่จะรีเซ็ตค่าของสัญญาณต่าง ๆ และ จะเข้าสู่วงรอบการทำงานของลิฟท์ต่อไป

5.1 การทำงานของโปรแกรมหลัก (MAIN PROGRAM)

ภายหลังจากที่มีการรีเซ็ตระบบ จะเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรมหลัก โดยจะเริ่มต้นตรวจสอบระบบทางฮาร์แวร์ จากนั้นจะทำการเซ็ต หรือ เคลียร์ ค่าเริ่มต้นต่าง ๆ รวมทั้งการเซ็ตค่าคงที่ให้กับตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรมด้วย เมื่อทำการเซ็ตค่าต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว โปรแกรมหลักจะเรียกให้โปรแกรมย่อยตั้งสถานะเริ่มต้น (INTIALIZE) ทำงานและ โปรแกรมย่อยการเข้าจอด และ ควบคุมประตู (STOP and DOOR) ทำงานต่อไปตามลำดับ

5.2 การทำงานของโปรแกรมย่อยตั้งสถานะเริ่มต้น (INTIALIZE)

โปรแกรมนี้จะถูกเรียกใช้ภายหลังจากที่มีการเริ่มต้นใช้ลิฟท์ และเรียกใช้เพียงครั้งเดียว จนกว่าจะมีการรีเซ็ตระบบใหม่ สำหรับการทำงานของโปรแกรมในส่วนนี้ จะเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบสัญญาณความปลอดภัย (safety) กรณีที่ตรวจพบว่า สัญญาณนี้ต่ออยู่ก็จะทำงานต่อไป แต่ถ้าไม่พบสัญญาณจะยังคงตรวจสอบ โดยไม่ข้ามไปทำงานในส่วนอื่น ๆ จากนั้น จะทำการตรวจสอบสัญญาณในธงของชั้นสูงสุด หรือชั้นล่างสุด ในกรณีที่ตรวจพบสัญญาณใดสัญญาณหนึ่ง จะทำการสั่งให้ลิฟท์วิ่งด้วยความเร็วต่ำเข้าไปยังชั้นสูงสุด หรือ ล่างสุด สำหรับในกรณีที่ในขณะเริ่มต้นตรวจไม่พบทั้งสัญญาณในธงของชั้นสูงสุด และชั้นล่างสุด จะทำการสั่งให้ลิฟท์เคลื่อนที่ในทิศทางลงด้วยความเร็วสูง และตั้งค่าของตัวนับชั้นให้มีค่าเท่ากับชั้นล่างสุด

5.3 การทำงานของโปรแกรมย่อยการเข้าจอดและควบคุมประตู (STOP and DOOR)

สำหรับการทำงานของโปรแกรมย่อย STOP and DOOR นี้ จะเป็นการทำงานในขณะที่ลิฟท์เข้าจอดที่ระดับชั้น โดยจะมีการเรียกใช้โปรแกรมย่อยนี้ ภายหลังจากที่มีการเซ็ตค่าเริ่มต้นของระบบ ซึ่งการเซ็ตค่าเริ่มต้นของระบบนี้ จะกระทำในขณะที่มีการเริ่มริเซ็ตการทำงานของลิฟท์ในแต่ละครั้ง และโปรแกรมย่อยนี้จะถูกเรียกใช้ภายหลังจากที่ลิฟท์เข้าจอดที่ระดับชั้นพอดี ในขณะที่ลิฟท์เข้าจอดพอดีระดับชั้นนั้น SAFETY SW. จะถูกตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมย่อยนี้จะมีหน้าที่จัดการเกี่ยวกับการทำงานในฟังก์ชันที่เกี่ยวกับการเปิด-ปิดประตู และตรวจสอบสัญญาณความปลอดภัยต่าง ๆ เช่น การตรวจสอบ OVERLODE, FULL LOAD เป็นต้น

ต่อไปจะกล่าวถึงรายละเอียดของการทำงานภายในโปรแกรมย่อยนี้ ในขณะเริ่มต้น เมื่อลิฟท์ทำการเข้าจอดได้พอดีระดับชั้น โปรแกรมจะส่งสัญญาณควบคุมการเปิดประตูเพื่อให้ลิฟท์เปิดประตูออก เมื่อประตูเปิดสุดแล้วจะมีสัญญาณตอบกลับมาว่า ในขณะนี้ประตูลิฟท์เปิดจนสุดแล้ว ในส่วนของ timer จะเริ่มจับเวลา ต่อมาโปรแกรมจะเรียกให้โปรแกรมย่อย LOAD DIRECTION ทำงาน เพื่อเป็นการตรวจสอบสัญญาณของการเรียกใช้ลิฟท์ในชั้นที่สูงกว่าและชั้นที่ต่ำกว่า นอกจากนี้ในโปรแกรมย่อย LOAD DIRECTION ยังจะเป็นตัวกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของลิฟท์ต่อไปภายหลังจากที่ประตูลิฟท์ปิดสนิทแล้ว เมื่อกลับเข้ามาทำงานยังตัวโปรแกรมย่อย STOP and DOOR นี้ จะตรวจสอบสัญญาณ OVERLOAD ขึ้นในขณะนั้น จะส่งสัญญาณแสดงผลภายในตัวลิฟท์และกลับไปควบคุมการเปิดประตูใหม่ จนกระทั่งตรวจไม่พบสัญญาณนี้แล้ว ต่อไปจะตรวจสัญญาณจาก stop switch กรณีที่มีการกด stop switch โปรแกรมจะกลับไปทำงานยังฟังก์ชันของการควบคุมการเปิดประตู ซึ่งจะรวมไปถึงการตรวจสอบสัญญาณ OVERLOAD ด้วย จะยังคงทำงานซ้ำอยู่เช่นนี้จะกระทั่งตรวจไม่พบสัญญาณจาก stop switch จึงจะออกจากการทำงานในวงรอบดังกล่าว แล้วตรวจสัญญาณ door open switch และสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากแผงควบคุมหน้าประตูหน้าชั้นที่ลิฟท์จอดอยู่ขณะนั้น เมื่อตรวจสอบพบสัญญาณดังกล่าวสัญญาณใดสัญญาณหนึ่ง จะกลับไปทำงานยังฟังก์ชันของการควบคุมการเปิดประตู ซึ่งจะเป็นการเซ็ต ให้ timer เริ่มจับเวลาใหม่ ในกรณีที่ตรวจสอบไม่พบทั้งสองสัญญาณโปรแกรมจะตรวจสอบสัญญาณจาก door close switch ถ้ามีการกด door close switch หมายความว่าเป็นการเร่งให้ประตูลิฟท์ปิดอย่างรวดเร็ว โดยไม่พิจารณาเวลาที่ใช้ในการเปิดประตูจาก timer โปรแกรมก็จะทำการ รีเซ็ต door time แต่ถ้าตรวจสอบไม่พบสัญญาณจาก door close switch โปรแกรมจะตรวจสอบ door time จาก timer ว่าครบกำหนดเวลาในการเปิดประตูหรือยัง ถ้ายังไม่ครบก็จะกลับไปทำงานตั้งแต่การเรียกใช้โปรแกรมย่อย LOAD DIRCETION ตลอดจนตรวจสอบสัญญาณต่าง ๆ จนกระทั่งครบกำหนดเวลาการเปิดประตู ก็จะทำการ รีเซ็ต door time และส่งสัญญาณควบคุมการปิดประตู หลังจากนั้นจะตราจสอบสัญญาณจาก SAFETY SW. สำหรับการทำงานของลิฟท์โดยทั่วไป ถ้าไม่มีกรณีผิดพลาดอื่น ๆ SAFETY SW. จะถูกต่อเข้าภายหลังจากประตูปิดสนิทแล้ว เมื่อตรวจสอบพบว่าหน้าสัมผัส SAFETY SW. ต่อเข้าด้วยกันโปรแกรมจะตรวจสอบสัญญาณ FULL LOAD สำหรับกรณีที่ตรวจสอบพบว่าเกิด FULL LOAD ในขณะนั้น โปรแกรมจะไม่นำสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากแผงควบคุมหน้าประตูมาพิจารณาและจะรีเซ็ต สัญญาณลิฟท์เคลื่อนที่ขึ้น และสัญญาณเคลื่อนที่ลง หลังจากนั้น จะทำงานในช่วงของโปรแกรมย่อย LOAD DIRECTION เพื่อตรวจสอบสัญญาณการเคลื่อนที่ของลิฟท์ต่อไป ในขณะที่โปรแกรมย่อย LOAD DIRECTION ทำงานอยู่นี้จะไม่มีการตรวจสอบสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากแผงควบคุมหน้าประตูเลย แต่จะทำการตรวจสอบสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากแผงควบคุมภายในตัวลิฟท์ แล้วนำมาพิจารณาหาทิศทางในการเคลื่อนที่ของลิฟท์ต่อไป จากนั้นโปรแกรมก็จะตรวจสอบสัญญาณการเคลื่อนที่ของลิฟท์ ว่าจะมีทิศทางไปในทางใด แล้วก็จะส่งสัญญาณควบคุมไปยังส่วนขับเคลื่อนลิฟท์ให้ขับเคลื่อนลิฟท์ด้วยความเร็วสูงไปยังทิศทางที่ตรวจสอบพบ และทำงานต่อไปในโปรแกรมย่อย RUN-UP เมื่อตรวจสอบพบว่าลิฟท์มีการเคลื่อนที่ในทิศทางขึ้น หรือทำงานต่อไปในโปรแกรมย่อย RUN-DOWN เมื่อตรวจสอบพบว่า
ลิฟท์มีการเคลื่อนที่ในทิศทางลง สำหรับกรณีที่ตรวจสอบไม่พบทั้งสัญญาณลิฟท์เคลื่อนที่ขึ้น และสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนที่ลง โปรแกรมจะกลับไปทำงานตั้งแต่ส่วนที่มีการเรียกใช้โปรแกรมย่อย LOAD DIRECTION และทำงานตรวจสอบสัญญาณตั้งแต่ต้น จนกว่าจะพบสัญญาณลิฟท์เคลื่อนที่ขึ้นหรือลง ก็จะจบการทำงานของโปรแกรมย่อยนี้

5.4 การทำงานของโปรแกรมย่อยกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ (LOAD DIRECTION)

โปรแกรมย่อย LOAD DIRECTION จะทำหน้าที่ตรวจสอบทิศทางการเคลื่อนที่ของลิฟท์ว่าจะต้องมีทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้น หรือ ลง โดยที่จะทำการตรวจสอบจากสัญญาณลิฟท์เคลื่อนที่ขึ้น และสัญญาณลิฟท์เคลื่อนที่ลง นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบจากสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์ในชั้นที่สูงกว่า และสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์ในชั้นที่ต่ำกว่า โปรแกรมย่อยนี้ จะมีการถูกเรียกใช้ในขณะที่ลิฟท์เข้าจอดที่ระดับชั้น และประตูลิฟท์เปิดจนสุดแล้ว และอาจมีการถูกเรียกใช้อีกครั้งในกรณีที่โปรแกรมตรวจสอบพบสัญญาณ FULL LOAD

เมื่อเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรมย่อย LOAD DIRECTION นี้ จะทำการตรวจสอบสัญญาณลิฟท์ขึ้น (Direction UP : DU) เมื่อตรวจสอบพบสัญญาณ DU โปรแกรมจะทำการรีเซ็ต สัญญาณลิฟท์ลง (Direction DOWN : DD) ส่วนในกรณีที่ตรวจไม่พบสัญญาณ DU โปรแกรมก็จะทำการตรวจสอบสัญญาณ DD

ในการตรวจสอบสัญญาณ DD ถ้าพบว่ามีสัญญาณ DD โปรแกรมจะดำเนินการ รีเซ็ต สัญญาณ DU แต่ถ้าไม่มีสัญญาณ DD แสดงว่าสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากแผงควบคุมหน้าประตูหมดที่ชั้นนี้ ซึ่งสัญญาณการอ่านจากแผงควบคุมหน้าประตูของทุกชั้นจะถูก cancel ในขณะที่เริ่มเข้าสู่สัญญาณใบธงขาขึ้นหรือลงแล้ว ในกรณีนี้จะเป็นการให้ความสำคัญกับสัญญาณการควบคุมจากภายในลิฟท์มากกว่า โดยที่โปรแกรม จะทำการตรวจสอบเฉพาะสัญญาณจากแผงควบคุมภายในลิฟท์เท่านั้น หลังจากนั้น จะเข้าไปทำงานยังโปรแกรมย่อย READ UPPER เพื่อทำการตรวจสอบว่ามีการเลือกใช้ลิฟท์จากชั้นที่สูงกว่าชั้นที่ลิฟท์จอดอยู่ในขณะนั้นหรือไม่ โดยจะตรวจสอบสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากแผงควบคุมภายในลิฟท์เท่านั้น เมื่อพบว่ามีการเรียกใช้ลิฟท์จากชั้นที่สูงกว่า โปรแกรมจะทำการรีเซ็ตสัญญาณลิฟท์เคลื่อนที่ลง และ เซ็ต สัญญาณลิฟท์เคลื่อนที่ขึ้น แต่ถ้าตรวจสอบไม่พบว่ามีการเรียกใช้ลิฟท์จากชั้นที่สูงกว่า จะทำงานต่อไปยังโปรแกรมย่อย READ LOWER เพื่อตรวจสอบว่ามีการเรียกใช้ลิฟท์จากชั้นที่ต่ำกว่าชั้นจอดในขณะนั้นหรือไม่ ถ้ามีเรียกใช้ลิฟท์จากชั้นที่ต่ำกว่าจะทำการรีเซ็ต สัญญาณลิฟท์เคลื่อนที่ขึ้น และ เซ็ตสัญญาณเคลื่อนที่ลง แต่ถ้าไม่พบสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์ในชั้นที่ต่ำกว่า จะออกจากการทำงานในโปรแกรมย่อยนี้ไป

5.5 การทำงานของโปรแกรมย่อยลิฟท์เคลื่อนที่ขึ้น (RUN UP)

การทำงานของโปรแกรมในการวิ่งขึ้น (RUN UP) ของลิฟท์ หลังจากที่ตัวโปรแกรมย่อย STOP and DOOR ได้ประมวลผลสัญญาณแล้ว พบว่าจะต้องทำการส่งสัญญาณไปยังส่วนขับเคลื่อนลิฟท์ให้ทำการขับลิฟท์ขึ้นไปยังชั้นบน โปรแกรมจะทำการตรวจสอบสัญญาณชั้นบนสุด (Top floor signal) ถ้าพบสัญญาณ โปรแกรมจะส่งสัญญาณควบคุมไปยังส่วนขับเคลื่อนลิฟท์ ให้ขับลิฟท์ขึ้นด้วยความเร็วต่ำ จากนั้นจะทำการเซ็ต จากนั้นจะทำการเซ็ตตัวนับชั้น (counter) ให้มีค่าเท่ากับชั้นบนสุด และทำการรีเซ็ตสัญญาณลิฟท์ขึ้น (direction UP : DU)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณลิฟท์ลง (direction DOWN : DD) ส่งสัญญาณแสดงสถานะชั้น (conter) ไปยังส่วนแสดงผลภายในลิฟท์ และ ส่วนแสดงผลหน้าประตู และทำการตรวจสอบสัญญาณความปลอดภัย (safety switch) ในกรณีที่ขณะเริ่มต้นตรวจสอบพบว่าสถานะของลิฟท์ไม่ได้อยู่ที่ชั้นบนสุด โปรแกรมจะทำการตรวจสอบสัญญาณความปลอดภัยเลย เมื่อพบว่าสัญญาณความปลอดภัยถูกเซ็ตอยู่ จะทำการรีเซ็ตการเคลื่อนที่ของลิฟท์ในทิศทางขึ้นและลง แล้วจึงเริ่มต้นการทำงานตั้งแต่แรก แต่ถ้าพบว่าสัญญาณความปลอดภัยถูกรีเซ็ตอยู่ โปรแกรมจะสั่งให้ลิฟท์เคลื่อนที่ในทิศทางขึ้น จากนั้นก็จะทำการตรวจสอบสัญญาณที่อ่านได้จากใชธงขาขึ้น (UP Flag)

ถ้าอ่านพบสัญญาณใบธงขาขึ้น ก็จะทำการตรวจสอบสัญญาณสถานะของใบธงขาขึ้น (UP-Flag status) ว่าสัญญาณใบธงที่อ่านได้ถูกอ่านเป็นครั้งแรกหรือไม่ ถ้าเป็นใบธงที่ยังไม่เคยถูกอ่าน โปรแกรม ก็จะเพิ่มค่า counter ขึ้น และส่งสัญญาณไปยังส่วนแสดงผลหน้าประตู และส่วนแสดงผลภายในลิฟท์ แล้วทำการเซ็ตสัญญาณสถานะของใบธงขาขึ้นเพื่อแสดงว่า ใบธงขาขึ้นของชั้นนี้ถูกอ่านและทำการประมวลผลแล้ว ต่อมาโปรแกรมจะข้ามไปทำงานในฟังก์ชัน Fire man ซึ่งเป็นฟังก์ชันการทำงานของลิฟท์เมื่อเกิดเพลิงไหม้ จากนั้นจะทำการตรวจสอบสัญญาณเรียกใช้ลิฟท์ยังชั้นที่สูงกว่า (Higher call : HC) โดยพิจารณาจากแผงควบคุมภายในลิฟท์ และแผงควบคุมหน้าประตู โดยแผงควบคุมภายในลิฟท์จะพิจารณาจากหมายเลขชั้นซึ่งสูงกว่าสถานะของ counter ในขณะนั้น สำหรับแผงควบคุมหน้าประตู จะพิจารณาจากการทิศทางการเรียกขึ้นและเรียกลง (Up call and Down call) ถ้าไม่พบสัญญาณการเรียกลิฟท์ โปรแกรมจะรีเซ็ตสัญญาณการอ่านจากแผงควบคุมหน้าประตู เพื่อเป็นการให้ความสำคัญกับสัญญาณจากแผงควบคุมภายในลิฟท์ก่อน ถ้าพบสัญญาณ Higher call จะทำการตรวจสอบสัญญาณจอด ณ. ชั้นนั้น ซึ่งจะตรวจสอบจากแผงควบคุมภายในลิฟท์ และแผงควบคุมหน้าประตู สำหรับการตรวจสอบจากแผงควบคุมภายในลิฟท์ จะตรวจสอบจากหมายเลขชั้นที่มีการกด ส่วนการตรวจสอบจากแผงควบคุมหน้าประตู จะตรวจสอบจากทิศทางการเรียกลิฟท์ เฉพาะการเรียกขึ้น (Up call) ถ้าพบสัญญาณใดสัญญาณหนึ่ง จะส่งสัญญาณควบคุมไปยังส่วนขับเคลื่อนลิฟท์ ให้ขับลิฟท์ด้วยความเร็วต่ำ (slow speed) หลังจากนั้น โปรแกรม จะข้ามไปทำงานยังฟังก์ชั่นการเข้าจอดให้พอดีระดับชั้น (Leveling process) เมื่อไม่พบสัญญาณการเข้าจอด ณ. ระดับชั้น จะทำการรีเซ็ตการเคลื่อนที่ของลิฟท์ ทั้งในทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้นและลง และกลับมาเริ่มตรวจสอบระดับชั้นสูงสุดใหม่

ในกรณีที่ลิฟท์กำลังเคลื่อนที่ขึ้น และตรวจไม่พบสัญญาณในธงขาขึ้น โปรแกรมจะรีเซ็ตสัญญาณแสดงสถานะการอ่านใบธงขาขึ้น และ ตรวจสอบความเร็วของลิฟท์ในขณะนั้น ถ้าพบว่าส่วนขับเคลื่อนลิฟท์กำลังขับลิฟท์ด้วยความเร็วสูง โปรแกรม จะกลับไปเริ่มตรวจสอบสัญญาณชั้นบนสุด จะเข้าสู่การทำงานในฟังก์ชันการเข้าจอดให้พอดีระดับชั้น (Leveling process)

ภายหลังจากตรวจพบสัญญาณใบธงขาขึ้น แล้วตรวจสอบว่าสัญญาณแสดงสถานะการอ่านของใบธงขาขึ้นถูก เซ็ต อยู่ แสดงว่า สัญญาณใบธงขาขึ้นถูกอ่าน และประมวลผลผ่านไปแล้วจะกระโดดไปทำการตรวจสอบความเร็วลิฟท์ ถ้าตรวจสอบพบว่าส่วนขับเคลื่อนลิฟท์กำลังขับเคลื่อนลิฟท์ด้วยความเร็วสูง โปรแกรมจะกลับไปเริ่มต้นโปรแกรมย่อย RUN UP ใหม่ ถ้าพบว่าลิฟท์กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ โปรแกรมจะไปยังฟังก์ชันการเข้าจอดให้พอดีระดับชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 การทำงานของโปรแกรมย่อยลิฟท์เคลื่อนที่ลง (RUN DOWN)

การทำงานของโปรแกรมช่วงวิ่งลง (RUN DOWN) ของลิฟท์ หลังจากที่ตัวโปรแกรมหลักทำการประมวลผลสัญญาณแล้ว กรณีที่พบว่าจะต้องส่งสัญญาณไปยังส่วนขับเคลื่อนลิฟท์ให้ทำการขับลิฟท์ลงไปชั้นล่าง โปรแกรม จะทำการตรวจสอบสัญญาณชั้นล่างสุด (BOTTOM FLOOR SIGNAL) ถ้าพบสัญญาณ โปรแกรมจะส่งสัญญาณควบคุมไปยังส่วนขับเคลื่อนลิฟท์ให้ขับลิฟท์ลงด้วยความเร็วต่ำ จากนั้นจะทำการ เซ็ตตัวนับชั้น (counter) ให้มีค่าเท่ากับชั้นล่างสุด และทำการรีเซ็ต สัญญาณลิฟท์ขึ้น (direction UP : DU), สัญญาณลิฟท์ลง (direction DOWN : DD) ส่งสัญญาณแสดงสถานะชั้น (counter) ไปยังส่วนแสดงผลภายในลิฟท์ และส่วนแสดงผลหน้าประตู และทำการตรวจสอบสัญญาณความปลอดภัย (safety switch) ในกรณีที่ขณะเริ่มต้นตรวจสอบพบว่าสถานะของลิฟท์ไม่ได้อยู่ที่ชั้นล่างสุด โปรแกรม จะทำการตรวจสอบสัญญาณความปลอดภัยเลย เมื่อพบว่าสัญญาณความปลอดภัยถูกเซ็ตอยู่ โปรแกรมจะทำการรีเซ็ตการเคลื่อนที่ของลิฟท์ทั้งในทิศทางขึ้น และลง แล้วจึงเริ่มต้นการทำงานตั้งแต่แรก แต่ถ้าพบว่าสัญญาณความปลอดภัยถูกรีเซ็ตอยู่ โปรแกรมย่อยนี้จะสั่งให้ลิฟท์เคลื่อนที่ในทิศทางลง จากนั้นจะทำการตรวจสอบสัญญาณที่อ่านได้จากใบธงขาลง (DOWN Flag) ถ้าอ่านพบสัญญาณในธงขาลง ก็จะทำการตรวจสอบสัญญาณสถานะของใบธงขาลง (DOWN-Flag status) ว่าสัญญาณใบธงที่อ่านได้ถูกอ่านเป็นครั้งแรกหรือไม่ ถ้าเป็นใบธง ที่ยังไม่เคยถูกอ่าน โปรแกรม ก็จะลดค่า counter ลง และส่งสัญญาณไปยังส่วนแสดงผลหน้าประตู และส่วนแสดงผลภายในลิฟท์ แล้วทำการเซ็ตสัญญาณสถานะของใบธงขาลงเพื่อแสดงว่า ใบธงขาลงของขั้นนี้ได้ถูกอ่าน และทำการประมวลผลแล้ว ต่อมาโปรแกรมจะข้ามไปทำงานในฟังก์ชัน Fire man ซึ่งเป็นฟังก์ชันการทำงานของลิฟท์เมื่อเกิดเพลิงไหม้ จากนั้นจะทำการตรวจสอบสัญญาณเรียกใช้ลิฟท์ยังชั้นที่ต่ำกว่า (LOWER-Call : LC) โดยพิจาณาจากแผงควบคุมภายในลิฟท์ และแผงควบคุมหน้าประตู โดยแผงควบคุมภายในลิฟท์จะพิจารณาจากหมายเลขชั้นซึ่งต่ำกว่าสถานะของ counter ในขณะนั้น สำหรับแผงควบคุมหน้าประตู จะพิจารณาจากการทิศทางการเรียกลิฟท์ทั้งการเรียกขึ้น และเรียกลง (UP-Call & DOWN Call) ถ้าไม่พบสัญญาณการเรียกลิฟท์ โปรแกรมจะรีเซ็ต สัญญาณการอ่านจากแผงควบคุมหน้าประตู เพื่อเป็นการให้ความสำคัญกับสัญญาณจากแผงควบคุมภายในลิฟท์ก่อน ถ้าพบสัญญาณ LOWER Call จะทำการตรวจสอบสัญญาณจอด ณ.ชั้นนั้น ซึ่งจะตรวจสอบจากแผงควบคุมภายในลิฟท์ จะตรวจสอบจากทิศทางการเรียกลิฟท์ เฉพาะการเรียกลง (DOWN Call) ถ้าพบสัญญาณใดสัญญาณหนึ่ง จะส่งสัญญาณควบคุมไปยังส่วนขับเคลื่อนลิฟท์ให้ขับลิฟท์ ด้วยความเร็วต่ำ (slow speed) หลังจากนั้น โปรแกรมจะข้ามไปทำงานยังฟังก์ชัน การเข้าจอดให้พอดีระดับชั้น (leveling process) เมื่อไม่พบสัญญาณการเข้าจอด ณ. ระดับชั้น จะทำการรีเซ็ตการเคลื่อนที่ของลิฟท์ทั้งในทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้นและลง แล้วกลับมาเริ่มตรวจสอบระดับชั้นต่ำสุดใหม่

ในกรณีที่ลิฟท์กำลังเคลื่อนที่ลง และตรวจไม่พบสัญญาณใบธงขาลง โปรแกรมจะรีเซ็ตสัญญาณแสดงสถานะการอ่านใบธงขาลง และตรวจสอบความเร็วของลิฟท์ในขณะนั้น ถ้าพบว่าส่วนขับเคลื่อนลิฟท์กำลังขับลิฟท์ด้วยความเร็วสูง โปรแกรม จะกลับไปเริ่มตรวจสอบสัญญาณชั้นล่างสุด แต่ถ้าส่วนขับเคลื่อนลิฟท์กำลังขับลิฟท์ด้วยความเร็วต่ำ (slow speed) โปรแกรม จะเข้าสู่การทำงานในฟังก์ชันการเข้าจอดให้พอดีระดับชั้น (leveling process)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายหลังจากตรวจพบสัญญาณใบธงขาลง แล้วตรวจพบว่าสัญญาณแสดงสถานะการอ่านของใบธงขาลงถูกเซ็ตอยู่ แสดงว่าสัญญาณใบธงขาลงถูกอ่าน และประมวลผลผ่านไปแล้วจะกระโดดไปทำการตรวจสอบความเร็วลิฟท์ ถ้าตรวจสอบพบว่าส่วนขับเคลื่อนลิฟท์กำลังขับเคลื่อนลิฟท์ด้วยความเร็วสูง โปรแกรมจะกลับไปเริ่มต้นโปรแกรมย่อย RUN DOWN ใหม่ ถ้าพบว่าลิฟท์กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ โปรแกรมจะไปยังฟังก์ชันการเข้าจอดให้พอดีระดับชั้น

5.7 การทำงานของโปรแกรมย่อยอ่านสัญญาณในชั้นที่สูงกว่าลิฟท์ขณะนั้น (READ UPPER)

โปรแกรมย่อยนี้จะถูกเรียกใช้สองกรณี คือ ขณะที่ลิฟท์กำลังเคลื่อนที่ขึ้น แล้วตรวจพบสัญญาณใบธงขาขึ้น (Up flag) และ ในขณะที่ลิฟท์จอดอยู่ที่ระดับชั้น กำลังทำงานในช่วงของโปรแกรมย่อย LOAD DIRECTION อยู่ โดยที่โปรแกรมย่อยนี้จะมีหน้าที่ตรวจสอบว่า มีสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากชั้นที่สูงกว่าชั้นที่ลิฟท์อยู่ในขณะนั้นหรือไม่ ซึ่งจะทำการตรวจสอบทั้งสัญญาณเรียกลิฟท์จากแผงควบคุมภายในลิฟท์ (Car call) และสัญญาณเรียกลิฟท์จากแผงควบคุมหน้าประตู (Hall call) เมื่อมีการตรวจพบสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากชั้นที่สูงกว่า โปรแกรมย่อยนี้จะทำการเซ็ตสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากชั้นที่สูงกว่า (Higher call : HC) ในกรณีที่ตรวจสอบไม่พบโปรแกรมจะทำรีเซ็ตสัญญาณดังกล่าว

โปรแกรมย่อย Read Upper นี้ จะมีรายละเอียดของการทำงานดังต่อไปนี้ คือ ในขณะเริ่มต้นการทำงานต้น โปรแกรมจะทำการตรวจสอบระดับชั้นของลิฟท์ในขณะนั้นว่าลิฟท์อยู่ที่ชั้นบนสุดหรือไม่ ถ้าตรวจสอบพบว่าลิฟท์อยู่ในชั้นบนสุด โปรแกรมก็จะรีเซ็ตสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากชั้นที่สูงกว่าทันที แต่ถ้าตรวจสอบพบว่าลิฟท์ไม่ได้อยู่ที่ชั้นบนสุด จะเริ่มทำการตรวจสอบสัญญาณเรียกลิฟท์จากแผงควบคุมภายในลิฟท์ของชั้นที่สูงกว่าชั้นที่ลิฟท์จากชั้นที่สูงกว่า ถ้าไม่พบจะไปทำการตรวจสอบสถานะของสัญญาณการอ่านสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากแผงควบคุมหน้าประตู ถ้ามีสถานะถูกรีเซ็ตอยู่ โปรแกรมจะไม่ตรวจสอบสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากแผงควบคุมหน้าประตูเลย โดยจะข้ามไปทำงานที่ท้าย Loop เลย แต่ถ้าสถานะของสัญญาณนั้นถูกเซ็ต โปรแกรมจะทำการตรวจสอบสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากแผงควบคุมหน้าประตูในทิศทางขึ้น (Up Hall Call) เมื่อพบว่ามีสัญญาณก็จะเซ็ตสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากชั้นที่สูงกว่า แล้วข้ามไปทำงานที่ท้าย loop เมื่อตรวจสอบไม่พบสัญญาณ โปรแกรมจะตรวจสอบสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากแผงควบคุมหน้าประตูทางลง (Down Hall Call) ถ้าตรวจพบสัญญาณนี้ จะเซ็ตสัญญาณการเรียกลิฟท์จากชั้นที่สูงกว่า แล้วข้ามไปทำงานที่ท้าย loop แต่ถ้าตรวจไม่พบสัญญาณนี้ จุดต่อไปจะเป็นจุดสุดท้ายของการทำงานใน loop นี้ โดยจะมีการตรวจสอบเงื่อนไขสองข้อ ข้อแรก คือโปรแกรมทำการตรวจสอบสัญญาณจนถึงชั้นบนสุดแล้วหรือยัง ถ้ายังก็จะเพิ่มชั้นที่จะต้องทำการตรวจสอบขึ้นไปอีกหนึ่งชั้น แล้วทำงานซ้ำใน loop เดิมอีก แต่ถ้าโปรแกรมตรวจสอบจนถึงชั้นบนสุดแล้ว ก็จะออกจากการทำงานใน loop นี้ สำหรับข้อที่สองนั้น คือ โปรแกรมจะทำการตรวจสอบว่าสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากชั้นที่สูงกว่า ถูกเซ็ตแล้วหรือยัง ถ้าถูกเซ็ตแล้ว ก็จะออกจากการทำงานใน loop นี้ไป แต่ถ้ายังไม่ถูกเซ็ตจะกลับไปทำงานซ้ำที่ต้น loop จนกระทั่งมีการตรวจสอบจนถึงชั้นบนสุด หรือ มีการเซ็ตค่าของสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากชั้นที่สูงกว่า ซึ่งก็จะจบการทำงานของโปรแกรมย่อยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8 การทำงานของโปรแกรมย่อยอ่านสัญญาณในชั้นที่ต่ำกว่าลิฟท์ขณะนั้น (READ LOWER)

การทำงานของโปรแกรมย่อยนี้ จะคล้ายกับการทำงานของโปรแกรมย่อย Read Upper จะต่างกันก็ตรงที่โปรแกรมย่อยนี้ มีหน้าที่ในการตรวจว่ามีการเรียกใช้ลิฟท์จากชั้นที่ต่ำกว่าชั้นที่ลิฟท์กำลังอยู่ในขณะนั้นหรือไม่ ถ้ามีการเรียกใช้ลิฟท์ในชั้นที่ต่ำกว่า ไม่ว่าจะเป็นสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากแผงควบคุมหน้าประตู หรือ สัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากแผงควบคุมภายในลิฟท์ โดยจะทำการเซ็ตสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์ในชั้นที่ต่ำกว่า (Lower call signal : LC) เมื่อตรวจพบว่ามีการเรียกใช้ลิฟท์ในชั้นที่ต่ำกว่า และทำการรีเซ็ตสัญญาณนี้เมื่อไม่พบการเรียกใช้ลิฟท์จากชั้นที่ต่ำกว่า สำหรับการเรียกใช้โปรแกรมย่อยนี้จะมีการเรียกใช้จากสองที่ คือ จากขณะที่ลิฟท์กำลังเคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วสูง ผ่านเข้าสู่ใบธงขาลง (Down Flag) และจากขณะที่ลิฟท์กำลังจอดอยู่ที่ระดับชั้น โดยกำลังทำงานอยู่ในช่วงของโปรแกรมย่อย Load Direction รายละเอียดการทำงานของโปรแกรมย่อยนี้ จะเริ่มต้นโดยมีการตรวจสอบว่าระดับชั้นที่ลิฟท์กำลังเคลื่อนที่เข้าไปนั้น หรือระดับชั้นที่ลิฟท์จอดอยู่นั้น เป็นระดับชั้นต่ำสุดหรือไม่ ถ้าพบว่าเป็นชั้นล่างสุด โปรแกรมในส่วนนี้จะรีเซ็ตสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์ในชั้นที่ต่ำกว่า และจบการทำงานของโปรแกรมย่อยนี้ เมื่อตรวจสอบพบว่าไม่ใช่ชั้นล่างสุด จะเริ่มทำการตรวจสอบสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากแผงควบคุมภายในลิฟท์ของชั้นที่ต่ำกว่าชั้นที่ลิฟท์อยู่ในขณะนั้นหนึ่งชั้น ถ้าพบว่ามีสัญญาณเรียกใช้ลิฟท์ โปรแกรมก็จะทำการเซ็ตสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากชั้นที่ต่ำกว่า ถ้าไม่พบจะไปทำการตรวจสอบสถานะของสัญญาณการอ่านสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์ จากแผงควบคุมหน้าประตู ถ้ามีสถานะถูกรีเซ็ตอยู่ โปรแกรมจะไม่ตรวจสอบสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากแผงควบคุมหน้าประตูเลย โดยจะข้ามไปทำงานที่ท้ายวงรอบของการทำงานนี้เลย แต่ถ้าสถานะของสัญญาณนั้นถูกเซ็ตโปรแกรม จะทำการตรวจสอบสัญญาณเรียกใช้ลิฟท์ จากแผงควบคุมหน้าประตูในทิศทางลง (Down hall call) เมื่อพบว่ามีสัญญาณก็จะเซ็ตสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากชั้นที่ต่ำกว่า แล้วจะข้ามไปทำงานที่ท้ายวงรอบของการทำงานที่มีการตรวจสอบเงื่อนไขเลย เมื่อตรวจสอบแล้วไม่พบสัญญาณโปรแกรมจะตรวจสอบสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากแผงควบคุมหน้าประตูในทิศทางขึ้น (Up Hall call) ถ้าตรวจพบสัญญาณเรียกใช้ลิฟท์จากแผงควบคุมหน้าประตูในทิศทางขึ้น (Up hall call) ถ้าตรวจพบสัญญาณนี้ จะเซ็ตสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากชั้นที่ต่ำกว่า แล้วข้ามไปทำงานที่ท้ายของวงรอบการทำงานเลย แต่ถ้าตรวจสอบไม่พบสัญญาณนี้ โปรแกรมจะทำการตรวจสอบเงื่อนไขสองข้อ โดยที่ข้อแรก คือ โปรแกรมทำการตรวจสอบสัญญาณจนถึงชั้นล่างสุดแล้วหรือยัง ถ้ายังก็จะลดชั้นที่จะต้องทำการตรวจสอบลงไปอีกชั้นหนึ่ง แล้วทำงานซ้ำในวงรอบเดิมอีก แต่ถ้าโปรแกรมตรวจสอบจนถึงชั้นล่างสุดแล้วก็จะออกจากการทำงานในวงรอบนี้ สำหรับการตรวจสอบเงื่อนไขในข้อที่สองนั้น คือ โปรแกรมจะทำการตรวจสอบว่าสัญญาณเรียกใช้ลิฟท์จากชั้นที่ต่ำกว่าถูกเซ็ต จะกลับไปทำงานซ้ำที่ต้นของวงรอบการทำงานนี้ จนกระทั่งมีการตรวจสอบจนถึงชั้นล่างสุด หรือมีการเซ็ตค่าของสัญญาณการเรียกใช้ลิฟท์จากชั้นที่ต่ำกว่า และเมื่อตรวจตรงกับเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งแล้ว จะจบการทำงานของโปรแกรมย่อยนี้กลับเข้าไปทำงานต่อยังโปรแกรมที่เรียกใช้โปรแกรมย่อยนี้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.9 การทำงานของโปรแกรมย่อยตรวจสอบการเข้าจอดที่ระดับชั้น (CHECK STOP)

ในส่วนของโปรแกรมย่อย Check Stop นี้ จะทำหน้าที่ในขณะที่ลิฟท์กำลังวิ่งทั้งในทิศทางขึ้น และ ในทิศทางลง โดยโปรแกรมย่อยนี้จะทำงานในกรณีที่ลิฟท์ตรวจพบสัญญาณใบธงในแต่ละชั้น ไม่ว่าจะเป็นสัญญาณใบธงขาขึ้น (Up Flag) หรือ สัญญาณใบธงขาลง (Down Flag) เมื่อโปรแกรมตรวจพบสัญญาณใบธงจะทำงานในฟังก์ชั่นต่าง ๆ แล้วจะเข้ามาทำงานในชั้นนี้หรือไม่ ในกรณีที่ตรวจสอบพบว่าจะต้องจอดในชั้นนี้นั้น โปรแกรมจะส่งสัญญาณไปยังส่วนขับเคลื่อนลิฟท์ ให้ขับลิฟท์ด้วยความเร็วต่ำ (Slow speed) จนกระทั่งทำการเข้าจอดต่อไป สำหรับในกรณีที่ตรวจสอบพบว่าไม่ต้องเข้าจอดในชั้นนี้ โปรแกรมจะส่งสัญญาณไปยังส่วนขับเคลื่อนลิฟท์ ให้ขับลิฟท์ด้วยความเร็วสูง (Fast speed)

สำหรับรายละเอียดของการทำงานของโปรแกรมย่อยนี้ก็คือ ภายหลังจากที่ลิฟท์เข้าสู่ช่วงของสัญญาณใบธงแล้ว จะมีการเพิ่มค่าของตัวนับชั้น โปรแกรมย่อยนี้จะอ่านสัญญาณที่มีการกดเรียกจากแผงควบคุมภายในลิฟท์ (สัญญาณ Car Call) ของชั้นที่ลิฟท์กำลังจะเข้าถึงในขณะนั้น ซึ่งสามารถที่จะตรวจสอบระดับชั้นได้จากตัวนับชั้นนั่นเอง เมื่อมีการตรวจพบสัญญาณเรียกจากแผงควบคุมภายในลิฟท์ โปรแกรมจะเซ็ตสัญญาณการเข้าจอด (Stop Signal) ที่ระดับชั้นนั้น ถ้าโปรแกรมตรวจไม่พบสัญญาณการเรียกจากแผงควบคุมภายในลิฟท์ จะต้องมีการตรวจสอบค่าของสัญญาณการอ่านสัญญาณการเรียกจากแผงควบคุมที่อยู่หน้าประตู (Up and Down hall call) ถ้ามีการรีเซ็ตสัญญาณก่อนหน้านี้แล้ว แสดงว่าจะไม่มีการนำเอาสัญญาณเรียกจากหน้าประตูเข้ามาพิจารณา โปรแกรมจะรีเซ็ตสัญญาณการเข้าจอดที่ชั้นนั้น แต่ถ้าสถานะของสัญญาณดังกล่าวถูกเซ็ตอยู่ นั่นคือจะต้องนำเอาสัญญาณเรียกจากหน้าประตูมาพิจารณาในการเข้าจอดของลิฟท์ โดยที่จะต้องตรวจสอบได้จากสัญญาณลิฟท์เคลื่อนที่ขึ้น หรือลงนั่นเอง (Direction up signal or Direction down Signal) สำหรับกรณีที่ลิฟท์กำลังเคลื่อนที่ขึ้น โปรแกรมจะตรวจสอบเฉพาะสัญญาณเรียกขึ้น *Up hall call) เท่านั้น ถ้าตรวจพบก็จะทำการเซ็ตสัญญาณการเข้าจอด และเมื่อตรวจไม่พบก็หมายความว่าไม่ต้องเข้าจอดที่ชั้นนี้ โปรแกรมจะรีเซ็ตสัญญาณการเข้าจอดที่ชั้นนี้ ส่วนกรณีที่ลิฟท์กำลังเคลื่อนที่ในทิศทางลงนั้น จะมีการตรวจสอบสัญญาณเรียกลง จากแผงควบคุมหน้าประตู (Down hall Call) เมื่อตรวจพบก็จะเซ็ตสัญญาณการเข้าจอด และเมื่อตรวจไม่พบก็จะรีเซ็ตสัญญาณการเข้าจอด เช่นเดียวกับกรณีที่ลิฟท์กำลังเคลื่อนที่ขึ้น

สำหรับในกรณีที่มีการทำงานในโปรแกรมย่อยนี้ โดยมีผลการตรวจสอบไม่พบสัญญาณเรียกจากแผงควบคุมภายในลิฟท์ และสัญญาณทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้น , สัญญาณการเคลื่อนที่ลง มีสถานะถูกรีเซ็ตอยู่ ดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นแล้วว่า โปรแกรมย่อยนี้ จะถูกเรียกใช้ในขณะที่ลิฟท์กำลังเคลื่อนที่ขึ้น หรือ ลง ด้วยความเร็วสูง ในกรณีที่ผลการตรวจสอบดังกล่าวแสดงว่าเกิดความผิดพลาดขึ้น ไม่ว่าจะมีสาเหตุมาจากสิ่งใด ๆ ก็ตาม โปรแกรมจะสั่งให้ลิฟท์เข้าจอดในชั้นนั้นด้วย ซึ่งก็คือจะเซ็ตสัญญาณการเข้าจอดที่ชั้นนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. วิชัย ศังขจันทรานนท์, *ควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1.* พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ:เอชเอนการพิมพ์ ,2529.

2. ยืน ภู่วรวรรณ, *ทฤฎีและการประยุกต์ไมโครโปรเซสเซอร์ Z-80.* กรุงเทพฯ:เอชเอนการพิมพ์,2532

3. ศูนย์ภาษาคอมพิวเตอร์, *การใช้งาน Z-80.* กรุงเทพฯ:ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ การพิมพ์.

4. Marvin,J.Fisher. *Power Electronics.* Boston:PWS-KENT,1991

5. Bangkok-Hitachi Elevator Service CO.,LTD, *Basic Course Training Hitashi Elevator.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

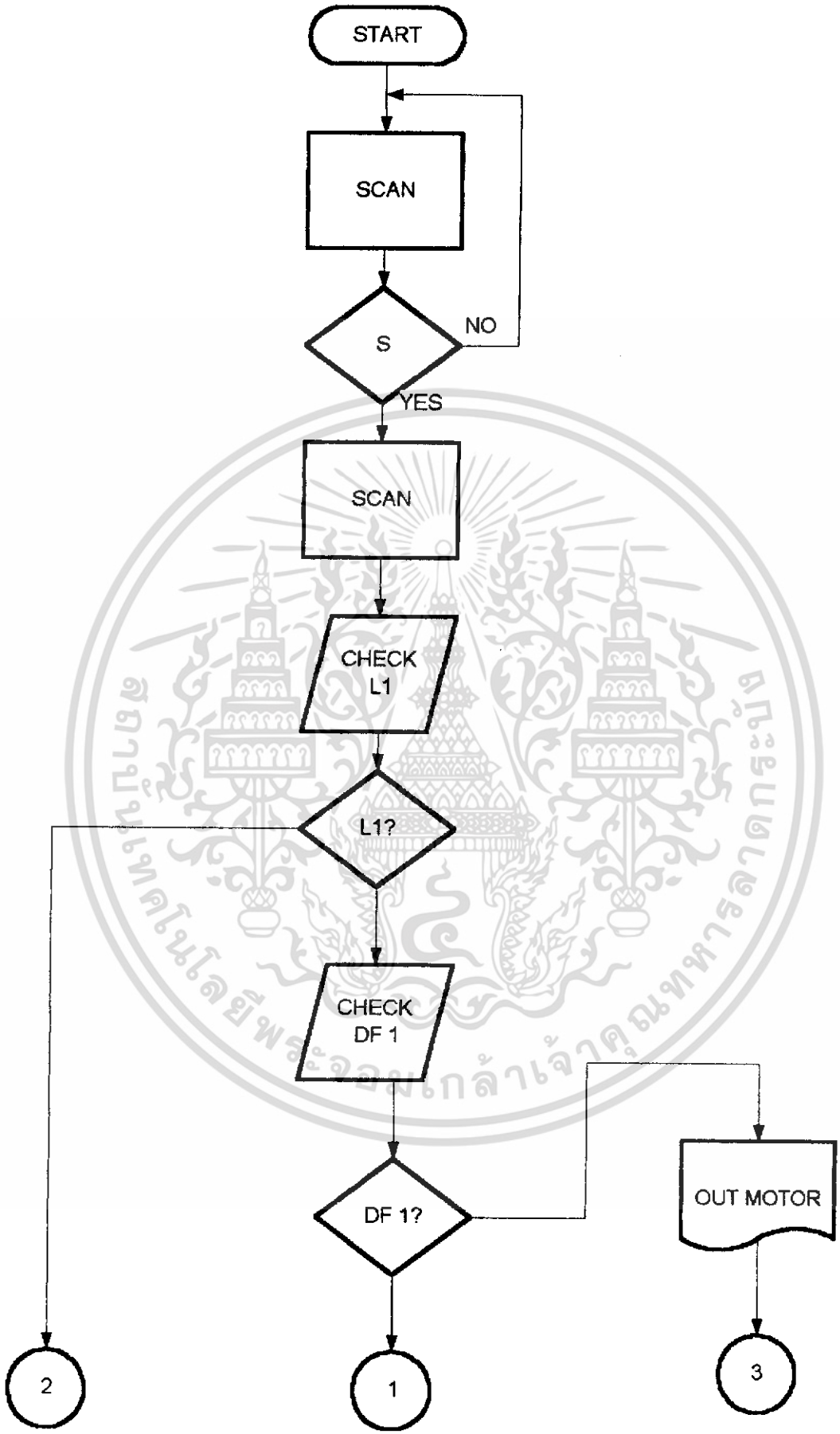
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

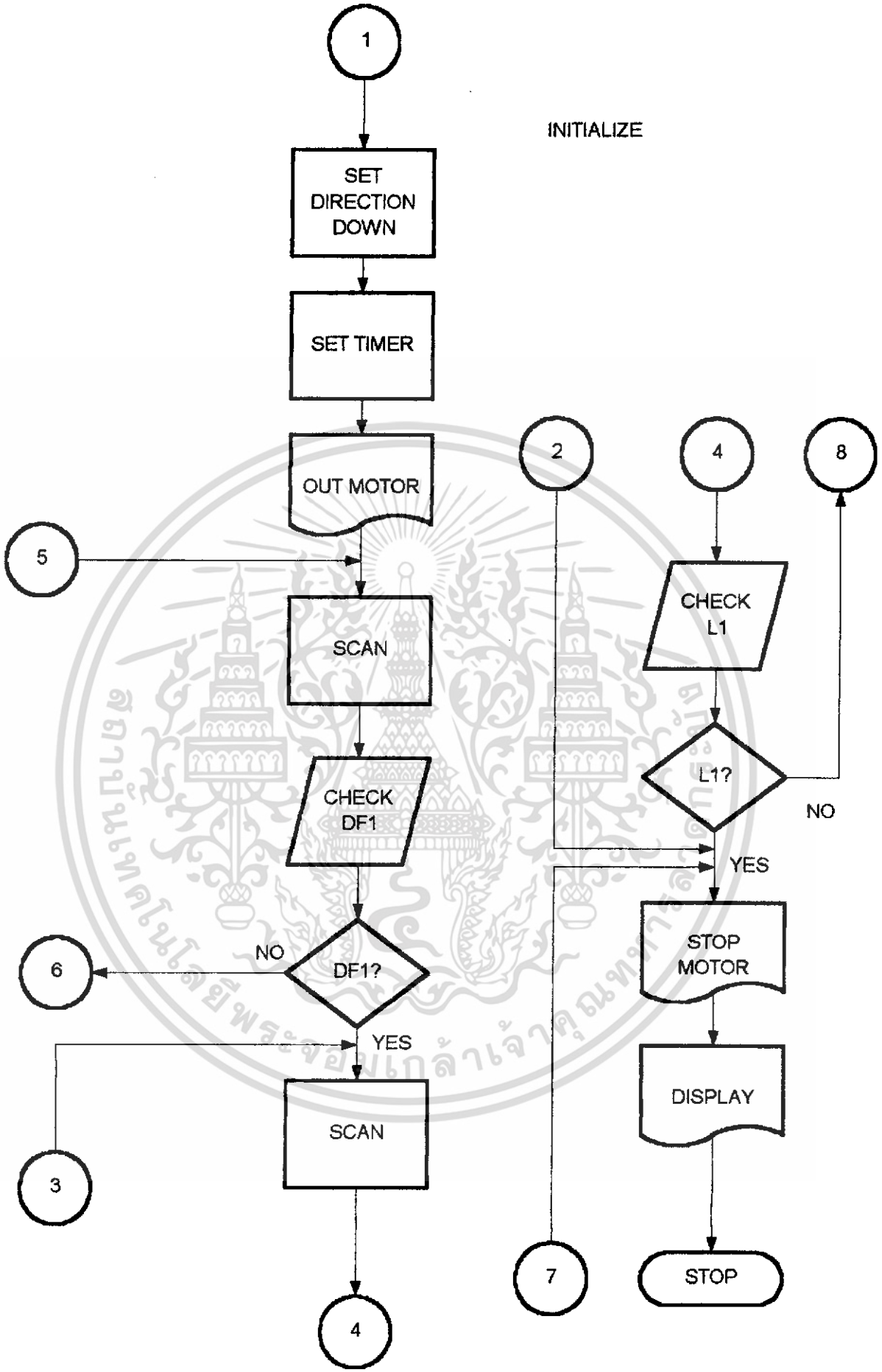
FLOW CHART ของโปรแกรมควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

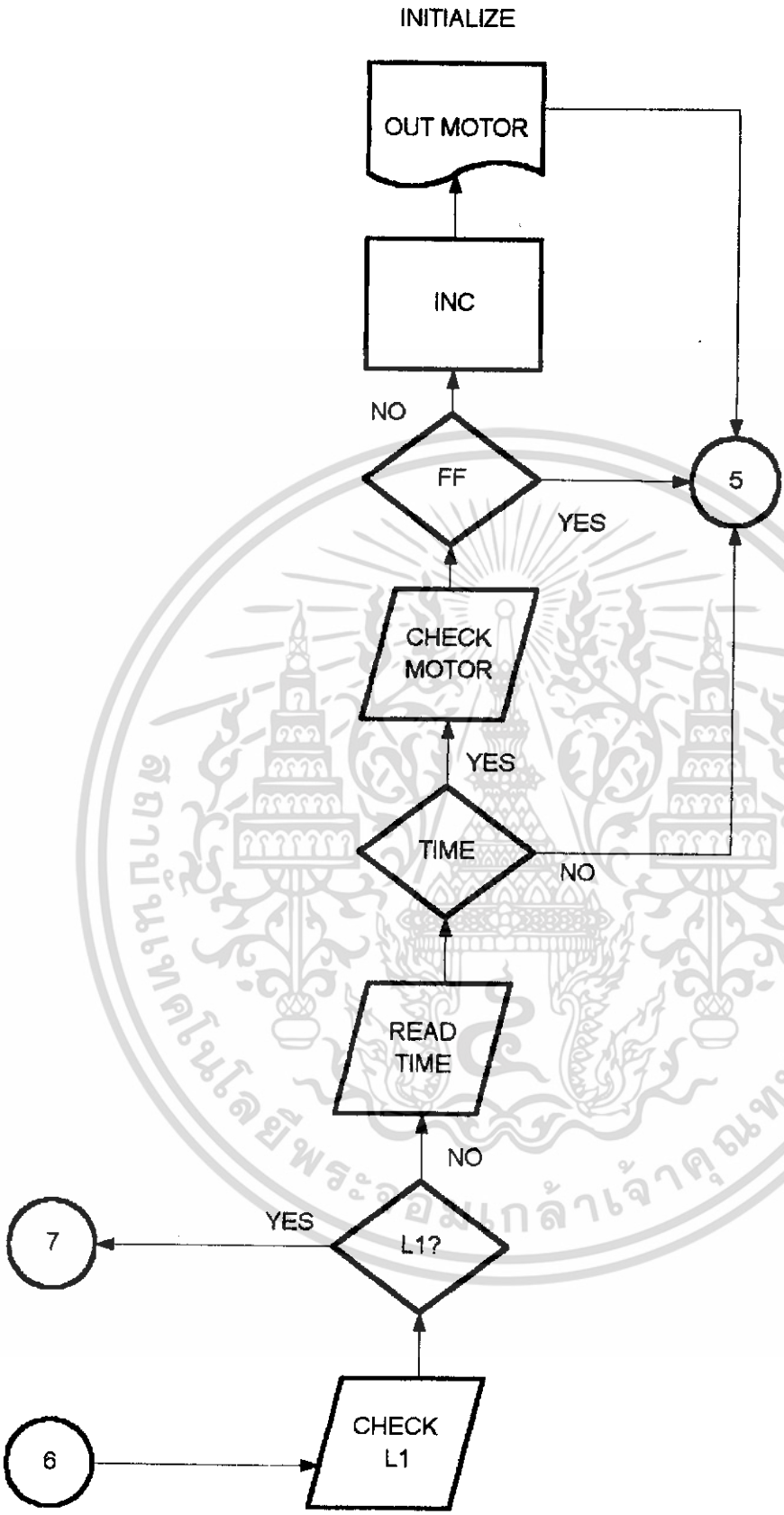
INITIALIZE



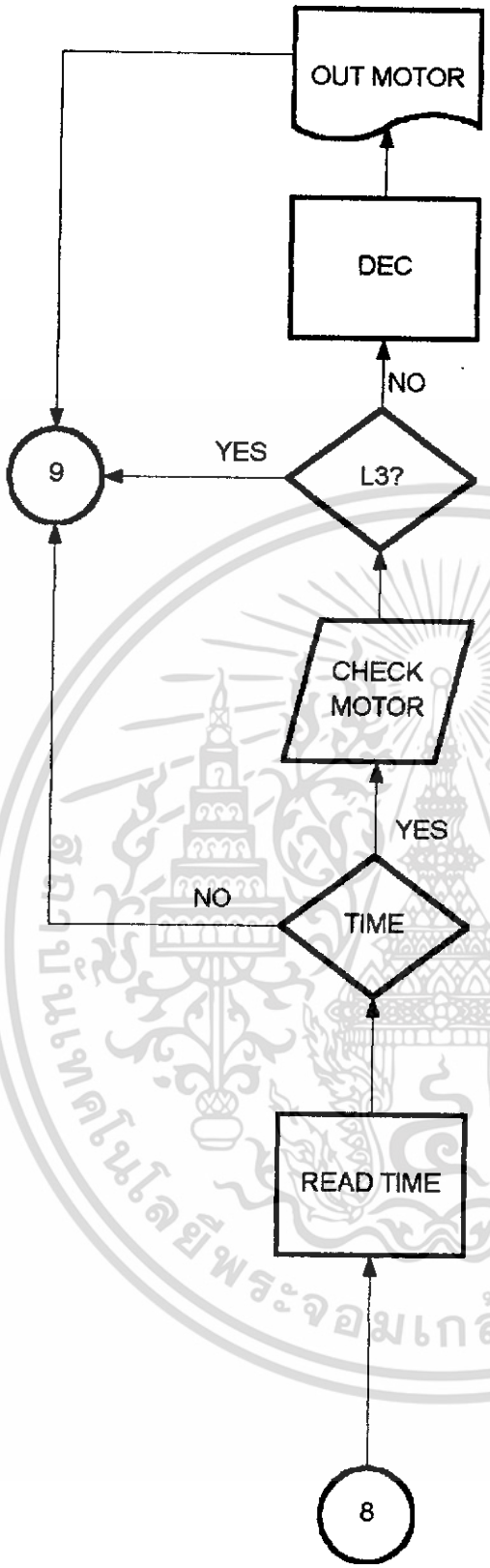
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



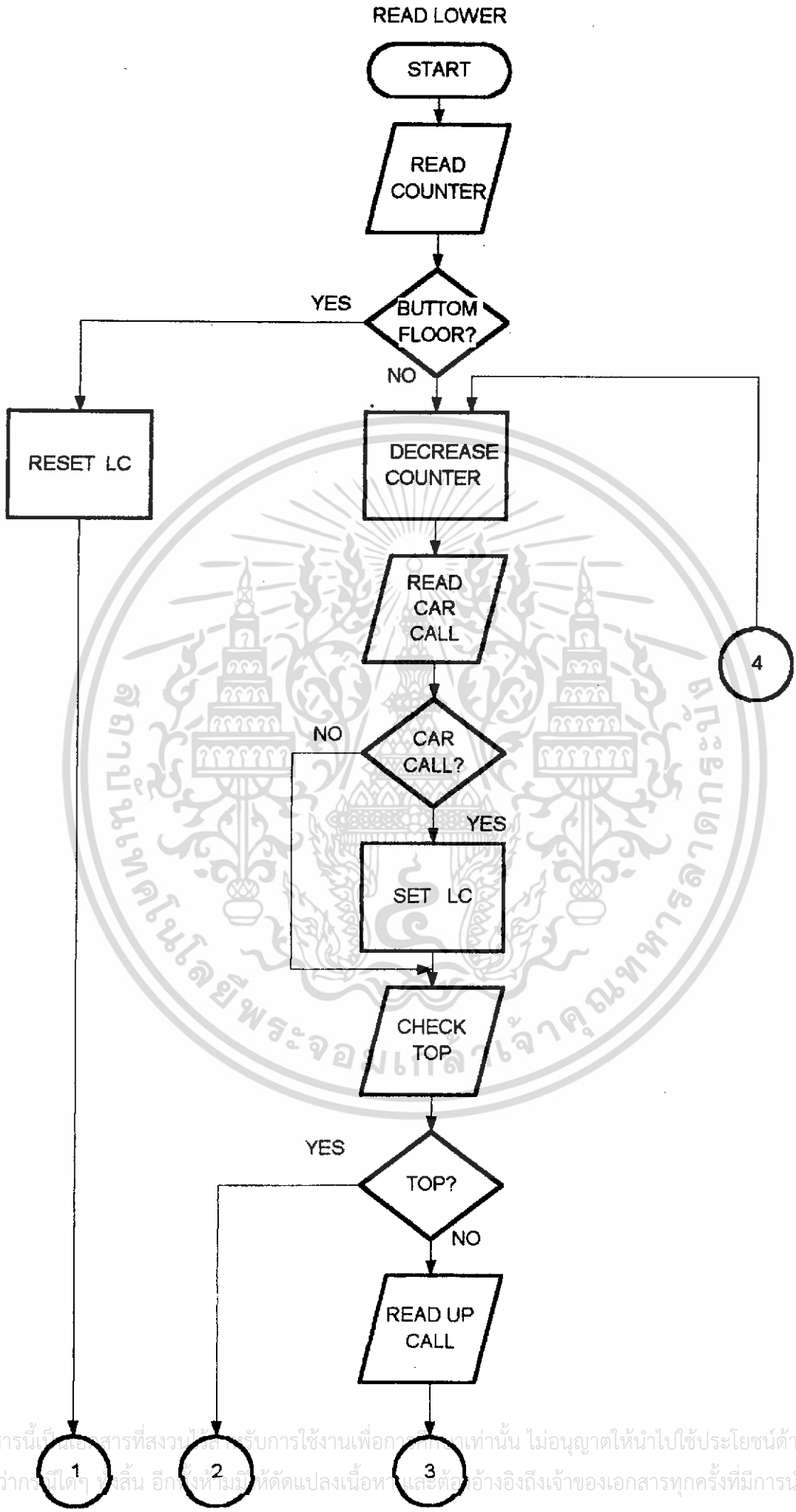
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



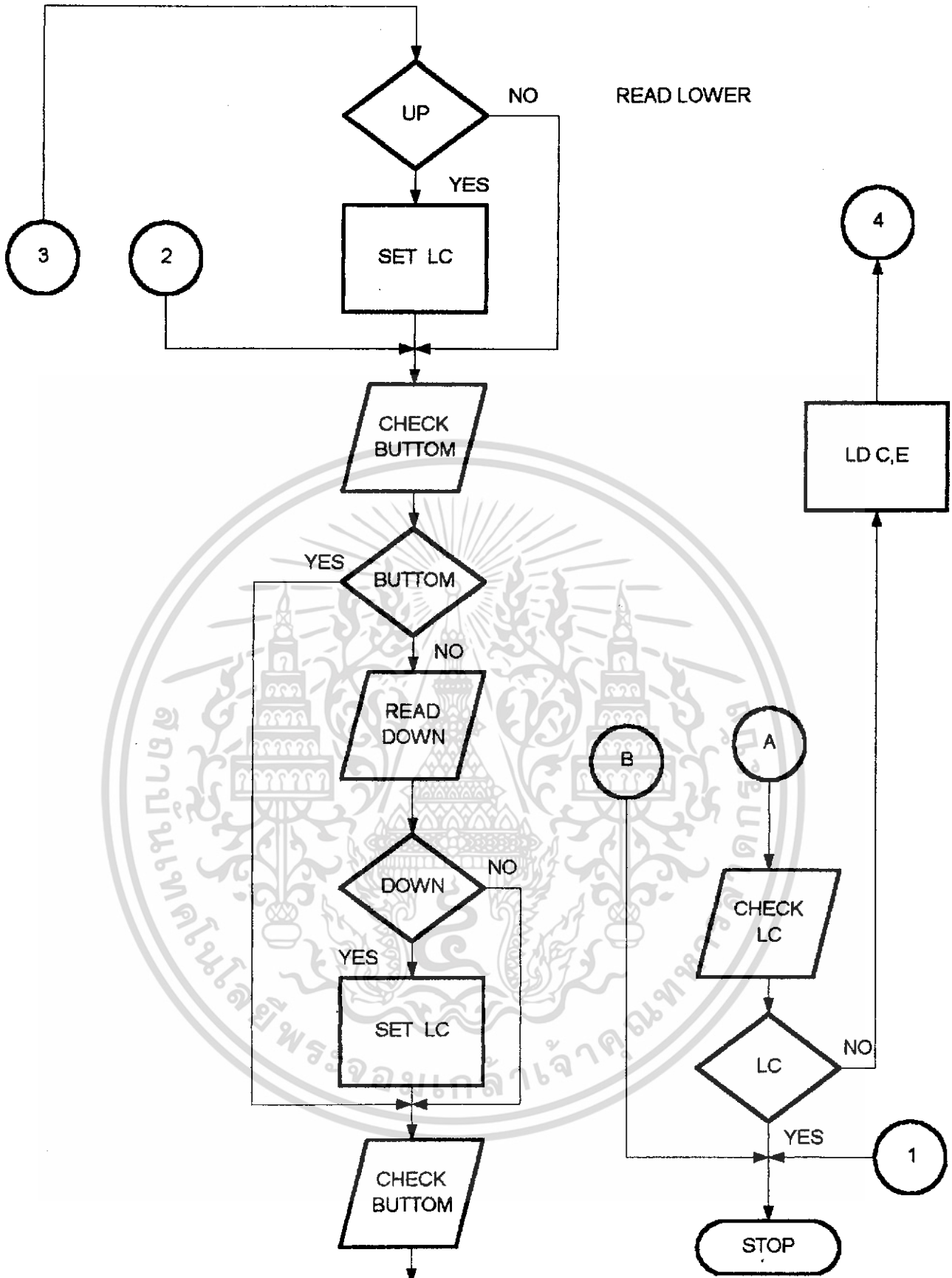
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

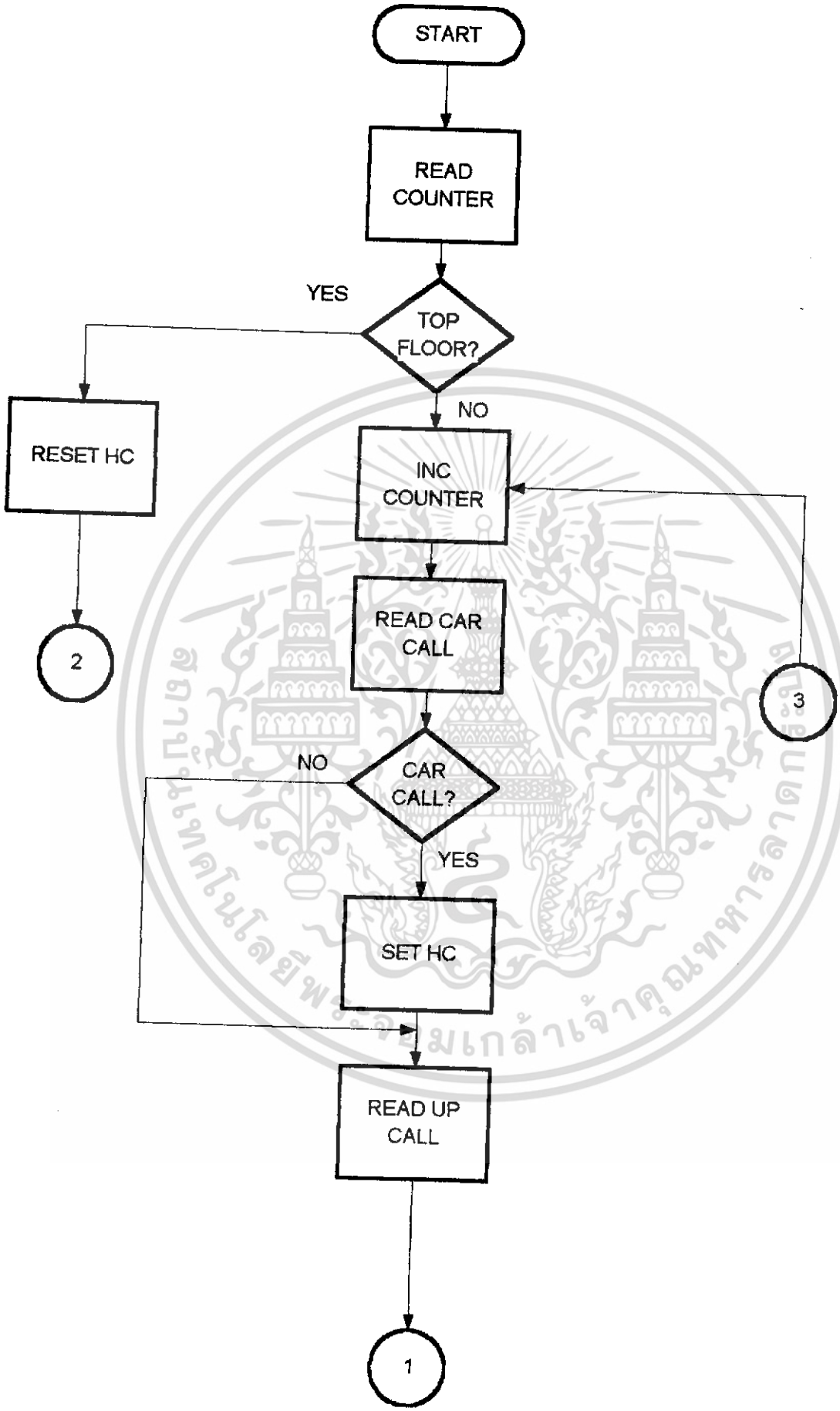


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

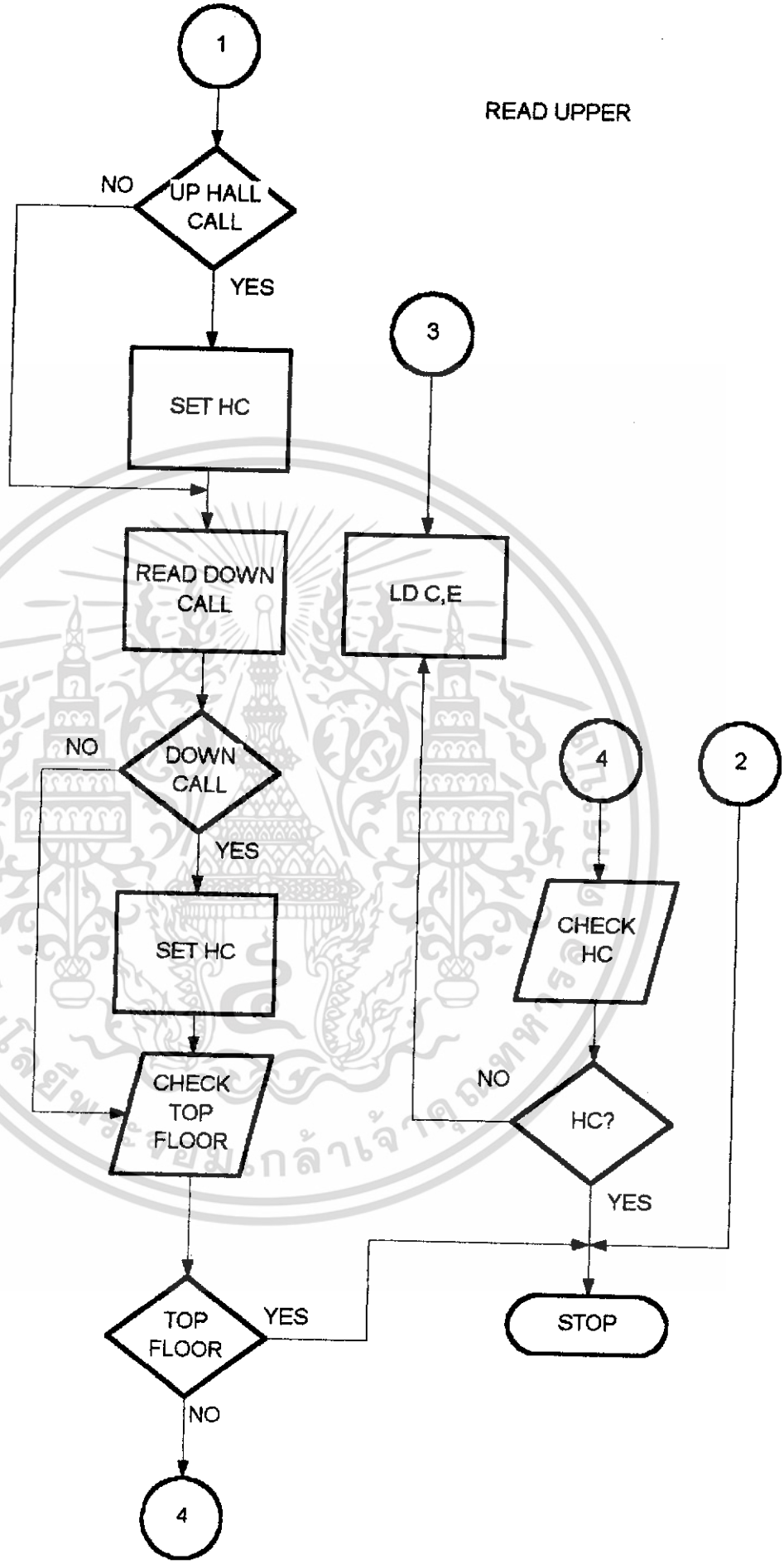


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

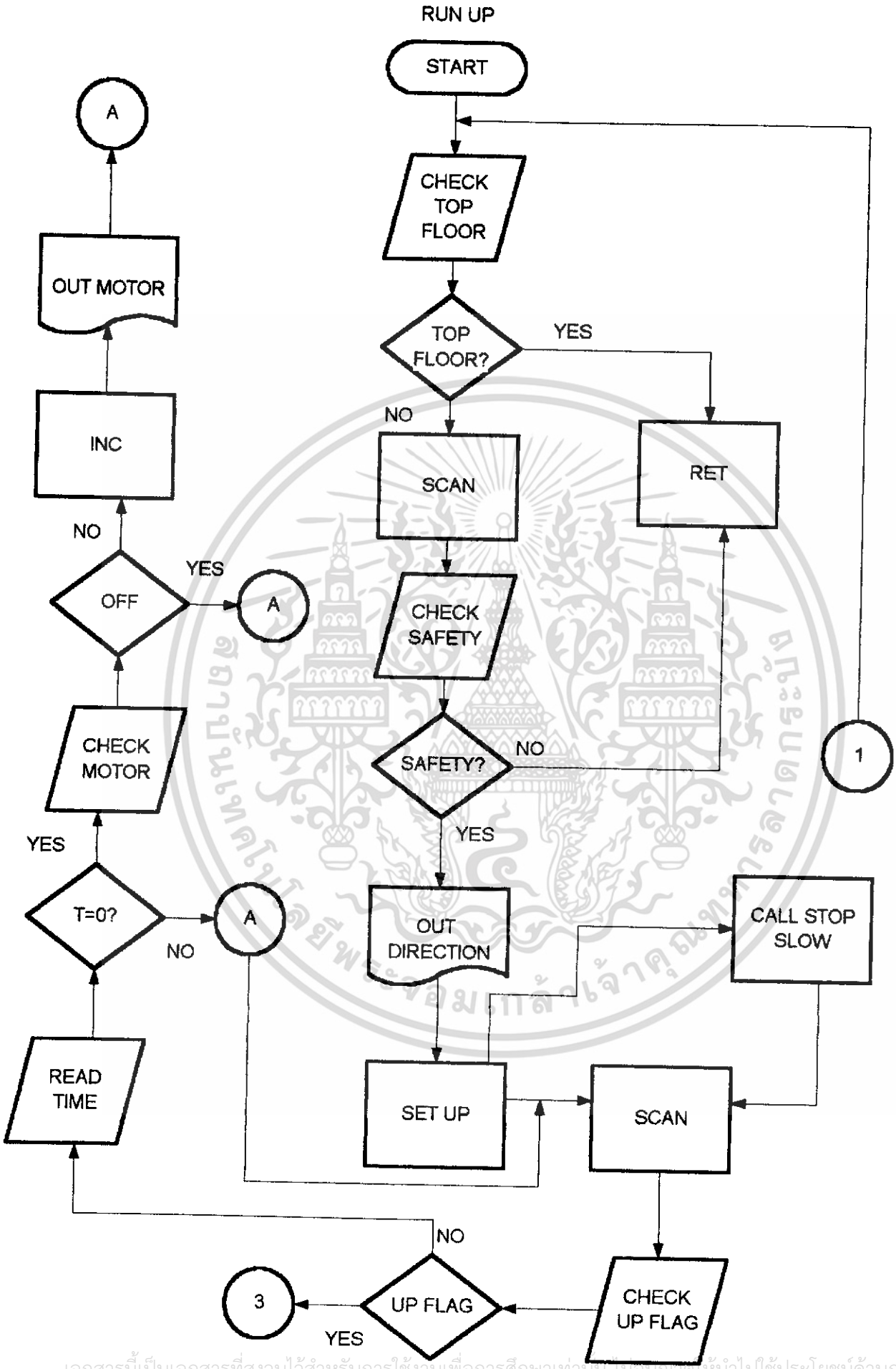
READ UPPER



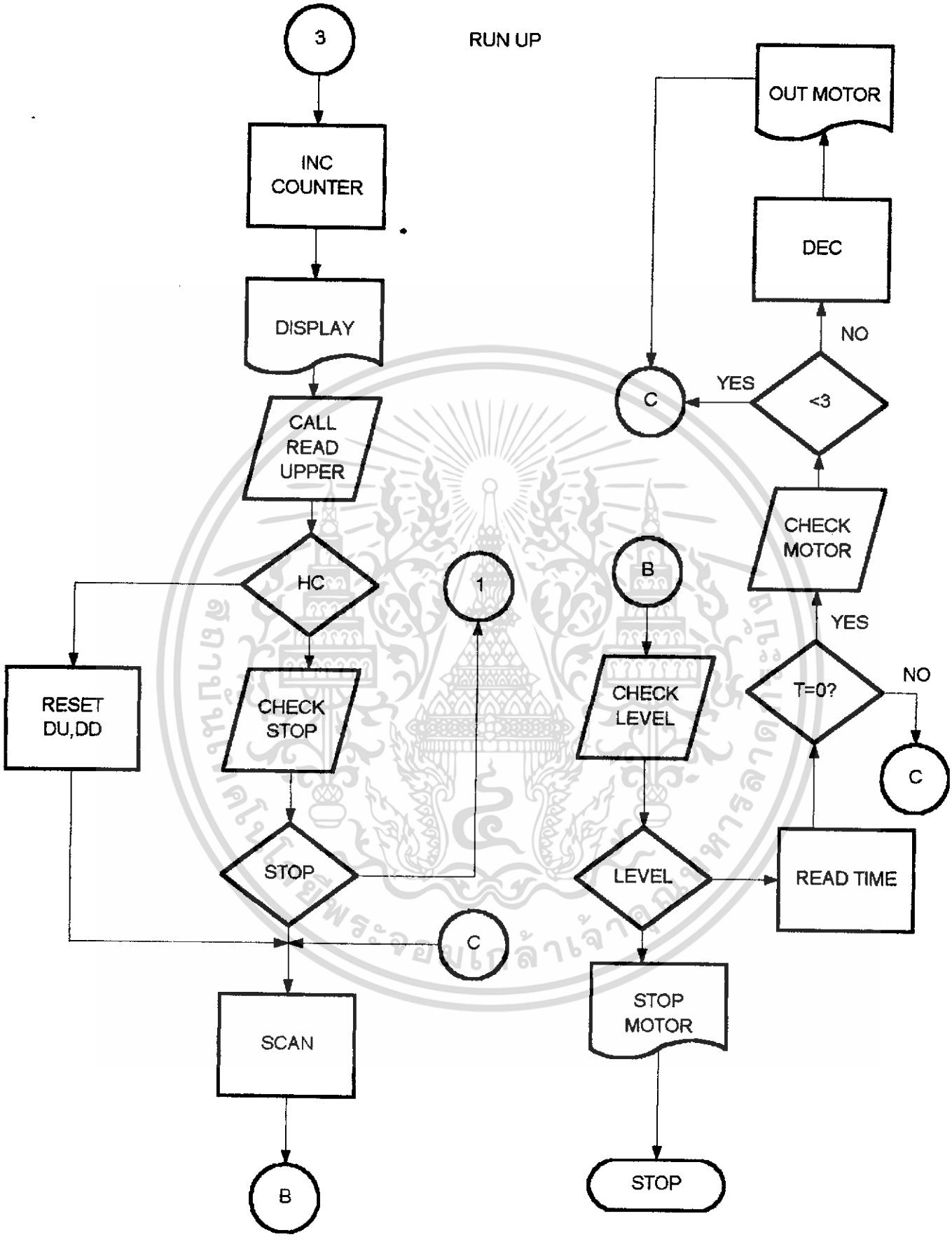
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

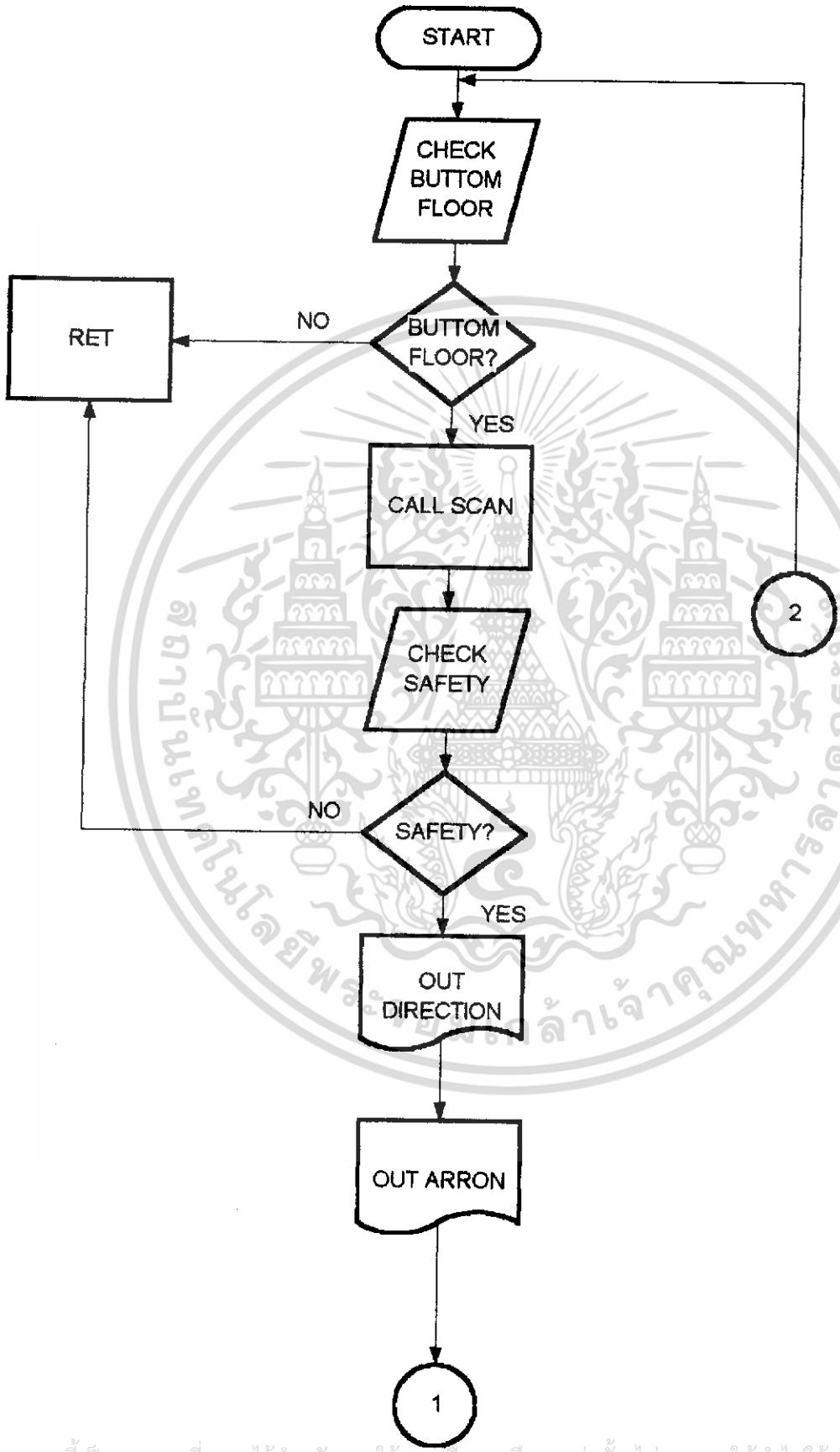


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

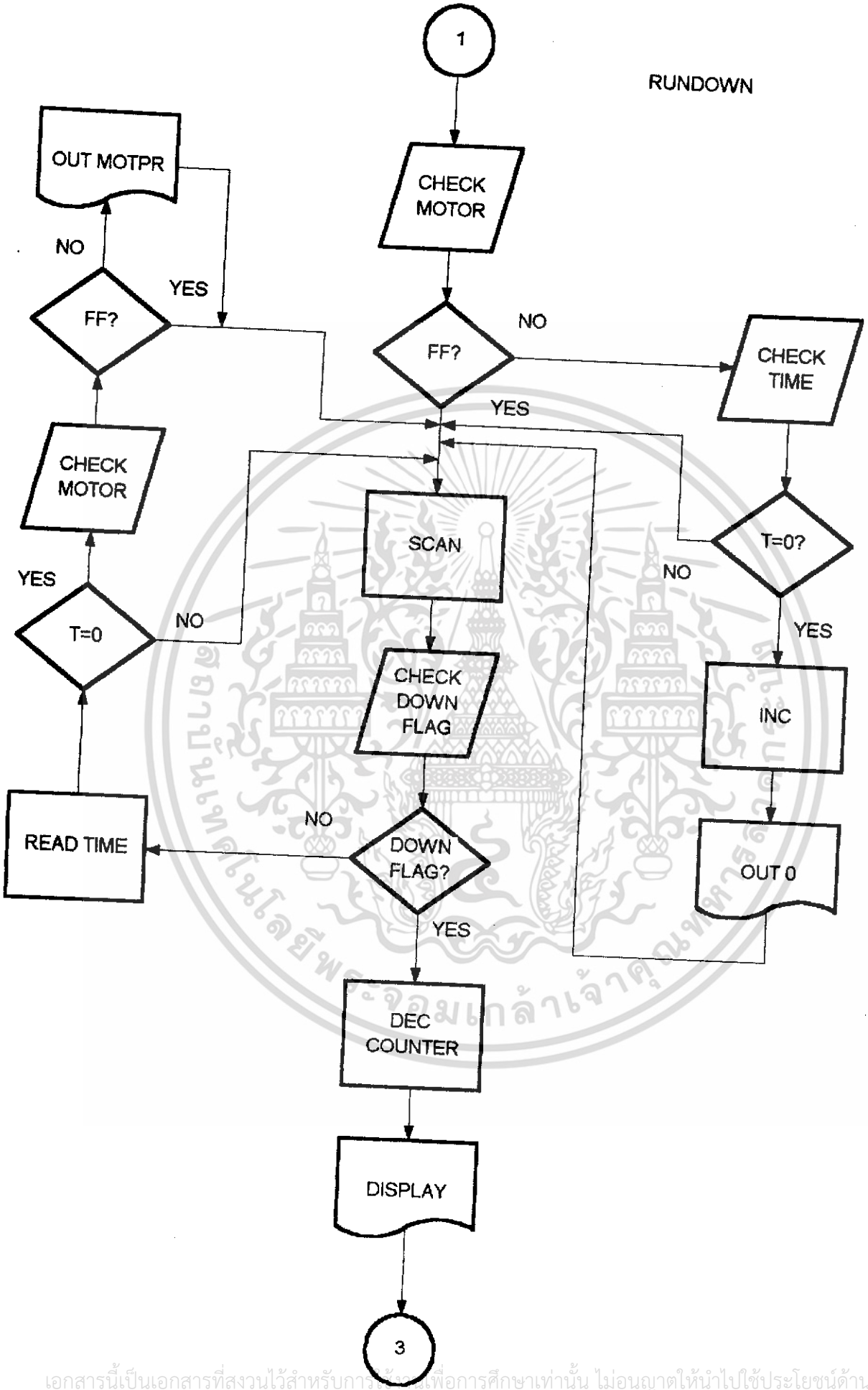


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

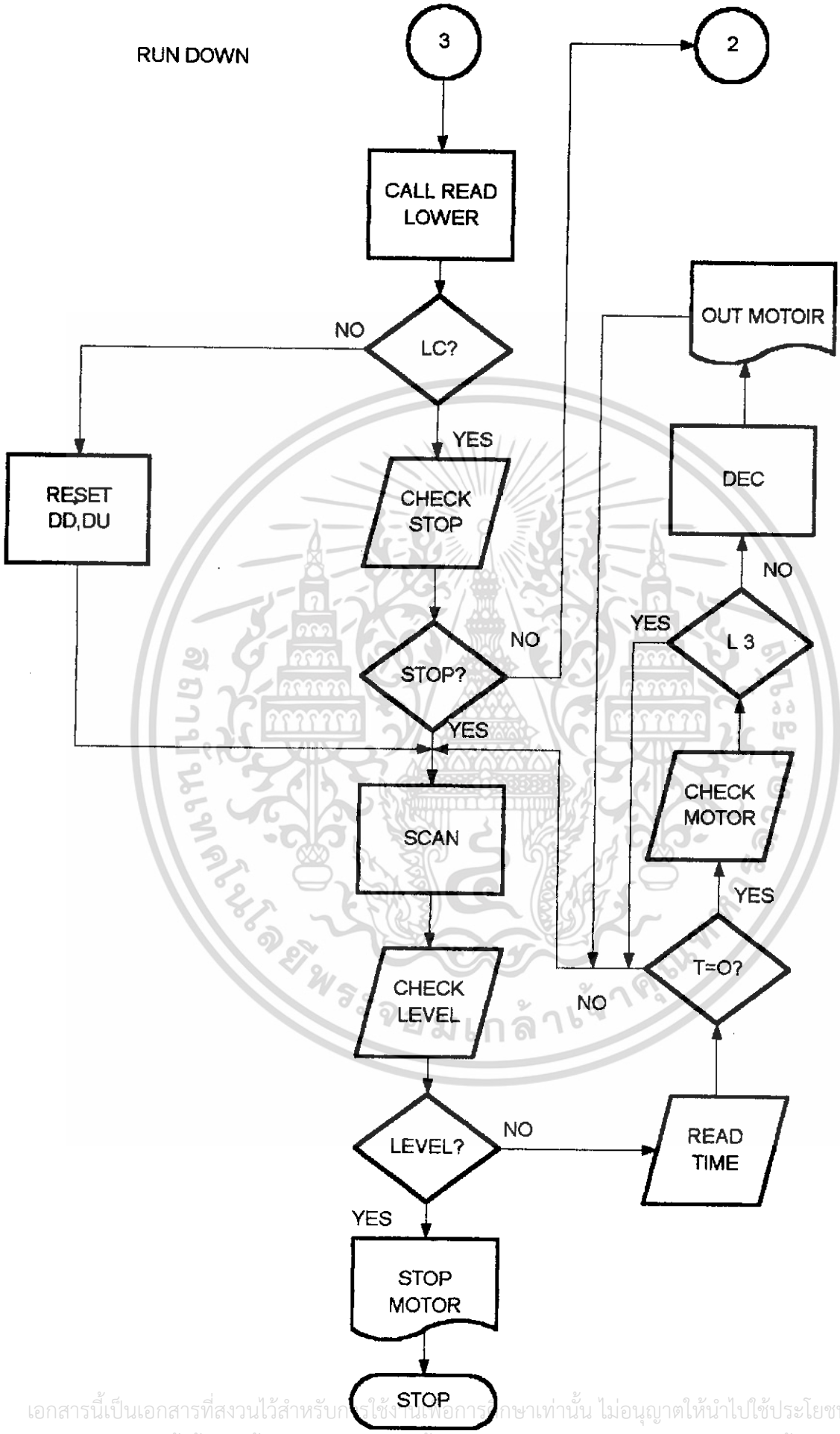
RUN DOWN



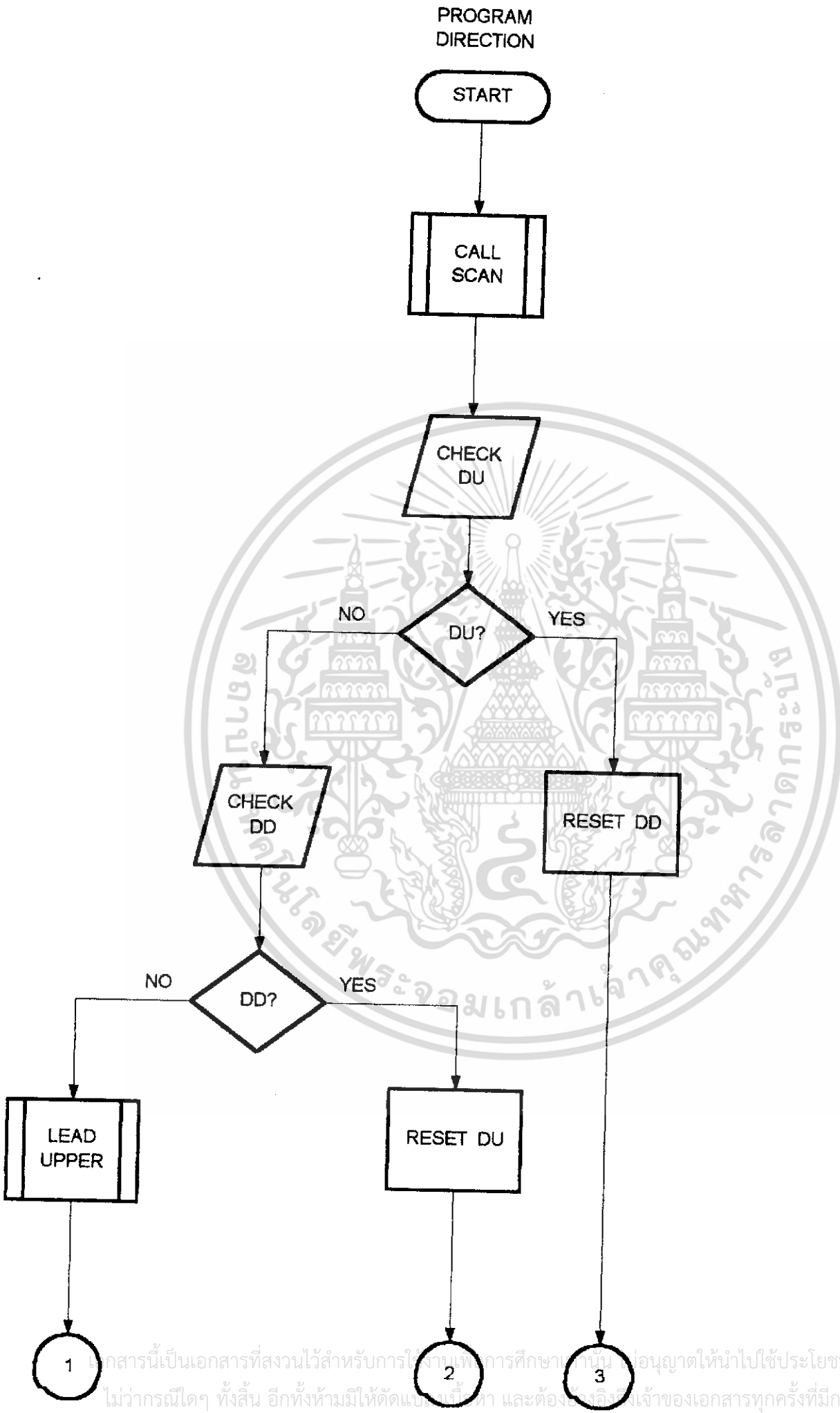
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



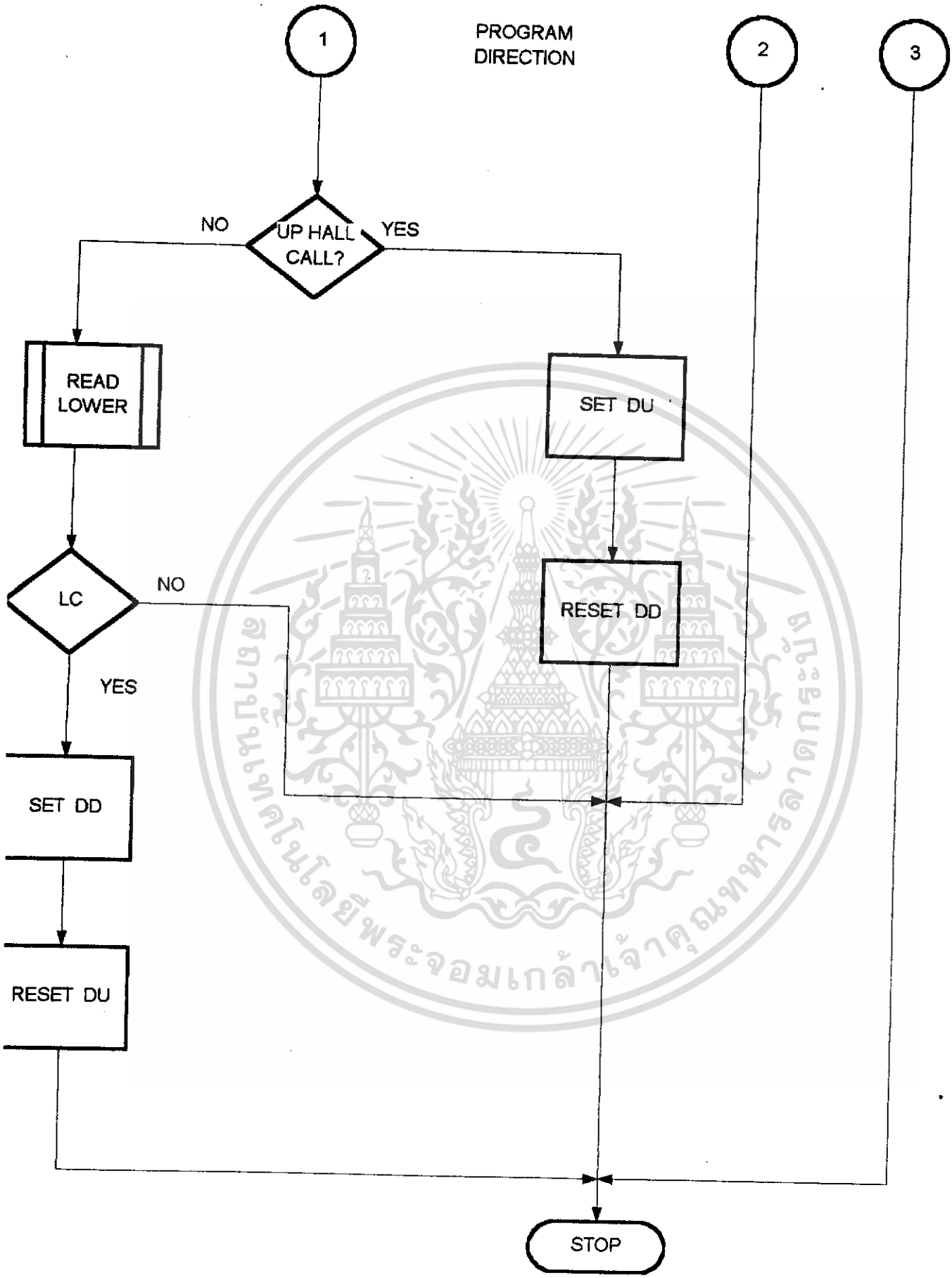
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



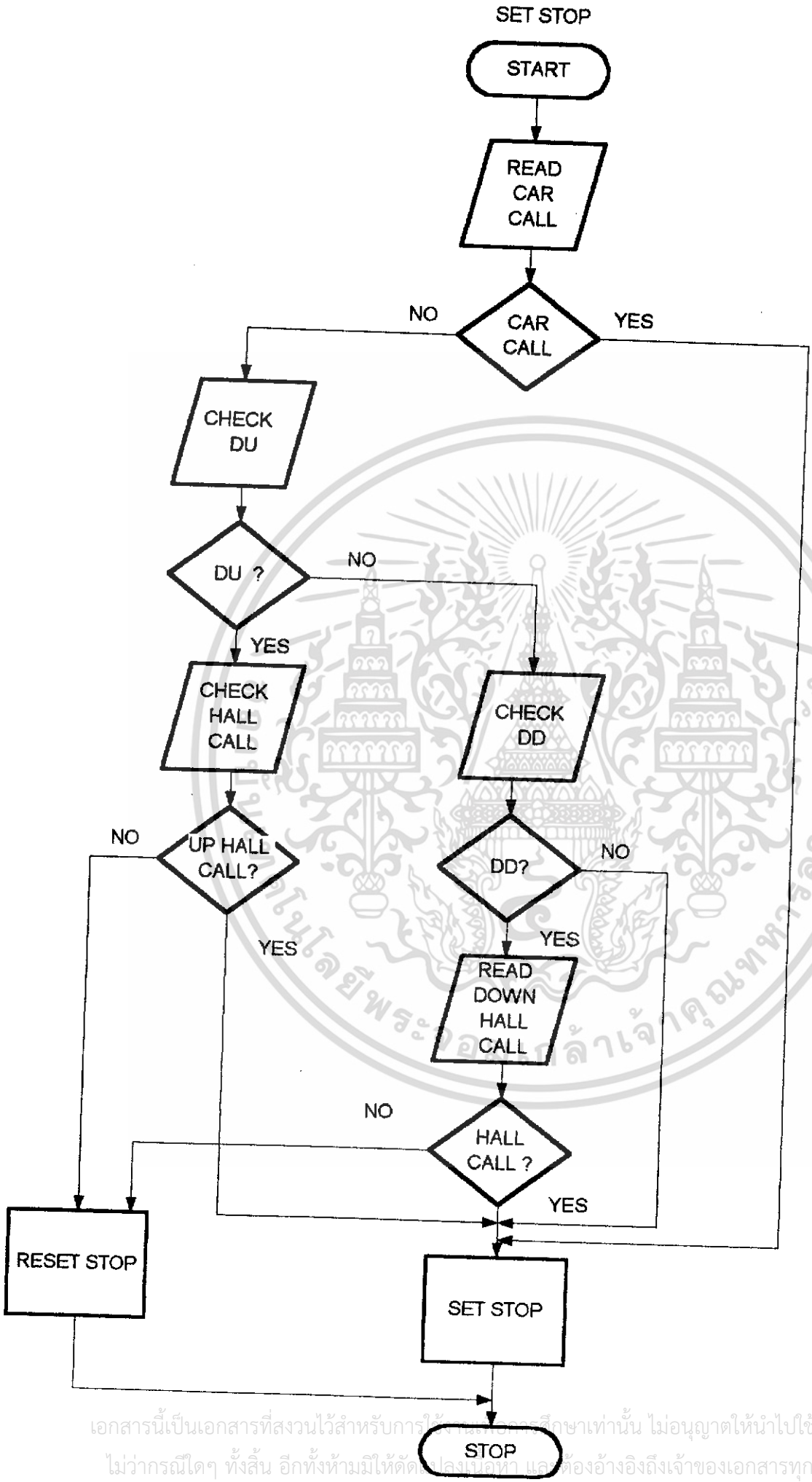
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

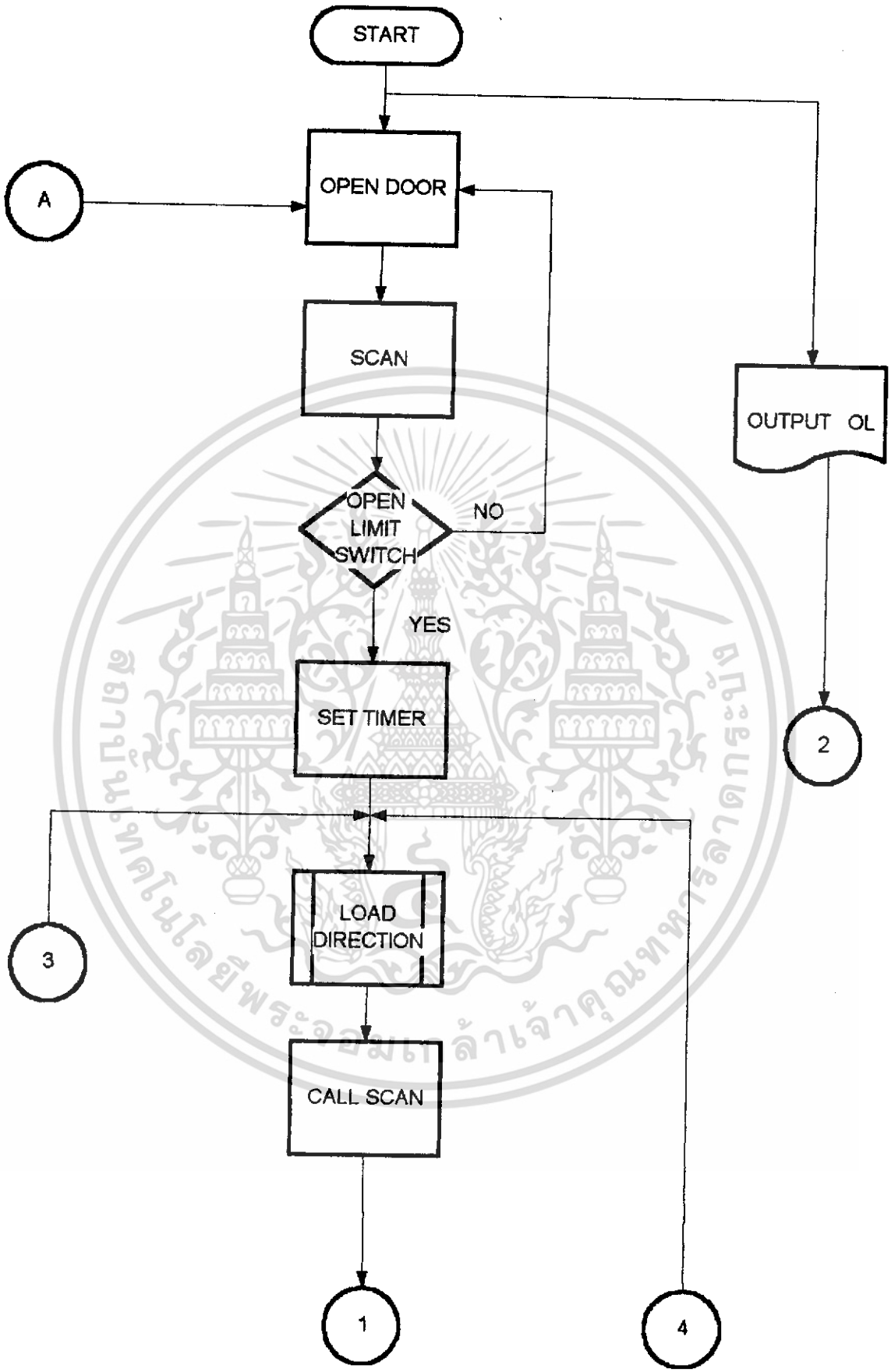


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

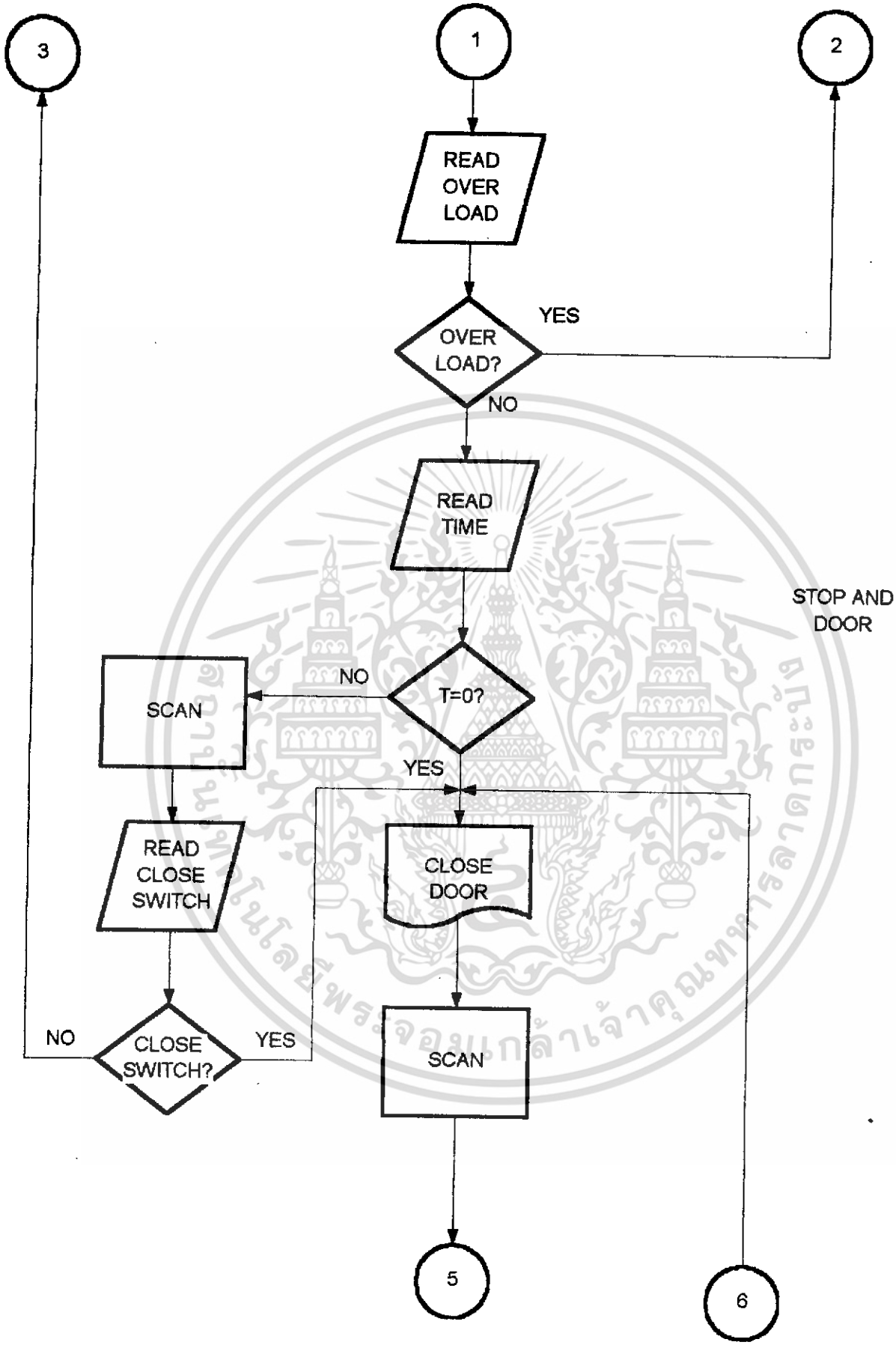


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

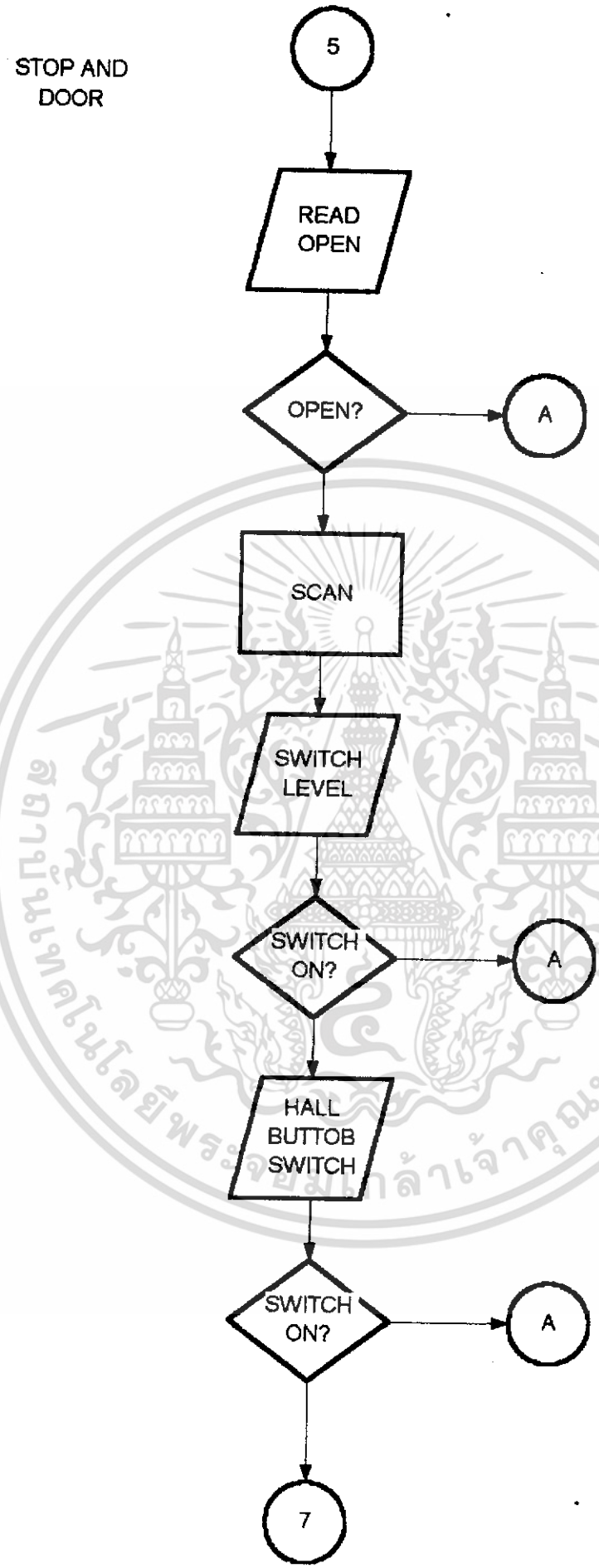
STOP AND
DOOR



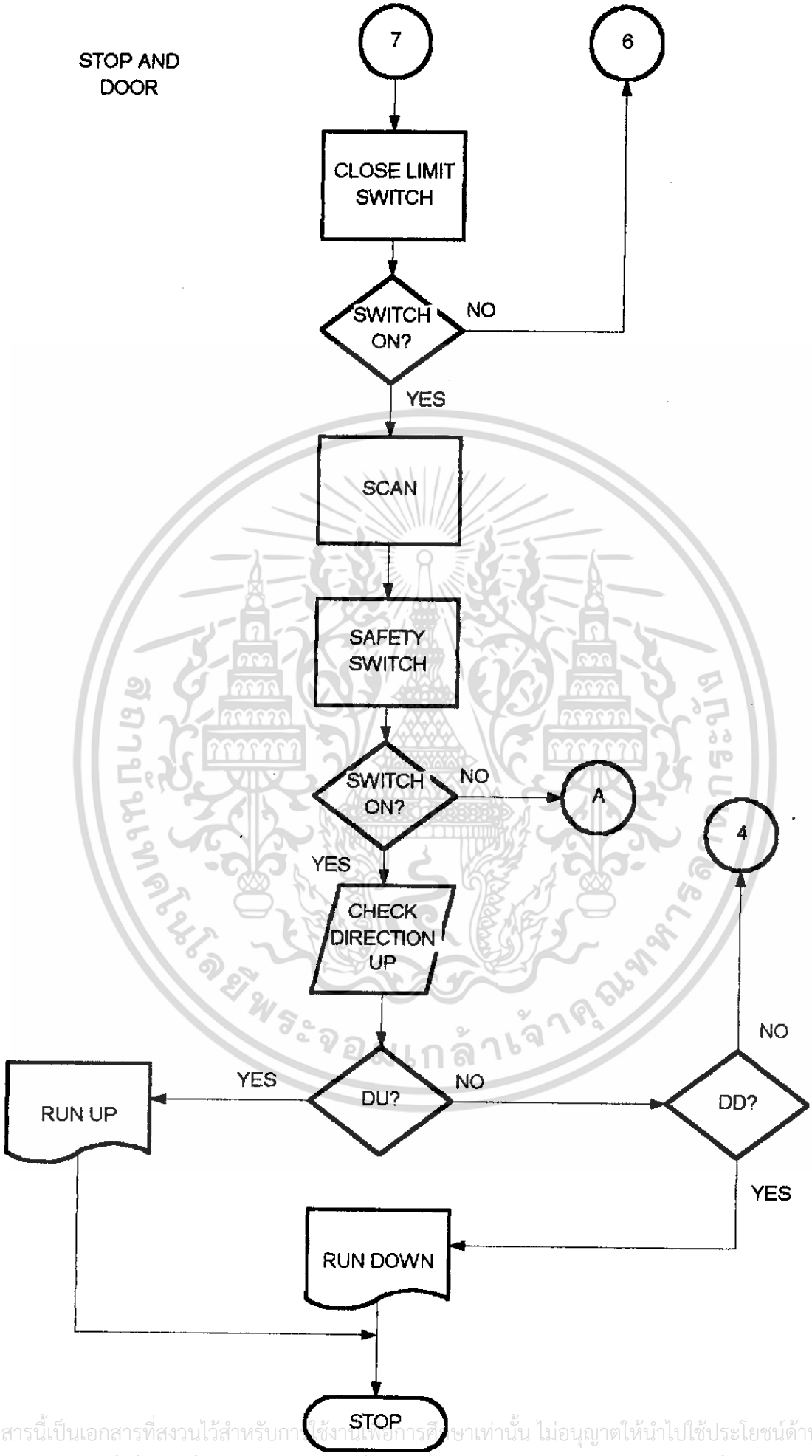
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

โปรแกรมควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;   ***********************************
;   *          SETPARAMETER           *
;   ***********************************
;
            ORG  4000H
CONTROL-1       EQU  B3H
CONTROL-2       EQU  C3H
MOTOR-OUT       EQU  B2H
DIREC           EQU  B1H
LED             EQU  B2H
TIME-PORT       EQU  B0H
KEY-OUT         EQU  C2H
KEY-IN          EQU  C1H
SCAN-ADD        EQU  3DH
;
                LD H,3DH
                LD L,00H
                LD B,22H
CL:             LD (HL),00H     ;CLEAR KEYBOARD
                INC L
                DEC B
                JR NZ,CL
;
                LD L,36H        ;CLEAR HC LC
                LD (HL),00H
                INC L
                LD (HL),00H
                INC L
                LD (HL),00H
                INC L
                LD (HL),00H
                INC L
                LD (HL),00H
                LD L,42H
                LD (HL),00H     ;RES KEYBOARD
;
                LD D,3CH    ;LOAD ADD KEY
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
LD E,61H
LD A,18H
LD (DE),A
INC E
LD A,19H
LD (DE),A
INC E
LD A,1AH
LD (DE),A
INC E
LD A,1BH
LD (DE),A
LD E,66H
LD A,1CH
LD (DE),A
INC E
LD A,1EH
LD (DE),A
INC E
LD A,10H
LD (DE),A
INC E
LD A,00H
LD (DE),A
LD E,71H
LD A,00H
LD (DE),A
INC E
LD A,1FH
LD (DE),A
INC E
LD A,11H
LD (DE),A
INC E
LD A,13H
LD (DE),A  ;LD 7-SEGMENT
LD E,76H
LD A,10H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                LD (DE),A
                INC E
                LD A,20H
                LD (DE),A
                INC E
                LD A,30H
                LD (DE),A
                INC E
                LD A,40H
                LD (DE),A
                LD A,90H        ;SET 8255
                OUT (B3H),A
                LD A,92H
                OUT (C3H),A
;
;       **********************************
;       *              INITIAL           *
        **********************************
        ;
INT:            LD A,00H
                OUT (B2H),A
                CALL SCAN
                LD H,3DH
                LD L,07H
                SLA (HL)
                JR NC,INT
                CALL SCAN
                LD L,08H
                SLA (HL)
                JR C,IN2
                LD L,00H
                SLA (HL)
                JR C,IN1
                IN A,(B1H)
                RES 7,A
                OUT (B1H),A
                LD A,25H
               OUT (D0H),A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LD A,05H
        OUT (D0H),A
        IN A,(B2H)
        AND F0H
        OUT (B2H),A
IN6:    CALL SCAN
        LD L,00H
        SLA (HL)
        JR NC,IN3
IN5:    CALL SCAN
        LD L,08H
        SLA (HL)
        JR NC,IN4
IN2:    IN A,(0B2H)
        AND F0H
        OUT (B2H),A
        LD L,40H
        LD (HL),01H
        LD D,3CH
        LD E,(HL)
        PUSH DE
        POP IX
        LD B,(IX+75H)
        IN A,(B2H)
        AND 0FH
        OR B
        OUT (B2H),A
        CALL DOOR
IN1:    LD A,25H
        OUT (D0H),A
        LD A,05H
        OUT (D0H),A
        IN A,(B1H)
        RES 7,A
        OUT (B1H),A
        IN A,(B2H)
        SET 0,A
        SET 1,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                OUT (B2H),A
                JR IN5
IN3:            LD H,3DH
                LD L,08H
                SLA (HL)
                JR C,IN2
                IN A,(B0H)
                SLA A
                JR NC,IN6
                IN A,(B2H)
                LD B,A
                OR F0H
                CP FFH
                JR NC,IN6
                LD A,B
                INC A
                OUT (B2H),A
                JR IN6
IN4:            IN A,(B0H)
                SLA A
                JR NC,IN5
                IN A,(B2H)
                LD B,A
                AND 0FH
                CP 04H
                JR C,IN5
                LD A,B
                DEC A
                OUT (B2H),A
                JR IN5
;       **********************************
;       *           SUP-SCAN             *
;       **********************************
;
SCAN:           PUSH HL
                PUSH DE
                LD H,3DH
                LD D,0EEH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                LD B,4H
S2:             LD C,8H
                LD A,D
                OUT (C2H),A
                IN A,(C1H)
                CP A,0FFH
                JR Z,S1
                PUSH DE
                LD E,A
                LD A,00H
S4:             SRL D
                JR C,S3
                SLA A
                SLA A
                SLA A
S7:             SRL E
                JR NC,S5
S6:             INC A
                DEC C
                JR NZ,S7
                POP DE
                JR S1
S3:             INC A
                JR S4
S5:             LD L,A
                SET 7,(HL)
                JR S6
S1:             RLC D
                DEC B
                JR NZ,S2
                POP DE
                POP HL
                RET
;       **********************************
;       *       STOP AND DOOR            *
;       **********************************
;
DOOR:           IN A,(B1H)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        SET 5,A
        RES 4,A
        OUT (B1H),A     ;OPEN DOOR
        CALL SCAN
        LD L,06H
        SLA (HL)
        JR NC,DOOR
        IN A,(B1H)
        RES 5,A
        RES 4,A
        OUT (B1H),A
        LD A,25H
        OUT (D1H),A
        LD A,30H
        OUT (D1H),A
DO5:    CALL DIRECTION
        CALL SCAN
        LD L,0FH        ;CHECK OVER LOAD
        SLA (HL)
        JP C,DO1
        IN A,(B1H)
        RES 6,A         ;RESET OVER LOAD
        OUT (B1H),A
        IN A,(B0H)
        SRL A
        JP NC,DO2       ;READ TIMER
DO3:    IN A,(B1H)      ;CLOSE DOOR
        SET 4,A
        RES 5,A
        OUT (B1H),A
        CALL SCAN
        LD L,17H        ;CHECK OPEN DOOR SW.
        SLA (HL)
        JR C,DOOR1
        CALL SCAN
        LD L,40H        ;CHECK LEVEL SW.
        LD E,(HL)
        LD D,3CH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        PUSH DE
        POP IX
        LD L,(IX+60H)
        SLA (HL)
        JR C,DOOR1      ;OPEN DOOR
        LD A,04H        ;CHECK TOP FLOOR
        CP E
        JR Z,DO8        ;RESET UP SW.
        CALL SCAN
        LD L,(IX+65H)
        SLA (HL)
        JR C,DOOR1      ;OPEN DOOR
DO8:    LD A,01H
        CP E            ;CHECK BOTTOM FLOOR
        JR Z,DO9        ;RESET DWN SW.
        CALL SCAN
        LD L,(IX+70H)
        SLA (HL)
        JR C,DOOR1
DO9:    CALL SCAN
        LD L,EH         ;CHECK LIMIT CLOSE DOOR
        SLA (HL)
        JR NC,DO8
        IN A,(B1H)
        RES 4,A
        RES 5,A
        OUT (B1H),A
        CALL SCAN
        LD L,07H        ;CHECK SAFETY
        SLA (HL)
        JR NC,DOOR1
        LD L,36H        ;CHECK DU
        LD A,(HL)
        CP 80H
        JR Z,DO4
        CALL SCAN
        LD L,37H        ;CHECK DD
        LD A,(HL)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CP 80H
                JP NZ,DO5
                CALL RUNDOWN
DO6:            RET
DOOR1:          IN A,(B1H)      ;DELAY CLOSE DOOR
                JP DOOR
DO4:            CALL RUNUP
                JR DO6
DO1:            IN A,(B1H)
                SET 6,A         ;SET OVER LOAD
                OUT (B1H),A
                JP DOOR
DO2:            CALL SCAN
                LD L,16H        ;CHECK CLOSE SW.
                SLA (HL)
                JP C,DO3
                JP DO5
;       ******************************
;       *       LOAD DIRECTION       *
;       ******************************
;
DIRECTION:      CALL SCAN
                LD H,3DH
                LD L,36H
                LD A,(HL)
                CP 80H
                JR Z,R1         ;CHECK DU
                INC L
                LD A,(HL)       ;CHECK DD
                CP 80H
                JR Z,R2
                CALL SCAN
                CALL UPPER      ;CHECK UPPER
                LD L,38H        ;CHECK HC
                LD A,(HL)
                CP 80H
                JR Z,R3
                CALL SCAN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CALL LOWER   ;CHECK LOWER
                LD L,39H     ;CHECK LC
                LD A,(HL)
                CP 80H
                JR NZ,R4
                CALL SCAN
                LD L,37H     ;SET DD
                SET 7,(HL)
                DEC L
                RES 7,(HL)   ;RESET DU
R4:             RET
R1:             INC L        ;RESET DD
                RES 7,(HL)
                JR R4
R2:             DEC L        ;RESET DU
                RES 7,(HL)
                JR R4
R3:             LD L,36H     ;SET DU
                SET 7,(HL)
                INC L        ;RESET DD
                RES 7,(HL)
                JR R4
;       ****************************
;       *       UPPER              *
;       ****************************
;
UPPER           LD H,3DH
                LD L,40H
                LD C,(HL)    ;LOAD COUNTER
                LD A,C
                CP 04H       ;CHECK TOP FLOOR
                JR ,UP1
                CALL SCAN
                LD C,(HL)
UP7:            INC  C
                LD D,3CH
                LD E,C
                PUSH DE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        POP IX
        CALL SCAN
        LD L,(IX+60H)  ;CHECK FLOOR SW.
        LD A,(HL)
        CP 80H
        JR NZ,UP2
        LD L,38H
        SET 7,(HL)     ;SET HC
UP2:    LD A,E         ;CHECK TOP FLOOR
        CP 04H
        JR Z,UP3
        CALL SCAN
        LD L,(IX+65H)  ;CHECK UP SW.
        LD A,(HL)
        CP  80H
        JR NZ,UP3
        LD L,38H       ;SET HC
        SET 7,(HL)
UP3:    LD A,E         ;CHECK BOTTOM FLOOR
        CP 01H
        JR Z,UP4
        CALL SCAN
        LD L,(IX+70H)  ;CHECK DWN SW.
        LD A,(HL)
        CP 80H
        JR NZ,UP4
        LD L,38H
        SET 7,(HL)     ;SET HC
UP4:    LD A,E
        CP 04H         ;CHECK TOP FLOOR
        JR Z,UP5
        LD L,38H
        LD A,(HL)
        CP 80H
        JR NZ,UP6
UP5:    RET
UP6:    LD C,E
        JR UP7
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
UP1:        LD L,38H
            RES 7,(HL)    ;RESET HC
            JR UP5
;       *************************
;       *      LOWER            *
;       *************************
;
LOWER:      LD H,3DH
            LD L,40H
            LD C,(HL)
            LD A,C    ;CHECK BOTTOM FLOOR
            CP 01H
            JR Z,LO1
            CALL SCAN
LO7:        DEC C
            LD D,3CH  ;SET COUNTER
            LD E,C
            PUSH DE
            POP IX
            CALL SCAN
            LD L,(IX+60H)
            LD A,(HL)
            CP 80H    ;CHECK LEVEL SW.
            JR NZ,LO2
            LD L,39H
            SET 7,(HL)  ;SET LC
LO2:        LD A,E
            CP 04H    ;CHECK TOP FLOOR
            JR Z,LO3
            CALL SCAN
            LD L,(IX+65H)
            LD A,(HL)
            CP 80H    ;CHECK UP SW.
            JR NZ,LO3
            LD L,39H
            SET 7,(HL)  ;SET LC
LO8:        LD A,E
            CP 01H    ;CHECK BOTTOM FLOOR
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                JR Z,LO5
                CALL SCAN
                LD L,(IX+70) ;CHECK DWN SW.
                LD A,(HL)
                CP 80H
                JR NZ,LO5
                LD L,39H
                SET 7,(HL)   ;SET LC
LO5:            LD A,E
                CP 01H       ;CHECK BOTTOM FLOOR
                JR Z,LO4
                LD L,39H
                LD A,(HL)
                CP 80H       ;CHECK LC
                JR NZ,LO6
LO4:            RET
LO1:            LD L,39H
                RES 7,(HL)   ;RESET LC
                JR LO4
LO6:            LD C,E
                JR LO7
;       ***************************
;       *       RUN-UP            *
;       ***************************
;
RUNUP:          LD H,3DH
                LD L,40H
                LD A,(HL)
                CP 04H
                JR Z,RU1
                CALL SCAN
                LD L,07H
                SLA (HL)
                JR NC,RU1
                IN A,(B1H)
                SET 7,A
                SET 1,A
                RES 0,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        OUT (B1H),A
        IN A,(B0H)
        SLA A
        JR NC,RU2
        IN A,(B2H)
        LD B,A
        OR F0H
        CP FFH
        JR Z,RU2
        LD A,B
        INC A
        OUT (B2H),A
RU2:    CALL SCAN
        LD L,03H
        LD B,03H
RU7:    SLA (HL)
        JR NC,RU8
        LD L,40H
        LD B,(HL)
        INC B
        LD (HL),B
        LD D,3CH
        LD E,B
        PUSH DE
        POP IX
        IN A,(B2H)
        AND 0FH
        OR A,(IX+75H)
        OUT (B2H),A
        CALL UPPER
        LD L,38H
        LD A,(HL)
        CP 80H
        JR NZ,RU9
        LD L,42H
        SLA (HL)
        JR NC,RUNUP
RUA:    CALL SCAN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LD L,08H
        LD B,04H
RU6:    SLA (HL)
        JR NC,RU4
        LD A,(B2H)
        AND F0H
        OUT (B2H),A
RU1:    RET
RU3:    INC L
        DEC B
        JR NZ,RU7
        IN A,(B0H)
        SLA A
        JR NC,RU2
        IN A,(B2H)
        LD B,A
        OR F0H
        CP FFH
        JR Z,RU2
        LD A,B
        INC A
        OUT (B2H),A
        JR RU2
RU4:    INC L
        DEC B
        JR NZ,RU6
        IN A,(B0H)
        SLA A
        JR NC,RUA
        IN A,(B2H)
        LD B,A
        AND 0FH
        CP 04H
        JR C,RUA
        LD A,B
        DEC A
        OUT (B2H),A
        JR RUA
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
RU9:        LD L,36H
            RES 7,(HL)
            INC L
            RES 7,(HL)
            JR RUA
;       ************************
;       *     RUN-DOWN         *
;       ************************
;
RUNDOWN:    LD H,3DH
            LD L,40H
            LD A,(HL)
            CP 01H
            JR Z,RD1
            CALL SCAN
            LD L,07H
            SLA (HL)
            JR NC,RD1
            IN A,(B1H)
            SET 0,A
            RES 1,A
            RES 7,A
            OUT (B1H),A
            IN A,(B0H)
            SLA A
            JR NC,RD2
            IN A,(B2H)
            LD B,A
            OR F0H
            CP FFH
            JR Z,RD2
            LD A,B
            INC A
            OUT (B2H),A
RD2:        CALL SCAN
            LD B,03H
            LD L,00H
RD6:        SLA (HL)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        JR NC,RD3
        LD L,40H
        LD B,(HL)
        DEC B
        LD (HL),B
        LD D,3CH
        LD E,B
        PUSH DE
        POP IX
        IN A,(B2H)
        AND 0FH
        OR A,(IX+75H)
        OUT (B2H),A
        CALL LOWER
        LD L,89H
        LD A,(HL)
        CP 80H
        JR NZ,RD4
        LD L,42H
        SLA (HL)
        JR NC,RUNDOWN
RD7:    CALL SCAN
        LD L,08H
        LD B,04H
RD8:    SLA (HL)
        JR NC,RD5
        IN A,(B2H)
        AND F0H
        OUT (B2H),A
RD1:    RET
RD3:    INC L
        DEC B
        JR NZ,RD6
        IN A,(B0H)
        SLA A
        JR NC,RD2
        IN A,(B2H)
        LD B,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                OR F0H
                CP FFH
                JR Z,RD2
                LD A,B
                INC A
                OUT (B2H),A
                JR RD2
RD4:            LD L,36H
                RES 7,(HL)
                INC L
                RES 7,(HL)
                JR RD7
RD5:            INC L
                DEC B
                JR NZ,RD8
                IN A,(B0H)
                SLA A
                JR NC,RD7
                IN A,(B2H)
                LD B,A
                AND 0FH
                CP 04H
                JR C,RD7
                LD A,B
                DEC A
                OUT (B2H),A
                JR RD7
;               *************************
;               *     SET-STOP          *
;               *************************
;
SETSTOP:        LD H,3DH
                LD L,40H
                LD E,(HL)
                LD D,3CH
                PUSH DE
                POP IX
                CALL SCAN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LD L,(IX+60H)
        SLA (HL)
        JR C,ST1
        LD L,36H
        SLA (HL)
        JR C,ST2
        LD L,37H
        SLA (HL)
        JR NC,ST1
        LD A,E
        CP 01H
        JR Z,ST1
        CALL SCAN
        LD L,(IX+70H)
        SLA  (HL)
        JR NC,ST3
ST1:    LD L,42H
        SET 7,(HL)
ST4:    RET
ST2:    LD A,E
        CP 04H
        JR Z,ST1
        CALL SCAN
        LD L,(IX+65)
        SLA (HL)
        JR C,ST1
ST3:    LD L,42H
        RES 7,(HL)
        JR ST4
```

□

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้