

ระบบติดตามตำแหน่งดาวเทียมด้วยสเตปมอเตอร์  
SATTELITE TRACKING SYSTEM BY STEPMOTOR



ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาเอกสารนี้ส่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2536

ปฏิญานิพนธ์ปีการศึกษา2536

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบติดตามตำแหน่งดาวเทียมด้วยสเตปมอเตอร์

SATTELITE TRACKING SYSTEM BY STEPMOTOR

ผู้จัดทำ

นายบรรลือ ศรีวรเพชร 33100182

นายศานิต คงศักดิ์ 33100371

นายอาคม ควรวรักษ์เจริญ 33100519

นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

อาจารย์ที่ปรึกษา

ลงชื่อ

ดร. นนทวัฒน์ จุลเดชะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่ยื่นออกไปใช้

033203

# สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
สารบัญตาราง	III
สารบัญรูป	IV
บทนำ	1
ภาคทฤษฎี	
1. สเตปมอเตอร์	4
1.1 สเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	4
1.2 สเตปมอเตอร์แบบปรับค่ารีลักแตนท์ได้	5
1.3 สเตปมอเตอร์แบบไฮบริด	8
2. วงจรขับและลักษณะสัญญาณขับสเตปมอเตอร์	11
2.1 วงจรขับสเตปมอเตอร์	11
2.2 ลักษณะการขับสเตปมอเตอร์	20
2.3 การเคลื่อนที่แบบไมโครสเตป	25
3. โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS - 51	30
3.1 หน่วยความจำภายใน	31
3.2 รีจิสเตอร์ภายใน	32
3.3 สายต่าง ๆ ของบัสและพอร์ต	33
3.4 วงจรนับ/วงจรตั้งเวลา	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคปฏิบัติ

4.	การออกแบบวงจรและรายละเอียดของอุปกรณ์	36
4.1	วงจรรวม	37
4.2	อนาล็อก - ดิจิตอล คอนเวอร์เตอร์ (ADC 0808)	40
4.3	ดิจิตอล - อนาล็อก คอนเวอร์เตอร์ (DAC 0832)	42
4.4	อุปกรณ์ขับ (TCA 1560 B)	47
5.	การควบคุมการเคลื่อนที่โดยให้ MCS - 51	49
5.1	โปรแกรมควบคุมการขับสเตปมอเตอร์โดยทั่วไป	49
5.2	โปรแกรมควบคุมการขับสเตปมอเตอร์แบบไมโครสเตป	50
5.3	การจำลองการทำงานของระบบติดตามสัญญาณดาวเทียม	51
5.4	การทำงานของระบบติดตามสัญญาณดาวเทียมที่รับค่าจาก อนาล็อกอินพุต	52
บทสรุป		53
หนังสืออ้างอิง		55
ภาคผนวก		
	-ภาคผนวก A : ข้อมูลของดาวเทียมไทยคม 1,2	
	-ภาคผนวก B : โปรแกรมจำลองการทำงานของระบบติดตามสัญญาณดาวเทียม	
	-ภาคผนวก C : โปรแกรมรับสัญญาณอนาล็อกอินพุตเพื่อติดตามสัญญาณดาวเทียม	
	-ภาคผนวก D : รูปภาพของชิ้นงาน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบติดตามตำแหน่งดาวเทียมด้วยสเตปมอเตอร์

SATELLITE TRACKING SYSTEM WITH STEP-MOTOR

โดย นาย บรรลือ ศรีวารเพชร 33100182

นาย ศานิต คงศักดิ์ 33100371

นาย อาคม ควรรักษ์เจริญ 33100519

อาจารย์ปรึกษา ดร.นนทวัฒน์ จุลเดชะ

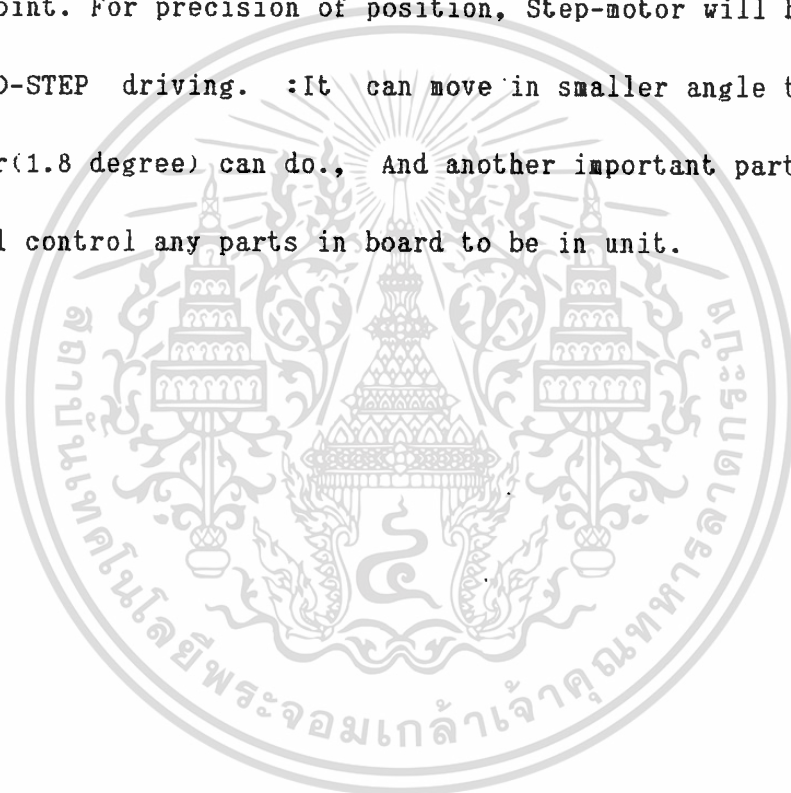
บทคัดย่อ

ปฏิยานิพนธ์ชุดนี้เป็นการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8751 อีกรูปแบบหนึ่ง โดยการนำสัญญาณอินพุต (ซึ่งได้มาจากจานรับสัญญาณดาวเทียมส่งผ่านวงจรเฟสดีเทคเตอร์แล้ว แปลงสัญญาณต่อไป) เป็นแรงดันขนาด ศูนย์ถึงห้าโวลท์มาทำอาร์ประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากนั้นจะส่งสัญญาณไปยังวงจรขับเพื่อทำการขับสเตปมอเตอร์ ให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่เหมาะสมตามสัญญาณอินพุตนั้น และเพื่อความแม่นยำของตำแหน่งที่เหมาะสมนั้น จึงต้องมีการขับสเตปมอเตอร์แบบไมโครสเตปรวมอยู่ด้วย ซึ่งสามารถทำให้มุมสเตปของการเคลื่อนที่เล็กลงกว่ามุมสเตปเดิม (1.8 องศา) ของสเตปมอเตอร์ และสิ่งที่จะลืมไปไม่ได้ อีกส่วนหนึ่ง คือการโปรแกรม ที่จะให้อุปกรณ์ทุกส่วนทำงานสัมพันธ์กันไปได้เป็นอย่างดี ดังที่จะกล่าวในปฏิยานิพนธ์ฉบับนี้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ABSTRACT

This THESIS that is applied by using microcontroller NO.8751. This system gets an input signal : from satellite dish system through a phase error detector, that it will be changed to be 0-5 V. and gets it to microcontroller for complying then the microcontroller sends the signal to Power driver for control of step-motor that motor will move to set point. For precision of position, Step-motor will be controlled by MICRO-STEP driving. :It can move in smaller angle than mechanic of motor(1.8 degree) can do., And another important part is software that will control any parts in board to be in unit.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่ ( )	หน้า
2.1 แสดงการกระตุ้นทีละ 1 เฟส	17
2.2 แสดงการกระตุ้นทีละ 2 เฟส	18
2.3 แสดงลำดับกระตุ้นแบบครึ่งสเตป	21
3.1 แสดงไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	28
4.4 แสดงการใช้งานขั้วพอร์ตต่าง ๆ ของ MCS-51	36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่ ( )	หน้าที่
1.1 แสดงโครงสร้างของสเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	1
1.2 แสดงการทำงานในสเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรขนาด 4 เฟส	2
1.3 แสดงสเตปมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้	3
1.4 แสดงตำแหน่งสมดุลย์เมื่อเฟสใดเฟสหนึ่งถูกกระตุ้น	3
1.5 แสดงการเปลี่ยนลำดับสเตปในการเคลื่อนที่ของสเตปมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้	4
1.6 แสดงโครงสร้างไฮบริดสเตปมอเตอร์	6
1.7 แสดงหลักการการทำงานของไฮบริดสเตปมอเตอร์	7
2.1 วงจรพื้นฐานสำหรับการขับมอเตอร์แบบ Unipolar	8
2.2 แสดงวงจรขับที่ผ่านขดลวดหนึ่งของมอเตอร์	8
2.3 แสดงไดโอดขับเฟสเซอร์	9
2.4 แสดงไดโอด-รีซิสเตอร์ขับเฟสเซอร์	9
2.5 แสดงซีเนอร์ไดโอดขับเฟสเซอร์	10
2.6 แสดงการเปรียบเทียบอิทธิพลของขับเฟสเซอร์หลายชนิด	10
2.7 แสดงตัวอย่างของตัวขับแบบ 4 เฟสกับซีเนอร์ไดโอดขับเฟสเซอร์	11
2.8 แสดงตัวขับแบบ 4 เฟสกับคอนเดนเซอร์ขับเฟสเซอร์	11
2.9 แสดงพลังงานสัทธิ์ที่ให้ทรานซิสเตอร์เพื่อ turned-off ที่แปรตามค่าคาปาซิแตนซ์	11
2.10 แสดงการปรับปรุงกระแส built-up โดยการใช้ $R_c$ แบบ	12
2.11 แสดงการปรับปรุง built-up โดยการใช้แบบ dual voltage	13

2.12	แสดงรูปร่างโวลต์ที่เตจและกระแสในการขับแบบ dual voltage	13
2.13	แสดงวงจรบริดสำหรับการขับแบบไบโพล่า	14
2.14	แสดงรูปร่างของโวลต์เตจและกระแสในการขับแบบไบโพล่า	15
2.15	แสดงวงจรขับแบบใช้แหล่งจ่ายไฟ 1 แหล่ง	16
2.16	แสดงตำแหน่งของโรเตอร์และสเตเตอร์แบบกระตุ้นทีละเฟส	18
2.17	แสดงตำแหน่งของโรเตอร์และสเตเตอร์แบบกระตุ้นที่ 2 เฟส	18
2.18	แสดงการกระจายของสนามแม่เหล็กและการเคลื่อนที่ปัดละสเตรป ของมอเตอร์ 3 เฟส แบบ Monofilar	19
2.19	แสดงผลตอบสนองของทรานเซียนของการกระตุ้นแบบทีละ 1 เฟส และ 2 เฟส	19
2.20	แสดงการแกว่งของกระแสในมอเตอร์ 2 เฟส	20
2.21	แสดงการแกว่งแบบกระตุ้นทีละ 2 เฟส	20
2.22	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการกระตุ้นแบบเฟสเดียว แบบ 2 เฟส และ แบบครึ่งสเตรป	21
2.23	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับการเคลื่อนที่เชิงมุม	22
2.24	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับการเคลื่อนที่เชิงมุม	22
2.25	แสดงค่าแรงบิดซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามมุมของแกนมอเตอร์	23
2.26	แสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงบิด และจุดสมดุลของการหมุน เมื่อใช้การขับแบบกระตุ้นทีละ 2 เฟส	24
2.27	แสดงการเปลี่ยนแปลงจุดสมดุลของการหมุนระหว่างเฟสสองเฟส	24
2.28	แสดงการขับแบบทีละสองเฟส ขนาดเท่ากับสเตรปปกติ	25
2.29	แสดงการขับแบบกระตุ้นทีละสองเฟส มีการเปลี่ยนแปลงของกระแส แบบเป็นสัดส่วนต่อกันมีขนาดเป็น $1/2$ เท่าของสเตรปปกติ	25
2.30	แสดงการขับแบบกระตุ้นทีละสองเฟส มีการเปลี่ยนแปลงของกระแส ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ แบบเป็นสัดส่วนต่อกันมีขนาดเป็น $1/8$ เท่าของสเตรปปกติ	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1	โครงสร้างภายในหน่วยความจำของ MCS-51	29
3.2	แสดงโครงสร้างของ MCS-51	30
3.3	แสดงการจัดวางและหน้าที่ของแต่ละขาของ 8751H	32
4.1	แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมของการขับสเตปมอเตอร์	33
4.2	แสดงวงจรขับสเตปมอเตอร์โดยไมโครคอนโทรลเลอร์	34
4.3	แสดงวงจรภายในของ DAC 0832	35
4.4	แสดงตารางการใช้งานของพอร์ตต่าง ๆ	36
4.5	วงจร 256 R Ladder	37
4.6	แสดงการจัดวางขาและวงจรของ ADC 0808 กับ MCS-51	38
4.7	ตารางแสดงช่วงเวลาการทำงานของ ADC	38
4.8	บล็อกไดอะแกรมภายในของ DAC 0832	40
4.9	ตารางแสดงช่วงเวลาการทำงานของ DAC 0832	40
4.10	วงจร R-2R Ladder	41
4.11	วงจรแปลงดิจิตอล-อนาลอก	42
4.12	วงจรขับสเตปมอเตอร์เบื้องต้นโดยใช้ TCA1560B	44
4.13	บล็อกไดอะแกรมภายในและการจัดขาของ TCA1560B	45
5.1	โพล์ซาร์ตโปรแกรมควบคุมสเตปมอเตอร์โดยทั่วไป	46
5.2	โพล์ซาร์ตโปรแกรมการควบคุมมอเตอร์แบบไมโครสเตป	47
5.3	โพล์ซาร์ตโปรแกรมจำลองการควบคุมตำแหน่ง ของระบบติดตามดาวเทียม	48
5.4	โพล์ซาร์ตโปรแกรมการทำงานของระบบติดตามสัญญาณดาวเทียม ที่รับค่าจากอนาลอกอินพุท	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทนำ

. ในปัจจุบันความก้าวหน้าของ technology ทางการสื่อสารได้พัฒนาไปมาก ไม่ว่าจะเป็นทางโทรศัพท์ , ดาวเทียม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสื่อสารผ่านดาวเทียมกำลังเป็นการสื่อสารที่เป็นที่นิยม และใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง ซึ่งประเทศไทยได้มีดาวเทียมสื่อสารเป็นของตนเองแล้วคือ ไทยคม 1 และไทยคม 2 โดยมีรายละเอียดอยู่ที่อาชีวศึกษาฉบับนี้

จากปัญหาอันเนื่องมาจากการสื่อสารในระบบเดิม เช่น

1. เป็นการสื่อสารในแนวราบจากสถานีทางภาคพื้นดินแห่งหนึ่ง ไปยังอีกแห่งหนึ่งหรือไปยังเครื่องรับตามบ้านโดยทั่ว ๆ ไป มีอุปสรรคที่ระยะทางของแต่ละพื้นที่ห่างจากสถานีไม่เท่ากันจะได้รับสัญญาณที่มีความแรงไม่เท่ากัน
2. ทิศทางของ เครื่องรับจะต้องมุ่งไปยังสถานีของช่องสัญญาณนั้น ถ้าต้องการปรับทิศทางให้ตรงกับสถานีของช่องนั้น
3. สถานีหนึ่ง ๆ เพื่อส่งข้อมูลและรายการอย่างเดียวกัน จะมีความถี่ที่แตกต่างกันไปแต่ละท้องถิ่น เช่น สถานีของช่อง 7 ทำการส่งสัญญาณความถี่หนึ่งที่เชียงใหม่ แต่ช่องเดียวกันนี้จะทำการส่งสัญญาณอีกที่ความถี่หนึ่ง ที่ภูเก็ต

จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่สนับสนุนให้การสื่อสารผ่านดาวเทียมเป็นที่ต้องการ ซึ่งการสื่อสารผ่านดาวเทียมสามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ได้ โดย

1. ลดปัญหาเรื่องความแรงของสัญญาณ เมื่อส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมจะมีความแรงของสัญญาณใกล้เคียงกันทั่วประเทศ
2. การกำหนดทิศทางของ เครื่องรับ เมื่อใช้การสื่อสารผ่านดาวเทียมจะมุ่งไปที่ตำแหน่งของดาวเทียมเพียงตำแหน่งเดียว ก็สามารถรับสัญญาณได้หลายช่องและแต่ละช่องของสถานีหนึ่ง ๆ ก็ใช้ความถี่เดียวสามารถรับสัญญาณได้เหมือนกันทั่วประเทศ

ดังนั้น จึงได้มีหลายหน่วยงานพยายามที่จะศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารผ่านดาวเทียมเป็นอย่างมาก รวมทั้งบริเวณอาชีวศึกษาฉบับนี้ ก็เป็นการพัฒนาอุปกรณ์ทางการสื่อสาร

ผ่านดาวเทียม โดยมีจุดประสงค์เพื่อนำไปใช้งานโดยการติดตั้งอยู่บนรถยนต์ที่เคลื่อนที่ตลอด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่เวลาใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งสัญญาณโดยผ่านดาวเทียม จะมีการส่งสัญญาณ 2 ลักษณะ คือ

1. ย่านความถี่ C-band (4GHz.)
2. ย่านความถี่ Ku-band (12GHz.)

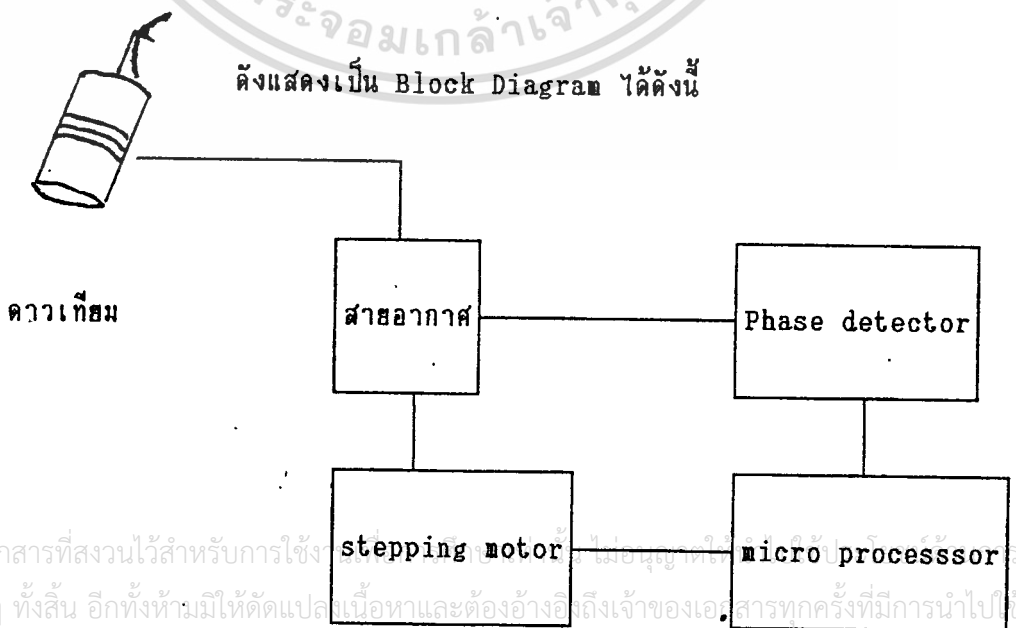
จากการส่งสัญญาณแบบ C-band เป็นการส่งความถี่ต่ำ ซึ่งต้องใช้จานรับสัญญาณขนาดใหญ่จึงเป็นการไม่สะดวกในการติดตั้งบนวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ อย่างเช่นรถยนต์ ดังนั้นทางแก้ปัญหาคือ เลือกรับสัญญาณแบบ Ku-band ซึ่งเป็นการส่งสัญญาณแบบความถี่สูง ทำให้การสร้างจานรับสัญญาณ มีขนาดเล็กกลง ซึ่งสะดวกในการติดตั้งมากกว่าการใช้การส่งสัญญาณแบบ C-band

ดังนั้นในโครงการ "ระบบติดตามตำแหน่งดาวเทียมด้วยสเตป มอเตอร์" เป็นระบบที่ใช้รับสัญญาณ Ku-band ซึ่งอุปกรณ์รับสัญญาณที่ใช้จะมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบาและ สามารถที่จะควบคุมตำแหน่งให้ได้ความแม่นยำสูงสุดตลอดเวลา ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ได้แก่ ส่วนของสายอากาศ

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนของการตีเทคสัญญาณที่ได้จากสัญญาณส่วนที่หนึ่ง มาวิเคราะห์หาตำแหน่งดาวเทียมให้ได้ความแม่นยำสูงสุด แล้วส่งสัญญาณที่วิเคราะห์มาให้กับส่วนที่สาม

ส่วนที่ 3 คือ ส่วนของการควบคุมการเคลื่อนที่ของชุดรับสัญญาณดาวเทียมทั้งหมด โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ และสเตปมอเตอร์ ให้มีการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้... ไม่อนุญาตให้... ไรค่า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหานี้เป็นการรวบรวมข้อมูลที่ได้มาทั้งหมด ประกอบไปด้วยรายละเอียดของสแตปมอเตอร์ชนิดต่าง ๆ พร้อมส่วนประกอบโครงสร้าง รูปแบบของวงจรขับของสแตปมอเตอร์ แบบ Unipolar และ Bipolar รวมไปถึงการ excite ในลักษณะ 1-phase excite 2-phase excite , 1-2 phase excite และการควบคุมสแตปมอเตอร์โดยไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมาจะได้รวบรวมไว้โดยละเอียดดังที่ปรากฏอยู่ในปัญหานี้

สแตปมอเตอร์ คือ อุปกรณ์ที่เคลื่อนที่เป็นสแตป โดยการกระตุ้นด้วยวิธีทางแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลอินพุตซึ่งเป็นพัลส์ ไปเป็นการเคลื่อนที่แบบอนุกรมที่เอาท์พุท สแตปมอเตอร์ บางครั้งถูกเรียกว่า สแตปมอเตอร์ หรือ สแตปเปอร์มอเตอร์ คือ อุปกรณ์ที่เคลื่อนที่เมื่อถูกกระตุ้นโดยโวลตเตจ หรือกระแส ซึ่งโดยมากจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เอาท์พุทของสแตปมอเตอร์จะมีจำนวนเท่ากับจำนวนของคำสั่งอินพุต ซึ่งมีลักษณะเป็นพัลส์ โดยเมื่อป้อนแต่ละพัลส์ให้กับสแตปมอเตอร์แล้ว สแตปมอเตอร์จะมีการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นทีละ 1 สแตป

สแตปมอเตอร์มีมาประมาณ 40 กว่าปีมาแล้ว สมัยก่อนการใช้งานของสแตปมอเตอร์มีประสิทธิภาพต่ำ สู้เอซีมอเตอร์และดีซีมอเตอร์ไม่ได้ แต่เมื่อไม่นานมานี้มีการนำดิจิทัลคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ จึงได้เปลี่ยนรูปแบบการควบคุมสแตปมอเตอร์ใหม่ โดยใช้การควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งช่วยให้ใช้งานสแตปมอเตอร์ได้สะดวกขึ้นและมีประโยชน์ในการใช้สอยมากขึ้น ปัจจุบันสแตปมอเตอร์ได้ถูกใช้งานในอุปกรณ์ที่ใช้งานร่วมกับ คอมพิวเตอร์ เช่น อุปกรณ์ที่ใช้การควบคุมเชิงตัวเลข และการควบคุมกระบวนการเป็นต้น และในการทำวิทยานี้ ก็เป็นส่วนหนึ่งของการนำไมโครโปรเซสเซอร์และสแตปมอเตอร์มาประยุกต์ใช้งานด้วย

ในการควบคุมการทำงานของสแตปมอเตอร์โดยทั่วไป ใช้วงจรขับที่ทำให้สแตปมอเตอร์เคลื่อนที่ไปที่ละสแตปเป็นจังหวะต่อเนื่องกันไป แต่ละสแตปจะมีค่าการเคลื่อนที่เชิงมุมแต่ละสแตป (๑) ขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของสแตปมอเตอร์แต่ละตัว ซึ่งการเคลื่อนที่เชิงมุมที่น้อยที่สุดที่หาซื้อได้ทั่วไปประมาณ 1.8 องศาต่อสแตป ซึ่งในปัญหานี้ยังถือว่ามากเกินไป ความละเอียด

ยังไม่เพียงพอในการใช้งาน จึงต้องมีการศึกษาวิธีการที่จะทำให้มุมการเคลื่อนที่แต่ละสแตปแคบลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารหลวงวันวิสุต ทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่สามารถเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ไปอีก (น้อยกว่า 1.8 องศาต่อสแตป) ึ่งเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. สเตปมอเตอร์

### 1.1 สเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (permanent magnet step motor)

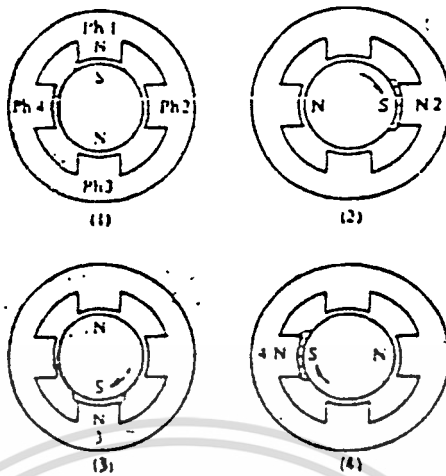
สเตปมอเตอร์ชนิดนี้ใช้แม่เหล็กถาวรเป็นโรเตอร์ และมีขั้วของสเตเตอร์ล้อมรอบ ขั้วของสเตเตอร์ถูกพันด้วยขดลวดสำหรับสร้างสนามแม่เหล็ก เมื่อต้องการให้สเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมีขนาดมุมสเตปเล็กลงจะต้องเพิ่มจำนวนขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์และจำนวนขั้วของสเตเตอร์ แต่ก็มีขีดจำกัดในการเพิ่มจำนวนขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์ เนื่องจากการสร้างแม่เหล็กถาวรสร้างให้มีโครงสร้างแบบมีขั้วแม่เหล็กหลายขั้วทำได้ยาก



รูปที่ (1.1) แสดงโครงสร้างของสเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

ตัวอย่างการทำงานของสเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร สมมติว่ามอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรขนาด 4 เฟส มีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวรทรงกระบอก และสเตเตอร์มี 4 ขั้ว ซึ่งรอบ ๆ ขั้วด้วยขดลวด มีรูปแบบพื้นฐานของการทำงานคือ เมื่อสร้างสัญญาณกระตุ้นตามลำดับเฟส โรเตอร์จะหมุนไปตามทิศทางของการกระตุ้น ดังแสดงในรูปที่ (1.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



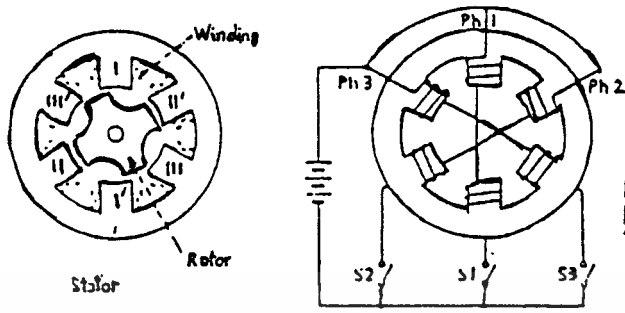
รูปที่ (1.2) แสดงการทำงานในสเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรขนาด 4 เฟส

ข้อเสียของสเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรคือ มีขนาดมูมสเตปใหญ่ ทำให้มีความละเอียดของสเตปต่อรอบน้อย เนื่องจากโครงสร้างของโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร การสร้างแม่เหล็กถาวรให้มีหลายขั้วทำได้ยาก ทำให้ไม่สามารถสร้างสเตปขนาดเล็กได้ สเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างขนาดเล็ก ทำให้ค่าทอร์คที่ได้ต่อหน่วยปริมาตรมีค่าต่ำ ถ้าต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพในเรื่องของทอร์ค แม่เหล็กถาวรที่ใช้ต้องทำจากสารแม่เหล็กที่มี สภาพความเป็นแม่เหล็กสูง แต่สารแม่เหล็กที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กมาก ราคาสูง สารแม่เหล็กราคาถูกเช่นเฟอร์ไรท์ มีสภาพความเป็นแม่เหล็กน้อยจึงให้ค่าทอร์คต่ำ

## 1.2 สเตปมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้ (variable reluctance step motor)

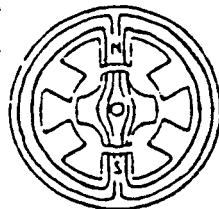
โครงสร้างของสเตปมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้ มีโรเตอร์และสเตเตอร์ทำจากโลหะ

ซิลิคอน ซึ่งเป็นสารแม่เหล็กที่มีสภาพซึมซับได้ทางแม่เหล็กสูงและยอมให้สนามแม่เหล็ก จำนวนมาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ใดก็ตามที่คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตให้ถือว่าผิดกฎหมาย และจะดำเนินการฟ้องดำเนินคดีตามกฎหมายต่อไป



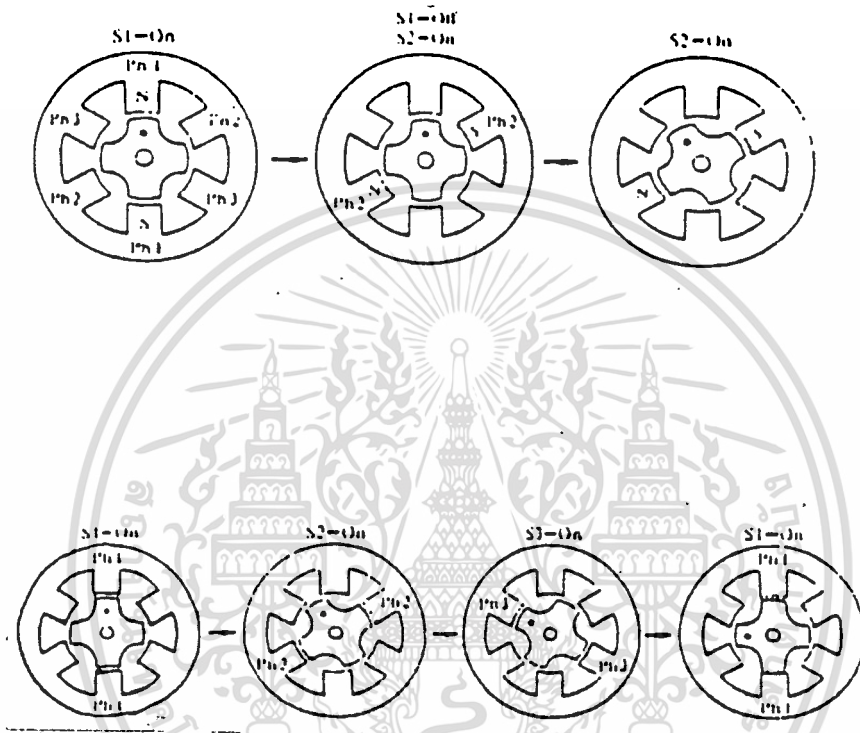
รูปที่ (1.3) แสดงสแตปมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนได้

ในรูปเป็นสแตปมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนได้ขนาดสามเฟส โดยโครงสร้างของโรเตอร์มี 4 ขั้วและสเตเตอร์มี 6 ขั้ว และแต่ละเฟสของสเตเตอร์มี 2 ขั้วที่อยู่ตรงกันข้ามกัน และอยู่ห่างกัน 180 องศาต่ออนุกรมกันอยู่ ทั้งสองขั้วของเฟสหนึ่งของสเตเตอร์จะมีขั้วตรงข้ามกัน ดังนั้น จากขั้ว I, II, III จะเป็นขั้วเหนือ และ I', II' และ III' จะเป็นขั้วใต้เมื่อมอเตอร์ได้รับการกระตุ้น เมื่อเฟสหนึ่งถูกกระตุ้นสนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นดังรูปที่ (1.3) ดังนั้นถ้าโรเตอร์ I และ I' จะวางตัวอยู่ในแนวเดียวกันซึ่งมีค่ารีลัคแตนซ์น้อยที่สุด สถานะนี้เป็นสถานะที่จุดสมดุลเป็นจุดซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กสั้นที่สุดแสดงดังรูปที่ (1.4)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม รูปที่ (1.4) แสดงตำแหน่งสมดุลเมื่อเฟสใดเฟสหนึ่งของสแตปมอเตอร์ถูกกระตุ้นนำไปใช้

จากรูป (1.4) สมมติว่าโรเตอร์และสเตเตอร์ไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกัน เส้นแรงของ  
 เฟสที่ถูกกระตุ้นมีค่ารีลัคแตนซ์มาก สเตปมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้จะทำตัวให้มีค่ารีลัคแตนซ์  
 ต่ำที่สุดโดยวางตัวอยู่ในแนวเดียวกันกับแนวของเส้นแรงแม่เหล็ก



รูปที่ (1.5) แสดงการเปลี่ยนลำดับสเตปในการเคลื่อนที่ของสเตปมอเตอร์  
 แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้

คุณสมบัติพื้นฐานสำหรับโครงสร้างของสเตปมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้

- 1) ช่องว่างอากาศระหว่างขั้วของโรเตอร์และสเตเตอร์ต้องเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้ค่าของทอร์คมากขึ้น และมีความถูกต้องแม่นยำทางตำแหน่งดีขึ้น เนื่องจากที่ระดับแมกเนโตโมทีฟฟอร์ซ (magnetomotive force) ระดับเดียวกัน ช่องอากาศขนาดเล็กจะให้ค่าฟลักซ์แม่เหล็กสูงกว่าซึ่งมีผลทำให้ค่าทอร์คสูงกว่า และทำให้มีความคลาดเคลื่อนในการเคลื่อนที่จากจุดสมดุลมีน้อยกว่าช่องอากาศขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำ  
 ไปใช้ กรุณาแจ้งที่มาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) สำหรับโครงสร้างที่ต้องการมุมสเตปขนาดเล็ก ความสัมพันธ์ระหว่างมุมสเตป ( $\phi_m$ ) มุมเฟส ( $m$ ) จำนวนขั้วของโรเตอร์ ( $N_r$ ) และจำนวนสเตป ( $s$ ) หาได้จากสมการ

$$S = (360/\phi_m) - mN_r$$

เพื่อจะลดขนาดมุมสเตปลง จำนวนขั้วของโรเตอร์จะต้องเพิ่มขึ้น ขั้วของสเตเตอร์จะต้องเพิ่มขึ้นด้วย โดยโครงสร้างแต่ละขั้วของเฟสใด ๆ จะมีหลายขั้วขึ้น แต่จำนวนขั้วของสเตเตอร์ไม่ใช่ข้อบังคับประกอบโดยตรงที่จะกำหนดมุมสเตปของสเตปมอเตอร์

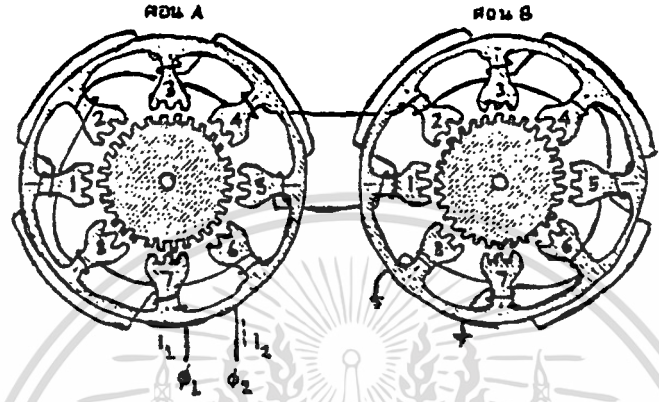
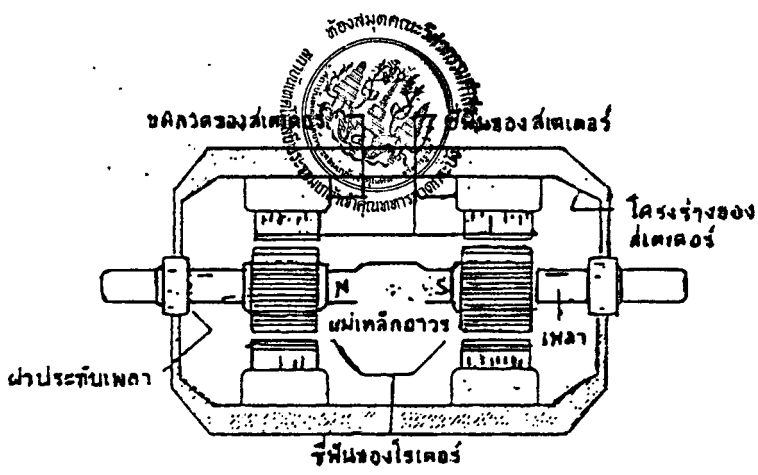
3) การสร้างสเตปมอเตอร์ให้มีโครงสร้างแบบหลายสเตป เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในเรื่องของทอร์ก การสร้างสเตปมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้ให้มีโครงสร้างแบบหลายสเตปแต่ละสเตปจะถูกกำหนดเป็นหนึ่งเฟส โดยโรเตอร์และสเตเตอร์จะมีขั้วเหมือนกัน การสร้างสเตปมอเตอร์ให้มีโครงสร้างแบบหลายสเตป เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในเรื่องของทอร์ก ขั้วที่เหมือนกันระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์เพื่อช่วยเพิ่มทอร์กคือหน่วยปริมาตรของโรเตอร์ ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของแมชชีน (machine)

### 1.3 สเตปมอเตอร์แบบไฮบริด (hybrid step motor)

เป็นรูปแบบหนึ่งของสเตปมอเตอร์ซึ่งมีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร ไฮบริด หมายถึงการทำงานร่วมกันของมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรและมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้ สเตปมอเตอร์มีโครงสร้างของสเตเตอร์คล้ายกับโครงสร้างของสเตปมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้

แต่การต่อขดลวดต่างกันโดยในหนึ่งเฟสของสเตปมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้ จะมีสองขดลวด และขดลวดทั้งสองจะพันอยู่ที่ขั้วเดียวกัน โดยที่ขั้วหนึ่งจะไม่ใช่ของเฟสใดเฟสหนึ่ง โครงสร้างของขดลวดสองขดลวดที่พันที่ขั้วเดียวกัน ถูกเรียกว่าเป็นรูปแบบของไบไฟลาร์ (bifilar) ซึ่งจะให้ขั้วแม่เหล็กที่แตกต่างกันในการกระตุ้นแต่ละครั้ง

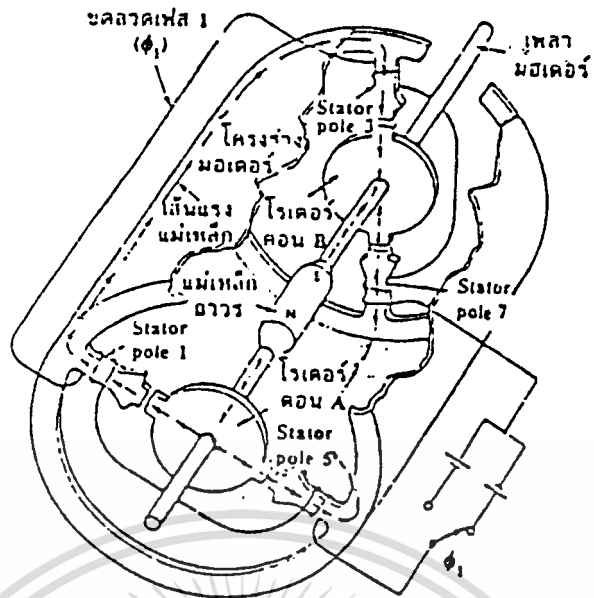
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ (1.6) แสดงโครงสร้างไฮบริดสเตปมอเตอร์

คุณสมบัติที่สำคัญของไฮบริดสเตปมอเตอร์ คือ โครงสร้างของมอเตอร์มีแม่เหล็กถาวรอยู่ที่กึ่งกลางระหว่างเฟสทั้งสอง การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กทำได้โดยใช้สนามแม่เหล็กซึ่งสร้างจากสเตเตอร์ซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กแบบเฮเทอโพลาร์ (heteropolar field) ดังนั้นทอร์คเกิดจากการทำงานร่วมกันของสนามแม่เหล็กสองชนิด คือ สนามจากแม่เหล็กถาวร และสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่เกิดจากการกระตุ้นขดลวดแต่ละขด โครงสร้างของขั้วหน้าของสเตเตอร์จะใหญ่กว่าขั้วหน้าของโรเตอร์เล็กน้อย เพื่อเพิ่มความถูกต้องแม่นยำทางตำแหน่งของการเคลื่อนที่

หลักการการทำงานของไฮบริดมอเตอร์ แตกต่างจากสเตปมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้ คือ แรงบิดที่เกิดขึ้นจากสนามแม่เหล็กจะไม่ขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลผ่านขดลวดอย่างเด็ดขาดขึ้นอยู่กับโครงสร้างของขั้วหน้าด้วย ซึ่งขั้วหน้าถูกออกแบบเพื่อให้ได้โครงสร้างขนาดเล็ก และ ใช้แม่เหล็กถาวรเป็นแกนกลางเพื่อลดผลของการฮิสเทรีซิสเลททางแมคคานิกส์



รูปที่ (1.7) แสดงหลักการทำงานของไฮบริดส์เตปมอเตอร์

ข้อดีของไฮบริดส์เตปมอเตอร์ คือ มีขนาดสเตปขนาดเล็กมีความละเอียดของสเตปต่อรอบสูง มีค่าทอร์คสูงกว่าสเตปมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้ แต่สเตปมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้มีแรงเฉื่อยทางแมคคานิคส์น้อยกว่าสเตปมอเตอร์แบบไฮบริด

นอกจากสเตปมอเตอร์ทั้งสามชนิดที่กล่าวมาแล้วยังมีสเตปมอเตอร์ชนิดอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึงอีกเช่น ลิเนียร์สเตปมอเตอร์ ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่ได้รับการออกแบบให้มีการเคลื่อนที่แบบเป็นเชิงเส้น อีเลคโตรไฮดรอลิกสเตปมอเตอร์ ซึ่งเป็นสเตปมอเตอร์กำลังสูงสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม เป็นต้น แต่ที่จะกล่าวถึงในงานวิจัยต่อไปนี้เป็นสเตปมอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้ชนิดหลายสแตค ซึ่งพิจารณาโครงสร้างและสมการคณิตศาสตร์เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างระบบควบคุมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานสเตปมอเตอร์ต่อไป

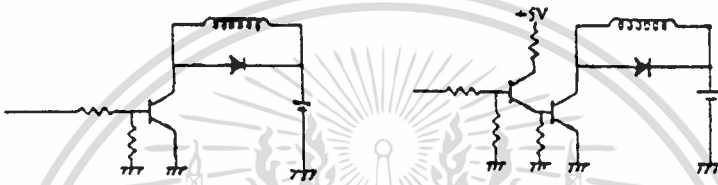
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. วงจรขับและลักษณะการขับสเตปมอเตอร์

### 2.1 วงจรขับมอเตอร์

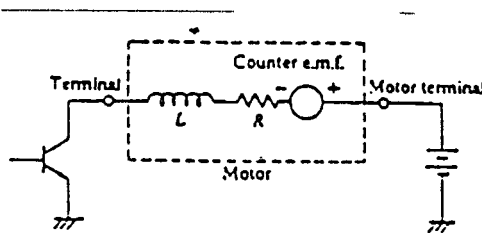
#### 2.1.1 วงจรขับแบบจ่ายกระแสทิศทางเดียว ( Unipolar Drive )

วงจรขับแบบฮันนิโปลา เป็นการนำสัญญาณเอาต์พุทของวงจรถลอจิกซีแควนเซอร์ ส่งไปที่วงจรขับเพื่อทำการจ่ายกระแสที่ไหลผ่านเข้ายังขดลวดแต่ละเฟสของมอเตอร์โดยตรง และเป็นกาจ่ายกระแสในทิศทางเดียว ตัวอย่างวงจรขับเบื้องต้นแสดงในรูปที่ ( 2.1 )



รูปที่ ( 2.1 ) วงจรพื้นฐานสำหรับการขับมอเตอร์แบบ Unipolar

วงจรขับมอเตอร์แต่ละเฟสสามารถแสดงไว้ในรูปที่ ( 2.2 ) แต่ละขดลวดของสเตปมอเตอร์มี inductive ซึ่งเป็นผลรวมของ R และ L ที่ต่ออนุกรมกันนอกจาก นั้นยังมี emf. เมื่อมอเตอร์มีการหมุนตัว ในการออกแบบวงจรขับควรพิจารณาเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องทั้งหมด เพื่อกำหนดค่าเวอรัทรานซิสเตอร์, สเตปมอเตอร์และ แหล่งจ่ายแรงดันที่เหมาะสม เช่น ขณะที่ม็อดทูลุมมากกว่า 100 c, R จะเพิ่มขึ้น 20-25%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีรูปที่ ( 2.2 ) แสดงวงจรขับที่ผ่านขดลวดหนึ่งขั้วของมอเตอร์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่ทรานซิสเตอร์เปิดวงจรจะมีโวลเตจที่เกิดจาก  $L \cdot di/dt$  ซึ่งแรงดันค่านี้อาจทำ

ให้ทรานซิสเตอร์เสียหายได้ จึงมีวิธีการป้องกัน TR จากสไปค์โวลเตจดังต่อไปนี้

(1) Diode suppressor กระแสไหลวนหลังจากที่ TR turn off มีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป  $V$  ที่เกิดขึ้นที่ collector จะเท่ากับ  $E + \text{forward } V$  ของ diode ด้วยวิธีนี้ข้อเสียตรงที่หากกระแสไหลวนอยู่นานเกินไปจะทำให้เกิด Breaking torque

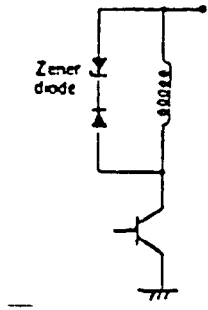
(2) Diode / resistor suppressor ทำให้กระแสที่ไหลวนลดลงอย่างรวดเร็ว  $V_{ce}$  ขณะ turn off คือ  $V_{ce} = E + I \cdot R_s + V_{df}$  วงจรขั้วที่มีค่า  $R$  มากจะทำให้กระแสลดลงด้วยความเร็วมากขึ้นหลังจาก turn off แต่จะทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ขาคอลเล็คเตอร์ มีค่าสูงขึ้นจึงมีค่าจำกัด ที่ค่าแรงดันไฟฟ้าพิกัดสูงสุดที่ได้เพื่อกำหนดความเร็วของการลดลงของกระแสไหลผ่านมอเตอร์



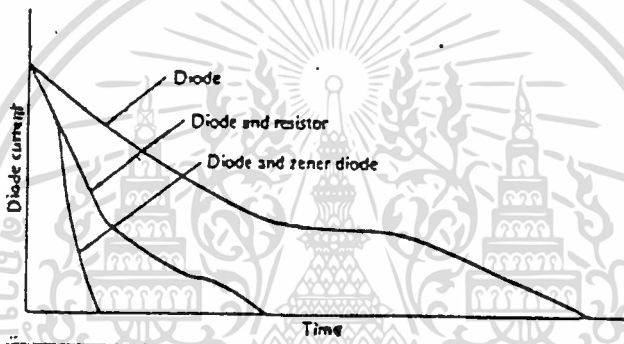
รูปที่ (2.3) แสดงไดโอดขั้วเพรสเซอร์ รูปที่ (2.4) แสดงไดโอด-รีซิสเตอร์ขั้วเพรสเซอร์

(3) Zener diode suppressor นำ zener diode series กับ diode ปกติดังรูป จะทำให้กระแสตกลงเร็วกว่า ข้อดีของการใช้วิธีนี้คือ ทำให้  $V_c = \text{supply} + \text{zener}$  ซึ่งจะไม่ขึ้นกับ current ทำให้การพิจารณาแรงดันพิกัดสูงสุดที่คอลเล็คเตอร์ ง่ายขึ้น ตัวอย่าง 4-phase motor จะเป็นดังรูปที่ (2.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ (2.5) แสดงซีเนอร์ไดโอดชั๊ปเพรสเซอร์



รูปที่ (2.6) แสดงการเปรียบเทียบอิทธิพลของชั๊ปเพรสเซอร์หลายชนิด

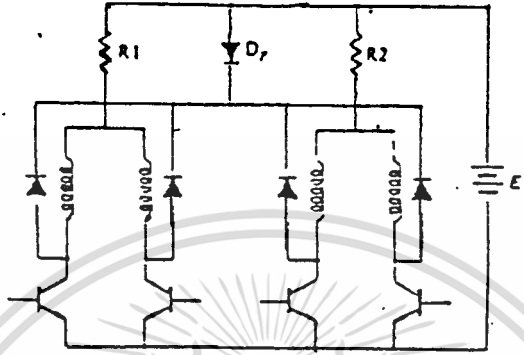
(4) Condensor suppressor มักใช้กับ bifilar winding ใช้เพื่อจุดมุ่งหมาย 2 ประการคือ

- เมื่อ TR turned off แล้ว condensor ต่อกับ diode. คุดชั๊ปกระแสจากขดลวดไว้เพื่อป้องกัน TR ในภาวะที่ TR1 มา turned off TR3 จะ off ด้วย เนื่องจากการพันแบบ bifilar กระแสจะไหลวนตามเส้นประดังรูปที่(5.2.1) ถ้า TR3 on ขณะที่กระแสลดลงถึงศูนย์และประจุที่เก็บใน condensor มีค่าสูงสุด กระแสจะเกิดที่เฟส 1 ได้ดีขึ้น

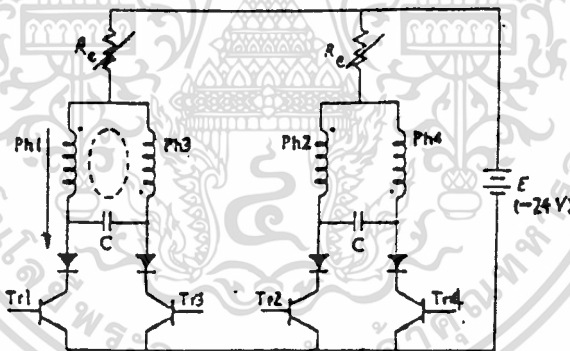
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สาธารณชนสามารถเข้าถึงได้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขออภัยไว้ ณ ที่นี้ และขอแจ้งว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดได้

- การมีคุณสมบัติเป็น electrical damper หากโรเตอร์มีการ oscillate ของ permanent magnet จะเกิด emf. เป็นสัญญาณ AC ในขดลวด ซึ่งหากไม่มี

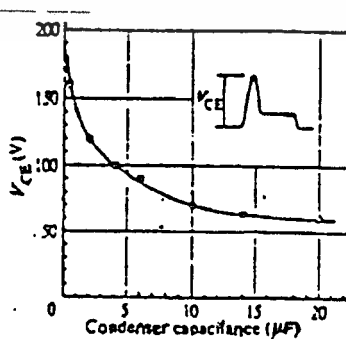
การต่อ R เข้าไปกระแสก็จะไม่มีการไหลเกิดขึ้นในขดลวด เป็นลักษณะของ electrical damper ค่า C ที่น้อยจะมีผลให้ pull-out torque สูงขึ้น ที่ อัตราการสลับสูงขึ้นซึ่งหมายถึง กระแสจะลดลงเร็วขึ้นหลังจากการ turn off อย่างไรก็ตามจะเกิดแรงดันที่ collector สูงขึ้นหากมีการลดค่า C



รูปที่ (2.7) แสดงตัวอย่างของตัวขับแบบ 4 เฟสกับซีเนอร์ไดโอดขับเพรสเซอร์



รูปที่ (2.8) แสดงตัวขับแบบ 4 เฟสกับคอนเดนเซอร์ขับเพรสเซอร์



รูปที่ (2.9) แสดงพลังงานศักย์ทำให้เฟอทรานซิสเตอร์ turned off

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือปรับตามค่าคาปาซิแตนซ์ที่เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ TR turned on จะมีผลกระทบจากอินดักแตนซ์ ก่อนที่กระแสจะเพิ่มขึ้นถึงค่ากระแส  
 พิกัดเนื่องจากอินดักแตนซ์นี้ จะต่อต้านการเพิ่มขึ้นของกระแสเมื่อความถี่ของการขับในแต่ละเฟสเพิ่ม  
 ขึ้น build-up time จะมีค่ามากเมื่อเทียบกับไซเคิล(cycle)การทำงานจะทำให้ทอร์คลดลงและ  
 มีการตอบสนองที่ช้า มีหลายวิธีที่จะทำให้ค่า build-up time มีค่าลดลง เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ  
 ของทอร์ค ขณะมอเตอร์หมุนด้วยอัตราเร็วสูง

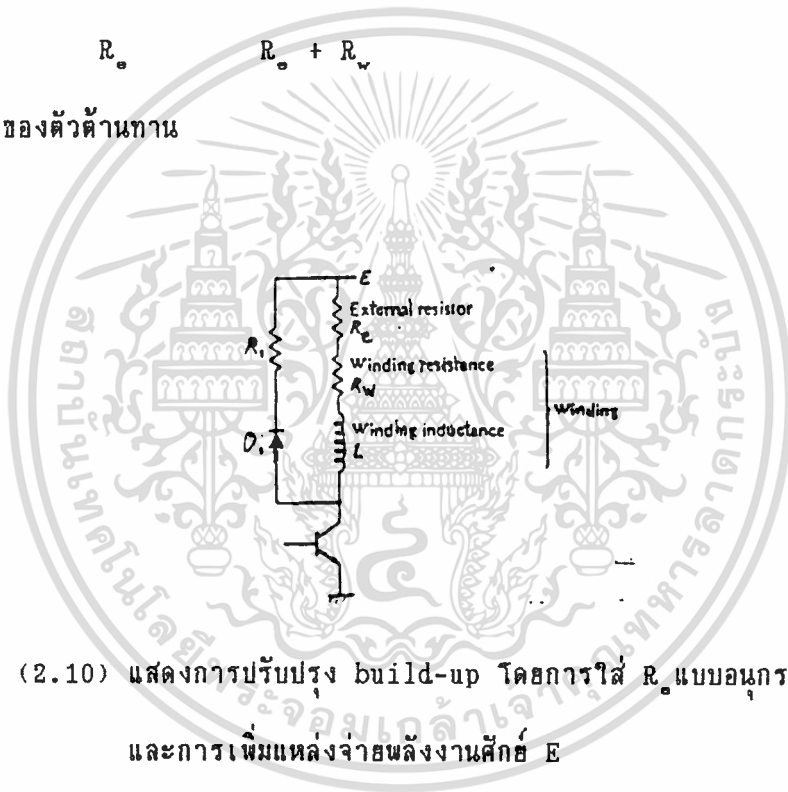
(1) Series resistance เป็นวิธีที่ประหยัดที่สุด

แหล่งจ่ายไฟฟ้าจะขับเข้าสู่ค่ากระแสพิกัดของขดลวดสามารถลดค่า time constant

จาก  $\frac{L}{R_0}$  เป็น  $\frac{L}{R_0 + R_w}$  วิธีนี้ข้อเสียคือ มีการสูญเสียพลังงานไปในการต่ออนุกรม

$$R_0 \quad R_0 + R_w$$

ของตัวต้านทาน



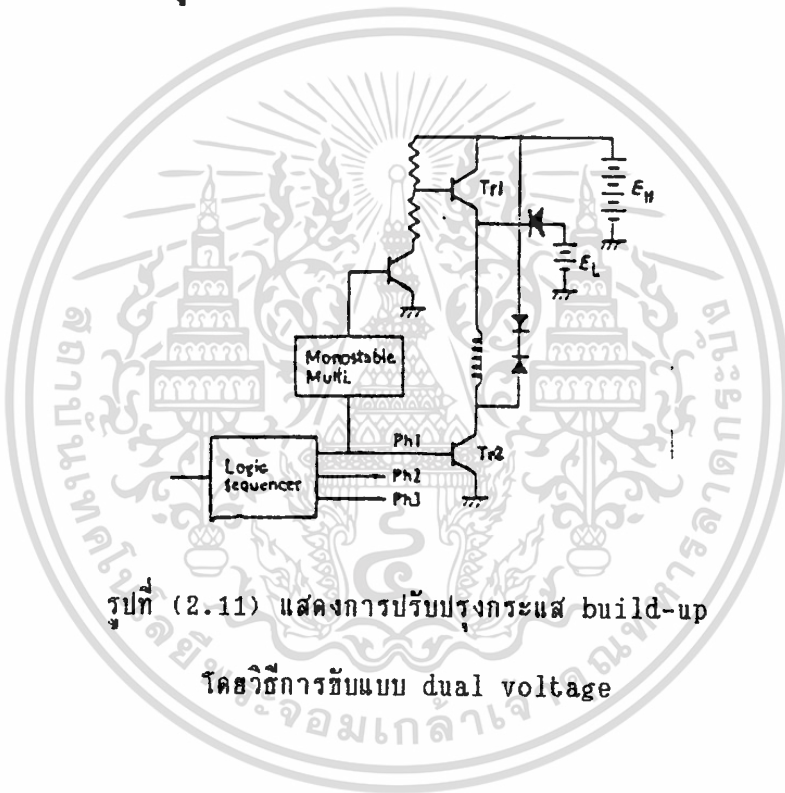
รูปที่ (2.10) แสดงการปรับปรุง build-up โดยการใส่  $R_0$  แบบอนุกรมกับขดลวด  
 และการเพิ่มแหล่งจ่ายพลังงานค้ำ E

(2) Dual Voltage ในการลดการสูญเสียไปของพลังงาน ( Power Dissipation )  
 ของวงจร และการเพิ่มประสิทธิภาพของสเตรปมอเตอร์จึงใช้ตัวขับแบบจ่ายแรงดัน 2  
 ระดับ ( Dual Voltage ) ดังแสดงในรูปที่ (2.11) เมื่อสัญญาณพัลส์คำสั่งป้อน  
 เข้าสู่ลอจิกซีเคเวนเซอร์ จะเกิดสัญญาณระดับสูง ( high level ) จากเอาพุท

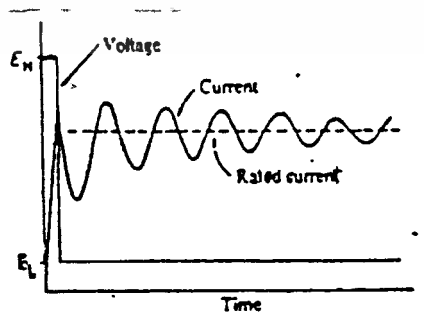
ของวงจรลอจิกซีเคเวนเซอร์ เพื่อเป็นการจ่ายกระแสให้กับขดลวดวงนี้ทั้ง TR1และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น TR2 ทั้ง จะ turned on แรงดันระดับสูง ( $E_H$ ) จะถูกจ่ายให้กับขดลวดโดยการทำ

งานของไดโอด D1 จะอยู่ในช่วง reverse bias แยกแหล่งจ่ายแรงดันต่ำกับแรงดันสูงออกจากกัน กระแสที่ถูกสร้างขึ้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงค่า time constant ของวงจร monostable multivibrator จะ turned off ทรานซิสเตอร์ TR1 เมื่อกระแสเพิ่มขึ้นถึงค่ากระแสที่คิดเป็นการตัดแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงออกไปไดโอดจะทำงาน forward bias ชดเชวจึงถูกจ่ายโดยแรงต่ำเท่านั้น current waveform จะเป็นดังรูปที่ (2.12) ในการจ่ายแรงดันสองระดับนี้จะสามารถให้อัตราการกระตุ้นเพิ่มขึ้นได้โดยการ turn on ด้วยแรงดันระดับสูง



รูปที่ (2.11) แสดงการปรับปรุกระแส build-up โดยวิธีการขับแบบ dual voltage

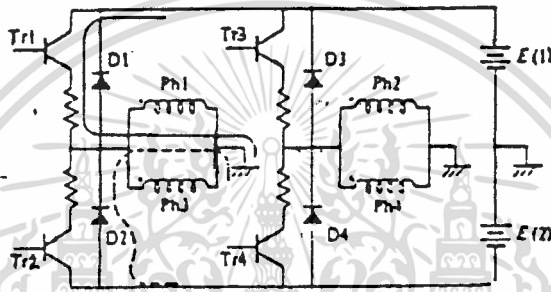


รูปที่ (2.12) แสดงรูปร่างของโวลเตจและกระแสในการขับแบบ dual voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ การเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการผิดกฎหมาย  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.2 วงจรขับแบบจ่ายกระแสสองทิศทาง ( Bipolar Drive )

ประสิทธิภาพของมอเตอร์จะดีหากขดลวดทุกขดถูก excite อย่างสม่ำเสมอในช่วงเวลาที่จำกัด และสร้างทอร์ค ขนาดที่เหมาะสมโดยเฉพาะมอเตอร์ขนาดเล็กในการขับมอเตอร์ 4 เฟสใช้บริดจ์ มอเตอร์ การขับแบบไบโพลาร์จะเป็นวงจรขับที่ดีที่สุดเนื่องจากขดลวดทั้ง 4 จะถูกจ่ายกระแสอย่าง สม่ำเสมอ ในการขับแบบไบโพลาร์ใช้วงจรบริดจ์ มีลักษณะวงจรพื้นฐาน 2 แบบ คือ ใช้แหล่ง จ่ายไฟ 2 แหล่ง และ แบบแหล่งจ่ายไฟแหล่งเดียว มีลักษณะของวงจรดังนี้



รูปที่ ( 2.13 ) แสดงวงจรบริดจ์สำหรับการขับแบบไบโพลาร์

(1) การขับโดยใช้ แหล่งจ่ายไฟฟ้า 2 ตัว มีสิ่งที่ต้องคำนึงถึงต่อไปนี้

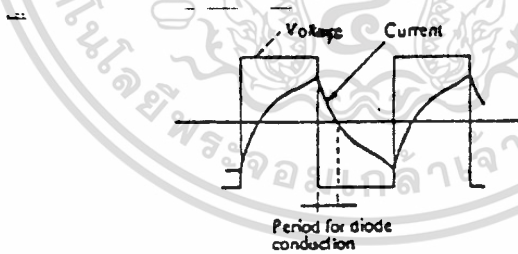
- ลักษณะการเชื่อมต่อกันของขดลวดจะเห็นว่า Ph1 และ Ph3 มักจะมีขั้วเดียวกัน ให้มองเหมือนกับเป็นมอเตอร์ 2 เฟส
- จำเป็นต้องมีการป้องกันไม่ให้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว อยู่ในสภาวะ on ในเวลา เดียวกันเช่นจังหวะที่เปลี่ยนจาก on-off ของ TR1 และ off-on ของ TR2 ความต้านทานที่เพิ่มเข้าไปดังกล่าวจะทำให้การเกิด overlap ของตัวนำไม่เป็น อันตรายต่อทรานซิสเตอร์
- มีไดโอดเพื่อการ suppress spike voltage โดยการต่อไดโอดในลักษณะ

ขนานกับ power transistor เพื่อเป็นการ suppress spike ที่เกิดขึ้น

เมื่อมีการ turn off TR ตัวใดตัวหนึ่ง ลักษณะการทำงานของไดโอดจะต่าง

จากลักษณะของ unipolar drive คือในขณะที่มีการ turned off TR1 และ on TR2 กระแสจะไม่เกิดการ reverse แต่จะไหลวนอยู่ใน loop ของ D2 และ แหล่งจ่ายไฟฟ้าคิวที่ 2 (G2) ซึ่งเป็นขั้วลบอาจกล่าวได้ว่าเป็นการชาร์จ แบตเตอรี่ได้หากคิดในแง่ของพลังงาน คือมีพลังงานภายในขดลวดกลับเข้าไปยัง แหล่งจ่ายไฟฟ้า นับเป็นข้อดีของการขับแบบไบโพลาร์ที่มีเหนือการขับแบบยูนิโพลาร์ (Unipolar) ที่จะต้องมีการต่อ ไดโอดและตัวต้านทาน ซึ่งมีอุปกรณ์มากกว่า

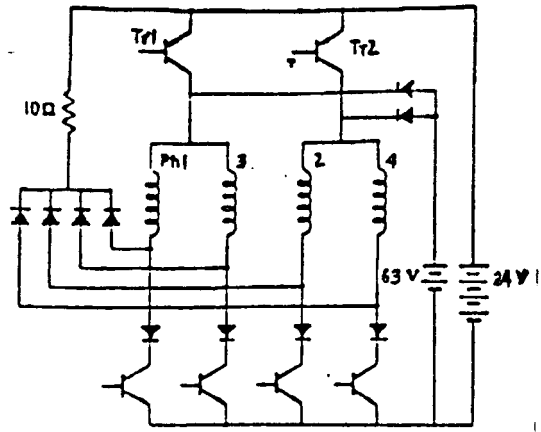
- กระแสไหลในทิศทางย้อนกลับในการขับแบบยูนิโพลาร์ ลักษณะของวงจรขับเพรส เซอร์ถูกเพิ่มขึ้น เมื่อลดกระแสในขดลวดหลังจากทรานซิสเตอร์ turned off ส่วนวงจรแบบไบโพลาร์ จะมีโวลเตจที่ป้อนเข้าไปเพื่อให้ขดลวดมีกระแสไหลกลับ ไปโดยผ่าน TR2 ในทิศทางย้อนกลับ current waveform จะต่างกับ เอ็กร์ไปเนนเซียล ในแบบยูนิโพลาร์ แต่จะลาดลง (slightly concave) ขึ้น กับ counter emf. ที่ถูกสร้างขึ้นโดยการหมุนของโรเตอร์ ( waveform ของแรงดัน และ กระแส เป็นดังรูปที่ (2.14)



รูปที่ (2.14) แสดงรูปร่างของโวลเตจและกระแสในการขับแบบ bipolar

(2) การขับโดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้า 1 ตัว จะต้องมีการแยกแต่ละแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับ แต่ละเฟสโดยการต่อ R ขนานกับขดลวดเพื่อจะช่วยในการ build-up กระแสได้

เร็วขึ้น ส่วนการต่อวงจรหน่วงเวลา หรือ ตัวต้านทานเพื่อเป็นการป้องกันตัวทรานซิสเตอร์จากการถูกทำลายโดย overlap conduction ยังจำเป็นอยู่เช่นกัน



รูปที่ (2.15) แสดงวงจรขับโศยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้า 1 ตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ลักษณะการขับ (Mode excitation)

### 2.2.1 การกระตุ้นทีละ 1 เฟส (Single - phase excitation)

ตามตารางที่ (2.1) แสดงถึงลำดับการกระตุ้นขดลวดทีละเฟสสำหรับมอเตอร์ 3 และ 4 เฟส โดยสีทึบในตาราง หมายถึงสถานะที่ถูกกระตุ้น และสีขาวแสดงถึงเฟสที่ไม่ได้จ่ายกระแสให้มันเอง เมื่อมอเตอร์มีการหมุนตามเข็มนาฬิกาโดยลำดับของการกระตุ้น คือ เฟส 1 (ph 1) เฟส 2 (ph 2) เฟส 3 (ph 3) ..., และมันจะหมุนทวนเข็มนาฬิกา เมื่อกลับลำดับการกระตุ้นใหม่เป็น เฟส 3 (ph 3) - เฟส 2 (ph 2) - เฟส 1 (ph 1)

ตารางที่ (2.1) การกระตุ้นทีละ 1 เฟส

(1) Three-phase motor

	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1									
Phase 2									
Phase 3									

(2) Four-phase motor

	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1									
Phase 2									
Phase 3									
Phase 4									
Pulses									

Note: Symbol R indicates 'reset'.

### 2.2.2 การกระตุ้นทีละ 2 เฟส (Two - phase excitation operation)

ตามตารางที่ (2.2) แสดงถึงลำดับการกระตุ้นขดลวดทีละ 2 เฟส สำหรับมอเตอร์ 3 และ 4 เฟสโดยการกระตุ้นนี้ เป็นความสัมพันธ์ของตำแหน่งสมมูลระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์ ซึ่งเมื่อกระแสกระตุ้น เปลี่ยนจากเฟสหนึ่งไปเฟสอื่น ( ตามลูกศรในตารางที่ (2.2) ) คือเมื่อเฟส

2 (ph 2) ไม่ถูกกระตุ้น (turned off) เฟส 1 (ph 1) ก็จะถูกระตุ้นแทน (turned on) โดยที่เฟส 3 (ph 3) ยังคงถูกกระตุ้นอยู่

ตารางที่ (2.2) ตารางแสดงการกระตุ้นทีละ 2 เฟส

(1) Three-phase motor

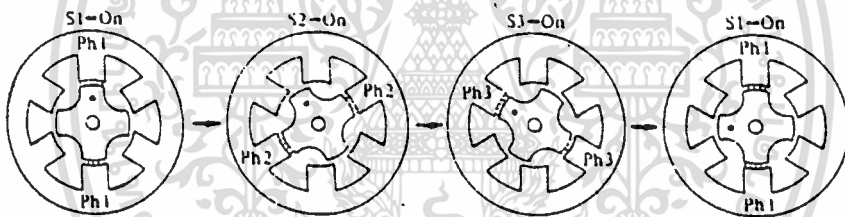
Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	■	■	→	■	■	■	■	■	■
Phase 2	■	■	→	■	■	■	■	■	■
Phase 3	■	■	■	■	■	■	■	■	■

(2) Four-phase motor

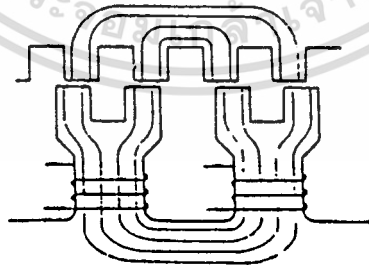
Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Phase 2	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Phase 3	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Phase 4	■	■	■	■	■	■	■	■	■

ความสัมพันธ์ของตำแหน่ง ระหว่างขั้วโรเตอร์และสเตเตอร์ในตำแหน่งสมดุลย์ ดังรูปที่

(2.17) ซึ่งขั้วต่าง ๆ ของทั้งโรเตอร์และสเตเตอร์มีลักษณะของตำแหน่งแตกต่างจากการกระตุ้นทีละ 1 เฟส ดังรูป (2.16)

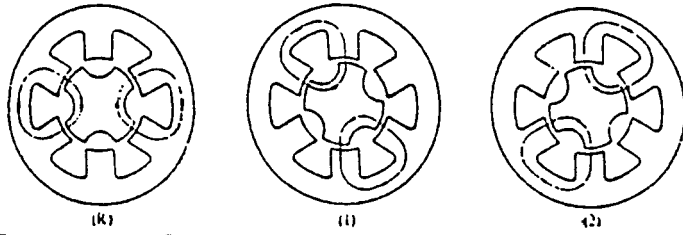


รูปที่ (2.16) แสดงตำแหน่งของโรเตอร์และสเตเตอร์ในการกระตุ้นทีละเฟส



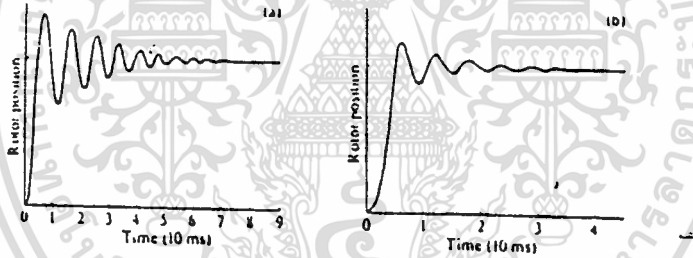
รูปที่ (2.17) แสดงตำแหน่งของโรเตอร์และสเตเตอร์ในการกระตุ้นทีละ 2 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์  
 ไม่ได้ออกตีพิมพ์ได้แสดงดังรูปที่ (2.18) เนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ (2.18) แสดงการกระจายของสนามแม่เหล็กและการเคลื่อนที่แต่ละสัปดาห์  
ของมอเตอร์ 3 เฟส แบบโมโนฟิลาร์ (monofilar)

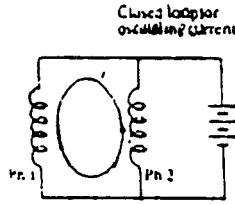
ลักษณะแตกต่างที่สำคัญ ระหว่างการกระตุ้นทีละ 1 เฟส กับการกระตุ้นทีละ 2 เฟสนั้น  
สามารถดูได้จากกราฟของผลตอบสนองทรานเซียน (transient response) ดังรูปที่ (2.19 )



รูปที่ (2.19) แสดงผลตอบสนองทรานเซียนของการกระตุ้นแบบ 1 เฟส และ 2 เฟส

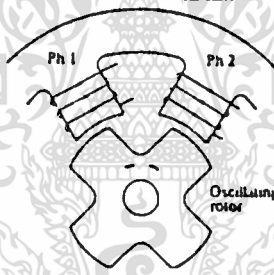
ในแบบการกระตุ้นทีละ 2 เฟส สัญญาณการแกว่งจะเร็วกว่าการกระตุ้นทีละเฟสเนื่อง  
มาจากผลแรงเสียดทานทางกลของโรเตอร์ 2 เฟสนั้นเอง และรูปแบบวงจรถักกระแสไหลวนตาม  
การเหนี่ยวนำเมื่อเกิดการแกว่งขึ้นได้แสดงดังรูปที่ (2.20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ (2.20) แสดงการแกว่งของกระแสในมอเตอร์ 2 เฟส

เนื่องจากการแกว่งของกระแสที่กระตุกขดลวดของมอเตอร์ทำให้เกิดทอร์ก (torque) ที่ได้ไม่คงที่ด้วย ดังนั้นการสั่นของการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ จึงเป็นผลมาจากการแกว่งของกระแสในแต่ละเฟสนั่นเอง เป็นที่น่าสังเกตว่า เฟสที่เกิดการแกว่งของกระแส ตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของเฟส 1 (ph 1) และเฟส 2 (ph 2) หรือ อาจจะพิจารณาโครงสร้างของพลังงานจลน์ คือ การแกว่งของโรเตอร์นั้นเป็นการเปลี่ยนรูปไปเป็นความร้อนของ Process นี้



รูปที่ (2.21) แสดงการแกว่งแบบกระตุกที่ละ 2 เฟส

### 2.2.3 การกระตุ้นแบบ ครึ่งสเตป (Half - step mode)

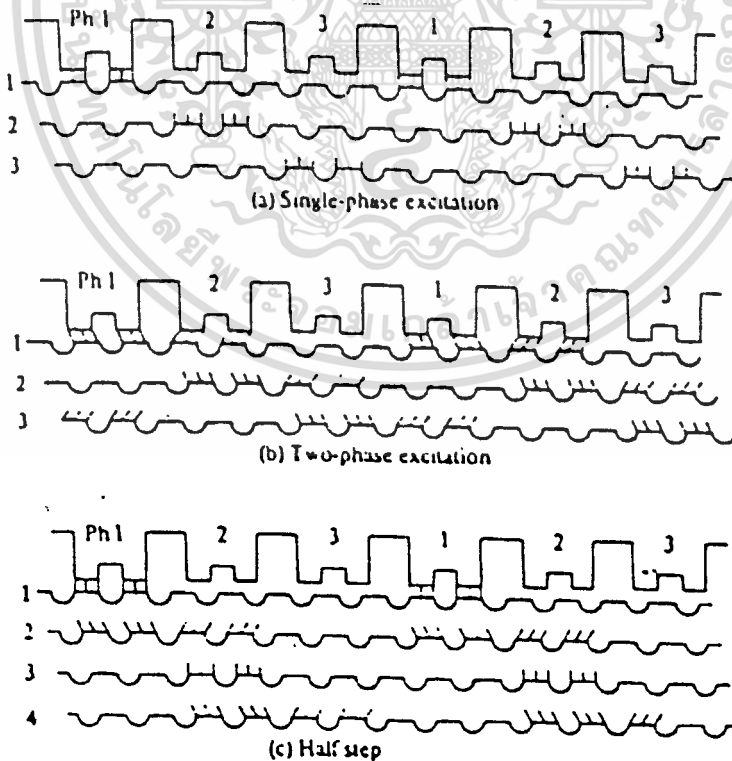
การกระตุ้นแบบครึ่งสเตป เป็นการรวมกันระหว่างการกระตุ้นทีละเฟสกับการกระตุ้นทีละ 2 เฟส โดยลำดับการกระตุ้น สำหรับมอเตอร์ 3 เฟส แสดงในตารางที่ (2.3) จำนวนของคล็อกสเตต (clock state) ในที่นี้ให้มี 2 ทาง คือ (A) และ (B)

ตารางที่ (2.3) แสดงลำดับกระตุ้นแบบครึ่งสเตป

Clock state (A)	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Clock state (B)	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Phase 1										
Phase 2										
Phase 3										

ในทาง (A) การเลื่อนตำแหน่งถูกกำหนดจาก การกระตุ้นแบบเฟสเดียวเท่านั้น ส่วน 2 เฟสที่เหลือถูกกระตุ้น ขณะเคลื่อนที่จากจุดสมมูลหนึ่งไปยังจุดสมมูลอื่น ๆ โดยการกระตุ้นแบบ 2 เฟส นั้นถูกใช้เพื่อไม่ให้เกิดการแกว่งขึ้น ส่วนในทาง (B) การเลื่อนตำแหน่งจะใช้ทั้งการกระตุ้นแบบที่ละเฟส และแบบ 2 เฟส ซึ่งทาง (B) นี้ ถึงจะเป็นการกระตุ้นแบบครึ่งสเตป

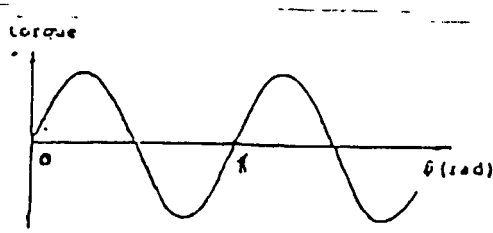
เรามาเปรียบเทียบการกระตุ้นมอเตอร์ระหว่างแบบเฟสเดียว 2 เฟสและแบบครึ่งสเตปดังรูปที่ (2.22)



รูปที่ (2.22) แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการกระตุ้นแบบเฟสเดียว เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเนื้อหาสำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ผู้ใช้ควรเห็นประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้าม แบนด์ 2 เฟส และแบบครึ่งสเตป ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3 หลักการขับเคลื่อนแบบไมโครสเตป

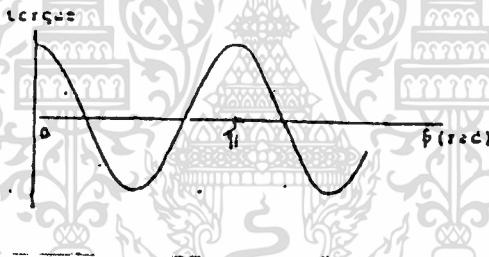
สเตปป์มอเตอร์ทั่วไปเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้า (I) ผ่านเฟส A จะได้ความสัมพันธ์ของแรงบิดกับการเคลื่อนที่เชิงมุมดังรูปที่ (2.23)



รูปที่ (2.23) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับการเคลื่อนที่

เชิงมุม (degree/step)

และเมื่อกระแสไหลผ่านเฟส B จะได้ความสัมพันธ์ใหม่ดังรูปที่ (2.24)



รูปที่ (2.24) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับการเคลื่อนที่

เชิงมุม (degree/step)

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถเขียนสมการเบื้องต้นได้ว่า

$$\text{สำหรับเฟส A Torque A} = -p_n \cdot \phi_m \cdot I_m \cdot \sin(p_e) \text{ ----- (1)}$$

$$\text{สำหรับเฟส B Torque B} = -p_n \cdot \phi_m \cdot I_m \cdot \sin(p_e - \alpha) \text{ ----- (2)}$$

โดย

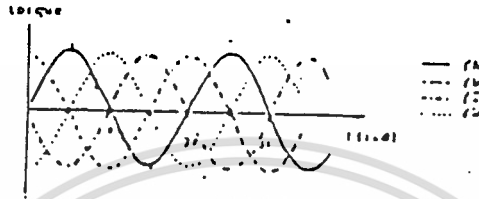
$$I_m, I_b = \text{กระแสที่ไหลผ่านเฟส A และ B ตามลำดับ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ว่าตำแหน่งปัจจุบันของแกนโรเตอร์ ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 $\alpha$  = มุมระหว่างเฟส A และ B

$\phi_m$  = ค่า flux สูงสุด

$p_m$  = จำนวนคู่ของขั้วแม่เหล็ก

การควบคุมให้สเตรปมอเตอร์ทำงาน โดยให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านแต่ละเฟสตามลำดับ ค่าแรงบิดที่เกิดขึ้น จะมีการเปลี่ยนแปลงตามมุมของแกนมอเตอร์ จุดที่ค่าแรงบิดของเฟสที่ได้รับการกระตุ้นลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์เป็นจุดสมมูลของเฟสนั้น ดังรูปที่ (2.25)



จุดสมมูลของแรงบิดในแต่ละเฟส  
รูปที่ (2.25) แสดงค่าแรงบิด ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามมุมของแกนมอเตอร์

จากรูปจะพบว่าจุดสมมูลจะมีการเคลื่อนที่ไปที่ละสเตป ดังนั้นถ้าต้องการทำให้แกนของมอเตอร์หมุนเป็นสเตปขนาดเล็กลง และมีความต่อเนื่องมากขึ้น จะต้องทำทางปรับจุดสมมูลระหว่างสองเฟสให้มีขนาดเล็กลง ทำให้สเตรปต่อรอบของสเตรปมอเตอร์มีค่ามากขึ้น

พิจารณาสมการ (1), (2) นำมาประยุกต์เขียนรูปแบบสมการง่ายขึ้นใหม่โดยกำหนด  $p=1$  และ  $\theta=90$  องศา ซึ่งสามารถเขียนรูปแบบใหม่ได้ดังนี้

$$\text{Torque A} = K * I_a * \sin \theta \text{ ----- (3)}$$

$$\text{Torque B} = K * I_b * \sin (\theta - \pi/2) \text{ ----- (4)}$$

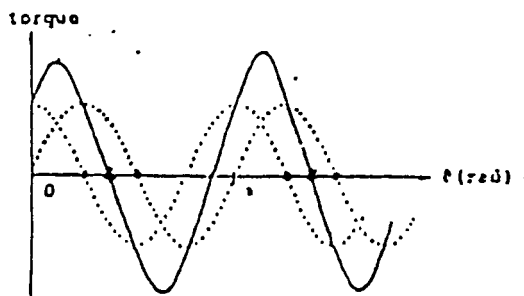
$$K = -p_m \phi_m$$

ถ้าให้  $I_a$  และ  $I_b$  มีค่าเท่ากันและใช้การขับมอเตอร์แบบกระตุ้นที่ละสองเฟส จะได้ผลลัพธ์ของแรงบิดดังสมการ

$$\text{Torque รวม} = \text{Torque A} + \text{Torque B}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกสิ่ง  $= K(I_a * \sin \theta + I_b * \sin (\theta - \pi/2))$  ถึงจะยอมลดแรงบิดลงซึ่งมีผลรวม (5) ใช้

เมื่อนำสมการ (5) มาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ (2.26)



. จุดสมมูลเดิม \* จุดสมมูลใหม่

รูปที่ (2.26) แสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงบิด และจุดสมมูลของการหมุน.

เมื่อใช้การขับแบบกระตุ้นที่ละสองเฟส

จากรูปจะพบว่าแรงบิดรวมจะมีค่าสูงขึ้น และจุดสมมูลของแรงบิดรวมจะอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างจุดสมมูลของเฟสทั้งสอง เมื่อจ่ายกระแสให้เฟสทั้งสองเท่ากัน ดังนั้นแสดงว่าการขับแบบกระตุ้นที่ละสองเฟสสามารถเปลี่ยนจุดสมมูลของการหมุน ไปอยู่ที่ตำแหน่งต่างๆระหว่างเฟสทั้งสองได้ โดยจ่ายให้กระแสแต่ละเฟสต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ (2.27)



รูปที่ (2.27) แสดงการเปลี่ยนแปลงจุดสมมูลของการหมุนระหว่างเฟสสองเฟส

จุดสมมูลที่เปลี่ยนแปลงสามารถหาได้ โดยพิจารณาจุดที่แรงบิดมีค่าเท่ากับศูนย์จะได้ว่า

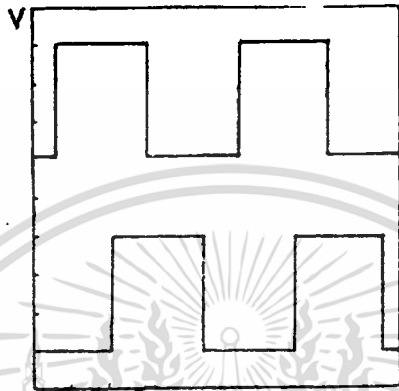
$$I_a \sin \theta = -I_b \sin(\theta - \pi/2)$$

$$= -I_b \cos \theta$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกริใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้ง  $I_b/I_a$  พึงห้ามมิให้  $\theta = \tan^{-1} \dots$  ของเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

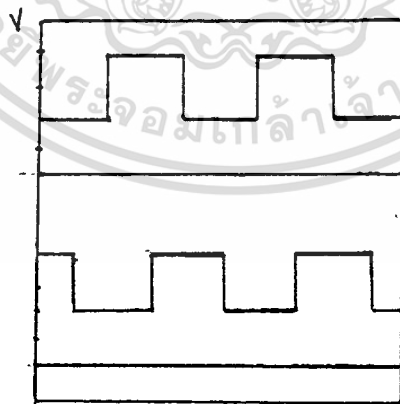
$$\theta = -\tan^{-1}(I_b/I_a)$$

จะเห็นว่าสามารถควบคุม  $\theta$  ได้โดยการควบคุมอัตราส่วนของ  $I_a/I_b$  จากหลักการนี้ จึงได้นำมาออกแบบวงจรที่สามารถควบคุมกระแสให้การเปลี่ยนแปลงเป็นแบบเชิงเส้น เพื่อให้สามารถควบคุมอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของกระแสในสองเฟสที่ถูกระตุ้นได้ รูปแบบของกระแสที่ใช้ในการควบคุมเป็นดังรูปที่ (2.28)-(2.30)

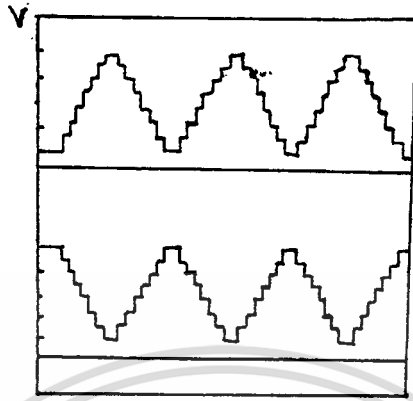


$$\frac{I_b}{I_a} = 1$$

รูปที่ (2.28) แสดงการขับแบบกระตุ้นทีละสองเฟส ขนาดเท่ากับสเตปปกติ



รูปที่ (2.29) แสดงการขับแบบกระตุ้นทีละสองเฟสโดยเฟสทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ของกระแสแบบเป็นสัดส่วนต่อกัน มีขนาดเป็น  $1/2$  เท่าของขนาดปกติที่มีการนำไปใช้



รูปที่ (2.30) แสดงการจับแบบกระตุ้นที่ละสองเฟสโดยเฟสทั้งสอง

มีการเปลี่ยนแปลงของกระแสแบบเป็นสัดส่วนต่อกัน

มีขนาดเป็น  $1/8$  เท่าของขนาดปกติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS - 51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS - 51 เป็นไมโครคอมพิวเตอร์แบบชิปเดี่ยว ( ไม่ต้องต่อกับอุปกรณ์ภายนอกก็สามารถทำงานได้ ) มีความสะดวกในการใช้งานเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยภาษาเบสิกได้โดยไม่ต้องศึกษาการทำงานของวงจรเหมือนกับภาษาแอสเซมบลี แต่ถ้านักที่จะเขียนภาษาแอสเซมบลีก็สามารถใช้งานได้ตามปกติเหมือนกัน แต่ต้องขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของอุปกรณ์ด้วยว่าเบอร์ใดใช้กับภาษาเบสิกได้บ้าง

MCS - 51 นี้เป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาสนองตามความต้องการของผู้ใช้ คือมีสายอินพุท และ เอาท์พุทภายในตัวเอง พอร์ตของอินพุทและเอาท์พุท บัฟเฟอร์อินเตอร์เฟส และสายควบคุมอื่น ๆ ที่ใช้สำหรับแยกข้อมูลกับแอดเดรส และยังมียุติคำสั่งเพิ่มขึ้นเป็นพิเศษ เพื่อจัดการข้อมูลแอมทำด้วยวงจรตั้งเวลากับวงจรนับด้วย (ปกติวงจรนับจะสามารถทำงานเป็นวงจรตั้งเวลาได้ด้วยจึงเรียกควบคู่กันไป คือ วงจรตั้งเวลา / วงจรนับ)

ในตระกูล MCS - 51 ทั้งหมดมีหลายเบอร์ให้เลือกใช้งานตามความเหมาะสมของผู้ใช้ดังแสดงในตารางที่ (3.1)

เบอร์	หน่วยความจำภายใน		ตั้งเวลา/นับ	อินเตอร์รัพต์
	โปรแกรม	ข้อมูล		
8052 AH	8K * 8 ROM	256 * 8 RAM	3 * 16 Bit	6
8051 AH	4K * 8 ROM	128 * 8 RAM	2 * 16 Bit	5
8051	4K * 8 ROM	128 * 8 RAM	2 * 16 Bit	5
8032 AH	ไม่มี	256 * 8 RAM	2 * 16 Bit	6
8031 AH	ไม่มี	128 * 8 RAM	2 * 16 Bit	5
8031	ไม่มี	128 * 8 RAM	2 * 16 Bit	5
8751 H	4K * 8 EPROM	128 * 8 RAM	2 * 16 Bit	5
8751H-12	4K * 8 EPROM	128 * 8 RAM	2 * 16 Bit	5

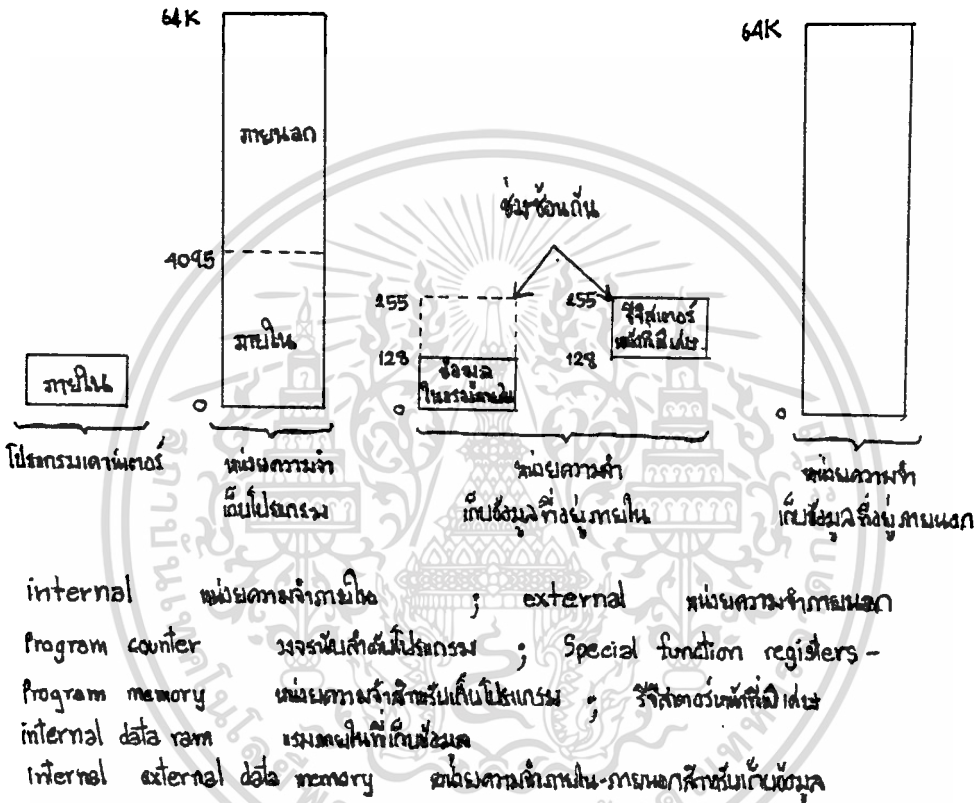
ในหัวข้อนี้จะกล่าวโดยสรุปในส่วนประกอบหลักๆที่จำเป็นต้องทราบเพื่อให้พอเข้าใจในการนำไปศึกษาต่อไป โดยมีรายละเอียดเป็นเรื่องๆ ดังต่อไปนี้

### 3.1 ภาสในหน่วยความจำ

จากรูปที่ (3.1) หน่วยความจำภายในตัว MCS - 51 แบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม และหน่วยความจำสำหรับข้อมูล หน่วยความจำแรกมีแอดเดรสที่ต่ำกว่า 4 หรือ 8 กิโลไบต์ บรรจุอยู่ในรอม ส่วน MCS - 51 ที่ไม่มีรอมภายในจะใช้หน่วยความจำภายนอกที่เป็นรอม(ROM), แรม(RAM) หรือ อีพรอม(EPROM) แทนก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCS - 51 จะอ่านหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม เข้ามาเป็นภาษาเครื่องตามลำดับ ส่วนหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล จะใช้เป็นที่เก็บตัวแปร, การคำนวณหาผลลัพธ์ทันที, การจัด การกับข้อมูลที่มีขนาด 16 บิต (word) ตารางที่ใช้ค้นหาค่าต่าง ๆ และหน้าที่อื่น ๆ ที่คล้ายกัน หน่วยความจำ สำหรับเก็บข้อมูลใช้ร่วมกับหน่วยความจำภายนอกได้ถึง 640 กิโลไบต์ ซึ่งเลือกเป็น ROM หรือ RAM ก็ได้ (แต่ในที่นี้จะไม่ใช่หน่วยความจำภายนอกเลย) และยังมีรีจิสเตอร์พิเศษที่ใช้ หน่วยความจำภายนอกของแรมได้ 128 หรือ 256 กิโลไบต์



รูปที่ (3.1) โครงสร้างภายในหน่วยความจำของ MCS - 51

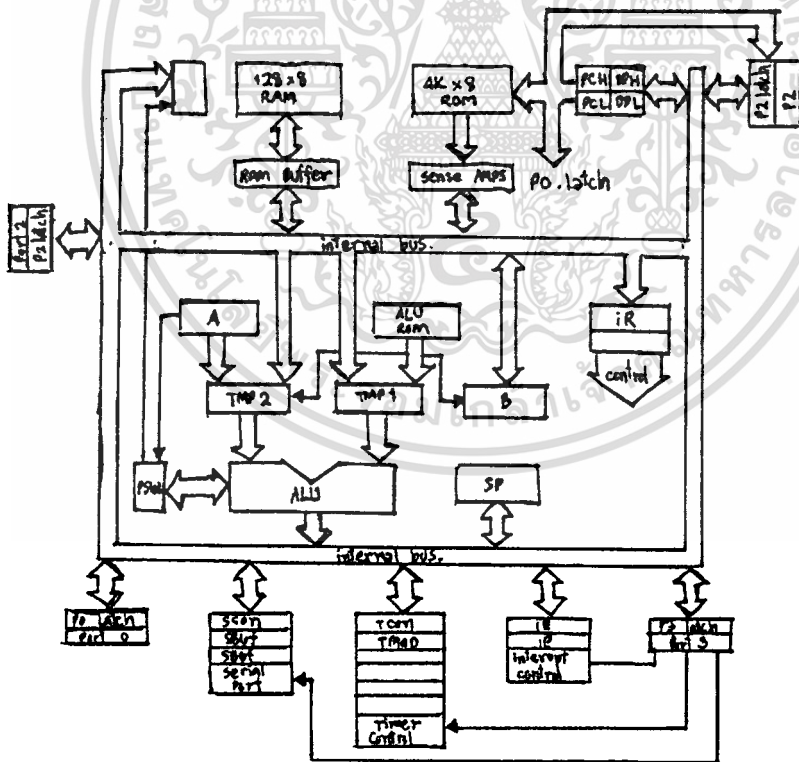
### 3.2 รีจิสเตอร์ภายใน MCS - 51

MCS - 51 มีรีจิสเตอร์ที่อ่านหน่วยความจำในการใช้งานตามคำสั่งต่าง ๆ ประกอบด้วย แอคคิวมูเลเตอร์รีจิสเตอร์ B ที่ใช้ในการคูณและหารรีจิสเตอร์สถานะ สแต็กพอยน์เตอร์ดาต้าพอยน์เตอร์ พอร์ตหมายเลขศูนย์ถึงสาม รีจิสเตอร์แบบคู่ซึ่งใช้ส่งและรับข้อมูลชนิดอนุกรมรีจิสเตอร์ 16บิต ที่เป็นวงจรถัดเวลา และวงจรรับ และรีจิสเตอร์คำสั่ง - สำหรับหน้าที่พิเศษ ( เช่น การอินเตอร์ เอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า รหัส RTC (Read Time Clock) แปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ส่วนต่าง ๆ ของบัสและพอร์ต

จะเห็นโครงสร้างภายในของ MCS - 51 ในรูปที่(3.2) เราจะสมมติให้มีบัสสองทิศทาง 4 พอร์ต เป็นพอร์ตขนาด 8 บิตตามทฤษฎี แต่ที่จริงนี้จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อมีการใช้หน่วยความจำภายในตัว (รวมหรือแรม) กรณีไม่ให้หน่วยความจำภายใน พอร์ต 0 และ 2 จะถูกใช้เป็นบัสของข้อมูลและแอดเดรสไป ดังนั้น พอร์ต 2 พอร์ต ยังคงใช้งานเป็นอินพุท และเอาต์พุท พอร์ต 2 ทำหน้าที่เป็นสายสัญญาณแอดเดรส  $A_{15} \dots A_8$  ส่วนพอร์ต 0 ทำหน้าที่เป็นสายสัญญาณแอดเดรส  $A_7 \dots A_0$  ออกจากบิตข้อมูล  $D_7 \dots D_0$ .

เอาต์พุทของขา RD และ WR มาจากสายเอาต์พุทของพอร์ต 3 โดยโปรแกรมภายในใช้สัญญาณ RD และ WR เพื่อการเขียนและอ่านข้อมูลกับข้อมูลของหน่วยความจำภายนอก แต่ในที่นี้จะใช้เฉพาะสัญญาณ RD เพื่ออ่านข้อมูลจาก ADC 0808 เท่านั้น สัญญาณ WR ไม่ได้ใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่(3.2) แสดงโครงสร้างของ MCS-51 เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 วงจรนับ/วงจรตั้งเวลา

เมื่อทำงานเป็นวงจรตั้งเวลา รีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ตั้งเวลาจะเพิ่มค่าขึ้นหนึ่งทุกๆ รอบคำสั่งของเครื่องและจะนับด้วยอัตราสูงสุดที่ 1/12 ของความเร็วสัญญาณนาฬิกาของโปรเซสเซอร์

เมื่อทำงานเป็นวงจรรนับ รีจิสเตอร์วงจรรนับจะเพิ่มขึ้นหนึ่ง เมื่อมีสัญญาณป้อนให้อินพุท T0, T1 หรือ T2 (T2 มีเฉพาะ 8052) เป็นขอบสัญญาณขาลง อัตราการนับสูงสุดคือ 1/24 ของความเร็วสัญญาณนาฬิกาของโปรเซสเซอร์

วงจรรนับและตั้งเวลา 0 และ 1 มีวิธีโปรแกรมให้ทำงานได้ต่างกันถึง 4 แบบ รวมทั้งการทำงานเป็น 8 บิต หรือ 16 บิต และการบรรจุค่ารีเซตหนึ่งค่าได้เองอย่างอัตโนมัติ

วงจรรนับและตั้งเวลาที่ 1 เลือกโปรแกรมให้ทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดสัญญาณของอัตราการส่งบิตออกไปอย่างอนุกรม สำหรับใช้ในการอินเตอร์เฟสได้

วงจรรนับและตั้งเวลาที่ 2 (มีเฉพาะ 8052 เท่านั้น) มีการทำงานย่อยๆ อีก 3 ชนิด คือ

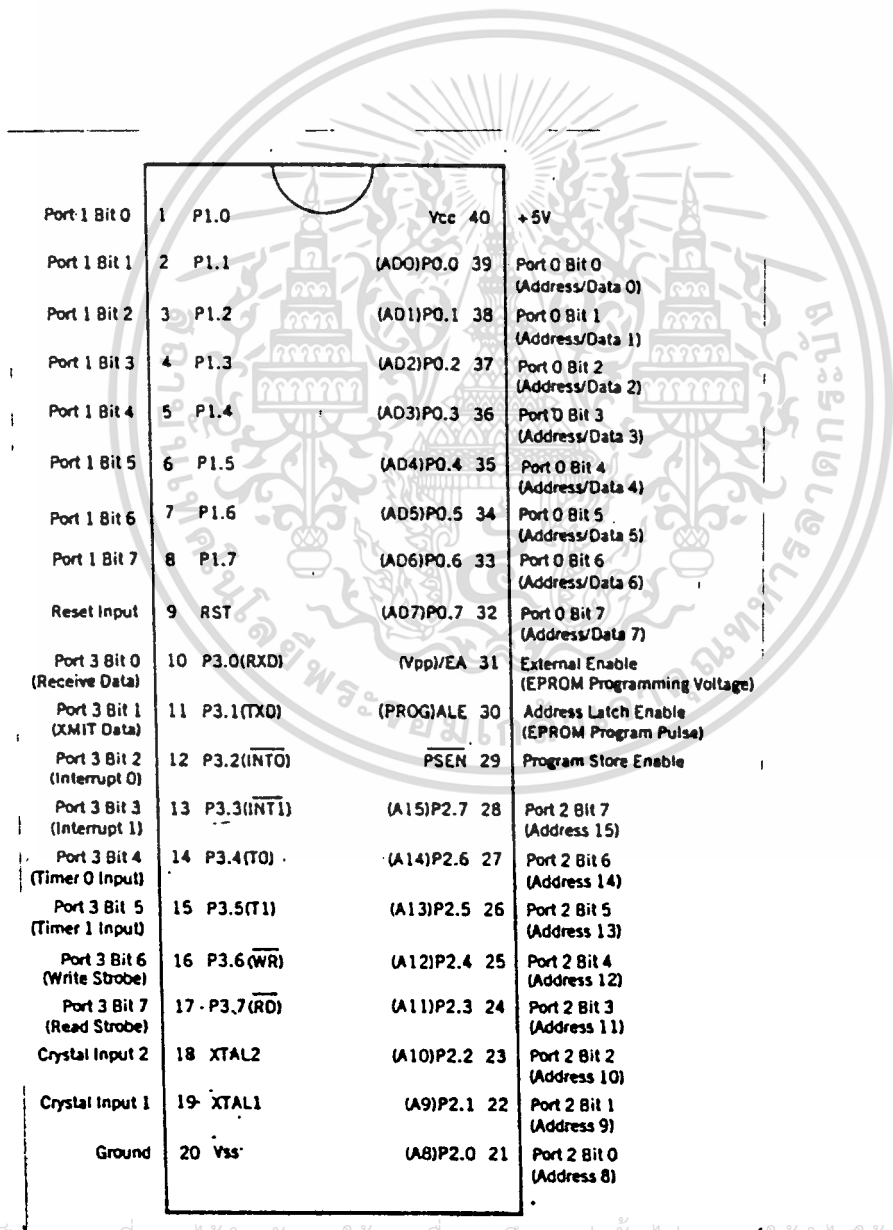
1. วงจรรนับ 16 บิต ที่สามารถโหลดค่ากลับคืนเองอย่างอัตโนมัติ
2. วงจรรนับที่จองไว้ชนิด 16 บิต
3. วงจรกำเนิดสัญญาณของการส่งบิตเพื่อใช้อินเตอร์เฟส

จากรายละเอียดของสิ่งเขบที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น พอที่จะใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้อุปกรณ์ ให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ผู้ใช้งานต้องการได้ และในที่นี้เราจะเลือกใช้ MCS - 51 เบอร์ 8751H ที่ประกอบไปด้วยคุณสมบัติเป็นไปตามต้องการดังต่อไปนี้

- ซีพียู 8 บิต ที่ควบคุมได้ง่าย
- เพิ่มการทำงานลอจิกครั้งละ 1 บิตได้
- สายอินพุทและเอาต์พุทมีจำนวน 32 เส้น สามารถใช้เป็นสัญญาณต่างๆ ได้หลายประเภท
- มีแรมบรรจุอยู่ภายในขนาด 128 ไบต์
- วงจรตั้งเวลา/วงจรรนับมีขนาด  $2 * 16$  บิต
- กำหนดเป็น UART (Universal Synchronous-Asynchronous Receiver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกพันให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด (Transmitter) ที่รับส่งข้อมูลอนุกรมได้สองทิศทางถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อินเทอร์เฟซ แบ่งออกเป็น 2 ระดับจาก 5 แหล่ง
- มีสัญญาณนาฬิกาอยู่ในตัว
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในเป็นแบบอีพรอมขนาด 4 กิโลไบต์ ซึ่งคิดว่า พอเพียงแล้วโดยไม่จำเป็นต้องพึ่ง หน่วยเก็บโปรแกรมภายนอกอีก
- คำสั่งทั้งหมดมี 111 คำสั่ง (ซึ่งในรายละเอียดหาได้จากหนังสือคู่มือทั่วไป)
- ทำงานด้วยเลขฐานสิบและฐานสิบหก
- ไม่สามารถใช้งานกับภาษาเบสิกได้เหมือนกับเบอร์ 8752 AH



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ (3.3) แสดงการจัดวางและหน้าที่ของแต่ละขา ของ 8751 H

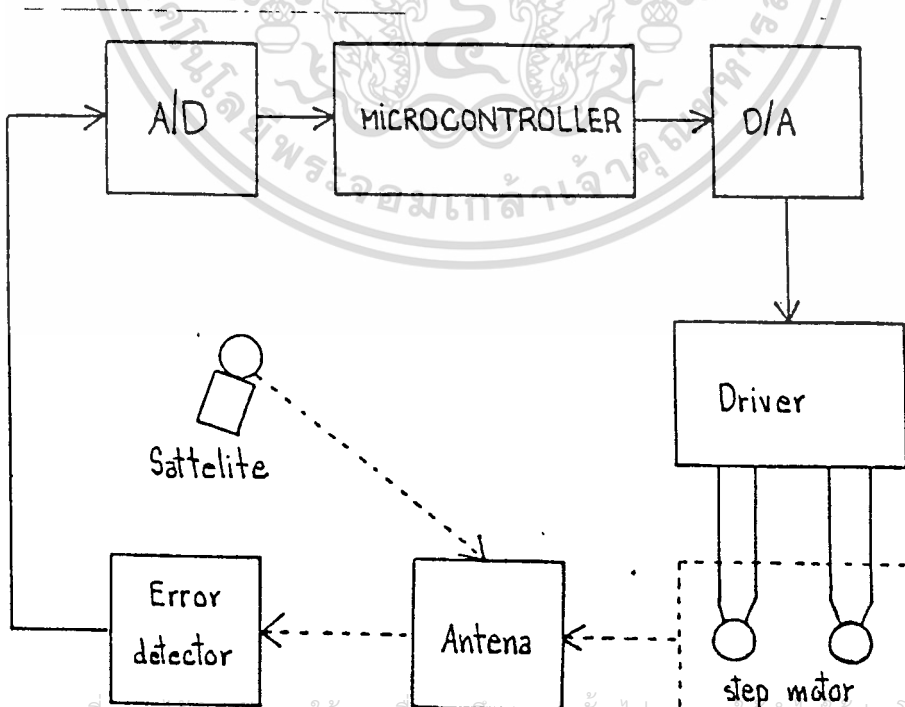


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. การออกแบบระบบติดตามตำแหน่งโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

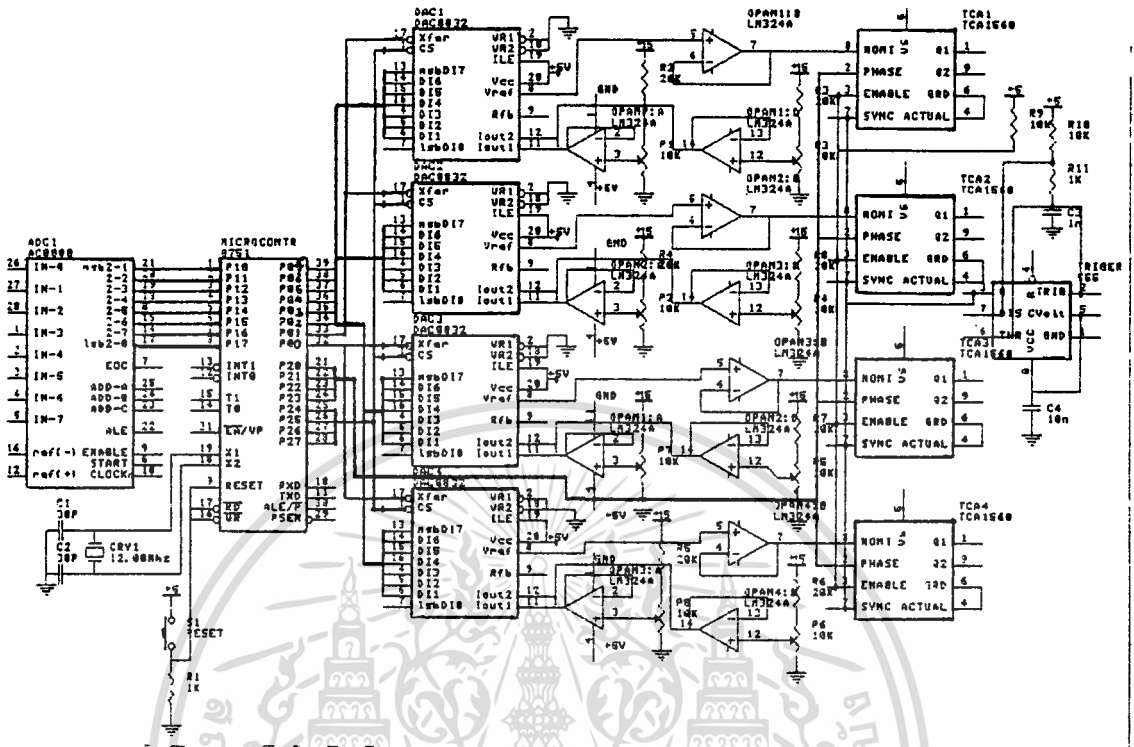
ระบบควบคุมของการขับเคลื่อนมอเตอร์ ซึ่งได้ออกแบบให้สามารถสร้างสัญญาณขับเคลื่อนมอเตอร์แบบไมโครสเตปได้ซึ่งแสดงในบล็อกไดอะแกรมข้างล่าง ระบบประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งควบคุมการจ่ายกระแสของวงจรรัน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานร่วมกับวงจรแปลงสัญญาณจากดิจิทัลเป็นอนาล็อก (รายละเอียดดูหัวข้อ 4.2) สำหรับการสร้างสัญญาณควบคุมที่เป็นขั้นบันไดหรือลักษณะสัญญาณไซน์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบของสัญญาณควบคุมจากซอฟต์แวร์ สัญญาณที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณจากดิจิทัลเป็นอนาล็อกนี้ จะใช้เป็นสัญญาณควบคุมส่วนขยายกระแสของวงจรมอเตอร์ขับเคลื่อน (รายละเอียดดูหัวข้อ 4.3)

การทำงานของระบบนั้น เริ่มจากการที่รับสัญญาณอนาล็อกอินพุตเข้ามาโดยผ่านการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (รายละเอียดดูหัวข้อ 4.4) ซึ่งใช้ช่องรับสัญญาณอินพุต 2 ช่องคือช่องที่ 1 สำหรับมอเตอร์แกนตั้ง และช่องที่ 2 สำหรับแกนนอนของจานรับสัญญาณดาวเทียม ข้อมูลที่ได้จากแปลงสัญญาณอนาล็อกอินพุต เป็นสัญญาณดิจิทัลจะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการคำนวณปรับตำแหน่งของมอเตอร์ตามต้องการต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ในเชิงพาณิชย์ด้านการค้า  
รูปที่ (4.1) แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมของการขับเคลื่อนมอเตอร์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดแต่สิ่งเนื้อหาและต้องอยู่ใต้อาณัติของเอกสารนี้ การนำไปใช้

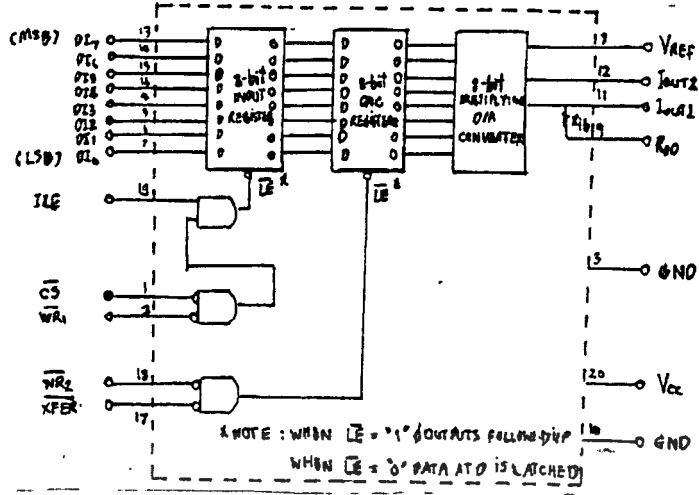
#### 4.1 วงจรรวม



รูปที่ (4.2) แสดงวงจรขับสแตมป์มอเตอร์โดยไมโครคอนโทรลเลอร์

การทำงานของวงจรรวมดังรูปที่ (4.2) นั้นเริ่มจากการที่รับสัญญาณอนาล็อกอินพุตเข้ามาที่ ADC0808 ซึ่งมีช่องรับสัญญาณอินพุตถึง 8 ช่องแต่เราใช้เพียง 2 ช่องคือช่องที่ 1 สำหรับมอเตอร์แกนตั้ง อีกช่องสำหรับแกนนอนของจานรับสัญญาณดาวเทียม แต่เพื่อการพัฒนาในอนาคตและเพื่อความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ ADC0808 เราจึงออกแบบให้สำรองอีก 2 ช่อง รวมเป็นมีช่องรับอินพุตเป็น 4 ช่องแทน (รายละเอียดการทำงานของ ADC0808 ดูจากหัวข้อ 4.2) ซึ่งหลังจากแปลงสัญญาณอนาล็อกอินพุต เป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วค่อยนำสัญญาณ เอาท์พุทที่ได้ เป็นสัญญาณอินพุตแก่ MCS-51 เพื่อทำการคำนวณปรับตำแหน่งของมอเตอร์ที่ถูกต้องตามต้องการโดยการใช้สัญญาณเข้าที่ พอร์ต 1 ของ MCS-51 และ สัญญาณเอาท์พุทออกที่พอร์ต 0 ส่วนขาต่างๆของพอร์ต 2 นำไปใช้ในการให้สัญญาณทริกเฟส (Trig Phase) แก่ชิพ TCA1560 (ซึ่งเป็นชิพที่ใช้ควบคุมกระแสมอเตอร์) และให้เป็นสัญญาณชิพซีเล็ค (Chip select) แก่ DAC0832 ตามรูปที่ (4.3) แสดงวงจรภายใน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ของ DAC0832 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ (4.3) แสดงวงจรภายในของ DAC0832

หลังจากสัญญาณจาก MCS-51 เข้าไปที่ DAC0832 ตามรูปร่างรวมจะเห็นว่าวงจรการรับมอดเตอร์ 1 ตัวนั้นต้องใช้สัญญาณถึง 16 บิตในการควบคุมซึ่ง TCA1560 โดยที่ TCA1560 แต่ละตัวใช้สัญญาณ 8 บิตแต่ต้องมีการควบคุม TCA1560 ทั้ง 2 ตัวพร้อมกันดังนั้น หลังจากข้อมูลชุดแรกผ่านมายัง DAC0832 ตัวที่ 1 จะมาพักที่บัฟเฟอร์ตัวแรกก่อน ต่อมาข้อมูลอีก 8 บิตจะเข้ามาที่ DAC0832 ตัวที่ 2 แล้วมาพักที่ บัฟเฟอร์ตัวแรกเช่นกันหลังจากนั้นก็มีการโอนย้ายข้อมูลจากบัฟเฟอร์ตัวแรกไปยังบัฟเฟอร์ตัวที่ 2 พร้อมกันทั้ง 2 ตัวแล้วปล่อยออกมาเข้า TCA1560 เพื่อรับมอดเตอร์ต่อไป โดยมอดเตอร์ 1 ตัวใช้ TCA1560 จำนวน 2 ตัวในการขับเคลื่อนเนื่องจาก TCA1560 หนึ่งตัวควบคุมกระแสได้ 1 เฟสนั่นเองส่วนการควบคุมมอดเตอร์ 2 ตัวนั้นในการทำงานได้มีการกำหนดให้มอดเตอร์ตัวแรกนอนทำงานหาตำแหน่งสัญญาณที่ตีที่สัดก่อน ค่อยให้มอดเตอร์ตัวที่ 2 ทำงานในแนวแกนตั้งอีกครั้ง เพื่อความเที่ยงตรงของสัญญาณ

ขาพอร์ต	หน้าที่
P0.0	: สัญญาณ Xfer ของ DAC 1, 2
P0.1	: สัญญาณ Xfer ของ DAC 3, 4
P0.2 - P0.7	: ข้อมูล 6 บิตให้กับ DAC 1, 2, 3, 4
P2.0 - P2.3	: สัญญาณเฟสให้กับ TCA 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ
P2.4 - P2.7	: สัญญาณซินซีเล็ค (CS) ใให้กับ DAC 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ
P1.0 - P1.7	: รับสัญญาณอินพุต 8 บิตจาก ADC 0808
P3.7	: สัญญาณ enable ให้กับ ADC 0808
P3.6	: สัญญาณ ALE, start

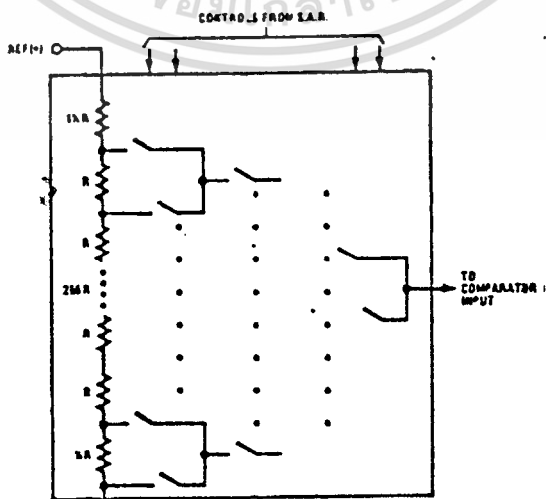
รูปที่ (4.4) แสดงตารางการใช้งานขาพอร์ตต่างๆของ MCS-51

## 4.2 อนุลอก - ดิจิตอล คอนเวอร์เตอร์ (ADC 0808)

เนื่องจากโครงงานนี้มีส่วนในการทำงานในลักษณะต้องทันต่อเหตุการณ์ (Read Time Processor) ซึ่งสัญญาณที่รับได้จากงานรับสัญญาณดาวเทียมจะต้องส่งมาทำการวิเคราะห์ที่ MCS - 51 เพื่อหาตำแหน่งที่ดีที่สุดในการรับสัญญาณ และส่งสัญญาณไปขับมอเตอร์ไปยังตำแหน่งนั้น หลังจากนั้นก็จะทำการรับอินพุตอีกครั้งหนึ่งและวนทำซ้ำในลักษณะเดิมต่อไปเรื่อย ๆ

แต่สัญญาณที่ได้จากงานรับสัญญาณดาวเทียมรับเข้ามาเป็นอินพุตของ โครงงานนั้นเป็นสัญญาณอนุลอก ที่เรากำหนดแหล่งจ่ายไฟรับค่าได้ขนาด 0 โวลต์ ถึง 5 โวลต์ ใช้งานแทนสัญญาณนั้นได้ทำหน้าที่เป็นเหมือนสัญญาณอินพุตจำลองจากงานดาวเทียม

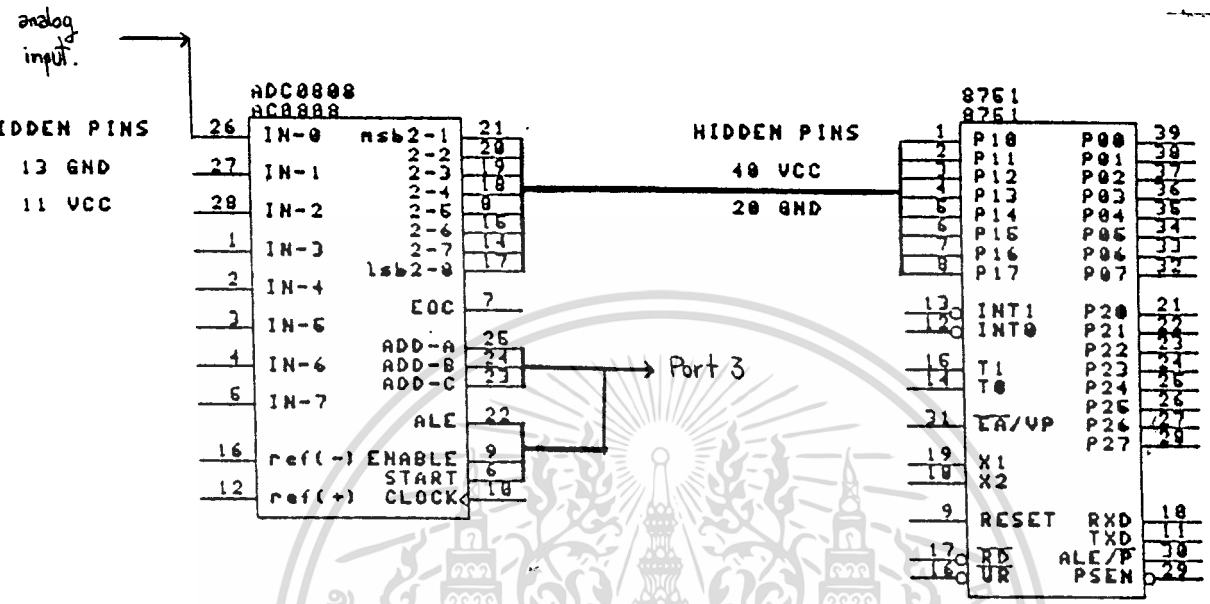
สัญญาณอนุลอกที่รับเข้ามา เราไม่สามารถที่จะนำไปใช้งานกับ MCS - 51 ได้ จึงต้องมีการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิตอลขนาด 8 บิตเสียก่อน ในที่นี้เราจะใช้ไอซีเบอร์ ADC 0808 ที่ประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือวงจร 256R Ladder, รีจิสเตอร์ Successive Approximation (SAR) และตัวเปรียบเทียบ (Comparator) ส่วนของวงจร 256R Ladder นั้นมีลักษณะดังในรูปที่ (4.5)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

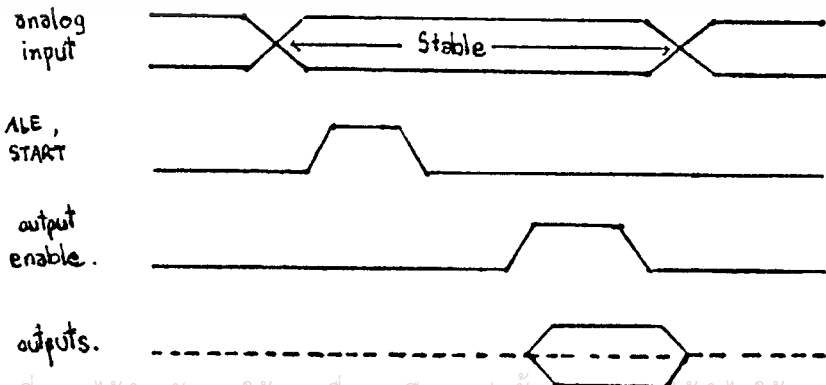
รูปที่ (4.5) วงจร 256 R Ladder

อาศัยสัญญาณ 0, 1 ที่ส่งมาจาก SAR เป็นสัญญาณควบคุมการปิดเปิดสวิตช์ แต่ละจุด โดยการเพิ่มค่าขึ้นทีละ 1 จนแรงดัน Voltage ที่ได้ส่งไปยังส่วนเปรียบเทียบแรงดัน แรงดันที่ได้เท่ากันจะหยุดเพิ่มค่า และนำสัญญาณควบคุมจาก SAR ขนาด 8 บิต (Digital) ไปใช้ส่งต่อไปให้พอร์ต 1 เป็นข้อมูลแก่ MCS - 51 ไปใช้ในการประมวลผลต่อไป



รูปที่ (4.6) แสดงการจัดวางขาและวงจรของ ADC 0808 กับ MCS - 51

จากการจัดวางขาต่าง ๆ เราได้เชื่อมต่อระหว่าง MCS - 51 โดยนำเอาพอร์ต 1 ทั้ง 8 บิต ต่อตรงกับข้อมูลจาก ADC 0808 และ ADC 0808 ต้องรอรับสัญญาณ enable จาก MCS - 51 ในลักษณะดังต่อไปนี้ ADC 0808 จึงจะทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น และอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น **รูปที่ (4.7) ตารางแสดงช่วงเวลาในการทำงานของ ADC** ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราใช้ ADC 0808 เพียง 2 ช่องสัญญาณรับอินพุต แต่เราสามารถขยายได้ถึง 8 ช่องสัญญาณได้โดยการเลือกรับช่องใดช่องหนึ่งจากการกำหนดรูปแบบของขา A, B, C

ข้อดีของ ADC 0808 คือ

- ใช้แหล่งจ่ายไฟเพียงแหล่งเดียวขนาด 5 โวลต์
- มีสัญญาณนาฬิกาในตัว
- สามารถอินเทอร์เฟสกับไมโครโปรเซสเซอร์อื่น ๆ ได้ง่าย
- รับสัญญาณอนาล็อกขนาด 0 - 5 โวลต์ ได้ถึง 8 ช่องสัญญาณ

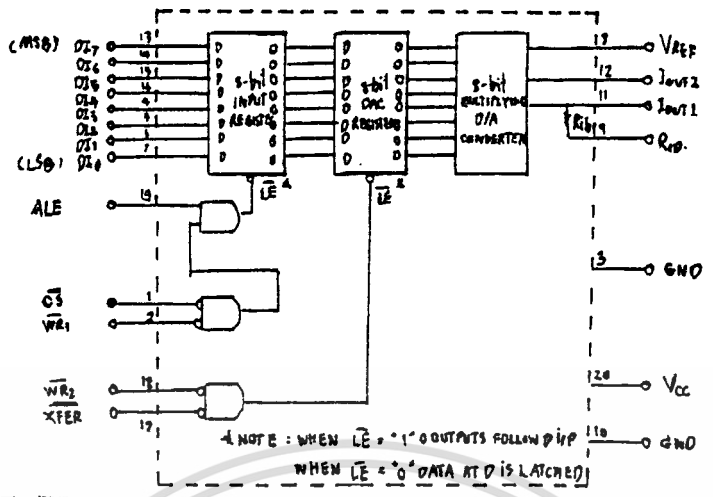
#### 4.3 ดิจิตอล - อนาล็อก คอนเวอร์เตอร์

ในการควบคุมการขับมอเตอร์แบบไมโครสเตปจำเป็นต้องมีการจ่ายกระแสหลายระดับให้กับขดลวดเฟสต่างๆ ของมอเตอร์จึงต้องมีการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก โดยการทำงานร่วมกับไมโครโปรเซสเซอร์ ไอซี ดิจิตอล-อนาล็อก คอนเวอร์เตอร์ ที่เลือกใช้คือ DAC 0832 เป็นไอซี 20 ขาใช้ในการแปลงข้อมูลดิจิตอลอินพุต 8 บิตการแปลงข้อมูลจากสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อกทำโดยผ่านวงจร R - 2R Ladder network ที่มีความแม่นยำสูง DAC0832 เป็นไอซีที่เหมาะสมการนำมาใช้งานร่วมกับไมโครโปรเซสเซอร์ต่าง ๆ ได้อย่างดี เนื่องจากมีวงจรบัฟเฟอร์ภายใน 2 ชั้น (Double-buffered) มีข้อดีคือ

1. ทำให้ DAC0832 ทุกตัวในระบบสามารถโฮลด์ (Hold) กระแสเอาต์พุตจากข้อมูลในรีจิสเตอร์ตัวที่ 1 และรับข้อมูลไบต์ (Byte) ต่อไปที่รีจิสเตอร์ตัวที่ 2 ทำให้สามารถนำข้อมูลใหม่มาป้อนให้ได้ตามต้องการโดยทันที

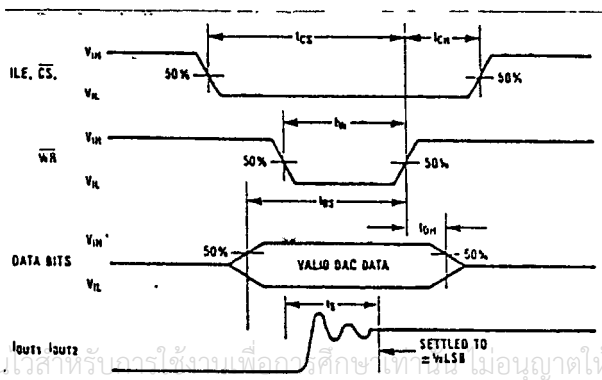
2. ทำให้สามารถใช้ DAC0832 ในระบบได้จำนวนมากตามต้องการและสามารถเลือกเปลี่ยนแปลงสัญญาณอนาล็อกเอาต์พุตของ DAC0832 ใด ๆ ได้ทันทีเมื่อต้องการลักษณะการทำงานภายในของไอซี DAC0832 แสดงโดยบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ (4.8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ (4.8) บล็อกไดอะแกรมภายในของ DAC 0832

การเปลี่ยนแปลงค่าอนาล็อกเอาต์พุตของ DAC นี้ จะเป็นการทำงาน 2 ขั้นตอน หรือเป็นการให้สัญญาณไรต์ (WR) 2 ครั้งในการออกแบบระบบไมโครโปรเซสเซอร์จึงต้องมีสัญญาณชีพชีเล็ก (CS) ควบคุมการแลทช์ข้อมูลดิจิทัลอินพุตก่อนที่รีจิสเตอร์และสัญญาณสโตรป (XFER) ควบคุมการแลทช์ที่ DAC หลายตัวจะต้องทำการแยกสัญญาณชีพชีเล็กของ DAC แต่ละตัวออกจากกันแต่จะต้องให้สัญญาณสโตรป (XFER) ร่วมกันหากต้องการให้มีการคอนเวอร์ตสัญญาณเอาต์พุตรวมกันตารางแสดงช่วงเวลาการทำงานของสัญญาณต่างๆ เป็นดังรูปที่ (4.9)



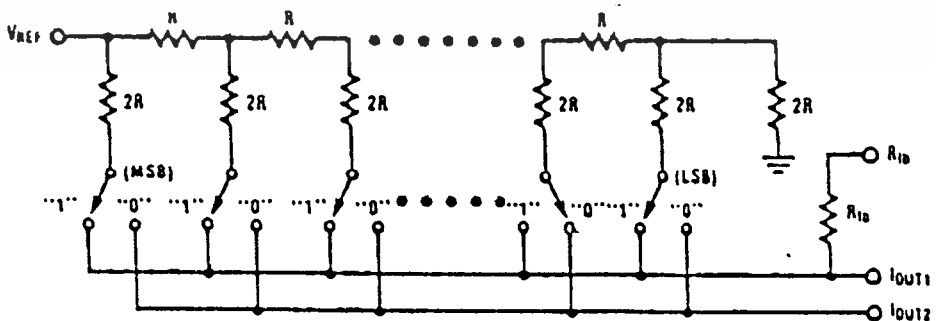
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ใช้สอนเพื่อวัตถุประสงค์ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ (4.9) ตารางแสดงช่วงเวลาการทำงานของ DAC 0832 ครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณอนาล็อกเอาต์พุตที่ได้แปลงมาจากดิจิตอลอินพุตเวิร์ดของ DAC0832 ประกอบด้วย 2 เอาต์พุต เอาต์พุตที่ 1 กระจายแปรผันตรงกับค่าแรงดันอ้างอิง ( $V_{REF}$ ) และ ดิจิตอลอินพุตส่วนที่ เอาต์พุตที่ 2 กระจายแปรผันตรงกับแรงดันอ้างอิงและ ค่าคอมพลีเมนต์ของดิจิตอลอินพุตดังกล่าว

$$I_{out1} = \frac{V_{REF}}{15k} * \frac{\text{Digital Input}}{256}$$

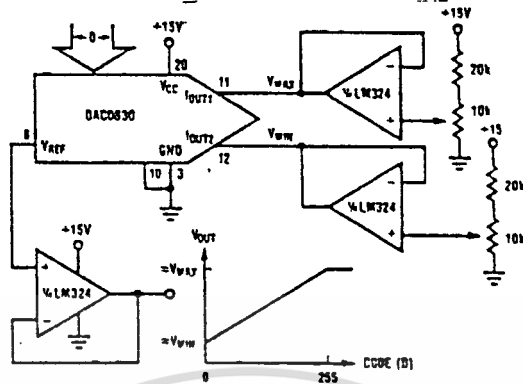
$$I_{out2} = \frac{V_{REF}}{15k} * \frac{\text{Digital Input}}{256}$$

ค่าอนาล็อกเอาต์พุตได้จากการทำงานของวงจรอนาล็อก R - 2R Ladder ของที่ ลีคอน-โครเมียมดังแสดงในรูปที่ (4.10)



รูปที่ (4.10) วงจร R - 2R Ladder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- Only a single +15V supply required
- Non-interactive full-scale and zero code output adjustments
- $V_{MAX}$  and  $V_{MIN}$  must be  $\leq +5V_{DC}$  and  $\geq 0V$ .

$$\bullet \text{ Incremental Output Step} = \frac{1}{256} (V_{MAX} - V_{MIN})$$

$$\bullet V_{OUT} = \frac{D}{256} (V_{MAX} - V_{MIN}) + \frac{255}{256} V_{MIN}$$

### รูปที่ (4.11) วงจรแปลงดิจิทัล - อนุาลอก

ในโครงการน้ทำการออกแบบระบบใหม่ความส่ดห่สนได้ เพื่อที่จะสามารถกำหนดระดับกระแสเอาก์พทของ DAC ได้ตามต้องการ จึงใช้วงจรที่ปรับระดับกระแสอนุาลอกเอาก์พทได้ โดยกำหนดค่าระดับแรงดันสูงส่ดและต่ำส่ดได้ตามต้องการ ( $V_{max}$  และ  $V_{min}$ ) มีค่าระหว่าง  $0 V_{dc}$  ถึง  $5 V_{dc}$  วงจรน้จะประกอบด้วย DAC0832 และ LM324 ซึ่งเป็น Single supply Quad op-amp เพื่อใช้กับแหล่งจ่ายแรงดัน 12 โวลท์ วงจรแสดงในรูปที่ (4.11) จากการออกแบบวงจรในลักษณะน้ค่าของอนุาลอกเอาก์พทจะเปลี่ยนไปโดยค่าที่เพิ่มขึ้นจากแต่ละส่เตปของข้อมูลดิจิทัลอินพุท จะเป็น  $1 * (V_{max} - V_{min})$  และ

256

$$V_{out} = \text{Digital Input} (V_{max} - V_{min}) + 255 V_{min}$$

256

256

การปรับค่า  $V_{max}$  สามารถทำได้โดยการปรับค่า  $R_1$  และ  $R_2$  ส่วนการปรับค่า  $V_{min}$  คือค่า  $R_3$  และ  $R_4$  ในวงจรนี้ให้ค่า  $R_1 = 29.5k$ ,  $R_2 = 7.5k$ ,  $R_3 = 20.51k$  และ  $R_4 = 510$

$$V_{max} = \frac{7.5k * 12}{29.5k} = 3.05 \text{ mV}$$

$$V_{min} = \frac{510 * 12}{20.51k} = 0.298 \text{ V}$$

$$V_{1step} = 10.75 \text{ mV}$$

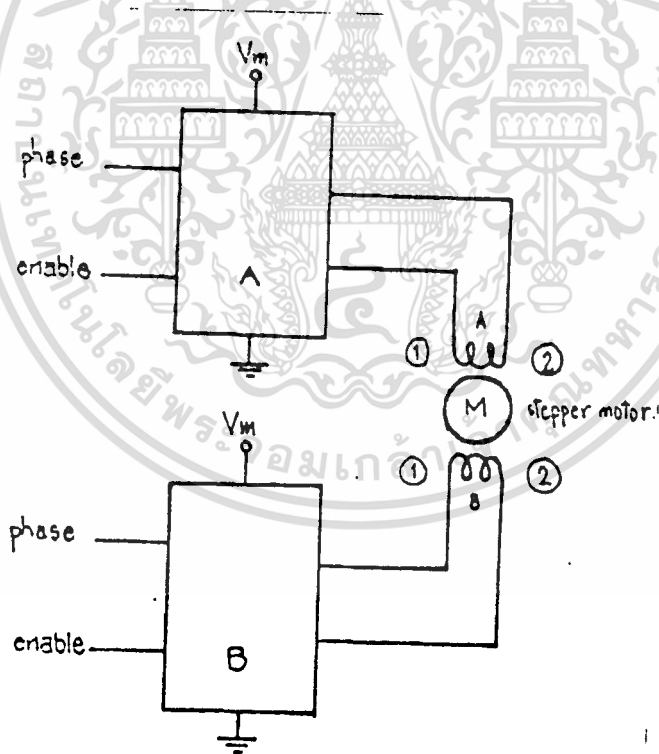
$$V_{out} = D * 10.75\text{mV} + 0.298\text{V}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

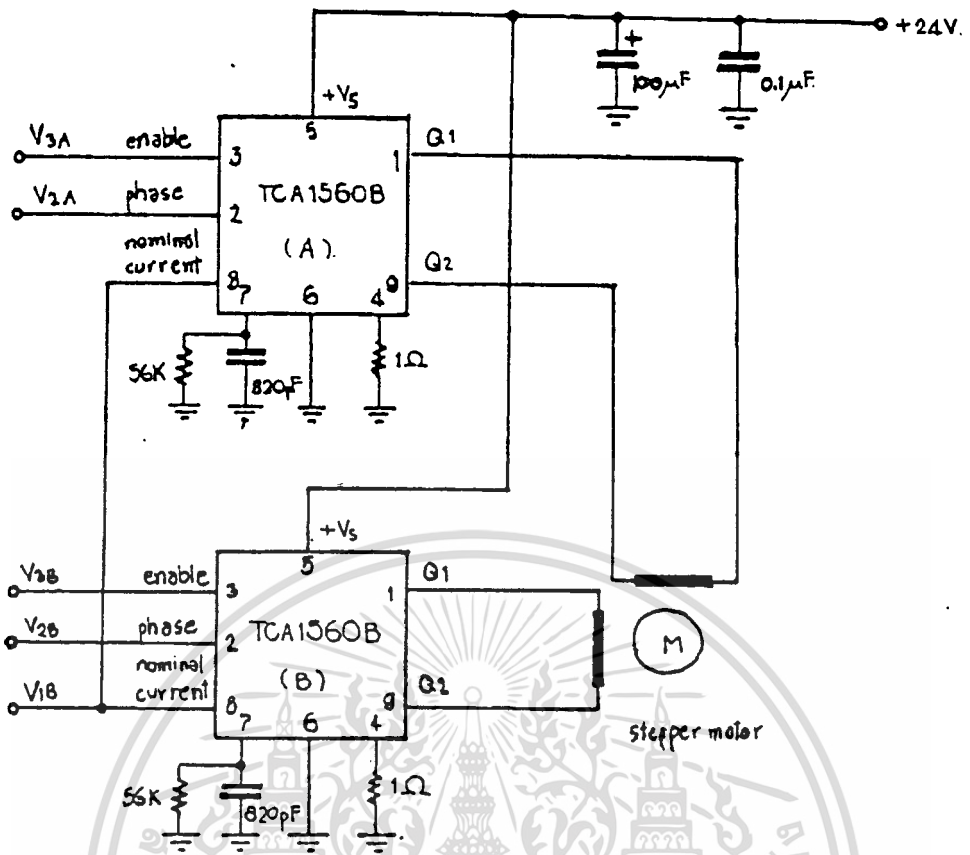
#### 4.4 อุปกรณ์ (TCA 1560 B)

ไอซีเบอร์ TCA1560B เป็นผลงานของบริษัทซีเมนส์ มีบล็อกไดอะแกรมภายในและการจัดขาได้แสดงตามรูปที่ (4.12) เป็นไอซีที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อควบคุมปริมาณกระแส ที่ต้องการป้อนให้ขดลวดแต่ละเฟส สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์แบบไมโครสเตรป โดยทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรใช้งาน TCA1560B เพื่อขับสเตปมอเตอร์ 2 เฟสนั้นได้แสดงดังรูปที่ (4.13) จากวงจรตัวอย่างในหน้าถัดไป จะเห็นว่าต้องใช้ TCA1560B 2 ตัว ในการขับสเตปมอเตอร์ 1 ตัว โดยป้อนอินพุตสัญญาณดิจิทัลที่มีระดับลอจิกที่ที่แอส ( เป็น "1" ที่แรงดัน +5 โวลต์เป็น "0" ที่แรงดัน 0 โวลต์ ) เข้าที่ขาเอนเบิ้ล (enable) และขาเฟสซึ่งก็จะตรงกับบล็อกไดอะแกรมภายในของไอซีในรูปที่ (4.13)



รูปที่ (4.12) วงจรขับสเตปมอเตอร์เบื้องต้นโดยใช้ TCA1560B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ (4.13) บล็อกไดอะแกรมภายในและการจัดขาของ TCA1560B

แรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานที่ขา 4 ซึ่งเป็น actual current sensor เมื่อมีสัญญาณซิงโครนัส (sync) บอณาให้ที่ขา 7 กับวงจรถอดขาลงจะเป็นการเซต RS-ฟลิปฟล็อป ในขณะที่  $v_1$  มากกว่า  $v_2$  วงจรถอดขาลงจะป้อนสัญญาณให้กับทรานซิสเตอร์เอาต์พุต ( $Q_1, Q_4$  หรือ  $Q_2, Q_3$ ) นำไฟฟ้า กระแสจึงไหลผ่านขดลวดเฟสนั้น เมื่อ  $v_2$  มากกว่า  $v_1$  เป็นการควบคุมระดับกระแสที่ไหลผ่านขดลวดแต่ละเฟสของมอเตอร์ด้วยแรงดันอินพุต  $v_1$  ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ TCA 1560B จำนวนเท่ากับจำนวนเฟสของมอเตอร์ และแต่ละเฟสของสเตปมอเตอร์ ต้องแยกกราวด์ด้วยจึงจะสามารถใช้ TCA1560B ในการควบคุมกระแสได้โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ ในการจ่ายแรงดันระดับต่าง ๆ ได้ตามต้องการ

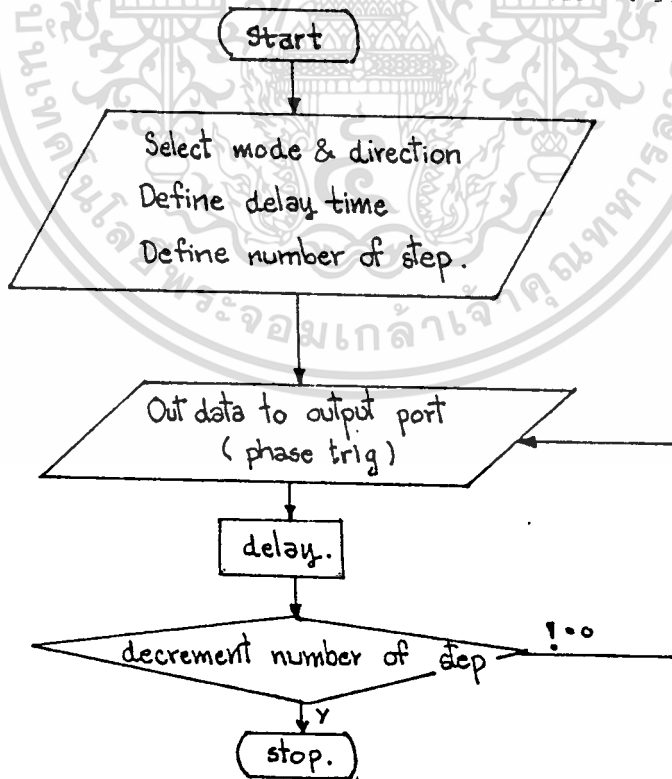
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. การควบคุมการเคลื่อนที่โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

ต่อจากนี้จะขอกล่าวถึงการควบคุมการเคลื่อนที่ของสเตปมอเตอร์ เพื่อใช้ในการควบคุมตำแหน่งงานรับสัญญาณดาวเทียม ซึ่งเป็นการเขียนโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์ ประกอบไปด้วย โปรแกรมควบคุมการขับสเตปมอเตอร์โดยทั่วไป การควบคุมแบบไมโครสเตป การจำลองการทำงาน ของระบบติดตามสัญญาณดาวเทียม และ การทำงานของระบบติดตามสัญญาณดาวเทียมที่รับค่าอนาล็อกอินพุต

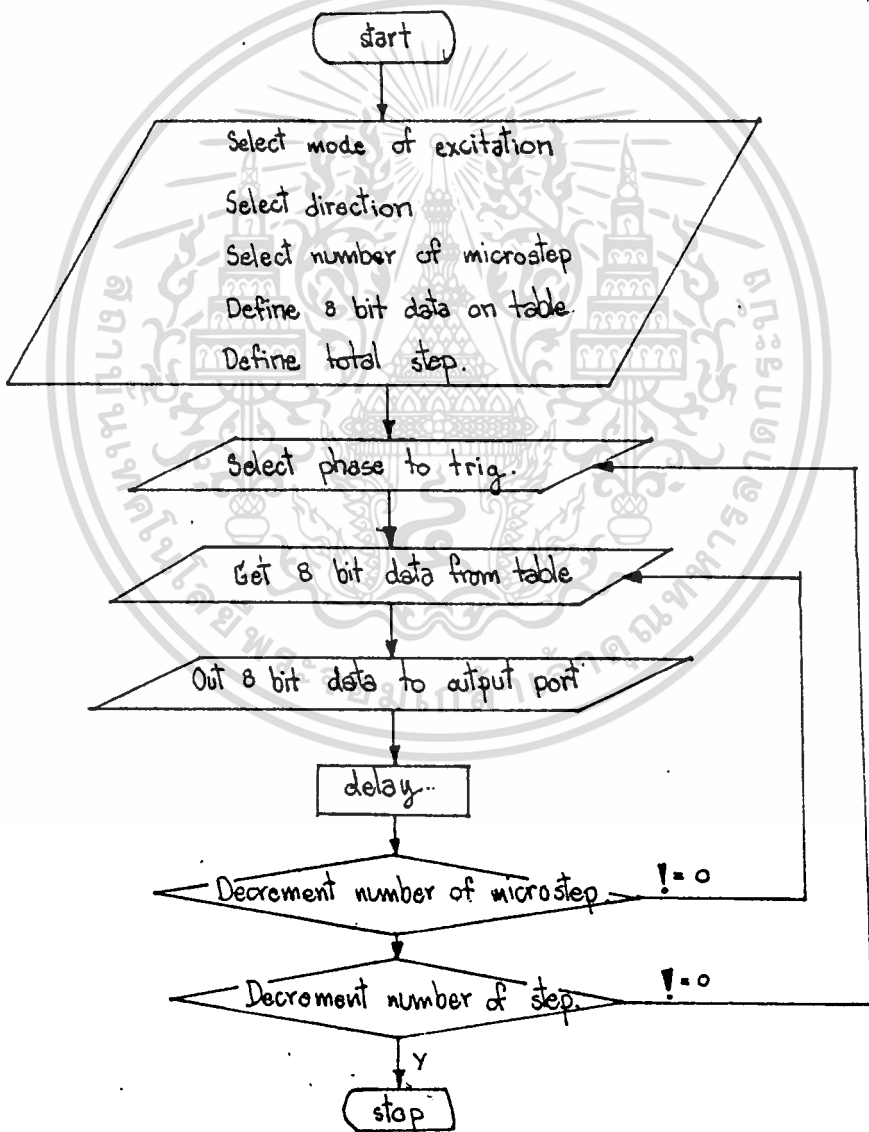
### 5.1 โปรแกรมควบคุมการขับสเตปมอเตอร์โดยทั่วไป

โปรแกรมควบคุมสำหรับสเตปมอเตอร์แบบพื้นฐาน ให้มอเตอร์หมุนไปที่ละสเตป ซึ่งอาจเป็นการจ่ายกระแสทีละเฟส หรือทีละสองเฟสก็ได้ มีพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนดคือ ทิศทางที่ต้องการให้หมุน ( ทวนเข็มนาฬิกา หรือ ตามเข็มนาฬิกา ) ความเร็วของสัญญาณขับ และจำนวนสเตปที่ต้องการให้มอเตอร์หมุน โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมเป็นดังรูปที่ (5.1)



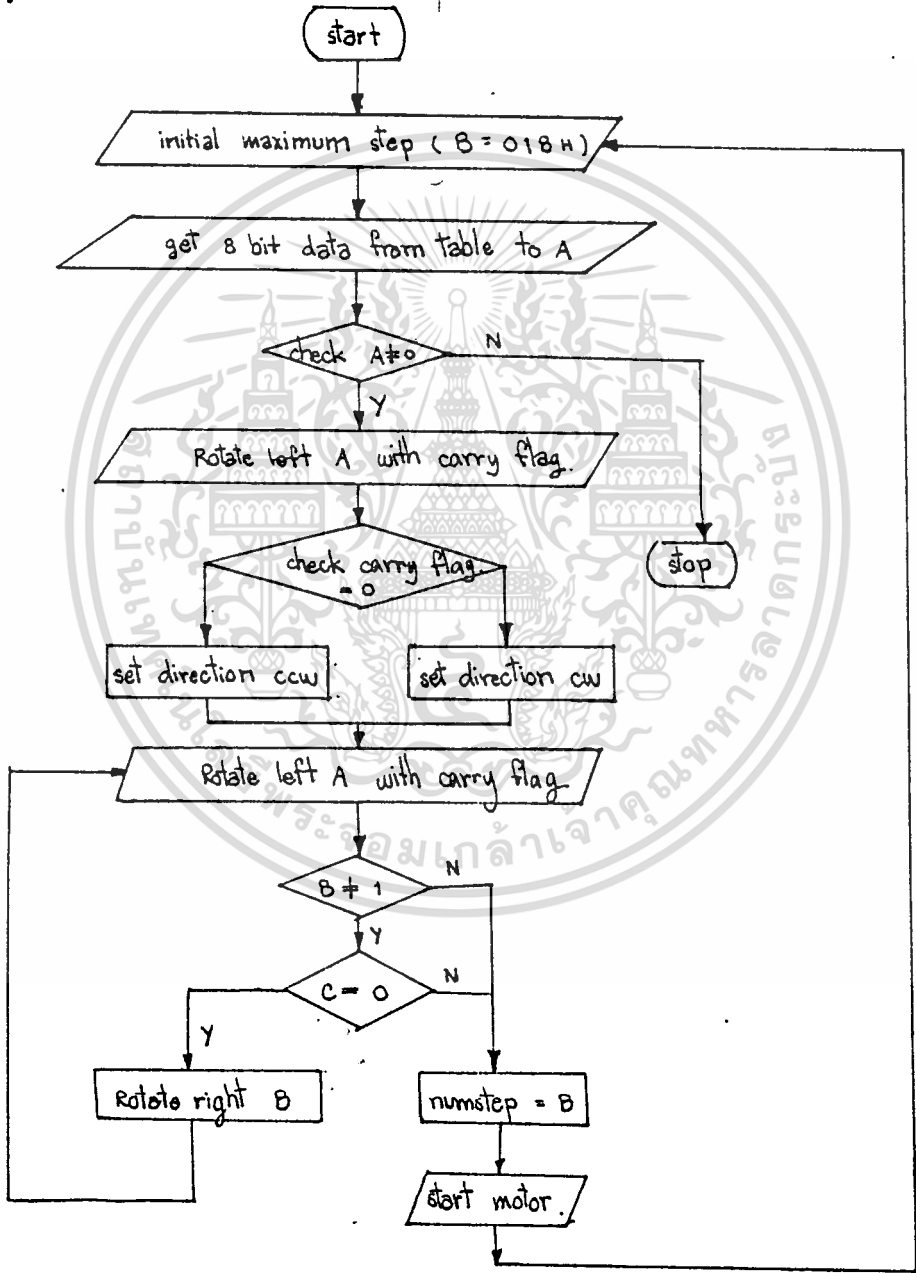
## 5.2 โปรแกรมควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์แบบไมโครสเตป

การขับเคลื่อนมอเตอร์แบบไมโครสเตปต้องมีการจ่ายกระแสให้กับขดลวด 2 เฟส แบบเป็นสลับส่วนต่อกัน จึงต้องทำการส่งข้อมูลดิจิทัลควบคุมกระแสให้กับขดลวดทั้งสองเฟส และแบ่งช่วงของการขับเป็นส่วนย่อยเท่ากับจำนวนสเตปย่อยที่ต้องการ ข้อมูลเริ่มต้นที่ต้องกำหนดเพิ่มจากการขับโดยทั่วไป คือ จำนวนสเตปย่อยใน 1 สเตปปกติ และ ข้อมูลสำหรับการควบคุมกระแส โพล์ชาร์ตเป็นดังรูปที่ (5.2)



### 5.3 การจำลองการทำงานของระบบติดตามสัญญาณดาวเทียม

การทำงานของระบบติดตามสัญญาณดาวเทียมจะทำงานโดยสั่งให้มอเตอร์หมุนไปยังตำแหน่งที่ต้องการ เมื่อได้รับสัญญาณจากเออเรอร์ดีเทคเตอร์ (Error Detector) ในชุดรับสัญญาณดาวเทียม จึงทดลองทำการจำลองสัญญาณดิจิทัลที่ได้มาจากเออเรอร์ดีเทคเตอร์เก็บในตารางเพื่อทดสอบการควบคุมทางตำแหน่งของสเคปมอเตอร์ โพลีชาร์ตของโปรแกรมแสดงในรูปที่ (5.3)



รูปที่ (5.3) โพลีชาร์ตของโปรแกรมจำลองการควบคุมตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ของระบบติดตามดาวเทียม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ข้อมูลนี้ไปยังผู้อื่นหรือแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5.4 การทำงานของระบบติดตามสัญญาณดาวเทียมที่รับค่าจากอนุภาคอินพุท

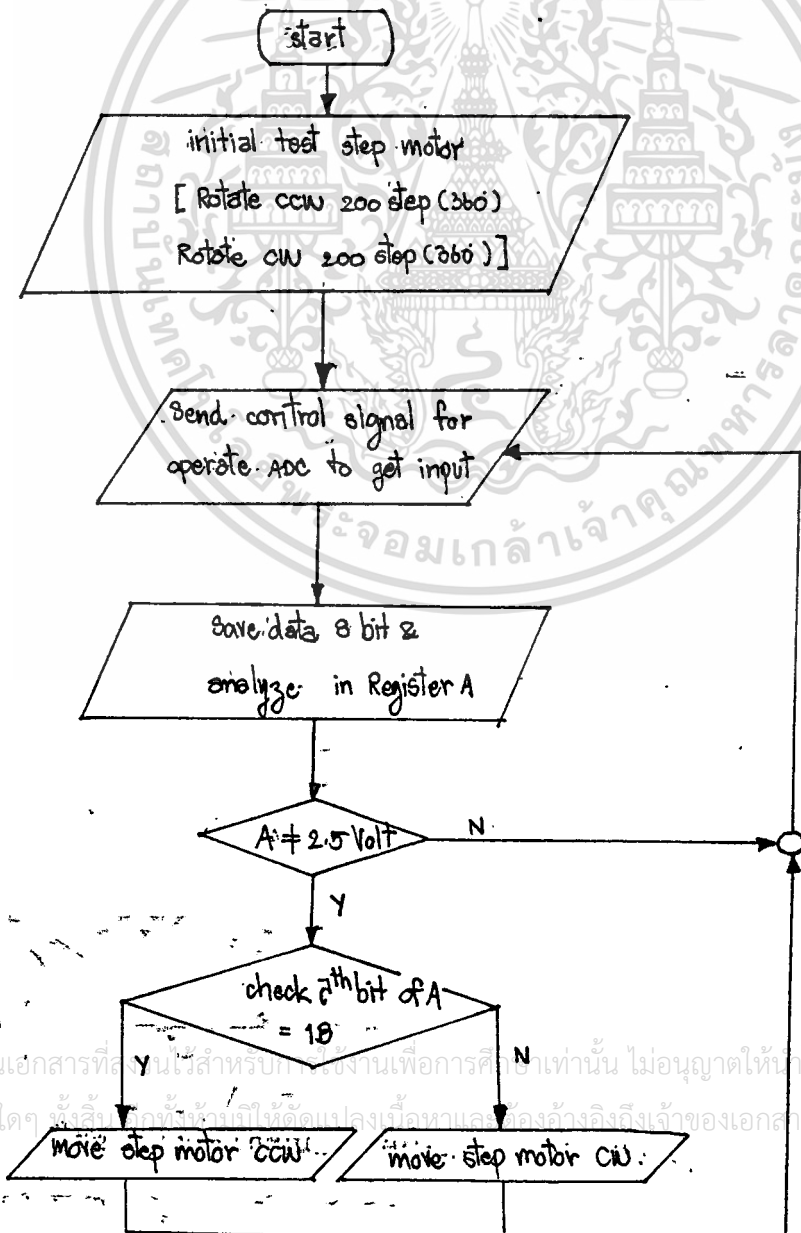
เป็นลักษณะของโปรแกรม ที่ทำการควบคุมตำแหน่งของจานรับสัญญาณดาวเทียม ให้สอดคล้องกับสัญญาณอินพุทจริงๆ ที่ได้จากจานรับสัญญาณดาวเทียมจริงๆผ่านตัวแปลงสัญญาณอนุภาค ดิจิตอล คอนเวอร์เตอร์ เพื่อเข้าไปประเมินผลก่อนที่จะส่งสัญญาณไปขับสเตปมอเตอร์ แต่ในกรณีนี้จะทำการรับสัญญาณจากแหล่งไฟขนาด 0-5 โวลต์แทน โดยสมมติให้ว่า

แรงดันขนาดน้อยกว่า 2.5 โวลต์ จะขับสเตปมอเตอร์ให้เคลื่อนไปในทิศทางหนึ่ง

แรงดันขนาดมากกว่า 2.5 โวลต์ จะขับสเตปมอเตอร์ให้เคลื่อนไปในทิศทางหนึ่ง

แรงดันขนาดเท่ากับ 2.5 โวลต์ ไม่มีการเคลื่อนที่

ดังแสดงลำดับการทำงานของโปรแกรมเป็นไปตามโฟลว์ชาร์ตต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อสงสัยหรือข้อผิดพลาดใดๆ กรุณาแจ้งไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทสรุป

โครงการนี้ มีความประสงค์ ที่จะออกแบบส่วนควบคุมมอเตอร์ของระบบติดตามสัญญาณดาวเทียมซึ่งเป็นความร่วมมือกันของภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม และภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม ส่วนการควบคุมมอเตอร์ของระบบนี้ นับเป็นส่วนสำคัญมากส่วนหนึ่งเนื่องจากการควบคุมต้องคำนึงถึงภาระของโหลดความแม่นยำ และความละเอียดทางตำแหน่งสูง เราจึงเลือกใช้สแตปมอเตอร์ เพราะสแตปมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการควบคุมตำแหน่งโดยเฉพาะ ทำให้ความคลาดเคลื่อนจากการเปลี่ยนแปลงโหลดน้อยกว่าดีซีมอเตอร์ แต่เนื่องจากสแตปมอเตอร์โดยทั่วไปมีขนาดสแตปเองเกิดที่เล็กที่สุดคือ 1.8 องศา/สแตป ( บางครั้งอาจพบ มอเตอร์ที่มีขนาดสแตปเองเกิดเท่ากับ 0.9 องศา/สแตป แต่ไม่เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย ) ระบบติดตามตำแหน่งดาวเทียมนี้ต้องการควบคุมทางตำแหน่งที่มีความละเอียดสูง จึงทำการออกแบบส่วนควบคุมมอเตอร์ให้สามารถควบคุมตำแหน่งได้ในระดับไมโครสแตป ขนาด 1/4, 1/10 เท่าองสแตปปกติ

ระบบควบคุมสแตปมอเตอร์นี้ประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ (8751) อุปกรณ์อนาล็อก-ดิจิตอล ( ADC0808 ) อุปกรณ์ดิจิตอล-อนาล็อก ( DAC0832 ) และวงจรรีบมอเตอร์ที่สามารถควบคุมปริมาณกระแสที่จ่ายให้กับขดลวดในแต่ละเฟส ( TCA0832 )

จากการออกแบบระบบดังกล่าวมีข้อดีคือ

- (1) การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8751 ทำให้ระบบมีขนาดเล็กเพราะมีหน่วยความจำภายในที่ใช้มากถึง 4 กิโลไบต์จึงไม่ต้องพึ่งหน่วยความจำภายนอกที่จะทำให้ระบบมีขนาดใหญ่ขึ้น
- (2) มีพอร์ตมากถึง 4 พอร์ต (32 ขา) ทำให้ความสามารถในการใช้พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้งานได้อย่างเต็มที่
- (3) การเลือกใช้สแตปมอเตอร์เป็นแบบไฮบริด 2 เฟส เป็นสแตปมอเตอร์แบบเดียวที่สามารถใช้งานในการขับเคลื่อนมอเตอร์แบบไมโครสแตปได้ และการควบคุมกระแสใช้วงจรควบคุมเพียงสอง

เฟสแบบไบโพลาร์ ทำให้ประหยัดอุปกรณ์มากกว่าสแตปมอเตอร์แบบหลายเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) วงจร DAC0832 ที่ใช้ทำให้ระบบมีความคล่องตัวสูง เพราะสามารถสร้างสัญญาณควบคุมระดับกระแสได้หลายระดับ ตั้งแต่ 0 - 5 โวลต์ ทำให้การควบคุมมอเตอร์มีประสิทธิภาพสูงและสะดวกในการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

(5) การออกแบบวงจรทั้งหมดใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าเพียง 2 ระดับคือ +5 โวลต์ และ +12 โวลต์ ทำให้สามารถนำไปควบคุมชุดรับสัญญาณดาวเทียมที่มีการพัฒนาเพื่อนำไปติดตั้งบนรถยนต์ได้อีกในอนาคต

(6) การประมวลผลข้อมูล ที่ได้จากเฟสเออเรอร์ดีเทคเตอร์โคซีใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้การควบคุมตำแหน่งมีประสิทธิภาพดี สามารถแก้ไขเออเรอร์ได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ

โครงการนี้เป็น การออกแบบระบบติดตามสัญญาณดาวเทียมขั้นแรก และจำเป็นต้องมีการพัฒนาไปต่อสำหรับส่วนควบคุมสเตปมอเตอร์ เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยจะต้องทำการพัฒนารูปแบบของซอฟต์แวร์ในการควบคุมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งในเรื่องค่าเวลาช่วงต่างๆ ในการรับส่งสัญญาณ ( Timing diagram ) และ ความถี่ของสัญญาณเฟสที่จะขับให้สเตปมอเตอร์เคลื่อนที่ ซึ่งต้องคำนึงถึงคุณสมบัติเฉพาะตัวของสเตปมอเตอร์นั้น ๆ ว่ามีขีดจำกัดมากน้อยเพียงใด ในที่นี้สเตปมอเตอร์ที่ใช้มีช่วงความถี่ใช้งานประมาณ 0 - 50 เฮิร์ต สิ่งที่ต้องคำนึงถึงประกอบไปด้วยกัน ในขณะที่ทำการพัฒนาส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ก็คือ รูปร่างและ น้ำหนักของชุดรับสัญญาณดาวเทียมจำลอง ( Model ของชุดรับสัญญาณ ดูได้จากภาคผนวก D )

ผู้ที่สนใจสามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาต่อไปได้เป็นอย่างดี หรืออาจนำแนวคิดในการออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์แบบไมโครสเตปไปประยุกต์เพื่อการใช้งานด้านอื่น ๆ เช่น เครื่องพลอตเตอร์ หรือ เครื่องพิมพ์อื่น ๆ ที่ต้องการความละเอียดทางตำแหน่งสูง

การนำสเตปมอเตอร์มาใช้ในการควบคุมตำแหน่งนับเป็นวิธีที่ดีวิธีหนึ่ง แต่อาจมีผู้สนใจหันมาใช้ดีซีมอเตอร์ในการควบคุมตำแหน่งแทนก็ได้ แต่ในการใช้ดีซีมอเตอร์นั้นจำเป็นต้องมีระบบควบคุมป้องกัน คอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ซีพอร์ตที่มีความสลับซับซ้อนมากกว่า และต้องทำการแก้ปัญหา

ค่าผิดพลาดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโวลตได้ อาจจะทำให้ผลการควบคุมตำแหน่งได้ดีเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

1. Takashi Kenjo, "Stepping motor and their microprocessor control"
2. ศจ.ดร. โยภิน เปรมปราณีรัชต์, "การลดโอเวอร์ชhootของสเตปปีงมอเตอร์ด้วยวิธีการทางมินิสเตป" วารสารการประชุมทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2535
3. วารสาร เซมิคอนดักเตอร์ ฉบับที่ 127 หัวข้อเรื่อง "กราฟิกพล็อตเตอร์"



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Shinawatra  
Satellite Co., Ltd.

# ดาวเทียมไทยคม



## โครงการดาวเทียมแห่งชาติ

พ.ศ. 2526

พ.ศ. 2528

6 สิงหาคม 2534

17 ธันวาคม 2534

กระทรวงคมนาคมศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ  
คณะรัฐมนตรี เห็นควรสนับสนุน  
ให้เอกชนเป็นผู้ลงทุนดำเนินการเอง  
คณะรัฐมนตรี มีมติอนุมัติให้บริษัทชินวัตรฯ  
เป็นผู้ได้รับสัมปทานดาวเทียมสื่อสารภายในประเทศ  
เป็นระยะเวลา 30 ปี  
พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชมหาราช  
ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ พระราชทานชื่อดาวเทียม  
สื่อสารดวงแรกของไทยว่า " ไทยคม "

## คู่สัญญาดำเนินโครงการ

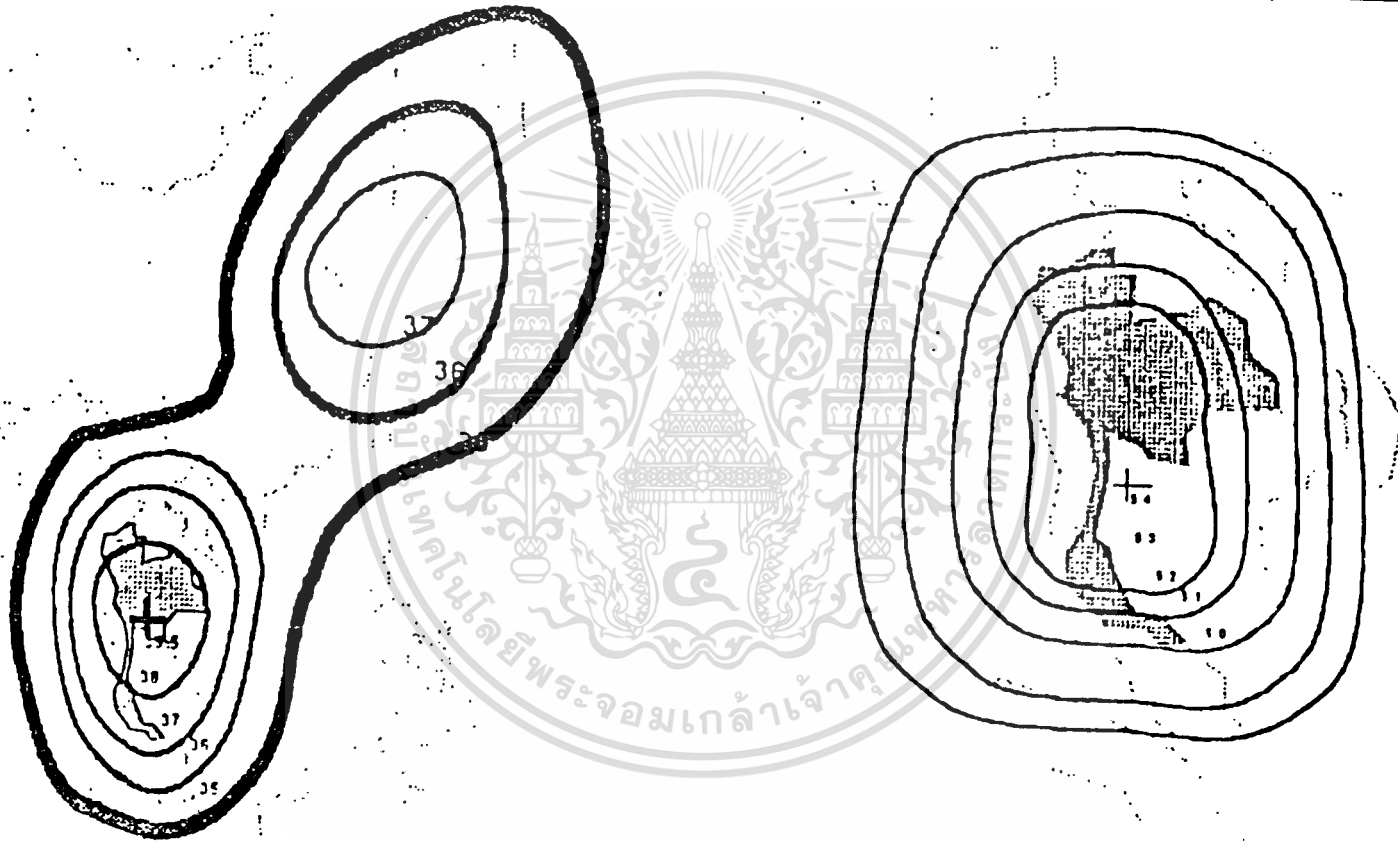
- Hughes Aircraft Co., Ltd.** (U.S.A.) จัดสร้างดาวเทียม ไทยคม และ ให้คำปรึกษา  
ด้านเทคนิคของสถานีควบคุมดาวเทียมภาคพื้นดิน
- Arianespace Co., Ltd.** (France) จัดส่งดาวเทียม ไทยคม เข้าสู่ตำแหน่งวงโคจร  
บนอวกาศ โดยใช้จรวด Ariane 4 จัดส่ง
- Telespace Inc.** (Canada) เป็นที่ปรึกษาทางเทคนิคของโครงการ ไทยคม

## การบริการ

- ดาวเทียม 2 ดวง : ไทยคม 1 และ ไทยคม 2
- ความถี่ ย่าน C-band, EIRP มากกว่า 37 dBW เหนือประเทศไทย  
จำนวน 20 ทราณส์พอนเดอร์
- ความถี่ย่าน Ku-band , EIRP มากกว่า 50 dBW เหนือประเทศไทย  
จำนวน 4 ทราณส์พอนเดอร์

## กำหนดส่ง

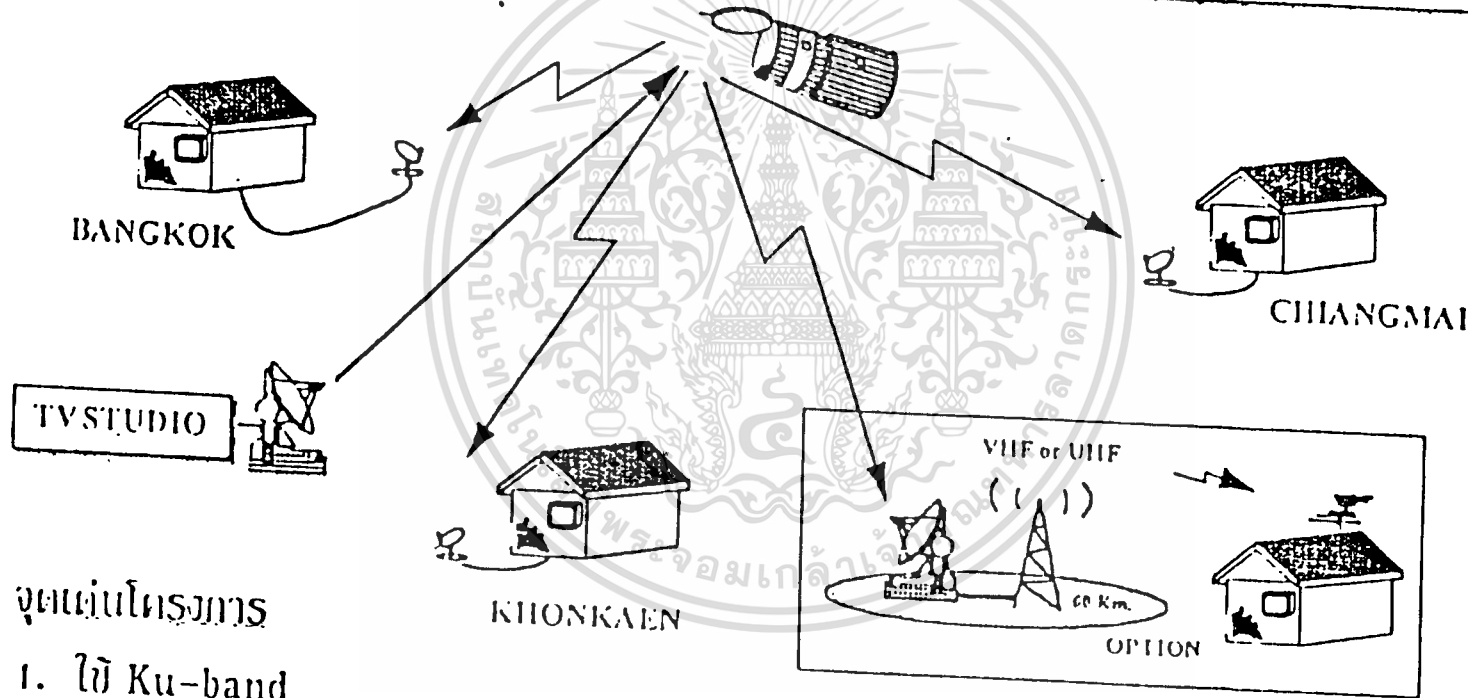
- ไทยคม 1      เดือน ธันวาคม 2536
- ไทยคม 2      เดือน มิถุนายน 2537



C-BAND

Ku-BAND

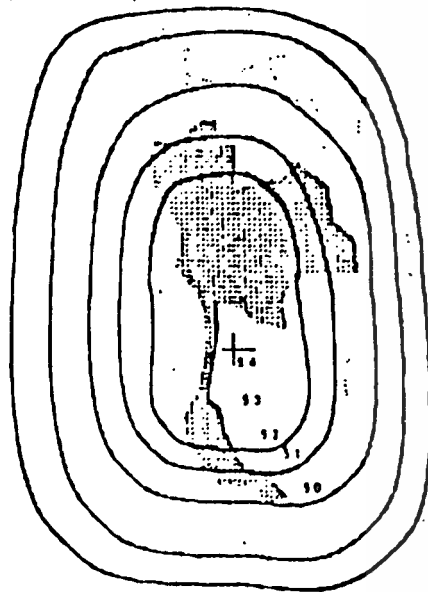
DIRECT TO HOME BROADCASTING VIA THAICOM Ku-BAND



จุดเด่นโครงการ

1. ใช้ Ku-band
2. ใช้ Digital Compression Technology

## Ku-band specification



Ku-BAND

Number of Transponders	:	3
Channel bandwidth (MHz)	:	54
Frequency bands		
Receive (GHz)	:	14.30 to 14.56
Transmit	:	12.55 to 12.75
EIRP (over Thailand)	:	50 dBW
G/T (dB/K)	:	8 dB/K
Power Flux Density	:	$-(72+G/T)$ dBW/m <sup>2</sup>
Gain adjustment	:	over 14 dB
		range in 2 dB steps

## วัตถุประสงค์ของโครงการ

ผลประโยชน์ต่อประชาชน

- จานรับสัญญาณขนาดเล็ก (50-80 cm.)
- รวบรวมการสาระบันเทิง และสาระประโยชน์เพื่อการศึกษามากกว่า 15 ช่อง
- สร้างความเท่าเทียมและเสมอภาคในการรับชมโทรทัศน์
- ทางเลือกใหม่ สำหรับผู้ไม่ต้องการดูรายการจากต่างประเทศ

## Ku-band ของดาวเทียมไทยคม

- ออกแบบเพื่อ Direct Broadcasting และ Spot Beam ที่ประเทศไทยโดยเฉพาะ
- สัญญาณแรงมาก (กว่า 50 dBW) เพื่อใช้กับจานขนาดเล็กเป็นพิเศษ
- เป็นดาวเทียม Ku-band ดวงแรกในภูมิภาค
- นำสัญญาณมาใช้ออกอากาศในระบบ TV-Distribution ได้

either being built are being considered for development.

a. ACTS Mobile Terminal (AMT)

The AMT is being developed by the Jet Propulsion Laboratory. Initial experiments by JPL will involve the AMT, located in southern California, communicating with a simulated mobile (actually fixed) terminal interfaced to the MSM-LET (Figure 12). Modem baseline data rates are 2.4, 4.8, and 9.6 kbps which will support compressed voice circuits. The baseline modulation format will be differential phase shift keying (DPSK). At its top end, the modem will handle up to 56 kbps which is capable of demonstrating slow-scan video (10 frames/s) on the uplink. Fade control will be implemented through data rate change at the mobile terminal and uplink power control at the fixed LET terminal.

b. High Data Rate (HDR)

The HDR earth station is being investigated for possible development under a joint NASA/Defense Advanced Research Projects Agency's (DARPA) Information Sciences Technology Office (ISTO) effort. An HDR earth station would support two 155 Mbps bi-directional communication channels that can communicate independently of each other to other HDR earth stations. Interfaces being considered would support the telephony interface Synchronous Optical Network (SONET) standards at the Optical Carrier-3 (OC-3) level. These earth stations would be made available to experimenters through DARPA Broad Agency Announcements (BAA'S) and through proposals submitted via the EOA. This earth station is planned to support applications such as supercomputer interconnects, workstation access to supercomputer visualizations, HDTV transmissions, and hybrid fiber optic/satellite links. Further details on specific capabilities and quantities to be developed are yet to be determined.

c. Ultra-Small Aperture Terminal (USAT)

The USAT is being studied by NASA Lewis for possible development. It is expected to have an antenna surface area of less than 100 square inches and weigh less than 25 lbs. (See Figure 13.) The primary application intended for this terminal would be supervisory control and data acquisition (SCADA). An experiment scenario would involve a number of these terminals communicating back to a larger hub earth station. The hub earth station would be located at a central computer site with a USAT located at each of a number of remote sites. Other low data rate applications in the range of 300 to 2400 bps could also be supported. The USAT would initially be designed for pole or wall mounting. Specific modulation and transmission formats are to be determined as the study progresses.

d. Shipboard Terminal

The ACTS Shipboard terminal is being jointly investigated by NASA LeRC and the Naval Warfare Assessment Center (NWAC) for possible development (See figure 14.) Initial design considerations are for the shipboard terminal to transmit and receive at rates up to 384 kbps with a bit error rate of  $1 \times 10^{-6}$ . A 5 dB rain margin is incorporated into this link. The link analysis shows that an 18 inch diameter antenna would meet the required 45 dBW uplink EIRP. The system would be enclosed by a radome. Current plans anticipate the system linking to a land-based terminal located at NWAC in Corona, CA. While the shipboard terminal would be used by the Navy for sea exercises, it is anticipated that it would be

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

available to other users on a non-interference basis.

e. Aeronautical Mobile Terminal

Another terminal early in its design stage is the Aeronautical Mobile Terminal (Aero). It is being investigated by a joint NASA LeRC/JPL team for possible development. Current considerations are to use small phased array antennas aboard an aircraft to support voice and data transmissions (See Figure 15). A prime candidate for the transmit subarray is a 30-GHz monolithic microwave integrated circuit (MMIC) being developed by Texas Instruments under a NASA contract awarded in March, 1990. The EIRP goal is 18.8 dBW for a 4 X 4 array of aperture-coupled microstrip patch radiating elements. This array is fully modular in the sense that a multiple 4 x 4 units can be placed side by side creating larger arrays. The design specification for each element is 5 dB gain and the subarray transmit power is 1.5 W. The 20-GHz downlink antenna will be also be a MMIC array. Receive arrays with a G/T of -25 dB/degree are required. The array control system being considered will permit demonstration of automatic beam steering over the spatial range capability of the antenna system which is nominally  $\pm 30^\circ$  from boresight. The Aero terminal would support a duplex voice or data circuit in the range of 4.8-16 kbps. A NASA aircraft is being considered for demonstrating this terminal.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

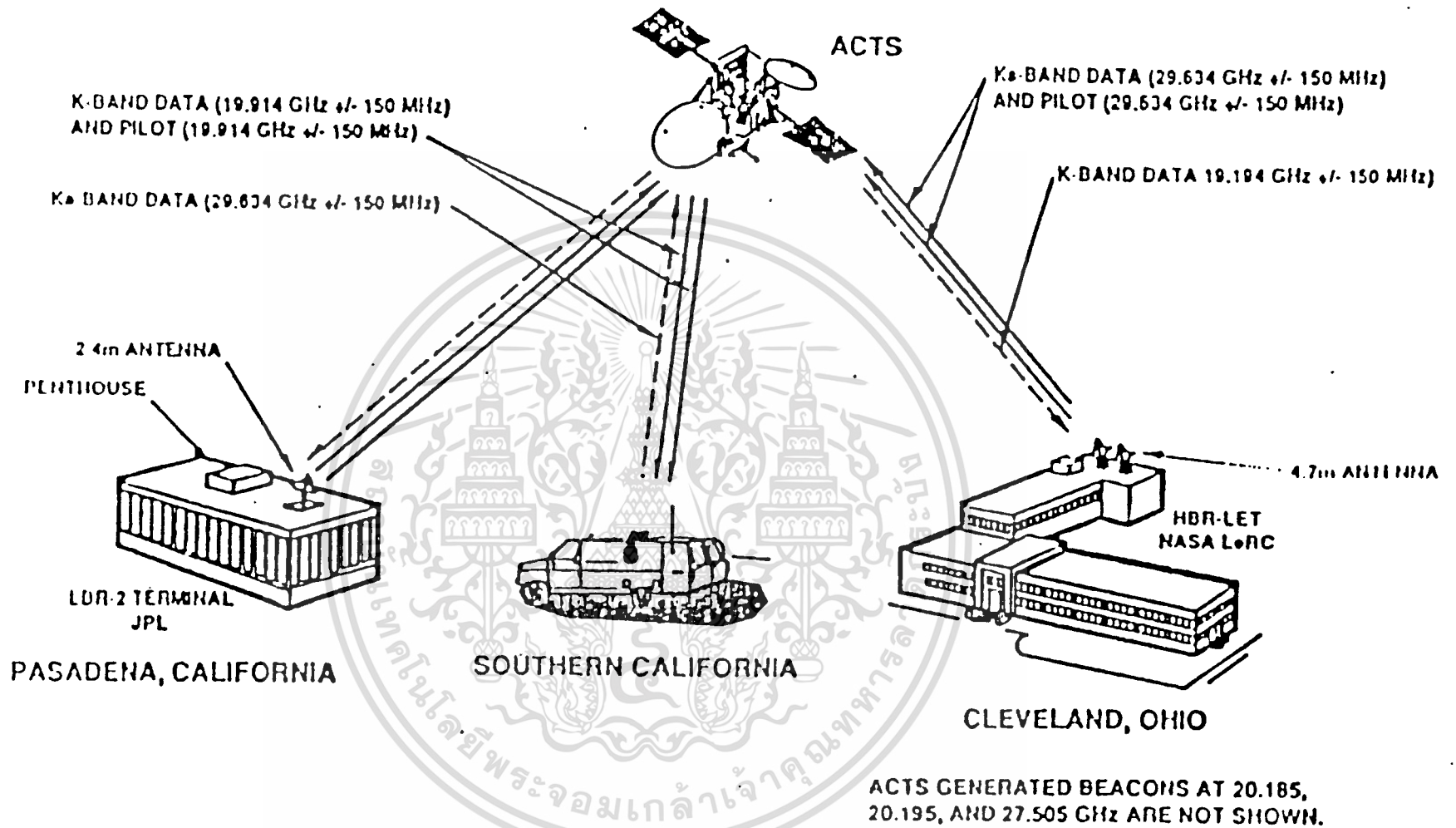


FIGURE 12. ACTS MOBILE TERMINAL

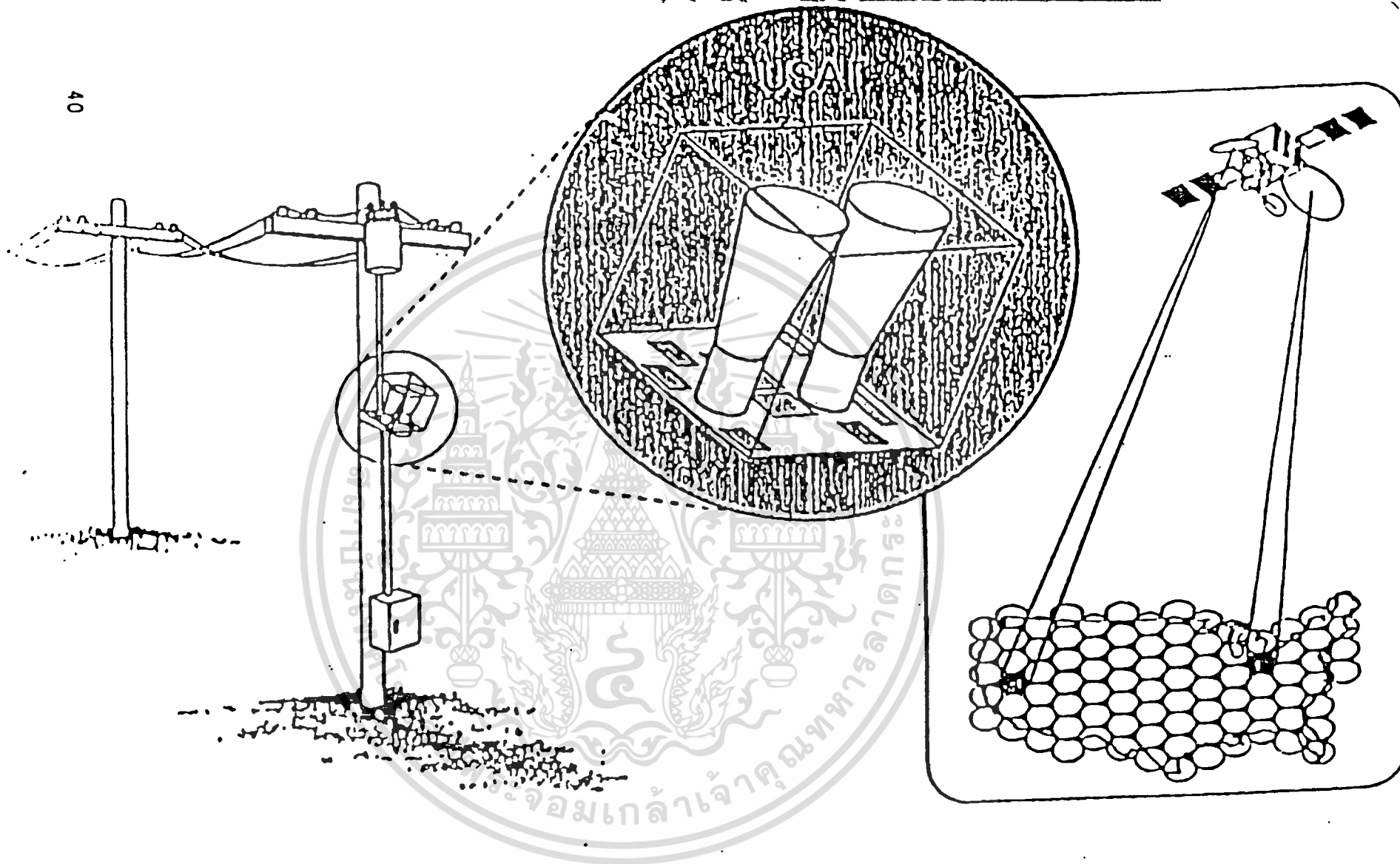


FIGURE 13. ULTRA SMALL APERTURE TERMINAL

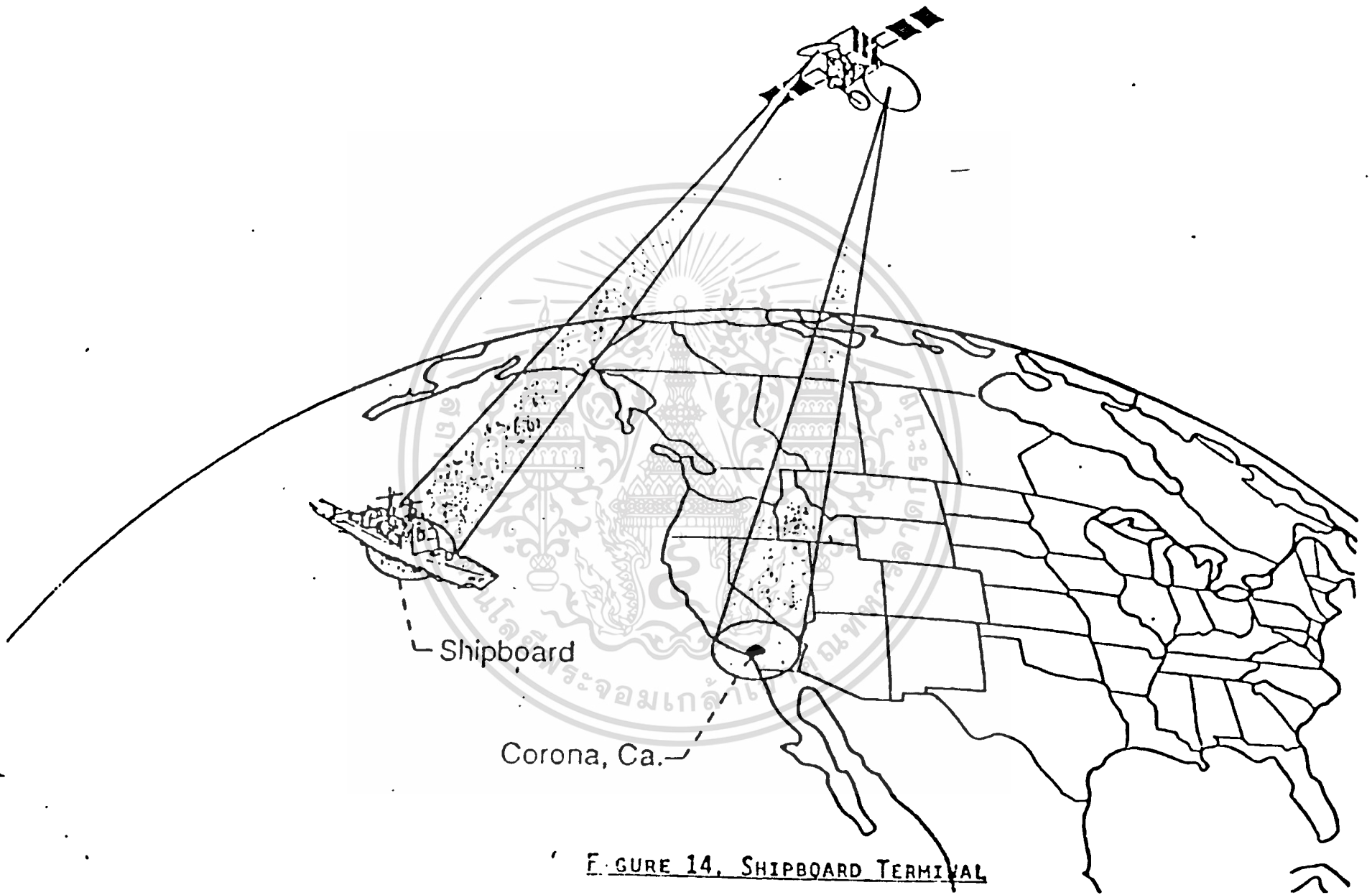


FIGURE 14. SHIPBOARD TERMINAL

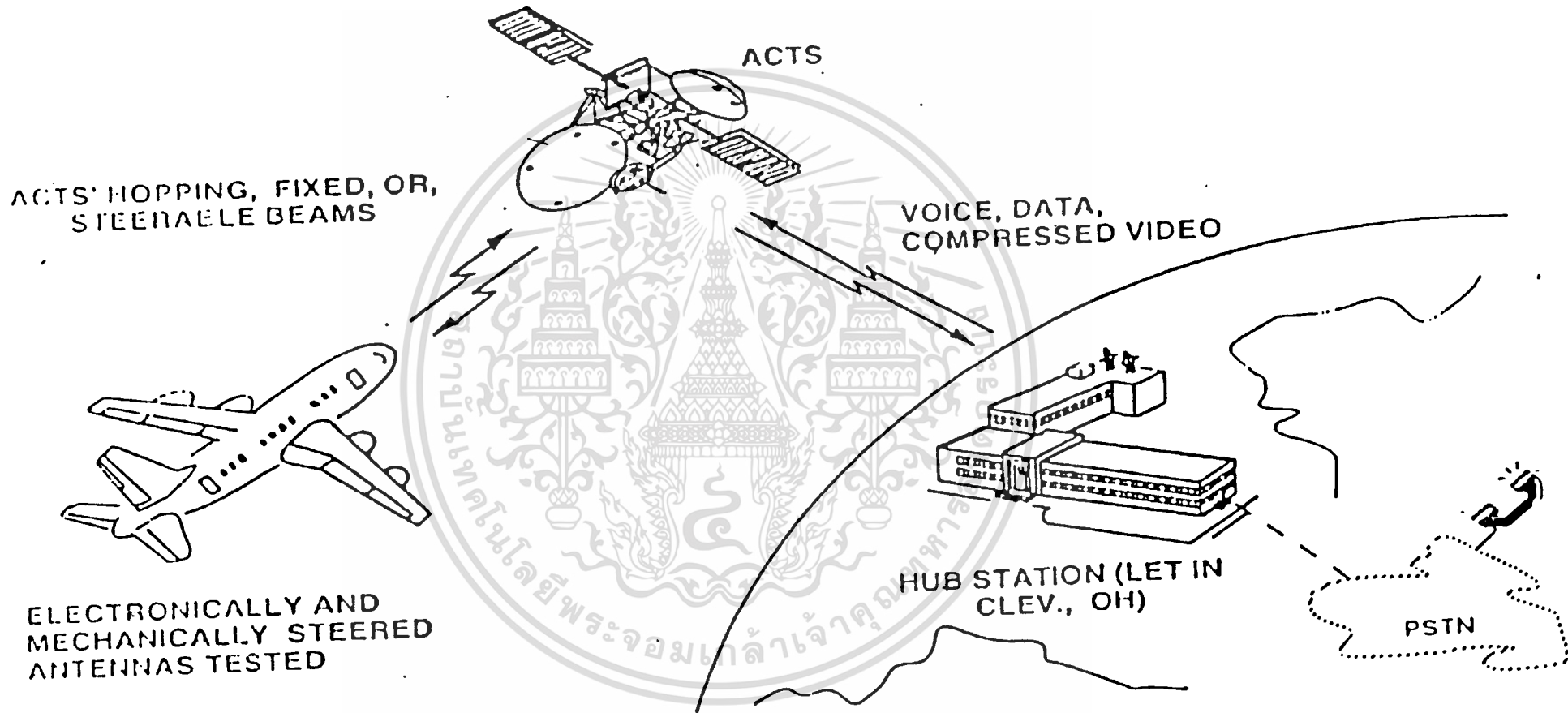


FIGURE 15. AERONAUTICAL T ERMINAL



ภาคผนวก B  
โปรแกรมจำลองการทำงานของระบบติดตามสัญญาณดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

org 0000h

ajmp begin

; \*\*\*\*\* sub routine timer \*\*\*\*\*

org 0100h

timer: push t10

push t11

cjne a,#00h,go

orl a,b

jz done

clr a

go:anl tcon,#0cfh

anl tmod,#0f0h

orl tmod,#01h

onems:mov t10,#0cbh

mov th0,#0fah

orl tcon,#10h

wait:jbc tf0,dwnap

sjmp wait

dwnap:anl tcon,#0cfh

djnz acc,onems

cjne a,b,bdown

sjmp done

bdown:dec b

sjmp onems

done:pop th0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ทั้งนี้ อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

pop t10

ret

; \*\*\*\* sub-prpgram fulls \*\*\*\*

fulls: nop

cp1:cjne r2,#01h,cp2

jb 00h,for1 ; forward or reverse

clr p2.0

clr p2.1

jnb 00h,cont

for1: clr p2.0

setb p2.1

sjmp cont

cp2:cjne r2,#02h,cp3

jb 00h,for2

setb p2.0

clr p2.1

jnb 00h,cont

for2: setb p2.0

setb p2.1

sjmp cont

cp3:cjne r2,#03h,cp4

jb 00h,for3

setb p2.0

setb p2.1

jnb 00h,cont



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for3:  setb p2.0

      clr p2.1

      sjmp cont

cp4:   jb 00h,for4

      clr p2.0

      setb p2.1

      jnb 00h,cont

```

```

for4:  clr p2.0

      clr p2.1

```

```

cont:  mov a,r5
      ; delay time one step
      mov b,#00h
      lcall timer
      jb 01h,onestep
      djnz r3,next
      sjmp onestep

```

```

next:inc r2

      cjne r2,#05h,inloop

      mov r2,#01h

```

```

inloop: sjmp cp1

onestep:ret

```

; \*\*\*\*\* sub-program microstep \*\*\*\*\*

```

micros: clr 02h

```

```

bigstep: mov r0,#31h

```

```

mov a,r0

```

```

mov r4,a

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

inc r0

; if 02h set r0=min to max

; if 02h clr r0=max to min

nx:  mov a,@r0

     mov p0,a           ; to dac #1

     jb 02h,s11

     clr p2.5

     setb p2.5

     jnb 02h,sln1

s11:  clr p2.4

     setb p2.4

sln1: inc r0

     mov a,@r0

     mov p0,a           ; to dac #2

     jb 02h,s12

     clr p2.4

     setb p2.4

     jnb 02h,sln2

s12:  clr p2.5

     setb p2.5

sln2: clr p0.1           ; xfer #1

     mov a,#01h

     mov b,#00h

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

lcall timer  
setb p0.1

```

lcall fulls

inc r0

djnz r4,nx

newstep: inc r2

cpl 02h

cjne r2,#05h,donext

mov r2,#01h

donext: djnz r3,bigstep

ret

```

```

; ***** microstep data table *****

```

```

storet: mov r0,#31h
mov @r0,#0ah
inc r0
mov @r0,#1bh
inc r0
mov @r0,#0fbh
inc r0
mov @r0,#33h
inc r0
mov @r0,#0e3h
inc r0
mov @r0,#4bh

```

```

inc r0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov @r0,#0c7h

```

```
inc r0
mov @r0,#63h
inc r0
mov @r0,#0afh
inc r0
mov @r0,#7fh
inc r0
mov @r0,#097h
inc r0
mov @r0,#097h
inc r0
mov @r0,#7fh
inc r0
mov @r0,#0afh
inc r0
mov @r0,#63h
inc r0
mov @r0,#0c7h
inc r0
mov @r0,#4bh
inc r0
mov @r0,#0e3h
inc r0
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
inc r0
```

```

mov @r0,#0fbh

inc r0

mov @r0,#1bh

ret

; r2 - what phase will be excite next

; r3 - total step

; r4 - no. of mstep in one nstep

; r5 - delay time per step

; 00h - direction declare

; 01h - mstep or not (set mstep)

; **** main program ****

org 0500h

begin: lcall storet

nstep: setb 00h          ; full step #1

mov r3,#0c8h

mov r2,#01h

mov r5,#32h

clr 01h

mov p0,#0fbh

clr p2.4

setb p2.4

clr p2.5

setb p2.5

clr p0.1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณี **setb p0.1** ก็ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

;

clr 00h ; full step #2

mov r3,#0c8h

mov r2,#01h

mov r5,#32h

clr 01h

mov p0,#0fbh

clr p2.4

setb p2.4

clr p2.5

setb p2.5

clr p0.1

setb p0.1

lcall fulls

;

nstep: mov r2,#01h ; n-step #1

mov r3,#0c8h

mov r5,#05h

setb 00h

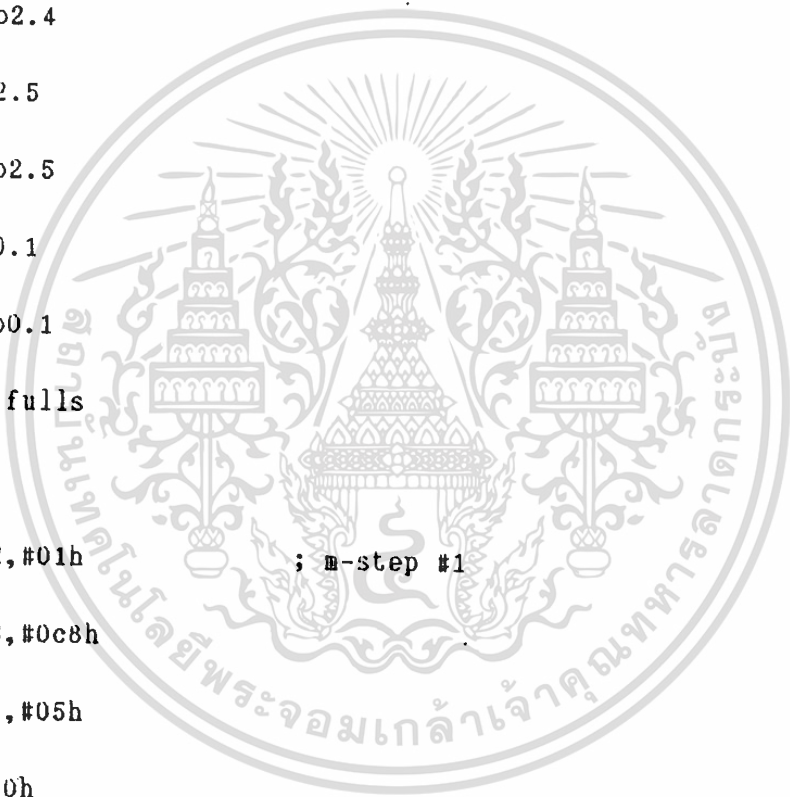
setb 01h

lcall micros

;

mov r2,#01h ; n-step #2

mov r3,#0c8h



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
mov r5,#05h
```

```
clr 00h
```

```
setb 01h
```

```
lcall micros
```

```
;
```

```
sjmp nstep
```

```
end
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก C  
โปรแกรมรับสัจพาสอนาลกอนพทเพื่อศดตามสัจพาสอนดาวเกษม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

org 0000h

ajmp begin

; *** subroutine 1 timer ***

org 0100h

timer: push t10

push t11

cjne a,#00h,go

orl a,b

jz done

clr a

go: anl tcon,#0cfh

anl tmod,#0f0h

orl tmod,#01h

onems: mov t10,#0cbh

mov th0,#0fah

orl tcon,#10h

wait: jbc tf0,dwnap

sjmp wait

dwnap: anl tcon,#0cfh

djnz acc,onems

cjne a,b,bdown

sjmp done

```

```

bdown: dec b

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

done: pop th0

pop tl0

ret

; \*\*\* subroutine 2 foreward \*\*\*

org 0150h

foreward: setb 00h

mov a,r2

mov r4,a

mov a,r3

mov r5,a

fore: inc r4

mov p0,#0ffh

setb p2.7

clr p2.7

setb p2.6

clr p2.6

setb p0.0

clr p0.0

fcp1: cjne r4,#01h,fcp2

clr p2.3

setb p2.2

sjmp fcont

fcp2: cjne r2,#02h,fcp3

setb p2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

setb p2.2

sjmp fcont

fcp3: cjne r2,#03h,fcp4

setb p2.3

clr p2.2

sjmp fcont

fcp4: cjne r4,#04h,fnext

clr p2.3

clr p2.2

sjmp fcont

fnext: mov r4,#01h
fcont: mov a,#0c8h
mov b,#00h
lcall timer
djnz r5,fore
mov a,r4
mov r2,a
mov a,r5
mov r3,a

ret

```

```

; *** subroutine 3 backward ***

```

```

org 0250h

```

```

backward: clr 00h

```

```

mov a,r2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov r4,a

mov a,r3

mov r5,a

back: djnz r4,xxx

mov r4,#04h

xxx: mov p0,#0ffh

setb p2.7

clr p2.7

setb p2.6

clr p2.6

setb p0.0

clr p0.0

bcp1: cjne r4,#01h,bcp2

clr p2.2

setb p2.3

sjmp bcont

bcp2: cjne r2,#02h,bcp3

setb p2.2

setb p2.3

sjmp bcont

bcp3: cjne r2,#03h,bcp4

setb p2.2

clr p2.3

```

```
sjmp bcont
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

bcp4: clr p2.2 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
clr p2.3
```

```
sjmp bcont
```

```
bcont: mov a,#0c8h
```

```
mov b,#00h
```

```
lcall timer
```

```
djnz r5,back
```

```
mov a,r4
```

```
mov r2,a
```

```
mov a,r5
```

```
mov r3,a
```

```
ret
```

```
; *** subroutine 4 initialtest ***
```

```
org 0350h
```

```
inittest: mov r2,#01h ; r2 show step1 now
```

```
mov r3,#0c8h ; r3 show amount of step = 200
```

```
setb 00h ; forward
```

```
lcall forward
```

```
mov r2,#04h ; r2 show step4 now
```

```
mov r3,#0c8h ; r3 show amount of step = 200
```

```
clr 00h ; backward
```

```
lcall backward
```

```
ret
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถือว่าเป็นลิขสิทธิ์ของเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
; *** subroutine 5 getinput ***
```

org 0400h

getinput: clr p3.3 ; set chanel 0 to recieve input

clr p3.4

clr p3.5

setb p3.6 ; high-signal to operate "start & ale" leg

lcall timer

setb p3.7 ; high-signal to operate "output-enable" leg

lcall timer

mov a,80h ; send data from port0 (address 80) to a

mov r7,a ; save data in r7 , bank0

ret

; \*\*\* subroutine 6 calculate \*\*\*

org 0450h

calculat: clr a

mov r3,a

mov a,r7

cjne a,#10000000b,neqref

ljmp end

neqref: rlc a

rlc a

mov r7,a

jc k1

mov r3,#00d

sjmp m1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

k1: mov r3,#24d

m1: mov a,r7

rlc a

mov r7,a

jc k2

mov a,r3

add a,#00d

mov r3,a

sjmp m2

k2: mov a,r3

add a,#12d

mov r3,a

m2: mov a,r7

rlc a

mov r7,a

jc k3

mov a,r3

add a,#00d

mov r3,a

sjmp m3

k3: mov a,r3

add a,#06d

mov r3,a

m3: mov a,r7

rlc a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov r7,a

jc k4

mov a,r3

add a,#00d

mov r3,a

sjmp next1

k4: mov a,r3

add a,#03d

mov r3,a ; r3 safe the number of step that will-
next1: mov a,r7 ; call driver later
rrc a ; rotate return 5 times
rrc a
rrc a
rrc a
rrc a
end: ret

```

```

; *** main program ***

```

```

org 0600h

```

```

begin: lcall inittest

```

```

lcall getinput

```

```

lcall calculat

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
cjne a,#10000000b,noteq
```

```
sjmp endcalc
```

```
noteq: rlc a
```

```
jc k5
```

```
lcall backward
```

```
sjmp endcalc
```

```
k5: lcall forward
```

```
endcalc: lcall getinput
```

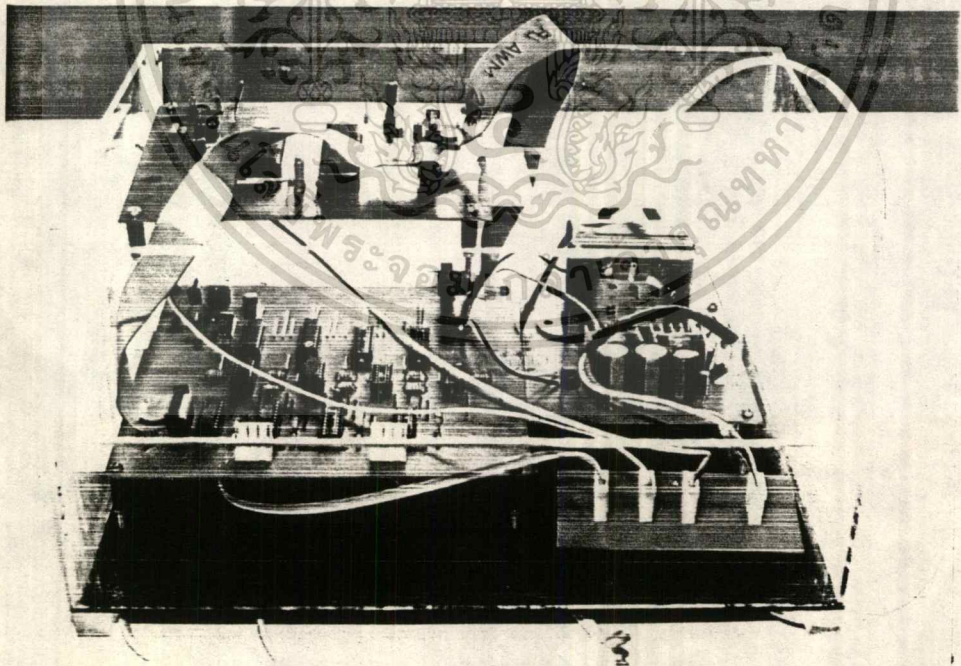
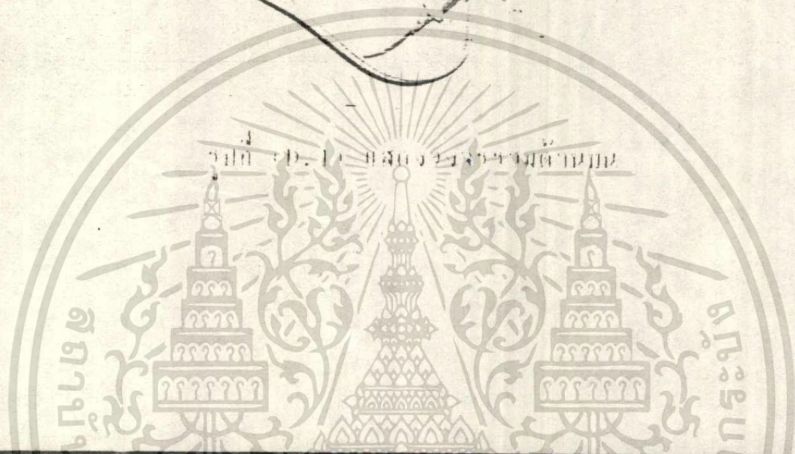
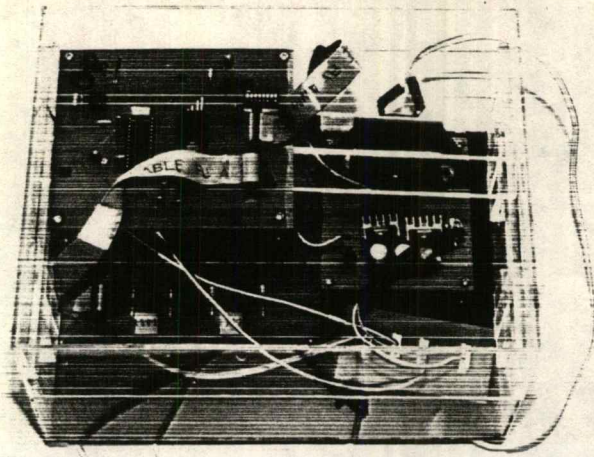
```
end
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

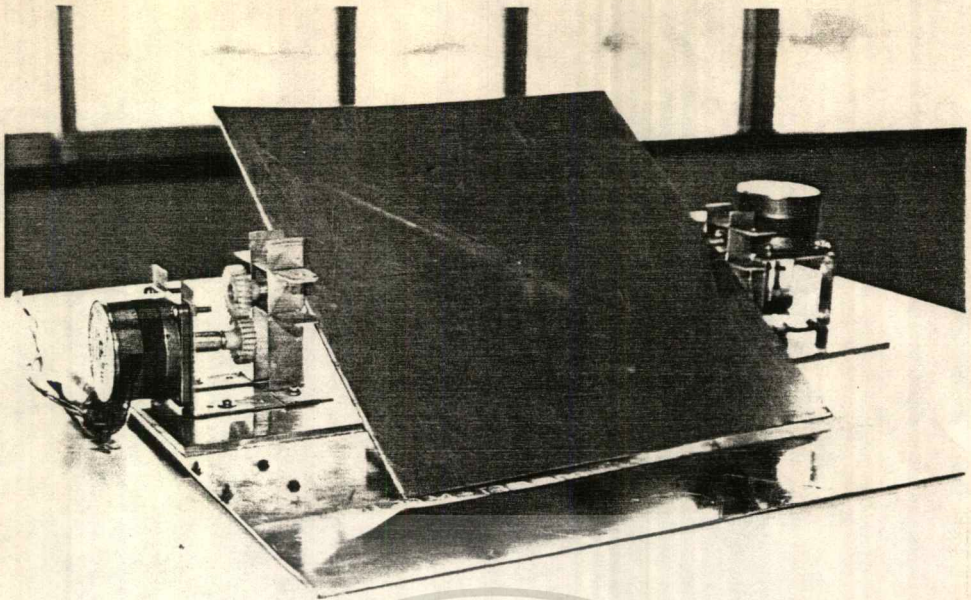


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

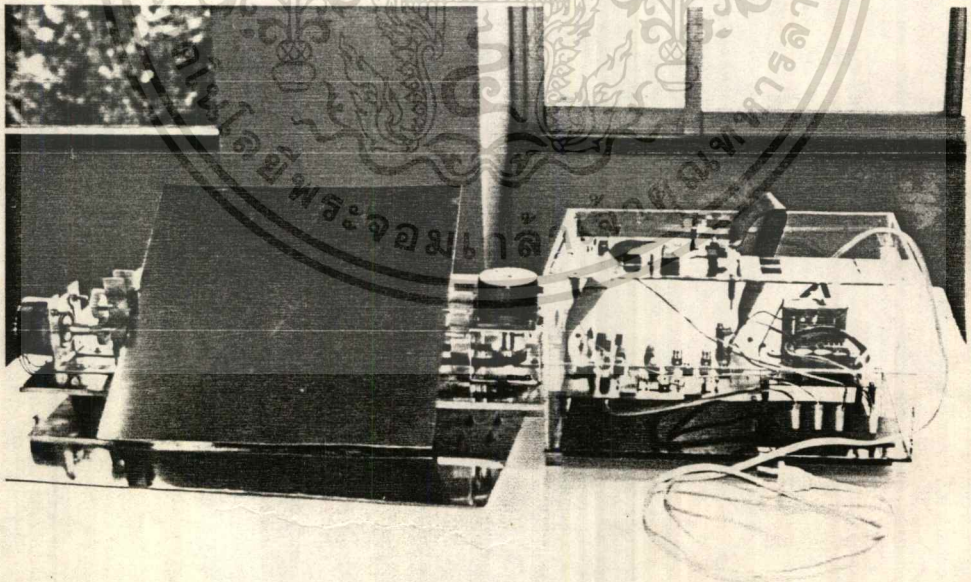


รูปที่ (D.2) แสดงวงจรรวมด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ (D.3) แสดงงานรับสัญญาณดาวเทียม



รูปที่ (D.4) แสดงอุปกรณ์รวมทั้งงานรับสัญญาณดาวเทียมและวงจรรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคคลเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นจำเป็นต้องดำเนินการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้