สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เครื่องควบคุมการหมุนของเสาอากาศ

นายชัชชัย เพชรเลิศ
นายฤกษ์นาวี ดวงศรี

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2541

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 36710
วัน, เดือน, ปี 23 ส.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Antenna Rotating Controller

Mr.Chatchai Pedlerd
Mr.Rerknavee Duangsri

A Special Project Submitted in Partial Fulfilment of the Requirement
for the Degree of Bachelor of Science
Department of Applied Physics
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	เครื่องควบคุมการหมุนของสายอากาศ
โดย	นายชัชชัย เพชรเลิศ
	นายฤกษ์นาวี ดวงศรี
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล
	อาจารย์สาหร่าย คุณีพงษ์

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

.....
(ร.ศ.สุรพล รักวิจัย) หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะกรรมการโครงงานพิเศษ

.....
(ผศ.ดร.ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล) ประธานกรรมการ

.....
(อ.สุน จ่างประยูร) กรรมการ

.....
(อ.สาหร่าย คุณีพงษ์) กรรมการ

.....
(อ.ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์) กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้ คงไม่สามารถสำเร็จได้ หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและความกรุณาจากบุคคลเหล่านี้

ขอบพระคุณ
- ผศ.ดร.ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล และ อ.สาหร่ายคุณีพงษ์ สำหรับคำชี้แนะและความช่วยเหลือต่างๆ
- อ.สุน จ่างประยูร สำหรับคำแนะนำและอุปกรณ์การทำงาน
- อ.วิชิต ศิริโชติ สำหรับการให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์

ขอบคุณ
- เกียรติภูมิ, ชัชวาล, ชัยณรงค์ และ อนันต์ชัย สำหรับการร่วมงานตลอดมาตั้งแต่แรกเริ่ม
- วรกุล เมืองสุวรรณ, แม้อยู่คนละภาควิชา แต่หากไม่มีเขาโครงงานพิเศษนี้อาจไม่สำเร็จลงได้
- Mighty Engineering Limited (Ratchaburi)
- เพื่อนๆ, รุ่นพี่และรุ่นน้อง ฟิสิกส์ประยุกต์ทุกท่าน ที่เป็นกำลังใจให้เสมอมา

Special Thank
- พี่ตุลา (พี่เล็ก) ฟิสิกส์#12 สำหรับความช่วยเหลือและคำปรึกษาต่างๆ หากไม่มีพี่ งานนี้คงไม่สำเร็จแน่นอน ขอบคุณมากครับ

หากมีความบกพร่องหรือความไม่ดีทั้งหลายในโครงงานพิเศษฉบับนี้ ทางผู้จัดทำใคร่ขออภัยไว้ ณ โอกาสนี้ด้วยประการทั้งปวง แต่หากโครงงานพิเศษนี้จะยังประโยชน์แก่สังคมบ้าง หรือมีผู้นำไปพัฒนาให้ดีขึ้นแล้ว ทางผู้จัดทำขอมอบความดีงานทั้งหมดให้กับ พ่อและแม่ ซึ่งพระคุณของท่านเราคงไม่อาจกล่าวได้เพียงหน้ากระดาษนี้

ชัชชัย เพชรเลิศ

ฤกษ์นาวี ดวงศรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	เครื่องควบคุมการหมุนของสายอากาศ
ชื่อนักศึกษา	นายชัชชัย เพชรเลิศ
	นายฤกษ์นาวี ดวงศรี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล
	อาจารย์สาหร่าย คุณีพงษ์
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2541

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ เป็นการสร้างชุดเครื่องมือสำหรับควบคุมการหมุนของสายอากาศ เพื่อให้สายอากาศหมุนไปทีละสเตป โดยนำชิปไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 89C2051 ของ ATMEL ไปเชื่อมต่อกับโซลิดสเตทรีเลย์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ควบคุมการหมุนของมอเตอร์กระแสสลับ แล้วทำการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตขนาน เพื่อให้สามารถสั่งงานได้โดยตรงจากคีย์บอร์ด สัญญาณจากสายอากาศที่หมุนไปแต่ละองศา จะถูกส่งค่าไปยังเครื่องวัดกำลังของสัญญาณ ก่อนทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลแล้วส่งค่าเข้าสู่คอมพิวเตอร์ เพื่อทำการประมวลผลทางข้อมูลต่อไป จากการทดลองทำการหมุนพบว่า เมื่อเราใส่โหลดที่มีน้ำหนักมากลงบนแท่นหมุน จะทำให้องศาของการหมุนนั้นคลาดเคลื่อนไปเล็กน้อย ถึงกระนั้นก็ตาม เครื่องมือชุดนี้ก็ยังทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Antenna Rotating Controller
Name	Mr.Chatchai PEDLERD
	Mr.Rerknavee DUANGSRI
Special Project Advisors	Asst. Prof. Dr. Sirisak TECHATHAWIEKUL
	Ajarn Sarai KUNEEPHONG
Department	Applied Physics
Academic Year	1998

Abstract

The purpose of this project is to build up a system for controlling the rotation of an antenna. The system consists of three main parts, namely a rotating part, an electronic part and a computer. In this case, an AC motor is used to rotate an antenna stepwise in the clockwise direction. This AC motor connected to a solid-state relay is controlled by a micro-controller 89C2051 which can be operated under a control from the computer via a parallel port (LPT1). It has been found that the system works alright even though the rotating shaft has some wobble.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 วัตถุประสงค์..... 2

1.2 วิธีการดำเนินงาน..... 2

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ..... 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ 3

2.1 มอเตอร์และการเลือกใช้มอเตอร์..... 3

2.1.1 มอเตอร์กระแสสลับ..... 3

2.1.2 มอเตอร์กระแสตรง..... 7

2.1.3 Step motor.....12

2.2 รีเลย์.....17

2.2.1 รีเลย์ควบคุมแบบไฟฟ้าเชิงกล.....17

2.2.2 โซลิดสเตทรีเลย์.....20

บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน 23

3.1 การเลือกใช้มอเตอร์.....23

3.2 การเลือกใช้รีเลย์.....23

3.3 การเลือกใช้ micro-controller.....24

3.4 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ.....25

3.5 การทำงานของวงจร.....27

3.6 การโปรแกรม.....28

บทที่ 4 สรุปผลและแนวทางการพัฒนา 30

4.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....30

4.2 แนวทางการพัฒนาในขั้นต่อไป.....31

ภาคผนวก ข้อมูลจำเพาะของชุดทดลอง 89C2051 และโปรแกรมการทำงาน

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 การกำหนดช่องความถี่ของสัญญาณภาพและเสียงตามระบบ CCIR..... 1
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงการหมุนจริงของเสาอากาศเทียบกับมุมที่กำหนด.....30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การหมุนของสนามแม่เหล็ก..... 3
รูปที่ 2.2 กระแสเหนี่ยวนำในโรเตอร์..... 4
รูปที่ 2.3 มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบขดลวดพันรอบโรเตอร์สามเฟส..... 6
รูปที่ 2.4 มอเตอร์ซิงโครนัสสามเฟส..... 7
รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร.....8
รูปที่ 2.6 เซอร์โวมอเตอร์แม่เหล็กถาวรกระแสตรง..... 9
รูปที่ 2.7 มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม..... 9
รูปที่ 2.8 มอเตอร์ยูนิเวอร์แซล.....10
รูปที่ 2.9 การควบคุมอัตราเร็วของมอเตอร์กระแสตรง.....11
รูปที่ 2.10 การควบคุมอัตราเร็วอาร์มาเจอร์.....12
รูปที่ 2.11 Model to describe step motor operation.....13
รูปที่ 2.12 18°, 4-φ step motor.....14
รูปที่ 2.13 18°, 4-φ hybrid step motor.....15
รูปที่ 2.14 Y-connected 3-φ motor with neutral line.....16
รูปที่ 2.15 Driving scheme for 3-φ, Y-connected motor without neutral line.....16
รูปที่ 2.16 EMR.....17
รูปที่ 2.17 การใช้รีเลย์ควบคุมสวิทช์.....18
รูปที่ 2.18 การใช้รีเลย์ควบคุมวงจรโหลดกระแสสูงด้วยวงจรควบคุมกระแสต่ำ.....19
รูปที่ 2.19 โซลิดสเตทรีเลย์แบบต่างๆ.....20
รูปที่ 2.20 SSR กับ LED.....21
รูปที่ 2.21 การควบคุมโหลดกระแสสลับและกระแสตรง.....21
รูปที่ 2.22 ซีโร่สวิทชิ่ง.....22
รูปที่ 3.1 มอเตอร์และชุดเฟือง, และการประกอบเข้ากับเสาอากาศ.....23
รูปที่ 3.1 วงจร SSR.....24
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรม แสดงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ทั้งหมด.....25
รูปที่ 3.3 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมด และการเชื่อมต่อกับ PC.....26
รูปที่ 3.4 กล่องชุดควบคุม 89C2051 และ SSR.....27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมการเชื่อมต่อ 89C2051 กับ SSR.....28
รูปที่ 3.6 flow chart ของโปรแกรม.....29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

โทรทัศน์นับเป็นอุปกรณ์สำคัญในการถ่ายทอดข่าวสารอย่างมีประสิทธิภาพ เพราะเราสามารถรับชมได้ทั้งภาพและเสียงพร้อม ๆกัน ปัจจุบันช่องการรับชมของประเทศไทยที่ได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาลมีทั้งสิ้น 6 ช่องสัญญาณ มีการส่งสัญญาณในช่วง VHF 5 ช่องสัญญาณ คือ ช่อง 3,5,7,9 และ 11 และในช่วง UHF 1 ช่องสัญญาณ คือ iTV (หรือช่อง 29) ซึ่งมีการกำหนดความถี่ของสัญญาณภาพและเสียงที่ใช้ในแต่ละช่องตามระบบ CCIR ดังตาราง

CHANNEL ALLOCATION CCIR STANDARD B-G

TV bands	ch	picture carrier MHz	sound carrier MHz
I	2	48.25	53.75
	3	55.25	60.75
	4	62.25	67.75
VHF mid-band	S1	105.25	110.75
	S2	112.25	117.75
	S3	119.25	124.75
	S4	126.25	131.75
	S5	133.25	138.75
	S6	140.25	145.75
	S7	147.25	152.75
	S8	154.25	159.75
	S9	161.25	166.75
	S10	168.25	173.75
III	5	175.25	180.75
	6	182.25	187.75
	7	189.25	194.75
	8	196.25	201.75
	9	203.25	208.75
	10	210.25	215.75
	11	217.25	222.75
	12	224.25	229.75
VHF super-band	S11	231.25	236.75
	S12	238.25	243.75
	S13	245.25	250.75
	S14	252.25	257.75
	S15	259.25	264.75
	S16	266.25	271.75
	S17	273.25	278.75
	S18	280.25	285.75
	S19	287.25	292.75
	S20	294.25	299.75
VHF hyper-band	S21	303.25	308.75
	S22	311.25	316.75
	S23	319.25	324.75
	S24	327.25	332.75
	S25	335.25	340.75
	S26	343.25	348.75
	S27	351.25	356.75
	S28	359.25	364.75
	S29	367.25	372.75
	S30	375.25	380.75
	S31	383.25	388.75
	S32	391.25	396.75
	S33	399.25	404.75
	S34	407.25	412.75
	S35	415.25	420.75
	S36	423.25	428.75
	S37	431.25	436.75
	S38	439.25	444.75
	S39	447.25	452.75
	S40	455.25	460.75
	S41	463.25	468.75
IV	21	471.25	476.75
	22	479.25	484.75
	23	487.25	492.75
	24	495.25	500.75
	25	503.25	508.75
	26	511.25	516.75
	27	519.25	524.75
	28	527.25	532.75
	29	535.25	540.75
	30	543.25	548.75
	31	551.25	556.75
	32	559.25	564.75
	33	567.25	572.75
	34	575.25	580.75
	35	583.25	588.75
	36	591.25	596.75
	37	599.25	604.75
V	38	607.25	612.75
	39	615.25	620.75
	40	623.25	628.75
	41	631.25	636.75
	42	639.25	644.75
	43	647.25	652.75
	44	655.25	660.75
	45	663.25	668.75
	46	671.25	676.75
	47	679.25	684.75
	48	687.25	692.75
	49	695.25	700.75
	50	703.25	708.75
	51	711.25	716.75
	52	719.25	724.75
	53	727.25	732.75
	54	735.25	740.75
	55	743.25	748.75
	56	751.25	756.75
	57	759.25	764.75
	58	767.25	772.75
	59	775.25	780.75
	60	783.25	788.75
	61	791.25	796.75
	62	799.25	804.75
	63	807.25	812.75
	64	815.25	820.75
	65	823.25	828.75
	66	831.25	836.75
	67	839.25	844.75
	68	847.25	852.75
	69	855.25	860.75

OIF 9740

ตารางที่ 1.1 การกำหนดช่องความถี่ของสัญญาณภาพและเสียงตามระบบ CCIR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพโดยรวมของโครงงานพิเศษนี้ จัดทำขึ้นเพื่อการวัดค่ากำลังสัญญาณของสายอากาศในแต่ละช่อง ในแต่ละค่ามุมที่เปลี่ยนไป เพื่อวิเคราะห์รูปแบบกำลังของสัญญาณที่สายอากาศแต่ละช่องสามารถรับได้ โดยการสร้างชุดเครื่องมือเพื่อควบคุมการหมุนเปลี่ยนมุมของสายอากาศขึ้นมา เพื่อให้สามารถทำการกำหนดมุมการหมุนของสายอากาศได้อย่างแน่นอน หลังจากนั้นจะนำสัญญาณที่ได้จากสายอากาศส่งผ่านมายังเครื่อง MC-360B เพื่อวัดค่า Relative Power ของสัญญาณ จากนั้นเราจะนำค่า Relative Power นี้ มาทำการวิเคราะห์โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการตรวจสอบรูปแบบกำลังของสายอากาศที่ใช้ในแต่ละช่องสัญญาณต่อไป

1.1 วัตถุประสงค์

จากที่กล่าวมาทั้งหมดทำให้เกิดเป็นโครงงานเครื่องควบคุมการหมุนของสายอากาศขึ้น โดยโครงงานนี้มีวัตถุประสงค์คือ

1. เพื่อทำการสร้างอุปกรณ์ควบคุมการหมุนของสายอากาศโดยใช้มอเตอร์
2. เพื่อทำการสร้างอุปกรณ์ควบคุมการหมุนของมอเตอร์ โดยการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้งาน
3. นำสัญญาณที่ได้จากการหมุนสายอากาศไปเป็นมุมค่าต่าง ๆ มาวัดค่ากำลังโดยเครื่องมือวัดค่ากำลังของสัญญาณ
4. เพื่อทำการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ เพื่อให้สามารถควบคุมการหมุนของมอเตอร์ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.2 วิธีการดำเนินงาน

การดำเนินงานในการสร้างเครื่องควบคุมการหมุนของเสาอากาศ ทำตามขั้นตอนดังนี้

1. เลือกใช้มอเตอร์ให้เหมาะสมกับการนำมาใช้งานและควบคุม
2. เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เหมาะสม
3. ออกแบบวงจรควบคุมการหมุนของมอเตอร์ ให้เป็นไปตามต้องการ
4. เขียนโปรแกรมควบคุมการหมุนของมอเตอร์ ลงในไมโครคอนโทรลเลอร์
5. ทำการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตขนาน

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถรับทราบถึงประสิทธิภาพของสายอากาศโทรทัศน์ที่มีอยู่ในปัจจุบันได้อย่างถูกต้อง
2. สามารถนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้งานได้อย่างเกิดประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 มอเตอร์และการเลือกใช้มอเตอร์

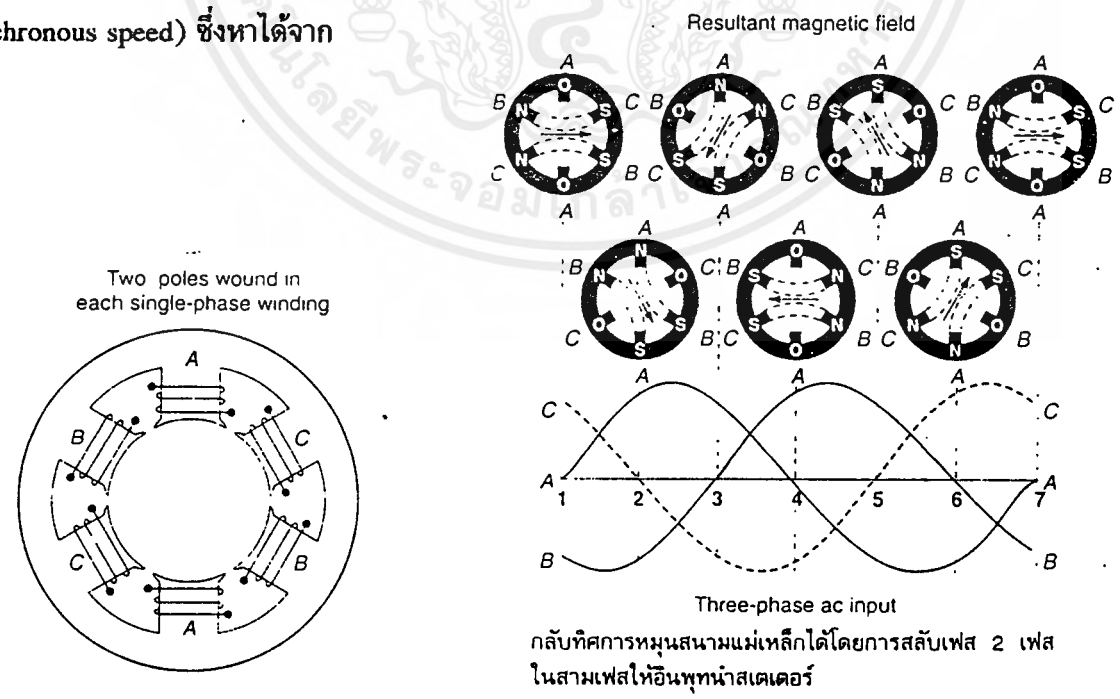
2.1.1 มอเตอร์กระแสสลับ

มอเตอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมประมาณ 90% เป็นมอเตอร์กระแสสลับ คุณลักษณะของมอเตอร์กระแสสลับมีดังต่อไปนี้

คุณลักษณะของมอเตอร์กระแสสลับ

- ราคาต่ำ
- การบำรุงรักษาไม่มากนัก
- เหมาะกับการใช้งานในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ
- สามารถทนทานต่อสภาวะงานหนัก ๆได้
- มีขนาดเล็กกว่ามอเตอร์กระแสตรง แม้ว่ากำลังม้าจะเท่ากัน
- การซ่อมแซมใช้งบประมาณไม่มากนัก
- สามารถมีอัตราเร็วเหนือกว่าอัตราที่ระบุในเนมเพลท

ลักษณะพื้นฐานของมอเตอร์กระแสสลับคือ สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากสเตเตอร์จะหมุนได้ ซึ่งสามารถแสดงให้เข้าใจได้ดังนี้ กรณีของมอเตอร์ 3 เฟส ขดลวดทั้งสามจะมีดีกรีทางไฟฟ้าต่างกัน 120° แต่ละเฟสจะต่อเข้ากับเฟสหนึ่ง ๆของแหล่งจ่ายไฟ 3 เฟส ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เมื่อมีกระแสแต่ละเฟสไหลผ่านขดลวดเหล่านี้ สนามแม่เหล็กจะมีการหมุนรอบในสเตเตอร์ อัตราเร็วการหมุนของสนามขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วของสเตเตอร์ และความถี่ของแหล่งจ่ายกำลัง อัตราเร็วนี้มีชื่อเรียกว่า อัตราเร็วซิงโครนัส (synchronous speed) ซึ่งหาได้จาก



รูปที่ 2.1 การหมุนของสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S = \frac{120f}{P}$$

เมื่อ S คืออัตราเร็วซิงโครนัสเป็นรอบต่อนาที

f คือความถี่เป็น Hz ของแหล่งจ่ายไฟ

P คือจำนวนขั้วในขดลวดแต่ละเฟส

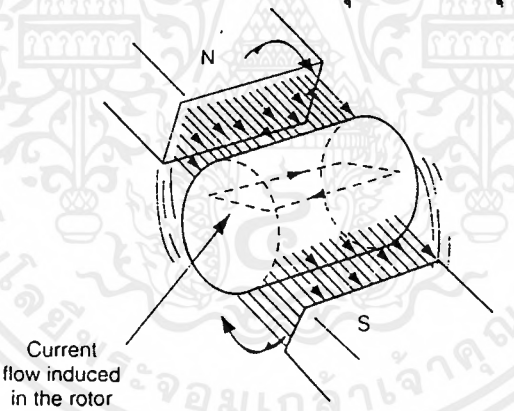
จากรูปที่ 2.1 เราสามารถคำนวณอัตราเร็วซิงโครนัสได้ดังนี้

$$S = \frac{120f}{P}$$

$$= 120 \times \frac{60}{2}$$

$$= 3600 \text{ rms}$$

เราจำแนกชนิดของมอเตอร์กระแสสลับโดยพิจารณาหลักการทำงาน ซึ่งจำแนกเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ (ac induction motor) หรือซิงโครนัสมอเตอร์ (synchronous motor) มอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับนี้มีทั้งแบบเฟสเดียวและแบบสามเฟส ที่เรียกชื่อเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำเช่นนี้ เนื่องจากไม่มีแรงดันภายนอกป้อนให้กับโรเตอร์ ทั้งนี้กระแสสลับในสเตเตอร์จะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันคร่อมระหว่างช่องว่างอากาศกับขดลวดโรเตอร์ ทำให้มีกระแสในโรเตอร์และสนามแม่เหล็กเกิดขึ้น สนามแม่เหล็กในสเตเตอร์และในโรเตอร์จะมีอันตรกิริยาต่อกันเป็นเหตุให้โรเตอร์หมุนได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



สนามที่หมุนตัดกับแท่งของโรเตอร์และเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสในโรเตอร์

รูปที่ 2.2 กระแสเหนี่ยวนำในโรเตอร์

หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำเหมือนกับหม้อแปลง โดยมีสเตเตอร์ทำหน้าที่คล้ายกับขดลวดปฐมภูมิ และโรเตอร์ทำหน้าที่คล้ายขดลวดทุติยภูมิ กระแสขณะไม่มีโหลดของมอเตอร์คล้ายกับกระแสกระตุ้นในหม้อแปลง ดังนั้นจะมีการแมกนีไตซ์ (magnetizing) เกิดขึ้นทำให้มีฟลักซ์ที่หมุนได้ และส่วนหนึ่งของแมกนีไตซ์จะจ่ายให้กับขดลวดและมีการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในโรเตอร์กับการสูญเสียที่สเตเตอร์

ในกรณีที่มอเตอร์เหนี่ยวนำมีโหลดน้อย ๆ กระแสโรเตอร์จะทำให้มีฟลักซ์ในทิศตรงกันข้าม ดังนั้นฟลักซ์สเตเตอร์จะลดลง ทำให้มีกระแสในขดลวดสเตเตอร์มากขึ้น ซึ่งเป็นกรณีเดียวที่กระแสในขด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลวดทุติยภูมิเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกระแสในขดลวดปฐมภูมิมากขึ้น กระแสกระตุ้นและรีแอคทีฟพาวเวอร์ ขณะมีโหลดน้อยๆ จะมีค่าเท่ากับเมื่อไม่มีโหลดแอกทีฟพาวเวอร์ (active power) (kw) ที่ดูดซับโดยมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นปฏิภาคโดยตรงกับโหลดเชิงกล (mechanical load) ฉะนั้นพาวเวอร์แฟกเตอร์ของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเมื่อโหลดเชิงกลเพิ่มขึ้น ในขณะที่มีโหลดเต็มที่พาวเวอร์แฟกเตอร์จะเป็น 0.70 สำหรับเครื่องกลขนาดเล็กและจะเป็น 0.90 สำหรับเครื่องกลขนาดใหญ่ ฉะนั้นประสิทธิภาพที่โหลดเต็มที่จะมีค่าสูง ซึ่งอาจจะสูงถึง 0.98 ได้เมื่อใช้กับเครื่องจักรกลขนาดใหญ่มาก

กระแสล็อคโรเตอร์ (locked-rotor current) และกระแสกระตุ้นของมอเตอร์เหนี่ยวำจะมีค่าประมาณห้าหรือหกเท่าของกระแสขณะที่มีโหลดเต็มที่ ขณะที่ปล่อยโรเตอร์ให้เป็นอิสระ โรเตอร์จะถูกเร่งให้หมุนในทิศของการหมุนของสนามแม่เหล็ก ขณะที่วัตถุเร็ว ความเร็วสัมพัทธ์ของสนามเทียบกับโรเตอร์จะลดลงอย่างรวดเร็ว จึงเป็นเหตุให้ค่าและความถี่แรงดันเหนี่ยวนำลดลง เพราะแท่นโรเตอร์หมุนตัดสนามช้าลง ในขณะเริ่มต้นกระแสโรเตอร์จะมีค่ามากและลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมอเตอร์มีอัตราเร็วเพิ่มขึ้น ดังนั้นโรเตอร์จะต้องไม่คงกระแสล็อคโรเตอร์ไว้ชั่วขณะหนึ่ง

ในขณะที่มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสมีสนามหมุนได้ที่สามารถกระตุ้นมอเตอร์ มอเตอร์เฟสเดียวก็ต้องการกระตุ้นเหมือนกัน เมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวกำลังหมุน จะทำให้สนามแม่เหล็กหมุนได้ที่อัตรากำลังม้าที่เท่ากัน มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวจะมีขนาดใหญ่กว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดในการประยุกต์ ในขณะที่มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวหมุน ค่าทอร์กที่เกิดขึ้นจะเป็นจังหวะไม่ต่อเนื่อง จึงทำให้ได้กำลังน้อยกว่ากรณีของมอเตอร์หลายเฟส

ทิศทางการหมุนของสนามสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสจะขึ้นอยู่กับลำดับของเฟส สนามโรเตอร์จะดึงดูดโดยสนามโรเตอร์ ดังนั้นโรเตอร์จะหมุนในทิศเดียวกับทิศทางของสนามสเตเตอร์ การเปลี่ยนแปลงสองในสามเฟสนำหน้าการจ่ายกระแสให้กับโรเตอร์จะกลับการลำดับของเฟส และทำให้โรเตอร์หมุนกลับทิศ

มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบขดลวดพันรอบโรเตอร์ ใช้ในงานที่ต้องการแปรค่าอัตราเร็วได้ สเตเตอร์จะประกอบด้วยขดลวดเฟสเดียว 3 ขด ซึ่งมีดรกรีทางไฟฟ้าเป็น 120 องศา ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟสามเฟสดังแสดงในรูปที่ 3 โรเตอร์สามเฟสจะมีสายต่อออกมาต่อกับสลิปริง (slip ring) อัตราเร็วของขดลวดโรเตอร์จะแปรไปได้ด้วยการแปรค่าความต้านทานในวงจรโรเตอร์โดยผ่านสลิปริง เมื่อความต้านทานในวงจรโรเตอร์มากขึ้น อัตราเร็วของมอเตอร์จะต่ำลงและถ้านำความต้านทานออกจากวงจรโรเตอร์ มอเตอร์จะหมุนโดยมีอัตราเร็วเต็มที่ การเพิ่มความต้านทานในวงจรโรเตอร์จะทำให้กระแสกระตุ้นลดลง ทำให้เกิดค่าทอร์กกระตุ้นสูง พาวเวอร์แฟกเตอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้จะต่ำเมื่อไม่มีโหลดและจะสูงเมื่อมีโหลดเต็มที่ การจะกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ทำได้ด้วยการสลับสายป้อนแรงดัน

ข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบขดลวดพันรอบโรเตอร์มีดังนี้

ข้อได้เปรียบ

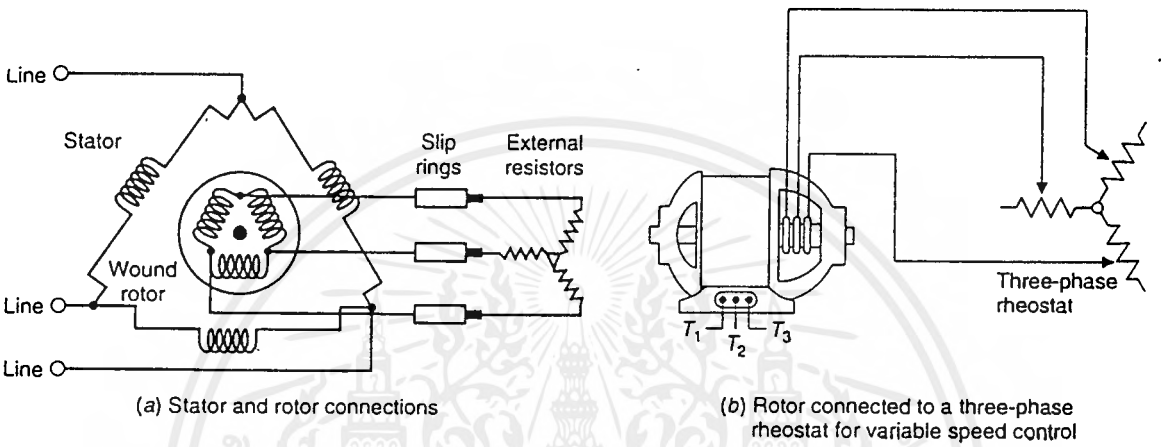
- ทอร์กกระตุ้นสูงขณะที่ใช้กระแสกระตุ้นต่ำ
- มีอัตราเร่งคงที่เมื่อมีโหลดมากๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ในช่วงเวลากระตุ้นจะไม่มีความร้อนผิดปกติ
- สามารถปรับอัตราเร็วได้ดีเมื่อใช้งานกับโหลดที่คงที่

ข้อเสียเปรียบ

- ค่าใช้จ่ายในการบบำรุงรักษาสูง
- การปรับอัตราเร็วได้ไม่ดีนัก เมื่อใช้งาน เมื่อมีความต้านทานในวงจรโรเตอร์



รูปที่ 2.3 มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบขดลวดพันรอบโรเตอร์สามเฟส

มอเตอร์ซิงโครนัสเป็นมอเตอร์ที่มีอัต2ราเร็วคงที่ไม่ว่าจะมีโหลดหรือไม่มีโหลด อัตราเร็วนี้จะเท่ากับอัตราเร็วการหมุนของสนามแม่เหล็ก มอเตอร์ซิโครนัสนี้จะใช้สเตเตอร์ทั้งแบบสามเฟสและเฟสเดียว เพื่อผลิตสนามแม่เหล็กที่หมุนได้ และโรเตอร์แม่เหล็กไฟฟ้าจะมีกระแสตรงป้อนเข้า โรเตอร์จะทำงานคล้ายกับแม่เหล็กและดึงดูดกับสนามสเตเตอร์ที่กำลังหมุน การดึงดูดกันจะทำให้เกิดทอร์กต่อโรเตอร์ และทำให้หมุนสนามได้ มอเตอร์ซิงโครนัสจะไม่กระตุ้นด้วยตัวเอง อัตราเร็วจะถูกกระตุ้นให้มีอัตราเร็วซิงโครนัสก่อนที่จะคงหมุนต่อไปด้วยอัตราเร็วที่คงที่นั้นโดยตัวมันเอง

ในกรณีมอเตอร์ซิงโครนัสสามเฟส ดังแสดงในรูป 2.4 ตัวโรเตอร์จะมีขดลวดเป็นสองขด ขดลวดกระแสสลับอาจจะเป็นแบบหางกระรอกหรือเป็นแบบขดลวดโรเตอร์ และขดลวดกระแสสลับ ขดลวดกระแสสลับจะเร่งให้มอเตอร์มีความเร็วเท่ากับความเร็วซิงโครนัส ซึ่งเป็นจุดที่ขดลวดกระแสตรงจะถูกกระตุ้นและมอเตอร์จะล็อคเป็นจังหวะกับการหมุนของสนาม

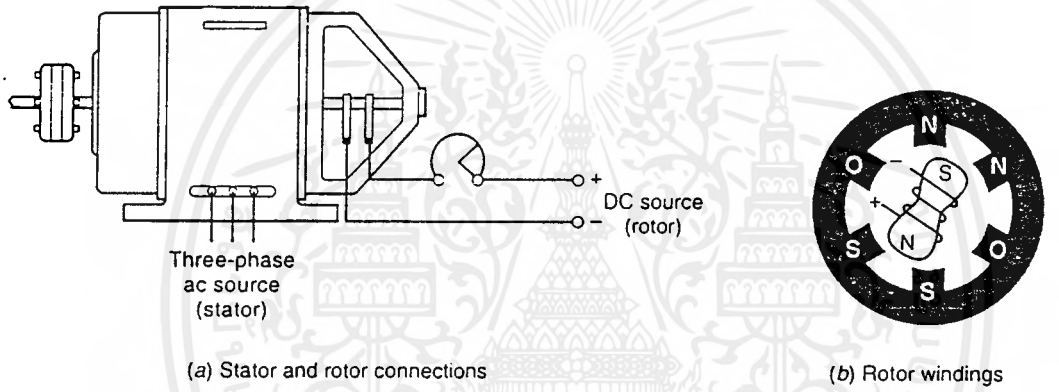
มอเตอร์ซิงโครนัสไม่สามารถได้รับการกระตุ้นด้วยสนามกระแสตรง ภายใต้เงื่อนไขดังกล่าว ทอร์กกระแสสลับจะเกิดขึ้นในโรเตอร์ ในขณะที่สนามสเตเตอร์กวาดตัดผ่านโรเตอร์ มันจะพยายามให้โรเตอร์พยายามหมุนโดยมีทิศตรงข้ามกับทิศการหมุนของสนามจากนั้นจะหมุนในทิศเดียวกับสนาม เหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้โรเตอร์อยู่นิ่งได้

การกระตุ้นมอเตอร์ซิงโครนัส โรเตอร์จะถูกปล่อยไว้ไม่ให้กระตุ้นมอเตอร์ จะถูกกระตุ้นในลักษณะเดียวกันกับมอเตอร์แบบหางกระรอกหรือมอเตอร์ที่มีขดลวดโรเตอร์ ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของโรเตอร์ เมื่อโรเตอร์มีอัตราเร็วประมาณ 95% ของอัตราเร็วมอเตอร์ซิงโครนัส จะมีกระแสตรงป้อนให้กับขดลวดกระตุ้น กระแสตรงจะทำให้เกิดขั้วเหนือและขั้วใต้ในโรเตอร์ ซึ่งจะล็อคสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์และทำให้โรเตอร์มีอัตราเร็วเป็นอัตราเร็วซิงโครนัส

มอเตอร์ซิงโครนัสสามเฟสจะนำไปใช้ในการแก้ไขพาวเวอร์แฟกเตอร์ มอเตอร์ที่ทำงานในลักษณะนี้มีชื่อเรียกว่า คาปาซิเตอร์ซิงโครนัส มอเตอร์แบบหางกระรอกและมอเตอร์แบบขดลวดโรเตอร์จะเป็นแบบมอเตอร์อินดักทีฟ ทำให้เกิดการแลกกิ้ง (lagging) พาวเวอร์แฟกเตอร์ เราแก้ไขแลกกิ้งพาวเวอร์แฟกเตอร์ได้ด้วยการกระตุ้นโรเตอร์อย่างมาก ผลที่ได้จะทำให้พาวเวอร์แฟกเตอร์ล้ำหน้า และจะหักล้างแลกกิ้งพาวเวอร์แฟกเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ในการกระตุ้นสนามกระแสตรงจะเป็นผลทำให้เกิดแลกกิ้งพาวเวอร์แฟกเตอร์ (ซึ่งไม่ค่อยใช้กัน) เมื่อมีการกระตุ้นสนามตามปกติ มอเตอร์ซิงโครนัสจะหมุนด้วยพาวเวอร์แฟกเตอร์เป็นหนึ่ง โดยทั่วไปมอเตอร์ซิงโครนัสจะใช้ในการขับดันโหลดที่ต้องการมีอัตราเร่งที่คงที่ และจะไม่กระตุ้นหรือหยุดบ่อยนัก



รูปที่ 2.4 มอเตอร์ซิงโครนัสสามเฟส

2.1.2 มอเตอร์กระแสตรง

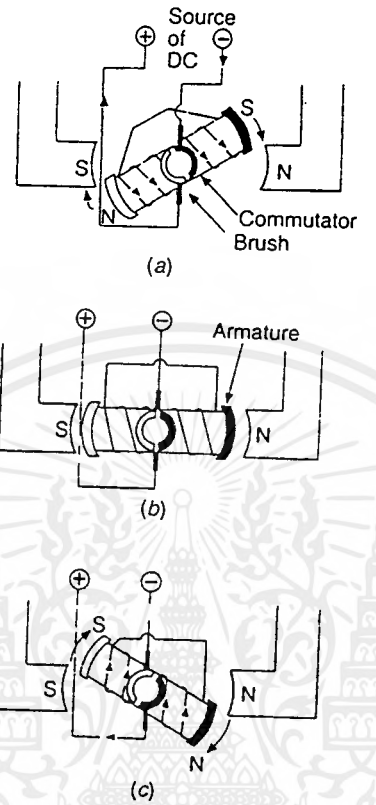
⇒ อาจเข้าใจได้ว่า มอเตอร์ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานแม่เหล็กเพื่อผลิตพลังงานเชิงกล หลักการทำงานของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับอันตรกิริยากับสนามแม่เหล็กสองสนาม หลักการที่ง่ายสามารถสรุปได้ว่ามอเตอร์ไฟฟ้าทำงานด้วยหลักการที่ว่าสนามแม่เหล็กสองสนามจะมีอันตรกิริยาเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนที่ จุดประสงค์หลักการใช้มอเตอร์ คือการผลิตแรงของการหมุน (ค่าทอร์ก)

คุณลักษณะของมอเตอร์กระแสตรง

- มีค่าทอร์กสูงแม้ว่าอัตราเร็วจะต่ำ
- สามารถควบคุมอัตราเร็วได้ดี
- ใช้กับโหลดมาก ๆได้
- มีราคาแพงกว่ามอเตอร์กระแสสลับ
- มีขนาดใหญ่กว่ามอเตอร์กระแสสลับแม้ว่าจะมีกำลังม้าเท่ากัน
- การบำรุงรักษาจะต้องทำเป็นประจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวนำที่มีกระแสไหลจำวางในตำแหน่งตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก และมีแนวโน้ม2เคลื่อนที่ในทิศตั้งฉากกับสนาม ขนาดของแรงแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับความแรงของสนาม ปริมาณกระแสในตัวนำและความยาวของลวดตัวนำ



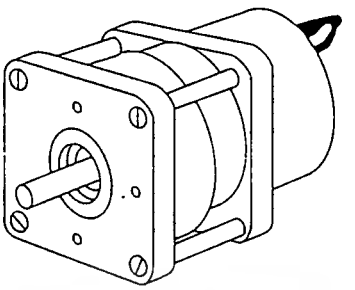
รูปที่ 2.5 หลักการทำงานมอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

มอเตอร์กระแสตรงและเจนเนอเรเตอร์มีหลักการสร้างอย่างเดียวกัน มอเตอร์กระแสตรงแม่เหล็กถาวรเป็นมอเตอร์ที่ใช้สนามหลักจากแม่เหล็กถาวรใช้แม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสนามทุติยภูมิ หรือฟลักซ์อาร์มาเจอร์ รูปที่ 2.5 แสดงหลักการทำงานของมอเตอร์แม่เหล็กถาวร กระแสไหลจากขดลวดอาร์มาเจอร์จากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง จะทำให้อาร์มาเจอร์เป็นแม่เหล็ก ขั้วแม่เหล็กของอาร์มาเจอร์จะมีขั้วตรงข้ามกับขั้วของสนามหลัก ทำให้อาร์มาเจอร์มีการหมุนในรูป 2.5(a) อาร์มาเจอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา เมื่อขั้วอาร์มาเจอร์อยู่ในแนวเดียวกับสนามหลัก ขนแปรงจะอยู่ในช่องว่างของคอมมิวเตเตอร์ จะไม่มีกระแสไหลผ่านในขดลวดอาร์มาเจอร์ดังนั้นแรงในแม่เหล็กจะเป็นแรงผลักกัน 2.5(b) ความเฉื่อยจะทำให้อาร์มาเจอร์ผ่านนิวทรัลพอยน์ท คอมมิวเตเตอร์จะกลับทิศกระแสในอาร์มาเจอร์ เมื่อขั้วแม่เหล็กตรงกันข้ามตรงกัน จึงทำให้ขั้วแม่เหล็กของอาร์มาเจอร์จะกลับขั้วเมื่อขั้วเหมือนกันของอาร์มาเจอร์และสนามหลักอยู่ตรงกัน จะทำให้เกิดการผลักกัน จึงทำให้ขดลวดอาร์มาเจอร์หมุนได้อย่างต่อเนื่องดังรูป 2.5(c)

ทิศทางการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงแม่เหล็กถาวร หาได้จากการไหลของกระแสผ่านอาร์มาเจอร์ การกลับทิศของอาร์มาเจอร์จะทำให้การหมุนกลับทิศ ลักษณะสำคัญของมอเตอร์กระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

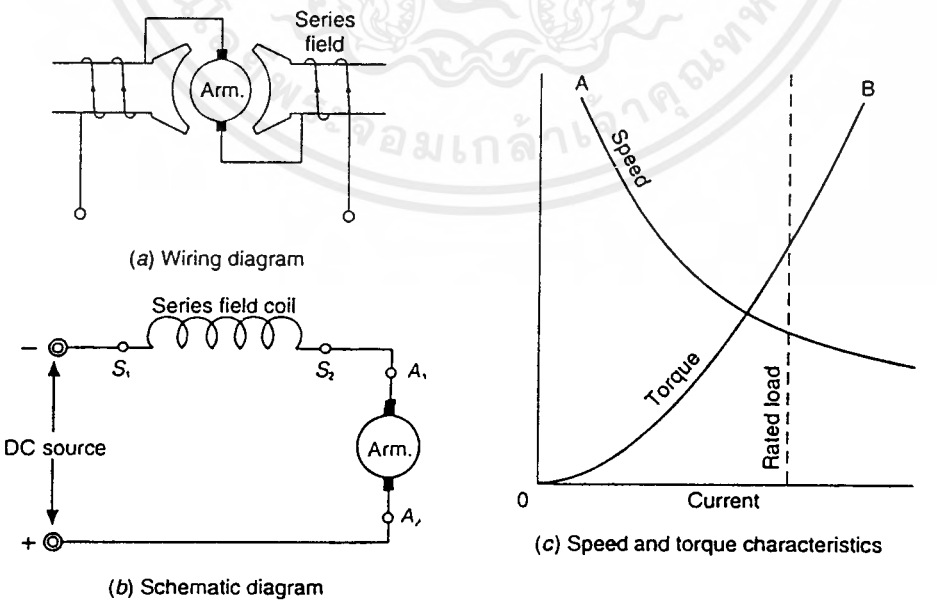
คือสามารถควบคุมอัตราเร็วได้ อัตราเร็วของมอเตอร์แม่เหล็กถาวรจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าแรงดันที่ให้กับอาร์มาเจอร์ ฉะนั้นถ้าแรงดันอาร์มาเจอร์สูงจะทำให้ได้อัตราเร็วของมอเตอร์สูงด้วย



รูปที่ 2.6 เซอร์โวมอเตอร์แม่เหล็กถาวรกระแสตรง

รูปที่ 2.6 แสดงเซอร์โวมอเตอร์แม่เหล็กถาวรกระแสตรง (DC permanent-magnet servometer) ซึ่งใช้กับเครื่องจักรกลที่ต้องการบอกตำแหน่งที่แน่นอนของวัตถุโดยมีการขับดันเริ่มต้นสูงและทอร์กในการขับดันสูง

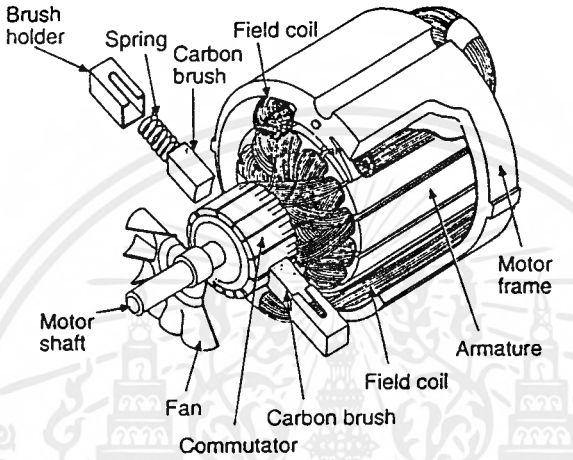
รูปที่ 2.7 แสดงมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม ซึ่งประกอบด้วยขดลวดสนามอนุกรม S_1 และ S_2 ซึ่งใช้ขดลวดตัวนำขนาดใหญ่เพียวสองสามรอบต่ออนุกรมเข้ากับอาร์มาเจอร์ที่ระบุเป็น A_1 และ A_2 มอเตอร์กระแสตรงชนิดนี้จะมีค่าทอร์กเริ่มต้นสูง และมีอัตราเร็วที่ไม่คงที่ ซึ่งหมายความว่าจะมีค่าทอร์กเริ่มต้นสูงและมีอัตราเร็วเพิ่มขึ้น เมื่อค่าโหลดลดลง ที่มอเตอร์ชนิดนี้มีค่าทอร์กเริ่มต้นสูงเนื่องมาจากใช้กระแสค่าเดียวกับกระแสที่ไหลผ่านอาร์มาเจอร์และไหลผ่านขดลวดสนามด้วยทำให้ขนาดของสนามสูงขึ้น ดังนั้นถ้าโหลดต่ำมอเตอร์จะมีอัตราเร็วสูง และถ้าโหลดมีค่ามาก มอเตอร์จะมีอัตราเร็วช้าลง



รูปที่ 2.7 มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะเด่นของมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรมนี้คือสามารถหมุนด้วยค่าทอร์กที่สูง ยังสามารถขับดันโหลดมาก ๆได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงสามารถใช้มอเตอร์นี้กับเครน กว้านฉุดและลิฟต์ได้ การกลับทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงแบบนี้ ทำได้ด้วยการกลับทิศของการไหลของกระแสในขดลวดสนามอละในอาร์มาเจอร์ จึงเรียกชื่อมอเตอร์ชนิดนี้ว่า มอเตอร์ยูนิเวอร์แซล (universal motor) ทั้งนี้เพราะมอเตอร์ชนิดนี้สามารถทำงานได้ด้วยทั้งกระแสตรงหรือกระแสสลับ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 เหตุผลที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่ามอเตอร์กระแสตรงนี้ยังคงหมุนในทิศเดิมได้ แม้ว่ากระแสไหลผ่านขดลวดอาร์มาเจอร์และขดลวดสนามไหลกลับทิศในเวลาเดียวกัน



รูปที่ 2.8 มอเตอร์ยูนิเวอร์แซล

โดยปกติมักจะประยุกต์ใช้งานมอเตอร์ในลักษณะเฉพาะที่มีการหมุนในทิศเดียว แต่ในบางครั้งอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงทิศการหมุนได้ ทิศการหมุนของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับทิศของกระแสในขดลวดและในอาร์มาเจอร์ ถ้ากลับทิศการไหลของกระแสในขดลวดและในอาร์มาเจอร์พร้อมกัน ทิศการหมุนของมอเตอร์จะเปลี่ยนไป ถ้าตัวแปรทั้งสองตัวเปลี่ยนแปลงพร้อมกันมอเตอร์จะยังคงหมุนในทิศเดิม ในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนทิศการหมุนของมอเตอร์เราสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนทิศการไหลของกระแสในขดลวดสนามหรือในอาร์มาเจอร์อย่างใดอย่างหนึ่ง โดยปกตินิยมเปลี่ยนทิศการไหลของกระแสในอาร์มาเจอร์

ขณะที่ขดลวดอาร์มาเจอร์ในมอเตอร์หมุน ขดลวดอาร์มาเจอร์จะเคลื่อนที่ตัดกับสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำหรือ emf ในขดลวดกรณีเช่นนี้ เราอาจกล่าวได้ว่าเกิดเจนเนอเรเตอร์ในมอเตอร์กระแสตรง แรงดันเหนี่ยวนำนี้จะมีทิศตรงข้ามกับแรงดันที่เทอร์มินัล กรณีดังกล่าวนี้ เรียกว่าเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าในทิศตรงข้าม (counter electromotive force ; cemf) จึงทำให้เกิดแรงดันสัมฤทธิ์ (effective voltage) ในขดลวดอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์มีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างแรงดันเทอร์มินัล ลบด้วย cemf จากกฎของโอห์ม สามารถหากระแสในขดลวดอาร์มาเจอร์ได้ดังนี้

$$I_A = \frac{V_{MT} - E}{R_A}$$

เมื่อ I_A คือกระแสอาร์มาเจอร์

V_{MT} คือแรงดันเทอร์มินัลของมอเตอร์

E คือ cemf

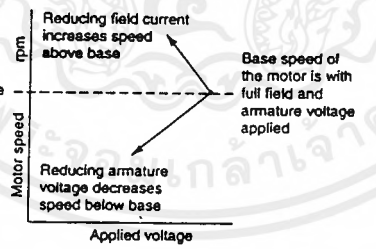
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_A คือความต้านทานของขดลวดอาร์มาเจอร์

ขนาดของ cemf ในมอเตอร์หาได้จาก ความแรงของสนาม จำนวนขดลวดตัวนำอาร์มาเจอร์ที่ต่อขนานระหว่างขนแปรงและอัตราเร็วของมอเตอร์ ในขณะที่มอเตอร์เริ่มหมุน ขดลวดอาร์มาเจอร์จะไม่หมุนทันที ดังนั้นจึงไม่มี cemf เมื่อป้อนแรงดันเข้าให้กับมอเตอร์ มอเตอร์จะดึงกระแสออกมาจากขดลวดอาร์มาเจอร์ตามกฎของโอมห์ดังกล่าวข้างต้น ตัวแปรที่จำกัดขนาดของกระแสคือความต้านทานของขดลวดในมอเตอร์ ขณะที่ขดลวดอาร์มาเจอร์หมุนเร็วขึ้นขดลวดนี้จะผลิต cemf ออกมา เหตุนี้จะทำให้เกิดการจำกัดขนาดกระแสที่ไหลในมอเตอร์ ฉะนั้นขณะที่อัตราเร็วของมอเตอร์สูงขึ้น ค่า cemf จะเพิ่มขึ้น และกระแสที่ถูกดึงออกจากมอเตอร์ลดลง

เมื่ออัตราเร็วของมอเตอร์ถึงระดับที่มีอัตราเร็วขณะที่ไม่มีโหลด จะพบว่าค่า cemf มีค่าเกือบเท่ากับแรงดันเทอร์มินัล ขณะเวลาดังกล่าวจะมีกระแสไหลเพียงพอที่คงให้มอเตอร์จะลดลง อันเป็นผลให้ค่า cemf จะลดลง ฉะนั้นกระแสจะถูกดึงมาขับดันโหลด ดังนั้นจะกล่าวได้ว่าโหลดที่ต่อเข้ากับมอเตอร์จะปรับค่าอัตราเร็วของมอเตอร์และมีผลกระทบโดยตรงกับ cemf และกระแส

อัตราเร็วของมอเตอร์กระแสตรง ขึ้นอยู่กับความแรงของสนามแม่เหล็ก และแรงดันที่ป้อนให้กับอาร์มาเจอร์และขนาดของโหลด ดังนั้นอัตราเร็วของมอเตอร์จะควบคุมได้ด้วยกระแสหรือขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนให้กับขดลวดอาร์มาเจอร์ เมื่อโหลดมีค่าเพิ่มขึ้น อัตราเร็วและ cemf จะลดลงเมื่อกระแสเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันเมื่อขณะที่โหลดมีค่าลดลง อัตราเร็วและ cemf จะเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสลดลง โดยปกติการออกแบบมอเตอร์จะออกแบบไว้ให้มีกำลังเป็นกำลังม้า เมื่อมีโหลดเต็มที่ อัตราเร็วปกติเมื่อมีโหลดเต็มที่จะมีชื่อเรียกเป็น อัตราเร็วฐาน (base current) ของมอเตอร์ อัตราเร็วฐานนี้จะหาได้จากอัตราแรงดันของอาร์มาเจอร์กับกระแสสนามที่สูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 2.9



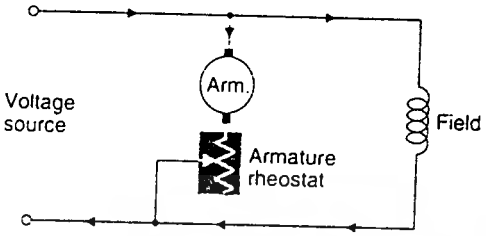
รูปที่ 2.9 การควบคุมอัตราเร็วของมอเตอร์กระแสสตรง

อัตราเร็วของมอเตอร์กระแสตรงจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับ cemf เมื่อสนามหลักมีความแรงน้อยลงจะทำให้ cemf มีค่าน้อยลง ค่า cemf ที่น้อยลงนี้จะทำให้กระแสไหลในขดลวดอาร์มาเจอร์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้สนามแม่เหล็กในขดลวดอาร์มาเจอร์แรงขึ้น และยังผลให้อัตราเร็วของมอเตอร์เพิ่มสูงขึ้น อัตราเร็วของมอเตอร์จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่ง cemf จะจำกัดให้มีกระแสค่าใหม่เกิดขึ้น

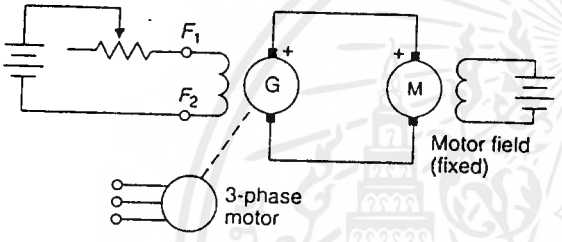
ถ้ารักษาให้สนามหลักมีค่าคงที่เท่ากับความแรงของสนามสูงสุดค่าหนึ่ง แรงดันอาร์มาเจอร์จะเป็นตัวแปรควบคุมความเร็ว ฉะนั้นการเพิ่มหรือลดแรงดันที่ป้อนให้กับอาร์มาเจอร์ อัตราเร็วของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างเป็นปฏิภาคโดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ในรูป (a) อัตราเร็วของอาร์มาเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

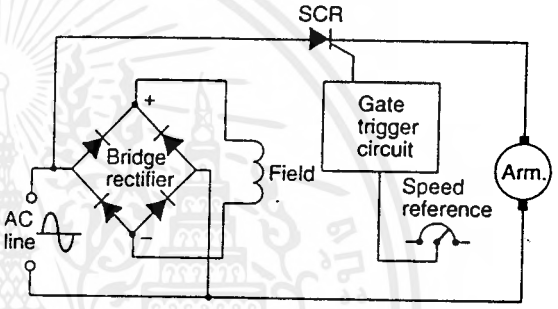
จะถูกควบคุมด้วยรีโอสตัท รีโอสตัทจะลดอัตราเร็วต่ำกว่าอัตราเร็วที่ระบุไว้ กรณีมอเตอร์ขนาดเล็กให้ใช้รีโอสตัทควบคุมอัตราเร็ว ในกรณีอื่นๆ การใช้รีโอสตัทควบคุมอัตราเร็วของมอเตอร์ มักจะไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ เพราะว่าอาร์มาเจอร์เป็นวงจรที่มีกระแสสูง ดังนั้นจะมีกำลังและความร้อนสูญเสียที่รีโอสตัท ฉะนั้นการควบคุมอัตราเร็วจึงทำได้ค่อนข้างยาก



(a) Armature speed control using a rheostat



(b) Ward-Leonard system of armature speed control



(c) Electronic speed control

รูปที่ 2.10 การควบคุมอัตราเร็วอาร์มาเจอร์

การควบคุมอัตราเร็วของมอเตอร์แบบระบบ Wadr-Leonard แสดงในรูป (b) อาร์มาเจอร์ของมอเตอร์ (M) ถูกต่อแบบแยกส่วนกับเจนเนอเรเตอร์กระแสตรงที่ได้รับการกระตุ้น (G) แรงดันเอ้าท์พุทจะมีค่าตั้งแต่ศูนย์ถึงค่าสูงสุด ดังนั้นอัตราเร็วของมอเตอร์จึงมีค่าจากศูนย์จนถึงค่าสูงสุดเช่นเดียวกัน

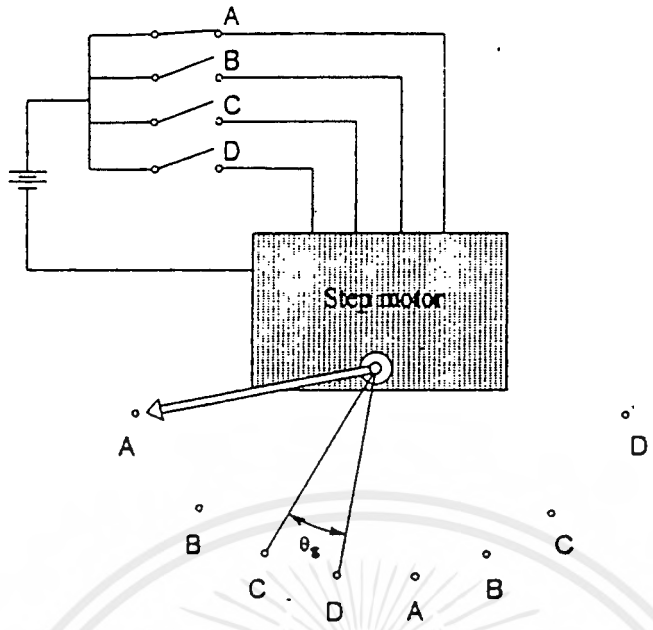
รูป (c) แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้การควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ SCR การนำไฟฟ้าของ SCR ถูกควบคุมได้ด้วยการกำหนดอัตราเร็วอ้างอิงด้วยโพเทนชิโอมิเตอร์ ซึ่งจะเป็นวงจรของ SCR ในแต่ละครึ่งไซเคิลที่เป็นบวกและด้วยการแปรค่าแรงดันที่ป้อนให้กับอาร์มาเจอร์

2.1.3 Step motor

step motor ถูกประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในช่วงปี 1920 เพื่อใช้ในระบบนำร่องของทางการทหาร และได้รับการใช้งานอย่างแพร่หลายเมื่อมีการเข้าสู่โลกดิจิตอล ถึงเวลานี้ step motor ได้นำมาพัฒนาใช้ในด้านงานพิมพ์, ตัวเลื่อนหัวพิมพ์และแท่นหมุนกระดาษใน printer, ตัวเลื่อนตำแหน่งหัวอ่านเขียนใน disk drive, ตัวชี้ตำแหน่งของวัสดุในการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม, การขยับตัวของหุ่นยนต์/แขนกล ฯลฯ เนื่องจากเราสามารถควบคุมการหมุนได้อย่างแน่นอน รวมทั้งยังมีแรงบิดที่สูง

การหมุนของ step motor แสดงให้ดูง่ายๆตามรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 Model to describe step motor operation

จากรูป เมื่อเราเปิดสวิทช์ A แขนจะอยู่ที่ตำแหน่ง A เมื่อเราปิดสวิทช์ B พร้อมกับเปิดสวิทช์ A แขนจะขยับมาอยู่ที่ตำแหน่ง B และปิด C แขนก็ก็จะย้ายมาอยู่ที่ C เราเรียกการหมุนเปลี่ยนตำแหน่งแบบนี้ว่า *"full-step move"* เรากำหนด θ_s = step angle หรือคือมุมที่ rotor ย้ายตำแหน่งไปยังตำแหน่งถัดไป (A→B)

คราวนี้เราลองปิด A ไว้, แขนก็จะอยู่ที่ A ต่อไปให้ปิด A ค้างไว้แล้วปิด B ด้วย แขนก็จะขยับมาตรงกึ่งกลางของ A และ B เราเรียกว่า *"half-step move"*

ในกรณีของ half-step และ full-step กระแสที่ใช้ในการหมุนมาจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน เราลองพิจารณากรณีที่แต่ละแกนหมุนมีแหล่งกำเนิดของตัวเอง สมมุติว่ากระแสที่ให้กับ A = 1A แขนก็จะอยู่ที่ตำแหน่ง A พร้อมกันนั้นให้กระแส 0.1A กับ B แขนก็จะขยับเลื่อนไปทาง B เล็กน้อย และถ้าเราเพิ่มกระแสให้กับ B จนถึง 1 A แขนก็จะขยับมาอยู่ตรงกลางของ A กับ B เราเรียกการหมุนแบบนี้ว่า *"micro-step move"*

ชนิดของ step motor

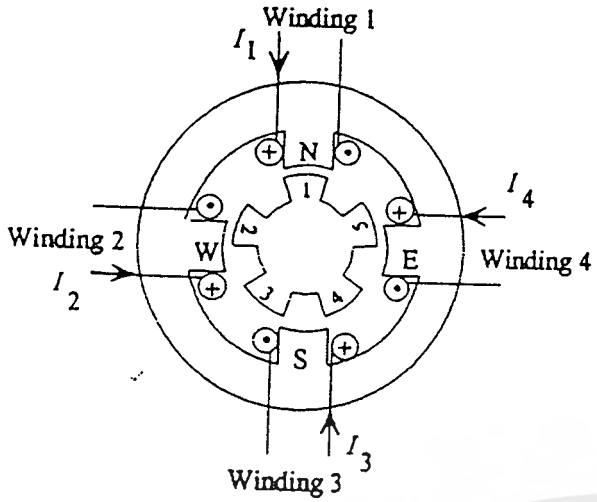
แบ่งออกได้หลัก ๆเป็น 2 ชนิด คือ

- Variable reluctance step motor
- Hybrid step motor

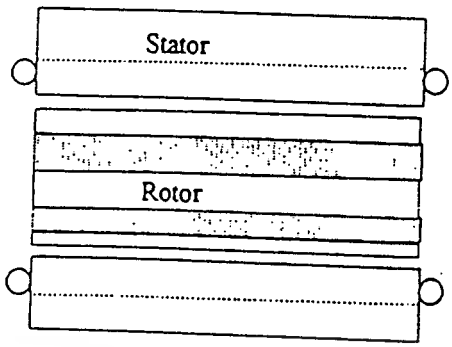
Variable-reluctance (VR) step motor

โครงสร้างของมอเตอร์ทั้งสองแบบนั้นคล้ายคลึงกัน โดยจะมีฟันทั้งที่บน rotor และ stator ข้อแตกต่างหลัก ๆคือ VR motor จะไม่มีแม่เหล็กในตัวเอง ทำให้ทอร์กของ VR motor ขึ้นกับกระแสแต่เพียงอย่างเดียว ภาพตัดของ VR motor แสดงดังรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) Cross-sectional view



(b) Axial view

รูปที่ 2.12 18°, 4-φ step motor

tooth pitch ของมอเตอร์จะคำนวณได้จาก

Tooth pitch = 360° / number of teeth of rotor

จากรูป 2.12 มีฟัน 5 ซี่ขน rotor จะได tooth pitch เท่ากับ 72° และค่ามุม step angle θ_s จะคำนวณจาก

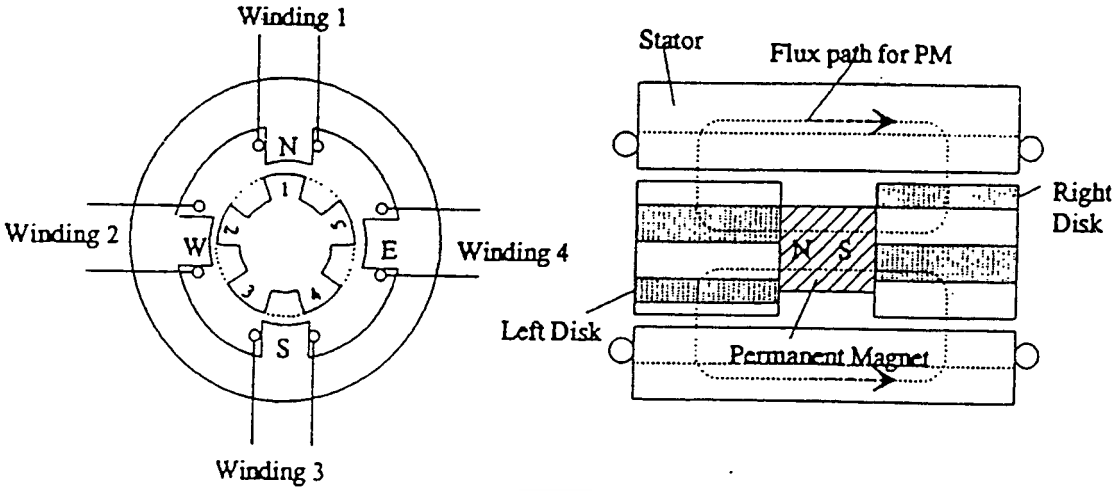
Step angle θ_s = tooth pitch / number of phase

จากที่กำหนดให้คือเป็นมอเตอร์ 4 เฟส เพราะฉะนั้น step angle คือ $72^\circ/4 = 18^\circ$

Hybrid (PM) step motor

มีโครงสร้างและการทำงานคล้ายกับ VR motor รูปที่ 2.13 จะแสดงภาพตัดของ hybrid step motor ซึ่งเป็นที่นิยมแพร่หลายในอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) Cross-sectional view (b) Axial view

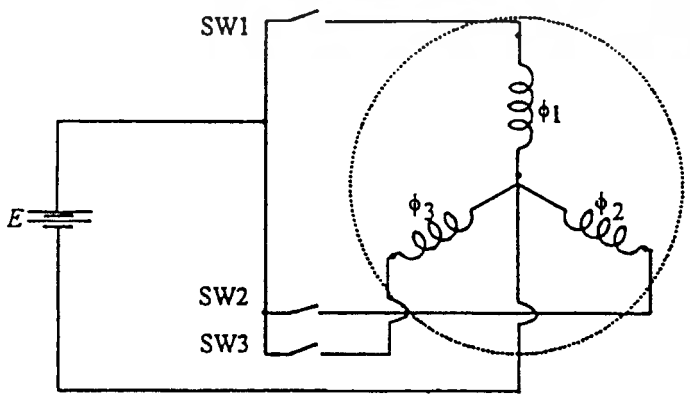
รูปที่ 2.13 18°, 4-φ hybrid step motor

ข้อแตกต่างที่เห็นได้ชัดก็คือ hybrid step motor นี้, rotor จะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ จานหมุนด้านซ้าย, แม่เหล็กถาวร และจานหมุนด้านขวา แม่เหล็กถาวรที่ใส่เข้าไปจะทำให้เกิดฟลักซ์บริเวณรอยต่อ ทำให้ทอร์กของ hybrid motor นั้นมากกว่า VR motor

การขับมอเตอร์แบบ Unipolar และ Bipolar

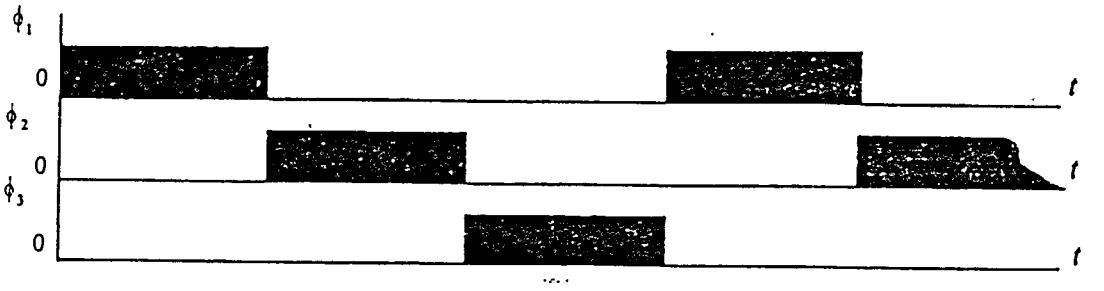
Unipolar drives

การหมุนแบบนี้แสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งเรียกว่าเป็นแบบ Y connection with the center tap ซึ่งจะเห็นว่าเราจะนำปลายข้างหนึ่งมาต่อกันทั้งสามเฟสเป็นคอมมอน ปลายที่เหลือก็จะให้พลังงานกับแต่ละเฟส ในการหมุนแบบนี้จะเห็นได้ว่า ทิศทางการไหลของกระแสจะไม่เปลี่ยนแปลง ไรการขับมอเตอร์แบบนี้ การเปิดปิดสวิทช์จะกระทำตาม Timing diagram ดังรูปที่ 14



a) Unipolar drive

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

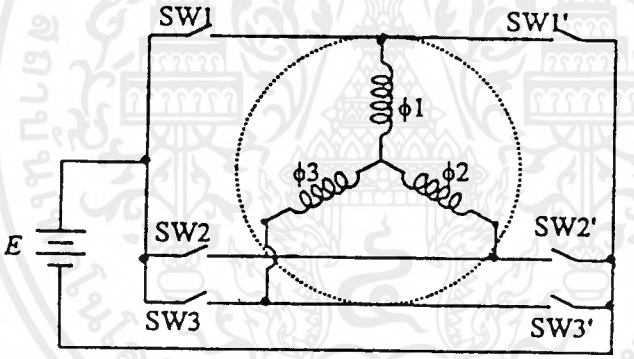


b)Timing diagram

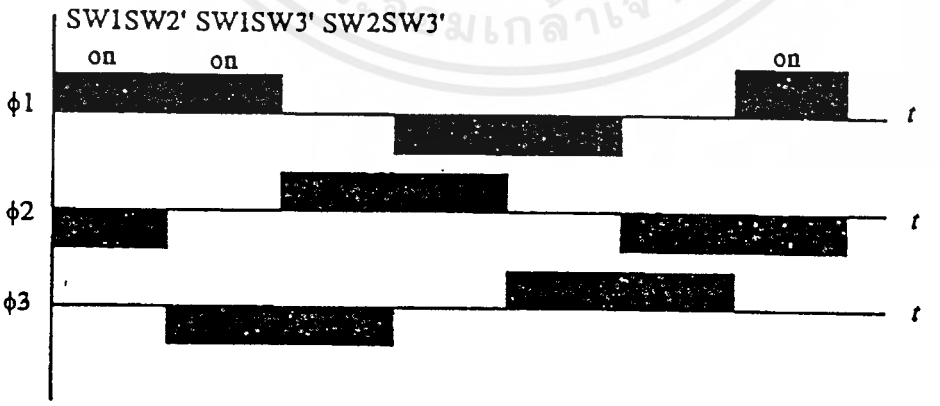
รูปที่ 2.14 Y-connected 3-ϕ motor with neutral line

Bipolar drives

ครานี้เราจะลองพิจารณาการขับมอเตอร์เมื่อไม่มี center tap หรือต่อแบบ Y connection without the center tap แสดงดังรูปที่ 2.15 การขับแบบนี้กระแสจะต้องไหลผ่านทั้งสองเฟส เพื่อทำให้ทิศทางการไหลของกระแสผ่านแต่ละเฟสนั้นสมบูรณ์



(a) Bipolar driver



(b) Timing diagram

รูปที่ 2.15 Driving scheme for 3-ϕ, Y-connected motor without neutral line

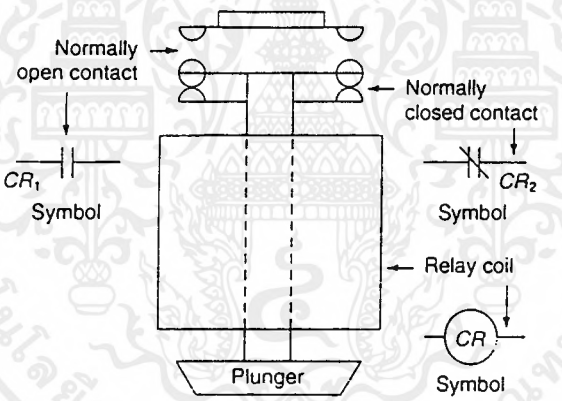
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 รีเลย์ (Relay)

2.2.1 รีเลย์ควบคุมแบบไฟฟ้าเชิงกล

รีเลย์ไฟฟ้าเชิงกล (electromechanical relay : EMR) เป็นสวิทช์แม่เหล็ก ที่ทำหน้าที่เปิดและปิดวงจรของโหลดด้วยการกระตุ้นด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งทำให้เกิดการคอนแทคหรือไม่คอนแทคของวงจร การประยุกต์ EMR มีทั้งในวงจรไฟฟ้าและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ตัวอย่างเช่น การใช้ควบคุมวาล์วการไหล และใช้ควบคุมเครื่องจักรหลายประเภท

โดยปกติรีเลย์จะมีขดลวดเพียงขดเดียว แต่สามารถมีหลายคอนแทคได้ ลักษณะ EMR แสดงในรูปที่ 2.16 รีเลย์ไฟฟ้าเชิงกลประกอบด้วยคอนแทคที่อยู่กับที่และเคลื่อนที่ได้ คอนแทคที่เคลื่อนที่ได้จะติดอยู่กับพลังเจอร์ (plunger) คอนแทคมีทั้งแบบเปิดปกติและปิดปกติ เมื่อกระตุ้นขดลวด ขดลวดจะผลิตสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะทำให้พลังเจอร์เคลื่อนที่ผ่านขดลวดทำให้ปิดการเปิดปกติและเปิดการปิดปกติ ระยะทางที่พลังเจอร์เคลื่อนที่จะไม่เกิน ¼ นิ้ว คอนแทคแบบเปิดปกติจะเปิดเมื่อไม่มีกระแสไหลผ่านขดลวด และจะปิดทันทีเมื่อมีกระแสไหล คอนแทคแบบปิดปกติจะปิดเมื่อขดลวดไม่ถูกกระตุ้นและจะเปิดเมื่อถูกกระตุ้นคอนแทค แต่ละคอนแทคจะถูกดึงออกเมื่อไม่มีการกระตุ้นขดลวดรีเลย์ควบคุมเครื่องจักรกล สามารถเปลี่ยนสลับระหว่างคอนแทคแบบเปิดปกติและปิดปกติได้

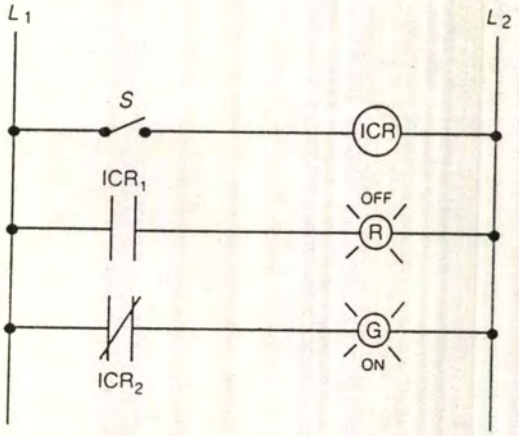


รูปที่ 2.16 EMR

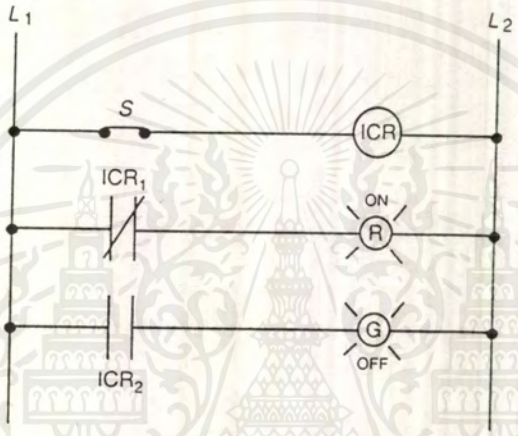
EMR หลายแบบประกอบด้วยชุดคอนแทคหลายคอนแทคในขดลวดเดียวกัน รีเลย์นี้ใช้ควบคุมการทำงานของสวิทช์แบบสวิทช์เดี่ยวหรือหลายสวิทชช์แยกกันได้ การควบคุมด้วยรีเลย์ได้แก่ ใช้ในการควบคุมหลอดไฟสองหลอด ดังแสดงในรูป 2.17 เมื่อสวิทช์เปิดขดลวด ICR จะไม่ถูกกระตุ้นวงจรหลอดไฟสีเขียวจะครบวงจรผ่านปิดปกติ ICR_2 ดังนั้นหลอดจะสว่าง ในขณะเดียวกัน วงจรหลอดไฟสีแดงจะเปิดผ่านการเปิดปกติ ICR_1 ดังนั้นหลอดจะไม่สว่าง ในกรณีที่ปิดวงจร ขดลวดจะได้รับการกระตุ้น คอนแทคเปิดปกติ ICR_1 จะปิดสวิทช์หลอดไฟสีแดงจะสว่าง ในเวลาเดียวกันคอนแทคปิดปกติ ICR_2 จะเปิดทำให้หลอดไฟสีเขียวไม่สว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

36710



(a) Switch open — coil de-energized

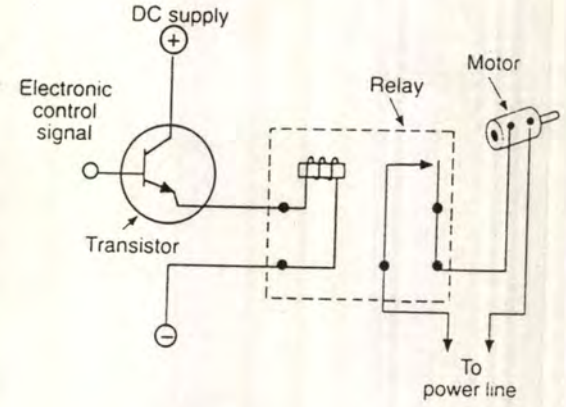


(b) Switch closed — coil energized

รูปที่ 2.17 การใช้รีเลย์ควบคุมสวิทช์

การประยุกต์รีเลย์อีกประการหนึ่งคือการควบคุมโหลดกระแสสูงด้วยวงจรควบคุมกระแสต่ำ ที่เป็นเช่นนี้ได้เพราะว่าคอนแทคทนกระแสได้สูงกว่ากระแสที่กระตุ้นขดลวด ขดลวดรีเลย์ยังสามารถควบคุมได้ด้วยสัญญาณกระแสต่ำจากวงจร IC และทรานซิสเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.18 ในวงจรดังกล่าวนี้สวิทช์อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมสัญญาณให้ปิดหรือเปิดทรานซิสเตอร์ได้ จึงทำให้ขดลวดได้รับการกระตุ้นหรือไม่ได้รับการกระตุ้นกระแสในวงจรควบคุม ซึ่งประกอบด้วยทรานซิสเตอร์และขดลวดรีเลย์มีขนาดน้อยมาก กระแสของวงจรกำลังซึ่งประกอบด้วยคอนแทคและมอเตอร์ขนาดเล็ก จะมีค่ามากกว่ามาก ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 การใช้รีเลย์ควบคุมวงจรโหลดกระแสสูงด้วยวงจรควบคุมกระแสต่ำ

ระดับแรงดันที่กระตุ้นรีเลย์ เป็นผลให้เกิดคอนแทคสวิทชิ่ง มีชื่อเรียกว่าแรงดันพิค-อัพ (pick-up voltage) หลังจากรีเลย์ได้รับการกระตุ้น ระดับแรงดันของขดลวดรีเลย์ที่คอนแทคจะย้อนกลับมาที่เดิม เราเรียกแรงดันนี้ว่าแรงดันดร็อปเอ้าท์ (drop-out voltage) โดยปกติจะออกแบบรีเลย์ไม่ดร็อปเอ้าท์จนกว่าแรงดันจะตกลงมีค่าน้อยที่สุดประมาณ 85% ของอัตราแรงดัน และในขณะเดียวกันขดลวดรีเลย์จะไม่พิค-อัพ จนกว่าแรงดันเพิ่มเป็น 85% ของอัตราแรงดัน โดยปกติขดลวดจะทำงานอย่างต่อเนื่องถึง 110% ของอัตราแรงดันโดยที่ขดลวดไม่เสียหายได้ ในปัจจุบันเราผลิตรีเลย์เป็นโครงสร้างโมดูล ทำให้สามารถป้องกันความชื้นและแรงรบกวนเชิงกลได้

มีความแตกต่างของกระแสในขดลวดรีเลย์จากเวลาที่ขดลวดถูกกระตุ้นครั้งแรก กับเมื่อคอนแทคทำงานอย่างสมบูรณ์ เมื่อขดลวดได้รับการกระตุ้น พลังเจอร์จะเคลื่อนที่ออกมา เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างเส้นทางแม่เหล็ก จึงทำให้กระแสเริ่มต้นในขดลวดมีค่าสูง กระแสในขณะเวลาดังกล่าวนี้มีชื่อเรียกว่า อิน-รัช เคอร์เรนท์ (in-rush current) ขณะที่พลังเจอร์เคลื่อนที่กลับเข้าไปในขดลวด จะทำให้ช่องว่างลดลง ระดับของกระแสจะลดลงมีค่าต่ำลง ซึ่งมีชื่อเรียกว่า ซีลด์-เคอร์เรนท์ (sealed-current) อิน-รัช เคอร์เรนท์ จะมีค่าประมาณ 8 เท่าของซีลด์เคอร์เรนท์ เราจำแนกชนิดของรีเลย์ออกเป็นสองประเภทตามลักษณะการใช้งาน คือ รีเลย์กระแสตรงและรีเลย์กระแสสลับ การใช้งานในแรงดัน กระแส ความต้านทาน และกำลัง ขดลวดรีเลย์ที่มีความไวสูงอาจจะมีอัตรากระแสเป็น mA ซึ่งใช้กันมากในทรานซิสเตอร์หรือ IC

รายละเอียดที่สำคัญควรทราบของรีเลย์คืออัตรากระแส ซึ่งเป็นขนาดกระแสสูงสุดที่คอนแทคของรีเลย์ทนได้ อัตรากระแสของรีเลย์มี 3 แบบ คือ

- อิน-รัช หรือ เมคคอนแทค คาปาซิตี
- กระแสปกติหรือต่อเนื่อง คาปาซิตี
- โอเพนนิ่ง (opening) หรือ เบรค คาปาซิตี

แต่ละคอนแทคจะระบุอัตราระดับแรงดันไม่ว่าจะเป็นไฟสลับหรือไฟตรงไว้ รีเลย์ที่ใช้ในวงจรควบคุมจะมีอัตราแรงดันจาก 0-5A และแรงดันสูงสุด 600V ซึ่งแสดงอัตราที่รีเลย์ทำงานได้ แม้ว่ารีเลย์ที่

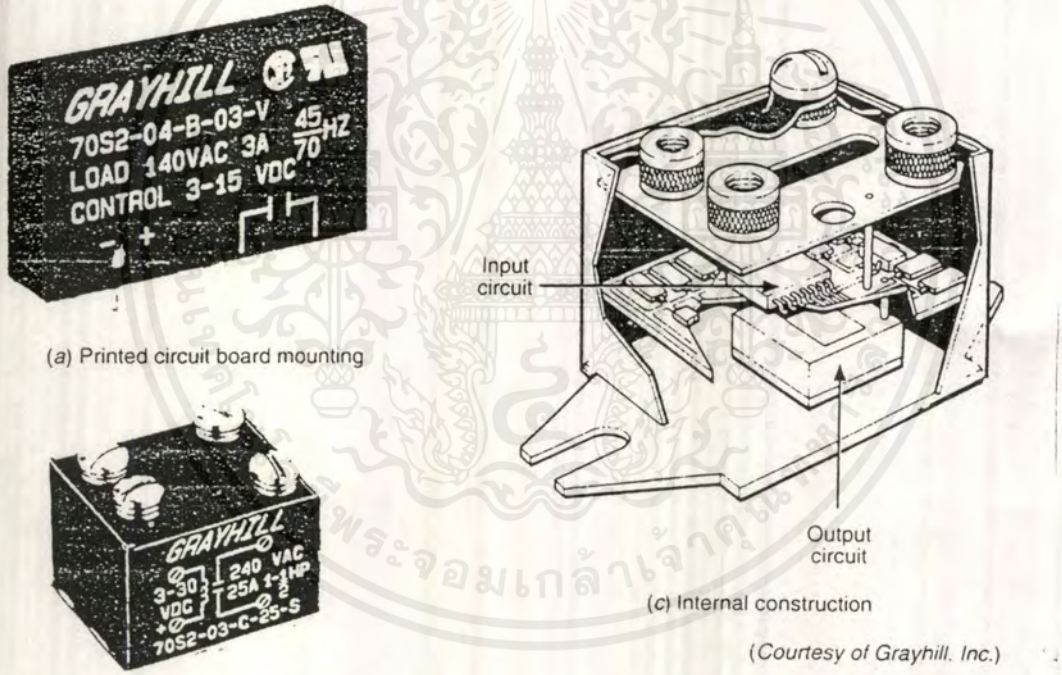
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตจากหลาย ๆโรงงานซึ่งมีลักษณะและโครงสร้างต่างกัน แต่ถ้ามีการระบุรายละเอียดไว้ครบถ้วน สามารถจะใช้งานได้เหมือนกัน

ในปัจจุบันคอนแทคของรีเลย์จะเป็นโละผสมเงิน (silver alloy) มากกว่าจะเป็นทองแดง เนื่องจากโลหะเงินสามารถนำไฟฟ้าได้ดีกว่า แม้ว่าจะเป็นคอนแทคที่เป็นออกไซด์ของเงิน (silver oxide) การนำไฟฟ้าคงดีเท่า ๆเดิม

2.2.2 โซลิดสเตทรีเลย์

หลังจากการใช้รีเลย์ไฟฟ้าเชิงกล EMR ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ หลายสิบปีต่อมาได้มีการเปลี่ยนใช้รีเลย์ชนิดใหม่คือ โซลิดสเตทรีเลย์ (solid state relay ; SSR) ดังแสดงในรูปที่ 2.19 แม้ว่า EMR และ SSR จะได้รับการออกแบบให้ทำหน้าที่คล้ายกัน SSR จะไม่มีขดลวดและคอนแทคใน SSR จะใช้อุปกรณ์สวิทช์แบบสารกึ่งตัวนำ เช่น ไบโพลาร์ MOSFETs SCRs หรือไตรแอค ในกรณีของ SSR จะไม่มีส่วนใดของอุปกรณ์เคลื่อนไหว จะมีระบบป้องกันการสั่นและมีตัวถังเพื่อป้องกันฝุ่นและความชื้น



(a) Printed circuit board mounting

(b) Bulkhead mounting

(c) Internal construction

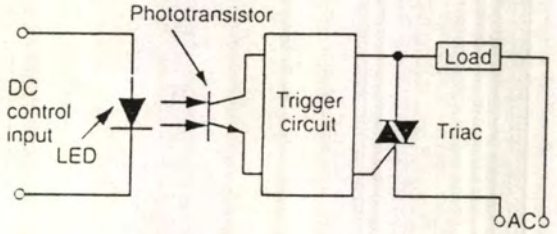
(Courtesy of Grayhill, Inc.)

รูปที่ 2.19 โซลิดสเตทรีเลย์แบบต่าง ๆ

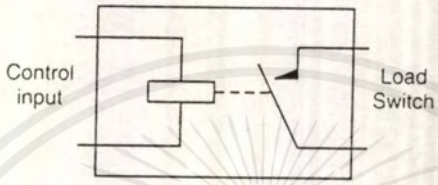
การประยุกต์ใช้ SSR จะเหมือนกับ EMR คือการแยกวงจรควบคุมแรงดันต่ำจากวงจรควบคุมแรงดันสูง บล้อคไดอะแกรม การใช้แสงควบคู่กับ SSR แสดงในรูปที่ 2.20 ไดโอดจะเปล่งแสงออกมาเมื่อวงจรถูกกระตุ้นด้วยรีเลย์ แสงจากไดโอด LED จะฉายตกกระทบกับโฟโตทรานซิสเตอร์ ทำให้เกิดการนำไฟฟ้า จึงเกิดกระแสทริกเกอร์ป้อนให้กับไตรแอค ด้วยเหตุนี้เอ้าท์พุทจึงแยกจากอินพุทโดย LED และโฟโตทรานซิสเตอร์ เช่นเดียวกับกรณีที่แม่เหล็กไฟฟ้าแยกอินพุทจากคอนแทคสวิทช์ด้วย EMR เนื่องจากใช้ลำแสงควบคุมจึงไม่มีแรงดันสไปด์หรือสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับโหลดที่ต่อเข้ากับ SSR โดยมากจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขียนสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมหรือสามเหลี่ยมแทนตัวรีเลย์ วงจรภายในจะไม่แสดงไว้ในสัญลักษณ์ดังกล่าวจะแสดงไว้แต่เส้นแสดงการต่ออินพุทและเอ้าท์พุท



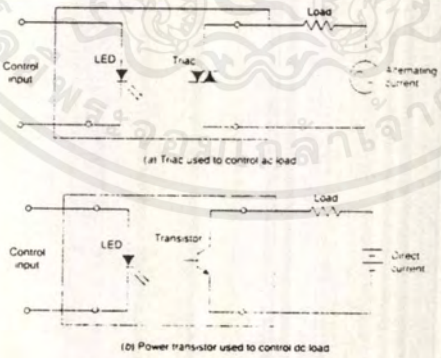
(a) Internal circuit



(b) Schematic symbol

รูปที่ 2.20 SSR กับ LED

เราสามารถใช้โซลิดสเตทรีเลย์ควบคุมโหลดกระแสสลับและกระแสตรง ดังแสดงในรูป 2.21 ในกรณีที่ออกแบบให้รีเลย์ควบคุมโหลดกระแสสลับจะใช้ไตรแอคต่อโหลดเข้ากับสายเมน ปกติจะใช้ SSR เป็นตัวควบคุม กระแสตรงจะใช้พาวเวอร์ทรานซิสเตอร์แทนไตรแอคต่อเขากับวงจรโหลด เมื่อเปิดแรงดันให้กับ LED โฟโตคอนดักเตอร์จะต่อที่เบสของทรานซิสเตอร์ทำให้ทรานซิสเตอร์เปิดและต่อโหลดเข้ากับสายเมน

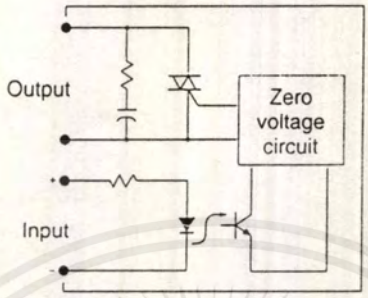


รูปที่ 2.21 การควบคุมโหลดกระแสสลับและกระแสตรง

การควบคุมแรงดันสำหรับ SSR อาจจะเป็นกระแสตรงและกระแสสลับ ซึ่งอยู่ระหว่าง 3-32V สำหรับกระแสตรง และอยู่ระหว่าง 80-280V สำหรับกระแสสลับ กระแสสูงสุดของวงจรโหลดมีค่า 50A ในขณะแรงดันอินพุทอยู่ในอัตรา 120,240 และ 480 Vac ในการประยุกต์ส่วนมากจะใช้ SSR เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างวงจรควบคุมแรงดันต่ำกับแรงดันไฟสลับขนาดสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ SSR ควบคุมโหลดกระแสสลับมีลักษณะที่เรียกว่า ซีโรสวิทชิ่ง (zero switching) ดังแสดงในรูป 2.22 การควบคุมแบบซีโรสวิทชิ่งนี้เป็นการแน่ใจว่ารีเลย์จะเปิดหรือปิดเมื่อเริ่มปรากฏแรงดันไฟสลับที่ตำแหน่งตัดกัน การสวิทชิ่งแรงดันซีโร่ใช้เพื่อลดกระแสอิน-รัช และการแทรกสอดความถี่วิทยุ (radio frequency interference ; RFI)



AC SSR utilizing zero voltage turn-on
and zero current turn-off of the load

รูปที่ 2.22 ซีโร่สวิทชิ่ง

SSR มีข้อได้เปรียบเหนือ EMR หลายประการ SSR มีความน่าเชื่อถือมากกว่า และอายุการใช้งานนานกว่า เพราะไม่มีส่วนใดของอุปกรณ์เคลื่อนไหว นอกจากนี้ยังใช้ร่วมกับทรานซิสเตอร์และวงจรรวม (IC) ได้โดยไม่เกิดการแทรกสอดทางแม่เหล็กไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมีเวลาตอบสนองเร็วกว่า SSR ที่มีข้อได้เปรียบหลายประการดังกล่าวข้างต้นนั้น มีข้อเสียเปรียบอยู่บ้างคือเนื่องจากเป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำจึงมีโอกาสเสียหายได้ จากการชึมซับ แรงดันและกระแสสูงฉับพลัน SSR จะมีการสวิทชิ่งแบบ ออน-สเตท รีซิสแตนท์ (On-state resistance) และ ออฟสเตท ลีคเกจ เคอร์เรนท์ (Off-state leakage current)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

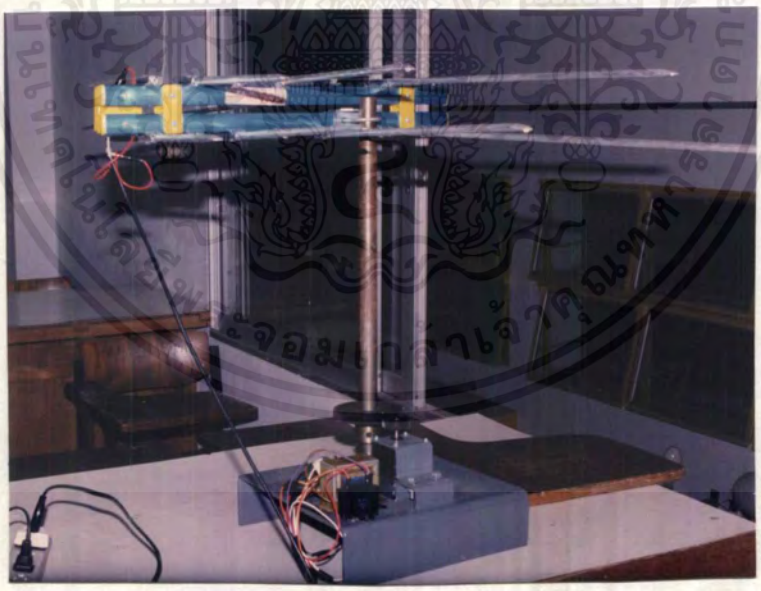
บทที่ 3
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.1 การเลือกใช้มอเตอร์

จะเห็นได้ว่า step motor นั้นมีความเหมาะสมมากที่สุดที่เราควรนำมาใช้ในโครงงานพิเศษนี้ เนื่องจากสามารถควบคุมให้หมุนเป็นสเต็ปได้ง่ายและให้แรงบิดสูง แต่เนื่องมาจากเมื่อไปหาซื้อจริงๆนั้น ปรากฏว่า step motor ในตลาดบ้านเราขณะนี้มีราคาค่อนข้างแพงมากเมื่อต้องการ8 แรงบิดที่ค่อนข้างสูง ไม่สามารถซื้อหามาได้ จึงจำเป็นต้องหันมาใช้ ac มอเตอร์ที่มีชุดเกียร์แทน เนื่องจากมีแรงบิดมาก, หาซื้อได้ง่ายและมีราคาที่ค่อนข้างถูก แล้วทำการทดเฟืองเข้าไปอีก 2 ตัว เพื่อทำให้อัตราเร็วในการหมุนต่อรอบลดลง

คุณสมบัติของมอเตอร์ที่เลือกใช้

- AC motor
- 100V / 0.25A
- ความเร็วต่อรอบ (เมื่อทดเฟืองเพิ่มแล้ว) 8 วินาที/รอบ
- counter clockwise (หมุนได้ 2 ทาง)



รูปที่ 3.1 มอเตอร์และชุดเฟือง, และการประกอบเข้ากับเสาอากาศ

3.2 การเลือกใช้รีเลย์

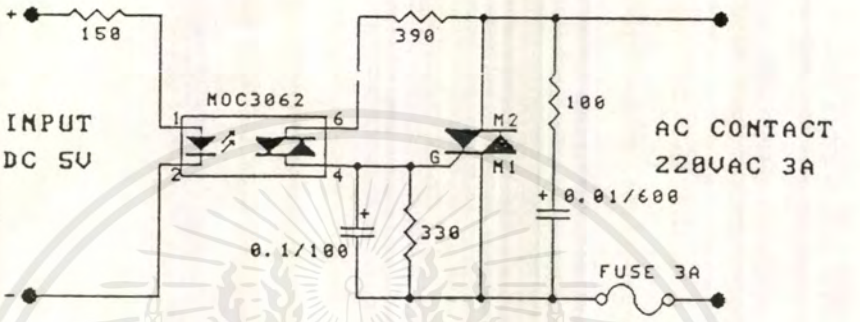
รีเลย์ที่เลือกใช้ในการตัดต่อแรงดันไฟ ac เป็น solid state relay โดยใช้ triac เป็นตัวควบคุม ทั้งนี้จะไม่มีการตัดต่อแบบหน้าสัมผัส จึงตัดปัญหาเรื่องไฟสปาร์ค ทำให้มีอายุการใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นานกว่า และไม่เกิดสัญญาณรบกวนต่อระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถควบคุมด้วยสัญญาณระดับ logic TTL ได้โดยตรง (0-5Vdc)

คุณสมบัติ

1. สามารถใช้กับไฟ 220 Vac กระแส 3A (ตัว Triac ใช้รุ่นกระแส 6 A)
2. การตัดต่อจะกระทำที่แรงดัน input ระดับ 0 (Zero Voltage Crossing)
3. แรงดัน input DC 5 V กระแส 10 mA



รูปที่ 3.2 วงจร SSR

3.3 การเลือกใช้ micro-controller

สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการทำโครงงานพิเศษชิ้นนี้ จะเป็นเบอร์ AT89C2051 ของ ATMEL ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

Single Chip Microcomputer Interfacing

AT89CX051เป็นชิปไมโครคอมพิวเตอร์ขนาดจิ๋วผลิตโดยATMELชุดคำสั่งและสถาปัตยกรรมภายในจะเหมือนกับไมโครคอมพิวเตอร์ตระกูลMCS-51และมีจุดเด่นดังนี้

1. สามารถใช้แทนไมโครคอมพิวเตอร์ ตระกูล MCS-51ได้
2. มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็น Flash memory ขนาด 2 KB (สามารถลบด้วยไฟฟ้าได้) ต่างกับ MCS-51 ซึ่งมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบ EPROM และใช้แสง UV ในการลบ
3. สามารถเขียนและลบใหม่ได้มากกว่า 1,000 ครั้ง
4. โปรแกรมที่บันทึกไว้ในชิปสามารถเก็บได้นานถึง 10ปีโดยไม่ต้องใช้ไฟเลี้ยง (Nonvolatile memory technology)
5. ใช้ไฟเลี้ยงได้ตั้งแต่ 2.7V - 6V
6. ออสซิลเลเตอร์สามาป้อนได้ตั้งแต่ 0 Hz - 24 MHz
7. สามารถล็อคโปรแกรมได้สองระดับ
8. หน่วยความจำข้อมูลบนชิปขนาด 128 ไบท์
9. มี Input/Output Port 15 บิท

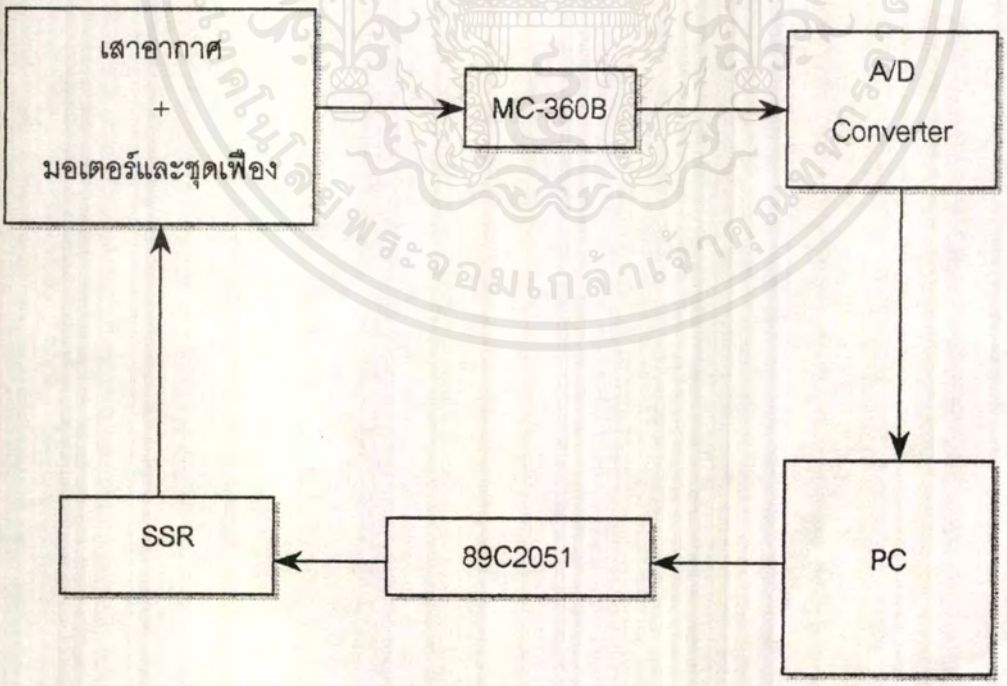
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. มีตัวนับและตั้งเวลาขนาด 16 บิท 2 ตัว
11. มีอินเทอรัพท์ 5 แหล่ง
12. มีพอร์ตอนุกรมแบบ UART (RS-232) สามารถโปรแกรมความเร็วในการรับส่งข้อมูลได้
13. Output Port สามารถขับ LEDได้โดยตรงด้วยกระแส Sink20mA
14. มีอนาลอกคอมพาราเตอร์บนชิป
15. มีโหมด Idle และ Power down ช่วยในการประหยัดพลังงาน

จากความสามารถและจุดเด่นดังกล่าวจะเห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบAT89CX051นี้กับMCS-51ซึ่งมีโปรแกรมภายในแบบEPROMในแง่ของการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมขนาดเล็กหรือในงานควบคุมขนาดเล็กเราอาจใช้ชิปAT89CX051ได้สะดวกกว่าเพราะขณะพัฒนาโปรแกรมเราสามารถล้างโปรแกรมด้วยสัญญาณไฟฟ้าจะกินเวลาไม่เกิน5วินาทีในขณะที่ชิปตระกูลMCS-51เวลาล้างโปรแกรมต้องใช้UVซึ่งใช้เวลามากกว่า5นาทีทำให้การพัฒนาทำได้ยากลำบากกว่า

3.4 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ

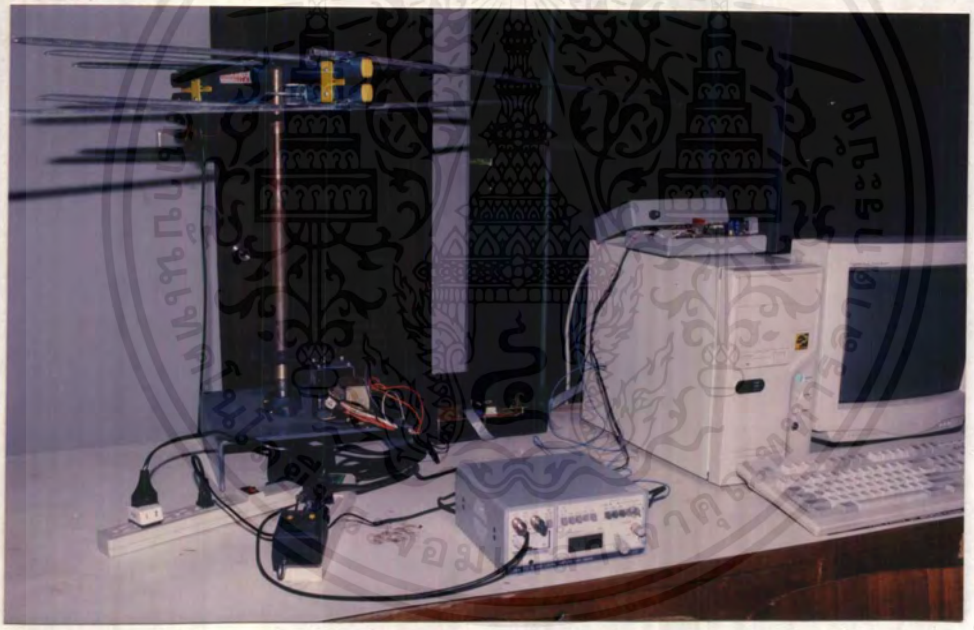
สามารถแสดงเป็นบล็อคไดอะแกรมได้ดังรูป



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรม แสดงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.2 สามารถอธิบายการเชื่อมต่ออุปกรณ์ได้โดย ขั้นแรกเสาอากาศซึ่งติดอยู่กับชุดมอเตอร์และเฟืองจะรับสัญญาณเข้ามา จากนั้นจะส่งสัญญาณผ่านสายสัญญาณมายังเครื่อง MC-360B เพื่อทำการ Demodulate สัญญาณ และวัดค่ากำลังของสัญญาณออกมาในรูปของสัญญาณ Analog จากนั้นสัญญาณที่ได้จะผ่านอุปกรณ์ A/D converter เพื่อแปลงค่าสัญญาณเป็น Digital และส่งค่าผ่านทางพอร์ต COM1 (DB-9) ของ PC เพื่อทำการเก็บค่าสัญญาณไว้รอการวิเคราะห์ จากนั้นจะส่งคำสั่งออกทางพรินเตอร์พอร์ต เพื่อสั่งให้ Microcontroller 89C2051 นั้นทำงานโดยควบคุมการเปิดปิด SSR ให้หมุนในสเต็ปต่อไป เมื่อเสาอากาศหมุน ก็จะทำการส่งค่าไปเรื่อย ๆตามขั้นตอนแรก จนเมื่อเสาอากาศหมุนครบรอบแล้ว PC ก็จะทำการประมวลผลค่าที่ได้ทั้งหมดออกมาในรูปแบบของกราฟ



รูปที่ 3.3 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมด และการเชื่อมต่อกับ PC

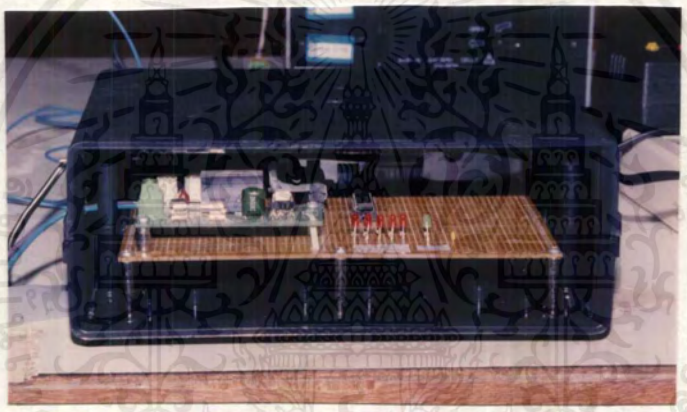
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การทำงานของวงจร

ในโครงงานพิเศษนี้เป็นการควบคุมการหมุนของ ac มอเตอร์ ให้หมุนครั้งละ 2 องศา โดยใช้ micro-controller 89C2051 ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรทั้งหมด โดยแบ่งหน้าที่สัญญาณของค่าต่าง ๆดังนี้

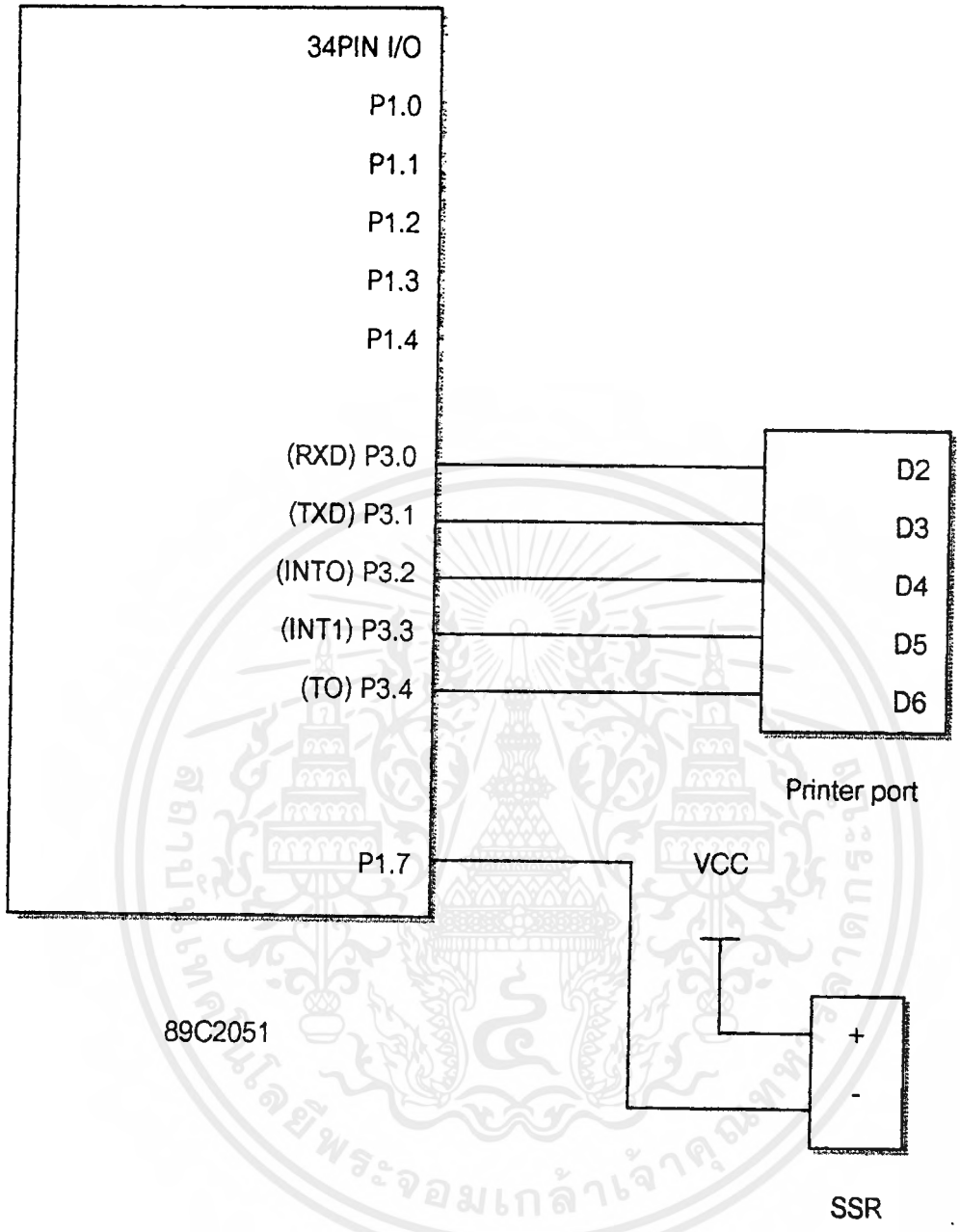
P3.0-P3.4 จะทำหน้าที่เป็น Input Port ซึ่งจะรับค่า Command code ซึ่ง interface กับ Parallel Port ของ PC. ที่ขา D2-D6 โดยมีวงจร Line driver เป็นตัวช่วยขับกระแสโดยใช้ IC 74LS244

P1.7 จะเชื่อมต่อกับ Solid-State Relay (SSR) ซึ่งจะมีวงจรจุดตัดศูนย์ (zero crossing point) เพื่อป้องกันการกระชากของไฟ ac.



รูปที่ 3.4 กล่องชุดควบคุม 89C2051 และ SSR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

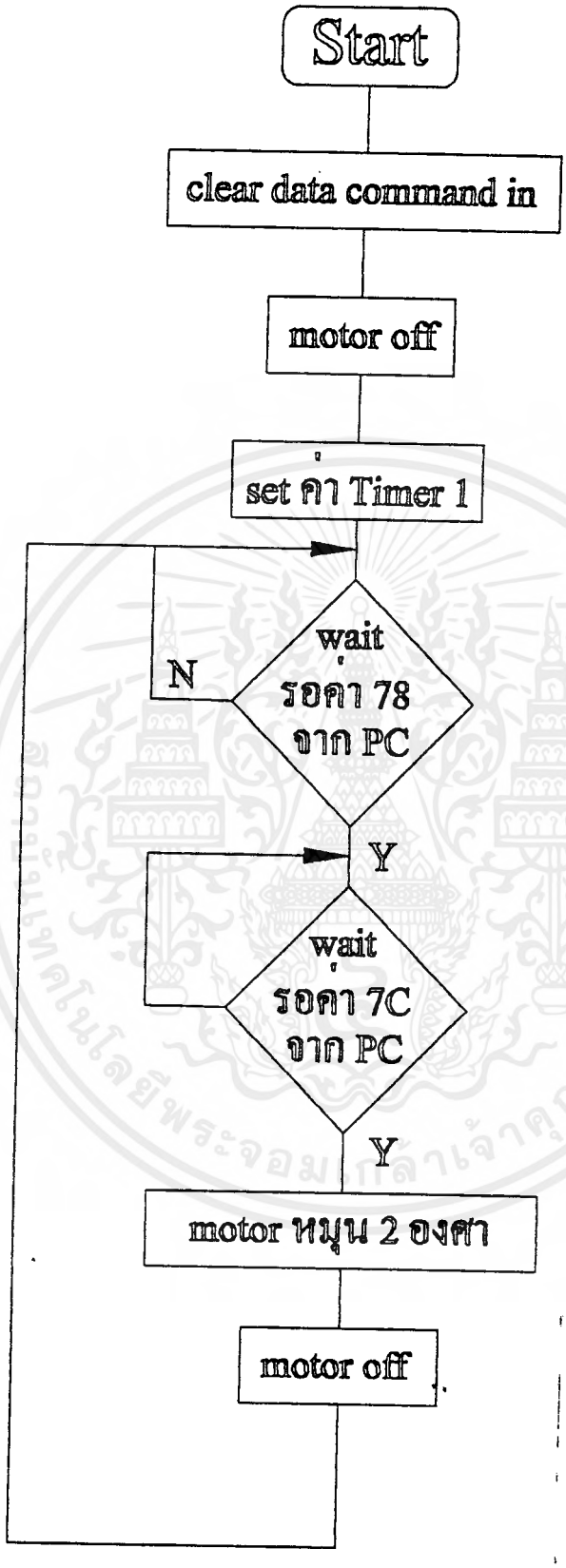


รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมการเชื่อมต่อ 89C2051 กับ SSR

3.6 การโปรแกรม

สามารถแสดง flow chart ของการเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 flow chart ของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
สรุปผลและแนวทางการพัฒนา

4.1 สรุปผลการดำเนินงาน

เมื่อเราต่อวงจรสำหรับขับมอเตอร์ และสร้างชุดแท่นสำหรับยึดมอเตอร์ให้แน่นหนาแล้ว หลังจากการโปรแกรมและทำการเชื่อมต่อ micro-controller กับ Computer โดยผ่านทาง Parallel Port แล้วพบว่ามอเตอร์สามารถหมุนได้ตามที่ต้องการค่อนข้างแม่นยำ ซึ่งอาจมีการคลาดเคลื่อนทางมุมที่ได้ไปบ้าง เนื่องมาจากน้ำหนักของสายอากาศที่ใช้แต่ละแบบจะไม่เท่ากัน ทั้งนี้เป็นไปตามตารางซึ่งได้จากการทดสอบดังนี้

θที่ต้องการ °	θที่วัดได้ ° (+น้ำหนักเสา)	θที่ต้องการ °	θที่วัดได้ ° (+น้ำหนักเสา)
10	9.5	190	186.5
20	19	200	196
30	28.5	210	206
40	38.5	220	215.5
50	48	230	225.5
60	58.5	240	235
70	68	250	245.5
80	79	260	255
90	88.5	270	264.5
100	97.5	280	274.5
110	108	290	284
120	118	300	294.5
130	127.5	310	304.5
140	137.5	320	313.5
150	147	330	323.5
160	157.5	340	334
170	167	350	342.5
180	176.5	360	353

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงการหมุนจริงของเสาอากาศเทียบกับมุมที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

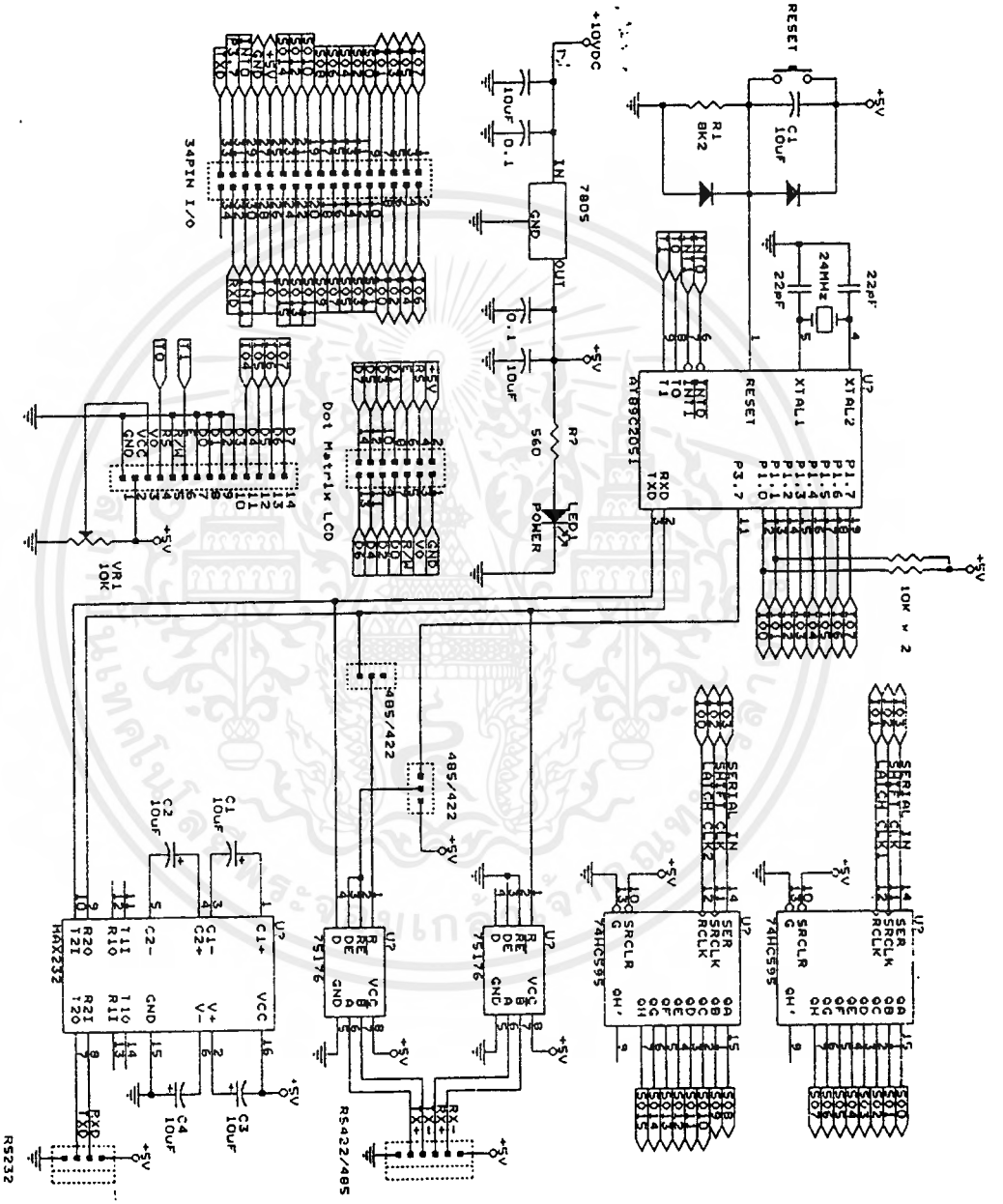
4.2 แนวทางการพัฒนาในขั้นต่อไป

เนื่องจากขีดจำกัดเกี่ยวกับสายสัญญาณซึ่งขณะนี้ใช้ติดตายกับเสาอากาศ ทำให้การหมุนเพื่อทดสอบนั้นสามารถกระทำได้เพียง 1 รอบเท่านั้น หากเกินกว่านี้จะทำให้สายสัญญาณพันกับโคนเสาอาจเกิดการชำรุดเสียหายได้ และขณะนี้จะเห็นได้ว่าการวัดกระทำได้ในบริเวณใกล้ๆกับคอมพิวเตอร์เท่านั้น หากจะทำการวัดห่างจากคอมพิวเตอร์มากๆ ก็จะต้องเพิ่มความยาวของสายสัญญาณอีก ดังนั้นหากจะมีการพัฒนาต่อไป น่าจะมีการส่งค่าสัญญาณที่วัดได้ออกมาในรูปคลื่นวิทยุหรือสัญญาณแสง เพื่อให้สามารถกระทำการวัดได้ในระยะไกลยิ่งขึ้น เพราะหากเรานำเสาอากาศไปตั้งในที่สูงๆและโล่ง จะทำให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องแน่นอนยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;Program    The program is control AC motor 360 degree 180 steps
;Hardware   uC Atmel 89c2051
;          in     => p3.0 - p3.4
;          out mot => p1.7
;Date       Apl/3/1999
;File       Attn.asm  version 3.0
;---------- variable -------------
      motor  equ    p1.7       ;drive ssr
      start  equ    00011110b  ;command form PC
      endf   equ    00h
;---------- start main program -----------
      org    00h
      ljmp   bgn               ;main program
      org    1bh
      ljmp   tf1vec
bgn:  mov    p3,#0ffh          ;clear data in
      setb   motor             ;motor off
      setb   ea                ;initial all interrupt
      setb   et1               ;initial timer 1
      mov    tmod,#10h         ;set timer1 mode1
      mov    th1,#180
      mov    tl1,#195
      mov    r0,#0             ;power up delay
      djnz   r0,$
      mov    sp,#50h           ;set stack pointer over

bgn1: setb   endf
      mov    p3,#0ffh
bgn2: mov    c,p3.0
      jc     bgn2              ;chk start
      jnb    p3.0,$
bgn21: setb  tr1               ;timer 1 enable
      clr    motor             ;motor on
      jb     endf,$
      clr    tr1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        jmp     bgn1
; --------- end main program --------
;tf1vector
;To start motor  and lotate 2 degree
tf1vec: push    acc
        setb    motor
        clr     endf
tf1ex:  mov     th1,#180
        mov     tl1,#195
        pop     acc
        reti
        end                     ;--- file close ---
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. Hi-Dong chai, Electromechanical Motion Device, pp. 171-189, New Jersey; Prentice Hall, 1998.

2. Theodore Wild1, Electrical Machine, drivers and power system (second edition), pp. 85-107, New Jersey; Prentice Hall, 1981.

3. Frank D. Petruzella, Industrial Electronics , pp. 223-237, McGraw-Hill, 1998.

4. รศ.ยืน ภู่สุวรรณ – สุธี จันทรัตนวงศ์, "เทคนิคการออกแบบและติดตั้งเสาอากาศโทรทัศน์-เอฟเอ็ม", หน้า 53-61, ซีเอ็ดยูเคชั่น , 2532.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้