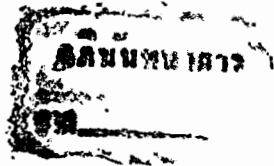




ปีการศึกษา 2530  
การพัฒนาระบบการติดตามดวงอาทิตย์



ปริญญาโทบริหารการศึกษา 2530

ภาควิชา วิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาระบบการติดตามดวงอาทิตย์

ผู้จัดทำ

- 1 นาย ชวลิต คูศิริวัฒนกุล
- 2 นาย ธงชัย วัฒนารเวทย์

.....  
( รศ.ดร. โยธิน เปรมปราณีรัชต์ )



## การพัฒนาระบบการติดตามดวงอาทิตย์

ธงชัย วัฒนรวเวทย์

ชวลิต คูศิริวัฒนกุล

รศ.ดร. โยธิน เปรมปราณีรัชต์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2530

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เรียบเรียงขึ้นจากผลงานการพัฒนาโครงการระบบการติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์นี้ ซึ่งอาศัยหลักการบังเงาจากแสงอาทิตย์บนตัวความต้านทานที่ลดค่าตามความเข้มของแสง (Light Decreasing Resistance) ซึ่งทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์ ทำให้ค่าความเข้มแสงที่ตกบนเซนเซอร์เปลี่ยนแปลงไปในลักษณะต่าง ๆ เมื่อประกอบกับวงจรเปรียบเทียบ (Comparator) แล้ว นำมาเป็นข้อมูลส่งผ่านวงจรเชื่อมต่อ (Interface) เข้าไปยังหน่วยประมวลผลกลาง ประมวลผลตามโปรแกรมควบคุม แล้วส่งข้อมูลผ่านวงจรเชื่อมต่ออีกครั้งหนึ่ง เพื่อส่งไปยังวงจรขับ (Driver circuit) เพื่อขับสเตปมอเตอร์ (step motor) ให้เคลื่อนชุดเซนเซอร์ไป ซึ่งในตอนแรกจะมีการค้นหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ก่อน แล้วจึงทำการติดตามต่อไป เพื่อให้ตัวเซนเซอร์ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลา

# SOLAR TRACKING CONTROL SYSTEM

Chawalit Kusiriwattanakul

Thongchai Wattanaworawed

Associate Professor Yothin Prempranerach Advisor

1987

## Abstract

On the project of Solar Tracking Control System we have the main idea to show about " Searching at First & Tracking Then ". In the system we use Light Decreasing Resistance (LDR) like a set of sensor. By the principle of shading, light on the sensor is transferred to be variable analog signal. This signal is compared with a reference in the comparator circuit and output the digital data to the interfacing circuit. From the interfacing circuit the data is enable on the data bus and it is strobed into the central processing unit (CPU). Under the program CPU executes the data and output the controled data to interfacing circuit which passes the data to amplify in the driver circuit and drives the step motor to moves the sensor to the right angle to the sun.

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 พฤติกรรมของดวงอาทิตย์	3
บทที่ 3 การบังเงา	7
บทที่ 4 การจัดข้อมูล	10
บทที่ 5 ตัวขับและแหล่งจ่ายไฟ	12
บทที่ 6 สเตปมอเตอร์	15
บทที่ 7 วงจรเชื่อมประสาน	19
บทที่ 8 หลักการประยุกต์และติดตั้งตัวต้านทานลดค่าความเข้มแสง	24
บทที่ 9 ระบบทางกลและการหมุนของสเตปมอเตอร์	27
บทที่ 10 แนวทางการออกแบบโปรแกรม	29
บทที่ 11 โปรแกรม	32
บทที่ 12 ผลการทดลอง	
บทที่ 13 สรุปและวิจารณ์	

## บทที่ 1

## บทนำ

ในสถานการณ์ปัจจุบัน โลกมีความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แต่แหล่งพลังงานกลับลดน้อยลงทุกที พลังงานจากแสงอาทิตย์จึงมีความสำคัญมากขึ้นเรื่อย ๆ แต่ประสิทธิภาพของ เซลล์แสงอาทิตย์ (solar cell) ที่ใช้แปลงพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้ายังมีข้อจำกัดอยู่

องค์การนาซา (NASA) แห่งสหรัฐอเมริกา เป็นผู้กำหนดมาตรฐานของพลังงานแสงอาทิตย์ เรียกว่า " แอร์แมส " (AIR MASS)



โดยกำหนดให้ แอร์แมส 1 ที่ระดับน้ำทะเล เมื่อแสงอาทิตย์ตั้งฉากกับผิวโลกมีค่า  $100 \text{ mW/cm}^2$  เขียนย่อ ๆ ว่า AM 1

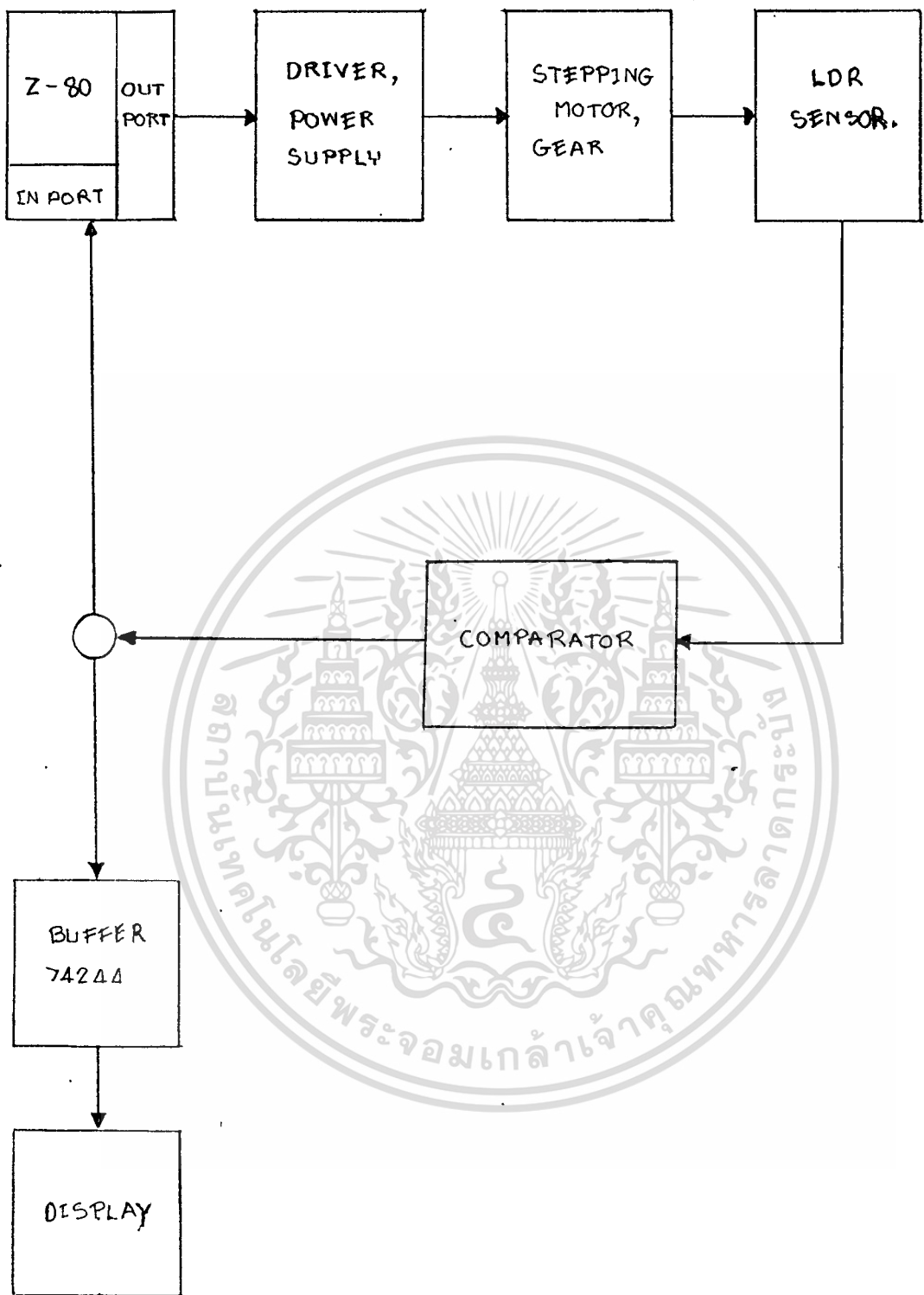
$$\therefore \text{AM } 1 = 1 / \cos 0^\circ = 1$$

$$\text{AM } 2 = 1 / \cos 60^\circ = 2$$

ดังนั้น จะเห็นว่าบนพื้นโลกที่ AM 1 จะได้รับพลังงานแสงสูงสุด คือจุดที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก เมื่อเราใช้ระบบติดตามแสงอาทิตย์ (solar tracking control system) มาควบคุมแผงพลังงานแสงอาทิตย์ให้ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งวัน ทำให้ได้รับพลังงานแสงในการเปลี่ยนมาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดด้วย

ลักษณะทั่ว ๆ ไปของระบบติดตามแสงอาทิตย์ คือ ใช้ แอล.ดี.อาร์. (Light Decreasing Resistance) เป็นตัวตรวจจับการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงด้วยวิธีบังเงา แล้วส่งข้อมูลมาให้ตัวเปรียบเทียบ (comparator) เพื่อเปรียบเทียบให้เกิด ดิจิตอล บิต (digital bit) 0 และ 1 ส่งบิต 0 และ 1 นี้ มาแสดงผลออกทาง แอล.อี.ดี. (Light Emitting Diode) และส่งข้อมูลไปยัง 8255 ให้ตัวประมวลผล Z-80 ทำการประมวลผล หลังจากนั้นจะให้ข้อมูลออกมาให้วงจรขับ (Driver) เพื่อให้สเตปมอเตอร์ (step motor) ให้เคลื่อน แอล.ดี.อาร์. ไปยังตำแหน่งที่เราต้องการ แสดงดังรูป 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 1.1 ระบบติดตามแสงอาทิตย์

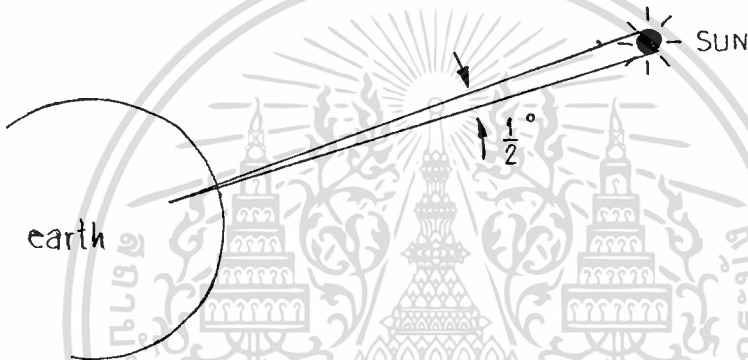
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

## พฤติกรรมของดวงอาทิตย์

จากการศึกษาพฤติกรรมของดวงอาทิตย์ที่มีผลมายังบรรยากาศ และพื้นโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทย มีข้อสรุปได้ดังนี้

ระยะทางระหว่างดวงอาทิตย์กับโลกยาวประมาณ 149,๐๐๐,๐๐๐ กิโลเมตร และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของดวงอาทิตย์คือ 1,๓94,๐๐๐ กิโลเมตร เพราะฉะนั้น ณ จุดใด ๆ บนพื้นโลกมองขึ้นไปยังดวงอาทิตย์ จะเห็นดวงอาทิตย์ครอบคลุมขนาดไปประมาณครึ่งองศา และจากที่ทราบว่าโลกหมุนรอบตัวเองใช้เวลาประมาณ 24 ชม. เพราะฉะนั้นดวงอาทิตย์จะเคลื่อนตำแหน่งไป 1 องศา จะใช้เวลา 4 นาที



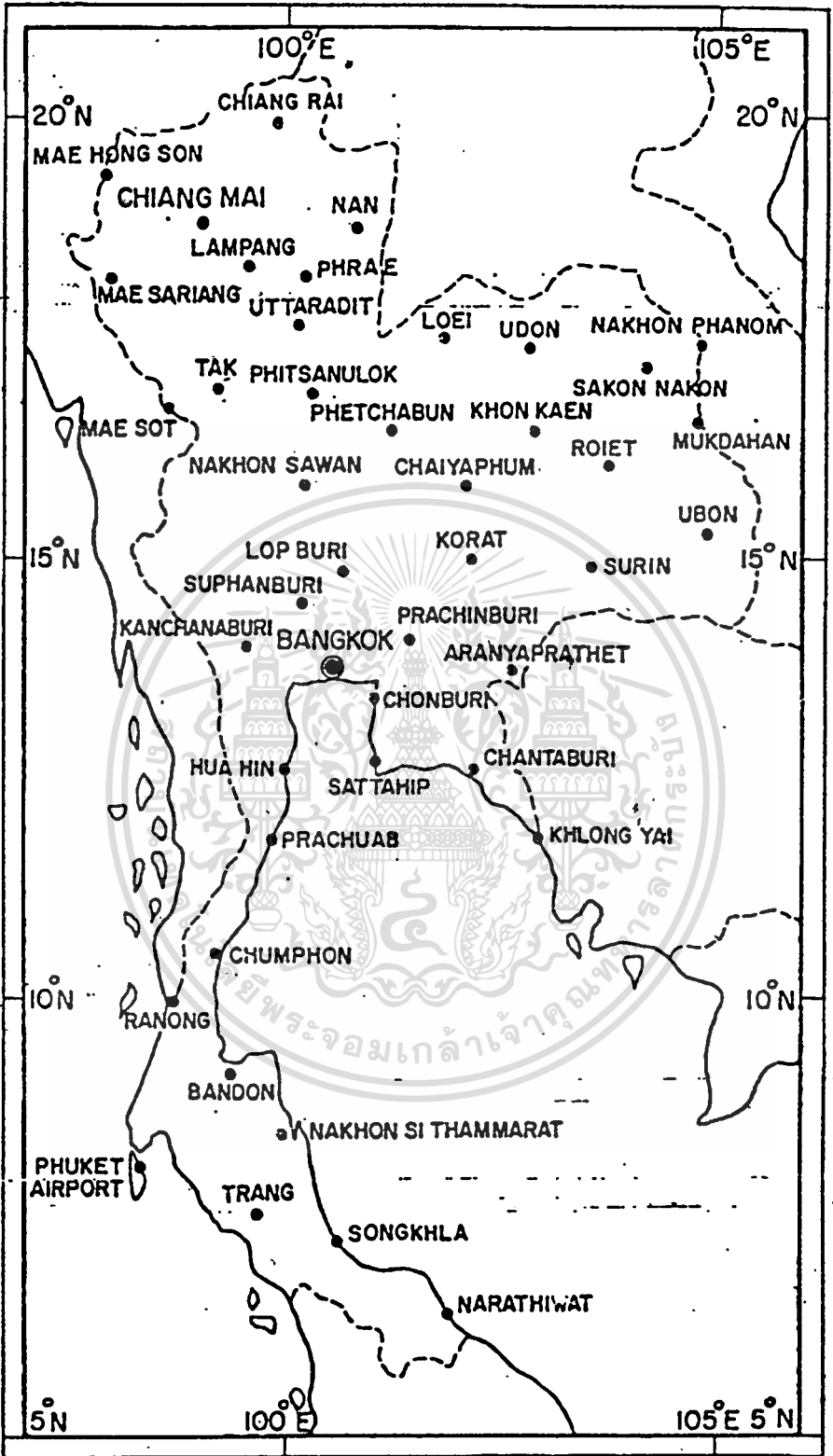
รูป 2.1 แสดงขนาดของดวงอาทิตย์ เปรียบเทียบกับระยะทางจากโลกกับดวงอาทิตย์

พลังงานที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 2 ทางคือ จากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลกโดยตรงทางหนึ่ง และจากการแตกกระจายของแสงในบรรยากาศที่ห่มห่อโลกอีกทางหนึ่ง แสงที่ตกกระทบพื้นโลกโดยตรงมีค่าความสว่างมาตรฐาน ๐.9 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ส่วนที่แตกกระจายในบรรยากาศจะมีค่า ๐.1 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรในวันที่ฟ้ากระจ่าง และมีส่วนที่อยู่ระหว่าง ๐.3 ถึง ๐.6 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ในวันที่มีเมฆหมอกมาก

สำหรับในประเทศไทยนั้น จะได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์สูงสุด ราว 20 เมกะจูลต่อตารางเมตร ใน 1 วัน ระหว่างวันที่ร้อนที่สุดในฤดูร้อน ส่วนค่าที่น้อยที่สุดจะน้อยกว่า 15 เมกะจูลต่อตารางเมตรใน 1 วัน ในช่วงฤดูฝน และพลังงานที่แตกกระจายในบรรยากาศมีค่าเฉลี่ย 8.4 เมกะจูลต่อตารางเมตร ใน 1 วัน ค่าความเข้มของแสงมีค่าอยู่ในช่วง 0.58 ถึง 0.81 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร

ต่อไปเป็นการสรุป การวัดผลของพลังงานจากดวงอาทิตย์ในประเทศไทยโดยที่ข้อมูลได้รับจากการวัดที่ตำแหน่งต่างๆ ดังรูป 2.2 และแบ่งช่วงการวัดเป็น 8 คาบ ในแต่ละคาบ นานหนึ่งเดือนครั้ง ดังตาราง 2.1 ค่าพลังงานที่วัดได้จะแสดงไว้ในตาราง 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

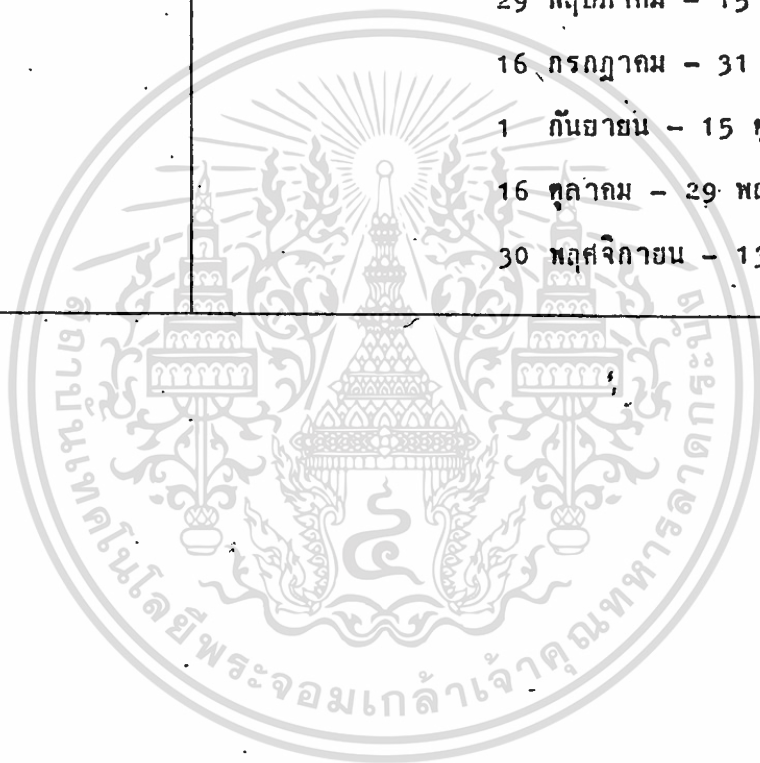


รูป 2.2 ตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้เป็นสถานีตรวจสอบ

การนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านก  
 ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไป

ตาราง 2.1 แสดงการแบ่งช่วงคาบเวลาต่างๆ ใน 1 ปี

คาบที่	ช่วงเวลา
1	14 มกราคม - 26 กุมภาพันธ์
2	27 กุมภาพันธ์ - 12 เมษายน
3	13 เมษายน - 28 พฤษภาคม
4	29 พฤษภาคม - 15 กรกฎาคม
5	16 กรกฎาคม - 31 สิงหาคม
6	1 กันยายน - 15 ตุลาคม
7	16 ตุลาคม - 29 พฤศจิกายน
8	30 พฤศจิกายน - 13 มกราคม



ตาราง 2.2 ค่าพลังงานความร้อนที่ได้รับ (ในวันที่ฟ้ากระจ่าง) ณ เส้นรุ้งต่างๆ

ในแต่ละช่วงคาบเวลา

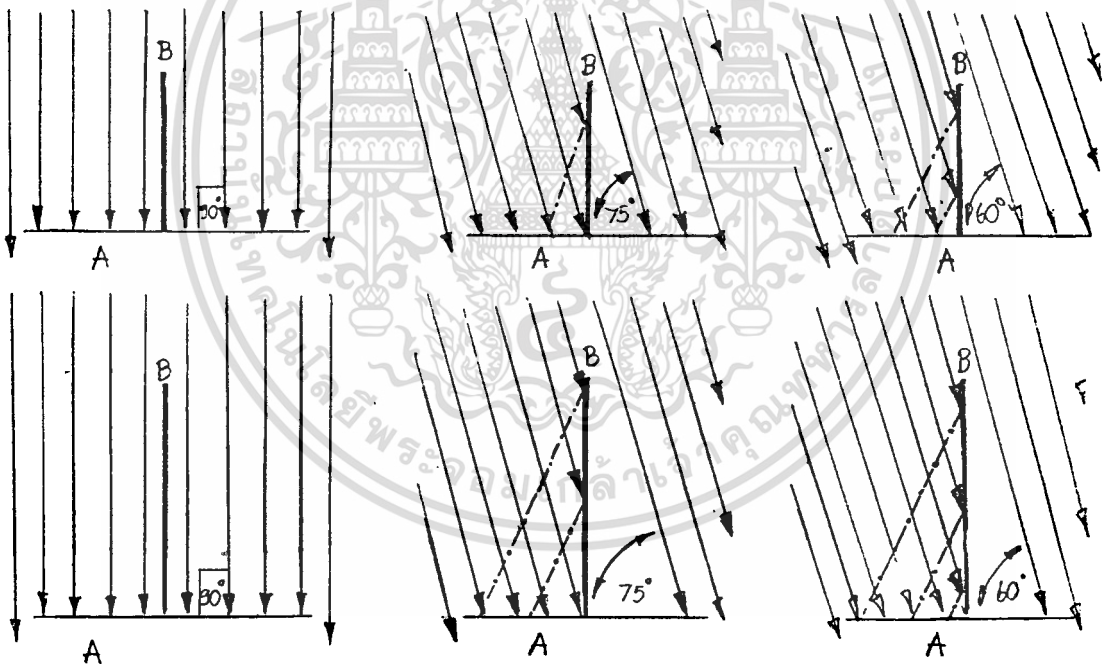
latitude (degrees)	n p							
	1	2	3	4	5	6	7	8
20	21.9	26.7	29.7	30.2	29.3	26.3	21.7	19.4
19	22.3	26.9	29.7	30.0	29.3	26.5	22.1	19.8
18	22.7	27.1	29.7	29.9	29.2	26.7	22.5	20.3
17	23.1	27.3	29.6	29.7	29.1	26.8	22.9	20.7
16	23.4	27.4	29.5	29.5	29.1	27.0	23.3	21.2
15	23.8	27.6	29.4	29.3	29.0	27.2	23.6	21.6
14	24.2	27.7	29.3	29.1	28.9	27.3	24.0	22.0
13	24.5	27.8	29.2	28.9	28.8	27.4	24.3	22.5
12	24.8	28.0	29.0	28.7	28.7	27.5	24.7	22.9
11	25.2	28.1	28.9	28.5	28.6	27.6	25.0	23.2
10	25.5	28.2	28.7	28.3	28.5	27.7	25.3	23.6
9	25.8	28.2	28.6	28.0	28.4	27.8	25.6	24.0
8	26.1	28.3	28.4	27.8	28.2	27.9	25.9	24.4
7	26.4	28.4	28.3	27.5	28.1	28.0	26.2	24.7
6	26.7	28.4	28.1	27.3	27.9	28.0	26.4	25.1

การบังเงา ( SHADING )

เนื่องจากดวงอาทิตย์อยู่ห่างจากโลกมาก รังสีที่ตกกระทบลงบนพื้นโลกจึงมีลักษณะเกือบขนานกัน หรือไม่สามารถอ้างว่าแสงเหล่านี้มาจากแหล่งกำเนิดจุดเดียว (point source) ดังนั้นสูตรที่อ้างว่า ความเข้มของแสงแปรผันกับ  $1 / (\text{ระยะทาง})^2$  จึงนำมาใช้ไม่ได้ หรือในทางกลับกัน ถ้าถือว่าดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดจุดเดียว ระยะทางที่แสงตกลงมาบนชุดเซนเซอร์เกือบเท่ากัน เพราะฉะนั้น เมื่อดวงอาทิตย์ทำมุมเอียงไปเท่าไร ค่าความเข้มของแสงบน แอล.ดี.อาร์. แต่ละตัวจะมีค่าเท่า ๆ กัน

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีการอื่น ๆ ที่ทำให้ค่าความเข้มของแสงบน แอล.ดี.อาร์. แต่ละตัวมีค่าแตกต่างกัน เมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์ตกลงบนชุดเซนเซอร์ทำมุมเอียงออกไป

การพิจารณาเกี่ยวกับความเข้มของแสงนั้น นิยมแทนความเข้มนั้นด้วย ฟลักซ์ (จำนวนเส้นแรงที่ตกกระทบลงบนพื้นที่ 1 หน่วย ) เมื่อพิจารณาจากรูป 3.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อรังสี



รูป 3.1 แสดงความแตกต่างที่มุมตกกระทบต่าง ๆ และความสูงของฉากกันที่ต่าง ๆ กัน ตกกระทบทำมุมเอียง จำนวนฟลักซ์ที่ตกกระทบพื้น A หลังจากกัน B จะน้อยกว่าด้านหน้า นอกฉากนี้แล้ว โดยที่รังสีตกกระทบทำมุมเดิม แต่ความสูงของฉากกัน B เพิ่มขึ้น ความเข้มของแสง หลังจากกัน B จะน้อยลงไปอีก และเมื่อพิจารณาให้ละเอียดยิ่งขึ้นไปอีก จะมีรังสีส่วนที่สะท้อนจากฉากกัน B ลงมายังพื้น A จำนวนฟลักซ์ที่สะท้อนกลับลงไปในนั้น จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ลักษณะผิวของฉากกัน

ดังนั้นพอจะกล่าวได้ว่า การใช้ฉากกันแสงจะมีผลเกิดขึ้นดังนี้

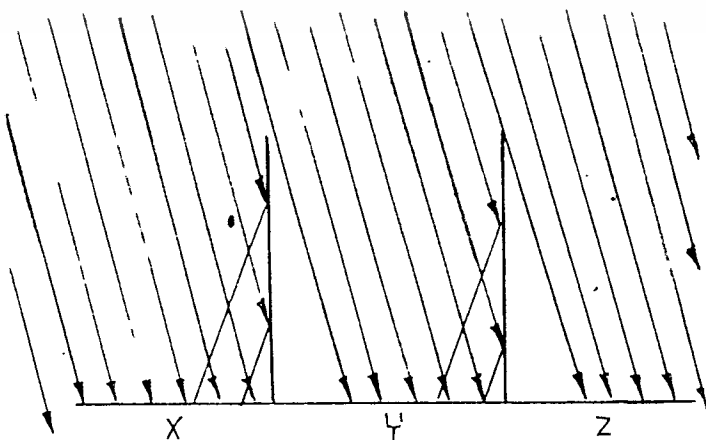
- 1) ถ้าฉากกันขนานกับรังสี จะไม่มีความแตกต่างกัน บนพื้นที่ทั้งสองด้าน
- 2) เมื่อรังสีตกกระทบทำมุมเอียงมากขึ้น ความเข้มของแสงหลังฉากกันก็จะยิ่งน้อยลง
- 3) ในทำนองเดียวกัน ถ้าเพิ่มความสูงของฉากกันขึ้น ความเข้มของแสงหลังฉากกัน ก็จะยิ่งน้อยลง
- 4) จะมีรังสีส่วนหนึ่งสะท้อนจากฉากกันลงบนพื้นด้านหน้าฉากกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะผิวของฉากกัน

จากประโยชน์ของการมีฉากกันดังกล่าวแล้วข้างต้น จึงนำมาออกแบบใช้ประโยชน์ร่วมกับชุด เซ็นเซอร์ โดยให้ฉากกันสูงกว่าด้านกว้างมาก ๆ เพื่อที่ว่ารังสีตกกระทบทำมุมเอียงเล็กน้อย ความแตกต่างของความเข้มของแสงบนพื้นที่ทั้งด้านหน้า และด้านหลังของฉากกัน สามารถตรวจจับได้โดย แอล.ดี.อาร์

เนื่องจากว่าชุดเซ็นเซอร์ จะเคลื่อนที่เป็นลักษณะโค้งทั้งในแนวตั้ง (Vertical) และแนวนอน (Horizontal) บนแกน 2 แกน

การที่ฉากกันสูงมาก ๆ จะเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง เพราะว่าการที่วัตถุที่มีน้ำหนักยื่นห่างออกไปจากจุดหมุนมากขึ้นนั้น จะเป็นการเพิ่มแรงบิด หรือทอร์ก (Torque)

การที่มีข้อจำกัดทางด้านกลศาสตร์ (mechanics) ทำให้ฉากกันมีความยาวจำกัด จึงหันมาพิจารณาถึงความสามารถสะท้อนแสงที่ผิวฉากกัน เพราะว่ามีรังสีส่วนหนึ่งสะท้อนกลับลงบนพื้นด้านหน้าฉากกัน จากคุณสมบัติอันนี้ จึงนำมาใช้ประโยชน์ได้โดยการเพิ่มชุดเซ็นเซอร์ ในแต่ละแนว ดังรูป 3.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าพื้นที่บริเวณ  $x$  จะมีความเข้มสูงสุดจากรังสีตกกระทบโดยตรง ร่วมกับแสงสะท้อน ส่วนพื้นที่บริเวณ  $y$  จะได้รับรังสีตกกระทบโดยตรงน้อยกว่า แต่ได้รับรังสีสะท้อนเท่า ๆ กับบริเวณ  $x$  แต่พื้นที่บริเวณ  $z$  นั้น จะได้รับเฉพาะแสงตกกระทบโดยตรงที่



รูป 3.2 แสดงลักษณะของรังสี โดยมีฉากกัน 2 แผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดย บริษัท อีทีอี จำกัด ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เท่า ๆ กับด้าน  $y$  เท่านั้น

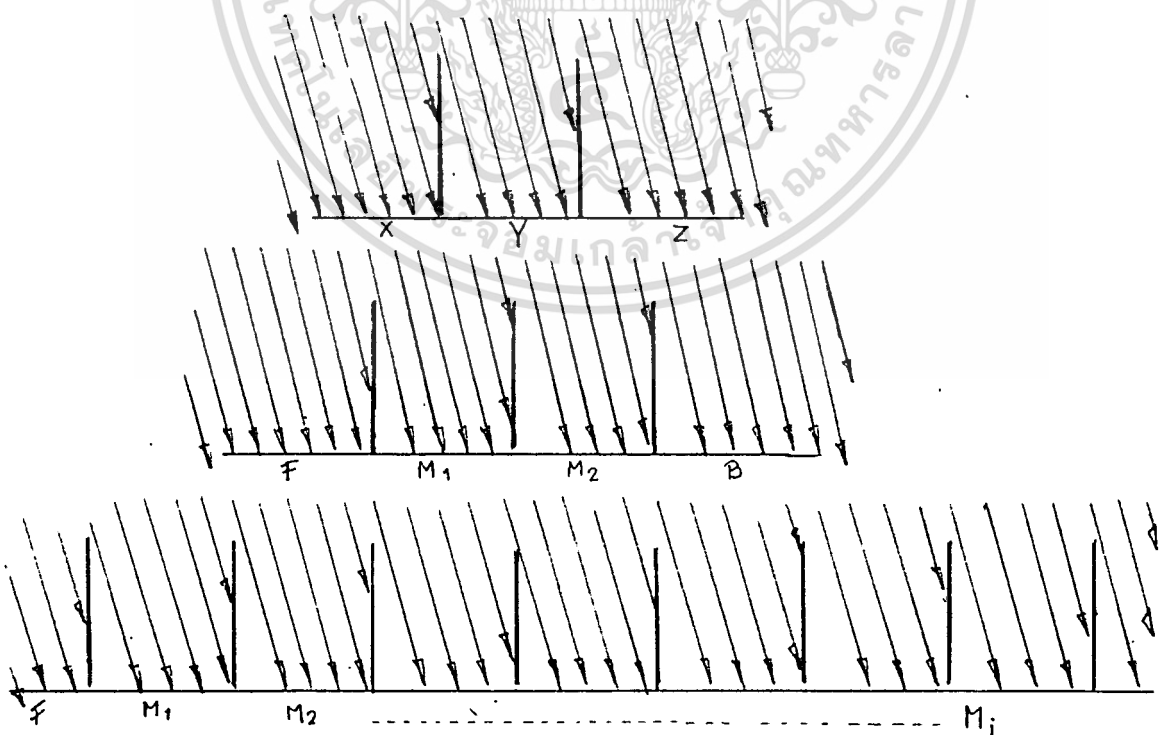
จะเห็นได้ว่าการแบ่งพื้นที่รับแสงมี เช็กเมนต์มากขึ้นเป็น 3 เช็กเมนต์ ก็สามารถช่วยให้พิจารณาลักษณะการตกกระทบของรังสี ได้ละเอียดขึ้นด้วย

แต่การเพิ่มให้มีเช็กเมนต์มาก ๆ เป็น 4 หรือ 5 เช็กเมนต์นั้น ก็ไม่ได้หมายความว่า จะเพิ่มความละเอียดในการพิจารณาได้ เพราะว่า เช็กเมนต์ที่ไม่ได้อยูริม จะได้รับรังสีในลักษณะเหมือนกันหมด ดังรูป 3.3 ด้าน  $F$  จะได้รับรังสีสะท้อนเช่นเดียวกับพื้นที่บริเวณ  $X$  ด้าน  $B$  จะได้รับรังสีตกกระทบอย่างเดียวกันทำนองเดียวกันกับบริเวณ  $Z$  และพื้นที่ตรงกลางบริเวณ  $M_1, M_2, \dots, M_i$  จะได้รับรังสีในทำนองเดียวกันกับบริเวณ  $Y$  เหมือนกันหมด

การออกแบบของ การบังเงา 2 มิติ แล้วไม่ควรที่จะแบ่งพื้นที่รับรังสีมากเกินไป 3 เช็กเมนต์ เพราะว่า เป็นการสิ้นเปลือง

ดวงอาทิตย์จะเคลื่อนจากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตกทุกวัน แต่ไม่ได้ขึ้นและตกลงที่ตำแหน่งเดิมทุกวัน จะมีการคลาดเคลื่อนไปในแต่ละวัน ฉะนั้นการตรวจหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์จึงเป็น 3 มิติ ดังนั้นจึงต้องเพิ่มฉากบังแสงขึ้นอีกแนวหนึ่ง

จากที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้น เป็นการนำประโยชน์ของการใช้ฉากกันมาออกแบบร่วมกับชุดเซ็นเซอร์ นอกจากนั้นแล้ว การออกแบบจะต้องพิจารณาปัจจัย ทางด้านอื่น ๆ อีก เช่น ด้านกลศาสตร์ ตลอดจนถึงสถาปัตยกรรมและอื่น ๆ อีกด้วย



รูป 3.3 ลักษณะรังสีเปรียบเทียบกับจำนวนแผ่นกัน

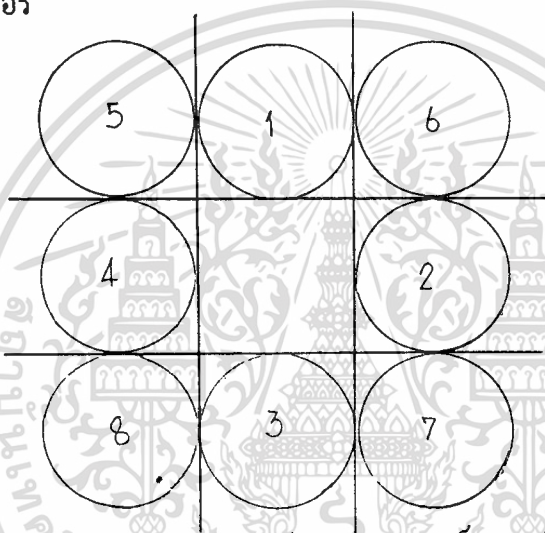
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

## การจัดข้อมูล

การที่ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งของความร้อน และแสงสว่าง เพราะฉะนั้นการหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จึงควรใช้อุปกรณ์สำหรับตรวจจับความร้อน หรือ ตรวจจับแสงสว่าง

ในการออกแบบและทำอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนทางอิเล็กทรอนิกส์นั้น มีข้อยุ่งยากมากกว่าการทำอุปกรณ์ตรวจจับแสงสว่าง จึงพิจารณาอุปกรณ์ตรวจจับแสงสว่างมาประยุกต์ใช้ในการตรวจหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ซึ่งในโครงงานนี้ใช้อุปกรณ์ตรวจจับแสงสว่าง (LDR) 8 อัน จัดเรียงกันดังรูป 4.1 เพื่อให้ข้อมูลเป็นแบบดิจิตอล 8 บิต เป็นการสะดวกในการประมวลผลบนไมโครโปรเซสเซอร์

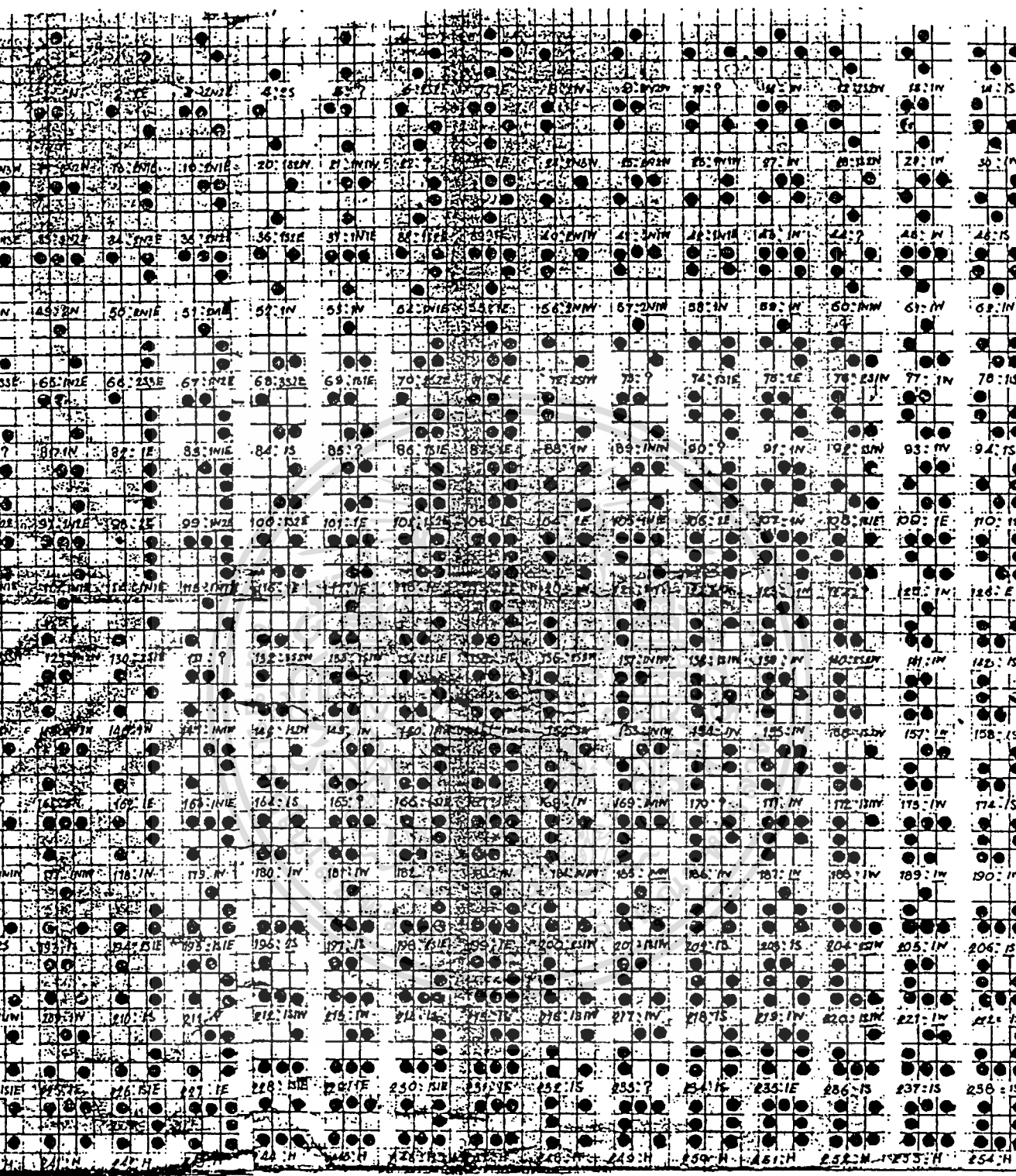


รูป 4.1 แสดงบิตต่าง ๆ บนชุดเซ็นเซอร์

แต่ละตัวจะต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อแสดงสถานะให้เป็น " 0 " กับ " 1 " ซึ่งเป็นลักษณะดิจิตอล เพื่อความสะดวกในการรับข้อมูลของไมโครโปรเซสเซอร์

จากรูป 4.1 จะเห็นว่ามียุกรณ์ 8 ตัวใน 1 ชุดเซ็นเซอร์ เพราะฉะนั้น ข้อมูลต่างๆ ที่ไมโครโปรเซสเซอร์จะรับเข้าไปมีทั้งหมดเท่ากับ  $2^8$  หรือ 256 แบบด้วยกัน คือมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 ในเลขฐานสิบ รูปแบบทั้งหมดที่เป็นไปได้แสดงไว้ในรูป 4.2

เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เอง จึงทำให้เกิดค่าผิดพลาดเล็กน้อย และแสงสว่างที่นำมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลก็ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนสถานะจาก "0" ไปเป็น "1" หรือจาก "1" กลับมาเป็น "0" นั่นเอง ในบริเวณที่กำลังจะเปลี่ยนสถานะนี้ แสงสว่างบางค่าจะเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิตอลค่า "1" ซึ่งบางครั้งจะยังคงสถานะ "0" อยู่เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของแต่ละอุปกรณ์ แต่ถ้าความสว่างพ้นออกนอกย่านนี้แล้ว ค่าที่แสดงสถานะจะมั่นใจได้



รูป 4.2 รูปแนวของข้อมูลจากผลที่อาจจะเป็นไปได้

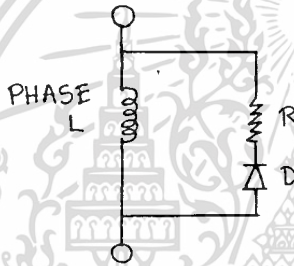
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

## ตัวขับ และ แหล่งจ่ายไฟ

(Driver and Power Supply)

การทำงานของ สเตปมอเตอร์ นั้น กระแสที่จ่ายให้แก่แต่ละเฟสของมัน ต้องมากพอตามขนาดพิกัด และกระแสนี้ต้องมีลักษณะพิเศษ สามารถสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้แก่แต่ละขดลวด (energised phase) อย่างเร็วเมื่อจ่ายกระแสให้ ทำลายเส้นแรงแม่เหล็กในแต่ละขดลวด (deenergised phase) อย่างเร็วเมื่อหยุดจ่ายกระแส เช่นวงจรในรูป 5.1 ซึ่งใช้วิธีต่อไดโอด (diode) และ ตัวต้านทาน (resistor) ในลักษณะวงจรปิด (turn off circuit) ทำให้สามารถเพิ่มและลดกระแสเฟส (phase current) ได้อย่างรวดเร็ว เมื่อมีแหล่งจ่ายไฟหรือไม่มีแหล่งจ่ายไฟ



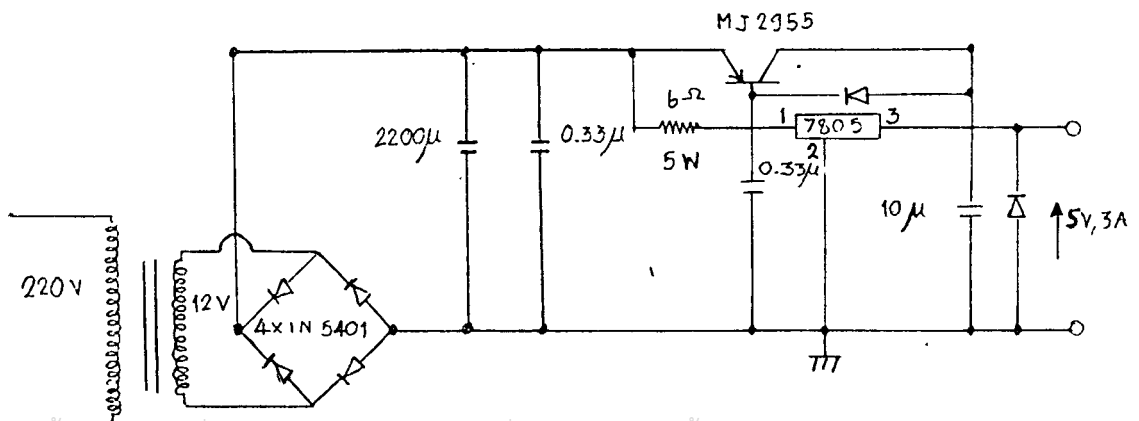
รูป 5.1 วงจร รีซิสแทนท์ เทอร์น ออฟ (resistance turn off circuit)

แต่จากรูป 5.1 วงจรนี้มีข้อเสียคือ มีพลังงานส่วนหนึ่งสูญเสียให้กับตัวต้านทาน

5.1 แหล่งจ่ายไฟตรง (power supply)

เมื่อใช้ สเตปมอเตอร์ 3 เฟส ดึงกระแส 0.7 แอมป์ต่อเฟส วงจรส่วนสวิตช์ (switching) และตัวขับ ต้องการแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์

ในทางปฏิบัติ แต่ละ เฟส ไม่ได้ถูกกระตุ้นพร้อมกันหมดทีเดียว ดังนั้น สเตปมอเตอร์ 2 ตัวในระบบ จึงใช้แหล่งจ่ายไฟเพียง 3 แอมป์ก็เพียงพอแล้ว



รูป 5.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟตรง (Regulator Power Supply)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ขายไว้สำหรับนักเรียนที่ทำการซื้อหนังสือฉบับนี้ ไปลงภาคให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

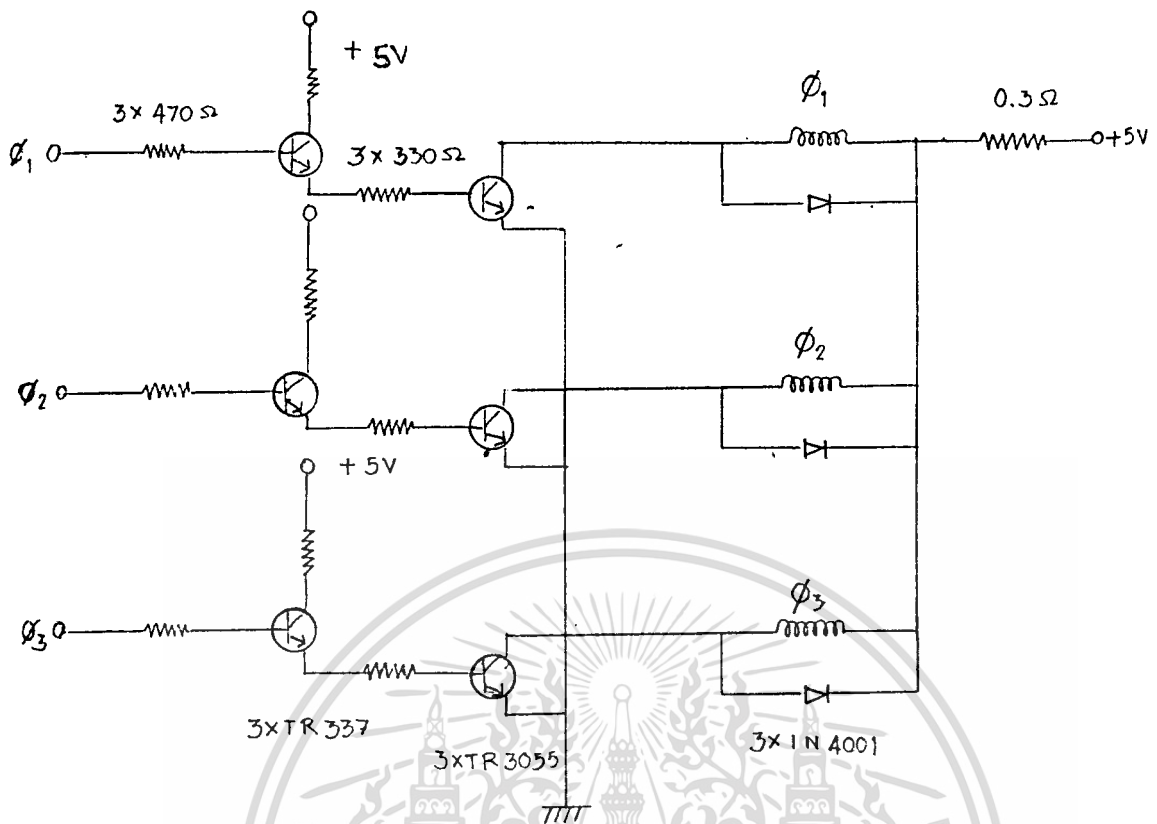
จากรูปที่ 5.2 ไอซี 7805 เรีคกูเรเตอร์ จ่ายได้ 5 โวลต์ 1 แอมป์เท่านั้น จึงใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ 2955 มาช่วยขับกระแสให้ได้ถึง 3 แอมป์ ดังนั้นวงจรในรูปที่ 5.2 จึงใช้ ไอซี 7805 เรีคกูเลท ไรท์ 5 โวลต์ และกระแสจ่ายตัวภาระ (load) ผ่านทาง MJ 2955 ได้ถึง 3 แอมป์

ส่วนไดโอด ที่ต่อคร่อมขาของ 7805 เพื่อป้องกันกระแสไหลย้อนกลับ (Feedback current) จากภาระขดลวด นั่นคือ แต่ละเฟสขดลวดของสเตปมอเตอร์ นั้นเอง

MJ 2955	IC 7805
$V_{CB}$ (MAX) 100V	INPUT VOLTAGE 7 TO 35 VOLT
$V_{CE}$ (MAX) 60V	OUTPUT VOLTAGE 4.8 TO 5.2 V
$V_{EB}$ (MAX) 7V	OUTPUT CURRENT (MAX) 0.1 A
$I_C$ (MAX) 15 A	LINE REGULATION 1 %
$T_J$ (MAX) 200 °C	LOAD REGULATION 1 %
P (TOT) 150 WC	QUIESCENT CURRENT 8 mA
	RIPPLE REJECTION (min) 62 dB
	DROP OUT VOLTAGE (max) 2.5 V

## 5.2 ตัวขับ (DRIVER)

เนื่องจากเราใช้สเตปมอเตอร์ 3 เฟส และต้องขับแต่ละเฟสอย่างอิสระ ดังนั้น จึงต้องใช้ตัวขับ 3 ชุดต่อสเตปมอเตอร์ 1 ตัว โดยทั้ง 3 ชุด ต่อกันแบบ คอมมอนอีมิตเตอร์ (common emitter) ดังรูป 5.3 ในหน้าถัดไป



รูป 5.3 วงจรขับและเปิดปิด (switching and driver circuit)

จากรูป 5.3 วงจรเปิดปิด ช่วยขับกระแสจากไมโครโปรเซสเซอร์ ให้ขาเบส (base) ของ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ 3055 โดยใช้ ทรานซิสเตอร์ 377 เป็นตัวเปิดปิด และที่แต่ละเฟสของสเตปมอเตอร์ มีวงจร รีซิสแทนท์ เทอน ออฟ ทำให้แต่ละเฟส คายกระแส ได้อย่างรวดเร็ว เมื่อหยุดจ่ายกระแส ทำให้สเตปมอเตอร์มีแรงบิดสูง

## บทที่ 6

## สเตปมอเตอร์

สเตปมอเตอร์เป็นเทคนิคของการเปลี่ยนสนามแม่เหล็กกับกระแสไฟฟ้า ให้อยู่ในรูป การเคลื่อนที่เชิงมุม (angular movement) หรือตำแหน่งของแกนมอเตอร์ (step position) เนื่องจากแรงดันกระตุ้น (pulse) ที่ป้อนให้กับขดสเตเตอร์ (stator) หลาย ขด ในเวลาเดียวกัน จะเกิดแรงผลักต่อโรเตอร์ (rotor) ทำให้โรเตอร์หมุนไปได้ เมื่อ ป้อนแรงดันกระตุ้น ในลักษณะอันดับของแรงดัน 2 ระดับ (sequence of binary)

การหมุนไปเป็นขั้น ๆ โดยมีการป้อนแรงดัน 2 ระดับ เท่านั้น ทำให้ไม่ต้องมีการ ป้อนกลับในการควบคุมทั้งตำแหน่งและความเร็ว และความผิดพลาดน้อยมาก สามารถใช้กับ เครื่องมือที่ต้องการความละเอียดแม่นยำสูง เช่น อุปกรณ์พวกดิจิตอลทั้งหลาย

เราแบ่งสเตปมอเตอร์เป็น 3 ประเภท คือ

1 ชนิดเครื่องกลไฟฟ้า (Electromechanical types) ซึ่งยังแยกได้อีก 2 ชนิด คือ

1.1 แบบเฟืองจับ (Ratchet and Pawl Drives)

1.2 แบบขดลวดหมุน (Rotary Solenoids)

2 ชนิดแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Types) แยกได้อีก 3 ชนิด คือ

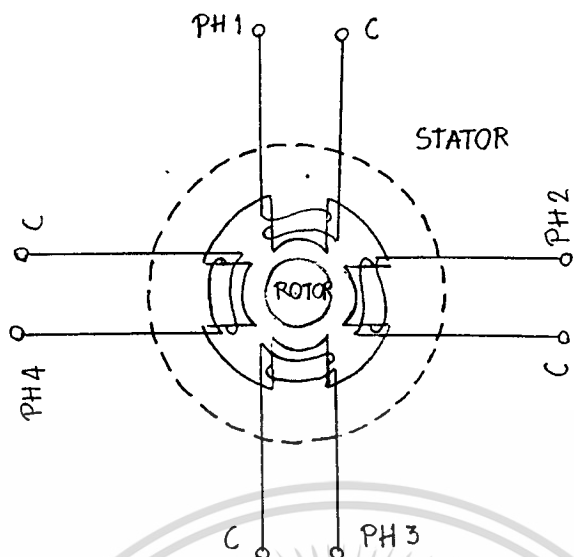
2.1 แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet)

2.2 แบบความต้านทานแม่เหล็กเปลี่ยนแปลง (Variable Reluctance)

2.3 แบบผสม (Hybrid)

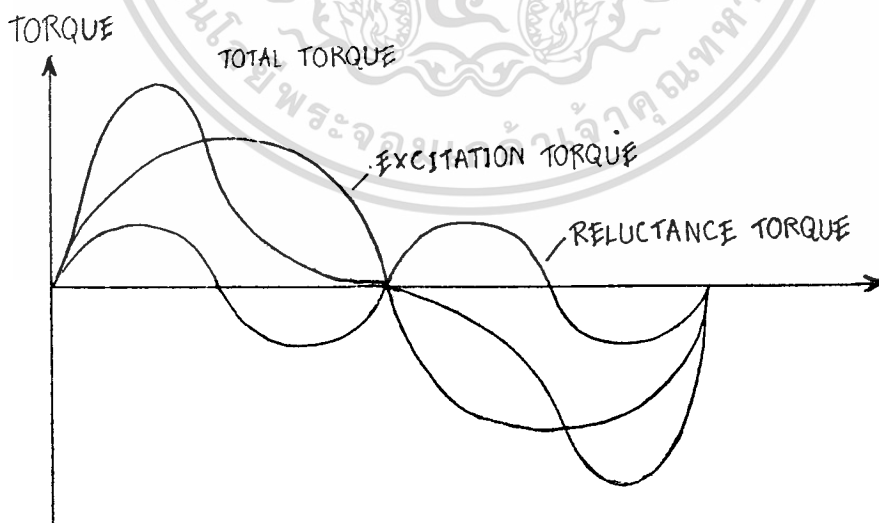
3 ชนิดไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยของเหลว (ElectroHydraulic Types) เป็นการ เพิ่มแรงบิดให้กับสเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กไฟฟ้านั้นเอง

จากสเตปมอเตอร์ทั้ง 3 ประเภทนั้น ชนิดแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นที่นิยมที่สุด และเนื่องจาก โครงงานนี้ใช้สเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร 2 ตัว จึงขออธิบายเฉพาะหลักการทำงานและคุณ สมบัติของแบบแม่เหล็กถาวรอย่างเดียว คือ มีแม่เหล็กถาวรเป็นส่วนเคลื่อนที่ คล้ายกับของมอ ตอร์เหนี่ยวนำ (Induction motor) ซึ่งทำหน้าที่เป็นแกน (Shaft) และมีส่วนอยู่กับที่ (Stator) อยู่ที่โครงมอเตอร์ (Frame) ดังรูป 6.1 ในหน้าถัดไป



รูป 6.1 แม่เหล็กไฟฟ้าแบบสนามแม่เหล็กถาวร 4 เฟส

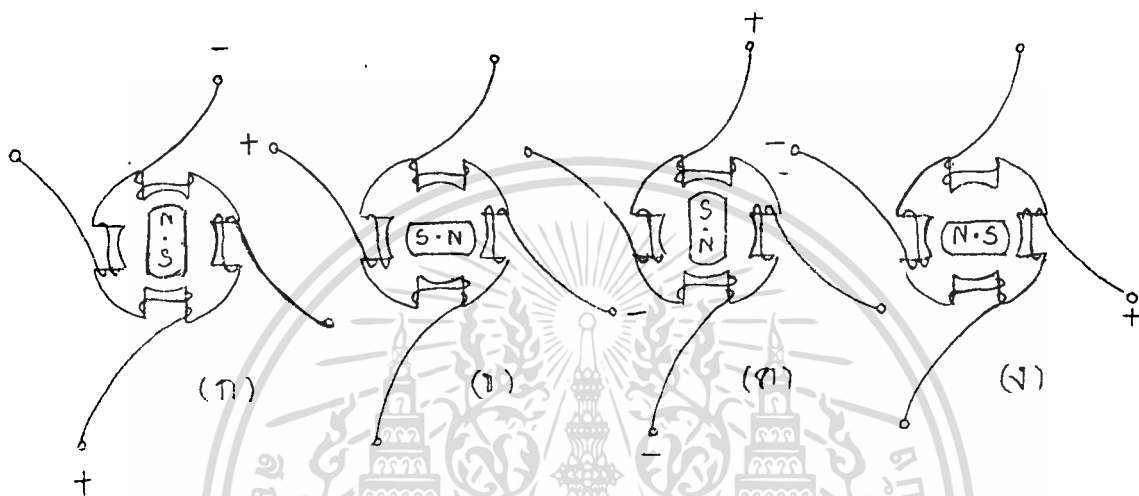
เมื่อสเตปมอเตอร์ทำงานจะเกิดแรงบิด 2 ชนิด คือ แรงบิดกระตุ้น (Excitation) และแรงบิดจากความผิดแม่เหล็ก (Reluctance Torque) ซึ่งทั้ง 2 ชนิด มีขนาดเปลี่ยนแปลงไปตามมุม เซต้า ที่เหลื่อมล้ำกันอยู่ระหว่างส่วนอยู่กับที่ และส่วนเคลื่อนที่ของมอเตอร์ ในลักษณะของชายน้เซต้า ดังรูป 6.2



รูปที่ 6.2 ส่วนประกอบและผลรวมของแรงบิดในสเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

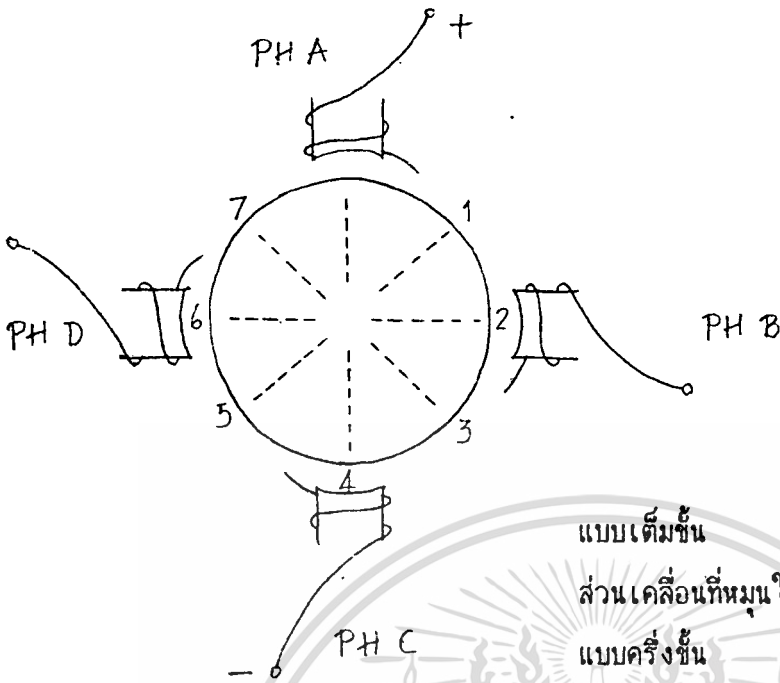
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการทำงานในการหมุนครบ 1 รอบ ของสเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรเมื่อ ถูกกระตุ้นเป็นจังหวะ เกิดดังรูป 6.3 ตามลำดับ



รูป 6.3 ลักษณะการเคลื่อนที่เป็นจังหวะ ก , ข , ค , ง ตามลำดับ  
ต่อไปจะกล่าวถึงการกระตุ้นซึ่งมีอยู่ 3 แบบ คือ

1. แบบกระตุ้น 1 ขด (1-Excited) เมื่อกระตุ้นให้พลังงานกับขดลวดของส่วนอยู่กับที่ ส่วนเคลื่อนที่จะหมุนไปแบบเต็มขั้น (Full Step)
2. แบบกระตุ้น 1-2 ขด (1-2 Excited) เมื่อกระตุ้นให้พลังงานกับขดลวดของส่วนอยู่กับที่ ส่วนเคลื่อนที่จะหมุนไปแบบครึ่งขั้น (Half Step)
3. แบบกระตุ้น -2 ขด (2-Excited) มีลักษณะการหมุนแบบกระตุ้น 1 ขด ลักษณะการหมุนแบบเต็มขั้น และครึ่งขั้นแสดงไว้ดังรูป 6.4 ในหน้าถัดไป



แบบเต็มขั้น  
 ส่วนเคลื่อนที่หมุนในแนว 1,3,5,7,1,...  
 แบบครึ่งขั้น  
 ส่วนเคลื่อนที่หมุนในแนว 1,2,3,4,5,7,8,1,...

รูป 6.4 การกระตุ้นแบบต่าง ๆ ทำให้หมุนแบบเต็มขั้นและครึ่งขั้น  
 ลักษณะการส่งสัญญาณเพื่อกระตุ้นแต่ละขดของมอเตอร์ สำหรับโครงงานนี้แสดงในรูป

6.5

หมบ 3 ขด กระตุ้น 1 ขด

PUASE \ STEP	1	2	3	1
$\phi_1$	0	0	1	0
$\phi_2$	1	0	0	1
$\phi_3$	0	1	0	0
ทวนเข็ม	→			
จามเข็ม	←			

หมบ 3 ขด กระตุ้น 2 ขด

PUASE \ STEP	1	2	3	1
$\phi_1$	1	0	1	1
$\phi_2$	1	1	0	1
$\phi_3$	0	1	1	0
ทวนเข็ม	→			
จามเข็ม	←			

หมบ 3 ขด กระตุ้น 1-2 ขด

PUASE \ STEP	1	2	3	4	5	6	1
$\phi_1$	1	1	0	0	0	1	1
$\phi_2$	0	1	1	1	0	0	0
$\phi_3$	0	0	0	1	1	1	0
ทวนเข็ม	→						
จามเข็ม	←						

เอกสารนี้รูปที่ 6.5 ลักษณะค่าสถานะของแรงดันกระตุ้นของแต่ละขด เมื่อกระตุ้นด้วยวิธีต่าง ๆ ด้านการคำ  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

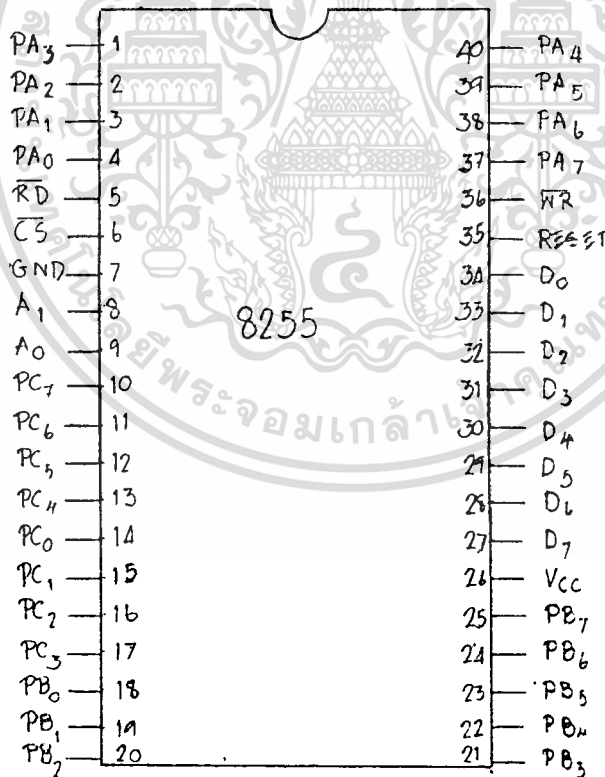
## บทที่ 7

## วงจรเชื่อมประสาน (Interfacing Circuit)

การออกแบบวงจรเชื่อมประสาน เพื่อใช้เชื่อมต่อระหว่างหน่วยประมวลผลกลาง (Z-80) เข้ากับอุปกรณ์ภายนอกนั้น จะประกอบด้วย ทำนำข้อมูลเข้า (input port) และทำส่งข้อมูลออก (output port) ซึ่งในโครงงานนี้เลือกใช้ ไอซี 8255 PIO เป็นทำนำข้อมูลเข้าและส่งข้อมูลออก เนื่องจากภายในประกอบด้วยทำเหล่านี้ ที่เป็นอิสระต่อกัน 3 ทำ และสามารถแยกการทำงานเป็นแบบต่าง ๆ ได้ 3 แบบ (mode) คือ แบบ 0 , แบบ 1 , แบบ 2 ซึ่งในโครงงานนี้ใช้แบบ 0 (mode 0 basic I/O Port)

## 7.1 ลักษณะการใช้งาน 8255 PIO

ไอซี 8255 ผลิตโดย บริษัท INTEL CORPORATION ภายในประกอบด้วย ทำนำข้อมูลเข้าและส่งข้อมูลออก 3 ทำ และกลุ่มสัญญาณต่าง ๆ แสดงขาของไอซี ได้ดังรูป 7.1



รูป 7.1 แสดงรายละเอียดขาของ 8255 PIO

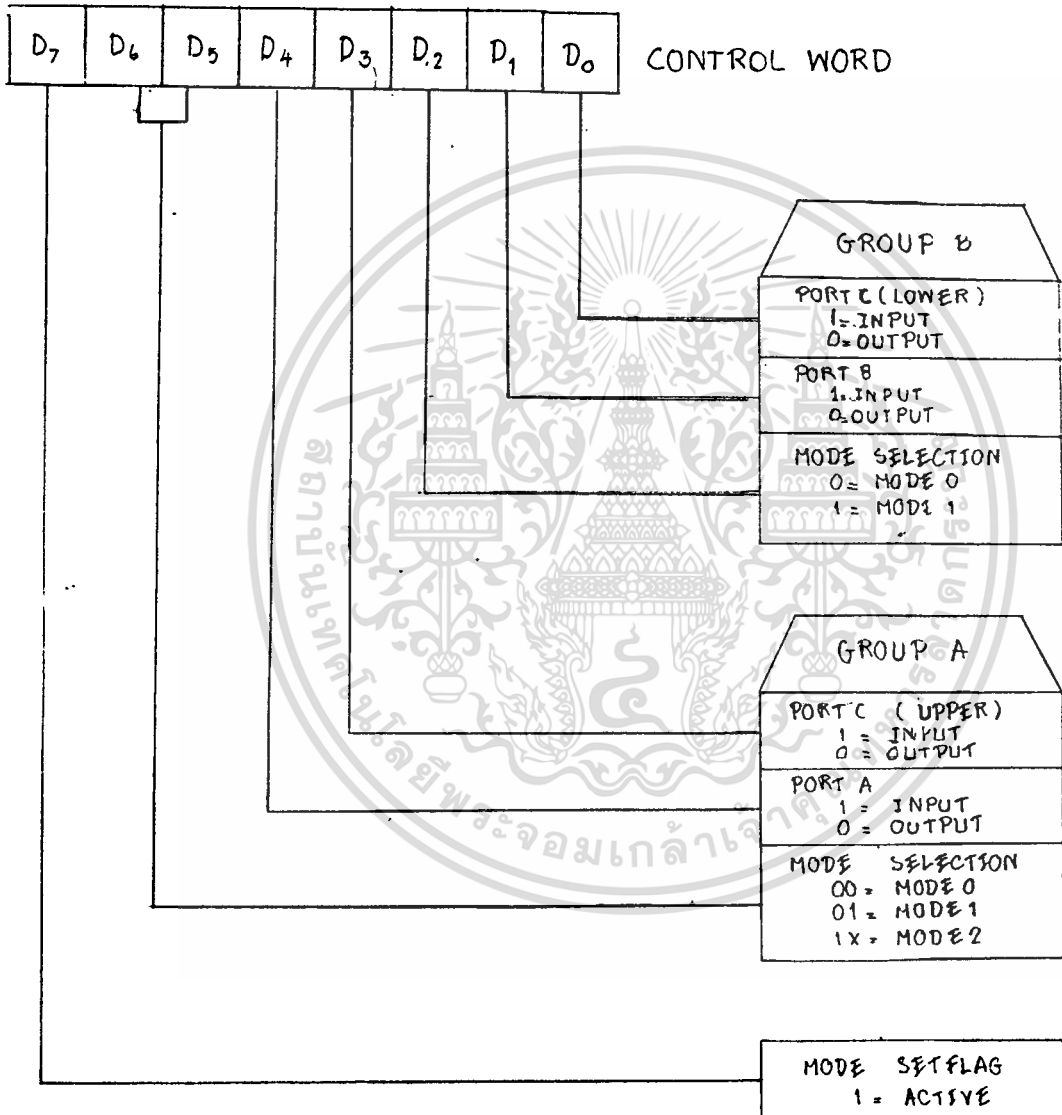
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดแต่ละขาของ ไอซี นี้ดังนี้

- $D_0-D_7$  เป็นขาข้อมูลซึ่งนำข้อมูลเข้าและออกจาก 8255 ได้
- $\overline{CS}$  เมื่อสถานะตรรก (logic) เป็น 0 จึงใช้งาน 8255 ได้
- $\overline{RD}$  เมื่อสถานะตรรกเป็น 0 และ CS เป็น 0 8255 รับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก และส่งข้อมูลให้ตัวประมวลผลกลาง
- $\overline{WR}$  เมื่อสถานะตรรกเป็น 0 และ CS เป็น 0 8255 รับข้อมูลจากตัวประมวลผลกลาง และส่งข้อมูลให้อุปกรณ์ภายนอก
- $A_0-A_1$  ใช้เป็นขาออดรหัส เพื่อเลือกใช้ทำส่งและรับข้อมูลที่ต้องการใน 8255
- $PA_0-PA_7$  ใช้เป็นทำรับและส่งข้อมูล
- $PB_0-PB_7$  ใช้เป็นทำรับและส่งข้อมูล
- $PC_0-PC_7$  ใช้เป็นทำรับและส่งข้อมูล และใช้เป็นสัญญาณแลกเปลี่ยน (Hand shake) ในแบบ 1 และ 2
- การจำแนกหน้าที่และเลือกทำแสดงได้ด้วยขาต่อไปนี้

$\overline{RD}$	$\overline{WR}$	$A_1$	$A_0$	
1	0	0	0	Write Port A Data
0	1	0	0	Read Port A Data
1	0	0	1	Write Port B Data
0	1	0	1	Read Port B Data
1	0	1	0	Write Port C Data
0	1	1	0	Read Port C Data
1	0	1	1	Write Control Word
0	1	1	1	Illegal

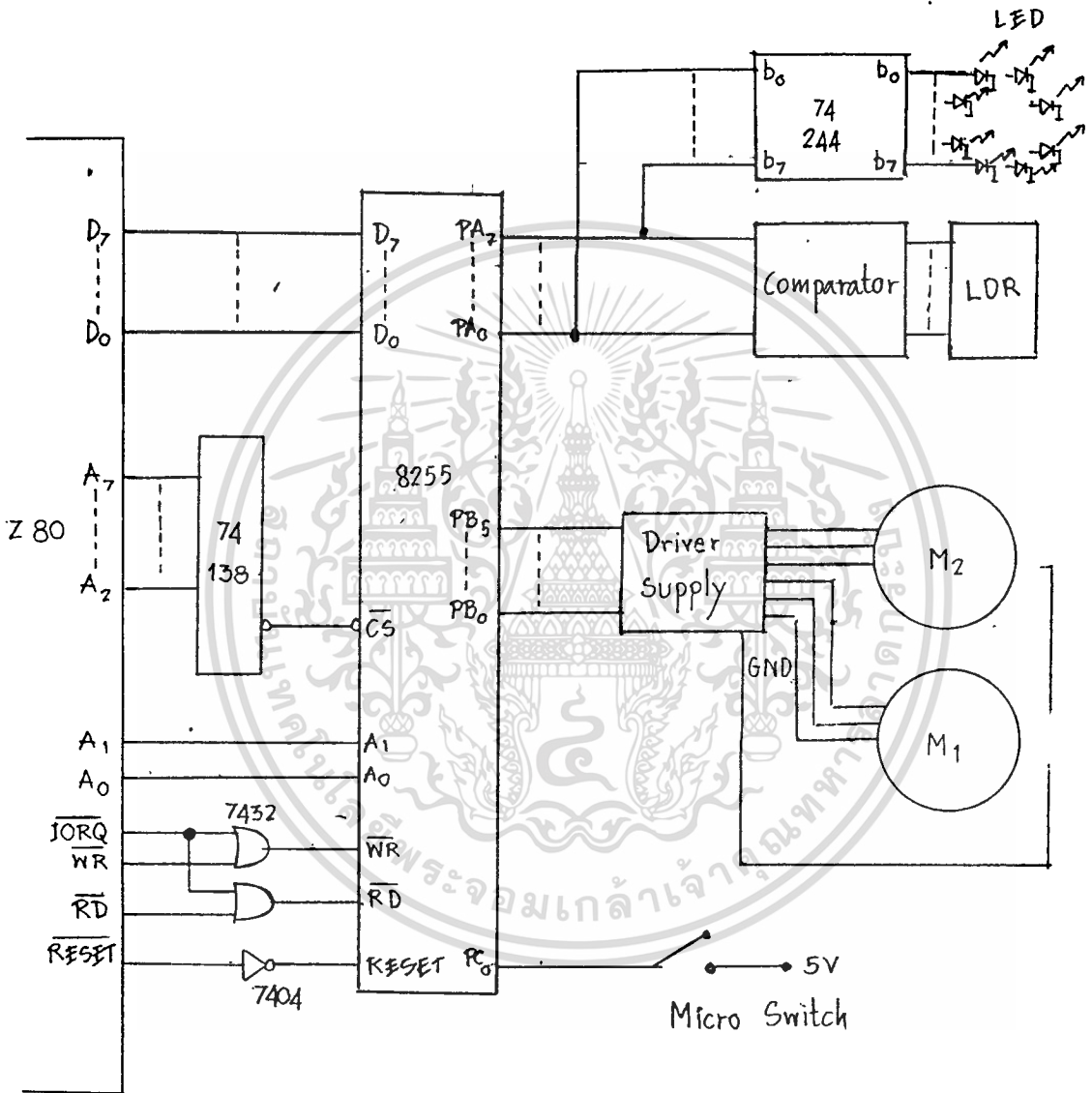
เมื่อจะใช้งาน 8255 ในแบบใด ทำใด เป็นแบบทำนำข้อมูลเข้า หรือทำส่งข้อมูลออก เราสามารถบอก 8255 ได้โดยเขียนคำสั่งควบคุม (Write Control Word) ไปยังท่าควบคุม (Control Port) ก่อนเป็นครั้งแรก ซึ่งข้อมูลในคำสั่งควบคุม มีความหมายดังรูป 7.2



รูป 7.2 นิยามแต่ละบิตในคำสั่งควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 ลักษณะการต่อ 8255 ในการเชื่อมประสาน  
 การเชื่อม 8255 เข้าสู่ระบบนี้ แสดงได้ดังรูป 7.3



รูป 7.3 แสดงการเชื่อมประสานของ 8255

จากรูป 7.3

เราใช้ 74LS138 เป็นตัวถอดรหัส

ท่า A ใช้เป็นท่านำข้อมูลเข้า เพื่ออ่านข้อมูลจาก แอล.ดี.อาร์. ซึ่งแสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยมีการเปรียบเทียบช่วยแยกขนาดสัญญาณให้เป็น 8 บิตที่มีความหมายเฉพาะ

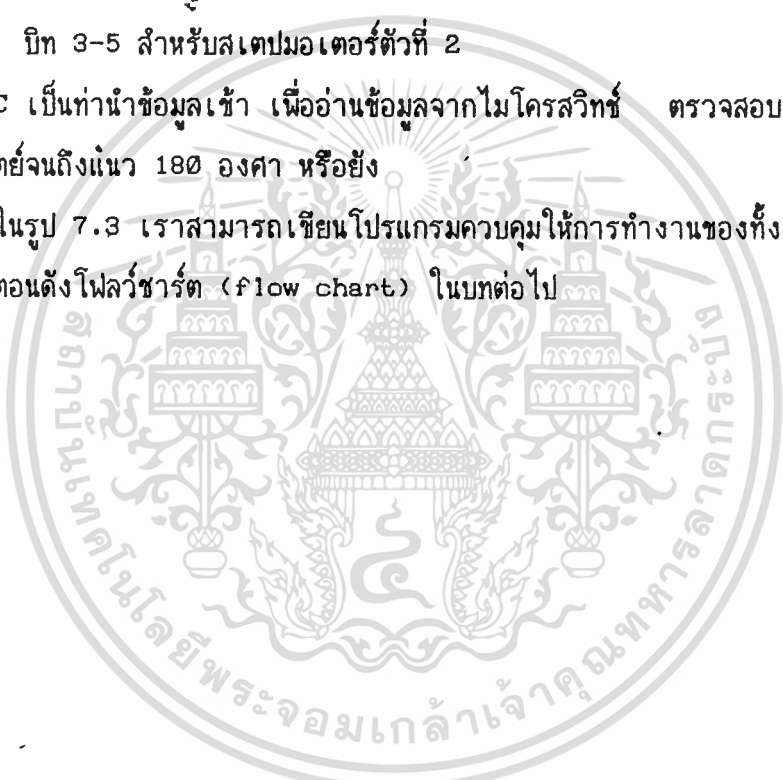
ท่า B ใช้เป็นท่าส่งข้อมูลออก เพื่อส่งข้อมูลที่ประมวลผลแล้ว ไปยังภาคขับ เพื่อขับสเตปมอเตอร์ 1 และ 2 ต่อไป โดย

บิต 0-2 สำหรับสเตปมอเตอร์ตัวที่ 1

บิต 3-5 สำหรับสเตปมอเตอร์ตัวที่ 2

ท่า C เป็นท่านำข้อมูลเข้า เพื่ออ่านข้อมูลจากไมโครสวิทช์ ตรวจสอบว่าเซนเซอร์ติดตามดวงอาทิตย์จนถึงแนว 180 องศา หรือยัง

จากในรูป 7.3 เราสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมให้การทำงานของทั้งระบบประสานเป็นขั้นตอนดังโฟลว์ชาร์ต (flow chart) ในบทต่อไป

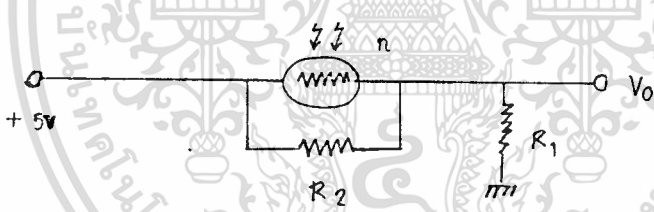


บทที่ 8

หลักการประยุกต์และติดตั้งตัวต้านทานลดค่าตามความเข้มแสง  
(Light Decreasing Resistive)

แอล.ดี.อาร์. ทำหน้าที่คล้ายตัวต้านทานที่แปรค่าได้ คือค่าความต้านทานภายในของมันจะแปรผกผันกับความเข้มของแสงที่มากกระทบตัวมัน ถ้าแสงมีความเข้มน้อย ค่าความต้านทานภายในของมันจะมีค่ามาก แต่ถ้าแสงมีความเข้มมากค่าความต้านทานภายในของมันจะลดลง ค่าความต้านทานภายในของ แอล.ดี.อาร์. จะมีค่าอยู่ในช่วง 100 โอห์ม ถึง 3 เมกกะโอห์ม สำหรับวัสดุไวแสงที่อยู่ภายในตัวมันส่วนใหญ่จะเป็นพวกแคดเมียมซีลีเนียม (CADMIUM SELENIUM) หรือ เลดซัลไฟด์ (LEAD SULFIDE) ซึ่งมีอิเล็กตรอนอิสระอยู่ โดยวัสดุไวแสงพวกนี้สามารถครอบคลุมช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่แถบเหนือม่วง (ULTRA-VIOLET SPECTRUM) จนถึง แถบใต้แดง (INFRA-RED SPECTRUM)

การประยุกต์ แอล.ดี.อาร์. ในการวัดความเข้มแสง โดยต่อกับแหล่งจ่ายไฟภายนอก โดยใช้ลักษณะของโวลท์เตจดีไวเดอร์ (Voltage Divider) ดังรูป 8.1



รูปที่ 8.1

ค่า R<sub>2</sub> ที่เพิ่มเข้าไปจะช่วยทำให้ค่าความต้านทานภายในของ แอล.ดี.อาร์. เป็นไปอย่างเชิงเส้น เมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนไป โดยค่า R<sub>2</sub> นี้จะต้องเลือกไม่ให้มากหรือน้อยเกินไป ขึ้นอยู่กับว่าเอาไปใช้วัดความเข้มแสงมาก หรือความเข้มแสงน้อย ซึ่งจะได้แรงดันขาออกดังสมการที่ 1

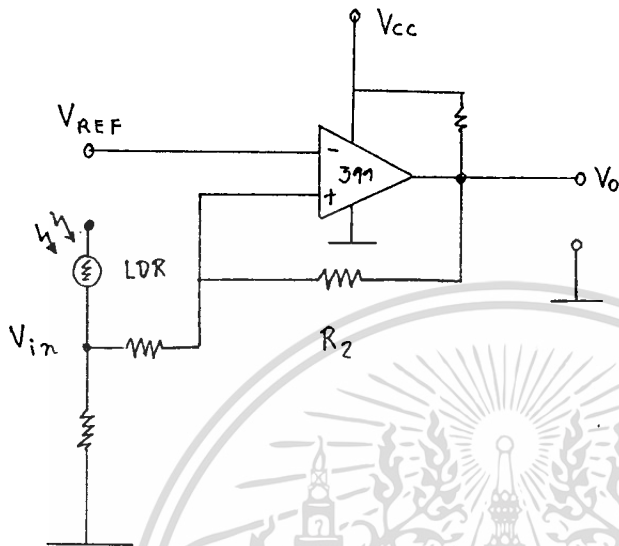
$$V_o = 5 * R_1 / (R_2 * r / (R_2 + r) + R_1) \dots\dots(1)$$

$$V_o = ((5 * R_1 * r) + (5 * R_1 * R_2)) / ((R_1 + R_2) * r + (R_1 * R_2))$$

แอล.ดี.อาร์. ในระบบจะใช้ทั้งหมด 8 ตัว เสมือนเป็น 8 บิต โดยแต่ละบิตจะมีเลขกำกับไว้ในบิตนั้น ๆ ซึ่งใช้ต่อเป็นข้อมูลให้ Z-80 (D<sub>0</sub>-D<sub>7</sub>) แต่แรงดันขาออกของ แอล.ดี.อาร์. จะเป็นแรงดันต่อเนื่อง (analog) จึงต้องใช้โอปแอมป์ (op-amp) 8 ตัวมาต่อเป็นวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบ (comparator) โดยเอา  $V_o$  จากวงจรในรูปที่ 8.1 มาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง (voltage reference) เพื่อให้ได้แรงดันขาออกเป็น 5 โวลต์ หรือ 0 โวลต์ เทียบเป็นค่าทางตรรกคือ 0 กับ 1 ดังรูป 8.2



รูป 8.2 วงจรเปรียบเทียบ

$V_{in1}$  คือ  $V_{in}$  ที่ทำให้  $V_o$  เป็น 0 โวลต์

$V_{in2}$  คือ  $V_{in}$  ที่ทำให้  $V_o$  เป็น 5 โวลต์

$$V_{in1} = V_{ref} * (R1+R2) / R2$$

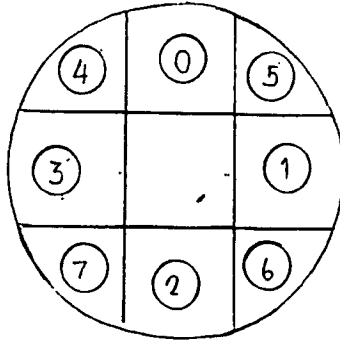
$$V_{in2} = (V_{ref} * (R1+R2) - (V_{cc} * R1)) / R2$$

$$V_{in} = V_{in1} - V_{in2}$$

จากการที่เราได้กำหนดให้โวลต์เตจอ้างอิงมีค่า 2.5 โวลต์ และ  $V_{in}$  มีค่าเท่ากับ 0.5 โวลต์ ทำให้เราได้ค่าต่าง ๆ ดังนี้

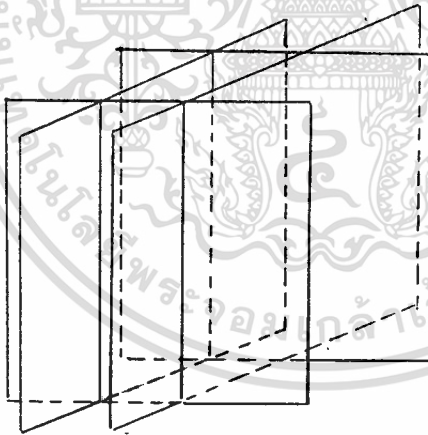
$$R1 = 100 \text{ กิโลโห์ม} \quad R2 = 1 \text{ เมกกะโห์ม}$$

$$V1 = 2.75 \text{ โวลต์} \quad V2 = 2.25 \text{ โวลต์}$$



รูป 8.3 แสดงลักษณะการจัดวาง แอล.ดี.อาร์. แทนเลขฐานสอง 8 บิต

ส่วนในการติดตามดวงอาทิตย์ จะใช้ลักษณะของการบังเงา (Shading) โดยส่วนบังเงาจะเป็นพลาสติกสีดำติดอยู่บนแผ่นวงกลม ซึ่งจะแบ่ง แอล.ดี.อาร์. ออกเป็นช่องละ 1 บิต และ แผ่นบังเงาจะมีส่วนสูงขึ้นมา ซึ่งใช้บังเงาแสงของดวงอาทิตย์ ( ส่วนสูงของแผ่นบังยิ่งสูงมาก ค่าผิดพลาดในการติดตามดวงอาทิตย์ยิ่งน้อย) ดังรูป 8.4



รูป 8.4 แผ่นบังเงา

ขณะที่ดวงอาทิตย์ขึ้นในตำแหน่งต่าง ๆ จะทำให้แต่ละบิตของเซนเซอร์ จะได้รับแสง และถูกบังเงาเป็นรูปแบบต่าง ๆ กันไป ซึ่งจะเกิดขึ้นทั้งหมด 256 รูปแบบ ดังที่แสดงแล้วในบทที่ 3 และ 4

โดยข้อมูลเหล่านี้จะนำไปใช้เป็นแนวทางในการเขียนโปรแกรมควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์ต่อไป  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 9

### ระบบทางกลและการหมุนของสเตปมอเตอร์

เพื่อความสะดวกในการออกแบบ จะถือว่าโลกหมุนรอบตัวเอง 1 รอบในเวลา 24 ชม. และตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้น จนดวงอาทิตย์ตกใช้เวลา 12 ชม. และการเคลื่อนที่ของโลก จะเห็นเส้นศูนย์สูตรเข้าหาดวงอาทิตย์ตลอดเวลา (แต่ความจริงแล้วจะมีความคลาดเคลื่อนไปประมาณ 5 องศา ซึ่งถือว่าน้อยมาก) นั่นคือดวงอาทิตย์เคลื่อนที่จากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตกตามแนวเส้นศูนย์สูตร

#### การออกแบบอัตราทด

โดยดูจากรายละเอียด (specification) ของสเตปมอเตอร์มีดังนี้คือ

- องศาการเคลื่อนแต่ละขั้นเท่ากับ 15 องศาต่อขั้น ( 1 รอบ จะหมุนได้ 24 ขั้น )

- ความเร็วสูงสุดที่จะเคลื่อนไปได้ 960 ขั้นต่อนาที

ความต้องการให้แผงเซลล์สุริยะ (solar cell) เคลื่อนไปมีดังนี้คือ

- แผงเซลล์สุริยะเคลื่อนไป 0.25 องศาต่อขั้น

เพราะฉะนั้นจึงต้องใช้เฟืองทดเพื่อให้เกิดความละเอียด 0.25 องศาต่อขั้น นั่นคือ ออกแบบเฟืองทดในอัตราส่วน 0.25 : 15 หรือ 1 : 60

ความเร็วสูงสุดในการขับเคลื่อน

สามารถคำนวณความเร็วของแผงเซลล์สุริยะที่จะเคลื่อนไปได้สูงสุดได้ดังนี้คือ

สเตปมอเตอร์หมุนไป 60 รอบ แผงเซลล์สุริยะหมุนไป 1 รอบ

สเตปมอเตอร์หมุนไป  $60 * 24 = 1440$  ขั้น แผงเซลล์สุริยะหมุนไป 1 รอบ

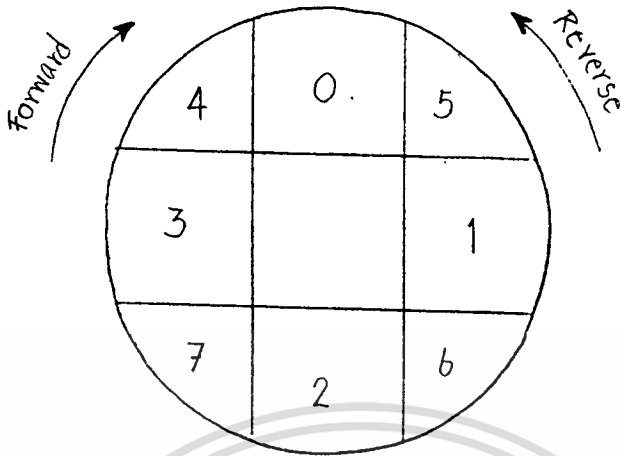
แต่สเตปมอเตอร์มีความเร็วสูงสุด 960 ขั้น / นาที

เพราะฉะนั้น แผงเซลล์สุริยะจะมีความเร็วสูงสุด 0.67 รอบ / นาที

การหมุนของมอเตอร์ในโครงการนี้ใช้มอเตอร์ 2 ตัว โดยมอเตอร์ตัวที่ 1 จะให้แผงเซนเซอร์หมุนในแนวเส้นรุ้ง ซึ่งหมุนได้ 360 องศา ส่วนมอเตอร์ตัวที่ 2 จะทำให้แผงเซนเซอร์หมุนในแนวเส้นแวง ซึ่งหมุนได้ 180 องศา (จาก 0 ถึง 180 องศา) โดยมอเตอร์ทั้งสองนี้จะมีเฟืองทด ออกแบบในลักษณะให้ล็อคกันเองได้ (self-lock) คือ ฟันเฟืองตึงฉากกันและชนกัน

จากการหมุนของมอเตอร์ทั้งสองตัว เพื่อความสะดวกในการเขียนโปรแกรม จึงกำหนดทิศทางการหมุน ให้กับมอเตอร์ทั้งสองตัวนี้ โดยกำหนดจากการหมุนของแผงเซนเซอร์ดังรูป 9.1

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 9.1 การกำหนดทิศการหมุนของมอเตอร์

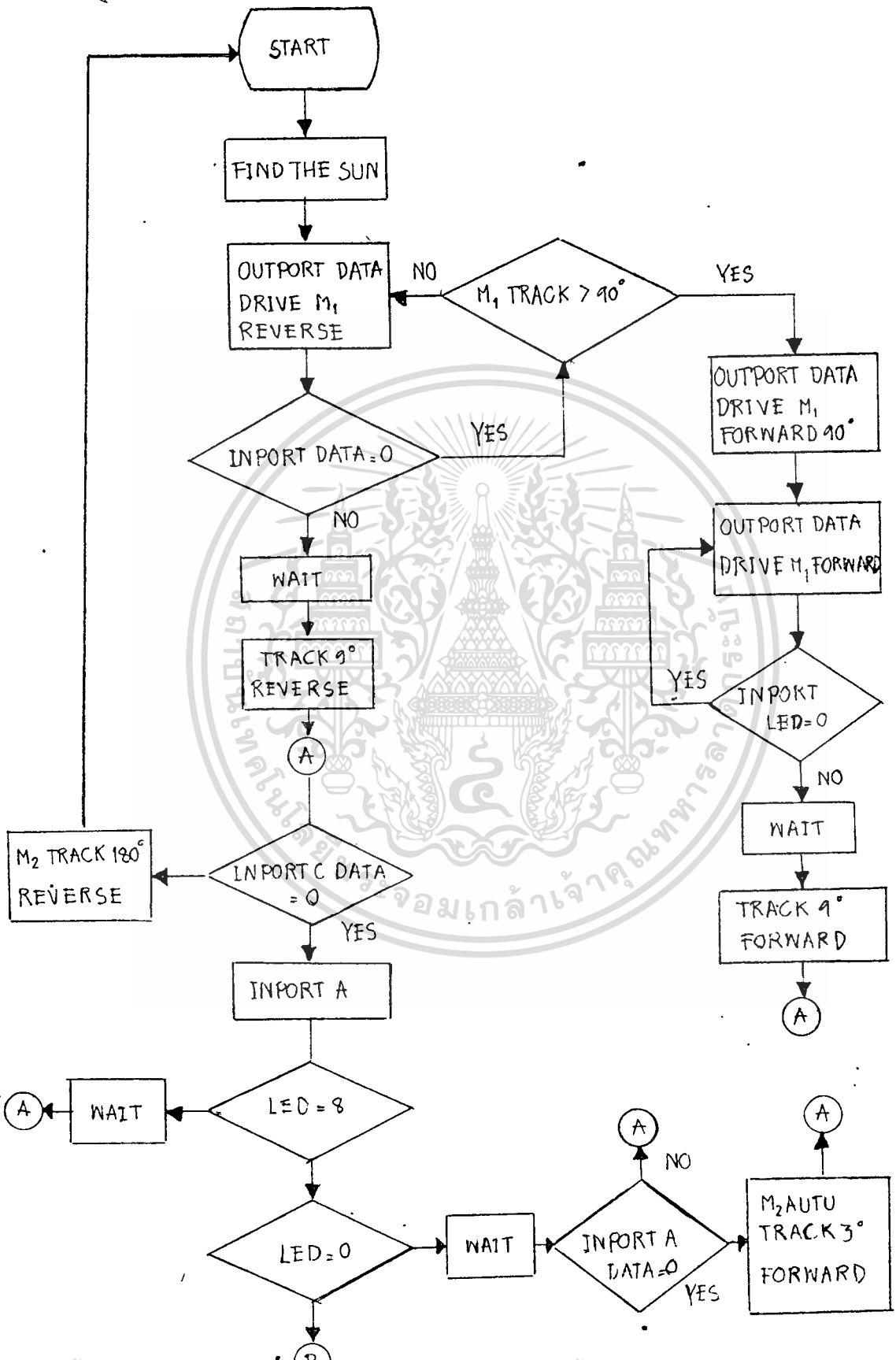


## บทที่ 10

## แนวทางการออกแบบโปรแกรม

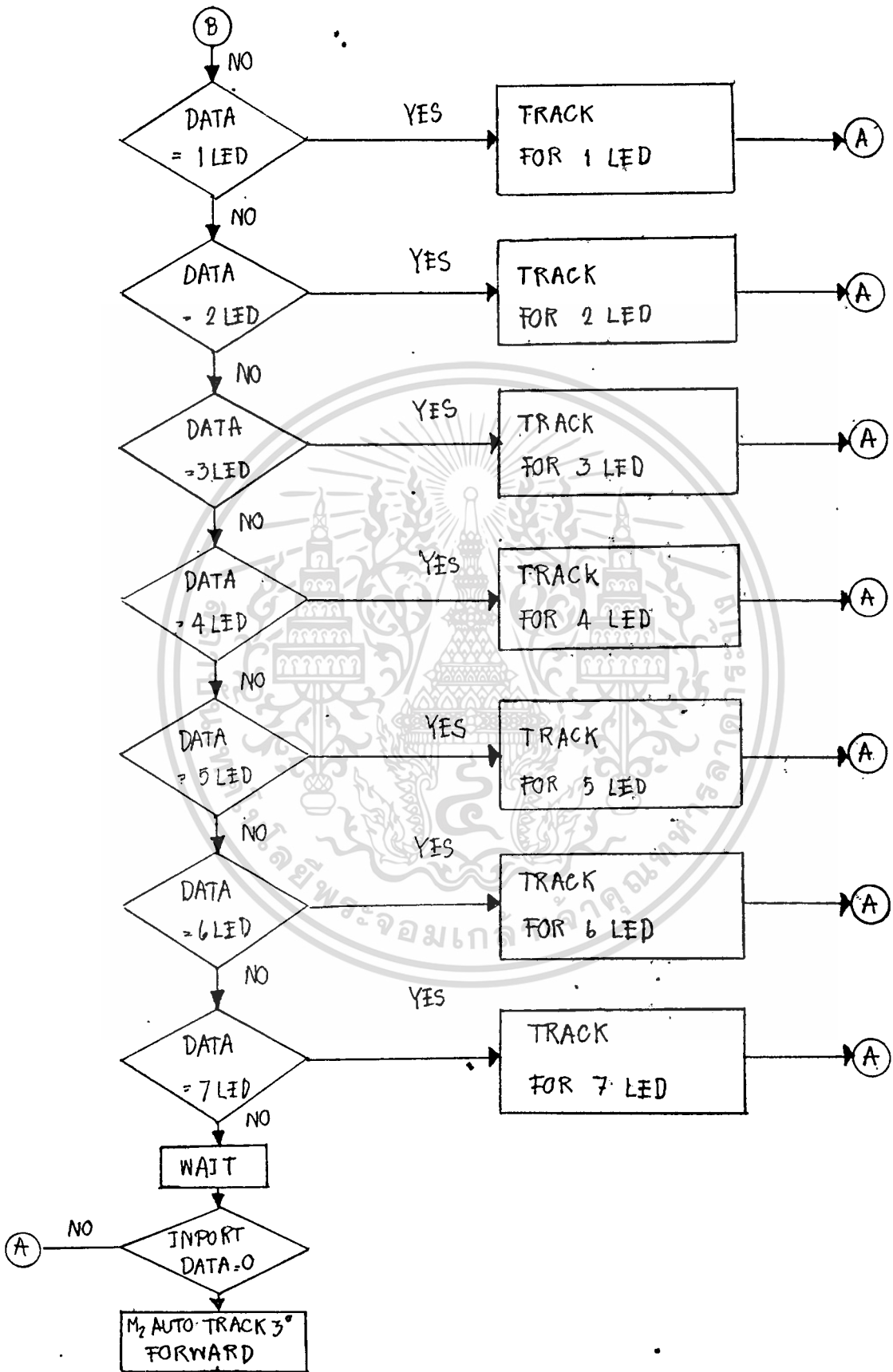
เราสามารถออกแบบโปรแกรม ซึ่งแสดงเงื่อนไขในการค้นหาและติดตามดวงอาทิตย์  
ตั้งโพลาร์ชาร์ตในหน้าถัดไป





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PA      EQU    60
PB      EQU    61
PC      EQU    62
CONTROL-P EQU    63
CONTROL-W EQU    99

```

ORG:

```

LD      A,99H
OUT     (63),A
LD      IX,0000H
LD      IX,016BH
@      LD      B,03H
LD      HL,XXXXH
LD      C,61H
#      OUTI
IN      A,(60H)
AND     A
JP      Z,(1)
LD      E,0CH
JP      R2J
(1)    DEC     IX
LD      (nn),IX
LD      DE,(nn)
LD      A,D
OR      E
JP      Z,(3)
XOR    A
OR      B
JP      Z,e
JP      #
(3)    LD      E,78H
CALL   F1C
$      LD      B,03H
LD      HL,XXXXH
Z      OUTD
IN      A,(60H)
AND     A
JP      Z,(4)
LD      E,0CH
JP      F1J
(4)    XOR    A
OR      B
JP      Z,$
JP      Z
(2)    LD      C,62H
IN      B,(C)
BIT    0,B
JP      Z,(5)
LD      E,F0H
CALL   R2C
JP      ORG
(5)    IN      A,(60H)
LD      D,A
XOR    A

```

	LD	B,08H
(5.3)	RLC	D
	JP	NC,(5.5)
	INC	A
(5.5)	DJNZ,	(5.3)
	CP	08H
	JP	Z,DELAYJ
	CP	07H
	JP	Z,DELAYJ
	CP	00H
	JP	Z,(6)
	CP	01H
	JP	Z,(7)
	CP	02H
	JP	Z,(13)
	CP	03H
	JP	Z,(37)
	CP	04H
	JP	Z,(45)
	CP	05H
	JP	Z,(69)
	CP	06H
	JP	Z,(77)
(6)	CALL	DELAYC
	IN	A,(60H)
	CP	00H
	JP	NZ,(5.1)
	LD	E,04H
	JP	F2J
(7)	LD	E,0CH
	LD	A,D
	CP	01H
(a)	JP	Z,R2J
	CP	02H
	JP	NZ,(8)
(b)	LD	(nn),IY
	LD	A,(nn)
	SUB	78H
	JR	C,(7.5)
	JP	R1J
(7.5)	JP	F1J
(8)	CP	04H
(c)	JP	Z,F2J
	CP	08H
	JP	NZ,(9)
(d)	LD	(nn),IY
	LD	A,(nn)
	SUB	78H
	JR	C,(8.5)
	JP	F1J
(8.5)	JP	R1J
(9)	CP	10H
	JP	NZ,(10)
(e)	LD	(nn),IY
	LD	A,(nn)

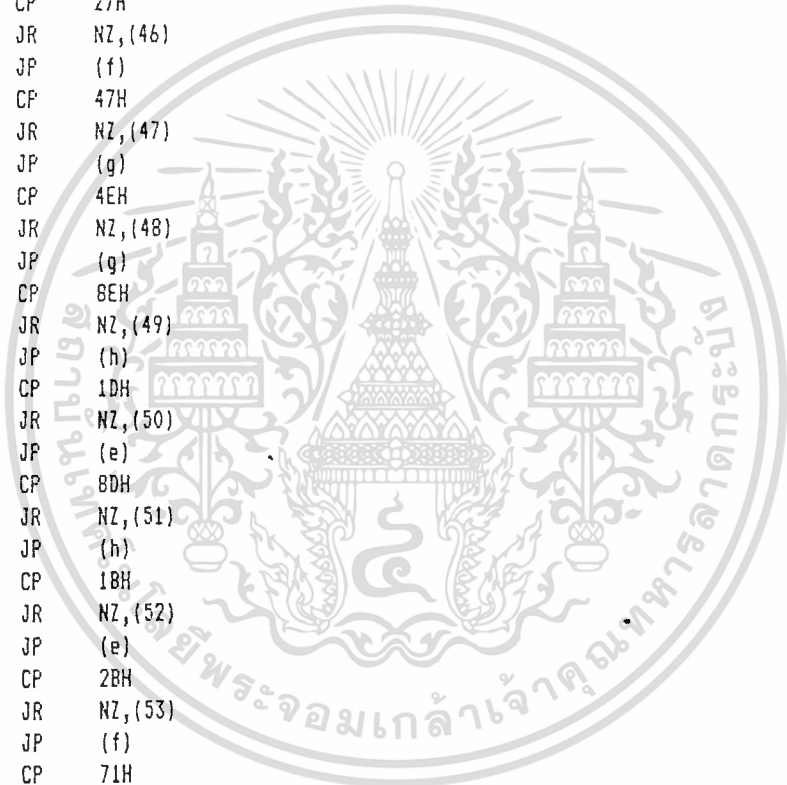
	SUB	78H
	JR	C,(9.5)
	JP	F1+R2
(9.5)	JP	R1+R2
(10)	CP	20H
	JP	NZ,(11)
(f)	LD	(nn),IY
	LD	A,(nn)
	SUB	78H
	JR	C,(10.5)
	JP	R1+R2
(10.5)	JP	F1+R2
(11)	CP	40H
	JP	NZ,(12)
(g)	LD	(nn),IY
	LD	A,(nn)
	SUB	78H
	JR	C,(11.5)
	JP	R1+F2
(11.5)	JP	F1+F2
(h)	LD	(nn),IY
	LD	A,(nn)
	SUB	78H
	JR	C,(12.5)
	JP	F1+F2
(12.5)	JP	R1+F2
(13)	LD	E,OCH
	LD	A,D
	CP	03H
	JR	NZ,(14)
	JP	(f)
(14)	CP	06H
	JR	NZ,(15)
	JP	(g)
(15)	CP	OCH
	JR	NZ,(16)
	JP	(h)
(16)	CP	09H
	JR	NZ,(17)
	JP	(e)
(17)	CP	30H
	JR	NZ,(18)
	JP	(a)
(18)	CP	60H
	JR	NZ,(19)
	JP	(b)
(19)	CP	C0H
	JR	NZ,(20)
	JP	(c)
(20)	CP	90H
	JR	NZ,(21)
	JP	(d)
(21)	CP	11H
	JR	NZ,(22)
	JP	(a)



เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวงเวียนสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

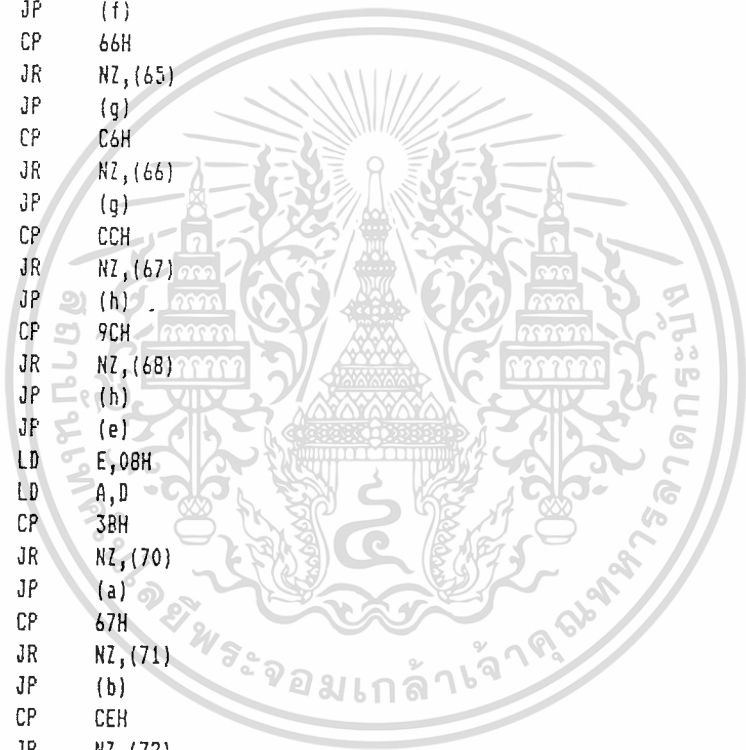
- (22) CP 21H  
JR NZ, (23)  
JP (a)
- (23) CP 41H  
JR NZ, (24)  
JP (a)
- (24) CP 81H  
JR NZ, (25)  
JP (a)
- (25) CP 22H  
JR NZ, (26)  
JP (b)
- (26) CP 42H  
JR NZ, (27)  
JP (b)
- (27) CP 82H  
JR NZ, (28)  
JP (b)
- (28) CP 12H  
JR NZ, (29)  
JP (b)
- (29) CP 44H  
JR NZ, (30)  
JP (c)
- (30) CP 84H  
JR NZ, (31)  
JP (c)
- (31) CP 24H  
JR NZ, (32)  
JP (c)
- (32) CP 14H  
JR NZ, (33)  
JP (c)
- (33) CP 88H  
JR NZ, (34)  
JP (d)
- (34) CP 18H  
JR NZ, (35)  
JP (d)
- (35) CP 28H  
JR NZ, (36)  
JP (d)
- (36) JP (d)
- (37) LD E, 0CH  
LD A, D  
CP 31H  
JR NZ, (38)  
JP (a)
- (38) CP 62H  
JR NZ, (39)  
JP (b)
- (39) CP C4H  
JR NZ, (40)  
JP (c)
- (40) CP 98H

	JR	NZ, (41)
	JP	(d)
(41)	CP	23H
	JR	NZ, (42)
	JP	(f)
(42)	CP	46H
	JR	NZ, (43)
	JP	(g)
(43)	CP	8CH
	JR	NZ, (44)
	JP	(h)
(44)	JP	(e)
(45)	LD	E,08H
	LD	A,D
	CP	27H
	JR	NZ, (46)
	JP	(f)
(46)	CP	47H
	JR	NZ, (47)
	JP	(g)
(47)	CP	4EH
	JR	NZ, (48)
	JP	(g)
(48)	CP	8EH
	JR	NZ, (49)
	JP	(h)
(49)	CP	1DH
	JR	NZ, (50)
	JP	(e)
(50)	CP	8DH
	JR	NZ, (51)
	JP	(h)
(51)	CP	18H
	JR	NZ, (52)
	JP	(e)
(52)	CP	28H
	JR	NZ, (53)
	JP	(f)
(53)	CP	71H
	JR	NZ, (54)
	JP	(a)
(54)	CP	72H
	JR	NZ, 55H
	JP	(b)
(55)	CP	E2H
	JR	NZ, (56)
	JP	(b)
(56)	CP	E4H
	JR	NZ, (57)
	JP	(c)
(57)	CP	D4H
	JR	NZ, (58)
	JP	(c)
(58)	CP	D8H
	JR	NZ, (59)

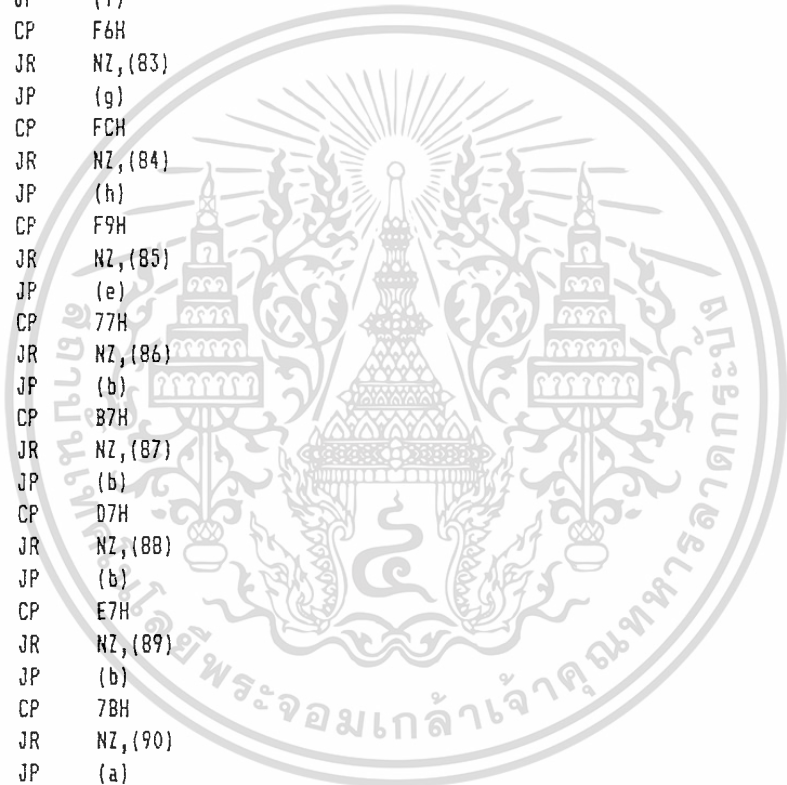


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	JP	(d)
(59)	CP	BBH
	JR	NZ, (60)
	JP	(d)
(60)	CP	B1H
	JR	NZ, (61)
	JP	(a)
(61)	CP	39H
	JR	NZ, (62)
	JP	(e)
(62)	CP	33H
	JR	NZ, (63)
	JP	(f)
(63)	CP	63H
	JR	NZ, (64)
	JP	(f)
(64)	CP	66H
	JR	NZ, (65)
	JP	(g)
(65)	CP	C6H
	JR	NZ, (66)
	JP	(g)
(66)	CP	CCH
	JR	NZ, (67)
	JP	(h)
(67)	CP	9CH
	JR	NZ, (68)
	JP	(h)
(68)	JP	(e)
(69)	LD	E,08H
	LD	A,D
	CP	38H
	JR	NZ, (70)
	JP	(a)
(70)	CP	67H
	JR	NZ, (71)
	JP	(b)
(71)	CP	CEH
	JR	NZ, (72)
	JP	(c)
(72)	CP	9DH
	JR	NZ, (73)
	JP	(d)
(73)	CP	73H
	JR	NZ, (74)
	JP	(f)
(74)	CP	E6H
	JR	NZ, (75)
	JP	(g)
(75)	CP	DCH
	JR	NZ, (76)
	JP	(h)
(76)	JP	(e)
(77)	LD	E,04H
	LD	A,D



	CP	3FH
	JR	NZ,(78)
	JP	(a)
(78)	CP	6FH
	JR	NZ,(79)
	JP	(b)
(79)	CP	CFH
	JR	NZ,(80)
	JP	(c)
(80)	CP	9FH
	JR	NZ,(81)
	JP	(d)
(81)	CP	F3H
	JR	NZ,(82)
	JP	(f)
(82)	CP	F6H
	JR	NZ,(83)
	JP	(g)
(83)	CP	FCH
	JR	NZ,(84)
	JP	(h)
(84)	CP	F9H
	JR	NZ,(85)
	JP	(e)
(85)	CP	77H
	JR	NZ,(86)
	JP	(b)
(86)	CP	B7H
	JR	NZ,(87)
	JP	(b)
(87)	CP	D7H
	JR	NZ,(88)
	JP	(b)
(88)	CP	E7H
	JR	NZ,(89)
	JP	(b)
(89)	CP	7BH
	JR	NZ,(90)
	JP	(a)
(90)	CP	8BH
	JR	NZ,(91)
	JP	(a)
(91)	CP	DBH
	JR	NZ,(92)
	JP	(a)
(92)	CP	EBH
	JR	NZ,(93)
	JP	(a)
(93)	CP	7DH
	JR	NZ,(94)
	JP	(d)
(94)	CP	BDH
	JR	NZ,(95)
	JP	(d)
(95)	CP	DDH



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

JR    NZ,(96)
JP    (d)
(96) CP    EDH
JR    NZ,(97)
JP    (d)
(97) CP    7EH
JR    NZ,(98)
JP    (c)
(98) CP    BEH
JR    NZ,(99)
JP    (c)
(99) CP    DEH
JR    NZ,(100)
JP    (c)
(100) JP   (c)
    
```

```

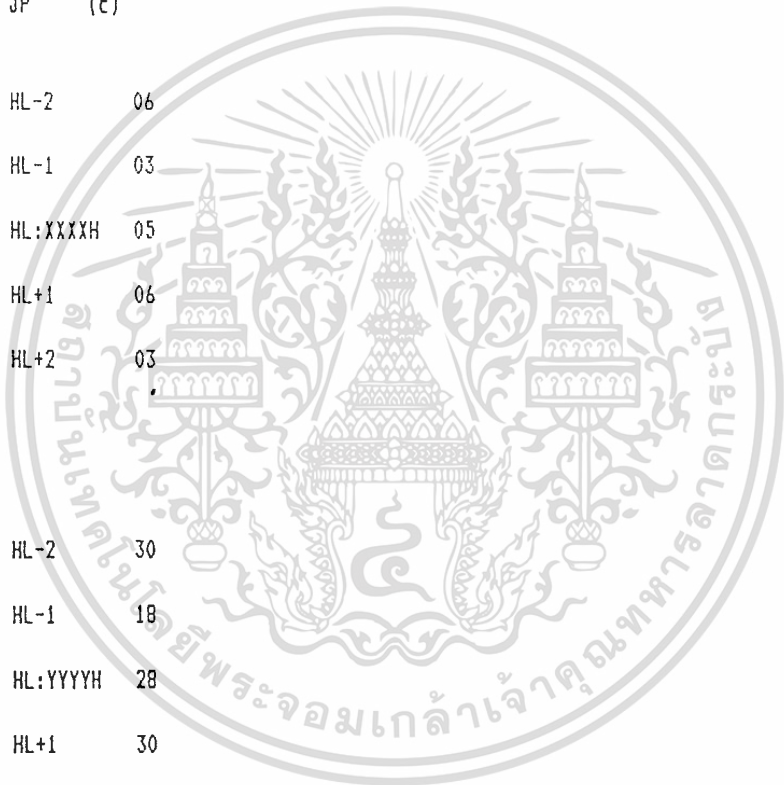
HL-2    06
HL-1    03
HL:XXXXH 05
HL+1    06
HL+2    03

HL-2    30
HL-1    18
HL:YYYYH 28
HL+1    30
HL+2    18
    
```

F1J:

```

LD    C,81
Z     LD    HL,XXXXH
     LD    B,03
e     OUTD
     CALL  DELAY "C"
     XOR  A
     OR   B
     JR   NZ , @
     DEC  E
     JR   NZ , %
     JP  (2)
    
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F1C:

```

LD    C,81
@    LD    HL,XXXXH
LD    B,03
#    OUTD
CALL  DELAY "C"
XOR  A
OR   B
JR   NZ , #
DEC  E
JR   NZ , @
RET

```

R1J:

```

LD    C,81
@    LD    HL,XXXXH
LD    B,03
#    OUTI
CALL  DELAY "C"
XOR  A
OR   B
JR   NZ , #
DEC  E
JR   NZ , @
JP   (2)

```

R1C:

```

LD    C,81
@    LD    HL,XXXXH
LD    B,03
#    OUTI
CALL  DELAY "C"
XOR  A
OR   B
JR   NZ , #
DEC  E
JR   NZ , @
RET

```

F2J:

```

LD    C,81
@    LD    HL,YYYYH
LD    B,03
#    OUTD
CALL  DELAY "C"
XOR  A
OR   B
JR   NZ , #
INC  IY
DEC  E
JR   NZ , @
JP   (2)

```

R2J:

LD C,81

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

e LD HL,YYYYH
LD B,03
# OUTI
CALL DELAY "C"
XOR A
OR B
JR NZ , #
DEC IY
DEC E
JR NZ , e
JP (2)

R2C:
LD C,81
e LD HL,YYYYH
LD B,03
# OUTI
CALL DELAY "C"
XOR A
OR B
JR NZ , #
DEC IY
DEC E
JR NZ , e
RET

F1+F2:-
LD C,81
LD D,E
e LD HL,XXXXH
LD B,03
# OUTD
CALL DELAY "C"
XOR A
OR B
JR NZ , #
DEC D
JR NZ , e
LD D,E
% LD HL,YYYYH
LD B,03
& OUTD
CALL DELAY "C"
XOR A
OR B
JR NZ , &
INC IY
DEC D
JR NZ , %
JP (2)

F1+R2:
LD C,81
LD D,E
e LD HL,XXXXH

```

```

LD      B,03
#      OUTD
CALL    DELAY "C"
XOR     A
OR      B
JR      NZ , #
DEC     D
JR      NZ , @
LD      D,E
%      LD      HL,YYYYH
LD      B,03
&      OUTI
CALL    DELAY "C"
XOR     A
OR      B
JR      NZ , &
DEC     IY
DEC     D
JR      NZ , %
JP      (2)

R1+F2:
LD      C,81
LD      D,E
e      LD      HL,XXXXH
LD      B,03
#      OUTI
CALL    DELAY "C"
XOR     A
OR      B
JR      NZ , #
DEC     D
JR      NZ , @
LD      D,E
%      LD      HL,YYYYH
LD      B,03
&      OUTD
CALL    DELAY "C"
XOR     A
OR      B
JR      NZ , &
INC     IY
DEC     D
JR      NZ , %
JP      (2)

R1+R2:
LD      C,81
LD      D,E
e      LD      HL,XXXXH
LD      B,03
#      OUTI
CALL    DELAY "C"
XOR     A
OR      B

```

```

JR    NZ    , #
DEC   D
JR    NZ    , e
LD    D,E
%    LD    HL,YYYYH
LD    B,03
&    OUTI
CALL  DELAY "C"
XOR   A
OR    B
JR    NZ    , &
DEC   IY
DEC   D
JR    NZ    , %
JP    (2)
    
```

DELAY J:

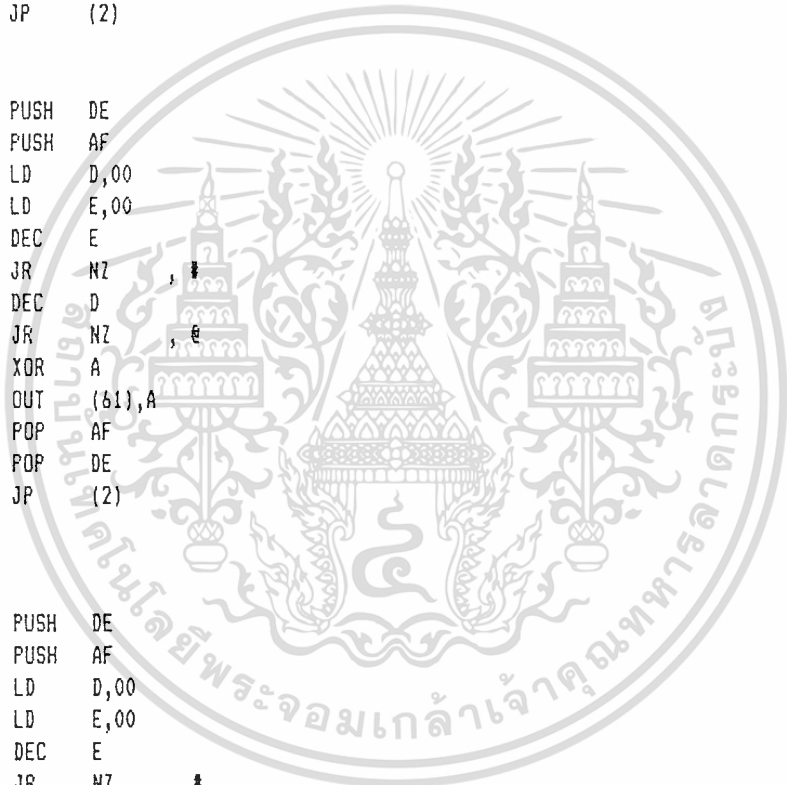
```

PUSH  DE
PUSH  AF
LD    D,00
e    LD    E,00
#    DEC   E
JR    NZ    , #
DEC   D
JR    NZ    , e
XOR   A
OUT   (61),A
POP   AF
POP   DE
JP    (2)
    
```

DELAY C:

```

PUSH  DE
PUSH  AF
LD    D,00
e    LD    E,00
#    DEC   E
JR    NZ    , #
DEC   D
JR    NZ    , e
XOR   A
OUT   (61),A
POP   AF
POP   DE
RET
    
```



## กิตติกรรมประกาศ

ในโครงการนี้ที่สามารถลุล่วงสำเร็จลงไปได้ ก็เพราะได้มีบุคคลที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทำโครงการนี้ บุคคลแรกที่จะกล่าวถึงคือ รศ.ดร.โยธิน เปรมปราวณีรัชต์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ได้ให้คำแนะนำและแนวทางในการแก้ปัญหาต่าง ๆ บุคคลต่อไปคือ อ.รัชชัย เอกเสถียร ซึ่งแนะนำการออกแบบและทดลองและช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ และ อ.วันชัย รุ่งรุจา เป็นผู้ให้คำแนะนำเป็นบางส่วนในการออกแบบ และ นายบุญชัย ชาญเขียวชิงชัย ซึ่งเป็นเพื่อนนักศึกษา ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำปริญาโทฉบับนี้ด้วย  
จึงขอแสดงความขอบคุณต่อบุคคลเหล่านี้ในที่นี้ด้วย



## หนังสืออ้างอิง

1. BENJAMIN KUO, " STEP MOTORS AND CONTROL SYSTEMS ", SRL PUBLISHING COMPANY, CHAMPAIGN ,ILLINOIS. 1979
2. Dr.JAN F. KREIDER AND Dr.FRANK KREITH, " SOLAR ENERGY HANDBOOK " , Mc GRAW-HILL BOOK COMPANY, USA. 1981
3. JONATHAN A. TITUS, DAVID G.LARSEN AND CHRISTOPHER A. TITUS, "APPLY INTERFACING ", HOWARD W. SAMS & CO.,LNC, USA. 1982
4. TAKASHI KENJO, " STEPPING MOTOR AND THEIR MICROPROCESSOR CONTROL ", OXFORD UNIVERSITY. 1984
5. Z-80 APPLICATION โดย JAMES W. COFFRON, SYBEX INC. 1983
6. ET Z-80 MICROCOMPUTER VERSION 2.0  
SINGLE BOARD USER'S MANUAL