



เครื่องเจาะ วาด พิมพ์ อัตโนมัติ

DRILL PLOT PRINT AUTOMATIC MACHINE



ปริญญาโทนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2537

หัวข้อปฏิญานิพนธ์

เครื่องเจาะ วาด พิมพ์ อัดโนมัติ

โดย

นาย กิตติ ทาเช่าว์ เลขประจำตัว 35-103089

นาย ชวิญชัย โชมขุนทด เลขประจำตัว 35-103090

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.ไพศาล สิทธิโสภาสสกุล

ภาควิชา เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2537

คณะกรรมการศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นับปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของ การศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตร
บัณฑิต

คณะกรรมการสอบปฏิญานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(.....)

..... กรรมการ

(.....)

..... กรรมการ

(.....)

..... กรรมการ

(.....)

..... กรรมการ

(.....)

ลิขสิทธิ์ของคณะกรรมการศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องเจาะ วาด พิมพ์ อัตโนมัติ
DRILL PLOT PRINT AUTOMATIC MACHINE

โดย 1. นาย กิตติ ทาเช่าว
2. นาย ขวัญชัย โชมขุนทด

อาจารย์ที่ปรึกษา อ. ไพศาล สิทธิโยภาสสกุล

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน จะเห็นว่า ได้มีการนำเอาคอมพิวเตอร์มาใช้ ในการควบคุมเครื่องจักรกล ซึ่งจะทำการประยุกต์วิทยาการทั้ง 2 ด้าน เข้าหากัน ผลที่ได้ก็คือ เครื่องจักรกล จะมีความสามารถในการทำงาน หรือ ประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีขึ้นกว่าเดิม

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ แสดงให้เห็นถึง การออกแบบสร้างเครื่องเจาะ PCB และ เครื่อง Plot ซึ่งควบคุมการทำงานโดยไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งเราจะใช้ร่วมกับโปรแกรม Protel V.3.3 ซึ่งมีการออกแบบสายวงจรไว้แล้วส่วนทางด้านการPlot เราใช้โปรแกรม Protel V.3.3

ABSTRACT

Nowaday, Computers have been introduced to control various machineries. This in-coperation of the technologies have enabled machineries to become more efficient.

This thesis will illustrate another way of disigning PCB electronic drill and plotter which are controlled by the micro computerized system. Together with this system, Protel V.3.3 programme which already has the circuit contained within it is used. Another programme Protel V.3.3 is used for plotting.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญาานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงด้วยความเรียบร้อยด้วยการให้ความสนับสนุนจากผู้มีพระคุณ ดังต่อไปนี้

1. อาจารย์ไพศาล สิทธิโยภาสสกุล
2. พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ห้อง 3L
3. พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ กองซ่อมบริษัท กรมช่างอากาศ

ทางผู้จัดทำขอขอบคุณมา ณ. ที่นี้ด้วย

อนึ่งผู้จัดทำขอขอบคุณงามความดี ทั้งหลายจากปริญาานิพนธ์ฉบับนี้ แก่ บิดา มารดา ครูบาอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1	
1.1 บทนำ	1
1.2 เป้าหมายและเหตุผลในการวิจัยโครงการ	2
บทที่ 2	
ทฤษฎี	
2.1 หลักการทำงานของสแตมป์มอเตอร์ที่ต่างๆไป	3
2.2 การขับสแตมป์มอเตอร์	23
2.3 การอินเตอร์เฟสกับการ์ด PARALLEL PRINTER PORT	25
บทที่ 3	
หลักการทํางานของวงจร และโครงสร้าง	
3.1 หลักการทํางานของวงจร	28
3.2 โครงสร้างของปริ้นท์ยานิพนธ์	34
บทที่ 4	
การทดลองผลการทดลอง และสรุปผลการดำเนินการ	
4.1 ผลการทดลองและการทดสอบโครงการ	44
4.2 สรุปผลการดำเนินการ	46
4.3 การวิเคราะห์ และแนวทางการพัฒนาต่อของโครงการ	48
บรรณานุกรม	49
ภาคผนวก	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

เครื่องเจาะที่ใช้งานกันในปัจจุบัน เราสามารถแบ่งออก ได้เป็น 2 ระดับคือ เครื่องเจาะ PCB ในระดับโรงงานอุตสาหกรรมใหญ่ ๆ และเครื่องเจาะ PCB ในระดับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางจนถึงขนาดเล็ก ในระดับโรงงานอุตสาหกรรมใหญ่ ๆ นั้น จะทำการในปริมาณมาก ๆ ต้องการความเร็วในการทำงานสูงรวมถึงความถูกต้องของงาน เครื่องจักรที่ใช้จึงต้องมีความสามารถสูง และต้องมีเทคโนโลยีสูง ๆ ด้วยซึ่งแน่นอนราคา จึงต้องสูงตามไปด้วย ส่วนมากแล้วจะนำเข้าจากต่างประเทศใน ทางกลับกันเครื่องเจาะ PCB ในระดับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง และขนาดเล็กค่อนข้างมีน้อย เพราะทำขึ้นมาใช้งานได้ไม่ค่อยคุ้มค่าเท่าไร เมื่อเทียบกับปริมาณงานความต้องการของตลาด จึงไม่เหมาะกับการลงทุนสร้าง อีกทั้งสร้างขึ้นมาได้ก็มีความเร็วในการเจาะยังต่ำ ปริมาณในการเจาะก็น้อย ความเที่ยงตรงค่อนข้างน้อยความสะดวกในการใช้งานก็ยังมีน้อยอีกด้วย

ปริญญาโทฉบับนี้ มีแนวคิดที่ว่าจะทำการวิจัยและออกแบบสร้างเครื่องเจาะ PCB ขนาดเล็กขึ้นมาใช้ โดยยังมีแนวคิดเพิ่มเติมอีกว่าจะรวมเอาการ Plot ลงไปด้วย เพื่อให้ ปริญญาโทฉบับนี้ มีความสามารถในการทำงานเพิ่มขึ้น ปริญญาโทฉบับนี้จึงได้ทำการรวมการเจาะ PCB , Plot และ Print ไว้เข้าด้วยกัน

1.2 เป้าหมายและเหตุผลในการวิจัยโครงการ

สำหรับการวิจัยโครงการนี้ได้กำหนดเป้าหมายไว้ว่า ทำการออกแบบและสร้างเครื่องที่เป็นต้นแบบ ซึ่งถูกควบคุมการทำงานโดยไมโครคอมพิวเตอร์โดยการ Interface วงจรควบคุมหัวเจาะ ทั้งการหมุนและการเคลื่อนที่ขึ้นลง วงจรควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวเจาะทางแกน X [X-AXIS] แกน Y [Y-AXIS] และ แกน Z [Z-AXIS]

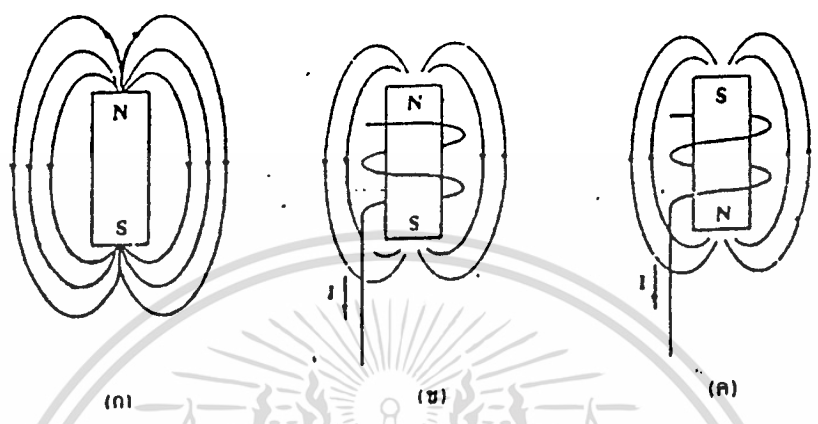
ในทางการเคลื่อนที่ของชุดหัวเจาะทางแกน X และแกน Y [X-AXIS AND Y-AXIS] จะใช้ Stepping Motor 2 ตัว โดยใช้ Stepping Motor ตัวที่ 1 ขับเคลื่อนแกน X [X-AXIS] และ Stepping Motor ตัวที่ 2 ขับเคลื่อนแกน Y [Y-AXIS] ทางด้าน แผ่น PCB และกระดาษจะถูกยึดอยู่กับที่บนแท่น ซึ่งจะทำให้มีความผิดพลาด หรือ ความคลาดเคลื่อนน้อยมาก

ทางด้านตัวส่วนที่ใช้ขับเคลื่อนหัวเจาะ เป็น DC Motor ความเร็วรอบประมาณ 12000 RPM ที่ 28 V เมื่อข้อมูลจะถูกส่งมายังโครงการโดยผ่านทาง Port Printer มาสั่งให้วงจรควบคุมให้เคลื่อนไปทางแกน X และ Y ตามแต่โปรแกรมที่สั่งให้ทำการเจาะตามโปรแกรม

ในส่วนของการ Plot จะรวมติดกับ ชุด หัวเจาะ โดยเราจะใช้ Solinoid เป็นตัวคอยยกปากกา การสั่งงานก็เช่นเดียวกับการเจาะโดยมีโปรแกรมควบคุมและส่งผ่านมายัง Port Printer

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 หลักการทำงานของสเตปมอเตอร์ทั่ว ๆ ไป



ในรูปที่ 2.1 แสดงถึงสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในลักษณะต่าง ๆ

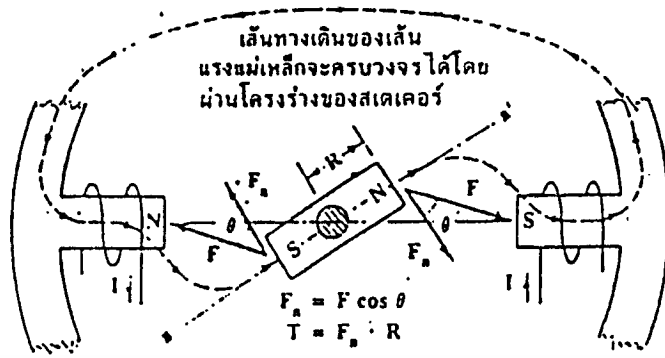
- ในรูป 2.1 (ก) สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากแม่เหล็กถาวร
- (ข) สนามแม่เหล็กของแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแส I
- (ค) ขั้วแม่เหล็กกลับทิศทาง เมื่อขดลวดถูกพันกลับทิศทางและทิศทางการกระแสไม่เปลี่ยนแปลง

ในรูปที่ 2.2 แท่งแม่เหล็กถาวรติดอยู่บนเพลลา และหมุนได้อิสระเหมือนอาร์มาเจอร์ มีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า 2 ขั้ว ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงโลหะ ที่เป็นสเตเตอร์ [Stator]

ในรูปที่ 2.2 ตำแหน่งแกนของอาร์มาเจอร์แม่เหล็ก คือ a-a' ซึ่งต่างไปจากตำแหน่งแกนขั้ว ของแม่เหล็กไฟฟ้าเล็กน้อย เป็นมุม θ องศา
แรงแม่เหล็กที่เกิดจาก การดึงดูดของขั้วแม่เหล็กที่ต่างกัน ทำให้เกิดส่วนของแรงปกติ

$$F_n = F \cos \theta \text{ [แรงนี้ตั้งฉากกับแกน a-a']}$$

ทอร์คผลรวม $T = F_n \cdot R$ [ทำให้อาร์มาเจอร์หมุนไปทิศทาง CW จนกว่าแกนของมาเจอร์ a-a' จะอยู่ในแนวเดียวกันกับแกนขั้วของสเตเตอร์



รูปที่ 2.2 แสดงแรงดึงดูด ทำให้เกิดทอร์คที่หมุนอาร์มาเจอร์ให้ไปอยู่ในตำแหน่งสมดุลย์

ถ้าหากมีคู่ขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าหลาย ๆ คู่ ขั้วรอบ ๆ สเตเตอร์ และถ้าหากขั้วเหล่านั้นถูกกระตุ้นด้วย กระแสพัลส์ในรูปแบบที่เรียงลำดับกันไป อาร์มาเจอร์ก็จะหมุนในรูปแบบลักษณะของสเตปที่เป็นไปตามการหมุนของสนามแม่เหล็ก ที่เกิดจากการสวิตซ์ ที่เรียงลำดับของขดลวด ขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าของสเตเตอร์

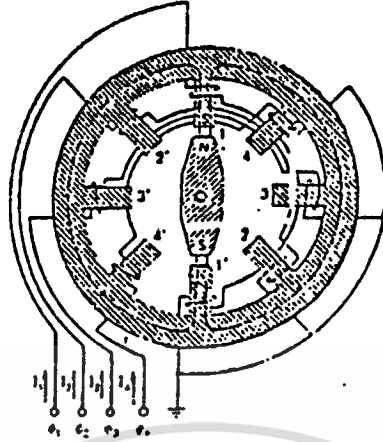
สเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร [Permanent Magnet Stepping Motor]

โครงสร้างของสเตปมอเตอร์ แบบแม่เหล็กถาวร แสดงได้ในรูปที่ 2.3

ในรูปที่ 2.3 เป็นสเตปมอเตอร์แบบ 4 เฟส แต่ละเฟสเป็นขดลวดอยู่บน 2 ขั้วของสเตเตอร์ ดังนั้นในการออกแบบนี้ สเตเตอร์จะต้องมี 8 ขั้ว

โรเตอร์ทำจากแม่เหล็กถาวร และอยู่ในแนวของขั้วสเตเตอร์ I ละ I' มันหยุดอยู่ที่ตำแหน่งนี้ได้ด้วยกระแส I 1 ที่ไหลอยู่ในเฟส 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของสเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมี 4 และแต่เฟสพันด้วย
ขดลวด บน 2 ขั้วของสเตเตอร์มีสเตปเท่ากับ 45 องศา

ขดลวดของเฟส $\phi 1$, $\phi 2$, $\phi 3$ และ $\phi 4$ [1-4-3-2 ตามลำดับ] จะได้รับ
พลังงานด้วยกระแสพัลส์ ที่สอดคล้องกัน I1, I4, I3 และ I2 [กระแสแต่ละเฟสจะไหล
ในทิศทางที่แสดงในไดอะแกรม] แต่ละสเตปโรเตอร์ จะหมุนไปตามทิศทางตามเข็มนาฬิกา
45 องศา [360/8]

เมื่อขั้วเหนือของโรเตอร์ [แม่เหล็กถาวร] หมุนไปถึงขั้วของสเตเตอร์
หมายเลข 2 ลำดับการขับขดลวดเฟส ของสเตปมอเตอร์ คือ 1-4-3-2 จะต้องกระทำ
เหมือนเดิม [เพื่อให้มอเตอร์หมุนไปตามเข็มนาฬิกาอีก 180 องศา] ยกเว้นเราต้องการ
ให้หมุนกลับทิศทางใน 180 องศา ที่เหลือด้วยการป้อนกระแสกลับทิศทาง เพื่อให้เกิดการ
เหนี่ยวนำเป็นขั้วใต้ ที่ขั้วสเตเตอร์ 1', 4', 3' และ 2' ตามลำดับ [ทิศทางของกระแส
แสดงในรูปที่ 2.3]

สเตปมอเตอร์แบบค่ารีลักแตนซ์แปรค่า ได้ที่มีสแต็คเดียว [Variable Reluctance One Step Stepping Motor]

ตัวอย่างโครงสร้างของสเตปมอเตอร์ แบบค่ารีลักแตนซ์แปรค่าได้ที่มีสแต็ค
เดียว หรือที่เรียกสั้นว่า VR สเตปมอเตอร์ที่มีสแต็คเดียว แสดงได้ในรูปที่ 2.4

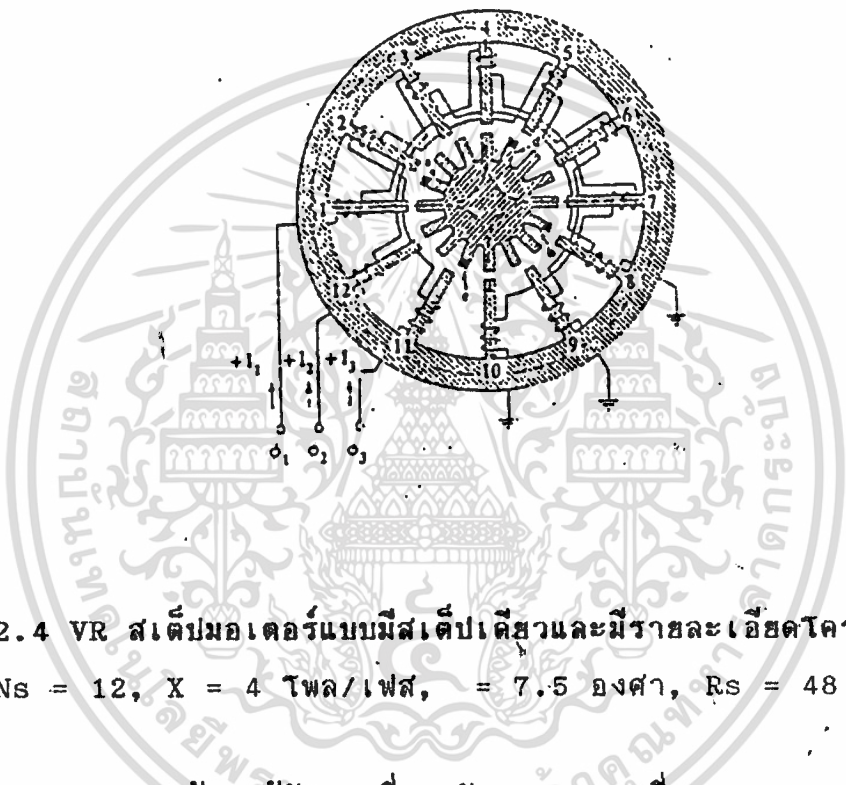
VR สเตปมอเตอร์ ที่มีสแต็คเดียวจะมีโรเตอร์เดียว เมื่อเทียบกับ VR
สเตปมอเตอร์แบบที่สแต็คหมายถึง มีหลายโรเตอร์ โรเตอร์และสเตเตอร์ทำจากสาร
แม่เหล็ก

ไม่มีการแก้ไขทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเตปมอเตอร์ในรูปแบบที่ 2.4 มี 3 เฟส แต่ละเฟสใช้ขดลวดพันบน 4 ขั้วหรือซี่ฟันของ สเตเตอร์

ตัวอย่าง เฟสที่ 1 พันอยู่บนขั้วที่ 1, 4, 7 และ 10 ของสเตเตอร์ ดังนั้น สเตเตอร์จะมี 12 ขั้วฟัน และในที่นี้กำหนดให้โรเตอร์มี 16 ขั้วฟัน

ขั้วของสเตเตอร์ที่อยู่ตรงกันข้าม จะพันด้วยขดลวดลักษณะที่ต่างกัน เพื่อให้มีความสมดุลระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กเข้า และออกจากโรเตอร์



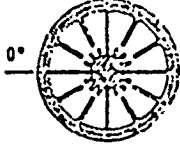
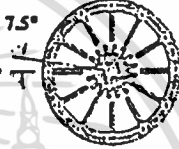

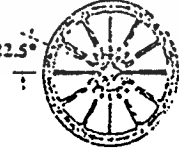
รูปที่ 2.4 VR สเตปมอเตอร์แบบมีสเต็ปเดี่ยวและมีรายละเอียดโครงสร้างดังนี้
 $N_r = 16$, $N_s = 12$, $X = 4$ โพล/เฟส, $\tau = 7.5$ องศา, $R_s = 48$ สเตป/รอบ

สมมติว่ากระแส I_1 ป้อนให้กับเฟสที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และโรเตอร์ทั้ง 4 ขั้วฟันจะอยู่ในแนวซี่ฟันที่ 1, 4, 7 และ 10 ของสเตเตอร์ เส้นแรงแม่เหล็ก จะเข้าสู่โรเตอร์จากสเตเตอร์ ซี่ฟันที่ 4 และ 10 และออกจากโรเตอร์ไปยังซี่ฟันของสเตเตอร์ที่ 1 และ 7 ซึ่งเป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก ที่ครบวงจร โดยผ่านโครงร่างของสเตเตอร์เราจะสังเกตเห็นว่า ปลายของซี่ฟันของสเตเตอร์ที่ 4 จะถูกเหนี่ยวนำเป็นขั้วเหนือ [เนื่องจากเส้นแรงออกจากซี่ฟันที่ 4] และปลายของซี่ฟันโรเตอร์ซึ่งอยู่ในแนวเดียวกับซี่ฟันที่ 4 ของสเตเตอร์จะเป็นเส้นทางผ่านเข้าไปยังโรเตอร์ของเส้นแรงแม่เหล็กและเหนี่ยวนำ ให้ปลายของซี่ฟันของโรเตอร์นั้นเป็นขั้วใต้ การทำให้เกิดลักษณะเป็นแม่เหล็กนี้ จะทำให้มีเส้นแรงแม่เหล็กอย่างต่อเนื่องผ่านช่องว่าง [gap] ระหว่างซี่ฟันทั้งสอง ที่อยู่ในแนวเดียวกันส่วนซี่ฟันของสเตเตอร์ และโรเตอร์ที่เหลืออีก 3 คู่ก็เกิดลักษณะของแม่เหล็ก ในทำนองเดียวกัน

ในสภาวะต่อไปเราจะให้โรเตอร์หมุนไปหนึ่งสเต็ป ในทิศทาง cw เราจะต้องจ่าย
เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานให้กับเฟส 3 ที่มีขดลวดพันอยู่บนขั้วพื้นที่ 2, 3, 8, และ 11 ของสเตเตอร์ด้วยกระแส I3 หลังจากหยุดจ่ายกระแส II แล้ว ในตอนนี้เส้นแรงแม่เหล็ก จะหาทางเดินที่ต่างไปจากเดิม เพื่อให้วงจรมแม่เหล็กครบวงจร (เหมือนกับกระแสในวงจรไฟฟ้าจะหาเส้นทางไหลในส่วนที่มีความต้านทานทางต่ำที่สุด) ในทำนองเดียวกัน เส้นแรงแม่เหล็กในวงจรมแม่เหล็กก็จะหาเส้นทางเดินที่มีค่า รีลักแตนซ์ต่ำที่สุด (ช่องว่างอากาศระหว่างขั้วพื้นที่ จะทำให้เกิดค่ารีลักแตนซ์ ต่อเส้นแรงแม่เหล็กช่องว่างไปยังขั้วพื้นที่ของโรเตอร์ที่ใกล้ที่สุด ขั้วพื้นที่ a และ b ของโรเตอร์เป็นโรเตอร์ ที่อยู่ใกล้ที่สุด และจะถูกเหนี่ยวนำให้เป็นขั้วได้ เส้นแรงแม่เหล็กจะออกจากขั้วพื้นที่ d และ e ของโรเตอร์ผ่านช่องว่างอากาศ เข้าสู่ขั้วพื้นที่ 5 และ 11 ของสเตเตอร์ ดังนั้นส่วนที่เหลือของวงจรมแม่เหล็กจะสมบูรณ์ โดยผ่านโครงร่างของสเตเตอร์ ในระหว่างเวลานั้นแรงของแม่เหล็ก หรือแรงดึงดูดจะเกิดขึ้นระหว่างขั้วพื้นที่ 2 ของสเตเตอร์ [ถูกเหนี่ยวนำเป็นขั้วเหนือ] และขั้วพื้นที่ a ของโรเตอร์[ถูกเหนี่ยวนำเป็นขั้วใต้] แรงดึงดูดจะเกิดขึ้นระหว่างคู่ขั้ว [11, e], [8, b] และ [5, d] ด้วย ดังที่อธิบายในรูปที่ 2.2 ผลที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้เกิดทอร์กกระทำต่อ โรเตอร์หมุนไป จนกระทั่งทอร์กกระทำต่อโรเตอร์หมุนไปจนกระทั่งขั้วพื้นที่ a, d, b และ e ของโรเตอร์อยู่ในแนวเดียวกับขั้วพื้นที่ 2, 5, 8 และ 11 ของสเตเตอร์ตามลำดับ ขณะเวลาดังกล่าว ช่องว่างระหว่างขั้วพื้นที่ตามลำดับจะมีค่าน้อยที่สุด ผลลัพธ์ของค่ารีลักแตนซ์จะมีค่าต่ำที่สุด และเส้นแรงแม่เหล็กจะมีค่าสูงสุดผ่านวงจรมแม่เหล็ก ที่ตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งที่สมดุลของการขับเฟส 3 ในกระบวนการที่กล่าวมาแล้ว โรเตอร์จะเคลื่อนที่ในทิศทาง cw หนึ่งสเตปเป็นมุม 7.5 องศา

ลำดับการทำงานที่สมบูรณ์แสดงได้ ในรูปที่ 2.5 เมื่อตำแหน่งเริ่มต้นของขั้วพื้นที่ของโรเตอร์จะเป็นสีด้า เพื่อให้เราทำความเข้าใจได้ชัดเจน ถึงการหมุนของโรเตอร์ ในทิศทาง cw เมื่อเฟสถูกขับในลักษณะเรียงลำดับ 4-3-2-1 ขั้วพื้นที่ของโรเตอร์ที่เป็นสีด้าจะเคลื่อนที่ไป 3 สเตป คิดเป็นมุมได้เท่ากับ 22.5 องศา เราจะขับเฟสในลักษณะเรียงลำดับเดิมซ้ำใหม่อีก เมื่อต้องการให้โรเตอร์หมุนต่อเนื่อง ในทิศทาง cw เราต้องกลับการเรียงลำดับเฟสเป็น 1-2-3-1

การเรียงลำดับเฟส	ตำแหน่งของโรเตอร์และเส้นแรงแม่เหล็ก
<p>ตำแหน่งโรเตอร์เริ่มต้น</p> <ul style="list-style-type: none"> - เฟส ϕ, ได้รับพลังงาน - ซีพินของโรเตอร์จะอยู่ในแนวซีพินที่ 1-4-7-10 ของสเตเตอร์ <p>สเตปที่ 1 : เฟส ϕ_2 ได้รับพลังงาน</p> <ul style="list-style-type: none"> - ซีพินของโรเตอร์จะอยู่ในแนวซีพินที่ 2, 5, 8, 11 ของสเตเตอร์ - โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง cw เป็นมุม 7.5 องศา [1/3 ช่วงห่างระหว่างซีพินของโรเตอร์] <p>สเตปที่ 2 : เฟส ϕ_3 ได้รับพลังงาน</p> <ul style="list-style-type: none"> - ซีพินของโรเตอร์จะอยู่ในแนวซีพินที่ 3, 6, 9, 12 ของสเตเตอร์ - โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง cw รวมเป็นมุม 7.5 องศา <p>สเตปที่ 3 : เฟส ϕ_4 ได้รับพลังงาน</p> <ul style="list-style-type: none"> - ซีพินของโรเตอร์จะอยู่ในแนวซีพินที่ 1, 4, 7, 10 ของสเตเตอร์ - โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง cw รวมเป็นมุม 22.5 องศา [เคลื่อนที่ได้ 1 ช่วงห่างระหว่างซีพินของโรเตอร์] 	   

รูปที่ 2.5 แสดงลำดับการสวิตช์ 3 สเตปของ VR สเตปมอเตอร์แบบสแต็คเด็ชัว และแสดงถึงตำแหน่งของโรเตอร์ และเส้นทางของเส้นแรงแม่เหล็ก เมื่อโรเตอร์เคลื่อนที่ไปในแต่ละสเตปสัญญาณลักษณะต่าง ๆ ของ VR สเตปมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Nr = จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์

Ns = จำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์

Np = จำนวนเฟส

Pr = ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันของโรเตอร์ [องศา]

Ps = ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันของสเตเตอร์ [องศา]

ϕ_s = มุมสเตป [องศา]

Rs = อัตราการสเตปหรือความเร็วในการสเตป [สเตป/รอบ]

X = N_s/N_p = จำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์ต่อเฟส

พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสเตปมอเตอร์

1. ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ [tooth pitch]

$$Pr = 360/Nr \text{ และ } Ps = 360/Ns$$

2. มุมสเตป [step angle]

ในรูปที่ 2.5 โรเตอร์จะเคลื่อนที่ในขนาดมุม pr ได้เท่ากับ Np สเตปดังนั้นเราจะหามุมสเตปได้

$$\phi_s = Pr/Np = 360/Nr Np \quad \text{องศา/สเตป}$$

มุมสเตปจะเท่ากับความแตกต่างระหว่าง Pr และ Ps ดังนั้น เราหามุมสเตปได้

$$\phi_s = [Pr - Ps] \quad \text{องศา/สเตป}$$

3. อัตราการสเตป [Stepping rate]

ความเร็วในการสเตปต่อรอบ [360 องศา] หาได้เป็น

$$Rs = 360/s = Nr Np \quad \text{[สเตป/รอบ]}$$

4. ความเร็วของสเตปมอเตอร์ [Speed of step motor]

เมื่อเราป้อนอินพุตพัลส์ที่มีความถี่ $[f]$ สเตปต่อพัลส์ให้กับสเตปมอเตอร์ มอเตอร์สเตปไปด้วยความเร็ว $[สเตป/พัลส์] \times f$ [พัลส์/วินาที]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$1/R_s$ [รอบ/สเตป] $\times f$ [พัลส์/วินาที] [สเตป/พัลส์] $\times 60$ [วินาที/นาที]
 ความเร็วของมอเตอร์ [] = $60f/R_s = 60f/N_p N_r = s f/6 \text{ tpm}$

5. จำนวนโพลของสเตเตอร์ต่อเฟส [number of stator poles per phase]

จำนวนโพลของสเตเตอร์ต่อเฟส [x] = N_s/N_p

หรือ $x = R_s/N_p$ [$N_p \geq 1$] = $N_r/[N_p \geq 1]$

จำนวนโพลของสเตเตอร์ต่อเฟส [x] จะสัมพันธ์กับอัตราการสเตป หรือจำนวนซี่ฟันของ
 ทรเตอร์

สเตปมอเตอร์ในรูปที่ 2.5 เราสามารถสรุปการเลือกพารามิเตอร์บางตัวของ
 สเตเตอร์ได้ ดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงการเลือกพารามิเตอร์ของสเตปมอเตอร์

N_p	R_s	N_r	X	N_s
3	48	16	4	12
			8	24
4	48	12	4	16
4	64	16	?	?

ตัวอย่าง การหาพารามิเตอร์ของสเตปมอเตอร์

ขั้นแรกเรากำหนดความต้องการของมุมสเตป = 9 องศา

มุมสเตปจะเป็นตัวจำกัดอัตราการสเตป = $360/9 = 40$ สเตป/รอบ

ในเงื่อนไขเหล่านี้เราอาจจะต้องใช้สเตปมอเตอร์ที่มี 4 หรือ 5 เฟส ที่มีสเตเตอร์ 2
 โพลต่อเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{ถ้า } N_p &= 4 \\ N_r &= R_s/N_p = 40/4 = 10 \\ N_s &= N_p S = 4 \cdot 2 = 8 \\ \text{ถ้า } N_p &= 5 \\ N_r &= 40/5 = 8 \\ N_s &= 5 \cdot 2 = 10 \end{aligned}$$

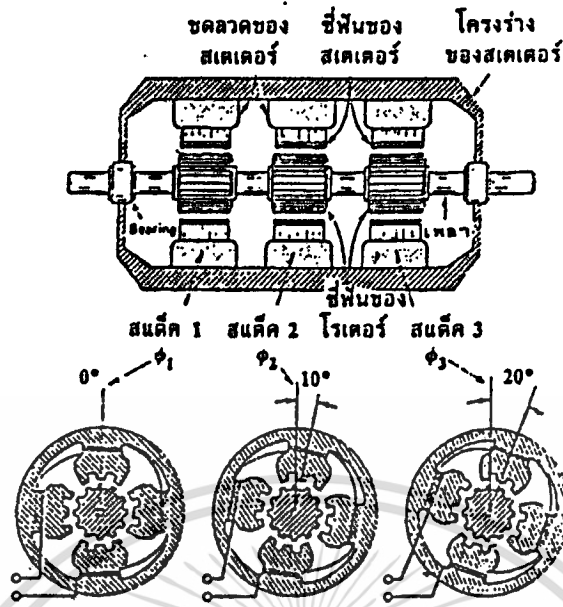
สเตปมอเตอร์แบบวีล็คแต้นซ์แปรค่าได้และมีหลายสแต็ค [Variable Reluctance Multi Stage Stepping Motor]

สเตปมอเตอร์แบบวีล็คแต้นซ์แปรค่าได้ [VVR] และมีหลายสแต็คหรือมากกว่าหนึ่งสแต็คขึ้นไป

สเตปในที่นี้หมายถึง เฟสซึ่งประกอบด้วยโรเตอร์ ที่เป็นซี่ฟันและโครงร่างของสเตเตอร์อยู่รอบนอก

สเตปมอเตอร์แบบ VR ที่มี 3 สแต็ค (หมายถึง 3 เฟส) มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.6

สเตปมอเตอร์ในรูปที่ 2.6 ได้ถูกออกแบบให้สเตเตอร์ ของแต่ละสแต็คประกอบด้วย 4 โพลและแต่ละโพลจะมีซี่ฟัน 3 ซี่ ซึ่งต่างจาก VR สเตปมอเตอร์แบบสแต็คเดียว (แต่ละโพลจะมีซี่ฟันเดียว) ข้อสังเกตในแต่ละสแต็ค จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์จะมีจำนวนเท่ากัน ซึ่งต่างกัน VR สเตปมอเตอร์แบบสแต็คเดียวคือ จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์ และสเตเตอร์จะเท่ากันไม่ได้ ถ้าหากมีจำนวนซี่ฟันเท่ากัน มันจะไม่ทำงาน



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของสเตปมอเตอร์แบบ VR ที่มี 3 เฟส โรเตอร์และสเตเตอร์ของแต่ละเฟส (สแต็ค) จะมี 12 ซี่ฟัน และมีมุมสเตป [Os] = 10 องศา, แต่ละเฟสของสเตเตอร์ ที่เรียงลำดับต่อเนื่องกัน จะถูกจัดตำแหน่งให้ต่างกันเท่ากับ 1/3 ของช่องห่าง ระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์ (10 องศา)

การทำงานของ VR สเตปมอเตอร์ที่มี 3 สแต็ค

โดยจะแถมส่วนล่างของรูปที่ 2.6 แสดงถึงโครงสร้างของโรเตอร์ และสเตเตอร์ของ VR สเตปมอเตอร์ที่มี 3 สแต็ค

แต่ละสแต็คจะมี $N_r = N_s$

แต่ละสแต็คจะมีตำแหน่งของสเตเตอร์ของสเตเตอร์ แตกต่างจากตำแหน่งของสเตเตอร์ในสแต็คถัดไปเท่ากับ 10 องศา

ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์ทั้ง 3 อันจะประกบอยู่บนแกนเดียวกัน และได้รับการปรับแต่งให้อยู่แนวเดียวกันอย่างสมบูรณ์

ตามปกติเราจะหาค่าสเตป (หรือ index angle) ได้จากสมการที่ 4 ในที่นี้เราจะหา ϕ_1 [index angle] ได้จากสมการเดียวกันคือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้













$$\phi_1 = Pr/Np = s$$

ในกรณีนี้ $Nr = Ns = 12$ ดังนั้นเราหา $Pr = 360/12 = 30$ องศา และค่า $\phi_1 = 30/3 = 10$ องศา

สเตปมอเตอร์แบบ 3 สแต็ค ถึงแม้ว่าโรเตอร์ทั้ง 3 อันจะติดอยู่บนเพลลาอันเดียวกัน สแต็คทั้ง 3 สแต็ค จะมีวงจรมแม่เหล็กที่แยกกันดังนี้

ถ้าเฟสที่ 1 ถูกขับด้วยกระแส เป็นเฟสเริ่มต้น ให้ซี่ฟันของโรเตอร์-สเตเตอร์ อยู่ในแนวเดียวกัน ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์ และสเตเตอร์ในสแต็คที่ 2 ในขณะนั้นจะมีตำแหน่งต่างกัน 10 องศาและซี่ฟันของโรเตอร์ และสเตเตอร์ในสแต็คที่ 3 จะมีตำแหน่งต่างกัน 20 องศา ต่อจากนั้นเราหยุดจ่ายกระแส (กระแสขดลวดสเตเตอร์) ในสแต็คที่ 1 และป้อนกระแสให้กับสแต็คที่ 2 โรเตอร์จะหมุนไปอีก 10 องศา ซึ่งจะทำให้ซี่ฟันของโรเตอร์ และสเตเตอร์ในสแต็คที่ 2 อยู่ในแนวเดียวกัน ในขณะนั้นซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสแต็คที่ 3 จะมีตำแหน่งต่างกัน 10 องศา ต่อจากนั้นเราหยุดจ่ายกระแสในสแต็คที่ 2 และป้อนกระแสให้กับสแต็คที่ 3 โรเตอร์จะหมุนไปอีก 10 องศา ซึ่งจะทำให้ซี่ฟันของโรเตอร์ และสเตเตอร์ในสแต็คที่ 3 อยู่ในแนวเดียวกัน ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ในสแต็คที่ 1 จะมีตำแหน่งต่างกัน 10 องศา

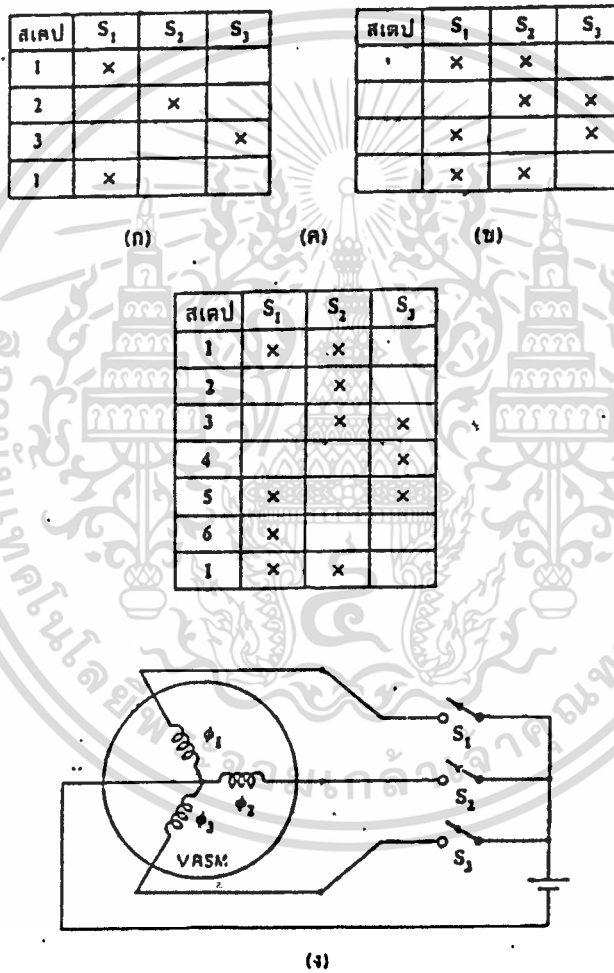
ลำดับการสวิตช์กระแส ให้แต่ละสแต็คแสดงได้ในรูปที่ 2.7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเพลลาของสเตปมอเตอร์ จะเคลื่อนที่ไปเท่ากับหนึ่งช่องของระยะห่าง ระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์ (30 องศา) ภายใน 3 สเตป

	สแต็คที่ 1	สแต็คที่ 2	สแต็คที่ 3
ตำแหน่งเริ่มต้นของ โรเตอร์: - เฟส $\phi 1$ ได้รับพลังงาน			
สแต็คที่ 1: - เฟส $\phi 2$ ได้รับพลังงาน - โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไป 10 องศา			
สแต็คที่ 2: - เฟส $\phi 2$ ได้รับพลังงาน - โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไป 20 องศา			
สแต็คที่ 3: - เฟส $\phi 1$ ได้รับพลังงาน - โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไป 30 องศา หรือเท่ากับ หนึ่งช่องของระยะห่าง ระหว่างขั้วของโรเตอร์			

รูปที่ 2.7 แสดงลำดับการสแต็คของ VRSM แบบ 3 เฟส, $N_r = N_s = 12$, $P_r = 30$ องศา และ $O_s = 10$ องศา ขั้วของโรเตอร์สแต็คจะเคลื่อนที่ไป ในทิศทาง CW 10 องศา ในแต่ละสแต็ครวมทั้งหมด 30 องศา เมื่อสแต็คไปครบ 3 สแต็ค สำหรับการหมุนในทิศทาง CW ลำดับการขั้วเฟส 1-2-3-1 และเมื่อต้องการให้หมุนในทิศทาง CCW ลำดับการขั้วเฟสก็ต้องกลับเป็น 1-3-2-1

ตามปกติเพลลาของมอเตอร์ จะเคลื่อนที่ไปหนึ่งช่องของระยะห่าง ระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์ [rotor tooth pitch] ด้วยการสลับไป N_p สเตป เมื่อ N_p คือจำนวนสแต็คที่ใช้ (หรือเท่ากับจำนวนเฟส)

ลำดับการสวิตช์ที่แสดงในรูปที่ 8 เราสามารถนำมาเขียนเป็นตารางได้ ดังรูปที่ 2.7 วงจรสวิตช์ประกอบด้วย VRSM แบบ 3 เฟส (สัญลักษณ์ของสเตปมอเตอร์) การขับเฟสแสดงได้ด้วยสวิตช์และแหล่งกำเนิด DC



รูปที่ 2.8 แสดงถึง VRSM แบบ 3 เฟส (ก) ตารางแสดงลำดับการขับแบบเฟสเดียว ในทิศทาง CW (ข) ตารางแสดงลำดับการขับแบบ 2 เฟสในทิศทาง CW (ค) การขับแบบครึ่งสเตปในทิศทาง CW (ง) วงจรการสวิตช์ เมื่อต้องการให้หมุนในทิศทาง CCW เราจะต้องกลับลำดับการขับคือให้อ่านตาราง (ก), (ข) และ (ค) จากข้างล่างขึ้นไปข้างบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตาราง (ก) ถ้าเราขับเฟสที่ 1 และเฟสที่ 2 เรียงตามลำดับมอเตอร์จะหมุนไปหนึ่งสเตป

ตาราง (ข) ถ้าเราขับเฟสที่ 1 และเฟสที่ 2 พร้อมกันเพลาของมอเตอร์จะหมุนไปหนึ่งสเตป

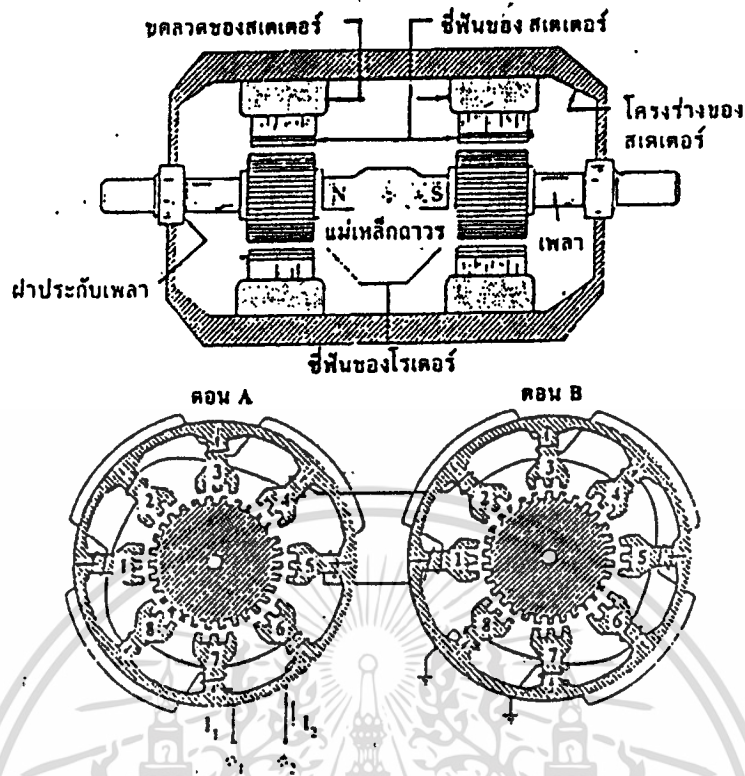
ตาราง (ข) ถ้าเราขับเฟสที่ 1 และเฟสที่ 2 พร้อมกันเพลาของมอเตอร์จะหมุนไป 1/2 สเตป ต่อจากนั้นเราขับเฟสที่ 2 และเฟสที่ 3 พร้อมกันอีกก็จะทำให้มอเตอร์หมุนไปครบเต็มหนึ่งสเตปดังนั้นการขับแบบ 2 เฟสเราเรียงลำดับการขับได้ดังนี้ 1-2, 2-3, 3-1 และ 1-2 กระทำซ้ำเดิมไปเรื่อย ๆ

อย่างไรก็ตามการขับแบบ 2 เฟสหรือ 1 เฟส จะให้การหมุนเป็นมุมสเตปเท่ากันที่ต่างกันก็คือการขับแบบ 2 เฟสจะให้การหมุนของโรเตอร์นำหน้าการขับแบบเฟสเดียวด้วยขนาด 1/2 สเตป นอกจากนั้นการขับแบบ 2 เฟสจะต้องการกระแสเป็น 2 เท่าของการขับแบบเฟสเดียวกัน

ตาราง (ค) แสดงการขับแบบ 2 เฟสสลับกับการขับแบบ 1 เฟสซึ่งจะทำให้มอเตอร์หมุนไป 1/2 สเตปเท่านั้น การขับแบบนี้จะทำให้จำนวนสเตปต่อรอบเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าจากเดิม

สเตปมอเตอร์แบบไฮบริด [Hybride Stepping Motor]

ไฮบริดสเตปมอเตอร์ [HSM] มีคุณลักษณะผสมของ PM และ VR สเตปมอเตอร์ ในรูปที่ 2.9 แสดงถึงโครงสร้างของ HSM ประกอบด้วย 2 ตอน กับแกนแม่เหล็กอยู่ระหว่าง 2 ตอน แต่ละประกอบด้วยขั้วฟันของโรเตอร์ และโพลของสเตเตอร์ที่มีขั้วฟันเช่นกัน และพันด้วยขดลวด รายละเอียดโครงสร้างของสเตเตอร์และโรเตอร์ของแต่ละตอน แสดงในไดอะแกรมข้างล่างของรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของไฮบริดสเตปมอเตอร์ : $N_r = 30$, $N_s = 24$ ซี่ฟันของ สเตเตอร์ทั้ง 2 ตอนจะอยู่ในแนวเดียวกัน ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์ทั้ง 2 ตัว จะมีตำแหน่งต่างกัน $1/2 Pr$ [= 6 องศา], $Os = 3$ องศา

ลักษณะโครงสร้างของไฮบริดสเตปมอเตอร์

- จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์ และของสเตเตอร์ไม่เท่ากัน
- ตอน A และตอน B มีโครงสร้างเหมือนกัน
- ซี่ฟันของโรเตอร์ทั้ง 2 ตอน จะอยู่ในแนวเดียวกันอย่างถูกต้อง
- ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์ทั้ง 2 ตอน จะมีตำแหน่งที่แตกต่างกัน $1/2 Pr$ (ในรูปที่ 2.9 กำหนดให้ $Pr = 360/30 = 12$ องศา ดังนั้นตำแหน่งซี่ฟันของโรเตอร์ทั้ง 2 ตอนจะแตกต่างกัน 6 องศา)
- สเตเตอร์ของแต่ละตอนมี 8 โพล แบ่งออกเป็น 2 สเตเตอร์เฟส
- เฟสที่ 1 จะพันขดลวดบนสเตเตอร์โพล หมายเลข 1, 3, 5 และ 7 ของทั้งใน ตอน A และตอน B
- เฟสที่ 2 จะพันขดลวดบนสเตเตอร์โพล หมายเลข 2, 4, 6 และ 8 ของทั้งใน ตอน A และตอน B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-แกนแม่เหล็กถาวร จะเหนี่ยวนำโรเตอร์ในตอม A ให้เป็นแม่เหล็ก ขั้วเหนือ และโรเตอร์ในตอม B ให้เป็นแม่เหล็กขั้วใต้ ความซับซ้อนจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการแบ่งส่วนของขดลวดเฟสใน 2 ตอม ทำให้ได้วงจรแม่เหล็กที่ซับซ้อน และได้เส้นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กที่แตกต่างกันเป็นวงกลม ทิศทางเดินของสนามแม่เหล็ก ของสเตเตอร์โพล จะขึ้นอยู่กับทิศทางกาลไหลของกระแสเฟส ดังแสดงด้วยลูกศรใน รูปที่ 2.9

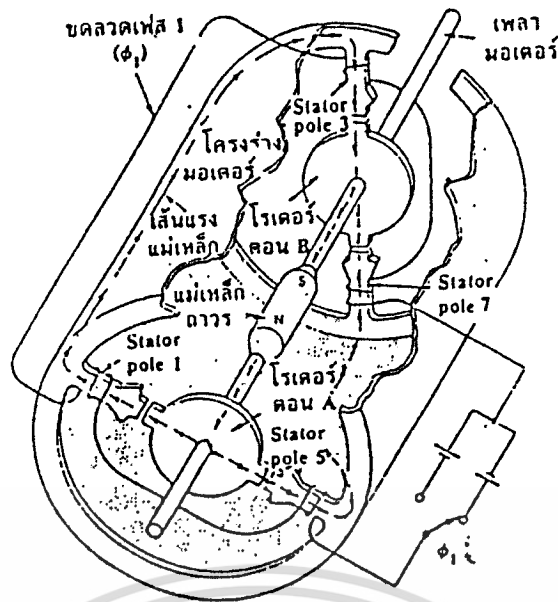
การทำงานของไซบริตสเตปมอเตอร์

ขณะที่เฟสที่ 1 ($\phi 1$) ได้รับพลังงาน โดยการป้อนกระแส I1 ในทิศทางดังแสดงด้วยลูกศรโพลที่ 5 ส่วนของตอม B จะอยู่ในแนวเดียวกับขั้วพื้นของโพลที่ 3 และโพลที่ 7 ดังแสดงในรูปที่ 2.10

เพื่อให้เพลลาของมอเตอร์หมุนไปหนึ่งสเตป ในทิศทาง CW เราจะต้องหยุดป้อนกระแส I1 และป้อนกระแส I2 ให้กับเฟสที่ 2 ($\phi 2$)

ในรูปที่ 2.11 ขั้วพื้นของโรเตอร์ที่เป็นสีดํา ใช้สำหรับอ้างอิง ขั้วพื้นสีดําจะอยู่ใกล้แนวขั้วพื้นของสเตเตอร์โพลที่ 4 และโพลที่ 8 ในตอม A และโพลที่ 2 และโพลที่ 6 ในตอม B มากที่สุด (ขั้วพื้นของโรเตอร์ที่เป็นสีดําอยู่ห่างจากแนวขั้วพื้น ของสเตเตอร์เท่ากับ 1 สเตปพอดี)

เราจะต้องป้อนกระแส I2 ในทิศทางที่ถูกต้อง คือ จะต้องทำให้โพลที่ 4 และโพลที่ 8 และโพลที่ 2 และโพลที่ 6 ถูกเหนี่ยวนำเป็นแม่เหล็ก ในทิศทางที่ถูกต้อง (เกิดวงจรแม่เหล็กที่สมบูรณ์) ด้วย I2 ในกรณีนี้ I2 จะต้องเป็นลบ













รูปที่ 2.10 วงจรแม่เหล็ก HSM แสดงถึงเส้นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อเฟสที่ 1 ได้รับพลังงาน และเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นในตอน A จะผ่านโพลที่ 1 และโพลที่ 5 เข้าไปยังโรเตอร์ของตอน B ผ่านโพลที่ 3 และโพลที่ 7 เข้าสู่ขั้วใต้ [S] ของแม่เหล็กถาวร

ในรูปที่ 2.10 แสดงถึงลำดับการสวิตช์ (ให้กระแสไหล) ให้มอเตอร์หมุนไปทิศทาง CW 4 สเต็ป ซึ่งแสดงถึง ตำแหน่งของโรเตอร์ และทิศทางการเป็นแม่เหล็กของสเตเตอร์โพลในแต่ละตอนด้วย การกำหนดทิศทางไหลของกระแสเฟส สำหรับการหมุนในทิศทาง CW (ดังแสดงในรูป) เราจะต้องกำหนดลำดับของกระแสเฟส ดังนี้ $1, +2, -1, -2^+$ และ 1^+ ตามลำดับ ถ้าต้องการหมุนทิศทาง CCW ลำดับเหล่านั้นก็กลับไปเป็น $1^+, 2^+, 1^-, 2^-$ และ 1^+

เพลามอเตอร์หมุนไปได้หนึ่งช่อง ห่างระหว่างขั้วฟันภายใน 4 สเต็ป ดังนั้นมุมสเต็ปจะต้องเท่ากับ $1/4 Pr$ หรือมีค่าเท่ากับ $[Ps - Pr]$ ดังนั้น

$$s = Pr/4 = 360/4Nr \quad 90/Nr$$

$$s = [Ps - Pr]$$

สเตป	$\phi 1$ I1	$\phi 2$ I2	เส้นแรง ออกจาก ตอน A	เส้นแรง เข้าสู่ ตอน B	ตอน A	ตอน B
1	+		1,5	3,7		
2		-	4,8	2,6		
3	-		3,7	1,5		
4		+	2,6	4,8		
1	+		1,5	3,7		

รูปที่ 2.11 ลำดับ 4 สเตปของ HSM แบบ 2 เฟส ในแต่ละสเตปแสดงถึงตำแหน่งของ โรเตอร์และทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก $N_r = 30, N_s = 24$ $O_s = 3$ องศาที่ฟันของโรเตอร์ที่เป็นสีดำ จะหมุนในทิศทาง CW ไป 3 องศา ในแต่ละสเตปได้เป็น 12 องศา เมื่อครบตามจำนวนลำดับ (หนึ่งช่องห่างระหว่างที่ฟันของโรเตอร์) สำหรับการหมุนในทิศทาง CW จะต้องจัดลำดับการขับเป็น $1^+, 2^-, 1^-, 2^+, 1^+$

ในรูปที่ 2.11 $N_r = 30$ และ $N_s = 24$

ดังนั้น $s = 90/30 = 3$ องศา

$$= 360PS/24 - 360PR/310 = \text{องศา}$$

โซลิตสเตปมอเตอร์ [HSM] จะทำงานด้วยกระแสเฟสที่มีการไหลได้สองทิศทาง ดังนั้นเราจำเป็นต้องใช้เพาเวอร์ซัพพลาย 2 ตัว [bipolar drive]

การแก้ปัญหาเพื่อจะขับไฮบริดสเตปมอเตอร์ ให้ทำงานด้วยเพาเวอร์ซัพพลายเพียงตัวเดียว [unipolar drive] ได้โดยดัดแปลงโครงสร้างการพันขดลวดเฟสของสเตเตอร์

การพันขดลวดเฟสของสเตเตอร์แบบ unifilar (การพันแบบแถวเดียว) จะต้องมีขั้วแบบไบโพลาร์ [bipolar drive]

ขดลวดแบบ unifilar แสดงดังในรูปที่ 2.12 (ก) เราจะต้องการกลับทิศทางของกระแสเพื่อกลับทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก B

ขดลวดแบบ bifilar แสดงดังในรูปที่ 2.12 (ข) ถ้าเราต้องการกลับทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กเป็น $-B$ สามารถทำได้โดย ป้อนกระแสขนาดเดิมจากเพาเวอร์ซัพพลายตัวเดิมเข้าที่ขดลวดที่เป็นเส้นปะในรูปที่ 2.12 (ข) ก็จะทำให้ทิศทางการเหนี่ยวนำแม่เหล็กและทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก $[-B]$ กลับทิศทางได้



รูปที่ 2.12 การพันขดลวดเฟสของสเตเตอร์

(ก) แบบ unifilar

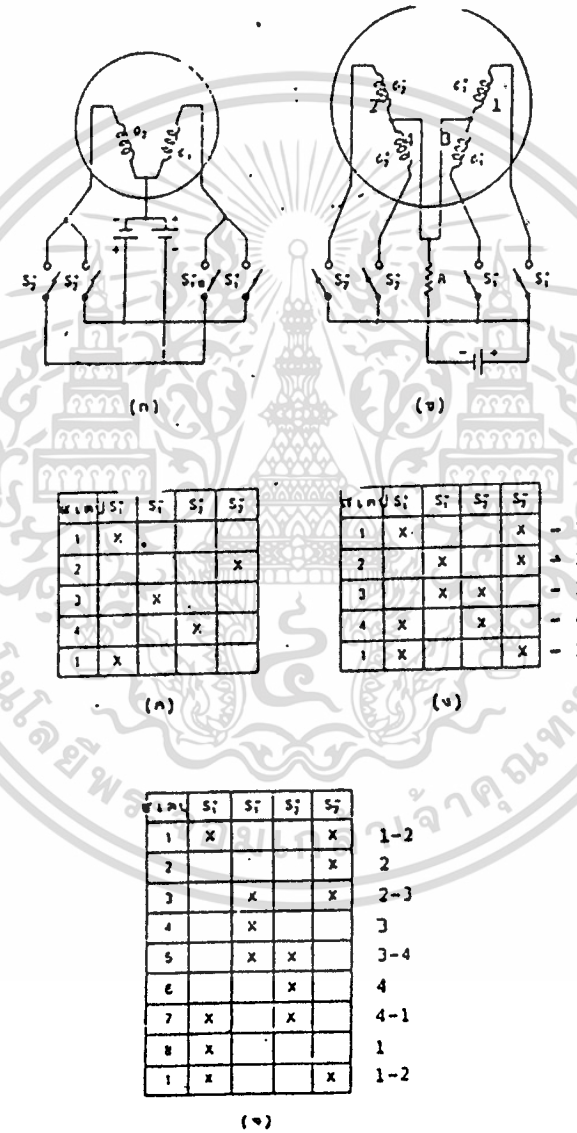
(ข) แบบ bifilar

ถ้าหาก HSM ในรูปที่ 9 มีขดลวดเฟสของสเตเตอร์เป็นแบบ bifilar ขดลวดเฟส ϕ_1 เดิมจะถูกแบ่งตัวออกเป็นสองขดลวดเฟส ϕ_1^+ และเฟส ϕ_1^-

ขดลวดเฟส ϕ_2 เดิมจะถูกแบ่งตัวออกเป็นสองขดลวดเฟส ϕ_2^+ และเฟส ϕ_2^-

ในตอนนี้จะทำให้เราได้ขดลวดเฟสถึง 4 เฟสและแต่ละเฟสสามารถขับได้ด้วยกระแสที่ไหลในทิศทางเดียว ส่วนเครื่องหมาย + และ - ใช้สำหรับแสดงถึงทิศทางการเกิดสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์โพล

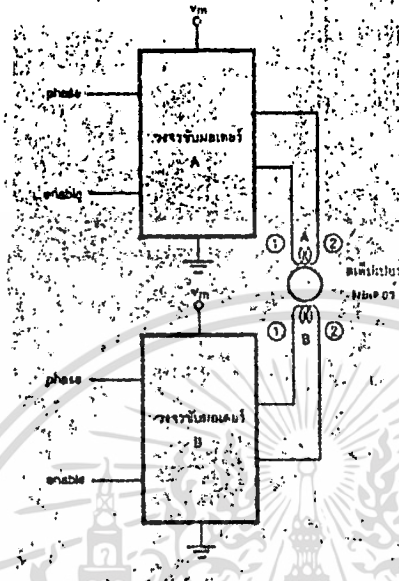
ในรูปที่ 2.13 (ก), (ข) แสดงวงจรการสวิตช์ 2 วงจร สำหรับ HSM แบบ 2 เฟส และแบบ 4 เฟส รูป (ค), (ง) และ (จ) แสดงตารางลำดับการขับแบบทีละเฟส และแบบทีละ 2 เฟส และการขับแบบครึ่งสเตปตามลำดับ



รูปที่ 2.13 ไสยบริดสเตปมอเตอร์ (ก) HSM แบบ 2 เฟส unifilar จะต้องขับแบบไบโพลาร์ (ข) HSM แบบ 4 เฟส bifilar ใช้การขับแบบยูนิคพลาร์ (ค) ตารางแสดงลำดับการขับทีละ 1 เฟส (ง) ตารางแสดงการขับทีละ 2 เฟส (จ) ตารางแสดงลำดับการขับแบบครึ่งสเตปในทิศทาง CW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การขับสตีปมอเตอร์



รูปที่ 2.14 วงจรขับสตีปมอเตอร์เบื้องต้น

การขับสตีปมอเตอร์ในโครงงานนี้ ใช้วงจรขับมอเตอร์แบบครึ่งสเต็ป [half step driver] จากรูปที่ 2.14 ใช้วงจรขับมอเตอร์ 2 วงจร ที่มีคุณสมบัติ เหมือนกัน ทุกประการ เพื่อขับมอเตอร์หนึ่งตัว ขา PHASE เป็นตัวกำหนดทิศทางการไหลของกระแส ในขดลวด ขา ENABLE ใช้ควบคุมให้เกิดกระแสไหลในขดลวด ทั้งความสัมพันธ์ของขาทั้งสองกับกระแสในขดลวด แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของขา ENABLE และ PHASE กับการไหลของกระแส ในขดลวดของสตีปเปอร์มอเตอร์

enable	phase	กระแสในขดลวด A และ B
0	X	ไม่มีกระแสไหล
1	0	กระแสไหลจากตำแหน่ง 1 ไป 2
1	1	กระแสไหลจากตำแหน่ง 2 ไป 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการขับมอเตอร์แบบเต็มสเต็ป [full step driver] นั้นมีหลักการทำงานง่าย ๆ คือให้มีกระแสไหลในขดลวด 2 ขดสลับกัน ซึ่งสามารถสลับได้ 4 แบบดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงการไหลของกระแสในขดลวดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ เมื่อถูกขับให้หมุนแบบเต็มสเต็ป

สเต็ป	enableA	enableB	phaseA	phaseB	กระแสไหลในขดA	กระแสไหลในขดB
1	1	1	0	0	กระแสไหล 1ไป 2	กระแสไหล 1ไป 2
2	1	1	1	0	กระแสไหล 2ไป 1	กระแสไหล 1ไป 2
3	1	1	1	1	กระแสไหล 2ไป 1	กระแสไหล 2ไป 1
4	1	1	0	1	กระแสไหล 1ไป 2	กระแสไหล 2ไป 1

สำหรับโครงงานนี้ ใช้การขับให้มอเตอร์หมุนแบบครึ่งสเต็ป [half step driver] ก็กำหนดให้ มีการหยุดไหลของกระแสขดลวด A และ B คั่นสลับอยู่ในลักษณะการหมุนแบบเต็มสเต็ป ก็จะได้การหมุนของมอเตอร์แบบครึ่งสเต็ป ดังในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงการไหลของกระแสในขดลวดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ เมื่อหมุนแบบครึ่งสเต็ป

สเต็ป	enableA	enableB	phaseA	phaseB	กระแสในขดA	กระแสในขดB
1	1	1	0	0	กระแสไหล 1ไป 2	กระแสไหล 1ไป 2
2	1	0	1	0	กระแสไหล 1ไป 2	ไม่มีกระแสไหล
3	1	1	1	1	กระแสไหล 2ไป 1	กระแสไหล 1ไป 2
4	0	1	0	1	ไม่มีกระแสไหล	กระแสไหล 1ไป 2
5	1	1	1	1	กระแสไหล 2ไป 1	กระแสไหล 2ไป 1
6	1	0	1	1	กระแสไหล 2ไป 1	ไม่มีกระแสไหล
7	1	1	0	1	กระแสไหล 1ไป 2	กระแสไหล 2ไป 1
8	0	1	0	1	ไม่มีกระแสไหล	กระแสไหล 2ไป 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารทูลงวนเวสสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อนุญตเห็นใบเซบระเขอนต้นการค

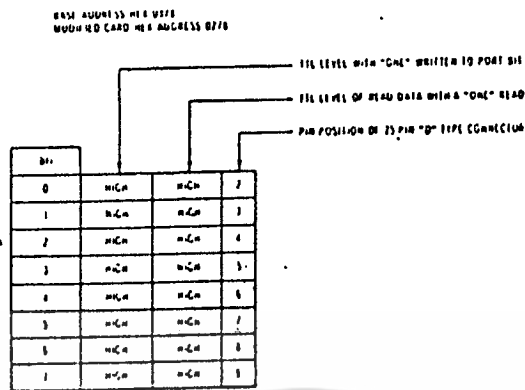
ไม่ว่ากรณีใดทงห้สัน อิกทงห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การอินเทอร์เฟสกับการ์ด PARALLEL PRINTER PORT

เราใช้การ์ด Parallel Printer Port เป็นตัวรับสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทแบบดิจิทัล เพื่อใช้ในการอินเทอร์เฟสกับอุปกรณ์อื่น การ์ดนี้มีรีจิสเตอร์อยู่หลายแบบได้แก่ รีจิสเตอร์เอาต์พุทขนาด 8 บิต ซึ่งเราสามารถอ่านข้อมูลที่ส่งออกไปกลับเข้ามาตรวจสอบได้, รีจิสเตอร์เอาต์พุทขนาด 4 บิต ซึ่งสามารถอ่านข้อมูลกลับมาตรวจสอบและใช้เป็นรีจิสเตอร์อินพุทได้, รีจิสเตอร์อินพุทขนาด 5 บิต และสุดท้ายรีจิสเตอร์เอาต์พุทขนาด 1 บิตซึ่งสามารถใช้ส่งให้ส่งสัญญาณอินเทอร์รัพท์ระดับที่ 7 ได้ (อยู่ที่พอร์ทแอดเดรสเดียวกับ รีจิสเตอร์อินพุท/เอาต์พุทขนาด 4 บิต) เอาต์พุทและอินพุทของรีจิสเตอร์ที่กล่าวมาข้างต้นจะต่อเข้ากับขาของคอนเน็คเตอร์ 25 ขา แบบ D ที่อยู่ด้านหลังของการ์ดทำให้การใช้งานทำได้สะดวก

พอร์ทเอาต์พุทขนาด 8 บิต

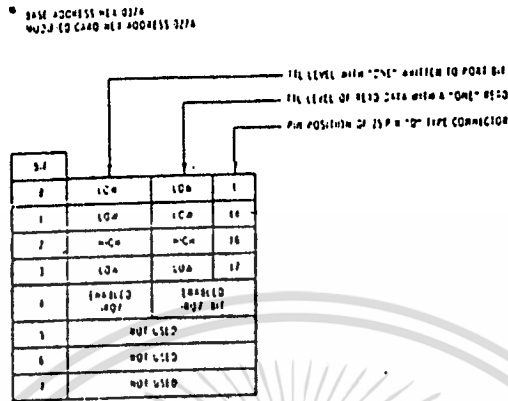
รีจิสเตอร์เอาต์พุทขนาด 8 บิตบนการ์ด Parallel Printer Port มีค่าพอร์ทแอดเดรสเท่ากับ 0378 หรือ 0278 (เลขฐานสิบหก) ในกรณีที่เราก้ไขการ์ดแล้วเอาต์พุทของรีจิสเตอร์ตัวนี้ถูกต่อเข้ากับขาต่าง ๆ ของคอนเน็คเตอร์ 25 ขา แบบ D ดังแสดงในรูป 2.15 ด้วยเหตุนี้เราสามารถส่งข้อมูลมาที่ขาของคอนเน็คเตอร์ได้โดยการใช้คำสั่ง OUT เขียนข้อมูลมาที่พอร์ทแอดเดรสนี้ ข้อมูลที่ส่งมาที่พอร์ทแอดเดรสนี้จะมีค่าเหมือนเดิมคือ ถ้าส่ง 1 มาที่บิตใด ๆ ของพอร์ทนี้ข้อมูลที่ขาของคอนเน็คเตอร์จะมีระดับสัญญาณแบบ TTL เป็น high (ในกรณีของรีจิสเตอร์ตัวอื่นข้อมูลที่ส่งมาบางบิต จะถูกคอมพลีเมนต์ดังจะอธิบายต่อไป) อนึ่งเราสามารถอ่านข้อมูลที่เอาต์พุทออกไปที่คอนเน็คเตอร์กลับมาเข้ามาทางรีจิสเตอร์อินพุท ซึ่งมีค่าพอร์ทแอดเดรสค่าเดียวกัน จุดประสงค์ของการอ่านข้อมูลกลับมาเข้ามานี้ก็เพื่อตรวจสอบว่า ข้อมูลเอาต์พุทที่ส่งออกไปจะถูกทำให้เปลี่ยนแปลงไปโดยอุปกรณ์ภายนอกหรือไม่ ในกรณีที่อุปกรณ์ภายนอกส่งข้อมูลออกมาขณะที่เราอ่านข้อมูลกลับมาเข้าไปตรวจสอบข้อมูลทั้งสองชุดละ OR กัน



รูปที่ 2.15 พอร์ตเอาต์พุตขนาด 8 บิต

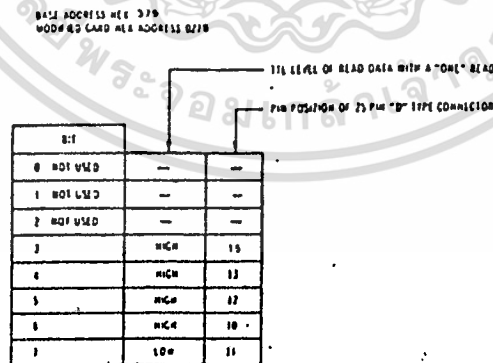
พอร์ตอนพุท/เอาต์พุตขนาด 4 บิต

รีจิสเตอร์ขนาด 5 บิตมีค่าพอร์ทแอดเดรสเท่ากับ 037A หรือ 0234 (เลขฐานสิบหก) ในกรณีที่เราก้ไขการ์ดแล้ว, บิตเอาต์พุต 4 บิตจะถูกต่อเข้ากับคอนเน็คเตอร์ 25 ขาแบบ D ส่วนบิตที่เหลือคือบิตที่ 4 จะใช้ในการ enable และ disable การขอทำการอินเทอร์รัพท์ระดับที่ 7 เอาต์พุตของรีจิสเตอร์เอาต์พุตที่ส่งออกไปที่คอนเน็คเตอร์สามารถอ่านกลับเข้ามาได้โดยใช้คำสั่ง IN กับพอร์ทแอดเดรสเดียวกัน สำหรับพอร์ทนี้สัญญาณเอาต์พุตจะต่างไปจากพอร์ทอื่นคือ ในบิตที่ 0,1,3 สัญญาณเอาต์พุตจะถูก complement จากสัญญาณเดิม ลักษณะของขาของคอนเน็คเตอร์ที่กำกับบิตต่าง ๆ และลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตแสดงไว้ในรูป 2.16 โดยอาศัยการใช้คำสั่ง IN เราสามารถอ่านข้อมูลที่ปรากฏที่ขา 1, 14, 16, 17 และบิต IRQ กลับเข้ามาได้ในกรณีที่วงจรมองภายนอกไม่ได้จับสัญญาณใด ๆ กับขาเหล่านี้ ข้อมูลที่อ่านกลับเข้ามาจะเหมือนกับข้อมูลที่ส่งออกไป เนื่องจากบิตเอาต์พุตทั้ง 4 บิตที่ถูกต่อเข้ากับขาของคอนเน็คเตอร์เป็นแบบ open-collector ดังนั้นเราสามารถใช้งานเป็นอินพุตได้ ถ้าเอาต์พุตรีจิสเตอร์ถูกกำหนดให้ส่งระดับสัญญาณ TTL เป็น high ที่ทุก ๆ บิต บิตเหล่านี้อาจเป็น low ได้ถ้ามีสัญญาณป้อนเข้ามาที่บิตเหล่านี้ ดังนั้นวงจรมองภายนอกสามารถควบคุมระดับแรงดันที่บิตเหล่านี้ได้ เมื่อเราใช้คำสั่ง IN เราจะทราบข้อมูลของวงจรมองภายนอกจากบิตเหล่านี้



รูปที่ 2.16 ลักษณะของพอร์ทอินพุท/เอาต์พุทและขาเท่ากับบิตต่าง ๆ พอร์ทอินพุทขนาด 5 บิต

รีจิสเตอร์อินพุทขนาด 5 บิตที่พอร์ทนี้มีค่าแอดเดรสเท่ากับ 0379 และ 0279 (เลขฐานสิบหก) ในกรณีที่แก้ไขการ์ดแล้ว สำหรับลักษณะสัญญาณและขาเท่ากับบิตต่าง ๆ แสดงไว้ในรูป 2.17 เราใช้พอร์ทนี้ในการอ่าน realtime status ของอุปกรณ์เพื่อส่งไปให้ตัวประมวลผล [processsor]



รูปที่ 2.17 ลักษณะของพอร์ทอินพุทขนาด 5 บิตและขาเท่ากับ

บทที่ 3

หลักการทํางานของวงจร และโครงสร้าง

3.1 หลักการทํางานของวงจร

โดยการส่งสัญญาณควบคุมมาจาก Computer ทั้งหมด โดยส่งมาควบคุม Stepping Moter เพื่อควบคุมระยะ X,Y โดยมีความละเอียด step ละ 5 mils คือ 1 นิ้ว แบ่งเป็น 200 step ซึ่งใช้วิธีการขับ stepping Moter แบบ half step คือปกติ stepping Moter ที่ใช้มีความละเอียด 1.8 องศา ในขณะที่ใช้วิธีการขับแบบ full step จะให้ความละเอียด 200 step ต่อรอบ และเมื่อขับแบบ half step จะให้ความละเอียด 400 step ต่อรอบ ในการขับเคลื่อนจะใช้เพลายึดลวดสลิง โดย stepping Moter หมุน 1 รอบแทน X,Y ที่ต่ออยู่ก็จะเคลื่อนที่ไป 2 นิ้ว คือจะให้ความละเอียด $\frac{1}{1,000}$ นิ้ว

ภาคกำลังที่ขับ stepping Moter มาจาก Ic Tca 1561 ขับแบบ Bipolar โดยมีรายละเอียดดัง Data sheet ภาคผนวก(ด) มีหลักการทํางานดังนี้

- ขา 1,9 ต่อกับ coil ของ steping Moter
- ขา 5 ต่อไฟ 12 V.
- ขา 6 ต่อ GND
- ขา 7 ต่อกับสัญญาณ Sys หรือจาก Ic 555 ทำให้ stepping Moter ทั้ง 2 ตัวทํางานพร้อมกัน (ในช่วง cycle)
- ขา 2 ต่อมาจาก Computer , Printer Port ซึ่งจะสลับขั้วของไฟเลี้ยง coil
- ขา 8 ต่อมาจาก computer ควบคุมการ ON และ OFF กระแส

ซึ่ง stepping Moter 1 ตัวจะมี coil 2 ชุดต้องให้ Ic 2 ตัว ควบคุม ระยะ X,Y นั้นมาจากสัญญาณของ Printer Port D0 - D7 ของ Out put 8 bit มาควบคุม Ic ทั้ง 4 ตัว โดย D0 - D3 ควบคุม stepping Moter ในแกน X D4 - D7 ควบคุม Stepping Moter ในแกน Y

ส่วนขับเคลื่อนส่วน ใช้ DC Moter 28 V. speed 12,000 RPM และใช้ดอก ส่วนชนิด Highcabon วงจร Drive DC Moter ใช้ Mosfet เบอร์ IRFZ 44 ซึ่งได้รับสัญญาณมาจาก Printer Port D3 ของ Out put 4 bit ภาค Drive นี้ใช้รวมกับที่จับปากกาซึ่งเป็น โซลินอยด์ จะเลือกการทํางานโดยสวิทซ์ทางหน้าปัทม์ โดยเลื่อนมาที่ Print,Plot จะเป็นการใช้ปากกาถ้าเลื่อนมาที่ Drill จะเป็นการ Drive DC Moter

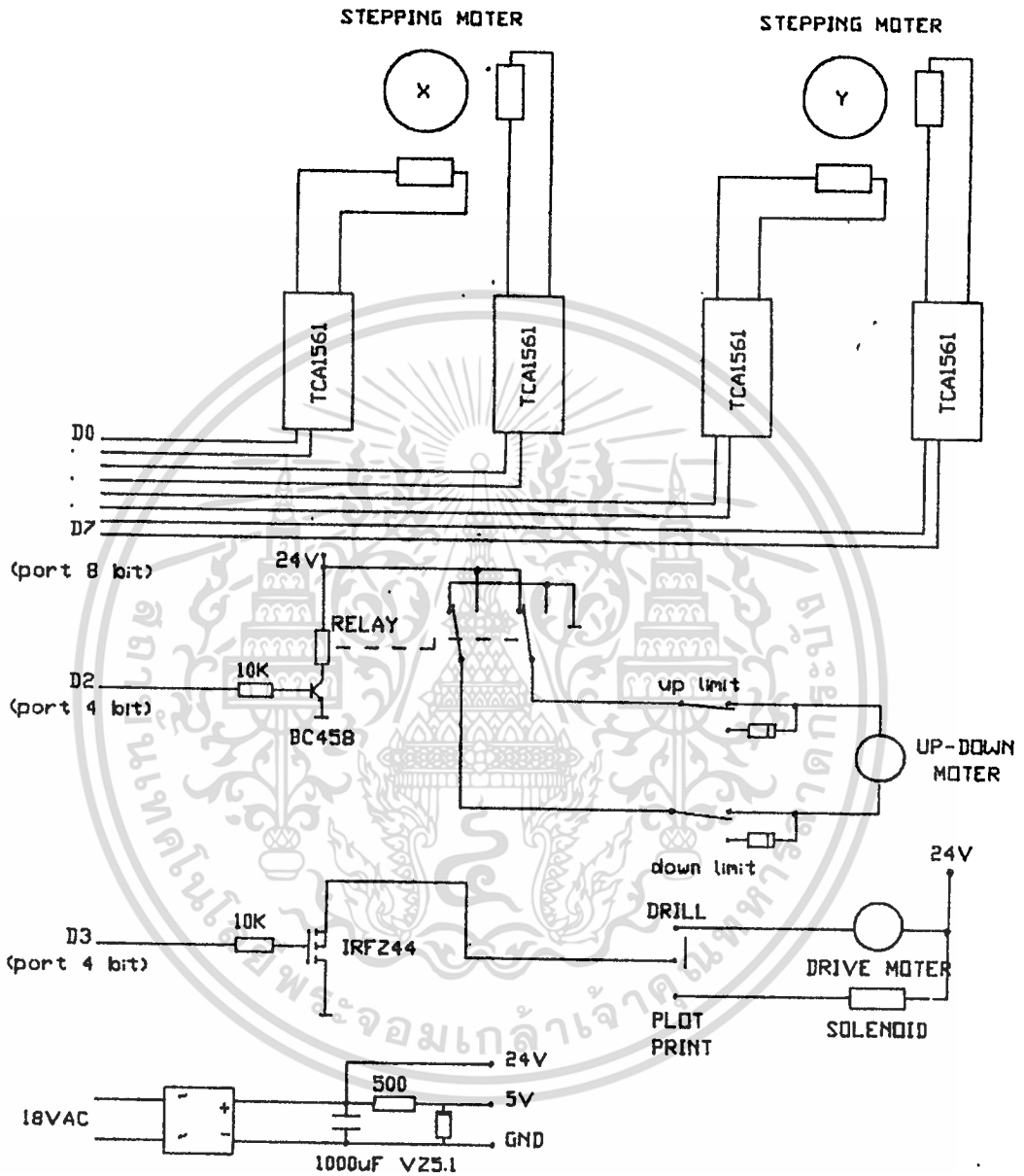
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แท่นเลื่อนในแนวตั้ง ทำหน้าที่กดดอกสว่านให้เจาะลงไปในเรื่องานประกอบไปด้วย DC Motor 28 V. ขับผ่านชุดเฟืองตัวหนอนเปลี่ยนการหมุนเป็นการขึ้นลง โดยการขึ้นลงนี้จะควบคุมโดย Limit Switch 2 ตัว คือ ตัวล่างจะควบคุมความลึกของการเจาะ ตัวบนจะควบคุมระยะยกเหนือชิ้นงาน ส่วนตัว Drive DC Motor เป็น Relay 2 contact 2 ชุด ต่อเป็นแบบขั้ว Bipola Coil ของ Relay Drive โดย Tr BC-458 ซึ่ง Tr ได้สัญญาณขั้วมาจาก Printer Port D2 ของ Out put 4 bit

คู่มือการทำงานของ Plotter ในภาคผนวก (ข)

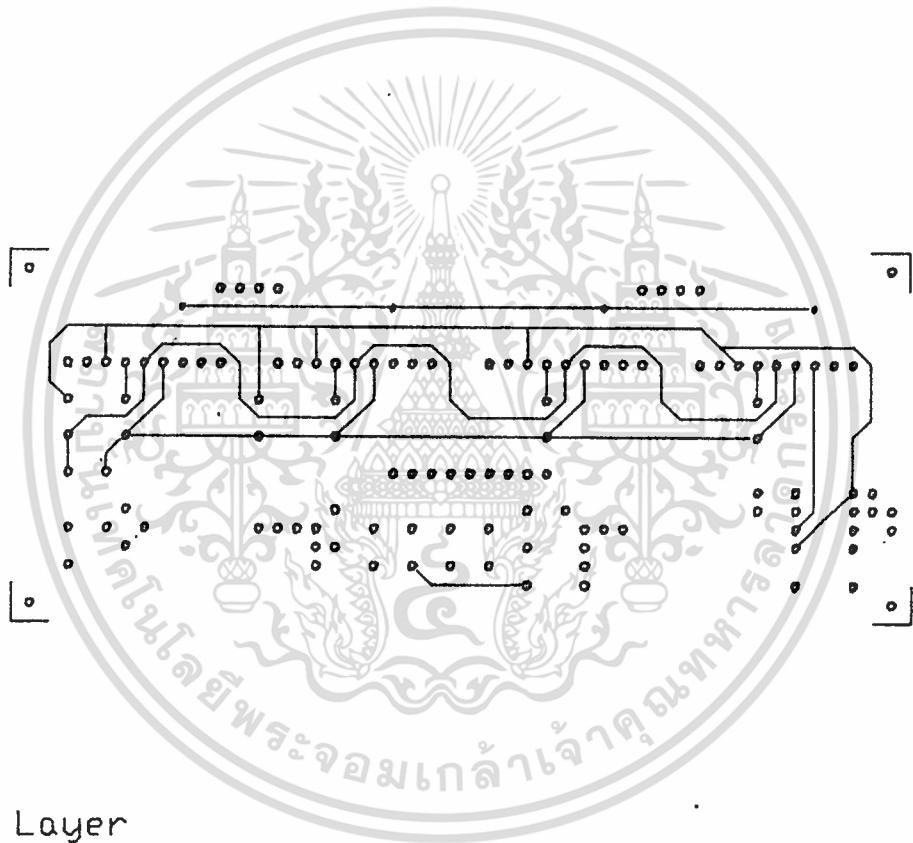


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 วงจรของเครื่องเจาะ วัต พิมพ์อัตโนมัติ

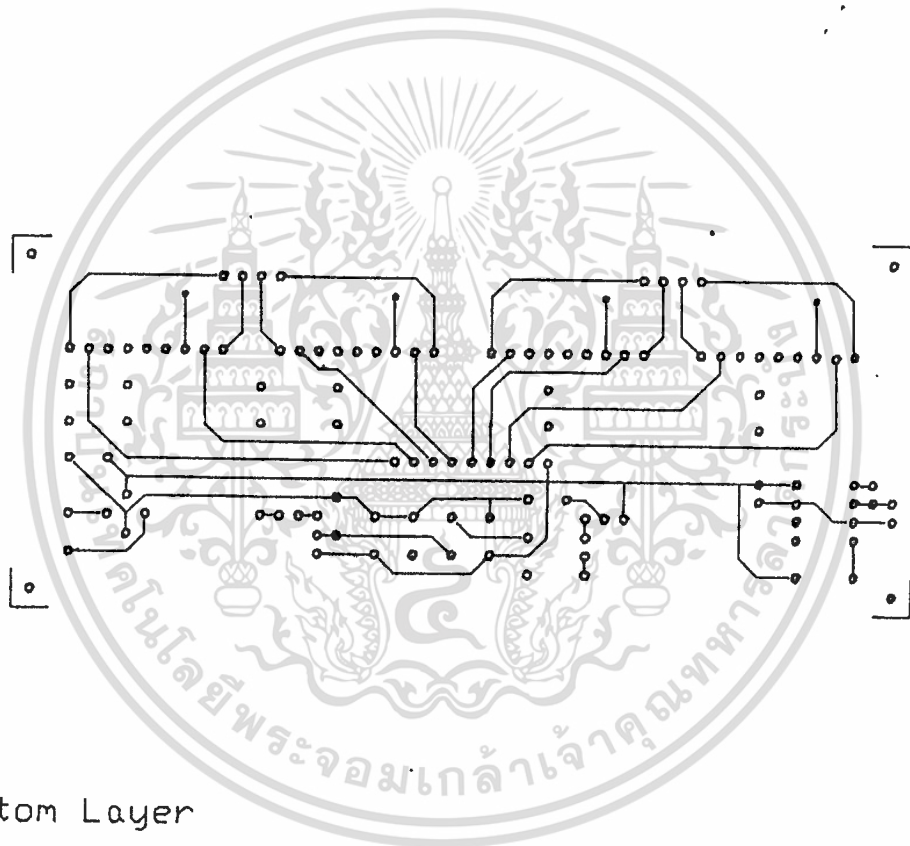
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



XY Top Layer

รูปที่ 3.2 ลายวงจรด้านบน (ขนาดเท่าของจริง)

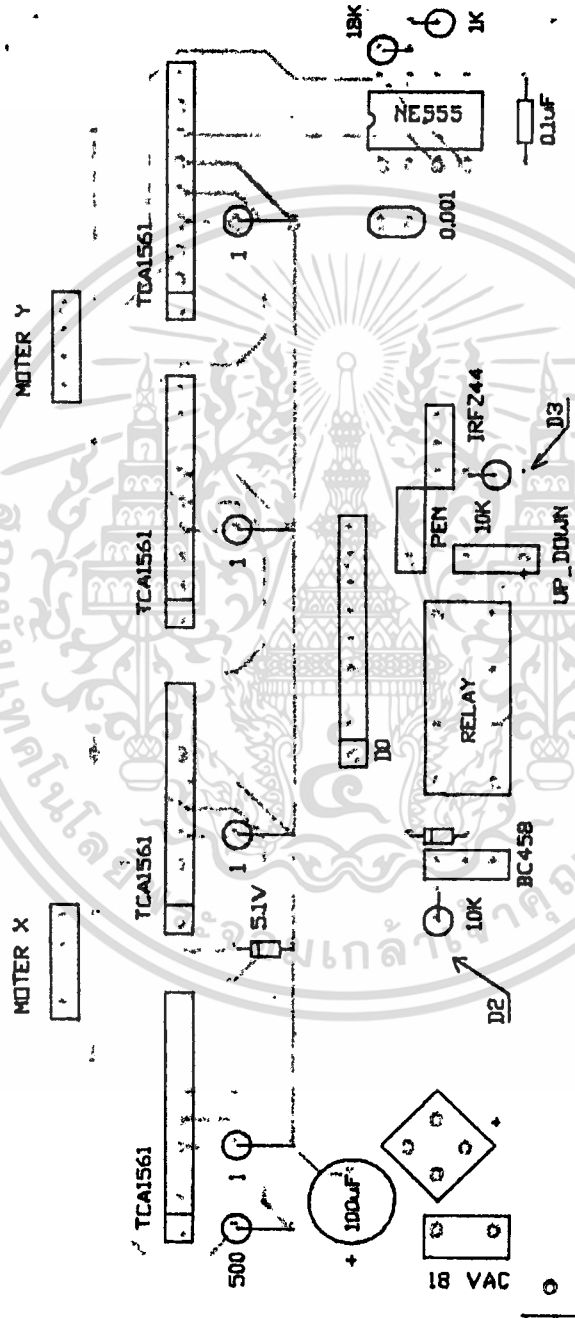
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



XY Bottom Layer

รูปที่ 3.3 ลายวงจรด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ตำแหน่ง ของอุปกรณ์บนแผ่น PCB

3.2 โครงสร้างของปริศยานิพนธ์

รายละเอียดของชุดกลไก

แท่น X, Y ได้รับการขับเคลื่อนจาก Stepping Moter โดยใช้ลวดสลิงขนาด 20 mils (ทนแรงดึงได้ 10 Kg) ลวดสลิงนี้ยึดอยู่บนแกนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.617 นิ้ว เมื่อแกนหมุน 1 รอบ ลวดสลิงจะเคลื่อนที่ไป 2 นิ้ว โดยความละเอียดของ stepping Moter เป็น 400 step ต่อรอบก็จะได้ความละเอียด $\frac{5}{1000}$ นิ้ว ในแนวแกน X จะเคลื่อนที่ได้ 11 นิ้ว ในแนวแกน y จะเคลื่อนที่ได้ 6.5

ฐานของแท่นเป็นพลาสติกชนิดหนาขนาด 14 x 32 x $\frac{3}{8}$ นิ้ว

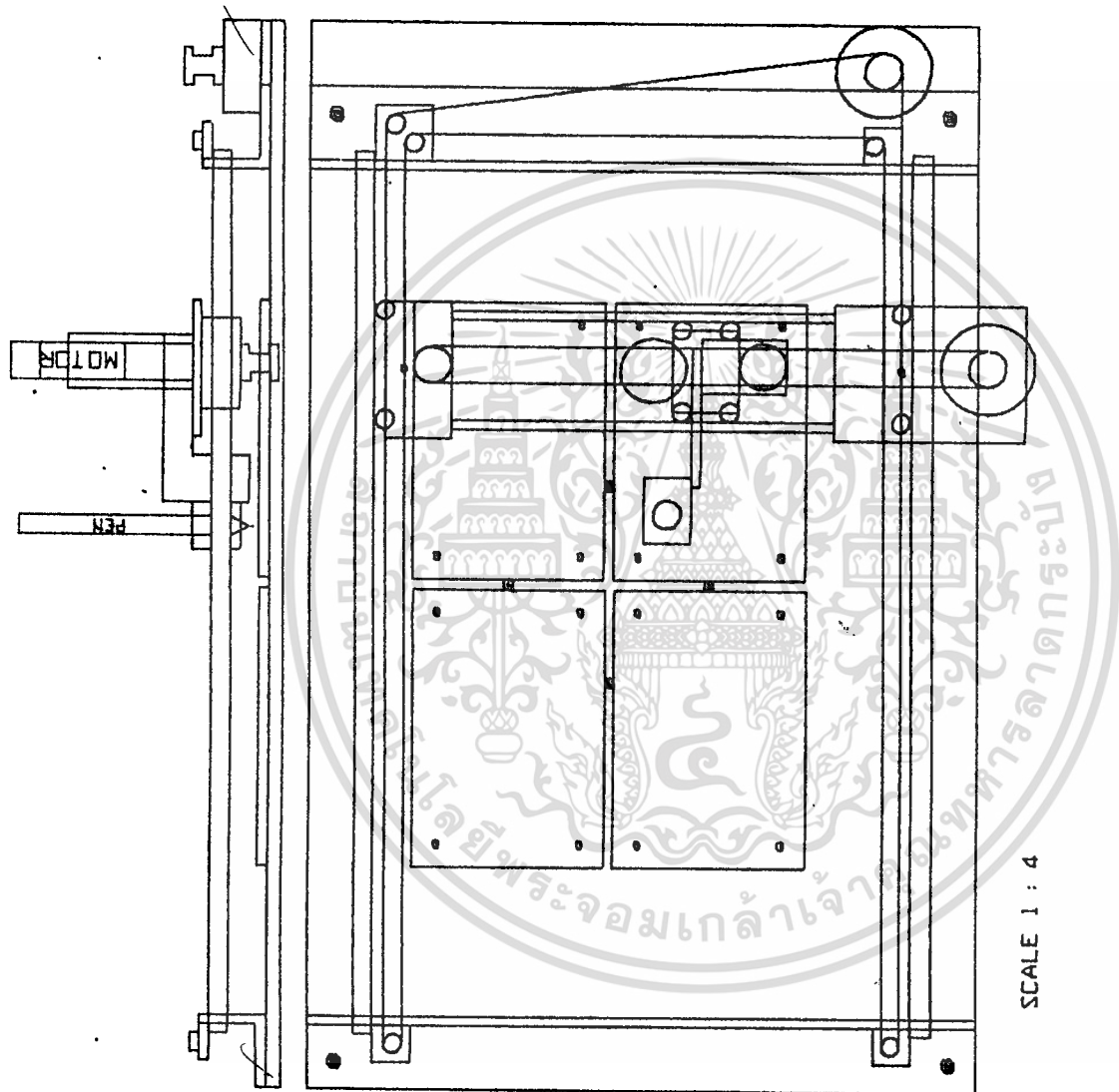
ชุดกลางเลื่อนประกอบด้วยแท่งเหล็กและชุดตลับลูกปืน

ในแกน X ใช้แท่งเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{4}{8}$ นิ้ว ในแกน Y ใช้แท่งเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{5}{16}$ นิ้ว

ชุดตลับลูกปืนประกอบด้วยลูกปืนด้านละ 8 ลูก ยึดอยู่บนแผ่นอลูมิเนียมหนา $\frac{2}{8}$ นิ้ว และจะต้องปรับระยะให้เคลื่อนไปบนแท่งเหล็กได้อย่างคล่อง ทั้ง 2 แกน

พันลวดสลิงบนแกนพลาสติกประมาณ 14 รอบ แล้วยึดเข้ากับแท่นเลื่อน X และแท่นเลื่อน Y

ชุดจับปากกา ประกอบมาจากจากอะลูมิเนียม ที่ติดอยู่กับชุดโซลินอยด์ ของ Relay ติดแผ่นอลูมิเนียมกับแผ่นเหล็กของ Relay อลูมิเนียมแผ่นนี้จะต่ออยู่กับปากกา เมื่อโซลินอยด์ดูดแผ่นเหล็กเข้ามา ทำให้ปากกาถูกยกขึ้น



รูปที่ 3.5 รูปของเครื่องเจาะ วาด พิมพ์อัตโนมัติ ด้านบน และด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

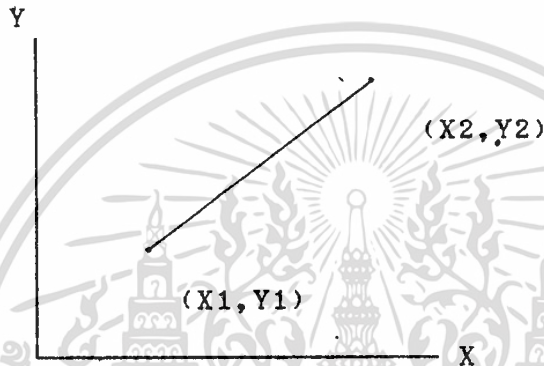
รายละเอียดของ Self Ware

Bresenham 's Line- Drawing Algorithm

การคำนวณด้วย Computer นั้นจะมีความไวสูงและถูกต้อง จะต้องมึรูปแบบ (Algorithm) ที่เหมาะสมกับโครงสร้างของคำสั่ง

ในสมการเส้นตรงมีสูตรง่าย ๆ ดังนี้ $Y = MX$ โดยที่ M คือความชัน $M(Y/X)$ ถ้าจะลากจากจุด (X_1, Y_1) ไป (X_2, Y_2) ก็จะใช้สูตร เดิมโดย แปลงได้ดังนี้

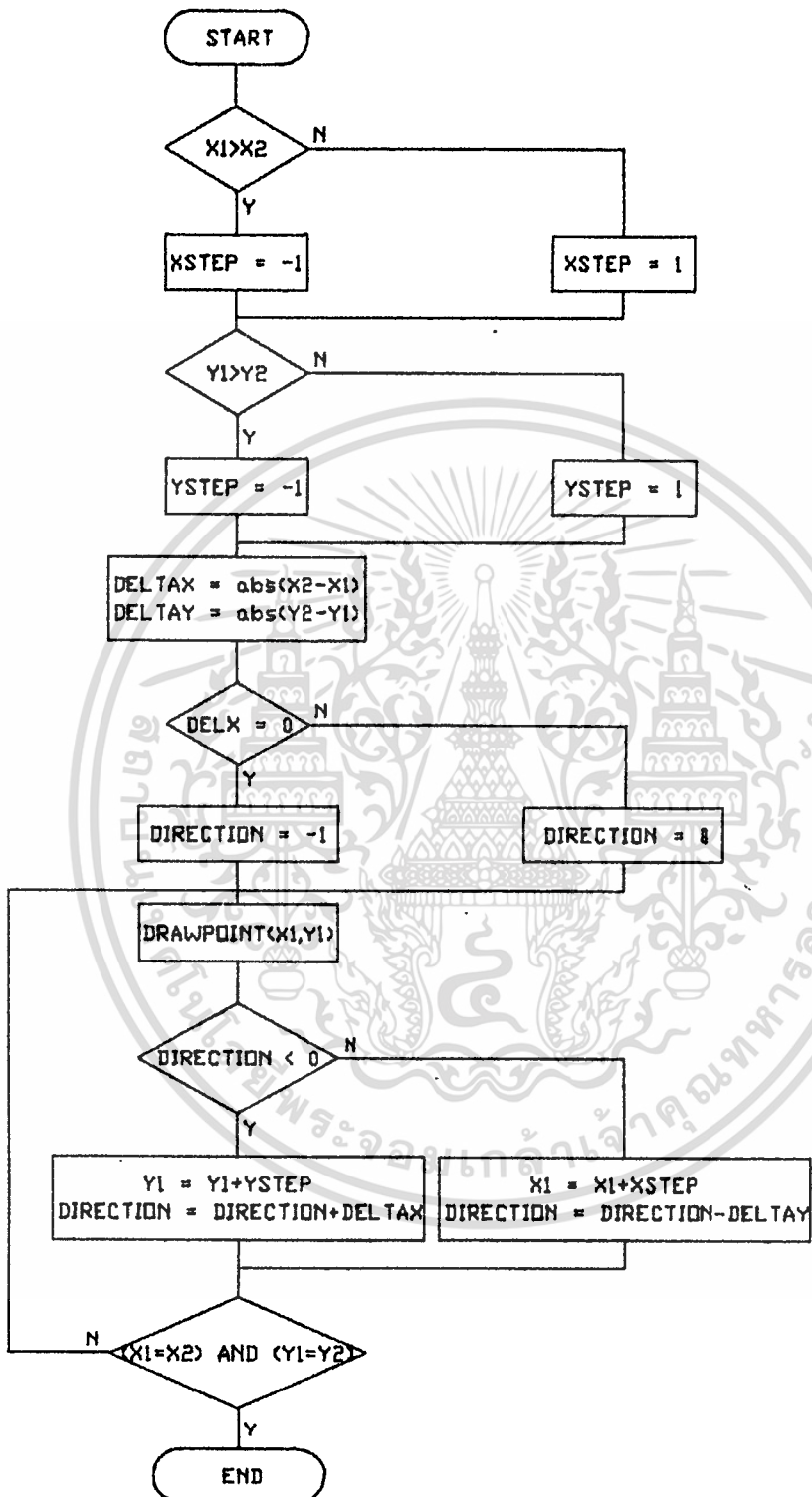
$$(Y_2 - Y_1) = M (X_2 - X_1)$$



รูปที่ 3.6 กราฟของสมการเส้นตรง

เมื่อพิจารณาดูการหาค่า M เพื่อมาคูณกับ X ซึ่งจะได้เส้นค่า M มาจาก Y/X จะทำให้เกิดเป็นเลขเศษส่วนได้ ซึ่ง Microprocessor ที่ใช้นี้ (X86 Intel) จะไม่มีส่วนที่คำนวณเป็นเศษส่วน (เว้น Match cor) ถ้าจะให้คำนวณเป็นเศษส่วนจะต้องใช้คำสั่งมากซึ่งจะทำให้เสียเวลาและซับซ้อนยากต่อการเขียน

Bresenham เป็นวิธีคำนวณที่ไม่มีเศษส่วนแต่ให้ความถูกต้องได้ดีเท่ากับการคำนวณเป็นเศษส่วนที่มีทศนิยมหลายตำแหน่งได้มี Flow Shart ดังรูป



รูปที่ 3.7 Flow Shart ของ Bresenham

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HPGA 7475A เป็นภาษาที่ติดต่อกับ Ploter ซึ่งประกอบด้วยตัวอักษรตัวใหญ่ แล้วคั่นแต่ละคำสั่งด้วย โดยมีรายละเอียดของคำสั่งพอสังเขปดังนี้

PU เป็นคำสั่งขยกปากกา

PD เป็นคำสั่งให้วางปากกาเพื่อลากเส้น

PA เป็นคำสั่งกำหนดตำแหน่งแบบ absolute โดยเคลื่อนที่ประกอบนี้มีช่วงการทำงานตั้งแต่ (0,0) ถึง (11000,6500)

PR เป็นคำสั่งกำหนดตำแหน่งแบบ rerative คือเป็นค่าบวกลบกับตำแหน่งปัจจุบันของปากกา

CI เป็นคำสั่งเขียนวงกลม กำหนดความละเอียดของโค้งได้ด้วยการกำหนดองศา

VS เป็นคำสั่งกำหนดความเร็ว

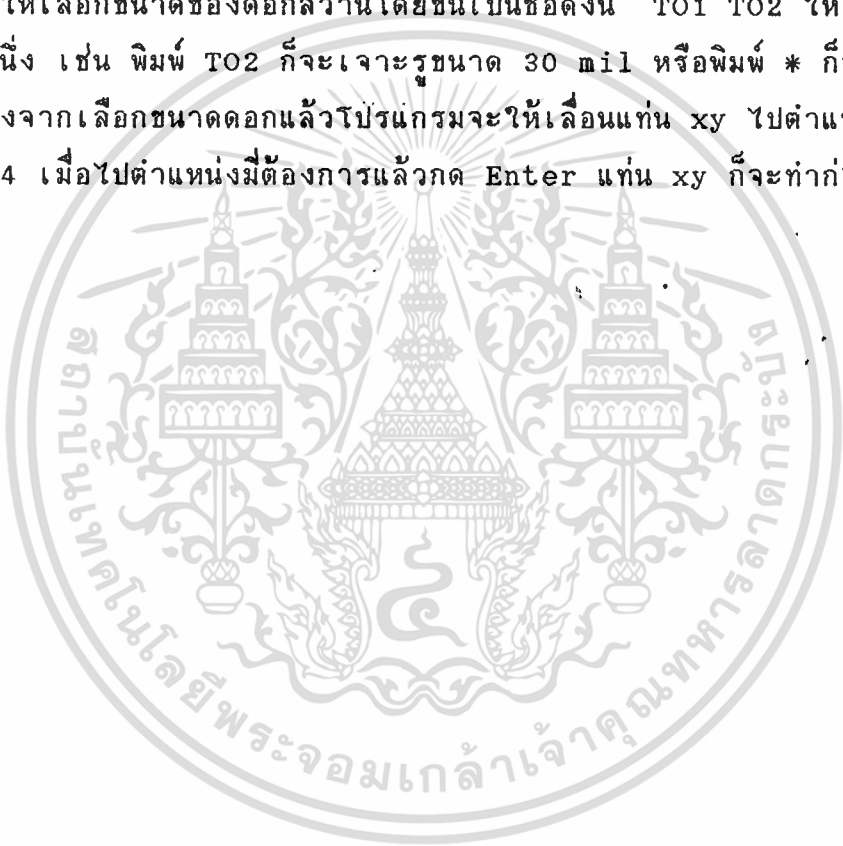
รายละเอียดของคำสั่ง และการใช้งานมีในคู่มือ และคำสั่งของ Ploter ใน ส่วนภาคผนวก (0)



DRILL Program เขียนจาก Pascal หลักการของโปรแกรมมีดังนี้ จะแปร ข้อมูลใน Flie.txt ให้เป็นตำแหน่งของการเจาะแล้วเคลื่อนแท่น xy ไปตำแหน่งดังกล่าว พร้อมกับเจาะจนลงไป

File.txt เป็น File ที่เกิดจากโปรแกรม Traxplot ในการทำงานของ NC Drill จะได้ Flie.txt ดังกล่าว และ Flie.tol ซึ่งจะบอกขนาดของดอกสว่าน File.txt และ File.tol มีรายละเอียดดังนี้

การใช้งาน Drill ปรับสวิตช์ด้านหน้ากล่องควบคุมมาที่ Drill แล้ว RUN โปรแกรม Drill.EXE เมื่อโปรแกรมทำงานจะถามชื่อ File.txt (และ File.tol) หลังจากนั้น จะให้เลือกขนาดของดอกสว่านโดยขึ้นเป็นชื่อดังนี้ TO1 TO2 ให้เลือกเจาะกับดอกใดดอกหนึ่ง เช่น พิมพ์ TO2 ก็เจาะรูขนาด 30 mil หรือพิมพ์ * ก็เจาะทุกรูบนแผ่นงานหลังจากเลือกขนาดดอกแล้วโปรแกรมจะให้เคลื่อนแท่น xy ไปตำแหน่งที่ยึดอยู่ โดยใช้ลูกศรทั้ง 4 เมื่อไปตำแหน่งที่ต้องการแล้วกด Enter แทน xy ก็จะทำการเจาะชิ้นงานจนเสร็จ



รายละเอียดของ File . txt , File . tol

TYPE TEST.TOL

PROTEL TRAXPLOT Version 1.58B
NcDrill Tool Loading Specification
PCB File : C:\PROTEL\TEST.PCB
Date : 15/02/1991
Time : 23:10:06

T01 25
T02 30

A:\>

TYPE TEST.TXT

M48
T01F00S00
T02F00S00
&
T01
XY
Y001
Y002
X003Y
XY003
X003Y001
Y002
XY004
X003Y003
Y004
XY005
X003
XY006
X003
XY007
X007Y
Y001
Y002
X003Y007
X007Y003
XY008
X007Y004
X003Y008
X007Y005
XY009
X007Y006
X003Y009
X007Y007
Y008
Y009
X01Y005
Y006
Y007
Y008
Y009
Y
Y001
Y002
Y003
Y004
T02
X013Y009
X015
X017
M30

A:\>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Plot ProGram เขียนมาจาก Pascal

หลักการของโปรแกรมมีดังนี้ จะรับ File ที่เป็นรหัสของ HPGA มาตราฐานมาแปรเป็นตำแหน่งต่าง ๆ พร้อมกับการวางปากกา ทำให้เกิดลายเส้น ตามโปรแกรมอินพุท

รายละเอียดของ File คุยได้จาก Test.pbl

ตัวอย่างการใช้ Plotter ใช้ plot รูปต่าง ๆ ที่ปรากฏในปฏิทินพจนานี้

การใช้งาน Plot ปรับสวิทช์ด้านหน้ากล่องควบคุมมาที่ Plot & Print แล้ว Run โปรแกรม Plot.EXE เมื่อโปรแกรมทำงาน จะถามชื่อ File HPGA หลังจากนั้นจะให้เลื่อนแท่น X,Y ไปตำแหน่งที่ต้องการโดยใช้ลูกศรทั้ง 4 เมื่อไปตำแหน่งที่ต้องการแล้วกด ENTER แท่น X,Y ก็จะเป็น Plotter Plot งานให้จนเสร็จ




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Print Program เขียนจาก Pascal

หลักการของโปรแกรมมีดังนี้ จะรับ text File แล้วจะสร้างตัวอักษรตามตัวอักษรใน text file นั้น โดยในโปรแกรมจะเก็บรูปแบบของตัวอักษรเป็นแบบ Vector มีรหัสตั้งแต่ ! ถึง ~ (126 ตัวอักษร มีแบบ Font ดังรูปด้านหลัง) โดยจะพิมพ์ได้ขนาด 80 ตัวต่อบรรทัดและ 43 บรรทัดต่อหน้า ตัวอย่างการทำงานของ Print ดังตัวอย่างด้านหลัง

การใช้งาน PRINT ปรับสวิตซ์ด้านหน้ากล่องควบคุมมาที่ Plot & Print แล้ว Run โปรแกรม Print.EXE เพื่อโปรแกรมทำงานจะถามชื่อ text File เมื่อใส่ชื่อเรียบร้อยแล้ว กด Enter แทน XY จะ Plot ตัวอักษรทีละตัวตามข้อมูลใน text File เมื่อจบหน้าก็จะหยุดให้เปลี่ยนกระดาษ และจะทำงานต่อเมื่อกด Key ใด ๆ





! " # \$ % & ' () * + , - . /
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 : ; < = > ?
 @ A B C D E F G H I J K L M N O
 P Q R S T U V W X Y Z [\] ^ _
 ` a b c d e f g h i j k l m n o
 p q r s t u v w x y z { | } ~

รูปที่ 3.8 รูปแบบของ Front

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองผลการทำงานและ สรุปผลการดำเนินการ

4.1 ผลการทดลองและการทดสอบโครงการ

การทดลองและผลที่ได้รับจากการทดสอบโครงการ สามารถแยกออกเป็นส่วน ๆ ได้ 3 ส่วนใหญ่ ๆ ด้วยกัน คือ การทำงานของโครงการในส่วนของการเจาะแผ่น PCB (DRILL) การทำงานของโครงการในส่วนของการวาด (PLOT) และ การทำงานของโครงการในส่วนของการพิมพ์ (PRINT) ซึ่งผลที่ได้จะทำการแยกออกเป็นส่วน ๆ ได้ดังนี้

4.1.1 การทำงานของโครงการในส่วนของการเจาะแผ่น PCB (DRILL)

จากที่ได้ทำการทดลองเจาะปรากฏว่าโครงการนี้มีพื้นที่การทำงานของการเจาะทั้งหมดเท่ากับ 6.5×11 นิ้ว หรือ 71.5 ตารางนิ้ว ความละเอียดของการเคลื่อนที่ของชุดหัวเจาะในการทำงานเท่ากับ $5/1000$ นิ้ว ซึ่งเป็นที่พอเพียงกับความต้องการใช้งานในปัจจุบันนี้ และการเคลื่อนที่ของชุดหัวเจาะเคลื่อนที่ทั้งแกน x (x-Axis) และแกน Y (Y-Axis) ไปพร้อม ๆ กัน การเจาะแผ่น PCB สามารถเจาะแผ่น PCB ได้โดยแผ่น PCB จะต้องถูกยึดบนแท่น ซึ่งตัวยึดจับแผ่น PCB สามารถปรับได้ตามขนาดของแผ่น PCB โครงการนี้สามารถเจาะแผ่น PCB ได้ทีละแผ่น หรือ หลายแผ่นได้ โดยเราตั้งความลึกของการเจาะได้ที่ Limit Switch ส่วนขนาดของรูเจาะขึ้นอยู่กับ การติดตั้งดอกสว่าน และ เซตการเจาะแต่ละขนาดของดอกสว่านในโปรแกรม จากที่ได้ทำการทดลองเจาะแผ่น PCB โดยต้องทำการ Plot ลายวงจรไว้ก่อนแล้ว ผลที่ได้ให้ความเที่ยงตรงเป็นที่น่าพอใจพอสมควร

4.1.2 การทำงานของโครงการในส่วนของการวาด (PLOT)

เมื่อให้โครงการทำงานทางด้านกรวาด จากที่ได้ทดลองวาดโครงการนี้มีพื้นที่การทำงานทั้งหมดเท่ากับกระดาษ A4 ความละเอียดเท่ากับ $5/1000$ นิ้ว เช่นเดียวกับการเจาะ ใช้ HPGL 7475 A เป็นภาษาที่ติดต่อกับโครงการ ซึ่งรหัสของ HPGL เป็นมาตรฐานในงานด้าน PLOTTER การใช้งานดูได้จากที่กล่าวมาในขั้นต้น ผลที่ได้จากการทดลอง โครงการนี้สามารถวาดได้ตามคำสั่งดังตัวอย่าง เช่น รูปของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และลายวงจร ขนาดของเส้น สามารถเปลี่ยน ขนาดของปากกาได้ ซึ่งปากกาสามารถหาซื้อได้ในท้องตลาดทั่ว ๆ ไป ราคาค่อนข้างถูกเมื่อเทียบกับ PLOTTER ทั่ว ๆ ไป

4.1.3 การทำงานของโครงการในส่วนของการพิมพ์ (PRINT)

รายละเอียดจะคล้าย ๆ กับการวาด (PLOT) คือมีพื้นที่การทำงานเท่ากับกระดาษ A4 ความละเอียดเท่ากับ 5/1000 นิ้ว ซึ่งได้ทำการทดลอง PRINT ดังที่แสดงได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้



4.2 สรุปผลการดำเนินงาน

งานในเทอมแรก (PROJECT I)

- ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลในส่วนที่เกี่ยวข้องกับโครงการ
- ออกแบบทางด้านโครงสร้าง (HARD WARE) ของโครงการ
- ทดลอง การทำงานของโครงสร้าง (HARD WARE) ในแต่ละส่วน

งานในเทอมที่สอง (PROJECT II)

- แก้ไขส่วนที่ ผิดพลาดและพัฒนาโครงสร้าง (HARD WARE) ของโครงการให้ถูกต้อง
- เขียน SOFT WARE ควบคุมการทำงานของระบบ
- ออกแบบลายวงจร ของโครงการ
- ประกอบอุปกรณ์ของทุกส่วนเข้าด้วยกัน และทำการทดสอบการทำงานร่วมกับ PROGRAME SOFTWARE

ผลของโครงการ

ในโครงการนี้ ได้ถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพ ครอบคลุมการทำงานได้มากกว่าเครื่องทั่วไป คือ ในแทน X Y โดยทั่วไปก็จะสามารถเจาะได้ เพียงอย่างเดียว PLOTTER ก็สามารถทำการ PLOT ได้อย่างเดียว PRINTER ก็เช่นกันสามารถ PRINT ได้เพียงอย่างเดียว แต่บางครั้งในปัจจุบันนี้ถ้าจะทำงานสักหนึ่งอย่างต้องทำการซื้อ เครื่องถึง 3 เครื่อง ดังที่กล่าวมาตั้งข้างต้นนี้ ซึ่งสิ้นเปลืองงบประมาณโดยใช้เหตุ โครงการนี้จึงถูกออกแบบมาเมื่อรวมเครื่องทั้ง 3 เครื่องเข้าด้วยกัน

ในเครื่องนี้จะใช้การควบคุมและการคำนวณส่วนใหญ่อยู่ใน PC ทั้งหมด วงจรควบคุมภายนอกจึงมีเพียงเท่าที่จำเป็นเท่านั้น เลยมิผลทำให้ใช้อุปกรณ์ไม่มาก ทำให้ไม่สิ้นเปลืองและโครงการนี้ยังมีความสามารถมากเมื่อเทียบกับงบประมาณ

ส่วนการทดลองนี้ผลการทำงานของโครงการในส่วนของการเจาะ วาดและพิมพ์ เป็นไปตามที่กำหนดไว้ ซึ่งจะมีลักษณะการทำงานและการทำงานดังที่กล่าวมาแล้ว แต่ก็ยังมีปัญหาที่เกิดขึ้นดังจะได้อธิบายถึงปัญหาต่อไป

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

Hard ware

ระยะทางที่เคลื่อนที่ของชุดหัวเจาะ และการวาด มีความผิดพลาดไปจากการคำนวณจริงประมาณ 0.0375 นิ้ว ลวดสลึงที่ใช้มีความแข็งเกินไป ไม่นิ่มพอ ประกอบกับมีความยืดหยุ่นด้วย ทางด้านแท่นยึดแผ่น PCB ค่อนข้างใช้งานยาก

Soft ware

การสั่งงานให้เครื่องเคลื่อนที่ จะสามารถสั่งให้เคลื่อนที่ได้ทีละแกน เช่น เคลื่อนที่ทางแกน X [X-AXIS] ก่อน เมื่อเคลื่อนที่ไปจนสุดระยะตามคำสั่งแล้ว จึงจะมาเคลื่อนที่ทางด้านแกน Y [Y-AXIS] ตามคำสั่ง จะเห็นว่าค่อนข้างช้า

การแก้ไขปัญหา

Hade ware

ทางด้านระยะทางเคลื่อนที่ที่ผิดพลาดไปเราทำการ กลึง มู่เลย์ใหม่ ซึ่งมีความถูกต้องและแน่นอน ทำให้ระบบทางไม่ผิดพลาด จากนั้นก็ทำการเปลี่ยนลวดสลึงใหม่ ให้มีความยืดหยุ่นน้อยและนิ่มนวลกว่า ออกแบบแท่นจับ PCB ใหม่ให้สะดวกและง่ายต่อการใช้งาน นอกจากนั้นเพิ่มแผ่นรองกระดาษสำหรับเวลาวาด [Plot] โดยใช้แผ่นเหล็ก และใช้แม่เหล็กยึดกระดาษ ทำให้สะดวกและใช้งานได้ง่าย และยังให้ความแน่นอนอีกด้วย

Sofo ware

จากปัญหาที่เกิดขึ้น สามารถแก้ไขให้เครื่องสามารถเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงไปตรงจุดที่กำหนดได้เลย โดยใช้การใช้อัลกอริทึมของ Bresenham หลักการของ อัลกอริทึมแบบนี้คือ หาค่าผิดพลาดในตัวแปร [error] ซึ่งเกิดจากการเปรียบเทียบค่าในอุดมคติของแต่ละจุดกับค่าจริง และนอกจากนี้ยังได้พัฒนาให้สามารถเลือกดอกสว่านได้และยังสามารถทำให้เป็น Ploter และ Printer ได้

4.3 การวิเคราะห์และแนวทางการพัฒนาต่อของโครงการ

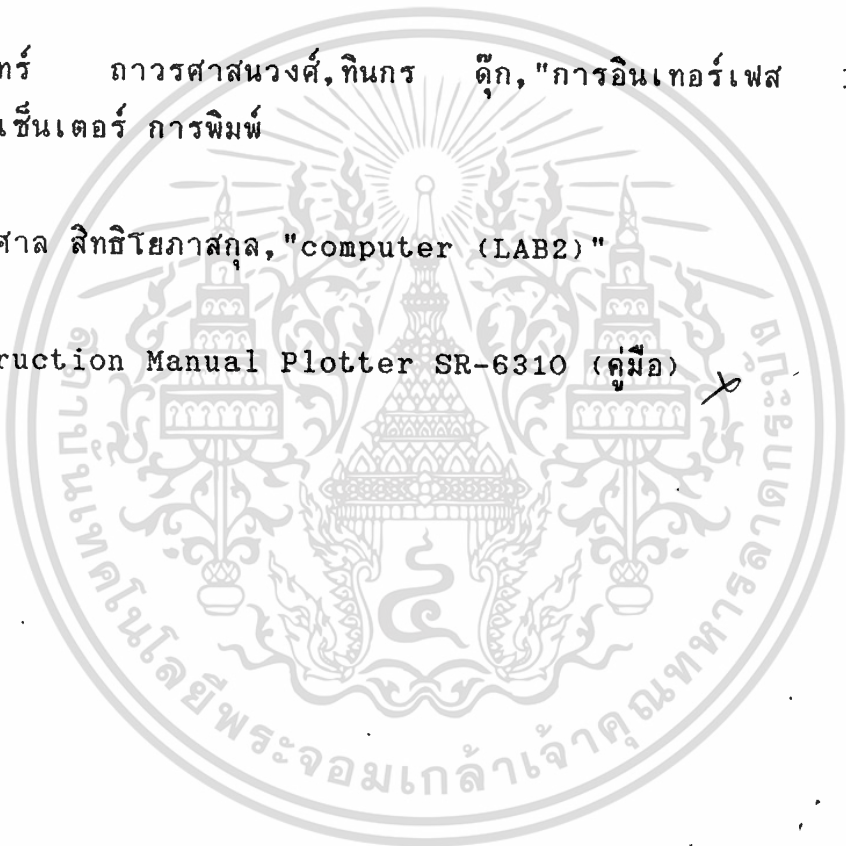
จากการทำงานของโครงการทั้งหมดที่ได้ทำการทดลองมา จะเห็นว่าอาจมีการทำงานบางส่วนที่ขาดไปคือ การทำ Film ถ้าสามารถทำให้โครงการนี้สามารถทำ Film ได้ จะทำให้โครงการนี้เป็นโครงการที่ดีที่สุด โดยมีแนวคิดที่ว่า ถ้าสามารถทำการตัดหัวเลเซอร์ที่ชุดหัวเขียนได้จากนั้น ก็สั่งให้โครงการทำงานในการทำงานวาด (Plot) ลงบน DRY Film ซึ่งเป็นการลดขั้นตอนในการที่ต้องไปทำ Film ได้ เมื่อได้ Film ที่มีลายวงจรแล้วก็นำไปกัดลายวงจร จากนั้นก็ทำ Path thro hole ก็จะได้แผ่น PCB ที่เสร็จเรียบร้อยสามารถนำไปลงอุปกรณ์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. David M. Auslander, Paul Sagues, "Microprocessor for measurement and control"
2. Moshe Shoham, "Structure, control and Operation", Eshed Robotec (1982) Ltd, 1986
3. ชานินทร์ ถาวรศาสนวงศ์, ทินกร ดูก, "การอินเทอร์เฟซ IBM PC", ฟลิกส์เซ็นเตอร์ การพิมพ์
4. อ.ไพศาล สิทธิโยภาสกุล, "computer (LAB2)"
5. Instruction Manual Plotter SR-6310 (คู่มือ)





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

{ DRILL.PAS }

```
uses crt;
var ftxt;ftxtc : string[20];
    st1,st2,stn : string[3];
    p0,p1,p2,p3 : string[2];
    c,cc,c1,c2,c3,st : char;
    fp : text;
    px,py,d1 : integer;      {px,py,fpx,fpy gobal;d1 static(delay)}
    ni,fpx,fpy : longint;
    drvx,drvy : array[1..8] of byte;
    a,b,sx,sy : byte;        {a,sx,sy static}
    io : word;               {io static}
```

```
procedure init;
```

```
begin
```

```
    a := port[$279];
    if a = $87 then io := $278;
    a := port[$379];
    if a = $87 then io := $378;
    a := port[$3BC];
    if a = $87 then io := $3BD;
    a := port[io+2];
    a := a and $10;
    a := a or $0F;    {07 : moter on}
    port[io+2] := a;
    px := 0; py := 0;
    sx := $01; sy := $01;
    fpx := 0; fpy := 0;
```

```
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure action(act : char);
```

```

var delx,dely,dir : integer;

    xstep,ystep : shortint;

begin

    xstep := 0; ystep := 0; delx := 0; dely := 0;

    if fpx > px then begin delx := fpx - px; xstep := 1; end;
    if fpx < px then begin delx := px - fpx; xstep := -1; end;
    if fpy > py then begin dely := fpy - py; ystep := 1; end;
    if fpy < py then begin dely := py - fpy; ystep := -1; end;
    if delx = 0 then dir := 0 else dir := -1;
    repeat
    if dir < 0 then begin
        py := py + ystep;
        dir := dir + delx;
        if ystep = 1 then begin
            sy := sy + 1;
            if sy = 9 then sy := 1;
        end;
        if ystep = -1 then begin
            sy := sy - 1;
            if sy = 0 then sy := 8;
        end;

    end

    else begin

        px := px + xstep;
        dir := dir - dely;

        if xstep = 1 then begin
            sx := sx + 1;
            if sx = 9 then sx := 1;
        end;
        if xstep = -1 then begin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
sx := sx - 1;
```

```
if sx = 0 then sx := 8;
```

```
end;
```

```
end;
```

```
port[io] := drvx[sx] or drvy[sy];
```

```
delay(dl);
```

```
until (fpx = px)and(fpy = py);
```

```
if act = 'd' then begin
```

```
    a := a xor $0C;
```

```
    port[io+2] := a;
```

```
    delay(3500);
```

```
    a := a xor $04;
```

```
    port[io+2] := a;
```

```
    delay(3500);
```

```
    a := a xor $08;
```

```
    port[io+2] := a;
```

```
end;
```

```
end;
```

```
begin
```

```
    drvx[1] := $0A; drvx[2] := $08; drvx[3] := $0B; drvx[4] := $03;
```

```
    drvx[5] := $0F; drvx[6] := $0D; drvx[7] := $0E; drvx[8] := $06;
```

```
    drvy[1] := $A0; drvy[2] := $80; drvy[3] := $B0; drvy[4] := $30;
```

```
    drvy[5] := $F0; drvy[6] := $D0; drvy[7] := $E0; drvy[8] := $60;
```

```
dl := 4;
```

```
init;
```

```
writeln;
```

```
writeln;
```

```
write('*INPUT FILE NAME : ');
```

```
readln(ftxtc);
```

```
writeln;
```

```
ftxtc := 'c:\protel\test';
```

```
ftxt := ftxtc + ('.tol');
```

```
cc := 'N';
```

```
b := 0;
```

```
write('TOOL SIZE(mil)');
```

```
assign(fp,ftxt);
```

```
reset(fp);
```

```
while not eof(fp) do
```

```
begin
```

```
read(fp,c);
```

```
if c = chr(13) then b := b+1;
```

```
if b = 7 then cc := 'Y';
```

```
if cc = 'Y' then write(c);
```

```
end;
```

```
close(fp);
```

```
writeln;
```

```
write('*DRILL TOOL (T01 or T02 or *) : ');
```

```
readln(st1);
```

```
write('*ORG XY (by arrow key & Enter to go) : ');
```

```
repeat
```

```
c := readkey;
```

```
if c = 'M' then fpx := fpx + 10;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if c = 'K' then fpx := fpx - 10;
if c = 'H' then fpy := fpy + 10;
if c = 'P' then fpy := fpy - 10;

action(' ');

until c = chr(13);

fpx := 0; fpy := 0; px := 0; py := 0;

writeln;

```

```

if st1[1] = 't' then st1[1] := 'T';
ftxt := ftxtc + '.txt';
assign(fp,ftxt);

```

```

cc := 'N';
stn := ' ';

```

```

reset(fp);

```

```

st := '$';

```

```

while not eof(fp) do

```

```

begin

```

```

  read(fp,c);

```

```

  if c = '%' then cc := 'Y';

```

```

  if c = 'M' then cc := 'N';

```

```

  if cc = 'Y' then

```

```

    begin

```

```

      if c = 'T' then

```

```

        begin

```

```

          stn[1] := c;

```

```

          read(fp,c);

```

```

          stn[2] := c;

```

```

          read(fp,c);

```

```

          stn[3] := c;

```

```

          read(fp,c);

```

```

        end;

```

```

      if (st1 = stn) or (st1 = '*')

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

then
begin
if c = 'X' then
begin
st := c;
ni := 10000;
fpx := 0;
repeat
read(fp,c);
case c of
'0' : b := 0;
'1' : b := 1;
'2' : b := 2;
'3' : b := 3;
'4' : b := 4;
'5' : b := 5;
'6' : b := 6;
'7' : b := 7;
'8' : b := 8;
'9' : b := 9;
else b := 0;
end;
fpx := fpx + (b*ni);
ni := ni div 10;
until (c = 'Y') or (c = chr(13));
fpx := fpx div 5;
end;

```

```

if c = 'Y' then

```

```

begin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องแจ้งอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

st := c;
ni := 10000;

```

```
end;
```

```
close(fp);
```

```
fpx := 0; fpy := 0;
```

```
action('u');
```

```
end.
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{ _____PLOT.PAS_____ }
```

```
uses crt;
```

```
var ftxt,ftxtc : string[20];
```

```
st1,st2,stn : string[3];
```

```
p0,p1,p2,p3 : string[2];
```

```
c,cc,c1,c2,c3,st : char;
```

```
fp : text;
```

```
px,py,dl,sign : integer; {px,py,fp,fp gobal;dl static(delay)}
```

```
ni,fp,fp : longint;
```

```
drv,drv : array[1..8] of byte;
```

```
a,b,sx,sy : byte; {a,sx,sy static}
```

```
io : word; {io static}
```

```
procedure init;
```

```
begin
```

```
  a := port[$279];
```

```
  if a = $87 then io := $278;
```

```
  a := port[$379];
```

```
  if a = $87 then io := $378;
```

```
  a := port[$3BC];
```

```
  if a = $87 then io := $3BD;
```

```
  a := port[io+2];
```

```
  a := a and $10;
```

```
  a := a or $0F; {07 : moter on}
```

```
  port[io+2] := a;
```

```
  px := 0; py := 0;
```

```
  sx := $01; sy := $01;
```

```
  fp,fp := 0;
```

```
  a := a and $F7;
```

```
  port[io+2] := a;
```

```
  delay(1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

end;

procedure action;

var delx,dely,dir : integer;

 xstep,ystep : shortint;

begin

 xstep := 0; ystep := 0; delx := 0; dely := 0;

 if fpx > px then begin delx := fpx - px; xstep := 1; end;

 if fpx < px then begin delx := px - fpx; xstep := -1; end;

 if fpy > py then begin dely := fpy - py; ystep := 1; end;

 if fpy < py then begin dely := py - fpy; ystep := -1; end;

 if delx = 0 then dir := 0 else dir := -1;

 repeat

 if dir < 0 then begin

 py := py + ystep;

 dir := dir + delx;

 if ystep = 1 then begin

 sy := sy + 1;

 if sy = 9 then sy := 1;

 end;

 if ystep = -1 then begin

 sy := sy - 1;

 if sy = 0 then sy := 8;

 end;

 end

 else begin

 px := px + xstep;

 dir := dir - dely;

 if xstep = 1 then begin

 sx := sx + 1;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลงข้อมูลใดๆของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        if sx = 9 then sx := 1;
        end;

        if xstep = -1 then begin
            sx := sx - 1;
            if sx = 0 then sx := 8;
            end;

            end;

        port[io] := drvx[sx] or drvy[sy];
        delay(dl);
        until (fpx = px)and(fpy = py);
end;

begin
    drvx[1] := $0A; drvx[2] := $08; drvx[3] := $0B; drvx[4] := $03;
    drvx[5] := $0F; drvx[6] := $0D; drvx[7] := $0E; drvx[8] := $06;
    drvy[1] := $A0; drvy[2] := $80; drvy[3] := $B0; drvy[4] := $30;
    drvy[5] := $F0; drvy[6] := $D0; drvy[7] := $E0; drvy[8] := $60;

    dl := 5;
    init;
    writeln;
    writeln;
    write('*INPUT FILE NAME : ');
    readln(ftxt);
    ftxt := 'C:\PROTEL\xyp.Pbl';
    write('*ORG XY (by arrow key & Enter to go) : ');
    repeat
        c := readkey;

        if c = 'M' then fpx := fpx + 1;
        if c = 'K' then fpx := fpx - 1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if c = 'H' then fpy := fpy + 1;
if c = 'P' then fpy := fpy - 1;

if (fpx <> px) or (fpy <> py) then action;
until c = chr(13);
writeln;
fpx := 0; fpy := 0; px := 0; py := 0;

```

```

a := a or $08;
port[io+2] := a;
delay(100);
a := a and $F7;
port[io+2] := a;

```

```

assign(fp,ftxt);
cc := 'N';
stn := ' ';
reset(fp);
while not eof(fp) do
begin
read(fp,c);

```

```

if c = 'D' then begin

```

```

a := a or $08;
port[io+2] := a;
end;

```

```

if c = 'U' then begin

```

```

a := a and $F7;
port[io+2] := a;
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin
ni := 10000;
fpx := 0;
sign := 1;
repeat
read(fp,c);
if c = '-' then begin
sign := -1;
read(fp,c);
end;
case c of
'0' : b := 0;
'1' : b := 1;
'2' : b := 2;
'3' : b := 3;
'4' : b := 4;
'5' : b := 5;
'6' : b := 6;
'7' : b := 7;
'8' : b := 8;
'9' : b := 9;
else b := 0;
end;
fpx := fpx + (b*ni);
ni := ni div 10;
until c = ',';
fpx := (fpx div 10) * sign;
if ni <> 0 then fpx := fpx div (ni*10);
ni := fpx;
fpx := fpx div 5;
ni := ni mod 5;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if ni >= 3 then fpx := fpx + 1;
```

```
if ni <= -3 then fpx := fpx -1;
```

```
ni := 10000;
```

```
fpy := 0;
```

```
sign := 1;
```

```
repeat
```

```
read(fp,c);
```

```
if c = '-' then begin
```

```
    sign := -1;
```

```
    read(fp,c);
```

```
end;
```

```
case c of
```

```
    '0' : b := 0;
```

```
    '1' : b := 1;
```

```
    '2' : b := 2;
```

```
    '3' : b := 3;
```

```
    '4' : b := 4;
```

```
    '5' : b := 5;
```

```
    '6' : b := 6;
```

```
    '7' : b := 7;
```

```
    '8' : b := 8;
```

```
    '9' : b := 9;
```

```
else b := 0;
```

```
end;
```

```
fpy := fpy + (b*ni);
```

```
ni := ni div 10;
```

```
until (c = ';') or (c = chr($1A));
```

```
fpy := (fpy div 10) * sign;
```

```
if ni <> 0 then fpy := fpy div (ni*10);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ni := fpy;

fpy := fpy div 5;

ni := ni mod 5;

if ni >= 3 then fpy := fpy + 1;
if ni <= -3 then fpy := fpy -1;

writeln(fpx*5,' ',fpy*5);
action;
end;
end;
close(fp);
end.

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPE TEST.PBL

P3:PA0,0;PA0,381;VS 12;PA0,762;PA0,249;PD;PA81,249;PA41,249;PA41,127;PU;PA122,127;PD;PA122,249;PA203,249;PA122,249;PA122,188;PA163,188;PA122,188;PA122,127;PA203,127;PU;PA244,147;PD;PA264,127;PA305,127;PA325,147;PA244,229;PA264,249;PA305,249;PA325,229;PU;PA366,249;PD;PA447,249;PA406,249;PA406,127;PU;PA610,127;PD;PA671,127;PA691,147;PA691,168;PA671,188;PA630,188;PA671,188;PA691,208;PA691,229;PA671,249;PA610,249;PA630,249;PA630,127;PU;PA752,127;PD;PA792,127;PA752,127;PA732,147;PA732,188;PA752,208;PA792,208;PA813,188;PA813,147;PA792,127;PU;PA853,208;PD;PA935,208;PU;PA894,147;PD;PA894,249;PA894,147;PA914,127;PA935,147;PU;PA975,208;PD;PA1057,208;PU;PA1016,147;PD;PA1016,249;PA1016,147;PA1036,127;PA1057,147;PU;PA1118,127;PD;PA1158,127;PA1118,127;PA1097,147;PA1097,188;PA1118,208;PA1158,208;PA1179,188;PA1179,147;PA1158,127;PU;PA1219,127;PD;PA1219,208;PA1219,188;PA1240,208;PA1260,188;PA1260,168;PA1260,188;PA1280,208;PA1300,188;PA1300,127;PU;PA1463,127;PD;PA1463,249;PA1463,127;PA1544,127;PU;PA1605,127;PD;PA1626,127;PA1605,127;PA1585,147;PA1585,188;PA1605,208;PA1626,208;PA1646,188;PA1646,147;PA1626,127;PA1646,147;PA1666,127;PU;PA1707,147;PD;PA1707,208;PA1707,147;PA1727,127;PA1748,127;PA1788,168;PA1788,208;PA1788,107;PA1768,86;PA1727,86;PU;PA1829,168;PD;PA1890,168;PA1910,188;PA1890,208;PA1849,208;PA1829,188;PA1829,147;PA1849,127;PA1890,127;PU;PA1951,127;PD;PA1951,208;PA1951,168;PA1991,208;PA2012,208;PA2032,188;PU;PA1727,1092;PD;PA1047,1092;PU;PA1034,1092;PD;PA1034,1097;PA1032,1102;PA1028,1106;PA1024,1108;PA1020,1110;PA1015,1110;PA1010,1109;PA1005,1107;PA1002,1104;PA999,1099;PA998,1095;PA998,1090;PA999,1085;PA1002,1081;PA1005,1077;PA1010,1075;PA1015,1074;PA1020,1074;PA1024,1076;PA1028,1079;PA1032,1083;PA1034,1087;PA1034,1092;PA1029,1092;PA1016,1105;PA1003,1092;PA1016,1079;PA1029,1092;PU;PA1016,1194;PA1047,1194;PD;PA1524,1194;PA1524,1264;PU;PA1542,1295;PD;PA1542,1300;PA1540,1305;PA1536,1309;PA1532,1312;PA1528,1313;PA1523,1314;PA1518,1313;PA1513,1310;PA1510,1307;PA1507,1303;PA1506,1298;PA1506,1293;PA1507,1288;PA1510,1284;PA1513,1280;PA1518,1278;PA1523,1277;PA1528,1277;PA1532,1279;PA1536,1282;PA1540,1286;PA1542,1290;PA1542,1295;PA1537,1295;PA1524,1309;PA1511,1295;PA1524,1282;PA1537,1295;PU;PA1727,1295;PA1727,1264;PD;PA1727,1092;PU;PA1745,1295;PD;PA1745,1300;PA1743,1305;PA1740,1309;PA1736,1312;PA1731,1313;PA1726,1314;PA1721,1313;PA1717,1310;PA1713,1307;PA1710,1303;PA1709,1298;PA1709,1293;PA1710,1288;PA1713,1284;PA1717,1280;PA1721,1278;PA1726,1277;PA1731,1277;PA1736,1279;PA1740,1282;PA1743,1286;PA1745,1290;PA1745,1295;PA1740,1295;PA1727,1309;PA1714,1295;PA1727,1282;PA1740,1295;PU;PA1339,1295;PD;PA1338,1300;PA1336,1305;PA1333,1309;PA1329,1312;PA1325,1313;PA1320,1314;PA1315,1313;PA1310,1310;PA1307,1307;PA1304,1303;PA1303,1298;PA1303,1293;PA1304,1288;PA1307,1284;PA1310,1280;PA1315,1278;PA1320,1277;PA1325,1277;PA1329,1279;PA1333,1282;PA1336,1286;PA1338,1290;PA1339,1295;PA1334,1295;PA1321,1309;PA1308,1295;PA1321,1282;PA1334,1295;PU;PA1321,1295;PA1289,1295;PD;PA1047,1295;PU;PA1034,1295;PD;PA1034,1300;PA1032,1305;PA1028,1309;PA1024,1312;PA1020,1313;PA1015,1314;PA1010,1313;PA1005,1310;PA1002,1307;PA999,1303;PA998,1298;PA998,1293;PA999,1288;PA1002,1284;PA1005,1280;PA1010,1278;PA1015,1277;PA1020,1277;PA1024,1279;PA1028,1282;PA1032,1286;PA1034,1290;PA1034,1295;PA1029,1295;PA1016,1309;PA1003,1295;PA1016,1282;PA1029,1295;PU;PA1034,1194;PD;PA1034,1199;PA1032,1203;PA1028,1207;PA1024,1210;PA1020,1212;PA1015,1212;PA1010,1211;PA1005,1209;PA1002,1205;PA999,1201;PA998,1196;PA998,1191;PA999,1187;PA1002,1182;PA1005,1179;PA1010,1177;PA1015,1176;PA1020,1176;PA1024,1178;PA1028,1180;PA1032,1184;PA1034,1189;PA1034,1194;PA1029,1194;PA1016,1207;PA1003,1194;PA1016,1181;PA1029,1194;PU;PA1034,991;PD;PA1034,996;PA1032,1000;PA1028,1004;PA1024,1007;PA1020,1009;PA1015,1009;PA1010,1008;PA1005,1006;PA1002,1002;PA999,998;PA998,993;PA998,988;PA999,983;PA1002,979;PA1005,976;PA1010,973;PA1015,972;PA1020,973;PA1024,974;PA1028,977;PA1032,981;PA1034,986;PA1034,991;PA1029,991;PA1016,1004;PA1003,991;PA1016,977;PA1029,991;PU;PA1034,889;PD;PA1034,894;PA1032,899;PA1028,902;PA1024,905;PA1020,907;PA1015,907;PA1010,906;PA1005,904;PA1002,901;PA999,896;PA998,891;PA998,887;PA999,882;PA1002,877;PA1005,874;PA1010,872;PA1015,871;PA1020,871;PA1024,873;PA1028,876;PA1032,879;PA1034,884;PA1034,889;PA1029,889;PA1016,902;PA1003,889;PA1016,876;PA1029,889;PU;PA1034,787;PD;PA1034,792;PA1032,797;PA1028,801;PA1024,804;PA1020,805;PA1015,806;PA1010,805;PA1005,802;PA1002,799;PA999,795;PA998,790;PA998,785;PA999,780;PA1002,776;PA1005,772;PA1010,770;PA1015,769;PA1020,769;PA1024,771;PA1028,774;PA1032,778;PA1034,782;PA1034,787;PA1029,787;PA1016,801;PA1003,787;PA1016,774;PA1029,787;PU;PA1034,686;PD;PA1034,691;PA1032,695;PA1028,699;PA1024,702;PA1020,704;PA1015,704;PA1010,703;PA1005,701;PA1002,697;PA999,693;PA998,688;PA998,683;PA999,679;PA1002,674;PA1005,671;PA1010,669;PA1015,668;PA1020,668;PA1024,670;PA1028,672;PA1032,676;PA1034,681;PA1034,686;PA1029,686;PA1016,699;PA1003,686;PA1016,673;PA1029,686;PU;PA1034,584;PD;PA1034,589;PA1032,594;PA1028,598;PA1024,600;PA1020,602;PA1015,602;PA1010,601;PA1005,599;PA1002,596;PA999,591;P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{ _____PRINT.PAS_____ }
```

```
uses crt;
```

```
const f : array[1..1767] of byte =
```

```
($FF,33,15,8,$FE,27,8,$FD,30,8,$FE,33,8,$FD,  
$FF,34,21,7,$FE,15,7,$FD,21,9,$FE,15,9,$FD,  
$FF,35,27,3,$FE,27,14,$FD,21,3,$FE,21,14,$FD,15,6,$FE,33,6,$FD,15,11,  
$FE,33,11,$FD,  
$FF,36,30,3,$FE,30,12,27,14,24,12,24,6,21,3,18,6,18,14,18,9,15,9,33,9,$FD,  
$FF,37,18,3,$FE,15,3,18,3,18,6,15,6,15,3,$FD,18,15,$FE,15,15,18,15,30,3,  
33,3,$FD,33,12,$FE,33,15,33,12,30,12,30,15,33,15,$FD,  
$FF,38,33,9,$FE,27,15,33,9,33,6,30,4,27,4,21,9,18,9,15,6,18,4,21,4,33,15,  
$FD,  
$FF,39,21,10,$FE,15,10,$FD,  
$FF,40,15,12,$FE,21,6,27,6,33,12,$FD,  
$FF,41,15,6,$FE,21,12,27,12,33,6,$FD,  
$FF,42,30,10,$FE,18,10,$FD,24,5,$FE,24,16,$FD,30,5,$FE,18,16,$FD,18,5,$FE,  
30,16,$FD,  
$FF,43,30,11,$FE,18,11,$FD,24,5,$FE,24,16,$FD,  
$FF,44,28,11,$FE,33,11,38,6,$FD,  
$FF,45,24,5,$FE,24,10,$FD,  
$FF,46,30,12,$FE,33,12,$FD,  
$FF,47,33,4,$FE,30,4,18,14,15,14,$FD,  
$FF,48,33,6,$FE,30,3,19,3,16,6,16,9,19,12,30,12,33,9,33,6,$FD,  
$FF,49,16,9,$FE,19,6,16,9,33,9,33,6,33,12,$FD,  
$FF,50,19,3,$FE,16,5,16,11,19,14,22,14,25,11,25,5,28,3,33,3,33,14,$FD,  
$FF,51,16,6,$FE,19,3,16,6,16,11,19,14,22,14,25,11,25,8,25,11,28,14,30,14,  
33,11,33,6,30,3,$FD,  
$FF,52,28,14,$FE,28,3,25,3,16,12,33,12,$FD,  
$FF,53,30,3,$FE,33,6,33,12,30,15,25,15,22,12,22,3,16,3,16,15,$FD,  
$FF,54,25,4,$FE,25,12,28,15,30,15,33,12,33,6,30,4,22,4,16,9,16,12,$FD,  
$FF,55,16,4,$FE,16,15,19,15,30,4,33,4,$FD,
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

\$FF,56,33,7,\$FE,30,4,28,4,25,7,25,13,22,15,19,15,16,13,16,7,19,4,22,4,25,
7,25,13,28,15,30,15,30,15,33,13,33,7,\$FD,
\$FF,57,33,10,\$FE,33,7,33,10,28,16,19,16,16,13,16,7,19,4,22,4,25,7,25,16,
\$FD,
\$FF,58,20,11,\$FE,23,11,\$FD,30,11,\$FE,33,11,\$FD,
\$FF,59,25,11,\$FE,22,11,\$FD,28,11,\$FE,33,11,36,8,\$FD,
\$FF,60,16,12,\$FE,25,4,33,12,\$FD,
\$FF,61,22,4,\$FE,22,12,\$FD,28,12,\$FE,28,4,\$FD,
\$FF,62,16,4,\$FE,25,12,33,4,\$FD,
\$FF,63,19,5,\$FE,16,8,16,11,19,14,22,14,25,12,28,11,\$FD,32,11,\$FE,
33,11,\$FD,
\$FF,64,28,8,\$FE,31,8,28,8,26,5,28,2,31,2,34,5,34,11,31,13,20,13,17,11,17,
5,20,2,\$FD,
\$FF,65,28,2,\$FE,34,2,28,2,17,8,28,14,28,2,28,14,34,14,\$FD,
\$FF,66,34,3,\$FE,34,11,31,14,28,14,26,11,26,5,26,11,23,14,20,14,17,11,17,3,
17,5,34,5,\$FD,
\$FF,67,34,11,\$FE,31,14,34,11,34,6,31,3,20,3,17,6,17,11,20,14,\$FD,
\$FF,68,34,3,\$FE,34,12,31,14,20,14,17,12,17,3,17,6,34,6,\$FD,
\$FF,69,34,3,\$FE,17,3,17,15,17,3,26,3,26,9,26,3,34,3,34,15,\$FD,
\$FF,70,34,4,\$FE,17,4,17,15,17,4,26,4,26,9,26,4,34,4,\$FD,
\$FF,71,26,12,\$FE,26,15,34,15,34,7,31,4,20,4,17,7,17,15,\$FD,
\$FF,72,17,4,\$FE,34,4,\$FD,17,15,\$FE,26,15,26,4,26,15,34,15,\$FD,
\$FF,73,34,7,\$FE,34,10,17,10,17,7,17,13,17,10,34,10,34,13,\$FD,
\$FF,74,31,5,\$FE,34,7,34,13,31,16,17,16,\$FD,
\$FF,75,17,5,\$FE,34,5,\$FD,26,8,\$FE,17,16,26,8,26,5,26,8,34,16,\$FD,
\$FF,76,34,5,\$FE,17,5,34,5,34,16,\$FD,
\$FF,77,34,5,\$FE,17,5,29,10,17,15,34,15,\$FD,
\$FF,78,34,6,\$FE,17,6,28,16,17,16,34,16,\$FD,
\$FF,79,34,5,\$FE,17,5,17,12,34,12,34,5,\$FD,
\$FF,80,35,2,\$FE,18,2,18,11,21,13,23,13,26,11,26,2,35,2,\$FD,
\$FF,81,32,11,\$FE,29,8,32,11,35,8,35,5,32,2,21,2,18,5,18,11,21,14,29,14,32,
11,35,14,\$FD,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

\$FF,82,18,3,\$FE,35,3,18,3,18,11,21,14,23,14,26,11,26,3,26,5,35,14,\$FD,
\$FF,83,35,6,\$FE,32,3,35,6,35,11,32,14,21,3,18,6,18,11,21,14,\$FD,
\$FF,84,18,14,\$FE,18,3,18,14,18,9,35,9,\$FD,
\$FF,85,18,3,\$FE,32,3,35,6,35,12,32,15,18,15,\$FD,
\$FF,86,18,16,\$FE,23,16,35,10,23,4,18,4,\$FD,
\$FF,87,18,16,\$FE,33,16,35,14,31,10,24,10,\$FD,31,10,\$FE,35,6,33,4,18,4,\$FD,
\$FF,88,35,4,\$FE,32,4,21,15,18,15,\$FD,21,4,\$FE,18,4,21,4,32,15,35,15,\$FD,
\$FF,89,21,4,\$FE,18,4,21,4,26,10,35,10,26,10,21,16,18,16,\$FD,
\$FF,90,18,5,\$FE,18,16,21,16,32,5,35,5,35,16,\$FD,
\$FF,91,35,8,\$FE,18,8,18,14,\$FD,35,14,\$FE,35,8,\$FD,
\$FF,92,21,5,\$FE,18,5,21,5,32,16,35,16,\$FD,
\$FF,93,18,8,\$FE,18,14,35,14,35,8,\$FD,
\$FF,94,24,6,\$FE,18,10,24,14,\$FD,
\$FF,95,38,4,\$FE,38,12,\$FD,
\$FF,96,19,4,\$FE,24,10,\$FD,
\$FF,97,36,5,\$FE,36,8,36,5,33,2,27,2,24,5,24,5,24,8,27,11,33,11,36,8,33,11,
36,14,\$FD,
\$FF,98,36,3,\$FE,19,3,30,3,24,8,24,11,27,14,33,14,36,11,36,8,30,3,\$FD,
\$FF,99,24,6,\$FE,24,14,24,6,27,3,33,3,36,6,36,14,\$FD,
\$FF,100,36,9,\$FE,30,14,36,9,36,6,33,3,27,3,24,6,24,9,30,14,19,14,36,14,\$FD,
\$FF,101,30,3,\$FE,30,12,27,15,24,12,24,6,27,3,33,3,36,6,36,12,\$FD,
\$FF,102,27,4,\$FE,27,12,\$FD,19,12,\$FE,21,15,19,12,19,9,21,6,36,6,\$FD,
\$FF,103,38,4,\$FE,41,7,41,12,38,15,27,15,24,12,24,7,27,4,33,4,36,7,36,15,
\$FD,
\$FF,104,36,4,\$FE,19,4,30,4,24,10,24,13,27,15,36,15,\$FD,
\$FF,105,36,10,\$FE,27,10,\$FD,24,10,\$FE,21,10,\$FD,
\$FF,106,38,5,\$FE,41,7,41,10,38,13,27,13,\$FD,21,13,\$FE,24,13,\$FD,
\$FF,107,19,5,\$FE,36,5,19,5,30,5,30,11,24,16,30,11,36,16,\$FD,
\$FF,108,33,10,\$FE,19,10,33,10,36,13,\$FD,
\$FF,109,36,5,\$FE,24,5,27,5,24,8,27,11,30,11,27,11,24,14,27,16,36,16,\$FD,
\$FF,110,36,7,\$FE,24,7,27,7,24,9,24,12,27,15,36,15,\$FD,
\$FF,111,36,7,\$FE,36,12,36,7,33,4,27,4,24,7,24,12,27,14,33,14,36,12,\$FD,

```

a := port[$379];
if a = $87 then io := $378;
a := port[$3BC];
if a = $87 then io := $3BD;
a := port[io+2];
a := a and $10;
a := a or $0F; {07 : moter on}
port[io+2] := a;
px := 0; py := 0;
sx := $01; sy := $01;
fpx := 0; fpy := 0;
a := a and $F7;
port[io+2] := a;
delay(1);

```

end;

procedure up;

begin

```
a := a and $F7;
```

```
port[io+2] := a;
```

end;

procedure down;

begin

```
a := a or $08;
```

```
port[io+2] := a;
```

end;

procedure action;

```
var delx,dely,dir : integer;
```

```
xstep,ystep : shortint;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

begin

```
xstep := 0; ystep := 0; delx := 0; dely := 0;
if fpx > px then begin delx := fpx - px; xstep := 1; end;
if fpx < px then begin delx := px - fpx; xstep := -1; end;
if fpy > py then begin dely := fpy - py; ystep := 1; end;
if fpy < py then begin dely := py - fpy; ystep := -1; end;
if delx = 0 then dir := 0 else dir := -1;
repeat
if dir < 0 then begin
    py := py + ystep;
    dir := dir + delx;
    if ystep = 1 then begin
        sy := sy + 1;
        if sy = 9 then sy := 1;
        end;
    if ystep = -1 then begin
        sy := sy - 1;
        if sy = 0 then sy := 8;
        end;
    end
else begin
    px := px + xstep;
    dir := dir - dely;
    if xstep = 1 then begin
        sx := sx + 1;
        if sx = 9 then sx := 1;
        end;
    if xstep = -1 then begin
        sx := sx - 1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา if sx = 0 then sx := 8; โยชนด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

$FF,112,42,4,$FE,25,4,28,4,25,7,25,11,28,13,34,13,36,11,36,4,$FD,
$FF,113,42,13,$FE,25,13,28,13,25,12,25,8,28,4,34,4,36,8,36,13,$FD,
$FF,114,25,3,$FE,36,3,25,3,31,3,25,8,25,11,28,14,$FD,
$FF,115,36,3,$FE,36,11,34,14,31,11,31,6,28,3,25,6,25,14,$FD,
$FF,116,25,14,$FE,25,3,$FD,19,9,$FE,34,9,36,12,34,14,$FD,
$FF,117,25,3,$FE,34,3,36,6,36,9,31,15,25,15,36,15,$FD,
$FF,118,25,4,$FE,36,9,25,15,$FD,
$FF,119,25,4,$FE,34,4,36,7,34,10,31,10,34,10,36,12,34,15,25,15,$FD,
$FF,120,25,4,$FE,36,15,$FD,36,4,$FE,25,15,$FD,
$FF,121,25,4,$FE,34,4,36,7,36,10,31,16,25,16,39,16,42,13,42,7,$FD,
$FF,122,25,5,$FE,25,16,36,5,36,16,$FD,
$FF,123,19,13,$FE,22,10,25,10,28,7,31,10,34,10,37,13,$FD,
$FF,124,36,11,$FE,29,11,$FD,26,11,$FE,19,11,$FD,
$FF,125,19,8,$FE,22,11,25,11,28,15,31,11,34,11,37,8,$FD,
$FF,126,34,4,$FE,31,6,31,12,28,14,$FD,$FF);

```

```

var ftxt,ftxtc : string[20];
st1,st2,stn : string[3];
p0,p1,p2,p3 : string[2];
font : array[1..256,1..32] of byte;
c,cc,c1,c2,c3,st : char;
fp : text;
px,py,d1,sign,w,x,y,z,bxy,xy : integer;
ni,fpX,fpY : longint;
drvx,drvy : array[1..8] of byte;
a,b,sx,sy : byte;           {a,sx,sy static}
io : word;                 {io static}

```

```
procedure init;
```

```
begin
```

```
    a := port[$279];
```

```
    if a = $87 then io := $278;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
end;
```

```
end;
```

```
port[io] := drvx[sx] or drvy[sy];
```

```
delay(dl);
```

```
until (fpx = px)and(fpy = py);
```

```
end;
```

```
begin
```

```
drvx[1] := $0A; drvx[2] := $08; drvx[3] := $0B; drvx[4] := $03;
```

```
drvx[5] := $0F; drvx[6] := $0D; drvx[7] := $0E; drvx[8] := $06;
```

```
drvy[1] := $A0; drvy[2] := $80; drvy[3] := $B0; drvy[4] := $30;
```

```
drvy[5] := $F0; drvy[6] := $D0; drvy[7] := $E0; drvy[8] := $60;
```

```
dl := 15;
```

```
init;
```

```
{
```

```
write('*ORG XY (by arrow key & Enter to go) : ');
```

```
repeat
```

```
c := readkey;
```

```
if c = 'M' then fpx := fpx + 1;
```

```
if c = 'K' then fpx := fpx - 1;
```

```
if c = 'H' then fpy := fpy + 1;
```

```
if c = 'P' then fpy := fpy - 1;
```

```
if (fpx <> px) or (fpy <> py) then action;
```

```
until c = chr(13);
```

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

```
fpx := 0; fpy := 0; px := 0; py := 0;
```

```
down;
```

```
delay(100);
```

```
up;
```

```
writeln;
```

```
writeln;
```

```
write('*INPUT FILE NAME : ');
```

```
readln(ftxt);
```

```
ftxt := 'C:\PROTEL\f.Pbl';
```

```
writeln;
```

```
assign(fp,ftxt);
```

```
cc := 'N';
```

```
stn := ' ';
```

```
bxy := 0;
```

```
xy := 0;
```

```
w := 0;
```

```
reset(fp);
```

```
while not eof(fp) do
```

```
begin
```

```
read(fp,c);
```

```
if c = 'D' then begin
```

```
down;
```

```
w:=w+1;
```

```
font[xy,w] := $FF;
```

```
writeln('FE ');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น
อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if c = 'U' then begin
```

```
    up;
```

```
    w:=w+1;
```

```
    font[xy,w] := $FE;
```

```
    writeln('FD ');
```

```
    writeln(' ');
```

```
    writeln(' ');
```

```
    readln;
```

```
end;
```

```
if c = 'A' then
```

```
begin
```

```
ni := 10000;
```

```
fpx := 0;
```

```
sign := 1;
```

```
repeat
```

```
read(fp,c);
```

```
if c = '-' then begin
```

```
sign := -1;
```

```
read(fp,c);
```

```
end;
```

```
case c of
```

```
'0' : b := 0;
```

```
'1' : b := 1;
```

```
'2' : b := 2;
```

```
'3' : b := 3;
```

```
'4' : b := 4;
```

```
'5' : b := 5;
```

```
'6' : b := 6;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        '7' : b := 7;
        '8' : b := 8;
        '9' : b := 9;

else b := 0;

end;

fpx := fpx + (b*ni);
ni := ni div 10;
until c = ',';

fpx := (fpx div 10) * sign;

if ni <> 0 then fpx := fpx div (ni*10);

ni := fpx;
fpx := fpx div 5;
ni := ni mod 5;
if ni >= 3 then fpx := fpx + 1;
if ni <= -3 then fpx := fpx -1;

ni := 10000;
fpy := 0;
sign := 1;
repeat
read(fp,c);

if c = '-' then begin
            sign := -1;
            read(fp,c);
        end;

case c of
        '0' : b := 0;
        '1' : b := 1;
        '2' : b := 2;
        '3' : b := 3;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        '4' : b := 4;
        '5' : b := 5;
        '6' : b := 6;
        '7' : b := 7;
        '8' : b := 8;
        '9' : b := 9;

    else b := 0;

end;

fpy := fpy + (b*ni);

ni := ni div 10;

until (c = ';' ) or (c = chr($1A));

fpy := (fpy div 10) * sign;

if ni <> 0 then fpy := fpy div (ni*10);

ni := fpy;

fpy := fpy div 5;

ni := ni mod 5;

if ni >= 3 then fpy := fpy + 1;

if ni <= -3 then fpy := fpy -1;

ni := fpx + 48;

x := $00 - $10;

repeat

    x := x + $10;

    ni := ni - 48;

until ni < 48;

z := ni;

write(ni);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ni := fpy.+ 16;
y := -1;
repeat
  y := y + 1;
  ni := ni - 16;
until ni <= 16;

xy := x+y;
if xy <> bxy then w:=1;
bxy := xy;
```

```
writeln(' ',ni);
font[xy,w] := z;
w := w+1;
font[xy,w] := ni;
w := w+1;

action;
end;
```

```
end;
```

```
close(fp);
```

```
}
```

```
writeln;
```

```
writeln;
```

```
write('*INPUT FILE NAME : ');
```

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

readln(ftxt);
ftxt := 'print.pas';
writeln;
writeln;
assign(fp,ftxt);
reset(fp);
x := fpx; y := fpy-16;
while not eof(fp) do
begin
read(fp,c);
x := x+0; y := y+16;

if ((x=2064)or(c=char(13))and(x=2016)) then begin
x:=0; y:=0; fpx:=x; fpy:=y; dl:=10;
action; dl:=15; writeln;
writeln('END press any key to continue');
readln;
end;

if c=char(13) then begin
x:=x+48; y:=0; fpx:=x; fpy:=y; dl:=10;

action;

dl:=15;

write(c);

read(fp,c); write(c);

read(fp,c);

end;

```

```

if y=1280 then begin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

x:=x+48; y:=0; fpx:=x; fpy:=y; dl:=10; action;

```

```
dl:=15; end;
```

```
fpx := x; fpy := y;
```

```
w := 0;
```

```
repeat
```

```
w:=w+1;
```

```
until (w = 1767).or ((f[w]=$FF) and (char(f[w+1])=c));
```

```
write(c);
```

```
if w<1767 then begin
```

```
    w:=w+2;
```

```
    repeat
```

```
        fpx := x+f[w];
```

```
        fpy := y+f[w+1];
```

```
        if (fpx <> px) or (fpy <> py) then action;
```

```
        w:=w+2;
```

```
        if f[w]=$FE then begin w:=w+1;down; end;
```

```
        if f[w]=$FD then begin w:=w+1; up; end;
```

```
        until f[w]=$FF;
```

```
    end;
```

```
end;
```

```
close(fp);
```

```
end.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXAMPLE FOR PRINT FUNCTION

Nowaday, Computers have been introduced to control various machineries. This in cooperation of the two technologies have enabled machineries to become more efficient.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter 8

A POLAR PLOTTER

In earlier chapters, we introduced how microprocessors function and examined in some detail the methods by which they may be interfaced with mechanical and process equipment. In these final chapters, we wish to use this information as the basis for a broader exploration of system design. The case study in this chapter typifies a design process in which the designer chooses to break with traditional approaches in order to design a system which exploits the computational ability and the favorable price/performance ratio of a microprocessor.

The device we will design is a *pen plotter* which will be capable of drawing a line between two points. The line will be the primitive element with which graphs can be made, curves approximated, and lettering generated. The completed system will consist of a mechanism to hold a pen and paper,

actuators to move the mechanism, a microprocessor to control the actuators, and software to generate the vectors.

STATE OF THE ART

Our design strategy begins with a survey of plotters which are commercially available. Two types of pen plotters are in common use today: those which move the pen in two dimensions and those which move the pen in one dimension and the paper in the other. Flat-bed (x-y) plotters use a pen which rides on a gantry mounted on one or two roller ways. The gantry moves over a flat bed to which the paper is attached. In order for the pen to draw in two dimensions, a way is fitted on the moving gantry. The plotter also includes a mechanism for lifting the pen.

The other common plotter is a *drum*

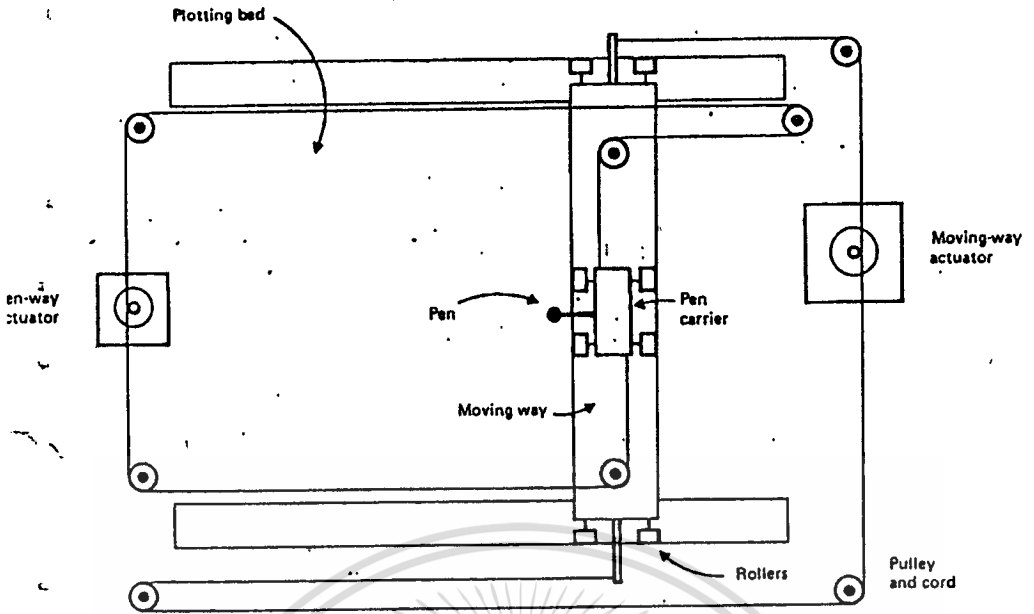


Figure 8.1: Stylized View of an X-Y Flatbed Pen-Plotter and Actuators

plotter, so called because the paper is mounted on a rotating drum, while the pen lies on a stationary way.

Flat bed plotters are usually driven by either of two types of actuation systems. The first system has an actuator mounted on the base of the plotter to move the gantry and another mounted on the gantry to move the pen. This design, while mechanically simple, makes it difficult to achieve high speed performance, because of the inertia of the actuator mounted on the gantry. The second typical system for flat-bed plotters uses pulleys and cords to move the gantries (see Figure 8.1). The pulleys and cords are driven by two actuators mounted on the plotter base. This design overcomes the inertia problem but is more complex mechanically.

Drum plotters simplify the pen drive considerably, but they require a drum

actuator which is larger and often more costly than those needed for flat-bed plotters.

A POLAR SOLUTION

For our plotter design, we will seek to combine the best features of plotters that are commercially available: low inertia, so that we can improve speed or decrease actuator cost, and mechanical simplicity. We will incorporate a microprocessor into the design to provide support for any computational complexity that may result.

The mechanism we design, a *polar plotter*, will move a pen in two dimensions. It will consist of a boom driven by an actuation motor mounted on the base of the plotter. The boom will sweep an arc. The pen will ride on a way mounted on the boom (see Figure 8.2). This approach will eliminate the need for one set of machined ways. Additionally, it will reduce the problem

endemic to the flat bed plotter—that of actuating the second gantry—because the pen actuation motor may be mounted at the origin without significantly increasing the inertia of the plot arm (see Figure 8.4). Since our plotter will operate with polar coordinates, we will use a microprocessor to transform the points which the user specifies in Cartesian coordinates.

Any point in the Cartesian plane described by (x,y) may be represented by the polar coordinates (r, θ) , where r is the radius from the polar ordinate and θ is the angle which the radius makes with the reference radius (see Figure 8.3).

The transformation of Cartesian to polar coordinates may be described as

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

and

$$\theta = \arcsin (y/r)$$

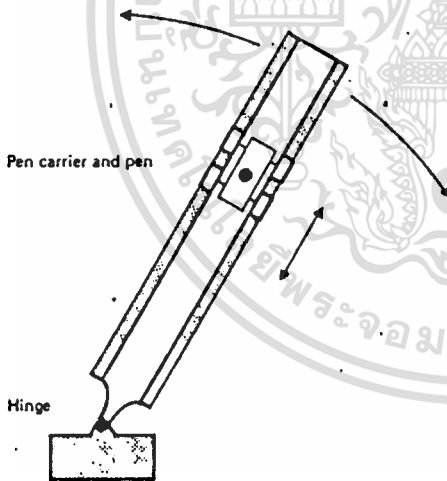


Figure 8.2: Stylized Polar Pen-Plotter

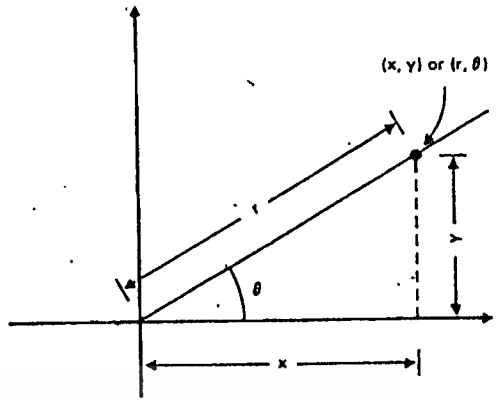


Figure 8.3: Cartesian and Polar Coordinates

ACTUATOR CHARACTERISTICS

All plotters require actuators with similar characteristics. Most plotters are driven by rotary electric motors. A myriad of motor designs exist, but one major distinction can be made: the motor may be either *synchronous* or *asynchronous*. Although asynchronous motors have several attractive qualities, such as good power to weight ratios and jerk-free operation, they have one negative characteristic which makes them suitable only for costly systems. In order to be accurately positioned, asynchronous motors require feedback. By contrast, synchronous motors may be operated open loop (see Figure 8.5). The angular displacement of a synchronous motor is correlated to the actuating power signal. Electric plug-in clocks, for example, are typically driven by a synchronous induction motor which follows the AC line frequency. Such a motor is designed to rotate a fixed angle for each cycle of the AC line.

THE STEPPING MOTOR

Because a stepping motor is synchronous, it is well-suited to our plotter application. Stepping motor coils are usually

excited by direct current rather than by alternating current. Inside the "black box" stepping motor controller which we used in Chapter 4 is a circuit which applies direct current to combinations of motor coils in such a manner that the rotor advances from one stable position to another each time the step input is toggled. We will first examine how a stepping motor responds to the patterned actuation of the coils and then propose two methods for generating the sequence of actuations.

Figure 8.6 depicts an idealized stepping motor. The four poles may be magnetized by sending a current through one of the two coils on each pole. Poles 1 and 2 are of opposite polarity, as are poles 3 and 4. Each pole-pair has two coils, wound in

opposite directions, so that a unipolar voltage source may be used. The same effect could be achieved with a single coil by using a bipolar (positive and negative) power supply and permitting current to flow in either direction through the coils. The double-wound pole is called a *bifilar winding*. We will assume that current flowing through coil A, but not B, will cause pole 1 to be magnetized south and pole 2 north. The opposite will occur if current flows through B and not A. Likewise, current flowing in coil C and not D will cause pole 3 to be south and pole 4 to be north. The rotor is a permanent magnet designed so that each of the teeth has a south sense. If an imbalance exists between the magnetic field of the rotor and the net magnetic field of the

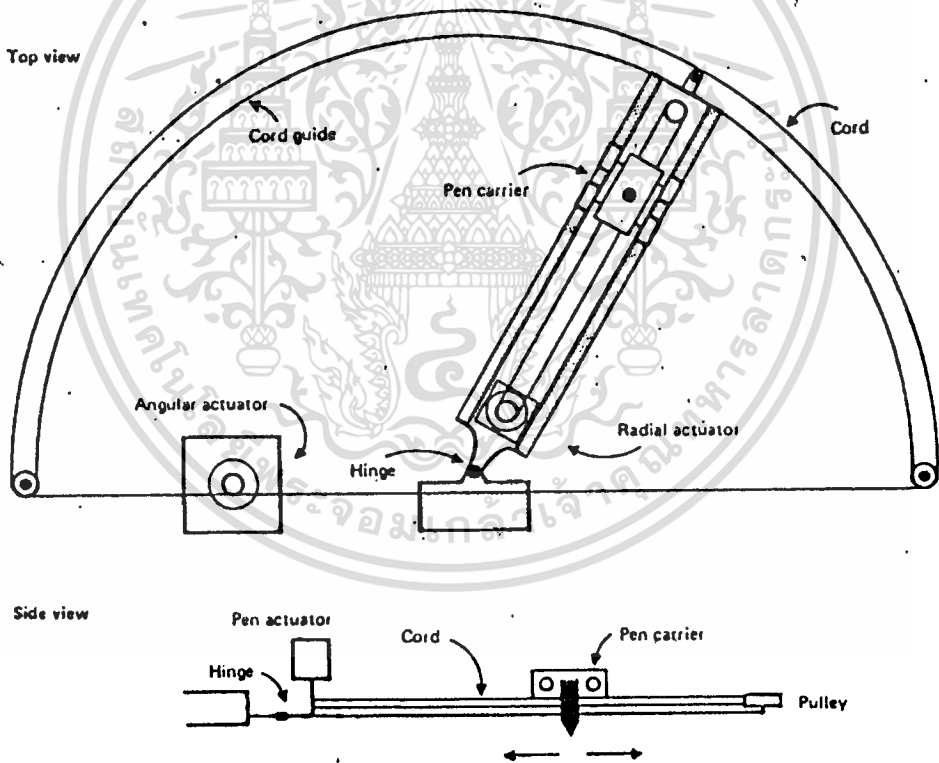


Figure 8.4: Actuating the Polar Pen-Plotter

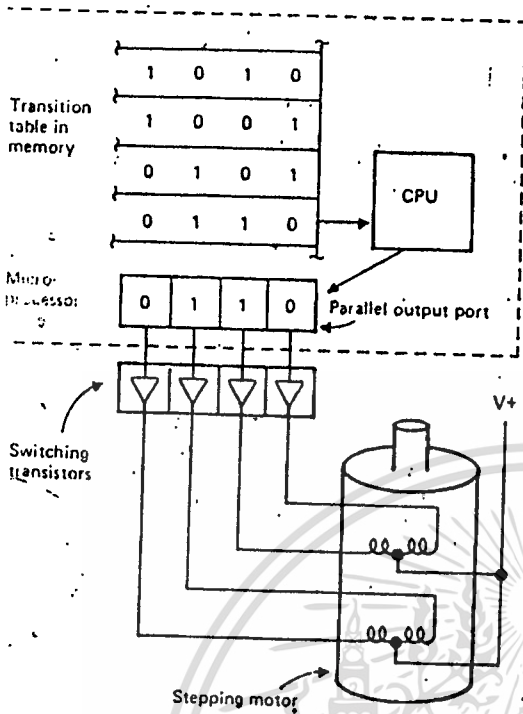


Figure 8.7: Programmed Logic Generation of Stepping Motor Excitation Sequence

a step in which only one of the two poles energized. This sequence causes the rotor to half-step or move 7.5 degrees. Half-stepping doubles the precision with which the motor may be positioned and increases the number of points on the plotting bed to which the pen can be moved. Decreasing step size in this manner increases the quality of the finished plot. The price paid for the quality gain is a reduction of available torque to roughly 70 percent of the full-step torque.

GENERATING THE EXCITATION SEQUENCE

The black box which we showed schematically in Chapter 4 in Figure 4.15 contains a sequential logic circuit designed to

produce a 4-phase excitation sequence. By connecting the four signal lines—one for each set of coils—to a parallel output port, we can use a microprocessor instead of a sequential logic circuit to generate the sequence. An easy way to accomplish this is to store in memory a table of words, each of which is the pattern for one stable rotor position. Indexing through the table by ascending addresses causes the motor to step in one direction. Indexing through the table by descending addresses causes the motor to step in the opposite direction (see Figure 8.7).

TIMING AND RAMPING

Figure 8.8 shows how a programmed sequential logic generator rotates the stepping motor. A microprocessor can execute this algorithm in about 25 microseconds, which is much faster than the motor can step. We can determine the maximum rate at which the motor can be stepped as follows: the rotor and the motor-load are inertial masses which must be accelerated. Because the torque of the magnetic field is relatively constant, motor step rate is most severely limited when the rotor is stationary. Once the motor is rotating, however, we can ramp the step rate in order to bring the motor to maximum speed. Figure 8.9 shows a three level ramp designed to permit the motor to reach a given angular velocity under maximum load before its stepping rate is increased. The ramping profile is tailored for worst case load because the motor is open-loop.

MICRO-STEPPING

Another step-size refinement that will further enhance the quality of our finished plot is micro-stepping. Consider the case in which the stepping motor of Figure 8.6 is in a stable position, with coils A and C

energized. If we reduce the current in coil A, the rotor will move some distance. Figure 8.10 shows the qualitative relationship between the current in coil A and the resulting rotor position. We emphasize that this relationship is qualitative and show no scaling for the rotor position because the function which maps current to rotor position is determined by the motor design and may well be non-linear.

One way to implement micro-stepping is with D/A converters (see Figure 8.11). Using one converter per coil, we can apply discrete currents to the four coils. The motor will micro-step through the resulting set of angles.

We can refine this approach by transferring the function of the four costly D/A converters to a microprocessor. We know that the force exerted on the stepping motor rotor is a function of the power delivered to the coils. We also recall that varying the duty cycle of a digital signal by either pulse width modulation or pulse frequency modulation changes the signal's power output. Modulated digital signals can therefore be substituted for the D/A converters.

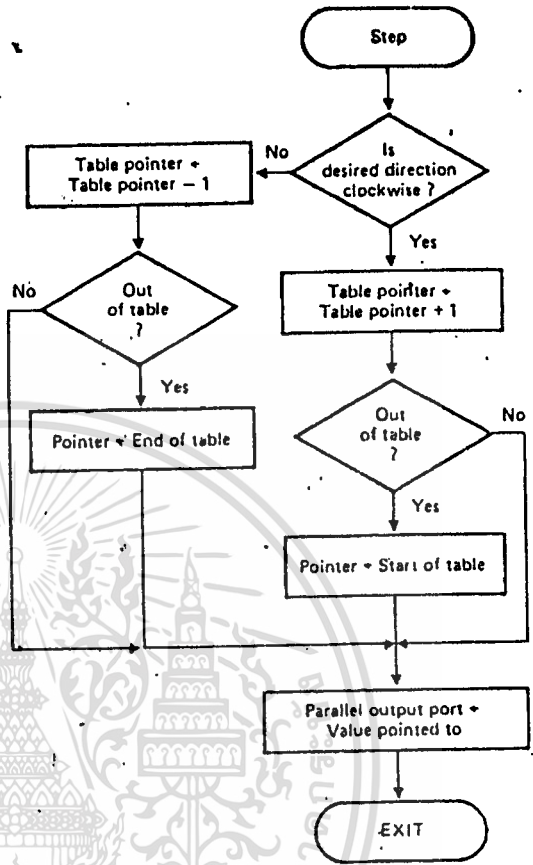


Figure 8.8: Flow of Programmed Logic Sequencer

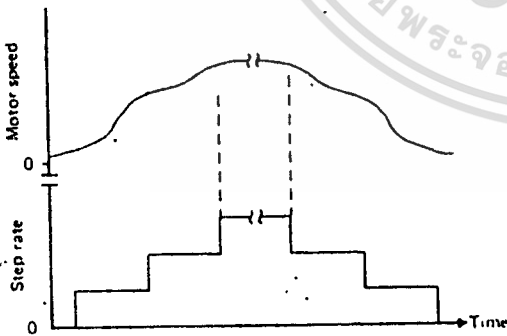


Figure 8.9: Ramping the Step Rate

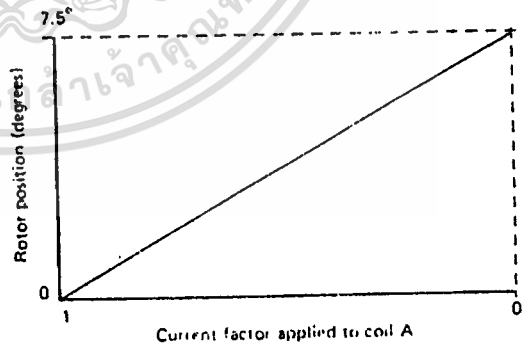


Figure 8.10: Qualitative Relationship Between Stepping Motor Coil Current and Rotor Position

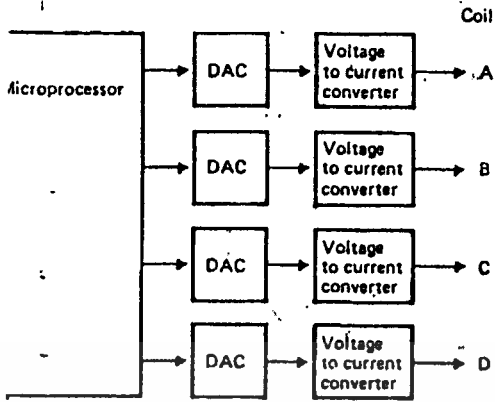


Figure 8.11: A Conceptual Solution to the Microstepping Requirement

E SOFTWARE CHALLENGE

A successful polar plotter design requires both an effective mechanism and dexterous software for vector generation. We will now write a subroutine which has as its parameters the starting and ending points of vector. The subroutine will generate, in real time, the actuation signals required by the plotter's two 4-phase stepping motors. In order to place a realistic constraint upon our design, we will specify that our

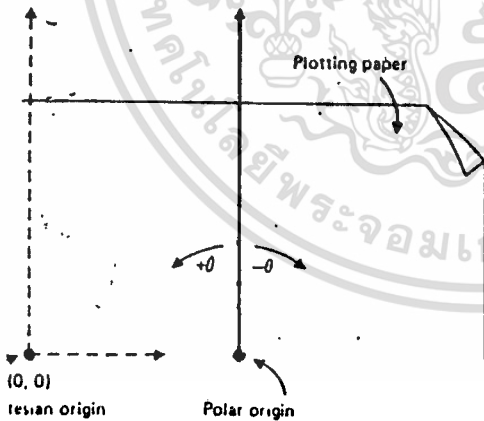


Figure 8.12: Location of the Cartesian Plotting Surface Relative to the Polar Origin

algorithm must step one motor at a minimum rate of 100Hz.

Figure 8.12 shows how the polar coordinate system will map onto the Cartesian coordinates of the paper. The radius at $\theta = 0$ will bisect the plotting surface. In order to use the transformations presented earlier, the algorithm will rotate the Cartesian coordinate system 90 degrees and shift it by $1/\sqrt{2}$ times the maximum radius.

Because a stepping motor is only stable in a finite number of positions, the pen will trace a staircase vector (except in the special case where $\theta_1 = \theta_2$). Our goal is to develop an algorithm which will draw the best approximation possible to the desired vector. An ancillary goal is to have the algorithm do this *efficiently*.

The Brute Force Method

The brute force method is often a good starting point from which to move to a more efficient solution. Figure 8.13 shows the eight points to which the pen can possibly move from position P. The points can be reached by positive or negative angular steps, positive or negative radial steps, or combinations of angular and radial steps. We must select one of the eight points. The best point is the one whose distance to the ideal vector is the smallest. We find this distance by determining the equation of a line through the trial point which is perpendicular to the desired vector, then finding the intersection of the two lines, and finally finding the distance between the trial point and the intersection point (see Figure 8.14). The brute force algorithm requires us to solve for each of eight points

$$\text{distance} = \sqrt{(x_t - x_i)^2 + (y_t - y_i)^2}$$

where $x_i = (a/(a^2 + 1))(y_t + x_t/a) - b$

and $y_i = ax_t + b$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Preliminary Data

Type	Ordering Code	Package
TCA 1561 B	Q67000-A8309	P-SIP-9
TCA 1560 B	Q67000-A8208	P-DIP-19-L9

The TCA 1561 B is a bipolar monolithic IC designed to control the motor current in one phase of a bipolar stepper motor. It can also be used to drive direct-current motors as well as all inductive loads operated by constant current.

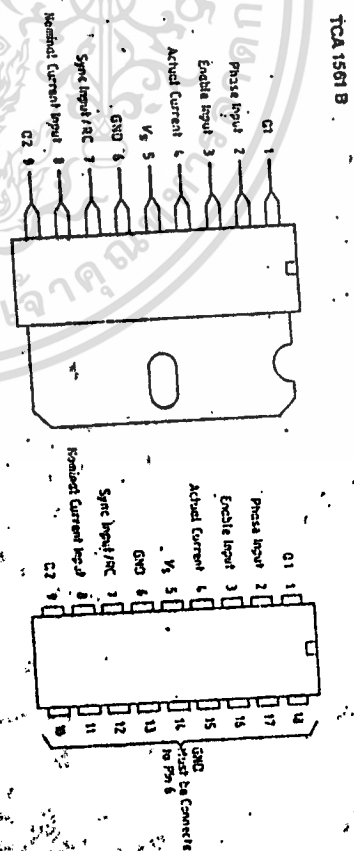
The IC has TTL-compatible logic inputs and contains a full-bridge driver with integrated, high-speed free-wheel diodes and chopper-operated dynamic motor current limiting. The nominal current is finitely variable with a control voltage. Using minimum external components and a single supply voltage, two TCA 1561 B ICs form a complete and directly MIC-drivable system for two-phase bipolar stepper motors with output currents up to 2.5 A per phase.

The functionally identical TCA 1560 B in P-DIP-19-L9 package is designed for output currents up to 1.25 A.

Features:

- 2.5 A peak current
- High-speed integrated free-wheel diodes
- Simple drive
- Thermal overload protection with hysteresis

Pin Configurations
(top view)



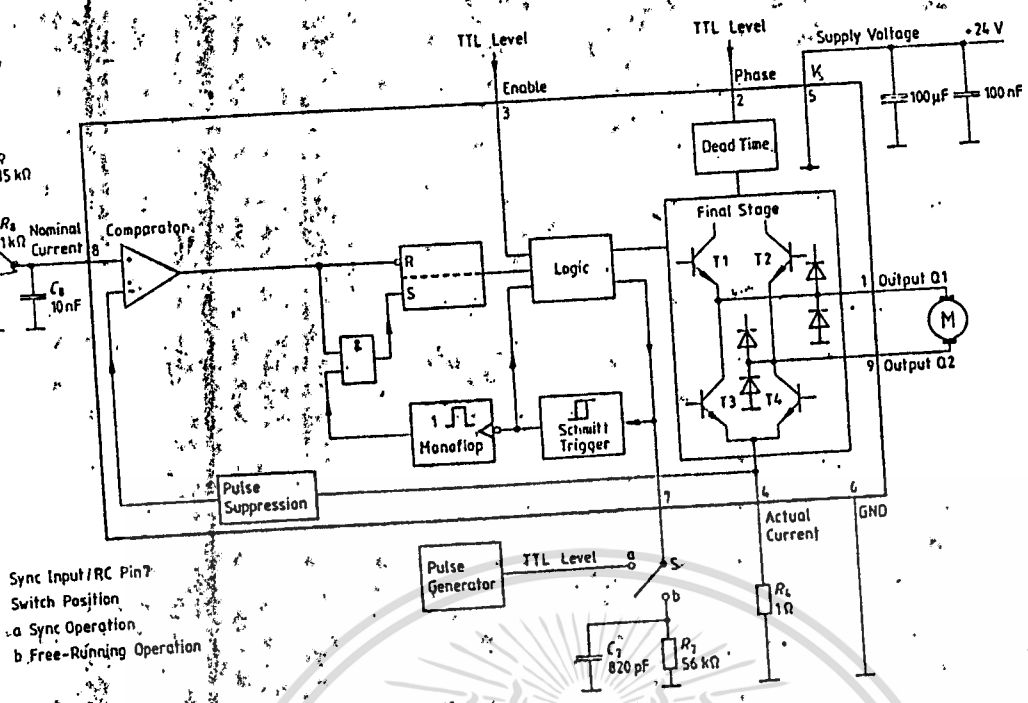
Pin Descriptions

Pin	Symbol	Function
1	O1	Output O1
2		Phase Input
3		Enable Input
4		Actual current
5	V_5	Supply voltage
6	O_s	GND
7	RC	Sync Input/RC
8		Nominal current input
9	O2	Output O2

The cooling fin is connected internally to pin 6 (ground).

Pin Descriptions

Pin	Symbol	Function
1	O1	Output O1
2		Phase Input
3		Enable Input
4		Actual current
5	V_5	Supply voltage
6	O_s	GND
7	RC	Sync Input/RC
8		Nominal current input
9	O2	Output O2
10-18		Ground (must be connected to pin 6)



Sync Input/RC Pin 7
Switch Position
a. Sync Operation
b. Free-Running Operation

Circuit Description

Outputs
Outputs Q1, Q2 (pins 1, 9) are fed by push-pull output stages. The two integrated free-wheel diodes, referred to ground or supply voltage respectively, protect the IC against flyback voltages from an inductive load.

Enable
Outputs Q1 and Q2 are turned off when voltage $V_A \leq 0.8$ V is applied to pin 3. The supply current then decreases maximally to 1 mA. The same occurs if pin 3 is open. The sink transistors are turned on when $V_A \geq 2$ V.

Phase
The voltage at pin 2 determines the phase position of the output current. Output Q1 acts as sink for $V_A \leq 0.8$ V and as source for $V_A \geq 2$ V. Similarly output Q2 acts as sink when $V_A \geq 2$ V and as source when $V_A \leq 0.8$ V.

The sink transistors are current-chopped. An internal circuit avoids undesired cross-over currents at phase change.

Nominal Current Input
The peak current in the motor winding is determined by the voltage at pin 8. A comparator compares this with the voltage drop at the actual current sensor at pin 4. If the nominal current is exceeded, the output sink transistors are turned off by a logic circuit.

Sync Input/RC
Outputs are turned on by a signal at pin 7. Two operation modes are possible: Synchronizing by a fed-in TTL signal or free running with the external RC combination.

Free-Running Operation
When the supply voltage is applied, capacitor C_1 at pin 7 charges to a limiting voltage. When the supply voltage in the motor winding, the voltage rises at the actual current sensor R_4 (pin 4). After exceeding the predetermined value at the nominal current input (pin 8) the comparator, in conjunction with pulse suppression, resets an RS flipflop. The logic turns off sink transistors T3 and T4. C_1 ceases charging and the parallel resistance R_1 then discharges C_1 . The sink transistors remain turned off until the lower threshold voltage of the Schmitt trigger is reached. This off period is thus controlled by the time constant $t_{off} = R_1 \times C_1$. After the lower trigger threshold has been passed, the monoflop is triggered by the falling edge of the Schmitt trigger output and provided the voltage at the actual current sensor (pin 4) is lower than the nominal value at pin 8, the RS flipflop is reset. The logic circuit then turns on the sink transistors T3 or T4 and recharges capacitor C_1 if the voltage at pin 4 rises above the comparator value at pin 8, the sink transistors T3 and T4 are turned off again. Turn-on cannot be repeated until capacitor C_1 has discharged to the lower trigger threshold, the discharge time being a function of R_1 and C_1 .

Synchronous Operation

If a TTL level sync signal is fed to pin 7, the negative edge sets the RS flipflop, via the Schmitt trigger/monotop combination, provided that the voltage at pin 4 is below the nominal value at pin 8. As in the free-running operation mode, the relevant output transistors become conducting. Similarly they are cut off by resetting the RS flipflop once the voltage at pin 4 is higher than the nominal value at pin 8.

Pulse Suppression

In all cases the pulse suppression circuit eliminates positive pulses, typically of 0.5 μ s duration, at pin 4. These can result from cross-over currents in chopper operation through the integrated free-wheel diodes. As a result, the voltage at pin 4 rises well above the nominal value, and without pulse suppression this would lead to dynamic current limiting. The duration of these basically unavoidable cross-over currents is of the same order of magnitude as the reverse-recovery time of the free-wheel diodes.

Temperature Safeguard

If the temperature of the IC rises to approx. 150°C, the final stages are turned off. At approx. 130°C they are turned on again.

Logic Table

Enable	L	L	L	H	H
Phase	L	H	L	L	H
Output	Q1	L	L	L	H
Output	Q2	L	L	H	L
Transistor	T1	X	X	X	X
Transistor	T2	X	X	X	X
Transistor	T3	X	X	X	X
Transistor	T4	X	X	X	X

L = Low voltage level, input open

H = High voltage level

X = Transistor turned on

• = Transistor conducting

• = Transistor conducting with current limiting turned on

/ = Output high-impedance

Maximum Ratings
T_c = -25°C to +85°C

Description	Symbol	min	max	Unit
Supply voltage, pin 5	V _s	-0.3	45	V
Supply current, pin 5	I _s	0	25	A
Peak current in output transistors, pin 1, 9	I _o	-2.5	2.5	A

Diode currents

Diodes to +V _s	I _{FR}	2.5	A	
Diodes to ground	I _F	2.5	A	
Input voltage, pins 2, 3, 7, 8	V _I	-0.3	V	
Output current, pin 4	I _o	-2.5	A	
Voltage, pin 4	V ₄	-0.3	V	
Ground current, pin 6	I ₆	2.5	A	
Junction temperature	T _J	150	°C	
Storage temperature	T _{stg}	-40	125	°C

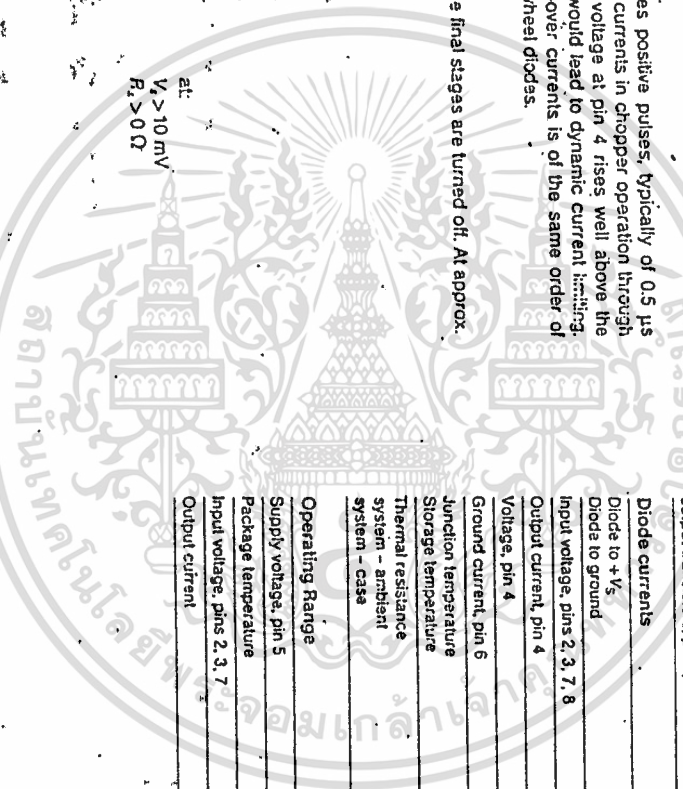
Thermal resistance

system - ambient	R _{th SA}	70 <th>K/W</th>	K/W
system - case	R _{th SC}	8 <th>K/W</th>	K/W

Operating Range

Supply voltage, pin 5	V _s	8	40	V
Package temperature	T _c	-25	85	°C
Input voltage, pins 2, 3, 7	V _I	5	5	V
Output current	I _o	-2	2	A

at:
V_I > 10 mV
R_i > 0 Ω



Characteristics
 $V_S = 24\text{ V}$; $T_C = 25^\circ\text{C}$

Description	Symbol	Test conditions	min	typ	max	Unit
Supply current, pin 5	I_S	$V_S = V_H$ $V_O = V_L$		18	30	mA
Supply current, pin 5	I_S	$V_S = V_H$ $V_O = V_L$	0.5		1	mA

Output, pins 1, 9

Output voltage: source	V_{OH}	$I_{O1} = 1\text{ A}$	1.7		1.9	V
Output voltage: source	V_{OH}	$I_{O1} = 1.5\text{ A}$	1.9		2.1	V
Output voltage: sink	V_{OL}	$I_{O1} = 1\text{ A}$	1.2		1.4	V
Output voltage: sink	V_{OL}	$I_{O1} = 1.5\text{ A}$	1.5		1.7	V
Reverse current	I_{OS1}				300	μA
Phase dead time	t_T	Figure 1	0.1	0.3		μs
Forward voltage of diodes to +V _S	V_{FH}	$I_{FH} = 1\text{ A}$	1.0		1.2	V
Forward voltage of diodes to +V _S	V_{FH}	$I_{FH} = 1.5\text{ A}$	1.1		1.3	V
Forward voltage of diodes to ground	V_{FL}	$I_{FL} = 1\text{ A}$	1.1		1.3	V
Forward voltage of diodes to ground	V_{FL}	$I_{FL} = 1.5\text{ A}$	1.3		1.5	V

Inputs: enable, pin 8 and phase, pin 2

H input voltage	V_H		2		2	V
L input voltage	V_L			50	0.8	V
H input current	I_{IH}	$V_H = 5\text{ V}$			100	μA
L input current	I_{IL}	$V_L = 0\text{ V}$			100	μA
Rise and fall time	t_r, t_f				2	μs

Nominal current, pin 8

Control range	V_{CS}		0		2	V
Input current	I_{CS}	$V_S = 0\text{ V}$			5	μA
Input offset voltage	$V_{CS(off)}$	Figure 5	0		5	mV

Actual current pin 4

Control range	V_{CS}	Figures 5	0		2	V
Turn-off delay	t_{off}	Figure 3			2	μs
Sync input/R.C. pin 7						
Sync frequency	f_{sync}	Duty cycle: 0.5			100	kHz
Duty cycle	D	$f_{sync} = 40\text{ kHz}$	0.1		0.9	
Rise and fall time	t_r, t_f		2		2	μs
Output current, pin 7	I_{O7}	Figure 2	1.2		1.6	mA
Trigger threshold, pin 7	V_{T7}	Figure 2	0.6		0.8	V
Charging limit C_7	V_{C7}	Figure 4	2.2		2.4	V
Off period	t_{off}	Figure 4	64		64	μs
Dynamic input resistance	R_{in}	$V_S = 1.5\text{ V}$	1		1	k Ω

Maximum Ratings
 $T_C = 25^\circ\text{C}$ bis $+85^\circ\text{C}$

Description	Symbol	min	max	Unit
Supply voltage, pin 5	V_S	-0.3	45	V
Supply current, pin 5	I_S	0	1.25	A
Peak current in output transistors, pins 1, 9	I_O	-1.25	1.25	A

Diode currents, pins 1, 9

Diode against +V _S	I_{FH}	-0.3	1.25	A
Diode against ground	I_{FL}	-1.25	1.25	A
Input voltage, pins 2, 3, 7, 8	V_I	-0.3	6	V
Output current, pin 4	I_A	-1.25	6	A
Voltage, pin 4	V_A	-0.3	5	V
Ground current, pin 6	I_G		1.25	A
Junction temperature	T_j		150	$^\circ\text{C}$
Storage temperature	T_{stg}	-40	125	$^\circ\text{C}$

Thermal resistance system - ambient (measured at pin 14)

$R_{th,sa}$	70	K/W
$R_{th,sc}$	15	K/W

Operating Range

Supply voltage, pin 5	V_S	8	40	V
Package temperature measured at pin 14	T_C	-25	85	$^\circ\text{C}$
Input voltage, pins 2, 3, 7	V_I	-5	5	V
Output current, pins 1, 9	I_O	-1	1	A

Characteristics
 $V_S = 24\text{ V}$; $T_C = 25^\circ\text{C}$

Description	Symbol	Test conditions	min	typ	max	Unit
Supply current, pin 5	I_S	$V_O = V_{OH}$ $V_A = V_{OL}$	0.5	1.8	3.0	mA
Supply current, pin 5	I_S	$V_O = V_{OH}$ $V_A = V_{OL}$	0.5	1.8	3.0	mA

Output, pins 1, 9	V_{OH}	V_{OL}	I_{OH}	I_{OL}	t_r	t_f	t_{PHL}	t_{PLH}
Output voltage: source	V_{OH}	V_{OL}	I_{OH}	I_{OL}	t_r	t_f	t_{PHL}	t_{PLH}
Output voltage: sink	V_{OH}	V_{OL}	I_{OH}	I_{OL}	t_r	t_f	t_{PHL}	t_{PLH}
Output voltage: sink	V_{OH}	V_{OL}	I_{OH}	I_{OL}	t_r	t_f	t_{PHL}	t_{PLH}
Reverse current	I_{OH}	I_{OL}	I_{OH}	I_{OL}	t_r	t_f	t_{PHL}	t_{PLH}
Phase dead time	t_r	t_f	t_r	t_f	t_r	t_f	t_r	t_f
Forward voltage of diodes to +V _S	V_{FH}	V_{FL}	I_{FH}	I_{FL}	V_{FH}	V_{FL}	I_{FH}	I_{FL}
Forward voltage of diodes to ground	V_{FL}	V_{FH}	I_{FL}	I_{FH}	V_{FL}	V_{FH}	I_{FL}	I_{FH}

Inputs: enable, pin 3
 and phase, pin 2

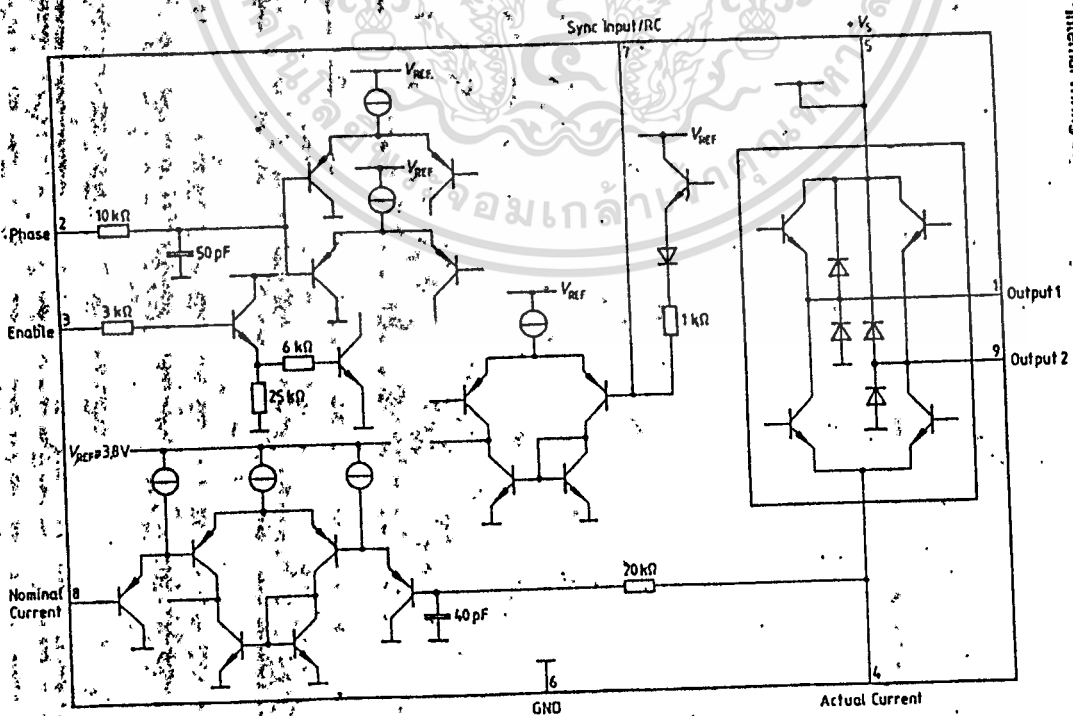
H input voltage	V_{IH}	V_{IL}	I_{IH}	I_{IL}
H input voltage	V_{IH}	V_{IL}	I_{IH}	I_{IL}
L input voltage	V_{IH}	V_{IL}	I_{IH}	I_{IL}
H input current	I_{IH}	I_{IL}	I_{IH}	I_{IL}
L input current	I_{IH}	I_{IL}	I_{IH}	I_{IL}
Rise and fall time	t_r	t_f	t_r	t_f

Nominal current, pin 8	I_{OH}	I_{OL}	I_{OH}	I_{OL}
Nominal current, pin 8	I_{OH}	I_{OL}	I_{OH}	I_{OL}
Control range	I_{OH}	I_{OL}	I_{OH}	I_{OL}
Input current	I_{OH}	I_{OL}	I_{OH}	I_{OL}
Input offset voltage	V_{OH}	V_{OL}	V_{OH}	V_{OL}

Actual current, pin 4	I_{OH}	I_{OL}	I_{OH}	I_{OL}
Actual current, pin 4	I_{OH}	I_{OL}	I_{OH}	I_{OL}
Regulating range	I_{OH}	I_{OL}	I_{OH}	I_{OL}
Turn-off delay	t_r	t_f	t_r	t_f

Sync Input/R/C, pin 7	V_{IH}	V_{IL}	I_{IH}	I_{IL}
Sync Input/R/C, pin 7	V_{IH}	V_{IL}	I_{IH}	I_{IL}
Sync frequency	f	f	f	f
Duty cycle	D	D	D	D
Rise and fall time	t_r	t_f	t_r	t_f
Output current, pin 7	I_{OH}	I_{OL}	I_{OH}	I_{OL}
Trigger threshold, pin 7	V_{TH}	V_{TL}	V_{TH}	V_{TL}
Charging limit, C	V_{CH}	V_{CL}	V_{CH}	V_{CL}
Dynamic input resistance	R_{in}	R_{in}	R_{in}	R_{in}
Off period	t_{off}	t_{off}	t_{off}	t_{off}

Internal Wiring of Pins



เอกสารนี้เป็นเอกสารของ... สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ
 ไม่ว่ากล่าวถึงผู้ผลิต... ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไป

Figure 1
Phase Dead Time

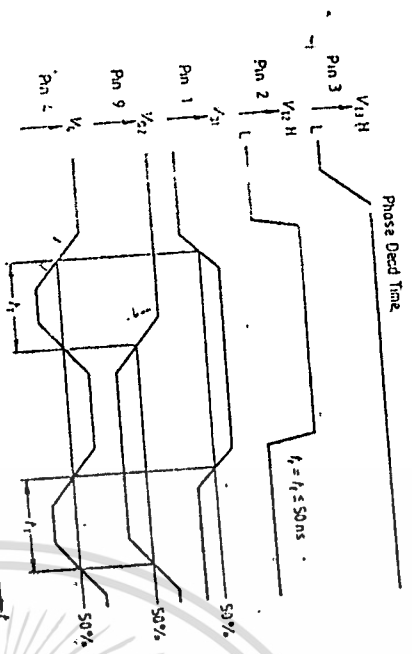


Figure 3
Turn-OFF Delay

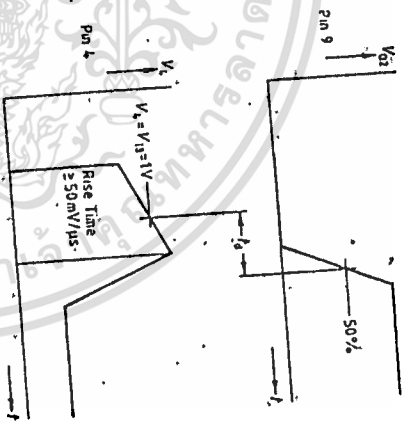


Figure 4
OFF Period versus Capacitance

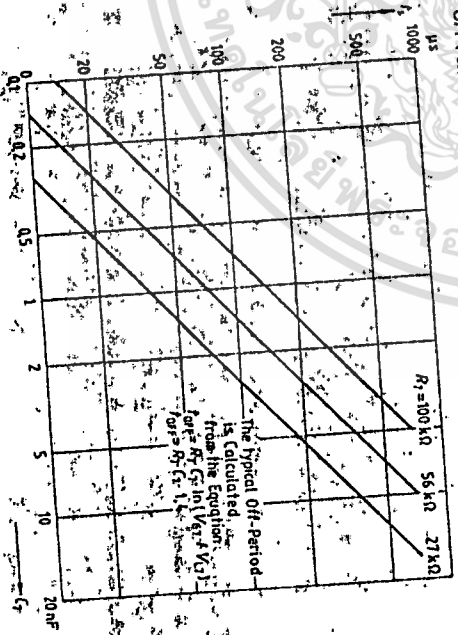


Figure 2
Trigger Transistor

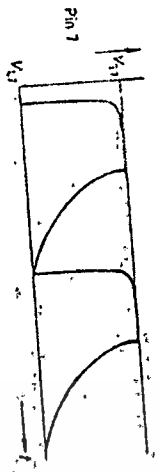
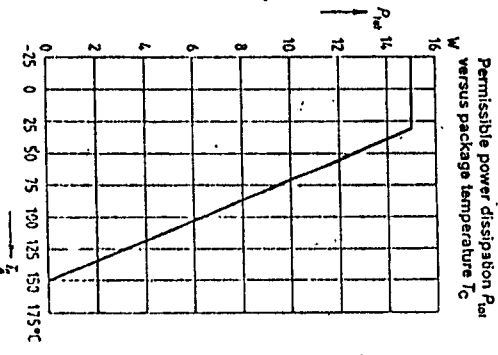
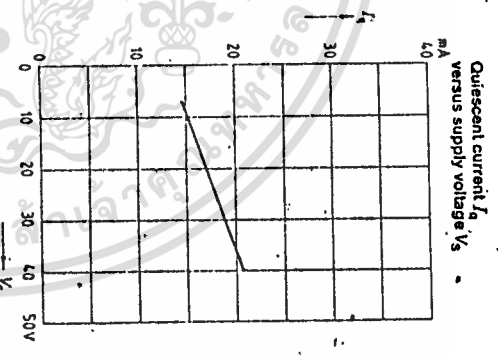
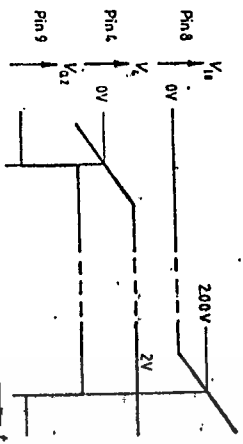
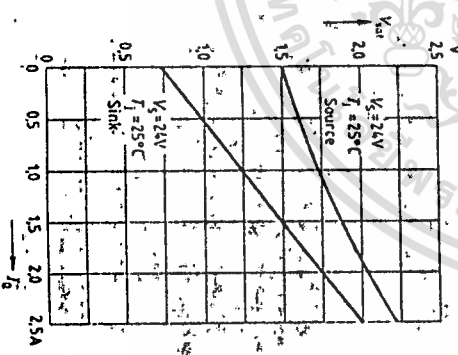


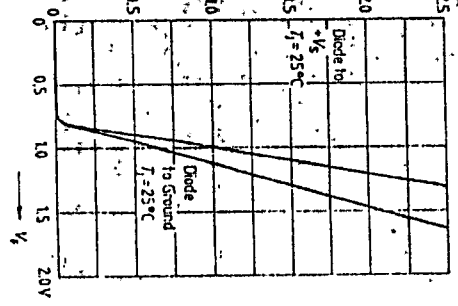
Figure 5
Control Range, Input Offset Voltage



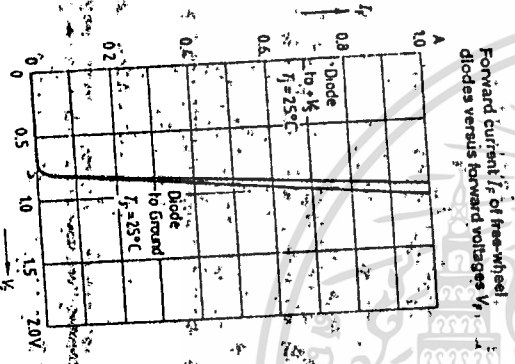
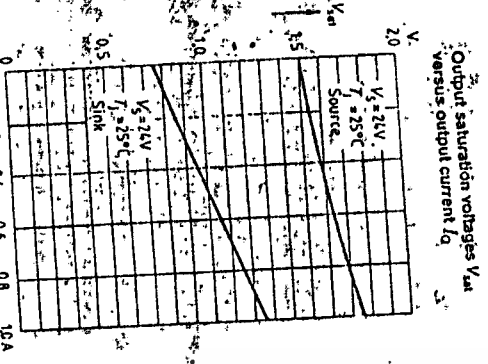
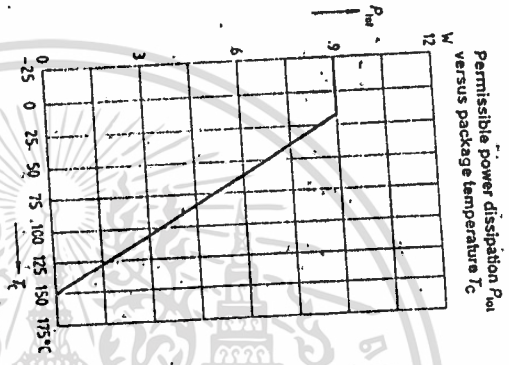
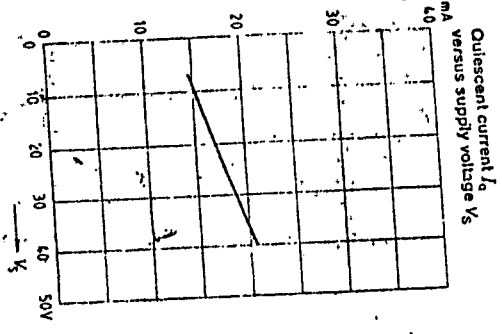
Output saturation voltages V_{sat} versus output current I_o



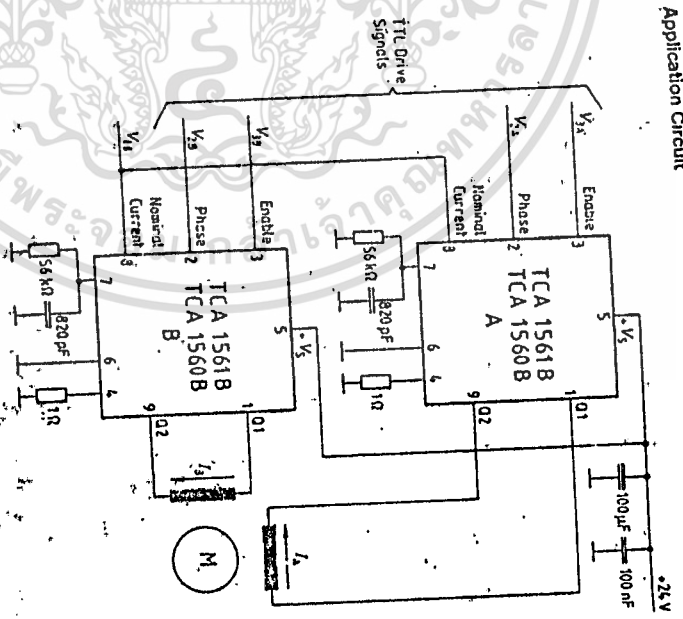
Forward current I_F of free-wheel diodes versus forward voltages V_F

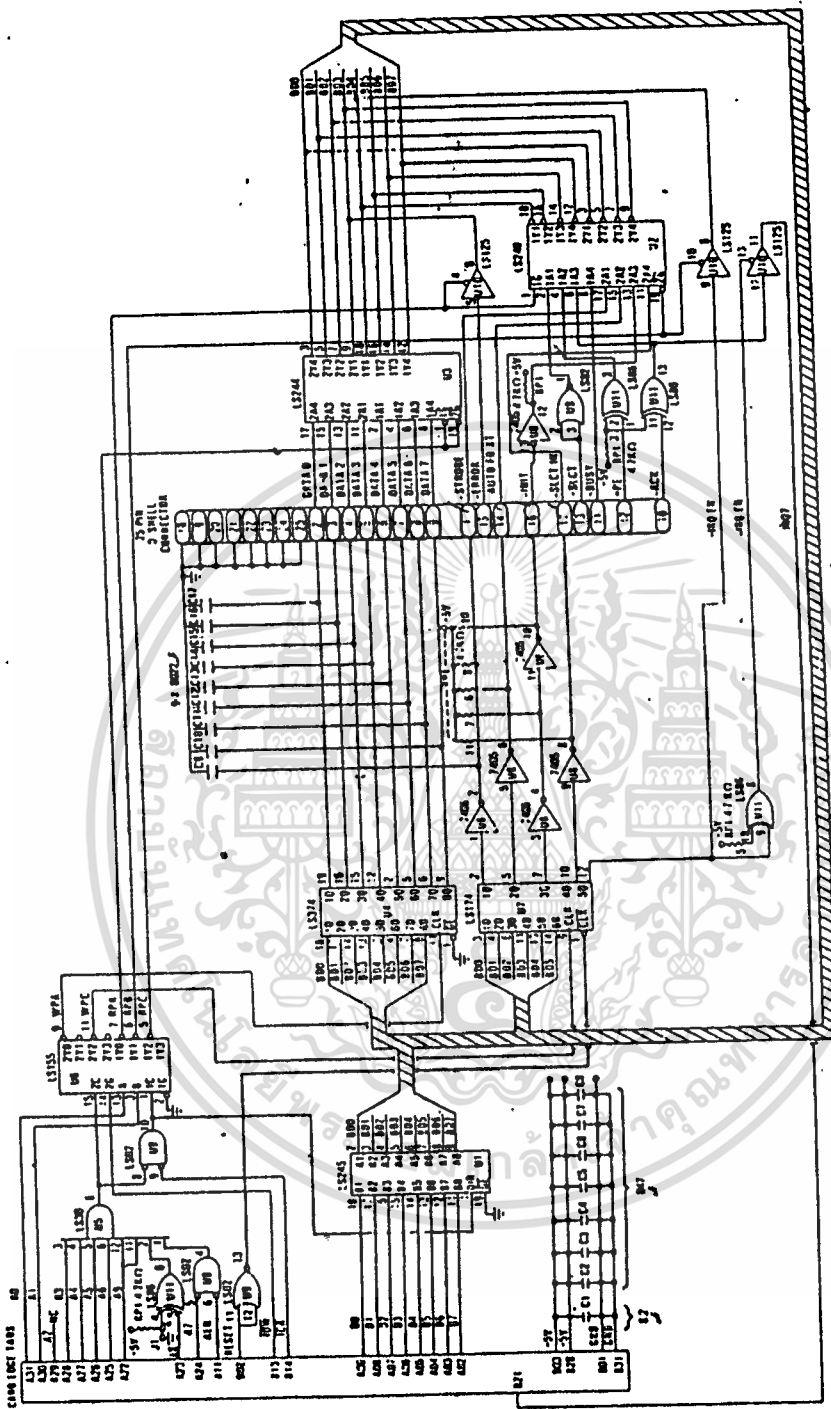


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการแก้ไขทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Application Circuit





Printer Adapter (Sheet-1 of 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้