เครื่องเจาะแผ่นปริ้นท์อัตโนมัติ

AUTOMATIC PCB DRILLING MACHINE

โดย
นาย จักรี เจนกิตติยนต์
นาย วิทยา จิตใจแจ่มแจ้ง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

035006

เครื่องเจาะแผ่นปริ้นท์อัตโนมัติ
AUTOMATIC PCB DRILLING MACHINE

โดย

นาย จักรี เจนกิตติยนต์

นาย วิทยา จิตใจแจ่มแจ้ง

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. ฉมศักดิ์ มิตะถา

อ. ประสาร ดังดิสานนท์

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2537
ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง เครื่องเจาะแผ่นปริ้นท์อัตโนมัติ

ผู้จัดทำ

1. นายจักรี เจนกิตติยนต์ 35.103220
2. นายวิทยา จิตใจแจ่มแจ้ง 35.103244

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ.สมศักดิ์ มิตะถา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ.ประสาร ตังคิสานนท์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องเจาะแผ่นปริ้นท์อัตโนมัติ

นายจักรี เจนกิดคิยนต์
นายวิทยา จิตใจแจ่มแจ้ง
อ.สมศักดิ์ มิตะฉา อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.ประสาร ตังติสานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2537

บทคัดย่อ

โครงงานเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์นี้ ได้มีการพัฒนาและปรับปรุงจากโครงงานเก่า โดยการพัฒนาระบบกลไก และวงจรอิเล็คทรอนิคส์ให้สามารถทำงานด้วยชุดคำสั่งมาตราฐานของเครื่องพรือตเตอร์ได้ ดังนั้นโครงงานนี้จึงมีความยืดหยุ่นต่อการพัฒนาและใช้งานเป็นอย่างมาก

ในส่วนของระบบอิเล็คทรอนิคส์ที่ใช้ในการควบคุมกลไกนั้นจะรับข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์มาเก็บไว้ในหน่วยความจำ และใช้ไมโครโปรเซสเซอร์มาประมวลผลที่หน่วยความจำเพื่อใช้ในการควบคุมมอเตอร์ทั้งสามแกนต่อไป ซึ่งลักษณะการเคลื่อนที่ของมอเตอร์จะเป็นแบบไมโครสเต็ป ในโครงงานนี้จะใช้ไฟล์ข้อมูลของโปรแกรมโปรเทลในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTOMATIC PCB DRILLING MACHINE

Chakri Jenkittiyon
Vittaya Jitjaijamjan
Associate Professor
Somsak Mittatha Advisor
Prasarn Tangtisanon Advisor
1994

Abstract

Automatic PCB Drilling Machine project have been develope and improved from old project. Which developed machine system and electronic circuit to operated with standard command set of plotter. So this project is very flexible for development and uses.

In section project of electronic control that machanic will recive data from computer and store them memory and then use microprocessor process in memory to control motor in X, Y and Z axis. Movement of motor is micro step type. In this project use data file of protel program into operate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงงาน	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการทำงานของเครื่องเจาะ	3
2.1 ลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวเจาะ	3
2.2 การขับมอเตอร์	4
2.3 วงจรขับมอเตอร์แบบแบ่งละเอียด	5
2.4 หลักการเขียนโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวเจาะ	7
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้างเครื่องเจาะ	10
3.1 การออกแบบวงจรควบคุมเครื่องเจาะ	10
3.1.1 วงจรควบคุมเครื่องเจาะแกน X, แกน Y	10
3.1.2 วงจรควบคุมเครื่องเจาะแกน Z	12
3.1.3 วงจรภาคจ่ายไฟ	16
3.1.4 การสร้างวงจรส่วนควบคุมทั้งหมดและประกอบ	16
3.2 การออกแบบบกอไก	17
3.3 การอ่านข้อมูลของ Protel	41
3.3.1 ส่วนเริ่มต้นของไฟล์	41
3.3.2 ส่วนที่เก็บคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์ที่วางอยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์	41
3.3.2.1 ส่วนของการเก็บข้อมูลทั่วๆไปของอุปกรณ์	42
3.3.2.2 ส่วนของการเก็บตำแหน่งของรูเจาะ	42
3.3.2.3 ส่วนของการเก็บตำแหน่งของเส้นที่แสดงเป็นรูปอุปกรณ์	43
3.3.3 ส่วนที่เก็บลายเส้นทองแดงของลายวงจร	43
3.3.4 การอ่านข้อมูลเข้ามาไว้ในตัวแปร	44
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	45
4.1 การทดลองเพื่อปรับแต่งความแม่นยำ	45
4.2 การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพความน่าเชื่อถือของโครงงาน	45
บทที่ 5 บทวิจารณ์และการสรุปผล	47
ภาคผนวก ก.	48
ภาคผนวก ข.	56
กิตติกรรมประกาศ	60
เอกสารอ้างอิง	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่ 1.1 รูปแสดงโครงงานที่สมบูรณ์ 1
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของเครื่องเจาะ 3
รูปที่ 2.2 วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์เบื้องต้น 4
รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมการขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ในเครื่องเจาะ 6
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของสัญญาณที่ขา phase กับสัญญาณที่ได้จากวงจร DAC ทั้ง 2ชุด (AและB) 7
รูปที่ 2.5 โฟลว์ชาร์ตของซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องเจาะ 8
รูปที่ 2.6 การเขียนเส้นทแยงมุม 45 องศาจากจุด(0,0) ไปยัง(5,3) 8
รูปที่ 3.1 วงจรสมบูรณ์ของวงจรควบคุมเครื่องเจาะแกน X, แกน Y 11
รูปที่ 3.2 วงจรสมบูรณ์ของวงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์แกน Z 13
รูปที่ 3.3 แผนผังเวลาที่ Q5-Q8 14
รูปที่ 3.4 คอนโทรลการเคลื่อนที่ของมอเตอร์แกน Z 14
รูปที่ 3.5 วงจรภาคจ่ายไฟของเครื่องเจาะ 15
รูปที่ 3.6 ภาคจ่ายไฟมอเตอร์แกน Z และสว่านเจาะ 16
รูปที่ 3.7 แสดงโครงงานสำเร็จรูปและหมายเลขชิ้นงานทั้งหมด 17
รูปที่ 3.8 แสดงชิ้นงานหมายเลข 1 18
รูปที่ 3.9 แสดงชิ้นงานหมายเลข 2 19
รูปที่ 3.10 แสดงชิ้นงานหมายเลข 3 20
รูปที่ 3.11 แสดงชิ้นงานหมายเลข 4 21
รูปที่ 3.12 แสดงชิ้นงานหมายเลข 5 22
รูปที่ 3.13 แสดงชิ้นงานหมายเลข 6 23
รูปที่ 3.14 แสดงชิ้นงานหมายเลข 7 24
รูปที่ 3.15 แสดงชิ้นงานหมายเลข 8 25
รูปที่ 3.16 แสดงชิ้นงานหมายเลข 9 26
รูปที่ 3.17 แสดงชิ้นงานหมายเลข 10 27
รูปที่ 3.18 แสดงชิ้นงานหมายเลข 11 28
รูปที่ 3.19 แสดงชิ้นงานหมายเลข 12 29
รูปที่ 3.20 แสดงชิ้นงานหมายเลข 13 30
รูปที่ 3.21 แสดงชิ้นงานหมายเลข 14 31
รูปที่ 3.22 แสดงชิ้นงานหมายเลข 15 32
รูปที่ 3.23 แสดงชิ้นงานหมายเลข 16 33
รูปที่ 3.24 แสดงชิ้นงานหมายเลข 17 34
รูปที่ 3.25 แสดงชิ้นงานหมายเลข 18 35
รูปที่ 3.26 แสดงชิ้นงานหมายเลข 19 36
รูปที่ 3.27 แสดงชิ้นงานหมายเลข 20 37
รูปที่ 3.28 แสดงชิ้นงานหมายเลข 21 38
รูปที่ 3.29 แสดงชิ้นงานหมายเลข 22 39
รูปที่ 3.30 แสดงชิ้นงานหมายเลข 23 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาพ

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของขา Enable และ Phase กับการไหลของกระแสในขดลวดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ 4
ตารางที่ 2.2 แสดงการไหลของกระแสในขดลวดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบ Full step 4
ตารางที่ 2.3 แสดงการไหลของกระแสในขดลวดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ เมื่อหมุนแบบครึ่งสเต็ป 5
ตารางที่ 2.4 การเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องเจาะ 9
ตารางที่ 2.5 ผลการคำนวณค่าต่างๆ ตามโฟลว์ชาร์ต เพื่อกำหนดตำแหน่งของเครื่องเจาะ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

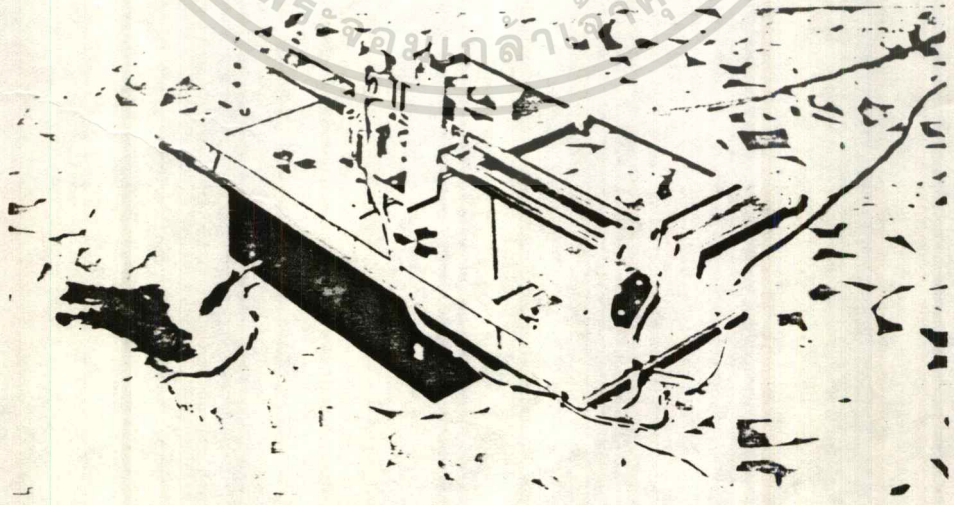
ปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตมนุษย์เป็นอย่างมาก ในแง่ของงานที่ต้องการความแม่นยำและมีความน่าเบื่อหน่ายอย่างเช่นงานเจาะแผ่นวงจรพิมพ์ คอมพิวเตอร์สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานนี้ได้เป็นอย่างดี

1.1 วัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงงาน

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์ที่ต้องการจะลดต้นทุนในการพัฒนา ในขณะที่ประสิทธิภาพการทำงานของโครงงานยังคงเทียบเท่าหรือเหนือกว่าโครงงานในรุ่นก่อน ๆ และที่สำคัญโครงงานนี้ถูกออกแบบให้มีความยืดหยุ่นในการปรับแต่งความเร็วในการเจาะได้

ในแง่ของการลดต้นทุนการผลิตนั้น ได้เน้นหนักในด้านการใช้วัตถุดิบที่สามารถหาได้โดยง่าย ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างของโครงงานที่ทำจากเหล็กฉากอลูมิเนียมเป็นส่วนใหญ่ หรือแม้แต่วงจรที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ทั้งสามแกนก็ออกแบบโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ 8751 ที่นิยมใช้กันในท้องตลาด จากผลงานในการออกแบบและเลือกใช้วัตถุดิบที่มีราคาถูกทำให้โครงงานนี้มีต้นทุนอยู่ที่ 10,000 บาท

ในส่วนของประสิทธิภาพในการทำงานนั้น วงจรควบคุมได้ถูกออกแบบให้ใช้ชุดคำสั่งเดียวกับพล็อตเตอร์ HPGL7475A(Hewlett Packard Graphics Language) จึงทำให้สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องเจาะได้โดยง่าย และสามารถที่จะประยุกต์หรือพัฒนาโปรแกรมควบคุมเครื่องเจาะให้ใช้กับไฟล์คาต้าของโปรแกรม Protel, Orcad หรือแม้กระทั่ง Pcad ได้ตามต้องการ เพียงแต่ต้องถอดรหัสคำ



รูปที่ 1.1 รูปแสดงโครงงานที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหน่งของขาอุปกรณ์ในไฟล์คาด้าเหล่านั้นให้ได้ สำหรับโครงงานนี้จะเขียนโปรแกรมขึ้นมาเพื่อใช้กับไฟล์คาด้าของโปรแกรม Protel เท่านั้น เนื่องจากระยะเวลาในการพัฒนาโครงงานมีจำกัดและโปรแกรม Protel เป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป ส่วนรายละเอียดขั้นขั้นตอนในการถอดรหัสไฟล์คาด้าของโปรแกรม Protel จะมีอยู่ในปริญญานิพนธ์เล่มนี้ เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ที่สนใจสามารถศึกษา และพัฒนาโครงงานให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นในอนาคตต่อไป

ด้านของความแม่นยำในการเจาะ สามารถทำได้ในขั้นตอนการเขียนโปรแกรมโดยการคำนวณค่าอัตราส่วนของตำแหน่งขาอุปกรณ์ในไฟล์ข้อมูลของโปรแกรม Protel กับการหมุนของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ในแต่ละช่วงของเวลา ซึ่งความแม่นยำจะมากน้อยแค่ไหนจึงขึ้นอยู่กับโปรแกรม แต่ทั้งนี้ในส่วนของกลไกจะต้องถูกปรับแต่งจนเรียบร้อยก่อนแล้ว

โครงงานนี้สามารถปรับความเร็วในการเจาะได้ 2วิธี วิธีแรกปรับที่ซอฟท์แวร์ ส่วนวิธีที่ 2 ปรับที่ฮาร์ดแวร์ สาเหตุที่สามารถปรับแต่งความเร็วที่ฮาร์ดแวร์ได้ด้วยก็เพื่อลดปัญหาด้านความเร็วของคอมพิวเตอร์ในแต่ละรุ่นที่มีความเร็วของสัญญาณนาฬิกาไม่เท่ากัน

ขนาดแผ่นวงจรพิมพ์ใหญ่สุดที่สามารถเจาะได้คือ 14"*13.5"

มีขนาดเล็กสามารถเคลื่อนย้ายได้โดยง่าย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

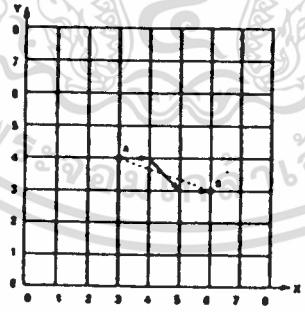
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการทำงานของเครื่องเจาะ

เนื่องจากโครงงานเครื่องเจาะตัวนี้ สามารถควบคุมการทำงานด้วยคำสั่งที่ส่งมาจากคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง โดยในตัวเครื่องเจาะจะมีไมโครคอนโทรลเลอร์คอยรับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์เพื่อนำมาคำนวณหาตำแหน่งที่จะเจาะ แล้วส่งสัญญาณให้วงจรขับมอเตอร์เพื่อหมุนมอเตอร์ไปตามจุดต่างๆตามที่คำนวณไว้

2.1 ลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวเจาะ

เริ่มแรกต้องกำหนดพื้นที่ของชิ้นงานให้เป็นจุดๆ ดังรูปที่1 โดยกำหนดเป็นแกน X และ Y เริ่มจากจุด X0,Y0 เลื่อนไปทางขวาเป็นแกน X เลื่อนขึ้นบนเป็นแกน Y เส้นแบ่งในแกน Xและ Y หมายถึง สเต็ปที่ละเอียดที่สุด (resolution) ของเครื่อง จากรูปที่ 2.1 สมมติว่ามีคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ให้เคลื่อนหัวเจาะจากจุด A ไปจุด B มีพิกัดที่ X3,Y4 และจุด B มีพิกัดที่ X6,Y3 เครื่องจะคำนวณหาทางเดินจากจุด A ไปจุด B ทีละสเต็ป เริ่มจากพิกัด X3,Y4 ไปยังพิกัด X4,Y4 โดยเดินมอเตอร์ไปตามแกน X หนึ่งสเต็ป จากนั้นก็เคลื่อนที่ไปยังจุด X5,Y3 โดยเดินมอเตอร์ไปตามแกน X และ Y พร้อมกัน สุดท้ายจะเคลื่อนที่ไปยังจุด X6,Y3 โดยเดินมอเตอร์ไปตามแกน X เพียงอย่างเดียว จะเห็นว่าเครื่องไม่สามารถเคลื่อนที่ไปตามเส้นประได้ เนื่องจากต้องเคลื่อนที่เป็นสเต็ปๆ ไป ฉะนั้นถ้าความละเอียดของสเต็ปยิ่งมากเท่าไร เส้นก็จะดูเป็นเส้นตรงมากขึ้นเท่านั้น



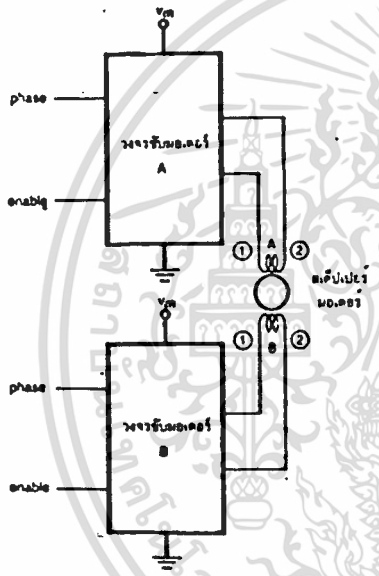
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของเครื่องเจาะ

เครื่องเจาะเครื่องนี้ใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบเคลื่อนที่ 1.8 องศาต่อสเต็ป ในหนึ่งรอบของมอเตอร์มีการเคลื่อนที่ 200 สเต็ป (360 องศาหารด้วย 1.8) และถ้าเคลื่อนที่แบบครึ่งสเต็ปจะเคลื่อนที่ได้ 400 สเต็ปต่อรอบ ฉะนั้นในระยะทาง 1 นิ้ว มอเตอร์จะต้องหมุนถึงสองรอบครึ่ง จึงจะได้จำนวนสเต็ปเท่ามาตรฐาน ซึ่งในทางปฏิบัติภาคกลไกทำได้ยาก ถ้าใช้มอเตอร์ที่มีความละเอียดสูงกว่านี้ ก็จะหามอเตอร์ได้ยาก ราคาแพง แต่สามารถที่จะทำให้มอเตอร์นั้นมีการเคลื่อนที่ที่ละเอียดมากขึ้น โดยการใช้วงจรขับมอเตอร์แบบแบ่งสเต็ป ละเอียด (Micro Step Driver)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การขับมอเตอร์

การขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ในเครื่องเจาะนี้ ใช้วงจรขับมอเตอร์แบบแบ่งสเต็ปละเอียดจากรูปที่ 2.2 ใช้วงจรขับมอเตอร์ 2 วงจรที่มีคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการ เพื่อขับมอเตอร์หนึ่งตัว ขา PHASE เป็นตัวกำหนดทิศทางการไหลของกระแสในขดลวดขา ENABLE ใช้ควบคุมให้เกิดกระแสไหลในขดลวด ซึ่งความสัมพันธ์ของขาทั้งสอง กับกระแสในขดลวด แสดงดังในตารางที่ 2.1 ในการขับมอเตอร์แบบเต็มสเต็ป (Full Step Driver) นั้น มีหลักการง่ายๆ คือให้มีกระแสไหลในขดลวด 2 ขดสลับกัน ซึ่งสามารถสลับได้ 4 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์เบื้องต้น

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

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของขา Enable และ Phase กับการไหลของกระแสในขดลวดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

สเต็ป	enable A	enable B	phase A	phase B
1	1	1	0	0
2	1	1	1	0
3	1	1	1	1
4	1	1	0	1

ตารางที่ 2.2 แสดงการไหลของกระแสในขดลวดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบ Full step

ถ้าต้องการขับให้มอเตอร์หมุนแบบครึ่งสเต็ป (Half Step Driver) ก็กำหนดให้มีการหยุดไหลของกระแสในขดลวด A และ B คั่นสลับอยู่ในลักษณะการหมุนแบบเต็มสเต็ป ก็จะได้การหมุนของมอเตอร์แบบครึ่งสเต็ปดังในตารางที่ 2.3 (หน้าถัดไป)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเต็ป	enable A	enable B	phase A	phase B	กระแสในขดลวด A	กระแสในขดลวด B
1	1	1	0	0	กระแสไหลจาก ① ไป ②	กระแสไหลจาก ① ไป ②
2	1	0	1	0	กระแสไหลจาก ① ไป ②	ไม่มีกระแสไหล
3	1	1	1	1	กระแสไหลจาก ② ไป ①	กระแสไหลจาก ① ไป ②
4	0	1	0	1	ไม่มีกระแสไหล	กระแสไหลจาก ① ไป ②
5	1	1	1	1	กระแสไหลจาก ② ไป ①	กระแสไหลจาก ② ไป ①
6	1	0	1	1	กระแสไหลจาก ② ไป ①	ไม่มีกระแสไหล
7	1	1	0	1	กระแสไหลจาก ① ไป ②	กระแสไหลจาก ② ไป ①
8	0	1	0	1	ไม่มีกระแสไหล	กระแสไหลจาก ② ไป ①

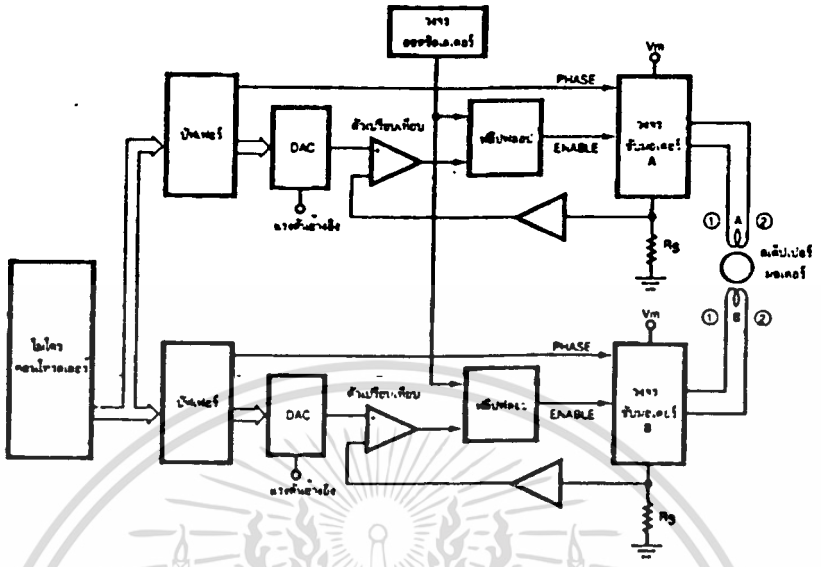
ตารางที่ 2.3 แสดงการไหลของกระแสในขดลวดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ เมื่อหมุนแบบครึ่งสเต็ป

จะเห็นว่าสามารถทำให้มอเตอร์เคลื่อนที่ได้ละเอียดขึ้นอีกเท่าตัว เมื่อควบคุมกระแสในขดลวดได้ จากแนวคิดอันนี้จึงนำมาพัฒนาเป็นวงจรขับมอเตอร์แบบแบ่งละเอียด ซึ่งสามารถทำให้สเต็ปปิ้งมอเตอร์ธรรมดา กลายเป็นสเต็ปปิ้งมอเตอร์ที่มีสเต็ปการหมุนที่มีความละเอียดสูง โดยสามารถทำให้ละเอียดเท่าไรก็ได้ตามต้องการ ในโครงงานนี้จะกำหนดไว้ที่ 1600 สเต็ปต่อรอบ

2.3 วงจรขับมอเตอร์แบบแบ่งละเอียด

ในรูปที่ 2.3 เป็นบล็อกไดอะแกรมของวงจรขับมอเตอร์แบบแบ่งละเอียด ที่ภาคขับมอเตอร์แบบแบ่งละเอียดจะมีตัวต้านทานต่อลงกราวด์อยู่ภาคละหนึ่งตัวให้ชื่อว่า Rs กระแสที่จะไหลผ่านขดลวดต้องไหลผ่าน Rs ก่อนลงกราวด์ ฟลิปฟลอปทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของภาคขับมอเตอร์ (ซึ่งก็คือ ทำหน้าที่ส่งสัญญาณ Enable ให้แก่ภาคขับมอเตอร์นั่นเอง) ฟลิปฟลอปจะทำงานตามสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนเข้ามา มีวงจรเปรียบเทียบแรงดันอยู่หน้าฟลิปฟลอป ซึ่งได้รับอินพุต 2 ทาง ทางหนึ่งจากภาคเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอก (DAC) อีกทางมาจากวงจรขยายแรงดันที่ได้มาจากแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน Rs ภาค DAC ถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยผ่านทางบัฟเฟอร์ส่วนขา PHASE ต่อเข้ากับบัฟเฟอร์โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



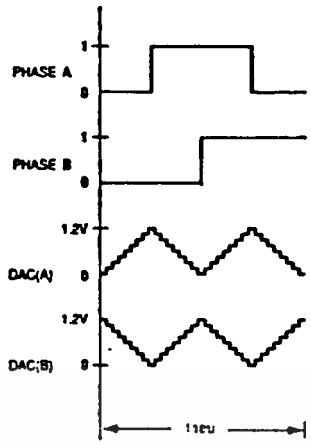
รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมการขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ในเครื่องเจาะ

จากจุดมุ่งหมายเดิมคือ ต้องควบคุมกระแสในขดลวดให้ได้ ในการควบคุมแบบหยุดกระแสในขดลวด A และ B สลับกันในจังหวะที่เหมาะสม แทรกอยู่ในการหมุนที่เป็นแบบเต็มสเต็ป แต่ในวงจรขับมอเตอร์แบบแบ่งละเอียดจะต้องทำให้การไหลของกระแสในขดลวด A และ B ให้มีความลดหลั่นกันคือไม่ถึงกับหยุดไปเลย แต่ลดหลั่นกันเป็นลำดับแทรกอยู่ในช่วงการหมุนแบบเต็มสเต็ปเหมือนเดิม

วิธีการนี้ได้จากการที่กระแสของขดลวดไหลผ่าน Rs แล้วถูกขยายก่อนที่จะส่งไปยังขาลบของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน แรงดันที่ขาลบของวงจรเปรียบเทียบแรงดันต้องเท่ากับแรงดันที่ขาบวกจะมากกว่าไม่ได้ ถ้ามากกว่าวงจรเปรียบเทียบแรงดันจะทำให้ฟลิปฟลอปหยุดทำงาน กระแสในขดลวดหยุดไหล ดังนั้นกระแสในขดลวดจึงถูกควบคุมด้วยแรงดันที่ขาบวกของวงจรเปรียบเทียบที่ต่ออยู่กับภาค DAC ซึ่งถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ในขั้นสุดท้าย

สรุปก็คือ การทำงานทุกอย่างจะถูกควบคุมด้วยซอฟต์แวร์ ซอฟต์แวร์นี้จะทำการควบคุมให้ขา PHASE A และ B ทำงานสลับกัน 4 ครั้ง ในลักษณะของเต็มสเต็ป และส่งข้อมูล 7 บิตให้ภาค DAC ทำการแปลงสัญญาณจะได้สัญญาณเป็นขั้นบันไดรูปสามเหลี่ยม มีเฟสต่างกัน 180 องศาตามรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของสัญญาณที่ขา phase กับสัญญาณที่ได้จากวงจร DAC ทั้ง 2ชุด (AและB)

2.4 หลักการเขียนโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวเจาะ

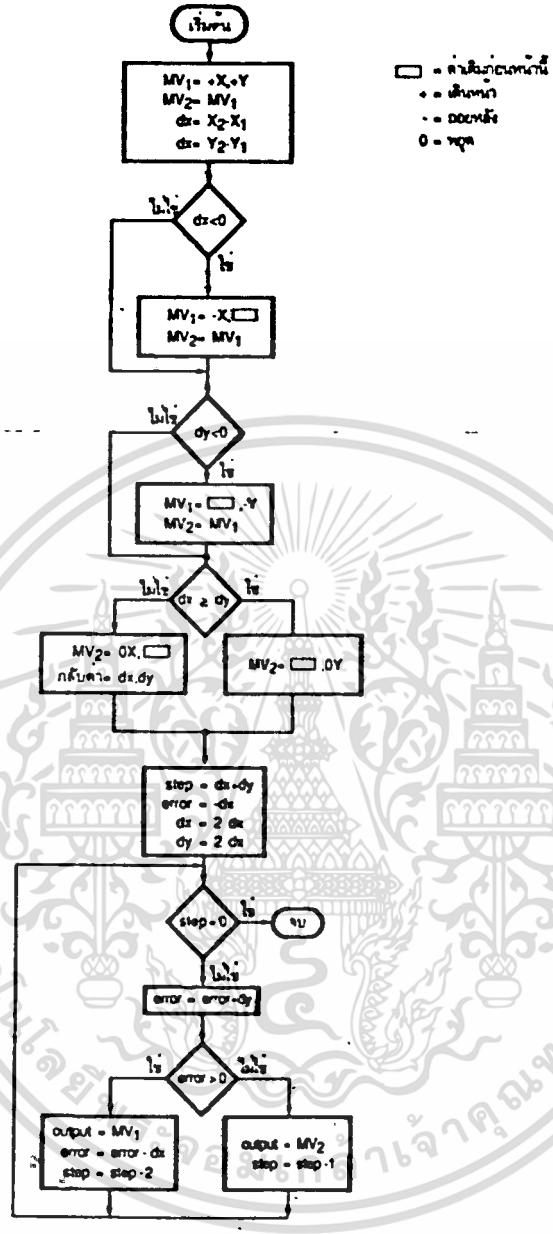
ในการหมุนของมอเตอร์เพื่อเคลื่อนที่หัวเจาะไปยังจุดต่างๆ จะเป็นไปตามสเต็ป ถ้าค่าของตำแหน่ง X และ Y มีค่าเท่ากัน ก็จะขับมอเตอร์ X และมอเตอร์ Y ไปพร้อมกันเมื่อลากเส้นจะได้เส้นเฉียง 45 องศา ถ้าค่า X หรือ Y มีค่าเป็น 0 วงจรก็จะขับมอเตอร์ตัวที่เหลือให้ทำงานลากเส้นไปทิศทางของแกนที่เหลือ แต่ถ้าค่า X และ Y มีค่าไม่เท่ากัน และ ไม่มีค่าใดเป็น 0 จะทำอย่างไรจึงจะสามารถขับมอเตอร์ให้ลากเส้นได้ตรงที่สุด

มีวิธีการหนึ่งที่ใช้ได้ดีในการควบคุมการหมุนสเต็ปปิ้งมอเตอร์คือ การใช้อัลกอริทึมของ Bresenham หลักการของอัลกอริทึมแบบนี้ก็คือ หาค่าผิดพลาดในตัวแปร (error) ซึ่งเกิดจากการเปรียบเทียบค่าในอุดมคติของแต่ละจุดกับค่าจริง ค่าผิดพลาดนี้จะเป็นข้อจำกัดทางฮาร์ดแวร์ ดังนั้นจุดที่แท้จริงในการลากเส้นคือค่าประมาณที่ใกล้เคียงที่สุด

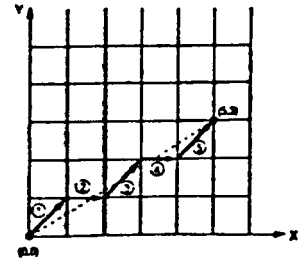
รูปที่ 2.5 เป็นโฟลว์ชาร์ตของซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคุมการลากเส้นของเครื่องเจาะ กำหนดเริ่มต้นเป็น X1,Y1 และจุดสุดท้ายเป็น (X2,Y2) ให้ dX =X2-X1 และ dY=Y2-Y1 จากนั้นดูค่าของ dX และ dY เป็นลบหรือบวก ขั้นแรกกำหนดค่า MV1 และ MV2 จากนั้นทำค่า dX,dY ให้เป็นบวก ถ้าหากค่าเดิมเป็นลบ แล้วนำมาเทียบกันระหว่าง dX กับ dY แล้วกำหนดค่าของ MV2ต่อจากนั้นก็หาลักษณะการเดินทีละสเต็ปด้วยวิธีการใช้ค่า error ส่งค่าเอาต์พุตออกไปทางมอเตอร์ด้วยค่าของ MV1 หรือ MV2 สุดท้ายลดค่า step ลงจนเป็นศูนย์ก็จะได้เส้นที่เหมือนตรงที่สุด ตารางที่ 2.4 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องเจาะ

วิธีการของการเคลื่อนที่ของหัวเจาะจะเป็นในลักษณะนี้ทั้งหมด ไม่ว่าจะเคลื่อนที่เป็นรูปวงกลม เส้นโค้งหรือเส้นลักษณะใดก็ตาม จากตัวอย่างการเคลื่อนที่ของหัวเจาะเป็นเส้นทแยงมุมในรูปที่ 2.6 จากรูปพบว่า dX=5 dY=3 ซึ่งเป็นบวกทั้งคู่ ดังนั้น MV1 = +X, +Y นำค่า dX มาเทียบกับ dY ก็จะได้ MV2= +X, 0Y เมื่อได้ค่าของ MV1 และ MV2 แล้ว ก็หาวิธีการเคลื่อนที่เป็นสเต็ปด้วยการคำนวณตามโฟลว์ชาร์ตรูปที่ 2.5 ผลการคำนวณดูได้จากตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 โฟลว์ชาร์ตของซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องเจาะ



รูปที่ 2.6 การเขียนเส้นทแยงมุม 45 องศาจากจุด(0,0) ไปยัง(5,3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dx	dy	Angle	MV1	dx> = dy		MV2
+	+	0-90	+X , +Y	Y	0-90	+X ,0Y
				N	45-90	0X , +Y
-	+	90-180	-X , +Y	N	90-135	0X , +Y
				Y	135-180	-X ,0Y
-	-	180-270	-X ,-Y	Y	160-225	-X ,0Y
				N	225-315	0X ,-Y
+	-	270-360	+X ,-Y	N	270-315	0X ,-Y
				Y	315-360	+X ,0Y

ตารางที่ 2.4 การเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องเจาะ

สเต็ป	ค่าสเต็ป	ค่า error	error > 0	เป็นค่าของ
1	8	1	ใช่	MV_1
2	6	-3	ไม่ใช่	MV_2
3	5	3	ใช่	MV_1
4	3	-1	ไม่ใช่	MV_2
5	2	5	ใช่	MV_1
–	0	–	–	–

ตารางที่ 2.5 ผลการคำนวณค่าต่างๆ ตามโฟลว์ชาร์ต เพื่อกำหนดตำแหน่งของเครื่องเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการ 035006

บทที่ 3
การคำนวณและการสร้างเครื่องเจาะ

สำหรับการออกแบบและการสร้างโครงงานนี้ จะขอแยกเนื้อหาออกเป็น 2ส่วนใหญ่ ๆ ส่วนแรกเป็นเรื่องเกี่ยวกับวงจรควบคุมการทำงานของเครื่องเจาะ ในส่วนที่สองเป็นเรื่องเกี่ยวกับโครงสร้างและกลไกของเครื่องเจาะ

3.1 การออกแบบวงจรควบคุมเครื่องเจาะ

ในการออกแบบวงจรควบคุมเครื่องเจาะ เนื่องจากวงจรมีความซับซ้อนดังนั้นจึงขอแยกอธิบายวงจรออกเป็นส่วนเพื่อจะได้ง่ายต่อการทำความเข้าใจในการออกแบบ โครงงานนี้สามารถแยกวงจรที่สำคัญออกได้เป็น 3ภาค คือ

1. วงจรควบคุมเครื่องเจาะแกน X, แกน Y
2. วงจรควบคุมเครื่องเจาะแกน Z
3. วงจรภาคจ่ายไฟ

3.1.1 วงจรควบคุมเครื่องเจาะแกน X, แกน Y

รูปที่ 3.1 เป็นวงจรสมบูรณ์ของวงจรควบคุมเครื่องเจาะ การทำงานทั้งหมดขึ้นอยู่กับ U22 ซึ่งเป็นชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8751 ซึ่งมีอีพรอมขนาด 4 กิโลไบต์ บรรจุโปรแกรมควบคุมการทำงานไว้ภายใน U22 จะทำหน้าที่ส่งข้อมูลไปยังวงจร DAC เพื่อกระตุ้นวงจรขับมอเตอร์, ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตขนาน, ตรวจสอบสภาวะของเครื่อง

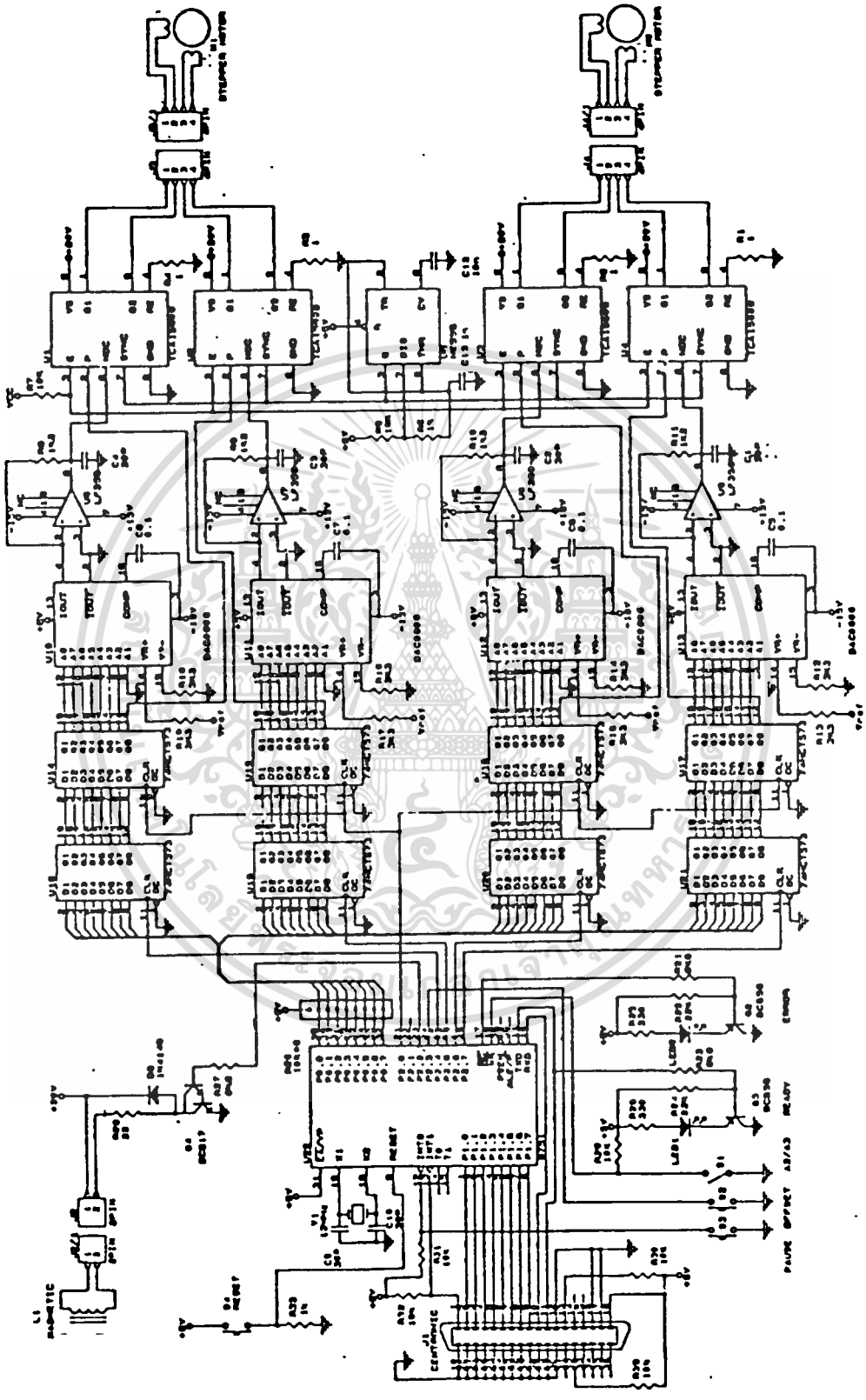
คำสั่งจากคอมพิวเตอร์จะถูกส่งผ่านเข้ามาทาง J1 ซึ่งเป็นคอนเน็กเตอร์แบบเซ็นทรอนิกส์ ข้อมูลจะถ่ายทอดเข้าไยังพอร์ต 1 ของ U22 ส่วนสัญญาณควบคุมอื่นๆ เช่น ACK, strobe หรือ busy ก็จะต่อเข้ากับ RXD, INT และ TXD ของ U22 ตามลำดับ

ข้อมูลที่จะใช้ในการควบคุมมอเตอร์และกลไกต่างๆ จะถูกส่งออกมาจากพอร์ต 0 ของ U22 ผ่านบัฟเฟอร์ 2 ทิศทาง 3 สถานะ U18,U14,U19,U15 เบอร์ 74HCT573 เข้าไปยัง U10 และ U11 เบอร์ HAC0808 ซึ่งทำงานร่วมกับ U6 และ U7 เบอร์ LF256 เพื่อเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอก ซึ่งจะได้เป็นกระแสนอมินอล (nominal current) ส่งไปเข้า U1 และ U2 เบอร์ TCA1560B เพื่อขับมอเตอร์ต่อไป ขา enable ของ U1 และ U2 จะถูกพลูอัพด้วยตัวต้านทาน R7 เพื่อรักษาสถานะลอจิกให้เป็น "1" ไว้ ส่วนขา Phase ได้รับสัญญาณควบคุมมาจากบิตที่1 ของข้อมูล ซึ่งก็มาจากขา 12 ของ U14 และ U15 ที่อธิบายมาทั้งหมดข้างต้นเป็นการควบคุมมอเตอร์ M1 ส่วนการควบคุมมอเตอร์ M2 จะมีลักษณะเช่นเดียวกัน

U5 เบอร์ NE555 ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณซิงค์ควบคุมการขับมอเตอร์ทั้ง M1 และ M2 ให้มีความสอดคล้องกัน เพื่อให้จุดและตำแหน่งของการวางหัวเจาะของเครื่องเจาะถูกต้อง

L1 เป็นขดลวดโซลินอยด์ที่ทำหน้าที่ยกและวางหัวเจาะ จะมีกลไกและตัวจับสว่านเชื่อมต่อเข้ากับ L1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 วงจรสมบูรณ์ของวงจรควบคุมเครื่องเจาะแกน X, แกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้ สัญญาณควบคุมให้ยกหรือวางหัวเจาะได้มาจากพอร์ต 2.2 ของ U22 ผ่านทรานซิสเตอร์ Q4 ถ้าพอร์ต 2.2 นี้มีสถานะเป็น "1" Q4 จะทำงานทำให้มีกระแสไหลผ่าน L1 ก็จะเป็นการวางหัวเจาะลง เพื่อเจาะ ในทางตรงข้าม ถ้าเป็น "0" Q4 ไม่ทำงาน ไม่มีกระแสไหลผ่าน L1 จะเป็นการยกหัวเจาะขึ้น

Q3 ต่อร่วมกับ LED1 ทำหน้าที่แสดงสภาวะความพร้อมของเครื่องเจาะ ถ้าเครื่องเจาะพร้อมทำงาน Q3 จะได้รับสัญญาณสถานะ "0" ทำให้ Q3 ทำงาน LED1 ก็จะติดสว่าง นั่นหมายความว่า ขณะนี้เครื่องเจาะพร้อมทำงานแล้ว

ส่วนการแสดงสภาวะผิดพลาด (error) ของเครื่องเจาะ ทรานซิสเตอร์ Q2 เบอร์BC556 ต่อร่วม LED2 เป็นอุปกรณ์หลักที่ทำหน้าที่นี้ เมื่อเกิดความผิดพลาดจากการอ่านข้อมูล ที่ขา 17 ของ U22 จะมีสถานะเป็น "0" ทำให้ Q2 ทำงาน LED2 ติดสว่างแจ้งว่าเกิดความผิดปกติในการใช้งานแล้ว

3.1.2 วงจรควบคุมเครื่องเจาะแกน Z

การทำงานของวงจรจากรูปที่ 3.2 การทำงานจะเริ่มต้นที่ไอซีตั้งเวลาเบอร์ 555 ที่ต่อในลักษณะวงจรอะสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์ ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม ความถี่ 3-150Hz ขึ้นมาโดยสามารถปรับความถี่ได้ด้วย VR1 สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้จะป้อนให้ IC2 ซึ่งทำหน้าที่จัดดิวตี้ไซเกิ้ลของสัญญาณสี่เหลี่ยมให้ได้ 50 เปอร์เซนต์ ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ 7474 ต่อในลักษณะ T ฟลิปฟลอบ จากนั้นสัญญาณที่มีดิวตี้ไซเกิ้ล 50 เปอร์เซนต์ ที่ออกที่ขา Q และ Qบาร์ จะนำไปป้อนให้ IC4/1 ซึ่งเป็น D ฟลิปฟลอบ เบอร์ 7474 ที่จะทำงานได้ที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา

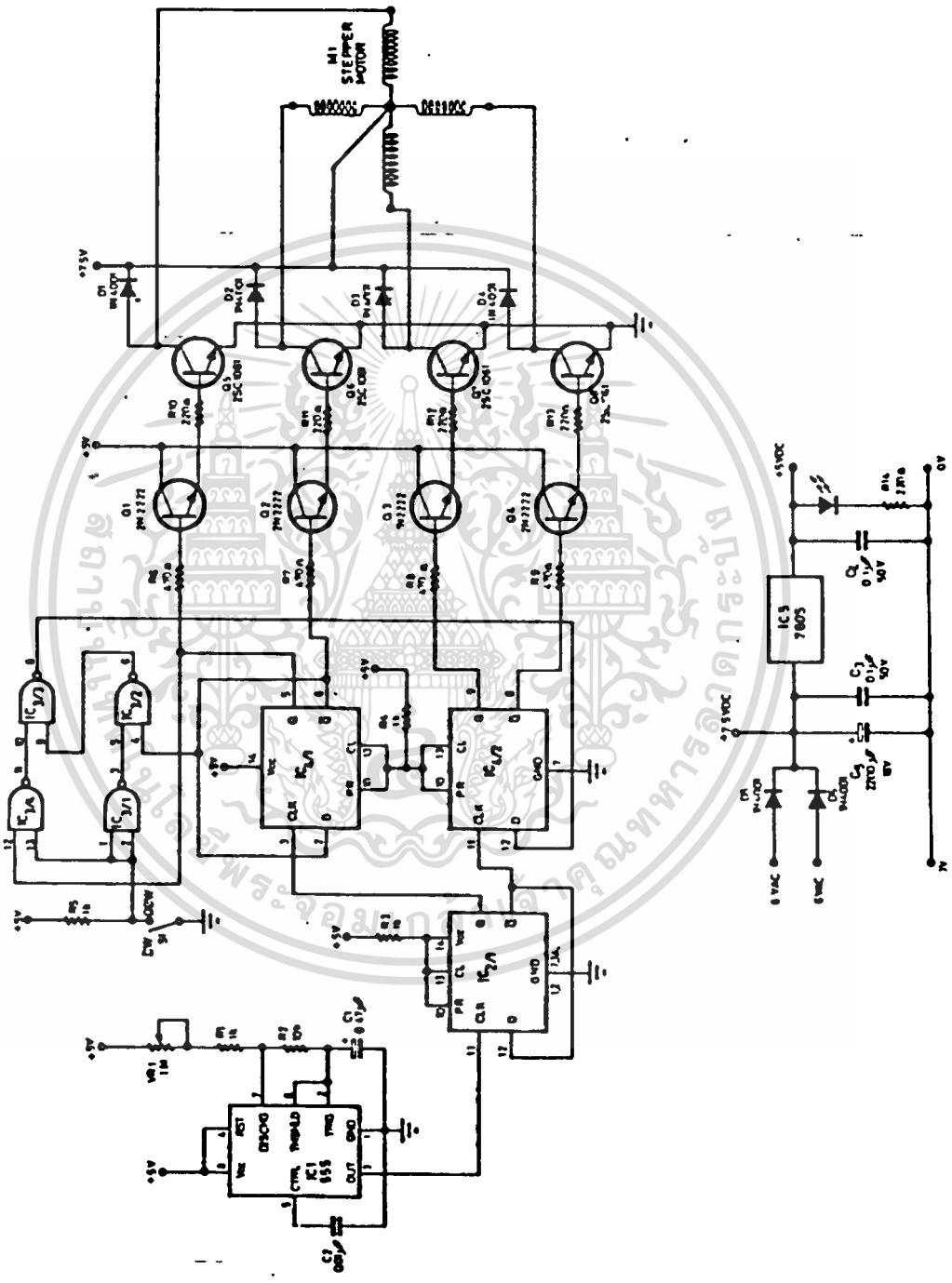
ดังนั้น การทำงานของ IC4/1 และIC4/2 จึงเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน โดย IC4/1 จะทำงานก่อน IC4/2 ซึ่งในวงจรนี้เราต่อ IC4 เป็น T ฟลิปฟลอป IC4/2 จะรับข้อมูล"0" หรือ "1" มาจาก IC3 อีกทีหนึ่งข้อมูลที่รับมานี้จะตรงกับข้อมูลของ IC4/1 หรือตรงข้ามกับ IC4/1 ขึ้นอยู่กับสวิตช์ S1 คือถ้า S1 อยู่ที่ตำแหน่ง CW เมื่อขา D ของ IC4/1 เป็น "0" IC4/2 ก็จะได้ข้อมูลที่ขา D เป็น "1" นั่นก็คือ ถ้า S1 อยู่ที่ CW IC4/1 และ IC4/2 จะมีข้อมูลเหมือนกันแต่ถ้า S1 อยู่ที่ CCW IC4/1 และ IC4/2 จะได้รับข้อมูลที่ต่างกัน

เอาต์พุตที่ได้จาก IC4 คือที่ขา 5, 6, และขา 8 จะนำไปป้อนให้กับ Q1-Q4 ตามลำดับ เพื่อใช้ขับ Q5-Q6 โดยสัญญาณใช้ขับ Q5-Q8 มีลักษณะดังรูปที่ 3.3

จากแผนผังเวลาที่ได้ดังรูปที่ 3.3 จะเห็นได้ว่า มีการขับในลักษณะกระตุ้น 2เฟส ซึ่งมีข้อดีคือ แรงบิดสูงดังที่ได้อธิบายแล้วในตอนต้น ซึ่งจากแผนผังเวลาที่ได้เมื่อ S1เปิดวงจร จะเห็นว่ามีการทำงานเรียงกันไปตามลำดับคือ Q8-Q6, Q6-Q7, Q7-Q5, และQ5-Q8 จากนั้น ก็จะวนไปให้ Q8 และ Q6 ทำงานอีก จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุนได้ในลักษณะทวนเข็มนาฬิกา แต่ถ้า S1 เปิดวงจร(CW) ทรานซิสเตอร์ที่ทำงาน คือ Q7-Q6, Q6-Q8, Q8-Q5 และQ5-Q7 แล้ววนกลับไปที่ Q7-Q6 อีกครั้ง ซึ่งจะทำให้มอเตอร์หมุนกลับทางกับครั้งแรก

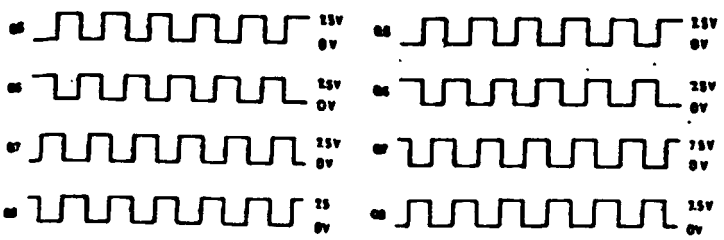
ส่วนไดโอด D1-D4 ที่ตกคร่อมขดลวดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์นั้น ทำหน้าที่ป้องกันแรงดันย้อนกลับซึ่งเกิดขึ้นจากขดลวดของมอเตอร์ ขณะที่ทรานซิสเตอร์หยุดทำงาน เพื่อป้องกันไม่ให้ทรานซิสเตอร์เสียหาย สำหรับชุดจ่ายไฟของวงจรในส่วนเลี้ยงมอเตอร์สามารถเปลี่ยนได้ตามขนาดของมอเตอร์ว่าใช้ไฟเลี้ยงกี่โวลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 วงจรสมบูรณ์ของวงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์แกน Z

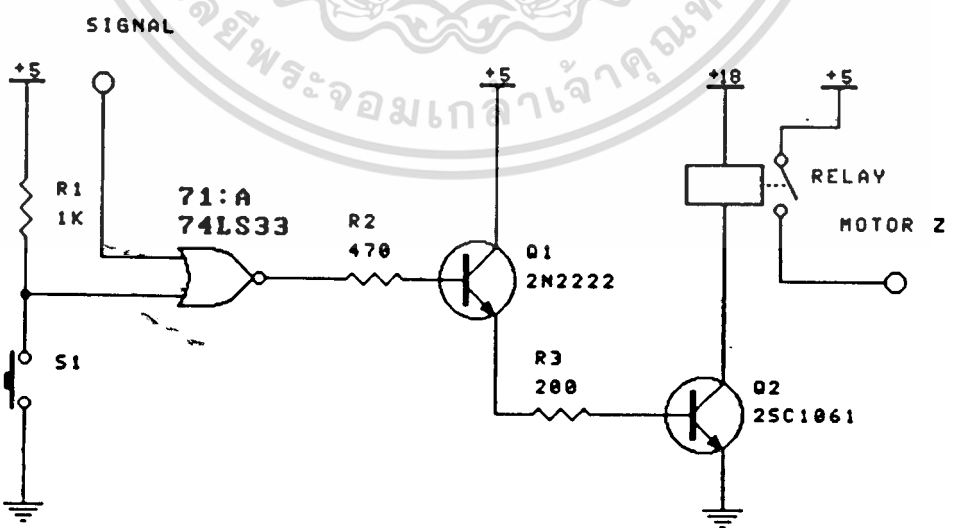
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แผนผังเวลาที่ Q5-Q8

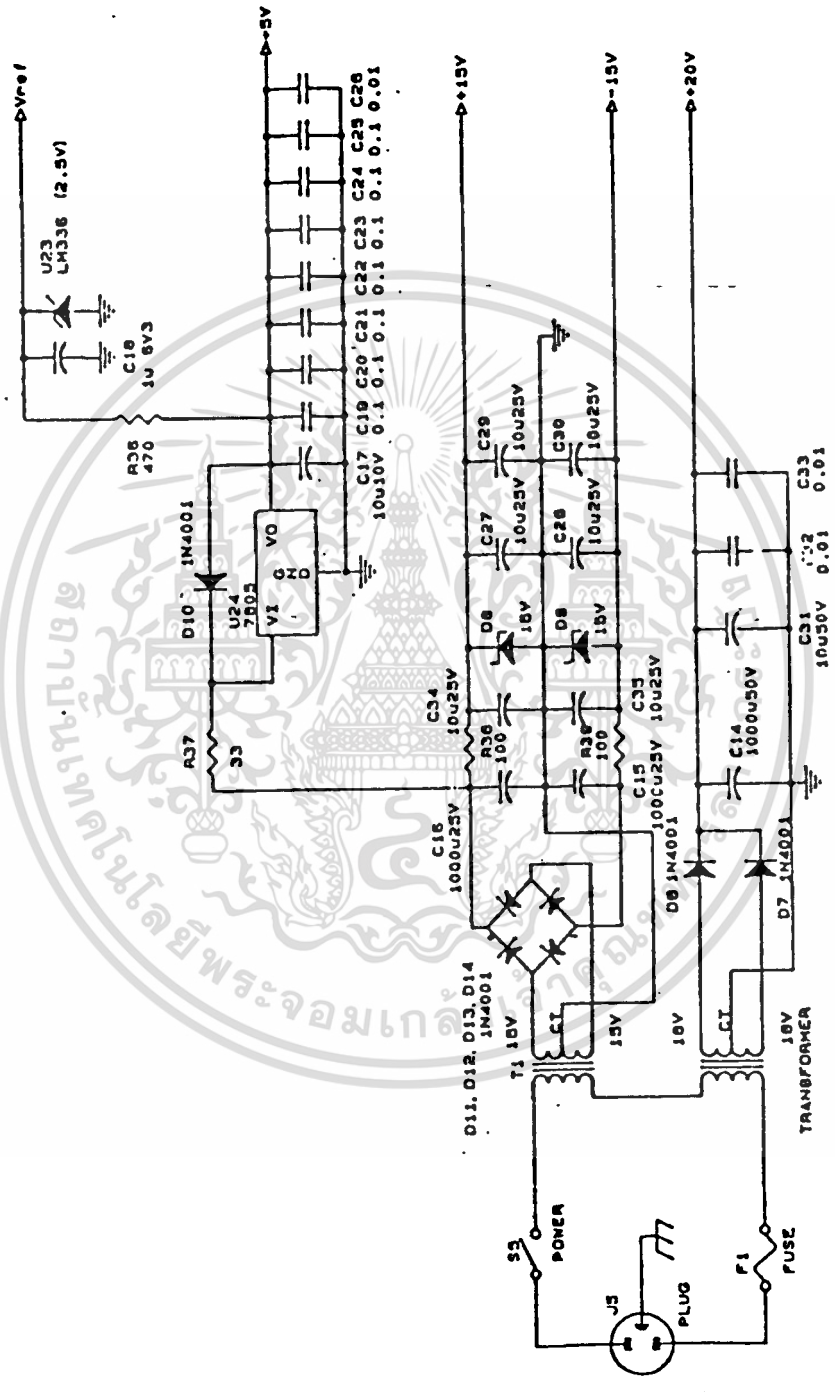
จากวงจรในรูปที่ 3.4 นอร์เกตทำหน้าที่ตรวจสอบสัญญาณที่ส่งมายังมอเตอร์แกน Z ว่าต้องการให้มอเตอร์เจาะลงหรือขึ้น ถ้าสัญญาณ(Signal)เป็น "0" และสัญญาณที่สวิทช์1 ถูกกดติดอยู่ จะทำให้ขาอินพุทของนอร์เกตทั้ง 2ขาเป็น "0" เอาท์พุทที่ได้จึงกลายเป็น "1" ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 ทำงาน รีเลย์ซึ่งปกติปิดก็จะเปิดออกเป็นการตัดไฟที่จะไปเลี้ยงมอเตอร์สเต็ปปิ้งแกน Z นั่นแสดงว่า มอเตอร์คอกเจาะได้ขึ้นไปจนสุดแล้ว ถ้ามีสัญญาณ "1" ที่ขาซิกแนล ไม่ว่าสวิทช์ 1 จะมีสถานะอย่างไรก็ตาม สัญญาณเอาท์พุทของนอร์เกตจะกลายเป็น "0" ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และQ2 อยู่ในสภาวะ "OFF" มอเตอร์แกน Z จะหมุนหัวเจาะลงมาเพื่อเจาะแผ่นวงจรพิมพ์

สำหรับผู้สนใจท่านใดที่ต่อวงจรตามนี้แล้วมอเตอร์หมุนกลับทางกันก็ไม่ต้องตกใจ เพราะอาจจะเกิดจากเหตุผลสองประการ คือ เกลียวที่ใช้ขับมอเตอร์แกน Z อาจจะเกลียวขวา ซึ่งต่างจากโครงงานนี้ที่ใช้เกลียวซ้าย อีกเหตุผลหนึ่งคืออาจจะมีการกลับเฟสของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แกน Z ก็เป็นได้ วิธีแก้คือ กลับขั้วสเต็ปปิ้งมอเตอร์แกน Z ก็จะได้ผลรับตามที่ต้องการ



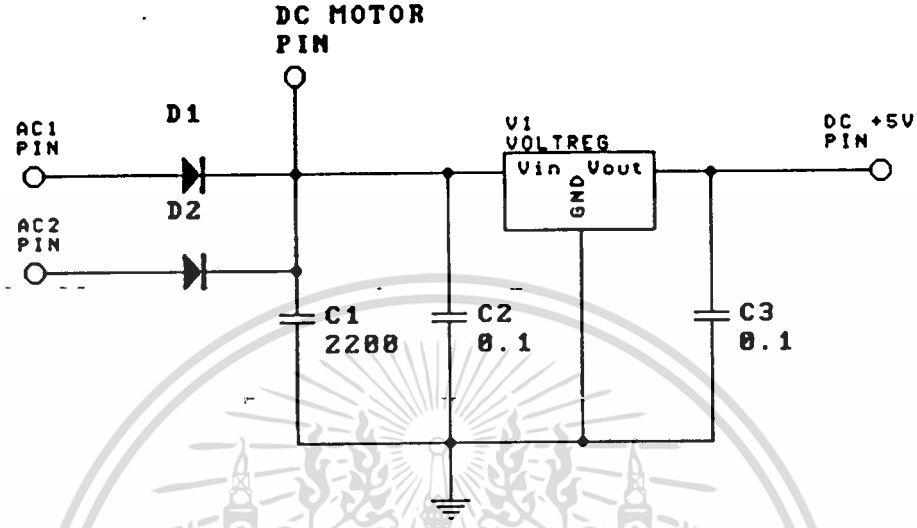
รูปที่ 3.4 คอนโทรลการเคลื่อนที่ของมอเตอร์แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจรภาคจ่ายไฟของเครื่องเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ภาคจ่ายไฟมอเตอร์แกน Z และส่วนเจาะ

3.1.3 วงจรภาคจ่ายไฟ

วงจรของภาคจ่ายไฟแสดงในรูปที่ 3.6 หม้อแปลง T1 จะเป็นหม้อแปลงลดขนาดแรงดันจาก 220 โวลต์ มาเป็น 15-0-15 โวลต์ชุดหนึ่ง และ 18-0-18 โวลต์อีกชุดหนึ่ง แล้วผ่านการเร็กติไฟร์และกรองแรงดันด้วย D6-D7, D11-D14, C14-C16 แรงดันบวกลบ 15 โวลต์ได้จากการควบคุมแรงดันโดย D8 และ D9 ซึ่งเป็นซีเนอร์ไดโอด 15 โวลต์ และกรองแรงดันที่เอาต์พุตอีกครั้งด้วย C27-C30

แรงดันที่กรองแล้วจาก C16 จะถูกส่งผ่านไปยัง U24 เพื่อควบคุมแรงดันให้ได้ 5 โวลต์ โดยมี C17,C19-C26 กรองแรงดันและกรองสัญญาณรบกวนความถี่สูงที่เอาต์พุตของ U24 อีกครั้ง แรงดัน Vref ได้มาจากแรงดัน 5 โวลต์ ผ่าน R26 และ ถูกควบคุมให้คงที่ด้วย U23 เบอร์ LM336

ส่วนแรงดันไฟเลี้ยง L1 ขนาด +20 โวลต์ ก็ได้จากการเร็กติไฟร์และกรองแรงดันโดย D6,D7 และ C14,C31-C33

3.1.4 การสร้างวงจรส่วนควบคุมทั้งหมดและประกอบ

ส่วนควบคุมของแกน X และแกน Y ทั้งหมดรวมทั้งภาคจ่ายไฟจะถูกบรรจุลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้า ชนิดเพลตทรูโฮลด์แผ่นเดียว วงจรควบคุมในแกน Z จะแยกแผ่นวงจรพิมพ์ออกเป็น 2 แผ่น เนื่องจากมอเตอร์สเต็ปปิ้งในแกน Z จะใช้กระแสสูงกว่าทำให้เกิดความร้อนมาก

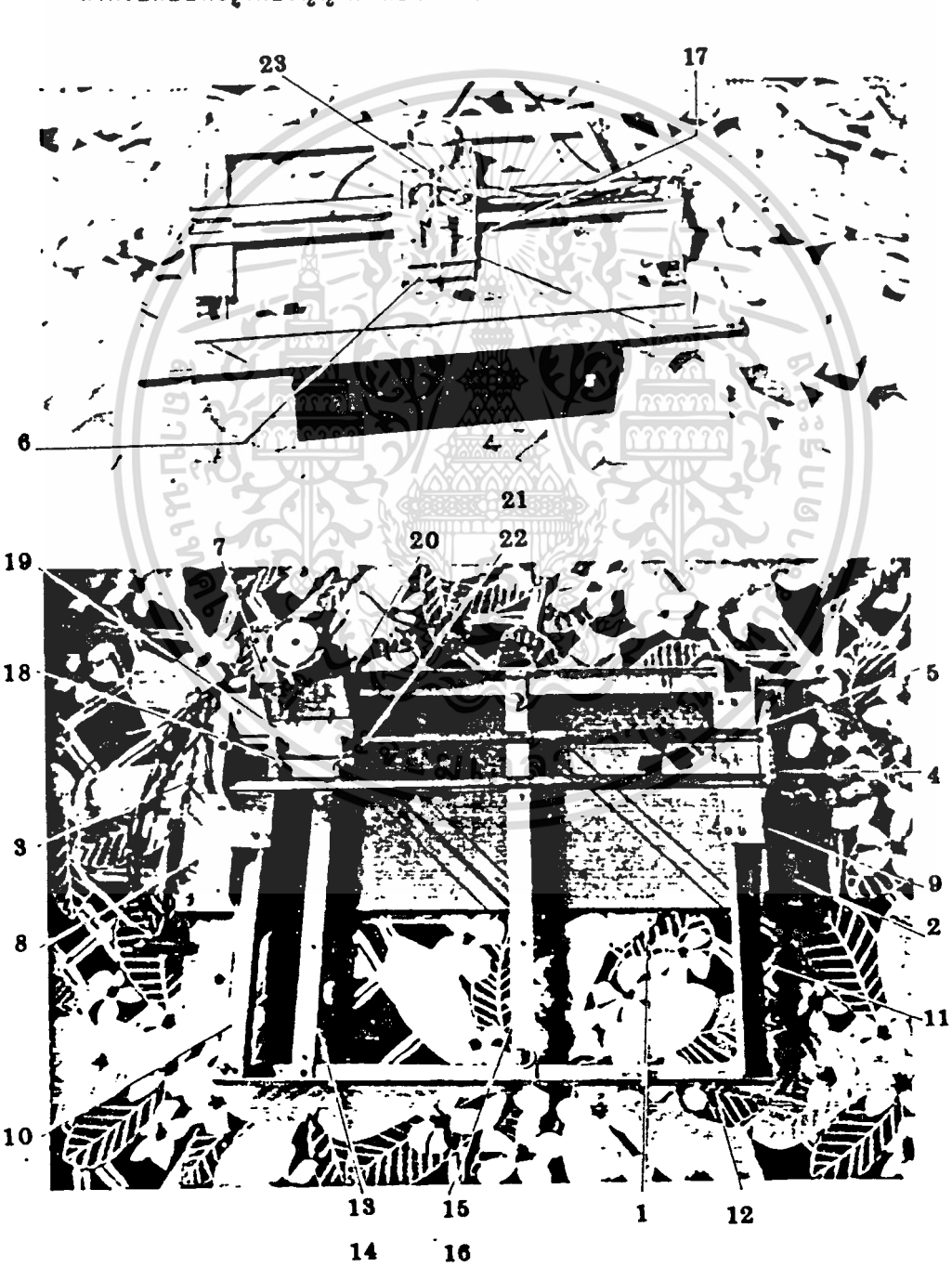
ไอซีทุกตัวต้องใส่ซ็อกเก็ตด้วยเพราะมีโอกาสเสียได้ง่าย ยกเว้น U1-U4 , U23 และ U24 ที่ U24 ควรใส่แผ่นระบายความร้อน ด้วยเหตุผลที่ U1-U4 ไม่ต้องใส่ซ็อกเก็ตก็เพื่อต้องการให้ตัวไอซีสามารถระบายความร้อนและให้กระแสไหลผ่านได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบกลไก

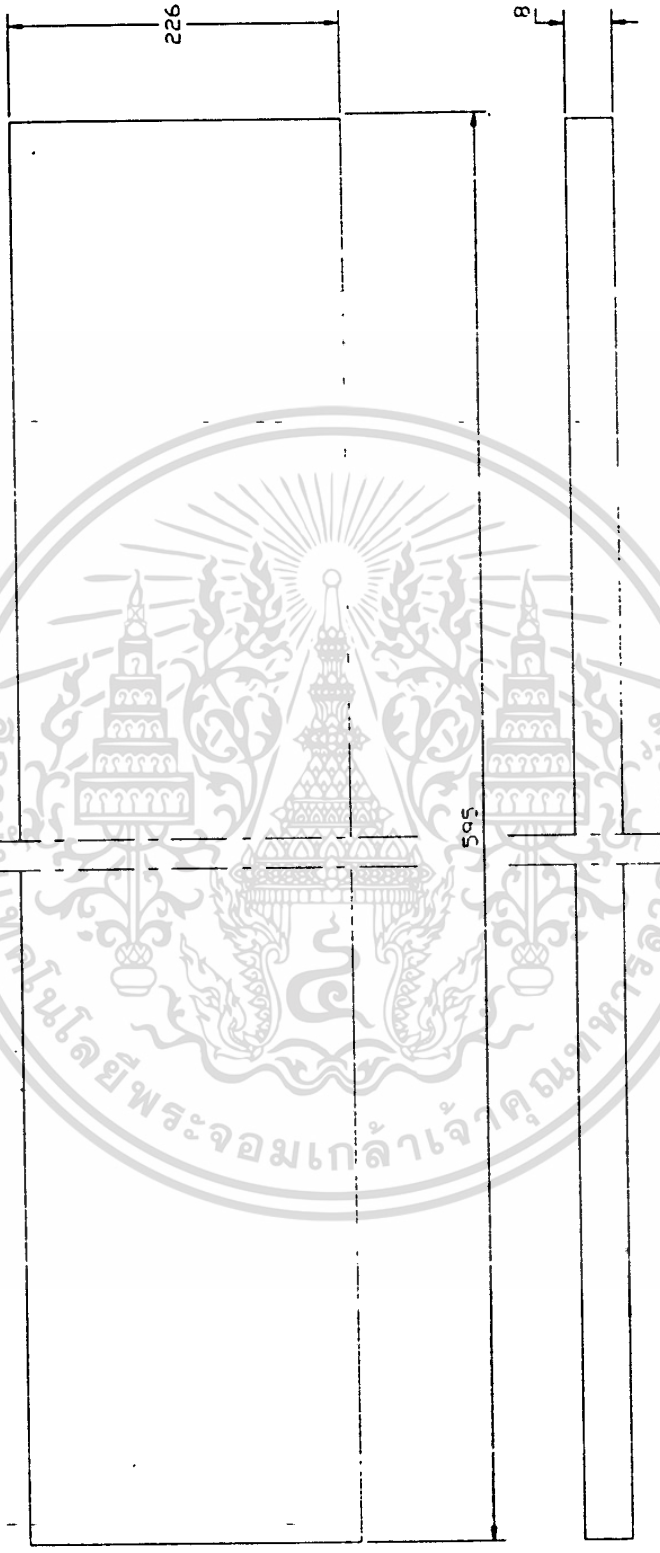
ในขั้นตอนการออกแบบและประกอบกลไกนั้น สามารถใช้แบบที่อยู่ในปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้ทันที ส่วนขั้นตอนการขึงลวดสลิงนั้นจะพันกี่รอบก็ได้แต่มีข้อควรระวังอยู่ 2ข้อ ข้อแรกคือ ต้องขึงลวดสลิงให้ตึงตลอดทั้งเส้นเพราะจะทำให้ความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของหัวเจาะไม่มี ส่วนข้อสองเวลาพันลวดสลิงเข้ากับมูเล่ต้องไม่ให้เกิดการซ้อนกันของลวดสลิงเพราะรัศมีจะเกิดการเปลี่ยนแปลง และมีผลต่อความแม่นยำของตำแหน่งในการเคลื่อนที่ของหัวเจาะ

สำหรับแบบที่อยู่ในปริญญานิพนธ์เล่มนี้ใช้หน่วยเป็นมิลลิเมตร



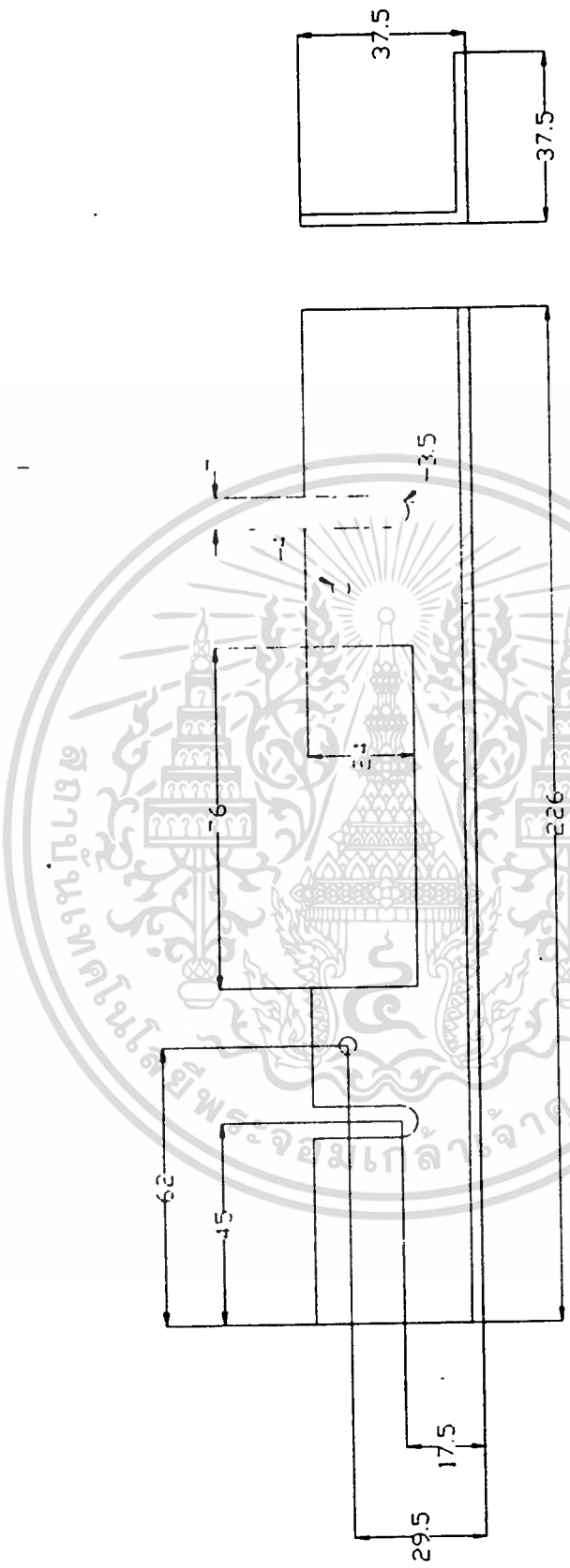
รูปที่ 3.7 แสดงโครงงานชำรีรูปและหมายเลขชิ้นงานทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



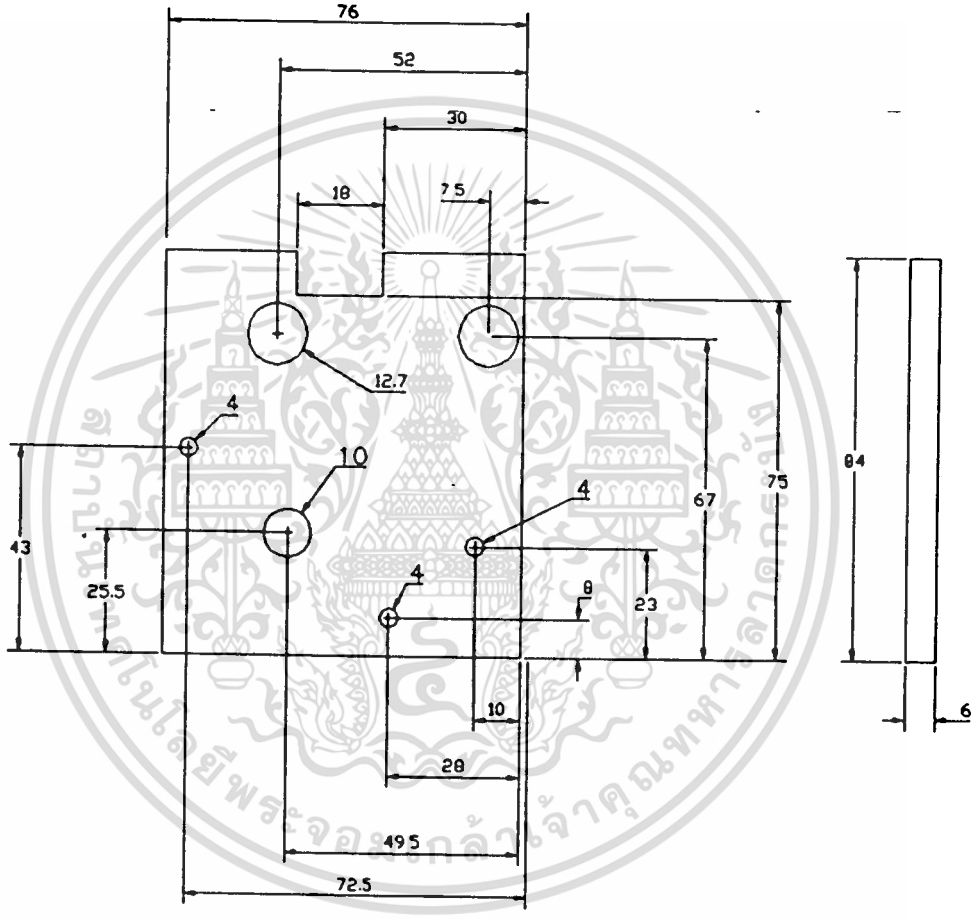
รูปที่ 3.8 แสดงชิ้นงานหมายเลข 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



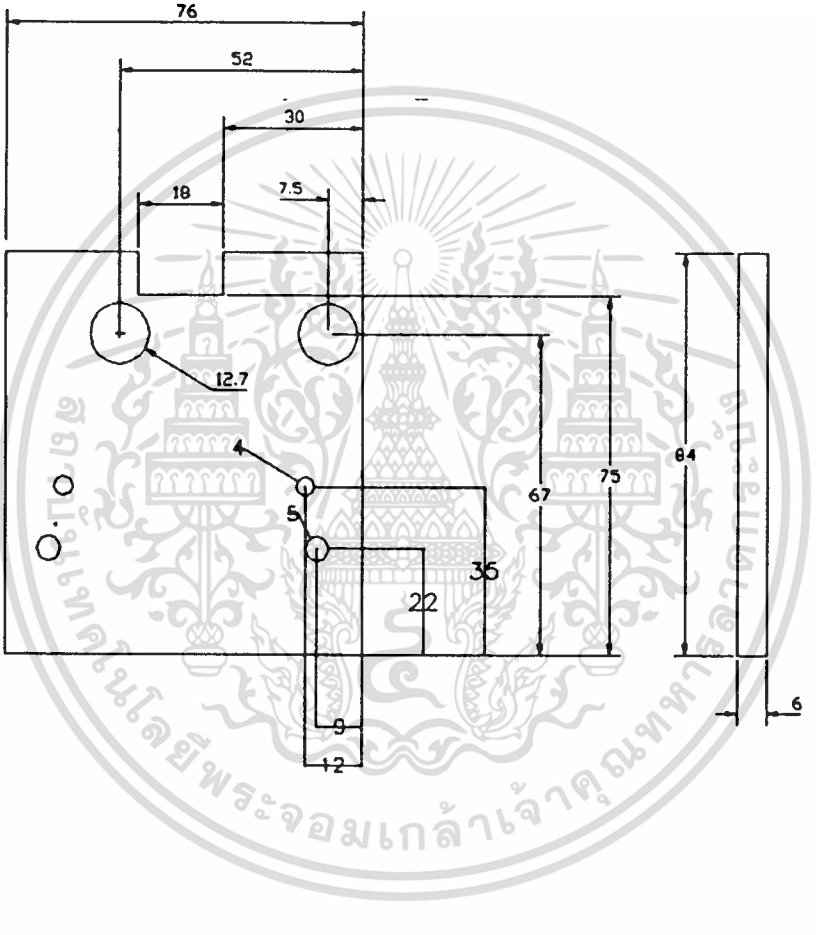
รูปที่ 3.9 แสดงชิ้นงานหมายเลข 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



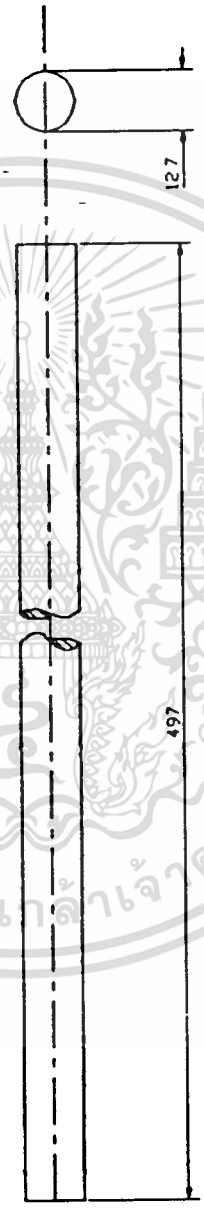
รูปที่ 3.10 แสดงชิ้นงานหมายเลข 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



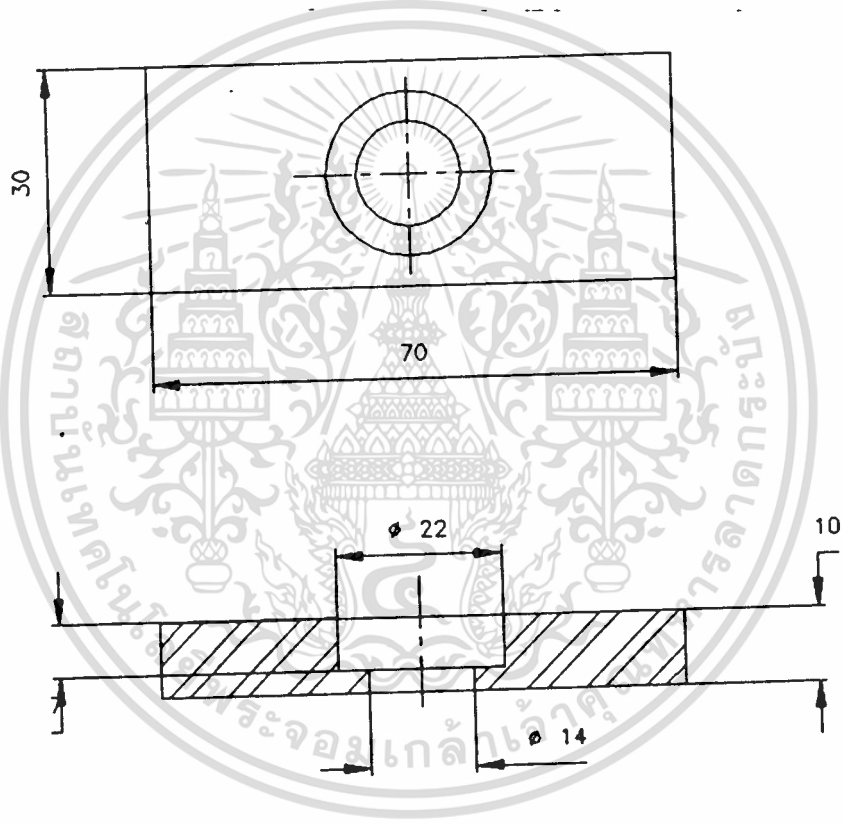
รูปที่ 3.11 แสดงชิ้นงานหมายเลข 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



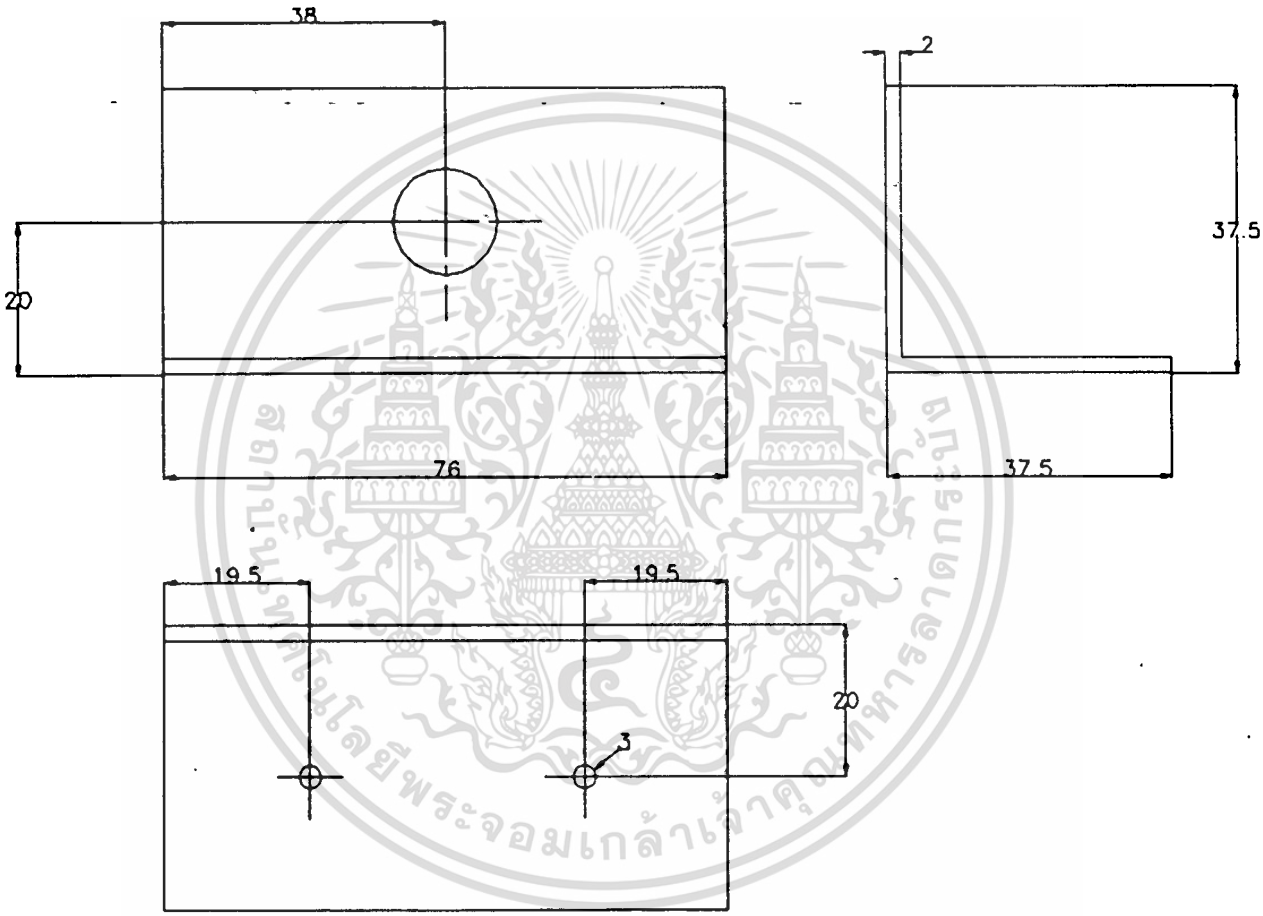
รูปที่ 3.12 แสดงชิ้นงานหมายเลข 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



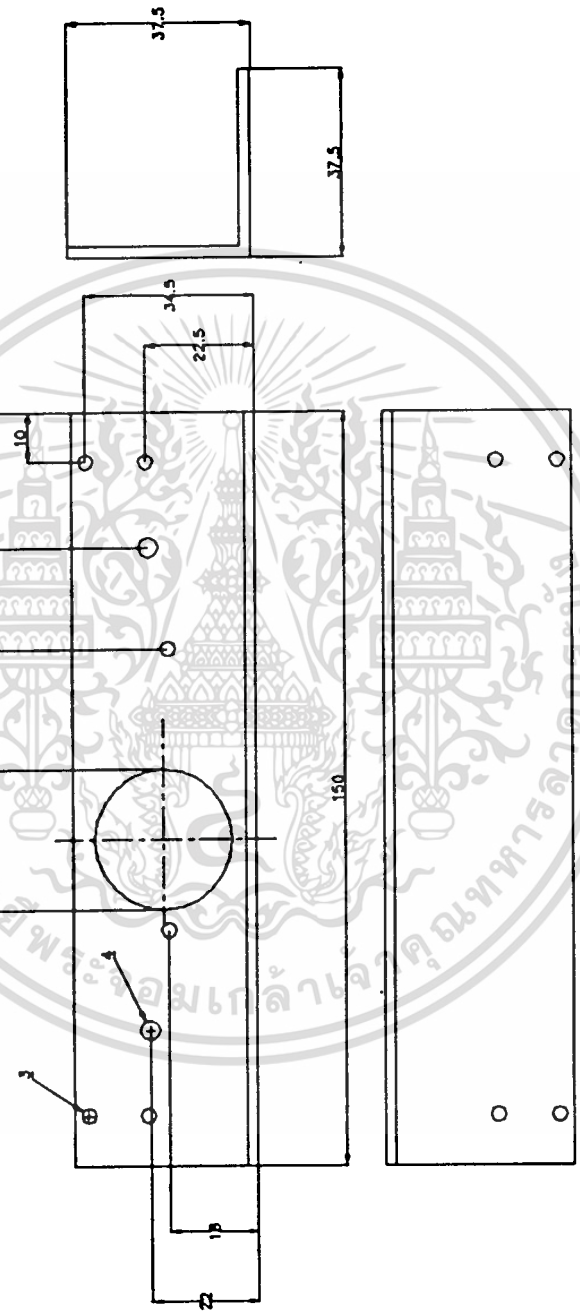
รูปที่ 3.13 แสดงชิ้นงานหมายเลข 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



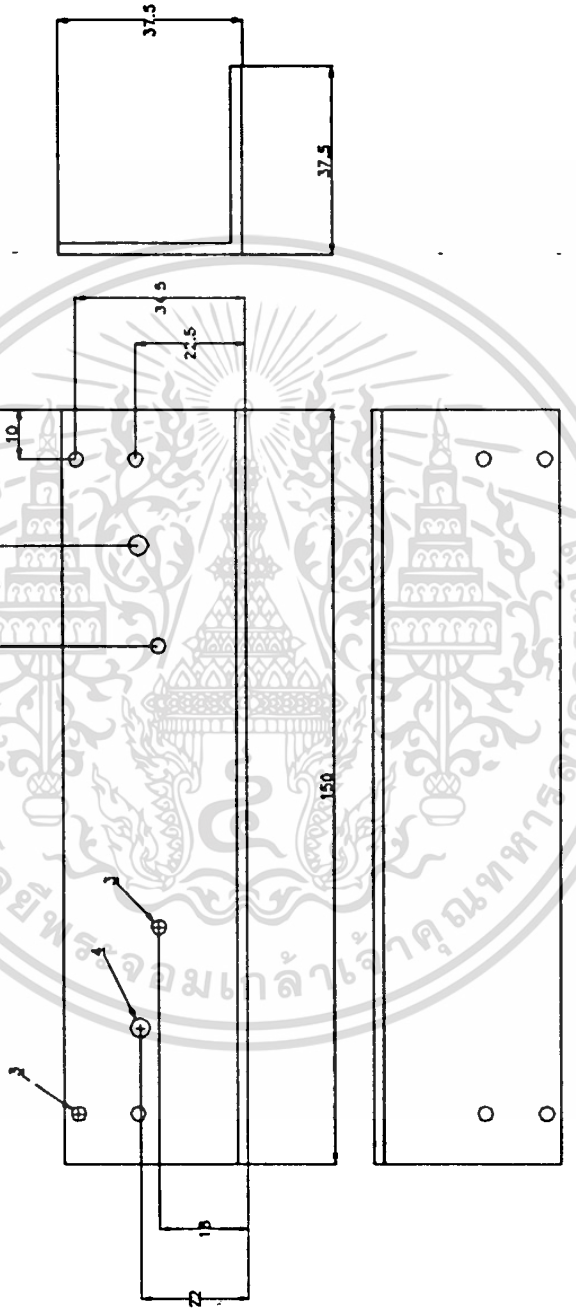
รูปที่ 3.14 แสดงชิ้นงานหมายเลข 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



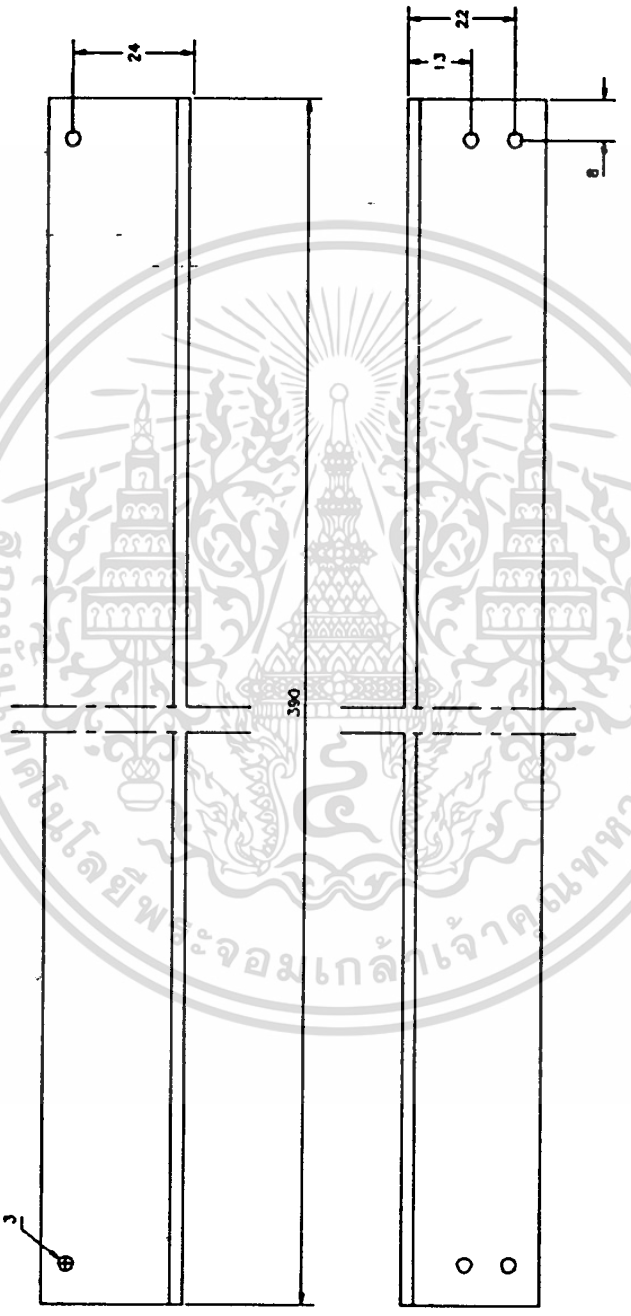
รูปที่ 3.15 แสดงชิ้นงานหมายเลข 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



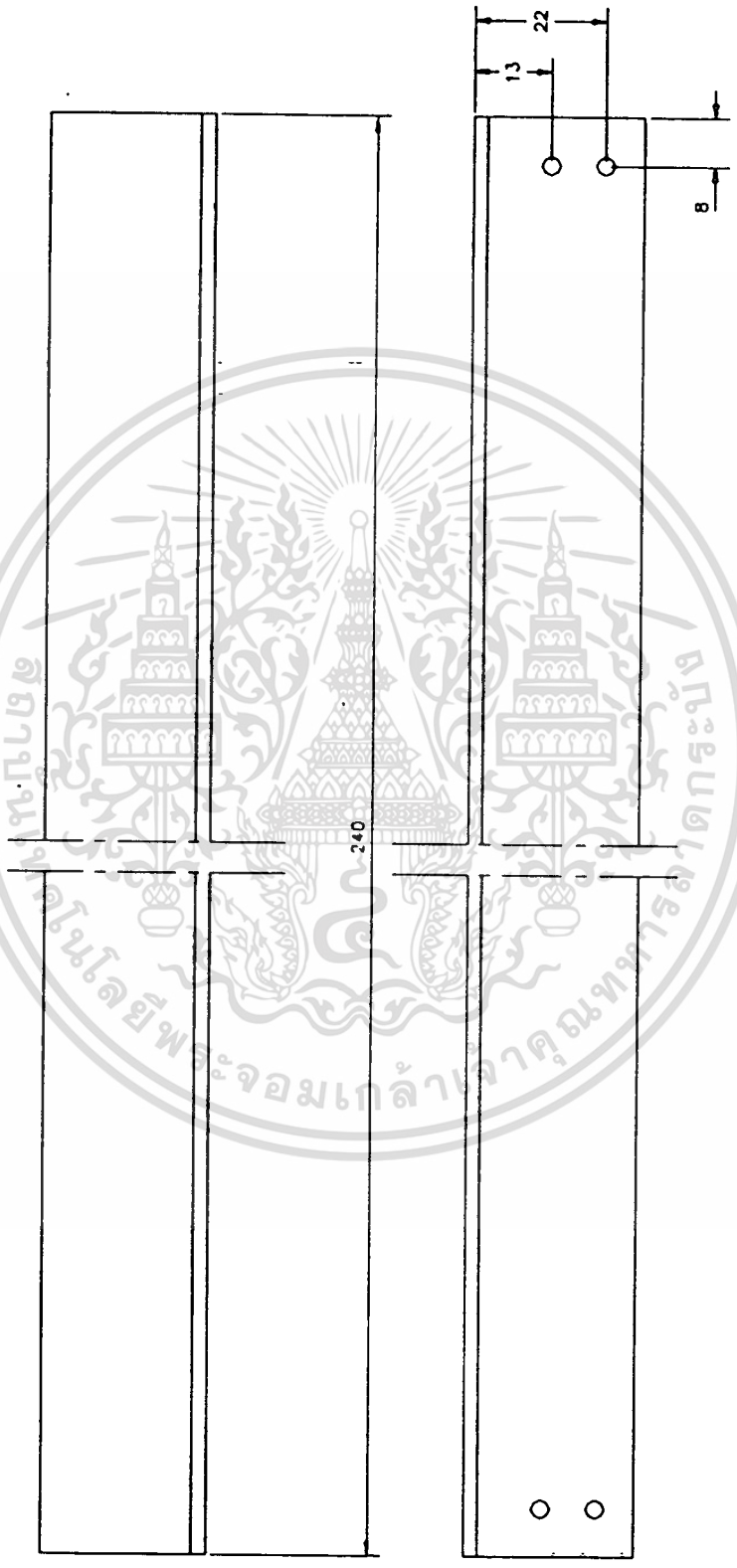
รูปที่ 3.16 แสดงชิ้นงานหมายเลข 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



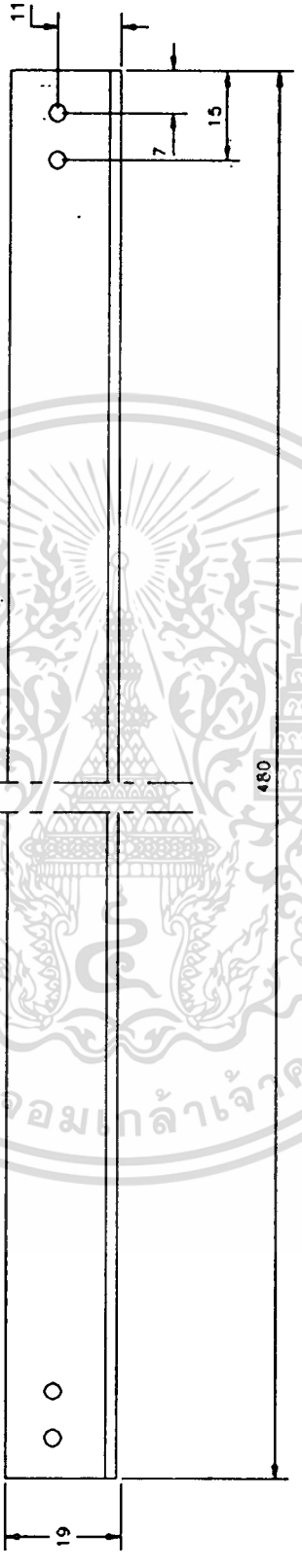
รูปที่ 3.17 แสดงชิ้นงานหมายเลข 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



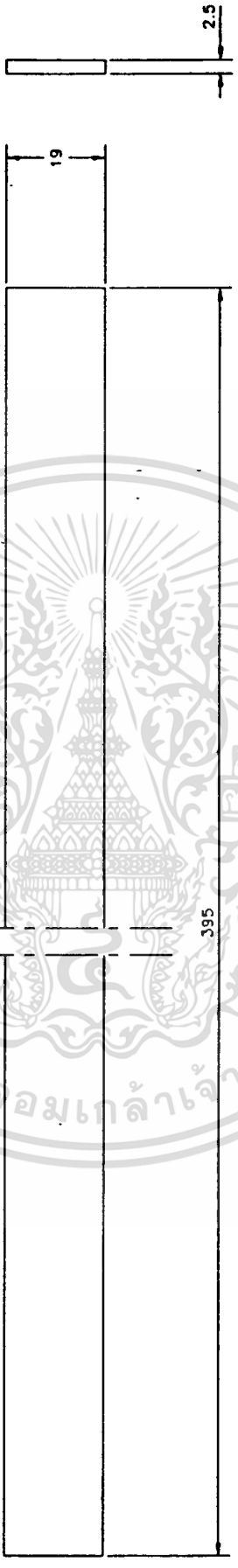
รูปที่ 3.18 แสดงชิ้นงานหมายเลข 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



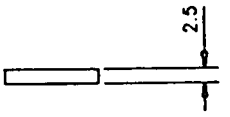
รูปที่ 3.19 แสดงชิ้นงานหมายเลข 12

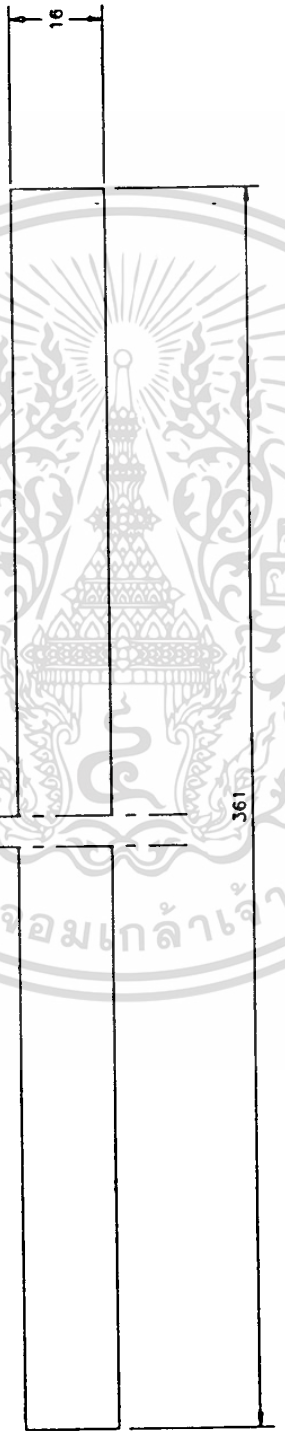
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 แสดงชิ้นงานหมายเลข 13

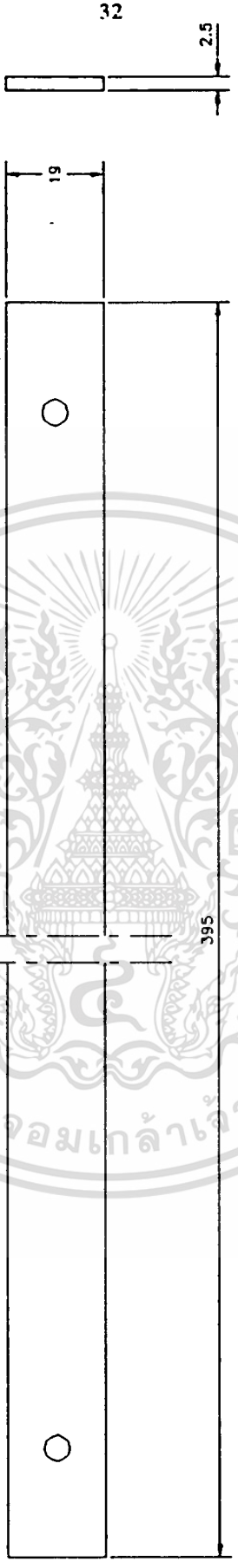
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





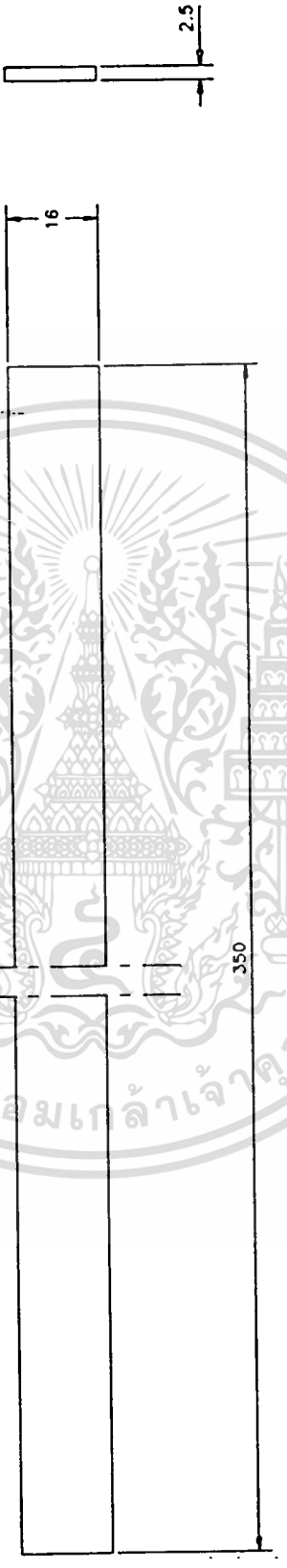
รูปที่ 3.21 แสดงชิ้นงานหมายเลข 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



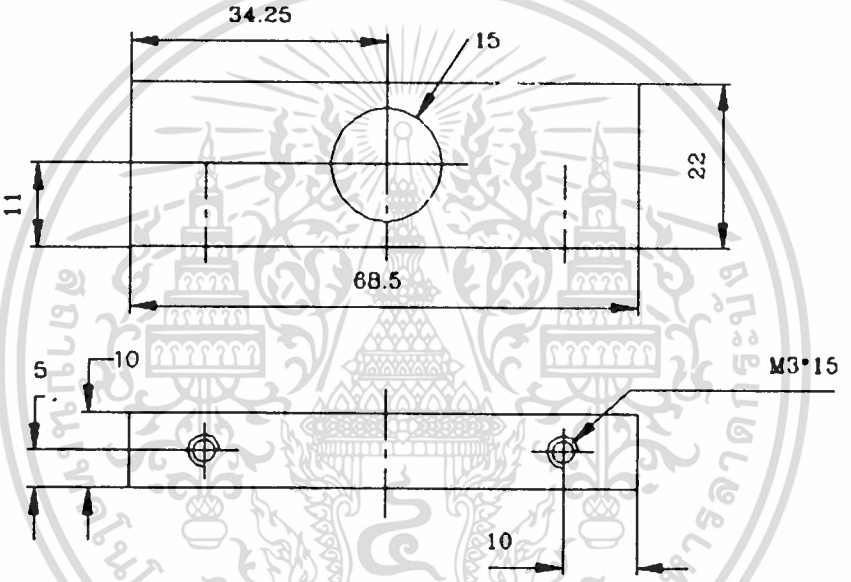
รูปที่ 3.22 แสดงชิ้นงานหมายเลข 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



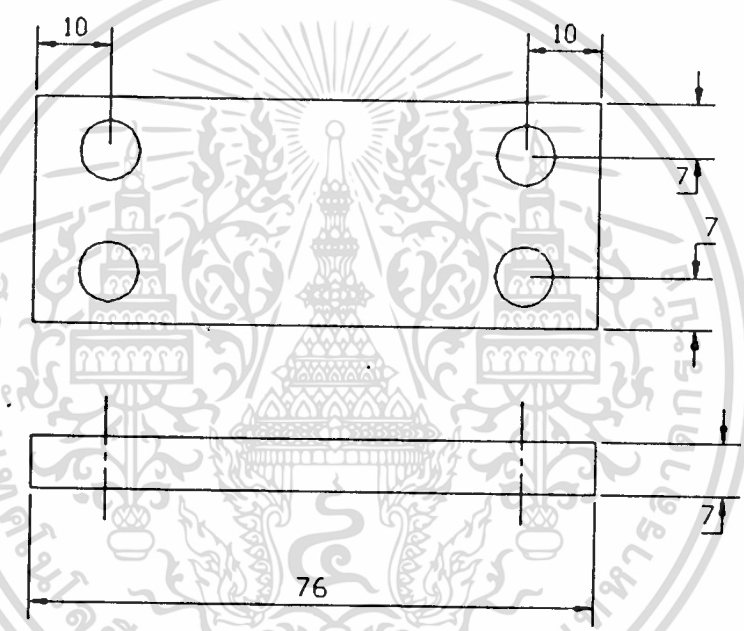
รูปที่ 3.23 แสดงชิ้นงานหมายเลข 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



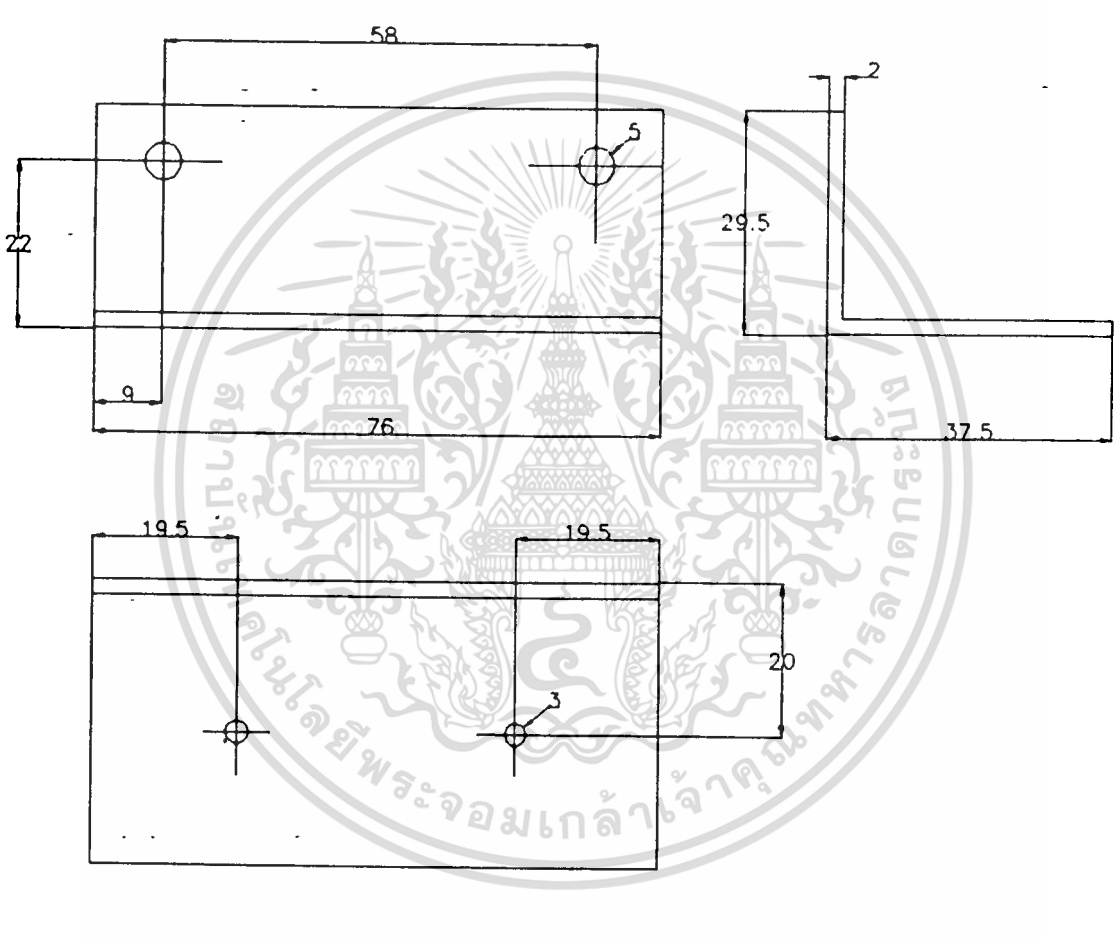
รูปที่ 3.24 แสดงชิ้นงานหมายเลข 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



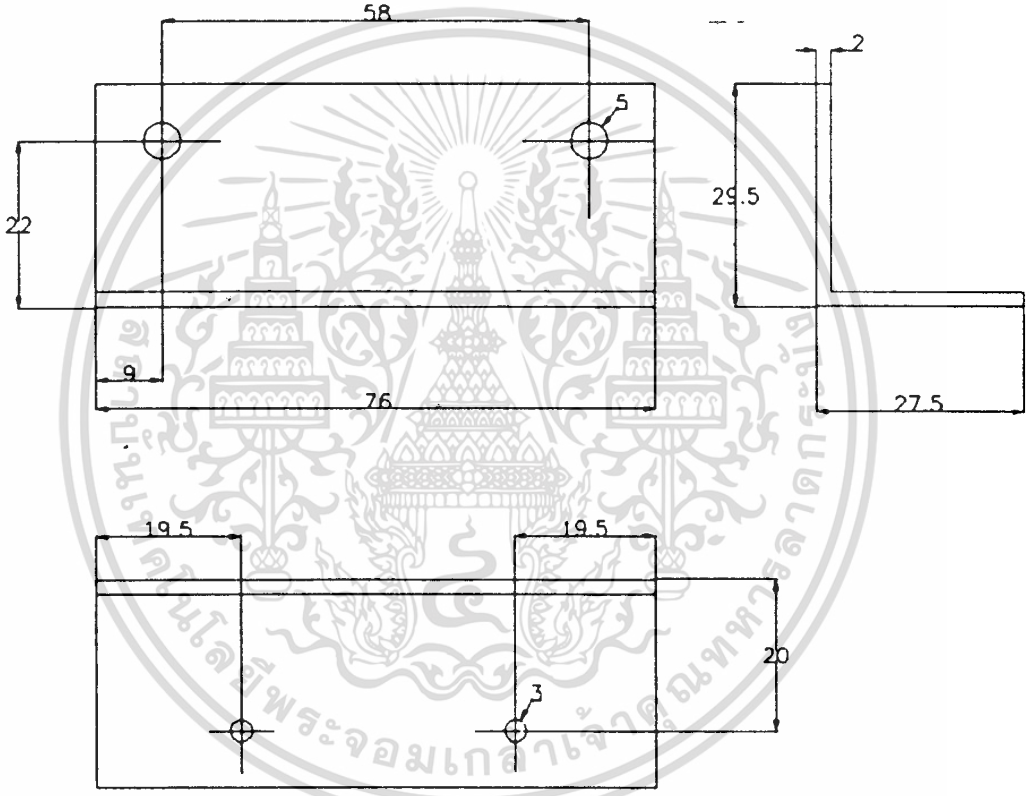
รูปที่ 3.25 แสดงชิ้นงานหมายเลข 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



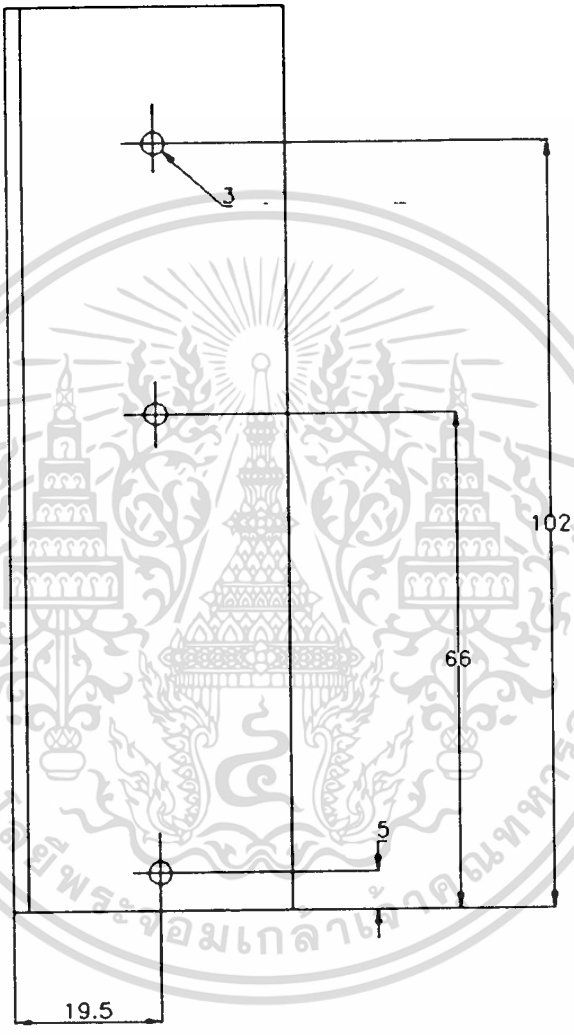
รูปที่ 3.26 แสดงชิ้นงานหมายเลข 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



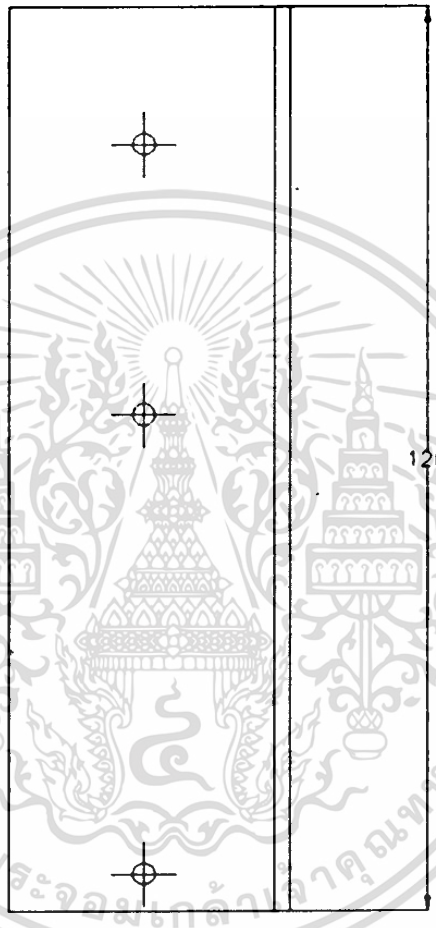
รูปที่ 3.27 แสดงชิ้นงานหมายเลข 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 แสดงชิ้นงานหมายเลข 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 แสดงชิ้นงานหมายเลข 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.30 แสดงชิ้นงานหมายเลข 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การอ่านข้อมูลของ Protel

โปรแกรมเจาะซึ่งอยู่ในส่วนหนึ่งของปริญานิพนธ์นี้ สามารถอ่านข้อมูลของไฟล์ที่เก็บข้อมูลลายวงจรที่เขียนโดย Protel Version 3.1 ลักษณะการเก็บของไฟล์ข้อมูลนี้เป็น Text File ที่เราสามารถดูข้อมูลได้ด้วย Program Word Processing ทั่วๆไป เช่น Word for Window, CU Writer ฯลฯ

โดยข้อมูลทั้งหมดของไฟล์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ได้ดังนี้

1. ส่วนเริ่มต้นของไฟล์
2. ส่วนที่เก็บคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์ที่วางอยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์
3. ส่วนที่เก็บลายเส้นของลายวงจร

ซึ่งในโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะต้องอ่านข้อมูลของส่วนที่ 2 และ ส่วนที่ 3 ตามลำดับ โดยส่วนที่สองโปรแกรมจะต้องหาตำแหน่งรูเจาะของอุปกรณ์นั้นให้ได้ และเก็บข้อมูลไว้ในตัวแปร ส่วนที่ 3 โปรแกรมจะต้องหาจุดลายเส้นเพื่อแสดงบนหน้าจอภาพให้สามารถตรวจสอบดูได้ ซึ่งทั้งสามส่วนจะมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 ส่วนเริ่มต้นของไฟล์

ไฟล์ข้อมูลที่เขียนด้วยโปรแกรม Protel ในบรรทัดแรกจะขึ้นต้นด้วย PCB FILE เสมอ ดังนั้นโปรแกรมจะอ่านข้อมูลบรรทัดแรกมาตรวจสอบว่าตรงกับ PCB FILE หรือไม่ ถ้าไม่ตรงกันแสดงว่าเป็นไฟล์ที่ไม่ใช่ข้อมูลที่เขียนขึ้นโดยโปรแกรม Protel ก็จะออกจากโปรแกรมอ่าน ถ้าตรงกันแสดงว่าเป็นข้อมูลของไฟล์ที่เขียนขึ้นโดยโปรแกรม Protel โปรแกรมก็จะทำงานต่อไป

3.3.2 ส่วนที่เก็บคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์ที่วางอยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์

ในส่วนนี้จะแบ่งออกเป็นชุดย่อยๆโดยชุดละ 1 อุปกรณ์ โดยจะเริ่มต้นที่บรรทัดว่า COMP ซึ่งย่อมาจาก COMPOMENT และจะสิ้นสุดของชุดในบรรทัดที่เขียนว่า ENDCOMP โดยย่อมาจากคำว่า END COMPOMENT ในแต่ละชุดจะมีจำนวนบรรทัดของข้อมูลไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับ ชนิดของอุปกรณ์นั้น เช่น ถ้าเป็น D (Diode) จะมีข้อมูลอยู่รวม 26 บรรทัด รวมบรรทัด COMP และ ENDCOMP ด้วย ตัวอย่างเช่น

```
COMP
D2
AXIAL0.4
diode
2569 5111 60 0 10 7
2569 5191 60 0 10 7
2600 5045 1 1 2
CP
3000 5045 62 62 1 28 1 13
2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CP

2600 5045 62 62 1 28 1 13

1

CT

2920 5045 3000 5045 12 7

CT

2600 5045 2680 5045 12 7

CT

2680 5005 2920 5005 12 7

CT

2920 5005 2920 5085 12 7

CT

2680 5085 2920 5085 12 7

CT

2680 5005 2680 5085 12 7

ENDCOMP

โดยในแต่ละชุดจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ซึ่งจะมีรายละเอียดดังนี้

3.3.2.1 ส่วนของการเก็บข้อมูลทั่วๆไปของอุปกรณ์

เช่น ชื่อของอุปกรณ์ ซึ่งเราจะป้อนตอนวางอุปกรณ์ลงบนแผ่นในโปรแกรม Protel ถ้าเราไม่ป้อนค่าโปรแกรมจะเรียงลำดับให้เป็นค่าเริ่มต้นเช่น R1, R2,และR3 ไปเรื่อยๆ เป็นต้น

ลักษณะของตัวอุปกรณ์ เช่น R, C, L, IC ซึ่งจะมีหลายแบบให้เลือก ซึ่งข้อมูลนี้จะมีเก็บไว้ใน Library ซึ่งจะต้องเลือกตอนวางอุปกรณ์ ส่วนต่อมาคือค่าของอุปกรณ์นั้นๆ ที่เราป้อนไว้อีกเช่นกัน และสองบรรทัดต่อมาคือส่วนของตำแหน่งของการวางตัวอักษรและสุดท้ายของส่วนแรกคือตำแหน่งอ้างอิงของอุปกรณ์

D2

AXIAL0.4

diode

2569 5111 60 0 10 7

2569 5191 60 0 10 7

2600 5045 1 1 2

3.3.2.2 ส่วนของการเก็บตำแหน่งของรูเจาะ

โดยจะเริ่มในส่วนนี้ด้วยบรรทัด CP และบรรทัดต่อมาคือตำแหน่งของรูเจาะ โดยพจน์แรกจะบอกตำแหน่งรูเจาะในแกน X และพจน์ต่อมาจะบอกตำแหน่งรูเจาะในแกน Y ส่วนพจน์ที่ต่อท้ายพจน์แกน Y จะเกี่ยวกับชนิดของรู เช่นขนาดของรูเจาะ ฯลฯ ซึ่งไม่มีความจำเป็นในการนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ ซึ่งจุดที่น่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนใจอยู่ที่ 2 พจน์แรกเท่านั้น ส่วนบรรทัดต่อมีจะมีเลขชุดเดียวนั้นหมายถึงลำดับของจุด CP ถ้าเป็น R จะมีค่าเป็น 0 เพราะ R ไม่มีขั้วของขาแต่ถ้าเป็น IC ในส่วนนี้จะเรียงลำดับไปเรื่อยๆ จาก 1 ถึง N ขาของอุปกรณ์นั้น นอกจากจุด CP แล้วยังมี FP อีกที่บรรทัดต่อมาเป็นตำแหน่งของหมุดย้ำ

CP

3000 5045 62 62 1 28 1 13

2

CP

2600 5045 62 62 1 28 1 13

1

3.3.2.3 ส่วนของการเก็บตำแหน่งของเส้นที่แสดงเป็นรูปอุปกรณ์

ซึ่งมีความสำคัญทำให้เห็นขนาดของอุปกรณ์ ซึ่งจะนำมาวางบนแผ่นวงจรพิมพ์ โดยส่วนนี้จะเริ่มต้นที่บรรทัด CT และบรรทัดต่อมาจะเป็นตำแหน่งของลายเส้น โดยพจน์แรกจะเป็นพจน์ของค่า X1 พจน์ที่สองจะเป็นพจน์ของค่า Y1 พจน์ที่สามจะเป็นพจน์ของค่า X2 และพจน์ที่สี่จะเป็นพจน์ของค่า Y2 โดยส่วนนี้โปรแกรมจะมองข้ามไปเพราะไม่มีความจำเป็นที่จะนำมาใช้ในโปรแกรม

CT

2920 5045 3000 5045 12 7

CT

2600 5045 2680 5045 12 7

CT

2680 5005 2920 5005 12 7

CT

2920 5005 2920 5085 12 7

CT

2680 5085 2920 5085 12 7

CT

2680 5005 2680 5085 12 7

3.3.3 ส่วนที่เก็บลายเส้นทองแดงของลายวงจร

ในส่วนนี้จะขึ้นต้นด้วยบรรทัดที่พิมพ์ว่า FT ซึ่งบรรทัดต่อมาจะมี 4 พจน์แรกที่น่าสนใจคือพจน์แรกจะเป็นพจน์ของค่า X1 พจน์ที่สองจะเป็นพจน์ของค่า Y1 พจน์ที่สามจะเป็นพจน์ของค่า X2 และพจน์ที่สี่จะเป็นพจน์ของค่า Y2 ซึ่งโปรแกรมจะต้องใช้ข้อมูลดังกล่าวไปวาดเป็นลายเส้นโดย FT และ 2540 5100 2540 5180 25 6 เป็นข้อมูล 1 ชุดและ1ชุดนี้จะเท่ากับเส้นตรงหนึ่งเส้นเท่านั้น ข้อมูลดังกล่าวทั้งหมดนี้จะถูกนำไปเก็บไว้ในตัวแปรอีกชุดหนึ่ง ตัวอย่างข้อมูลมีดังนี้

FT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2540 5100 2540 5180 25 6

3.3.4 การอ่านข้อมูลเข้ามาไว้ในตัวแปร

จากในหัวข้อที่แล้ว ได้บอกลักษณะของไฟล์ข้อมูลของProtel ซึ่งเป็นข้อมูลแบบ Text File ฉะนั้น ขั้นตอนการอ่านจะต้องแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ซึ่งจะแบ่งได้ดังนี้

-ส่วนที่จะคัดเลือกบรรทัดที่มีข้อมูลที่ต้องการ แล้วส่งบรรทัดนั้นไปยังส่วนอื่นให้ถูกต้อง เช่นพบบรรทัดที่มีคำสั่ง CP หรือ FP ให้ส่งบรรทัดหลังจากนั้น ไปยังส่วนที่สอง และถ้าพบบรรทัดที่มีคำสั่ง FT ให้ส่งบรรทัดหลังจากนั้นหนึ่งบรรทัดไปยังส่วนที่สาม ซึ่งหน้าที่การทำงานทั้งหมดนี้จะอยู่ใน SUB OPEN นอกจากหน้าที่หลักนี้แล้วยังมีหน้าที่การตรวจสอบส่วนหัวของไฟล์ข้อมูลว่าเป็นข้อมูลของ Protel หรือไม่ ซึ่งสามารถดูได้จากโฟว์ชาร์ตในภาคผนวก ข.

-ส่วนนี้มีหน้าที่หาตำแหน่งจุดเจาะ ซึ่งจะรับข้อมูลมาจาก ส่วนแรก การหาตำแหน่งจุดเจาะจะต้องหาค่าแกนX และแกน Y เท่านั้น โดยจะเก็บค่าทั้งสองลงในตัวแปรชื่อ POSIX%(cp%) , POSIY%(cp%) ซึ่งทั้งหมดนี้จะอยู่ใน SUB POSITION และค่าที่ป้อนเข้าสู่ SUB คือค่า aS โดยมาจาก SUB OPEN SUB POSITION ดูได้จากโฟว์ชาร์ตในภาคผนวก ข.

-ส่วนนี้จะทำหน้าที่รับข้อมูลหลังจาก พบ FT จะเก็บไว้ในตัวแปร aS ที่จะเก็บบรรทัดข้อมูล และค่าที่ออกจากSUB คือ LINXY(cp%,ITO4) โดยค่าทั้งสี่นี้จะเก็บตำแหน่งของค่าในแกนX และแกนY ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการวางเส้นหนึ่งเส้น หลักการหาตำแหน่งจะคล้ายกับส่วนที่สอง ดูได้จากโฟว์ชาร์ตในภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

ในขั้นตอนการทดลองหลังจากที่ประกอบวงจรและกลไกเสร็จหมดแล้ว สามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

-การทดลองเพื่อปรับแต่งความแม่นยำ

-การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพความความน่าเชื่อถือของโครงงาน

4.1 การทดลองเพื่อปรับแต่งความแม่นยำ

ในขั้นตอนแรกของการปรับแต่ง เริ่มต้นจากการปรับระดับความสูงต่ำของมอเตอร์หัวเจาะให้อยู่สูงจากแผ่นวงจรพิมพ์ให้น้อยที่สุด เพื่อเพิ่มความเร็วในการเจาะแต่ละรูให้สูงขึ้น ตรงจุดนี้สามารถปรับที่ตัวน็อตของมอเตอร์แกน Z ได้โดยตรง

เมื่อได้ระยะความสูงของหัวเจาะที่ต้องการแล้ว ทดลองป้อนคำสั่งให้ดอกสว่านเจาะดู สังเกตระดับความลึกของดอกสว่านที่ผ่านพ้นแผ่นวงจรพิมพ์ไม่ควรให้เกิน 5มม. ด้วยเหตุผลในด้านความเร็ว ในกรณีที่ดอกสว่านเจาะลึกเกินไป ให้ปรับเวลาที่หน่วงดอกสว่านให้น้อยลง ต่อจากขั้นตอนนี้ถ้าเห็นว่าดอกสว่านสามารถเจาะแผ่นวงจรพิมพ์ได้โดยไม่เกิดปัญหาอะไร ให้ปรับ VR1 เพื่อเพิ่มความเร็วของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ในแกน Z ให้เร็วขึ้นอีก จนกระทั่งเห็นว่าดอกสว่านไม่สามารถเจาะผ่านแผ่นวงจรพิมพ์ได้เนื่องจากแรงกดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แกน Z มีค่ามากกว่าแรงบิดของดอกสว่าน เมื่อเกิดเหตุการณ์เช่นนี้ขึ้นให้ทำการปรับค่า VR1 เพื่อลดความเร็วของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แกน Zลงเล็กน้อยจนกระทั่งแน่ใจว่ามอเตอร์ดอกสว่านสามารถทำงานได้ตามปกติแล้ว ให้กลับไปที่ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมเพื่อลดเวลาหน่วงของวงจรสเต็ปปิ้งมอเตอร์จนกระทั่งดอกสว่านเจาะทะลุแผ่นวงจรพิมพ์ 3มม. ก็เป็นการเสร็จสิ้นขั้นตอนนี้

หลังจากเสร็จสิ้นการปรับแต่งมอเตอร์ในแกน Zแล้ว ตอนนี้ก็เป็นการปรับแต่งความแม่นยำในแกน X กับแกน Y วิธีง่าย ๆ จากข้อมูลของโปรแกรมโปรเทล จะมีการบอกตำแหน่งของขาอุปกรณ์ด้วยตำแหน่ง X และY ให้ทดลองเจาะ IC 40ขา 1ตัว วัดเปอร์เซนต์การผิดพลาดของรูเจาะเมื่อเทียบกับขาของ IC จากนั้นให้นำค่านี้ไปคูณกับตำแหน่งแกน X และY ในโปรแกรมก่อนที่จะส่งค่านี้มาให้กับเครื่องเจาะ ให้ทดลองวิธีนี้ซ้ำกับอุปกรณ์อื่น ๆ ที่มีขามากมาย จนกระทั่งได้ค่าเปอร์เซนต์เฉลี่ยที่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด

จากที่กล่าวมาจะสังเกตได้ว่าการปรับแต่งความแม่นยำของโครงงานนี้ สามารถปรับแต่งที่โปรแกรมได้ทั้งหมด จึงไม่เป็นการเขียนเกินความจริงเลยถ้าจะกล่าวว่าโครงงานนี้มีความยืดหยุ่นต่อการใช้งานสูง เพราะสามารถเขียนโปรแกรมสั่งงานได้โดยตลอดในขณะที่ภาษาที่ใช้ในการเขียนก็เป็นภาษาชั้นสูงที่คุ้นเคยกันดี เช่น ซี, ปาสคาล, หรือเบสิก

4.2 การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิความความน่าเชื่อถือของโครงงาน

ในขั้นตอนนี้สิ่งที่สำคัญคือ การทดสอบประสิทธิภาพของโครงงานรวมทั้งความเชื่อถือว่าโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้มีความทนทานแค่ไหน

การทดสอบประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือนั้น สามารถทำได้โดยการโหลดไฟล์ข้อมูลของโปรแกรมโปรเทลมาลองเจาะดูหลาย ๆแบบ ในขณะเดียวกันก็ตรวจสอบอุปกรณ์ในวงจรที่ต้องจ่ายกระแสสูง ๆเช่นอุปกรณ์ในภาคไดเวอร์ไอซี TCA1560B ว่ามีความร้อนมากน้อยเพียงใด จากที่ได้ทำการทดลองจะพบว่าไอซีตัวนี้จะเกิดความร้อนสูง จึงควรใช้แผ่นระบายความร้อนที่มีขนาดใหญ่ที่สุดเท่าที่จะทำได้ ถ้าจะให้ดีควรติดแผ่นระบายความร้อนเข้ากับตัวถังของกล่องจะทำให้การระบายความร้อนเป็นไปได้ด้วยดี

จากการทดลองวัดแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์ดอกสว่าน ขณะที่สเต็ปปิ้งมอเตอร์แกน Z ไม่ทำงาน จะมีแรงดัน 6.4โวลท์ หลังจากที่สเต็ปปิ้งมอเตอร์แกน Z ทำงานแรงดันไฟจะตรงเหลือเพียง 4.3โวลท์ เนื่องจากมอเตอร์สองตัวนี้ใช้แหล่งจ่ายไฟจากหม้อแปลงชุดเดียวกัน จุดนี้จึงเป็นจุดที่ต้องระวังถ้าเกิดวงจรแปลงไฟและหม้อแปลงไม่สามารถจ่ายกระแสให้มอเตอร์ทั้งสองตัวได้จะทำให้เกิดปัญหาในการเจาะ แต่เมื่อเปลี่ยนหม้อแปลงให้มีขนาดใหญ่ขึ้นปัญหานี้ก็จะหมดไป

เมื่อแก้ไขและปรับปรุงจุดที่เป็นปัญหาในโครงงานทั้งหมดแล้ว ก็สามารถจะนำโครงงานไปทดลองใช้เป็นระยะเวลายาวนานหลายชั่วโมงได้ ถ้าผ่านขั้นตอนนี้ไปก็ถือได้ว่าโครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และการสรุปผล

โครงงานเครื่องเจาะแผ่นปริ้นท์อัตโนมัตินี้จะแบ่งเป็น 3ส่วนใหญ่ คือ ภาคกลไก ภาควงจรควบคุม, ภาคโปรแกรมควบคุมการทำงาน, โดยสามารถแยกวิจารณ์ได้ดังนี้

ภาคกลไก การออกแบบและการประกอบขึ้นรูปนั้นในตอนแรกมีปัญหาเพราะมีการเปลี่ยนแปลงแบบบ่อยครั้งเมื่อได้ทำออกมาแล้วมีความไม่เหมาะสมกับมอเตอร์ที่จะใช้ เช่น ที่จับแผ่นปริ้นท์ซึ่งตอนแรกได้ออกแบบว่าจะใช้เกลียวหมุนแท่นไปยึดแผ่นปริ้นท์ แต่ตอนหลังก็ได้เปลี่ยนแปลงไปเพื่อลดน้ำหนักลงให้เบาขึ้น และเมื่อประกอบเสร็จแล้วก็มีปัญหาเกี่ยวกับความโยกคลอนของชิ้นงาน แต่ก็ได้ปัญหาโดยการใช้กาวยึดและทำการยึดฐานเข้ากับแผ่นพลาสติกซึ่งก็ได้ผลดีเกินคาด

ภาควงจรควบคุม การออกแบบวงจรควบคุมนั้นค่อนข้างราบรื่น แต่มีจุดที่น่าสนใจก็อแกน Z นั้น โดยตามแนวความคิดในตอนแรกจะใช้มอเตอร์ไฟตรงเป็นตัวขับเกลียว แต่หลังจากได้ทำการทดลองนำมอเตอร์ไฟตรงมาใช้จริง ปรากฏว่ามันมีความเร็วสูงเกินไปในขณะที่แรงบิดต่ำ จึงทำให้หัวเจาะไปกดแผ่นวงจรพิมพ์โดยดอกสว่านหมุนไม่ไหว ดังนั้นหลังจากได้วิเคราะห์ถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจึงได้หันมาใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์แทน เพราะสเต็ปปิ้งมอเตอร์มีคุณสมบัติที่ว่าแรงบิดยังคงเดิมแม้ความเร็วจะเปลี่ยนแปลง หลังจากนั้นจึงได้ทำการออกแบบวงจรควบคุมที่นำมาใช้ควบคุมแกน Z แต่ปัญหาใหญ่จริง ๆของภาควงจรควบคุมนั้นคือปัญหาเกี่ยวกับร้อนของภาคไดเวอร์มอเตอร์ เนื่องจากวงจรในภาคนี้ต้องจ่ายกระแสมาก โดยเฉพาะไอซี TCA 1560B ซึ่งจ่ายกระแสให้มอเตอร์เกือบเต็มอัตราสูงสุดที่ตัวไอซีจะทำได้ คือ 1.25แอมป์ ดังนั้นจึงได้ทำการแก้ปัญหาโดยเพิ่มขนาดแผ่นระบายความร้อนให้กับไอซีตัวนี้

โครงงานนี้มีจุดดีหลายอย่างเมื่อเทียบกับเครื่องที่มีขายตามท้องตลาด คือ น้ำหนักเบาสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายเพราะมีขนาดเล็ก ในด้านของราคาแล้วนับว่าถูกมากเนื่องจากมีต้นทุนเพียง 10,000บาท ส่วนอะไหล่และวัตถุดิบสามารถหาได้โดยง่าย

ในอนาคต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องเจาะแผ่นวงจรพิมพ์อัตโนมัติ ควรจะเพิ่มระบบเปลี่ยนหัวเจาะอัตโนมัติ ในขณะเดียวกันก็สามารถที่จะพัฒนาโปรแกรมเพื่อให้สนับสนุนโปรแกรมออกแบบลายวงจรพิมพ์ตัวอื่น

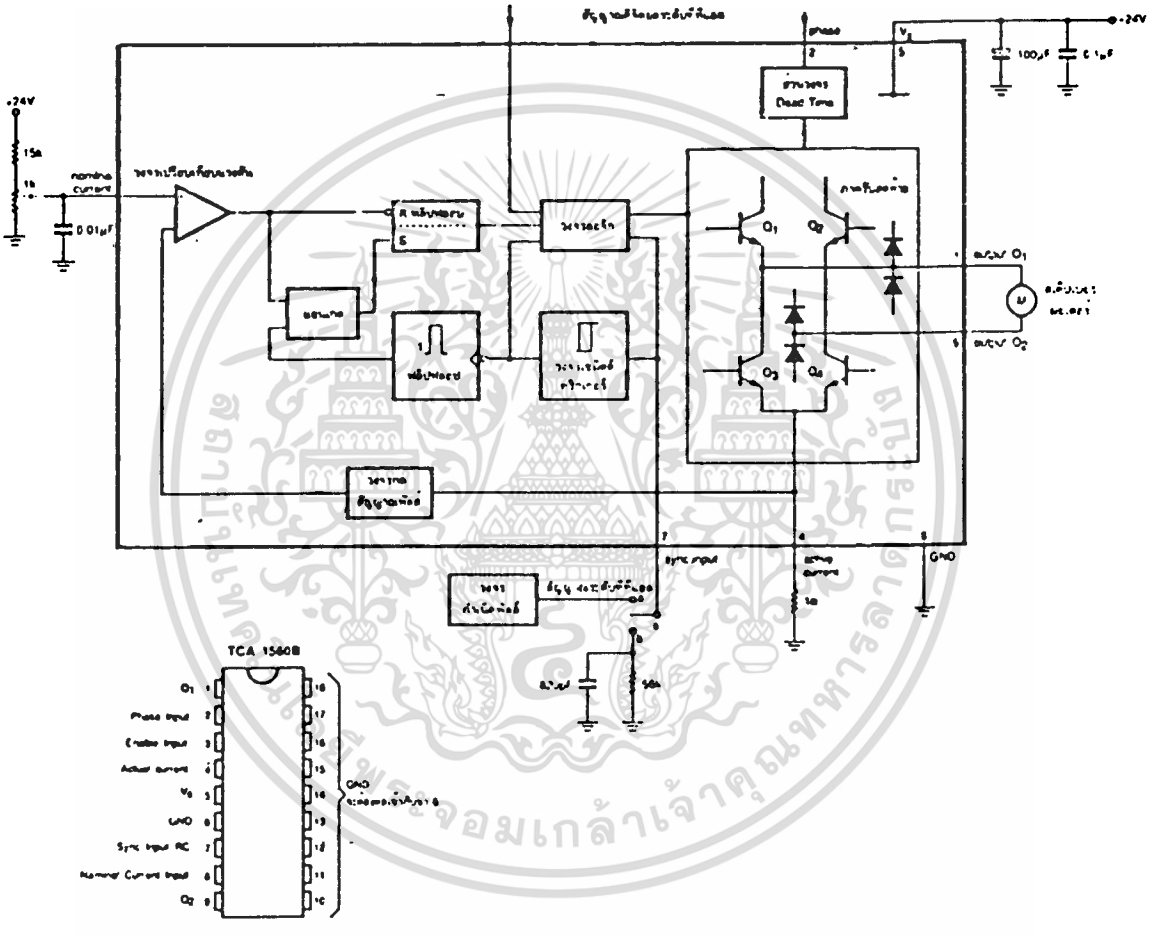
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขับมอเตอร์ด้วย TCA1560B

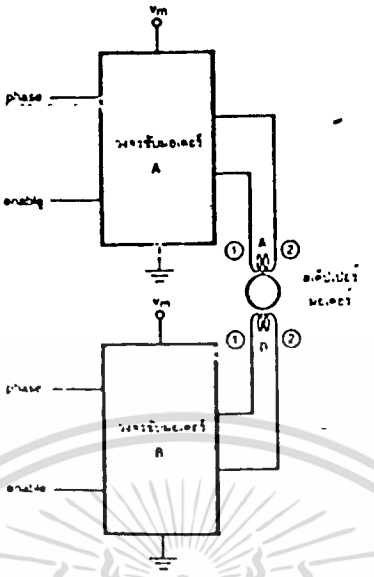
อุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์คือ ไอซีเบอร์ TCA1560B เป็นผลงานของบริษัทซีเมนส์มีบล็อกไดอะแกรมภายใน และการจัดขาแสดงตามรูปที่ 1 ส่วนวงจรใช้งาน TCA1560B เพื่อขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมภายในและการจัดขาของ TCA1560B

จากวงจรตัวอย่างในรูปที่ 2 จะเห็นว่าต้องใช้ TCA1560B 2 ตัว โดยป้อนอินพุตสัญญาณดิจิตอลที่มีระดับลอจิกทีทีแอล (เป็น "1" ที่แรงดัน +5 โวลต์ เป็น"0" ที่แรงดัน 0โวลต์) เข้าที่ขา enable และขา phase ซึ่งก็จะตรงกับบล็อกไดอะแกรมวงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์เบื้องต้นในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์เบื้องต้นโดยใช้ TCA1560B

TCA1560B ไอซีควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์ 1 เฟส

การควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบธรรมดาเราใช้วงจรดิจิตอลควบคุม ซึ่งง่ายต่อการออกแบบและสร้าง แต่ในวงจรนี้ซีเมนส์นำชิพไอซีขนาด 18 ขา ตัวเล็กกะทัดรัดเบอร์ TCA1560B ทำหน้าที่ควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบ 2 ขั้ว 1 เฟส สามารถจ่ายกระแสได้ 1.25 แอมป์

คุณสมบัติเด่นที่สำคัญของไอซีเบอร์นี้ได้แก่

-ให้กระแสเอาต์พุตสูงสุด 1.25 แอมป์

-ย่านแหล่งจ่ายแรงดัน 8-40 โวลต์ (สูงสุด 45 โวลต์)

-แรงดันอินพุตระดับ TTL

-ใช้ควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิด 2 ขั้ว 1 เฟสได้โดยตรง

-ย่านอุณหภูมิใช้งาน -25 C ถึง +85C

-สามารถต่อขยายเพิ่มเพื่อควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิดหลายเฟสได้

-ใช้ร่วมกับ TCA1561B ได้

การทำงานของ TCA1560B

การจัดขา และแผนภูมิแสดงการทำงานตามสไตล์เยอรมันของไอซีตัวนี้แสดงดังรูปที่ 1 ภายในกรอบสี่เหลี่ยมใหญ่เป็นวงจรภายในจะเห็นว่า มีวงจรดิจิตอล, ตัวเปรียบเทียบ และภาคเอาต์พุต ไม่มีอะไรสลับซับซ้อนยุ่งยากแก่การเข้าใจ ส่วนนอกกรอบสี่เหลี่ยมใหญ่มีอุปกรณ์ประเภทตัวต้านทาน, ตัวเก็บประจุต่ออยู่ภายนอกไม่กี่ตัวเท่านั้นเพื่อคอยควบคุมการทำงานให้เป็นไปตามต้องการ เราจะมาดูกันเป็นส่วนๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคเอาต์พุต

ภาคนี้จัดเอาต์พุตเป็นแบบพุชพลูส่งออกทางขา 1 และ ขา 9 มี ฟรีเวลล์ไดโอด (free-wheel diode) 2ชุด ต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันและกราวด์เพื่อป้องกันแรงดันย้อนกลับจากโหลดแบบอินดักตีฟอย่างเช่นมอเตอร์

อีนาเบิ้ล

ปกติที่เอาต์พุต Q1กับ Q2 จะยังไม่จ่ายกระแสออกก็ต่อเมื่อ แรงดันอินพุตที่ขาอีนาเบิ้ล (ขา3) ได้รับน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.8 โวลต์ อีกกรณีหนึ่งคือ แหล่งจ่ายกระแสลดลงต่ำสุดถึง 1 มิลลิแอมป์เหมือนกับทำให้ขา 3 เปิดวงจรก็ให้ผลเช่นเดียวกัน และถ้าขาอีนาเบิ้ลได้รับแรงดันเท่ากับหรือสูงกว่า 2 โวลต์ ทรานซิสเตอร์ที่ภาคสุดท้าย (final stage) จะนำกระแส

เฟส

ระดับแรงดันที่ขา 2 เป็นตัวกำหนดตำแหน่งมุมเฟสของกระแสเอาต์พุตซึ่งเราสามารถกำหนดได้ เอาต์พุตQ1 จะแสดงเป็นตัวรับกระแสเข้า (Sink) เมื่อแรงดันที่ขา 2 น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.8โวลต์ ส่วนเอาต์พุต Q2 มีลักษณะตรงข้ามกับ Q1 นั่นคือ

-รับกระแสเข้าเมื่อแรงดันที่ขา 2 เท่ากับหรือสูงกว่า 2 โวลต์

-จ่ายกระแสออกเมื่อแรงดันที่ขา 2 น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.8โวลต์

-ในขณะการเปลี่ยนเฟสอาจจะทำให้เกิดกระแสครอสโอเวอร์ขึ้น วงจรภายในของไอซีจะตัดกระแสส่วนนี้ออกไม่ให้เข้าสู่ตัวไอซีได้

กระแสสมมติ

กระแสสมมติ (nominal current) เป็นตัวกำหนดกระแสสูงสุดในขดลวดมอเตอร์ สามารถปรับกระแสสมมติได้โดยการปรับค่าแรงดันตกคร่อมขา 8 ไปเปรียบเทียบกับแรงดันตกคร่อมขา 4 ซึ่งเป็นกระแสจริง (actual current) ถ้ากระแสสมมติมีมากเกิน (แรงดันขา 8 สูงกว่า ขา 4)จะทำให้ทรานซิสเตอร์ที่ภาคสุดท้ายหยุดรับกระแสเข้ามาซึ่งถูกควบคุมด้วยวงจรลอจิกอีกที

ซิงค์อินพุต

การซิงโครนัสไอซีเบอร์นี้อนุญาตให้ใช้ 2 วิธีคือ วิธีแรกใช้วงจรกำเนิดพัสส์ระดับแรงดัน TTL(pulse generator) วิธีที่สองใช้วงจร RC ทั้ง 2 วิธีนี้ป้อนสัญญาณเข้าขาซิงค์อินพุต (ขา 7) โดยผ่านสวิตช์เลือกว่าจะเอาวิธีไหนมาใช้งาน

วิธีแรกใช้ วงจรกำเนิดพัลส์ ป้อนเข้าขา 7 โดยตรง (สับสวิตช์มาที่ a) ขอบขาลบของสัญญาณซิงค์จะไปเซ็ต RS ฟลิปฟลอปโดยผ่านทางชมิตต์ทริกเกอร์ และโมโนสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์ (monoflop)ทำให้แรงดันที่ขา 4 ต่ำกว่าแรงดันที่ตั้งไว้ที่ขา 8 เอาต์พุตทรานซิสเตอร์จึงนำกระแส ถ้าจะให้หยุดนำกระแสทำได้โดยรีเซ็ต RS ฟลิปฟลอปซึ่งต้องให้แรงดันที่ขา 4 สูงกว่าขา 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การชิงโครนัสด้วยวิธีที่สองเรียกได้อีกอย่างว่า ฟรีรันนิ่ง (free-running) โดยใช้ C7 กับ R7 ต่อร่วมกันเป็นวงจร RC ทำหน้าที่นี้ อธิบายพอเข้าใจได้ว่า หลังจากป้อนแหล่งจ่ายแรงดันให้ตัวไอซีแล้ว C7 จะทำการประจุแรงดันไว้ราว ๆ 2.4 โวลต์ ในขณะนี้กระแสในขดลวดมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นแรงดันที่ขา 4 ก็เช่นกัน เมื่อกระแสเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงเกินกว่ากระแสสมมติที่เรากำหนดไว้แต่แรกที่ขา 8 แล้ว ตัวเปรียบเทียบจะให้เอาต์พุตไปรีเซ็ต RS ฟลิปฟลอปวงจรลอจิกทำงานไปทำให้ทรานซิสเตอร์ T3 กับ T4 หยุดนำกระแส C7 จะหยุดการเก็บประจุ และคายประจุผ่านทาง R7 ทรานซิสเตอร์ T3 กับ T4 จะหยุดนำกระแสนานเท่าไร ขึ้นอยู่กับเวลาคงที่ของ C7 กับ R7 (time constant =R7C7)

หลังจากผ่านช่วงต่ำกว่าจุดทริกเกอร์เทรชโฮลแล้ว ชมิตต์ทริกเกอร์จะส่งเอาต์พุตช่วงขอบขาลงไปกระตุ้นโมโนสเตเบิ้ลให้ทำงาน และทำให้แรงดันที่ขา 4 ลดลงต่ำกว่าแรงดันที่ขา 8 (เนื่องจากพึ่งผ่านช่วงเทรชโฮทมาหมาดๆ) RS ฟลิปฟลอปจึงถูกเซ็ต วงจรลอจิกจึงไปควบคุมให้ทรานซิสเตอร์ T3 และ T4 นำกระแส C7 เริ่มเก็บประจุใหม่อีกครั้ง ถ้าแรงดันขา 4 ขึ้นสูงเกินกว่าแรงดันขา 8 ทรานซิสเตอร์ T3 กับT4 จะหยุดนำกระแสอีก เราไม่สามารถทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสได้อีกครั้งหากแรงดันคายประจุของ C7 ยังไม่ต่ำกว่าจุดทริกเกอร์เทรชโฮล ช่วงเวลาคายประจุของ C7 หาได้จากฟังก์ชันของ R7 กับ C7

สรุปแล้วได้ว่า ฟรีรันนิ่งก็คือการทำงานแบบอิสระโดยอาศัยการประจุและคายประจุของวงจร RC (R7C7) ไม่สามารถปรับคาบเวลาได้ ถ้าต้องการปรับต้องเปลี่ยนค่าของ C7 หรือ R7 เท่านั้น ส่วนวิธีใช้วงจรกำเนิดพัลส์ตัววงจรอาจจะเป็นแบบปรับคาบเวลาได้ด้วยก็ได้

ภาคกำจัดพัลส์

การกำจัดพัลส์(pulse suppression) หรือจะพูดให้เข้าใจง่ายขึ้นได้ว่า การกำจัดส่งรบกวนที่ไม่พึงประสงค์อันจะทำให้ชิพไอซีทำงานผิดพลาดได้ วงจรนี้กำจัดพัลส์บวกที่มีคาบเวลาตั้งแต่ 0.5 ไมโครวินาทีขึ้นไป สาเหตุที่จะทำให้ภาคนี้ทำงานเช่น เกิดกระแสครอสโอเวอร์ขณะเฟสกำลังเปลี่ยนการทำงานจะกระทำผ่านฟรีเวลล์ไดโอด, แรงดันขา 4 สูงเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ เป็นต้น ระยะเวลานานสุดที่ภาคกำจัดพัลส์จะสามารถหลีกเลี่ยงกระแสครอสโอเวอร์ได้มีค่าเท่ากับเวลาคืนตัวย้อนกลับ (reverse-recovery time) ของฟรีเวลล์ไดโอด ดังนั้นจึงสามารถควบคุม TCA1560B ได้ด้วยการป้อนระดับลอจิกเข้าที่ขาเฟสและขาอีนาเบิ้ลตามตารางที่ 1

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

L = Low-voltage level, input open
H = High-voltage level
X = Transistor turned off
· = Transistor conducting
= Transistor conducting with current limiting turned on
/ = Output high impedance

$V_s > 10$ mV
$R_s > 0\ \Omega$

ตารางที่ 1 แสดงระดับลอจิกที่ใช้ควบคุมและเอาท์พุตที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

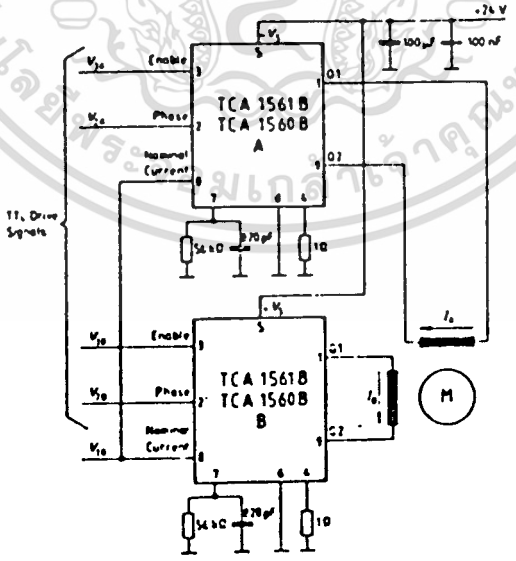
การประยุกต์ใช้งาน

TCA 1560B 1 ตัว สามารถควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิด 1 เฟสได้ 1 ตัว แต่ถ้าเรามีสเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิด 2 เฟส, 3เฟส หรือ 4 เฟส ก็สามารถต่อไอซีเบอร์นี้เพิ่มตามจำนวนเฟสของมอเตอร์เพื่อให้สามารถควบคุมเฟสทุกเฟสได้คือ 2 เฟสใช้ไอซี 2 ตัว 3 เฟสก็ใช้ 3 ตัว อย่างนี้เป็นต้น ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานในรูปที่ 3 เป็นการนำ TCA1560B 2 ตัว (หรือ 1561Bก็ได้) มาควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิด 2 เฟส โดยต่อขา 5 แหล่งจ่ายไฟกับขา 8 กระแสสมมติร่วมกัน

รูปที่ 4 แสดงแผนภูมิเวลาของวงจรประยุกต์ใช้งานจะเห็นว่า เราสามารถควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์ได้ง่ายดายมาก ด้วยการป้อนขบวนพัลส์ที่มีระดับลอจิกต่างกันเข้าที่ขาอีนาเบิ้ลและขาเฟสถึงขั้นควบคุมทีละครึ่งสเต็ปได้

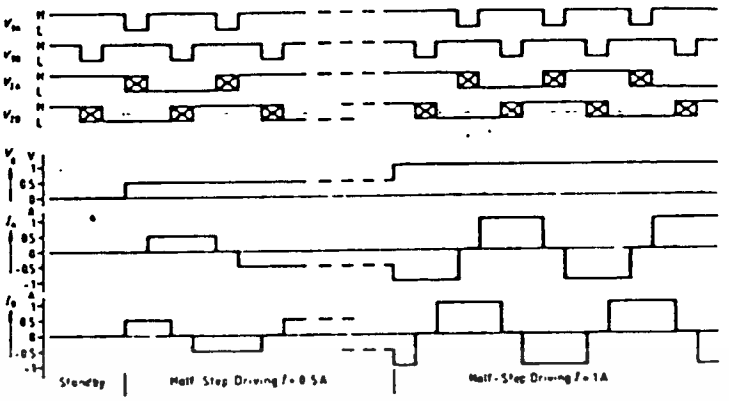
ยังมีคุณสมบัติปลีกย่อยสำคัญควรคำนึงถึงแสดงไว้ให้แล้วในตารางที่ 2 เช่นเวลาเฟสหยุดนิ่ง (phase dead time) ดังรูปที่ 5 ช่วงเวลานี้อยู่ในช่วงแรงดันขาขึ้นของขา 1 แรงดันขาลงของขา 9 และช่วงเปลี่ยนแรงดันของขา 4 ระดับทริกเกอร์เทรชโฮลในรูปที่ 6 ควรนำมาพิจารณาร่วมกับคาบเวลาปิด (off period) ของรูปที่ 7 เพราะสองอย่างนี้จะต้องสัมพันธ์กันโดยใช้ตัวเก็บประจุ C7 กับตัวต้านทาน R7 เป็นสิ่งพิจารณาร่วม ส่วนค่าเวลาหน่วงปิด(turn-off delay,td) จะต้องไม่เกิน 3 ไมโครวินาที ดังแสดงในรูปที่ 8 เมื่อโหลดเป็นมอเตอร์ สิ่งที่ต้องคิดถึงอีกอย่างคือ อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงเกินกว่า 150 C ภาคสุดท้ายของชิพไอซีจะหยุดทำงานนั่นหมายถึง ไม่จ่ายกระแสออกสู่เอาต์พุต แต่จะทำงานใหม่เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง 130 C

ไอซีในตระกูลเดียวกันทำหน้าที่อย่างเดียวกันสามารถใช้แทนกันได้ คือเบอร์ TCA1561B จ่ายกระแสได้สูงสุด 2.5 แอมป์ต่อเฟส ตัวถังเป็นแบบ P-SIP มี 9 ขา

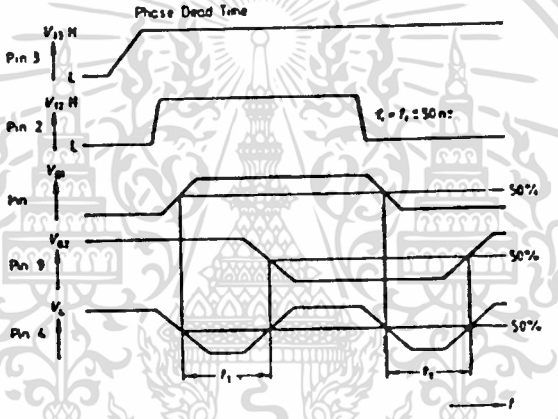


รูปที่ 3 ต่อ TCA1560B 2ตัว ก็ควบคุมได้ 2เฟส ทีละครึ่งสเต็ป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 แสดงแผนภูมิเวลาของวงจรประยุกต์ใช้งานรูปที่ 3

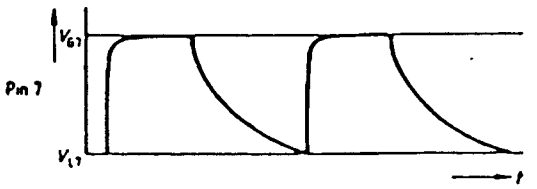


รูปที่ 5 รูปร่างสัญญาณของ phase dead time ที่เอาท์พุตทั้งสองขา

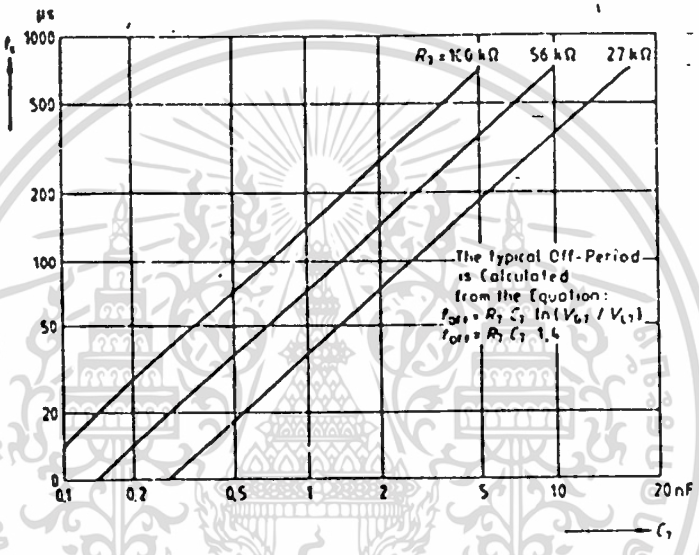
พารามิเตอร์	ต่ำสุด	สูงสุด	หน่วย	หมายเหตุ
ความถี่ชิงค์	1	100	กิโลเฮิรตซ์	
แรงดันอินพุตลอจิก H	2	-	โวลต์	
แรงดันอินพุตลอจิก L	-	0.8	โวลต์	
กระแสอินพุตลอจิก H	-	50 100	ไมโครแอมป์	
กระแสอินพุตลอจิก L	-	100	ไมโครแอมป์	
เวลาขึ้นและลงของพัลส์อินพุตและชิงก์อินพุต	-	?	ไมโครวินาที	
เวลาหน่วงไฟ	-	2-3	ไมโครวินาที	รูปที่ 8
trigger threshold (ขา 7)	-	0.6-0.8	โวลต์	รูปที่ 6
ความถี่คล็อก	-	64	ไมโครวินาที	รูปที่ 7
เวลาการประจุของ C_2	2.2	2.4	โวลต์	
phase dead time	0.1	1.0	ไมโครวินาที	รูปที่ 5

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติปลีกย่อยที่สำคัญของไอซี TCA1560B

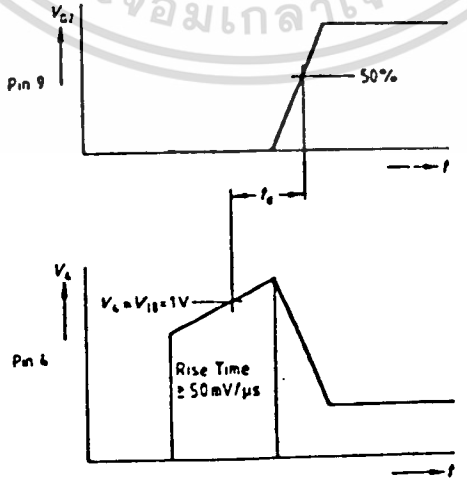
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 ลักษณะสัญญาณทริกเกอร์เทรซโฮลเมื่อมีการป้อนสัญญาณซิงค์



รูปที่ 7 คาบเวลาปิดเปิดของเอาต์พุตทรานซิสเตอร์จะให้นานเท่าไรดูตามกราฟได้

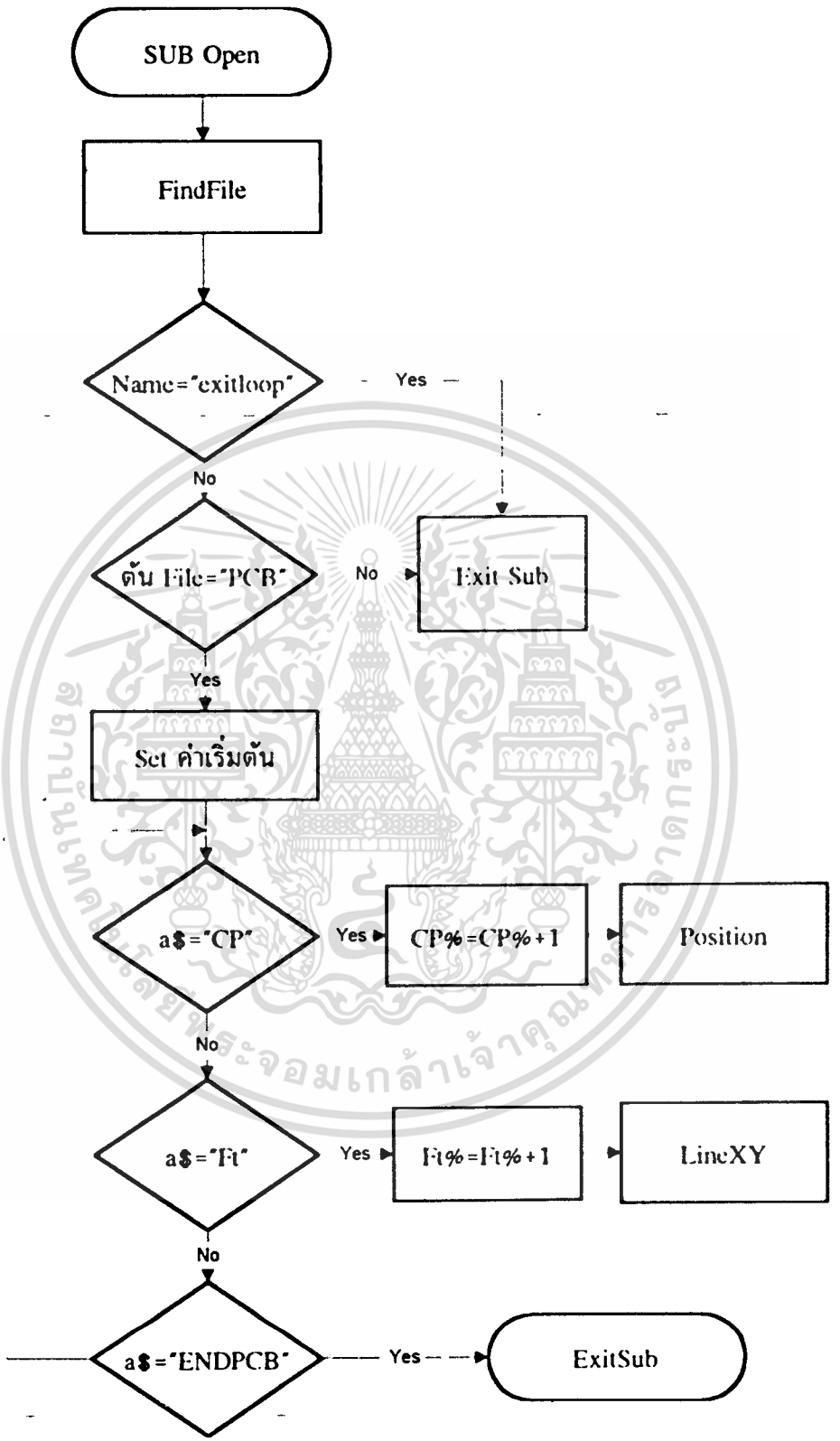


รูปที่ 8 Turn-off delay ของตัวไอซีให้นานที่สุด 3 ไมโครวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

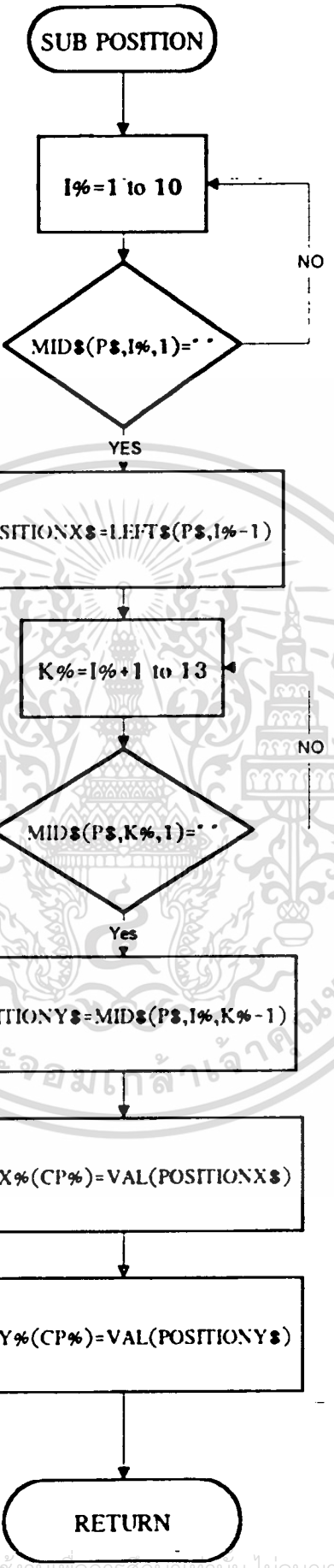
ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



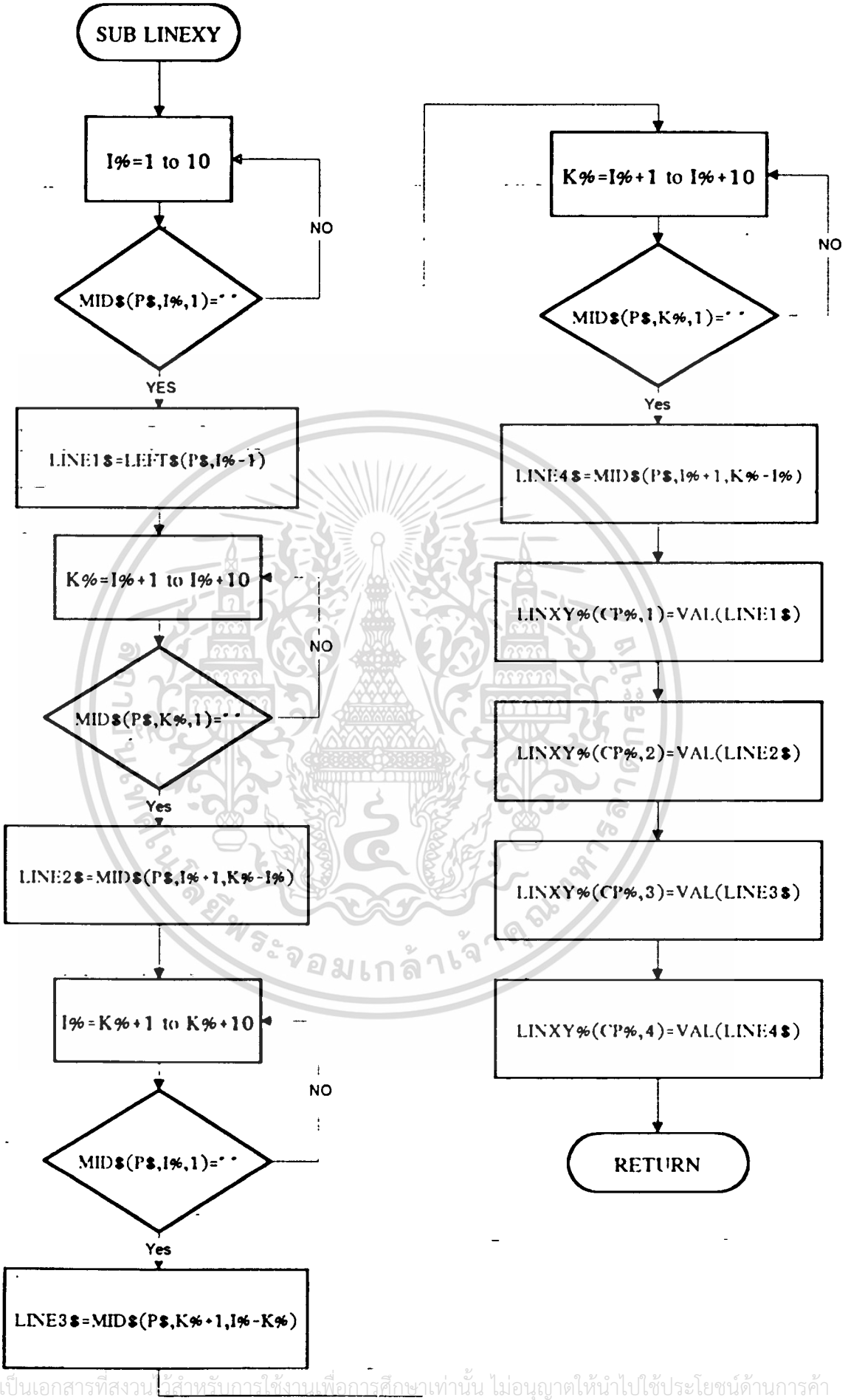
รูปที่ 1 โฟว์ชาร์ตค้นหา และเปิดไฟล์ *.PCB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 โฟร์ชาร์ตหาตำแหน่งรูเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 โฟว์ชาร์ตเจื่อนหัวเจาะไปยังจุดที่ต้องการเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้เลยถ้าคณะผู้จัดทำไม่มีความรู้เพียงพอ ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงขอขอบคุณท่านอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งท่านอาจารย์ที่ปรึกษาทั้ง 2ท่าน คือ

อ.สมศักดิ์ มิตะถา

อ.ประสาร ดังดิสานนท์

ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา และให้คำปรึกษาถึงปัญหาต่าง ๆที่เกิดขึ้น นอกจากนี้คณะผู้จัดทำยังรำลึกถึงพระคุณของอาจารย์ทุกท่านที่ได้สั่งสอนมาตั้งแต่เล็กจนถึงปัจจุบัน ขอให้คุณพระศรีรัตนตรัยคุ้มครองให้อาจารย์ทุกท่านประสบความสุขในชีวิต และการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. น.ต.ธวัชชัย เลื่อนฉวี, "ดิจิตอลเทคนิค เล่ม 1", บ.ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด
2. สุทธิศักดิ์ พงศ์ธนาพาณิช, "การใช้โปรแกรม Quick Basic", บ.ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2531
3. เกรียงไกร จันทรา, "เครื่องควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์", วารสารเซมิคอนดัคเตอร์, ฉบับที่ 92, 2532, หน้า 201-213
4. เฉลิมพล ศรีอนันต์, "ซอฟแวร์ออกแบบ PCB อัตโนมัติ", วารสารคอมพิวเตอร์ อิเล็คทรอนิกส์ เวิลด์, ฉบับที่ 132, หน้า 152-164
5. เฉลิมพล ศรีอนันต์, "ซอฟแวร์เขียนวงจร", วารสารคอมพิวเตอร์อิเล็คทรอนิกส์ เวิลด์, ฉบับที่ 133, หน้า 140-146
6. วัฒนา พลพละ, "กราฟฟิกพล็อตเตอร์", วารสารเซมิคอนดัคเตอร์, ฉบับที่ 127, 2536, หน้า 26-41
7. Intel, MCS 8051 Microcontroller, บ. ETT จำกัด, 1987

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้