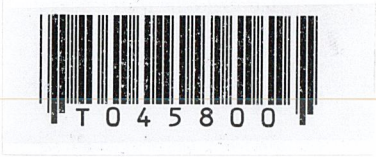
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสร้างเครื่องตัดพลาสมาอัตโนมัติ

Plasma Cutting Machine



นาย เขษม ธิติเลิศ

Mr. Kasem Thitilert

นาย นพพล อภินนท์กูล

Mr. Noppon Apinonkul

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 45800
วัน, เดือน, ปี 18 ก.พ. 2546

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างเครื่องตัดพลาสมาอัตโนมัติ
	Plasma Cutting Machine
นักศึกษา	นาย เขษม ธิติเลิศ
รหัสประจำตัว	41014574
นักศึกษา	นาย นพพล อภินนท์กูล
รหัสประจำตัว	41014640
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2544

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(อ.พลชัย โชติปรายนกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การสร้างเครื่องตัดพลาสมาอัตโนมัติ
นักศึกษา	นาย เขษม ธิติเลิศ
	นาย นพพล อภินนท์กูล
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2544
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	อาจารย์ พลชัย โชติปรายนกุล

บทคัดย่อ

เครื่องตัดพลาสมา (Plasma Cutting) เป็นเครื่องมือที่สามารถตัดโลหะโดยอาศัยการแตกตัวของโมเลกุลของก๊าซที่อุณหภูมิสูงในการตัดแผ่นโลหะ เครื่องตัดพลาสมาเป็นเครื่องตัดที่มีคุณภาพสูง มีแนวตัดที่เรียบสะอาดสามารถตัดโลหะได้หลายชนิดเช่น เหล็ก, เหล็กกล้าไร้สนิม, อลูมิเนียม เครื่องตัดพลาสมาได้ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่ออำนวยความสะดวกในการตัดแผ่นโลหะให้ได้ตามแบบอย่างรวดเร็ว สำหรับโครงงานนี้ได้ทำการศึกษาและสร้างชุดขับเคลื่อนสำหรับเครื่องตัดพลาสมา โดยมีชุดขับเคลื่อน 2 แกน สำหรับบังคับหัวตัดของเครื่องตัดพลาสมา โดยใช้เสต็ปปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motor) เป็นตัวขับเคลื่อนและใช้ลวดสลิง (Sling) เป็นตัวส่งกำลัง เครื่องตัดพลาสมาใช้ Software ในการควบคุมการทำงาน โดยเป็นการทำงานบนคอมพิวเตอร์แบบ CAM (Computer Aid Manufacturing) และสามารถรับข้อมูลเป็นแฟ้มข้อมูล CAD ความสามารถของชุดขับเคลื่อน สามารถขับเคลื่อนชุดหัวตัดพลาสมาและสั่งการตัดโลหะได้ตามแบบอย่างถูกต้องและรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Plasma Cutting Machine
Student	Mr.Kasem Thitilert
	Mr.Noppon Apinonkul
Degree	Bachelor of Industrial Engineering
Academic Year	2001
Advisor	Mr.Pholchai Chotiprayanakul

ABSTRACT

Plasma Cutting is a metal cutting process which can cut Mild Steel, Stainless Steel and Aluminium. Plasma is state of gas molacule that are in high temperature . It is high qualitative cutting process.There is a smooth line cutting.It can cut a lot of type of Steel. It has been designed to facilitate for cutting Steel Plate following the specification rapidly .In this project ,we have studied and built driving parts for Plasma Cutting torch.It consists of two axis hold a torch drived with step motor through sling tension. Plasma Cutting Machine have Software Program is a kind of Computer Aided Manufacturing (CAM). It work on a computer and receive data in type of CAD file . The ability of two axis drive are control driving Plasma cutting torch and control cutting metal following the specification fast and rapidly.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงาน เครื่องตัดพลาสมาอัตโนมัติ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการได้รับความเมตตาอย่างยิ่งจากอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ อ.พลชัย โชติปรายนกุล ในการให้คำแนะนำ ความเอาใจใส่ และช่วยเหลือปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนเป็นที่เรียบร้อย คณะผู้จัดทำรู้สึกขอบคุณเป็นอย่างสูง และจะนำสิ่งต่างๆที่ได้รับมา นำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตการทำงานต่อไป

ขอขอบคุณ นาย สุรเกียรติ เหมวิมล และ นาย เตชิษฐ์ ทองชิต สำหรับความช่วยเหลือ ทางด้านฮาร์ดแวร์ , ซอฟแวร์ และเพื่อนๆทุกคน ที่คอยช่วยหลือในการทำโครงงานนี้

ขอขอบคุณห้องโปรเจค ที่ที่เหมือนบ้านหลังที่สอง

ขอขอบคุณ หอถาวร ห้อง 443 ,หอกมล ห้อง 404 และ หอ ชัยพฤกษ์ห้อง 207 ที่เป็นห้องพักผ่อนและห้องทำปริญญานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ตั้งแต่ระดับอนุบาลจนถึงระดับมหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ บิดา,มารดา ผู้ที่คอยอบรมสั่งสอน และคอยสนับสนุนในเรื่องการเรียนและกิจกรรมต่างๆจนมาถึงวันนี้

ขอขอบคุณกลุ่มโปรเจคต์ ที่ทำงาน ฝ่าฟันอุปสรรคร่วมกัน จนมาถึงวันนี้ แม้ว่าอาจจะมีความขัดแย้งกันบ้าง

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และบุคลากรท่านอื่นๆ รวมทั้งเพื่อนๆที่น่ารัก และน้องๆทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ทำให้สามารถมาถึง ณ วันนี้ได้

นาย เขษม ธิติเลิศ

นาย นพพล อภินนท์กูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญภาพ VII

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 1

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 1

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 สเต็ปปิ้งมอเตอร์ 2

2.2 การอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์ 8

2.3 แหล่งจ่ายไฟ 11

2.4 โซลินอยด์ 14

2.5 รีเลย์ 15

2.6 ทรานซิสเตอร์ 16

2.7 ทฤษฎีพลาสมา 17

2.8 โรลลิ่งแบริ่ง 20

2.9 เพลา 21

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 ลำดับขั้นตอนในการดำเนินงาน 22

3.2 การวางแผนโครงงาน 23

3.3 การศึกษาข้อมูล 24

3.4 การออกแบบและดำเนินงานด้านฮาร์ดแวร์ 25

3.5 การออกแบบและดำเนินงานด้านวงจรและส่วนอินเตอร์เฟส 28

3.6 การออกแบบและดำเนินงานด้านซอฟแวร์ 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการดำเนินการด้านฮาร์ดแวร์ 31
4.2 ผลการดำเนินการด้านวงจรและส่วนอินเตอร์เฟส 33
4.3 ผลการดำเนินงานด้านซอฟแวร์ 35
4.4 ผลการทดลองการตัดโลหะ 48

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการทดลอง 51
5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง 51
5.3 ปัญหาและข้อจำกัดในการทดลอง 51
5.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน 51
5.5 แนวทางการพัฒนาโครงงานในอนาคต 52

บรรณานุกรม

ภาคผนวก แบบรายละเอียดเครื่องตัดพลาสมาอัตโนมัติ ผ1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบเวฟ	7
ตารางที่ 2.2	ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ 2 เฟส	7
ตารางที่ 2.3	ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งเสต็ป	8
คารางที่ 3.1	แผนการดำเนินงานด้าน ฮาร์ดแวร์ และ ซอฟแวร์	23
ตารางที่ 3.2	ส่วนประกอบของชุดขับเคลื่อน	27
ตารางที่ 3.3	ส่วนประกอบของชุดจับชิ้นงาน	27
ตารางที่ 3.4	ส่วนประกอบของชุดหัวตัดชิ้นงาน	27
ตารางที่ 4.1	ความเร็วในการตัดแผ่นเหล็ก	48
ตารางที่ 4.2	ความเร็วในการตัดแผ่นเหล็ก ที่ปริมาณกระแสไฟฟ้า 20 Amp	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	การควบคุมเสต็ปปิ้งมอเตอร์	2
รูปที่ 2.2	การทำงานของเสต็ปปิ้งมอเตอร์	3
รูปที่ 2.3	ภาพตัดขวางของเสต็ปปิ้งมอเตอร์แบบ 3 เฟส	4
รูปที่ 2.4	ตำแหน่งสมดุลหลังจากเสต็ปปิ้งมอเตอร์ถูกกระตุ้น	4
รูปที่ 2.5	แรงภายนอกที่มีผลต่อเส้นแรงแม่เหล็ก	4
รูปที่ 2.6	ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ เมื่อเสต็ปปิ้งมอเตอร์ถูกกระตุ้น	5
รูปที่ 2.7	โครงสร้างของเสต็ปปิ้งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	5
รูปที่ 2.8	โครงสร้างของเสต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิด Hybrid	6
รูปที่ 2.9	แสดงรายละเอียดของพอร์ตขนาน	10
รูปที่ 2.10	บล็อกไดอะแกรมพื้นฐานของแหล่งจ่ายไฟ	11
รูปที่ 2.11	การเร็คติไฟร์แบบครึ่งคลื่น	12
รูปที่ 2.12	การเร็คติไฟล์แบบเต็มคลื่น	13
รูปที่ 2.13	การเร็คติไฟร์แบบบริดจ์	13
รูปที่ 2.14	การต่อตัวเก็บประจุที่เอาต์พุต เพื่อกรองแรงดันให้เรียบขึ้น	13
รูปที่ 2.15	ลักษณะการกรองแรงดันของตัวเก็บประจุ	14
รูปที่ 2.16	การใช้ตัวเหนี่ยวนำและตัวต้านทานมาต่อร่วมกันตัวเก็บประจุเพื่อกรองแรงดัน	14
รูปที่ 2.17	โครงสร้างของโซลินอยด์	15
รูปที่ 2.18	โครงสร้างของรีเลย์	15
รูปที่ 2.19	โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์	16
รูปที่ 2.20	การนำกระแสของทรานซิสเตอร์	16
รูปที่ 2.21	คุณสมบัติของการจัดวงจรแบบต่างๆของทรานซิสเตอร์	17
รูปที่ 2.22	แสดงการทำงานของเครื่องตัดพลาสมา	17
รูปที่ 2.23	แสดงส่วนประกอบของหัวตัดพลาสมา	18
รูปที่ 2.24	องค์ประกอบของเครื่องตัดพลาสมา	18
รูปที่ 2.25	พลาสมา CNC	19
รูปที่ 2.26	ส่วนประกอบของแบริ่ง	20
รูปที่ 3.1	แสดงชุดขับเคลื่อนแกน Y	25
รูปที่ 3.2	แสดงชุดขับเคลื่อนแกน X	25
รูปที่ 3.3	แขนจับหัวตัดพลาสมาและตัวปรับระดับความสูงแผ่นเหล็ก	26
รูปที่ 3.4	ชุดขับเคลื่อน 2 แกนครึ่งพร้อมโต๊ะยึด	26
รูปที่ 3.5	แสดงการควบคุมเสต็ปปิ้งมอเตอร์	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6	แสดงรายละเอียดของวงจรควบคุมเสต็ปปิ้งมอเตอร์	28
รูปที่ 3.7	ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมซอฟแวร์	29
รูปที่ 4.1	รูปภาพชุดเคลื่อนที่หัวตัดพลาสมา 1	32
รูปที่ 4.2	รูปภาพชุดเคลื่อนที่หัวตัดพลาสมา 2	32
รูปที่ 4.3	วงจรควบคุมเสต็ปปิ้งมอเตอร์	33
รูปที่ 4.4	วงจรแปลงไฟ 220 VAC เป็น 12 VDC	33
รูปที่ 4.5	วงจรแปลงไฟ 12 VAC เป็น 5 VDC	34
รูปที่ 4.6	ชุดอินเตอร์เฟส	34
รูปที่ 4.7	หน้าตาของโปรแกรมควบคุมเครื่องตัดพลาสมา	35
รูปที่ 4.8	เปิดโปรแกรม AutoCAD	36
รูปที่ 4.9	วาดภาพที่ต้องการตัด	36
รูปที่ 4.10	เลือกคำสั่ง plot สำหรับแปลงรูปที่วาดให้เป็นโค้ด	37
รูปที่ 4.11	กำหนดชื่อและสถานที่ในการเก็บไฟล์	37
รูปที่ 4.12	แสดงตัวอย่างโค้ดของรูปภาพ	37
รูปที่ 4.13	เลือกเมนู file และเลือกคำสั่ง open	38
รูปที่ 4.14	แสดงกล่องข้อความ เพื่อเลือกไฟล์โค้ดที่ต้องการเปิด	38
รูปที่ 4.15	แสดงรูปภาพชิ้นงานที่ต้องการตัด	38
รูปที่ 4.16	เลือกคำสั่ง close สำหรับปิดรูปภาพที่แสดง	39
รูปที่ 4.17	หลังจากเลือกคำสั่ง close รูปภาพที่แสดงจะหายไป	39
รูปที่ 4.18	เลือกคำสั่ง exit ถ้าต้องการออกจากโปรแกรม	39
รูปที่ 4.19	แสดงข้อความยืนยันว่าต้องการออกจากโปรแกรม	40
รูปที่ 4.20	การเคลื่อนย้ายรูปภาพให้เลือกที่เมนู edit และเลือกคำสั่ง move	40
รูปที่ 4.21	การเคลื่อนย้ายภาพทำโดยการกดแล้วลากไปยังตำแหน่งที่ต้องการ	40
รูปที่ 4.22	แสงรูปภาพ ณ ตำแหน่งใหม่	41
รูปที่ 4.23	เลือกคำสั่ง rotate ที่เมนู edit ถ้าต้องการหมุนรูปภาพ	41
รูปที่ 4.24	เลือกจุดศูนย์กลางของการหมุน	41
รูปที่ 4.25	กดปุ่มหมุนตามเข็มนาฬิกา รูปภาพจะหมุนไปในทิศตามเข็มนาฬิกา	42
รูปที่ 4.26	กดปุ่มหมุนตามหมุนทวนเข็มนาฬิกา รูปภาพจะหมุนไปในทิศทวนเข็มนาฬิกา	42
รูปที่ 4.27	เลือกคำสั่ง zoom ถ้าต้องการย่อขยายรูปภาพ	42
รูปที่ 4.28	แสดงกล่องข้อความ ให้เลือกว่าต้องการขยายภาพขนาดใด	43
รูปที่ 4.29	แสดงรูปภาพหลังจากย่อขยายภาพเป็น 50 %	43
รูปที่ 4.30	แสดงรูปภาพหลังจากย่อขยายภาพเป็น 200 %	43
รูปที่ 4.31	เลือกคำสั่งสำหรับกำหนดความหนาของแผ่นโลหะก่อนทำการตัด	44
รูปที่ 4.32	แสดงกล่องข้อความให้เลือกขนาดความหนาของแผ่นโลหะ	44
รูปที่ 4.33	แสดงขนาดความหนาให้เลือก	44
รูปที่ 4.34	เมื่อเลือกค่าความหนาเสร็จเรียบร้อย กดปุ่ม OK เป็นขั้นตอนสุดท้าย	45
รูปที่ 4.35	คำสั่งในการกำหนดจุดเริ่มต้นทำการตัด	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.36 สั่งให้โปรแกรมเริ่มต้นตัดจากจุดกำเนิด..... 45
รูปที่ 4.37 เมื่อเสร็จคำสั่ง โปรแกรมจะแสดงเครื่องหมายถูกหน้าคำสั่งที่เราเลือก..... 46
รูปที่ 4.38 หลังจากกดปุ่ม set origin หัวตัดพลาสมาจะเคลื่อนที่ไปยังจุดเริ่มต้น X = 0 , Y = 0..... 46
รูปที่ 4.39 แสดงรูปหัวตัดพลาสมาขณะเคลื่อนที่..... 46
รูปที่ 4.40 แสดงรูปหัวตัดพลาสมาขณะเคลื่อนที่..... 47
รูปที่ 4.41 แสดงรูปหัวตัดพลาสมาขณะเคลื่อนที่..... 47
รูปที่ 4.42 รูปภาพเมื่อตัดโลหะเสร็จเรียบร้อย..... 47
รูปที่ 4.43 ชิ้นงานสี่เหลี่ยม 30 x 30 mm..... 49
รูปที่ 4.44 ชิ้นงานวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 mm..... 49
รูปที่ 4.45 ชิ้นงานรูปนก..... 50
รูปที่ 4.46 ชิ้นงานรูปคน..... 50
รูปที่ 4.47 ชิ้นงานตัดอักษร IE..... 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เลือกใช้เครื่องมือในการตัดโลหะหลายชนิด ขึ้นอยู่กับลักษณะของการใช้งาน เช่น เครื่องตัดแก๊ส , เครื่องตัดพลาสมา, เครื่องตัดเลเซอร์ เป็นต้น เครื่องตัดแต่ละชนิดมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป หนึ่งในเครื่องตัดโลหะที่คนนิยมใช้งาน ได้แก่ เครื่องตัดพลาสมา เพราะเป็นเครื่องตัดโลหะที่ราคาไม่แพง ใช้งานง่าย สะดวก และได้คุณภาพของงานตัดมีคุณภาพสูง ในสภาวะปัจจุบันอุตสาหกรรมต่างๆ มีการแข่งขันกันสูง แต่ละอุตสาหกรรมมีความต้องการผลิตงานให้ได้ปริมาณมากและรวดเร็ว ดังนั้นจึงมีการนำเครื่องตัดพลาสมาอัตโนมัติเข้ามาใช้งาน เพราะการควบคุมจะทำได้ง่ายกว่า เพียงแต่ป้อนข้อมูลเป็นโค้ด (code) โปรแกรมเข้าไป เครื่องตัดอัตโนมัติจะสามารถตัดชิ้นงานตามแบบที่เราต้องการได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว เมื่อจะตัดชิ้นงานต่อไปเพียงแต่ใช้โค้ดเดิม ไม่ต้องเปลี่ยนโค้ด จะได้งานตัดที่มีคุณภาพเหมือนเดิม

1.2 จุดมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาการทำงานของเครื่องตัดพลาสมา
2. ศึกษาโครงสร้างและการทำงานของเครื่องตัดอัตโนมัติ 2 แกน
3. ศึกษาการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมเครื่องตัดพลาสมา

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

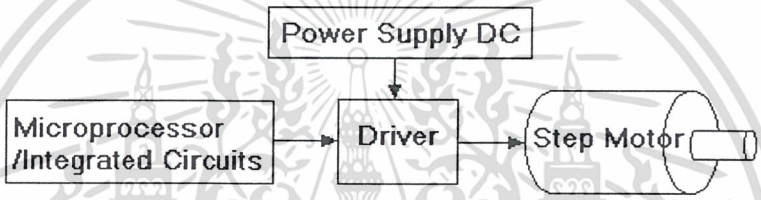
ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาและสร้างชุดขับเคลื่อนอัตโนมัติ 2 แกนครึ่งสำหรับเครื่องตัดพลาสมา โดยสามารถรับข้อมูลไฟล์เป็น CAD 2 มิติ ควบคุมการทำงานผ่านโปรแกรมที่เชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ และชุดขับเคลื่อน 2 แกน เครื่องตัดพลาสมาอัตโนมัติสามารถตัดชิ้นงานได้ในขอบเขต 48 cm. x 55 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 สเต็ปปิ้งมอเตอร์

สเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motor) เป็นอุปกรณ์จำพวกเชิงกลทางไฟฟ้า โดยมีกลุ่มของไบนารี โวลต์เตรท (Binary Voltage) เป็น อินพุท (Input) และการเคลื่อนที่แบบเชิงมุมเป็นเอาท์พุท (Output) หรือว่าหมุนทีละเสต็ปซึ่งอยู่ระหว่าง 0.1-30 องศา ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ โดยตามสัญญาณพัลซ์ (Pulse) ที่จ่ายให้กับขดสเตเตอร์ (Stator) ทำให้เกิดแรงผลักแก่โรเตอร์ (Rotor) หมุนไปสเต็ปปิ้งมอเตอร์ มีขดลวดหลายชุด ในที่นี้เรียกว่า เฟส (Phase) ดังนั้นสัญญาณที่ต่อเนื่องเป็นซีเควน (Sequence) ลักษณะของไบนารี่ จะผ่านวงจรไดร์เวอร์ (Driver) ทำให้โรเตอร์หมุนไปอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2.1 การควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์

2.1.1 หลักการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

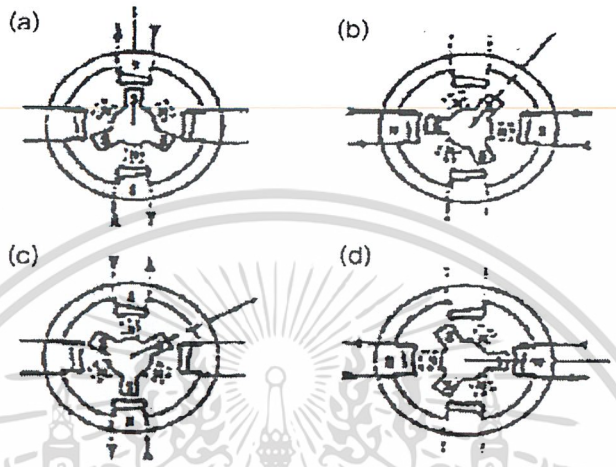
สเต็ปปิ้งมอเตอร์สามารถแบ่งโครงสร้างทางกายภาพออกได้เป็น 2 ส่วน คือสเตเตอร์ และโรเตอร์ ตัวสเตเตอร์ เป็นส่วนที่อยู่กับที่ ประกอบด้วยขดลวดทองแดงซึ่งพันอยู่รอบแกนเหล็กเพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวด ส่วนโรเตอร์ซึ่งเป็นส่วนที่เคลื่อนที่ มีลักษณะเป็นแท่งทรงกลม และที่ผิวรอบนอกมีลักษณะเป็นซีกฟันซึ่งทำจากแม่เหล็กถาวร

เมื่อยังไม่มีการจ่ายกระแสให้กับขดลวดของมอเตอร์ ซีกฟันอันใดอันหนึ่งของโรเตอร์ จะอยู่ในตำแหน่งที่ตรงกับซีกฟันอันใดอันหนึ่งของสเตเตอร์ ทั้งนี้เป็นเพราะแม่เหล็กถาวรที่ตัวของโรเตอร์ พยายามที่จะทำให้ค่าความต้านทานทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Reluctance) มีค่าน้อยที่สุด ซึ่ง ณ จุดซีกฟันของตัวสเตเตอร์ และโรเตอร์ ตรงกันนั้นมีค่าความต้านทานทางแม่เหล็กไฟฟ้าน้อยที่สุด ทำให้เกิดเส้นแรงทางแม่เหล็กไฟฟ้ามากที่สุด เส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กเหนือและใต้ขึ้นมา 2 คู่ ทั้งที่ตัวโรเตอร์ และตัวสเตเตอร์ ดังรูป ค่าทอร์ค (Torque) ที่ทำให้ตัวโรเตอร์ ยึดอยู่ในตำแหน่งดังกล่าวนี้ เรียกว่า Detent Torque (หมายความว่า การที่จะทำให้มอเตอร์เคลื่อนที่ในขณะที่ไม่จ่ายกระแสให้กับขดลวดของมอเตอร์ จะต้องออกแรงมากกว่าค่า Detent Torque จึงจะทำให้โรเตอร์ เคลื่อนที่ได้)

เมื่อจ่ายกระแสให้กับขดลวดที่อยู่ในสเตเตอร์ คู่ใดคู่หนึ่ง ดังรูปที่ 2.2 (a) จะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กเหนือและใต้ที่ซีกฟันของตัวสเตเตอร์ ซึ่งจะดึงดูดซีกฟันของตัวโรเตอร์ ที่มีขั้วแม่เหล็กศักย์ต่างกันอยู่ซึ่งอยู่ใกล้ที่สุดเข้าไว้ ตำแหน่งนี้เรียกว่า Stable Position ของโรเตอร์ ซึ่งจะมีตัวตำแหน่งเท่ากับซีกฟันของโรเตอร์ และแรงที่ทำให้โรเตอร์เปลี่ยนตำแหน่งไปจาก Stable Position ได้เรียกว่า Holding Torque

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสับเปลี่ยนการจ่ายกระแสให้กับขดลวดจากขดหนึ่งไปยังอีกขดหนึ่ง เนื่องจากขดลวดวางอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัน 90 องศา ก็จะทำให้ตัวสเตเตอร์ ดึงดูดซีกฟันของตัวโรเตอร์ อีกซีกหนึ่งที่ใกล้ที่สุดเอาไว้ ซึ่งจะทำให้ตัวโรเตอร์เคลื่อนที่ไป 1 เสต็ป หรือ 30 องศา ดังรูป 2.2 (b) จากนั้นจะเปลี่ยนไปจ่ายกระแสให้กับขดลวดชุดแรก โดยคราวนี้เปลี่ยนทิศทางการไหลของกระแสให้ตรงข้ามกับครั้งแรก จะทำให้ตัวโรเตอร์ เคลื่อนที่ไป 1 เสต็ป ดังรูปที่ 2.2 (c) จากนั้นจ่ายกระแสให้กับขดลวดชุดที่สอง โดยกลับทิศทางของกระแสที่ป้อนให้ จะทำให้โรเตอร์หมุนไป 90 องศา ดังรูปที่ 2.2 (d)



รูปที่ 2.2 การทำงานของ สเต็ปปิ้งมอเตอร์

2.1.2 ชนิดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

สเต็ปปิ้งมอเตอร์ สามารถแบ่งออกได้หลายชนิด ตามลักษณะโครงสร้างและการใช้งานดังต่อไปนี้ คือ

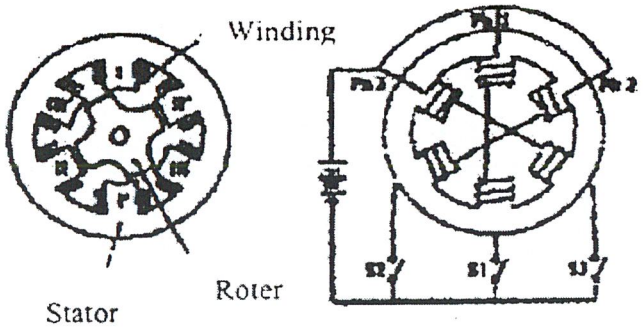
- Variable Reluctance
- Permanent Magnet
- Hybrid

2.1.2.1 สเต็ปปิ้งมอเตอร์ ชนิด Variable Reluctance

สเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิดนี้สามารถปรับค่า Reluctance ได้ดังรูป 2.3 แสดงภาพตัดขวางของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบ 3 เฟส โดยที่สเตเตอร์ มีทั้งหมด 6 ฟัน ซีกฟันที่อยู่ตรงข้ามกัน หรือทำมุมกัน 180 องศาซึ่งกันและกัน จะเป็นเฟสเดียวกัน ขดลวดที่พันอยู่ที่ซีกฟันของสเตเตอร์ แต่ละเฟสจะต่ออนุกรมกันหรือขนานกันก็ได้ จากรูปที่ 2.3 เป็นการต่อแบบอนุกรมกัน ส่วนโรเตอร์นั้นมีฟัน 4 ซีก ทั้งโรเตอร์ และสเตเตอร์ ทำมากจากโลหะซิลิกอน ซึ่งมีสภาพซึมซับทางแม่เหล็กสูงและยอมให้สนามแม่เหล็กจำนวนมากไหลผ่านได้ ฟันของสเตเตอร์ ในเฟสเดียวกันจะมีขั้วต่างกัน โดยซีก 1,2,3 เป็นขั้วเหนือ และซีก 1' , 2' , 3' เป็นขั้วใต้หลังจากถูกกระตุ้น

กระแสที่ไหลในแต่ละเฟสถูกควบคุมโดยสวิตช์ ปิด/เปิด ถ้าเฟส 1 ถูกกระตุ้น จะมีกระแสไหลและเกิดฟลักซ์แม่เหล็กดังแสดงในรูปที่ 2.4 แกนโรเตอร์ จะอยู่ในแกนเดียวกับซีก 1 และ 1' ทำให้ทั้งโรเตอร์ และสเตอร์ อยู่ในแนวเดียวกัน กรณีนี้จะทำให้ค่า Reluctance มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งเป็นตำแหน่งที่สมดุล

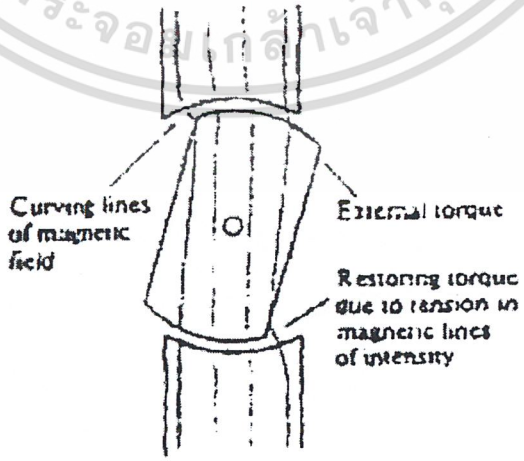
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ภาพตัดขวางของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบ 3 เฟส

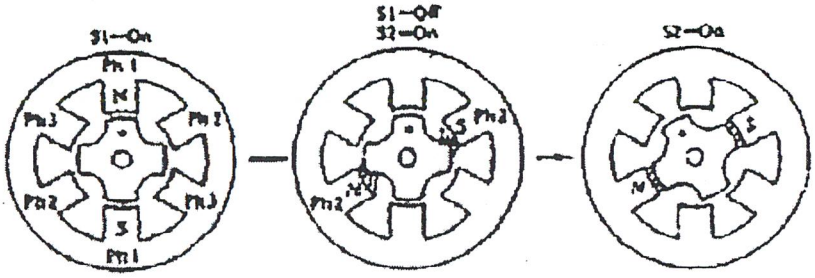
รูปที่ 2.4 ตำแหน่งสมดุลหลังจากสเต็ปปิ้งมอเตอร์ถูกกระตุ้น

ถ้าโรเตอร์ ถูกแรงกระทำจากภายนอก จะทำให้เปลี่ยนตำแหน่ง ดังรูปที่ 2.5 แรงบิดกระทำกับโรเตอร์ ในทิศตามเข็มนาฬิกาทำให้ตำแหน่งเปลี่ยนไป มีผลทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเคลื่อนที่จากซีกฟันของโรเตอร์ และสเตเตอร์ เมื่อโรเตอร์ และสเตเตอร์ ไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกัน ค่า Reluctance จะมีค่ามาก ดังนั้นสเต็ปปิ้งมอเตอร์ จะทำให้ค่า Reluctance น้อยที่สุด เมื่อเฟส 2 ถูกกระตุ้นดังรูปที่ 2.6 โรเตอร์ถูกแรงภายนอกกระทำทำให้เคลื่อนที่ไป 30 องศาในทิศทวนเข็มนาฬิกา จากนั้นจะย้ายจากมุมที่ถูกกระตุ้นกลับไปยังตำแหน่งที่ค่า Reluctance น้อยที่สุด การย้ายมุมที่เกิดจากการกระตุ้นแต่ละครั้งให้กลับไปยังตำแหน่งเดิม เรียกว่า เสต็ป (Step)



รูปที่ 2.5 แรงภายนอกที่มีผลต่อเส้นแรงแม่เหล็ก

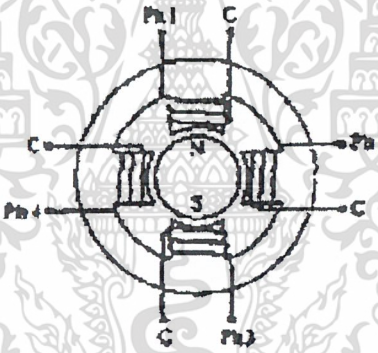
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ เมื่อสเต็ปปิ้งมอเตอร์ถูกกระตุ้น

2.1.2.2 สเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิด Permanent Magnet หรือ ชนิดแม่เหล็กถาวร

สเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิดนี้ใช้แม่เหล็กถาวรเป็นโรเตอร์ และมีซีกฟันของสเตเตอร์ล้อมรอบ ฟันของสเตเตอร์ ถูกพันด้วยขดลวดสำหรับสร้างสนามแม่เหล็ก เมื่อต้องการให้สเต็ปปิ้งมอเตอร์ แบบแม่เหล็กถาวรมีขนาดของมุมเสต็ปเล็กลง จะต้องเพิ่มขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์ และจำนวนซีกฟันของสเตเตอร์ แต่มีขีดจำกัดในการเพิ่มจำนวนขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ เนื่องจากการสร้างแม่เหล็กถาวรโดยมีขั้วแม่เหล็กหลายขั้วทำได้ยาก



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

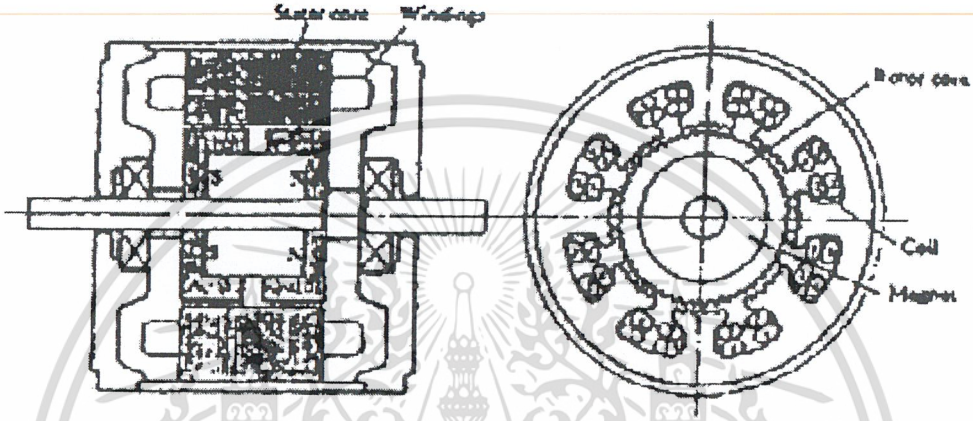
ตัวอย่างการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร สมมุติว่าสเต็ปปิ้งมอเตอร์ แบบแม่เหล็กถาวรขนาด 4 เฟส มีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวรแบบทรงกระบอก และสเตเตอร์ มี 4 ซีกฟัน ซึ่งบริเวณรอบๆพันด้วยขดลวด มีรูปแบบพื้นฐานของการทำงาน คือ เมื่อสร้างสัญญาณกระตุ้นตามลำดับเฟสโรเตอร์จะหมุนไปตามทิศทางของการกระตุ้น

ส่วนข้อเสียของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร คือ มีขนาดมุมเสต็ปใหญ่ ทำให้ความละเอียดของ เสต็ปต่อรอบน้อย เนื่องจากโครงสร้างของโรเตอร์เป็นแบบแม่เหล็กถาวร การสร้างแม่เหล็กถาวรให้มีหลายขั้ว ทำให้ไม่สามารถสร้างเสต็ปขนาดเล็กได้ สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างขนาดเล็ก ทำให้ค่าทอร์ค (Torque) ที่ได้ต่อหน่วยปริมาตรมีค่าต่ำ ถ้าต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพในเรื่องทอร์ค แม่เหล็กถาวรที่ใช้ต้องทำจากสารแม่เหล็กที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.3 สเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิด Hybrid

สเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิดนี้มีแกนโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร โดยมีการทำงานร่วมกันของมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรและแบบ Variable Reluctance สำหรับโครงสร้างของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิด Hybrid มีโครงสร้างของสเตเตอร์คล้ายโครงสร้างของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบ Variable Reluctance แต่ต่างกันตรงที่การต่อขดลวด โดยที่แต่ละเฟสของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ แบบ Variable Reluctance จะมีขดลวดแค่ 2 ขดพันอยู่ที่ขั้วเดียวกัน เรียกว่าไบโพลาร์ (Bipolar) ซึ่งในการกระตุ้นแต่ละครั้งจะให้ขั้วที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิด Hybrid

คุณสมบัติที่สำคัญของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิด Hybrid คือ โครงสร้างของมอเตอร์จะมีแม่เหล็กถาวรอยู่ตรงกลางระหว่างแม่เหล็กทั้งสอง การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กทำได้โดยใช้สนามแม่เหล็กซึ่งสร้างจากสเตเตอร์ ซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กแบบ Heteropolar ดังนั้นทอร์คเกิดจากการทำงานร่วมกันของสนามแม่เหล็ก 2 ชนิด คือ สนามแม่เหล็กถาวรและสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่เกิดจากการกระตุ้นของขดลวดแต่ละขด โครงสร้างของซีกฟันของสเตเตอร์ จะใหญ่กว่าซีกฟันของโรเตอร์ เล็กน้อยเพื่อเพิ่มความถูกต้องแม่นยำทางตำแหน่งของการเคลื่อนที่

หลักการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิด Hybrid ที่แตกต่างจากสเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิด Variable Reluctance คือ แรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็กจะไม่ขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลผ่านขดลวดเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของซีกฟันด้วย ซึ่งซีกฟันที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้ได้โครงสร้างขนาดเล็ก และใช้แม่เหล็กถาวรเป็นแกนกลางเพื่อลดผลของการเกิด Oscillate ทาง Mechanic

ข้อดีของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิด Hybrid คือ มีขนาดเสต็ปเล็ก และมีความละเอียดของเสต็ปต่อรอบสูง รวมทั้งมีค่าทอร์คสูงกว่าสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบ Variable Reluctance และมีแรงเฉื่อยทาง Mechanic น้อยกว่าสเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละเสต็ป ทำได้โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปขดลวดแต่ขดบนสเตเตอร์ ซึ่งต้องป้อนเป็นแบบซีเควน ในรูปแบบที่ถูกต้อง แบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ คือ แบบเวฟ (Wave), แบบ 2 เฟส (2 Phase), แบบครึ่งเสต็ป (Half Step) โดยทั้ง 3 แบบ ต่างก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไปดังนี้

แบบเวฟเป็นการกระตุ้นที่ง่ายที่สุด โดยทำการกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งและเรียงถัดกันไป ดังเช่น ขดที่ 1, 2, 3, 4, 1 หรือ 1, 4, 3, 2, 1 ขึ้นอยู่กับทิศทางที่ต้องการให้หมุน ดังนั้นจึงมีขดลวดเพียงขดเดียวที่ถูกกระตุ้นเท่านั้น วงจรกระตุ้นแบบเวฟจึงมีราคาที่ถูกและออกแบบง่ายกว่า ขั้นตอนการทำงานต่างๆแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบเวฟ

เสต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	-	ทำงาน	-	-
3	-	-	ทำงาน	-
4	-	-	-	ทำงาน

แบบ 2 เฟส เป็นการกระตุ้นอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งคล้ายกับแบบเวฟ แต่การกระตุ้นแบบนี้จะทำโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังขดลวด 2 ขดที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกันและเรียงถัดกันไป เช่นเดียวกับแบบเวฟ คือ ขดลวด 12, 23, 34, 41, 12 หรือ 14, 43, 32, 21, 14 ขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุน การเพิ่มจำนวนขดลวดที่ถูกกระตุ้นนี้ ทำให้เพิ่มแรงบิดได้มากกว่าแบบเวฟ โรเตอร์จะเคลื่อนที่ได้ด้วยแรงดึงแบบเต็มแรง จาก 2 ขดลวดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกันและต่อไปด้วยแรงดึงจากอีก 2 ขดลวดถัดไป สำหรับข้อเสีย คือ การกระตุ้นแบบนี้ต้องใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟมากขึ้น ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ 2 เฟส

เสต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

ส่วนแบบครึ่งเสต็ป เป็นรูปแบบที่เกิดจากการผสมผสานระหว่างการกระตุ้นแบบเวฟและแบบ 2 เฟส เพื่อเพิ่มจำนวนเสต็ปต่อรอบอีกเท่าตัวนึง การกระตุ้นแบบ 2 เฟสนี้จะทำการกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเป็นลำดับดังนี้ ขดลวดที่ถูกกระตุ้น 1, 12, 2, 23, 3, 34, 4, 41, 1 หรือในการหมุนอีกทิศทางหนึ่งจะได้เป็น 1, 14, 4, 43, 3, 32, 2, 21, 1 แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีก เพราะช่วงเสต็ปมีระยะสั้นลงและแต่ละเสต็ปเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้น แต่ต้องพึงระวังไว้อีกประการหนึ่ง คือ เมื่อถูกกระตุ้นให้ทำงานในรูปแบบนี้ จะต้องทำการหมุนถึง 2 เสต็ปจึงจะได้เท่ากับ 2 แบบแรก สำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต้องใช้เท่ากับการกระตุ้นแบบ 2 เฟสจึงจะเพียงพอ ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งเสต็ป

เสต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	ทำงาน	ทำงาน	-	-
3	-	ทำงาน	-	-
4	-	ทำงาน	ทำงาน	-
5	-	-	ทำงาน	-
6	-	-	ทำงาน	ทำงาน
7	-	-	-	ทำงาน
8	ทำงาน	-	-	ทำงาน

2.2 การอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์

การอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์ หรือ ไมโครโปรเซสเซอร์ คือ การทำงานติดต่อร่วมกันระหว่างซีพียูและอุปกรณ์อื่นๆ สำหรับการโอนถ่ายข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ นอกเหนือจากจะต้องทำงานติดต่อกับ RAM, ROM แล้ว ยังต้องมีการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกที่มีการส่งข้อมูลอินพุท, เอาท์พุทอีกทางหนึ่ง ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบมีความสมบูรณ์ขึ้น ในระบบต่างของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จะทำงานต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ ดังเช่น การส่งรับข้อมูลจากซีพียูไปยังส่วนอื่นๆ เป็นต้น

การที่จะโอนย้ายข้อมูลทุกตัวนั้นจะต้องมีแหล่งส่งข้อมูล และแหล่งที่รับข้อมูล สำหรับกระบวนการเหล่านั้นจะมีส่วนที่สำคัญ คือ ข้อมูลนั้นเป็น address หรือว่าเป็น data , จะส่งไปยังจุดไหน ตัวอย่างเช่น ส่งไปยังหน่วยความจำหรืออุปกรณ์อินพุต/เอาท์พุต และจะส่งเมื่อไร การทำงานเหล่านี้โดยทั่วๆไป จะต้องมีสัญญาณในการตรวจสอบอุปกรณ์ว่าพร้อมที่จะส่ง/รับข้อมูลหรือไม่ก่อนเสมอ เนื่องจากจุดที่รับและส่งข้อมูล จะต้องมีสัญญาณตรวจสอบความพร้อมอยู่เสมอ เพื่อที่จะให้ข้อมูลที่เราใช้งานนั้นๆ เป็นระเบียบ ตัวอย่างเช่น ส่งข้อมูลจากซีพียูไปยังอุปกรณ์รอบข้าง เป็นต้น ซึ่งจุดรับส่งคู่หนึ่งๆ อาจจะเป็นระหว่างซีพียูด้วยกัน หรือ ซีพียูกับหน่วยความจำ หรือ ซีพียูกับอุปกรณ์รอบข้าง หรือระหว่างอุปกรณ์รอบข้างด้วยกัน หรือ ระหว่างหน่วยความจำกับอุปกรณ์รอบข้าง ก็ได้ สำหรับข้อมูลที่โอนย้ายไปมานั้นจะอยู่ในลักษณะของเลขฐานสอง ตัวอย่างเช่น 01101100_2 ซึ่งเลขแต่ละตัวจะแทนด้วย 1 บิท อาจเป็น 8 บิทหรือ 16 บิท ขึ้นอยู่กับระบบนั้นๆ ถ้าหากเป็นการต่อจากพอร์ตคอมพิวเตอร์ ไม่ว่าจะเป็นพอร์ตอนุกรม หรือพอร์ตขนานในสัญญาณที่ส่งมาจะมีระบบแรงดันไฟฟ้า คือ

- พอร์ตอนุกรม (RS-232) มีแรงดัน ±3 ถึง ±25 VDC
- พอร์ตขนาน มีแรงดัน 5 VDC (TTL) ต่อ 1 บิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าระดับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ยกมาให้ดูนี้ เราสามารถที่จะควบคุมและนำมาใช้กับอุปกรณ์รอบข้างหรืออุปกรณ์ภายนอกได้ ดังจะยกตัวอย่าง เช่น พอร์ตขนานระดับแรงดันไฟฟ้า 5 VDC สามารถนำ มาใช้ในการขับรีเลย์, ทรานซิเตอร์, หลอดไฟ LED ให้ทำงานได้ โดยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไปควบคุมที่พอร์ตพรินเตอร์ เป็นต้น

2.2.1 การเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับคอมพิวเตอร์

โดยจะแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ อุปกรณ์เชื่อมต่ออยู่หลังคอมพิวเตอร์ และ อยู่ภายในคอมพิวเตอร์ ดังนี้

2.2.1.1 อุปกรณ์เชื่อมต่ออยู่หลังคอมพิวเตอร์

- พอร์ทต่อคีย์บอร์ด หรือ อาจเรียกกันว่า PS/2 , mini-DIN
- พอร์ทต่อเมาส์ หรือ อาจเรียกกันว่า PS/2 , mini-DIN
- พอร์ทต่ออนุกรม อาจเรียกว่า Serial Port , Com Port (Com1,Com2) ใช้ในระบบติดต่อสื่อสาร RS-232
- พอร์ทต่อขนาน อาจเรียกว่า Parallel Port ,Printer port(LPT1,LPT2) ส่วนใหญ่จะใช้พ่วงต่อกับเครื่องพิมพ์
- พอร์ทต่อจอยสติ๊ก ส่วนมากจะเห็นพอร์ทนี้อยู่ที่ซาว์ดการ์ดเป็นส่วนใหญ่
- พอร์ทต่อโมเด็ม โดยตัว Connector จะเป็นประเภทเดียวกับสายสัญญาณโทรศัพท์
- พอร์ต USB (Universal Serial Bus) เป็นพอร์ตรุ่นใหม่ที่สามารถพ่วงอุปกรณ์ได้หลายชนิด เช่น เมาส์ คีย์บอร์ด , โมเด็ม , กล้องดิจิตอล เป็นต้น
- พอร์ตเชื่อมต่อระบบเครือข่าย จะพบอยู่กับการ์ดแลน หรือเรียกว่า พอร์ต RJ-45
- พอร์ต SCSI (Small Computer System Interface) มักใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่ต้องการความเร็วสูง

2.2.1.2 อุปกรณ์เชื่อมต่ออยู่ภายในคอมพิวเตอร์

- EIDE (Enhanced Integrated Drive Electronics) สายเชื่อมต่อกับฮาร์ดดิส
- SCSI (Small Computer System Interface) โดยมากจะมากับการ์ด ที่เป็นแบบสกัซซี
- ฟลอปปี้ไดรฟ์ คอมพิวเตอร์ทุกเครื่องจะมีไว้สำหรับต่อฟลอปปี้ไดรฟ์
- คอนเน็กเตอร์อนุกรม มี 10 เข็ม อยู่ที่แผงวงจรเมนบอร์ด
- คอนเน็กเตอร์ขนาน มี 26 เข็ม อยู่ที่แผงวงจรเมนบอร์ด

2.2.2 ระบบที่ใช้ติดต่อสื่อสารข้อมูลของคอมพิวเตอร์

- USB(Universal Serial Port) รวมถึง Firewire (IEEE-1348) เป็นระบบใช้ติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบใหม่ ที่มีความเร็วสูง อีกทั้งเฉลียวฉลาดมากขึ้น ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก(Hardware) ซึ่ง USB ได้ถูกนำเข้ามาแทน การติดต่อแบบ RS-232 และ Centronics Printer Ports ดังจะเห็นได้จากอุปกรณ์ โมเด็ม หรืออุปกรณ์ตัวอื่นๆ เป็นต้น

- Firewire มันได้ถูกออกแบบเพื่อรองรับการสื่อสารสำหรับข้อมูลที่เป็น สัญญาณภาพ , เสียง , วีดีโอ รวมถึง ขนาดของบล็อคที่มีขนาดใหญ่

- Microwire , SPI , I^2C Interface การติดต่อสื่อสารเป็นแบบ Synchonous Serial เหมาะสำหรับใช้ในระยะสั้นๆ ซึ่ง Microtroller ส่วนใหญ่แล้วจะ ติดต่อแบบนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

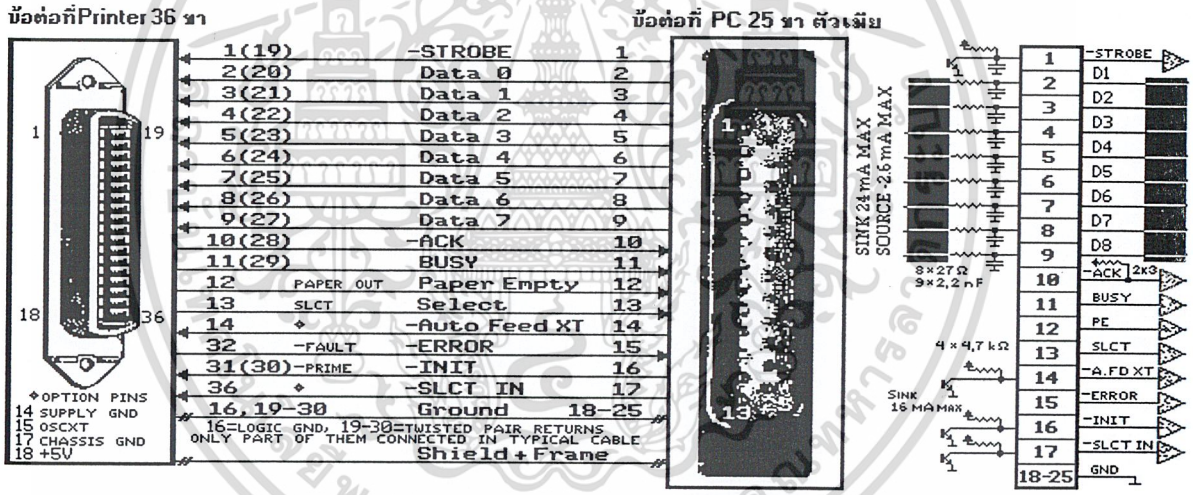
- Ethernet ใช้ติดต่อสื่อสารในระบบเครือข่ายหรือที่เรียก ระบบแลนด์ ที่มีเครื่องคอมพิวเตอร์ต่อกันไปมาหลายๆเครื่อง เป็นระบบที่มีความเร็วสูง และอุปกรณ์ด้านฮาร์ดแวร์ และซอฟแวร์ มีความซับซ้อน รวมทั้งราคาสูงกว่าระบบการติดต่อสื่อสารแบบอื่นๆในที่นำมากล่าวทั้งหมดนี้

- Centronics Parallel Printer Port Interface สามารถส่งข้อมูลได้หลายบิต สำหรับการส่งหนึ่งครั้ง ซึ่งมีความเร็วสูงสุด มักจะนิยมใช้สำหรับการติดต่อสื่อสาร ระหว่างพีซีและเครื่องพิมพ์ (Printer) , เครื่องแสกนเนอร์ , เครื่องเก็บข้อมูลแบบภายนอก (Data Acquisition Devices) เป็นต้น

- IrDA (Interface Data Association) เป็นการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สาย โดยใช้แสงอินฟราเรด ซึ่งใช้ได้ในระยะทางสั้นๆในที่สายเคเบิลไม่สามารถติดตั้งได้ หรือ เข้าไปไม่ถึง ดังจะพบเห็นในชีวิตประจำวัน เช่น รีโมททีวี หรือวีดีโอ , เมาส์ หรือ คีย์บอร์ดอินฟราเรด เป็นต้น

- MIDI (Musical Instrument Digital Interface)ใช้สำหรับการสื่อสารแบบอนาล็อกในเครื่องมือด้านเครื่องเสียง , เครื่องมือด้านดนตรี (ซินติไซเซอร์ / เปอร์คัตชั่น / กีตาร์แอฟเฟ็ก) , เครื่องมือควบคุมเสียงในโรงภาพยนต์ (มิกเซอร์/อีเควอไรเซอร์/แอฟเฟ็กต่างๆ) ซึ่งมันจะใช้กระแสไฟประมาณ 5 mA ที่ความเร็ว 31.5 kbps

2.2.3 รายละเอียดเกี่ยวกับพอร์ตขนาน



รูปที่ 2.9 แสดงรายละเอียดของพอร์ตขนาน

ดังรูปที่ 2.9 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับพอร์ตขนาด โดยรูปด้านซ้ายเป็นข้อต่อสำหรับต่อเชื่อมกับพรินเตอร์มีช่องสำหรับเสียบขาทั้งหมด 36 ขา และรูปด้านขวาเป็นข้อต่อสำหรับต่อเชื่อมกับคอมพิวเตอร์มี 25 ขา การสั่งงานพรินเตอร์ ทำโดยส่งสัญญาณจากคอมพิวเตอร์ไปควบคุมผ่านพอร์ตขนาด โดยแต่ละขาจะทำหน้ารับหรือส่งสัญญาณต่างกัน ดังรูปภาพที่ 2.9 ดังนั้นเราสามารถประยุกต์ใช้หลักการนี้ ส่งสัญญาณไปควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์ของชุดเคลื่อนที่ให้เคลื่อนที่ตามต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 แหล่งจ่ายไฟ

แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) เป็นสิ่งที่มีบทบาทมากในวงจรอิเลคทรอนิคส์เพราะอุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์ทุกตัวจะสามารถทำงานได้ก็ต่อเมื่อได้รับแรงดันไฟเลี้ยงจากแหล่งจ่ายไฟ แหล่งจ่ายไฟที่ใช้งานในวงจรอิเลคทรอนิคส์มีทั้งแหล่งจ่ายไฟสลับและแหล่งจ่ายไฟตรง โดยในที่นี้จะขออธิบายเฉพาะแหล่งจ่ายไฟตรง ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นแหล่งจ่ายไฟตรงแบบลิเนียร์ (linear power supply) และแหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตชิ่ง (switching power supply)

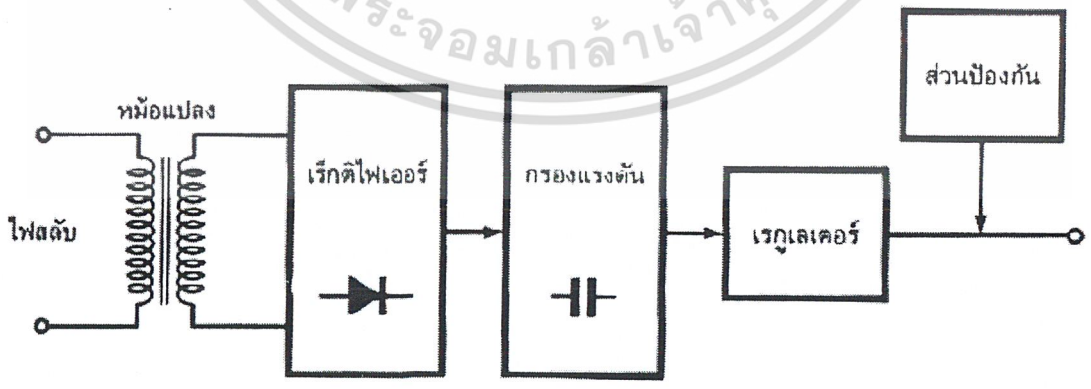
2.3.1 บล็อกไดอะแกรมของแหล่งจ่ายไฟแบบลิเนียร์

ส่วนประกอบหลักๆ ของแหล่งจ่ายไฟแบบลิเนียร์ มีดังนี้

- หม้อแปลงลดแรงดันจาก 220 โวลต์
- ส่วนเร็กติไฟเออร์ (rectifier)
- ส่วนกรองแรงดัน (filter)
- ส่วนควบคุมแรงดันให้คงที่ (regulator)
- ส่วนป้องกัน

ดังแสดงในรูปแบบการทำงานตามไดอะแกรมดังรูปข้างล่าง การทำงานสามารถอธิบายได้ดังนี้ หม้อแปลงจะทำหน้าที่ลดแรงดันไฟบ้านจาก 220 VAC ให้เหลือตามต้องการ แรงดันไฟสลับทางขดทุติยภูมิของหม้อแปลงจะถูกป้อนเข้าวงจรเร็กติไฟเออร์ เพื่อเปลี่ยนกระแสไฟสลับให้เป็นไฟตรง อุปกรณ์ทำหน้าที่หลักในส่วนนี้ คือ ไดโอดเร็กติไฟร์ หลังจากนั้นจะผ่านเข้าวงจรกรองแรงดันเพื่อให้ได้ไฟตรงที่มีความราบเรียบมากขึ้น โดยใช้ตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์หลัก จากไฟตรงที่ยังมีค่าไม่คงที่แน่นอนนัก จะถูกป้อนเข้าวงจรเรกูเลเตอร์ เพื่อควบคุมให้ได้แรงดันไฟตรงเอาต์พุตที่คงที่มากขึ้น ในส่วนเรกูเลเตอร์มักใช้ซีเนอร์ไดโอดหรือไอซีเรกูเลเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่หลักในการควบคุมแรงดัน

นอกจากนั้นในแหล่งจ่ายไฟที่มีประสิทธิภาพสูงๆ จะมีวงจรควบคุมกระแสเอาต์พุตด้วย กล่าวคือ เมื่อใดที่โหลดดึงกระแสมากจะทำให้แรงดันเอาต์พุตลดลง วงจรนี้จะตรวจจับได้และส่งสัญญาณไปควบคุมให้ส่วนเรกูเลเตอร์ทำงานเพิ่มขึ้น เพื่อป้องกันมิให้แรงดันเอาต์พุตตกลง นอกจากนั้นยังสามารถเพิ่มกระแสทางเอาต์พุตได้ด้วยการต่อทรานซิสเตอร์กำลัง ส่วนสุดท้ายคือส่วนป้องกันซึ่งก็มีหลายแบบ เช่น ป้องกันเอาต์พุตลัดวงจร, ป้องกันโหลดดึงกระแสมากเกินไป, ป้องกันการต่อผิดขั้ว และป้องกันในเรื่องของอุณหภูมิ



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมพื้นฐานของแหล่งจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

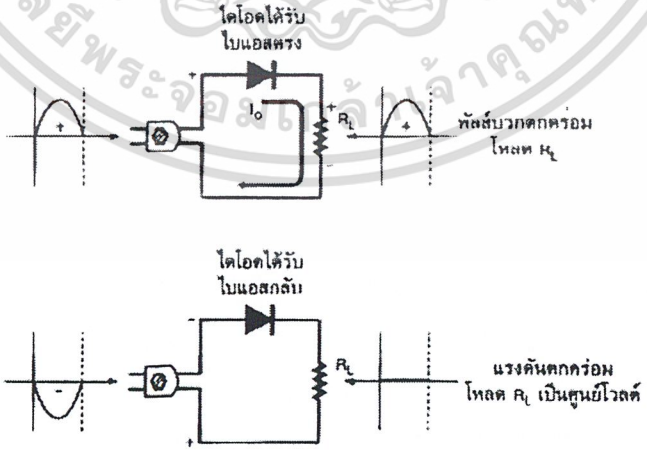
2.3.2 วงจรเร็กติไฟร์และกรองแรงดัน : ตัวอย่างวงจรและการคำนวณ

ตัวอย่างวงจรเร็กติไฟร์มี 3 แบบ คือ แบบครึ่งคลื่น (half wave) , เต็มคลื่น (full wave) และแบบบริดจ์ (bridge) ดังรูปที่ 2.11 เป็นวงจรเร็กติไฟร์แบบครึ่งคลื่น (half-wave rectifier) ใช้ไดโอดเพียงตัวเดียวในการเร็กติไฟร์ ไดโอดจะยอมให้กระแสผ่านไปได้เมื่อตัวมันได้รับแรงดันไบแอสตรง จากไฟสลับที่ผ่านการลดแรงดันโดยหม้อแปลง จะมีแรงดันในซีกบวกเท่านั้นที่สามารถผ่านมันไปได้ จึงได้รูปสัญญาณของแรงดันเอาต์พุตเป็นช่วงๆ ทั้งนี้เพราะในซีกลบของแรงดันไฟสลับไม่สามารถผ่านไดโอดไปได้นั่นเอง

ในรูปที่ 2.12 เป็นวงจรเร็กติไฟร์แบบเต็มคลื่น (full-wave rectifier) จากข้อด้อยในการเร็กติไฟร์แบบครึ่งคลื่นที่ได้แรงดันเอาต์พุตจากไฟสลับเพียงซีกเดียว จึงเพิ่มไดโอดเข้าไปอีก 1 ตัว และใช้หม้อแปลงลดแรงดันแบบมีแท็ปกลาง การทำงานจะเริ่มจากในช่วงซีกบวกของไฟสลับทางอินพุตจะทำให้ไดโอด D_1 ทำงานยอมให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวมันไปยังโหลด R_L เกิดมีแรงดันตกคร่อมโหลด R_L ขึ้น ต่อมาเมื่อไฟสลับในซีกลบเข้ามา แท็ปกลางของหม้อแปลงจะมีขั้วไฟฟ้าเป็นลบ ในขณะที่ขดลวดของหม้อแปลงในตำแหน่ง B เป็นขั้วบวก ทำให้ไดโอด D_2 ได้รับการไบแอสตรงจึงนำกระแส เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังโหลด R_L เกิดแรงดันตกคร่อมที่โหลด R_L เช่นเดียวกับในซีกบวก จึงได้แรงดันเอาต์พุตมีลักษณะเป็นพัลส์

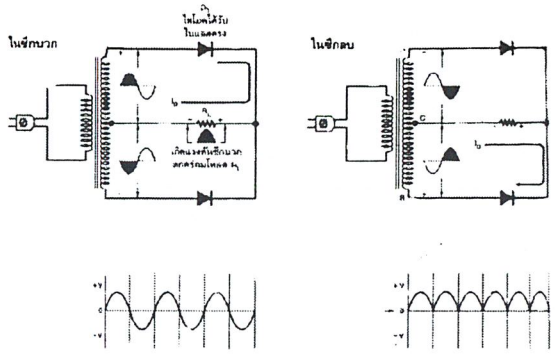
ในการเร็กติไฟร์แบบเต็มคลื่นต้องใช้หม้อแปลงที่มีแท็ปกลาง ทำให้กระแสของหม้อแปลงถูกแบ่งครึ่ง ส่งผลให้ความสามารถในการจ่ายกระแสของหม้อแปลงถูกแบ่งครึ่ง ส่งผลให้ความสามารถในการจ่ายกระแสของหม้อแปลงลดลง จึงได้มีการคิดใช้วิธีการเร็กติไฟร์เต็มคลื่นอีกแบบหนึ่ง คือ แบบบริดจ์ (bridge full-wave rectifier) ในการเร็กติไฟร์แบบนี้จะให้ผลทางเอาต์พุตเหมือนกับการเร็กติไฟร์แบบเต็มคลื่นทุกประการ แต่หม้อแปลงที่ใช้ในการลดแรงดันไม่ต้องมีแท็ปกลาง และใช้ไดโอดเพิ่มอีก 2 ตัว ดังวงจรในรูปที่ 2.13

ในซีกบวกของไฟสลับ จุด A จะมีขั้วเป็นบวก จุด B มีขั้วเป็นลบ ทำให้ไดโอด D_1 และ D_2 ทำงาน เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังโหลด R_L เกิดแรงดันตกคร่อมโหลด R_L ต่อมาเมื่อไฟสลับในซีกลบเข้ามา จุด A จะกลับเป็นขั้วลบ จุด B เป็นขั้วบวก ทำให้ไดโอด D_3 และ D_4 สลับมาทำงานบ้าง เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านโหลด R_L และเกิดแรงดันตกคร่อมโหลด R_L เหมือนกับในซีกบวก จึงได้แรงดันเอาต์พุตออกมาครบทั้งสองซีกของไฟสลับ

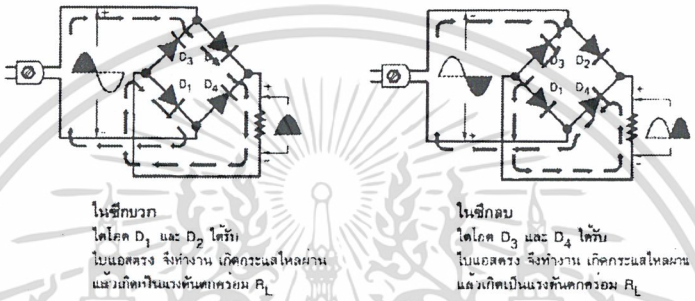


รูปที่ 2.11 การเร็คติไฟร์แบบครึ่งคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

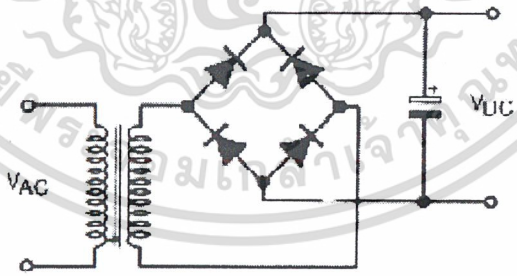


รูปที่ 2.12 การเร็คติไฟร์แบบเต็มคลื่น



รูปที่ 2.13 การเร็คติไฟร์แบบบริดจ์

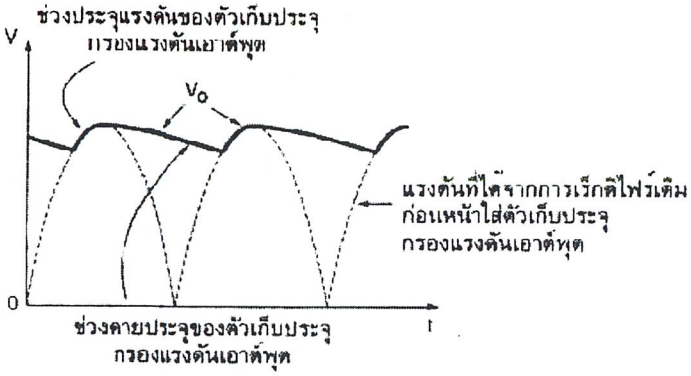
จากรูปที่ 2.14 จะเห็นว่าเอาต์พุตของวงจรเร็กติไฟร์จะได้เป็นพัลส์ไฟตรง ซึ่งไม่มีความราบเรียบ และแรงดันยังไม่คงที่เท่าที่ควร จึงต้องมีอุปกรณ์เพื่อทำหน้าที่กรองแรงดันให้เรียบ อย่างง่ายที่สุด คือ ต่อตัวเก็บประจุค่าสูงๆ คร่อมที่เอาต์พุต จะทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเรียบขึ้นดังวงจรดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 2.14 การต่อตัวเก็บประจุที่เอาท์พุต เพื่อกรองแรงดันให้เรียบขึ้น

ตัวเก็บประจุช่วยกรองแรงดันได้อย่างไร ด้วยคุณสมบัติของตัวเก็บประจุที่สามารถเก็บและคายประจุไฟฟ้าได้ เมื่อวงจรเร็กติไฟร์ได้พัลส์ไฟตรงมา ในช่วงขาขึ้นของแรงดันตัวเก็บประจุจะเริ่มเก็บประจุแรงดัน และเมื่อแรงดันอินพุตของวงจรเร็กติไฟร์เริ่มลดลง ตัวเก็บประจุก็จะทำการคายประจุออกมาอย่างช้าๆ จนเมื่อแรงดันจากการเร็กติไฟร์ในอีกซีกหนึ่งของไฟสลับเข้ามา ตัวเก็บประจุก็จะกลับมาประจุแรงดันอีกครั้งหนึ่ง ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุซึ่งก็คือ แรงดันเอาต์พุตมีความเรียบเป็นเส้นตรงมากขึ้น ดังรูปข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ลักษณะการกรองแรงดันของตัวเก็บประจุ

นอกจากตัวเก็บประจุเดี่ยวๆ แล้วยังสามารถเพิ่มตัวเหนี่ยวนำและตัวต้านทานช่วยในการกรองแรงดันให้ราบเรียบดังรูปข้างล่าง เมื่อต่อตัวเหนี่ยวนำเข้าไป ค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำจะสร้างอิมพีแดนซ์ค่าสูงต้านส่วนประกอบกระแสสลับของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอด แต่ในขณะเดียวกัน ตัวเหนี่ยวนำก็ยอมให้ส่วนประกอบกระแสตรงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอดผ่านออกไปได้ ทำให้แรงดันเอาต์พุตมีความเรียบมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้ตัวเหนี่ยวนำเพื่อกรองแรงดันเพียงอย่างเดียว ยังไม่สามารถทำให้ริปเปิล (ripple) หรือระลอกคลื่นบนแรงดันไฟตรงหมดไปได้ นอกจากนี้การใช้ตัวเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียวในการกรองแรงดันยังทำให้แรงดันเอาต์พุตที่ได้มีค่าลดลง จึงต้องต่อตัวเก็บประจุเพิ่มเข้าไปด้วย ดังในรูป 2.16 (ก) เพื่อช่วยให้แรงดันเอาต์พุตมีความราบเรียบเพิ่มมากขึ้น และมีค่าแรงดันไฟตรงสูงขึ้นด้วย

อย่างไรก็ตามการใช้ตัวเหนี่ยวนำก็มีความยุ่งยากไม่น้อยในการสร้างตัวเหนี่ยวนำขึ้นมาใช้งาน จึงมีการใช้ตัวต้านทานมาต่อแทนตัวเหนี่ยวนำดังในรูป 2.16 (ข) ซึ่งก็พอใช้งานได้แต่ไม่เหมาะสมที่มีกระแสสูงๆ เพราะจะเกิดความร้อนสะสมจำนวนมากที่ตัวต้านทาน อาจทำให้ตัวต้านทานไหม้เสียหายได้

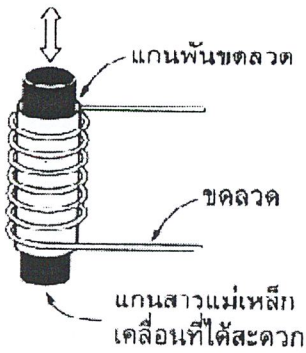
(ก) ใช้ตัวเหนี่ยวนำกับตัวเก็บประจุ (ข) ใช้ตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุ

รูปที่ 2.16 การใช้ตัวเหนี่ยวนำและตัวต้านทานมาต่อร่วมกับตัวเก็บประจุเพื่อกรองแรงดัน

2.4 โซลินอยด์ (solenoid)

เป็นอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานจลน์ โซลินอยด์จะมีลักษณะเป็นขดลวดพันบนแกนทรงกระบอก ภายในแกนจะมีแกนเหล็กที่สามารถเคลื่อนที่ได้อิสระเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดทำให้มีสภาพเหมือนเป็นแม่เหล็กซึ่งจะทำการดึงแกนเหล็กนี้ให้เคลื่อนที่ได้ ดังรูปข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

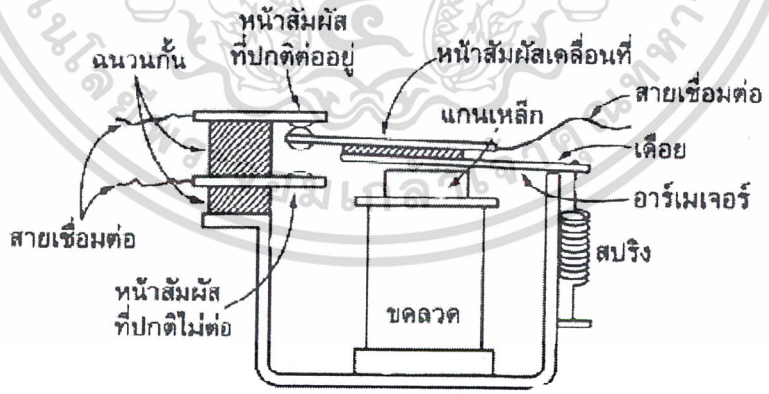


รูปที่ 2.17 โครงสร้างของโซลินอยด์

โซลินอยด์มีทั้งแบบไฟตรงและไฟสลับ โดยมีข้อแตกต่างกันดังนี้ ในโซลินอยด์ไฟตรง กระแสที่ไหลในขดลวดจะค่อนข้างคงที่ ไม่ว่าแกนเหล็กเคลื่อนที่นั้นจะอยู่ที่ตำแหน่งใดก็ตาม แต่ในโซลินอยด์ไฟสลับเมื่อแกนเหล็กเคลื่อนที่อยู่ในตำแหน่งนอกขดลวดกระแสจะมีค่าสูง และจะลดลงเมื่อแกนเหล็กเคลื่อนที่เข้ามาจนสุดขดลวด ดังนั้นโซลินอยด์ไฟสลับจึงต้องระมัดระวังอย่าให้แกนเคลื่อนที่เกิดการติดขัดขณะที่มีการเคลื่อนที่ มิฉะนั้นจะทำให้เกิดกระแสจำนวนมากไหลค้างอยู่ ทำให้ขดลวดร้อนขึ้นและอาจไหม้เสียหายได้

2.5 รีเลย์ (relay)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กระแสต่ำๆ เพื่อควบคุมสวิตช์ให้ตัดต่อโหลดที่มีกระแสสูงๆ โครงสร้างส่วนประกอบของรีเลย์ แสดงดังรูปข้างล่าง การทำงานของรีเลย์ คือ เมื่อมีแรงดันตกคร่อมขดลวดจะทำให้เกิดกระแสไหลผ่านขดลวด ซึ่งจะทำให้หน้าสัมผัสเคลื่อนที่ (moving contact) เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าดูดหน้าสัมผัส NO (ปกติเปิดวงจร : normally open) ให้ต่อวงจร และเมื่อปลดแรงดันออก สนามแม่เหล็กก็จะหมดลง หน้าสัมผัสเคลื่อนที่ก็จะดีดกลับมาต่อยังหน้าสัมผัส NC (ปกติต่อวงจร : normally close) สัญลักษณ์ของรีเลย์มีหลายแบบ ดังแสดงในรูป 2.18



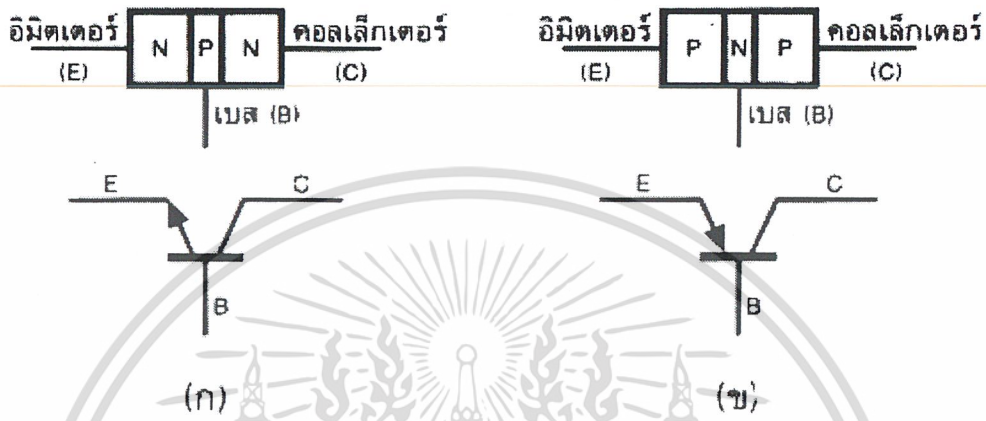
รูปที่ 2.18 โครงสร้างของรีเลย์

รีเลย์เป็นอุปกรณ์ที่มีความเร็วในการทำงานต่ำ ดังนั้นในรีเลย์ชนิดแรงดันต่ำจะใช้เวลาในการทำงานราว 15-30 มิลลิวินาที และใช้เวลามากกว่า 100 มิลลิวินาที สำหรับรีเลย์ขนาดใหญ่ที่ใช้ในวงจรมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ทรานซิสเตอร์

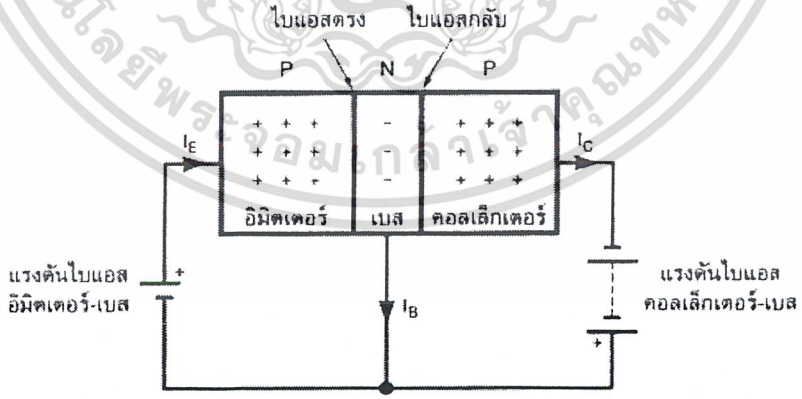
เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่พัฒนามาจากไดโอด สามารถที่จะขยายสัญญาณให้มีขนาดโตขึ้นได้ ทรานซิสเตอร์แบ่งออกได้ 2 ชนิดตามลักษณะโครงสร้าง แบบ NPN และ PNP ในรูปที่ 2.19 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ชนิด ทรานซิสเตอร์มีขาสัญญาณ 3 ขา คือ เบส (base) , คอลเล็กเตอร์ (collector) และอิมิตเตอร์ (emitter)



รูปที่ 2.19 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ (ก) NPN (ข) PNP

2.6.1 การทำงานของทรานซิสเตอร์

เนื่องจากทรานซิสเตอร์มี 3 ขา การไบแอสให้ทำงานจึงต้องมีวิธีการที่แตกต่างจากไดโอด จะขอยกตัวอย่างทรานซิสเตอร์ชนิด PNP จะต้องให้ไบแอสตรงทางอินพุต คือ ให้ไฟบวกที่ขาอิมิตเตอร์ และไฟลบที่ขาเบส ส่วนทางเอาต์พุตจะให้ไบแอสกลับไว้ คือ ให้ไฟบวกที่ขาเบส และไฟลบที่ขาคอลเล็กเตอร์ ดังในรูป 2.20



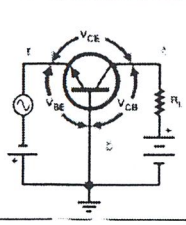
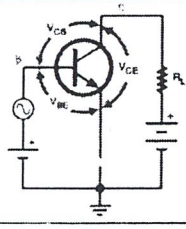
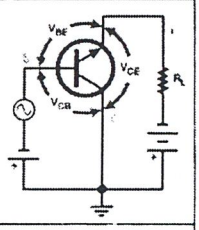
รูปที่ 2.20 การนำกระแสของทรานซิสเตอร์

จากรูปพิจารณาจะเห็นว่า ที่เบสกับอิมิตเตอร์เสมือนเป็นไดโอดตัวหนึ่ง เมื่อแรงดันที่เบสกับอิมิตเตอร์สูงถึงจุดทำงาน (0.7 โวลต์ สำหรับชนิดซิลิกอน) จะทำให้ช่วงของสาร N แคบลง กระแสจึงสามารถไหลผ่านจากอิมิตเตอร์ไปยังคอลเล็กเตอร์ ก็จะทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ทรานซิสเตอร์สามารถจัดวงจรได้ 3 แบบ คือ วงจรเบสร่วม (common base) , วงจรอิมิตเตอร์ร่วม (common emitter) และวงจรคอลเล็กเตอร์ร่วม (common collector) โดยมีลักษณะวงจรและคุณสมบัติดังแสดงในรูป 2.21

คุณสมบัติ	เบสร่วม	อิมิตเตอร์ร่วม	คอลเล็กเตอร์ร่วม
			
การขยายกำลัง	ขยายได้	ขยายได้	ขยายได้
การขยายแรงดัน	ขยายได้	ขยายได้	ไม่ขยาย (มีอัตราขยายน้อยกว่า 1)
การขยายกระแส	ไม่ขยาย (มีอัตราขยายน้อยกว่า 1)	ขยายได้	ขยายได้
อินพุตอิมพีแดนซ์	ต่ำสุด (~50 โอห์ม)	ปานกลาง (~1 กิโลโอห์ม)	สูงสุด (~300 กิโลโอห์ม)
เอาต์พุตอิมพีแดนซ์	สูงสุด (~1 เมกะโอห์ม)	ปานกลาง (~50 กิโลโอห์ม)	ต่ำสุด (~300 โอห์ม)
การกลับเฟสเอาต์พุต	ไม่มี	มี	ไม่มี

รูปที่ 2.21 คุณสมบัติของการจัดวงจรแบบต่างๆ ของทรานซิสเตอร์

กระแสไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับทรานซิสเตอร์มีด้วยกัน 3 ตัว คือ กระแสเบส (I_B), กระแสอิมิตเตอร์ (I_E) และกระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C) โดยมีความสัมพันธ์ คือ

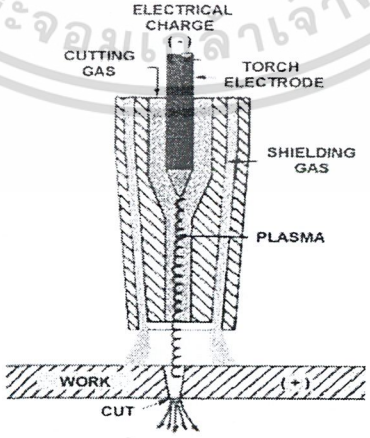
$$I_C = \beta I_B$$

$$I_E = I_C + I_B = I_B(\beta + 1)$$

โดยที่ β คือ อัตราการขยายกระแสของตัวทรานซิสเตอร์

ตามปกติกระแส I_B จะมีค่าน้อยมาก มีหน่วยเป็นไมโครแอมป์หรือมิลลิแอมป์ ในขณะที่กระแสคอลเล็กเตอร์และอิมิตเตอร์จะมีค่าสูงกว่ามาก คือตั้งแต่เป็นมิลลิแอมป์ไปจนถึงหลายๆ สิบแอมป์ในกรณีที่เป็นทรานซิสเตอร์กำลัง (power transistor)

2.7 ทฤษฎีพลาสมา

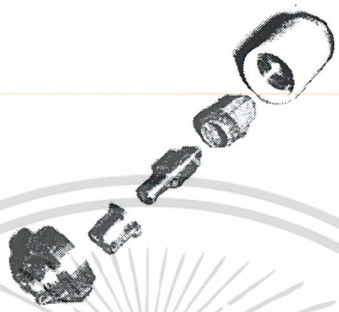


รูปที่ 2.22 แสดงการทำงานของเครื่องตัดพลาสมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

45800

Plasma Cutting เป็นเครื่องตัดโลหะที่อาศัยการแตกตัวของก๊าซที่อุณหภูมิสูง เมื่อก๊าซผ่านขั้ว electrode ก๊าซจะร้อนขึ้นจนอุณหภูมิสูงประมาณ 2000 องศาเซลเซียส โดยปกติแล้วสสารทั่วไปจะมีอยู่ 3 สถานะคือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ และเมื่อ ก๊าซถูกทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงประมาณ 2,000 องศาเซลเซียส จะเข้าสู่สถานะที่ 4 โมเลกุลของก๊าซจะแตกตัวกลายเป็นไอออน ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ตั้งชื่อสถานะนี้ว่า Plasma เสมือนโลหะที่ถูกตัดออกจากวงจร ซึ่งการนำไฟฟ้าของโลหะจะเป็นตัวดึงให้ เปลว (arc) วิ่งเข้าสู่ชิ้นงาน หัวตัดพลาสมา ทำงานโดยการส่งกระแสไฟฟ้าผ่านก๊าซไหลผ่านไปยังหัวฉีด ก๊าซประอบไปด้วย ก๊าซไนโตรเจน อาร์กอน ออกซิเจน



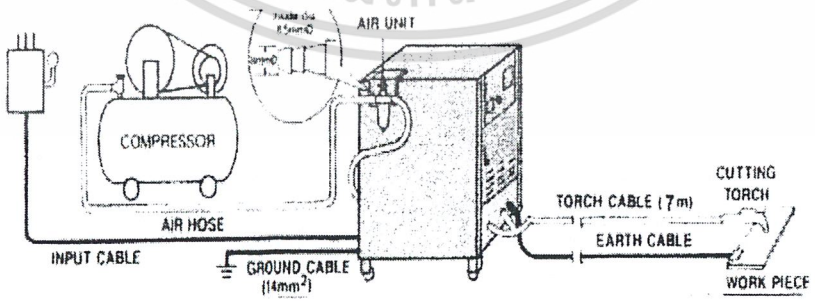
รูปที่ 2.23 แสดงส่วนประกอบของหัวตัดพลาสมา

2.7.1 ส่วนประกอบของหัวตัด

จากรูปหัวตัดพลาสมาประกอบด้วย

1. Swirl Ring เป็นชิ้นส่วนที่อยู่ถัดลงมาจากปลอกสวม เมื่ออากาศผ่าน Swirl Ring อากาศจะถูกบีบให้ผ่านช่องเล็กๆทางด้านข้าง ทำให้อากาศเคลื่อนที่หมุนผ่านไปยัง Electrode ไปอย่างเร็ว
2. Extened Electrode คือขั้ว Electrode ทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า
3. Extened Nozzle เป็นชิ้นส่วนที่บีบอัดอากาศผ่าน Nozzle ไปอย่างรวดเร็วเพื่อไปตัดโลหะ
4. Retaining Cap เป็นชิ้นส่วนนอกสุดของหัวตัด

ส่วนประกอบต่างๆเหล่านี้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ในส่วนของอิเล็คโทรด และหัวฉีด มักจะเกิดการชำรุดบ่อย ดังนั้นจึงต้องมีชิ้นส่วนสำรองไว้

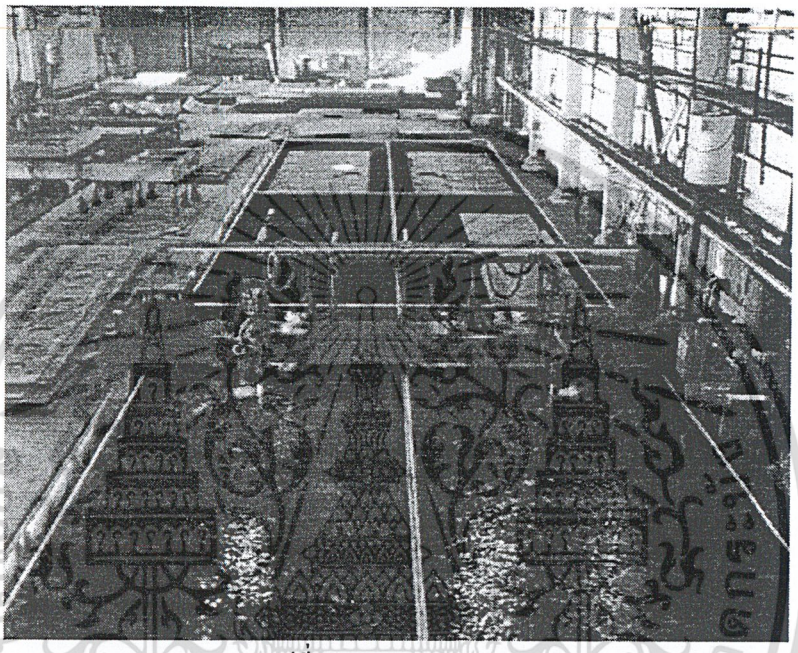


รูปที่ 2.24 องค์ประกอบของเครื่องตัดพลาสมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 หลักการทำงานของ Plasma Cutting

Plasma Cutting สามารถทำการตัดโลหะได้โดยอาศัยแรงดันอากาศจากคอมเพลสเซอร์ และ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 VAC ที่หัวตัดจะมีสวิตช์ ควบคุมการทำงาน โดยกดสวิตช์ อากาศก็จะไหลผ่านจากคอมเพลสเซอร์มายังเครื่องตัดพลาสมาแล้วผ่านไปตามสายเคเบิล หลังจากนั้นจะเกิดการแตกตัวของก๊าซเข้าสู่สถานะพลาสมา เมื่อพลาสมาไหลผ่านหัวฉีดที่ทำให้เกิดแรงบีบอัดทำให้เกิดความเร็วที่สูง เหมือนกับอากาศที่ผ่าน ช่องเล็กๆ ในคาร์บูเรเตอร์ และก๊าซที่พุ่งด้วยความเร็วสูงจะตัดผ่านวัตถุของแข็ง และก๊าซยังพุ่งลงปกคลุมรอบๆรอยตัด เพื่อปกคลุมรอยตัดอีกด้วย



รูปที่ 2.25 พลาสมา CNC

ภาพด้านบนเป็นภาพถ่ายของ การตัด พลาสมาด้วยระบบ CNC ซึ่งถูกถ่ายไว้เมื่อปี ค.ศ. 1980 กระบวนการตัดพลาสมาได้เริ่มขึ้นเมื่อสมัย 50 ปีก่อน ในช่วงระหว่างสงครามโลกครั้งที่สอง โดยใช้เชื่อมต่อเครื่องบิน

หลังจากนั้น 20-30 ปีต่อมา ได้มีผู้ค้นพบว่า เมื่อก๊าซเฉื่อย ผ่านช่องแคบเล็กๆ ความร้อนที่เกิดจากกระบวนการจะเพิ่มขึ้นสูงมาก ในขณะเดียวกันถ้าหัวฉีดมีรูขนาดเล็กลงจะเกิดการไหลของก๊าซในอัตราเร็วสูงทำให้เนื้องานที่ถูกตัดเกิดช่องว่างขนาดเล็กลงและมีประสิทธิภาพในการตัดมากขึ้น

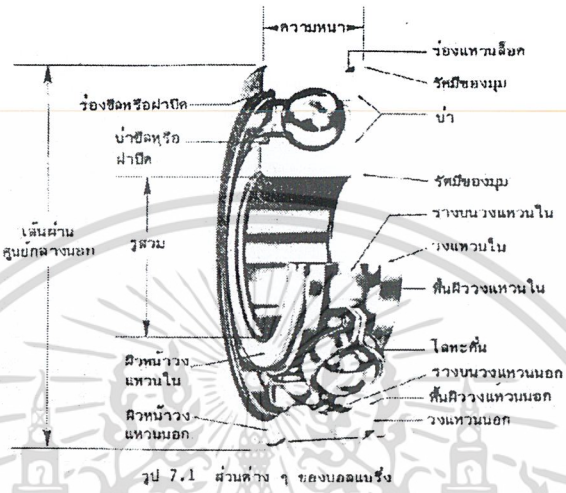
กระบวนการ พลาสมาได้เข้ามาในวงการพาณิชย์ ในช่วง 2-3 ปีแรก ในยุค 60 ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีค่าใช้จ่ายสูงในการดำเนินการ และส่วนใหญ่ต้องใช้อุปกรณ์เผาไหม้ที่มีขนาดใหญ่ ในช่วงต่อมากระบวนการพลาสมา เป็นที่ต้องการอย่างมากในอุตสาหกรรมการผลิต หรือ แม้กระทั่งเจ้าของร้านซ่อมรถเล็กๆ

ในปัจจุบัน พลาสมาได้ถูกทำให้มีเล็กลง ซึ่งบางชนิดมีน้ำหนักเบา ทำให้สะดวกในการพกพาไปใช้งานหรือปรากฏในรูปแบบการติดตั้งมากับ ปั๊มความดัน ที่ทำให้การใช้งานแบบพกพามีความสะดวกมากขึ้น พลาสมาแบบพกพามีน้ำหนักเบา ใช้ไฟ 110 โวลต์ ซึ่งเหมาะแก่การตัดโลหะขนาดบาง แผ่นโลหะขนาดใหญ่ จะใช้กำลังไฟ 220 โวลต์ ใช้กระแสไฟฟ้า 50-80 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 โรลลิ่งแบริ่ง

โรลลิ่งแบริ่ง (rolling bearing) หมายถึงแบริ่งชนิดหนึ่งที่รับแรงโดยอาศัยชิ้นส่วนของแบริ่งที่มีลักษณะ เป็นผิวสัมผัสแบบกลิ้ง (rolling contact) แทนที่จะเป็นผิวสัมผัสแบบเลื่อน (sliding contact) เนื่องจากแบริ่งชนิดนี้มีค่าความเสียดทานน้อยมาก ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งที่นิยมใช้กันทั่วไปในวงการอุตสาหกรรมว่า แอ็นทิฟริคชั่นแบริ่ง (anti friction bearing) ตัวอย่างเช่น บอลแบริ่ง (bvall bearing) หรือตลับลูกปืน ดังรูป 2.26



รูป 7.1 ส่วนต่าง ๆ ของบอลแบริ่ง

รูปที่ 2.26 ส่วนประกอบของแบริ่ง

2.8.1 ข้อดีของโรลลิ่งแบริ่งเปรียบเทียบกับเจอร์นัลแบริ่ง

- มีความเสียดทานระหว่างสตาร์ตน้อย (low starting friction torque) ซึ่งเหมาะสำหรับเครื่องจักรกลที่มีการเดินเครื่องและหยุดเครื่องบ่อย
- ง่ายต่อการหล่อลื่นและดูแลรักษา
- ใช้ปริมาณสารหล่อลื่นน้อย
- ใช้เนื้อที่ทางด้านแกน (axle space) น้อย
- สามารถรับแรงรุน (thrust load) และแรงในแนวรัศมี (radial – load) ได้พร้อมกัน ยกเว้นโรลลิ่งแบริ่งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกตรง (straight roller – bearing) สำหรับเจอร์นัลแบริ่งรับแรง ได้เฉพาะในแนวรัศมีเท่านั้น
- สามารถที่จะทราบได้ว่าแบริ่งกำลังจะเสีย โดยการสังเกตจากเสียงดัง ซึ่งผิดไปจากปกติ
- มีคลียรันซ์น้อยมาก จึงเหมาะแก่การใช้กับเครื่องจักรกลที่ต้องการความละเอียดแม่นยำในการทำงาน เช่น เฟืองและลูกเบี้ยว เป็นต้น
- สามารถใช้รองรับเพลาในตำแหน่งใดๆได้ เช่น ใช้รองรับเพลา ซึ่งวางเรียงเป็นมุมกับแนวระดับ เป็นต้น
- ทำการติดตั้งได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 ข้อเสียของโรลลิ่งแบริ่งเปรียบเทียบกับเจอร์นัลแบริ่ง

- ใช้เนื้อที่ทางด้านรัศมี (radial space) มากกว่า
- โดยปกติแล้วราคาแพงกว่า
- ขณะทำงานจะมีเสียงดังกว่า เนื่องจากมีการสัมผัสระหว่างผิวของลูกกลิ้งและวงแหวนบ้างในบางขณะ
- อายุการใช้งานสั้นกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าสูง และกระทำซ้ำกัน (repeated load) จึงทำให้วัตถุเกิดความล้า
- มีแรงกระแทกทำให้อายุการใช้งานลดลงได้มาก

2.9 เพลา

เพลาเป็นชิ้นส่วนที่มีใช้อยู่ในเครื่องจักรเกือบทุกชนิด ดังนั้นจึงควรที่จะได้พิจารณาถึงการออกแบบเพลาโดยเฉพาะ เพลาอาจจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามลักษณะของการใช้งานาดังต่อไปนี้

เพลา (shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลัง

แกน (axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกันกับเพลาแต่ไม่หมุน ส่วนมากใช้เป็นตัวรองรับชิ้นส่วนที่หมุน เช่น ล้อ สายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลาและแกนอาจเรียกรวมกันว่าเพลา ไม่ว่าชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรือหยุดนิ่งก็ตาม

สพินเดิล (spindle) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ไม่หมุน เช่น เพลาที่หัวแท่นกลึง (Head-stock spindle) เป็นต้น

สตัพชาฟต์ (stub shaft) หรือบางครั้งเรียกว่าเฮดชาฟต์ (head shaft) เป็นเพลาที่ติดกับชิ้นส่วนต่อเนื่องกับเครื่องยนต์ มอเตอร์ หรือเครื่องต้นกำลังอื่นๆ มีขนาดรูปร่าง และส่วนยื่นออกมาสำหรับใช้ต่อกับเพลาอื่นๆ

เพลาแนว (line shaft) หรือเพลาส่งกำลัง เป็นเพลาที่ต่อตรงจากเครื่องต้นกำลัง และใช้ในการส่งกำลังไปยังเครื่องจักรกลอื่นๆ โดยเฉพาะ

แจ็คชาฟต์ (jackshaft)หรือเคาน์ตชาฟต์ (counter shaft) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับเพลาเมนหรือเครื่องจักรกล

เพลาอ่อน (flexible) เป็นเพลาที่สามารถอ่อนตัวหรืองอโค้งได้ เพลาประเภทนี้ทำด้วยสายลวดใหญ่ (cable) ลวดสปริงหรือลวดเกลียว (wire rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่แกนหมุนทำมุมกันได้ แต่ส่งกำลังกันได้น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

3.1 ลำดับขั้นตอนในการดำเนินงาน

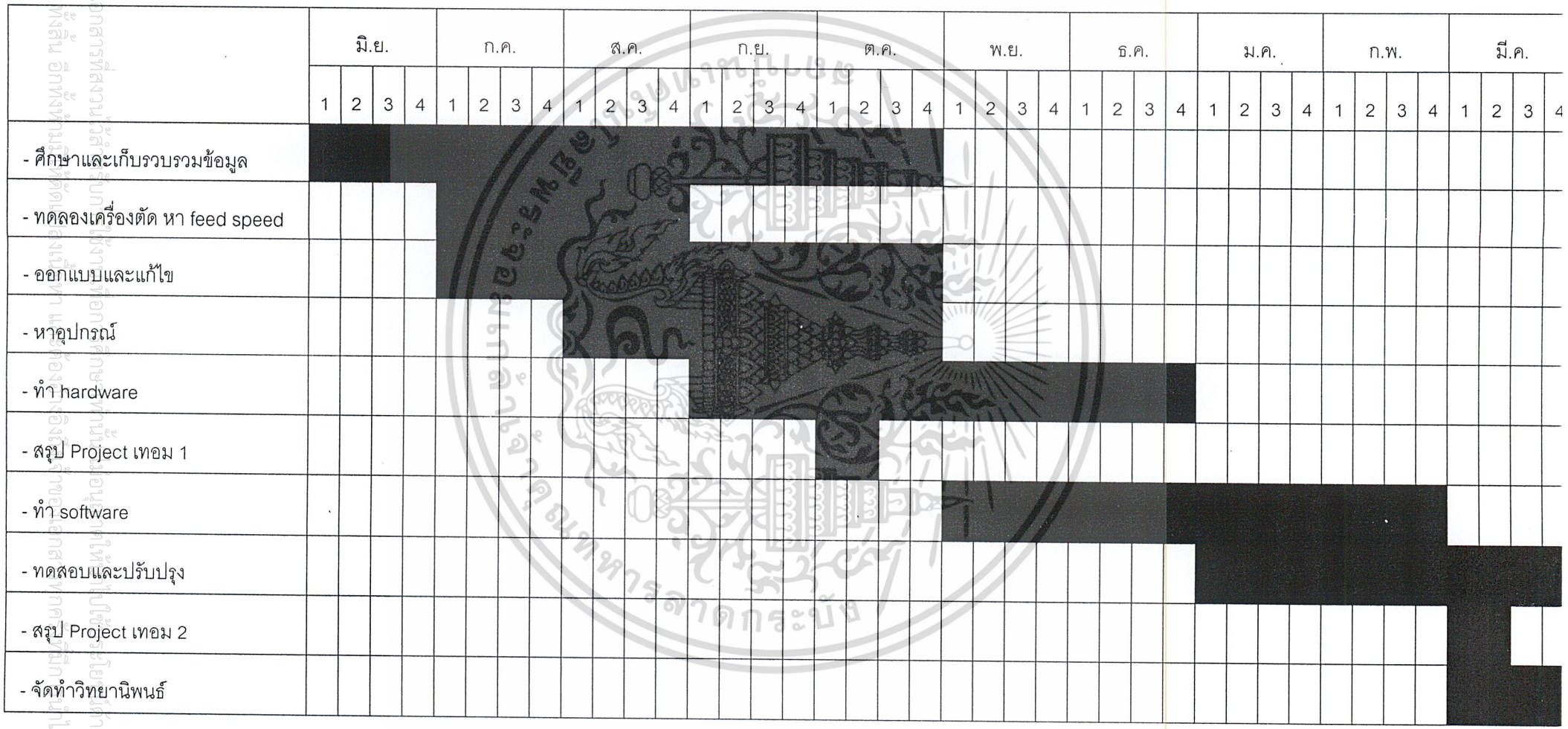
1. ศึกษาและเก็บข้อมูลโครงงานเบื้องต้น
2. ทำการวางแผนโครงงาน
3. ทำการศึกษาข้อมูลในด้านต่างๆ
   - ด้านเครื่องตัดพลาสมา
   - ด้านฮาร์ดแวร์
   - ด้านวงจรไฟฟ้า
   - ด้านซอฟแวร์
4. ออกแบบและดำเนินงานด้านฮาร์ดแวร์
5. ออกแบบและดำเนินงานด้านวงจรไฟฟ้าและส่วนอินเตอร์เฟส
6. ออกแบบและดำเนินงานด้านซอฟแวร์

3.2 การวางแผนโครงงาน

ก่อนเริ่มลงมือทำโครงงาน จำเป็นที่ต้องมีการวางแผนการทำโครงงาน และเป้าหมายในแน่ชัด โครงงานจึงจะสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ซึ่งระยะเวลาการทำโครงงาน รวมทั้งสิ้นประมาณ 1 ปี แบ่งออกเป็น 2 เทอม คือ เทอมที่ 1 และเทอมที่ 2 โดยเทอมแรกเป็นส่วนการศึกษาข้อมูลด้านต่างๆ เช่น ข้อมูลด้านเครื่องตัดพลาสมา , ข้อมูลด้านฮาร์ดแวร์ , ข้อมูลด้านวงจรไฟฟ้า และข้อมูลด้านการเขียนโปรแกรมซอฟแวร์ เป็นต้น เมื่อศึกษาข้อมูลส่วนต่างๆ เสร็จเรียบร้อย ต่อไปจะเป็นในด้านการออกแบบชุดระบบเคลื่อนที่ของหัวตัดพลาสมา ว่าควรออกแบบอย่างไรพร้อมทั้งแก้ไขปรับปรุงแบบให้มีความเหมาะสมและตรงกับความต้องการใช้งานมากที่สุด ส่วนเทอมที่ 2 จะเริ่มลงมือทำจริง ทำตามแบบที่เราได้ออกแบบไว้ ซึ่งการลงมือจริงบางส่วน อาจต้องมีการปรับปรุงแก้ไขแบบ ไม่สามารถทำได้เหมือนตามแบบ อาจเป็นเพราะว่า อุปกรณ์ที่ได้ออกแบบไว้ หาได้ยาก มีราคาแพง เป็นต้น หลังจากสร้างและปรับปรุงส่วนต่างๆ เรียบร้อย ส่วนสุดท้าย เป็นส่วนสรุปผลการทดลอง และจัดทำวิทยานิพนธ์ ให้เรียบร้อย ดังแสดงแผนงานตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.1 แผนการดำเนินงาน ด้าน ฮาร์กแวร์ และ ซอฟแวร์



3.3 การศึกษาข้อมูล

แบ่งเป็นการศึกษาข้อมูลด้านต่างๆต่อไปนี้

3.3.1 ด้านเครื่องตัดพลาสมา

ได้ทำการศึกษาข้อมูล

- ข้อมูลจากคู่มือการใช้เครื่องตัดพลาสมา
- หนังสือจากห้องสมุด
- ข้อมูลจากโรงงาน
- ข้อมูลจากอินเตอร์เนต
- ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน
- ปรึกษารุ่นพี่บริษัท Hyperterm

3.3.2 ด้านอาร์ดแวร์

ได้ทำการศึกษาข้อมูล

- การใช้เครื่องมือเครื่องจักรต่างๆ
- ข้อมูลจากอินเตอร์เนต
- ข้อมูลจากห้องสมุด
- ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน
- ปรึกษารุ่นพี่บริษัท Hyperterm

3.3.3 ด้านวงจรไฟฟ้า

ได้ทำการศึกษาข้อมูล

- ศึกษาวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ
- ศึกษาวงจร อินเตอร์เฟส

3.3.4 ด้านซอฟแวร์

ได้ทำการศึกษาข้อมูล

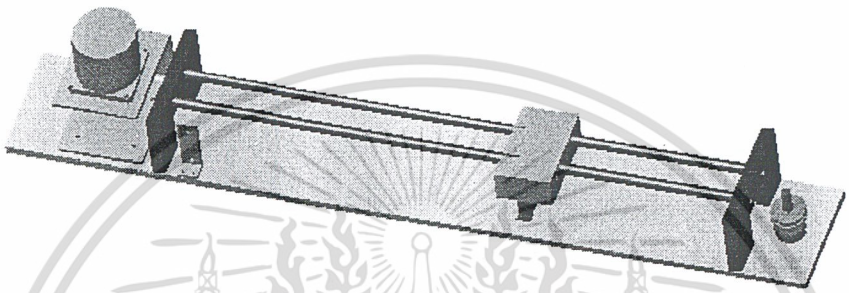
- การเขียนโปรแกรม Visual Basic
- หนังสือคู่มือการใช้คอมพิวเตอร์
- วิทยานิพนธ์ที่มีเนื้อหาใกล้เคียง
- ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน
- ข้อมูลจากอินเตอร์เนต
- ข้อมูลจากห้องสมุด
- หนังสือวงจรอิเล็คโทรนิคส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบและดำเนินงานด้านฮาร์ดแวร์

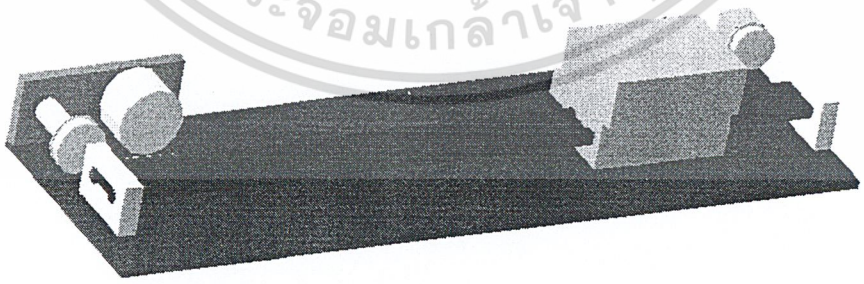
3.4.1 โครงสร้างของฮาร์ดแวร์สามารถแบ่งออกเป็นส่วนประกอบต่างๆได้ดังนี้

1. การออกแบบส่วนชุดขับเคลื่อนแกน Y มีลักษณะดังรูปที่ 3.1 มีชุดแท่นเลื่อนที่สามารถเคลื่อนที่ได้เป็นระยะประมาณ 48 cm ใช้เสต็ปปิ้งมอเตอร์ 12 volt เป็นตัวขับเคลื่อนและใช้ลวดสลิงเป็นตัวส่งกำลัง มีสวิสต์ลิมิตเซนเซอร์ เป็นตัวกำหนดตำแหน่งจุดเริ่มต้น



รูปที่ 3.1 แสดงชุดขับเคลื่อนแกน Y

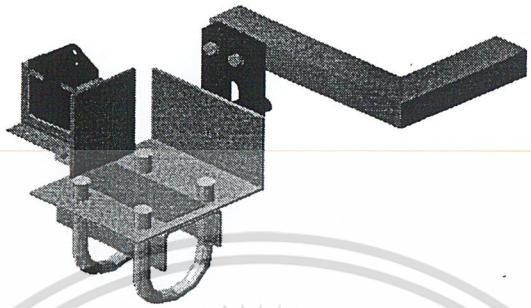
2. การออกแบบส่วนชุดขับเคลื่อนแกน X มีลักษณะดังรูปที่ 3.2 มีชุดแท่นเลื่อนที่สามารถเคลื่อนที่ได้ระยะประมาณ 55 cm ใช้ เสต็ปปิ้งมอเตอร์ 12 volt เป็นตัวขับเคลื่อน และใช้สายพาน Timming เป็นตัวส่งกำลัง มีสวิสต์ลิมิต เป็นตัวกำหนดตำแหน่งจุดเริ่มต้น



รูปที่ 3.2 ชุดขับเคลื่อนแกน X

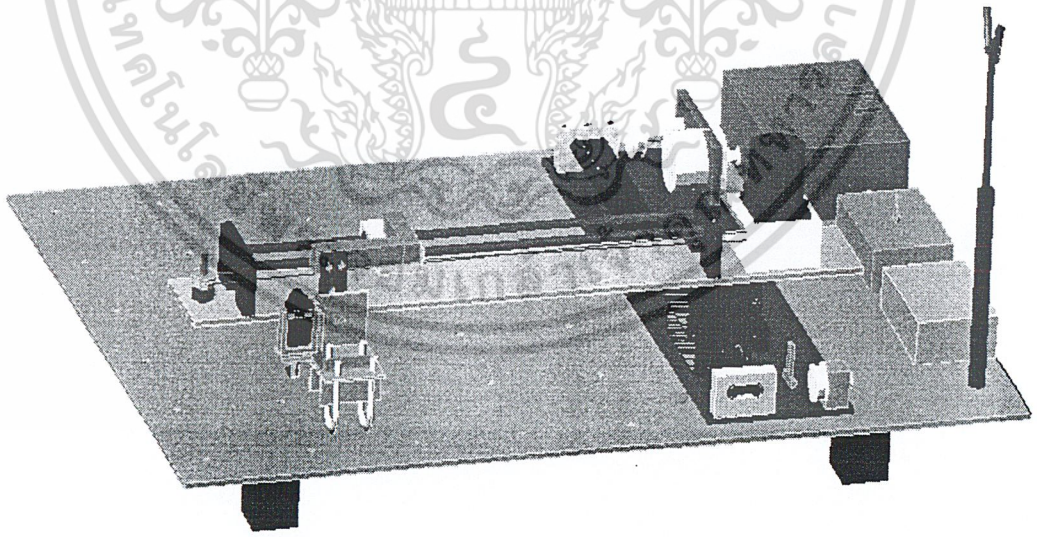
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การออกแบบส่วนแขนจับหัวตัด มีลักษณะดังรูปที่ 3.3 ส่วนแขนทำจากอลูมิเนียม และส่วนที่ใช้ยึดจับหัวตัดใช้แผ่นเหล็กนำมาพับ สามารถถอดและใส่หัวตัดพลาสมาได้ง่าย แขนจับสามารถปรับระยะในแกน Z ได้ประมาณ 2 cm มีโซลินอยด์เป็นตัวสั่งงานให้หัวตัดทำงาน



รูปที่ 3.3 แขนจับหัวตัดพลาสมาและตัวปรับระดับความสูงแผ่นเหล็ก

4. การออกแบบในส่วนของโต๊ะสำหรับวางชิ้นงาน เป็นแผ่นเหล็กที่ทำการเจาะรูขนาด 7 mm ใช้สำหรับใส่น็อตรองใช้ในการปรับระดับความสูง และสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายชิ้นงาน ด้านริมใช้สำหรับวาง ชุดวงจรแปลงไฟ จากไฟฟ้ากระแสสลับ 220 volt เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 5 และ 12 volt ,วงจรอินเตอร์เฟส และเสาที่ใช้รองสายลม เมื่อนำโต๊ะวางชิ้นงานมาประกอบกับ ชุดขับเคลื่อนอัตโนมัติจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ชุดขับเคลื่อน 2 แกนครึ่ง พร้อมโต๊ะยึด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 รายละเอียดส่วนประกอบต่างๆ

1. ชุดขับเคลื่อนแกน X และ แกน Y

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบของชุดขับเคลื่อน

ชนิด	ชนาด	จำนวน
เสต็ปปิ้งมอเตอร์	DC 12 volt	2
อลูมิเนียม	5 x 7 x 2 cm	1
อลูมิเนียม	1.2 x 10 x 5 cm	2
อลูมิเนียม	10 x 70 x 0.8 cm	1
ลวดสลิง	80 cm	1
เพลา	Diameter 0.8 x 5.2 cm	2
ชุดล้อเลื่อน	10 x 15 x 35 cm	1
ชุดปรับระดับความตึง	12 x 30 x 10 cm	2

2. ชุดแขนจับชิ้นงาน

ตารางที่ 3.3 ส่วนประกอบของชุดแขนจับชิ้นงาน

ชนิด	ชนาด	จำนวน
อลูมิเนียม	2 x 2 cm	1
โซลินิยด์	0.5 kg / 10 cm^2	1
เหล็ก U	0.7 cm	2

3. โต๊ะวางชิ้นงาน

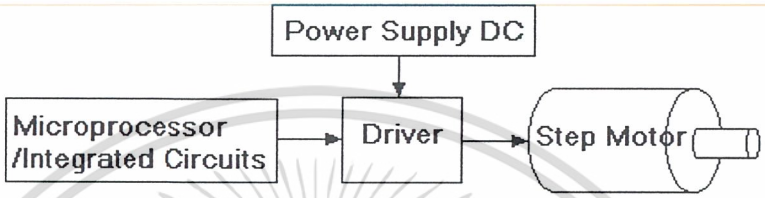
ตารางที่ 3.4 ส่วนประกอบของโต๊ะวางชิ้นงาน

ชนิด	ชนาด	จำนวน
แผ่นเหล็ก	70 x 95 x 0.6 cm	1
น็อต	0.7 cm	30
เหล็กท่อสี่เหลี่ยม	50 x 50 x 90 cm	4
ชุดวางสายพลาสมา	Diameter 2 x 38 cm	1

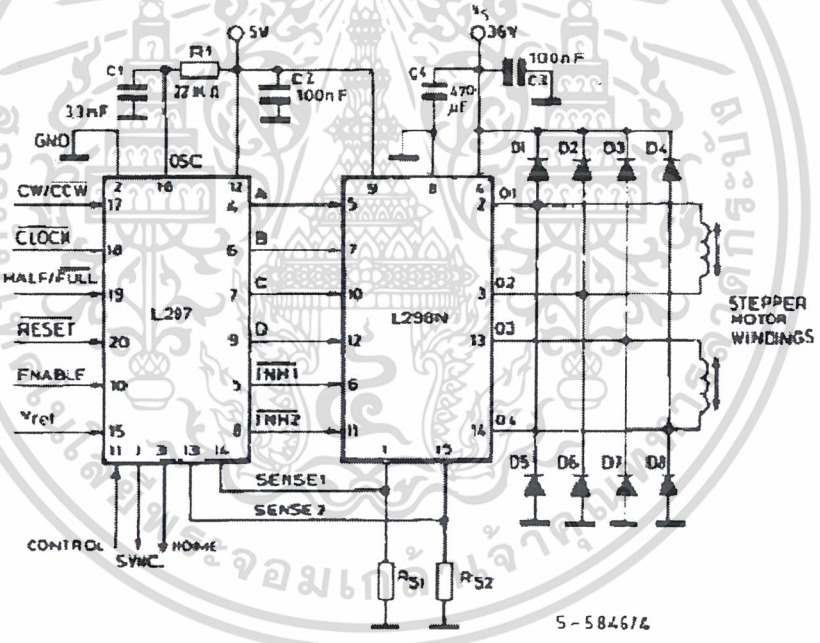
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบและดำเนินงานด้านวงจรและส่วนอินเตอร์เฟส

ต่อไปจะกล่าวถึงการดำเนินการด้านวงจรและส่วนอินเตอร์เฟส ดังแสดงในรูปที่ 3.5 การสั่งงานเสต็ปปิ้งมอเตอร์ของชุดเคลื่อนที่แต่ละแกนให้เคลื่อนที่ ต้องมีวงจรสำหรับควบคุมในที่นี้ใช้วงจรสำเร็จรูป L 297 โดยรายละเอียดของวงจรแสดงดังรูปที่ 3.5 โดยส่งสัญญาณจากคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตขนานไปยังวงจร สำหรับไฟเลี้ยงวงจรหรือพาวเวอร์ซัพพลาย จะใช้หม้อแปลงลดแรงดัน แปลงไฟกระแสสลับ 220 volt ให้กลายเป็นไฟกระแสตรง 5 volt และส่วนควบคุมโซลินอยด์ ซึ่งใช้สำหรับสั่งงานกดปุ่มให้หัวตัดพลาสมาทำงาน จะใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวควบคุมการจ่ายไฟให้โซลินอยด์ทำงาน



รูปที่ 3.5 แสดงการควบคุมเสต็ปปิ้งมอเตอร์



รูปที่ 3.6 แสดงรายละเอียดของวงจรควบคุมเสต็ปปิ้งมอเตอร์

วงจรขับเสต็ปปิ้งมอเตอร์ มีรายละเอียดของวงจรดังรูปที่ 3.6 ซึ่งประกอบด้วยชิปไอซี และอุปกรณ์อิเลคทรอนิคค์ต่างๆ แต่ละขาของชิปไอซีทำหน้าที่ต่างกัน โดยเราจะส่งสัญญาณจากคอมพิวเตอร์ไปควบคุมที่ขาไอซี ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

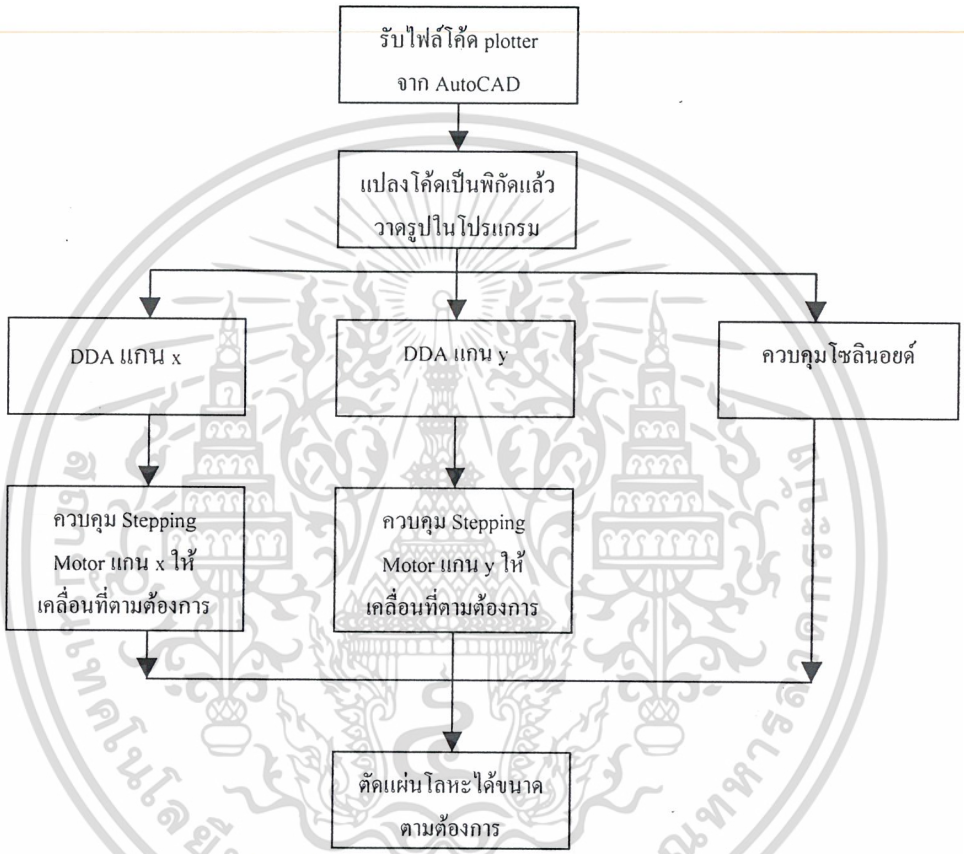
- Enable เป็นขาสำหรับสั่งให้เสต็ปปิ้งมอเตอร์พร้อมเริ่มทำงาน
- Half / Full เป็นขาสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของเสต็ปปิ้งมอเตอร์ ว่าเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาฟเสต็ปหรือฟูลเสต็ป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Clock เป็นขาสำหรับป้อนพัลซ์ให้แก่เสต็ปปิ้งมอเตอร์ เมื่อป้อนพัลซ์ไป 1 พัลซ์เสต็ปปิ้งมอเตอร์จะเคลื่อนที่ไป 1 เสต็ป

- CW / CCW เป็นขาสำหรับควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของเสต็ปปิ้งมอเตอร์ว่าจะเคลื่อนที่แบบทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกา

3.6 การออกแบบและดำเนินงานด้านซอฟแวร์



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมซอฟแวร์

โปรแกรมควบคุมเครื่องตัดพลาสมา เป็นโปรแกรมสำหรับสั่งงานให้เครื่องตัดพลาสมาเคลื่อนที่ตัดแผ่นโลหะตามแบบที่ต้องการ โดยโปรแกรมจะทำหน้าที่สั่งงานให้คอมพิวเตอร์จ่ายกระแสผ่านพอร์ตขนานไปยังชุดอินเตอร์เฟสและวงจรควบคุมเสต็ปปิ้งมอเตอร์ ทำให้หัวตัดพลาสมาเคลื่อนที่ตามต้องการ จากรูปที่ 3.7 แสดงรายละเอียดขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม เริ่มจากรับไฟล์โค้ดเข้ามาจากโปรแกรม AutoCAD หลังจากนั้นโปรแกรมแปลงโค้ดเหล่านั้นให้เป็นรูปภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นโปรแกรมจะประมวลผลและส่งสัญญาณไปควบคุมเสต็ปปิ้งมอเตอร์ทำให้หัวตัดพลาสมาเคลื่อนที่ตัดชิ้นงานตามรูปที่ต้องการ

โดยรายละเอียดของโปรแกรมมีดังนี้ คือ

- ส่วนแสดงผล สำหรับแสดงรูปภาพของชิ้นงานที่จะทำการตัด
- ส่วนเมนู เป็นส่วนชุดคำสั่งสำหรับควบคุมเครื่องตัดพลาสมา
- ส่วนแสดงพิกัด X , Y เป็นส่วนแสดงพิกัดของเมาส์และพิกัดของหัวตัดพลาสมา
- ปุ่มต่างๆ ประกอบด้วยปุ่มสำหรับสั่งให้เครื่องตัดพลาสมาทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

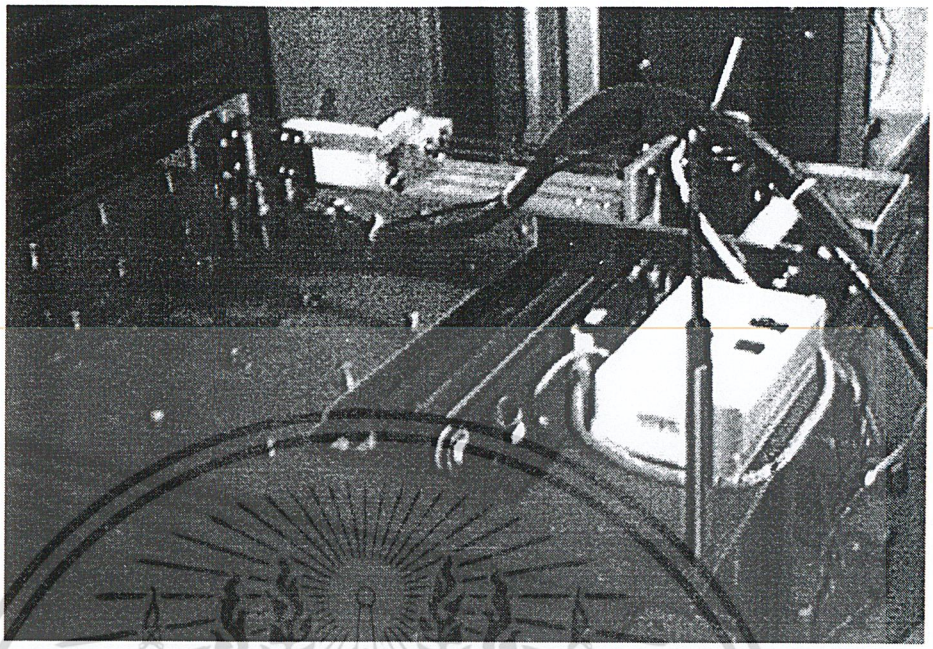
การดำเนินโครงงานสร้าง ชุดขับเคลื่อนอัตโนมัติ 2 แกนครึ่งสำหรับเครื่องตัดพลาสมา ได้แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 4 ส่วนคือ ด้าน ฮาร์ดแวร์, วงจรไฟฟ้า, ด้าน ซอฟแวร์ และการทดลองตัดชิ้นงาน ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดทั้งหมดภายในบทนี้ การตัดชิ้นงานใช้แผ่นเหล็กเป็นชิ้นงานทดสอบ ผลของโครงงานนี้เป็นการทดสอบตัดชิ้นงานเป็นรูปต่างๆ ซึ่งรับข้อมูลเป็นไฟล์โค้ดจากโปรแกรม AutoCAD ผ่านซอฟต์แวร์แล้วสั่งงานให้หัวตัดเคลื่อนที่ตัดชิ้นงานให้ได้ตามแบบที่ถูกต้อง การดำเนินงานในแต่ละส่วนมีความสัมพันธ์เกี่ยงเนื่องต่อกัน ดังนั้นต้องมีการปรับปรุงการทำงานของแต่ละส่วนให้มีความสัมพันธ์ต่อกัน

4.1 ผลการดำเนินงานด้านฮาร์ดแวร์

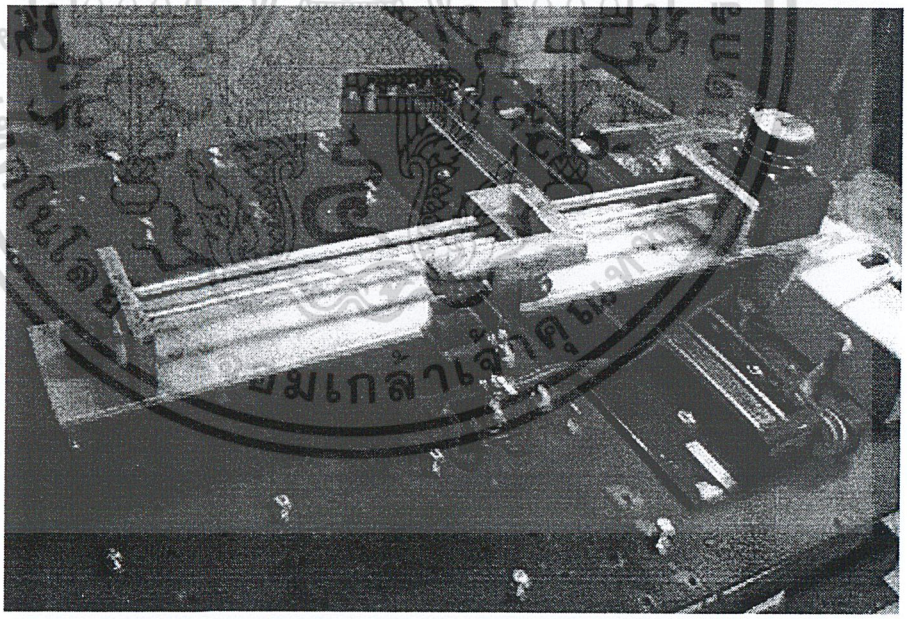
จากการดำเนินงานศึกษาเก็บข้อมูลต่างๆ ออกแบบและสร้างชุดขับเคลื่อน ทำให้ได้ชุดขับเคลื่อนที่มีคุณสมบัติและรายละเอียดต่อไปนี้

- สามารถใช้งานได้กับเครื่องตัดพลาสมารุ่น POWERMAX 350
- ความละเอียดในการเคลื่อนที่ในแนวแกน X คือ 0.18 mm ใช้เสต็ปปิ้งมอเตอร์เป็นต้นกำลัง ใช้ลวดสลิงเป็นตัวส่งผ่านกำลัง แท่นเลื่อนมีตัวปรับระดับความระดับความตึงของลวดสลิง มี สวิสต์ลิมิต เป็นตัวเซ็ทตำแหน่งจุดเริ่มต้น และแกน Y 0.13 mm ใช้เสต็ปปิ้งมอเตอร์เป็นต้นกำลัง ใช้ สายพานทามมิ่ง เป็นตัวส่งผ่านกำลัง มีสวิสต์ลิมิตเป็นตัวเซ็ท ตำแหน่งจุดเริ่มต้น ชุดขับเคลื่อนทั้ง 2 แกนสามารถเคลื่อนที่ได้เป็นอิสระ ต่อกัน
- แขนจับหัวตัดทำจากอลูมิเนียม และส่วนที่ใช้ยึดจับหัวตัดใช้แผ่นเหล็ก สามารถถอดและใส่หัวตัดได้ง่าย ในส่วนของแขนจับหัวตัดสามารถปรับความสูงในแนวแกน Z ได้ประมาณ 2 cm มี โซลินอยด์ เป็นตัวสั่งงานให้หัวตัดทำงาน ชุดขับเคลื่อนมีน้ำหนักรวม 15 kg
- โต๊ะสำหรับวางชิ้นงานเป็นแผ่นเหล็กที่ทำการเจาะรูขนาด 7 mm เพื่อใช้สำหรับใส่น็อตรองใช้ในการปรับระดับความสูงให้สัมพันธ์กับความหนาของแผ่นเหล็ก, เพื่อเป็นการระบายอากาศ และสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายชิ้นงาน ด้านริมใช้สำหรับวาง ชุดวงจรแปลงไฟ จากไฟฟ้ากระแสสลับ 220 Volt เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 5 และ 12 Volt ,วงจรอินเตอร์เฟส และเสาสำหรับใช้วางพาดสายพลาสมา โต๊ะวางชิ้นงานมีน้ำหนัก 35 kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 รูปภาพชุดเคลื่อนที่หัวตัดพลาสมา รูปที่ 1



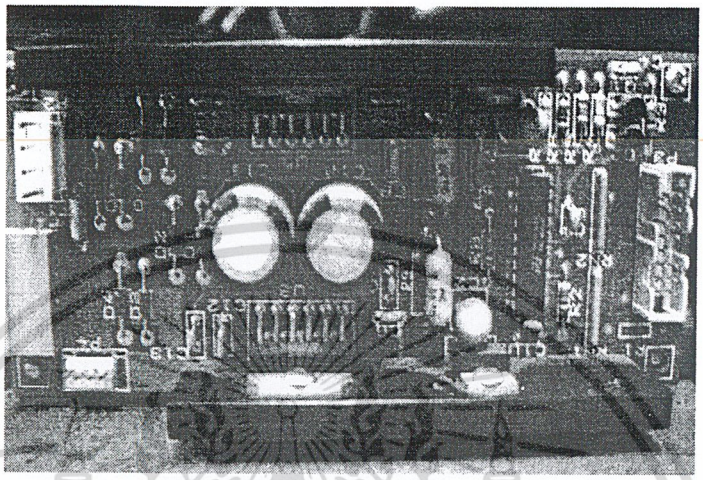
รูปที่ 4.2 รูปภาพชุดเคลื่อนที่หัวตัดพลาสมา รูปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการดำเนินงานด้านวงจรและส่วนอินเตอร์เฟส

4.2.1 วงจรอินเตอร์เฟส

4.2.2 วงจร แปลงไฟจาก 220 VAC เป็น 5 และ 12 VDC

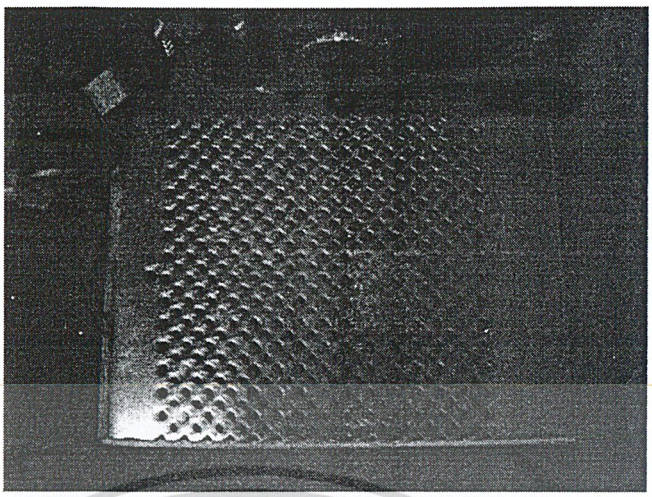


รูปที่ 4.3 วงจรควบคุมเสต็ปปิ้งมอเตอร์

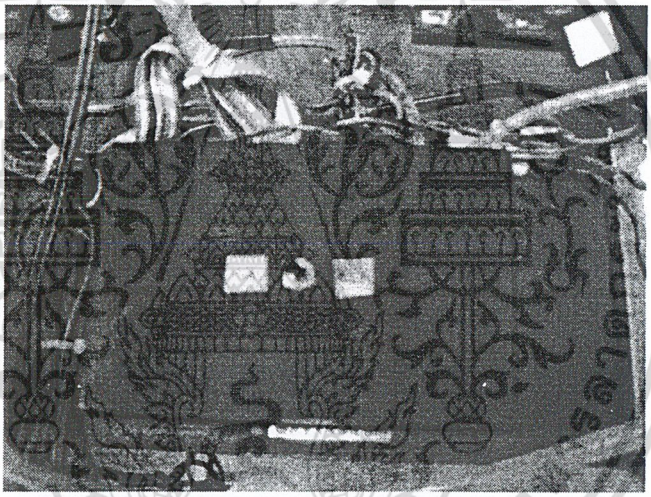
รูปที่ 4.4 วงจรแปลงไฟฟ้า 220 VAC เป็น 12 VDC

รูปภาพที่ 4.3 เป็นรูปวงจรควบคุมเสต็ปปิ้งมอเตอร์ สำหรับชุดขับเคลื่อน 1 แกน ดังนั้นต้องมีวงจรควบคุม 2 วงจรสำหรับชุดขับเคลื่อน 2 แกน โดยมีวงจรอินเตอร์เฟสเป็นชุดจ่ายสัญญาณให้วงจร ส่วนรูปภาพที่ 4.4 เป็นชุดวงจรแปลงไฟฟ้าจากกระแสสลับ 220 VAC เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 12 VDC เพื่อสำหรับเป็นไฟเลี้ยงให้เสต็ปปิ้งมอเตอร์ โดยภายในประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า และชุดแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 วงจรแปลงไฟฟ้า 12 VAC เป็น 5 VDC



รูปที่ 4.6 ชุดอินเตอร์เฟส

รูปภาพที่ 4.5 เป็นรูปวงจรแปลงไฟฟ้า 12 VAC เป็น 5 VDC โดยภายในประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าและชุดแปลงไฟ เพื่อสำหรับเป็นไฟเลี้ยงวงจร ส่วนรูปที่ 4.6 เป็นชุดอินเตอร์เฟส เพื่อเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และวงจรขับเสต็ปปิ้งมอเตอร์ โดยมีช่องสำหรับต่อสายพรินเตอร์พอร์ต และสายส่งสัญญาณไปยังวงจรขับเสต็ปปิ้งมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการดำเนินการทางด้านซอฟแวร์

การดำเนินการทางด้านซอฟแวร์นั้น ได้แก่ การศึกษาและสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการสั่งงานชุดเคลื่อนที่ของหัวตัดพลาสมาให้เคลื่อนที่ตัดชิ้นงานตามรูปแบบที่ต้องการ โดยรับค่าเป็นไฟล์โค้ดที่ได้จากโปรแกรม AutoCAD สำหรับการพัฒนาและสร้างโปรแกรมซอฟแวร์นี้ใช้โปรแกรม VisualBasic6.0 สร้างและพัฒนาขึ้นมา

4.3.1 รายละเอียดของโปรแกรม

โปรแกรมควบคุมเครื่องตัดพลาสมา ใช้สำหรับควบคุมหรือสั่งงานให้เสต็ปปิ้งมอเตอร์ของชุดเคลื่อนที่ในแต่ละแกนเคลื่อนที่ไป โดยในที่นี้ประกอบด้วยชุดขับเคลื่อน 2 แกน คือ แกน X และแกน Y สำหรับรูปชิ้นงานที่ต้องการตัดนั้น จะทำการวาดลงในโปรแกรม AutoCAD หลักจากวาดรูปชิ้นงานที่ต้องการตัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะสั่งงานโปรแกรม AutoCAD แปลงรูปที่ได้วาดให้กลายเป็นไฟล์โค้ด โดยใช้คำสั่ง plot to file หลังจากที่ได้ไฟล์โค้ดรูปภาพแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ เปิดโปรแกรมที่ที่ทำการสร้างขึ้นมาสำหรับควบคุมเครื่องตัดพลาสมา และสั่งให้โปรแกรมเปิดไฟล์ที่ได้ทำการสร้างขึ้น โดยโปรแกรมจะแปลงโค้ดให้กลายมาเป็นรูปภาพและแสดงผลในโปรแกรมอีกครั้ง สาเหตุที่วาดภาพในโปรแกรม AutoCAD นั้นเพราะว่า โปรแกรม AutoCAD สามารถสร้างภาพรวมทั้งแก้ไขภาพได้ง่ายกว่า รวมทั้งมีเครื่องมือช่วยวาดภาพต่างๆที่มากมาย อำนวยความสะดวกในการวาดรูปภาพ แม้จะเป็นรูปภาพที่สลับซับซ้อน หลังจาก จะทำการปรับแต่งภาพให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมก่อนเริ่มทำการตัดชิ้นงานจริง ซึ่งทำได้โดยการกดปุ่ม run บนโปรแกรม

รูปที่ 4.7 หน้าตาของโปรแกรมควบคุมเครื่องตัดพลาสมา

ส่วนหน้าตาของโปรแกรม จะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆดังนี้ คือ

- **ส่วนแสดงรูปภาพ** ส่วนนี้เป็นส่วนสำหรับแสดงรูปภาพชิ้นงานที่ต้องการตัด และแสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่ของหัวตัดพลาสมาขณะทำการตัดชิ้นงานจริง โดยตำแหน่งการเคลื่อนที่บนจอภาพจะสัมพันธ์กับตำแหน่งการเคลื่อนที่ของหัวตัดพลาสมาขณะทำการตัด

- **ส่วนเมนู** ส่วนนี้เป็นส่วนสำหรับการเลือกคำสั่งให้โปรแกรมทำงาน เช่น การเปิดหรือปิดไฟล์, การแก้ไขรูปภาพ โดยการหมุนหรือเคลื่อนย้ายรูปภาพ , การย่อขยายรูปภาพ รวมทั้งกำหนดความหนาของแผ่นโลหะที่ต้องการตัด ซึ่งโปรแกรมจะสั่งงานให้หัวตัดพลาสมาเคลื่อนที่สัมพันธ์กับความหนา คือ ถ้าแผ่นเหล็กโลหะที่ต้องการมีความหนามา โปรแกรมจะสั่งงานให้หัวตัดพลาสมาเคลื่อนที่ช้าลงด้วยความเร็วที่เหมาะสม

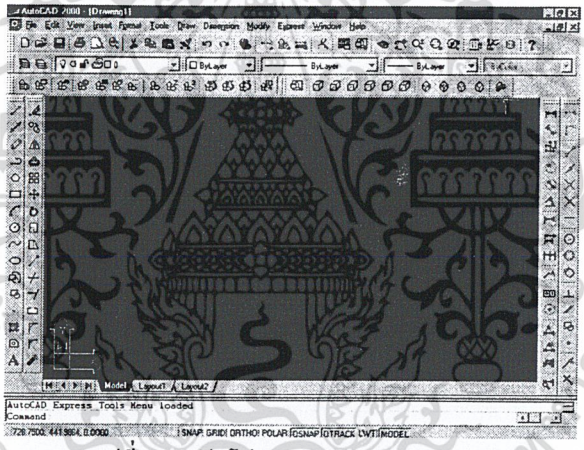
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ส่วนแสดงพิกัดแกน X และแกน Y** จากรูปภาพที่ 4.1 มีส่วนแสดพิกัดอยู่ 2 ส่วน คือ แสดงพิกัดของเมาส์บนจอภาพ และแสดงพิกัดของหัวตัดพลาสมา โดยมีจุดกำเนิด 0,0 อยู่ ณ ตำแหน่งมุมล่างซ้าย โดยก่อนการตัดชิ้นงาน ต้องทำการเซ็ทชุดเคลื่อนที่ของหัวตัดพลาสมาให้เคลื่อนที่มาอยู่ ณ จุดกำเนิดก่อน เพื่อความถูกต้องแม่นยำในการเคลื่อนที่ของชุดขับเคลื่อน

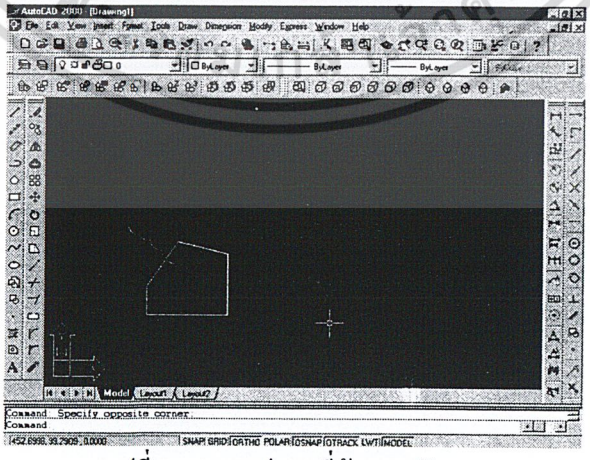
- **ปุ่มต่างๆ** ประกอบไปด้วยปุ่มต่างๆ สำหรับการสั่งงานโปรแกรม เช่น ปุ่มเริ่มต้นตัดชิ้นงาน , ปุ่มสำหรับเซ็ทค่าจุดกำเนิด และมีปุ่มสำหรับหมุนรูปภาพ โดยสามารถหมุนได้ 2 ทิศทาง คือหมุนตามเข็มและทวนเข็มนาฬิกา เป็นต้น

4.3.2 การวาดรูปภาพชิ้นงานที่ต้องการตัด

ต่อไปจะกล่าวถึงการวาดรูปภาพชิ้นงานที่ต้องการตัด เราจะทำการวาดรูปภาพลงในโปรแกรม AutoCAD โดยกำหนดระยะของรูปภาพและตำแหน่งตามต้องการ เมื่อวาดเสร็จแล้วเราจะแปลงรูปภาพเหล่านั้นให้กลายเป็นโค้ด โดยใช้คำสั่ง plot to file ซึ่งโค้ดนี้จะประกอบไปด้วยพิกัดต่างๆของรูปภาพ สำหรับสั่งงานให้เครื่อง plotter เคลื่อนที่ ซึ่งเราจะสร้างโปรแกรมสำหรับแปลงโค้ดเหล่านี้ให้กลายมาเป็นรูปภาพเหมือนที่วาดในโปรแกรม AutoCAD ซึ่งข้อดีของการวาดภาพลงโปรแกรมAutoCAD คือสามารถทำการสร้างภาพที่ซับซ้อนหรือปรับปรุงแก้ไขได้ง่ายกว่าโปรแกรมอื่น

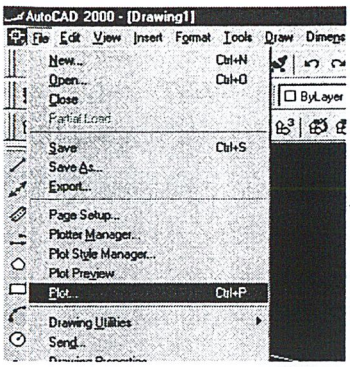


รูปที่ 4.8 เปิดโปรแกรม AutoCAD

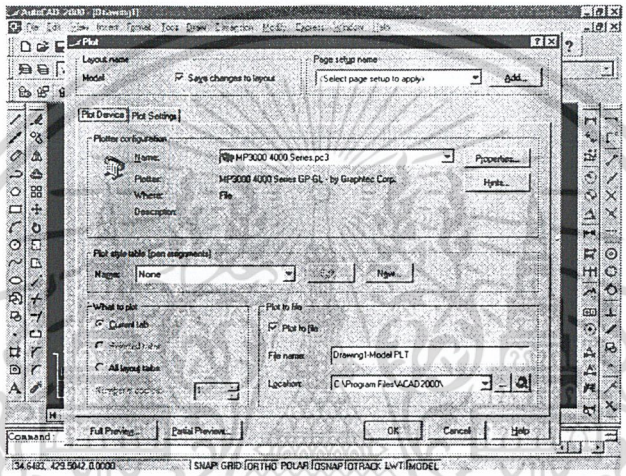


รูปที่ 4.9 วาดรูปภาพที่ต้องการตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

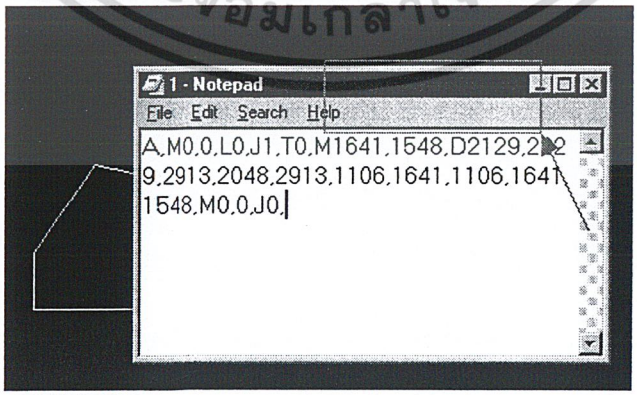


รูปที่ 4.10 เลือกคำสั่ง Plot สำหรับแปลงรูปที่วาดให้เป็นโค้ด



รูปที่ 4.11 กำหนดชื่อและสถานที่ในการเก็บไฟล์

สำหรับการแปลงรูปภาพจากโปรแกรม AutoCAD ให้กลายเป็นไฟล์โค้ดแล้ว จะได้ไฟล์ *.plt ซึ่งเป็นไฟล์ที่ประกอบด้วยโค้ดพิกัดต่างๆ สำหรับสั่งงานเครื่อง plotter ทำงาน โดยจะแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 4.6



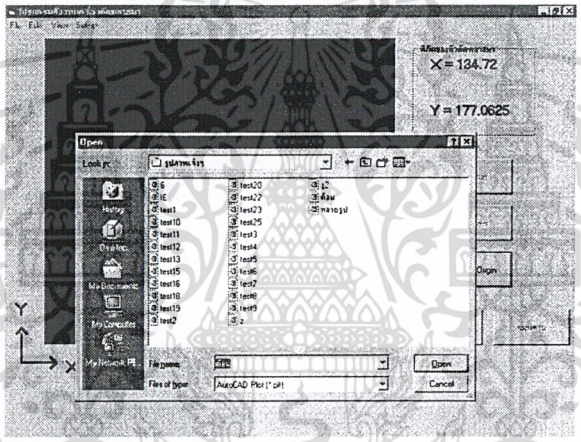
รูปที่ 4.12 แสดงตัวอย่างโค้ดของรูปภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

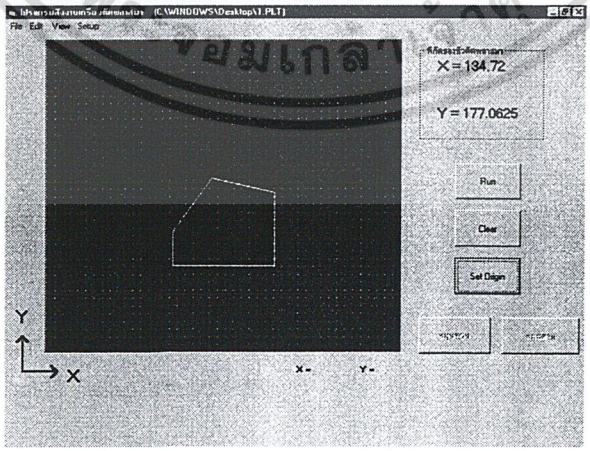
4.3.3 การเปิดหรือปิดโปรแกรม

หลังจากที่วาดรูปลงในโปรแกรม AutoCAD เรียบร้อยแล้ว เราจะทำการเปิดไฟล์โค้ดที่เราได้ทำการสร้างขึ้น โดยใช้คำสั่ง open ที่เมนู File โปรแกรมจะทำการแปลงโค้ดเหล่านั้นให้กลับมาเป็นรูปภาพเหมือนที่วาดใน AutoCAD และนำมาแสดงผลในบนจอภาพ โดยบริเวณพื้นที่แสดงผลจะมีจุดกริด (grid) เพื่อสำหรับบอกตำแหน่งคร่าวๆ ให้รู้รูปภาพอยู่ ณ ตำแหน่งเมื่อเทียบกับจุดกำเนิด

รูปที่ 4.13 เลือกเมนู file และเลือกคำสั่ง open



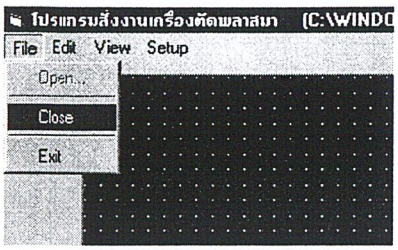
รูปที่ 4.14 แสดงกล่องข้อความ เพื่อเลือกไฟล์โค้ดที่ต้องการเปิด



รูปที่ 4.15 แสดงรูปภาพชิ้นงานที่ต้องการตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

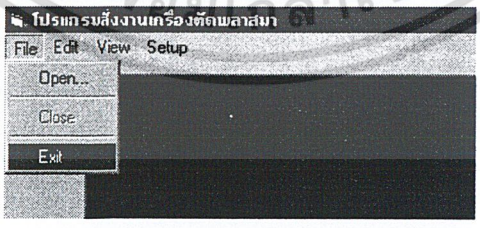
ถ้าต้องการที่จะปิดรูปภาพที่วาดให้เลือกคำสั่ง close ที่เมนู File ภาพที่แสดงผลจะหายไป ถ้าจะเปิดให้เลือกคำสั่ง open และทำตามเหมือนวิธีข้างบนเพื่อเปิดไฟล์รูปภาพตามต้องการ



รูปที่ 4.16 เลือกคำสั่ง close สำหรับปิดรูปภาพที่แสดง

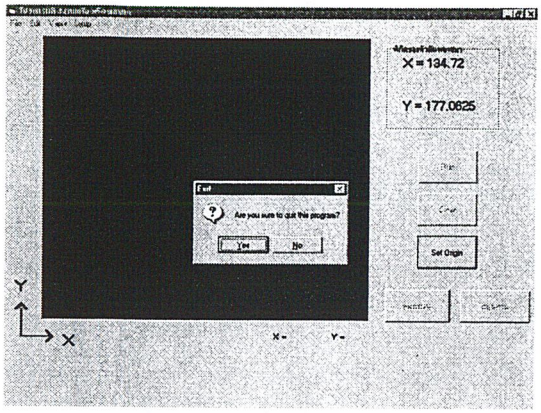
รูปที่ 4.17 หลังจากเลือกคำสั่ง close รูปภาพที่แสดงผลจะหายไป

ถ้าต้องการปิดโปรแกรมให้เลือกที่เมนู file แล้วเลือกคำสั่ง Exit โปรแกรมจะมีกล่องข้อความ (message box) ถามอีกครั้งเพื่อยืนยันความแน่ใจว่า ต้องการที่จะปิดโปรแกรมหรือไม่ เมื่อแน่ใจว่าต้องการปิดโปรแกรมให้เลือกคำสั่ง yes โปรแกรมจะถูกปิดโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 4.18 เลือกคำสั่ง Exit ถ้าต้องการออกจากโปรแกรม

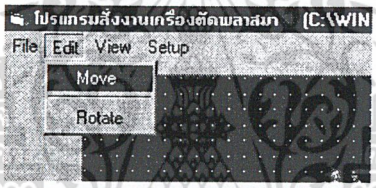
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



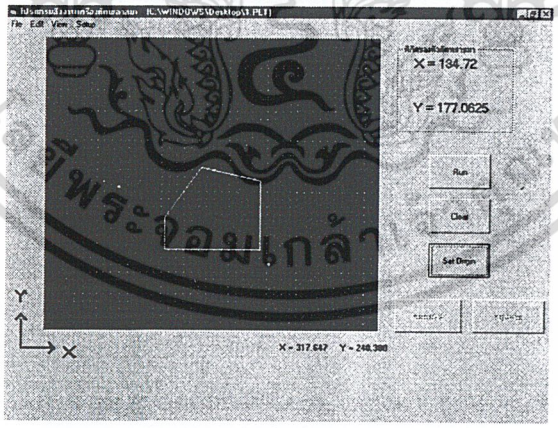
รูปที่ 4.19 แสดงข้อความยืนยันว่าต้องการออกจากโปรแกรม

4.3.4 การปรับแต่งและแก้ไขรูปภาพ

เมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมา และเปิดไฟล์รูปภาพที่ได้จากโปรแกรม AutoCAD แล้ว ถ้าเราต้องการจะแก้ไขรูปภาพ สามารถทำได้อย่างสะดวก คือ สามารถเคลื่อนย้าย หรือหมุนรูปภาพได้ตามต้องการ

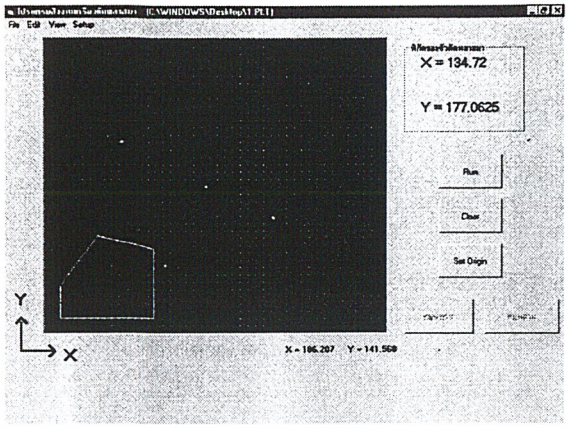


รูปที่ 4.20 การเคลื่อนย้ายรูปภาพให้เลือกที่เมนู edit และเลือกคำสั่ง move



รูปที่ 4.21 การเคลื่อนย้ายภาพทำโดยการกดแล้วลากไปยังตำแหน่งที่ต้องการ

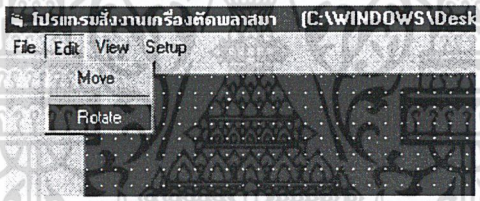
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



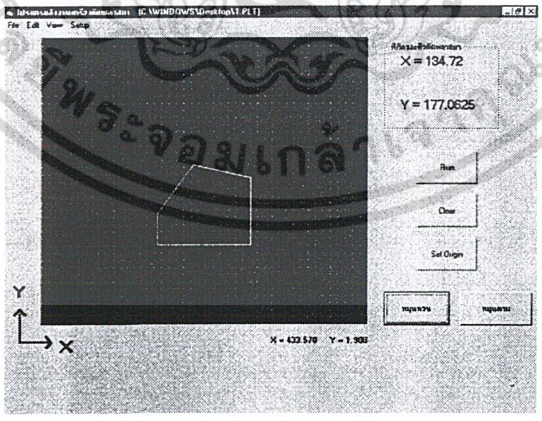
รูปที่ 4.22 แสดงรูปภาพ ณ ตำแหน่งใหม่

ภาพข้างบนแสดงวิธีการเคลื่อนย้ายรูปภาพ โดยการใช้คำสั่ง move การเคลื่อนย้ายภาพทำโดยใช้เม้าส์กดแล้วลากให้เคลื่อนไปให้ได้ระยะตามต้องการ โดยสามารถใช้เมาส์กดแล้วลากที่ตำแหน่งใดก็ได้บนรูปภาพ

ถ้าต้องการหมุนรูปภาพ เราสามารถทำได้โดยเลือกคำสั่ง rotate ที่เมนู edit แล้วเลือกจุดศูนย์กลางของการหมุน หลังจากนั้นให้กดปุ่มว่าจะหมุนทวนเข็มหรือตามเข็มนาฬิกา โดยเมื่อกดปุ่ม 1 ครั้งจะหมุนไป 10 องศา

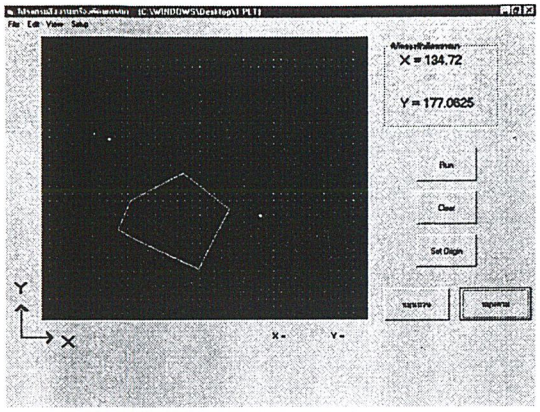


รูปที่ 4.23 เลือกคำสั่ง rotate ที่เมนู edit ถ้าต้องการหมุนรูปภาพ

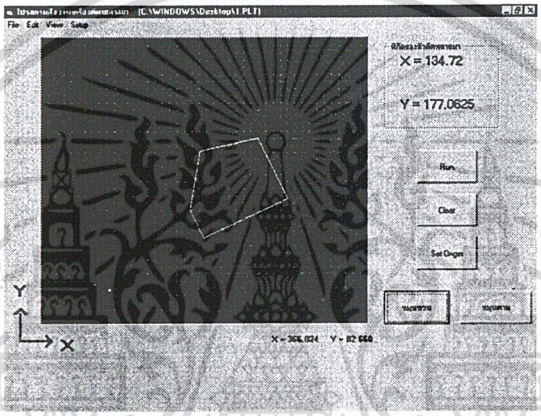


รูปที่ 4.24 เลือกจุดศูนย์กลางของการหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



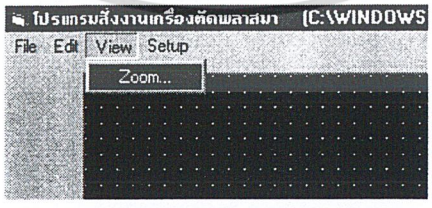
รูปที่ 4.25 กดปุ่มหมุนตามเข็มนาฬิกา รูปภาพจะหมุนไปในทิศตามเข็มนาฬิกา



รูปที่ 4.26 กดปุ่มหมุนทวนเข็มนาฬิกา รูปภาพจะหมุนไปในทิศทวนเข็มนาฬิกา

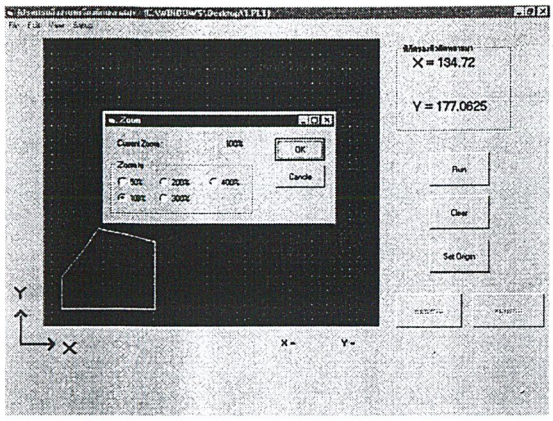
4.3.5 การย่อขยายรูปภาพ

หลังจากปรับแต่งรูปภาพเสร็จเรียบร้อยแล้ว ถ้าต้องการย่อหรือขยายภาพเพื่อให้เห็นรูปภาพได้ชัดเจน สามารถทำได้โดยคำสั่ง zoom ที่เมนู view ซึ่งสามารถย่อขยายภาพให้เล็กหรือใหญ่ได้ตามต้องการ โดยแสดงวิธีการใช้คำสั่ง ดังต่อไปนี้

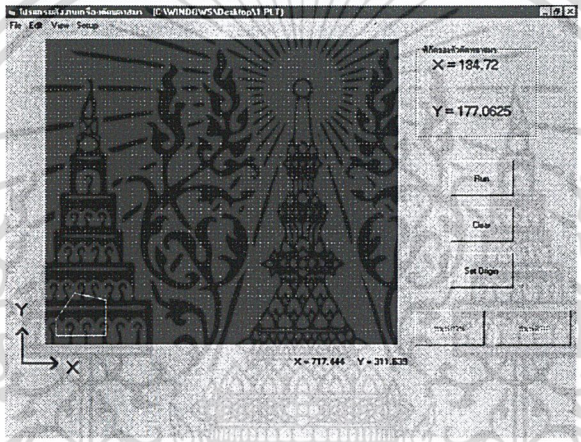


รูปที่ 4.27 เลือกคำสั่ง zoom ถ้าต้องการย่อขยายรูปภาพ

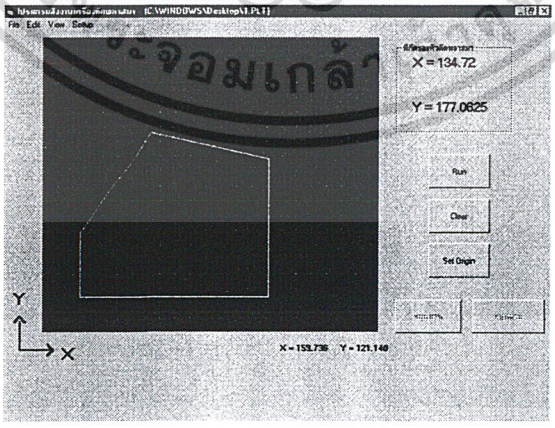
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 แสดงกล่องข้อความให้เลือกว่าต้องการขยายภาพขนาดใด



รูปที่ 4.29 แสดงรูปภาพหลังจากย่อภาพเป็น 50 %



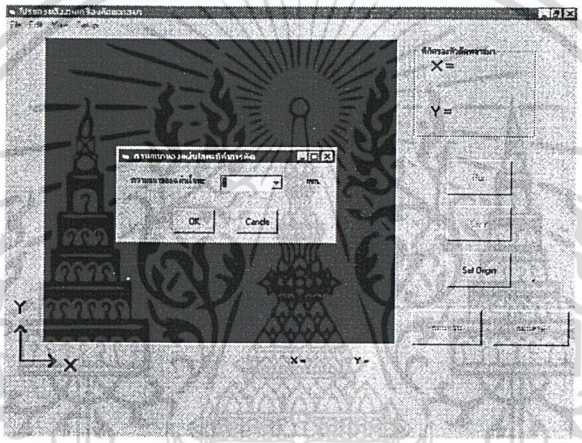
รูปที่ 4.30 แสดงรูปภาพหลังจากขยายภาพเป็น 200%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

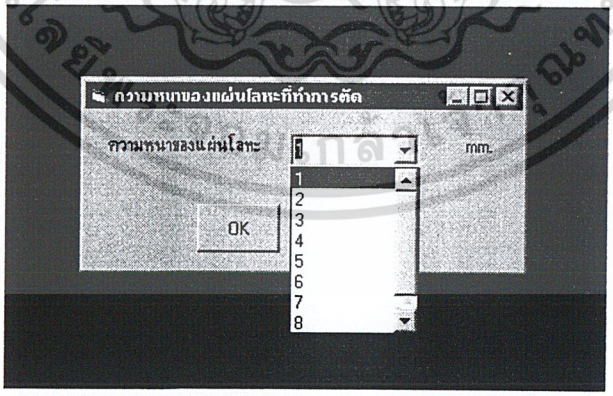
4.3.6 การกำหนดความหนาของแผ่นโลหะที่ต้องการตัด

เครื่องตัดพลาสมาสามารถตัดโลหะได้ที่ความหนาต่างๆกัน ซึ่งแต่ละความหนาของแผ่นโลหะ ใช้ความเร็วและเวลาในการตัดไม่เท่ากัน ซึ่งก่อนที่จะสั่งโปรแกรมให้ทำการตัดแผ่นโลหะ ต้องกำหนดขนาดความหนาที่จะทำการตัดก่อน เพื่อให้โปรแกรมกำหนดค่าความเร็วและเวลาในการตัดแผ่นโลหะอย่างเหมาะสม

รูปที่ 4.31 เลือกคำสั่งสำหรับกำหนดความหนาของแผ่นโลหะก่อนทำการตัด

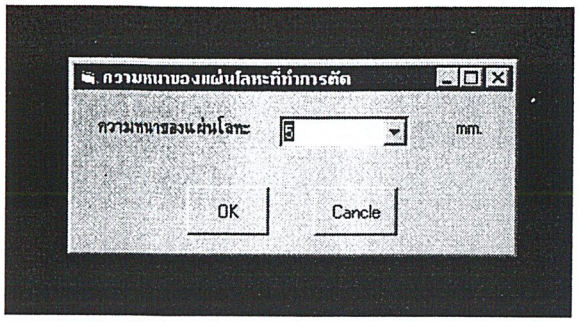


รูปที่ 4.32 แสดงกล่องข้อความให้เลือกขนาดความหนาของแผ่นโลหะ



รูปที่ 4.33 แสดงขนาดความหนาให้เลือก

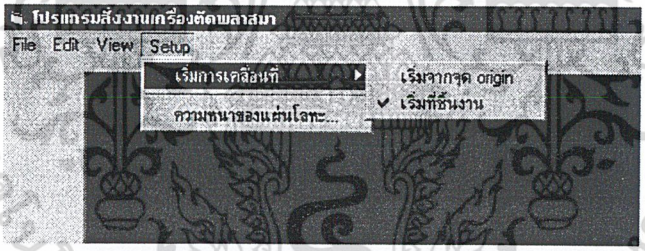
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



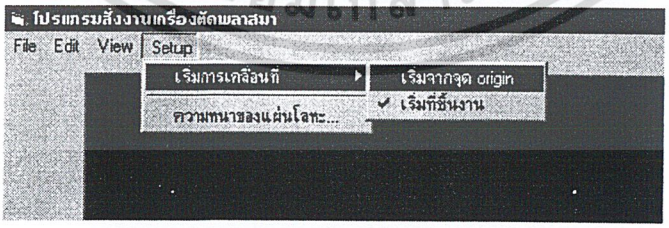
รูปที่ 4.34 เมื่อเลือกค่าความหนาเสร็จเรียบร้อย กดปุ่ม OK เป็นขั้นตอนสุดท้าย

4.3.7 การกำหนดจุดเริ่มต้นทำการตัดแผ่นโลหะ

โปรแกรมสามารถกำหนดจุดเริ่มต้นทำการตัดแผ่นโลหะได้ 2 แบบ คือ เริ่มต้นตัดจากจุดกำเนิด หรือ เริ่มต้นตัดจากตำแหน่งที่เรากำหนดเอง โดยแบบแรก การเริ่มต้นตัดจากจุดกำเนิด ก่อนอื่นต้องสั่งให้หัวตัดพลาสมาเคลื่อนที่ไปณ ตำแหน่งจุดกำเนิด คือ X= 0 , Y = 0 หลังจากนั้นกดปุ่ม run โปรแกรมจะสั่งให้ชุดหัวตัดพลาสมาเคลื่อนที่เริ่มจากจุดกำเนิดเคลื่อนที่มายังตำแหน่งที่จะเริ่มตัด หลังจากนั้นโปรแกรมจะสั่งให้หัวตัดพลาสมาเริ่มทำงานตัดชิ้นงานเป็นแบบดังรูปภาพที่แสดงในโปรแกรม แต่ถ้ากำหนดให้เริ่มต้นตัดจากตำแหน่งที่เรากำหนดเอง วิธีนี้ต้องกำหนดตำแหน่งของหัวตัดพลาสมาเอง พอเรากดปุ่ม run หัวตัดพลาสมาจะเริ่มทำงานเลย ตัดชิ้นงานทันที โดยการกำหนดวิธีนี้เป็นการช่วยลดเวลาการเคลื่อนที่จากตำแหน่งจุดกำเนิดมายังตำแหน่งที่ต้องการตัด ดังแสดงวิธีการทำงานดังนี้.

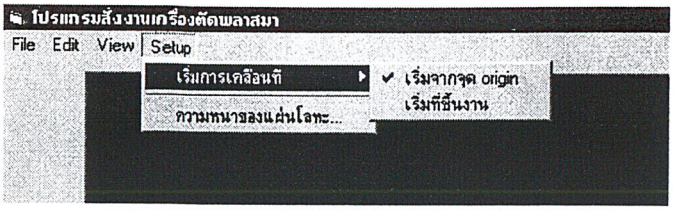


รูปที่ 4.35 คำสั่งในการกำหนดจุดเริ่มต้นทำการตัด



รูปที่ 4.36 สั่งให้โปรแกรมเริ่มต้นตัดจากจุดกำเนิด

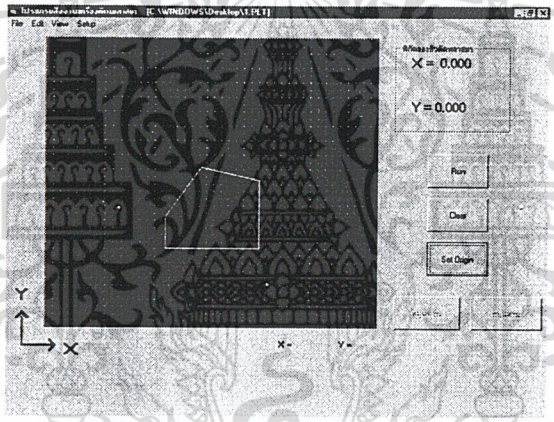
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



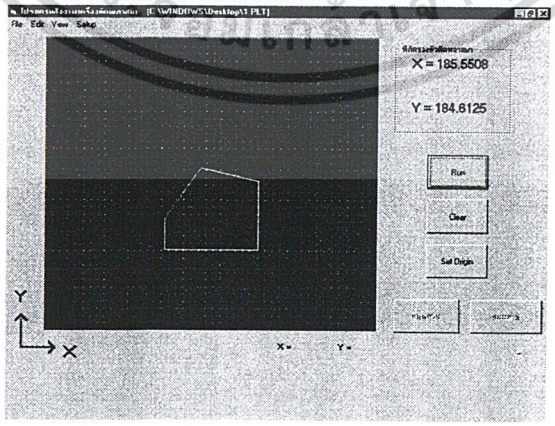
รูปที่ 4.37 เมื่อเสร็จคำสั่ง โปรแกรมจะแสดงเครื่องหมายถูกหน้าคำสั่งที่เราเลือก

4.3.8 การทดสอบและการทำงานของโปรแกรม

หลังจากที่ได้แก้ไขและปรับแต่งรูปภาพเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปเราจะสั่งโปรแกรมให้ทำการตัดโลหะเป็นรูปภาพเหมือนดังรูปที่แสดงผลบนหน้าจอ โดยเริ่มแรกก่อนทำการตัดเราต้องทำการเซ็ทจุดกำเนิด origin เสียก่อนเพื่อให้ชุดเคลื่อนที่อยู่ในตำแหน่งที่พร้อมเริ่มตัด โดยการกดปุ่ม set origin หัวตัดพลาสมาจะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง x = 0 , y = 0 และเมื่อต้องการตัด ให้กดปุ่ม run โปรแกรมจะสั่งงานให้ชุดขับเคลื่อนพาหัวตัวพลาสมาให้เคลื่อนที่ตัดชิ้นงานพร้อมทั้งแสดงผลบนจอภาพให้เห็นการเคลื่อนที่ของหัวตัดพลาสมาขณะทำการตัดด้วย

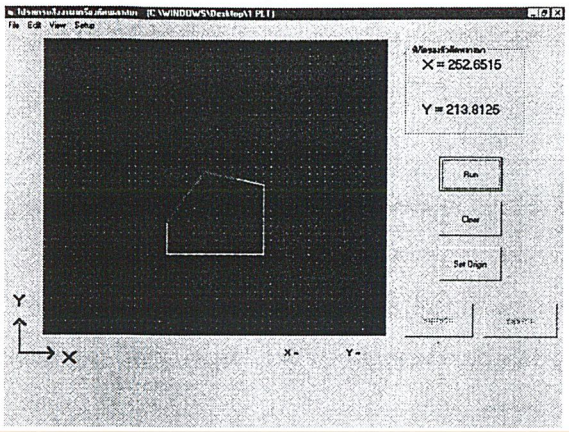


รูปที่ 4.38 หลังจากกดปุ่ม set origin หัวตัดพลาสมาจะเคลื่อนที่ไปยังจุดเริ่มต้น X = 0 , Y = 0

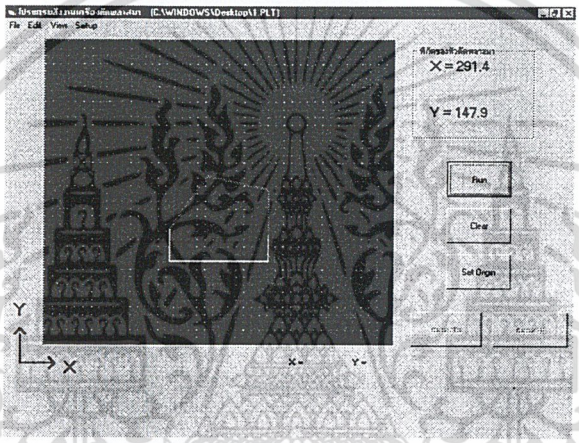


รูปที่ 4.39 แสดงรูปหัวตัดพลาสมาขณะเคลื่อนที่

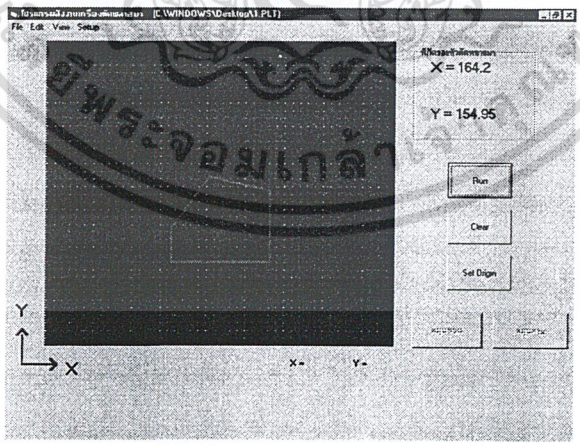
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.40 แสดงรูปหัวตัดพลาสมาขณะเคลื่อนที่



รูปที่ 4.41 แสดงรูปหัวตัดพลาสมาขณะเคลื่อนที่



รูปที่ 4.42 รูปภาพเมื่อตัดโลหะเสร็จเรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดลองการตัดแผ่นโลหะ

4.4.1 หาความเร็วในการตัดชิ้นงาน

จากการศึกษาการใช้งานเครื่องตัดพลาสมา พบว่าสามารถตัดโลหะได้หลายประเภทด้วยกันเช่น เหล็กอ่อน อลูมิเนียม, สแตนเลส เครื่องตัดพลาสมา รุ่น POWERMAX 350 สามารถตัดแผ่นเหล็กที่มีความหนามากที่สุดได้ถึง 12 mm ความหนาที่เหมาะสมที่สุดคือ 6 mm

ในการทดลองได้เลือกใช้แผ่นเหล็กนำมาทดลองตัดด้วยชุดขับเคลื่อนอัตโนมัติเพื่อหาค่าความเร็วที่เร็วที่สุดในการตัดแผ่นโลหะเป็นรูป สี่เหลี่ยม, สามเหลี่ยม และวงกลม ที่ขนาดความหนาของแผ่นเหล็กต่างๆ เปรียบเทียบกับปริมาณกกระแสไฟฟ้าตั้งแ ต่ 17–21 Amp ได้ผลดังตารางด้านล่าง

ตารางที่ 4.1 ความเร็วในการตัดแผ่นเหล็ก (mm / sec)

กระแสไฟฟ้า	ความหนาของเหล็ก (mm)					
	1	2	3	4.5	6	9
17	2300	1100	550	160	160	50
18	2300	1100	550	160	160	50
19	2300	1250	750	200	200	110
20	2300	1500	950	300	200	110
21	2300	1700	1400	400	200	160

ข้อมูลจากตารางแล้วทำให้ทราบว่าชุดขับเคลื่อนอัตโนมัติ ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ความเร็วสูงกว่า 2300 mm / นาที เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของ เสต็ปปิ้งมอเตอร์

เนื่องจากในการตัดชิ้นงานทุกๆครั้งเราต้องกำหนดค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าในช่วง 17 – 21 Amp ซึ่งทำให้ค่าความเร็วในการตัดแปรผันไปตามปริมาณกระแสไฟฟ้า ดังนั้นจึงได้กำหนดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ 20 Amp เพื่อเป็นค่ากลางที่ใช้ในการทดลอง ตัดชิ้นงาน

ตารางที่ 4.2 ความเร็วในการตัดแผ่นเหล็ก ที่ปริมาณกระแสไฟฟ้า 20 Amp

ความหนาเหล็ก (mm)	ความเร็วในการตัด (Feed Speed)	เวลาในการหน่วงก่อนตัดชิ้นงาน (sec)
1	2300	1
2	1500	1
3	950	2
4.5	300	4
6	200	12
9	100	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 การทดลองวัดขนาดชิ้นงานเทียบกับแบบจริง AutoCAD

การทดลองตัดชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสและวงกลม โดยใช้แผ่นเหล็กหนา 2 mm ใช้ปริมาณกระแสไฟที่ 20 Amp ตัดชิ้นงานเป็นรูปดังนี้ รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 3 cm*3 cm 10 ชิ้น รูปวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3 cm 10 ชิ้น ผลจากการทดลองตัดชิ้นงาน

<u>รูปสี่เหลี่ยม</u>

ค่าเฉลี่ยของขนาดของชิ้นงานที่ตัดได้	2.8	cm
ผิดพลาดจากขนาดจริง	0.2	cm

<u>รูปวงกลม</u>

ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานที่ตัดได้	2.78	cm
ผิดพลาดจากขนาดจริง	0.22	cm

จะพบว่าขนาดของชิ้นงานที่ได้จากการตรวจสอบตัดจะมีค่าความผิดพลาด (error) จากขนาดของชิ้นงานเมื่อเทียบจากแบบในโปรแกรม AutoCAD ไม่มากนักอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

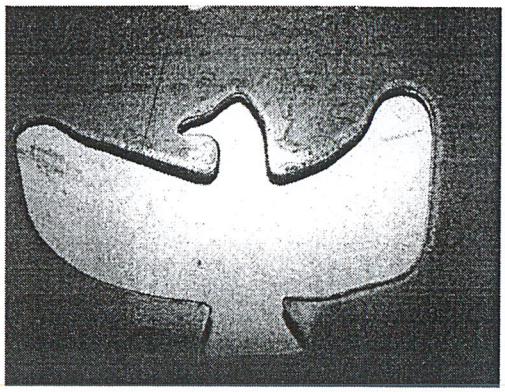
รูปที่ 4.43 ชิ้นงานสี่เหลี่ยม 30 x30 mm

รูปที่ 4.44 ชิ้นงานวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm

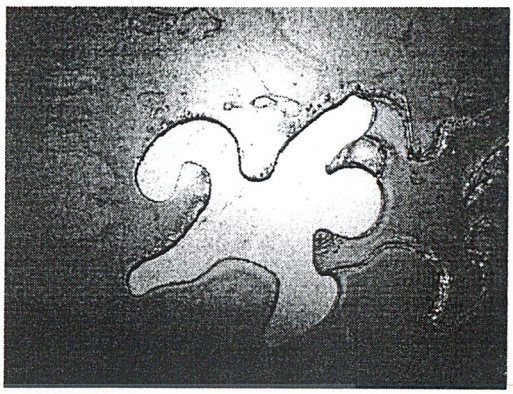
4.4.3 ทดลองตัดชิ้นงานเป็นรูปต่างๆ

- รูป 6 เหลี่ยม
- ตัวอักษร IE
- รูปหัวใจ
- รูปนก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.45 ชิ้นงานรูปนก



รูปที่ 4.46 ชิ้นงานรูปคน

รูปที่ 4.47 ชิ้นงานตัวอักษร IE

4.4.4 ทดลองตัดชิ้นงาน 4 รูปต่อเนื่อง

การทดลองในหัวข้อที่กล่าวมานั้นจะเป็นการตัดชิ้นงานทีละชิ้น เมื่อตัดชิ้นงานเสร็จแล้วหัวตัดจะเคลื่อนที่กลับไปยังจุดเริ่มต้น ทุกครั้ง ทำให้เสียเวลาในการเคลื่อนที่ของหัวตัดกลับไปยังจุดเริ่มต้น การทดลองในส่วนนี้ได้ทำการทดลองโดยตัดชิ้นงาน 4 ชิ้นต่อเนื่องกันจนเสร็จคือ รูปสี่เหลี่ยม ,สามเหลี่ยม ,วงกลม และ หกเหลี่ยม ทำให้ประหยัดเวลาและสะดวกในการตัดชิ้นงานจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองได้ทำการตัดแผ่นโลหะที่ขนาดความหนา 2 mm เป็นรูป สี่เหลี่ยม , รูปวงกลม ตัวอักษรรูปนกและตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส,สี่เหลี่ยมผืนผ้า,วงกลม,สามเหลี่ยมพร้อมกัน 4 รูป สามารถตัดโลหะได้ตามรูปที่ออกแบบในโปรแกรม AutoCAD ขนาดของชิ้นงานเกิดความผิดพลาดเล็กน้อย

5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการวัดขนาดชิ้นงานที่ตัดจะพบว่าขนาดชิ้นงานจะเล็กกว่าที่ออกแบบไว้เพียงเล็กน้อยเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

1. ขนาดของรู Nozzle ที่ใช้ในการตัด
2. ความตึงของลวดสลิงและ สายพาน Timming
3. ความหนาของแผ่นเหล็ก

5.3 ปัญหาและข้อจำกัดในการทดลอง

1. แผ่นเหล็กที่จะนำมาตัดต้องไม่เกิดการโก่งงอ เพราะแผ่นเหล็กส่วนที่โก่งตัวขึ้นหัวตัดอาจจะเคลื่อนที่ไปชนในส่วนนั้นทำให้เกิดความเสียหายแก่หัวตัด และต้องเปลี่ยนแผ่นเหล็กใหม่ ในส่วนที่แผ่นเหล็กงอตัวลงอาจจะทำให้ตัดแผ่นเหล็กไม่ขาด

2. ในการตัดแผ่นโลหะที่มีความหนาค่อนข้างมาก จะเกิดความผิดพลาดของขนาดชิ้นงานมาก เนื่องจากหัวตัดจะเคลื่อนที่ช้ามากจนทำให้จนทำให้แผ่นเหล็กหลอมละลายไปบางส่วน

3. ค่อนข้างเสียเวลานานในการเซ็ทเครื่องตัดพลาสมาและอุปกรณ์ ในแต่ละครั้ง

4. การตัดแผ่นโลหะที่มีความหนาต่างกัน ต้องเสียเวลาในการปรับระดับความสูงของน็อตรอง เพื่อให้ได้ระดับที่พอดี

5.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน

1. ได้นำความรู้ทางวิศวกรรมที่ได้ศึกษามาทั้งทางด้านวิชาการและทางด้าน workshop มาใช้ในการดำเนินการโครงงานและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำงานต่อไปในอนาคต

2. ได้ศึกษาและทดลองเขียนโปรแกรม Visual Basic 6.0 เพื่อควบคุมเสต็ปปิ้งมอเตอร์

3. เข้าใจการทำงานของการสั่งงานผ่านชุดอินเตอร์เฟส

4. มีความเข้าใจในส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เช่นวงจรแปลงไฟ , วงจรสเต็ปปิ้งมอเตอร์

5. มีความเข้าใจการออกแบบเครื่องจักรทางอุตสาหกรรมมากขึ้น

6. มีความเข้าใจหลักการเคลื่อนที่ของชุดขับเคลื่อนต่างๆ

7. มีความเข้าใจทฤษฎีและการทำงานของเครื่องตัดพลาสมามากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ทำให้มีความชำนาญในการทำงานด้าน Workshop มากขึ้น
9. ทำให้รู้จักการทำงานร่วมกับผู้อื่นได้ดีขึ้น

5.5 แนวทางการพัฒนาโครงงานในอนาคต

1. เขียนโปรแกรมเพิ่มในส่วนของการชดเชยรัศมีของหัวตัดเพื่อให้ได้ขนาดของชิ้นงานที่ถูกต้องมากขึ้น
2. ทำการปรับปรุงในส่วนชุดขับเคลื่อนแกน Y ให้มีความแข็งแรงมากขึ้น
3. สามารถออกแบบชุดจับหัวตัดเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องตัดชนิดอื่นๆ เช่น เครื่องตัดแก๊ส, เครื่องตัดเลเซอร์ เป็นต้น หรือนำไปประยุกต์ใช้เป็นแขนกล
4. ออกแบบและเขียนโปรแกรมเพิ่มในส่วนชุดขับเคลื่อนในแนวแกน Z เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างสะดวกมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. *"คู่มือนักอิเล็กทรอนิกส์"* บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) 2538

2. ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์. *"การออกแบบเครื่องจักรกล เล่มที่ 1,2"*. ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2541.

3. ผศ.มนตรี พิรุณเกษตร. *"กลศาสตร์ของวัสดุ"*.ฟิสิกส์เซนเตอร์, 2530.

4. กิตติ ภักดีวัฒนะกุล และ จำลอง ครูอุตสาหะ. *"Visual Basic6 ฉบับโปรแกรมเมอร์"*. พิมพ์ครั้งที่ 5. 2542.

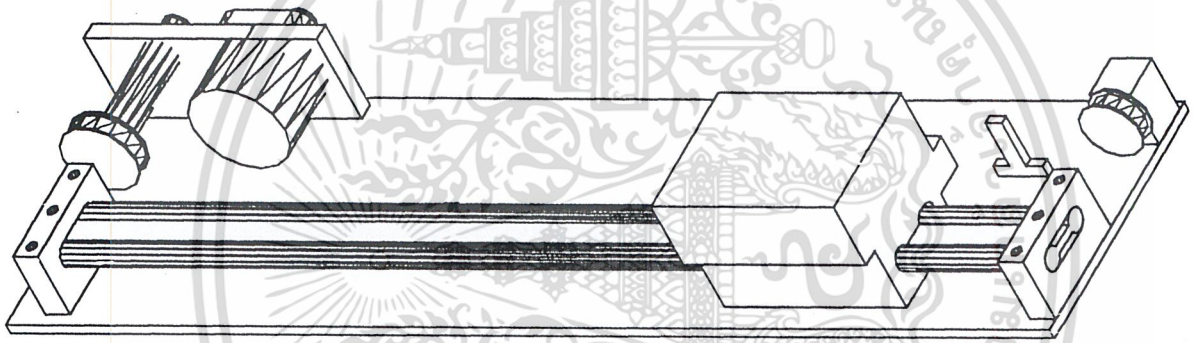
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก
แบบรายละเอียดเครื่องตัดพลาสมาอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่องานภาษาไทย	งานตัดด้วยพลาสม่า 2 แกน
ชื่องานภาษาอังกฤษ	Plasma Cutting
รหัสงาน	P/C 0000
ขอบเขตของงาน	งานตัดด้วยพลาสม่า 2 แกน ขนาดความหนาของวัสดุไม่เกิน 50 มม. ขนาดของชิ้นงานไม่เกิน 1.5 x 3 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
Plasma Cutting	P/C 1000
ชื่อชิ้นส่วน ชุดขับเคลื่อนแกน X	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อชิ้นงาน	Plasma Cutting	X แกนเลเซอร์แกนตัด
ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	P/C 1001	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อชิ้นงาน	X กนนเลมา กวยาสาย
Plasma Cutting	P/C 1002
ธนาคารแห่งประเทศไทย ธนาคารแห่งประเทศไทย ธนาคารแห่งประเทศไทย ธนาคารแห่งประเทศไทย	

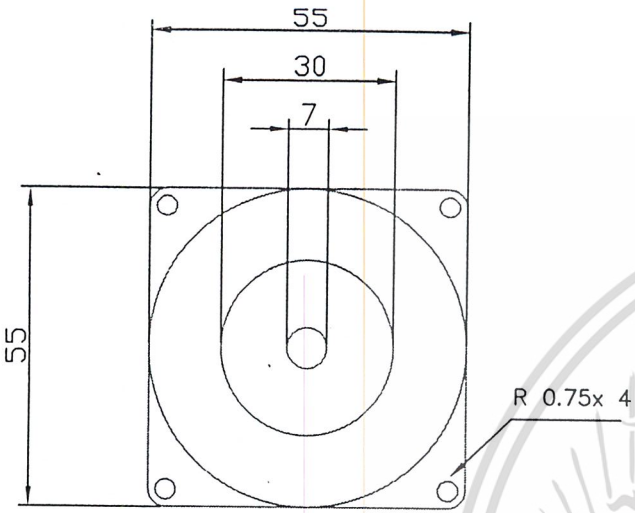
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

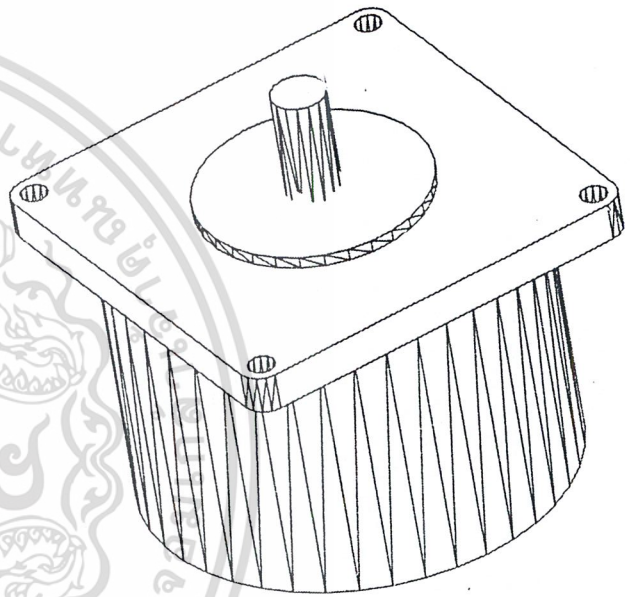
X หมายถึงอุปกรณ์	ชื่อชิ้นงาน
P/C 1003	Plasma Cutting
ชิ้นงานนี้ใช้สำหรับการเจาะรูด้วยเครื่องพลาสม่าคัตติ้ง	

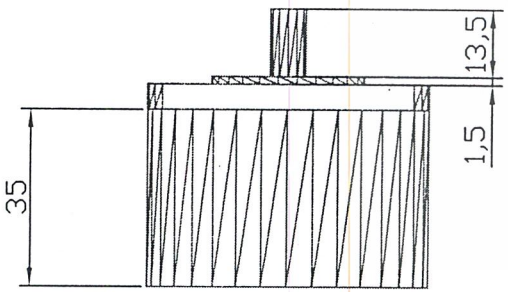
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อภาษาอังกฤษ	Plasma Cutting	
ชื่อภาษาไทย	P/C 2000	
ลักษณะงานที่ใช้เครื่องจักรนี้ทำ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้







สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คูณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกลาเจาคุณทหารลาดกระบัง

Plasma Cutting	P/C 2001

ชื่อชิ้นส่วน Stepping Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อชิ้นงาน	
Plasma Cutting	
P/C 2002	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อชิ้นงาน Roller	Plasma Cutting
	P/C 2003

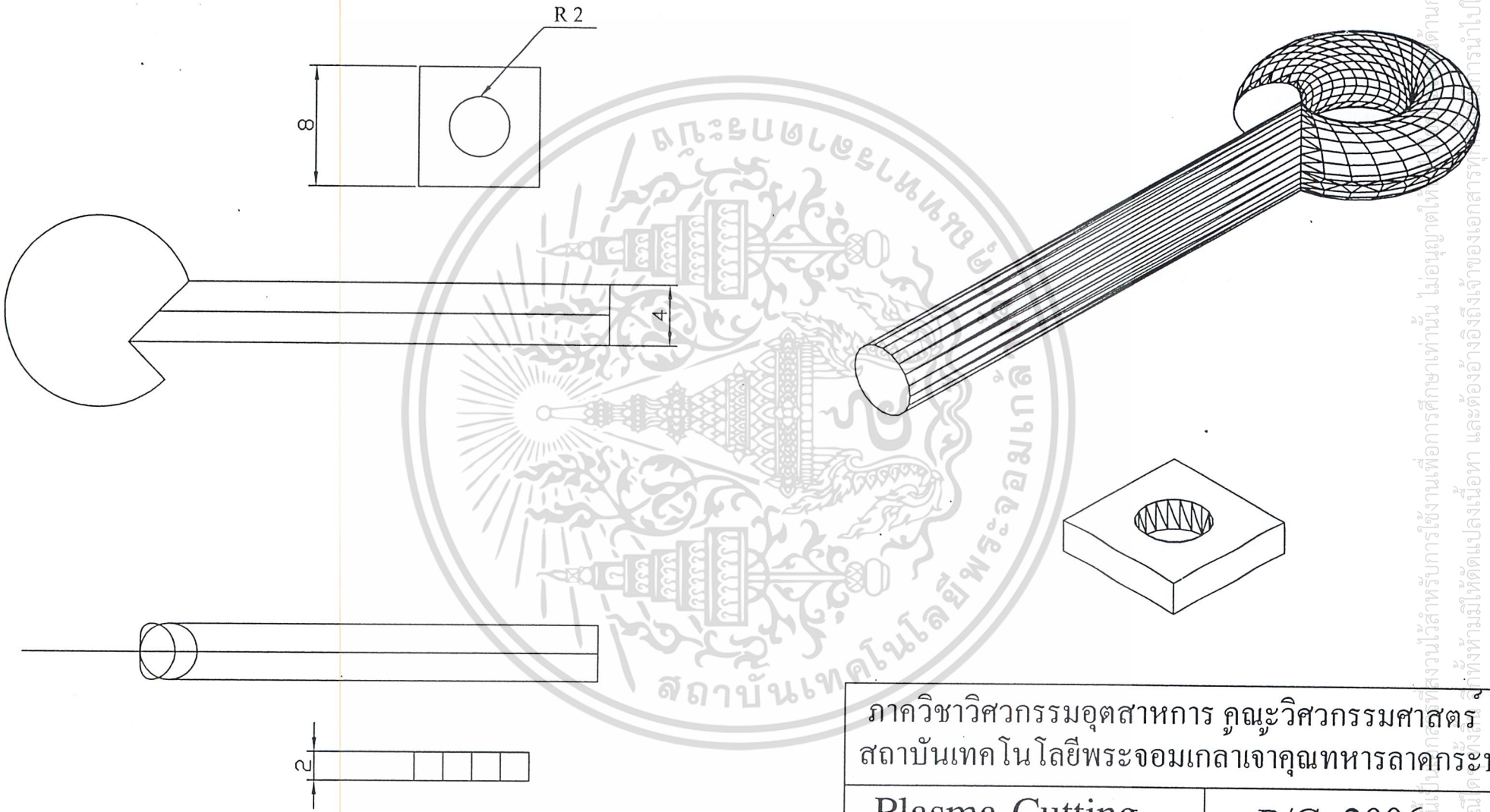
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อชิ้นงาน	Plasma Cutting	Y กรมการอาชีพทหาร
P/C 2004		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อผลงาน	Plasma Cutting	
ผู้สร้างผลงาน	P/C 2005	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คูณะวิศวกรรมศาสตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกลาเจาคุณทหารลาดกระบัง

Plasma Cutting	P/C 2006

ชื่อชิ้นส่วน ตัวปรับความตึงลวดสลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อผู้ผลิตชิ้นงาน	
P/C 2007	Plasma Cutting
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อชิ้นงาน Sensor		
P/C 2008	Plasma Cutting	
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อชิ้นงาน แท่นยึดตัวจับ Censor	P/C 2009
ขนาดวัสดุที่ใช้ 100x100x3 มม.	Plasma Cutting

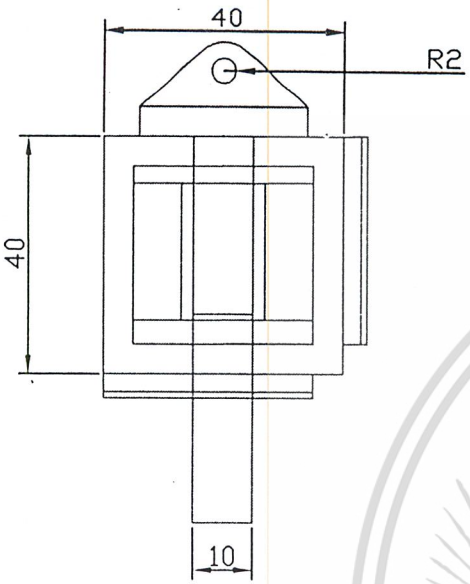
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

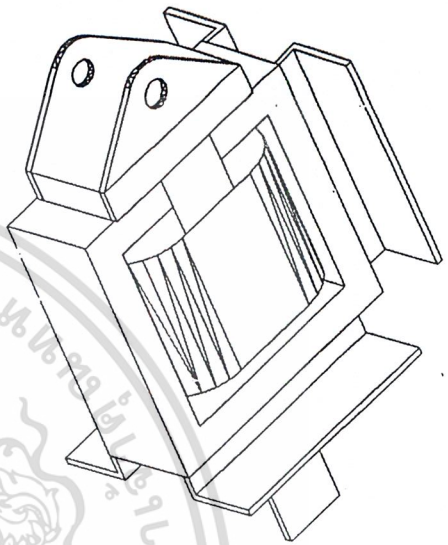
ชื่อชิ้นงาน	ชิ้นงานตัวอย่าง	เลขที่ชิ้นงาน	P/C 3000
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์	Plasma Cutting

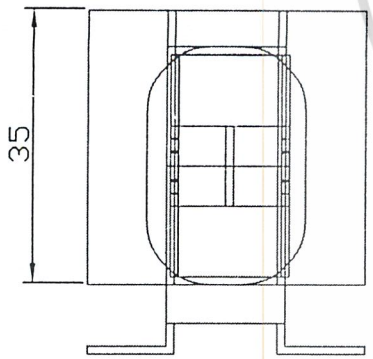
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

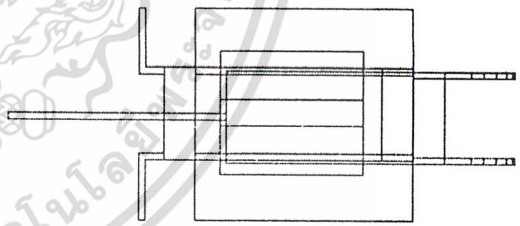
ชื่อชิ้นงาน	Plasma Cutting	
ชื่อผู้ประดิษฐ์	P/C 3001	
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้









ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Plasma Cutting	P/C 3002

ชื่อชิ้นส่วน Solinoid

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อชิ้นงาน เหล็กตัว U	
	Plasma Cutting
ลูกค้าที่ใช้งาน ตัวอย่างลูกค้าที่ใช้งานเหล็กตัว U	P/C 3003

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อชิ้นงาน	
P/C 4000	Plasma Cuting
ขนาดวัสดุ (มิลลิเมตร)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้