

การสร้างเครื่องทำสัญลักษณ์ด้วยการ์บอนไดออกไซด์
เลเซอร์แบบเบื้องต้น



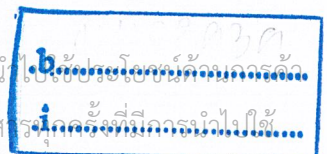
นายชนะ เทศทอง
นายวัชรพงษ์ นกดี

โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 51874
วัน,เดือน,ปี..... 4 ส.ค. 2547

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้.....



CARBONDIOXIDE LASER MARKING



A Special Project Submitted in Partial Fullment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง

การสร้างเครื่องทำสัญลักษณ์ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์
เลเซอร์แบบเบื่องต้น

นักศึกษา

นายชนะ เทศทอง

นายวัชรพงษ์ นกดี

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

สาขาวิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.สุรชาติ กมลดีลก

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

อ.เบญจพล ต้นอู่

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศา
สตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	อ.ธนกรณีสีลาวฒนานนท์	
กรรมการ	อ.สาทรชัย ภูมิพงษ์	
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.สุรชาติ กมลดีลก	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ.เบญจพล ต้นอู่	


.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชาญ เตชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ เรื่อง การสร้างเครื่องทำสัญลักษณ์ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์

นักศึกษา นายชนะ เทศทอง

นายวัชรพงษ์ นกดี

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

ปีการศึกษา 2546

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุรชาติ กมลติลล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์เบญจพล ดันธุ์

บทคัดย่อ

ปัจจุบันนี้คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะด้านอุตสาหกรรมที่นำเอาเลเซอร์มาใช้ในการตัด การเจาะ ทำสัญลักษณ์บนวัสดุ เป็นต้น ในโครงการนี้จะเป็นการสร้างเครื่องทำสัญลักษณ์บนวัสดุด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์กำลังต่ำ ซึ่งจะนำไปใช้ในการตัดหรือทำสัญลักษณ์บนวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Cabondioxide Laser Marking

Name Mr. Chana Tedthong
Mr. Watcharapong Nokde

Department Appied Physics

Program Appied Physics

Academic Year 2003

Special project Advisor Mr. Surachart Kamoldilok
Mr. Asawin Renusawat
Mr. Benchapol Tanhu

ABSTRACT

Nowdays, CO₂ laser was applied in various applications such as in the industrial area, low and medium power CO₂ lasers system are used for material processing , including microsoldering or cutting , welding and marking or engraving of a variety of material. This project presents construction of laser marking machine by using low power CO₂ laser.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ประสบกับปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ มากมาย และการแก้ไขปัญหาลำเหล่านี้จะไม่สามารถแก้ปัญหามันอุปสรรคดังกล่าวได้ถ้าหากขาดบุคคลเหล่านี้ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงครับผม

1. อาจารย์สุรชาติ กมลศิลป์ ที่ให้คำแนะนำและแนวทางแก้ไขปัญหามันต่าง ๆ จนทำให้งานสำเร็จได้ด้วยดี
 2. อาจารย์อัศวิน เรณูสวัสดิ์ สำหรับคำแนะนำและอุปกรณ์ที่ให้อยู่ใช้งาน
 3. อาจารย์เบญจพล ต้นฮู้ สำหรับคำแนะนำเกี่ยวกับวงจรต่าง ๆ
 4. ผศ.อนุพงศ์ สว่างประภา ที่ให้ยืมสายไฟ High Volt
 5. พี่อู๋ สำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือต่าง ๆ
 6. พี่อาทร ที่ช่วยแก้ปัญหามันเรื่อง plotter จนใช้งานได้
 7. เพื่อน ๆ และพี่น้องภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ที่คอยช่วยเหลือเสมอ
- สุดท้ายขอขอบคุณพ่อแม่ พี่ ๆ น้อง ๆ และทุกคนที่คอยให้กำลังใจพวกเราเสมอมา

นายชนะ เทศทอง
นายวัชรพงษ์ นกดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโรงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	1
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 หลักการเบื้องต้นของเลเซอร์	3
2.2 คุณสมบัติของลำแสงเลเซอร์	5
2.3 คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์	6
2.4 หลักการของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบหลอดปิด	7
2.5 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนและพื้นฐานทางเลเซอร์	10
2.6 สภาพะประชากรผกผัน	12
2.7 โครงสร้างและส่วนประกอบของระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์	14
2.8 อิเล็กโทรด	15
2.9 ระบบระบายความร้อนสำหรับเลเซอร์	16
2.10 หัวตัดของเลเซอร์	16
2.11 หลักการทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์สเตปเปอร์	16
2.12 การทำสัญลักษณ์	21
2.13 ตัวแปรที่มีผลต่อการตัดด้วยเลเซอร์	22
2.14 ระบบทางแสง	23
2.15 การสะท้อนแสง	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.16การออกแบบหัวตัด	23
2.17การตัดโลหะบางด้วยเลเซอร์	23
2.18ผิวของวัสดุ	24
2.19การประยุกต์ใช้เลเซอร์ในขบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม	24
2.20ข้อดีของการตัดวัสดุด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์	25
2.21ข้อจำกัดของการประยุกต์ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ในการตัดวัสดุ	25
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 ส่วนประกอบของโครงการ	26
3.2 ส่วนควบคุมระบบขับเคลื่อน	26
3.3 ส่วนควบคุมการทำงาน	28
3.4 การพัฒนาระบบขับเคลื่อน 2 แกน	29
3.5 ระบบระบายความร้อนสำหรับเลเซอร์	29
3.6 หัวตัดของเลเซอร์	29
3.7 ชุดปิดเปิด	30
3.8 ระบบชุดคั่น	31
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 วิธีการจัดแนวแสง	32
4.2 หัววัดกำลัง	32
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลองและดำเนินงาน	33
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการทดลอง	33
เอกสารอ้างอิง (บรรณานุกรม)	
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. คู่มืออุปกรณ์	

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 แสดงขั้นตอนการทำงานแบบเวฟ	19
ตาราง 2.2 แสดงขั้นตอนการทำงานแบบ 2 เฟส	20
ตาราง 2.3 แสดงการทำงานแบบครึ่งสเตป	21
ตาราง 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง ชนิดวัสดุ ไม้	34
ตาราง 4.2 ตารางบันทึกผลการทดลอง ชนิดวัสดุ แผ่นพลาสติกบาง	35
ตาราง 4.3 ตารางบันทึกผลการทดลอง ชนิดวัสดุ แผ่นอะคลิลิก	37



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แถบสเปกตรัมของคลื่นในย่านต่าง	3
รูปที่ 2.2 การกระตุ้นอะตอมให้เกิดการปล่อยแสงเลเซอร์	4
รูปที่ 2.3 โคอะแกรมของเลเซอร์โดยทั่วไป	4
รูปที่ 2.4 ลักษณะของหลอด CO ₂ แบบหลอดปิด	7
รูปที่ 2.5 โคอะแกรมการเปลี่ยนสถานะพลังงานของโมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์	9
รูปที่ 2.6 กระบวนการกระตุ้นเลเซอร์มีเดียแบบ 3 ระดับพลังงาน	13
รูปที่ 2.7 กระบวนการกระตุ้นเลเซอร์มีเดียแบบ 4 ระดับพลังงาน	14
รูปที่ 2.8 ลักษณะของแหล่งจ่ายไฟ	15
รูปที่ 2.9 ระบบระบายความร้อนสำหรับเลเซอร์	16
รูปที่ 2.10 สเตปเปอร์มอเตอร์	16
รูปที่ 2.11 โครงสร้างภายในสเตปเปอร์มอเตอร์	17
รูปที่ 2.12 วงจรการจ่ายไฟให้กับสเตปเปอร์มอเตอร์	18
รูปที่ 2.13 การทำสัญลักษณ์ของเลเซอร์	22
รูปที่ 3.1 ลักษณะของระบบขับเคลื่อน(Plotter)	27
รูปที่ 3.2 โคอะแกรมส่วนประกอบของPlotter	27
รูปที่ 3.3 โคอะแกรมส่วนประกอบของโครงเหล็ก	28
รูปที่ 3.4 หัวตัดสำหรับเลเซอร์ CO ₂	29
รูปที่ 3.5 ลักษณะของหัวตัดของเลเซอร์	30
รูปที่ 3.6 ลักษณะของ Chopper	30
รูปที่ 3.7 ลักษณะของระบบดูดควัน	31
รูปที่ 3.8 หลังจากทำการประกอบเสร็จ	31
รูปที่ 4.1 ทำการจัดแนวแสง (Alignment)	32
รูปที่ 4.2 ลักษณะของหัววัดกำลัง	33
รูปที่ 4.3 Variac	34
รูปที่ 4.4 ทดสอบการตัดโดยใช้แผ่นไม้	35
รูปที่ 4.5 ทดสอบการตัดโดยใช้แผ่นพลาสติก	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันมีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ กันอย่างแพร่หลายในทางอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น เครื่องมือสำหรับตัดวัสดุด้วยเลเซอร์ หรือ ทำสัญลักษณ์บนวัสดุด้วยเลเซอร์ โดยการทำสัญลักษณ์บนวัสดุด้วยเลเซอร์ ซึ่งวิธีแบบเชิงกลเดิมที่เรามิอยู่นั้น ไม่สะดวกในการใช้งาน และขาดความแม่นยำ จากปัญหาที่ผ่านมามีการทำสัญลักษณ์บนวัสดุด้วยเลเซอร์แต่เดิมนั้นเราจะมีวัสดุที่ความต้องการคืออยู่บนแท่นรับของระบบขับเคลื่อน 2 แกน และยังแสงเลเซอร์ออกมาจากด้านบน วัสดุจะเคลื่อนที่ไปตามแนวแกน X และแกน Y โดยการหมุนของมอเตอร์ซึ่งควบคุมทิศทางด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทำให้มีขอบเขตในการตัดค่อนข้างจำกัด จึงเป็นที่มาของงานวิจัยและพัฒนากระบวนการตัดวัสดุด้วยแสงเลเซอร์ ให้ส่วนหัวตัดของแสงเลเซอร์เป็นส่วนที่เคลื่อนที่โดยใช้การสะท้อนของแสงเลเซอร์จากกระจกที่เอียงทำมุม 45 องศา เพื่อให้แสงเลเซอร์วิ่งเข้าสู่หัวตัดซึ่งวางตั้งฉากกับระนาบของชิ้นงาน หัวตัดเลเซอร์จะถูกยึดติดกับระบบขับเคลื่อน 2 แกน ทำให้หัวตัดสามารถวิ่งได้ ทางผู้จัดทำโครงการพิเศษนี้จึงได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อประโยชน์ในการไปใช้ในการพัฒนางานวิจัยต่อไปได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างชุดทดลองสำหรับกระบวนการทำสัญลักษณ์บนวัสดุด้วยเลเซอร์
2. เพื่อทำการตัดและการทำสัญลักษณ์บนวัสดุด้วยเลเซอร์
3. เพื่อนำความรู้ที่ได้เรียนมาไปประยุกต์ใช้งานให้เกิดประโยชน์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างชุดทดลองสำหรับกระบวนการทำสัญลักษณ์บนวัสดุด้วยเลเซอร์
2. สามารถทำสัญลักษณ์บนวัสดุด้วยเลเซอร์ได้

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

1. ร่วมกันศึกษาและตั้งปัญหา พร้อมทั้งแสดงแนวคิดในการแก้ปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สร้างชุดทดลองสำหรับกระบวนการทำสัญลักษณ์บนวัตถุด้วยเลเซอร์
3. ทำการทดลองสำหรับกระบวนการทำสัญลักษณ์บนวัตถุด้วยเลเซอร์

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

เมื่อโครงการนี้สำเร็จลงชุดทดลองสำหรับการทำสัญลักษณ์บนวัตถุด้วยเลเซอร์ขับเคลื่อน xy นี้จะสามารถนำไปเพื่อทำสัญลักษณ์บนวัตถุด้วยเลเซอร์ได้โดยที่เพื่อให้ได้รูปทรงเรขาคณิตเบื้องต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

เนื่องจากแสงเลเซอร์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากระบบคาร์บอนไดออกไซด์และเป็นคลื่นต่อเนื่องที่มีความยาวคลื่น 10.6 ไมครอนโดยจะอยู่ในย่านอินฟราเรดในสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าดังรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นคลื่นความร้อนและเป็นลำแสงที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าแต่มีคุณสมบัติในการตัด เจาะ เชื่อม หรือกรีดวัสดุทั่วไป



รูปที่ 2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.1 หลักการเบื้องต้นของเลเซอร์

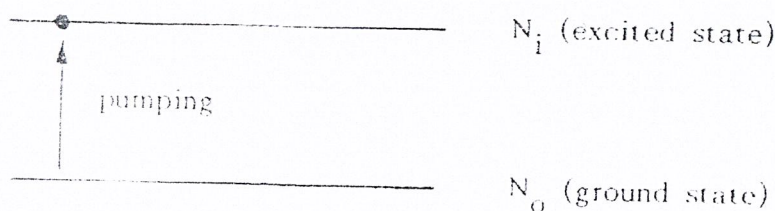
องค์ประกอบที่สำคัญในการทำให้เกิดแสงเลเซอร์ มีดังนี้

1. วัสดุที่ต้องการกระตุ้นให้เกิดปล่อยแสงเลเซอร์ (อาจจะเป็นของแข็ง, ของเหลว, แก๊สหรือสารประกอบ) ซึ่งเรียกว่า Active medium, Working medium, Laser medium
2. ขบวนการที่ทำให้เกิด Population inversion ใน action medium ขบวนการนี้เรียกว่า Laser pumping
3. ขบวนการที่ทำให้เกิด Laser oscillation เพื่อเพิ่มขยาย (หรือ amplify) ความเข้มของขบวนการ stimulated emission จนสามารถปล่อยแสงเลเซอร์ออกมาได้ ขบวนการนี้เกี่ยวข้องกับกระจกเลเซอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็น Resonator หรือ Resonant Cavity

ถ้า N_0 = จำนวนอะตอมที่ระดับพลังงาน E_0 หรือ ground state

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N_i = จำนวนอะตอมที่ excited state



เมื่อ $N_i > N_0$ เรียกว่าเกิด Population inversion

รูปที่ 2.2 รูปการกระตุ้นอะตอมให้เกิดปล่อยแสงเลเซอร์

เมื่อ $N_i > N_0$ เรียกว่าเกิด Population inversion Pumping ก็คือการให้พลังงานแก่อะตอมหรือโมเลกุลของ active medium เพื่อทำให้อะตอมหรือโมเลกุลถูกกระตุ้น (excited) จาก ground state ไปยัง excited state ซึ่งมีหลายวิธี เช่น

- ใช้แสงเรียกว่า Optical pumping (เช่น ใช้ flash lamp)
- ใช้ไฟฟ้า หรือ Electrical discharge



รูปที่ 2.3 โคอเอแกรมของเลเซอร์โดยทั่วไป

โดยที่ Laser medium อาจจะเป็น

- แก๊ส ซึ่งจะถูกจัดไว้เป็นแบบ Gas lasers
- ของแข็ง ซึ่งจะถูกจัดไว้เป็นแบบ Solid state lasers
- ของเหลว ซึ่งจะถูกจัดไว้เป็นแบบ Liquid lasers
- สารกึ่งตัวนำ ซึ่งจะถูกจัดไว้เป็นแบบ Semiconductor lasers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ M_1 เป็นกระจกด้านหลังของเลเซอร์ซึ่งสะท้อนแสงเลเซอร์ได้ 100% (Reflectivity $R_1 = 100\%$)

M_2 เป็นกระจกหน้าหรือด้านที่ปล่อยให้ลำแสงเลเซอร์ออกจะสะท้อนแสงได้ประมาณ 60–90 % (R_2)

เลเซอร์แต่ละชนิดก็ใช้กระจก M_1 และ M_2 แตกต่างกันไป กล่าวคือกระจก M_1 และ M_2 จะต้องเคลือบด้วยสารไดอิเล็กตริกหรือโลหะเพื่อสะท้อนลำแสงเลเซอร์เฉพาะความยาวคลื่นที่ต้องการเท่านั้น เช่น ในกรณีของฮีเลียม - นีออนเลเซอร์ ถ้าต้องการแสงสีแดงที่มีความยาวคลื่น 632.8 nm ก็จะต้องเคลือบกระจก M_1 ให้สะท้อนแสงสีแดงที่มีความยาวคลื่นได้ 100% และกระจก M_2 ให้สะท้อนแสงสีแดงได้ประมาณ 98 %

เมื่อจ่ายพลังงานให้แก่ Laser medium อะตอมหรือโมเลกุลของ medium จะถูก Pumping หรือถูกกระตุ้นจาก ground state ซึ่งการปลดปล่อยโฟตอนแบบนี้เป็น spontaneous emission โดยที่โฟตอนบางตัวจะถูกปล่อยออกในทิศใด ๆ ก็ได้ คือบางตัวอาจจะออกมาทางด้านข้างซึ่งจะผ่านออกมาโดยเปล่าประโยชน์ (คือ useless spontaneous emission) แต่บางตัวจะมีทิศทางขนานกับแกนของ Laser medium เข้าไปกระตุ้นอะตอมซึ่งอยู่ที่ excited state ให้เกิดปลดปล่อยโฟตอนโดยวิธี stimulated emission จะเห็นว่าโดยวิธีนี้จำนวนโฟตอนจะถูกขยายเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

จากหลักการดังกล่าวข้างต้น กระจกเลเซอร์จะทำหน้าที่สะท้อนโฟตอนให้วิ่งกลับไปกลับมา ระหว่างกระจก M_1 และ M_2 เพื่อทำให้เกิดการเพิ่มขยาย (amplify) จำนวนโฟตอน โดยวิธี stimulated emission เมื่อผ่าน Laser medium จนกระทั่งถึงจุดที่เกิด laser oscillation ลำแสงเลเซอร์ก็就会被ปล่อยผ่านออกมาทางกระจก M_2 จะเห็นว่าโฟตอนที่ถูกสะท้อนจากกระจกเลเซอร์เข้าไปใน Laser medium เพื่อทำให้เกิด stimulated emission ได้นั้น อะตอมหรือโมเลกุลของ medium จะต้องอยู่ที่ excited state อยู่แล้วในจำนวนที่มากกว่าจำนวนอะตอมหรือโมเลกุลที่ยังไม่ได้ถูก excite นั่นคือ medium อยู่ในสถานะที่เกิด population inversion นั่นเอง

2.2 คุณสมบัติของลำแสงเลเซอร์

ต้นกำเนิดแสงโดยทั่วไปให้แสงซึ่งมีสมบัติดังนี้

1. แสงโดยทั่วไป เกิดจากอะตอมปล่อยโฟตอนแต่ละตัวจะมีเฟสต่างกัน ลำแสงจึงไม่เสริมกันและลำแสงโดยทั่วไปจะบานออก (diverge) ทำให้ความเข้มของแสงลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งหายไปเมื่อเดินทางเป็นระยะทางไม่ไกลนัก

2. แสงโดยทั่วไปจะมีหลายความถี่หรือหลายความยาวคลื่นหรือหลายสี และถึงแม้จะทำให้เป็นแสงที่มีความถี่เดียว เช่น ใช้ฟิลเตอร์กรองแสงแต่ละโฟตอนของแสงสีเดียวกันก็ยังมีเฟสต่างกัน ดังนั้นคลื่นกำเนิดแสงโดยทั่วไปจึงไม่เป็น coherent หรือมีความเป็น coherent น้อยมาก

สำหรับแสงเลเซอร์มีคุณสมบัติดังนี้

1. Directionality คือมีทิศทางเดียวที่แน่นอน ซึ่งจากโคเอแกรมของเลเซอร์ในรูปที่ 2.5 จะเห็นว่าลำแสงเลเซอร์จะมีทิศอยู่ในแนวแกนของ laser medium หรือท่อที่บรรจุเท่านั้น
2. Monochromaticity หมายถึงเลเซอร์เป็นแสงที่มีความถี่เดียว
3. Coherence แสงเลเซอร์มีความเป็น Coherent สูงมาก เนื่องจากว่าแสงเลเซอร์มีความถี่เดียวและทุกโฟตอนมีเฟสเดียวกัน ดังนั้นลำแสงเลเซอร์จะถูกปล่อยออกมาเป็นลำแสงขนานกับแกนของ laser medium ลำแสงเลเซอร์จึงสามารถเดินทางได้เป็นระยะไกล ๆ โดยที่ลำแสงจะบานออกน้อยมาก
4. Brightness แสงเลเซอร์เป็นแสงที่มีความจ้า (brightness) สูงมาก ซึ่งความจ้าหมายถึงกำลังของแสงเลเซอร์ที่ถูกปล่อยออกมา ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งมุมตัน (solid - angle) มีหน่วยเป็นวัตต์/ตารางเซนติเมตร-สเตอเรเดียน ($\text{W}/\text{cm}^2 - \text{steradian}$)

2.3 คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์

คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์โดยแท้จริงแล้วเป็นเลเซอร์ซึ่งได้จากส่วนผสมของแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ องค์ประกอบสำคัญในการทำให้เกิดคาร์บอน ไดออกไซด์เลเซอร์ซึ่งการจะทำให้เกิดคาร์บอน ไดออกไซด์เลเซอร์จะต้องอาศัยองค์ประกอบหลักที่สำคัญ 3 อย่างคือ

1. สารตัวกลางเลเซอร์ (Laser medium) เป็นสารที่ต้องสามารถทำให้เกิดสภาวะ Population inversion และ stimulated emission ได้ ซึ่งในที่นี้คือแก๊สผสมระหว่าง คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และฮีเลียม
2. กระจกเลเซอร์ (Laser mirror) จะมีสองชิ้น คือ กระจกเลเซอร์ด้านหน้าที่สร้างจากวัสดุที่ไม่ดูดกลืนพลังงานของเลเซอร์ ได้แก่พวก ZnSe มีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงเลเซอร์อยู่ระหว่าง 65-95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกระจกเลเซอร์ด้านหลังมีเปอร์เซ็นต์

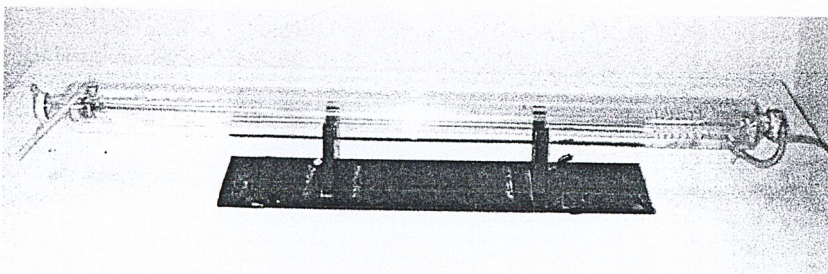
การสะท้อนแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น $0.6 \mu\text{m}$ ได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ สร้างจาก Si ที่เคลือบทองคำซึ่งสะท้อนแสงได้ดีเกือบทุกชนิด

3. แหล่งจากกำลังงานสำหรับกระตุ้นตัวกลางเลเซอร์ (Laser power supply) เพื่อทำให้เกิดสถานะ Population inversion และ Stimulate emission ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสามารถทำได้หลายแบบ ได้แก่

1. การใช้คลื่นไมโครเวฟกระตุ้น (Microwave excited CO_2 laser)
2. การให้ความดันและอุณหภูมิที่สูงมาก ๆ ก่อนจะปล่อยก๊าซผ่านช่องแคบๆ เพื่อให้มีความเร็วสูงและเกิดสถานะ Population inversion ขึ้น (Gas Dynamic Laser)
3. การกระตุ้นสารตัวกลางเลเซอร์ด้วยคลื่นวิทยุความถี่สูง
4. การใช้ลำอิเล็กตรอน (Electron Beam)
5. การให้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง (DC High Voltage) หรือสนามไฟฟ้า (Electric Field)

2.4 หลักการของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบหลอดปิด

การกระตุ้นสารตัวกลางเลเซอร์ด้วยสนามไฟฟ้า (Electric field exciting) นับเป็นวิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้ในการกระตุ้นสารตัวกลางเลเซอร์ที่มีสถานะเป็นแก๊ส รวมทั้งคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ด้วย สำหรับกระบวนการในการเกิดปฏิกิริยาเลเซอร์อย่างละเอียด กระบวนการในการเกิดเลเซอร์โดยทั่วไปเริ่มจากการจ่ายสนามไฟฟ้าแรงสูงให้กับสารตัวกลางเลเซอร์ อะตอมหรือโมเลกุลของมันก็จะถูกกระตุ้นให้ขึ้นไปสู่ระดับพลังงานที่สูงกว่า แล้วตกกลับลงมาสู่ระดับพลังงานต่ำกว่า พร้อมกับปลดปล่อยโฟตอน (Photon) ออกมา ในขณะที่อะตอมถูกกระตุ้นขึ้นไปสู่ระดับพลังงานที่สูงกว่านั้น ก็จะไปชนอะตอมอื่นๆ ที่อยู่ในระดับพลังงานนั้นๆ ก่อนหน้านี้อยู่แล้ว ซึ่งอะตอมที่ถูกชนก็จะปลดปล่อย



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของ CO_2 แบบหลอดปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

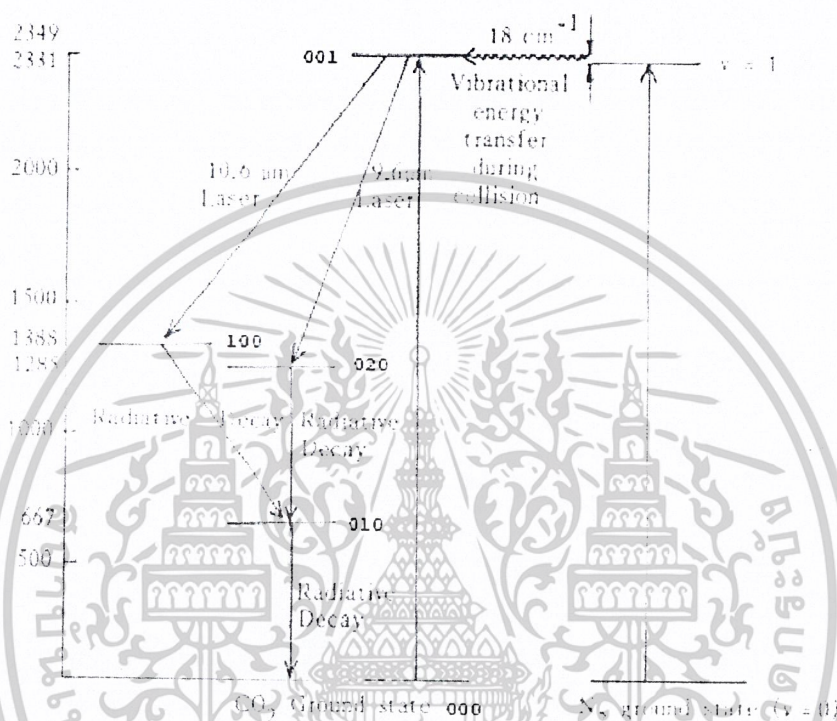
โฟตอนออกมาพร้อมกันด้วย แสงที่เกิดจากการปลดปล่อยโฟตอนของอะตอมเหล่านี้ จะเกิดขึ้นทุกทิศทาง โดยแสงที่เกิดขึ้นในทิศทางใดที่ไม่ได้อยู่ในแนวแกนแสง (Optical axis) จะพุ่งออกนอกแควิตี (Cavity) ของระบบเลเซอร์ไปเลย ซึ่งพลังงานแสงในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่สูญเสีย (Loss) ส่วนแสงที่เกิดในทิศทางเดียวกับแนวแกนแสงของกระจกเลเซอร์ จะสะท้อนกลับไปที่กระจกเลเซอร์ โดยจะผ่านสารตัวกลางเลเซอร์อีก และในระหว่างแสงกำลังสะท้อนผ่านสารตัวกลางนี้ก็จะไปกระตุ้นอะตอมอื่นๆ ให้ออกมาปล่อยโฟตอนออกมาอีก ความเข้มของแสงก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงสภาวะทรานส์เวอร์สของเลเซอร์ (Laser Threshold condition) ซึ่งเกน (Gain) ของระบบเลเซอร์เริ่มมีค่าสูงกว่าค่าการสูญเสีย (Loss) จะเกิดเป็นแสงเลเซอร์ออกมาจากแควิตี (Cavity) ของเลเซอร์ในที่สุด จะเห็นว่าสารตัวกลางเลเซอร์ทำหน้าที่เป็นตัวขยายความเข้มของแสงคือเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านสารตัวกลางเลเซอร์โดยการสะท้อนกระจกเลเซอร์ในแต่ละรอบ แสงจะมีความเข้มเพิ่มขึ้นทุกครั้ง

ในการกระตุ้นโมเลกุลของ CO_2 ทำให้โดยให้ไฟฟ้าแรงดันสูง (high voltage electrical discharge) เพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลหรือถูกกระตุ้นไปอยู่ในสภาวะที่มีพลังงานสูงกว่า ground state อย่างไรก็ตามในกรณีของ CO_2 บริสุทธิ์ ในการกระตุ้นนั้นระดับพลังงานต่ำๆ จะได้รับพลังงานมากกว่านั้นคือ โมเลกุลของ CO_2 จะไปอยู่ในชั้นพลังงานต่ำทำให้ไม่มีโอกาสที่จะเกิด population inversion ซึ่งจะไม่มีการปล่อยเลเซอร์ออกมา

เพื่อที่จะทำให้มี population inversion เกิดขึ้น แก๊ส CO_2 จะต้องถูกผสมด้วยแก๊ส N_2 กล่าวคือ N_2 สามารถถูกกระตุ้นได้ง่าย เพื่อไปอยู่ในสภาวะซึ่งมีระดับพลังงานใกล้เคียงกับ excited states ของ CO_2 ซึ่งจะเห็นว่าสภาวะ $V=1$ ของ N_2 (พลังงาน 2331 cm^{-1}) กับ ระดับ 001 ของ CO_2 (พลังงาน 2349 cm^{-1}) มีพลังงานต่างกันเพียง 18 cm^{-1} ดังนั้น N_2 โมเลกุลที่ถูกกระตุ้นก่อนและไปอยู่ที่สภาวะ $V=1$ เมื่อเกิดการชนกับ CO_2 โมเลกุลที่ ground state จะถ่ายเทพลังงานให้ CO_2 โมเลกุล แล้วทำให้ CO_2 โมเลกุลถูกกระตุ้นไปอยู่ที่สภาวะ 001 ได้แสดงในรูป ในทางปฏิบัตินอกจากจะใช้แก๊ส N_2 ผสมกับแก๊ส CO_2 เพื่อทำให้เกิด population inversion ของ CO_2 แล้วยังนิยมใช้แก๊ส He ผสมเข้าไปด้วย ทั้งนี้เพื่อเพิ่ม thermal conductivity ทั้งนี้เพื่อช่วยระบายความร้อนภายในระบบ

แสงเลเซอร์ที่เกิดจากระบบคาร์บอนไดออกไซด์แบบนี้เป็นแบบคลื่นต่อเนื่องที่มีความยาวคลื่น 10.6 ไมครอน โดยจะอยู่ในย่านอินฟราเรดในสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นคลื่นความร้อนและเป็นลำแสงที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า แต่มีคุณสมบัติในการตัด เจาะ เชื่อม หรือกรีดวัสดุทั่วไปในลักษณะที่ไม่ต้องมีการสัมผัสกับชิ้นงานโดยตรงทำให้ไม่เกิดการกดหรือบิดเบี้ยวของชิ้นงาน โดยเฉพาะวัสดุที่มีความเปราะบางแตกหักง่ายและวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูงรวมทั้ง

วัสดุที่ใช้วิธีการตัดโคยวิธีเชิงกลหรือวิธีอื่นๆแล้วเกิดความเสียหายต่อชิ้นงานได้ง่าย เช่น แผ่นแก้ว บาง แผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ ขาง หรือผ้า เป็นต้น สถานะพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการเกิด คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ที่ความยาวคลื่น 10.6 ไมโครเมตรเป็นไปตามไดอะแกรมดังรูป 2.5



รูปที่ 2.5 ไดอะแกรมการเปลี่ยนสถานะพลังงานของโมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์

จากรูปจะเห็นว่าเลเซอร์นั้นเกิดจากการเปลี่ยนสถานะพลังงานของโมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างสถานะ (001) กับสถานะ (100) และระหว่างสถานะ (001) กับสถานะ (020) โดยระหว่างสถานะ (001) กับสถานะ (100) จะเกิดเลเซอร์ที่ความยาวคลื่นประมาณ 10.6 ไมโครเมตร ส่วนระหว่างสถานะ (001) กับสถานะ (020) จะให้ความยาวคลื่น 9.6 ไมโครเมตร แต่กระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะพลังงานจาก (001) กับสถานะ (100) เกิดมากกว่ากลุ่มหลังจึงได้เลเซอร์ความยาวคลื่น 10.6 ไมโครเมตรมีความเข้มสูงกว่าที่มีความยาวคลื่น 9.6 ไมโครเมตร ดังนั้นคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์โดยทั่วไปจึงให้พลังงานที่มีความยาวคลื่น 10.6 μm ดังนั้นจะกล่าวถึงเฉพาะกระบวนการที่ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ที่ความยาวคลื่น 10.6 ไมโครเมตรเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน และพื้นฐานทางเลเซอร์

ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน (Principles of Heat Transfer)

เมื่อไรก็ตามที่จุดสองจุดมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ก็จะมีพลังงานถ่ายเทจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ พลังงานที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยอิทธิพลของอุณหภูมิที่แตกต่างกันนี้มีชื่อเรียกว่า “ความร้อน” เนื่องจากการไหลของความร้อนเกิดขึ้นเมื่อไรก็ตามที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิในระบบ ดังนั้นความรู้เกี่ยวกับการกระจายของอุณหภูมิในระบบจึงจำเป็นมากในการศึกษาการถ่ายเทความร้อน และถ้าทราบการกระจายของอุณหภูมิแล้ว เราสามารถหาฟลักซ์ความร้อน ซึ่งเป็นค่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลาได้จากกฎหรือสมการซึ่งเกี่ยวข้องกับระหว่างฟลักซ์ความร้อนกับเกรเดียนต์อุณหภูมิ

ในการศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน สามารถแยกพิจารณาออกได้อย่างเด่นชัดเป็น 3 แบบ คือ การนำ การพา และการแผ่รังสี

การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer)

การนำความร้อนเป็นรูปแบบหนึ่งของการถ่ายเทความร้อน ในลักษณะของการแลกเปลี่ยนพลังงานจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยเคลื่อนที่แบบจลน์ หรือการชนกันโดยตรงของโมเลกุลซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นในของไหลที่หยุดนิ่ง ส่วนในกรณีของโลหะนั้นจะเป็นการไหลของกระแสอิเล็กตรอน สำหรับของแข็งที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี จะมีจำนวนอิเล็กตรอนอิสระมากมายที่เคลื่อนที่อยู่มากในโครงสร้างโมเลกุล ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าวัตถุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี จะเป็นตัวนำความร้อนที่ดีตามไปด้วย ยกตัวอย่างเช่น ทองแดง เงิน เหล็ก ฯลฯ อันเป็นผลมาจากการนำหรือการถ่ายเทพลังงานความร้อนโดยอิเล็กตรอนอิสระเหล่านี้

การพาความร้อน (Convection Heat Transfer)

เมื่อของไหลไหลผ่านวัตถุที่เป็นของแข็งหรือไหลผ่านภายในช่องทางการไหล โดยที่อุณหภูมิของของไหลและผิวของของแข็งมีค่าแตกต่างกัน การถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลและผิวของของแข็ง จะเกิดขึ้นเมื่อของไหลเคลื่อนที่สัมผัสกับผิวของของแข็ง กลไกของการถ่ายเทความร้อนแบบนี้เรียกว่า “การพาความร้อน”

การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

การแผ่รังสีความร้อน คือพลังงานที่ถูกส่งออกไปโดยสารซึ่งมีอุณหภูมิจำกัคแน่นอนถึงแม้ว่าเราจะเน้นการแผ่รังสีจากผิวของวัตถุแข็งก็ตาม การส่งออกของรังสีอาจเกิดขึ้นได้จากของ

เหลวและก๊าซ ดังนั้นถ้าไม่คำนึงถึงรูปแบบของสาร การส่งออกของรังสีเชื่อว่าเป็นการเปลี่ยนการจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนขององค์ประกอบอะตอมหรือโมเลกุล พลังงานของสนามการแผ่รังสีนั้นจะถูกนำออกไปโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (หรือเรียกอีกอย่างว่าโฟตอน) ในขณะที่การถ่ายเทพลังงานโดยการนำหรือการพาต้องการวัตถุตัวกลาง แต่การแผ่รังสีไม่ต้องการ ในความจริง การถ่ายเทโดยการแผ่รังสีเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดในสุญญากาศ

การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน

ในการนำความร้อนนั้นมีการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการสั่นสะเทือนของโมเลกุลของของแข็ง ซึ่งส่วนของของแข็งที่ได้รับความร้อนนั้น สามารถถ่ายเทความร้อนให้แก่โมเลกุลในชั้นถัดไป ในลักษณะของพลังงานความสั่นสะเทือน (Vibrational energy) พลังงานความร้อนก็เคลื่อนที่ลึกเข้าไปในเนื้อของของแข็งเรื่อยๆ

ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity)

ค่าการนำความร้อนเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัตถุ โดยทั่วไปแล้วค่าการนำความร้อนของวัตถุจะแปรไปกับอุณหภูมิ แต่ในการใช้งานในด้านปฏิบัตินั้น ส่วนใหญ่จะใช้ค่าการนำความร้อนคงที่ที่หาจากอุณหภูมิต่ำๆ โดยถ้าสารที่มีค่าการนำความร้อนสูงจะเรียกว่า “ตัวนำ” (conductor) และสารที่มีค่าการนำความร้อนต่ำจะเรียกว่า “ฉนวน” (Insulator)

ค่าการแผ่กระจายความร้อน (Thermal Diffusivity)

ค่าการแผ่กระจายความร้อนขึ้นอยู่กับค่าการนำความร้อน ความหนาแน่น และค่าความจุความร้อนจำเพาะของสาร และในสารแต่ละชนิดนั้นจะมีค่าการแผ่กระจายความร้อนที่แตกต่างกัน ซึ่งค่าการแผ่กระจายความร้อนบ่งบอกถึงความเร็วของการถ่ายเทความร้อนในวัตถุนั้น

สถานะสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ (Steady state and Unsteady state)

สถานะสม่ำเสมอ (Steady state) หมายความว่า อุณหภูมิที่จุดหนึ่งในวัตถุไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลา หรืออาจเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ว่า

$$\frac{\partial T}{\partial t} = 0$$

โดยที่ T เป็นค่าของอุณหภูมิ และ t เป็นค่าของเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป

สถานะไม่สม่ำเสมอ (Unsteady state หรือ Transient state) หมายความว่าอุณหภูมิที่จุดๆหนึ่งในวัตถุยังเปลี่ยนแปลงอยู่เมื่อมีเวลาเปลี่ยนไป หรืออาจเขียนในรูปสมการได้ว่า

$$\frac{\partial T}{\partial t} \neq 0$$

2.6 สถานะประชากรผกผัน (Population Inversion)

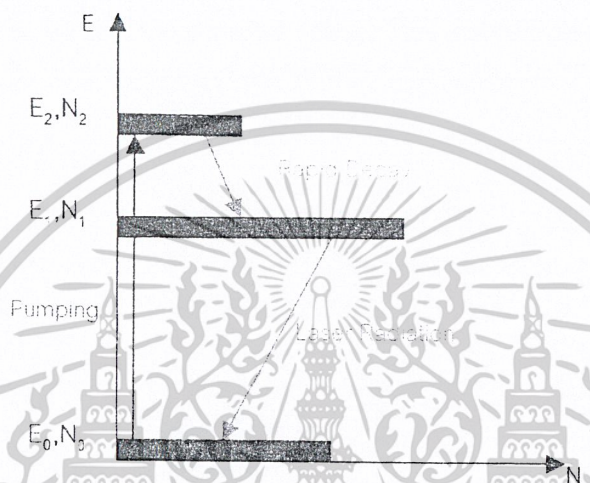
ในการทำให้เกิดการขยาย (Amplification) แอมพลิฟิเคชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดในเลเซอร์มีเดียมนั้นจำเป็นต้องทำให้เกิดสถานะประชากรผกผัน (Population inversion) เสียก่อน ซึ่งหมายถึงจำนวนอะตอมหรือโมเลกุลในระดับชั้นพลังงาน E_2 มีจำนวนมากกว่าจำนวนโมเลกุลในระดับชั้นพลังงาน E_1 โดยที่ $E_2 > E_1$ ซึ่งในการเกิดสถานะประชากรผกผันนั้นจำเป็นต้องเพิ่มพลังงานให้แก่อะตอมในเลเซอร์เพื่อที่จะกระตุ้นให้ไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่าและมีจำนวนมากด้วยวิธีการเพิ่มพลังงานนี้เรียกทั่วไปว่าวิธีการปั๊ม (Pumping) วิธีการดังกล่าวนี้จะเกี่ยวข้องกับระดับพลังงานหลายระดับซึ่งแยกออกเป็นประเภทใหญ่ๆได้ดังนี้

ระดับพลังงาน 2 ระดับ (Two-level Pumping)

สำหรับกรณีที่เกี่ยวข้องกับระดับพลังงาน 2 ระดับนี้เกิดขึ้นเป็นครั้งแรกโดยใช้โมเลกุลของแก๊สแอมโมเนีย (NH_3) เป็นตัวกลางที่ทำให้เกิดสถานะประชากรผกผัน และโมเลกุลของแอมโมเนียจะทำหน้าที่ขยายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านไมโครเวฟที่มีความถี่ 24 GHz คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกขยายมานี้ถูกเรียกว่า “เมเซอร์” (MASTER)

ระดับพลังงาน 3 ระดับ (Three-level Pumping)

ในขณะที่อยู่ในสมดุลความร้อน และยังไม่มีการเกิดออฟติคัลปั๊ม (Optical Pumping) เราจะพบว่าจำนวน $N_0 > N_1 > N_2$ โดยที่ $E_0 > E_1 > E_2$ เมื่อมีการให้ออฟติคัลปั๊ม โมเลกุลจะมีการกระจายตัวไปสู่ระดับพลังงานต่างๆ ซึ่งเราจะพบว่า $N_0 > N_1$ และ $N_1 > N_2$ ถึงแม้จะมีการลดระดับพลังงานจากระดับ E_2 ไปยัง E_1 อย่างรวดเร็วเป็นแบบนอนเรดิเอทีฟทรานซิชัน (Nonradiative transition) ก็ตาม จำนวน $N_0 > N_1$ ซึ่งในกรณีนี้จะไม่เกิดสถานะประชากรผกผัน ต่อมาเมื่อเราเพิ่มกำลังของออฟติคัลปั๊มมากพอที่กระตุ้นให้อะตอมหรือโมเลกุลของเลเซอร์มีเดียมกระจายตัวไปอยู่ในระดับพลังงานต่างๆ ที่ทำให้ $N_1 > N_0$ และ $N_1 \gg N_2$ จะทำให้เกิดสถานะประชากรผกผันขึ้นและเลเซอร์มีเดียมจะทำหน้าที่ขยายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดเลเซอร์ขึ้น

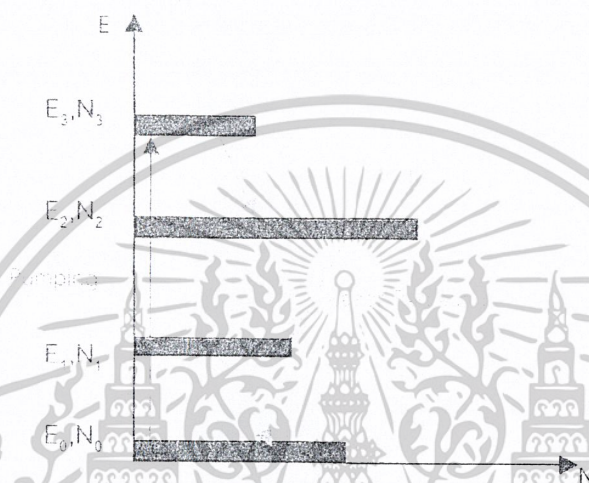


รูป 2.6 กระบวนการกระตุ้นเลเซอร์มีเดียแบบ 3 ระดับพลังงาน

ระดับพลังงาน 4 ระดับ (Four-level Pumping)

เป็นการเกี่ยวข้องกับระดับพลังงาน 4 ระดับ ซึ่งในลักษณะนี้ต้องการสารเลเซอร์มีเดียที่มีระดับพลังงาน 4 ระดับ โดยที่ระดับ $E_3 > E_2$ และ $E_1 > E_0$ และอะตอมในชั้น E_3 และ E_1 จะต้องตกมาในชั้นที่ต่ำกว่าอย่างรวดเร็ว ซึ่งในแบบระดับพลังงาน 4 ระดับนี้จะสามารถยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ได้ดีกว่าแบบระดับพลังงาน 3 ระดับ เพราะในการทรานซิชันไม่มีการปล่อยโฟตอนออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.7 กระบวนการกระตุ้นเลเซอร์มีเดียแบบ 4 ระดับพลังงาน

2.7 โครงสร้างและส่วนประกอบของระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบหลอดปิด

มีส่วนประกอบต่างๆแบ่งเป็น 6 ส่วนคือ

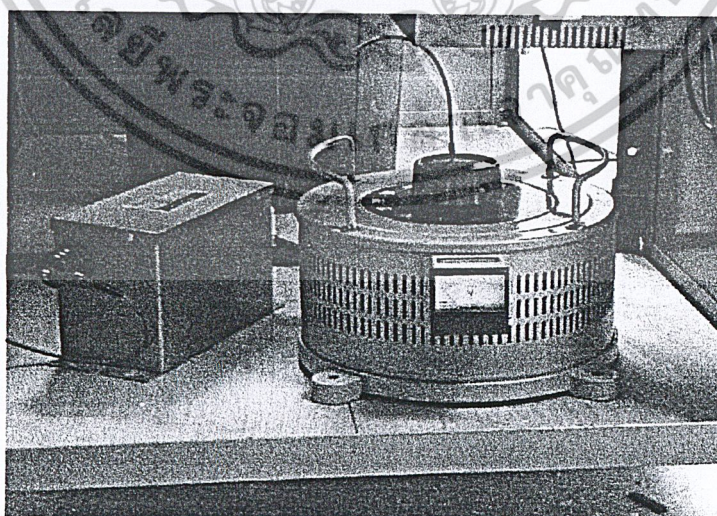
1. หลอดกำเนิดแสงเลเซอร์ (Laser Tube) ซึ่งเป็นแบบหลอดเปิด โดยมีลักษณะเป็นหลอดแก้วทรงกระบอกยาวที่มีท่อสำหรับให้สารตัวกลางเลเซอร์ ซึ่งในที่นี้คือแก๊สผสมระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ CO_2 กับไนโตรเจน N_2 และฮีเลียม He ไหลผ่านเข้าออกในขณะที่เลเซอร์กำลังทำงาน
2. กระจกเลเซอร์ โดยทั่วไปประกอบด้วยกระจกเลเซอร์ด้านหลังและกระจกด้านหน้า ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนเกือบร้อยเปอร์เซ็นต์และระหว่าง 65 - 95 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยกระจกเลเซอร์ด้านหน้าซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนน้อยกว่าจะเป็นด้านที่ปล่อยแสงเลเซอร์ออกมา
3. ระบบระบายความร้อน (Cooling System) โดยทั่วไปใช้การระบายความร้อนโดยน้ำหล่อเย็น (Cooling Water)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อิเล็กโทรด (Electrode) เป็นขั้วโลหะสำหรับป้อนสนามไฟฟ้า ทำจากทั้งสแตนเลสและต่อเชื่อมเข้ากับวงแหวนอลูมิเนียม (Aluminium Ring) ซึ่งอยู่ภายในหลอดกำเนิดแสงเลเซอร์ บริเวณที่เป็น Active Region เพื่อให้สัมผัสกับสารตัวกลางเลเซอร์
5. ระบบสร้างสนามไฟฟ้าแรงสูง โดยทั่วไปอาศัยกำลังงานจากแหล่งจ่ายไฟ 220 หรือ 380 โวลต์ในการสร้างสนามไฟฟ้าแรงสูง
6. ชั้นหลอดแก้วสำหรับหุ้มเพื่อระบายความร้อน (Cooling jacket) มีลักษณะเป็นหลอดแก้วทรงกระบอกยาวหุ้มหลอดแก้วชั้นที่เป็นแอคทีฟริเจียนเพื่อระบายความร้อนที่เกิดขึ้นในสารตัวกลางและอิเล็กโทรด โดยเฉพาะที่บริเวณอิเล็กโทรดเพื่อป้องกันไม่ให้หลอดแก้วบริเวณนี้แตกร้าว จากสัมประสิทธิ์การขยายตัวที่ไม่เท่ากันของอลูมิเนียมกับหลอดแก้ว

2.8 อิเล็กโทรด

เป็นขั้วไฟฟ้าสำหรับป้อนสนามไฟฟ้าแรงสูงที่ใช้กระตุ้นสารตัวกลางเลเซอร์ ซึ่งจะมีสองขั้ว แต่ละขั้วจะมีส่วนประกอบสองชิ้นคือ แท่งทั้งสแตนเลสและวงแหวนอลูมิเนียมซึ่งสามารถกระจายความร้อนได้ดี โดยเส้นผ่าศูนย์กลางจะใหญ่กว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของบริเวณแอคทีฟริเจียนเพื่อไม่ให้บังแนวแสงเพราะวงแหวนอลูมิเนียมจะใส่ไว้ภายในบริเวณแอคทีฟริเจียนซึ่งเป็นบริเวณที่แสงสะท้อนกลับไปกลับมาผ่านสารตัวกลางเลเซอร์ ส่วนแท่งทั้งสแตนเลสจะเป็นทางผ่านของกระแสไฟฟ้าจากภายนอกตัวหลอดไปถึงวงแหวนอลูมิเนียมซึ่งจะผ่านหลอดแก้วชั้นนอกซึ่งเป็นส่วนระบายความร้อน

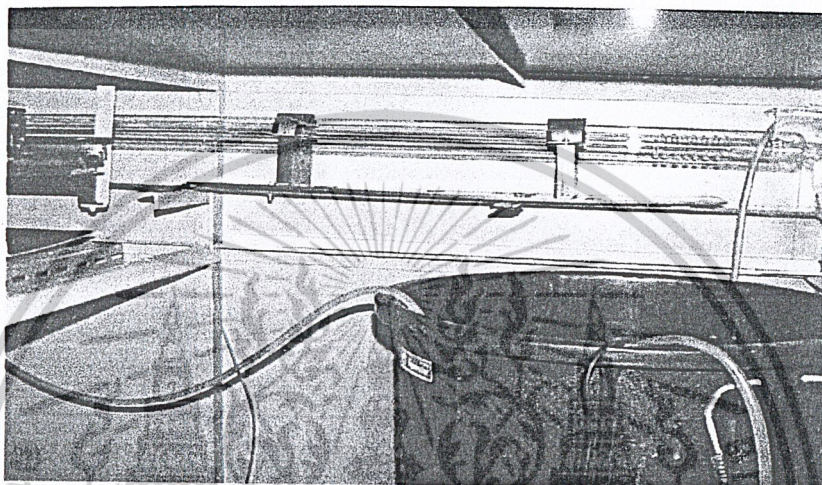


รูปที่ 2.8 ลักษณะของแหล่งจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ระบบระบายความร้อนสำหรับเลเซอร์

ถึงน้ำเย็นขนาดบรรจุ 150 ลิตร โดยน้ำเย็นจากถังน้ำจะถูกปั๊มผ่านท่อไปยังระบบระบายความร้อนออกจากเลเซอร์

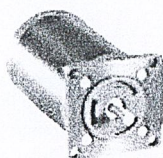


รูปที่ 2.9 ระบบระบายความร้อนสำหรับเลเซอร์ CO₂

2.10 หัวตัดของเลเซอร์ (Laser Cutting Head)

แสงเลเซอร์จะถูกบังคับให้ผ่านเข้าไปในท่ออคูนิซึมในแนวนานกับหลอดเลเซอร์แล้วไปสะท้อนที่กระจก Si เคลือบด้วยทองซึ่งเอียงเป็นมุม 45 องศา รังสีจะสะท้อนผ่านเข้าไปในท่ออคูนิซึมต่อไปในแนวตั้งแล้วถูกโฟกัสโดยเลนส์รวมแสงซึ่งทำด้วย ZnSe มีความยาวโฟกัส 5 เซนติเมตร สำหรับตำแหน่งของเลนส์ได้ออกแบบให้สามารถปรับขึ้นลงได้ในแนวตั้งเพื่อปรับจุดโฟกัสของลำแสงเลเซอร์

2.11 หลักการทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์สเตปเปอร์ (Principle operation of stepper motor)



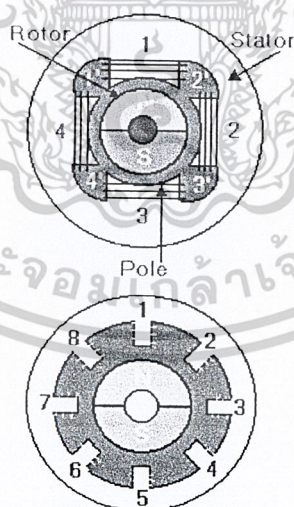
รูปที่ 2.10 สเตปเปอร์มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stepper Moter เป็นมอเตอร์ที่มีลักษณะเมื่อเราป้อนไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ทำให้หมุนเพียงเล็กน้อยตามเส้นรอบวงและหยุด ซึ่งต่างจากมอเตอร์ทั่วไปที่จะหมุนทันทีและตลอดเวลาเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าข้อดีของสเต็ปมอเตอร์ คือ สามารถกำหนดตำแหน่งของการหมุนด้วยตัวเลข (องศาหรือระยะทาง) ได้อย่างละเอียด โดยใช้คอมพิวเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นเครื่องกำหนดและจัดเก็บตัวเลข

โครงสร้างของขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ทำมาจากแผ่นเหล็กวงแหวนที่มีซี่ยื่นออกมาประกอบกันเป็นชั้นๆ โดยที่แต่ละชั้นนั้นจะมีคอยล์(ขดลวด)พันสวมอยู่ เมื่อมีการป้อนกระแสผ่านคอยล์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnetic) ดังรูปที่ 2.9 ในที่นี้ถ้าเราเพิ่มจำนวนของขั้วแม่เหล็กมากขึ้นจะเพิ่มจำนวนของสเต็ปต่อวงจรรอบมากขึ้นด้วย ตามรูปที่ 2.10

ลักษณะการนำไปใช้งาน สเต็ปมอเตอร์ ใช้งานลักษณะ Open Loop System แปลเป็นภาษาไทย ระบบเปิด คือ สเต็ปมอเตอร์สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมีการ ป้อนค่าพารามิเตอร์กลับมา (Feed back) แต่ทุกวิธีที่ต้องการกำหนดตำแหน่งที่แน่นอน จะต้องการป้อนกลับไปยังระบบและตัวบอก ตำแหน่งว่าถูกต้องหรือผิดพลาดให้รับทราบดังเช่นวิธีที่ใช้กับสเต็ปมอเตอร์ คือเรานำลิimitswitch ์ติดตามตำแหน่งที่จะตรวจจับ เมื่อสเต็ปมอเตอร์เริ่มหมุนไปจนถึงตำแหน่งของสวิทช์ตรวจจับสัญญาณ สวิทช์ทำงานก็จะป้อนกลับไปสู่ระบบ ซึ่งก็จะทำให้รู้การทำงานของสเต็ปมอเตอร์ตลอด ตัววงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เองจะมีจุดอ้างอิง ไว้ให้เริ่มต้นการทำงานและอ้างอิงตำแหน่งได้ถูกต้อง



รูปที่ 2.11 โครงสร้างภายในสเต็ปเปอร์มอเตอร์

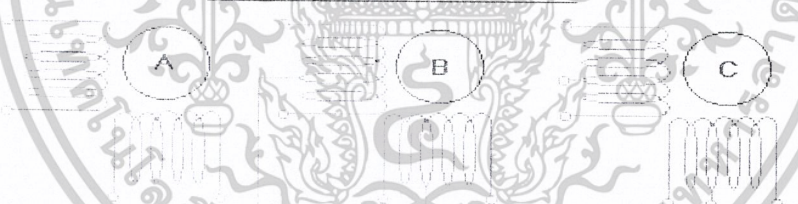
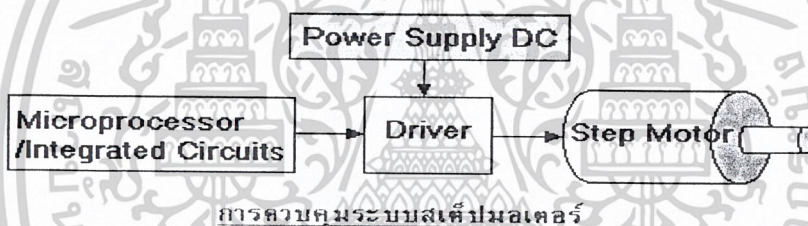
โดยแนวทางสเต็ปมอเตอร์เป็นอุปกรณ์จำพวกเชิงกลทางไฟฟ้า โดยมีรูปของไบนารีโวลต์เตตเป็นอินพุตและการเคลื่อนที่ แบบเชิงมุมเป็นเอาต์พุต หรือว่าหมุนทีละสเต็ปซึ่งอยู่ระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.1 - 30 องศา อยู่ที่โครงสร้างของสเต็ปมอเตอร์ โดยตามสัญญาณ พัลส์ที่จ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์ ทำให้เกิดแรงผลักแก่โรเตอร์หมุนไป สเต็ปมอเตอร์มีขดลวดหลายชุดในที่นี้เราเรียกว่า Phase (เฟส) ดังนั้นสัญญาณที่ต่อเนื่องเป็น Sequence (ซีควีน) ลักษณะของ Binary (ไบนารี) ซึ่งจะต้องไปผ่านวงจร Driver (ไดรเวอร์) ก็จะ ทำให้โรเตอร์หมุนไปอย่างต่อเนื่อง ที่กล่าวมาสามารถดูได้จากรูป การควบคุมสเต็ปมอเตอร์

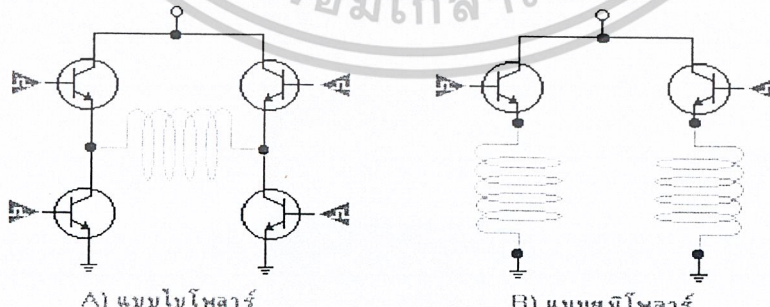
แบบ Bipolar

จะมีการพันขดลวดหนึ่งขด(จะกี่รอบก็แล้วแต่ สเปกใช้งาน)ในแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ โดยขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้น ที่สเตเตอร์จะถูกกำหนดโดยทิศทางของการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้ามได้เพียง การกลับทิศทางของการไหลในกระแสไฟฟ้า โดยมาจากการควบคุมของวงจรสวิตซ์ซึ่งให้กลับขั้วไฟฟ้า



A) แบบไบโพลาร์ B) แบบขั้วโพลาร์ 5 สาย C) แบบขั้วโพลาร์ชนิด 6 สาย

การพันขดลวดบนสเตเตอร์ของสเต็ปมอเตอร์



A) แบบไบโพลาร์

B) แบบขั้วโพลาร์

คือ ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟหรือจากพอร์ตพีซีเพื่อทรานซิสเตอร์ให้ทำงาน
วงจรการจ่ายไฟให้กับสเต็ปมอเตอร์

รูปที่ 2.12 วงจรการจ่ายไฟให้กับสเต็ปมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ Unipolar

แบบนี้มี 2 ขด บนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ทำให้แต่ละขดลวดเกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้าม เช่นกันครับการกลับทิศทางขั้วแม่เหล็กทำได้โดยใช้วงจรสวิตซ์ซึ่งให้สลับหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่งแทนกัน

พื้นฐานการสวิตซ์ซึ่งรูปด้านบนที่ชื่อวงจรการจ่ายไฟให้กับสเต็ปมอเตอร์ การพันขดลวดทั้ง 2 แบบที่กล่าวมา แบบยูนิโพลาร์จะทำให้เกิดแรงบิดน้อยกว่าแบบไบโพลาร์ สังเกตจากสายไฟที่ต่อมาจากตัวสเต็ปมอเตอร์ซึ่งแบบไบโพลาร์จะมี 4 สาย ส่วนเป็นแบบยูนิโพลาร์จะมี 5 สายหรือ 6 สาย

การสั่งงานควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์

การควบคุมและสั่งงานให้สเต็ปมอเตอร์ทำงาน ไปที่ละสเต็ปสามารถทำได้โดยการจ่ายกำลังไฟไปยังขดลวด ในแต่ละขอบนสเตเตอร์ โดยการป้อนจะทำในลักษณะเป็นลำดับหรือเรียกว่า ซีควเอนเชียลในรูปที่ถูกต้อง ซึ่งจะแบบ ได้เป็น 3 รูปแบบ คือ แบบเวฟ(wave) แบบ 2 เฟส(2 phase) และแบบครึ่งสเต็ป (half step) ทั้ง 3 แบบนี้ก็มีข้อดีและข้อเสียต่างกันออกไป

จะเป็นการกระตุ้นแบบที่ง่ายที่สุด ซึ่งจะทำการกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งๆ เรียงกันไป ตัวอย่างเช่น ขดที่ 1, 2, 3, 4, 1, 2, 3, 4 เป็นลำดับอย่างนี้ หรือ ขด 1, 4, 3, 2, 1, 4, 3, 2 เป็นลำดับกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางที่เราต้องให้มอเตอร์หมุนไป วงจรที่นำมากระตุ้นนั้นจะมีราคาค่อนข้างจะถูกกว่าและง่ายกว่า ดังในรูปของวงจรการจ่ายไฟ ที่อยู่ด้านบนนั้น เราสามารถเขียนขั้นตอนการทำงานเป็นตารางออกมาได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ตารางขั้นตอนการทำงานแบบเวฟ

Step No.	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
1	ON			
2		ON		
3			ON	
4				ON
5	ON			
6		ON		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ 2 เฟส (2 Phase)

แบบนี้ก็จะคล้ายกับการกระตุ้นในแบบเวฟแต่จะต่างกันตรงที่ แบบ 2 เฟส จะกระตุ้นที่ละ 2 ขด ที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกันและจะเรียงลำดับกันไป ดังเช่นแบบเดียวกับแบบเวฟ จะยกตัวอย่างการกระตุ้นขดลวดในลักษณะ ซีควเอนซ์ให้ดูดังนี้ 12,23,34,41,12,23,34,41 เรียงลำดับกันไปเรื่อยๆ หรือจะเป็น 14,43,32,21,14,43,32,21 เรียงกันไปเรื่อยๆเช่นกัน ถ้าจะมากล่าวถึงข้อดีข้อเสียของแบบ 2 เฟส แล้วมีดังนี้

ข้อดี การที่เราจะเพิ่มจำนวนขดลวดที่ถูกกระตุ้นจะทำให้แรงบิดได้มากกว่า แบบเวฟ ซึ่งโรเตอร์จะหมุนด้วยแรง ดึงเบตึ่มๆแรงจาก ทั้ง 2 ขดลวดที่กระตุ้นพร้อมกัน

ข้อเสีย แบบ 2 เฟส จะกระตุ้นขดลวดนั้นต้องใช้กำลังไฟมากขึ้นเป็น 2 เท่าของแบบเวฟ เราสามารถเขียนลำดับการกระตุ้นของขดลวดแบบ 2 เฟส ได้ดังในตาราง 2.2 ตารางที่ 2.2 ตารางขั้นตอนการทำงานแบบ 2 เฟส

Step No.	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
1	ON	ON		
2		ON	ON	
3			ON	ON
4	ON			ON
5	ON	ON		
6		ON	ON	

แบบครึ่งสเต็ป

แบบนี้แบบรูปแบบผสมผสานของการกระตุ้นระหว่างแบบเวฟ กับ แบบ 2 เฟส เพื่อให้จำนวนรอบของสเต็ปให้ มากขึ้นเป็น 2 เท่า ซึ่งในระบบนี้จะทำการกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเรื่อยๆเป็นลำดับ ดังจะยกตัวอย่างต่อไปนี้ 1, 12, 2, 23, 3, 34, 4, 41, 1, 12, 2, 23, 3, 34, 4, 41, 1 เป็นลำดับอยู่อย่างนี้เรื่อยไป ถ้าเราจะกลับทิศทางการหมุนก็จะได่เป็นดังนี้ 1, 41, 4, 43 , 3, 32, 2, 21, 1, 41, 4, 43, 3, 32, 2, 21, 1 เป็นลำดับ กันไปเราจะมาพูดถึงข้อดีและข้อเสียของการกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ปกัน

ข้อดี การกระตุ้นแบบนี้จะให้แรงบิดที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากช่วงสตันท์ที่มีระยะสั้นลง อีกประการหนึ่งแต่ละสตันท์เกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกันเป็นผลให้ค่าตำแหน่งความถูกต้องมากขึ้นไปด้วย

ข้อเสีย ก็คงจะเช่นเดียวกับแบบ 2 เฟส ที่ต้องจ่ายกำลังไฟเป็น 2 เท่าของแบบเวฟหรือจะใช้เท่ากับแบบ 2 เฟส

ดังนั้นเราสามารถนำลำดับการทำงานของ แบบครึ่งเฟส ในรูปของตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงการทำงานแบบครึ่งสเตป

Step No.	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
1	ON			
Step No.	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
2	ON	ON		
3		ON		
4		ON	ON	
5			ON	
6			ON	ON
7				ON
8	ON			ON
9	ON			
10	ON	ON		

2.12 การทำสัญลักษณ์ (MARKING)

การทำสัญลักษณ์เป็นสิ่งที่ต้องการในการทำวัสดุให้เหมือนกันทุกอย่าง, ข่าวสารของผลิตภัณฑ์หรือการป้องกันการโจรกรรม เมื่อสิ่งเหล่านี้ถูกทำสัญลักษณ์ที่เล็กและเบาบางซึ่งจะถูกทำด้วยความเร็วสูง และบริเวณนั้นต้องไม่มีการทำรอยต่อหรือการปนเปื้อนของสารเคมีจากน้ำหมึกซึ่งจะทำให้ไม่สามารถทำสัญลักษณ์ได้ เลเซอร์จึงถูกนำมาใช้ในเทคนิคนี้มากที่สุด

วิธีทั่วไปในการทำสัญลักษณ์ด้วยเลเซอร์ มีข้อดังต่อไปนี้

1. การทำแม่พิมพ์หรือการแกะสลัก (Engraving)
2. การทำสัญลักษณ์แบบ Dot matrix marking
3. การทำภาพหน้ากาก Mask imaging
4. การทำแม่พิมพ์หรือการแกะสลัก (Engraving)

การแกะสลักด้วยเลเซอร์นี้จะคล้ายกับการแกะสลักทางกลศาสตร์ ในที่นี้เลเซอร์จะถูกใช้เป็น “ไมโคร-มิลลิ” (micro-milli) เพื่อทำร่องลงบนชิ้นงาน ในกระบวนการคร่าวๆ เลเซอร์จะทำให้ชิ้นสารระเหยและหลุดออกไปเป็นไอและเกิดการทำร่องอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอาจมีความกว้างประมาณ 12 ไมโครเมตรถึง 1 มิลลิเมตร ซึ่งโดยประมาณจะเท่ากับความลึก ถ้าแสงสามารถปฏิบัติการได้ที่คุณสมบัติการพิมพ์ในโครงสร้างใดๆ



รูปที่ 2.13 การทำสัญลักษณ์ (MARKING) ของเลเซอร์

2.13 ตัวแปรที่มีผลต่อการตัดด้วยเลเซอร์

เนื่องจากที่มีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องมากมายทำให้ค่าไม่คงที่ตามทฤษฎีนอกเหนือจากขนาดของกำลังเลเซอร์ที่ใช้และสมบัติต่างๆของวัสดุที่มีผลต่อการตัดด้วยเลเซอร์แล้ว ยังมีพารามิเตอร์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

1. ระบบทางแสง (Optical System)
2. ค่าสภาพการสะท้อนแสง
3. การออกแบบหัวตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 ระบบทางแสง (Optical System)

ระบบการแสงสำหรับเลเซอร์มี 3 ส่วน ที่มีผลต่อการตัดวัสดุ ได้แก่

1. การออกแบบเลเซอร์ควิตี้ ซึ่งเป็นตัวกำหนดการกระจายของลำแสง และยังมีผลต่อขนาดของลำแสงที่ออกจากเอาต์พุทก่อนที่จะถูกโฟกัสด้วยเลนส์ที่ใช้ในการรวมแสงให้ไปตกบนชิ้นงานที่ต้องการตัด
2. การโฟกัส ได้แก่ ความลึกของระยะโฟกัส ขนาดของจุดโฟกัส และตำแหน่งจุดโฟกัส

2.15 การสะท้อนแสง (Reflectance)

ค่าสภาพการสะท้อนแสงของผิววัสดุที่ต้องการตัดมีผลต่อการตัดด้วยเลเซอร์อย่างยิ่ง จากทฤษฎีการตัดด้วยวัสดุที่มีค่าสภาพการสะท้อนแสงต่ำควรจะเร็วกว่าวัสดุที่มีค่าสภาพการสะท้อนแสงสูง ดังนั้นสภาพการดูดกลืนแสง ซึ่งเท่ากับ $1-R$ จึงขึ้นกับรูปร่างของผิววัสดุ เช่น ผิวขัดมัน หรือหยาบ จากรูปเป็นการเปรียบเทียบสภาพการดูดกลืนแสงของฉนวนกับของเหล็กในช่วงอินฟราเรดของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์

2.16 การออกแบบหัวตัด

ลำแสงเลเซอร์ที่ถูกปล่อยออกมาจากระบบเลเซอร์ จะถูกสะท้อนด้วยกระจก 45 องศาเพื่อเข้าไปยังหัวตัดเลเซอร์ (laser gas cutting head) ซึ่งประกอบด้วยเลนส์รวมแสง

2.17 การตัดโลหะบางด้วยเลเซอร์

ในกระบวนการตัดโดยใช้ลำแสงเลเซอร์จะพบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นบางประการเช่น การเพิ่มพลังงานของแสงเลเซอร์ให้พอเหมาะ แต่ปัญหาที่สำคัญที่เกิดขึ้นนั้นเนื่องมาจากการประพุดิตัวของวัสดุที่นำมาใช้ในการตัดทำให้ยากแก่การทำนายผลโดยทั่วไปเมื่อแสงเลเซอร์ถูกโฟกัสลงบนชิ้นงานจะเกิดการก่อตัวของพลาสมา (สภาวะที่ของเหลวและก๊าซอยู่รวมกัน) ขึ้นที่ชิ้นงานอย่างรวดเร็ว การใช้เลเซอร์ในการตัดจะเกิดจากการลากแสงเลเซอร์ให้เป็นรูปร่างตามต้องการหลังจากการลากผ่านของลำแสงเลเซอร์จะมีความร้อนจำนวนมากตกค้างอยู่ ซึ่งมีผลอย่างมากในกระบวนการทางโลหะ ในทันทีที่แสงเลเซอร์วิ่งผ่านชิ้นงานจะอยู่ในสภาพไม่สมดุลทางความร้อน การที่จะได้

ผลการตัดที่ดีต้องพยายามกำจัดสภาวะนี้ออกไปซึ่งคือการดึงเอาความร้อนที่ตกค้างออกจากชิ้นงานให้เร็วที่สุด การแก้ปัญหานี้เป็นเรื่องที่ซับซ้อนซึ่งไม่สามารถใช้การคำนวณแก้ไขได้ จำเป็นต้องใช้ในการคาดคะเนจากผลการทดลองและข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้อง

2.18 ผิวของวัสดุ (Material Surfaces)

ผิวของวัสดุเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการดูดกลืนลำแสงตกของเลเซอร์ทั้งนี้ผิวของวัสดุแต่ละชนิดจะสะท้อนแสงเลเซอร์ต่างกัน ค่าสภาพการสะท้อนแสง(reflectivity) ของโลหะเกือบทุกชนิดจะเพิ่มขึ้นตามความยาวคลื่นของแสง จะเห็นว่าเมื่อความยาวคลื่นมาก โลหะเกือบทุกชนิดให้ค่าสภาพการสะท้อนแสงมาก ซึ่งที่ความยาวคลื่นมาก ค่าสภาพการสะท้อนแสงจะขึ้นกับสภาพนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ดังนั้นโลหะที่มีค่าสภาพนำไฟฟ้าสูงจะสะท้อนรังสีอินฟราเรดได้ดี นั่นคือทองคำจะสะท้อนรังสีอินฟราเรดได้ดีกว่าอะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมจะสะท้อนได้ดีกว่าเหล็กเป็นต้น

2.19 การประยุกต์ใช้เลเซอร์ในขบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม(Laser Processing)

การประยุกต์ใช้เลเซอร์ในขบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมหมายถึง อุตสาหกรรมด้านต่างๆซึ่งสามารถใช้เลเซอร์กระทำต่อชิ้นงานแล้วทำให้เนื้อวัสดุเกิดการหลอม (melting) หรือถูกทำให้หายไป (removal) ไป เช่น การระเหยกลายเป็นไอ การประยุกต์ใช้เลเซอร์ในขบวนการผลิตที่เป็นไปได้ ได้แก่ การเชื่อม, การเจาะรู, การตัด, การอบผิวด้วยความร้อน, การสกัด, การขลิบหรือแต่ง, การกรัด, การเขียน, การพอกผิวแข็งและการเตรียมโลหะผสม เป็นต้น

อย่างไรก็ตามในโครงการวิจัยนี้ นอกจากการสร้างและพัฒนาคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์กำลังสูงแล้ว จะทดสอบการทำงานของระบบเลเซอร์ที่สร้างในขบวนการผลิตวัสดุซึ่งจะเน้นเฉพาะทางด้านตัด และเจาะรูวัสดุชนิดต่างๆเท่านั้น ดังนั้นจะพิจารณายละเอียดเฉพาะการใช้เลเซอร์ในการตัดวัสดุเท่านั้น เพราะการตัดและเจาะมีหลักการเดียวกัน เพียงแต่ทำการเจาะชิ้นงานไม่ต้องเคลื่อนที่เท่านั้น

จะเห็นว่าต้นกำเนิดแสงธรรมดา ซึ่งให้กำลังของแสงมากกว่ากำลังของแสงเลเซอร์ถึง 10 เท่าแต่ความเข้มที่จุดโฟกัส หรือที่ชิ้นงานจากเลเซอร์จะสูงกว่าเกือบ 10,000 เท่า ดังนั้นเมื่อให้ลำแสงเลเซอร์กำลังสูงตกลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดการหลอมตัวและการระเหยกลายเป็นไอของเนื้อวัสดุ

2.20 ข้อดีของการตัดวัสดุด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์

1. ในการตัดไม่มีการสัมผัสของหัวตัดกับชิ้นงาน ดังนั้นหลีกเลี่ยงความไม่บริสุทธิ์ของชิ้นงานที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเสียดสีสัมผัส นอกจากนั้นในการตัดวัสดุที่ยืดหยุ่นได้ง่าย เช่น ผ้าและยาง จะได้รอยตัดที่แน่นอนไม่บิดเบี้ยวเหมือนการตัดด้วยวิธีธรรมดา คือใช้ใบมีดหรือเลื่อย
2. ไม่มีการสึกหรอของชิ้นงาน
3. รอยตัดด้วยเลเซอร์จะคมมาก ดังนั้นขอบของชิ้นงานจะเรียบมาก หลังจากตัดแล้วไม่ต้องมาขัดหรือเจียรผิวรอยตัดดังเช่น การตัดด้วยเลื่อยหรือแก๊สที่ใช้กันอยู่ทั่วไป
4. ความร้อนจากเลเซอร์ที่ใช้ในการตัดวัสดุจะไม่ทำให้เนื้อวัสดุบริเวณใกล้เคียงของรอยตัดเสียรูปหรือบิดเบี้ยวคลงเนื่องจากความร้อน
5. วัสดุที่มีความแข็งหรือความยากในการตัด สามารถตัดได้โดยง่ายโดยเลเซอร์
6. เศษผงหรือเศษวัสดุหลงเหลือเนื่องจากการตัด ปัจจุบันเครื่องเลเซอร์ทำงานได้ด้วยระบบอัตโนมัติ ดังนั้นจึงง่ายต่อการใช้งาน

2.21 ข้อจำกัดของการประยุกต์ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ในการตัดวัสดุ

1. ราคาของเครื่องเลเซอร์ค่อนข้างแพงมาก จึงยากต่อการลงทุน
2. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงกว่าวิธีธรรมดา
3. ต้องการบุคลากรที่มีความรู้ทางด้านเลเซอร์ดีพอ ในการบำรุงดูแลรักษาเครื่องให้ใช้งานได้ตลอดเวลา

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

เดิมทีในการตัดชิ้นงานนั้น ชิ้นงานจะถูกทำให้เคลื่อนที่และแสงเลเซอร์ที่ออกมาจะอยู่กับที่ แต่ในโครงงานนี้เราจะทำให้แสงเลเซอร์ที่ออกมาเคลื่อนที่แทนโดยชิ้นงานอยู่กับที่ซึ่งเราได้จัดทำโครงเหล็กขึ้นเพื่อเอาระบบขับเคลื่อน (Plotter) ไปติดตั้งไว้จากนั้นทำการติดตั้งกระจกและหัวตัดของเลเซอร์ไว้ที่ระบบขับเคลื่อนเพื่อให้แสงเลเซอร์ที่ออกมาสะท้อนกระจกเข้าไปยังหัวตัดของเลเซอร์และแสงเลเซอร์นั้นจะถูกโฟกัสลงไปที่ชิ้นงาน

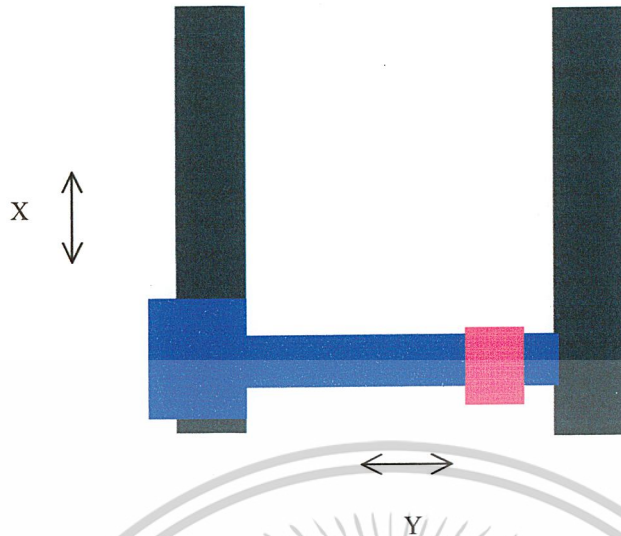
3.1 ส่วนประกอบของโครงงาน

โครงงานนี้ประกอบไปด้วย 2 ส่วน หลักๆ ได้แก่

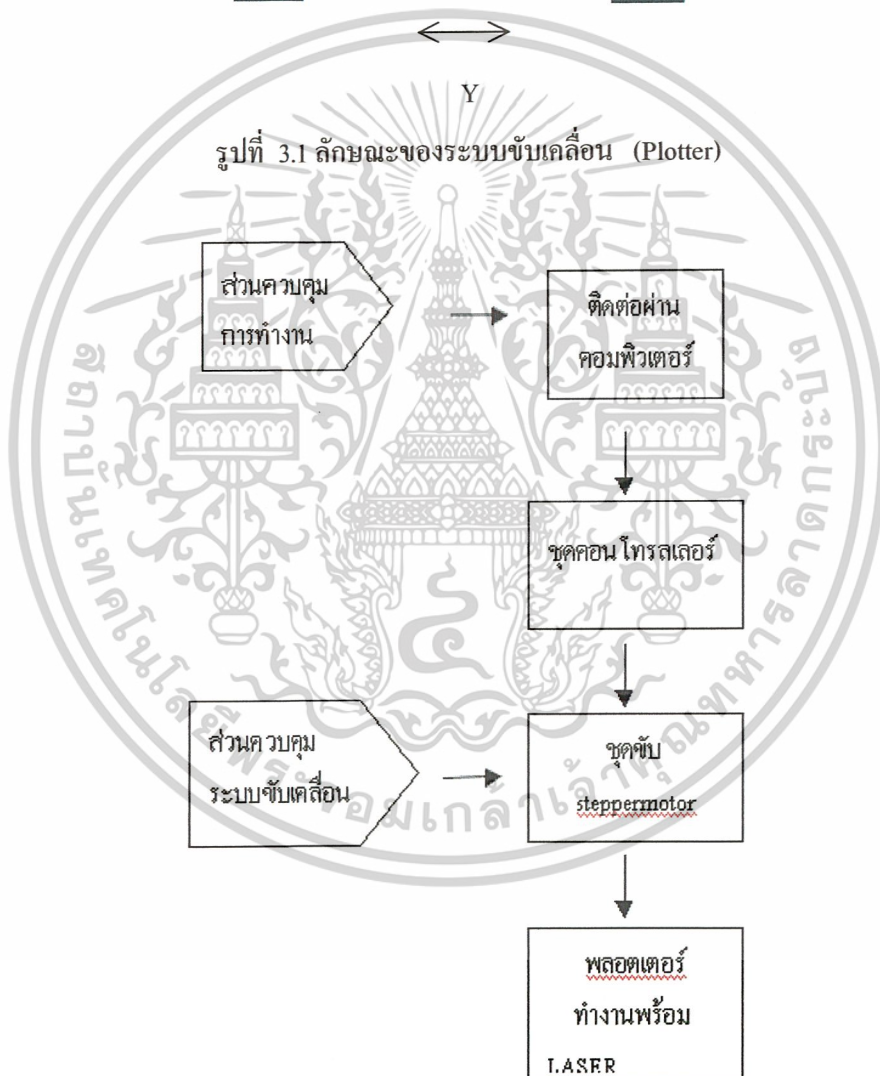
1. ส่วนออกแบบและสร้างชุดทดลองสำหรับกระบวนการทำสัญลักษณ์บนวัตถุด้วยเลเซอร์
2. ส่วนการทำงานกระบวนการทำสัญลักษณ์บนวัตถุด้วยเลเซอร์

3.2 ส่วนควบคุมระบบขับเคลื่อน

ส่วนควบคุมระบบขับเคลื่อนประกอบด้วยส่วนที่เป็น Hardware และ Software โดยส่วนของ Hardware ประกอบไปด้วย IC AT89C4051, Buffer 74LS245N, ชุดขับ 5 เฟส Super Vexta, ระบบขับเคลื่อน (Plotter) X-Y และส่วนของ Software นั้นใช้โปรแกรมภาษาซีใน Microcontroller



รูปที่ 3.1 ลักษณะของระบบขับเคลื่อน (Plotter)

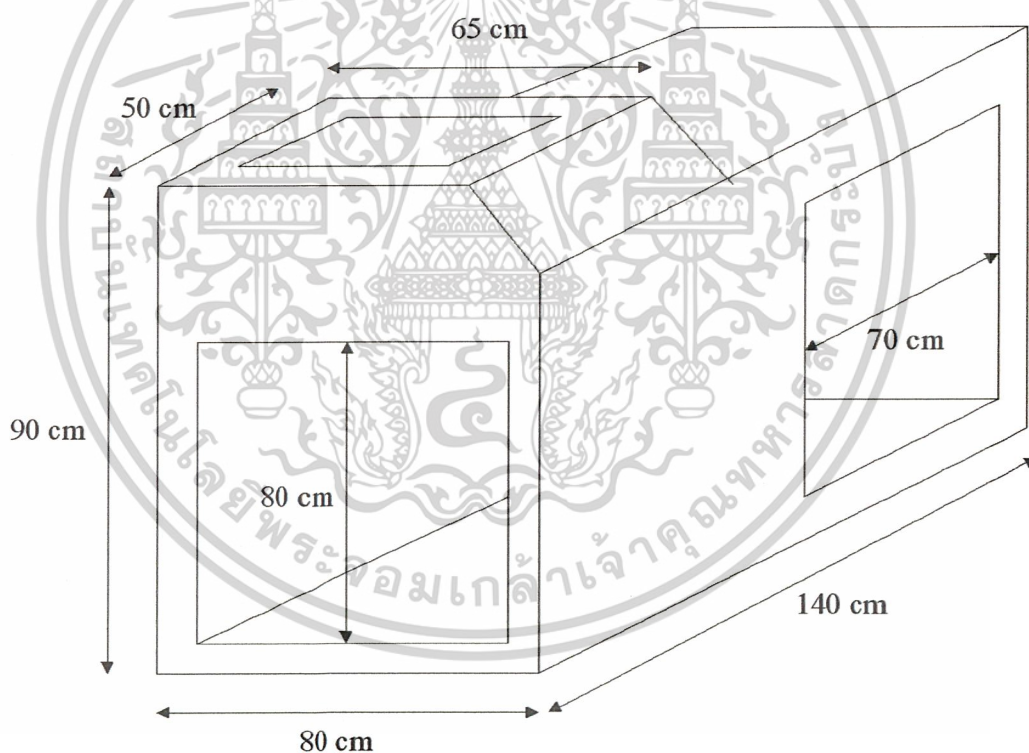


รูปที่ 3.2 ไคอะแกรมส่วนประกอบของ(Plotter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 โครงเหล็กสำหรับวางระบบขับเคลื่อน

เดิมทีในการตัดชิ้นงานนั้น ชิ้นงานจะถูกทำให้เคลื่อนที่และแสงเลเซอร์ที่ออกมาจะอยู่กับที่ แต่ในโครงการนี้เราจะทำให้แสงเลเซอร์ที่ออกมาเคลื่อนที่แทนโดยชิ้นงานอยู่กับที่ซึ่งเราได้จัดทำโครงเหล็กขึ้นเพื่อ เอาระบบขับเคลื่อน (Plotter) ไปติดตั้งไว้จากนั้นทำการติดตั้งกระจกและหัวตัดของเลเซอร์ไว้ที่ระบบขับเคลื่อนเพื่อให้แสงเลเซอร์ที่ออกมาสะท้อนกระจกเข้าไปยังหัวตัดของเลเซอร์และแสงเลเซอร์นั้นจะถูกโฟกัสลงไปยังบนชิ้นงาน ดังนั้นเมื่อระบบขับเคลื่อนเคลื่อนที่ไม่ว่าในแกน X หรือ Y แสงเลเซอร์ที่ออกมา ก็จะเคลื่อนที่ตามไปด้วย โครงเหล็กนี้ทำจากเหล็กฉากนำมาตัดให้ได้ขนาดตามต้องการหลังจากนั้นนำมาเชื่อมต่อกันให้ได้ตามแบบที่เตรียมไว้ เนื่องจากโครงเหล็กนี้มีความสูงพอสมควรเมื่อระบบขับเคลื่อนเคลื่อนที่ในขณะที่ทำการตัดจะทำให้โครงเหล็กสั่น ทำให้การตัดออกมาไม่ดี เราจึงทำการเสริมเหล็กข้างๆเพื่อไม่ให้โครงเหล็กสั่น ซึ่งโครงเหล็กที่ออกแบบไว้เป็นดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 โคอะแกรมส่วนประกอบของโครงเหล็ก

3.4 การพัฒนาระบบขับเคลื่อน 2 แกน

แต่เดิมนั้นเราจะวางวัสดุที่ต้องการตัดอยู่บนแท่นรับของระบบขับเคลื่อน 2 แกน และยิงแสงเลเซอร์ออกมาจากคานบน วัสดุจะเคลื่อนที่ไปตามแนวแกน X และแกน Y โดยการหมุนของมอเตอร์ซึ่งควบคุมทิศทางด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทำให้มีขอบเขตในการตัดค่อนข้างจำกัด จึงเป็นที่มาของงานวิจัยและพัฒนาระบบการตัดวัสดุด้วยแสงเลเซอร์ ให้ส่วนหัวตัดของแสงเลเซอร์เป็นส่วนของเคลื่อนที่โดยใช้การสะท้อนของแสงเลเซอร์จากกระจกที่เอียงทำมุม 45 องศา เพื่อให้แสงเลเซอร์วิ่งเข้าสู่หัวตัดซึ่งวางตั้งฉากกับระนาบของชิ้นงาน หัวตัดเลเซอร์จะถูกยึดติดกับระบบขับเคลื่อน 2 แกน ทำให้หัวตัดสามารถวิ่งได้เป็นพื้นที่กว้างประมาณ 0.75 ตารางเมตร

3.5 ระบบระบายความร้อนสำหรับเลเซอร์

ถังน้ำเย็นขนาดบรรจุน้ำ 150 ลิตร โดยน้ำเย็นจากถังน้ำจะถูกปั๊มผ่านท่อไปยังระบบระบายความร้อนออกจากเลเซอร์

3.6 หัวตัดของเลเซอร์ (Laser Cutting Head)

แสงเลเซอร์จะถูกบังคับให้ผ่านเข้าไปในท่ออคูมิเนียมในแนวนานกับหลอดเลเซอร์ แล้วไปสะท้อนที่กระจก Si เคลือบด้วยทองซึ่งเอียงเป็นมุม 45 องศา รังสีจะสะท้อนผ่านเข้าไปในท่ออคูมิเนียมต่อไปในแนวตั้งแล้วถูกโฟกัสโดยเลนส์รวมแสงซึ่งทำด้วย ZnSe มีความยาวโฟกัส 5 เซนติเมตร สำหรับตำแหน่งของเลนส์ได้ออกแบบให้สามารถปรับขึ้นลงได้ในแนวตั้งเพื่อปรับจุดโฟกัสของลำแสงเลเซอร์



รูปที่ 3.4 หัวตัด สำหรับเลเซอร์ CO₂

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของหัวตัดของเลเซอร์

3.7 ชุดปิดเปิด (Chopper)



รูปที่ 3.6 ลักษณะของ Chopper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 ระบบดูดควัน



รูปที่ 3.7 ลักษณะของระบบดูดควัน



รูปที่ 3.8 หลังจากทำการประกอบเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

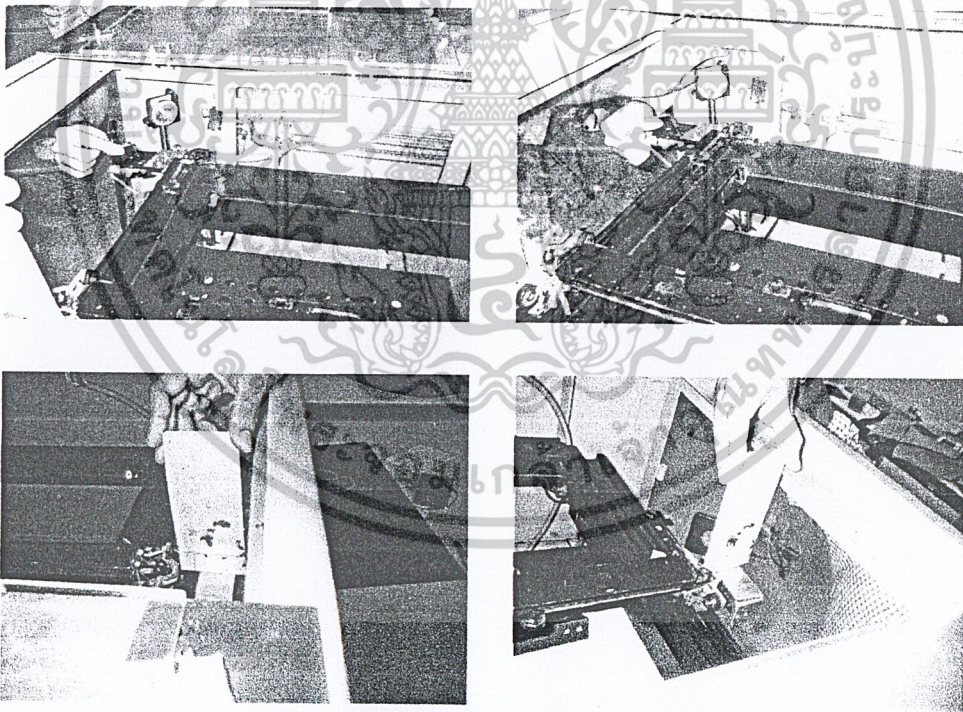
บทที่ 4

วิธีการทดลองและผลการทดลอง

ในโครงงานได้ทำการออกแบบตู้ที่จะใช้ในการทดลองทำสัญลักษณ์บนวัสดุซึ่งหลังจากทำการประกอบ ก็ได้ทำการทดลองเครื่องมือและทำการเก็บผลเบื้องต้น

4.1 วิธีการจัดแนวแสง

ทำการจัดแนวแสงAlignment ให้แสงเลเซอร์ตกลงบนจุดโฟกัสที่ผิววัสดุ ซึ่งในการทดลองได้ใช้เลเซอร์ไดโอดจัดแนวแสงแบบหยาบๆก่อนเพื่อให้แน่ใจว่าลำแสงจาก CO₂ Laser จะไม่หลุดไปจากแนวกระจกมาก จากนั้นทำการเปิด Switch และบิด Variac ไปประมาณ 140 โวลต์ หลอดเลเซอร์ให้ลำแสงออกมาแล้วทำการจัดแนวแสงอีกครั้งแล้วใช้แผ่นกระดาษบังบริเวณหน้ากระจกสะท้อนเพื่อทำการปรับให้ลำแสงเข้าที่จุดโฟกัสพอดี

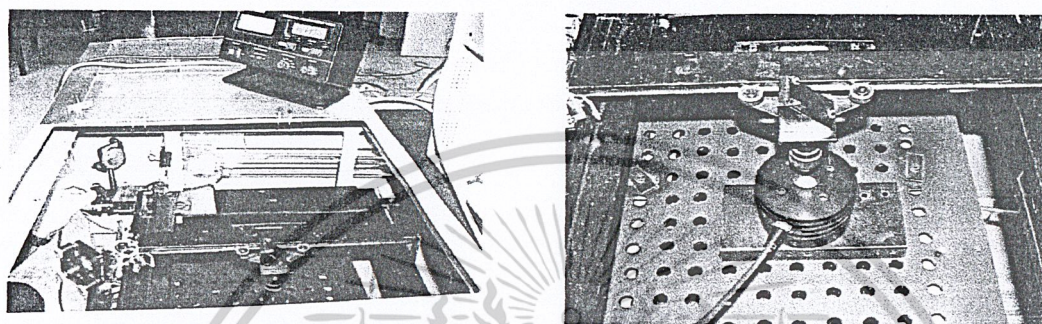


รูป4.1 ทำการจัดแนวแสงAlignment

4.2 หัววัดกำลัง (Laser Output Power)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถใช้วัดได้โดยตรงโดยใช้ Power Meter ซึ่งชนิดที่ใช้เป็นแบบ Thermo π รุ่น Broad Band Power/Energy Meter ใช้วัดกำลังของ CO₂ Laser แบบต่อเนื่องตั้งแต่ช่วง 0 – 30 วัตต์ สำหรับหลักการวัด ใช้การวัดกำลังงานจากกระจกคั่นหน้าโดยตรงมีหัววัดแบบ Thermal Disc วัดอุณหภูมิซึ่งเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้น โวลต์ก็จะเปลี่ยนแปลงไป มีพื้นที่รับแสง 2.54 ตารางเซนติเมตร

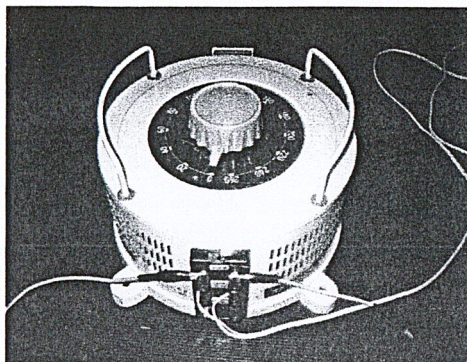


รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะของหัววัดกำลัง

วิธีการทดลอง

1. เตรียมแผ่นชิ้นงานที่ทำการทดลอง ได้แก่ แผ่นไม้ แผ่นพลาสติกบาง และแผ่นอะคริลิก
2. เปิดโปรแกรม Corel Draw 11 กำหนดรูป ตั้งปริ้นท์
3. เปิด Switch ปิด Variac ไปที่ 140 โวลต์ให้หลอดเลเซอร์ทำงาน เปิดปั๊มพ์และพัดลมดูดควัน
4. วางชิ้นงานลงบนแท่นรอง
5. กดปุ่มสตาร์ท เริ่มการทำสัญลักษณ์ลงบนชิ้นงาน บันทึกผล
6. จบการทำงาน ปิด Switch
7. ทำการทดลองเช่นเดิม แต่เปลี่ยนค่าที่ Variac เป็น 160, 180, 200, 220 โวลต์ตามลำดับ
8. เปลี่ยนชนิดชิ้นงาน ทำการทดลอง และบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

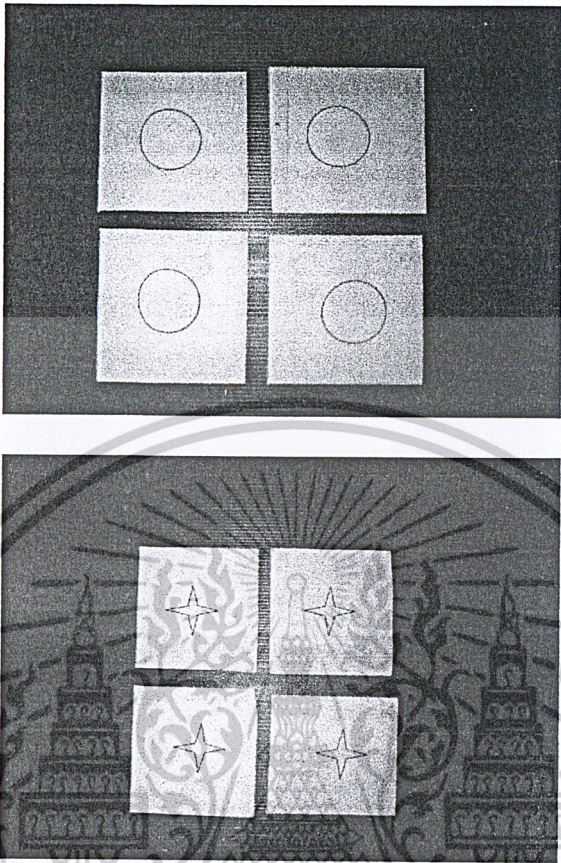


รูปที่ 4.3 Variac

ตารางที่ 4.1 ชนิดวัสดุ: ไม้ เกล็นส์โฟกัส 5 เซนติเมตร ระยะระหว่างชิ้นงาน-หัวตัด 5 เซนติเมตร

กำลังของเลเซอร์ (mW)	ความลึก (mm)	หมายเหตุ
110	1.44	เป็นรอยขีดบางๆที่ชิ้นงานและรอยไม่ลึกมากนัก
214	1.83	มีความลึกเพิ่มขึ้นที่บริเวณรอยตัด
330	2.14	เกิดการไหม้มากขึ้นที่ขอบของรอยตัด
457	2.68	มีความลึกพอสมควรที่บริเวณรอยตัดไม่เรียบ มีรอยไหม้บริเวณขอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



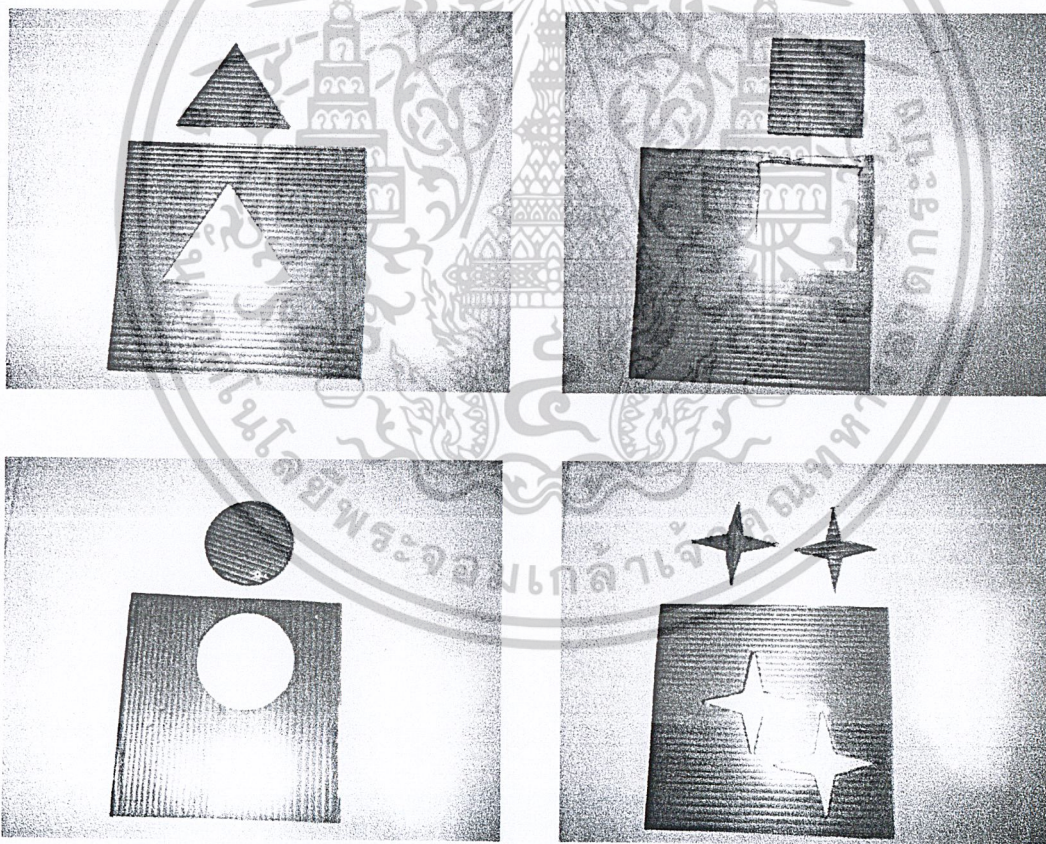
รูปที่ 4.4 ทดสอบการตัดโดยใช้แผ่นไม้

ตารางที่ 4.2 ชนิดวัสดุ: แผ่นพลาสติกบาง เลนส์โฟกัส 5 เซนติเมตร ระยะระหว่างชิ้นงาน-หัวตัด 5 เซนติเมตร

กำลังของเลเซอร์ (mW)	ความลึก (mm.)	หมายเหตุ
110	1.93	เป็นรอยไหม้ลึกลงไป บริเวณขอบของชิ้น งาน รอยที่เกิดจากการ ตัดค่อนข้างเรียบแต่ ไม่ลึกมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

214	2.16	รอยตัดลึกลงไปมาก ขึ้นและบริเวณขอบ ค่อนข้างเรียบ
350	2.41	รอยตัดที่ขึ้นงานเกือบ จะขาดออกจากกัน และรอยไหม้ตามขอบ มากขึ้น
457	ขึ้นงานขาด	รอยตัดทำให้ขึ้นงาน ขาดออกจากกัน และ เกิดรอยไหม้ตามขอบ



รูปที่ 4.5 ทดสอบการตัดโดยใช้พลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ชนิดวัสดุ : แผ่นอะคริลิก เกล็ดไฟฟ้า 5 เซนติเมตร ระยะระหว่างชิ้นงาน-หัวตัด 5 เซนติเมตร

กำลังของเลเซอร์ (mW)	ความลึก (mm.)	หมายเหตุ
110	1.35	เป็นรอยขีดบางๆที่ชิ้นงานและรอยไม่ลึกมากนัก
200	1.63	เป็นรอยลึกลงไปบริเวณขอบของชิ้นงาน รอยที่เกิดจากการตัดค่อนข้างเรียบแต่ไม่ลึกมากนัก
330	1.84	รอยตัดลึกลงไปมากขึ้นและบริเวณขอบค่อนข้างเรียบ
450	2.23	รอยตัดที่ชิ้นงานและรอยลึกตามขอบมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ทดสอบการตัดโดยใช้แผ่นอะคริลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลองและดำเนินงาน

โครงการพัฒนาการตัดวัสดุด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ จากเดิมให้ลำเลเซอร์ที่ใช้ตัดอยู่กับที่และชิ้นงานที่ต้องการตัดเคลื่อนที่ตามแนวแกน X และ แกน Y โดยเปลี่ยนมาให้เป็นลำแสงเคลื่อนที่ ในแนวแกน X และแกน Y โดยชิ้นงานวางอยู่กับที่ซึ่งจะทำให้ได้ขอบเขตการตัดที่มากกว่าเดิม อีกทั้งได้ปรับระดับความสูงสามารถวางชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าเดิม

ในกระบวนการตัดวัสดุด้วยคาร์บอน ไดออกไซด์และเลเซอร์จะต้องมีการปรับปรุงค่าตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้รอยตัดที่เรียบ ตัวแปรดังกล่าวได้แก่

- ความเร็วในการตัด มีความสำคัญสำหรับกระบวนการตัดเป็นอย่างมาก ถ้าหากความเร็วในการตัดน้อยเกินไปจะมีความร้อนคั่งค้างอยู่บนชิ้นงานมาก ทำให้เกิดการหลอมตัวของชิ้นงานบริเวณรอยตัด และถ้าความเร็วในการตัดมากเกินไป ความร้อนที่เกิดขึ้นจะไม่เพียงพอทำให้เกิดรอยตัดที่หยาบ
- ระยะโฟกัส ในการตัดวัสดุด้วยลำแสงเลเซอร์ ต้องให้จุดโฟกัสของลำแสงตกลงบนชิ้นงานพอดี ซึ่งที่จุดโฟกัสจะได้ความเข้มสูง และได้ความร้อนสูงมาก ทำให้เนื้อวัสดุเกิดการระเหยไปในเวลาที่สั้นมาก

วิจารณ์ผลการทดลอง

สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงการนี้พบว่า

1. เมื่อใช้งานเครื่องติดต่อกันเป็นเวลานาน แผง Driver Step per motor จะร้อนมากทำให้การรับค่าจากการส่งปริ้นท์ผิดเพี้ยน ทำให้ Plotter มีจังหวะการทำงานกระตุก
2. งบประมาณที่จำกัดทำให้ต้องใช้ไฟสลับจ่ายให้หลอดเลเซอร์ ซึ่งค่อนข้างอันตราย

สรุป ชี้ความสามารถของเครื่องเลเซอร์ มาร์คกิ้ง (Laser Marking)

สำหรับชิ้นงานที่เป็นไม้ กำลังเลเซอร์ 457 mw สามารถเจาะลงไปบนชิ้นงานได้ลึก 2.68 mm

ชิ้นงานที่เป็นแผ่นพลาสติกบางที่กำลัง 457 mw สามารถตัดให้ชิ้นงานขาดจากกันได้

แผ่นพลาสติกหนา กำลัง 457 mw สามารถเจาะลงไปบนชิ้นงานได้ลึก 2.33 mm

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

ควรพัฒนาใช้ระบบพื้นฐานและให้ค่าแสงเลเซอร์อยู่กับที่ จะได้ชิ้นงานที่ดีและปลอดภัยมากกว่าและควรเปลี่ยนมาใช้ระบบ Control Power ซึ่งสามารถควบคุมการจ่ายกำลังให้สูง-ต่ำได้ จะทำให้ได้ชิ้นงานที่ดีขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

J. Wilson and J.F.B Hawkes 1983. **Lasers Principles and Applications**. London : Practice – Hall International.

ภูมิศักดิ์ น้อยนิติย์. 2535. การพัฒนาคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์กำลังสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

รศ.สุรพล รักวิชัย. 2544. ทฤษฎีและการประยุกต์ (laser). กรุงเทพฯ : เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า.

มณีวรรณ สุภธรรมวิทย์ และมัลลิกา วงษ์จำ. 2543. การศึกษากระบวนการทำสัญลักษณ์ด้วยเลเซอร์ . วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

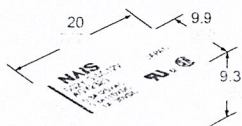


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NAIS

MINIATURE RELAY

DS2Y-RELAYS



mm each

FEATURES

- 2 Form C contact
- High sensitivity-200 mW nominal operating power
- High breakdown voltage
1500 V FCC surge between open contacts
- DIP-2C type matching 16 pin IC socket
- Sealed construction

SPECIFICATIONS

Contact

Arrangement	2 Form C	
Initial contact resistance, max. (By voltage drop 6 V DC 1 A)	50 mΩ	
Contact material	Gold-clad silver	
Rating (resistive)	Max. switching power	60 W, 62.5 VA
	Max. switching voltage	220 V DC, 250 V AC
	Max. switching current	2 A
	Max. carrying current	3 A
Expected life (min. operations)	Mechanical	1×10 ⁶
		5×10 ⁵
	Electrical	1 A 30 V DC
		2 A 30 V DC

Coil (polarized) (at 20°C 68°F)

Single side stable	Minimum operating power	Approx. 98 mW (147 mW: 48 V)
	Nominal operating power	Approx. 200 mW (300 mW: 48 V)
2 coil latching	Minimum set and reset power	Approx. 88 mW (177 mW: 48 V)
	Nominal set and reset power	Approx. 180 mW (360 mW: 48 V)

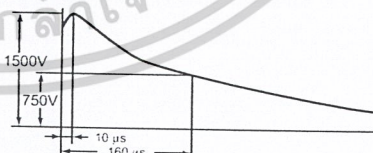
Remarks

- * Specifications will vary with foreign standards certification ratings.
- *¹ Measurement at same location as "Initial breakdown voltage" section
- *² Detection current: 10mA
- *³ Excluding contact bounce time
- *⁴ Half-wave pulse of sine wave: 11ms, detection time: 10μs
- *⁵ Half-wave pulse of sine wave: 6ms
- *⁶ Detection time: 10μs
- *⁷ Refer to 5. Conditions for operation, transport and storage mentioned in AMBIENT ENVIRONMENT (Page 61).

Characteristics (at 20°C 68°F)

Initial insulation resistance* ¹		Min. 100 MΩ (at 500 V DC)
Initial breakdown voltage* ²	Between open contacts	750 Vrms
	Between contact sets	1,000 Vrms
	Between contact and coil	1,000 Vrms
FCC surge voltage between contacts and coil		1,500 V
Operate time* ³ (at nominal voltage)		Approx. 4 ms
Release time* ³ (at nominal voltage)		Approx. 3 ms
Set time* ³ (latching) (at nominal voltage)		Approx. 3 ms
Reset time* ³ (latching) (at nominal voltage)		Approx. 3 ms
Temperature rise		Max. 65°C with nominal voltage across coil and at nominal switching capacity
Shock resistance	Functional* ⁴	Min. 490 m/s ² {50 G}
	Destructive* ⁵	Min. 980 m/s ² {100 G}
Vibration resistance	Functional* ⁶	10 to 55 Hz at double amplitude of 3.3 mm
	Destructive	10 to 55 Hz at double amplitude of 5 mm
Conditions for operation, transport and storage* ⁷ (Not freezing and condens- ing at low temperature)	Ambient temp.	-40°C to +70°C -40 F to +158 F
	Humidity	5 to 85% R.H.
Unit weight		Approx. 4 g .14 oz

FCC (Federal Communication Commission) requests following standard as Break-down Voltage specification.



TYPICAL APPLICATIONS

- Telecommunication equipment
- Office equipment
- Computer peripherals
- Security alarm systems
- Medical equipment

ORDERING INFORMATION

Ex DS2Y-S	L2	DC12 V	R
Operating function	Coil voltage		Polarity
Nil: Single side stable L2: 2 coil latching	DC 1.5, 3, 5, 6, 9, 12, 24, 48 V		Nil: Standard polarity R: Reverse polarity

(Note) Standard packing: Carton: 50 pcs. Case: 500 pcs.

TYPES AND COIL DATA (at 20°C 68°F)

single side stable

Nominal voltage, V DC	Part No.	Pick-up voltage, V DC (max.)	Drop-out voltage, V DC (min.)	Nominal operating current mA (±10%)	Coil resistance, Ω (±10%)	Nominal operating power mW	Maximum allowable voltage, V DC (at 50°C 122°F)
1.5	DS2Y-S-DC1.5V	1.05	0.15	132.7	11.3	200	3
3	DS2Y-S-DC3V	2.10	0.3	66.7	45	200	6
5	DS2Y-S-DC5V	3.5	0.5	40	125	200	10
6	DS2Y-S-DC6V	4.2	0.6	33.3	180	200	12
9	DS2Y-S-DC9V	6.3	0.9	22.2	405	200	18
12	DS2Y-S-DC12V	8.4	1.2	16.7	720	200	24
24	DS2Y-S-DC24V	16.8	2.4	8.3	2,880	200	48
48	DS2Y-S-DC48V	33.6	4.8	6.3	7,680	300	86

(note) Standard packing: Carton: 50 pcs. Case: 500 pcs.

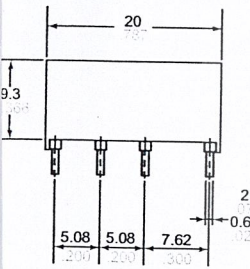
coil latching

Nominal voltage, V DC	Part No.	Reset set, V DC (max.)	Nominal operating current mA (±10%)		Coil resistance, Ω (±10%)		Nominal operating power, mW		Maximum allowable voltage, V DC (at 50°C 122°F)
			Set	Reset	Set	Reset	Set	Reset	
1.5	DS2Y-SL2-DC1.5V	1.05	120	120	12.5	12.5	180	180	3
3	DS2Y-SL2-DC3V	2.1	60	60	50	50	180	180	6
5	DS2Y-SL2-DC5V	3.5	36	36	139	139	180	180	10
6	DS2Y-SL2-DC6V	4.2	30	30	200	200	180	180	12
9	DS2Y-SL2-DC9V	6.3	20	20	450	450	180	180	18
12	DS2Y-SL2-DC12V	8.4	15	15	800	800	180	180	24
24	DS2Y-SL2-DC24V	16.8	7.5	7.5	3,200	3,200	180	180	48
48	DS2Y-SL2-DC48V	33.6	7.5	7.5	6,400	6,400	360	360	72

(note) Standard packing: Carton: 50 pcs. Case: 500 pcs.

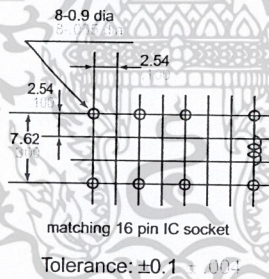
DIMENSIONS

single side stable

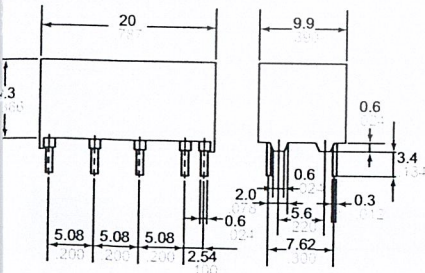


General tolerance: ±0.3 ± .012

PC board pattern (Copper-side view)

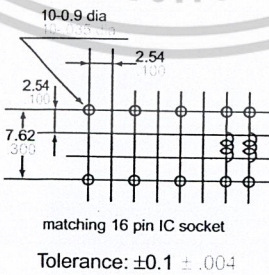


coil latching

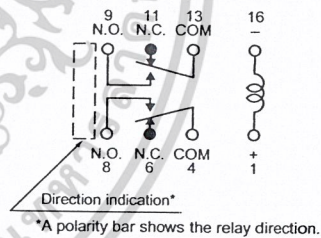


General tolerance: ±0.3 ± .012

PC board pattern (Copper-side view)

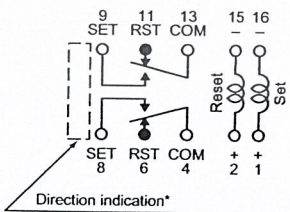


Schematic (Bottom view) (Deenergized position)



*A polarity bar shows the relay direction.

Schematic (Bottom view) (Reset position)

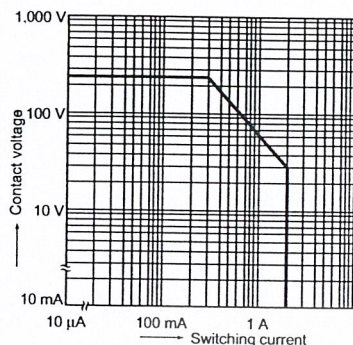


*A polarity bar shows the relay direction.

Diagram shows the "reset" position when terminals 2 and 15 are energized. Energize terminals 1 and 16 to transfer contacts.

REFERENCE DATA

1. Maximum switching capacity

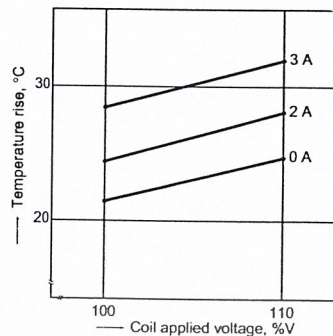


2-(1) Coil temperature rise (Single side stable)

Tested sample: DS2Y-S-DC12V, 5 pcs.

Measured portion: Inside the coil

Ambient temperature: 21°C to 25°C 70 F to 77 F

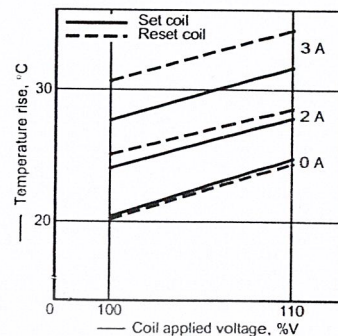


2-(2) Coil temperature rise 2 coil latching

Tested sample: DS2Y-SL2-DC12V, 5 pcs.

Measured portion: Inside the coil

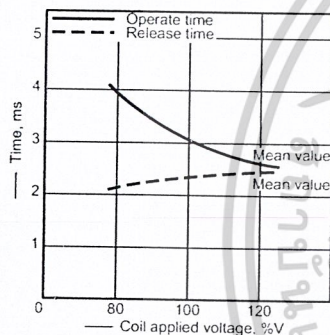
Ambient temperature: 21°C to 25°C 70 F to 77 F



3. Operate/release time for single side stable (Without diode)

Tested sample: DS2Y-S-DC12V, 10 pcs.

Ambient temperature: 20°C 68 F



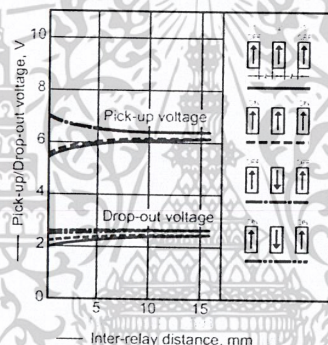
4-(1) Influence of adjacent mounting

Tested sample: DS2Y-S-DC12V, 10 pcs.

Ambient temperature: 20°C 68 F

TEST METHOD

1. Apply nominal voltage to No. (1) and (3) DS2Y relays.
2. Measure pick-up voltage and drop-out voltage of No. (2) relay when inter-relay distance (ℓ) changes.



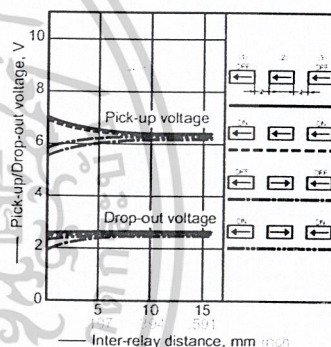
4-(2) Influence of adjacent mounting

Tested sample: DS2Y-S-DC12V, 10 pcs.

Ambient temperature: 20°C 68 F

TEST METHOD

1. Apply nominal voltage to No. (1) and (3) DS2Y relays.
2. Measure pick-up voltage and drop-out voltage of No. (2) relay when inter-relay distance (ℓ) changes.



For Cautions for Use, see Relay Technical Information

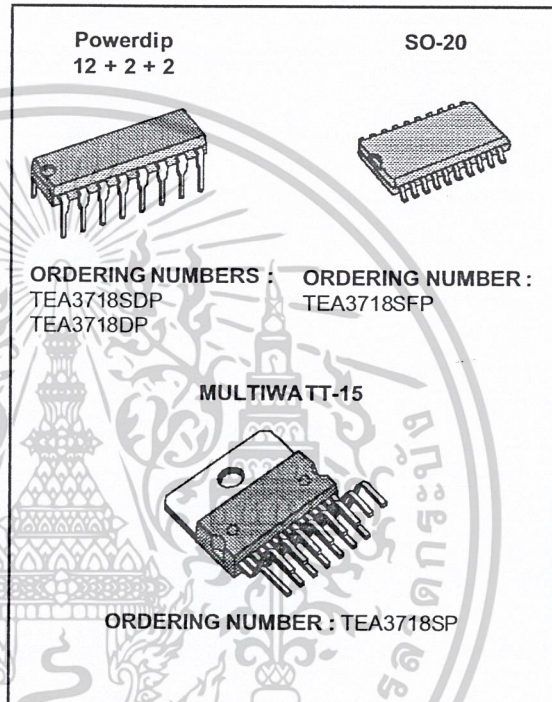
STEPPER MOTOR DRIVER

ADVANCE DATA

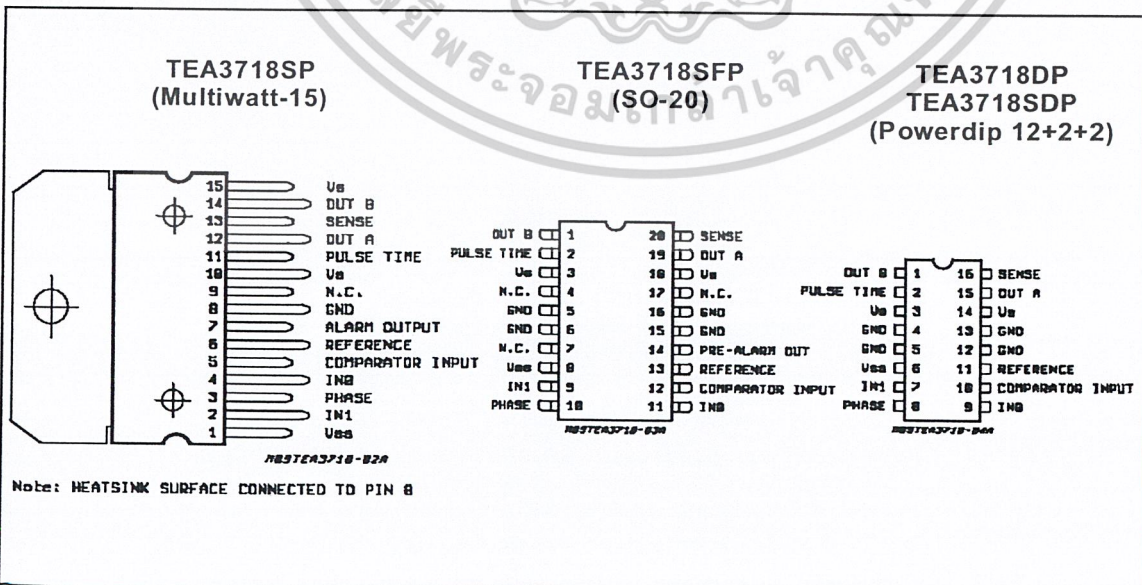
- HALF-STEP AND FULL-STEP MODE
- BIPOLAR DRIVE OF STEPPER MOTOR FOR MAXIMUM MOTOR PERFORMANCE
- BUILT-IN PROTECTION DIODES
- WIDE RANGE OF CURRENT CONTROL 5 TO 1500 mA
- WIDE VOLTAGE RANGE 10 TO 50 V
- DESIGNED FOR UNSTABILIZED MOTOR SUPPLY VOLTAGE
- CURRENT LEVELS CAN BE SELECTED IN STEPS OR VARIED CONTINUOUSLY
- THERMAL OVERLOAD PROTECTION
- ALARM OUTPUT OR PRE-ALARM OUTPUT (see internal table)

DESCRIPTION

The TEA3718 and TEA3718S are bipolar monolithic integrated circuits intended to control and drive the current in one winding of a bipolar stepper motor. The circuits consist of an LS-TTL compatible logic input, a current sensor, a monostable and an output stage with built-in protection diodes. Two TEA3718 or TEA3718S and a few external components form a complete control and drive unit for LS-TTL or microprocessor-controlled stepper motor systems.

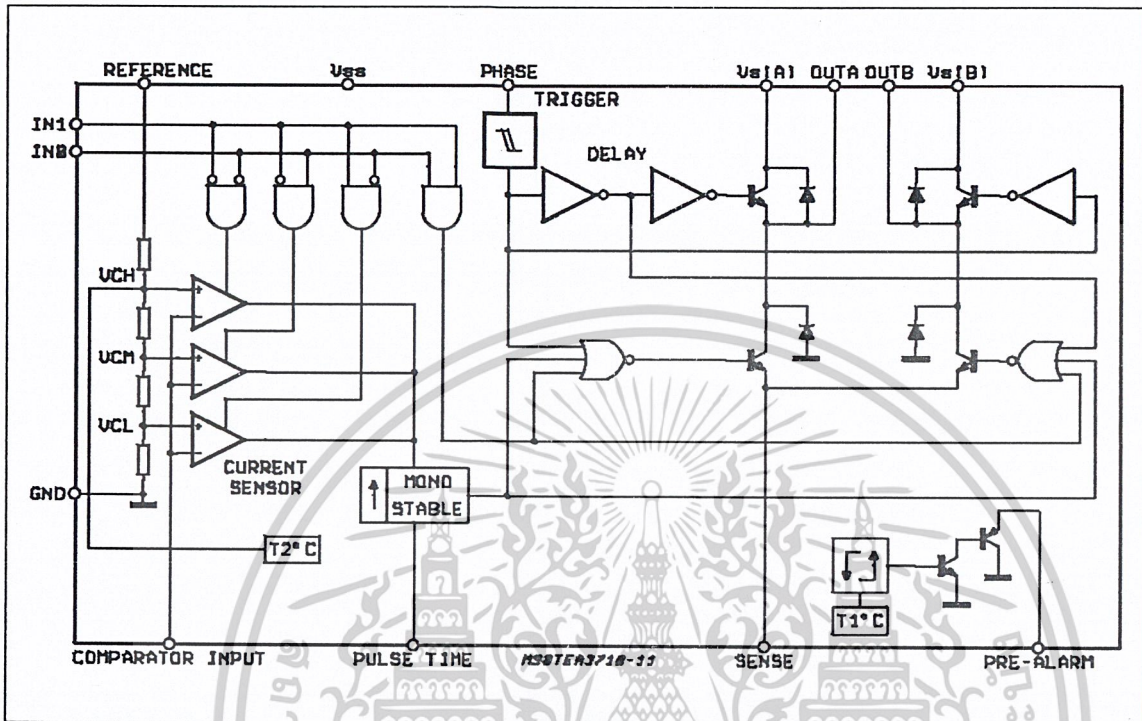


PIN CONNECTIONS (top views)

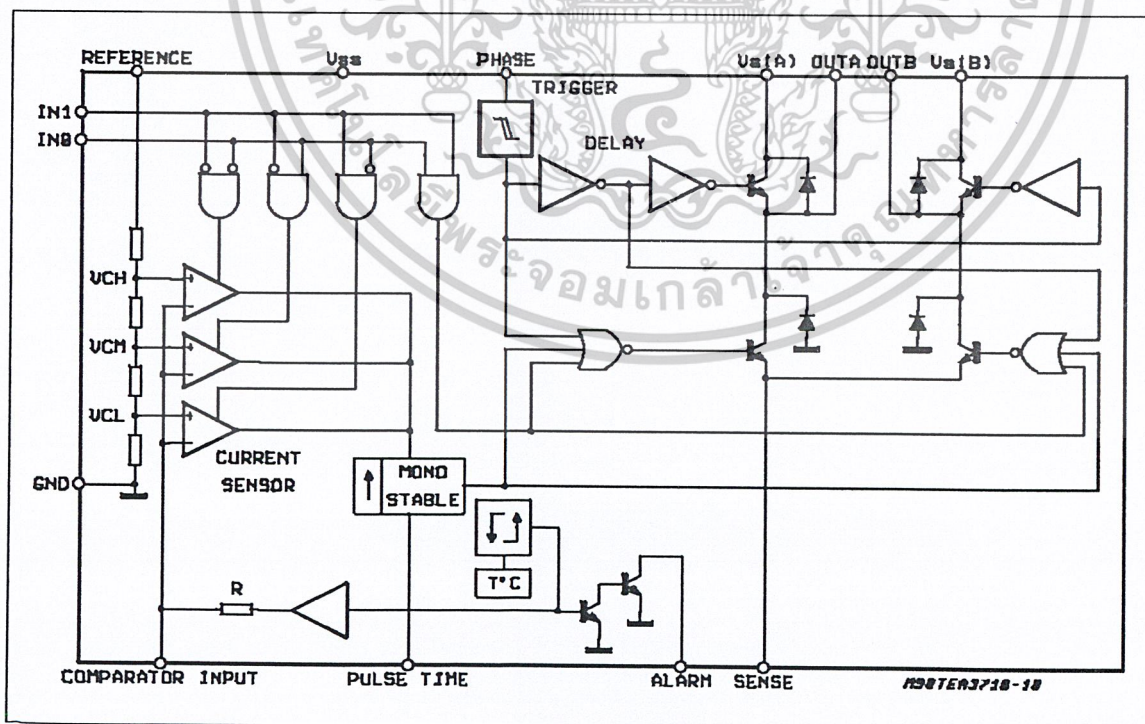


TEA3718-TEA3718S

BLOCK DIAGRAM TEA3718S



BLOCK DIAGRAM TEA3718



PIN FUNCTIONS

Name	Function
OUT B	Output Connection (with pin OUTA). The output stage is a "H" bridge formed by four transistors and four diodes suitable for switching applications.
PULSE TIME	A parallel RC network connected to this pin sets the OFF time of the lower power transistors. The pulse generator is a monostable triggered by the rising edge of the output of the comparators ($t_{off} = 0.69 R_T C_T$).
V _S (B)	Supply Voltage Input for Half Output Stage
GND	Ground Connection. In SO-20L and Powerdip these pins also conduct heat from die to printed circuit copper.
V _{SS}	Supply Voltage Input for Logic Circuitry
IN1	This pin and pin IN0 are logic inputs which select the outputs of three comparators to set the current level. Current also depends on the sensing resistor and reference voltage. See truth table.
PHASE	This TTL-compatible logic input sets the direction of current flow through the load. A high level causes current to flow from OUT A (source) to OUT B (sink). A Schmitt trigger on this input provides good noise immunity and a delay circuit prevents output stage short circuits during switching.
IN0	See INPUT 1
COMPARATOR INPUT	Input connected to the three comparators. The voltage across the sense resistor is feedback to this input through the low pass filter R _C C _C . The lower power transistor are disabled when the sense voltage exceeds the reference voltage of the selected comparator. When this occurs the current decays for a time set by R _T C _T , $T_{off} = 0.69 R_T C_T$.
REFERENCE	A voltage applied to this pin sets the reference voltage of the three comparators. Reference voltage with the value of R _S and the two inputs IN0 and IN1 determines the output current.
V _S (A)	Supply voltage input for half output stage
OUT A	See pin OUT B
SENSE RESISTOR	Connection to lower emitters of output stage for insertion of current sense resistor
ALARM	When T _J reaches T1°C the alarm output becomes low (TEA3718SP)
PRE-ALARM	When T _J reaches T2°C the prealarm output becomes low (T2<T1) (TEA3718SFP)

TEA3718-TEA3718S

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameters	Value	Unit
V _{SS}	Supply Voltage	7	V
V _S		50	V
V _I	Input Voltage:		
	Logic Inputs	6	V
	Analog Inputs	V _{SS}	V
	Reference Input	15	V
i _i	Input Current		
	Logic Inputs	-10	mA
	Analog Inputs	-10	mA
I _O	Output Current	±1.5	A
T _J	Junction Temperature	+150	°C
T _{OP}	Operating Ambient Temperature Range	0 to 70	°C
T _{stg}	Storage Temperature Range	-55 to +150	°C

THERMAL DATA

Symbol	Parameter	SO-20L	Powerdip	Multiwatt	Unit
R _{th(j-c)}	Maximum Junction-case Thermal Resistance	16	11	3	°C/W
R _{th(j-a)}	Maximum Junction-ambient Thermal Resistance	60 *	45 *	40	°C/W

* Soldered on a 35 μm thick 4 cm² PC board copper area.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _{SS}	Supply Voltage	4.75	5	5.25	V
V _S	Supply Voltage	10	—	45	V
i _m	Output Current	0.020	—	1.2	A
T _{amb}	Ambient Temperature	0	—	70	°C
t _r	Rise Time Logic Inputs	—	—	2	μs
t _f	Fall Time Logic Inputs	—	—	2	μs

COMPARISON TABLE

Device	Current	Package	Alarm	Pre-Alarm
TEA3718SDP	1.5A	Powerdip 12+2+2		not connected
TEA3718SFP	1.5A	SO-20L		x
TEA3718SP	1.5A	Multiwatt-15	X	
TEA3718DP	1.5A	Powerdip 12+2+2	not connected	

MAXIMUM POWER DISSIPATION

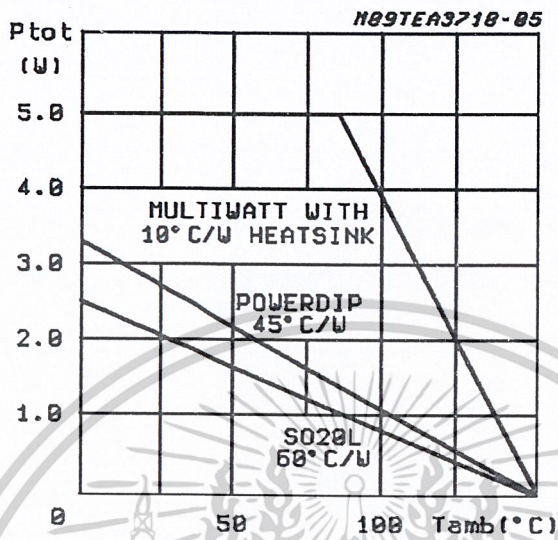
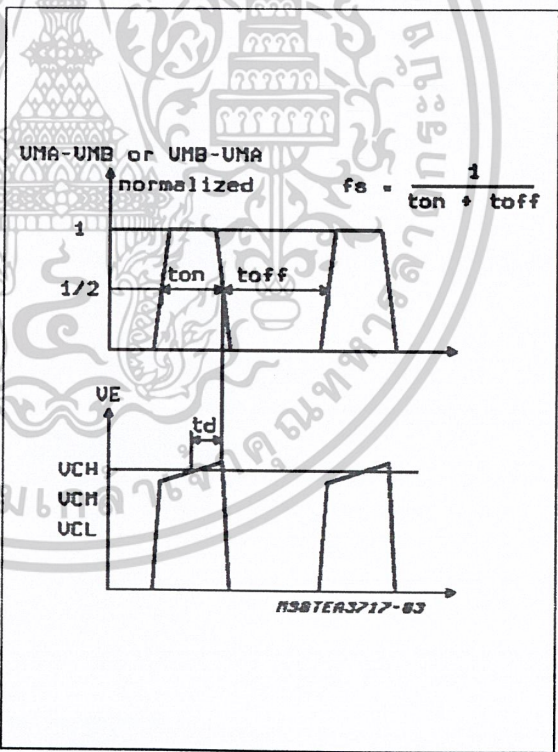
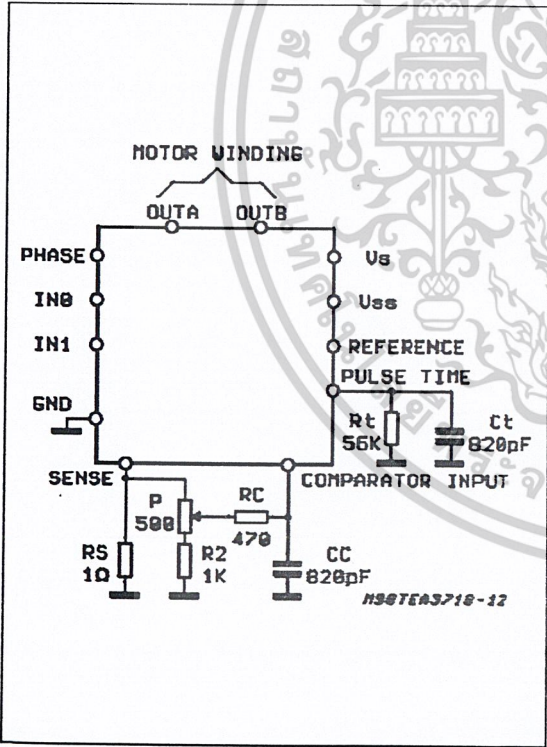


Figure 1.

Figure 2.



$R_S = 1 \Omega$ INDUCTANCE FREE
 $R_C = 470 \Omega$
 $C_C = 820 pF$ CERAMIC
 $R_t = 56 k\Omega$
 $C_t = 820 pF$ CERAMIC
 $P = 500 \Omega$
 $R_2 = 1 K$

TEA3718-TEA3718S

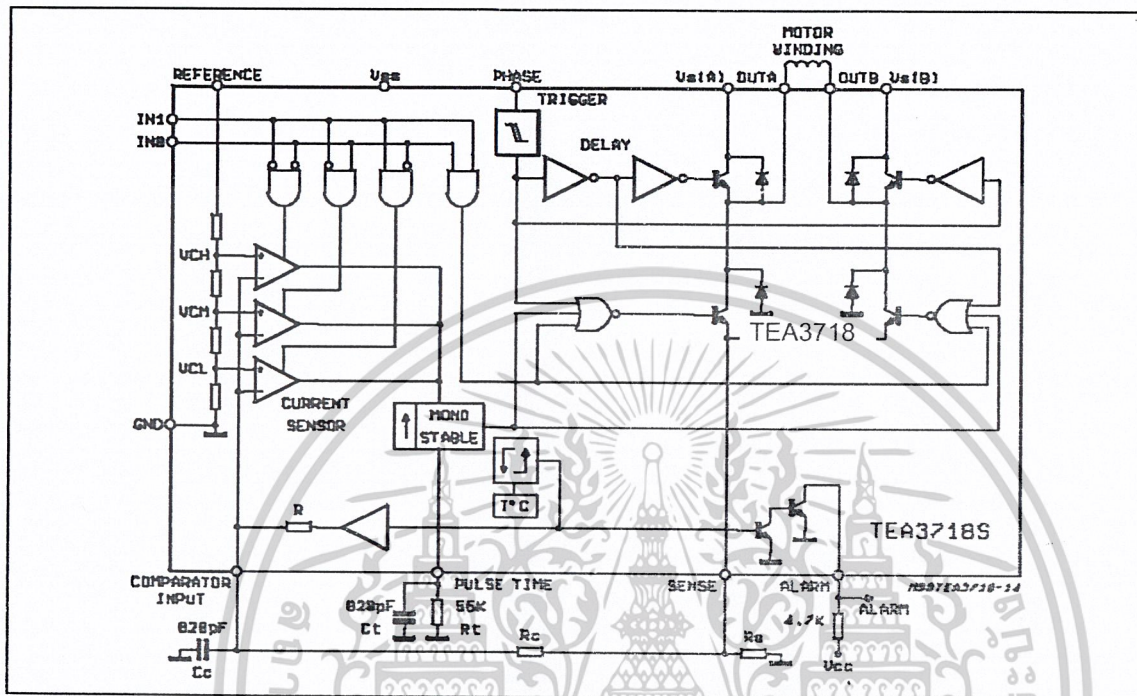
ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 5V, \pm 5\%$, $V_{mm} = 10V$ to $45V$, $T_{amb} = 0$ to $70^\circ C$
($T_{amb} = 25^\circ C$ for TEA3718FP/SFP) unless otherwise specified)

Symbol	Parameter		Min.	Typ.	Max.	Unit
I _{CC}	Supply Current		-	-	25	mA
V _{IH}	High Level Input Voltage - Logic Inputs		2	-	-	V
V _{IL}	Low Level Input Voltage - Logic Inputs		-	-	0.8	V
I _{IH}	High Level Input Current - Logic Inputs		-	-	20	μA
I _{IL}	Low Level Input Current - Logic Inputs (V _I = 0.4V)		-0.4	-	-	mA
V _{CH}	Comparator Thershold Voltage (V _R = 5V)	I _O = 0 I ₁ = 0	390	420	440	mV
V _{CM}		I _O = 0 I ₁ = 0	230	250	270	mV
V _{CL}		I _O = 0 I ₁ = 1	65	80	90	mV
I _{CO}	Comparator Input Current		-20	-	20	μA
I _{off}	Output Leakage Current (I _O = 0, I ₁ = 1 T _{amb} = 25°C		-	-	100	μA
V _{sat}	Total Saturation Voltage Drop (I _m = 1A)	SO20/Powerdip	-	-	2.8	V
		Multiwatt	-	-	3.2	V
P _{tot}	Total Power Disssipation - I _m = 1A, f _s = 30KHz		-	3.1	3.6	W
t _{off}	Cut off Time (see figure 1 and 2, V _{mm} = 10V, V _{Ion} > 5μs		25	30	35	ms
t _d	Turn off Delay (see fig. 1 and 2, T _{amb} = 25°C, dV _C /dt>50mV/μs)		-	1.6	-	μs
V _{sat}	Alarm Output Saturation Voltage - I _O = 2mA (Multiwatt)		-	0.8	-	V
I _{ref}	Reference Input Current, V _R = 5V		-	0.4	1	mA
V _{sat}	Source Diode Transistor Pair Saturation Voltage	Powerdip I _m = 0.5A	-	1.05	1.2 (1.3)	V
		Powerdip I _m = 1A	-	1.35	1.5 (1.7)	V
		Multiwatt I _m = 0.5A	-	-	1.3	V
		Multiwatt I _m = 1A	-	-	1.7	V
V _f	Diode Forward Voltage	I _f = 0.5A	-	1.1	1.5 (1.6)	V
		I _f = 1A	-	1.25	1.7 (1.9)	V
I _{sub}	Substrate Leakage Current	I _f = 1A	-	-	5	mA
V _{sat}	Sink Diode Transistor Pair Saturation Voltage	Powerdip I _m = 0.5A	-	1	1.2 (1.3)	V
		Powerdip I _m = 1A	-	1.2	1.3 (1.5)	V
		Multiwatt I _m = 0.5A	-	-	1.3	V
		Multiwatt I _m = 1A	-	-	1.5	V
V _f	Diode Forward Voltage	I _f = 0.5A	-	1	1.4 (1.6)	V
		I _f = 1A	-	1.1	1.5 (1.9)	V

Notes:

(...) Only for TEA3718SFP mounted in SO-20L package.

Figure A: ALARM OUTPUT (TEA3718SP - TEA3718DP)



The diagram illustrates the internal circuitry of the TEA3718 motor driver. It features a central TEA3718 IC block. The REFERENCE input is connected to a voltage divider (UCH, UCM, UCL) and a T2°C temperature sensor. The IN1 and IN2 inputs are connected to logic gates. The TRIGGER input is connected to a TRIGGER signal and a DELAY block. The MONO STABLE block is connected to the CURRENT SENSOR and the PULSE TIME network (828pF Ct, 55K Rt). The SENSE input is connected to a voltage divider (Ra, Rc) and a T1°C temperature sensor. The PRE-ALARM output is connected to a 4.7K resistor and the Ucc supply. The MOTOR WINDING is connected to the OUTA and OUTB outputs. The diagram also shows various logic gates, transistors, and capacitors used in the internal circuitry.

ALARM OUTPUTS (TEA3718SP - TEA3718DP)

The alarm output becomes low when the junction temperature reaches $T^{\circ}\text{C}$.

When an alarm condition occurs, parts of the supply voltage (dividing bridge $R - R_C$) is fed to the comparator input pin (Fig. A)

Depending of the RcC value the behaviour of the circuit is different on alarm condition:

1) $R_C > 80\Omega \Rightarrow$ the output stage is switched off

2) $R_c > 60\Omega \Rightarrow$ the current in the motor windings is reduced according to the approximate formula: (see also fig. E and F)

$$I_m = \frac{V_{TH}}{R_s} - \frac{V_{CC}}{R + R_C} \cdot \frac{R_C}{R_s}$$

with V_{TH} = Threshold of the comparator (V_{CH} , V_{CM} , V_{CL}) $R = 700\Omega$ (typical)

For several Multiwatt packages a common detection can be obtained as in Fig. D

PRE-ALARM OUTPUT

When the junction temperature reaches $T_1^{\circ}\text{C}$ (typ. = 170°C) a prealarm signal is generated.

Soft thermal protection occurs when function temperature reaches T_2 ($T_2 > T_1$)

Figure C: Alarm Detection for Powerdip Package

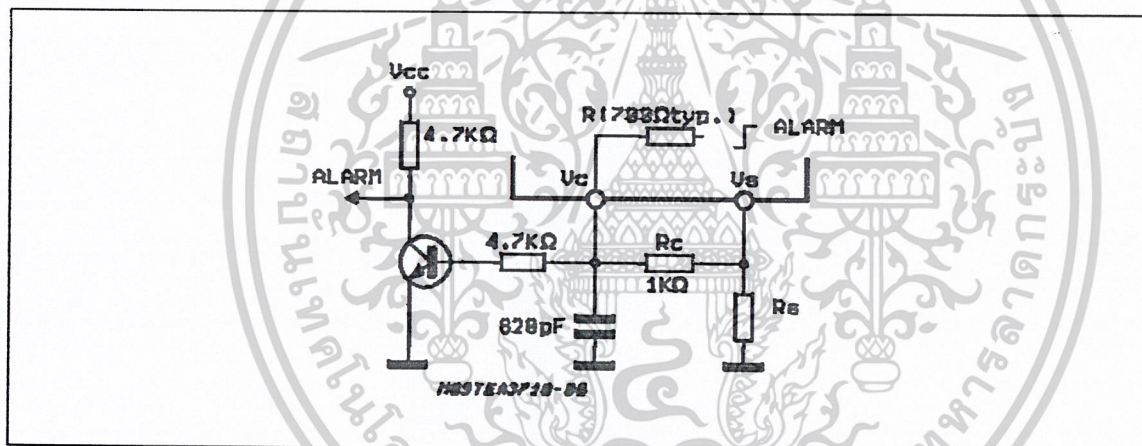
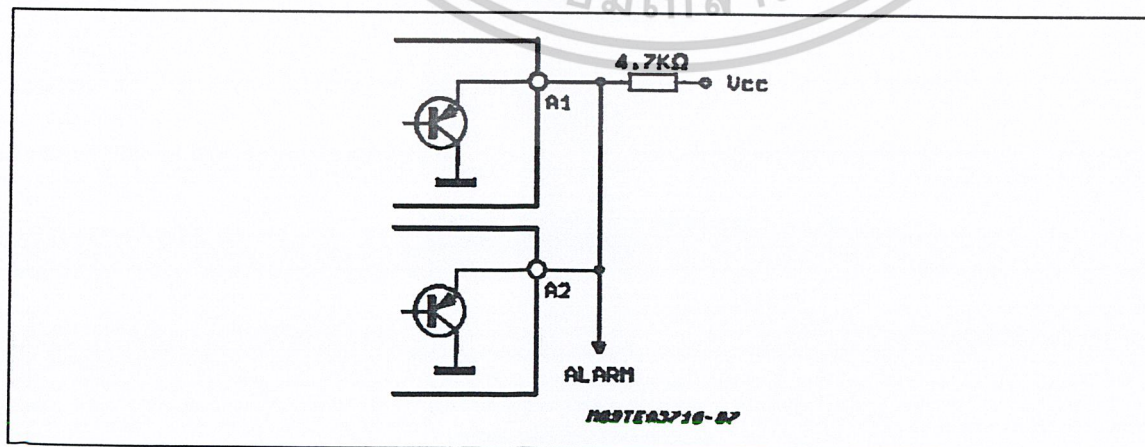


Figure D: CommonDetection for Several Multiwatt Package



TEA3718-TEA3718S

Figure E: (typical curve) Current Reduction in the Motor on Alarm Condition.

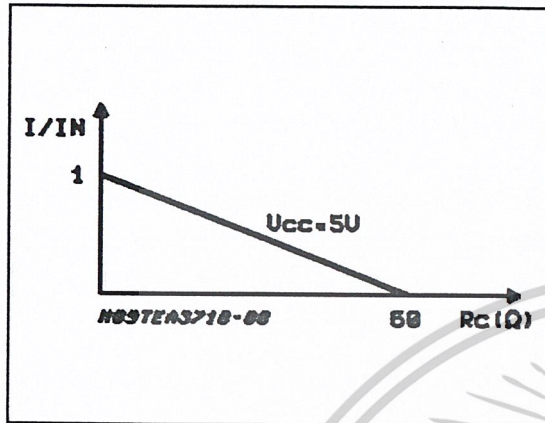
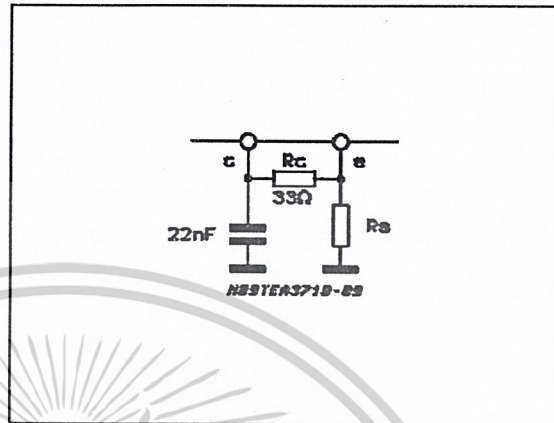
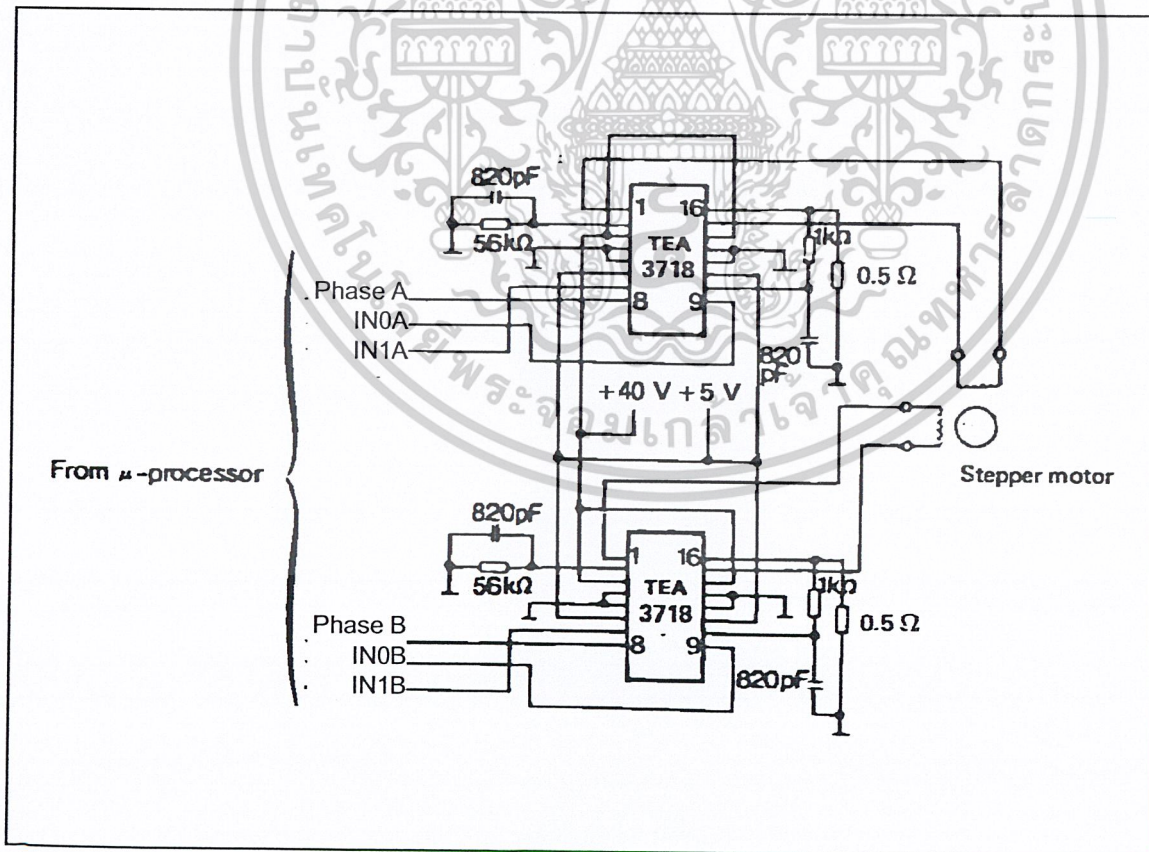


Figure F: (V_{ref} 5V) Block Diagram for Half Current on Alarm Condition.



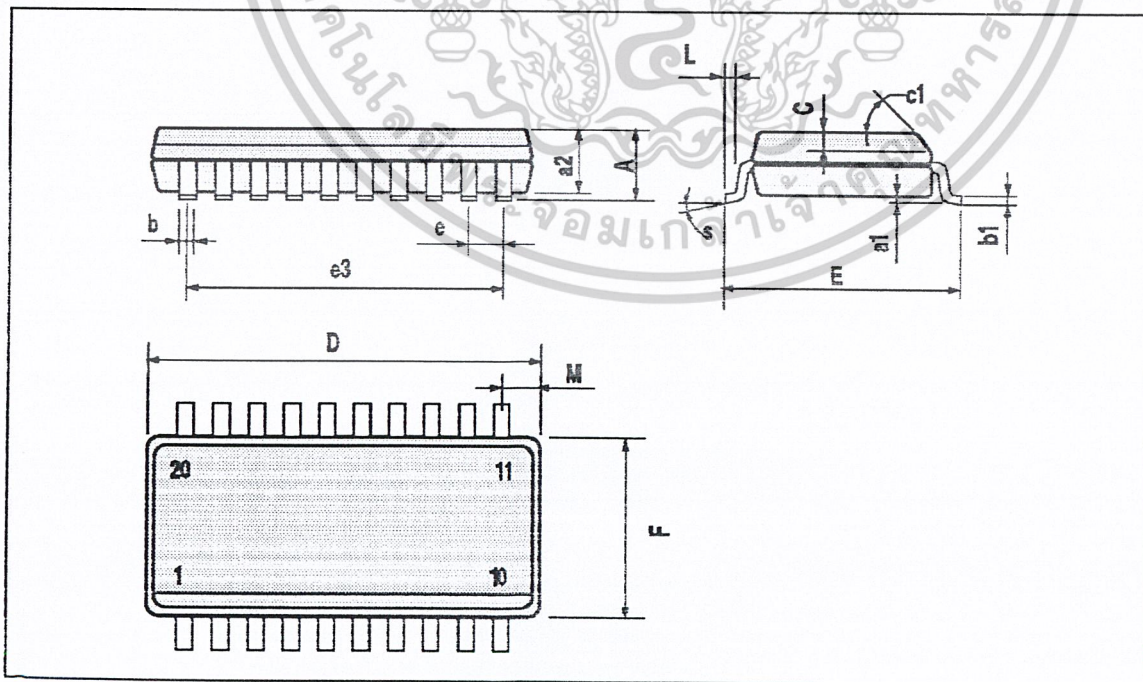
Notes: 1. Resistance values given here are for the V_{th} threshold. They should be adjusted using other comparators threshold or other V_{ref} value.

TYPICAL APPLICATION



SO20 PACKAGE MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			2.65			0.104
a1	0.1		0.3	0.004		0.012
a2			2.45			0.096
b	0.35		0.49	0.014		0.019
b1	0.23		0.32	0.009		0.013
C		0.5			0.020	
c1	45 (typ.)					
D	12.6		13.0	0.496		0.512
E	10		10.65	0.394		0.419
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
F	7.4		7.6	0.291		0.299
L	0.5		1.27	0.020		0.050
M			0.75			0.030
S	8 (max.)					





3. 2017 年 12 月 31 日, 乙公司“应付账款”科目所属各明细科目期末贷方余额如下表所示:



Table 1. Pin Description

Symbol	Pin Number Dip PLCC		Type	Name and Function																																																																														
PA ₃₋₀	1-4	2-5	I/O	PORT A, PINS 0-3: Lower nibble of an 8-bit data output latch/buffer and an 8-bit data input latch.																																																																														
$\overline{RD}$	5	6	I	READ CONTROL: This input is low during CPU read operations.																																																																														
$\overline{CS}$	6	7	I	CHIP SELECT: A low on this input enables the 82C55A to respond to $\overline{RD}$ and $\overline{WR}$ signals. $\overline{RD}$ and $\overline{WR}$ are ignored otherwise.																																																																														
GND	7	8		System Ground																																																																														
A ₁₋₀	8-9	9-10	I	ADDRESS: These input signals, in conjunction $\overline{RD}$ and $\overline{WR}$, control the selection of one of the three ports or the control word registers.																																																																														
				<table><thead><tr><th>A₁</th><th>A₀</th><th>$\overline{RD}$</th><th>$\overline{WR}$</th><th>$\overline{CS}$</th><th>Input Operation (Read)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>Port A - Data Bus</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>Port B - Data Bus</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>Port C - Data Bus</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>Control Word - Data Bus</td></tr><tr><td colspan="6">Output Operation (Write)</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>Data Bus - Port A</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>Data Bus - Port B</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>Data Bus - Port C</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>Data Bus - Control</td></tr><tr><td colspan="6">Disable Function</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>Data Bus - $\overline{IO}$ State</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>Data Bus - $\overline{C}$ State</td></tr></tbody></table>	A ₁	A ₀	$\overline{RD}$	$\overline{WR}$	$\overline{CS}$	Input Operation (Read)	0	0	0	1	0	Port A - Data Bus	0	1	0	1	0	Port B - Data Bus	1	0	0	1	0	Port C - Data Bus	1	1	0	1	0	Control Word - Data Bus	Output Operation (Write)						0	0	1	0	0	Data Bus - Port A	0	1	1	0	0	Data Bus - Port B	1	0	1	0	0	Data Bus - Port C	1	1	1	0	0	Data Bus - Control	Disable Function						0	0	1	1	1	Data Bus - $\overline{IO}$ State	0	1	1	1	1	Data Bus - $\overline{C}$ State
A ₁	A ₀	$\overline{RD}$	$\overline{WR}$	$\overline{CS}$	Input Operation (Read)																																																																													
0	0	0	1	0	Port A - Data Bus																																																																													
0	1	0	1	0	Port B - Data Bus																																																																													
1	0	0	1	0	Port C - Data Bus																																																																													
1	1	0	1	0	Control Word - Data Bus																																																																													
Output Operation (Write)																																																																																		
0	0	1	0	0	Data Bus - Port A																																																																													
0	1	1	0	0	Data Bus - Port B																																																																													
1	0	1	0	0	Data Bus - Port C																																																																													
1	1	1	0	0	Data Bus - Control																																																																													
Disable Function																																																																																		
0	0	1	1	1	Data Bus - $\overline{IO}$ State																																																																													
0	1	1	1	1	Data Bus - $\overline{C}$ State																																																																													
PC ₇₋₄	10-13	11, 13-15	I/O	PORT C, PINS 4-7: Upper nibble of an 8-bit data output latch/buffer and an 8-bit data input buffer (no latch for input). This port can be divided into two 4-bit ports with fine mode control. Each 4-bit word contains a 4-bit data input/output and can be used for the control word, status and data bus, though in combination with ports A and B.																																																																														
PC ₃₋₀	14-17	16-19	I/O	PORT C, PINS 8-3: Lower nibble of Port C.																																																																														
PB ₇₋₄	18-21	20-23	I/O	PORT B, PINS 8-7: 4-bit data output latch/buffer and an 8-bit data input latch.																																																																														
PD ₇₋₄	22-25	24-27	I/O	PORT D, PINS 8-7: 4-bit data output latch/buffer and an 8-bit data input latch.																																																																														
V _{CC}	26	29		SYSTEM POWER: +5V Ground Reference																																																																														
D ₁₅₋₀	27-34	30-33, 35-38	I/O	DATA BUS: Eight data lines, or 16 data bus lines, connected to system data bus.																																																																														
RESET	35	39	I	RESET: A high on this input clears the control register and all ports are set to the input mode.																																																																														
$\overline{WR}$	36	40	I	WRITE CONTROL: This input is low during CPU write operations.																																																																														
PA ₇₋₄	37-40	41-44	I/O	PORT A, PINS 4-7: Upper nibble of an 8-bit data output latch/buffer and an 8-bit data input latch.																																																																														
NC		1, 12, 25-34		No Connect																																																																														



82C55A FUNCTIONAL DESCRIPTION

General

The 82C55A is a programmable peripheral interface device designed for use in Intel microcomputer systems. Its function is that of a general purpose I/O component to interface peripheral equipment to the microcomputer system bus. The functional configuration of the 82C55A is programmed by the system software so that normally no external logic is necessary to interface peripheral devices or structures.

Data Bus Buffer

This 82C55A incorporates a bidirectional data bus buffer to connect the 82C55A to the system data bus. The buffer is tri-state enabled and can be configured to operate in either input or output mode. The buffer is controlled by the 82C55A internal logic and is enabled when the 82C55A is in the input or output mode.

Read/Write and Control Logic

The 82C55A contains internal logic to control the data bus buffer and to manage the internal data paths. This logic is controlled by the 82C55A internal logic and is enabled when the 82C55A is in the input or output mode.

Group A and Group B Control

The 82C55A contains internal logic to control the data bus buffer and to manage the internal data paths. This logic is controlled by the 82C55A internal logic and is enabled when the 82C55A is in the input or output mode.

Each of the Control blocks (Group A and Group B) accepts "commands" from the Read/Write Control Logic, receives "control words" from the internal data bus and issues the proper commands to its associated ports.

Control Group A - Port A and Port C upper (C7-C4)
Control Group B - Port B and Port C lower (C3-C0)

The control word register can be both written and read as shown in the address decode table in the pin descriptions. Figure 6 shows the control word format for both Read and Write operations. When the control word is read, bit D7 will always be a logic '1' and the higher control word mode information.

Ports A, B, and C

The 82C55A contains three 8-bit ports (A, B, and C). All ports are configured in a mode variety of functional operations by the system software but each has an associated feature or "specialized" to further enhance the power and flexibility of the 82C55A.

Port A has 8-bit data output, each buffer and one 8-bit data input. The 8-bit data input is enabled when the 82C55A is in the input or output mode.

Port B has 8-bit data output, each buffer and one 8-bit data input. The 8-bit data input is enabled when the 82C55A is in the input or output mode.

Port C has 8-bit data output, each buffer and one 8-bit data input. The 8-bit data input is enabled when the 82C55A is in the input or output mode.

Port C has 8-bit data output, each buffer and one 8-bit data input. The 8-bit data input is enabled when the 82C55A is in the input or output mode.

Port C has 8-bit data output, each buffer and one 8-bit data input. The 8-bit data input is enabled when the 82C55A is in the input or output mode.

82C55A OPERATIONAL DESCRIPTION

Mode Selection

There are three basic modes of operation that can be selected by the system software:

- Mode 0 — Basic input/output
- Mode 1 — Strobed Input/output
- Mode 2 — Bi-directional Bus

When the reset input goes "high" all ports will be set to the input mode with all 24 port lines held at a logic "one" level by the internal bus hold devices (see Figure 4 Note). After the reset is removed the 82C55A can remain in the input mode with no additional initialization required. This eliminates the need for pullup or pulldown devices in "all CMOS" designs. During the execution of the system program, any of the other modes may be selected by using a single output instruction. This allows a single 82C55A to service a variety of peripheral devices with a simple software maintenance routine.

The modes for Port A and Port B can be separately defined, while Port C is divided into two portions as required by the Port A and Port B definitions. All of the output registers, including the status flip-flops, will be reset whenever the mode is changed. Modes may be combined so that their functional definition can be "tailored" to almost any I/O structure. For instance, Group B can be programmed in Mode 0 to monitor simple switch closings or display computational results. Group A could be programmed in Mode 1 to monitor a keyboard or tape reader on an interrupt-driven basis.

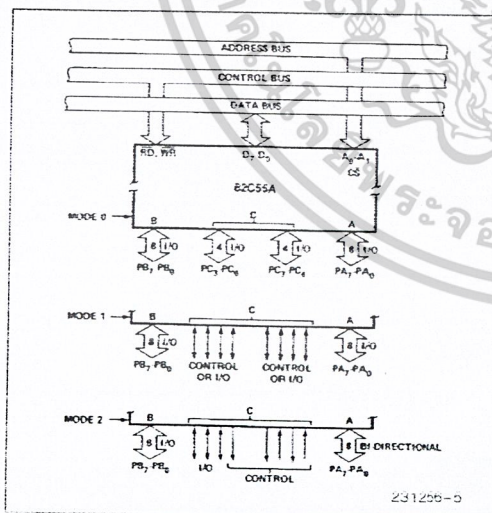


Figure 5. Basic Mode Definitions and Bus Interface

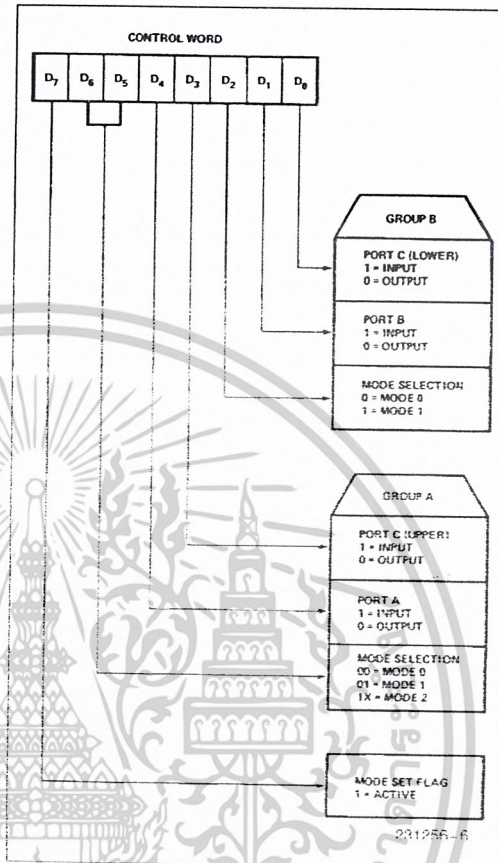


Figure 6. Mode Definition Format

The mode definitions and possible mode combinations may seem confusing at first but after a cursory review of the complete device operation a simple, logical I/O approach will surface. The design of the 82C55A has taken into account things such as efficient PC board layout, control signal definition vs PC layout and complete functional flexibility to support almost any peripheral device with no external logic. Such design represents the maximum use of the available pins.

Single Bit Set/Reset Feature

Any of the eight bits of Port C can be Set or Reset using a single OUTput instruction. This feature reduces software requirements in Control-based applications.

When Port C is being used as status/control for Port A or B, these bits can be set or reset by using the Bit Set/Reset operation just as if they were data output ports.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Ambient Temperature Under Bias . . . 0°C to + 70°C
 Storage Temperature - 65°C to + 150°C
 Supply Voltage - 0.5 to + 9.0V
 Operating Voltage + 4V to + 7V
 Voltage on any Input GND - 2V to + 6.5V
 Voltage on any Output GND - 0.5V to V_{CC} + 0.5V
 Power Dissipation 1 Watt

NOTICE: This is a production data sheet. The specifications are subject to change without notice.

***WARNING:** Stressing the device beyond the "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage. These are stress ratings only. Operation beyond the "Operating Conditions" is not recommended and extended exposure beyond the "Operating Conditions" may affect device reliability.

D.C. CHARACTERISTICS

I_A = 0V to 70°C, V_{CC} = +5V ± 10%, I_{OH} = 0V (I_A = -40°C to + 85°C for Extended Temperature)

Symbol	Parameter	Min	Max	Units	Test Conditions
V _{IL}	Input Low Voltage	-0.5	0.8	V	
V _{IH}	Input High Voltage	2.0	V _{CC}	V	
V _{OL}	Output Low Voltage		0.4	V	I _{OL} = 2.5 mA
V _{OH}	Output High Voltage	2.0		V	I _{OH} = -2.5 mA
I _{IL}	Input Leakage Current		1	μA	V _{IL} = V _{CC} to 0V (Note 1)
I _{OL}	Output Pin Leakage Current		1	μA	V _{IL} = V _{CC} to 0V (Note 2)
I _{OH}	Output Sink Current	-2.5	(Note 4)	mA	Ports A, B, C R _{EXT} = 500Ω V _{OUT} = 1.7V
I _{PHL}	Port Hold Low Leakage Current	-100/50	100	μA	V _{OUT} = 1.0V Port A only
I _{PHH}	Port Hold High Leakage Current	50	100	μA	V _{OUT} = 3.0V Ports A, B, C
I _{INL}	Port Hold Low Drive Current	-100		μA	V _{OUT} = 0.8V
I _{INH}	Port Hold High Drive Current	-100		μA	V _{OUT} = 3.0V
I _{CC1}	Pin 1 Supply Current		10	mA	(Note 3)
I _{CC2}	Pin 2 Supply Current		10	mA	V _{CC} = 5.5V V _{IN} = V _{CC} or GND Port Conditions I _{INP} = Open/High O/P = Open Only With Data Bus = High/Low CS = High Reset = Low Pure Inputs = Low/High

NOTES:

1. Pins A₁, A₀, CS, WR, RD, Reset.
2. Data Bus: Ports B, C.
3. Outputs open.
4. Limit output current to 4.0 mA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CAPACITANCE

$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = \text{GND} = 0\text{V}$

Symbol	Parameter	Min	Max	Units	Test Conditions
C_{IN}	Input Capacitance		10	pF	Unmeasured pins returned to GND $f_c = 1\text{ MHz}^{(5)}$
$C_{I/O}$	I/O Capacitance		20	pF	

NOTE:

5. Sampled not 100% tested

A.C. CHARACTERISTICS

$T_A = 0^\circ$ to 70°C , $V_{CC} = +5\text{V} \pm 10\%$, $\text{GND} = 0\text{V}$

$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$ for Extended Temperature

BUS PARAMETERS

READ CYCLE

Symbol	Parameter	82C55A-2		Units	Test Conditions
		Min	Max		
t_{AR}	Address Stable Before RD ↓	0		ns	
t_{RA}	Address Hold Time After RD ↓	0		ns	
t_{RD}	RD Pulse Width	150		ns	
t_{RD}	Data Delay from RD ↓		120	ns	
t_{DI}	RD ↓ to Data Floating	10	75	ns	
t_{RW}	Recovery Time between RD/WR	200		ns	

WRITE CYCLE

Symbol	Parameter	82C55A-2		Units	Test Conditions
		Min	Max		
t_{AW}	Address Stable Before WR ↓	0		ns	
t_{WA}	Address Hold Time After WR ↓	20		ns	Ports A & B
		20		ns	Port C
t_{WW}	WR Pulse Width	100		ns	
t_{WD}	Data Setup Time Before WR ↓	100		ns	
t_{WD}	Data Hold Time After WR ↓	30		ns	Ports A & B
		30		ns	Port C