

การพัฒนาและสร้างวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์
(Development of trigger control system for TEA-N₂ Laser)



นางสาว วรดา ทรัพย์จรัสแสง

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

ปท.

๑๙๕๓

๒๕๔๐

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหม.....

ปีการศึกษา 2540

เลขทะเบียน..... 31642

วัน, เดือน, ปี 19 พ.ค. 2541

สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development of trigger control system for TEA-N₂ Laser



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the

Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การพัฒนาและสร้างวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์
โดย นางสาว วรดา ทรัพย์จรัสแสง
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. วราวุฒิ เถาลัดดา
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา 2540

บทคัดย่อ

วงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์ ที่สร้างขึ้นตามโครงการพิเศษนี้ ประยุกต์ใช้หลักการพื้นฐานของระบบจุดระเบิด CDI ซึ่งเป็นระบบจุดระเบิดแบบใช้ไฟฟ้า ที่ใช้หลักการการเก็บและปล่อยประจุไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุ (Capacitor) โดยมีการควบคุมจังหวะการปล่อยและเก็บประจุโดยไทรสเตอร์ (Thyristor) ซึ่งได้รับสัญญาณกระตุ้น(clock) ที่ขาเกตจากชุดกำเนิดสัญญาณกระตุ้น (Oscillator) ที่เลือกใช้ ไอซี 555 ไทเมอร์ต่อเป็นวงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบเรเตอร์ (Astable Multivibrator) โดยออกแบบให้สามารถปรับอัตราการกระตุ้น (frequency) ได้ในช่วง 0.5-10 เฮิร์ต ด้วยการปรับค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้ในชุดกำเนิดสัญญาณกระตุ้น จากการทดลองพบว่าจะเกิดการสปาร์กที่สปาร์กแก๊ป ตรงตามจังหวะการสปาร์กที่หัวเทียนและส่งผลให้เกิดการสปาร์กที่ขั้วอิเล็กโทรดด้วยอัตราสม่ำเสมอในทุกๆ ระยะห่างระหว่างสปาร์กแก๊ปและทุกๆ ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด แรงดันที่ทำให้เกิดการ สปาร์ก อย่างสม่ำเสมอขึ้นอยู่กับระยะห่างทั้งสอง พบว่าที่ระยะห่างมีค่ามากแรงดันที่ใช้ก็มีค่าเพิ่มมากขึ้น

Special project title Development of trigger control system for TEA-N₂ LASER
Name Miss Worada Subjarassang
Special project adviser Asst.Prof.Dr. Warawoot Thowladda
Department Applied Physics
Academic Year 1997

Abstract

A Trigger Control System has been designed and developed for TEA-N₂ Laser. The principle of Capacitive Discharge Ignition System (CDI) was applied as the main part of system. The system consists of capacitor which in series with primary winding of an ignition coil , SCR and Oscillator . The DC Voltage of about 60 V was applied to charge the Capacitor. The capacitor was discharged suddenly via SCR that was controlled by IC 555 Timer. The designed Trigger Controlled System can control the repetition rate of TEA-N₂ Laser up to 10 Hz at various separation of Laser channel Spark gap.

หัวข้อโครงการพิเศษ การพัฒนาและสร้างวงจรกระตุ้นในโครเจนเลเซอร์

โดย นางสาว วรดา ทรัพย์จรัสแสง

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. วราวุฒิ เถลัดดา

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อนุมัติให้นำโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

(รองศาสตราจารย์ สุรพล รักวิจัย)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะกรรมการโครงการพิเศษ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราวุฒิ เถลัดดา)

ประธานกรรมการ

(อาจารย์ วิชาญ เตชิตธีระ)

กรรมการ

(อาจารย์ วิษณุ เพชรภา)

กรรมการ

(อาจารย์ ปิติพร ถนอมงาม)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความอนุเคราะห์ ของบุคคล
หลายๆ ท่านด้วยกัน ซึ่งบุคคลที่สำคัญที่สุดในที่นี้คือ บิดา-มารดา และสมาชิกในครอบครัวของผู้
จัดทำ ที่คอยสนับสนุนทางด้านการศึกษา ด้านทุนทรัพย์ และให้กำลังใจที่ตีมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. วราวุฒิ เถาลัดดา ผู้ซึ่งให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการ
ปฏิบัติงาน อีกทั้งมอบความรู้ในด้านต่างๆ ให้แก่ผู้จัดทำ จนทำให้โครงการครั้งนี้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ สงคราม พันธุ์เจริญ ณ ศูนย์ฝึกอบรมชูชุกี สำหรับคำแนะนำ
และข้อมูลเกี่ยวกับระบบจุดระเบิดในรถจักรยานยนต์ ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ในการทำโครงการนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ธวัชชัย ขาวประเสริฐ และบุคลากรในอาคารซ่อมสร้างเครื่องมือ
ทางวิทยาศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ปิติพร ฌโนมงาม ผู้ซึ่งให้คำแนะนำและเป็นที่ปรึกษาในการ
ปฏิบัติงานด้วยดี.

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ สุรชาติ กมลดีลก และพีชชะ ฐินะกุล และพี่ๆ ปรินญาโททุก
ท่าน ที่อนุญาตให้ใช้เครื่องมือและให้คำแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณ พีรัตน์สุดา ทองแดง ผู้ซึ่งให้คำปรึกษาและแนะนำในเรื่องต่างๆ ตลอดจน
เป็นกำลังใจ และคอยช่วยเหลือในทุกๆ ด้านด้วยดีตลอดมา จนทำให้โครงการนี้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำ เป็นกำลังใจ และให้ความ
ช่วยเหลือทุกด้านเป็นอย่างดี

วรดา ทรัพย์จรัสแสง
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 คุณสมบัติของเลเซอร์.....	1
1.2 การวิจัยและพัฒนาใน โตรเจนเลเซอร์ในต่างประเทศ.....	5
1.3 การวิจัยและพัฒนาใน โตรเจนเลเซอร์ในประเทศไทย.....	6
1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	7
1.5 ขอบเขตของโครงการ.....	7
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 ทฤษฎีของเลเซอร์.....	8
2.1.1 ทฤษฎีของเลเซอร์ทั่วไป.....	8
2.1.2 การเพิ่มพลังงานให้กับตัวกลางเลเซอร์.....	12
2.1.3 ตัวอย่างการเพิ่มพลังงาน.....	13
2.2 ทฤษฎีของไนโตรเจน.....	14
2.2.1 การเกิดแสงเลเซอร์ของไนโตรเจนเลเซอร์.....	15
2.2.2 หลักการและการคำนวณ.....	16
2.2.3 ทีอีเอ ในโตรเจนเลเซอร์.....	17
2.2.4 ขั้วไฟฟ้า.....	18
2.2.5 ระบบจ่ายไฟแรงดันสูง.....	18
2.2.6 ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน.....	19
2.2.7 ระบบจ่ายก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่ช่องเลเซอร์.....	22
2.2.8 ขั้นตอนการประกอบระบบไนโตรเจนเลเซอร์.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3 ทฤษฎีของวงจรกระตุ้นในโทรเจนเลเซอร์.....	23
2.3.1 ส่วนประกอบของวงจรกระตุ้นในโทรเจนเลเซอร์.....	23
2.3.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับส่วนประกอบต่างๆ.....	23
หัวเทียน	23
สายหัวเทียน.....	27
คอยล์จุดระเบิด.....	27
ไทรสเตอร์(SCR).....	29
2.4 ทฤษฎีของวงจรถะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์.....	32
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างวงจรกระตุ้นในโทรเจนเลเซอร์	
3.1 การออกแบบ.....	33
3.2 การประกอบวงจรกระตุ้นในโทรเจนเลเซอร์เข้ากับระบบในโทรเจนเลเซอร์.....	34
3.3 วงจรกระตุ้นในโทรเจนเลเซอร์.....	35
3.4 ส่วนประกอบของวงจร.....	36
3.5 วงจรออสซิลเลเตอร์.....	36
3.6 คอยล์จุดระเบิด.....	38
3.7 หัวเทียน.....	40
3.8 ขั้นตอนการประกอบวงจรกระตุ้นในโทรเจนเลเซอร์.....	41
บทที่ 4 การทดลอง ผลการทดลอง การอภิปรายผล	
4.1 การทดสอบการทำงานของวงจรกระตุ้นในโทรเจนเลเซอร์.....	43
4.2 อภิปรายผลการทดลอง.....	45
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	47
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	49
ภาคผนวก.....	50
ประวัติผู้เขียน.....	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	การเรียงตัวของอิเล็กตรอนในโมเลกุลของไนโตรเจน.....	14
2	ตารางผลการทดลอง.....	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
บทที่ 1	
1.1 การเปรียบเทียบถึงความบริสุทธิ์ทางสเปกตรัมทางความถี่ระหว่าง แสงจากอาร์คแลมป์กับแสงเลเซอร์.....	1
1.2 การบานปลายของลำแสงเลเซอร์.....	2
1.3 การมีคุณสมบัติโคฮีเรนซ์และการไม่มีคุณสมบัติโคฮีเรนซ์.....	3
บทที่ 2	
2.1 หลักการของเรโซเนเตอร์.....	8
2.2 การจัดกล่องเรโซแนนซ์.....	10
2.3 การจัดเรโซเนเตอร์แบบต่างๆ.....	10
2.4 (ก) การคูดกลืนโฟตอนแบบกระตุ้น.....	12
2.4(ข) การปลดปล่อยโฟตอนแบบธรรมชาติ.....	12
2.4(ค) การปลดปล่อยโฟตอนแบบกระตุ้น.....	12
2.5 การเกิดเลเซอร์ชนิด 3 ระดับ และชนิด 4 ระดับ.....	13
2.6 ระดับพลังงาน 3 ระดับของโมเลกุลไนโตรเจน ซึ่งให้แสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร	15
2.7 วงจรลัมไนด์.....	17
2.8 วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง.....	18
2.9 การต่อตัวต้านทาน (R4).....	18
2.10 ตัวเก็บประจุแผ่นขนาน.....	19
2.11 วงจรพัลส์ฟอร์มิ่ง.....	20
2.12 ภาพตัดขวางของขั้วไฟฟ้า.....	21
2.13 รูปร่างและขนาดของกล่องนำก๊าซไนโตรเจน.....	22
2.14 ส่วนประกอบภายนอกของหัวเทียน.....	24
2.15 โครงสร้างและภาพตัดขวางของหัวเทียน.....	24
2.16 ระยะห่างของขั้วหัวเทียน.....	25
2.17 หัวเทียนร้อนและหัวเทียนเย็น.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปลภาพ

รูปที่	หน้า
บทที่ 1	
1.1 การเปรียบเทียบถึงความบริสุทธิ์ทางสเปกตรัมทางความถี่ระหว่าง แสงจากอาร์คแลมพ์กับแสงเลเซอร์.....	1
1.2 การบานปลายของลำแสงเลเซอร์.....	2
1.3 การมีคุณสมบัติโคฮีเรนซ์และการไม่มีคุณสมบัติโคฮีเรนซ์.....	3
บทที่ 2	
2.1 หลักการของเรโซเนเตอร์.....	8
2.2 การจัดกล่องเรโซแนนซ์.....	10
2.3 การจัดเรโซเนเตอร์แบบต่างๆ.....	10
2.4 (ก) การคูดกลืนโฟตอนแบบกระตุ้น.....	12
2.4(ข) การปลดปล่อยโฟตอนแบบธรรมชาติ.....	12
2.4(ค) การปลดปล่อยโฟตอนแบบกระตุ้น.....	12
2.5 การเกิดเลเซอร์ชนิด 3 ระดับ และชนิด 4 ระดับ.....	13
2.6 ระดับพลังงาน 3 ระดับของโมเลกุลไนโตรเจน ซึ่งให้แสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร	15
2.7 วงจรบัลลัมไลน์.....	17
2.8 วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง.....	18
2.9 การต่อตัวต้านทาน (R4).....	18
2.10 ตัวเก็บประจุแผ่นขนาน.....	19
2.11 วงจรพัลส์ฟอร์มิ่ง.....	20
2.12 ภาพตัดขวางของขั้วไฟฟ้า.....	21
2.13 รูปร่างและขนาดของกล่องนำก๊าซไนโตรเจน.....	22
2.14 ส่วนประกอบภายนอกของหัวเทียน.....	24
2.15 โครงสร้างและภาพตัดขวางของหัวเทียน.....	24
2.16 ระยะห่างของขั้วหัวเทียน.....	25
2.17 หัวเทียนร้อนและหัวเทียนเย็น.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปร่าง (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.18 การถ่ายเทความร้อนในหัวเทียนร้อนและหัวเทียนเย็น.....	26
2.19 คอยล์จุดระเบิดแบบแคนไทและแบบคอร์ไท.....	27
2.20 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไทรสเตอร์.....	31
2.21 วงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์.....	32
บทที่ 3	
3.1 การจัดวางวงจรกระตุ้นใน โตรเจนเลเซอร์.....	34
3.2 วงจรกระตุ้นในโตรเจนเลเซอร์.....	35
3.3 วงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์.....	36
3.4 ความสัมพันธ์โดยประมาณระหว่าง C_1 , R_2 และความถี่โดยที่ R_2 มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับ R_1	37
3.5 ส่วนประกอบภายในคอยล์.....	38
3.6 แสดงการเกิดเส้นแรงแม่เหล็กของคอยล์.....	38
3.7 แสดงภาพตัดของหัวเทียน.....	40
3.8 รูปถ่ายของวงจรกระตุ้นในโตรเจนเลเซอร์.....	42
3.9 รูปถ่ายของระบบ TEA N_2 Laser ประกอบกับวงจรกระตุ้น.....	42
บทที่ 4	
4.1 รูปถ่ายการเกิดการสปาร์กที่หัวอิเล็กโทรด.....	46

บทที่ 1

บทนำ

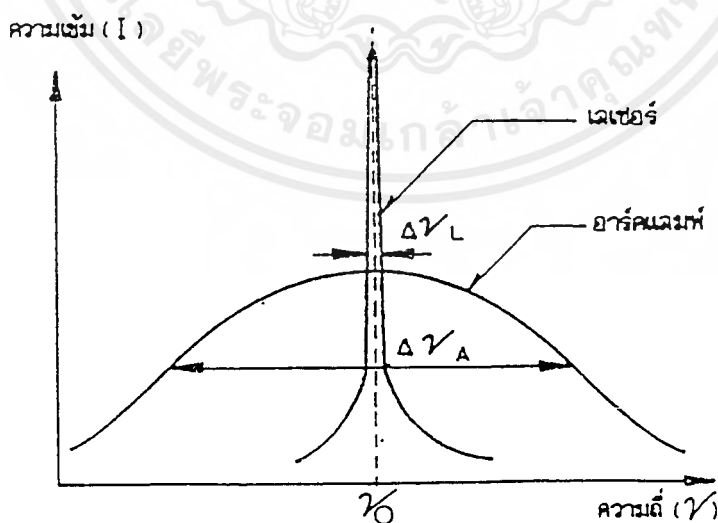
เลเซอร์ (LASER) เป็นคำที่ย่อมาจาก Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

1.1 คุณสมบัติของเลเซอร์

1. โมโนโครมาติกซิตี (Monochromaticity) หมายถึง แสงที่มีเพียงความถี่เดียว ในห้องปฏิบัติการทั่วไปเราได้แสงโมโนโครมาติกจากหลอดปล่อยประจุของก๊าซ (discharged tube) เป็นต้น แต่เราจะพบว่าความถี่ของแสงนั้นมิได้เป็นความถี่เดียว แต่จะมีการกระจายของความถี่ ΔV ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\Delta\lambda = -(c/V^2)\Delta V \quad (1.1)$$

โดยทั่วไปเราเรียก ΔV ว่าไลน์วิดธ์ (line width) หรือสเปกตรัมวิดธ์ (spectral width) แสงที่มีความเป็นโมโนโครมาติกมากน้อยอย่างไรนั้น ขึ้นอยู่กับค่า ΔV สำหรับหลอดปล่อยประจุมีค่า $\Delta\lambda \approx 0.01 \mu\text{m}$ หรือ $\Delta V \approx 10^{15} \text{ Hz}$ สำหรับแสงเลเซอร์นั้น ΔV จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 MHz - 1 GHz ($10^6 - 10^9 \text{ Hz}$) ซึ่งเราจะเห็นว่า แสงเลเซอร์มีคุณสมบัติในด้านโมโนโครมาติกซิตีสูงกว่าแสงชนิดอื่นโดยถ้าเป็น monochromatic ที่สมบูรณ์เราจะได้ $\Delta V = 0$ ดังแสดงเปรียบเทียบในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 การเปรียบเทียบถึงความบริสุทธิ์ของสเปกตรัมทางความถี่ระหว่างแสงจากอาร์คแลมป์

(arc lamp) กับแสงเลเซอร์ $V_L \gg V_A$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ใตเรคชันแนลลิตี้ (Directionality) แสงเลเซอร์ที่ถูกผลิตออกมานั้นมีทิศทางในการเคลื่อนที่ที่แน่นอน ไม่กระจายออกไปโดยรอบ เนื่องจากเลเซอร์เกิดจากขบวนการ Stimulated Emission และมี Optical resonator ซึ่งเป็นกระจกที่มีค่าสะท้อนกลับ (reflectivity) สูง ดังนั้นแสงเลเซอร์จะถูกผลิตออกมาเฉพาะบริเวณที่มีกระจกและในทิศทางในแนวแกน Optical resonator เท่านั้น จึงทำให้เลเซอร์สามารถเดินทางออกไปจากแหล่งกำเนิดแสงได้ระยะทางไกลมากๆ

3. การบานปลาย (Divergence) คุณสมบัติที่เด่นชัดอีกข้อหนึ่ง คือ แสงเลเซอร์มีการบานปลายของลำแสงน้อยมากซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติใตเรคชันแนลลิตี้ คือ แสงเลเซอร์จะมีใตเรคชันแนลลิตี้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับมุมเบี่ยงเบน (divergence angle) θ ของเลเซอร์ ดังแสดงในรูป 1.2



รูปที่ 1.2 การบานปลายของลำแสงเลเซอร์

โดยทั่วไปแล้วแสงเลเซอร์จะมีค่ามุมเบี่ยงเบนประมาณ 1.0 - 2.0 มิลลิเรเดียน (milliradian) ซึ่งมิต้น้อยมาก เราสามารถคำนวณหาค่า ได้ตามสมการ

$$\theta = \lambda / D \quad (1.2)$$

โดยที่ λ เป็นความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์

D เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของเลเซอร์

4. ความเจิดจ้า (Brightness) เนื่องจากแสงเลเซอร์เป็นแสงแบบโมนโครมาติก และพลังงานของแสงจะอยู่ในบริเวณแคบๆ ของสเปกตรัมโลว์วิดธ์ ΔV ถึงแม้ว่าแสงเลเซอร์บางชนิดมีกำลังต่ำ แต่เราจะพบว่าความเจิดจ้าของมันและความหนาแน่นของพลังงานจะสูงมาก ถ้ากำหนดให้

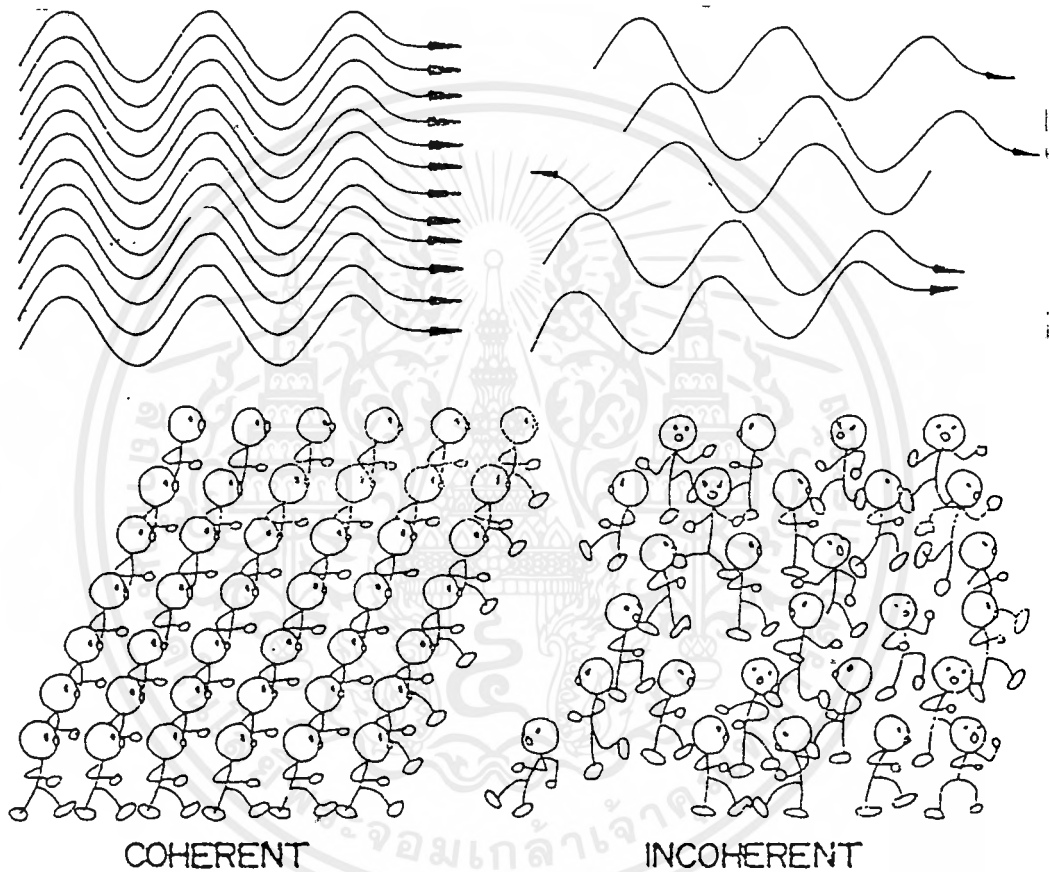
P เป็นกำลังของเลเซอร์ เราจะได้ความเจิดจ้าที่วัดเทียบเป็นอุณหภูมิ T_b (K) ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_B = P / [K_B(\Delta V)] \quad (1.3)$$

เมื่อ $K_B = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K (Boltzmann's constant)

นอกจากนี้เรายังสามารถโฟกัสแสงเลเซอร์ ให้เป็นจุดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กประมาณ 1 - 10 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นการทำให้แสงเลเซอร์มีความหนาแน่นของพลังงาน และความหนาแน่นของโฟตอนสูงมากด้วย



รูปที่ 1.3 การมีคุณสมบัติโคฮีเรนซ์และการไม่มีคุณสมบัติโคฮีเรนซ์

5.โคฮีเรนซ์ (Coherence) คือความเป็นระเบียบของคลื่น คลื่นจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันโดยมีเฟสเหมือนกัน (In phase) จึงมีหน้าคลื่น (Wave front) พร้อมกัน คลื่นที่เป็นระเบียบย่อมมีพลังงาน และโมเมนตัมรวมมากกว่าคลื่นที่ไม่มีระเบียบ เพราะพลังงาน และโมเมนตัมของโฟตอนแต่ละตัวจะเสริมกันและมี impact ในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.3 โคฮีเรนซ์ของแสงเลเซอร์ เราแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โคฮีเรนซ์ทางสถานที่ (Spatial coherence) หมายถึงกรณีที่แสงเดินทางผ่านจุด 2 จุด คือ P_1 และ P_2 พร้อมกัน เมื่อเวลา $t = 0$ P_1 และ P_2 วางอยู่ในหน้าคลื่น (wavefront) อันเดียวกัน กำหนดให้ $E_1(t)$ และ $E_2(t)$ เป็นแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้า E ที่จุด P_1 และ P_2 ตามลำดับ และให้ความต่างเฟสของ $E_1(t)$ และ $E_2(t)$ เป็น $\Phi = 0$ ดังนั้นเมื่อเวลา $t > 0$ ตำแหน่งของสนามไฟฟ้า $E_1(t)$ และ $E_2(t)$ เปลี่ยนไป แต่พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างเฟสของ $E_1(t > 0)$ และ $E_2(t > 0)$

- โคฮีเรนซ์ทางเวลา (Temporal coherence) กำหนดสนามไฟฟ้า E ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่จุด P ที่เวลา t และเวลา $t + \tau$ เมื่อ τ เป็นเวลาที่ล่วงไป (delay time) นั้นความต่างเฟส Φ ของสนามไฟฟ้า $E(t)$ และของ $E(t + \tau)$ จะเป็นการวัดค่าโคฮีเรนซ์ทางเวลาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้น ในกรณี $\Phi = c$ (เมื่อ $c =$ ค่าคงที่) คลื่นสนามไฟฟ้าที่ขณะเวลา t และ $t + \tau$ จะมีคุณสมบัติโคฮีเรนซ์สมบูรณ์ทางเวลา (perfect temporal coherence) สำหรับกรณีที่ $\Phi = c$ ในช่วงเวลา โดยที่ $0 < \tau < \tau_0$ เราเรียกคลื่นสนามไฟฟ้านั้น เป็นแบบพาร์เชียลโคฮีเรนซ์ทางเวลา (partial temporal coherence)

ในการพิจารณาทางฟิสิกส์เกี่ยวกับ โคฮีเรนซ์ของแสงนั้น เราพิจารณาได้จากการเกิดการแทรกสอด (Interference) ของคลื่นแสง 2 คลื่น ที่ปรากฏบนฉาก กับภาพเป็นวง (fringes) สว่างและมีดสลับกันไปซึ่ง แสดงว่าคลื่นแสง 2 คลื่นนี้ มีคุณสมบัติโคฮีเรนซ์ โดยจะพบได้จากการทดลองทางแสง คือ Young's Experiment โดยการใช้ Michelson Interferometer

การค้นพบเลเซอร์เริ่มต้นในปี ค.ศ. 1917 ไอน์สไตน์ (Einstein) อธิบายหลักการของการปลดปล่อยแบบกระตุ้น (Stimulated Emission) ของโฟตอนในอะตอม

ในปี ค.ศ. 1954 กอร์ดอน และคณะ (Gordon and other.) แห่งมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย สหรัฐอเมริกา ได้สร้างเมเซอร์ (Maser) ซึ่งมาจากคำเต็มว่า (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) สำเร็จเป็นครั้งแรก โดยอาศัยหลักการของการปลดปล่อยแบบกระตุ้นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงไมโครเวฟ .

ในปี ค.ศ. 1958 ชาวลโล และทาวเนส (Schawlow and Townes.) เสนอว่าสามารถใช้หลักการของเมเซอร์ในการผลิตคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงที่ตามองเห็น เรียกว่า เมเซอร์เชิงทัศน (optical maser) หรือเลเซอร์ได้ ซึ่ง 2 ปีต่อมา ไมมาน (Maiman) แห่งห้องปฏิบัติการวิจัยของบริษัทฮิวส์แห่งสหรัฐอเมริกา ได้สร้างเลเซอร์สำเร็จเป็นครั้งแรก โดยเลเซอร์เครื่องแรกนี้เป็นเลเซอร์ทับทิม (ruby laser) ให้แสงสีชมพูเป็นช่วงๆ (pulse) มีความยาวคลื่น 694.3 นาโนเมตร

ต่อมาในปี ค.ศ. 1960 จาแวน และคณะ (Javan and other.) ได้สร้างก๊าซเลเซอร์โดยใช้ก๊าซผสมระหว่างฮีเลียมกับนีออนเป็นเลเซอร์ก๊าซเครื่องแรก ซึ่งใช้รังสีอินฟราเรดอย่างค่อนเนื่องที่มีความยาวคลื่น 1.15 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี ค.ศ. 1962 ริคเดนและไวท์ (Rigden and White) แห่งห้องปฏิบัติการเบลล์ ได้ประสบความสำเร็จในการสร้างฮีเลียม-นีออน ที่ให้สีแดงอย่างต่อเนื่องที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร ซึ่งถือว่าเป็นเลเซอร์เครื่องแรกที่ทำงานอย่างต่อเนื่องในช่วงที่ตามองเห็น

จากปี ค.ศ. 1962 เป็นต้นมา ได้มีการค้นพบเลเซอร์ แบบอื่นๆอีกมากมาย ซึ่งสรุปเฉพาะการพัฒนาด้านก๊าซเลเซอร์ที่สำคัญ ได้ดังนี้

ค.ศ. 1963 แมทเทียส และ ปาร์กเกอร์ (Mathias and Parker.) ได้สร้างไนโตรเจนเลเซอร์ ซึ่งให้แสงเลเซอร์ในย่านอินฟราเรด 860 - 1240 นาโนเมตร และ เฮิร์ด (Heard.) พบว่าไนโตรเจนเลเซอร์สามารถให้แสงเลเซอร์ในย่านอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร

ค.ศ. 1964 บริจ (Bridges.) แห่งบริษัทฮิวส์ สร้างเลเซอร์อาร์กอนเป็นครั้งแรก ในปีเดียวกัน เบลล์ (Bell.) แห่งบริษัทสเปกตรอฟิสิกส์ ก็สามารถสร้างเลเซอร์อาร์กอนได้เช่นกันและ พาเทล (Patel.) สร้างเลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide laser) กำลังต่ำขึ้นเป็นครั้งแรก

ค.ศ. 1966 วอลเตอร์ (Walter.) แห่งสถาบันโพลิเทคนิค บรูคลิน สหรัฐอเมริกา ได้สร้างเลเซอร์คอปเปอร์เวปเปอร์ (Copper vapor laser)

ค.ศ. 1968 ได้มีการสร้าง เลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า 200 วัตต์เป็นครั้งแรก อีกทั้งมีการสร้างเลเซอร์ฮีเลียม-แคดเมียม (He-Cd Laser) เป็นครั้งแรก

1.2 การวิจัยและพัฒนาไนโตรเจนเลเซอร์ในต่างประเทศ

ไนโตรเจนเลเซอร์เป็นชนิดเลเซอร์ก๊าซโมเลกุล (molecular gas laser) ที่ให้แสงเลเซอร์ย่านอินฟราเรด (860 - 1240 นาโนเมตร)

ในปีเดียวกันคือ ค.ศ. 1963 เฮิร์ดสร้างไนโตรเจนเลเซอร์ในย่านอัลตราไวโอเล็ต และพบว่าเส้นสเปกตรัมที่มีความเข้มมากที่สุด มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร เป็นที่เข้าใจกันว่า เมื่อก้าวถึงไนโตรเจนเลเซอร์ก็จะหมายถึงแสงเลเซอร์ความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร เนื่องจากลำแสงเลเซอร์ที่ได้มีลักษณะเป็นพัลส์ อีกทั้งระบบของไนโตรเจนเลเซอร์ไม่ยุ่งยาก จึงได้มีการวิจัยและพัฒนาเลเซอร์ชนิดนี้กันอย่างกว้างขวางมาก

ในระยะแรกๆ หลังจากที่เฮิร์ดค้นพบระบบของไนโตรเจนเลเซอร์ การวิจัยและพัฒนา ยังคงเป็นระบบความดันต่ำ ซึ่งมีการกระตุ้นเป็นพัลส์ดิซชาร์จ (pulse discharge) มีด้วยกันสองลักษณะคือ ไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามยาว (Longitudinal excitation N_2 laser : LE- N_2 laser) ซึ่งเป็นแบบที่ลำแสงเลเซอร์มีทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้า อีกแบบหนึ่งคือไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวาง (Transverse excitation nitrogen laser : TE- N_2 laser) เป็นแบบที่ให้ลำแสงในทิศตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาในปี ค.ศ. 1968 สเวดเบอร์ก (Svedberg.) ได้สร้างระบบไนโตรเจนเลเซอร์แบบ กระตุ้นตามขวาง ที่มีความดันภายในช่องเลเซอร์เท่ากับความดันบรรยากาศ (Transversely Excited at Atmospheric Pressure N_2 laser : TEA- N_2 laser)

หลังจากนั้น ได้มีการวิจัยและพัฒนาไนโตรเจนเลเซอร์แบบ ทีอีเอ (TEA) ขนาดต่างๆ กัน โดยมีขั้วไฟฟ้าภายในช่องเลเซอร์ที่มีความยาวตั้งแต่ 10 - 100 เซนติเมตร เนื่องจากความยาวของขั้วไฟฟ้า ภายในช่องเลเซอร์ที่ดีที่สุดมีความยาว 40 เซนติเมตร เพราะเกิดสภาวะของการอิมพัลส์ของ ไนโตรเจนเลเซอร์

ไนโตรเจนเลเซอร์แบบ ทีอีเอ สามารถให้แสงที่มีพัลส์ช่วงสั้นๆ และมีกำลังขาออกสูง ทั้งสามารถออกแบบให้มีขนาดกระทัดรัดได้อีกด้วย และที่สำคัญที่สุดไม่ต้องใช้ระบบสุญญากาศ ดังนั้นไนโตรเจนเลเซอร์แบบนี้จึงเป็นที่นิยมสร้างกันมาก

ในปี ค.ศ.1982 ริควูด และแมกอินเนส (Rickwood and McInnes.) ได้เริ่มใช้ตัวนำพรีไอออนไนซ์แบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor preionizer) มาใช้กับระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ โดยมีสารกึ่งตัวนำสองชนิดที่นำมาใช้คือ เยอรมันเนียม(Ge) และซิลิคอน (Si)

ต่อมาในปี ค.ศ. 1986 ริควูด และเซราเฟตินิดส์ (Rickwood and Serafetinides.) ก็ได้นำเทคนิคนี้มาใช้กับระบบไนโตรเจนเลเซอร์ ตัวพรีไอออนไนซ์แบบสารกึ่งตัวนำนี้ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์ ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ แต่ตัวพรีไอออนไนซ์แบบสารกึ่งตัวนำต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการสร้างสูง และหากต้องการสร้างระบบเลเซอร์ที่มีขนาดใหญ่ และมีกำลังสูง การสร้างตัว พรีไอออนไนซ์ทำได้ยาก จึงมีปัญหา

ต่อมา ความสนใจในการที่จะพัฒนาให้ได้ระบบเลเซอร์ที่มีขนาดกระทัดรัด เบา ราคาไม่แพง ทำให้เกิดเลเซอร์แบบ ทีอีเอ ที่ความดันบรรยากาศ ใช้วัสดุใหม่มาแทนตัวพรีไอออนไนซ์แบบสารกึ่งตัวนำ โดยสารที่จะมาใช้นี้จะต้องทำให้ระบบเลเซอร์มีการดิสชาร์จที่สม่ำเสมอสามารถใช้งานได้นาน

1.3 การวิจัยและพัฒนาไนโตรเจนเลเซอร์ในประเทศไทย

ปี พ.ศ. 2527 บัณฑิต ณ. ลำพูน ได้สร้างไนโตรเจนเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวาง ที่ความดันต่ำ ที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปี พ.ศ. 2530 ประสาทพร จรุงจา และ ประเสริฐ ไกรสิงห์เดชา ได้สร้างไนโตรเจนเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันต่ำ ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตทับแก้ว

ปี พ.ศ. 2532 ชัยวิทย์ ศิลาวชิรนาโณ และ คณะ ได้สร้างไนโตรเจนเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศต่ำ ที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปี พ.ศ. 2533 วรรณพงษ์ เตรียมโพธิ์ และ ธนากร โอสดจันท์ ได้สร้างไนโตรเจนเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันต่ำ ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปี พ.ศ. 2539 รัตน์สุดา ทองแดง และ ปิยะรัช ศรีเหนียง ได้สร้างไนโตรเจนเลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ (TEA N_2 Laser) ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เนื่องจากการทำงานของ TEA N_2 Laser ยังคงมีความบกพร่องในเรื่องของอัตราการสปาร์กที่ไม่สม่ำเสมอ จึงได้มีการพัฒนาและสร้างวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์ขึ้น โดยประยุกต์ใช้หลักการของระบบจุดระเบิดในรถจักรยานยนต์ ดังจะได้อธิบายหลักการการทำงานต่อไป

1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- เพื่อศึกษาการเหนี่ยวนำให้เกิดการสปาร์กด้วยวิธีการต่างๆ
- เพื่อศึกษาหลักการทำงานและประยุกต์ใช้ระบบจุดระเบิด CDI
- เพื่อทดลองสร้างวงจรกระตุ้นโดยอาศัยหลักการของระบบ CDI
- เพื่อทดลองใช้วงจรกระตุ้นเหนี่ยวนำให้เกิดการสปาร์กที่สปาร์กแคปด้วยอัตราที่สม่ำเสมอ
- เพื่อพัฒนาและปรับปรุงให้แหล่งกำเนิดเลเซอร์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.5 ขอบเขตของโครงการ

- สร้างระบบจ่ายไฟกำลังสูง
- สร้างวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น (clock)
- ประกอบส่วนต่างๆ เป็นวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์ที่สมบูรณ์
- ทดสอบการทำงานของวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์
- ทดสอบวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์กับแหล่งกำเนิดเลเซอร์
- ทดสอบคุณสมบัติเฉพาะของเลเซอร์ ที่ขึ้นกับพารามิเตอร์ต่างๆ

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีของเลเซอร์

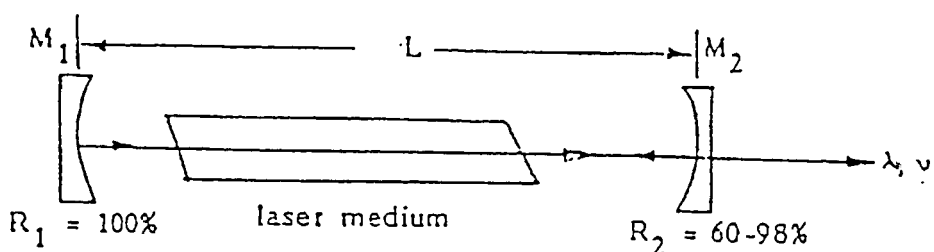
2.1.1 ทฤษฎีของเลเซอร์ทั่วไป

องค์ประกอบที่สำคัญในการเกิดแสงเลเซอร์มี 3 ประการคือ

1. สารเลเซอร์ หรือที่เรียกว่า เลเซอร์มีเดีย (Laser medium) เลเซอร์มีเดียนี้จะต้องมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถทำให้เกิดประชากรผกผัน (Population inversion) ขึ้นภายในเนื้อสาร และสามารถทำให้เกิดขบวนการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอะตอมหรือ โมเลกุลแบบstimulated emission ได้ ตัวอย่างเลเซอร์มีเดียได้แก่ แท่งผลึกทับทิม(Ruby crystal) ก๊าซผสมระหว่างก๊าซฮีเลียมและก๊าซนีออน (Helium + Neon) ในอัตราส่วนที่เหมาะสม และสารละลายสีย้อมผ้า(Dye Solution) เป็นต้น

2. ระบบจ่ายกำลัง (Power Supply) ระบบจ่ายกำลังนี้จะเกี่ยวข้องกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ศักดาสูง(High Voltage electronics circuit) ซึ่งทำหน้าที่จ่ายกำลังทางไฟฟ้าที่ศักดาสูง เพื่อไปทำการกระตุ้นสารเลเซอร์ หรือ เลเซอร์มีเดีย ให้เกิดประชากรผกผัน การกระตุ้นเลเซอร์มีเดียนี้ทำได้หลายรูปแบบ ทั้งนี้แล้วแต่ความเหมาะสมที่ต้องใช้กับเลเซอร์มีเดียนั้น

3. ออปติคัลเรโซเนเตอร์ (Optical resonator) ระบบเลเซอร์โดยส่วนมากแล้ว มีความจำเป็นต้องมีออปติคัลเรโซเนเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่ให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (หรือ โฟตอน) ที่เกิดจากขบวนการstimulated emission สะท้อนกลับไปมาผ่านเลเซอร์มีเดีย โดยที่เลเซอร์มีเดียจะได้ขยาย (amplify) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นให้มีความเข้มสูงมากขึ้นจนในที่สุดก็จะเป็นแสงเลเซอร์ออกมา ระบบออปติคัลเรโซเนเตอร์ประกอบด้วยกระจกเคลือบไดอิเล็กทริกหลายๆ ชั้น ปิดหัวและปิดท้าย เลเซอร์มีเดียกระจกเหล่านั้นจะมีค่าสะท้อนกลับ(Reflectivity)ที่ช่วงคลื่นของเลเซอร์เป็น $R_1=100%$ และ $R_2 = 65\% - 95%$ ดังรูป 2.1



รูปที่ 2.1 หลักการของเรโซเนเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟตอนที่เกิดจากการปลดปล่อยแบบกระตุ้นวิ่งไปมาในตัวกลางเลเซอร์ทำให้เกิดการขยายอันมีผลทำให้เลเซอร์ที่ได้มีความเข้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดที่ทำให้เกิดการแกว่งกวัดทางเลเซอร์ (laser-oscillator) โดยมีเงื่อนไขว่าการขยาย (gain) ของการแกว่งกวัดทางเลเซอร์จะต้องมีค่าเท่ากับการสูญเสียในเรโซเนเตอร์ เรียกว่าการขยายขีดเริ่ม (Threshold gain) โดยกำหนดให้เป็น β_{th}

กำหนดให้ R_1, R_2 เป็นค่าสะท้อนกลับที่กระจก M_1, M_2
 α_1 เป็นการสูญเสียพลังงานต่อระยะทาง
 L เป็นระยะห่างระหว่างกระจก M_1, M_2
 β เป็นสัมประสิทธิ์การขยายสัญญาณน้อยๆ

จะได้สมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มเลเซอร์ กับระยะห่างของกระจกเลเซอร์

$$I = I_0 e^{(\beta - \alpha_1)L} \quad (2.1)$$

ความเข้มเลเซอร์ที่สะท้อนจากกระจก M_2 คือ

$$M_2 = R_2 \exp[(\beta - \alpha_1)L] \quad (2.2)$$

เมื่อครบหนึ่งรอบคือสะท้อนที่ M_1 ความเข้มจะเป็น G

$$G = R_1 R_2 \exp[2(\beta - \alpha_1)L] \quad (2.3)$$

$G =$ [ความเข้มของแสงภายหลังวิ่งครบหนึ่งรอบ / ความเข้มของแสงเมื่อตอนเริ่มต้น]

ดังนั้น G คือกำลังขยายรวมของเลเซอร์เมื่อโฟตอนวิ่งครบหนึ่งรอบ

ถ้า G มากกว่า 1 จะเกิดการเพิ่มพลังงานของโฟตอนภายในหลอดเลเซอร์ เงื่อนไขขีดเริ่มของการเกิดการแกว่งกวัดทางเลเซอร์ คือ

$$G = 1 = R_1 R_2 \exp[2(\beta_{th} - \alpha_1)L] \quad (2.4)$$

โดยที่ β_{th} คือการขยายขีดเริ่มหรือการขยายที่พอดีเกิดเลเซอร์จากสมการ (2.4) จะได้ว่า

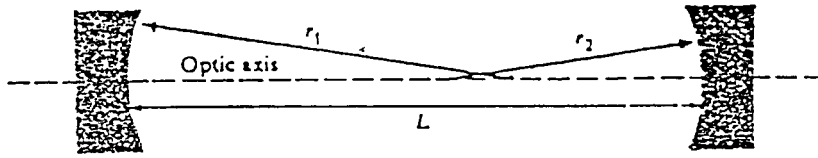
$$\beta_{th} = \alpha_1 + 1/2L \ln |1 / R_1 R_2| = \alpha_1 + \alpha_0 \quad (2.5)$$

โดยที่ $\alpha_1 =$ การสูญเสียพลังงานโฟตอนในการดูดกลืนและการกระเจิงภายในตัวกลางเลเซอร์

และ $\alpha_0 =$ การสูญเสียพลังงานโฟตอนในส่วนของลำแสงเลเซอร์นอกระลอก

จากสมการที่ (2.5) ในการเกิดการแกว่งกวัดทางเลเซอร์ได้นั้น กำลังขยายจะต้องมีค่าเท่ากับผลรวมของการสูญเสีย

จากที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่าจำเป็นที่จะต้องใช้กระจกที่เหมาะสมในการจัดระยะ L ระหว่าง M_1 และ M_2 เพื่อให้เกิดเสถียรภาพ (stability) ซึ่งจะทำการแกว่งกวัดทางเลเซอร์ง่ายขึ้น



รูปที่ 2.2 การจัดกล่องเรโซแนนซ์

จากรูปให้ r_1, r_2 เป็นรัศมีของกระจก M_1, M_2 ตามลำดับ

L เป็นระยะระหว่างกระจก

กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ โดยค่า g คือพารามิเตอร์ของตัวสั้นพ้องโดยกำหนดว่า

$$g_1 = 1 - L/r_1 \quad , \quad g_2 = 1 - L/r_2 \quad (2.6)$$

ถ้า r มากกว่าศูนย์เป็นกระจกเว้า

r น้อยกว่าศูนย์เป็นกระจกนูน

เสถียรภาพของเรโซแนนซ์จะเกิดขึ้นเมื่อ

$$0 < g_1 g_2 < 1 \quad (2.7)$$

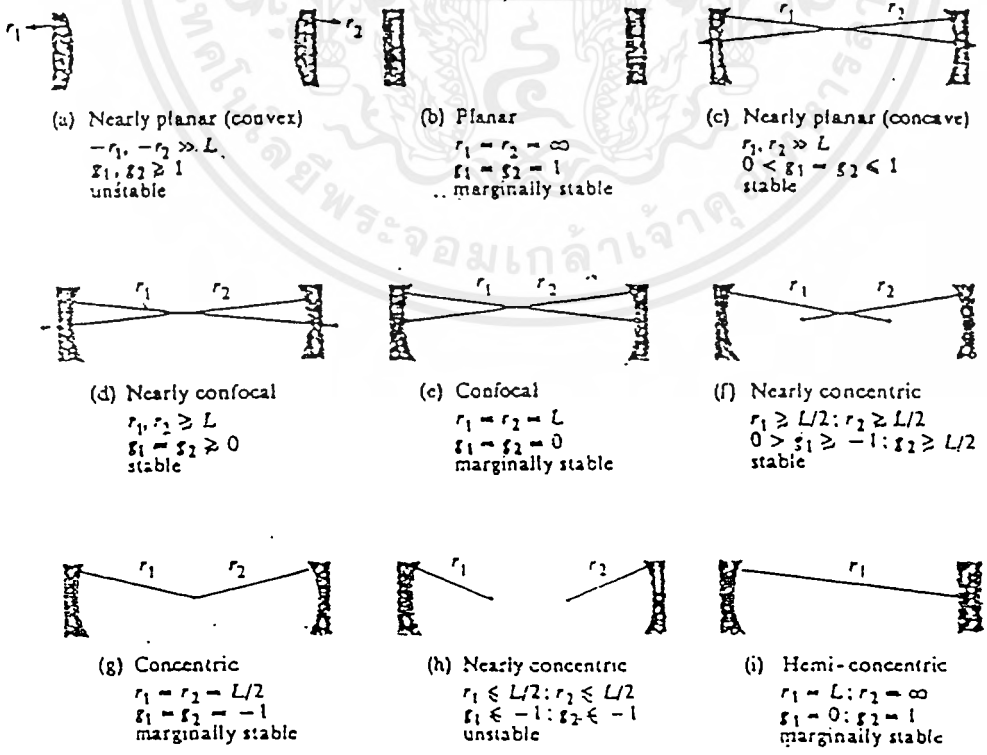
และเรโซแนนซ์จะไม่เสถียรเมื่อ

$$g_1 g_2 < 0 \quad \text{หรือ} \quad g_1 g_2 > 1 \quad (2.8)$$

ส่วนกรณีของ

$$g_1 g_2 = 0 \quad \text{และ} \quad g_1 g_2 = 1$$

คือเสถียรภาพขอบเขต



รูปที่ 2.3 การจัดเรโซเนเตอร์แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นในการเลือกชนิดของกระจก M_1 และ M_2 และการจัดเรโซเนเตอร์ จึงมีส่วนสำคัญในการเกิดการแกว่งกวัดเลเซอร์ นอกจากการเกิดประชากรผกผัน

ในปี ค.ศ. 1917 ไอน์สไตน์เสนอขบวนการปลดปล่อยโฟตอนของอะตอมแบบกระตุ้น (Stimulated emission) โดยพิจารณาอันตรกิริยาของโฟตอนกับอะตอมมี 3 แบบด้วยกัน คือ

1. การดูดกลืนแบบกระตุ้น

ถ้ามีโฟตอนจากภายนอกมากระตุ้นให้อะตอมเปลี่ยนระดับพลังงาน จากระดับพลังงานต่ำ E_1 ไปสู่ระดับพลังงานที่สูงกว่า E_2 อะตอมจะดูดกลืนโฟตอนที่มีพลังงานเท่ากับผลต่างของระดับพลังงาน เรียกขบวนการนี้ว่าขบวนการดูดกลืนแบบกระตุ้น ดังรูปที่ 2.4(ก) โดยเขียนสมการพลังงานของการดูดกลืนได้ดังนี้
$$h\nu_{21} = E_2 - E_1 = \Delta E \quad (2.9)$$

ในเมื่อ ν_{21} = ความถี่ของโฟตอนที่ถูกดูดกลืน

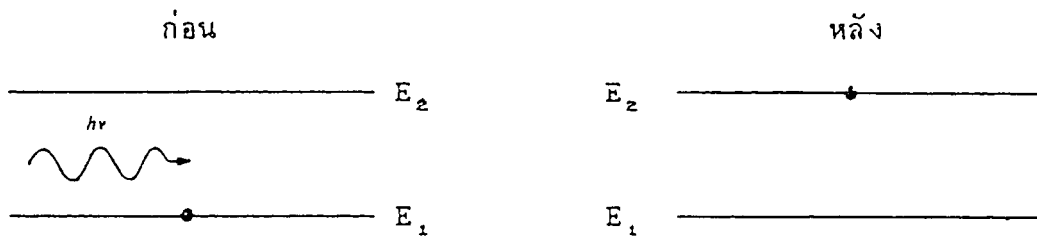
h = ค่าคงที่ของพลังค์

2. การปลดปล่อยโฟตอนแบบธรรมชาติ (Spontaneous emission)

ถ้าอะตอมที่อยู่ระดับพลังงานที่สูงกว่า E_2 อะตอมจะอยู่ที่ระดับพลังงานนั้นได้ไม่นาน (ประมาณ 10^{-4} - 10^{-8} วินาที) ก็จะปลดปล่อยโฟตอนออกมาซึ่งมีความถี่ $\nu_{21} = (E_2 - E_1)/h$ แล้วทำให้อะตอมกลับมาอยู่ในระดับพลังงานต่ำ E_1 ดังรูปที่ 2.4(ข) เรียกขบวนการนี้ว่า การปลดปล่อยโฟตอนแบบธรรมชาติ

3. การปลดปล่อยโฟตอนแบบกระตุ้น (Stimulated emission)

ในรูปที่ 2.4(ค) ถ้าอะตอมขณะเริ่มต้นอยู่ที่ระดับพลังงาน E_2 และมีโฟตอนภายนอกความถี่ $\nu = (E_2 - E_1)/h$ เข้ามากระตุ้นทำให้อะตอมเปลี่ยนระดับพลังงาน และในที่สุดอะตอมจะกลับมายังระดับพลังงาน E_1 ขณะเดียวกัน จะมีการปลดปล่อยโฟตอนออกมาเพิ่มอีกตัวร่วมกับตัวเดิม กลายเป็นสองตัว ดังรูป 2.4(ค) ทางขวามือ เรียกขบวนการนี้ว่าการปลดปล่อยแบบกระตุ้น จุดสำคัญของการปลดปล่อยโฟตอนโดยวิธีการปลดปล่อยแบบกระตุ้นมี 2 ประการ คือ ประการแรก พลังงานของโฟตอนตัวที่ 2 ที่เกิดจากการกระตุ้นจะเท่ากับพลังงานของโฟตอนตัวแรก นั่นคือความถี่หรือความยาวคลื่นของโฟตอนทั้งสองเท่ากัน และประการที่ 2 โฟตอนทั้งสองจะมีเฟสเดียวกัน ซึ่งเรียกว่ามีความเป็นอาพันธ์



รูปที่ 2.4(ก) การดูดกลืนโฟตอนแบบกระตุ้น



รูปที่ 2.4(ข) การปลดปล่อยโฟตอนแบบธรรมชาติ



รูปที่ 2.4(ค) การปลดปล่อยโฟตอนแบบกระตุ้น

2.1.2 การเพิ่มพลังงานให้กับตัวกลางเลเซอร์

ในการเพิ่มพลังงานให้กับอะตอมหรือ โมเลกุลของตัวกลางเลเซอร์ เพื่อให้เกิดประชากร ผกผัน จำเป็นต้องศึกษาทฤษฎีสถิติของระบบของก๊าซ โดยใช้การแจกแจงของโบลซ์มาน ดังสมการ

$$N_j = N_i \exp(-\Delta E_{ji} / kT) \tag{2.10}$$

โดยที่ E_i = พลังงานในระดับพลังงานต่ำ

E_j = พลังงานในระดับพลังงานซึ่งสูงกว่า

N_j = จำนวนอะตอมในระดับพลังงาน $|j\rangle$

N_i = จำนวนอะตอมในระดับพลังงาน $|i\rangle$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

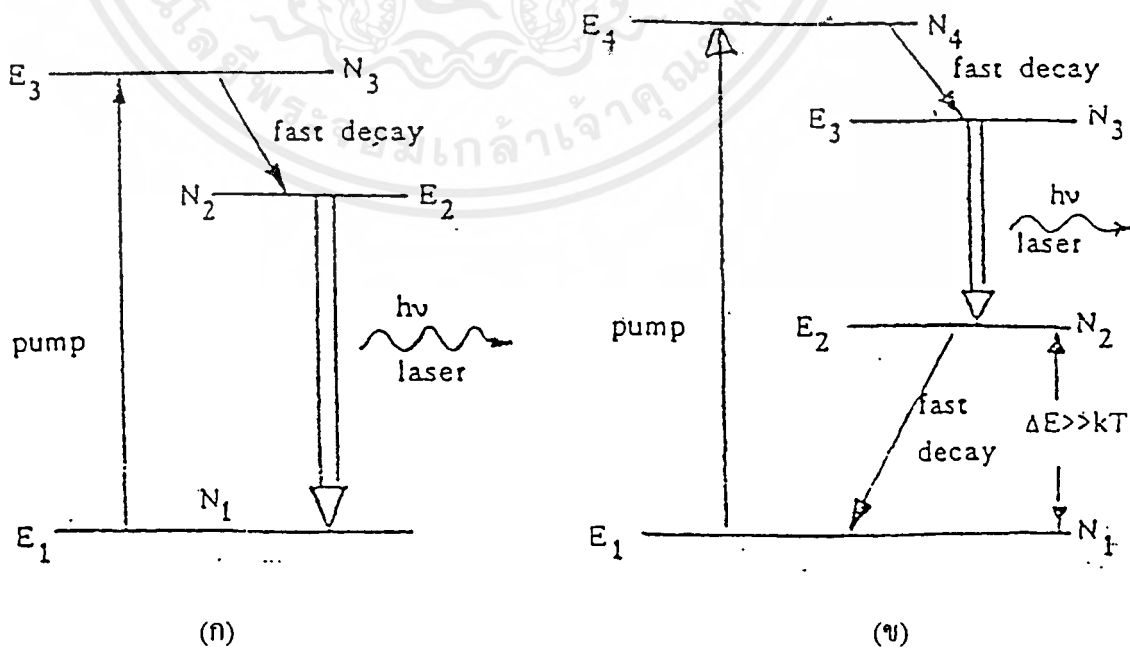
จากสมการที่ (2.10) จะเห็นว่าจำนวนอะตอม N_2 จะมีค่ามากกว่าจำนวนอะตอม N_1 เสมอ ดังนั้นการเกิดประชากรผกผันจึงเป็นขบวนการที่ผิดปกติจากธรรมชาติ โดยต้องทำให้ระบบของอะตอมของตัวกลางเลเซอร์มีจำนวนอะตอม $N_2 > N_1$ ซึ่งมีตัวกลางบางชนิดเท่านั้นสามารถทำให้เกิดประชากรผกผันได้ การเพิ่มพลังงานดังกล่าวมีหลายวิธี เช่น

- การใช้แสง
- การใช้การคายประจุของอิเล็กตรอน
- การชนด้วยลำอิเล็กตรอน
- การใช้เลเซอร์ชนิดอื่นมาเพิ่มพลังงาน
- การใช้ปฏิกิริยาทางเคมีที่ให้พลังงานจำนวนมากอย่างรวดเร็ว

2.1.3 ตัวอย่างการเพิ่มพลังงาน

1. การเพิ่มพลังงาน 3 ระดับ (Three level pumping)

เมื่ออะตอมซึ่งเดิมมีพลังงาน E_1 เปลี่ยนสถานะไปสู่ระดับพลังงาน E_3 อะตอมเหล่านี้บางส่วนจะลดพลังงานอย่างรวดเร็วมาสู่ระดับ E_2 ทำให้จำนวนอะตอมในระดับนี้มีค่าเป็น N_2 อะตอมเหล่านี้จะอยู่ในระดับนี้นาน เมื่อเทียบกับเวลาในระดับพลังงานอื่น เมื่อจำนวนอะตอม N_2 มากกว่า N_1 โดย N_1 เป็นจำนวนอะตอมในระดับพลังงาน E_1 ที่เหลืออยู่ จะเกิดสภาพประชากรผกผันและเมื่ออะตอมเปลี่ยนระดับพลังงานจาก E_2 ไปสู่ E_1 ก็จะปล่อยแสงเลเซอร์ออกมาเมื่อถูกกระตุ้น ตัวอย่างของเลเซอร์ที่เกิดจากขบวนการนี้ คือ เลเซอร์ทับทิม



รูปที่ 2.5 การเกิดเลเซอร์ชนิด 3 ระดับ และชนิด 4 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเพิ่มพลังงาน 4 ระดับ (four level pumping)

รูปที่ 2.5(ข) คือขบวนการเกิดเลเซอร์ 4 ระดับ ซึ่งจะต้องมีจำนวนอะตอม N_3 มากกว่า N_2 ในรูปอะตอม N_1 รับพลังงานแล้วจะไปสู่ระดับพลังงาน E_4 เป็นจำนวน N_4 และลดพลังงานอย่างรวดเร็วมาอยู่ที่ E_3 ทำให้ระดับพลังงานนี้มีจำนวนอะตอมเป็น N_3 เมื่ออะตอมเหล่านี้ปลดปล่อยแสงเลเซอร์พลังงาน $E = h\nu_{32}$ ก็จะลดพลังงานมาสู่ E_2 อะตอมที่อยู่ในระดับพลังงานนี้มี N_2 ตัว ลดพลังงานมาสู่ E_1 ข้อสังเกต $\Delta E = E_2 - E_1 > kT$ ป้องกันมิให้อะตอม N_1 ไปสู่ N_2 โดยขบวนการกระตุ้นทางความร้อนทำให้ N_3 มากกว่า N_2 อยู่เสมอ ดังเช่น ซีเลียม-นियोบ เลเซอร์

2.2 ทฤษฎีของไนโตรเจนเลเซอร์

ไนโตรเจนเลเซอร์เป็นเลเซอร์ที่มีก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวกลาง มีสัญลักษณ์ทางเคมี N^{14} และมีการจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนดังแสดงในตารางที่ 1 ตารางที่ 1 การเรียงตัวของอิเล็กตรอนในโมเลกุลของไนโตรเจน

Molecule	State	$^1\pi_u$	$^3\sigma_g$	$^1\pi_g$	$^3\sigma_u$	Other
N_2	$X^1\Sigma_g^+$	4	2	0	0	
	$A^3\Sigma_u^+$	3	2	1	0	
	$W^1\Delta_u$	3	2	1	0	
	$B^3\Pi_g$	4	1	1	0	
	$B'^3\Sigma_u^-$	3	2	1	0	
	$a'^1\Sigma_u^-$	3	2	1	0	
	$a^1\Pi_g$	4	1	1	0	
	$W^1\Delta_u$	3	2	1	0	
	$^5\Sigma_g^+$	2	2	2	0	
		3	1	1	1	
	$^7\Sigma_u^+$	2	1	2	1	
	$C^3\Pi_u$	4	2	1	0	$-2\sigma_u$
	$^5\Pi_u$	3	1	2	0	
	$E^3\Sigma_g^+$	4	1	0	0	$3s\sigma_g$
	$C'^3\Pi_u$	3	1	2	0	
	$b'^1\Sigma_u^+$	3	2	1	0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ห้อยท้ายของระดับพลังงานโมเลกุล π_u , π_g มาจากภาษาเยอรมันที่เรียกว่า ฟังก์ชันคลื่น โดย

Φ_{even} เป็นฟังก์ชันคู่เรียกว่าสถานะ g มาจากคำว่า gerade แปลว่าคู่

ฟังก์ชันคี่ Φ_{odd} เป็นฟังก์ชันคี่เรียกว่าสถานะ u มาจากคำว่า ungerade แปลว่าคี่

ในการเกิดไนโตรเจนเลเซอร์จำเป็นต้องเพิ่มพลังงานให้กับอิเล็กตรอนในสถานะพื้นไปสู่ระดับพลังงานเพื่อให้เกิดจำนวนประชากรผกผัน เนื่องจากว่าได้มีนักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาวิชาสเปกโตรสโคปีไว้ก่อนแล้ว และยังสามารถวัดช่วงเวลาของระดับพลังงานอิเล็กตรอนในระดับพลังงานต่างๆ เช่น

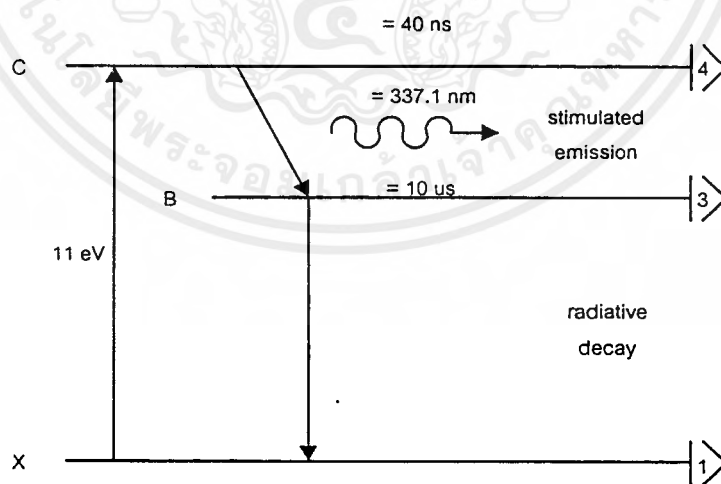
อิเล็กตรอนในระดับ $C^1\pi_u$ มีช่วงเวลา 40 นาโนวินาทีที่ความดันต่ำ และ 2.6 นาโนวินาทีที่ความดันบรรยากาศ

อิเล็กตรอนในระดับ $B^1\pi_g$ มีช่วงเวลา 10 ไมโครวินาที

อิเล็กตรอนในระดับ $A^1\Sigma_u^+$ มีช่วงเวลา 10 มิลลิวินาที

จึงทำให้เป็นการสะดวก ในการที่จะหาวงจรที่ให้แรงดันไฟฟ้าแรงสูงในเวลาสั้นๆ เพื่อเพิ่มพลังงานให้กับอิเล็กตรอนในโมเลกุลของไนโตรเจน

2.2.1 การเกิดแสงเลเซอร์ของไนโตรเจนเลเซอร์



รูปที่ 2.6 ระดับพลังงาน 3 ระดับของโมเลกุลไนโตรเจน ซึ่งให้แสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร

จากรูปที่ 2.6 โมเลกุลไนโตรเจนได้รับพลังงานและเปลี่ยนสถานะจากระดับที่ $|1\rangle$ ไปยังระดับที่ $|4\rangle$ ผลต่างของระดับพลังงานสองระดับนี้มีค่าประมาณ 11 อิเล็กตรอนโวลต์ แล้วจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงจากระดับที่ $|4\rangle$ มายังระดับ $|3\rangle$ ซึ่งจะให้โฟตอนมีความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตร จึงต้องมีกระบวนการของประชากรผกผัน และการปลดปล่อยโดยการกระตุ้นระหว่างระดับพลังงานที่ $|4\rangle$ กับที่ $|3\rangle$ แต่เนื่องจากช่วงชีวิต (life time) ของโมเลกุลไนโตรเจนในระดับที่ $|4\rangle$ มีเวลาเพียง 40 นาโนวินาที และในระดับที่ $|3\rangle$ นานเพียง 10 ไมโครวินาที ดังนั้นในการที่จะทำให้เกิดการผกผันของประชากรระหว่างระดับพลังงาน ทั้งสองนั้น จำเป็นจะต้องกระตุ้นให้โมเลกุลไนโตรเจนขึ้นไปทีระดับที่ $|4\rangle$ ด้วยเวลาที่น้อยกว่า 40 นาโนวินาที จึงต้องใช้วงจรกระตุ้นแบบพัลส์ที่รวดเร็วมาก ซึ่งเป็นวงจรที่มีความหนึ่ยว่นานากๆ นั่นเอง

เนื่องจากการกระตุ้นนี้ใช้เวลาสั้นมากๆ ทำให้จำนวนประชากรในระดับที่ $|4\rangle$ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อถึงระดับที่พอเหมาะพร้อมกับการปลดปล่อยโฟตอน ดังนั้นแสงเลเซอร์จึงเกิดในเวลาสั้นมากและมีความเข้มสูง เรียกว่าเป็นเลเซอร์ชนิดปลดปล่อยพลังงานอย่างยั้งยวด (Superradiant spontaneous emission) ซึ่งทำให้เกิดเลเซอร์ชนิดที่ไม่ต้องใช้กระจก (mirrorless lasing) และเป็นแบบพัลส์

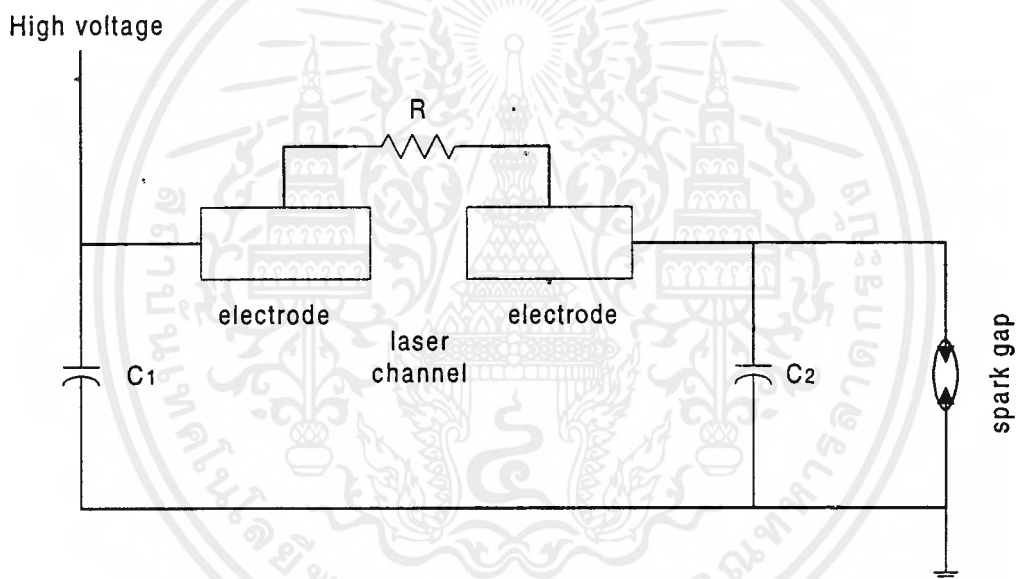
2.2.2 หลักการและการคำนวณ

ไนโตรเจนเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ (Transverse Excited at Atmospheric Pressure - N_2 laser) สามารถให้แสงที่เป็นพัลส์แคบ และมีกำลังสูง อีกทั้งสามารถออกแบบให้มีขนาดกระทัดรัดได้อีกด้วย และที่สำคัญที่สุด คือไม่ต้องใช้ระบบสุญญากาศ ซึ่งในการสร้างและพัฒนาระบบไนโตรเจนแบบ ทีอีเอ นี้เราสนใจเฉพาะไนโตรเจนเลเซอร์ ที่ให้แสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ตและที่ความยาวคลื่น 337.1 นาโนเมตรเท่านั้น จึงต้องมีขบวนการของประชากรผกผันประชากร (Population inversion) และการปลดปล่อยโดยการกระตุ้น (Stimulated emission) ระหว่างระดับพลังงานที่ 3 กับที่ 4 แต่เนื่องจาก life time ของโมเลกุลไนโตรเจนในระดับที่ 4 นานเพียง 40 นาโนวินาที และในระดับที่ 3 นานเพียง 10 ไมโครวินาที ดังนั้นในการที่จะทำให้เกิดการผกผันของประชากรระหว่างระดับพลังงานทั้งสองนั้น จำเป็นจะต้องกระตุ้นให้โมเลกุลไนโตรเจนขึ้นไปทีระดับที่ 4 ด้วยเวลาที่น้อยกว่า 40 นาโนวินาที จึงต้องใช้วงจรกระตุ้น กระตุ้นแบบพัลส์รวมเร็วมาก ซึ่งคือวงจรที่มีค่าอินดัคแตนซ์ต่ำๆ นั่นเอง วงจรที่มีลักษณะเช่นนี้ได้แก่ วงจรคาปาซิเตอร์ชาร์จทรานสเฟอร์ (capacitor-charge transfer circuit) และวงจรบลัมไลน์ (Blumline circuit) เป็นต้น

ในโครงงานนี้ ได้เลือกใช้วงจรปลั๊กไลน์เป็นวงจรกระตุ้นของไนโตรเจนเลเซอร์ เพราะว่าเป็นวงจรที่สร้างได้ง่ายและนิยมใช้กันมากที่สุดดังนั้นในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะวงจรปลั๊กไลน์เท่านั้น

การทำงานของวงจรปลั๊กไลน์ สามารถอธิบายได้ดังนี้ สตอเรจคาปาซิเตอร์ (storage capacitor) C_1 และพัลส์ฟอร์มมิงไลน์คาปาซิเตอร์ (pulse forming line) C_2 ถูกประจุจนเต็มจากแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง HV เมื่อสปาร์กแกปทำงานประจุใน C_2 จะไหลลงกราวด์อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดความต่างศักย์ตกคร่อมระหว่างช่องเลเซอร์ มีค่าเท่ากับความต่างศักย์จากแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง

เนื่องจากขั้วอิเล็กโทรดที่ต่อกับ C_2 ในขณะนี้มีศักย์เท่ากับกราวด์ ดังนั้นจึงเกิดการคายประจุของ C_1 อย่างรวดเร็ว ผ่านขั้วไฟฟ้าภายในช่องเลเซอร์ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมก็จะเกิดแสงเลเซอร์ออกมา ตามแนวยาวของช่องเลเซอร์



รูปที่ 2.7 วงจรปลั๊กไลน์

2.2.8 ทีอีเอ ไนโตรเจนเลเซอร์ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- ขั้วไฟฟ้า และช่องเลเซอร์
- ระบบจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง
- ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน
- ระบบจ่ายก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่ช่องเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

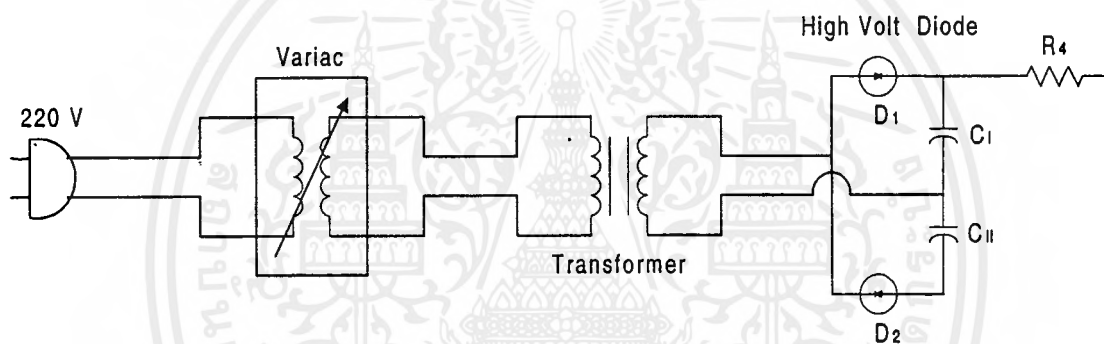
2.2.4 ขั้วไฟฟ้า

วัสดุที่จะใช้เป็นขั้วไฟฟ้า ได้แก่แก๊อลูมิเนียม วางขนานกัน 2 อัน สำหรับช่องของขั้วไฟฟ้าแต่ละขอบจะต้องถูกลบเหลี่ยมคม เพื่อให้เกิดการดีสชาร์จระหว่างผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าทั้งสองสม่ำเสมอตลอดแนวที่วางขนานกัน

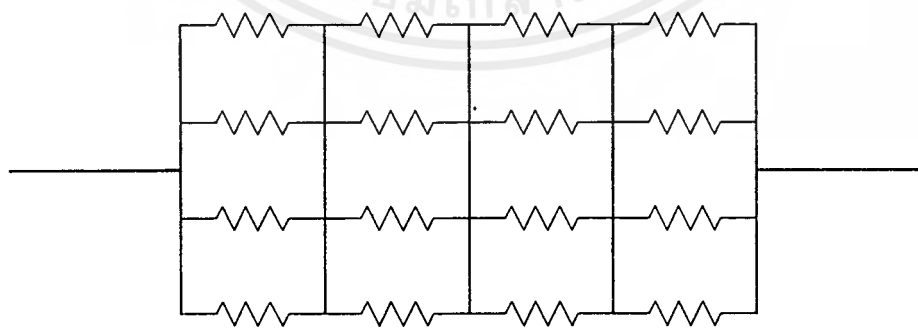
สำหรับระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองซึ่งประกอบเป็นช่องเลเซอร์สามารถปรับได้ตามความต้องการ

2.2.5 ระบบจ่ายไฟแรงดันสูง

1. ชุดจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง (HV power supply) สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 0 - 15 กิโลโวลต์ เพื่อจ่ายให้วงจรมัลติไมโคร



รูปที่ 2.8 วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง



รูปที่ 2.9 การต่อตัวต้านทาน (R_4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 ตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน

วงจรบลัมไลน์ ความจุของตัวเก็บประจุ C_1 ต้องมากกว่าของ C_2 อาจจะใช้อัตราส่วนตั้งแต่ 2:1 ขึ้นไป และเพื่อจะให้ความเหนียวในวงจรกระตุ้นเลเซอร์มีค่าต่ำมากๆ ดังนั้นในวงจรกระตุ้น C_1 และ C_2 จำเป็นต้องเป็นตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน ในที่นี้สร้างโดยใช้แผ่นไมลาร์ เป็นไดอิเล็กทริกซึ่งมีแผ่น อลูมิเนียมฟอยล์ 2 แผ่นประกบอยู่ โดยแผ่นอลูมิเนียมจะทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ แผ่นไมลาร์และแผ่นอลูมิเนียมทั้งหมดนี้จะวางเรียงเป็นชั้นอยู่บนแผ่นอะคริลิกเพื่อให้เรียบ ค่าความจุของ C_1 และ C_2 คำนวณได้จากสูตร

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 A / d \quad (2.11)$$

เมื่อ C = ค่าความจุของตัวเก็บประจุ มีหน่วยเป็นฟารัด (farad : F)

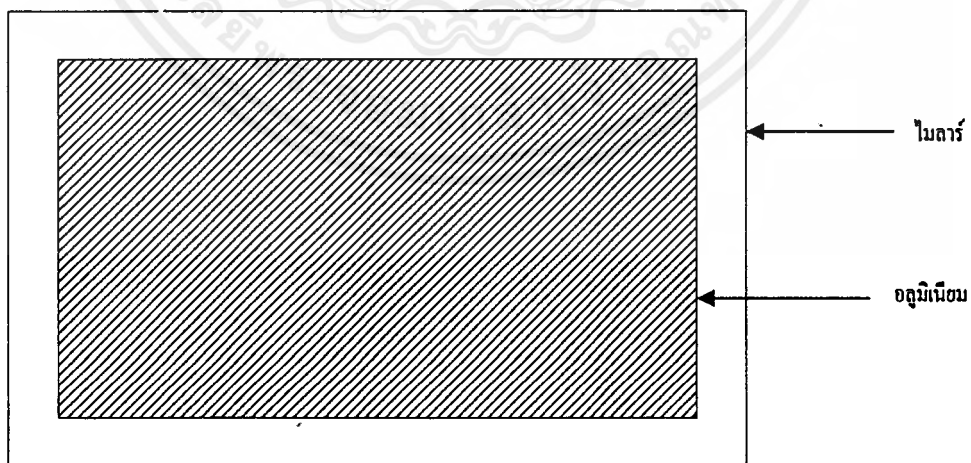
ϵ_r = สภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ (relative permittivity) ของไดอิเล็กทริก (แผ่นไมลาร์มีค่า=3.0)

ϵ_0 = สภาพยอมทางไฟฟ้าของสุญญากาศ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.85×10^{-12} ฟารัด / เมตร

A = พื้นที่ผิวของแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ตัวนำคู่ขนาน

d = ความหนาของแผ่นไดอิเล็กทริก

ในโครงการพิเศษนี้ เราเลือก ขั้วไฟฟ้าความยาว 400 มิลลิเมตร ดังนั้นความยาวแผ่นอลูมิเนียมจะต้องมีขนาดสั้นกว่าซึ่งในที่นี้ใช้ความยาว 380 มิลลิเมตร ส่วนความกว้างของแผ่นอลูมิเนียมสำหรับ C_1 และ C_2 เท่ากับ 180 และ 90 มิลลิเมตรตามลำดับ สำหรับไมลาร์ที่ใช้จะต้องมีขนาดใหญ่กว่า แผ่น อลูมิเนียม ที่ประกบอยู่พอสมควรทั้งนี้เพื่อป้องกันการอาร์คของไฟฟ้าระหว่างแผ่นอลูมิเนียมทั้งสอง



รูปที่ 2.10 ตัวเก็บประจุแผ่นขนาน โดยใช้แผ่นไมลาร์เป็นไดอิเล็กทริกวางอยู่ระหว่างแผ่นอลูมิเนียม 2 แผ่น ซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า (มองจากด้านบน) แผ่นไมลาร์จะต้องมีขนาดใหญ่กว่าแผ่นอลูมิเนียมเล็กน้อย เพื่อป้องกันการอาร์คของไฟฟ้าระหว่างแผ่นอลูมิเนียม

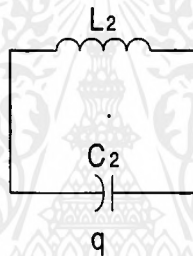
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ C_1 แผ่นอลูมิเนียมมีขนาดพื้นที่ (A) 380 x 180 ตารางมิลลิเมตร ความหนาของแผ่นไมลาร์(Mylar) $d = 0.35$ มิลลิเมตร จากการคำนวณได้ค่าความจุของ $C_1 = 5.2$ นาโนฟารัด

สำหรับ C_2 แผ่นอลูมิเนียมมีพื้นที่ 380 x 90 ตารางมิลลิเมตร ความหนาของแผ่นไมลาร์ $d = 0.35$ มิลลิเมตร จากการคำนวณได้ค่าความจุ $C_2 = 2.6$ นาโนฟารัด

จากการวัดค่า C_1 และ C_2 โดยใช้ LC มิเตอร์ พบว่าได้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณนี้มาก หลังจากที่เรากำหนดค่า C_1 , C_2 ที่จะต้องใช้ในวงจรบัสไลน์ได้แล้ว ต่อไปเรากำหนดดูว่าความเร็วในการกระตุ้นของวงจรบัสไลน์ที่ใช้ จะสามารถกระตุ้นก๊าซไนโตรเจนได้ในเวลาที่สั้นกว่า 40 นาโนวินาที เพื่อทำให้เกิดประชากรผกผันได้หรือไม่ นั่น เราต้องคำนวณหาเวลาที่แรงดันไฟฟ้าขึ้นสูงสุดในวงจรพัลส์ฟอร์มมิง (pulse forming) ที่ใช้ ซึ่งในที่นี้แทนได้ด้วยวงจรสมมูล ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 วงจรพัลส์ฟอร์มมิง

จากกฎของ Kirchoff จะได้ว่า

$$L_2 d^2q/dt^2 + q/C_2 = 0 \quad (2.12)$$

$$d^2q/dt^2 + q/L_2C = 0 \quad (2.13)$$

$$q = q_m \cos(\omega t + \phi) \quad (2.14)$$

$$\omega = 1 / \sqrt{L_2C_2} \quad (2.15)$$

โดยที่ q = ประจุไฟฟ้าในตัวเก็บประจุหน่วยเป็นคูลอมบ์

L = ความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำ หน่วยเป็นเฮนรี

ω = ความถี่เชิงมุมของการแกว่งกวัด หน่วยเป็นรอบต่อวินาที

T = คาบของการแกว่งกวัด หน่วยเป็นวินาที

เราจะได้ $T = 2\pi/\omega = 2\pi\sqrt{L_2C_2}$ (2.16)

เวลาที่แรงดันไฟฟ้าขึ้นสูงสุดในวงจรพัลส์ฟอร์มมิง = T_r เป็นเวลาหนึ่งในสี่ของคาบของการแกว่ง

$$T_r = T/4 = \pi/2 \sqrt{L_2C_2} \quad (2.17)$$

เราจะคำนวณเวลาที่แรงดันไฟฟ้าขึ้นสูงสุดในวงจรที่สร้าง

L_2 = ความเหนี่ยวนำในวงจร ซึ่งค่าความเหนี่ยวนำใน C_2 มีค่าสูงกว่า ส่วนอื่นๆ ดังนั้นจึง

คิดเฉพาะใน C_2 เท่านั้น $= \mu\mu_0 dl / w$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\mu_r =$ สภาพให้ซึมได้ทางแม่เหล็กสัมพัทธ์ = 1

$\mu =$ สภาพให้ซึมได้ทางแม่เหล็กของสุญญากาศ = $4\pi \times 10^{-7}$ เฮนรี / เมตร

$d =$ ความหนาของไดอิเล็กตริก

$l =$ ความยาวของแผ่นไดอิเล็กตริก

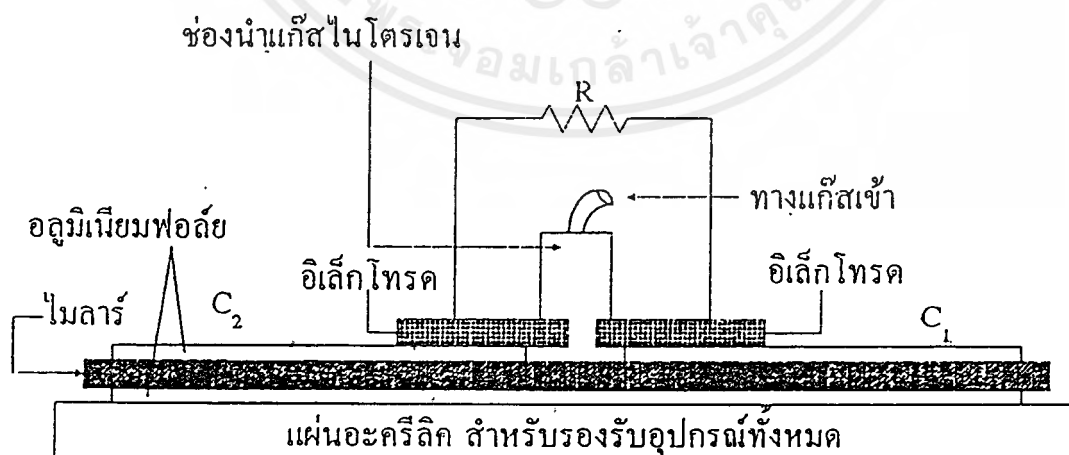
$w =$ ความกว้างของแผ่นไดอิเล็กตริกวัดขนานไปกับขั้วไฟฟ้า

$L_2 = 1.26 \times 10^{-6} \times 0.35 \times 10^{-3} \times 0.15 / 0.40$ เฮนรี = 0.165 นาโนเฮนรี

$T_r = (\pi/2) \sqrt{L_2 C_2} = 1.0 \times 10^{-9} = 1.0$ นาโนวินาที

เนื่องจากช่วงชีวิต (life time, T_c) ของโมเลกุลซึ่งอยู่ที่ระดับพลังงาน $C^1\pi_u$ ที่ความดันบรรยากาศ ประมาณ 2.6 นาโนวินาที แต่จากการคำนวณจะเห็นว่า $T_r < T_c$ วงจรปลั้มไลน์สามารถเพิ่มพลังงาน ให้กับอิเล็กตรอนในสถานะพื้นของโมเลกุลไนโตรเจนไปสู่สถานะ $C^1\pi_u$ ได้ จึงสามารถทำให้เกิดสภาพประชากรผกผันได้ แต่เนื่องจากเวลาของระดับอิเล็กตรอนในชั้น $C^1\pi_u$ สั้นกว่าระดับพลังงานของชั้น $B^1\pi_g$ การเกิดเลเซอร์เป็นแบบซูเปอร์เรเดียน (Superradiant) ซึ่งไม่ต้องการกระจกของกล่องเลเซอร์ช่วยขยายระบบของเลเซอร์ แต่จากทฤษฎีและการทดลองทราบว่าเป็นเลเซอร์ที่มีความเป็นอาพันธ์ไม่ดัดและมิประสิทธิภาพต่ำ

ในการออกแบบสร้าง ที่ อี เอ ในโตรเจนเลเซอร์ เพื่อความสะดวกและกระตัดรัดของระบบเลเซอร์ในการสร้าง C_1 กับ C_2 จะใช้แผ่นไมลาร์ของ C_1 และ C_2 เป็นแผ่นเดียวกัน ส่วนแผ่นอลูมิเนียมพอลิแผ่นล่างเป็นแผ่นเดียวกัน แต่แผ่นอลูมิเนียมพอลิแผ่นบนจะแยกกัน เพื่อเป็นตัวแยกค่า C_1 และ C_2 ดังภาพตัดขวางในภาพประกอบ



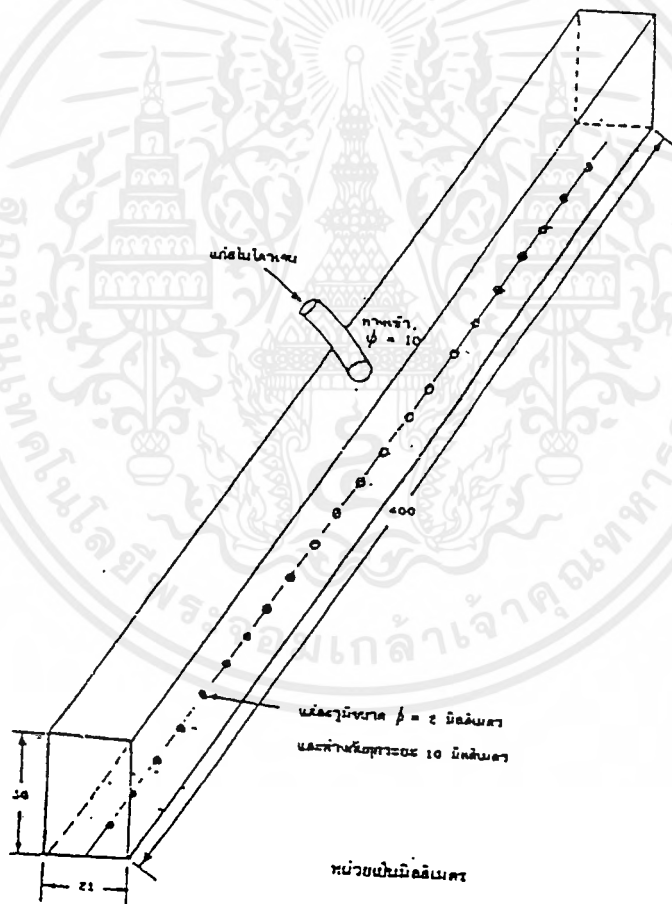
รูปที่ 2.12 ภาพตัดขวางของขั้วไฟฟ้า ซึ่งวางอยู่บนตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 โดย C_1 และ C_2

ใช้แผ่นไมลาร์แผ่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.7 ระบบจ่ายก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่ช่องเลเซอร์ ประกอบด้วย

1. ถังก๊าซไนโตรเจนความดัน 2000 ปอนด์/ตารางนิ้ว พร้อมเกจวัดความดันการไหลของก๊าซในท่อ ในช่วงความดัน 0 - 20 ปอนด์/ตารางนิ้ว (ความดันบรรยากาศ = 14.7 ปอนด์/ตารางนิ้ว)
2. สายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10 มิลลิเมตร
3. กล่องนำก๊าซเข้าสู่ช่องเลเซอร์ ได้จากการตัดแผ่นอะครีลิกพร้อมกับเจาะรูก๊าซเข้า แล้วนำมาประกอบกันเป็นกล่องสี่เหลี่ยมโดยใช้น้ำยาเชื่อมประสานอะครีลิก สำหรับรูปร่างและขนาดของกล่องนำก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่ช่องเลเซอร์ แสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 รูปร่างและขนาดของกล่องนำก๊าซไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.8 ขั้นตอนการประกอบระบบไนโตรเจนเลเซอร์

หลังจากที่ทำการออกแบบและสร้างส่วนต่างๆ ของระบบไนโตรเจนเลเซอร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว ซึ่งสรุปส่วนที่สำคัญได้ดังนี้

1. ขั้วอิเล็กโทรดหรือขั้วไฟฟ้าอลูมิเนียมยาว 40 เซนติเมตร
2. ชุดจ่ายไฟแรงสูงกระแสตรง ปรับแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0 - 15 กิโลโวลต์
3. ตัวเก็บประจุแผ่นขนาน C_1 , C_2 ขนาดความจุ 5.2 และ 2.6 นาโนฟารัด ตามลำดับ

เมื่อประกอบส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เป็นระบบไนโตรเจนเลเซอร์ที่สมบูรณ์

2.3 ทฤษฎีของวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์

ในการพัฒนาและสร้างวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์นั้น ได้ทำการประยุกต์ใช้ระบบการจุดระเบิดในรถจักรยานยนต์โดยใช้ไฟฟ้า ซึ่งมีชื่อเรียกว่า “ระบบจุดระเบิดซีดีไอ (CDI system)” (ย่อมาจาก Capacitive Discharge Ignition system) หลักการพื้นฐานของระบบจุดระเบิดชนิดนี้ก็คือ การเก็บและปล่อยแรงดันไฟฟ้าจากตัวคอนเดนเซอร์ (Condenser) หรือตัวคาปาซิเตอร์ (Capacitor) สร้างไฟฟ้าแรงดันสูงไปกระตุ้นให้เกิดการสปาร์กที่หัวเทียน

2.3.1 ส่วนประกอบของวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์มีดังนี้

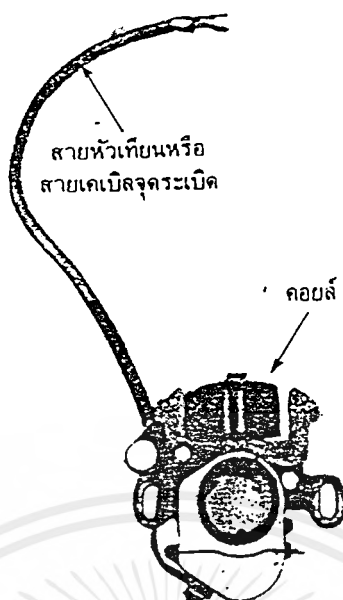
1. หัวเทียน
2. สายหัวเทียน
3. คอยล์จุดระเบิด
4. แหล่งกำเนิดแรงดันไฟ 62 โวลต์ 5 แอมแปร์
5. แหล่งกำเนิดแรงดันไฟ 5 โวลต์ 1 แอมแปร์
6. วงจรกำเนิดสัญญาณกระตุ้น (clock)

2.3.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับส่วนประกอบต่างๆ

หัวเทียน

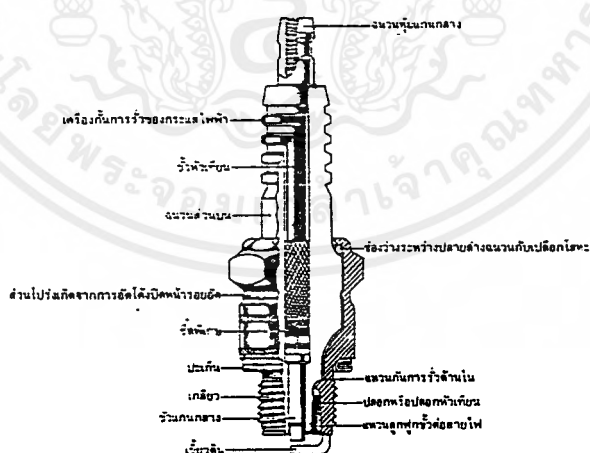
หัวเทียนจะรับไฟแรงดันสูงจากคอยล์จุดระเบิดซึ่งจะไหลผ่านแกนกลาง แล้วกระโดดข้ามช่องว่างไปยังขีวที่ต่อลงกราวด์ทำให้เกิดประกายไฟ ส่วนประกอบภายนอกของหัวเทียนแสดงดังรูป 2.14 ส่วนบนของหัวเทียนจะมีขั้วต่อสำหรับต่อกับสายหัวเทียน และขั้วต่อของหัวเทียนจะต่อกับขั้วกลางซึ่งเป็นแกนกลางของหัวเทียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบภายนอกของหัวเทียน

ไฟฟ้าแรงดันสูงต้องไม่มีการรั่วไหล ดังนั้นจึงต้องใช้ฉนวนหุ้มโดยรอบบริเวณขั้วกลางของหัวเทียน ส่วนล่างของหัวเทียนเป็นโลหะ เรียกว่าเปลือกซึ่งทำด้วยเหล็ก ส่วนปลายของเปลือกมีเกลียวสำหรับขันเพื่อทำการยึด ส่วนล่างของหัวเทียนมีระยะห่างระหว่างขั้วกลางและขั้วดิน เรียกว่าระยะเขี้ยวหัวเทียน ภาพตัดของหัวเทียนแสดงดังรูป 2.15



รูปที่ 2.15 โครงสร้างและภาพตัดขวางของหัวเทียน

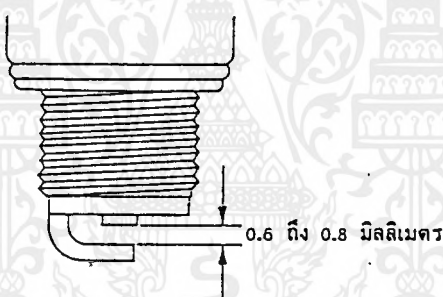
ขั้วกลางของหัวเทียนถูกหุ้มด้วยฉนวนกระเบื้องเคลือบซึ่งมีสันเป็นคลื่น สันนี้จะช่วยเพิ่มระยะห่างระหว่างขั้วดินของหัวเทียน เพื่อลดการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าข้ามฉนวนโดยเฉพาะ เอกสออย่างยิ่งเมื่อฉนวนสกปรกหรือเปียก ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนล่างของฉนวนเชื่อมต่อกับเปลือกโลหะซึ่งมีเกลียวสำหรับขันเพื่อยึดจับ ระยะห่างระหว่างขั้วกลางและขั้วดินมีไว้ให้ไฟฟ้าแรงดันสูงกระโดดข้าม เพื่อให้เกิดประกายไฟฟ้า

- การตั้งระยะห่างของขีวหัวเทียน

ระยะห่างของขีวหัวเทียนต้องตั้งตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต (ปกติจะถูกตั้งมาจากโรงงานเรียบร้อยแล้ว) โดยทั่วไปค่าระยะห่างมาตรฐานจะมีค่าประมาณ 0.6 ถึง 0.8 มิลลิเมตร (0.024 ถึง 0.31 นิ้ว)

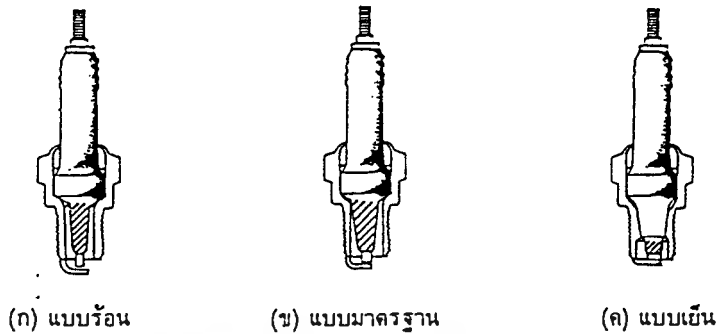
การตั้งขีวหัวเทียนต้องระวังขั้วแกนกลางที่เป็นกระเบื้องหุ้มอยู่ อย่าให้กระเบื้องแตกเสียหายได้ การวัดระยะห่างขีวหัวเทียนให้ถูกต้องจริงๆ ต้องใช้ฟิลเลอร์เกจชนิดลวดกลม(round wire gauge) ระยะห่างขีวหัวเทียนที่ถูกต้องจะทำให้ไฟแรงเคลื่อนสูงสามารถกระโดดได้ดี รูปที่ 2.16 แสดงระยะห่างของขีวหัวเทียนที่ถูกต้อง



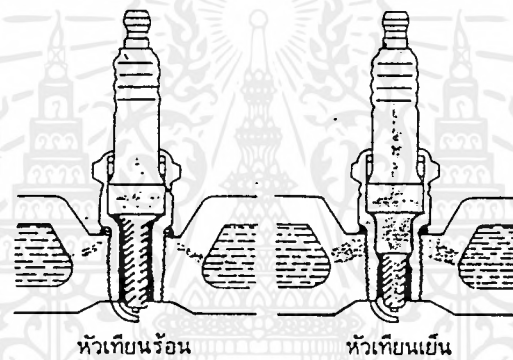
รูปที่ 2.16 ระยะห่างของขีวหัวเทียน

- ช่วงความร้อน

หัวเทียนถูกออกแบบมาให้ทำงานภายใต้ช่วงความร้อนจำกัดค่าหนึ่ง ค่าช่วงความร้อนจะบอกให้ทราบถึงความสามารถในการระบายความร้อนออกจากปลายจุดระเบิด ช่วงความร้อนของหัวเทียนหาได้จาก ระยะทางที่ความร้อนต้องไหลผ่านจากปลายจุดระเบิดถึงเปลือกโลหะ ระยะทางนี้หาได้จากความยาวของฉนวนกระเบื้องเคลือบที่หุ้มขั้วกลาง บริเวณปลายจุดระเบิด ถ้าฉนวนมีความยาวจะทำให้ปลายจุดระเบิดมีอุณหภูมิสูงอยู่ตลอดเวลาในขณะที่ใช้งาน หัวเทียนชนิดนี้เรียกว่า หัวเทียนร้อน แต่ถ้าฉนวนสั้น ความร้อนจะถ่ายเทออกจากปลายจุดระเบิดได้ง่าย และหัวเทียนจะมีอุณหภูมิต่ำขณะใช้งาน หัวเทียนชนิดนี้เรียกว่า หัวเทียนเย็น หัวเทียนร้อนและหัวเทียนเย็นแสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 หัวเทียนร้อนและหัวเทียนเย็น



รูปที่ 2.18 การถ่ายเทความร้อนในหัวเทียนร้อนและหัวเทียนเย็น

- สาเหตุข้อขัดข้องของหัวเทียน มีสาเหตุใหญ่ๆ คือ

1. การสึกหรอของขี้วหัวเทียน

2. ฉนวนที่หุ้มแตก

3. หัวเทียนหมดอายุการใช้งาน ถ้าหัวเทียนหมดอายุการใช้งานแล้วแต่เรายังใช้อยู่ จะทำให้เกิดผลเสียคือ ทำให้ระบบไฟจุดระเบิดบกพร่อง

- การสึกของหัวเทียน

เมื่อใช้หัวเทียนไปนานๆ ขี้วหัวเทียนย่อมจะสึกกร่อนลงไป เมื่อขี้วกร่อนความห่างขี้วจะมากขึ้นเพื่อให้เกิดการทำงานที่ดี ควรถอดหัวเทียนออกมาล้างทำความสะอาดและตั้งขี้วหัวเทียนใหม่ ทั้งนี้เพราะว่าหัวเทียนนั้นจะเกิดประกายไฟฟ้าถึง มีอุณหภูมิการทำงานสูง จึงหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการสึกหรอไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แรงดันที่หัวเทียนต้องการ

จะเปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ ระหว่างแรงดัน ที่หัวเทียนต้องการ กับแรงดันที่ระบบ จูกระเบิดจ่ายให้ไม่เหมาะสมกัน กล่าวคือ แรงดันที่หัวเทียนต้องการ แต่ระบบจูกระเบิดจ่ายให้ไม่พอ ทั้งนี้เนื่องจากระยะห่างของขี้นหัวเทียนมากเกินไป หรือขี้นหัวเทียนสึกกร่อน ความเร็วในการจูกระเบิดเปลี่ยน สิ่งเหล่านี้จะทำให้แรงดันที่หัวเทียนต้องการเปลี่ยนไปด้วย รวมถึงค่าความต้านทานของคอยล์ที่เกิดขึ้นขณะที่คอยล์ทำงานด้วย ซึ่งทำให้แรงดันที่หัวเทียนต้องการเปลี่ยน หรือในขณะที่ต้องการเร่งความเร็วในการจูกระเบิด ซึ่งในกรณีนี้หัวเทียนต้องการแรงดันที่สูงกว่าปกติ

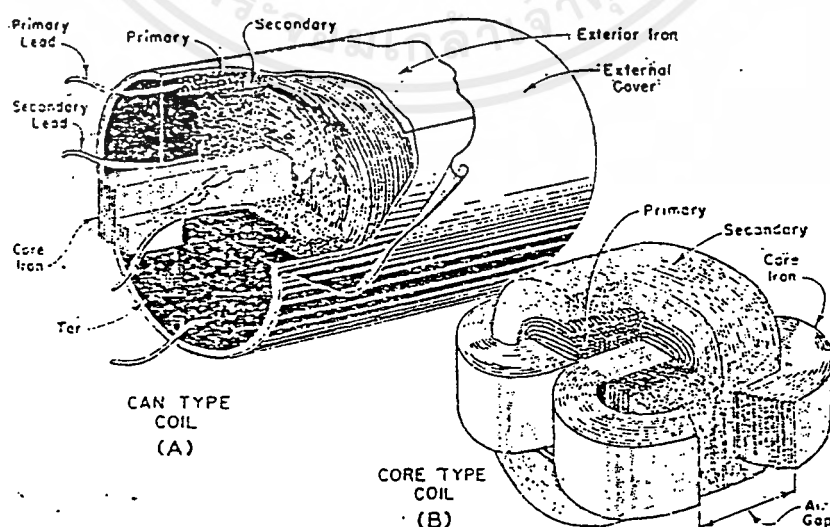
สายหัวเทียน

ไฟฟ้าแรงดันสูงจากขดลวดทศนิยมของคอยล์จูกระเบิดต้องส่งผ่านลวดตัวนำไปยังหัวเทียน ลวดตัวนำที่กล่าวถึงนี้เรียกว่า สายหัวเทียน หรือสายไฟแรงสูง สายหัวเทียนนี้จะต้องมีฉนวนหุ้ม เพื่อป้องกันการรั่วไหลของไฟฟ้าแรงดันสูง ทนต่อการสึกหรอ ทนความร้อนได้ดี ปลายข้างหนึ่งจะต่อเข้ากับคอยล์จูกระเบิด ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งมีขั้วต่อสำหรับเชื่อมต่อกับหัวเทียน

คอยล์จูกระเบิด

ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าแรงดันต่ำเป็นแรงดันสูง แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด

1. คอยล์แบบแคนไท (Can Type)
2. คอยล์แบบคอร์ไท (Core Type)



รูปที่ 2.19 คอยล์จูกระเบิดแบบแคนไทและแบบคอร์ไท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการค้าเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คอยล์แบบแกนไท (Can type) คอยล์แบบนี้เป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน ซึ่งดูตามลักษณะรูป A จะเห็นว่าใช้ขดลวดทุติยภูมิ พันรอบแกนเหล็กอ่อนซึ่งทำจากเหล็กแผ่นบางอัดซ้อนกัน (Lamination) และจะมีขดลวดปฐมภูมิพันทับอยู่รอบนอก การเกิดไฟแรงสูงเกิดจากการเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดทุติยภูมิ ขดลวดนี้จะพันด้วยรอบจำนวนมาก ตั้งแต่ 16,000 - 23,000 รอบ ใช้ลวดเบอร์ 38 , 39 หรือ 40 ในระหว่างรอบการพันจะมีฉนวนกันอยู่ ฉนวนทำจากกระดาษซึ่งไม่มีความชื้น ในแต่ละชั้นฉนวนจะต้องทนแรงดันตั้งแต่ 500 - 900 โวลท์ได้

ขดลวดปฐมภูมิ จะพันด้วยลวดเส้นใหญ่ประมาณ 200 - 300 รอบ ลวดที่ใช้เบอร์ 20 เป็นลวดที่เหมาะสมกับความต้านทานต่อไฟกระแสตรงที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ สำหรับคอยล์ 6 โวลท์ จะมีค่าความต้านทาน 1 - 1.3 โอห์ม และมีค่าปกติในการใช้ 1.15 โอห์ม

ส่วนประกอบต่างๆ ของชุดคอยล์จะมีเหล็กรูปทรงกระบอกหุ้มอยู่และบรรจุในกล่องเหล็กซึ่งมักจะเติมน้ำมันเพื่อให้ฉนวนทนแรงเคลื่อนสูงดีขึ้น และระบายความร้อนออกได้เพิ่มขึ้น

2. คอยล์แบบคอร์ไท (Core Type) ตามรูป B แสดงให้เห็นการพันขดลวด ขดลวดปฐมภูมิจะถูกพันรอบแกนเหล็กอ่อนเป็นรูปตัว C ประกอบกันซึ่งพันอยู่ข้างใน โดยมีขดลวดทุติยภูมิพันทับอยู่รอบนอก สำหรับขดลวดปฐมภูมิที่ใช้ในคอยล์แบบนี้ จะมีขนาดเล็กกว่าแบบแกนไทด้วยเหตุนี้เราจึงจำเป็นต้องใช้ความต้านทานภายนอกต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายไฟ เพื่อจำกัดกระแสให้เข้าขดลวดปฐมภูมิถูกต้อง เมื่อความเร็วในการจุดระเบิดต่ำจะมีกระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิสูง แต่ถ้าใส่ค่าความต้านทานเข้าไป เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความต้านทานจะเพิ่มมากขึ้น (มากกว่าเมื่อลวดความต้านทานมีอุณหภูมิต่ำ) ซึ่งจะลดกระแสไฟไหลเข้าขดลวดปฐมภูมิได้ถูกต้องเมื่อความเร็วในการสปาร์กสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดลงค่าความต้านทานจะต่ำลงด้วย ทำให้มีกระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิมากขึ้น คอยล์จะทำงานถูกต้องทุกระดับความเร็ว

- พลังงานไฟฟ้าที่คอยล์ได้รับ

พลังงานซึ่งสะสมอยู่ในระบบแม่เหล็กของคอยล์จุดระเบิด แสดงให้เห็นได้โดยใช้ความสัมพันธ์ จากสมการ

$$E = LI^2 / 2 \quad (2.18)$$

L = ค่าความเหนี่ยวนำในคอยล์ (Inductance Coil)

I = ค่ากระแสทางด้านขดลวดปฐมภูมิ

หากพิจารณาตามสมการนี้จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของกระแสได้สูงขึ้น ซึ่งทำให้พลังงานไฟฟ้าที่สะสมในคอยล์สามารถเกิดประกายไฟที่หัวเทียนได้

- ความต้องการแรงดันไฟฟ้าในขดลวดทุติยภูมิ

พลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำในขดลวดปฐมภูมิ จะส่งไปยังขดลวดทุติยภูมิและจ่ายออก พลังงานนี้จะเป็นแรงดันไฟฟ้าสูง ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดประกายไฟที่หัวเทียนได้ ความจุทางด้านวงจร ทุติยภูมิจะวัดเป็น ไมโครฟารัด (ความจุอันนี้ไม่ได้หมายถึงคอนเดนเซอร์ แต่หมายถึงระยะห่างระหว่างสายกับกราวด์ , ความยาวของสาย)

- พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ขดลวดทุติยภูมิจะได้รับ ได้จากสมการ

$$E_m = CE^2 / 2 \quad (2.19)$$

เมื่อ C = ค่าความจุ

E = ค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ

แรงดันไฟฟ้าที่ต้องการใช้ในการจุดระเบิดจะขึ้นอยู่กับหลายๆ องค์ประกอบ เช่น ขึ้นอยู่กับความเร็วในการจุดระเบิด , อุณหภูมิของหัวเทียน , ขนาดความกว้างของเชื้อหัวเทียน เป็นต้น และแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจริงๆ ทางขดลวดทุติยภูมิ ขึ้นอยู่กับลักษณะของหัวเทียน ถ้าหากว่าหัวเทียนแตกต่างกันออกไป แรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิย่อมแตกต่างกันไปด้วย อาจจะมีค่าสูงขึ้นไปตามพลังงานที่จ่ายให้คอยล์

อัตราส่วนการพันของขดลวดปฐมภูมิต่อขดลวดทุติยภูมิ ประมาณ 1:80 - 1:100 รอบ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของคอยล์ ในการหาแรงดันไฟฟ้าสูงของขดลวดทุติยภูมิในคอยล์อาจหาได้จากสมการ

$$N_1 / N_2 = V_1 / V_2 \quad (2.20)$$

N_1 = จำนวนรอบที่พันในขดลวดปฐมภูมิ

N_2 = จำนวนรอบที่พันในขดลวดทุติยภูมิ

V_1 = แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวดปฐมภูมิ

V_2 = แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวดทุติยภูมิ

ไทรสเตอร์ (Thyristor)

ไทรสเตอร์(thyristor) เป็นชื่อที่ตั้งขึ้นจากทรานซิสเตอร์ ที่ทำหน้าที่เหมือนกับไทรแตรอน (Thyratron) ซึ่งเป็นหลอดสุญญากาศ และมีชื่อทางการค้าคือ SCR ในปัจจุบัน ไทรสเตอร์จะหมายถึง ชื่อรวมของสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ในการสวิตซ์ซึ่งมีจุดเสถียร 2 จุด (bistable switching device) ที่ประกอบขึ้นมาจากรอยต่อ PN มากกว่า 3 คู่ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไทรสเตอร์จะใช้พัลส์ในการกระตุ้นทำให้มีการเปลี่ยนสวิตช์จาก OFF เป็น ON ไทรสเตอร์มีหลายชนิด เช่น ชนิดที่ควบคุมกระแสทิศทางเดียวได้แก่ SCR , GTO , PUT ส่วนแบบที่ทำงาน 2 ทิศทางได้แก่ ไตรแอ็ค , SSS และอื่นๆ อุปกรณ์เหล่านี้ถูกนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการทำสวิตซ์ิ่งค์ , การควบคุมเฟสของไฟกระแสสลับเพื่อใช้ปรับความเข้มแสงของไฟแสงสว่าง , การปรับความเร็วของมอเตอร์ การปรับลดความร้อนและอื่นๆ

ในโครงการพิเศษนี้ได้เลือกใช้ SCR ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ SCR ย่อมาจาก Silicon Controlled Rectifier (ตัวเรกติไฟเออร์ที่ควบคุมด้วยซิลิคอน) แรกเริ่มนั้นเป็นชื่อทางการค้าของบริษัท GE (สหรัฐอเมริกา) แต่ก็ถูกใช้เป็นชื่อทั่วไป ดังนั้นเมื่อกล่าวถึงไทรสเตอร์ ก็จะหมายถึง SCR

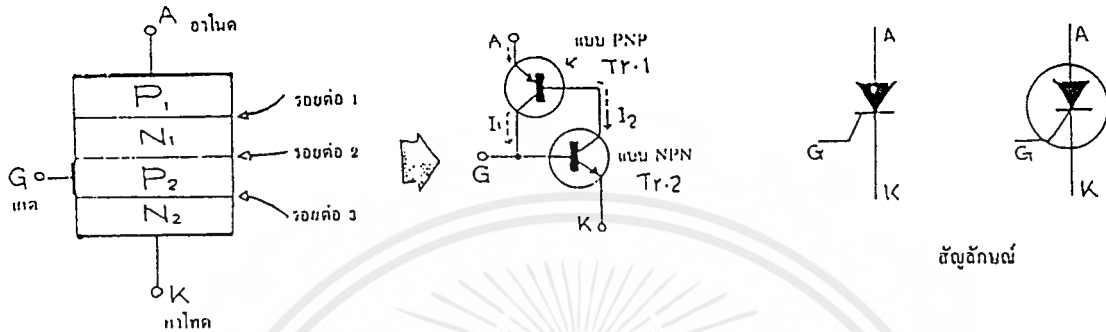
SCR มีโครงสร้างเป็นรอยต่อ PNP 4 ชั้นดังรูป เป็นสิ่งประดิษฐ์สำหรับป้องกันการไหลกลับทิศชนิด 3 ขา คือ มีขั้วแอนอด(A) , คาโทด(K) และเกท(G) หากแยกวิเคราะห์โครงสร้างดูก็จะเห็นได้ว่าประกอบขึ้นจาก PNP ทรานซิสเตอร์ Tr_1 และ NPN ทรานซิสเตอร์ Tr_2 ดังรูป ชั้นแรกให้แรงดันคร่อม SCR โดยแอนอด A เป็นบวกและคาโทด K เป็นลบ (ในตอนนี้รอยต่อ 1 และรอยต่อ 3 จะถูกไบอัสตรง ส่วนรอยต่อ 2 ซึ่งอยู่ตรงกลางจะถูกไบอัสกลับกระแสจึงไม่ไหล จากนั้นปรับแรงดันขาเข้าที่ให้กับเกท เป็นบวก ก็จะทำให้เกิดกระแสเบสไหลเข้าทรานซิสเตอร์ Tr_2 Tr_2 จึง ON และขยายกระแสเบสนี้เป็นกระแสคอลเล็กเตอร์ I_2 ไหล

กระแส I_2 จะเป็นกระแสเบสของทรานซิสเตอร์ Tr_1 Tr_1 จึง ON และมีกระแสคอลเล็กเตอร์ I_1 ไหล ซึ่งกระแส I_1 นี้จะเป็นกระแสเบสของทรานซิสเตอร์ Tr_2 ที่ผ่านมามากขึ้นหนึ่งผลคือเกิดการป้อนกลับแบบบวก กระแส I_1 และ I_2 จะไหลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเป็นเช่นนี้แล้ว แม้จะเอาแรงดันขาเข้าที่ขาเกท ออก SCR นี้ก็จะยังคงมีกระแสหลักไหลระหว่างแอนอด กับคาโทด อยู่อย่างต่อเนื่อง

ขณะนี้ SCR จะอยู่ในสภาวะ ON การที่จะทำให้กระแสหลักหยุดไหลหรือทำให้ SCR อยู่ในสภาวะ OFF จะต้องลดค่ากระแสแอนอด ให้มีค่าต่ำกว่าค่ากระแส Holding current หรือให้แรงดันแก่แอนอดเป็นลบอยู่ช่วงหนึ่ง

ด้วยคุณสมบัติเช่นนี้เมื่อให้กระแสนาเล็กแก่เกทเป็นระยะเวลาสั้นๆ แล้วสามารถทำให้เกิดกระแสขนาดใหญ่ไหลอย่างต่อเนื่องได้ SCR จึงถูกนำไปใช้ในวงจรสวิตซ์ิ่งค์ , วงจรกำเนิดแรงดันไฟกระแสตรงแบบปรับค่าได้ , อินเวอร์เตอร์ที่ใช้แปลงไฟกระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับ , การควบคุมเฟสของไฟกระแสสลับ และอื่นๆ อีกมากมาย

ทรินสเตอร์ใช้ได้กับวงจรที่มีกำลังไฟสูงๆ ขอมให้กระแสไหลผ่านได้ตั้งแต่ 0.5 - 1,000 แอมแปร์ ซึ่งแล้วแต่ขนาดกำหนด ส่วนด้านตรงข้ามจะมีความต้านทานสูง ป้องกันการไหลของกระแสสวนทิศทางได้ตั้งแต่ 50 - 4,500 โวลท์



รูปที่ 2.20 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรินสเตอร์

โครงสร้างพื้นฐานของทรินสเตอร์แสดงดังรูป ทรินสเตอร์ประกอบด้วยชั้น p-n-p-n มี 3 รอยต่ออนุกรมกัน ขั้วไฟฟ้าที่ชั้น p ด้านนอกเรียกว่า “แอนโนด” (Anode) และขั้วไฟฟ้าที่ชั้น n ด้านนอกเรียกว่า “แคโทด” (Cathode) ส่วนขั้วเกตอาจต่อที่ชั้น p หรือ n ที่อยู่ภายในก็ได้

ข้อควรจำ

1. ทรินสเตอร์ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ 4 ชั้น แต่มีขั้วต่อสายออกมา 3 ขั้ว คือ

A = Anode

K = Cathode

G = Gate

2. ทรินสเตอร์คล้ายรีเลย์อย่างหนึ่งซึ่งยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเพียงทางเดียว คือไหลผ่านได้เมื่อมีสัญญาณในเกต ทิศทางตรงข้ามจะไม่มีปฏิกิริยาอะไรเกิดขึ้นไม่ยอมให้กระแสไหลผ่าน

3. ทรินสเตอร์จะยอมให้กระแสไหลผ่านตัวมันเองได้ ขอมขึ้นกับขนาดกำหนดของมัน มันจะมีคุณสมบัติที่ต้านกระแสได้ตามกำหนด เมื่อมีกระแสสูงกว่ากำหนดมันก็จะยอมให้ไหลผ่านตัวมันเอง

4. ทรินสเตอร์ที่ไม่ต่อขั้วเกต ก็เหมือนไดโอด 2 ชุดที่ต่อกันเป็นวัตถุกึ่งตัวนำ 4 ชั้น มีความต้านทานสูงมาก กระแสไฟไหลผ่านไม่ได้

5. ทรินสเตอร์ที่ใช้กันทั่วไป จะใช้ได้กับแรงดันไฟฟ้าสูงเป็น 1,000 โวลท์ และยอมให้กระแสผ่านตัวมันเองได้มากกว่า 100 แอมแปร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

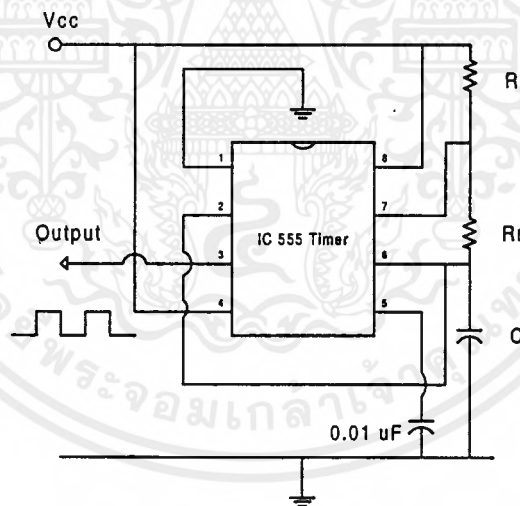
2.4 ทฤษฎีของวงจระอสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์

มัลติไวเบรเตอร์เป็นวงจรที่มีการป้อนกลับแบบบวก มีอุปกรณ์แอกทิฟ 2 ตัว โดยให้ตัวหนึ่งนำกระแส ขณะที่อีกตัวหนึ่งคัทออฟ มัลติไวเบรเตอร์สามารถจำหมายเลข , นับพัลส์ , สร้างพัลส์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และปฏิบัติหน้าที่อื่นๆ ในวงจรดิจิทัล

วงจระอสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ มีสองสถานะ โดยที่ทั้งสองสถานะนี้ก็ล้วนแต่ไม่มีเสถียรภาพทั้งคู่หรือกล่าวได้ว่า มันจะคงสถานะหนึ่งๆ ได้เป็นการชั่วคราว แล้วจึงเปลี่ยนเป็นอีกสถานะหนึ่ง ซึ่งสถานะใหม่นี้ก็จะอยู่ชั่วระยะเวลาหนึ่งแล้วเปลี่ยนกลับเป็นสถานะเดิมอีก การเปลี่ยนสถานะกลับไปกลับมาทำให้คลื่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีเวลาขาขึ้น และเวลาขาลงสั้นมาก

วิธีหนึ่งที่จะสร้างวงจระอสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์คือ ใช้ไทมเมอร์ 555 ซึ่งเป็นไอซีที่มีฟังก์ชันการใช้งานต่างๆ มากมาย

รูปที่ 2.21 แสดงให้เห็นถึงการต่อขาไอซี 555 กับอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อเป็นวงจระอสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ เราสามารถกำหนดความถี่ของวงจร โดยเปลี่ยนค่า R_A , R_B และ C



รูปที่ 2.21 วงจระอสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์

คาบของเอาต์พุตแบบพัลส์สี่เหลี่ยมผืนผ้า คือ

$$T = 0.693(R_A + 2R_B)C \quad (2.21)$$

และได้ความถี่

$$f = 1.44 / (R_A + 2R_B)C \quad (2.22)$$

ได้ค่าคิวดีไซ์เกิดเป็น

$$D = (R_A + R_B) / (R_A + 2R_B) \times 100 \% \quad (2.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างวงจรกระตุ้นในโทรเจนเลเซอร์

3.1 การออกแบบ

เนื่องจากการทำงานของแหล่งกำเนิดเลเซอร์ชนิดในโทรเจนเลเซอร์ แบบกระตุ้นตามขวาง ที่ความดันบรรยากาศ ยังมีความไม่สม่ำเสมอในการเกิดการสปาร์กที่สปาร์กแก๊ป จึงได้มีการปรับปรุงและพัฒนาสร้างระบบกระตุ้นให้แหล่งกำเนิดเลเซอร์ เกิดการสปาร์กและปล่อยเลเซอร์ด้วยอัตราสม่ำเสมอ โดยอาศัยหลักการการทำให้อากาศบริเวณสปาร์กแก๊ปเกิดการแตกตัวแล้วเหนี่ยวนำให้เกิดการสปาร์กและปลดปล่อยเลเซอร์ตามมาโดยทำการประยุกต์ใช้ระบบการจุดระเบิด(Ignition) ในรถจักรยานยนต์สำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็กมาใช้งาน โดยเลือกประยุกต์ใช้ระบบการจุดระเบิดแบบ CDI (Capacitive Discharge Ignition System) ซึ่งเป็นระบบจุดระเบิดแบบใช้ไฟฟ้า โดยจะทำการควบคุมให้ระบบจุดระเบิดเกิดการระเบิดที่ความถี่คงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดการสปาร์กที่สปาร์กแก๊ปได้อย่างสม่ำเสมอ

ระบบจุดระเบิดแบบ CDI จะใช้หลักการพื้นฐาน คือ การเก็บและการปล่อยแรงดันไฟฟ้าจากตัวคอนเดนเซอร์ (Condenser) หรือตัวคาปาซิเตอร์ (Capacitor) สร้างไฟฟ้าแรงดันสูงให้เกิดขึ้นภายในคอยล์จุดระเบิด จากการที่เกิดการเก็บและการปล่อยประจุที่ตัวคาปาซิเตอร์ เปรียบเสมือนเป็นการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับไปยังคอยล์จุดระเบิด ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นภายในคอยล์ เป็นผลให้เกิดการขยายแรงดันซึ่งพอเหมาะสำหรับการสปาร์กที่หัวเทียน

การเก็บ (charge) และ การปล่อย (discharge) ประจุของตัวเก็บประจุ จะถูกควบคุมโดย ไทริสเตอร์ (Thyristor) ซึ่งทำหน้าที่เสมือนเป็นสวิตช์ ไทริสเตอร์จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีสัญญาณไปกระตุ้นที่ขาเกต โดยสัญญาณกระตุ้นนี้มาจากวงจรออสซิลเลเตอร์(Oscillator)

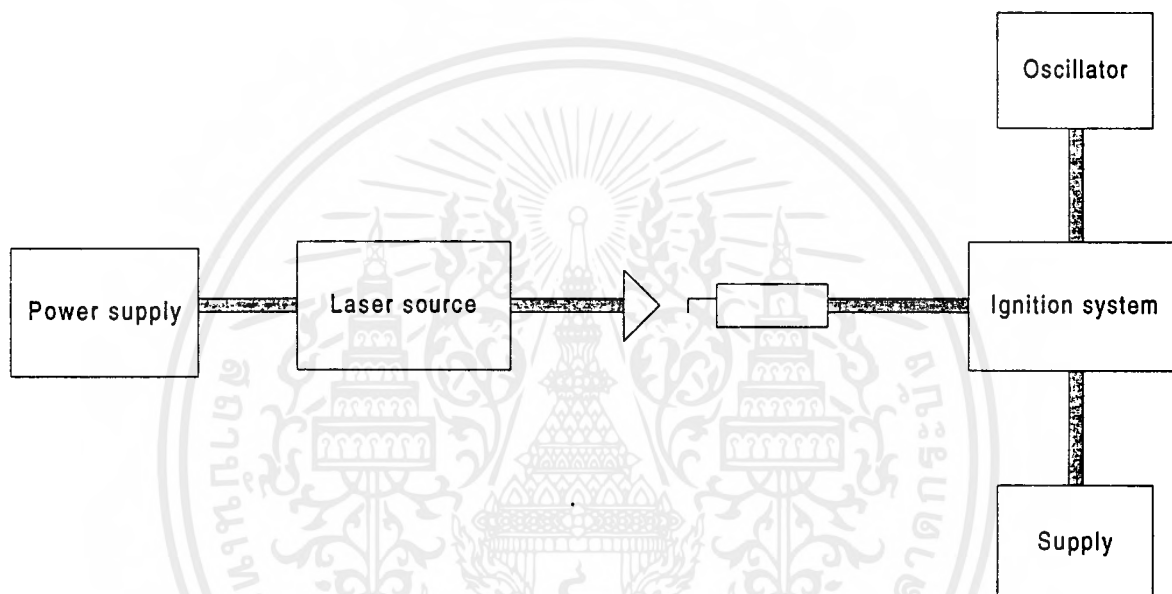
วงจรออสซิลเลเตอร์สร้างจากการต่อ ไอซี 555 ไทเมอร์ เป็นวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Astable Multivibrator circuit) ที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าความถี่ของสัญญาณกระตุ้นและความกว้างของพัลส์กระตุ้น(Pulse Width) ได้โดยการปรับค่าความต้านทานที่ตัวต้านทานปรับค่าได้ ซึ่งต่ออยู่ระหว่างขา 6 กับขา 7 และ ขา 7 กับ ขา 8 ของตัวไอซี 555 ไทเมอร์ตามลำดับ ในการกำหนดค่าความกว้างของพัลส์กระตุ้น จะทำการกำหนดให้มีค่าน้อยๆ (แคบ) เพราะจะส่งผลถึงการนำกระแสของไทริสเตอร์เนื่องจากหากกำหนดไว้ให้มีพัลส์กว้างจะทำให้ไทริสเตอร์เกิดการนำกระแสมากในขณะที่เกิดการกระตุ้น อาจส่งผลให้ไทริสเตอร์เสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงการพิเศษนี้จะทำการกำหนดค่าความกว้างของพัลส์กระตุ้นไว้ที่ค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งเหมาะสมในทุกๆ ค่าความถี่ของการกระตุ้น

3.2 การประกอบวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์เข้ากับระบบไนโตรเจนเลเซอร์

การจัดวางวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์-แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การจัดวางวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์

การจัดวางวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์ จะทำการรวมกราวด์ ของวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์เข้ากับกราวด์ของแหล่งกำเนิดเลเซอร์

จะเห็นได้ว่าตำแหน่งของขั้วหัวเทียนจากวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์ วางตัวอยู่ระหว่างแท่งแอสแตนเลส(ทำหน้าที่เป็นขั้วอิเล็กโทรด) และ ขั้วกลางของหัวเทียน นั่นคือ ขั้วของหัวเทียนทำหน้าที่เปรียบเสมือนเป็นกราวด์ร่วมของวงจรกระตุ้นและแหล่งกำเนิดเลเซอร์

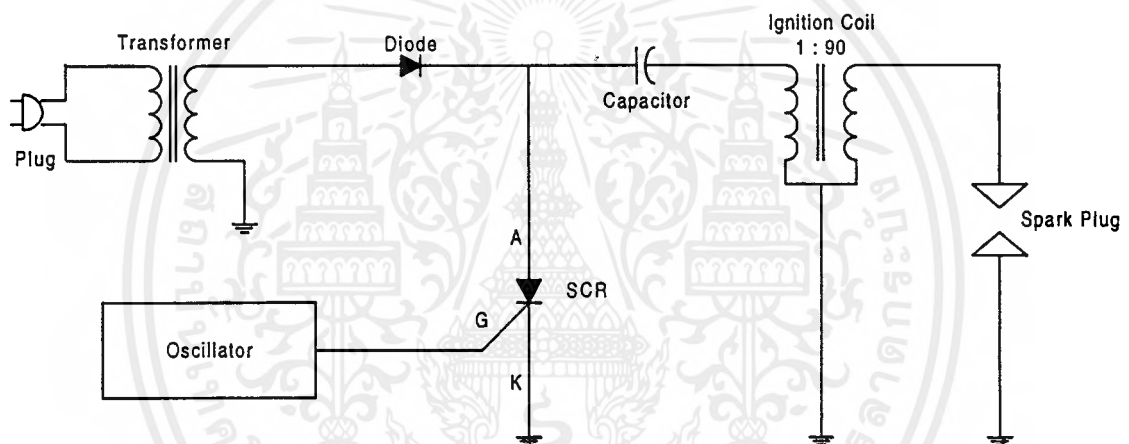
การสปาร์กที่หัวเทียนจะเกิดเป็นจังหวะอย่างสม่ำเสมอ ในขณะที่เกิดการสปาร์ก ณ ตำแหน่งขั้วของหัวเทียนเปรียบเสมือนเป็นขั้วบวกและขั้วกลางของหัวเทียนเปรียบเสมือนเป็นกราวด์ ดังนั้นจึงไม่เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดการสปาร์ก จากแท่งแอสแตนเลส (ที่ทำหน้าที่เป็นขั้วอิเล็กโทรด) ลงมายังขั้วหัวเทียน ต่อเมื่อไม่เกิดการสปาร์กที่หัวเทียน ขั้วของหัวเทียนเปรียบเสมือนเป็นกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นหากทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าจากชุดกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูง(Direct current High voltage power supply) ที่เหมาะสมจะทำให้เกิดการสปาร์ก จากแท่งแสดนเลสลงมายังหัวเทียน นั่นคือเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดการสปาร์กที่สปาร์กแกปด้วยการสปาร์กจากหัวเทียน และส่งผลให้เกิดการสปาร์กที่ขั้วอิเล็กโทรดอย่างสม่ำเสมอตามมา

3.8 วงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์

ส่วนประกอบต่างๆ ของวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์

การทำงาน

หม้อแปลงจะจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับด้วย แรงดัน 62 โวลต์ กระแส 5 แอมแปร์ เข้าสู่ไดโอดซึ่งจะทำการกรองสัญญาณไฟสลับให้เป็นสัญญาณไฟตรง จ่ายเข้าประจุที่ตัวเก็บประจุ ไทริสเตอร์ที่ต่อร่วมกับตัวเก็บประจุจะเป็นตัวควบคุม(เปิดยอมให้ไฟฟ้าผ่าน) เมื่อได้รับสัญญาณมา กระตุ้นที่ขาเกตของ ไทริสเตอร์ ตัวเก็บประจุจะปล่อยประจุออก แล้วจ่ายไปยังขดลวดปฐมภูมิของคอยล์จุกระเบิด ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กเหนี่ยวนำ เกิดไฟฟ้าแรงเคลื่อนสูงขึ้นที่ขดลวดทุติยภูมิของคอยล์จุกระเบิด ไฟฟ้าแรงเคลื่อนสูงนี้จะทำให้เกิดการจุกประกายไฟขึ้น ที่หัวเทียนซึ่งจังหวะการจุกระเบิด จะถูกควบคุมโดย วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) ไฟสัญญาณนี้จะไปกระตุ้นขาเกตของไทริสเตอร์ด้วยค่าความถี่ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

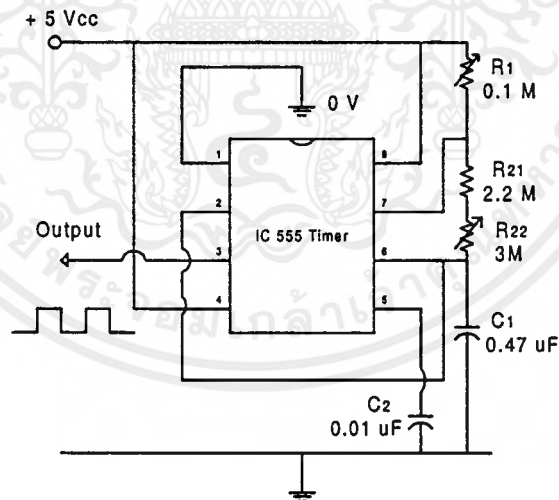
3.4 ส่วนประกอบของวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์

- ชุดกำเนิดแรงดันไฟฟ้า
- วงจรออสซิลเลเตอร์
- คอยล์จุลระเบิด
- หัวเทียน

3.5 วงจรออสซิลเลเตอร์

สร้างจากการต่อไอซี 555 ไทเมอร์ เป็นวงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ (Astable Multivibrator)

ไอซี 555 ไทเมอร์ สามารถใช้ทำเป็นอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์หรือตัวกำเนิดคลื่นรูปสี่เหลี่ยมได้ดีมาก ซึ่งมีความถี่การทำงานถึง 100 กิโลเฮิร์ต วงจร 555 อะสเตเบิล มีเสถียรภาพของความถี่ที่ดีมาก มีเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำ และปกติให้เอาต์พุตที่มีเวลาช่วงขึ้นและลงเพียง 100 นาโนวินาที ประโยชน์อื่นๆ ของวงจรก็คือ สามารถปรับค่าความกว้างของพัลส์ได้



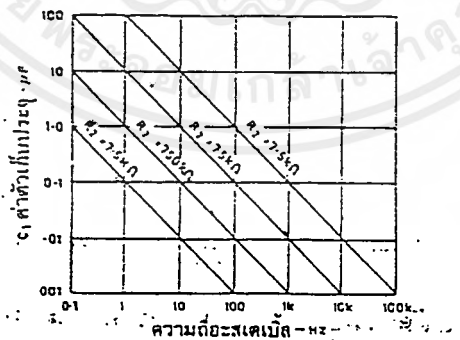
รูปที่ 3.3 วงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์

รูปที่ 3.3 แสดงวงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ 555 โดยขา 2 ซึ่งเป็นขาทรiggerของไอซีต่อกับขา 6 ซึ่งเป็นขา threshold และตัวต้านทานปรับค่าได้ R_{22} ที่ใช้ในการปรับค่าความถี่ ถูกต่ออยู่ระหว่างขา 6 และ ขา 7 และ ตัวต้านทานปรับค่าได้ R_1 ที่ใช้ในการปรับค่าความกว้างของพัลส์ ถูกต่ออยู่ระหว่างขา 7 และขา 8 หลักการทำงานของการทำงานมีดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

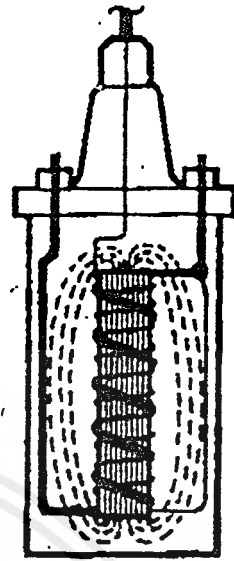
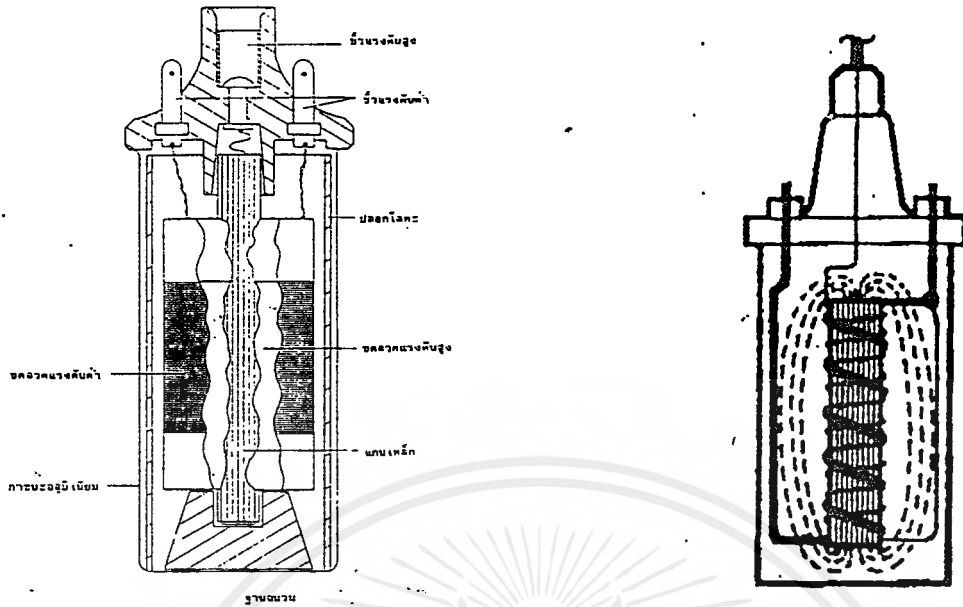
เมื่อไฟเลี้ยงจาก power supply ถูกต่อเข้าในวงจรในตอนแรก C_1 เริ่มเก็บประจุ แบบเอ็กโพเนนเชียล (ในลักษณะโมโนสเตเบิลปกติ) โดยผ่านตัวต้านทาน R_1 และ R_2 ($R_{21} + R_{22}$) ที่ต่ออนุกรมกัน จนกระทั่งแรงดันที่ C_1 มีค่าเป็น 2 ใน 3 ของแรงดันจาก supply ในตอนนี้การทำงานของลักษณะโมโนสเตเบิลของไอซีก็จะสิ้นสุดลง และขา 7 ขาดายประจุจะสวิทช์ไปสู่สถานะต่ำ (ทรานซิสเตอร์ภายในตัวไอซี) ดังนั้น C_1 ก็จะเริ่มคายประจุแบบเอ็กโพเนนเชียลเข้าสู่ขา 7 ของไอซีโดยผ่าน R_2 จนกระทั่งแรงดันที่ C_1 ลดลงถึงค่า 1 ใน 3 ของแรงดันจาก supply และขา 2 ขาทริกเกอร์ของไอซีก็จะทำงาน ในตอนนี้ลำดับการทำงานแบบโมโนสเตเบิลใหม่ก็จะเริ่มขึ้น และ C_1 เริ่มที่จะเก็บประจุอีกครั้งหนึ่งสู่ค่า 2 ใน 3 ของแรงดันจาก supply โดยผ่าน R_1 และ R_2 ลำดับการทำงานทั้งหมดจึงเกิดขึ้นซ้ำๆ กันไปเรื่อยๆ ด้วยการประจุของ C_1 สู่ค่า 2 ใน 3 ของแรงดันจาก supply โดยผ่าน R_1 และ R_2 และการคายประจุสู่ค่า 1 ใน 3 ของแรงดันจาก supply โดยผ่าน R_2 เท่านั้น

ในวงจรข้างต้น ถ้า R_2 มีค่ามากเมื่อเทียบกับ R_1 ความถี่การทำงานของวงจรก็จะกำหนดด้วยค่าของ R_2 และ C_1 และรูปคลื่นที่สมมาตรก็จะเกิดขึ้น กราฟในรูปที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์โดยประมาณระหว่างค่าความถี่และค่า C_1 , R_2 ภายใต้เงื่อนไขข้างต้น ในทางปฏิบัติค่า R_1 และ R_2 ของวงจรจะเปลี่ยนแปลงจาก 1 กิโลโอห์ม ไปถึงหลายสิบล้านโอห์ม อย่างไรก็ตาม ค่าของ R_1 มีผลสำคัญต่อการใช้กระแสทั้งหมดของวงจร เนื่องจากขา 7 ของไอซีถูกต้องลงกราวด์เป็นผลให้หากตั้งค่าไว้ไม่เหมาะสม จะทำให้รูปคลื่นไม่สมมาตร



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์โดยประมาณระหว่าง C_1 , R_2 และความถี่ โดยที่ R_2 มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับ R_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงส่วนประกอบภายในของคอยล์ รูปที่ 3.6 แสดงการเกิดเส้นแรงแม่เหล็กของคอยล์

3.6 คอยล์จุกระเบิด

ประกอบด้วยขดลวด 2 ขด คือ ขดปฐมภูมิ (Primary winding) และขดทุติยภูมิ (Secondary winding) พันอยู่รอบแกนเหล็กอ่อนซึ่งทำจากเหล็กแผ่นบางอัดซ้อนกัน (Lamination) ขดทุติยภูมิซึ่งใช้ลวดอาน้ำยาขนาดเล็กจำนวนมากพันรอบ พันรอบแกนเหล็กอ่อนอยู่ด้านใน ขดลวดปฐมภูมิซึ่งมีจำนวนไม่กี่ร้อยรอบ ทำด้วยลวดเส้นใหญ่พันอยู่รอบนอกของขดทุติยภูมิ ปลายทั้งสองของขดปฐมภูมิจะต่ออยู่กับขั้วไฟแรงต่ำ (Primary terminal) ปลายข้างหนึ่งของขดทุติยภูมิจะต่ออยู่กับขั้วไฟแรงต่ำ ปลายอีกข้างหนึ่งต่ออยู่กับขั้วไฟแรงสูง (High tension terminal) ซึ่งอยู่ตรงกลางของคอยล์ ส่วนประกอบต่างๆ ของชุดคอยล์จะมีเหล็กรูปทรงกระบอกหุ้มอยู่ และบรรจุอยู่ในกล่องเหล็กซึ่งมักจะเติมน้ำมัน เพื่อให้ฉนวนทนแรงเคลื่อนสูงดีขึ้น และระบายความร้อนออกได้เพิ่มขึ้น

ในโครงการพิเศษนี้เลือกใช้คอยล์จุกระเบิดที่มีอัตราขยายแรงดันเป็น 90 เท่าจากแรงดันขาเข้าจากชุดกำเนิดแรงดันไฟฟ้า

หลักการทำงานของคอยล์จุกระเบิด

รูปที่ 3.6 แสดงการเกิดเส้นแรงแม่เหล็กของคอยล์จุกระเบิด เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิ(ขดลวดเส้นใหญ่) เส้นแรงแม่เหล็ก(แสดงโดยเส้นประ) จะเกิดขึ้นรอบๆ ขดลวดทั้งสองขด เมื่อกระแสหยุดไหล เส้นแรงแม่เหล็กจะยุบตัว (หมดไป) ทำให้เกิดผลขึ้นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เกิดการเหนี่ยวนำขดลวดทุติยภูมิ เมื่อขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิถูกพันอยู่รอบๆ แกนเหล็กอ่อนเดียวกัน เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปในขดลวดปฐมภูมิจะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆ ขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ ขณะนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กขดลวดทุติยภูมิจึงไม่มีแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้น

เมื่อขดลวดปฐมภูมิถูกตัดวงจรอย่างทันทีทันใดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กโดยเส้นแรงแม่เหล็กยุบตัว ทำให้ขดลวดทุติยภูมิเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น ซึ่งเกิดจากการเหนี่ยวนำของเส้นแรงแม่เหล็กในขดลวดปฐมภูมิ เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเหนี่ยวนำร่วม

แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับ 3 สาเหตุคือ

1. จำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดมาก แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำก็จะมาก

2. จำนวนรอบของขดลวด จำนวนรอบของขดลวดในขดลวดทุติยภูมิมาก ก็จะเกิดการเหนี่ยวนำ เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้สูง

3. ความเร็วในการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็ก การเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กอย่างรวดเร็วในขดลวด จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูง เพื่อที่จะให้ได้รับแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงในระหว่างการเหนี่ยวนำร่วม กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรขดลวดปฐมภูมิจะต้องมาก และจะต้องถูกตัดวงจรอย่างทันทีทันใด

2. เกิดการเหนี่ยวนำตัวเอง เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในขดลวดจะมีสนามแม่เหล็กและเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นรอบๆ ขดลวด สนามแม่เหล็กและเส้นแรงแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงดันทางไฟฟ้าขึ้นในทิศทางเดียวกับการเหนี่ยวนำของเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งกระแสไฟฟ้าจะไม่สามารถไหลเข้าไปใน ขดลวดได้โดยทันทีทันใดเมื่อมันเริ่มต้นไหลเข้าไป เพราะว่าจะขดลวดจะมีความต้านทานภายในอยู่ แต่จะต้องใช้ระยะเวลาหนึ่งกระแสไฟฟ้าจึงจะสามารถไหลเข้าไปในขดลวดจนเต็ม เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปในขดลวดจนเต็มและถูกตัดวงจรอย่างทันทีทันใด สนามแม่เหล็กจะยุบตัวลงตัดกับขดลวดเกิดการเปลี่ยนแปลงการเหนี่ยวนำของเส้นแรงแม่เหล็กของขดลวด ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น เราเรียกปรากฏการณ์ นี้ว่า การเหนี่ยวนำตัวเอง

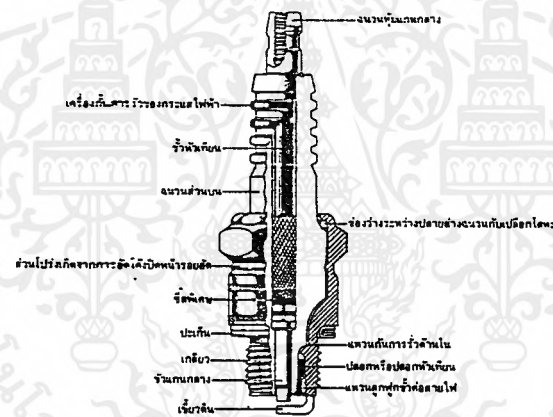
3.7 หัวเทียน

ทำหน้าที่ให้ไฟฟ้าแรงดันสูงกระโดดข้ามช่องหัวเทียนเพื่อให้เกิดประกายไฟ (สปาร์ก) เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดการสปาร์กที่สปาร์กแกปตามมา คุณสมบัติของหัวเทียนที่ดี คือ

1. สามารถให้ประกายไฟได้หลายล้านครั้งภายใต้ความร้อนและความดันสูง
2. สามารถนำกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงซึ่งอาจสูงถึง 25,000 - 30,000 โวลต์
3. มีช่องหัวเทียนที่ทนทานและมีประสิทธิภาพในการให้ประกายไฟ
4. ต้องมีการจุดประกายไฟที่แน่นอนในทุกสภาวะการทำงาน

โครงสร้างของหัวเทียน

โครงสร้างและหน้าที่ของส่วนประกอบต่างๆ ของหัวเทียนมีดังนี้



รูปที่ 3.7 แสดงภาพตัดของหัวเทียน

1. เครื่องกั้นการรั่วของกระแสไฟฟ้า
2. ขั้วหัวเทียน
3. ฉนวนส่วนบน ทำจากอลูมินาหรืออลูมิเนียมออกไซด์ ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษ เช่น การนำความร้อนได้ดี ความแข็งแรงสูง ทนทานต่อความร้อน และทนต่อการกัดกร่อน
4. ส่วนโปร่งอันเกิดจากการอัดโค้งปิดหน้ารอยอัด และการทำให้ปลอกเหล็กตัวยึดแน่นหลังจากอบร้อนแล้ว
5. ซีลพิเศษ เป็นฉนวนพิเศษป้องกันการรั่วของก๊าซและเป็นตัวนำไฟฟ้าแรงสูงได้
6. ปะเก็น เป็นตัวป้องกันการรั่วไหลของก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เกลียว ความยาวของเกลียวจะเป็นไปตามขนาดที่กำหนดในมาตรฐานอุตสาหกรรม

สากล

8. ขั้วแกนกลาง ทำจากโลหะพิเศษที่ทนทานต่อการกัดกร่อนและสามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ดี

9. เชี่ยวดิน

10. ฉนวนหุ้มแกนกลาง เป็นส่วนกำหนดช่วงความร้อนของหัวเทียน

11. ช่องว่างระหว่างปลายล่างฉนวนกับเปลือกโลหะ เป็นบริเวณที่สะสมคราบเขม่า ช่องนี้จะมีความกว้างหรือแคบ จะส่งผลถึงอุณหภูมิของหัวเทียน

12. แหวนกันการรั่วด้านใน

13. ปลอกหรือเปลือกหัวเทียน

14. แหวนลูกฟูก

15. ขั้วต่อสายไฟ

การทำงาน

ไฟแรงสูงจากคอยล์จุดระเบิดจะไหลผ่านสายไฟแรงดันสูงผ่านมายังแกนกลาง (Center electrode) ของหัวเทียนแล้ว กระโดดข้ามช่องว่างไปยังเชิ่วของหัวเทียนที่ต่อลงกราวด์ ทำให้เกิดประกายไฟเป็นจังหวะ

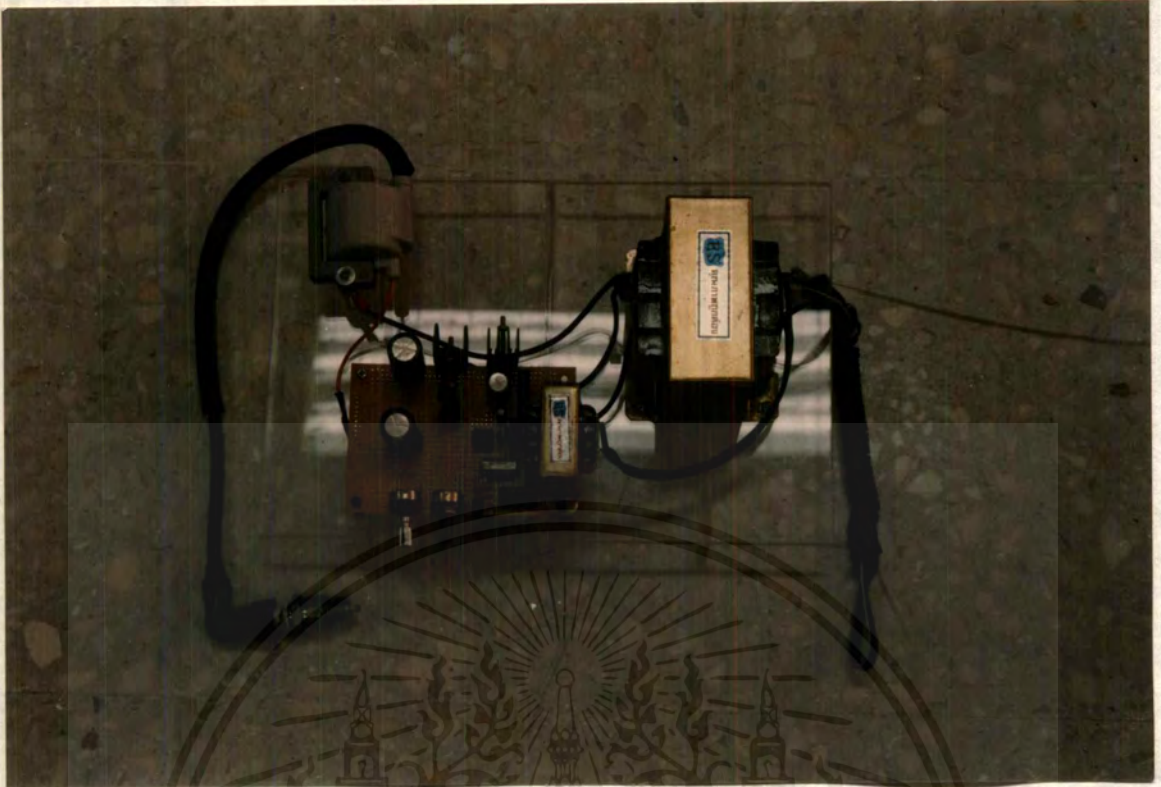
3.8 ขั้นตอนการประกอบวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์

หลังจากที่ทำการออกแบบและสร้างส่วนต่างๆ ของวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว ซึ่งสรุปส่วนที่สำคัญได้ดังนี้

1. ชุดกำเนิดแรงดันไฟฟ้า 62 โวลต์ กระแส 5 แอมแปร์ โดยเลือกใช้ทรินสเตอร์ที่สามารถทนแรงดันได้สูงสุด 600 โวลต์ และทนกระแสได้สูงสุด 20 แอมแปร์
2. ชุดกำเนิดสัญญาณกระตุ้น สามารถปรับค่าความถี่ได้อยู่ในช่วง 0.5 - 10 เฮิร์ต
3. คอยล์จุดระเบิด อัตราขยาย 90 เท่า
4. หัวเทียน ชนิดหัวเทียนร้อน ที่มีระยะเชิ่วหัวเทียนเท่ากับ 0.711 มิลลิเมตร

เมื่อประกอบส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เป็นวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์ที่สมบูรณ์ รูปถ่ายของวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์แสดงในรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 รูปถ่ายของวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์

เมื่อทำการประกอบวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์ เข้ากับระบบไนโตรเจนเลเซอร์ รูปถ่ายของระบบ TEA N₂ Laser แสดงดังรูปที่ 3.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น **รูปที่ 3.9 รูปถ่ายของระบบ TEA N₂ Laser ประกอบกับวงจรกระตุ้น** ที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง ผลการทดลอง และการอภิปรายผล

4.1 การทดสอบการทำงานของวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์

1. จัดชุดกำเนิดแสงเลเซอร์ ทำการปรับระยะของแท่งอลูมิเนียม ซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าให้ระยะห่างเท่ากับ 1.499 มิลลิเมตร โดยใช้ฟิลเตอร์ที่ใช้วัดระยะห่างของเขี้ยวหัวเทียนในรถจักรยานยนต์เป็นตัวช่วยในการปรับระยะ เพื่อให้ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดเท่ากันตลอดความยาว
2. จัดชุดวงจรกระตุ้นไนโตรเจนเลเซอร์ ปรับค่าความถี่เริ่มต้นไว้ที่ค่าความถี่ของการกระตุ้นต่ำสุด (ประมาณ 0.5 เฮิร์ต)
3. ตั้งระยะของสปาร์กแกป (ระยะห่างระหว่างแท่งสแตนเลสกับเขี้ยวของหัวเทียน) ให้ห่างกัน 2.286 มิลลิเมตร โดยใช้ฟิลเตอร์เช่นกัน (เพื่อให้ได้ค่าที่แน่นอน)
4. ป้อนแรงดันไฟฟ้าจากชุดจ่ายไฟแรงดันสูงกระแสตรง เข้าไปยังชุดกำเนิดแสงเลเซอร์ โดยการปรับแรงดันเพิ่มขึ้นช้าๆ จนกว่าสปาร์กแกปจะเริ่มทำการสปาร์ก ปรับให้ค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่แล้วทดลองปรับค่าความถี่เพิ่มขึ้น สังเกตว่าเกิดการสปาร์กด้วยความถี่สม่ำเสมอหรือไม่ หากไม่สม่ำเสมอ ปรับแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ต้องระวังไม่ให้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงเกิน 15 กิโลโวลต์ เพราะจะมีผลทำให้แผ่นไมลาร์ทะลุหรือเกิดความเสียหายได้ แรงดันไฟฟ้าที่เกิดการสปาร์กอย่างสม่ำเสมอในทุกค่าความถี่ถือเป็นแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มของการเกิดการสปาร์ก บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า
5. ปรับแรงดันไฟฟ้า ให้ลดลงจนค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าเป็นศูนย์ จะเกิดการคายประจุที่สปาร์กแกป ซึ่งอาจเร่งการคายประจุด้วยการฉีดหน้าสัมผัสระหว่างแท่งสแตนเลสกับเขี้ยวหัวเทียน
6. ปรับระยะห่างของสปาร์กแกปเป็น 2.671 มิลลิเมตร , 3.029 มิลลิเมตร , 3.791 มิลลิเมตร และ 4.426 มิลลิเมตร ตามลำดับ แล้วทำการทดลองตามข้อ 4-5 บันทึกผลการทดลอง
7. ปรับระยะห่างของขั้วไฟฟ้าเป็น 1.778 มิลลิเมตร , 2.286 มิลลิเมตร และ 3.029 มิลลิเมตร ตามลำดับ แล้วทำการทดลองตามข้อ 4-6 บันทึกผลและสรุปผลการทดลอง

ตารางที่ 2 ตารางบันทึกผลการทดลอง

ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (มิลลิเมตร)	ระยะห่างสปาร์กแกป (มิลลิเมตร)	แรงดันขีดเริ่มที่เกิด การสปาร์ก (กิโลโวลต์)	หมายเหตุ
1.499	2.286	8	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่
	2.671	9	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่
	3.029	10	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่
	3.791	11	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่
	4.426	11.5	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่
1.778	2.286	9	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่
	2.671	9.5	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่
	3.029	10.5	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่
	3.791	11.5	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่
	4.426	12.5	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่
2.286	2.286	9	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่
	2.671	10	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่
	3.029	10.5	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่
	3.791	11.5	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่
	4.426	12.5	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่
3.029	2.286	9.5	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่
	2.671	10	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่
	3.029	10.5	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่
	3.719	11.5	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่
	4.426	12.5	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่
3.791	2.286	10	ผิดพลาด
	2.671	10.5	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่
	3.029	11	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่
	3.791	11.5	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่
	4.426	12.5	สปาร์กสม่ำเสมอที่ทุกความถี่

ผิดพลาด : ที่แรงดันค่าน้อยๆเกิดการสปาร์กที่ขั้วอิเล็กโทรดเพียงตำแหน่งเดียว เมื่อเพิ่มแรงดันทำให้เกิดการสปาร์ก อย่างรวดเร็ว(ไม่สม่ำเสมอ)ที่สปาร์กแกป อันเป็นผลจากระยะสปาร์กแกปที่แคบเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 อภิปรายผลการทดลอง

1. จากการทดลองทั้งหมดอาจสรุปได้ว่า การสปาร์กที่สม่ำเสมอจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อ ป้อนแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับเกิดการสปาร์กที่สัมพันธ์กับระยะห่างระหว่างสปาร์กแกปและระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดค่าหนึ่งๆ

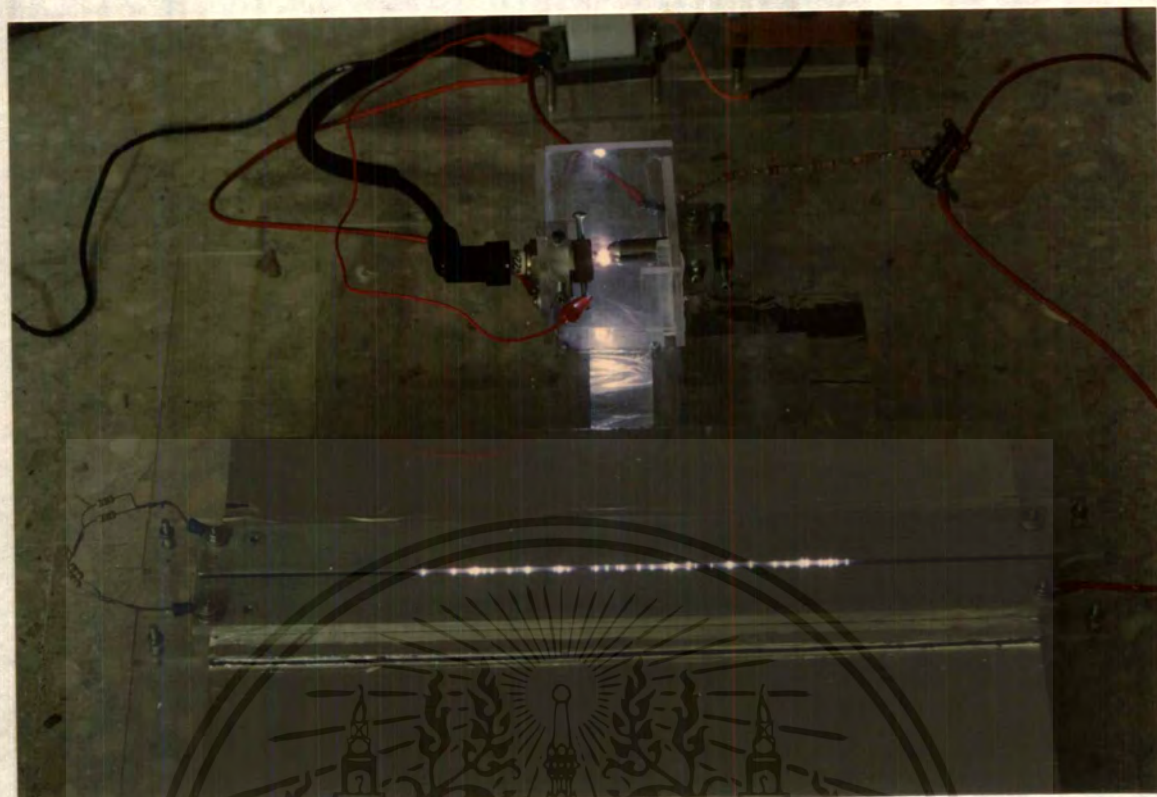
2. การสปาร์กที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน คือการสปาร์กด้วยความถี่สม่ำเสมอ และเกิดการสปาร์กที่ขั้วอิเล็กโทรดหลายๆ ตำแหน่ง นั่นคือเป็นการเพิ่มประจุไฟฟ้า(ไอออน)ในการกำเนิดเลเซอร์

3. ที่ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดค่าหนึ่ง พบว่าเมื่อทำการเพิ่มระยะห่างระหว่างสปาร์กแกป มากขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการเกิดการสปาร์กจะมีค่าเพิ่มขึ้น

4. เมื่อทำการเพิ่มระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด แรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการเกิดการสปาร์กจะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่จะเกิดข้อผิดพลาดเมื่อระยะห่างระหว่างสปาร์กแกปมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรด

5. ที่ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าเป็น 3.784 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างสปาร์กแกปเป็น 2.286 มิลลิเมตร เป็นระยะที่ไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน เนื่องจากระยะห่างระหว่างสปาร์กแกป น้อยเกินไป เมื่อทำการเพิ่มแรงดันจนถึงระดับทำงานพบว่า จะเกิดการสปาร์กที่สปาร์กแกป แต่จะเหนี่ยวนำให้เกิดการสปาร์กที่ขั้วอิเล็กโทรดเพียงเล็กน้อย (ตำแหน่งเดียว) ต่อเมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นจะเกิดการสปาร์กอย่างรวดเร็ว(ไม่สม่ำเสมอ)ที่สปาร์กแกป อาจส่งผลให้แผ่นไมลาร์เกิดความเสียหายได้

6. จากการใช้วงจรกระตุ้นในโคโรเจนเลเซอร์ สามารถทำให้เกิดการสปาร์กอย่างสม่ำเสมอในทุกๆ ระยะห่างระหว่างสปาร์กแกป และทุกๆ ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด โดยใช้แรงดันที่ป้อนให้กับระบบอยู่ในช่วงที่สามารถทำงานได้ ไม่เกินขีดจำกัดของชุดจ่ายไฟแรงดันสูง (0-15 กิโลโวลท์)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.1 แสดงภาพถ่ายการเกิดการสปาร์กที่ขั้วอิเล็กโทรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การวิจัยในครั้งนี้สามารถสร้างชุดกำเนิดแรงดันไฟฟ้าของวงจรกระตุ้นในโทรเจนเลเซอร์ ที่ให้แรงดันไฟฟ้าขาออก 62 โวลต์และกระแสขาออก 5 แอมแปร์ โดยใช้ทรินสเตอร์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ ควบคุมจังหวะของการให้กระแสไฟฟ้าไหลไปสู่คอยล์จุดระเบิด ซึ่งจะได้รับสัญญาณกระตุ้นที่มาจากชุดกำเนิดสัญญาณกระตุ้น (clock)

ชุดกำเนิดสัญญาณกระตุ้น สร้างจากการใช้ ไอซี 555 ไทเมอร์ ต่อเป็นวงจรอะอสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ ที่สามารถปรับความถี่ของสัญญาณกระตุ้นได้ โดยการปรับค่าความต้านทานที่ตัวต้านทานปรับค่าได้ซึ่งต่ออยู่ระหว่างขา 6 และขา 7 ของไอซี ซึ่งสามารถปรับค่าความถี่ได้อยู่ในช่วง 0.5 ถึง 10 เฮิร์ต

อีกทั้งยังสามารถปรับค่าความกว้างของพัลส์ที่ใช้ในการกระตุ้น (pulse width) ได้อีกด้วย แต่ในการทดลองนี้จะทำการตั้งค่าความกว้างของพัลส์ให้มีค่าคงที่ โดยจะตั้งให้มีพัลส์แคบๆ เพราะจะมีผลต่อการนำกระแสของทรินสเตอร์ หากตั้งให้มีความกว้างมาก ทำให้ทรินสเตอร์นำกระแส นาน อาจเป็นผลให้เกิดความเสียหายได้

ที่ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดค่าหนึ่ง จะต้องทำการปรับแรงดันไฟฟ้าจนกระทั่งถึงค่าที่เหมาะสม จึงทำให้เกิดการสปาร์กอย่างสม่ำเสมอได้ หากทำการปรับให้แรงดันสูงขึ้นจะทำให้เกิดการสปาร์กที่ขั้วอิเล็กโทรดแรงขึ้น แต่เนื่องจากขีดจำกัดของชุดจ่ายไฟแรงดันสูง ซึ่งสามารถปรับค่าแรงดันได้ไม่เกิน 15 กิโลโวลต์ และระยะห่างระหว่างสปาร์กแคปที่ต้องไม่น้อยเกินไปเมื่อเทียบกับระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด จึงมีช่วงการทำงานจำกัด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ก่อนทำการทดลองทุกครั้งต้องทำความสะอาดที่ชุดกำเนิดในโทรเจนเลเซอร์ โดยเฉพาะที่แผ่น อลูมิเนียมฟอยล์และแผ่นไมลาร์ อีกทั้งในขณะที่ทำการทดลองควรจัดให้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์แนบสนิท กับแผ่นไมลาร์โดยไม่มีฟองอากาศอยู่ภายใน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสปาร์กอย่างเต็มที่

2. อัตราการสปาร์กมีขีดจำกัดอยู่ในช่วง 0.5-10 เฮิร์ต จึงควรทำการพัฒนาให้มีช่วงความถี่ที่กว้างขึ้น โดยการใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ที่มีค่าความต้านทานมากขึ้นในชุดกำเนิด สัญญาณ กระตุ่น

3. ความถี่ที่ใช้ในการทดลองสามารถปรับได้สูงสุดถึงค่าประมาณ 10 เฮิร์ต แต่ที่ความถี่มีค่าสูงมากๆ นั้น ชุดวงจรกระตุ้นในโทรเจนเลเซอร์จะเกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว ที่หม้อแปลงไฟฟ้าในชุดกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และที่คอยล์จุกะเบิด จึงไม่ควรทดลองที่ความถี่สูงด้วยระยะเวลาหลายๆ เพราะจะเป็นเหตุให้เกิดความเสียหายได้

4. ในการใช้งานวงจรกระตุ้นในโทรเจนเลเซอร์นานๆ จะทำให้หม้อแปลงเกิดความร้อนขึ้นอันเป็นผลจากการดึงกระแสในขณะที่เกิดการสปาร์ก จึงควรพัฒนาเพิ่มส่วนระบายความร้อนเข้าไปในชุดทดลองด้วย หรืออาจใช้หม้อแปลงที่จ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงกว่าแทน

5. เมื่อทำการใช้งานเป็นระยะเวลาหลายๆ จะทำให้เกิดคราบเขม่าสีดำเกาะอยู่ที่ขั้วหัวเทียน ดังนั้นจึงควรถอดหัวเทียนออกมาขัดและทำความสะอาด รวมถึงแท่งสแตนเลสที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าก็เช่นกัน ควรตรวจสอบก่อนใช้งานทุกครั้ง

6. ในการเพิ่มค่าความถี่ โดยการใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ จำเป็นต้องค่อยๆ ปรับ เพื่อให้วงจรสามารถตอบสนองต่อความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปได้ทัน แต่เนื่องจากตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ใช้มีความละเอียดในการปรับค่าน้อย จึงเห็นความแตกต่างที่ความถี่ต่างกันได้น้อย จึงควรพัฒนาใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ที่มีความละเอียดสูงขึ้น

บรรณานุกรม

1. อร่าม เรืองฤทธิ์. ไฟฟ้ารถยนต์ จัดพิมพ์โดย อร่าม เรืองฤทธิ์ วิทยาลัยอาชีวศึกษา สมุทรปราการ วิทยาเขต 1 บางปู อ.เมือง จ.สมุทรปราการ . 2535.
2. ชีระยุทธ สุวรรณประทีป. วิศวกรรมยานยนต์ภาคบรรยาย ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ การพิมพ์ . 2535.
3. บุญธรรม ภัทรจารุกุล , ประสานพงษ์ หาเรือนชีพ. ทฤษฎีและปฏิบัติไฟฟ้ารถยนต์ บริษัท ซีเอ็ดดูนิเคชั่นจำกัด(มหาชน) . 2532.
4. ไชยยันต์ ถาวรภรณ์ และ คณะ. ทฤษฎีและปฏิบัติจักรยานยนต์ บริษัทซีเอ็ดดูนิเคชั่นจำกัด
5. ผศ.ดำรงศักดิ์ มณีพงษ์สวัสดิ์. หลักการของเลเซอร์ โรงพิมพ์สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยราม-คำแหง. 2533.
6. วันชัย คุณากรวงศ์ และคณะ. การคำนวณวงจรทรานซิสเตอร์ สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์. 2535
7. รัตน์สุดา ทองแดง , ปิยะรัช ศรีเหนียง . เอกสารวิจัยระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2539.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ความปลอดภัยในการใช้เลเซอร์

การป้องกันอันตรายอันเกิดจากแสงเลเซอร์และระบบเลเซอร์นั้น เป็นเรื่องละเอียดอ่อน ต้องใช้ความสุ่มและรอบคอบ ประกอบกับประสบการณ์ในการทำงานทางด้านเลเซอร์มาพอสมควร จึงจะเข้าใจและป้องกันได้ ในทุกๆ ด้านอย่างไรก็ตาม มีความจำเป็นต้องกล่าวเกี่ยวกับการป้องกันหลักการหรือการป้องกันพื้นฐาน (Basic Preventions) ไว้เพื่อเป็นการเตรียมการและให้ผู้ที่จะใช้เลเซอร์ได้ตระหนักถึงความปลอดภัย โดยทั่วไปในการทำงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนั้น เราจำเป็นต้องเน้นความปลอดภัยเป็นอันดับแรก (Safety First)

หลักการใหญ่ในการป้องกันอันตรายจากเลเซอร์ก็คือพยายามออกแบบและจัดการทดลอง/ปฏิบัติการเกี่ยวกับเลเซอร์นั้น โดยให้สถานที่ทำงานถูกจัดแบ่งส่วน แล้วทำให้โอกาสที่แสงเลเซอร์นั้น จะกระทบถูกต้องน้อยนิดตาและผิวหนังได้น้อยมาก ไม่ว่าจะเป็นทางตรง (Direct exposure) หรือโดยการสะท้อนกลับ (Reflection) แต่อย่างไรก็ตามเราไม่สามารถจะจัดการให้เป็นไปตามประสงค์ดังกล่าวได้ถูกสถานที่และโอกาส ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการป้องกันดังต่อไปนี้

1. การใช้แว่นตาพิเศษ ที่มีค่าออฟติคัลเดนซิตี (Optical density , OD) สูงมาสวมใส่ป้องกันนัยน์ตา อย่างไรก็ตามเราไม่สามารถใช้แว่นตาพิเศษที่มี OD สูงป้องกันแสงเลเซอร์ได้หลายช่วงคลื่นของสเปกตรัม จะมีแว่นตาพิเศษที่มี OD สูงๆ เป็นเฉพาะช่วงคลื่นใดช่วงคลื่นหนึ่งเท่านั้น ออฟติคัลเดนซิตี (OD) นั่นก็คือขีดความสามารถในการตัดทอน (Attenuation) ความเข้มของแสงตกกระทบ (Incident light) ซึ่งเป็นไปตามสูตร

$$OD = -\log_{10}(I/I_0)$$

เมื่อ I_0 เป็นความเข้มตกกระทบ (Incident intensity)

I เป็นความเข้มที่ทะลุผ่าน (Transmitted intensity)

2. การจัดแนวเส้นทางของแสงเลเซอร์ (Laser beam path) การติดตั้งการทดลอง/ปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับเลเซอร์กำลังสูงแบบให้ลำแสงต่อเนื่อง หรือแบบเป็นพัลส์นั้น ควรจะจัดเส้นทางของแสง (Beam path) ให้ปลอดภัยไปรงจากอุปสรรคและมีแนวโน้มที่นัยน์ตาของผู้ปฏิบัติงาน อยู่ห่างเส้นทางของลำแสงเลเซอร์

3. การระมัดระวังเกี่ยวกับการสะท้อนกลับของแสงเลเซอร์ (Laser reflection) ในการทดลอง/ปฏิบัติการเกี่ยวกับเลเซอร์ที่มีช่วงความยาวคลื่นในช่วง $400 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$ (Visible region) และย่านเข้าใกล้ช่วงอินฟราเรด $700 \text{ nm} < \lambda < 1.4 \mu\text{m}$ นั้นนอกเหนือจากการระมัดระวังมิให้นัยน์ตาของผู้ปฏิบัติ มองโดยตรงหรือลำแสงเลเซอร์ตกกระทบ (Incident laser beam) เข้าสู่ นัยน์ตาแล้ว

เราจำเป็นต้องระวังในเรื่องของแสงเลเซอร์ที่ยังออกมา แล้วไปกระทบเป้าหรือสิ่งกีดขวาง เกิดเป็นแสงสะท้อนกลับเข้าสู่ นัยน์ตาของผู้ปฏิบัติการอีกด้วย แสงเลเซอร์ที่สะท้อนกลับเป็นสิ่งที่บางครั้งคาดไม่ถึง อาทิเช่น กระทบตัวเรือนของนาฬิกาข้อมือ โครงโลหะของอุปกรณ์ต่างๆ กระจก เลนส์ ฯลฯ แสงสะท้อนกลับโดยตรง เป็นแสงที่อันตรายมากเกิดจากการสะท้อนกลับจากกระจกเงา หรือผิวโลหะขัดมัน แสงนี้จะมีค่าเข้มสูงและเมื่อผ่านเข้า นัยน์ตา เลนส์ นัยน์ตาจะรวมแสงที่เรตินาทำให้เกิดความหนาแน่นของกำลังสูงมาก จะทำอันตรายแก่เรตินาได้ง่าย แสงสะท้อนกลับอีกรูปแบบหนึ่งก็คือแสงสะท้อนแบบกระจายออก แสงนี้จะมีค่าเข้มของแสงลดลงเป็นสัดส่วนผกผันกับระยะทางกำลังสอง ดังนั้นหากนัยน์ตาของผู้ปฏิบัติการอยู่ไกลจากจุดสะท้อนกลับเท่าใด ความเข้มจะลดลงอย่างมากๆ โอกาสจะทำอันตรายต่อเรตินาจะลดน้อยลง

โดยทั่วไปการป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับนัยน์ตานั้นจากการยิงเลเซอร์ แบบที่มีพัลส์ (Pulse) มีกำลังสูงนั้นผู้ปฏิบัติการ มักจะใช้แว่นพิเศษสวมและหันหน้าออกจากระบบเลเซอร์และ เป้า แล้วหวนกลับมาจะกดปุ่มยิงเลเซอร์ ในการยิงเลเซอร์นั้นก็ต้องมีการนับ (Count down) ให้ผู้อยู่ใกล้เคียงได้ยินเป็นการเตือน ให้เตรียมตัวล่วงหน้าก่อนลงมือยิงเลเซอร์เป็นต้น

4. การจัดเครื่องกีดขวาง และสัญญาณเตือน ในการดำเนินงานเกี่ยวกับแสงเลเซอร์กำลังสูงแบบต่อเนื่องหรือแบบพัลส์นั้น ในบริเวณปฏิบัติการหรือห้องปฏิบัติการควรมีเครื่องหมายเตือน และสัญญาณไฟกระพริบเพื่อเตือนผู้อยู่ใกล้เคียงให้ระมัดระวังแสงเลเซอร์ (ซึ่งบางครั้งอาจเป็นช่วงความยาวคลื่นที่ตาเปล่ามองไม่เห็น) นอกจากนี้ต้องมีเครื่องกีดขวาง เพื่อป้องกันผู้ปฏิบัติการ หรือบุคคลภายนอกเข้าใกล้บริเวณที่แสงเลเซอร์จะผ่านออกมาหรือป้องกันมิให้ไปถูก/จับบริเวณที่มี ศักคาไฟฟ้าสูง (High voltage)-เพราะจะเป็นอันตรายถึงชีวิตทันที

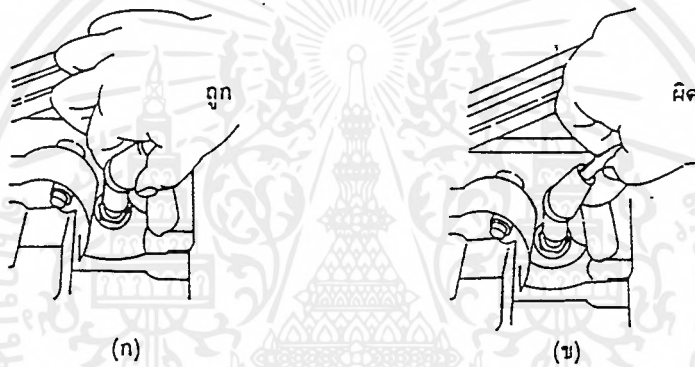
5. การฝึกอบรมผู้ปฏิบัติการทางเลเซอร์ ในการป้องกันระยะยาวและได้ผลดีนั้น ควรจะมีการฝึกอบรมผู้ที่ใช้ หรือมาปฏิบัติการเกี่ยวกับระบบเลเซอร์ให้ทราบถึงวิธีการป้องกันและระวังอันตรายที่จะเกิดขึ้น นอกจากนี้ควรมีคู่มือการปฏิบัติการเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้เลเซอร์ ตลอดจนกฎระเบียบข้อบังคับในเรื่องการรักษาความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการให้ผู้ปฏิบัติการอ่าน และรับทราบ

การตรวจสอบระบบจุกระเบิด

การตรวจสอบหาข้อบกพร่องของระบบจุกระเบิดเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่เกิดขึ้นและแก้ไขให้ถูกต้อง ควรจะได้ทำตามขั้นตอนที่ได้แนะนำไว้เพื่อจะได้ค้นหาสาเหตุ และแก้ไขได้ถูกต้องและรวดเร็วขึ้น ขั้นตอนการปฏิบัติมีดังนี้

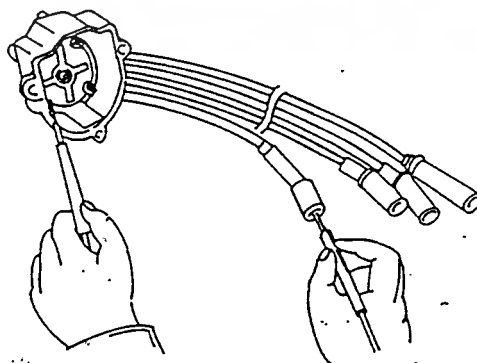
ตรวจสอบสายไฟแรงสูง (สายหัวเทียน) การตรวจสอบสายไฟแรงสูง ทำได้ดังนี้

1. ทดสอบแรงเคลื่อนไฟแรงสูงโดยใช้มือจับที่ยางหุ้มขั้วสายหัวเทียน ดึงสายหัวเทียนออกและจี๊ที่กราวด์น ป้อนแรงดันไฟเข้าที่ระบบทดสอบว่ามีประกายไฟเกิดขึ้นหรือไม่แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การตรวจสอบสายไฟแรงสูง (สายหัวเทียน)

ตรวจค่าความต้านทานสายหัวเทียน(แบบตัวนำเป็นคาร์บอน)ค่าความต้านทานต้องน้อยกว่า 25 กิโลโอห์ม ถ้าค่าความต้านทานมากกว่านี้ให้เปลี่ยนสายหัวเทียนใหม่ แสดงการตรวจดังรูปที่ 2

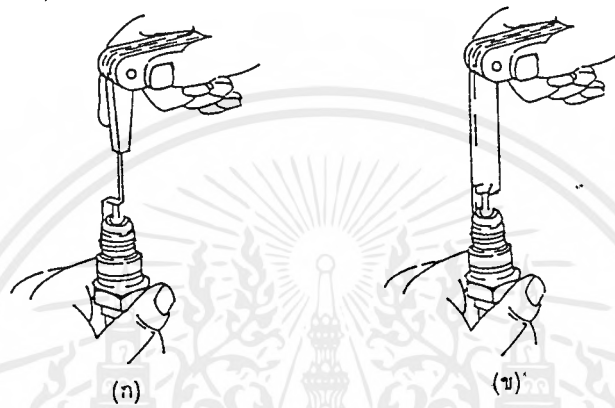


รูปที่ 2 การตรวจค่าความต้านทานสายหัวเทียน (แบบตัวนำคาร์บอน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบหัวเทียน

ถอดหัวเทียนออกทำความสะอาดด้วยเครื่องล้างหัวเทียนหรือแปรงลวด ตรวจสอบขั้วอิเล็กทรอนิกส์ โทรด เชื้อหัวเทียน เกลียวหัวเทียน ถ้ามีข้อบกพร่องให้เปลี่ยนหัวเทียนใหม่ ตั้งระยะห่างเชื้อหัวเทียนใหม่ให้ถูกต้อง วิธีตรวจสอบหัวเทียนแสดงดังรูปที่ 3

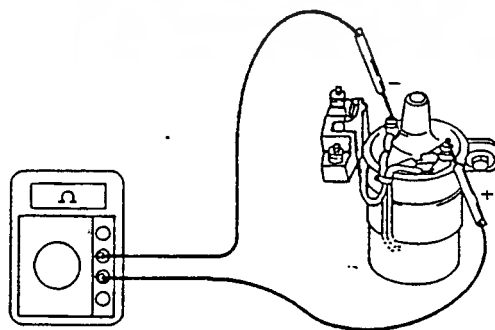


รูปที่ 3 การตรวจสอบหัวเทียน

ตรวจสอบคอยล์จุดระเบิด

การตรวจสอบคอยล์จุดระเบิดทำได้ดังนี้

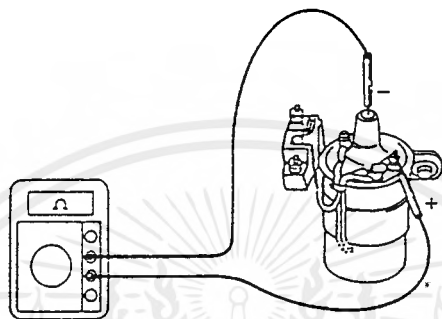
1. ตรวจสอบความต้านทานขดลวดปฐมภูมิ โดยถอดสายไฟแรงสูงออก ถอดสายไฟที่เข้าหัวเทียนออก ค่าความต้านทานของขดลวดปฐมภูมิต้องมีค่าประมาณ 1.3 ถึง 1.6 โอห์ม ถ้าไม่ได้ค่าตามนี้ให้เปลี่ยนใหม่ วิธีตรวจสอบความต้านทานขดลวดปฐมภูมิแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การตรวจสอบความต้านทานขดลวดปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตรวจสอบความต้านทานขดลวดทุติยภูมิ ค่าความต้านทานของขดลวดทุติยภูมิต้องมีค่าประมาณ 10.7 ถึง 14.5 กิโลโอห์ม ถ้าไม่ได้ค่าตามนี้ให้เปลี่ยนคอยล์ใหม่ วิธีตรวจสอบความต้านทานขดลวดทุติยภูมิแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การตรวจสอบความต้านทานขดลวดทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



National Semiconductor Corporation

LM555/LM555C Timer

General Description

The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200 mA or drive TTL circuits.

- Adjustable duty cycle
- Output can source or sink 200 mA
- Output and supply TTL compatible
- Temperature stability better than 0.005% per °C
- Normally on and normally off output

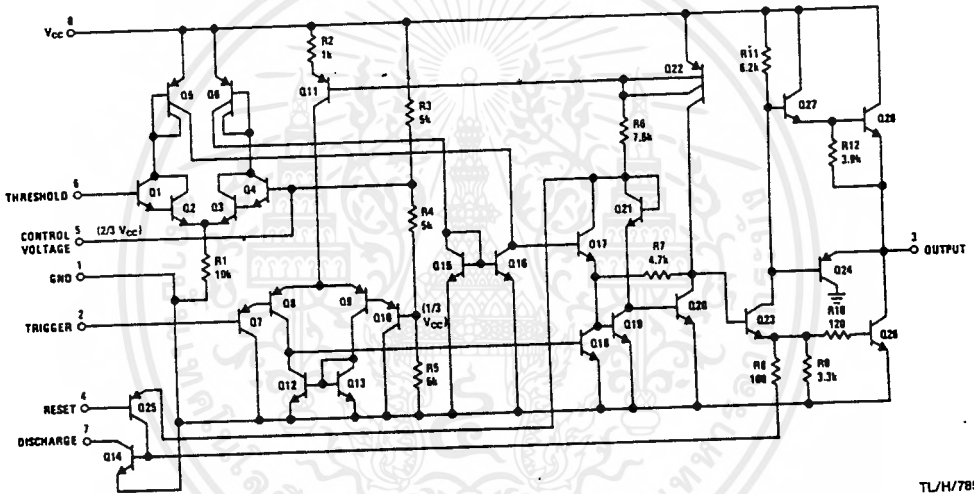
Applications

- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Linear ramp generator

Features

- Direct replacement for SE555/NE555
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes

Schematic Diagram



TL/H/7851-1

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+18V
Power Dissipation (Note 1)	LM555H, LM555CH 760 mW
Operating Temperature Ranges	LM555N, LM555CN 1180 mW
LM555C	0°C to +70°C
LM555	-55°C to +125°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Soldering Information

Dual-In-Line Package	
Soldering (10 Seconds)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 Seconds)	215°C
Infrared (15 Seconds)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

Electrical Characteristics ($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V}$ to $+15\text{V}$, unless otherwise specified)

Parameter	Conditions	Limits						Units
		LM555			LM555C			
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Supply Voltage		4.5		18	4.5		16	V
Supply Current	$V_{CC} = 5\text{V}$, $R_L = \infty$ $V_{CC} = 5\text{V}$, $R_L = \infty$ (Low State) (Note 2)		3 10	5 12		3 10	6 15	mA mA
Timing Error, Monostable								
Initial Accuracy			0.5			1		%
Drift with Temperature	$R_A, R_B = 1\text{k to }100\text{ k}$, $C = 0.1\ \mu\text{F}$, (Note 3)		30			50		ppm/°C
Accuracy over Temperature			1.5			1.5		%
Drift with Supply			0.05			0.1		%/V
Timing Error, Astable								
Initial Accuracy			1.5			2.25		%
Drift with Temperature			90			150		ppm/°C
Accuracy over Temperature			2.5			3.0		%
Drift with Supply			0.15			0.30		%/V
Threshold Voltage			0.667			0.667		$\times V_{CC}$
Trigger Voltage	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$	4.8 1.45	5 1.67	5.2 1.9		5 1.67		V V
Trigger Current			0.01	0.5		0.5	0.9	μA
Reset Voltage		0.4	0.5	1	0.4	0.5	1	V
Reset Current			0.1	0.4		0.1	0.4	mA
Threshold Current	(Note 4)		0.1	0.25		0.1	0.25	μA
Control Voltage Level	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$	9.6 2.9	10 3.33	10.4 3.8	9 2.6	10 3.33	11 4	V V
Pin 7 Leakage Output High			1	100		1	100	nA
Pin 7 Sat (Note 5)								
Output Low	$V_{CC} = 15\text{V}$, $I_T = 15\text{ mA}$		150			180		mV
Output Low	$V_{CC} = 4.5\text{V}$, $I_T = 4.5\text{ mA}$		70	100		80	200	mV

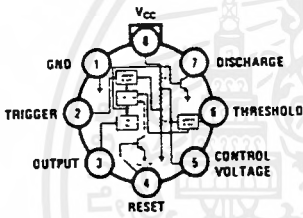
Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V to } +15\text{V}$, (unless otherwise specified) (Continued)

Parameter	Conditions	Limits						Units
		LM555			LM555C			
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage Drop (Low)	$V_{CC} = 15\text{V}$							
	$I_{\text{SINK}} = 10\text{ mA}$		0.1	0.15		0.1	0.25	V
	$I_{\text{SINK}} = 50\text{ mA}$		0.4	0.5		0.4	0.75	V
	$I_{\text{SINK}} = 100\text{ mA}$		2	2.2		2	2.5	V
	$I_{\text{SINK}} = 200\text{ mA}$		2.5			2.5		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$							
Output Voltage Drop (High)	$I_{\text{SOURCE}} = 200\text{ mA}$, $V_{CC} = 15\text{V}$		12.5			12.5		V
	$I_{\text{SOURCE}} = 100\text{ mA}$, $V_{CC} = 15\text{V}$	13	13.3		12.75	13.3		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$	3	3.3		2.75	3.3		V
			100			100		ns
			100			100		ns

- Note 1:** For operating at elevated temperatures the device must be derated above 25°C based on a $+150^\circ\text{C}$ maximum junction temperature and a thermal resistance of 164°C/w (T0-5), 106°C/w (DIP) and 170°C/w (SO-8) junction to ambient.
- Note 2:** Supply current when output high typically 1 mA less at $V_{CC} = 5\text{V}$.
- Note 3:** Tested at $V_{CC} = 5\text{V}$ and $V_{CC} = 15\text{V}$.
- Note 4:** This will determine the maximum value of $R_A + R_B$ for 15V operation. The maximum total ($R_A + R_B$) is 20 M Ω .
- Note 5:** No protection against excessive pin 7 current is necessary providing the package dissipation rating will not be exceeded.
- Note 6:** Refer to RETS555X drawing of military LM555H and LM555J versions for specifications.

Connection Diagrams

Metal Can Package

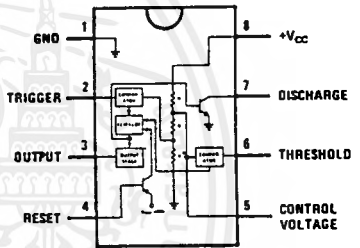


Top View

Order Number LM555H or LM555CH
See NS Package Number H08C

TL/H/7851-2

Dual-In-Line and Small Outline Packages



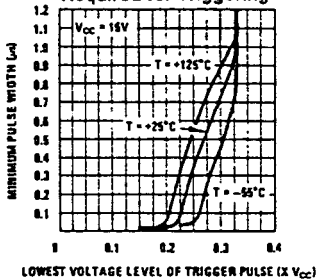
Top View

Order Number LM555J, LM555CJ,
LM555CM or LM555CN
See NS Package Number J08A, M08A or N08B

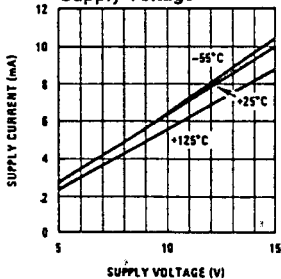
TL/H/7851-3

Typical Performance Characteristics

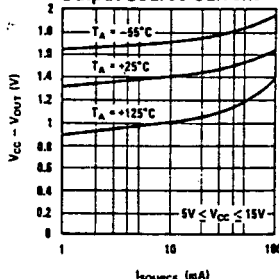
Minimum Pulse Width Required for Triggering



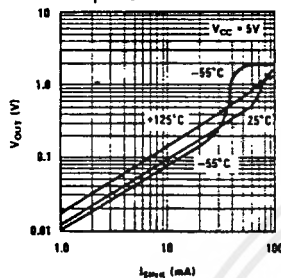
Supply Current vs Supply Voltage



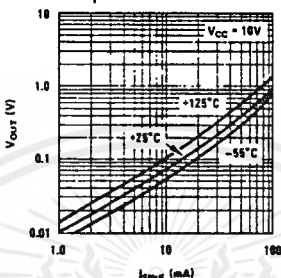
High Output Voltage vs Output Source Current



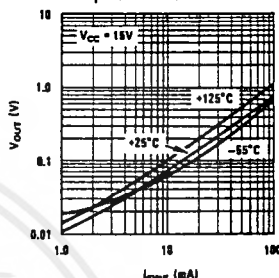
Low Output Voltage vs Output Sink Current



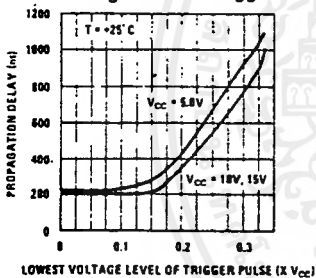
Low Output Voltage vs Output Sink Current



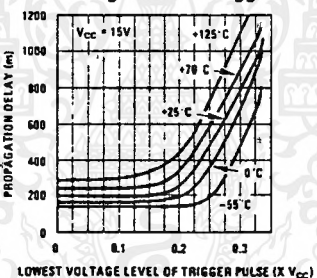
Low Output Voltage vs Output Sink Current



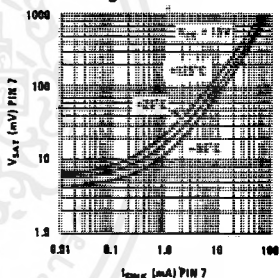
Output Propagation Delay vs Voltage Level of Trigger Pulse



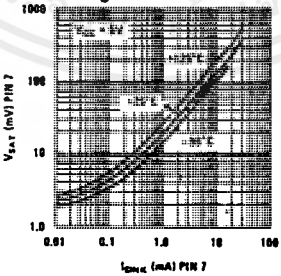
Output Propagation Delay vs Voltage Level of Trigger Pulse



Discharge Transistor (Pin 7) Voltage vs Sink Current



Discharge Transistor (Pin 7) Voltage vs Sink Current



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application Information

MONOSTABLE OPERATION

In this mode of operation, the timer functions as a one-shot (Figure 1). The external capacitor is initially held discharged by a transistor inside the timer. Upon application of a negative trigger pulse of less than $1/3 V_{CC}$ to pin 2, the flip-flop is set which both releases the short circuit across the capacitor and drives the output high.

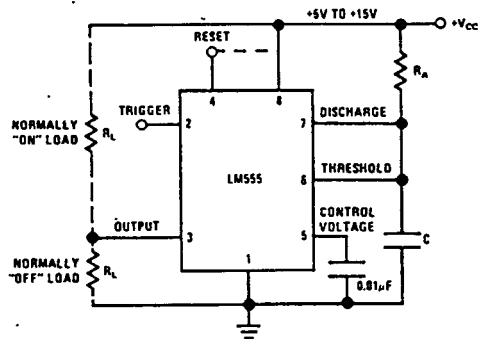
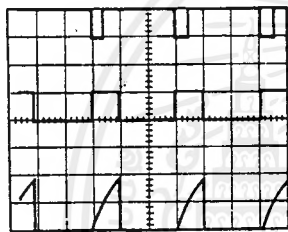


FIGURE 1. Monostable

The voltage across the capacitor then increases exponentially for a period of $t = 1.1 R_A C$, at the end of which time the voltage equals $2/3 V_{CC}$. The comparator then resets the flip-flop which in turn discharges the capacitor and drives the output to its low state. Figure 2 shows the waveforms generated in this mode of operation. Since the charge and the threshold level of the comparator are both directly proportional to supply voltage, the timing interval is independent of supply.



$V_{CC} = 5V$
 TIME = 0.1 ms/DIV.
 $R_A = 9.1 k\Omega$
 $C = 0.01 \mu F$

Top Trace: Input 5V/Div.
 Middle Trace: Output 5V/Div.
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 2V/Div.

FIGURE 2. Monostable Waveforms

During the timing cycle when the output is high, the further application of a trigger pulse will not effect the circuit. However the circuit can be reset during this time by the application of a negative pulse to the reset terminal (pin 4). The output will then remain in the low state until a trigger pulse is again applied.

When the reset function is not in use, it is recommended that it be connected to V_{CC} to avoid any possibility of false triggering.

Figure 3 is a nomograph for easy determination of R, C values for various time delays.

NOTE: In monostable operation, the trigger should be driven high before the end of timing cycle.

ASTABLE OPERATION

If the circuit is connected as shown in Figure 4 (pins 2 and 6 connected) it will trigger itself and free run as a

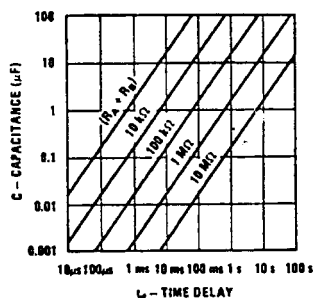


FIGURE 3. Time Delay

multivibrator. The external capacitor charges through $R_A + R_B$ and discharges through R_B . Thus the duty cycle may be precisely set by the ratio of these two resistors.

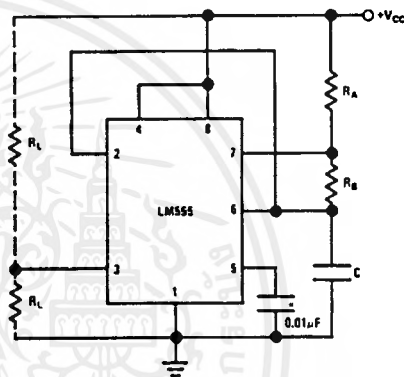
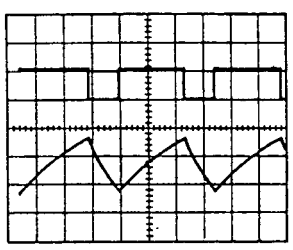


FIGURE 4. Astable

In this mode of operation, the capacitor charges and discharges between $1/3 V_{CC}$ and $2/3 V_{CC}$. As in the triggered mode, the charge and discharge times, and therefore the frequency are independent of the supply voltage.

Applications Information (Continued)

Figure 5 shows the waveforms generated in this mode of operation.



V_{CC} = 5V
 TIME = 20 μs/DIV.
 R_A = 3.9 kΩ
 R_B = 3 kΩ
 C = 0.01 μF

Top Trace: Output 5V/Div.
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 1V/Div.

TL/H/7851-9

FIGURE 5. Astable Waveforms

The charge time (output high) is given by:

$$t_1 = 0.693 (R_A + R_B) C$$

And the discharge time (output low) by:

$$t_2 = 0.693 (R_B) C$$

Thus the total period is:

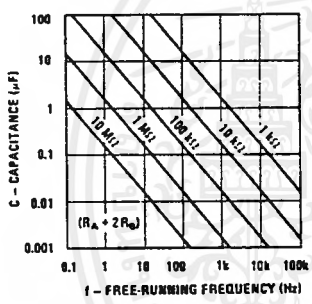
$$T = t_1 + t_2 = 0.693 (R_A + 2R_B) C$$

The frequency of oscillation is:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) C}$$

Figure 6 may be used for quick determination of these RC values.

The duty cycle is: $D = \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$

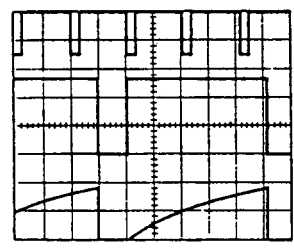


TL/H/7851-10

FIGURE 6. Free Running Frequency

FREQUENCY DIVIDER

The monostable circuit of Figure 1 can be used as a frequency divider by adjusting the length of the timing cycle. Figure 7 shows the waveforms generated in a divide by three circuit.



V_{CC} = 5V
 TIME = 20 μs/DIV.
 R_A = 9.1 kΩ
 C = 0.01 μF

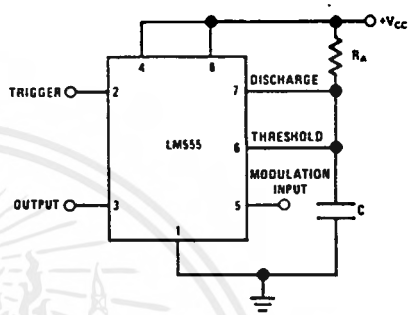
Top Trace: Input 4V/Div.
 Middle Trace: Output 2V/Div.
 Bottom Trace: Capacitor 2V/Div.

TL/H/7851-11

FIGURE 7. Frequency Divider

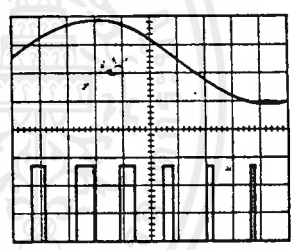
PULSE WIDTH MODULATOR

When the timer is connected in the monostable mode and triggered with a continuous pulse train, the output pulse width can be modulated by a signal applied to pin 5. Figure 8 shows the circuit, and in Figure 9 are some waveform examples.



TL/H/7851-12

FIGURE 8. Pulse Width Modulator



TL/H/7851-13

V_{CC} = 5V
 TIME = 0.2 ms/DIV.
 R_A = 9.1 kΩ
 C = 0.01 μF

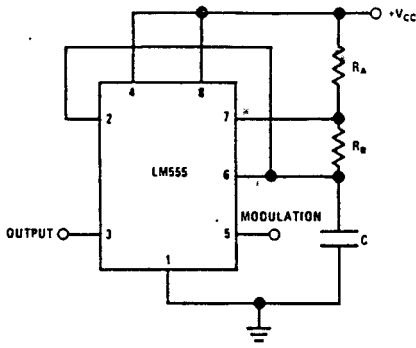
Top Trace: Modulation 1V/Div.
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 2V/Div.

FIGURE 9. Pulse Width Modulator

PULSE POSITION MODULATOR

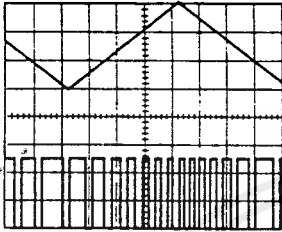
This application uses the timer connected for astable operation, as in Figure 10, with a modulating signal again applied to the control voltage terminal. The pulse position varies with the modulating signal, since the threshold voltage and hence the time delay is varied. Figure 11 shows the waveforms generated for a triangle wave modulation signal.

Applications Information (Continued)



TL/H/7851-14

FIGURE 10. Pulse Position Modulator



TL/H/7851-15

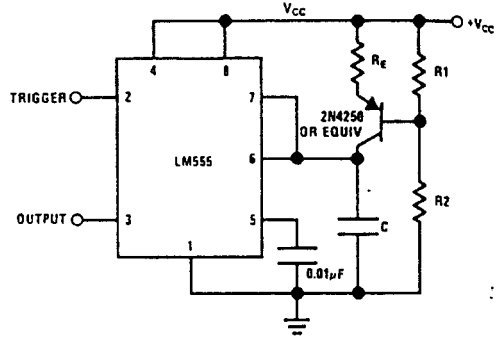
V_{CC} = 5V
 TIME = 0.1 ms/DIV.
 R_A = 3.9 kΩ
 R_B = 3 kΩ
 C = 0.01 μF*

Top Trace: Modulation Input 1V/Div.
 Bottom Trace: Output 2V/Div.

FIGURE 11. Pulse Position Modulator

LINEAR RAMP

When the pullup resistor, R_A, in the monostable circuit is replaced by a constant current source, a linear ramp is generated. Figure 12 shows a circuit configuration that will perform this function.



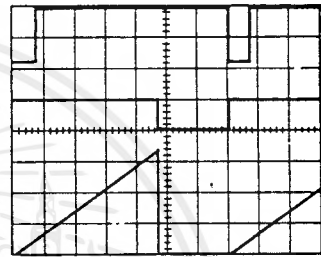
TL/H/7851-16

FIGURE 12

Figure 13 shows waveforms generated by the linear ramp. The time interval is given by:

$$T = \frac{2/3 V_{CC} R_E (R_1 + R_2) C}{R_1 V_{CC} - V_{BE} (R_1 + R_2)}$$

$V_{BE} \approx 0.6V$



TL/H/7851-17

V_{CC} = 5V
 TIME = 20 μs/DIV.
 R₁ = 47 kΩ
 R₂ = 100 kΩ
 R_E = 2.7 kΩ
 C = 0.01 μF

Top Trace: Input 3V/Div.
 Middle Trace: Output 5V/Div.
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 1V/Div.

FIGURE 13. Linear Ramp

50% DUTY CYCLE OSCILLATOR

For a 50% duty cycle, the resistors R_A and R_B may be connected as in Figure 14. The time period for the out-

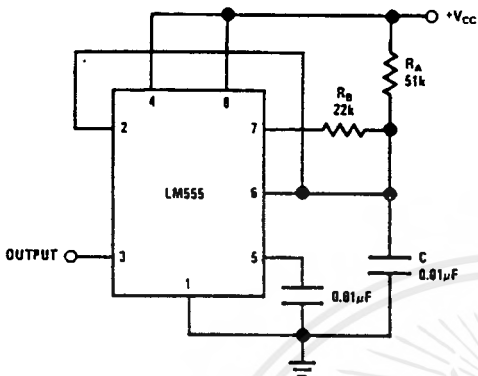
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications Information (Continued)

put high is the same as previous, $t_1 = 0.693 R_A C$. For the output low it is $t_2 =$

$$\left[(R_A R_B) / (R_A + R_B) \right] C \ln \left[\frac{R_A - 2R_B}{2R_A + R_B} \right]$$

Thus the frequency of oscillation is $f = \frac{1}{t_1 + t_2}$



TL/H/7851-18

FIGURE 14. 50% Duty Cycle Oscillator

Note that this circuit will not oscillate if R_B is greater than $1/2 R_A$ because the junction of R_A and R_B cannot bring pin 2 down to $1/3 V_{CC}$ and trigger the lower comparator.

ADDITIONAL INFORMATION

Adequate power supply bypassing is necessary to protect associated circuitry. Minimum recommended is $0.1 \mu F$ in parallel with $1 \mu F$ electrolytic.

Lower comparator storage time can be as long as $10 \mu s$ when pin 2 is driven fully to ground for triggering. This limits the monostable pulse width to $10 \mu s$ minimum.

Delay time reset to output is $0.47 \mu s$ typical. Minimum reset pulse width must be $0.3 \mu s$, typical.

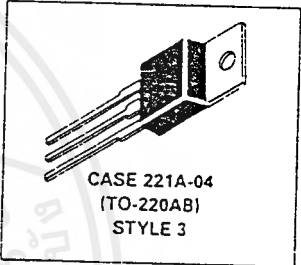
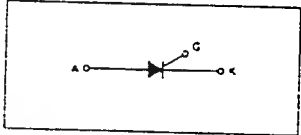
Pin 7 current switches within $30 ns$ of the output (pin 3) voltage.

Silicon Controlled Rectifiers

Reverse Blocking Triode Thyristors

**2N6400
thru
2N6405**

SCRs
16 AMPERES RMS
50 thru 800 VOLTS



... designed primarily for half-wave ac control applications, such as motor controls, heating controls and power supplies; or wherever half-wave silicon gate-controlled, solid-state devices are needed.

- Glass Passivated Junctions with Center Gate Geometry for Greater Parameter Uniformity and Stability
- Small, Rugged, Thermowatt Construction for Low Thermal Resistance, High Heat Dissipation and Durability
- Blocking Voltage to 800 Volts

*MAXIMUM RATINGS ($T_J = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Peak Repetitive Forward and Reverse Voltage, Note 1 (Gate Open, $T_J = 25$ to 125°C)	V_{RRM} or V_{DRM}	50 100 200 400 600 800	Volts
RMS On-State Current, $T_C = 90^\circ\text{C}$	$I_T(\text{RMS})$	16	Amps
Average On-State Current	$I_T(\text{AV})$	10	Amps
Peak Non-Repetitive Forward Surge Current (1/2 cycle, Sine Wave, 60 Hz, $T_J = 125^\circ\text{C}$)	I_{TSM}	160	Amps
Circuit Fusing ($t = 8.3$ ms)	I^2t	145	A^2s
Forward Peak Gate Power	P_{GM}	20	Watts
Forward Average Gate Power	$P_{G(\text{AV})}$	0.5	Watt
Forward Peak Gate Current	I_{GM}	2	Amps
Operating Junction Temperature Range	T_J	-40 to +125	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-40 to +150	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.5	$^\circ\text{C/W}$

*Indicates JEDEC Registered Data.

Note 1. V_{DRM} and V_{RRM} for all types can be applied on a continuous basis. Ratings apply for zero or negative gate voltage; however, positive gate voltage shall not be applied concurrent with negative potential on the anode. Blocking voltages shall not be tested with a constant current source such that the voltage ratings of the devices are exceeded.

Devices listed in bold, italic are Motorola preferred devices.

2N6400 thru 2N6405

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_C = 25°C unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
*Peak Forward or Reverse Blocking Current (V _{AK} = Rated V _{DRM} or V _{RRM} , Gate Open) T _J = 25°C T _J = 125°C	I _{ORM} , I _{RRM}	—	—	10 2	μA mA
*Peak On-State Voltage (I _{TM} = 32 A Peak, Pulse Width > 1 ms, Duty Cycle ≤ 2%)	V _{TM}	—	—	1.7	Volts
*Gate Trigger Current (Continuous dc) (V _D = 12 Vdc, R _L = 50 Ohms)	I _{GT}	—	5	30	mA
*Gate Trigger Voltage (Continuous dc) (V _D = 12 Vdc, R _L = 50 Ohms) (V _D = Rated V _{DRM} , R _L = 50 Ohms)	V _{GT}	— — 0.2	0.7 — —	1.5 2.5 —	Volts
*Holding Current (V _D = 12 Vdc, Gate Open)	I _H	— —	6 —	40 60	mA
Turn-On Time (I _{TM} = 16 A, I _{GT} = 40 mAdc, V _D = Rated V _{DRM})	t _{gt}	—	1	—	μs
Turn-Off Time (I _{TM} = 16 A, I _R = 16 A, V _D = Rated V _{DRM})	t _q	— —	15 35	— —	μs
Critical Rate-of-Rise of Off-State Voltage (V _D = Rated V _{DRM} , Exponential Waveform)	dv/dt	—	50	—	V/μs

*Indicates JEDEC Registered Data.

FIGURE 1 - AVERAGE CURRENT DERATING

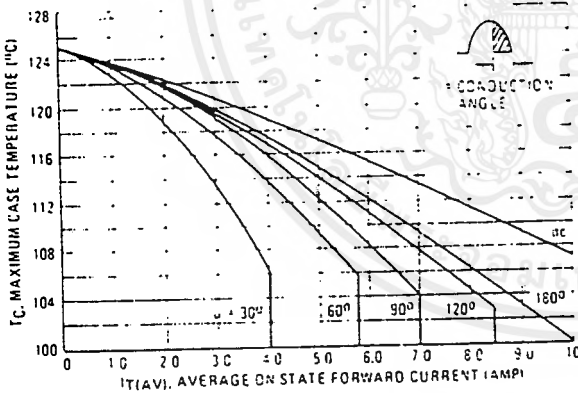
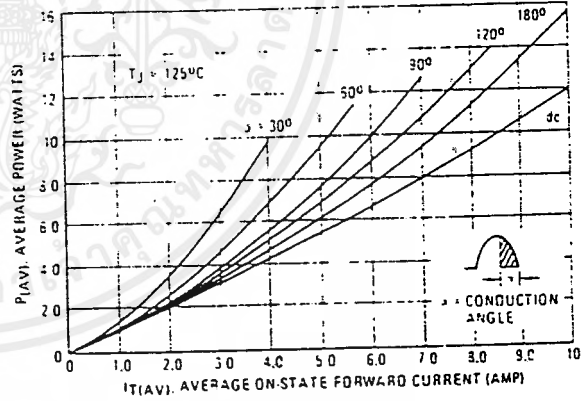


FIGURE 2 - MAXIMUM ON-STATE POWER DISSIPATION



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N6400 thru 2N6405

FIGURE 3 - ON-STATE CHARACTERISTICS

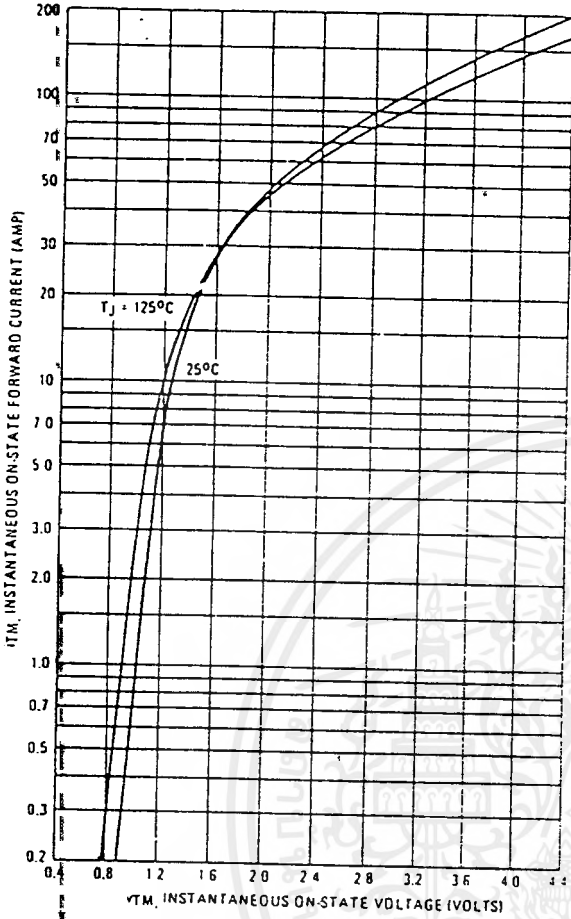


FIGURE 4 - MAXIMUM NON-REPETITIVE SURGE CURRENT

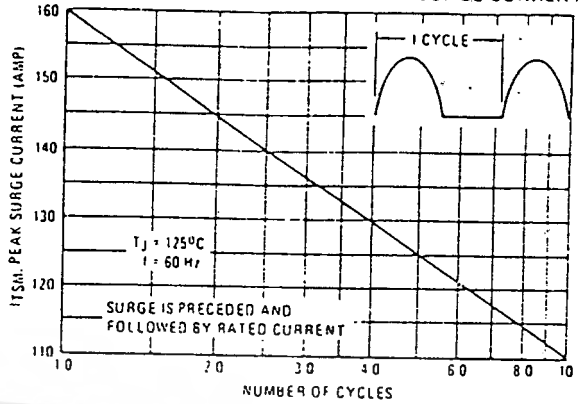
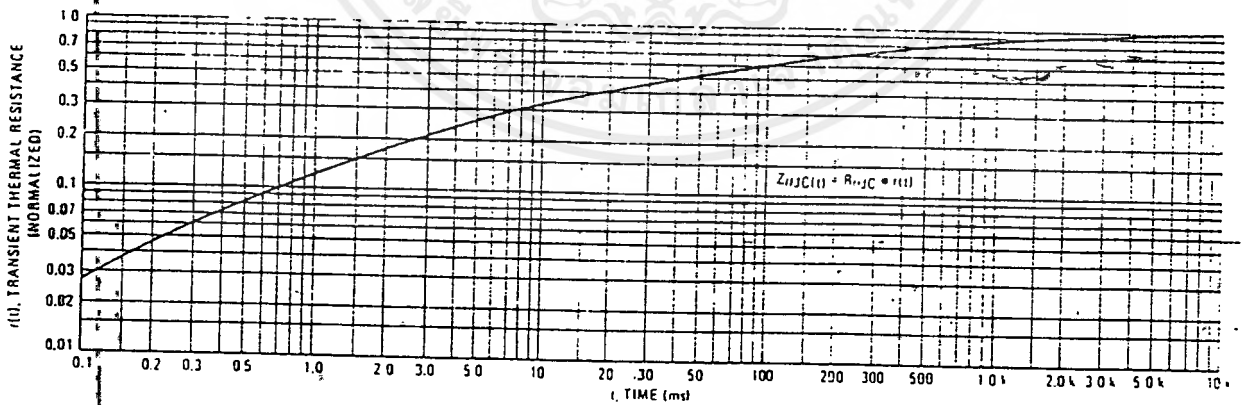


FIGURE 5 - THERMAL RESPONSE



TYPICAL TRIGGER CHARACTERISTICS

TYPICAL TRI

FIGURE 6 - PULSE TRIGGER CURRENT

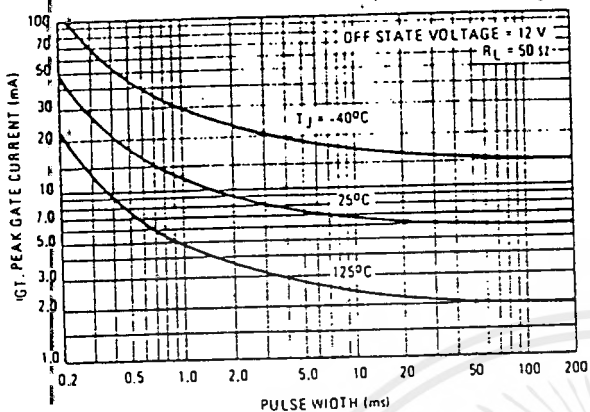


FIGURE 7 - GATE TRIGGER CURRENT

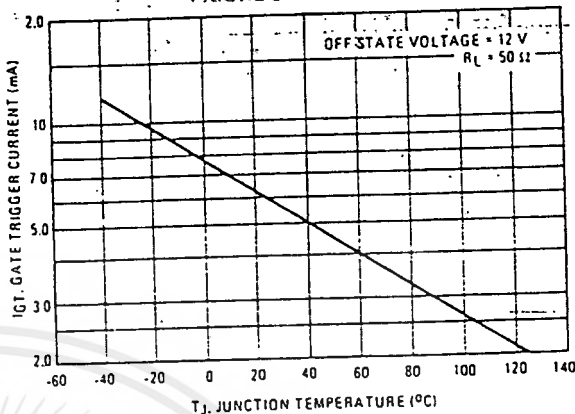


FIGURE 8 - GATE TRIGGER VOLTAGE

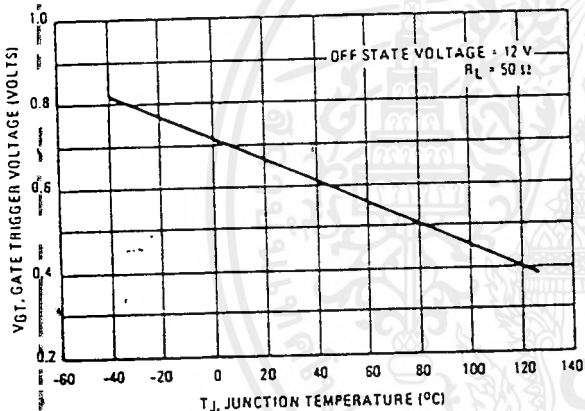
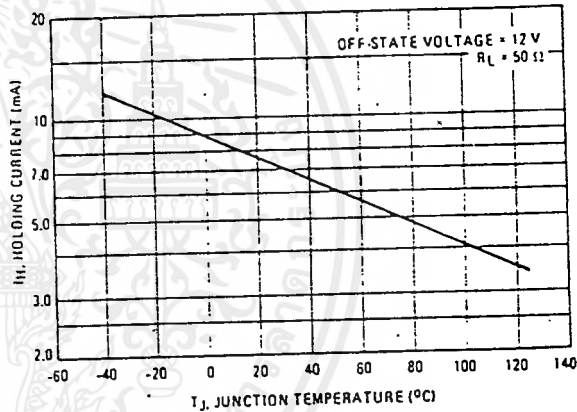


FIGURE 9 - HOLDING CURRENT



ประวัติผู้เขียน

นางสาว วรดา ทรัพย์จรัสแสง เกิดเมื่อวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2520 ที่กรุงเทพมหานคร จบการศึกษาระดับมัธยมตอนปลายที่โรงเรียนศรีอยุธยา ปีการศึกษา 2536 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2537

