

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการปรับกำลังของระบบเลเซอร์ด้วยคอมพิวเตอร์



นายกองบุญ ทางสวัสดิกุล  
นายจตุรวิทย์ ธนเขมกัทร

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **62314**  
วัน,เดือน,ปี - 8 ส.ค. 2549

b..... 118 20195
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา พ.ศ. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# **A Study of Laser Power Adjustment Using Computer**



Mr. Gobboon Tangsawasdikun

Mr. Chaturawit Dhanakhemabhat

A special Project Submitted in Partial of Requirement for the Degree of Bachelor

Of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Monkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การศึกษาการปรับกำลังของระบบเลเซอร์ด้วยคอมพิวเตอร์
นักศึกษา	นายกอบบุญ ทางสวัสดิกุล
ภาควิชา	นายจตุรวิทย์ ธนเขมภัทร
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ฟิสิกส์ประยุกต์ - เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. ปิติพร ธนอมงาม
	อ. เบญจพล ต้นธุ์

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	อ. กางปัญญา สุวรรณสุขใจ
กรรมการ	อ. ภารุจ บัณฑิตาเดวิทย์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ปิติพร ธนอมงาม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ. เบญจพล ต้นธุ์

(รองศาสตราจารย์วิชาญ เศษิตธีระ)  
หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการปรับกำลังของระบบเลเซอร์ด้วยคอมพิวเตอร์
นักศึกษา	นายกอบบุญ ทางสวัสดิกุล นายจตุรวิทย์ ธนเขมภัทร
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ปีติพร ถนอมงาม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ.เบญจพล ต้นสู

### บทคัดย่อ

การศึกษาการปรับกำลังของระบบเลเซอร์ด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นการศึกษาวិธีการที่เป็นไปได้ในการที่จะปรับกำลังของระบบเลเซอร์โดยใช้คอมพิวเตอร์ซึ่งมีอยู่หลายวิธี โดยปกติถ้าหากจะทำการเพิ่มหรือลดระดับไฟฟ้าตามปกติสามารถที่จะหาจรรยาตมที่องตลาดได้ทั่วไป แต่เนื่องจากระบบเลเซอร์นั้นได้ใช้ไฟฟ้าแรงดันสูง ซึ่งหากจะนำวงจรที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมาทำการปรับกำลังนั้นคงเป็นไปได้ไม่แน่ และแน่นอนที่สุดรายละเอียดการศึกษาย่อมมีมากเนื่องจากในการศึกษานั้นเป็นการศึกษาไฟฟ้าแรงดันสูง ฉะนั้นการที่จะควบคุมกระบวนการปรับกำลังนั้นจึงต้องศึกษาว่าจะมีวิธีใดบ้างที่สามารถจะนำมาใช้กับระบบไฟฟ้าแรงดันสูงในระบบเลเซอร์ได้ โดยการศึกษาการปรับกำลังของระบบเลเซอร์นี้อาจจะให้แนวทางในการสร้างระบบปรับกำลังเลเซอร์ได้ต่อไปในอนาคต

<b>Special Project Title</b>	A Study of Laser Power Adjustment System Using Computer
<b>Student</b>	Mr. Gobboon Tangsawasdikun Mr. Chaturawit Dhanakhemmabhat
<b>Department</b>	Applied Physics Faculty of Science
<b>Program</b>	Applied Physics Instrument
<b>Special Project Advisor</b>	Dr.Pitiporn Thanomngam
<b>Special Project Co- Advisor</b>	Benjapon Tunhoo

### ABSTRACT

A study of laser power adjustment using computer is a study of possible methods in order to tune laser power using a micro-computer. There are many ways for the adjustment. In general, the circuit for decreasing or increasing electrical voltage is generally available in market. However laser system uses high voltage source so it is impossible to use such standard circuit in laser power adjustment. In addition, there is a lot of details to be studied since there are many techniques to deal with the high voltage source .Therefore, it is essential to study that how many methods can be used to control the laser power? This study may introduces the possible ways to create a laser power adjustment system in the future.

## กิตติกรรมประกาศ

เริ่มแรกขอขอบคุณ ดร.ปิติพร ถนอมงาม หรือว่าพี่เอ็ดผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการซึ่งถ้าขาดท่านผู้นี้แล้วจะไม่สามารถทำให้โครงการนี้เกิดขึ้น เนื่องจากหาที่ปรึกษาโครงการยากมาก และ อ.เบญจพล ต้นธุ์ หรือพี่เบญ โดยเป็นอีกท่านหนึ่งที่ทำให้คำปรึกษาโครงการพิเศษนี้ตลอดเวลา และ อ.สุรชาติ กมลติกหรือพี่เก่ง ที่เป็นผู้ชักชวนให้ริเริ่มศึกษาโครงการนี้ขึ้นมา และ ปิง คอยช่วยดูแลการทดลองและทำการ set up เครื่องให้ และขอบคุณน้องๆห้อง OLA ซึ่งอุปการะคอมพิวเตอร์ให้ใช้ทำงานตลอดการทำโครงการครั้งนี้ และขอขอบคุณอาจารย์ทุกๆท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชามาให้เพื่อ ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ และ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สร้างบัณฑิตใหม่ขึ้นมา และที่สำคัญขาดไม่ได้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้พุ่มพักเลี้ยงดูสั่งเสีย จนได้เป็นบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ทรงเกียรติแห่งนี้

นายกอบบุญ ทางสวัสดิกุล  
นายจตุรวิทย์ ธนเขมภัทร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 หลักการเบื้องต้นของเลเซอร์	3
2.2 คุณสมบัติของลำแสงเลเซอร์	5
2.3 คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์	5
2.4 ระบบระบายความร้อนสำหรับเลเซอร์	6
2.5 แหล่งจ่ายไฟ	7
2.6 ส่วนติดต่อกับระบบ	7
2.7 การควบคุมระบบขับเคลื่อน	8
2.8 ส่วนของการปรับกำลัง	12
2.9 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการปรับกำลัง	21
2.10 การเขียนโปรแกรม	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	28
3.1 ส่วนประกอบของโครงการ	28
3.2 ส่วนของวงจรในการปรับแรงดัน	28
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	33
4.1 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบหลาย สเต็ป และหม้อแปลงแบบ Tab	33
4.2 วงจรหรีไฟ	33
4.3 วงจรโวลต์เตจดีไวเดอร์	33
4.4 การใช้ Chopper	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.5 วงจร On-off switching	34
4.6 ผลการทดลอง วงจร on-off switching	36
4.7 ผลการทดลอง วงจร 1 kW 230V AC light dimmer circuit	42
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	57
5.1 สรุปผลการทดลอง	57
5.2 ข้อเสนอแนะ	59
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของพันธะแก้ว โครงร่างของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO <sub>2</sub> )	6
รูปที่ 2.2 แสดงระบบระบายความร้อนสำหรับเลเซอร์	7
รูปที่ 2.3 แสดงวงจรจ่ายแรงดันสำหรับเลเซอร์	7
รูปที่ 2.4 แสดงที่ตั้ง Parallel Port	8
รูปที่ 2.5 แสดง Pin และการทำงานของ Pin ของ Parallel Port หรือ พอร์ตขนาน	8
รูปที่ 2.6 Serial Port หรือ พอร์ตอนุกรม	10
รูปที่ 2.7 แสดง Pin และการทำงานของ Pin ของ Serial Port หรือ พอร์ตอนุกรม	11
รูปที่ 2.8 ภาพแสดง Pin และการทำงานเปรียบเทียบระหว่างตัวผู้และตัวเมีย	11
รูปที่ 2.9 แสดงการทำงานของหม้อแปลง	12
รูปที่ 2.10 แสดงการทำงานของหม้อแปลง Tab	14
รูปที่ 2.11 วงจรหรี่ไฟแบบพื้นฐาน	14
รูปที่ 2.12 วงจรหรี่ไฟที่ปรับปรุงให้สามารถควบคุมความสว่างได้สมบูรณ์	15
รูปที่ 2.13 การใช้ UJT เป็นตัวกระตุ้น ไตรแอกทำงานโดยไม่มีผลของแบคแกท	15
รูปที่ 2.14 การใช้ไอซีเบอร์ SS566B ในการควบคุมการทำงานของไตรแอกสำหรับวงจรหรี่ไฟ	16
รูปที่ 2.15 วงจร 1 kW 230V AC light dimmer circuit	17
รูปที่ 2.16 แสดงวงจรหรี่ไฟแบบ Pulse detection and on-off switching	17
รูปที่ 2.17 ภาพแสดงสัญญาณของ input	18
รูปที่ 2.18 ภาพแสดงสัญญาณทำการ Trigger สัญญาณแล้ว	18
รูปที่ 2.19 แสดงวงจร โวลต์เตจดีไวเดอร์	19
รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะของ Chopper	20
รูปที่ 2.21 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดแอก	20
รูปที่ 2.22 กราฟคุณลักษณะของ ไดแอก	20
รูปที่ 2.23 ก. สัญลักษณ์ 1 ข. วงจรเสมือน 1 ค. ตัวอย่างการใช้เอสซีอาร์จ่ายไฟตรงให้โหลด	21
รูปที่ 2.24 ก. รูปร่างและลักษณะรีเลย์แบบต่างๆ ข. เปรียบเทียบคอนแทกเคอร์และรีเลย์	23
รูปที่ 2.25 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของยู.เจ.ที.	24
รูปที่ 2.26 แสดงวงจรสมมูลของยู.เจ.ที.	25
รูปที่ 2.27 แสดงวงจรขั้วรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์	25
รูปที่ 2.28 แสดงวงจรขั้วรีเลย์โดยใช้ OPTO กับแรงดันไฟสูง	26
รูปที่ 3.1 แสดงแนวคิดในการปรับกำลัง	28
รูปที่ 3.2 วงจร On-Off switching	29
รูปที่ 3.3 วงจร 1 kW 230V AC light dimmer circuit	29
รูปที่ 3.4 วงจร 1 kW 230V AC light dimmer circuit โดยแสดงตัวค้ำทานที่ทำการ Emulated	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.5 วงจร ขับรีเลย์โดยต่อผ่าน Opto couple	30
รูปที่ 3.6 วงจร แสดง Emulated Variable Resistor 500 K	31
รูปที่ 3.7 แสดงวงจรรวมของ 1 kW 230V AC light dimmer circuit	32
รูปที่ 4.1 วงจร Pulse Detection	34
รูปที่ 4.2 กราฟแสดง input และ output	35
รูปที่ 4.3 วงจร On-Off Switching	35
รูปที่ 4.4 วงจร Pulse detection and On-Off Switching	35
รูปที่ 4.5 กราฟแสดง Output ที่ Off	36
รูปที่ 4.6 กราฟแสดง Output ที่ Duty Cycle 10 %	36
รูปที่ 4.7 กราฟแสดง Output ที่ Duty Cycle 20 %	37
รูปที่ 4.8 กราฟแสดง Output ที่ Duty Cycle 30 %	37
รูปที่ 4.9 กราฟแสดง Output ที่ Duty Cycle 40 %	38
รูปที่ 4.10 กราฟแสดง Output ที่ Duty Cycle 50 %	38
รูปที่ 4.11 กราฟแสดง Output ที่ Duty Cycle 60 %	39
รูปที่ 4.12 กราฟแสดง Output ที่ Duty Cycle 70 %	39
รูปที่ 4.13 กราฟแสดง Output ที่ Duty Cycle 80 %	40
รูปที่ 4.14 กราฟแสดง Output ที่ Duty Cycle 90 %	40
รูปที่ 4.15 กราฟแสดง Output ที่ ON	41
รูปที่ 4.16 วงจร 1 kW 230V AC light dimmer emulated variable resistor circuit	42
รูปที่ 4.17 กราฟแสดง Output ที่ On	42
รูปที่ 4.18 กราฟแสดง Output เมื่อรีเลย์ 2 k $\Omega$ Off	43
รูปที่ 4.19 กราฟแสดง Output เมื่อรีเลย์ 4 k $\Omega$ Off	43
รูปที่ 4.20 กราฟแสดง Output เมื่อรีเลย์ 8.2 k $\Omega$ Off	44
รูปที่ 4.21 กราฟแสดง Output เมื่อรีเลย์ 15 k $\Omega$ Off	44
รูปที่ 4.22 กราฟแสดง Output เมื่อรีเลย์ 33 k $\Omega$ Off	45
รูปที่ 4.23 กราฟแสดง Output เมื่อรีเลย์ 75 k $\Omega$ Off	45
รูปที่ 4.24 กราฟแสดง Output เมื่อรีเลย์ 127 k $\Omega$ Off	46
รูปที่ 4.25 กราฟแสดง Output เมื่อรีเลย์ 247 k $\Omega$ Off	46
รูปที่ 4.26 แสดงจุดที่ทำการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ Input และ Output ของ Variac	47
รูปที่ 4.27 กราฟแสดง Power output ที่ 140 V ขาเข้า	49
รูปที่ 4.28 กราฟแสดง Power output ที่ 160 V ขาเข้า	49
รูปที่ 4.29 กราฟแสดง Power output ที่ 180 V ขาเข้า	50

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.30 กราฟแสดง Input Voltage ที่ 140 V ขาเข้า	50
รูปที่ 4.31 กราฟแสดง Input Voltage ที่ 160 V ขาเข้า	51
รูปที่ 4.32 กราฟแสดง Input Voltage ที่ 180 V ขาเข้า	51
รูปที่ 4.33 กราฟแสดง Power Output ที่ 140 V ขาออก	53
รูปที่ 4.34 กราฟแสดง Power Output ที่ 160 V ขาออก	54
รูปที่ 4.35 กราฟแสดง Power Output ที่ 180 V ขาออก	54
รูปที่ 4.36 กราฟแสดง Input Voltage ที่ 140 V ขาออก	55
รูปที่ 4.37 กราฟแสดง Input Voltage ที่ 160 V ขาออก	55
รูปที่ 4.38 กราฟแสดง Input Voltage ที่ 180 V ขาออก	56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลวัฏระดับแรงดัน ไฟฟ้าขาเข้าที่ระดับแรงดัน 140 V	47
ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลวัฏระดับแรงดัน ไฟฟ้าขาเข้าที่ระดับแรงดัน 160 V	48
ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลวัฏระดับแรงดัน ไฟฟ้าขาเข้าที่ระดับแรงดัน 180 V	48
ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลวัฏระดับแรงดัน ไฟฟ้าขาออกที่ระดับแรงดัน 140 V	52
ตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูลวัฏระดับแรงดัน ไฟฟ้าขาออกที่ระดับแรงดัน 160 V	52
ตารางที่ 4.6 แสดงข้อมูลวัฏระดับแรงดัน ไฟฟ้าขาออกที่ระดับแรงดัน 180 V	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันนี้ในทางอุตสาหกรรมได้มีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ กันอย่างแพร่หลาย เป็นอย่างมาก ซึ่งทางผู้จัดทำได้สังเกตเห็นจุดเด่นได้และข้อดี จากอุตสาหกรรมนี้ที่ใช้ในเรื่องของ ระบบเลเซอร์ ทางผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบเลเซอร์ที่มีอยู่เดิม โดยระบบเดิมนั้นเป็นระบบ สแกน 2 มิติ เพื่อทำสัญลักษณ์ด้วยเลเซอร์ซึ่งระบบเดิมนั้นสามารถสร้างรูปสี่เหลี่ยม วงกลม หรือว่า สามเหลี่ยม โดยที่รูปเรขาคณิตแต่ละรูปนั้น สามารถสร้างภาพได้ด้วยสมการที่เขียนลงไปให้กับตัว โปรแกรมทำให้ระบบสามารถสร้างภาพในระบบของ 2 มิติ โดยผู้จัดทำโครงการนี้ได้สังเกตเห็น ความสามารถของระบบการสแกน 2 มิติ ซึ่งจะสามารถพัฒนาให้มีความสามารถมากขึ้น โดยทาง ผู้จัดทำโครงการ มีแนวคิดที่จะทำให้ระบบสแกน 2 มิติ นี้ให้มีความสามารถในการไต่ระดับสี่แบบ เกรย์สเกลได้ โดยในเบื้องต้นนั้นในทางผู้จัดทำโครงการนั้น จะศึกษาการปรับกำลังของวงจร เลเซอร์ ซึ่งในแนวคิดที่จะทำให้ระบบสแกน 2 มิติ นั้นจะมีความสามารถในการไต่ระบบเกรย์ส เกล่นั้น จะต้องใช้การปรับกำลังของระบบเลเซอร์ได้ ดังนั้นทางผู้จัดทำโครงการจะทำการศึกษการ ปรับกำลังของวงจรซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาและนำไปประยุกต์อีกต่อไปในอนาคต ซึ่งเลเซอร์ จะเข้ามาในอุตสาหกรรมของมนุษย์มากขึ้นทุกวัน

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. สามารถปรับกำลังไฟฟ้าวงจรของระบบเลเซอร์ได้
2. เพื่อเป็นแนวคิดและนำไปพัฒนาการปรับกำลังของเลเซอร์
3. นำความรู้ที่ได้ศึกษามานำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อ โครงการพิเศษ

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบวงจรในการปรับกำลังของวงจรเลเซอร์
2. สามารถปรับกำลังของ High volt ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

1. ศึกษาการทำงานของระบบสแกน 2 มิติในเบื้องต้น
2. ร่วมกันศึกษาและตั้งปัญหา พร้อมทั้งแสดงแนวคิดในการแก้ปัญหา
3. ศึกษาและสร้างวงจรปรับกำลังของวงจรของระบบเลเซอร์
4. ทำการทดลองเพื่อทำการบันทึกผลของสัญญาณ

#### 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้ทางด้านระบบของเลเซอร์มากขึ้น
2. ได้นำความรู้ทางด้านวงจรและคอนโทรลเลอร์มาใช้ให้เกิดประโยชน์
3. ได้รับความรู้ในตัวของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มากขึ้น
4. ได้รับประสบการณ์ทางด้านวงจรเพิ่มเติมมากขึ้น
5. สามารถทำการปรับกำลังของวงจรเลเซอร์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

เนื่องจากแสงเลเซอร์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากระบบคาร์บอนไดออกไซด์ และเป็นคลื่นต่อเนื่องที่มีความยาวคลื่น 10.6 ไมครอน โดยจะอยู่ในย่านอินฟราเรด ซึ่งเป็นคลื่นความร้อน และเป็นแสงที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า มีคุณสมบัติในการตัด, เจาะ, เชื่อม หรือกรัดวัสดุทั่วไป

#### 2.1 หลักการเบื้องต้นของเลเซอร์

กลไกการเกิดเลเซอร์มีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ประการ คือ

##### 1. ตัวกลางของเลเซอร์ (Laser Medium)

ตัวกลางของเลเซอร์ได้แก่ ระบบอะตอม หรือโมเลกุลของสสารที่ใช้ทำเลเซอร์ซึ่งอาจจะมีสภาพเป็น ก๊าซ ของแข็ง ของเหลวก็ได้ เช่น

ก๊าซ : ก๊าซฮีเลียมผสมนีออน (He-Ne)

: ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผสมไนโตรเจน และ ฮีเลียม (CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-He)

: ก๊าซฮีเลียมผสมไอโอดีนแคดเมียม (He-Cd)

ของแข็ง: ผลึกทับทิม

: ผลึกแบค

: ผลึกแก้ว

: ผลึกสารกึ่งตัวนำ

คุณสมบัติร่วมกันอย่างหนึ่งของตัวกลางเลเซอร์ก็คือ จะต้องมีความถี่ของพลังงานที่เหมาะสมสำหรับการป้อนพลังงานให้ชั้นพลังงานที่อยู่สูงกว่าสถานะพื้นจะต้องมี relaxation time สูงเพื่อให้เกิดสภาพ Population Inversion คือสถานะที่อิเล็กตรอนขึ้นไปอยู่ที่ชั้น Excited State ได้ง่ายหรือพุดคืออย่างหนึ่งว่าระบบตัวกลางของเลเซอร์จะต้องมีความสามารถในการเก็บกักพลังงานที่ป้อนให้ไว้ได้ในช่วง เวลาที่เหมาะสม จนกว่าจะมีการรบกวนให้เกิดการถ่ายเทพลังงานออกจากระบบในรูปแบบของ Stimulated Emission หากระบบอะตอมหรือโมเลกุลใดที่มีคุณสมบัติดังกล่าวแล้ว การเก็บพลังงานจะไม่เกิดขึ้น ระบบจะมีการสูญเสียพลังงานมากกว่าทำให้ไม่สามารถที่จะใช้ในการขยายสัญญาณแสงได้ดังนั้นจึงไม่สามารถนำมาใช้เป็นตัวกลางของเลเซอร์ได้ หากจะเปรียบเทียบระบบของอะตอมหรือระบบของโมเลกุลที่ใช้เป็นตัวกลางของเลเซอร์นี้เปรียบได้เหมือนกับเหมือนกับถังน้ำ ก็ควรจะเป็นถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำที่ไม่มีรูรั่วไหลสามารถเก็บกักน้ำได้ตามต้องการ และสามารถนำน้ำนั้นออกมาใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพโดยการเปิดก๊อกน้ำได้ในเวลาที่ต้องการ แต่ถ้าถังน้ำนั้นมีรอยรั่วไหลมากให้น้ำเข้าไปเท่าไรก็รั่วไหลหมด การเก็บกักน้ำก็ทำไม่ได้เมื่อต้องการจะเปิดก๊อกเพื่อเอาน้ำมาใช้งาน ก็ไม่มีน้ำจะให้ใช้ ถ้ามีรูรั่วไหลเช่นนี้ ก็ใช้งานไม่ได้

## 2. การป้อนพลังงานให้แก่ตัวกลางของเลเซอร์ (Energy Pumping)

วิธีการป้อนพลังงาน (Energy Pumping) ให้แก่ตัวกลางนี้ต้องมีประสิทธิภาพเพื่อให้มีการเก็บกักพลังงานในรูปของ Population Inversion ในระบบวิธีการป้อนพลังงานแก่ตัวกลางของเลเซอร์มีได้หลายวิธี ได้แก่

1. การป้อนพลังงานแสง (Optical Pumping) โดยใช้หลอดไฟแสงสว่างกำลังสูง เช่น หลอดซีนอน (Xe-lamp) สำหรับเลเซอร์ทึบทิม เลเซอร์แฮค เลเซอร์แก้ว หรือใช้แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ด้วยกันเป็นตัวป้อนพลังงานให้แก่เลเซอร์อีกชนิดหนึ่ง เช่นการใช้เลเซอร์ในโคโรเจน เลเซอร์อาร์กอนในการป้อนพลังงานแก่เลเซอร์ของเหลว (Dye Laser) เป็นต้น

2. การป้อนพลังงานไฟฟ้า (Electrical Pumping) โดยแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงในการทำ Gas Discharge เมื่อตัวกลางของเลเซอร์มีสภาพเป็นก๊าซ สำหรับเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน เลเซอร์อาร์กอน เลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์ เลเซอร์ไนโคโรเจน ฯลฯ หรือใช้แบตเตอรี่ไฟฟ้าในการฉีดกระแสหรือฉีดพาหะเข้าสู่หัวต่อพีเอ็น สำหรับเลเซอร์สารกึ่งตัวนำ

3. การป้อนพลังงานด้วยลำอิเล็กตรอน (Electron Beam Pumping) โดยใช้ลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงยิงเข้าไปกระตุ้นให้โมเลกุลของก๊าซเกิดการ Excitation เช่น กรณีของเลเซอร์เอกไซเมอร์ (Excimer Laser) ชนิดต่างๆ

## 3. การสร้างระบบป้อนกลับทางแสง (Optical Cavity)

องค์ประกอบที่จำเป็นต้องมีเพื่อให้เกิด Light Amplification ได้แก่ Optical Cavity เพื่อแสงที่เปล่งออกมาจากตัวกลางสะท้อนกลับไปกลับมา ภายใน Optical Cavity นั้นโดยกำจร (resonance) ที่ความถี่เดียว ภายใน Optical Cavity (โดย Optical Cavity นี้จะทำหน้าที่ในการขยายแสงโดยการที่นำกระจกสะท้อนแสง 2 อันมาวางขนานกันโดยมีตัวกลางของเลเซอร์อยู่ตรงกลางระหว่างกระจกทั้ง 2 และกระจกนั้นสามารถจะเป็นกระจกเว้าหรือกระจกโค้งก็ได้) นี้จะเลือกสะท้อนแสงเฉพาะที่มีความยาวคลื่นคั่นนั้นถ้าหากจะมีการเปล่งแสงออกมา ความยาวคลื่นที่ไม่กำจรกับ Cavity ก็จะถูกสูญเสียกำลังไป เหลือแต่แสงที่มีความยาวคลื่นหนึ่งค่าเท่านั้น จึงเป็นสาเหตุที่มาของคุณสมบัติ Monochromatic ของแสงเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นเอง ในกรณีที่เลเซอร์สามารถให้แสงที่มีค่าความยาวคลื่นหลายค่า เนื่องจากการมีชั้นพลังงานที่สลับซับซ้อนของระบบอะตอมหรือโมเลกุล และค่าความยาวคลื่นหลายค่า นั้นมีค่าใกล้เคียงกันมากจึงจำเป็น ต้องใส่ Optical Grating เข้าไปใน Cavity โดยเลือกแสงที่มีความยาวคลื่นตามต้องการออกมาได้ โดยการปรับมุมมองของ Grating Cavity เสริมให้เกิด Stimulated Emission มีความเข้มสูงเพราะแสงที่สะท้อนกลับไปกลับมากภายใน Cavity ขนาดพลังงานพอดีกับผลต่างระหว่างชั้นพลังงานที่สภาพ Spontaneous Emission ซึ่งมีทิศทาง การเคลื่อนที่ของคลื่นที่ Random ก็จะไม่ถูกขยายและสูญเสียไปจากระบบในที่สุด

## 2.2 คุณสมบัติของลำแสงเลเซอร์

คุณสมบัติโคฮีเรนต์ของแสงเลเซอร์ แสงเลเซอร์เกิดขึ้นจากการเปล่งแสงซึ่งถูกเร้าจากโฟตอนจึงมีความเป็นระเบียบสูง คลื่นแสงมีลักษณะที่พร้อมเพรียงกันและเมื่อมีการขยายสัญญาณด้วย Cavity แสง โฟตอนจึงมีจำนวนมากหรือแสงมีความเข้มสูงและวิ่งในทิศทางที่แน่นอนมีลักษณะเป็นลำแสงตั้งฉากกับกระจกที่ใช้ทำเป็น Cavity ทำนั้น

ดังนั้นแสงเลเซอร์จึงมีคุณสมบัติเด่นหลัก ๆ 4 ประการ คือ

1. เป็นแสงสีเดียว (มีค่าความยาวคลื่นเดียว) (monochromatic)
2. มีเฟสเดียวกัน (มีหน้าคลื่น) (coherence)
3. มีทิศทางแน่นอน (เป็นลำแสง) (directionality)
4. มีความเข้มสูง (จำนวนโฟตอนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่สูง) (Intensity หรือ Brightness)

คุณสมบัติทั้ง 4 นี้เรียกรวม ๆ กันว่า คุณสมบัติโคฮีเรนต์ (Coherent) นั่นเอง เลเซอร์จึงเป็นแหล่งกำเนิดแสงแบบโคฮีเรนต์ (coherent light source) ซึ่งจุดเด่นทั้งหมดนี้เองที่เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้แสงเลเซอร์เกิดประโยชน์ด้านประยุกต์ เช่น การที่แสงเลเซอร์ มีค่าความยาวคลื่นที่แน่นอนจึงทำให้เลเซอร์ถูกใช้ในการทำงานทางอุตสาหกรรมมากและใช้ในงานที่ต้องการความแม่นยำสูง

## 2.3 คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์

เป็นเลเซอร์ชนิดก๊าซ ซึ่งประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซฮีเลียม ในอัตราส่วนประมาณ 1:1:10 เพื่อช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของเลเซอร์

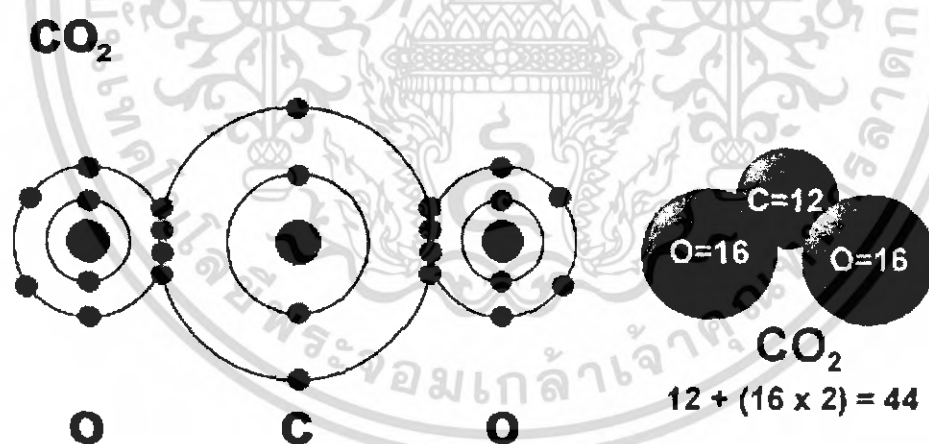
ที่แตกต่างเลเซอร์ก๊าซประเภทอื่นมาก เพราะแสงเลเซอร์ไม่ได้เกิดจากการเปลี่ยกระดับพลังงานของอะตอม แต่เกิดจากการหมุนและการสั่นของโมเลกุลของก๊าซ โมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ ปกติจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงโดยมีออกซิเจนอยู่สองข้างและคาร์บอนอยู่ตรงกลาง การสั่นของโมเลกุลเป็นการสั่นขึ้นลงหรือเข้าออกของออกซิเจน เมื่อเทียบกับคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานจากการเปลี่ยนระดับพลังงานในการสั้นของโมเลกุลนั้นโดยปกติ จะมีค่าประมาณ 0.1 อิเล็กตรอนโวลต์ ให้ความยาวคลื่นแสงเลเซอร์ประมาณ 10.6 ไมครอน ( $10.6 \times 10^{-6}$  เมตร) ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอินฟราเรด

การที่พลังงานจากการเปลี่ยนระดับพลังงานมีค่าต่ำทำให้ Pump โดยใช้ electrical discharge ได้ง่าย และมีประสิทธิภาพสูงถึง 20% ซึ่งถือว่ามากเมื่อเทียบกับเลเซอร์โดยทั่วไป ที่มีประสิทธิภาพประมาณ 1%

คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ โดยทั่วไปจะมีกำลังเฉลี่ยประมาณ 10 - 2,000 วัตต์ ถ้าประยุกต์ใช้ในงานการตัดกระดาษหรือผ้า หรือในงานแกะสลักพลาสติกและไม้ จะใช้กำลังอยู่ที่ประมาณ 5-10 วัตต์ แต่ถ้าใช้ในการตัดหรือเจาะโลหะหรือวัสดุที่มีความแข็งสูงมาก ต้องใช้กำลังอยู่ที่ประมาณ 100 วัตต์ ขึ้นไป ทำให้เลเซอร์ชนิดนี้ไม่เหมาะในการนำมาประยุกต์ใช้ใน งานการแกะสลักหรือเจาะวัสดุที่มีความแข็งสูง โดยส่วนใหญ่แล้วมักใช้กับวัสดุจำพวกอโลหะ เนื่องจากระบบคาร์บอนไดออกไซด์แบบชนิดที่มีกำลังสูงจะมีขนาดใหญ่ และมีอุปกรณ์เสริมต่อพ่วง เช่น ถังก๊าซ ป้อนสุญญากาศ และอุปกรณ์ควบคุมความดัน รวมถึงแหล่งจ่ายกำลังแรงดันสูงประมาณ 10 - 25 กิโลโวลต์

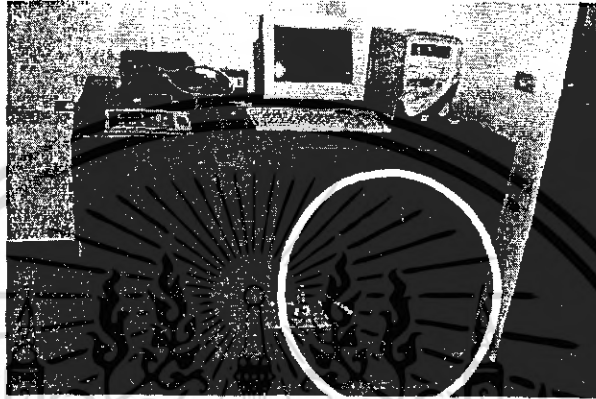


รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของพันธะแล้ว โครงร่างของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4 ระบบระบายความร้อนสำหรับเลเซอร์

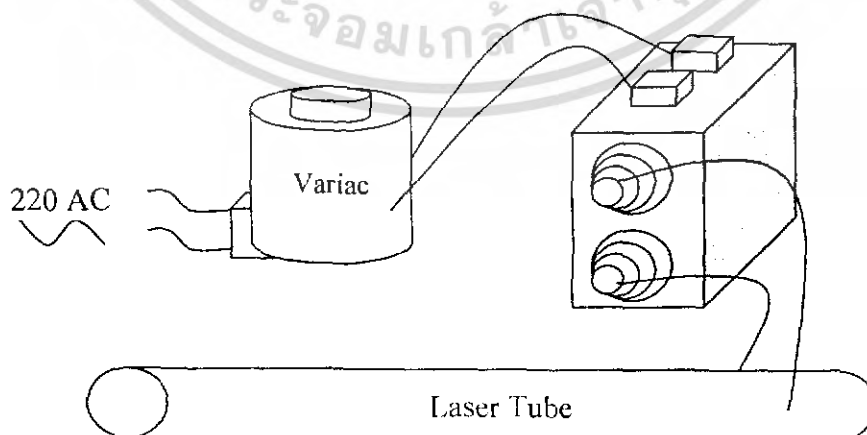
ดึงน้ำเย็นบรรจุน้ำ 150 ลิตร โดยน้ำเย็นจากถังน้ำจะถูกปั๊มผ่านท่อขงเพื่อไประบายความร้อนออกจากเลเซอร์โดยการส่งผ่านน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ เข้าไปนำพาความร้อนที่เกิดขึ้นภายในหลอดเลเซอร์เพื่อให้อุณหภูมิภายในหลอดเลเซอร์ไม่สูงจนเกินไป



รูปที่ 2.2 แสดงระบบระบายความร้อนสำหรับเลเซอร์

#### 2.5 แหล่งจ่ายไฟ

ทางผู้จัดทำโครงการทำการจ่ายไฟให้กับขั้วแคโทด และ แอโนดของหลอดเลเซอร์โดยที่ขั้วแอโนดมีความหมายเหมือนกับขั้วบวก และขั้วแคโทดจะเปรียบเสมือนเป็นขั้วลบที่ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอน โดยทางผู้จัดทำโครงการได้ทำการจ่ายไฟ 220 โวลต์กระแสสลับให้กับ วาลิแอกโดยที่วาลิแอกจะทำหน้าที่ในการปรับแรงดัน จากนั้นจะต่อเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแปลงขึ้นเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้า 15 kV เพื่อทำหน้าที่จ่ายไฟฟ้าแรงสูงให้กับหลอดเลเซอร์

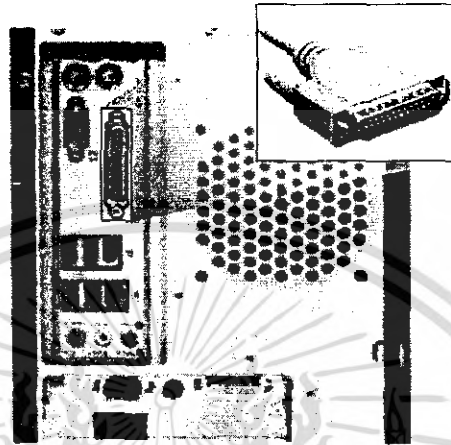


รูปที่ 2.3 แสดงวงจรจ่ายแรงดันสำหรับเลเซอร์

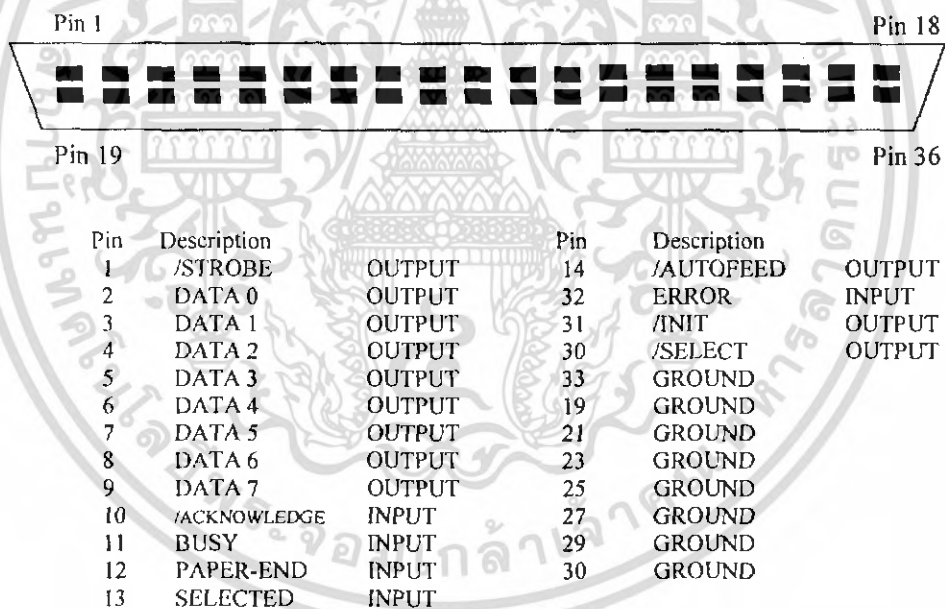
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 ส่วนติดต่อกับระบบ

ในการติดต่อกับระบบระหว่าง ชุดควบคุม กับ คอมพิวเตอร์ ทางผู้จัดทำโครงการงานได้ใช้การติดต่อโดยใช้ Parallel Port ดังรูป



รูปที่ 2.4 แสดงที่ตั้ง Parallel Port



รูปที่ 2.5 แสดง Pin และการทำงานของ Pin ของ Parallel Port หรือ พอร์ตขนาน

พอร์ตขนานมีชื่อเรียก อีก 2 ชื่อ คือ LPT Port หรือ Printer Port โดยได้รับการพัฒนาเป็นครั้งแรกจากบริษัท IBM เพื่อมีไว้สำหรับการต่อกับอุปกรณ์แบบ Parallel ซึ่งส่วนใหญ่ คือเอาไว้ต่อกับเครื่องพิมพ์ประเภท Dot Matrix เมื่อเครื่องคอมพิวเตอร์ส่งข้อมูลไปยังเครื่องพิมพ์หรืออุปกรณ์อื่น ๆ โดยผ่านทางพอร์ตแบบขนานนั้นจะทำการส่งข้อมูลที่ละ 8 บิต หลังจากนั้นข้อมูลดังกล่าวจะถูกส่งผ่านแบบขนาน ซึ่งมาตรฐานของการส่งข้อมูลแบบนี้สามารถทำได้ประมาณ 50-100 กิโลไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใน 1 วินาทีพอร์ตขนานสามารถสื่อสารข้อมูลได้เร็วกว่าพอร์ตอนุกรม เนื่องจากข้อมูลเคลื่อนที่ครั้งละ 8 บิต (อีกด้านหนึ่งจึงรู้ว่าเป็น ก ไก่ ได้โดยทันที) แต่ยังคงช้ากว่า USB Port ฮาร์ดแวร์ที่ใช้พอร์ตขนานมาตั้งแต่ต้นจนถึงทุกวันนี้คือ Printer เกือบทุกประเภท ในบางกรณีอาจมีฮาร์ดแวร์อื่นมารวมใช้พอร์ตขนานด้วย เช่น สแกนเนอร์บางรุ่นหรือ ฮาร์ดแวร์ประเภท Mass Storage ประเภทและลักษณะการทำงานของพอร์ตขนานชนิดต่างๆ มีดังนี้

### 2.6.1 พอร์ตขนานธรรมดา

เป็นพอร์ตที่ส่งข้อมูลในการพิมพ์ผ่านพริ้นเตอร์ได้อย่างเดียว และเป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่สุดที่คอมพิวเตอร์ทุกเครื่องจะสามารถทำได้ การทำงานของพอร์ตแบบนี้ค่อนข้างช้า โดยในเครื่องรุ่นเก่าๆจะไม่มีวงจรช่วยใด ๆ แต่ปล่อยให้ ซีพียู ตรวจสอบสถานะของสัญญาณต่าง ๆ ที่เครื่องพิมพ์ตอบกลับมา และจัดการส่งสัญญาณควบคุมตลอดจนข้อมูลแต่ละไบต์เอง

### 2.6.2 Bidirectional

พอร์ตนี้ทำงานได้ 2 ลักษณะคือถ้าฮาร์ดแวร์มีความสามารถที่จะส่งข้อมูลกลับมาทางสายสัญญาณเต็มทั้ง 8 เส้น (ทั้ง 8 บิต คือ 1 ไบต์) เหมือนกับที่ซีพียูส่งออกไป จะเรียกว่าทำงานเป็น Byte mode และการทำงานแบบอาศัยสายสัญญาณบอกสถานะการทำงานที่มีจำนวน 4 เส้น ในการส่งข้อมูลกลับแทน ซึ่งจะส่งได้เพียงทีละครึ่งไบต์ หรือ 4 บิต เรียกว่า Nibble mode

### 2.6.3 Enhanced Parallel Port (EPP)

พอร์ตแบบนี้ได้รับการออกแบบในปี 1991 โดยกลุ่มบริษัท ชีนา เช่น Intel, Xirrom และ Zenith ซึ่ง EPP จะสามารถส่งผ่านข้อมูลในแต่ละวินาทีได้ประมาณ 500 กิโลไบต์ ถึง 2 เมกะไบต์ โดยมี ความเร็วในการทำงานสูงสุด 2.4 MB ต่อวินาที ซึ่งจะต้องมีวงจรช่วยการทำงานโดยเฉพาะ และจังหวะในการส่งข้อมูลของ EPP ยังผูกพันกับจังหวะการทำงานของบัสแบบ ISA ทำให้ความสามารถรับส่งข้อมูลโดยรวมใกล้เคียงกัน จึงพอกับเครื่องมือที่รับส่งข้อมูลปริมาณมาก ๆ เช่น การ์ด LAN, CD-Rom

### 2.6.4 Extended Capability Port (ECP)

เป็นมาตรฐานการรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ตแบบขนานแบบใหม่ที่พัฒนาขึ้น โดยไมโครซอฟท์ร่วมมือกับ HP ในปี 1992 สำหรับใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่มีการรับส่งข้อมูลปริมาณมาก ๆ รวมทั้งภาพด้วย เช่น เครื่องพิมพ์หรือ สแกนเนอร์โดยเพิ่มการรับส่งข้อมูลด้วยวิธีการ DMA (Direct Memory

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Access) ซึ่งสามารถรับส่งข้อมูลกับหน่วยความจำหลักได้โดยตรงโดยไม่ต้องคอยหรือผ่านซีพียู นอกจากนี้ยังเพิ่มความสามารถในการย่อข้อมูลได้จนถึงสูงสุด 64 เท่าด้วยวิธีแบบ RLE (Run Length Encoding) คล้ายกับที่ใช้ในฮาร์ดดิสก์ทำให้สามารถรับส่งข้อมูลได้เร็วระดับใกล้เคียงกับ EPP และใน ECP นั้นยังสามารถอ้างถึงอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ได้ในหลายลักษณะพร้อมๆกัน โดยมองเสมือนว่าต่ออยู่พอร์ตคนละตัวกัน เรียกว่าการทำ Channel addressing ตัวอย่างเช่นอุปกรณ์จำพวก Multifunction ที่มีสแกนเนอร์เครื่องพิมพ์เลเซอร์และเครื่องโทรสาร

ส่วนที่ติดต่อกับระบบอีกแบบคือ Serial Port หรือที่เรียกเป็นภาษาไทยว่า พอร์ตอนุกรม

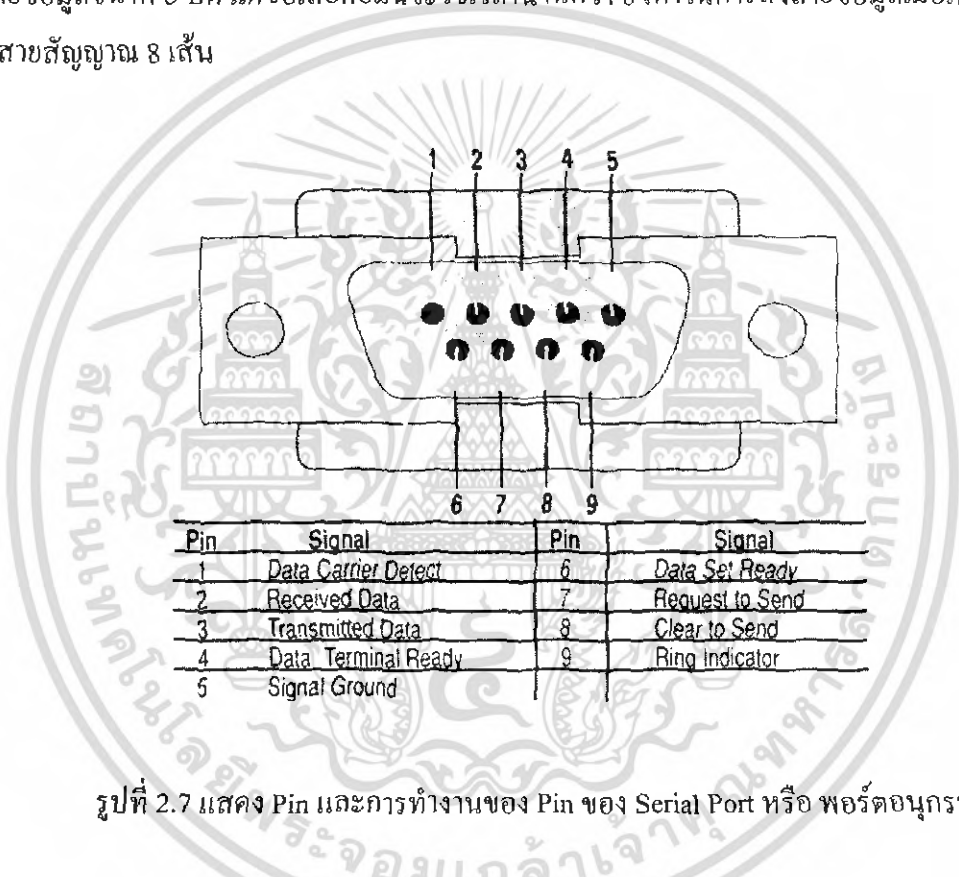


รูปที่ 2.6 Serial Port หรือ พอร์ตอนุกรม

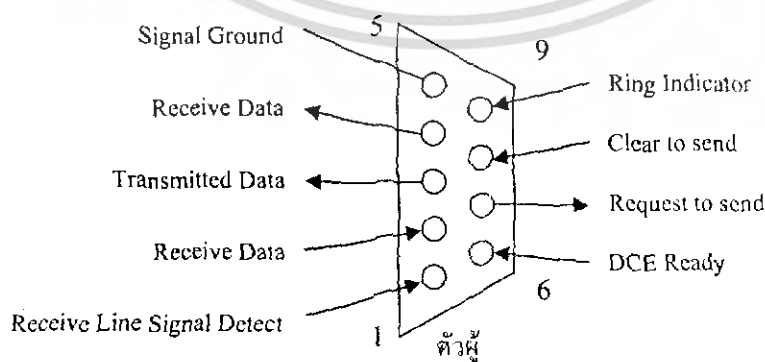
พอร์ตอนุกรมหรือเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า Communication Port (COM) เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกที่เป็นพื้นฐานมากที่สุด และมีชื่อมาตรฐานคือ RS-232C ซึ่งนับได้ว่าเป็นพอร์ตที่ใช้กันก่อนข้างนานแล้ว ใช้เวลาในการสื่อสารข้อมูลมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพอร์ตชนิดอื่นเพราะข้อมูลจะเคลื่อนที่ได้ทีละ 1 บิต (หมายความว่ากว่าอีกด้านหนึ่งจะรู้ว่าเป็น ก ก็ต้องรอนข้อมูลครบ 8 บิต เสียก่อน จึงเหมาะกับ ฮาร์ดแวร์ที่สื่อสารข้อมูลช้า) และไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ถึงแม้ว่าในปัจจุบันอาจมีการใช้การเชื่อมต่อผ่าน USB Port มากกว่าแต่ไม่เต็มในเครื่องคอมพิวเตอร์และเมาส์ส่วนใหญ่ยังใช้พอร์ตอนุกรมอยู่ เช่นเดียวกับเครื่องพริ้นเตอร์, PDA และกล้องดิจิทัลปัจจุบันพอร์ตอนุกรมมีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุดที่ 11.25 Kbps ส่วนรูปร่างของหัวต่อเป็นแบบ D-type ก็เป็นรูปตัว D เพื่อเป็นการป้องกัน ความผิดพลาดในการเสียบที่กลับข้างแต่เดิมมีการใช้อยู่ 2 ขนาด คือ 25-pin และ 9-pin แต่ในปัจจุบันเมนบอร์ดที่ขายกันอยู่จะมีพอร์ตอนุกรม แบบ 9-pin คิดมา 2 พอร์ตบนเมนบอร์ดการส่งข้อมูลผ่านสายส่งข้อมูลซึ่งมี 2 เส้นเท่านั้น คือ สายรับ และสายส่ง นอกนั้น เป็นสายสัญญาณสำหรับควบคุมการทำงาน โดยส่งข้อมูลทีละบิตเรียง

กันไปเนื่องจากการส่งข้อมูลใช้ความเร็วที่ต่ำจึงเหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ส่งข้อมูลไม่มากนัก เช่น เมาส์ โมเด็ม เป็นต้น

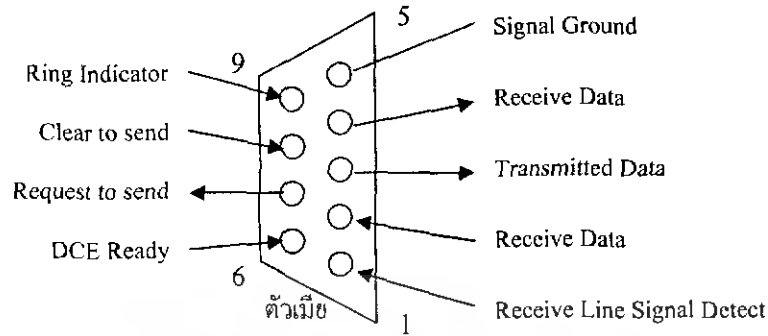
ระบบปฏิบัติการของคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันนี้ ล้วนสามารถรองรับการใช้งานของพอร์ตอนุกรมได้และสาเหตุที่พอร์ตนี้ได้ชื่อว่าพอร์ตอนุกรม เนื่องจากว่า ตัวพอร์ตจะทำการนำข้อมูลมาทำให้เป็นอนุกรม โดยที่เอาแต่ละบิตของข้อมูลมาเรียงให้เป็นอนุกรม แล้วส่งผ่านครั้งละ 8 บิตใน 1 ไบต์ ข้อดีของพอร์ตอนุกรม คือ พอร์ตอนุกรมจะใช้สายสัญญาณเพียงเส้นเดียวในการส่งถ่ายข้อมูลขนาด 8 บิต แต่ข้อเสียคือมันจะใช้เวลานานกว่า 8 เท่าในการส่งถ่ายข้อมูลเมื่อเทียบกับการมีสายสัญญาณ 8 เส้น



รูปที่ 2.7 แสดง Pin และการทำงานของ Pin ของ Serial Port หรือ พอร์ตอนุกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ภาพแสดง Pin และการทำงานเปรียบเทียบระหว่างตัวผู้และตัวเมียของ Serial Port

### 2.7 ส่วนของการปรับกำลัง

ในการศึกษาการปรับกำลังของวงจรเลเซอร์นั้นทางผู้จัดทำโครงการได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับกำลังของวงจรเลเซอร์และที่ีมีความสามารถที่ดี ซึ่งมีอยู่ 4 วิธีด้วยกัน

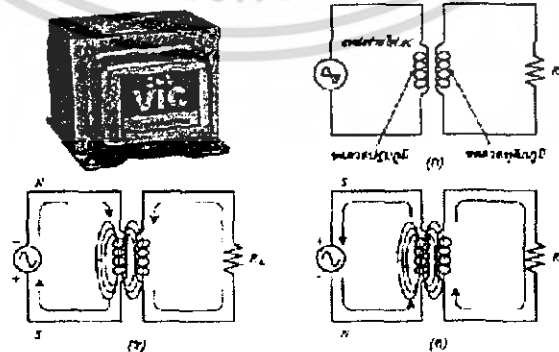
#### A. หม้อแปลงไฟฟ้าแบบหลาย สเต็ป

เราทำการจ่ายไฟให้กับขั้วแคโทด และ แอโนด โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้าชนิด TAB ซึ่งหม้อแปลงชนิดนี้สามารถที่จะให้ค่าแรงดันไฟฟ้าได้เป็น สเต็ป ของแรงดันไฟฟ้า

#### ทฤษฎีและหลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า

#### หม้อแปลงแบบทั่วไป

จากรูป (ก) แสดงรูปสัญลักษณ์ และวงจรพื้นฐานของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย ขดลวด 2 ขดที่จัดให้อยู่ใกล้กัน ได้แก่ ขดลวดปฐมภูมิ (Primary Winding) และ ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding) ทั้งนี้เพื่อให้เส้นแรงของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดปฐมภูมิไปตัดกับขดลวดทุติยภูมิและเกิดการเหนี่ยวนำซึ่งกันและกันขึ้นโดยจัดให้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า กระแสกลับต่อเข้ากับขดลวดปฐมภูมิ และ โหลด ( $R_L$ ) ต่อเข้ากับด้านทุติยภูมิ



รูปที่ 2.9 แสดงการทำงานของหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

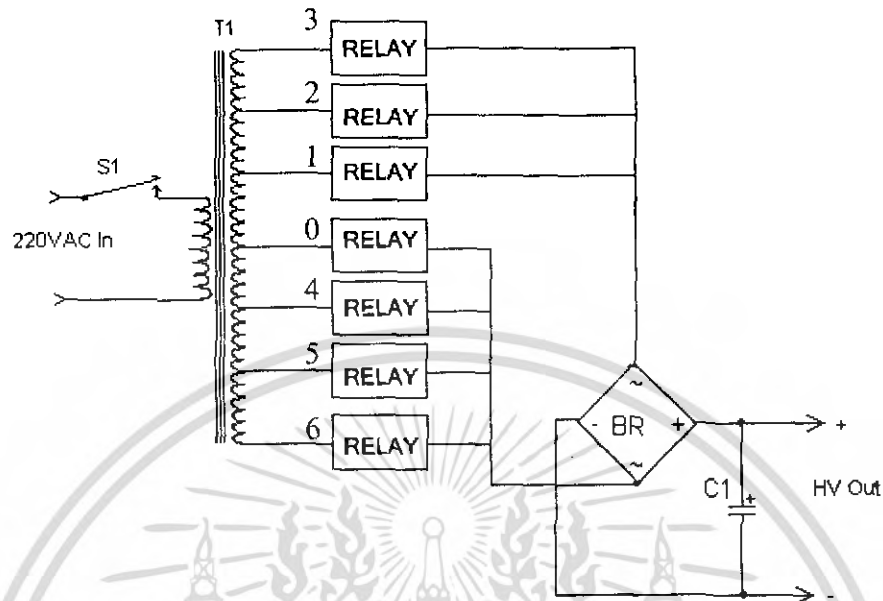
รูป (ข) แสดงกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปเข้าที่ขดลวดปฐมภูมิ ซึ่งกระแสไฟฟ้านี้ก็จะทำให้เกิดขั้วเหนื่อที่ส่วนบนของขดลวดปฐมภูมิ ถ้าแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตนี้มีความเป็นลบมาก (ช่วงครึ่งคลื่นลบ) ก็จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลเพิ่มมากขึ้นด้วย ส่งผลให้มีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นที่ขดลวดปฐมภูมิมากขึ้น การขยายตัวของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะไปตัดกับขดลวดทางด้านทุติยภูมิ และเกิดการเหนี่ยวนำของแรงดันไฟฟ้าขึ้น จึงทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรด้านทุติยภูมิผ่านไปยังโหลด จากนั้นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายเข้ามาก็จะมีความเป็นลบลดน้อยลงจนเป็นค่าศูนย์ และเปลี่ยนเป็นค่าบวก

รูป (ค) ในกรณีนี้กระแสไฟฟ้าในวงจรด้านปฐมภูมิจะไหลในทิศทางตรงกันข้ามกับตอนแรก ทั้งนี้เนื่องจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นในทิศทางที่เป็นบวก (ช่วงครึ่งคลื่นบวก) เมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นกระแสไฟฟ้าก็ไหลมากขึ้น ส่งผลให้สนามแม่เหล็กเกิดการขยายตัวไปตัดกับขดลวดทุติยภูมิเกิดการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า ส่งผลให้มีกระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางตรงข้าม และไหลผ่านต่อไปยังโหลดเช่นเดียวกัน

หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เกือบทุกชนิดส่วนใหญ่แล้วจะทำหน้าที่ห้แปลงขนาดของแรงดันไฟฟ้าให้เพิ่มขึ้น (Step-Up) หรือลดขนาดของแรงดันให้น้อยลง (Step-Down) จากแรงดันไฟ 220 V ที่จ่ายออกมาจากเต้าเสียบไฟฟ้าภายในบ้าน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในของอุปกรณ์นั้นๆ ว่าต้องการแรงดันไฟฟ้ามากหรือน้อย

## B. หม้อแปลงแบบ Tab

หม้อแปลงชนิดนี้จะใช้หลักการเดียวกับหม้อแปลงแบบทั่วไปแต่ที่แตกต่างกันออกไปนั่นคือที่ Output (ทุติยภูมิ) มีการแบ่งแรงดันออกเป็น Step ในรูปด้านล่าง หากหม้อแปลงได้ถูกออกแบบให้มี Output เป็น 2.1kV หากเราต้องแรงดันค่าต่างๆ โดยแบ่งเป็นไปตามอัตราส่วนโดยที่ขดลวดทุติยภูมินั้น ได้ถูกแบ่งออกเป็น 7 ระดับ ถ้าหากต้องการแรงดันไฟฟ้าที่ระดับ 300 V นั้นทำโดยการ Close Circuit กันระหว่าง Tab 0 และ Tab 1 ซึ่งจะให้ค่าแรงดันออกมากเท่ากับ 300 V หากต้องการแรงดันที่ ระดับขนาดเท่ากับ 1.2kV เราก็ทำการ Close Circuit กันระหว่าง Tab 3 และ Tab 4 ซึ่งก็จะทำให้ได้แรงดันขนาดเท่ากับ 1.2kV ออกมาตามที่ต้องการให้กับระบบ ดังนั้นหากต้องการแรงดันไฟฟ้าแบบเต็มกำลังของหม้อทางผู้จัดทำโครงการก็เพียงทำให้เกิดการ Close Circuit กันระหว่าง Tab 3 และ Tab 6 เท่านั้น

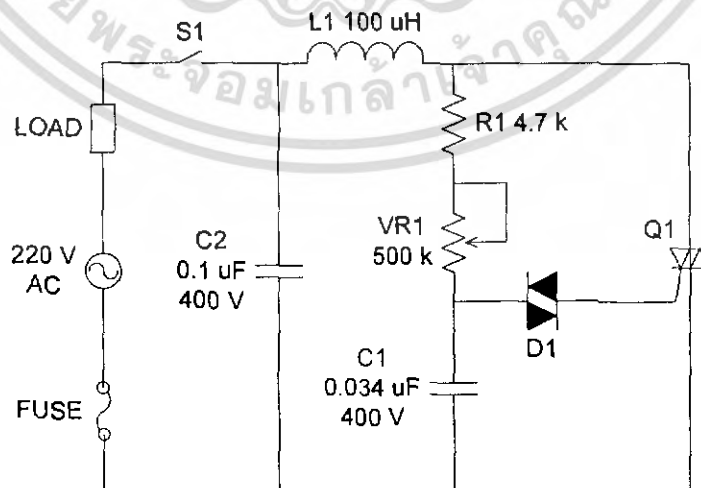


รูปที่ 2.10 แสดงการทำงานของหม้อแปลง Tap

C. วงจรหรีไฟ

วงจรหรีไฟอาศัยการกระตุ้นที่ตำแหน่งเฟสที่ต่งที่ของสัญญาณไฟสลับ ที่ให้เพื่อเป็นการควบคุมปริมาณกำลังไฟที่ป้อนให้แก่โหลดที่เป็นหลอดไฟ โดยในวงจรประเภทนี้จำเป็นต้องมีวงจรกรอง ความถี่แบบ LC เพื่อลดผลของ RFI (สัญญาณรบกวนความถี่วิทยุ) ที่เกิดขึ้น

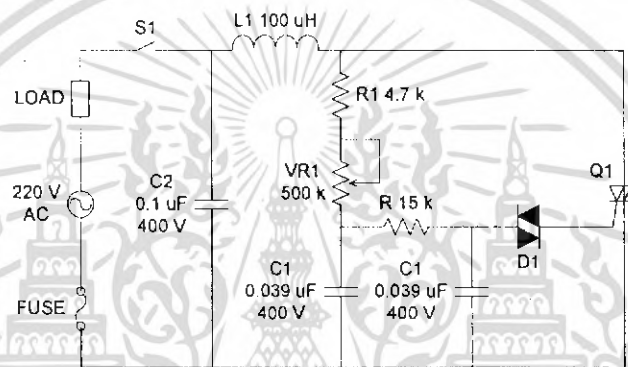
เทคนิคของการกระตุ้นที่ตำแหน่งเฟสคงที่นั้นที่นิยมใช้มีอยู่ 3 วิธีคือ การใช้ไดรเอก์รวมกับวงจร RC, การใช้ UJT และการใช้ไอซีที่สร้างขึ้นเฉพาะในการกระตุ้นให้ไดรเอก์ทำงาน



รูปที่ 2.11 วงจรหรีไฟแบบพื้นฐาน

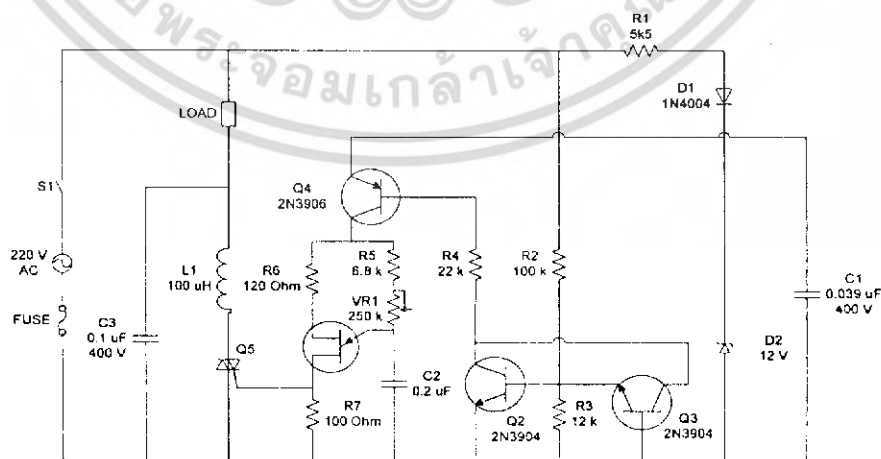
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.11 แสดงถึงวงจรที่ใช้ไคแอกเป็นตัวสร้างสัญญาณกระตุ้นให้แก่ไครแอก ผลที่เกิดขึ้นสำหรับวงจรนี้คือ การควบคุมความสว่างของหลอดไฟจะไม่สมบูรณ์เนื่องจากฮิสเทอรีซิส หรือเรียกว่าแบคแคลช (backlash) นั่นคือ ในขณะที่ทำการลดความสว่างของหลอดไฟจนกระทั่งดับ โดยการปรับค่า VR<sub>1</sub> ให้สูงสุดนั้น ถ้าต้องการให้หลอดไฟเริ่มสว่างอีกครั้ง จะต้องปรับ VR<sub>1</sub> ไปเป็นค่าประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ของค่าสูงสุด ความสว่างที่ได้จะไม่ค่อยค่อย ๆ เริ่มสว่าง แต่จะสว่างขึ้นเล็กน้อยอย่างทันทีทันใด จึงเป็นการทำให้ควบคุมความสว่างได้ไม่ต่อเนื่องเท่าที่ควร ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากในขณะที่ไคแอกกระตุ้นไครแอกนั้นจะเป็นการคายประจุของ C<sub>1</sub> ออกไปด้วย



รูปที่ 2.12 วงจรหรีไฟที่ปรับปรุงให้สามารถควบคุมความสว่างได้สมบูรณ์

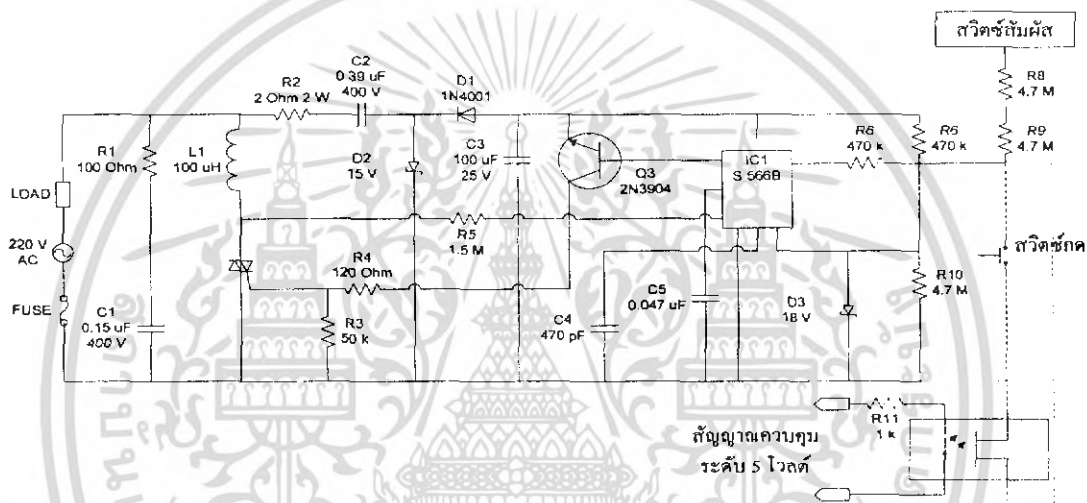
ผลของแบคแคลชที่เกิดขึ้นนี้สามารถลดลงได้โดยต่อความต้านทานค่า 47 โอห์มอนุกรมเข้ากับไคแอก เพื่อลดผลของการคายประจุของ C<sub>1</sub> แต่วิธีการที่ดีที่สุดที่นิยม ใช้กันได้แสดงไว้ใน รูปที่ 2.12 ในที่นี้ไคแอก จะถูกกระตุ้นจาก C<sub>2</sub> แทน ซึ่งจะมีระดับแรงดันตกคร่อมเป็นไปตาม C<sub>1</sub> แต่ C<sub>1</sub> จะถูกลดผลของการคายประจุในขณะที่ไคแอกทำงาน โดยความต้านทาน R<sub>2</sub>



รูปที่ 2.13 การใช้ UJT เป็นตัวกระตุ้นไครแอกทำงานโดยไม่มีผลของแบคแคลช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

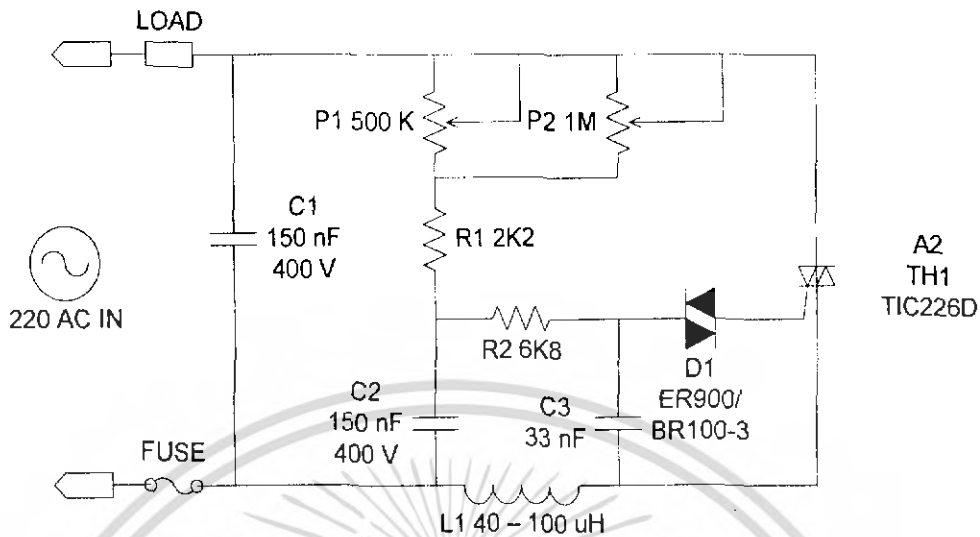
ยังมีอีกวิธีหนึ่งที่สามารถตัดผลของแบคแกสได้สมบูรณ์คือการใช้ UJT ในการกระตุ้นให้ ไตรแอกทำงาน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.13 UJT (Q1) จะรับแรงดันขนาด 12 โวลต์ ที่สร้างขึ้นจากซีเนอร์ไดโอด D<sub>2</sub> การทำงานของ UJT จะสัมพันธ์กับคาบของสัญญาณไฟสลับที่ให้โดยใช้วงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์ที่ประกอบด้วย Q<sub>2</sub>, Q<sub>3</sub> และ Q<sub>4</sub> ทรานซิสเตอร์ Q<sub>4</sub> จะทำหน้าที่จ่ายแรงดันให้แก่ วงจรของ UJT ในทุก ๆ ครั้งที่สัญญาณไฟสลับผ่านจุดตัดศูนย์ส่วน UJT จะทำงานหลังจากช่วงเวลา นั้นไปโดยสามารถกำหนดได้จากค่าของ R<sub>5</sub>, VR<sub>1</sub> และ C<sub>2</sub> UJT จะทำหน้าที่กระตุ้นให้ไตรแอก ทำงานในทุก ๆ ครั้งคาบเวลาของสัญญาณไฟสลับ ดังนั้นเราสามารถปรับความสว่างของหลอดไฟ ได้โดยการปรับค่า VR<sub>1</sub> และจะไม่เกิดผลของแบคแกสขึ้น



รูปที่ 2.14 การใช้ไอซีเบอร์ S566B ในการควบคุมการทำงานของไตรแอกสำหรับวงจรหรี่ไฟ

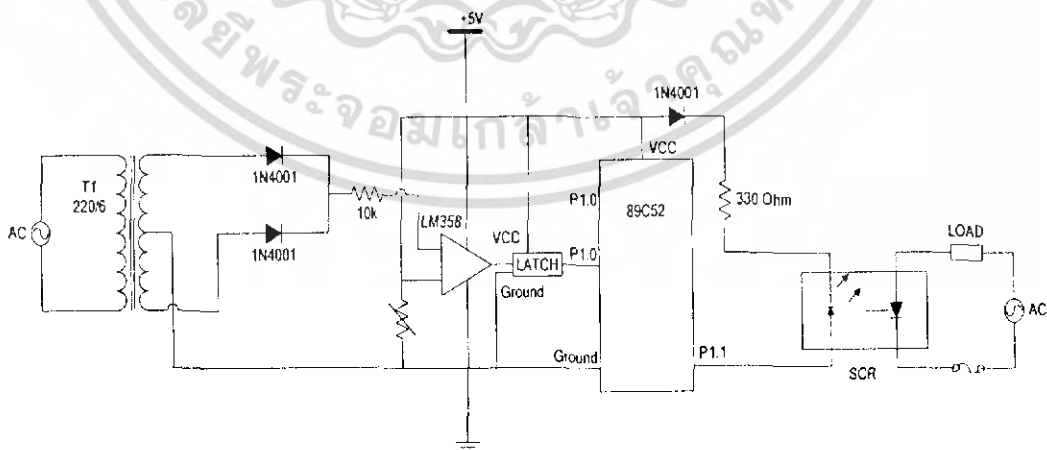
รูปที่ 2.14 แสดงถึงการใช้อิซีเบอร์ S566B ที่สร้างขึ้นพิเศษสำหรับเป็นตัวกระตุ้นไตรแอก ในวงจรหรี่ไฟที่ควบคุมด้วยสวิทช์สัมผัส หรือสวิทช์กดหรือออปโต้ไดโอดเลเซอร์ก็ได้ การรับอินพุต ของ S566B นั้นเป็นลักษณะคล้ายระดับสัญญาณลอจิกที่ไปควบคุมการเพิ่มหรือลดความสว่าง ของ หลอดไฟนั่นคือ ถ้าแตะสวิทช์สัมผัสหรือกดสวิทช์ หรือให้สัญญาณควบคุม 5 โวลต์ แก่ออปโต้ไดโอด เลเซอร์นานเท่าใดความสว่างหลอดไฟจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจาก 3 เปอร์เซ็นต์ ไปจนถึง 97เปอร์เซ็นต์ สูงสุด และจะเพิ่มขึ้นไปเช่นนี้เรื่อยๆ ไป

ถ้าปรับสวิทช์สัมผัสสามารถทำได้โดยใช้แผ่นโลหะตัวนำที่ต่อไว้หลายๆ โดยต่ออนุกรมกับ ตัวต้านทาน R<sub>8</sub> และ R<sub>9</sub> ดังรูป 2.14



รูปที่ 2.15 วงจร 1 kW 230V AC light dimmer circuit

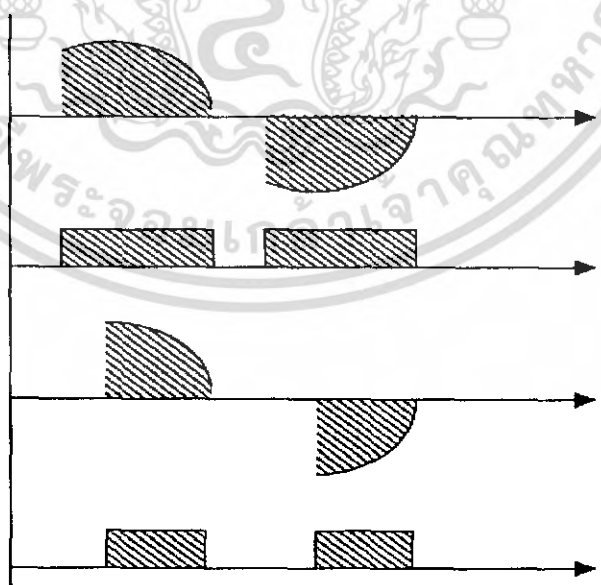
จากรูปที่ 2.15 โดยที่ P1 ทำหน้าที่ในการปรับ Duty Cycle ของวงจรและ P2 ทำหน้าที่ในการปรับช่วงของการปรับ Duty Cycle ในวงจรเช่นกัน ในการปรับตั้งวงจรเพื่อการใช้งานให้เราปรับ P1 ให้มี Duty Cycle สูงที่สุดแล้วปรับ P2 ให้วงจรที่แสงจนสุด (Duty Cycle ช่วงที่หลอดดับ) เป็นผลให้เราสามารถใช้ P1 เป็นตัวปรับ Duty Cycle ได้โดยสมบูรณ์ ในการทำงานเมื่อมีแรงดันทำให้ D1 ทำงานเป็นผลให้ TH1 ทำงาน และเมื่อแรงดันตกเป็นศูนย์ TH1 จะหยุดทำงาน กล่าวคือทำงานตามความถี่ของ Input คือ 50 Hz นั้นเอง



รูปที่ 2.16 แสดงวงจรที่ไฟแบบ Pulse detection and on-off switching

จากรูปที่ 2.16 นั้นเป็นวงจรหรือไฟแบบ pulse detection and on-off switching ซึ่งจะทำงานโดยใช้ Controller ในการ on-off เมื่อมี Input ผ่านเข้ามาในวงจร โดยจะมีระดับแรงดันไฟฟ้าที่ 6 V AC จะถูกทำให้สัญญาณ Sine เป็นสัญญาณแบบ Full-wave จากนั้นผ่านเข้าสู่ Op-amp เพื่อทำให้ทราบว่าสัญญาณ High-Volt เป็นเช่นไร โดยสัญญาณที่ผ่าน Op-amp มานั้นมีแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 3-4 V ซึ่งจะต้องทำการผ่าน Latch เพื่อปรับแรงดันให้เป็น 5 V โดยสัญญาณที่เข้ามาสู่ Controller นั้นจะมาเป็นในลักษณะของ Pulse โดยที่เมื่อมีสัญญาณ Pulse มา Controller จะสั่งให้ SCR ทำการ On ไว้เพื่อให้ตรงกับสัญญาณของ High-Volt ตาม Pulse ที่ส่งมาจาก Op-Amp ซึ่ง Controller จะมองเพียง Pulse ที่เป็น high เท่านั้น โดยที่ 1 Duty-Cycle นั้นจะมีเวลาเท่ากับ 10 ms หากเราจะทำการปรับ Duty-Cycle ที่ 10% ก็จะเท่ากับเราทำให้ SCR On เท่ากับเวลา 1 ms และถ้าหากปรับ Duty-Cycle ที่ 80 % ก็จะเท่ากับ เราจะทำให้การ On SCR ที่ 8 ms เช่นกันซึ่งจะตรงกัน ดังรูปที่ 2.17

รูปที่ 2.17 ภาพแสดงสัญญาณของ input

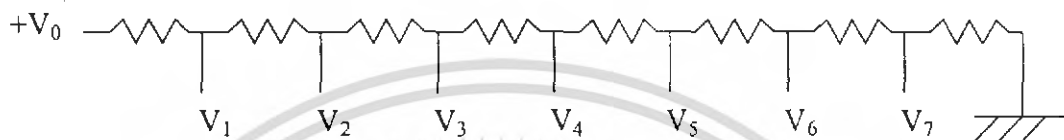


รูปที่ 2.18 ภาพแสดงสัญญาณทำการ Trigger สัญญาณแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ SCR สามารถทำการ trigger สัญญาณได้แล้วระดับของแรงดันไฟฟ้าจะลดลงไปตามรูปของสัญญาณ Sine wave ตามรูปที่ 2.18

#### D. โวลต์เทจเดจิติไวเคอร์



รูปที่ 2.19 แสดงวงจรโวลต์เดจิติไวเคอร์

วงจรโวลต์เดจิติไวเคอร์เป็นวงจรหนึ่งที่มีขมกักันอย่างมาก ที่ใช้ในการปรับกำลังไฟฟ้าโดยใช้ความต้านทานที่มากขึ้นเป็นตัวแบ่งแรงดันไฟฟ้าออกเป็นสเต็ปๆแต่ค่าของกระแสจะเท่ากันทั้งวงจรตามหลักการของวงจรอนุกรมที่กระแสจะเท่ากันทั้งวงจรแต่ค่าของแรงดันจะแบ่งไปตามความต้านทานที่ต่ออนุกรมอยู่ ความต้านทานที่ต่ออนุกรมอยู่นั้นทุกตัวจะมีความต้านทานเท่ากันหมด หาก  $V_0 = 10$  โวลต์ และความต้านทานรวมทั้งวงจรมีค่าเป็น  $8R$  จาก

$$V = IR$$

$$I = \frac{10}{8R}$$

ฉะนั้นที่

$$V_1 = \frac{10}{8R} 7R$$

$$V_1 = 8.75$$

และ

$$V_7 = \frac{10}{8R} 1R$$

$$V_7 = 1.25$$

และนี่คือหลักการของ โวลต์เดจิติไวเคอร์ที่ใช้ในการปรับกำลังของวงจรได้

**E. การใช้ Chopper**

ทางผู้จัดทำโครงการทำการกัน และปล่อยลำแสง Laser เพื่อให้ลำแสง Laser ที่ออกมา มีลักษณะเป็น Pulse ตามที่ต้องการเพื่อใช้ในการกำหนดความเข้มแทนที่จะใช้การ Delay เพื่อปรับ ความเข้มของการไหม้ของแผ่นไม้มีความเข้มที่แตกต่างกันตามที่ต้องการ โดยลำแสง Laser ที่เราใช้ มีความถี่ 50 Hz ซึ่งไม่มีผลกระทบจากการใช้ Chopper เนื่องจาก Chopper ที่ทางผู้จัดทำโครงการใช้ ที่ความถี่ต่ำ

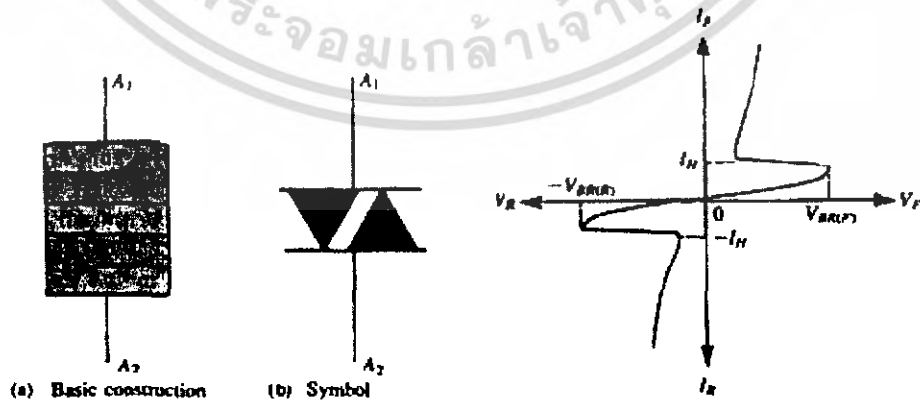


รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะของ Chopper

เนื่องจากทฤษฎีและหลักการทั้งหมดที่จะนำมาทำการศึกษารูปการปรับกำลังของระบบเลเซอร์ นั้น ได้มีส่วนประกอบอื่นๆที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับวงจรซึ่งจะเกี่ยวเนื่องด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ไดโอด ไตรแอก UJT และ OPTO Coupling รีเลย์ ซึ่งอุปกรณ์ที่จะเป็นในการศึกษาโดยที่อุปกรณ์ เหล่านี้จะมีทฤษฎีและหลักการในการใช้งานอีกด้วยเช่นกัน

**F. ไดโอดและไตรแอก**

ไดโอด (Diac) มี 2 ขั้ว คือขั้วแอโนด 1 (A1) และ ขั้วแอโนด 2 (A2) เพราะว่าไดโอด นำกระแสได้สองทางนั่นเอง จึงต้องใช้ชื่อขั้วนำกระแสว่าแอโนด 1 และแอโนด 2 ลักษณะ โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอด แสดงรูปที่ 2.21 (a),(b)

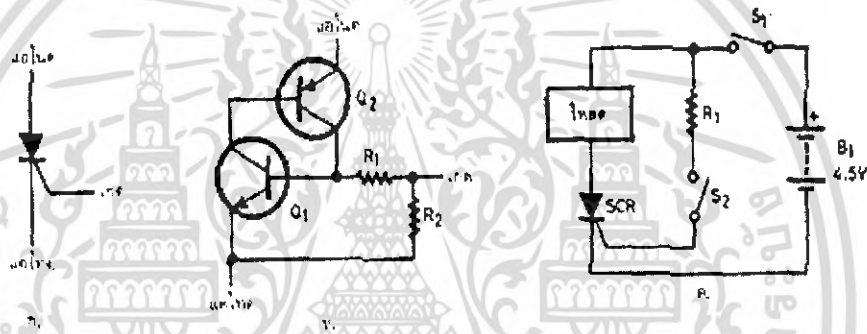


รูปที่ 2.21 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอด      รูปที่ 2.22 กราฟคุณลักษณะของไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของไดโอดเปรียบเทียบเหมือนกับชอคเลย์ไดโอด 2 ตัวต่อกลับหัวกัน มีวงจรสมมูลของไดโอดแทนด้วยทรานซิสเตอร์ 4 ดังรูปที่ 2.21 (a) ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  และ  $Q_2$  แทนชอคเลย์ไดโอดตัวที่ 1 จะเป็นตัวที่นำกระแสแอนโอดมาจากขั้ว A1 ไปสู่ A1 ดังนั้นกราฟแสดงลักษณะสมบัติของไดโอดจึงเหมือนกับชอคเลย์ไดโอด แต่สามารถนำกระแสได้ทั้งเมื่อได้รับไปแอสตรงที่แรงดัน  $V_{BR(F)}$  และเมื่อได้รับไปแอสกลับที่แรงดัน  $-V_{BR(F)}$  ดังแสดงในกราฟรูปที่ 2.22

ไดรแอคและเอสซีอาร์เป็นอุปกรณ์ที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ทำหน้าที่เป็น โวลติสเตทสวิตช์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการควบคุม การจ่ายกำลังไฟให้แก่อุปกรณ์หรือวงจรได้ทั้งแบบ ไฟสลับและไฟตรง



รูปที่ 2.23 ก. สัญลักษณ์ 1 ข. วงจรเสมือน 1 ค. ตัวอย่างการใช้เอสซีอาร์จ่ายไฟตรงให้โหลด

ทั้งเอสซีอาร์และไดรแอคเป็นอุปกรณ์ที่เรียกรวม ๆ ว่าไทรสเตอร์ (thyristor) เอสซีอาร์เป็นคำย่อมาจากคำว่า Silicon Controlled Rectifier ภายในของเอสซีอาร์ประกอบด้วย ชั้นของสารกึ่งตัวนำ 4 ชั้นที่ประกบติดกันอยู่ (PNPN) โดยสัญลักษณ์ที่ใช้และวงจรเสมือนภายในได้แสดงไว้ในรูปที่ 1 ก. และ 1 ข. ตามลำดับ ในวงจรเสมือนนี้จะเห็นได้ว่า ประกอบขึ้นด้วยทรานซิสเตอร์ 2 ตัว  $Q_1$  เป็นแบบ NPN ที่รับกระแสเบสจากคอลเลคเตอร์ของ  $Q_2$  ที่เป็น PNP ในทำนองเดียวกัน  $Q_2$  ก็รับกระแสเบสมาจากคอลเลคเตอร์ของ  $Q_1$  เช่นกัน ส่วนหลักการทำงานที่ทำให้เอสซีอาร์ สามารถทำหน้าที่เป็นสวิตช์ได้นั้นจะขอกล่าวถึงในภายหลัง

ในรูปที่ 2.23 ค. แสดงถึงวงจรแบบพื้นฐานในการใช้งานของเอสซีอาร์ เพื่อให้ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ควบคุมกำลังไฟ ตรงที่จะป้อนให้แก่โหลด การทำงานของวงจรเป็นดังนี้ เมื่อป้อนไฟให้แก่เอสซีอาร์โดยเปิดวงจรสวิตช์  $S_1$  เอสซีอาร์จะยังไม่ทำงาน คือจะยังไม่ยอมให้กระแสไหลผ่านตัวมัน เนื่องจากยังไม่มีสัญญาณทริกเกอร์เพื่อไปกระตุ้นที่ขาเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย้อนกลับไปดูวงจรในรูป 2.22 ข. ขาเบสของ Q1 จะต่ออยู่กับขาแคโทดภายนอก โดยมี R1 และ R2 ต่ออนุกรมอยู่ ดังนั้น Q1 จึงยังไม่ทำงาน เนื่องจากยังไม่มีกระแสเบส ซึ่งเป็นผลทำให้ Q2 ไม่ทำงานด้วย จะมีก็แต่กระแสรั่วไหลเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ระหว่างขั้วแอโนดและแคโทด การที่จะทำให้เอสซีอาร์เกิดการนำกระแสขึ้นได้นั้น สามารถทำได้โดยการป้อนกระแสบวกให้แก่เกต นั่นคือทำการปิดวงจรสวิตช์ S2 ในวงจรรูปที่ 2.23 ค. จะทำให้เอสซีอาร์นำกระแสในทันที

การที่จะทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้นั้น ค่ากระแสที่ป้อนให้แก่ขาเกตต้องมากพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 ทำงาน เมื่อเป็นเช่นนั้นก็จะเป็นการป้อนกระแสให้แก่ขาเบสของ Q2 ทำให้ Q2 ทำงานเช่นกัน ในทำนองเดียวกัน Q2 ก็จะไปป้อนกระแสกลับมาให้แก่ขาเบสของ Q1 จึงเกิดการป้อนกระแสกลับไปกลับมาทำให้ Q1 และ Q2 ทำงานต่อไปได้เรื่อย ๆ หลังจากที่เอสซีอาร์เริ่มทำงานแล้วนั่นคือ การยอมให้กระแสไหลผ่านตัวมันเอสซีอาร์นั้น ก็จะสามารถคงสภาพการทำงานอยู่เช่นนั้นได้ แม้ว่าจะหยุดการป้อนกระแสให้แก่ขาเกตแล้วก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากการป้อนกระแสกลับไปกลับมาระหว่าง Q1 และ Q2 ดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นกระแสที่ป้อนให้แก่ขาเกตนั้น จึงเป็นเพียงพัลส์ที่ไปกระตุ้นให้เอสซีอาร์เกิดการทำงานขึ้น และคงสภาพการทำงานเช่นนั้นต่อไป

การหยุดการทำงานของเอสซีอาร์นี้จะทำได้เพียงทางเดียวเท่านั้น คือลดค่ากระแสที่ไหลผ่านแอโนดลงจนต่ำกว่าค่าที่เรียกว่า กระแสโฮลดิ้ง (holding current) หรือเรียกว่า  $I_h$  และในกรณีที่เอสซีอาร์ถูกใช้งานโดยการป้อนกระแสกลับผ่านตัวเอสซีอาร์ การหยุดทำงานของมันจะเกิดขึ้นโดยอัตโนมัติ เมื่อค่าแรงดันไฟสลับที่ให้นั้นใกล้กับจุดที่เรียกว่า "จุดตัดศูนย์" (Zero-crossing point) ซึ่งจะเกิดขึ้นทุก ๆ ครึ่งคาบเวลาของสัญญาณไฟสลับที่ให้แก่วงจรนั้น

การทำงานของเอสซีอาร์ดังกล่าวข้างต้นเป็นเพียง โดยทฤษฎีเท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติแล้ว บางครั้งเอสซีอาร์จะมีการทำงานผิดพลาดเกิดขึ้น นั่นคือ แม้ว่าจะไม่ได้ป้อนสัญญาณทริก ให้แก่ขาเกตเอสซีอาร์ก็เกิดการนำกระแสขึ้นระหว่างแอโนดและเกตของเอสซีอาร์นั่นเอง

### G. Relay (รีเลย์)

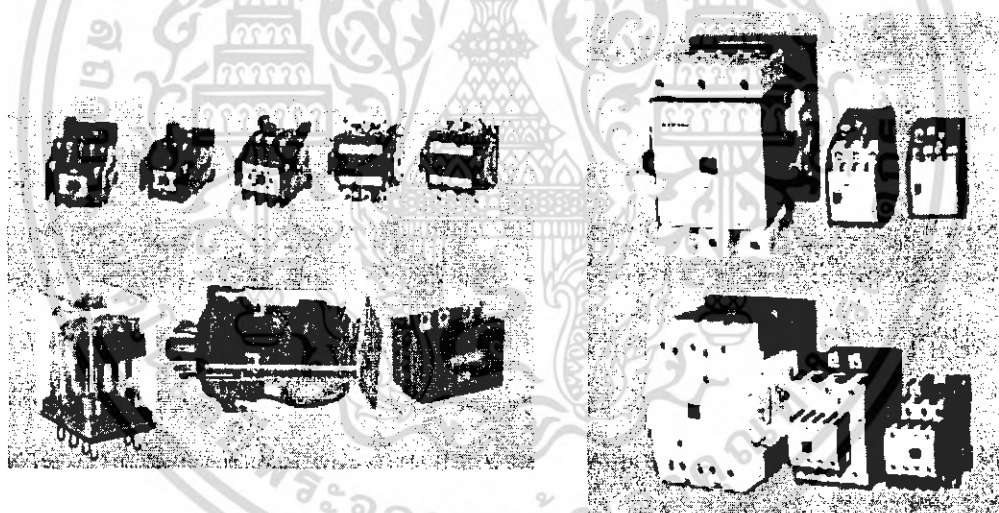
รีเลย์ได้นำมาใช้ในงานไฟฟ้าได้อย่างหลากหลายรีเลย์ซึ่งมีความหมายว่าการส่งผ่านกระแสหรือแรงดันไฟฟ้าจากส่วนหนึ่งของวงจรไปสู่อีกส่วนหนึ่งรีเลย์ มีหลายขนาดและนำไปประยุกต์ใช้ได้ต่าง ๆ กัน ถ้าไม่คำนึงถึงขนาดแล้วส่วนประกอบพื้นฐานจะเหมือนกัน โมดูลนี้จะอธิบายถึงส่วนประกอบและการทำงานของรีเลย์และคอนแทกเตอร์

เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์มีหลักการทำงานคล้ายกับ ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าหรือ โซลินอยด์ (Solenoid) รีเลย์ใช้ในการควบคุมวงจรไฟฟ้าได้อย่างหลากหลาย รีเลย์เป็นสวิตช์ควบคุมที่ทำงานด้วยไฟฟ้า แบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้เป็น 2 ประเภทคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. รีเลย์กำลัง ( Power relay) หรือมักเรียกกันว่าคอนแทกเตอร์ (Contactor or Magnetic contactor) ใช้ในการควบคุมไฟฟ้ากำลัง มีขนาดใหญ่กว่ารีเลย์ธรรมดา
2. รีเลย์ควบคุม (Control Relay) มีขนาดเล็กกำลังไฟฟ้าต่ำ ใช้ในวงจรควบคุมทั่วไปที่มีกำลังไฟฟ้าไม่มากนัก หรือเพื่อการควบคุมรีเลย์หรือคอนแทกเตอร์ขนาดใหญ่ รีเลย์ควบคุมบางทีเรียกกันง่าย ๆ ว่า "รีเลย์"

หน้าที่ของคอนแทกเตอร์ คือ การใช้กำลังไฟฟ้าจำนวนน้อยเพื่อไปควบคุมการตัดต่อกำลังไฟฟ้าจำนวนมาก คอนแทกเตอร์ ทำให้เราสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าในตำแหน่งอื่นๆ ของระบบไฟฟ้าได้ สายไฟควบคุมให้รีเลย์กำลังหรือคอนแทกเตอร์ทำงานเป็นสายไฟฟ้าขนาดเล็กต่อเข้ากับสวิตช์ควบคุมและคอยล์ของของคอนแทกเตอร์ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าคอยล์อาจจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรงหรือไฟฟ้ากระแสสลับก็ได้ขึ้นอยู่กับกรออกแบบการใช้คอนแทกเตอร์ทำให้สามารถควบคุมวงจรจากระยะไกล (Remote) ได้ ซึ่งทำให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติงานในการควบคุมกำลังไฟฟ้า



(ก)

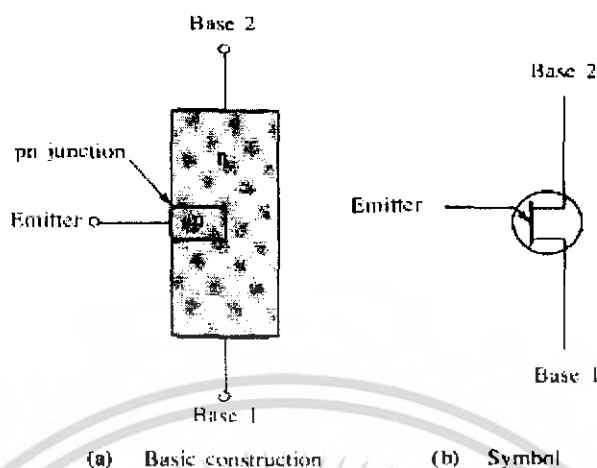
(ข)

รูปที่ 2.24 (ก) รูปร่างและลักษณะรีเลย์แบบต่างๆ (ข) เปรียบเทียบคอนแทกเตอร์และรีเลย์

#### H. UJT

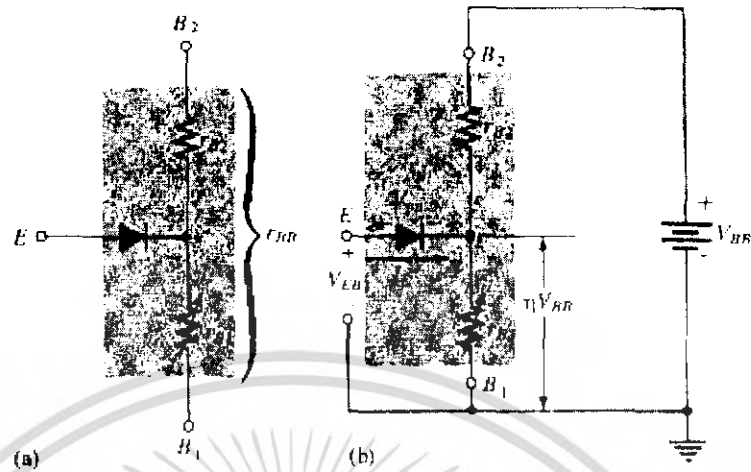
ทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่งรอยต่อ (The Unijunction Transistor : UJT) หรือเป็นที่นิยมเรียกกันว่า ยู.เจ.ที. เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มี 3 ขั้ว คือขั้วเบส 1 (Base 1) เบส 2 (Base 2) และอิมิตเตอร์ (EWmitter) ดังแสดงในรูปที่ 2.25 (a) และมีสัญลักษณ์ของ ยู.เจ.ที. ดังรูปที่ 2.25 (a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของUJT

เมื่อพิจารณาโครงสร้างของยู.เจ.ที. ในรูปที่ 2.25 (a) จะพบว่าชิ้นส่วนที่เป็นฐาน เรียกว่าเบส (Base) เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด n บริเวณปลายทั้ง 2 ของเบสต่อขั้วออก 2 ขั้วคือ เบส 1 (B1) และเบส 2 (B2) โดยมีชั้นของสารกึ่งตัวนำชนิด p ต่ออยู่บริเวณใกล้กับเบส 2 เรียกขั้วที่สาร p นี้ว่า อิมิตเตอร์ (E) จะเห็นว่าในโครงสร้างของยู.เจ.ที. นั้นมีเพียงรอยต่อเดียวเท่านั้น จึงได้ชื่อว่า ทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่งรอยต่อ วงจรสมมูลของยู.เจ.ที. (UIT Equivalent Circuit) เมื่อพิจารณาในรูปที่ 2.25 (a) จะพบว่าระหว่างขั้วเบส 1 และเบส 2 ของยู.เจ.ที. ถ้าวัดค่าความต้านทานภายใน (Interbase Resistance,  $R_{BB}$ ) จะพบว่ามีค่าความต้านทานอยู่ค่าหนึ่ง(ยู.เจ.ที.โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 8-10 K) เมื่อเขียนวงจรสมมูลของยู.เจ.ที. จะได้ว่ารูปที่ 2.26 (a) คือระหว่างขั้ว B2 และ B1 มีค่าความต้านทานภายในคือ  $R_{B1}$  คือค่าความต้านทานภายในระหว่างขั้วเบส 1 กับอิมิตเตอร์ สำหรับบริเวณรอยต่อพี-เอ็นภายในตัวยู.เจ.ที. เปรียบเทียบไดโอดที่อยู่ระหว่าง  $R_{B1}$  และ  $R_{B2}$  โดยขั้วแคโทดต่อกัน  $R_{B1}$  และ  $R_{B2}$  และขั้วแอนโนดคือขั้วอิมิตเตอร์ (E) ของยู.เจ.ที. ดังแสดงในวงจรสมมูลรูปที่ 2.26 (a)

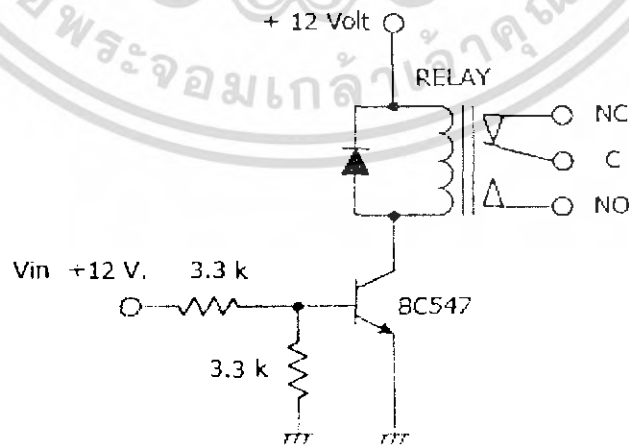


รูปที่ 2.26 แสดงวงจรสมมูลของยู.เจ.ที.

พิจารณาในรูปที่ 2.26 (b) การไบแอสแรงดันให้กับยู.เจ.ที. นั้น ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าDC โดยไบแอสแรงดันบวกให้กับเบส 2 (B2) และให้แรงดันลบให้กับเบส 1 (B1) แรงดันไบแอสนี้เรียกว่า  $V_{BB}$  ด้วยกฎของการแบ่งแรงดันตกคร่อม แรงดันตกคร่อม  $R_{B1}$

**I. OPTO Couple**

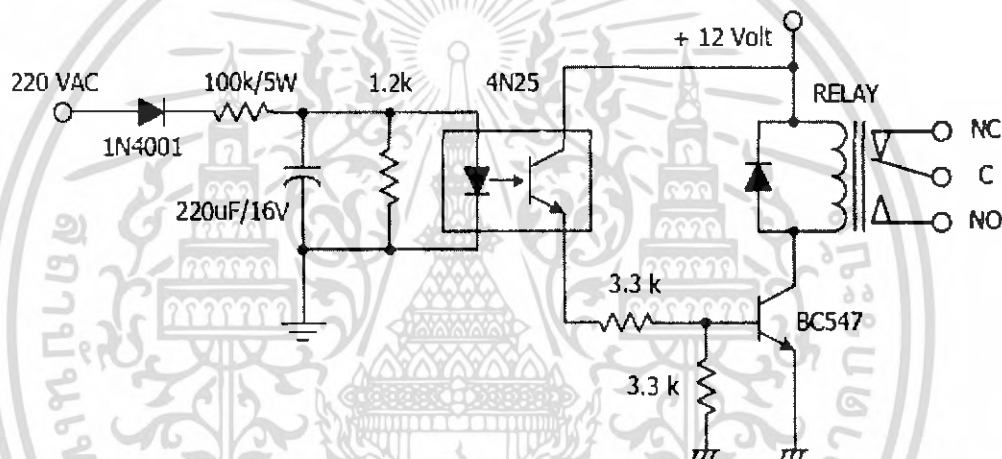
เป็นการต่อใช้งานสัญญาณสั่งงานควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ผ่านตัวรีเลย์ โดยมีขนาดแรงดันสัญญาณ  $V_m$  และรีเลย์แรงดันไฟฟ้าต่ำเท่ากับ 12 โวลต์ อาศัยทรานซิสเตอร์ขับรีเลย์โดยตรง



รูปที่ 2.27 แสดงวงจรขับรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.28 เป็นวงจรขับรีเลย์ โดยใช้สัญญาณจากไฟสูงมาขับ OPTO เบอร์ 4N25 มีการเรียงแรงดันเป็น ไฟตรงและลดลงเป็น ไฟต่ำเพื่อขับ OPTO จากคุณสมบัติของ OPTO จะช่วยแยกส่วนที่เป็นแรงดันไฟสูง ออกจากส่วนที่เป็นแรงดันไฟต่ำโดยสิ้นเชิง ซึ่งถ้าหากส่วนใดเกิดการลัดวงจร จะไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับวงจรที่เลือกการต่อวงจรขับด้วย OPTO จะไม่ให้ขับที่ขั้วรีเลย์โดยตรง เพราะคุณสมบัติของ OPTO ที่มีความจำกัดของกระแสที่เอาท์พุท ไม่สามารถขับรีเลย์ที่ต้องการกระแสสูงกว่าได้ ดังนั้นจึงต้องต่อขับผ่านตัวทรานซิสเตอร์ BC547 ดังรูปที่ 1.2 ฉะนั้นในการออกแบบวงจรควรวินิจฉัยคุณสมบัติของ OPTO ที่ต้องการใช้งานให้ดีเสียก่อน



รูปที่ 2.28 แสดงวงจรขับรีเลย์โดยใช้ OPTO กับแรงดันไฟสูง

#### J. RFI หรือ สัญญาณรบกวนความถี่วิทยุ

ในทุก ๆ ครั้งที่ไดรแอกเริ่มทำงานนั้น กระแสที่จ่ายให้แก่โหลดก็จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากศูนย์ไปยังค่าที่กำหนดจากความต้านทานภายในของโหลด และแรงดันที่ให้ภายในช่วงเวลาสั้น ๆ ประมาณ  $2 - 3 \times 10^{-6}$  วินาที การเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดนี้จะส่งผลให้เกิดสัญญาณรบกวนความถี่วิทยุ หรือเรียกว่า RFI ขึ้น ค่า RFI ที่เกิดขึ้นนี้จะมีค่ามากที่สุด ในตำแหน่งที่มีการทรักที่เฟส 90 องศาและมีค่าต่ำสุดที่ 0 องศา และ 180 องศา ในทุก ๆ ครั้งคาบเวลาของสัญญาณไฟสลับที่ใช้ในกรณีของวงจรหรือไฟนั้นอาจจะต้องใช้สายที่ต่อระหว่างวงจรกับโหลดยาวมากดังนั้น RFI จะมีผลมากเนื่องจากสามารถกระจายคลื่นสัญญาณรบกวนได้ตลอดความยาวของสาย ฉะนั้นในทางปฏิบัติควรจะมีวงจรเรโซแนนซ์ที่ทำหน้าที่ลดสัญญาณ RFI นี้ด้วย

## 2.9 การเขียนโปรแกรม

ทางผู้จัดทำโครงการได้ใช้ภาษา C ในการควบคุมอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ต่างๆเนื่องจากภาษา C เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ง่ายในการเรียนรู้ มีความคล้ายกับภาษา Pascal ที่มีโครงสร้างเป็นแบบ procedure ทุกๆ หลักในภาษา Pascal สามารถใช้ได้โดยตรงในภาษา C บางครั้งภาษา C ดูเหมือนยากเพราะมันให้ผู้เขียนหรือ Programmer มีอิสระมากเกินไปในการเขียน โปรแกรมที่ซับซ้อนซึ่งทำให้เกิดปัญหา (Bugs) ขึ้นได้ภาษา C จัดเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ระดับกลาง คือสามารถเขียนโปรแกรมให้ทำงานในระดับเดียวกับภาษา Assembly หรือสามารถเขียนคำสั่งหรือฟังก์ชันใหม่ ๆ ที่เกิดเป็นคำสั่งที่ซับซ้อนใกล้เคียงกับภาษาระดับสูงได้การเรียนการเขียนโปรแกรมภาษา C ในบทความนี้ จะทำยกตัวอย่างโปรแกรมภาษา Pascal เทียบเคียงกับภาษา C เนื่องจากทางผู้จัดทำโครงการศึกษาได้ผ่านการเรียนภาษา Pascal มาแล้ว อีกทั้งโค้ดภาษา Pascal อ่านเข้าใจง่าย

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาการปรับกำลังของเลเซอร์ด้วยคอมพิวเตอร์ทางผู้จัดทำกำลังศึกษาอยู่นั้น มีแนวทางที่น่าจะเป็นไปได้อยู่หลายวิธีการ อย่างเช่น การใช้วงจรรีไฟ, การใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบหลาย Step, การใช้วงจรถึง Voltage Divider เป็นต้น

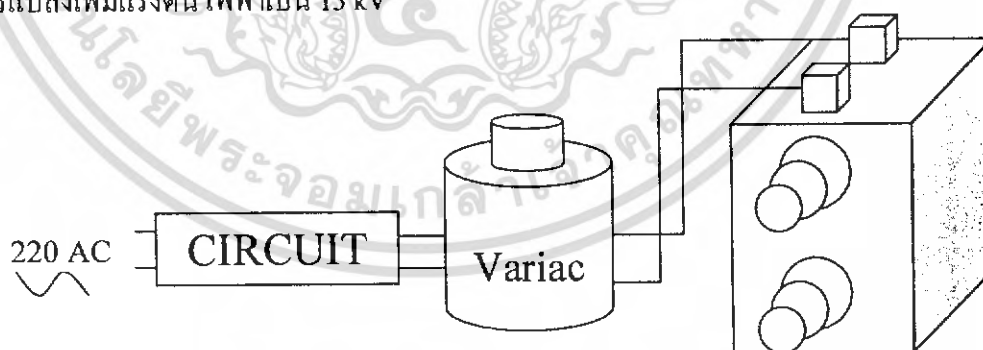
ในการวิจัยนั้นจะทำการศึกษาการปรับกำลังของเลเซอร์ ในระบบเดิมนั้นได้ใช้ระบบของเลเซอร์ในการทำสัญญาณซึ่งไม่สามารถกำหนดค่าของสปีนขึ้นงานได้ ในการวิจัยนั้นจะใช้ระบบของวงจรถึงระบบเลเซอร์ที่มีอยู่เดิมแต่จะเพิ่มส่วนของการปรับกำลังของเลเซอร์เข้าไป ซึ่งจะทำให้การปรับกำลังในช่วงก่อนที่จะเข้าไปในส่วนของปฏิกิริยาของหม้อแปลงก่อนที่จะแปลงแรงดันไฟฟ้า

#### 3.1 ส่วนประกอบของโครงการ

โครงการนี้มีส่วนประกอบของวงจรถึง โดยทำการศึกษาค้นคว้าความเป็นไปได้ในการปรับกำลัง

#### 3.2 ส่วนของวงจรถึงในการปรับแรงดัน

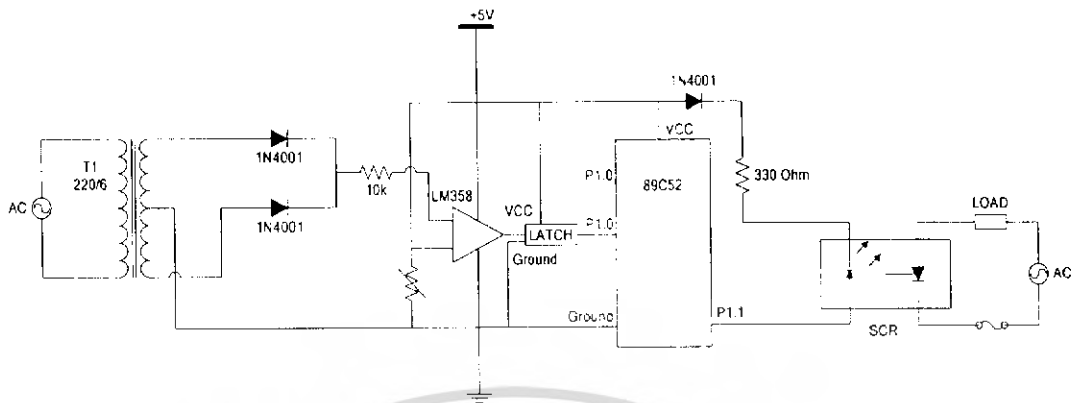
ทางผู้จัดทำโครงการได้เลือกการปรับกำลังแบบวงจรรีไฟเนื่องจากมีความเหมาะสมที่สุดต่อการปรับกำลังโดยที่จะทำการปรับกำลังของสัญญาณไฟฟ้าก่อนที่จะเข้าสู่หม้อแปลงเพื่อทำการแปลงเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเป็น 15 kV



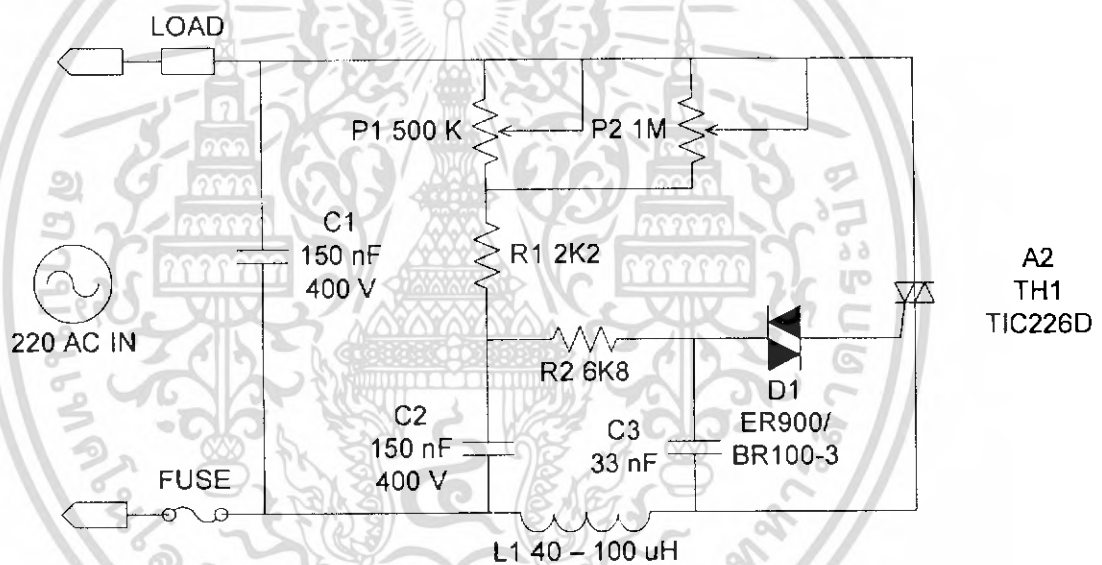
รูปที่ 3.1 แสดงแนวคิดในการปรับกำลัง

ทางผู้จัดทำโครงการได้เลือกใช้วงจรถึง on-off switching (รูปวงจรถึง 3.2) และวงจรถึง 1 kW 230V AC light dimmer circuit (รูปวงจรถึง 3.3) และซึ่งจะมีความสามารถในการปรับแรงดันไฟฟ้าแบบแรงสูงได้ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 วงจร On-Off switching



รูปที่ 3.3 วงจร 1 kW 230V AC light dimmer circuit

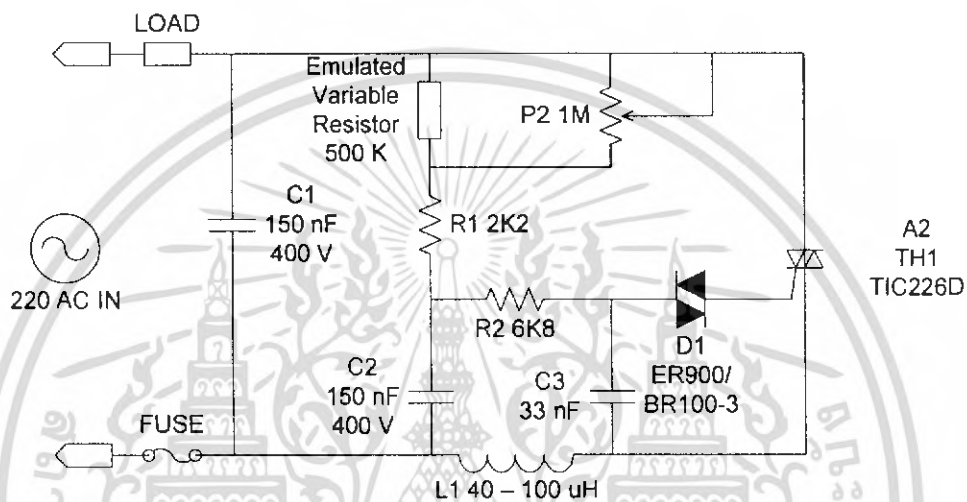
ซึ่งทั้งสองวงจรมีความสามารถในการปรับกำลังของวงจรได้ดี โดยที่ทางผู้จัดทำจะทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับกำลังของระบบโดยใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมระบบปรับกำลัง

ในวงจร On-Off switching ทางผู้จัดทำโครงการนี้ได้เลือกใช้ Controller ในการติดต่อควบคุมการปรับกำลังด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้ CPU 89C52 ซึ่งจะทำการควบคุมผ่าน Serial Port

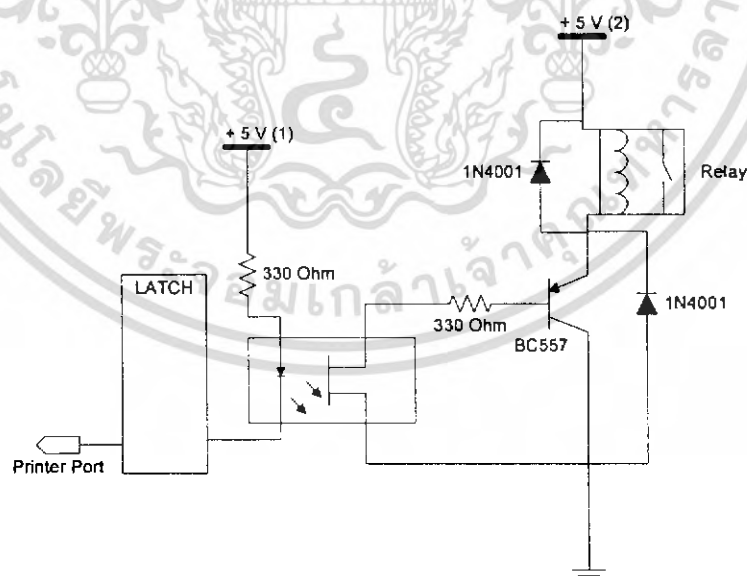
แต่เนื่องจากว่าในส่วนของวงจร 1 kW 230V AC light dimmer circuit นั้นหากจะปรับกำลังจะต้องทำการปรับค่าความต้านทานที่ P2 ฉะนั้นจะต้องใช้ Digital Potentiometer แทนเพื่อทำการปรับค่าความต้านทานโดยใช้คอมพิวเตอร์ แต่เนื่องจากในประเทศไทยนั้นไม่มีตัวต้านทานชนิดนี้จึงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการประยุกต์ความต้านทาน 500 K ต่ออนุกรมกันแล้วทำการต่อรีเลย์คร่อมตัวต้านทานแต่ละตัว ถ้าหากว่ารีเลย์ On ก็จะทำให้กระแสไหลผ่านตัวรีเลย์ไม่ไหลผ่านตัวต้านทานในทางกลับกันถ้าหาก รีเลย์ Off กระแสก็จะไหลผ่านตัวต้านทานแทน ฉะนั้นหากรีเลย์ทุกตัวทำการ On หหมด จะทำให้เกิดสถานะ On ของหลอดไฟแบบ 100 % ส่วนการควบคุมของระบบนั้นจะทำการต่อตรงกับ Parallel Port ในการสั่ง On-Off ของรีเลย์แต่ละตัว

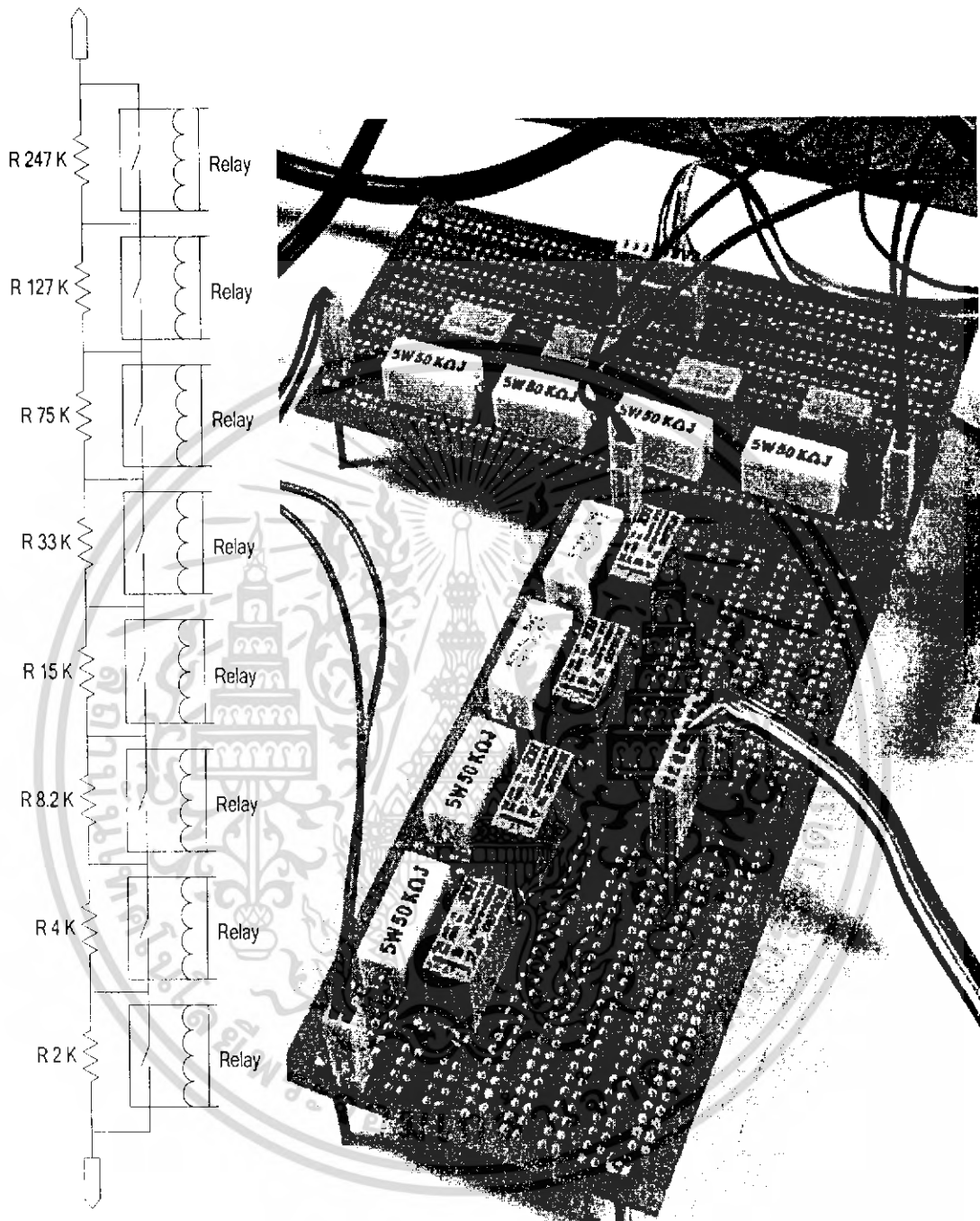


รูปที่ 3.4 วงจร 1 kw 230 V AC light dimmer circuit แสดงตัวต้านทานที่ทำการ Emulated



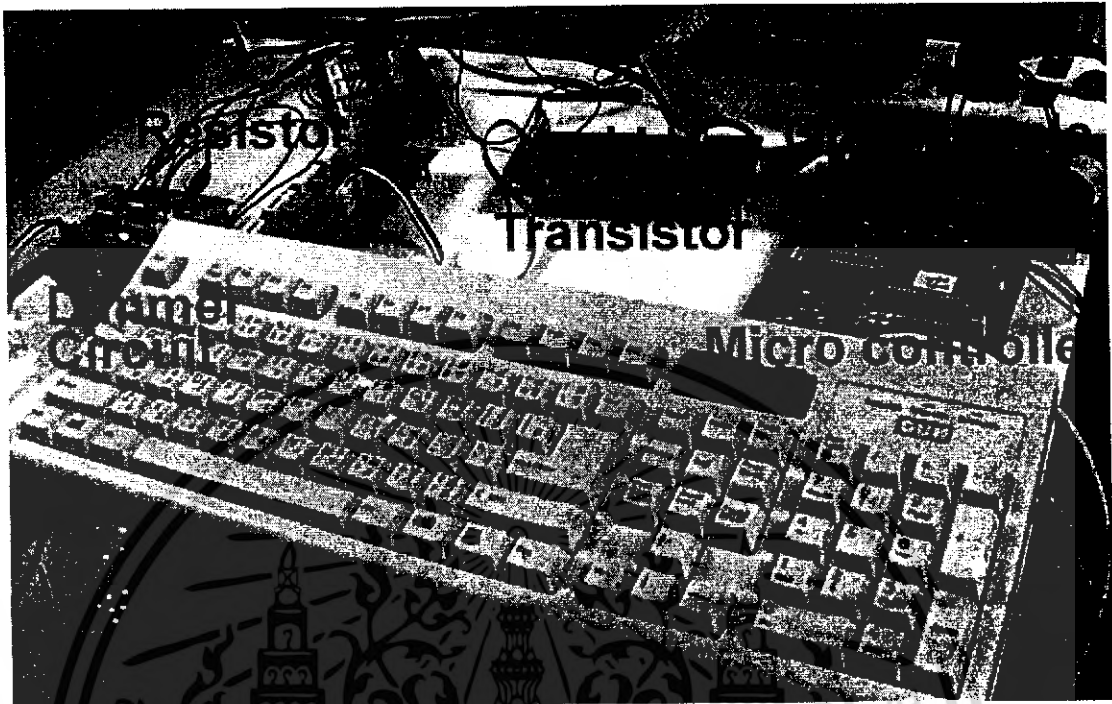
รูปที่ 3.5 วงจรขับรีเลย์โดยต่อผ่าน Opto Couple

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงวงจร Emulated Variable Resistor 500 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรรวมของ 1 kw 230V AC light dimmer circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### วิธีการทดลองและผลการทดลอง

ในการศึกษาการปรับกำลังนั้นจากบทที่ 2 ในเรื่องของทฤษฎีและหลักการซึ่งได้นำเสนอวิธีการปรับกำลังอยู่หลายวิธีโดยจากการศึกษาพบว่า

#### 4.1 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบหลาย สเต็ป และหม้อแปลงแบบ Tab

ซึ่งจากการศึกษาพร้อมว่าการนำหม้อแปลงทั้งสองชนิดมาใช้นั้นเป็นวิธีการที่ดี ในการปรับกำลังแต่เนื่องจากด้วยการนำหม้อแปลงทั้งสองชนิดมาใช้นั้น มีต้นทุนที่สูงมากเนื่องจากต้องทำการสั่งทำพิเศษเพื่อการนี้โดยเฉพาะ โดยทางผู้จัดทำโครงการพิเศษ ได้สังเกตเห็นถึงความไม่สะดวกที่จะนำมาทำการศึกษาการปรับกำลังของระบบเลเซอร์

#### 4.2 วงจรรีไฟ

จากบทที่ 2 นั้นได้ทำการเสนอวงจรรีไฟทั้งหมดอยู่ด้วยกัน 4 วงจรคือ

- 4.2.1 การใช้ UJT ในการกระตุ้นไทรแอกให้ทำงาน
- 4.2.2 การใช้ IC S566B ในการควบคุมการทำงานของไทรแอก
- 4.2.3 การใช้วงจร Pulse detection and on-off switching
- 4.2.4 การใช้วงจร 1 kW 230V AC light dimmer circuit

โดยจากการศึกษาวงจรทั้ง 4 พบว่า วงจรที่ใช้ UJT แล้ว IC S566B นั้นสามารถทำการปรับกำลังได้เช่นกัน แต่กำลังของวงจรมันไม่สามารถเป็นที่ต้องการได้ ซึ่งถ้าหากนำมาใช้อาจจะเกิดความเสียหายแก่ระบบการทำงานของวงจรได้ ทางผู้จัดทำจึงได้เลือกใช่วง on-off switching และ วงจร 1 kW 230V AC light dimmer circuit ซึ่งมีความสามารถในการปรับกำลังได้เช่นกัน และมีความสามารถในการทนกำลังสูงได้

#### 4.3 วงจรโวลต์เตจดีไวเดอร์

โดยที่ทราบคืออยู่แล้วว่าวงจรโวลต์เตจดีไวเดอร์นั้นสามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้ แต่มีข้อจำกัดอยู่ที่ความต้านทานของวงจรที่จะนำมาใช้ เนื่องจากการปรับกำลังของระบบนั้นจะต้องใช้กำลังไฟฟ้าสูงในการปรับกำลัง ฉะนั้นความต้านทานที่จะนำมาใช้นั้นจะต้องสามารถ

ทนกำลังสูงได้ ซึ่งในความเป็นจริงไม่มีความต้านทานที่ทนกำลังสูงได้ในระดับเดียวกับที่ใช้ในการศึกษานี้ได้

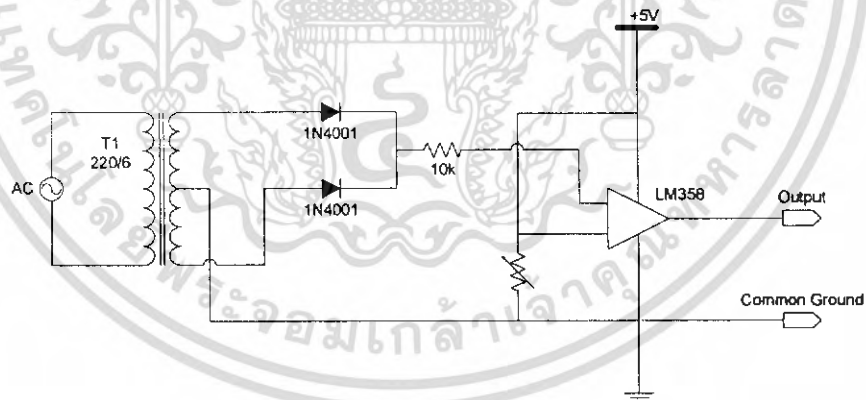
#### 4.4 การใช้ Chopper

การใช้ Chopper โดยหลักการแล้วจะให้แสงเลเซอร์วิ่งผ่าน Chopper ซึ่งจะทำให้แสงที่ออกมาเป็น Pulse การปรับกำลังจะขึ้นกับความถี่ของ Pulse ที่ออกมาแต่ Chopper ที่นำมาใช้นั้นต้องมีความสามารถที่ทนความร้อนสะสมได้สูงมากๆ ถึงแม้ว่า Chopper ที่จะนำมาใช้มีความสามารถในการทนความร้อนได้สูงแต่กับอุปกรณ์ที่ต่อร่วมกับ Chopper อาจจะได้รับผลกระทบได้เช่นกันเนื่องจาก ความร้อนสะสมจากตัว Chopper เอง

ฉะนั้นจากการศึกษาทั้งหมดทำให้ได้สังเกตเห็นถึงความเป็นไปได้ที่จะปรับกำลังของระบบเลเซอร์ โดยวิธีการของวงจรหรือไฟโดยมีอยู่ 2 แบบ 2 วงจรด้วยกัน คือการใช้วงจร on-off switching และ 1 kW 230V AC light dimmer circuit

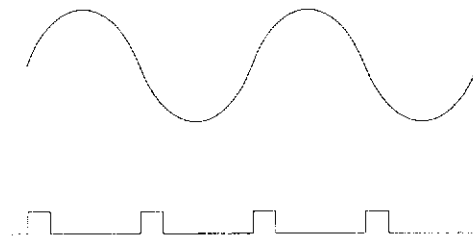
#### 4.5 วงจร On-off switching

ที่ทางผู้จัดทำกำลังศึกษาอยู่นั้นในช่วงแรกผู้จัดทำได้ใช้วงจร Pulse Detection มีหน้าที่ในการจับสัญญาณของ Sine Wave ว่ามีตำแหน่งที่เท่าไร หรือที่ทราบกันดีว่าวงจร Trigger

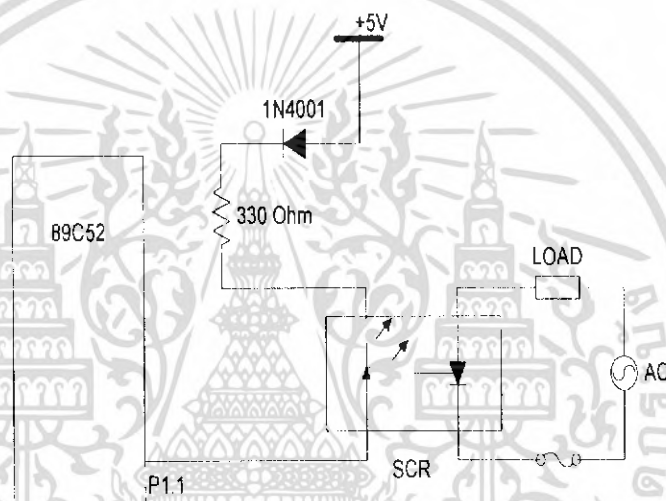


รูปที่ 4.1 วงจร Pulse Detection

จากนั้นนำสัญญาณที่ออกมาจากขา Output เข้าสู่ Latch เพื่อให้สัญญาณที่ได้นั้นให้เป็นแบบ Digital คือ +5 V และ 0 V เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อกับ Controller ได้โดยให้ Controller ได้รู้ถึงสัญญาณที่เข้ามา

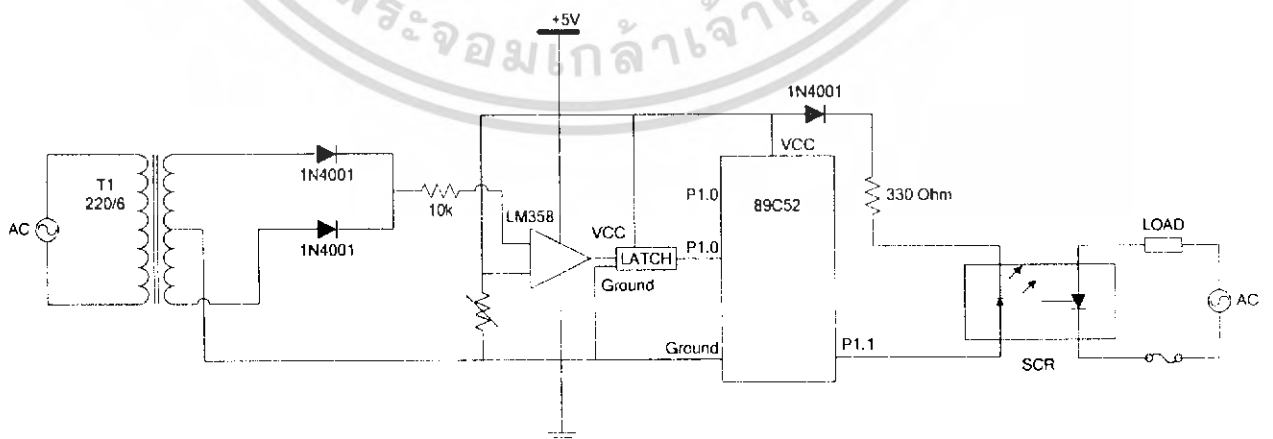


รูปที่ 4.2 กราฟแสดง input และ output



รูปที่ 4.3 วงจร On-Off Switching

จาก Controller จะต่อกับวงจร On-Off Switching เพื่อที่จะสั่งให้เปิด และปิดโหลดให้ตรงกับสัญญาณ Sine Wave ดังรูป



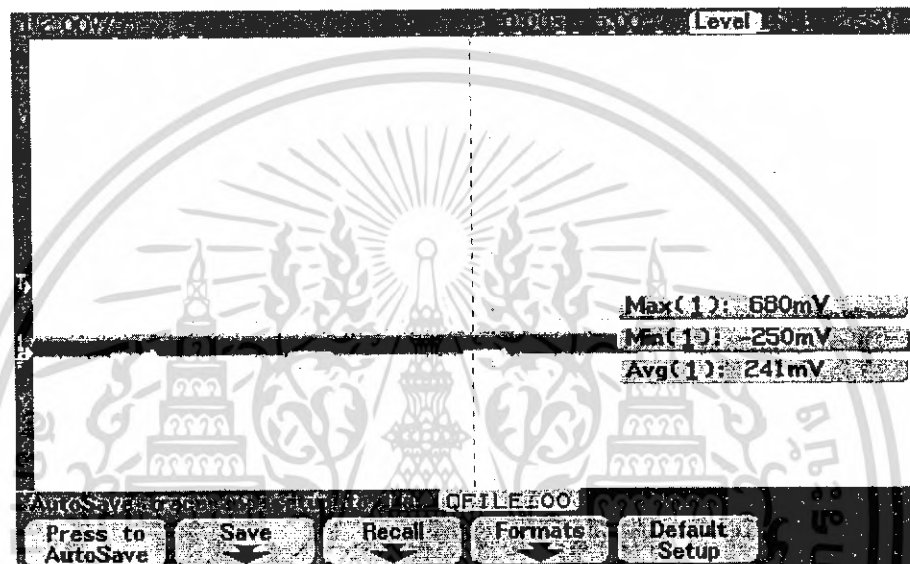
รูปที่ 4.4 วงจร Pulse detection and On-Off Switching

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

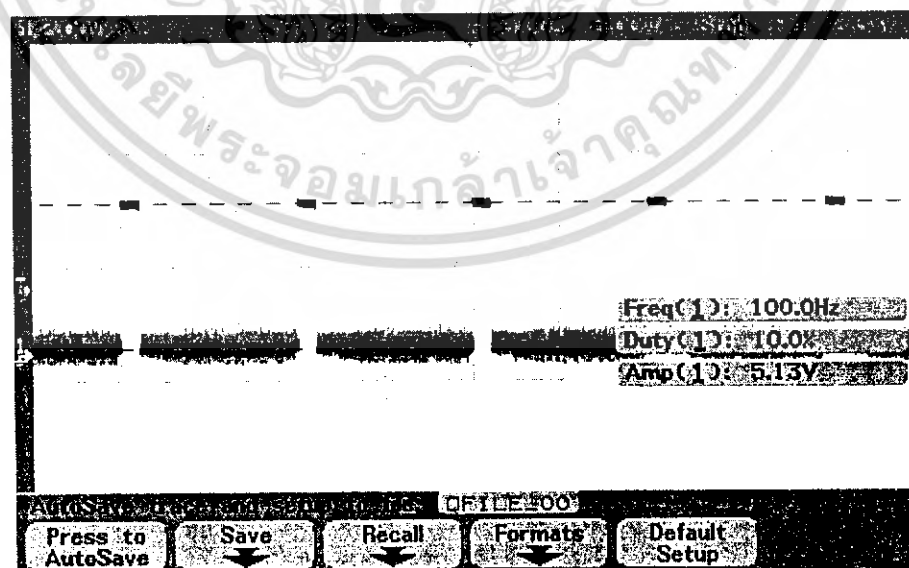
ในการปิด-เปิด โหลดนั้นจะกระทำเพื่อ ทำการ Dimmer โดยทำการปรับ Duty Cycle โดยทำ  
ที่ Step ละ 10 %

#### 4.6 รูปแสดงกราฟของ Duty-Cycle

โดยการปรับ Duty Cycle เพื่อเป็นการปรับกำลังดังแสดง

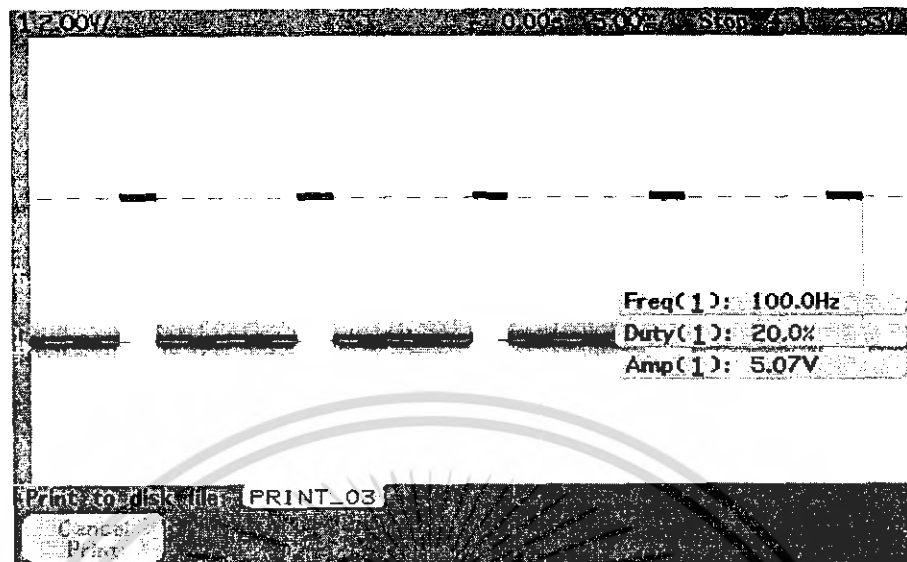


รูปที่ 4.5 กราฟแสดง Output ที่ Off



รูปที่ 4.6 กราฟแสดง Output ที่ Duty Cycle 10 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

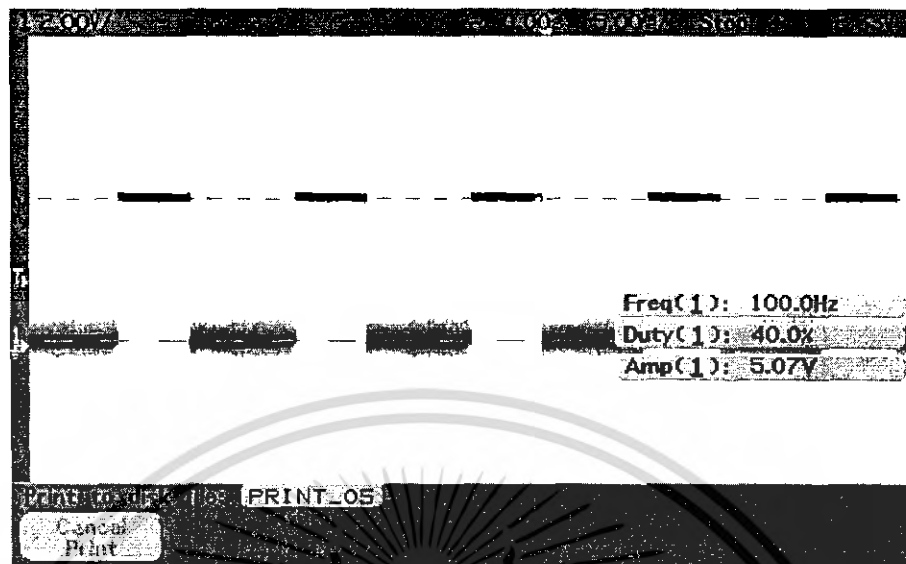


รูปที่ 4.7 กราฟแสดง Output ที่ Duty Cycle 20 %

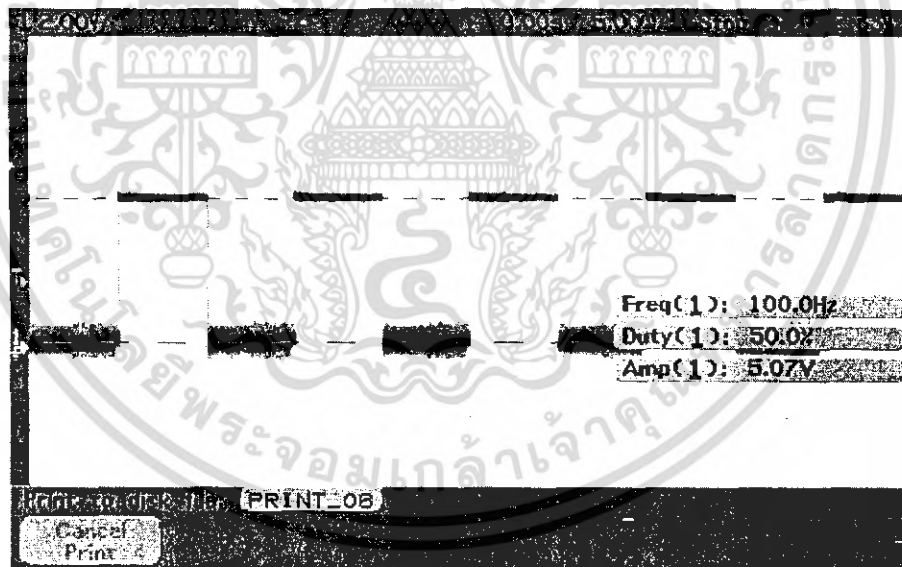


รูปที่ 4.8 กราฟแสดง Output ที่ Duty Cycle 30 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

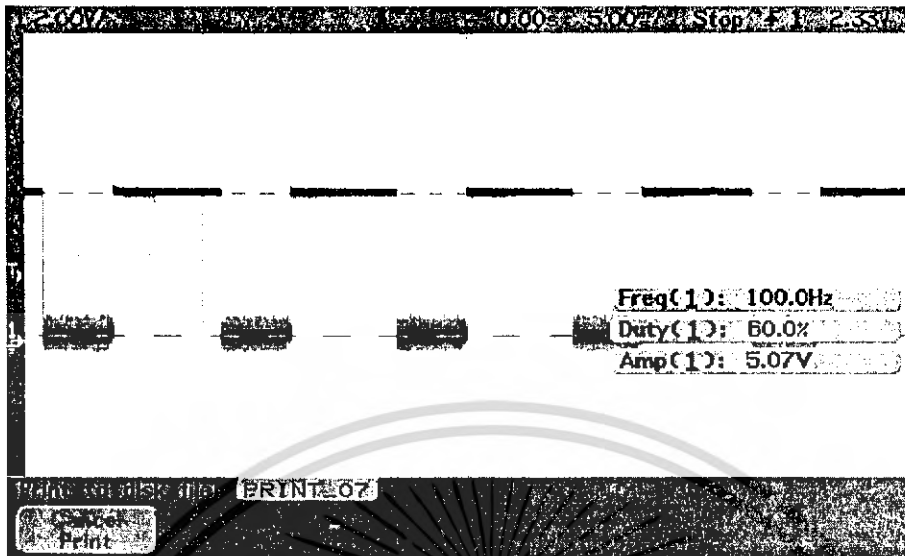


รูปที่ 4.9 กราฟแสดง Output ที่ Duty Cycle 40 %



รูปที่ 4.10 กราฟแสดง Output ที่ Duty Cycle 50 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

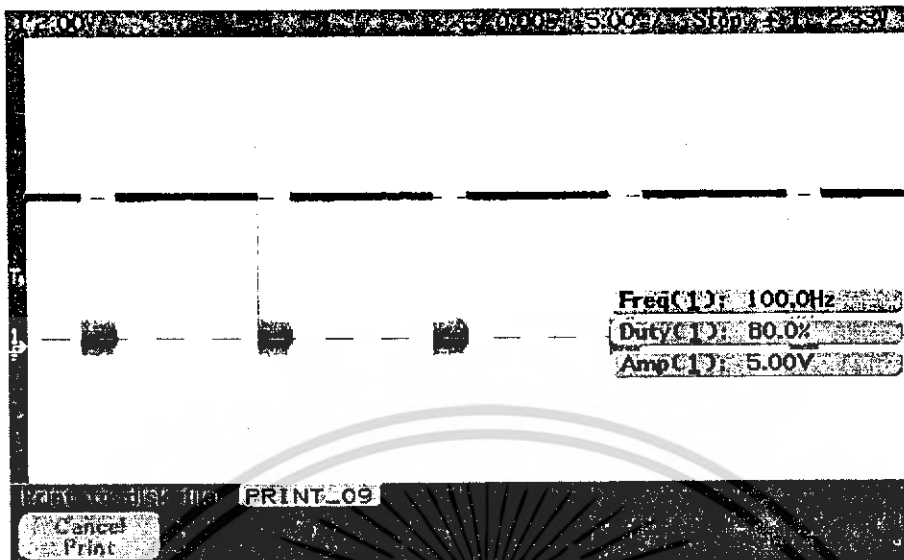


รูปที่ 4.11 กราฟแสดง Output ที่ Duty Cycle 60 %

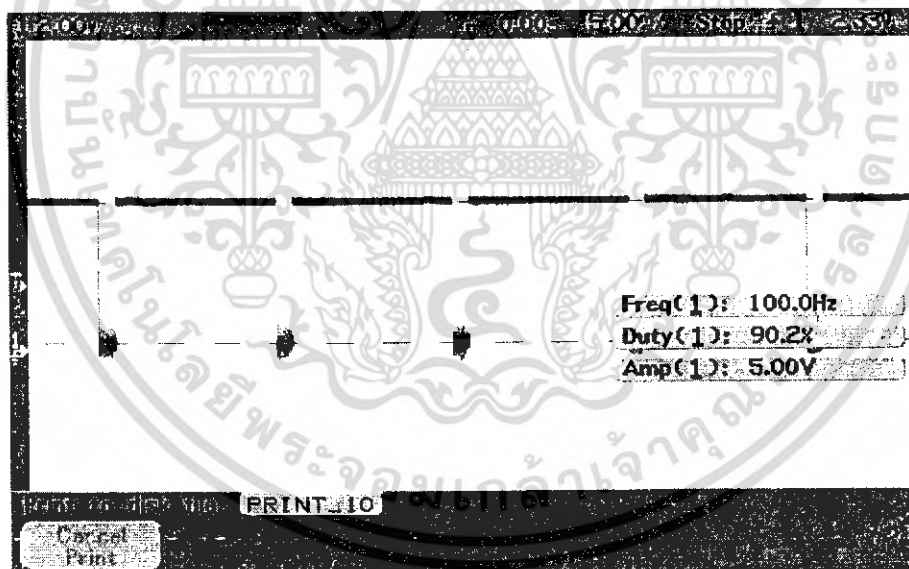


รูปที่ 4.12 กราฟแสดง Output ที่ Duty Cycle 70 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

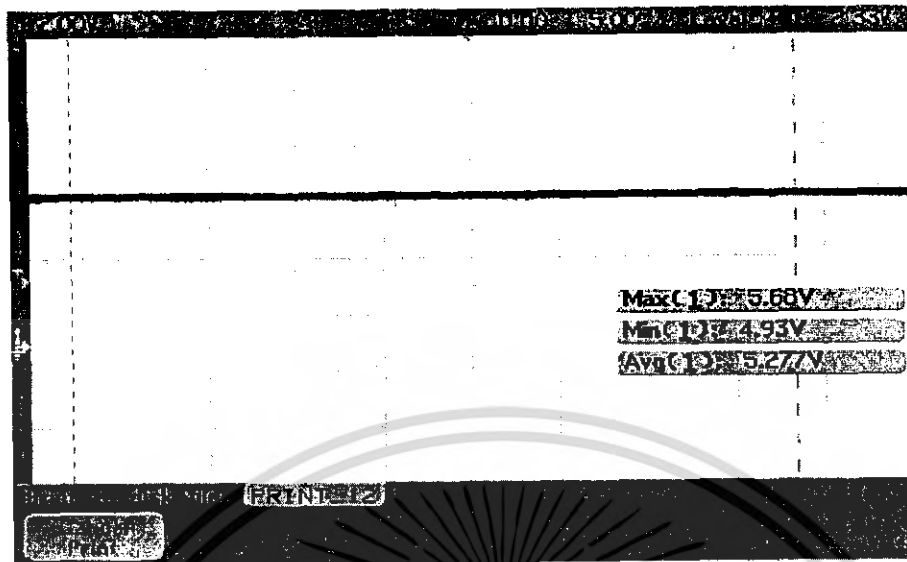


รูปที่ 4.13 กราฟแสดง Output ที่ Duty Cycle 80 %



รูปที่ 4.14 กราฟแสดง Output ที่ Duty Cycle 90 %

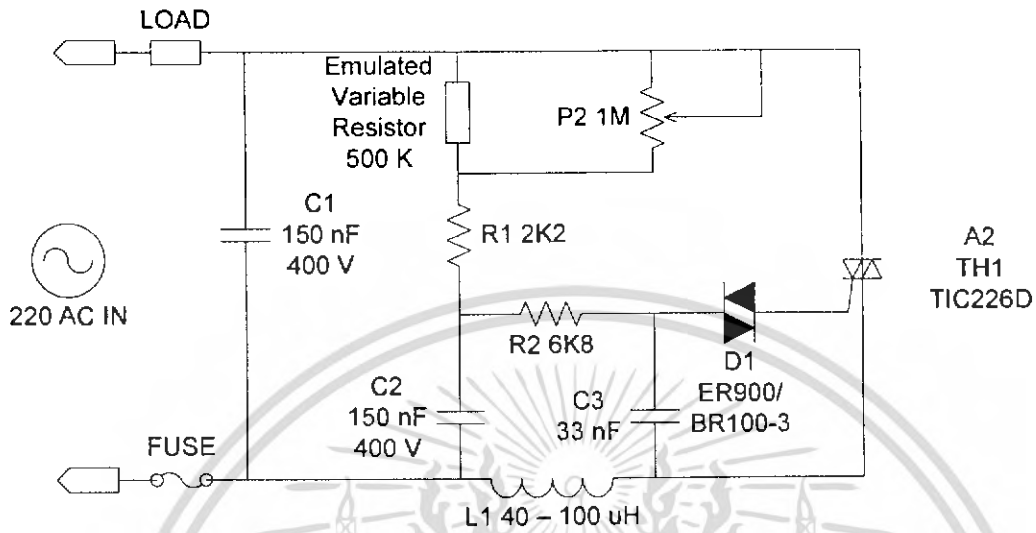
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



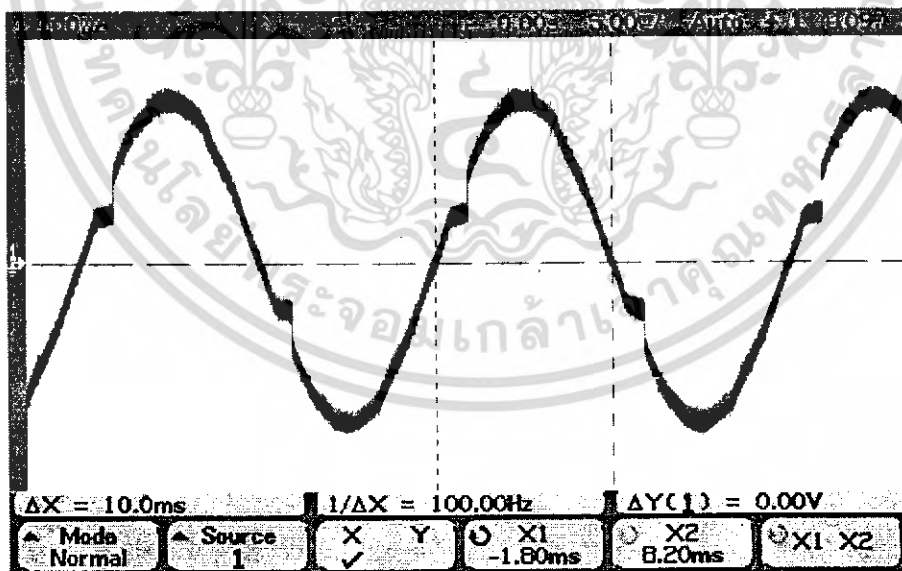
รูปที่ 4.15 กราฟแสดง Output ที่ On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.7 วงจร 1 kW 230V AC light dimmer circuit

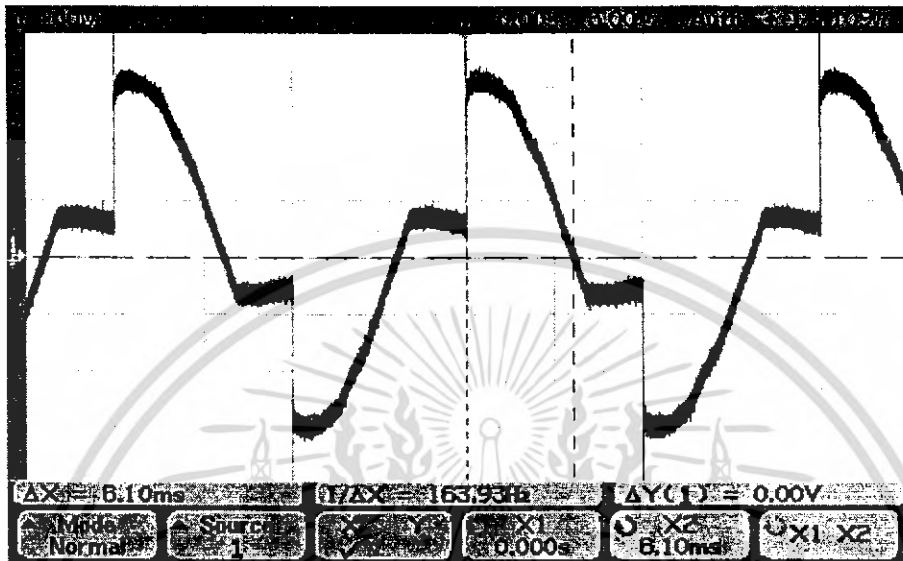


รูปที่ 4.16 วงจร 1kw 230V AC light dimmer emulated variable resistor circuit

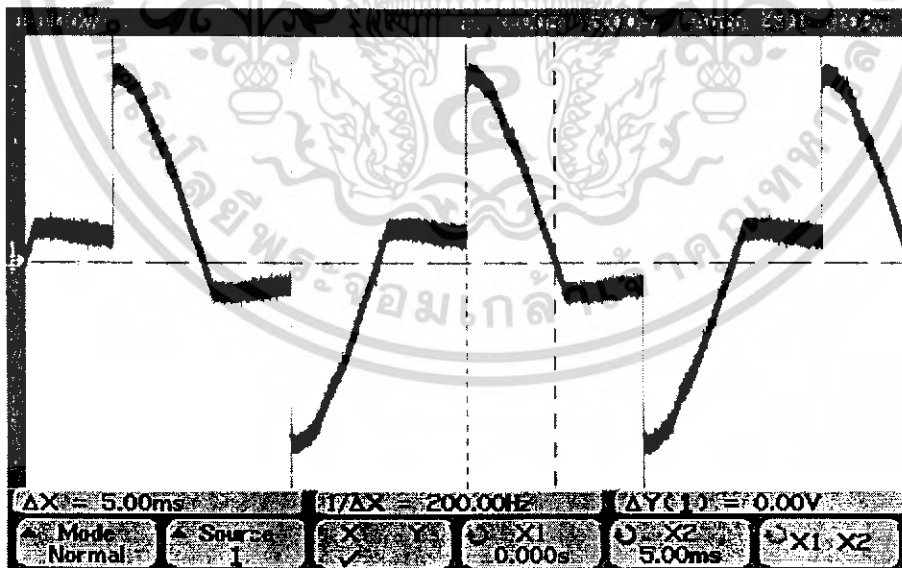


รูปที่ 4.17 กราฟแสดง Output ที่ On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

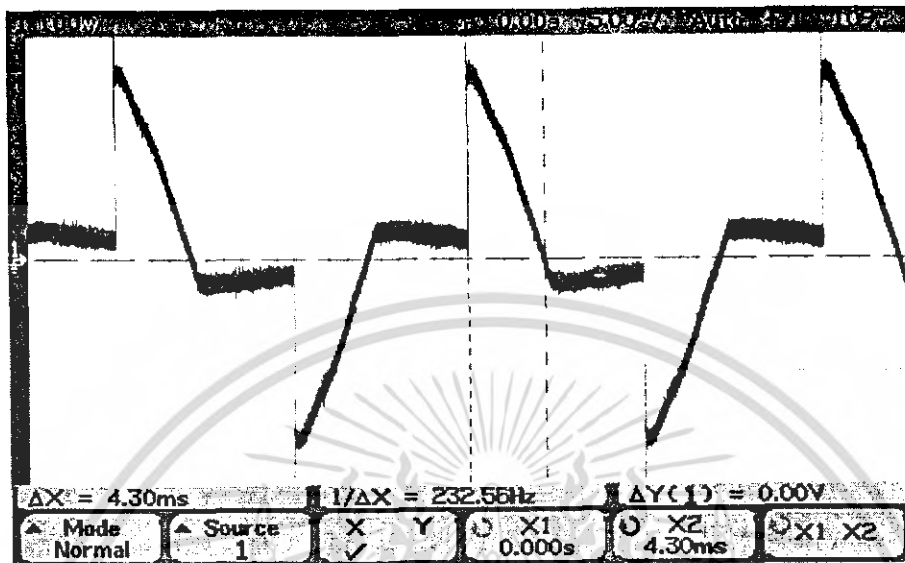


รูปที่ 4.18 กราฟแสดง Output เมื่อรีเลย์ที่  $2\text{ k}\Omega$  off

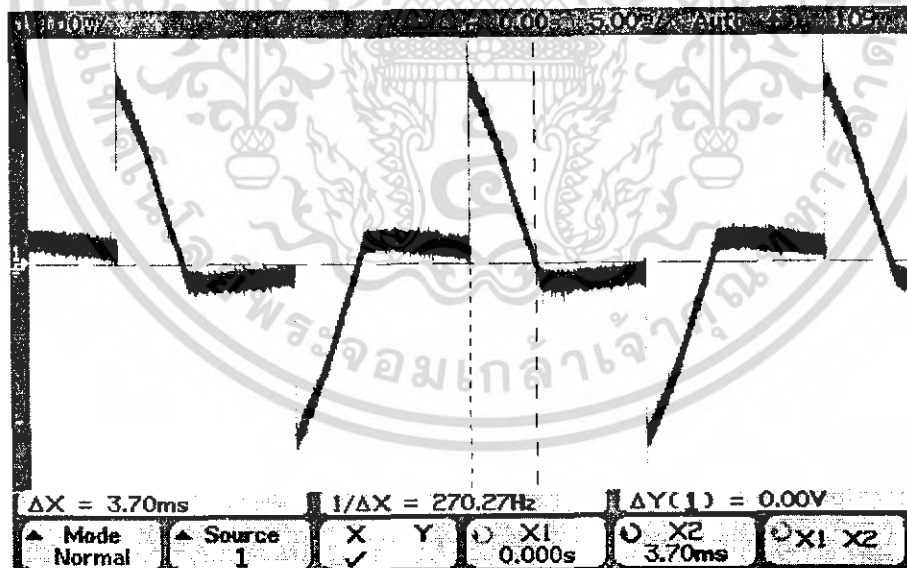


รูปที่ 4.19 กราฟแสดง Output เมื่อรีเลย์ที่  $4\text{ k}\Omega$  off

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

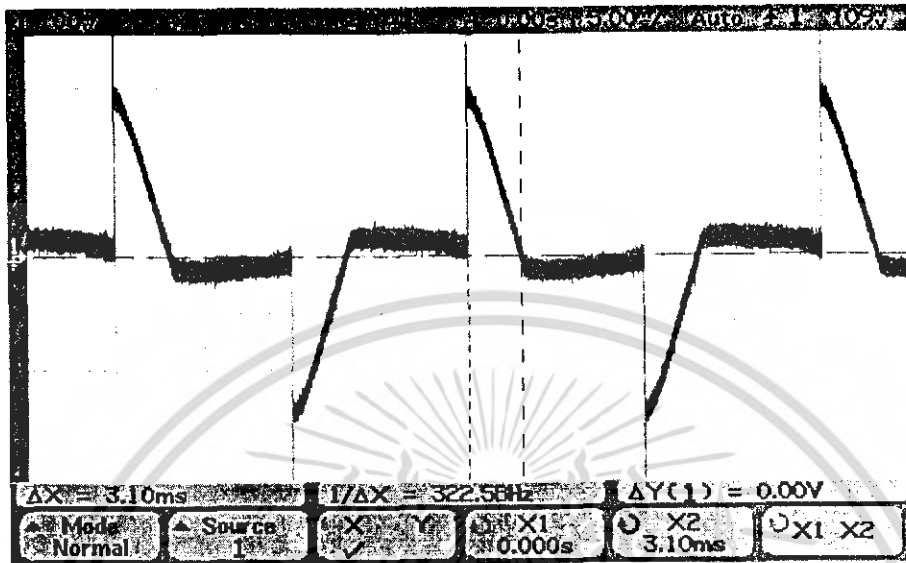


รูปที่ 4.20 กราฟแสดง Output เมื่อรีเลย์ที่  $8.2\text{ k}\Omega$  off

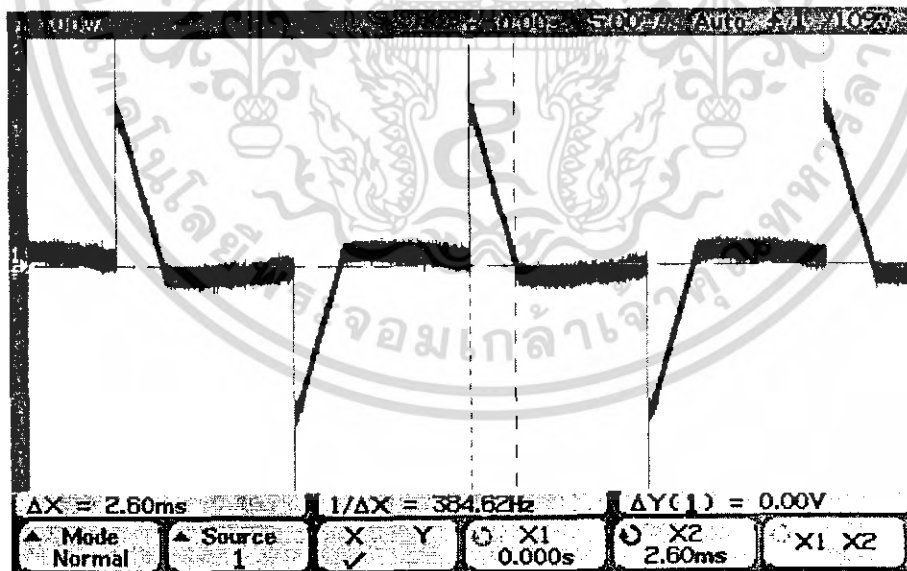


รูปที่ 4.21 กราฟแสดง Output เมื่อรีเลย์ที่  $15\text{ k}\Omega$  off

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

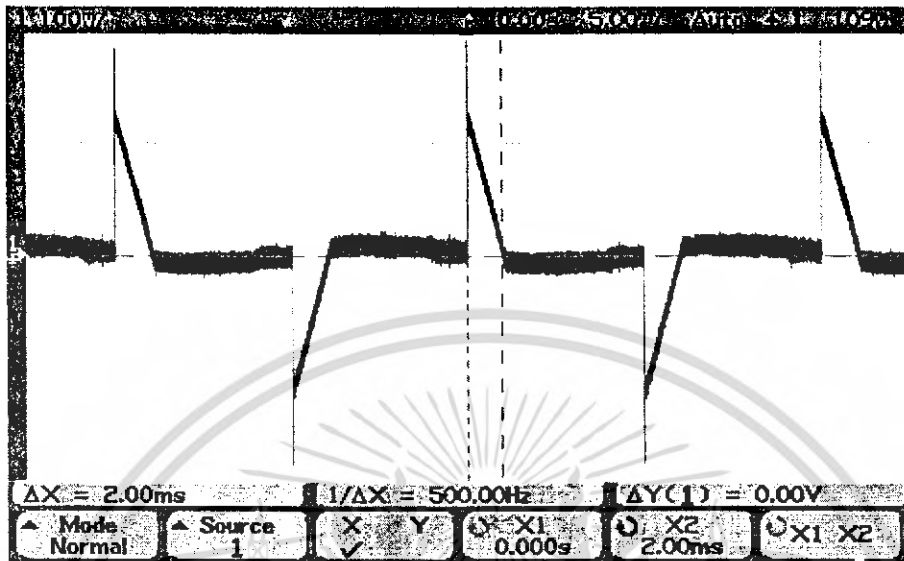


รูปที่ 4.22 กราฟแสดง Output เมื่อรีเลย์ที่  $33\text{ k}\Omega$  off

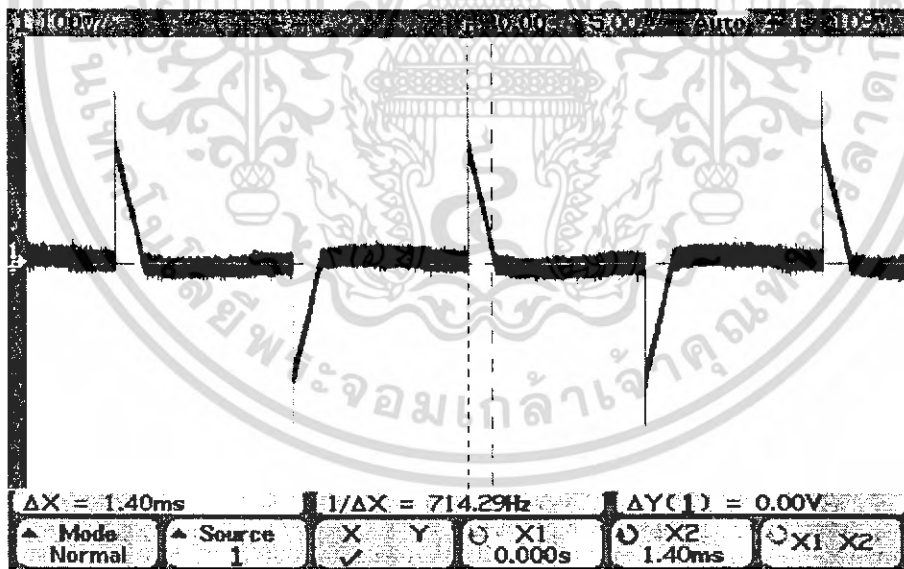


รูปที่ 4.23 กราฟแสดง Output เมื่อรีเลย์ที่  $75\text{ k}\Omega$  off

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



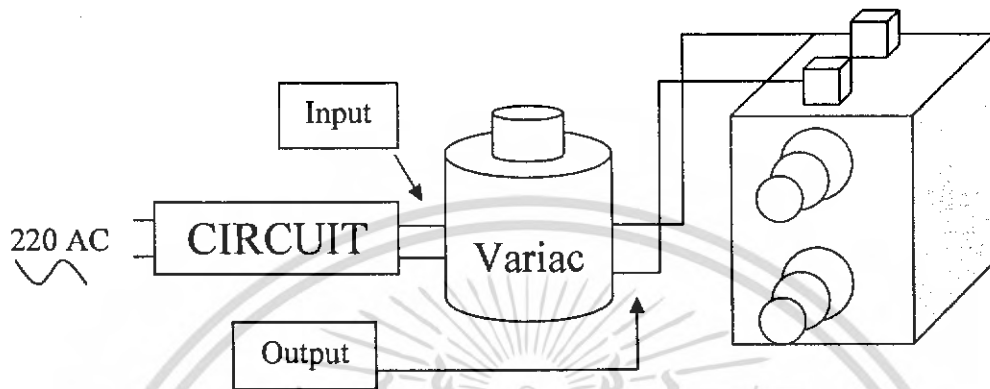
รูปที่ 4.24 กราฟแสดง Output เมื่อรีเลย์ที่ 127 k $\Omega$  off



รูปที่ 4.25 กราฟแสดง Output เมื่อรีเลย์ที่ 247 k $\Omega$  off

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการต่อวงจรเข้ากับระบบของเลเซอร์ โดยวัดค่าแรงดันไฟฟ้า ทั้งก่อนเข้า Variac และ หลัง Variac โดยที่ปรับค่าแรงดันที่ Variac เป็น 140 ,160 และ 180 V ตามลำดับ



รูปที่ 4.26 แสดงจุดที่ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ Input และ Output ของ Variac

วัด Input ของ Variac เทียบกับ กำลังของ laser output

ที่ระดับแรงดัน 140 V

Software Step	Power Outout (mW)				Input Voltage ( $V_{rms}$ )			
	V	A	V	A	V	A	V	A
0	5.6	5.7	5.8	5.8	221.0	221.2	221.4	221.5
1	5.8	5.9	5.9	5.9	220.5	220.7	221.0	220.5
2	6.0	6.2	6.1	6.1	219.8	219.7	219.5	219.6
3	6.3	6.6	6.3	6.6	216.8	216.7	216.6	216.6
4	6.2	6.4	6.3	6.4	208.2	208.3	208.6	208.8
5	4.9	5.0	5.0	4.9	189.1	189.6	189.6	189.8
6	1.5	1.6	1.6	1.6	149.5	149.9	150.0	150.7
7	1.0	0.1	0.2	0.0	93.9	93.8	94.9	93.8
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลวัดระดับแรงดันไฟฟ้าขาเข้าที่ระดับแรงดัน 140 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ระดับแรงดัน 160 V

Software Step	Power Output (mW)				Input Voltage ( $V_{rms}$ )			
	V	^	V	^	V	^	V	^
0	11.4	11.3	11.4	11.4	221.7	221.8	221.9	222.2
1	11.4	11.2	11.3	11.3	220.9	220.8	221.2	221.3
2	11.2	11.5	11.3	11.4	219.5	219.5	219.7	219.7
3	11.2	11.8	11.4	11.7	216.1	216.5	216.5	217.0
4	10.8	11.4	10.9	11.6	207.9	208.2	208.3	208.9
5	8.9	9.2	9.0	9.2	189.2	189.4	189.2	190.1
6	3.7	3.7	3.7	3.7	150.0	151.2	150.1	151.1
7	1.0	0.0	0.2	0.1	95.0	94.7	96.5	95.5
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

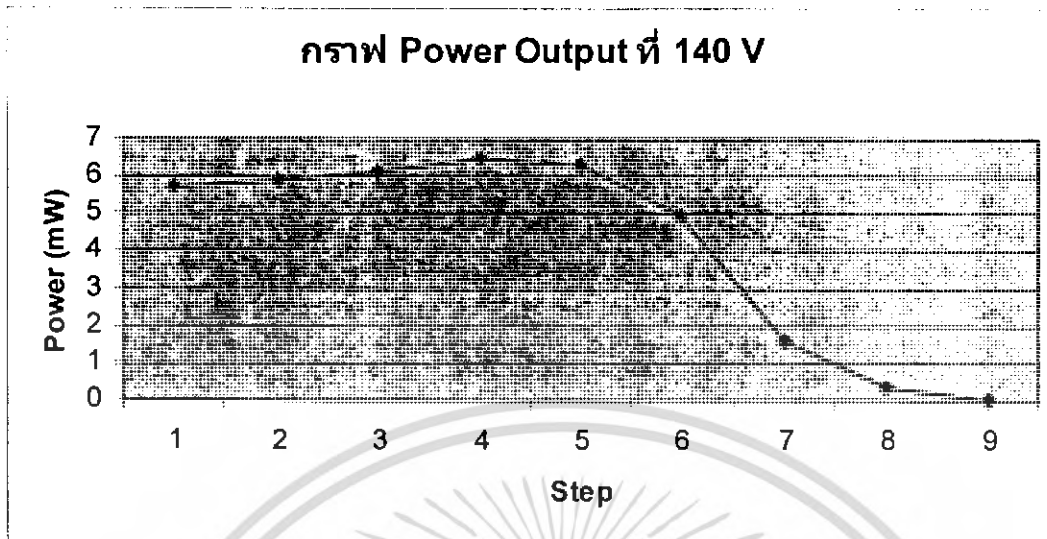
ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลวัดระดับแรงดันไฟฟ้าขาเข้าที่ระดับแรงดัน 160 V

ที่ระดับแรงดัน 180 V

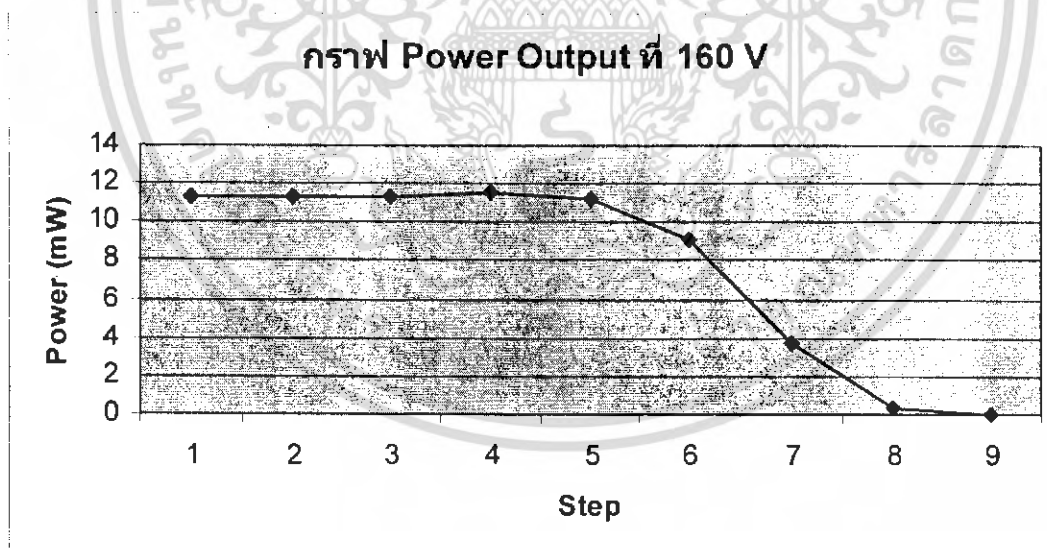
Software Step	Power Output (mW)				Input Voltage ( $V_{rms}$ )			
	V	^	V	^	V	^	V	^
0	16.2	14.3	14.4	14.0	222.2	219.6	219.2	218.3
1	16.1	14.5	14.2	14.2	221.4	218.9	218.5	218.2
2	15.9	14.8	14.1	14.4	219.9	217.5	216.9	216.3
3	15.2	14.9	13.6	14.7	216.8	214.3	213.6	213.5
4	14.2	15.1	13.2	15.3	208.4	206.0	204.8	204.7
5	11.5	13.1	10.1	12.4	188.8	187.5	186.0	185.8
6	6.0	5.9	4.9	4.6	150.7	151.3	147.4	146.9
7	0.4	0.5	0.4	0.4	97.5	96.7	93.3	93.9
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลวัดระดับแรงดันไฟฟ้าขาเข้าที่ระดับแรงดัน 180 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

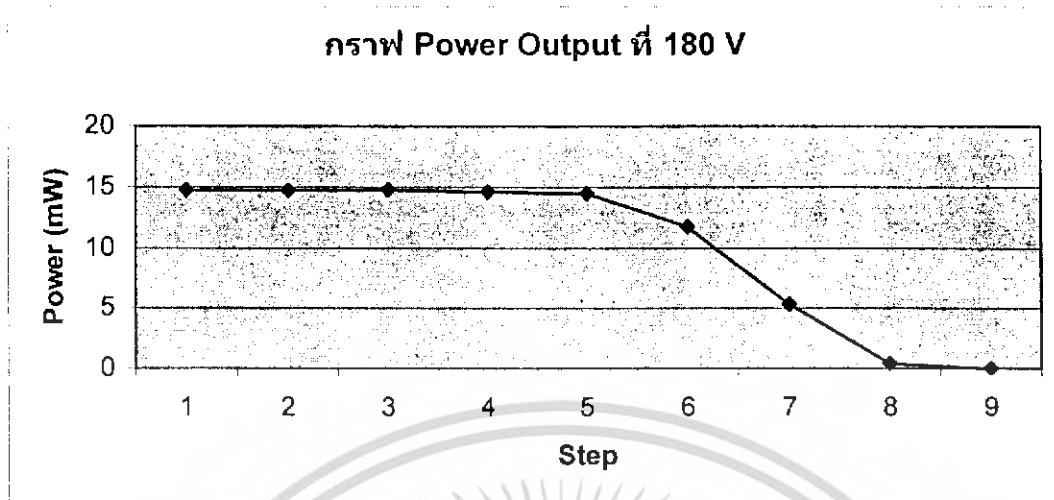


รูปที่ 4.27 กราฟแสดง Power Output ที่ 140 V ที่ Input

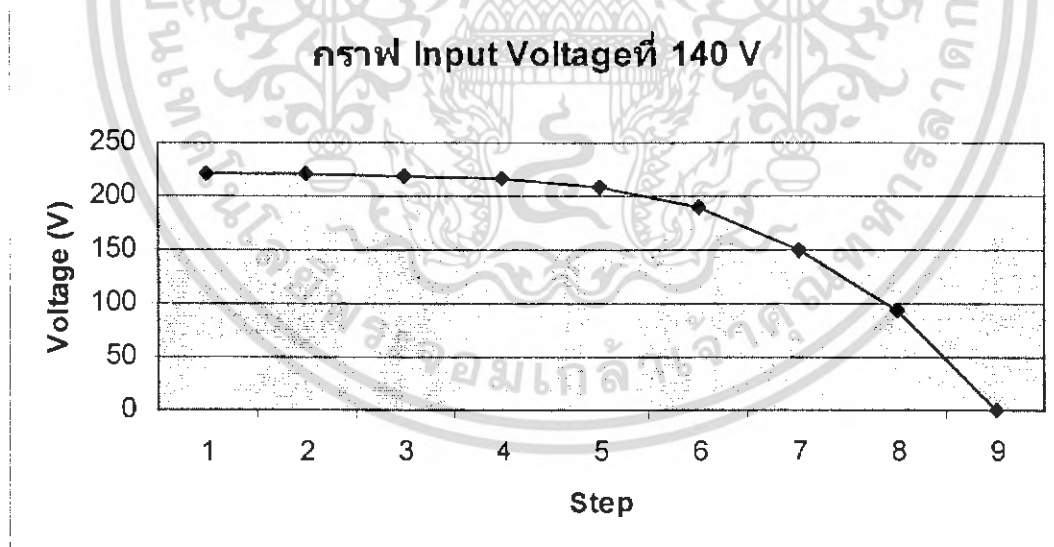


รูปที่ 4.28 กราฟแสดง Power Output ที่ 160 V ที่ Input

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

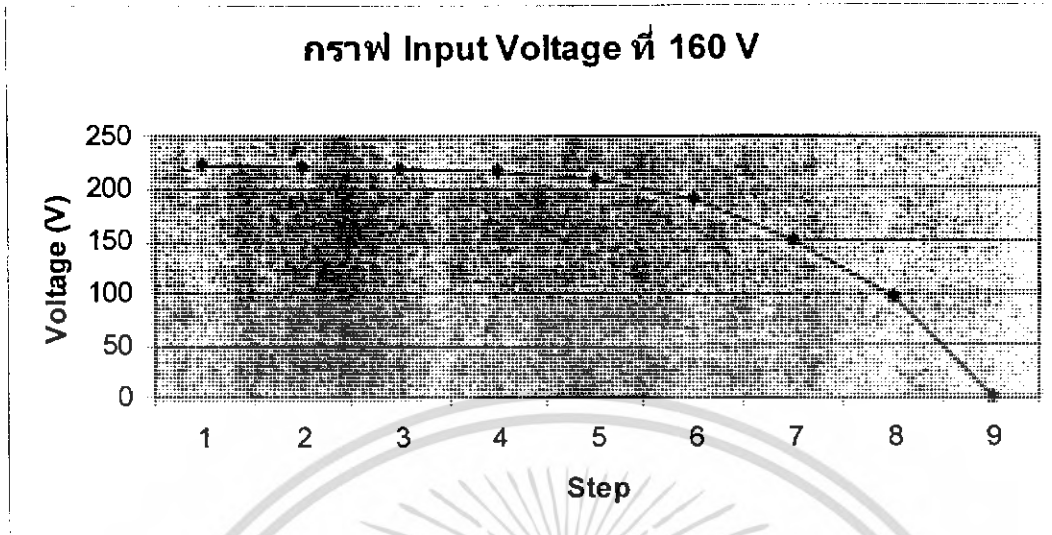


รูปที่ 4.29 กราฟแสดง Power Output ที่ 180 V ที่ Input

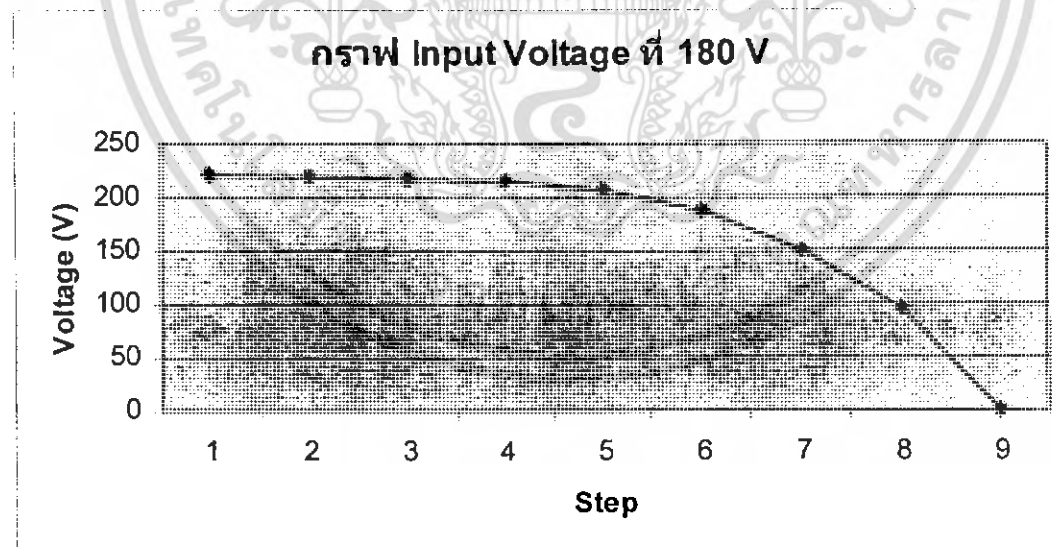


รูปที่ 4.30 กราฟแสดง Input Voltage ที่ 140 V ที่ Input

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 กราฟแสดง Input Voltage ที่ 160 V ที่ Input



รูปที่ 4.32 กราฟแสดง Input Voltage ที่ 180 V ที่ Input

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัด Output ที่ Variac เทียบกับ กำลังของ laser output  
ที่ระดับแรงดัน 140 V

Software Step	Power Output (mW)				Input Voltage ( $V_{rms}$ )			
	V	^	V	^	V	^	V	^
0	5.0	4.5	4.5	4.5	141.2	141.5	141.1	140.7
1	5.3	4.5	4.6	4.8	140.4	140.9	140.9	140.2
2	5.3	4.7	4.7	5.0	139.6	139.8	139.8	139.5
3	5.6	5.0	5.2	5.2	137.8	137.8	137.8	137.4
4	5.5	5.0	5.1	5.3	132.7	132.7	132.3	132.1
5	4.3	4.2	4.1	3.4	120.1	120.4	120.2	120.2
6	1.3	1.5	1.4	1.3	94.0	95.6	94.9	95.2
7	0.1	0.0	0.2	0.1	60.8	61.2	60.2	60.5
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลวัดระดับแรงดัน ไฟฟ้าขาออกที่ระดับแรงดัน 140 V

ที่ระดับแรงดัน 160 V

Software Step	Power Output (mW)				Input Voltage ( $V_{rms}$ )			
	V	^	V	^	V	^	V	^
0	10.2	10.5	10.4	10.3	160.3	160.6	160.5	161.1
1	10.2	10.5	10.5	10.4	159.5	159.2	160.2	160.1
2	10.3	10.5	10.5	10.5	158.2	159.2	159.4	159.3
3	10.5	10.7	10.7	10.8	156.1	156.6	157.1	157.2
4	10.0	10.0	10.3	10.2	150.3	150.4	150.9	150.9
5	7.8	7.8	8.0	7.6	136.2	136.8	136.9	136.9
6	2.8	2.7	2.8	2.4	107.0	108.1	108.4	108.7
7	0.1	0.2	0.1	0.0	68.0	69.2	69.1	68.7
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

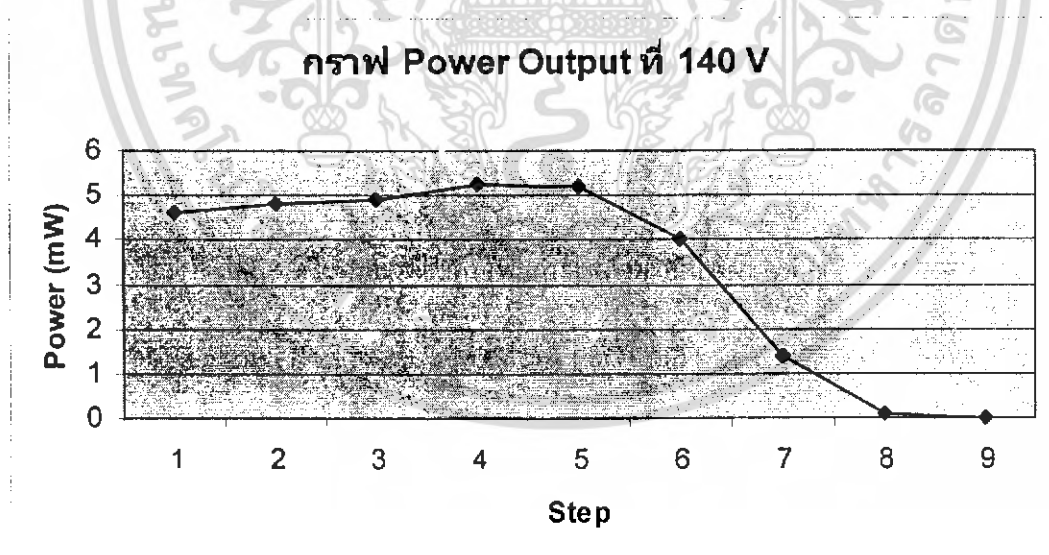
ตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูลวัดระดับแรงดัน ไฟฟ้าขาออกที่ระดับแรงดัน 160 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ระดับแรงดัน 180 V

Software Step	Power Output (mW)				Input Voltage ( $V_{rms}$ )			
	V	^	V	^	V	^	V	^
0	13.1	15.0	14.9	15.0	180.5	179.8	179.7	180.0
1	12.8	14.5	14.6	14.8	179.6	179.3	178.9	179.2
2	13.5	13.8	14.4	13.5	178.1	179.0	177.5	177.8
3	14.5	13.9	14.8	13.3	175.9	177.0	175.0	174.8
4	14.0	14.2	13.9	10.6	168.8	170.3	167.8	167.9
5	11.4	11.5	9.1	9.4	153.3	155.1	152.3	152.0
6	4.3	4.9	4.9	4.6	121.5	122.1	120.9	121.2
7	0.0	0.1	0.0	0.0	77.7	78.5	76.3	76.7
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

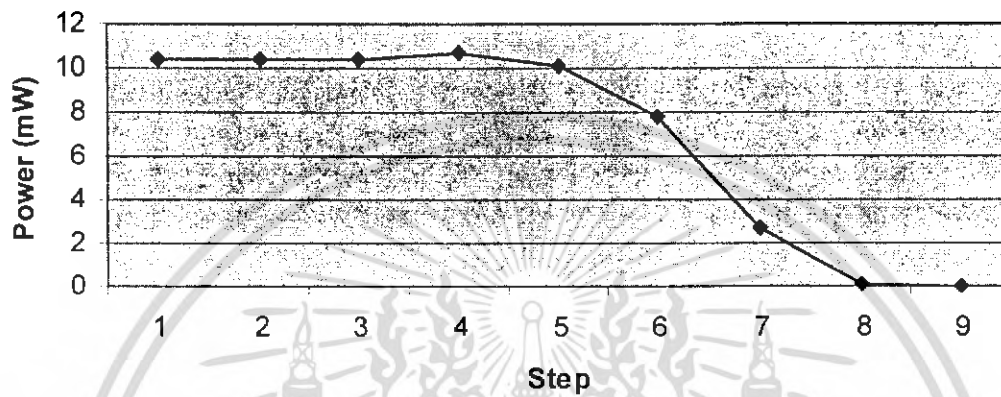
ตารางที่ 4.6 แสดงข้อมูลวัดระดับแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ระดับแรงดัน 180 V



รูปที่ 4.33 กราฟแสดง Power Output ที่ 140 V ที่ Output

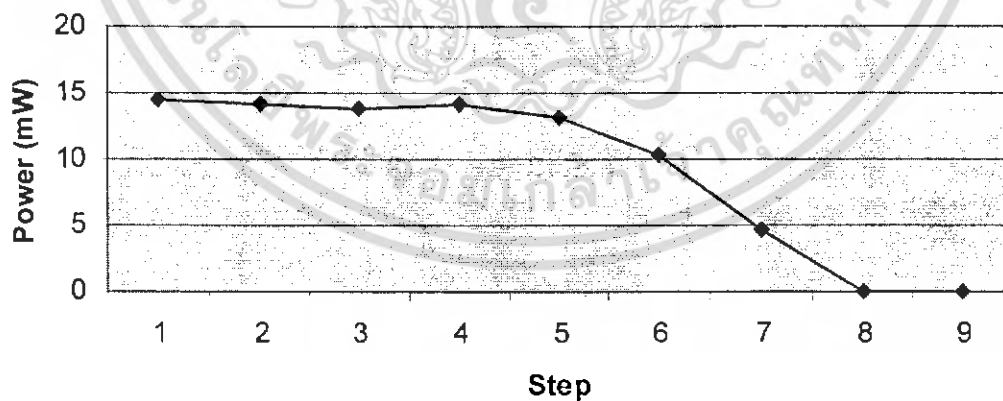
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟ Power Output ที่ 160 V



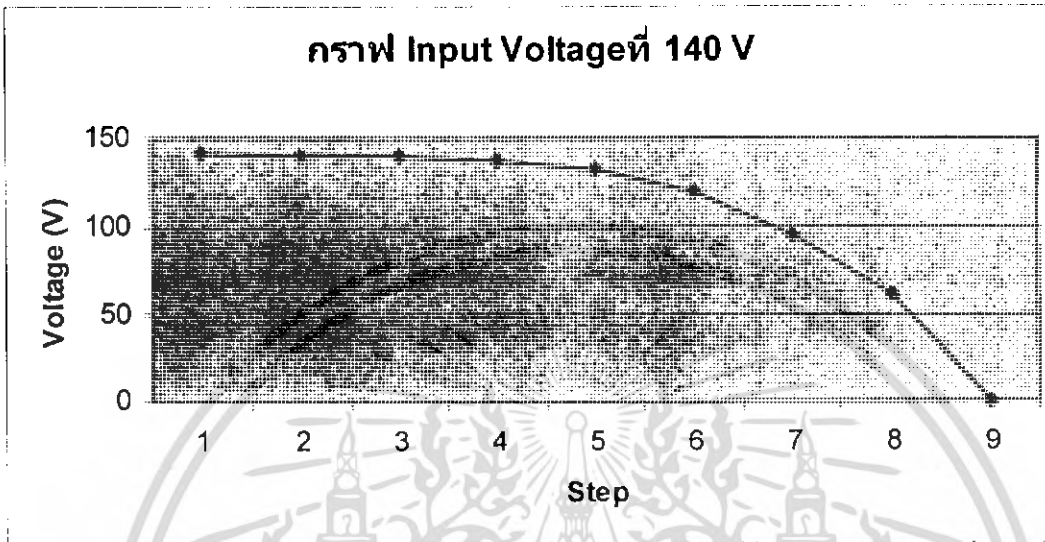
รูปที่ 4.34 กราฟแสดง Power Output ที่ 160 V ที่ Output

กราฟ Power Output ที่ 180 V

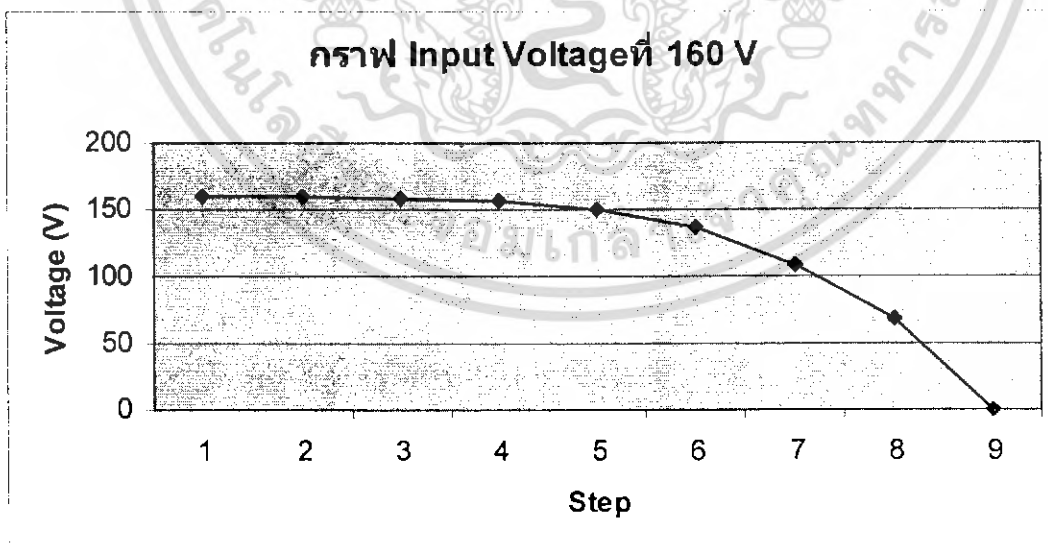


รูปที่ 4.35 กราฟแสดง Power Output ที่ 180 V ที่ Output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

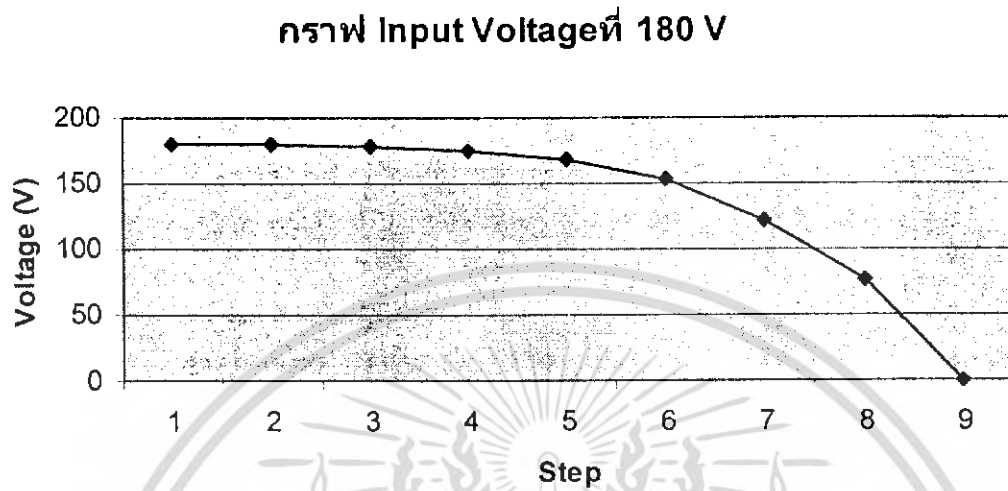


รูปที่ 4.36 กราฟแสดง Input Voltage ที่ 140 V ที่ Output



รูปที่ 4.37 กราฟแสดง Input Voltage ที่ 160 V ที่ Output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.38 กราฟแสดง Input Voltage ที่ 180 V ที่ Output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการสรุปผลการทดลองที่ทำการศึกษาการปรับกำลังของระบบเลเซอร์ ตลอดจนปัญหาที่พบ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

1. จากการทดลองโดยใช้วงจร Pulse detection and on-off switching โดยต่อ output ของ วงจรเข้ากับ หลอดไฟแบบไส้ 220 VAC 60 วัตต์ ซึ่งจะทำให้การปรับ Duty-Cycle ที่ละ 10% จนถึง 90 % ซึ่งจากการทดลองนั้นที่ตำแหน่ง 0% จนถึง 60 % ของ Duty-Cycle นั้นหลอดไฟไม่สามารถที่จะ ติดได้ และเมื่อทำการปรับ Duty-Cycle ถึง ระดับที่ 70% หลอดไฟนั้นติดแต่มีการกระพริบของ หลอดไฟแต่มีการติดของหลอดไฟมากกว่าดับ และที่ระดับ 80% และ 90% หลอดไฟจะติดตลอด เวลา

จากทฤษฎีของวงจรมัน ไฟบ้านจะทำงานที่ความถี่ ที่ 50 Hz ซึ่งจากการมองเห็นของมนุษย์ ไม่สามารถทราบได้ว่า ไฟจากหลอดไฟที่เราเห็นจริงๆ แล้วนั้น มีการติดดับของไฟอยู่ หรือพูดง่าย ๆ ว่าทำงานในระดับของมิลลิวินาที หากเราจะทำการลดระดับแรงดันไฟฟ้าเราจะทำการ On ของ Duty-Cycle ตามเวลาหากต้องการแรงดันที่สูงก็เพียงแต่เพิ่ม Duty-Cycle ให้มากขึ้น ก็คือเพิ่มเวลาในการ On มากขึ้น

จากผลการทดลองวงจร Pulse detection พอที่จะสรุปได้ว่า ในตัวของ SCR นั้นมี On delay time และ off delay time เนื่องจากว่าที่ตำแหน่งของ 0%จนถึง 60% นั้นหลอดไฟจะไม่มีการติด แต่พอถึงที่ตำแหน่ง 70% หลอดไฟนั้นติดขึ้นมาแต่จะมีการกระพริบของหลอดไฟให้เห็นบ้าง เพราะ การทางผู้จัดทำโครงการทำการสั่ง On ที่ 20% เท่ากับว่าเราสั่ง on ที่ 2 ms แต่เนื่องจาก on delay time นั้นอาจจะอยู่ในช่วง 5-6 ms ทำให้ SCR ยังไม่ทันที่จะ on ก็ต้องถูกสั่งให้ปิดแล้ว และที่ตำแหน่งที่ 70%นั้น มีหลอดไฟสามารถติดได้แต่มีการกระพริบก็เนื่องจากว่า SCR จะมี delay time ตามที่ กล่าวไปแล้ว ซึ่งเวลาในการสั่ง on จะมากกว่าทำให้หลอดไฟติด แต่เมื่อทำการสั่ง off SCR ก็จะมี off time delay เช่นกันทำให้เกิดการ overlap กันของสัญญาณ Pulse ที่เข้า จึงเกิดมีการกระพริบ เกิดขึ้นบ้าง

2. จากการทดลองวงจร 1 kW 230V AC light dimmer circuit โดยต่อ output ของวงจรเข้ากับ หลอดไฟแบบไส้ 220 VAC 60 วัตต์ นั้นสามารถทำการปรับกำลังของกราฟ Sine ได้ตามทฤษฎี โดยการปรับกำลังแต่ละระดับนั้นจะเป็นไปตาม ค่าความต้านทานแต่ละค่าที่ต่อคร่อมกับ รีเลย์ โดย การ On ของรีเลย์จะเรียงลำดับการ On จากตัวที่ 1 ไประดับไป จนถึงตัวที่ 8 โดยที่ค่าความต้านทาน

แต่ละตัวที่ใช้นั้นเป็น  $2\text{ k}\Omega$ ,  $4\text{ k}\Omega$ ,  $8.2\text{ k}\Omega$ ,  $15\text{ k}\Omega$ ,  $33\text{ k}\Omega$ ,  $75\text{ k}\Omega$ ,  $127\text{ k}\Omega$ ,  $247\text{ k}\Omega$  ตามลำดับซึ่งจะได้ค่าความต้านรวมซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับของวงจรเดิมคือ  $500\text{ k}\Omega$  โดยที่เลือกค่าความต้านทานแบบนี้เนื่องจาก ความสัมพันธ์ของกำลังและแรงดันจะสัมพันธ์กันในรูปของ กราฟ linear มากกว่า ซึ่งจะทำให้เกิดระดับของการปรับกำลังที่เป็น Step

โดยหลักการของวงจรจะใช้หลักการเกี่ยวกับวงจร Pulse detection and on-off switching คือจะให้ Pulse ทำการ trigger สัญญาณ Sine ซึ่งความต้านทานที่เปลี่ยนไปนั้นจะเกี่ยวข้องกับแรงดันไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัว ไตรแอก หากแรงดันไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัว ไตรแอก  $220\text{ V}$  ตัวไตรแอกก็จะสั่งให้ ไตรแอก On แต่เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ไหลเข้ามายังไตรแอกลดลง ตัวไตรแอกก็จะทำให้ไตรแอกเกิดการ trigger สัญญาณ Sine ลงทำให้พื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณ Sine มีค่าต่ำลงจึงมีผลให้กำลังไฟฟ้าของแรงดันมีค่าลดลงตามไปด้วยโดยจากการทดลองกับหลอดไฟแบบไส้  $220\text{ VAC } 60$  วัตต์ นั้นสามารถที่จะทำการปรับความสว่างได้ตาม Step ของการ On ของรีเลย์

เมื่อนำต่อเข้ากับระบบของเลเซอร์เพื่อทำการปรับกำลังจะเห็นได้ว่าในช่วง Step ของการเปลี่ยนระดับที่สามารถนำไปใช้งานได้อยู่ที่ 4 ระดับของทุกระดับแรงดันในช่วงระดับที่ 5,6,7,8 ทั้งนี้เนื่องจากค่าความต้านของ Step นี้มีค่าความต้านที่ต่างกันมากจึงสามารถทำการปรับของเลเซอร์ได้อย่างชัดเจนที่สุด และการทดลองในช่วงแรกของการทดลองทุกระดับแรงดันไฟฟ้านั้นจะพบว่าค่ากำลังของเลเซอร์จะมีมากกว่าทุกตารางที่เกิดขึ้น อาจจะเป็นไปได้ว่าในช่วงแรกของการเกิดเลเซอร์นั้นค่าของ Population inversion มีค่ามากทำให้กำลังเลเซอร์มีค่ามากเป็นการสะสม Population ไว้มากค่าที่ได้จึงมีค่ามากตาม แต่เมื่อทำการวัดค่ากลับจะเห็นได้ว่าค่ากำลังจะลดต่ำลงแต่จะลดต่ำลงไม่มาก

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการปรับกำลังของระบบเลเซอร์จะเห็นได้ว่า จากวงจรของ  $1\text{kw } 230\text{V AC}$  light dimmer circuit โดยสามารถที่จะปรับกำลังของระบบเลเซอร์ได้โดยจากการวัดค่ากำลังจากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าที่จะนำไปใช้ได้นั้นมีอยู่ 4 ระดับด้วยกันโดยแนวทางในการทดลองจะเน้นศึกษาเพียงว่าการที่จะ Trigger สัญญาณนั้นจะสามารถทำให้หลอดเลเซอร์ทำงานได้หรือไม่ หรือทำงานได้ตลอดของการปรับกำลังหรือไม่ ซึ่งจากการศึกษาจะเห็นได้ว่าหลอดเลเซอร์นั้นสามารถที่จะทำงานได้ตลอดช่วง ฉะนั้นในการศึกษาการปรับกำลังในลำดับต่อไปควรพัฒนาระบบเดิมที่มีอยู่ให้มีความสามารถมากขึ้นหรือเรียกง่าย ๆ ว่า สามารถที่สร้างระดับของการปรับกำลังให้มากขึ้น และที่สำคัญควรศึกษาลายละเอียดของหลอดเลเซอร์ให้มากขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นตัวแปรหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการปรับกำลัง

## เอกสารอ้างอิง

William V. Smith. 1970. **Laser applications**. United States of America: Colonial Press Inc.

กฤษณะ ปอนสันทียะ. 2544. การควบคุมสเตปป์มอเตอร์ผ่านทางพอร์ตขนาน. นิพนธ์  
ปริญญาตรี. สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยี  
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

จิรวิทย์ เตรียมมานะวงศ์. 2541. การขับเคลื่อนสเตปป์มอเตอร์. นิพนธ์ปริญญาตรี. สาขาวิชา  
วิศวกรรมวิศวกรรมไฟฟ้า. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ  
ทหารลาดกระบัง.

สุเจตน์ จันทร์ชัย. 2535. ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยว 8051. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ  
ทหารลาดกระบัง

Acamley and P.P. 1984. **Stepping motors: a guide to modern theory and practice**. London:  
Peter Peregrinus.

Jan Axelson. 2000. **Parallel Port Complete**. Madison, WI: Lakeview Research.

Bharat Heavy Electricals Limited. 1987. **Transformers**. New Delhi: Tata McGraw-Hill.

Martin D.Seyer. 1991. RS-232 Made Easy Connecting Computer, Printer, Terminals, and Modem.  
Prentice Hall Englewood Cliffs, New Jersey 07632

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <stdio.h>
#include <conio.h>

int main()
{ int value;
  clrscr();
  printf("Press 1-8 for Power Selection\n");
  printf("Press SpaceBar to Quit\n");
  outport(0x378,0);
mmm:
  value=getch();
  if(value == '0')
  {
    outport(0x378,0);
    printf("0. 00000000\r");
    goto mmm;
  }
  if(value == '1')
  {
    outport(0x378,1);
    printf("1. 0000000 \r");
    goto mmm;
  }
  if(value == '2')
  {
    outport(0x378,3);
    printf("2. 000000 \r");
    goto mmm;
  }
  if(value == '3')
  {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    outport(0x378,7);
    printf("3. 00000 \r");
    goto mmm;
}
if(value == '4')
{
    outport(0x378,15);
    printf("4. 0000 \r");
    goto mmm;
}
if(value == '5')
{
    outport(0x378,31);
    printf("5. 000 \r");
    goto mmm;
}
if(value == '6')
{
    outport(0x378,63);
    printf("6. 00 \r");
    goto mmm;
}
if(value == '7')
{
    outport(0x378,127);
    printf("7. 0 \r");
    goto mmm;
}
if(value == '8')
{
    outport(0x378,255);
    printf("8. \r");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้