สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การตรวจสอบพื้นผิวสำหรับโรลเลอร์

SURFACE INSPECTION LIGHT FOR ROLLER

โดย

นายไพศาล ศรชัย

นายภัทร ศิริกุล

นายสิวาวุธ สมบัติสวัสดิ์

ปพ.
พ๙๙๓ก
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72874
วัน,เดือน,ปี 25 มิ.ย. 2550

b 11273832
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การตรวจสอบพื้นผิวสำหรับโรลเลอร์

SURFACE INSPECTION LIGHT FOR ROLLER

ผู้จัดทำ นายไพศาล ศรชัย 46010553

นายภัทร ศิริกุล 46010557

นายสิวาวุธ สมบัติสวัสดิ์ 46010839

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. คงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบพื้นผิวสำหรับโรลเลอร์

โดย

นายไพศาล	ศรชัย	46010553
นายภัทร	ศิริกุล	46010557
นายสิวาวุธ	สมบัติสวัสดิ์	46010839

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. ดงศักดิ์ อนันต์หิรัญรัตน์

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการออกแบบเครื่องมือ ตรวจสอบสภาพพื้นผิวของโรลเลอร์ โดยมีหลักการทำงาน คือ เครื่องมือชิ้นนี้จะส่องแสงเป็นความถี่ที่เป็นจำนวนเท่าของความถี่ของโรลเลอร์ที่กำลังหมุนอยู่ ซึ่งจะทำให้เราเห็นโรลเลอร์ที่กำลังหมุนอยู่นั้นหยุดนิ่ง ส่วนขั้นตอนการดำเนินงานทางกลุ่มได้เริ่มจากศึกษาและทดลองหลอดไฟชนิดต่างๆ เพื่อให้ได้หลอดไฟที่เหมาะสมกับการใช้งาน ศึกษาและออกแบบวงวรอิเล็กทรอนิกส์ที่จำเป็นสำหรับการควบคุมหลอดไฟ หลังจากนั้นก็เขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมอุปกรณ์ทั้งหมด และแสดงผลออกทางจอแอลซีดี เพื่อง่ายต่อการใช้งาน จากการทดลองพบว่าเครื่องมือชิ้นนี้สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ แต่การปรับความถี่ในการใช้งานยังมีค่าละเอียดไม่มาก ทำให้บางครั้งเราไม่อาจปรับความถี่ให้ตรงกับโรลเลอร์ได้ แต่ก็เป็นความถี่ที่ใกล้เคียงซึ่งเราถือว่าเป็นความถี่ที่ยังใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SURFACE INSPECTION LIGHT FOR ROLLER

By

Mr. Phaisarn Sornchai

Mr. Phat Sirikul

Mr. Siwawut Sombatsawat

Adviser

Assist. Prof. Dr. Kongsak Anuntahirunrat

Academic Year 2006

ABSTRACT

This thesis presented a design of a device to examine the state of roller surface.Its main work was that it was used for shining in frequency.Its frequency is equal the frequency of the thinning roller.Therefore, we could see the thinning roller as being still.Our group working procedures were that firstly study and experiment with varieties of light bulbs to get the appropriate one.Secondly,study and design the needed electronics circuit to control the light bulb.Finally,write the program to control all devices and show results on the LCD monitor to ease for working.The finding was that the device could work as being designed.However,there was not much fine on frequency adjusting for working.Therefore,we sometimes could not adjust the device frequency as the roller one. Those were similar and it could be used for working.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้รวมถึงตัวโครงงานสามารถดำเนินการได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ทั้งเนื่องมาจากการได้รับการสนับสนุนเป็นอย่างสูงจาก ผศ.ดร.คงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและคอยชี้แนะเสนอแนวทางอันเป็นประโยชน์ในการจัดทำโครงงาน และทั้งนี้ต้องขอขอบพระคุณ คุณเฉลิมภัณฑ์ ฟองสมุทร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาพิเศษ ที่ได้ให้คำแนะนำและประสิทธิประสาทวิชาความรู้ทั้งหลายแก่ผู้จัดทำ ซึ่งผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นมาได้อย่างสมบูรณ์

ผู้จัดทำ
นายไพศาล ศรชัย
นายภัทร ศิริกุล
นายสิวาวุธ สมบัติสวัสดิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตโครงงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 หลอดแฟลช (Flash Lamp)	3
2.1.1 การทำงานของหลอดแฟลช	4
2.1.2 การเกิดสเปคตรัมของแสงแฟลช	6
2.2 ลักษณะการทำงานแบบสุ่มตัวอย่าง (Sampling)	7
2.3 หม้อแปลง (Transformer)	8
2.4 เอสซีอาร์ (SCR = Silicon Controlled Rectifier)	10
2.5 วงจรขับหลอดแฟลช (Flash Lamp Drive Circuit)	15
2.5.1 ประเภทของวงจรขับหลอดแฟลช	15
2.6 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877	17
2.6.1 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877	17
2.6.2 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x	20
2.6.3 การอินเตอร์รัปต์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877	22
บทที่ 3 หลักการออกแบบ	24
3.1 ส่วนประกอบของโครงงาน	26
3.2 ส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2.1 ส่วนของหลอดแฟลช	26
3.2.2 วงจรทวีแรงดัน	29
3.2.3 วงจรขับหลอดแฟลช	30
3.2.4 วงจรควบคุมหลอดแฟลช	32
3.2.5 วงจรแสดงผล	33
3.3 ส่วนประกอบทางด้านซอร์ฟแวร์	35
3.4 โครงสร้างทางกายภาพของอุปกรณ์	36
3.4.1 การออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์	37
3.4.2 การประกอบโครงสร้างของอุปกรณ์	38
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	40
4.1 การตรวจสอบสภาพพื้นผิวใบพัดของพัดลมระบายความร้อน	40
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุปผล	43
ภาคผนวก โปรแกรมควบคุมและแสดงผล	44
หนังสืออ้างอิง	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะของหลอดซีนอนแฟลช	3
2.2 แผนภาพแสดงการทำงานของหลอดแฟลช	5
2.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของหลอดแฟลช	6
2.4 ภาพแสดงการเกิดโฟตอน	7
2.5 หลักการของการสุ่มตัวอย่าง	8
2.6 หม้อแปลงที่มีแกนอากาศและสัญลักษณ์	9
2.7 สัญลักษณ์ของหม้อแปลงที่มีแกนเหล็ก	9
2.8 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบต่างๆ	10
2.9 โครงสร้างของเอสซีอาร์	10
2.10 การเข้าสู่สภาวะ On ของเอสซีอาร์ เมื่อ R มีค่าต่ำ	11
2.11 การเข้าสู่สภาวะ On ของเอสซีอาร์ เมื่อ R มีค่าสูง	12
2.12 การกลับสู่สภาวะ Off ของเอสซีอาร์	12
2.13 กราฟคุณลักษณะของเอสซีอาร์ที่ไม่มีการป้อน I_G	13
2.14 การทริกให้เอสซีอาร์เข้าสู่สภาวะ On โดยการใช้กระแส I_G	13
2.15 แบบจำลองของเอสซีอาร์	14
2.16 วงจร Capacitive external triggering	15
2.17 วงจรDirect series triggering	16
2.18 วงจร Trigger with doubling of anode voltage	16
2.19 วงจร Booster circuit	17
2.20 ไดอะแกรมแสดงรูปแบบสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฮาร์วาร์ด	18
2.21 ไดอะแกรมของกระบวนการไปป์ไลน์ที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC	18
2.22 ไดอะแกรมของกระบวนการไปป์ไลน์เมื่อกระทำคำสั่งกระโดด	19
2.23 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x	20
3.1 แบบโดยรวมของระบบ	24
3.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของอุปกรณ์	25
3.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงชุดขับหลอดแฟลช	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 หลอดแฟลชรูปตัวยู	26
3.5 การติดตั้งหลอดแฟลช	27
3.6 วงจรทวีแรงดัน	29
3.7 วงจรขับหลอดแฟลช	30
3.8 วงจรควบคุมหลอดแฟลช	32
3.9 วงจรแสดงผล	33
3.10 จอแอลซีดีที่ใช้แสดงผล	34
3.11 วงจรรวมทั้งหมดที่ใช้จริง	34
3.12 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรม	35
3.13 วงจรทั้งหมดที่ใช้ในอุปกรณ์ตรวจสอบพื้นผิวสำหรับโรลเลอร์	37
3.14 โครงสร้างที่ได้ทำการดัดแปลงแล้วสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ต่าง	38
3.15 โคมไฟที่ดัดแปลงเพื่อติดตั้งหลอดแฟลช	38
3.16 การติดตั้งอุปกรณ์และส่วนประกอบต่างๆภายในตัวโครงสร้าง	39
3.17 อุปกรณ์ตรวจสอบพื้นผิวสำหรับโรลเลอร์	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงข้อมูลหลอดแฟลชแบบแท่งตรงกับหลอดแฟลชรูปตัวยู	28
4.1 แสดงการหาความถี่ในการหมุนของพัดลม	41
4.2 แสดงผลการทดลองการตรวจสอบสภาพพื้นผิวใบพัดของพัดลมระบายความร้อน	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

โครงงานนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับแสงขาวที่เรียกว่าแสงแฟลช ซึ่งมาจากหลอดแฟลชที่กระพริบด้วยความถี่ค่าหนึ่งแล้วส่องไปที่โรลเลอร์หรือวัตถุที่กำลังหมุนอยู่ด้วยความถี่เชิงมุมและผลของการส่องแสงแฟลชนั้นจะทำให้มองเห็นโรลเลอร์หรือวัตถุที่กำลังหมุนอยู่เสมือนหยุดนิ่งซึ่งเป็นหลักการของการสุ่มตัวอย่าง เมื่อเกิดภาพเสมือนหยุดนิ่งขึ้นนี้ก็จะสามารถตรวจดูสภาพพื้นผิวของโรลเลอร์หรือวัตถุที่กำลังหมุนอยู่ได้

ในการทดลองได้มีการประดิษฐ์อุปกรณ์ที่ใช้หลักการสุ่มตัวอย่างของแสงแฟลชโดยมีสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือความสว่างที่เพียงพอของแสงจากหลอดแฟลชซึ่งมีผลต่อการทดลองด้วย

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโครงงาน

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากที่ใช้เครื่องจักรในการผลิตและเครื่องจักรใช้ในการผลิตก็มีส่วนที่เป็นโรลเลอร์เป็นส่วนประกอบ ซึ่งส่วนนี้จะทำงานโดยการหมุนรอบแกนและเมื่อทำงานไปเป็นเวลานานก็จะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพพื้นผิวของโรลเลอร์ ซึ่งในเมื่อก่อนทางโรงงานอุตสาหกรรมจำเป็นจะต้องหยุดการทำงานของเครื่องจักรก่อนจึงจะสามารถตรวจสอบสภาพพื้นผิวของโรลเลอร์ได้และในปัจจุบันได้มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจดูสภาพพื้นผิวของโรลเลอร์ได้ โดยที่ไม่ต้องหยุดการทำงานของเครื่องจักร ทำให้ทางโรงงานอุตสาหกรรมไม่ต้องสูญเสียรายได้ในการผลิต แต่เนื่องจากอุปกรณ์ชนิดนี้ต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาค่อนข้างสูง ถ้าเราสามารถทดลองประดิษฐ์อุปกรณ์ชนิดนี้ขึ้นมาได้โดยมีต้นทุนที่ต่ำกว่าก็จะเป็นการดี

1.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อลดปัญหาราคาต้นทุนของอุปกรณ์จากต่างประเทศที่ราคาค่อนข้างสูง
- เพื่อศึกษาและออกแบบวงจรควบคุม วงจรทวีแรงดันและวงจรขับหลอดแฟลช
- เพื่อศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้หลักการสุ่มตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตโครงงาน

- ศึกษาการทำงานของหลอดแฟลช
- ออกแบบวงจรทวีแรงดันและวงจรขับหลอดแฟลช
- ออกแบบวงจรควบคุมที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
- สร้างอุปกรณ์ตรวจสอบสภาพพื้นผิวสำหรับโรลเลอร์

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน

- ได้ศึกษาการทำงานของหลอดแฟลช
- ได้ศึกษาหลักการสุ่มตัวอย่าง
- ได้ศึกษาหลักการของวงจรขับหลอดแฟลชและวงจรทวีแรงดัน
- รู้จักการแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น
- สามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

การตรวจสอบสภาพพื้นผิวของโรลเลอร์(SURFACE INSPECTION LIGHT FOR ROLLER) เป็นการประดิษฐ์อุปกรณ์ที่สามารถทำหน้าที่ในการตรวจสอบสภาพพื้นผิวของโรลเลอร์ขณะกำลังหมุนอยู่ได้ โดยอาศัยหลักการสุ่มตัวอย่างของแสงจากหลอดแฟลชที่ส่องไปที่โรลเลอร์ ดังนั้นสิ่งที่จำเป็นจะต้องศึกษาเป็นสำคัญคือหลอดแฟลชและหลักการสุ่มตัวอย่างว่ามีหลักการทำงานอย่างไรหรือข้อมูลอื่นที่จำเป็นต่อการทำโครงงาน

2.1 หลอดแฟลช (Flash Lamp)

หลอดแฟลชหรือซีนอนแฟลช (Xenon Flash) ซึ่งเรียกตามก๊าซที่บรรจุในหลอด ประกอบด้วยหลอดแก้วที่ทำจากแร่ควอตซ์ (Quartz) ที่ปิดสนิท ภายในบรรจุด้วยก๊าซผสมซีนอน ขั้วไฟฟ้าจะเป็นตัวส่งให้กระแสไฟฟ้าวิ่งผ่านก๊าซผสม ซึ่งแหล่งจ่ายไฟฟ้าต้องเป็นไฟฟ้าแรงดันสูง (High Voltage) โดยไฟฟ้าแรงดันสูงนี้มักจะเก็บไว้ที่ตัวเก็บประจุ (Capacitor) เพื่อที่จะให้มีการส่งกระแสไฟฟ้าแรงสูงอย่างรวดเร็วเมื่อมีการ กระตุ้นที่ขาทริกเกอร์ (Trigger) ของหลอดแฟลช

(ก) (ข)

รูปที่ 2.1 ลักษณะของหลอดซีนอนแฟลช (ก) หลอดซีนอนแฟลชแบบรูปตัว “U” (ข) หลอดซีนอนแฟลชแบบตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

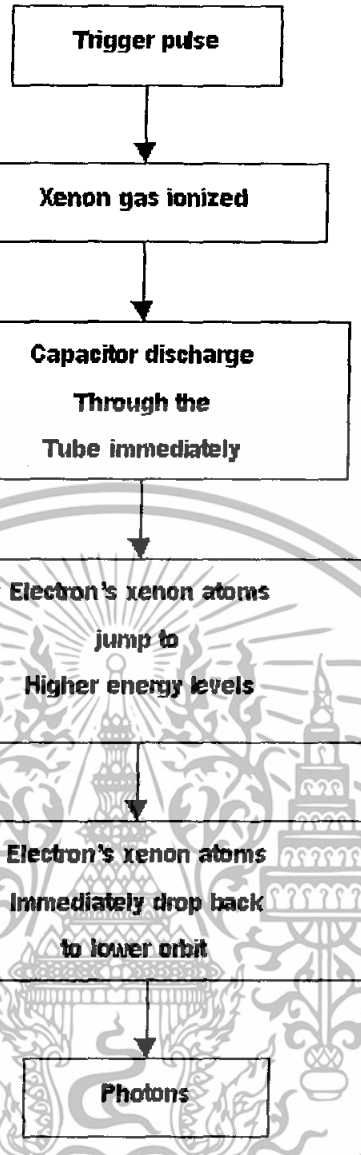
หลอดแก้วที่ใช้บรรจุก๊าซผสมนี้มักจะเป็นหลอดผนังบางที่มีลักษณะเป็นแท่งตรงหรือโค้ง เช่น รูปเกลียว รูปตัวยู หรือเป็นทรงกลม ตรงส่วนขั้วไฟฟ้าจะยื่นออกมาจากปลายของหลอด เพื่อเชื่อมต่อกับตัวเก็บประจุ ซึ่งเป็นตัวจ่ายพลังงานในรูปแบบของกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงให้แก่หลอดแฟลช โดยทั่วไปมักจะอยู่ระหว่าง 250 ถึง 2,000 โวลต์ ขึ้นกับความยาวของหลอดและก๊าซผสมชนิดพิเศษ ที่บรรจุในหลอด

2.1.1 การทำงานของหลอดแฟลช

แสงแฟลช เริ่มจากการแตกตัวเป็นไอออนครั้งแรกของก๊าซผสม โดยการส่งกระแสพัลส์(Pulse) ปริมาณมากๆผ่านก๊าซที่แตกตัวเป็นไอออน การแตกตัวเป็นไอออนของก๊าซจำเป็นอย่างยิ่งที่จะลดความต้านทานทางไฟฟ้าของก๊าซลง ดังนั้นค่ากระแสพัลส์ที่วัดได้จึงมีค่ามากเท่ากับประมาณ 1,000 แอมแปร์ ทำให้กระแสพัลส์ สามารถเดินทางผ่านหลอดได้พัลส์ แตกตัวเริ่มแรกหรือทริกเกอร์พัลส์ (Trigger Pulse) อาจใช้ขั้วไฟฟ้าภายในขั้วเดียว หรือเป็นแถบโลหะหรือเส้นลวดพันรอบหลอดแก้ว เมื่อมีการใช้ทริกเกอร์พัลส์ ก๊าซในหลอดจะแตกตัวเป็นไอออน แล้วตัวเก็บประจุ จะคายประจุอย่างรวดเร็วผ่านหลอด เมื่อกระแสพัลส์เดินทางผ่านหลอด มันจะกระตุ้นให้อิเล็กตรอน(Electrons)ที่อยู่รอบๆอะตอมของก๊าซซีนอน (Xenon's atom) ให้กระโดดไปยังระดับชั้นพลังงานที่สูงกว่า แล้วอิเล็กตรอนของอะตอมก็จะตกลงมายังชั้นวงโคจรที่ต่ำกว่าทันทีทันใด ทำให้เกิดพลังงานแสงโฟตอน (Photons) ในกระบวนการซึ่งขึ้นกับขนาดของหลอดแฟลช ที่ใช้

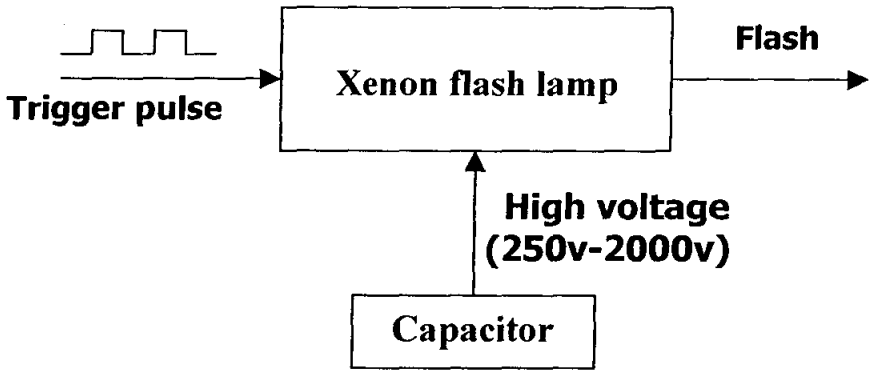
ก๊าซซีนอนที่บรรจุในหลอดอาจมีความดันไม่มาก หรืออาจจะมีมากจนถึง 10 กิโลปาสคาล (0.01-0.1 บรรยากาศ หรือ 10 ถึง 100 ทอร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงการทำงานของหลอดแฟลช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของหลอดแฟลช

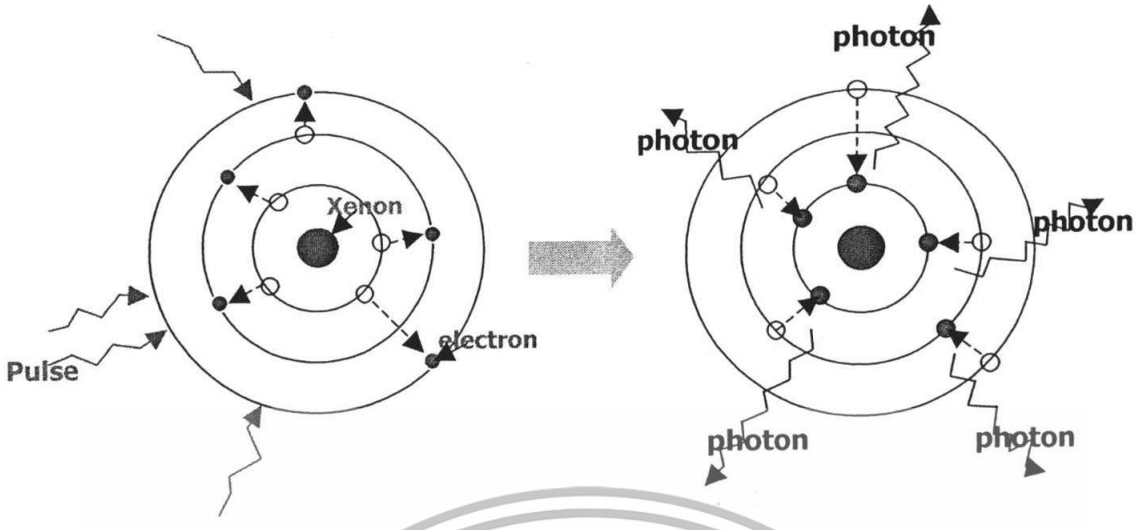
หมายเหตุ : โฟตอน (Photon) มีลักษณะเป็นอนุภาคชนิดหนึ่ง ที่มีมวลเท่ากับศูนย์ มีค่าพลังงาน มีมวลเคลื่อนที่และมีโมเมนตัม

โฟตอน คือกลุ่มก้อนของพลังงานที่เป็นองค์ประกอบในการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.1.2 การเกิดสเปคตรัมของแสงแฟลช

ในขณะที่ก๊าซที่เป็นไอออนเย็นตัวลงหลอดซีนอนจะเปล่งแสงสเปคตรัม (Spectral line) เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เหมือนกับป้ายหลอดนีออน แต่หลอดซีนอนให้เส้นสเปคตรัม ซึ่งมีบางช่วงความถี่ที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ซึ่งเป็นแสงสีขาว นี่เป็นสาเหตุหนึ่งที่สำคัญสำหรับการเลือกซีนอนของผู้บรรจุถึงมันจะมีราคาสูงแต่ในบางครั้งก็มีการใช้คริปทอน (Krypton) แม้ว่ามันจะมีราคาแพงกว่าซีนอนด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ภาพแสดงการเกิดโฟตอน

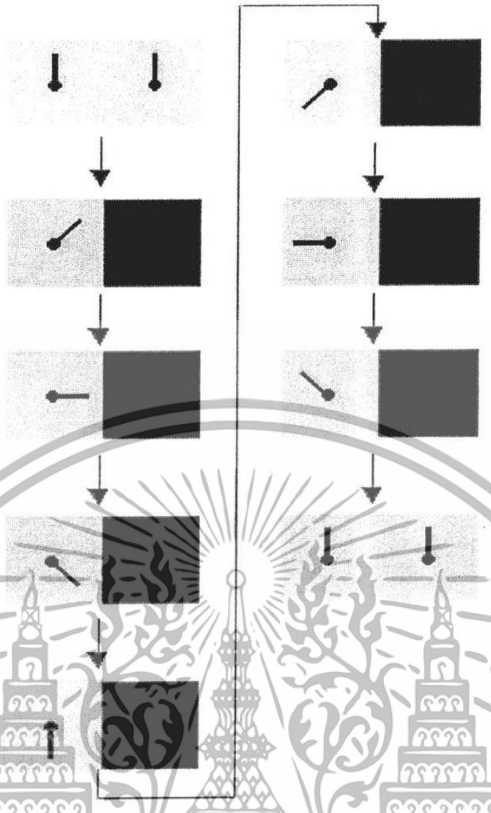
เมื่ออะตอมของก๊าซที่เป็นไอออนถูกกระตุ้นจะทำให้อิเล็กตรอนนของอะตอมกระโดดขึ้นไปอยู่ในระดับชั้นพลังงานที่สูงกว่าและตกกลับลงมายังวงโคจรที่ต่ำกว่าแล้วคายโฟตอนออกมาอยู่ในช่วงสเปคตรัมของแสงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ซึ่งเป็นแสงสีขาว

หมายเหตุ : Spectral line คือ การเรียงของเส้นสเปคตรัมโดยมีความถี่ที่ใกล้เคียงกัน

2.2 ลักษณะการทำงานแบบสุ่มตัวอย่าง (Sampling)

การทำงานแบบสุ่มตัวอย่าง คือ การสุ่มตัวอย่างความถี่บางความถี่ขึ้นมา ซึ่งถ้าความถี่ของวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ตรงกับจำนวนเท่า (Harmonic) ของความถี่ที่เราสุ่มขึ้นนั้น จะทำให้เรามองเห็นภาพลักษณะเดียวกันกับความถี่ที่สูงกว่า (เป็นจำนวนเท่าของความถี่เริ่มต้นที่เราสามารถมองเห็นได้แล้วแยกไม่ออก โดยความถี่น้อยที่สุดที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นเป็นภาพต่อเนื่องคือ 24 ภาพ/วินาที) เมื่อเพิ่มความถี่เรื่อยๆ ความถี่สุดท้ายที่สามารถมองเห็นวัตถุที่มีลักษณะไม่แตกต่างกัน ซึ่งก็คือความถี่ของการเคลื่อนที่ของวัตถุนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.5 หลักการของการสุ่มตัวอย่าง

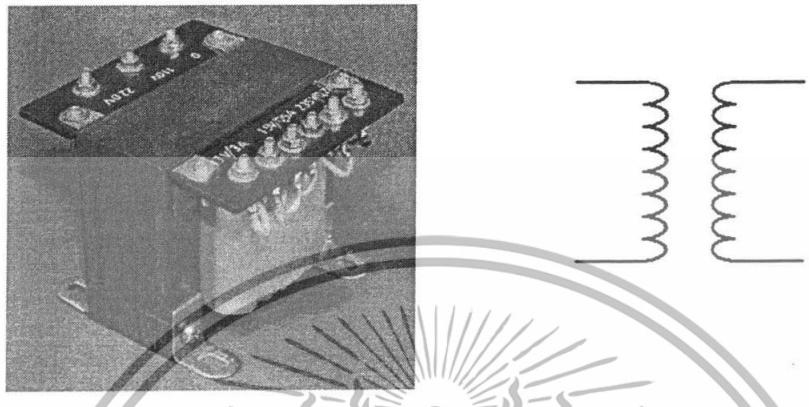
จากรูปที่ 2.5 สามารถแสดงหลักการทำงานแบบสุ่มตัวอย่าง ได้ดังนี้คือ รูปทางซ้ายมือนั้นเป็นรูปที่วัตถุหมุนจริง แต่รูปด้านขวามือคือ รูปที่แสดงแค่ช่วงเวลาที่เข็มชี้ขึ้นเท่านั้น ซึ่งเมื่อวัตถุหมุนด้วยความเร็วคงที่ เราก็จะเห็นเข็มของรูปขวามือหยุดนิ่งตลอด

2.3 หม้อแปลง (Transformer)

หม้อแปลงเป็นขดลวดที่พันรอบแกนเหมือนกับตัวเหนี่ยวนำแต่จะต้องมีขดลวดมากกว่า 1 ขดขึ้นไป เพื่อเป็นตัวถ่ายทอดพลังงานจากขดหนึ่งไปอีกขดหนึ่ง ขดที่ทำหน้าที่ในการถ่ายทอดพลังงานไปอีกขดหนึ่งหรือขดที่อยู่ทางด้านอินพุตเรียกว่า ขดปฐมภูมิ หรือ ไพมารี่ ส่วนขดที่รับพลังงานหรืออยู่ทางด้านเอาท์พุต เรียกว่าขด ทุติยภูมิ หรือ เซคั่นดารี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าจะถ่ายทอดได้เฉพาะพลังงานกระแสสลับเท่านั้น ทั้งนี้เพราะไฟฟ้ากระแสสลับจะเปลี่ยนแปลงแรงดันตลอดเวลา ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดปฐมภูมิจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันขึ้นที่ขดทุติยภูมิ



รูปที่ 2.6 หม้อแปลงที่มีแกนอากาศและสัญลักษณ์

ดังนั้นแรงดันที่เกิดขึ้นที่ขดทุติยภูมิจึงเป็นสัดส่วนกับจำนวนรอบของขดปฐมภูมิและทุติยภูมิ หรือความสัมพันธ์ของแรงดันอินพุตทางด้านปฐมภูมิกับแรงดันทางด้านเอาท์พุตทางด้านทุติยภูมิเป็นไปตามสมการ

$$\frac{\text{แรงดันทางด้านปฐมภูมิ}}{\text{แรงดันทางด้านทุติยภูมิ}} = \frac{\text{จำนวนรอบของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ}}{\text{จำนวนรอบของขดลวดทางด้านทุติยภูมิ}}$$

หม้อแปลงก็เหมือนกับขดลวดเหนี่ยวนำทั่วไป ซึ่งอาจจะมีแกนเป็นแกนเหล็ก แกนอากาศ หรือวัสดุอื่นใดก็ได้ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนหม้อแปลงที่มีแกนเป็นแกนอากาศ แสดงไว้ในรูปที่ 2.60

ในบางครั้งสามารถปรับช่องว่างที่บริเวณแกนอากาศให้กว้างขึ้นหรือแคบลงเพื่อให้คุณสมบัติในการเหนี่ยวนำของขดลวดเปลี่ยนแปลงไป สัญลักษณ์จะเพิ่มลูกศรชี้ดดังรูปที่ 2.60(ข)

(ก) (ข)

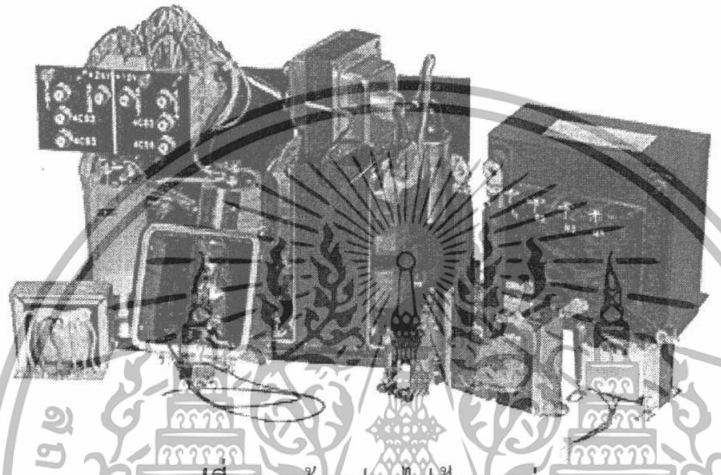
รูปที่ 2.7 สัญลักษณ์ของหม้อแปลงที่มีแกนเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหม้อแปลงบางตัวขดลวดของหม้อแปลงอาจมีได้มากกว่าสองขด หรือกล่าวได้ว่าทางขดปฐมภูมิของหม้อแปลงสามารถมีได้เกินกว่าหนึ่งขด

สัญลักษณ์รูป (ค) เป็นหม้อแปลงแบบพิเศษ โดยมีขดลวดทั้งขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิอยู่ติดชิดกันและพันรอบแกนไปพร้อมกัน

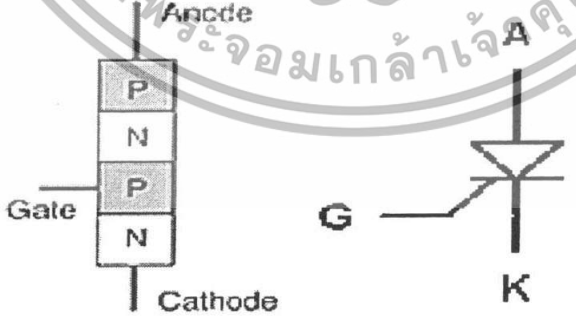
สิ่งที่สำคัญอีกสิ่งหนึ่งที่จะลืมเสียมิได้คือจำนวนรอบของขดลวดของหม้อแปลงจริงๆ กับจำนวนของขดลวดที่เขียนในรูปสัญลักษณ์จะไม่มีความหมายใดเกี่ยวข้องกัน หม้อแปลงอาจจะมีขดลวดทางด้านปฐมภูมิมากมายหลายร้อยขดได้แต่สัญลักษณ์ที่เขียนแทนขดลวดอาจมีเพียงไม่กี่รอบเท่านั้น



รูปที่ 2.8 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบต่างๆ

2.4 เอสซีอาร์ (SCR = Silicon Controlled Rectifier)

ในหัวข้อนี้เราจะศึกษาโครงสร้างและคุณลักษณะทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ไธริสเตอร์ชนิด SCR

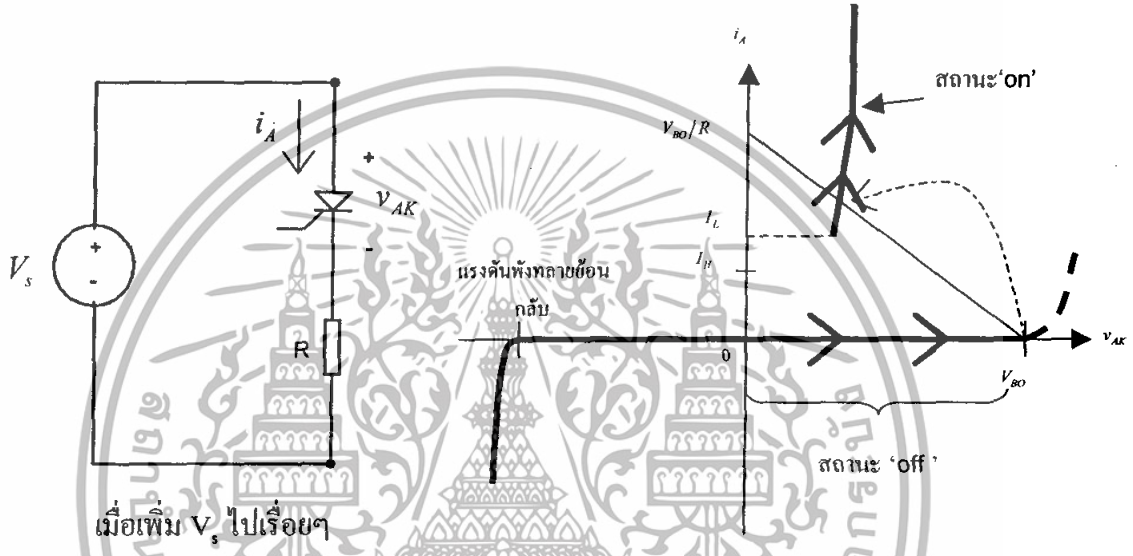


รูปที่ 2.9 โครงสร้างของเอสซีอาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างของ SCR โดยในกรณีที่*ไม่มี*การป้อนกระแส I_G และ

- ถ้า $v_{AK} > 0$ จะทำให้ J_1และJ_3 ถูกไบอัสไปข้างหน้า (Forward bias) ส่วน J_2 ถูกไบอัสย้อนกลับ (Reverse bias) ดังนั้น $i_A \approx 0$โดยเราเรียกการทำงานช่วงนี้ว่าสภาวะ Off หรือ Forward blocking
- แต่ถ้า v_{AK} มีค่าสูงมากพอ จะเกิดการพังทลายขึ้นใน J_2 ทำให้ i_A ไหลได้ (สภาวะOn หรือ Forward conducting) อย่างไรก็ตามการนำกระแสของ ในสภาวะนี้จะต่างจากกรณีซีเนอร์ไดโอดดังจะได้อธิบายต่อไป

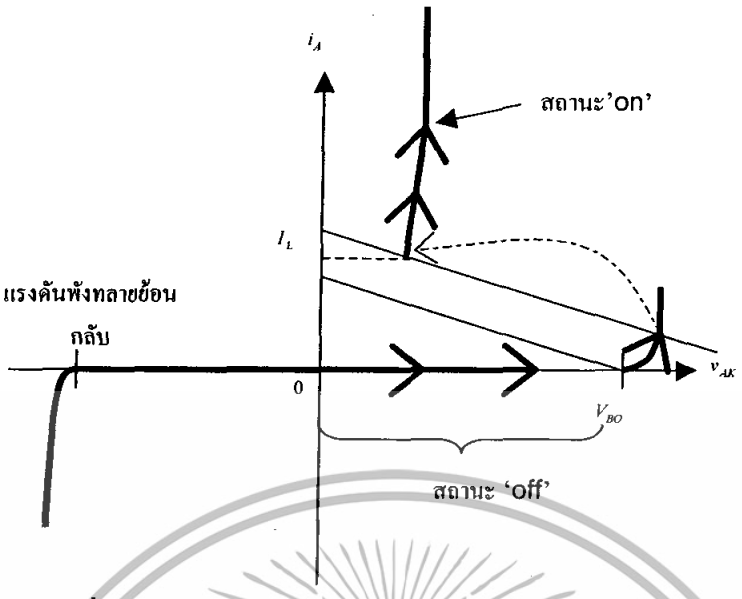


รูปที่ 2.10 การเข้าสู่สภาวะ On ของเอสซีอาร์ เมื่อ R มีค่าต่ำ

จากรูปที่ 2.10 จะเห็นได้ว่ากราฟความสัมพันธ์แรงดัน-กระแสของเอสซีอาร์ จะแบ่งเป็น 2 ช่วงแยกออกจากกัน (ซึ่งต่างกับกรณีไดโอดที่กราฟช่วง On และ Off จะต่อกัน) โดย

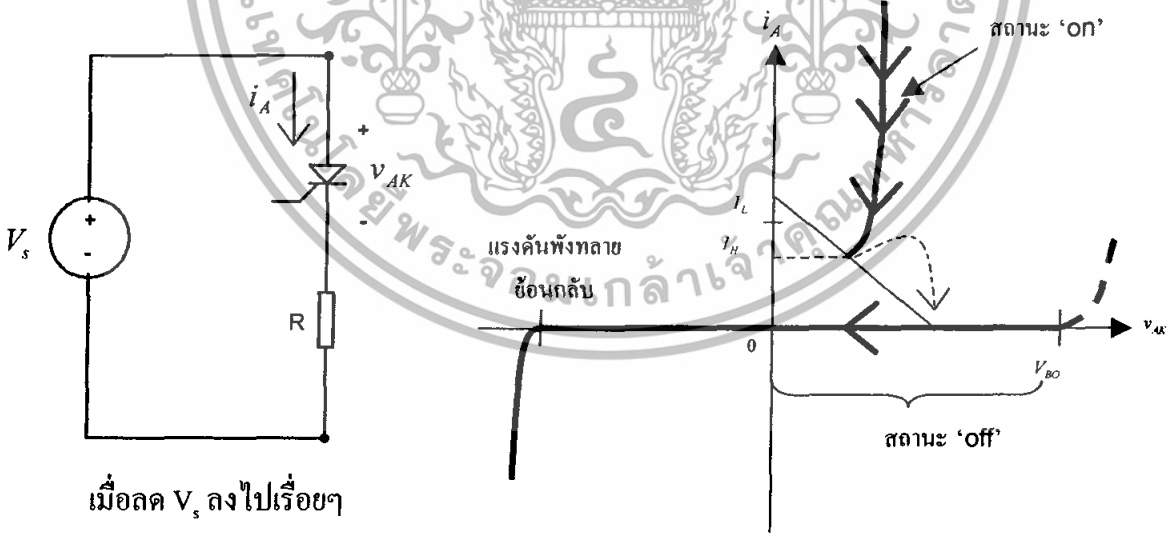
- เมื่อเอสซีอาร์ อยู่สภาวะOff กระแส i_Aไหลน้อยมากและแรงดัน V_S จะไปตกคร่อมเอสซีอาร์ เกือบทั้งหมด ($v_{AK}=V_S$)
- ต่อมาเมื่อเพิ่ม V_Sจนกระทั่ง $v_{AK}=V_{BO}$ จะทำให้เอสซีอาร์ จะเข้าสู่สถาน On ทำให้เกิดกระแสไหลเพิ่มมากขึ้นในขณะที่แรงดัน v_{AK} จะลดลงเพราะแรงดันV_S ส่วนหนึ่งจะไปตกคร่อม R ด้วย ($v_{AK}=V_S- i_AR$)
- และเมื่อเราเพิ่ม V_S ต่อไปอีก กระแส i_A ก็จะไหลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การเข้าสู่สภาวะ On ของเอสซีอาร์ เมื่อ R มีค่าสูง

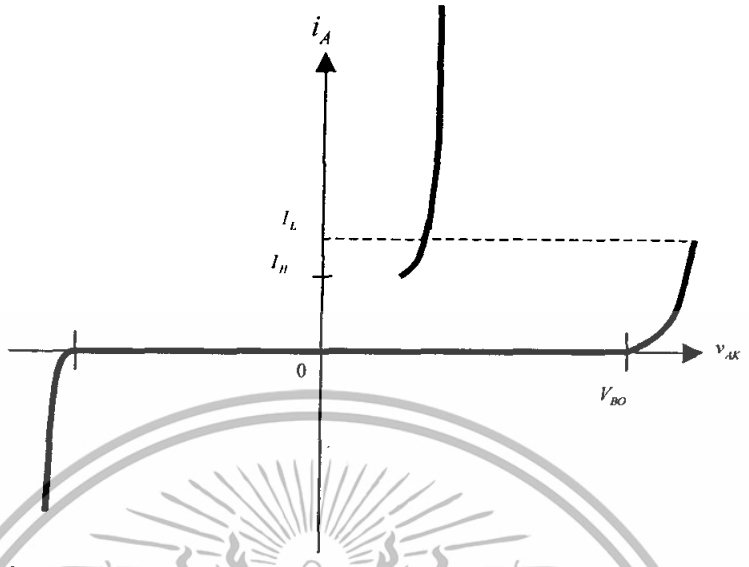
ทั้งนี้การที่เอสซีอาร์จะเข้าสู่สภาวะ On ได้ก็ต่อเมื่อกระแส i_A มีค่ามากกว่า I_L (Latching current) นั่นคือถ้าเลือก R ในวงจรมีค่าสูงเอสซีอาร์จะไม่เข้าสู่สภาวะ On เมื่อแรงดัน $v_{AK} = V_{BO}$ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 โดยในกรณีดังกล่าวการเปลี่ยนแปลงสถานะจะเกิดขึ้นเมื่อ v_{AK} มีค่าสูงกว่าแรงดัน V_{BO}



รูปที่ 2.12 การกลับสู่สภาวะ Off ของเอสซีอาร์

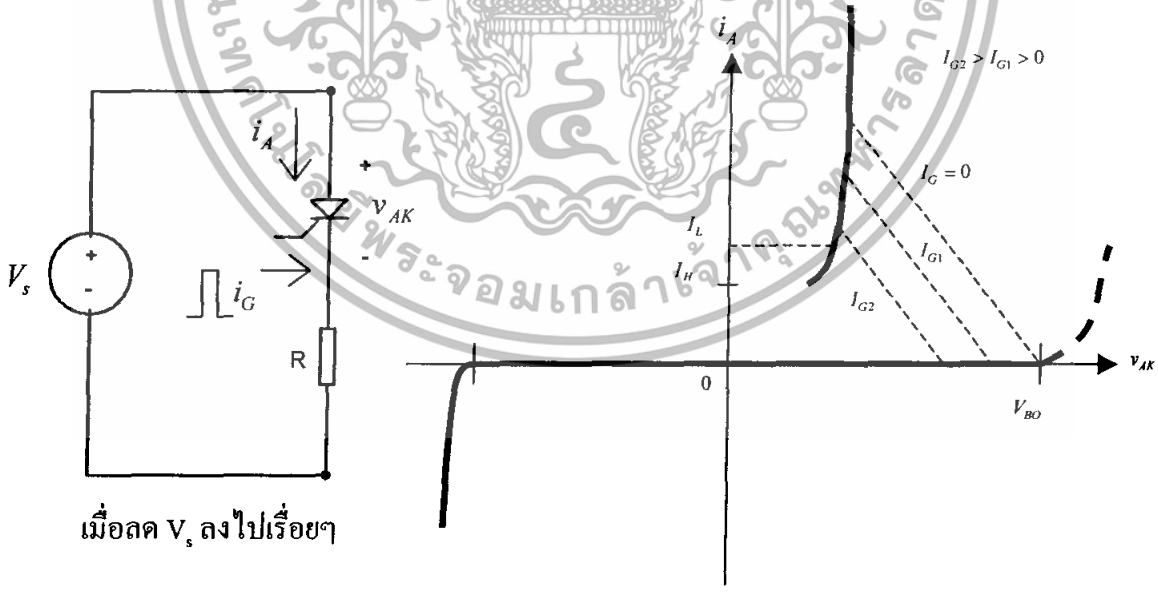
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทำนองกลับกันจากรูปที่ 2.12 จะเห็นได้ว่าเมื่อเอสซีอาร์อยู่กลับเข้าสู่สภาวะ Off ก็ต่อเมื่อกระแส ไหลน้อยกว่า I_H (Holding current)



รูปที่ 2.13 กราฟคุณลักษณะของเอสซีอาร์ที่ไม่มีการป้อน I_G

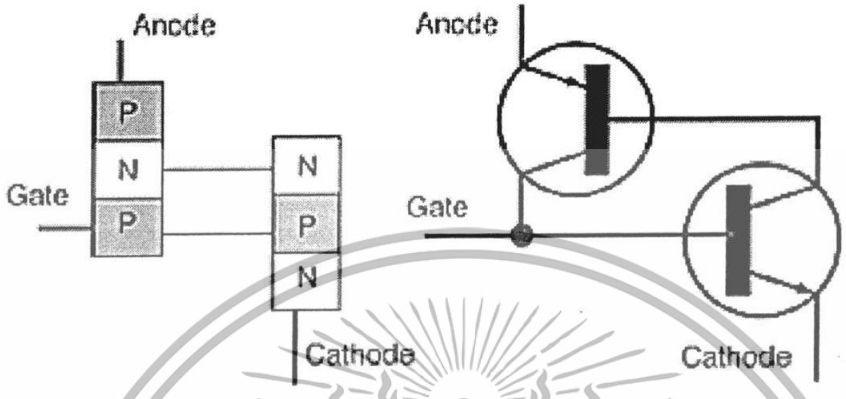
จากที่อธิบายมาเราสามารถแสดงกราฟคุณลักษณะของเอสซีอาร์ ในกรณีที่ไม่มีการป้อนกระแสเกทได้ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ทั้งกราฟดังกล่าวจะเหมือนกับกราฟคุณลักษณะของ "ช็อคลีย์ไดโอด (Shockley Diode)" ซึ่งเป็นไดโอดแบบรอยต่อ pnpn เช่นเดียวกับเอสซีอาร์แต่จะไม่มีขาเกท



รูปที่ 2.14 การทริกให้เอสซีอาร์เข้าสู่สภาวะ On โดยการใช้กระแส I_G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถทำให้เอสซีอาร์เข้าสู่สภาวะ On ก่อนที่ v_{AK} จะเท่ากับ V_{BO} ได้โดยการทริกกระแสไปที่ขาเกทดังแสดงในรูปที่ 2.14 โดยยิ่งกระแสที่ไปทริกที่เกตมีค่าสูงเท่าไรเอสซีอาร์ก็จะเข้าสู่สภาวะ On เร็วขึ้นเท่านั้น ทั้งนี้เราสามารถอธิบายการทำงานของเอสซีอาร์เมื่อมีการทริกระแสเกทได้ดังนี้



รูปที่ 2.15 แบบจำลองของเอสซีอาร์

จากรูปที่ 2.15 จะเห็นได้ว่าเราสามารถสร้างแบบจำลองของเอสซีอาร์ได้เป็น BJT ชนิด npn ต่ออยู่กับ pnp โดยปกติ BJT ทั้ง 2 ตัวจะอยู่ในสภาวะ Cut-off ทำ ให้แทบไม่มีกระไหลผ่านอุปกรณ์เลย อย่างไรก็ตาม

- หากมีการทริกกระแสไปที่ขาเกท กระแสดังกล่าวจะกลายเป็นกระแสเบสของ npn ทำให้ตัวมันเริ่มนำกระแส
- กระแสคอลเลคเตอร์ของ npn ตัวนั้นจะกลายเป็นกระแสเบสของ pnp ทำให้ตัวมันเริ่มนำกระแสบ้าง
- กระแสคอลเลคเตอร์ของ pnp จะถูกป้อนกลับ (แบบบวก) มาเป็นกระแสเบสของ npn อีกครั้งหนึ่ง

การป้อนกลับแบบบวกที่เกิดขึ้นกลับไปกลับมาจนทำให้ BJT ทั้ง 2 ตัวเข้าสู่สภาวะ Saturation อย่างรวดเร็ว (ทำให้เอสซีอาร์เข้าสู่สภาวะOn) และพวกมันจะยังคงอยู่ในสภาวะดังกล่าวไปเรื่อยๆ แม้เมื่อกระแสเกตหายไปแล้วก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 วงจรขับหลอดแฟลช (Flash Lamp Drive Circuit)

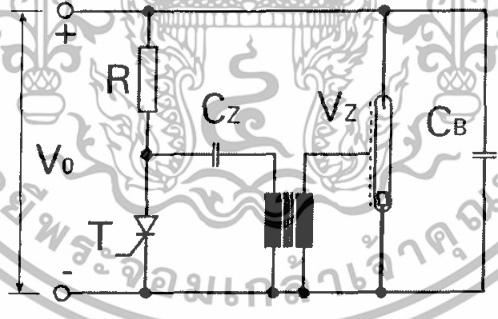
วงจรขับหลอดแฟลช เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีหน้าที่ในการขับหลอดแฟลชให้ทำงาน ซึ่งเป็นวงจรที่สามารถสร้างแรงดันได้สูงเพราะต้องใช้ในการกระตุ้นให้หลอดแฟลชเกิดการทำงาน ซึ่งมีหลักการทำงานดังจะกล่าวต่อไปนี้

2.5.1 ประเภทของวงจรขับหลอดแฟลช

จากเนื้อหาเรื่องหลอดแฟลชข้างต้น เราจะเห็นได้ว่า การที่หลอดแฟลชจะติดได้จะต้องมีแรงดันสูงจ่ายไปให้แผ่นเพลต (Plate) ของหลอดแฟลช ซึ่งเราได้ใช้วงจรขับหลอดแฟลชหรือในที่นี้เราเลือกว่า วงจรทริกเกอร์คอยล์ ในการสร้างแรงดันสูง ให้กับแผ่นเพลตของหลอดแฟลช และในการต่อวงจรทริกเกอร์คอยล์ ให้กับหลอดแฟลชมี 4 ประเภท ดังนี้ คือ

1. Capacitive external triggering

วงจรนี้เป็นวงจรทริกเกอร์อย่างง่ายที่สุด จากรูปที่2.65 จะเห็นว่าในขณะที่เรายังไม่จ่ายสัญญาณเข้าขาเกท (Gate) ของเอสซีอาร์ (SCR) ตัวเก็บประจุ C_B และ C_Z จะเก็บประจุไว้ และเมื่อเราจ่ายสัญญาณให้กับเอสซีอาร์ ตัวเก็บประจุ C_Z จะคายประจุให้กับทริกเกอร์คอยล์ เพื่อให้ทริกเกอร์คอยล์สร้างสัญญาณแรงดันสูงออกมา และในขณะเดียวกับตัวเก็บประจุ C_B ก็จะคายประจุทั้งหมดให้กับหลอดแฟลช หลอดแฟลชจึงสว่างขึ้น



รูปที่ 2.16 วงจร Capacitive external triggering

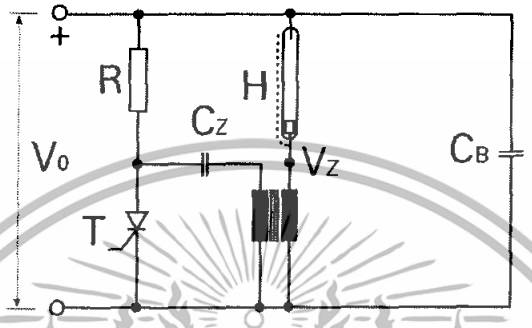
2. Direct series triggering

การต่อแบบนี้จะคล้ายกับการต่อแบบแรก แต่จะมีจุดที่แตกต่างคือขาแคโทด(Cathode) ของหลอดแฟลชจะไปต่อกับด้านทุติยภูมิของทริกเกอร์คอยล์ ส่วนการทำงานนั้นก็คือ เมื่อเราจ่ายสัญญาณให้กับขาเกทของเอสซีอาร์ ตัวเก็บประจุ C_Z จะคายประจุให้กับทริกเกอร์คอยล์ ทริกเกอร์คอยล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็จะสร้างสัญญาณแรงดันสูงให้กับขาแคโทดและแผ่นเพลตของหลอดแฟลช ในขณะเดียวกันตัวเก็บประจุ C_B ก็จะคายประจุให้กับหลอดแฟลช หลอดแฟลชจึงสว่างขึ้น

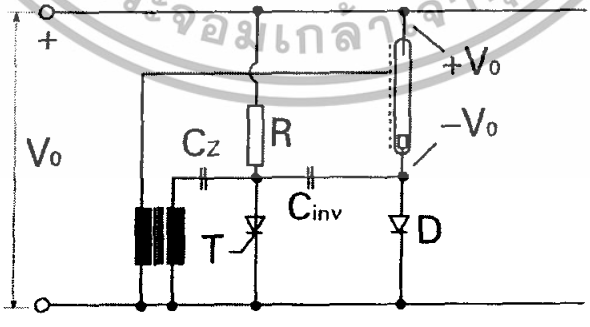
การต่อวงจรแบบนี้มีข้อดีกว่าแบบแรกคือ เกิดการหน่วงเวลาของช่วงการติดของหลอดแฟลชน้อยกว่าแบบแรก (แบบ Capacitive external triggering มีการหน่วงเวลา ประมาณ 5-15 ไมโครวินาที แต่แบบ Direct series triggering มีการหน่วงเวลาน้อยกว่า 1 ไมโครวินาที) แต่ก็มีข้อเสียคือต้องใช้กับหลอดแฟลชที่ทนแรงดันได้สูง



รูปที่ 2.17 วงจรDirect series triggering

3. Trigger with doubling of anode voltage

การต่อแบบนี้ใช้สำหรับหลอดแฟลชที่บรรจุก๊าซซีนอน (Xenon gas) ด้วยแรงดันสูง โดยมีหลักการทำงานดังนี้คือ เมื่อมีสัญญาณเข้าขาเกทของเอสซีอาร์ ตัวเก็บประจุ C_z จะคายประจุให้กับทริกเกอร์คอยล์เพื่อสร้างแรงดันสูงให้กับหลอด และในขณะเดียวกันตัวเก็บประจุ C_{inv} ก็จะคายประจุให้กับหลอดแฟลชที่ขั้วแอโนด (Anode) และแคโทดด้วย เมื่อมีสัญญาณจากทริกเกอร์คอยล์มากระตุ้นที่แผ่นเพลต หลอดแฟลชจึงสว่างขึ้น



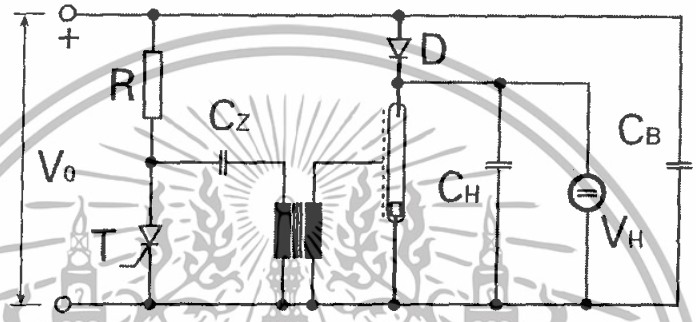
รูปที่ 2.18 วงจร Trigger with doubling of anode voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Booster circuit

เป็นวงจรที่ต่อให้กับหลอดแฟลชที่บรรจุก๊าซซีนอนด้วยแรงดันสูง และใช้ในกรณีที่แรงดัน V_O มีการเปลี่ยนแปลง จากรูป $V_H > V_O$ และ $C_H << C_B$ โดยมีหลักการทำงานดังนี้คือ เมื่อมีสัญญาณเข้าที่ขาเกทของเอสซีอาร์ ตัวเก็บประจุ C_H จะคายประจุให้กับหลอดแฟลช ซึ่งมีค่าแรงดันเท่ากับ V_H ตัวเก็บประจุ C_B ก็จะคายประจุให้กับหลอดแฟลชด้วย ในขณะเดียวกันทริกเกอร์คอยล์ก็จะสร้างแรงดันสูงให้กับแผ่นเพลตของหลอดแฟลช หลอดแฟลชจึงสว่างขึ้น

จากวงจรข้างต้น ทางกลุ่มได้เลือกใช้วงจร Capacitive external triggering เพราะเป็นวงจรที่ง่ายต่อการใช้งาน และอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาด



รูปที่ 2.19 วงจร Booster circuit

2.6 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

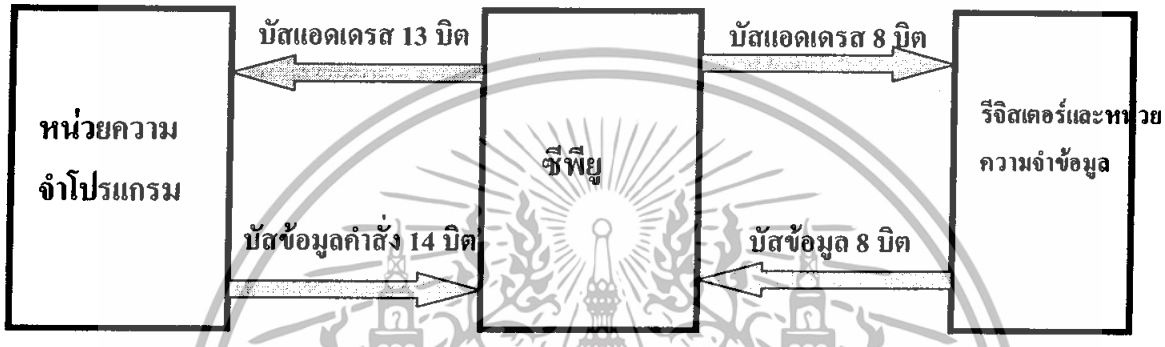
ในโครงงานนี้มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพราะไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นส่วนสำคัญที่จะใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ตรวจดูสภาพพื้นผิวของโรลเลอร์ในที่นี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ซึ่งมีรายละเอียดเบื้องต้นดังจะกล่าวต่อไปนี้

2.6.1 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

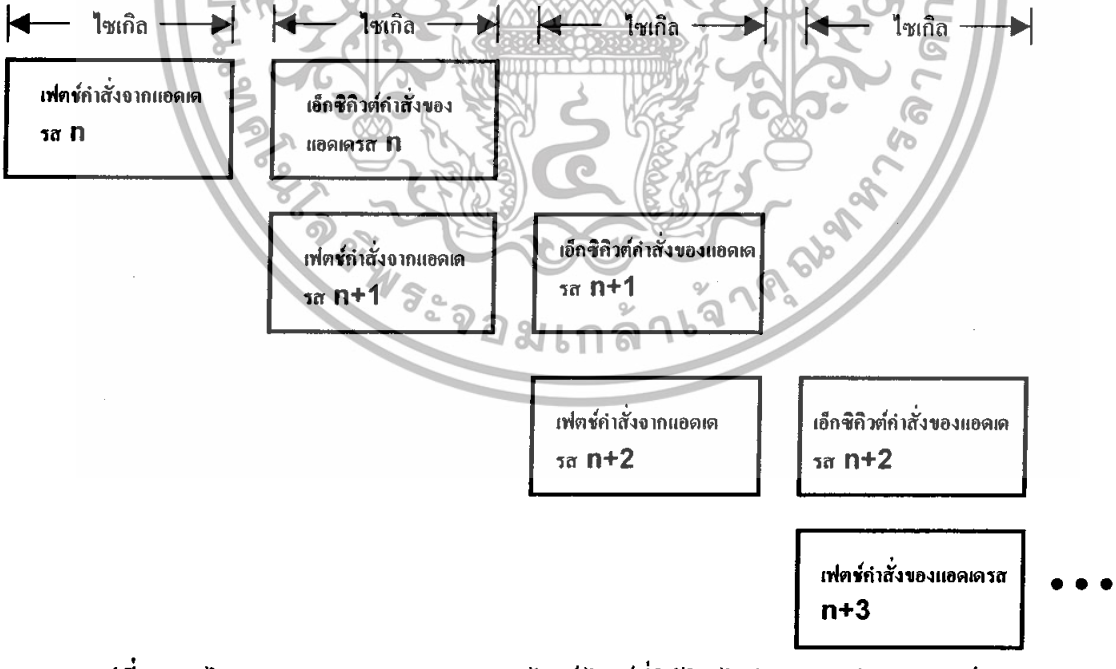
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC มีสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด (Harvard architecture) กล่าวคือ มีการแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกัน โดยมีบัสสำหรับติดต่อแยกกันด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.20 จะเห็นว่าซีพียูภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมด้วยบัสแอดเดรส 13 บิต และบัสข้อมูลหน่วยความจำ 14 บิต ในขณะที่บัสติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลและรีจิสเตอร์ภายในเป็นแบบ 8 บิตทั้งบัสแอดเดรสและบัสข้อมูล

72874
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการจัดสถาปัตยกรรมแบบนี้แล้ว การกระทำคำสั่งทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ยังใช้กระบวนการที่เรียกว่า **ไปป์ไลน์ (pipeline)** สามารถเฟตช์คำสั่งถัดไป ในขณะที่กำลังเอ็กซิคิวต์คำสั่งในปัจจุบัน ส่งผลให้ความเร็วในการทำงานเพิ่มมากขึ้น นั่นจึงเป็นที่มาของความสามารถในการกระทำคำสั่ง 1 คำสั่งภายในสัญญาณนาฬิกา 1 ลูก (กระบวนการเฟตช์ (Fetch) เป็นกระบวนการเรียกคำสั่งออกจากหน่วยความจำโปรแกรมแล้วทำการแปลคำสั่งนั้นให้เป็นรหัสเลขฐานสิบหกเพื่อให้ซีพียูเข้าใจ ส่วนกระบวนการเอ็กซิคิวต์ (Execute) เป็นการกระทำคำสั่งให้เกิดผลลัพธ์ตามที่คำสั่งนั้นๆ กำหนด สำหรับกระบวนการไปป์ไลน์แสดงดังในรูปที่ 2.20

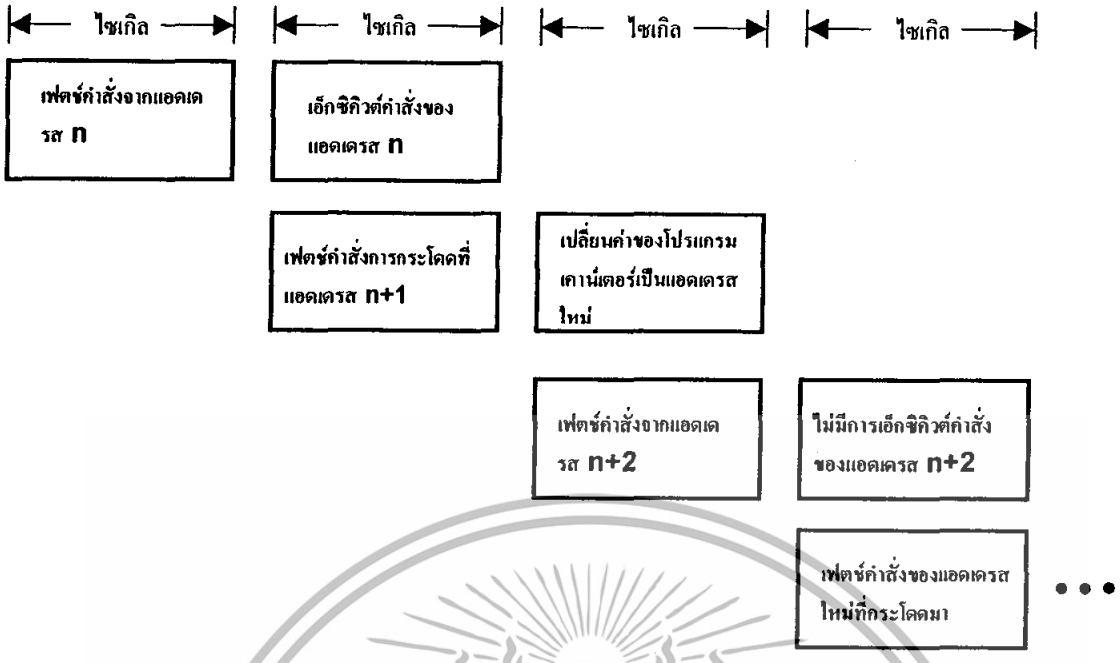


รูปที่ 2.20 ไดอะแกรมแสดงรูปแบบสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฮาร์วาร์ด



รูปที่ 2.21 ไดอะแกรมของกระบวนการไปป์ไลน์ที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 ไดอะแกรมของกระบวนการไปป์ไลน์เมื่อกระทำคำสั่งกระโดด

เมื่อเริ่มต้นทำคำสั่งที่ 1 ซีพียูจะเฟตช์คำสั่งของหน่วยความจำโปรแกรมที่แอดเดรส n จากนั้นทำการเอ็กซิคิวต์ในไซเกิลต่อมา และที่ไซเกิลของการเอ็กซิคิวต์คำสั่งที่แอดเดรส n นั้น ซีพียูก็จะเริ่มต้นทำการเฟตช์คำสั่งจากแอดเดรส n +1 ทันที เมื่อเอ็กซิคิวต์คำสั่งที่แอดเดรส n เรียบร้อย ซีพียูก็จะสามารถเอ็กซิคิวต์คำสั่งแอดเดรส n+1 ต่อเนื่องกันไปได้ในทันที และในทำนองเดียวกัน ขณะที่กำลังเอ็กซิคิวต์คำสั่งแอดเดรส n+1 ซีพียูก็จะทำการเฟตช์คำสั่งที่แอดเดรส n+2 ต่อไป

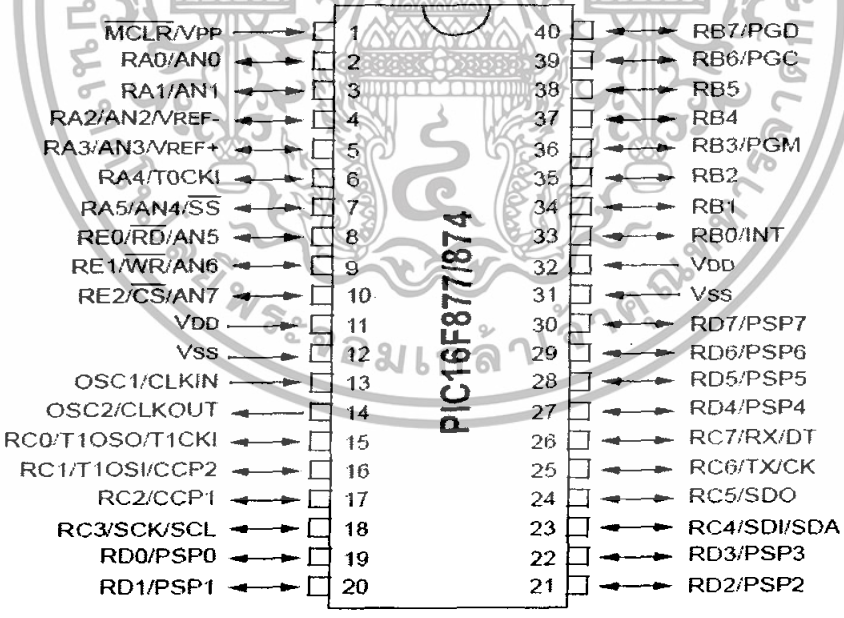
แต่ถ้าคำสั่งที่กระทำนั้นเป็นคำสั่งกระโดด จะมีขั้นตอนที่เพิ่มขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 2.71เมื่อทำการเอ็กซิคิวต์คำสั่งที่แอดเดรส n ซีพียูก็จะทำการเฟตช์คำสั่งที่แอดเดรส n+1 ปรากฏว่าคำสั่งที่แอดเดรส n+1 นั้นเป็นคำสั่งกระโดด ดังนั้นในไซเกิลถัดไปจึงยังไม่เกิดการเอ็กซิคิวต์ในทันที แต่จะเป็นการเปลี่ยนค่าโปรแกรมเคาน์เตอร์(PC : Program Counter) ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ระบุแอดเดรสถัดไปที่ซีพียูจะไปทำงาน ทำให้เกิดการกระโดดไปยังแอดเดรสใหม่ ในระหว่างที่เกิดการกระโดดไปยังแอดเดรสใหม่นั้น ซีพียูจะทำการเฟตช์คำสั่งคำสั่งที่แอดเดรส n+2 ต่อไปตามขั้นตอนปกติแต่ทว่าเมื่อการกระโดดสิ้นสุดลง แอดเดรสของการทำงานเปลี่ยนไปจึงไม่เกิดการเอ็กซิคิวที่คำสั่งแอดเดรส n+2 แต่จะเกิดการเฟตช์คำสั่งที่แอดเดรสใหม่ที่กระโดดมาแทน จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการทำงานตามปกติต่อไปดังนั้นคำสั่งการกระโดด จึงต้องใช้ขนาดของหน่วยความจำมากกว่า 1 ไบต์ ส่งผลต้องใช้สัญญาณนาฬิกาใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระทำคำสั่งกลุ่มนี้ 2 ลูก ซึ่งแตกต่างจากการกระทำคำสั่งอื่นๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ที่ใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูก

2.6.2 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x

โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x มีส่วนประกอบหลักคือ ซีพียู, หน่วยความจำโปรแกรม, หน่วยความจำข้อมูล, ส่วนติดต่อพอร์ต, ส่วนจัดการสัญญาณนาฬิการะบบ, วงจรรีเซตหลัก, ส่วนควบคุมการตอบสนองอินเตอร์รัปต์และส่วนจัดการด้านไฟเลี้ยง แต่จะมีโมดูลพิเศษเข้ามาพอสมควรเพื่อช่วยให้ PIC16F877 มีความสามารถสูงมากขึ้น ได้แก่ วงจรบราวเอาต์รีเซต (brown-out reset), ส่วนแก้ไขในวงจรหรือดีบักเกอร์ (In-circuiy debugger), วงจรโปแกรมข้อมูลด้วยแรงดันต่ำ (Low-voltage programming), ไทเมอร์ที่มีมากถึง 3 ตัว, วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต, โมดูลเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรม(SPI : Serial Peripheral Interfacing), โมดูลเชื่อมต่ออุปกรณ์ระบบบัส I^2C, โมดูลสื่อสารอนุกรม (USART : Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter)และโมดูลเปรียบเทียบสัญญาณ-ตรวจจับสัญญาณ-วงจรมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์หรือ PWM (CCP : Compare Capture Pulse-width modulation) นอกจากนั้นในอนุกรมPIC16F87xAจะมีวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอกและโมดูลสร้างแรงดันอ้างอิงเพิ่มเติมเข้ามาอีกด้วย



รูปที่ 2.23 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางเทคนิคของ PIC16F87x/87xA

คุณสมบัติหลัก

- ซีพียูเป็นแบบ RISC (Reduced Instruction-Set Computer) มีคำสั่งใช้งานเพียง 35 คำสั่ง
- สามารถกระทำคำสั่งโดยใช้สัญญาณเพียงหนึ่งลูก ยกเว้นคำสั่งกระโดด
- ความถี่สัญญาณนาฬิกา ตั้งแต่ไฟตรงถึง 20 MHz
- หน่วยความจำโปรแกรม

  8 กิโลเวิร์ด สำหรับ PIC16F876/876A/877/877A
- หน่วยความจำแรมหรือรีจิสเตอร์

  368 ไบต์ สำหรับ PIC16F876(A)/877(A)
- ขนาดหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม

  256 ไบต์ สำหรับ PIC16F876(A)/877(A)
- ตอบสนองแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์สูงสุดถึง 15 แหล่งขึ้นกับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์
- มีสแต็ก 8 ระดับ
- มีวงจรเพาเวอร์ออนรีเซต (POR)
- มีวงจรเพาเวอร์อัปไทเมอร์ (PWRT) และออสซิลเลเตอร์สตาร์ตอัปไทเมอร์ (OST)
- มีวงจรวอตช์ด็อกไทเมอร์ (WDT) ที่มีวงจรออสซิลเลเตอร์ในตัว ทำให้มีความน่าเชื่อถือในการทำงานสูง
- เลือกป้องกันข้อมูลทั้งหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลสามารถเลือกระดับการป้องกันได้
- มีโหมดประหยัดพลังงาน
- สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน+5Vได้
- แก้ไขข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมด้วยกระบวนการICD (In-circuit Debugger) ผ่านพอร์ตเพียง 2 ขา
- ซีพียูสามารถอ่านและเขียนหน่วยความจำโปรแกรมได้
- ไฟเลี้ยง +2 ถึง +5V
- กระแสซิงก์และกระแสซอร์สของพอร์ต 25mA
- การใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีไม่ขับโหลด

  น้อยกว่า 2mA ที่ไฟเลี้ยง +5V และสัญญาณนาฬิกา 4MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20μA ที่ไฟเลี้ยง +3V และสัญญาณนาฬิกา 32kHz

น้อยกว่า 1μA ในโหมดประหยัดพลังงานหรือสแตนด์บาย

คุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติม

- ไทเมอร์ 3 ตัว คือ ไทเมอร์ 0 ขนาด 8 บิต มีปรีสเกลเลอร์ขนาด 8 บิตในตัว, ไทเมอร์1 ขนาด 16 บิต พร้อม ปรีสเกลเลอร์ และไทเมอร์ 2 ขนาด 8 บิต มีปรีสเกลเลอร์, โพสต์สเกลเลอร์ และรีจิสเตอร์คาบเวลา(Period register) ขนาด 8 บิตในตัว
- มีโมดูล CCP 2 ชุด โดยส่วนตรวจจับสัญญาณหรือแคปเจอร์ (Capture) มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 12.5 นาโนวินาที ส่วนเปรียบเทียบสัญญาณ(Compare) มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 200 นาโนวินาที วงจรPWM มีความละเอียดสูงสุด 10 บิต
- มีวงจรเปรียบเทียบสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล 10 บิต (5 ช่องสำหรับรุ่น 28 ขา และ 8 ช่องสำหรับรุ่น 40 ขา)
- วงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมทั้งSPIและบัส I^2C
- วงจรสื่อสารข้อมูลอนุกรม(USART) พร้อมการตรวจจับแอดเดรส 9 บิต
- วงจรตรวจจับระดับแรงดันไฟเลี้ยง (บราวเอาต์ดีเท็กชั่น : Brown-out detection) เพื่อการรีเซตซีพียู หรือเรียกว่า บราวเอาต์รีเซต (Brown-reset : BOR)

2.6.3 การอินเตอร์รัปต์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

การอินเตอร์รัปต์ (Interrupt) หรือการขัดจังหวะการทำงานของซีพียู นับเป็นคุณสมบัติที่ต้องมีในไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ และเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญอย่างมากเมื่อนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x สามารถกำหนดหรือตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ได้ถึง 15 แหล่งดังนี้

- จากไทเมอร์ 3 แหล่งคือ การเกิดค่าเกินหรือโอเวอร์โฟลวในไทเมอร์ 0 และไทเมอร์ 1 อีกแหล่งหนึ่งจากค่าที่เท่าหรือตรงกันในไทเมอร์ 2
- จากการเขียนหน่วยความจำอีอีพรอมที่เสร็จสมบูรณ์ 1 แหล่ง
- จากโมดูลเปรียบเทียบ-ตรวจจับสัญญาณ และ PWM หรือ CCP 2 แหล่ง
- จากโมดูลสื่อสารอนุกรม(USART)2 แหล่งคือ เกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อรับและส่งข้อมูลสมบูรณ์
- จากวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอก 1 แหล่ง (เฉพาะใน PIC16F87xA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จากพอร์ต B แหล่งคือ จากสัญญาณอินเตอร์รัปต์ภายนอกที่ขา RB0/INT และการเปลี่ยนแปลงลอจิกที่ขา RB4-RB7
- จากโมดูลเชื่อมต่ออนุกรมแบบซิงโคนัส 2 แหล่งคือ จากการทำงานของโมดูลเชื่อมต่ออนุกรมแบบซิงโคนัส, จากการชนกันของข้อมูลในส่วนเชื่อมต่อระบบบัส I^2C
- จากโมดูลแหล่งสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล 1 แหล่ง
- จากการทำงานของพอร์ตขนานเสริม (PSP) 1 แหล่ง (เฉพาะในPIC16F87x รุ่น 40 ขา)

โดยเมื่อเงื่อนไขของการอินเตอร์รัปต์เป็นจริง จะมีการเซตแฟลกของการอินเตอร์รัปต์นั้นๆขึ้น(ชื่อของแฟลกจะลงท้ายด้วยตัวอักษร F) จากนั้นจะตรวจสอบว่า มีการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์นั้นๆหรือไม่ (ชื่อของการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จะเหมือนกับชื่อแฟลกแต่ลงท้ายด้วยอักษร E) เช่น หากเกิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์เข้ามาที่ขา RB0/INT แฟลก INTF จะเซต และถ้าหากมีการเอ็นเอเบิลอินเตอร์รัปต์แบบนี้ ซึ่งตรวจสอบจากบิต INTE และมีการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์รวมไว้ก็จะทำให้เกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นในระบบ

นั่นหมายความว่า การจะกำหนดให้เกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นมาได้ต้องมีการเตรียมการ 4 ขั้นตอน คือ

1. เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์รวม โดยการเซตบิต GIE ในรีจิสเตอร์ INTCON หากบิตนี้ไม่มีการเซต จะไม่มีทางเกิดอินเตอร์รัปต์ขึ้นได้ แม้ว่าเงื่อนไขของการอินเตอร์รัปต์ของแหล่งต่างๆจะเป็นจริง และมีการเอ็นเอเบิลแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์แล้วก็ตาม
2. เอ็นเอเบิลแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์
3. เขียนโปรแกรมบริเวณอินเตอร์รัปต์ โดยมีแอดเดรสอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์อยู่ที่ 0x0004
4. รอคอยให้เงื่อนไขการอินเตอร์รัปต์ในลักษณะต่างๆเกิดขึ้น

จากความรู้ข้างต้นและจากการทำงานของวงจรควบคุมหลอดแฟลชที่ทางกลุ่มได้ศึกษา จะเห็นได้ว่าสามารถใช้การอินเตอร์รัปต์ได้จาก 2 แหล่งคือ จากสัญญาณอินเตอร์รัปต์ภายนอกที่ขา RB0/INTและการเปลี่ยนแปลงลอจิกที่ขา RB4-RB7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

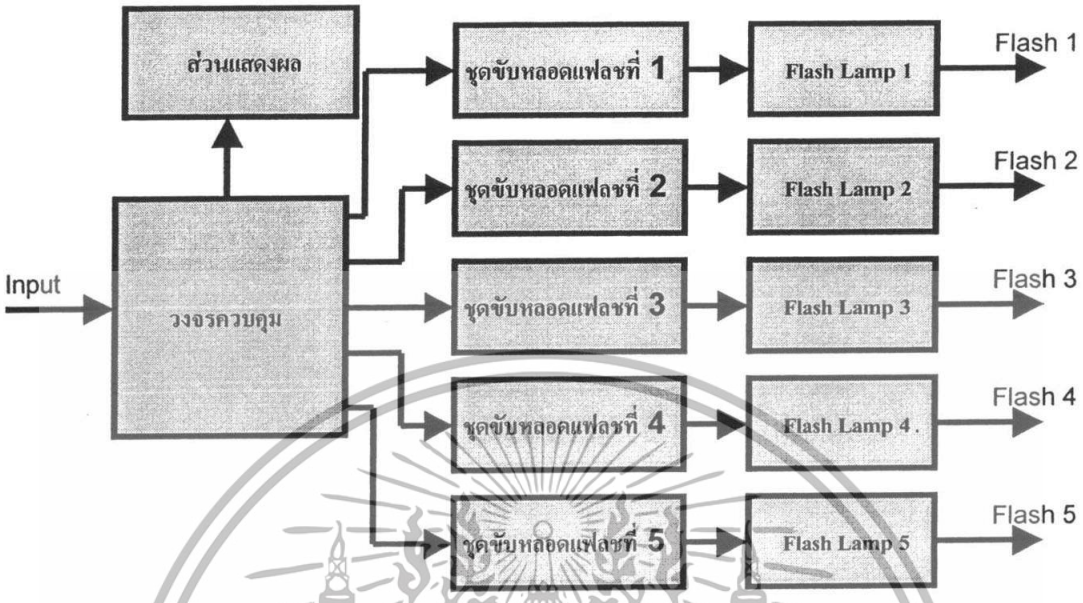
บทที่ 3
หลักการออกแบบ

เมื่อแสงที่สร้างอุปกรณ์ตรวจสอบพื้นผิวส่องไปที่วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่แบบหมุนอยู่ด้วยความเร็วคงที่ค่าหนึ่งแล้วถ้าความถี่ของการสุ่มตัวอย่างจากอุปกรณ์มีค่าเท่ากับจำนวนเท่าของความถี่ของการหมุนของวัตถุที่กำลังหมุนหรือมีความถี่ที่ตรงกัน ก็จะทำให้เราจะมองเห็นวัตถุเสมือนหยุดนิ่ง โดยมีโครงสร้างโดยรวมของระบบดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 แบบโดยรวมของระบบ

จากโครงสร้างโดยรวมของอุปกรณ์จะเห็นได้ถึงส่วนประกอบต่างๆของโครงงานนี้ซึ่งมีหน้าที่ที่แตกต่างกันไป ซึ่งทุกส่วนจะถูกเชื่อมโยงเข้าหากันโดยมีแนวคิดในการทำงานของอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของอุปกรณ์

รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงชุดขับหลอดแฟลช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ส่วนประกอบของโครงงาน

สำหรับโครงงานนี้ได้ทำการสร้างอุปกรณ์ขึ้นมา ซึ่งสามารถแบ่งส่วนของอุปกรณ์นี้ได้เป็นสองส่วนคือส่วนทางด้านฮาร์ดแวร์และส่วนทางด้านซอร์ฟแวร์โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์ คือ ส่วนประกอบที่หมายถึงส่วนของหลอดแฟลช วงจรทวีแรงดัน วงจรขับหลอดแฟลชและวงจรควบคุม
- ส่วนประกอบทางด้านซอร์ฟแวร์ คือ ส่วนในเรื่องของโปรแกรมซึ่งเขียนขึ้นเพื่อให้คอนโทรลเลอร์ทำงาน โดยควบคุมการแสดงผลและส่งสัญญาณควบคุมการติด-ดับของหลอดแฟลช

3.2 ส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์

3.2.1 ส่วนของหลอดแฟลช

ในส่วนโครงสร้างของอุปกรณ์เลือกใช้หลอดแฟลชรูปตัวยูดังรูปที่3.4 จำนวน 5 หลอด เพื่อเป็นการช่วยเพิ่มความถี่ของการติด-ดับของหลอดแฟลช โดยมีการติดตั้งเป็นวงกลมดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 หลอดแฟลชรูปตัวยู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 การติดตั้งหลอดแฟลช

เพื่อให้หลอดแฟลชทำงานตามที่เราต้องการ จำเป็นต้องมีการออกแบบและคำนวณ วงจรทวีแรงดัน วงจรขับหลอดแฟลชและวงจรควบคุม

การคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการกระพริบของหลอดแฟลช

$$W = \frac{1}{2}CV^2$$

เมื่อ W = พลังงานที่ใช้ในการกระพริบ (จูล)

C = ขนาดของตัวเก็บประจุที่จ่ายพลังงานให้หลอดแฟลช (ฟารัด)

V = แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหลอดแฟลช (โวลต์)

การคำนวณหากำลังของหลอดแฟลช

$$P = W \times F$$

เมื่อ P = กำลังของหลอดแฟลช (วัตต์)

F = ความถี่ของการกระพริบ (เฮิรตซ์)

เหตุผลที่ทางกลุ่มได้เลือกใช้หลอดแฟลชรูปตัวยูมีปัจจัยที่สำคัญด้านของพลังงานที่ใช้ในการกระพริบและกำลังของหลอดแฟลชซึ่งจะทำการเปรียบเทียบกับหลอดแฟลชรูปแท่งตรงที่ทางกลุ่มหาซื้อได้ ดังข้อมูลต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลหลอดแฟลชแบบแท่งตรงกับหลอดแฟลชรูปตัวยู

	หลอดแฟลชแบบแท่งตรง	หลอดแฟลชรูปตัวยู
กำลัง(วัตต์)	11	15
แรงดันสูงสุด(โวลต์)	500	1000
แรงดันใช้งาน(โวลต์)	450	900

การคำนวณ

หลอดแฟลชแบบแท่งตรง

จากสูตร $W = \frac{1}{2}CV^2$

(ในวงจรเราเลือกใช้ตัวเก็บประจุ 1 ไมโครฟารัด และมีค่าแรงดัน เท่ากับ 900 โวลต์)

แทนค่า จะได้ $W = \frac{1}{2}(1 \times 10^{-6}) \times (900^2)$

$= 0.405$ จูล

และจากสูตร $P = W \times F$ (หลอดแฟลชแบบแท่งตรง สามารถจ่ายกำลังได้ 11 วัตต์)

แทนค่าจะได้ $11 = 0.405 \times F$

$F = 27.160$ เฮิรตซ์

หลอดแฟลชรูปตัวยู

จากสูตร $W = \frac{1}{2}CV^2$

(ในวงจรเราเลือกใช้ตัวเก็บประจุ 1 ไมโครฟารัด และมีค่าแรงดัน เท่ากับ 900 โวลต์)

แทนค่า จะได้ $W = \frac{1}{2}(1 \times 10^{-6}) \times (900^2)$

$= 0.405$ จูล

และจากสูตร $P = W \times F$

(หลอดแฟลชรูปตัวยู สามารถจ่ายกำลังได้ 15 วัตต์)

แทนค่าจะได้ $15 = 0.405 \times F$

$F = 37.037$ เฮิรตซ์

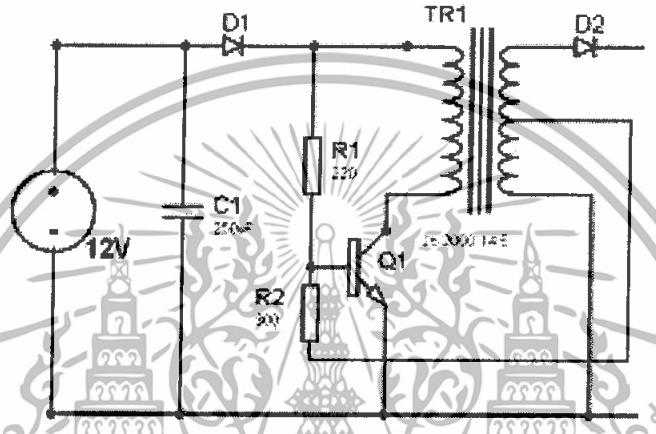
จากการคำนวณพลังงานที่ใช้ในการกระพริบและความถี่ของการกระพริบจะเห็นว่าหลอดแฟลชรูปตัวยูมีค่าความถี่ของการกระพริบสูงกว่าค่าความถี่ของการกระพริบของหลอดแฟลชแบบแท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรงในขณะที่พลังงานที่ใช้ในการกระพริบเท่ากัน ดังนั้นทางกลุ่มจึงเลือกใช้หลอดแฟลชรูปยูเพราะให้ความถี่ในการกระพริบสูงจึงมีประสิทธิภาพดีกว่า

3.2.2 วงจรทวีแรงดัน

การที่จะให้หลอดแฟลชทำงานได้นั้นจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง (High Voltage DC) ซึ่งต้องใช้ถึง 1000 โวลต์ แต่เรามีแหล่งจ่ายไฟคือแบตเตอรี่ 12 โวลต์ จึงได้ทำการออกแบบวงจรทวีแรงดัน ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรทวีแรงดัน

การทำงานของวงจรทวีแรงดันนี้เริ่มจากกระแสไฟฟ้าไหลจากขั้วบวกของแบตเตอรี่ผ่านไดโอด D1 เพื่อป้องกันวงจรเกิดความเสียหายเนื่องจากการต่อแบตเตอรี่กลับขั้ว ต่อตัวเก็บประจุ C1 เพื่อรักษาแรงดันอินพุตให้คงที่ เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน R1 ไปที่ขา Base ของทรานซิสเตอร์ Q1 จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง TR1 ได้ ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำที่ขดลวดฝั่งทุติยภูมิ ไหลผ่านไดโอด D2 ส่งเป็นแรงดันเอาต์พุต ต่อไป และเมื่อเกิดการเหนี่ยวนำกระแสที่ขดลวดฝั่งทุติยภูมิ กระแสส่วนหนึ่งจะไหลย้อนกลับผ่านตัวต้านทาน R2ไปต้านกลับกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R2 ข้างต้น ทำให้เกิดการหักล้างกัน ไม่มีกระไหลเข้าที่ขา Base ของทรานซิสเตอร์ Q1 เป็นผลให้กระแสไฟไม่สามารถไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิได้ ทำให้ไม่เกิดการเหนี่ยวนำที่ขดลวดฝั่งทุติยภูมิ จึงไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับผ่านตัวต้านทาน R2 ไหลไปหักล้างกับกระแสที่ไหลผ่าน R2 ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นอีกครั้ง การทำเช่นนี้จะวนรอบการทำงานไปเรื่อยๆและสามารถคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบขดลวดของหม้อแปลง กับแรงดัน ได้จากสมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\text{แรงดันทางด้านปฐมภูมิ}}{\text{แรงดันทางด้านทุติยภูมิ}} = \frac{\text{จำนวนรอบของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ}}{\text{จำนวนรอบของขดลวดทางด้านทุติยภูมิ}}$$

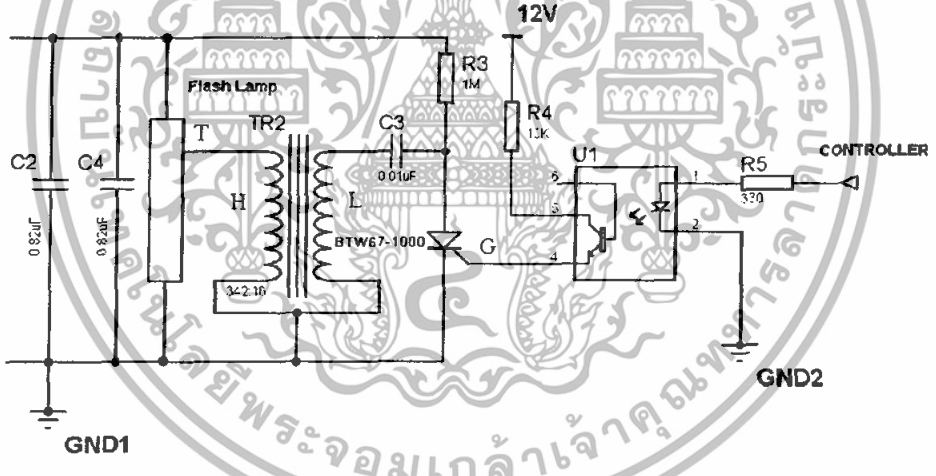
จากวงจรข้างต้นจะได้ค่าแรงดันทางด้านทุติยภูมิเท่า12โวลต์และค่าแรงดันทางด้านทุติยภูมิเท่ากับ1,000โวลต์ดังนั้นเมื่อแทนค่าในสมการข้างต้นจะได้เป็น

$$\frac{12}{1000} = \frac{N_1}{N_2}$$ (เมื่อ N_1 คือ จำนวนรอบของขดลวดด้านปฐมภูมิและ N_2คือจำนวนรอบของขดลวดด้านทุติยภูมิ)

ดังนั้นจะได้อัตราส่วนของจำนวนรอบของขดลวดคือ 12:1000 แต่เนื่องจากไม่สามารถหาซื้อหม้อแปลงที่มีค่าอัตราส่วนของจำนวนรอบของขดลวดดังกล่าวได้ดังนั้นทางกลุ่มจึงใช้หม้อแปลงจำนวนรอบของขดลวดเป็น 26:2000 แทนซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน

3.2.3 วงจรขับหลอดแฟลช

เมื่อเราสร้างไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงแล้วยังมีส่วนประกอบที่สำคัญเพื่อที่จะทำให้หลอดแฟลชทำงานได้คือ วงจรขับหลอดแฟลช ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 วงจรขับหลอดแฟลช

การทำงานของวงจรขับหลอดแฟลช (ต่อจากส่วนของวงจรทวีแรงดัน) ตัวเก็บประจุC2 และC4ทำหน้าที่เก็บประจุเพื่อจ่ายให้หลอดแฟลช โดยที่ขั้วแอโนดและแคโทดของหลอดแฟลชต่อคร่อมกับไฟแรงดันสูงไว้แล้ว แต่ยังไม่สามารถทำงานได้จนกว่าจะมีกระแส (แรงดันสูง) มากระตุ้น ที่ขา T เมื่อกระแสไฟไหลผ่านตัวต้านR3และC3 ก็จะชาร์ตประจุ แต่วงจรยังไม่สามารถทำงานได้จนกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีสัญญาณมา กระตุ้น ที่ขาG ของ SCR ซึ่งจะยอมให้กระแสไหลผ่านได้ (Short circuit) ซึ่งขาG ของเอสซีอาร์จะต่อเข้ากับวงจรส่วน ควบคุม เพื่อควบคุมการติด-ดับของหลอดแฟลช เมื่อมีสัญญาณ กระตุ้นที่ขาG ของเอสซีอาร์ทำให้เอสซีอาร์ทำงานกระแสจึงไหลผ่านเอสซีอาร์ลงกราวน์ ตัวเก็บประจุ C2 จะเป็นตัวจ่ายพลังงานโดยกระแสจะไหลออกจากขาบวกของ ผ่านเอสซีอาร์ ผ่านขดลวดฝั่ง L ของ trigger coil แล้ว TR2 ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดลวดฝั่ง H เกิดกระแสไฟฟ้าแรงดันสูง ไป กระตุ้นขา T ของหลอดแฟลช ทำให้อิเล็กตรอน ภายในหลอดแฟลช เกิดการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงาน ทำให้ปลดปล่อยพลังงานแสงออกมา โดยกระแสไฟฟ้าที่ทำให้หลอดแฟลชทำงานได้มาจากตัวเก็บประจุ C2 และ C4 ทั้งหมด เมื่อไม่มีสัญญาณมา กระตุ้น ที่ขา G ของเอสซีอาร์ ทำให้ตัวเก็บประจุ C2 กับ C4 และ C3 ชาร์ตประจุพร้อมกันอีกครั้ง และหลอดแฟลชจะทำงานอีกครั้งก็ต่อเมื่อมีสัญญาณมา กระตุ้น ที่ ขา G ของเอสซีอาร์

จากรูปที่ 3.7 จะเห็นว่าวงจรมีการแยกกราวน์ออกเป็นGND1และGND2 ก็เพื่อลดปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวน เพราะว่าแรงดันของวงจรที่เราควบคุมนั้น มีแรงดันที่สูงมาก ถึง 1,000 โวลต์ แต่สัญญาณที่เราจะนำไปควบคุมนั้นมีแรงดันเพียง 5 โวลต์ ซึ่งมีค่าต่างกันมาก จึงอาจจะเกิดแรงดันไหลย้อนกลับเข้าวงจรควบคุม หรือเกิดสัญญาณรบกวนต่างๆ การแยกแหล่งจ่ายไฟและกราวด์ระหว่างวงจรควบคุมกับวงจรชุดขับหลอดแฟลช จึงเป็นเหมือนการตัดวงจรออกจากกัน จึงตัดปัญหาเรื่องแรงดันไหลย้อนกลับเข้าชุดควบคุม ทางกลุ่มจึงสามารถควบคุมการติด-ดับ ของหลอดแฟลชได้

สำหรับการคำนวณจากรูปที่ 3.7 เราจะเลือกการคำนวณค่าความจุของตัวเก็บประจุ C2 และ C4 แต่เนื่องจากเราใช้ตัวเก็บประจุทั้งสองตัวมีค่าเท่ากันเราจึงเลือกคำนวณค่าความจุเพียงตัวเดียวในที่นี้ เราเลือกคำนวณค่า C2 ซึ่งเป็นไปตามสมการดังนี้

จากสมการ $$W = \frac{1}{2}CV^2$$

จะได้ $$C = \frac{2W}{V^2}$$

แล้วเมื่อทำการนำค่าของหลอดแฟลชรูปตัวยูจากตารางที่ 3.1มาแทนค่าโดยจะได้ V=1,000 v, P=15 w และเราสามารถหาค่า W ได้จากสมการจากสมการ

$$P = W \times F$$

เมื่อกำหนดให้ความถี่ของการกระพริบ(F) เท่ากับ 10 เฮิรตซ์ จะได้

$$W = \frac{P}{F} = \frac{15}{10} = 1.5 \quad \text{จูล}$$

ดังนั้น

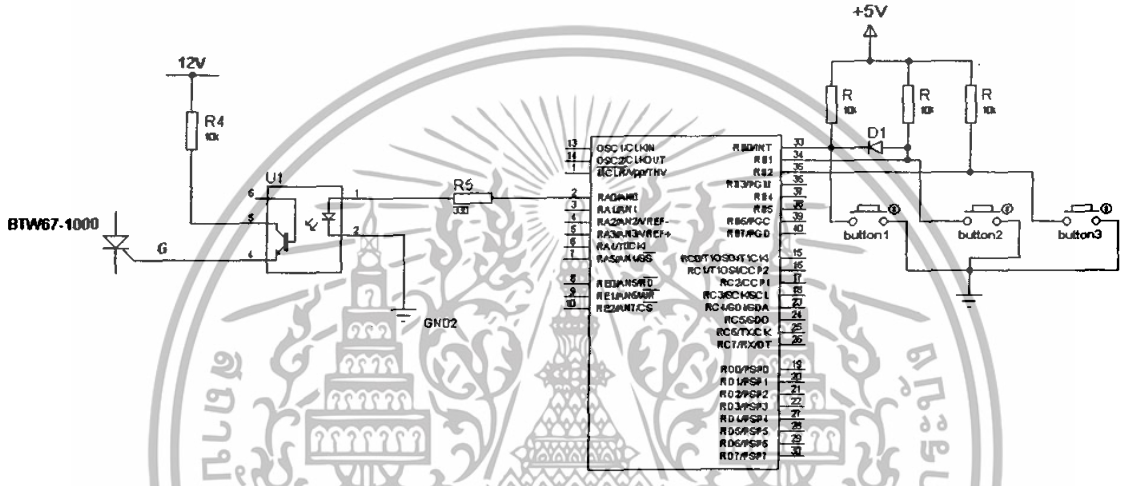
$$C_2 = \frac{2(1.5)}{(1000)^2} = 3\mu F$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการข้างต้นสามารถคำนวณหาค่าความจุของตัวเก็บประจุ C2 และC4 ได้เท่ากับ 3ไมโครฟารัด แต่เนื่องจากไม่สามารถหาค่าความจุของตัวเก็บประจุดังกล่าวได้ ทางกลุ่มจึงเลือกตัวเก็บประจุที่หาได้และมีค่าใกล้เคียงที่สุดคือเท่า 0.82 ไมโครฟารัด

3.2.4 วงจรควบคุมหลอดแฟลช

เพื่อที่จะให้หลอดแฟลชติด-ดับตามที่ต้องการ เราจึงมีวงจรควบคุมทำหน้าที่ควบคุมการติด-ดับของหลอดแฟลช แสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วงจรควบคุมหลอดแฟลช

เมื่อเราได้ทราบถึงรายละเอียดของวงจรขับหลอดแฟลชและวงจรทวีแรงดันแล้วต่อไปจะเป็นส่วนควบคุม และแสดงผล เพื่อให้หลอดแฟลช กระพริบติด-ดับตามความถี่ที่เราต้องการ

ในการสร้างความถี่เราได้เขียนโปรแกรมเพื่อสร้างความถี่ขึ้นมา โดยเรายังสามารถจะปรับเพิ่มหรือลดความถี่ได้ จากรูปจะเห็นว่าเรามีปุ่มกด จำนวน 3 ปุ่ม โดยแต่ละปุ่มมีการทำงานดังนี้

- *ปุ่มกด 1* ใช้ปรับความถี่ขึ้น
- *ปุ่มกด2* ใช้ปรับความถี่ลง
- *ปุ่มกด3* ใช้เป็นปุ่มให้สร้างความถี่

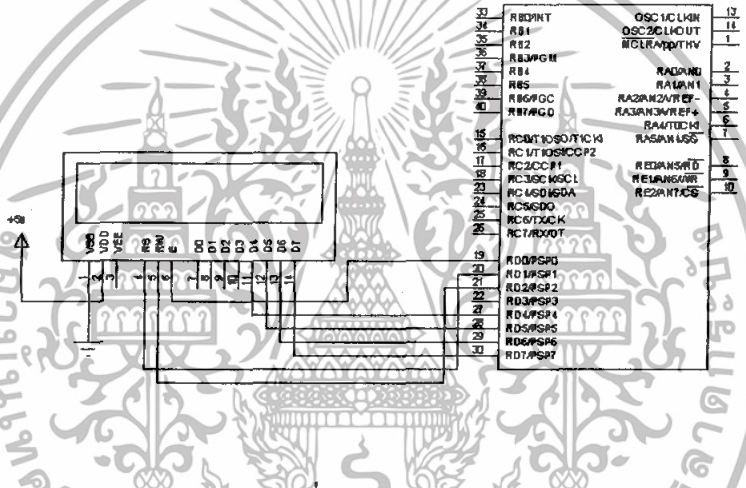
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรขับหลอดแฟลชจะเห็นว่าการที่หลอดแฟลชจะติดได้นั้น ตัวเอสซีอาร์ จะต้องลัดวงจรลงกราวด์ เพื่อให้ตัวเก็บประจุคายประจุให้กับตัว Trigger coil เพื่อสร้างแรงดันสูงให้กับหลอดแฟลชต่อไป ดังนั้น เราจะควบคุมการติด-ดับของหลอดไฟที่ขา G ของตัวเอสซีอาร์

ในการควบคุมนั้นเราจะใช้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการควบคุมการติดดับ เพื่อง่ายต่อการควบคุมและแสดงผล ในวงจรเราใช้ เอสซีอาร์ หมายเลข BTW67-1000 ซึ่งสามารถทนแรงดันได้ 1000 โวลต์

3.2.5 วงจรแสดงผล

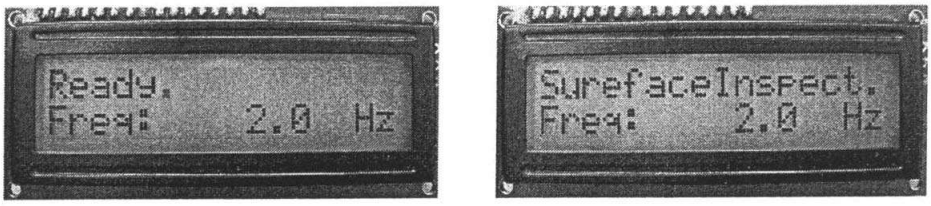
เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน จึงมีวงจรแสดงผลออกทางจอแอลซีดี ซึ่งแสดงสถานะและความถี่ในการควบคุมการติด-ดับของหลอดแฟลช ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วงจรแสดงผล

การแสดงผลทางจอแอลซีดี เราได้ใช้จอแอลซีดี ที่มี ขนาด 16x2 ตัวอักษร โดยจะแสดงผลโดยให้บรรทัดแรกแสดงสถานะว่าตอนนี้โปรแกรมทำงานอยู่อยู่ในส่วนใด คือ ถ้าโปรแกรมอยู่ในส่วนรอกดปุ่มสร้างความถี่ ก็จะแสดงว่า "Ready" แต่ถ้าอยู่ในส่วนสร้างความถี่ ก็จะแสดงคำว่า "SurefaceInspect." และให้บรรทัดที่สองแสดงผลในส่วนของความถี่ที่จะสร้างขึ้น ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ขณะอยู่ในโหมดเตรียมพร้อม **(ข)** ขณะอยู่ในโหมดสร้างความถี่

รูปที่ 3.10 จอแอลซีดีที่ใช้แสดงผล

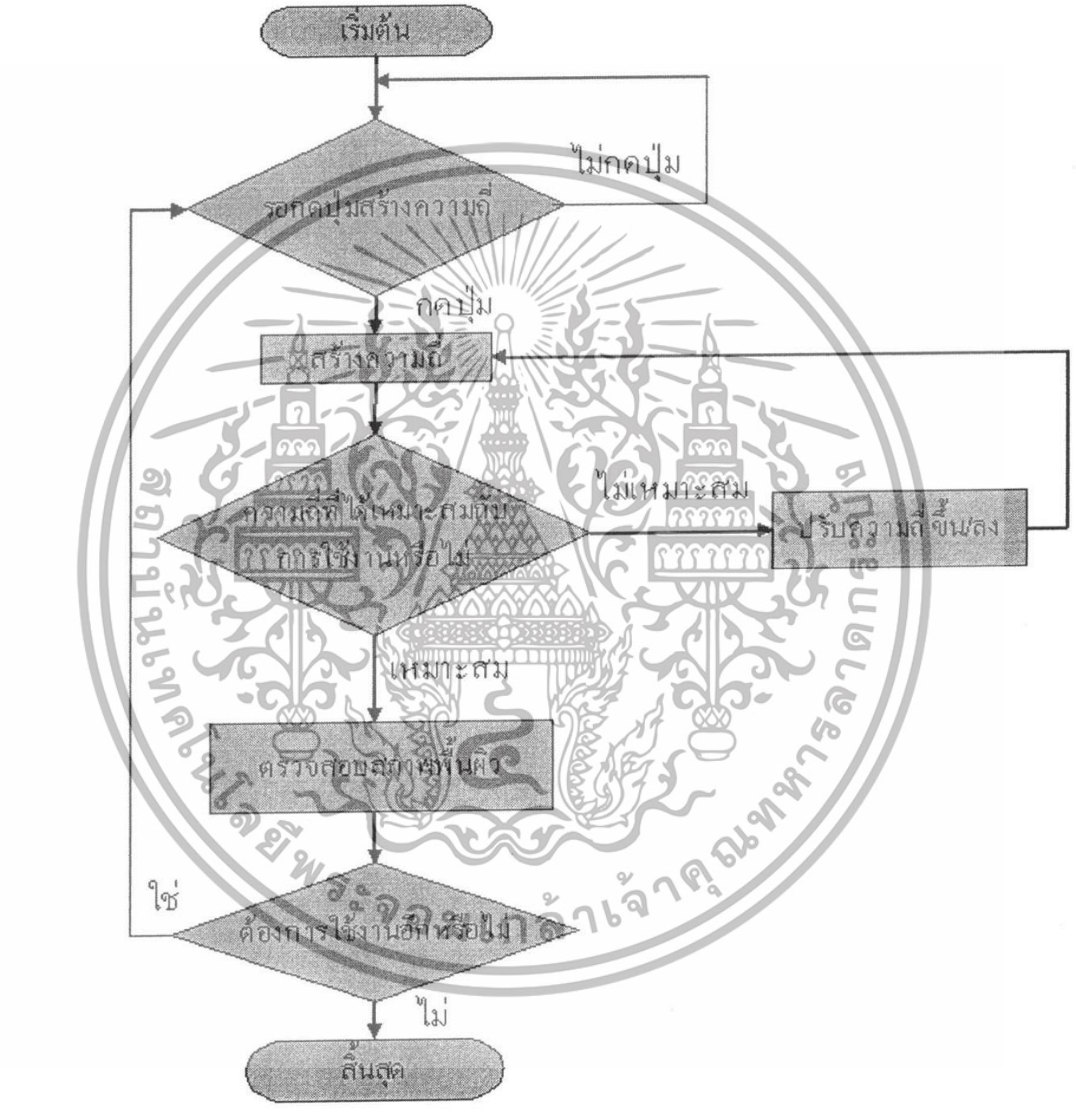
รูปที่ 3.11 วงจรรวมทั้งหมดที่ใช้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ส่วนประกอบทางด้านซอร์ฟแวร์

โปรแกรมควบคุมการติด-ดับหลอดแฟลช

ส่วนนี้ทำหน้าที่ควบคุมการติด-ดับของหลอดแฟลช เพื่อให้ความถี่ของการติด-ดับตรงกับความถี่ของการหมุนของวัตถุ โดยการเขียนโปรแกรมสั่งไมโครคอนโทรลเลอร์ให้สร้างความถี่ที่ต้องการในที่นี้ทางกลุ่มได้กำหนดค่าความถี่ต่ำสุดเป็น 2 Hz หลักการทำงานจะถูกแสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

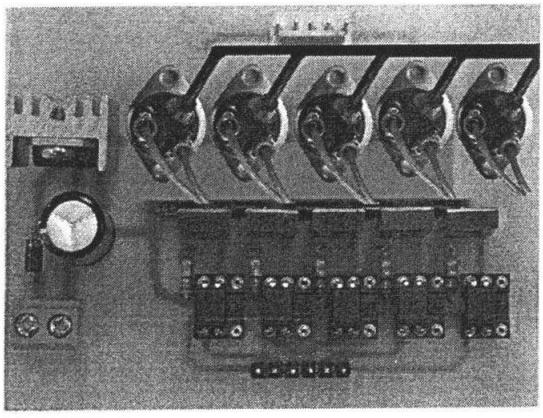
การทำงานของแผนผังการทำงาน

เมื่อเริ่มต้นโปรแกรม โปรแกรมจะทำงานอยู่ในส่วนรอกดปุ่มสร้างความถี่ หากยังไม่มีการกดปุ่มสร้างความถี่ โปรแกรมก็จะรอต่อไป แต่ถ้าหากมีการกดปุ่มสร้างความถี่ โปรแกรมก็จะทำการสร้างความถี่ให้กับวงจรขับหลอดแฟลช เพื่อให้ติด-ดับตามที่เขียนโปรแกรมไว้ ขั้นต่อไปเราก็จะมาดูว่าความถี่ที่สร้างขึ้นนั้น เหมาะสมกับการใช้งานหรือไม่ ซึ่งถ้าหากเหมาะสมเราก็จะเห็นวัตถุที่ส่องด้วยหลอดแฟลชนั้นหยุดนิ่ง แต่ถ้ายังไม่เหมาะสม เราก็สามารถปรับความถี่ขึ้นหรือลงได้จนเหมาะสม ขั้นต่อไป เมื่อได้ความถี่ที่เหมาะสม เราก็ทำการตรวจสอบพื้นผิวของวัตถุที่เราต้องการตรวจสอบ เมื่อทำการตรวจสอบเสร็จแล้ว โปรแกรมก็จะดูว่าเราจะทำงานอีกหรือไม่ ถ้าต้องการ โปรแกรมก็จะไปรอที่ส่วนรอกดปุ่มสร้างความถี่ และทำตามขั้นตอนต่างๆตามที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่ถ้าหากไม่ต้องการทำงานต่อแล้ว ก็ถือว่าสิ้นสุดการทำงาน

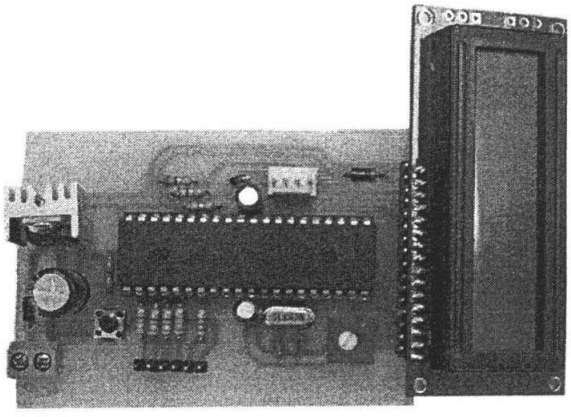
3.4 โครงสร้างทางกายภาพของอุปกรณ์

สำหรับโครงสร้างทางกายภาพของอุปกรณ์ทางกลุ่มได้ใช้โครงสร้างสำเร็จรูปจากอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วและสามารถหาซื้อได้ทั่วไปมาทำการดัดแปลงให้มีสภาพที่เหมาะกับการใช้งาน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

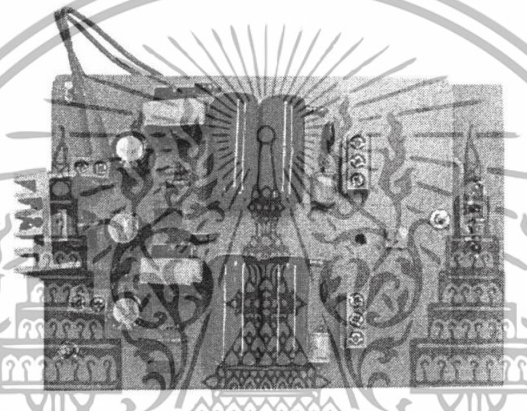
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) วงจรที่ใช้แยกกราวน์



(ข) วงจรแสดงผล



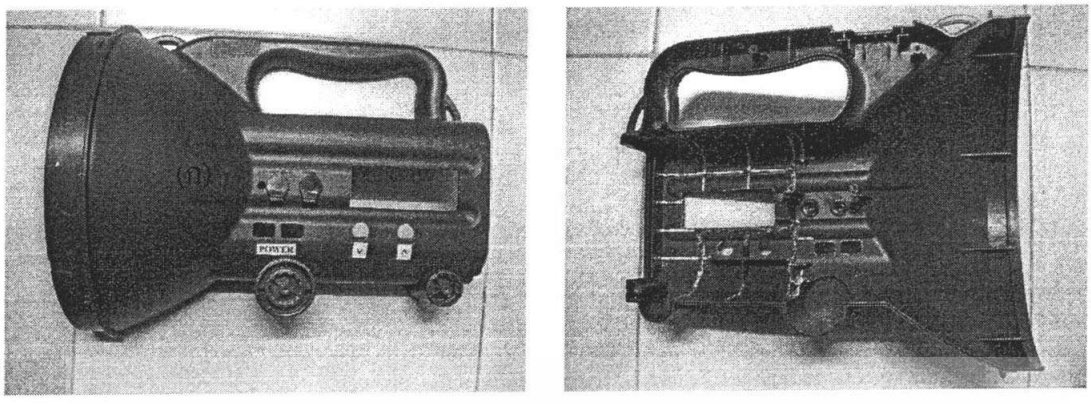
(ค) วงจรขับหลอดแฟลช

รูปที่ 3.13 วงจรทั้งหมดที่ใช้ในอุปกรณ์ตรวจสอบพื้นผิวสำหรับโรลเลอร์

3.4.1 การออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์

โครงสร้างของอุปกรณ์ที่ได้ทำการออกแบบนั้น ทางกลุ่มได้นำโครงสร้างสำเร็จรูปที่หาซื้อได้ทั่วไปซึ่งเป็นอุปกรณ์ไฟฉายขนาดใหญ่แล้วมาทำการดัดแปลงโครงสร้าง เพื่อที่จะติดตั้งจอแสดงผลแอลซีดี สวิทซ์ปรับความถี่ สวิทซ์แบตเตอรี่ วงจรต่างๆและแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นดังรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ด้านนอก (ข) ด้านใน

รูปที่ 3.14 โครงสร้างที่ได้ทำการดัดแปลงแล้วสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ต่าง

จากนั้นจึงได้ทำการออกแบบการติดตั้งหลอดแฟลชซึ่งได้ทำการดัดแปลงโคมไฟจากอุปกรณ์ไฟฉายอันเดิมให้สามารถติดตั้งหลอดแฟลชทั้ง 5 หลอดได้อย่างเหมาะสมซึ่งเป็นดังรูปที่ 3.15

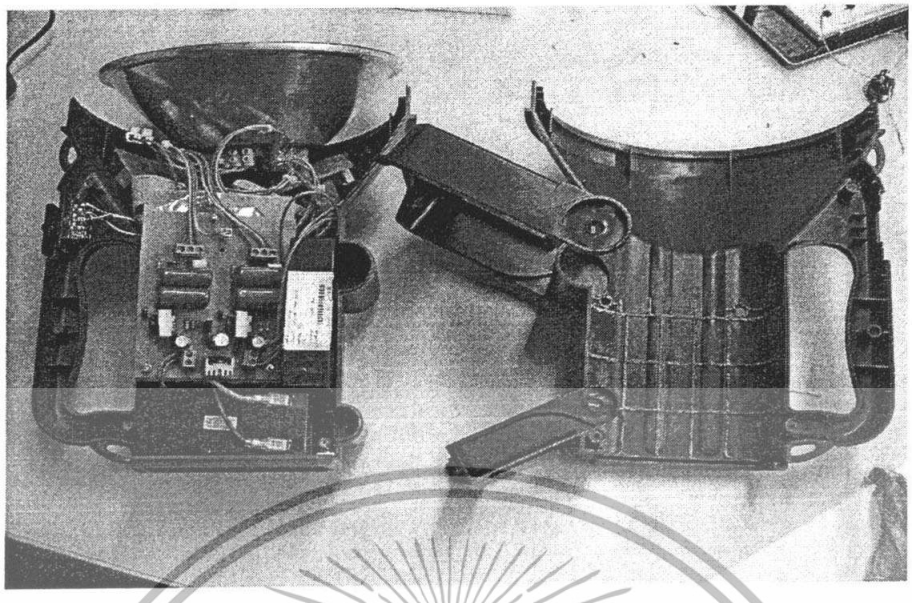
(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

รูปที่ 3.15 โคมไฟที่ดัดแปลงเพื่อติดตั้งหลอดแฟลช

3.4.2 การประกอบโครงสร้างของอุปกรณ์

เมื่อได้ทำการดัดแปลงอุปกรณ์ไฟฉายเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงนำอุปกรณ์ต่างๆ หลอดแฟลชและวงจรต่างๆ มาติดตั้ง ดังรูปที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 การติดตั้งอุปกรณ์และส่วนประกอบต่างๆภายในตัวโครงสร้าง

เมื่อได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์และส่วนประกอบต่างๆแล้วจึงทำการประกอบส่วนโครงสร้างที่เหลือก็จะได้อุปกรณ์ตรวจสอบพื้นผิวสำหรับโรลเลอร์ที่เสร็จสมบูรณ์ ดังรูปที่ 3.17

รูปที่ 3.17 อุปกรณ์ตรวจสอบพื้นผิวสำหรับโรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การตรวจสอบสภาพพื้นผิวใบพัดของพัดลมระบายความร้อน

สำหรับในการทดลองนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ตรวจสอบสภาพพื้นผิวสำหรับโรลเลอร์ว่าสามารถใช้งานได้หรือไม่ โดยการให้อุปกรณ์นี้ส่องไฟแฟลชไปที่พัดลมระบายความร้อนที่กำลังหมุนอยู่ด้วยความเร็วรอบที่ต่างกันอันเนื่องมาจากการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ให้กับพัดลมที่แตกต่างกัน ซึ่งค่าความเร็วรอบที่ได้วัดจากเครื่องมือวัดความเร็วรอบ (Digital Tachometer) ก็จะได้ค่าความเร็วรอบออกมาในหน่วย รอบ/นาที (RPM) แล้วก็นำค่าที่ได้ไปหาค่าความเร็วเชิงมุม (ω) ก็จะได้หน่วย เรเดียน/วินาที (rad/s) และจะสามารถหาค่าความถี่ได้ในหน่วยเฮิรตซ์ (Hz) ซึ่งจะสามารถหาค่าต่างๆได้จากสมการดังนี้คือ

เมื่อ 1 รอบ = 2π เรเดียน

ดังนั้น 1 รอบ/นาที = $\frac{2\pi}{60}$ เรเดียน/วินาที = ความเร็วเชิงมุม(ω)

จาก $\omega = 2\pi f$

ดังนั้น $f = \frac{\omega}{2\pi}$

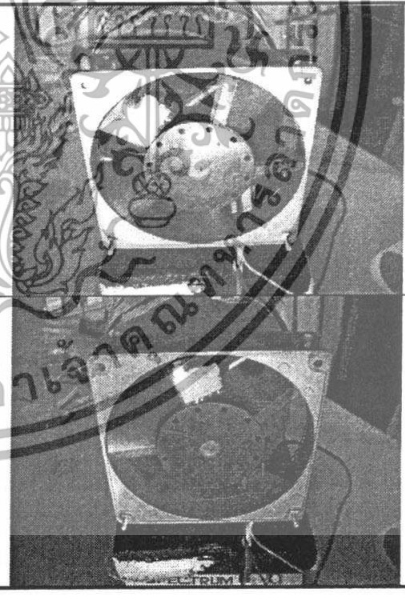
เมื่อทำการหาค่าต่างๆแล้วก็จะทราบว่าพัดลมหมุนด้วยความถี่เท่าไร แล้วจึงทำการปรับค่าความถี่ของอุปกรณ์ที่ส่องไฟแฟลชไปที่พัดลมเรื่อยๆจนสามารถเห็นใบพัดของพัดลมเสมือนหยุดนิ่งได้ชัดเจนที่สุด แล้วก็ยึดถือค่าความถี่ที่ปรับนั้นไว้เพื่อไปเปรียบเทียบกับค่าความถี่ของพัดลมที่หมุนว่าเป็นอย่างไร ซึ่งผลที่ได้ดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงการหาความถี่ในการหมุนของพัดลม

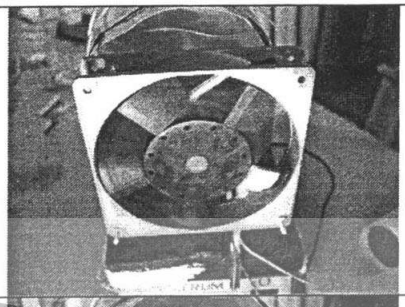
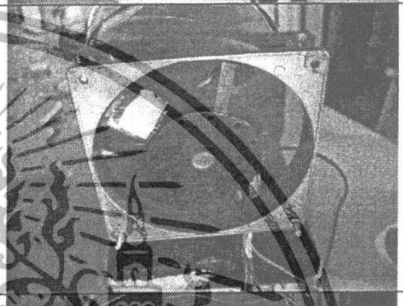
แรงดันไฟฟ้าที่จ่าย (V)	ความเร็วรอบของพัดลม		
	(RPM)	Rad/s	(Hz)
6	965.8	101.1	16.1
8	1,425	149.2	23.8
11	1,761	184.4	29.4
13	2,063	216	34.4
18	2,570	269.1	42.8

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองการตรวจสอบสภาพพื้นผิวใบพัดของพัดลมระบายความร้อน

ความถี่ของพัดลม (Hz)	ความถี่ที่ใช้งาน (Hz)	ภาพที่เห็น
16.1	7.9	
23.8	7.8	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองการตรวจสอบสภาพพื้นผิวใบพัดของพัดลมระบายความร้อน (ต่อ)

ความถี่ของพัดลม (Hz)	ความถี่ที่ใช้งาน (Hz)	ภาพที่เห็น
29.4	5.8	
34.4	5.7	
42.8	8.4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุปผล

จากการทดลองจะเห็นว่าตัวอุปกรณ์ชิ้นนี้ สามารถทำให้มองเห็นวัตถุที่กำลังหมุนอยู่เสมือนหยุดนิ่งได้จริง แต่ตอนนี้อุปกรณ์ชิ้นนี้ยังสามารถใช้ตรวจสอบพื้นผิวได้กับวัตถุที่มีขนาดไม่ใหญ่มากเท่านั้น แต่ถ้าต้องการใช้อุปกรณ์ชิ้นนี้ตรวจสอบพื้นผิววัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่านี้ ทางกลุ่มมีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับเรื่องต่างๆดังนี้

ความสว่างของหลอดแฟลช

เนื่องจากตอนนี้หลอดแฟลชที่ใช้ยังมีขนาดเล็กอยู่ทำให้เวลาทำงานจริงในสภาพที่มีแสงสว่างมากๆจะทำให้ไม่สามารถมองเห็นวัตถุที่ส่องไฟได้ชัดเจน ดังนั้นถ้าหากต้องการใช้ตรวจสอบพื้นผิววัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่านี้ก็ควรจะหาหลอดแฟลชที่มีขนาดใหญ่มาเปลี่ยน

ความถี่ในการติด-ดับ

จากที่กล่าวมาแล้วในบทนำว่ายิ่งหลอดแฟลชทำงานในความถี่ที่สูงความสว่างของหลอดแฟลชก็จะลดลง ซึ่งปัญหาจุดนี้เราอาจจะแก้ปัญหาโดยการเปลี่ยนหลอดแฟลชที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อให้ความสว่างเพิ่มขึ้น แต่การทำเช่นนี้เพียงอย่างเดียวยังไม่เพียงพอคือ เมื่อเราปรับความถี่สูงขึ้นอีกเราก็เจอปัญหาเดิมอีก ดังนั้นทางกลุ่มมีข้อเสนอแนะดังนี้คือ ควรเปลี่ยนตัวเก็บประจุที่มีการเก็บประจุและคายประจุอย่างรวดเร็ว เพื่อลดเวลาการเก็บประจุที่จะคายให้กับหลอดแฟลชหรืออาจจะใช้ไอซี(IC)ช่วยลดเวลาในการเก็บประจุ เช่น LT3750, LT3420 เป็นต้น

ความถี่ในการติด-ดับยังมีผลต่อการตรวจสอบพื้นผิวของวัตถุ เพราะเราไม่ทราบว่าวัตถุที่กำลังหมุนอยู่นั้นหมุนด้วยความถี่เท่าไร และบางครั้งเมื่อเราปรับความถี่ให้ใกล้เคียงแล้ว พอเราปรับเพิ่มหรือลดค่าความถี่อีกเพียงหนึ่งระดับภาพที่เราเห็นว่าเกือบหยุดนิ่ง ก็กลับกลายเป็นไม่นิ่ง สาเหตุที่เกิดขึ้นเนื่องจากช่วงความถี่ที่ทำการปรับเพิ่มหรือลดของอุปกรณ์มีค่าที่ไม่ละเอียดพอ ซึ่งตอนนี้ทางกลุ่มได้ออกแบบให้เพิ่มหรือลดค่าความถี่ได้ทีละ 0.1 Hz ซึ่งถ้าหากว่าจะใช้ตรวจสอบพื้นผิวให้ได้ผลดีกว่านี้ ก็ควรจะขยายช่วงการปรับเพิ่มหรือลดค่าความถี่ให้ละเอียดมากขึ้นกว่านี้เช่น การปรับเพิ่มหรือลดค่าความถี่ทีละ 0.01 Hz 0.001Hz หรือ 0.0001Hz เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

[1] ศจ. ดร. ธำรง เมธาศิริ. **ฟิสิกส์แผนใหม่.** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่ง- จุฬาลงกรณ์มหาวิลัย. 2540.

[2] มงคล ทองสงคราม. **อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: ห้างหุ้นส่วนจำกัด-วิ เจ พริ้นติ้ง.

[3] ผศ. ดร. จิรยุทธ์ มหัทธนกุล. **อิเล็กทรอนิกส์.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ท็อป. 2546.

[4] ยืน ภู่วรวรรณ. **ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์** เล่ม1. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ด-ยูเคชั่น. 2544.

[5] ณัฐพล วงสุนทรชัย, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. **เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์.** กรุงเทพมหานคร: บริษัทอิน โดเวตีฟ เอ็กเพอลิเมนต์ จำกัด.

[6] Robert T. Paynter. **Introductory Electronics Device and Circuits. International Edition.** New Jersey : Prenticc-Hall,Inc. 1997.

[7] R. M. Marston. **Power Control Circuit Manual.** Jordan Hill : Heinemann Newnes. 1990.

[8] Wikipedia. **"Strobe Light".** [Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/strobe_light. 2006.

[9] Wikipedia. **"Flash Lamp".** [Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/flash_lamp. 2006.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมและแสดงผล

โปรแกรมภาษาซี ซึ่งเขียนเพื่อใช้ในการควบคุมการติดดับของหลอดแฟลชและควบคุมการแสดงผล ดังโค้ดโปรแกรม ดังต่อไปนี้

โค้ดโปรแกรมหลัก

```
#include <16F877.h>
#device *=16
#include <math.h>
#use delay(clock=4000000)
#fuses XT,NOWDT
#byte porta=0x05
#byte portb=0x06
#byte portc=0x07
#bit run=0x06.2
#bit faster=0x06.0
#bit lower=0x06.1
#include <lcd_portd.c>
float f,i,j;
int round,on;
void after_interrupt(void)
{
    round=floor(i);
    lcd_gotoxy(13,2);
    lcd_putc("  Hz");
}
void low(void)
    {
    delay_ms(10);
    if (j==2)  j=2;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        else j=j-0.1;
        i=((1/(j*2))*1000);
         if (j<10)
         {
           lcd_gotoxy(9,2);
           printf(lcd_putc," %f",j);
         }
         else
         {
           lcd_gotoxy(9,2);
           printf(lcd_putc,"%f",j);
         }
         after_interrupt();
      }
void fast(void)
      {
      delay_ms(10);
      if (j==10.0) j=10;
      else j=j+0.1;
        i=((1/(j*2))*1000);
       if (j<10)
       {
         lcd_gotoxy(9,2);
         printf(lcd_putc," %f",j);
       }
      else
      {
        lcd_gotoxy(9,2);
        printf(lcd_putc,"%f",j);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        }
        after_interrupt();
      }
#int_ext
ext_isr()
{
  if ((faster==0)&&(lower==0))  low();
  else if ((faster==0)&&(lower==1)) fast();
}
void main() {
  setup_adc_ports(NO_ANALOGS);
  setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_2);
  setup_spi(FALSE);
  setup_psp(PSP_DISABLED);
  setup_counters(RTCC_INTERNAL,RTCC_DIV_2);
  setup_timer_1(T1_DISABLED);
  setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
  setup_ccp1(CCP_OFF);
  setup_ccp2(CCP_OFF);
  lcd_init();
  enable_interrupts(GLOBAL);
  enable_interrupts(INT_EXT);
set_tris_a(0x00);
set_tris_b(0xff);
j=2;
i=((1/(j*2))*1000);
round=floor(i);
on=30;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
while(1)
{
  porta=0x00;
  lcd_gotoxy(1,1);
  lcd_putc("\fReady");
  lcd_gotoxy(1,2);
  lcd_putc("Freq: ");
  lcd_gotoxy(9,2);
  printf(lcd_putc," %f",j);
  lcd_gotoxy(13,2);
  lcd_putc("  Hz");
  while(run==1)
    {
      lcd_putc(".");
      lcd_gotoxy(6,1);
      lcd_putc(" ");
      lcd_gotoxy(6,1);
    }
  lcd_gotoxy(1,1);
  lcd_putc("SurefaceInspect.");
  porta=0x00;
  while(run==0)
    {
      delay_ms(round);
      porta=0x01;
      delay_ms(on);
      porta=0x00;
      delay_ms((round-on));
      delay_ms(round);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            porta=0x02;
            delay_ms(on);
            porta=0x00;
            delay_ms((round-on));
            delay_ms(round);
            porta=0x04;
            delay_ms(on);
            porta=0x00;
            delay_ms((round-on));
            delay_ms(round);
            porta=0x08;
            delay_ms(on);
            porta=0x00;
            delay_ms((round-on));
            delay_ms(round);
            porta=0x20;
            delay_ms(on);
            porta=0x00;
            delay_ms((round-on));
        }
        porta=0x00;
    }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โค้ดโปรแกรมย่อยซึ่งถูกโปรแกรมหลักดึงไปใช้ (lcd_portd.c)

```
struct lcd_pin_map {
        boolean enable;
        boolean rs;
        boolean rw;
        boolean unused;
        int     data : 4;
      } lcd;
  #byte lcd = 8
#define lcd_type 2
#define lcd_line_two 0x40
byte CONST LCD_INIT_STRING[4] = {0x20 | (lcd_type << 2), 0xc, 1, 6};
STRUCT lcd_pin_map const LCD_WRITE = {0,0,0,0,0};
STRUCT lcd_pin_map const LCD_READ = {0,0,0,0,15};
byte lcd_read_byte() {
    byte low,high;
    set_tris_d(LCD_READ);
    lcd.rw = 1;
    delay_cycles(1);
    lcd.enable = 1;
    delay_cycles(1);
    high = lcd.data;
    lcd.enable = 0;
    delay_cycles(1);
    lcd.enable = 1;
    delay_us(1);
    low = lcd.data;
    lcd.enable = 0;
    set_tris_d(LCD_WRITE);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    return( (high<<4) | low);
}
void lcd_send_nibble( byte n ) {
    lcd.data = n;
    delay_cycles(1);
    lcd.enable = 1;
    delay_us(2);
    lcd.enable = 0;
}
void lcd_send_byte( byte address, byte n ) {
    lcd.rs = 0;
    while ( bit_test(lcd_read_byte(),7) ) ;
    lcd.rs = address;
    delay_cycles(1);
    lcd.rw = 0;
    delay_cycles(1);
    lcd.enable = 0;
    lcd_send_nibble(n >> 4);
    lcd_send_nibble(n & 0xf);
}
void lcd_init() {
  byte i;
  set_tris_d(LCD_WRITE);
  lcd.rs = 0;
  lcd.rw = 0;
  lcd.enable = 0;
  delay_ms(15);
  for(i=1;i<=3;++i) {
    lcd_send_nibble(3);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      delay_ms(5);
    }
    lcd_send_nibble(2);
    for(i=0;i<=3;++i)
      lcd_send_byte(0,LCD_INIT_STRING[i]);
}

void lcd_gotoxy( byte x, byte y) {
  byte address;
  if(y!=1)
    address=lcd_line_two;
  else
    address=0;
  address+=x-1;
  lcd_send_byte(0,0x80|address);
}
void lcd_putc( char c) {
  switch (c) {
    case '\f'   : lcd_send_byte(0,1);
                  delay_ms(2);
                                break;
    case '\n'   : lcd_gotoxy(1,2);       break;
    case '\b'   : lcd_send_byte(0,0x10);  break;
    default     : lcd_send_byte(1,c);     break;
  }
}
char lcd_getc( byte x, byte y) {
  char value;
  lcd_gotoxy(x,y);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    lcd.rs=1;
    value = lcd_read_byte();
    lcd.rs=0;
    return(value);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้