

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องควบคุมหลอดไฟแสงสว่างอัตโนมัติ
AUTOMATIC LAMP CONTROLLER

โดย
นายวุฒิพล ภูมิภักดิ์
นายสุวิทย์ เนตรจันทร์

๖๖๖
๖๖๖๖
๖๖๖๖

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 72201
วัน,เดือน,ปี..... 12 ส.ย. 2550

b. 117 ๖A๖15
i.

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องควบคุมหลอดไฟแสงสว่างอัตโนมัติ
AUTOMATIC LAMP CONTROLLER

โดย

นายวุฒิพล ภูมิภักดิ์ 47015261

นายสุวิทย์ เนตรจันทร์ 47015270

อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร.กิตติพล ชิตสกุล

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2549

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง เครื่องควบคุมหลอดไฟแสงสว่างอัตโนมัติ(Automatic Lamp Controller)

ผู้จัดทำ

- 1.นายวุฒิพล ภูมิภักดิ์
- 2.นายสุวิทย์ เนตรจันทร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องควบคุมหลอดไฟแสงสว่างอัตโนมัติ

Automatic Lamp Controller

นายวุฒิพล ภูมิภักดิ์ รหัส 47015261

นายสุวิทย์ เนตรจันทร์ รหัส 47015270

โครงการได้รับการตรวจสอบแล้วพร้อมที่จะทำการสอบได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องควบคุมหลอดไฟแสงสว่างอัตโนมัติ

นายวุฒิพล ภูมิภักดิ์ รหัส 47015261

นายสุวิทย์ เนตรจันทร์ รหัส 47015270

คร.กิตติพล ชิตสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ กล่าวถึงการออกแบบและสร้างเครื่องควบคุมหลอดไฟแสงสว่างอัตโนมัติ โดยใช้อุปกรณ์ไฟโรอิเล็กทรอนิกส์เซนเซอร์คอยตรวจจับอุณหภูมิความร้อน จากการเคลื่อนไหวของมนุษย์ที่มีการแผ่อุณหภูมิความร้อนออกมา ซึ่งอุณหภูมิความร้อนนี้อยู่ในย่านรังสีอินฟราเรดและจะมี LDR คอยวัดความเข้มแสงสว่างโดยรอบ จากนั้นไฟโรอิเล็กทรอนิกส์เซนเซอร์และแอลซีดี จะส่งสัญญาณให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ควบคุมการทำงานไดรแอกให้เปิดปิดหลอดไฟ

AUTOMATIC LAMP CONTROLLER

Mr.Wuttipol Phoomiphug ID.47015261

Mr.Suwit Natjun ID.47015270

Dr.Kitiphol Chitsakul (Advisor)

Educational Year 2006

ABSTRACT

This thesis presents a design of automatic lamp controller. Pyroelectric sensor detects human body movement that dissipates heat in the infrared range together with LDR to measure rounding light intensity. Pyroelectric sensor and LDR signals are transmitted to microcontroller to switch on-off light a triac.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้จัดทำสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ก็เนื่องมาจากได้รับการช่วยเหลือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกันโดยบุคคลแรกที่ขอกล่าวถึงก็คือ ดร.กิตติพล ชิตสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

อีกทั้งต้องขอขอบคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้ให้การอุปการะเลี้ยงดูผู้จัดทำปริญญานิพนธ์นี้เป็นอย่างดีมาโดยตลอด พร้อมทั้งให้โอกาสทางการศึกษาอย่างเต็มที่และยังคอยให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้าน อันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายวุฒิพล ภูมิภักดิ์
นายศุวิทย์ เนตรจันทร์

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 ลักษณะของโครงการ	1
1.3 เนื้อหาของรายงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (แสง) อุปกรณ์เซนเซอร์และควบคุมกำลังงานไฟฟ้า	3
2.1 ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (แสง)	3
2.1.1 สมการแมกซ์เวลล์	3
2.1.2 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	8
2.1.3 ธรรมชาติของแสง	10
2.1.4 การสะท้อนของแสง	11
2.1.5 การหักเหของแสง	12
2.2 อุปกรณ์เซนเซอร์และควบคุมกำลังงานไฟฟ้า	14
2.2.1 ไพโรอิเลกทริกเซนเซอร์	14
2.2.2 แอลดีฮา	18
2.2.3 ไตรแอก	21
2.2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC	26
บทที่ 3 การสร้างและการออกแบบ	30
3.1 ภาคตรวจจับการเคลื่อนไหวมนุษย์	30
3.2 ภาคตรวจวัดแสงสว่าง	32
3.3 ภาคควบคุมการเปิดปิดหลอดไฟ	32

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 4 การทดลอง	35
4.1 การทดลองภาคตรวจจับการเคลื่อนไหวยามนุษย์	35
บทที่ 5 บทสรุป	38
5.1 สรุป	38
5.2 ปัญหาอุปสรรคและแนวทางแก้ไข	38
5.3 แนวทางการพัฒนา	38

ภาคผนวก

เอกสารอ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความยาวคลื่นและความถี่ของแสงที่ตามองเห็นได้	9
ตารางที่ 2.2 ความเร็วของแสง และดัชนีหักเหของสารต่าง ๆ (เมื่อใช้แสงสีเหลืองผ่าน)	14



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองของเอิร์ตซ์	6
รูปที่ 2.2 แสดงสมการคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งพิกัด x และ t	7
รูปที่ 2.3 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	10
รูปที่ 2.4 (ก) การสร้างหน้าคลื่นใหม่ของคลื่นระนาบ (ข) การสร้างหน้าคลื่นใหม่ของคลื่นแบบทรงกลม	11
รูปที่ 2.5 การสะท้อนแสง	11
รูปที่ 2.6 แสดงสะท้อนจากจุด A ไปยัง B โดย AOB เป็นเส้นทางที่สั้นที่สุด	12
รูปที่ 2.7 แสดงหักเหเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน	13
รูปที่ 2.8 ลักษณะ PIR (Passive Infrared detector)	15
รูปที่ 2.9 วงจรเสมือนภายใน PIR (Passive Infrared detector)	15
รูปที่ 2.10 โครงสร้างภายใน PIR (Passive Infrared detector)	16
รูปที่ 2.11 การตรวจจับความเคลื่อนไหว	16
รูปที่ 2.12 ผลตอบสนองทางความถี่	17
รูปที่ 2.13 การตอบสนองต่อการตรวจจับการเคลื่อนไหวทั้งทางแนวอน และทางแนวตั้ง	17
รูปที่ 2.14 ลักษณะการตรวจจับการเคลื่อนไหวที่มีประสิทธิภาพ	18
รูปที่ 2.15 โครงสร้างของ LDR	18
รูปที่ 2.16 สมบัติทางแสงของ LDR	20
รูปที่ 2.17 ผลตอบสนองทางไฟฟ้าของ LDR	20
รูปที่ 2.18 สัญลักษณ์และรูปร่างของไครเอค	21
รูปที่ 2.19 ก. สัญลักษณ์ของไครเอค ข. การใช้งานพื้นฐาน	21
รูปที่ 2.20 แสดงการทำงานของไครเอคในแต่ละควอดแดรนต์	22
รูปที่ 2.21 ลักษณะสมบัติไครเอค	23
รูปที่ 2.22 การเปลี่ยนแปลงค่าของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่โหลด โดยกำหนดได้จากตำแหน่งเวลาของการทริกที่ให้แก่ไครเอค	24
รูปที่ 2.23 การทริกมุกที่ประมาณ 25% ของคาบเวลา	25
รูปที่ 2.24 การทริกมุกที่ประมาณ 50% ของคาบเวลา	25
รูปที่ 2.25 การทริกมุกที่ประมาณ 75% ของคาบเวลา	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.26 แสดงสถาปัตยกรรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877	28
รูปที่ 2.27 แสดงตัวถังของ CPU PIC 16F877 และการจัดวางตำแหน่ง ขาสัญญาณต่าง ๆ	28
รูปที่ 2.28 แสดงลักษณะการเกิดอินเตอร์รัพท์จากภายนอก RBO/INT	29
รูปที่ 3.1 ภาคตรวจจับการเคลื่อนไหวมนุษย์	30
รูปที่ 3.2 วงจรภายในของ IC LM324	31
รูปที่ 3.3 ภาคตรวจวัดแสงสว่าง	32
รูปที่ 3.4 ภาคควบคุมการเปิดปิดหลอดไฟ	33
รูปที่ 3.5 ลักษณะตำแหน่งใช้งานของโครงการ	33
รูปที่ 3.6 ลักษณะของโครงการ	34
รูปที่ 3.7 ลักษณะภายในของโครงการ	34
รูปที่ 4.1 ไม่มีการเคลื่อนไหวของมนุษย์ผ่านไฟโรดิเล็คทริกเซนเซอร์	35
รูปที่ 4.2 มีการเคลื่อนไหวของมนุษย์ผ่านไฟโรดิเล็คทริกเซนเซอร์ ทางแนวนอนของเซนเซอร์ ระยะ 1 เมตร	35
รูปที่ 4.3 มีการเคลื่อนไหวของมนุษย์ผ่านไฟโรดิเล็คทริกเซนเซอร์ ทางแนวนอนของเซนเซอร์ ระยะ 1.50 เมตร	36
รูปที่ 4.4 มีการเคลื่อนไหวของมนุษย์ผ่านไฟโรดิเล็คทริกเซนเซอร์ ทางแนวนอนของเซนเซอร์ ระยะ 2 เมตร	36
รูปที่ 4.5 มีการเคลื่อนไหวของมนุษย์ผ่านไฟโรดิเล็คทริกเซนเซอร์ ทางแนวตั้งของเซนเซอร์ ระยะ 1 เมตร	37
รูปที่ 4.5 มีการเคลื่อนไหวของมนุษย์ผ่านไฟโรดิเล็คทริกเซนเซอร์ ทางแนวตั้งของเซนเซอร์ ระยะ 2 เมตร	37

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

จากสภาพสังคมปัจจุบันพลังงานทุกอย่างล้วนแต่มีปริมาณที่ลดลงเช่น ก๊าซ น้ำมัน ต่างๆ แต่ในทางกลับกันความต้องการใช้พลังงานกลับยิ่งเพิ่มขึ้นแต่การใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นนี้เชื่อว่าจะเป็นการใช้ที่คุ้มค่า ซึ่งมีพลังงานจำนวนไม่น้อยที่ถูกใช้โดยไม่จำเป็นและไม่เกิดประโยชน์สูงสุด พลังงานไฟฟ้านับว่าเป็นพลังงานอีกชนิดหนึ่งที่มีการใช้อย่างฟุ่มเฟือย ไม่ประหยัด ซึ่งบ่อยครั้งเราจะเห็นสถานที่เหล่านั้นมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ไม่จำเป็น เช่น ทางเดินภายในหอพัก ห้องเช่าหรือ คอนโด ห้องน้ำสาธารณะต่าง ๆ เช่น ห้องน้ำโรงเรียน ห้องน้ำห้างสรรพสินค้า ห้องน้ำสวนสาธารณะ เป็นต้น ซึ่งสถานที่ที่กล่าวมานี้เราจะมีเปิดหลอดไฟทิ้งไว้โดยไม่จำเป็น ทั้งที่ไม่มีผู้ใช้งานในสถานที่นั้นหรือมีความสว่างเพียงพอเราก็ยังเปิดหลอดไฟ ซึ่งอาจจะมาจากความเคยชินของของสังคมที่มีความคิดลักษณะที่ว่าของสาธารณะเราใช้ไปเลย เราไม่ได้เสียเงินถึงแม้จะมีการบอกแล้วก็ตามเช่น เข้าห้องน้ำเสร็จแล้วกรุณาปิดไฟด้วย จากลักษณะที่กล่าวมานี้เราจึงได้ทำโครงการที่มีส่วนช่วยในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าคือ เครื่องควบคุมหลอดไฟแสงสว่างอัตโนมัติ (Automatic Lamp Controller) ซึ่งเครื่องนี้จะมีส่วนช่วยในการควบคุมการเปิดปิดหลอดไฟอัตโนมัติ

ซึ่งถ้าหากเรานำเครื่องนี้ไปใช้งานก็จะมีส่วนช่วยให้ประเทศของเราประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้อีกทางหนึ่ง

1.2 ลักษณะของโครงการ

สำหรับโครงการเครื่องควบคุมหลอดไฟแสงสว่างอัตโนมัติ (Automatic Lamp Controller) นี้จะมีอุปกรณ์คอยตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์คือ ไฟโรอิเล็กทริกเซนเซอร์ ซึ่งมนุษย์เรานี้จะมีการปล่อยรังสีอินฟราเรดออกมาหรือรังสีความร้อน จากนั้นเมื่อเรามีการเคลื่อนไหวในแนวการตรวจจับของไฟโรอิเล็กทริกเซนเซอร์ ไฟโรอิเล็กทริกเซนเซอร์จะส่งสัญญาณออกมาในลักษณะสัญญาณคลื่นรูปไซน์ซึ่งความถี่จากผลของการตรวจจับความเคลื่อนไหวจะอยู่ในช่วง 0.3-3 เฮิรตซ์ มีความแรงเพียง 1 มิลลิโวลต์ที่กุกุก จากนั้นเราก็นำสัญญาณที่ได้เข้าออปแอมป์เพื่อขยายสัญญาณให้แรงขึ้นและเข้าวงจรคอมพารเรเตอร์เพื่อให้ได้แรงดันระดับต่ำกับสูง (Low Voltage, High Voltage) และจะมีอุปกรณ์อีกตัวคือแอลดีอาคอยวัดแสงสว่างโดยรอบ เมื่อมีแสงสว่างแอลดีอาจะมีความต้านทานต่ำ เมื่อต่อเข้าออปแอมป์จะให้แรงดันระดับสูง (High Voltage) และเมื่อถึงตอนค่ำไม่มีแสงสว่างแอลดีอาจะให้ความต้านสูง เมื่อต่อเข้าออปแอมป์จะให้แรงดันระดับต่ำ (Low Voltage)

จากนั้นสัญญาณจากไฟโรอิเล็กทริกเซนเซอร์และแอลดีอา ก็จะส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้เป็นตระกูล PIC เบอร์ 16F877 ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณให้วงจรควบคุมการเปิดปิดไฟ ซึ่งเป็นวงจรหรีไฟโดยใช้คุณสมบัติการทำงานของไทรแอกที่สามารถทำงานที่มุม 0-180 องศาได้ ซึ่งเงื่อนไขการเปิดไฟจะเปิดไฟเมื่อมีการเดินผ่านบริเวณนั้นและมีแสงสว่างไม่เพียงพอบริเวณนั้น แต่ถ้ามีการเดินผ่านบริเวณนั้นแล้วมีแสงสว่างเพียงพอก็จะไม่เปิดไฟ

1.3 เนื้อหาของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นผลการศึกษาและทดลองเพื่อการออกแบบสร้าง เครื่องควบคุมหลอดไฟแสงสว่างอัตโนมัติ ซึ่งเนื้อหาของรายงานฉบับนี้จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ แยกเป็นบทต่าง ๆ ได้ดังนี้

- บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาของโครงการ
- บทที่ 2 กล่าวถึง ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (แสง) อุปกรณ์เซนเซอร์และควบคุมกำลังงานไฟฟ้า
- บทที่ 3 กล่าวถึง การสร้างและการออกแบบ โดยแยกเป็นภาคต่าง ๆ
- บทที่ 4 กล่าวถึง การทดลองและผลของการทดลอง
- บทที่ 5 บทสรุป

บทที่ 2

ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (แสง) อุปกรณ์เซนเซอร์และควบคุมกำลังงานไฟฟ้า

2.1 ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (แสง)

ในยุคนั้นเชื่อกันว่า ปรากฏการณ์ไฟฟ้าและแม่เหล็กเป็นปรากฏการณ์ที่แยกจากกัน อย่างเด็ดขาด จนถึง ค.ศ. 1865 เจมส์ เคลิร์ก แมกซ์ เวลล์ (James Clerk Maxwell) ได้เสนอสมการเกี่ยวกับทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า 4 สมการ และยังทำนายด้วยว่าสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าสามารถเดินทางร่วมกันในอวกาศได้ เรียกว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งในสมัยนั้นยังไม่มี การค้นพบคลื่นวิทยุ และยังไม่มีการทราบว่าแสงก็จัดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง

2.1.1 สมการแมกซ์เวลล์

สมการแมกซ์เวลล์ทั้งสี่สมการ ได้มาจากการรวบรวมกฎที่สำคัญซึ่งเป็นรากฐานของวิชาแม่เหล็กไฟฟ้า แล้วใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์สร้างเป็นสมการ รายละเอียดของแต่ละสมการมีดังนี้

1. สมการแรกจะเป็นกฎของเกาส์สำหรับสนามไฟฟ้า กล่าวว่ามีฟลักซ์ทั้งหมด (Φ_E) ผ่านพื้นที่ผิวปิดจะมีค่าเท่ากับประจุสุทธิภายในผิวปิดนั้นเสมอ ดังสมการ

$$\Phi_E = \epsilon_0 \int_S \vec{E} \cdot d\vec{s} = q \quad (2.1)$$

สมการนี้แสดงให้เห็นว่าเส้นแรงของสนามไฟฟ้าจะมีลักษณะเปิด เส้นแรงจะเริ่มต้นจากประจุบวกไปยังประจุลบ แรงทางไฟฟ้าสถิตสามารถหาได้จากกฎของคูลอมบ์ ประจุไฟฟ้าอิสระในธรรมชาติมีได้ทั้งประจุบวกหรือประจุลบ

จากคณิตศาสตร์ในเรื่องเวกเตอร์วิเคราะห์ การอินทิเกรตรอบผิวปิดใด ๆ สามารถเขียนแทนได้ด้วยอินทิเกรตเชิงปริมาตร โดยใช้ทฤษฎีไดเวอร์เจนซ์ (divergence theorem) ดังนี้

$$\oint_S \vec{A} \cdot d\vec{s} = \int_V (\nabla \cdot \vec{A}) dV \quad (2.2)$$

จากสมการ (2.1) เปลี่ยนประจุ q ให้อยู่ในรูปของความหนาแน่นประจุ (ρ) คูณด้วยปริมาตรย่อยเล็ก ๆ (dV) จะได้

$$q = \int_V \rho dV$$

กฎของเกาส์ในสมการ (2.1) จะกลายเป็น

$$\epsilon_0 \int_V (\nabla \cdot \vec{E}) dV = \int_V \rho dV$$

สมการนี้เป็นจริงเสมอที่ทุก ๆ จุดใด ๆ ในปริมาตร เขียนให้อยู่ในรูปสมการเชิงอนุพันธ์ได้ดังนี้

$$\nabla \cdot \vec{E} = \rho / \epsilon_0 \quad (2.3)$$

2. สมการที่ 2 ของแมกซ์เวลล์ จะเป็นกฎของเกาส์สำหรับสนามแม่เหล็ก เพราะว่าเส้นแรงแม่เหล็กจะเป็นวงปิดเสมอ เส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งเข้าผิวปิดจึงมีค่าเท่ากับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งออกจากผิวปิด จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านผิวปิดหนึ่ง ๆ จึงมีค่าเป็นศูนย์ นั่นคือ

$$\phi_E = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0 \quad (2.4)$$

อาศัยทฤษฎีไดเวอร์เจนซ์จะได้

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.5)$$

สมการ (2.5) แสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่างสนามแม่เหล็กและไฟฟ้า เราไม่สามารถพบขั้วแม่เหล็กอิสระ(แม่เหล็กที่ขั้วเหนือหรือขั้วใต้เพียงอย่างเดียว) เหมือนกันที่ได้พบประจุอิสระ

3. สมการที่ 3 เป็นสมการเกี่ยวกับการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงค่าสนามแม่เหล็กทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ หรือทำให้เกิดสนามไฟฟ้าได้

จากกฎของฟาราเดย์จะได้

$$\text{แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำรอบวงจรปิด} = - \frac{\partial \phi_B}{\partial t}$$

$$\text{หรือ} \quad \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{\partial \int \vec{B} \cdot d\vec{s}}{\partial t} \quad (2.6)$$

อาศัยทฤษฎีของสโตกส์ (Stoke's Theorem) จากเรื่องเวกเตอร์วิเคราะห์ ซึ่งเปลี่ยนรูปการอินทิเกรตรอบเส้นปิดให้เป็นการอินทิเกรตเชิงพื้นที่ได้ดังนี้

$$\oint_L \vec{A} \cdot d\vec{l} = \int_S (\nabla \times \vec{E}) \cdot d\vec{s} \quad (2.7)$$

สมการ (2.6) จึงเปลี่ยนรูปได้ใหม่เป็น

$$\int_S (\nabla \times \vec{E}) \cdot d\vec{s} = - \frac{\partial \int \vec{B} \cdot d\vec{s}}{\partial t} \quad (2.8)$$

สมการ (2.8) เป็นจริงเสมอกับทุก ๆ ผิวข้อย ds เขียนให้อยู่ในรูปเชิงอนุพันธ์จะได้เป็น

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.9)$$

4. สมการที่ 4 เป็นกฎของแอมแปร์ ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I \quad (2.10)$$

สมการ (2.10) หมายถึงการหมุนเวียนของสนามแม่เหล็กไปตามเส้นปิดล้อม L จะเท่ากับ กระแสที่ไหลผ่านพื้นที่ที่ถูกปิดล้อมด้วยเส้นปิดนั้นเสมอ สมการนี้ใช้ได้เฉพาะกรณีที่สนามแม่เหล็กและกระแสไฟฟ้าไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา

แต่ถ้าบริเวณนั้น การเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ไฟฟ้าหรือขนาดประจุมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับเวลาจะต้องคิดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในกรณีนี้ด้วยกระแสไฟฟ้านี้มีชื่อเรียกว่า “กระแสไฟฟ้าการขจัด” (displacement current, I_d)

กระแสไฟฟ้าการขจัดหาได้จากสูตร

$$\begin{aligned} I_d &= \frac{\partial \phi_E}{\partial t} \\ &= \frac{d}{dt} \int (\epsilon_0 \vec{E} \cdot d\vec{s}) \end{aligned} \quad (2.11)$$

เมื่อรวมกระแสการขจัดเข้าไปด้วยสมการ (2.10) จะได้เป็น

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 (I + I_d) \quad (2.12)$$

แทนค่า $I = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$ และ I_d จากสมการ (2.11)

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left(\int \vec{J} \cdot d\vec{s} + \int \frac{d}{dt} (\epsilon_0 \vec{E} \cdot d\vec{s}) \right)$$

ใช้ทฤษฎีของสโตกส์สมการ (2.7)

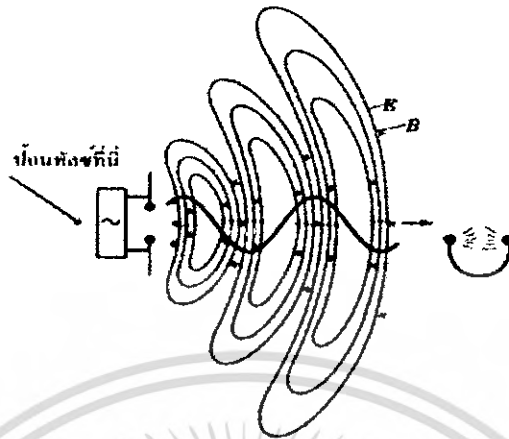
$$\int_S (\vec{\nabla} \times \vec{B}) \cdot d\vec{s} = \mu_0 \left(\int \vec{J} \cdot d\vec{s} + \int \frac{d}{dt} (\epsilon_0 \vec{E} \cdot d\vec{s}) \right)$$

เขียนให้อยู่ในรูปเชิงอนุพันธ์จะได้

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (2.13)$$

เมื่อเปรียบเทียบกับสมการ (2.13) กับสมการ (2.9) จะเห็นว่ามีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก ถ้าให้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (\vec{J}) ในสมการ (2.13) มีค่าเท่ากับศูนย์ จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก เช่นเดียวกับสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงทำให้เกิดสนามไฟฟ้าหรือแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

หลังจากแมกซ์เวลล์ได้เสนอสมการแมกซ์เวลล์ 4 สมการและทำนายว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีจริง ผู้ที่ตรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคนแรกยืนยันคำทำนายของแมกซ์เวลล์คือ เฮิร์ต (Heinrich Hertz) โดยทดลองในปี ค.ศ. 1887 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยขดลวด



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองของเฮิร์ตซ์

เหนี่ยวนำเชื่อมต่อกับโลหะทรงกลม 2 ลูก ซึ่งวางใกล้กันมาก จะทำหน้าที่คล้ายกับเป็นตัวเก็บประจุอุปกรณ์ชุดนี้ทำหน้าที่คล้ายวงจร LC ของเครื่องส่งคลื่นวิทยุ การสั่นแกว่ง (oscillate) ของคลื่นเกิดขึ้นได้โดยป้อนความต่างศักย์เป็นคลื่นช่วงสั้น ๆ (pulse) เข้าไปที่ขดลวดตัวนำ จะเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ประมาณ 100 MHz จากนั้นเฮิร์ตซ์สร้างวงจรขึ้นมาอีกวงหนึ่ง ประกอบด้วยขดลวดเพียงขดเดียว ที่ปลายขดลวดมีทรงกลมตัวนำวางไว้ใกล้ๆ กันวงจรชุดนี้ทำหน้าที่คล้ายเครื่องรับคลื่น เฮิร์ตซ์พบอีกว่าวงจรรับคลื่นจะสามารถรับคลื่นได้ก็ต่อเมื่อความถี่ที่ส่งมานั้นเป็นความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรรับคลื่นพอดี ถ้าความต่างศักย์บนขดลวดรับคลื่นมีค่าสูงจะทำให้เกิดประกายไฟกระโดดข้ามระหว่างทรงกลมทั้งสอง

การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า พลังงานสามารถส่งผ่านจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้โดยอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

การเขียนสมการเพื่อ แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำได้โดยนำสมการแมกซ์เวลล์บางสมการมาจัดรูปใหม่ เริ่มต้นด้วยสมการ (2.9) ใช้วิธีการเคิร์ล (curl) กับสมการนี้ทั้งสองข้าง

$$\nabla \times (\nabla \times \vec{E}) = -\frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times \vec{B})$$

แทนเทอมด้านขวามือด้วยสมการ (2.13) ในตัวกลางที่เป็นอวกาศ ความหนาแน่นกระแส (J) = 0

$$\begin{aligned} \nabla \times (\nabla \times \vec{E}) &= -\frac{\partial}{\partial t} (\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}) \\ \text{เพราะว่า } \nabla \times (\nabla \times \vec{E}) &= \nabla (\nabla \cdot \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในอวกาศไม่ประจุอิสระ ($\rho=0$) ดังนั้น $\nabla \cdot \vec{E} = 0$

$$\text{จะได้} \quad \nabla^2 \vec{E} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (2.14)$$

สมการ (2.14) เป็นสมการคลื่นที่มีสนามไฟฟ้าเป็นตัวแปรกับตำแหน่งแม่เหล็กที่แปรตามตำแหน่งและเวลาเช่นเดียวกัน

$$\nabla^2 \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \quad (2.15)$$

เมื่อเทียบกับสมการคลื่นทั่วไป ใน 3 มิติ $f(r, t)$ คือ

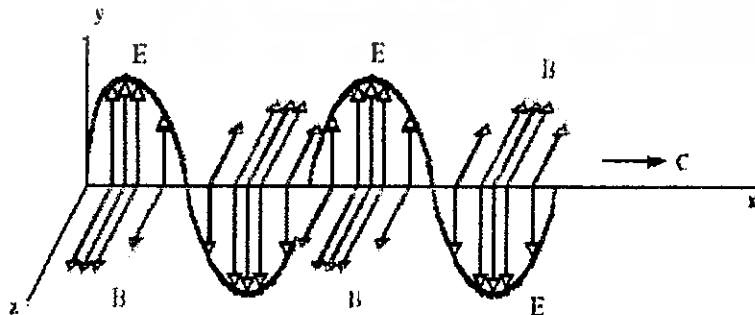
$$\nabla^2 f = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 f}{\partial t^2} \quad (2.16)$$

เมื่อ v คือความเร็วของคลื่น

ให้ c เป็นความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ของเทอมด้านขวามือของสมการ (2.15) และ (2.16) จะเห็นว่า

$$\begin{aligned} c &= \frac{1}{\sqrt{(4\pi \times 10^{-7})(8.8542 \times 10^{-12})}} \\ &= 2.998 \times 10^8 \text{ m/s} \end{aligned}$$

สมการ (2.15) และ (2.16) เป็นสมการอนุพันธ์ซึ่งแสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นระนาบ (plane wave) สนามแม่เหล็ก \vec{B} และสนามไฟฟ้า \vec{E} จะแปรค่าตามตำแหน่งพิกัด (x, y, z) และเวลา t แนวการเปลี่ยนค่าของ \vec{E} และ \vec{B} จะตั้งฉากซึ่งกันและกัน และตั้งฉากกับทิศทางเคลื่อนที่ เพราะแนวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นมีทิศตั้งฉากซึ่งกันและกัน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงจัดเป็นคลื่นตามขวาง (transverse wave)



รูปที่ 2.2 แสดงสมการคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งพิกัด x และ t

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อหาคำตอบสมการอนุพันธ์ (2.15) และ (2.16) จะได้ฟังก์ชันคลื่นระนาบที่มีความถี่ $f = \omega/2\pi$ และ $\lambda = 2\pi/k$ ดังนี้

$$E = E_0 \sin(kx - \omega t)$$

$$E = B_0 \sin(kx - \omega t)$$

เมื่อ E_0 และ B_0 คือแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กตามลำดับความสัมพันธ์ของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กคือ

$$n|E| = c|B|$$

เมื่อ n คือดัชนีหักเหของตัวกลางที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านสำหรับสุญญากาศ $n = 1$

2.1.2 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ความเร็ว (v) ความถี่ (f) และความยาวคลื่น (λ) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความสัมพันธ์เหมือนกับคลื่นชนิดอื่น ๆ คือ

$$v = f\lambda \quad (2.17)$$

ความถี่ของคลื่นจะเป็นปฏิภาคผกผันกับความยาวคลื่น เราสามารถแบ่งประเภทของคลื่นแม่เหล็กโดยอาศัยความถี่เป็นหลัก เรียกว่าสเปกตรัม (spectrum) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบ่งเป็น

1. คลื่นวิทยุโทรทัศน เป็นคลื่นที่ใช้ส่ง-รับวิทยุโทรทัศน มีความถี่ตั้งแต่ 2-3 Hz ไปจนถึง 10^9 Hz คลื่นวิทยุในช่วง AM (Amplitude Modulation) มีความถี่พาหะอยู่ระหว่าง 530 KHz ถึง 1600 KHz คลื่นวิทยุ FM (Frequency Modulation) มีความถี่ในช่วง 88 MHz ถึง 108 MHz คลื่นวิทยุ-โทรทัศนนี้ทำให้เกิดได้โดยอาศัยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากฟ้าผ่าจะมีความถี่ในย่านนี้เช่นกัน

2. ไมโครเวฟ (Microwave) มีความยาวคลื่นในช่วง 1 มิลลิเมตร ถึง 30 มิลลิเมตร หรือความถี่ 10^9 Hz ถึง 3×10^{11} Hz สามารถผลิตคลื่นชนิดนี้ได้โดยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เราใช้คลื่นไมโครเวฟในการประกอบอาหารเพราะความถี่ในช่วงไมโครเวฟเป็นความถี่ธรรมชาติของโมเลกุลของน้ำ พลังงานที่โมเลกุลของน้ำได้รับจะกลายเป็นความร้อนทำให้อาหารสุกไมโครเวฟใช้ทำเรดาร์ (RADAR, Radio Detection and Ranging) ซึ่งใช้ในการตรวจรับเครื่องบินและการจราจร

3. รังสีอินฟราเรด (Infrared Wave) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเป็นรังสีความร้อน มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 1 มิลลิเมตรถึง 7×10^7 เมตร หรือความถี่ตั้งแต่ 3×10^{11} Hz ถึง 4×10^{14} Hz วัตถุเมื่อได้รับรังสีนี้จะร้อนขึ้นเพราะพลังงานของคลื่นจะทำให้อะตอมมากขึ้น

รังสีอินฟราเรดสามารถผ่านหมอกควันได้ดีกว่าแสงที่ตามองเห็น จึงมีการพัฒนาฟิล์มที่ไวต่อแสงอินฟราเรด เมื่อถ่ายภาพภูมิประเทศจากเครื่องบินหรือดาวเทียม โดยใช้ฟิล์มชนิดนี้จะ

มองเห็นความแตกต่างและรายละเอียดของพื้นดินได้มากกว่าฟิล์มปกติ เช่น สามารถจำแนกทุ่งเขา
โทดและทุ่งข้าวสาลีได้ เพราะรัศมีทั้งสองแผ่รังสีความร้อนที่มีความยาวคลื่นต่างกัน

กล้องโทรทรรศน์บางชนิดสามารถรับรังสีอินฟราเรดและเปลี่ยนภาพที่เกิดจากรังสีอินฟราเรด
นี้เป็นคลื่นแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้ รายละเอียดของภาพจะต่างไปจากภาพที่เห็นทั่วไปตรงส่วนที่
ไม่มีเส้นผ่าปกคลุมจะสว่างมากกว่าปกติ ในทางการแพทย์การตรวจร่างกายด้วยรังสีอินฟราเรดจะ
เห็นตำแหน่งที่ให้รังสีความร้อนมากกว่าปกติ ตำแหน่งตรงนั้นมีแนวโน้มที่เนื้อเยื่อเจริญแบบ
ผิดปกติ

4. แสงที่ตามองเห็นได้ (Visible light) มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 4,000 ถึง 7,000 แอง
สตรอม (1 แองสตรอม = 10^{-10} เมตร) หรือความถี่อยู่ในช่วง 4×10^{14} Hz ถึง 8×10^{14} Hz
เพราะความถี่ที่แตกต่างกันทำให้ตามนุษย์มองเห็นเป็นสีต่าง ๆ กัน ประสาทตาของมนุษย์จะไวต่อ
แสงสีเหลืองแกมเขียว ซึ่งมีความยาวคลื่น 5.6×10^{-7} เมตร มากที่สุด

ความยาวคลื่นและความถี่ของแสงที่ตามองเห็นได้แยกเป็นตารางดังนี้

สี	ความยาวคลื่น (10^{-7} m)	ความถี่ (10^{14} Hz)
ม่วง	3.90 – 4.55	7.69 – 6.59
น้ำเงิน	4.55 – 4.92	6.59 – 6.10
เขียว	4.92 – 5.77	6.10 – 5.20
เหลือง	5.77 – 5.97	5.20 – 5.03
ส้ม	5.97 – 6.22	5.03 – 4.82
แดง	6.22 – 7.80	4.82 – 3.84

ตารางที่ 2.1 ความยาวคลื่นและความถี่ของแสงที่ตามองเห็นได้

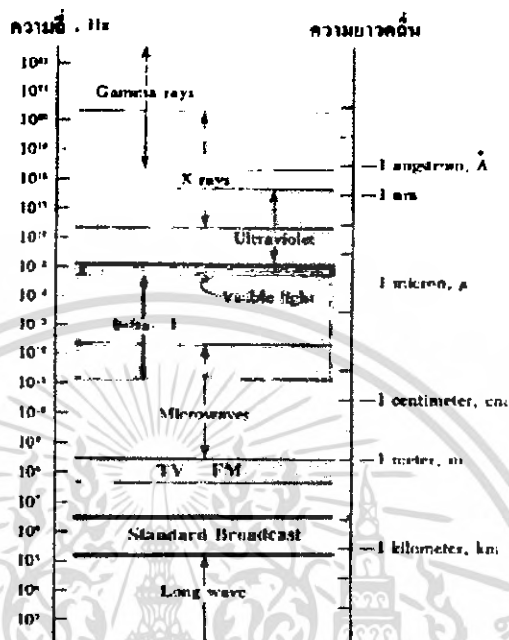
5. รังสีอุลตราไวโอเลต (Ultraviolet light) มีความยาวคลื่นในช่วง 60 นาโนเมตร ถึง
380 นาโนเมตร หรือความถี่ในช่วง 8×10^4 Hz ถึง 3×10^{17} Hz รังสีนี้ส่วนใหญ่ได้มาจากดวง
อาทิตย์ ถ้ามนุษย์ได้รับรังสีนี้เป็นจำนวนมากจะเป็นอันตรายได้ ถ้าได้รับเป็นจำนวนน้อย ๆ จะทำ
ให้ผิวหนังเป็นสีน้ำตาล ชั้นบรรยากาศที่สูงจากพื้นโลกจะมีโอโซน (O_3) ช่วยป้องกันรังสีนี้

รังสีอุลตราไวโอเลตใช้ฆ่าเชื้อโรค หลอดอุลตราไวโอเลตตามโรงพยาบาลใช้ในการอบฆ่า
เชื้อ เครื่องมือผ่าตัด และห้องผ่าตัด เราใช้หลอดไฟอุลตราไวโอเลตที่มีความเข้มต่ำส่องเหนือชั้น
วางของชำและเนื้อสดเพื่อลดปริมาณการเน่าเสีย

6. รังสีเอ็กซ์ (X-rays) มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 10^{-4} เมตร จนถึง 10^{-8} เมตร หรือมี
ความถี่ตั้งแต่ 3×10^{13} Hz ถึง 3×10^{22} Hz พบรังสีนี้จากการแผ่รังสีของสารกัมมันตรังสีและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู สามารถทะลุและทำลายเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิต เราสามารถใช้สีแกมมาในการรักษาโรคมะเร็งได้



รูปที่ 2.3 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.1.3 ขบวนการของแสง

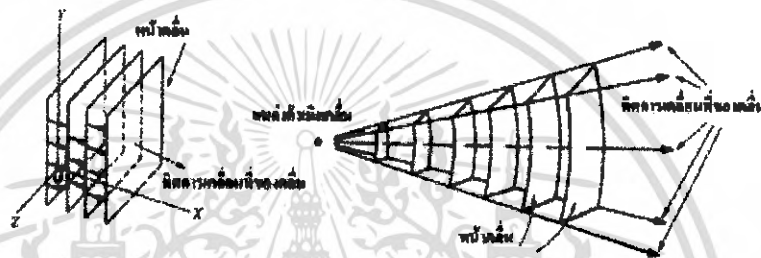
แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประเภทหนึ่ง สามารถเคลื่อนที่ผ่านสุญญากาศได้ด้วยความเร็วเท่ากับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอื่น คือ 3×10^8 เมตร/วินาที และมีสมบัติเหมือนกับคลื่นตามขวางทั่วไป คือมีการสะท้อน (reflection) การหักเห (refraction) การเลี้ยวเบน (diffraction) การแทรกสอด (interference) และโพลาไรเซชัน (polarization)

ในความคิดของนักวิทยาศาสตร์ปัจจุบัน เชื่อว่าแสงมีสมบัติเป็นได้ทั้งคลื่นและอนุภาคแสงประพฤติตัวเป็นคลื่นพบได้ในปรากฏการณ์การแทรกสอดของยัง (Young) ทฤษฎีหน้าคลื่นของฮอยเกนส์ใช้อธิบายการสะท้อนและการหักเห แต่สมบัติความเป็นคลื่นของแสงใช้อธิบายการทดลองการเลี้ยวเบนของเฟรสเนล (Fresnel) แต่สมบัติความเป็นคลื่นไม่สามารถนำไปใช้อธิบายการเกิดอิเล็กตรอนอิสระบนผิวโลหะเมื่อแสงตกกระทบ ไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์คอมป์ตัน และไม่สามารถอธิบายการแผ่รังสีของวัตถุดำได้ครบสมบูรณ์ ปรากฏการณ์เหล่านี้ต้องใช้สมบัติความเป็นอนุภาคของแสงอธิบาย โดยตั้งแต่มมติฐานว่าแสงเป็นอนุภาคไร้มวล เรียกว่า โฟตอน พลังงานของโฟตอน 1 ตัวมีค่าเท่ากับ hf เมื่อ h คือค่าคงที่ของพลังค์ (planck's constant) มีค่าเท่ากับ 6.63×10^{-34} จูล-วินาที และ f เป็นความถี่ของแสง สมมติฐานที่ให้แสงเป็นอนุภาคสามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ที่กล่าวมาได้ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในนี้จะกล่าวถึงเฉพาะสมบัติความเป็นคลื่นของแสง คลื่นแสงขบวนหนึ่ง ๆ เราสามารถแทนด้วยเส้นตรงในแนวทิศการเคลื่อนที่เรียกเส้นนี้ว่า รังสี (ray) ของแสง รังสีของแสงจะตั้งฉากกับหน้าคลื่น (wavefront) ของแสง

การหาหน้าคลื่นใหม่ของแสงสามารถทำได้โดยวิธีทางเรขาคณิต เรียกว่า หลักของฮอยเกนส์ (Huygen's principle) กล่าวได้ว่าทุก ๆ จุดบนหน้าคลื่นถือว่าเป็นต้นกำเนิดคลื่นทุติยภูมิ (secondary wave) ที่แผ่ออกไปด้วยความเร็วเท่าเดิมในทิศทางเดิม เส้นสัมผัสที่ลากผ่านตำแหน่งเหล่านี้เป็นหน้าคลื่นใหม่



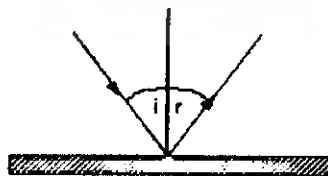
รูปที่ 2.4 (ก) การสร้างหน้าคลื่นใหม่ของคลื่นระนาบ

(ข) การสร้างหน้าคลื่นใหม่ของคลื่นแบบทรงกลม

2.1.4 การสะท้อนของแสง

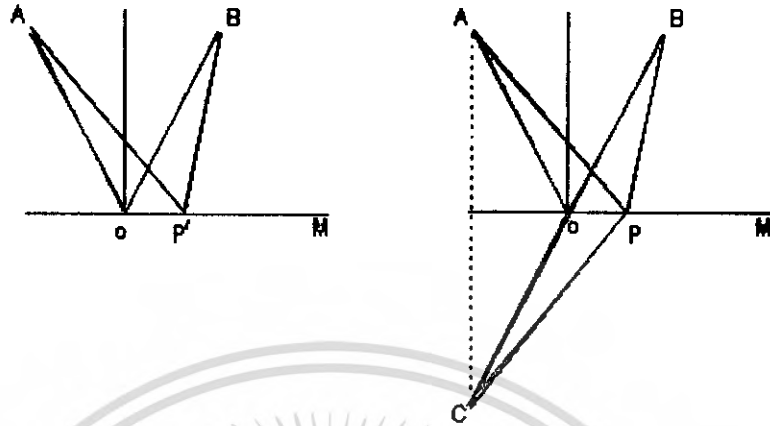
เมื่อคลื่นแสงเดินทางตกกระทบบั้วกลางอีกชนิดหนึ่ง แสงบางส่วนหรือทั้งหมดจะสะท้อนกลับไม่ว่าผิวที่ตกกระทบบจะขรุขระหรือเป็นผิวโค้ง หรือเป็นผิวเรียบก็ตาม หลักการสะท้อนแสงจะเป็นไปตามกฎการสะท้อนแสง 2 ข้อดังนี้

1. รังสีตกกระทบบและรังสีสะท้อนจะอยู่ในระนาบเดียวกันเสมอ
2. มุมตกกระทบบ (angle of incident) จะเท่ากับมุมสะท้อน (angle of reflection)



รูปที่ 2.5 การสะท้อนแสง

จากรูป 2.6 แสงเดินทางจากจุด A ตกกระทบบผิวรอยต่อที่จุด O แล้วสะท้อนมาที่จุด B ทำให้มุมตกกระทบบ (i) เท่ากับมุมสะท้อน (r)



รูปที่ 2.6 แสงสะท้อนจากจุด A ไปยัง B โดย AOB เป็นเส้นทางที่สั้นที่สุด

ถ้าแสงตกกระทบบที่จุด P ผลก็คือมุม i ไม่เท่ากับมุม r ขรรรมชาติของแสงรู้ได้อย่างไรว่า จะต้องมาตกกระทบบที่จุด O ได้เพียงจุดเดียวเท่านั้น

ถ้าผิวตกกระทบบ M เป็นกระจก ทำให้เกิดจุด C อยู่ห่างจากผิวกระจกเท่ากับระยะของ A เส้นรังสี AOB คือเส้นทางที่แสงเดินทางได้จริง รังสี APB เป็นรังสีสมมติที่เกิดจากแสงย้าย จุด P สะท้อนยังจุด B จากวิชาเรขาคณิตจะเห็นว่า $AO = CO$ และ $AP = CP$ รังสี AOB จึงแทนได้ด้วยรังสี COB รังสี APB แทนได้ด้วยรังสี CPB

จะเห็นว่า COB สั้นกว่า CPB (ในสามเหลี่ยม BCP ด้วย 2 ด้านของสามเหลี่ยมรวมกัน ย่อมยาวกว่าด้านที่สาม) หรือรังสี AOB มีทางเดินที่สั้นกว่ารังสี APB กฎการสะท้อนแสงอาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า การที่แสงเดินทางจากจุดหนึ่ง (A) ไปยังอีกจุดหนึ่ง (B) โดยอาศัยวิธีสะท้อนบนตัวกลาง ปรากฏการณ์การสะท้อนจะเกิดขึ้นในลักษณะที่เส้นทางเดินของแสงระหว่างจุด 2 จุด นั้น โดยวัดผ่านจุดตกกระทบบมีระยะทางสั้นที่สุด แต่แสงมีความเร็วคงที่ จึงกล่าวได้อีกว่า แสงจะเดินทางเป็นไปตามกฎการสะท้อน โดยที่ระยะทางนั้นเป็นระยะทางที่แสงใช้เวลาเดินทางน้อยที่สุด

2.1.5 การหักเหของแสง

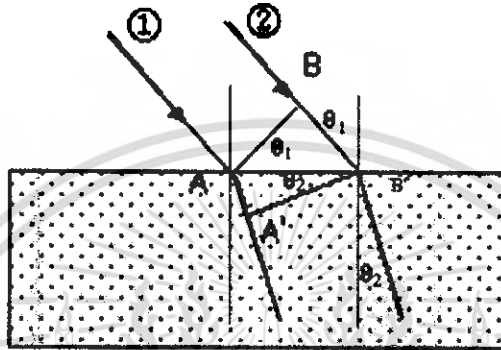
เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน พบว่า

1. ความเร็ว ความยาวคลื่นของแสงจะเปลี่ยนไป แต่ความถี่จะไม่เปลี่ยน

2. แสงจะหักเหเข้าหาเส้นปกติ เมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นมาก แสงจะหักเหออกจากเส้นปกติเมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อย

3. แสงจะเดินทางผ่านตัวกลางเป็นเส้นตรง (ไม่มีการหักเห) เมื่อมุมตกกระทบ = 0 เราสามารถอธิบายการหักเหของแสงได้ดังนี้

ให้แสงขนานตกกระทบกับรอยต่อของตัวกลาง ทำมุมตกกระทบ = θ_1 ความเร็วของแสงในอากาศ คือ c_1 แสงหักเหในตัวกลางที่ 2 ทำมุมหักเหเท่ากับ θ_2 ความเร็วของแสงในตัวกลางที่ 2 เป็น c_2



รูปที่ 2.7 แสงหักเหเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน

ถ้าเรา พิจารณารังสี 2 เส้น เส้น ① และ ② รังสี ① จะตกกระทบที่ผิวรอยต่อตรง A ขณะที่รังสี ② วิ่งมาถึงจุด B ขณะที่รังสี ② ตกกระทบผิวรอยต่อที่จุด B' รังสี ① จะเคลื่อนมาถึงจุด A' แสงใช้เวลา Δt เท่ากันในการเดินทางจาก A ถึง A' และจาก B ถึง B' แต่ระยะ AA' น้อยกว่า BB' (เพราะแสงมีความเร็วเปลี่ยนไป)

ให้ θ_1 เป็นมุมตกกระทบ θ_2 เป็นมุมหักเห

จากรูป 2.10 จะได้ $\sin \theta_1 = \frac{BB'}{AB}$, $\sin \theta_2 = \frac{AA'}{AB}$

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{BB'}{AA'} = \frac{C_1 \Delta t}{C_2 \Delta t} = \frac{C_1}{C_2}$$

หรือ

$$\frac{\sin \theta_1}{C_1} = \frac{\sin \theta_2}{C_2} \quad (2.18)$$

เรียกสมการนี้ว่ากฎของสเนล (Snell's law) ให้ n เป็นดัชนีหักเหของตัวกลางใด ๆ เทียบกับสุญญากาศ โดยนิยาม

$$n = \frac{\text{ความเร็วของแสงในสุญญากาศ}}{\text{ความเร็วของแสงในตัวกลางนั้น}}$$

สมการ (2.18) เขียนให้อยู่ในรูปดัชนีหักเหได้เป็น

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อสาร	ความเร็ว ($\times 10^8$ m/s)	ดัชนีหักเห (c/v)
สุญญากาศ	c = 2.997925	1.00
อากาศ	2.99706	1.00029
คาร์บอนไดออกไซด์	2.99658	1.00045
ซิลิเนียม	2.99782	1.000034
น้ำ (20 °ซ)	2.2490	13330
เอทิลแอลกอฮอล์	2.2016	1.3617
เมทิลแอลกอฮอล์	2.2555	1.3292
เบนซีน	1.9968	1.5014
คาร์บอนไดออกไซด์	1.8415	1.6279
น้ำเชื่อม 50%	2.1112	1.4200
แก้ว, Light crown	1.976	1.517
แก้ว, dense crown	1.888	1.588
แก้ว, light flint	1.899	1.579
แก้ว, heavy flint	1.820	1.647
ฟลูออไรท์	2.091	1.434
เพชร	1.240	2.417

ตารางที่ 2.2 ความเร็วของแสง และดัชนีหักเหของสารต่าง ๆ (เมื่อใช้แสงสีเหลืองผ่าน)

2.2 อุปกรณ์เซนเซอร์และควบคุมกำลังงานไฟฟ้า

2.2.1 ไพโรอิเล็กทริกเซนเซอร์

สสารทุกชนิดที่มนุษย์เรารู้จัก ล้วนปล่อยรังสีอินฟราเรดออกมา ไม่ว่าจะเป็นสิ่งมีชีวิตหรือไม่มีชีวิต ดังเช่นตัวคนเราก็ปล่อยรังสีอินฟราเรดออกมา ดินไม้ ก๊าซ ก็ปล่อยรังสีอินฟราเรดออกมา รวมทั้งวัตถุต่าง ๆ ในอวกาศ ตั้งแต่ดาวเคราะห์เนบิวลาถึงดาวฤกษ์ดังเช่นดวงอาทิตย์ ซึ่งรังสีอินฟราเรดนี้ความจริงก็คือ รังสีความร้อนนั่นเอง วัตถุใดที่ร้อนมาก(ไม่ว่าจะเป็นสิ่งมีชีวิตหรือไม่) ก็ปล่อยรังสีอินฟราเรดออกมามาก ความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่มาถึงโลกได้นั้นก็คือส่วนที่

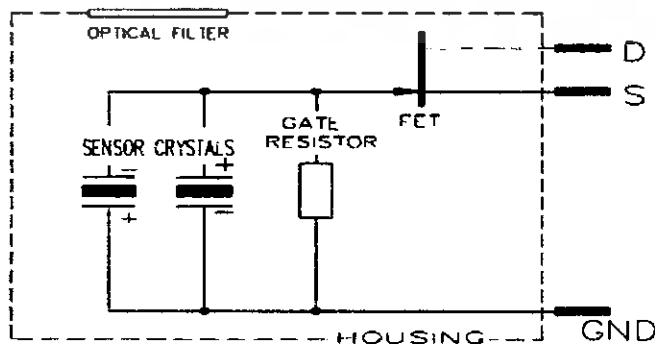
เป็นรังสีอินฟราเรดนี้เองและคุณสมบัติเฉพาะตัวของรังสีอินฟราเรด ก็เป็นคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่ว ๆ ไป

วงการอิเล็กทรอนิกส์ จึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อีกประเภทหนึ่งที่มีความสามารถในการตรวจจับรังสีอินฟราเรด ที่แผ่ออกมาจากตัวคนหรือสัตว์ นับว่าเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีประโยชน์มากๆ ซึ่งอุปกรณ์คือ PIR(Passive Infrared detector)



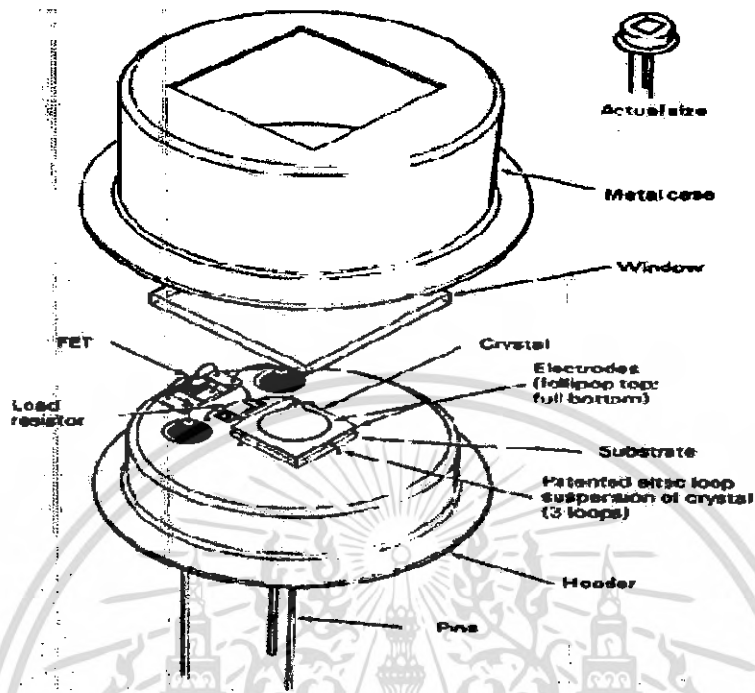
รูปที่ 2.8 ลักษณะ PIR (Passive Infrared detector)

PIR เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจจับความเคลื่อนไหวที่มีชื่อเต็มว่า ไพโรอิเล็กทริก เป็นอุปกรณ์จำพวกพาสาซไฟอินฟราเรดคิเทกเตอร์ (Passive Infrared detector - PIR) หรือตัวตรวจจับรังสีอินฟราเรดแบบหนึ่ง โดยตัวมันจะทำงาน เมื่อมันตรวจจับพบความเปลี่ยนแปลงของรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกมาจากตัวคนหรือสัตว์ ในขณะที่มีการเคลื่อนไหว ในตัวคนหรือสัตว์จะมีรังสีความร้อนแผ่ออกมารอบๆตัวในปริมาณที่แน่นอนอยู่จำนวนหนึ่ง เมื่อเกิดการเคลื่อนไหวเคลื่อนที่ก็จะทำให้อุณหภูมิในบริเวณนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้คลื่นรังสีความร้อนที่ว่านี้แผ่กระจายออกมามีความยาวคลื่นประมาณ 0.74-300 ไมโครเมตร อันเป็นแถบความถี่ในย่านอินฟราเรด



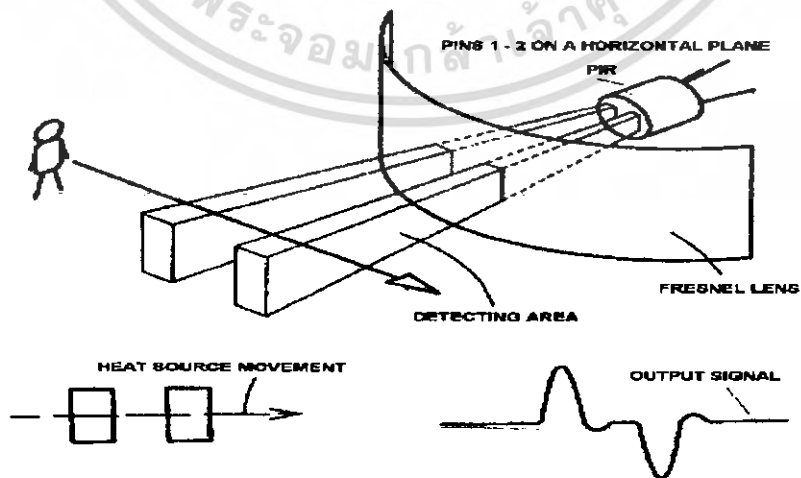
รูปที่ 2.9 วงจรเสมือนภายใน PIR(Passive Infrared detector)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 โครงสร้างภายใน PIR (Passive Infrared detector)

ตัวตรวจจับ มีโครงสร้างภายในที่สำคัญคือ ตัวเซนเซอร์ไวแสง ที่ทำจากผลึกของคริสตอล 2 ชุด และเฟด 1 ตัวประกอบ เข้าด้วยกันในตัวถังและ ชั้นของผลึกแร่ขนาด 2×1 มิลลิเมตรต่ออนุกรมกันอยู่แต่ต้องต่อกลับขั้วเมื่อสัญญาณรังสีสามารถผ่านกระจกมา ตกกระทบบนที่ชั้นสารทั้งสอง ก็ทำให้เกิดความแตกต่างขึ้นตามสัญญาณที่ตกมาตกกระทบบ จากนั้นต้องทำการขยายสัญญาณให้แรงขึ้นก่อนนำไปประยุกต์ใช้งานสัญญาณที่ตรวจจับได้

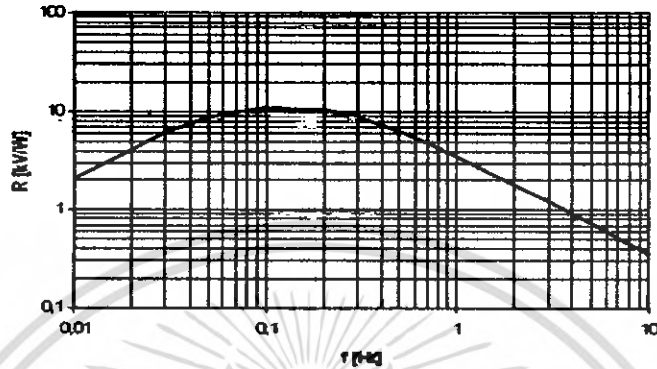


รูปที่ 2.11 การตรวจจับความเคลื่อนไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

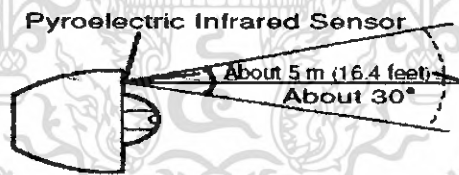
ซึ่งจะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 1-15 ไมโครเมตร ความถี่จากผลของการตรวจจับความเคลื่อนไหวจะอยู่ในช่วง 0.3-3 เฮิรตซ์ มีความแรงเพียง 1 มิลลิโวลต์ Peak to Peak ดังนั้นจึงต้องมีการต่อวงจรขยายสัญญาณ



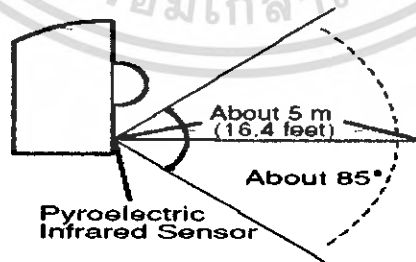
รูปที่ 2.12 ผลตอบสนองทางความถี่

ซึ่งอุปกรณ์ PIR (Passive Infrared detector) จะมีมุมในการตอบสนองต่อการตรวจจับการเคลื่อนไหวทั้งทางแนวนอนและทางแนวตั้ง ซึ่ง PIR แต่ละเบอร์ก็จะให้มุมการตอบสนองที่แตกต่างกันไป

Horizontal Detection Range

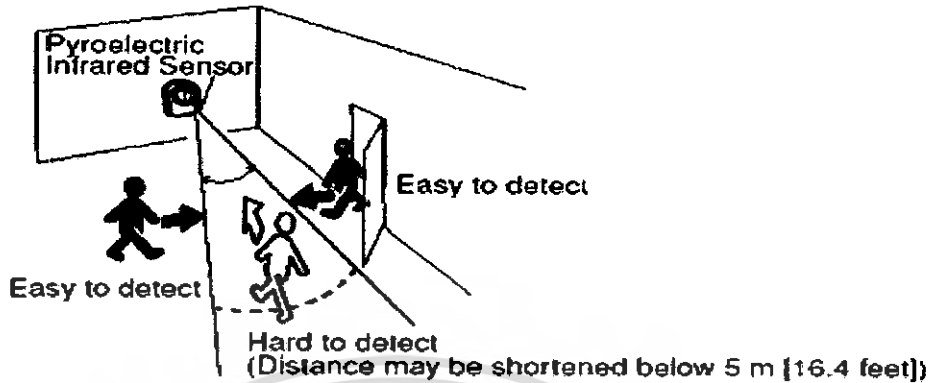


Vertical Detection Range



รูปที่ 2.13 การตอบสนองต่อการตรวจจับการเคลื่อนไหวทั้งทางแนวนอนและทางแนวตั้ง

ถึงแม้ PIR (Passive Infrared detector) สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวทั้งทางแนวนอนและทางแนวตั้งได้ แต่การตรวจจับการเคลื่อนไหวทางแนวนอนจะสามารถทำได้ดีกว่าทางแนวตั้ง ดังนั้นจึงนิยมใช้ทางแนวนอน



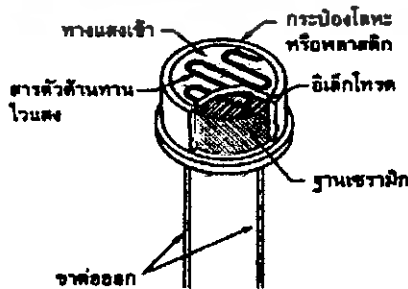
รูปที่ 2.14 ลักษณะการตรวจจับการเคลื่อนไหวที่มีประสิทธิภาพ

2.2.2 แอตคือ

ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทไวต่อแสง หรือ เปลี่ยนแปลงการทำงานของตัวมันเองตามปริมาณของแสง มีอยู่หลายอย่าง ตั้งแต่ LDR (light dependent resistor) ไฟโตโวลตาอิกเซลล์ (photovoltaic cell) ซึ่งจ่ายแรงดันออกมา ได้เมื่อได้รับแสง, ไฟโอดีโอด (photodiode) ไฟโอดีทรานซิสเตอร์ (phototransistor) ไปจนถึงเอสซีอาร์ ที่ทำงานด้วยแสง (LASCR – light activated silicon controlled rectifier) ซึ่งใช้หลักการของสารกึ่งตัวนำทั้งนั้น อุปกรณ์ประเภทนี้ที่มีโครงสร้างและลักษณะการทำงานง่ายที่สุดก็เห็นจะได้แก่ LDR เพราะไม่ได้ใช้หลักการของรอยต่อพี-เอ็น เหมือนกันแบบอื่น ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วเลย

2.2.2.1 โครงสร้าง

ตัว LDR ว่าที่จริงแล้วมีเรียกกันอีกหลายชื่อ เช่น ไฟโอดีคอนดักทีฟเซลล์ (photoconductive cell) หรือ ตัวต้านทานไวแสง (LSR-light sensitive resistor) ส่วนใหญ่จะทำด้วยสารแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) หรือโมกไซด์แคดเมียมซีนิไนต์ (CdSe) ซึ่งทั้งสองตัวนี้ก็เป็นสารกึ่งตัวนำเอามาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบไว้ออกมา



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของ LDR

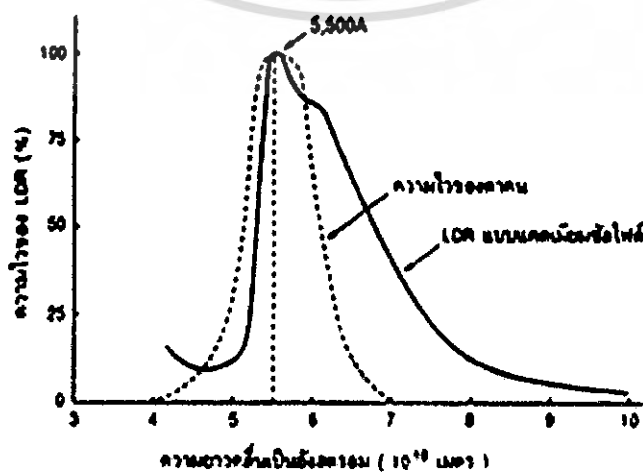
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปร่างของมันจะเห็นได้ในรูปที่ 2.15 ส่วนที่ขดเป็นแนวเล็ก ๆ สีดำนั้นแหละ ที่ทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไวแสง และแนวสีดำ นั้นจะแบ่งพื้นที่ของตัวมันออกเป็น 2 ข้าง ซึ่งหากดูของจริงจะเห็นว่าออกสีทองนั้น เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ทำหน้าที่สัมผัส กับตัวต้านทานไวแสง เป็นที่สำหรับต่อขาออกมาภายนอกหรือเรียกว่าอิเล็กโทรด ที่เหลือก็จะเป็นฐานเซรามิก และอุปกรณ์สำหรับห่อหุ้มมัน ซึ่งมีได้หลายแบบ

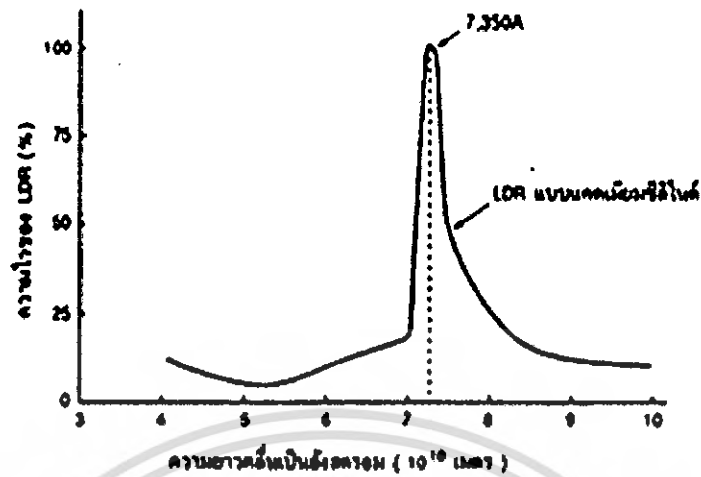
2.2.2.2 สมบัติทางแสง

การทำงาน LDR ก็ง่าย ๆ เพราะว่าเป็นสารกึ่งตัวนำ เวลาที่มีแสงตกกระทบลงไปก็จะถ่ายทอดพลังงานให้กับสารที่ฉาบอยู่ทำให้เกิดโฮลกับอิเล็กตรอนวิ่ง การที่มีโฮลกับอิเล็กตรอนอิสระนี้มากก็เท่านั้น ความต้านทานลดลงนั่นเองยิ่งความเข้มของแสงที่ตกกระทบมากเท่าไรความต้านทานก็ยิ่งลดลงมากเท่านั้น

ในส่วนที่ว่าแสงตกกระทบนั้น มิใช่จะเป็นแสงอะไรก็ได้ เฉพาะแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 4,000 อังสตรอม (1 อังสตรอม เท่ากับ 10^{-10} เมตร) ถึงประมาณ 10,000 อังสตรอม เท่านั้นที่จะใช้ได้ (สายตาคนจะเห็นได้ในช่วงประมาณ 4,000 อังสตรอม ถึง 7,000 อังสตรอม) ซึ่งคิดแล้วก็ในช่วงคลื่นเพียงแคบ ๆ เมื่อเทียบกับการทำงานของอุปกรณ์ไวแสง ประเภทอื่น ๆ แต่ถึงอย่างไรแสงในช่วงคลื่นนี้ ก็มีอยู่ในแสงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟแบบไส้ และแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วย หรือถ้าจะคิดถึงความยาวคลื่น ที่ LDR จะตอบสนองไวที่สุดแล้ว ก็มีอยู่หลายความยาวคลื่น โดยทั่วไป LDR ที่ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์ จะไวต่อแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 5,000 กว่า อังสตรอม ซึ่งเราจะเห็นเป็นสีเขียว ไปจนถึงสีเหลืองสำหรับบางตัวแล้ว ความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของมันใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของตาคนมาก (ตาคนไวต่อความยาวคลื่นประมาณ 5,550 อังสตรอม) จึงมักจะใช้ทำเป็นเครื่องวัดแสงในกล้องถ่ายรูป ถ้า LDR ทำจากแคดเมียมซิลิไซด์ ก็จะไวต่อความยาวคลื่นในช่วง 7,000 กว่า อังสตรอม ซึ่งไปอยู่ในช่วงอินฟราเรดแล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 สมบัติทางแสงของ LDR

2.2.2.3 ผลตอบสนองทางไฟฟ้า

อัตราส่วนระหว่างความต้านทานของ LDR ในขณะที่ไม่มีแสงกับขณะที่มีแสงอาจจะเป็นได้ตั้งแต่ 100 เท่า 1,000 เท่า หรือ 10,000 เท่า แล้วแต่รุ่นแต่โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานในขณะที่ไม่มีแสงจะอยู่ในช่วง ประมาณ $0.5 \text{ M}\Omega$ ขึ้นไป ในที่มีคสมิทอาจขึ้นไปได้มากกว่า $2 \text{ M}\Omega$ และในขณะที่มีแสงจะเป็นประมาณ $10\text{-}20 \text{ k}\Omega$ ลงไป อาจจะมีเพียงไม่กี่โอห์ม หรือไม่ถึงโอห์มก็ได้ ทนแรงดันสูงสุดได้ไม่ต่ำกว่า 100 V และกำลังสูญเสียอย่างต่ำประมาณ 50 mW



รูปที่ 2.17 ผลตอบสนองทางไฟฟ้าของ LDR

นอกเหนือจากลักษณะสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้แล้วยังมีอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญ คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ซึ่งจะดูตัวอย่างได้ในรูปที่ 3 ถ้า LDR ได้รับแสงที่มีความเข้มสูงค้างเสี้ยน (ก) ความต้านทานจะมีค่าต่ำและในทันทีที่ความเข้มของแสงถูกลดลงเหลือเพียงระดับอ้างอิง ความต้านทานก็จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าความต้านทาน ที่มันควรจะ เป็นในระดับอ้างอิง แต่แทนที่มันจะไปหยุดอยู่ระดับอ้างอิง มันกลับเพิ่มเลขขึ้นไปอีกแล้วจึงจะ ลดลงมาอยู่ระดับอ้างอิงเหมือนกับว่าเบรกมันไม่ค่อยดี และในทำนองเดียวกันถ้าเก็บมันไว้ในที่ ความเข้มแสงน้อย ๆ แล้วเปลี่ยนความเข้มเป็นระดับอ้างอิงทันที ดังในรูป (ข) ความต้านทานก็จะลด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลยต่ำลงมาจากระดับอ้างอิงแล้วจึงขึ้นไปใหม่ ซึ่งความเข้มของแสงเท่ากัน LDR แบบแคดเมียมซิงนิไนต์ จะใช้เวลา ในการเข้าสู่สภาวะที่มันควรจะเป็นน้อยกว่า แบบแคดเมียมซัลไฟด์ แต่ก็จะวิ่งเลยไปไกลกว่าด้วย และอีกอย่างหนึ่งความเร็วในการเปลี่ยนระดับความต้านทานจากค่าหนึ่งไปอีกค่าหนึ่งช้ามาก ซึ่งจะอยู่ในช่วงของมิลลิวินาทีหรือบางทีก็เป็นวินาที จึงทำให้ LDR ใช้ได้ กับงาน ความถี่ต่ำ ๆ เท่านั้น

2.2.3 ไตรแอก

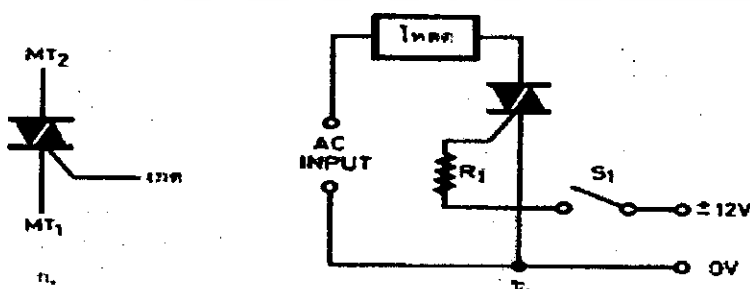
ลักษณะโครงสร้างของไตรแอกนี้เหมือนกับการนำเอาเอสซีอาร์ 2 ตัวมาต่อขนานกันในลักษณะกลับขั้ว ส่วนขาเกตต่อพร้อมเข้าด้วยกัน ดังนั้นไตรแอกจะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม ระบบไฟได้ทั้งแบบไฟตรงและไฟสลับ นั่นคือความสามารถในการนำกระแสได้ทั้งสองทิศทาง โดยการทริกที่เกิดขึ้นก็สามารถกระทำทั้งสองทิศทางเช่นกัน



รูปที่ 2.18 สัญลักษณ์และรูปร่างของไตรแอก

ไตรแอกจะมามีการทำงานคล้ายกับสวิทช์ไฟฟ้ากระแสสลับ แต่มีข้อดีกว่าสวิทช์ธรรมดาคือ

1. การเปิดปิดวงจรไฟฟ้าของไตรแอกควบคุมได้ง่าย โดยให้พลังงานเพียงเล็กน้อยทางขั้วเกต
2. ไม่มีการกระทบกระทั่งของผิวหน้าสัมผัสที่เป็นโลหะเหมือนสวิทช์ธรรมดา เพราะไตรแอกอาศัยหลักการนำกระแสของสารกึ่งตัวนำ
3. จังหวะการเปิดปิดวงจรของไตรแอกเร็วกว่าสวิทช์ธรรมดาหลายเท่า จึงทำให้สามารถควบคุมวงจรได้ด้วยหลักการของสวิทช์ที่สวิทช์ธรรมดาทำไม่ได้

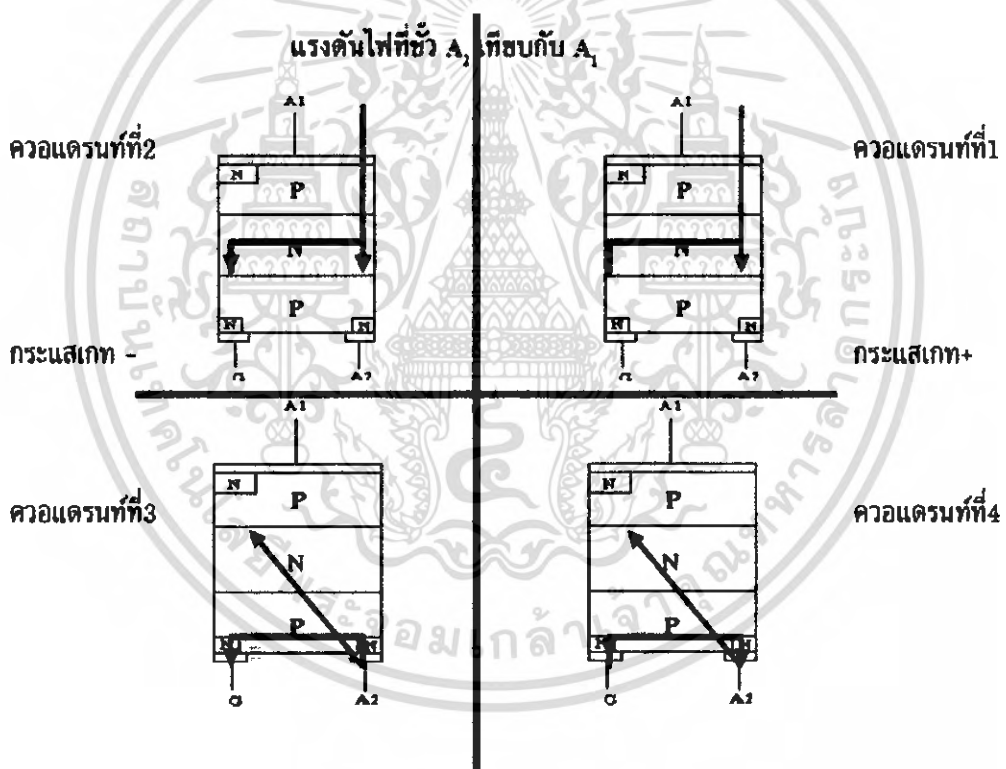


รูปที่ 2.19 ก. สัญลักษณ์ของไตรแอก ข. การใช้งานพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.1 การทำงานของไครแอค

โดยปกติไครแอคจะสามารถนำกระแสได้ทั้งกระแสลบและกระแสบวก นอกจากนี้แล้ว แรงดันระหว่าง A_1 และ A_2 จะให้สลับกันอย่างไรมันก็ยังทำได้ ดังนั้นจึงแบ่งการทำงาน ออกเป็น 4 ควอดแดรนต์ คือ ในควอดแดรนต์ที่ 1 ให้แรงดันที่ขา A_2 เป็นบวกและกระแสเกทก็ เป็นบวก ส่วนในควอดแดรนต์ที่ 2 ให้แรงดันที่ขา A_2 และกระแสเกทเป็นลบหรือไหลออกจาก เกท ในควอดแดรนต์ที่ 3 จะให้กระแสเกทเป็นลบเช่นเคยและแรงดัน A_2 เป็นลบด้วย ส่วนในควอดแดรนต์ที่ 4 จะให้กระแสเกทเป็นบวกและแรงดัน A_2 เป็นลบ ซึ่งถ้าเขียนในลักษณะแกนของ กระแสเกทเป็นแกน X และแรงดัน A_2 เป็นแกน Y จะได้รูปการทำงานของไครแอคทั้ง 4 ควอด แดรนต์



รูปที่ 2.20 แสดงการทำงานของไครแอคในแต่ละควอดแดรนต์

ในควอดแดรนต์ที่ 1 ตัวไครแอคจะให้การทำงานเหมือนกับเอสซีอาร์ทุกอย่าง การทริก ไครแอคเกิดขึ้นจากการป้อนกระแสเข้าไปยังขั้วสารกึ่งนำ P ทำให้เกิดการนำกระแสระหว่าง รอยต่อ P-N ครึ่งส่วนของ T_1 เป็นผลทำให้กระแสโดยตรงจากขั้ว A_2 มาอยู่ที่ A_1 โดยผ่านเนื้อ สาร PNPN ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าส่วนของเนื้อสาร N ที่อยู่ทางด้าน A_2 และเกทไม่มีส่วน เกี่ยวข้องกับการทำงานใดในควอดแดรนต์นี้

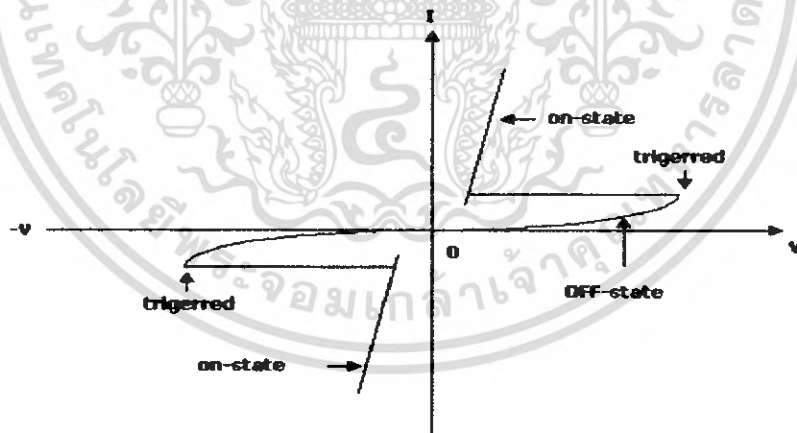
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในครอดแควนที่ 2 เรายังคงให้แรงดันที่ A_2 เป็นบวกอยู่เช่นเคยแต่ให้กระแสมีค่าเป็นลบ การไหลของกระแสจะไหลจากขา A_1 ผ่านเนื้อสาร P เข้าเนื้อสาร N กลับมายังขาเกท ซึ่งจะผ่านรอยต่อ PNP หนึ่งรอยต่อ การผ่านรอยต่อนี้จะผ่านได้โดยง่าย เพราะเสมือนกับเป็นการไบแอสตรงกับหัวต่อนี้ การที่ทำให้กระแสไหลเนื่องจากกระแสเกทนี้จะทริกให้ไครแอกทำงาน โดยนำกระแส เกิดการไหลของกระแสจาก A_2 มายัง A_1 โดยผ่านเนื้อสาร PNPN ตามลำดับ

ในส่วนควอดแควนที่ 3 นี้จะเป็นการให้กระแสเกทเป็นลบและแรงดันที่ขา A_2 เป็นลบเช่นกัน ส่วนของกระแสเกทจะไหลได้โดยผ่านหัวต่อ PN ซึ่งอยู่ในลักษณะไบแอสตรงและจะทริกการทำงานของไครแอกให้นำกระแส โดยกระแสจะไหลจากขา A_1 ไปยังขา A_2 โดยผ่านเนื้อสาร PNPN ตามลำดับเช่นกัน จะเห็นได้ว่าการนำกระแสในควอดแควนนี้ทำให้ไครแอกนำกระแสได้อีกทางซึ่งเป็นผลให้ไครแอกนำกระแสได้ทั้งสองทาง

ในส่วนควอดแควนที่ 4 จะเป็นการทริกด้วยกระแสเกทที่เป็นบวก คือกระแสเกทจะไหลจากขาเกทเข้ายังเนื้อสาร P ผ่านหัวต่อ PN ซึ่งอยู่ในลักษณะไบแอสตรงกลับมายังขา A_1 เมื่อทริกการทำงานของไครแอก ไครแอกจะนำกระแสโดยมีการไหลของกระแสผ่านสารกึ่งตัวนำ PNPN เช่นเคยโดยมีทิศทางลูกศรการไหลของกระแสดังรูป

2.2.3.2 ลักษณะสมบัติของไครแอก



รูปที่ 2.21 ลักษณะสมบัติไครแอก

จากหลักการการทำงานที่ได้กล่าวถึงได้กล่าวถึงไปแล้ว จะเห็นว่าไครแอกนำกระแสระหว่าง A_2 และ A_1 ได้สองทาง

จากกราฟลักษณะสมบัติของไครแอกที่ แสดงความสัมพันธ์ของกระแสที่ไหลระหว่าง A_2 และ A_1 ที่ให้ได้ทั้งบวกและลบกับแรงดันที่ตกคร่อมตัวมัน ในขณะที่แรงดันคร่อม $A_2 - A_1$ มีค่าเป็นบวกเทียบกับ A_1 และถ้ายังไม่มีการทริกแล้ว จะมีแรงดันระหว่าง $A_2 - A_1$ ค่าหนึ่ง ๆ ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

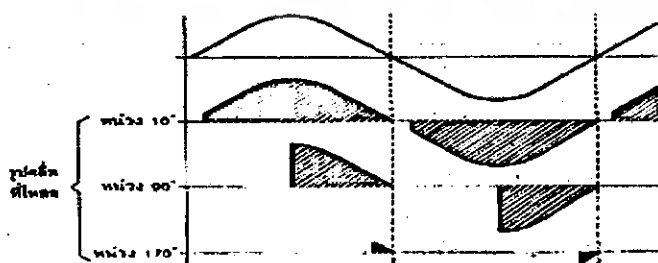
ทำให้นำกระแสได้เอง แรงดันนี้คือแรงดันพังทลาย(Breakover Voltage) แต่ถ้าให้แรงดัน $A_2 - A_1$ นี้มีค่าน้อยกว่าแรงดันพังทลายแล้วการทำงานทริกกระแสแตกไม่ว่าจะเป็นกระแสแตกที่มีค่าเป็นบวกหรือลบก็ตามใครแอกจะนำกระแสทันที ถ้าให้แรงดันที่ A_1 มีค่าเป็นบวกเมื่อเทียบกับ A_2 ส่วนของกราฟคือแกน X ทางด้านลบ ถ้าเพิ่มแรงดันนี้มีค่ามากขึ้นจนถึงค่าแรงดันพังทลายแล้วก็จะทำให้ใครแอกนำกระแสเองได้ และถ้าหากว่าไม่มีการจำกัดกระแสไหลในตัวใครแอกแล้วก็จะเกิดการเสียหายได้ ถ้านำแรงดัน $A_2 - A_1$ นี้มีค่าน้อยกว่าแรงดันพังทลายแล้วทำการทริกด้วยกระแสแตกซึ่งอาจจะเป็กระแสบวกหรือลบได้ จะทำให้ใครแอกนำกระแสทันที

ในขณะที่ใครแอกนำกระแสและเราลดค่ากระแสลงจนถึงภาวะสุดท้ายที่ยังทำให้ใครแอกนำกระแสได้ค่ากระแสสุดท้ายนี้เราเรียกว่า กระแสโฮลดิ้ง(Holding Current) และทำนองเดียวกันถ้าใครแอกยังไม่นำกระแส มันจะยังมีกระแสส่วนหนึ่งรั่วออกมาเรียกว่า กระแสรั่วไหล(Leakage Current) เกิดขึ้นค่ากระแสมีค่าน้อยมาก

เนื่องจากใครแอก สามารถให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ทั้งสองทางและสำหรับไฟฟ้ากระแสสลับจะมีช่วงเวลาหนึ่งที่กระแสตกต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง ดังนั้นจึงทำให้ใครแอกหยุดนำกระแสและจะรอการทริกใหม่อีกครั้งและถ้าหากเกิดการทริก ในขณะที่ครึ่งลบของสัญญาณไฟสลับมันจะนำกระแสเช่นเคยและมันจะหยุดนำกระแสเมื่อค่ากระแสตกลงต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง

2.2.3.3 การควบคุมกำลังไฟแบบเฟสทริกเกอร์

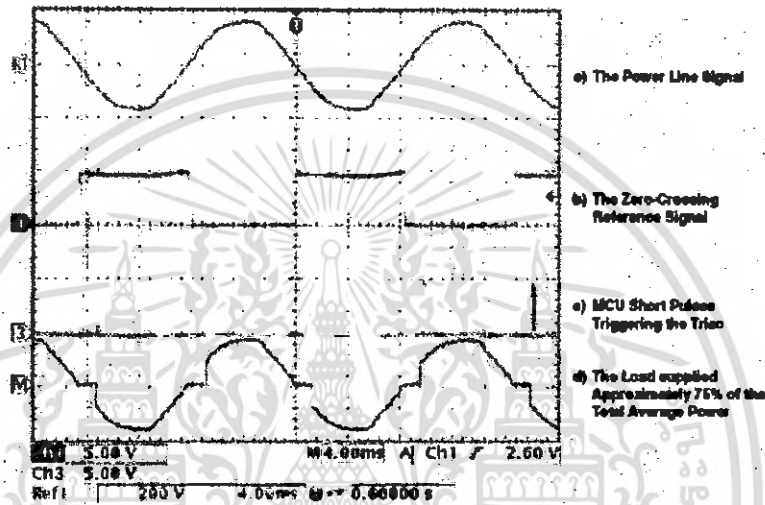
จากการใช้งานแอสซิวาร์ และใครแอกที่กล่าวเป็นการใช้งานในลักษณะเป็นสวิทช์ เปิด/ปิด การจ่ายไฟให้แก่โหลดต่าง ๆ แต่ความจริงแล้วการใช้งานสามารถขยายออกไปได้อีกมาก เช่น ใช้เป็นวงจรหรือความสว่างของหลอดไฟ หรือเป็นวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ เป็นต้นซึ่งก็ล้วนแล้วแต่เป็นการใช้งานควบคุมกำลังไฟ ที่จะจ่ายให้แก่โหลดในระบบที่เรียกว่าเฟส-ทริกเกอร์หลักการทำงานของวงจรที่มีลักษณะเป็นเฟส - ทริกเกอร์นี้ใช้ใครแอกเป็นตัวควบคุมกำลังไฟที่จ่ายให้แก่โหลด โดยแทนที่จะทริกขาคัดด้วยสัญญาณไฟตรงนั้นตรง ๆ ก็ทริกโดยมีการหน่วงของเฟสด้วยวงจรอีกส่วนหนึ่ง



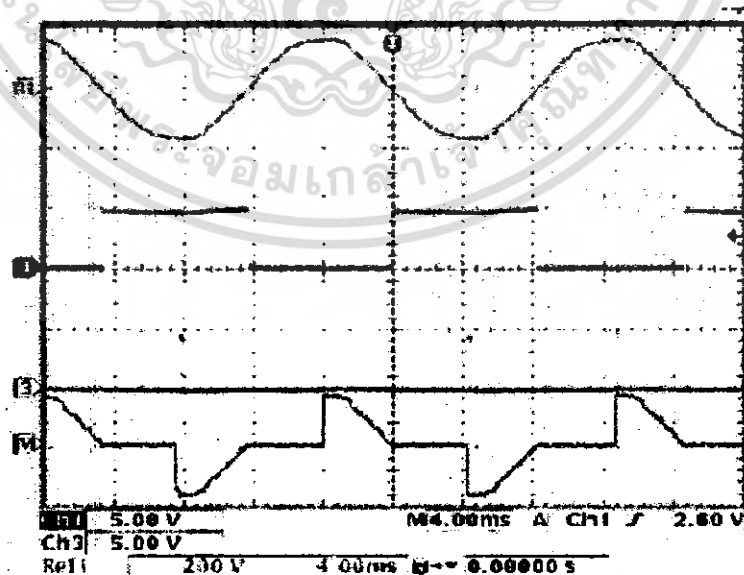
รูปที่ 2.22 การเปลี่ยนแปลงค่าของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่โหลด โดยกำหนดได้จากตำแหน่งเวลาของการทริกที่ให้แกใครแอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหน่วยเฟสมีผลดังนี้ คือ หากใครแอกถูกทริกที่ตำแหน่งเฟส 10 องศาหลังจากที่ทุก ๆ ครึ่งรูปคลื่นเริ่มเข้ามากำลังไฟเกือบทั้งหมดก็จะถูกป้อนให้แก่โหลด แต่ถ้าการทริกที่ตำแหน่งเฟส 90 องศา หลังจากทุก ๆ ครึ่งคลื่นเริ่มเข้ามา จะทำให้กำลังไฟที่ป้อนให้แก่โหลดนั้น ลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของกำลังทั้งหมด และถ้าไปทริกที่ตำแหน่งเฟส 170 องศา หลังจากทีทุก ๆ ครึ่งรูปคลื่นเข้ามาแล้ว จะมีเพียงกำลังไฟส่วนน้อยเท่านั้นที่ป้อนให้แก่โหลด

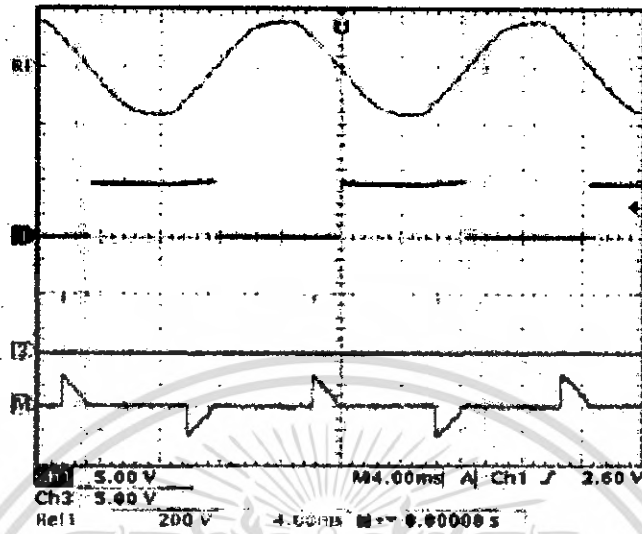


รูปที่ 2.23 การทริกมุกที่ประมาณ 25% ของคาบเวลา



รูปที่ 2.24 การทริกมุกที่ประมาณ 50% ของคาบเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 การตรึงมุมที่ประมาณ 75% ของคาบเวลา

2.2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ของทางบริษัท Microchip ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในบ้านเรา เนื่องจากเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความสามารถและเทียบพร้อมไปด้วยทรัพยากรหรือฟังก์ชันการใช้งานต่าง ๆ มากมาย เช่น โมดูล Analog to Digital, Time/Counter, USART, SPI, I²C, PWM และอื่น ๆ ซึ่งส่วนต่าง ๆ เหล่านี้จะถูกสร้างรวมอยู่ภายใน CPU เพียงตัวเดียวนี้ สามารถทำงานได้หลาย ๆ อย่างและสามารถลดในส่วนของฮาร์ดแวร์บางอย่างลง ส่วนในเรื่องของความเร็วของ CPU กระบวนการนี้จะใช้เวลาในการกระทำคำสั่งต่าง ๆ เพียง 1 หรือ 2 ไชเคิล ต่อคำสั่งเท่านั้น โดยการทำงานนี้จะป็นลักษณะ ไพป์ไลน์ (Pipe Line) ทำให้มีความเร็วในการทำงานมากกว่า CPU ทั่วไป(ที่ความถี่เดียวกัน)

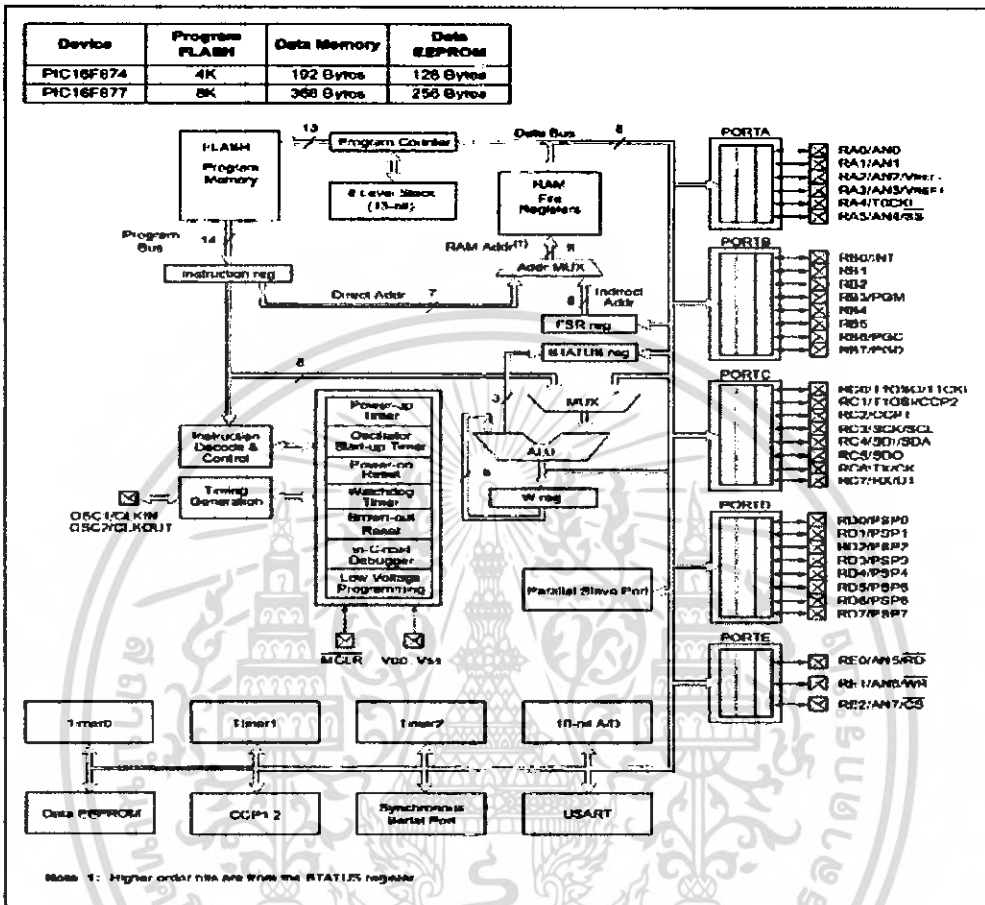
2.2.4.1 คุณสมบัติของ PIC 16F877

คุณสมบัติต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 สามารถสรุปอย่างคร่าว ๆ ได้ดังนี้

- 35 Instruction คำสั่ง
- ในการปฏิบัติงานคำสั่งต่าง ๆ จะใช้ Cycle เดียวและ 2 Cycle ในคำสั่งที่เป็นการกระโดด
- ความถี่สูงสุดที่ทำงานได้คือ 20 MHz (16F877)
- การทำงานจะเป็นลักษณะ Pipeline ทำให้มีการทำงานที่เร็วขึ้น

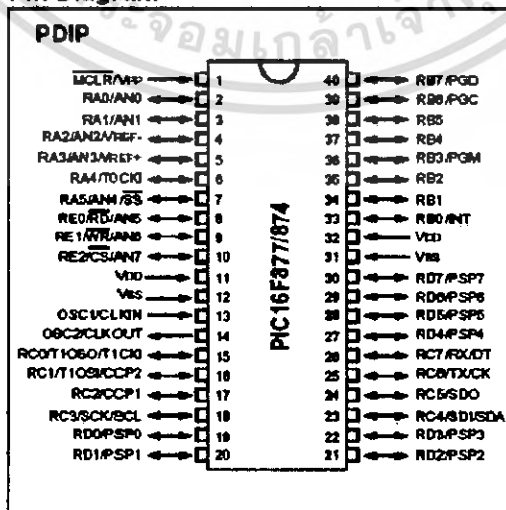
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หน่วยความจำโปรแกรม FLASH Program Memory มีขนาด 8k (14-Bit Words)
 - หน่วยความจำข้อมูล (RAM) 368 Bytes
 - หน่วยความจำข้อมูล (EEPROM) 256 Bytes
 - สามารถตอบสนองการอินเตอร์รัพได้ถึง 14 แหล่ง
 - STACK 8 ระดับ
 - เพาเวอร์อนรีเซต(POR),เพาเวอร์อัปไทมเมอร์(PWRT) และ Oscillator Start-Up Time
 - Watchdog Timer
 - สามารถเลือกการป้องกันข้อมูลได้(Code Protection)
 - โหมดประหยัดพลังงาน(Sleep Mode)
 - เลือกโหมดของสัญญาณนาฬิกาได้หลายโหมด
 - สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5V ได้
 - ฟังก์ชันการ โปรแกรมแบบ ICSP(In-Circuit Serial Programming)
 - ทำงานที่ไฟเลี้ยง 2.0V ถึง 5.5V
 - กระแสทั้งซิงก์และซอร์สของพอร์ตคือ 25 mA
 - Time/Counter จำนวน 3 ตัว คือ Timer0,Timer1 และ Timer2
 - โมดูล Capture/Compare/PWM จำนวน 2 ชุด
 - Analog to Digital Converter ความละเอียด 10 บิต 8 แชนแนลภายในตัว
 - มีโมดูลการสื่อสาร USART
 - มีโมดูลตรวจจับระดับแรงดันไฟเลี้ยง Brown-out reset (BOR)
 - มีพอร์ต I/O 5 พอร์ตประกอบด้วย A,B,C,D และ E แต่ละพอร์ตจะมีจำนวนบิตไม่เท่ากันซึ่งรวมแล้ว จะมี I/O จำนวน 33 บิต
- PORTA=RA5-RA0 จำนวน 6 บิต
- PORTB=RB7-RB0 จำนวน 8 บิต
- PORTC=RC7-RC0 จำนวน 8 บิต
- PORTD=RD7-RD0 จำนวน 8 บิต
- PORTE=RE2-RE0 จำนวน 3 บิต



รูปที่ 2.26 แสดงสถาปัตยกรรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877

Pin Diagram



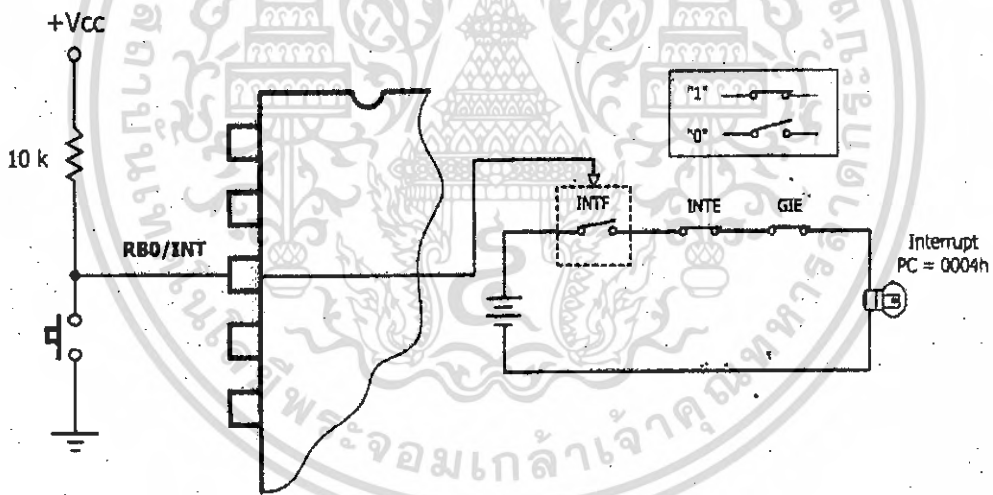
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.27 แสดงตัวถังของ CPU PIC 16F877 และการจัดวางตำแหน่งขาสัญญาณต่าง ๆ

ขาสัญญาณของ PIC เบอร์ 16F877 นี้จะมีทั้งหมด 40 ขาจะประกอบด้วยขาที่ทำหน้าที่ต่าง ๆ โดยจะมีขาสัญญาณ I/O Port ทั้งหมดจำนวน 33 ขา โดยสามารถนำไปใช้เป็นอินพุต/เอาต์พุตได้ทั้งหมดทุกขา ยกเว้นขา RA4 ซึ่งโครงสร้างภายในเป็นแบบ Open Drain ดังนั้นหากต้องการนำไปใช้เป็นขาสัญญาณเอาต์พุต จะต้องต่อตัวต้านทาน पुलอัพ (Pull-Up) ไว้ด้วย ส่วนขาที่เหลือสามารถใช้งานได้ตามปกติ นอกจากขาสัญญาณ I/O แล้วยังประกอบไปด้วยขาสัญญาณอื่น ๆ อีกคือ ขาไฟเลี้ยง กราวด์ ขาริเซ็ต และ ขาออสซิลเลเตอร์

2.2.4.2 การอินเทอร์รัพท์ภายนอก RBO/INT

การอินเทอร์รัพท์แบบนี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสัญญาณลอจิกที่ขา RBO/INT ซึ่งสามารถกำหนดรูปแบบของสัญญาณที่ต้องการให้เกิดอินเทอร์รัพท์ได้จากบิต INTDEG(OPTION_REG<6>) โดยถ้าเซตเป็น "1" การอินเทอร์รัพท์จะจากสัญญาณขอบขาลงและถ้าเคลียร์บิตนี้เป็น "0" การอินเทอร์รัพท์จะเกิดจากสัญญาณขอบขาขึ้น



รูปที่ 2.28 แสดงลักษณะการเกิดอินเทอร์รัพท์จากภายนอก RBO/INT

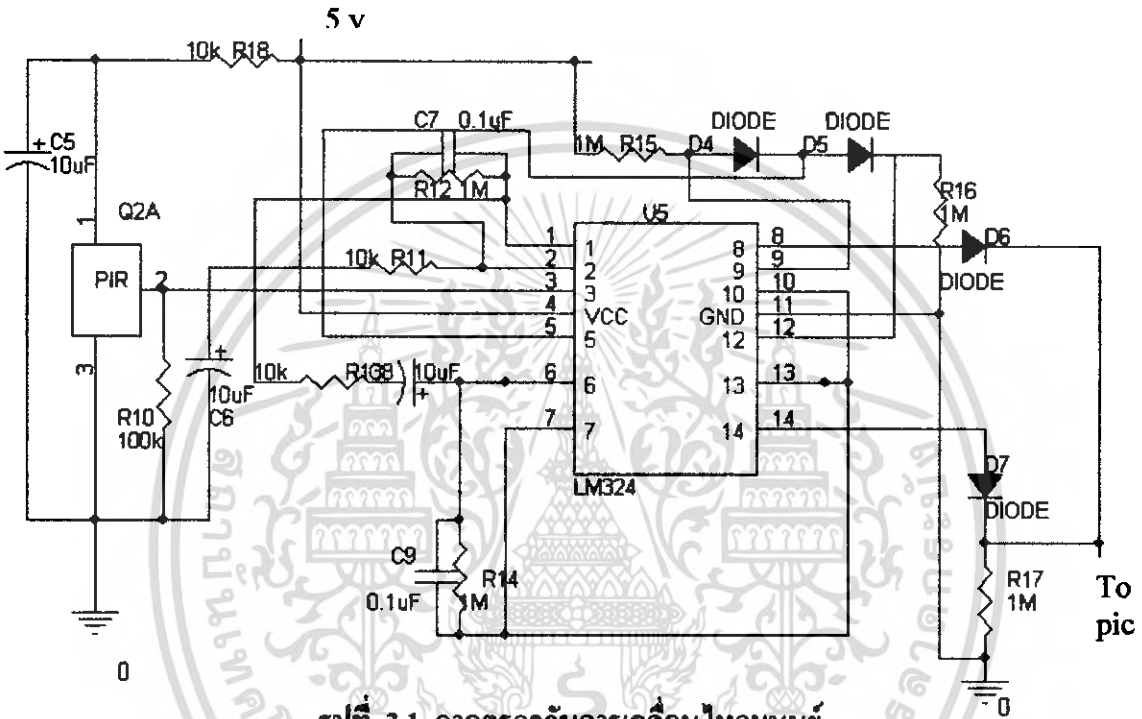
การกำหนดให้มีการเกิดอินเทอร์รัพท์แบบนี้ ทำได้โดยการเซตบิต GIE (INTCON<7>) และบิต INTE(INTCON<4>) เมื่อทำเช่นนี้แล้วหากมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ขา RBO/INT ตามรูปแบบสัญญาณที่กำหนดบิตสถานะหรือบิตร้องขอการอินเทอร์รัพท์ INTF "1" โดยฮาร์ดแวร์ ทำให้เกิดอินเทอร์รัพท์ขึ้นโดย CPU จะกระโดดไปยังตำแหน่งเวกเตอร์ของการอินเทอร์รัพท์ (0004h) ซึ่งเป็นที่อยู่ของโปรแกรมบริการอินเทอร์รัพท์ และ เมื่อต้องการออกจากโปรแกรมบริการอินเทอร์รัพท์จะต้องทำการเคลียร์ INTF ให้เป็น "0" ด้วยเพื่อป้องกันการอินเทอร์รัพท์ซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การสร้างและการออกแบบ

3.1 ภาคตรวจจับการเคลื่อนไหวมนุษย์

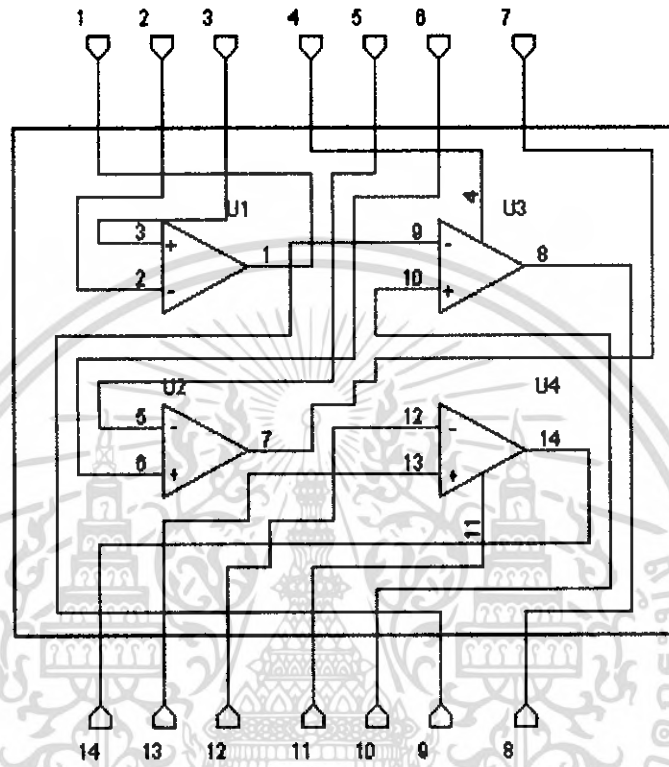


รูปที่ 3.1 ภาคตรวจจับการเคลื่อนไหวมนุษย์

การทำงานของภาคตรวจจับการเคลื่อนไหวมนุษย์จะอาศัยความร้อนจากร่างกายมนุษย์ ที่แผ่ออกมา(ต้องมีการเคลื่อนที่ของร่างกาย) ซึ่งความร้อนนี้จะมีลักษณะการแผ่ออกมาเป็นคลื่น อยู่ในย่านของอินฟราเรด ในที่นี้จะใช้ ไพโรอิเล็กทริกเซนเซอร์ เป็นตัวตรวจจับความร้อน เป็นเซนเซอร์ ที่ไม่ขึ้นกับความถี่ แต่ขึ้นอยู่กับความร้อน(ในที่นี้คือความร้อนจากร่างกายมนุษย์) คือเมื่อมีคนเดินเข้ามาในช่วงรัศมีการทำงานของตัวไพโรอิเล็กทริกเซนเซอร์ ไพโรอิเล็กทริกเซนเซอร์จะเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นสัญญาณที่มีขนาดเล็กมาก มาเข้าที่ IC LM324 ซึ่งภายในจะประกอบด้วย ออปแอมป์ จำนวน 4 ตัว ภาคแรกมีขาอินพุตคือขา 2,3 เอาต์พุตคือขา 1 ภาคนี้จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณอิน -พุต ทำให้ได้สัญญาณที่ขา 1 เป็นพัลส์แรงดันต่ำและมีนอยส์เป็นจำนวนมาก ผ่าน C คับปลิ่ง ไปยังขาอินเวอร์ติงของออปแอมป์ตัวถัดไป (ขา 6) ภาคนี้จะทำหน้าที่เป็น แบนพาสฟิลเตอร์ เอาความถี่ที่ประมาณ 1 Hz ซึ่งเป็นความถี่ที่ตอบสนองได้ดีที่สุด และขยายสัญญาณไปออกที่ขา 7 ค่าแรงดันที่จุดนี้มีค่า 2.5V-3V และจะมีค่าเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือจะมากกว่า หรือ น้อยกว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความร้อนในรัศมีที่ไพโรอิเล็กทริกเซนเซอร์ทำงาน

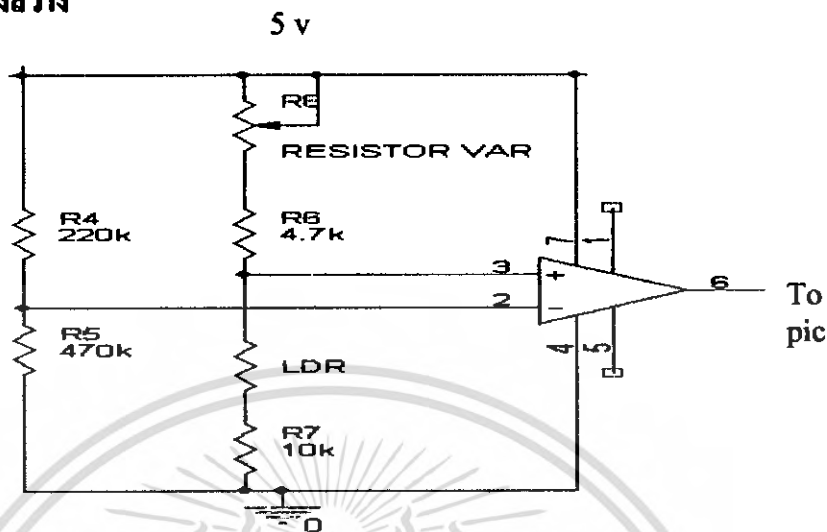


รูปที่ 3.2 วงจรภายในของ IC LM324

และสัญญาณนี้จะถูกนำไปเข้ายังขา อินเวอร์ติง(ขา13) และนอน-อินเวอร์ติง(ขา10) ของ ออปแอมป์ 2 ตัว (ขา13 และขา10 เป็น ออปแอมป์คนละตัว) ซึ่งออปแอมป์ทั้งสองตัวนี้จะทำงาน สลับกันทำงานทั้งสองตัวซึ่งเป็นวงจรคอมพารเคอร์ และเอาต์พุตของออปแอมป์ทั้งสองตัวนี้จะมี ไดโอดสองตัวต่ออยู่ (D4,D3) แบบ forward ทำให้เอาต์พุตที่ได้มีเฉพาะด้านบวก และ ศูนย์ แต่จะทำงานต่อเนื่องเพราะออปแอมป์ทำงานสลับกัน เอาต์พุตเป็น 0 v เมื่อไม่มีความร้อนจากร่างกาย ผ่านเข้ามาในรัศมีการทำงาน ของ ไพโรอิเล็กทริกเซนเซอร์ แต่เมื่อมีความร้อนผ่านเข้ามาทำให้ค่า แรงดันที่ ออกมาจาก ไพโรอิเล็กทริกเซนเซอร์ มีค่าเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้เอาต์พุตมีการ เปลี่ยนแปลงด้วยก็จะมีค่า 5 v (กรณีไฟเลี้ยง 5 v) สรุปก็คือเอาต์พุตจะให้แรงดัน 0,5 v (Low or High) แล้วก็ส่งสัญญาณไปที่ขาอินพุตของ Microcontroller PIC ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ภาคตรวจวัดแสงสว่าง



รูปที่ 3.3 ภาคตรวจวัดแสงสว่าง

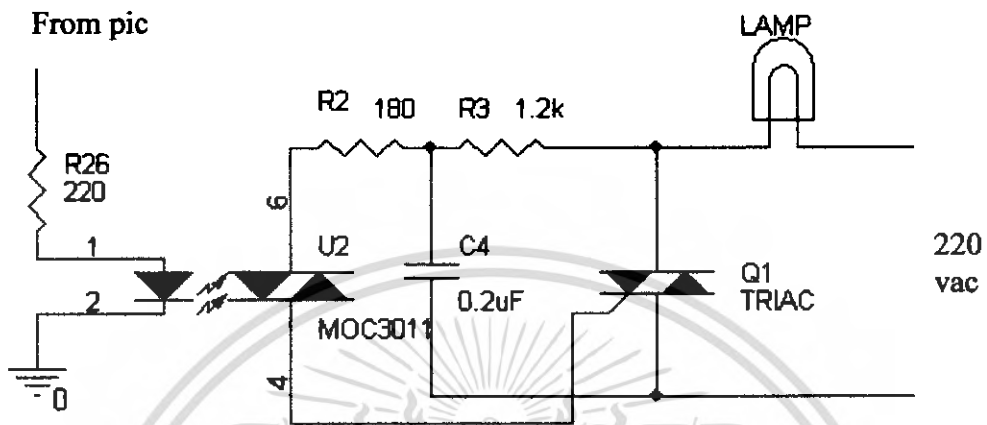
วงจรตรวจวัดแสงสว่างโดยที่เราจะใช้คุณสมบัติของ LDR คือเมื่อมีความเข้มของแสงในปริมาณน้อย ๆ (มืด) ความต้านทานสูงและเมื่อมีความเข้มของแสงมาก (สว่าง) ความต้านทานต่ำ และคุณสมบัตินี้เองเราจึงนำแอลดีอาร์มาต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดันกับความต้านทาน R6 และ R8 ที่ขานอนอินเวอร์ตติ้ง(ขา3) เพื่อที่เราจะเอาค่าแรงดันนี้ไปเปรียบเทียบกับขาอินเวอร์ตติ้ง (ขา2ค่าคงที่) ซึ่งที่ขาอินเวอร์ตติ้งเองก็มีการต่อแบ่งแรงดันของแรงดันอินพุต (อินพุต 5 v) การทำงานเบื้องต้นของวงจรมีสองกรณี คือถ้าแรงดันที่ขา 3 มีค่ามากกว่าแรงดันที่ขา 2 จะให้เอาต์พุตเป็น 5 v (High or 1) ในทางตรงข้าม ถ้าแรงดันที่ขา 2 มีค่ามากกว่าแรงดันที่ขา 3 จะให้เอาต์พุตเป็น 0 v (Low or 0) ตรงที่สำคัญในการเลือกจุดการทำงานของวงจรคือ การปรับค่า R8 วิธี การปรับคือ ในขณะที่มีแสงสว่างมากปรับให้ได้แรงดันคร่อมที่ขา 3 น้อยกว่าขา2 (ขึ้น อยู่กับความเข้มแสงที่เราต้องการ) เพื่อให้เอาต์พุตเป็น 0 v ซึ่งเราต้องคำนึงถึงเมื่อตอนที่ไม่มีแสงด้วย คือต้องปรับให้เมื่อมีแสงหรือแสงไม่เพียงพอความต้านทานของ $R6+R8$ ต้องมีค่าน้อยกว่าความต้านทานของ แอลดีอาร์+R7 ทำให้แรงดันที่คร่อม $R6+R8$ น้อยกว่าแรงดันคร่อมขา3(เทียบกราวด์) ส่งผลให้แรงดันที่ขา 2 น้อยกว่าขา 3 จะได้แรงดันที่เอาต์พุตเป็น 5 v และแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่ 0,5 นี้ในทางลอจิกจะคิดเป็นค่า Low และ High เพื่อส่งสัญญาณไป Microcontroller PIC ต่อไป

3.3 ภาคควบคุมการเปิดปิดหลอดไฟ

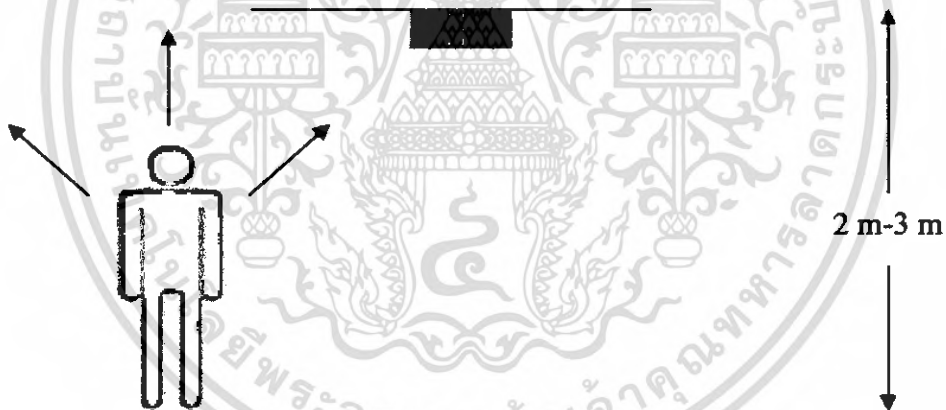
การทำงานของวงจรควบคุมการเปิดปิดหลอดไฟ ซึ่งจะมีอุปกรณ์หลักคือ ไตรแอก ออป ไดโอดไซเลท เมื่อเราส่งสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ในลักษณะที่เป็นพัลส์บวกช่วงแคบ ๆ ให้ออปไดโอดไซเลท ซึ่งภายในจะมี Zero Crossing ซึ่งออปไดโอดไซเลทจะมีการตรวจสอบแรงดันไฟสลับที่ตัดผ่านที่มุม 0 องศา ซึ่งพัลส์ที่เราส่งไปนั้นจะใช้ time delay จากคุณสมบัติไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บ้านความถี่ 50 Hz ซึ่งมีคาบเวลาเท่ากับ 20 ms เราจะใช้การส่งพัลส์แค่ช่วง 0 – 10 ms หรือ 0-180 องศา เมื่อออกไปได้อิโชนิกทำงานก็จะไปทริกไทรแอกที่มุมเฟสต่าง ๆ ได้ตามที่เรากำหนด

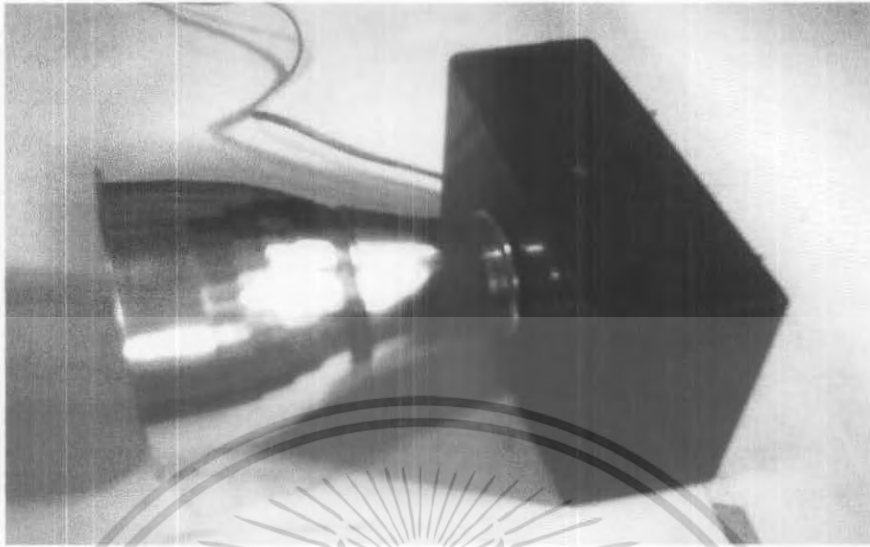


รูปที่ 3.4 ภาคควบคุมการเปิดปิดหลอดไฟ

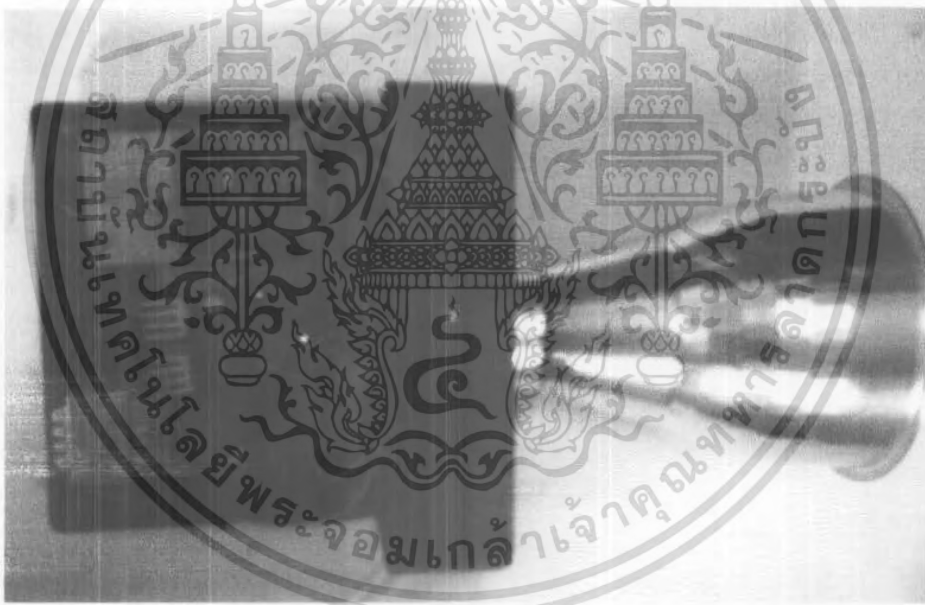


รูปที่ 3.5 ลักษณะตำแหน่งใช้งานของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ลักษณะของโครงการงาน



รูปที่ 3.7 ลักษณะภายในของโครงการงาน

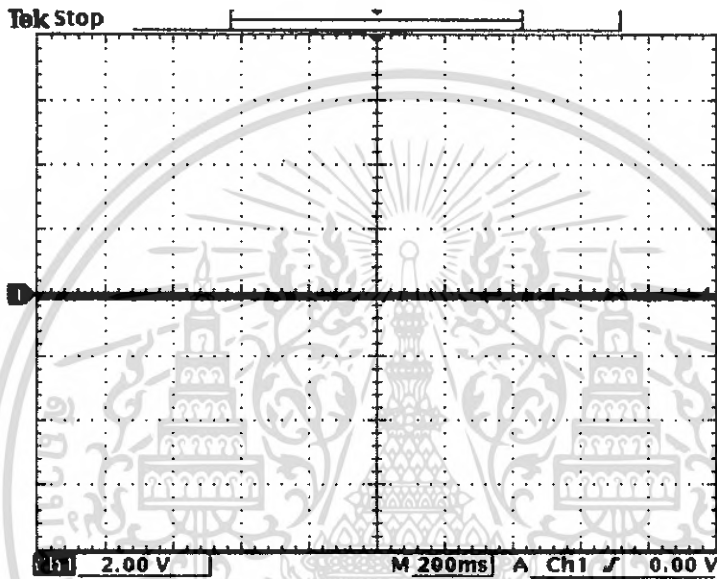
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

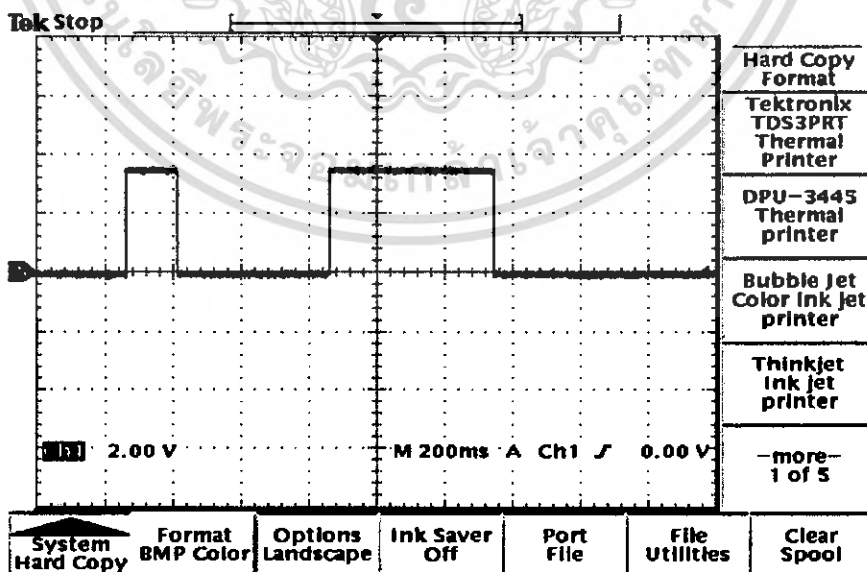
การทดลอง

4.1 การทดลองภาคตรวจสอบการเคลื่อนไหวมนุษย์

การทดลองวัดสัญญาณที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของเอาร์ทพุท



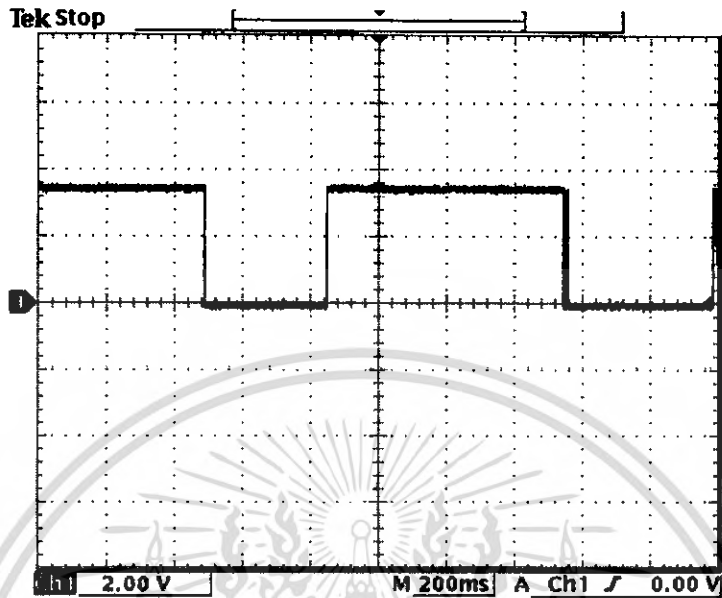
รูปที่ 4.1 ไม่มีการเคลื่อนไหวมนุษย์ผ่านไฟโรอิเล็กทรอนิกส์เซนเซอร์



รูปที่ 4.2 มีการเคลื่อนไหวมนุษย์ผ่านไฟโรอิเล็กทรอนิกส์เซนเซอร์ทางแนวนอนของเซนเซอร์

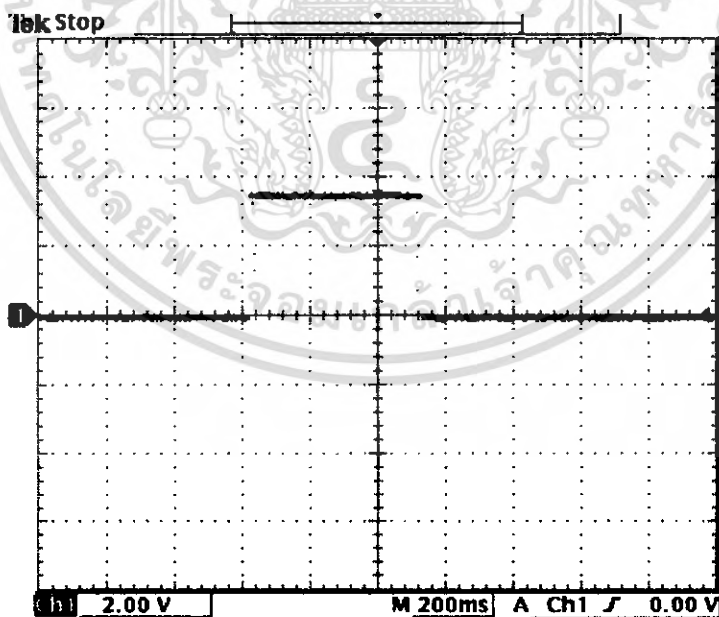
ระยะ 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 มีการเคลื่อนไหวของมนุษย์ผ่านไฟ ไรโอเล็กทริกเซนเซอร์ทางแนวนอนของเซนเซอร์

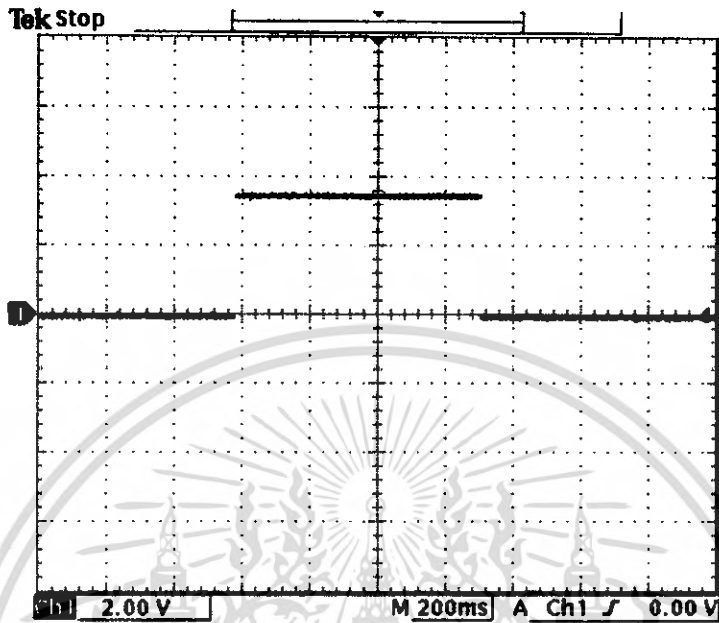
ระยะ 1.50 เมตร



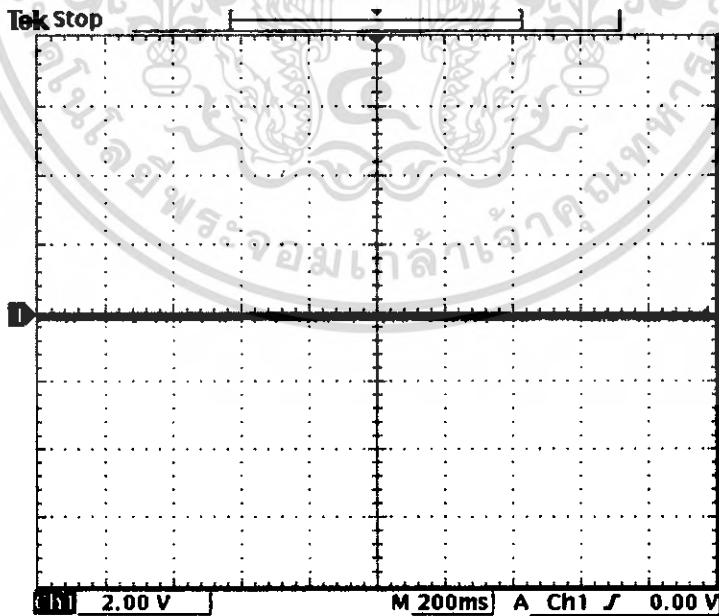
รูปที่ 4.4 มีการเคลื่อนไหวของมนุษย์ผ่านไฟ ไรโอเล็กทริกเซนเซอร์ทางแนวนอนของเซนเซอร์

ระยะ 2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 มีการเคลื่อนไหวของมนุษย์ผ่านไพโรอิเล็กทริกเซนเซอร์ทางแนวตั้งของเซนเซอร์
ระยะ 1 เมตร



รูปที่ 4.6 มีการเคลื่อนไหวของมนุษย์ผ่านไพโรอิเล็กทริกเซนเซอร์ทางแนวตั้งของเซนเซอร์
ระยะ 2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุป

จากการทำงานในส่วนต่างๆ โครงการนี้จะมีอุปกรณ์เซนเซอร์อยู่ 2 คือ ไฟโรอิเล็ทริกเซนเซอร์และแอลดีอา ซึ่งไฟโรอิเล็ทริกเซนเซอร์จะคอยตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ แอลดีอาจะคอยตรวจวัดแสงสว่างโดยรอบ จากนั้นสัญญาณจากเซนเซอร์ทั้ง 2 ตัวก็จะส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะควบคุมหลอดไฟให้มีการติดดับโดยผ่านไดรแอก

ซึ่งถ้าเราได้นำโครงการชิ้นนี้ไปติดตั้งตามสถานที่ที่กล่าวไว้แล้ว คงมีส่วนช่วยให้เราประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้

5.2 ปัญหาอุปสรรคและแนวทางการแก้ไข

1. จากการทำงานของไฟโรอิเล็ทริกเซนเซอร์ซึ่งจะมีมุมในการตอบสนอง บางครั้งอาจตรวจจับการเคลื่อนไหวได้ บางครั้งตรวจจับการเคลื่อนไหวไม่ได้ ดังนั้นต้องมีการทดสอบเพื่อหามุมที่ตอบสนองดีที่สุด

2. จะเห็นว่าไฟโรอิเล็ทริกเซนเซอร์ที่เรากดลอง ให้การตรวจจับในระยะที่ยังไม่ไกลนัก เพราะยังไม่ได้ใส่เลนส์ฟาสเนล ดังนั้นต้องหาเลนส์ฟาสเนลมาใส่ในการรวมแสงด้วย

5.3 แนวทางการพัฒนา

แนวทางการพัฒนาเกี่ยวกับความสามารถในการทำงานของโครงการ

1. พัฒนาส่วนเซนเซอร์ให้สามารถทำงานในสถานที่จริง ตำแหน่งที่ใช้งานจริง อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด

2. พัฒนาในส่วนโปรแกรมให้รองรับกับเหตุการณ์ในสถานที่จริง เพื่อที่จะได้ทำงานอย่างถูกต้องที่สุด

3. ปรับปรุงในส่วนภาคจ่ายไฟ จากการใช้แหล่งจ่ายไฟมีหม้อแปลง อาจใช้แหล่งจ่ายไฟไร้หม้อแปลง เพื่อที่ประหยัดพื้นที่และน้ำหนักเบาด้วย

4. ในด้านไมโครคอนโทรลเลอร์อาจใช้เบอร์ที่มีขนาดเล็กกว่านี้ เพื่อที่จะได้ประหยัดพื้นที่และประหยัดเงินด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. มงคล เชนครินทร์, “ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสนามไฟฟ้า”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 253 หน้า , 2520
2. วัชรินทร์ เคารพ, “เรียนรู้และเข้าใจสถาปัตยกรรมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877” 240 หน้า , 2546
3. ประจัน พลังสันติกุล, “Pic Microcontroller Programming With CCS C Compiler”, อินโนเวทีฟเอ็กเพอริเมนต์ ,312 หน้า ,2521



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

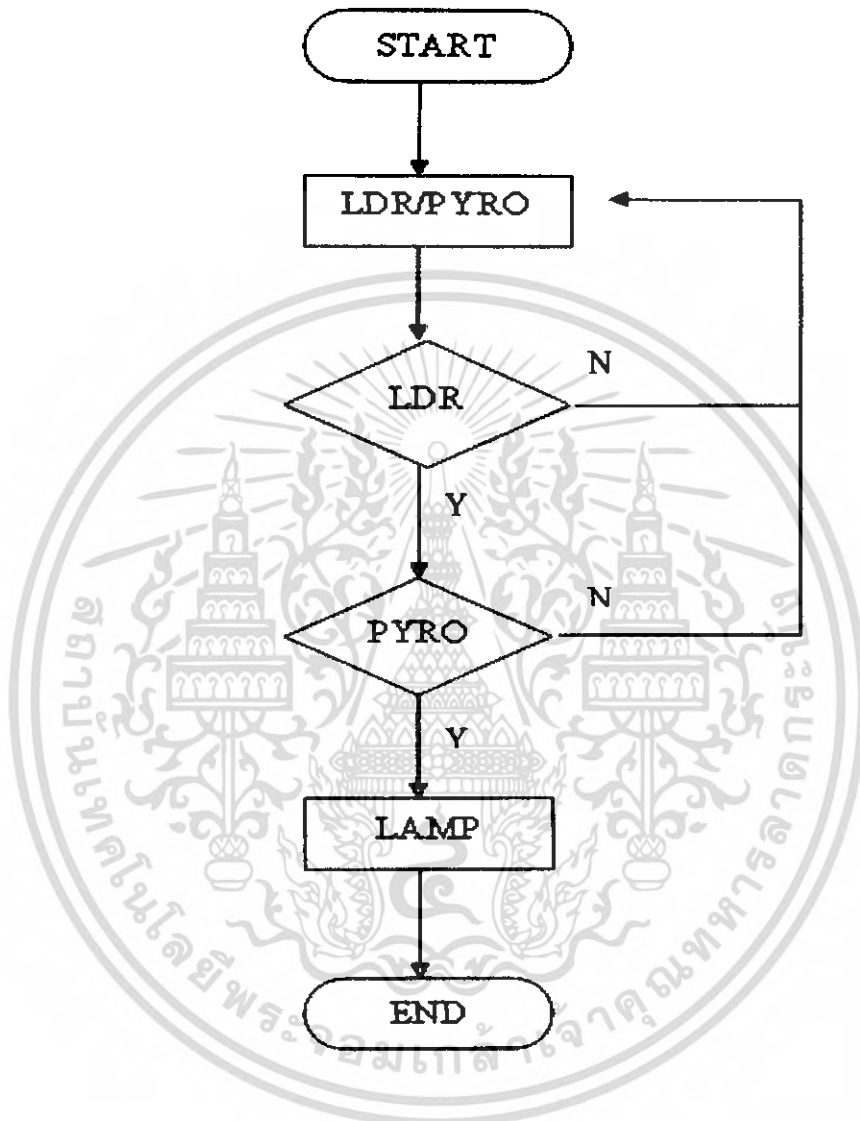


ภาคผนวก ก) รูปแสดงวงจรของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑-1 แสดง Flow Chart ของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก) โปรแกรมของ โครงการงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

```
#####*****setup*****#####
#include<16f877.h>
#define CLOCK_SP 2000000
#fuses HS
#fuses NOLVP,NOWDT
#fuses NOPROTECT
#use delay (clock=CLOCK_SP)

#use fixed_io(a_outputs=PIN_A0)
#use fast_io(B)

##define INT_EXT

BOOLEAN sen = FALSE;

int16 count = 0;
int16 i = 0;
#####**EXT**#####
#INT_EXT
void ZeroCrossing (void)
{
    sen = TRUE;
}
#####*****Main*****#####
void main(void)
{
    int dim=8;

    set_tris_B(0xF1);
    set_tris_A(0x00);
    enable_interrupts(GLOBAL);
    enable_interrupts(INT_EXT);

    while(1)
    {
#####*****start**#####
        output_low(PIN_A0);

#####**Sensor Ldr**#####

        if(!input(PIN_B4))
        {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#####***Sensor Pyro***#####
```

```
if(!input(PIN_B5))
{
  output_low(PIN_A0);

  i=2;
  while(i==2)
  {
    output_low(PIN_A0);
    if(sen)
    {
      output_low(PIN_A0);
      delay_ms(dim);
      output_high(PIN_A0);
      delay_us(500);
      output_low(PIN_A0);
      delay_us(9500);
      output_high(PIN_A0);
      delay_us(500);
      output_low(PIN_A0);
      count++;
      sen = FALSE;
    }
    else
    {
      output_low(PIN_A0);
      if(count==20)
      {
        dim=8;
      }
      if(count==40)
      {
        dim=7;
      }
      if(count==60)
      {
        dim=6;
      }
      if(count==80)
      {
        dim=5;
      }
      if(count==100)
      {
        dim=4;
      }
    }
  }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(count==120)
{
dim=3;
}
if(count==140)
{
dim=2;
}
if(count==160)
{
dim=1;
}
if(count==180)
{
dim=0;
}
#####***10 second***#####
if(count==700)
{
dim=0;
if(!input(PIN_B5))
{
count=179;
}
}
#####***dim down***#####
if(count==730)
{
dim=1;
if(!input(PIN_B5))
{
count=159;
}
}
if(count==760)
{
dim=2;
if(!input(PIN_B5))
{
count=139;
}
}
if(count==790)
{
dim=3;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        if(!input(PIN_B5))
        {
            count=119;
        }
    }
    if(count==820)
    {
        dim=4;
        if(!input(PIN_B5))
        {
            count=99;
        }
    }
    if(count==850)
    {
        dim=5;
        if(!input(PIN_B5))
        {
            count=79;
        }
    }
    if(count==880)
    {
        dim=6;
        if(!input(PIN_B5))
        {
            count=59;
        }
    }
    if(count==910)
    {
        dim=7;
        if(!input(PIN_B5))
        {
            count=39;
        }
    }
    if(count==940)
    {
        dim=8;
        count=0;
        i=0;
    }
}
#####*** finish else*** #####
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#####*** finish while***#####  
    }  
#####***finish sensor Pyro***#####  
    }  
#####*** finish sensor Ldr***#####  
    }  
#####*** finish while(true)***#####  
    }  
#####***END***#####
```



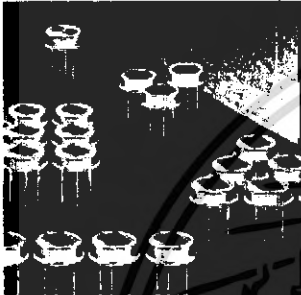
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pyroelectric Detector LHi 944

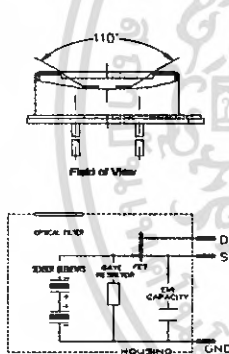
Dual Element configuration including FET and optical window



Dual Element Detector
Optimized for Light Switch Applications

The LHi 944 pyroelectric infrared-detector series represents a special dual element design recommended for motion control with extended Field of view. They include a dual element pyroelectric ceramic with FET in source follower connection, and RF protection by additional capacitor.

The LHi 944 is available as TO-18 housing with standard infrared filter. It offers high responsivity with excellent common mode performance (match) and low



Parameters	LHi 944			units	condition
	min	typical	max		
Element size	2x1			mm ²	(2 elements)
Responsivity	3.300	4000		V/W	100°C, 1 Hz
Match	1	10		%	
Noise		20	50	µVpp	25°C, 0.3...10Hz
Offset Voltage	0.2		1.55	V	R _s = 47kΩ, 25°C
D*	5.10 ⁷	19.10 ⁷		cm √Hz/W	1Hz Bw, 100°C, 1 Hz
Output Impedance		8	10	kΩ	R _s = 47kΩ, 25°C
Operating Voltage	2		12	V	R _s = 47kΩ, 25°C
Field of View, horizontal		95		°	unobstructed
Field of View, vertical		90		°	unobstructed
Operating Temperature	-40		85	°C	non permanent
Storage Temperature			85	°C	non permanent

Europe:
PerkinElmer Optoelectronics
GmbH & Co KG
Wenzel Jatzsch Str 31
85189 Wiesbaden / Germany
Phone +49(0)611 482 0
Fax +49(0)611 482 170

USA:
PerkinElmer Optoelectronics
44370 Christy Street
Fremont, CA 94538-3180
Phone +610 678 8800
+800 775 6788
Fax +610 687 1140

Asia: Dimensions in mm
PerkinElmer Optoelectronics
47, Ayer Rajah Crescent #08-12
Singapore 139847
Phone +65 778 3032
Fax +65 778 1048

Right for modification reserved / WS / 20.8.2003

www.perkinelmer.com/opto



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้