

# บทที่ 1

## บทนำ

ปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการใช้พลังงานมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะแสงสว่างถือเป็นสิ่งสำคัญมากอย่างหนึ่งในการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์เพราะไม่ว่าทำอะไร ก็ล้วนแล้วแต่ต้องใช้แสงสว่างทั้งสิ้นไม่ว่าจะอ่านหนังสือทำงาน หรือแม้กระทั่งการใช้แสงสว่างในการนำทางด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้แสงสว่างเป็นสิ่งที่จำเป็นมากต่อผู้คนในชนบทที่ห่างไกลเกินกว่าไฟฟ้าจะเข้าถึงได้ รวมถึงปัญหาในปัจจุบันที่เกิดจากภัยธรรมชาตินั้นก็คืออุทกภัยที่สร้างความเสียหายต่อสิ่งต่างๆมากมาย อีกทั้งยังส่งผลถึงความเสียหายต่อการใช้ไฟฟ้าของผู้คนส่วนมากที่ต้องการใช้ไฟฟ้าอีกด้วยเพราะเนื่องจากน้ำท่วมทำให้การไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าไปยังผู้บริโภคได้ เพราะกลัวว่าจะเป็นการอันตรายจึงทำให้ผู้ประสบภัยนั้นไม่มีไฟฟ้าใช้จำเป็นต้องอยู่ในความมืดและอันตรายต่างๆ ที่มากับความมืดจากสาเหตุและปัญหาข้างต้นทำให้กลุ่มของข้าพเจ้าเล็งเห็นแล้วว่า จะทำเครื่องกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับระบบแสงสว่างด้านหน้าอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์เพื่อแก้ไขความสิ้นเปลืองของพลังงาน ในมหาวิทยาลัยและพัฒนาระบบพลังงานทดแทนโดยใช้พลังแสงอาทิตย์เป็นตัวขับเคลื่อน

### 1.1 ความเป็นมาของปัญหา

1. ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าสูงขึ้น
2. ใช้แผงโซลาร์เซลล์เพื่อสร้างกำลังทางไฟฟ้าสำหรับไฟส่องสว่างรอบอาคารคณะ

วิศวกรรมศาสตร์

3. อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์มีแสงจากดวงอาทิตย์มากกว่าพลังงานลม
4. เพิ่มความปลอดภัยบริเวณข้างอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาและสร้างเครื่องกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์ใช้กับ คอมพิวเตอร์บริเวณข้างอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์

2. เพื่อประยุกต์หลักการทางอิเล็กทรอนิกส์กำลังเป็นตัวขับเคลื่อนพลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ไปสู่ตัวประจุแบตเตอรี่
3. เพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะของการกำเนิดพลังงานไฟฟ้าในบริเวณอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์
4. เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้บริเวณข้างอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์

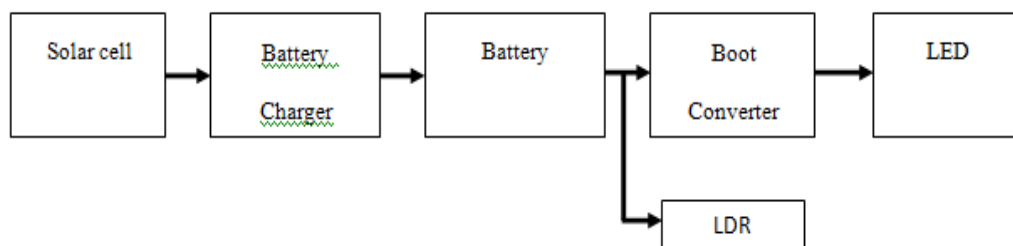
### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 300W 12 V บนดาดฟ้าอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ อาคาร 4
2. สร้าง Boot Converter ขนาด 500 W 12-50 V
3. ติดตั้งระบบโคมไฟฟาส่องทางเดินด้วยหลอดLEDเพื่อให้ความสว่างเฉลี่ยประมาณ 30Lux
4. สร้างวงจรประจุแบตเตอรี่ 12V. 500 W
5. ติดตั้งLDRเพื่อควบคุมการเปิด-ปิดด้วยแสง

### 1.4 ประโยชน์ของโครงการ

1. เข้าใจถึงระบบการทำงานของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
2. รู้จักวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำโครงการ
3. รู้จักนำพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอยู่มากมายในธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์
4. ใช้ทรัพยากรธรรมชาติรอบตัวได้อย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ

### 1.5 โครงสร้างของโครงการ



ภาพที่ 1.1 โครงสร้างการทำงาน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนของทฤษฎีนั้นจะกล่าวถึงส่วนที่เกี่ยวข้องกับโครงงานเครื่องกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับระบบแสงสว่างด้านหน้าอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์โดยมีทฤษฎีต่างๆที่ได้นำมาใช้กับโครงงานดังนี้

#### 2.1 ความหมายของ Solar Cell หรือ PV[3][4]

Solar Cell หรือ PV มีชื่อเรียกกันไปหลายอย่าง เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์สุริยะ หรือเซลล์ Photovoltaic ซึ่งต่างก็มีที่มาจากคำว่า Photovoltaic โดยแยกออกเป็น Photo หมายถึง แสง และ Volt หมายถึง แรงดันไฟฟ้า เมื่อรวมคำแล้วหมายถึงกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัสดุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงดังนั้นสรุปได้ว่า เซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon), แกลเลียม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide), อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium Phosphide), แคดเมียม เทลเลอไรด์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น ทำให้สามารถทำงานได้

#### 2.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์[3][5]

แบ่งตามวัสดุที่ใช้เป็น 3 ชนิดหลักๆ คือ



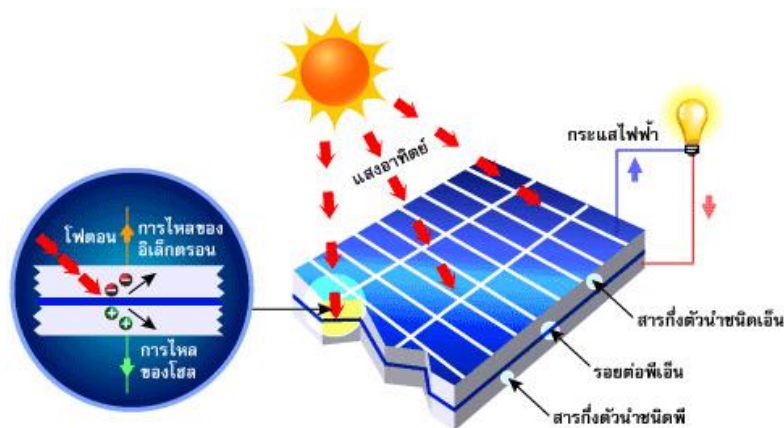
ภาพที่ 2.1 ชนิดของโซลล่าเซลล์

1. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar Cell และชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก
2. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน (0.0005 มม.) น้หนักเบาและประสิทธิภาพเพียง 5-10%
3. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำอื่นๆ เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์, แกลเลียมเทลลูไรด์ และ คอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ เป็นต้นมีทั้งชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) และผลึกรวม (Polycrystalline) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกลเลียม อาร์เซไนด์ จะให้ประสิทธิภาพสูงถึง 20-25%

### 2.3 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์[3][4]

โครงสร้างที่นิยมมากที่สุด ได้แก่ รอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนโลก คือ ซิลิคอน จึงถูกนำมาสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำซิลิคอนมาถูและผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ จนกระทั่งทำให้เป็นผลึก จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการแพร่ซึมสารเจือปนเพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็น โดยเมื่อเติมสารเจือฟอสฟอรัส จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (เพราะนำไฟฟ้าด้วยอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบ) และเมื่อเติมสารเจือโบรอน จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (เพราะนำไฟฟ้าด้วยโฮลซึ่งมีประจุบวก) ดังนั้น เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็นมาต่อกัน จะเกิดรอยต่อพีเอ็นขึ้น โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน อาจมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลมหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความหนา 200-400 ไมครอน (0.2-0.4 มม.) ผิวด้านรับแสงจะมีชั้นแพร่ซึมที่มีการนำไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าด้านหน้าที่รับแสงจะมีลักษณะคล้ายก้างปลาเพื่อให้ได้พื้นที่รับแสงมากที่สุด ส่วนขั้วไฟฟ้าด้านหลังเป็นขั้วโลหะเต็มพื้นผิว

## 2.4 หลักการทำงานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์[3]



ภาพที่ 2.2 หลักการทำงานทั่วไปของโซลาร์เซลล์

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและบวกขึ้นได้แก่อิเล็กตรอนและโฮล โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์เพื่อแยกพาหะนำไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนไปที่ขั้วลบ และพาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไปที่ขั้วบวก (ปกติพื้นฐานจะใช้สารกึ่งตัวนำชนิดพีขั้วไฟฟ้าด้านหลังจึงเป็นขั้วบวก ส่วนด้านรับแสงใช้สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ขั้วไฟฟ้าจึงเป็นขั้วลบ) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองเมื่อต่อให้ครบวงจรไฟฟ้าไฟฟ้าจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว จะให้กระแสไฟฟ้าประมาณ 2-3 แอมแปร์และให้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดประมาณ 0.6 โวลต์ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มากนักดังนั้นเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้ามามากเพียงพอสำหรับใช้งาน จึงมีการนำเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ เซลล์มาต่อกันเป็นเรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Modules) ลักษณะการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับความต้องการกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน จะทำให้ได้กระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม จะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น

## 2.5 ลักษณะเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์[3][4]

- ใช้พลังงานจากธรรมชาติ คือ แสงอาทิตย์ ซึ่งสะอาดและบริสุทธิ์ ไม่ก่อปฏิกิริยาที่จะทำให้อากาศลึ่มเป็นพิษ
- เป็นการนำพลังงานจากแหล่งธรรมชาติมาใช้อย่างคุ้มค่าและไม่มีวันหมดไปจากโลกนี้

- สามารถนำไปใช้เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทุกพื้นที่บนโลก และได้พลังงานไฟฟ้าใช้โดยตรง
- ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงอื่นใดนอกจากแสงอาทิตย์รวมถึงไม่มีการเผาไหม้จึงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะด้านอากาศและน้ำ
- ไม่เกิดของเสียขณะใช้งาน จึงไม่มีการปล่อยมลพิษทำลายสิ่งแวดล้อม
- ไม่เกิดเสียงและไม่มีการเคลื่อนไหวขณะใช้งาน จึงไม่เกิดมลภาวะด้านเสียง
- เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ และไม่มีชิ้นส่วนใดที่มีการเคลื่อนไหวขณะทำงาน จึงไม่เกิดการสึกกร่อนและต้องการบำรุงรักษาน้อยมาก
- อายุการใช้งานยืนยาวและประสิทธิภาพคงที่
- มีน้ำหนักเบา ติดตั้งง่าย เคลื่อนย้ายสะดวกและรวดเร็ว
- เนื่องจากมีลักษณะเป็นโมดูล จึงสามารถประกอบได้ตามขนาดที่ต้องการ
- ช่วยลดปัญหาการสะสมของก๊าซต่างๆในบรรยากาศ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, ไฮโดรคาร์บอน และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ฯลฯ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจำพวกน้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เกิดปฏิกิริยาเรือนกระจก ทำให้โลกร้อนขึ้น เกิดฝนกรด และอากาศเป็นพิษ ฯลฯ

## 2.6 การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์[3][4]

มีจุดเด่นที่สำคัญ แตกต่างจากวิธีอื่นหลายประการ ดังต่อไปนี้

- ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวในขณะใช้งาน จึงทำให้ไม่มีมลภาวะทางเสียง
- ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษจากขบวนการผลิตไฟฟ้า
- มีการบำรุงรักษาน้อยมากและใช้งานแบบอัตโนมัติได้ง่าย
- ประสิทธิภาพคงที่ไม่ขึ้นกับขนาด
- สามารถผลิตเป็นแผงขนาดต่างๆ ได้ง่าย ทำให้สามารถผลิตได้ปริมาณมาก
- ผลิตไฟฟ้าได้แม้มีแสงแดดอ่อนหรือมีเมฆ
- เป็นการใช้งลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้มาฟรีและมีไม่สิ้นสุด
- ผลิตไฟฟ้าได้ทุกมุมโลกแม้บนเกาะเล็กๆ กลางทะเล บนยอดเขาสูง และในอวกาศ
- ได้พลังงานไฟฟ้าโดยตรงซึ่งเป็นพลังงานที่นำมาใช้ได้สะดวกที่สุด

## 2.7 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์[3][4]

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกันและมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่มีดังนี้

### ความเข้มของแสง

กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่า เมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่งปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลกซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 1,000 W ต่อตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศา กับพื้นโลก ความเข้มของแสง จะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 750 W ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแสง

### อุณหภูมิ

กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศา C เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ  $V_{oc}$ ) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25 องศา C ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศา C จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศา C เช่น อุณหภูมิ 30 องศา C จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ( $0.5\% \times 5$  องศา C) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่  $V_{oc}$  จะลดลง 0.525 V ( $21\text{ V} \times 2.5\%$ ) เหลือเพียง 20.475 V ( $21\text{ V} - 0.525\text{ V}$ ) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดัน ไฟฟ้าก็จะลดลงซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของโซลาร์เซลล์ลดลงด้วยจากข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้นก่อนที่ผู้ใช้จะเลือกใช้แผงแสงอาทิตย์จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแผงที่ระบุไว้ในแผงแต่ละชนิดด้วยว่า ใช้มาตรฐานอะไร หรือมาตรฐานที่ใช้วัดแตกต่างกันหรือไม่ เช่นแผงชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้า

สูงสุดได้ 80 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,200 W ต่อ ตร.เมตร ณ อุณหภูมิ 20 องศา C ขณะที่อีกชนิดหนึ่ง ระบุว่า ให้กำลังไฟสูงสุดได้ 75 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,000 W ต่อ ตร.เมตร และอุณหภูมิมาตรฐาน 25 องศา C แล้ว จะพบว่าแสงที่ระบุว่าให้กำลังไฟ 80 W จะให้กำลังไฟต่ำกว่า จากสาเหตุดังกล่าว ผู้ที่จะใช้แสงจึงต้องคำนึงถึงข้อกำหนดเหล่านี้ในการเลือกใช้แสงแต่ละชนิดด้วย

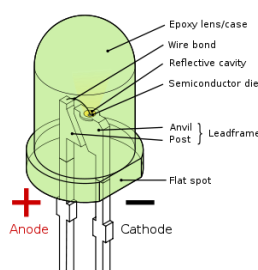
## 2.8 หลอดแอลอีดี LED ( Light Emitting Diode ) [7]

เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่ให้แสงสว่างซึ่งมีหลายขนาดและมีรูปร่างหลายแบบ ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน

### 2.8.1 คุณสมบัติของหลอด LED



สัญลักษณ์



ภาพที่ 2.3 ส่วนประกอบหลอด LED

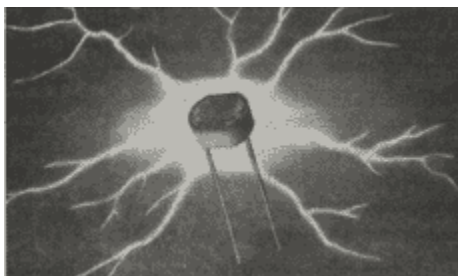
ภายในหลอดแอลอีดีประกอบด้วยแผ่นชิปสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและชนิดพีติดอยู่ในถ้วยสะท้อนแสง มีเส้นลวดทองแดงขนาดเล็กมากเชื่อมระหว่างสารกึ่งตัวนำและขาแอลอีดี (ดังภาพประกอบ) ชิ้นส่วนทั้งหมดถูกบรรจุในพลาสติกใสทรงโดม ซึ่งทำหน้าที่เป็นเลนส์รวมแสง โดยลักษณะลำแสงที่ออกจากหลอดแอลอีดีขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น รูปร่างของถ้วยสะท้อนแสง ขนาดของชิปสารกึ่งตัวนำ รูปร่างเลนส์ ระยะห่างระหว่างตัวชิปกับผิวพลาสติกที่หุ้มอยู่



### 2.8.2 การดูขั้วของหลอด LED

การดูขั้วของ LED อาจจะได้จากการดูที่ขา ซึ่งขาที่ยาวกว่ามักจะเป็น Anode (ต่อไฟด้านบวก) แต่ถ้าหากตัดขาไปแล้วอาจจะดูจากด้านที่มีขอบตัดของตัวหลอด โดยด้านที่มีขอบตัดนั้นจะเป็น Cathode เสมอ นอกจากนี้ยังสามารถดูภายในตัวหลอดได้อีกด้วย แต่ LED บางประเภทจะมีขนาดเล็กและขุ่นมัว ไม่สามารถมองเห็นภายในได้ ดังนั้นถ้าต้องการความถูกต้อง ควรจะใช้ Ohm Meter ทำการวัดขั้วในลักษณะเดียวกันกับการวัดขั้วของไดโอด

## 2.9 LDR(Light Dependent Resistor)ตัวต้านทานไวแสง[7]

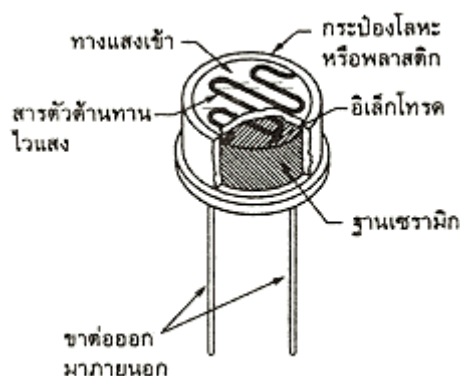


ภาพที่ 2.4 ตัวต้านทานไวแสง(LDR)

ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทไวต่อแสง หรือเปลี่ยนแปลงการทำงานของตัวมันเองตามปริมาณของแสง มีอยู่หลาย อย่าง. ตั้งแต่ LDR (Light Dependent Resistor) โฟโตโวลตาอิกเซลล์ (Photovoltaic Cell) ซึ่งจ่ายแรงดันออกมา ได้เมื่อได้รับแสง , โฟโอดีไดโอด ( Photodiode ) โฟโอดีทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) ไปจนถึงเอสซีอาร์ ที่ทำงานด้วยแสง (LASCR - Light Activated Sillicon Controlled Rectifier) ซึ่งใช้หลักการของสารกึ่งตัวนำทั้งนั้น. อุปกรณ์ ประเภทนี้ที่มีโครงสร้าง และลักษณะการทำงานง่ายที่สุดก็เห็นจะได้แก่ LDR เพราะไม่ได้ใช้หลักการของรอยต่อพี-เอ็น เหมือนกันแบบอื่นๆ ที่ได้ กล่าวมาแล้วเลย จึงจะนำมาเล่าสู่กันฟังก่อน

### 2.9.1 โครงสร้าง

ตัว LDR ว่าที่จริงแล้วมีเรียกกันอีกหลายชื่อ เช่น โฟโอดีคอนดักตีฟเซลล์ ( photoconductive cell ) หรือ ตัวต้านทาน ไวแสง ( LSR - Light Sensitive Resistor ) ส่วนใหญ่จะทำด้วยสารแคดเมียมซัลไฟด์ ( CdS ) หรือไมกซ์แคดเมียมซีนิไนด์ ( CdSe ) ซึ่งทั้งสองตัวนี้ก็เป็นสารประเภทกึ่งตัวนำเอามาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบ ไว้ออกมา

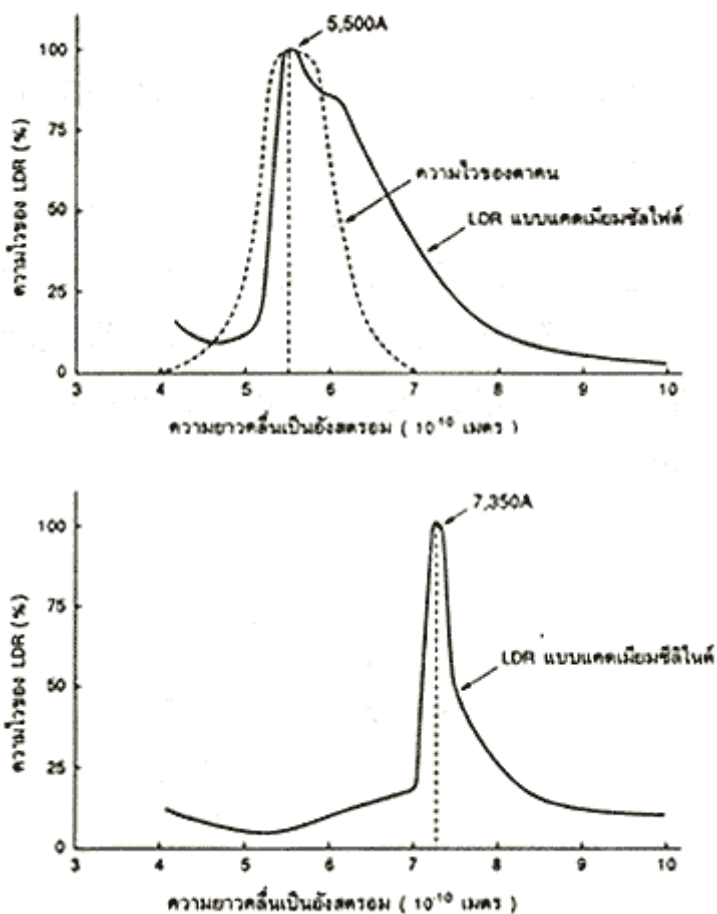


ภาพที่ 2.5 โครงสร้าง LDR

รูปร่างของมันจะเห็นได้ในภาพที่ 2.4 ส่วนที่ขดเป็นแนวเล็กลงๆ ด้านบนและที่ทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไวแสง และ แนวสีดำ นั้นจะแบ่งพื้นที่ของตัวมันออกเป็น 2 ข้าง ซึ่งถ้าดู ของจริงจะเห็นว่าออกสีทองนั้น เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ทำหน้าที่สัมผัสกับตัวต้านทานไวแสง เป็นที่สำหรับต่อขาออกมาภายนอก หรือ เรียกว่าอิเล็กทรอนิกส์ที่เหลือก็จะเป็นฐานเซรามิก และ อุปกรณ์ สำหรับห่อหุ้มมันซึ่งมีได้หลายแบบ

### 2.9.2 สมบัติทางแสง

การทำงานของ LDR ก็ง่ายๆ เพราะว่ามันเป็นสารกึ่งตัวนำ เวลาที่มีแสงตกกระทบลงไปก็จะถ่ายทอดพลังงานให้กับสารที่ฉาบอยู่ทำให้เกิดโฮลกับอิเล็กตรอนวิ่งกันพล่าน. การที่มีโฮลกับอิเล็กตรอนอิสระนี้มากก็เท่ากับความต้านทานลดลงนั่นเองยิ่งความเข้มของแสงที่ตกกระทบมากเท่าไรความต้านทานก็ยิ่งลดลงมากเท่านั้น



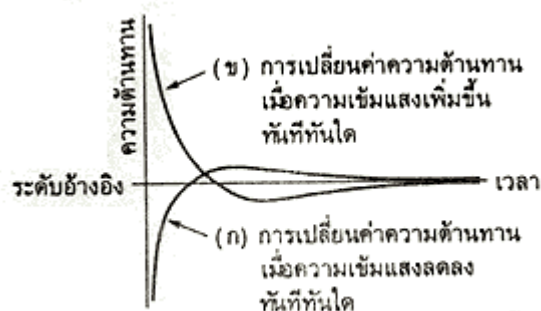
ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างกราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่าง ๆ ของ LDR ทั้ง 2 แบบ เมื่อเทียบกับความไวของตาคน

ในส่วนที่ว่าแสงตกกระทบนั่น มิใช่ว่าจะเป็นแสงอะไรก็ได้เฉพาะแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 4,000 อังสตรอม (1 อังสตรอม เท่ากับ  $10^{-10}$  เมตร) ถึงประมาณ 10,000 อังสตรอม เท่านั้นที่จะใช้ได้ (สายตาคนจะเห็นได้ในช่วงประมาณ 4,000 อังสตรอม ถึง 7,000 อังสตรอม) ซึ่งคิดแล้วก็ยังเป็นช่วงคลื่นเพียงแคบ ๆ เมื่อเทียบกับการทำงาน ของอุปกรณ์ไวแสงประเภทอื่น ๆ แต่ถึงอย่างไรแสงในช่วงคลื่นนี้ ก็มีอยู่ในแสงอาทิตย์แสงจากหลอดไฟแบบไส้ และ แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ด้วย หรือ ถ้าจะคิดถึงความยาวคลื่นที่ LDR จะตอบสนองไวที่สุดแล้ว ก็มีอยู่หลาย ความยาวคลื่น โดยทั่วไป LDR ที่ทำจากแคตโอดเมือรซิลิโคนไฟต์ จะไวต่อแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 5,000 กว่า อังสตรอม.ซึ่งเราจะเห็นเป็นสีเขียว ไปจนถึงสีเหลือง สำหรับ บางตัวแล้ว ความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของมันใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของตาคนมาก (ตาคนไวต่อความ ยาวคลื่น ประมาณ 5,550 อังสตรอม) จึงมักจะใช้ทำเป็นเครื่องวัดแสงในกล้องถ่ายรูป ถ้า LDR ทำจาก

แคดเมียมซัลไฟด์ก็จะไวต่อ ความยาวคลื่นในช่วง 7,000 กว่า อังสตรอม ซึ่งไปอยู่ใน ช่วงอินฟราเรดแล้ว

### 2.9.3 ผลตอบสนองทางไฟฟ้า[7]

อัตราส่วนระหว่างความต้านทานของ LDR ในขณะที่ไม่มีแสง กับขณะที่มีแสงอาจจะเป็นได้ตั้งแต่ 100 เท่า 1,000 เท่า หรือ 10,000 เท่า แล้วแต่รุ่นแต่โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานในขณะที่ไม่มีแสงจะอยู่ในช่วง ประมาณ 0.5 MW ขึ้นไป ในที่มีคสนิทอาจขึ้นไปได้มากกว่า 2 MW และ ในขณะที่มีแสงจะเป็นประมาณ 10 - 20kW ลง ไป อาจเหลือเพียงไม่กี่โอห์ม หรือไม่ถึงโอห์มก็ได้. ทนแรงดันสูงสุดได้ไม่ต่ำกว่า 100 V และ กำลังสูญเสีย อย่างต่ำประมาณ 50 mW

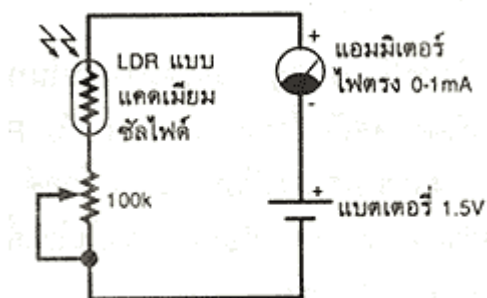


ภาพที่ 2.7 ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR

นอกเหนือจากลักษณะสมบัติต่างๆ เหล่านี้แล้วยังมีอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญ คือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันซึ่งจะดูตัวอย่างได้ในรูปที่ 2.33 ถ้า LDR ได้รับความที่มีความเข้มสูงดังเส้น ( ก) ความต้านทานจะมีค่า ต่ำ และ ในทันทีที่ความเข้มของแสงถูกลดลงเหลือเพียงระดับอ้างอิงความต้านทานก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าความต้านทานที่มันควรจะเป็นในระดับอ้างอิง. แต่แทนที่มันจะไปหยุดอยู่ระดับอ้างอิง มันกลับเพิ่มเลขขึ้นไปอีกแล้วจึงจะลดลงมาอยู่ในระดับ อ้างอิง เหมือนกับว่าเบรกมันไม่ค่อยดี และ ในทำนองเดียวกันถ้า เก็บมันไว้ในที่ความเข้มแสงน้อยๆ แล้วเปลี่ยนความเข้มเป็นระดับ อ้างอิงทันที ดังในรูป ( ข) ความต้านทานก็จะลดเล็ดต่ำลงมาจากระดับอ้างอิงแล้วจึงขึ้นไปใหม่ ยิ่งความเข้มของแสงเท่ากัน LDR แบบแคดเมียมซัลไฟด์ จะใช้เวลา ในการเข้าสู่สภาวะที่มันควรจะเป็นน้อยกว่า แบบแคดเมียมซัลไฟด์ แต่ก็จะมีวงเลี้ยวไปไกลกว่าด้วย และ อีกอย่างหนึ่งความเร็วในการเปลี่ยนระดับความต้านทานจากค่าหนึ่งไปอีกค่าหนึ่งช้ามาก. ซึ่งจะอยู่ในช่วงของมิลลิวินาทีหรือ บาง ทีก็เป็นวินาที เลย จึงทำให้ LDR ใช้ได้กับงานความถี่ต่ำๆ เท่านั้น

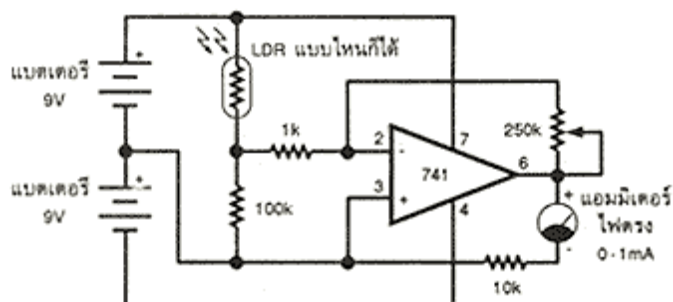
### 2.9.4 ทำเป็นเครื่องวัดแสง

ในรูปที่ 2.12 เป็นวงจรเครื่องวัดแสงแบบง่ายจริงๆ LDR ที่ใช้ก็ควรจะมีอัตราส่วนของค่าความต้านทาน ระหว่างไม่มีแสง กับมีแสงมากๆ น้อยเวลาใช้ต้องระวังอย่าให้เข็มมิเตอร์ตีเกินสเกล ของแอมป์มาเสียง่ายๆ อย่างนี้มันน่าเจ็บใจตัวเอง



ภาพที่ 2.8 เครื่องวัดแสงแบบง่ายที่สุด

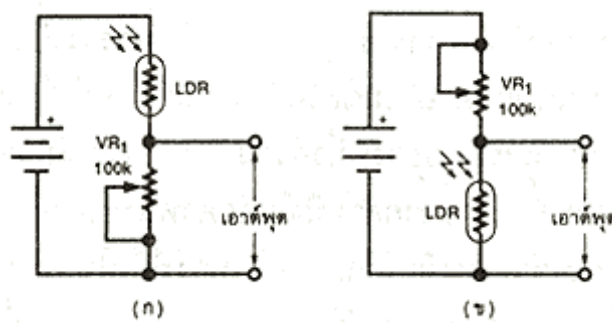
อีกวงจรหนึ่งในรูปที่ 2.9 เป็นวงจรที่ดัดแปลงให้ดีขึ้นแล้วโดยเอาออปแอมป์เบอร์ 741 มาช่วยทำให้ไวขึ้น มากจะเอา ดิจิตอลมัลติมิเตอร์มาต่อแทนแบบเข็มก็ได้ แต่ต้องระวังแสงจาก LED จะไปกวนการทำงานของ LDR



ภาพที่ 2.9 วงจรเครื่องวัดแสงที่ปรับปรุงขึ้นแล้ว

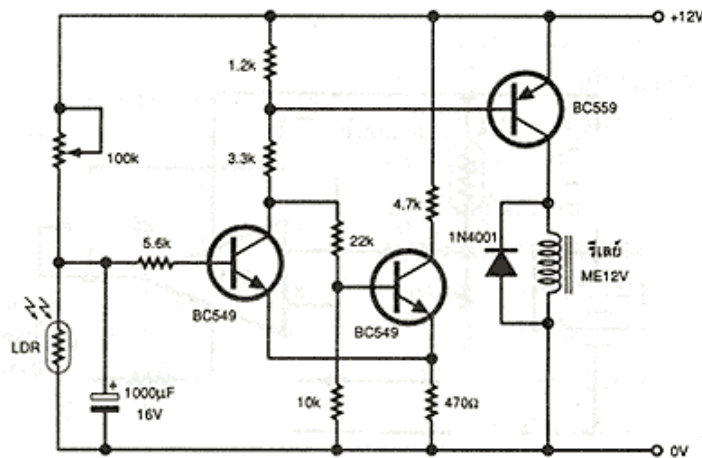
2.9.5 สวิตช์ทำงานด้วยแสง

การใช้ LDR ทำงานในวงจรปิดเปิดสวิตช์ เราก้จะใช้เพียง 2 อย่างเท่านั้น คือ มีแสง หรือไม่มีแสง. โดยทั่วไปเราจะ ใช้วิธีเอามาอนุกรมกับตัวต้านทานตัวหนึ่งแล้วต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดันออกมาตามรูปที่ 2.10 อย่างในรูป (ก) จะทำงานดังนี้ คือถ้ามีแสงสว่าง LDR จะมีความต้านทานต่ำ ทำให้แรงดันส่วนใหญ่มาตกคร่อม R1 เสียหมดแรงดันเอาต์พุต จึงสูงเกือบเท่า แรงดันไฟเลี้ยง และถ้าไม่มี แสง LDR จะมีความต้านทานสูง แรงดันส่วนใหญ่จะ ไปตกที่ LDR แรงดันเอาต์พุต จึงเกือบเป็น 0 โวลต์



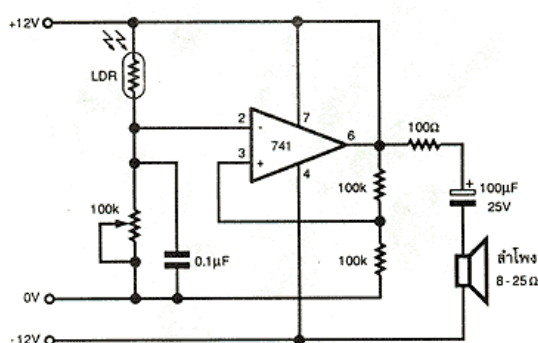
ภาพที่ 2.10 หลักการใช้ LDR ในวงจรปิดเปิดสวิตช์

ในรูปที่ 2.10 ( ข ) วงจรจะทำงาน ในทางตรงข้าม เพียงแต่สลับที่ระหว่าง LDR กับ R 1 เวลาไม่มีแสงสว่าง เอาต์พุตก็จะเกือบ เป็น 0 โวลต์เวลาไม่มีแสงสว่างเอาต์พุตก็เกือบเท่าแรงดันไฟเลี้ยงจะเห็นได้ว่ากลับกับกรณีแรก



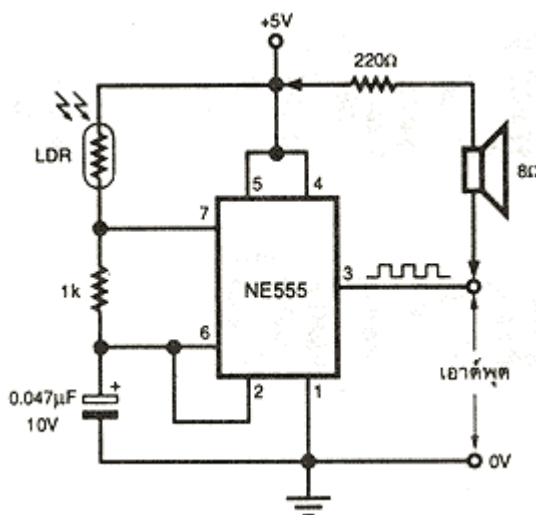
ภาพที่ 2.11 ตัวอย่างวงจรควบคุมสวิตช์โดยรีเลย์จะทำงานเมื่อไม่มีแสงสว่าง

ทั้ง 2 กรณี จะมีวงจรที่ต่อออกไปสำหรับจับสัญญาณว่ามีแสงสว่างหรือไม่. แล้วนำไปควบคุมสวิตช์ อีกทีให้ ทำงานใน กรณีที่ต้องการ. ในรูปที่ 2.11 เป็นตัวอย่างวงจรซึ่งรีเลย์จะทำงานเมื่อไม่มีแสงสว่าง ซึ่งถ้าเราไม่ต้องการแบบนี้และ อยากให้รีเลย์ ทำงาน เมื่อมีแสงสว่างก็เพียงแค่ สลับที่ระหว่าง LDR กับความต้านทานปรับค่าได้ 100 kW เท่านั้น



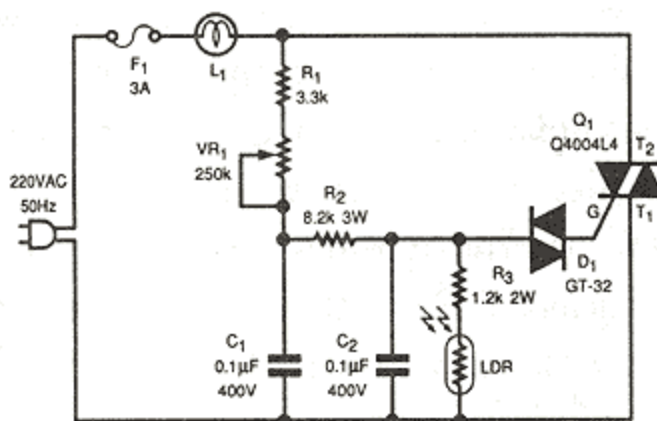
ภาพที่ 2.12 วงจรเตือนภัยเป็นเสียงเมื่อมีแสงสว่างกระทบ LDR

ในรูปที่ 2.12 ก็เป็น ตัวอย่างวงจรอีกอันหนึ่งทำงานเมื่อมีแสงสว่างตัวอย่างอื่นๆ ก็ได้แก่ วงจรจับควันไฟ, วงจรกะพริบเพื่อความปลอดภัยเมื่อมีรถยนต์แล่นผ่านมา ซึ่งโดยหลักการแล้วไม่ ยากคงจะนำไปดัดแปลงใช้ LDR ตลอดช่วง



ภาพที่ 2.13 ตัวอย่างวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณ

นอกจากวงจรเครื่องวัดแสง ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีในการประยุกต์ LDR ให้ใช้งานแบบทุกช่วงการเปลี่ยนแปลงแล้ว ยังมีคน ดัดแปลงไปใช้ในวงจรอื่นๆ อีก เช่นวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อเชื่อมต่อส่วนที่เป็น วงจรอะนาล็อกให้ส่งสัญญาณผ่านเข้าไปทำงานในวงจรดิจิทัลได้ ดังเช่น รูปที่ 2.13 เป็นวงจรแปลงระดับความเข้มแสง ซึ่งเป็นสัญญาณอะนาล็อกให้ออกมาเป็นจำนวนลูกคลื่นสี่เหลี่ยม ยิ่งความเข้มแสงมากเท่าไรจำนวนลูกคลื่น สี่เหลี่ยมก็จะยิ่งออกมามากเท่านั้น วงจรนี้ ใช้ไอซี 555 ความถี่ของคลื่นที่ออกมาจะได้ประมาณ 22kHz ถ้าเอาไป รับแสงใกล้ๆ หลอดไฟขนาด 60 วัตต์ แต่ละ หลอดเพียงประมาณ 1Hz ในที่มืด ถ้าเอาลำโพงอนุกรมกับตัวต้านทาน 220W ไปต่อเข้ากับขา 3 และ ไฟบวกก็จะได้ยินเสียง สูงๆต่ำๆตามความเข้มของแสง ลองดูก็ได้คงจะสนุกไม่เลว และตัวอย่างอีกอันหนึ่งจะเห็นได้ในรูปที่ 2.14 เป็นวงจรเปิด - หรี - ปิดไฟซึ่งจะควบคุมให้หลอดไฟสว่างขึ้นในขณะที่แสงสว่างของสภาพแวดล้อมลดลงเป็นตัวอย่างที่ดีเหมือนกัน



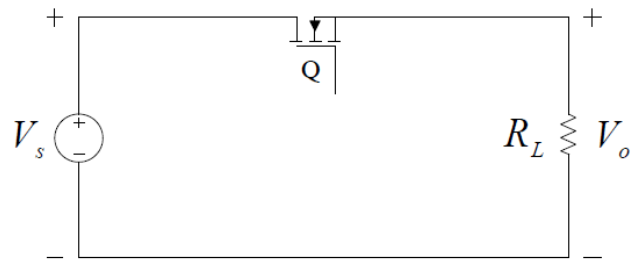
ภาพที่ 2.14 วงจรเปิด-หรี-ปิดไฟ

## 2.10 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรง[6][1]

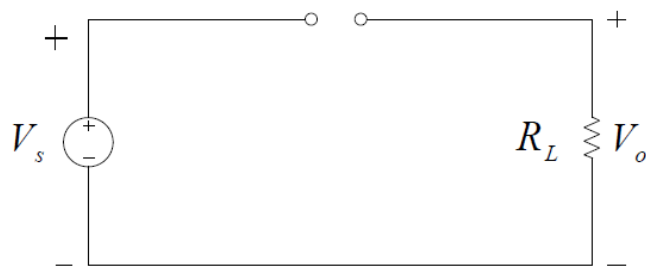
### 2.10.1 หลักการทำงานของวงจรช้อปเปอร์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสวิตซ์ซึ่งเช่นมอสเฟตหรือ ไอจีบีทีจะทำหน้าที่เป็นสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์จะถูกกำหนดให้ทำงานในโหมคนำกระแสและหยุดนำกระแสโดยสมมติให้ทำงานเช่นเดียวกับการทำงานของสวิตซ์ในอุดมคติดังแสดงในรูปที่ 2.15

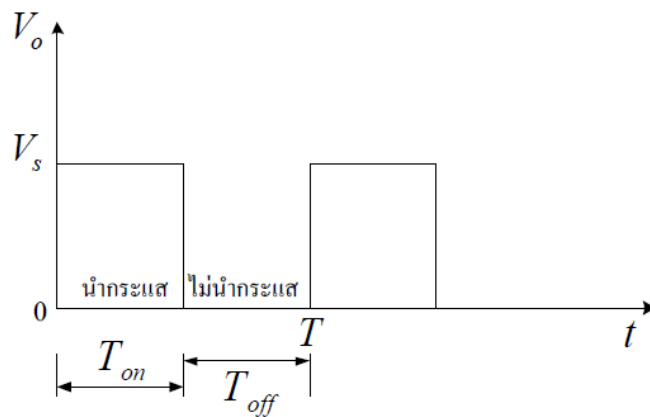




ก. วงจรช้อปเปอร์



ข. วงจรสมมูลของสวิตช์



ค. แรงดันไฟฟ้าด้านออก

ภาพที่ 2.15 การทำงานของวงจรช้อปเปอร์

เมื่อสวิตช์นำกระแสแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับแรงดันอินพุต ( $V_o = V_{in}$ ) และหากสวิตช์ไม่นำกระแสแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับ 0 ( $V_o = 0$ ) ซึ่งช่วงเวลาในการนำกระแสและหยุดนำกระแสจะได้แรงดันเอาต์พุตออกเป็นสัญญาณพัลส์ดังแสดงในรูป 2.15 ซึ่งสามารถหาค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุตได้ดังนี้

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^t V_o(t) dt$$

$$= \frac{1}{T} \int_0^{DT} V_s dt$$

$$V_o = V_s D \quad (2.1)$$

จากสมการที่(2.1)จะพบว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกจะถูกควบคุมได้จากการปรับค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle หรือ Duty Ratio:D) ซึ่งDหมายถึงอัตราส่วนของช่วงเวลาที่สวิตช์นำกระแสต่อช่วงเวลานึ่งคาบการสวิตช์ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ (2.2)

โดย  $V_s$  คือแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

D คือ ดิวตี้ไซเคิล

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} \quad (2.2)$$

$$t_{on} = DT$$

$$t_{off} = (1 - D)T$$

โดย

$t_{on}$  คือ ช่วงเวลานำกระแส

$t_{off}$  คือ ช่วงเวลาหยุดนำกระแส

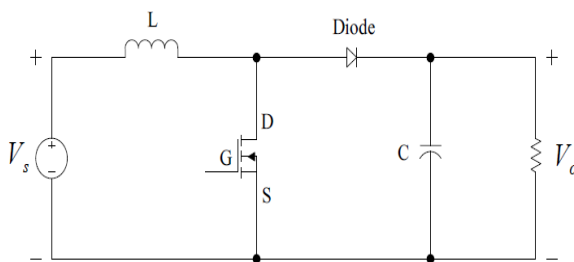
T คือ เวลาคาบ

### 2.10.2 วงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์คือวงจรที่ทำการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าซึ่งแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตจะสูงกว่าแรงดันทางด้านอินพุต

เงื่อนไขการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำตำแหน่งเดียวกันในแต่ละคาบจะมีค่าเท่ากันและมีค่าเป็นบวกเสมอ
2. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์
3. ตัวเก็บประจุต้องมีขนาดใหญ่เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าคงที่
4. กำลังไฟฟ้าอินพุตเท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุต



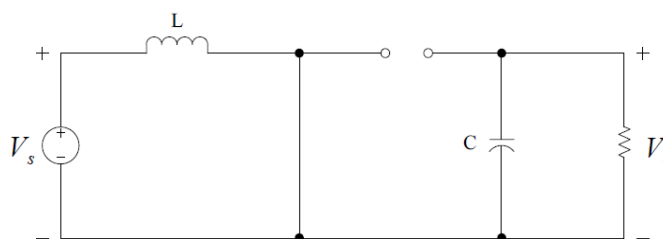
รูปที่ 2.16 วงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์

### 2.10.3 หลักการทำงานของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์

หลักการทำงานของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์เพื่อให้แรงดันด้านเอาต์พุตมีค่าตามต้องการ จะเริ่มต้นที่ข้อกำหนดคือแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์และสามารถหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้โดยวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมด

#### 1. ขณะสวิตช์นำกระแส

จากรูปที่ 2.18 เมื่อสวิตช์นำกระแสกระแสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำผ่านสวิตช์ซึ่งทำให้ตัวเหนี่ยวนำประจุพลังงานไฟฟ้าขณะเดียวกันไดโอดจะถูกไบอัสย้อนกลับทำให้ไม่สามารถนำกระแสได้จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้า (สมการที่2.3)



ภาพที่ 2.17 วงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ขณะนำกระแส

$$-V_s + V_L = 0 \tag{2.3}$$

$$V_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \tag{2.4}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L}$$

ขณะที่สวิตช์นำกระแส  $dt = DT$  เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสคงที่อาจจะถือว่าการเพิ่มของกระแสไฟฟ้าเป็นเชิงเส้นทำให้สามารถคำนวณได้จาก

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_S}{L} \quad (2.5)$$

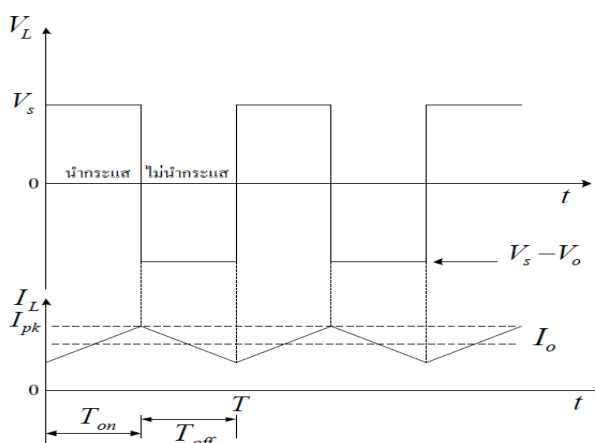
$$\Delta i_{L,om} = \frac{V_S DT}{L} \quad (2.6)$$

โดย

$\Delta i_{L,om}$  คืออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์นำกระแส

$D$  คือ ดิวตี้ไซเคิล

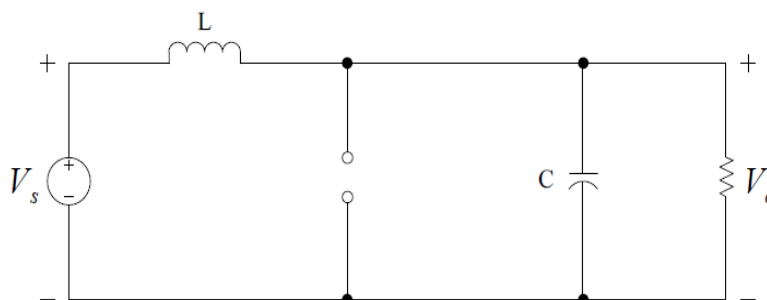
$T$  คือ เวลาหนึ่งคาบ



ภาพที่ 2.18 แรงดัน ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

## 2. ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแสกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนทันทีทันใดไม่ได้ใดโอดจะ ถูกไบอัสไปหน้าให้นำกระแสทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องจากกฎของ เคนร์ซอพฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (สมการที่ 2.7)



ภาพที่ 2.19 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ขณะไม่นำกระแส

$$- V_s + V_L + V_o = 0 \quad (2.7)$$

$$V_L = V_s - V_o$$

$$V_L = L \frac{di_L}{dt}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.8)$$

ขณะสวิตช์หยุดนำกระแส  $dt = (1 - D)T$  อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำคงที่และถือว่าการลดลงของกระแสเป็นเชิงเส้น

$$\Delta i_{L,om} = \left( \frac{V_s - V_o}{L} \right) (1 - D)T \quad (2.9)$$

ที่สภาวะอยู่ตัวการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับศูนย์

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.10)$$

$$\left( \frac{V_s}{L} \right) DT + \frac{(V_s - V_o)(1 - D)T}{L} = 0 \quad (2.11)$$

$$V_s D + (V_s - V_o)(1 - D) = 0$$

$$V_s D + V_s - V_s D - V_o + V_o D = 0$$

$$V_s - V_o(1 - D) = 0$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1 - D} \quad (2.12)$$

สมมติให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องและมีค่าเป็นบวกคั้งนั้นจะหาค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดที่ทำให้วงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ทำงานได้ในขอบเขตระหว่างโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง (สมการที่ 2.13)

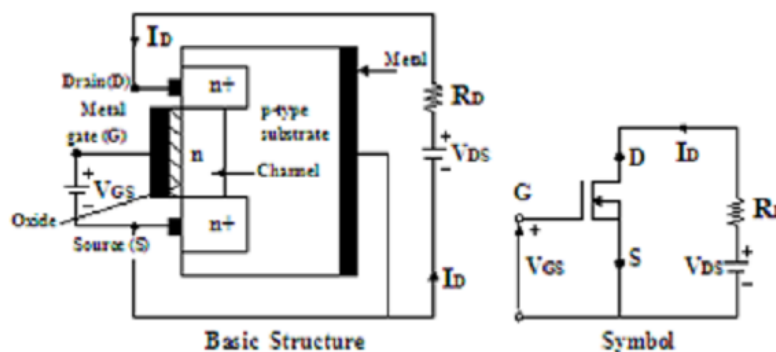
$$L = \left( \frac{(V_{in}\sqrt{2})D(max)}{(\Delta I_f)} \right) \quad (2.13)$$

การปรับค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดจากสมการที่ (2.13) สามารถทำได้โดยการปรับที่ค่า  $D$  หรือค่าความต้านทานโหลดหรือความถี่สวิตซ์

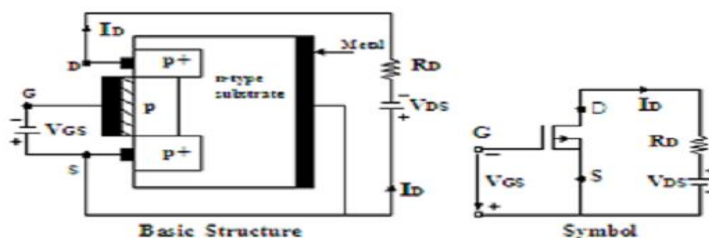
### 2.11 มอสเฟตกำลัง[1][6]

มอสเฟตกำลังสามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูงตั้งแต่ 50 กิโลเฮิร์ตซ์ ไปจนถึงประมาณ 200-400 กิโลเฮิร์ตซ์ เนื่องจากใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้นมอสเฟตเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมด้วยแรงดันและต้องการกระแสอินพุตต่ำมาก ๆ ความเร็วในการสวิตซ์สูงเวลาในการสวิตซ์ซึ่งต่ำมากเป็นนาโนวินาทีที่มอสเฟตกำลังได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านคอนเวอร์เตอร์ที่กำลังต่ำ ความถี่สูงเมื่อต้องการให้มอสเฟตกำลังนำกระแสอย่างต่อเนื่องจะต้องมีการป้อนแรงดันไฟฟ้าระหว่างขาเกตกับขาซอร์ส ( $V_{GS}$ ) อย่างต่อเนื่องความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอร์ส ( $R_{DS(on)}$ ) จะขึ้นอยู่กับพิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้าหากทนแรงดันไฟฟ้าได้สูงก็ยิ่งทำให้ค่าความต้านทานขาเดรนกับขาซอร์สมีค่ามากขึ้นซึ่งจะมีผลต่อกำลังสูญเสียจากการนำกระแส (Conduction Losses)

โครงสร้างของมอสเฟตกำลังมีทั้งชนิด N-Channel และ P-Channel



ภาพที่ 2.20 มอสเฟตกำลังชนิด N-Channel

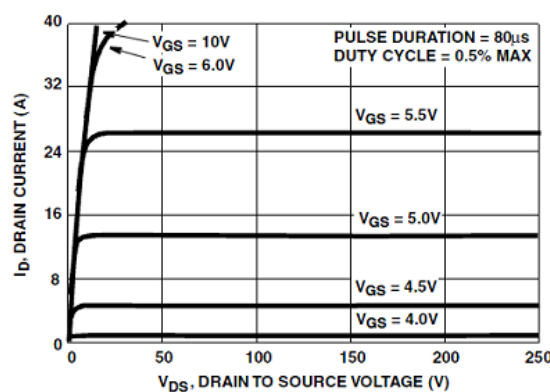


ภาพที่ 2.21 มอสเฟตกำลังชนิด P-Channel

มอสเฟตมีด้วยกัน 2 ชนิดคือ Depletion Mosfet และ Enhancement Mosfet Depletion Mosfet ชนิด N-Channel จะมีโครงสร้างที่เป็นชั้นสารซิลิคอนชนิด P-Type ดังรูปที่ 2.20 และซิลิคอนแบบ  $n^+$  ซึ่งมีความต้านทานต่ำจะถูกแยกทางไฟฟ้าออกจาก Channel ด้วยชั้นของออกไซด์บางๆ ขาทั้งสามของมอสเฟตมีชื่อเรียกว่า เกต (Gate) เดรน (Drain) และซอร์ส (Source) แรงดันที่เกตกับซอส ( $V_{GS}$ ) นั้นจะเป็นบวกหรือลบก็ได้ ถ้า  $V_{GS}$  เป็นลบอิเล็กตรอนบางส่วนในพื้นที่ของ N-Channel จะถูกผลักออกไปและบริเวณปลอดพาหะจะถูกสร้างขึ้นที่ด้านล่างของชั้นของออกไซด์เป็นผลทำให้ Channel แคบลงความต้านทานระหว่างเดรนและซอร์ส ( $R_{DS}$ ) จะสูงขึ้นถ้า  $V_{GS}$  มีค่าเป็นลบมากพอที่จะทำให้ Channel ปลอดพาหะอย่างสมบูรณ์ซึ่งทำให้  $R_{DS}$  มีค่าสูงขึ้นจนไม่มีกระแสไหลจากเดรนไปยังซอร์ส  $I_{DS} = 0$  แล้วแรงดัน  $V_{GS}$  ดังกล่าวเรียกว่า Pinch-Off Voltage,  $V_P$  เมื่อ  $V_{GS}$  มีค่าเป็นบวก Channel จะเริ่มกว้างมากขึ้น  $I_{DS}$  เพิ่มขึ้นเนื่องจาก  $R_{DS}$  ลดลงสำหรับใน Depletion Mosfet แบบ P-Channel จะมีขั้วของ  $V_{DS}$ ,  $I_{DS}$  และ  $V_{GS}$  ที่ตรงกันข้ามกับ N-Channel ใน Enhancement Mosfet แบบ N-Channel นั้นจะไม่มี Channel ดังรูปที่ 2.20 ถ้า  $V_{GS}$  เป็นบวกอิเล็กตรอนจะถูกดูดจาก P-Type Substrate ไปสะสมที่บริเวณผิวของออกไซด์ดังรูปที่ 2.22 ถ้า  $V_{GS}$  มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ Threshold Voltage,  $V_T$  แล้วอิเล็กตรอนที่สะสมจะมีปริมาณมากพอที่จะทำให้เกิด N-Channel เสมือนขึ้นและทำให้กระแสไหลจากเดรนไปยังซอร์สได้สำหรับใน P-Channel Enhancement Mosfet สภาพขั้วของ  $V_{DS}$ ,  $I_{DS}$  และ  $V_{GS}$  จะตรงกันข้ามกับ N-Channel

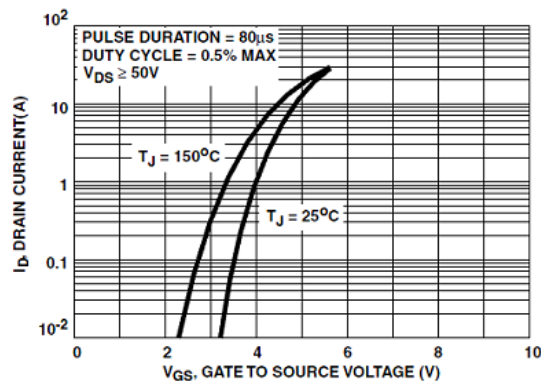
### 1. พารามิเตอร์ในการทำงานของมอสเฟตกำลัง

จากกราฟของ  $I_D$  เทียบกับ  $V_{DS}$  ที่ค่า  $V_{GS}$  ต่างๆ กันดังรูปที่ 2.22 จากกราฟแรงดัน Threshold Voltage,  $V_T$  จะมีค่าเท่ากับ 4 V และในการทำให้แรงดัน  $V_{GS}$  มีค่าคงที่ไว้ทำให้กระแส  $I_D$  มีค่าเกือบจะคงที่ ที่บริเวณ Pinch-Off เนื่องจากความต้านทานในขณะทำงาน



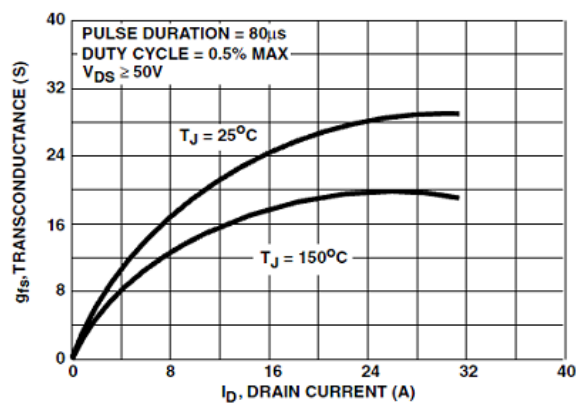
ภาพที่ 2.22 ลักษณะสมบัติทางเอาท์พุทของมอสเฟต

Transfer Characteristic เป็นกราฟของ  $I_D$  เทียบกับ  $V_{GS}$  ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.23



ภาพที่ 2.23 ลักษณะสมบัติไอออนย้าของมอสเฟต

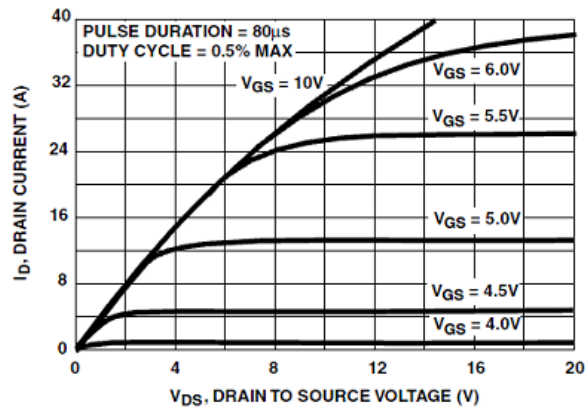
Transconductance  $g_{fs}$ . เป็นค่าที่ได้จาก Transfer Characteristic ดังรูปที่ 2.24



ภาพที่ 2.24 ค่าทรานส์คอนดักแตนซ์เทียบกับกระแสเดรน

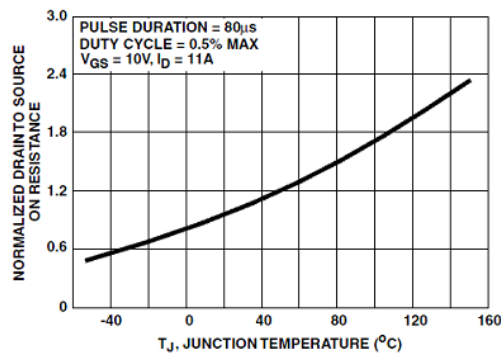
ลักษณะสมบัติเชิงเส้น Linear Characteristic เป็นลักษณะสมบัติทางเอาท์พุทที่ค่า  $V_{DS}$  ต่ำๆ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับนำไปใช้ในงานสวิตซ์ซึ่งจากการที่  $V_{DS}$  มีค่าต่ำในบริเวณเชิงเส้นจึงมักจะกำหนดเป็นลักษณะสมบัติอิ่มตัว Saturation Characteristic ดังรูปที่ 2.25





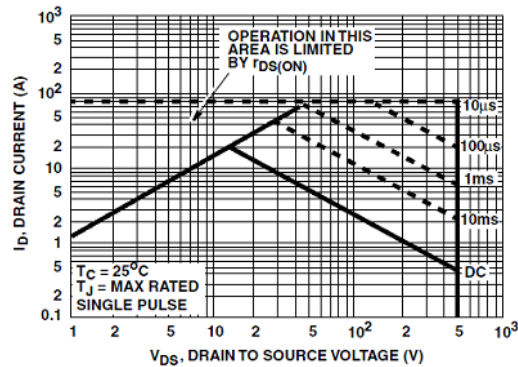
ภาพที่ 2.25 ลักษณะสมบัติอิมิตัวของมอสเฟต

ความต้านทานขณะทำงาน On-State Resistance,  $R_{DS}$  ค่า  $R_{DS}$  เป็นการแสดงถึงการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าในขณะที่มอสเฟตนำกระแส  $R_{DS}$  จะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นเมื่ออุณหภูมิที่รอยต่อ  $T_j$  เพิ่มขึ้นรูปที่ 2.24 การเพิ่มขึ้นของ  $R_{DS}$  ที่ค่า  $I_D$  และ  $V_{DS}$  ต่างๆกันดังภาพที่ 2.25 จะไม่เป็นเชิงเส้นกำลังไฟฟ้่าสิ้นเปลือง  $P_D = R_{DS} I_D^2 = V_{DS} I_D$  ซึ่งจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ตัวถึงเพิ่มขึ้นรูปที่ 2.26



ภาพที่ 2.26 ค่าความต้านทานขณะทำงานเทียบกับอุณหภูมิที่รอยต่อ

พื้นที่การทำงานที่ปลอดภัย Safe Operating Area, SOA แสดงดังรูปที่ 2.27 ซึ่งจะแสดงถึงค่าของ  $I_D$  สูงสุดกับค่าของ  $V_{DS}$  สูงสุด ในขณะที่มอสเฟตสวิตช์ปิดวงจรและสวิตช์เปิดวงจรโดยจะเป็นขีดจำกัดทางอุณหภูมิ สำหรับมอสเฟตจะไม่มีปรากฏการณ์ Second Breakdown แต่จะมีข้อจำกัดของกระแส  $I_D$  ที่ค่า  $V_{DS}$  ต่ำๆเนื่องจากความต้านทานในขณะทำงานเพิ่มขึ้น สำหรับการงานในช่วงสั้นๆ ขอบเขตของ SOA จะกว้างขึ้นคือ  $V_{DS}$  กับ  $I_D$  มีค่ามากขึ้นนั่นเองโดยปกติ SOA จะกำหนดไว้ที่  $T = 150^{\circ}C$



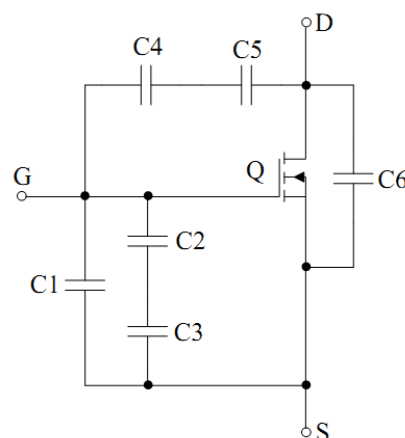
ภาพที่ 2.27 พื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยที่สุด

## 2. เงื่อนไขของวงจรขั้วมอสเฟทกำลัง

การขั้วมอสเฟทกำลังให้นำกระแสที่แตกต่างจากการขั้วกระแสในไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์กำลังเนื่องจากมีเงื่อนไขการไบแอสที่ต่างกันสำหรับไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์กำลังกระแสจะไหลผ่านคอลเล็กเตอร์และอิมิตเตอร์ได้ต่อเมื่อมีกระแสไบแอสผ่านที่เบสและอิมิตเตอร์แต่ มอสเฟทกำลังจะมีกระแสไหลผ่านเดรนและซอร์สได้ต่อเมื่อแรงดันคั่นคร่อมที่ขาเกตและซอร์สมีค่าอย่างต่ำเท่ากับค่าแรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage) ของมอสเฟทแต่ใช้กระแสต่ำดังนั้นการขั้วมอสเฟทกำลังให้นำกระแสจึงสามารถทำได้ง่าย

## 3. ค่าความจุไฟฟ้าด้านอินพุท

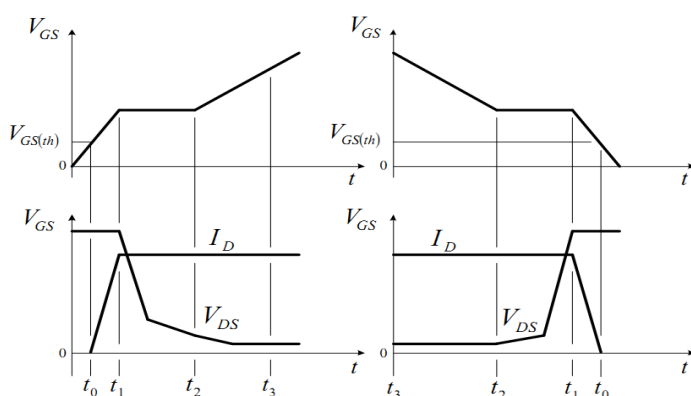
เนื่องจากลักษณะ โครงสร้างภายในของมอสเฟทกำลังเหมือนกับมีตัวเก็บประจุต่ออยู่รอบๆ ขาของมอสเฟทตามรูปที่ 2.28



ภาพที่ 2.28 ตัวเก็บประจุแฝงที่ต่ออยู่ที่ขาต่างๆภายในมอสเฟทกำลัง

ตัวเก็บประจุเหล่านี้บังคับให้มอสเฟทกำลังต้องชาร์จประจุเข้าไปที่ตัวเก็บประจุเสียก่อน เพื่อให้แรงดันตกคร่อมที่ขาเกต  $V_{GS}$  มีค่าเพิ่มขึ้นถึงขีดเริ่มมอสเฟทกำลังจึงจะเริ่มนำกระแสในทางกลับกันการหยุดนำกระแสของมอสเฟทกำลังจะต้องทำให้ตัวเก็บประจุคายประจุออกไปจนแรงดันตกคร่อมที่ขาเกต  $V_{GS}$  มีค่าลดลงต่ำกว่าค่าขีดแรงดันเริ่มมอสเฟทกำลังจึงจะหยุดนำกระแสโดยทั่วไปแล้วค่าความจุของตัวเก็บประจุในมอสเฟทกำลังจะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของมอสเฟท

เมื่อมอสเฟทกำลังเริ่มชาร์จประจุที่ขาเกตจนกระทั่งพ้นช่วงเวลาหน่วงก่อนเริ่มนำกระแสเมื่อแรงดันที่ขาเกตมากกว่าแรงดันขีดเริ่ม  $V_{GS(th)}$  จึงจะเริ่มมีกระแสไหลผ่านเดรนและซอร์สที่เวลา  $t_0$  ค่าของแรงดันจะยังไม่ลดลงจนกว่าจะผ่านเวลาเท่ากับ  $t_1$  แรงดันตกคร่อมที่เดรนและซอร์ส  $V_{GS}$  จึงมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจากค่าแรงดันที่ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์จนเหลือเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าแรงดันตกคร่อม  $V_{GS}$  สูงสุด มอสเฟทกำลังจะนำกระแสต่อเนื่องได้อย่างเต็มที่ในช่วงเวลาเริ่มนำกระแส ถึง  $t_2$  และแรงดันตกคร่อมที่ขาเกต  $V_{GS}$  จะคงที่จนกว่ามอสเฟทกำลังจะสามารถนำกระแสได้อย่างเต็มที่ตามรูปที่ 2.29 ในช่วงเวลาสะสมประจุส่วนเกินนั้นค่าความต้านทานระหว่างเดรนกับซอร์สจะมีค่าลดลงเรื่อยๆถ้าปล่อยให้มีการสะสมประจุต่อไปในช่วงเวลา  $t_2$  ถึง  $t_3$  แต่ประจุสะสมที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการหน่วงขณะเริ่มหยุดนำกระแสเนื่องจากมอสเฟทกำลังจะต้องใช้เวลามากในการคายประจุส่วนเกินที่ไปดังนั้นการขับมอสเฟทด้วยแรงดันสูงเกินความจำเป็นจะทำให้ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสเพิ่มขึ้น



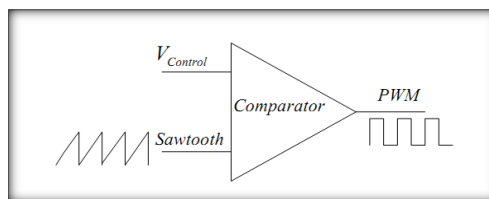
ก. มอสเฟทเริ่มนำกระแส

ข. มอสเฟทเริ่มหยุดนำกระแส

ภาพที่ 2.29 คุณสมบัติการประจุที่ขาเกตตามเวลา

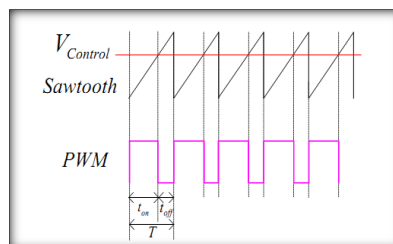
## 2.12 Pulse-width modulation (PWM)[1][6]

สัญญาณ PWM มาจากชื่อเต็มว่า Pulse Width Modulation เป็นสัญญาณที่เกิดจากการผสมกันระหว่างสัญญาณรูปสามเหลี่ยม (Triangle wave) กับระดับแรงเคลื่อนสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง (DC) หรือสัญญาณอื่น ๆ ที่มีระดับไฟฟ้ากระแสตรง(DC)เป็นตัวรองรับผลที่ได้จากการผสมสัญญาณดังกล่าวจะได้รูปคลื่นสัญญาณพัลส์ที่มี 2 สถานะคือ ON กับ OFF เราก็จะได้สัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างคงที่ ดังรูป2.30



ภาพที่ 2.30 วงจร Pulse-width modulation (PWM)แบบอนาล็อก

จากรูป สัญญาณ Sawtooth จะถูกเปรียบเทียบกับสัญญาณ  $V_{control}$  ผลของการเปรียบเทียบทำให้ได้สัญญาณ ตามรูปที่ 2.31



ภาพที่ 2.31 การสร้างสัญญาณ PWM Pulse-width modulation (PWM)

เมื่อเรานำสัญญาณพัลส์ที่ได้ไปขับอุปกรณ์กำลัง เช่น หลอดไฟ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เราจะได้ผลการควบคุม คือเมื่อสัญญาณพัลส์มีสถานะ ON หลอดไฟจะติดสว่างเต็มที่ ถ้า OFF ไฟจะดับหากสัญญาณมีความต่อเนื่องเช่นนี้ตลอดก็จะได้การติด - ดับของหลอดไฟต่อเนื่อง และหากการติดดับมีความถี่สูง ๆจนสายตาไม่สามารถสังเกตการณ์ติด - ดับได้ เราก็จะสังเกตเห็นได้เพียงแสงที่หรี่ลง หากเราทำให้ช่วงเวลา ON น้อยลงและในทางตรงกันข้าม หากเราทำให้ช่วงเวลา ON มากขึ้นเรื่อย ๆก็จะทำให้หลอดไฟสว่างขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงสว่างเต็มที่เมื่อ ON ตลอดระยะเวลาของสัญญาณ Pulse-width modulation (PWM)ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้ คือความถี่ คือจำนวนรูปคลื่น ต่อวินาที ( Cycle / Second) ในการใช้งานความถี่จะต้องคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงความถี่ที่เหมาะสมในการใช้งานควบคุมอุปกรณ์กำลังต่าง ๆ คือ ตั้งแต่ 400 Hz - 10 KHz ส่วนความถี่ที่ใช้

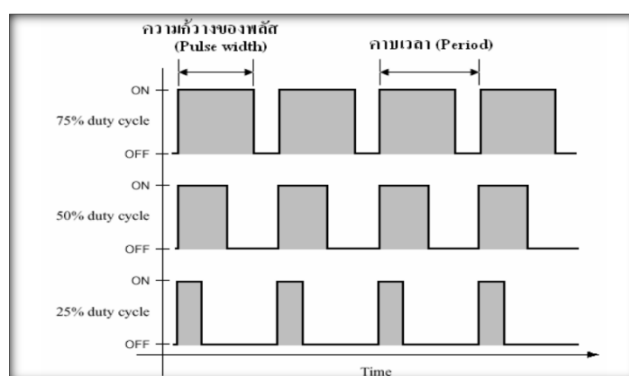
เป็นพหุของสัญญาณเสียง (Audio) ควรจะสูงกว่า 50 KHz - 1 MHz คิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) เป็นค่าคาบเวลาช่วง ON ของไซเคิล โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของ Full-cycle

$$D = \frac{t_{on}}{T} \times 100\%$$

โดยที่ D แทนเปอร์เซ็นต์คิวตี้ไซเคิล

$t_{on}$  แทนค่าช่วงเวลาในสถานะ High

T แทนค่าคาบเวลา



ภาพที่ 2.32 คิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) เป็นค่าคาบเวลาช่วง ON ของไซเคิล โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของ Full-cycle

### การออกแบบวงจร Pulse-width modulation (PWM) โดยใช้ IC เบอร์ TL494

ตารางคุณสมบัติการใช้งาน

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Power Supply Voltage	$V_{CC}$	7.0	15	40	V
Collector Output Voltage	$V_{C1}, V_{C2}$	-	30	40	V
Collector Output Current (Each transistor)	$I_{C1}, I_{C2}$	-	-	200	mA
Amplified Input Voltage	$V_{in}$	-0.3	-	$V_{CC} - 2.0$	V
Current Into Feedback Terminal	$I_{fb}$	-	-	0.3	mA
Reference Output Current	$I_{ref}$	-	-	10	mA
Timing Resistor	$R_T$	1.8	30	500	k $\Omega$
Timing Capacitor	$C_T$	0.0047	0.001	10	$\mu$ F
Oscillator Frequency	$f_{osc}$	1.0	40	200	kHz

จากตารางคุณสมบัติ ทำให้ทราบได้ว่า ความถี่ที่ไอซีเบอร์นี้สามารถผลิตได้ช่วง 1 KHz - 200 KHz, คาปาซิเตอร์ (CT) อยู่ในช่วง 0.0047 $\mu$ F - 10 $\mu$ F, รีซิสเตอร์ (RT) อยู่ในช่วง 1.8 K $\Omega$  - 500

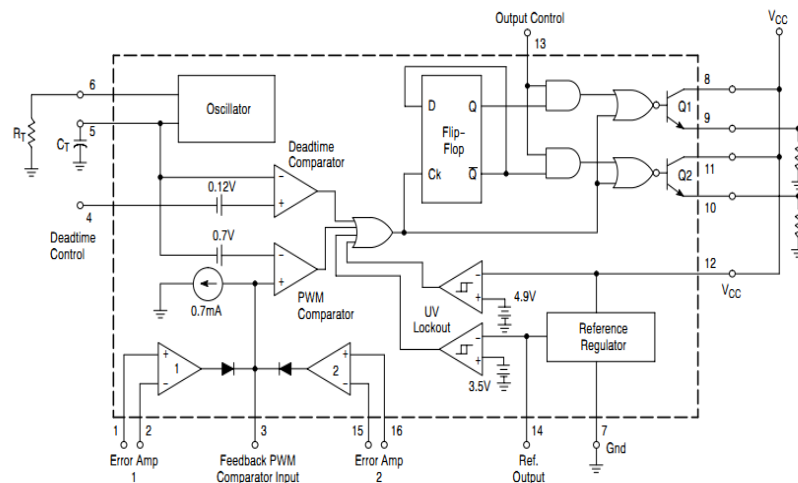
$k\Omega$ , แรงดันไฟฟ้า ( $V_{CC}$ ) ที่ใช้ขับไอซีให้ทำงาน อยู่ในช่วง  $7V - 40V$ , กระแสที่ออกจากขา Collector Output Current มีสองขา  $I_{C1}$  และ  $I_{C2}$  โดยแต่ละขาสามารถให้กระแสได้สูงสุด  $200mA$

คุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยอ้างอิงจากการกำหนดให้อุปกรณ์มีค่าดังนี้

$$V_{CC} = 15V, C_T = 0.01\mu F, R_T = 12k\Omega, T_A = 25^\circ$$

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
<b>REFERENCE SECTION</b>					
Reference Voltage ( $I_O = 1.0\text{ mA}$ )	$V_{ref}$	4.75	5.0	5.25	V
Line Regulation ( $V_{CC} = 7.0\text{ V to }40\text{ V}$ )	$Reg_{line}$	-	2.0	25	mV
Load Regulation ( $I_O = 1.0\text{ mA to }10\text{ mA}$ )	$Reg_{load}$	-	3.0	15	mV
Short Circuit Output Current ( $V_{ref} = 0\text{ V}$ )	$I_{SC}$	15	35	75	mA
<b>OUTPUT SECTION</b>					
Collector Off-State Current ( $V_{CC} = 40\text{ V}, V_{CE} = 40\text{ V}$ )	$I_{C(off)}$	-	2.0	100	$\mu A$
Emitter Off-State Current $V_{CC} = 40\text{ V}, V_C = 40\text{ V}, V_E = 0\text{ V}$	$I_{E(off)}$	-	-	-100	$\mu A$
Collector-Emitter Saturation Voltage (Note 2) Common-Emitter ( $V_E = 0\text{ V}, I_C = 200\text{ mA}$ ) Emitter-Follower ( $V_C = 15\text{ V}, I_E = -200\text{ mA}$ )	$V_{sat(C)}$ $V_{sat(E)}$	- -	1.1 1.5	1.3 2.5	V
Output Control Pin Current Low State ( $V_{OC} \leq 0.4\text{ V}$ ) High State ( $V_{OC} = V_{ref}$ )	$I_{OCL}$ $I_{OCH}$	- -	10 0.2	- 3.5	$\mu A$ mA
Output Voltage Rise Time Common-Emitter (See Figure 12) Emitter-Follower (See Figure 13)	$t_r$	- -	100 100	200 200	ns
Output Voltage Fall Time Common-Emitter (See Figure 12) Emitter-Follower (See Figure 13)	$t_f$	- -	25 40	100 100	ns

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
<b>ERROR AMPLIFIER SECTION</b>					
Input Offset Voltage ( $V_O$ (Pin 3) = 2.5 V)	$V_{IO}$	-	2.0	10	mV
Input Offset Current ( $V_O$ (Pin 3) = 2.5 V)	$I_{IO}$	-	5.0	250	nA
Input Bias Current ( $V_O$ (Pin 3) = 2.5 V)	$I_{IB}$	-	-0.1	-1.0	$\mu$ A
Input Common Mode Voltage Range ( $V_{CC} = 40$ V, $T_A = 25^\circ$ C)	$V_{ICR}$	-0.3 to $V_{CC}$ -2.0			V
Open Loop Voltage Gain ( $\Delta V_O = 3.0$ V, $V_O = 0.5$ V to 3.5 V, $R_L = 2.0$ k $\Omega$ )	$A_{VOL}$	70	95	-	dB
Unity-Gain Crossover Frequency ( $V_O = 0.5$ V to 3.5 V, $R_L = 2.0$ k $\Omega$ )	$f_{C-}$	-	350	-	kHz
Phase Margin at Unity-Gain ( $V_O = 0.5$ V to 3.5 V, $R_L = 2.0$ k $\Omega$ )	$\phi_m$	-	65	-	deg.
Common Mode Rejection Ratio ( $V_{CC} = 40$ V)	CMRR	65	90	-	dB
Power Supply Rejection Ratio ( $\Delta V_{CC} = 33$ V, $V_O = 2.5$ V, $R_L = 2.0$ k $\Omega$ )	PSRR	-	100	-	dB
Output Sink Current ( $V_O$ (Pin 3) = 0.7 V)	$I_{O-}$	0.3	0.7	-	mA
Output Source Current ( $V_O$ (Pin 3) = 3.5 V)	$I_{O+}$	2.0	-4.0	-	mA
<b>PWM COMPARATOR SECTION</b> (Test Circuit Figure 11)					
Input Threshold Voltage (Zero Duty Cycle)	$V_{TH}$	-	2.5	4.5	V
Input Sink Current ( $V_{Pin 3} = 0.7$ V)	$I_{I-}$	0.3	0.7	-	mA
<b>DEADTIME CONTROL SECTION</b> (Test Circuit Figure 11)					
Input Bias Current (Pin 4) ( $V_{Pin 4} = 0$ V to 5.25 V)	$I_{IB(DT)}$	-	-2.0	-10	$\mu$ A
Maximum Duty Cycle, Each Output, Push-Pull Mode ( $V_{Pin 4} = 0$ V, $C_T = 0.01$ $\mu$ F, $R_T = 12$ k $\Omega$ ) ( $V_{Pin 4} = 0$ V, $C_T = 0.001$ $\mu$ F, $R_T = 30$ k $\Omega$ )	$DC_{max}$	45 -	48 45	50 50	%
Input Threshold Voltage (Pin 4) (Zero Duty Cycle) (Maximum Duty Cycle)	$V_{th}$	- 0	2.8 -	3.3 -	V
<b>OSCILLATOR SECTION</b>					
Frequency ( $C_T = 0.001$ $\mu$ F, $R_T = 30$ k $\Omega$ )	$f_{osc}$	-	40	-	kHz
Standard Deviation of Frequency* ( $C_T = 0.001$ $\mu$ F, $R_T = 30$ k $\Omega$ )	$\sigma f_{osc}$	-	3.0	-	%
Frequency Change with Voltage ( $V_{CC} = 7.0$ V to 40 V, $T_A = 25^\circ$ C)	$\Delta f_{osc}(\Delta V)$	-	0.1	-	%
Frequency Change with Temperature ( $\Delta T_A = T_{low}$ to $T_{high}$ ) ( $C_T = 0.01$ $\mu$ F, $R_T = 12$ k $\Omega$ )	$\Delta f_{osc}(\Delta T)$	-	-	12	%
<b>UNDERVOLTAGE LOCKOUT SECTION</b>					
Turn-On Threshold ( $V_{CC}$ increasing, $I_{ref} = 1.0$ mA)	$V_{th}$	5.5	6.43	7.0	V
<b>TOTAL DEVICE</b>					
Standby Supply Current (Pin 6 at $V_{ref}$ , All other inputs and outputs open) ( $V_{CC} = 15$ V) ( $V_{CC} = 40$ V)	$I_{CC}$	- -	5.5 7.0	10 15	mA
Average Supply Current ( $C_T = 0.01$ $\mu$ F, $R_T = 12$ k $\Omega$ , $V_{Pin 4} = 2.0$ V) ( $V_{CC} = 15$ V) (See Figure 12)		-	7.0	-	mA



This device contains 46 active transistors.

ภาพที่ 2.33 Representative Block Diagram

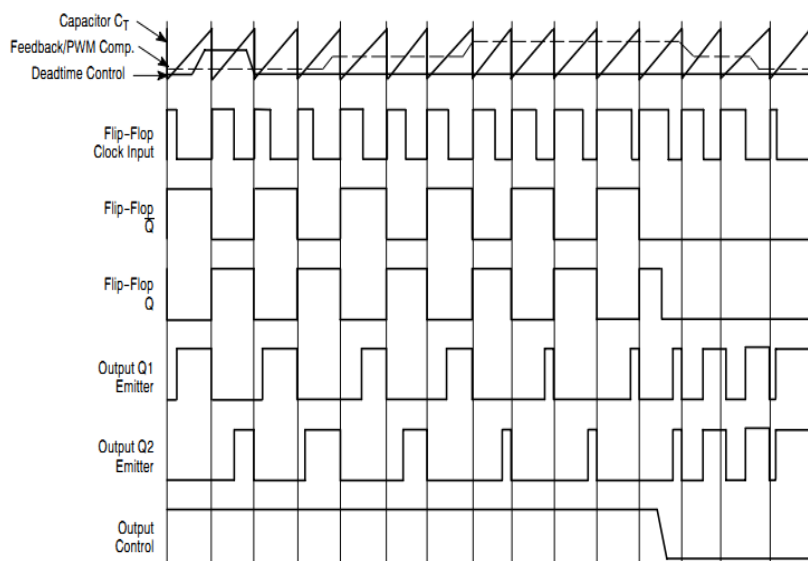
ไอซี TL494 มีคุณสมบัติที่สามารถสร้างความถี่คั้งที่เพื่อนำไปควบคุมวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตซ์ซึ่งได้โดยการนำหลักการของ Pulse-width modulation (PWM) มาควบคุม ซึ่งภายในตัวไอซีมีวงจรสร้างความถี่รูปแบบฟันเลื่อยโดยเราสามารถกำหนดความถี่ได้จากองค์ประกอบภายนอกคือ  $R_T$ ,  $C_T$  ได้จากสูตรข้างล่างนี้

$$f_{osc} \approx \frac{1.1}{R_T \cdot C_T}$$

Functional Table

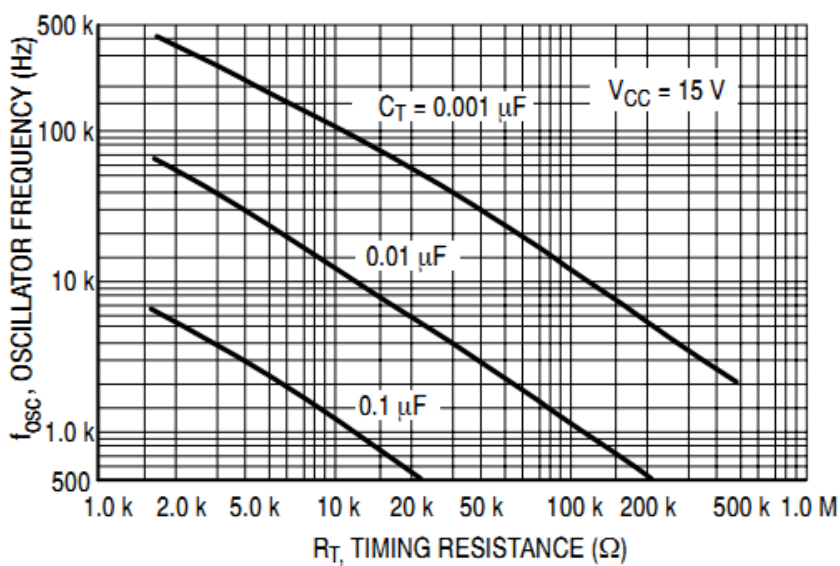
Input/Output Controls	Output Function	$\frac{f_{out}}{f_{osc}} =$
Grounded	Single-ended PWM @ Q1 and Q2	1.0
@ $V_{ref}$	Push-pull Operation	0.5



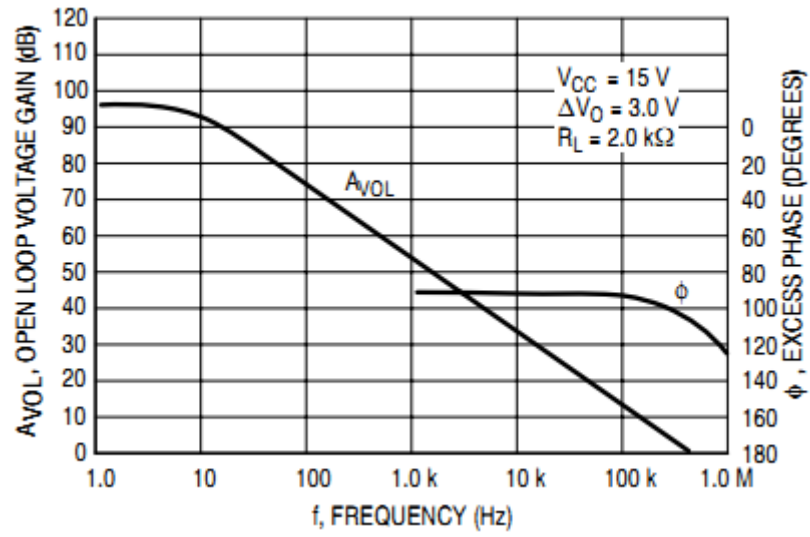


ภาพที่ 2.34 Timing Diagram

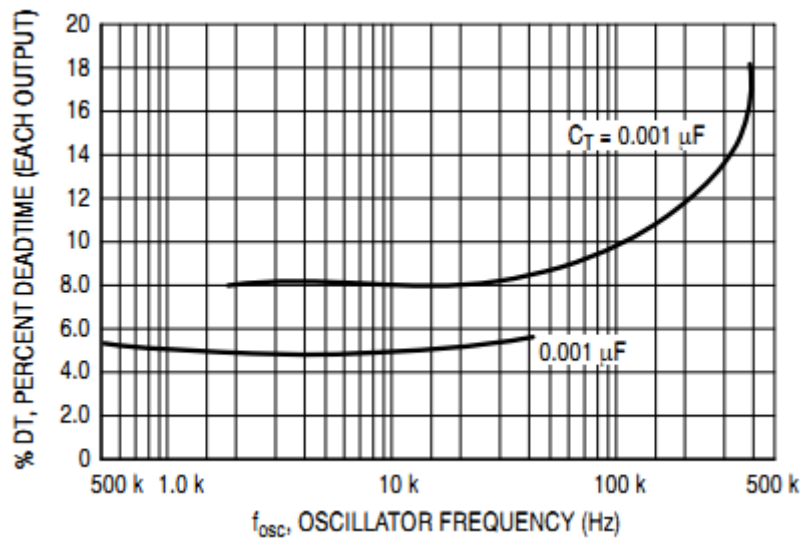
กราฟแสดงการเปรียบเทียบการเลือกใช้  $C_T$  และ  $R_T$  ให้เหมาะสมกับความต้องการของ ความถี่ตัวอย่าง ถ้าต้องการความถี่ 70KHz และเลือกใช้  $C_T = 0.001\mu\text{F}$  ดังนั้น  $R_T$  ที่ต้องใช้  $15,714\Omega$  ( $R_T = 15\text{K}\Omega$ )



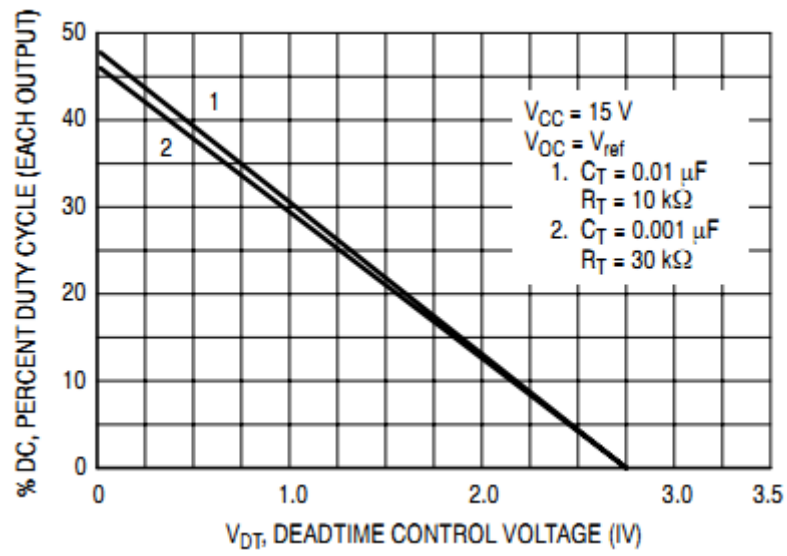
ภาพที่ 2.35 Oscillator Frequency versus Timing Resistance



ภาพที่ 2.36 Open Loop Voltage Gain and Phase versus Frequency



ภาพที่ 2.37 Percent Deadtime versus Oscillator Frequency



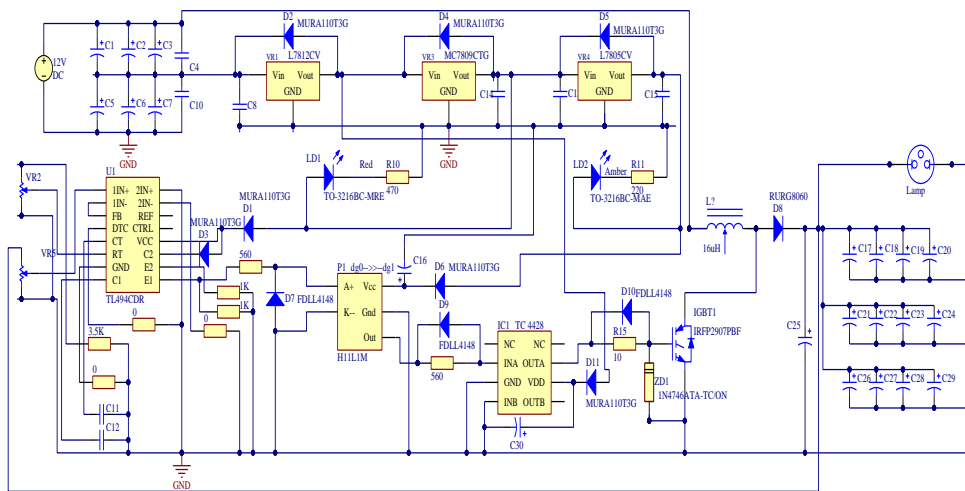
ภาพที่ 2.38 Percent Duty Cycle versus Deadtime

# บทที่ 3

## การออกแบบโครงงาน

ในโครงงานเครื่องกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับระบบแสงสว่างด้านข้างอาคาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ต้องการออกแบบวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์มีแรงดันไฟฟ้าด้านออกเป็น 30 V โดยมีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 12 V 500 W และออกแบบตัวเหนี่ยวนำโดยกำหนดให้กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบกระแสดอเนื่อง โดยใช้ไอซีเบอร์ TL 494 ในการสร้างสัญญาณ Pulse-width modulation (PWM) และใช้ H11L1 Optoทำการแยกกราว์และส่งสัญญาณไปยัง TC 4428 เพื่อสร้างสัญญาณ แล้วจึงนำสัญญาณที่ได้ไปขับมอสเฟสเพื่อควบคุมแรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำที่ออกแบบไว้

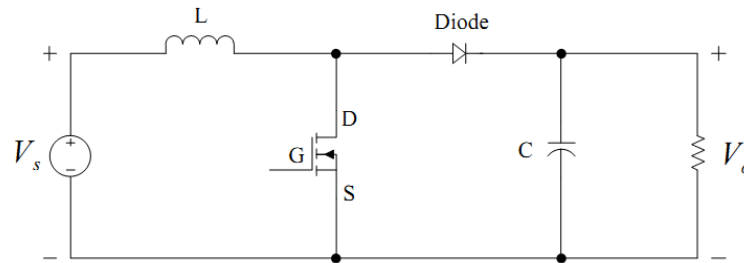
### 3.1 โครงสร้างวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์



ภาพที่ 3.1 วงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์

การทำงานโดยรวมเมื่อโซล่าเซลล์สามารถผลิตพลังงานได้จะมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าวงจรชาร์ต แบตเตอรี่เพื่อทำการประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่และในขณะเดียวกันวงจรตรวจจับแสงจากดวงอาทิตย์จะทำงานทำให้ขาคอมมอนของรีเลย์ต่อกับขานอร์มอล โอเพ่นจึงไม่มีกระแสไหลไปขับวงจรบัสต์แต่ถ้าโซล่าเซลล์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้วงจรตรวจจับแสงจากดวงอาทิตย์จะไม่ทำงานทำให้ขาคอมมอนของรีเลย์ต่อกับขานอร์มอล โคลด์มีกระแสจากแบตเตอรี่ไปจ่ายให้กับวงจรบัสต์ทำงานทำให้แอลอีดีที่ต่อกับวงจรบัสต์ติดสว่าง

### 3.2 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ



ภาพที่ 3.2 วงจรบดส์คอนเวอร์เตอร์

#### การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ

คำนวณพลังงานด้านเข้า

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta}$$

$$P_{in} = \frac{500}{0.95}$$

$$P_{in} = 526.315 \text{ Watts}$$

คำนวณกระแสไฟฟ้าสูงสุด

$$I_{pk} = \frac{P_{in}}{V_{in}}$$

$$I_{pk} = \frac{526.35}{12}$$

$$I_{pk} = 43.86 \text{ A}$$

คำนวณอัตราการลอกคลื่นกระแส

$$\Delta I = (0.2)I_{pk}$$

$$\Delta I = (0.2)(43.86)$$

$$\Delta I = 8.77 \text{ A}$$

คำนวณจำนวนรอบการทำงานสูงสุด

$$D_{max} = \frac{V_{out} - (V_{in})}{V_{out}}$$

$$D_{max} = \frac{30 - (12)}{30}$$

$$D_{max} = 0.6$$

คำนวณค่าตัวเหนี่ยวนำที่เหมาะสม

$$L = \frac{(V_{in})D_{max}}{\Delta I f}$$

$$L = \frac{(12)(0.6)}{8.77(50,000)}$$

$$L = 0.0000164\text{H}$$

$$L = 16.4 \mu\text{H}$$

### 3.3 การออกแบบแกนเฟอร์ไรท์

$$\begin{aligned} \text{คำนวณพลังงานที่จำเป็น} \quad \text{Energy} &= \left(\frac{LI_{pk}^2}{2}\right) \\ \text{Energy} &= \left(\frac{(16.4\mu\text{H}) 43.86^2}{2}\right) \\ \text{Energy} &= 0.0154 \text{ w/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ไฟฟ้า} \quad K_e &= 0.145 P_o B_m^2 (10^4) \\ K_e &= (0.145)(500)(0.25^2)(10^4) \\ K_e &= 0.000453 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของแกนเหล็ก} \quad K_g &= \frac{\text{Energy}^2}{K_e \alpha} \\ K_g &= \frac{0.154^2}{0.000453(1)} \\ K_g &= 0.524 \text{ cm}^5 \end{aligned}$$

เลือกแกนเฟอร์ไรท์จากค่าสัมประสิทธิ์ของแกนเหล็ก  $K_g$  ในโครงการนี้เลือกใช้แกนเฟอร์ไรท์ชนิด EE-75

### 3.4 การคำนวณหาขนาดของเส้นลวดทองแดงที่ใช้พันตัวเหนี่ยวนำ(L)

เลือกลวดทองแดงเพื่อให้ความต้านทาน ac และความต้านทาน dc = 1

$$\begin{aligned} \frac{R_{ac}}{R_{dc}} &= 1 \\ \text{คำนวณรัศมีของลวดทองแดง} \quad \mathcal{E} &= \frac{6.62}{\sqrt{f}} \\ \mathcal{E} &= \frac{6.62}{\sqrt{50,000}} \\ \mathcal{E} &= 0.0296 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{คำนวณเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดทองแดง} \quad D &= 2\mathcal{E} \\ D &= 2(0.0296) \\ D &= 0.0592 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{คำนวณพื้นที่ลวดทองแดง} \quad A_w &= \frac{\pi D^2}{4} \\ A_w &= \frac{\pi(0.0592)^2}{4} \\ A_w &= 0.002752 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

จากตารางลวดทองแดงลวดทองแดงเบอร์ 23 มีพื้นที่ลวดทองแดง  $0.002588 \text{ cm}^2$  ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับที่คำนวณได้ดังนั้นจึงเลือกลวดทองแดงเบอร์ 23 ในการพันตัวเหนี่ยวนำ (L)

$$\begin{aligned} \text{คำนวณค่าความหนาแน่นของกระแส} \quad J &= \frac{2(\text{Energy})(10^4)}{B_m A_p K_u} \\ J &= \frac{2(0.0154)(10^4)}{(0.25)(9.487)(0.29)} \\ J &= 447.799 \text{ A/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{คำนวณค่ากระแส} \quad I_{\text{rms}} &= \frac{I_p k}{\sqrt{2}} \\ I_{\text{rms}} &= \frac{43.86}{\sqrt{2}} \\ I_{\text{rms}} &= 31.01 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{คำนวณพื้นที่ที่ต้องการของลวดทองแดง} \quad A_{w(B)} &= \frac{I_{\text{rms}}}{J} \\ A_{w(B)} &= \frac{31.01}{447.799} \\ A_{w(B)} &= 0.06925 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

คำนวณจำนวนเส้นลวดทองแดงที่ใช้ในการพันตัวเหนี่ยวนำ

$$S_n = \frac{A_{w(B)}}{\#23(\text{bare area})}$$

$$S_n = \frac{0.06925}{0.002588}$$

$$S_n = 26.75 \approx 27 \text{ เส้น}$$

คำนวณจำนวนรอบในการพันขลวดทองแดงบนแกนเหล็ก

$$N = \frac{W_a K_u}{S_n \#23(\text{bare area})}$$

$$N = \frac{(26.75)(0.29)}{(27)(0.002588)}$$

### 3.5 การคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่

จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{Battery} &= \frac{P_{\text{load}} \times \text{ชั่วโมงที่ใช้งาน}}{\text{ประสิทธิภาพแบตเตอรี่} \times \text{แรงดันแบตเตอรี่}} \\ &= \frac{50\text{w} \times 8 \text{ ชั่วโมง}}{0.6 \times 12 \text{ V}} \\ &= 55.55 \text{ Ah} \end{aligned}$$

### 3.6 คุณสมบัติของโซลาร์เซลล์



ภาพที่ 3.3 โซลาร์เซลล์ชนิดโมโน



ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของชนิด Solar Cell Mono-crystalline Sun PLM-310M-72 310

Maximum Power(Pmax)	310Wp(0/+3%)
Open Circuit Voltage(Voc)	37.31V
Short Circuit Current(Isc)	8.31A
Max Power Voltage(Vmp)	45.81V
Max Power Current(Imp)	8.87A
Max System Voltage	1000VDC
Normal Operating Cell Temperature(NOCT)	45±2C □
Weight	23KG
Dimensions	1966*992*50*mm

### 3.7 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์

การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ให้ได้ประโยชน์สูงสุดจะต้องคำนึงถึงสถานที่ตั้งว่าแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งนั้นสามารถให้ประโยชน์สูงสุดสำหรับประเทศไทยตำแหน่งที่ตั้งจะอยู่ระหว่างเส้นรุ้งประมาณ 15 องศาเหนือตามภาพที่ 3.4 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ให้ได้ผลดีที่สุดคือหันแผงด้านหน้าหรือด้านรับแสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้โดยทำมุมกับพื้นราบ 15 องศา รวมถึงโครงสร้างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีความแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักของแผงและสะดวกเหมาะสมกับที่ตั้งสำหรับโครงสร้างของแผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้ในโครงการวิศวกรรมนี้จะแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.4



ก. แผงโซลาร์เซลล์คาดฟ้าอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ ข. โคมหลอด LED ข้างอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์  
ภาพที่ 3.4 โครงสร้างและการติดตั้งที่คาดฟ้าอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีปทุม

### 3.8 เงื่อนไขที่ใช้ในการพิจารณาในการเลือกสถานที่ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์

เมื่อมีการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ควรพิจารณาเงื่อนไขในการเลือกสถานที่ดังต่อไปนี้เพื่อให้ระบบทำงานให้ได้ผลดีที่สุด

1. ควรเป็นสถานที่ที่หันรับแสงไปทางทิศใต้ (ในกรณีของประเทศไทยและเป็นระบบติดตั้งอยู่กับที่)
2. ควรระมัดระวังการเกิดเงาที่อาจเกิดขึ้นจากอาคารบ้านเรือนข้างเคียงหรือต้นไม้และวัตถุอื่นๆ ปัญหาที่มักเกิดขึ้นเมื่อติดตั้งในเมืองหากเกิดเงาบังขึ้นแล้วจะเกิดจุดร้อนแสง (Hot Spot) ขึ้นที่ตัวเซลล์ที่ถูกบังเงานั้นอาจเกิดความเสียหายได้
3. ควรเลือกสถานที่ติดตั้งที่ไม่แลดูน่าเกลียดและทำลายทัศนียภาพ
4. ควรเลือกสถานที่ที่มีฝุ่นละอองหรือเศษผงเล็กน้อย
5. ควรติดตั้งอยู่ในระยะที่ใกล้กับศูนย์กลางของโหลดพอสมควร (ในกรณีที่เป็นระบบใหญ่)
6. ไม่ควรเป็นสถานที่ที่มีฟ้าผ่าบ่อยๆ
7. ไม่ควรเป็นสถานที่ที่มีนกอาศัยอยู่หนาแน่น
8. ควรเป็นสถานที่ที่สามารถป้องกันลมพัดที่พัดแรงได้

### 3.9 ตัวควบคุมการประจุไฟฟ้าขนาด 12 V / 10 A



ภาพที่ 3.5 ชุดควบคุมการประจุไฟฟ้า

ตารางที่ 3.2 คุณลักษณะของตัวควบคุมการประจุ

Model	EPIP
System	12 V / 10 A
Input Voltage	0 – 21 V
Special Function	DC Output (Auto)

รายละเอียด : ชุดควบคุมชาร์จไฟ ขนาด 12V/10A Control Charger ทำหน้าที่ควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าที่มาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าแบตเตอรี่ ซึ่งจะควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าให้มีปริมาณที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ เพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

คุณสมบัติ :

- ประสิทธิภาพสูง สามารถช่วยในการเพิ่มหรือลดและชดเชยระดับกระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์เข้าแบตเตอรี่ จึงทำให้ช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่
  - มีระบบป้องกันหากมีอุณหภูมิสูงเกิน
  - มีระบบการป้องกันความเสียหายจากการลัดวงจร , Over load และการต่ออุปกรณ์กลับ
- ข้อ
- ตัดไฟเมื่อระบบชาร์จเต็ม และเริ่มชาร์จใหม่เมื่อแรงดันต่ำลง

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

จากวงจรที่ได้ออกแบบขึ้นมาในบทที่ 3 การทดลองในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองเครื่องกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับระบบแสงสว่างด้านข้างอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยจะติดตั้งที่ชั้นบนคานฟ้าของอาคาร 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

#### 4.1 วัตถุประสงค์

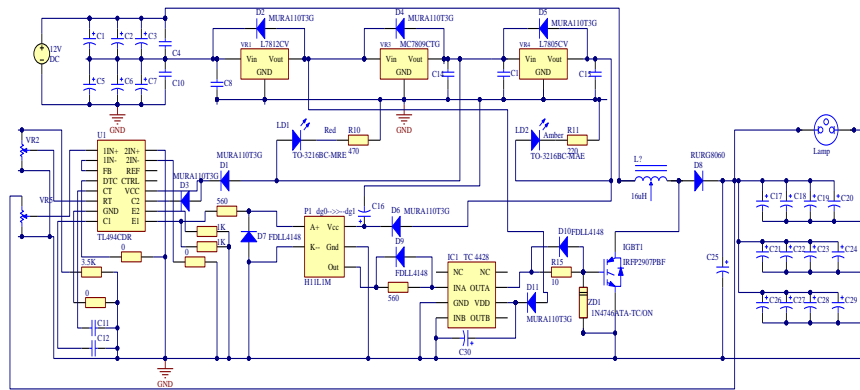
1. เพื่อทดลองหาค่าแรงดันเอาต์พุต (Vdc)
2. วิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลต่อแรงดันเอาต์พุตขณะทำการต่อเข้ากับวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์
3. เพื่อหาคุณสมบัติการผลิตแรงดันไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์

#### 4.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter)
2. DC Supply 1 เครื่อง
3. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์
4. ดิจิตอลออสซิลโลสโคป 1 เครื่อง

#### 4.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. วางแผงโซลาร์เซลล์ทำมุมที่ 10 – 15 องศา ในแนวราบ พร้อมทั้งวัดค่าและบันทึกผลทุก ๆ 30 นาที
2. วัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุต
3. วัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตขณะทำการต่อเข้ากับวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์



ภาพที่ 4.1 โครงสร้างวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 4.1 วงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ในการสร้างวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์จะต้องใช้ TL494 และ H11L1 Optoทำการแยกกราว์และส่งสัญญาณไปยัง TC 4428 เพื่อสร้างสัญญาณ แล้วจึงนำสัญญาณที่ได้ไปขับมอสเฟสเพื่อควบคุมแรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำที่ออกแบบไว้ดังนั้นเมื่อวัดสัญญาณขณะบัสต์จะได้พัลส์ดังรูปที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 แสดงคลื่นสัญญาณของวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟสขณะทำการบัสต์

จากรูปที่ 4.2 จุด A แสดงให้เห็นพัลส์ในขณะเพิ่มแรงดันไฟฟ้าจาก 12V เป็น 30V และจุด B เป็นการวัดแรงดันด้านนอกจากการเพิ่มแรงดันจะได้แรงดันสูงสุดอยู่ที่ 30V จากรูปที่ 4.2 เป็นการทดลองการบัสต์สัญญาณแรงดันบัสต์คอนเวอร์เตอร์ที่แรงดันอินพุท 12V แรงดันเอาท์พุท 30 V และผ่านการกรองจนเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สมบูรณ์

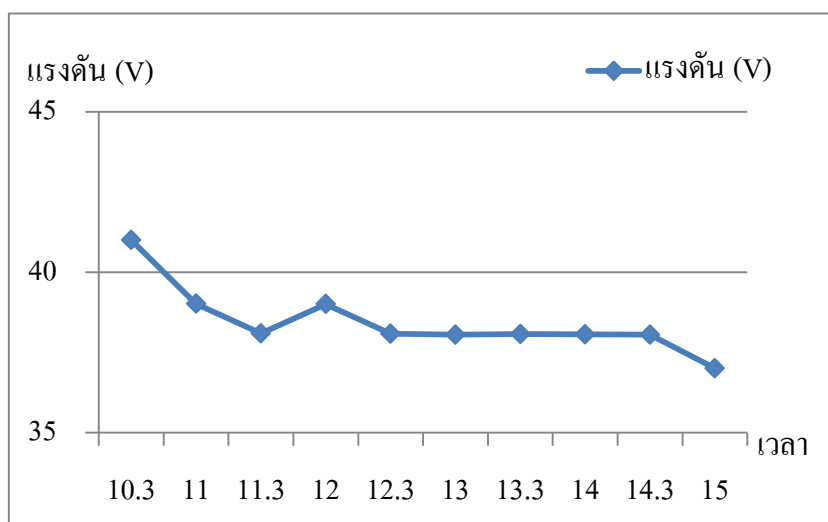
#### 4.4 การทดลองจ่ายพลังงานของแผงโซลาร์เซลล์ขณะไม่มีโหลด

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลการทดลองการจ่ายพลังงานของแผงโซลาร์เซลล์ขณะไม่มีโหลด

เวลา	แรงดัน
10.30 น.	41.00 V
11.00 น.	39.01 V
11.30 น.	38.09 V
12.00 น.	39.00 V
12.30 น.	38.08 V
13.00 น.	38.05 V
13.30 น.	38.07 V
14.00 น.	38.06 V
14.30 น.	38.05 V
15.00 น.	37.00 V

จากผลการทดลองการจ่ายพลังงานของแผงโซลาร์เซลล์ที่เวลา 10.30 น. ถึงเวลา 15.00 น.

จะเห็นได้ว่าช่วงเวลาตอนเช้าจะจ่ายพลังงานได้เยอะกว่าช่วงตอนบ่าย การจ่ายพลังงานของแผงโซลาร์เซลล์นี้ใน 1 วันจะได้ค่าเฉลี่ยที่ 38.44 V ของแรงดันอินพุทและช่วงเวลาที่จะได้ผลดังรูปที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 ค่าแรงดันจากการทดลองการจ่ายพลังงานของแผงโซลาร์เซลล์

จากรูปที่ 4.3 เป็นการทดสอบ ในช่วงเวลา 10.30 น.- 15.00 น. สามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุตที่ออกจากแผงโซลาร์เซลล์ได้ ดังรูปที่ 4.3

#### 4.5 การทดลองการจ่ายพลังงานขณะมีโหลด

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลการทดลองการจ่ายพลังงานขณะมีโหลด

โหลด(W)	Vin(V)	Vout(V)	กระแส(I)
55.85	12	29.55	1.89
102.82	12	29.13	3.53
156.39	12	28.54	5.48
192.60	12	27.32	7.05

#### 4.6 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเปรียบเทียบว่าขณะมีโหลดและไม่มีโหลดได้ผลเป็นที่น่าพอใจเมื่อไม่มีโหลดสามารถควบคุมแรงดันด้านไฟฟ้าออกได้ดีเมื่อมีโหลดจะมีการเปลี่ยนแปลงจะลดตามโหลดที่ต่ออยู่เนื่องจากอัตราการบустจะลดลงตามขนาดโหลดซึ่งวงจรบустคอนเวอร์เตอร์ในโครงงานนี้ได้ออกแบบมาให้มีตัวเหนี่ยวนำหลายตัวและตัวเก็บประจุขนาดใหญ่เพื่อที่จะทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียบทำให้การบустแรงดันไฟฟ้าได้ตามขอบเขตของโครงงานที่กำหนดไว้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์และการทดลองเปรียบเทียบระหว่างมีโหลดและไม่มีโหลดเห็นผลได้อย่างชัดเจนว่าการที่วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ไม่มีการชดเชยแรงดันดั่งนั้นทำให้ประสิทธิภาพในการเพิ่มแรงดันลดลงอย่างมากในการเพิ่มแรงดันนั้นสิ่งที่สำคัญขึ้นอยู่กับ การสร้างบูสต์คอนเวอร์เตอร์นอกจากตัวเหนี่ยวนำที่ต้องออกแบบให้มีขนาดที่เหมาะสมแล้วการชดเชยแรงดันก็มีความสำคัญซึ่งบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในโครงการนี้สามารถตอบสนองโหลดที่เปลี่ยนแปลง และสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้านออกได้เป็นอย่างดีการทดลองของโครงการนี้ต้องทำการทดลองในที่โล่งแจ้งในเวลากลางวันเพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับแผงโซลาร์เซลล์และบูสต์คอนเวอร์เตอร์ ทั้งยังต้องทำการทดลองจ่ายโหลดซึ่งต้องใช้เวลาในการทดลองนานเพื่อที่จะได้ผลการทดลองที่ละเอียดและต้องคำนึงถึงสถานที่ตั้งของแต่ละประเทศเป็นหลักสำหรับประเทศไทยนั้นตำแหน่งที่ตั้งจะอยู่ระหว่างที่ประมาณ 15 องศาเหนือการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ให้ได้ผลดีที่สุดคือหันแผงด้านหน้าหรือด้านรับแสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้โดยทำมุมกับพื้นราบ 15 องศาสถานที่ติดตั้งต้องปราศจากเงาไม้มาบังในระหว่างวันหรือปราศจากเศษใบไม้ที่จะตกมาปกปิดแผงโซลาร์เซลล์หวังว่าผู้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้จะสามารถนำโครงการนี้ไปพัฒนาต่อไป



## เอกสารอ้างอิง

- [1] นิमित บุญภิรมย์, “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง”, เอกสารประกอบการสอนวิชา EEG442, มหาวิทยาลัยศรีปทุม, 2557.
- [2] สุวัฒน์, “ต้นเทคนิคและการออกแบบสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย”, สำนักพิมพ์เอนเทลไทยจำกัด กรุงเทพมหานคร 2537.
- [3] สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว, “เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์”, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.
- [4] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์.  
<http://www2.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm>. 2552.
- [5] สว่างประกายรุ่งเบตเตอรีและชาร์ตเจอร์ซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด 2538.
- [6] วีระเชษฐ์ ชันเงิน วุฒิปด ธาราธิรเศรษฐ์, “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง”, สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วน จำกัด วี.เจ.พรินติ้ง, 2551.
- [7] [http://electronics.se-ed.com/contents/041s060/041s060\\_p01.asp](http://electronics.se-ed.com/contents/041s060/041s060_p01.asp).

**ภาคผนวก**