

หน่วยที่ 17

ตัวต้านทานไม่เป็นเชิงเส้นและออปโตอิเล็กทรอนิกส์

สาระสำคัญ

ตัวต้านทานไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear resistor) ประกอบด้วยเทอร์มิสเตอร์และวาริสเตอร์ (Thermistor and Varistor) เทอร์มิสเตอร์มี 2 แบบ คือ แบบ NTC และ PTC ทำงานโดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ส่วนวาริสเตอร์หรือ VDR (Voltage dependent resistor) ทำงานโดยขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้า ส่วนอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ (Opto electronic) เป็นอุปกรณ์ที่ต้องทำงานเกี่ยวข้องกับแสงที่ย่านต่าง ๆ กัน โดยเฉพาะย่านเหนือม่วง (Ultra violet) และย่านใต้แดง (Infared) การใช้งานส่วนใหญ่จะใช้ในภาครับและส่งสัญญาณของวงจรควบคุมไร้สาย (Remote control)

เรื่องที่จะศึกษา

- 17.1 บทนำ
- 17.2 เทอร์มิสเตอร์
- 17.3 วาริสเตอร์
- 17.4 แสงและแหล่งกำเนิดแสง
- 17.5 ไดโอดเปล่งแสง(Light emitting diode,LED)
- 17.6 โฟโตไดโอด(Photo diode)
- 17.7 โฟโตทรานซิสเตอร์(Photo transistor)
- 17.8 อุปกรณ์เชื่อมโยงด้วยแสง(Opto coupler)

จุดประสงค์การสอน

1. จุดประสงค์ทั่วไป

- 1.1 เพื่อให้นักเรียน มีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ โครงสร้าง สัญลักษณ์ และชนิดต่าง ๆ ของเทอร์มิสเตอร์และวาริสเตอร์

1.2 เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับการใช้งานเทอร์มิสเตอร์และวาริสเตอร์

1.3 เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับชนิดของแสงและหลักการต่าง ๆ ของอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์

1.4 เพื่อให้นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนเกี่ยวกับตัวต้านทานไม่เป็นเชิงเส้นและออปโตอิเล็กทรอนิกส์ การทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม ความมีวินัย ความรับผิดชอบ การใช้วัสดุอุปกรณ์อย่างประหยัดและรู้คุณค่า

2. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อเรียนจบบทเรียนหน่วยนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

2.1 บอกโครงสร้างและสัญลักษณ์ของเทอร์มิสเตอร์และวาริสเตอร์ได้

2.2 บอกชนิดต่าง ๆ ของเทอร์มิสเตอร์และวาริสเตอร์ได้

2.3 บอกคุณลักษณะของเทอร์มิสเตอร์และวาริสเตอร์ได้

2.4 บอกการนำเทอร์มิสเตอร์และวาริสเตอร์ไปใช้งานได้

2.5 บอกลักษณะของแสงชนิดต่าง ๆ ได้

2.6 บอกลักษณะและการใช้งานหลอดอินฟาเรดได้

2.7 บอกลักษณะและการใช้งานโฟโตไดโอดได้

2.8 บอกลักษณะและการใช้งานโฟโตทรานซิสเตอร์ได้

2.9 สามารถต่อวงจรการทดลองหาคุณลักษณะของเทอร์มิสเตอร์ วาริสเตอร์และอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ได้

คุณธรรมและจริยธรรมที่มุ่งเน้น

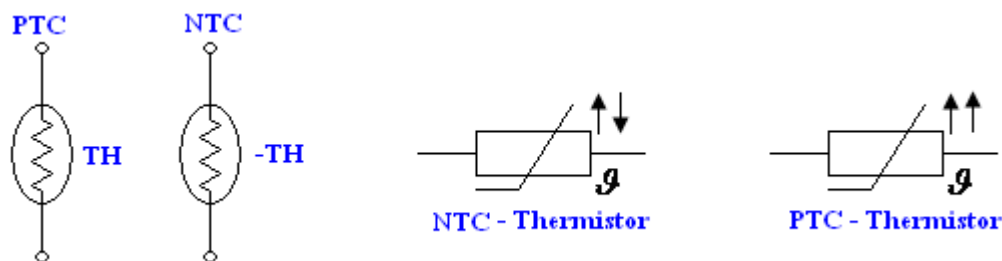
1. ความมีวินัย
2. ความรับผิดชอบ
3. ความมีมนุษยสัมพันธ์
4. ความสนใจใฝ่รู้
5. ความเชื่อมั่นในตนเอง

17.1 บทนำ

ตัวต้านทานไม่เป็นเชิงเส้นเป็นตัวต้านทานที่แปรค่าความต้านทานภายในตัวเองได้ มีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดไวต่ออุณหภูมิ เรียกว่า “เทอร์มิสเตอร์” (Thermistor) และชนิดไวต่อแรงดันไฟฟ้า เรียกว่า “วาริสเตอร์” (Varistor)

17.2 เทอร์มิสเตอร์(Thermistor)

เทอร์มิสเตอร์ คือตัวต้านทานที่แปรค่าความต้านทานภายในตัวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิรอบผิวของตัวมัน คำว่าเทอร์มิสเตอร์เป็นคำผสมระหว่างคำว่า Thermal กับ Resistor อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “Thermal resistor” จัดเป็นอุปกรณ์จำพวกทรานซิสเตอร์หรือเซนเซอร์ โดยทั่วไปจะทำมาจากสารกึ่งตัวนำผสมกับโลหะออกไซด์ เช่น เซอร์มันเนียม , ซิลิกอน, ทองแดง ,โคบอลต์ , ยูเรเนียม , นิกเกิล , แมงกานีส , เหล็ก , สตรอนเตียม , ไททาเนียม ลักษณะโดยทั่วไปจะคล้ายเม็ดลูกบิดเล็ก ๆ จนถึง 1 นิ้ว หรือแบบแท่งซึ่งมีความยาวประมาณ 0.25 - 2 นิ้ว มีค่าความต้านทานแปรค่าได้ตั้งแต่ $2,000\Omega - 10,000\Omega$



ก) สัญลักษณ์แบบอเมริกัน

ข) สัญลักษณ์แบบเยอรมัน

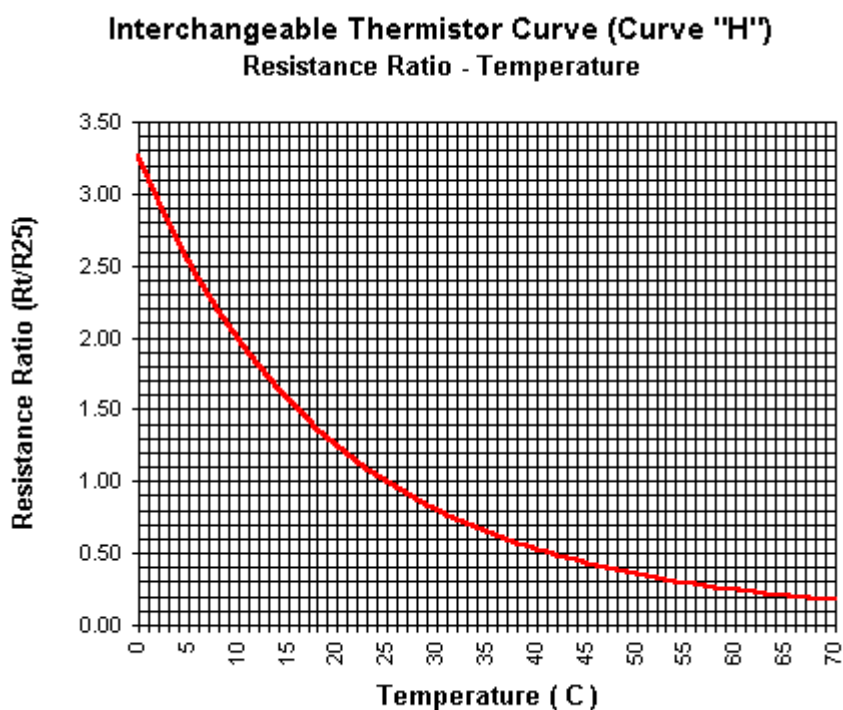
รูปที่ 17.1 สัญลักษณ์ของเทอร์มิสเตอร์

สัญลักษณ์ของเทอร์มิสเตอร์พิจารณาได้จากรูปที่ 17.1 ก) ซึ่งเป็นสัญลักษณ์แบบอเมริกัน และรูปที่ 17.1 ข) เป็นสัญลักษณ์แบบเยอรมัน เทอร์มิสเตอร์จึงถูกแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. ชนิดสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิต่ำ (Negative temperature coefficient; NTC) หมายถึง ถ้าอุณหภูมิรอบตัวมันสูงขึ้นความต้านทานภายในตัวมันจะลดลง ถ้าอุณหภูมิรอบตัวมันต่ำค่าของความต้านทานภายในตัวจะเพิ่มขึ้น NTC ทำมาจากส่วนผสมออกไซด์ของแมงกานีส , นิกเกิล , โคบอลต์, ไททาเนียม , ทองแดง , เหล็กและยูเรเนียม ดังนั้น คุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ได้จึงขึ้นอยู่กับออกไซด์ที่ใช้ มีย่านการทำงานกว้างทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนผสมและชนิดของโลหะออกไซด์ที่นำมาใช้

ผลิต โดยทั่วไป ย่านการทำงานจะอยู่ที่ประมาณ $-273.14\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $1700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถูกนำไปใช้งานเกี่ยวกับการตรวจวัดอุณหภูมิ

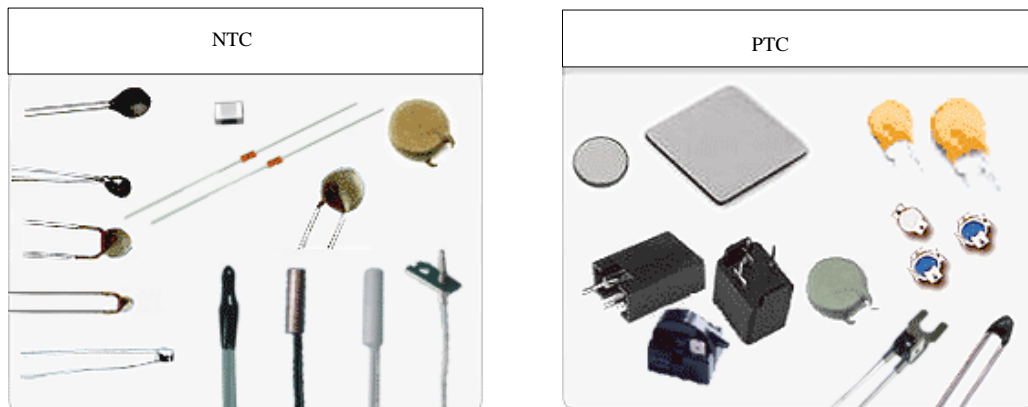
2. ชนิดสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิเป็นบวก (Positive temperature coefficient; PTC) หมายถึง ถ้าอุณหภูมิรอบตัวมันสูงค่าความต้านทานภายในตัวมันจะสูงตาม ถ้าอุณหภูมิต่ำค่าความต้านทานภายในตัวมันก็จะลดลง PTC ทำมาจากผงแบเรียมคาร์บอเนต นิโอเนียมคาร์บอเนต ผสมกับ ไททาเนียม ไดออกไซด์ เผาที่อุณหภูมิถึง $1,200\text{ }^{\circ}\text{C}$ แต่ที่พบเห็นกันมากในปัจจุบันจะผลิตมาจากสารกึ่งตัวนำ ซิลิกอนในรูปของความต้านทานซิลิกอน จนบางครั้งอาจเรียกเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC ว่าซิลิสเตอร์ (Silistor) มันสามารถแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิเป็นบวก (ประมาณ $0.77\%/^{\circ}\text{C}$) อย่างไม่รู้ก็ตาม ถ้าอุณหภูมิใช้งานมากกว่า $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ มันจะแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิเป็นลบ ดังนั้น PTC จะมีย่านการทำงานค่อนข้างต่ำที่ประมาณ $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $150\text{ }^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 17.2 กราฟคุณลักษณะของเทอร์มิสเตอร์ NTC แบบ WNP 20107-02-05 : $10\text{ k}\Omega @ 25^{\circ}\text{C}$

ที่มา : <http://www.wecc.com/NTC%20Pipe%20Sensor.html>

รูปที่ 17.2 แสดงตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC กับอุณหภูมิ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิมิมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC จะลดลง



ก) รูปร่างของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC

ข) รูปร่างของเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC

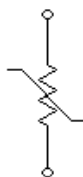
รูปที่ 17.3 ลักษณะรูปร่างของเทอร์มิสเตอร์

ที่มา : <http://www.amwei.com/>

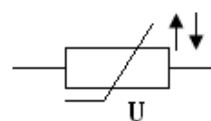
พิจารณาจากรูปที่ 17.3 ก) จะเห็นว่า เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC จะมีลักษณะรูปร่างทั้งแบบทรงกระบอก แบบลูกบิดและแบบจาน มีขาสองขาสำหรับต่อใช้งาน ส่วนในรูปที่ 17.3 ข) ก็จะมีลักษณะรูปร่างคล้ายคลึงกัน อาจมีทั้งแบบที่บรรจุอยู่ในโครงสร้างท่อหุ้มที่คล้ายกล่องสี่เหลี่ยม แผ่นสี่เหลี่ยม แบบจาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรอกแบบของบริษัทผู้ผลิต

17.3 วาริสเตอร์ (Varistor)

วาริสเตอร์หรือ VDR (Voltage dependent resistor) เป็นตัวต้านทานที่การแปรค่าขึ้นอยู่กับแรงดันที่ตกคร่อมตัวมัน ถ้าแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงความต้านทานที่ตัวมันจะต่ำ ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับป้องกันให้กับอุปกรณ์ที่ต้องเกิดการเหนี่ยวนำแรงดันกระชาก (Surge voltage) เช่น อุปกรณ์จำพวกขดลวดเหนี่ยวนำจะต่อวาริสเตอร์คร่อมขดลวดไว้ เพื่อลดการอาร์กไม่ให้เกิดกับบริเวณที่เป็นหน้าสัมผัสสวิตช์ของวงจร เพราะมันจะทำหน้าที่ช่วยลดแรงดันกระชากที่เกิดจากขดลวดเหนี่ยวนำจ่ายออกมา เมื่อวงจรเปิด



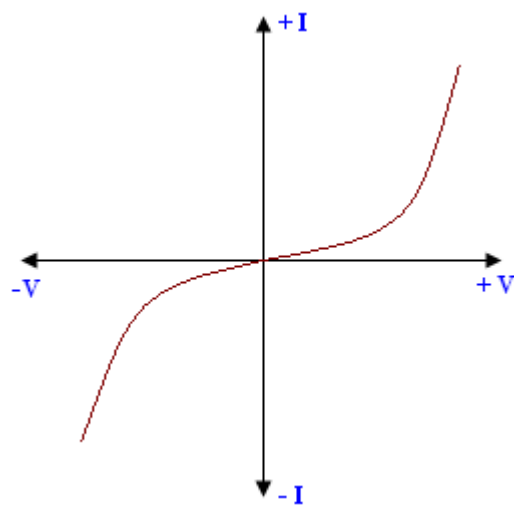
ก) สัญลักษณ์แบบอเมริกัน



ข) สัญลักษณ์แบบเยอรมัน

รูปที่ 17.4 สัญลักษณ์ของวาริสเตอร์

VDR ส่วนใหญ่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำผสมกับออกไซด์ของโลหะ ที่มีคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่แตกต่างกัน เช่น ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) สังกะสีออกไซด์ (ZnO₂) ไททาเนียมออกไซด์ (TiO₂) สัญลักษณ์ที่แสดงให้เห็น ทั้งแบบอเมริกันในรูปที่ 15.4 ก) และแบบเยอรมันในรูปที่ 15.4 ข) เป็นสัญลักษณ์ที่นำไปใช้เขียนในวงจรการใช้งาน ซึ่งแบบเยอรมันจะมีอักษรตัว U กำกับเพื่อให้ทราบว่าการทำงานขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวมัน ส่วนหัวลูกศรที่สวนทางกันนั้น หมายถึง ถ้าแรงดันไฟฟ้ตกคร่อมตัวมันมีค่ามาก ค่าความต้านทานในตัวมันจะลดลง



รูปที่ 17.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของวาริสเตอร์

จากรูปที่ 17.5 ถ้าแรงดันตกคร่อม VDR สูงขึ้น กระแสจะสูงขึ้นอันเป็นผลเนื่องมาจากค่าความต้านทานของVDR ลดลง ลักษณะเช่นนี้จึงเสมือนว่าเป็นซีเนอร์ไดโอดสองตัวต่อหลังชนกัน ทั้งนี้เป็นเพราะว่าค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวมันทั้งสองด้านมีค่าเท่ากันและค่อนข้างคงที่อยู่ที่ค่า ๆ หนึ่ง ถ้าค่าแรงดันตกคร่อม VDR ต่ำกว่าที่กำหนด กระแสจะไหลผ่านตัวมันได้น้อยเพราะความต้านทานในตัวมันมีค่าสูง ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$V = CI^\beta \dots\dots\dots(17.1)$$

- เมื่อ V : ค่าแรงดันตกคร่อมวาริสเตอร์ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)
- I : กระแสไฟฟ้าไหลผ่านวาริสเตอร์ มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A)
- C และ β : ค่าคงที่ของสารที่ใช้ทำวาริสเตอร์

ค่า C ในทางปฏิบัติจะมีค่าอยู่ระหว่าง 14 – 3,000

VDR ที่มีส่วนผสมของ สังกะสีออกไซด์ (ZnO_2) จะมีค่า β ที่ 0.025 ใช้กับแรงดันไฟฟ้า 50 – 500 V เหมาะกับการใช้งานจำพวกการขจัดสัญญาณ ครอบคลุมประเภทที่เป็นพัลส์กำลังงานสูง ๆ

VDR ที่มีส่วนผสมของซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) มีค่า β ที่ 0.3 พิกัดแรงดัน 5 – 25 KV เหมาะกับงานแรงดันสูงที่ต้องใช้งานอย่างต่อเนื่อง เช่น ในวงจรรักษาระดับแรงดัน

VDR ที่มีส่วนผสมของไททาเนียมออกไซด์ (TiO_2) มีค่า β ที่ 0.25 พิกัดแรงดัน 2.7 – 70 V ใช้สำหรับวงจรป้องกันอุปกรณ์แรงดันต่ำ

อย่างไรก็ตามการจะเลือก VDR ไปใช้งานอาจพิจารณาข้อมูลเพียงบางอย่าง ได้แก่

1. ระดับแรงดันช่วงที่ VDR เริ่มทำงาน ค่าแรงดันนี้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารที่ใช้ทำ VDR เช่น VDR ที่ทำจากส่วนผสมของสังกะสีออกไซด์ จะมีช่วงแรงดันใช้งาน ระดับกลางแต่ถ้าทำจากส่วนผสมของไททาเนียมออกไซด์ จะมีระดับแรงดันช่วงเริ่มทำงานต่ำที่ประมาณ 2.7 โวลต์

2. ค่า β จะเป็นตัวบ่งบอกถึงความไวในการเพิ่มของปริมาณกระแสที่ไหลผ่านตัวมัน เช่น ค่า β ของ สังกะสีออกไซด์ ที่มีค่าน้อยกว่า ซิลิกอนคาร์ไบด์ หมายความว่า ถ้าเพิ่มค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวมันเพียงเล็กน้อย กระแสจะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากและเร็วกว่าของซิลิกอนคาร์ไบด์

3. การใช้งานอย่างต่อเนื่อง มีความสำคัญสำหรับการพิจารณาเลือก VDR มาใช้ในวงจรรักษาระดับแรงดัน หรือใช้กับวงจรที่มีพัลส์กำลังงานสูงๆ

4. ค่าแรงดันสูงสุดที่ VDR รับได้ หรือ V_p ซึ่งโดยปกติทั่วไป V_p จะมีค่าประมาณเท่ากับ $1.414 V_{rms}$ และกระแสที่ไหลผ่าน VDR ที่ระดับแรงดันค่านี้ต้องไม่เกิน 1 mA

17.4 แสงและแหล่งกำเนิดแสง

อุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ (Opto electronics) เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับแสง มีอยู่มากมายหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดก็จะทำงานที่ย่านความถี่แสงต่าง ๆ กันไป โดยส่วนใหญ่จะเป็นย่านความถี่แสงที่เกินกว่าสายตาคนเราจะมีมองเห็น เช่น ย่านเหนือม่วง(Ultra violet) และย่านใต้แดงหรือ อินฟราเรด (Infrared) อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์บางตัวก็มีแสงในย่านที่สายตาคนเรามองเห็นได้

แสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่ง ที่หาได้ง่ายเป็นคลื่นแม่เหล็กที่มาจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ กัน เช่น ได้มาจากดวงอาทิตย์ จากหลอดไฟฟ้า จากการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี และนอกจากนี้ยังเกิดจากอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำบางชนิด ความยาวคลื่นแสงจะมีอยู่ด้วยกันหลายย่าน ถ้าเป็นย่านความยาวคลื่นแสงที่สายตาคนเราสามารถมองเห็น จะมีค่าอยู่ที่ระดับประมาณ 0.4 - 0.8 ไมโครเมตร (μm) หรือประมาณ 400-800 นาโนเมตร (nm) แต่ถ้าเป็นย่านความถี่คลื่นแสงเหนือม่วงความยาวคลื่นแสงจะมีค่าประมาณ 1-400 nm และที่ย่านอินฟราเรด จะมีความยาวคลื่นแสงอยู่ที่ประมาณตั้งแต่ 700 กว่า ๆ nm ไปจนถึง 1 มิลลิเมตร (mm) โดยทั่วไปแสงที่กำเนิดขึ้นมาจะมีอยู่ 2 ประเภท ได้แก่

17.4.1 แสงทั่วไป เป็นแสงที่เกิดจากความร้อนในสสาร ที่มีผลทำให้อะตอมของสสารชนิดนั้น ๆ เกิดการสั่นสะเทือนมีการเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ แสงประเภทนี้จะมีมีความยาวคลื่นแสงหลาย ๆ ค่ารวมกัน มีสีต่าง ๆ ตามที่สายตาคนเรามองเห็น ได้แก่ แดง ส้ม เหลือง เขียว ฟ้า น้ำเงินและม่วง

17.4.2 แสงเลเซอร์(Laser) เป็นแสงที่ถูกผลิตขึ้นมาเพื่อนำไปใช้งาน คำว่า Laser เป็นคำย่อซึ่งมาจากคำเต็มในภาษาอังกฤษว่า Light amplification by stimulated emission of radiation ถ้าแสงเลเซอร์เกิดจากตัวกลางต่างชนิดกัน จะให้แสงที่มีสีความยาวคลื่นแสงและความถี่ที่แตกต่างกัน ตัวกลางที่สามารถทำให้เกิดแสงเลเซอร์มีทั้งที่เป็นของแข็ง ของเหลวและก๊าซ โดยปกติแสงเลเซอร์ที่กำเนิดขึ้นมาจะมีทั้งแสงอินฟราเรด แสงในย่านที่สายตาคนเรามองเห็นและแสงเหนือม่วง ในที่นี้สามารถพิจารณาสเปกตรัมย่านการใช้งานของอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ที่เกี่ยวข้องกับย่านความถี่ของแสงต่าง ๆ ได้จากรูปที่ 17.6 และตารางที่ 17.1



รูปที่ 17.6 แสดงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ความยาวคลื่น	0.4	0.48	0.555	0.59	0.63	0.66	0.7	0.93 – 0.95
แสงสี	ม่วง	น้ำเงิน	เขียว	เหลือง	ส้ม	แดง	แดง	อินฟราเรด
วัสดุ	-	G _a n	G _a P	G _a H ₅ P	G _a A ₅ P	G _a AlA ₅	G _a P+Z _n	G _a A ₅

ตารางที่ 17.1 แสดงย่านความยาวคลื่นการใช้งานอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์

แสงที่ถูกส่งออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงจะมีลักษณะอยู่ในรูปโฟตอน (Photons) ที่มีค่าความเร็ว ความถี่และความยาวคลื่นแสงเป็นไปตามสมการที่ 17.2

$$\lambda = \frac{v}{f} \dots \dots \dots (7.2)$$

เมื่อ λ = ความยาวคลื่นแสง มีหน่วยเป็นเมตร (m)

v = ความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นแสง (ความเร็วคลื่นแสงอยู่ที่ 3×10^8 m/s)

f = ความถี่ของคลื่นแสง มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz)

โดยปกติทั่วไป ความยาวของคลื่นแสงจะถูกวัดออกมาในหน่วยแองสตรอม (Angstrom, \AA) ซึ่งในความยาวคลื่นแสง 1 \AA มีค่าเท่ากับ 10^{-10} m หรือวัดออกมาในหน่วยไมโครเมตร (μm) ซึ่งในค่าความยาวคลื่นแสง $1 \mu\text{m} = 10^{-6}$ m

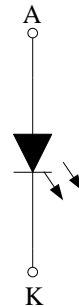
นอกจากนี้แสงยังถูกวัดออกมาในรูปความเข้มของการส่องสว่าง ซึ่งหมายถึงความเข้มของการส่องสว่างที่ตกกระทบเฉพาะพื้นที่ผิวนั้น ๆ ค่าความเข้มของการส่องสว่างจะมีหน่วยเป็นลูเมน (Lumen : lm) หรือวัตต์ (Watt : W) โดยความเข้มของการส่องสว่างทั้งสองหน่วย มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$1 \text{ lm} = 1,496 \text{ mW}$$

ทำนองเดียวกัน ความเข้มของแสง จะถูกวัดออกมาในรูปของความเข้มของแสง ที่มีหน่วยเป็นลูเมนต่อตารางเมตร (lm/m^2) หรือฟุต-แคนเดิล (Foot-candles : fc)

$$1 \text{ fc} = 10.764 \text{ lm}/\text{m}^2 = 161 \text{ W}/\text{m}^2$$

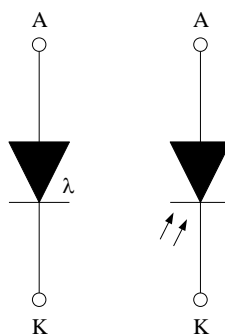
17.5 ไดโอดเปล่งแสง (Light emitting diode , LED)



รูปที่ 17.7 สัญลักษณ์ของไดโอดเปล่งแสง

ไดโอดเปล่งแสงในรูปที่ 17.7 เป็นอุปกรณ์ที่เคยกล่าวไว้แล้วในหน่วยที่ 5 มันถูกจัดเป็นอีกหนึ่งในจำพวกอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์เนื่องจากมันสามารถเปล่งแสงออกมาจากตัวมันให้ได้แสงสีต่างๆ กัน ซึ่งทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ทำ การที่LEDจะเปล่งแสงออกมาได้นั้นจะต้องทำการไบแอสตรงแก่มันและจะต้องมีกระแสไหลผ่านตัวมันอยู่ระหว่าง 2 – 20 mA ส่วนLED บางตัวจะเปล่งแสงที่สายตาเรามองไม่เห็น เช่น อินฟราเรด เราก็มักเรียก LED ชนิดนั้นว่า “หลอดอินฟราเรด” ส่วนใหญ่มักจะนำไปใช้ในวงจรภาคส่งสัญญาณของรีโมตคอนโทรล

17.6 โฟโตไดโอด (Photo diode)

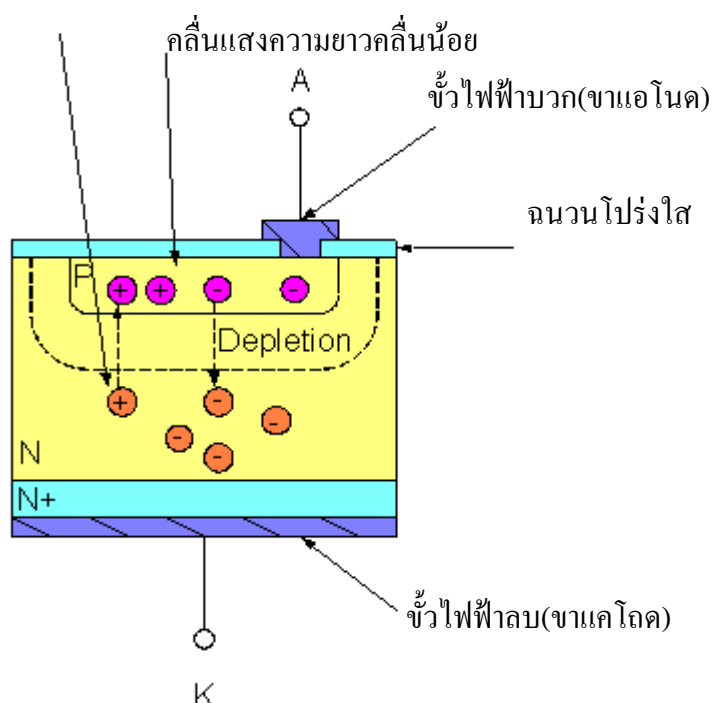


รูปที่ 17.8 สัญลักษณ์ของโฟโตไดโอด

จากรูปที่ 17.8 แสดงสัญลักษณ์ของโฟโตไดโอดซึ่งจะมีลักษณะเป็นตัวรับแสง ตัวของโฟโตไดโอดผลิตขึ้นมาจากสารกึ่งตัวนำหลายชนิด เช่น ซิลิกอน เจอร์เมเนียม ซิลิเนียม แกลเลียมอาร์ซี

ไนต์ อินเดียมแกลเลียมอาร์ซีไนต์ หรือลึคซัลไฟด์ เป็นต้น ซึ่งสารกึ่งตัวนำแต่ละชนิดที่นำมาผลิตเป็นโฟโตไดโอดนั้น จะมีการตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกันไป ซิลิกอนจะตอบสนองในช่วงประมาณ 190-1,100 nm เยอรมันเนียมจะตอบสนองที่ประมาณ 800-1,700 nm อินเดียมแกลเลียมอาร์ซีไนต์ตอบสนองที่ประมาณ 800-2,600 nm ส่วนลึคซัลไฟด์ตอบสนองที่ประมาณ 1,000-3,500 nm

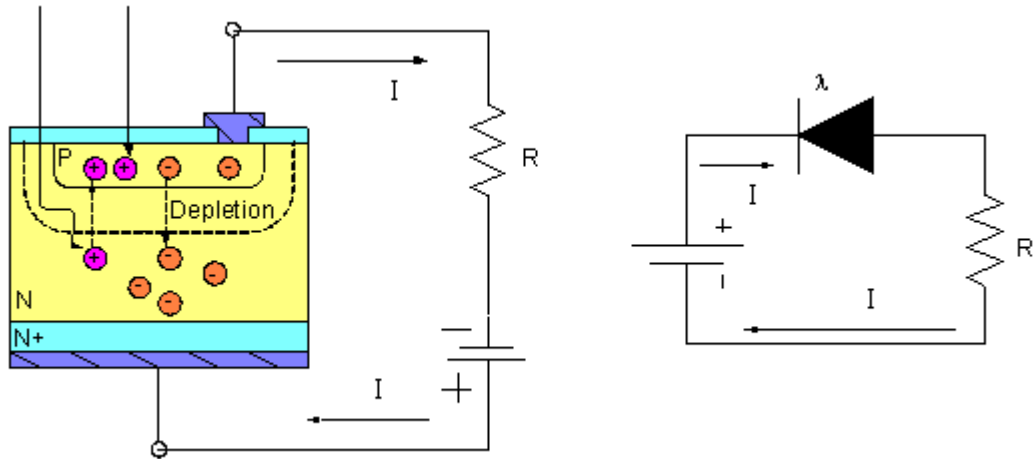
คลื่นแสงความยาวคลื่นมาก



รูปที่ 17.9 โครงสร้างของโฟโตไดโอด

โครงสร้างของโฟโตไดโอดดังรูปที่ 17.9 นั้น จะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N ต่อชนกัน ส่วนด้านบนซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด P จะถูกต่อขั้วออกมาเพื่อใช้งานเป็นขั้วหรือขาแอนโนด (A) โดยมีฉนวนโปร่งใสหุ้มสารกึ่งตัวนำด้านบนทั้งหมดไว้ เพื่อให้มันสามารถรับแสงได้ในส่วนของตอนล่างจะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด N และที่ตำแหน่ง N+ จะมีอิเล็กตรอนอิสระซึ่งมีจำนวนมากกว่าปกติต่อไว้อีกชั้นหนึ่ง เพื่อให้สามารถเกิดการนำอิเล็กตรอนได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังมีขั้วตัวนำต่อออกมาเป็นขั้วลบหรือขาแคโทด(K)

แสงตกกระทบ



รูปที่ 17.10 การทำงานของโฟโตไดโอด

จากรูปที่ 17.10 โฟโตไดโอดจะถูกจัดให้ทำงานในลักษณะไบแอสกลับ ที่ค่าแรงดันสำหรับใช้งานกับโหลดปกติ เมื่อยังไม่มีแสงมาตกกระทบรอยต่อ P-N ไดโอดจะไม่สามารถนำกระแสได้ เพราะค่าความต้านทานที่รอยต่อสูงมาก จะมีเพียงค่ากระแสรั่วไหลเล็ก ๆ ที่ไม่สามารถนำมาใช้งานได้เท่านั้นที่ไหลผ่านรอยต่อได้ เรียกกระแสรั่วไหลค่านี้ว่า “กระแสมืด” (Dark current) ต่อเมื่อมีแสงมาตกกระทบที่บริเวณรอยต่อ P-N ทางด้านรับแสง จากนั้นแสงจะถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นรูปของพลังงานโฟตอน โสลที่อยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิด N จะเกิดการถ่ายเทไปยังสารกึ่งตัวนำชนิด P และอิเล็กตรอนอิสระที่อยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิด P จะถ่ายเทไปยังสารกึ่งตัวนำชนิด N ในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ความต้านทานที่บริเวณรอยต่อ P-N มีค่าลดลง ยิ่งแสงมีความเข้มมากเท่าใด การแลกเปลี่ยนระหว่างโฮลและอิเล็กตรอนก็จะมีมากตามไปด้วย

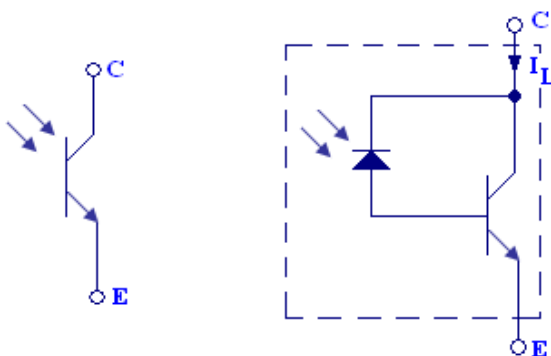
โฟโตไดโอดจะต่างจาก LED ตรงที่ LED จะเป็นตัวส่งคลื่นแสง ส่วนโฟโตไดโอดจะเป็นตัวรับคลื่นแสงหรือตรวจจับแสง ดังนั้นการใช้งานโฟโตไดโอดจึงใช้ในภาครับสัญญาณคลื่นแสง และจะต้องไบแอสโฟโตไดโอดในลักษณะไบแอสกลับ โดยปกติขณะไม่มีแสงมาตกกระทบโฟโตไดโอด จะมีกระแสรั่วไหลที่รอยต่อประมาณ $1 \mu\text{A}$ ต่อเมื่อมีแสงมาตกกระทบตัวมันปริมาณกระแสที่ไหลผ่านรอยต่อจะเพิ่มขึ้นสูงถึงประมาณ $100 \mu\text{A}$ แต่ทั้งนี้ ก็ยังขึ้นอยู่กับขนาดและเบอร์ต่าง ๆ ของโฟโตไดโอดด้วย

ตัวอย่างเช่น โฟโตไดโอด เบอร์ MRD821 มีข้อมูลดังนี้

กระแสไบแอสตรงสูงสุด	100 mA
แรงดันไบแอสกลับสูงสุด	30 V
ค่าความยาวคลื่นที่ตอบสนองได้ดีที่สุด	940 nm
กระแสไบแอสกลับสูงสุด	50 μ A
กระแสรั่วไหล	3–30 nA

เราสามารถนำโฟโตไดโอดไปใช้งานได้อย่างหลากหลาย เช่น ใช้ทำเครื่องวัดความเข้มของแสง ใช้เป็นสวิทช์ทำงานด้วยแสง เครื่องควบคุมระยะไกล (Remote control) ที่ใช้ในเครื่องรับโทรทัศน์ เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น

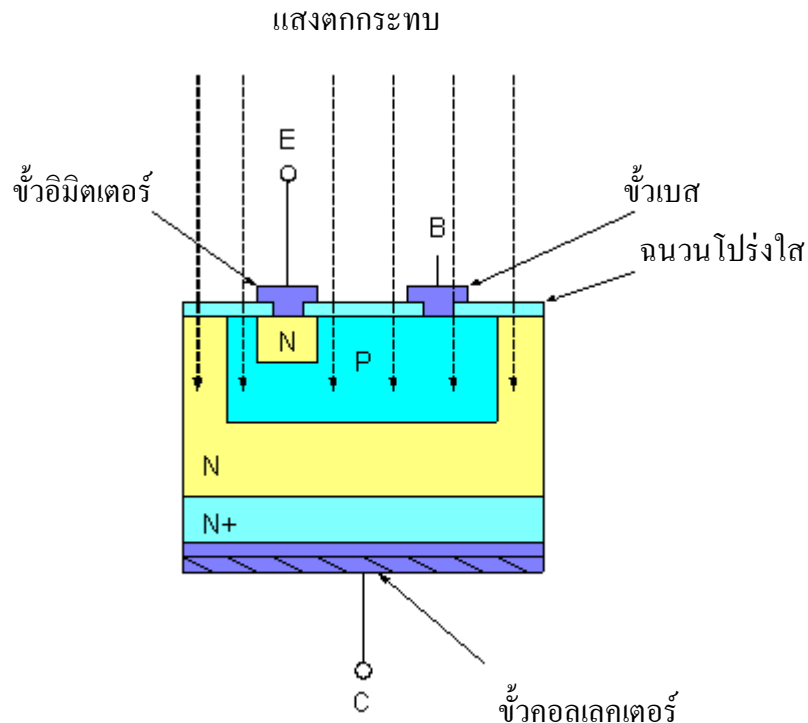
17.7 โฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo transistor)



รูปที่ 17.11 สัญลักษณ์และวงจรสมมูลของโฟโตทรานซิสเตอร์

โฟโตทรานซิสเตอร์จัดเป็นอุปกรณ์ตรวจจับแสงอีกชนิดหนึ่ง เมื่อพิจารณาโครงสร้างภายใน ดังรูปที่ 17.11 จะประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ NPN และ โฟโตไดโอดอยู่ในตัวเดียวกัน ถ้าแสงมาตกกระทบที่โฟโตไดโอดก็จะส่งผลให้มีกระแสที่ขาเบสเพิ่มมากขึ้น ทำให้ขาเบสของทรานซิสเตอร์มีกระแสไหล อันเป็นผลให้ทรานซิสเตอร์นำกระแส มีกระแส I_L (Light current) ไหลจากคอลเลกเตอร์มาอิมิตเตอร์ได้ ข้อดีของทรานซิสเตอร์ที่เหนือกว่าโฟโตไดโอด คือ มันมีความไวในการทำงานสูงกว่า สัญญาณแสงที่มากกระทบตัวโฟโตทรานซิสเตอร์ จะส่งผลให้กระแสไฟฟ้าได้รับการขยายก่อนส่งออกไปใช้งาน

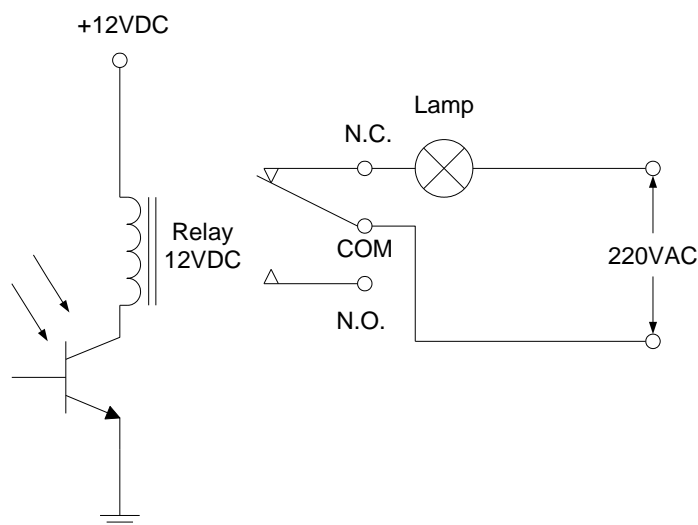
อย่างไรก็ตาม ในส่วนของกระแสรั่วไหลของโฟโตรีซิสเตอร์ มักจะมีค่าสูงกว่าของโฟโตรีซิสเตอร์ชนิดอื่นมากแต่ถ้าทำให้มันนำกระแสแล้ว กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโฟโตรีซิสเตอร์จะมีค่ามากกว่าที่ไหลผ่านโฟโตรีซิสเตอร์ ตัวอย่างเช่น โฟโตรีซิสเตอร์เบอร์ MRD 360 จะมีค่า $V_{CEO} = 40 \text{ V}$, $I_L = 20 \text{ mA}$



รูปที่ 17.12 โครงสร้างของโฟโตรีซิสเตอร์

จากลักษณะโครงสร้างในรูปที่ 17.12 โฟโตรีซิสเตอร์จะคล้ายกับทรานซิสเตอร์ทั่ว ๆ ไป เพียงแต่ไม่ต้องต่อขาเบสไปใช้งาน เมื่อมีแสงมาตกกระทบบริเวณรอยต่อ P-N จะทำให้เกิดการไหลของกระแสเบสภายในรอยต่อขึ้น โดยแสงจะไปทำให้ค่าความต้านทานที่รอยต่อของคอลเลกเตอร์และอิมิตเตอร์ลดลง ทำให้เกิดการไหลของกระแสคอลเลกเตอร์ได้ ซึ่งปริมาณกระแสคอลเลกเตอร์จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงที่มาตกกระทบบริเวณรอยต่อ P-N ถ้าแสงมีความเข้มมากค่าของกระแสคอลเลกเตอร์ก็จะมีค่ามาก แต่ถ้าแสงที่มาตกกระทบบริเวณมีค่าน้อยลง ค่าของกระแสคอลเลกเตอร์ก็จะน้อยตาม ถ้าไม่มีแสงมาตกกระทบบริเวณ โฟโตรีซิสเตอร์จะไม่นำกระแส ทั้งนี้เป็นเพราะค่าความต้านทานที่รอยต่อระหว่างอิมิตเตอร์และคอลเลกเตอร์จะมีค่าสูงมาก จะมีเพียงกระแสรั่วไหลหรือกระแสมีดในช่วงของนาโนแอมแปร์ ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณกระแสที่น้อยมากจน

ไม่สามารถขับให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสได้ สำหรับชั้น N+ จะมีอิเล็กตรอนอิสระมากกว่าปกติ เพื่อให้เกิดการนำอิเล็กตรอนดีขึ้น โดยทั่วไปแล้ว โฟโตรีเลย์ทรานซิสเตอร์จะมีทั้งแบบ 2 ขา และ 3 ขา

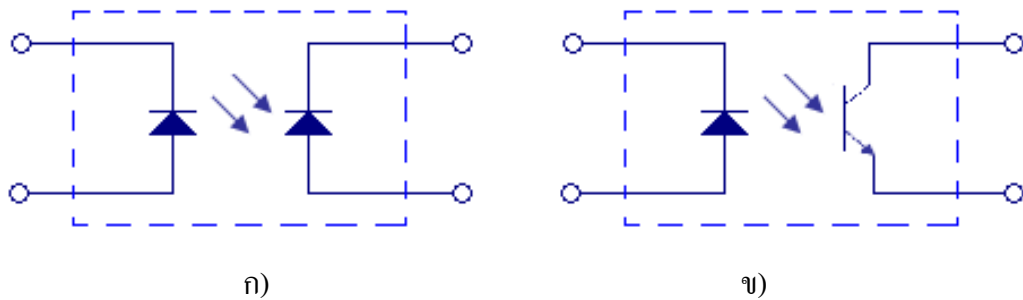


รูปที่ 17.13 วงจรการใช้งานโฟโตรีเลย์ทรานซิสเตอร์อย่างง่าย

วงจรการใช้งานโฟโตรีเลย์ทรานซิสเตอร์อย่างง่ายดังรูปที่ 17.13 เป็นการนำไปใช้เพื่อควบคุมการเปิด-ปิดหลอดไฟฟ้า ที่ควบคุมด้วยแสง ถ้ามีแสงมาตกกระทบโฟโตรีเลย์ทรานซิสเตอร์ในเวลากลางวัน โฟโตรีเลย์ทรานซิสเตอร์จะนำกระแส กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดรีเลย์ จะทำให้รีเลย์ทำงานและไปดึงหน้าสัมผัส N.C. ให้จากออกทำให้หลอดไฟฟ้าไม่สว่าง ในเวลากลางคืนไม่มีแสงมาตกกระทบ โฟโตรีเลย์ทรานซิสเตอร์ไม่นำกระแส รีเลย์จะไม่ทำงาน หน้าสัมผัส N.C.กลับไปต่อวงจรให้กับหลอดไฟฟ้าตามเดิมหลอดไฟฟ้าจึงสว่าง

17.8 อุปกรณ์เชื่อมโยงด้วยแสง (Opto coupler)

ลักษณะของอุปกรณ์เชื่อมโยงด้วยแสง Opto coupler หรือ Opto isolator จะมีส่วนประกอบสำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนกำเนิดแสง และส่วนรับแสง โดยส่วนกำเนิดแสงมักจะใช้ LED อินฟราเรด (หลอดอินฟราเรด) แต่ส่วนรับแสงอาจใช้โฟโตไดโอด โฟโตทรานซิสเตอร์ ฯลฯ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน



รูปที่ 17.14 สัญลักษณ์ของอุปกรณ์ Opto coupler ชนิดต่าง ๆ

จากรูปที่ 17.14 ก) จะเห็นว่า อุปกรณ์อปโตคัปเลอร์ ประกอบด้วยอินพุตเป็น LED อินฟราเรดและเอาต์พุตเป็นโฟโตไดโอด ส่วนในรูปที่ 16.14 ข) มีอินพุตเป็น LED อินฟราเรด และมีส่วนของเอาต์พุตเป็นโฟโตทรานซิสเตอร์ สิ่งที่สังเกตได้ก็คือ ส่วนของอินพุต หรือส่วนกำเนิดแสงและส่วนของเอาต์พุตหรือส่วนรับแสง จะถูกแยกออกจากกันทางไฟฟ้าโดยสิ้นเชิง นับเป็นส่วนดีที่ทำให้เราสามารถต่อแรงดันไฟสูงทางด้านเอาต์พุต โดยไม่ต้องต่อกราวด์ของไฟสูงร่วมกับไฟต่ำ ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการรบกวนกันของสัญญาณผ่านกราวด์