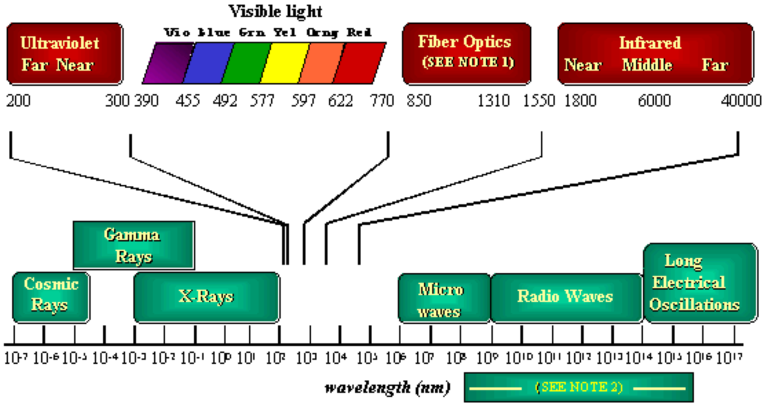
	ใบความรู้	
	รหัสวิชา 2104-2214	วิชาอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม 1
	ชื่องาน : เครื่องวัดระดับของเหลวโดยใช้แสง	
ชื่อเรื่อง : ทรานสดิวเซอร์แสง		จำนวน 3 ชั่วโมง

6.1 ทรานสดิวเซอร์แสง

6.1.1 ความหมายของทรานสดิวเซอร์ทางแสง

ทรานสดิวเซอร์ทางแสง (Photoelectric Transducers) เป็นอุปกรณ์ที่ทำการแปลงพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้วัสดุไวแสง ซึ่งวัสดุไวแสงนี้จะมีคุณสมบัติคือ เมื่อ วัสดุนี้ได้รับแสงที่มีความยาวคลื่นที่สั้นกว่าค่าความยาวคลื่นเริ่มต้น (Threshold Wavelength) หรือความถี่จุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold Frequency) ของวัสดุไวแสงนั้น วัสดุจะปล่อยอิเล็กตรอนออกมาเมื่อได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอ ปรากฏการณ์นี้เราเรียกว่า Photoelectric Effect ซึ่งค้นพบโดย Meinrich Hertzในปี ค .ศ. 1887 ซึ่งลักษณะของความยาวของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะค่าความยาวคลื่นที่ไม่เหมือนกัน และจะมีสีต่างกันดังแสดงในรูปที่ 6.1.1 โดยที่วัสดุไวแสงนี้จะมีอยู่หลายชนิดแต่ละชนิดจะมีค่าความยาวคลื่นไม่เท่ากัน ดังนั้นในการใช้วัสดุไวแสงเพื่อใช้ในการรับแสงควรเลือกค่าความยาวคลื่นของวัสดุไวแสงให้มีค่ามากกว่าความยาวคลื่นของแสงที่ต้องการรับ เช่นแสงอุลต้าไวโอเลต (Ultraviolet) แสงอินฟราเรด (Infrared) หรืออื่นๆ โลหะโดยทั่วไปจะมีความยาวคลื่นเริ่มต้นอยู่ในช่วงสเปกตรัมอุลต้าไวโอเลต (Ultraviolet Spectrum) คือช่วงความยาวคลื่น 2,000 ถึง 3,000 อัมสตรอง (Angstrom) (โดยที่ 1 อัมสตรองมีค่าเท่ากับ 10^{-10} เมตร) ในการใช้งานควรเลือกใช้ธาตุโปรตัสเซียม (Potassium) และถ้าย่านความยาวคลื่นที่สายตามนุษย์มองเห็น (Visible Spectrum) คือช่วงความยาวคลื่น 4,000 ถึง 7,000 อัมสตรองควรเลือกธาตุโซเดียมออกไซด์ (Cesium Oxide) ซึ่งจะมีความยาวคลื่นเริ่มต้นอยู่ในช่วงดังกล่าวนั่นเอง ซึ่งได้พัฒนามาเป็นอุปกรณ์ตรวจจับแสงหรือมิเตอร์วัดความยาวแสง (Selenium Light Meter) ในย่านต่างกันดังแสดงในรูปที่ 6.1.2



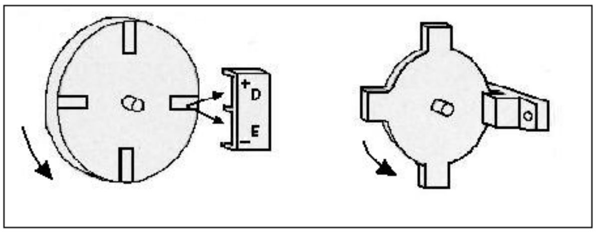
รูปที่ 6.1.1 ความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

รูปที่ 6.1.2 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง

จากคุณสมบัติของวัสดุไวแสงเมื่อนำมาทำเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง สามารถนำมาทำได้หลายชนิด และมีรูปร่างที่หลากหลายขึ้นอยู่กับจุดมุ่งหมายของการใช้งาน ซึ่งในการใช้งานควรจะต้องมีอุปกรณ์ช่วยในการรวมแสงเช่น เลนส์ โดยที่เลนส์มีความจำเป็นในการใช้งานสำหรับการรวมแสง ถ้าการเลือกใช้หรือผลิตเลนส์ไม่ดี จะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแสงได้ ดังนั้นเลนส์จะมีผลต่อตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสงเป็นอย่างมาก เพราะเป็นการเพิ่มอัตราขยายทางแสงให้สูงขึ้น ตลอดจนการเลือกใช้อุปกรณ์ตรวจสอบการตัดแสงและการสะท้อนของแสง ดังแสดงในรูปที่ 6.1.3 ซึ่งอุปกรณ์ตรวจสอบการตัดแสงส่วนใหญ่ จะ ใช้งานเพื่อให้เกิดการสะท้อนของแสงให้มากขึ้น ดังนั้นโลหะที่ใช้ทำอุปกรณ์ตรวจสอบการตัดแสงและการสะท้อนของแสงจะ ต้องมีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงได้ มีความมันวาวเช่น สเตรนเลส โรเดียม เงิน เป็นต้น และในการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสงจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. ตัวปล่อยแสง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปล่อยแสงในย่านความยาวคลื่นต่างๆ เช่น แอลอีดีย่านแสงอินฟราเรด แอลอีดีย่านแสงเลเซอร์

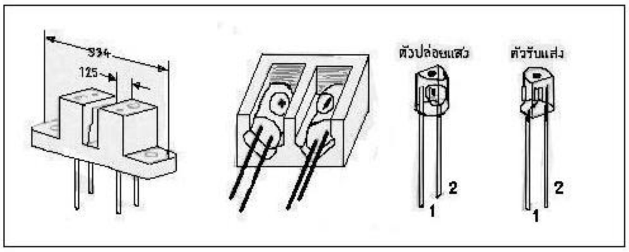
2. ตัวรับแสง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับในย่านความยาวคลื่นแสงย่านต่างๆ เช่นแอลดีอาร์ โฟโตไดโอด โฟโตทรานซิสเตอร์ เป็นต้น



รูปที่ 6.1.3 การใช้อุปกรณ์ตรวจสอบการตัดแสงและการสะท้อนแสงในการวัดความเร็วของเพลา

ในการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง ไม่ควรจะเลือกอุปกรณ์ที่ทำงานในย่านความยาวคลื่นแสงที่สายตามนุษย์มองเห็น เพราะจะทำให้การทำงานผิดพลาดได้ แต่ถ้ามีความจำเป็นต้องใช้งานซึ่งควรปกปิดบริเวณที่ใช้งานให้มิดชิด เพื่อป้องกันแสงจากภายนอกเข้าไปรบกวนการทำงาน และการใช้งานตัวปล่อยแสงและตัวรับแสงควรจะเป็นย่านความยาวคลื่นแสงเดียวกัน เพื่อให้สามารถ

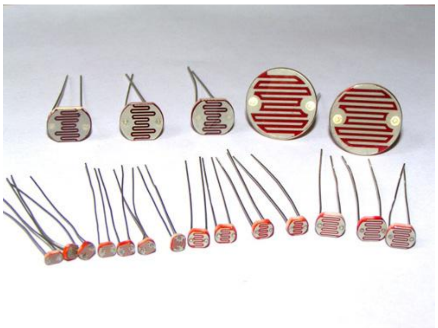
ทำงานร่วมกันได้ บางครั้งผู้ผลิตจะผลิตแบบที่มีทั้งตัวปล่อยแสงและตัวรับแสงรวมอยู่ในตัวเดียวกัน เพื่อสะดวกในการใชงาน ดังนั้นในการใช้งานจะต้องมีอุปกรณ์สะท้อนของแสงเข้าช่วยดังแสดงใน รูปที่ 6.1.4 ซึ่งอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ทางแสงที่นิยมใช้งานสามารถแบ่งออกได้ 3 ชนิดดังมีรายละเอียดต่อไปนี้



รูปที่ 6.1.4 ลักษณะของตัวปล่อยแสงและตัวรับแสงรวมอยู่ในตัวเดียวกัน

6.1.2 ตัวต้านทานพลังแสง

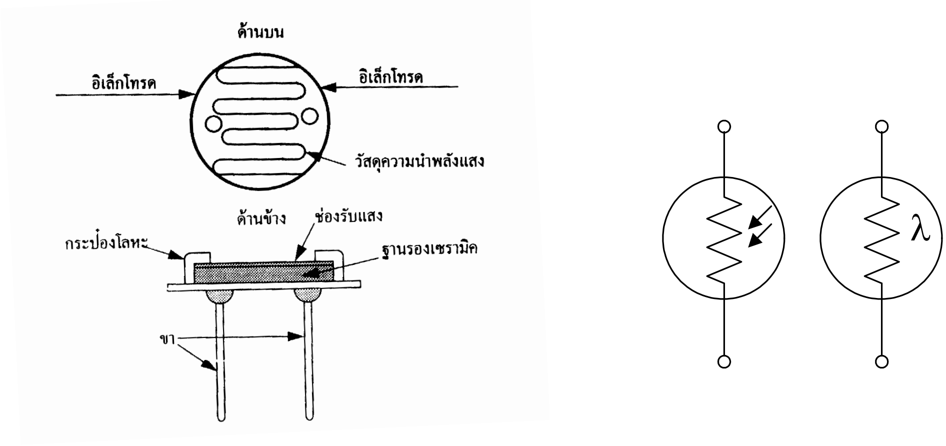
ตัวต้านทานพลังแสง (Photo Resistors) บางครั้งเรียกว่า"เซลล์การนำพลังแสง" (Photo conductive Cell) เป็นอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ที่มีค่าความต้านทานขึ้นอยู่กับความเข้มของแสง (Light Dependent Resistor : LDR) หรือเรียกย่อๆ ว่า "แอลดีอาร์ " กล่าวคือสภาพความนำทางไฟฟ้า (Conductivity) สามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบตัวอุปกรณ์ แอลดีอาร์จัดเป็นอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์แบบเฉื่อยงาน (Passive Transducer) หมายถึงในการใช้งานอุปกรณ์ประเภทนี้จะต้องมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากภายนอกมาต่อเข้ากับตัวอุปกรณ์ ตัวต้านทานพลังแสงโครงสร้าง รูปร่างและขนาดที่แต่ต่างกัน เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานดังแสงในรูปที่ 6.1.5



รูปที่ 6.1.5 แอลดีอาร์ที่ใช้งานในปัจจุบัน

แอลดีอาร์จะทำมาจากสารกึ่งตัวนำชนิดแคดเมียมซัลไฟต์ (Cadmium Sulfide : CdS) หรือแคดเมียมซีลีไนด์ (Cadmium Selenide : CdSe) โดยการนำเอาสารกึ่งตัวนำดังกล่าวมาฉาบลงบนฐานรองที่ทำจากเซรามิค (Ceramic) จากนั้นทำการบัดกรีตัวถังหรือหล่อด้วยเรซิ่น (Razing) เพื่อ

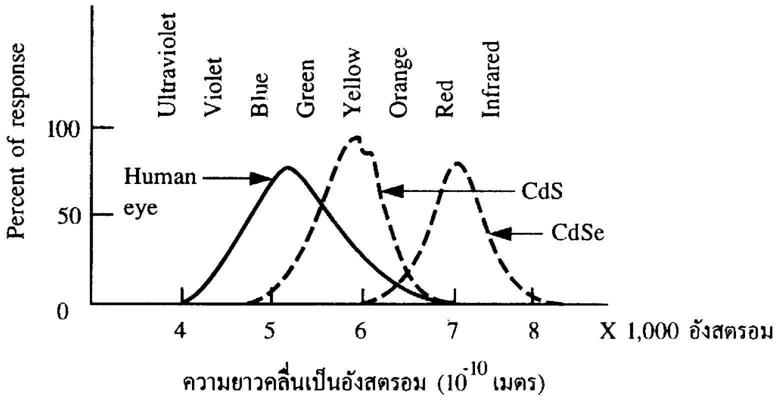
ป้องกันไม่ให้อากาศเข้าไปได้ โดยต่อขาออกมาใช้งาน 2 ขา และจะมีช่องสำหรับรับแสงที่ทำมาจากพลาสติกใสหรือกระจก โครงสร้างและสัญลักษณ์ของตัวต้านทานพลังแสงดังแสดงในรูปที่ 6.1.6



รูปที่ 6.1.6 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของตัวต้านทานพลังแสง

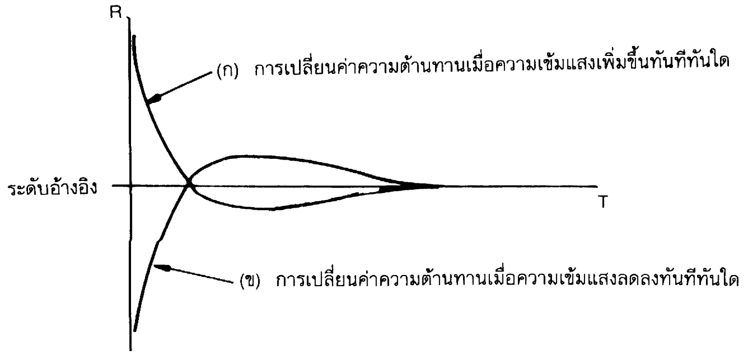
จากโครงสร้างของแอลดีอาร์ในรูปที่ 6.1.6 ซึ่งขณะที่ไม่มีแสงตกกระทบที่ตัวแอลดีอาร์จะมีค่าความต้านทานค่าหนึ่งซึ่งมีค่ามาก และในขณะที่มีแสงมาตกกระทบที่วัสดุความต้านทานไวแสงของแอลดีอาร์ทำให้เกิดมีอิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ได้ เป็นผลทำให้เกิดการไหลของกระแสทำให้ค่าความต้านทานของแอลดีอาร์ลดลง และถ้ามีแสงมาตกกระทบแอลดีอาร์มากขึ้น จะมีผลทำให้ค่าความต้านทานของแอลดีอาร์ลดลงมาขึ้น

แอลดีอาร์จะมีผลการตอบสนองต่อแสงที่มาตกกระทบบนสารกึ่งตัวนำที่ต่างๆกัน ขึ้นอยู่กับสารที่นำมาใช้ทำแอลดีอาร์ เช่นแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) จะมีผลการตอบสนองต่อแสงอยู่ในช่วงประมาณ 5,000 ถึง 7,000 อังสตรอม ซึ่งเป็นย่าน การตอบสนองต่อแสงของสายตามนุษย์ (Human Eye) ที่อยู่ในช่วงระหว่าง 4,000 ถึง 7,000 อังสตรอม และแคดเมียมซีลีไนด์ (CdSe) จะมีผลการตอบสนองต่อแสงในช่วงประมาณ 6,000 ถึง 8,000 อังสตรอม ซึ่งเป็นย่านอินฟราเรด ดังแสดงในรูปที่ 6.1.7



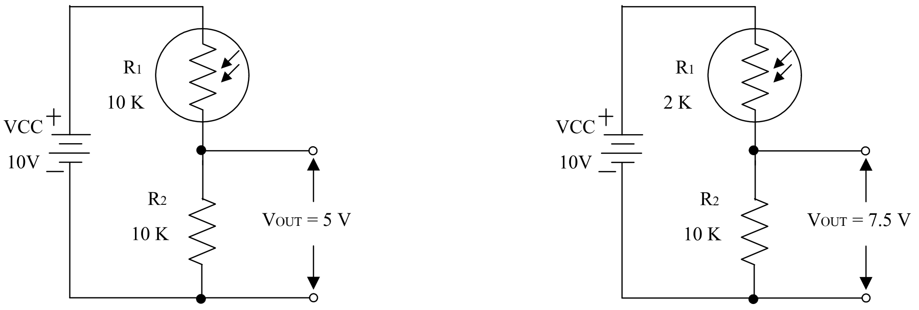
รูปที่ 6.1.7 ผลการตอบสนองต่อแสงของสารที่ใช้ทำแอลดีอาร์

ในการใช้งานแอลดีอาร์ควรคำนึงถึงค่าอัตราส่วนระหว่างค่าความต้านทาน ของแอลดีอาร์ในขณะที่ไม่มีแสง (Dark) กับขณะที่ได้รับแสง (Light) ซึ่งจะมีพิสัยการใช้งานตั้งแต่ 100 : 1 ถึง 10,000 :1 เท่า ซึ่งโดยทั่วไปค่าความต้านทานของแอลดีอาร์ขณะไม่มีแสง จะมีค่าประมาณ 0.5 เมกะโอห์มขึ้นไป และในขณะที่มืดสนิทจะมีค่ามากกว่า 2 เมกะโอห์มขึ้นไป และความต้านทานขณะที่มีแสงจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 10 กิโลวัตต์ ลงมาทนแรงดันสูงสุดได้มากกว่า 100 โวลท์ และทนกำลังไฟได้ประมาณ 50 มิลลิวัตต์ ซึ่งมีค่าน้อยมาก ดังนั้นในการวัดเพื่อตรวจสอบความต้านทานของแอลดีอาร์ ถ้าใช้โอห์มมิเตอร์สเกล Rx1 วัดค่าความต้านทานของแอลดีอาร์อาจทำความเสียหายให้กับแอลดีอาร์ได้ ดังนั้นจึงควรวัดค่าความต้านทานของแอลดีอาร์ โดยใช้วิธีการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันตกคร่อมแอลดีอาร์และคำนวณหาค่าความต้านทานของแอลดีอาร์ ซึ่งเป็นวิธีทางอ้อมในการวัด



รูปที่ 6.1.8 ปรากฏการณ์การนำเนื่องจากพลังแสงของแอลดีอาร์

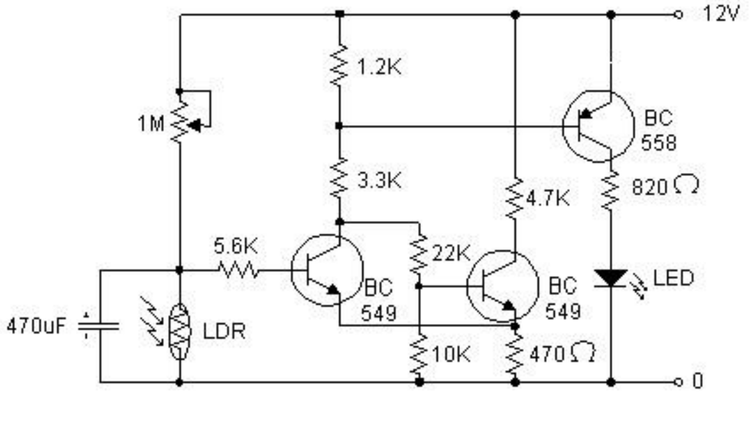
คุณลักษณะที่สำคัญของแอลดีอาร์อีกประการหนึ่งคือ ปรากฏการณ์การนำเนื่องจากพลังแสง (Photoconductive Effect) ที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากเส้นแสดงความเปลี่ยนแปลงระหว่างความต้านทานกับเวลา ดังแสดงในรูปที่ 6.1.8 ซึ่งเส้นโค้ง (ก) แสดงให้เห็นว่าเมื่อแอลดีอาร์ได้รับแสงในทันทีทันใด จะทำให้ค่าความต้านทานของแอลดีอาร์ค่อยๆ ลดลงจนเข้าสู่ระดับอ้างอิง แต่แทนที่ค่าความต้านทนของแอลดีอาร์จะหยุดอยู่ที่ ระดับอ้างอิง แต่กลับเลยไปอีกเล็กน้อย แล้วจึงค่อยๆ วกกลับสู่ระดับอ้างอิง ส่วนเส้นโค้ง (ข) แสดงให้เห็นว่าเมื่อแอลดีอาร์ไม่ได้รับแสงอย่างฉับพลัน จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามกับเส้นโค้ง (ก) จากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจะเห็นได้ว่าความเร็วในการเปลี่ยนแปลงระดับค่าความต้านทานของแอลดีอาร์จะเป็นไปได้ช้ามาก โดยแอลดีอาร์ ที่ทำมาจากสารแคดเมียมซัลไฟต์จะใช้เวลาประมาณ 100 มิลลิวินาที และถ้าเป็นสารแคดเมียมซีลีไนด์ จะใช้เวลาประมาณ 10 มิลลิวินาที ซึ่งเร็วกว่าสารแคดเมียมซัลไฟต์



(ก) ขณะไม่มีแสง (ข) ขณะมีแสงค่าความต้านทานของแอลดีอาร์ลดลง

รูปที่ 6.1.9 วงจรแบ่งแรงดันที่ใช้แอลดีอาร์

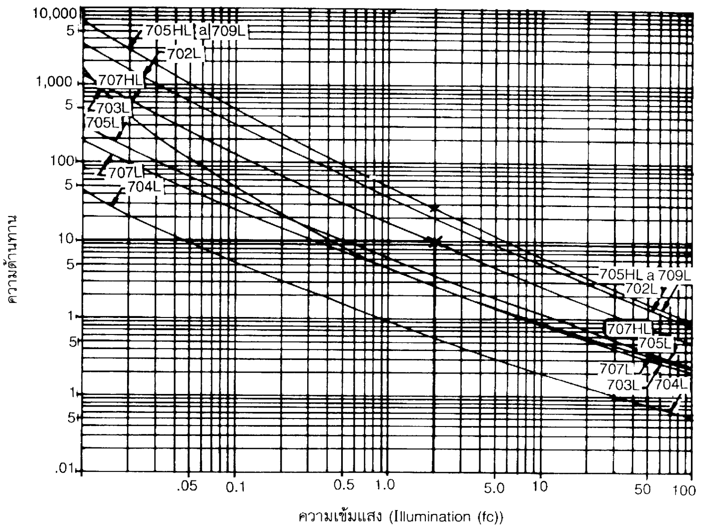
จากคุณสมบัติของแอลดีอาร์ที่มีความไวต่อแสงอาทิตย์ และแสงจากหลอดไส้หรือหลอดเรืองแสง แสงอินฟาเรดที่ตามองไม่เห็นอีกด้วย (ช่วงคลื่นตั้งแต่ 700 นาโนเมตรขึ้นไป) ดังนั้นการใช้งานแอลดีอาร์ซึ่งเหมาะสำหรับงานประเภทความถี่ต่ำๆ เช่น การใช้แอลดีอาร์ทำเป็นเครื่องวัดความเข้มของแสง วงจรสวิตซ์ปิด – เปิดหลอดไฟที่ควบคุมด้วยแสง โดยการใช้วงจรปรับสภาพสัญญาณเป็นแบบวงจรแบ่งแรงดัน หรือวงจรบริดจ์ความต้านทาน ดังแสดงในรูปที่ 6.1.9



รูปที่ 6.1.10 วงจรเปิด-ปิดโดยใช้แสง

จากรูปที่ 6.1.10 เป็นการประยุกต์ใช้งานแอลดีอาร์เพื่อทำหน้าที่เปิด-ปิดวงจรโดยใช้แสงซึ่งในขณะที่ไม่มีแสงมีผลทำให้ค่าความต้านทานของแอลดีอาร์มีค่ามาก จึงทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และทรานซิสเตอร์ Q2 ซึ่งต่อแบบดาร์ลิงตัน (Darlington) นำกระแส โหลดทำงานได้ และในขณะที่มีแสงมาตกกระทบที่แอลดีอาร์จะทำให้ค่าความต้านทานของแอลดีอาร์ลดลง จึงทำให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวหยุดนำกระแส โหลดไม่ทำงาน และทรานซิสเตอร์ Q3 นำกระแส ไดโอดเปล่งแสง (LED) ติดเพื่อแสดงผลการทำงานได้

ตัวอย่างที่ 6.1.1 วงจรตัวแบ่งแรงดันที่แสดงในรูปที่ 6.1.9 (ข) โดยเลือกใช้แอลดีอาร์เบอร์ CL707HL ที่ความเข้มของแสง 2 fC ซึ่งมีคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่อแสง ดังแสดงในรูปที่ 6.1.11 จงหาค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจร



รูปที่ 6.1.11 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานกับความเข้มแสงของแอลดีอาร์

วิธีทำ พิจารณาจากรูปที่ 6.1.11 ณ ความเข้มแสง (Illumination) = 2 fC

จะอ่านค่าความต้านทานของแอลดีอาร์มีค่าเท่ากับ 10 KΩ

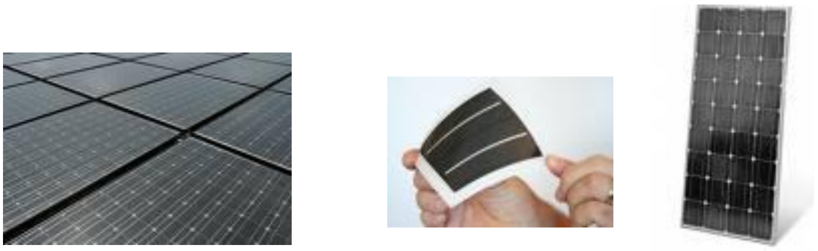
$$V_{OUT} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)V$$

$$V_{OUT} = \left(\frac{10K\Omega}{10K\Omega + 10K\Omega}\right)(10V) \quad = 5\text{ V}$$

∴ แรงดันเอาต์พุตมีค่า 5 โวลต์

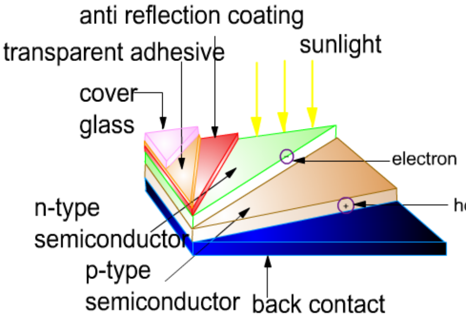
6.1.3 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) มีชื่อเรียกได้หลายชื่อคือ “ เซลล์แรงดันพลังแสง ” (Photovoltaic Cell) หรือ “ เซลล์พลังแสง ” (Photo Cell) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่จะกำเนิดแรงดันไฟฟ้า เมื่อมีแสงมาตกกระทบตัวมัน ในการใช้งานเพียงแต่ต่อโหลดเข้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ เพราะว่าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเป็นแหล่งจ่ายแรงดันให้กับโหลดได้ ดังนั้นจึงจัดได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์เป็นทรานสดิวเซอร์แบบไวงาน (Active Transducer) ชนิดหนึ่ง ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ดังแสดงในรูปที่ 6.1.12

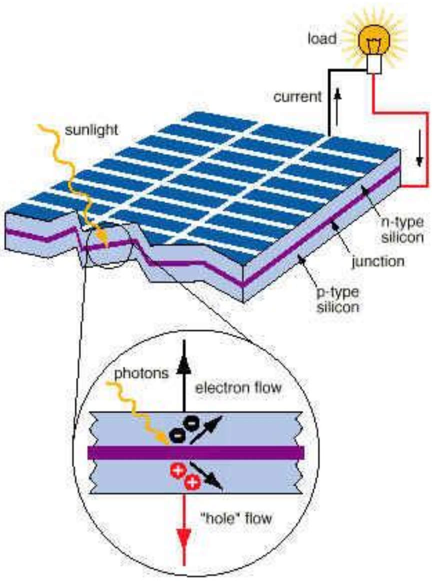


รูปที่ 6.1.12 ตัวอย่างการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 6.1.13(ก) แสดงลักษณะโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพี – เอ็น ที่ประกอบกันเป็นรอยต่อ โดยสารที่นิยมใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ สารซิลิคอน (Silicon : Si) หรือสารซีลีเนียม (Selenium : Se) มีช่องสำหรับให้แสงทะลุผ่านได้ (Transparent Adhesive) และอุปกรณ์ป้องกันการสะท้อนของแสงอยู่ด้านบน ในขณะที่ ด้านล่างจะมีจุดต่อที่มีสีดำ (Back Contact) เพื่อใช้งาน ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีแสงมาตกกระทบบนตัวของเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้เกิดพลังงานแสง (Photo Energy) อันเนื่องมาจากคุณสมบัติของวัสดุไวแสงจะทำให้อิเล็กตรอนซึ่งเป็นพาหะส่วนใหญ่ในชั้นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และโฮลในชั้นสารกึ่งตัวนำชนิดพีเคลื่อนที่ออกจากบริเวณรอยต่อ ทิ้งพาหะ ซึ่งทำให้พาหะส่วนน้อยไว้ที่บริเวณรอยต่อเกิดเป็นศักย์แรงดันไฟฟ้าขึ้นที่ขั้วต่อทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถไปต่อใช้งานกับโหลดเพื่อทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ ดังแสดงในรูปที่ 6.1.13 (ข)



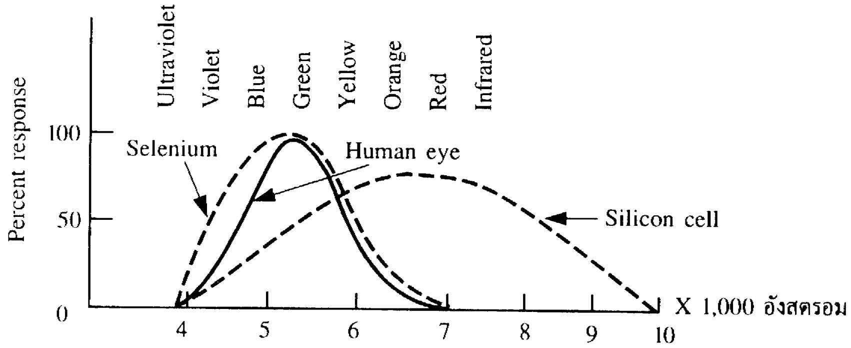
(ก) โครงสร้าง



(ข) ลักษณะการเกิดพลังงานโฟตอน

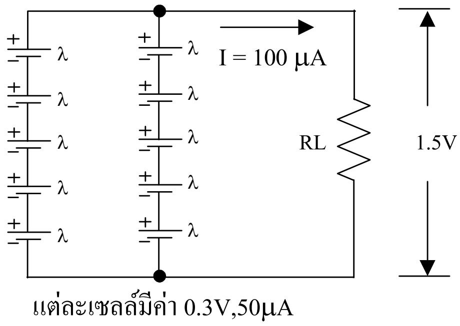
รูปที่ 6.1.13 โครงสร้างและการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อพิจารณาถึงผลของการตอบสนองต่อแสง ที่มาตกกระทบสารกึ่งตัวนำที่ใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ ถ้าเป็นสารซิลิคอนจะอยู่ในช่วง 3,500 ถึงประมาณ 10,000 อังสตรอม และถ้าเป็นสารซีลีเนียมจะอยู่ในช่วง 2,500 ถึงประมาณ 7,500 อังสตรอม ซึ่งเป็นช่วงความย่านคลื่นที่สายตามนุษย์มองเห็น ดังแสดงในรูปที่ 6.1.14



รูปที่ 6.1.14 ผลของการตอบสนองต่อแสงของสารที่ใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์

โดยปกติเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ประมาณ 0.25 – 0.6 โวลต์ และกระแสไฟฟ้าสามารถไหลได้ถึง 50 มิลลิแอมป์ ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสง แต่ถ้าต้องการให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายกระแสและแรงดันไฟฟ้าได้สูงมากขึ้น จะต้องนำเอาเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อขนานเพื่อเป็นการเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้า และนำเซลล์แสงอาทิตย์มาต่ออันดับเพื่อเป็นการเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 6.1.15 เมื่อมีแสงจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีค่าแรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุต 1.5 โวลต์ และกระแสไฟฟ้า 100 ไมโครแอมป์ ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานจะมีขนาดใหญ่เพราะจะต้องนำเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อเป็นจำนวนมาก เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าตามความต้องการในการใช้งาน

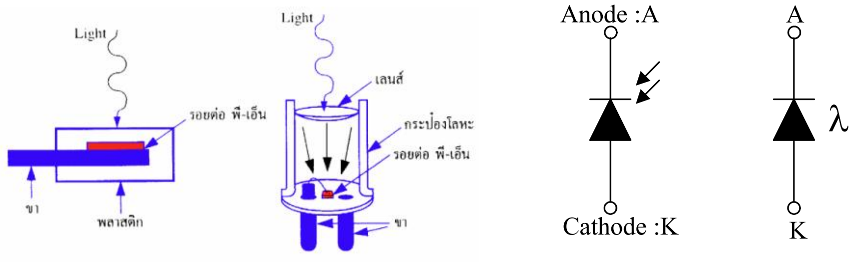


รูปที่ 6.1.15 การต่อใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์

6.1.4 ไดโอดพลังแสง

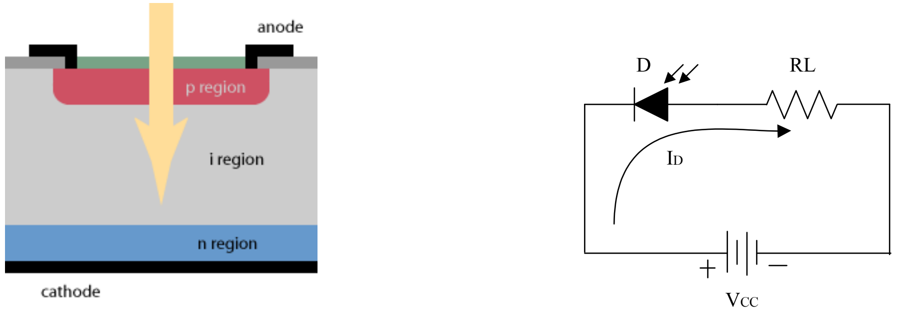
ไดโอดพลังแสง (Photo Diode) โดยมากจะเรียกชื่อทับศัพท์ภาษาอังกฤษว่า "โฟโตไดโอด" ดังแสดงในรูปที่ 6.1.16 ซึ่งโครงสร้างโฟโตไดโอดจะ ทำมาจากสารกึ่งตัวนำชนิด พีและชนิดเอ็นมาต่อ กันจำนวนหนึ่งรอยต่อเหมือนกับไดโอดธรรมดาทั่วไป แต่สารกึ่งตัวนำที่ใช้ทำโฟโตไดโอดจะเป็นวัสดุไวแสง และ โฟโตไดโอดจะมีช่องที่ทำครอบด้วยแก้ว เพื่อเป็นช่องทางผ่านของแสงเข้าไปยังพื้นที่ไวแสง (Sensitive Area) ของรอยต่อพี – เอ็น ได้ ดังแสดงในรูปที่ 6.1.17

รูปที่ 6.16 ตัวอย่างของโฟโตไดโอด



รูปที่ 6.1.17 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของโฟโตไดโอด

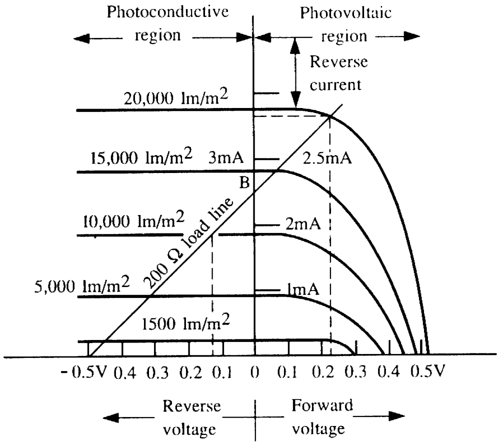
การต่อใช้งานโฟโตไดโอดจะต้องต่อวงจรในลักษณะการไบแอสกลับ (Reverse Bias) เพื่อทำให้เกิดบริเวณปลอดพาหะ (Depletion Region) เพิ่มขึ้น ดังแสดงรูปที่ 6.1.18 ซึ่งเมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบบริเวณรอยต่อพี – เอ็นของโฟโตไดโอด จะมีค่ากระแสรั่วไหลผ่านโฟโตไดโอดได้เพียงเล็กน้อย เราเรียกว่า " กระแสมืด " (Dark Current)



(ก) รอยต่อ พี – เอ็น ของโฟโตไดโอด (ข) วงจรการไบแอสแก่โฟโตไดโอด

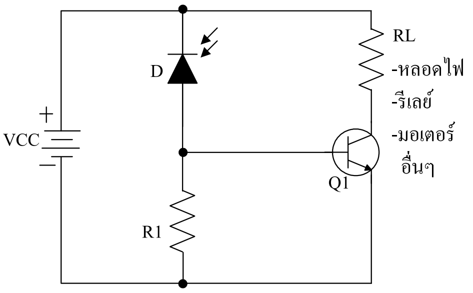
รูปที่ 6.1.18 การใช้งานของโฟโตไดโอด

และในขณะที่มีแสงมาตกกระทบที่บริเวณรอยต่อพี – เอ็น จะทำให้อิเล็กตรอน–โฮลทั้งสองถูกสร้างขึ้นมาเพิ่มเนื่องจากพลังงานแสง ทำให้เกิดค่ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านโฟโตไดโอดได้ แต่มีทิศทางกลับกัน ซึ่งเรียกค่ากระแสนี้ว่า " กระแสแสง " (Light Current) โดยค่าของกระแสแสงนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสัดส่วนของความเข้มแสงที่มาตกกระทบบริเวณรอยต่อ พี – เอ็น ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่า" โฟโตไดโอดเป็นสวิตช์ที่ควบคุมการทำงาน โดยใช้แสง " คุณลักษณะของความเข้มของแสงมีผลต่อการทำงานของโฟโตไดโอด ดังแสดงในรูปที่ 6.1.19

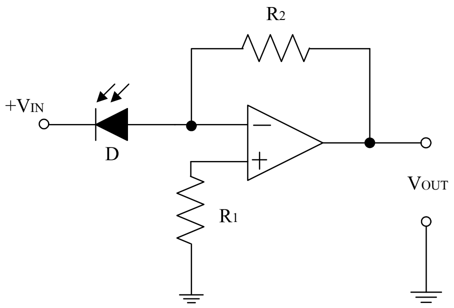


รูปที่ 6.1.19 คุณลักษณะของความเข้มแสงสำหรับโฟโตไดโอด

การใช้งานโฟโตไดโอดจะมีคุณสมบัติที่ดีกว่าแอลดีอาร์ ในเรื่องของความเร็วในการทำงาน กล่าวคือ โฟโตไดโอดสามารถใช้เวลาในการเป็นสวิตช์ได้ต่ำ มีค่าอยู่ในช่วงนาโนวินาที (ns) จึงนิยมใช้ในวงจรที่มีความถี่สูง ซึ่งตัวอย่างในการนำโฟโตไดโอดไปใช้งานในรูปแบบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 6.1.20



(ก) การไบแอสให้แก่ทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็น – พี – เอ็น

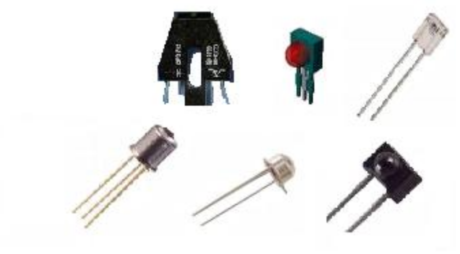


(ข) การทำงานในวงจรออปแอมป์

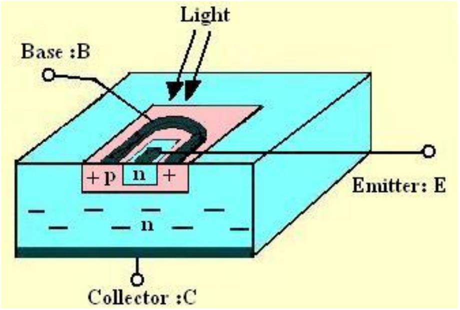
รูปที่ 6.1.20 วงจรใช้งานโฟโตไดโอด

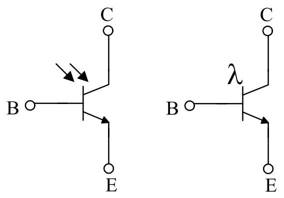
6.1.5 ทรานซิสเตอร์พลังแสง

ทรานซิสเตอร์พลังแสง (Photo Transistor) ซึ่งนิยมเรียกชื่อทับศัพท์ภาษาอังกฤษว่า "โฟโตทรานซิสเตอร์" เป็นทรานซิสเตอร์ที่ทำงานโดยใช้แสง ที่อาศัยหลักการทำงานเช่นเดียวกับโฟโตไดโอด แต่มีข้อดีกว่าตรงที่กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโฟโตทรานซิสเตอร์สูงกว่า เพราะมีอัตราการขยายตามความเข้มแสง มีรูปร่างหลายแบบตามการใช้งานดังแสดงในรูปที่ 6.1.21 และโครงสร้างสัญลักษณ์ของโฟโตทรานซิสเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 6.1.22



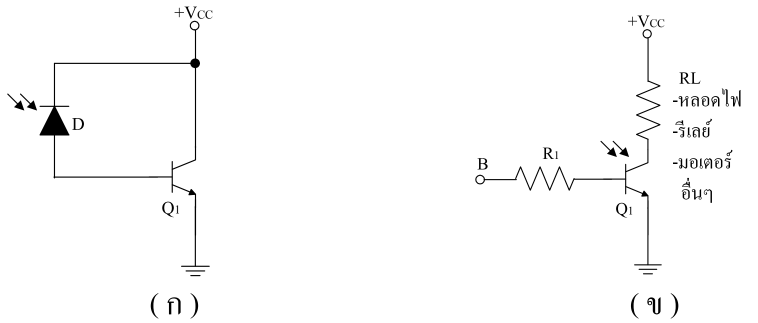
รูปที่ 6.1.21 ตัวอย่างของโฟโตทรานซิสเตอร์





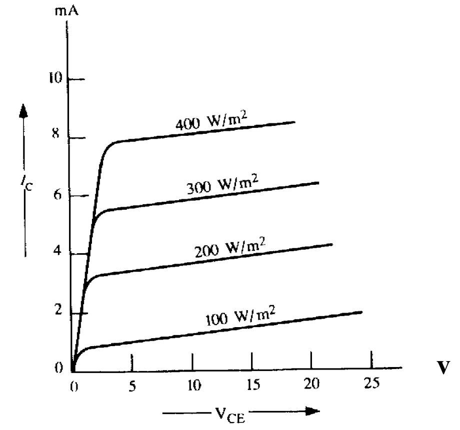
รูปที่ 6.1.22 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของโฟโตทรานซิสเตอร์

จากรูปที่ 6.1.23 (ก) แสดงวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของโฟโตทรานซิสเตอร์ บริเวณรอยต่อระหว่างขาคอลเล็กเตอร์กับขาเบส เหมือนกับคุณสมบัติของโฟโตไดโอด ซึ่งจะทำหน้าที่เสมือนเป็นแหล่งจ่ายกระแสเมื่อมีแสงมาตกกระทบบริเวณรอยต่อนี้ และในรูปที่ 6.1.23 (ข) เป็นการนำโฟโตทรานซิสเตอร์ต่อใช้งาน โดยทั่วไปในการต่อใช้งานโฟโตทรานซิสเตอร์ ที่ขาเบสจะไม่ถูกต่อใช้งานปล่อยขาให้ลอยไว้ หรืออาจใช้ตัวต้านทานมาต่ออันดับกับขาเบส เพื่อให้โฟโตทรานซิสเตอร์ทำงานโดยใช้แสงเท่านั้น



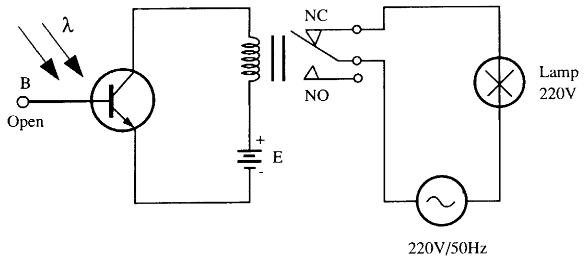
รูปที่ 6.1.23 วงจรสมมูลและวงจรต่อใช้งานของโฟโตทรานซิสเตอร์

โดยเมื่อมีแสงตกกระทบบริเวณรอยต่อระหว่างขาคอลเล็กเตอร์และขาเบส ซึ่งเปรียบเสมือนโฟโตไดโอดต่ออยู่นั้น ซึ่งแสงที่ตกกระทบจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลขึ้นที่บริเวณรอยตามหลักการพื้นฐานของพลังงานแสง มีผลทำให้มีกระแสเบสที่ไหลเข้าสู่ทรานซิสเตอร์ได้ และกระแสเบสนี้จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มแสง หรือมีอัตราการขยายกระแส (hfe) ของทรานซิสเตอร์ตามความเข้มแสงนั่นเอง ซึ่งทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์นำกระแสได้สูงกว่าโฟโตไดโอด ดังแสดงวงจรในรูปที่ 6.1.24



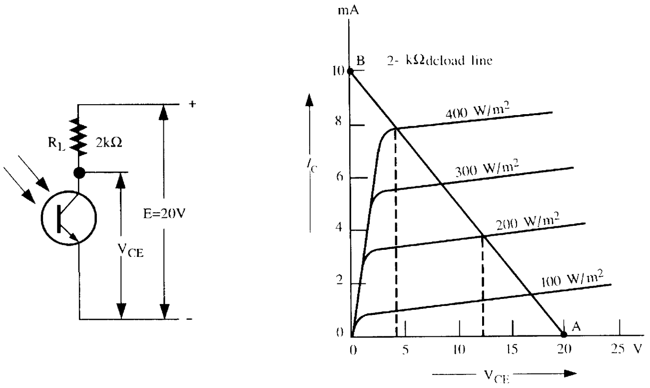
รูปที่ 6.1.24 แสดงลักษณะสมบัติทางเอาต์พุตของโฟโตทรานซิสเตอร์

การใช้งานของโฟโตทรานซิสเตอร์ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับโฟโตไดโอด แต่ช่วงเวลาในการสวิตช์จะช้ากว่าโฟโตไดโอด คืออยู่ในช่วงไมโครวินาที (μs) ตัวอย่างเช่นการใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ในการควบคุมการปิด – เปิดหลอดไฟ ดังแสดงวงจรในรูปที่ 6.1.25 เมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบที่รอยต่อขาคอลเล็กเตอร์กับขาเบส โฟโตทรานซิสเตอร์จะเปรียบเสมือนกับเปิดวงจรไม่มีกระแสไหลผ่านวงจรรีเลย์จึงไม่ทำงาน หน้าสัมผัสของรีเลย์จะอยู่ที่ตำแหน่งปกติปิด (NC) ตามเดิม ผลที่หลอดไฟยังคงติดสว่างอยู่ ในขณะที่มีแสงมาตกกระทบโฟโตทรานซิสเตอร์ทำงานจึงทำให้รีเลย์ทำงาน หน้าสัมผัสของรีเลย์มาอยู่ที่ตำแหน่งปกติเปิด (NO) ผลทำให้หลอดไฟดับ



รูปที่ 6.1.25 การใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ในการควบคุมการเปิด – ปิดหลอดไฟ

ตัวอย่างที่ 6.1.2 วงจรโฟโตทรานซิสเตอร์มีคุณลักษณะสมบัติทางเอาต์พุต ดังแสดงในรูปที่ 6.1.26 ซึ่งมีแหล่งจ่ายแรงดัน 20 โวลต์ และความต้านทานโหลดมีค่า 20 กิโลโอหม์ จงหาค่าแรงดันที่ระดับความเข้มแสงต่อไปนี้ คือ ศูนย์ (Zero) ที่ระดับ 200 W/m^2 และระดับ 400 W/m^2



รูปที่ 6.1.26 คุณลักษณะสมบัติทางเอาต์พุตของโฟโตทรานซิสเตอร์

วิธีทำ เมื่อโฟโตไดโอดขณะไม่ได้รับแสง

$I_C = 0$ mA , $V_{RL} = I_C \times R_L = 0$ V

จาก $E = V_{R1} + V_{CE}$

$20\text{ V} = 0\text{ V} + V_D$

$V_D = 20$ V (กำหนดจุดที่ตำแหน่ง A)

เมื่อโฟโตทรานซิสเตอร์ขณะมีแสงมาตกกระทบ

$V_D = 0$ V, $V_{RL} = E = 20$ V

จาก $I_C = \dfrac{V_{RL}}{RL} = \dfrac{20\text{V}}{2\text{K}\Omega} = 10$ mA (กำหนดจุดที่ตำแหน่ง B)

ลากเส้นโหลด ดี.ซี จากจุด A มาที่จุด B จะอ่านค่าได้ คือ

ที่ความเข้มแสงศูนย์ ∴ แรงดันเอาต์พุต (VCE) = 20 โวลต์

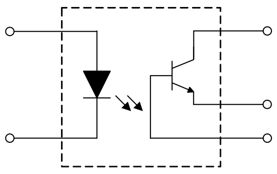
ที่ความเข้มแสง 200 W/m2 ∴ แรงดันเอาต์พุต (VCE) = 12.5 โวลต์

ที่ความเข้มแสง 400 W/m2 ∴ แรงดันเอาต์พุต (VCE) = 4 โวลต์

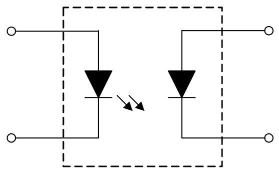
6.1.6 อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง

อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง (Opto-Coupler) หรือเรียกว่า ออฟโตคัปเปิล หรือเรียกว่า ออฟโต-ไอโซเลเตอร์ (Opto-Isolator) เป็นอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานโดยใช้แสง จะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นแสงและเปลี่ยนจากแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยไม่ต้องมีสายเชื่อมต่อระหว่างวงจร ซึ่งเป็นการแยกทางไฟฟ้าอย่างเด็ดขาด เ พื่อป้องกันการรบกวนกันทางไฟฟ้า อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงที่มีขายในท้องตลาดมีพิกัด และรูปร่างหลากหลายดังแสงในรูปที่ 6.1.27

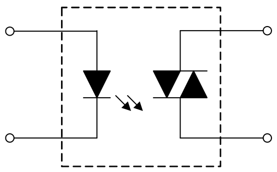
รูปที่ 6.1.27 ตัวอย่างของอุปกรณ์เชื่อมต่อด้วยแสง



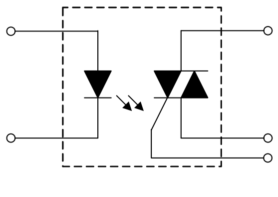
(ก) ออฟโตทรานซิสเตอร์



(ข) ออฟโตไดโอด



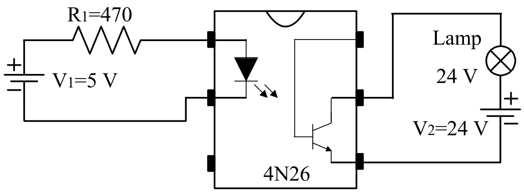
(ค) ออฟโตไดแอค



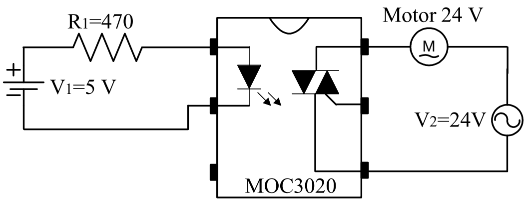
(ง) ออฟโตไตรแอค

รูปที่ 6.1.28 สัญลักษณ์ของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงชนิดต่างๆ

โครงสร้างของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วยด้านอินพุตจะเป็นตัวกำเนิดแสง เช่นไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด (Light Emitter Diode Infrared) และส่วนทางด้านเอาท์พุตทำหน้าที่ รับแสงประกอบด้วยโฟโตทรานซิสเตอร์ โฟโต ไดโอด และอื่นๆ ผลิตรวมอยู่ในตัวถังเดียวกัน สัญลักษณ์ของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงซึ่งเป็นสัญลักษณตามอุปกรณ์ภายในของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงนั้น ดังแสดงในรูปที่ 6.1.28 ปัจจุบันอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงถูกสร้างขึ้นมาในรูปของไอซี 6 ขาปิดทึบภายใน เพื่อให้สะดวกในการใช้งาน



(ก) ใช้งานกับเอาต์พุตไฟฟ้ากระแสตรง



(ข) ใช้งานกับเอาต์พุตไฟฟ้ากระแสสับ

รูปที่ 6.1.29 ตัวอย่างการใช้งานอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงเบื้องต้น

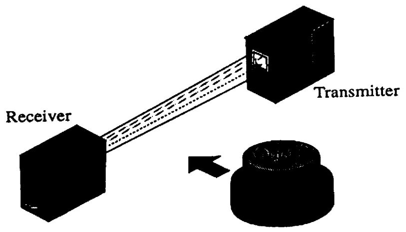
ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงดังแสดงในรูปที่ 6.1.29 ซึ่งเป็นวงจรใช้งานเบื้องต้นของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง โดยมีไดโอดเปล่งแสงเป็นอินพุต และโฟโต ทรานซิสเตอร์เป็นเอาต์พุตของวงจร เมื่อมีกระแสไหลผ่าน ไดโอดเปล่งแสง โดยมีตัวต้านทาน R_1 เป็นตัวจำกัดกระแสที่ไดโอดเปล่งแสง ซึ่งจะส่องแสงไปยังโฟโต ทรานซิสเตอร์ ทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์นำกระแสมีแรงดันเอาต์พุตตกคร่อมที่ตัวต้านทาน R_2 โดยที่ขนาดของแรงดันเอาต์พุตของวงจรจะถูกควบคุมที่กระแสที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงที่อินพุต และการต่อใช้งานกราวด์ที่อินพุตและเอาต์พุตจะไม่มีการต่อเชื่อมกัน ซึ่งเป็นการ แยกกันทางไฟฟ้าโดยสิ้นเชิง ซึ่งเป็นหลักการสำคัญของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง วงจรนี้นิยมนำไปใช้ได้ทั้งสัญญาณดิจิตอลและสัญญาณอะนาลอก เช่น วงจรควบคุมแรงดันแหล่งจ่ายไฟสวิตชิ่งในเครื่องรับโทรทัศน์ วงจรควบคุมไฟวิ่งวัตต์สูง วงจรที่ควบคุมการทำงานโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

6.1.7 การประยุกต์ใช้งานทรานสดิวเซอร์แสง

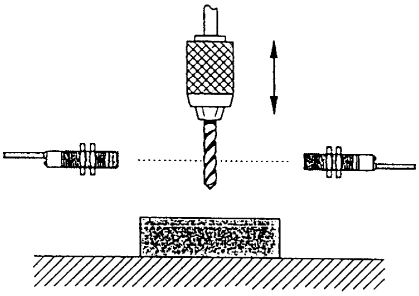
การประยุกต์ใช้งานทรานสดิวเซอร์แสงที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม โดยทั่วไปนิยมใช้ในย่านแสงอินฟราเรด เพื่อใช้ในการตรวจจับวัตถุเนื่องจากแสงจากภายนอกไม่สามารถรบกวนการทำงานได้ โดยใช้ไดโอดเปล่งย่านอินฟราเรด ทำหน้าที่กำเนิดแสง และส่งคลื่นแสงไปยังตัวรับแสงที่ใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ ซึ่งโครงสร้างและหลักการทำงานพื้นฐานของทรานสดิวเซอร์แสงจะมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนคือ ตัวส่งสัญญาณ (Emitter) และตัวรับสัญญาณ (Receiver) โดยที่สามารถต่อรวมอยู่ภายในตัวเดียวกันหรือแยกกันอยู่คนละที่ก็ได้ ซึ่งทรานสดิวเซอร์แสงนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

6.1.7.1 ทรานสดิวเซอร์แสงแบบลำแสงผ่านตลอด

โครงสร้างของทรานสดิวเซอร์แสงแบบลำแสงผ่านตลอด (Through – Beam Sensor) นี้จะแยกตัวส่งและตัวรับสัญญาณออกจากกัน ดังแสดงในรูปที่ 6.1.30 จึงทำให้สามารถตรวจจับวัตถุได้ใน ระยะทาง ได้ไกลมาก การประยุกต์ใช้งาน ทรานสดิวเซอร์แสง แบบนี้สามารถตรวจจับวัตถุได้เกือบทุกประเภท ยกเว้นในกรณีที่วัตถุนั้นโปร่งใสเนื่องจาก มีแสงผ่านทะลุได้ จึงไม่สามารถตรวจจับวัตถุนั้นได้ตัวอย่าง การประยุกต์ใช้งานดังแสดงในรูปที่ 6.1.31



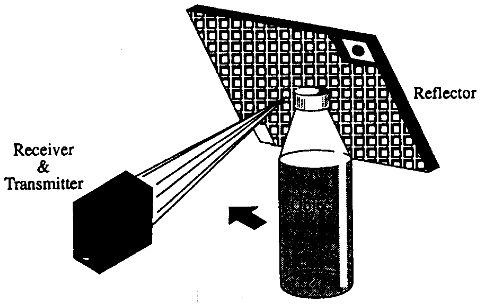
รูปที่ 6.1.30 โครงสร้างของทรานสดิวเซอร์แสงแบบลำแสงผ่านตลอด



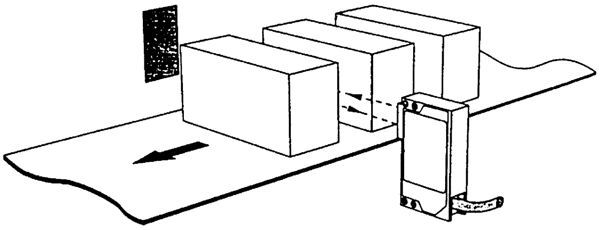
รูปที่ 6.1.31 การตรวจจับตำแหน่งในการเจาะของวัตถุ

6.1.7.2 ทรานสดิวเซอร์แสงแบบลำแสงสะท้อนกลับ

โครงสร้างของทรานสดิวเซอร์แสงแบบลำแสงสะท้อนกลับ (Retro – Reflective Sensor) นี้จะรวมตัวส่งและตัวรับสัญญาณไว้ในตัวเดียวกัน และใช้แผ่นสะท้อนแสง (Reflector) เพื่อทำหน้าที่สะท้อนแสง ดังแสดงในรูปที่ 6.1.32 จึงทำให้ระยะทางที่ใช้ในการตรวจจับได้น้อยกว่าแบบลำแสงผ่านตลอด และสามารถตรวจจับวัตถุได้เกือบทุกประเภท แต่อาจจะมีปัญหาในกรณีที่วัตถุนั้นมีสัมประสิทธิ์ในการสะท้อนแสงใกล้เคียงกับแผ่นสะท้องแสงซึ่งจะไม่สามารถตรวจจับได้ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานทรานสดิวเซอร์แสงแบบนี้ดังแสดงในรูปที่ 6.1.33



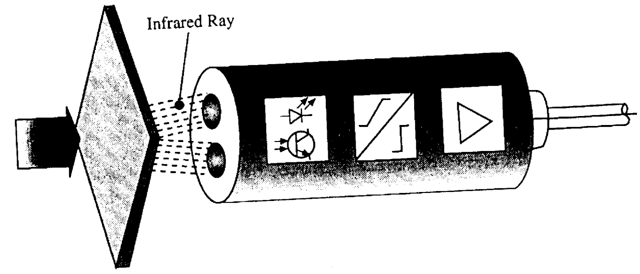
รูปที่ 6.1.32 โครงสร้างของทรานสดิวเซอร์แสงแบบลำแสงสะท้อนกลับ



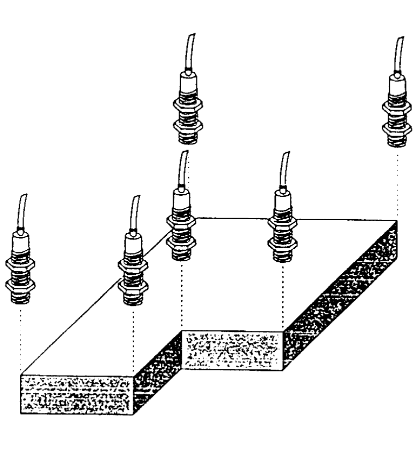
รูปที่ 6.1.33 การนับจำนวนวัตถุโดยใช้ทรานสดิวเซอร์แสงแบบลำแสงสะท้อนกลับ

6.1.7.3 ทรานสดิวเซอร์แสงแบบตรวจจับโดยตรง

โครงสร้างของทรานสดิวเซอร์แสงแบบตรวจจับโดยตรง (Diffuse Sensor) นี้จะมีตัวส่งและตัวรับสัญญาณอยู่ในตัวเดียวกัน แล้วใช้วัตถุหรือชิ้นงานเป็นตัวสะท้อนกลับ ดังแสดงในรูปที่ 6.1.34 จึงทำให้ระยะทางที่ใช้ในการตรวจจับ ได้น้อยมาก ในการใช้งาน ทรานสดิวเซอร์แสงแบบตรวจจับโดยตรงนี้ อาจจะมีปัญหาในกรณีที่วัตถุ ที่ต้องการตรวจจับมี ผิวขรุขระ เนื่องจากมีผลทำให้สัมประสิทธิ์ในการสะท้อนแสงไม่ดี เช่นวัตถุทึบแสงหรือวัตถุที่มีสีดำ เป็นต้น ตัวอย่างการประยุกต์ ใช้งานทรานสดิวเซอร์แสงแบบนี้ดังแสดงในรูปที่ 6.1.35

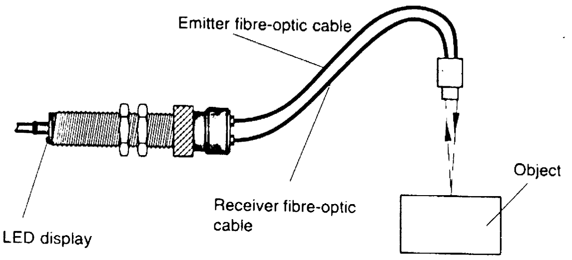


รูปที่ 6.1.35 โครงสร้างของทรานสดิวเซอร์แสงแบบตรวจจับโดยตรง



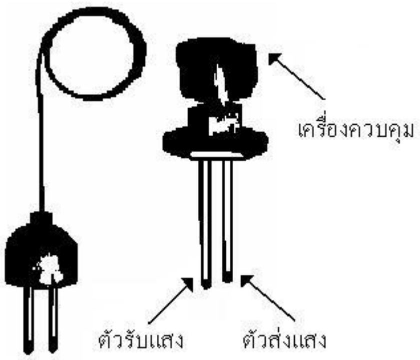
รูปที่ 6.1.36 การตรวจสอบรูปร่างของชิ้นงาน

ในงานบางประเภทบางครั้งไม่สามารถที่จะติดตั้งตัวทรานสดิวเซอร์ได้ เนื่องมาจากไม่มีพื้นที่ในการติดตั้งหรือพื้นที่นั้นอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่ตัวทรานสดิวเซอร์ได้ หรือเป็นงานที่ต้องการความแม่นยำและความแน่นอนในการตรวจจับค่อนข้างสูง ดังนั้นเราจึงแก้ปัญหาโดยการต่อเส้นใยแก้ว (Fiber Optic) ซึ่งเส้นใยแก้วจะทำหน้าที่สะท้อนแสงภายในสายไม่ให้เกิดการสูญหายของสัญญาณ ทำให้การตรวจจับเป็นไปด้วยความถู กต้อง ในขณะที่เส้นใยแก้วสามารถรวม สายและหุ้มด้วยวัสดุประเภทพลาสติกหรือโลหะที่สามารถโค้งงอได้ จึงสามารถใช้งานในที่แคบหรือโค้งที่ไม่สามารถนำทรานสดิวเซอร์อื่นๆ เข้าไปตรวจสอบได้ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 6.2.37

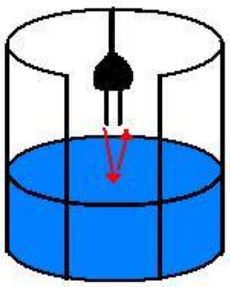


รูปที่ 6.2.37 การตรวจจับวัตถุโดยผ่านเส้นใยแก้ว

นอกจากการใช้งานทรานสดิวเซอร์แสงในการตรวจจับวัตถุแล้ว เราสามารถประยุกต์ทรานสดิวเซอร์แสงเพื่อใช้ในการวัดระดับของของเหลวต่างๆ ได้ ซึ่ง การทำงานของทรานสดิวเซอร์แสงเพื่อวัดระดับโดยใช้ลำแสงนี้จะประกอบด้วยตัวตรวจจับและเครื่องควบคุม ซึ่งตัวตรวจจับนี้จะมีก้าน 2 ก้าน โดยที่ปลายก้านหนึ่งจะเป็นตัวส่งแสงและที่ปลายก้านอีกด้านหนึ่งจะเป็นตัวรับแสง เมื่อมีวัตถุหรือของเหลวมาบังระหว่างก้านทั้งสองนี้ ตัวตรวจจับก็จะส่งสัญญาณไปยังเครื่องควบคุมให้ทำงานโครงสร้างและตัวอย่างของการวัดระดับโดยใช้ลำแสงดังแสดงในรูปที่ 6.2.38



(ก) โครงสร้าง



(ข) การวัดระดับของของเหลว

รูปที่ 6.2.38 โครงสร้างและตัวอย่างการวัดระดับโดยใช้ลำแสง

ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้งานทรานสดิวเซอร์แสงมีอยู่มามากมาย ทั้งในอุตสาหกรรมและในชีวิตประจำวัน ซึ่งจะต้องเกี่ยวข้องกับแสงอยู่ตลอดเวลา ในขณะที่มีการพัฒนาอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์แสงอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้การใช้งานได้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพต่อไป

****