

Special-Purpose Diodes

- 7.1 Zener Diode
- 7.2 Light-Emitting Diode (LED)
- 7.3 LED Voltage and Current
- 7.4 Advantages of LED
- 7.5 Multicolour LEDs
- 7.6 Applications of LEDs
- 7.7 Photo-diode
- 7.8 Photo-diode operation
- 7.9 Characteristics of Photo-diode
- 7.10 Applications of photo-diodes
- 7.11 Optoisolator
- 7.12 Tunnel Diode
- 7.13 Tunnel Diode Oscillator
- 7.14 Varactor Diode
- 7.15 Application of Varactor Diode
- 7.16 Shockley Diode



INTRODUCTION

The most common application of diodes is rectification. The rectifier diodes are used in power supplies to convert a.c. voltage into d.c. voltage. But rectification is not all that a diode can do. A number of specific types of diodes are manufactured for specific applications in this fast developing world. Some of the more common special-purpose diodes are (i) Zener diode (ii) Light-emitting diode (LED) (iii) Photo-diode (iv) Tunnel diode (v) Varactor diode and (vi) Shockley diode.

7.1 Zener Diode

A zener diode is a special type of diode that is designed to operate in the reverse breakdown region. An ordinary diode operated in this region will usually be destroyed due to excessive current. This is not the case for the zener diode.

A zener diode is heavily doped to reduce the reverse breakdown voltage. This causes a very thin depletion layer. As a result, a zener diode has a sharp reverse breakdown voltage V_Z . This is clear from the reverse characteristic of zener diode shown in Fig. 7.1. Note that the reverse characteristic drops in an almost vertical manner at reverse voltage V_Z . As the curve reveals, two things happen when V_Z is reached :

- (i) The diode current increases rapidly.
- (ii) The reverse voltage V_Z across the diode remains almost constant.

In other words, *the zener diode operated in this region will have a relatively constant voltage across it, regardless of the value of current through the device.* This permits the zener diode to be used as a *voltage regulator*. For detailed discussion on zener diode, the reader may refer to chapter 6 of this book.

7.2 Light-Emitting Diode (LED)

A **light-emitting diode (LED)** is a diode that gives off visible light when forward biased.

Light-emitting diodes are not made from silicon or germanium but are made by using elements like gallium, phosphorus and arsenic. By varying the quantities of these elements, it is possible to produce light of different wavelengths with colours that include red, green, yellow and blue. For example, when a LED is manufactured using gallium arsenide, it will produce a red light. If the LED is made with gallium phosphide, it will produce a green light.

Theory. When light-emitting diode (LED) is forward biased as shown in Fig. 7.2 (i), the electrons from the n -type material cross the pn junction and recombine with holes in the p -type material. Recall that these free electrons are in the conduction band and at a higher energy level than the holes in the valence band. When recombination takes place, the recombining electrons release energy in the form of heat and light. In germanium and silicon diodes,

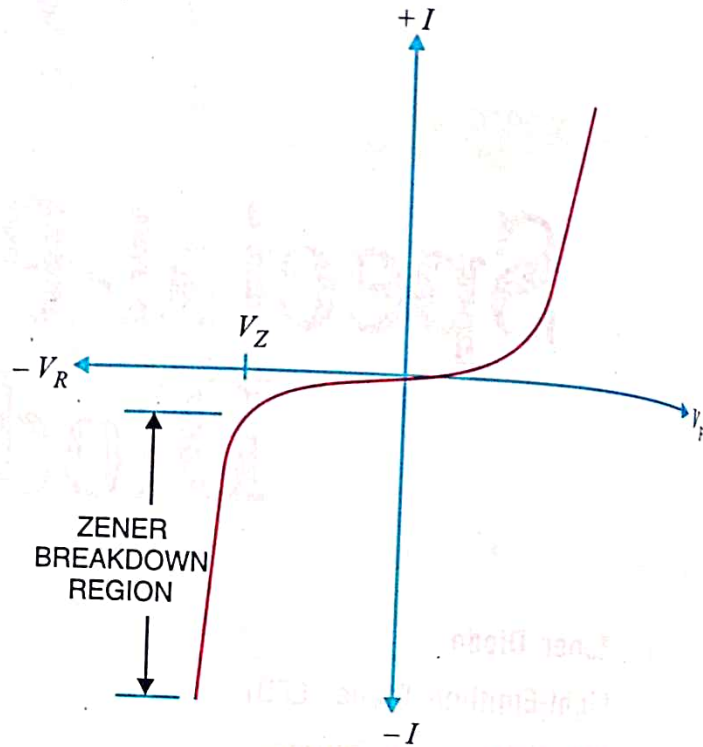


Fig. 7.1



Light-emitting diode

In germanium and silicon diodes,

almost the entire energy is given up in the form of heat and emitted light is insignificant. However, in materials like gallium arsenide, the number of photons of light energy is sufficient to produce quite intense visible light.

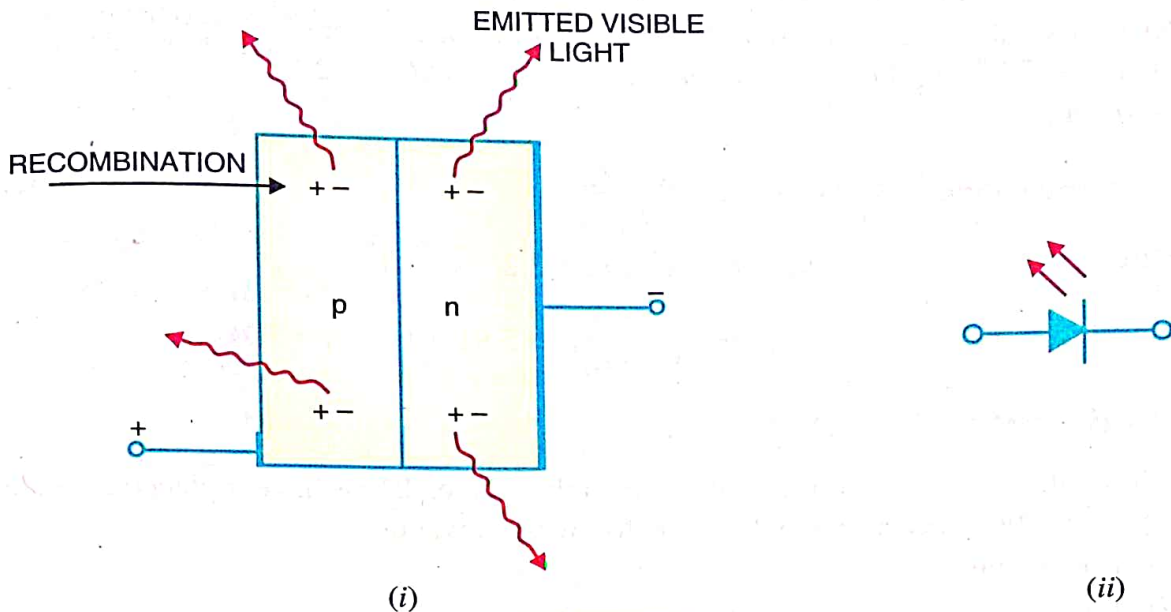


Fig. 7.2

Fig. 7.2 (ii) shows the schematic symbol for a LED. The arrows are shown as pointing away from the diode, indicating that light is being emitted by the device when forward biased. Although LEDs are available in several colours (red, green, yellow and orange are the most common), the schematic symbol is the same for all LEDs. There is nothing in the symbol to indicate the colour of a particular LED. Fig. 7.3 shows the graph between radiated light and the forward current of the LED. It is clear from the graph that the intensity of radiated light is directly proportional to the forward current of LED.

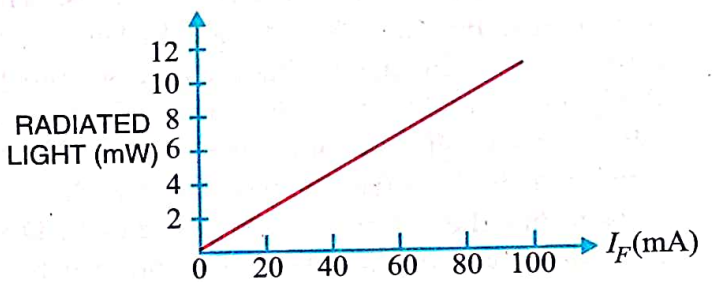


Fig. 7.3

7.3 LED Voltage and Current

The forward voltage ratings of most LEDs is from 1V to 3V and forward current ratings range from 20 mA to 100 mA. In order that current through the LED does not exceed the safe value, a resistor R_S is connected in series with it as shown in Fig. 7.4. The input voltage is V_S and the voltage across LED is V_D .

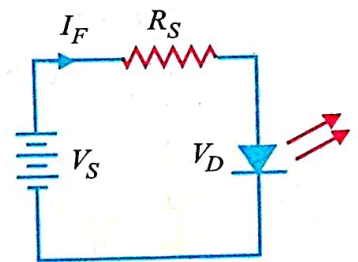


Fig. 7.4

$$\therefore \text{Voltage across } R_S = V_S - V_D$$

$$\therefore \text{Circuit current, } I_F = \frac{V_S - V_D}{R_S}$$

Example 7.1. What value of series resistor is required to limit the current through a LED to 20 mA with a forward voltage drop of 1.6 V when connected to a 10V supply ?

Solution.

$$\text{Series resistor, } R_S = \frac{V_S - V_D}{I_F}$$

Here $V_S = 10 \text{ V}; V_D = 1.6 \text{ V}; I_F = 20 \text{ mA} = 20 \times 10^{-3} \text{ A}$

$$\therefore R_S = \frac{10 - 1.6}{20 \times 10^{-3}} = 420 \Omega$$

Note that resistor R_S is also called *current-limiting resistor*.

Example 7.2. What is current through the LED in the circuit shown in Fig. 7.5? Assume that voltage drop across the LED is 2 V.

Solution.

$$\text{Current through LED, } I_F = \frac{V_S - V_D}{R_S}$$

Here $V_S = 15 \text{ V}$; $V_D = 2 \text{ V}$; $R_S = 2.2 \text{ k}\Omega = 2.2 \times 10^3 \Omega$

$$\therefore I_F = \frac{15 - 2}{2.2 \times 10^3} = 5.91 \times 10^{-3} \text{ A} = 5.91 \text{ mA}$$

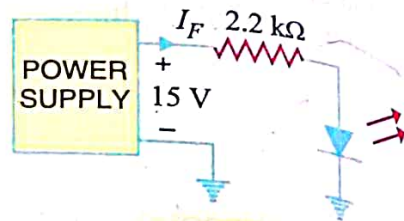


Fig. 7.5

7.4 Advantages of LED

The light-emitting diode (LED) is a solid-state light source. LEDs have replaced incandescent lamps in many applications because they have the following advantages :

- (i) Low voltage
- (ii) Longer life (more than 20 years)
- (iii) Fast on-off switching

Protecting LED against reverse bias. The LEDs have low reverse voltage ratings. For example, a typical LED may have a maximum reverse voltage rating of 3V. This means that if a reverse voltage greater than 3 V is applied to the LED, the LED may be destroyed. Therefore, one must be careful not to use LEDs with a high level of reverse bias. One way to protect a LED is to connect a rectifier diode in parallel with LED as shown in Fig. 7.6. If reverse voltage greater than the reverse voltage rating of LED is accidentally applied, the rectifier diode will be turned on. This protects the LED from damage.

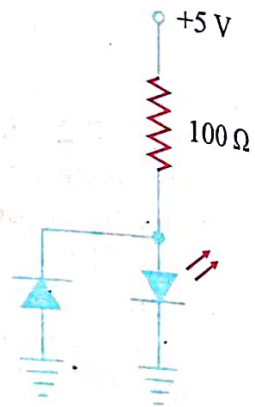


Fig. 7.6

7.5 Multicolour LEDs

A LED that emits one colour when forward biased and another colour when reverse biased is called a **multicolour LED**.

One commonly used schematic symbol for these LEDs is shown in Fig. 7.7. Multicolour LEDs

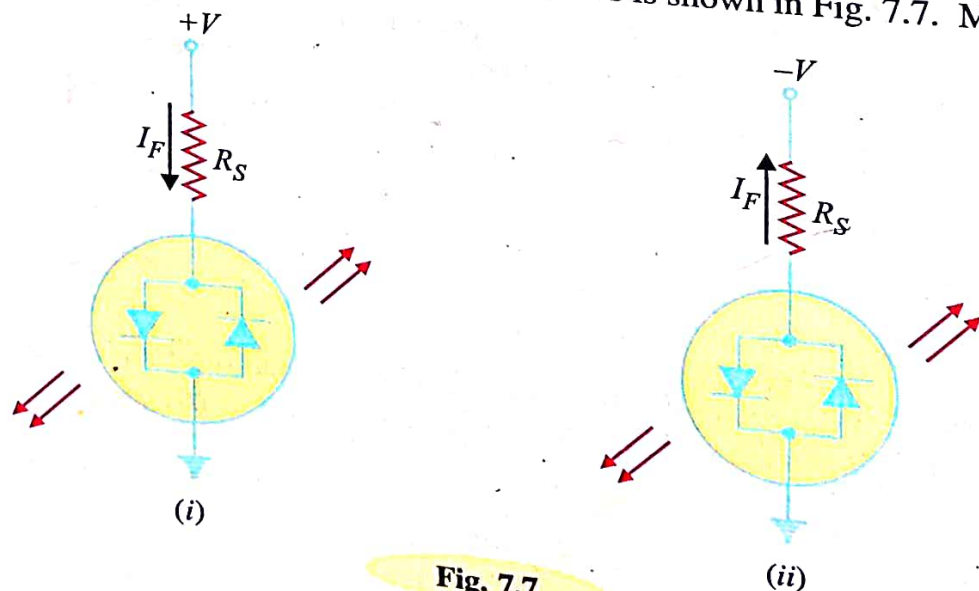


Fig. 7.7

actually contain two *pn* junctions that are connected in *reverse-parallel* i.e. they are in parallel with anode of one being connected to the cathode of the other. If positive potential is applied to the top terminal as shown in Fig. 7.7 (i), the *pn* junction on the **left** will light. Note that the device current passes through the left *pn* junction. If the polarity of the voltage source is reversed as shown in Fig. 7.7 (ii), the *pn* junction on the **right** will light. Note that the direction of device current has reversed and is now passing through the right *pn* junction.

Multicolour LEDs are typically *red* when biased in one direction and *green* when biased in the other. If a multicolour LED is switched fast enough between two polarities, the LED will produce a *third* colour. A red/green LED will produce a *yellow* light when rapidly switched back and forth between biasing polarities.

7.6 Applications of LEDs

The LED is a low-power device. The power rating of a LED is of the order of milliwatts. This means that it is useful as an indicator but not good for illumination. Probably the two most common applications for visible LEDs are (i) as a power indicator (ii) seven-segment display.

(i) As a power indicator. A LED can be used to indicate whether the power is on or not. Fig. 7.8 shows the simple use of the LED as a power indicator. When the switch *S* is closed, power is applied to the load. At the same time current also flows through the LED which lights, indicating power is on. The resistor R_S in series with the LED ensures that current rating of the LED is not exceeded.

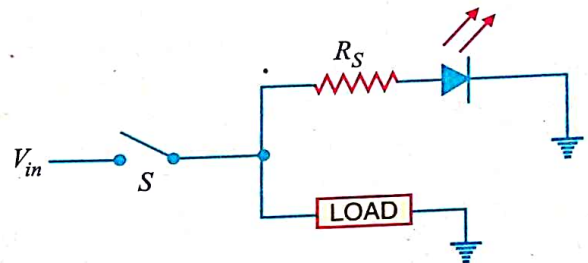


Fig. 7.8

(ii) Seven-segment display. LEDs are often grouped to form seven-segment display. Fig. 7.9 (i) shows the front of a seven segment display. It contains seven LEDs (A, B, C, D, E, F and G) shaped in a figure of *8. Each LED is called a **segment. If a particular LED is forward biased, that LED or segment will light and produces a bar of light. By forward biasing various combinations of seven LEDs, it is possible to display any number from 0 to 9. For example, if LEDs A, B, C, D and G of seven LEDs, it is possible to display any number from 0 to 9. For example, if LEDs A, B, C, D and G are lit (by forward biasing them), the display will show the number 3. Similarly, if LEDs C, D, E, F, A and G are lit, the display will show the number 6. To get the number 0, all segments except G are lit.

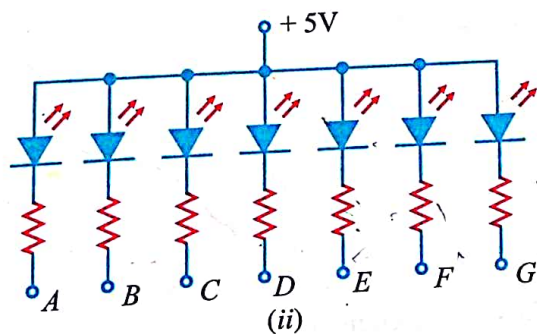
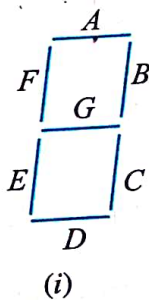


Fig. 7.9

Fig. 7.9 (ii) shows the schematic diagram of seven-segment display. External series resistors are included to limit currents to safe levels. Note that the anodes of all seven LEDs are connected to a

- * Note that LEDs A, B, C, D, E and F are arranged clockwise from the top with LED G in the middle.
- ** Each LED is called a segment because it forms part of the character being displayed.

common positive voltage source of +5 V. This arrangement is known as **common-anode type*. In order to light a particular LED, say A, we ground the point A in Fig. 7.9 (ii). It forward biases the LED A which will be lit.

7.7 Photo-diode

A **photo-diode** is a reverse-biased silicon or germanium pn junction in which reverse current increases when the junction is exposed to light.

The reverse current in a photo-diode is directly proportional to the intensity of light falling on its pn junction. This means that greater the intensity of light falling on the pn junction of photo-diode, the greater will be the reverse current.

Principle. When a rectifier diode is reverse biased, it has a very small reverse leakage current. The same is true for a photo-diode. The reverse current is produced by thermally generated electron-hole pairs which are swept across the junction by the electric field created by the reverse voltage. In a rectifier diode, the reverse current increases with temperature due to an increase in the number of electron-hole pairs. *A photo-diode differs from a rectifier diode in that when its pn junction is exposed to light, the reverse current increases with the increase in light intensity and vice-versa.* This is explained as follows. When light (photons) falls on the ****pn junction**, the energy is imparted by the photons to the atoms in the junction. This will create more free electrons (and more holes). These additional free electrons will increase the reverse current. As the intensity of light incident on the pn junction increases, the reverse current also increases. In other words, as the incident light intensity increases, the resistance of the device (photo-diode) *****decreases**.

Photo-diode package. Fig. 7.10 (i) shows a typical photo-diode package. It consists of a pn junction mounted on an insulated substrate and sealed inside a metal case. A glass window is mounted on top of the case to allow light to enter and strike the pn junction. The two leads extending from the case are labelled anode and cathode. The cathode is typically identified by a tab extending from the side of the case.

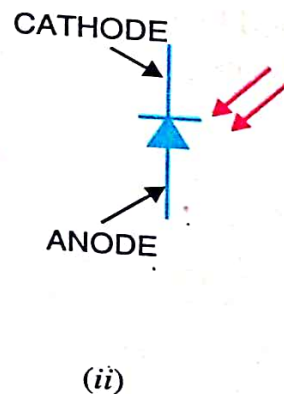
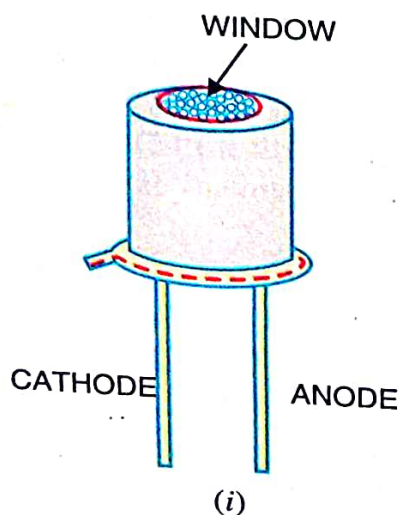


Fig. 7.10 (ii) shows the schematic symbol of a photo-diode. The inward arrows represent the incoming light.

- * Also available is the *common-cathode type* where all cathodes are connected together.
- ** This is true only if the light energy is applied at the junction. If it is applied to the crystal at some distance from the junction, the free electrons and holes will recombine (thus neutralising each other) before they can join the flow of reverse current.
- *** It is for this reason that semiconductor devices such as diodes and transistors are usually enclosed in opaque case to protect them from light. Those diodes or transistors which are used for light-detecting, on the other hand, must be encased in transparent plastic or glass so that light may fall on them.

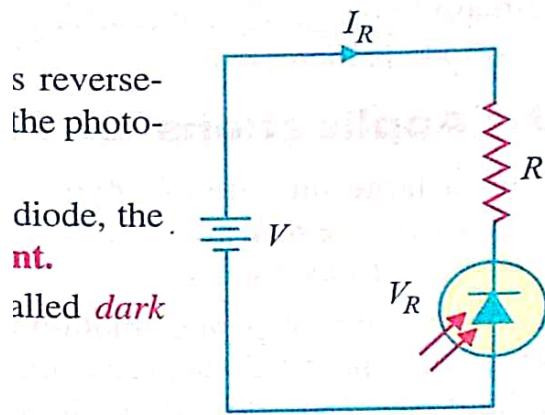
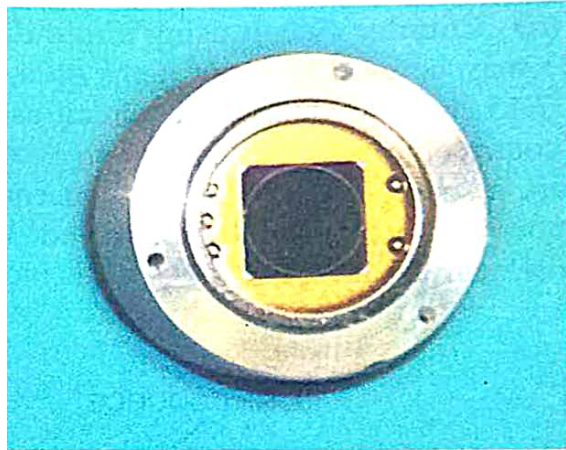


Fig. 7.11

diode, there
ions in the junction. This will create
electrons will increase the reverse



Calibrated Photo-Diode

the origin.

e

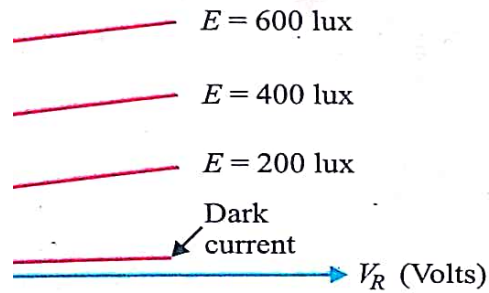


Fig. 7.13

shows the graph between reverse cur-
rent levels. It is clear that for a given

reverse-biased voltage V_R , the reverse current I_R increases as the illumination (E) on the pn junction of photo-diode is increased.

7.10 Applications of Photo-diodes

There are a large number of applications of photo-diodes. However, we shall give two applications of photo-diodes by way of illustration.

(i) **Alarm circuit using photo-diode.** Fig. 7.14 shows the use of photo-diode in an alarm system. Light from a light source is allowed to fall on a photo-diode fitted in the doorway. The reverse current I_R will continue to flow so long as the light beam is not broken. If a person passes through the door, light beam is broken and the reverse current drops to the dark current level. As a result, an alarm is sounded.

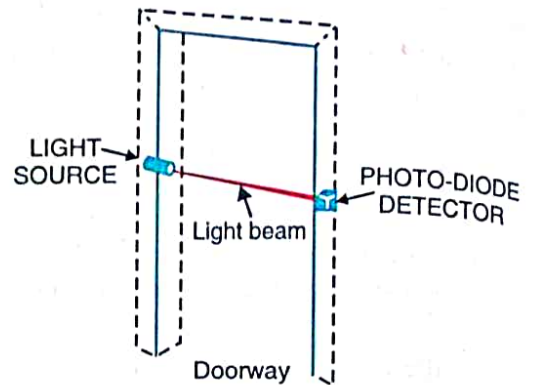


Fig. 7.14

(ii) **Counter circuit using photo-diode.** A photo-diode may be used to count items on a conveyor belt. Fig. 7.15 shows a photo-diode circuit used in a system that counts objects as they pass by on a conveyor. In this circuit, a source of light sends a concentrated beam of light across a conveyor to a photo-diode. As the object passes, the light beam is broken, I_R drops to the dark current level and the count is increased by one.

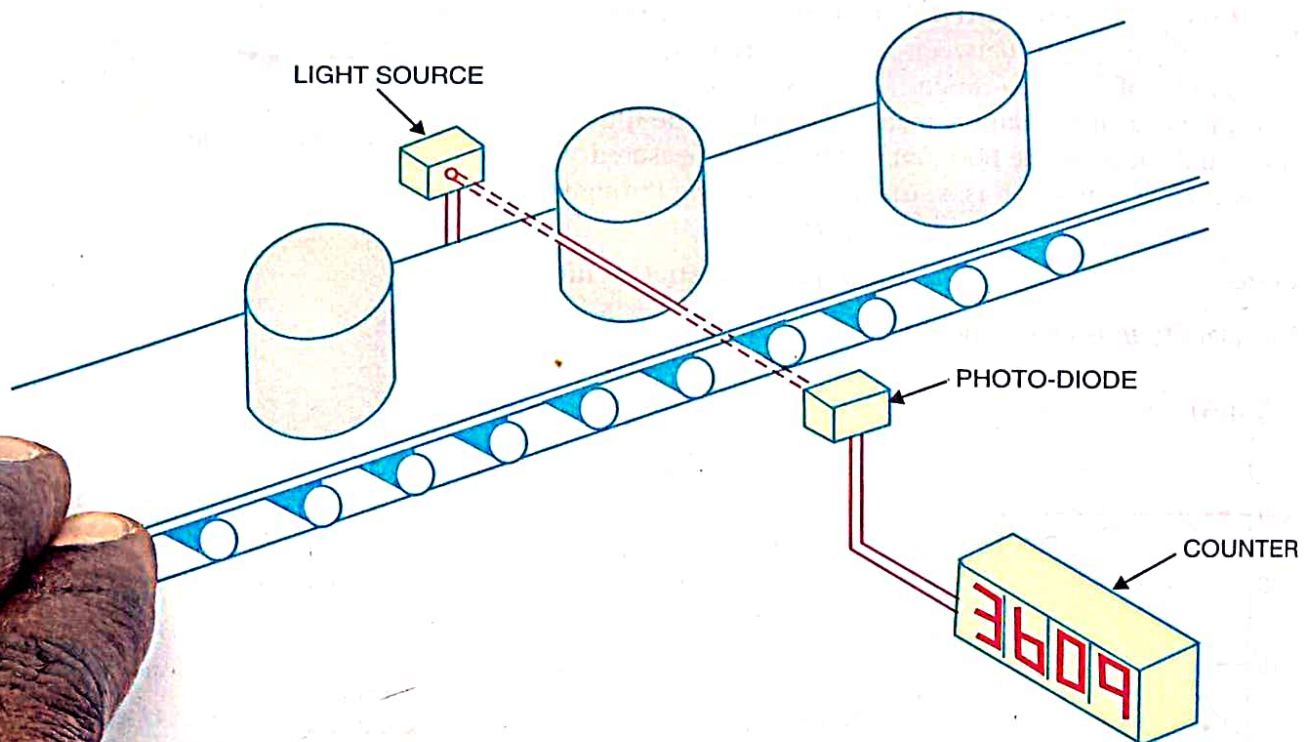
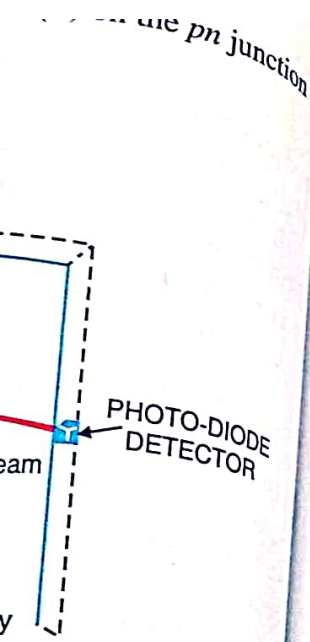


Fig. 7.15



7.14

broken, I_R drops to

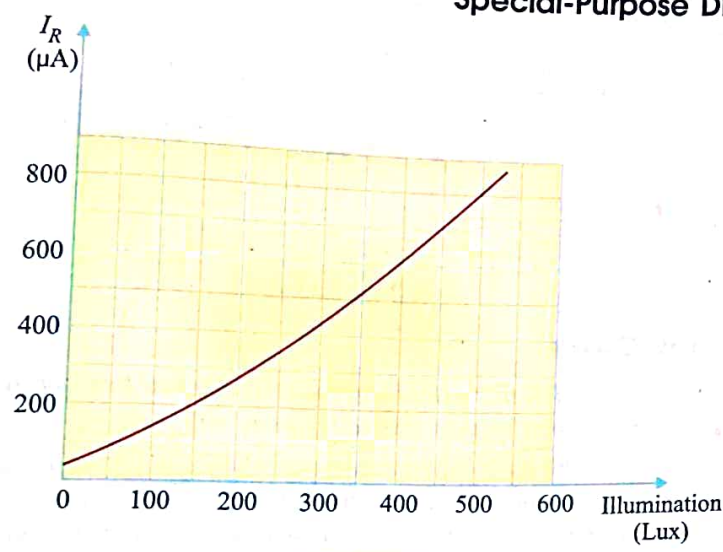


Fig. 7.16

Solution.

The current that flows when the incident light is removed from the photo-diode is called *dark current*. The resistance of a photo-diode corresponding to dark current is called *dark resistance*. From the curve shown in Fig. 7.16, it is clear that for zero illumination, the reverse current is $50 \mu\text{A}$.

∴ Dark current, $I_r = 50 \mu\text{A} = 50 \times 10^{-6} \text{ A}$
 Reverse voltage, $V_R = 10 \text{ V}$
 ∴ Dark resistance, $R_R = \frac{V_R}{I_r} = \frac{10}{50 \times 10^{-6}} = 200 \times 10^3 \Omega = 200 \text{ k}\Omega$

Example 7.4. A photo-diode is exposed to light with an illumination of 2.5 mW/cm^2 . If the sensitivity of the photo-diode for the given conditions is $37.4 \mu\text{A/mW/cm}^2$, find the reverse current through the device.

Solution.

Reverse current = Sensitivity \times Illumination
 $I_R = m \times E = 37.4 \times 2.5 = 93.5 \mu\text{A}$

or

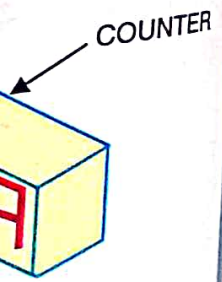
7.11 Optoisolator

An *optoisolator* (also called *optocoupler*) is a device that uses light to couple a signal from its input (a photoemitter e.g., a LED) to its output (a photodetector e.g., a photo-diode).

Fig. 7.17 shows a LED-photo diode optoisolator. The LED is on the left and the photo-diode is on the right. The arrangement shown in Fig. 7.17 is referred to as *optocoupling* because the output current flows through the LED. The light from the LED hits the photo diode and sets up a reverse current through resistor R_2 . The voltage across the photo-diode is given by :

$$V_{out} = V_{SS} - I R_2$$

The output voltage depends on how large the reverse current is. If we vary the LED supply, the amount of light changes and this causes the photo diode current to change. As a result, V_{out} changes. The key advantage of an optoisolator is the electrical isolation between the input and output circuits; the input and output circuits is the stream of light.



ode shown in

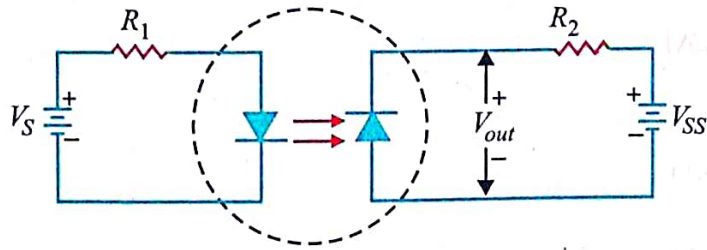


Fig. 7.17

7.12 Tunnel Diode

A **tunnel diode** is a *pn* junction that exhibits negative resistance between two values of forward voltage (i.e., between peak-point voltage and valley-point voltage).

A conventional diode exhibits *positive resistance when it is forward biased or reverse biased. However, if a semiconductor junction diode is heavily doped with impurities, it exhibits negative resistance (i.e. current decreases as the voltage is increased) in certain regions in the forward direction. Such a diode is called *tunnel diode*.

Theory. The tunnel diode is basically a *pn* junction with heavy doping of *p*-type and *n*-type semiconductor materials. In fact, a tunnel diode is doped approximately 1000 times as heavily as a conventional diode. This heavy doping results in a large number of majority carriers. Because of the large number of carriers, most are not used during the initial recombination that produces the depletion layer. As a result, the *depletion layer is very narrow*. In comparison with conventional diode, the depletion layer of a tunnel diode is 100 times narrower. The operation of a tunnel diode depends upon the *tunneling effect* and hence the name.

Tunneling effect. The heavy doping provides a large number of majority carriers. Because of the large number of carriers, there is much drift activity in *p* and *n* sections. This causes many valence electrons to have their energy levels raised closer to the conduction region. Therefore, it takes only a very small applied forward voltage to cause conduction.

The movement of valence electrons from the valence energy band to the conduction band with little or no applied forward voltage is called tunneling. Valence electrons seem to tunnel through the forbidden energy band.

As the forward voltage is first *increased*, the diode current rises rapidly due to tunneling effect. Soon the tunneling effect is reduced and current flow starts to *decrease* as the forward voltage across the diode is increased. The tunnel diode is said to have entered the negative resistance region. As the voltage is further increased, the tunneling effect plays less and less part until a valley-point is reached. From now onwards, the tunnel diode behaves as ordinary diode i.e., diode current increases with the increase in forward voltage.

V-I Characteristic. Fig. 7.18 (i) shows the V-I characteristic of a typical tunnel diode.

(i) As the forward voltage across the tunnel diode is increased from zero, electrons from the *n*-region “tunnel” through the potential barrier to the *p*-region. As the forward voltage increases, the diode current also increases until the *peak-point P* is reached. The diode current has now reached peak current I_p ($= 2.2$ mA) at about peak-point voltage V_p ($= 0.07$ V). Until now the diode has exhibited positive resistance.

(ii) As the voltage is increased beyond V_p , the tunneling action starts decreasing and the diode current decreases as the forward voltage is increased until *valley-point V* is reached at valley-point voltage V_v ($= 0.7$ V). In the region between peak-point and valley-point (i.e., between points *P* and

* If current flowing through a circuit or device increases as the applied voltage is increased, we say that the circuit or device has positive resistance.

V), the diode exhibits negative resistance *i.e.*, as the forward bias is increased, the current decreases. This suggests that tunnel diode, when operated in the negative resistance region, can be used as an oscillator or a switch.

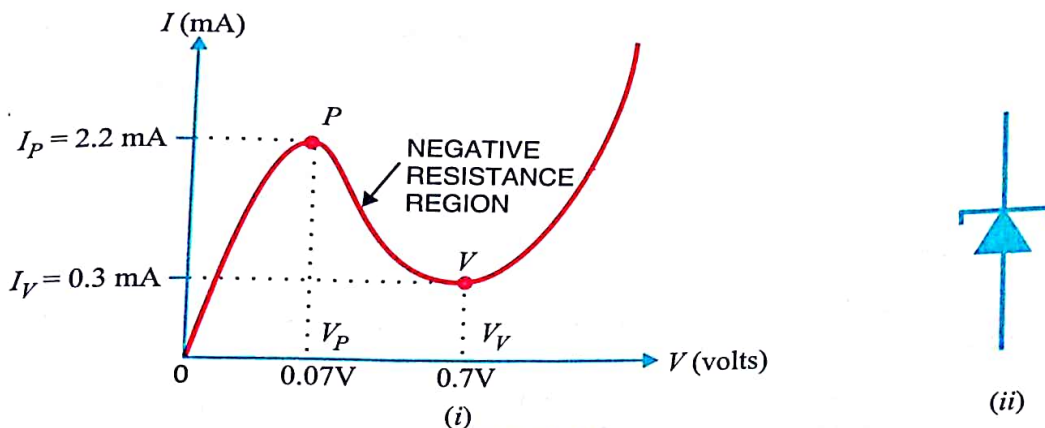


Fig. 7.18

(iii) When forward bias is increased beyond valley-point voltage $V_V (= 0.7 \text{ V})$, the tunnel diode behaves as a normal diode. In other words, from point V onwards, the diode current increases with the increase in forward voltage *i.e.*, the diode exhibits positive resistance once again. Fig. 7.18. (ii) shows the symbol of tunnel diode. It may be noted that a tunnel diode has a high reverse current but operation under this condition is not generally used.

7.13 Tunnel Diode Oscillator

A tunnel diode is always operated in the negative resistance region. When operated in this region, it works very well in an oscillator. Fig. 7.19 (i) shows a parallel resonant circuit. Note that R_P is the parallel equivalent of the series winding resistance of the coil. When the tank circuit is set into oscillations by applying voltage as shown in Fig. 7.19. (ii), damped oscillations are produced. It is because energy is lost in the resistance R_P of the tank circuit.

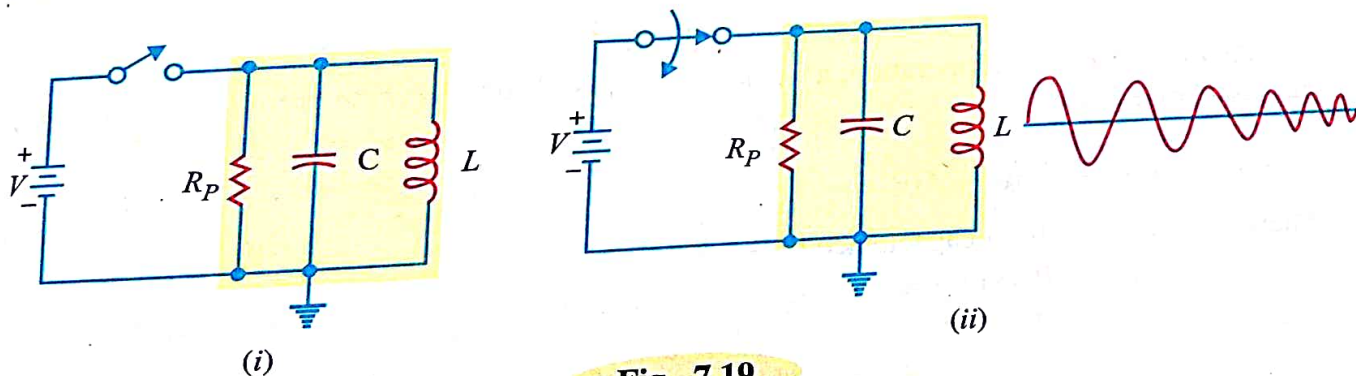


Fig. 7.19

If a tunnel diode is placed in series with the tank circuit and biased at the centre of the negative-resistance portion of its characteristic as shown in Fig. 7.20, undamped oscillations are produced at the output. It is because the negative-resistance characteristic of the tunnel diode counteracts the positive-resistance characteristic of the tank circuit.

The circuit shown in Fig. 7.20 is called *tunnel diode oscillator* or *negative resistance oscillator*. The negative resistance oscillator has one major drawback. While the circuit works very well at extreme high frequencies (upper mega hertz range), it cannot be used efficiently at low frequencies. Low-frequency oscillators generally use transistors.

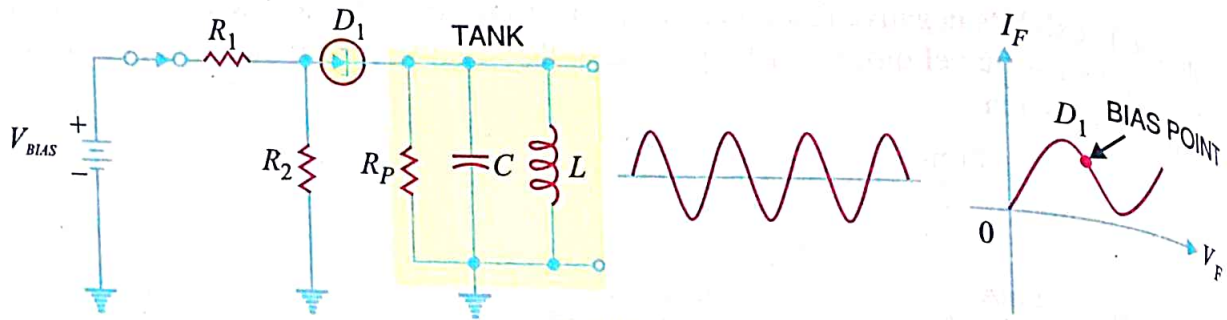


Fig. 7.20

7.14 Varactor Diode

A junction diode which acts as a variable capacitor under changing reverse bias is known as a **varactor diode**.

When a *pn* junction is formed, depletion layer is created in the junction area. Since there are no charge carriers within the depletion zone, the zone acts as an insulator. The *p*-type material with holes (considered positive) as majority carriers and *n*-type material with electrons (-ve charge) as majority carriers act as charged plates. Thus the diode may be considered as a capacitor with *n*-region and *p*-region forming oppositely charged plates and with depletion zone between them acting as a dielectric. This is illustrated in Fig. 7.21 (i). A varactor diode is specially constructed to have high capacitance under reverse bias. Fig. 7.21 (ii) shows the symbol of varactor diode. The values of capacitance of varactor diodes are in the picofarad (10^{-12} F) range.

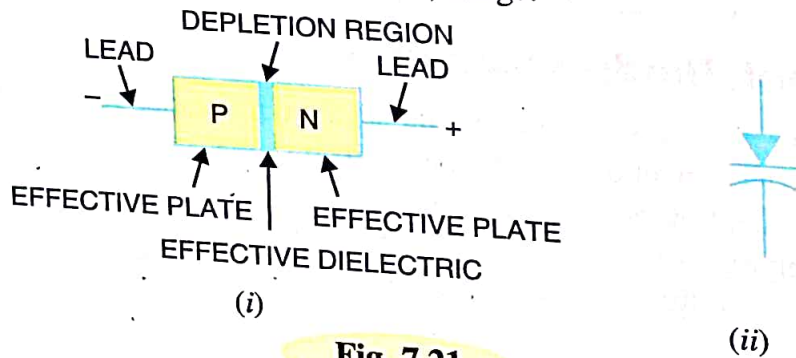


Fig. 7.21

Theory. For normal operation, a **varactor diode is always reverse biased**. The capacitance of varactor diode is found as :

$$C_T = \epsilon \frac{A}{W_d}$$

where

C_T = Total capacitance of the junction
 ϵ = Permittivity of the semiconductor material

A = Cross-sectional area of the junction
 W_d = Width of the depletion layer

When reverse voltage across a varactor diode is increased, the width W_d of the depletion layer increases. Therefore, the total junction capacitance C_T of the junction decreases. On the other hand, if the reverse voltage across the diode is lowered, the width W_d of the depletion layer decreases. Consequently, the total junction capacitance C_T increases.

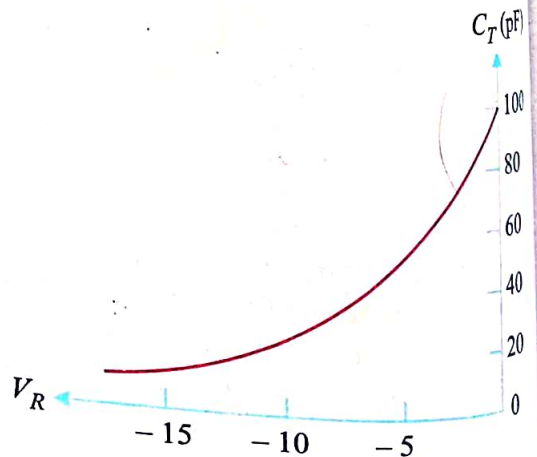


Fig. 7.22

A forward biased varactor diode would serve no useful purpose.

Fig. 7.22 shows the curve between reverse bias voltage V_R across varactor diode and total junction capacitance C_T . Note that C_T can be changed simply by changing the voltage V_R . For this reason, a varactor diode is sometimes called **voltage-controlled capacitor**.

7.15 Application of Varactor Diode

We have discussed that we can increase or decrease the junction capacitance of varactor diode simply by changing the reverse bias on the diode. This makes a varactor diode ideal for use in circuits that require voltage-controlled tuning. Fig. 7.23 shows the use of varactor diode in a tuned circuit. Note that the capacitance of the varactor is in *parallel* with the inductor. The varactor and the inductor form a parallel LC circuit. **For normal operation, a varactor diode is always operated under reverse bias.** In fact, this condition is met in the circuit shown in Fig. 7.23. The resistance R_W in the circuit is the *winding resistance* of the inductor. This winding resistance is in series with the potentiometer R_1 . Thus R_1 and R_W form a voltage divider that is used to determine the amount of reverse bias across the varactor diode D_1 and therefore its capacitance. By adjusting the setting of R_1 , we can vary the diode capacitance. This, in turn, varies the resonant frequency of the LC circuit. The resonant frequency f_r of the LC circuit is given by;

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

If the amount of varactor reverse bias is *decreased*, the value of C of the varactor *increases*. The increase in C will cause the resonant frequency of the circuit to *decrease*. Thus, **a decrease in reverse bias causes a decrease in resonant frequency and vice-versa.**

Example 7.5. The LC tank circuit shown in Fig. 7.23 has a 1 mH inductor. The varactor has capacitance of 100 pF when reverse bias is 5V d.c. Determine the resonant frequency of the circuit for this reverse bias.

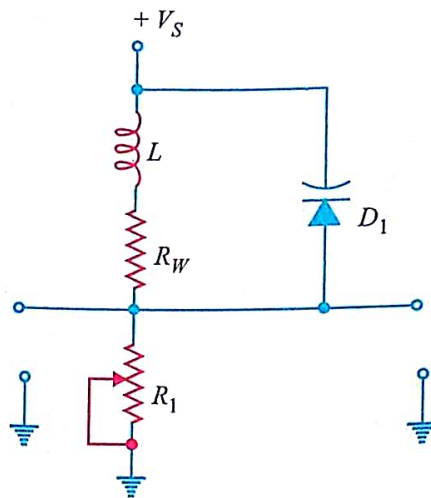


Fig. 7.23

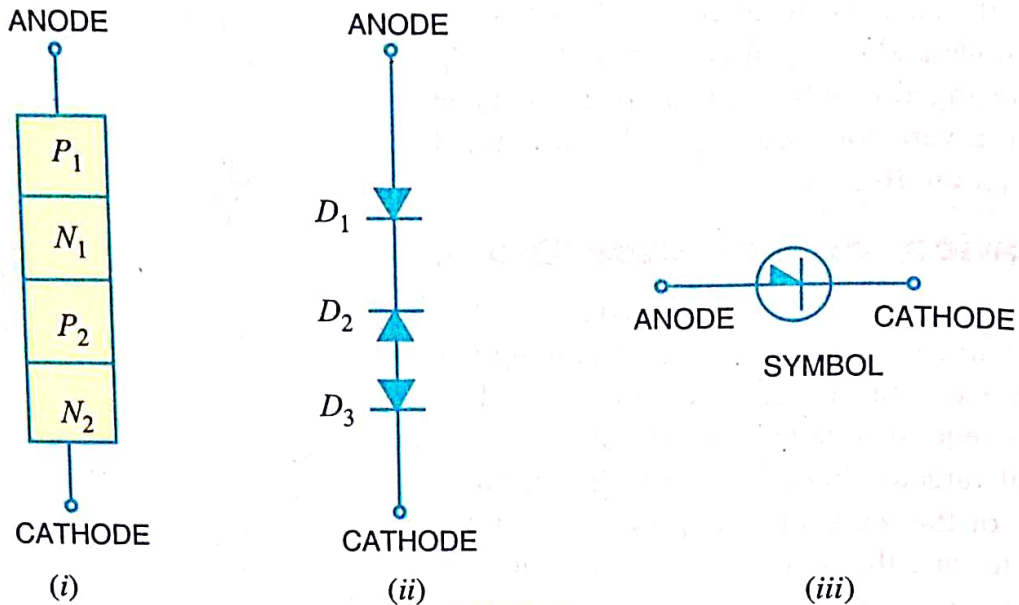


Fig. 7.24

Working

(i) When Shockley diode is forward biased (*i.e.*, anode is positive w.r.t. cathode), diodes D_1 and D_3 would be forward-biased while diode D_2 would be reverse-biased. Since diode D_2 offers very high resistance (being reverse biased) and the three diodes are in series, the Shockley diode presents a very high resistance. As the *forward voltage increases, the reverse bias across D_2 is also increased. At some forward voltage (called **breakover voltage** V_{BO}), reverse breakdown of D_2 occurs. Since this breakdown results in reduced resistance, the Shockley diode presents a very low resistance. From now onwards, the Shockley diode behaves as a conventional forward-biased diode; the forward current being determined by the applied voltage and external load resistance. This behaviour of Shockley diode is indicated on its $V-I$ characteristic in Fig. 7.25.

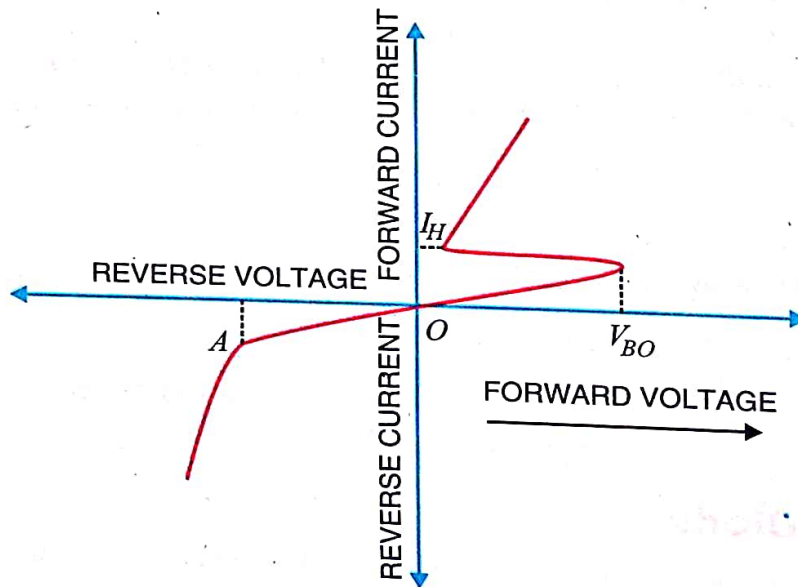


Fig. 7.25

(ii) When Shockley diode is reverse biased (*i.e.*, anode is negative w.r.t. cathode), diodes D_1 and D_3 would be reverse-biased while diode D_2 would be forward-biased. If reverse voltage is increased sufficiently, the reverse voltage breakdown (point A in Fig. 7.25) of Shockley diode is reached. At this point, diodes D_1 and D_3 would go into reverse-voltage breakdown, the reverse current flowing

* Since D_1 and D_3 offer very low resistance (being forward biased), the entire applied voltage appears as reverse voltage across D_2 .

through them would rise rapidly and the heat produced by this current flow could ruin the entire device. For this reason, *Shockley diode should never be operated with a reverse voltage sufficient to reach the reverse-voltage breakdown point.*

Conclusion. The above discussion reveals that Shockley diode behaves like a switch. So long as the forward voltage is less than breakover voltage, Shockley diode offers very high resistance (*i.e.*, switch is open) and practically conducts no current. At voltages above the break-over value, Shockley diode presents a very low resistance (*i.e.* switch is closed) and Shockley diode conducts heavily. It may be noted that Shockley diode is also known as *PNPN diode* or *four layer diode* or *reverse-blocking diode thyristor*.

Note. Once Shockley diode is turned ON (*i.e.*, it starts conducting), the only way to turn it OFF is to reduce the applied voltage to such a value so that current flowing through Shockley diode drops below its *holding current (I_H) value*. Diode D_2 then comes out of its reverse-breakdown state and its high-resistance value is restored. This, in turn, causes the entire Shockley diode to revert to its high-resistance (switch open) state.

MULTIPLE-CHOICE QUESTIONS

- Zener diodes are used primarily as
 - amplifiers
 - voltage regulators
 - rectifiers
 - oscillators
- A *pn* junction that radiates energy as light instead of as heat is called a
 - LED
 - photo-diode
 - photocell
 - Zener diode
- The capacitance of a varactor diode increases when reverse voltage across it
 - decreases
 - increases
 - breaks down
 - stores charge
- To display the digit 8 in a seven-segment indicator
 - C must be lighted
 - G must be off
 - F must be on
 - All segments must be lighted
- A photo-diode is normally
 - forward-biased
 - reverse-biased
 - Neither forward nor reverse biased
 - Emitting light
- When the reverse voltage increases, the junction capacitance
 - decreases
 - stays the same
 - increases
 - has more bandwidth
- The device associated with voltage-controlled capacitance is a
 - LED
 - photo-diode
 - varactor diode
 - Zener diode
- The varactor is usually
 - forward-biased
 - reverse-biased
 - unbiased
 - in the breakdown region
- When the light increases, the reverse current in a photo-diode
 - increases
 - decreases
 - is unaffected
 - none of the above
- To display the digit 0 in a seven segment display
 - A must be lighted
 - F must be off
 - G must be on
 - all segments except G should be lighted

Answers to Multiple-Choice Questions

- | | | | | |
|---------|----------|---------|---------|----------|
| 1. (ii) | 2. (i) | 3. (i) | 4. (iv) | 5. (ii) |
| 6. (i) | 7. (iii) | 8. (ii) | 9. (i) | 10. (iv) |

(c) ஜீனார் மின்னழுத்தம் (Zener voltage): ஒரு குறிப்பிட்ட ஜீனார் மின்னோட்டம் I_z ற்கான பின்னோக்கு மின்னழுத்தம் ஜீனார் மின்னழுத்தம் எனப்படும். படத்தில் இது V_z ஆல் குறிக்கப்பட்டுள்ளது.

(d) ஜீனார் இயக்க மின்னெதிர்ப்பு (Zener dynamic impedance) ஜீனார் மின்னழுத்தம் V_z ல் ஏற்படும் குறைந்த மின்னழுத்த மாறுபாட்டிற்கும், அதனால் ஜீனார் மின்னோட்டம் I_z ல் ஏற்படும் குறைந்த மின்னோட்ட மாறுபாட்டிற்கும் உள்ள தகவு ஜீனார் இயக்க மின்னெதிர்ப்பு என வரையறுக்கப்படுகிறது.

$$r_z = \frac{\delta V_z}{\delta I_z}$$

ஜீனார் சிறப்பு வரை கோடு சரியாகச் செங்குத்தாக இருக்கும்போது $\delta V_z = 0$

$$\therefore r_z = 0$$

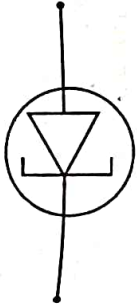
(6) புழல் டையோடு (Tunnel Diode)

இயல்பான p-n சந்தியின் மாசு அணுவின் செறிவினை அதிகரித்தால், இதன் சிறப்பியல் முழுமையாக மாறுகிறது. இந்தப் புதிய வகையான டையோடை, புழல் டையோடு என்பர். புழல் டையோடை முதன்முதலில் 1958-ல் லியோ இசாக்கி (Leo Esaki) வடிவமைத்தார். எனவே இந்த டையோடை இசாக்கி டையோடு என்பர். இது அடிப்படையில் ஒரு p-n சந்தி டையோடாகும்.

சாதாரண p-n சந்தி டையோடில் உள்ள மாசுவின் கலப்பின் செறிவு 10^8 அணுவில் ஒரு பங்காகும். இந்த அளவு மாசு கலக்கப்பட்ட p-n சந்தியின் இயக்கமில்லாப் பகுதியின் அகலம் ஒரு மைக்ரான் (10^{-6} மீ) ஆகும். இது சந்தியில் ஒரு மின்னழுத்த அரண் (potential barrier) தோற்றுவிக்கிறது. இது மின்னூட்ட ஊர்திகளை ஒரு பக்கத்திலிருந்து மறு பக்கத்திற்குச் செல்லவிடாமல் தடுக்கிறது. ஓர் குறிப்பிட்ட ஆற்றல் பெற்றால் மறு பக்கத்திற்கு செல்லமுடியும். மாசுத் தனிமத்தின் செறிவினை 10^3 அணுவின் ஒரு பங்காக அதிகரிக்கும்போது இயக்கமில்லாப் பகுதியின் அகலம் 10 நேனோமீட்டராக (10^{-9} மீ) குறைகிறது. இதனால் p-n சந்தியின் சிறப்பியல் முழுமையாக மாறுகிறது. இந்த நிலையில் மின்கடத்திகளின் ஆற்றல் குறைவாக இருந்தாலும் இவை ஒளியின் திசை வேகத்தில் சந்தியைத் துளைத்தும் செல்லும். இதன் காரணத்தால் முன்னோக்குச் சார்பு மின்னழுத்தம் மிகக் குறைவாக இருந்தாலும் அதிக அளவான முன்னோக்கு மின்னோட்டம் தோன்றுகிறது. மின்னூட்டக் கடத்திகள் மின்னழுத்த அரணை

துளைத்துச் செல்லும் நிகழ்வினை புழல் விளைவு (tunneling effect). எனவே அதிக அளவு மாக கலக்கப்பட்ட p-n சந்தி டையோடை புழல் டையோடு என அழைப்பர். இந்த டையோடு, பொதுவாக, ஜெர்மானியம் அல்லது கேலியம் ஆர்சனைடு போன்ற தனியங்களால் அமைக்கப்படுகிறது.

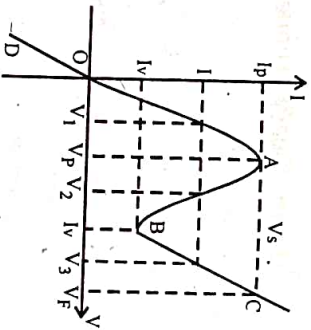
கற்றுக்களில் புழல் டையோடு படம் 1-14 ல் காட்டிய குறியில் காட்டப் படுகிறது. இவை குறை திறன் கருவியாகும். மேலும் வெப்பம், மற்றும் நிலை மின்னோட்டம் ஆகியவற்றால் எளிதில் பழுதடையும். எனவே புழல் டையோடைக் கவனமாகக் கையாள வேண்டும்.



படம் 1-14

புழல் டையோடின் V-I சிறப்பியல் (V-I Characteristic of a tunnel diode)

புழல் டையோடின் சிறப்பியல் வளைகோடு படம் 1-15 ல் காட்டப் பட்டுள்ளது. செயற்படுத்தும் முன்னோக்குச் சார்பு மின்னழுத்தத்தை கழிமில்லிருந்து அதிகரிக்கும்போது, முன்னோக்கு மின்னோட்டம் பெரும் மதிப்பினை அடையும்வரை விரைவாக அதிகரிக்கிறது. இந்த பெரும் மின்னோட்டத்தை உச்ச மின்னோட்டம் (peak current) (I_p) என்பர். இது படத்தில் புள்ளி A - ஆல் குறிக்கப் பட்டுள்ளது. இந்த மின்னோட்டத்தைத் தோற்றுவிக்கும் முன்னோக்கு மின்னழுத்தத்தை உச்ச மின்னழுத்தம் (V_p) என்பர். ஜெர்மானியம் டையோடுக்கு இந்த மின்னழுத்த மதிப்பு 65 மி.வோ ஆகவும், கேலியம்-ஆர்சனைடுக்கு 160 மி.வோ ஆகவும் இருக்கும். சிறப்பியல் வளைகோட்டில் புள்ளி A - ல் வாட்டம் dI/dV கழியாகும்.



படம் 1-15

முன்னோக்கு மின்னழுத்த மதிப்பினை V_p ஐ விட அதிகமாகக் கும்போது மின்னோட்டம் குறைகிறது. வளைகோட்டில் மின்னோட்டம் புள்ளி B யை அடையும் வரை குறைகிறது. புள்ளி B - ல் உள்ள சிறும மின்னோட்ட மதிப்பினை புள்ளி A-க்கு மின்னோட்டம் (Valley current) (I_v) என்பர். புழல் டையோடு உச்ச மின்னோட்டம் I_p க்கும் சிறும மின்னோட்டம் I_v க்கும் இடையே எதிர் மின்தடைப் பண்பு (negative resistance characteristic)

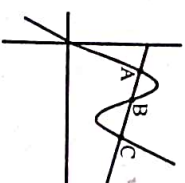
கொண்டிருக்கும். புள்ளி B-ல் dI/dV கழியாகும். எனவே இந்தப் புள்ளியில் மீண்டும் சுடத்துத்திறன் கழியாகிறது. மேலும் மின்னழுத்தத்தை அதிகரிக்கும்போது இயல்பான p-n சந்தியில் மின்னோட்டம் அதிகரிப்பது போன்று மின்னோட்டம் அதிகரிக்கிறது. உச்ச முன்னோக்கு மின்னழுத்தம் என அழைக்கப்படும் மின்னழுத்தம் V_p ல் மின்னோட்டம் மீண்டும் I_p என அடைகிறது. இதைவிட அதிகமான மின்னழுத்தத்திற்கு மின்னோட்டம் அடையாது. அதிகரிக்கிறது. உச்ச மின்னோட்டமும், புள்ளி A-க்கு மேலும் அதிகரிக்கிறது. உச்ச மின்னோட்டமும், புள்ளி A-க்கு மின்னோட்டமும் கலக்கப்படும் மாகவின் செறிவினைச் சார்ந்தது. வளைகோட்டில் மின்னோட்டம் I_p க்குச் சமமான மின்னழுத்தத்தை மின்னழுத்த ஊசலாடல் (Voltage swing) V_s என அழைக்கப்படுகிறது. V_s ன் மதிப்பு டையோடு செய்யப்பட்ட பருப்பொருளினால் சார்ந்திருக்கும்.

புழல் டையோடுக்கு பின்னோக்குச் சார்பு அளிக்கப்படும்போது, இது ஒரு கடத்தியாகச் செயற்படுகிறது. பின்னோக்கு மின்னழுத்தம் அதிகரிக்கப் படும்போது, பின்னோக்கு மின்னோட்டமும் அதிகரிக்கிறது.

I_p, I_v ஆகிய மதிப்புகட்கிடையே மின்னோட்டங்கட்கு வளைகோடு மும்மதிப்பு கொண்டிருக்கும். ஒவ்வொரு மின்னோட்டமும் மூன்று மாறுபட்ட மின்னழுத்த மதிப்பிற்குப் பெறலாம். இப்பண்பு கொண்டுள்ளமையால் புழல் டையோடு துடிப்புச் சுற்றிலும், எண்ணிலக்கச் சுற்றிலும் பயன்படுகிறது.

பயன்கள் புழல் டையோடு ஒரு திருத்தியாகப் பயன்படுத்தமுடியாது. இது ஒரு டையோடாக இருப்பினும் இதனைப் பெருக்கியாகவோ அல்லது அலையியற்றியாகவோ அல்லது சாலியாகவோ பயன்படுத்தலாம்.

புழல் டையோடின் சிறப்பியல் கோட்டில் வரைப்பட்டுள்ள பளுக் கோட்டிலிருந்து, இது அதிவேகச் சாலியாகப் பயன்படுவதை அறியமுடிகிறது. பளுக்கோடு சிறப்பியல் கோட்டிலுள்ள மூன்று புள்ளிகளில் வெட்டுகிறது. இந்த மூன்று புள்ளிகளில் இரு புள்ளிகள் நேர்வாட்டக் கோட்டில் அமைந்துள்ளன. இவற்றிற்கு இடையே உள்ள புள்ளியில் வாட்டம் எதிர் குறி



படம் 1-16

கொண்டதாகும். சரிவு நேராக உள்ள புள்ளிகளில் இயக்கம் நிலைத்தன்மை உடையதாயிருக்கும். இந்த இரண்டு புள்ளிகளில் ஒன்றில் கருவி செயற்படும்படி செய்யப்படுகிறது. இது செயற்படும் புள்ளி எனப்படும். தகுந்த துவக்கி கொடுக்கப்பட்டால், ஒரு நிலையான நிலையிலிருந்து, அடுத்த நிலையான நிலைக்கு விரைவாகச் செல்கிறது. இது ஒரு அதி வேகமான நிகழ்வாகும். ஆகவே இந்தச் சாலியின் செயற்பாடு நேரம் 10^{-9} நொடிக்குக் குறைவாகும்.

I_p க்கும் I_v க்கு இடையே வளைகோட்டிற்கு மூன்று மின்னழுத்த மதிப்பு கொண்டென்மைமையால் புழல் டையோடை தர்க்க நினைவக சேமிப்பாகம் (logic memory storage) பயன்படுத்தலாம். புழல் டையோடு எதிர் மின்தடை கொண்டென்மைமையால் தளர்வு அலையியற்றியாகப் பயன்படுத்தலாம். மின்நிலைமமும், மின்தேக்குத் திறனும் குறைவாக இருப்பதால் இதன் மைக்ரோ அலை அலையியற்றியாகப் பயன்படுத்தலாம். இதனை சிறப்பும் குறைபாடும்.

இதன் முக்கியமான சிறப்புகள் (1) குறைந்த செலவு (2) குறைந்த இரைச்சல் (3) எளிமையான கடத்தல் (4) அதிகவேகச் சாவி (5) குறைந்த திறன் (6) சுற்றுச் சூழல் பாதுகாப்பு. இதன் முக்கியமான குறைபாடு இரு முனைகள் கொண்டிருப்பதே ஆகும். எனவே உள்ளீட்டிற்கும், வெளியீட்டிற்கும் இடையே பிரித்துரைமுடியாது. இதனால் சுற்றினனை வடிவமைப்பது சிக்கலானது.

(7) ஒளி டையோடு (Photo-diode)

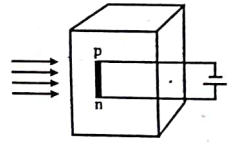
குவாண்டம் கொள்கைப்படி ஒளி அல்லது மற்ற கதிர் வீச்சுகள் குவாண்டம் அல்லது ஃபோட்டான் என அழைக்கப்படும் துகள்களாலானது. ஒவ்வொரு ஃபோட்டான் ஆற்றல் $h\nu$ ஆகும். இங்கு ν என்பது கதிர்வீச்சின் அதிர்வெண், h - என்பது பிளாங்க் மாறிலி. கதிர் வீச்சு குறைக்கடத்தியின் பரப்பில் விழும்போது ($h\nu > E_g$ எனின்), இணைதிறன் பட்டையிலுள்ள மின்னணு கிளர்ச்சியூட்டப்பட்டு, கடத்து பட்டையை அடைகிறது. இதனால் கட்டுப்பாடற்ற மின்னணு-துளை இரட்டை தோன்றுகிறது. இதனால் குறைக்கடத்தியின் கடத்தும் திறன் அதிகரிக்கிறது. இந்தப் பண்பினை உள் ஒளியின் விளைவு (Internal photoelectric effect) என்பர்.

செலினியத்தின் மின்கடத்தும் திறன் பற்றி ஆராயும்போது 1873 ல் இது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. ஒளி டையோடு, ஒளி டிரான்சிஸ்டர், சூரிய மின்கலம் போன்ற கருவிகள் இவ்விளைவினை அடிப்படையாகக் கொண்டது. உள் ஒளியின் விளைவு, வெளி ஒளியின் விளைவிலிருந்து மாறுபட்டதாகும். வெளி ஒளியின் விளைவில் குறைக்கடத்தியின் பரப்பிலிருந்து மின்னணுக்கள் உமிழப்படுகிறது. ஒளி மின்கலம், வெளி ஒளியின் விளைவினை அடிப்படையாகக் கொண்டது.

ஒளி டையோடு என்பது இருமுனைகள் கொண்ட p-n சந்தி கருவியாகும். இது பின்னோக்குச் சார்பில் செயற்படுகிறது. பின்னோக்குச் சார்பு அளிக்கப்பட்ட p-n சந்தியை ஒளியூட்டும்போது, மின்னோட்டமானது ஒளியின் பாயத்தைச் (Flux) சார்ந்து நேர்போக்கில் மாறுகிறது. இவ்விளைவு குறைக்கடத்தி ஒளி டையோடின் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இக்கருவி

1.23

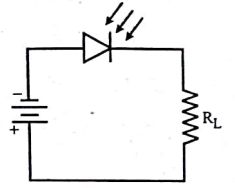
சுத்தமான பிளாஸ்டிக் உறையில் வைக்கப்பட்ட p-n சந்தியால் ஆனது. (படம் 1-17). சந்தியின் ஒரு பரப்பின்மீது கதிர்வீச்சு விழ அனுமதிக்கப்படுகிறது. மற்றப் பக்கங்கள் கருப்பு வண்ணம் பூசப்பட்டோ அல்லது உலோக அறை கொண்டோ மூடப்பட்டுள்ளது. இதன் அளவு ஒரு சில மில்லி மீட்டர் அளவேயாகும்.



படம் 1-17

V - I சிறப்பியல் :

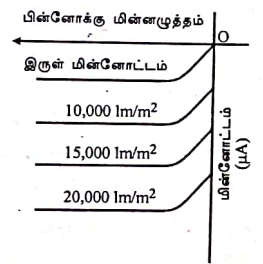
ஒளி டையோடை ஒரு மின்மூலம், மின்தடை R_L ஆகியவற்றுடன் இணைத்து ஒளி டையோடுக்கு படம் 1 - 18 ல் காட்டியவாறு பின்னோக்குச் சார்பு கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. டையோடின்மீது கதிர்வீச்சு விழாதபோது, மிக அதிகமான மின்தடை காரணமாக மைக்ரோ ஆம்பியர் அளவான குறைந்த மின்னோட்டம் சுற்றில் ஓடுகிறது. இது பின்னோக்குச் சார்பு அளிக்கப்பட்ட p-n சந்தியின் தெவிட்டு மின்னோட்டமாகும். இது வெப்பநிலை மாற்றத்திற்கு அதிகமான உணர்வு நுட்பம் கொண்டது. ஒளி டையோடு, ஒளி கொண்டு பொலியூட்டப்படும்போது,



படம் 1-18

செறிவினைச் சார்ந்து, அதிகப்படியான மின்னணு-துளை இரட்டைகள் தோன்றுகிறது. நிலையான மின்னழுத்தத்தில், பின்னோக்கு மின்னோட்டம் ஒளியின் செறிவிற்கு நேர் தகவில் அதிகரிக்கிறது. பல மாறுபட்ட ஒளிச் செறிவிற்கான வோல்ட் - ஆம்பியர் சிறப்பியல் படம் 1-19 ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

மிகக் குறைந்த பின்னோக்கு மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படும்போது நிலையான மாறா மின்னோட்டம் கிடைக்கிறது. வெப்ப விளைவால் தோன்றும் சிறுபான்மை ஊர்திகளாய் தோன்றும் பின்னோக்கு தெவிட்டு மின்னோட்டமே இதுவாகும். இதனை இருள் மின்னோட்டம் (dark current) என்பர். பொதுவாக 3 வோல்ட் பின்னோக்கு மின்னழுத்தத்திற்கு இருள்



படம் 1-19

மின்னோட்ட அளவு $25\mu A$ அளவாக இருக்கும். எனவே இ மின்தடையின் அளவு 120 கி.ஓமாகும். ஒளி டையோடின் மீது ஒளியின் செய்தால், அதிகப்படியான மின்னணு தூளை இரட்டைகள் தோன்ற இதனால் பின்னோக்கு மின்னோட்டம் அதிகரிக்கிறது. ஒளியின் அதிகமாகும்போது மின்னோட்டமும் அதிகரிக்கிறது. 20000 ஒளியின் செறிவில் 3 வோல்ட் பின்னோக்கு மின்னழுத்தத்திற்குப் மதிப்பு ஏறத்தாழ $300\mu A$ அளவாக இருக்கும். இந்த நிலையின் அளிக்கும் மின்தடை 10 கிலோ - ஓம் ஆகும். எனவே ஒளி மாறுகின்ற மின்தடை கருவியாகப் பயன்படுத்தலாம்.

பயன்பாடுகள் : ஒளி டையோடுகள் கீழ்க்கண்ட பயன்படுகிறது.

- (1) ஒளிக் கண்டுணர்வி (2) பண்பிறக்கம் (3) தர்க்கச் சு (5) ஒளியில் செய்தித் தொடர்பு அமைப்பு

(8) திருத்திகளும் வடிகட்டிகளும் (Rectifiers and

(i) திருத்திகள் (Rectifiers) பல மின்னணுவியல் கருவிகளுக்கு உயர் நேர் மின்னழுத்தம் தேவைப்படுகிறது. பயன்பாடுகளுக்கு மாறுதிசை மின்னழுத்தத்தை நேர்திசை மாற்ற வேண்டும். மாறுதிசை மின்னழுத்தத்தை நேர்திசை மாற்றுகின்ற நிகழ்வினை திருத்தல் (rectification) செயற்பாட்டிற்கு பயன்படுத்தும் கற்றினை திருத்தி என்கொண்ட கருவியை திருத்திச் கற்றின் பயன்பாட்டிற்கு முன்னோக்குச் சார்பு அளிக்கப்படுகிறது. எனவே இதனை: மின்தடையும் கொடுக்கிறது. எனவே மின்தடையும் கொண்டுள்ளது. எனவே இருவகைப்படும். அ

மின்னோட்ட அளவு $25\mu A$ அளவாக இருக்கும். எனவே இப்போது மின்தடையின் அளவு 120 கி.ஓமாகும். ஒளி டையோடின் மீது ஒளியை விழச் செய்தால், அதிகப்படியான மின்னணு துளை இரட்டைகள் தோன்றுகின்றன. இதனால் பின்னோக்கு மின்னோட்டம் அதிகரிக்கிறது. ஒளியின் செறிவு அதிகமாகும்போது மின்னோட்டமும் அதிகரிக்கிறது. 20000 லூமன்/மீ² ஒளியின் செறிவில் 3 வோல்ட் பின்னோக்கு மின்னழுத்தத்திற்கு மின்னோட்ட மதிப்பு ஏறத்தாழ $300\mu A$ அளவாக இருக்கும். இந்த நிலையில் டையோடு அளிக்கும் மின்தடை 10 கிலோ - ஓம் ஆகும். எனவே ஒளி டையோடை மாறுகின்ற மின்தடை கருவியாகப் பயன்படுத்தலாம்.

பயன்பாடுகள் : ஒளி டையோடுகள் கீழ்க்கண்ட பயன்பாடுகளுக்கு பயன்படுகிறது.

- (1) ஒளிக் கண்டுணர்வி (2) பண்பிறக்கம் (3) தர்க்கச் சுற்றுகள் (4) சாவி (5) ஒளியில் செய்தித் தொடர்பு அமைப்பு

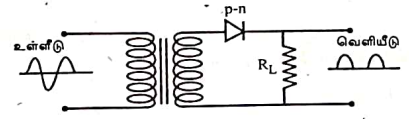
(8) திருத்திகளும் வடிகட்டிகளும் (Rectifiers and Filters)

(i) திருத்திகள் (Rectifiers) பல மின்னணுவியல் கருவிகளின் செயற்பாடு கட்டு உயர் நேர் மின்னழுத்தம் தேவைப்படுகிறது. இவ்வகையான பயன்பாடுகளுக்கு மாறுதிசை மின்னழுத்தத்தை நேர்திசை மின்னழுத்தமாக மாற்ற வேண்டும். மாறுதிசை மின்னழுத்தத்தை நேர்திசை மின்னழுத்தமாக மாற்றுகின்ற நிகழ்வினை திருத்தல் (rectification) என்பர். இந்தச் செயற்பாட்டிற்கு பயன்படுத்தும் சுற்றினை திருத்தி என்பர். ஒருதிசைப் பண்பு கொண்ட கருவியை திருத்திச் சுற்றின் பயன்படுத்தலாம். p-n சந்தி டையோடுக்கு முன்னோக்குச் சார்பு அளிக்கப்படும்போது மின்னோட்டத்திற்கு குறைந்த மின்தடையும், பின்னோக்கு சார்பு அளிக்கப்படும்போது அதிக மின்தடையும் கொடுக்கிறது. எனவே p-n சந்தி டையோடு ஒருதிசைப் பண்பு கொண்டுள்ளது. எனவே இதனைத் திருத்துதலுக்குப் பயன்படுத்தலாம். இது இருவகைப்படும். அவை

- (1) அரை அலைத் திருத்தி (Half wave rectifier)
(2) முழு அலைத் திருத்தி (Full wave rectifier)

(ii) அரை அலைத் திருத்தி : உள்எஃடு மாறுதிசை மின்னழுத்தத்தின் ஒரு அரை அலை மட்டும் திருத்துவதை அரை அலைத் திருத்தி என்பர். அரை அலைத் திருத்தி சுற்று படம் 1-20 ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. திருத்தப்படாத மாறுதிசை மின்னழுத்தம், திறன் மின்மாற்றியின் முதன்மைச் சந்தி டையோடு கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. துணைச் சுருளின் ஒரு துளை மின்தடையின் டையோடின் p-n பகுதியுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது.

துணைச் சுருளின் மறுமுனை பளு மின்தன் R_f வழியாக n - பகுதியுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. பளு மின்தடையின் முனைகட்கிடையே வெளியீடு எடுக்கப்படுகிறது.

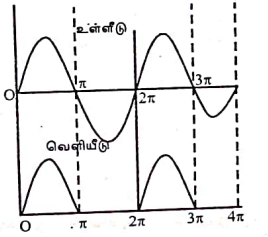


படம் 1-20

செயற்பாடு : உள்எஃடின் நேர் அரைப் பகுதியின்போது துணைச்சுருளின் கீழ்முனையை நோக்க, மேல் முனை நேர் மின்னழுத்தம் பெறுகிறது. எனவே சந்தி டையோடு முன்னோக்குச் சார்பு பெறுகிறது. எனவே டையோடு மின்னோட்டத்திற்கு குறைந்த மின்தடையை அளிக்கிறது. ஆகவே பளு மின்தடையின் முனைகட்கிடையே வெளியீடு தோன்றுகிறது.

உள்எஃடின் எதிர் அரைப்பகுதியின்போது, துணைச்சுருளின் கீழ்முனையை நோக்க மேல் முனை எதிர் மின்னழுத்தம் பெறுகிறது. எனவே

p-n சந்தி டையோடு பின்னோக்குச் சார்பு பெறுகிறது. எனவே டையோடு மின்னோட்டத்திற்கு அதிகமான மின்தடை அளிக்கிறது. ஆகவே பளு மின்தடையின் முனைகட்கிடையே வெளியீடு இருக்காது. இவ்வாறு இந்தச் சுற்று அரை அலைத் திருத்தியாகச் செயற்படுகிறது. உள்எஃடு, வெளியீடு அலை வடிவம் படம் 1-21 ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 1-21

கணக்கீடு :

$$\text{உள்எஃடு a.c மின்னழுத்தம், } e = E_0 \sin \omega t \quad \dots(1)$$

டையோடின் சிறப்பியல் வளைகோடு நேர்போக்கு கொண்டது எனக் கொண்டால்,

$$i = \frac{e}{R_f + R_L} = \frac{E_0 \sin \omega t}{R_f + R_L} = I_0 \sin \omega t \quad \dots(2)$$