

**KUNTHAVAI NAACHIYAR GOVERNMENT ARTS  
COLLEGE FOR WOMEN, THANJAVUR.**

**DEPARTMENT OF PHYSICS**



***SECOND ALLIED PHYSICS III***

***18K4CHAP3***

**UNIT - I**

- 1. Dr. S. SNEGA,  
DEPARTMENT OF PHYSICS, THANJAVUR.**

**UNIT - II**

- 2. Dr. N. GEETHA,  
DEPARTMENT OF PHYSICS, THANJAVUR.**

**UNIT-III**

- 3. Ms. D.S. VASANTHI  
DEPARTMENT OF PHYSICS, THANJAVUR.**

# UNIT-I: CURRENT ELECTRICITY AND NUCLEAR PHYSICS

Kirchhoff's law – Wheatstone's bridge – Metre Bridge – Carey foster's bridge – Measurement of specific resistance – Potentiometer – Calibration of low range voltmeter

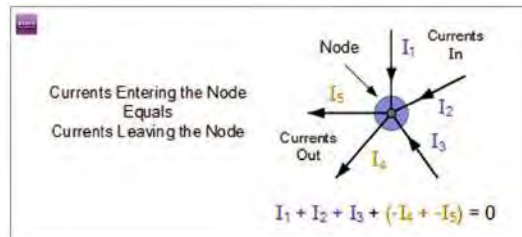
Nucleus – Nuclear Size – Charge – Mass and Spin – Shell Model – Nuclear fission and fusion – Liquid drop model – Binding energy – Mass defect

## KIRCHHOFF'S RULES

Ohm's law is useful only for simple circuits. For more complex circuits, Kirchhoff's rules can be used to find current and voltage. There are two generalized rules: i) Kirchhoff's current rule ii) Kirchhoff's voltage rule.

### Kirchhoff's first rule (Current rule or Junction rule)

It states that the algebraic sum of the currents at any junction of a circuit is zero. It is a statement of conservation of electric charge. All charges that enter a given junction in a circuit must leave that junction since charge cannot build up or disappear at a junction. Current entering the junction is taken as positive and current leaving the junction is taken as negative.



$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

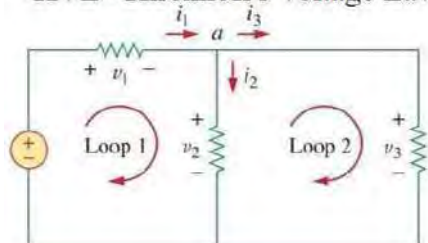
(or)

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$$

### Kirchhoff's Second rule (Voltage rule or Loop rule)

It states that in a closed circuit the algebraic sum of the products of the current and resistance of each part of the circuit is equal to the total emf included in the circuit. This rule follows from the law of conservation of energy for an isolated system (The energy supplied by the emf sources is equal to the sum of the energy delivered to all resistors). The product of current and resistance is taken as positive when the direction of the current is followed. Suppose if the direction of current is opposite to the direction of the loop, then product of current and voltage across the resistor is negative. The emf is considered positive when proceeding from the negative to the positive terminal of the cell. Kirchhoff voltage rule has to be applied only when all currents in the circuit reach a steady state condition (the current in various branches are constant).

### KVL - Kirchhoff's Voltage Law

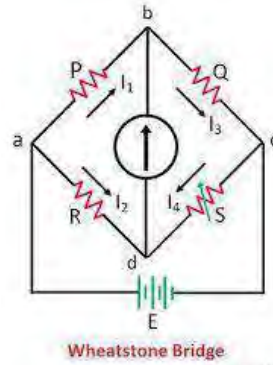


### Wheatstone's bridge

An important application of Kirchhoff's rules is the Wheatstone's bridge. It is used to compare resistances and also helps in determining the unknown resistance in electrical network. The bridge consists of four resistances P, Q, R and S connected as shown in Figure 2.25. A galvanometer G is connected between the points B and D. The battery is connected between the points A and C. The current through the galvanometer is  $I_G$  and its resistance is G. Applying Kirchhoff's current rule to junction B,  $I_1 - I_G - I_3 = 0$ ; Applying Kirchhoff's current rule to junction D,  $I_2 + I_G - I_4 = 0$ .

Applying Kirchhoff's voltage rule to loop ABDA,  $I_1P + I_GG - I_2R = 0$

Applying Kirchhoff's voltage rule to loop ABCDA,  $I_1P + I_3Q - I_4S - I_2R = 0$



When the points B and D are at the same potential, the bridge is said to be balanced. As there is no potential difference between B and D, no current flows through galvanometer ( $I_G = 0$ ). Substituting  $I_G = 0$  in equation we get  $I_1 = I_3$ ;  $I_2 = I_4$ ;  $I_1P = I_2R$

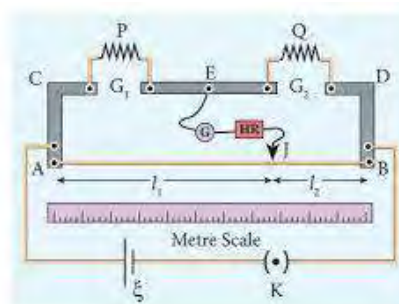
Substituting the equations in above equation:  $I_1P + I_1Q - I_2S - I_2R = 0$ ;  $I_1(P + Q) = I_2(R + S)$

Dividing both equations we get:  $\frac{P+Q}{P} = \frac{R+S}{R}$ ;  $1 + \frac{Q}{P} = 1 + \frac{S}{R} \Rightarrow \frac{Q}{P} = \frac{S}{R} \Rightarrow \frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$ . This is the bridge balance condition.

Only under this condition, galvanometer shows null deflection. Suppose we know the values of two adjacent resistances, the other two resistances can be compared. If three of the resistances are known, the value of unknown resistance (fourth one) can be determined.

### Meter bridge

The meter bridge is another form of Wheatstone's bridge. It consists of a uniform manganin wire AB of one meter length. This wire is stretched along a meter scale on a wooden board between two copper strips C and D. Between these two copper strips another copper strip E is mounted to enclose two gaps G1 and G2 as shown in Figure. An unknown resistance P is connected in G1 and a standard resistance Q is connected in G2. A jockey (conducting wire) is connected to the terminal E on the central copper strip through a galvanometer (G) and a high resistance (HR). The exact position of jockey on the wire can be read on the scale. A Leclanche cell and a key (K) are connected across the ends of the bridge wire.



The position of the jockey on the wire is adjusted so that the galvanometer shows zero deflection. Let the point be J. The lengths AJ and JB of the bridge wire now replace the resistance R and S of the Wheatstone's bridge.

$$\text{Then } \frac{P}{Q} = \frac{R}{S} = \frac{R'AJ}{R'JB}$$

where  $R'$  is the resistance per unit length of wire

$$\frac{P}{Q} = \frac{AJ}{JB} = \frac{l_1}{l_2}$$

$$P = Q \frac{l_1}{l_2};$$

The bridge wire is soldered at the ends of the copper strips. Due to imperfect contact, some resistance might be introduced at the contact. These are called end resistances. This error can be eliminated, if another set of readings are taken with P and Q interchanged and the average value of P is found.

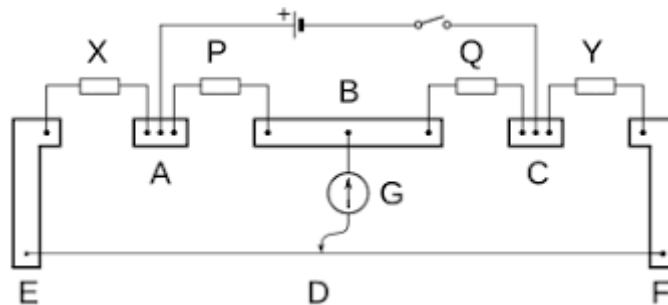
To find the specific resistance of the material of the wire in the coil P, the radius  $r$  and length  $l$  of the wire is measured. The specific resistance or resistivity  $\rho$  can be calculated using the relation Resistance =  $\rho l/A$

By rearranging the above equation, we get  $\rho = \text{Resistance} \times A/l$

If P is the unknown resistance equation becomes,  $\rho = P \times \pi r^2 / l$

### Carey Foster's bridge

The **Carey Foster bridge** is a [bridge circuit](#) used to measure medium resistances, or to measure small differences between two large resistances. It was invented by [Carey Foster](#) as a variant on the [Wheatstone bridge](#). He first described it in his 1872 paper "On a Modified Form of Wheatstone's Bridge, and Methods of Measuring Small Resistances". In the adjacent diagram, X and Y are resistances to be compared. P and Q are nearly equal resistances, forming the other half of the bridge. The bridge wire EF has a jockey contact D placed along it and is slid until the galvanometer G measures zero. The thick-bordered areas are thick copper [busbars](#) of almost zero resistance.



1. Place a known resistance in position Y.
2. Place the unknown resistance in position X.
3. Adjust the contact D along the bridge wire EF so as to null the galvanometer. This position (as a percentage of distance from E to F) is  $l_1$ .
4. Swap X and Y. Adjust D to the new null point. This position is  $l_2$ .
5. If the resistance of the wire per percentage is  $\sigma$ , then the resistance difference is the resistance of the length of bridge wire between  $l_1$  and  $l_2$ :  $X - Y = \sigma (l_2 - l_1)$

To measure a low unknown resistance X, replace Y with a copper busbar that can be assumed to be of zero resistance.

In practical use, when the bridge is unbalanced, the galvanometer is shunted with a low resistance to avoid burning it out. It is only used at full sensitivity when the anticipated measurement is close to the null point.

**To measure  $\sigma$ :** To measure the unit resistance of the bridge wire EF, put a known resistance (e.g., a standard 1 ohm resistance) that is less than that of the wire as X, and a copper busbar of assumed zero resistance as Y.

Theory: Two resistances to be compared, X and Y, are connected in series with the bridge wire. Thus, considered as a Wheatstone bridge, the two resistances are X plus a length of bridge wire, and Y plus the remaining bridge wire. The two remaining arms are the nearly equal resistances P and Q, connected in the inner gaps of the bridge.

Let  $l_1$  be the null point D on the bridge wire EF in percent.  $\alpha$  is the unknown left-side extra resistance EX and  $\beta$  is the unknown right-side extra resistance FY, and  $\sigma$  is the resistance per percent length of the bridge wire:

$$P/Q = X + \sigma(l_1 + \alpha) / y + \sigma(100 - l_1 + \beta)$$

and add 1 to each side:

$$P/Q + 1 = X + Y + \sigma(100 + \alpha + \beta) / y + \sigma(100 - l_1 + \beta)$$

Now swap X and Y.  $l_2$  is the new null point reading in percent:

$$P/Q = Y + \sigma(l_2 + \alpha) / x + \sigma(100 - l_2 + \beta)$$

and add 1 to each side:

$$P/Q + 1 = X + Y + \sigma(100 + \alpha + \beta) / x + \sigma(100 - l_2 + \beta)$$

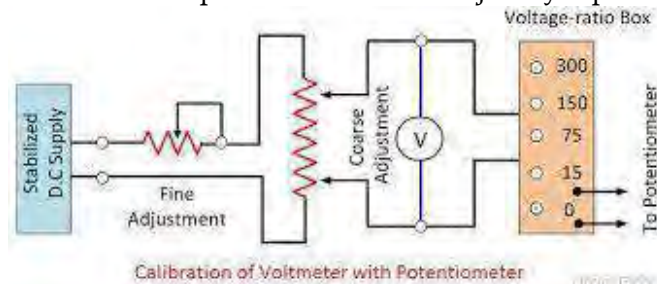
Equations 1 and 2 have the same left-hand side and the same numerator on the right-hand side, meaning the denominator on the right-hand side must also be equal:

$$Y + \sigma(100 - l_1 + \beta) = x + \sigma(100 - l_2 + \beta) ; x - y = \sigma(l_2 - l_1)$$

Thus: the difference between X and Y is the resistance of the bridge wire between  $l_1$  and  $l_2$ . The bridge is most sensitive when P, Q, X and Y are all of comparable magnitude.

## Potentiometer

Potentiometer is used for the accurate measurement of potential differences, current and resistances. It consists of ten meter long uniform wire of manganin or constantan stretched in parallel rows each of 1 meter length, on a wooden board. The two free ends A and B are brought to the same side and fixed to copper strips with binding screws. A meter scale is fixed parallel to the wire. A jockey is provided for making contact.



The principle of the potentiometer is illustrated in Figure 2.27. A steady current is maintained across the wire CD by a battery  $Bt$ . The battery, key and the potentiometer wire are connected in series forms the primary circuit. The positive terminal of a primary cell of emf  $\xi$  is connected to the point C and negative terminal is connected to the jockey through a galvanometer G and a high resistance HR. This forms the secondary circuit.

Let contact be made at any point J on the wire by jockey. If the potential difference across CJ is equal to the emf of the cell  $\xi$  then no current will flow through the galvanometer and it will show zero deflection. CJ is the balancing length  $l$ . The potential difference across CJ is equal to  $Irl$  where  $I$  is the current flowing through the wire and  $r$  is the resistance per unit length of the wire. Hence  $\xi = Irl$ ; Since  $I$  and  $r$  are constants,  $\xi \propto l$ . The emf of the cell is directly proportional to the balancing length.

### Calibration of low range voltmeter:

Observations measured from voltmeter is errorful due to different reasons:

- (i) In built mechanical error,
- (ii) Parallax error,
- (iii) Unsymmetrically in the spring of voltmeter etc. Potentiometer can increase precise value of potential difference. Checking the errors of observations of voltmeter by potentiometer is known as Calibration of Voltmeter. In figure. necessary circuit diagram is shown for calibration of voltmeter. Primary circuit is usually connected as section before. In secondary circuit positive terminal of standard cell is connected at point A (high potential end) while negative terminal is connected with the terminal 1 of two way key. In this circuit other cell  $\epsilon$ , rheostat  $R_{h2}$ , key  $K_2$  and resistance box (R.B.) is connected in series as shown in figure. The high potential end of R.B. is connected at A while lower potential end is connected at the terminal 3 of two way key. The voltmeter which is to be calibrated should be connected across the ends of R.B. The middle terminal of two way key is connected with the one end of galvanometer (G) and other end of (G) is connected with jockey.

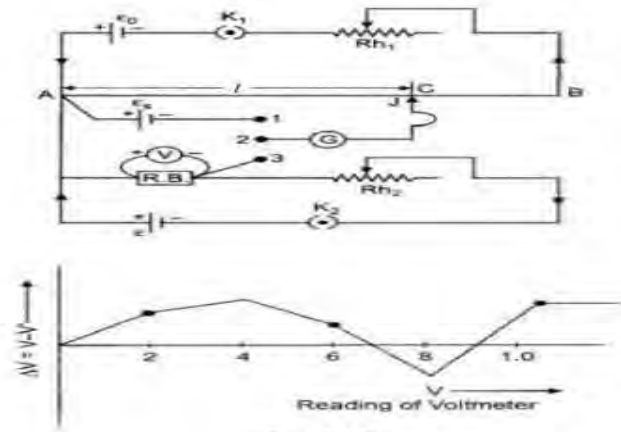


Fig. 6.18

Working : Firstly we completed the primary circuit and insert the plug between terminal 1 and 2 and by the help of jockey finding balancing length  $l_0$  for the standard cell  $\epsilon_s$

$$\epsilon_s = k l_0 \text{ or } k = \epsilon_s / l_0 \dots (1)$$

$k$  is potential gradient.

By the standardisation of cell, then find out  $k$ .

Now eliminate the plug between 1 and 2 and insert it between 2 and 3. Now key  $K_2$  be closed and suitable resistance out from R.B. By the help of  $R_{h2}$  necessary current pass through the resistance and takes the deflection in voltmeter, which is  $V$ . It is errorful observation, corresponding to  $V$ . Find out the real value of potential difference by potentiometer. Find the balancing length  $l_2$ . Now by the principle of potentiometer the real value of potential difference

$$V' = k l_2$$

$$V' = (\epsilon_s / l_0) l_2 \dots (2)$$

Error in the observation of voltmeter

$$\Delta V = V - V'$$

By the help of R.B. and  $R_{h2}$ , observe different values of voltmeter and for it find corresponding values of potential difference by potentiometer. Now taking difference of  $V$  (observations of voltmeter) and  $V'$  (potential difference by potentiometer) we can find error in it

$$\Delta V = V - V'$$

Calibration Curve : A graph is plotted between the readings of voltmeter and the corresponding errors. This graph is called calibration curve of the voltmeter. The graph has been no definite shape. The any graph of calibration is shown in figure.

# NUCLEUS

## Composition of nucleus

Atoms have a nucleus surrounded by electrons. The nucleus contains protons and neutrons. The neutrons are electrically neutral ( $q = 0$ ) and the protons have positive charge ( $q = +e$ ) equal in magnitude of the charge of the electron ( $q = -e$ ). **The number of protons in the nucleus is called the atomic number** and it is denoted by  $Z$ . The number of neutrons in the nucleus is called neutron number ( $N$ ). **The total number of neutrons and protons in the nucleus is called the mass number** and it is denoted by  $A$ . Hence,  $A = Z + N$ .

The two constituents of nucleus namely neutrons and protons, are collectively called nucleons. The mass of a proton is  $1.67 \times 10^{-27}$  kg which is roughly 1836 times the mass of the electron. The mass of a neutron is slightly greater than the mass of the proton and it is equal to  $1.67 \times 10^{-27}$  kg.

To specify the nucleus of any element, we use the following general notation:  ${}^A X_Z$

Where  $X$  is the chemical symbol of the element,  $A$  is the mass number and  $Z$  is the atomic number.

## Nuclear Size

The alpha particle scattering experiment and many other measurements using different methods have been carried out on the nuclei of various atoms. The nuclei are found to be approximately spherical in shape. It is experimentally found that radius of nuclei for  $Z > 10$ , satisfies the following empirical formula  $R = R_0 A^{1/3}$

Here  $A$  is the mass number of the nucleus and the constant  $R_0 = 1.2$  F, where  $1 \text{ F} = 1 \times 10^{-15} \text{ m}$ . The unit fermi (F) is named after Enrico Fermi.

**Nuclear charge: Effective nuclear charge** (often symbolized as  $Z_{\text{eff}}$  or  $Z_{\text{core}}$ ) is the net positive charge experienced by an electron in a polyelectronic atom. The term "effective" is used because the shielding effect of negatively charged electrons prevents higher orbital electrons from experiencing the full nuclear charge of the nucleus due to the repelling effect of inner-layer electrons. The effective nuclear charge experienced by the electron is also called the core charge. It is possible to determine the strength of the nuclear charge by the oxidation number of the atom. Most of the physical and chemical properties of the elements can be explained on the basis of electronic configuration. Consider the behavior of ionization energies in the periodic table. It is known that the magnitude of ionization potential depends upon the following factors:

- (a) Size of atom;
- (b) The nuclear charge;
- (c) The screening effect of the inner shells, and;
- (d) The extent to which the outermost electron penetrates into the charge cloud set up by the inner lying electron.

## Nuclear Spin

It is common practice to represent the total angular momentum of a nucleus by the symbol  $I$  and to call it "nuclear spin". For electrons in atoms we make a clear distinction between electron **spin** and electron orbital angular momentum, and then combine them to give the total angular momentum.

## Liquid drop model

One of the first models which could describe very well the behavior of the nuclear binding energies and therefore of nuclear masses was the mass formula of **von Weizsäcker** (also called the **semi-empirical mass formula – SEMF**), that was published in 1935 by German physicist **Carl Friedrich von Weizsäcker**. This theory is based on the **liquid drop model** proposed by **George Gamow**.

According to this model, the atomic nucleus behaves **like the molecules in a drop** of liquid. But in this nuclear scale, the fluid is made of nucleons (protons and [neutrons](#)), which are held together by **the strong nuclear force**. The liquid drop model of the nucleus takes into account the fact that the nuclear forces on the nucleons on the surface are different from those on nucleons in the interior of the nucleus. The **interior nucleons are completely surrounded** by other attracting nucleons. Here is the analogy with the forces that form a drop of liquid.

In the ground state the nucleus is **spherical**. If the sufficient kinetic or binding energy is added, this spherical nucleus may be distorted into a **dumbbell shape** and then may be splitted into **two fragments**. Since these fragments are a more stable configuration, the splitting of such heavy nuclei must be accompanied by **energy release**. This model does not explain all the properties of the atomic nucleus, but does explain the predicted nuclear binding energies.

### Similarities between liquid drop and nucleus:

The density of the **liquid drop** is independent of its volume, similarly the density of the **nucleus** is independent of its volume, i.e mass number. ... The nuclear force is short range force, similarly as that of **liquid drop** in which intermolecular forces are short range forces.

$$E_B = a_v A - a_s A^{2/3} - a_A \frac{(A-2Z)^2}{A^{1/3}} - a_C \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} + \delta(A, Z)$$

Volume term	Surface term	Asymmetry term	Coulomb term	Pairing term
-------------	--------------	----------------	--------------	--------------

For pairing term:

$$\delta(A, Z) = \begin{cases} +\delta_o & A, Z \text{ even} \\ 0 & A \text{ odd} \\ -\delta_o & A, Z \text{ odd} \end{cases}$$

where  $\delta_o = \frac{a_p}{A^{1/2}}$

Coefficients:

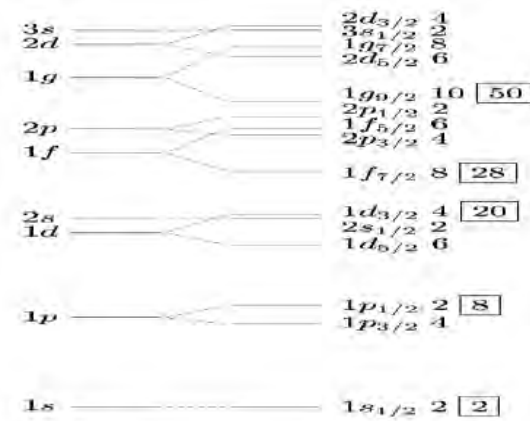
- $a_v = 15.85 \text{ MeV}$
- $a_s = 18.34 \text{ MeV}$
- $a_A = 23.21 \text{ MeV}$
- $a_C = 0.714 \text{ MeV}$
- $a_p = 12.00 \text{ MeV}$

### Shell Model

In nuclear physics and nuclear chemistry, the **nuclear shell model** is a model of the atomic nucleus which uses the Pauli exclusion principle to describe the structure of the nucleus in terms of energy levels.<sup>[1]</sup> The first shell model was proposed by Dmitry Ivanenko (together with E. Gapon) in 1932. The model was developed in 1949 following independent work by several physicists, most notably Eugene Paul Wigner, Maria Goeppert Mayer and J. Hans D. Jensen, who shared the 1963 Nobel Prize in Physics for their contributions.

The shell model is partly analogous to the atomic shell model which describes the arrangement of electrons in an atom, in that a filled shell results in greater stability. When adding nucleons (protons or neutrons) to a nucleus, there are certain points where the binding energy of the next nucleon is significantly less than the last one. This observation, that there are certain magic numbers of nucleons (**2, 8, 20, 28, 50, 82, 126**) which are more tightly bound than the next higher number, is the origin of the shell model.





The shells for protons and for neutrons are independent of each other. Therefore, "magic nuclei" exist in which one nucleon type or the other is at a magic number, and "doubly magic nuclei", where both are. Due to some variations in orbital filling, the upper magic numbers are 126 and, speculatively, 184 for neutrons but only 114 for protons, playing a role in the search for the so-called island of stability. Some semi-magic numbers have been found, notably  $Z = 40$  giving nuclear shell filling for the various elements; 16 may also be a magic number.<sup>[2]</sup>

In order to get these numbers, the nuclear shell model starts from an average potential with a shape something between the square well and the harmonic oscillator. To this potential, a spin orbit term is added. Even so, the total perturbation does not coincide with experiment, and an empirical spin orbit coupling must be added with at least two or three different values of its coupling constant, depending on the nuclei being studied. Nevertheless, the magic numbers of nucleons, as well as other properties, can be arrived at by approximating the model with a three-dimensional harmonic oscillator plus a spin-orbit interaction. A more realistic but also complicated potential is known as Woods–Saxon potential.

### Magic Numbers

Together with the spin-orbit interaction, and for appropriate magnitudes of both effects, one is led to the following qualitative picture: At all levels, the highest  $j$  states have their energies shifted downwards, especially for high  $n$  (where the highest  $j$  is high). This is both due to the negative spin-orbit interaction energy and to the reduction in energy resulting from deforming the potential to a more realistic one. The second-to-highest  $j$  states, on the contrary, have their energy shifted up by the first effect and down by the second effect, leading to a small overall shift. The shifts in the energy of the highest  $j$  states can thus bring the energy of states of one level to be closer to the energy of states of a lower level. The "shells" of the shell model are then no longer identical to the levels denoted by  $n$ , and the magic numbers are changed.

We may then suppose that the highest  $j$  states for  $n = 3$  have an intermediate energy between the average energies of  $n = 2$  and  $n = 3$ , and suppose that the highest  $j$  states for larger  $n$  (at least up to  $n = 7$ ) have an energy closer to the average energy of  $n-1$ . Then we get the following shells (see the figure)

- 1st shell: 2 states ( $n = 0, j = 1/2$ ).
- 2nd shell: 6 states ( $n = 1, j = 1/2$  or  $3/2$ ).
- 3rd shell: 12 states ( $n = 2, j = 1/2, 3/2$  or  $5/2$ ).
- 4th shell: 8 states ( $n = 3, j = 7/2$ ).
- 5th shell: 22 states ( $n = 3, j = 1/2, 3/2$  or  $5/2$ ;  $n = 4, j = 9/2$ ).
- 6th shell: 32 states ( $n = 4, j = 1/2, 3/2, 5/2$  or  $7/2$ ;  $n = 5, j = 11/2$ ).
- 7th shell: 44 states ( $n = 5, j = 1/2, 3/2, 5/2, 7/2$  or  $9/2$ ;  $n = 6, j = 13/2$ ).

- 8th shell: 58 states ( $n = 6, j = 1/2, 3/2, 5/2, 7/2, 9/2$  or  $11/2; n = 7, j = 15/2$ ). and so on.

Note that the numbers of states after the 4th shell are doubled triangular numbers *plus two*. Spin-orbit coupling causes so-called 'intruder levels' to drop down from the next higher shell into the structure of the previous shell. The sizes of the intruders are such that the resulting shell sizes are themselves increased to the very next higher doubled triangular numbers from those of the harmonic oscillator. For example, 1f2p has 20 nucleons, and spin-orbit coupling adds 1g9/2 (10 nucleons) leading to a new shell with 30 nucleons. 1g2d3s has 30 nucleons, and addition of intruder 1h11/2 (12 nucleons) yields a new shell size of 42, and so on.

The magic numbers are then

- 2
- $8=2+6$
- $20=2+6+12$
- $28=2+6+12+8$
- $50=2+6+12+8+22$
- $82=2+6+12+8+22+32$
- $126=2+6+12+8+22+32+44$
- $184=2+6+12+8+22+32+44+58$

and so on. This gives all the observed magic numbers, and also predicts a new one (the so-called *island of stability*) at the value of 184 (for protons, the magic number 126 has not been observed yet, and more complicated theoretical considerations predict the magic number to be 114 instead).

Another way to predict magic (and semi-magic) numbers is by laying out the idealized filling order (with spin-orbit splitting but energy levels not overlapping). For consistency  $s$  is split into  $j = 1/2$  and  $j = -1/2$  components with 2 and 0 members respectively. Taking leftmost and rightmost total counts within sequences marked bounded by / here gives the magic and semi-magic numbers.

- $s(2,0)/p(4,2) > 2,2/6,8$ , so (semi)magic numbers 2,2/6,8
- $d(6,4):s(2,0)/f(8,6):p(4,2) > 14,18:20,20/28,34:38,40$ , so 14,20/28,40
- $g(10,8):d(6,4):s(2,0)/h(12,10):f(8,6):p(4,2) > 50,58,64,68,70,70/82,92,100,106,110,112$ , so 50,70/82,112
- $i(14,12):g(10,8):d(6,4):s(2,0)/j(16,14):h(12,10):f(8,6):p(4,2) > 126,138,148,156,162,166,168,168/184,198,210,220,228,234,238,240$ , so 126,168/184,240

The rightmost predicted magic numbers of each pair within the quartets bisected by / are double tetrahedral numbers from the Pascal Triangle: 2, 8, 20, 40, 70, 112, 168, 240 are  $2 \times 1, 4, 10, 20, 35, 56, 84, 120, \dots$ , and the leftmost members of the pairs differ from the rightmost by double triangular numbers:  $2 - 2 = 0, 8 - 6 = 2, 20 - 14 = 6, 40 - 28 = 12, 70 - 50 = 20, 112 - 82 = 30, 168 - 126 = 42, 240 - 184 = 56$ , where 0, 2, 6, 12, 20, 30, 42, 56, ... are  $2 \times 0, 1, 3, 6, 10, 15, 21, 28, \dots$

### Nuclear Fission

Fission occurs when a neutron slams into a larger atom, forcing it to excite and split into two smaller atoms—also known as fission products. Additional neutrons are also released that can initiate a chain reaction.

When each atom splits, a tremendous amount of energy is released.

Uranium and plutonium are most commonly used for fission reactions in nuclear power reactors because they are easy to initiate and control.

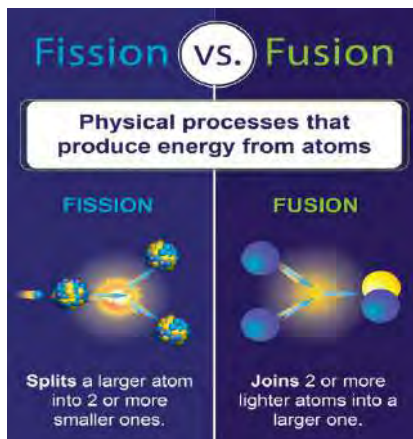
The energy released by fission in these reactors heats water into steam. The steam is used to spin a turbine to produce carbon-free electricity.

## Nuclear Fusion

Fusion occurs when two atoms slam together to form a heavier atom, like when two hydrogen atoms fuse to form one helium atom.

This is the same process that powers the sun and creates huge amounts of energy—several times greater than fission. It also doesn't produce highly radioactive fission products.

Fusion reactions are being studied by scientists, but are difficult to sustain for long periods of time because of the tremendous amount of pressure and temperature needed to join the nuclei together.



**Binding energy**, amount of **energy** required to separate a particle from a system of particles or to disperse all the particles of the system. **Binding energy** is especially applicable to subatomic particles in atomic nuclei, to electrons bound to nuclei in atoms, and to atoms and ions bound together in crystals.

Nuclear binding energy is the energy required to separate an atomic nucleus completely into its constituent protons and neutrons, or, equivalently, the energy that would be liberated by combining individual protons and neutrons into a single nucleus. The hydrogen-2 nucleus, for example, composed of one proton and one neutron, can be separated completely by supplying 2.23 million electron volts (MeV) of energy. Conversely, when a slowly moving neutron and proton combine to form a hydrogen-2 nucleus, 2.23 MeV are liberated in the form of gamma radiation. The total mass of the bound particles is less than the sum of the masses of the separate particles by an amount equivalent (as expressed in Einstein's mass-energy equation) to the binding energy.

## Mass Defect

The actual mass of the atomic nucleus is always less than the mass of protons and neutrons present in the nucleus. When a nucleus is formed, energy is released. This energy is removed in the form of a reduction in total mass. This missing mass is known as the 'mass defect' and it accounts for the energy released.

The mass defect ( $\Delta M$ ) can be calculated by subtracting the original atomic mass ( $M_A$ ) from the sum of the mass of protons ( $m_p = 1.00728$  amu) and neutrons ( $m_n = 1.00867$  amu) present in the nucleus.

**Mass defect formula:**  $\Delta M = (Zm_p + Nm_n) - M_A$

$\Delta M$  – mass defect,  $M_A$  – mass of the nucleus,  $m_p$  – mass of a proton, i.e. 1.00728 amu,  $m_n$  – mass of a neutron, i.e. 1.00867 amu,  $Z$  – number of protons,  $N$  – number of neutrons.

=> கிரீக்கா. . பி அறிதல் :-

ஆம் அந் சாமிய கிண்சிற்துறாக்கள் மடகலிம பயன்படும். கீகலாண நனி சிற்துறாக்கி கிண்கோலபம் மற்தும் கிண்புற்து ஊறுபாடலா கண்க்கல கிரீக்கா. . பி அறிதல் பயன்படுக்தும்படுக்திண. அகல

(i) கிரீக்கா. . பி கிண்கோல அறி

(ii) கிரீக்கா. . பி கிண்புற்து ஊறுபாடக அறி அகலம்

(i) கிரீக்கா. . பி அறிதல் அறி :-

ஆக கிண்சிற்துறாக்கி சிற்துறாக்கல் சாந்தாநாடு சாந்திபயமும் சாந்திசகிண்து கிண்கோலகீகலாக்கி கிண்பயல் கலலல் சாந்தாநாடு.

$\sum I = 0 \dots (1)$

[சா.க.ப] 2-1 ல் காலடியபடி மல கலகீகலாக்கி 0 சாந்தி மனிணியில் சாந்திபயநாக்க கலாக்கலாம்.

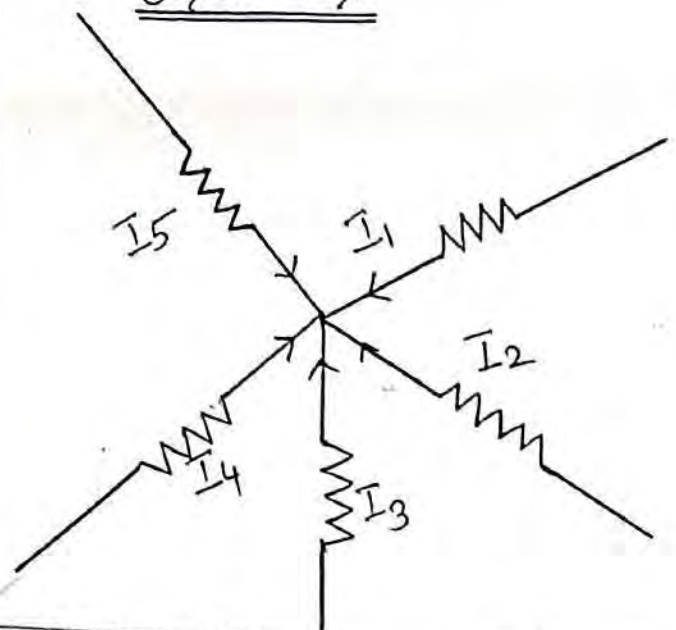
$I_1, I_2, I_3, I_4, I_5$  சாந்தி கிண்கோலகீ - கிண்து சாந்திபயநாக்க கலாக்கலாம்.

$I_1 - I_2 + I_3 - I_4 + I_5 = 0$

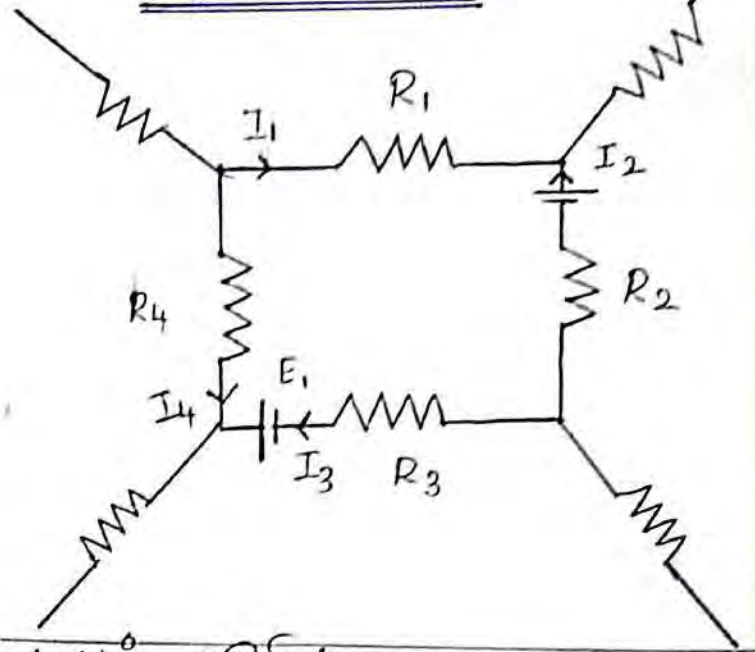
$\therefore I_1 + I_3 + I_5 = I_2 + I_4 \dots (2)$

அறிதல் அறிதலாண்து கிண்சிற்துறாக்கி சாந்திபடி மனிணியிலும் கிண்கலலம் கிண்கீகல அறிதலாண்து சாந்தி சாந்திபயநாக்க அறிதலாண்து கலாக்கலாம்.

முதலி அறிவு.



இரண்டாம் அறிவு.



(ii) கிரீன்சா... பி இரண்டாம் அறிவு:

பெரிந்தகலாநாண சித்திர உணாயம்  
 சூழ்ப்பல பாக்காயி, டீன் தகட, டீன் கலாட்டம்  
 அக்கயவந்தும் வயநகீகன் சிந்யியன் கலகதநாக,  
 அக்க சூழ்ப்பல பாக்காயி உண் டீனியகீ  
 அக்காயி சிந்யியன் கலகதநாககீடு சமமகும்  
 படகீநி காலப்பலகலா ABCDA அக்க சூழ்ப்பல  
 சிந்யிண கடுகலாம். இச்சிந்யி உய்க்கயாக  
 டீனகலாட்டகீகலா கடுகிந் கலாட்டகயாம்,  
 இலகயாக கலகலும் டீனகலாட்டகீகலா  
 கடுகிந் கலாட்டகயாம் கலாட்டகலாம். கலகலும்  
 டீனகலாட்டகீகலா உய்க்கயாக கலகலும் டீனகலாட்டகீ  
 கடுகிந் கலாட்டகயாம், இலகயாக கலகலும்  
 டீனகலாட்டகீகலா உய்க்கய கடுகிந் கலாட்டகயாம்  
 கலாட்டகலாம். கிரீன்சா... பி இரண்டாம் அக்கய  
 படகீநி காலப்பல சிந்யிந் பயணகடுகி

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 + I_3 R_3 - I_4 R_4 = E_1 - E_2 \dots (3)$$

$\Rightarrow$  ജീലസംഭരണ സമസ്യകൾ: -

ജീലസംഭരണ സമസ്യകൾ  $P, Q, R, S$  നെയ്യും

നോക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ  $PL$  നോക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ ഉടക്കി  
 -  $B, D$  നെയ്യു മുറിക്കിട്ടിരിക്കുകയും  
 കിട്ടിയ  $PL$  നോക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ  $A, C$   
 നെയ്യു മുറിക്കിട്ടിരിക്കുകയും  $PL$  നോക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ ഉടക്കി  
 -  $B, D$  നെയ്യു മുറിക്കിട്ടിരിക്കുകയും  $PL$  നോക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ ഉടക്കി

കിട്ടിയ  $PL$  നോക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ  $P, A$  ഉടക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ  $P, A$   
 $i_1$  നെയ്യു കിട്ടിയ  $PL$  നോക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ  $P$  ഉടക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ  $i_2$  നെയ്യു  
 കിട്ടിയ  $PL$  നോക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ  $R$  ഉടക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ  $R$  ഉടക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ  
 $i_3$  കിട്ടിയ  $PL$  നോക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ  $Q$  ഉടക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ  $B$  കിട്ടിയ  $PL$  നോക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ  $C$  കിട്ടിയ  $PL$  നോക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ  
 -  $i_4$  കിട്ടിയ  $PL$  നോക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ  $S$  ഉടക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ  $D$  കിട്ടിയ  $PL$  നോക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ  $C$  കിട്ടിയ  $PL$  നോക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ

കിട്ടിയ  $B$  നെയ്യു

$$i_1 - i_9 - i_3 = 0 \dots (1)$$

കിട്ടിയ  $D$  നെയ്യു

$$i_2 + i_9 - i_4 = 0 \dots (2)$$

$$\therefore i_9 = 0 \dots (3)$$

കിട്ടിയ  $PL$  നോക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ  $(3)$  ഉടക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ  $(1), (2)$  ഉടക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ  $i_9 = 0$

കിട്ടിയ  $i_1 - i_3 = 0$  (1)  $i_1 = i_3 \dots (4)$

$i_2 - i_4 = 0$  (2)  $i_2 = i_4 \dots (5)$

$ABDA$  നെയ്യു കൃത്യങ്ങൾ  $PL$  നോക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ  $i_1 P + i_9 G - i_2 R = 0$

$$i_1 P + i_9 G - i_2 R = 0 \dots (6)$$

$BCDB$  നെയ്യു കൃത്യങ്ങൾ  $PL$  നോക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ  $i_3 Q - i_4 S - i_9 G = 0$

$$i_3 Q - i_4 S - i_9 G = 0 \dots (7)$$

കിട്ടിയ  $PL$  നോക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ  $(6), (7)$  ഉടക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ  $i_9 = 0$  നെയ്യു കൃത്യങ്ങൾ  $PL$  നോക്കി കിട്ടിയ കൃത്യങ്ങൾ

കിട്ടിയ  $i_1 P = i_2 R \dots (8)$

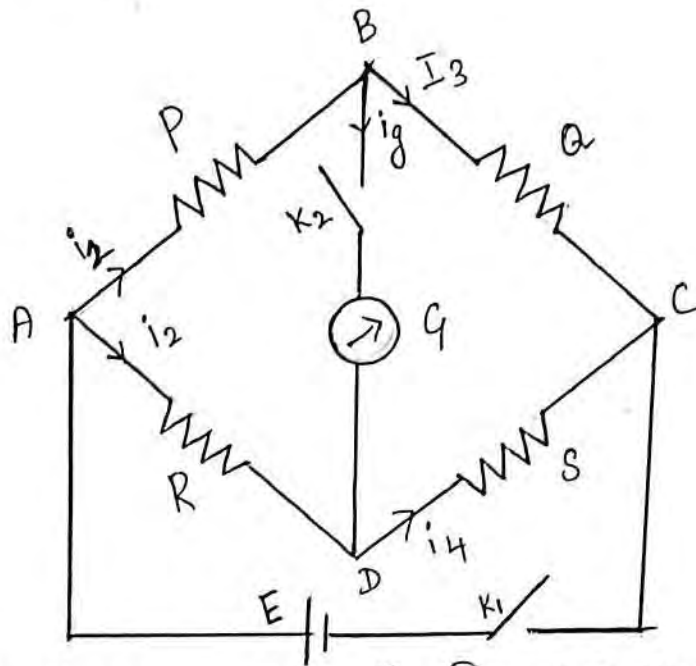
$i_3 Q = i_4 S \dots (9)$

சமன்பாடு (8), (9) அங்கீகரிக்கப்பட்டவை

$$\frac{I_1 P}{I_3 Q} = \frac{I_2 R}{I_4 S}$$

$$I_1 = I_3 ; I_2 = I_4$$

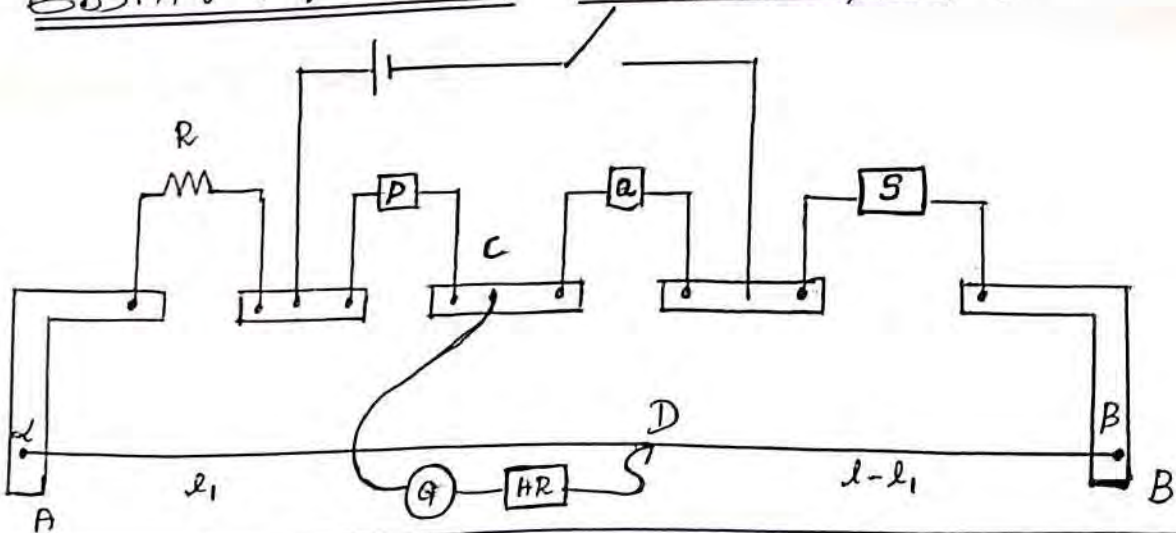
$$\therefore \frac{P}{Q} = \frac{R}{S} \dots (10)$$



கிடைசு சமன்பாடு, சமன்பாடு நினைவு வைத்து,

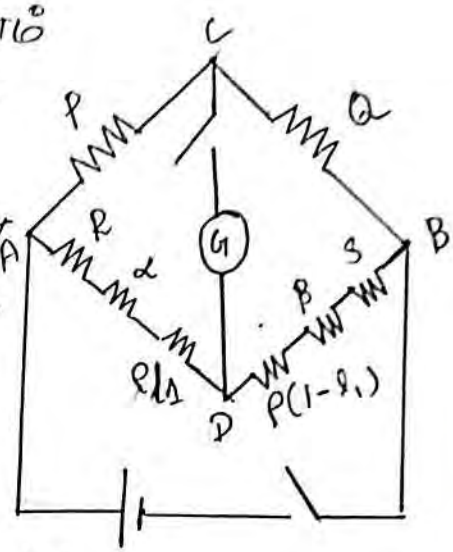
எனவே மாற்றி சமன்பாடு அங்கீகரிக்கப்பட்டவை அளவிடும் சமன்பாடு காட்டுகின்றன அதுபோலவே காண்போம்.

⇒ எனவே மாற்றி சமன்பாடு சமன்பாடு :-



ഒരു . . . പാതികൾ ശ്രദ്ധിക്കുക, നിലനിർത്തി ശ്രദ്ധിക്കുക കഴിഞ്ഞു  
 ക്രമീകൃത അന്വേഷണമാണ്. ഒരു അന്വേഷണ ഉപാധി  
 ആലോചന ചെയ്യാൻ ഒരു ഉപാധി ഉപയോഗിച്ച്,  
 ചിത്രീകൃത ശ്രദ്ധിക്കുക ഒരു ശ്രദ്ധിക്കുക ക്രമീകൃത  
 ഉപാധി ശ്രദ്ധിക്കുക ഉപാധി ഉപയോഗിച്ച് അന്വേഷണം.

A, B കമ്പി പ്രയോജനത്തിൽ ശ്രദ്ധിക്കുക  
 ശ്രദ്ധിക്കുക  $\alpha, \beta$  കമ്പി കമ്പി ഉപാധി  
 കമ്പിയിൽ ശ്രദ്ധിക്കുക ശ്രദ്ധിക്കുക  $p$  കമ്പി  
 കമ്പി ഉപാധി. കമ്പി, ഉപാധി  
 കമ്പിയിൽ ശ്രദ്ധിക്കുക  $R, S$  കമ്പി  
 - കമ്പി കമ്പിയിൽ  $L_1$  കമ്പി  
 - കമ്പി ഉപാധി.



$$\frac{P}{Q} = \frac{R + \alpha + L_1 P}{S + \beta + (1 - L_1) P} \dots (1)$$

$$\frac{P}{Q} = \frac{S + \alpha + L_2 P}{R + \beta + (1 - L_2) P} \dots (2)$$

ശ്രദ്ധിക്കുക (1), (2)

$$\frac{R + \alpha + L_1 P}{S + \beta + (1 - L_1) P} = \frac{S + \alpha + L_2 P}{R + \beta + (1 - L_2) P} \dots (3)$$

കമ്പി കമ്പിയിൽ 1 കമ്പി കമ്പി

$$\frac{R + \alpha + L_1 P + S + \beta + (1 - L_1) P}{S + \beta + (1 - L_1) P} = \frac{S + \alpha + L_2 P + R + \beta + (1 - L_2) P}{R + \beta + (1 - L_2) P}$$

$$\therefore \frac{R + S + \alpha + \beta + P}{S + \beta + (1 - L_1) P} = \frac{R + S + \alpha + \beta + P}{R + \beta + (1 - L_2) P} \dots (4)$$



$$\therefore S + P(1 - L_1)P = R + P(1 - L_2)P$$

$$\therefore S - L_1 P = R - L_2 P$$

$$\therefore R - S = P(L_2 - L_1)$$

$$\therefore R = S + P(L_2 - L_1) \dots (5)$$

P சண்பீதலே : மூலக் கட்டுப்பாட்டின் மூலமாக பணம், மீள்கை  
 R க்குப் பின்னர் இது காலவாழ்வியல் மூல மதிப்பை  
 கருவியை இணைக்க வேண்டும்.

$$R = S + P(L_2' - L_1')$$

$$\text{இங்கு } R = 0$$

$$\therefore P = \frac{S}{(L_1' - L_2')} \dots (6)$$

இம்மதிப்பினை சமன்பாடு (5)ல் பயன்படுத்தி,  
 கட்டியின் மீள்கை R சண்பீதலாம்.

⇒ அணுகீகம் :-

α - சூதின் சீர்தன்மை. உதாரணமாக இங்கு நல்லாங்கு

- நலின் அணு, மைய உரிமை மீறல்கள் மீள்கை மீள்கை  
 மீள்கை மீள்கை ∴ உபரிக்க சீர்தன்மை மீள்கை. இவை  
 அணுகீகம் மீள்கை அணுகீகம்.

489 மீள்கை மீள்கை =  $1.67261 \times 10^{-27}$  க.க

நியூட்ரான் மீள்கை =  $1.67492 \times 10^{-27}$  க.க

→ 489 மீள்கை மீள்கை மீள்கை மீள்கை மீள்கை மீள்கை

→ நியூட்ரான் மீள்கை மீள்கை மீள்கை மீள்கை.

அணுக்கரு அளவு :-

நீதர் . ∴ உயர்ந்த α-கதிர்வீச்சு சோதனையின்மூலம் அணுவின் நிறை குழுவையும் சூடு தூய மாதிரியின் அடர்த்தியுள்ளதாய் எண்பது எதிரியவற்றை. உட்பகுதியை அணுக்கரு எண்பர்.

அணுக்கருவின் உறங்கினை பல கதிர்வீச்சு முறையிலும், முறைமுறைகள் முறையிலும் காணக்கூடியவையே

$$R = r_0 A^{1/3}$$

உங்கு  $r_0$  . சூடு மாந்தலியாகும்

$r_0$  னி சராசரிமதிப்பு  $r_0 = 1.4 \times 10^{-15}$  மீ

∴  $R = 1.4 \times 10^{-15} \times A^{1/3}$  மீ

கார்பனுக்கே  $A = 12$

∴  $R = 1.4 \times 10^{-15} \times (12)^{1/3} = 3.21 \times 10^{-15}$  மீ

நாட்ரஜுக்கே  $A = 14$

∴  $R = 1.4 \times 10^{-15} \times (14)^{1/3} = 3.97 \times 10^{-15}$  மீ

யூரேனியத்திற்கு  $A = 238$

∴  $R = 1.4 \times 10^{-15} \times (238)^{1/3} = 8.60 \times 10^{-15}$  மீ

அணுக்கரு மீள்கூலம் :-

அணுக்கருவின் டிரோன்கள் அமைந்திருப்ப - நான் அணுக்கரு மீள்கூலம் உபநிர்வகித்தது.

அணுக்கருவின் உள்ள டிரோன்களின் எண்ணிக்கை Z ஆ அணுக்கரு மீள்கூலம் என் அமைப்பார்.

X கதிர், α - கதிர் கதிர்வீச்சு சோதனையின்மூலம்

- நம்முடைய அணுக்கரு மீள்கூலம் கதிர், அணு நிறையின் மதிப்பின் மாதிரி எண்பது எதிரியவற்றை

உயர்நீதிமன்றம் உத்தரவிட்டிருக்கிறது. கருவியில்  
 உயர்நீதிமன்றம் உத்தரவிட்டிருக்கிறது. கருவியில்  
 உயர்நீதிமன்றம் உத்தரவிட்டிருக்கிறது. கருவியில்

7. => அணுக்கரு நிறை :-

\* அணுக்கருவின்  $Z$  ப்ரோட்டான்களும்,  $N$  நியூட்ரான்களும்  
 அடங்கியிருக்கின்றன. அணுக்கரு நிறை  $Z$  அணுக்கரு நிறை  
 அணுக்கரு நிறை  $Z$  அணுக்கரு நிறை  $Z$  அணுக்கரு நிறை

\* அணுக்கரு நிறை அணு நிறை அணு நிறை அணு நிறை  
 அணு நிறை அணு நிறை அணு நிறை அணு நிறை

8. அணுக்கருவின் எந்திரியம் :-

\* அணுக்கருவின் எந்திரியம் அணு நிறை அணு நிறை  
 அணு நிறை அணு நிறை அணு நிறை அணு நிறை

- (i) அணுக்கரு நிறை
- (ii) அணுக்கரு அணுக்கரு அணுக்கரு

அணுகீகக் கந்திரித்தி 1/2 அகலம்.

\* பெர்ணா - இரண்டை அணுகீகருகிணி கந்திரித்தி 1/2, 3/2, 5/2 ... போகிற அறை முழு எண்ணி லக்ஷியாகி வயநாக்கிணா.

\* பெர்ணா - பெர்ணா அணுகீகருகிணி 1, 2, 3 ... எண்ணி முழு எண்ணி லக்ஷியாகி வயநாக்கிணா. குறைவு போகணா முழு கந்திரித்தியாகலா.

1. => கீரவந் குனி லாகிரி :-

கீரவந் குனி லாகிரியை முத்திரிமுத்திரி 1936ல் போளி எண்ணிவளி சாடிக்காடலாகாபி. பிணியி குறிவகையிணா 1939 -ல் போலும், விளகும் உருவாக்கிவாக்கி. அணுகீகரு கந்திரி கீரவந் குனி போகிறகாடும்.

(i) அணுகீகருகி வயநாக்கி குறுக்கிமுடியாகுது. எண்ணி அணுகீகருகிணினி அபரித்தி சவகாடும்.

(ii) அணுகீகருகிணினி விதைகாக்கி குறுவகையிணும் (a) 4 இரண்டலாக்கிவகையிணும் விதைகாக்கி (b) வகையிணும் அணுகீகரு கா. பி. பி. விதை.

=> கீரவந் குனிக்கும், அணுகீகருகிணினும் உண்ணி பெர்ணாவகையிணும்

(i) இரண்டலும் போகாக்கி வகையிணும் தகாணிடது.

(ii) இரண்டலும் அபரித்தி பருணாக்கி கா. பி. கந்திரி.

அணுகீகருகிணினி அபரித்தி அணுகீகருகிணினி கா. பி. கந்திரி.

அண்ணா கீரவந் குனி அபரித்தி அண்ணி வகையிணும் கா. பி. கந்திரி. (iii) கீரவந் குனிணினி முகக்கிணினி குறைவு தகாணிடது. இது நியூகிலியாண்காடும் உண்ணிவகையிணும்.

(iv) கீரவந் குனிணினி பரபிபி பரபி இயுவிதை தகையிணும் போகிற அணுகீகருகிணினி பரபிபி பிணினிணினி கந்திரி தகையிணும் கந்திரி.

(v) கீரவந் குறிவகையிணும், அணுகீகரு கந்திரி - குறைவு உருவகந்திரி குறைவுவகையிணும்.

புணையிழ அங்குறல் :-

\* புணையிழ அங்குறல் சமநிலை நிலையல் அணுணல் அணுகீகரு கோணாநசீ சமசீசீர் தொண்குனிதாது. யுரு அணுகீகரு யுரு துநாருலல் இலாநாழமீயோது, மலாநீது அங்குறல் அநீதமணாலை, நியூகீக்யானீகடக்டைய உணீற மணையிழ அங்குறல் பநீரீய தொண்கீதாது.

\* சில நெறங்குறல் டுறாடலானீகடக்டைய உணீற கூயம் உலகீகயிசை கோணாநசீ சமசீசீர் துனீதமணய மலாநீற, அநீதமண அணுணல் தொண்குறல் அணுகீகருகீ -கணீன் உலகயம் சீர் குணகீதாது. இசீகருணய தாருணமலக இநீறண உலகயம் பரபுணைகணீ கோணீயுக்கணீற.

\* அணுகீகரு இரணீடாநச உடைகீதாது. உடைநீது துநாநீலல் மீணீடுமீ கோணாநசீ சமசீசீர் தொண்குறல் நுணகீதணீதமணய அடைகீதாது.

\* இரணீடயு  $Z^2/A > 42.2$  தொண்குறல் அணுகீகருகீகணீ நுணகீதகீக துடயாது. ணாலு இரணீடகீகணீ உடைகீதாது.

$\Rightarrow 92U^{238}$  கீக  $Z^2/A$  ணீ மகீயிழ 35.5 ணாலு இரணீடாந உடைகீதாது.

கூடுமலகீரி :-

அணு மலகீரணீகணீ உலகயம், அணுகீகருகீகணீ உணீற நியூடரணீகருமீ, டுறாடலானீகருமீ கூடுகணீன் அமைகீகருகீகணீ. கூடுகணீன் அமைபிழ மலகீரிடயல் துலகீகீகணீ கீகீதாது அடயுடயாநகீ தொண்குறல்.

\* ஆகற்றல் மலலநீகணா படிபடியாந நிரப்புவதால், உடலு அமைப்பில் சூகன்கள் குவிக்கின்றன.

\* சூகன்களின் முந்முப்பிதயநிந நுண்கள் அவநீந்வி தெய்வநிநி தெயல் உணா ஆகற்றல் தநாண்கு உவநுப்பநிநி - தப்பநகநுது. அநாவது தெய்வநாந ஆகற்றல் மலலநி - தநகம் தெய குநிப்பில ஆகற்றல் தநாண்குநகநகம் முந்முப்பிதயநிந சூகன்கள் தமாத்ந ஆகற்றல், குறைவான மலலநீந் அமைநுது.

\* அநாவது, அநிகமண மணாபிபாநீந், அணாந தெய்வநாந மலலநீந்வுபம் தநிசுதநி  $\pm 1/2$  தநாண்கு சூகன் தெய்வநாந் குநகநி முப்யம். குநகன் முபுவஜம் சூகன்களால் நிரப்பிபபல நுணயி, குறைவு முந்முப்பிதயநிந குந எண்பர். தெய சூகன் தெய மலலநீந்நுந் உவநு மலலநீந்நுந் தெய்வம்கபாது ஆகற்றல் குறைவாகம்.

\* அணுவணத் தெயி மாநிபயால் உணநயநுநிநது. குபாணிநு, தநிவும் குவாண்கம் எண்கணா உணநயநுநிந - வாம். குந மாநி அணுக்கநுணத் குகாண ஆநிதம், தநாநிந் தநிபிபநுணத் குபாணிநுவநிநிநு. தநயாணு உணகி - கம் தநகநுது. தநாநமலலநீந்நி குநகை - குநகை அணுக்கநுநிநிநி அணுக்கநு தநிசுதநிந்யம், தநாநிந் தநிபிபந் தநுணயம் சிப்யாகம். தெய்வநிபகை எண் தநாண்கு அணுக்கநுநிநிநிநி அணுக்கநுணத் சிபுநிநி அநா முபு எண்ணாகம்

## UNIT-II

### Opto Electronic devices

Photo Electric Effect-Laws of Photoelectric Emission-Photoconduction-Photodiode-Phototransistor-LED-Construction-working-Solar cell-Working-characteristics-Uses

#### INTRODUCTION

In this chapter, we introduce the underlying theory and operating principles of semiconductor optoelectronic devices. There exist today a plethora of optoelectronic devices that are used in a multitude of applications. These devices include sources such as light-emitting diodes (LEDs) and laser diodes, photo detectors, optical amplifiers, and optical modulators. With such devices, one can generate, modulate, detect, and switch photons in an analogous way to electrons in an electrical circuit. We begin this chapter by considering the underlying physical interactions between electrons and photons that occur in semiconductors and how they may be harnessed to produce a wide variety of devices. At the time of writing, optoelectronic devices have found their way into many different aspects of modern life whether it be the ubiquitous indicator LEDs on hi-fi systems, televisions, computers, solid-state lighting and countless other items or in the bar-code scanning systems at the supermarket, compact disk (CD), digital versatile disk (DVD) and blue-ray systems at home, the laser printer in the office, or when using a telephone or watching cable television. Over the past decade or so there has been an information explosion whereby information from all over the world can be quickly accessed by anyone with an Internet-enabled

device. In all of these applications, it is a semiconductor-based optoelectronic device that forms an essential part of the system. One of the major advantages of semiconductor devices is their small size. Several thousands such devices can be made from a single wafer. Thus, even when packaged, these form very compact sources of coherent radiation. Other types of laser, such as the gas laser, simply cannot be compared with the semiconductor laser in terms of size, modulation rates, flexibility of application, and power consumption. Furthermore, semiconductor devices can be tailored to meet the exacting requirements of an application by simply altering the composition of the various layers forming the structure. Of the uses of semiconductor devices outlined above, their use in telecommunications stands out as having the largest impact on modern life. Digital-based data transmission allows information to be transmitted over large distances with a much lower degradation in signal quality compared with older, analog-based systems. Optical telecommunications are ideal for use in digital systems, enabling data transmission rates well in excess of 10 G bit using short optical pulses of  $<100$  ps in duration. Even at this exceptionally fast rate of data transmission, bit error rates of better than 1 in every  $10^9$  bits can be routinely achieved. Such capabilities are a direct consequence of significant research and development work that has gone into producing semi-conductor devices for the emission and detection of light.

### **History of the Photoelectric Effect**

The photoelectric effect was first introduced by Wilhelm Ludwig Franz Hallwachs in the year 1887 and the experimental verification was done by Heinrich Rudolf Hertz. They observed that when a surface is exposed to electromagnetic radiation at a higher threshold frequency, the radiation is absorbed and the electrons are emitted. Today, we study photoelectric effect as a



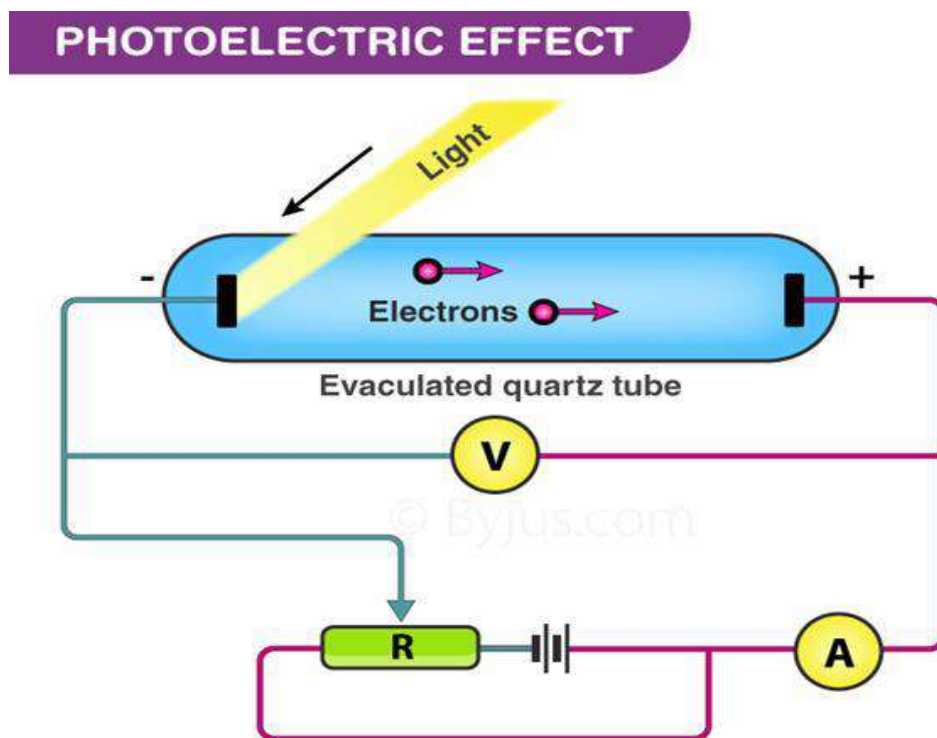
phenomenon which involves a material absorbing electromagnetic radiation and releasing electrically charged particles. To be more precise, light incident on the surface of a metal in the photoelectric effect causes electrons to be ejected. The electron ejected due to the photoelectric effect is called a photoelectron and is denoted by  $e^-$ . The current produced as a result of the ejected electrons is called photoelectric current. The photoelectric effect is the process that involves the ejection or release of electrons from the surface of materials (generally a metal) when light falls on them. The photoelectric effect is an important concept that enables us to clearly understand the quantum nature of light and electrons.

According to Einstein, each photon of energy  $E$  is

$$E = h\nu, \text{ Where } E = \text{Energy of photon in joule } h = \text{planks constant } (6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s})$$

$\nu$  = frequency of photon in Hz.

### Experimental Study of Photoelectric Effect



The given set up D experiment is used to study the photoelectric effect experimentally. In an evacuated glass tube, two zinc plates C and D are enclosed. Plate C acts as anode and D acts as a photosensitive plate. Two plates are connected to a battery B and ammeter A. If the radiation is incident on the plate

D through a quartz window W electrons are ejected out of the plate and current flows in the circuit this is known as photocurrent. Plate C can be maintained at desired potential (+ve or – ve) with respect to plate D.

### **Characteristics of Photoelectric Effect**

The threshold frequency varies with material; it is different for different materials. The photoelectric current is directly proportional to the light intensity. The kinetic energy of the photoelectrons is directly proportional to the light frequency. The stopping potential is directly proportional to the frequency and the process is instantaneous.

### **Applications of Photoelectric Effect**

- Used to generate electricity in Solar Panels. These panels contain metal combinations that allow electricity generation from a wide range of wavelengths.
- **Motion and Position Sensors:** In this case, a photoelectric material is placed in front of a UV or IR LED. When an object is placed in between the Light-emitting diode (LED) and sensor, light is cut off and the electronic circuit registers a change in potential difference
- Lighting sensors such as the ones used in smartphones enable automatic adjustment of screen brightness according to the lighting. This is because the amount of current generated via the photoelectric effect is dependent on the intensity of light hitting the sensor.
- Digital cameras can detect and record light because they have photoelectric sensors that respond to different colors of light.
- **X-Ray Photoelectron Spectroscopy (XPS):** This technique uses x-rays to irradiate a surface and measure the kinetic energies of the emitted electrons. Important aspects of the chemistry of a surface can be obtained such as elemental composition, chemical composition, the empirical formula of compounds and chemical state.
- Photoelectric cells are used in burglar alarms.

## Photoelectric Emission

When the beam of the light enlightens the surface of the metals like sodium, potassium, caesium and rubidium then their electrons start emitting. The phenomenon of emission of electrons is known as the photoelectric emission.

## Laws of Photoelectric Emission

The emission of electrons from the surface of the metal can only be done when the sufficient amount of energy incident on their surface.

The number of electrons emitted per second is directly proportional to the amount of light incident on the surface.

The energy of the emitted electrons is free from the amount of the photons incident on the surface, and it depends on the frequency of the light flux.

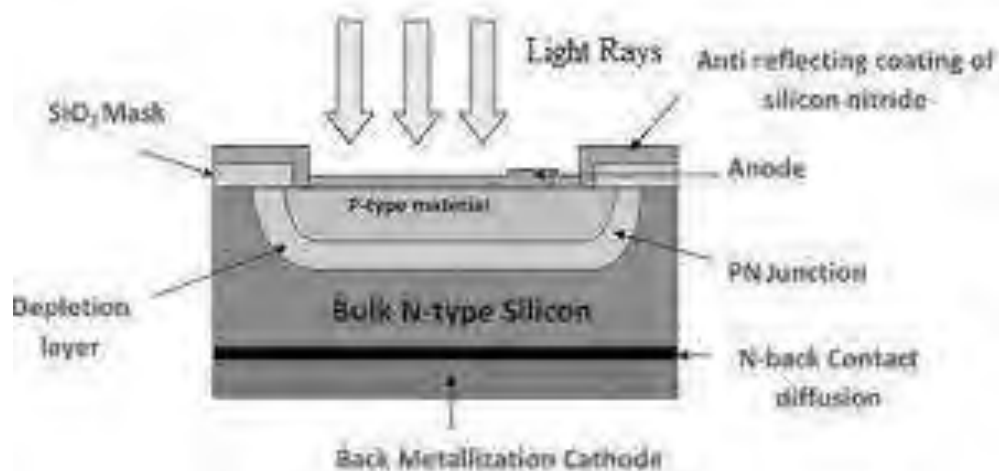
## Photoconduction

- **Photoconductivity** is an optical and electrical phenomenon in which a material becomes more electrically conductive due to the absorption of electromagnetic radiation such as visible light, ultraviolet light, infrared light, or gamma radiation.
- When light is absorbed by a material such as a semiconductor, the number of free electrons and electron holes increases and raises its electrical conductivity. To cause excitation, the light that strikes the semiconductor must have enough energy to raise electrons across the band gap, or to excite the impurities within the band gap. When a bias voltage and a load resistor are used in series with the semiconductor, a voltage drop across the load resistors can be measured when the change in electrical conductivity of the material varies the current through the circuit.

## **Photodiode**

A photodiode is a semiconductor device that converts light into an electrical current. The current is generated when photons are absorbed in the photodiode. Photodiodes may contain optical filters, built-in lenses, and may have large or small surface areas. Photodiodes usually have a slower response time as their surface area increases. The common, traditional solar cell used to generate electric solar power is a large area photodiode. Photodiodes are similar to regular semiconductor diodes except that they may be either exposed (to detect vacuum UV or X-rays) or packaged with a window or optical fiber connection to allow light to reach the sensitive part of the device. Many diodes designed for use specially as a photodiode use a PIN junction rather than a p–n junction, to increase the speed of response. A photodiode is designed to operate in reverse bias. A photodiode is a PN-junction diode that consumes light energy to produce an electric current. Sometimes it is also called a photo-detector, a light detector, and photo-sensor. These diodes are particularly designed to work in reverse bias conditions, it means that the P-side of the photodiode is associated with the negative terminal of the battery, and the n-side is connected to the positive terminal of the battery. This diode is very complex to light so when light falls on the diode it easily changes light into an electric current. The solar cell is also branded as a large-area photodiode because it converts solar energy into electric energy. Though, solar cell works only in bright light.

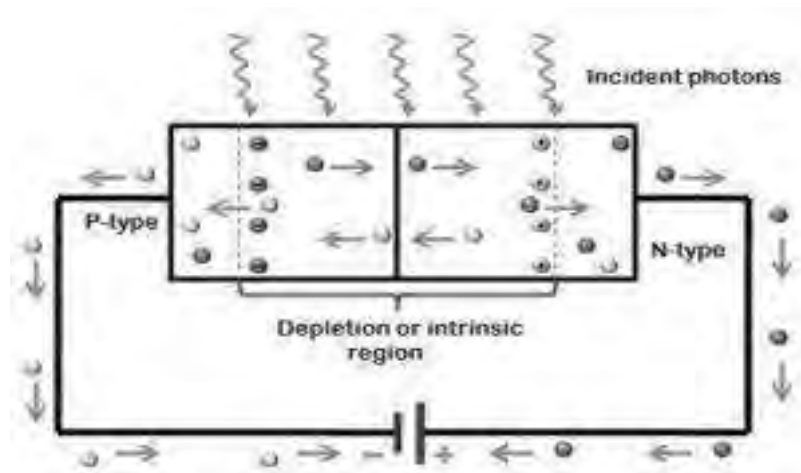
## **Construction and working process**



A photodiode is one type of light detector, used to convert the light into current or voltage based on the mode of operation of the device. It comprises optical filters, built-in lenses, and also surface areas. These diodes have a slow response time when the surface area of the photodiode increases. Photodiodes are alike to regular semiconductor diodes, but that they may be either visible to let light reach the delicate part of the device. Several diodes intended for use exactly as a photodiode will also use a PIN junction somewhat than the usual PN junction.

Some photodiodes will look like a light-emitting diode. They have two terminals coming from the end. The smaller end of the diode is the cathode terminal, while the longer end of the diode is the anode terminal. See the following schematic diagram for the anode and cathode sides. Under the forward bias condition, the conventional current will flow from the anode to the cathode, following the arrow in the diode symbol. Photocurrent flows in the reverse direction. The development of a P+ diffusion layer can be done over the heavily doped N-type epitaxial layer. The

contacts are designed with metals to make two terminals like anode and cathode. The front region of the diode can be separated into two types like active & non-active surfaces. The designing of the non-active surface can be done with silicon dioxide ( $\text{SiO}_2$ ). On an active surface, the light rays can strike over it whereas, on a non-active surface, the light rays cannot strike. & the active surface can be covered through the material of anti-reflection so that the energy of light cannot lose and the highest of it can be changed into the current. The working principle of a photodiode is, when a photon of ample energy strikes the diode, it makes a couple of an electron-hole. This mechanism is also called the inner photoelectric effect. If the absorption arises in the depletion region junction, then the carriers are removed from the junction by the inbuilt electric field of the depletion region.

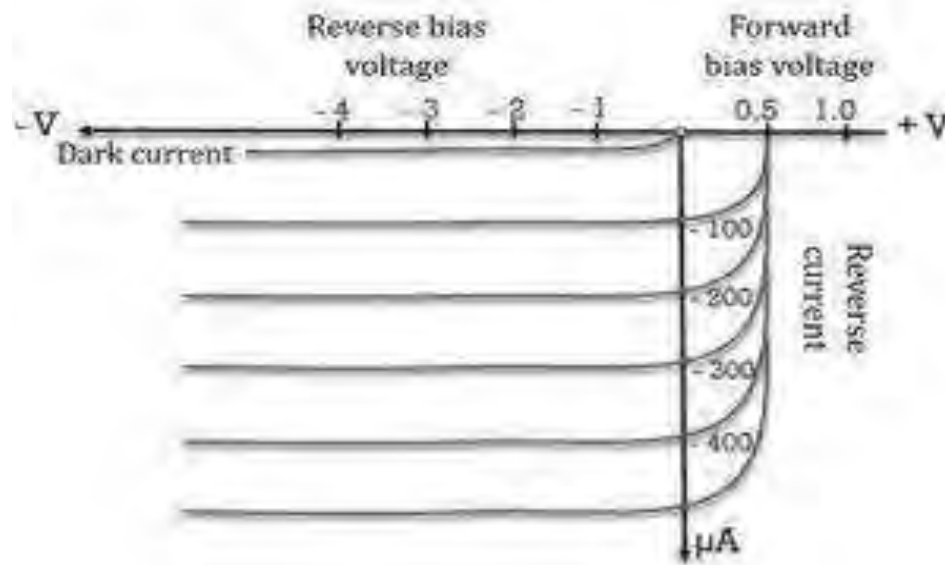


Therefore, holes in the region move toward the anode, and electrons move toward the cathode, and a photocurrent will be generated. The entire current through the diode is the sum of the absence of light and the photocurrent. So the absent current must be reduced to maximize the

sensitivity of the device. The photodiode operates in the mode of photoconductive. When the diode is connected in reverse bias, then the depletion layer width can be increased. So this will diminish the capacitance of the junction & the response time. In fact, this biasing will cause quicker response times for the diode. So the relation between photocurrent & illuminance is linearly proportional.

### V-I Characteristics of Photodiode

A photodiode continually operates in a reverse bias mode. The characteristics of the photodiode are shown clearly in the following figure that the photocurrent is nearly independent of reverse bias voltage which is applied. For zero luminance, the photocurrent is almost zero excluding for small dark current.



It is of the order of nano amperes. As optical power rises the photocurrent also rises linearly. The max photocurrent is incomplete by the power

dissipation of the photodiode. Thus, this is all about the photodiode working principle, characteristics, and applications. Optoelectronic devices like Photodiodes are available in different types which are used in almost all electronic devices. These diodes are used with IR light sources such as neon, laser LED & fluorescent. As compared with other light detection diodes, these diodes are not expensive.

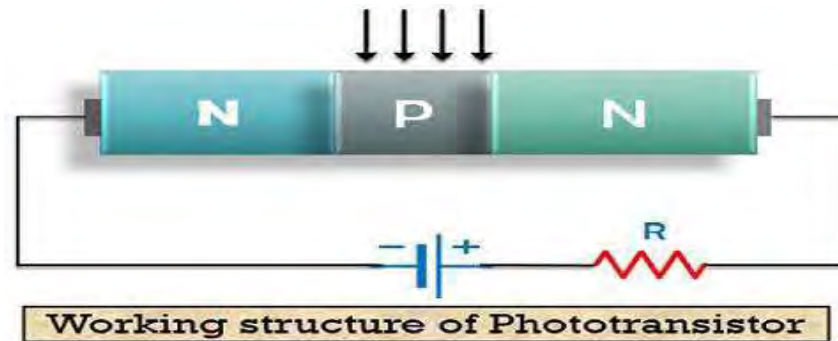
### **Phototransistor**

A Phototransistor is a device that has the ability to detect the level of the incident radiation and accordingly change the flow of electric current between emitter and collector terminal. It is a 3-layer semiconductor device that consists of a **light sensitive base region**. It is basically a transistor whose action depends on the application of light. Hence named phototransistor.

### **Construction and working of Phototransistor**

The operation of a phototransistor depends on the intensity of radiation falling at its base region. Its working is almost similar to a normal transistor, however; the variation lies in the input current that drives the Circuit. And in the case of a phototransistor, the incident light generates driving current.



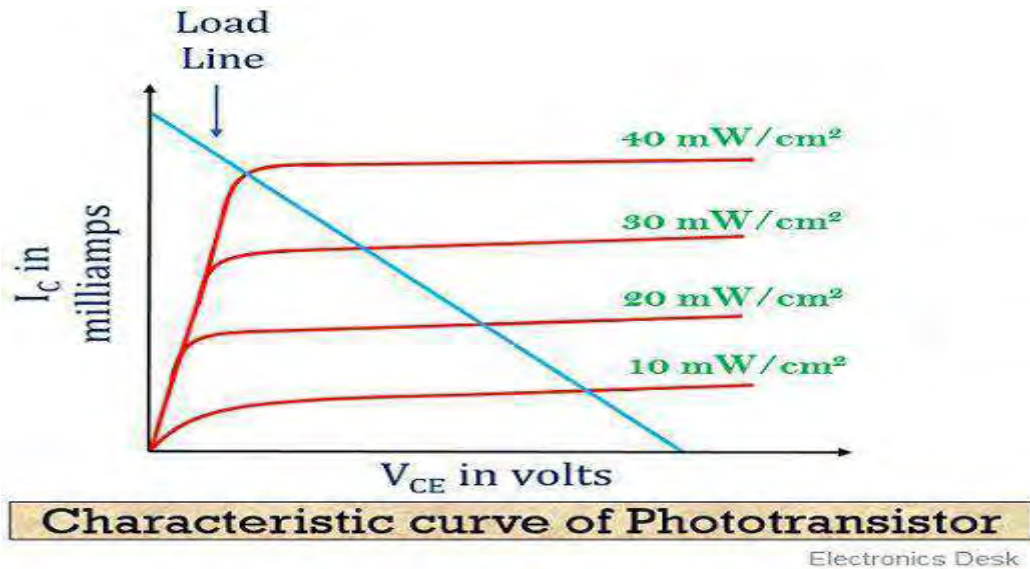


In the circuit arrangement, we can clearly see that the base region is kept unconnected with the external supply voltage and is used as the region for radiation incidence. Only the collector region is connected to the positive side of the supply provided along with emitter which is connected to the negative side. However, the output is taken at the emitter terminal of the transistor.

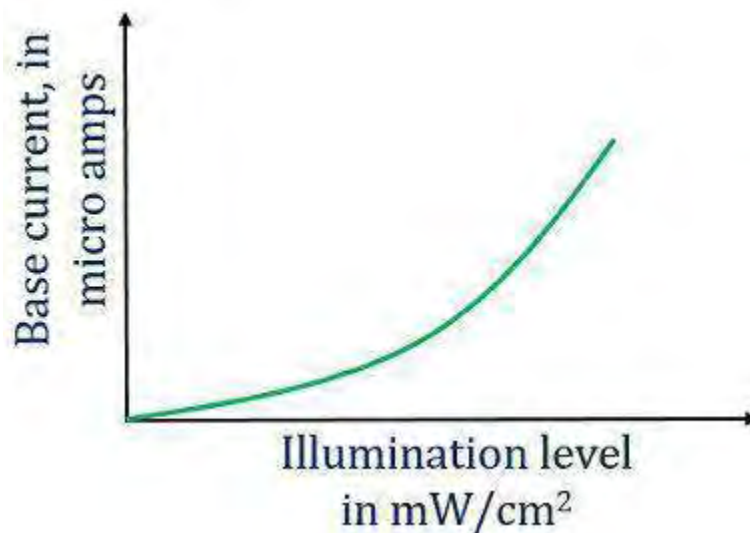
When no any light is allowed to incident at the base region of the transistor, the due to temperature variation, movement of minority carriers across the junction generates a very small current through the transistor which is reverse saturation current basically termed as dark current. Here, the base current  $I_B$  is majorly 0. Here, in this case, the output current will be less as compared to supply provided. But, when a certain amount of light energy is allowed to fall at the base of the transistor, then electron and hole pair gets generated. The applied electric field causes the electrons to move into the emitter region, thereby generating large electric current.

## Characteristics Curve of Phototransistor

The figure below represents the characteristics curve of phototransistor:



Here x-axis represents the voltage applied at the collector-emitter terminal of the transistor and the y-axis represents the collector current that flows through the device in mill amperes. As all the curves in the above figure are clearly indicating that current increases with the intensity of the radiation that falls at the base region. Also, the figure below represents the variation in the base current with the variation in the light intensity.



## Advantages of Phototransistor

1. These are a highly sensitive optoelectronic device.
2. It is less complex and inexpensive.
3. Phototransistors provide a large output current with high gain.

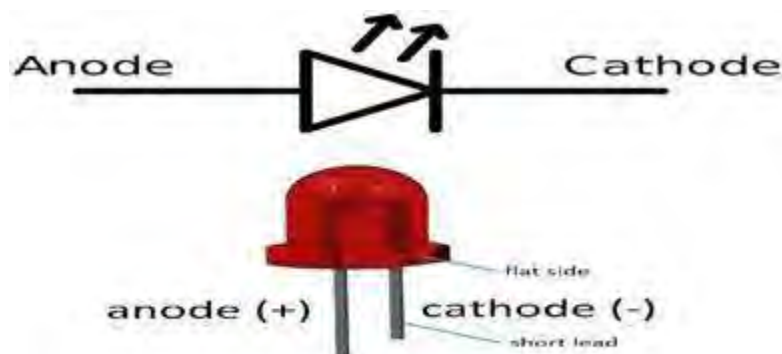
## Disadvantages of Phototransistor

1. It provides a low-frequency response.
2. In the case when a small amount of illumination is provided, the circuit is not able to detect it effectively.
3. Electric surges are more severe in phototransistors rather than a photodiode.
4. Phototransistors gets affected by the variation in electromagnetic energy.

## Applications of Phototransistor

- **In light controlling and detection:** As phototransistors are a very sensitive light detector. Thus these are widely used in light detection and controlling applications.
- **In an indication of level and relays:** The device finds its uses in indicating the level of some systems because of their light sensing ability.
- **In counting systems:** Phototransistors can be effectively utilized in counting systems. As it has tremendous ability to combinely operate as photodiode and transistors. Thus, failure of supply will not cause much adverse effects on the system.
- **In punch card readers:** Phototransistors widely finds its applications in punch card reading.

## Light emitting diode



The light emitting diode is P-N junction diode, which consists of two leads and semiconductor light source. When it is activated by applying the suitable voltages across its leads then it emits the light energy in the form of photons and the color of this light was determined by the band gap of semiconductor material. This light energy is produced by the recombination of electrons and electron holes with in this device and this process is called electroluminescence process. This process was stated in twentieth century from solid state material when it is heated at room temperature then it emits the light energy.

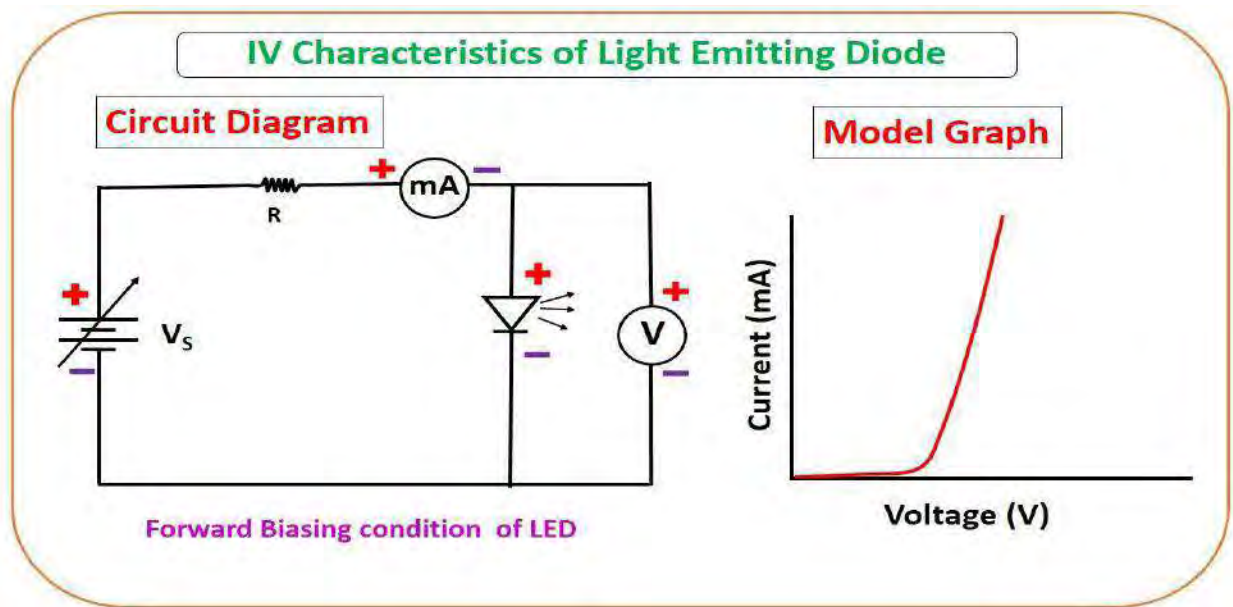
### **Construction of Light Emitting Diode**

The construction of light emitting diode is so much simple, it is made by depositing the three layers of semiconductor material on a substrate. These three semiconductor material layers are made three regions which are called a P-type region which is top one, active region which is middle one and N-type region which is bottom one. The figure 2 shows all of three semiconductor material regions. The light LED works on the same principle of simple PN junction diode means when the anode is connected to positive terminal of dc supply and cathode is connected to the negative terminal of dc supply then the PN junction is forward biased. When the PN junction is forward biased then the holes' form P-type region and electrons from N-type region are recombined then the conduction band is formed for emitting the light energy in the form of light energy photons. This whole phenomenon is called electroluminescence phenomena and this light energy depends upon the amount of current absorbed by the LED. In other words, this light energy is directly proportional to the absorbing current means when it absorbs more

current then the light would be high similarly when it absorbs low current then the light would be low.

### I-V Characteristics of Light Emitting Diode

When the light emitting diode is forward biased by applying 2 or 3 volts across its terminals then it emits the visible coloured, invisible infrared or laser light of narrow band width. In this condition, it shows that the forward current is almost constant at early stage but when it is fully on then the forward current is increased up constantly shown is figure.



The light intensity depends upon this current when this current is high then the intensity of output light would be high. The voltage at which the current is increased constantly is called forward voltage and is denoted by  $V_d$ . In reverse bias condition the reverse current or leakage current is almost linearly constant but a point is come when its PN junction is breakdown and reverse current is increased constantly in negative current region.

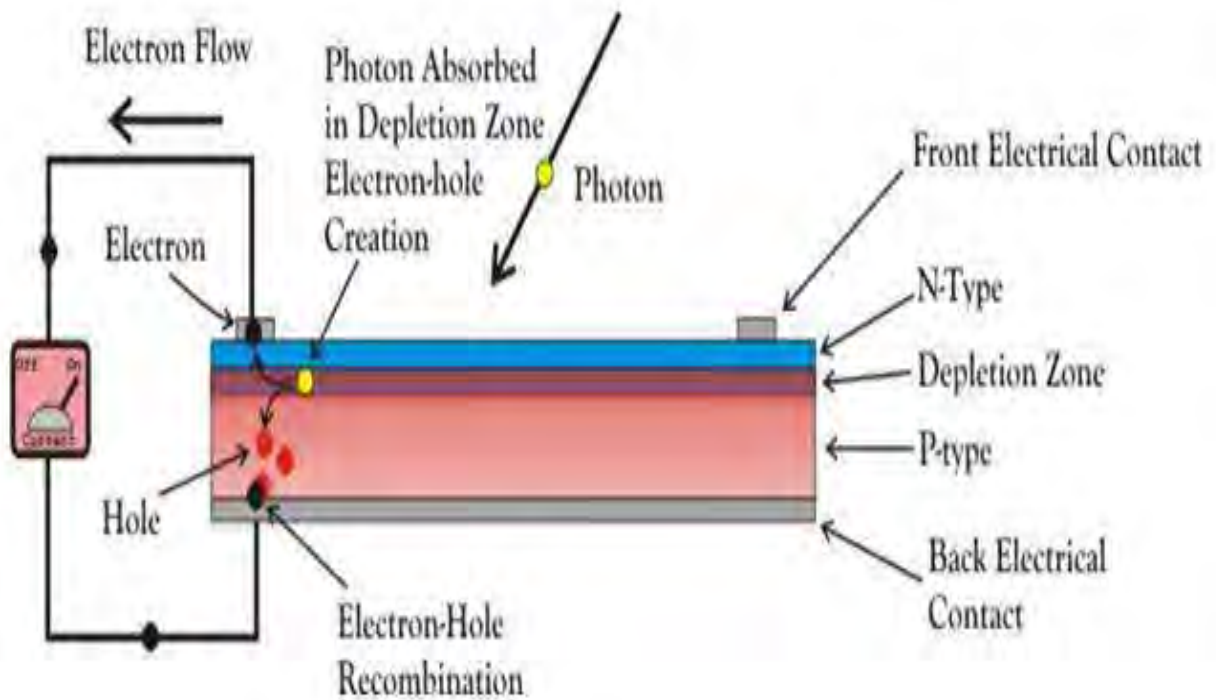
## Solar Cell

A solar cell (also known as a photovoltaic cell or PV cell) is defined as an electrical device that converts light energy into electrical energy through the photovoltaic effect. A solar cell is basically a p-n junction diode. Solar cells are a form of photoelectric cell, defined as a device whose electrical characteristics – such as current, voltage, or resistance – vary when exposed to light.

### Construction of Solar Cell

A solar cell is basically a junction diode, although its construction it is little bit different from conventional p-n junction diodes. A very thin layer of p-type semiconductor is grown on a relatively thicker n-type semiconductor. We then apply a few finer electrodes on the top of the p-type semiconductor layer.

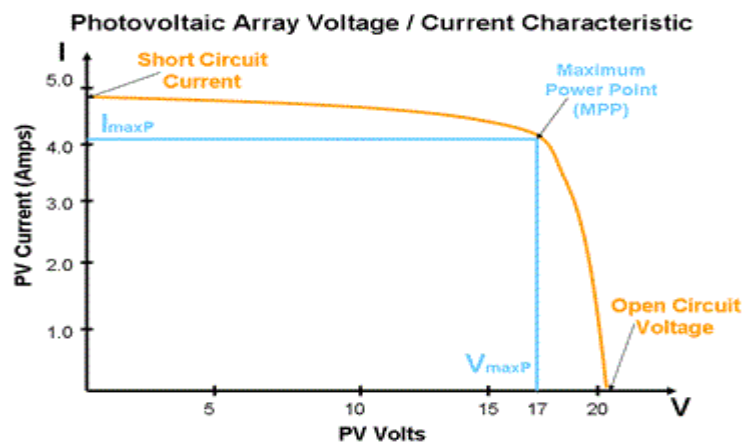
These electrodes do not obstruct light to reach the thin p-type layer. Just below the p-type layer there is a p-n junction.



## Working Principle of Solar Cell

When light reaches the p-n junction, the light photons can easily enter in the junction, through very thin p-type layer. The light energy, in the form of photons, supplies sufficient energy to the junction to create a number of electron-hole pairs. The incident light breaks the thermal equilibrium condition of the junction. The free electrons in the depletion region can quickly come to the n-type side of the junction. Similarly, the holes in the depletion can quickly come to the p-type side of the junction. Once, the newly created free electrons come to the n-type side, cannot further cross the junction because of barrier potential of the junction. Similarly, the newly created holes once come to the p-type side cannot further cross the junction because of same barrier potential of the junction. As the concentration of electrons becomes higher in one side, i.e. n-type side of the junction and concentration of holes becomes more in another side, i.e. the p-type side of the junction, the p-n junction will behave like a small battery cell. A voltage is set up which is known as photo voltage. If we connect a small load across the junction, there will be a tiny current flowing through it.

## V-I Characteristics of a Solar Cell



### **Advantages of Solar Cell**

1. No pollution associated with it.
2. It must last for a long time.
3. No maintenance cost.

### **Disadvantages of Solar Cell**

1. It has high cost of installation.
2. It has low efficiency.
3. During cloudy day, the energy cannot be produced and also at night we will not get solar energy.

### **Uses of Solar Generation Systems**

1. It may be used to charge batteries.
2. Used in light meters.
3. It is used to power calculators and wrist watches.
4. It can be used in spacecraft to provide electrical energy.



## UNIT-II. : OPTO ELECTRONIC DEVICES

சுளிமண் வினாவு :-

அறநுகம் :-

உலோகத்திலே சுளிமண் மீது ஒரு அலிபு  
நிந்த அலைநீர்மம் கொண்டு மண்காந்தக் கதிர்வீச்சு மும்புபுது  
அதலாதிநீது எலக்ட்ரான்கள் உமிழ்ப்புகின்றன. இதுவே சுளிமண்  
வினாவு எனப்படும். உமிழ்ப்பும் கிரீது எலக்ட்ரான்களுக்கும்  
பிற எலக்ட்ரான்களுக்கும் வேறுபாடு கிரீதுவையனியும், கிரீது  
எலக்ட்ரான்களைப் பபாதுவாத ஒரு எலக்ட்ரான்கள் எனவும்,  
கிவற்றாஸ் உருவாகும் மண்ணாடல்களை சுளிமண்ணாடல் எனவும்  
அடைகலலாம்.

மெரிட்ஸைச் சேகருகை :-

மாண்புமிகுமண் மண்காந்தக் கொள்கையானது  
மண்காந்த அலைகளைக் கிடுபியைக் கணித்தது. மேலும் சூனியானது  
மண்காந்த அலைகளை எனவும் அகிகொள்கை மூலம் தெய்தது.  
1887 ல் மெரிட்ஸ் மெரிட்ஸ் சைப்பர் மெரிட்ஸை மண்காந்த  
அலைகளை மெரிடிகரமாக உருவாக்கியும், கண்டறியவும் தெய்தார்.  
சுவர் உயர் மண்காந்த சூனிய சூனிகளைக் கண்டறியவும்  
கிடு உலோகக் கொள்கை கண்டறிது, இவற்றின் கிடுவே  
மண்காந்த கீடுபாறியை தற்புகிறார். கீடுபாற தற்புடையுடன்  
மண்காந்தக் கீடுமும் மண்காந்த கீடுமாத அலைவறுவதால்  
மண்காந்த அலைகள் கொண்டுமின்றன.

இவ்வாறு உருவாக்கப்பட்ட மண்காந்தி இலைகளைக் கண்டறிவதற்கு வட உழவில் உருவாக்கப்பட்ட தாமரக்கீழ்ப்பு பயன்பட்டது. வெற்றிகரமாக இலைகள் கண்டறியப் பட்டாலும் சிறு தீய்பாறிகளை காண்பது கடினமாக இருந்தது.

உறால்வாசல் சோதனை :-

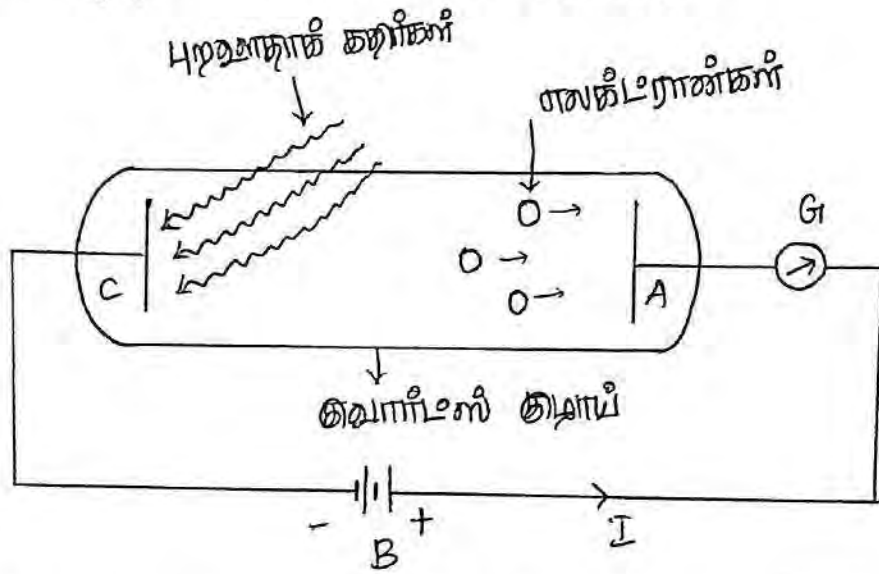
மலிமலும் உறால்வாசல் அமைந்த மலிமலும் கியற்பியலாளர் 1888 ல் தீய்பாறியைப் போடுகின்ற வித்தியாசமான கியலிபாணது ஹுள்தாக் கதிர்ணால் குறிப்புகளது அளிப்பதை அறிய சோதனை மேல் நடத்தினார்.

மண்காப்புத் துணை மீது வைக்கப்பட்ட தூய்மையான வட உழவு துத்தநாகத் தட்டு ஒன்று தாவிக் கிடை மண்காப்புவிதாட்டியுடன் ஒரு கம்பி மேல் கிண்கிப்பட்டுள்ளதில் உலர் உணக்கலாகுதல் உடும் ஹுள்தாக் கதிர்ணால் மண்காட்டமற்ற துத்தநாகத் தட்டின் மீது மெல்லு சவீதால் தட்டினது நெர் மண்காட்டத்தினைப் பெறுகிறது.

மேலும் அதிர் மண்காட்டம் பெற்ற துத்தநாகத் தட்டின் மீது ஹுள்தாக் கதிர்களைப் மெல்லு சவீதால் மண் துகள்கள் வேகமாக கசிவதால் கிடைகள் மேல் தொங்கின்றன. நெர் மண்காட்டம் பெற்ற துத்தநாகத் தட்டின் ஹுள்தாக் கதிர்களை மெல்லு , அது மேலும் நெர் மண்காட்டம் தொண்டாக மாறுகிறது. அதனால் கிடைகள் மேலும் திறந்து தொங்கின்றன. மேற்கண்ட சோதனைகளிலிருந்து ஹுள்தாக் கதிர்களைச் சவீதப்படுத்தலால் துத்தநாகத் தட்டிலிருந்து அதிர் மண்காட்டம் பெற்ற அலகிலாண் உருவப்படுகிறது என்று அறியப்படுகிறது.

வலனார்டு சோதனை:-

1902 கில் வலனார்டு ரைப்பர் ஸ்கீலரான் உட்படிவ நிகழ்வுகளை விவரிக்கச் செய்துள்ள சோதனை செய்தார். கிரீசு சோதனையின் கருவிகள் A மற்றும் C எனும் இரண்டு உலோகத் துண்டுகள் ஒன்றையொன்று மீட்டி வைக்கப்பட்ட இயந்திரம் இயங்கிவிடும் செய்கைப் படுத்தினார். காந்தவலனார்டுப் பி G மற்றும் மண்கலத்திற்காகிய B ஆகியவை மின்சாரத்தில் இணைக்கப்பட்டிருந்தன.



C எனும் எதிர்மின் துண்டின் மீது முடிவாகக் கதிர்கள் படும் போது மண்கலத்தில் மண்கலம் பாய்வதை காந்தவலனார்டுப் பி கருவியின் மூலம் அறியலாம். ஆனால், முடிவாகக் கதிர்கள் எதிர்மின் துண்டின் மீது படும் போது எதிர்மின் எதிர்மின் மண்கலம் மூலம் அறியலாம்.

மேற்கண்ட சோதனைகளிலிருந்து எதிர்மின் துண்டின் மீது முடிவாகக் கதிர்கள் படும் போது ஸ்கீலரான் உட்படிவாகிறது. அதை எதிர்மின் துண்டு A விடும் தரப்படுகிறது, எனும் இயந்திரம் ஒன்றைக் குடியின் உட்படிவ ஸ்கீலரான் எதிர்மின் துண்டை அடைந்ததால் மண்கலம் குடியை மண்கலம் பாய்கிறது.

ஸ்கீலராண் உழிவு :

உலோகத்தினால் உயிர்ப்பு

ஸ்கீலராண்கள் அணுகி கடுக்கருடன் துள்ளுவாக பிணைக்கப்பட்டுள்ளன. அன்ற உயிப்பநிலைகளால் தட அதிக அளவிலான கட்டுறா ஸ்கீலராண் தன் உலோகத்தின் உயிர்ப்பு உயிர்வெறு துணைகளால் கியாங்கித் தொண்டுள்ளன. உலோகத்தினால் கிந்த ஸ்கீலராண்கள் கட்டுப்பாட்டின்றி கியாங்கினாலும் உலோகத்தின் பரப்பை உட்கு உயிர்ப்பு அடையாது. கிந்த காரணம், ஸ்கீலராண் உலோகத்தின் மேற்பரப்பை அடைந்தவுடன், உலோகத்தின் உயிர்ப்பு பின்புறம் தொண்ட அணுகி கடுக்கருடால் கற்றுப்படுகின்றன. அன்ற உயிப்பநிலை கியாங்கினால், கிந்த கயாங்கி உயிர்ப்பானது கட்டுறா ஸ்கீலராண்-களால் உலோகத்தின் மேற்பரப்பிலிருந்து உயிர்ப்பு அணுகிப்பதிக்க.

உலோகத்தின் மேற்பரப்பிலிருந்து உயிர்ப்பு வெண்பொருள் அணுகி கடுக்கருடால் உண்டாகும் அன்ற அணுகி கடுக்கருடால் உண்டாகும் மின்னகுத்த அரணை கட்டுறா ஸ்கீலராண்கள் கடுக்க வெண்பொருள். உலோகத்தின் மேற்பரப்பிலிருந்து கட்டுறா ஸ்கீலராண் உயிர்ப்புவிடாமல் தடுக்கும் மின்னகுத்த அரண், பரப்பு அரண் அன்ற அணுகிப்படுகிறது.

கட்டுறா ஸ்கீலராண்கள் சிந்தித்து அயக்க ஆற்றலை வெண்பொருள். மேலும் கிந்த அயக்க ஆற்றல் உயிர்வெறு ஸ்கீலராண்களுக்கு உயிர்வெறு அடையும். ஸ்கீலராண்களால் கிந்த அயக்க ஆற்றல் பரப்பு அரணைக் கட்டுப்படுத்தி போதுமானதாக கிடுக்காது. அன்ற கட்டுறா ஸ்கீலராண்களுக்கு கடுக்க ஆற்றல் அணுகிப்படுமே போது, பரப்பு அரணைக் கட்டுப்படுத்த ஆற்றலைப் பெற்று உலோகத்தின் மேற்பரப்பு உயிர்ப்பு அணுகிப்படுகிறது.

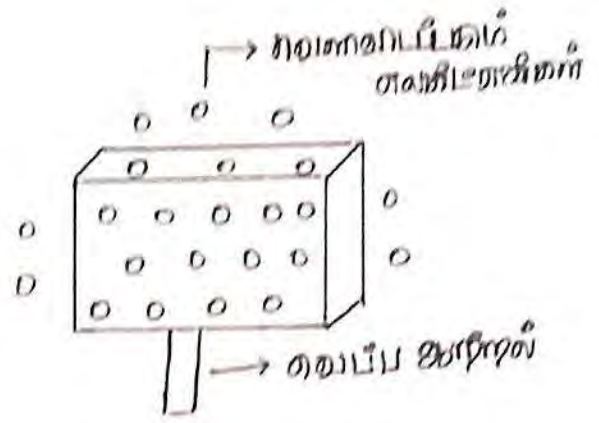
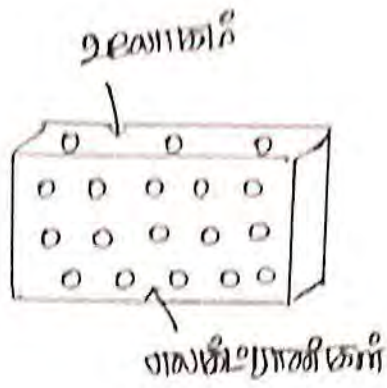
1) പാകിസ്താൻ റാൻഡ് പ്രസിദ്ധപ്പെടുത്തിയ റെക്കോർഡ് മെമ്പർഷിപ്പ്  
 നാൾ നിർമ്മിച്ച റെക്കോർഡ് ഉൾപ്പെടെ അടയാളം. ഉദാഹരണമായി  
 പ്രസിദ്ധപ്പെടുത്തിയ റെക്കോർഡ് മെമ്പർഷിപ്പ് കേന്ദ്രങ്ങൾ കിഴക്കൻ  
 ആഫ്രിക്ക ഉദാഹരണമായി മെമ്പർഷിപ്പ് ആഫ്രിക്ക അടയാളം. കൂടാതെ  
 അത് ക്രമീകരിച്ചിട്ടുള്ളത്. മെമ്പർഷിപ്പ് ആഫ്രിക്കയ്ക്ക് അതേ റെക്കോർഡ്  
 മെമ്പർഷിപ്പ് ആഫ്രിക്ക.

ഉദാഹരണമായി ഉണ്ടായ കേന്ദ്രങ്ങൾ റെക്കോർഡ് മെമ്പർഷിപ്പ്  
 കിഴക്കൻ ആഫ്രിക്ക 0.5eV അടയാളം, ഉദാഹരണമായി പ്രസിദ്ധപ്പെടുത്തിയ  
 കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ 3eV അടയാളം. അതേ  
 ഉദാഹരണമായി പ്രസിദ്ധപ്പെടുത്തിയ റെക്കോർഡ് മെമ്പർഷിപ്പ്  
 കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ  $3 - 0.5 = 2.5eV$  ആഫ്രിക്ക. കൂടാതെ 25eV  
 അടയാളം ഉദാഹരണമായി മെമ്പർഷിപ്പ് ആഫ്രിക്ക അടയാളം.

അതേ റെക്കോർഡ് ഉൾപ്പെടെ കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ  
 ഉദാഹരണമായി കേന്ദ്രങ്ങൾ മെമ്പർഷിപ്പ് ആഫ്രിക്കയ്ക്ക് കേന്ദ്രങ്ങൾ  
 കേന്ദ്രങ്ങൾ. റെക്കോർഡ് മെമ്പർഷിപ്പ് കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ  
 കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ  
 കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ

(1) മെമ്പർഷിപ്പ് കേന്ദ്രങ്ങൾ ഉൾപ്പെടെ :-

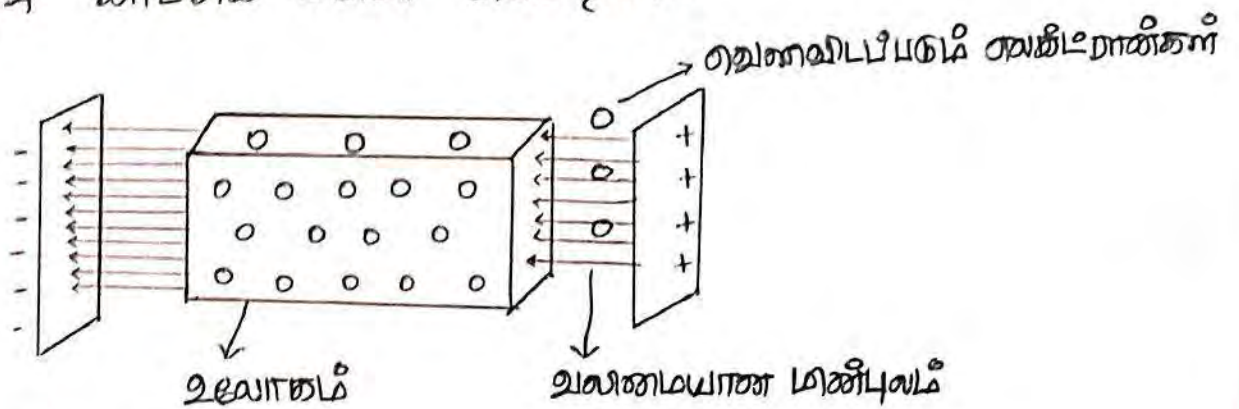
കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ  
 കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ  
 കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ  
 കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ കേന്ദ്രങ്ങൾ



வெப்ப அயன உமிழ்வினை நன்றிய ஆகக் கூடிய பயன்படுத்தப்படும் உலோகம் மீட்டிய அகனி வெப்பநிலையைப் பொருத்தி எடுத்தக் காலகாலக் கெட்டுநொடி கதிர் குறியிகள், சைகிளிராணிகள் நுகர்வோர்களை - கள், x - கதிர் குறியிகள் போன்றவை.

(ii) மூல உமிழ்வு :-

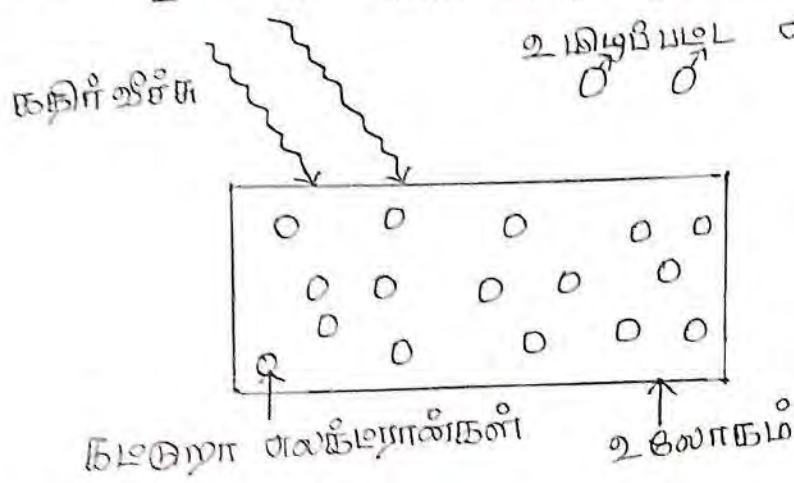
மிக உயர்வாயான மணிபுலத்தை உலோகத்தின் கிறுக்கிக அளக்கும் போது மணிபுல உமிழ்வு ஏற்படுகிறது. இந்த உயர்வாயான மணிபுலம் கட்டுறா சைகிளிராணிகளை கவர்ந்திருந்து அதை பரப்பி மணிபுலத்தின் அரண் கட்டுறா வெண்வெறு உதவுகிறது. [சு. கா] மூல உமிழ்வு அளக்கக்கண்ணாலே சைகிளிராணிகள் நுகர்வோர்களை, மூல உமிழ்வு காலகாலக் கெட்டு போன்றவை.



(iii) தூண்டி உமிழ்வு :-

இறப்பிலே அதிர்வெண் தூண்டி மணிபுலத்தின் கதிர்வீச்சு உலோகப் பரப்பின் மீது படும் போது ஆற்றலாக

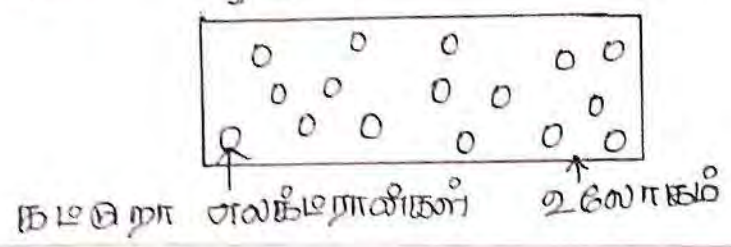
கதிரிச்சீசை விநீகா கட்டுறா ஸகீடராண்குகி மாற்றி  
 படுகிறது. எனவே கட்டுறா ஸகீடராண்குகி பரபி அரணாக்  
 கட்டுகி விவாஸயெறுவநீகிப் போதுமான அற்றைலபி பெறுவதால்  
 மன் உமழீய நடைபெறுகிறது. உமழிபடும் ஸகீடராண்குகி  
 சிண்கிண்கிணயாவுகி படுகதிரிச்சீசுகி சாறிவிணைபி பெறுகி  
 அமையும். [ச.கா] சாண திடயொடுகி, சாண மண்கிண்கிண்கி மூலயை



(ii) கிரண்பாம் நிலை உமழீய :-

மிக வேகமாகச் சகீயும் ஸகீடராண்குகி  
 கற்றை உலோககுகி பரபிபின் மிகு மொகும் போது, அகன்  
 கியகிக அற்றைல உலோகபி பரபிபிவுள்ள கட்டுறா ஸகீடராண்குகி  
 -ககுகி மாற்றிபடுகிறது. அதுவால் கட்டுறா ஸகீடராண்குகி  
 போதிய அளவு கியகிக அற்றைலபி பெறுவதால் கிரண்பாம்  
 நிலை ஸகீடராண்குகி உமழீய சாறிபடுகிறது. [ச.கா] மழிசீ சாறிவாக்

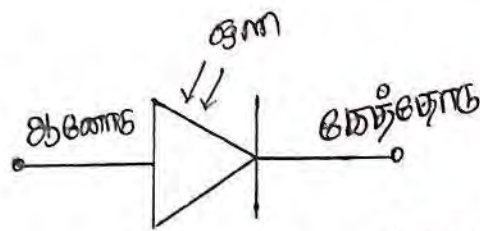
உமழிவேக ஸகீடராண்குகி  
 ♂ ♂ ♂ ♂ ஸகீடராண்குகி  
 ♀ ♀



ஒரு லேயோடுகள் :-

மண் அசைதண்ணா ஒளியில் அசைதண்ணா  
 மாற்றும் P-n சந்தி லேயோடு ஒரு லேயோடு அமைப்பும் .  
 அல்லது ஒரு லேயோடுன் செயல்பாடு LED ன் செயல்பாட்டுக்கு  
 தோர் எதிரானது ஆகும் . ஒரு லேயோடு மண்ணாக்கிச்  
 சார்பில் செயல்படும் . அதன் மண்சுற்றுக் குறியீடு அம்புக்குறிகள்  
 ஒரு அதன் மீது படவாகக் குறிக்கின்றன .

அந்தகுறியில் ஒரு உணர்வு உள்ள இறைகடத்தி  
 பொதுமாரலான P-n சந்தியானது பாதுகாப்பான ஒரு நெகிழிப்  
 படலத்தில் அமைக்கப்பட்டுள்ளது . அதில் P-n சந்தி மீது ஒரு  
 விடே குறுவாக ஒரு உடையுடும் ஒரு சிறிய சண்டல் உள்ளது .  
 P-n சந்தி மீது ஒருபட்டியல் மண்ணாட்டத்தை உற்பத்தி  
 செய்யதால் அதை ஒரு உணர்விதன் அமைப்புகின்றன .



பொதுமான சுற்றில் கண்ணீர் போட்பாண்  $h\nu$  அணது  
 லேயோடுன் தியக்கமலீயா பகுதிக்கு படுப்பாது . திணத்திறன்  
 பட்டையிலுள்ள சில எலக்ட்ரான் எதீகூப்பட்டைக்கீச் எக்சிசுந்து  
 திணால் , திணத்திறன் பட்டையிலே திணங்கள் உருவாகின்றன .  
 திண எலக்ட்ரான் -க் திண திணைய உருவாக்கீம் .  
 எலக்ட்ரான் திண திணயின் அண்கணக்கை P-n சந்தி



மீது படுமீ யுளியானி எதிரியினைப் பிடித்துக் கொண்டபடி.
 தீவிர தீவிர எலக்ட்ரான்கள் மற்றும் கிளாசிகல் மாதிரி
 திசையிடு ஏற்படுவதற்கு முன்பே, பிண்டினைக்கீழ் சார்மி
 மின்னொலிக்குப் பின்பாக மின்னொலிக்குள்ளால் உருவாக்கப்பட்ட
 சந்தியானி கிளாசிகல் எதிரியானது உருவாக்கப்படுகிறது.
 அதாவது கிளாசிகல் எ-பிசுக்கீசம் எலக்ட்ரான்கள் P-
 பிசுக்கீசம் உருவாக்கப்படுகிறது.

கிளாசிகல், புற மின்சாரமற்ற திசையிடு போல,
 எலக்ட்ரான்கள் புறமின் சாரமின் சபாயிடுக்கு யுளியானி
 மின்னொலிக்கு உருவாக்கப்படுகிறது.

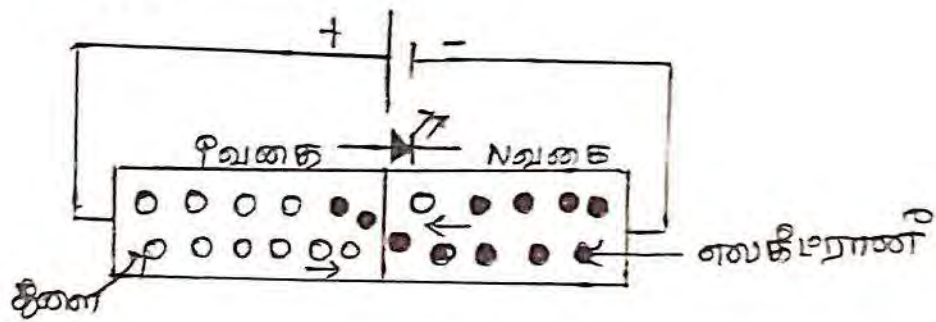
படுமீ யுளியானி எதிரியானது சபாயாக திசையிடு போல,
 புறத்திசையிடுக்கு தீவிர அளவு பிண்டினைக்கீழ் மின்னொலி
 திசையிடு. படுமீ யுளியானி இல்லாத நிலையில் ஏற்படுமீ
 தீவிர பிண்டினைக்கீழ் மின்னொலி, திசையிடு மின்னொலி
 திசையிடு மின்னொலி எதிரியிடு. தீவிர எதிரியானால்
 உருவாக்கப்பட்ட சபாயானியை உருவாக்கினால் உருவாக்கப்படுகிறது.

பயன்பாடுகள் :

- i) எதிரியானது மின்னொலி அளவு
- ii) திசையிடுக்கு உருவாக்கப்படுகின்ற திசையிடு போல
  - எதிரியானது கிளாசிகல் பயன்பாடுகள்.
- iii) யுளியானி கிளாசிகல்
- iv) கிளாசிகல் திசையிடு, புற கிளாசிகல்



உளடுகூடியம் ஊர்ணல் வுளிந் ஁ளிளக. LED வுழியாக பாயும் ஁ளிணாகிக மிளிணாடடக்தைக கட்டுடக்திக சார்புககிகம் ஁லக்தக்டன் வகாயரககணப்பிபல் வுட ஁ந் மணிக்தைட கிணக்டல் பட்டுளிளக. ஁மலும் கிகல் கிணாட மந்நம் ஁கக்தகொட ஁ணும் கிகுடுககககன் ஁ளிளக.



P-n சந்தியானக்து ஁ளிணாகிக சார்பில் கிணகிகப்பிபலால் n-பக்தக்டயல் ஁ளிள கக்திக பட்டுடை ஁ஸக்டிரகண்டிகன் மந்நம் P-பக்தக்டிகன் ஁ளிள வுரக்தககண்டிண. கிணவ சந்திகிணயக்டி கபக்திகமநக்ட கிகிகப்பிபுயகண்டி சிணயகண்டிணவ ஁ளிளகிககன் கிணகிணிண. [P-பக்தக்டிக்சி வகண்டிண ஁ஸக்டிரகண்டிகன் மந்நம் n-பக்தக்டிக்சி வகண்டிண கிணகககன் ] கிக்த கிகிகப்பிபுயகண்டி சிணயகண்டிணவ ஁ளிளகிககன் கிணகிணிணகிக கிகிரக மிளிணாடடக்டிளள கிணபக்திகககக்திகிணய வக்டிக்பகண்டிணவ ஁ளிளகிகககக்டபகண்டி மந்ந கிணகணப்பிபல் ஁க்டகககண்டிண. கிணகிணவ கிகிகப்பிபுடை ஁ஸக்டிரகண்டிகன் கிணகிகிணகிண பட்டுடைபகண்டி கிணககக்டன் மந்ந கிணகணப்பிபல் ஁க்டகககண்டிண. மந்ந கிணகணப்பிபு நிகப்திணவன் ஁பகக, கிணந்நலகண்டி, வுளிள ககிகிக்சி க) கிணகிக வுயிபி [ககிகிணகிகிணகிண] வுழிவிலி வுணக்டயல் பகககக.



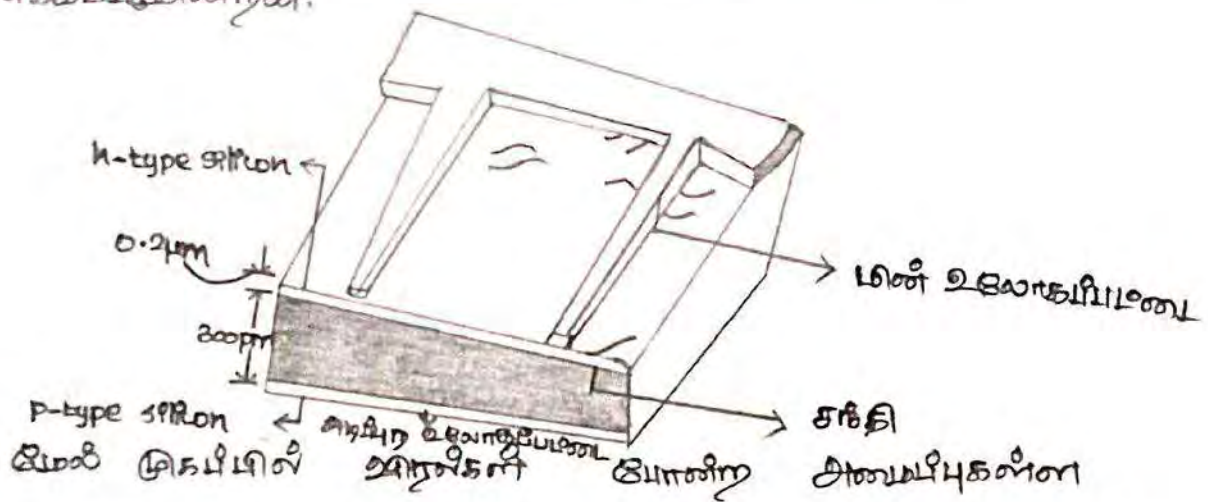
புவி மின்சாரத்தின் திறன் உற்பத்தி : (photo voltaic power generation)

சூரிய மின்கலன்கள் : [solar cell]

சூரிய மின்கலன்களின் மீது சூரிய ஒளிக்கற்றை அகும் போது அதை சூரியமாக மின்கலன்களாக மாற்றியெடுக்கிறது. இவ்வாறு, சூரிய மின்கலன் உருவாகிறது. மின்கலன்கள் வாகுவாக சிவிக் காணாலை உபயோகிப்படுகின்றன.

உள்ளகவகை:

சிவிக் காணாணை அல்லது சூரியக் கலன்கள் என்னும் ஒரு மெல்லிய படலங்களால் ஆனது. இவை கிடைத்தல்  $300\mu\text{m}$  தடிமனாக,  $3\text{-}6\mu\text{m}$  அகலம் கொண்டு. இதில் p-அகை மரசு காண்புள்ளது. அதே மாதிரியானது மெல்லியதாகும். இதன் மேல் பகுதியில் n-அகை சிவிக் காணை அல்லது குறைந்த அகலம் கொண்டிருக்கிறது. இவை உகந்த கிடைகளால் மெல்லிய, கீழும் அதே இணைக்கப்படுகின்றன.



உலோகவியலமை வாகுத்தியம் ஒரு மின்கலன்கள் இணைக்கப்படுகின்றன.

சூரிய ஒளிக்கற்றைகள் அதன்மீது அகும்போது அது உருவாகக்கூடியது.

மேலும் அதன் மூலம் அதை மீண்டும் மீண்டும் மின்

உலோகவியலமை வாகுத்தியம் கொண்டுள்ளது. மின்கலன்களின் மெல்லிய



புதுதலில்  $V_{oc}$ -ஊயபுது துறந்த துற்து மலுலுலுதலு அதுலுது  
 துற்துலுது இலுலுது மலுலுலுதலு.

$I_{sc}$  - ஊயபுது துறது இலுலுலுது மலுலுலுலுலு. [அதுலுது]

மலுலுலுலுதுலு துது துதுலு. துது துது இலுலுலுலுலுது துறது  
 இலுலுலுது மலுலுலுலுலுலு.

$I_{sc} \times V_{oc}$  ஊயபுது துற்து துற்துலுலுலு துற்து  
 மலுலுலுலுதுலு வலுலு துது.

லுலுலுலுலுலுலு மலுலுலுலு வலுலு துது -  $I_m V_m$ .

வலுலு மலுலுலு துதுலுலுலு, துற்து துதுலுலுலு லுலுலு  
 வலுலுலு "லுலுலுலுலுலு" லுலு லுலுலுலுலுலுலுலு.

$$\text{அதுலுது, லுலுலுலுலுலுலு} = \frac{\text{வலுலு மலுலுலுலுலுலு}}{\text{துற்து துது}} = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} V_{oc}}$$

லுலுலுலுலு லுலுலுலுலு லுலுலுலுலு,

$$V_{oc} = 450 - 600 \text{ mV}$$

$$I_{sc} = 30 - 50 \text{ mA}$$

p-n துதுலுலுலு துதுலு லுலுலு லுலுலுலுலுலு லுலு  
 ஊயபுது மலுலுலுலுலுலு.

லுலுலுலுலு லுலுலுலுலு லுலுலு மலுலுலுலுலுலுலு :

(Gallium Arsenide cells)

லுலுலுலுலு லுலுலுலு லுலு இலுலுலுலு லுலுலு  
 லுலுலு லுலுலுலுலுலுலுலு லுலுலுலு லுலுலுலுலுலுலு. இலுலுலு  
 லுலுலுலு லுலுலுலு லுலுலுலுலுலுலுலு லுலுலுலுலுலு.

இதுமே சூரிய குகைகள் சூயாரிக்ளும் தொழில் நுட்பமும்.  
 இந்ந வகை தாலியம் சூரிசினாடு குகைகள் வாய் சூரிசினாடு,  
 மனிதாந்நாடுக மாந்நகீகைய அளவு அதிக திறன் தொண்டை  
 சூரி சிலிகைகள் குகைகள் வட அதிக சூரிசினாடு மாந்நகீ  
 திறன் தொண்டை. அதிக பயனுந்நகீகைய , அதிக வாய்ப்புகளைய  
 சூரிசினாடு தொண்டை திறன் காலியம் சூரிசினாடு குகைகீகீ  
 உள்நகீகீ இவை வகுமனாலை பயன்படுகிறது.

பயன்பாடு :

- (i) கணிய்பானிகள் , சூகாராவிகள் , வாய்ப்புகள் சூகியவற்றில் சூரிய மின்கலன்கள் அதிகளவு பயன்படுத்தப்படுகின்றன. சூரிய மின்கலன்கள் நகடுக மின்துறையில்களில் பயன்படுகிறது.
- (ii) வாய்ப்புகள்குகைகள் மறுகும் வணிகவாணி பயன்பாடுகளில் பயன்படுகிறது.
- (iii) சூரிய மின்கலன்கள் மின்துறையில்களில் உருவாகும் பயன்படுகின்றன.
- (iv) சூரிய மின்கலன்குகைகள் தொழில் தீர் பாசனகீகீகீகீ பயன்படுகிறது.



# UNIT-III

## OPERATIONAL AMPLIFIER

*Ideal Op-Amp – Op-Amp Parameters (Qualitatively): Input offset voltage, Input impedance, Output impedance, CMRR, Slew Rate – Inverting – Non-inverting Amplifier – Adder – Subtractor – Differentiator – Integrator.*

### Basic operational amplifier

The operational amplifier is a direct coupled high-gain differential input amplifier. Originally the operational amplifier had only one input and the output voltage was always inverted with respect to the input voltage. However common operational amplifiers which are recently available are of differential type and these amplifiers have both inverting and non-inverting inputs.

**An ideal operational amplifier must have the following properties.**

1. Input resistance must be infinite.
2. Output resistance  $R_0$  should be as small as zero.
3. Voltage gain should be as high as infinite.
4. Band width should be as wide as infinite.
5. Output voltage  $V_0=0$  when  $V_1=V_2$
6. The characteristics do not change with temperature.

### OP – AMP Parameters

#### Input offset voltage

For an ideal OP –AMP when the inverting input and non inverting input are grounded and supplied with equal voltages, we may expect the output voltage to be equal to zero. But in practice a small difference in voltage is required to make the output zero. This voltage which is required to make the output zero is called input offset voltage.

#### Input impedance

The input impedance of the Op-Amp is the equivalent resistance that is measured at the inverting input or non inverting input while the other input is grounded.

The input impedance can also be defined as the ratio of the change in input voltage to the change in input current measured at either of the input terminals with respect to ground. The input impedance is also referred as input resistance.

#### Output impedance

The output impedance of the Op-Amp is the equivalent resistance that is measured at the output terminal with respect to ground.

The output impedance can also be defined as the ratio of the change in output voltage to the change in output current. The output impedance is also referred as output resistance.

### Common – Mode Rejection Ratio (CMRR)

In an ideal DIFF-AMP, the output signal may be given by the equation

$$V_0 = A_d (V_1 - V_2) \quad \text{----- (1)}$$

Where  $A_d$  is the gain of the differential amplifier. If  $V_1 = V_2$ , then  $V_0 = 0$ . That is the signals common to both inputs gets cancelled and produces no output voltage. This is true only for an ideal OP-AMP. But a practical OP-AMP exhibits some small response to the common mode components of the input voltage too. The output depends not only upon the difference signal  $V_d$  of the two signals, but also upon the average level called common mode signal  $V_c$ .

The common mode signal

$$V_c = \frac{1}{2} (V_1 + V_2) \text{ ----- (2)}$$

For differential amplifier, the gain at the output with respect to the positive terminal is slightly different in magnitude to that of the negative terminal. So even with the same voltage applied to both inputs, the output is not zero. The output can be expressed as a linear combination of the two input voltages.

$$V_0 = A_1 V_1 + A_2 V_2 \text{ ----- (3)}$$

Where  $A_1$  is the voltage amplification from input 1 to the output under the condition that the input 2 is grounded and  $A_2$  is the voltage amplification from input 2 to the output under the condition that the input 1 is grounded. We know that

$$V_c = \frac{1}{2} (V_1 + V_2)$$

$$V_d = (V_1 - V_2) \text{ ----- (4)}$$

$$2V_c = (V_1 + V_2)$$

From equation (4)

$$V_1 = (V_c + V_d/2) \text{ ----- (5)}$$

$$V_2 = (V_c - V_d/2) \text{ ----- (6)}$$

$$V_0 = A_d V_d + A_c V_c \text{ ----- (7)}$$

$$A_d = \frac{1}{2} (A_1 - A_2) \text{ ----- (8)}$$

$$A_c = (A_1 + A_2) \text{ ----- (9)}$$

The voltage gain for the difference signal is  $A_d$  and that for the common-mode signal is  $A_c$ .

The relative sensitivity of an OP-AMP to a difference signal  $A_d$  compared to a common – mode signal is called Common –Mode rejection ratio (CMRR). It gives the signal figure merit  $\rho$  for the differential amplifier.

$$\text{CMRR} = \rho = \left| \frac{A_d}{A_c} \right| \text{ ----- (10)}$$

### Slew Rate

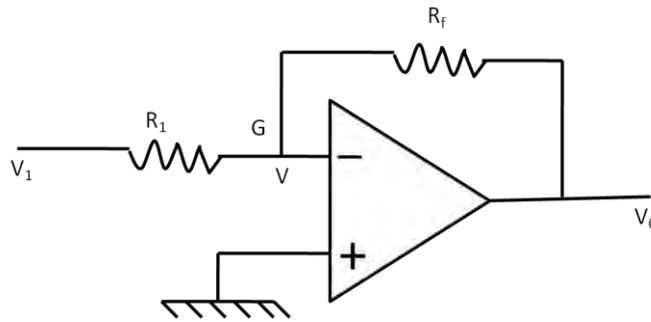
When a step voltage is applied at the input an ideal Op-Amp responds instantaneously. But for practical Op-Amps, it takes some time ( few micro seconds). This property is called the Slew rate of the Op-Amp.

Slew rate of an Op-Amp is defined as the maximum rate of change of output voltage in response to a step input

$$i.e., \text{ Slew rate} = \frac{dV}{dt}$$

### Inverting operational amplifier

The basic inverting amplifier is shown in figure. The non-inverting terminal has been grounded where as  $R_1$  connects the input signal  $V_1$  to the inverting input. A feedback resistor  $R_f$  has been connected from the output to the inverting input.



The input voltage is  $V_1$  and the output voltage is  $V_0$ . The gain of the operational amplifier is very large. So the voltage  $V$  at the inverting input terminal is very small. In fact, it will be close to the ground potential. It means that the point  $G$  is held virtually at ground potential irrespective of the magnitude of the potential  $V_1$  and  $V_0$ . The input impedance of OP-AMP is infinite. So the current  $i$  will flow through  $R_f$  and not into the OP-AMP. Applying Kirchoffs current law at the point  $G$ , we can write,

$$(V_1 - V)/R_1 = (V - V_0)/R_f \quad \text{----- (1)}$$

Since the point  $G$  is at a virtual ground, ie  $V = 0$ , we get from equation (1)

$$V_1/R_1 = -V_0/R_f \quad \text{----- (2)}$$

$$V_0/V_1 = -R_f/R_1 \quad \text{----- (3)}$$

$$\text{Gain } A_V = -R_f/R_1 \quad \text{----- (4)}$$

Thus the voltage gain is given by the ratio of the feedback resistance  $R_f$  to the input resistance  $R_1$ . The negative sign indicates that the output voltage is inverted with respect to the input voltage.

$$R_f / R_1 = K$$

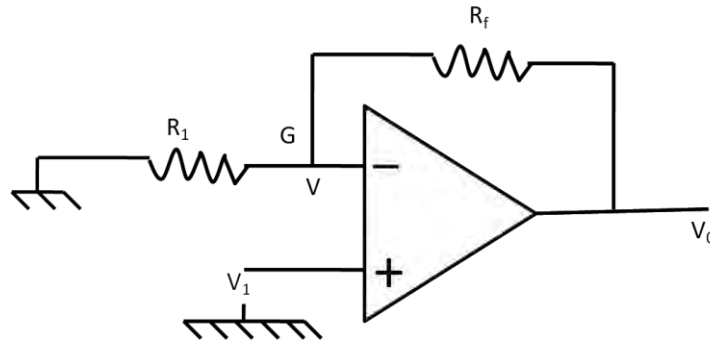
$$V_0/V_1 = -K$$

$$V_0 = -KV_1 \quad \text{----- (5)}$$

Hence the closed loop gain of the inverting amplifier depends on the ratio of the two external resistors  $R_f$  and  $R_1$  and it is independent of amplifier parameters.

### Non – oinverting operational amplifier

The non – inverting amplifier is shown in figure. In this case, the input voltage  $V_2$  is applied to the non – inverting terminal. So this circuit is called non – inverting amplifier.



The gain of OP-AMP is infinite. So the potential of the point G is also  $V_s$ . The output voltage is  $V_0$ . The voltage across  $R_1$  is  $V_2$  and that across  $R_f$  is  $(V_0 - V_2)$ .

$$I_1 = V_2 / R_1 \quad \text{and} \quad I_2 = (V_0 - V_2) / R_f \quad \text{----- (1)}$$

Applying Kirchhoff's current law of the junction G, we get,

$$(-I_1) + (I_2) = 0 \quad \text{----- (2)}$$

$$V_2 / R_1 + (V_0 - V_2) / R_f = 0 \quad \text{----- (3)}$$

$$(V_0 - V_2) / V_2 = R_f / R_1$$

$$(V_0 / V_2) - 1 = R_f / R_1$$

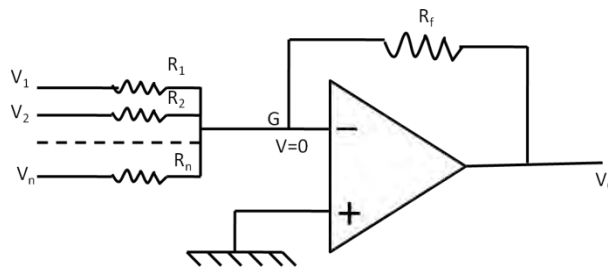
$$V_0 / V_2 = 1 + (R_f / R_1)$$

$$A_v = 1 + (R_f / R_1) \quad \text{----- (4)}$$

In this case, the gain is 1 plus the ratio of the two resistances  $R_f$  and  $R_1$ . Also the output voltage is in phase with the input voltage. This circuit offers a high input impedance and a low output impedance.

If  $R_f = 0$  and  $R_1 = \infty$ , the gain of the amplifier is unity. Thus this circuit is referred as voltage follower or a unit gain buffer. This circuit can be used as an impedance matching device between a high-impedance source and a low impedance load.

### Adder or Summing Amplifier



An adder or a summing amplifier using an OP-AMP is shown in figure. Since the current flowing into the virtual ground is equal to that flowing out of it, we can write.

$$I_1 + I_2 + \dots + I_n = I_0 \quad \text{----- (1)}$$

$$(V_1 / R_1) + (V_2 / R_2) + \dots + (V_n / R_n) = - (V_0 / R_f) \quad \text{----- (2)}$$

$$V_0 = - \frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 + \dots + \frac{R_f}{R_n} V_n \quad \text{----- (3)}$$

Let  $R_1 = R_2 = \dots = R_n = R$

$$V_0 = -\frac{R_f}{R}(V_1 + V_2 + \dots + V_n) \quad \text{----- (4)}$$

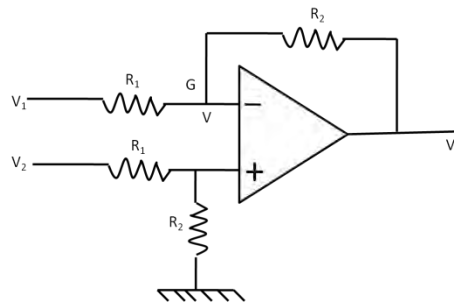
If  $R_f = R$ , then,

$$V_0 = -(V_1 + V_2 + \dots + V_n) \quad \text{----- (5)}$$

ie., the output voltage  $V_0$  is numerically equal to the algebraic sum of the output voltages.

### Difference Amplifier (Subtractor)

A circuit that amplifies the difference between two signals is called difference amplifier or subtractor. This type of amplifier is very useful in instrumentation circuit. A basic differential amplifier employing operational amplifier is shown in figure.



Here  $V_1$  and  $V_2$  are the input signal voltages and  $V_0$  is the output voltage. Since the gain of the OP-AMP is infinite the potential of the points 1 and 2 will be the same say  $V_3$ .

Application of Kirchhoff's current law at points 1 and 2 gives

$$\frac{V_1 - V_3}{R_1} = \frac{V_3 - V_0}{R_2} \quad \text{----- (1)}$$

$$\frac{V_2 - V_3}{R_1} = \frac{V_3}{R_2} \quad \text{----- (2)}$$

Subtraction of (1) from (2) we get

$$V_0 = \frac{R_2}{R_1} (V_1 - V_2)$$

$$\frac{V_0}{V_1 - V_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

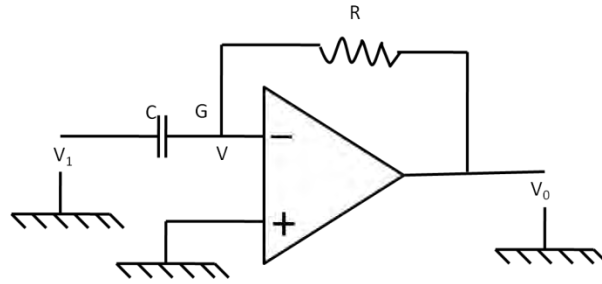
$$A_d = \frac{R_2}{R_1} \quad \text{----- (3)}$$

Thus is gain of DIFF – AMP is  $R_2/R_1$ .

Such a circuit is very useful in detecting very small difference is signals, since the gain  $R_2/R_1$  can be chosen to be very large. For example if  $R_2 = 100 R_1$ , then a small difference ( $V_1 - V_2$ ) is amplified 100 times.

## Differentiators

Differentiation is the inverse of integration and may be obtained by interchanging R and components of the integrator circuit. The differentiator is shown in figure.



If we neglect the current through the amplifier and  $V_s$  is taken to be negligibly small, we get

$$I_C = I \quad \text{----- (1)}$$

$$C \frac{d(V_1 - V_s)}{dt} = \frac{V_s - V_0}{R} \quad \text{----- (2)}$$

Neglecting  $V_s$  we get,

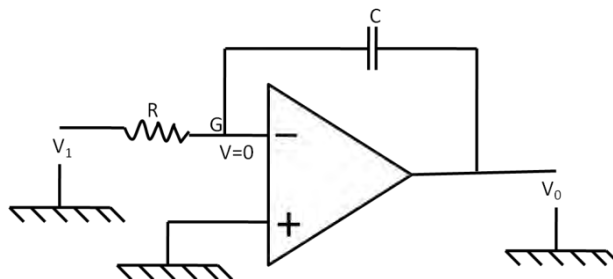
$$C \frac{dV_1}{dt} = -\frac{V_0}{R}$$

$$V_0 = -CR \frac{dV_1}{dt} \quad \text{----- (3)}$$

The input voltage  $V_0$  is equal to a constant  $CR$  times the time derivative of the input voltage  $V_1$ .

## Integrator

Integration is the reverse process of differentiation. And the integrator circuit is obtained by simply interchanging the resistor, R and capacitor, C in the differentiator circuit.



The feedback resistor  $R_f$  is replaced by a condenser C. The input resistor  $R_1$  is now called as R. As in the case of differentiator, the values of voltages and currents are to be taken as instantaneous values.

Let  $V_i$  be the input voltage applied to the inverting input through the resistor, R.

$$q = CV$$

$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt} CV = C \frac{dV}{dt}$$

$$I_f = -C \frac{dV_0}{dt}$$

Since  $I_f = I$ , we can write

$$-C \frac{dV_0}{dt} = \frac{V_i}{R}$$

The output is given by,

$$V_0 = -\frac{1}{RC} \int V_i dt$$

$$V_0 \propto -\int V_i dt$$

Unit - III

பெயர்வாது வாகுக்கிரமம்

கிடைசிய பெயர்வாது வாகுக்கிரமம்:-

- வேல்க்கம். (a) உள்ளு திண்சுமை Ri ஈதலியாக கடுக்க
- கடுக்கம். (b) உள்ளு திண்சுமை Ro ஈதலியு கிணறுமாக
- உயர்வாக (c) திண்சுமைக்கிணறு வடுக்கம் Av ஈதலி அளவு
- கடுக்கம். (d) உயர்வாக அகலம் ஈதலி அளவு அகலமாக
- திண்சுமைக்கிணறு (e)  $v_1 = v_2$  அக கடுக்கம் உயர்வாக உயர்வாக
- கடுக்கம். (f) கிணறுக்கிணறு கிணறுக்கிணறு கிணறுக்கிணறு

நடைமுறைக்கிணறு பெயர்வாது வாகுக்கிரமம்  
 கிணறுக்கிணறு கிணறுக்கிணறு கிணறுக்கிணறு கிணறுக்கிணறு  
 (a) கிணறு அகலம் வடுக்கம் ஈதலியாக கடுக்கம். D.C  
 அகலம் திணறு உயர்வாக கடுக்கம். கிணறுக்கிணறு உயர்வாக  
 அகலம் கிணறுக்கிணறு கிணறுக்கிணறு கிணறுக்கிணறு  
 நடைமுறைக்கிணறு கிணறுக்கிணறு கிணறுக்கிணறு கிணறுக்கிணறு  
 உயர்வாக வடுக்கம் கிணறுக்கிணறு, திணறு அகலம் அகலமாக  
 வடுக்கம் கிணறுக்கிணறு. உயர்வாக திணறுக்கிணறுக்கிணறு வடுக்கம்  
 150 கிணறு கிணறுக்கிணறு கிணறுக்கிணறு கிணறுக்கிணறு கிணறுக்கிணறு  
 அகலம். நடைமுறைக்கிணறு பெயர்வாது வாகுக்கிரமம் உயர்வாக  
 திணறுக்கிணறு 0.75 கிணறு 100 கிணறுக்கிணறு கிணறுக்கிணறு.

OP - AMP - திணறுக்கிணறு கிணறுக்கிணறு கிணறுக்கிணறு  
 கடுக்கம் உயர்வாக திணறுக்கிணறு, கிணறுக்கிணறு திணறுக்கிணறு  
 உயர்வாக. கிணறுக்கிணறு கிணறுக்கிணறு, கிணறுக்கிணறு கிணறுக்கிணறு



തിരിയാത്തു കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം  
 കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം  
 കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം

കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം  
 കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം കാര്യം

2) (CMRR) വ്യാപ്തം ഉണ്ടാക്കുന്ന മൂല്യം കണ്ടു

കാര്യം DIFF - AMP - ന്റെ ഉപയോഗം

$$V_o = A_d (V_1 - V_2)$$

$V_d$  ന്റെ ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം

$V_1 = V_2$  ന്റെ ഉപയോഗം, ഉപയോഗം  $V_o = 0$  ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം  
 ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം  
 ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം  
 ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം  
 ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം

ഉപയോഗം ഉപയോഗം ഉപയോഗം  $V_c = \frac{1}{2} (V_1 + V_2)$

ചോദ്യമായി വെർച്വൽ ഓപ്പറേഷൻ അല്ലെങ്കിൽ സാർവ്വത്രിക വെർച്വൽ ഓപ്പറേഷൻ  
 സാർവ്വത്രിക വെർച്വൽ ഓപ്പറേഷൻ സാർവ്വത്രിക വെർച്വൽ ഓപ്പറേഷൻ  
 ചോദ്യമായി വെർച്വൽ ഓപ്പറേഷൻ സാർവ്വത്രിക വെർച്വൽ ഓപ്പറേഷൻ  
 ചോദ്യമായി വെർച്വൽ ഓപ്പറേഷൻ സാർവ്വത്രിക വെർച്വൽ ഓപ്പറേഷൻ

$$V_0 = A_1 V_1 + A_2 V_2$$

$A_1$  സാർവ്വത്രിക വെർച്വൽ ഓപ്പറേഷൻ 2 സാർവ്വത്രിക വെർച്വൽ ഓപ്പറേഷൻ 1-ഉം  
 സാർവ്വത്രിക വെർച്വൽ ഓപ്പറേഷൻ 2 സാർവ്വത്രിക വെർച്വൽ ഓപ്പറേഷൻ 1-ഉം  
 സാർവ്വത്രിക വെർച്വൽ ഓപ്പറേഷൻ 1 സാർവ്വത്രിക വെർച്വൽ ഓപ്പറേഷൻ 2-ഉം

$$V_c = 1/2 (V_1 + V_2)$$

$$V_d = (V_1 - V_2)$$

$$2V_c = (V_1 + V_2)$$

സാർവ്വത്രിക  $(A_1, A_2)$

$$V_1 = V_c + V_d/2$$

$$V_2 = V_c - V_d/2$$

$$V_0 = A_d V_d + A_c V_c$$

$$A_d = 1/2 (A_1 - A_2)$$

$$A_c = A_1 - A_2$$

ചോദ്യമായി സാർവ്വത്രിക വെർച്വൽ ഓപ്പറേഷൻ  $A_d$  വെർച്വൽ ഓപ്പറേഷൻ  
 സാർവ്വത്രിക വെർച്വൽ ഓപ്പറേഷൻ  $A_c$  വെർച്വൽ ഓപ്പറേഷൻ  
 സാർവ്വത്രിക വെർച്വൽ ഓപ്പറേഷൻ  $A_c$  വെർച്വൽ ഓപ്പറേഷൻ  
 സാർവ്വത്രിക വെർച്വൽ ഓപ്പറേഷൻ  $A_c$  വെർച്വൽ ഓപ്പറേഷൻ

3.  $\mu$ വാളി വെട്ടിയാടി വെളിക്കി

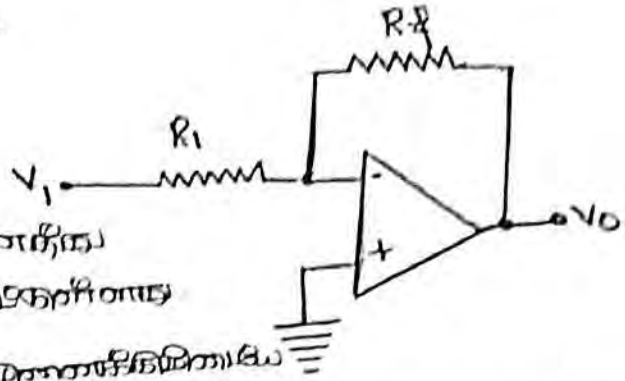
$\mu$ വാളിയിലെ ഉണിനീളി ക്രമണം

കുറവിലിടിയലുറങ്ങുന്നതു.  $\mu$ വാളി

ക്രമണയിലെ മിന്നിപ്പാല  $R_1$  കിത്തത്തിനക  
 ഉണിനീളി അടക്ക  $V_i$  വെട്ടിയാടിയലുറങ്ങുന്നതു

വെട്ടിയാടി ക്രമണകീകാമ്.  $\mu$ വാളിയ്ക്ക് ക്രമണകീകിയാലു

മിന്നിപ്പാല മിന്നിപ്പാല  $R_2$  കിത്തത്തിനകിയലുറങ്ങുന്നതു. ഉണിനീളി  
 മിന്നിയാളിപ്പാമ്  $V_i$  വെട്ടിയാടി മിന്നിയാളിപ്പാമ്  $V_o$



വെട്ടിയാടി വെളിക്കിയിന് വെളിക്കാമ് മിന്നിയാളിപ്പാമ്  
 ക്രമണം,  $\mu$ വാളിയ്ക്ക് ഉണിനീളി ക്രമണയിലുറങ്ങുന്ന മിന്നിയാളിപ്പാമ്  $V$   
 മിന്നിയാളിപ്പാമ് കിത്തത്തിനകിയലുറങ്ങുന്നതു. ഉണിനീളിപ്പാമ് കിത്തത്തിനകിയലുറങ്ങുന്നതു  
 മിന്നിയാളിപ്പാമ് വെട്ടിയാടി വെളിക്കിയാളിപ്പാമ്. കിത്തത്തിനകിയലുറങ്ങുന്നതു. കിത്തത്തിനകിയലുറങ്ങുന്നതു  
 ക്രമണയിലുറങ്ങുന്നതു. കിത്തത്തിനകിയലുറങ്ങുന്നതു. കിത്തത്തിനകിയലുറങ്ങുന്നതു. കിത്തത്തിനകിയലുറങ്ങുന്നതു  
 ക്രമണം,  $\mu$ വാളിയ്ക്ക് ഉണിനീളി ക്രമണയിലുറങ്ങുന്നതു. കിത്തത്തിനകിയലുറങ്ങുന്നതു. കിത്തത്തിനകിയലുറങ്ങുന്നതു  
 മിന്നിയാളിപ്പാമ്  $R_1$  ന്നി ഉണിനീളിപ്പാമ് വെട്ടിയാടി മിന്നിയാളിപ്പാമ്.

$$i_1 = \frac{V_i - V}{R_1} \quad \rightarrow (1)$$

വെട്ടിയാടി വെളിക്കി നമുക്കി ഉണിനീളി മിന്നിയാളിപ്പാമ് വെട്ടിയാടി  
 ക്രമണം വെളിക്കിയാളിപ്പാമ് വെട്ടിയാടി മിന്നിയാളിപ്പാമ് ക്രമണം  
 മിന്നിയാളിപ്പാമ്  $R_2$  ഉണിനീളിപ്പാമ് വെട്ടിയാടി.

$$\frac{V_i - V}{R_1} = \frac{V - V_o}{R_2} \quad \rightarrow (2)$$

$\mu$ വാളി  $G$  മാമ് ക്രമണയിലെ.

$$\frac{V_i}{R_1} = \frac{V_o}{R_2} \quad \rightarrow (3)$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_2}{R_1} \quad \rightarrow (4)$$

ക്രമണം,  $V_o/V_i$  ന്നിയതു വെളിക്കിയിന് വെളിക്കാമ്

$$\text{വെളിക്കാമ് } A_v = \frac{R_2}{R_1} \quad \rightarrow (5)$$

അങ്ങനെ, ഇൻപുട്ടുമെട്രിക്സ് വെങ്കിട്ടാക്കി വെങ്കിട്ടാക്കി.  $R_2$  ഉൾപ്പെടെ  
 ഇൻപുട്ടുമെട്രിക്സ്  $R_1$  ഉൾപ്പെടെയിൽ നിന്നുള്ള  $R_2$  കൂടിച്ചേർക്കുന്നു.  $V_0$  ഉൾപ്പെടെ  
 (5) ഉറപ്പായ തീർപ്പാക്കി, ഉറപ്പാക്കി ഇൻപുട്ടുമെട്രിക്സ്/യെ വെങ്കിട്ടാക്കി.  
 വെങ്കിട്ടാക്കി ഇൻപുട്ടുമെട്രിക്സ്  $R_2$  കൂടിച്ചേർക്കുന്നു.

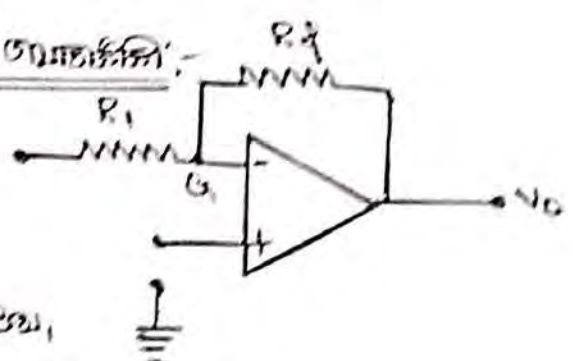
$$-\frac{R_2}{R_1} = K \text{ അതിനെ വെങ്കിട്ടാക്കി } \frac{V_0}{V_1} = -K$$

$$V_0 = -KV_1$$

അങ്ങനെ,  $R_2$  കൂടിച്ചേർക്കിയിട്ട്  $R_1$  കൂടിച്ചേർക്കിയിട്ട് വെങ്കിട്ടാക്കി  
 തിരിച്ചു  $R_2$  കൂടിച്ചേർക്കിയിട്ട്  $R_1$  കൂടിച്ചേർക്കിയിട്ട് വെങ്കിട്ടാക്കി  
 കൂടിച്ചേർക്കി.  $R_2$  കൂടിച്ചേർക്കിയിട്ട്  $R_1$  കൂടിച്ചേർക്കിയിട്ട് വെങ്കിട്ടാക്കി.

OP-AMP തീർപ്പാക്കി അങ്ങനെ വെങ്കിട്ടാക്കി വെങ്കിട്ടാക്കി.  $V_0$  കൂടിച്ചേർക്കി  
 ഉറപ്പായ തീർപ്പാക്കി തീർപ്പാക്കി  $V_0$  കൂടിച്ചേർക്കി  $V_0$  കൂടിച്ചേർക്കി  
 വെങ്കിട്ടാക്കി.  $V_0$  കൂടിച്ചേർക്കി  $V_0$  കൂടിച്ചേർക്കി,  $V_0$  കൂടിച്ചേർക്കി  
 വെങ്കിട്ടാക്കി.

2)  $R_2$  കൂടിച്ചേർക്കി വെങ്കിട്ടാക്കി



$V_0$  കൂടിച്ചേർക്കി  
 $R_2$  കൂടിച്ചേർക്കി  
 വെങ്കിട്ടാക്കി.  $V_0$  കൂടിച്ചേർക്കി  
 തീർപ്പാക്കി  $R_2$  കൂടിച്ചേർക്കി

OP-AMP ന്റെ വെങ്കിട്ടാക്കി വെങ്കിട്ടാക്കി.  $V_0$  കൂടിച്ചേർക്കി  
 $V_0$  കൂടിച്ചേർക്കി  $V_0$  കൂടിച്ചേർക്കി  $V_0$  കൂടിച്ചേർക്കി  
 $V_0$  കൂടിച്ചേർക്കി  $V_0$  കൂടിച്ചേർക്കി  $V_0$  കൂടിച്ചേർക്കി  
 $V_0$  കൂടിച്ചേർക്കി  $V_0$  കൂടിച്ചേർക്കി  $V_0$  കൂടിച്ചേർക്കി

$$i_1 = \frac{V_0}{R_1}, \quad i_2 = \frac{V_0 - V_0}{R_2}$$

കിർക്കി - G ക്രിക്ക കിർക്കിനാമി മാക്ടി.

$$(-i_1) + i_2 = 0 \quad \rightarrow ②$$

$$\frac{-V_2}{R_1} + \frac{V_0 - V_2}{R_f} = 0$$

$$\frac{V_0 - V_2}{V_2} = \frac{R_f}{R_1}$$

$$\frac{V_0}{V_2} - 1 = \frac{R_f}{R_1}$$

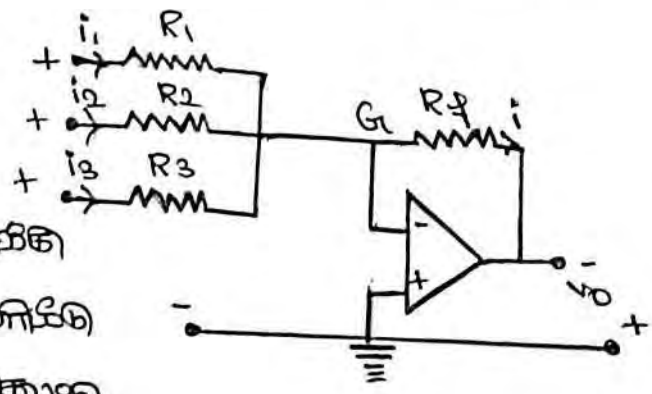
$$\frac{V_0}{V_2} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad \rightarrow ③$$

കിർക്കി, വെർക്കിട്രി 1, R<sub>f</sub>, R<sub>1</sub> കിർക്കിനാമിനാമി നക്ഷ. പെർക്കിനാമിനാമി കലപനാമി. കലപനാമി വെർക്കിനാമി കിർക്കിനാമി, വെർക്കിനാമി വെർക്കിനാമി കലപനാമി. കിർക്കിനാമി വെർക്കിനാമി, കിർക്കിനാമി വെർക്കിനാമി. കിർക്കിനാമി വെർക്കിനാമി. കിർക്കിനാമി വെർക്കിനാമി.

5) കലപനാമി വെർക്കിനാമി:-

വെർക്കിനാമി വെർക്കിനാമി. കലപനാമി വെർക്കിനാമി. കലപനാമി വെർക്കിനാമി. കലപനാമി വെർക്കിനാമി. കലപനാമി വെർക്കിനാമി. കലപനാമി വെർക്കിനാമി. കലപനാമി വെർക്കിനാമി. കലപനാമി വെർക്കിനാമി. കലപനാമി വെർക്കിനാമി.



കിർക്കി G കലപനാമി നക്ഷ. കലപനാമി വെർക്കിനാമി.

$$i_1 = \frac{V_1}{R_1}, \quad i_2 = \frac{V_2}{R_2}, \quad i_3 = \frac{V_3}{R_3}, \quad i = \frac{-V_0}{R_f} \quad \rightarrow ④$$

മുൻപി  $G=2$  ആയി നിർമ്മിക്കാൻ ഉദ്ദേശിച്ചിരുന്ന സർക്യൂട്ടിനെ,

$$i_1 + i_2 + i_3 + (-i) = 0 \quad \rightarrow (1)$$

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} - \left(-\frac{V_0}{R_4}\right) = 0$$

$$V_0 = - \left( \frac{R_4}{R_1} V_1 + \frac{R_4}{R_2} V_2 + \frac{R_4}{R_3} V_3 \right)$$

$R_1 = R_2 = R_3 = R$  അതായത്,

$$V_0 = -\frac{R_4}{R} (V_1 + V_2 + V_3) \quad \rightarrow (2)$$

$$V_0 = -V (V_1 + V_2 + V_3) \quad \rightarrow (3)$$

$R_4 = R$  അതായത്,

$$V_0 = -(V_1 + V_2 + V_3) \quad \rightarrow (4)$$

$R_4 = R/2$  അതായത്,

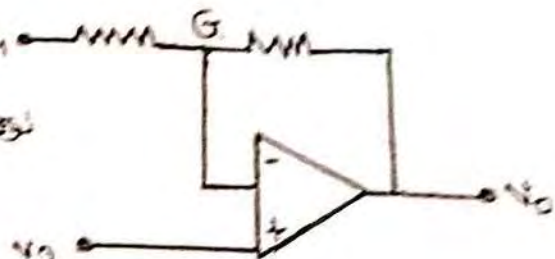
$$V_0 = -1/2 (V_1 + V_2 + V_3) \quad \rightarrow (5)$$

6) കണ്ടക്ടർ സമരീകണം :-

ഒരു ഉപരിയരി തണുത്തതുകൊണ്ട്  $V_1$  എന്ന  $G$  എന്ന

അല്ലെങ്കിൽ കണ്ടക്ടർ ഉപയോഗിച്ച്

ഒരു കണ്ടക്ടർ സമരീകണം



$$V_0 = V_0' + V_0'' \quad \rightarrow (1)$$

മുൻപെ  $V_0'$  എന്ന കണ്ടക്ടർ ഉപയോഗിച്ച്

$$V_0 = -\frac{R_2}{R_1} V_1 \quad \rightarrow (2)$$

മുൻപെ  $V_0''$  എന്ന കണ്ടക്ടർ ഉപയോഗിച്ച്

$$V_0'' = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_2 \quad \rightarrow (3)$$

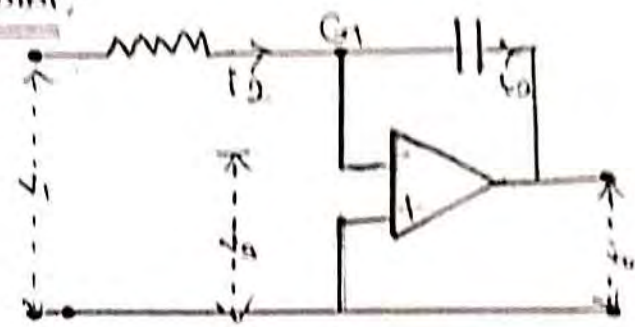
$$V_0 = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) V_0 = \frac{R_f}{R_1} V_1 \quad \rightarrow (4)$$

$$R_f \gg R_1 \quad \therefore \frac{R_f}{R_1} \gg 1$$

$$V_0 = \frac{R_f}{R_1} (V_0 - V_1) \\ = K (V_0 - V_1) \quad \rightarrow (5)$$

അതുകൊണ്ട്,  $R_f = R_1$  ആയിരിക്കുമ്പോൾ  $V_0 = (V_0 - V_1) \rightarrow (6)$   
 ത്രിപദം  $V_0 = V_1$  ആയിരിക്കും. ഇതാണ്  $V_0 = V_1$  എന്ന സമവാക്യം.

1) തന്മാത്രാപ്രവർത്തനം:



തന്മാത്രാപ്രവർത്തനം: ത്രിപദം  $V_0 = V_1$  ആയിരിക്കുമ്പോൾ,  $V_0 = V_1$  എന്ന സമവാക്യം ഉണ്ടാകുന്നു. ഇതിനെ  $V_0 = V_1$  എന്ന സമവാക്യം എഴുതാം.  $R_f$  ന്റെ മൂല്യം  $R_1$  ന്റെ മൂല്യത്തിന് തുല്യമാക്കിയാൽ,  $V_0 = V_1$  ആയിരിക്കും.

$$i_1 = i_2 \quad \rightarrow (7)$$

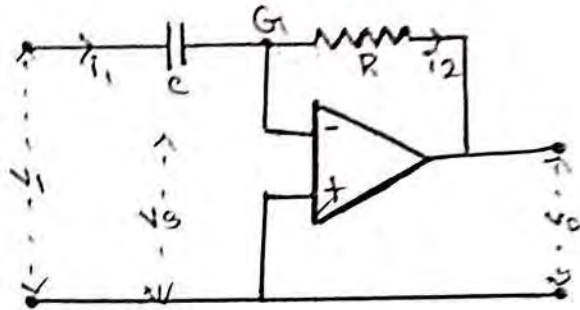
$$\frac{V_1 - V_0}{R} = C \frac{d(V_0 - V_0)}{dt} \quad \rightarrow (8)$$

$V_0$  മാറ്റം  $\frac{dV_0}{dt}$  ആയിരിക്കും,

$$C \frac{dV_0}{dt} = -\frac{V_1}{R} \quad \text{അതുകൊണ്ട്} \quad V_0 = -\frac{1}{CR} \int V_1 dt \quad (9)$$

ശബ്ദത്തിന്റെ ഉത്പാദനം ഉണ്ടാക്കുന്നതിനായി ഉപയോഗിക്കുന്ന ഒരു സിസ്റ്റം. അതിനെ  
 ശബ്ദത്തിന്റെ ഉത്പാദനം ഉണ്ടാക്കുന്നതിനായി ഉപയോഗിക്കുന്ന ഒരു സിസ്റ്റം.

8) പ്രതി സർക്യൂട്ട് വ്യക്തി:



ശബ്ദത്തിന്റെ ഉത്പാദനം ഉണ്ടാക്കുന്നതിനായി ഉപയോഗിക്കുന്ന ഒരു സിസ്റ്റം.

ശബ്ദത്തിന്റെ ഉത്പാദനം ഉണ്ടാക്കുന്നതിനായി ഉപയോഗിക്കുന്ന ഒരു സിസ്റ്റം.

$$i_1 = i_2 \quad \rightarrow (1)$$

$$C \frac{d}{dt} (V_1 - V_S) = -\frac{V_S - V_0}{R} \quad \rightarrow (2)$$

$V_S$  മുൻകണക്കിനെ

$$C \frac{dV_1}{dt} = -\frac{V_0}{R} \quad \rightarrow (3)$$

$$V_0 = -CR \cdot \frac{dV_1}{dt} \quad \rightarrow (4)$$

ശബ്ദത്തിന്റെ ഉത്പാദനം ഉണ്ടാക്കുന്നതിനായി ഉപയോഗിക്കുന്ന ഒരു സിസ്റ്റം.

പ്രതി സർക്യൂട്ടിന്റെ ഒരു സിസ്റ്റം വ്യക്തി.



### **Books for Reference:**

1. Electricity and Magnetism – Brijlal and Subrahmanyam (RatanPrakashanMandir, 1995)
2. Allied Physics II – A. Sundravelusamy (Priya Publications, 2011)
3. Applied Physics II - A. Sundravelusamy (Priya Publications, 2011)
4. Modern physics-Murughesan.R (S.Chand&co 2010)
5. Energy Physics-K.Karupannan, V.N.Suganthi(Priya publications,2006)

### **Source for Scanned images**

1. <https://www.electronicshub.org/kirchhoffs-laws/>
2. <https://www.toppr.com/ask/content/concept/meter-bridge-209636/>
3. [https://en.wikipedia.org/wiki/Carey\\_Foster\\_bridge](https://en.wikipedia.org/wiki/Carey_Foster_bridge)
4. <https://sites.google.com/site/puenggphysics/home/unit-iii/nuclear-models>