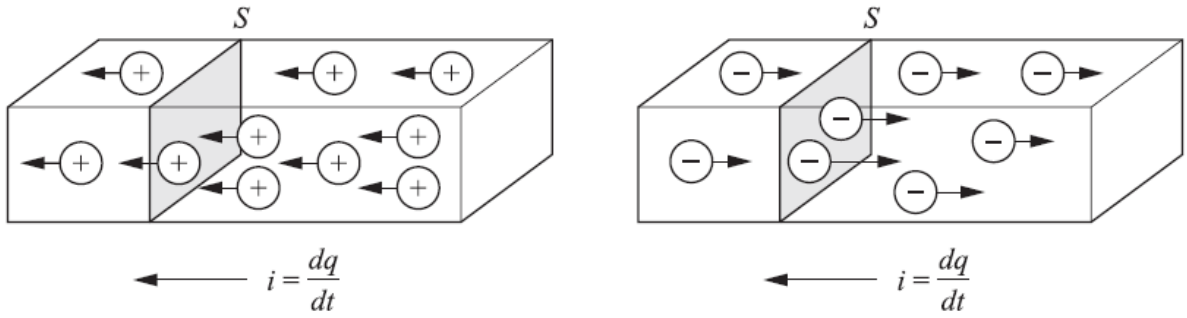
مبانی مهندسی برق

مفاهیم پایه:

- **جریان:** حرکت دسته‌جمعی الکترون‌های آزاد- واحد آمپر



Definition of current ▶

$$i = \frac{dq}{dt},$$

where

i = the current in amperes,
q = the charge in coulombs,
t = the time in seconds.

EXAMPLE 1.2. A conductor has a constant current of five amperes. How many electrons pass a fixed point on the conductor in one minute?

$$5\,\text{A} = (5\,\text{C/s})(60\,\text{s/min}) = 300\,\text{C/min}$$

$$\frac{300\,\text{C/min}}{1.602 \times 10^{-19}\,\text{C/electron}} = 1.87 \times 10^{21}\ \text{electrons/min}$$

ولتاژ: عامل به وجود آوردن حرکت الکترون – واحد ولت

Definition of voltage ▶

$$v = \frac{dw}{dq},$$

where

v = the voltage in volts,
w = the energy in joules,
q = the charge in coulombs.

EXAMPLE 1.3. In an electric circuit an energy of 9.25 μJ is required to transport 0.5 μC from point *a* to point *b*. What electric potential difference exists between the two points?

$$1 \text{ volt} = 1 \text{ joule per coulomb} \qquad V = \frac{9.25 \times 10^{-6}\,\text{J}}{0.5 \times 10^{-6}\,\text{C}} = 18.5\,\text{V}$$

- **مقاومت:** مخالفت در برابر حرکت الکترون- واحد اهم

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

در قسمت‌های بعدی با مفهوم گسترده‌تر مقاومت یعنی امپدانس آشنا خواهیم شد

- **توان الکتریکی:** انرژی الکتریکی در واحد زمان—واحد وات

$$p = \frac{dw}{dt}, \qquad (1.3)$$ ◀ **Definition of power**

where

p = the power in watts,
w = the energy in joules,
t = the time in seconds.

Thus 1 W is equivalent to 1 J/s.

The power associated with the flow of charge follows directly from the definition of voltage and current in Eqs. 1.1 and 1.2, or

$$p = \frac{dw}{dt} = \left(\frac{dw}{dq}\right)\left(\frac{dq}{dt}\right),$$

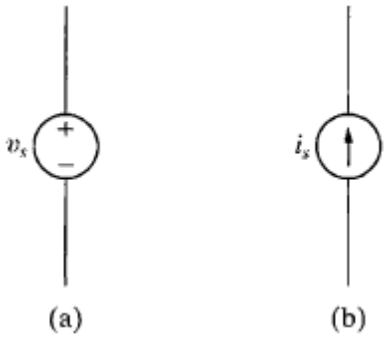
so

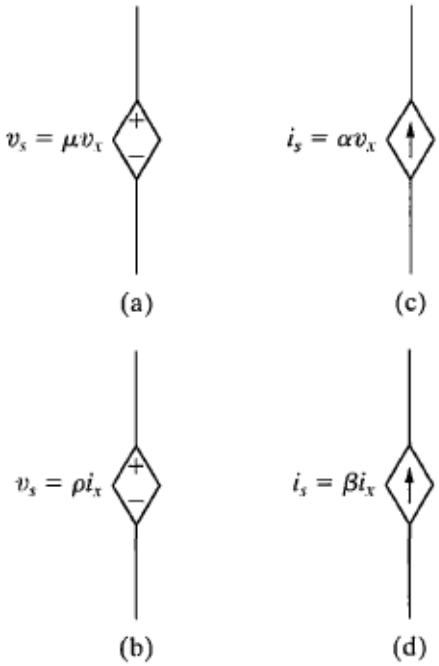
$$p = vi \qquad (1.4)$$ ◀ **Power equation**

where

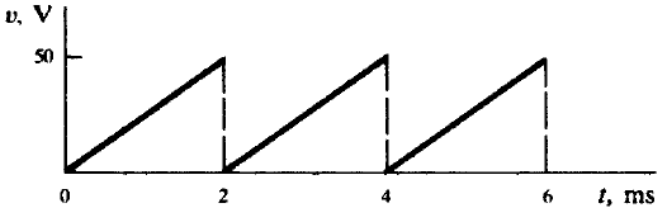
p = the power in watts,
v = the voltage in volts,
i = the current in amperes.

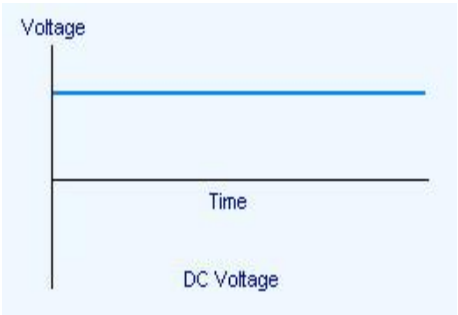
- دسته‌بندی منابع ازنظر وابستگی

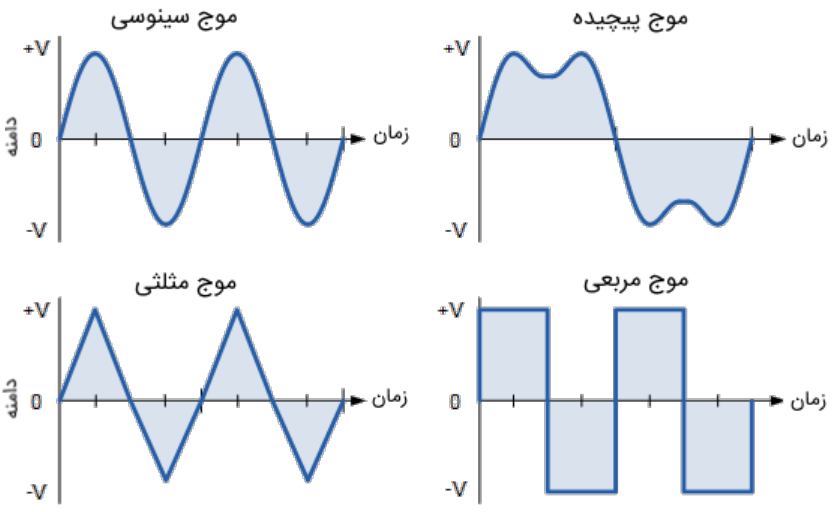




دسته‌بندی منابع ازنظر زمان







مشخصه‌های اصلی یک‌شکل موجAC

مشخصه‌های اصلی یک‌شکل موج AC به‌شرط زیر هستند:

- **دوره (Period) یا T**، مدت‌زمانی است که ابتدا تا انتهای شکل موج تکرار می‌شود. این مشخصه را برای شکل موج‌های سینوسی، دوره تناوب (Periodic Time) و برای شکل موج‌های مربعی، پهنای پالس (Pulse Width)نیز می‌نامند.
- **فرکانس (Frequency) یا f** ، تعداد دفعاتی است که شکل موج در یک ثانیه تکرار می‌شود. فرکانس، عکس دوره تناوب است (1/T1/T) و برحسب هرتز (Hertz) یا Hz اندازه‌گیری می‌شود.
- **دامنه (Amplitude) یا A**، بزرگی یا شدت شکل موج، برحسب ولت، جریان یا غیره است.

همان‌طور که گفتیم، متداول‌ترین شکل موجی که در مهندسی برق استفاده می‌شود، شکل موج سینوسی است. هرچند، همیشه شکل موج‌ها نرم نیستند و ممکن است شکل موج‌های مثلثاتی فقط پایه آن‌ها باشند.

مقدار متوسط شکل موج AC

$$F_{\text{avg}} = \langle f(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T f(t)\, dt$$

مثال ۱

$$v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta).$$

$$V_{\text{avg}} = \frac{1}{T} \int_0^T V_m \cos(\omega t + \theta)\, dt = \frac{V_m}{\omega T} [\sin(\omega t + \theta)]_0^T = 0$$

مثال ۲

$$p = vi$$

$$i = I_m \cos \omega t$$

$$v = V_m \cos(\omega t - \theta)$$

$$P_{\text{avg}} = \frac{1}{T} \int_0^T vi = \frac{V_m I_m \cos\theta}{2}$$

مقدار مؤثر شکل موج AC

مقدار «مقدار مؤثر (Effective value) «یک جریانAC ، مقداری است که اگر جریان مستقیمی به همان اندازه داشته باشیم، در اثر عبور از مقاومت معینی همان مقدار حرارت را ایجاد می کند که جریان متناوب ایجاد کرده است.
مقدار مؤثر یک‌شکل موج سینوسی معمولاً بانام «مجذور میانگین مربعات (Root Mean Squared) «یا RMS شناخته می‌شود.

$$p = vi = v^2/R$$

$$P_{\text{avg}} = \frac{1}{RT}\int_0^T v^2(t)\,dt = \frac{1}{R}V_{\text{eff}}^2 = \frac{V_{\text{dc}}^2}{R} \qquad \text{or} \qquad V_{\text{dc}} = V_{\text{eff}}$$

$$F_{\text{eff}} = F_{\text{rms}} = \left[\frac{1}{T}\int_{t_0}^{t_0+T} f^2(t)\,dt\right]^{1/2}$$

مثال ۱

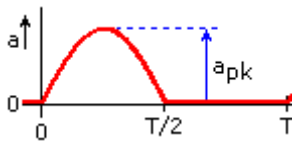
$$v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta).$$

$$V_{\text{eff}}^2 = \frac{1}{T}\int_0^T V_m^2 \cos^2(\omega t + \theta)\,dt = \frac{1}{2T}\int_0^T V_m^2[1 + \cos 2(\omega t + \theta)]\,dt = V_m^2/2$$

$$V_{\text{eff}} = V_m/\sqrt{2} = 0.707V_m$$

$$P_{\text{avg}} = \frac{V_m I_m \cos\theta}{2} = V_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \cos\theta$$

مثال ۲



$$v(t) = \begin{cases} V_m \sin\omega t & \text{when } \sin\omega t > 0 \\ 0 & \text{when } \sin\omega t < 0 \end{cases}$$

$$V_{\text{avg}} = \frac{1}{T}\int_0^{T/2} V_m \sin\omega t\,dt = \frac{V_m}{\omega T}[-\cos\omega t]_0^{T/2} = V_m/\pi$$

$$V_{\text{eff}}^2 = \frac{1}{T}\int_0^{T/2} V_m^2 \sin^2\omega t\,dt = \frac{1}{2T}\int_0^{T/2} V_m^2(1 - \cos 2\omega t)\,dt = V_m^2/4$$

$$V_{\text{eff}} = V_m/2$$

مثال ۳

$$v(t) = \begin{cases} V_0 & \text{for } 0 < t < T_1 \\ -V_0 & \text{for } T_1 < t < 3T_1 \end{cases} \qquad \text{Period } T = 3T_1$$

$$V_{\text{avg}} = \frac{V_0}{3T}(T_1 - 2T_1) = \frac{-V_0}{3}$$

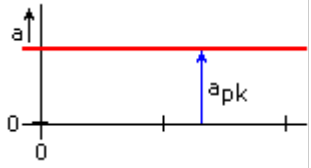
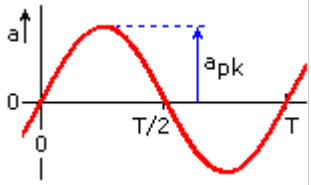
$$V_{\text{eff}}^2 = \frac{V_0^2}{3T}(T_1 + 2T_1) = V_0^2$$

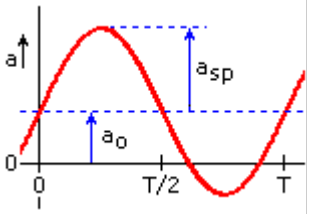
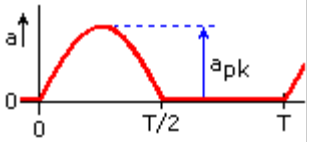
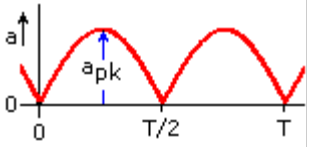
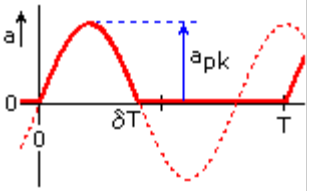
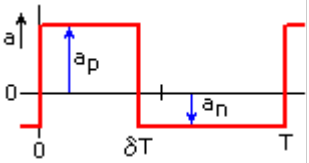
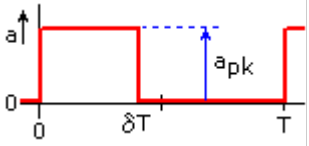
$$V_{\text{eff}} = V_0$$

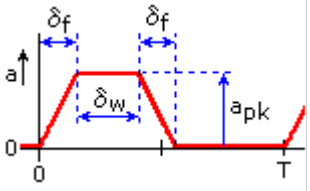
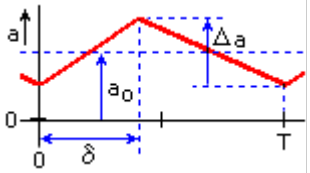
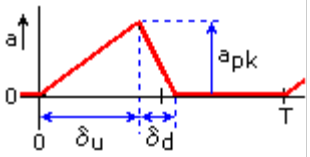
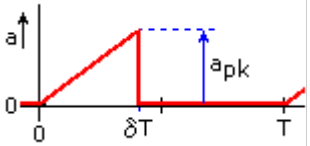
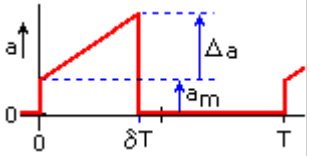
values

$$A_{mean} := \frac{1}{T}\cdot\int_0^T a(t)\,dt \quad \text{[equ. 1]} \qquad A_{RMS} := \sqrt{\frac{1}{T}\cdot\int_0^T a(t)^2\,dt} \quad \text{[equ. 2]}$$

Waveforms

description	waveform	mean value	RMS value
DC Signal with an unchanging value a_{pk} over time.		$A_{mean} = a_{pk}$	$A_{RMS} = a_{pk}$
Sine Pure sine shaped signal symmetrical around zero with an amplitude a_{pk}.		$A_{mean} = 0$	$A_{RMS} = \frac{a_{pk}}{\sqrt{2}}$

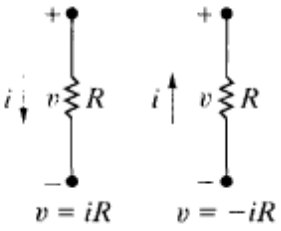
description	waveform	mean value	RMS value
Sine with offset Sine wave with a top value a_{pk} and an offset from zero a_o.		$A_{mean} = a_o$	$A_{RMS} = \sqrt{a_o^2 + \frac{1}{2} \cdot a_{sp}^2}$
Half-wave rectified sine Signal that only contains the positive (or negative) values of a sine shaped signal with a top value a_{pk}.		$A_{mean} = \frac{a_{pk}}{\pi}$	$A_{RMS} = \frac{a_{pk}}{2}$
Full-wave rectification sine Signal calculated from the absolute values of a sine with a top value a_{pk}.		$A_{mean} = a_{pk} \cdot \frac{2}{\pi}$	$A_{RMS} = \frac{a_{pk}}{\sqrt{2}}$
Half sine impulse Half sine cycle with a width of δT and a top value a_{pk}.		$A_{mean} = a_{pk} \cdot \delta \cdot \frac{2}{\pi}$	$A_{RMS} = a_{pk} \cdot \sqrt{\frac{\delta}{2}}$
Square wave bipolar Square wave that contains positive a_p as well as negative a_n values and has a duty-cycle δ.		$A_{mean} = \delta \cdot a_p + (1-\delta) \cdot a_n$	$A_{RMS} = \sqrt{\delta \cdot a_p^2 + (1-\delta) \cdot a_n^2}$
Square wave unipolar Square wave with only positive (or negative) values a_{pk} with a duty-cycle δ.		$A_{mean} = a_{pk} \cdot \delta$	$A_{RMS} = a_{pk} \cdot \sqrt{\delta}$

description	waveform	mean value	RMS value
Trapezium Trapezium shaped signal with an amplitude a_{pk} and a width δ_w. The rising and the falling edge δ_f has the same value.		$A_{mean} = a_{pk} \cdot (\delta_f + \delta_w)$	$A_{RMS} = a_{pk} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \delta_f + 3 \cdot \delta_w}{3}}$
Triangle Triangle wave shape with a top-top value Δ_a whereby the mean amplitude an offset a_o has. The rising edge has a width δ.		$A_{mean} = a_o$	$A_{RMS} = a_o \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{12} \cdot \left(\frac{\Delta a}{a_o}\right)^2}$
Triangle impulse Triangle impulse with a top value a_{pk}. The rising edge has a width δ_u and the falling edge δ_d.		$A_{mean} = a_{pk} \cdot \frac{\delta_u + \delta_d}{2}$	$A_{RMS} = a_{pk} \cdot \sqrt{\frac{\delta_u + \delta_d}{3}}$
Saw tooth impulse Saw tooth impulse with a top value a_{pk} and a width δ.		$A_{mean} = a_{pk} \cdot \frac{\delta}{2}$	$A_{RMS} = a_{pk} \cdot \sqrt{\frac{\delta}{3}}$
Saw tooth impulse with offset Saw tooth impulse with an amplitude of the rising edge Δa and a start amplitude a_m. The impulse with is δ		$A_{mean} = \delta \cdot \left(a_m + \frac{\Delta a}{2}\right)$	$A_{RMS} = \sqrt{\delta \cdot \left[a_m^2 + a_m \cdot \Delta a + \frac{\Delta a^2}{3}\right]}$

- **قوانین مدارهای الکتریکی:**

۱- قانون اهم

$$v = iR,$$



v = the voltage in volts,

i = the current in amperes,

R = the resistance in ohms.

۲- قانون جریان کریشهوف: جمع جبری جریان‌ها در یک گره برابر صفر است

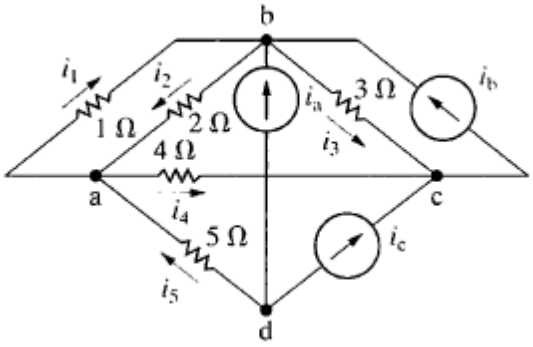
$$\sum_{n=1}^{N} i_n = 0$$

node a $\quad i_1 + i_4 - i_2 - i_5 = 0,$

node b $\quad i_2 + i_3 - i_1 - i_b - i_a = 0,$

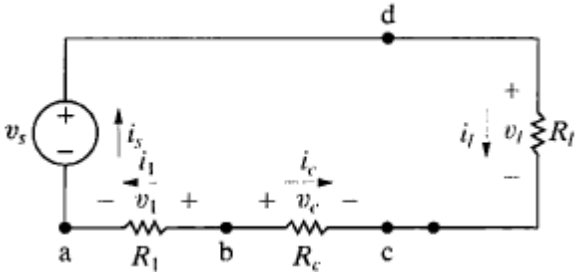
node c $\quad i_b - i_3 - i_4 - i_c = 0,$

node d $\quad i_5 + i_a + i_c = 0.$



۳- قانون ولتاژ کریشهوف: جمع جبری ولتاژ در یک حلقه برابر صفر است

$$\sum_{m=1}^{M} v_m = 0$$



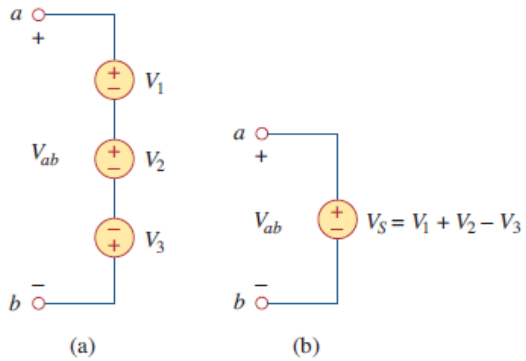
$$v_l - v_c + v_1 - v_s = 0,$$

$v_1 = i_1 R_1,$

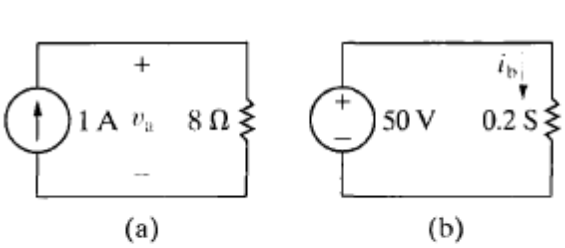
$v_c = i_c R_c,$

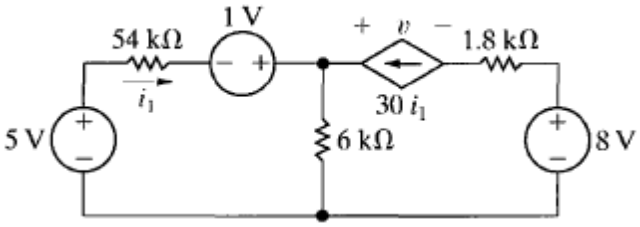
$v_l = i_l R_l.$

-

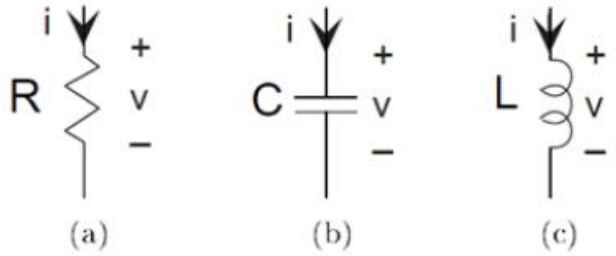


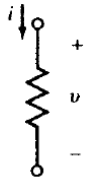
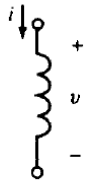
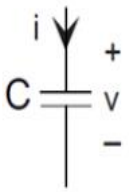
- **مدار الکتریکی:** از اتصال منابع و المان‌ها مدار الکتریکی تشکیل می گردد.





- **عناصر(المان‌های) الکتریکی:** مقاومت – سلف – خازن



Circuit element	Units	Voltage	Current	Power
 **Resistance**	ohms (Ω)	$v = Ri$ **(Ohms's law)**	$i = \frac{v}{R}$	$p = vi = i^2R$
	henries (H)	$v = L\frac{di}{dt}$	$i = \frac{1}{L}\int v\,dt + k_1$	$p = vi = Li\frac{di}{dt}$
 **Capacitance**	farads (F)	$v = \frac{1}{C}\int i\,dt + k_2$	$i = C\frac{dv}{dt}$	$p = vi = Cv\frac{dv}{dt}$

سری و موازی عناصر الکتریکی

3.1 Resistors in Series

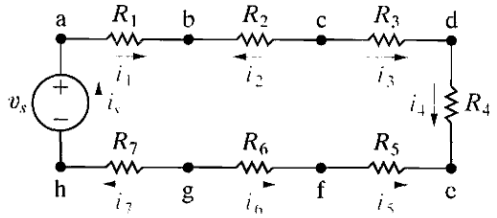


Figure 3.1 ▲ Resistors connected in series.

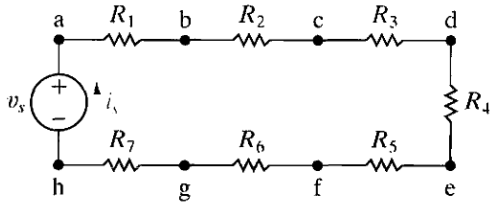


Figure 3.2 ▲ Series resistors with a single unknown current i_s.

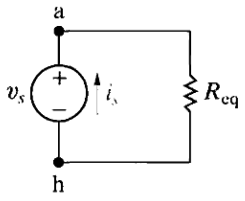


Figure 3.3 ▲ A simplified version of the circuit shown in Fig. 3.2.

Combining resistors in series ▶

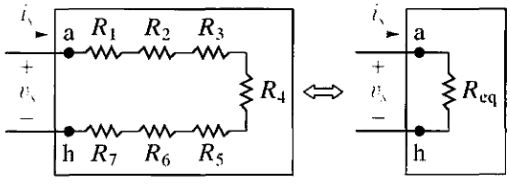


Figure 3.4 ▲ The black box equivalent of the circuit shown in Fig. 3.2.

In Chapter 2, we said that when just two elements connect at a single node, they are said to be in series. **Series-connected circuit elements** carry the same current. The resistors in the circuit shown in Fig. 3.1 are connected in series. We can show that these resistors carry the same current by applying Kirchhoff's current law to each node in the circuit. The series interconnection in Fig. 3.1 requires that

$$i_s = i_1 = -i_2 = i_3 = i_4 = -i_5 = -i_6 = i_7, \tag{3.1}$$

which states that if we know any one of the seven currents, we know them all. Thus we can redraw Fig. 3.1 as shown in Fig. 3.2, retaining the identity of the single current i_s.

To find i_s, we apply Kirchhoff's voltage law around the single closed loop. Defining the voltage across each resistor as a drop in the direction of i_s gives

$$-v_s + i_sR_1 + i_sR_2 + i_sR_3 + i_sR_4 + i_sR_5 + i_sR_6 + i_sR_7 = 0, \tag{3.2}$$

or

$$v_s = i_s(R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7). \tag{3.3}$$

The significance of Eq. 3.3 for calculating i_s is that the seven resistors can be replaced by a single resistor whose numerical value is the sum of the individual resistors, that is,

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 \tag{3.4}$$

and

$$v_s = i_sR_{eq}. \tag{3.5}$$

Thus we can redraw Fig. 3.2 as shown in Fig. 3.3.

In general, if k resistors are connected in series, the equivalent single resistor has a resistance equal to the sum of the k resistances, or

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^{k} R_i = R_1 + R_2 + \cdots + R_k. \tag{3.6}$$

Note that the resistance of the equivalent resistor is always larger than that of the largest resistor in the series connection.

Another way to think about this concept of an equivalent resistance is to visualize the string of resistors as being inside a black box. (An electrical engineer uses the term **black box** to imply an opaque container; that is, the contents are hidden from view. The engineer is then challenged to model the contents of the box by studying the relationship between the voltage and current at its terminals.) Determining whether the box contains k resistors or a single equivalent resistor is impossible. Figure 3.4 illustrates this method of studying the circuit shown in Fig. 3.2.

3.2 Resistors in Parallel

When two elements connect at a single node pair, they are said to be in parallel. **Parallel-connected circuit elements** have the same voltage across their terminals. The circuit shown in Fig. 3.5 illustrates resistors connected in parallel. Don't make the mistake of assuming that two elements are parallel connected merely because they are lined up in parallel in a circuit diagram. The defining characteristic of parallel-connected elements is that they have the same voltage across their terminals. In Fig. 3.6, you can see that R_1 and R_3 are not parallel connected because, between their respective terminals, another resistor dissipates some of the voltage.

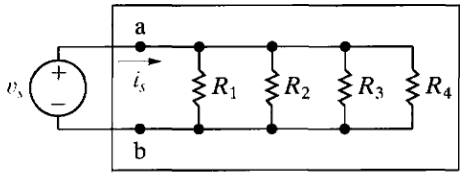


Figure 3.5 ▲ Resistors in parallel.

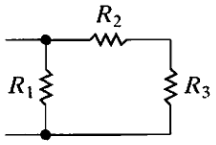


Figure 3.6 ▲ Nonparallel resistors.

Resistors in parallel can be reduced to a single equivalent resistor using Kirchhoff's current law and Ohm's law, as we now demonstrate. In the circuit shown in Fig. 3.5, we let the currents i_1, i_2, i_3, and i_4 be the currents in the resistors R_1 through R_4, respectively. We also let the positive reference direction for each resistor current be down through the resistor, that is, from node a to node b. From Kirchhoff's current law,

$$i_s = i_1 + i_2 + i_3 + i_4. \tag{3.7}$$

The parallel connection of the resistors means that the voltage across each resistor must be the same. Hence, from Ohm's law,

$$i_1R_1 = i_2R_2 = i_3R_3 = i_4R_4 = v_s. \tag{3.8}$$

Therefore,

$$i_1 = \frac{v_s}{R_1},$$

$$i_2 = \frac{v_s}{R_2},$$

$$i_3 = \frac{v_s}{R_3}, \quad \text{and}$$

$$i_4 = \frac{v_s}{R_4}. \tag{3.9}$$

Substituting Eq. 3.9 into Eq. 3.7 yields

$$i_s = v_s\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}\right), \tag{3.10}$$

from which

$$\frac{i_s}{v_s} = \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}. \tag{3.11}$$

Equation 3.11 is what we set out to show: that the four resistors in the circuit shown in Fig. 3.5 can be replaced by a single equivalent resistor. The circuit shown in Fig. 3.7 illustrates the substitution. For k resistors connected in parallel, Eq. 3.11 becomes

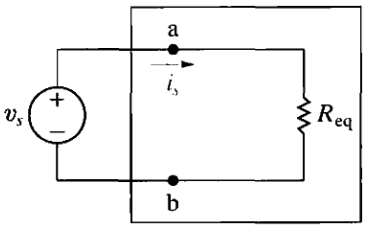


Figure 3.7 ▲ Replacing the four parallel resistors shown in Fig. 3.5 with a single equivalent resistor.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=1}^{k}\frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_k}. \tag{3.12}$$

◀ **Combining resistors in parallel**

Note that the resistance of the equivalent resistor is always smaller than the resistance of the smallest resistor in the parallel connection. Sometimes,

6.3 Series-Parallel Combinations of Inductance and Capacitance

Just as series-parallel combinations of resistors can be reduced to a single equivalent resistor, series-parallel combinations of inductors or capacitors can be reduced to a single inductor or capacitor. Figure 6.13 shows inductors in series. Here, the inductors are forced to carry the same current; thus we define only one current for the series combination. The voltage drops across the individual inductors are

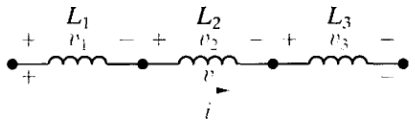


Figure 6.13 ▲ Inductors in series.

$$v_1 = L_1\frac{di}{dt}, \qquad v_2 = L_2\frac{di}{dt}, \qquad \text{and} \qquad v_3 = L_3\frac{di}{dt}.$$

The voltage across the series connection is

$$v = v_1 + v_2 + v_3 = (L_1 + L_2 + L_3)\frac{di}{dt},$$

from which it should be apparent that the equivalent inductance of series-connected inductors is the sum of the individual inductances. For n inductors in series,

$$L_{\text{eq}} = L_1 + L_2 + L_3 + \cdots + L_n. \tag{6.19}$$

◀ **Combining inductors in series**

If the original inductors carry an initial current of $i(t_0)$, the equivalent inductor carries the same initial current. Figure 6.14 shows the equivalent circuit for series inductors carrying an initial current.

Inductors in parallel have the same terminal voltage. In the equivalent circuit, the current in each inductor is a function of the terminal voltage and the initial current in the inductor. For the three inductors in parallel shown in Fig. 6.15, the currents for the individual inductors are

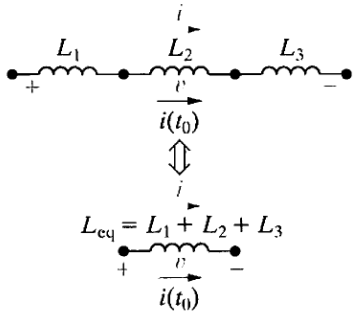


Figure 6.14 ▲ An equivalent circuit for inductors in series carrying an initial current $i(t_0)$.

$$i_1 = \frac{1}{L_1}\int_{t_0}^{t} v\,d\tau + i_1(t_0),$$

$$i_2 = \frac{1}{L_2}\int_{t_0}^{t} v\,d\tau + i_2(t_0),$$

$$i_3 = \frac{1}{L_3}\int_{t_0}^{t} v\,d\tau + i_3(t_0). \tag{6.20}$$

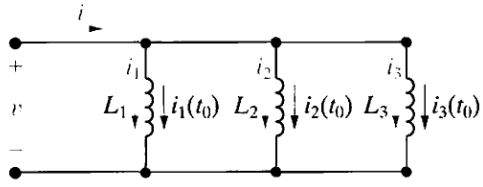


Figure 6.15 ▲ Three inductors in parallel.

The current at the terminals of the three parallel inductors is the sum of the inductor currents:

$$i = i_1 + i_2 + i_3. \tag{6.21}$$

Substituting Eq. 6.20 into Eq. 6.21 yields

$$i = \left(\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}\right)\int_{t_0}^{t} v\,d\tau + i_1(t_0) + i_2(t_0) + i_3(t_0). \tag{6.22}$$

Now we can interpret Eq. 6.22 in terms of a single inductor; that is,

$$i = \frac{1}{L_{eq}} \int_{t_0}^{t} v \, d\tau + i(t_0). \tag{6.23}$$

Comparing Eq. 6.23 with (6.22) yields

$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} \tag{6.24}$$

$$i(t_0) = i_1(t_0) + i_2(t_0) + i_3(t_0). \tag{6.25}$$

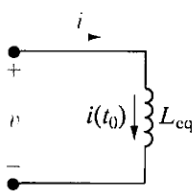


Figure 6.16 ▲ An equivalent circuit for three inductors in parallel.

Figure 6.16 shows the equivalent circuit for the three parallel inductors in Fig. 6.15.

The results expressed in Eqs. 6.24 and 6.25 can be extended to n inductors in parallel:

Combining inductors in parallel ▶

$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \cdots + \frac{1}{L_n} \tag{6.26}$$

Equivalent inductance initial current ▶

$$i(t_0) = i_1(t_0) + i_2(t_0) + \cdots + i_n(t_0). \tag{6.27}$$

Capacitors connected in series can be reduced to a single equivalent capacitor. The reciprocal of the equivalent capacitance is equal to the sum of the reciprocals of the individual capacitances. If each capacitor carries its own initial voltage, the initial voltage on the equivalent capacitor is the algebraic sum of the initial voltages on the individual capacitors. Figure 6.17 and the following equations summarize these observations:

Combining capacitors in series ▶

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_n}, \tag{6.28}$$

Equivalent capacitance initial voltage ▶

$$v(t_0) = v_1(t_0) + v_2(t_0) + \cdots + v_n(t_0). \tag{6.29}$$

We leave the derivation of the equivalent circuit for series-connected capacitors as an exercise. (See Problem 6.32.)

The equivalent capacitance of capacitors connected in parallel is simply the sum of the capacitances of the individual capacitors, as Fig. 6.18 and the following equation show:

Combining capacitors in parallel ▶

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \cdots + C_n. \tag{6.30}$$

Capacitors connected in parallel must carry the same voltage. Therefore, if there is an initial voltage across the original parallel capacitors, this same initial voltage appears across the equivalent capacitance C_{eq}. The derivation of the equivalent circuit for parallel capacitors is left as an exercise. (See Problem 6.33.)

We say more about series-parallel equivalent circuits of inductors and capacitors in Chapter 7, where we interpret results based on their use.

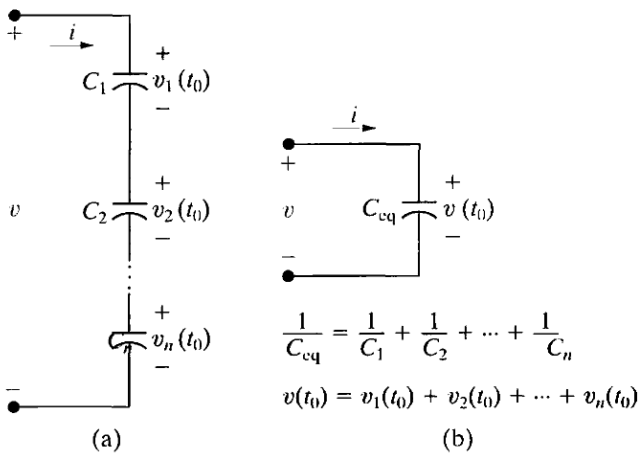


Figure 6.17 ▲ An equivalent circuit for capacitors connected in series. (a) The series capacitors. (b) The equivalent circuit.

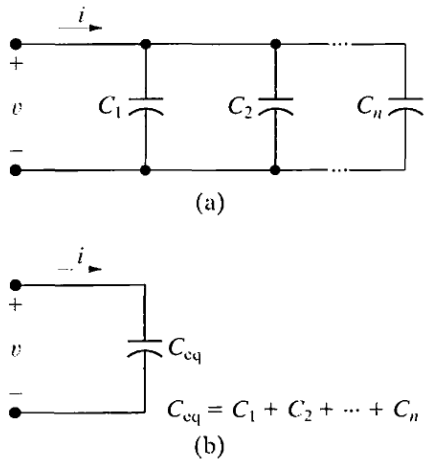


Figure 6.18 ▲ An equivalent circuit for capacitors connected in parallel. (a) Capacitors in parallel. (b) The equivalent circuit.

✓ASSESSMENT PROBLEMS

Objective 3—Be able to combine inductors or capacitors in series and in parallel to form a single equivalent inductor

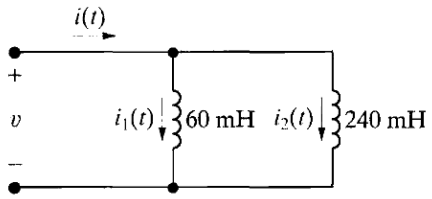
6.4 The initial values of i_1 and i_2 in the circuit shown are + 3 A and −5 A, respectively. The voltage at the terminals of the parallel inductors for $t \geq 0$ is $-30e^{-5t}$ mV.

a) If the parallel inductors are replaced by a single inductor, what is its inductance?

b) What is the initial current and its reference direction in the equivalent inductor?

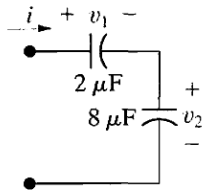
c) Use the equivalent inductor to find $i(t)$.

d) Find $i_1(t)$ and $i_2(t)$. Verify that the solutions for $i_1(t)$, $i_2(t)$, and $i(t)$ satisfy Kirchhoff's current law.



Answer: (a) 48 mH;
(b) 2 A, up;
(c) $0.125e^{-5t} - 2.125$ A, $t \geq 0$;
(d) $i_1(t) = 0.1e^{-5t} + 2.9$ A, $t \geq 0$,
$i_2(t) = 0.025e^{-5t} - 5.025$ A, $t \geq 0$.

6.5 The current at the terminals of the two capacitors shown is $240e^{-10t}\mu$A for $t \geq 0$. The initial values of v_1 and v_2 are −10 V and −5 V, respectively. Calculate the total energy trapped in the capacitors as $t \to \infty$. (*Hint:* Don't combine the capacitors in series—find the energy trapped in each, and then add.)



Answer: 20 μJ.

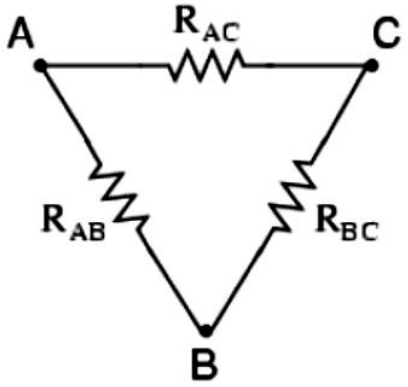
NOTE: Also try Chapter Problems 6.21, 6.25, 6.26, and 6.31.

6.4 Mutual Inductance

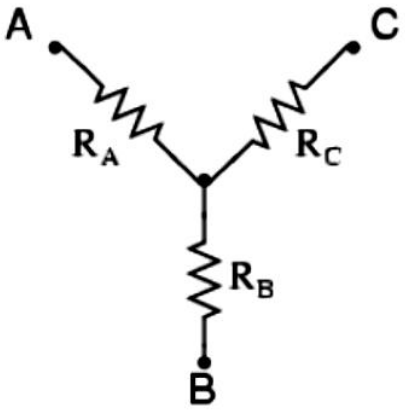
The magnetic field we considered in our study of inductors in Section 6.1 was restricted to a single circuit. We said that inductance is the parameter that relates a voltage to a time-varying current in the same circuit; thus, inductance is more precisely referred to as self-inductance.

We now consider the situation in which two circuits are linked by a magnetic field. In this case, the voltage induced in the second circuit can be related to the time-varying current in the first circuit by a parameter

Delta (Δ) network



Wye (Y) network



To convert a Delta (Δ) to a Wye (Y)

$$R_A = \frac{R_{AB}\,R_{AC}}{R_{AB} + R_{AC} + R_{BC}}$$

$$R_B = \frac{R_{AB}\,R_{BC}}{R_{AB} + R_{AC} + R_{BC}}$$

$$R_C = \frac{R_{AC}\,R_{BC}}{R_{AB} + R_{AC} + R_{BC}}$$

To convert a Wye (Y) to a Delta (Δ)

$$R_{AB} = \frac{R_AR_B + R_AR_C + R_BR_C}{R_C}$$

$$R_{BC} = \frac{R_AR_B + R_AR_C + R_BR_C}{R_A}$$

$$R_{AC} = \frac{R_AR_B + R_AR_C + R_BR_C}{R_B}$$

Problem 1: A star-connected load consists of three identical coils each of resistance 30 Ω and inductance 127.3 mH. If the line current is 5.08 A, calculate the line voltage if the supply frequency is 50 Hz.

Inductive reactance XL $=2\pi fL$

$=2\pi\ (50)\ (127.3\times10^{-3})$

$=40\ \Omega$

Impedance of each phase Zp $=\sqrt{}\ (R2 + X2L) =\sqrt{}\ (302 +402) =50\ \Omega$

For a star connection IL $=Ip =VpZp$

Hence phase voltage Vp $=IpZp = (5.08)(50)=254V$

Line voltage **VL** $=\sqrt{}3Vp =\sqrt{}3\ (254) =440V$

Problem 2: A 415V, 3-phase, 4 wire, star-connected system supplies three resistive loads as shown in Figure Determine (a) the current in each line and (b) the current in the neutral conductor.

Straightforward algebraic manipulation of Eqs. 3.41–3.43 gives values for the Y-connected resistors in terms of the Δ-connected resistors required for the Δ-to-Y equivalent circuit:

$$R_1 = \frac{R_b R_c}{R_a + R_b + R_c}, \tag{3.44}$$

$$R_2 = \frac{R_c R_a}{R_a + R_b + R_c}, \tag{3.45}$$

$$R_3 = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b + R_c}. \tag{3.46}$$

Reversing the Δ-to-Y transformation also is possible. That is, we can start with the Y structure and replace it with an equivalent Δ structure. The expressions for the three Δ-connected resistors as functions of the three Y-connected resistors are

$$R_a = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_1}, \tag{3.47}$$

$$R_b = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_2}, \tag{3.48}$$

$$R_c = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_3}. \tag{3.49}$$

Example 3.7 illustrates the use of a Δ-to-Y transformation to simplify the analysis of a circuit.

Example 3.7 Applying a Delta-to-Wye Transform

Find the current and power supplied by the 40 V source in the circuit shown in Fig. 3.32.

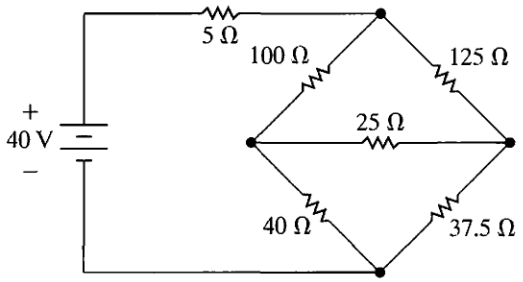


Figure 3.32 ▲ The circuit for Example 3.7.

Solution

We are interested only in the current and power drain on the 40 V source, so the problem has been solved once we obtain the equivalent resistance across the terminals of the source. We can find this equivalent resistance easily after replacing either the upper Δ (100, 125, 25 Ω) or the lower Δ (40, 25, 37.5 Ω) with its equivalent Y. We choose to replace the upper Δ. We then compute the three Y resistances, defined in Fig. 3.33, from Eqs. 3.44 to 3.46. Thus,

$$R_1 = \frac{100 \times 125}{250} = 50\ \Omega,$$

$$R_2 = \frac{125 \times 25}{250} = 12.5\ \Omega,$$

$$R_3 = \frac{100 \times 25}{250} = 10\ \Omega.$$

Substituting the Y-resistors into the circuit shown in Fig. 3.32 produces the circuit shown in Fig. 3.34. From Fig. 3.34, we can easily calculate the resistance across the terminals of the 40 V source by series-parallel simplifications:

$$R_{eq} = 55 + \frac{(50)(50)}{100} = 80\ \Omega.$$

The final step is to note that the circuit reduces to an 80 Ω resistor across a 40 V source, as shown in Fig. 3.35, from which it is apparent that the 40 V source delivers 0.5 A and 20 W to the circuit.

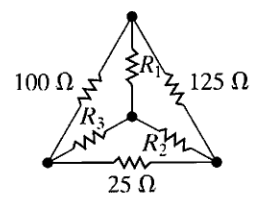


Figure 3.33 ▲ The equivalent Y resistors.

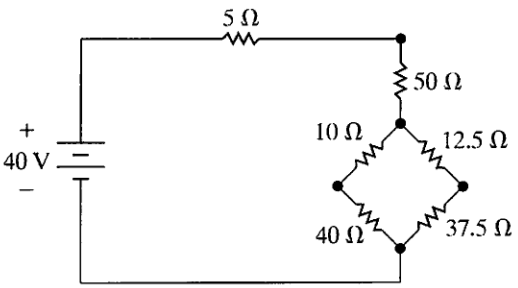


Figure 3.34 ▲ A transformed version of the circuit shown in Fig. 3.32.

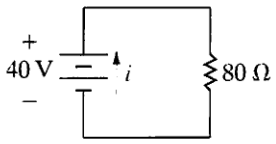
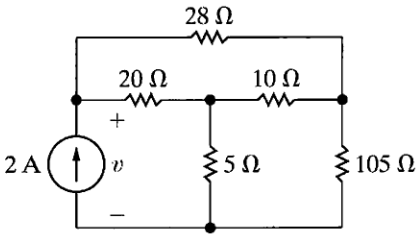


Figure 3.35 ▲ The final step in the simplification of the circuit shown in Fig. 3.32.

✓ASSESSMENT PROBLEM

Objective 6—Know when and how to use delta-to-wye equivalent circuits

3.8 Use a Y-to-Δ transformation to find the voltage v in the circuit shown.



Answer: 35 V.

NOTE: Also try Chapter Problems 3.53, 3.56, and 3.58.

Practical Perspective

A Rear Window Defroster

A model of a defroster grid is shown in Fig. 3.36, where x and y denote the horizontal and vertical spacing of the grid elements. Given the dimensions of the grid, we need to find expressions for each resistor in the grid such that the power dissipated per unit length is the same in each conductor. This will ensure uniform heating of the rear window in both the x and y directions. Thus we need to find values for the grid resistors that satisfy the following relationships:

$$i_1^2\left(\frac{R_1}{x}\right) = i_2^2\left(\frac{R_2}{x}\right) = i_3^2\left(\frac{R_3}{x}\right) = i_4^2\left(\frac{R_4}{x}\right) = i_5^2\left(\frac{R_5}{x}\right), \tag{3.50}$$

$$i_1^2\left(\frac{R_a}{y}\right) = i_1^2\left(\frac{R_1}{x}\right), \tag{3.51}$$

$$i_1^2\left(\frac{R_a}{y}\right) = i_b^2\left(\frac{R_b}{y}\right) = i_c^2\left(\frac{R_c}{y}\right) = i_5^2\left(\frac{R_d}{y}\right), \tag{3.52}$$

$$i_5^2\left(\frac{R_d}{y}\right) = i_5^2\left(\frac{R_5}{x}\right). \tag{3.53}$$

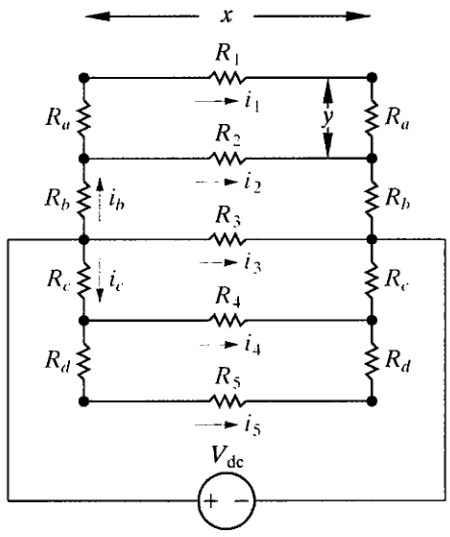


Figure 3.36 ▲ Model of a defroster grid.

www.konkur.in

The Y and Δ networks are said to be *balanced* when

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_Y, \qquad R_a = R_b = R_c = R_\Delta \tag{2.56}$$

Under these conditions, conversion formulas become

$$R_Y = \frac{R_\Delta}{3} \quad \text{or} \quad R_\Delta = 3R_Y \tag{2.57}$$

One may wonder why R_Y is less than R_Δ. Well, we notice that the Y-connection is like a "series" connection while the Δ-connection is like a "parallel" connection.

Note that in making the transformation, we do not take anything out of the circuit or put in anything new. We are merely substituting different but mathematically equivalent three-terminal network patterns to create a circuit in which resistors are either in series or in parallel, allowing us to calculate R_{eq} if necessary.

Example 2.14

Convert the Δ network in Fig. 2.50(a) to an equivalent Y network.

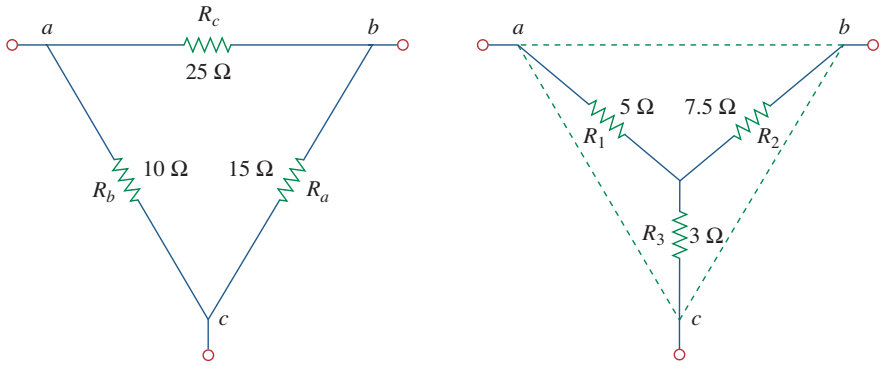


Figure 2.50
For Example 2.14: (a) original Δ network, (b) Y equivalent network.

Solution:
Using Eqs. (2.49) to (2.51), we obtain

$$R_1 = \frac{R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} = \frac{10 \times 25}{15 + 10 + 25} = \frac{250}{50} = 5\ \Omega$$

$$R_2 = \frac{R_c R_a}{R_a + R_b + R_c} = \frac{25 \times 15}{50} = 7.5\ \Omega$$

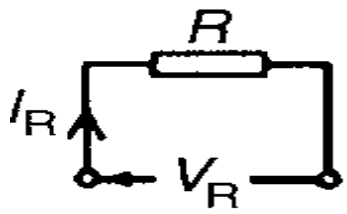
$$R_3 = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b + R_c} = \frac{15 \times 10}{50} = 3\ \Omega$$

The equivalent Y network is shown in Fig. 2.50(b).

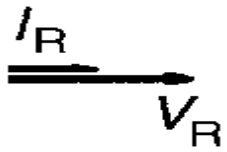
بررسی مدارات الکتریکی جریان متناوب بصورت سری

- مقامت خالص
- سلف خالص
- خازن خالص
- مقاومت و سلف
- مقاومت و خازن
- مقاومت, سلف و خازن

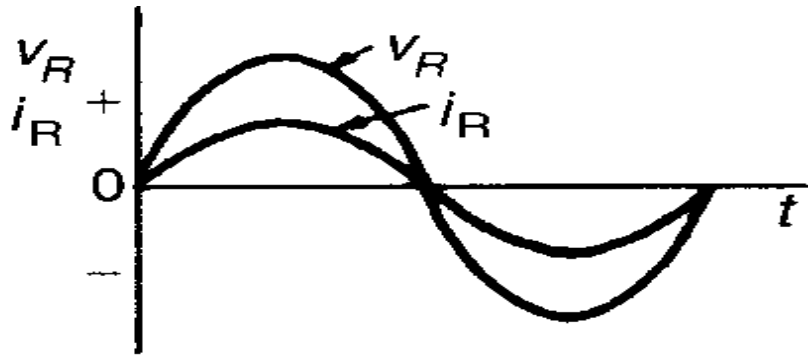
Ac through purely resistive circuit:



Circuit diagram

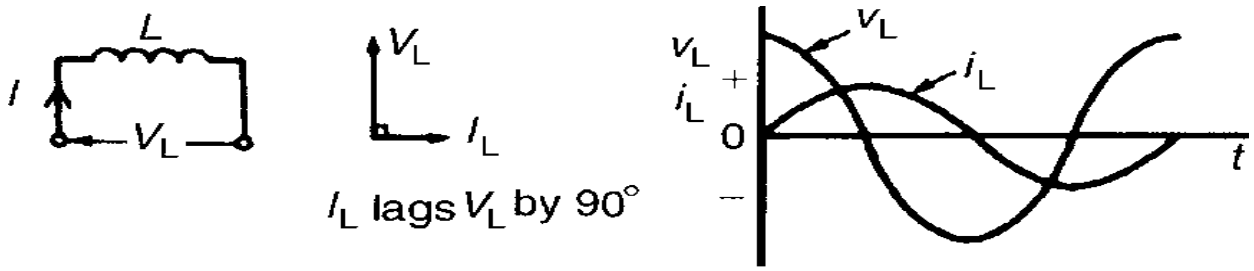


Phasor diagram



Current and voltage waveforms

AC through pure inductance:



Circuit diagram | Phasor diagram | Current and voltage waveforms

Consider a simple circuit consisting of a pure, inductance of L henries connected across a voltage given by the equation.

V = Vm Sinwt

Pure inductance has zero ohmic resistance its internal resistance is zero.
The coil has pure inductance of h henries (H).

When alternating current 'i' flows through inductance 'L'. It sets up an alternating magnetic field around the inductance. This changing flux links the coil and due to self inductance emf gets induced in the coil. This emf opposes the applied voltage.

The self induced emf in the coil is given by
Self induced emf e= -L di⁄dt
At all instants, applied voltage V is equal and opposite to self induced emf e

V = -e = - (-L di⁄dt)
V = L di⁄dt
Vm Sinwt = L di⁄dt
di = (Vm⁄ L) Sinwt dt
i = ∫di = ∫(Vm⁄ L) Sinwt dt
=(Vm⁄L)[-coswt⁄w]
i= -(Vm⁄wL) Sin ((π⁄2)-wt) ⇨coswt = Sin (wt-π⁄2)
i= -(Vm⁄wL) Sin (wt-π⁄2) ⇨Sin ((π⁄2)-wt) =-Sin(wt-π⁄2)

i = Im Sin (wt- π⁄2)

Where, Im = Vm⁄wL =Vm⁄X_L

X_L =wL = 2πfL Ω

The above equation clearly shows that the current is purely sinusoidal and having angle of - π⁄2 radians i.e. 90°. This means current lags voltage applied by 90°

Concepts of Induction Reactance:

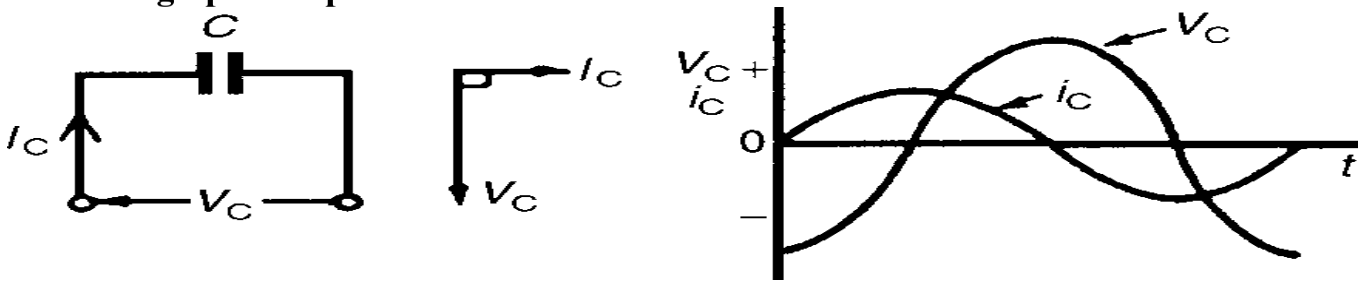
Im = Vm⁄X_L

Where, X_L = wL = 2πfL **Ω**
X_L = Induction Reactance

Inductive reactance is defined as the opposition offered by the inductance of circuit to the flow of an alternating sinusoidal current.

Note:

AC through pure capacitance:



Consider a simple circuit consisting of pure capacitor of c farads, connected across a voltage given by equation,

$$V = V_m \sin wt$$

The current I charge the capacitor C. The instantaneous charge 'q' on the plates of capacitor is given by

$$q = CV$$

$$q = CV_m \sin wt$$

Current i = rate of flow of charge 'q'

$$i = dq/dt = d(CV_m \sin wt)/dt$$

$$i = CV_m \, d(\sin wt)/dt$$

$$i = V_m/(1/wc) \sin(wt+\pi/2)$$

$$i = I_m \sin(wt+\pi/2)$$

Where, $I_m = V_m/X_c$

$X_c = 1/wc = 1/(2\pi fc)\ \Omega$

The above equation clearly shows that current is purely sinusoidal and having phase angle of $\pi/2$ radians $+90^0$

This means current leads voltage applied by $90^{0.}$ The positive sign indicates leading nature of the current.

Concepts of reactive capacitance:

$I_m = V_m/X_c$ And $X_c = 1/wC = 1/(2\pi fc)\ \Omega$

X_c = Capacitive reactance

Capacitive reactance is defined as the opposition offered by the capacitance of the circuit to flow of an alternating sinusoidal current.

Power:

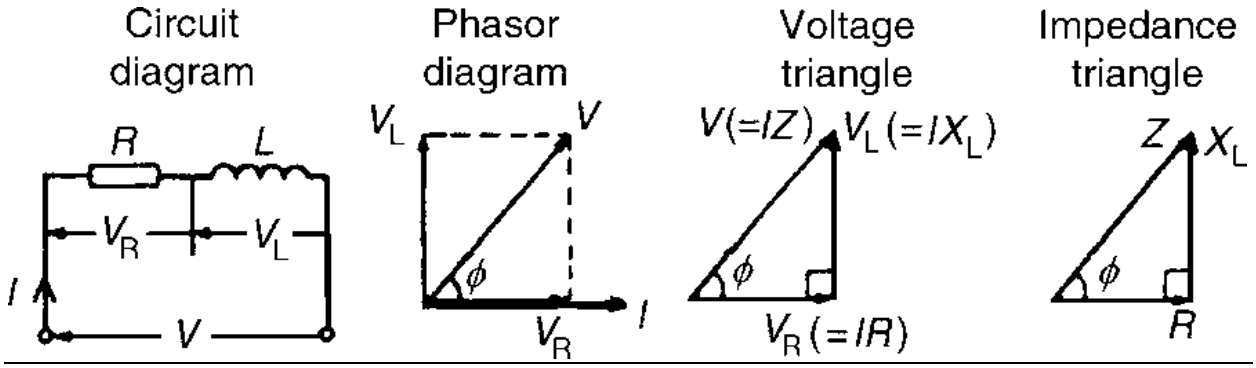
The expression for instantaneous power can be obtained by taking the product of instantaneous voltage and current

$$P = Vxi = V_m \sin(wt) \times I_m \sin(wt+\pi/2)$$

$$= V_m I_m \sin(wt) \cos(wt)$$

$$P = (V_m I_m/2) \sin(2wt)$$

$$P_{avg} = P_{av} = {}_0\int^{2\pi} (V_m I_m/2) \sin(2wt)\, d(wt) = 0$$



Consider a circuit consisting of pure Resistance R ohms connected in series with Inductance L henries as shown in fig.

The series combination is connected across ac supply is given by

$V = Vm \sin wt$

The voltage drops in the circuit are,

- Drop across pure resistance $V_R = IR$
- Drop across pure inductance $V_L = IX_L$

Where $X_L = 2\pi fL$

I = rms value of current drawn

V_R, V_L = rms value of pure inductance

By applying KVL,

$V = IR + IX_L$

Steps to drawn phasor diagram:

1. I as reference phasor
2. R, V, I are in phase, So V_R will be along I phase in case of resistance
3. I lags voltage by 90^0. But I is reference, V_L must be shown leading w.r.t I by 90^0 in case of inductance
4. Supply voltage = Vector sum of 2 vectors V_L and V_R obtained by law of parallelogram

$$V = \sqrt{(V_R^2) + (V_L^2)} = \sqrt{((IR)^2 + (IX_L)^2)}$$
$$= I\sqrt{(R^2 + X_L^2)}$$
$$V = IZ$$
$$\mathbf{Z = \sqrt{(R^2 + X_L^2)}}$$

From voltage triangle we can write,

$\tan \phi = V_L / V_R = X_L / R$

$\cos \phi = V_R / V = R / Z$

$\sin \phi = V_L / V = X_L / Z$

If all the sides of voltage are divided by current, we get triangle called impedance triangle.

Side or triangles are,

1- Resistance R
2- Inductive reactance X_L
3- Impedance Z

From this impedance triangle

$R = Z \cos \phi$ X component of Impedance = R

$X_L = Z \sin \phi$ Y Component of Impedance = X_L

In rectangular form the impedance is denoted as,

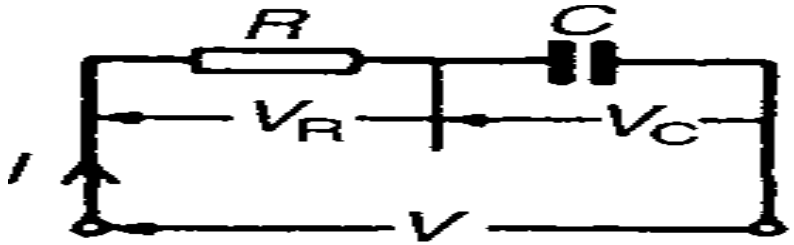
$Z = R + j X_L$

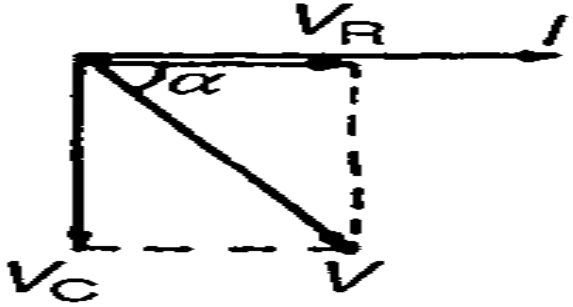
While in polar form

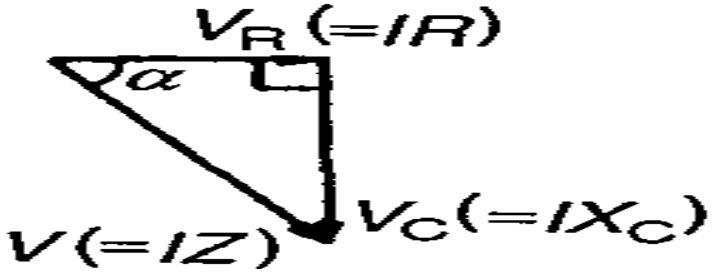
$Z = |Z| \angle \phi\ \Omega$

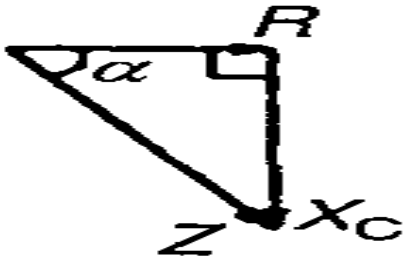
Where VAR = Volt ampere reactive.

I lead V in R-C series circuit:









Consider a circuit in which resistance R ohms and capacitance C farads is connected across ac supply is given by,

$V = Vm \sin wt$

Circuit draws a current I, then there are two voltage drops,

5. Drop across pure resistance $V_R = IR$
6. Drop across pure capacitance $Vc = IXc$

Where, $Xc = 1/2\pi fC$

Apply KVL we get,

$V = V_R + V_C$

$V = IxR + IxX_C$

Steps to draw phasor diagram:

- Take current as reference phasor.
- In case of resistance, voltage and current are in phase, so, V_R will along current phasor.
- In case of capacitance, current leads voltage 90^0 i.e. voltage lags by 90^0. so, Vc is shown downwards (i.e.) lagging current by 90^0
- The supply voltage being vector sum of these two voltages Vc and V_R obtained by completing parallelogram

Form voltage triangle,

$V = \sqrt{((V_R^2) + (Vc^2))} = \sqrt{((I_R^2) + (IXc^2))}$

$= I\sqrt{(R^2 + Xc^2)}$

$V = IZ$

$Z = \sqrt{(R^2 + Xc^2)}$ is the impedance of circuit

Impedance:

Impedance is nothing but opposition of flow of alternating current. It is measured in ohms given by,

$Z = \sqrt{(R^2 + Xc^2)}$

Where, $Xc = 1/1/2\pi fC$ Ω called capacitive reactance.

From voltage triangle if all sides of voltage triangle are divided by current, we get impedance triangle.

The sides of triangle are R, Xc, Z

The X component is $R = Z \cos \phi$

The Y component is $Xc = Z \sin \phi$

But direction of Xc is –Ve direction

$Z = R - j\, Xc\ \Omega$ - Rectangular form

$Z = |Z| \angle -\phi\ \Omega$ - Polar form

Where,

$|Z| = \sqrt{(R^2 + Xc^2)}$

$\phi = \tan^{-1}[-X_c/R]$

Power and power triangle:

The I leads the V by angle ϕ hence,

$i = Im \sin (wt + \phi)$

Power = V x i

$= Vm \sin (wt) \times Im \sin (wt + \phi)$

$= VmIm[\sin(wt).\sin(wt + \phi)]$

$= VmIm\ [(\cos(-\phi) - \cos (2wt + \phi))/2]$

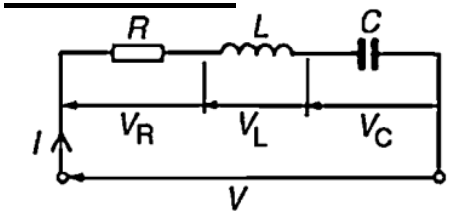
$= (VmIm/2) \times \cos \phi - (VmIm/2) \times \cos (2wt + \phi)$

Second term is cosine term whose average value over a cycle is zero.

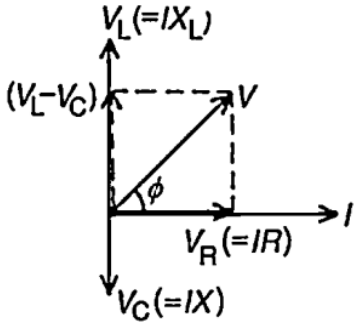
3. Draw the phasor diagram for a series RLC circuit energized by a sinusoidal voltage showing the relative position of current, component voltage and applied voltage for the following case

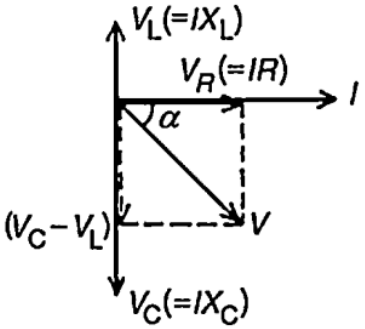
a) **When $X_L > Xc$**
b) **When $X_L < Xc$**
c) **When $X_L = Xc$.[AU-JUN-12]**

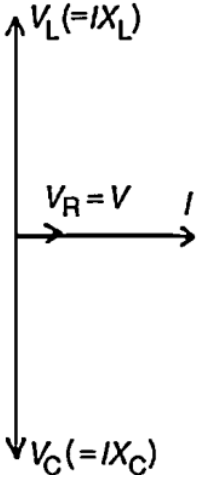
RLC Circuit:



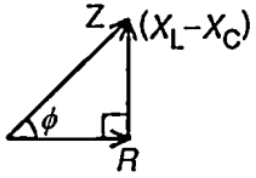
(a)





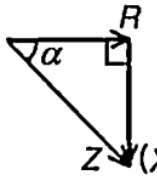


(d)



IMPEDANCE TRIANGLE

(b)



IMPEDANCE TRIANGLE

(c)

Consider a circuit in which R, L, and C are connected in series with each other across ac supply as shown in fig.

The ac supply is given by,

$V = Vm \sin wt$

The circuit draws a current I. Due to that different voltage drops are,

1) Voltage drop across Resistance R is $V_R = IR$
2) Voltage drop across Inductance L is $V_L = IX_L$

3) Voltage drop across Capacitance C is Vc = IXc

The characteristics of three drops are,

1. V_R is in phase with current I
2. V_L leads I by 90^0
3. Vc lags I by 90^0

According to krichoff's laws

Steps to draw phasor diagram:

1. Take current I as reference
2. V_R is in phase with current I
3. V_L leads current by 90^0
4. Vc lags current by 90^0
5. obtain resultant of V_L and Vc. Both V_L and Vc are in phase opposition (180^0 out of phase)
6. Add that with VRby law of parallelogram to getsupply voltage.

The phasor diagram depends on the condition of magnitude of V_L and Vc which ultimately depends on values of X_L and Xc.

Let us consider different cases:

Case(i): $X_L > Xc$

When $X_L > Xc$

Also $V_L > Vc$ (or) $IX_L > IXc$

So, resultant of V_L and Vc will directed towards V_L i.e. leading current I. Hence I lags V i.e. current I will lags the resultant of V_L and Vc i.e. (V_L - Vc). The circuit is said to be inductive in nature.

From voltage triangle,

$V = \sqrt{(V_R^2 + (V_L - Vc)^2)} = \sqrt{((IR)^2 + (IX_L - IXc)^2)}$

$V = I\sqrt{(R^2 + (X_L - Xc)^2)}$

$V = IZ$

$Z = \sqrt{(R^2 + (X_L - Xc)^2)}$

If , $V = Vm \sin wt$; $i = Im \sin (wt - \phi)$

i.e I lags V by angle ϕ

Case(ii): $X_L < Xc$

When $X_L < Xc$

Also $V_L < Vc$ (or) $IX_L < IXc$

Hence the resultant of V_L and Vc will directed towards Vc i.e current is said to be capacitive in nature

Form voltage triangle

$V = \sqrt{(V_R^2 + (V_c - V_L)^2)} = \sqrt{((IR)^2 + (IX_c - IX_L)^2)}$

$V = I\sqrt{(R^2 + (X_c - X_L)^2)}$

$V = IZ$

$Z = \sqrt{(R^2 + (Xc - X_L)^2)}$

If , $V = Vm \sin wt$; $i = Im \sin (wt + \phi)$

i.e I lags V by angle ϕ

Case(iii): $X_L = Xc$

When $X_L = Xc$

Also $V_L = Vc$ (or) $IX_L = IXc$

So V_L and Vc cancel each other and the resultant is zero. So $V = V_R$ in such a case, the circuit is purely resistive in nature.

Impedance:

In general for RLC series circuit impedance is given by,

$Z = R + j X$

$X = X_L - Xc$ = Total reactance of the circuit

If $X_L > Xc$; X is positive & circuit is Inductive

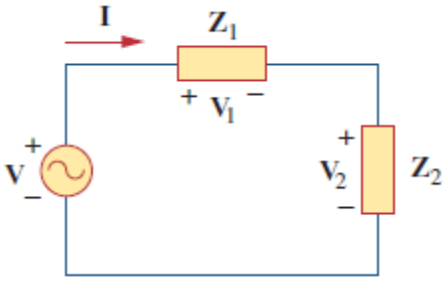
If $X_L < Xc$; X is negative & circuit is Capacitive

Element	Impedance	Admittance
R	$\mathbf{Z} = R$	$\mathbf{Y} = \frac{1}{R}$
L	$\mathbf{Z} = j\omega L$	$\mathbf{Y} = \frac{1}{j\omega L}$
C	$\mathbf{Z} = \frac{1}{j\omega C}$	$\mathbf{Y} = j\omega C$

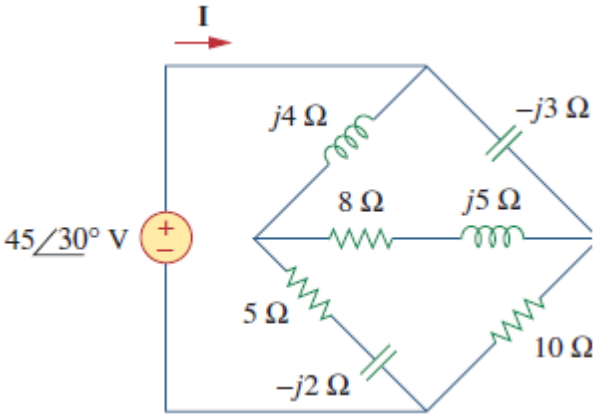
$$\mathbf{Z} = \frac{\mathbf{V}}{\mathbf{I}} \quad \text{or} \quad \mathbf{V} = \mathbf{ZI} \qquad \mathbf{Z} = R + jX$$

$$\boxed{\mathbf{Z} = R + jX = |\mathbf{Z}|\angle\theta}$$

$$|\mathbf{Z}| = \sqrt{R^2 + X^2}, \qquad \theta = \tan^{-1}\frac{X}{R}$$



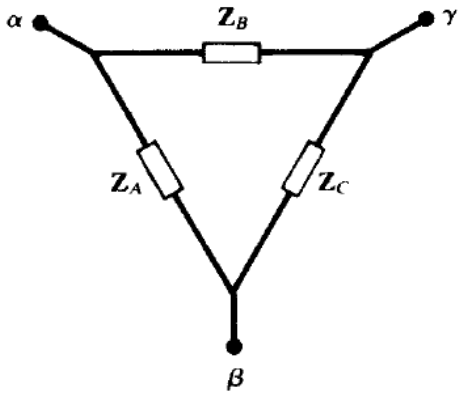
$$R = |\mathbf{Z}|\cos\theta, \qquad X = |\mathbf{Z}|\sin\theta$$



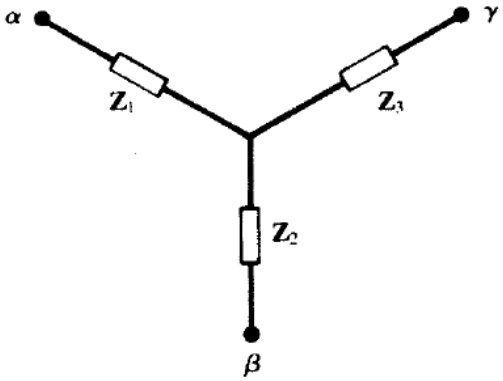
$$\mathbf{I} = \frac{\mathbf{V}}{\mathbf{Z}_1 + \mathbf{Z}_2}$$

$$i = C\frac{d}{dt}(v).$$

$$v = L\frac{d}{dt}(i), \qquad I = \frac{V}{R} \qquad R = \frac{\rho L}{A} \qquad \boxed{v = iR}$$



(*a*) Δ-connection



(*b*) Y-connection

Y-to-Δ Transformation

$$Z_A = \frac{Z_1Z_2 + Z_1Z_3 + Z_2Z_3}{Z_3}$$

$$Z_B = \frac{Z_1Z_2 + Z_1Z_3 + Z_2Z_3}{Z_2}$$

$$Z_C = \frac{Z_1Z_2 + Z_1Z_3 + Z_2Z_3}{Z_1}$$

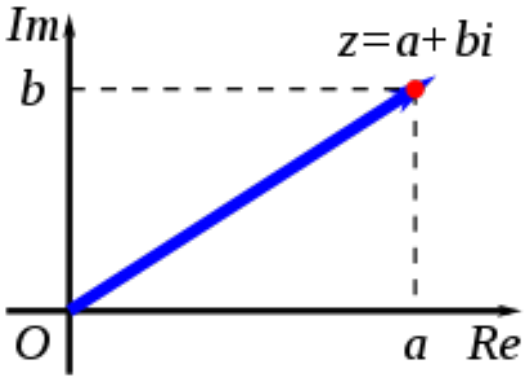
Δ-to-Y Transformation

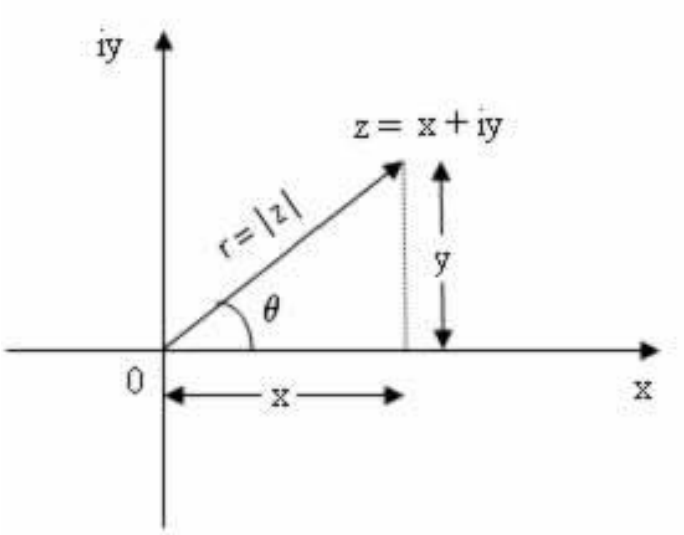
$$Z_1 = \frac{Z_AZ_B}{Z_A + Z_B + Z_C}$$

$$Z_2 = \frac{Z_AZ_C}{Z_A + Z_B + Z_C}$$

$$Z_3 = \frac{Z_BZ_C}{Z_A + Z_B + Z_C}$$

Complex Numbers





z =x+iy

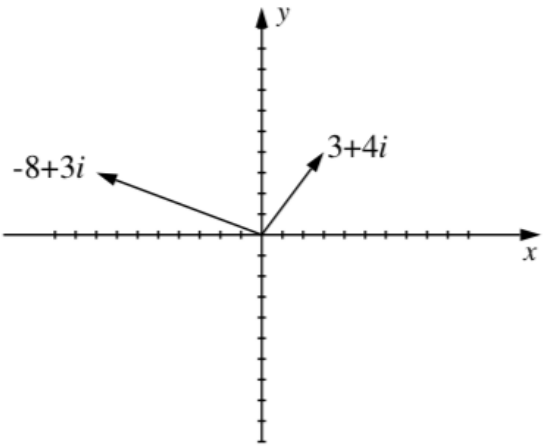
z= r∠θ = r(cosθ+isinθ)

$$(a + b\,i) + (c + d\,i) = (a + c) + i\,(b + d),$$

$$(a + b\,i) - (c + d\,i) = (a - c) + i\,(b - d),$$

$$(a + b\,i)\,(c + d\,i) = (a\,c - b\,d) + i\,(a\,d + b\,c),$$

$$\frac{a + b\,i}{c + d\,i} = \frac{(a\,c + b\,d) + i\,(b\,c - a\,d)}{c^2 + d^2}$$



$$z_1 - z_2 = (x_1 - x_2) + j(y_1 - y_2)$$

$$z_1 z_2 = r_1 r_2 \angle \phi_1 + \phi_2$$

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{r_1}{r_2} \angle \phi_1 - \phi_2$$

$$\frac{1}{z} = \frac{1}{r} \angle -\phi$$

$$\sqrt{z} = \sqrt{r} \angle \phi/2$$

'he polar or Steinmetz product is evident from reference to the exponential form.

$$\mathbf{z}_1\mathbf{z}_2 = (r_1 \angle\theta_1)(r_2 \angle\theta_2) = r_1 r_2 \angle\theta_1 + \theta_2$$

'he rectangular product can be found by treating the two complex numbers as binomials.

$$\begin{aligned}\mathbf{z}_1\mathbf{z}_2 &= (x_1 + jy_1)(x_2 + jy_2) = x_1x_2 + jx_1y_2 + jy_1x_2 + j^2y_1y_2 \\ &= (x_1x_2 - y_1y_2) + j(x_1y_2 + y_1x_2)\end{aligned}$$

IPLE A2 If $\mathbf{z}_1 = 5e^{j\pi/3}$ and $\mathbf{z}_2 = 2e^{-j\pi/6}$, then $\mathbf{z}_1\mathbf{z}_2 = (5e^{j\pi/3})(2e^{-j\pi/6}) = 10e^{j\pi/6}$.

IPLE A3 If $\mathbf{z}_1 = 2\angle 30^\circ$ and $\mathbf{z}_2 = 5\angle -45^\circ$, then $\mathbf{z}_1\mathbf{z}_2 = (2\angle 30^\circ)(5\angle -45^\circ) = 10\angle -15^\circ$.

IPLE A4 If $\mathbf{z}_1 = 2 + j3$ and $\mathbf{z}_2 = -1 - j3$, then $\mathbf{z}_1\mathbf{z}_2 = (2 + j3)(-1 - j3) = 7 - j9$.

DIVISION OF COMPLEX NUMBERS

'or two complex numbers in exponential form, the quotient follows directly from the laws of ıents.

$$\frac{\mathbf{z}_1}{\mathbf{z}} = \frac{r_1 e^{j\theta_1}}{r_2 e^{j\theta_2}} = \frac{r_1}{r_2}\, e^{j(\theta_1 - \theta_2)}$$

ıgain, the polar or Steinmetz form of division is evident from reference to the exponential form.

$$\frac{\mathbf{z}_1}{\mathbf{z}_2} = \frac{r_1 \angle\theta_1}{r_2 \angle\theta_2} = \frac{r_1}{r_2}\, \angle\theta_1 - \theta_2$$

)ivision of two complex numbers in the rectangular form is performed by multiplying the numera- ıd denominator by the conjugate of the denominator (see Section A8).

$$\frac{\mathbf{z}_1}{\mathbf{z}_2} = \frac{x_1 + jy_1}{x_2 + jy_2}\left(\frac{x_2 - jy_2}{x_2 - jy_2}\right) = \frac{(x_1x_2 + y_1y_2) + j(y_1x_2 - y_2x_1)}{x_2^2 + y_2^2} = \frac{x_1x_2 + y_1y_2}{x_2^2 + y_2^2} + j\,\frac{y_1x_2 - y_2x_1}{x_2^2 + y_2^2}$$

IPLE A5 Given $\mathbf{z}_1 = 4e^{j\pi/3}$ and $\mathbf{z}_2 = 2e^{j\pi/6}$,

$$\frac{\mathbf{z}_1}{\mathbf{z}_2} = \frac{4e^{j\pi/3}}{2e^{j\pi/6}} = 2e^{j\pi/6}$$

IPLE A6 Given $\mathbf{z}_1 = 8\angle -30^\circ$ and $\mathbf{z}_2 = 2\angle -60^\circ$,

$$\frac{\mathbf{z}_1}{\mathbf{z}_2} = \frac{8\angle -30^\circ}{2\angle -60^\circ} = 4\angle 30^\circ$$

IPLE A7 Given $\mathbf{z}_1 = 4 - j5$ and $\mathbf{z}_2 = 1 + j2$,

$$\frac{\mathbf{z}_1}{\mathbf{z}_2} = \frac{4 - j5}{1 + j2}\left(\frac{1 - j2}{1 - j2}\right) = -\frac{6}{5} - j\frac{13}{5}$$

independently

a. **Resistance of 10Ω**
b. **Inductance of 0.2H**
c. **Capacitance of 50uF**

Find the expression for the instantaneous current in each case. Draw the phasor diagram in each case.

Solution:

Given ,

F = 50Hz

V = 150 V

Vm = $\sqrt{2}$ Vrms = $\sqrt{2}$ x 150 = 212.13 V

Case (i):

R = 10 Ω

Im = Vm/R = 212.13/10 = 21.213

For pure resistive current circuit phase different Φ

Φ = 0

i = Im Sin wt = Im Sin 2πft

i = 21.213 Sin (100 πt) A

Phasor diagram:

Case (ii):

L = 0.2H

X_L = wL =2πfL

X_L = 2π x 50 x0.2

X_L = 62.83 Ω

Im = Vm/X_L = 212.13/62.83 = 3.37 A

Φ = -90^0 = π/2 rad

In pure Inductive circuit, I lags V by 90 degree

i= Im Sin (wt - Φ) A

i = 3.37 Sin (wt - Φ) A

i = 3.37 Sin (100 πt - π/2) A

Phasor diagram:

Case(iii):

C= 50uf

Xc = 1/wC = 1/2πfC

Xc = 1/(2π x 50x 50 x 10^{-6}) = 63.66 Ω

Im = Vm/Xc = 212.13/63.66 = 3.33 A

In pure capacitive circuit, current leads voltage by 900

$\Phi = 90^0 = \pi/2$ rad

$i = Im \sin(wt + \Phi)$ A

$i = 3.33 \sin(wt + \Phi)$ A

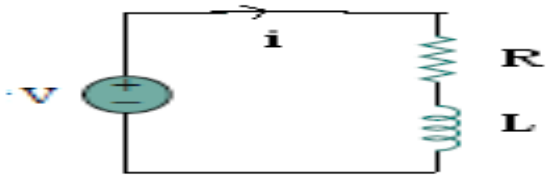
$i = 3.33 \sin(100\pi t + \pi/2)$ A

Phasor Diagram:

6. An alternating current i= 414 Sin (2π x 50 x t) A is passed through a series circuit of a resistance of 100Ω and an inductance of 0.31831 H. find the expression for the instantaneous values of voltage across, (MAY-08)

a. **The resistance ,**
b. **Inductance**
c. **Capacitance**

Solution:



Given

$i = 414 \sin(2\pi \times 50\ t)$ A
$R = 100\Omega$
$L = 0.31831$ H

$X_L = 2\pi \times 50 \times 0.31831 = 100\ \Omega$

(i) **Voltage across Resistance:**

$V_R = iR = 1.414 \sin(2\pi \times 50\ t) \times 100$

$V_R = 141.4 \sin(2\pi \times 50\ t)$ V

R.m.s value of $V_R = 141.4/\sqrt{2} = 100$ V

$\Phi = 0°$

$V_R = 100\angle 0° = 100 + j0$ V

(ii) Voltage across Inductance:

$V_L = i X_L = 1.414 \sin(2\pi \times 50\ t + 90^0) \times 100$

$V_L = 141.4 \text{ Sin } (2\pi \text{ x } 50 \text{ t} + 90^0)$ V

R.m.s value of $V_L = 141.4/\sqrt{2} = 100$ V , $\Phi = 90°$

$V_L = 100\angle 90° = 0 - j100$ V

$V = V_R + V_L = 100 + j\ 0 + 0 + 100j$

$V = 100 + j100 = 141.42 \angle 45^0$ V

$Vm = \sqrt{2}$ x 141.42 = 200 V

$V = 200 \text{ Sin } (2\pi \text{ x } 50 \text{ t} + 45^0)$ V

7. The wave form of the voltage and current of a circuit are given by
e= 120 Sin (314 t)
i= 10 Sin (314 t + π/6)
Calculate the value of resistance, capacitance which is connected in series to form the circuit. Also, Draw wave forms for current, voltage and phasor diagram. Calculate power consumed by the circuit.

Solution:

Given:

V = 120 Sin (314 t) ; Vm = 120 V; 2πf = 314; f = 50 Hz
i = 10 Sin (314 + π/6) ; Im = 10 A ; $\Phi = 30°$

$V = Vm/\sqrt{2} = 120/\sqrt{2} = 84.85$ V
$I = Im/\sqrt{2} = 10/\sqrt{2} = 7.07$ A
$|Z| = V/I = 84.45/7.07 = 12\ \Omega$
$Z = 12\angle -30° \rightarrow$ As current leads by $30°$
Ckt is RC series Circuit is capacitive nature.
Φ = -Ve
$Z = 12\angle -30° = 10.393 - j6\Omega$ use P → R
Z = R – j Xc
R = 10.393 ; Xc = 6 Ω
Xc = 1/2πfC
6 = 1/(2π x50 x C)
C = 530.45 uF
P = VI Cos Φ = 84.85 x 7.07 xCos 30^0
P = 519.52

8. A resistance of 120 Ω and a capacitive reactance of 250 Ω are connected in series across a AC voltage source. If a current 0.9 A is flowing in the circuit find out,
(i). Power factor
(ii). Supply voltage
(iii). Voltage across resistance and capacitance
(iv). Active power and reactive power (JUN-09)

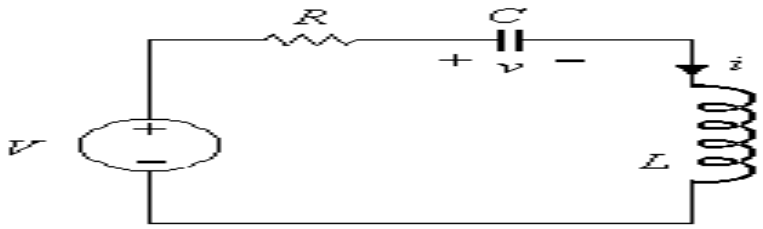
Solution:

Given :
R = 120 Ω

Xc = 250 Ω
I = 0.9 A.
Z = R – j Xc = 120 – 250j = 277.308 – 64.358
Power factor:
$Cos\Phi = Cos(-64.358) = 0.4327 Leading$

Supply Voltag:
V = IZ = 0.9 x 277.308 ∠ – 64.358°
V = 249.5772 ∠ – 64.358° V
V_R and Vc:
V_R = IR 0.9 x 120 = 108 V
Vc = I Xc = 0.9 x 250 = 225 V
Active power and Reactive power:
P = VI Cos Φ = 249.5772 x 0.9 x 0.4327 = 97.1928 W
Q = VI Sin Φ = 247.5772 x 0.9 x Sin(-64.358^0) = -202.498 VAR
- Ve Sign → Leading nature

9. A series circuit consisting of 25 Ω resistor, 64mH inductor and 80uF capacitor to a 110V, 50Hz, Single phase supply as shown in fig. Calculate the current, Voltage across individual element and overall p.f of the circuit. Draw a neat phasor diagram showing $\vec{I}$, $\overrightarrow{VR}$, $\vec{VL}$, $\vec{Vc}$ and $\vec{V}$



Solution:
R = 25 Ω
L = 64mH
C = 80uF
$X_L = 2\pi fL = 2\pi \times 50 \times 64 \times 10^{-3} = 20.10\ \Omega$
$Xc = 1/2\pi fC = 1/(2\pi \times 50 \times 80 \times 10^{-6}) = 39.78\ \Omega$
Z = R + j X_L – j Xc
= 25 + j 20.10 – j 39.78
Z = (25 – j 19.68) Ω
$I = V/Z = \frac{110\angle 0°}{25 - j19.68} = 110\angle 0° / (31.81\angle -38.20°)$
Z = (25 – j 19.68)

If $X_L = Xc$; X =0 & circuit is purely Resistive

Tan ϕ = [(X_L - Xc)/R]

Cos ϕ = [R/Z]

$Z = \sqrt{(R^2 + (X_L - Xc)^2)}$

Impedance triangle:

In both cases R = Z Cos ϕ

X = Z Sin ϕ

Power and power triangle:

The average power consumed by circuit is,

Pavg = (Average power consumed by R) + (Average power consumed by L) + (Average power consumed by C)

Pavg = Power taken by $R = I^2R$

$= I(IR) = VI$

V = V Cos ϕ

P = VI Cos ϕ

Thus, for any condition, $X_L > Xc$ or $X_L < Xc$

General power can be expressed as

P = Voltage x Component in phase with voltage

Power triangle:

S = Apparent power = I^2Z = VI

P = Real or True power = VI Cos ϕ = Active power

Q = Reactive power = VI Sin ϕ

4. An alternating current of frequency 60Hz has a maximum value of 12A

1. **Write down value of current for instantaneous values**
2. **Find the value of current after 1/360 second**
3. **Time taken to reach 9.6A for the first time.**

In the above cases assume that time is reckoned as zero when current wave is passing through zero and increase in positive direction.

Solution:

Given:

F = 60Hz

Im = 12A

W = 2πf = 2π x 60 = 377 rad/sec

(i). Equation of instantaneous value is

i = Im Sin wt

i = 12 Sin 377t

(ii). t = 1/360sec

i = 12 Sin (377/360) = 12 Sin 1.0472 = 10.3924 A

i = 10.3924 A

(iii). i = 9.6 A

9.6 = 12 Sin 377t

Sin377t = 0.8

377t = 0.9272

5. A 50 Hz, **t = 2.459 x 10^{-3}sec** **alternating voltage of 150V (rms) is applied**

If $X_L = Xc$; X =0 & circuit is purely Resistive

Tan ϕ = [(X_L - Xc)/R]

Cos ϕ = [R/Z]

$Z = \sqrt{(R^2 + (X_L - Xc)^2)}$

Impedance triangle:

In both cases R = Z Cos ϕ

X = Z Sin ϕ

Power and power triangle:

The average power consumed by circuit is,

Pavg = (Average power consumed by R) + (Average power consumed by L) + (Average power consumed by C)

Pavg = Power taken by $R = I^2R$

$= I(IR) = VI$

V = V Cos ϕ

P = VI Cos ϕ

Thus, for any condition, $X_L > Xc$ or $X_L < Xc$

General power can be expressed as

P = Voltage x Component in phase with voltage

Power triangle:

S = Apparent power = I^2Z = VI

P = Real or True power = VI Cos ϕ = Active power

Q = Reactive power = VI Sin ϕ

4. An alternating current of frequency 60Hz has a maximum value of 12A

1. **Write down value of current for instantaneous values**
2. **Find the value of current after 1/360 second**
3. **Time taken to reach 9.6A for the first time.**

In the above cases assume that time is reckoned as zero when current wave is passing through zero and increase in positive direction.

Solution:

Given:

F = 60Hz

Im = 12A

W = 2πf = 2π x 60 = 377 rad/sec

(i). Equation of instantaneous value is

i = Im Sin wt

i = 12 Sin 377t

(ii). t = 1/360sec

i = 12 Sin (377/360) = 12 Sin 1.0472 = 10.3924 A

i = 10.3924 A

(iii). i = 9.6 A

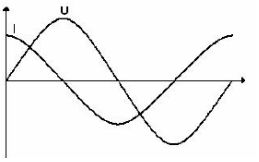
9.6 = 12 Sin 377t

Sin377t = 0.8

377t = 0.9272

5. A 50 Hz, **t = 2.459 x 10^{-3}sec** **alternating voltage of 150V (rms) is applied**

منحنی رابطه بین ولتاژ وجریان در خازن



منحنی رابطه بین ولتاژ وجریان در مدارهای RL

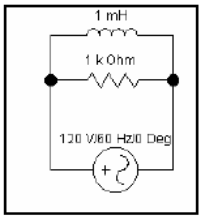
$$I_e = \frac{U_e}{Z} \Rightarrow\Rightarrow I_e^2 = I_r^2 + I_l^2$$

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{Xl^2}$$

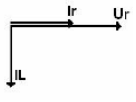
$$Cos\varphi = \frac{Z}{R} \Rightarrow\Rightarrow Sin\varphi = \frac{Z}{Xl}$$

$$P_e = U_e I_e Cos\varphi \Rightarrow\Rightarrow P_r = U_e I_e Sin\varphi$$

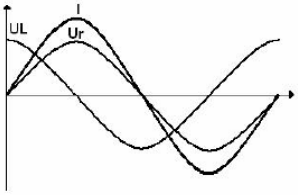
$$P_s = \sqrt{P_e^2 + P_r^2} \Rightarrow\Rightarrow P_s = U_e I_e$$

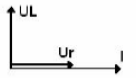


مدار RL موازی :



مدار RL سری :





منحنی رابطه بین ولتاژ وجریان در مدارهای RC

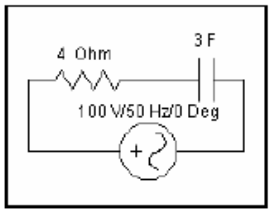
$$U_e^2 = U_r^2 + U_c^2$$

$$Z^2 = R^2 + Xc^2 \Rightarrow\Rightarrow Z = \sqrt{R^2 + Xc^2}$$

$$Cos\varphi = \frac{R}{Z} \Rightarrow\Rightarrow Sin\varphi = \frac{Xc}{Z}$$

$$P_e = U_e I_e Cos\varphi \Rightarrow\Rightarrow P_r = U_e I_e Sin\varphi$$

$$P_s = \sqrt{P_e^2 + P_r^2} \Rightarrow\Rightarrow P_s = U_e I_e$$



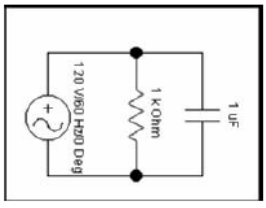
$$I_e^2 = I_r^2 + I_c^2$$

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{Xc^2}$$

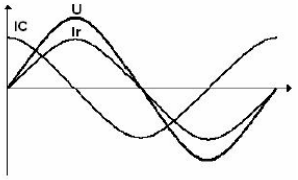
$$Cos\varphi = \frac{Z}{R} \Rightarrow\Rightarrow Sin\varphi = \frac{Z}{Xc}$$

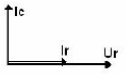
$$P_e = U_e I_e Cos\varphi \Rightarrow\Rightarrow P_r = U_e I_e Sin\varphi$$

$$P_s = \sqrt{P_e^2 + P_r^2} \Rightarrow\Rightarrow P_s = U_e I_e$$

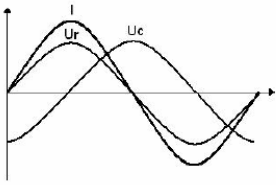


مدار RC موازی :

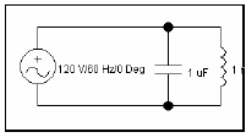




مدار RC سری :



منحنی رابطه بین ولتاژ وجریان در مدارهای LC



اتصال موازی:

$$I = \frac{U_e}{Z}$$

$$I_e = |I_c - I_l|$$

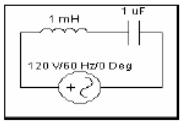
$$\frac{1}{Z} = \left|\frac{1}{Xc} - \frac{1}{Xl}\right|$$

$$Cos\varphi = 0 \Rightarrow\Rightarrow Sin\varphi = 1$$

$$P_e = U_e I_e Cos\varphi = 0$$

$$P_r = I_e^2(|Xl - Xc|)$$

$$P_s = |P_r| = U_e I_e$$



اتصال سری:

$$U_e = |U_l - U_c|$$

$$Z = |Xl - Xc|$$

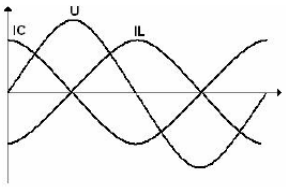
$$Cos\varphi = 0 \Rightarrow\Rightarrow Sin\varphi = 1$$

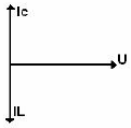
$$P_e = U_e I_e Cos\varphi = 0$$

$$P_r = I_e^2(|Xl - Xc|)$$

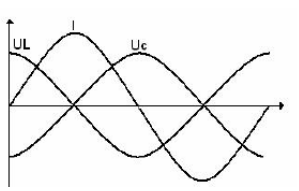
$$P_s = |P_r| = U_e I_e$$

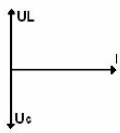
مدار LC موازی :



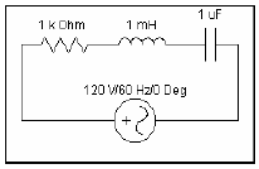


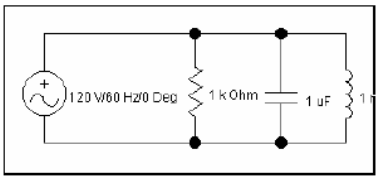
مدار LC سری :





منحنی رابطه بین ولتاژ وجریان در مدارهای RCL





اتصال سری:

$$U_e^2 = U_r^2 + (|U_l + U_c|)^2$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (Xl - Xc)^2}$$

$$Cos\varphi = \frac{R}{Z} \Rightarrow\Rightarrow Sin\varphi = \frac{|Xl - Xc|}{Z}$$

$$P_e = U_e I_e Cos\varphi \Rightarrow\Rightarrow P_r = U_e I_e Sin\varphi$$

$$P_s = \sqrt{P_e^2 + P_r^2} \Rightarrow\Rightarrow P_s = U_e I_e$$

اتصال موازی :

$$I_e^2 = I_r^2 + (|I_c - I_l|)^2$$

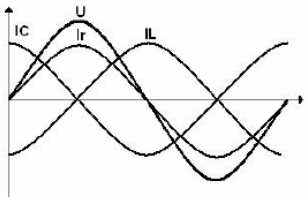
$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \left[\left|\frac{1}{Xc} - \frac{1}{Xl}\right|\right]^2$$

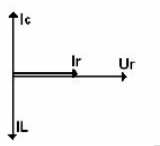
$$Cos\varphi = \frac{Z}{R} \Rightarrow\Rightarrow Sin\varphi = \left[\frac{1}{Xc} - \frac{1}{Xl}\right]$$

$$P_e = U_e I_e Cos\varphi \Rightarrow\Rightarrow P_r = U_e I_e Sin\varphi$$

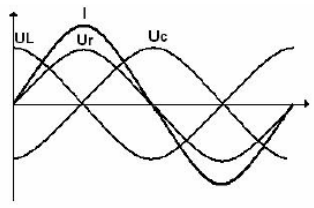
$$P_s = \sqrt{P_e^2 + P_r^2} \Rightarrow\Rightarrow P_s = U_e I_e$$

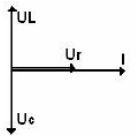
مدار RLC موازی :





مدار RLC سری :





طرز کار دیود

اگر یک نیمه‌هادی نوع P به نیمه‌هادی نوع N متصل شود، یک دیود پیوند PN شکل می‌گیرد. پیوند PN در این حالت، یک ولتاژ سد پتانسیل ایجاد می‌کند. در مطلب مربوط به پیوند PN دیدیم که اگر این پیوند به منبع ولتاژ خارجی متصل نباشد، در حالت تعادل قرار می‌گیرد. هرچند اگر یک منبع ولتاژ به دو سر پیوند PN متصل شود، حامل‌های بار درون پیوندPN ، انرژی لازم برای غلبه بر سد پتانسیل را کسب می‌کنند.

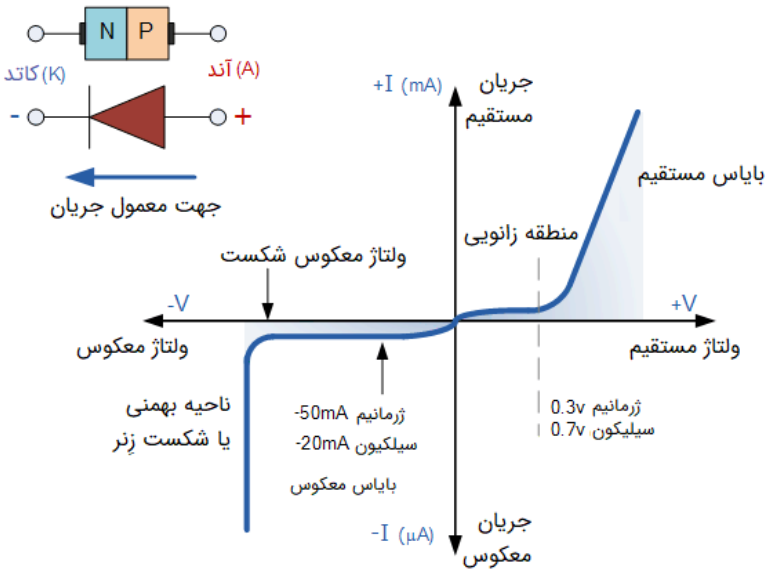
با اعمال این ولتاژ به پیوندPN ، الکترون‌های آزاد قابلیت عبور از ناحیه تهی و از یک ناحیه به ناحیه دیگر را پیدا می‌کنند. به علت وجود ناحیه تهی یا سد پتانسیل در پیوندPN ، یک دستگاه رسانای نامتقارن با دو پایه شکل می‌گیرد که به آن دیود پیوند PN گویند.

دیود پیوندPN ، یکی از ساده‌ترین انواع نیمه‌هادی‌ها به شمار می‌رود. مشخصه اصلی این دیود، عبور یک جهته جریان از آن است. در دیود بر خلاف مقاومت، جریان بر حسب ولتاژ اعمالی، خطی نیست. مشخصه ولتاژ–جریان در دیود پیوند PN به صورت نمایی است. بنابراین نمی‌توان مثل قانون اهم، یک رابطه ولتاژ–جریان ساده برای دیود تعریف کرد.

اگر به دو سر پیوندPN ، یک ولتاژ مثبت با بایاس مستقیم اعمال شود، انرژی لازم برای الکترون‌های آزاد و حفره‌ها فراهم می‌شود تا بتوانند از پیوند عبور کنند. به این ترتیب، پهنای ناحیه تهی در پیوندPN ، کمتر می‌شود.

با اعمال یک ولتاژ منفی با بایاس معکوس به پیوندPN ، بارهای آزاد از ناحیه تهی به سمت بیرون رانده می‌شوند. این مسئله به افزایش پهنای ناحیه تهی منجر می‌شود. به این ترتیب مقاومت موثر پیوند، افزایش یا کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان کاری کرد که دیود پیوندPN ، جریان را از خود عبور دهد یا آن را بلوکه کند.

بنابراین، عرض ناحیه تهی با اعمال ولتاژ معکوس افزایش و با اعمال ولتاژ مستقیم کاهش می‌یابد. این پدیده به علت تفاوت مشخصات الکتریکی دو طرف پیوند PN روی می‌دهد و باعث تغییرات فیزیکی در پیوند می‌شود. یکی از نتایج این تغییرات، اثر یکسوکنندگی جریان در دیود پیوند PN است که در مشخصات ولتاژ–جریان دیود نیز مشاهده می‌شود. یکسوکنندگی به وسیله مشخصات نامتقارن جریان با تغییر پلاریته ولتاژ بایاس نشان داده می‌شود. شکل زیر، مشخصه ولتاژ–جریان یک دیود را نشان می‌دهد:



قبل از آنکه از پیوند PN در مدارهای الکترونیکی به صورت عملی یا به صورت یکسوساز استفاده کنیم، لازم است بایاس پیوند PN را بررسی کنیم. منظور از بایاس پیوندPN ، اختلاف پتانسیل ثابت دو سر پیوند است. در شکل بالا، «بایاس معکوس (Reverse Bias)» به پتانسیلی از ولتاژ خارجی اشاره دارد که باعث افزایش پهنای سد پتانسیل می‌شود. ولتاژی که باعث کاهش سد پتانسیل می‌شود، «بایاس مستقیم (Forward Bias)» نام دارد.

در یک دیود پیوندی استاندارد، دو ناحیه کاری و سه شرط بایاس وجود دارد که به صورت زیر هستند:

۱- بایاس صفر: در این حالت هیچ ولتاژ خارجی به دیود پیوند PN اعمال نمی‌شود و جریانی نیز از دیود عبور نمی‌کند.

۲- بایاس معکوس: ولتاژ اعمال شده، پلاریته منفی دارد. به این معنی که نیمه‌هادی نوع P به سر منفی منبع ولتاژ (-ve) و نیمه‌هادی نوع Nبه سر مثبت منبع ولتاژ (+ve) متصل می‌شود. این بایاس، باعث افزایش پهنای ناحیه تهی در دیود پیوند PN می‌شود و دیود در حالت معکوس قرار می‌گیرد و تقریبا جریانی از آن عبور نمی‌کند.

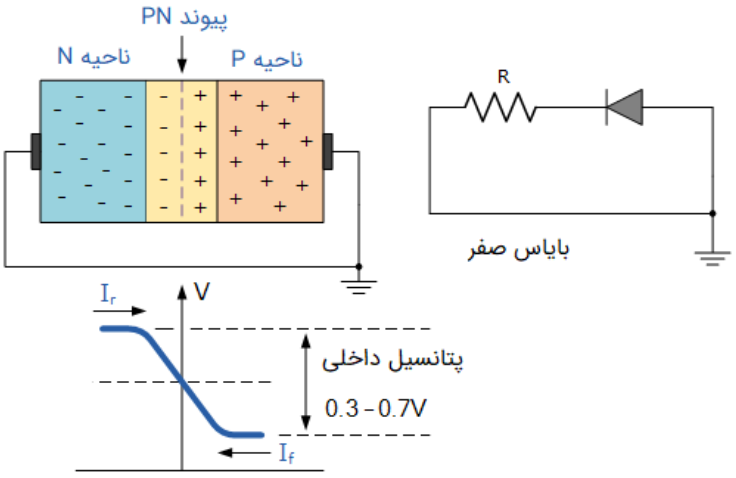
۳- بایاس مستقیم: ولتاژ اعمال شده در این حالت، پلاریته مثبت دارد. به این معنی که نیمه‌هادی نوع P به سر مثبت منبع ولتاژ (+ve) و نیمه‌هادی نوع N به سر منفی منبع ولتاژ (-ve) متصل می‌شود. این بایاس، باعث کاهش پهنای ناحیه تهی در دیود پیوند PN می‌شود و جریانی در جهت مستقیم از آن عبور می‌کند.

بایاس صفر در دیود پیوندPN

اگر پیوند PN به هیچ پتانسیل خارجی متصل نشود، بایاس آن صفر خواهد بود. هرچند، اگر دو سر دیود به هم متصل شود و دیود در شرایط اتصال کوتاه قرار بگیرد، تعدادی از حفره‌ها در نیمه‌هادی نوع) P حامل‌های اکثریت) انرژی کافی برای غلبه بر سد پتانسیل را کسب می‌کنند و در پیوند بر خلاف سد پتانسیل شروع به حرکت می‌کنند. این حالت، «جریان مستقیم (Forward Current) «نام دارد و با IF نشان داده می‌شود.

به همین ترتیب، در نیمه‌هادی نوع N حفره‌ها که حامل‌های اقلیت محسوب می‌شوند، شرایط را مساعد می‌بینند و از پیوند در خلاف جهت عبور می‌کنند. این جریان به نام «جریان معکوس (Reverse Current) «شناخته می‌شود و با IR نشان داده می‌شود. انتقال الکترون‌ها و حفره‌ها در طول پیوند PN به سمت ناحیه N یا ناحیهP ،

«نفوذ (Diffusion) «نام دارد. شکل زیر، یک پیوند PN با بایاس صفر را نشان می‌دهد:



سد پتانسیل ایجاد شده در پیوندPN ، از نفوذ بیشتر حامل‌های اکثریت در طول پیوند جلوگیری می‌کند. هرچند، این سد پتانسیل باعث رانده شدن حامل‌های اقلیت (الکترون‌ها در ناحیه Pو حفره‌ها در ناحیه (N در طول پیوند می‌شود .

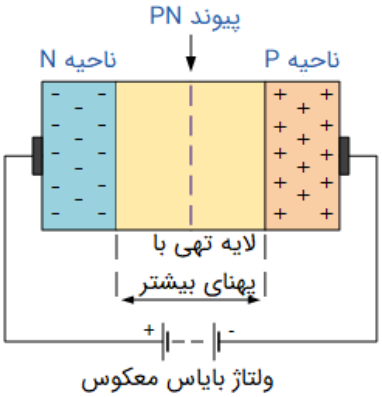
«تعادل (Equilibrium) «هنگامی روی می‌دهد که حامل‌های اکثریت در هر دو نیمه‌هادی با هم برابر باشند و در جهت‌های مخالف هم حرکت کنند. به این ترتیب جریان خالص گذرنده از مدار، صفر می‌شود. در این حالت، گفته می‌شود که مدار در حالت «تعادل پویا (Dynamic Equilibrium) «قرار گرفته است.

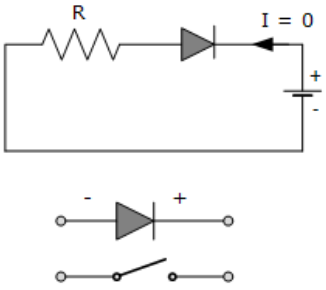
به دلیل انرژی حرارتی، حامل‌های اقلیت به طور پیوسته تولید می‌شوند. بنابراین با افزایش دمای پیوندPN ، تولید حامل‌های اقلیت افزایش می‌یابد و شرایط تعادل در پیوند PN از بین می‌رود. به این ترتیب «جریان نشتی (Leakage Current) «افزایش می‌یابد. اما جریان الکتریکی از این پیوند نمی‌تواند عبور کند، زیرا هیچ مداری به پیوند PN متصل نیست.

بایاس معکوس در پیوندPN

اگر دیود در شرایط بایاس معکوس به منبع ولتاژ متصل شود، ولتاژ مثبت منبع به پایانه N پیوند و ولتاژ منفی منبع به پایانه P پیوند اعمال می‌شود. ولتاژ مثبت اعمال شده به پایانه N پیوند، باعث جذب الکترون‌ها به سمت الکترود مثبت و دور شدن آنها از پیوند می‌شود. به همین ترتیب، حفره‌ها در نیمه‌هادی نوع P به وسیله الکترود منفی جذب و از پیوند دور می‌شوند.

در نتیجه، پهنای ناحیه تهی به دلیل فقدان الکترون‌ها و حفره‌ها در مدار افزایش می‌یابد و یک مسیر با امپدانس بالا ایجاد می‌شود. به این ترتیب، پیوند PN تبدیل به یک عایق می‌شود. به دلیل سد پتانسیل بزرگ ایجاد شده، جریان نمی‌تواند از ناحیه تهی در پیوند عبور کند.

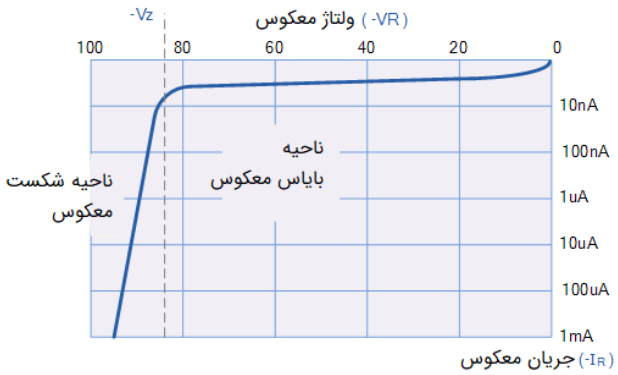




شکل زیر، یک دیود پیوند PN را در شرایط بایاس معکوس نشان می‌دهد :

در این حالت، با افزایش ولتاژ بایاس هیچ جریانی از دیود پیوندی عبور نمی‌کند و دیود در شرایط مقاومت بالا قرار می‌گیرد. هرچند، یک جریان نشتی بسیار کوچک از پیوند عبور می‌کند که مقداری در حدود میکروآمپر دارد.

اگر ولتاژ بایاس معکوس Vr اعمال شده به دیود، به اندازه کافی افزایش یابد، دیود پیوند PN داغ می‌شود و پدیده بهمنی در طول پیوند PNروی می‌دهد. به این ترتیب، ممکن است دیود اتصال کوتاه شده و به یکباره جریان بسیار بزرگی از آن عبور کند. شکل زیر، منحنی مشخصات ولتاژ پایدار معکوس در دیود را نشان می‌دهد. شیب منفی در این شکل، نشان‌دهنده پدیده بهمنی در دیود است.



پدیده بهمنی در مدارهای پایدار کننده ولتاژ مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مدارها از یک مقاومت به صورت سری با دیود استفاده می‌شود تا جریان معکوس شکست محدود شود. این مقاومت را به نام مقاومت محدود کننده می‌شناسند. به این ترتیب، یک ولتاژ ثابت ماکزیمم در دو سر خروجی دیود ظاهر می‌شود. این نوع دیودها، به نام «دیود زنر (Zender Diode)» شناخته می‌شوند.

بایاس مستقیم در دیود پیوندPN

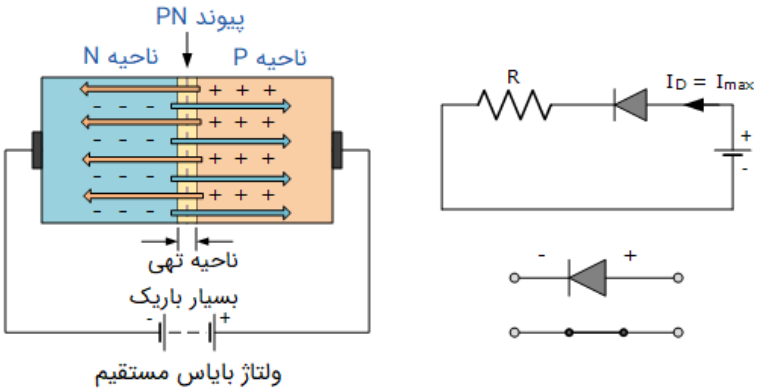
اتصال دیود به منبع ولتاژ با بایاس مستقیم به این معنی است که ولتاژ منفی منبع به نیمه‌هادی نوع N و ولتاژ مثبت منبع به نیمه‌هادی نوع P متصل می‌شود. اگر این ولتاژ خارجی از مقدار سد پتانسیل (حدودا برابر ۰,۷ ولت برای سیلیکون و ۰,۳ ولت برای ژرمانیم) بزرگتر شود، حامل‌های بار بر سد پتانسیل غلبه می‌کنند و باعث می‌شوند که از پیوند جریان عبور کند.

ولتاژ منفی منبع، الکترون‌های ناحیه N را دفع می‌کند. به این ترتیب این الکترون‌ها به سمت پیوند رانده می‌شوند و انرژی کافی برای عبور از پیوند را کسب می‌کنند. به همین صورت، حفره‌های ناحیه P به واسطه ولتاژ مثبت متصل شده به نیمه‌هادی نوع P ، دفع و به سمت پیوند رانده می‌شوند و انرژی کافی برای عبور از پیوند را کسب می‌کنند. به این ترتیب جریان در پیوند افزایش پیدا می‌کند.

اگر ولتاژ بایاس مستقیم از صفر بزرگتر شود، جریان نیز از صفر بزرگتر می‌شود. این افزایش تا ولتاژی معادل پتانسیل داخلی پیوند ادامه پیدا می‌کند. از این نقطه به بعد، به دلیل حرکت الکترون‌ها و حفره‌ها در پیوند، جریان بیشتری از پیوند عبور می‌کند. این نقطه، به نام «نقطه زانویی (knee point) «مشهور است. شکل زیر منحنی ولتاژ–جریان یک دیود پیوندی با بایاس مستقیم را به همراه نقطه زانویی آن، نشان می‌دهد :

استفاده از بایاس مستقیم در دیود پیوندی باعث می‌شود که ناحیه تهی بسیار نازک و باریک شود. این مسئله نشان‌دهنده کم بودن ولتاژ سد پتانسیل در پیوند است. به این ترتیب، دیود می‌تواند جریان بزرگی را از خود عبور دهد. همانطور که گفتیم، نقطه‌ای که در آن، به یکباره جریان زیاد می‌شود، به نام نقطه زانویی شناخته می‌شود.

شکل زیر، کم شدن پهنای ناحیه تهی در دیود پیوند PN را نشان می‌دهد :

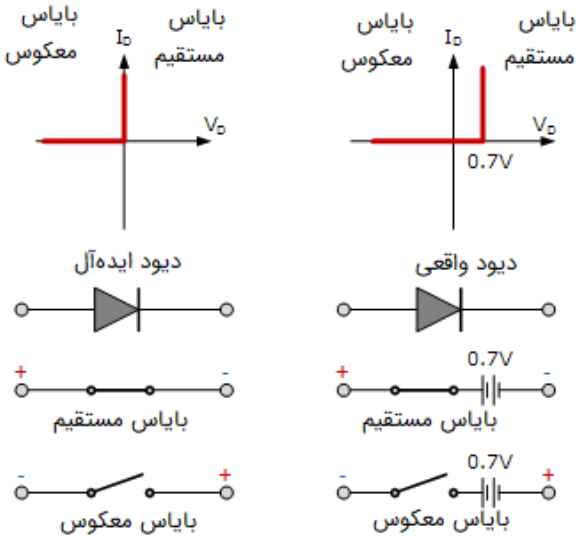


در این حالت با افزایش ولتاژ بایاس، جریان عبوری از دیود پیوندی زیاد می‌شود و دیود در شرایط مقاومت پایین قرار می‌گیرد. در این حالت با یک افزایش کوچک در ولتاژ بایاس، جریان بسیار بزرگی از پیوند عبور می‌کند. به دلیل وجود ناحیه تهی، اختلاف پتانسیل ایجاد شده در پیوند ثابت می‌ماند. مقدار این اختلاف پتانسیل برای دیود پیوندی ژرمانیم ۰,۳ ولت و برای دیود پیوندی سیلیکون ۰,۷ ولت است.

بالاتر از نقطه زانویی، قابلیت هدایت دیود به بی‌نهایت می‌رسد. به این ترتیب، دیود اتصال کوتاه می‌شود. بنابراین استفاده از مقاومت برای محدود کردن جریان عبوری از دیود، ضروری است. در دیود پیوندی با رسیدن جریان به حداکثر مقدار خود، تلفات توان در پیوند بیشتر می‌شود. توان به صورت گرما در دیود تلف می‌شود. با افزایش تلفات، دیود می‌سوزد.

جمع‌بندی

در این قسمت به جمع‌بندی مباحث دیود پیوند PN می‌پردازیم. ناحیه‌ای که در آن پیوندPN ، تبدیل به دیود پیوند PN می‌شود، مشخصات مهم زیر را دارد:



- نیمه‌هادی‌ها، شامل دو نوع حامل بار متحرک (الکترون‌ها یا حفره‌ها) هستند.
- حفره‌ها حامل بار مثبت و الکترون‌ها حامل بار منفی هستند.
- با تزریق عنصر آنتیموان به نیمه‌هادی، می‌توان به ناخالصی دهنده از نوع N رسید. حامل‌های بار متحرک در این نوع نیمه‌هادی، الکترون‌ها هستند.
- با تزریق عنصر بور به نیمه‌هادی، می‌توان به ناخالصی پذیرنده از نوع P رسید. در این حالت، حفره‌ها حامل بار متحرک هستند.
- در ناحیه پیوند، هیچ حامل باری وجود ندارد. به همین دلیل به آن ناحیه تهی گویند.
- با اعمال ولتاژ می‌توان ضخامتِ فیزیکیِ ناحیه تهی در پیوند را تغییر داد.
- اگر هیچ منبع ولتاژی به دیود وصل نباشد، گفته می‌شود که دیود در شرایط بایاس صفر است. ولتاژ سد پتانسیل ناحیه تهی در این حالت، برای دیودهای سیلیکونی معادل ۰٫۵ تا ۰٫۷ ولت و برای دیودهای ژرمانیم ۰٫۳ ولت خواهد بود.
- اگر یک دیود پیوندی، به بایاس مستقیم وصل شود، ضخامت ناحیه تهی کاهش می‌یابد و دیود اتصال کوتاه می‌شود. در این حالت جریان بسیار بزرگی از دیود عبور می‌کند.

ترانزیستور چیست و کاربرد و انواع آن

ویژگی های ترانزیستور

۱- ترانزیستور از عناصری به نام نیمه هادی مانند سیلیکون و ژرمانیوم ساخته می شود

۲- ترانزیستور می تواند انجام دهد اینست که می تواند مقدار هادی بودن خود را تغییر دهد . هنگامی که لازم است یک هادی باشد می تواند هدایت خوبی دشته باشد و هنگامی که لازم است تا به عنوان عایق عمل کند جریان بسیار کمی را از خود عبور می دهد که می توان آن را ناچیز شمرد.

۳- ترانزیستور دارای سه پایه بنام بیس(B) , کلکتور(C) و امیتر(E) است

ناحیه کاری ترانزیستور

۱- ناحیه قطع

۲- ناحیه فعال(کاری یا خطی)

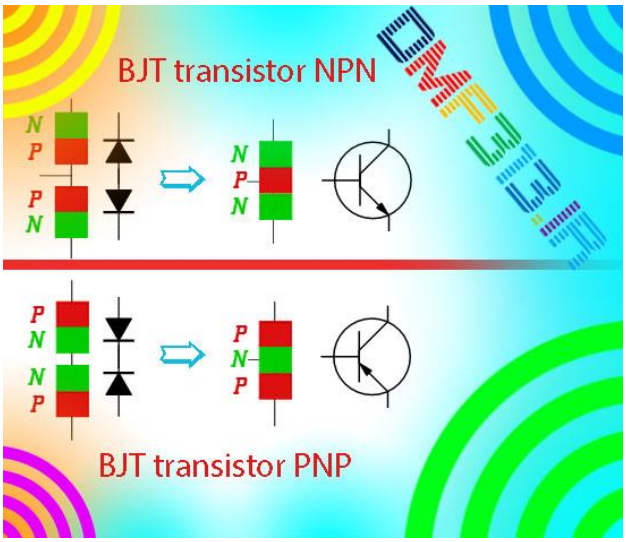
۳ - ناحیه اشباع

ناحیه قطع: حالتی است که ترانزیستور در آن ناحیه فعالیت خاصی انجام نمی‌دهد

ناحیه فعال : اگر ولتاژ تغذیه به پایه B را افزایش دهیم ترانزیستور از حالت قطع بیرون امده و به ناحیه فعال وارد می‌شود در حالت فعال ترانزیستور مثل یک عنصر تقریباً خطی عمل می کند.

حالت اشباع: اگر ولتاژ تغذیه به پایه B را همچنان افزایش دهیم به ناحیه‌ای می‌رسیم که با افزایش جریان ورودی در B دیگر شاهد افزایش جریان بین C و E نخواهیم بود به این حالت می گویند حالت اشباع و اگر جریان ورودی به B زیاد تر شود امکان سوختن ترانزیستور وجود دارد.

ترانزیستور چگونه کار می کند



طرز کار ترانزیستور به اینصورت است، چنانچه پیوند BE را بصورت مستقیم بایاس(Bias)- به معنی اعمال ولتاژ و تحریک است- کنیم بطوری که این پیوند PN روشن شود (برای اینکار کافی است که به این پیوند حدود ۰,۶تا ۰,۷ولت با توجه به نوع ترانزیستور ولتاژ اعمال شود)، در آنصورت از مدار بسته شده میان E و C می توان جریان بسیار بالایی کشید.

در حالت عادی میان E و C هیچ مدار بازی وجود ندارد اما به محض آنکه شما پیوند BE را با پلاریته موافق بایاس کنید، با توجه به آنچه قبلا" راجع به یک پیوند PN توضیح دادیم، این پیوند تقریبا" بصورت اتصال کوتاه عمل می کند و شما عملا" خواهید توانست از پایه های E و C جریان قابل ملاحظه ای بکشید. (در واقع در اینحالت می توان فرض کرد که در شکل عملا" لایه PN مربوط به BE از بین می رود و بین EC یک اتصال کوتاه رخ می دهد.)

بنابراین مشاهده می کنید که با برقراری یک جریان کوچک Ib شما می توانید یک جریان بزرگ Ic را داشته باشید. این مدار اساس سوئیچ های الکترونیک در مدارهای الکترونیکی است. بعنوان مثال شما می توانید در مدار کلکتور یک رله قرار دهید که با جریان مثلا

چند آمپری کار می کند و در عوض با اعمال یک جریان بسیار ضعیف در حد میلی آمپر – حتی کمتر – در مدار بیس که ممکن است از طریق یک مدار دیجیتال تهیه شود، به رله فرمان روشن یا خاموش شدن بدهید.

کاربرد ترانزیستور

ترانزیستور هم در مدارات الکترونیک آنالوگ و هم در مدارات الکترونیک دیجیتال کاربردهای بسیار وسیعی دارد.

در مدارات آنالوگ ترانزیستور در حالت فعال کار می‌کند و می‌توان از آن به عنوان تقویت کننده یا تنظیم کننده ولتاژ (رگولاتور) و... استفاده کرد.

و در مدارات دیجیتال ترانزیستور در دو ناحیه قطع و اشباع فعالیت می‌کند که می‌توان از این حالت ترانزیستور در پیاده سازی مدار منطقی، حافظه، سوئیچ کردن و... استفاده کرد.

۱- در تقویت کننده ها (تقویت جریان)

۲- در تثبیت کننده ها

۳- به عنوان سوییچ استفاده میشود. (سوئیچ = کلید)

۴- در نوسان سازها (در مدارات اسیلاتور)

۵- در مدارات آشکارساز

۶- در مخلوط کننده ها (مدارات میکسر)

۷- درمدارات مدولاتور

انواع ترانزیستور

۱- ترانزیستور دوقطبی پیوندی (BJT)

۲- ترانزیستور اثر میدانی (FET)

۱-۲- ترانزیستور پیوند اثر میدانی (JFET)

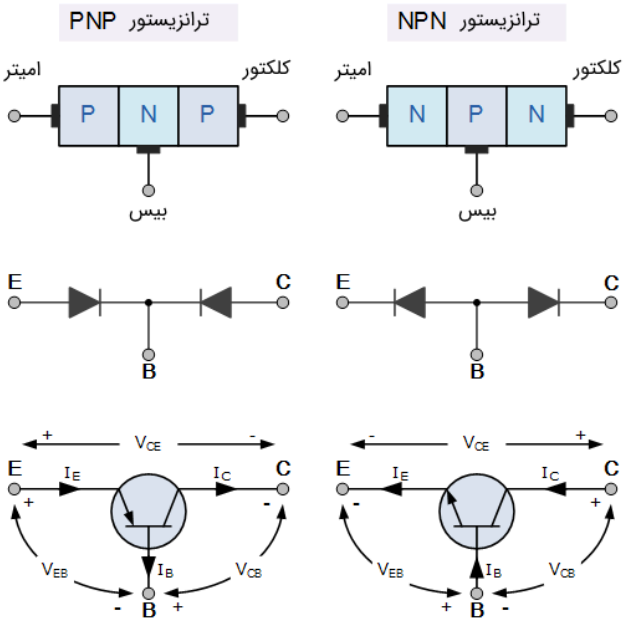
۲-۲- ترانزیستور اثر میدانی نیمه هادی اکسید- فلز (MOSFET)

اساس کار ترانزیستور است.

اصول عملکرد دو ترانزیستور PNP و NPN دقیقاً مشابه یکدیگر است. تنها تفاوت این دو نوع ترانزیستور در پلاریته منبع تغذیه بایاس آن‌ها است که مخالف یکدیگر است.

شکل زیر ساختار ترانزیستور دو قطبی و نمادهای مداری آن‌ها را نشان می‌دهد .

در شکل بالا، جهت قراردادی جریان بین ترمینال بیس و ترمینال امیتر نیز نشان داده شده است. مشابه نماد دیودها، جهت پیکان‌ها همیشه از ناحیه مثبت نوع P به ناحیه منفی نوع N است.



پیکربندی‌های ترانزیستورBJT

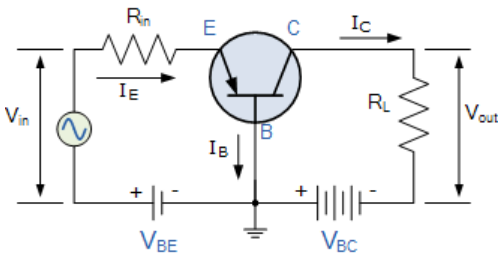
از آن‌جایی که ترانزیستور دوقطبی یک قطعه سه‌سر است، سه راه ممکن برای اتصال آن به یک مدار الکتریکی وجود دارد. هر روش اتصال، منجر به پاسخی متفاوت با سیگنال ورودی در مدار خواهد شد، زیرا مشخصه‌های استاتیکی ترانزیستور برای هر آرایش مدار تغییر می‌کند. این پیکربندی‌های رایج به صورت زیر هستند:

- بیس مشترک :(Common Base) بهره ولتاژ دارد و بهره جریان ندارد.
- امیتر مشترک :(Common Emitter) بهره جریان و بهره ولتاژ دارد.
- کلکتور مشترک :(Common Collector) بهره جریان دارد و بهره ولتاژ ندارد.

پیکربندی بیس مشترک(CB)

همان‌گونه که از نام پیکربندی بیس مشترک یا بیس زمین شده پیداست، اتصال بیس بین سیگنال ورودی و سیگنال خروجی مشترک است. سیگنال ورودی به دو ترمینال بیس و امیتر اعمال می‌شود؛ در حالی که سیگنال خروجی از ترمینال‌های کلکتور و بیس گرفته می‌شود. در این پیکربندی، ترمینال بیس زمین می‌شود یا می‌توان آن را به یک نقطه ولتاژ مرجع ثابت وصل کرد.

جریان ورودی گذرنده از امیتر برابر با مجموع جریان‌های کلکتور و بیس است و به هین دلیل، جریان کلکتور کوچکتر از امیتر ورودی خواهد بود. در نتیجه، بهره جریان در این پیکربندی یک (۱۱) یا کمتر از آن است. به عبارت دیگر، پیکربندی بیس مشترک تضعیف‌کننده (Attenuates) سیگنال ورودی است .



این پیکربندی یک مدار تقویت‌کننده ولتاژ غیرواورون‌گر است که در آن، ولتاژ ورودی Vinهمفاز با ولتاژ خروجی Voutt است. این آرایش ترانزیستور به دلیل مشخصه بهره جریان بالای غیرمعمولی که دارد، رایج نیست. مشخصه ورودی این پیکربندی یک دیود بایاس مستقیم است، در حالی که مشخصه خروجی آن یک فتودیود روشن را نشان می‌دهد.

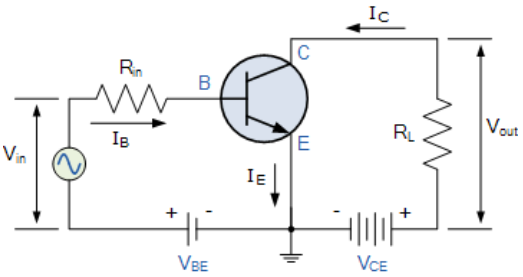
همچنین در پیکربندی بیس مشترک، نسبت مقاومت ورودی به خروجی مقدار بالایی است. نسبت مقاومت بار (RL) به مقاومت ورودی (Rin)مقدار بهره مقاومت را به دست می‌دهد.

و Ic/Ie بهره جریان α و RL/Rin بهره مقاومت است.

عموماً مدار بیس مشترک به دلیل پاسخ فرکانسی بالای مناسبی که دارد، فقط در مدارهای تقویت‌کننده تک‌مرحله‌ای مانند پیش‌تقویت‌کننده میکروفون یا تقویت‌کننده‌های فرکانس رادیویی (RF) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پیکربندی امیتر مشترک(CE)

در پیکربندی امیتر مشترک یا امیتر زمین شده، سیگنال ورودی به دو سر بیس و امیتر اعمال شده و خروجی از دو سر کلکتور و امیتر گرفته می‌شود. از این پیکربندی معمولاً در تقویت‌کننده‌های مبتنی بر ترانزیستور استفاده می‌شود. این پیکربندی روش نرمال و عادی اتصال ترانزیستور دوقطبی است.



پیکربندی تقویت‌کننده امیتر مشترک بیشترین بهره جریان و توان را در بین همه پیکربندی‌های ترانزیستور دوقطبی دارد. دلیل اصلی این ویژگی آن است که امپدانس ورودی در این پیکربندی کوچک است، زیرا به صورت یک پیوند PN بایاس مستقیم متصل شده است، در حالی که امپدانس خروجی این پیکربندی بزرگ بوده و از یک پیوند PN بایاس معکوس تشکیل شده است .

در پیکربندی امیتر مشترک، جریان خارج شونده از ترانزیستور باید با جریان وارد شونده به آن برابر باشد. بنابراین، جریان امیتر برابر است با Ie=Ic+Ib.

از آن‌جایی که مقاومت بار RL به صورت سری با کلکتور قرار داده می‌شود، بهره جریان پیکربندی ترانزیستور امیتر مشترک برابر با Ic/Ibبوده و اندازه آن بزرگ است. بهره جریان ترانزیستور با حرف یونانی بتا (β) نشان داده می‌شود.

جریان امیتر در یک پیکربندی امیتر مشترک برابر با Ie=Ic+Ib است و نسبت Ic/Ie با حرف یونانی آلفا (α) نشان داده می‌شود. مقدار αهمیشه کوچکتر از یک است.

از آن‌جایی که رابطه الکتریکی سه جریانIb ، Icو Ie را ساختار فیزیکی ترانزیستور تعیین می‌کند، هر تغییر کوچک در جریان بیس (Ib)موجب تغییرات بزرگتر در جریان کلکتور (Ic) خواهد شد.

در نتیجه، تغییرات کوچک در جریان بیس جریان امیتر–کلکتور مدار را کنترل خواهد کرد. مقدار β معمولاً بین ۲۰ و ۲۰۰ است.

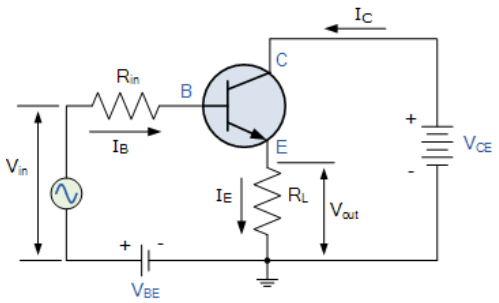
بنابراین، اگر مقدار بتای یک ترانزیستور ۱۰۰ باشد، با عبور یک الکترون از بیس، ۱۰۰ الکترون از امیتر–کلکتور عبور می‌کند.

با ترکیب تعاریف α و β رابطه ریاضی بین این پارامترها و در نتیجه بهره جریان ترانزیستور را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$IC=\alpha IE=\beta IB \qquad \alpha=IC/IE \qquad ,\beta=IC/IB$$

که در آن، ICجریان کلکتور، IBجریان بیس و IE جریان امیتر است.

پیکربندی کلکتور مشترک(CC)



در پیکربندی کلکتور مشترک یا کلکتورِ زمین شده، کلکتور به منبع تغذیه وصل می‌شود. سیگنال ورودی مستقیماً به بیس متصل می‌گردد، در حالی که خروجی از بار امیتر گرفته می‌شود. این ترکیب‌بندی معمولاً به نام یک ولتاژ فالوور (Voltage Follower)یا امیتر فالوور (Emitter Follower) شناخته می‌شود.

پیکربندی کلکتور مشترک یا امیتر فالوور، به دلیل امپدانس ورودی بسیار بالا در محدوده چندصد یا چندهزار اهم و داشتن امپدانس خروجی نسبتاً کوچک، در کاربردهای تطبیق امپدانس به کار می‌رود.

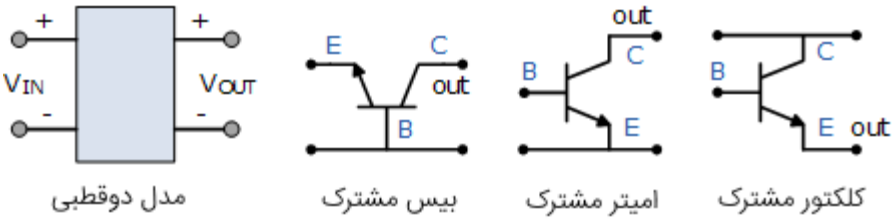
ترکیب امیتر مشترک بهره جریانی تقریباً برابر با مقدار β خود ترانزیستور دارد. در پیکربندی کلکتور مشترک، مقاومت بار با امیتر سری است و به همین دلیل جریان آن برابر با جریان امیتر است .

از آن‌جایی که جریان امیتر ترکیبی از جریان کلکتور و جریان بیس است، مقاومت بار در این پیکربندی هر دو جریان کلکتور و جریان بیس را خواهد داشت. در نتیجه، بهره جریان مدار برابر است با:

$$Ai=IE/IB=(IC+IB)/IB \qquad IE=IC+IB$$

جمع‌بندی

همان‌طور که دیدیم، رفتار ترانزیستور دوقطبی در هر یک از مدارهای بالا بسیار متفاوت است و مشخصه‌های مداری مختلفی را نتیجه خواهد داد. شکل زیر خلاصه‌ای از پیکربندی‌های مختلف را نشان می‌دهد .



مدل دوقطبی | بیس مشترک | امیتر مشترک | کلکتور مشترک

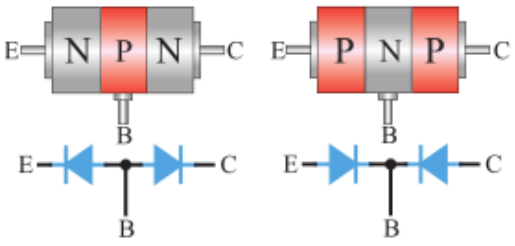
خلاصه مشخصات پیکربندی‌های مختلف نیز در جدول زیر خلاصه شده است:

مشخصه	بیس مشترک	امیتر مشترک	کلکتور مشترک
امپدانس ورودی	کم	متوسط	زیاد
امپدانس خروجی	بسیار زیاد	زیاد	کم
جابه‌جایی فاز	صفر	درجه ۱۸۰	صفر
بهره ولتاژ	زیاد	متوسط	کم
بهره جریان	کم	متوسط	زیاد
بهره توان	کم	بسیار زیاد	متوسط

تشخیص پایه های ترانزیستور با استفاده از مولتی متر

همانطور که در شکل زیر می بینید، ترانزیستورها یک مدل دیودی دارند لذا میتوان پایه های ترانزیستور رو تشخیص داد.

اگر مولتی متر رو در حالت تست دیود قرار داده شود با دو بار تست کردن میتوان پایه ها را تشخیص داد.



شکل ۳-۲- معادل دیودی نیمه‌هادی‌ها

مولتی متر :(Multimeter)

همانطور که در مباحث اندازه گیری بیان گردید, پارامترهای الکتریکی توسط تجهیزات مناسب اندازه گیری می شوند. بعنوان نمونه:

ولت متر : برای اندازه گیری ولتاژ استفاده می شود.

آمپر متر : برای اندازه گیری جریان استفاده می شود.

گالوانومتر : برای اندازه گیری جریان های کوچک استفاده می شود.

اهم متر : برای اندازه گیری مقاومت الکتریکی یک مقاومت خاص استفاده می شود.

اما **مولتی متر** یک وسیله اندازه گیری است که توانایی اندازه گیری کمیت های الکتریکی ولتاژ ، جریان و مقدار اهمی مقاومت را داراست . بعضی از مولتی مترها می توانند فرکانس سیگنال متناوب و ظرفیت خازن را نیز اندازه بگیرند و همچنین به وسیله آنها می توان پایه های دیودها و ترانزیستورها را تشخیص داده و به سالم و یا معیوب بودن آنها پی برد . همچنین به وسیله مولتی متر می توان اتصال های مدار را تست کرد . به مولتی متر ، آوومتر (AVOmeter) نیز می گویند که AVO از حروف اول کلمات Volt ، Amper و Ohm گرفته شده است زیرا آوومترها (مولتی مترها) این سه کمیت را می توانند اندازه بگیرند . برای اندازه گیری مقدار اهمی مقاومت توسط مولتی متر ، باید پس از انتخاب رنج مربوط به مقاومت ، سیم های مولتی متر را به دو سر مقاومت وصل کرد و مقدار اندازه گیری شده توسط مولتی متر را قرائت کرد . البته اگر مقاومت مورد نظر در مدار قرار دارد باید دقت نمود که این مقاومت با المان های دیگری موازی نباشد چون در این صورت مقدار مقاومت به طور صحیح بدست نمی آید . برای اندازه گیری جریان AC یا DC گذرنده از یک المان در مدار ، باید پس از انتخاب رنج مربوط به جریان AC یا DC ، مولتی متر را به صورت سری با آن المان در مدار قرار داد تا تمامی جریان گذرنده از آن المان از مولتی متر نیز بگذرد و سپس مقدار جریان اندازه گیری شده را قرائت کرد . در این حالت مولتی متر مقاومت بسیار کمی داشته و بر روی کمیت های مدار تأثیری نمی گذارد . اما برای اندازه گیری ولتاژ AC یا DC دو سر یک المان ، باید پس از انتخاب رنج مربوط به ولتاژ AC یا DC ، مولتی متر را به دو سر آن المان وصل کرد یعنی در این حالت مولتی متر با آن المان موازی می شود . سپس مقدار ولتاژ اندازه گیری شده را قرائت کرد . در این حالت مولتی متر مقاومت زیادی داشته و جریان بسیار کمی از آن عبور می کند و لذا بر روی کمیت های مدار تأثیری نمی گذارد . مولتی مترها به دو دسته کلی مولتی مترهای دیجیتال و آنالوگ تقسیم می شوند که در ادامه به بررسی آنها می پردازیم.

مولتی متر دیجیتال :

مولتی متر دیجیتال کمیت های اندازه گیری شده را به صورت رقم و یا ارقامی بر روی صفحه نمایش نشان می دهد و معمولاً واحد کمیت اندازه گیری شده را نیز به طریق مناسبی نمایش می دهد . در شکل یک نمونه مولتی متر دیجیتالی معمولی قابل حمل نمایش داده شده است.

امروزه مولتی مترهای دیجیتال نسبت به نوع آنالوگ بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند زیرا دارای طول عمر بیشتر ، دقت بالاتر و ارزانتر از نوع آنالوگ می باشند و همچنین بسیاری از آنها قابلیت اتصال به کامپیوتر را نیز دارند و لذا می توان با متصل کردن آنها به کامپیوتر و انتقال کمیت های اندازه گیری شده به کامپیوتر ، از این کمیت ها در برنامه های نوشته شده استفاده کرد و به این طریق دستگاه هایی را کنترل کرد . بر روی مولتی مترهای دیجیتالی یک صفحه نمایش جهت نمایش مقادیر اندازه گیری شده وجود دارد که در قسمت بالای مولتی متر تعبیه شده است . تقریباً در وسط مولتی متر یک سلکتور قرار دارد که دارای ضرایب و رنج های متعددی می باشد . این رنج ها عبارتند از رنج ولتاژ AC ، رنج ولتاژ DC ، رنج جریان AC ، رنج جریان DC ، رنج مقدار اهمی مقاومت و رنج ظرفیت خازن که این رنج ها ممکن است دستی و یا اتوماتیک باشند . در رنج دستی به ازای هر کمیت ، چند محدوده ایجاد شده است که هر محدوده باید به صورت دستی و توسط سلکتور انتخاب شود . مثلاً در شکل تمامی رنج ها به صورت دستی هستند . اما در رنج اتوماتیک برای هر کمیت فقط یک محدوده در نظر گرفته می شود و این محدوده تمامی مقادیر ممکن را شامل می شود . معمولاً برای اندازه گیری ظرفیت خازن علاوه بر رنج مربوط به ظرفیت خازن ، دو ترمینال جهت قرار گرفتن پایه های خازن درون آنها ، بر روی مولتی متر تعبیه می شود که این دو ترمینال در شکل در سمت چپ سلکتور قابل مشاهده است . اکثر مولتی مترها همچنین توانایی تست دیود و ترانزیستور را دارند . برای تست دیود و ترانزیستور از یکی از ضرایب سلکتور که با علامت اختصاری دیود مشخص شده است استفاده می شود .

نوع دیگری مولتی متر دیجیتالی نیز وجود دارد که در آن علاوه بر امکانات بیان شده ، امبری نیز وجود دارد . توسط این امبر می توان بدون نیاز به سری کردن مولتی متر با المان مورد نظر در مدار ، جریان گذرنده از آن المان را اندازه گرفت . اگر سیم حامل جریان متصل به المان مورد نظر را بین امبرهای این مولتی متر قرار دهیم ، مولتی متر مقدار جریان گذرنده از سیم و در نتیجه مقدار جریان گذرنده از المان مورد نظر را نمایش می دهد . بنابراین توسط این مولتی متر به راحتی و خیلی سریع می توان مقدار جریان را اندازه گرفت . در شکل تصویری از یک مولتی متر دیجیتالی امبری نمایش داده شده است.

مولتی مترآنالوگ:

در ظاهر مولتی متر آنالوگ یا عقربه ای معمولاً از یک صفحه با تعدادی خطوط مدرج ، یک عقربه که می تواند روی خطوط مدرج حرکت کند ، یک سلکتور ، تعدادی ترمینال ، یک پتانسیومتر تنظیم صفر و دو سیم رابط تشکیل می شود.

نمونه ای از این نوع مولتی متر در شکلنمایش داده شده است .

معمولاً بالاترین خط درجه بندی شده ، برای اندازه گیری مقدار اهمی مقاومت استفاده می شود . در این خط مقدار صفر در منتهی الیه سمت راست قرار دارد . دومین خط درجه بندی شده از بالا ، مربوط به اندازه گیری جریان ها و ولتاژهای AC و DC است که در این خط مقدار صفر در منتهی الیه سمت چپ قرار دارد . بین این دو خط یک نوار آینه ای قرار دارد که برای افزایش دقت قرائت استفاده شده است . به این صورت که برای افزایش دقت قرائت ، باید به گونه ای عمود بر مولتی متر به عقربه نگاه کرد که تصویر عقربه در نوار آینه ای دیده نشود.

در مولتی متر آنالوگ نیز همانند مولتی متر دیجیتال سلکتوری وجود دارد که توسط این سلکتور می توان رنج های ولتاژ AC ، ولتاژ DC ، جریان AC ، جریان DC ، مقدار اهمی مقاومت و ظرفیت خازن را انتخاب کرد . نحوه اندازه گیری ولتاژها و جریان های AC و DC کاملاً مشابه یکدیگر می باشد . برای اندازه گیری این کمیت ها ابتدا باید ضریب ثابت سنجش را محاسبه نمود . ضریب ثابت سنجش عبارت است از حاصل تقسیم ضریب سلکتور بر آخرین عدد روی خط مدرج مربوطه که آن را با C نمایش می دهند . اما همانطور که در شکل مشاهده می کنید در انتهای خط مدرج مربوط به ولتاژها و جریان های AC و DC یعنی خط زیر نوار آینه ای ، سه عدد مختلف درج شده است یعنی اعداد ۱۰ و ۵۰ و ۲۵۰ . حال سؤالی مطرح می شود و آن این است که از کدام یک از این اعداد باید برای تعیین ضریب ثابت سنجش استفاده کرد ؟ در پاسخ باید گفت از هر یک از این اعداد می توان استفاده کرد اما در صورت استفاده از هر یک از آنها ، باید در قرائت میزان انحراف عقربه نیز از درجه بندی مرتبط با آن عدد استفاده کرد . مثلاً اگر عدد ۱۰ را انتخاب کنیم به این معنی خواهد بود که خط زیر نوار آینه ای به ۱۰ قسمت یا درجه مساوی تقسیم شده است که این ۱۰ قسمت به وسیله خطوط پررنگ تر و بلندتر از سایر درجات مشخص می شوند و یا انتخاب عدد ۵۰ به این معنی خواهد بود که خط زیر نوار آینه ای به ۵۰ قسمت یا درجه مساوی تقسیم شده است که این ۵۰ قسمت در شکل به خوبی مشخص می باشند . و اگر عدد ۲۵۰ را انتخاب کنیم خط زیر نوار آینه ای به ۲۵۰ قسمت مساوی تقسیم می شود . اما در شکل این تقسیم بندی مشاهده نمی شود . در این حالت هر قسمت کوچک را باید ۵ قسمت در نظر گرفت . البته از اعدادی مثل ۲۵۰ در شکل (۴) ، خیلی کم و فقط در مواقعی که نیاز به دقت خیلی زیاد باشد استفاد می شود . پس از به دست آوردن ضریب ثابت سنجش ، باید آن را در میزان انحراف عقربه ضرب نمود تا مقدار کمیت مورد نظر بدست آید . به عنوان مثال اگر در شکل (۴) ، ضریب سلکتور روی ۵۰ ولت DC باشد و عقربه در وسط خط مدرج زیر نوار آینه ای قرار گرفته باشد مقدار ولتاژ DC اندازه گیری شده توسط مولتی متر چقدر است ؟

همانطور که مشاهده کردید مقدار ولتاژ اندازه گیری شده در هر سه حالت یکی شد اما بهتر است زمانی که عقربه روی درجه های بزرگ قرار می گیرد از عدد ۱۰ ، زمانی که عقربه روی درجه های کوچک قرار می گیرد از عدد ۵۰ و زمانی که عقربه بین درجه های کوچک قرار می گیرد از عدد ۲۵۰ استفاده کرد.

اما برای اندازه گیری مقدار اهم مقاومت از خط مدرج شده بالای نوار آینه ای استفاده می شود . این خط به صورت نامنظم درجه بندی شده و صفر آن در سمت راست می باشد . برای اندازه گیری مقدار اهم مقاومت ابتدا رنج مربوط به مقاومت را انتخاب می کنیم . سپس توسط ولومی که در مولتی متر وجود دارد صفر دستگاه را تنظیم می کنیم . برای این منظور سیم های رابط مولتی متر را به هم وصل می

کنیم . با وصل شدن سیم های رابط به هم ، عقربه به سمت صفر حرکت می کند . اگر عقربه دقیقاً روی صفر متوقف نشد با استفاده از ولوم تنظیم کننده عقربه را روی صفر تنظیم می کنیم . سپس سیم های رابط را به دو سر مقاومت وصل می کنیم که در اثر آن عقربه شروع به حرکت کرده و در نقطه ای از خط مدرج شده متوقف می شود . اگر عقربه در محدوده هایی متوقف شود که در آن محدوده ها درجه بندی فشرده باشد و مقدار انحراف عقربه به راحتی قابل قرائت نباشد باید ضریب سلکتور را تغییر داده و پس از تنظیم مجدد صفر دستگاه ، اندازه گیری را مجدداً انجام داد . این عمل باید آنقدر انجام شود تا عقربه در محدوده ای قرار گیرد که در آن محدوده بتوان میزان انحراف عقربه را با دقت خوبی قرائت کرد . مثلاً در شکل برای اینکه قرائت انحراف عقربه از دقت خوبی برخوردار باشد باید عقربه بین اعداد ۲ تا ۵۰ قرار گیرد زیرا در خارج از این محدوده ، درجه بندی بسیار فشرده می شود و خطای چشم به شدت افزایش می یابد.
پس از طی این مراحل ، باید میزان انحراف عقربه را در ضریب سلکتور ضرب کنیم تا مقدار مقاومت بدست آید . مولتی مترهای آنالوگ دارای نوع امبری نیز می باشند که در شکل یک نمونه از آن نمایش داده شده است.

قسمت های قابل مشاهده در روی صفحه مولتی متر:

۱- صفحه دیجیتال

۲- کلید انتخاب یا سلکتور

۳- ترمینال ها و دکمه های تنظیم کننده

در اکثر مولتی مترها در روی صفحه، برای کمیت های مختلف تقسیم بندی های مدرجی دیده می شود که برخی از این موارد عبارتند از V برای اختلاف پتانسیل ، A برای شدت جریان ، برای مقاومت الکتریکی ، AC برای جریان متناوب و DC برای جریان مستقیم به کار رفته است. که به طور معمول درجه بندی مربوط به مقاومت الکتریکی از راست به چپ و سایر درجه بندی ها از چپ به راست می باشد.

نکات قابل توجه در هنگام کار با دستگاه مولتی متر:

۱- برای اندازه گیری شدت جریان باید دستگاه را به طور سری در مدار قرار داد.

۲ - برای اندازه گیری اختلاف پتانسیل باید دستگاه را به طور موازی بین دو نقطه از مدار قرار داد .

۳- هنگام اندازه گیری مقاومت لازم است جریان برق را قطع کنیم، در غیر این صورت به دستگاه آسیب می رسد .

۴- دستگاه را با احتیاط جا به جا می کنیم و از وارد آمدن ضربه به آن و یا سقوط دستگاه جلوگیری می نماییم .

۵- پیچ تنظیم صفر دستگاه را نباید دستکاری کرد، زیرا این بخش از دستگاه خیلی حساس است و ممکن است فنر مربوط به آن قطع و دستگاه خراب شود.

۶- همیشه هنگام اندازه گیری کمیت ها کلید سلکتور را روی بیشترین درجه قرار می دهیم و در صورت لزوم به تدریج آن را کاهش می دهیم تا به دستگاه لطمه ای وارد نشود .

۷- حتی الامکان کلید سلکتور را در جهت حرکت عقربه های ساعت می چرخانیم، به علاوه چرخاندن سریع کلید سلکتور برای دستگاه خالی از ضرر نیست.

تست دیود:

برای اینکار تنها لازم است که سلکتورِ مولتی متر را برروی قسمتِ تستِ دیود قرار دادیم،سپس دو سرسیمِ مولتی متر را در دو طرف دیود مورد نظر قرار می دهیم و اگر از مولتی متر صدایی شنیده نشد،دیود ما سالم است.(به اصطلاح دیود نباید اتصال کوتاه شده باشد.

انواع تجهیزات کنترل و اندازه گیری دما:

به طور کلی در اکثر محیط های صنعتی، دما یکی از کمیت هایی است که می بایست آن را کنترل یا اندازه گیری کنیم. به همین منظور انواع تجهیزات کنترل و اندازه گیری دما برای اندازه گیری و کنترل دقیق درجه حرارت سیالات و جامدات مختلف، مورد استفاده قرار می گیرند.

از انواع تجهیزات کاربردی برای کنترل و اندازه گیری دما، می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- انواع ترموسنسورهای دمایی
- انواع دماسنج ها
- انواع ترمومتر ها
- دماسنج فروسرخ
- ترمومتر بی متالیک
- ترموستات ها
- ترموکوپل
- دمانگار و...

به طور کلی تجهیزات اندازه گیری دما به دو دسته تماسی (CONTACT) و غیر تماسی (NON-CONTACT) تقسیم بندی می شوند:

انواع تجهیزات اندازه گیری دما تماسی:(CONTACT)

دماسنج مقاومتی، دماسنج ترموالکتریکی، دماسنج مایع در شیشه و نظایر آنها از جمله دماسنج هایی هستند که برای اندازه گیری دما به روش تماسی مورد استفاده قرار می گیرند. به جز دماسنج های شیشه ای، این دماسنج ها به طور کلی شامل یک آشکارساز، یک نشان دهنده و یک انتقال دهنده می باشند.

انواع تجهیزات اندازه گیری دما غیرتماسی:(NON-CONTACT)

اندازه گیری دما به روش غیر تماسی عموماً از طریق لیزر، مادون قرمز و ... صورت می گیرد. ضمنا برای اندازه گیری دمای اجسام یا سیالات گوناگون که امکان دسترسی مستقیم به آنها وجود ندارد مورد استفاده قرار می گیرند.

دماسنج های تابشی که در روش غیر تماسی کاربرد دارند، از سه المان اصلی به شرح زیر تشکیل شده اند:

- سیستم نوری که تابش را از جسم مورد اندازه گیری به المان حس کننده منتقل می کند
- المان حس کننده که تابش را به سیگنال الکتریکی تبدیل می کند (نظیر المان انتقال دهنده فتوالکتریک)
- مدار پردازشگر سیگنال که سیگنال الکتریکی را به اطلاعات گرمایی تبدیل می کند

سنسورهای غیر تماسی دارای قیمت بالاتری نسبت به دیگر سنسورها می باشند و به همین علت رنج استفاده از آنها در صنایع مختلف کمتر می باشد. اما در نهایت برای تعیین دمای اجسامی که دور از دسترس هستند و امکان ایجاد ارتباط مستقیم بین آنها وجود ندارد، استفاده از سنسورهای non-contact ضروری است.

دماسنج ها یا ترمومترها دارای انواع زیر می باشند:

دماسنج شیشه ای:(GLASS THERMOMETER)

دماسنج های شیشه ای که دارای دو نوع دماسنج جیوه ای و دماسنج الکلی هستند، جزء رایج ترین و ساده ترین دماسنج ها می باشد. ساختمان دماسنج های شیشه ای از یک مخزن مایع و یک لوله موئین تشکیل شده است که مایع درون مخزن در اثر انبساط از لوله موئین بالا رفته و دمای متناسب را نشان می دهد.

ترمومتر جیوه ای:

ترمومتر جیوه ای یک مثال آشنا برای اندازه گیرهای دما با مکانیزم مذکور است. افزایش دما باعث انبساط جیوه شده و ارتفاع ستون جیوه افزایش می دهد. این ترمومترها دارای بازه اندازه گیری محدودی هستند و همچنین خروجی آنها نمی تواند در سیستم های کنترلی استفاده شود. بنابراین استفاده از این دماسنج ها در صنعت متداول نیست.

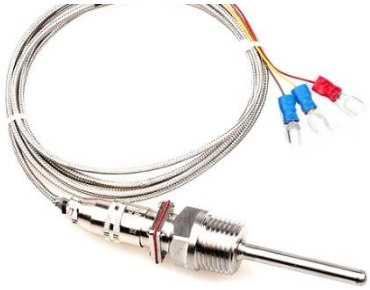
تفاوت ترمومترهای جیوه ای و الکلی در چیست؟

محدوده اندازه گیری در این دو دماسنج با هم تفاوت دارد .از دماسنج های الکلی می توان برای تعیین حداقل دما استفاده نمود. در حالیکه با ترمومترهای جیوه ای نمی توان دماهای کمتر از ۳۵ درجه زیر صفر را اندازه گیری کرد، زیرا جیوه در ۳۹ - درجه سانتی گراد منجمد می شود. از این رو برای اندازه گیری سرماهای شدید از ترمومترهای الکلی استفاده می کنند.

دماسنج یا ترمومتر گازی:(GAS THERMOMETER)

ترمومتر گازی شامل حبابی از جنس شیشه، چینی، کوارتز، پلاتین و... می باشد که (جنس حباب را بر اساس گستره دمایی که در دماسنج به کار می رود، انتخاب می کنند)، حباب به وسیله یک لوله موئین به یک دماسنج یا ترمومتر جیوه ای متصل است.

دماسنج مقاومت الکتریکی:(RESISTANCE TEMPUERTURE DETECTORE)

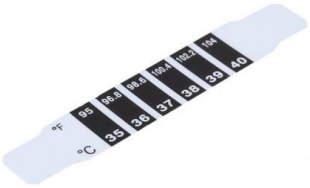


دماسنج های مقاومت الکتریکی شامل یک سیم بلند و ظریف است که معمولاً آن را به دور یک قاب نازک می پیچند تا از فشار ناشی از تغییر طول سیم که در اثر انقباض آن هنگام سرد شدن پدید می آید، جلوگیری کند. گاهی سیم را به دور جسمی که اندازه گیری دمای آن مورد نظر است، می پیچند یا در صورت امکان درون آن قرار می دهند. دماسنج مقاومتی پلاتین را می توان برای اندازه گیری های خیلی دقیق در گستره ۲۵۳ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد به کار برد.

دماسنج کوارتزی:(QUARTZ THERMOMETER)

دماسنج کوارتزی یک روش جدید و بسیار دقیق اندازه گیری دما است که بر مبنای حساسیت فرکانس تشدید کریستال کوارتز به تغییر دما استوار می باشد. گستره دمایی این دستگاه تقریبا از ۴۰- تا ۲۳۰ +درجه سانتی گراد می باشد.

دیگر دماسنج ها:



- دماسنج کریستال مایع
- دماسنج فیبر نوری
- دماسنج پزشکی
- دمانگارها و...

ترموکوپل:

ترموکوپل ها از دو فلز غیر همجنس (مانند مس و آهن) تشکیل شده اند که اگر محل اتصال آنها را حرارت دهیم، در طرف دیگر آنها ولتاژی (EMS) تشکیل می شود که با دمای محل اتصال دو فلز ارتباط مستقیم دارد.

ترمیستور:

ترمیستور یک وسیله نیمه رسانا است که بر خلاف فلزات دارای ضریب دمای مقاومت منفی است، یعنی در اثر افزایش دما مقاومت الکتریکی آن کاهش می یابد. ترمیستور یک وسیله بسیار حساس است و انتظار می رود که با درجه بندی مناسب دارای عملکرد ثابتی (۰,۰۱ درجه سانتی گراد) باشد. یکی از ویژگی های جالب آن این است که می توان از این وسیله به عنوان جبران کننده های مدارهای الکتریکی استفاده نمود.

دماسنج مادون قرمز:

دماسنج فروسرخ یا دماسنج مادون قرمز (infrared thermometer) یا ترمومترهای IR برای اندازه گیری دقیق دما به صورت غیر تماسی و در رنج دمایی گسترده ای به کار می روند.

پیرومتر (PEYROMETER)

پیرومتر یک وسیله اندازه گیری دما از نوع non-contact است که تابش گرمایی را اندازه گیری می کند.

ترمومترهای بی متالیک:

فلزات در ترمومترهای بی متالیک به گونه ای انتخاب می شوند که ضریب انبساط طولی یکی بیش از دیگری است. چنان که یک طرف این زوج فلز در یک نقطه ثابت نگه داشته شوند، به هنگام افزایش دما، اختلاف میزان افزایش طول دو فلز باعث خم شدن زوج می شود که این حرکات مکانیکی باعث به حرکت درآوردن عقربه ترمومتر می گردد.

ترموستات:

ترموستات یک دستگاه کنترل کننده الکتریکی خودکار است که برای تنظیم دما در فضای بسته، معمولاً آن را به دستگاه های گرمایشی و تهویه مطبوع متصل می کنند تا با قطع و وصل عملکرد دستگاه، آن فضا را در دمای تنظیم شده ثابت نگه دارد. هنگامی که دما به نقطه تنظیم برسد، ترموستات مدار برقی دستگاه را قطع می کند و زمانی که دما ۱ الی ۲ درجه از نقطه تنظیم پایین تر رود، دوباره مدار را وصل می کند و دستگاه روشن می شود.

موارد کاربرد ترموستات:

به طور کلی ترموستات برای تنظیم درجه حرارت مایعات، گازها و جامدات در دستگاه های گرمایشی و تهویه مطبوع در بخش های مختلف زیر مورد استفاده قرار می گیرد:

- **صنعتی :**اعم از گلخانه ها، گرم خانه، کوره، دیگ های بخار، موتورخانه ها و اتوکلاوها و...
- **ساختمان :**در بخش تاسیسات اعم از شوفاژ خانه های مرکزی و کنترل دما در سیستم های تهویه مطبوع شامل هواساز، چیلر و فن کوئل و. ...
- **لوازم خانگی :**در لباسشویی، ظرفشویی، سرخ کننده ها، سماور برقی، فرهای برقی، آبگرمکن برقی و گازی و...

انواع ترموستات:

ترموستات ها از نظر محل نصب، نوع عملکرد، فصل سالی، نوع سنسور، رنج کاری، تعداد مراحل کار و از نظر دامنه دمایی به انواع مختلفی تقسیم می شوند.

از نظر محل نصب در تهویه مطبوع :عمدتاً به انواع اتاقی، کانالی، مستغرق و جداری تقسیم می شوند.

- **از نظر نوع عملکرد :**به انواع قطع و وصلی و تدریجی تقسیم می شوند.
- **از نظر دامنه دمایی :**به انواع حرارتی و برودتی و زیر صفر و بالای صفر تقسیم می گردند.
- **از نظر تعداد مراحل کار :**به یک مرحله ای، دو مرحله ای و پله ای (استپ کنترل) تقسیم می گردند.
- **از نظر نوع سنسور :**به بیمتالی، فانوسه ای، رئوستا و دیافراگمی تقسیم می شوند.
- **از نظر فصلی :**به سه نوع تابستانی، زمستانی و دو فصلی تقسیم می شوند.

اجزای مدارهای الکترونیکی و نماد آن ها:

الکترونیک شاخه ای از مهندسی است که به بررسی و طراحی مدارهای الکترونیکی و الکتریکی مانند مدارهای مجتمع، فرستنده ها، گیرنده ها و غیره می پردازد.یک مدار الکترونیکی در واقع ترکیبی از اجزای الکترونیکی مختلف است که جریان برق را از خود عبور می دهد. اجزای الکترونیکی شامل دو یا چند پایانه است که برای اتصال یک جزء به یک جزء دیگر برای طراحی مدار استفاده می شود. اجزای الکترونیکی بر روی صفحات مدار به منظور ساخت یک سیستم نصب می شوند.

Electronic circuit diagram components (symbols)

Symbol	Component	Symbol	Component	Symbol	Component
	Joined conductors		Crossing conductors -no connection		Single-Pole-Single-Throw switch (SPST) (normally open)
	Fixed resistor		Diode		Single-Pole-Single-Throw switch (SPST) (normally closed)
	Potentiometer		Light-Emitting Diode (LED)		Single-Pole-Double-Throw switch (SPDT)
	Preset potentiometer		NPN transistor		Double-Pole-Double-Throw switch (DPDT)
	Thermistor		Amplifier		Push-To-Make switch (PTM)
	Light-dependent resistor		Fuse		Push-To-Break switch (PTB)
	Polarised capacitor	2 pin	Resonator		Dry-reed switch
	Non polarised capacitor	3 pin			Opto switch
usually drawn with added detail e.g +9V 0V	Power supply		Primary or secondary cell	RL	Relay (with double-throw contacts - contact symbol varies with type used)
			Battery (of cells)		

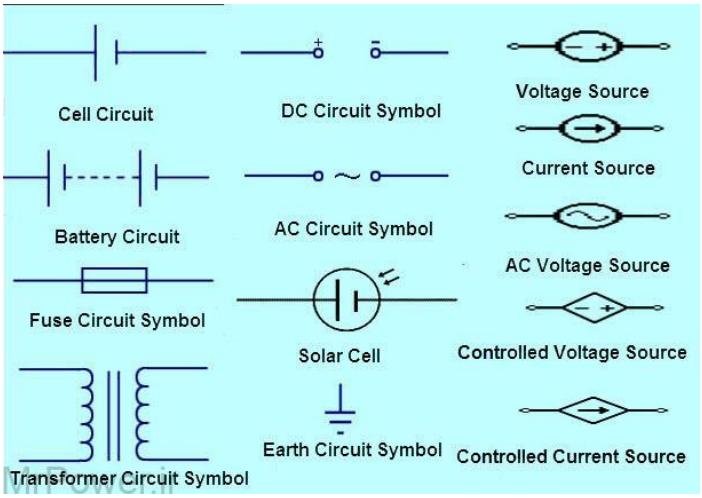
MrPower.ir

نماد اجزای مدار الکترونیکی:

اجزای مدارهای الکترونیکی عمدتا شامل سیم، منبع تغذیه، مقاومت، خازن ها، دیودها، ترانزیستورها ، سوئیچ ها، سنسورها، پایانه های منطقی، دستگاه های صوتی و سایر اجزاء هستند.

سیم:

سیم ها اجزای دو ترمیناله و انعطاف پذیر هستند که جریان برق از طریق آن جاری می شود.معمولا از سیم برای اتصال منابع تغذیه به مدارهای چاپی (PCB)و اتصال اجزای مختلف مدار استفاده می شود.

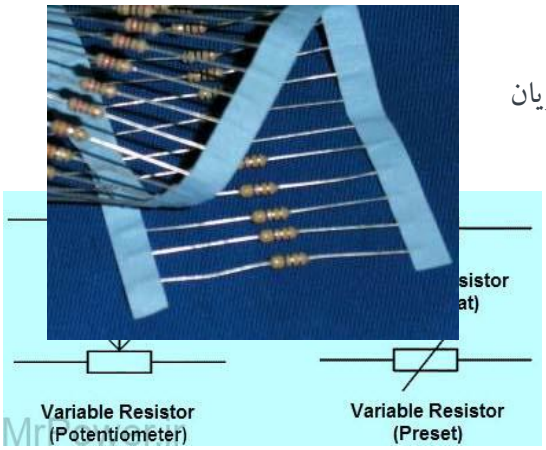


منابع تغذیه:

منبع تغذیه یک دستگاه الکترونیکی است که انرژی الکتریکی را به یک مصرف کننده الکتریکی عرضه می کند. واحد اندازه گیری این انرژی وات است. عملکرد منبع تغذیه این است که با توجه به نیاز ما انرژی را از یک فرم به فرم دیگری تبدیل کند. انواع مختلفی از منبع تغذیه جز اجزای مدارهای الکترونیکی هستند.

مقاومت:

مقاومت یک عنصر دو ترمیناله منفعل است که با عبور جریان از آن انرژی به صورت گرما هدر می رود. مقاومت در واحد اهم اندازه گیری می شود، اندازه ه مقاومت را می توان از طریق خطوط رنگی روی آن تشخیص داد.



مقاومت ساده:یک عنصر با دو ترمینال که عبور جریان در مدار را محدود می کند.

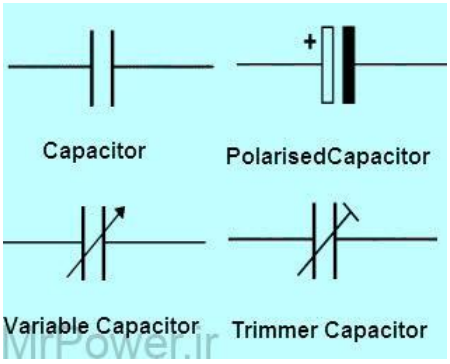
رئوستا: یکی از اجزای مدارهای الکترونیکی است که دو ترمینال داشته و برای تنظیم جریان استفاده می شود.

پتانسیومتر : پتانسیومتر یک جزء سه ترمینال است که جریان را در مدار تنظیم می کند.

مقاومت متغیر :یک جز سه ترمیناله است که می توان در هر لحظه مقدار مقاومت را تغییر داد .

سلف: سلف یا سیم پیچ قطعه ای میباشد که به وسیله پیچیدن سیم به شکل حلقوی ساخته شده است و میتواند انرژی الکتریکی را بصورت میدان الکترومغناطیسی در خود ذخیره نماید. سلف برخلاف خازن که الکتریسیته را بصورت میدان الکترواستاتیکی ذخیره میکرد عمل میکند یعنی الکتریسیته را بصورت میدان الکترومغناطیسی در خودش ذخیره میکند و بعد از مدتی میتواند آن را آزاد نماید.واحد اندازه گیری سلف هانری میباشد.

خازن:



خازن یکی دیگر از اجزای مدارهای الکترونیکی است که دو ترمیناله و پسیو بوده و می تواند انرژی برق را در خود ذخیره کند.خازن ها در واقع باتری های قابل شارژی هستند که در منابع تغذیه به کار می روند.خازن در واقع دو صفحه الکتریکی است که به وسیله یک دی الکتریک از هم جدا شده اند.خازن جریان AC را از خود عبور داده و در مقابل جریان DC مانند یک اتصال باز عمل می کند.

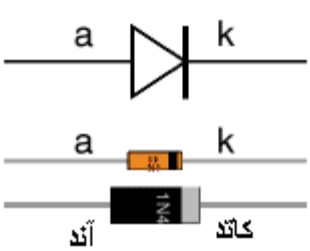
خازن ساده:یک جز برای ذخیره انرژی الکتریکی.

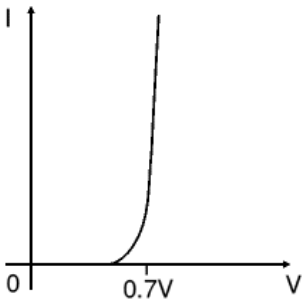
خازن قطبی:در خازن قطبی ،به دلیل داشتن قطب های مثبت و منفی ذخیره انرژی الکتریکی تنها به صورت یک طرفه صورت می گیرد.

خازن متغیر:مانند مقاومت متغیر می توان مقدار کنترل بر حسب فاراد را تغییر داد و کنترل کرد.

خازن trimmer: از این خازن ها برای تطبیق امپدانس و تشدید در مدارات RLC استفاده می شود.

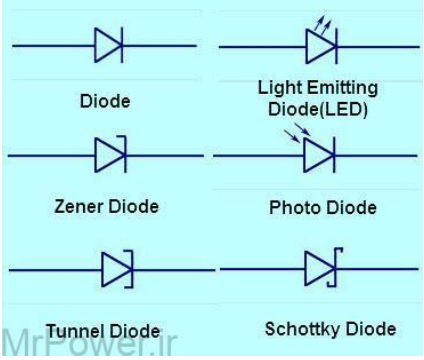
دیود:





دیود یکی از اجزا مدارهای الکترونیکی با دو پایانه به نام های آنود و کاتد است. دیود جریان الکترونی را تنها از کاتد به آند عبور می دهد اما در مقابل عبور جریان در جهت مخالف مقاومت می کند.درواقع دیود دارای مقاومت کم در یک جهت(کاتد به آند) و مقاومت بالا در جهت دیگر(آند به کاتد) است.

دیود معمولی:اجازه عبور جریان فقط در یک جهت را می دهد .



دیود نوری:با عبور جریان برق از داخل آن،نور تولید می کند.

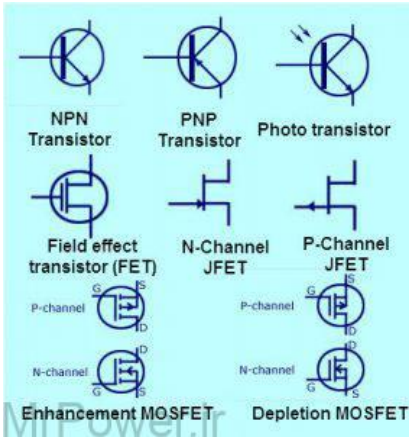
دیود زنر:بعد از رسیدن به ولتاژ شکست جریان را ثابت نگه می دارد.

Photoدیود:نور را به ولتاژ یا جریان تبدیل می کند.

دیود تونل :دیود تونل برای عملیات بسیار سریع استفاده می شود.

دیود شاتکی :از دیود شاتکی در ولتاژهای پایین و کلیدزنی های سریع استفاده می شود.

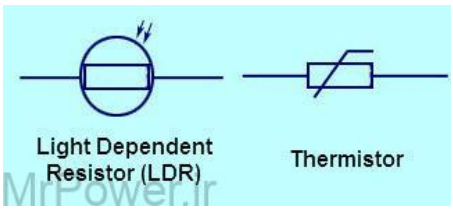
ترانزیستور: ترانزیستورها در سال ۱۹۴۷ در آزمایشگاه Bell ،برای جایگزینی لوله های خلاء اختراع شد.این جز مدارهای الکترونیکی جریان جریان و ولتاژ در مدار را کنترل می کند. ترانزیستور یک قطعه الکترونیکی میباشد که از سه پایه به نامهای امیتر ، بیس و کلکتور تشکلیل میشود



ترانزیستور های از نیمه هادی های با نام سلسیوم و یا ژرمانیوم میسازند . ترانزیستورها عملکرد های متفاوتی در مدار دارند که بستگی به نظر طراح مدار دارد از جمله کاربردهای ترانزیستور مانند تقویت کننده جریان یا تقویت ولتاژ ، به عنوان منبع جریان و یا منبع ولتاژ ثابت و یا کلید زنی (قطع و وصل) در مدار میتوان نام برد.

ترانزیستور :**npn**یک نیمه هادی نوع P در میان دو نیمه هادی نوع N قرار می گیرد. پایانه های این ترانزیستور امیتر، بیس و کالکتور هستند.

ترانزیستور :**PNP**یک نیمه هادی نوع N در میان دو نیمه هادی نوع P قرار می گیرد. پایانه های این ترانزیستور نیز امیتور،کالکتور و بیس هستند.



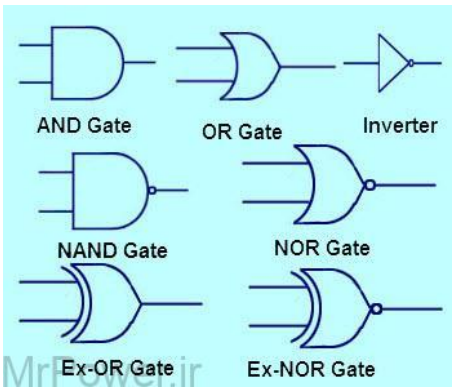
اسیلوسکوپ : برای اندازه گیری ولتاژ با توجه به زمان سیگنال استفاده می شود.

سنسور: سنسور ها از دیگر اجزای مدارهای الکترونیکی هستند که اشیا در حال حرکت را شناسایی می کنند و این سیگنال ها را به انرژی الکتریکی یا نور تبدیل می کنند.

سنسور نوری :این سنسورها نور را حس می کنند.

ترمیستور :این سنسور گرما یا دما را حس می کند.

گیت های منطقی:



گیت های منطقی در واقع بلوک های اصلی ساختمان مدارهای دیجیتال هستند، این گیت ها دارای دو یا سه ورودی و یک خروجی واحد به صورت دودویی هستند. خروجی تولید شده توسط گیت منطقی بر اساس منطق خاصی است.

گیت : AND مقدار خروجی ۱ است هنگامی که دو ورودی ۱ هستند.

گیت :OR مقدار خروجی ۱ است اگر فقط یکی از ورودی ها ۱ است.

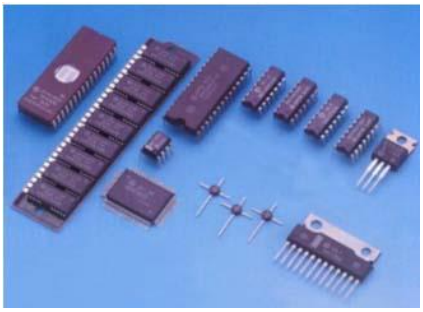
گیت : NOT خروجی مکمل ورودی است.

گیت :NAND متمم گیت AND است.

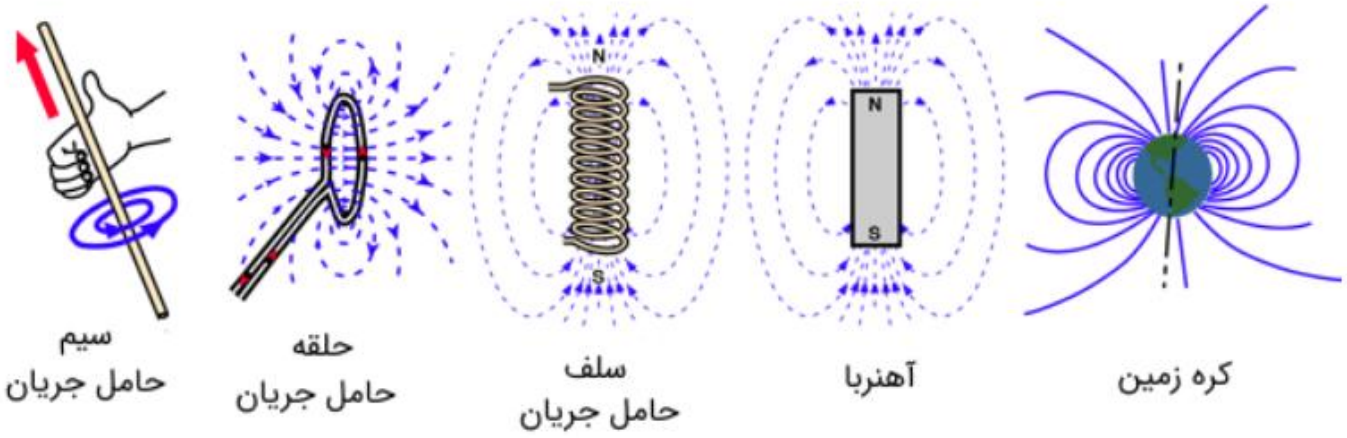
گیت :NOR متمم گیت OR است.

گیت :X-OR خروجی ۱ است اگر در ورودی تعداد فرد ۱ داشته باشیم.

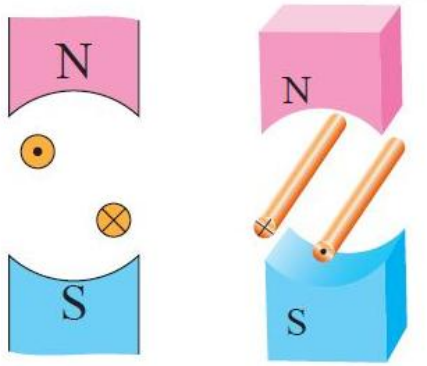
گیت :X-NOR خروجی ۱ است اگر در ورودی تعداد زوج ۱ داشته باشیم.



IC : حروف اختصاری IC از دو کلمه انگلیسی integrated circuit به معنی مدار مجتمع گرفته شده است. پیش از اختراع IC ،مدارهای الکترونیکی ازتعداد زیادی قطعه یا المان الکتریکی تشکیل می‌شدند. این مدارات فضای زیادی را اشغال می‌کردند و توان الکتریکی بالایی نیز مصرف می‌کردند. و این، امکان بوجود آمدن نقص و عیب در مدار را افزایش می‌داد. همچنین سرعت پایینی هم داشتند IC .، تعداد زیادی عناصر الکتریکی را که بیشتر آنها ترانزیستور هستند، در یک فضای کوچک درون خود جای داده است و همین پدیده است که باعث شده امروزه دستگاه‌های الکترونیکی کاربرد چشمگیری در همه جا و در همه زمینه‌ها داشته باشند.



شکل (۲): منابع مختلف میدان مغناطیسی



عوامل موثر در مقدار ولتاژ القایی

در مقدار ولتاژی که در یک هادی در اثر قطع میدان مغناطیسی القا میشود سه چیز موثر است.

۱- L طول هادی

۲- V سرعت تغییر میدان

۳- B چگالی شار مغناطیسی

۴- Ø زاویه بردار حرکت و بردار میدان مغناطیسی

$$U=B.L.V.\sin\varnothing$$

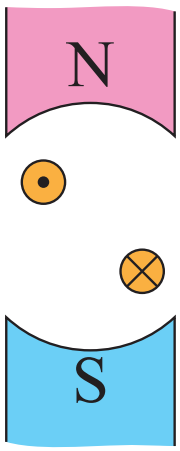
رابطه بالا ولتاژ القایی میباشد که اگر طول هادی به متر و سرعت برحسب متر برساعت و چگالی شار برحسب گاوس باشد ولتاژ القایی برحسب ولت میباشد.

اگر $\varnothing=90$ ولتاژ ایجاد شده دوس میله برابر خواهد با

$$E=B.L.V$$

۳ ـ جهت نیروی مغناطیسی وارد به هادی‌های حامل جریان شکل‌های ۵۴ ـ ۱۲ و ۵۵ ـ ۱۲ را با کمک قانون دست چپ تعیین کنید.

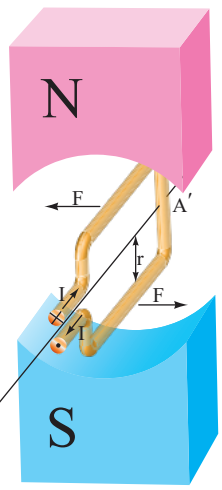
شکل ۵۳ ـ ۱۲



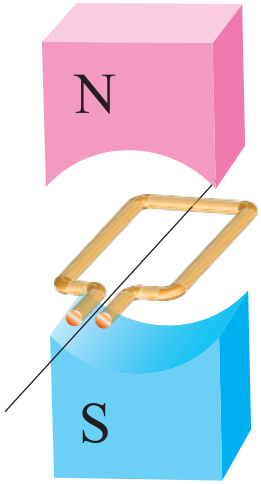
شکل ۵۴ ـ ۱۲

۱۲–۱۹ گشتاور نیروی مغناطیسی وارد بر حلقه جریان کامل

حلقه حامل جریان الکتریکی، معلق در میان میدان مغناطیسی دو قطب آهنربایی قوی که می‌تواند آزادانه حول محور AA' بگردد، فرض شده است. شکل (۵۵ ـ ۱۲). به بازوهای حامل جریان این حلقه، نیروی مغناطیسی در دو جهت مخالف، با مقدار مساوی وارد می‌شود. این نیروها در حلقه حامل جریان الکتریکی، «گشتاور[۱]» ایجاد می‌کنند و آن را حول محور می‌گردانند، لذا حلقه جابه‌جا می‌شود. شکل (۵۶ ـ ۱۲)

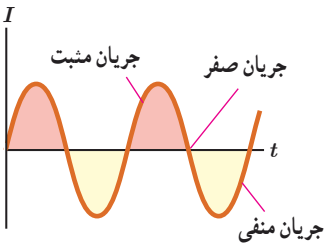


شکل ۵۵ ـ ۱۲



شکل ۵۶ ـ ۱۲

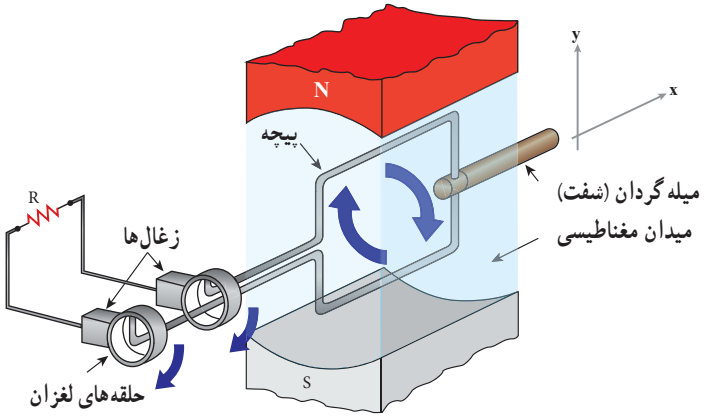
۱- Torque



شکل ۴ـ۱۳ جریان متناوب سینوسی، متداول‌ترین نوع جریان متناوب است.

تولید جریان متناوب : یکی از کاربردهای مهم اثر القای الکترومغناطیسی، تولید جریان متناوب است. پیش از این دیدیم که برای تولید نیروی محرکهٔ القایی باید شار عبوری از پیچه تغییر کند. همچنین دیدیم که در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت، شاری که از پیچه می‌گذرد از رابطهٔ $\Phi = BA\cos\theta$ محاسبه می‌شود که در آن θ زاویهٔ بین نیم‌خط عمود بر سطح حلقه‌های پیچه و میدان مغناطیسی است.

رایج‌ترین روش برای تغییر شار و در نتیجه تولید جریان القایی، تغییر زاویهٔ θ است. شکل ۴ـ۱۴ پیچه‌ای را نشان می‌دهد که می‌تواند در میدان مغناطیسی یکنواخت دور محور x بچرخد.



شکل ۴ـ۱۴ اجزای یک مولّد (ژنراتور) جریان متناوب. حرکت مکانیکی از طریق میله گردان، سبب چرخیدن پیچه در میدان مغناطیسی می‌شود و جریان متناوبی را در مدار به وجود می‌آورد.

هر دور چرخش پیچه، معادل 2π رادیان است. اگر پیچه به‌طور یکنواخت بچرخد و هر دور چرخش آن T ثانیه طول بکشد، پیچه در مدت t ثانیه، به اندازه $\frac{t}{T}$ دور خواهد چرخید. درنتیجه اگر سطح پیچه در لحظه $t = 0$ عمود بر میدان مغناطیسی باشد ($\theta = 0$)، پس از گذشت t ثانیه، زاویه θ برابر $(\frac{t}{T})(2\pi)$ رادیان است. زمان یک دور چرخش کامل پیچه (T) را **دوره** یا **زمان تناوب** می‌نامند. شاری که در لحظهٔ t از پیچه می‌گذرد برابر است با

$$\Phi = BA\cos\frac{2\pi}{T}t$$

به کمک قانون فاراده می‌توان نشان داد نیروی محرکهٔ القایی در پیچه در لحظهٔ t از رابطه زیر به‌دست می‌آید[1] :

$$\mathscr{E} = \mathscr{E}_m \sin\frac{2\pi}{T}t \qquad (۶ـ۴)$$

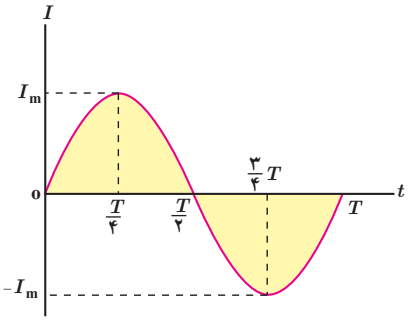
که در آن $\mathscr{E}_m$ بیشینهٔ مقدار نیروی محرکهٔ القایی در پیچه است. این رابطه نشان می‌دهد که نیروی محرکهٔ القا شده به‌طور دوره‌ای نسبت به زمان تغییر می‌کند.

۱ـ اثبات این رابطه، خارج از اهداف برنامه درسی این کتاب است.

اگر مقاومت کل مدار پیچه برابر R باشد، با توجه به رابطه $I=\mathscr{E}/R$، جریانی که در پیچه القا می‌شود برابر است با :

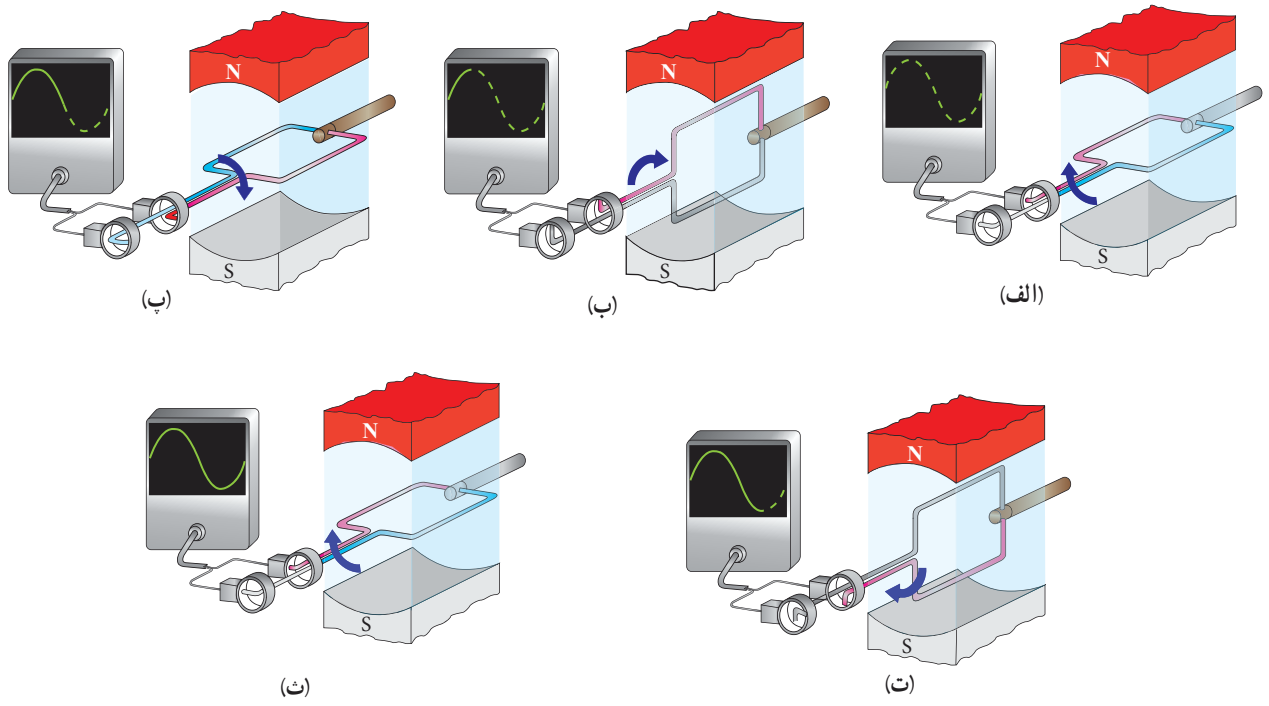
$$I = I_m \sin \frac{2\pi}{T} t \qquad (۴ـ۷)$$

در این رابطه I_m بیشینهٔ جریان القا شده در پیچه و برابر $I_m=\mathscr{E}_m/R$ است. رابطهٔ ۴ـ۷ همچنین نشان می‌دهد که جریان القایی در پیچه، به‌طور سینوسی تغییر می‌کند، به‌همین سبب به آن **جریان متناوب** می‌گویند. نمودار این جریان برحسب زمان، در یک دوره در شکل ۴ـ۱۵ رسم شده است.



شکل ۴ـ ۱۵ نمودار جریان متناوب سینوسی در یک دوره

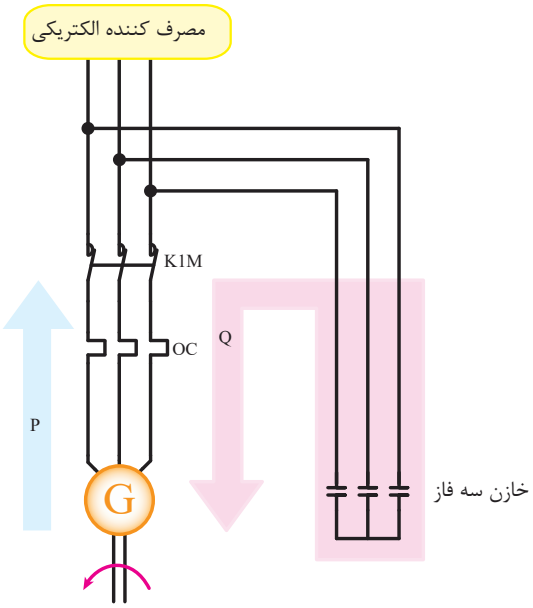
شکل ۴ـ۱۶ تولید جریان متناوب سینوسی در مدت یک دوره را نشان می‌دهد. در $t=0$ سطح پیچه بر خطوط میدان مغناطیسی عمود است و جریانی در مدار وجود ندارد (شکل ۴ـ۱۶الف). پیچه یک چهارم دور می‌چرخد تا در وضعیت شکل ۴ـ۱۶ ب قرار گیرد. در حین این چرخش، شار عبوری از پیچه تغییر می‌کند و جریان از صفر به مقدار بیشینه مثبت می‌رسد (ربع اوّل چرخش). پیچه به چرخیدن ادامه می‌دهد تا در وضعیت شکل ۴ـ۱۶ پ قرار گیرد. درنتیجه جریان از مقدار بیشینه مثبت به صفر می‌رسد (ربع دوم چرخش). پس از آن پیچه از وضعیت شکل ۴ـ۱۶ پ به وضعیت شکل ۴ـ۱۶ ت می‌رسد. در حین این چرخش، جریان از صفر به مقدار بیشینه منفی می‌رسد (ربع سوم چرخش). سرانجام پیچه یک ربع دور دیگر می‌چرخد و به این ترتیب یک چرخهٔ کامل را طی می‌کند و به وضعیت شکل ۴ـ۱۶ ث می‌رسد و درنتیجه جریان از مقدار بیشینه منفی به صفر می‌رسد. این حرکت به‌طور متناوب (پی‌درپی) توسط پیچه ادامه می‌یابد و جریان متناوب تولید می‌شود.



شکل ۴ـ۱۶ تولید جریان متناوب سینوسی در یک چرخش کامل

استفاده از خازن (مولد القایی در حالت منفرد)

هرگاه از ژنراتور القایی به‌صورت منفرد استفاده شود، باید توان راکتیو موردنیاز آن را مطابق شکل پایین توسط خازن تأمین نمود.



با توجه به وابستگی فرکانس به سرعت چرخش رتور و منفرد بودن ژنراتور، فرکانس برق تولید شده در این حالت کاملاً به سرعت رتور وابسته است. لازم به ذکر است که شرط ایجاد ولتاژ، وجود پسماند مغناطیسی در رتور این‌گونه ژنراتورها می‌باشد. کاربرد این ژنراتورها در مواردی است که بار مصرفی فقط از نوع اکتیو باشد. (مانند ژنراتورهای جوشکاری)

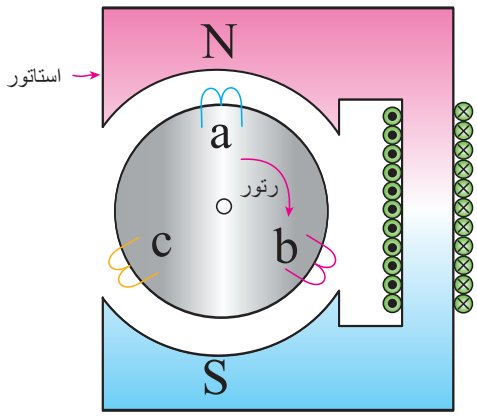
کار در کلاس:

به چه دلایلی القاگر بودن رتور (چرخش میدان مغناطیسی توسط رتور) و دریافت انرژی الکتریکی از سیم‌پیچ‌های استاتور، مزیت بیشتری نسبت به حالت عکس آن دارد.

پاسخ:

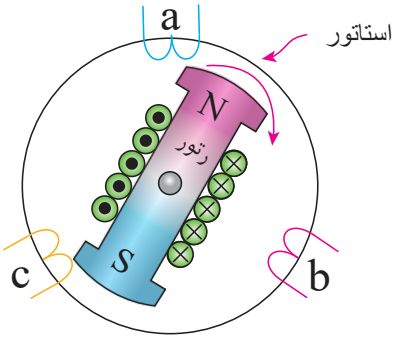
ژنراتور سنکرون سه فاز به دو روش انرژی الکتریکی تولید می‌کند:

به کمک میدان مغناطیسی ساکن:



در این حالت میدان مغناطیسی ساکن به‌وسیله سیم‌پیچ تحریک درون استاتور به‌وجود می‌آید و سه سیم‌پیچ مشابه با اختلاف فاز مکانی ۱۲۰° روی رتور قرار داده می‌شود و در داخل میدان مغناطیسی ساکن استاتور چرخانده می‌شود (مطابق شکل روبه‌رو).

به کمک میدان مغناطیسی دوار: در این حالت میدان مغناطیسی به‌وسیله سیم‌پیچ تحریک برروی رتور به‌وجود می‌آید و با چرخش رتور میدان مغناطیسی دوار فراهم می‌شود و سیم‌پیچ مشابه درون استاتور با اختلاف فاز مکانی ۱۲۰° قرار داده می‌شود (مطابق شکل مقابل).



در ماشین‌های سنکرون سیم‌پیچ تولیدکننده میدان مغناطیسی را سیم‌پیچ تحریک و جریان عبوری از آن را جریان تحریک می‌گویند.

البته القاگر بودن رتور (چرخش میدان مغناطیسی توسط رتور) و دریافت انرژی الکتریکی از سیم‌پیچ‌های استاتور مزیت بیشتری نسبت به حالت عکس آن دارد زیرا:

الف) جریان تحریک خیلی کمتر از جریان آرمیچر می‌باشد و در نتیجه ارتباط آن از طریق حلقه‌های لغزان و جاروبک آسان‌تر و بی‌دردسرتر است.

ب) عایق‌بندی سیم‌پیچ‌های رتور به علت داشتن ولتاژ پایین (زیر ۱۰۰۰ ولت) بسیار آسان و ساده است.

ج) دریافت ولتاژ و جریان بالای سه فاز، از ترمینال‌های ثابت استاتور به سادگی امکان‌پذیر است.

د) از آنجا که قدرت ژنراتورهای نیروگاهی غالباً زیاد است، حجم سیم‌بندی القاشونده و در نتیجه وزن آن به مراتب بیشتر ازسیم‌پیچ تحریک بوده و لذا پیاده‌سازی آن بر روی رتور (که دائماً متحرک می‌باشد،) مشکل عدم توازن وزن مکانیکی را در پی خواهد داشت. هر چند دلایل فوق استفاده از چرخش میدان مغناطیسی توسط رتور را در تمامی موارد توجیه می‌کند، اما گاهی در ژنراتورهای با قدرت کم از میدان مغناطیسی ساکن در استاتور و تولید ولتاژ سه فاز توسط سیم‌پیچ‌های رتور استفاده می‌شود. در ادامه، ژنراتورهای سنکرونی بررسی خواهند شد که اصول عملکردشان همان چرخش میدان مغناطیسی است.

مثال:

رتور یک ژنراتور دو قطبی با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه می‌چرخد، در نتیجه، فرکانس ولتاژ تولید شده ۵۰ هرتز خواهد شد یعنی:

$$f = \frac{n_s \times p}{۱۲۰}$$

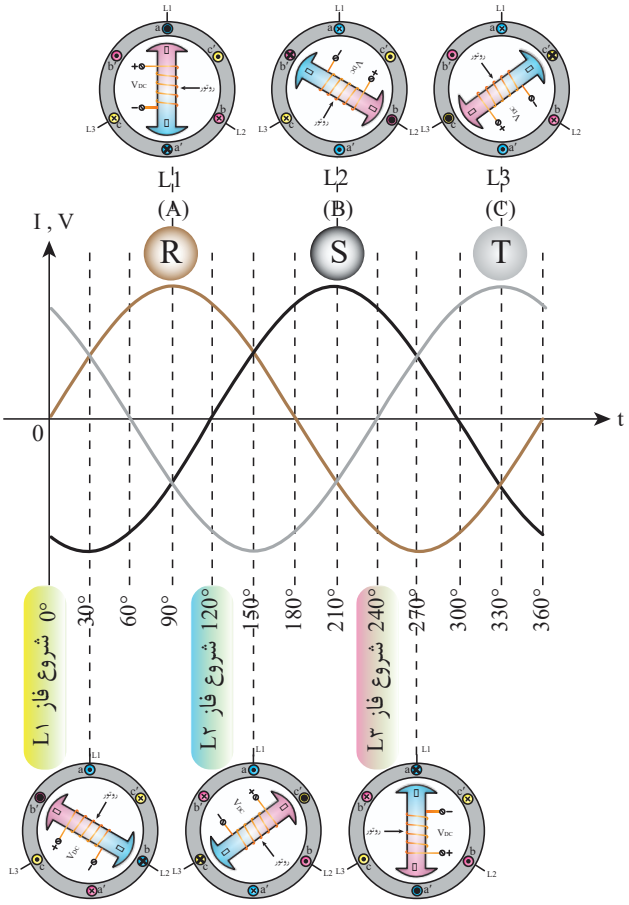
$$f = \frac{۳۰۰۰ \times ۲}{۱۲۰} = ۵۰\text{Hz}$$

ارزشیابی

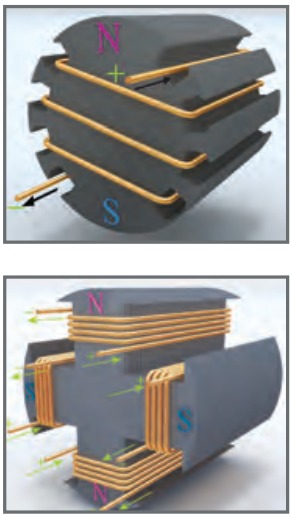
۱ آیا می‌توان با جریان مستقیم میدان دوار ایجاد کرد؟

پاسخ:

در رتور ژنراتور سنکرون با جاری شدن جریان در سیم‌پیچ تحریک میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود تا با چرخش رتور میدان دوار تولید شود. شکل زیر طرح‌واره ایجاد میدان مغناطیسی دوقطبی و چهار قطبی را با سیم‌پیچ‌های رتور ماشین سنکرون نشان می‌دهد. در رتور ماشین سنکرون برای داشتن هسته مغناطیسی، ورقه‌های آهنی سیلیس‌دار را روی هم قرار می‌دهند تا هسته مناسبی برای عبور میدان مغناطیسی ایجاد شود. سپس با قرار دادن سیم‌پیچ‌ها در این هسته و اتصال آنها به منبع جریان مستقیم، رتور ماشین الکترومغناطیس می‌شود. اتصال سیم‌پیچ‌های میدان (تحریک) به منبع جریان مستقیم از طریق دو عدد رینگ و جاروبک صورت می‌گیرد.



تولید ولتاژ سه‌فاز با گردش میدان دو قطبی



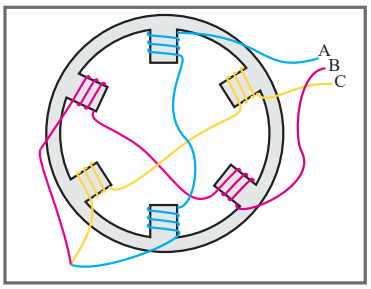
طرح واره رتور دوقطبی و چهار قطبی ماشین سنکرون

تحقیق کنید:

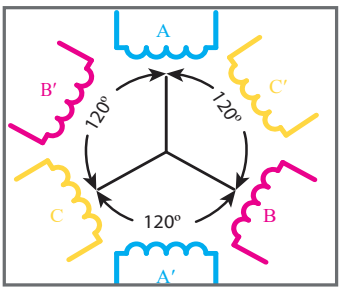
در مورد چگونگی ایجاد میدان دوّار مغناطیسی در استاتور موتورهای سه فاز آسنکرون تحقیق کرده و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

پاسخ:

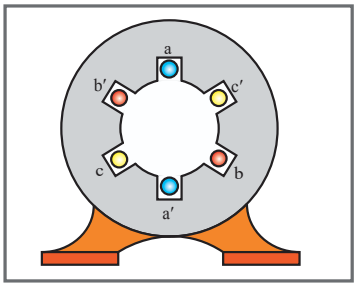
در ادامه نشان داده می‌شود که با عبور جریان‌های متناوب سه فاز در سه سیم‌پیچ مطابق شکل پایین میدان‌های گردشی یا دوار ایجاد خواهد شد. شکل (الف) سیم‌بندی سه فازه ماشین القایی دوقطبی ساده را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (ب ،ج) سیم‌پیچ‌های سه فاز a,b,c در بدنه استاتور، با اختلاف ۱۲۰ درجه مکانی نسبت به یکدیگر جاسازی شده‌اند در این ماشین بازوی برگشت سیم‌پیچ‌های هر فاز استاتور، ماشین را به دو نیم تبدیل نموده است یعنی بازوی رفت سیم‌پیچ مثلاً a با بازوی برگشت آن یعنی a′، ۱۸۰′ درجه اختلاف مکانی دارد بنابراین در این ماشین القایی میدان دو قطبی ایجاد می‌شود.



الف)شمای واقعی با ماشین القایی



ب) نمایش کلاف‌ها بر اساس موقعیت مکانی



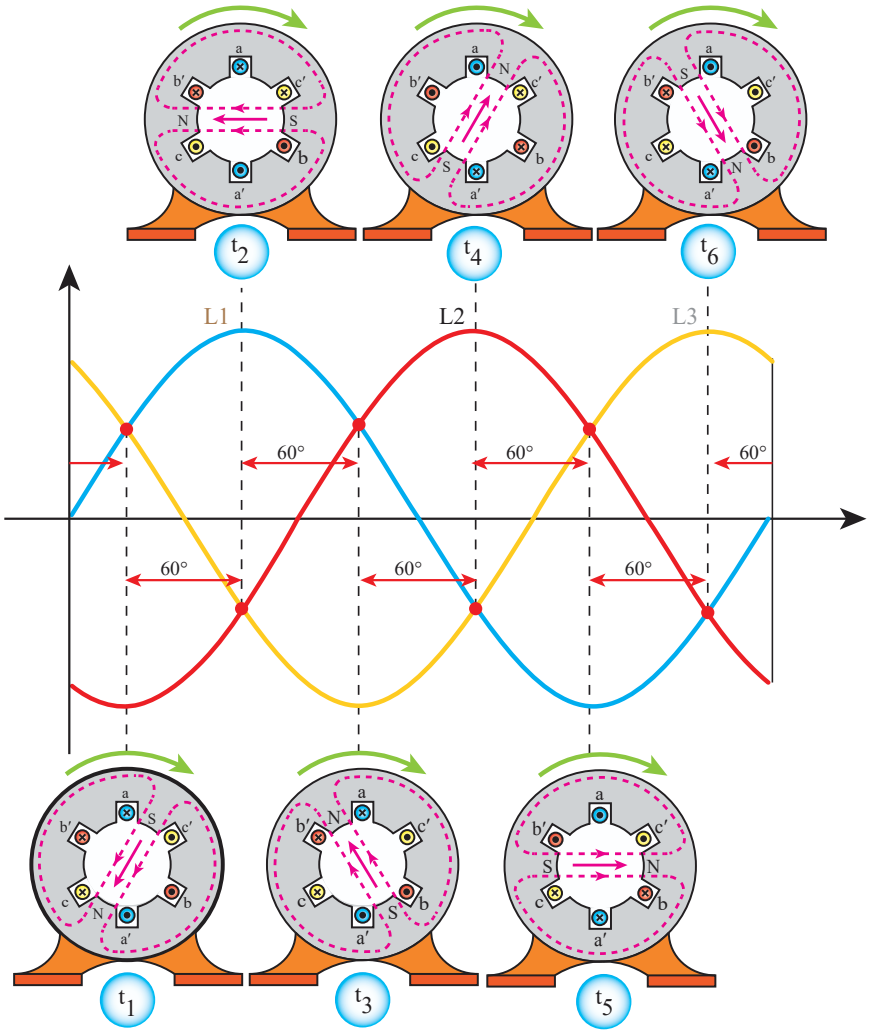
ج) شمای تک حلقه سیم‌بندی ماشین القایی با سیم‌پیچ گسترده براساس موقعیت مکانی با سیم‌پیچ متمرکز

د) شکل واقعی ماشین القایی سیم‌پیچ متمرکز مدل آزمایشگاهی

برای شروع انتهای سیم‌پیچ‌های سه فاز استاتور یعنی (a′ , b′ , c′) را با اتصال ستاره به هم متصل کرده و ابتدای آنها یعنی (a,b,c) را به منبع برق سه فاز با

ولتاژ مناسب، وصل می‌کنند. بلافاصله پس از اتصال برق سه فاز به سیم‌پیچ‌های استاتور، جریان الکتریکی در آن جاری می‌شود و سپس در هادی‌های هر سیم‌پیچ متناسب با جهت جریان عبوری از آن میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود.

برای تحلیل آسان‌تر میدان دوار، اندازه و جهت جریان‌های سه فازه شکل پایین در زمان‌های t_1 تا t_6 در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه فاصله هر یک از نمونه‌های زمانی ۶۰ درجه از یکدیگر می‌باشد. بنابراین با تحلیل این ۶ نقطه می‌توان گردش کامل میدان دوار را در مسیر دایره‌ای (یعنی ۳۶۰ درجه) بررسی نمود.



کار در کلاس:

استاتور موتور سه فاز آسنکرون ۶ قطب دارد. سرعت سنکرون آن در فرکانس‌های ۵۰ و ۶۰ هرتز چند دور در دقیقه است؟