

RANGKAIAN ARUS BOLAK-BALIK

A. ARUS BOLAK-BALIK

a. Persamaan Arus dan Tegangan AC

Arus bolak-balik adalah arus listrik yang arah dan besarnya senantiasa berubah terhadap waktu dan dapat mengalir dalam dua arah. Arus bolak-balik diperoleh dari sumber tegangan bolak-balik seperti Generator AC yang bekerja berdasarkan prinsip hukum Faraday.

Secara umum, arus dan tegangan bolak-balik yang dihasilkan generator listrik merupakan persamaan sinusoidal dengan frekuensi f , yang memenuhi persamaan:

$$i(t) = I_m \sin(2\pi \cdot ft + \varphi) \\ = I_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$

$$V(t) = V_m \sin 2\pi \cdot ft \\ = V_m \sin \omega t$$

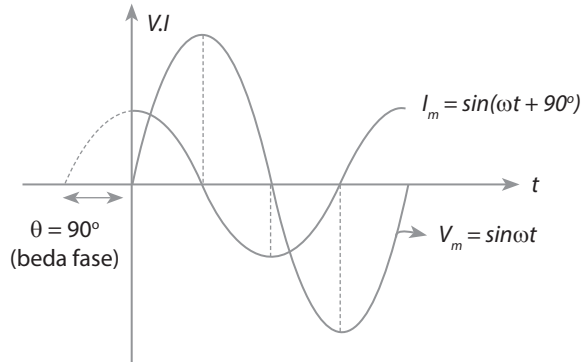
Keterangan:

V_m = tegangan puncak (volt)

I_m = arus puncak (ampere)

t = waktu (s)

f = frekuensi (Hz) dan $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot f$



b. Nilai Efektif

Nilai efektif arus atau tegangan bolak-balik adalah arus dan tegangan yang setara dengan harga arus atau tegangan searah, yang dalam waktu yang sama dapat menimbulkan sejumlah energi yang sama pada suatu hambatan yang sama. Nilai efektif ditunjukkan oleh alat ukur seperti voltmeter atau amperemeter, sedangkan nilai maksimum ditunjukkan oleh osiloskop. Harga efektif dari arus atau tegangan bolak-balik dengan gelombang sinusoidal adalah 0,707 kali harga maksimumnya, dirumuskan sebagai:

$$V_{ef} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \text{ dan } I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Keterangan:

V_{ef} = tegangan efektif (volt)

V_m = tegangan maksimum (volt)

I_{ef} = kuat arus efektif (ampere)

I_m = kuat arus maksimum (ampere)

CONTOH SOAL

1. Apabila jarum voltmeter AC menunjukkan 215 volt, maka besarnya tegangan bolak-balik yang diukur adalah (anggap $\sqrt{2} = 1,4$)

Pembahasan:

Tegangan terukur voltmeter adalah tegangan efektif, maka $V_{ef} = 215$ volt,

$$V_{ef} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

maka kita dapatkan tegangan yang diukur adalah tegangan maksimum sebesar:

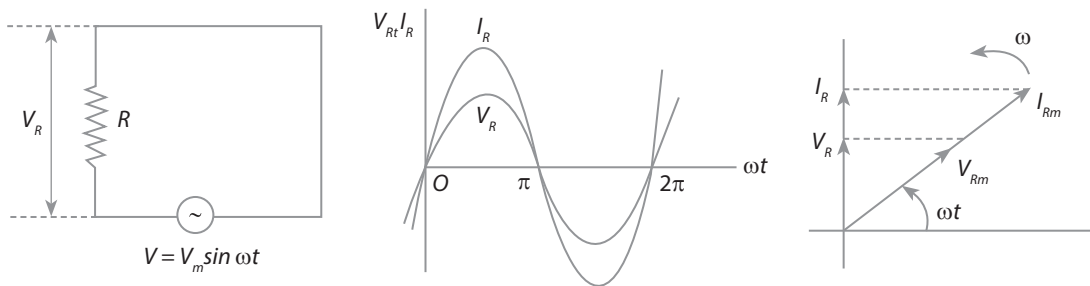
$$\begin{aligned} V_m &= V_{ef} \cdot \sqrt{2} = 225\sqrt{2} \text{ volt} \\ &= 215 \times 1,4 \\ &= 301 \text{ volt} \end{aligned}$$

B. RANGKAIAN ARUS BOLAK-BALIK

Pada rangkaian arus bolak-balik terdapat hambatan yang disebut impedansi Z dalam satuan ohm, yang terdiri atas hambatan murni R (resistor-dalam ohm), hambatan induktif X_L (induktor-dalam ohm), dan hambatan kapasitif X_C (kapasitor-dalam ohm).

a. Resistor Murni

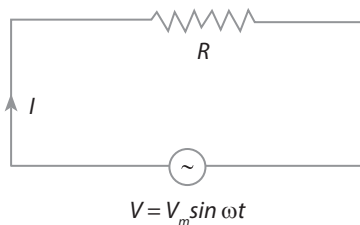
Apabila sebuah resistor diberi tegangan bolak-balik, maka arus listrik dan tegangannya sefasa karena beban resistor tidak menyebabkan adanya geser fasa antara arus dan tegangan pada rangkaian.



Maka berlaku: $I_{ef} = \frac{V_{eff}}{R}$ dan $I_m = \frac{V_m}{R}$

CONTOH SOAL

1. Perhatikan gambar!

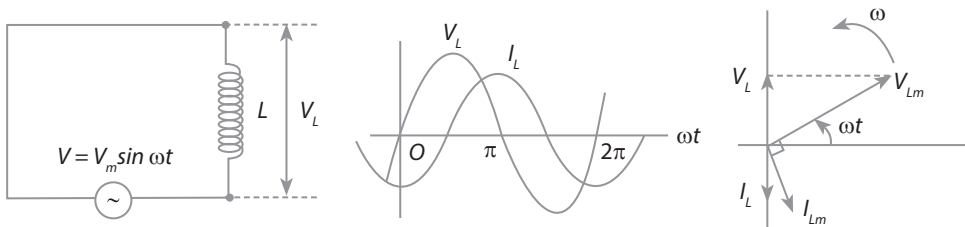


Jika $R = 40 \text{ ohm}$, $V_m = 200 \text{ volt}$, dan frekuensi sumber arus 50 Hz , maka besarnya arus yang melalui R pada saat $t = \frac{1}{150}$ sekon adalah

Pembahasan:

- $I_m = \frac{V_m}{R} = \frac{200}{40} = 5$ Ampere
- $\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot 50 = 100\pi$ Hz
- $I(t) = I_m \sin \omega t = 5 \sin \left(100\pi \cdot \frac{1}{150} \right) = 5 \sin \frac{2}{3}\pi = 5 \cdot \frac{1}{2}\sqrt{3} = \frac{5}{2}\sqrt{3}$ ampere

b. Induktor Murni

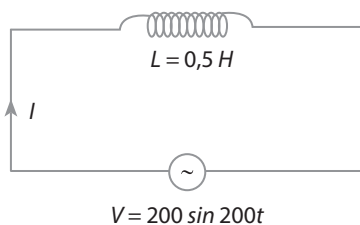


Nampak bahwa arus yang mengalir pada induktor tertinggal $\frac{\pi}{2}$ rad dari tegangan, berlaku

pula: $I_{\text{ef}} = \frac{V_{\text{eff}}}{X_L}$ dan $I_m = \frac{V_m}{X_L}$ di mana $X_L = \omega \cdot L$

CONTOH SOAL

1. Perhatikan gambar!



Tentukanlah besarnya arus maksimum!

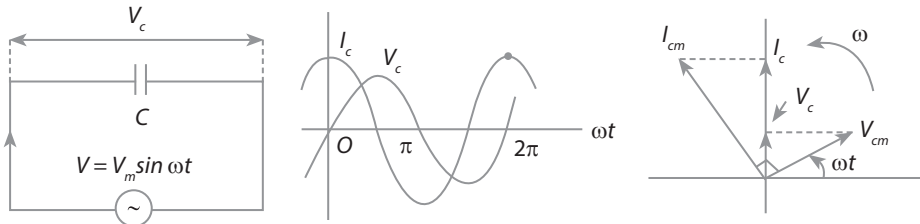
Pembahasan:

$V(t) = V_m \sin \omega t$

- $\omega = 200 \text{ rad/s}$ dan $V_m = 200 \text{ volt}$
- $X_L = \omega \cdot L = 200 \cdot 0,5 = 100 \text{ ohm}$

- Kita dapatkan $I_m = \frac{V_m}{X_L} = \frac{200}{100} = 2$ ampere

c. Kapasitor Murni



Nampak bahwa tegangan yang mengalir pada kapasitor tertinggal $\frac{\pi}{2}$ rad dari arus, berlaku

pula: $I_{ef} = \frac{V_{eff}}{X_C}$ dan $I_m = \frac{V_m}{X_C}$ di mana $I_{ef} = \frac{V_{eff}}{X_C}$

CONTOH SOAL

1. Sebuah kapasitor $50 \mu\text{F}$ dihubungkan dengan tegangan AC. Kuat arus listrik yang mengalir memenuhi persamaan, $I(t) = 2 \sin 100 t$. Tentukanlah tegangan maksimum pada kapasitor!

Pembahasan:

$$C = 50 \mu\text{F} = 50 \times 10^{-6} \text{F} = 5 \times 10^{-5} \text{F}$$

$I(t) = 2 \sin 100 t$ berarti $\omega = 100 \text{ rad/s}$ dan $I_m = 2$ ampere

Ditanyakan: $V_m = \dots ?$

Jawab:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{100 \cdot 5 \times 10^{-5}} = \frac{1}{5 \times 10^{-3}} = \frac{10^3}{5} = 200 \text{ ohm}$$

Sehingga $V_m = I_m \cdot X_C = 2 \times 200 = 400 \text{ volt}$

d. Rangkaian R-L

Impedansi rangkaian dirumuskan sebagai: $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$

Tegangan efektifnya dirumuskan sebagai: $V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$

Besarnya sudut fase rangkaian dirumuskan, $\tan \varphi = \frac{V_L}{V_R} = \frac{X_L}{R}$

e. Rangkaian R-C

Impedansi rangkaian dirumuskan sebagai: $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$

Tegangan efektifnya dirumuskan sebagai: $V = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$

Besarnya sudut fase rangkaian dirumuskan, $\tan \varphi = -\frac{V_C}{V_R} = -\frac{X_C}{R}$

f. Rangkaian L-C

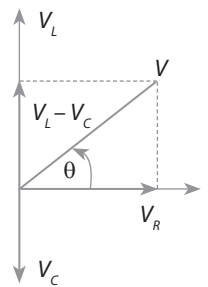
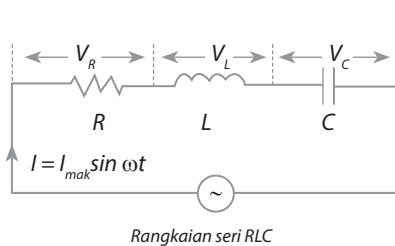
Impedansi dihitung sederhana sekali, yaitu:

$$\begin{aligned} X_L > X_C &\rightarrow Z = X_L - X_C \\ X_L < X_C &\rightarrow Z = X_C - X_L \\ X_L = X_C &\rightarrow Z = 0 \end{aligned}$$

adapun tegangannya:

$$\begin{aligned} V_L > V_C &\rightarrow V = V_L - V_C \\ V_L < V_C &\rightarrow V = V_C - V_L \\ V_L = V_C &\rightarrow V = 0 \end{aligned}$$

g. Rangkaian R-L-C



Impedansi rangkaian dirumuskan sebagai: $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$

Tegangan efektifnya dirumuskan sebagai: $V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$

Kuat arusnya dihitung dengan rumusan: $I = \frac{V}{Z}$

Besarnya sudut fase rangkaian dirumuskan: $\tan \varphi = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{X_L - X_C}{R}$

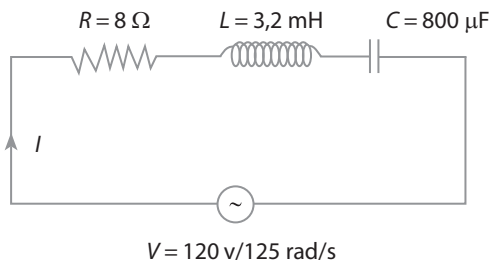
Adapun sifat rangkaian seri R-L-C, antara lain:

1. $X_L > X_C \rightarrow$ Rangkaian bersifat induktif, arus tertinggal oleh tegangan dengan beda fase $-\frac{\pi}{2} < \varphi < 0$
2. $X_L < X_C \rightarrow$ Rangkaian bersifat kapasitif, arus mendahului tegangan dengan beda fase $\frac{\pi}{2} < \varphi < 0$
3. $X_L = X_C \rightarrow$ Rangkaian bersifat resistif (resonansi), arus tertinggal oleh tegangan sefase, $\varphi = 0$. Resonansi pada rangkaian seri R-L-C terjadi jika memenuhi syarat, $X_L = X_C$, $Z = R$, dan sudut fase $\theta = 0$. Adapun frekuensi resonansinya dirumuskan:

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

CONTOH SOAL

1. Perhatikanlah gambar!



Tentukanlah arus maksimum dan sifat rangkaian tersebut!

Pembahasan:

Diketahui: $R = 8 \text{ ohm}$

$L = 3,2 \text{ mH} =$

$C = 800 \text{ } \mu\text{F} =$

$\omega = 125 \text{ rad/s}$

$V = 120 \text{ volt}$

Ditanya: Arus maksimum, $I_m = \dots?$; Sifat rangkaian =?

Jawab:

$$X_L = \omega \cdot L = 125 \cdot 32 \times 10^{-4} = 4 \text{ ohm}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{125 \cdot 8 \times 10^{-4}} = \frac{1}{10^{-1}} = 10 \text{ ohm}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{8^2 + (4 - 10)^2} = 10 \text{ ohm}$$

maka arus maksimumnya adalah, $I = \frac{V}{Z} = \frac{120}{10} = 12 \text{ ampere}$

karena $X_C > X_L$ maka rangkaian bersifat kapasitif.

2. Rangkaian R-L-C dihubungkan dengan tegangan arus bolak-balik. Jika $L = 10^{-3}$ henry dan frekuensi resonansi 1000 Hz, dengan menganggap $\pi^2 = 10$ maka kapasitas kapasitor (dalam μF) adalah

Pembahasan:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ sehingga } f^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC}$$

$$(10^3)^2 = \frac{1}{4\pi^2 \cdot 10^{-3} \cdot C} \text{ sehingga didapat } C = \frac{1}{4 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6} = 0,25 \cdot 10^{-4} \text{ F} = 25 \mu\text{F}$$

h. Daya pada Rangkaian Arus Bolak-Balik

Daya rata-rata pada rangkaian arus AC memenuhi persamaan:

$$P = V_{\text{ef}} \cdot I_{\text{ef}} \cdot \cos\varphi \text{ atau } P = I_{\text{ef}}^2 \cdot R$$

Keterangan:

P = daya rata-rata (watt),

V_{ef} = tegangan efektif (volt)

I_{ef} = kuat arus efektif (ampere)

R = hambatan resistor

$\cos\varphi$ = faktor daya, dimana $\cos\varphi = \frac{R}{Z}$ atau $\cos\varphi = \frac{V_R}{V}$