

8 Arus dan Tegangan Bolak-balik

Kompetensi Dasar

- Memformulasikan konsep induksi Faraday dan arus bolak-balik, keterkaitannya serta aplikasinya.

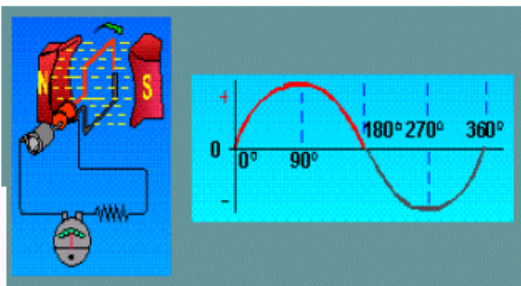
Indikator

- Memformulasikan arus dan tegangan bolak-balik serta parameter-parameternya
- Memecahkan persoalan rangkaian AC sederhana yang terdiri atas R, L dan C menggunakan diagram fasor
- Menjelaskan peristiwa resonansi pada rangkaian RLC dan pemanfaatannya dalam kehidupan sehari-hari.

PENDALAMAN MATERI

A. PERSAMAAN ARUS DAN TEGANGAN

Telah dijelaskan bahwa generator arus bolak-balik akan menghasilkan tegangan yang besarnya periodic dalam bentuk fungsi sinus atau cosinus terhadap waktu.



Besarnya tegangan sesaat yang dihasilkan oleh generator arus bolak-balik adalah :

$$V = V_m \cdot \sin \omega t$$

V = tegangan sesaat (Volt)

V_m = tegangan maksimum (GGL maksimum)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

t = waktu (s)

Besarnya GGL maksimum atau tegangan masimum yang dihasilkan oleh generator adalah :

$$V_m = N \cdot B \cdot A \cdot \omega$$

N = jumlah lilitan kumparan

B = induksi magnet (T)

A = luas bidang kumparan (m^2)

Jika generator dipasang pada suatu hambatan akan menghasilkan arus bolak-balik sebesar :

$$I = I_m \cdot \sin \omega t$$

I = kuat arus listrik sesaat (A)

I_m = kuat arus maksimum (A)

B. NILAI MAKSIMUM DAN EFEKTIF TEGANGAN DAN ARUS BOLAK-BALIK

Tegangan listrik bolak-balik selalu berubah tergantung dari waktu dan tegangan maksimumnya. Salah satu alat untuk mengukur tegangan listrik bolak-balik adalah osiloskop. Osiloskop juga dapat dipakai untuk mengukur frekuensi dan tegangan maksimum.

Tegangan dan arus efektif adalah nilai tegangan dan arus bolak-balik yang memberi efek panas (kalor) yang sama dengan suatu nilai tegangan / arus searah. Nilai efektif disebut juga dengan *nilai akar rata-rata kuadrat (root mean square)*. Nilai efektif dari tegangan atau arus bolak-balik akan ditunjukkan oleh alat ukur listrik, seperti Voltmeter dan Amperemeter.

Selain nilai efektif dan nilai maksimum, pada arus bolak-balik juga dikenal nilai rata-rata (*average value*) dan tegangan puncak-puncak (*peak to peak*).

Hubungan antara nilai efektif, nilai maksimum dan nilai rata-rata dari tegangan dan arus bolak-balik adalah :

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

$$I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$V_r = \frac{2 \cdot V_m}{\pi}$$

$$I_r = \frac{2 \cdot I_m}{\pi}$$

$$V_{PP} = 2 \cdot V_m$$

V_{ef} = tegangan efektif (Volt)

V_m = tegangan maksimum (V)

I_{ef} = kuat arus efektif (A)

I_m = kuat arus maksimum (A)

V_r = tegangan rata-rata (V)

I_r = kuat arus rata-rata (A)

V_{PP} = tegangan puncak ke puncak (V)

Contoh Soal

Suatu tegangan bolak-balik mempunyai persamaan :

$$V = 311 \sin 200t$$

Tentukan tegangan efektifnya !

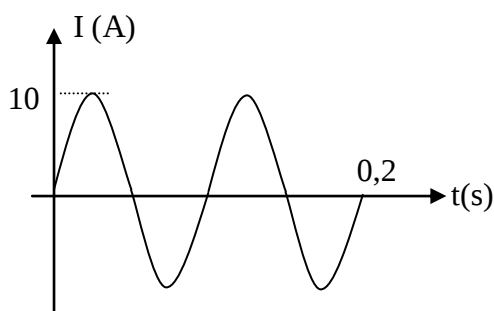
Jawab :

Diketahui : Dari persamaan, $V_m = 311$ V

$$V_{\text{ef}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot V_m = 0,707 \cdot 311 = 220 \text{ V}$$

Uji Kompetensi

- Persamaan tegangan bolak-balik dituliskan : $V = 110\sqrt{2} \cdot \sin 200t$
Tentukan :
 - tegangan masimum
 - tegangan puncak-puncak
 - tegangan efektif
 - tegangan rata-rata
 - frekuensi
 - frekuensi sudut
 - periode
- Sebuah alat listrik dengan hambatan 80 ohm dihubungkan dengan tegangan jala-jala 220 V. Tentukan :
 - tegangan efektif
 - tegangan maksimum
 - tegangan puncak-puncak
 - tegangan rata-rata
 - kuat arus efektif
 - kuat arus maksimum
 - kuat arus rata-rata
- Sebuah sumber tegangan menghasilkan tegangan bolak-balik sebesar 40 V pada sudut fase 30° . Tentukan :
 - tegangan masimum
 - tegangan efektif
 - tegangan yang dihasilkan pada saat sudut fasenya 60°
- Sebuah kumparan 200 lilitan berbentuk persegi panjang dengan sisi 10 cm posisinya menghadap garis gaya magnet 0,032 T. Hitunglah tegangan maksimum bila kumparan diputar dengan frekuensi $\frac{30}{\pi}$ Hz !
- Sebuah alat listrik berhambatan 5 ohm mengalir arus efektif 40 A. Hitung :
 - kuat arus maksimum
 - tegangan efektif
 - tegangan maksimum
- Diketahui grafik kuat arus (I) terhadap waktu (t) berikut :



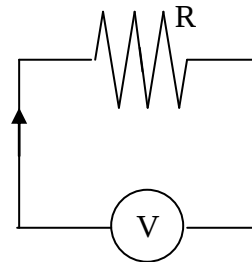
Dari grafik, tentukan :

- Kuat arus maksimum
 - kuat arus efektif
 - periode
 - frekuensi
 - persamaan kuat arus
- Sebuah ampermeter AC dihubungkan dengan sumber tegangan menunjukkan angka 50 A. Jika hambatan dalam ampermeter 0,05 ohm dan frekuensi sumber tegangan 50 Hz, tentukan tegangan pada waktu 0,5 sekon setelah sumber tegangan dihidupkan !
 - Pada saat sudut fase 60° , sebuah generator menghasilkan tegangan $60\sqrt{3}$ V, hitunglah tegangan maksimumnya !

C. RANGKAIAN ARUS BOLAK-BALIK

Rangkaian arus bolak-balik adalah sebuah rangkaian listrik yang terdiri dari satu atau beberapa komponen elektronika yang dihubungkan dengan sumber arus bolak-balik. Komponen elektronika tersebut dapat berupa resistor (hambatan murni), inductor atau kapasitor.

1. Rangkaian Resistor (R).



Persamaan tegangan dan arus bolak-balik pada rangkaian resistor adalah :

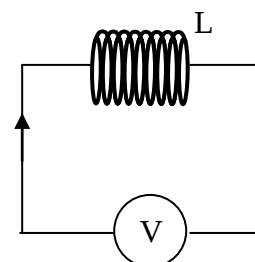
$$V = V_m \cdot \sin \omega t$$
$$I = I_m \cdot \sin \omega t$$

Dari persamaan di atas terlihat bahwa sudut fase ($\theta = \omega t$) arus dan tegangan adalah sama. Hubungan antara tegangan dan kuat arus adalah sesuai dengan hukum ohm, yaitu :

$$V = I \cdot R$$
$$V_m = I_m \cdot R$$
$$V_{\text{ef}} = I_{\text{ef}} \cdot R$$

R = hambatan resistor (ohm)

2. Rangkaian Induktor (L)



Persamaan tegangan dan arus bolak-balik pada rangkaian induktor adalah :

$$V = V_m \cdot \sin(\omega t + 90^\circ)$$

$$I = I_m \cdot \sin \omega t$$

Dari persamaan di atas terlihat bahwa sudut fase ($\theta = \omega t$) arus ketinggalan terhadap tegangan sebesar 90° atau sebesar $\frac{1}{2}\pi$ radian. Hubungan antara tegangan dan kuat arus adalah sesuai dengan hukum ohm, yaitu :

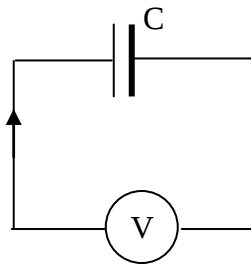
$$V = I \cdot X_L \text{ dengan } X_L = \omega \cdot L$$

$$V_m = I_m \cdot X_L$$

$$V_{ef} = I_{ef} \cdot X_L$$

L = Induktansi diri induktor (H)
 X_L = reaktansi induktif (ohm)
 ω = frekuensi sudut (rad/s)

3. Rangkaian Kapasitor (C).



Persamaan tegangan dan arus bolak-balik pada rangkaian kapasitor adalah:

$$V = V_m \cdot \sin(\omega t - 90^\circ)$$

$$I = I_m \cdot \sin \omega t$$

Dari persamaan di atas terlihat bahwa sudut fase ($\theta = \omega t$) tegangan ketinggalan terhadap arus sebesar 90° atau sebesar $\frac{1}{2}\pi$ radian. Hubungan antara tegangan dan kuat arus adalah sesuai dengan hukum ohm, yaitu :

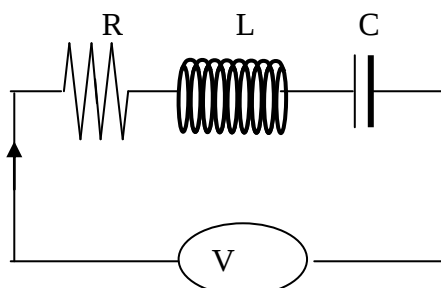
$$V = I \cdot X_C \text{ dengan } X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$V_m = I_m \cdot X_C$$

$$V_{ef} = I_{ef} \cdot X_C$$

C = kapasitas kapasitor (F)
 X_C = reaktansi kapasitif (ohm)

4. Rangkaian Seri Resistor-Induktor-kapasitor (R-L-C)



Persamaan tegangan dan arus bolak-balik pada rangkaian RLC adalah :

$$V = I \cdot Z = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$

$$V = V_m \cdot \sin(\omega t + \varphi) = I_m \cdot Z \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

$$I = I_m \cdot \sin \omega t$$

$$V_R = I \cdot R = V_{Rm} \cdot \sin \omega t$$

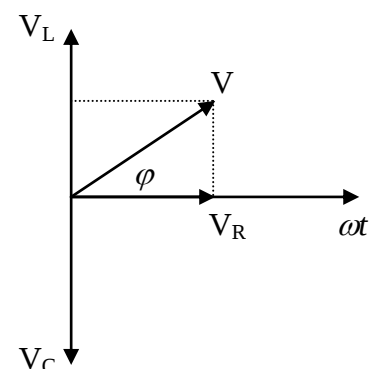
$$V_L = I \cdot X_L = V_{Lm} \cdot \sin(\omega t + 90^\circ)$$

$$V_C = I \cdot X_C = V_{Cm} \cdot \sin(\omega t - 90^\circ)$$

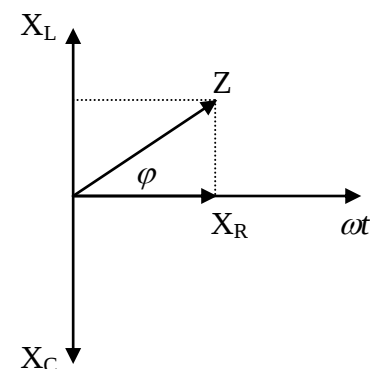
$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

V = tegangan total (V)
 I = kuat arus yang melalui rangkaian
 Z = impedansi rangkaian (ohm)
 V_R = tegangan resistor (V)
 V_L = tegangan induktor (V)
 V_C = tegangan kapasitor (V)
 V_m = tegangan maksimum rangkaian
 φ = beda sudut fase tegangan & arus
 V_{Rm} = tegangan resistor maksimum
 V_{Lm} = tegangan induktor maksimum
 V_{Cm} = tegangan kapasitor maksimum

Untuk menggambarkan beda sudut fase antara tegangan dan kuat arus listrik pada rangkaian RLC digunakan diagram fasor (diagram fase vector), sebagai berikut :



atau :



Dari diagram fasor tersebut, besarnya sudut fase tegangan dan arus adalah :

$$\tan \varphi = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{X_L - X_C}{R}$$

Jika :
 $X_L > X_C$ rangkaian bersifat induktif
 $X_L < X_C$ rangkaian bersifat kapasitif
 $X_L = X_C$ rangkaian bersifat resistif, terjadi resonansi karena fasenya sama sehingga $Z = R$, dan beda fase sama dengan nol.

5. Resonansi rangkaian RLC

Resonansi rangkaian RLC terjadi jika $X_L = X_C$ atau $Z = R$ atau $\varphi = 0$.
 Dengan demikian besarnya frekuensi resonansi rangkaian RLC adalah :

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L.C}}$$

f = frekuensi resonansi (Hz)
 L = induktansi diri inductor (H)
 C = kapasitas kapasitor (F)

D. DAYA RANGKAIAN ARUS BOLAK-BALIK

Daya rangkaian arus bolak-balik (P) dinyatakan dalam bentuk persamaan :

$$P = V_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos \varphi$$

dengan :

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

$$V_{ef} = I_{ef} \cdot Z$$

P = daya (watt)
 V_{ef} = tegangan efektif (V)
 I_{ef} = kuat arus efektif (A)
 $\cos \varphi$ = factor daya
 R = hambatan murni (ohm)
 Z = impedansi rangkaian (ohm)

Contoh Soal

Sebuah rangkaian RLC seri masing-masing 400 ohm, 0,5 H dan 60 μ F dihubungkan dengan sumber tegangan $200\sqrt{2} \sin 100t$ Volt. Tentukan kuat arus efektifnya !

Jawab :

Diketahui : $R = 400$ ohm
 $L = 0,5$ H
 $C = 6 \cdot 10^{-6}$ F
 $V_m = 200\sqrt{2}$ volt
 $\omega = 100$ rad/s

maka :

$X_L = \omega \cdot L = 50$ ohm

$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = 166,7$ ohm

$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = 416,5$ ohm

Jadi :

$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{Z} = \frac{V_m}{Z \cdot \sqrt{2}} = 0,48 \text{ A}$$

Uji Kompetensi

- Sebuah inductor 0,25 H dipasang pada sumber tegangan AC yang menghasilkan arus maksimum 10 A dan frekuensi $\frac{50}{\pi}$ Hz, tentukan tegangan maksimumnya !
- Sebuah kapasitor dihubungkan dengan sumber tegangan AC 110 V frekuensi 100 Hz. Arus listrik yang melalui kapasitor terukur 4,16 A. Tentukan nilai kapasitas kapasitor tersebut !
- Sebuah inductor 0,25 H dan sebuah kapasitor 200 μ F dirangkai seri dan dihubungkan dengan sumber tegangan yang menghasilkan arus dengan persamaan $I = 5 \sin 400 t$ Ampere. Tentukan :
 - impedansi rangkaian
 - persamaan tegangan sesaat
- Sebuah rangkaian arus bolak-balik 220 V dan frekuensi 55 Hz dihubungkan dengan rangkaian seri RL. Jika hambatan $R = 110$ ohm, dan tegangan pada ujung-ujung resistor 40 V, tentukan :
 - Tegangan pada ujung-ujung inductor
 - besarnya induktansi diri inductor
- Rangkaian seri RL dengan $L = 0,6$ H dan $R = 20$ ohm dihubungkan dengan tegangan bolak-balik 220 V frekuensinya $\frac{100}{\pi}$ Hz. Tentukan :
 - Impedansi rangkaian
 - Besarnya arus efektif rangkaian
 - Sudut fase antara I dan V
- Sebuah rangkaian seri RC masing-masing $R = 60$ ohm dan $X_C = 80$ ohm dihubungkan dengan sumber tegangan 110 V frekuensi $\frac{50}{\pi}$ Hz. Tentukan :
 - kuat arus yang melalui rangkaian
 - tegangan ujung-ujung resistor
 - tegangan ujung-ujung kapasitor
 - sudut fase rangkaian
- Sebuah rangkaian seri RLC dengan $R = 120$ ohm, $L = 0,4$ H dan $C = 20$ μ F dihubungkan dengan tegangan 200 V frekuensi sudutnya 100 rad/s. Tentukan :
 - impedansi rangkaian
 - arus listrik pada rangkaian
 - Daya pada rangkaian
- Hambatan 10 ohm dan inductor 20 ohm dirangkai seri dihubungkan dengan sumber tegangan sehingga mengalir arus 4 A. Tentukan :
 - tegangan resistor
 - tegangan inductor
 - impedansi rangkaian
 - tegangan sumber (tegangan rangkaian)
 - sudut fase antara I dan V

9. Sebuah rangkaian RC dengan $R = 100$ ohm dan $X_C = 240$ ohm dialiri arus $i = 1 \sin 100t$ A. Tentukan :
- tegangan SUMBER TEBU BANGSAL susut fase antara I dan V
 - impedansi rangkaian
10. Sebuah rangkaian RLC dihubungkan dengan sumber AC $V = 311 \sin 200t$ Volt. Jika $R = 5$ ohm dan $L = 8$ H, tentukan kapasitas kapasitor yang harus digunakan agar terjadi resonansi pada rangkaian tersebut!

EVALUASI

- Sebuah sumber tegangan memiliki persamaan $V = 50\sqrt{2} \sin 100t$. Tegangan efektif dan sudut fase sumber adalah ...
 - 50 dan 100
 - 50 dan $100t$
 - $50\sqrt{2}$ dan 100
 - $50\sqrt{2}$ dan $100t$
 - $\frac{50}{\sqrt{2}}$ dan 100
- Sebuah sumber tegangan AC menghasilkan 60 V. Sebuah alat listrik yang hambatannya 20 ohm dihubungkan dengan sumber tegangan tersebut. Besarnya kuat arus adalah ... A
 - 1
 - 1,5
 - 3
 - 12
 - 30
- Sebuah sumber AC $V = 40 \sin 50\pi t$. Tegangan pada saat $t = 0,005$ sekon adalah.... Volt
 - 20
 - $20\sqrt{2}$
 - 20π
 - $40\sqrt{2}$
 - 40π
- Sebuah rangkaian RLC seri memiliki factor daya sebesar 0,2. Besarnya tegangan sumber jika tegangan antara ujung-ujung resistor 20 V adalah ...volt
 - 100
 - 75
 - 50
 - 25
 - 20
- Sebuah rangkaian AC dihubungkan dengan resistor, tegangan maksimumnya 300 V dan mengalir arus $I = 2 \sin 100t$ Ampere. Nilai hambatan resistor adalah ... ohm
 - 75
 - 100
 - 125
 - 150
 - 300
- Sebuah sumber tegangan AC menghasilkan tegangan maksimum 400 V frekuensi $\frac{50}{\pi}$ Hz dihubungkan kapasitor 200 μF . Kuat arus maksimum pada kapasitor adalah ... A
 - 32
 - 24
 - 16
 - 12
 - 8
- Tegangan listrik rumah tangga adalah 220 V. Nilai 220 V memiliki arti
 - tegangan listrik maksimumnya 220 V
 - tegangan listrik efektifnya 220 V
 - tegangan listrik rata-rata 220 V
 - tegangan listrik maksimumnya $220\sqrt{2}$ V
 - tegangan listrik efektifnya $220\sqrt{2}$ V
- Sebuah inductor dihubungkan dengan tegangan AC 300 V, mengalir aur 5 A dengan frekuensi 75 Hz. Induktansi inductor adalah ...H
 - 13
 - 6,5
 - 1,3
 - 0,65
 - 0,13
- Sebuah rangkaian seri RLC masing-masing tegangan ujung-ujung R, L dan C sebesar 20 V, 60 V dan 60 V. Tegangan sumber adalah V
 - 10
 - 20
 - 40
 - 50
 - 60
- Sebuah rangkaian seri RLC $R = 80$ ohm, $C = 500 \mu\text{F}$ dan $L = 0,8$ H dihubungkan dengan sumber tegangan $V = 90 \sin 100t$ Volt. Impedansi rangkaian adalah n... ohm
 - 20
 - 40
 - 80
 - 100
 - 180
- Sebuah rangkaian seri RLC $R = 30$ ohm, $C = 50 \mu\text{F}$ dan $L = 40$ mH. Rangkaian ini akan beresonansi pada frekuensi ... Hz.
 - $\frac{10}{\pi}\sqrt{10}$
 - $\frac{250}{\pi}\sqrt{2}$
 - $\frac{40}{\pi}\sqrt{10}$
 - $\frac{2500}{\pi}\sqrt{10}$
 - $\frac{100}{\pi}\sqrt{10}$
- Sebuah rangkaian seri RLC $R = 40$ ohm, impedansinya 80 ohm dihubungkan dengan tegangan AC 220 V. Daya yang terpakai adalah ...watt
 - 302,5
 - 275,5
 - 155,5
 - 80,5
 - 27,5

13. Sebuah rangkaian seri RLC $R = 50 \text{ ohm}$, $X_C = 100 \text{ ohm}$ dan $X_L = 150 \text{ ohm}$ memiliki beda sudut fase anatar kuat arus dan tegangan sebesar ...^o
- 0
 - 30
 - 45
 - 60
 - 90
14. Rangkaian seri RL dihubungkan dengan tegangan AC 100 V. Ternyata tegangan ujung-ujung R dan L sama besar. Tegangan tersebut adalah sebesar ... V
- $25\sqrt{2}$
 - 50
 - $50\sqrt{2}$
 - $60\sqrt{2}$
 - 75
15. Rangkaian seri RLC dengan $R = 600 \text{ ohm}$, $L = 2 \text{ H}$ dan $C = 10 \text{ }\mu\text{F}$ dihubungkan dengan tegangan AC $V = 100\sqrt{2} \sin 100t$ V. Daya rangkaian adalah Watt
- 6
 - 8
 - 10
 - 12
 - 14