

Kegiatan Belajar 6.

Rangkaian Arus Bolak Balik (AC)



**KEMENTERIAN
PENDIDIKAN DAN
KEBUDAYAAN**



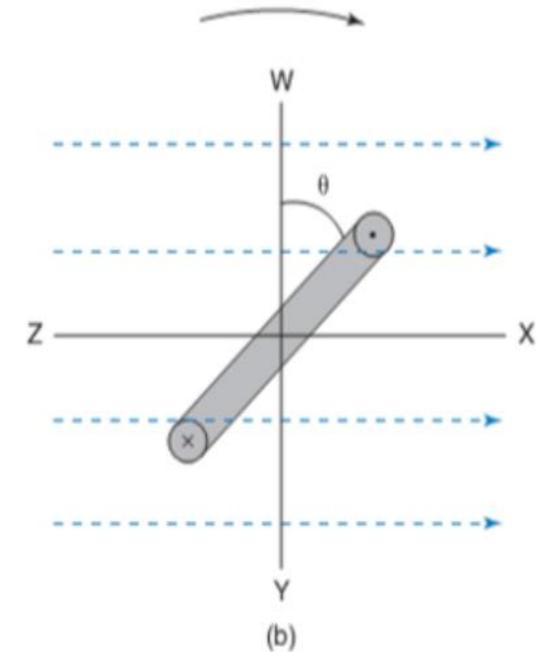
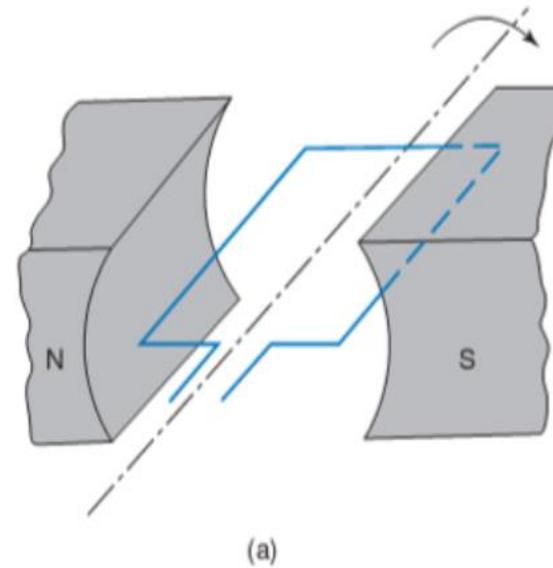
BBPPMPV BMTI

6.1 Tegangan dan Arus Bolak Balik

Pembangkitan Arus Bolak-Balik

Prinsip terbangkitnya gaya gerak listrik (ggl) adalah merupakan peristiwa induksi. Dimana apabila sebuah batang penghantar digerakkan dalam medan magnet sehingga memotong garis-garis gaya magnet, maka pada penghantar tersebut akan terbangkit ggl induksi. Besarnya ggl yang terbangkit seperti yang ditemukan oleh Tuan Faraday, ditentukan oleh cepatnya perubahan, fluxi magnet yang dilingkuni oleh penghantar tersebut

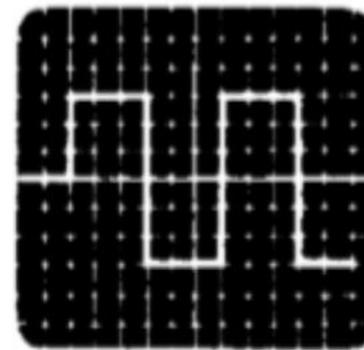
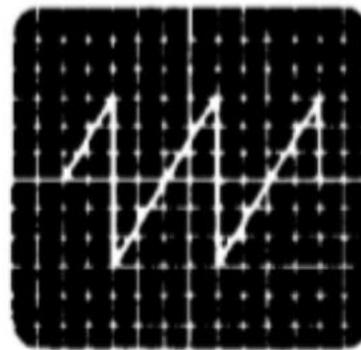
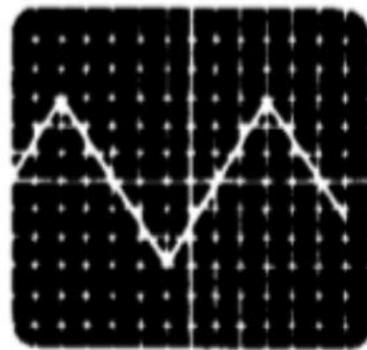
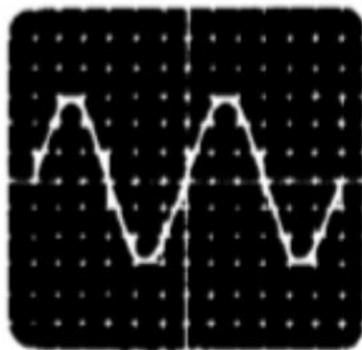
$$e = E_m \sin \omega t \text{ (v)}$$



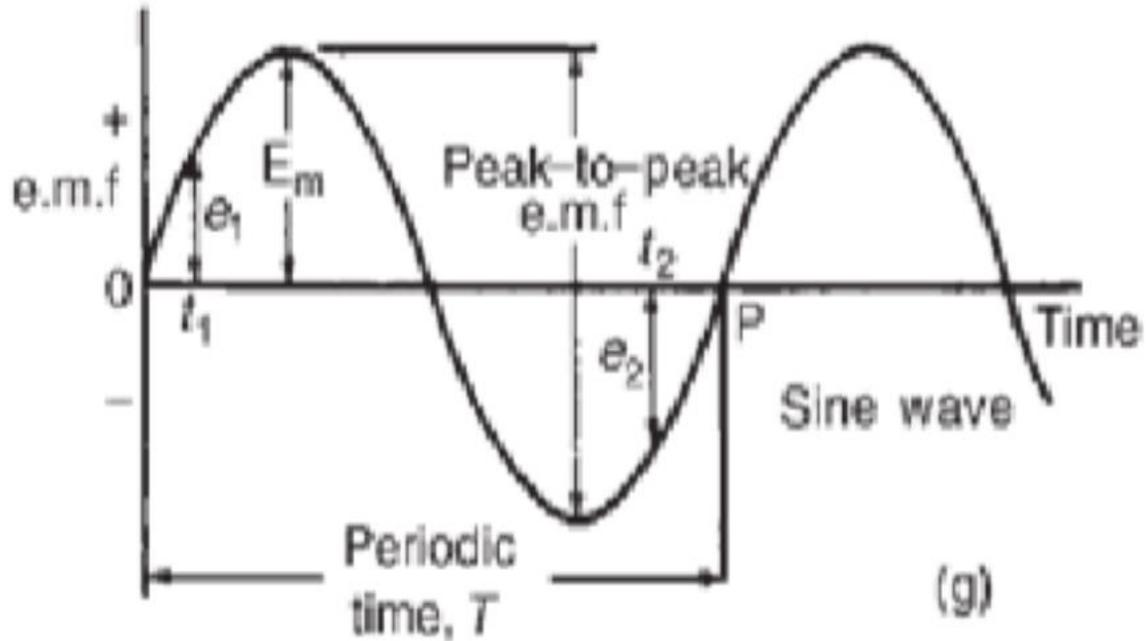
Bentuk Gelombang Arus Bolak-Balik

Bentuk gelombang arus bolak-balik yang lazim dikenal ada tiga jenis, yaitu :

- a. Bentuk Gelombang Sinusioda
- b. Bentuk Gelombang Kotak
- c. Bentuk Gelombang Segitiga



Perioda dan Frekuensi



Perioda adalah waktu yang dibutuhkan oleh satu gelombang penuh untuk merambat.

Frekuensi adalah banyaknya gelombang penuh yang terbangkit dalam satu detik.

$$\omega = 2\pi f$$

Bentuk gelombang arus bolak-balik



Harga Rata-rata dan Harga Efektif

a) Harga Rata-rata (Average Value)

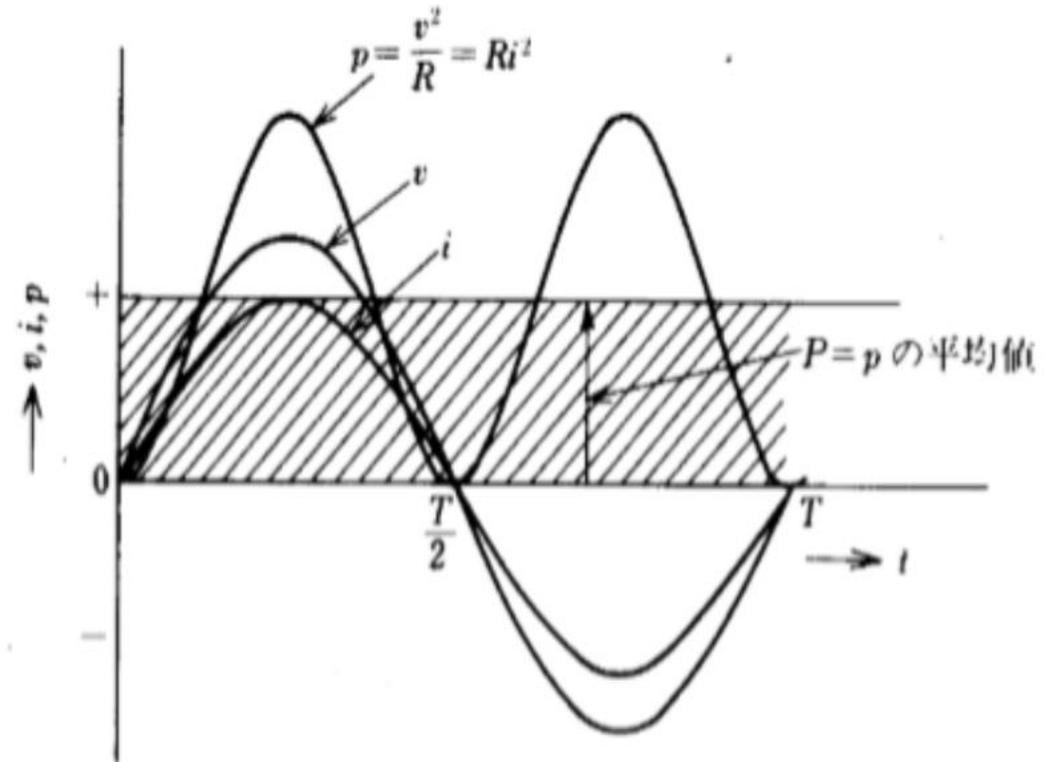
Harga rata-rata arus bolak-balik adalah harga arus bolak-balik yang setara dengan suatu harga arus rata (arus dc) yang dalam waktu yang sama dapat memindahkan sejumlah listrik yang sama.

b) Harga Efektif (Root Mean Square/RMS Value)

Harga efektif arus bolak-balik adalah arus bolak-balik yang ekuivalen dengan sebuah harga arus searah yang dalam waktu yang samadapat menimbulkan sejumlah tenaga yang sama pada tahanan yang sama

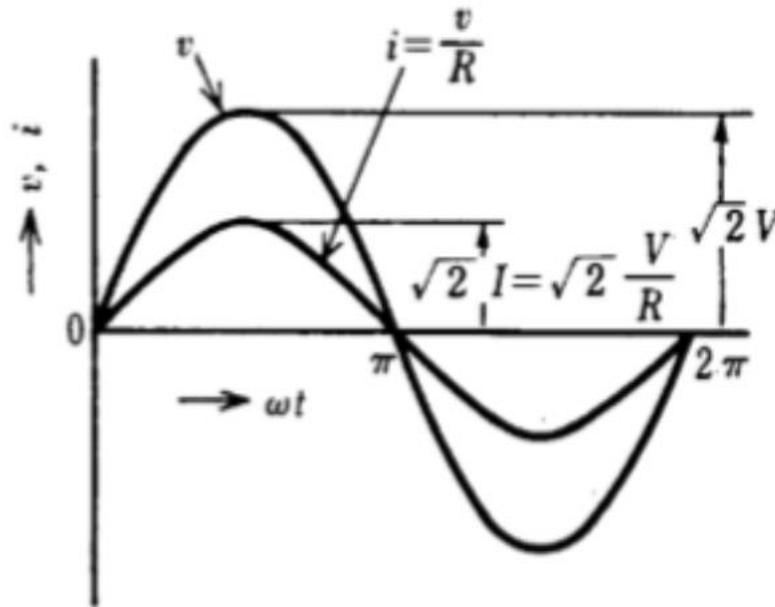
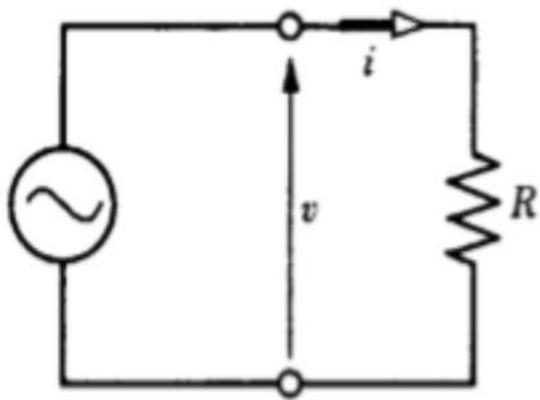
Hubungan antara nilai maksimum dan nilai efektif sebagai berikut :

$$I = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m, V = \frac{1}{\sqrt{2}} V_m$$



6.2 Rangkaian Arus Bolak-Balik Seri

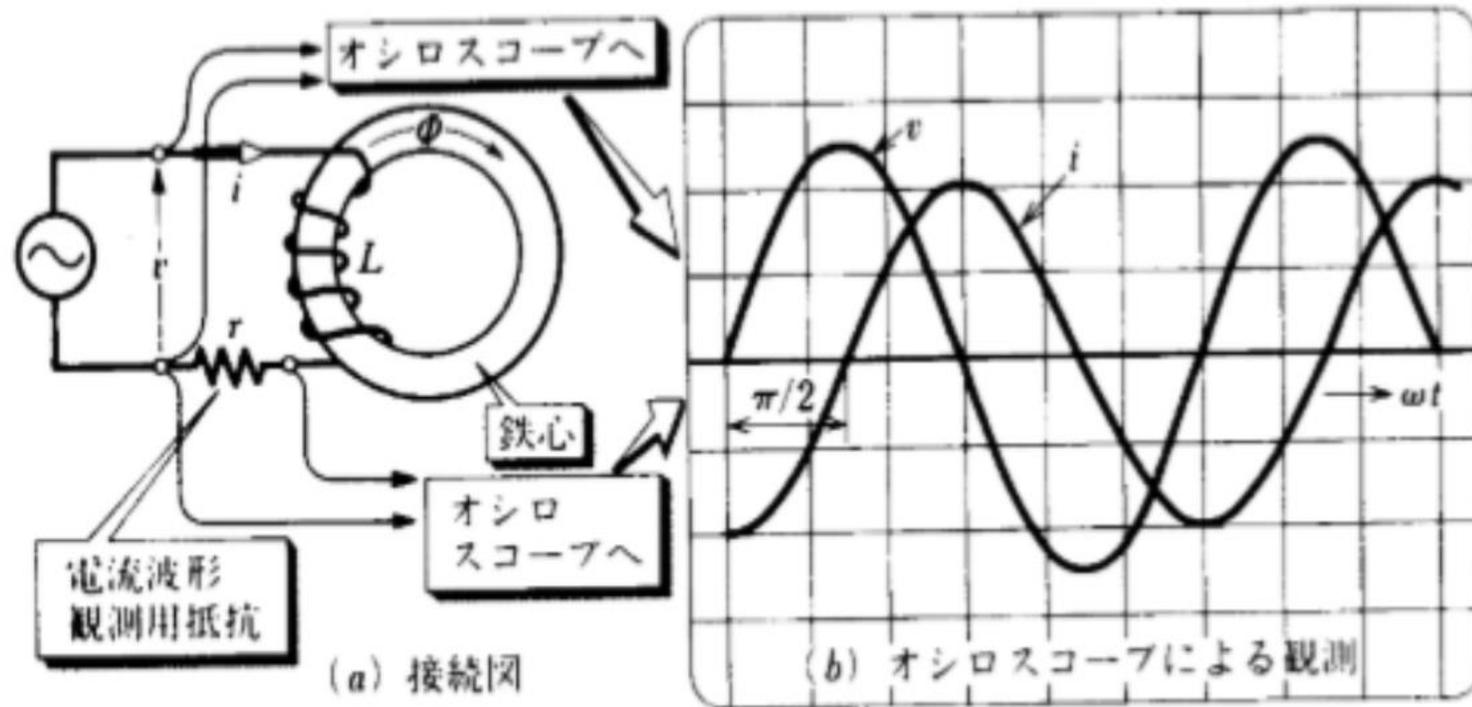
Rangkaian Arus Bolak-balik dengan Tahanan



$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{V}{R} (A)$$



Rangkaian dengan Induktansi



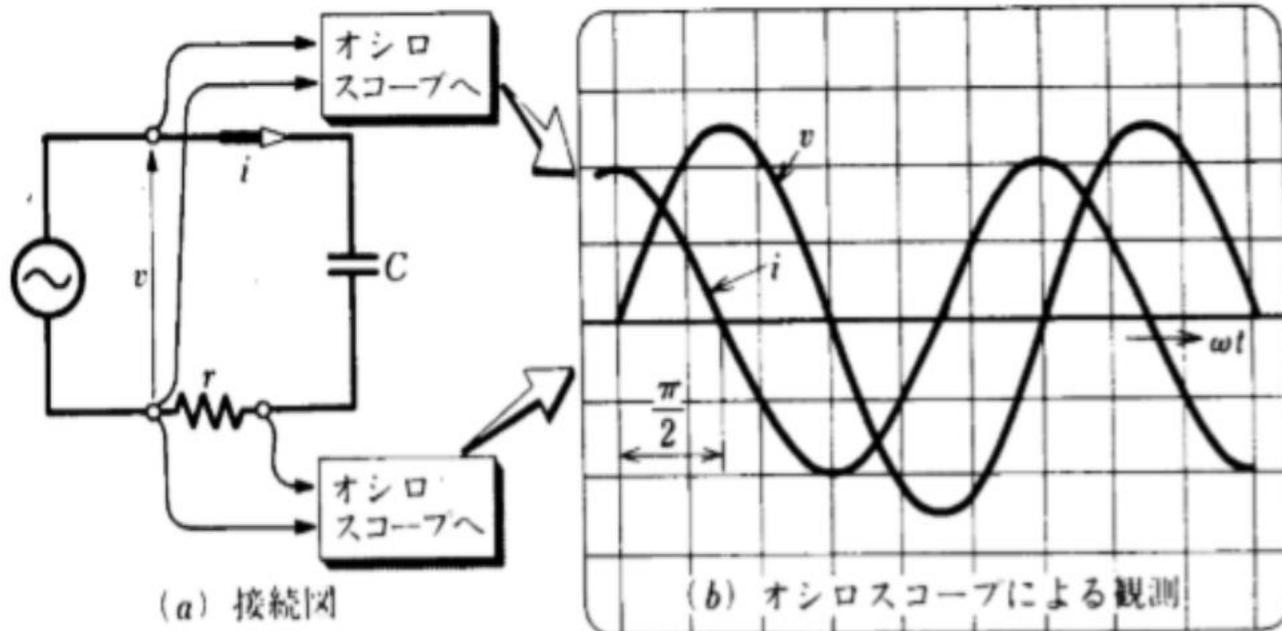
$$I = \frac{V}{\omega L} (A)$$

$$\frac{V}{I} = \omega L (\Omega)$$



Rangkaian dengan Kapasitor

Rangkaian yang terlihat pada gambar berikut adalah kapasitansi (c) disuplai oleh tegangan bolak-balik v (V), hubungan tegangan (v) dan arus i (A) yang mengalir dapat dilihat dengan oscilloscope.



Karena : $\omega = 2\pi f$

Maka : $X_c = \frac{1}{2\pi f c}$

Dimana :

X_c = Reaktansi kapasitif (Ω)

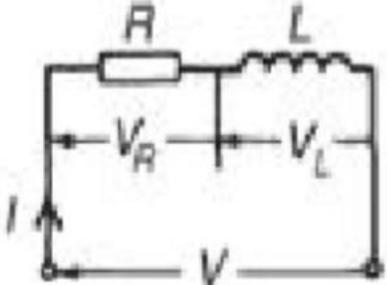
f = Frekuensi (Hz)

C = kapasitas (F)

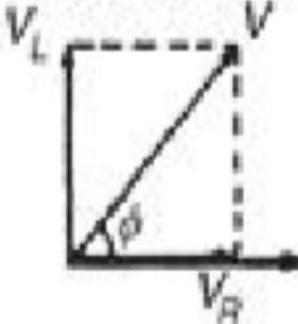


Rangkaian Seri R dan L

CIRCUIT DIAGRAM



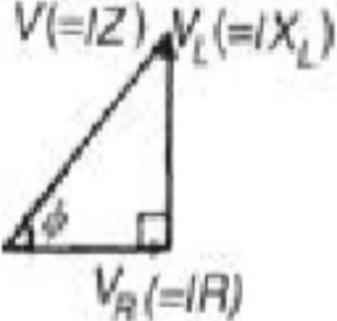
PHASOR DIAGRAM



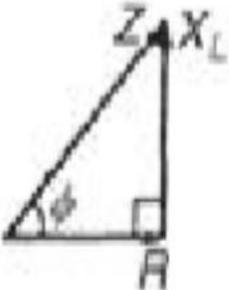
Pada rangkaian seri R dan L, arus I tertinggal dari tegangan V sejauh

$$\phi = \tan^{-1} \frac{X_L}{R} \text{ (rad)}$$

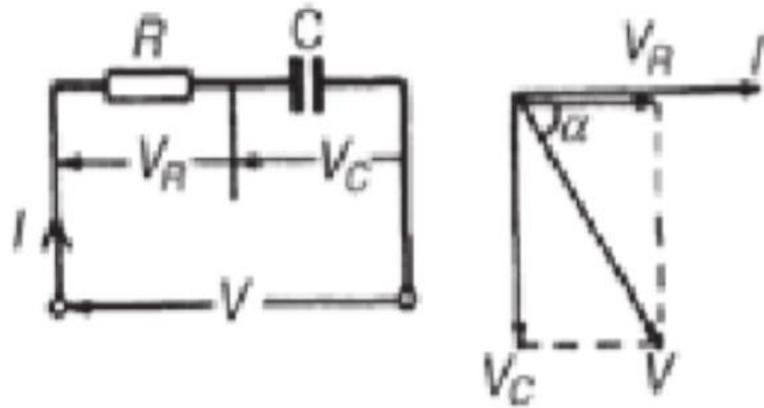
VOLTAGE TRIANGLE



IMPEDANCE TRIANGLE

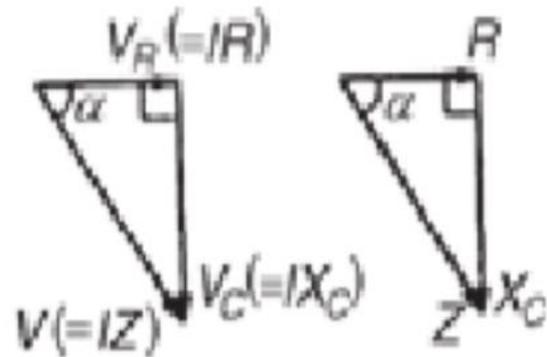


Rangkaian Seri R dan C

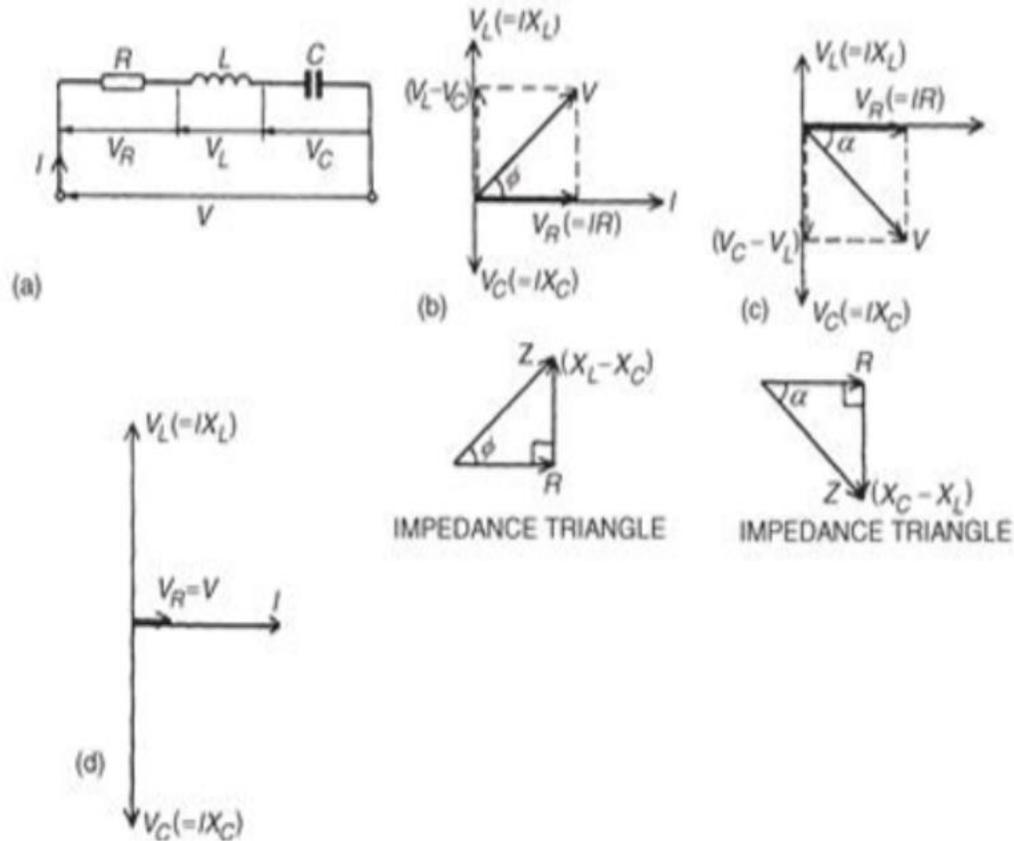


Pada rangkaian seri R dan C, arus I mendahului dari tegangan sejah,

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{X_c}{R} (\text{rad})$$



Rangkaian Seri R L C



$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2} = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} (V)$$

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

$$Z = \frac{V}{I} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2} (\Omega)$$

$$X = |X_L - X_C| = \left| \omega L - \frac{1}{\omega C} \right| (\Omega)$$



6.3 Rangkaian Arus Bolak-Balik Paralel

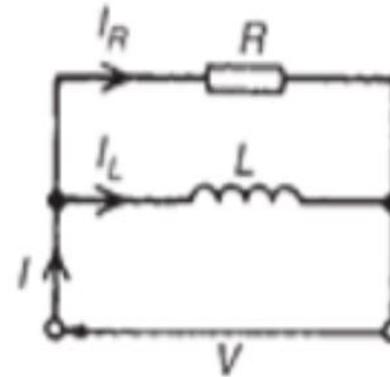
Rangkaian Paralel R dan L

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2} = \sqrt{\left(\frac{V}{R}\right)^2 + \left(\frac{V}{X_L}\right)^2} = V \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L}\right)^2}$$

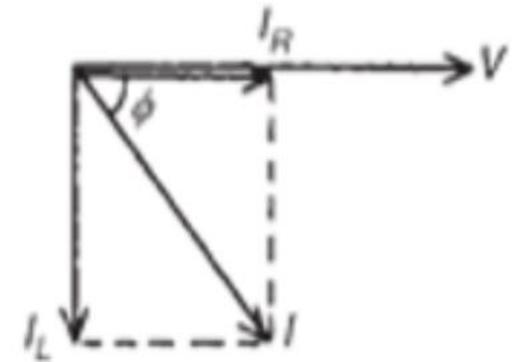
$$Z = \frac{V}{I} = \frac{1}{\sqrt{(1/R)^2 + (1/X_L)^2}} (\Omega)$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{I_L}{I_R} = \tan^{-1} \frac{1/X_L}{1/R}$$

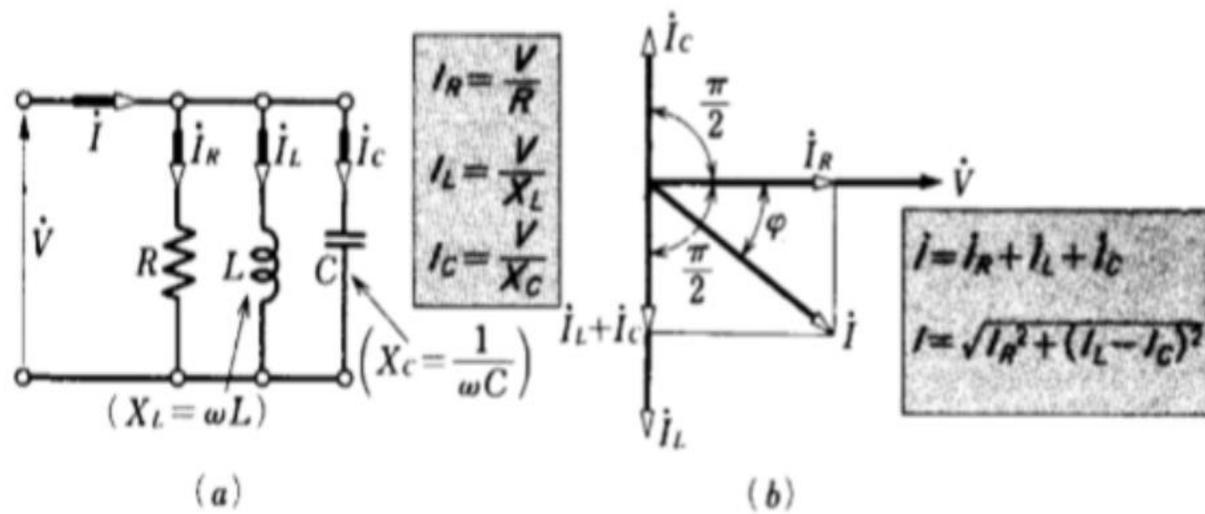
CIRCUIT DIAGRAM



PHASOR DIAGRAM



Rangkaian Paralel R, L dan C



Besarnya arus I dari diagram vektor adalah:

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2} = \sqrt{(V/R)^2 + (V/X_L - V/X_C)^2}$$

$$= V \sqrt{(1/R)^2 + (1/X_L - 1/X_C)^2}$$

Jadi jumlah impedansi Z (Ω) adalah :

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{1}{\sqrt{(1/R)^2 + (1/X_L - 1/X_C)^2}} (\Omega)$$

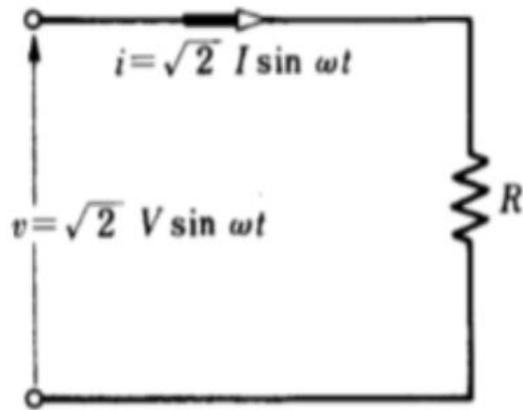
Perbedaan fasa φ antara V dan I menjadi :

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{I_L - I_C}{I_R} = \tan^{-1} \frac{1/X_L - 1/X_C}{1/R}$$

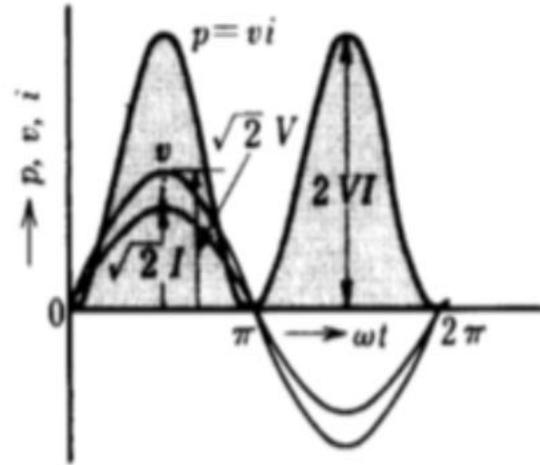


6.4 Daya Arus Bolak-Balik

Daya pada Rangkaian Resistif



(a)



(b)

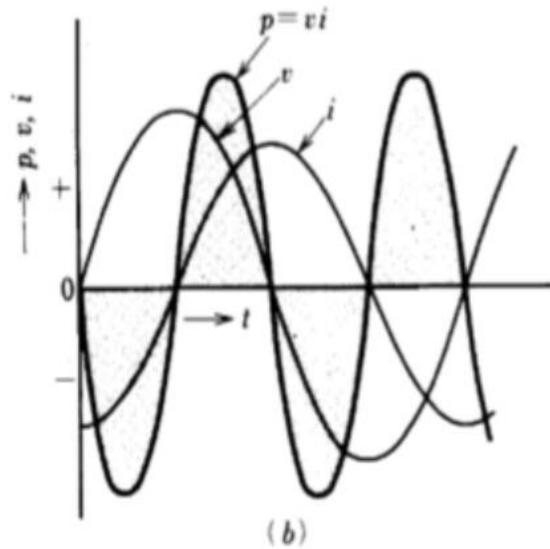
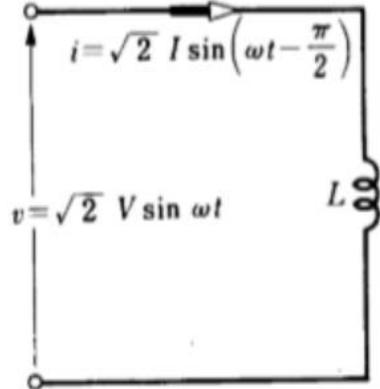
Daya arus bolak-balik yang diserap pada rangkaian yang terdiri hanya dari tahanan R (Ohm) adalah:

$$P = VI \text{ (W)}$$



Daya pada Rangkaian Induktansi L

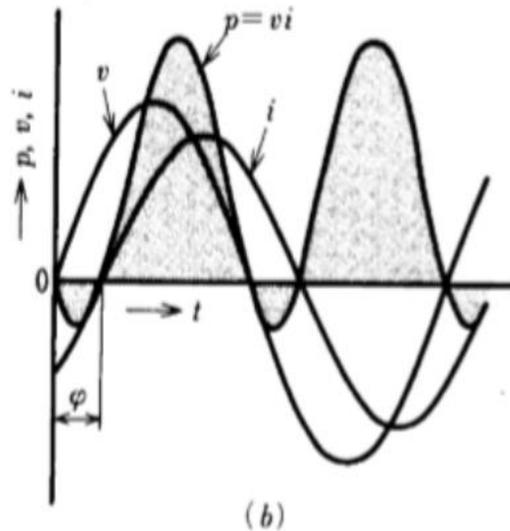
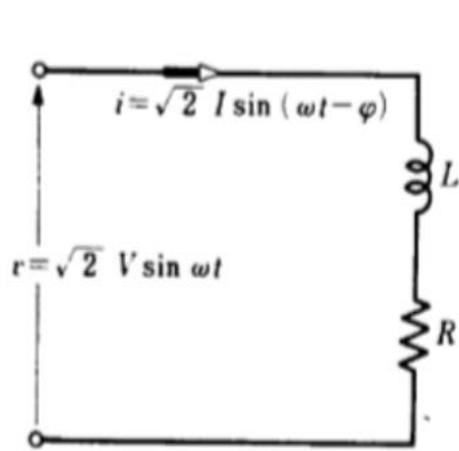
$$P = (-VI \sin 2\omega t) = 0$$



Pada induktansi L, seperti yang diperlihatkan pada gambar disamping dari lengkung garis p dapat diketahui bahwa, pada saat setengah perioda (+) dari sumber tegangan energi listrik diberikan, selanjutnya pada setengah perioda berikutnya (-) ke sumber tegangan energi listrik diberikan lagi, apa bila di rata-ratakan maka disipasi dayanya menjadi sama dengan nol. Sehingga pada rangkaian yang terdiri hanya induktansi L tidak terdapat daya.



Daya pada Rangkaian dengan Impedansi Z

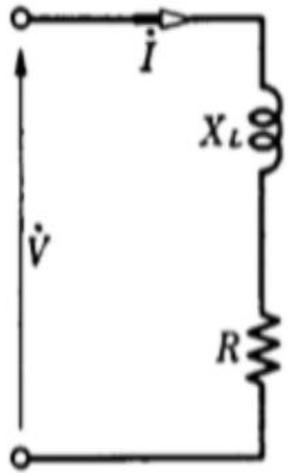


$$P = VI \cos \phi (W)$$

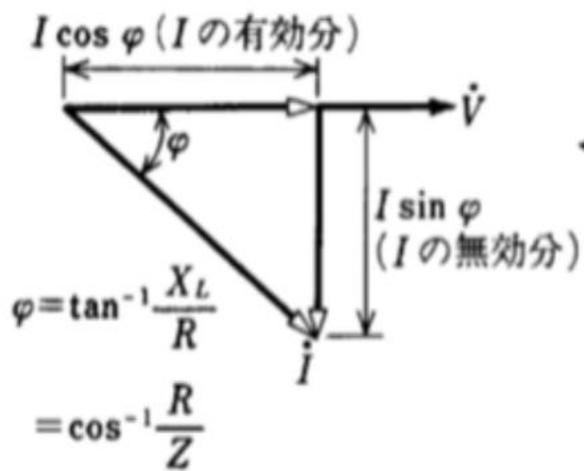
Daya arus bolak-balik terdiri dari nilai tegangan dan arus dengan perbedaan fasa.



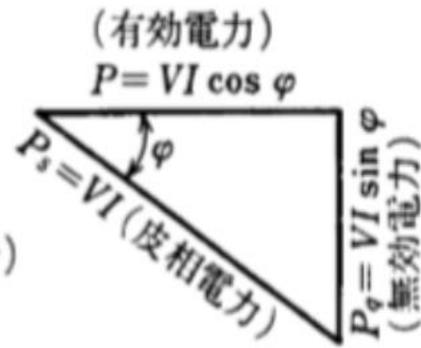
Jenis-jenis Daya Arus Bolak-Balik dan Faktor Daya



(a)



(b)



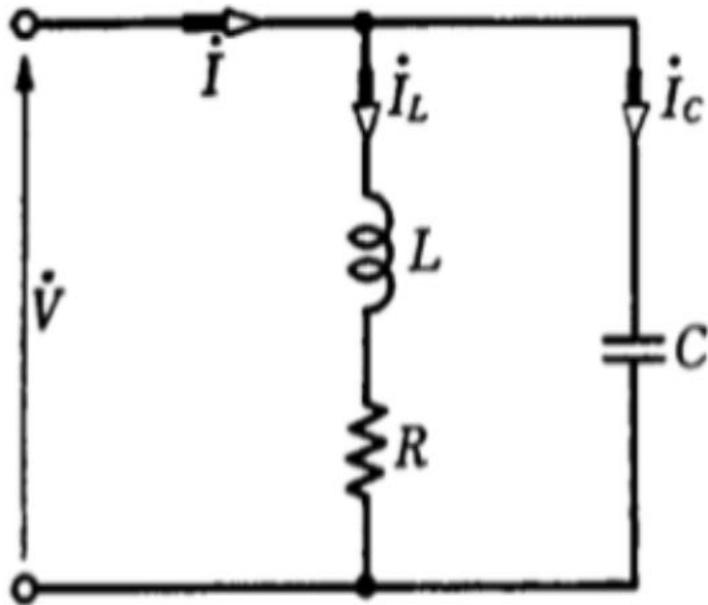
(c)

$$\cos \varphi = \frac{P}{VI} = \frac{\text{dayanyata}}{\text{daya semu}}$$



6.5 Perbaikan Faktor Daya

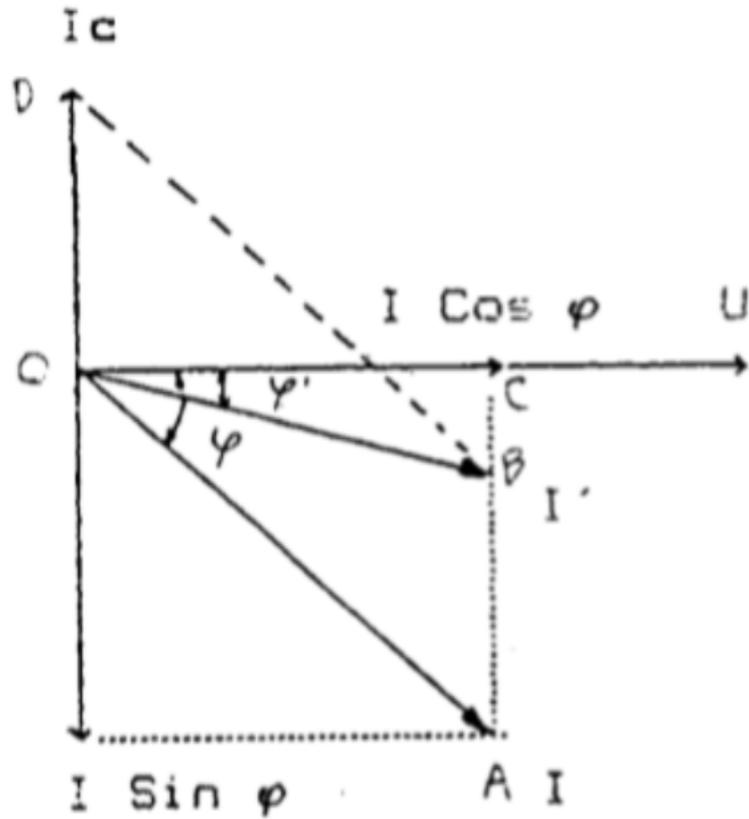
Pentingnya Perbaikan Faktor Daya



Semakin besar suatu beban menyerap VA akan semakin sedikit jumlah beban yang dapat dipasang. Oleh karena itu sedapat mungkin haruslah ada usaha untuk memperkecil sudut pergeseran fasa ini yang berarti memperbesar faktor daya.



Perhitungan Harga Kapasitor



Usaha yang dapat dilakukan untuk memperkecil geseran fasa antara arus dan tegangan (memperbesar faktor daya), adalah dengan menambah kapasitor secara paralel pada beban.

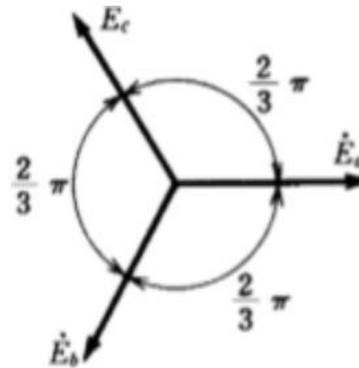
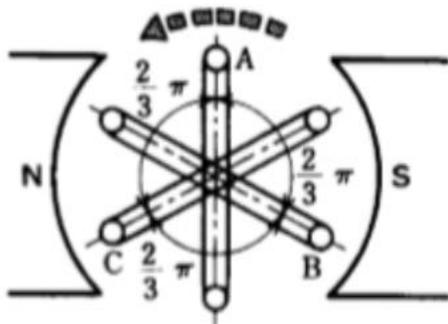
Arus yang mengalir pada kapasitor berlawanan dengan arus yang mengalir pada beban induktif. Sehingga dengan demikian arus reaktif akan menjadi lebih kecil dan bila dapat diharapkan menjadi nol.

Untuk memperkecil sudut pergeseran fasa bisa diselesaikan dengan menerapkan dalil-dalil trigonometri atau menerapkan teori daya.



6.6 Rangkaian Arus Bolak-Balik Tiga Phasa

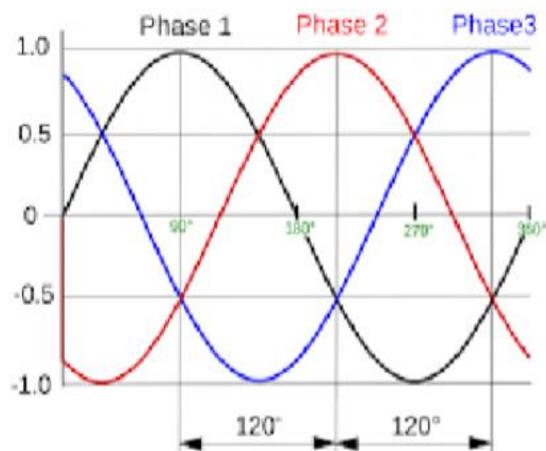
Pembangkit Tegangan Bolak-Balik Tiga Phasa



$$E_a = E \angle 0$$

$$E_b = E \angle -2/3 \pi$$

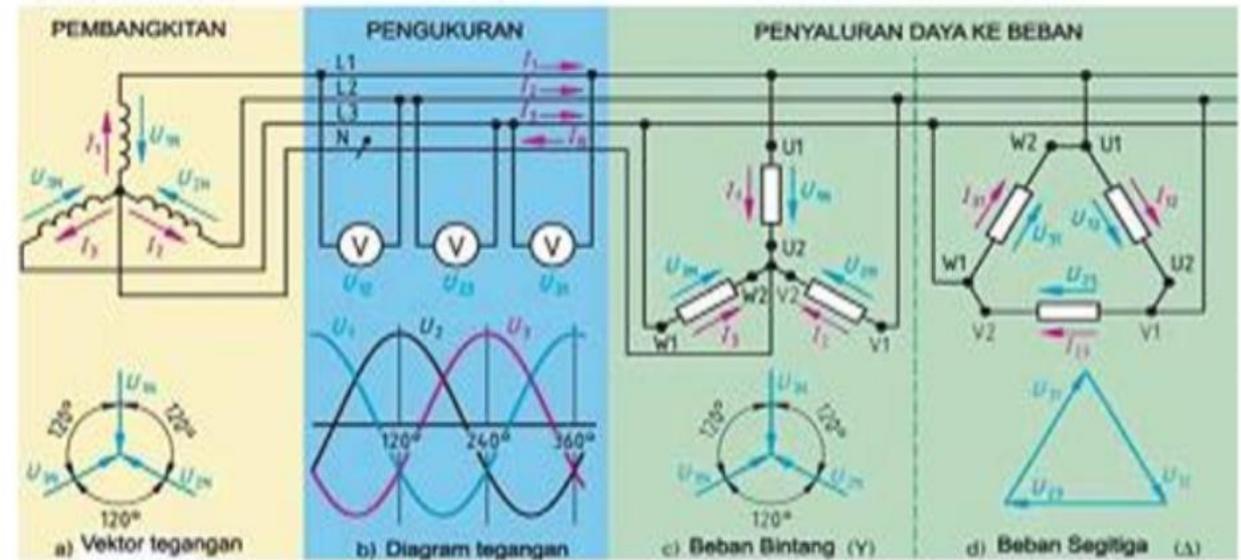
$$E_c = E \angle -4/3 \pi$$



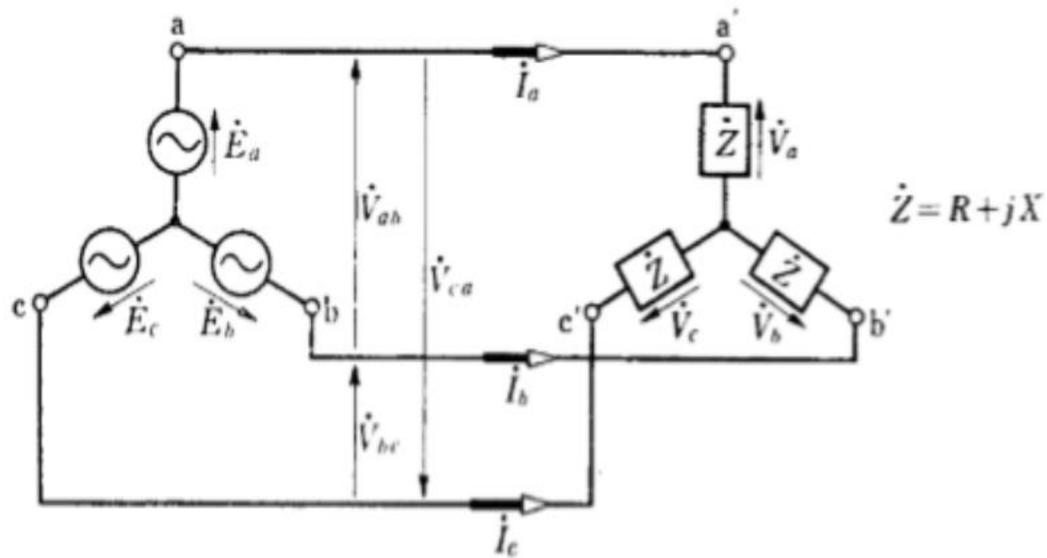
Tegangan dan Arus Rangkaian Tiga Phasa

Pada gambar disamping ditunjukkan dihubungkan berbentuk Δ , hubungan seperti ini disebut hubungan segitiga (Delta Connection) dan berbentuk Y, hubungan seperti ini disebut hubungan bintang (Star Connection).

Tegangan arus antara sumber tegangan dan beban disebut tegangan fasa (phase voltage) dan arus fasa (phase current), sedangkan tegangan dihubungkan ke beban melalui penghantar antara fasa dengan fasa disebut tegangan jala-jala (line voltage).



Tegangan dan Arus Rangkaian Tiga Fasa Hubungan Bintang



Rangkaian tiga fasa yang terdiri dari sumber tegangan dan beban yang dihubungkan bintang.

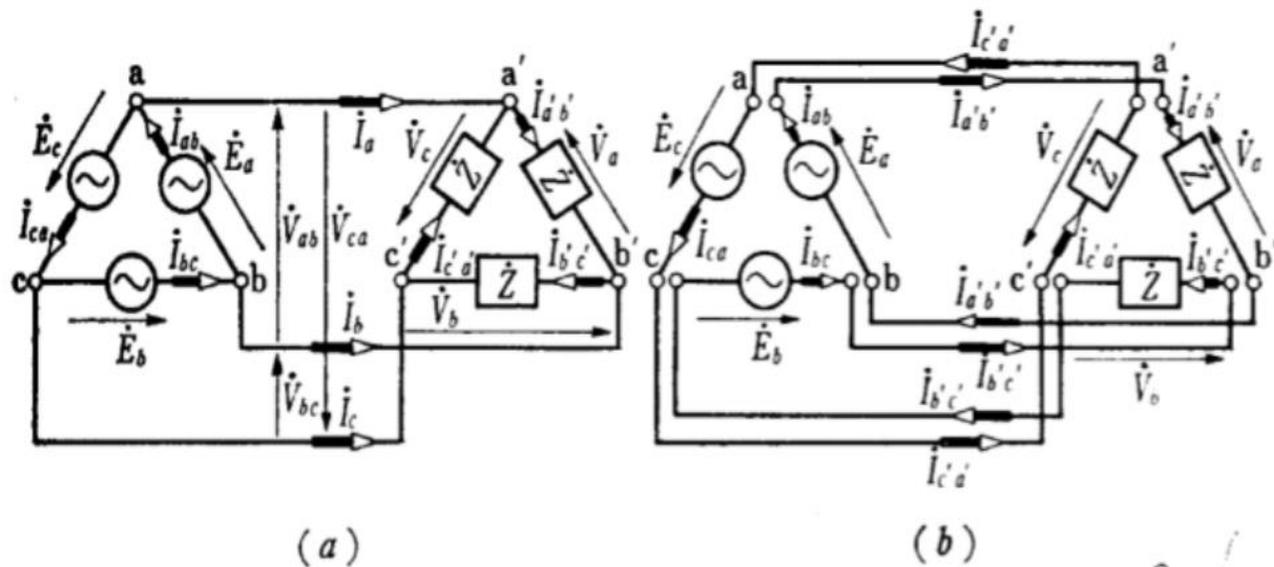
$$E_p = V_p$$

$$V_t = \sqrt{3} E_p = \sqrt{3} V_p$$

$$I_t = I_p = V_p / Z$$



Tegangan dan Arus Rangkaian Tiga Phasa hubungan Segitiga

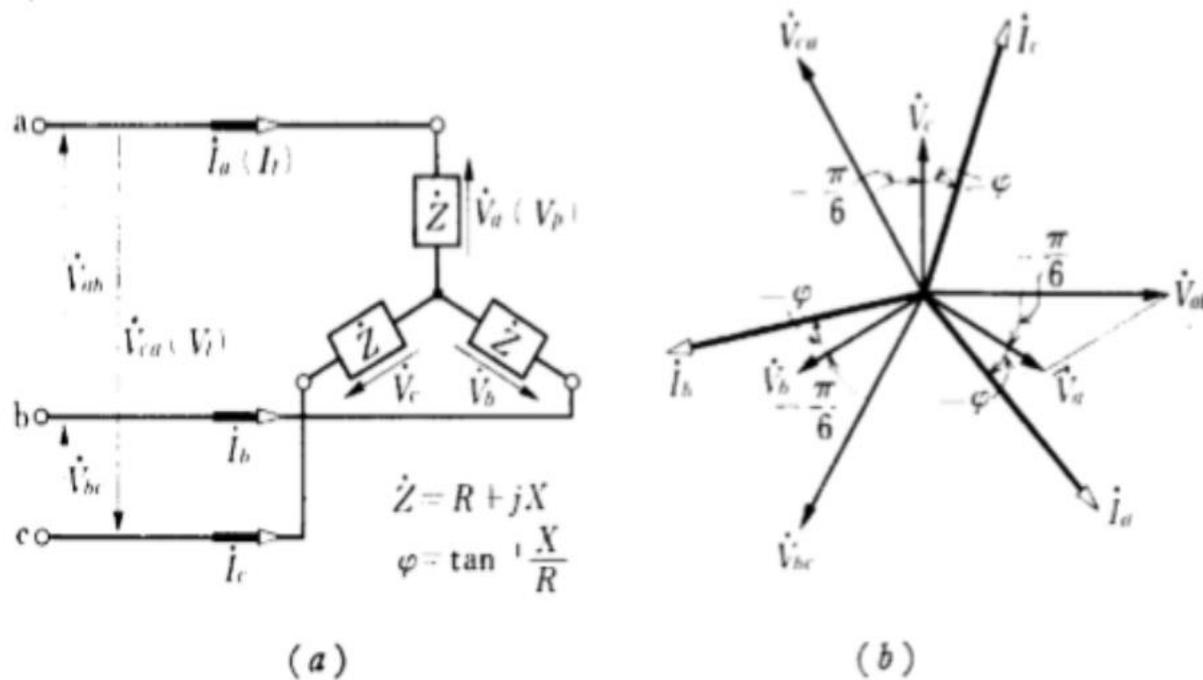


$$V_l = V_p$$

$$I_l = \sqrt{3} I_p, I_p = I_l / \sqrt{3}$$



Rangkaian Tiga Fasa Beban Seimbang Hubungan Bintang (Y)



$$I_a = I_t \varepsilon j \left(-\frac{\pi}{6} - \vartheta \right) = I_t \angle \left(-\frac{\pi}{6} - \vartheta \right)$$

$$= I_t \left\{ \cos \left(-\frac{\pi}{6} - \vartheta \right) + j \sin \left(-\frac{\pi}{6} - \vartheta \right) \right\}$$

$$I_b = I_t \varepsilon j \left(-\frac{\pi}{6} - \vartheta - \frac{2}{3}\pi \right) = I_t j \left(-\vartheta - \frac{5}{6}\pi \right)$$

$$= I_t \angle \left(-\vartheta - \frac{5}{6}\pi \right)$$

$$= I_t \left\{ \cos \left(-\vartheta - \frac{5}{6}\pi \right) + j \sin \left(-\vartheta - \frac{5}{6}\pi \right) \right\}$$

$$I_c = I_t \varepsilon - j \left(-\frac{\pi}{6} - \vartheta - \frac{4}{3}\pi \right) = I_t j \left(-\vartheta - \frac{3}{2}\pi \right)$$

$$= I_t \angle \left(-\vartheta - \frac{3}{2}\pi \right)$$

$$= I_t \left\{ \cos \left(-\vartheta - \frac{3}{2}\pi \right) + j \sin \left(-\vartheta - \frac{3}{2}\pi \right) \right\}$$



Rangkaian Tiga Phasa Beban Seimbang Hubungan Segitiga

$$I_a = I_l \varepsilon^{j\left(-\varphi - \frac{4}{3}\pi\right)} = I_l \angle \left(-\varphi - \frac{\pi}{6}\right)$$

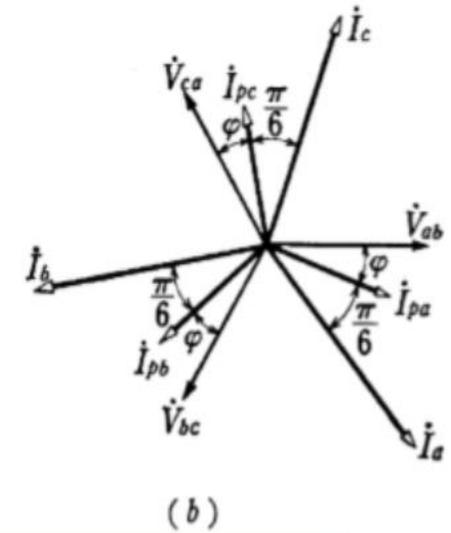
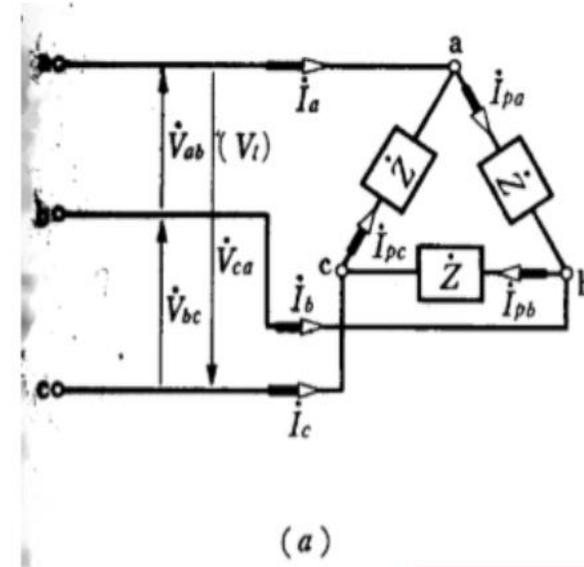
$$= I_l \left\{ \cos\left(-\varphi - \frac{\pi}{6}\right) + j \sin\left(-\varphi - \frac{\pi}{6}\right) \right\}$$

$$I_b = I_l \varepsilon^{j\left(-\varphi - \frac{2}{3}\pi - \frac{\pi}{6}\right)} = I_l \varepsilon^{j\left(-\varphi - \frac{5}{6}\pi\right)} = I_l \angle \left(-\varphi - \frac{5}{6}\pi\right)$$

$$= I_l \left\{ \cos\left(-\varphi - \frac{5}{6}\pi\right) + j \sin\left(-\varphi - \frac{5}{6}\pi\right) \right\}$$

$$I_c = I_l \varepsilon^{j\left(-\varphi - \frac{4}{3}\pi\right)} = I_l \angle \left(-\varphi - \frac{4}{3}\pi\right)$$

$$= I_l \left\{ \cos\left(-\varphi - \frac{4}{3}\pi\right) + j \sin\left(-\varphi - \frac{4}{3}\pi\right) \right\}$$



Rangkaian Tiga Fasa Tidak Seimbang (*Unbalance*) – (*Star Connection*)

Tegangan pada masing-masing beban V_a , V_b dan V_c menjadi :

$$V_a^1 = Z_a I_a$$

$$V_b^1 = Z_b I_b$$

$$V_c^1 = Z_c I_c$$



Rangkaian Tiga Fasa Tidak Seimbang (*Delta Connection*)

Bila arus pada masing-masing penghantar I_a , I_b , I_c , maka hubungan arus fasa dan arus jala-jala menjadi :

$$I_a = I_{ab} - I_{ca} = \frac{V_{ab}}{Z_{ab}} - \frac{V_{ca}}{Z_{ca}} (A)$$

$$I_b = I_{bc} - I_{ab} = \frac{V_{bc}}{Z_{bc}} - \frac{V_{ab}}{Z_{ab}} (A)$$

$$I_c = I_{ca} - I_{bc} = \frac{V_{ca}}{Z_{ca}} - \frac{V_{bc}}{Z_{bc}} (A)$$



6.7 Daya Tiga Fasa

Methoda Pengukuran Daya Tiga Fasa

Pengukuran daya tiga fasa dapat dilakukan dengan beberapa metoda :

1. Methoda pengukuran dengan 3 buah Wattermeter
2. Methoda pengukuran dengan 1 buah Wattermeter
3. Methoda pengukuran dengan 2 buah Wattermeter
4. Methoda pengukuran dengan Wattermeter Tiga Fasa



Methoda Pengukuran Daya dengan 2 buah Wattermeter

Wattermeter W1, W2 pada gambar (a) menunjukkan daya P1, P2 adalah antara Vab (V) dan Ia(A) dengan - Vab (V) dan Ic (A), gambar (b) merupakan vektor diagramnya,

$$\begin{aligned}P_1 + P_2 &= V_1 I_1 \cos(\pi/6 + \varphi) + V_1 I_1 \cos(\pi/6 - \varphi) \\ &= V_1 I_1 \{ \cos(\pi/6 + \varphi) + \cos(\pi/6 - \varphi) \} \\ P_1 + P_2 &= \sqrt{3} V_1 I_1 \cos \varphi = P_{3\varphi} \quad (17)\end{aligned}$$

Bila pada beban terjadi perubahan faktor daya maka nilai penunjukan Wattermeter W1, W2 juga berubah seperti yang diperlihatkan metoda pengukuran daya

