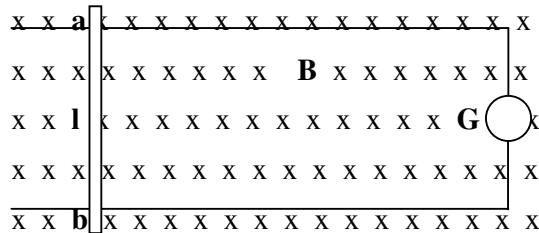


IMBAS ELEKTRO MAGNETIK.

GAYA GERAK LISTRIK IMBAS (INDUKSI)



Suatu rangkaian kawat yang dibengkokkan sehingga berbentuk huruf “U” dilengkapi dengan Galvanometer G diletakkan tegak lurus medan magnet B seperti pada gambar.

Pada rangkaian tersebut juga terdapat penghantar lain ab (panjang l) yang dapat digerakkan ke kanan/kiri.

- Bila ab digerakkan ke kanan dengan kecepatan v, maka muatan positif di dalam penghantar tersebut akan tertarik ke atas sehingga terkumpul di titik P. Oleh sebab arus mengalir selalu berasal dari (+) ke (-), maka akan terjadi arus mengalir dari a-G-b-a. Tetapi bila digerakkan ke kiri akan timbul arus listrik yang arahnya sebaliknya yaitu dari b-G-a-b.
- Jika GGL induksi yang terjadi E dan kuat arusnya i, tenaga listrik yang terjadi dalam Δt detik adalah :

$$W = E.i. \Delta t \text{ Joule}$$

- Tenaga listrik ini berasal dari tenaga mekanik yakni untuk menggerakkan kawat ab. Tenaga untuk menggerakkan kawat ab sama dengan usaha untuk mengatasi gaya Lorentz.

$$W = -F.s$$

$$W = -i B.l v. \Delta t$$

- Dari kedua persamaan di atas maka :

$$E.i. \Delta t = -i.B.l v. \Delta t \text{ (tanda - hanya menunjukkan arah)}$$

$$E = B.l.v$$

- Bila kecepatan v membentuk sudut θ dengan medan magnet B besar GGL adalah :

$$E = B.l.v \sin\theta$$

- l = Panjang penghantar/kawat dalam meter
- B = Besar induksi magnetik dalam W/m^2 atau Tesla
- v = Kecepatan gerak penghantar dalam m/det
- E = Gaya gerak listrik imbas (induksi) dalam volt.

Arah Arus Induksi.**Kaidah tangan kanan.**

Arahkan ibu jari dengan arah gerak kawat penghantar (v) dan arahkan keempat jari yang dirapatkan sesuai dengan arah medan magnetik (B), maka arah telapak tangan menunjukkan arah arus induksi (i).

Kaidah sekrup putar kanan.

Memutar dari v ke arah B maka gerak keluar/masuknya sekrup menunjukkan arah arus induksi (i).

Kesimpulan :

GGL induksi terjadi jika penghantar memotong garis-garis gaya medan magnet.

HUKUM-HUKUM IMBAS ELEKTROMAGNETIK.**Hukum Faraday.**

Bunyiya : Besarnya GGL induksi sebanding dengan laju perubahan flux magnetiknya.

Pada persamaan

$$W = F.S$$

$$W = I.B.l.S \text{ Joule}$$

B.l.S adalah banyaknya garis-garis gaya yang dipotong oleh kawat ab, atau banyaknya perubahan garis-garis gaya yang dirangkumkan ($\Delta\phi$)

$$\begin{aligned} W &= - I. \Delta\phi \text{ Joule} \\ E.I. \Delta t &= - I. \Delta\phi \\ E &= - \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \end{aligned}$$

Besar GGL dalam setiap saat.

$$\begin{aligned} E &= \lim_{t \rightarrow 0} - \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \\ E &= - \frac{d\phi}{dt} \end{aligned}$$

Bila dalam pengamatan yang lain kita gunakan N lilitan, maka besarnya E diperoleh :

$$E = - N \frac{d\phi}{dt}$$

- Tanda negatif hanya menunjukkan arah arus imbas, sedangkan untuk menghitung besar GGL imbas, tanda negatif tidak dipakai. Tanda (-) ini dapat diterangkan dengan **hukum Lens.**

Hukum Lens.

Hukum ini berguna untuk menentukan arah dari arus induksi. Hukum arah arus induksi adalah sedemikian rupa sehingga melawan sebab yang menimbulkannya.

Keterangan :

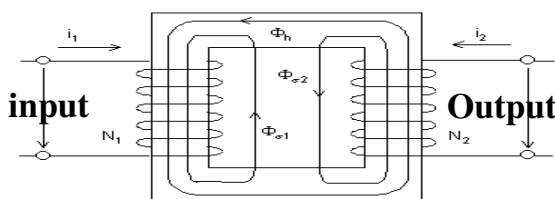
- Jika GGL disebabkan oleh gerakan suatu penghantar dalam medan magnet, arah arus induksinya adalah sedemikian rupa sehingga gaya magnet pada penghantar berlawanan dengan arah geraknya. Jadi gerakan penghantar dilawan.
- Jika GGL disebabkan oleh perubahan fluks yang melalui suatu rangkaian tertutup, arus menimbulkan medan magnet yang didalam luas penampang yang dibatasi oleh rangkaian adalah :
 - a. Berlawanan dengan medan asal, jika fluksnya bertambah.
 - b. Arahnya sama dengan medan asal, jika fluksnya berkurang.

PENERAPAN INDUKSI MAGNETIK.

Arus Focault (arus pusar = arus eddy)

Bila penghantar memotong garis-garis gaya, dalam penghantar terjadi arus induksi, demikian pula bila dalam penghantar pejal itu terjadi perubahan garis-garis gaya. Arus induksi yang terjadi arahnya melingkar dan tegak lurus pada garis-garis gaya, karenanya disebut arus pusar atau arus eddy (Focault). Arus Focault berubah menjadi panas, karenanya memakai energi. Adanya arus Focault menimbulkan beberapa kesulitan pada alat-alat listrik seperti Transformator, induktor, elektromotor, dan sebagainya. Untuk menghindari kerugian yang diakibatkan oleh arus Focault, inti besi dibuat dari keping-keping tipis yang satu sama lain diisolir, dan diletakkan sejajar dengan garis-garis gaya.

Transformator.



Transformator adalah alat yang dapat digunakan untuk mengubah tegangan arus bolak-balik.

Terdiri atas inti besi B, dan dua kumparan masing-masing K_1 dan K_2 .

Kumparan yang dihubungkan dengan sumber arus bolak-balik disebut kumparan primer (input) dan kumparan yang lainnya disebut kumparan sekunder (output).

Perubahan kuat arus dalam kumparan primer menimbulkan perubahan flux magnetik dalam inti besi.

Perubahan flux magnetik dalam inti besi membangkitkan GGL induksi pada kumparan sekunder.

$$E_p = \frac{d\phi}{dt} \cdot N_p$$

$$E_s = \frac{d\phi}{dt} \cdot N_s$$

$$E_s = \frac{N_s}{N_p} \cdot E_p$$

$$E_p : E_s = N_p : N_s$$

Jadi jika jumlah lilitan kumparan sekunder lebih banyak daripada jumlah lilitan kumparan primer, tegangan sekunder lebih besar dari tegangan primer (step-up transformer).

Kita anggap tidak ada energi listrik yang hilang pada perpindahannya dari kumparan primer ke kumparan sekunder maka :

$$E_s \cdot I_s \cdot t = E_p \cdot I_p \cdot t$$

$$I_s = \frac{E_p}{E_s} \cdot I_p$$

$$I_s = \frac{N_p}{N_s} \cdot I_p$$

$$I_p : I_s = N_s : N_p$$

Dari hubungan itu dapat kita lihat bahwa jika jumlah lilitan pada kumparan sekunder lebih banyak, kuat arus pada kumparan sekunder lebih kecil daripada kuat arus dalam kumparan primer.

Pada alat las listrik kumparan sekunder hanya terdiri atas beberapa lilitan saja, karenanya I-nya sangat besar. Arus yang besar mampu menghasilkan panas yang sangat besar.

Daya hilang pada transformator.

Bagaimanapun sempurnanya transformator yang kita buat, tidak mungkin dapat mencapai efisiensi 100 %.

Efisiensi transformator didefinisikan sebagai daya keluaran dibagi dengan daya masukan.

$$\eta = \frac{\text{daya keluaran}}{\text{daya masukan}} = \frac{\text{daya masukan} - \text{daya hilang}}{\text{daya masukan}}$$

Daya hilang terdiri dari :

- Daya hilang karena arus pusar pada inti transformator.
- Daya hilang pada kawat lilitan.

$$\text{Daya hilang} = i^2 \cdot R$$

Untuk transformator dengan efisiensi (η) tertentu berlaku :

$$\eta = \frac{\text{daya keluaran}}{\text{daya masukan}}$$

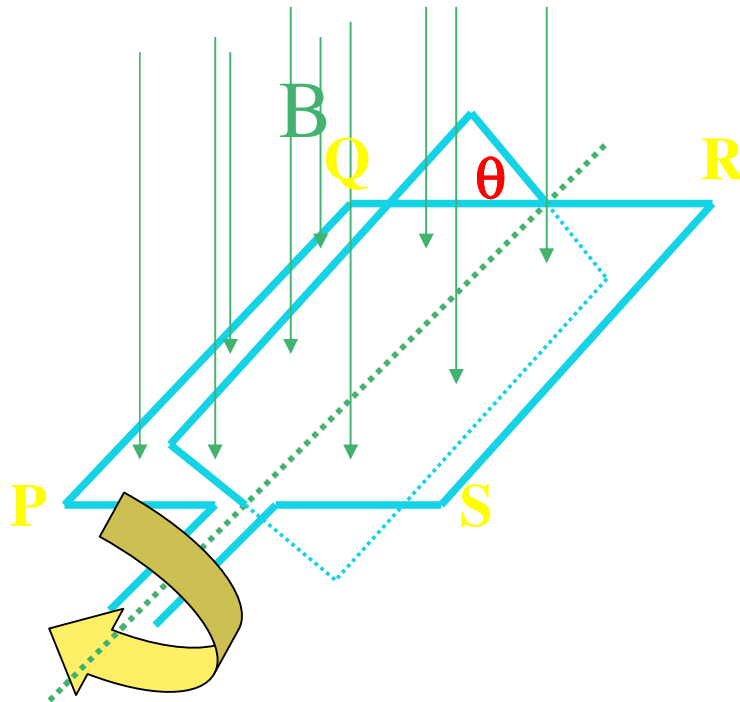
$$\eta = \frac{P_s}{P_p} \text{ atau } P_s = \eta \cdot P_p$$

$$E_s \cdot i_s = \eta E_p \cdot i_p$$

$$\frac{i_p}{i_s} = \frac{E_s}{E_p} \cdot \frac{1}{\eta}$$

Karena $\frac{E_s}{E_p} = \frac{N_s}{N_p}$ maka perbandingan arus untuk trafo tidak ideal adalah : $\frac{i_p}{i_s} = \frac{N_s}{N_p} \cdot \frac{1}{\eta}$

GGL induksi pada kumparan.



Kawat empat persegi PQRS luasnya A, berada dalam medan magnet serba sama, rapat garis-garis gayanya B, dan B tegak lurus pada bidang PQRS.

Bidang kumparan diputar beraturan dengan kecepatan sudut dalam t detik ditempuh sudut $\theta = \omega t$.

Setelah berputar t detik, flux magnetik yang menembus kumparan sama dengan flux magnetik yang menembus tegak lurus A_1 .

$$\phi = A_1 \cdot B = A \cos \theta \cdot B$$

$$\phi = A \cdot B \cos \omega t$$

Besar GGL induksi saat itu.

$$E = - \frac{d\phi}{dt}$$

$$E = - \frac{d(A.B \cos \omega t)}{dt}$$

$$E = \omega A.B \sin \omega t$$

A.B adalah flux magnetik yang menembus kumparan saat permulaan (ϕ_0)

$$E = \omega \cdot \phi_0 \cdot \sin \omega t$$

Persamaan ini menyatakan bahwa GGL induksi adalah fungsi sinus, nilai maksimumnya :

$$E_{\max} = \omega \cdot \phi_0$$

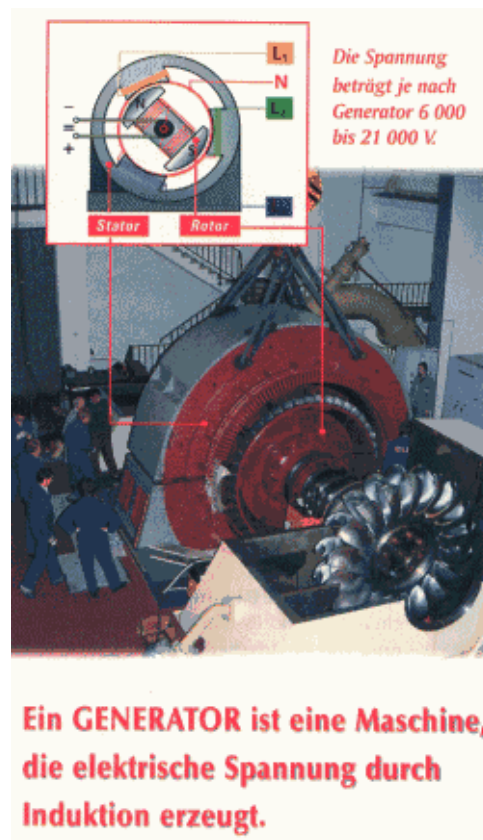
Dengan demikian besar GGL induksi dirumuskan sebagai :

$$E = E_{\max} \sin \omega t$$

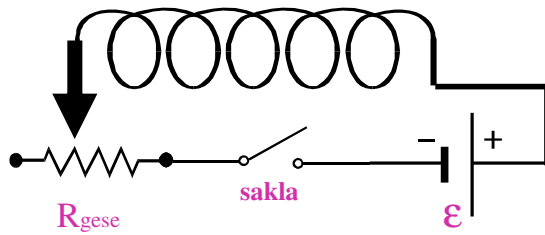
Bila kumparan kawat itu mempunyai N gulungan besar GGL induksi :

$$E = N \cdot E_{\max} \sin \omega t$$

Suatu kumparan yang diputar 2π radian, memberikan GGL induksi yang grafiknya berupa sinusoide.



Induktansi.



Bila didalam suatu penghantar terjadi perubahan kuat arus maka flux magnetik disekitar penghantar itu berubah-ubah. Akibatnya dalam penghantar terjadi arus induksi. Induksi yang terjadi dalam suatu penghantar sebagai akibat dari perubahan arus dalam penghantar itu sendiri disebut induktansi diri (Induksi diri).

Makin besar perubahan arus dalam tiap satuan waktu makin besar pula perubahan garis gaya tiap satuan waktu, dan dengan demikian makin besar pula GGL induksi yang terjadi.

Jadi, GGL induksi diri sebanding dengan perubahan arus tiap satuan waktu.

$$E = - L \frac{dI}{dt}$$

L disebut koefisien induksi diri atau induktansi diri.

Didalam SI, E dalam volt, $\frac{dI}{dt}$ dalam A/det dan L dalam : $\frac{\text{volt} \cdot \text{det}}{\text{A}}$ atau Henry.

Definisi :

Induktansi diri suatu penghantar adalah satu Henry jika karena perubahan arus 1A dalam 1 detik timbul GGL induksi diri sebesar 1 volt.

Kita ketahui, perubahan kuat arus dalam kumparan berarti perubahan flux magnetik dalam kumparan. Bila kumparan terdiri dari N lilitan maka GGL induksi diri dalam penghantar ialah :

$$E = - N \frac{d\phi}{dt}$$

Kita samakan dengan $E = - L \frac{dI}{dt}$

$$- L \frac{dI}{dt} = - N \frac{d\phi}{dt}$$

$$L dI = N d\phi$$

Baik ruas kiri maupun ruas kanan diintegalkan :

$$L \int_0^I dI = N \int_0^\phi d\phi$$

$$L I = N \phi$$

$$L = \frac{N \phi}{I}$$

- L = koefisien induktansi diri
- ϕ = banyak garis-garis gaya (flux magnet)
- I = arus listrik.

Induktansi Pada Toroida.

Sebuah toroida mempunyai N lilitan, penampang A dan keliling sumbunya l. Bila dalam toroida terjadi perubahan arus $\frac{dI}{dt}$ maka :

$$E = -L \frac{dI}{dt}$$

Perubahan induksi magnetik pada sumbu toroida.

$$dB = \mu_0 \cdot n \cdot dI = \mu_0 \cdot \frac{N}{l} \cdot dI$$

Perubahan flux magnetnya,

$$d\phi = A \cdot dB = \mu_0 \cdot \frac{N}{l} \cdot A \cdot dI$$

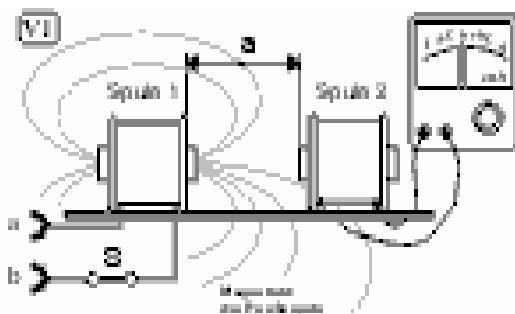
$$E = -N \frac{d\phi}{dt} = -\mu_0 \frac{N^2}{l} \cdot A \cdot \frac{dI}{dt}$$

$$-L \frac{dI}{dt} = -\mu_0 \frac{N^2}{l} \cdot A \cdot \frac{dI}{dt}$$

$$L = \frac{\mu_0 \cdot A \cdot N^2}{l}$$

Catatan : Rumus ini berlaku pula untuk solenoida yang sangat panjang.

Induksi Timbal Balik.



P adalah kumparan primer yang dihubungkan dengan sumber arus. S adalah kumparan sekunder duhubungkan dengan Galvanometer. Jika terjadi perubahan arus pada salah satu kumparan dari kedua pasangan kumparan itu, akan terjadi arus induksi kumparan lainnya.

Dalam hal ini perubahan arus dalam kumparan P mengakibatkan timbulnya GGL induksi pada kumparan kedua.

$$E_s = -M \frac{dI_p}{dt} \qquad M = \frac{-E_s}{dI_p / dt}$$

$$M = N_1 \frac{d\Phi_2}{di_2} = N_2 \frac{d\Phi_1}{di_1}$$

M disebut induktansi timbal balik.

Induktansi timbal balik dapat kita nyatakan sebagai perbandingan GGL induksi pada kumparan sekunder dengan perubahan arus dalam kumparan primer. Satuan M adalah Henry.

Perubahan induksi magnetik dalam kumparan primer

$$dB = \mu_0 \cdot n \cdot I$$

Bila luas rata-rata kumparan adalah A maka :

$$d\phi = \mu_0 \cdot n \cdot dI \cdot A$$

$$d\phi = \mu_0 \cdot \frac{N_p}{l} \cdot dI \cdot A$$

$$E_s = -N_s \frac{d\phi}{dt} = \mu_0 \cdot \frac{N_p N_s}{l} \cdot A \cdot \frac{dI}{dt}$$

$$-M \frac{dI}{dt} = -\mu_0 \cdot \frac{N_p N_s}{l} \cdot A \cdot \frac{dI}{dt}$$

$$M = \mu_0 \cdot \frac{N_p N_s}{l} \cdot A$$

Energi Didalam Induktor.

Ketika sebuah induktor dihubungkan ke baterai, arus mengalir dalam induktor, dan usaha (kerja) dilakukan oleh baterai pada induktor. Dari definisi induktansi diri L, kita dapatkan :

$$E = -L \frac{dI}{dt}$$

GGL induksi E di antara ujung-ujung induktor menyebabkan arus mengalir melalui induktor. Daya yang dikeluarkan dalam mengalirkan arus i melalui beda potensial V ialah :

$$P = V \cdot I$$

Karena GGL induksi menghasilkan beda potensial $V = E$ di antara ujung-ujung induktor, daya sesaat yang dihasilkan dalam induktor oleh baterai ialah :

$$P = i \cdot E$$

$$P = i \cdot L \frac{dI}{dt}$$

Untuk menentukan total kerja W yang dikerjakan baterai pada induktor, yaitu :

$$P = \frac{dW}{dt}$$

$$i.L \frac{dI}{dt} = \frac{dW}{dt}$$

$$dW = i . L . di$$

ruas kanan dan kiri masing-masing diintegrasikan :

$$\int_0^W dW = L \int_0^i i . di$$

$$W = \frac{1}{2} L . i^2$$

=====000=====

LATIHAN SOAL

1. Sepotong kawat panjangnya 15 cm. Dengan posisi vertikal kawat ini digerakkan pada bidang yang tegak lurus garis-garis gaya suatu medan magnet serba sama. Induksi magnetik medan magnet 4.10^{-2} W/m^2 , kecepatan kawat 50 cm/det.
 - a. Berapa flux magnetik yang dipotong kawat dalam 4 detik. ($1,2.10^{-2} \text{ W}$)
 - b. Berapa besar GGL induksi ? (0,003 volt)
 - c. Berapa besar kuat arusnya jika hambatan kawat 0,03 ohm. (0,1 A)
 - d. Berapa gaya Lorentz yang bekerja. (6.10^{-4} N)
 - e. Berapa energi listrik yang terjadi dalam 4 detik. ($1,2.10^{-3} \text{ J}$)
 - f. Berapa usaha yang dipakai untuk mengatasi gaya Lorentz. ($1,2.10^{-3} \text{ J}$)
2. Kumparan dengan 50 lilitan bergerak selama 0,02 detik dari medan yang berkekuatan 34.10^{-5} weber ke medan yang berkekuatan 4.10^{-5} weber. Hitung GGL induksi rata-rata. (0,75 V)
3. Batang tembaga yang panjangnya 40 cm diletakkan tegak lurus terhadap magnet-magnet dengan rapat fluks $0,8 \text{ weber/m}^2$ dan bergerak ke sudur kanan medan magnet tersebut dengan kecepatan 50 cm/det. Hitung GGL induksi pada kawat tembaga. (0,16 volt)
4. Sebuah penghantar lurus panjangnya 10 cm digerakkan dalam medan magnet yang rapat fluksnya $10^{-4} \text{ weber/m}^2$. Jika besarnya hambatan batang 0,1 ohm, maka tentukan besar arus induksi yang mengalir ? kecepatan gerak kawat = 10 m/s (10-3 A)
5. Batang tembaga yang panjangnya 5 cm diletakkan pada medan magnet yang rapat fluksnya $0,4 \text{ weber/m}^2$ digerakkan dengan kecepatan v m/s dengan membentuk sudut 30° terhadap fluks dan menimbulkan GGL induksi sebesar 0,005 volt. Tentukan kecepatan gerak batang tembaga tersebut. (50 cm/s)

06. Kawat ABCD diletakkan dalam medan magnet hingga bidangnya tegak lurus pada fluks. Ujung kawat PQ dapat digeser sepanjang AB dan DC dengan kecepatan 20 cm/s. (gesekan diabaikan) Panjang PQ = 10 cm, rapat garis gayanya $2 \cdot 10^{-2}$ weber/m² dan hambatan dalam rangkaian 4 ohm. Tentukan :
- Gaya yang menggerakkan kawat. ($2 \cdot 10^{-7}$ N)
 - Usaha yang dikerjakan tiap detik. ($4 \cdot 10^{-8}$ J)
07. Laju perubahan arus perdetik pada suatu rangkaian adalah 20 ampere/detik yang mengakibatkan timbulnya GGL induksi diri 60 volt. Tentukan induktansi diri dari rangkaian tersebut. (3 henry)
08. Sebuah induktor berbentuk toroid dengan teras besi. Diameter toroid adalah 5 cm dan penampang teras luasnya 1 cm². Permeabilitas relatif besi 500 tentukan induktansi dirinya jika toroid tersebut mempunyai 1000 lilitan. (0,4 henry)
09. Laju perubahan kuat arus terhadap waktu dalam kumparan primer adalah 5 ampere/detik yang menyebabkan timbulnya laju perubahan fluks per detik sebesar 10 weber/detik dalam kumparan sekunder yang mempunyai 2000 lilitan. Tentukan induktansi mutualnya. (4000 henry)
10. Sebuah induktor terdiri dari 600 lilitan arus sebesar 0,1 A selama 1 menit. Bila GGL induksi diri yang timbul 4 volt, berapakah :
- koefisien induksi diri induktor tersebut (2400 H)
 - energi yang tersimpan dalam induktor tersebut. (12 J)
 - Berapa perubahan fluksnya selama itu ? (0,4 weber)
11. Arus sebesar 0,2 ampere mengalir dalam kumparan yang mempunyai 400 lilitan menyebabkan timbulnya fluks sebesar 10^{-4} weber, tentukanlah :
- Emf-induksi rata-rata pada kumparan bila arus diputus setelah 0,08 detik. (0,5 volt)
- Induktansi kumparan. (0,2 H)
- Energi yang tersimpan dalam magnet (0,004 J)
12. Induktansi diri suatu kumparan adalah 50 milli henry. Kumparan terdiri dari 100 lilitan. Hitung fluks yang melalui kumparan tersebut apabila arus yang melalui kumparan 10 milli ampere. ($5 \cdot 10^{-6}$ weber)
13. Suatu kumparan persegi yang rata dengan 10 lilitan mempunyai sisi-sisi dengan panjang 12 cm. Kumparan itu berputar dalam medan magnet dengan kepadatan fluks 0,025 weber/m². Berapakah kecepatan sudut dari kumparan jika GGL maksimum yang diinduksikan 20 mV. (0,885 putaran/detik)
14. Suatu kumparan dengan 5 lilitan mempunyai ukuran 9 cm x 7 cm berputar dengan kecepatan 15 rad/s dalam medan magnet seragam yang kepadatan fluksnya 0,8 weber/s.

Berapa ggl mksimum yang diinduksikan (0,378 volt)

15. Kumparan yang berbentuk persegi panjang mempunyai 300 lilitan. Panjangnya 25 cm dan lebarnya 15 cm. Kumparan ini kemudian berputar dalam medan magnet serba sama yang induksi magnetiknya 0,365 tesla. Jika kecepatan sudutnya 1.800 rpm. Tentukanlah :

a. Berapa ggl maksimum (773,6 volt.)

b. Berapa ggl pada saat bidang kumparan membentuk sudut 60° dengan arah induksi magnetik. (386,8 volt)

16. Transformator step-up mempunyai tegangan primer 120 volt. Untuk menghasilkan tegangan 1800 volt harus berapa lilitankah kumparan sekundernya jika kumparan primer terdiri dari 100 lilitan (1500 lilitan).

17. Sebuah transformator dihubungkan pada tegangan 120 volt dan menghasilkan 2 A pada tegangan 900 volt. Berapa arus yang didapat dari alat tersebut jika tidak ada energi yang terbuang. (15 amper)

18. Step-down transformator pada tegangan 2,5 KV diberi beban 80 amper. Perbandingan lilitan sekunder dan primer 1 : 20. Jika tak ada energi yang hilang maka tentukan :

a. ggl sekunder (125 volt)

b. arus primer (4 A)

c. daya out-put (10 KW)

19. Sebuah transformator step-down mempunyai kumparan primer dengan 110 lilitan, diberi tegangan masukan sebesar 220 volt dan tegangan keluaran terdiri dari 3 fasa, masing-masing 12 volt, 9 volt dan 3 volt. Berapa jumlah lilitan sekunder pada tiap fasa ? (6 lilitan, 4,5 lilitan, 1,5 lilitan)

20. Sebuah transformator step-up mempunyai perbandingan lilitan 1 : 4 bila ggl primer 110 volt dan arus input = 2 A maka tentukan besar arus output (arus sekunder) Jika tegangan out put yang dikehendaki 220 volt. Efisiensi trafo 80 % (0,8 A)

21. Sebuah trafo mempunyai kumparan primer dengan ggl 120 V, GGL induksi sekunder yang dihasilkan 3000 volt. Jika arus input 2 A dan arus output 0,06 A. Maka tentukan efisiensi trafo tersebut ? (75 %)

22. Ditentukan dua kumparan yang masing-masing dililitkan pada sebuah besi berbentuk U. Masing-masing kumparan mempunyai induktansi diri L_1 dan L_2 namyak lilitannya N_1 dan N_2 dan arus masukannya i_1 dan arus keluarannya i_2 dan masing-masing menghasilkan fluks ϕ_1 dan ϕ_2

Induktansi timbal baliknya adalah M Buktikan bahwa $M = \sqrt{L_1 L_2}$

===SELAMAT MENCOBA, SEMOGA BERHASIL===

RANGKAIAN ARUS BOLAK-BALIK.

Dalam pembahasan yang terdahulu telah diketahui bahwa generator arus bolak-balik sebagai sumber tenaga listrik yang mempunyai GGL :

$$E = E_{\max} \sin \omega t$$

Persamaan di atas jelas-jelas menunjukkan bahwa GGL arus bolak-balik berubah secara sinusoidal. Suatu sifat yang menjadi ciri khas arus bolak-balik.

Dalam menyatakan harga tegangan AC ada beberapa besaran yang digunakan, yaitu :

1. Tegangan sesaat : Yaitu tegangan pada suatu saat t yang dapat dihitung dari persamaan $E = E_{\max} \sin 2\pi ft$ jika kita tahu E_{\max} , f dan t .
2. Amplitudo tegangan E_{\max} : Yaitu harga maksimum tegangan. Dalam persamaan : $E = E_{\max} \sin 2\pi ft$, amplitudo tegangan adalah E_{\max} .
3. Tegangan puncak-kepuncak (Peak-to-peak) yang dinyatakan dengan E_{pp} ialah beda antara tegangan minimum dan tegangan maksimum. Jadi $E_{pp} = 2 E_{\max}$.
4. Tegangan rata-rata (Average Value) dan Arua rata-rata

$$E_{rat} = \frac{1}{T} \int_0^T E_t dt$$

$$i_{rat} = \frac{1}{T} \int_0^T i_t dt$$

5. Tegangan efektif atau tegangan rms (root-mean-square) yaitu harga tegangan yang dapat diamati langsung dalam skala alat ukurnya.

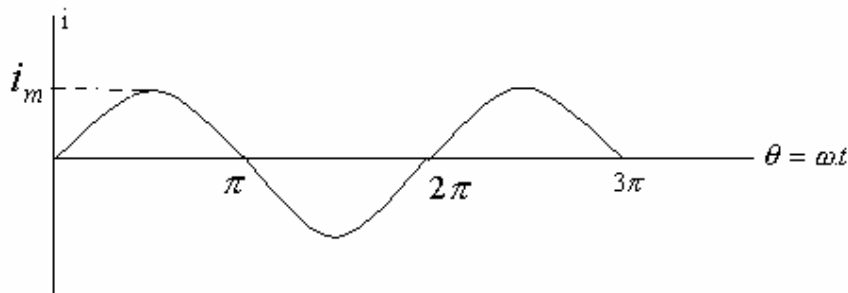
$$E_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T E_t^2 dt}$$

$$i_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i_t^2 dt}$$

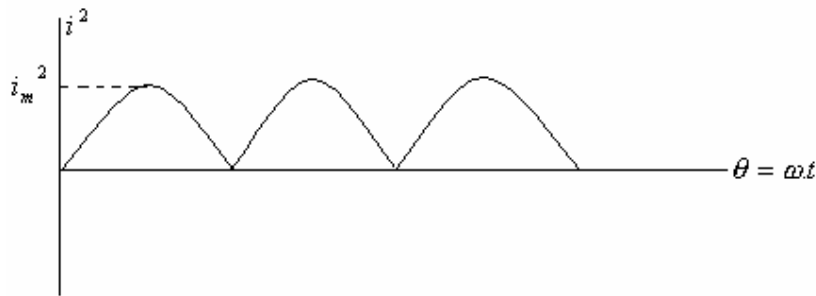
$$E_{eff} = \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}}$$

$$i_{eff} = \frac{i_{\max}}{\sqrt{2}}$$

Gambar arus dan tegangan bolak-balik.



Gambar arti arus dan tegangan yang dikuadratkan.



Arus dan tegangan sinusoidal.

Dalam generator, kumparan persegi panjang yang diputar dalam medan magnetik akan membangkitkan Gaya Gerak Listrik (GGL) sebesar :

$$E = E_m \sin \omega t$$

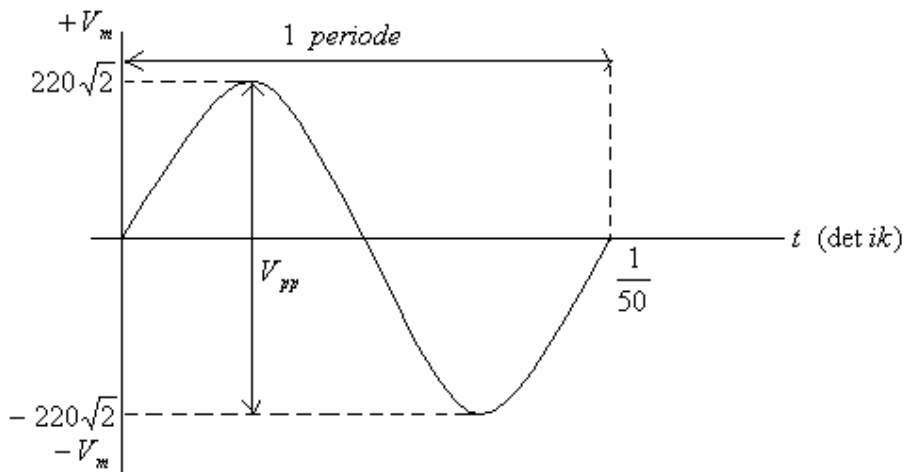
Dengan demikian bentuk arus dan tegangan bolak-balik seperti persamaan di atas yaitu :

$$i = I_m \sin \omega t$$

$$v = v_m \sin \omega t$$

i_m dan v_m adalah arus maksimum dan tegangan maksimum.

Bentuk kurva yang dihasilkan persamaan ini dapat kita lihat di layar Osiloskop. Bentuk kurva ini disebut bentuk sinusoidal gambar.



Harga Efektif Arus Bolak-balik.

Dalam rangkaian arus bolak-balik, baik tegangan maupun kuat arusnya berubah-ubah secara periodik. Oleh sebab itu untuk penggunaan yang praktis diperlukan besaran listrik bolak-balik yang tetap, yaitu harga efektif.

Harga efektif arus bolak-balik ialah harga arus bolak-balik yang dapat menghasilkan panas yang sama dalam penghantar yang sama dan dalam waktu yang seperti arus searah.

Ternyata besar kuat arus dan tegangan efektifnya masing-masing :

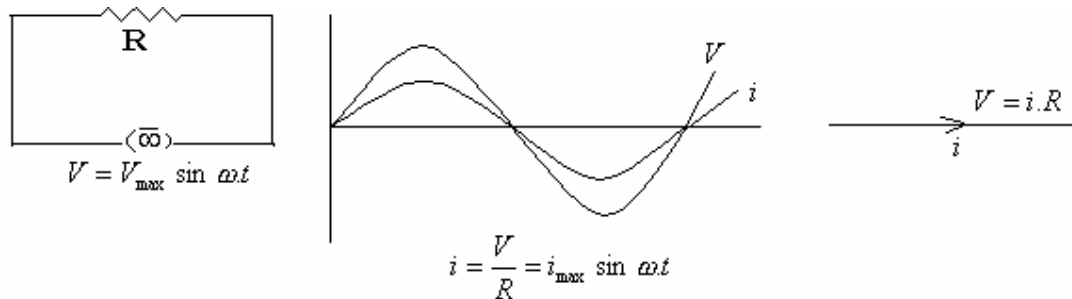
$$I_{\text{eff}} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T (I_m \sin \omega t)^2 dt \right]^{1/2}$$

$$I_{\text{ef}} = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}} = 0,707 I_{\text{max}}$$

$$V_{\text{ef}} = \frac{V_{\text{max}}}{\sqrt{2}} = 0,707 V_{\text{max}}$$

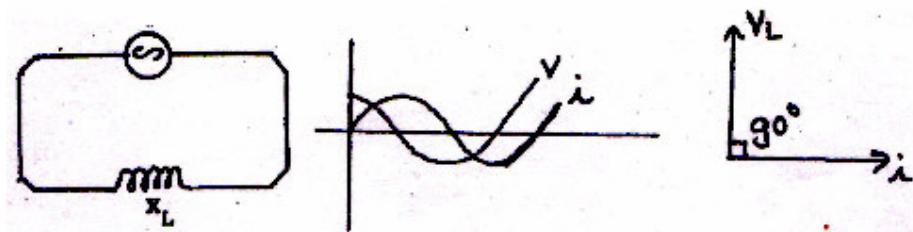
Kuat arus dan tegangan yang terukur oleh alat ukur listrik menyatakan harga efektifnya.

Resistor dalam rangkaian arus bolak-balik.



Bila hambatan murni sebesar R berada dalam rangkaian arus bolak-balik, besar tegangan pada hambatan berubah-ubah secara sinusoidal, demikian juga kuat arusnya. Antara kuat arus dan tegangan tidak ada perbedaan fase, artinya pada saat tegangan maksimum, kuat arusnya mencapai harga maksimum pula.

Kumparan induktif dalam rangkaian arus bolak-balik.



Andaikan kuat arus yang melewati kumparan adalah $I = I_{\text{max}} \sin \omega t$. Karena hambatan kumparan diabaikan $I.R = 0$

Besar GGL induksi yang terjadi pada kumparan $E_1 = -L \frac{dI}{dt}$

Bila tegangan antara AB adalah V, kuat arus akan mengalir bila :

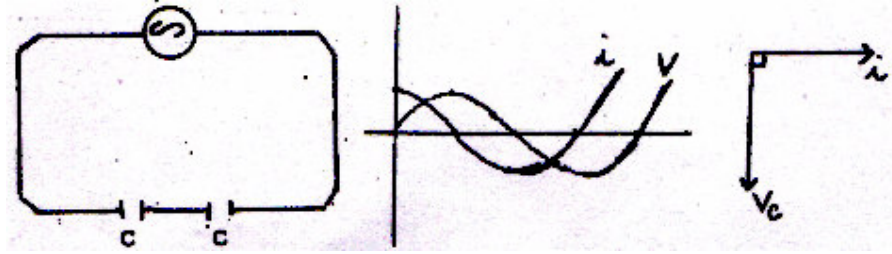
$$V = L \frac{dI}{dt}$$

$$V = L \frac{d(I_{\text{max}} \cdot \sin \omega t)}{dt}$$

$$V = \omega L I_{\text{max}} \cdot \cos \omega t$$

Jadi antara tegangan pada kumparan dengan kuat arusnya terdapat perbedaan fase $\frac{\pi}{2}$, dalam hal ini tegangan mendahului kuat arus.

Capasitor Dalam Rangkaian Arus Bolak-balik.



Andaikan tegangan antara keping-keping capasitor oada suatu saat $V = V_{\max} \sin \omega t$, muatan capasitor saat itu :

$$Q = C.V$$

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{d(C.V_{\max} \sin \omega t)}{dt}$$

$$I = \omega C.V_{\max} \cos \omega t$$

Jadi antara tegangan dan kuat arus terdapat perbedaan fase $\frac{\pi}{2}$ dalam hal ini kuat arus lebih dahulu $\frac{\pi}{2}$ daripada tegangan.

Reaktansi.

Disamping resistor, kumparan induktif dan capasitor merupakan hambatan bagi arus bolak-balik. Untuk membedakan hambatan kumparan induktif dan capasitor dari hambatan resistor, maka hambatan kumparan induktif disebut Reaktansi Induktif dan hambatan capasitor disebut Reaktansi Capasitif.

$$\text{Reaktansi} = \frac{\text{Amplitudo tegangan L atau C}}{\text{Kuat arus maksimum yang mengalir}}$$

a. Reaktansi Induktif (X_L)

$$X_L = \frac{V_{\max}}{I_{\max}} = \frac{\omega L I_{\max}}{I_{\max}}$$

$$X_L = \omega L$$

X_L dalam ohm, L dalam Henry.

b. Reaktansi Capasitif (X_C)

$$X_C = \frac{V_{\max}}{I_{\max}} = \frac{V_{\max}}{\omega C V_{\max}} = \frac{1}{\omega C}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

X_C dalam ohm, C dalam Farad.

Impedansi (Z)

Sebuah penghantar dalam rangkaian arus bolak-balik memiliki hambatan, reaktansi induktif, dan reaktansi kapasitif. Untuk menyederhanakan permasalahan, kita tinjau rangkaian arus bolak-balik yang didalamnya tersusun resistor R, kumparan R, kumparan induktif L dan kapasitor C.

Menurut hukum ohm, tegangan antara ujung-ujung rangkaian :

$$V = V_R + V_L + V_C$$

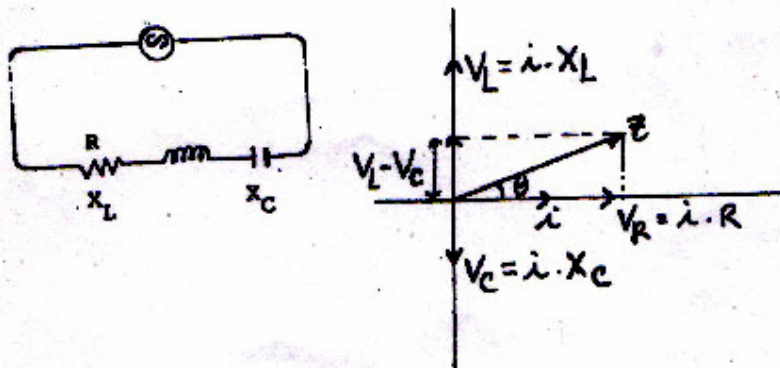
Dengan penjumlahan vektor diperoleh :

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

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

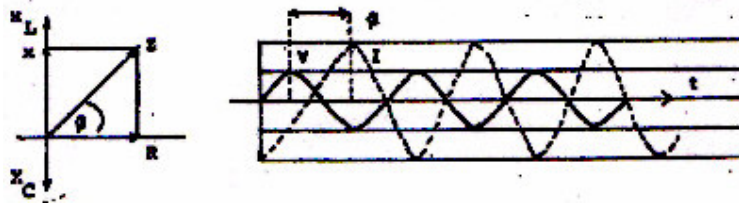
Z disebut Impedansi

$$\text{Tg } \theta = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{X_L - X_C}{R}$$

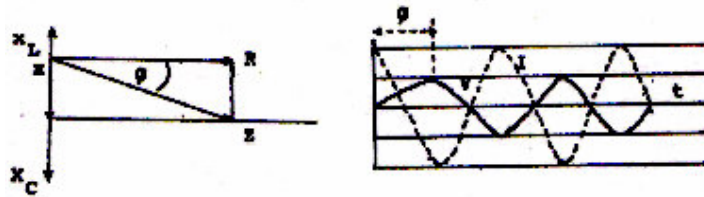


Ada tiga kemungkinan yang bersangkutan dengan rangkaian RLC seri yaitu :

1. Bila $X_L > X_C$ atau $V_L > V_C$, maka rangkaian bersifat induktif. $\text{tg } \theta$ positif, demikian juga θ positif. Ini berarti tegangan mendahului kuat arus.



2. Bila $X_L < X_C$ atau $V_L < V_C$, maka rangkaian bersifat Kapasitif. $\text{tg } \theta$ negatif, nilai θ negatif. Ini berarti kuat arus mendahului tegangan.

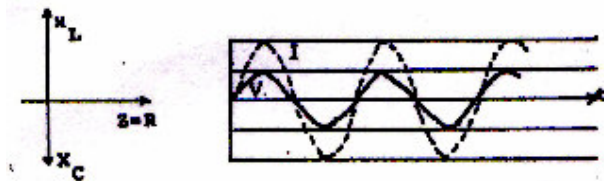


Demikian juga untuk harga $V = \sqrt{(V_L - V_C)^2 + V_R^2}$

3. Bila $X_L = X_C$ atau $V_L = V_C$, maka rangkaian bersifat resonansi. $\text{tg } \theta = 0$ dan $\theta = 0$, ini berarti tegangan dan kuat arus fasenya sama.

Resonansi

Jika tercapai keadaan yang demikian, nilai $Z = R$, amplitudo kuat arus mempunyai nilai terbesar, frekuensi arusnya disebut frekuensi resonansi seri. Besarnya frekuensi resonansi dapat dicari sebagai berikut :



$$X_L = X_C$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

$$\omega^2 = \frac{1}{LC}$$

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

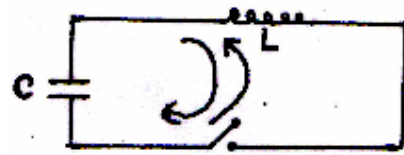
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{atau} \quad T = 2\pi\sqrt{LC}$$

f adalah frekuensi dalam cycles/det, L induktansi kumparan dalam Henry dan C kapasitas capasitor dalam Farad.

Getaran Listrik Dalam Rangkaian LC.

Getaran listrik adalah arus bolak-balik dengan frekuensi tinggi.

Getaran listrik dapat dibangkitkan dalam rangkaian LC.



Kapasitor C dimuati sampai tegangan maksimum. Bila saklar ditutup mengalir arus sesuai arah jarum jam, tegangan C turun sampai nol.

Bersamaan dengan aliran arus listrik timbul medan magnetik didalam kumparan L.

Medan magnetik lenyap seketika pada saat tegangan C sama dengan nol. Bersamaan dengan itu timbul GGL induksi, akibatnya tegangan C naik kembali secara berlawanan. Karenanya dalam rangkaian mengalir arus listrik yang arahnya berlawanan dengan arah putar jarum jam. Jadi dalam rangkaian LC timbul getaran listrik yang frekuensinya :

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

CONTOH SOAL

LATIHAN SOAL

01. Generator AC menggunakan kumparan dengan 100 lilitan dan luas permukaan 10 cm². Kumparan diputar dalam medan magnet dengan induksi magnetic 10⁻³ tesla. Kecepatan angulernya 100 π rad/s.

Tentukan :

- a. tegangan maksimumnya. (10⁻² π volt)
- b. persamaan tegangan (10⁻² π sin 100 π.t
- c. Tegangan efektifnya. (½ √2 10⁻² π volt)
- d. Frekwensinya. (50 Hz)

02. Suatu kumparan terdiri dari 10 lilitan diputar dalam medan magnet dengan frekwensi 50 Hz, sehingga menghasilkan fluks maksimum sebesar 4.10⁵ maxwell. (1 weber = 10⁸ maxwell)

Tentukan :

- a. persamaan tegangan induksi sebagai fungsi dari waktu.(4 π sin 100 π.t)
- b. Besar tegangan tersebut pada saat kumparan membuat sudut 0°, 30°, 60° dengan garis gaya medan magnet. (12,56 volt 10,8 volt, 6,28 volt)

03. Kumparan dengan induktansi 0,14 Henry dan hambatan 12 ohm dihubungkan seri pada tegangan 110 volt dengan frekwensi 25 Hz. Tentukanlah :

- a. Impedansinya. (25,1 ohm)
 - b. Arus pada kumparan. (4,38 amper)
 - c. Sudut fasenya. ($61,33^\circ$)
04. Sebuah kapasitor dihubungkan seri dengan resistor dari 30 ohm dan dipasang pada tegangan AC dari 220 volt. Jika reaktansi kapasitor 40 ohm, maka tentukan :
- a. arus pada rangkaian. (4,4 A)
 - b. Sudut fase antara arus dan tegangan dalam rangkaian. (53°)
05. Sebuah kumparan mempunyai induktansi diri 5 Henry, dipasang pada arus bolak-balik yang berfrekwensi 50 Hz. Tentukan reaktansi induktifnya. (1570 ohm)
06. Sebuah kapasitor dipasang pada arus bolak-balik dari generator yang rotornya melakukan putaran dengan kecepatan anguler 80 rad/s. Tentukan kapasitas kapasitor tersebut, jika reaktansi kapasitifnya 25 ohm. ($5 \cdot 10^{-4}$ farad)
07. Suatu rangkaian R-L dihubungkan pada tegangan AC dari 350 volt. Bila diketahui besar hambatan murni = 30 ohm dan reaktansi induktif = 40 ohm, dan arus mempunyai frekwensi $200/\pi$ Hz, maka tentukan :
- a. Impedansinya. (50 ohm)
 - b. Arus pada inductor. (7 A)
 - c. Beda potensial antara ujung-ujung resistor. (210 volt)
 - d. Beda potensial antara ujung-ujung inductor. (280 vlt)
 - e. Banyak tenaga yang dipakai oleh rangkaian. (1470 watt)
 - f. Induktansi daripada inductor. (0,1 henry)
08. Kumparan dengan induktansi diri 0,5 henry dipasang pada sumber tegangan bolak-balik yang berfrekwensi 50 Hz dan mempunyai tegangan maksimum 157 volt. Tentukan:
- a. reaktansi induktifnya. (157 ohm)
 - b. Arus maksimum yang melalui kumparan tersebut,. (1 A)
 - c. Tuliskan persamaan arusnya. ($I = \sin(100 \pi.t - \frac{1}{2} \pi)$ Amper)
09. Sebuah kapasitor dengan $40 \mu\text{F}$ dipasang pada sumber tegangan bolak-balik dengan kecepatan anguler 250 rad/s dan bertegangan maksimum 80 volt. Tentukan :
- a. Reaktansi kapasitifnya. (100 ohm)
 - b. Arus maksimum yang melalui kapasitor. (0,8 A)
 - c. Persamaan arusnya. ($I = 0,8 \sin(250t + \frac{1}{2} \pi)$ amper)
10. Dari suatu rangkaian R-L-C dihubungkan dengan sumber tegangan arus bolak-balik dari 120 volt dan berfrekwensi 50 Hz. Jika kuat arus yang ditimbulkan adalah 2,4 amper dan besarnya hambatan murni 30 ohm, maka tentukanlah :
- a. impedansinya. (50 ohm)
 - b. Induktansi diri dari induktor, jika reaktansi kapasitifnya 20 ohm. (0,19 H)

11. Sebuah kumparan jika dihubungkan pada sumber tegangan arus searah dari 120 volt menghasilkan kuat arus 4 ampere. Tetapi jika dihubungkan dengan sumber tegangan arus bolak-balik dari 120 volt, maka kuat arusnya yang timbul 2,4 ampere. Tentukanlah :
- reaktansi induktifnya. (40 ohm)
 - Sudut fase (53°)
 - Daya listriknya. (172,8 watt)
12. Ditentukan resistor dari 250 ohm, inductor dengan induktansi 0,5 henry dan kapasitor yang kapasitansinya $5 \mu\text{F}$ dirangai seri. Jika kecepatan angulernya 200 rad/s, maka tentukan :
- sifat rangkaian. (kapasitif)
 - Impedansi rangkaian (934,08 ohm)
 - Beda sudut fase antara V dan I (tegangan tertinggal $74^\circ 28'$)
 - Induktansi harus diganti berapa agar terjadi resonansi. (5 henry)
13. Suatu rangkaian R-L memberikan kuat arus 4 ampere jika dipasang pada sumber tegangan arus searah dari 160 volt, apabila rangkaian tersebut dipasang pada sumber tegangan arus bolak-balik dari 200 volt, maka kuat arus yang ditimbulkan akan tetap sama besar. Tentukan impedansi rangkaian. (50 ohm)
14. Sebuah rangkaian L-C beresonansi pada 60 Hz. Jika kapasitas kapasitornya $10 \mu\text{F}$ dan resistornya 100 ohm, maka tentukan harga induktansinya. (0,704 henry)
15. Suatu kumparan mempunyai hambatan 20 ohm dengan induktansi 0,005 H dipasang pada sumber tegangan arus bolak-balik yang berkecepatan anguler 3000 rad/s dengan tegangan jepit 150 volt, maka tentukan :
- kuat arus dalam rangkaian. (6 A)
 - Factor daya. (0,8)
 - Daya semu (900 watt)
 - Daya sebenarnya. (720 watt)

=====o0o=====