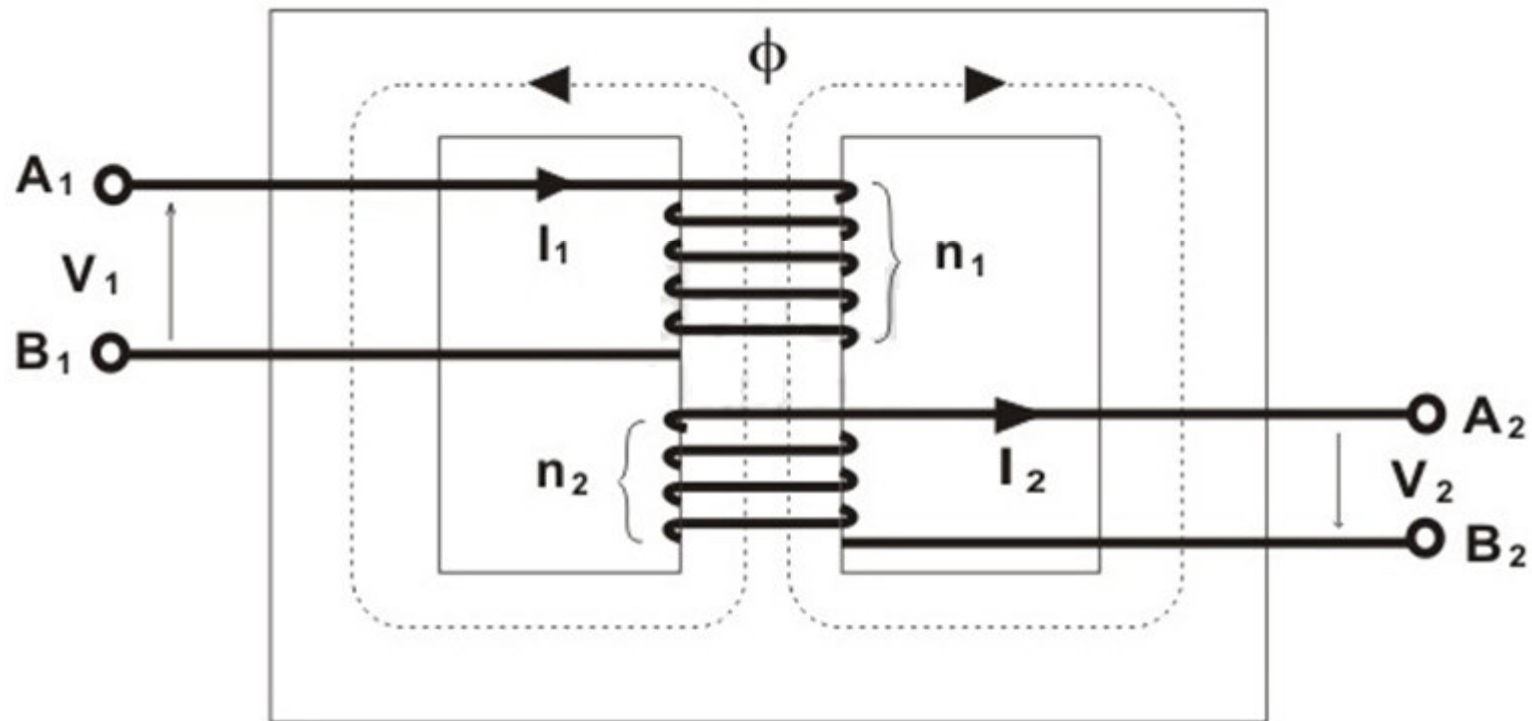


# Perancangan Mesin Listrik

Perancangan Transformator

# Perancangan Transformator

Sebuah transformator tipe cangkang memiliki konstruksi sebagai berikut



# Perancangan Transformator

## A. Besaran Utama

Pada inti besi dililitkan gulungan primer sebanyak  $n_1$  , dan lilitan sekunder sebanyak  $n_2$ . Bila lilitan primer diberi tegangan  $V_1$  dengan frekuensi  $f$  , maka dalam inti besi akan timbul fluks  $\Phi$ . Hubungan antara  $V_1$  dengan  $\Phi$  untuk tegangan sinusioda adalah :

$$V_1 = 4,44 f n_1 \Phi \quad (1)$$

Dengan adanya fluks magnet  $\Phi$  , maka pada lilitan sekunder yang juga melingkupi fluks magnet tersebut akan diinduksikan tegangan sekunder sebesar

$$V_2 = 4,44 f n_2 \Phi \quad (2)$$

Dari kedua persamaan diatas kalau kita bagi maka akan kita dapatkan persamaan :

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (3)$$

# Perancangan Transformator

Jika lilitan sekunder diberi beban, sehingga akan mengalir arus sebesar  $I_2$ , maka arus ini juga akan membentuk fluks pada inti besi sebesar  $\Phi_2$ , yang akan mengubah besarnya  $\Phi$  awal. Bila hal ini terjadi, maka keseimbangan antara  $V_1$  dan  $\Phi$  pada persamaan (1) akan terganggu. Hal ini akan menyebabkan mengalirnya arus  $I_1$  pada primer, yang berakibat timbulnya fluks  $\Phi_1$ . Arus  $I_1$  nilainya sedemikian besar, sehingga  $\Phi_1$  akan meniadakan pengaruh  $\Phi_2$ , atau dengan kata lain  $\Phi_1 = \Phi_2$ .

Karena  $\Phi_1$  sebanding dengan  $n_1 I_1$ , dan  $\Phi_2$  sebanding dengan  $n_2 I_2$ , maka akan timbul persamaan :

$$n_1 I_1 = n_2 I_2 \quad \text{atau} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (4)$$

Bila tegangan sebanding dengan jumlah lilitan, maka arus akan berbanding terbalik dengan jumlah lilitan. Persamaan (3) dan (4) adalah rumus dasar transformator dalam keadaan ideal. Perkalian antara persamaan (3) dan (4) menghasilkan :

$$\frac{V_1 I_1}{V_2 I_2} = 1 \quad \text{atau} \quad V_1 I_1 = V_2 I_2 \quad (5)$$

# Perancangan Transformator

Keadaan diatas adalah keadaan pada trafo yang ideal. Trafo ideal cirinya ialah bahwa fluks  $\Phi$  yang timbul dengan sendirinya jika primer diberi tegangan  $V_1$ , dan  $I_2 = I_1 = 0$ . Jadi untuk membentuk fluks tidak diperlukan suatu arus apapun. Hal ini sebenarnya tidak mungkin terjadi, karena untuk membentuk fluks  $\Phi$  diperlukan arus yang diambil dari sumber  $V_1$  yang disebut *arus magnetisasi* atau *arus beban nol*  $I_0$ .

Nilai fluks per satuan penampang disebut *induksi magnet*  $B$ .

$$B = \frac{\phi}{A_{eff}} \quad (6)$$

Di dalam inti trafo arus yang membentuk fluks magnet adalah *arus magnetisasi* yang merupakan arus bolak-balik dengan frekuensi  $f$ . Karenanya fluks di dalamnya juga akan berubah-ubah sesuai dengan frekuensi arus tersebut. Magnetisasi inti secara bolak-balik ini akan menimbulkan kerugian yang disebut *kerugian histeresis*. Kerugian histeresis ini besarnya sebanding dengan luas jerat histeresis tersebut. Kecuali dari jenis bahan inti trafo, luas jerat histeresis juga tergantung dari besarnya Induksi maksimum  $B_m$  yang dicapai dalam magnetisasi bolak-balik itu. Kerugian histeresis ini sebanding dengan  $(B_m)^2$ . Besarnya nilai induksi maksimum  $B_m$  dapat diperoleh dari :

$$B_m = \frac{\phi}{A_{eff}} = \frac{V_1}{4,44 f n_1 A_{eff}} \quad (7)$$

# Perancangan Transformator

Dari persamaan (1) dan (7), maka daya semu trafo dapat ditulis dengan persamaan :

$$\begin{aligned} P &= V_1 I_1 \\ &= 4,44 f n_1 B_m A_{eff} I_1 \end{aligned} \quad (8)$$

Kalau penampang kawat primer adalah  $q_1$  , maka jika kita memakai besaran kerapatan arus dengan persamaan  $s = I_1 / q_1$  ( $A/mm^2$ ) , dari persamaan (8) akan kita dapatkan

$$\begin{aligned} P &= V_1 I_1 \\ &= 4,44 f n_1 B_m A_{eff} q_1 s \\ &= 4,44 f B_m s A_{eff} (n_1 q_1) \end{aligned} \quad (9)$$

Karena  $n_1 I_1 = n_2 I_2$  , maka bila kerapatan arus diambil sama dengan kerapatan arus sekunder, akan diperoleh :

$$n_1 q_1 s = n_2 q_2 s \quad \text{karena besaran } s \text{ sama maka } n_1 q_1 = n_2 q_2$$

# Perancangan Transformator

Dapat juga kita tulis  $n_1 q_1 = \frac{1}{2}(n_1 q_1 + n_2 q_2)$  sehingga kita peroleh :

$$P = 2,22 f B_m s A_{eff} (n_1 q_1 + n_2 q_2) \quad (10)$$

$(n_1 q_1 + n_2 q_2)$  adalah luas jendela inti yang ditempati oleh penampang-penampang kawat primer dan sekunder, sisanya ditempati oleh kertas isolasi dan ruang udara antar kawat.

Jika luas jendela dimisalkan  $A_{cu}$  , maka dapat ditulis :

$$(n_1 q_1 + n_2 q_2) = 100 c A_{cu} \quad (11)$$

dengan  $c$  adalah suatu konstanta yang disebut *faktor pengisian*. Faktor 100 karena  $A_{cu}$  akan dinyatakan dalam  $\text{cm}^2$ , sedangkan  $q_1$  dan  $q_2$  dinyatakan dalam  $\text{mm}^2$ .

Dari persamaan (10) dan (11) dapat kita peroleh :

$$P = 222 f B_m s c (A_{eff} A_{cu}) \quad (12)$$

# Perancangan Transformator

Bila selanjutnya  $A_{cu}$  dipilih sebanding dengan  $A_{eff}$  untuk berbagai ukuran inti, maka ada hubungan  $A_{cu} = m A_{eff}$ , sehingga dapat kita tulis :

$$P = 222 f B_m s c m A_{eff}^2$$

atau 
$$A_{eff} = \sqrt{\frac{P}{222 f B_m s c m}} = \frac{\sqrt{P}}{\sqrt{222 f B_m s c m}}$$

dengan  $A_{eff}$  : Luas penampang inti besi

$P$  : Daya trafo

$f$  : frekuensi ( di Indonesia 50 Hz )

$B_m$  : Induksi maksimal ( 0,9 ... 1,1 Wb/m<sup>2</sup> )

$s$  : Kerapatan arus ( 1,5 ... 5 A/mm<sup>2</sup> )

$c$  : faktor pengisian ( 0,45 ... 0,7 )

$m$  :  $A_{cu}/A_{eff}$



# Perancangan Transformator

## B. Perhitungan inti dan kawat penghantar

Untuk menentukan lebar penampang inti dipakai pendekatan

$$b = \sqrt{\frac{A_{eff}}{1,5}} \quad \text{hingga} \quad b = \sqrt{A_{eff}} \quad (14)$$

setelah diperoleh lebar penampang inti , kemudian panjang inti besi :

$$h = \frac{A_{eff}}{b} \quad (15)$$

Diameter kawat sekunder yang akan digunakan ditentukan oleh arus sekundernya :

$$I_2 = P_2 / V_2$$

penampang kawat sekunder

$$q_2 = I_2 / s \quad \text{nilai kerapatan arus } s \text{ antara } 1,5 \dots 5 \text{ A/mm}^2$$

diameter kawat sekunder

$$d_2 = \sqrt{\frac{4q_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4I_2}{s\pi}}$$

# Perancangan Transformator

jumlah lilitan sekunder per volt perlu ditambahkan 10% dari totalnya untuk memperhitungkan kerugian tegangan pada waktu trafo diberi beban sehingga persamaannya

$$\frac{n_2}{V} = \frac{110\%}{4,44B_m A_{eff}}$$

Jika kita pilih nilai  $f = 50\text{Hz}$ , dan  $B_m = 10^{-4} \text{ Wb/cm}^2$ , maka

$$\frac{n_2}{V} = \frac{1,1}{4,44(50)(10^{-4})A_{eff}} = \frac{50}{A_{eff}} \quad (17)$$

Efisiensi transformator adalah perbandingan antara daya listrik keluaran dengan daya listrik pada masukannya. Pada transformator ideal efisiensinya 100 %, tetapi pada kenyataannya efisiensi transformator tidak akan bisa mencapai 100 % , hal ini disebabkan karena sebagian energi terbuang menjadi panas atau energi bunyi.

Efisiensi trafo untuk tegangan rendah kira-kira hanya 90%, sehingga dalam perencanaan suatu trafo setelah ditentukan daya keluaran sekundernya, agar bisa mendekati maksimal dayanya, maka daya primer kita tambahkan 10% nya

$$P_1 = (100\% + 10\%) \times P_2 = 1,1 \times P_2 \quad (18)$$

# Perancangan Transformator

Sehingga arus primernya

$$I_1 = P_1 / V_1$$

Diameter kawat primer untuk kerapatan arus 3 A/mm<sup>2</sup> adalah :

$$d_1 = \sqrt{\frac{4q_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4I_1}{5\pi}} \approx 0,7\sqrt{I_1} \quad (19)$$

Jumlah lilitan per volt jika kita pilih nilai  $f = 50\text{Hz}$  , dan  $B_m = 10^{-4} \text{ Wb/cm}^2$  , maka :

$$\frac{n_1}{V} = \frac{1}{4,44(50)(10^{-4})A_{eff}} = \frac{45}{A_{eff}} \quad (20)$$

Setelah diameter kawat dan jumlah lilitan sekunder maupun primer sudah ditentukan perlu pengecekan apakah gulungan dapat masuk ke dalam jendela dengan baik. Langkah pengecekan dapat menggunakan rumus :

$$c = (n_1 q_1 + n_2 q_2) / A_{cu} \quad (21)$$

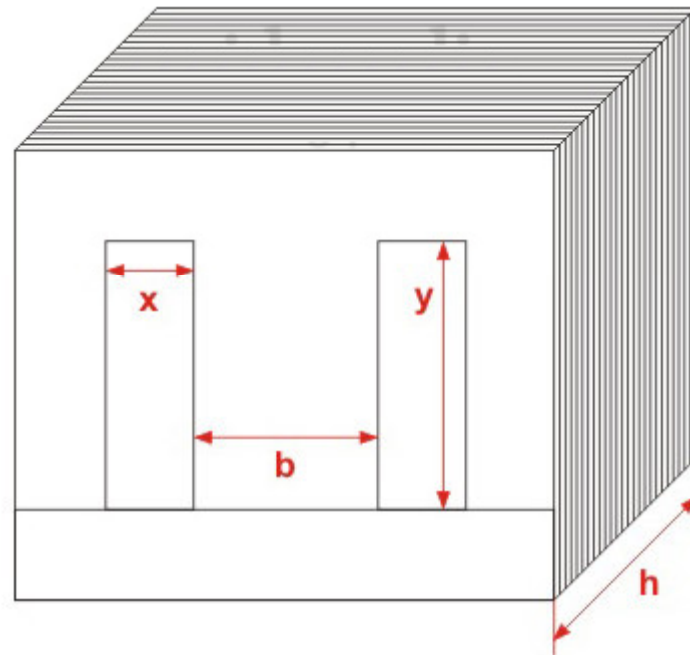
Dimana  $A_{cu} = x \cdot y$  ( dalam mm<sup>2</sup> )

Nilai c yang baik adalah antara 0,45 ... 0,7 .

$c > 0,7$  → kemungkinan gulungan kawat tidak dapat masuk kedalam jendela inti.

$c < 0,45$  → inti besi kurang dimanfaatkan dengan baik sehingga kurang ekonomis.

# Perancangan Transformator



Gambar. Bentuk jendela inti trafo

# Perancangan Transformator

Latihan.

Rancanglah sebuah trafo 220/24V 120W

Asumsi :

$$B_m = 1,1 \text{ Wb/m}^2$$

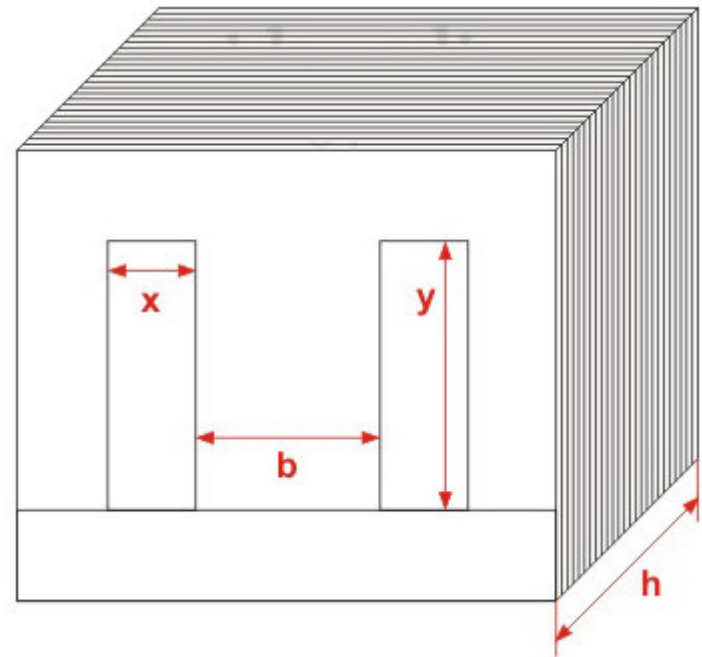
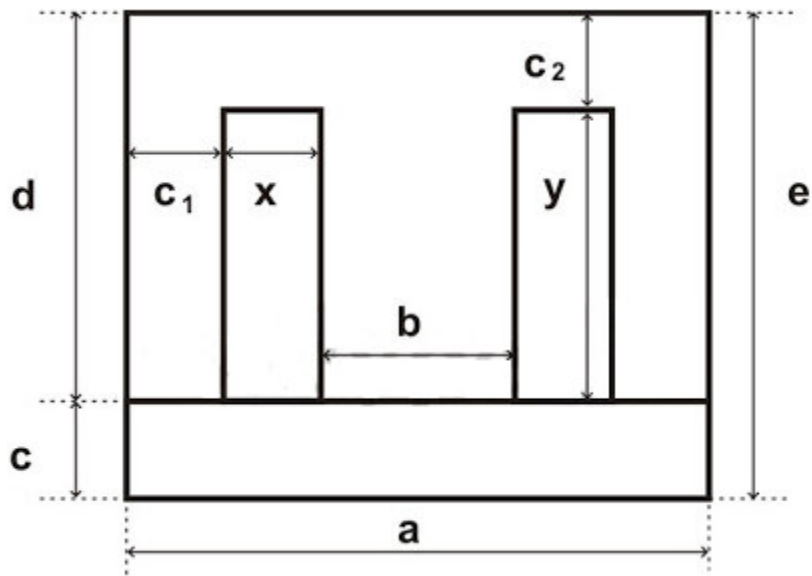
$$s = 5 \text{ A/mm}^2$$

$$c = 0,7$$

$$b = \sqrt{A_{\text{eff}}}$$

$$m = 0,6$$

# Perancangan Transformator



Gambar. Bentuk jendela inti trafo