

Transformadors

Permeten variar el voltatge i la intensitat d'un corrent altern , mantenint-ne la freqüència.

Principi de funcionament : Inducció electromagnètica . Com que el c.a és un corrent variable al connectar el primari a la xarxa de CA, s'estableix un flux variable en el circuit magnètic , que indueix una FEM en el secundari .

En buit : solament tenim $i_p = i_0 \sin \omega t \rightarrow \phi = \phi_{\max} \sin \omega t$; com que $\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt}$

$$\varepsilon_p = 4,44 \phi_{\max} f N_p$$

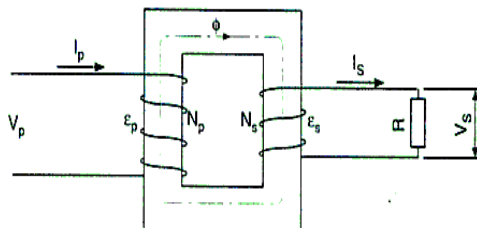
$$\varepsilon_s = 4,44 \phi_{\max} f N_s$$

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_s} = \frac{N_p}{N_s} = r_t$$

En càrrega tindrem I_p i I_s . Llavors parlarem de potència consumida i subministrada .

El transformador és una màquina que no té pèrdues mecàniques . Les pèrdues les té al circuit electromagnètic :

- P_{fe} = Pèrdues del ferro causades per histèresi i corrents de Foucault
- P_{Cu} = Pèrdues per efecte Joule en el coure dels debanats
- $P_p = P_{Fe} + P_{Cu}$



El rendiment seria : $\eta = \frac{P_u}{P_u + P_p} = \frac{P_u}{P_{abs}}$

$P_U : V_S I_S \cos \varphi$ o $P_U = \sqrt{3} V_S I_S \cos \varphi$

$P_{abs} : V_P I_P \cos \varphi$ o $P_{abs} = \sqrt{3} V_P I_P \cos \varphi$

Com que no té Pèrdues Mecàniques el rendiment del transformador és molt elevat , per damunt del 95 % . Llavors podem aproximar i establir :

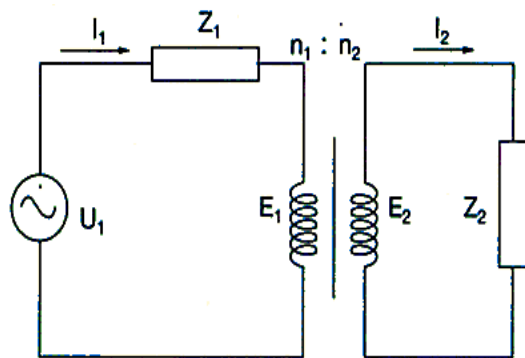
$$: P_p = P_s \rightarrow V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s \rightarrow \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s} = r_t .$$

Els transformadors es caracteritzen per :

Nombre de fases ; V_p : tensió de primari ; V_s : tensió de secundari .

P_N potència aparent subministrada al secundari en VA

Esquema Equivalent d'un Transformador Ideal



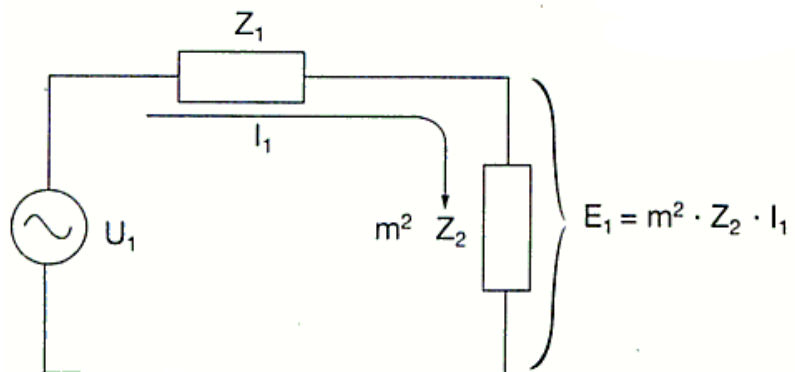
$$\frac{E_1}{E_2} = m \rightarrow E_2 = \frac{1}{m} E_1$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{m} \rightarrow I_1 = \frac{1}{m} I_2 = \frac{1}{m} \frac{U_2}{Z_2} = \frac{E_2}{m Z_2}$$

$$I_1 = \frac{E_1}{m^2 Z_2} \rightarrow E_1 = m^2 Z_2 I_1$$

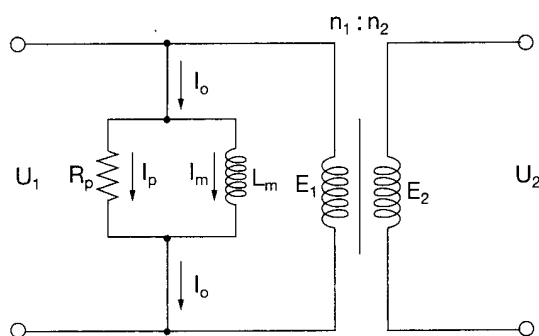
Per tant podem establir :

$$I_1 = \frac{U_1}{Z_1 + m^2 \cdot Z_2}$$



Si volem fer una aproximació a un model més real ,hem de considerar les pèrdues magnètiques , les òhmiques i flux de dispersió

Assaig en buit

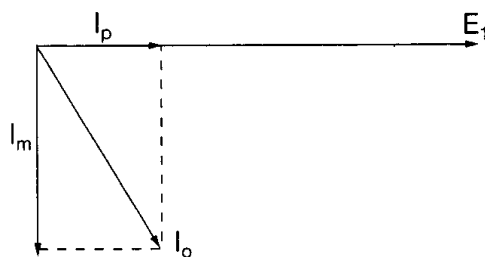


Serveix per esbrinar les pèrdues magnètiques

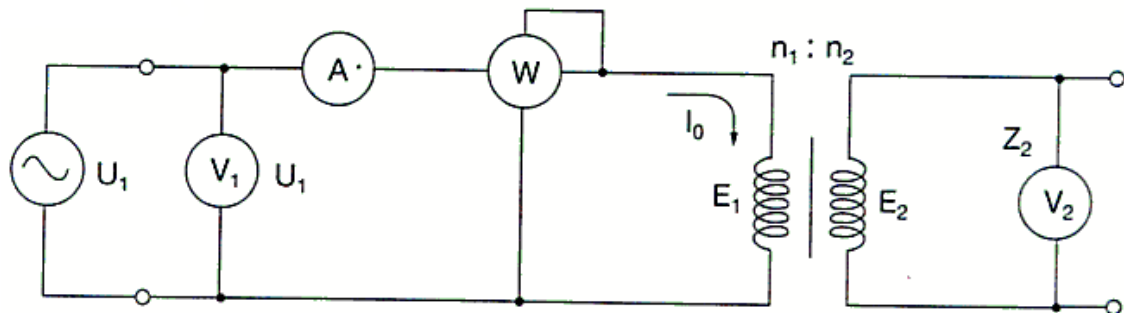
Quan al secundari no hi ha càrrega en el primari hi ha una certa intensitat I_0 intensitat de buit que permet magnetitzar el nucli i induir les fem E_1 i E_2 . La intensitat de buit I_0 té dues components : I_m i I_p

I_p : Intensitat de pèrdues

I_m : Intensitat de magnetització



Muntatge d'assaig en buit



Paràmetres :

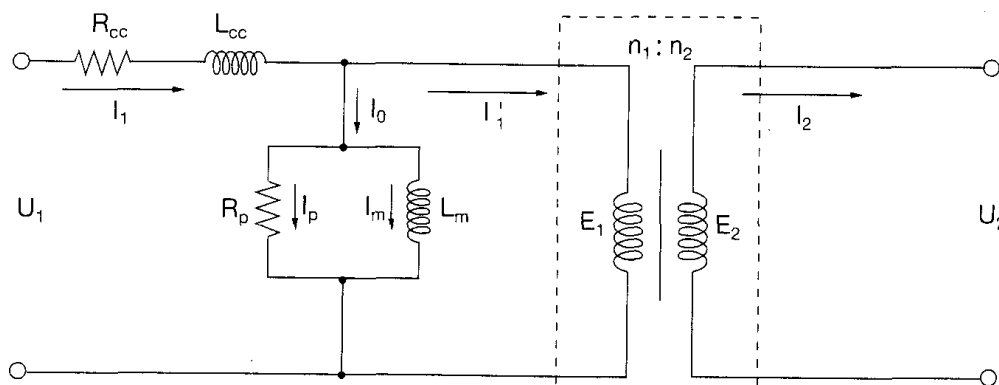
$$m = \frac{V_1}{V_2} ; \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{V_1 I_0} ; I_m = I_0 \cdot \sin \varphi_0 ; I_p = I_0 \cdot \cos \varphi_0$$

$$X_m = \frac{V_1}{I_m} \rightarrow L_m = \frac{X_m}{2 \cdot \pi \cdot f} ; R_p = \frac{V_1}{I_p} ;$$

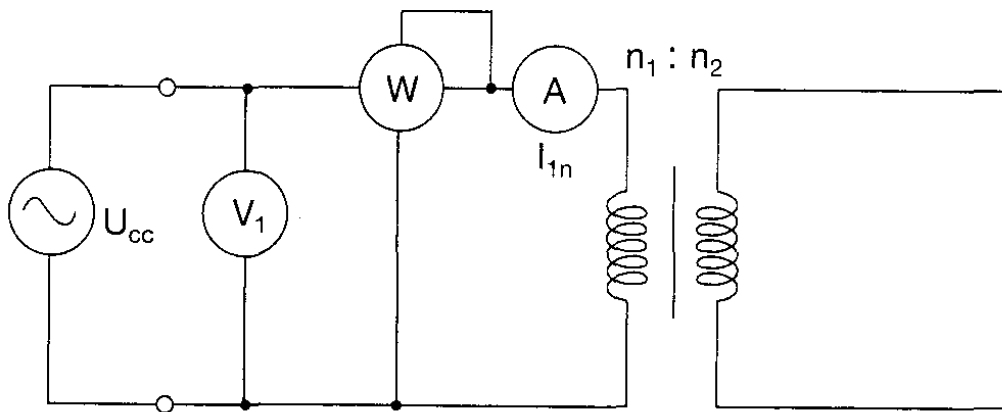
Assaig en curtcircuit

Serveix per valorar les pèrdues òhmiques i flux de dispersió

A més dels efectes en buit també s'han de considerar les pèrdues òhmiques i de flux en els debanaments primari i secundari i això ens permetrà dissenyar un model de transformador bastant aproximat a la realitat . El circuit model que té en compte aquestes pèrdues és el següent :



Per calcular els diferents paràmetres ho farem a partir d'un assaig en curtcircuit com el següent :



Al primari no hi hem de connectar la tensió nominal U_1 , (la qual cosa destruiria el transformador) sinó que hem de partir d'una tensió $U_1 = 0V$ que anirem augmentant poc a poc , al' hora que controlarem la intensitat per l' amperímetre . Quan aquesta intensitat sigui la de funcionament nominal I_{1n} tindrem el transformador en condicions d' assaig :

$$V_1 = V_{cc} ; P = P_{cc}$$

Paràmetres :

$$S_{cc} = V_{cc} \cdot I_{1n} ; \cos \varphi_{cc} = \frac{P_{cc}}{S_{cc}} ; Q_{cc} = P_{cc} \cdot \tan \varphi_{cc} ;$$

$$R_{cc} = \frac{P_{cc}}{I_{1n}^2} ; X_{cc} = \frac{Q_{cc}}{I_{1n}^2} ; L_{cc} = \frac{X_{cc}}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$Z_{cc} = \sqrt{R_{cc}^2 + X_{cc}^2} ; \cos \varphi_{cc} = \frac{R_{cc}}{Z_{cc}}$$

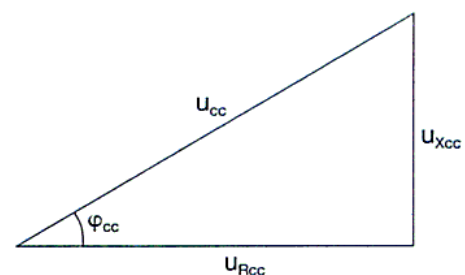
$$V_{cc} \text{ té dues components : } V_{Rcc} = R_{cc} \cdot I_{1n} \quad \text{i} \quad V_{Xcc} = X_{cc} \cdot I_{1n}$$

$$V_{Rcc} = V_{cc} \cdot \cos \varphi_{cc}$$

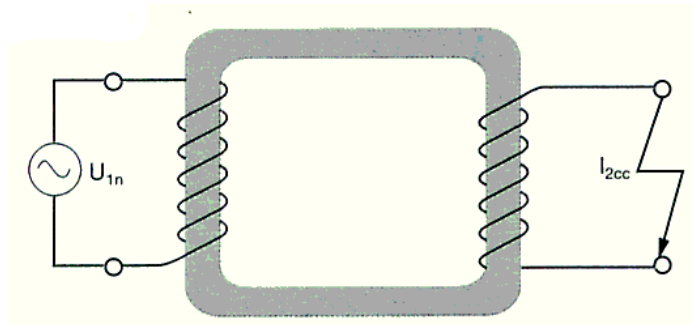
$$V_{Xcc} = V_{cc} \cdot \sin \varphi_{cc}$$

A la pràctica el valor que sol estar incorporat a la placa de caràctístiques del transformador és :

$$u_{cc} = \frac{V_{cc} \cdot 100}{V_{1n}}$$



Si volem esbrinar el corrent de **curtcircuit accidental** :



$$I_{1cc} = \frac{V_{1n}}{Z_{cc}}$$

$$Z_{cc} = \frac{V_{cc}}{I_{1n}} = \frac{u_{cc} \cdot V_{1n}}{100 \cdot I_{1n}}$$

per tant :
$$I_{1cc} = \frac{100 \cdot I_{1n}}{u_{cc}}$$

caiguda de tensió : $E_2 - U_2$

o també sol expressar-se : $\varepsilon = \frac{(E_2 - U_2)}{E_2} \cdot 100$ (factor de regulació)

$$\varepsilon = u_{Rcc} \cdot \cos \varphi + u_{Xcc} \cdot \sin \varphi$$

Exercicis :

1. Un transformador monofàsic ideal disposa de 1000 espises en el primari i 109 espises al secundari ,si es conecta a una xarxa de 220 V i 50 Hz , calcula :

- $\phi_{\text{màxim}}$ que circula pel circuit magnètic
- FEM induïda en el secundari

2. Calcula el rendiment d'un transformador trifàsic que alimenta una càrrega de 1520 A amb un fdp = 0,8 a 380 V i 50 Hz, si les pèrdues del ferro són de 4000 W i les del coure de 16000 W .

3. Calcula I_P , I_S i N_P d'un transformador monofàsic ideal de característiques $S_n = 100 \text{ kVA}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $N_S = 200$ espises , $10.000 \text{ V} / 400 \text{ V}$

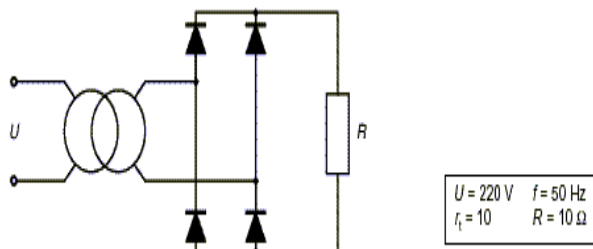
4. Calcula I_P , I_S , N_S i ϕ_{max} d'un transformador ideal de $P = 2,2 \text{ kW}$; $\cos \varphi = 0,8$; 50 Hz ; $220 \text{ V} / 127 \text{ V}$, $N_P = 450$.

5. Calcula el rendiment d'un transformador monofàsic que connectat a una xarxa de 380 V i 50 Hz consumeix una intensitat de 26 A amb un fdp = 0,8 , quan alimenta una càrrega de 40 A amb un fdp = 0,82 a 220 V .

6. Un transformador ideal alimenta un consum pel qual circulen 10 A a 220 V. El transformador està connectat a una xarxa de 380 V. Quin corrent absorbeix el transformador de la xarxa?

- a) 5,789 A
- b) 10 A
- c) 17,32 A
- d) 30 A

7. Per al circuit de la figura, la relació de transformació del transformador és $r_t = 10$. Considerant els díodes ideals (caiguda de tensió nul·la):



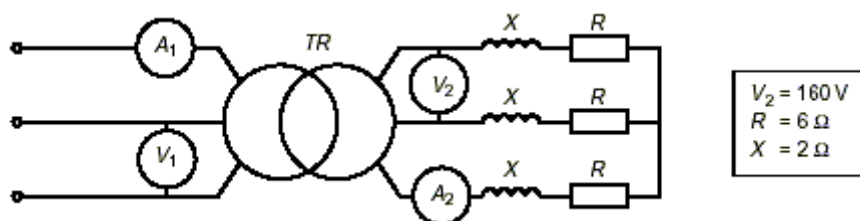
- a) Dibuixeu la forma d'ona de la tensió entre els extrems de la resistència indicant-ne els valors del màxim i del període.
- b) Dibuixeu la forma d'ona del corrent de la resistència indicant-ne el valor màxim.

Si s'admet que els díodes tenen una caiguda de tensió directa constant (independent del corrent) $U_F = 1$ V:

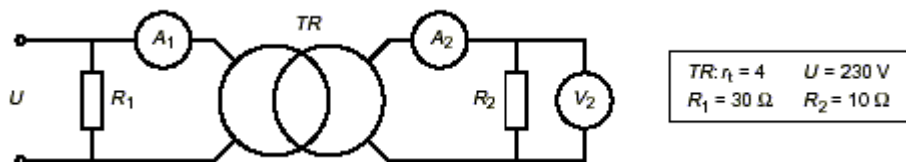
- c) Trobeu els valors de la tensió màxima i el corrent màxim en la resistència, així com la potència instantània que es dissipa en els díodes quan el corrent que hi circula és màxim.

8. El transformador de la figura té una relació de transformació trifàsica $r_{tt} = 2$ i es pot considerar ideal. El costat de les impedàncies és el de menys tensió. Determineu:

- a) La lectura de l'amperímetre A2.
- b) La lectura del voltímetre V1.
- c) La lectura de l'amperímetre A1.
- d) Les potències activa i reactiva subministrades pel transformador.



9. En el circuit de la figura, perquè la tensió de la resistència R_2 sigui menor que la de l'alimentació s'utilitza un transformador TR de relació de transformació r_t . El transformador es pot considerar ideal.



Determineu:

- La mesura del voltímetre V_2 .
- La mesura de l'amperímetre A_2 .
- La mesura de l'amperímetre A_1 .
- La potència transmesa pel transformador.
- La potència total consumida.

10. Un transformador trifàsic de columnes té els debanats de primari de $N_p = 1200$ voltes i els de secundari de $N_s = 300$ voltes. Si la connexió dels debanats és en triangle tant en el primari com en el secundari, quant val la relació de transformació r_{tt} del transformador trifàsic?

- $r_{tt} = 6,93$
- $r_{tt} = 2,31$
- $r_{tt} = 4$
- $r_{tt} = 1,33$

11. En un transformador, la relació entre les freqüències del primari i del secundari és de la manera següent:

- Tenen la mateixa freqüència.
- El primari té el doble de freqüència que el secundari.
- El primari té la meitat de freqüència que el secundari.
- No es pot parlar que hi hagi freqüència perquè tots dos treballen amb corrent continu.

12. Un transformador trifàsic té 200 espires a cada columna del primari i 400 a cada columna del secundari. Si les seves connexions són triangle en el primari i estrella en el secundari, la relació de transformació (trifàsica) del transformador és:

- 2
- $\sqrt{3}$
- $2\sqrt{3}$
- 6

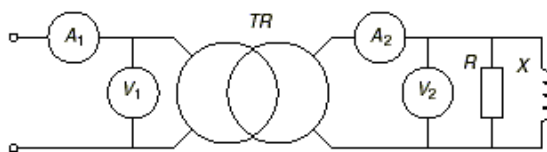
13. Un transformador trifàsic té els debanats de primari i de secundari amb el mateix nombre d'espores. Si el primari es connecta en estrella i el secundari en triangle, la relació de tensions primari/secundari és:

- a) $1/\sqrt{3}$
- b) 1
- c) $\sqrt{3}$
- d) 2

14. Un transformador monofàsic, que es pot considerar ideal, té els debanats de 600 i 60 espores respectivament. Si el debanat de 60 espores es connecta a una font de tensió de 220 V, la tensió a l'altre debanat serà:

- a) 60 V
- b) 220 V
- c) 2200 V
- d) 6000 V

15. En el circuit de la figura, el transformador *TR* es pot considerar ideal. Determineu:



$V_1 = 230 \text{ V}$ $V_2 = 48 \text{ V}$ $X = 12 \Omega$ $R = 4 \Omega$
--

- a) la relació de transformació del *TR*, r_t
- b) la mesura de l'amperímetre A_2
- c) la mesura de l'amperímetre A_1
- d) la potència reactiva Q que entra en el transformador

16. Un transformador monofàsic, que es pot considerar ideal, té un debanat de 24 espores. Es mesuren les tensions en els debanats i s'obté una tensió de 24 V en el de 24 espores i de 230 V a l'altre debanat. El nombre d'espores de l'altre debanat és

- a) 24
- b) 230
- c) 206
- d) 254

17. Un transformador trifàsic té els debanats de primari i de secundari del mateix nombre d'espores. Si tant el primari com el secundari es connecten en triangle, la relació de tensions primari/secundari és:

- a) $1/\sqrt{3}$
- b) 1
- c) $\sqrt{3}$
- d) 2

18. Un transformador reductor 220 V / 18 V té 140 espores al primari. Calcula :

- a) nombre d'espores al secundari
- b) $\phi_{\text{màxim}}$ quan connectem un generador de 220 V / 50 Hz

19. Les dades d'un transformador són $n_1=240$ espises i $n_2=40$ espises. Connectem el primari a un generador de ca $U_1=220$ V i el secundari, a una càrrega resistiva de 20Ω . Calcula :

- a) relació de transformació
- b) E_1
- c) E_2
- d) Tensió en la càrrega
- e) I_2 , I_1
- f) Potència aparent subministrada

20. El transformador reductor ideal 220 V / 127 V té una potència nominal de 1500 VA. En el secundari connectem un motor de 1 kW, 127 V i $\text{fdp}=0,8$. Verifica que el transformador admet aquesta càrrega i calcula :

- a) m
- b) I_2 , I_1

21. Un transformador reductor ideal de relació $220 / 24$ té connectat : en el primari, un generador de 140 V eficaços i resistència interna $R_1=4 \Omega$. En el secundari hi ha una càrrega $Z_2=6+8j \Omega$. Calcula :

- a) m
- b) I_1
- c) E_1
- d) E_2
- e) S_2 , P_2 i Q_2

22. A l'assaig en buit d'un transformador de 8kVA , $750 / 220$ V i 50 Hz hem obtingut els resultats següents : voltímetre $V_1=750$ V ; voltímetre $V_2=220$ V ; amperímetre $=0,8$ A ; wattímetre $=39$ W. Calcula :

- a) m
- b) $\cos \phi_0$
- c) I_m i I_p
- d) R_p i L_m

23. Realitzem un assaig en curtcircuit a un transformador monofàsic de característiques 15kVA i $1000 / 220$ V. Qual pel primari passa una intensitat nominal, cal aplicar-li una tensió de 24 V. El wattímetre indica una potència de 280 W. Determinarem :

- a) I_{1n}
- b) S_{CC} , P_{CC} , Q_{CC}
- c) R_{CC} , X_{CC}
- d) Z_{CC} i $\cos \phi_{CC}$
- e) u_{RCC} i u_{XCC}
- f) Quines són les intensitats de primari i secundari en cas de curtcircuit accidental ?

24. Un transformador monofàsic ideal amb 100 espises en el primari i 250 espises en el secundari es connecta a la xarxa elèctrica de 220 V i 50 Hz.

- Calcula el flux màxim en el nucli i les tensions induïdes en el primari i en el secundari
- Com varien els paràmetres calculats si connectem el transformador a una xarxa elèctrica que funciona a 220 V i 60 Hz ?

25. Volem dissenyar un transformador monofàsic reductor per a una relació de transformació nominal de 1000 / 127 V ; 50 Hz . El flux màxim en el nucli es determina que sigui de 20 mWb. Quantes espises calen en el primari i en el secundari ?

26. Un transformador ideal té 200 espises en el primari i 110 espises en el secundari i una secció de nucli de 80 cm^2 . Es connecta el transformador a un generador de 220 V . Calcula :

- El flux màxim i la inducció magnètica màxima en el nucli
- La fem induïda en el secundari
- Les intensitats en el debanament primari i en secundari quan connectem en el secundari una càrrega $Z = 10 + 4j \Omega$.

27. Un transformador ideal de relació de transformació 1000/ 220 V està connectat a un generador de 900 V i alimenta una càrrega $Z = 1 + 0,8j \Omega$ connectada en el secundari.

- Calcula la intensitat , la tensió i la potència activa i reactiva en la càrrega
- Considerem que el transformador està unit al generador de 900 V mitjançant una línia monofàsica de 300 m de longitud amb una resistència unitària 0,08 Ω/km . Calcula de nou els paràmetres anteriors en la càrrega

28. Hem realitzat l'assaig en buit d'un transformador i hem llegit 44 W al wattímetre ; 0,9 A a l'amperímetre i 250 V al voltímetre . Calcula la intensitat en buit , els seus components inductiu i resistiu , el seu desfasament respecte de la tensió de primari i el valor dels components simbòlics de l circuit equivalent R_p i X_m .

29. Hem realitzat els assaigs en buit i en curtcircuit en un transformador monofàsic de 10 kVA i relació de transformació 5000 / 230 V . Els resultats obtinguts són :

- Assaig en buit .Tots els valors es refereixen a mesures en secundari : 229 V ; 1,3 A ; 40 W .
 - Assaig en curtcircuit .Tots els valors es refereixen al primari : 180 V ; I nominal a plena càrrega ; 180 W.
- Determina els paràmetres elèctrics del transformador que es poden obtenir en els dos assaigs.
 - Quin és el factor de regulació a plena càrrega i $\cos \varphi = 1$?

30. La placa de característiques d'un transformador monofàsic indica : 90 kVA ; 10000/ 220 V ; 50 Hz ; $u_{cc} = 4\%$. Calcula la intensitat de corrent de curtcircuit en el secundari i la potència aparent de curtcircuit .

31. Realitzem l'assaig en curtcircuit en un transformador monofàsic de relació de transformació 15000 / 380 V i 750 kVA de potència. Quan la tensió de primari és de 230 V, pel secundari en curtcircuit ja hi passa la intensitat nominal amb un desfasament respecte a la tensió de 55° .

- Quina és la tensió (valor percentual u_{cc}) i la impedància Z_{cc} de curtcircuit?
- Quin és el valor numèric dels components resistiu i inductiu de Z_{cc} ?

32. Un transformador monofàsic de 100 kVA i relació de transformació 3000 / 380 V té una tensió de curtcircuit del 5%. Quin valor té la intensitat en el secundari en el cas de curtcircuit accidental?

33. Tenim un transformador de 90 kVA i relació de transformació 6000 / 380 V. La tensió en curtcircuit és del 6%; les pèrdues en el coure a plena càrrega són de 1600 W.

- Quina és la caiguda de tensió a plena càrrega amb $\cos\phi = 0,75$?
- Quina és la caiguda de tensió amb una càrrega del 60% i $\cos\phi = 0,9$?

34. Un transformador de 50 kVA i relació de transformació 15000 / 380 V funciona a plena càrrega amb pèrdues en el coure de 800 W i en el ferro de 300 W. Quin és el rendiment amb un factor de potència en la càrrega d'1 i de 0,75?

35. Un transformador monofàsic té una relació de transformació 4000 / 400 V i una potència nominal de 45 kVA. En un assaig en curtcircuit hem obtingut els valors següents: $R_{CC} = 1,85 \Omega$; $X_{CC} = 4,50 \Omega$; en un assaig en buit hem obtingut una intensitat $I_0 = 1,5 + 4j$ A. Connectem en el secundari una càrrega que absorbeixi la intensitat nominal amb un $\text{fdp} = 0,8$. Calcula:

- Potència activa i reactiva lliurada a la càrrega?
- Pèrdues en el coure i en el ferro
- Potència activa i reactiva absorbides en el primari
- Cdt en el transformador en les condicions de càrrega especificades
- Rendiment del transformador en les condicions de càrrega especificades.

36. Les dades d'un transformador són: monofàsic, de 100 kVA; relació de transformació 3000 / 220 V; pèrdues en el ferro de 500 W; pèrdues en el coure a plena càrrega de 1 kW; tensió de curtcircuit del 4%.

- Quines són les intensitats nominals pel primari i pel secundari?
- Calcula la cdt i el rendiment en les condicions de càrrega següents: plena càrrega i $\cos\phi = 0,75$; 70% de plena càrrega i $\cos\phi = 0,8$.

37. Les dades d'un transformador monofàsic són: 400 kVA; 15000 / 380 V; pèrdues en el ferro de 2,6 kW; pèrdues en el coure de 4,5 kW a plena càrrega; tensió de curtcircuit del 5%.

- Avalua el rendiment del transformador amb les dues càrregues següents: 250 kW i $\cos\phi = 1$; 210 kW i $\cos\phi = 0,75$.
- Calcula la cdt amb les dues càrregues esmentades.



38. Un motor asíncron trifàsic de 50 CV , un rendiment del 90 % , un $f_{dp}=0,85$ a plena càrrega i una tensió nominal d'alimentació de línia de 380 V està connectat a una xarxa elèctrica de tensió de línia de 6600 V , mitjançant un transformador trifàsic amb connexions estrella – estrella amb relació nominal 6600 / 380 (considerem-lo un transformador ideal) . Calcula les intensitats en els debanaments primari i secundari del transformador quan el motor funcioni a plena càrrega .