Apparati

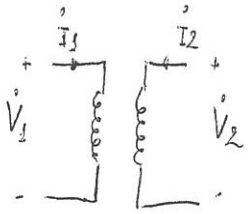
Trasformatori:

Macchina elettrica statica costituita da due circuiti elettrici nella forma di avvolgimenti mutuamente accoppiati

Utilizzo: Cambiano i valori della potenza V e I mantenendo inalterata la potenza in transito da un circuito all'altro

Materiale: . Nucleo ferromagnetico => . elevati valori di induzione
. " " di accoppiamento magnetico

. Avvolgimenti in materiale conduttore (Rame)



$\Rightarrow \dot{V}_1 \dot{I}_1^* + \dot{V}_2 \dot{I}_2^* = 0$

Parametro caratteristico: $V_1 = \frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = -\frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1}$

. K = Rapporto di trasformazione delle tensioni

Utilizz. secondari: . Adattare le caratteristiche di un dato dispositivo a quelle della linea => Realizza max. trasferimento di potenza

. Realizzare sistemi di isolamento in particolari contesti applicativi

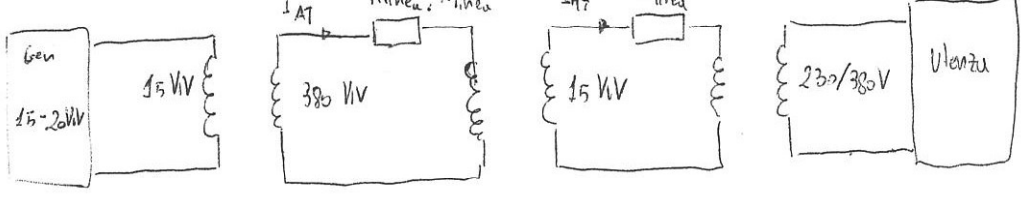
Vantaggi: . Nelle reti di distribuzione di energia elettrica => Diminuiscono le perdite per effetto Joule innalzando la tensione (minor corrente nel circuito)

=> Ad un aumento della tensione di 25 volte => Riduzione di 640 volte delle perdite

. Permette di utilizzare conduttori ca sezioni modeste

- Risparmio materiali
- Non si verifica effetto Pelle ($\delta = 1.6$ mm per Cu a 50 Hz)

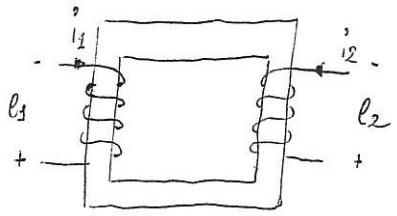
Es. linea



Trasformatore monofase ideale

Ip.

- $\mu_{nucleo} \to \infty$
- $\sigma_{nucleo} \to 0$
- $\rho_{avv} \to 0$



$\cdot e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}$

$\cdot e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$

$\Rightarrow \cdot \frac{\dot{E}_1}{\dot{E}_2} = n = \frac{N_1}{N_2}$ $\cdot \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} = \frac{1}{n}$ $\cdot \tilde{S} = 0 = \dot{V}_1 \dot{I}_1^* + \dot{V}_2 \dot{I}_2^*$ $\cdot W_m = 0$

Per analizzare un circuito con trasformatore ideale

- Riporto II sul I $\Rightarrow$ moltiplico $z_{II} \cdot n^2$, $\dot{V}_{II} \cdot n$ e $\frac{\dot{I}_{II}}{n}$
- Risolvo circuito equivalente
- Trovo i valori nel circuito equivalente
- Riporto i valori a quelli del circuito originale
  - Moltiplico correnti $\pm n$
  - Divido tensioni $\pm n$
- Le potenze rimangono invariate

Oppure posso riportare I su II

- Divido per n^2 le impedenze
- " " n le tensioni
- moltiplico per n le correnti

$\Rightarrow$ Risolvo $\Rightarrow$ torno originale $\Rightarrow$

- Moltiplico per $\pm n$ tensioni
- Divido per $\pm n$ correnti

master COPY

Trasformatore monofase reale

- $L_{avv} \neq 0 \Rightarrow$ • R_1 • R_2

- $\mu_{nucleo} \neq \infty$ – Flux disperso $\Rightarrow$ • $L_{d.sp.1}$ • $L_{d.sp.2}$ } lp. sistema lineare ($\mu_1 \dot{\Phi}_{1_{disp.}} = L_{1disp} \dot{I}_1$)

– Variazione legge d. Hopkinson $\Rightarrow$ • $L_{m.1}$

- $\sigma_{nucleo} \neq 0$ • R_m

Approssimazione a trasformatore ideale

- $\bar{Z}_m \gg n^2 \bar{Z}_{2,d} + n^2 \bar{Z}_e$ $\quad \bar{Z}_e$: Carico sul II

- $\bar{Z}_{1d} + n^2 \bar{Z}_{2d} \ll n^2 \bar{Z}_e$

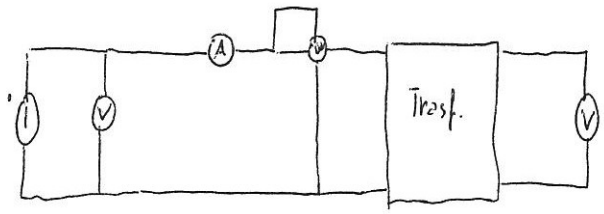
Per ragioni costruttive si assume: $\bar{Z}_{1,d} \simeq n^2 \bar{Z}_{2d}$ e $\bar{Z}_{1,c} = \bar{Z}_{1d} + n^2 \bar{Z}_{2d}$

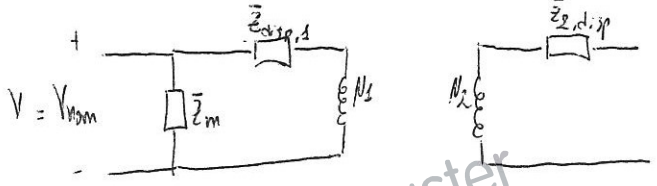
Se $\bar{Z}_{1d} \ll \bar{Z}_m \Rightarrow$ posso mettere Z_m a monte di $\bar{Z}_{1d}$

Prove a vuoto e in Corto Circuito

Dati di targa
- $V_{1,n}$: tensione nominale primaria $\Rightarrow$ tensione di progetto
- $V_{2,n}$: tensione nominale secondaria $\Rightarrow$ Ricavo $n = \frac{V_{1,n}}{V_{2,n}}$
- S_n : Potenza apparente nominale $\Rightarrow$ Ricavo $\bar{I}_{s_n} = \frac{S_n}{V_{1,n}}$

Prova a vuoto





$\Rightarrow$ Ricavo: $\cdot V_{1o} = V_{nom}$

$\cdot V_{2o}$

$\cdot P_{1o}$

$\cdot \bar{I}_{1o}$

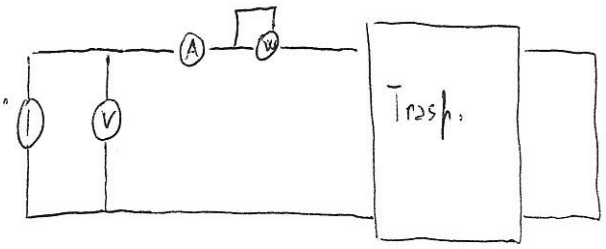
Calcolo:

$$R_m = \frac{V_{1o}^2}{P_{1o}} = \frac{1}{G_m}$$

$$B_m = \sqrt{Y_m^2 - G_m^2} \Rightarrow \bar{Z}_m = \frac{1}{G_m - j B_m}$$ $\Rightarrow$ Rappresentazione serie

$$Y_m = \frac{\bar{I}_{1o}}{V_{1o}}$$

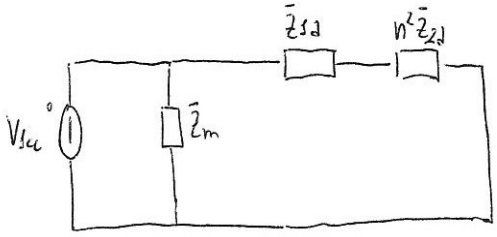
Prova in corto circuito



$\Rightarrow$ Ricavo: $\cdot \bar{I}_{1cc} = \bar{I}_{nom}$

$\cdot V_{1cc}$

$\cdot P_{1cc}$



Calcolo:

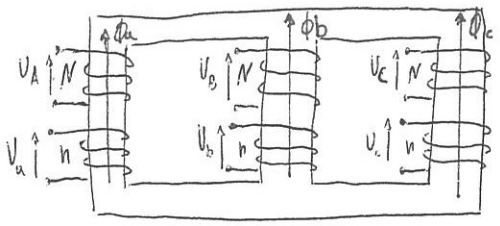
$$Z_{1cc} = \frac{V_{1cc}}{\bar{I}_{1cc}}$$

$$\cos\varphi = \frac{P_{1cc}}{V_{1cc}\bar{I}_{1cc}}$$

$$\Rightarrow \bar{Z}_{1cc} = Z_{1cc}\left(\cos\varphi_{1cc} + j\sqrt{1 - \cos^2\varphi_{1cc}}\right) \Rightarrow \quad \bar{Z}_{1d} = \frac{\bar{Z}_{1cc}}{2} \qquad \bar{Z}_{2d} = \frac{\bar{Z}_{1cc}}{2n^2}$$

Trasformatore trifase

Rapp. planare → Non simmetrico ma più pratico

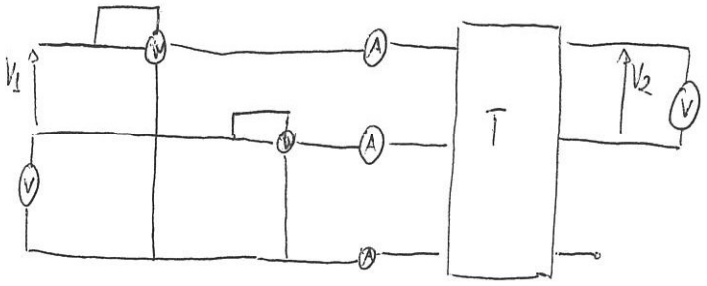


$\dot{U}_A = j\omega N \dot{\Phi}_a \qquad \dot{U}_a = j\omega n \dot{\Phi}_a$

$\frac{\dot{U}_A}{\dot{U}_a} = \frac{N}{n} = K_1$

- Vari collegamenti (stella - triangolo - zigzag)
  - Rapporto di trasformazione $K_1 = \frac{V_{AB}}{V_{ab}}$ Definisce il gruppo di appartenenza
  - Spostamento angolare $\alpha = \arg\left(\frac{\dot{V}_{AB}}{\dot{V}_{ab}}\right)$

Prova a vuoto



$E_1 = \frac{V_{1o}}{\sqrt{3}}$

$P = \frac{P_{1o}}{3}$

$\Rightarrow R_m = \frac{V_{1o}^2}{3} \cdot \frac{3}{P_{1o}} = \frac{V_{1o}^2}{P_{1o}} = \frac{1}{G_m}$

$\Rightarrow B_m = \sqrt{Y_m^2 - G_m^2}$

$Y_m = \frac{\sqrt{3}\, I_{1o}}{V_{1o}}$

$\bar{Z}_m = \frac{\frac{\dot{U}}{\dot{V}}}{G_m - jB_m}$