

# *MACCHINE ELETTRICHE*

*– Esempi sui Trasformatori –*

Stefano Pastore



Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Corso di Elettrotecnica (IN 043)

a.a. 2012-13

## Esempio 1

- Trasformatore monofase ideale (senza resistenza, flussi dispersi, perdite nel ferro)
- Dati:  $S_n = 100 \text{ kVA}$ ,  $V_{1n} = 20 \text{ kV}$ ,  $V_{2n} = 400 \text{ V}$   
 $f = 50 \text{ Hz}$ ,  $N_2 = 65$
- Determinare:  $N_1$ ,  $\Phi_M$ ,  $I_{1n}$ ,  $I_{2n}$

$$\frac{V_{1n}}{V_{2n}} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow N_1 = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} N_2 = 50 \cdot 65 = 3250$$

$$E_1 = \omega \Phi N_1 \Rightarrow$$

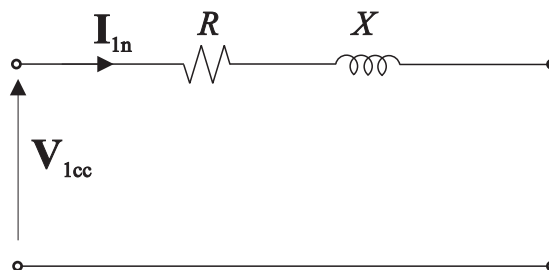
$$V_{1n} = E_1 = 2\pi f \frac{\Phi_M}{\sqrt{2}} N_1 = 4.44 f \Phi_M N_1$$

$$\Phi_M = \frac{E_1}{4.44 f N_1} = \frac{20 \cdot 10^3}{4.44 \cdot 50 \cdot 3250} = 2.77 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{V_{1n}} = \frac{100 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^3} = 5 \text{ A}, \quad I_{2n} = \frac{S_n}{V_{2n}} = \frac{100 \cdot 10^3}{0.4 \cdot 10^3} = 250 \text{ A}$$

## Esempio 2

- Trasformatore monofase (senza perdite nel ferro)
- Dati:  $S_n = 2 \text{ kVA}$ ,  $V_{1n} = 200 \text{ V}$   
 $f = 50 \text{ Hz}$ ,  $n = N_1/N_2 = 0.5$   
 $V_{1cc} = 20 \text{ V}$ ,  $P_{cc} = 50 \text{ W}$
- Determinare: la tensione sul carico ( $V_2$ ) alimentato dalla corrente nominale nel caso in cui  $\cos(\phi_2) = 0.8$  ( $\phi_2 = 0.643 \text{ rad}$ )
- $V_{cc\%} = 10\%$ ,  $P_{cc\%} = 2.5\%$



$$I_{1n} = \frac{S_n}{V_{1n}} = \frac{2000}{200} = 10 \text{ A}$$

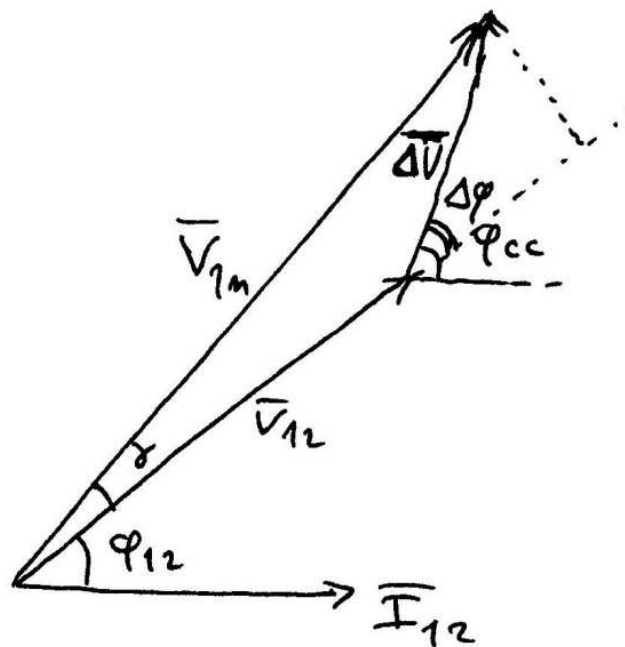
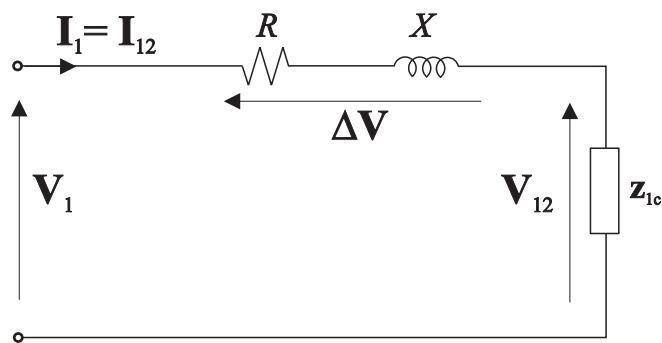
$$z_{1cc} = \sqrt{R^2 + X^2} = \frac{V_{1cc}}{I_{1n}} = \frac{20}{10} = 2 \Omega$$

$$\cos \varphi_{cc} = \frac{P_{cc}}{V_{1cc} I_{1n}} = \frac{P_{cc\%}}{V_{cc\%}} = \frac{50}{20 \cdot 10} = 0.25 \quad (\varphi_{cc} = 1.318)$$

$$R = z_{1cc} \cos \varphi_{cc} = 0.5 \Omega; \quad X = z_{1cc} \sin \varphi_{cc} = 1.94 \Omega$$

## Esempio 2 (2)

- Consideriamo ora il circuito con il carico:



## Esempio 2 (3)

$$\Delta\phi = \phi_{cc} - \phi_{12} = 1.318 - 0.643 = 0.675$$

$$\Delta V = z_{1cc} I_{12} = z_{1cc} I_{1n} = 2 \cdot 10 = 20 \text{ V}$$

$$V_{12} = V_{1n} - \Delta V \cos \Delta\phi = 200 - 15.61 = 184.4 \text{ V}$$

- Applicando il teorema del seno al triangolo formato da  $\mathbf{V}_{1n}$ ,  $\mathbf{V}_{12}$  e  $\Delta\mathbf{V}$ , troviamo che  $\cos \gamma = 0.998$ . Da ciò consegue che la proiezione di  $\mathbf{V}_{1n}$  sul vettore  $\mathbf{V}_{12}$ ,  $V_{1n} \cos \gamma$ , è circa uguale a  $V_{1n}$ .

$$V_2 = V_{12} \frac{N_2}{N_1} = 184 \cdot 2 = 368 \text{ V}$$

- Scrivendo le equazioni ( $\mathbf{I}_1 = \mathbf{I}_{12}$  rif. fase,  $\phi_2 = \phi_{12}$ ):

$$|\mathbf{V}_{12}| e^{j\phi_2} = |\mathbf{V}_{1n}| e^{j\phi_1} - \mathbf{I}_1 |z_{1cc}| e^{j\phi_{cc}}$$

$$|\mathbf{V}_{12}| = |\mathbf{V}_{1n}| e^{j(\phi_1 - 0.643)} - 10 \cdot 2 \cdot e^{j(1.318 - 0.643)}$$

$$|\mathbf{V}_{12}| = |\mathbf{V}_{1n}| \cos(\phi_1 - 0.643) - 15.64$$

$$|\mathbf{V}_{1n}| \sin(\phi_1 - 0.643) = 12.53$$

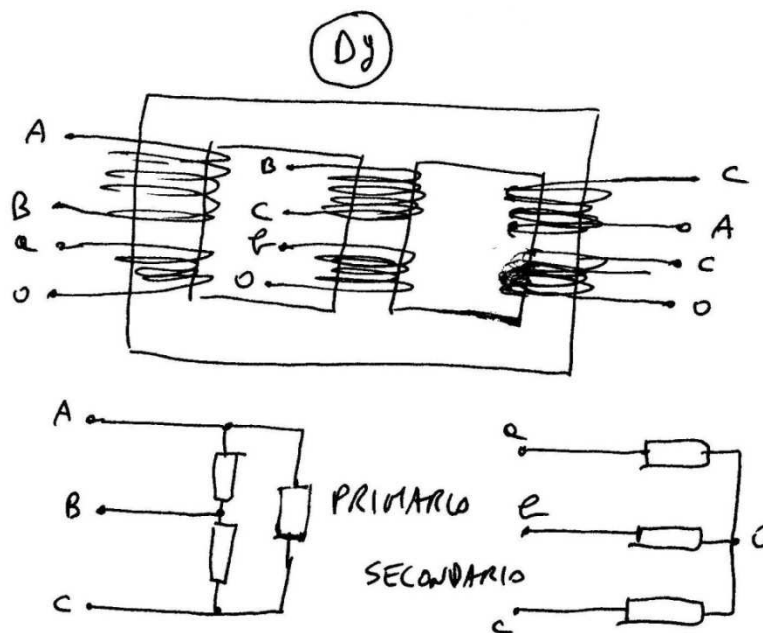
$$\Rightarrow \phi_1 = 0.706 \text{ rad}, \quad |\mathbf{V}_{12}| = 183.96 \text{ V}$$

## Esempio 3

- Trasformatore trifase Dy n11
- Dati:  $V_{1n}/V_{2n} = 20/0.4 \text{ kV}$ ,  $N_2 = 35$ ,  $S_{Fe} = 170 \text{ cm}^2$
- Determinare:  $N_1$ ,  $B_M$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{20000}{400/\sqrt{3}} \Rightarrow N_1 = \frac{20000\sqrt{3}}{400} 35 = 3031$$

$$\frac{V_2}{\sqrt{3}} = E_2 = 4.44 f S_{Fe} B_M N_2 \Rightarrow B_M = 1.75 \text{ T}$$



## Esempio 4

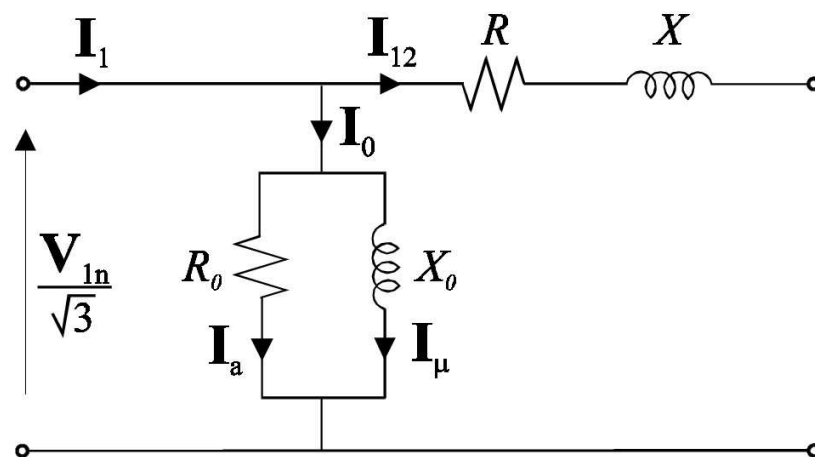
- Trasformatore trifase Dy n11
- Dati:  $V_{1n}/V_{2n} = 20/0.4 \text{ kV}$ ,  $S_n = 200 \text{ kVA}$

Prova a vuoto:  $I_0 = 2.5\%$ ,  $P_0 = 0.5 \text{ kW}$

Prova in cc:  $V_{cc\%} = 4\%$ ,  $P_{cc} = 2 \text{ kW}$

- Determinare i parametri del circuito equivalente riportati al primario

$$S_n = \sqrt{3} V_{1n} I_{1n} \Rightarrow I_{1n} = \frac{200 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^3 \sqrt{3}} = 5.77 \text{ A}$$



## Esempio 4 (2)

- Dalla prova di corto circuito:

$$P_{cc} = 3R I_{1n}^2 \Rightarrow R = \frac{P_{cc}}{3I_{1n}^2} = \frac{2000}{3 \cdot 5.77^2} = 20 \, \Omega$$

$$\begin{aligned} V_{cc} = z_{cc} I_{1n} \Rightarrow z_{cc} &= \frac{V_{cc\%}}{100} \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}} \frac{1}{I_{1n}} = \\ &= \frac{V_{cc\%}}{100} \frac{V_{1n}^2}{S_n} = 80 \, \Omega \end{aligned}$$

$$X = \sqrt{z_{cc}^2 - R^2} = \sqrt{80^2 - 20^2} = 77 \, \Omega$$

- Dalla prova a circuito aperto:

$$P_0 = 3 \left( \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}} \right)^2 \frac{1}{R_0} \Rightarrow R_0 = \frac{V_{1n}^2}{P_0} = 8 \cdot 10^5 \, \Omega$$

$$I_0 = 0.025 I_{1n} = 0.144 \, \text{A}$$

$$I_a = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} R_0} = 0.0144 \, \text{A}$$

$$I_\mu = \sqrt{I_0^2 - I_a^2} = 0.143 \, \text{A} \quad (I_\mu \approx I_0)$$

$$X_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} I_\mu} \approx \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} I_0} = 8 \cdot 10^4 \, \Omega$$