

Esercizio 1 sul trasformatore trifase

Di un trasformatore trifase sono noti i seguenti dati di targa:

$A_n = 105 \text{ kVA}$ (Potenza nominale) - $V_{1n} = 6600 \text{ V}$; $V_{2n} = 400 \text{ V}$ (Tensioni nominali)
 $f_n = 50 \text{ Hz}$ (frequenza nom.) Collegamento Δy .

I risultati delle prove a vuoto e in corto circuito sono i seguenti:

$$V_0 = 400 \text{ V}; I_0 = 5,76 \text{ A}; P_0 = 1250 \text{ W}$$

$$V_{cc} = 314 \text{ V}; I_{cc} = I_n; P_{cc} = 1600 \text{ W}$$

(Il lato di esecuzione delle prove si può dedurre dai risultati delle stesse)

- 1a. Determinare i parametri del circuito equivalente semplificato
- 2a. Determinare il valore della corrente a vuoto percentuale
- 3a. Determinare il valore della tensione di cortocircuito percentuale
- 4a. Determinare il rendimento del trasformatore quando esso alimenta un carico pari al 75% del carico nominale con $\cos \phi = 0,85$ in ritardo.

Soluzione

1a

Calcolo correnti nominali

$$I_{1n} = \frac{A_n}{\sqrt{3}V_{1n}} = \frac{105 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6600} = 9,2 \text{ A}; \quad I_{2n} = \frac{A_n}{\sqrt{3}V_{2n}} = \frac{105 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 152 \text{ A}$$

Calcolo dei parametri di magnetizzazione (prova a vuoto, lato b.t.)

(Si ricordi che il circuito equivalente è riferito ad una fase, per cui tutti i valori di tensione e corrente devono essere riportati al rispettivo valore di fase a seconda che il collegamento sia a stella o a triangolo):

$$V_{0f} = \frac{V_0}{\sqrt{3}} = 231 \text{ V}; \quad R_0 = \frac{3V_{0f}^2}{P_0} = 128 \Omega; \quad I_{0R} = \frac{V_{0f}}{R_0} = 1,8 \Omega$$

$$I_{0X} = \sqrt{I_0^2 - I_{0R}^2} = \sqrt{5,76^2 - 1,8^2} = 5,47 \text{ A}; \quad X_0 = \frac{V_{0f}}{I_{0X}} = 42,23$$

Calcolo dei parametri di cortocircuito (prova di cortocircuito, lato a.t.):

$$I_{ccf} = \frac{I_{1n}}{\sqrt{3}} = 5,31 \text{ A}; \quad R_{cc} = \frac{P_{cc}/3}{I_{ccf}^2} = 18,9 \Omega; \quad Z_{cc} = \frac{V_{cc}}{I_{ccf}} = 59,13$$

$$X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2} = 56,03 \Omega$$

1b

$$I_0 \% = \frac{I_0}{I_{2n}} 100 = \frac{5,76}{152} 100 = 3,79\%$$

1c

$$V_{cc} \% = \frac{V_{cc}}{V_{In}} 100 = \frac{314}{6600} 100 = 4,76\%$$

1d

$$\eta = \frac{P_{resa}}{P_{resa} + P_{Fe} + P_{Cu}} = \frac{0,75 \cdot A_n \cdot \cos \phi}{0,75 \cdot A_n \cdot \cos \phi + P_0 + 0,75^2 P_{cc}} =$$
$$\frac{0,75 \cdot 105000 \cdot 0,85}{0,75 \cdot 105000 \cdot 0,85 + 1250 + 0,56 \cdot 1600} = 0,969$$

Nel calcolo del rendimento ricordare:

- Le potenze in gioco sono sempre le potenze ATTIVE
- Le perdite nel circuito magnetizzante (perdite a vuoto) si ritengono costanti indipendentemente dal carico
- Le perdite nei conduttori dipendono dalla corrente e quindi dalla frazione di carico al quadrato.

Esercizio 2 sul trasformatore trifase

I dati di targa di un trasformatore trifase di potenza sono i seguenti:

$A_n = 150 \text{ kVA}$; $V_{1n} : V_{2n} = 1732 : 400 \text{ V}$, 50 Hz, collegamento Y-y

La prova a vuoto dà i seguenti risultati (indipendenti dal lato di misura):

$$V_0 = V_n$$

$$P_0 = 3\% A_n$$

$$I_0 = 4\% I_n$$

La prova in corto circuito dà i seguenti risultati (indipendenti dal lato di misura):

$$V_{cc} = 6\% V_n$$

$$P_{cc} = 3,2\% A_n$$

$$I_{cc} = I_n$$

Si calcolino:

- I parametri del circuito equivalente semplificato, riferito al lato bassa tensione.
- La tensione ai morsetti del carico quando questo assorbe una corrente pari a quella nominale con un fattore di potenza pari a 0,85 in ritardo.
- Il rendimento del trasformatore per l'alimentazione del carico sopra descritto.

Soluzione

Calcolo delle correnti nominali:

$$I_{1n} = \frac{A_n}{\sqrt{3}V_{1n}} = \frac{150 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1732} = 50 \text{ A}; \quad I_{2n} = \frac{A_n}{\sqrt{3}V_{2n}} = \frac{150 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 216,5 \text{ A}$$

a1) Prova a vuoto

Dai dati della prova a vuoto si possono ricavare i seguenti valori assoluti, che riferiremo al lato bassa tensione:

$$V_{of} = \frac{V_0}{\sqrt{3}} = 231 \text{ V}; \quad I_{of} = I_{2n} \cdot 4/100 = 216,5 \cdot 4/100 = 8,66 \text{ A}; \quad P_{of} = \frac{1}{3} A_n \cdot 3/100 = 1500 \text{ W}$$

Se si trascura l'impedenza di statore, si può eseguire il seguente calcolo:

$$R_0 = \frac{V_{of}^2}{P_{of}} = 35,6 \text{ } \Omega; \quad I_{0R} = \frac{V_{of}}{R_0} = 6,5 \text{ A}; \quad I_{0X} = \sqrt{I_{of}^2 - I_{0R}^2} = 5,72 \text{ A}; \quad X_0 = \frac{V_{of}}{I_{0X}} = 40,38 \text{ } \Omega$$

0

a2) Prova in corto circuito

Si ricavano nuovamente i valori assoluti riferiti al lato bassa tensione.

$$V_{ccf} = \frac{V_{cc}}{\sqrt{3}} = \frac{400 \cdot 6/100}{\sqrt{3}} = 13,86 \text{ V}; \quad I_{ccf} = I_{2n} = 216,5 \text{ A}; \quad P_{ccf} = \frac{P_{cc}}{3} = \frac{A_n \cdot 3,2/100}{3} = 1600 \text{ W}$$

Il calcolo consente di ricavare i valori delle resistenze totali $(R_1 + R_2') = R_{cc}$ e $(X_{11} + X_{12}') = X_{lcc}$

$$R_{cc} = \frac{P_{ccf}}{I_{ccf}^2} = 0,034 \text{ } \Omega; \quad Z_{cc} = \frac{V_{ccf}}{I_{ccf}} = 0,064 \text{ } \Omega; \quad X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2} = 0,054 \text{ } \Omega$$

b) La tensione ai morsetti del carico è data dalla tensione di rete (assunta come riferimento) ridotta della caduta di tensione sull'impedenza di cortocircuito, al passaggio di una corrente nominale con le caratteristiche di fase specificate:

$$\begin{aligned} V_{carico} &= V_f e^{j0^\circ} - (R_{cc} + jX_{cc}) I_{2n} e^{j\varphi} = V_f - (R_{cc} + jX_{cc}) I_{2n} (\cos \varphi + j \sin \varphi) = \\ &= 231 - 216,5(0,034 + j0,054)(0,85 - j0,53) = 231 - 216,5(0,064) e^{j34,00^\circ} e^{-j31,78^\circ} = \\ &= 231 - 13,86 e^{-j2,22^\circ} = 231 - (13,85 + j0,53) = 217,15 - j0,53 = 217,15 \cdot e^{j0,14^\circ} \end{aligned}$$

c) Rendimento

$$\eta = \frac{P_{resa}}{P_{resa} + P_{Fe} + P_{Cu}} = \frac{A_n \cos \varphi}{A_n \cos \varphi + P_0 + P_{cc}} = \frac{150 \cdot 10^3 \cdot 0,85}{150 \cdot 10^3 \cdot 0,85 + 4500 + 4800} = \frac{127500}{127500 + 4500 + 4800} = 0,932$$