## Esercizio 30 pag. 164

Un trasformatore trifase è caratterizzato dai seguenti dati:

| | |
|---|---|
| potenza nominale | $P_n = 50$ kVA |
| tensione primaria nominale | $V_{1n} = 6$ kV |
| tensione secondaria nominale | $V_{2n} = 220$ V |
| tensione di corto circuito | $v_{cc\%} = 5.20$ % |
| fattore di potenza di corto circuito | $\cos\varphi_{cc} = 0.408$ |
| corrente a vuoto | $i_{0\%} = 4.20$ % |
| fattore di potenza a vuoto | $\cos\varphi_0 = 0.183$ |

1) Determinare i parametri del circuito equivalente semplificato.

Il trasformatore è alimentato a tensione $V_1 = V_{1n}$. Al momento dell'inserzione dell'impedenza di carico (fattore di potenza $\cos\varphi_e = 0.8$ in ritardo) è stata riscontrata una riduzione della tensione secondaria del 3.4 % rispetto al funzionamento a vuoto.

2) Determinare la potenza attiva erogata.

Successivamente il trasformatore, caricato sulla medesima impedenza, viene alimentato alla tensione $V_1 = 5.5$ kV.

3) Determinare la corrente assorbita al primario e il rendimento.

$$I_{1n} = \frac{P_n}{\sqrt{3}V_{1n}} = 4.81 \text{ A} \qquad I_{2n} = \frac{P_n}{\sqrt{3}V_{2n}} = 131.22 \text{ A} \qquad K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 27.27$$

*Impedenza a vuoto* $\mathbf{Z_0}$

$$I_0 = \frac{i_{0\%} \cdot I_{1n}}{100} = 0.20 \text{ A} \qquad Z_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}I_0} = 17.14 \text{ k}\Omega$$

$$\dot{\mathbf{Z}}_0 = Z_0\angle\varphi_0 = 17.14\angle 79.46° = 3.14 + j16.85 \text{ k}\Omega$$

$$R_0 = \frac{Z_0}{\cos\varphi_0} = 93.68 \text{ k}\Omega \qquad X_0 = \frac{Z_0}{\sin\varphi_0} = 17.44 \text{ k}\Omega$$

*Impedenza di corto circuito* $\mathbf{Z_{1cc}}$

$$V_{1cc} = \frac{v_{cc\%} \cdot V_{1n}}{100} = 312 \text{ V} \qquad Z_{1cc} = \frac{V_{1cc}}{\sqrt{3}I_{1n}} = 37.44 \ \Omega$$

$$\dot{\mathbf{Z}}_{1cc} = Z_{1cc}\angle\varphi_{cc} = 37.44\angle 65.92° = R' + jX' = 15.28 + j34.18 \ \Omega$$

*Potenza attiva erogata*

$$\Delta V_{12} = \frac{\Delta v_{\%} \cdot V_{1n}}{100} = 204 \text{ V} \qquad I_{12} \approx \frac{\Delta V_{12}}{\sqrt{3}(R'\cos\varphi_e + X'\sin\varphi_e)} = 3.60 \text{ A}$$

$$V_{12} = V_{1n} - \Delta V_{12} = 5796 \text{ V} \qquad P = \sqrt{3}V_{12}I_{12}\cos\varphi_e = 28900 \text{ W}$$

*Impedenza di carico*

$$Z_{1e} = \frac{V_{12}}{\sqrt{3}I_{12}} = 930 \ \Omega \qquad \dot{\mathbf{Z}}_{1e} = Z_{1e}\angle\varphi_e = 930\angle 36.87° = R_{1e} + jX_{1e} = 744 + j558 \ \Omega$$

*Corrente assorbita con* $V'_1$=5.5 kV

$$\dot{\mathbf{Z}}_{1e} + \dot{\mathbf{Z}}_{1cc} = 759 + j592 \ \Omega \qquad \bar{\mathbf{I}}'_{12} = \frac{\bar{\mathbf{V}}'_1}{\sqrt{3}\left(\dot{\mathbf{Z}}_{1e} + \dot{\mathbf{Z}}_{1cc}\right)} = 2.60 - j2.03 = I'_{12}\angle -\varphi_{12} = 3.30\angle -37.95° \text{A}$$

*Corrente assorbita con* $V'_1$=5.5 kV

$$\dot{\mathbf{Z}}_{1e} + \dot{\mathbf{Z}}_{1cc} = 759 + j592 \ \Omega \qquad \bar{\mathbf{I}}'_{12} = \frac{\bar{\mathbf{V}}'_1}{\sqrt{3}\left(\dot{\mathbf{Z}}_{1e} + \dot{\mathbf{Z}}_{1cc}\right)} = 2.60 - j2.03 = I'_{12}\angle -\varphi_{12} = 3.30\angle -37.95° \text{A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}'_0 = \frac{\bar{\mathbf{V}}'_1}{\sqrt{3}\dot{\mathbf{Z}}_0} = 0.03 - j0.18 \text{ A} \qquad \bar{\mathbf{I}}'_1 = \bar{\mathbf{I}}'_0 + \bar{\mathbf{I}}'_{12} = 2.63 - j2.21 = I'_1\angle -\varphi_1 = 3.44\angle -40.00° \text{A}$$

*Rendimento*

$$V'_{12} = \sqrt{3}Z_{1e}I'_{12} = 5312 \text{ V} \qquad P' = \sqrt{3}V'_{12}I'_{12}\cos\varphi_e = 24276 \text{ W}$$

$$P'_e = \sqrt{3}V'_1 I'_1 \cos\varphi_1 = 25097 \text{ W} \qquad \eta = \frac{P'}{P'_e} = 0.967$$

| **MACCHINE ELETTRICHE** | **30 agosto 2022** |
|---|---|
| Cognome Nome: _____ | Matricola: _____ |

ESERCIZIO

Un trasformatore trifase ($P_n = 630$ kVA, $V_{1n} = 15$ kV, $V_{2n} = 690$ V) presenta i seguenti dati:

| Collegamento | Resistenze misurate ai morsetti | | Corrente a vuoto | Perdite a vuoto |
|---|---|---|---|---|
| Dy11 | primario | secondario | $i_{0\%} = 2.6\%$ | $p_{0\%} = 0.4\%$ |
| | $R_{AB} = 3.9\ \Omega$ | $R_{ab} = 7.5\ \text{m}\Omega$ | | |

Con primario alimentato alla tensione $V_{1n}$, viene collegato un carico che assorbe la potenza $P_A$ =360 kW ad una tensione $V_{2A}$ =670 V. In tali condizioni il trasformatore assorbe una potenza attiva pari a $P_{1A}$ =367.0 kW.

Con riferimento al circuito equivalente semplificato (collegamento a stella), determinare:

- i parametri $R_0, X_0, R'$;
- l'impedenza di carico $\dot{Z}_{eA} = R_{eA} + jX_{eA}$
- la reattanza $X'$;
- la corrente assorbita $I_{1A}$ ed il fattore di potenza $cos\varphi_{1A}$;
- il rendimento $\eta_B$ quando al trasformatore viene collegato un carico puramente ohmico $R_{eB} = |\dot{Z}_{eA}|$.

DATI

$P_n = 630\text{kVA}$ $V_{1\text{n}} = 15\text{kV}$ $V_{2\text{n}} = 690V$ $R_{\text{AB}} = 3.9\Omega$ $R_{\text{ab}} = 7.5\text{m}\Omega$

$p_0 = 0.4\%$ $i_0 = 2.6\%$ $P_A = 360\text{kW}$ $V_{2\text{A}} = 670V$ $P_{1\text{A}} = 367.0\text{kW}$

*Valori nominali*

$K = \frac{V_{1\text{n}}}{V_{2\text{n}}} = 21.74$ $I_{1\text{n}} = \frac{P_n}{\sqrt{3}\cdot V_{1\text{n}}} = 24.25A$ $I_{2\text{n}} = K \cdot I_{1\text{n}} = 527.15A$

*Parametri ramo derivato*

$P_0 = p_0 \cdot P_n = 2520W$ $I_0 = i_0 \cdot I_{1\text{n}} = 0.63A$ $\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_{1\text{n}}\cdot I_0} = 0.15$

$\varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 81.15°$ $I_a = I_0 \cdot \cos\varphi_0 = 0.1A$ $I_\mu = I_0 \cdot \sin(\varphi_0) = 0.62A$

$R_0 = \frac{V_{1\text{n}}}{\sqrt{3}\cdot I_a} = 89.29\text{k}\Omega$ $X_0 = \frac{V_{1\text{n}}}{\sqrt{3}\cdot I_\mu} = 13.9\text{k}\Omega$

*Resistenze*

$R_1 = \frac{R_{\text{AB}}}{2} = 1.95\Omega$ $R_{12} = \frac{R_{\text{ab}}}{2}\cdot K^2 = 1.77\Omega$ $\text{R}' = R_1 + R_{12} = 3.72\Omega$

*Corrente ed impedenza di carico*

$P_{epA} = P_{1A} - P_A - P_0 = 4480W$ $I_{12A} = \sqrt{\frac{P_{epA}}{3 \cdot R'}} = 20.03A$ $V_{12A} = K \cdot V_{2A} =$

$14565.22V$

$\cos\varphi_{eA} = \frac{P_A}{\sqrt{3} \cdot V_{12A} \cdot I_{12A}} = 0.71$ $\varphi_{eA} = \arccos(\cos\varphi_{eA}) = 44.57°$ $Z_{1eA} = \frac{V_{12A}}{\sqrt{3} \cdot I_{12A}} =$

$419.83\Omega$

$R_{1eA} = Z_{1eA} \cdot \cos\varphi_{eA} = 299.11\Omega$ $X_{1eA} = Z_{1eA} \cdot \sin\varphi_{eA} = 294.61\Omega$

$R_{eA} = \frac{R_{1eA}}{K^2} = 0.63\Omega$ $X_{eA} = \frac{X_{1eA}}{K^2} = 0.62\Omega$

*Reattanza X' (formula approssimata)*

$\Delta V_{12A} = \sqrt{3} \cdot I_{12A} \cdot (R' \cdot \cos\varphi_{eA} + X' \cdot \sin\varphi_{eA})$ $\Delta V_{12A} = V_{1n} - V_{12A} = 434.78V$

$X' = \frac{\Delta V_{12A}}{\sqrt{3} \cdot I_{12A} \cdot \sin(\varphi_{eA})} - \frac{R'}{\tan(\varphi_{eA})} = 14.08\Omega$

*Reattanza X' (formula esatta)*

$X' = \sqrt{\left(\frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot I_{12A}}\right)^2 - (R' + R_{1eA})^2} - X_{1eA} = 13.99\Omega$

*Corrente assorbita*

$I_0 = I_0 \cdot e^{-i \cdot \varphi_0} = (0.1 - 0.62 \cdot i)A$ $\varphi_{12A} = \arctan\left(\frac{X' + X_{1eA}}{R' + R_{1eA}}\right) = 45.55°$

$I_{12A} = I_{12A} \cdot e^{-i \cdot \varphi_{12A}} = (14.03 - 14.3 \cdot i)A$ $I_{1A} = I_{12A} + I_0 = (14.12 - 14.92 \cdot i)A$

$|I_{1A}| = 20.55A$ $\cos\varphi_{1A} = \cos(\arg(I_{1A})) = 0.69$

*Verifica potenza*

$P'_{1A} = \sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot |I_{1A}| \cdot \cos\varphi_{1A} = 366.95kW$ $\frac{P_{1A} - P'_{1A}}{P_{1A}} = 0.015\%$

*Corrente con carico B*

$R_{1eB} = Z_{1eA} = 419.83\Omega$ $I_{12B} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R' + R_{1eB})^2 + X'^2}} = 20.44A$ $P_B = 3 \cdot R_{1eB} \cdot {I_{12B}}^2 =$

$525.97kW$

$P_{epB} = 3 \cdot R' \cdot {I_{12B}}^2 = 4.66kW$ $\eta_B = \frac{P_B}{P_B + P_0 + P_{epB}} = 98.65\%$