MACCHINE ELETTRICHE	**17 giugno 2026**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

In un trasformatore trifase ($P_n = 630$ kVA, $V_{1n} = 33$ kV, $V_{2n} = 400$ V, collegamento Dy11) le resistenze misurate tra due terminali del primario e del secondario sono rispettivamente R_{AB} =22.64 Ω e R_{ab} =2.97 mΩ.

Alimentando il primario alla tensione V_{1n} e collegando al secondario un carico con fattore di potenza $\cos\varphi_e$ =0.79, il trasformatore lavora con grado di carico α =0.72, dando luogo ad una variazione di tensione da vuoto a carico $\Delta v_{\%} = 3.3\%$. In questa stessa condizione di carico, la corrente e la potenza assorbita risultano rispettivamente I_1 =8.0 A e $P_1 = 351.6$ kW.

Si chiede di determinare (facendo riferimento al circuito equivalente semplificato riferito al primario con collegamento a stella):

- la tensione sul carico V_2 e l'impedenza di carico $\dot{Z}_e = R_e + jX_e$ (impedenze collegate a stella);
- i parametri R' e X';
- la tensione e le perdite di corto circuito $v_{cc\%}$ e $p_{cc\%}$;
- i parametri del circuito equivalente R_0 e X_0;
- il rendimento η quando il trasformatore alimenta la stessa impedenza con grado di carico in corrente uguale al grado di carico in potenza.

TEORIA

1) Forza magnetomotrice prodotta da un avvolgimento distribuito di tipo aperto trifase: espressione del campo magnetico rotante relativo alla fondamentale a partire dalle espressioni delle f.m.m. delle singole fasi, velocità di rotazione, ampiezze e velocità delle f.m.m. risultanti relative alle armoniche di ordine superiore.
2) Funzionamento a carico di un generatore sincrono: definizione e rappresentazione vettoriale delle varie grandezze elettriche (f.m.m. di eccitazione e di reazione di indotto, f.e.m. a vuoto e corrente) nelle diverse condizioni di carico (f.m.m. di indotto in quadratura, puramente smagnetizzante, puramente smagnetizzante e per una condizione generica); andamento al traferro ed effetto della posizione reciproca delle f.m.m. su coppia e scambio di potenza reattiva; scomposizione della f.m.m. di indotto e significato delle diverse componenti.

RITIRATO |_| Firma _____

Valutazione esercizio	1)_____
Valutazione teoria	1)_____ 2)_____

Dati d'ingresso

$P_n = 630\text{kVA}$ $V_{1n} = 33\text{kV}$ $V_{2n} = 400V$ $R_{AB} = 22.64\Omega$ $R_{ab} = 2.97\text{m}\Omega$

$\cos\varphi_e = 0.79$ $\alpha = 0.72$ $\Delta v_{\%} = 3.3\%$ $P_1 = 351.6\text{kW}$ $I_1 = 8.00\text{A}$

Soluzione

Dati nominali

$I_{1n} = \frac{P_n}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}} = 11.02\text{A}$ $K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 82.50$ $I_{2n} = K \cdot I_{1n} = 909.3\text{A}$

Resistenza degli avvolgimenti riportata al primario

$R_1 = \frac{R_{AB}}{2} = 11.32\Omega$ $R_2 = \frac{R_{ab}}{2} = 1.485\text{m}\Omega$ $R_{12} = K^2 \cdot R_2 = 10.11\Omega$

Corrente, tensione ed impedenza di carico

$I_{12} = \alpha \cdot I_{1n} = 7.936\text{A}$ $\Delta V_{12} = \Delta v_{\%} \cdot V_{1n} = 1089\text{V}$ $V_{12} = (V_{1n} - \Delta V_{12}) = 31910\text{V}$

$V_2 = \frac{V_{12}}{K} = 386.8\text{V}$ $\varphi_e = \arccos(\cos\varphi_e) = 37.81°$ $\sin\varphi_e = \sin(\varphi_e) = 0.6131$

$Z_{1e} = \frac{V_{12}}{\sqrt{3}\cdot I_{12}} = 2322\Omega$ $R_{1e} = Z_{1e} \cdot \cos\varphi_e = 1834\Omega$ $X_{1e} = Z_{1e} \cdot \sin\varphi_e = 1423\Omega$

$R_e = \frac{R_{1e}}{K^2} = 0.26\,95\Omega$ $X_e = \frac{X_{1e}}{K^2} = 0.2091\Omega$

Resistenza, reattanza e tensione di cortocircuito

$R' = R_1 + K^2 \cdot R_2 = 21.43\Omega$ $\Delta V_{12} = \sqrt{3} \cdot I_{12} \cdot (R' \cdot \cos\varphi_e + X' \cdot \sin\varphi_e)$ $Z_{\Delta 12} = \frac{\Delta V_{12}}{\sqrt{3}\cdot I_{12}} = 79.23\Omega$

$X' = \frac{Z_{\Delta 12}}{\sin\varphi_e} - \frac{R'}{\tan(\varphi_e)} = 101.6\Omega$ $Z_{1cc} = \sqrt{R'^2 + X'^2} = 103.8\Omega$ $V_{1cc} = \sqrt{3} \cdot Z_{1cc} \cdot I_{1n} = 1983V$

Tensione e perdte di cortocircuito

$v_{cc} = \frac{V_{1cc}}{V_{1n}} = 6.008\%$ $P_{1cc} = 3 \cdot R' \cdot {I_{1n}}^2 = 7809W$ $p_{cc} = \frac{P_{1cc}}{P_n} = 1.240\%$

Corrente assorbita

$\varphi_{12} = \arctan\left(\frac{X'+X_{1e}}{R'+R_{1e}}\right) = 39.42°$ $I_{12} = I_{12} \cdot e^{-i\cdot\varphi_{12}} = (6.131 - 5.039 \cdot i)A$ $\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot I_1} =$

0.7689

$\varphi_1 = \arccos(\cos\varphi_1) = 39.74°$ $I_1 = I_1 \cdot e^{-i\cdot\varphi_1} = (6.151 - 5.115 \cdot i)A$

Parametri ramo derivato

$I_0 = I_1 - I_{12} = (0.02047 - 0.07578 \cdot i)A$ $I_a = \text{Re}(I_0) = 0.02047A$ $I_\mu = -\text{Im}(I_0) = 0.07578A$

$R_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_a} = 930.8\text{k}\Omega$ $X_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_\mu} = 251.4\text{k}\Omega$ $P_0 = \frac{{V_{1n}}^2}{R_0} = 1170W$

Calcolo corrente e tensione con $\alpha = \alpha_P$

$\alpha' = \alpha'_P$ $V'_{12} = V_{1n}$ $I'_{12} = \frac{V'_{12}}{\sqrt{3}\cdot|Z_{1e}|} = 8.207A$ $Z'_{12} = \sqrt{(R' + R_{1e})^2 + (X' + X_{1e})^2} = 2402\Omega$

$V'_1 = \sqrt{3} \cdot Z'_{12} \cdot I'_{12} = 34140V$

Potenza e rendimento con $\alpha = \alpha_P$

$P'_0 = \left(\frac{V'_1}{V_{1n}}\right)^2 \cdot P_0 = 1252W$ $P'_{ep} = 3 \cdot R' \cdot |I'_{12}|^2 = 4.329\text{kW}$ $P'_e = 3 \cdot R_{1e} \cdot |I'_{12}|^2 = 370.6\text{kW}$

$\eta' = \frac{P'_e}{P'_e + P'_0 + P'_{ep}} = 98.52\%$