MACCHINE ELETTRICHE	**15 settembre 2026**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Di un trasformatore trifase si conoscono potenza, tensioni e frequenza nominali, rispettivamente pari a $P_n = 800$ kVA, $V_{1n} = 20$ kV, $V_{2n} = 400$ V, $f = 50$ Hz; sono inoltre noti i valori percentuali di corrente e perdite a vuoto $i_0 = 1.35\%$, $p_0 = 0.21\%$ e tensione e perdite in corto circuito $v_{cc} = 4.8\%$, $p_{cc} = 0.52\%$. Sapendo che il trasformatore alimenta un carico equilibrato erogando una potenza attiva $P_e = 525$ kW con un fattore di potenza $\cos\varphi_e = 0.876$ A ed una tensione ai morsetti $V_2 = V_{2n}$, si chiede di determinare:

- i parametri del ramo derivato del circuito equivalente semplificato riferiti al primario R_0, X_0;
- i parametri del ramo serie del circuito equivalente semplificato riferiti al primario R', X';
- i parametri dell'impedenza equivalente del carico riferiti al primario R_{1e}, X_{1e};
- la tensione di alimentazione primaria del trasformatore V_1;
- il modulo I_1 e la fase φ_1 della corrente assorbita al primario rispetto alla tensione V_1;
- il rendimento del trasformatore in tali condizioni di carico.

TEORIA

1) Espressione della f.e.m. indotta in un avvolgimento monofase di tipo aperto costituito da più conduttori collegati in serie e sottoposti ad un'induzione variabile sinusoidalmente nel tempo: schema dell'avvolgimento con $q = 2$, rappresentazione vettoriale delle f.e.m. nei conduttori, coefficienti di avvolgimento e di raccorciamento per la fondamentale e per le armoniche (solo formule, dimostrazione non richiesta ma apprezzata).

2) Fenomeni legati al funzionamento a carico in un generatore sincrono: variazione di tensione, coppia frenante, posizioni relative di f.m.m. di eccitazione e di reazione di indotto, sfasamento tra f.e.m. a vuoto e corrente.

RITIRATO |_| Firma _____

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

DATI

$P_n := 800\ \text{kVA}$ $V_{1n} := 20\ \text{kV}$ $V_{2n} := 400\ \text{V}$ $f := 50\ \text{Hz}$ $i_0 := 1,35\ \%$ $p_0 := 0,21\ \%$

$v_{cc} := 4,8\ \%$ $p_{cc} := 0,52\ \%$ $P_e := 525\ \text{kW}$ $V_2 := 400\ \text{V}$ $\cos\varphi_e := 0,876$

SOLUZIONE

Grandezze nominali

$I_{1n} := \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot V_{1n}} = 23\ \text{A}$ $k := \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 50$ $I_{2n} := k \cdot I_{1n} = 1200\ \text{A}$

Parametri del ramo derivato

$\cos\varphi_0 := \frac{p_0}{i_0} = 0,16$ $\varphi_0 := \text{acos}\left(\cos\varphi_0\right) = 81\ °$ $I_0 := i_0 \cdot I_{1n} = 0,31\ \text{A}$ $P_0 := p_0 \cdot P_n = 1680\ \text{W}$

$I_a := I_0 \cdot \cos\varphi_0 = 0,05\ \text{A}$ $I_\mu := I_0 \cdot \sin\left(\varphi_0\right) = 0,31\ \text{A}$

$I_0 := I_0 \cdot \mathbf{e}^{-j \cdot \varphi_0} = (0,05 - 0,31 \cdot \text{i})\ \text{A}$ $R_0 := \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot I_a} = 240\ \text{k}\Omega$ $X_0 := \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot I_\mu} = 37\ \text{k}\Omega$

Parametri del ramo serie

$\cos\varphi_{cc} := \frac{p_{cc}}{v_{cc}} = 0,11$ $\varphi_{cc} := \text{acos}\left(\cos\varphi_{cc}\right) = 84\ °$ $Z_{1cc} := \frac{v_{cc} \cdot V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot I_{1n}} = 24\ \Omega$

$R' := Z_{1cc} \cdot \cos\varphi_{cc} = 2,6\ \Omega$ $X' := Z_{1cc} \cdot \sin\left(\varphi_{cc}\right) = 23,86\ \Omega$

Parametri del carico riportati al primario

$I_2 := \frac{P_e}{\sqrt{3} \cdot V_2 \cdot \cos\varphi_e} = 870\ \text{A}$ $\varphi_e := \text{acos}\left(\cos\varphi_e\right) = 29\ °$ $V_{12} := k \cdot V_2 = 20000\ \text{V}$ $I_{12} := \frac{I_2}{k} = 17\ \text{A}$

$Z_{1e} := \frac{V_{12}}{\sqrt{3} \cdot I_{12}} = 0,67\ \text{k}\Omega$ $R_{1e} := Z_{1e} \cdot \cos\varphi_e = 0,58\ \text{k}\Omega$ $X_{1e} := Z_{1e} \cdot \sin\left(\varphi_e\right) = 0,32\ \text{k}\Omega$

Tensione di alimentazione e corrente assorbita al primario

$Z_{1t} := \left(R' + R_{1e}\right) + j \cdot \left(X' + X_{1e}\right) = (587,27 + 345,77 \cdot \text{i})\ \Omega$ $\varphi_{12} := \arg\left(Z_{1t}\right) = 30,49\ °$

$V_1 := \sqrt{3} \cdot \left|Z_{1t}\right| \cdot I_{12} = 20421,56\ \text{V}$ $I_{12} := I_{12} \cdot \mathbf{e}^{-j \cdot \varphi_{12}} = (14,91 - 8,78 \cdot \text{i})\ \text{A}$

$I'_0 := I_0 \cdot \left(\frac{V_1}{V_{1n}}\right) = (0,05 - 0,31 \cdot \text{i})\ \text{A}$ $I_1 := I'_0 + I_{12} = (14,96 - 9,09 \cdot \text{i})\ \text{A}$

$\left|I_1\right| = 17,5\ \text{A}$ $\varphi_1 := -\arg\left(I_1\right) = 31,29\ °$

Rendimento

$P_{ep} := 3 \cdot R' \cdot \left|I_{12}\right|^2 = 2334,66\ \text{W}$ $P'_0 := P_0 \cdot \left(\frac{V_1}{V_{1n}}\right)^2 = 1751,57\ \text{W}$ $\eta := \frac{P_e}{P_e + P_{ep} + P'_0} = 99,23\ \%$

SOLUZIONE APPROSSIMATA

$\Delta V_{12} := \sqrt{3} \cdot \left|I_{12}\right| \cdot \left(R' \cdot \cos\varphi_e + X' \cdot \sin\left(\varphi_e\right)\right) = 413,08\ \text{V}$ $V_1 := V_{12} + \Delta V_{12} = 20413,08\ \text{V}$

$I'_0 := I_0 \cdot \left(\frac{V_1}{V_{1n}}\right) = (0,05 - 0,31 \cdot \text{i})\ \text{A}$ $I_1 := I'_0 + I_{12} = (14,96 - 9,09 \cdot \text{i})\ \text{A}$

$\left|I_1\right| = 17,5\ \text{A}$ $\varphi_1 := -\arg\left(I_1\right) = 31,29\ °$

Rendimento

$P_{ep} := 3 \cdot R' \cdot \left|I_{12}\right|^2 = 2334,66\ \text{W}$ $P'_0 := P_0 \cdot \left(\frac{V_1}{V_{1n}}\right)^2 = 1750,11\ \text{W}$ $\eta := \frac{P_e}{P_e + P_{ep} + P'_0} = 99,23\ \%$