

MAKINA ELEKTRIKOEN ANALISIA ETA FUNTZIONAMENDUA

3. Ikasturtea
Industria Teknologiaren
Ingeniaritzako Graduan

2017-18 Ikasturtea

Lehenengo partziala

Denbora: 2 ordu

2018ko Urtarrilaren 22a

ARIKETAK

XVIII.- Zentro teknologiko bateko laborategi batean 30/6 kV, 50 Hz eta 480 kVA-ko transformadore monofasikoari saiakuntzak burutzen zaizkio. Bere hutseko eta zirkuitulaburreko saiakuntzen emaitzak honako hauek dira:

Hutseko saiakuntza

Elikatzea BT-tik

Tentsioa: 6000 V (50 Hz)

Intentsitatea: 1,33 A

Potentzia: 2385 W

Zirkuitulaburreko saiakuntza

Elikatzea GT-tik

Tentsioa: 1080 V (50 Hz)

Intentsitatea: 12 A

Potentzia: 2149 W

Kontuan hartzen bada transformadoreak beti GT-tik 30 kV-era (50 Hz) elikatuta lan egingo duela eta funtzionamenduko aukera guztietan transformadoreak ez duela galkargatuta lan egingo, kalkulatu:

101.- Transformadorean lanean ager daitezkeen galera maximoak.

$$P_{\text{Perd}} = P_{\text{Fe}} + P_{\text{Cu}} \quad \Rightarrow \quad [P_{\text{Perd}}]_{\text{max}} = [P_{\text{Fe}}]_{\text{max}} + [P_{\text{Cu}}]_{\text{max}}$$

Burdinako galerak berdinak dira funtzionamenduko egoera guztietan. Beraz:

$$[P_{\text{Fe}}]_{\text{max}} = [P_{\text{Fe}}]_{V_1=30\text{kV}(50\text{Hz})} = [P_{\text{Fe}}]_{V_2=6\text{kV}(50\text{Hz})} = 2385 \text{ W}$$

Kobreko galerak maximoak dira transformadoreak karga osora lan egiten duenean. Beraz:

$$[P_{\text{Cu}}]_{\text{max}} = [P_{\text{Cu}}]_{I_{\text{no min al}}}$$

$$I_{\text{IN}} = \frac{S_{\text{N}}}{V_{\text{IN}}} = \frac{480}{30} = 16 \text{ A}$$

Zirkuitulaburreko saiakuntzako datuak erabiliz:

$$R_e = \frac{[P_{\text{Cu}}]_{\text{Icc}}}{I_{\text{Icc}}^2} = \frac{[P_{\text{Cu}}]_{I_{\text{no min al}}}}{I_{\text{IN}}^2} \quad \Rightarrow \quad [P_{\text{Cu}}]_{I_{\text{no min al}}} = \left(\frac{I_{\text{IN}}}{I_{\text{Icc}}}\right)^2 \cdot [P_{\text{Cu}}]_{\text{Icc}} = \left(\frac{16}{12}\right)^2 \cdot 2149 = 3820,4 \text{ W}$$

Hortaz:

$$[P_{\text{Perd}}]_{\text{max}} = [P_{\text{Fe}}]_{\text{max}} + [P_{\text{Cu}}]_{\text{max}} = 2385 + 3820,4 \quad \Rightarrow \quad [P_{\text{Perd}}]_{\text{max}} = 6205,4 \text{ W}$$

102.- Transformadorean lanean lor daitezkeen errendimendu maximoa.

Errendimendu máximo lortzeko errendimendu maximoari dagokion karga-indizearekin egon behar da lanean eta karga erresistibo hutsa izan.

$$\eta_{\max} = \frac{\cos \varphi}{\cos \varphi + \frac{\omega_0}{i_{\eta_{\max}}} + i_{\eta_{\max}} \cdot \omega_j} \cdot 100$$

Errendimendu máximo indizea:

$$i_{\eta_{\max}} = \sqrt{\frac{(P_{Fe})_{V1=V1N}}{(P_{Cu})_{i=1}}} = \sqrt{\frac{2385}{3820,4}} = 0,79$$

$$\cos \varphi = 1$$

$$\omega_0 = \frac{(P_{Fe})_{V1=V1N}}{S_N} = \frac{2385}{480 \cdot 10^3} = 4,96875 \cdot 10^{-3}$$

$$\omega_j = \frac{(P_{Cu})_{IN}}{S_N} = \frac{3820,4}{480 \cdot 10^3} = 7,95926 \cdot 10^{-3}$$

Ordezkatuz, zera lortzen da:

$$\eta_{\max} = \frac{1}{1 + \frac{4,96875 \cdot 10^{-3}}{0,79} + 0,79 \cdot 7,95926 \cdot 10^{-3}} \cdot 100 \quad \Rightarrow \quad \boxed{\eta_{\max} = 98,76 \%}$$

103.- Sekundarioko borneetan suerta daitekeen tentsiorik txikiena.

Tentsiorik txikiena (minimoa) tentsioaren aldakuntza-tentsioa maximoa denean agertuko da. Hau da, transformadoreak karga osora lan egiten duenean, kargaren angelua inpedantzia baliokidearen angeluaren berdina izanik.

$$u = i \cdot (u_R \cdot \cos \varphi + u_X \cdot \sin \varphi) + \frac{i^2}{200} \cdot (u_X \cdot \cos \varphi - u_R \cdot \sin \varphi)^2$$

$$\left. \begin{array}{l} i = 1 \\ \varphi = \varphi_e \end{array} \right\} \Rightarrow u_{\max}$$

Baldintza hauetan:

$$\varphi = \varphi_e \Rightarrow \begin{cases} u_R = u_Z \cdot \cos \varphi_e = u_Z \cdot \cos \varphi \\ u_X = u_Z \cdot \sin \varphi_e = u_Z \cdot \sin \varphi \end{cases}$$

$$u_{\max} = 1 \cdot (u_Z \cdot \cos^2 \varphi + u_Z \cdot \sin^2 \varphi) + \frac{1^2}{200} (u_Z \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi - u_Z \cdot \cos \varphi \cdot \sin \varphi)^2 = u_Z$$

Zirkuitulaburreko saiakuntzatik:

$$R_e = \frac{[P_{Cu}]_{lcc}}{I_{lcc}^2} = \frac{2149}{12^2} = 14,9236 \Omega \quad \Rightarrow \quad u_R = \frac{I_{IN} \cdot R_e}{V_{IN}} \cdot 100 = \frac{16 \cdot 14,9236}{30 \cdot 10^3} \cdot 100 = 0,7959 \%$$

$$Z_e = \frac{V_{lcc}}{I_{lcc}} = \frac{1080}{12} = 90 \Omega$$

$$X_e = \sqrt{Z_e^2 - R_e^2} = 88,7541 \Omega \quad \Rightarrow \quad u_X = \frac{I_{IN} \cdot X_e}{V_{IN}} \cdot 100 = \frac{16 \cdot 88,7541}{30 \cdot 10^3} \cdot 100 = 4,7336 \%$$

$$u_Z = \sqrt{u_R^2 + u_X^2} = 4,8 \%$$

Ondorioz:

$$u_{\max} = \frac{V_{2VACIO} - V_{2\min\ima}}{V_{2VACIO}} \cdot 100 \quad \Rightarrow \quad u_Z = \frac{V_{2N} - V_{2\min\ima}}{V_{2N}} \cdot 100$$

$$V_{2\min\ima} = V_{2N} \cdot \left(1 - \frac{u_{\max}}{100}\right) = 6000 \cdot \left(1 - \frac{4,8}{100}\right) \quad \Rightarrow \quad \boxed{V_{2\min\ima} = 5712 \text{ V}}$$

104.- Sekundarioko borneetan suerta daitekeen tentsiorik handiena.

Tentsiorik handiena (maximoa) tentsioaren aldakuntza-tentsioa minimoa (balio negatiborik handiena) denean agertuko da. Hau da, transformadoreak karga osora lan egiten duenean, karga kapazitibo hutsa izanik (Ferranti efektu maximoa).

$$u = i \cdot (u_R \cdot \cos \varphi + u_X \cdot \text{sen} \varphi) + \frac{i^2}{200} \cdot (u_X \cdot \cos \varphi - u_R \cdot \text{sen} \varphi)^2$$

$$\left. \begin{array}{l} i = 1 \\ \varphi = \text{capacitivo puro} \end{array} \right\} \Rightarrow u_{\min}$$

Baldintza hauetan:

$$\varphi = \text{capacitivo puro} \Rightarrow \begin{cases} \cos \varphi = 0 \\ \text{sen} \varphi = -1 \end{cases}$$

$$u_{\min} = 1 \cdot (0 - u_X) + \frac{1^2}{200} (0 + u_R)^2 = -4,7304 \%$$

Beraz:

$$u_{\min} = \frac{V_{2VACIO} - V_{2\max\ima}}{V_{2VACIO}} \cdot 100 \quad \Rightarrow \quad u_Z = \frac{V_{2N} - V_{2\max\ima}}{V_{2N}} \cdot 100$$

$$V_{2\max\text{ima}} = V_{2N} \cdot \left(1 - \frac{u_{\min}}{100}\right) = 6000 \cdot \left(1 - \frac{(-4,7304)}{100}\right) \Rightarrow \boxed{V_{2\max\text{ima}} = 6283,8 \text{ V}}$$

XIX.- TA transformadore trifasiko batek 3. Irudiko konexio eskema du eta ondorengo ezaugarri izendatuak: 24 kV/400 V, 50 Hz, 800 kVA eta zirkuitulaburreko tentsioa % 6. Saiakuntzen bidez, maiztasun izendaturako eta GT-ra adierazitako inpedantzia baliokidearen angelua 75° dela lortzen da.

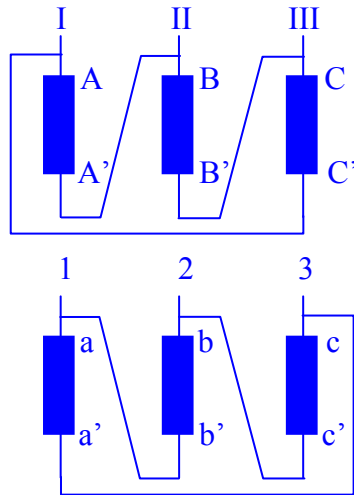
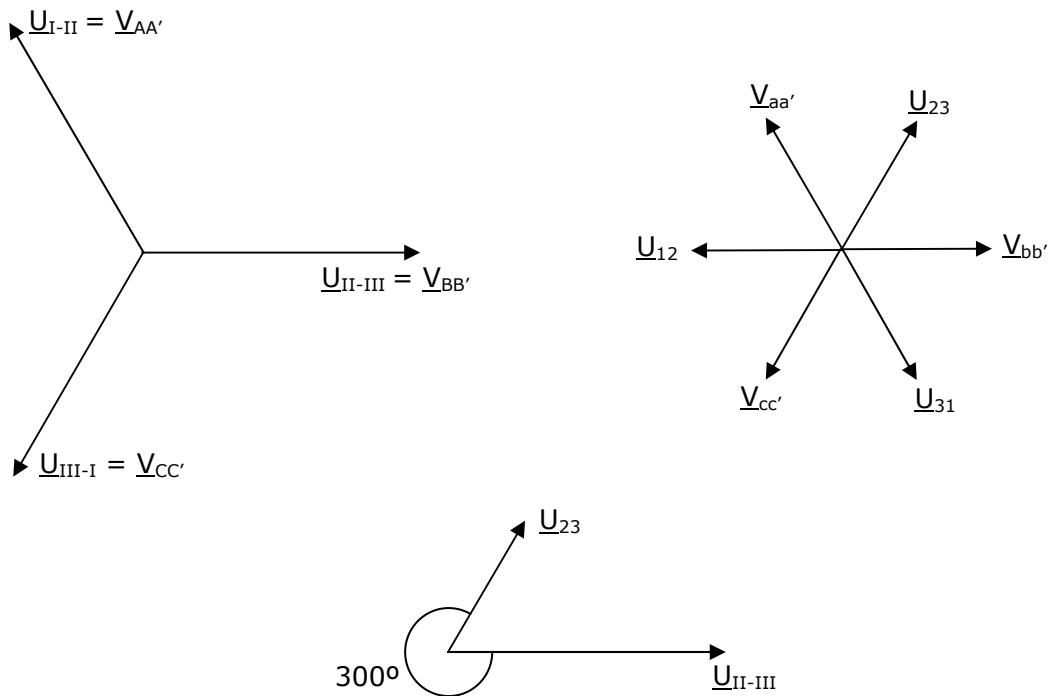


Figura 3: Esquema de conexiones de TA

105.- Kalkulatu TA transformadorearen ordu-indizea.



$$\text{Ordu-indizea} = 300/30=10 \Rightarrow \boxed{\text{OI} = 10}$$

106.- Kalkulatu sare primarioan izan behar den tentsioa, sekundarioan 400 V (50 Hz) izateko transformadoreak 448 kW-eko (0,8-ko potentzia faktore induktiboa duena) karga orekatua elikatzen duenean.

Tentsio sekundarioa ezaguna denez eta tentsio primarioa kalkulatzeko eskatzen denez, ekuazio bektorialaren bitartez ebatziko da:

$$\underline{V}_1 = \underline{V}'_2 + \underline{I}'_2 \cdot \underline{Z}_e$$

Tentsio sekundarioari angelu nulua emanaz:

$$\underline{V}'_2 = V_2 \cdot \frac{24000}{400} \angle 0^\circ = \frac{400 \cdot 24000}{\sqrt{3} \cdot 400} \angle 0^\circ = \frac{24000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ$$

GT-arekiko adierazitako inpedantzia baliokidea:

$$u_z = \frac{I_{1N} \cdot Z_e \cdot 100}{V_{1N}} \Rightarrow Z_e = \frac{u_z \cdot V_{1N}}{I_{1N} \cdot 100} = \frac{6 \cdot (24000/\sqrt{3})}{19,245 \cdot 100} = 43,2 \Omega$$

$$\text{Izan ere: } I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_{1N}} = \frac{800}{\sqrt{3} \cdot 24} = 19,245 \text{ A}$$

$$\underline{Z}_e = 43,2 \angle 75^\circ$$

Sekundarioko korronea primarioarekiko adierazita:

$$I'_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot U'_{2N} \cdot \cos \varphi} = \frac{448}{\sqrt{3} \cdot 24 \cdot 0,8} = 13,47 \text{ A} \Rightarrow \underline{I}'_2 = 13,47 \text{ A} \angle -36,87^\circ$$

Ordezkatuz zera lortzen da:

$$\underline{V}_1 = 14318,7 \angle 1,44^\circ \Rightarrow U_1 = \sqrt{3} \cdot V_1 \Rightarrow \boxed{U_1 = 24,8 \text{ kV}}$$

Orain, funtzionamenduko baldintza berrietan, TA transformadorea 24 kV-eko (50 Hz) sarera konektatzen da. TA-rekin paraleloan beste transformadore bat TB konektatzen da, azken honek ondorengo ezaugarri izendatuak izanik: 36 kV/600 V, 50 Hz, 1000 KVA.

TA-ren eta TB-ren artean 936 kVA-ko karga trifasiko orekatua elikatzen dutenean, TA-k 546 kVA ematen du eta TB-k 390 KVA.

Kalkulatu:

107.- TA-ren eta TB-ren artean eman dezaketen potentzia maximoa bata zein bestea gainkargatu gabe.

546+390=936 izanik \Rightarrow TA eta TB-ren inpedantzia baliokideek angelu bera daukate eta kargari emandako korroneak fasean daude.

TB-ren potentzia izendatua funtzionamenduko tentsioarekiko adierazita:

$$S_{NTB} = 1000 \cdot \frac{24}{36} = 666,67 \text{ kVA}$$

Deskribatutako karga-egoerarako:

$$i_{TA} \cdot u_{ZTA} = i_{T2B} \cdot u_{ZTB} \quad \Rightarrow \quad \frac{S_{TA}}{S_{NTA}} \cdot u_{ZTA} = \frac{S_{TB}}{S_{NTB}} \cdot u_{ZTB} \quad \Rightarrow \quad \frac{546}{800} \cdot 6 = \frac{390}{666,67} \cdot u_{ZTB}$$

TB-ren zirkuitulaburreko tentsioa funtzionamenduko tentsioarekiko adierazita:

$$u_{ZTB} = 7 \%$$

Ondorioz, TA-k karga-indize handiagoarekin lan egiten duenez, potentzia maximoa TA-k karga osora lan egiten duenean lortzen da. Baldintza hauetan:

$$S_{TA} = S_{NTA} = 800 \text{ kVA}$$

$$S_{TB} = \frac{S_{TA}}{S_{NTA}} \cdot u_{ZTA} \cdot \frac{S_{NTB}}{u_{ZTB}} = \frac{800}{800} \cdot 6 \cdot \frac{666,67}{7} = 571,43 \text{ kVA}$$

Beraz, potentzia maximoa:

$$S_{\max} = S_{NTA} + S_{TB} = 800 + 571,43 \quad \Rightarrow \quad S_{\max} = 1371,4 \text{ kVA}$$

108.- TB-ren zirkuitulaburreko saiakuntzan agertzen diren hariletako galerak saiakuntza intentsitate izendatuan burutzen bada.

TA eta TB-ren inpedantzia baliokideek angelu berbera daukatenez.

$$\left(\frac{R_e}{Z_e} \right)_{TB} = \left(\frac{R_e}{Z_e} \right)_{TA} = \left(\frac{u_R}{u_Z} \right)_{TB} = \left(\frac{u_R}{u_Z} \right)_{TA} = \cos \varphi_e$$

Gogoan izanik:

$$u_{RTB} = u_{ZTB} \cdot \cos \varphi_e = \frac{[(W_{CC})_{IN}]_{TB}}{S_{NTB}} \cdot 100$$

Zera lortzen da:

$$[(W_{CC})_{IN}]_{TB} = u_{ZTB} \cdot \cos \varphi_e \cdot \frac{S_{NTB}}{100} = 7 \cdot \cos 75^\circ \cdot \frac{666,67}{100} \quad \Rightarrow \quad [(W_{CC})_{IN}]_{TB} = 12,078 \text{ kW}$$