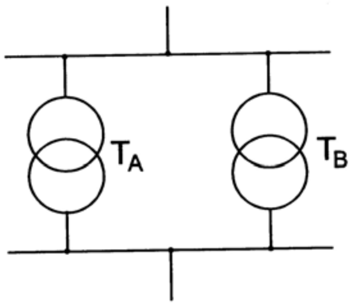
9.23 To transformere A og B, begge for 10/0,4 kV er parallelt forbundne. Den fælles belastning på sekundærsiden er symmetrisk og udgør i alt 900 kVA ved en induktiv effektfaktor på 0,80.
På primærsiden er netspændingen 10,5 kV. Transformernes data er følgende:

	Transf. A	Transf. B
Mærkeeffekt	630	800 kVA
Fuldlastkobbertab	10800	7200 W
Procentisk kortslutn.spænding	5,0	9,0 %

Beregn
a) den sekundære netspænding
b) hver transformers belastning S i kVA
c) hver transformers belastning P i kW



transformerens omsætningsforhold:

$$U_{N1nom} := 10kV \quad U_{N2nom} := 0.4kV \quad n := \frac{U_{N1nom}}{U_{N2nom}} = 25$$

den påtrykte primærspænding:

$$U_{N1} := 10.5kV$$

$$U_{f1} := \frac{U_{N1}}{\sqrt{3}} = 6062.178\,V$$

sekundærsidens resulterende belastning:

$$S_{bel} := 900kV \cdot A$$

$$\phi_{bel} := -acos(0.8) = -36.87 \cdot deg$$

der står intet om trafoen er Yy-koblet eller eksempelvis Dy koblet - vi regner på den som om den var Yy koblet, vi kan altid regne om til D-kobling vha stjerne trekant transformation !
da transformernes impedanstrekanter ikke er ensdannede beregner vi opstillingen som parallelle impedanser

først finder vi transformernes impedanser:(udgangspunktet er transforens nominielle data)

transformer A:

$S_A := 630kV \cdot A$

$P_{cuA} := 10800W$

$e_{kA} := 5\%$

$$I_{A2\_100\%} := \frac{S_A}{\sqrt{3} \cdot U_{N2nom}} = 909.3267\,A$$

$$R_{A2} := \frac{P_{cuA}}{3 \cdot I_{A2\_100\%}^{\ 2}} = 4.3537 \times 10^{-3}\,\Omega$$

$$Z_{A2} := \frac{U_{N2nom} \cdot e_{kA}}{\sqrt{3} \cdot I_{A2\_100\%}} = 0.0127\,\Omega$$

$$\phi_{kA} := \operatorname{acos}\left(\frac{R_{A2}}{Z_{A2}}\right) = 69.949 \cdot deg$$

transformer B:

$S_B := 800kV \cdot A$

$P_{cuB} := 7200W$

$e_{kB} := 9\%$

$$I_{B2\_100\%} := \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_{N2nom}} = 1154.7005\,A$$

$$R_{B2} := \frac{P_{cuB}}{3 \cdot I_{B2\_100\%}^{\ 2}} = 0.0018\,\Omega$$

$$Z_{B2} := \frac{U_{N2nom} \cdot e_{kB}}{\sqrt{3} \cdot I_{B2\_100\%}} = 0.018\,\Omega$$

$$\phi_{kB} := \operatorname{acos}\left(\frac{R_{B2}}{Z_{B2}}\right) = 84.261 \cdot deg$$

jeg finder parralelforbindelsens samlede impedans, men først laver jeg et index skift- aht mathcad:

parallelforbindelsen :

$$Z_{2A} := Z_{A2} \angle \phi_{kA} = \left(4.354 \times 10^{-3} + 0.012i\right)\Omega$$

$$Z_{2B} := Z_{B2} \angle \phi_{kB} = \left(1.8 \times 10^{-3} + 0.018i\right)\Omega$$

$$Z_{p2} := \frac{Z_{2A} \cdot Z_{2B}}{Z_{2A} + Z_{2B}} = \left(1.832 \times 10^{-3} + 7.275i \times 10^{-3}\right)\Omega$$

$$\left|Z_{p2}\right| = 7.502 \times 10^{-3}\,\Omega \qquad \arg\left(Z_{p2}\right) = 75.863 \cdot deg$$

$$R_{2p} := \operatorname{Re}\left(Z_{p2}\right) = 0.0018\,\Omega$$

$$X_{L2p} := \operatorname{Im}\left(Z_{p2}\right) = 0.0073\,\Omega$$

nu ønsker jeg at finde sekundærspændingen, dvs primærspændingen henført til sekundær siden fra trukket spændingsfaldene over impedanserne ligeledes henført til sekundærsiden

$$U_{f2} = U'_{f1} - \Delta U_f$$

$$U_{f2} = \frac{U_{f1}}{n} - I_{bel2}\left(R_{2p}\cdot\cos(\phi_{bel}) + X_{L2p}\cdot\sin(\phi_{bel})\right)$$

belastningsstrømmen på sekundærsiden kan udtrykkes ved:

$$I_{bel} = \frac{S_{bel}}{3\cdot U_{f2}} = \frac{S_{bel}}{U_n\cdot\sqrt{3}}$$

udtrykkene samles:

$$U_{f2} = \frac{U_{f1}}{n} - \left(\frac{S_{bel}}{3\cdot U_{f2}}\right)\cdot\left(R_{2p}\cdot\cos(\phi_{bel}) + X_{L2p}\cdot\sin(\phi_{bel})\right)$$

dette udtryk ganges igennem med: U_{f2}

$$U_{f2}^{2} = U_{f2}\cdot\frac{U_{f1}}{n} - U_{f2}\cdot\left(\frac{S_{bel}}{3\cdot U_{f2}}\right)\cdot\left(R_{2p}\cdot\cos(\phi_{bel}) + X_{L2p}\cdot\sin(\phi_{bel})\right)$$

dette er nu en andengradsligning,hvor den eneste ubekendte er sekundærfasespændingen.
jeg rydder lidt op i udtrykket:

$$U_{f2}^{2} - U_{f2}\cdot\frac{U_{f1}}{n} + \left(\frac{S_{bel}}{3}\right)\cdot\left(R_{2p}\cdot\cos(\phi_{bel}) + X_{L2p}\cdot\sin(\phi_{bel})\right) = 0$$

det kan jeg lege meget med, men istedet lader jeg mathcad løse denne ligning:

$$U_{f2} := \begin{pmatrix} \dfrac{U_{f1} + \dfrac{\sqrt{3}\cdot\sqrt{3\cdot U_{f1}^{2} - 4\cdot R_{2p}\cdot S_{bel}\cdot n^{2}\cdot\cos\left(\left|\phi_{bel}\right|\right) - 4\cdot S_{bel}\cdot X_{L2p}\cdot n^{2}\cdot\sin\left(\left|\phi_{bel}\right|\right)}}{3}}{2\cdot n} \\[2ex] \dfrac{U_{f1} - \dfrac{\sqrt{3}\cdot\sqrt{3\cdot U_{f1}^{2} - 4\cdot R_{2p}\cdot S_{bel}\cdot n^{2}\cdot\cos\left(\left|\phi_{bel}\right|\right) - 4\cdot S_{bel}\cdot X_{L2p}\cdot n^{2}\cdot\sin\left(\left|\phi_{bel}\right|\right)}}{3}}{2\cdot n} \end{pmatrix}$$

$$U_{f2} = \begin{pmatrix} 235.045 \\ 7.442 \end{pmatrix} V$$

en spænding på 7.4 Volt er lidt urealistisk derfor må spændingen være:

$U_{f2} := 235.045\cdot V$ og $\quad U_{N2} := U_{f2}\cdot\sqrt{3} = 407.11\,V$

b) hver transformers belastning S i kVA

vi kender følgende :

$S_{bel} = 900 \cdot kV \cdot A$

$\phi_{bel} = -36.87 \cdot deg$

$U_{f2} = 235.045 \cdot V$

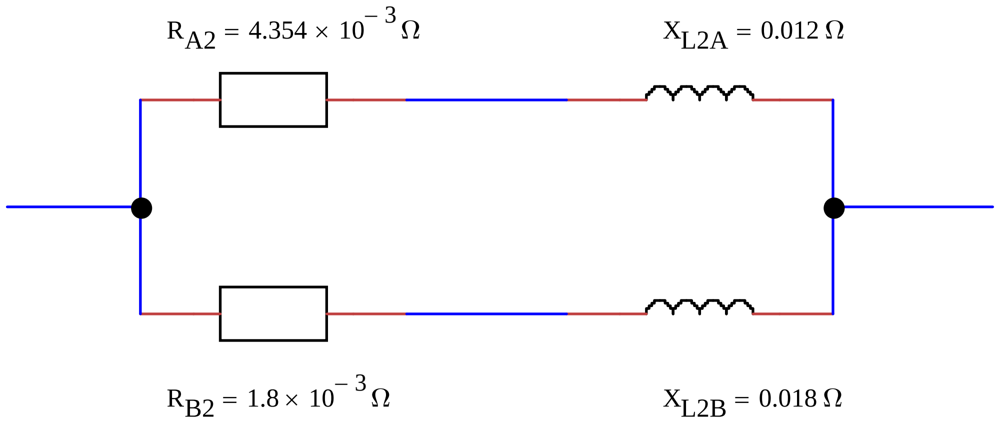
$U_{N2} = 407.11\ V$

$Z_{p2} = (0.0018 + 0.0073i)\ \Omega$

$Z_{2A} = (0.0044 + 0.0119i)\ \Omega$ $\qquad X_{L2A} := Im(Z_{2A}) = 0.0119\ \Omega$

$Z_{2B} = (0.0018 + 0.0179i)\ \Omega$ $\qquad X_{L2B} := Im(Z_{2B}) = 0.0179\ \Omega$

opstillingen ser sådan ud:



nu kan vi finde den afgivne strøm:

$I_2 := \dfrac{S_{bel} \angle \phi_{bel}}{\sqrt{3} \cdot U_{N2}} = (1021.081 - 765.811i)\ A$ $\qquad |I_2| = 1276.351\ A$ $\qquad arg(I_2) = -36.87 \cdot de$

transformeren spændingsfald

$\Delta U_T := I_2 \cdot Z_{p2} = (7.442 + 6.025i)\ V$

$|\Delta U_T| = 9.576\ V$ $\qquad arg(\Delta U_T) = 38.993 \cdot deg$

$I_A := \dfrac{\Delta U_T}{Z_{2A}} = (646.675 - 387.887i)\ A$ $\qquad |I_A| = 754.086\ A$ $\qquad arg(I_A) = -30.956 \cdot deg$

$$I_B := \frac{\Delta U_T}{Z_{2B}} = (374.406 - 377.924i)\,A \qquad |I_B| = 531.983\,A \qquad \arg(I_B) = -45.268 \cdot deg$$

$$S_{Abel} := \sqrt{3} \cdot U_{N2} \cdot I_A = (455.993 - 273.513i) \cdot kV \cdot A \qquad |S_{Abel}| = 531.732 \cdot kV \cdot A$$

$$S_{Bbel} := \sqrt{3} \cdot U_{N2} \cdot I_B = (264.007 - 266.487i) \cdot kV \cdot A \qquad |S_{Bbel}| = 375.12 \cdot kV \cdot A$$

$$P_{Abel} := S_{Abel} \cdot \cos(\arg(I_A)) = (391042.72 - 234554.167i)\,W \qquad |P_{Abel}| = 455.993 \cdot kW$$

$$P_{Bbel} := S_{Bbel} \cdot \cos(\arg(I_B)) = (185805.79 - 187551.71i)\,W \qquad |P_{Bbel}| = 264.007 \cdot kW$$

forfærdelig opgave at blive klog på :-)

vektordiagrammet må vente til en anden dag

eller den mere simple:(husk der bruges komplekse tal)
her fåes en løsning med real del og imaginær del

$$S_a := (S_{bel} \angle \phi_{bel}) \cdot \frac{Z_{2B}}{Z_{2A} + Z_{2B}} = (455.993 - 273.513i) \cdot kV \cdot A \qquad |S_a| = 531.732 \cdot kV \cdot A$$

$$S_b := (S_{bel} \angle \phi_{bel}) \cdot \frac{Z_{2A}}{Z_{2A} + Z_{2B}} = (264.007 - 266.487i) \cdot kV \cdot A \qquad |S_b| = 375.12 \cdot kV \cdot A$$

eller endnu mere simpelt :-)

$$S_{a.} := (S_{bel}) \cdot \frac{Z_{2B}}{Z_{2A} + Z_{2B}} = (528.902 + 54.786i) \cdot kV \cdot A \qquad |S_{a.}| = 531.732 \cdot kV \cdot A$$

$$S_{b.} := (S_{bel}) \cdot \frac{Z_{2A}}{Z_{2A} + Z_{2B}} = (371.098 - 54.786i) \cdot kV \cdot A \qquad |S_{b.}| = 375.12 \cdot kV \cdot A$$

men heraf kan vi ikke se P og Q effekten idet belastningens S effekt er sat som reference og ikke transformerens klemspænding
men hvordan kan det gøres så simpelt - det kræver et bevis og et spørgsmål !

hvor simpelt kan det gøres ?
jeg tager udgangspunktet i, at spændingsfaldet skal være det samme både for parallelkoblingen, transformer A og transformer B dvs:

$I_2 \cdot Z_p = I_A \cdot Z_A = I_B \cdot Z_B$ regnet kompleks selvfølgeligt

$$I_2 \cdot \frac{Z_A \cdot Z_B}{Z_A + Z_B} = I_A \cdot Z_A = I_B \cdot Z_B$$

$$I_A = I_2 \cdot \frac{Z_B}{Z_A + Z_B}$$

$$I_B = I_2 \cdot \frac{Z_A}{Z_A + Z_B}$$

ups der bevidste jeg vist strømdeling for vekselspænding men husk det er beregnet ifh til klemspændingen på transforenens sekundær side

jeg prøver om det passer:

$$I_{Atest} := I_2 \cdot \frac{Z_{2B}}{Z_{2A} + Z_{2B}} = (646.675 - 387.887i)\ A$$

idet $I_2 = (1021.081 - 765.811i)\ A$

$Z_{2B} = (0.002 + 0.018i)\ \Omega$

$$|I_{Atest}| = 754.086\ A$$

$$\arg(I_{Atest}) = -30.956 \cdot deg$$

$$I_{Btest} := I_2 \cdot \frac{Z_{2B}}{Z_{2A} + Z_{2B}} = (646.675 - 387.887i)\ A$$

idet $I_2 = (1021.081 - 765.811i)\ A$

$Z_{2A} = (0.004 + 0.012i)\ \Omega$

$$|I_{Btest}| = 754.086\ A$$

$$\arg(I_{Btest}) = -30.956 \cdot deg$$

det gør det saft susme

jeg leger lidt mere idet jeg ganger alle led med kvadratrod 3 og netspændingen på sekundærsiden

$$\sqrt{3}\cdot U_n\cdot I_2\cdot Z_p = \sqrt{3}\cdot U_n\cdot I_A\cdot Z_A = \sqrt{3}\cdot U_n\cdot I_B\cdot Z_B$$

$$S\cdot Z_p = S_B\cdot Z_A = S_B\cdot Z_B$$

$$S\cdot\frac{Z_{2B}\cdot Z_{2A}}{Z_{2A}+Z_{2B}} = S_B\cdot Z_A = S_B\cdot Z_B$$

heraf følger:

$$S_B = S\cdot\frac{Z_{2A}}{Z_{2A}+Z_{2B}}$$

$$S_A = S\cdot\frac{Z_{2B}}{Z_{2A}+Z_{2B}}$$

jeg tester:

$$S_{Btest} := (S_{bel}\angle\phi_{bel})\cdot\frac{Z_{2A}}{Z_{2A}+Z_{2B}} = (264006.507 - 266487.239i)\cdot V\cdot A$$

$|S_{Btest}| = 375.12\cdot kV\cdot A$ $\quad$ $\mathrm{Re}(S_{Btest}) = 264.007\cdot kW$

$\arg(S_{Btest}) = -45.268\cdot deg$

$$S_{Atest} := (S_{bel}\angle\phi_{bel})\cdot\frac{Z_{2B}}{Z_{2A}+Z_{2B}} = (455993.493 - 273512.761i)\cdot V\cdot A$$

$|S_{Atest}| = 531.732\cdot kV\cdot A$ $\quad$ $\mathrm{Re}(S_{Atest}) = 455.993\cdot kW$

$\arg(S_{Btest}) = -45.268\cdot deg$

så er der vist ikke ret megen udfordring tilbage i denne opgave type. det kan nu sammenfattes til at strømme og effekter i transformere der er totalt uens kan findes som: (husk nu at det er komplekse tal med vinkler og alt det der)

$$I_A = I_2\cdot\frac{Z_B}{Z_A+Z_B} \qquad \text{og} \qquad S_B = S\cdot\frac{Z_{2A}}{Z_{2A}+Z_{2B}}$$

$$I_B = I_2\cdot\frac{Z_A}{Z_A+Z_B} \qquad\qquad S_A = S\cdot\frac{Z_{2B}}{Z_{2A}+Z_{2B}}$$

:g