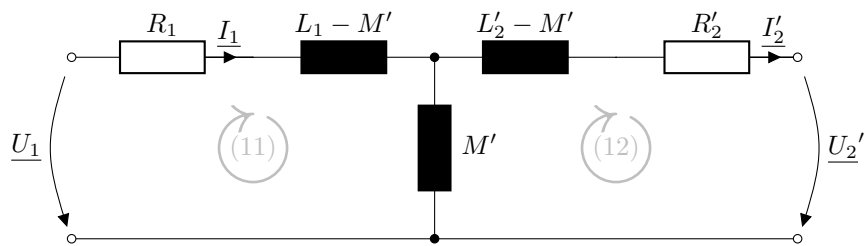


Das einphasige Ersatzschaltbild des Drehstromtransformators, Teil 2

R.G., 2020

1 Vereinfachung des Ersatzschaltbildes des Drehstromtransformators

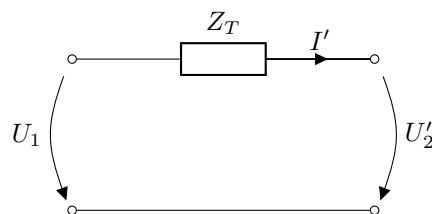


Für den **belasteten** Transformator gilt folgende Überlegung: Die hochohmige Quergröße X_n' (M') führt gegenüber den Lastströmen einen vernachlässigbar geringen Strom. Daraus ergibt sich folgende Vereinfachung:

$$X_n \rightarrow \infty$$

Es ergibt sich nun die Reihenschaltung, welche als Z_T definiert wird:

$$Z_T = R_1 + jX_1 + R_2' + jX_2'$$



Nicht eingezeichnet ist der ideale Übertrager mit \underline{u} sowie \underline{I} und \underline{U}_2 am Ausgang.

Auf dem Typenschild des Transformators steht die relative, d.h. auf die Nennspannung bezogene, Kurzschlussspannung u_k . Wie man daraus die Transformatorimpedanz berechnet ist unten gezeigt.

2 Typenschild eines Dreiphasentransformators

Leiter-Leiter-Spannung	Nennspannung: 10 kV OS / 0,4 kV US		Schaltgruppe
Nennleistung	$S_n = 630 \text{ kVA}$	Dy(n) 5	
	Anzapfungen: $\pm 2 \times 2,5 \%$		Umsteller auf der OS-Seite
Leerlaufverluste	$P_0 = 800 \text{ W}$	$P_K = 6,75 \text{ kW}$	Kurzschlussverluste
Kurzschlussspannung	$u_K = 6 \%$	$\eta = 0,98$	Wirkungsgrad
Geräuschpegel	60 dB	1930 kg / 280 kg	Gewicht gesamt / Öl

alle Angaben gelten für S_n

2.1 Leiter-Leiter-Spannung U_n

Die Nennspannung wird angegeben für Ober- und Unterspannungsseite als Leiter-Leiter-Spannung. Wir bezeichnen sie als U_n .

2.2 Nennleistung S_n

Die Nennleistung S_n definiert u.a. den Nennbetrieb des Transformators.

2.3 Schaltgruppe

Die Schaltgruppe gibt an, wie jeweils Ober- und Unterspannungsseite des Transformators mit dem Dreiphasennetz verschaltet werden.

2.3.1 Kennzeichnung

Die Kennzeichnung setzt sich wie folgt zusammen:

1. Schaltungsweise der Oberspannungsseite (Großbuchstabe)
2. Schaltungsweise der Unterspannungsseite (Kleinbuchstabe)
3. Stundenzahl (Uhr) als Angabe der Phasenverschiebung zwischen den Leiter-Leiter-Spannungen, Phase 1 steht auf 12 Uhr

2.3.2 Mögliche Schaltungsarten

Schaltgruppe	Zeigerbild	Schaltungsbild
Dd0		
Yy0		
Dz0		
Dy5		
Yd5		
Yz5		
Dd6		
Yy6		
Dz6		
Dy11		
Yd11		
Yz11		
Ya0		

2.4 Leerlaufverluste P_0

P_0 sind die Verluste bei Leerlauf des Transformators, d.h. wenn er auf der Sekundärseite nicht belastet wird (offen).

2.5 Kurzschlussverluste P_k

P_k sind die Verluste bei Kurzschluss des Transformators, d.h. wenn er maximal belastet wird.

2.6 Kurzschlussspannung(sfaktor) u_k

Auf dem Typenschild wird u_k angegeben als Bruchteil der Nennspannung U_n im Kurzschlussfall (z.B. 6%).

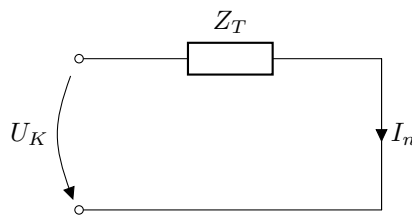
2.7 Wirkungsgrad η

η ist der Wirkungsgrad des Transformators, also das Verhältnis von abgegebener zu aufgenommener Wirkleistung.

2.8 Geräuschpegel

Der Geräuschpegel wird in dB SPL angegeben. Er entsteht z.B. durch *Magnetostriction*.

3 Kenngrößen des vereinfachten Ersatzschaltbildes



U_K ...Kurzschlussspannung

1. Einfacher Strom-Spannungs-Zusammenhang:

$$Z_T = \frac{U_K}{I_n}$$

2. Zusammenhang des Kurzschlussfaktors u_k (U_K - Strangspannung!):

$$u_k = \frac{U_K}{U_n / \sqrt{3}}$$

z.B 6%

3. Zusammenhang der Nennscheinleistung:

$$S_n = \underbrace{\sqrt{3}}_{\text{in allen 3 Phasen}} \cdot \underbrace{U_n}_{\text{Leiter-Leiter-Spannung}} \cdot \underbrace{I_n}_{\text{Strangstrom}}$$

4. Einsetzen in Gleichung der Transformatorimpedanz (Betrag):

$$Z_T = \frac{u_k \cdot U_n^2}{S_n}$$

5. Wicklungsverluste:

$$P_{Kn} = 3 \cdot I_n^2 \cdot R_T$$

$$\frac{P_K}{P_{Kn}} = \frac{3 \cdot I^2 \cdot R_T}{3 \cdot I_n^2 \cdot R_T} = \left(\frac{I}{I_n}\right)^2$$

$$P_V = P_0 + P_K$$

4 Übung: Belasteter Drehstromtransformator

Nennspannung: 10 kV OS / 0,4 kV US	
$S_n = 630 \text{ kVA}$	Dy(n) 5
Anzapfungen: $\pm 2 \times 2,5 \%$	
$P_0 = 800 \text{ W}$	$P_K = 6,75 \text{ kW}$
$u_K = 6 \%$	$\eta = 0,98$
60 dB	1930 kg / 280 kg

1. Ermitteln Sie folgende Größen des Transformators:

Nennstrom, Impedanz (R und X) jeweils für die Ober- und Unterspannungsseite.

2. Der Transformator wird unterspannungsseitig

a) mit I_n und $\cos\phi = 0,7$ ind. belastet

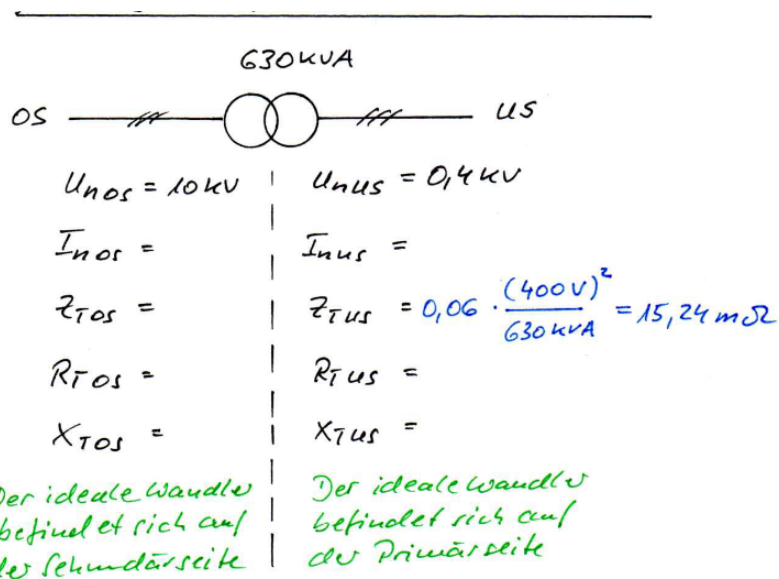
b) mit $0,5I_n$ und $\cos\phi = 1$ belastet

c) mit $0,8I_n$ reinen Wirkstrom eingespeist (PV)

Geben Sie für die 3 Fälle die Spannung \underline{U}_1 nach Betrag und Winkel (mit Zeigerbild) an unter der Annahme, dass am sekundären Anschlusspunkt des Trafos die Nennspannung anliegt.

3. Ermitteln Sie den Laststrom (I und $\cos\phi$), bei dem Ein- und Ausgangsspannung ($\underline{U}_1, \underline{U}_2'$) betragsmäßig gleich groß werden (U_n).

1)



4.1

4.1.1 Oberspannungsseite

1. Nennstrom:

$$S_n = \sqrt{3} \cdot U_{nos} \cdot I_n$$

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} U_{nos}} = 36.37 \text{ A}$$

2. Impedanz (idealer Übertrager auf Sekundärseite)

$$Z_{Tos} = \frac{U_{nos}^2 \cdot u_k}{S_n} = 9.52 \Omega$$

3. Resistanz aus den Wirkleistungsverlusten bei KURZSCHLUSS

$$R_{Tos} = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_K}{I_{nos}^2} = 1.7 \Omega$$

4. Reaktanz aus dem Betrag der Impedanz

$$X_{Tos} = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = 9.37 \Omega$$

4.1.2 Unterspannungsseite

1. Nennstrom:

$$S_n = \sqrt{3} \cdot U_{nus} \cdot I_n$$

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} U_{nus}} = 909.33 \text{ A}$$

2. Impedanz (idealer Übertrager auf Primärseite)

$$Z_T = \frac{U_{nUS}^2 \cdot u_k}{S_n} = 0.015 \Omega$$

3. Resistanz

$$R_{TUS} = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_K}{I_{nUS}^2} = 0.02 \Omega$$

4. Reaktanz

$$X_{TOS} = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = 0.015 \Omega$$

4.2

Es liegt die Nennspannung am sekundären Anschlusspunkt des Trafos an. Es soll nun die Eingangsspannung U_1 berechnet werden

4.2.1 a) Unterspannungsseitige Belastung mit I_n , $\cos \phi = 0.7$

Leistung ist gleich auf beiden Seiten $\rightarrow \cos \phi$ ist gleich auf beiden Seiten (reelles \ddot{u})! Dadurch ist der Winkel ($\arccos \cos \phi$) des überspannungsseitigen Stromes bekannt. Dessen Betrag wurde bereits in der vorherigen Aufgabe berechnet.

$$\underline{I}_{TOS} = 36.37 \text{ A} \cdot e^{45.6^\circ}$$

Die Eingangsspannung ergibt sich einfach aus der Summe der über die Transformatorimpedanz abfallenden Spannung und der primärseitigen Spannung über dem idealen Übertrager. Die primärseitige Transformatorimpedanz ist bekannt.

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_{\ddot{u}} + \underline{I}_{TOS} \cdot (R_{TOS} + jX_{TOS})$$

4.2.2 b) Unterspannungsseitige Belastung mit $0.5I_n$, $\cos \phi = 1$

4.2.3 c) Unterspannungsseitige Einspeisung von $0.8I_n$, $\cos \phi = 0.7$