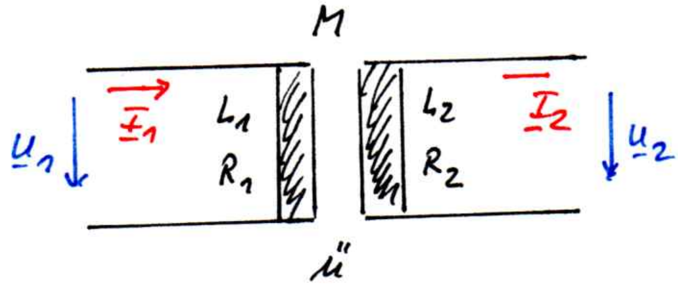
Das einphasige ESB des DS-Transformators

Physikalisch gesehen sind die beiden Seiten (Ober- u. Unterspannung) induktiv über einen Eisenkern miteinander gekoppelt.
Für praktische Berechnungen eignet sich aber besser eine galvanische Kopplung, die man durch eine kurze mathematische Umformung erhält:



L - Selbstinduktivität
M - Gegeninduktivität
ü - Übersetzungsverhältnis

1. Schritt:
Aufstellen der beiden Maschengleichungen und Einführen des Übersetzungsverhältnisses (hier auf der Sekundärseite) in ROT

$$\begin{cases} \underline{U}_1 = R_1 \cdot \underline{I}_1 + j\omega L_1 \underline{I}_1 + j\omega \ddot{u} M \cdot \underline{I}_2/\ddot{u} \\ \ddot{u}\underline{U}_2 = \ddot{u}^2 R_2 \cdot \underline{I}_2/\ddot{u} + j\omega \ddot{u}^2 L_2 \cdot \underline{I}_2/\ddot{u} + j\omega \ddot{u} M \cdot \underline{I}_1 \quad / \cdot \ddot{u} \end{cases}$$

2. Schritt:
Kurzschreibweise mit Strichgrößen
$\ddot{u}^2 \cdot R = R'$ $\quad \ddot{u}^2 \cdot L = L'$ $\quad \ddot{u} M = M'$ $\quad I/\ddot{u} = I'$ $\quad \ddot{u} \cdot U = U'$

$$\begin{cases} \underline{U}_1 = R_1 \cdot \underline{I}_1 + j\omega L_1 \cdot \underline{I}_1 + j\omega M' \cdot \underline{I}_2' \\ \underline{U}_2' = R_2' \cdot \underline{I}_2' + j\omega L_2' \cdot \underline{I}_2' + j\omega M' \cdot \underline{I}_1 \end{cases}$$

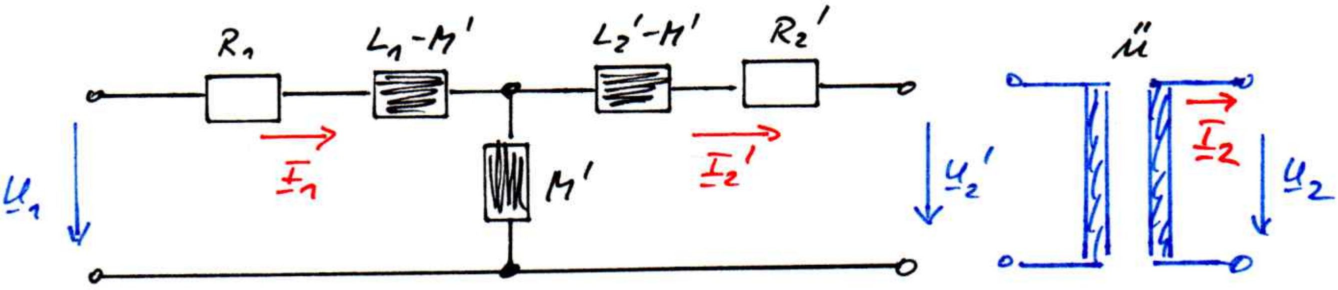
3. Schritt:
Ergänzende Größen einführen, um identische Ausdrücke in beiden Gleichungen zu erhalten:
in GRÜN

$$\begin{cases} \underline{U}_1 = R_1 \cdot \underline{I}_1 + j\omega L_1 \cdot \underline{I}_1 - j\omega M' \cdot \underline{I}_1 + j\omega M' \cdot \underline{I}_2' + j\omega M' \cdot \underline{I}_1 \\ \underline{U}_2' = R_2' \cdot \underline{I}_2' + j\omega L_2' \cdot \underline{I}_2' - j\omega M' \cdot \underline{I}_2' + j\omega M' \cdot \underline{I}_1 + j\omega M' \cdot \underline{I}_2' \end{cases}$$

und zusammengefasst:

$$\boxed{\begin{aligned} \underline{U}_1 &= R_1 \cdot \underline{I}_1 + j\omega (L_1 - M') \cdot \underline{I}_1 + j\omega M' (\underline{I}_1 + \underline{I}_2') \\ \underline{U}_2' &= R_2' \cdot \underline{I}_2' + j\omega (L_2' - M') \cdot \underline{I}_2' + j\omega M' (\underline{I}_1 + \underline{I}_2') \end{aligned}}$$

und so sieht jetzt das entsprechende ESB aus!



Da wir die Sekundärgrößen auf die Primärseite bezogen haben, gehört jetzt auf die Sekundärseite noch ein idealer Wandler mit ü, der uns dann die realen Sekundärgrößen liefert.

Das galvanische ESB, das ja ein fiktives Modell ist, verhält sich nach außen hin (Eingangs- zu Ausgangsgrößen) genau so wie das induktive ESB, also der reale Transformator.

Nur dieses ESB und mögliche Vereinfachungen werden wir in Zukunft verwenden.

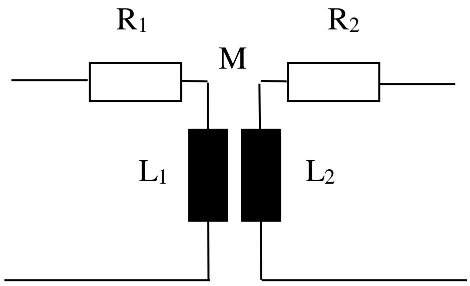
Übung: Ersatzschaltbild Transformator

Gegeben sind die einphasigen Größen eines Drehstromtransformators
(S_n = 400 kVA, ü = 10 kV / 0,4 kV):

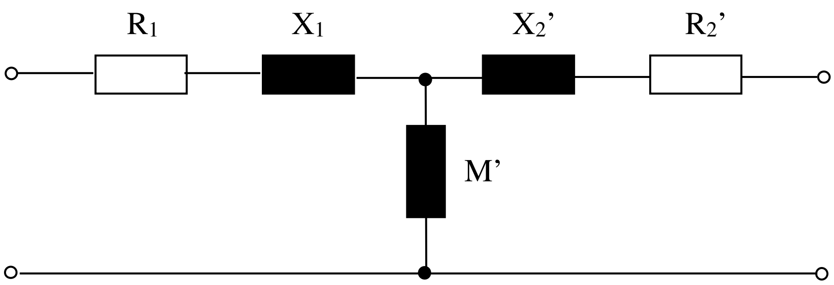
R_1 = 77 mΩ $\quad$ L_1 = 4,52 H

R_2 = 5,1 mΩ $\quad$ L_2 = 7,25 mH

M = 180 mH



1. Geben Sie alle Größen für das galvanisch gekoppelte ESB an (Vernachlässigung von R_{Fe}).



   Wie wird in diesem ESB das Übersetzungsverhältnis berücksichtigt?

2. Der Transformator wird mit $\underline{Z}$ = (350 + j 330) mΩ symmetrisch in jeder Phase belastet. Dabei soll die Spannung über dem Verbraucher den Nennwert haben. Ermitteln Sie alle Strom- und Spannungsgrößen und zeichnen Sie das vollständige Zeigerbild dieser Größen.

   Verändern Sie Z: $\quad$ **$\underline{Z}$ = 350 mΩ** $\quad$ **ohmsche Belastung**
   $\underline{Z}$ = (350 – j 330) mΩ $\quad$ **ohmsch-kapazitive Belastung**

   Wie groß ist die Eingangsspannung dann (Betrag und Winkel)?

3. Geben Sie für alle 3 Fälle die aus dem Netz entnommene Scheinleistung und die im Transformator entstehenden Wicklungsverluste an.

Kontrollergebnisse u. Hinweise zur Übung

1. $R_1 = 77\,m\Omega$ $\quad X_1 = 6{,}28\,\Omega$

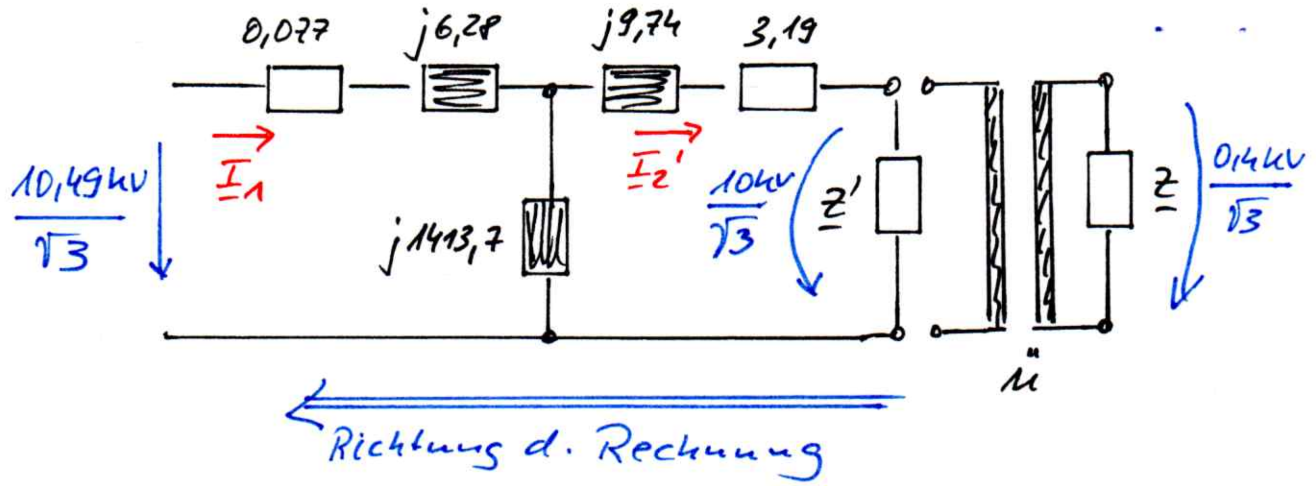
$R_2' = 3{,}19\,\Omega$ $\quad X_2' = 9{,}74\,\Omega$

} Längsgrößen niederohmig

$X_h' = \omega \cdot M' = 1413{,}7\,\Omega$ → Quergröße hochohmig

(Hauptblindwiderstand)

2. Wir beginnen am Abnehmepunkt, denn dort ist uns Belastung und Spannung bekannt und rechnen nach vorne durch:



$$\boxed{\underline{U}_1 = 6{,}058\,kV \angle 1{,}7^\circ}$$

für $\underline{Z} = (350 + j330)\,m\Omega$

und $\underline{U}_2' = \frac{10\,kV}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ$

3. aufgenommene Scheinleistung

$S_1 = \sqrt{3} \cdot U_{1LL} \cdot I_1 = 403\,kVA$

Wicklungsverluste $P_V = 3 \cdot I^2 \cdot R$

OS: 113,5 W
US: 3543,5 W

$\Sigma = 3{,}65\,kW$