

Einphasentransformator

1. AUFBAU

2. GLEICHUNGEN UND ERSATZSCHALTBILD

3. ZEIGERDIAGRAMM

4. BETRIEBSEIGENSCHAFTEN

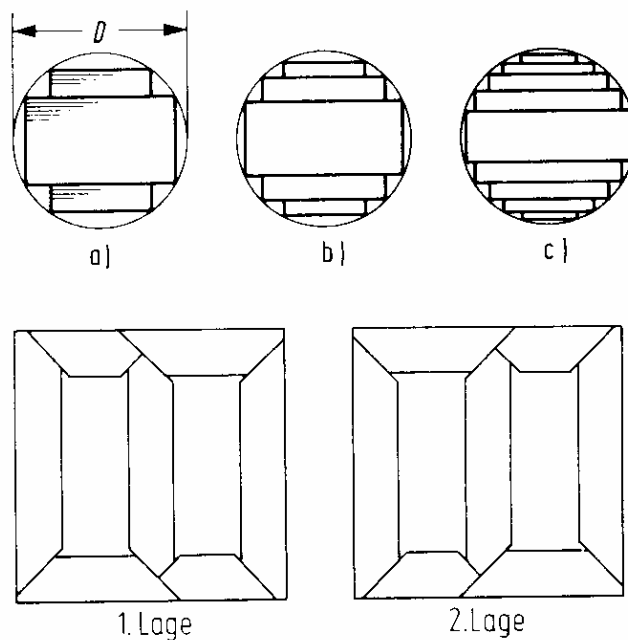
1. Aufbau des Einphasentransformators:

a) EISENKERN

Dem Eisenkern kommt die Aufgabe zu den Wechselfluß zu führen und die Wicklungen zu tragen. Der magn. Kreis des Wechselfeldes muß mit Rücksicht auf die Wirbelstromverluste aus Blechen gebildet sein, wozu heute durchwegs kaltgewalzte kornorientierte 0,3 - 0,35 mm starke Bleche Verwendung finden. Die gegenseitige Isolierung übernimmt eine sehr dünne Silikat-Phosphatschicht, die bereits während des Auswalzens der Bleche aufgebracht wird.

Um den Innendurchmesser der Trafowicklung möglichst gut auszunützen, nähert man durch eine 5 – 15fache Stufung der Blechbreiten den Eisenquerschnitt an die Kreisform an.

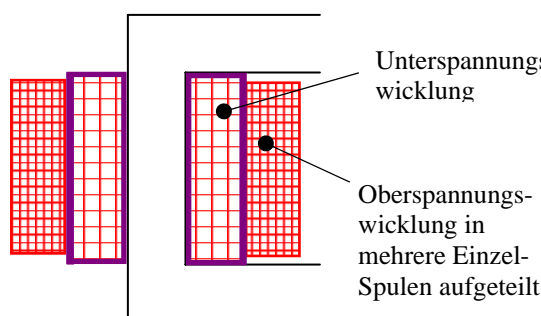
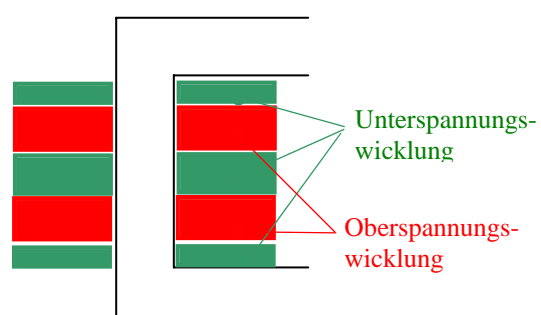
Mit Rücksicht auf die Geräuschbildung und zur Erzielung einer optimalen magnetischen Leitfähigkeit werden die Blechstreifen nicht stumpf, sondern verzapft zusammengesetzt. Bei kornorientierten Blechen muß dabei zur Beibehaltung der magnetischen Vorzugsrichtung ein Schrägschnitt vorgesehen werden.



KERNTRAFO	MANTELTRAFO
<ul style="list-style-type: none"> - größere Leistungen \Rightarrow mittlere Wdg – Länge kleiner - Beide Wicklungen werden je zur Hälfte auf den beiden Schenkeln untergebracht \Rightarrow sonst zu große Streuung 	<ul style="list-style-type: none"> - Wicklungen auf Mittelschenkel - Kleinere Bauhöhe und geringere mittlere Eisenlänge \Rightarrow wird bevorzugt für Kleintrafos

b) Wicklungen:

Der Aufbau der Wicklungen wird weitgehend durch die geforderte Spannungsfestigkeit bestimmt.

Zylinderwicklung(Röhrenw.)	Scheibenwicklung
<ul style="list-style-type: none"> - meist verwendet - zusätzlich müssen bei größeren Leistungen Teilleiter verdrillen (Roebelstab); Stromverdrängung \Rightarrow Eisen + Kupferverluste 	<ul style="list-style-type: none"> - bei großen Trafos mit großen Eisenquerschnitten 

c) Verluste und Wirkungsgrad:

Der Wirkungsgrad von Transformatoren ist besser als der elektrischer Maschinen. Er ist so gut, daß er stets nur nach dem Einzelverlustverfahren bestimmt werden soll.

Folgende Nennwerte werden bei reiner Wirklast etwa erreicht:

S_N	η_n
MVA	%
0,1	97,7
1	98,8
10	99,2
100	99,5

Es treten Eisenverluste P_{FE} und Stromwärmeverluste P_{CU} auf, wobei erstere infolge der günstigen Verlustziffer der kornorientierten Bleche nur einen Bruchteil der Kupferverluste ausmachen. Man wählt für Leistungstrafos ein Verlustverhältnis

$$\frac{P_{FeN}}{P_{CuN}} = a = 0,17 - 0,25$$

Bestimmung des Wirkungsgrades:

Aufnahmeleistung	$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1$
Verluste	$P_V = P_{FeN} + P_{CuN} \left(\frac{P_1}{P_{1N}} \right)^2$
Wirkungsgrad	$\eta = 1 - \frac{P_V}{P_1}$

d) KÜHLUNG:

Nach dem Wachstumsgesetz nehmen bei einer Vergrößerung der Einheitsleistung die Verluste rascher als die Oberfläche zu, womit die Wärmeabgabe immer schwieriger wird.

Für kleinere Leistungen genügen Trockentrafos, deren Wicklungen der freien Luft ausgesetzt sind

Für Leistungen bis ca. 10 MVA und 30 kV werden Trafos mit Gießharzisolierung gebaut, bei denen die vergossene Wicklung einen kompakten Zylinder bildet.

Für größere Trafos und hohe Betriebsspannungen setzt man den Trafo in einen Ölkessel (bessere Isolationsfestigkeit, bessere Wärmeübergangszahl und Wärmeleitfähigkeit)

Größte Einheiten (Riesentrafos) erhalten zusätzlich äußere Lüfter und schließlich eine Zwangsumwälzung des Öls durch Pumpen und Rückkühlung über angeflanschte Luft- oder Wasserkühler

Kühlungsart wird vom Hersteller durch 4 große Buchstaben gekennzeichnet, wobei die ersten beiden Kühlmittel und Kühlmittelbewegung und beiden letzten Buchstaben Kühlmittel und Kühlmittelbewegung für die äußere Kühlung angeben.

Kühlmittel	Kurzzeichen
Mineralöl	O
Askarel (Claphen)	L
Gas	G
Luft	A
Wasser	W
Kühlmittelbewegung	Kurzzeichen
Natürliche Bewegung	N
Erzwungene, forcierte B.	F

Gleichungen und Ersatzschaltbild:

Streu- und Hauptfeld. In der prinzipiellen Anordnung eines Trafos sind zwei Wicklungen mit den Windungszahlen N_1 und N_2 auf einem gemeinsamen Eisenkern magnetisch gekoppelt. Führen beide Wicklungen Strom so entstehen die Durchflutungen Θ_1 und Θ_2 , die nach dem Grundgesetz magnetischer Kreise $\Phi = \Theta \cdot \Lambda$ die eingetragenen Felder erzeugen. Beide Wicklungen bilden danach auf dem Eisenweg mit dem hohen magnetischen Leitwert Λ_h den Hauptfluß Φ_h und zusätzlich entsprechend dem Streuleitwert je einen sogenannten Streufluß Φ_σ aus. Die Feldlinien der Streuflüsse sind nur mit der eigenen Wicklung verkettet und induzieren dort nach

$$u_\sigma = N \frac{d\Phi_\sigma}{dt} = L_\sigma \frac{di}{dt}$$

eine Spannung der Selbstinduktion.

In Wechselstromkreisen werden durch Selbstinduktion entstandene Spannungen als Spannungsfall an einem Blindwiderstand erfaßt, so daß man jeder Wicklung des Transformators neben ihren ohmschen Widerstand R einen Streublindwiderstand $X_\sigma = 2\pi f L_\sigma$ zuordnen kann.

Gleichungen für das Ersatzschaltbild:

Wie kommt man zu den gestrichelten Größen auf der sekundären Seite:

$$\text{Übersetzungsverhältnis: } \ddot{u} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{Umrechnungen: } \quad U'_2 &= \ddot{u} \cdot U_2 \\ I'_2 &= \ddot{u} \cdot I_2 \\ R'_2 &= \ddot{u}^2 \cdot R_2 \\ X'_{2\sigma} &= \ddot{u}^2 \cdot X_{2\sigma} \end{aligned}$$

Mit Augenblickswerten:

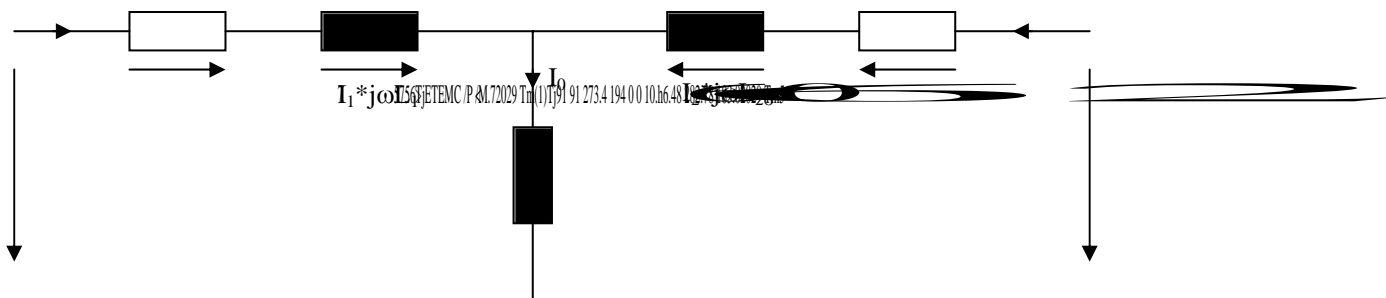
$$\begin{aligned} u_1 &= R_1 \cdot I_1 + L_{1\sigma} \frac{di_1}{dt} + L_h \left(\frac{di_1}{dt} + \frac{di'_2}{dt} \right) \\ u_2 &= R'_2 \cdot I'_2 + L'_{2\sigma} \frac{di'_2}{dt} + L_h \left(\frac{di_1}{dt} + \frac{di'_2}{dt} \right) \end{aligned}$$

Anstelle mit Augenblickswerten der Differentialgleichung rechnet man bei stationären Betriebszuständen mit den Effektivwerten und erhält in komplexer Schreibweise:

$$U_1 = R_1 \cdot I_1 + jX_{1\sigma} \cdot I_1 + jX_h (I_1 + I'_2)$$

$$U_2 = R'_2 \cdot I'_2 + jX'_{2\sigma} \cdot I'_2 + jX_h (I_1 + I'_2) \quad \Rightarrow \text{ERSATZSCHALTUNG}$$

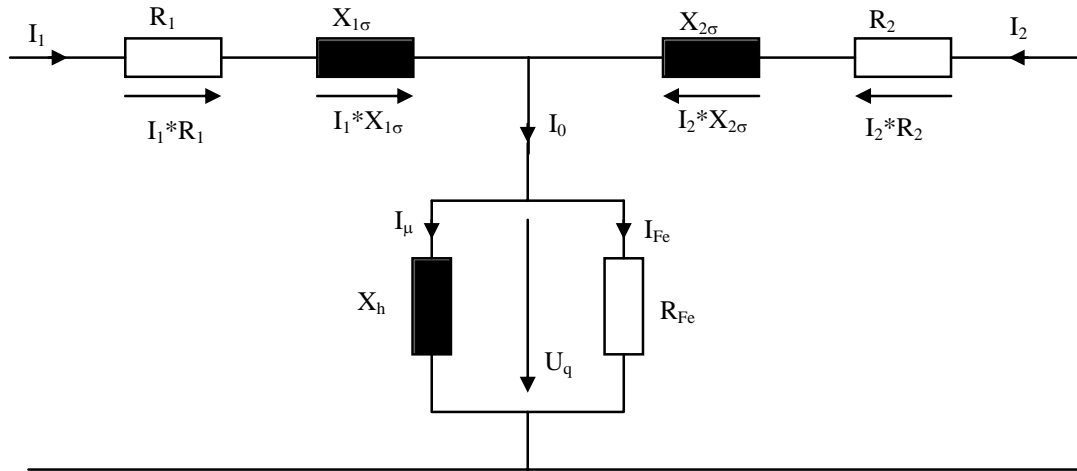
Ersatzschaltbild:



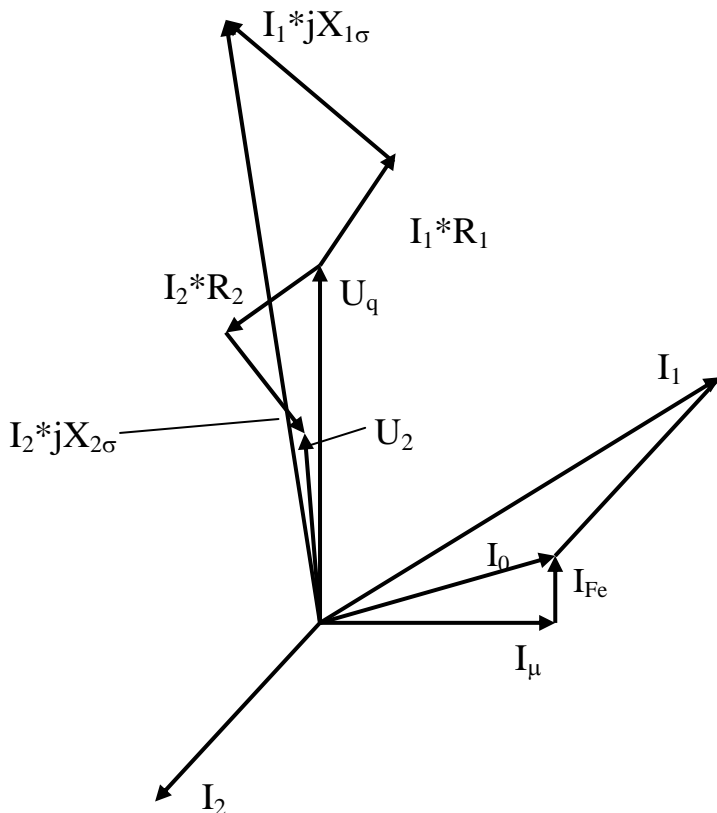
Vollständiges Ersatzschaltbild:

Um in der Ersatzschaltung auch die Eisenverluste des Hauptflusses zu erfassen, legt man parallel zu der Hauptreaktanz X_h einen sogenannten Eisenverlustwiderstand R_{Fe} . Mit $P_{Fe}=U_q^2/R_{Fe}$ gibt dieser wegen $U_q \approx \Phi \approx B$ und $P_{Fe} \approx B^2$ die Abhängigkeit der Eisenverluste richtig wieder.

⇒ endgültiges Ersatzschaltbild



Dazu das Zeigerdiagramm:



I_2 ,ohmsch induktiv, liegt irgendwo zw. U_q und I_μ jedoch um 180° phasenverschoben

Die Spannungsabfälle $I_1R_1, I_1jX_{1\sigma}, \dots$ sind in Wirklichkeit sehr klein ⇒ zwischen U_1 und U_2 fast kein Phasenunterschied

Betriebseigenschaften:

Leerlauf:

Im Leerlauf verhält sich der Trafo wie eine Eisendrossel, die den Leerlaufstrom I_0 aufnimmt. Bei technischen Trafos für die Leistungsübertragung beträgt der Leerlaufstrom I_0 zwischen 1 und 10 % des Nennstromes.

Der Leerlaufstrom erzeugt einen magnetischen Fluß, der zum größten Teil in Eisen verläuft (Hauptfluß).

Ein geringer Teil schließt sich über die Luftwege (Streufluß).

Der Hauptfluß erzeugt in beiden Wicklungen eine Spannung, die induzierte Spannung.

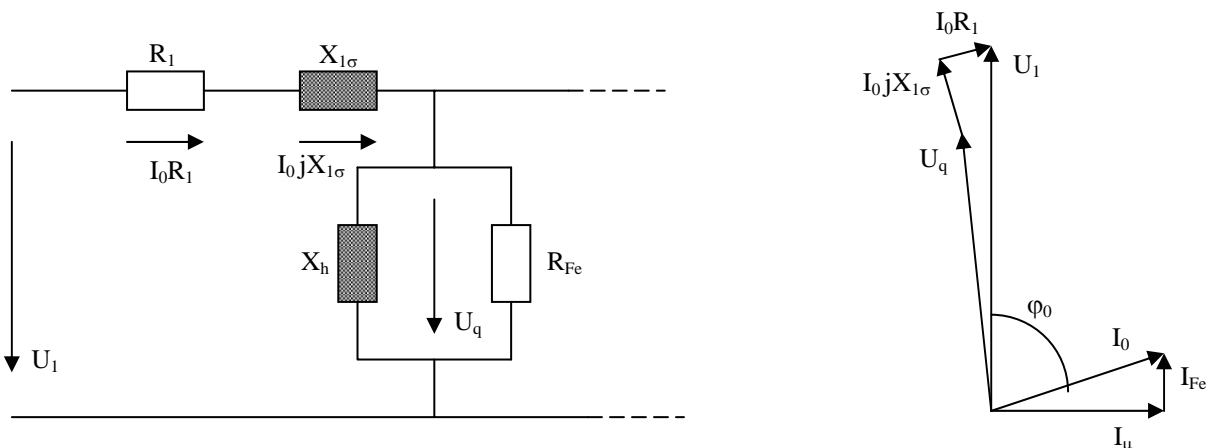
Da alle Wicklungen denselben Hauptfluß besitzen, gilt:

$$\psi_h = N \cdot \phi_h$$

Bei technischen Trafos ist im Leerlauf $U_1 \approx U_q$. Der Fehler ist kleiner als 0,5%

⇒ Nennübersetzungsverhältnis wird somit mit $U_1/U_2 = N_1/N_2$

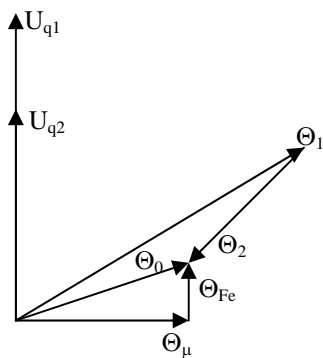
Ersatzschaltbild und Zeigerdiagramm bei Leerlaufversuch:



Belastung:

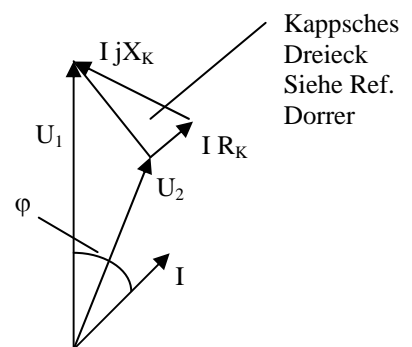
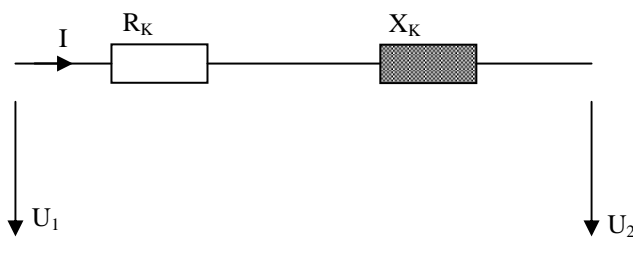
Durch die Belastung führt jede Wicklung Strom und erzeugt einen sogenannten Streufluß. Betrachtet man den idealen Trafo dann erkennt man, daß sich die Spannung U_1 und U_2 streng genau wie die Windungszahlen verhalten. Durch den Hauptfluß sind die zur Magnetisierung des Eisenkerns erforderliche Durchflutung Θ_0 und der primäre Leerlaufstrom I_0 vorgeschrieben. Da bei Belastung im Gegensatz zum Leerlauf beide Wicklungen auf den Eisenkern magnetisierend wirken müssen auch beide Durchflutungen zusammen in jeden Augenblick die erforderliche Durchflutung Θ_0 aufbringen. Magnetisierungsbedingungen des Trafos (Gleichung und Zeigerdiagramm):

$$\Theta_1 + \Theta_2 = \Theta_0$$



Bei Belastung rechnet man mit einer vereinfachten Ersatzschaltung:

$$\left. \begin{matrix} R_K = R_1 + R_2 \\ X_K = X_{1\sigma} + X_{2\sigma} \end{matrix} \right\} Z_K = \sqrt{R_K^2 + X_K^2}$$



Kappsches Dreieck
Siehe Ref. Dorrer

