

13.2 Transformator mit Eisenkern

Bringt man auf einen (geblechten) Eisenkern nach Bild 13.5 zwei Spulen auf, so erhält man eine Anordnung, die man als **Transformator** bezeichnet. Er ermöglicht das *Herabsetzen* oder das *Heraufsetzen* einer *Wechselspannung*. Gleichzeitig stellt ein Transformator eine **galvanische Trennung** zwischen den beiden vorhandenen Stromkreisen her. Das bedeutet, dass beide Stromkreise voneinander isoliert sind.

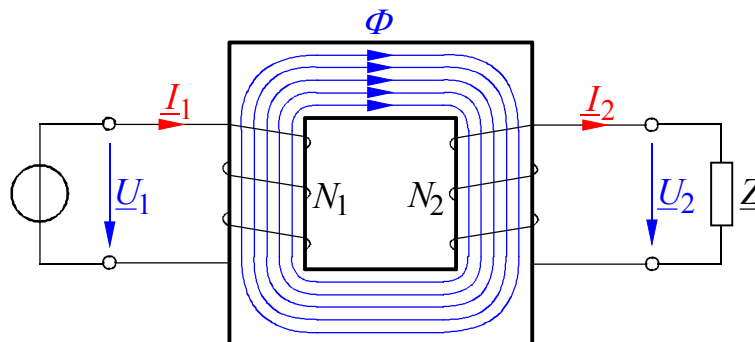


Bild 13.5 Prinzipieller Aufbau eines Transformators (mit Eisenkern)

Man bezeichnet diejenige Spule, die mit der Spannungsquelle (Versorgungsquelle) verbunden ist und somit Leistung aufnimmt, als **Primärwicklung** (oder als Primärseite). Die andere – in Bild 13.5 den Belastungswiderstand Z versorgende – Spule wird als **Sekundärwicklung** (oder Sekundärseite) bezeichnet. Das Funktionsprinzip des Transformators besteht darin, dass der in der Primärwicklung fließende *Wechselstrom* einen magnetischen Fluss (Φ) verursacht, der sich – ebenso wie der Strom – dauernd *ändert*. Dieser sich *ändernde* Fluss wird durch die Sekundärwicklung geführt und *induziert* hier eine Spannung (eine Wechselspannung). Nachfolgend sollen die Vorgänge genauer betrachtet werden.

13.2.1 Der ideale Transformator

Wir wollen zunächst einen Transformator mit „idealem Verhalten“ betrachten. Darunter stellen wir uns eine Anordnung vor, in der folgende Voraussetzungen gelten:

- Die ohmschen Widerstände der Wicklungen sind vernachlässigbar.
- Beide Wicklungen sind magnetisch ideal gekoppelt. Das bedeutet, dass der von der Primärwicklung erzeugte magnetische Fluss Φ nach Bild 13.5 vollständig durch die Sekundärwicklung verläuft.
- Der magnetische Widerstand des Eisenkerns ist vernachlässigbar klein.
- Die Eisenverluste sind vernachlässigbar.

Unter diesen Bedingungen gilt nach Gl. (13.7) für die Primärspannung

$$U_1 = 4,44 N_1 f \hat{\Phi} \quad (13.9)$$

und für die Sekundärspannung

$$U_2 = 4,44 N_2 f \hat{\Phi}. \quad (13.10)$$

Hierbei sind N_1 und N_2 die Windungszahlen der beiden auf dem Eisenkern aufgebrauchten Spulen, f die Frequenz der Wechselspannung und $\hat{\Phi}$ der Scheitelwert des auftretenden magnetischen Flusses. Teilen wir die Gln. (13.9) und (13.10) durcheinander, so erhalten wir

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}. \quad (13.11)$$

Beim idealen Transformator verhalten sich also die Spannungen zueinander wie die Windungszahlen. Man bezeichnet den in Gl. (13.11) angegebenen Quotienten auch als **Übersetzungsverhältnis** (\ddot{u}). Es gilt also

$$\ddot{u} = \frac{N_1}{N_2}. \quad (13.12)$$

Bei dem betrachteten Transformator (Bild 13.5) gilt ferner

$$U_1 I_1 = U_2 I_2.$$

Die auftretenden Scheinleistungen sind also primär- und sekundärseitig gleich groß. Hieraus folgt unter Berücksichtigung von Gl. (13.11)

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}. \quad (13.13)$$

Beim idealen Transformator verhalten sich also die Ströme umgekehrt zueinander wie die Windungszahlen.

13.2.2 Verhalten und Ersatzschaltbild des realen Transformators

Wir wollen jetzt einen *realen* Transformator betrachten. In dessen Eisenkern treten – ebenso wie in dem Kern der in Abschnitt 13.1 beschriebenen Drosselspule – Eisenverluste auf. Darüber hinaus ist der magnetische Widerstand des Eisenkerns

vom Primärstrom erzeugte Flussanteil ($\Phi_{1\sigma}$) heißt **primärer Streufluss**. Entsprechend gibt es einen **sekundären Streufluss** ($\Phi_{2\sigma}$), der vom Sekundärstrom erzeugt wird und nicht durch die Primärwicklung verläuft. Der durch beide Wicklungen verlaufende magnetische Fluss (Φ_h) heißt **Hauptfluss**.

Die Streuflüsse induzieren jeweils nur in *einer* Spule Spannungen und können durch **Streublindwiderstände** ($X_{1\sigma}$ und $X_{2\sigma}$) dargestellt werden. Man kann sich diese aus den Wicklungen herausgezogen denken. Berücksichtigt man dabei noch die **ohmschen Wicklungswiderstände** (R_1 und R_2), so wird aus der in Bild 13.6 dargestellten Ersatzschaltung die in Bild 13.8 angegebene.

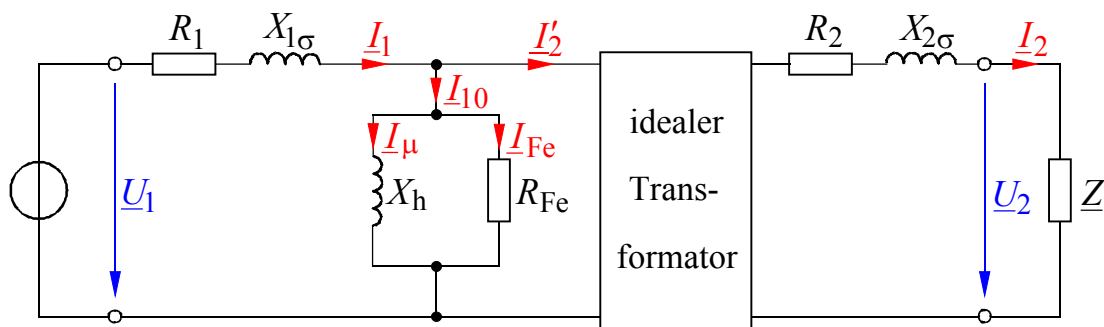


Bild 13.8 Ersatzschaltbild eines realen Transformators (mit idealem Übersetzer)

In dieser Schaltung kann man wiederum die sekundärseitig vorhandenen Größen R_2 , $X_{2\sigma}$, \underline{Z} , \underline{U}_2 und \underline{I}_2 auf die Primärseite umrechnen. Dadurch wird der in Bild 13.8 enthaltene „ideale Transformator“ überflüssig, und es entsteht das Ersatzschaltbild nach Bild 13.9.

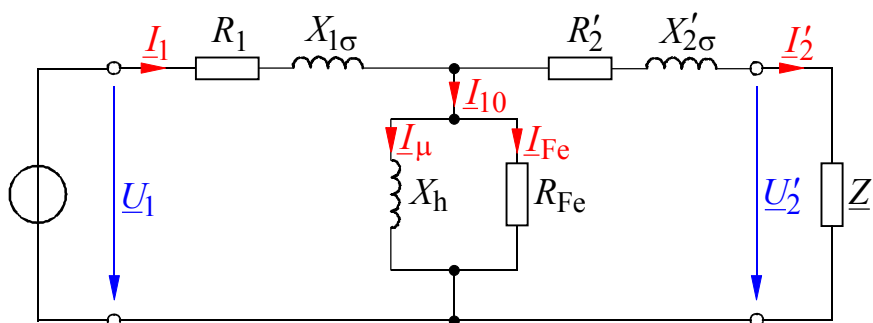


Bild 13.9 Ersatzschaltbild eines Transformators

Zur Umrechnung der Widerstände stellen wir Leistungsbilanzen auf. So gilt für die Umrechnung des sekundären Wicklungswiderstandes R_2 (Bild 13.8) auf die Primärseite (Bild 13.9)