

11.7 Der Transformator

11.7.1 Funktionsprinzip

Transformatoren spielen eine wichtige Rolle in der Elektrotechnik. Ihre Funktion basiert auf der Induktion zwischen gekoppelten Spulen. ■ Abb. 11.36 zeigt den Aufbau eines Transformators. Auf der linken Seite sehen wir die Primärspule, an die eine Wechselspannung angelegt wird:

$$U_1(t) = U_{\text{ein}} \cos \omega t \quad (11.57)$$

Der Strom durch die Spule bewirkt einen magnetischen Fluss, der zu einer Gegenspannung U_{ind} führt. Diese beträgt

$$U_{\text{ind}} = -N_1 \frac{d\phi_1}{dt} \quad (11.58)$$

mit der Anzahl N_1 der Windungen der Primärspule und dem Fluss ϕ_1 durch die Primärspule. Diese ist der Eingangsspannung entgegengerichtet:

$$U_{\text{ind}}(t) = -U_1(t) \quad (11.59)$$

Damit erhalten wir für den Fluss:

$$\frac{d\phi_1}{dt} = -\frac{U_{\text{ind}}}{N_1} = \frac{U_1}{N_1} \quad (11.60)$$

Die Primärspule ist auf einen Eisenkern gewickelt, auf dem sich auch die Sekundärspule befindet. Der Eisenkern verbindet die beiden Spulen und führt den Magnetfluss ϕ_1 durch die Sekundärspule. Die Abbildung zeigt eine Möglichkeit für die Form des Eisenkerns. Es gibt aber auch andere Möglichkeiten. Bei einem idealen Transformator wird der Fluss ϕ_1 vollständig durch die Sekundärspule geführt, so dass gilt:

$$\frac{d\phi_2}{dt} = \frac{d\phi_1}{dt} \quad (11.61)$$

Diese Flussänderung induziert nun eine Spannung in der Sekundärspule. Sie hat die Größe

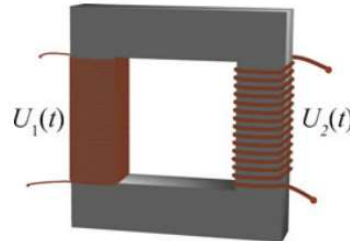
$$U_2(t) = -N_2 \frac{d\phi_2}{dt} = -N_2 \frac{d\phi_1}{dt} = -\frac{N_2}{N_1} U_1(t) \quad (11.62)$$

oder

$$\frac{U_1}{U_2} = -\frac{N_1}{N_2} \quad (11.63)$$

Die Spannung in der Sekundärwindung wird durch das Verhältnis der Windungen aus der Primärspannung übersetzt. Je höher die Anzahl der Windungen der Sekundärspule, desto höher ist die Ausgangsspannung. Die Gleichung zeigt eine Phasenverschiebung um 180° an (Minuszeichen), so dass die Sekundärspannung gegenphasig zur Primärspannung verläuft. Dabei ist allerdings auf die Orientierung der Spulen zu achten, die in Bezug auf den Magnetfluss gleich gewickelt sein müssen.

Da im idealen Transformator keine reellen Widerstände auftreten, kann auch intern keine Leistung verbraucht werden. Die Leistung, die



■ Abb. 11.36 Aufbau eines Transformators

sein müssen.

Da im idealen Transformator keine reellen Widerstände auftreten, kann auch intern keine Leistung verbraucht werden. Die Leistung, die von der Eingangsspannung in den Transformator eingespeist wird, steht auch am Ausgang wieder zur Verfügung. Dies bedeutet:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2} = -\frac{N_1}{N_2} \quad (11.64)$$

Die Ströme übersetzen sich umgekehrt wie die Spannungen. Bei hoher Windungszahl erhält man einen niedrigen Strom und umgekehrt.

Allerdings ist dieses Bild eines idealen Transformators nicht ganz konsistent. Wenn im Sekundärkreis ein Strom fließt, wird dieser einen Fluss induzieren, der auf den Primärkreis zurückwirkt. Ein Effekt, den wir vernachlässigt haben. Im nächsten Abschnitt werden wir uns dem Transformator genauer widmen. Hier soll zunächst die Feststellung genügen, dass das Verhältnis von Primär- zu Sekundärspannung in etwa gleich dem Verhältnis der Windungszahlen ist.