

5. DER TRANSFORMATOR

In der elektrotechnischen Praxis benutzt man Transformatoren, um eine Wechselspannung in eine andere Wechselspannung gleicher Frequenz umzuspannen. Das heißt, man kann eine kleinere Wechselspannung in eine größere umwandeln und umgekehrt. Spricht man in der Starkstromtechnik vom Transformator bzw. Umspanner, so bezeichnet man in der Meßtechnik den Transformator meist als Wandler und in der Nachrichtentechnik als Übertrager.

5.1 Aufbau des Transformators

Der Transformator besteht aus einem geschlossenen Eisenkern, auf dem isoliert voneinander Wicklungen angeordnet sind. Über den magnetischen Fluß werden die Wicklungen gekoppelt.

Bild 106 zeigt den Prinzipaufbau des Transformators. Auf dem Eisenkern befinden sich die beiden Wicklungen N_1 und N_2 . Allgemein bezeichnet man mit N_1 die Primärwicklung und mit N_2 die Sekundärwicklung. Der Primärwicklung wird elektrische Energie zugeführt, der Sekundärwicklung elektrische Energie entnommen.

Damit die Wirbelstromverluste im Eisenkern des Transformators vermindert werden, besteht der Eisenkern aus dünnen, voneinander isolierten Blechen, sogenanntem Dynamoblech. Damit der magnetische Widerstand des Eisenweges klein wird, werden alle Leistungstransformatoren so aufgebaut, daß im Eisenkern kein Luftspalt vorhanden ist. Die Transformatorbleche werden also wechselseitig geschichtet.

Fließt allerdings durch die Wicklungen neben dem Wechselstrom auch ein Gleichstrom, dann erhält der einseitig geschichtete Eisenkern einen Luftspalt im Eisenweg. Dadurch wird die Gleichstromvormagnetisierung vermindert, von der sehr stark die Permeabilität und damit die Wicklungsinduktivität abhängt.

Die Größen und Formen der Transformatorbleche sind genormt. Verwendet werden M-Schnitte, E/I-Schnitte und U/I-Schnitte. Als Kernmaterial für Leistungstransformatoren nimmt man meist Dynamoblech IV. Übertrager in der Nachrichtentechnik, die hauptsächlich mit kleiner Aussteuerung arbeiten, werden mit hochpermeablen Eisenkernen ausgeführt, z. B. Mu-Metall, Permalloy oder Permenorm.

Die Größen und Formen der Transformatorbleche sind genormt. Verwendet werden M-Schnitte, E/I-Schnitte und U/I-Schnitte. Als Kernmaterial für Leistungstransformatoren nimmt man meist Dynamoblech IV. Übertrager in der Nachrichtentechnik, die hauptsächlich mit kleiner Aussteuerung arbeiten, werden mit hochpermeablen Eisenkernen ausgeführt, z. B. Mu-Metall, Permalloy oder Permenorm.

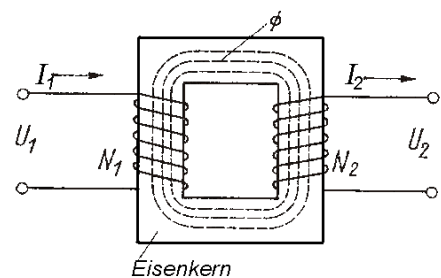


Bild 106

Prinzipaufbau des Transformators

5.2 Die Übersetzungsverhältnisse

Legt man die Primärwicklung eines unbelasteten Transformators an eine Wechselspannung, so wird in der Sekundärspule ebenfalls eine Wechselspannung von gleicher Frequenz induziert. Dabei gilt

$$U_1 : U_2 = N_1 : N_2$$

das heißt, die Leerlaufspannungen verhalten sich wie die Windungszahlen. An vielen Windungen entsteht eine hohe Spannung, an weniger Windungen eine niedrigere Spannung.

Bezeichnet man die höhere Windungszahl mit N_1 und die niedrigere Windungszahl mit N_2 , so ist

$$\ddot{u} = N_1 / N_2 = U_1 / U_2$$

das Übersetzungsverhältnis des Transformators. Wird der Transformator belastet, also wird sekundärseitig elektrische Energie entnommen, so ergibt

$$I_1 * N_1 = I_2 * N_2;$$

$$I_1 / I_2 = N_2 / N_1$$

Beim belasteten Transformator verhalten sich also die Stromstärken in den Wicklungen umgekehrt wie die Windungszahlen. Für

$$N_2 / N_1 = U_2 / U_1 = I_1 / I_2$$

kann man auch schreiben

$$U_1 * I_1 = U_2 * I_2$$

Die Primärleistung des Transformators ist demnach gleich der Sekundärleistung. Allerdings trifft das nur theoretisch zu, da beim Transformator auch Verluste auftreten.

Beispiel 112:

Ein Transformator hat primär 2.500 Windungen und sekundär 75 Windungen. Wie groß ist

a) das Übersetzungsverhältnis, b) die Sekundärspannung,
wenn an die Primärwicklung eine Wechselspannung $U_1 = 220 \text{ V}$ gelegt wird?

a) $\ddot{u} = N_1 / N_2 = 2500/75 = 33,3$

b) $U_2 = U_1 / \ddot{u} = 220/33,3 = 6,6 \text{ V}$

In der Nachrichtentechnik werden die Übertrager meist zur Anpassung zweier verschiedener Widerstände eingesetzt. Bildet man die Produkte aus Spannung und Strom, so ergibt sich

$$\frac{U^1}{I^1} = \frac{R^1}{I^2} = \frac{N_1^2}{N_2^2} = \ddot{u}^2$$

$$R_1 = \ddot{u}^2 * R_2$$

Der mit dem Quadrat des Übersetzungsverhältnisses der Windungszahlen multiplizierte sekundäre Widerstand erscheint demnach als primärer Widerstand. In der Praxis ist das der Fall, wenn ein Generator (Innenwiderstand R_1) ein Maximum an Leistung an einen Verbraucher (Widerstand R_2) abgibt und zwischen beiden ein Übertrager geschaltet wird, der obiger Bedingung entspricht. Ein solcher Fall ist z. B. die Anpassung der Schwingspule eines Lautsprechers an den Außenwiderstand der Verstärkerendröhre. Hat die Schwingspule einen Widerstand R_i und die Endröhre einen Außenwiderstand R_a , so muß der Anpassungsübertrager ein Übersetzungsverhältnis von

$$\ddot{u} = \sqrt{\frac{R_a}{R_i}}$$

aufweisen.

Neben dem Übersetzungsverhältnis \ddot{u} muß allerdings der Anpassungsübertrager noch anderen Anforderungen, in bezug auf die Bandbreite des übertragenen Frequenzbereiches, die Größe der übertragenen Leistung usw., genügen.

Beispiel 113:

An eine Endröhre EL 84 mit $R_a = 5,2 \text{ k}\Omega$ soll ein Lautsprecher mit dem Schwingspulenwiderstand $R_i = 5 \text{ }\Omega$ angeschlossen werden. Welches Übersetzungsverhältnis \ddot{u} muß der notwendige Anpassungsübertrager besitzen?

$$\ddot{u} = \sqrt{\frac{R_a}{R_i}} = \sqrt{\frac{5200}{5}} = \sqrt{1040}$$

$$\ddot{u} = 32,2$$

5.3 Kennwerte eines Transformators

Bei der Berechnung eines Transformators, z. B. eines Netztransformators für einen Rundfunkempfänger, geht man von der sekundärseitig abgegebenen elektrischen Leistung aus. Unter Berücksichtigung der Verluste im Transformator erhält man die Leistung, für die der Eisenkernquerschnitt dimensioniert werden muß (Bild 107):

$$P_P = P_S \cdot 1,18 ;$$

P_P = Primärleistung in VA, P_S = Sekundärleistung in VA.

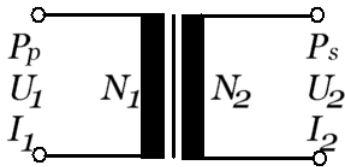


Bild 107

Angaben zur Berechnung eines Netztransformators

Die Größe des Eisenkernquerschnittes ergibt sich zu $Q_{Fe} \approx \sqrt{P_P}$

P_P = Primärleistung in VA, Q_{Fe} = Eisenkernquerschnitt in cm^2 . In einer Tabelle der genormten Transformatoren-Kernpakete wird man sich eine passende Größe herausuchen.

Nach dem Induktionsgesetz erhält man die primäre Windungszahl

$$N = \frac{U_1 \cdot 10^8}{4,44 \cdot f \cdot B \cdot Q_{Fe}}$$

N = Windungszahl, U_1 = Primärspannung in V, f = Netzfrequenz in Hz, B = Induktion in G, Q_{Fe} = Eisenkernquerschnitt in cm^2 .

Mit für die Praxis ausreichender Genauigkeit kann man folgende vereinfachte Formeln benutzen:

a) Für $B = 10\,000$ G (Trafo bis 100 VA)

$$N_P = \frac{45 \cdot U_1}{Q_{Fe}} ; \quad N_S = \frac{50 \cdot U_2}{Q_{Fe}} .$$

b) Für $B = 12\,000$ G (Trafo über 100 VA)

$$N_P = \frac{38 \cdot U_1}{Q_{Fe}} ; \quad N_S = \frac{42 \cdot U_2}{Q_{Fe}}$$

Die erforderlichen Drahtstärken erhält man für eine Stromdichte von $i = 2,55$ A / mm^2 zu

$$d = 0,7 \sqrt{I}$$

d = Drahtdurchmesser in mm, I = Stromstärke in A.

Beispiel 114:

Ein Netztransformator für einen Rundfunkempfänger soll folgende Daten aufweisen:

primär: 220 V (B = 10 000 G)
 sekundär: 300 V — 80 mA
 6,3 V — 1,5 A
 6,3 V — 3 A

Berechne die erforderlichen Daten des Transformators!

Primärleistung:

$$P_S = 300 \cdot 0,08 + 6,3 \cdot 1,5 + 6,3 \cdot 3$$

$$P_S \approx 24 + 9,5 + 19 \approx 52,5 \text{ VA}$$

$$P_P = 1,18 \cdot P_S = 1,18 \cdot 52,5 = 62 \text{ VA}$$

Nach einer Transformatorentabelle (siehe „Radiobastelbuch“ wird ein Kern M 85/a gewählt, der maximal mit 70 VA belastet werden kann. Der Kernquerschnitt dafür ist $Q_{Fe} = 9,4 \text{ cm}^2$. Aus der Formel würde man

$$Q_{Fe} \approx \sqrt{P_P} \approx \sqrt{62} \approx 7,9 \text{ cm}^2$$

erhalten.

Gerechnet wird aber mit dem gewählten Kernquerschnitt von $Q_{Fe} = 9,4 \text{ cm}^2$.

Primärwindungszahl:

$$N_P = \frac{45 \cdot U_1}{Q_{Fe}} = \frac{45 \cdot 220}{9,4} \approx 1060 \text{ Wdg.}$$

Sekundärwindungszahlen:

$$N_{S1} = \frac{50 \cdot U_2}{Q_{Fe}} = \frac{50 \cdot 300}{9,4} \approx 1600 \text{ Wdg.}$$

$$N_{S2} = \frac{50 \cdot U_3}{Q_{Fe}} = \frac{50 \cdot 6,3}{9,4} \approx 33 \text{ Wdg.}$$

Drahtstärken:

$$I_P = \frac{P_P}{U_1} = \frac{62}{220} = 0,282 \text{ A}$$

$$d_1 = 0,7 \sqrt{0,282} = 0,7 \cdot 0,53 = 0,38 \text{ mm}$$

$$d_2 = 0,7 \sqrt{0,08} = 0,7 \cdot 0,28 = 0,2 \text{ mm}$$

$$d_3 = 0,7 \sqrt{1,5} = 0,7 \cdot 1,23 = 0,85 \text{ mm}$$

$$d_4 = 0,7 \sqrt{3} = 0,7 \cdot 1,73 = 1,2 \text{ mm}$$

Damit hat der geforderte Netztransformator folgende Wickeldaten:

Kernpaket: M 85/a

primär: 1 060 Wdg.; 0,38 mm \varnothing CuL

sekundär: 1 600 Wdg.; 0,20 mm \varnothing CuL

33 Wdg.; 0,85 mm \varnothing CuL

33 Wdg. ; 1,20 mm \varnothing CuL
