Elektrotechnische Anwendungen: Wechselstromgenerator

Das Faradaysche Induktionsgesetz bildet die Grundlage für die technische Realisierung von elektrischen Motoren und Generatoren. Das einfachste Modell eines Wechselstromgenerators ist eine rechteckige Spule mit der Windungsfläche F, die im homogenen Magnetfeld B mit der Winkelgeschwindigkeit ω gedreht wird. Sie liefert die induzierte Spannung:

$$U = B \cdot F \cdot \omega \cdot \sin t$$

Diese Spannung kann über zwei Schleifenkontakte abgegriffen werden. Wird an die Kontakte jedoch eine Wechselspannung U_e angelegt, so dreht sich die Spule (eventuell erst nach anstoßen) mit der Frequenz der externen Wechselspannung. Der **Generator** ist zum **Motor** geworden.

Gleichstromgenerator

Schickt man Gleichstrom durch die Spule, so kann sie höchstens eine halbe Umdrehung vollführen. Polt man jedoch die Richtung des Stromes im richtigen Moment um, so dreht sich die Spule kontinuierlich im konstanten Magnetfeld. Diese Umpolung geschieht durch einen geschlitzten Schleifkontakt (**Kommutator**), der aus zwei isolierten Hälften besteht, die mit den Enden der Spule leitend verbunden sind. Der Generator ist damit als **Gleichstromgenerator** oder -**motor** verwendbar. Der Generator liefert pulsierende Gleichspannung. Durch Verwendung von N Spulen, deren Ebenen um den Winkel π/N gegeneinander verdreht sind, kann die Spannung geglättet werden kann. Mit N zweiteiligen Kommutatoren können die Wechselspannungen der Spulen gleichgerichtet und dann überlagert werden. Denselben Zweck erüllt ein Kommutator, der $2N$ Segmente und N Abnehmer hat. Dazu wird das Ende einer Spule mit dem Anfang der nächsten Spule und mit einem Segment des Kommutators verbunden.

Aufbau eines Generators bzw. Elektromotors

Die drei wichtigsten Bestandteile eines Generators bzw. eines Elektromotors sind:

- der feststehende Feldmagnet (**Stator**)
- die rotierenden Spulen (**Rotor**)
- der **Kommutator** mit den Schleifkontakten

Die Optimierung des Rotors wurde durch die Erfindung des **Trommelankers** erreicht. Statt der Luftspulen benutzt man einen Zylinder aus magnetischem Material, auf den in Längsnuten die Spulen aufgewickelt sind. Dadurch wird der magnetische Kraftfluß Φ_m vergrößert. Bei geeigneter Schaltung der N Spulen braucht der Kollektor nur N und nicht $2N$ voneinander isolierte Segmente, an denen beim Generator die Ausgangsspannung als geglättete Gleichspannung abgenommen wird. Dazu muß man die Spannungen der sich jeweils im Magnetfeld befindlichen Spulen phasenrichtig addieren. Dies erreicht man, indem jeweils das Ende einer Spule mit dem Anfang der nächsten verbunden wird. Da die induzierte Spannung U proportional zur Magnetfeldstärke B ist, sollte B möglichst groß sein, um große Elektrische Leistungen zu erzeugen. Dies erreicht man am besten mit Elektromagneten. Damit man keine eigenen Stromversorgung für den Feldstrom braucht, sind alle elektrischen Maschinen so geschaltet, daß sie ihren eigenen Feldstrom erzeugen. Dabei wird ausgenutzt, daß Elektromagnete auch ohne Feldstrom ein schwaches Restmagnetfeld aufweisen, welches genügt, um beim Drehen der Spule eine Induktionsspannung zu erzeugen, die dann dazu benutzt wird, den Feldstrom zu erzeugen und damit das Magnetfeld zu verstärken (**Dynamoelektrisches Prinzip**).

Gleichstrommaschinen: Hauptschlußmaschine

Bei der Hauptschlußmaschine wird nach der Gleichrichtung durch den Kommutator der gesamte aus den Rotorspulen kommende Strom durch die Wicklungen des Feldmagneten und durch den Verbraucherkreis geschickt. Rotor, Feldwicklung und Verbraucher sind in Serie geschaltet. Es fließt also nur dann ein Feldstrom I, wenn der Verbraucherkreis geschlossen ist. Der Magnetfeldstrom ist gleich dem Verbraucherstrom. Mit zunehmendem Strom I steigt die induzierte Spannung, wodurch der Strom weiter ansteigt. Wegen der Sättigung im Eisen ist die Kurve $U = f(I)$ gekrümmt. Stationärer Betrieb stellt sich am Schnittpunkt der Geraden $U = (R_i + R_a)I$ mit $U = f(i)$ ein. Ist $R_i = R_F + R_R$ der gesamte innere Widerstand der Maschine, so ist die Klemmenspannung

$$U_K = U_0 - I \cdot R_i,$$

wobei $U_0(I)$ die Induktionsspannung für $R_i = 0$ ist. Ist der Widerstand R_R klein gegen R_F, so ist U_0 praktisch gleich der induzierten Spannung U_{ind}, die Proportional zur Feldstärke und damit zum Strom I ist.

Bei einem Verbraucherwiderstand R_a gilt für die gesamte elektrische Leistund der Maschine: $P = U_0 \cdot I = I^2 \cdot (R_i + R_a)$. Davon wird der Anteil $P_i = I^2 R_i$ in der Maschine verbaucht und der Anteil $P_a = I^2 R_a$ nach außen abgegeben. Der **elektrische Wirkungsgrad** der Hauptschlußmaschine ist daher:

$$\eta = \frac{P_a}{P} = \frac{R_a}{R_i + R_a}$$

Um einen möglichst großen Wirkungsgrad zu erreichen, muß der Innenwiderstand R_i also klein sein (dicke Drähte für die Wicklungen).

Vorteil: an den Verbraucher angepaßte Leistung (I steigt mit der Leistung).
Nachteil: erzeugte Spannung ist nicht konstant.

Gleichstrommaschinen: Nebenschlußmaschine

Bei der Nebenschlußmaschine sind der Verbraucherkreis und die Magnetwicklung parallel geschaltet, so daß auch ohne Verbraucherleistung immer der Magnetfeldstrom I_F durch die Wicklung mit dem Widerstand R_F fließt. Der vom Kommutator abgenommene Strom

$$I = I_F + I_a = \frac{U_{ind}}{R_F} + \frac{U_{ind}}{R_a}$$

$$\Rightarrow I_F/I_a = R_a/R_F$$

teilt sich auf in den Feldstrom I_F und den nach außen abgegeben Strom I_a, welcher durch den Verbraucherwiderstand R_a im Außenkreis fließt.

Die an den Verbraucher abgegebene Leistung is $P_a = I_a^2 R_a$, und die in der Maschine verbrauchte Leistung ist $P_F = I_F^2 R_F$ (Feldmagnet) bzw. $P_F R = I_F^2 R_R$ (Rotor).

Der elektrische Wirkungsgrad ist daher

$$\eta = \frac{P_a}{P_a + P_F + P_R} = \frac{I_a^2 R_A}{I_a^2 R_a + I_F^2 R_F + I^2 R_R}$$

Mit $I_F / I_a = R_a / R_F$ ergibt dies:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{R_R}{R_a} + \frac{R_a + 2R_R}{R_F} + \frac{R_A R_R}{R_F^2}}$$

$\Rightarrow \eta$ wird maximal für große R_F.

Gleichstrommaschinen: Verbundmaschine

Man kann die Vorteile von Haupt- und Nebenschlußmaschine kombinieren, indem man zwei getrennte Magnetfeldwicklungen anbringt. Eine aus dickem Draht mit geringem Widerstand R_{F_1}, die in Serie mit dem Verbraucherkreis geschaltet ist, und eine mit großem Widerstand R_{F_2}, die parallel geschaltet ist. Dadurch erreicht man eine bessere Konstanz der Spannung $U(I_a)$ und gleichzeitig eine bessere Anpassung an sich stark ändernde Belastungen.

Wechselstromgeneratoren

Die Wechselstrommaschinen können auf den Kommutator verzichten. Bei den heute üblichen **Innenpolmaschinen** läßt man das Magnetfeld rotieren, die Induktionsspulen sind räumlich fest. Dadurch braucht man zur Übertragung großer Ströme zum Verbraucher keine Schleifkontakte mehr, die leicht verschmoren können. Der rotierende Feldmagnet ist ein Elektromagnet, der drei Nord- und drei Südpole besitzt. Am feststehenden Gehäuse sind sechs Induktionsspulen mit Eisenkern angebracht, die hintereinandergeschaltet und abwechselnd mit umgekehrtem Windungssinn gewickelt sind. Die an den Ausgangsklemmen anliegende Wechselspannung wird so gleich der Summe der Induktionsspannungen. Der Rotormagnet erhält den Feldstrom über Schleifkontakte. Die Versorgungsspannung wird entweder im Nebenschluß von den Ausgangsklemmen abgenommen und gleichgerichtet oder von einem Gleichstromgenerator erzeugt.

Wechselstrom I

Eine **Wechselspannung**

$$U = U_0 \cdot \cos \omega t,$$

die an einem Widerstand R anliegt, erzeugt einen **Wechselstrom**

$$I = I_0 \cdot \cos \omega t$$

mit $I_0 + U_0/R$. Die Zeit $T = 2\pi/\omega$ zwischen zwei Maxima heißt die **Periode**. Sie beträgt in Mitteleuropa mit $\omega = 2\pi \cdot 50$ Hz $\Rightarrow T = 20\,$ms.

Wechselstrom II

Die elektrische Leistung dieses Wechselstromes $P_{el} = U \cdot I = U_0 I_o \cos^2 \omega t$ ist ebenfalls eine periodische Funktion der Zeit. Ihr zeitlicher Mittelwert is

$$\begin{aligned}\bar{P}_{el} &= \frac{1}{T}\int_0^T U_0 I_0 \cos^2 \omega \mathrm{d}t \quad \text{mit} \quad T = 2\pi/\omega \\ &= \frac{1}{2} U_0 I_0.\end{aligned}$$

Ein von einer Gleichspannung $U = U_0/\sqrt{2}$ erzeugter Gleichstrom $I = I_0/\sqrt{2}$ würde die gleiche mittlere Leistung haben wie der Wechselstrom mit den Amplituden U_0, I_0. Man nennt deshalb $U_{eff} = U_0/\sqrt{2} \quad \text{und} \quad I_{eff} = I_0/\sqrt{2}$ die **Effektivwerte** von Spannung und Strom des Wechselstromes.

Entält der Stromkreis Induktivitäten L oder Kapazitäten C. so sind im allgemeinen Strom und Spannung nicht mehr in Phase.

Es gilt dann für die Wechselspannung

$$U = U_0 \cdot \cos \omega t, \quad I = I_0 \cdot \cos(\omega t + \phi).$$

Die mittlere Leistung ist dann

$$\begin{aligned} \bar{P}_{el} &= \frac{U_0 I_0}{T} \int_0^T \cos \omega t \cdot \cos(\omega t + \phi) \\ &= \frac{U_0 I_0}{2} \cdot \cos \phi. \end{aligned}$$

Für $\phi = 90^{\circ}$wird $\bar{P}_{el} = 0$.

Wechselstromkreise mit komplexen Widerständen

Die an Induktivitäten L und Kapazitäten C auftretenden Phasenverschiebungen zwischen Strom und Spannung lassen sich am übersichtlichsten in einer komplexen Schreibweise darstellen. Um die reale Bedeutung komplexer Widerstände klarzumachen, wollen wir uns zunächst zwei einfache Beispiele ansehen.

Induktivität: Die von außen angelegte Spannung $U_a = U_0 \cos \omega t$ muß im geschlossenen Stromkreis entgegengesetzt gleich der induzierten Spannung $U_{ind} = -L \cdot \mathrm{d}I/\mathrm{d}t$ sein: $U_a + U_{ind} = 0$:

$$\begin{aligned}
\Rightarrow \qquad & U_0 \cos \omega t = L \cdot \tfrac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t}, \\
\Rightarrow \quad & I = \tfrac{U_0}{L} \int \cos \omega t \mathrm{d}t = \tfrac{U_0}{\omega L} \sin \omega t \\
& = I_0 \sin \omega t \quad \text{mit} \quad I_0 = \tfrac{U_0}{\omega L} \\
& |R_L| = U_0/I_0 = \omega \cdot L
\end{aligned}$$

Kapazität: Aus der Gleichung

$$U = Q/C$$

folgt durch zeitliche Differentiation

$$\frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{C}\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{C} \cdot I.$$

Mit $U = U_0 \cdot \cos \omega t$ wird

$$I = -\omega C \cdot U_0 \cdot \sin \omega t = \omega C \cdot U_0 \cdot \cos(\omega t + 90^{\mathrm{o}}).$$

Der Strom eilt der Spannung um 90$^{\mathrm{o}}$vorraus.

Komplexe Widerstände I

Berücksichtig man auch die Phasenverschiebung bei Induktivitäten und Kapazitäten, so lassen sich die Phasenverschiebenden Widrstände R_L und R_C als komplexe Zahlen Z ausdrücken, deren Betrag gleich $|R_L|$ bzw. $|R_C|$ ist und deren Winkel ϕ gegen die reelle Achse die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung angibt. Für Induktivitäten ergibt sich damit:

$$Z_L = \mathrm{i}\omega L$$

Für Kapazitäten gilt:

$$Z_C = \frac{1}{\mathrm{i}\omega C}$$

Komplexe Widerstände II

An einen Wechselstromkreis, in dem ein ohmscher Widerstand R, eine Induktivität L und eine Kapazität C in Serie geschaltet sind, wird eine äußere Wechselspannung $U(t)$ angelegt. Nach dem Kirchhoffschen Gesetz muß die Summer aus äußerer Spannung $U(t)$ und Induktionsspannung $U_{ind} = -L \cdot \mathrm{d}I/\mathrm{d}t$ gleich dem Spannungsabfall $U_1 + U_2 = I \cdot R + Q/C$ an Widerstand und Kapazität C sein. Es gilt daher:

$$U = I \cdot R + L \cdot \frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t} + \frac{Q}{C}$$

Differentiation nach der Zeit ergibt mit $\mathrm{d}Q/\mathrm{d}t = I$

$$\frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}t} = L \cdot \frac{\mathrm{d}^2 I}{\mathrm{d}t^2} + R \cdot \frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{C} I.$$

Wir wählen den komplexen Lösungsansatz

$$U = U_0 \cdot e^{\mathrm{i}\omega t}, I = I_0 \cdot e^{\mathrm{i}(\omega t - \phi)}.$$

Sind die Funktionen $f(t)$ und $g(t)$ Lösungen, so ist auch jede Linearkombination $af(t)+bg(t)$ eine Lösung, insbesondere auch die komplexe Funktion $f(t)+\mathrm{i}g(t) = U(t)$. Also sind Real- und Imaginärteil einer komplexen Lösung auch Lösungen. Der komplexe Ansatz liefert einen einfacheren Lösungsweg. Einsetzen der komplexen Widerstände gibt

$$\mathrm{i}\omega U = (-L\omega^2 + \mathrm{i}\omega R + 1/C)I.$$

Mit $Z = U/I$ erhält man

$$Z = \frac{U}{I} = R + \mathrm{i}\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

Der Betrag des komplexen Widerstands

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}$$

wird **Impedanz** genannt. Die vom komplexen Widerstand bewirkte Phasenverschiebung ϕ zwischen Strom und Spannung wird durch den Quotienten

$$\tan\phi = \frac{\mathrm{Im}(Z)}{\mathrm{Re}(Z)} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

von Imaginär und Realteil beschrieben. In der Polardarstellung $Z = |Z| \cdot e^{\mathrm{i}\phi}$ entspricht $|Z|$ der Länge des Vektors und ϕ dem Phasenwinkel.

Die Darstellung von komplexen Widerständen als Vektoren in der komplexen Ebene heißt in der Elektrotechnik $\mathrm{Zeigerdiagramm}$. Die Nützlichkeit dieser Darstellung wird im nächsten Abschnitt erläutert. Man sieht aus dem Zeigerdiagram, oder der Gleichung für den komplexen Widerstand, daß für

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

der Imaginärteil von Z Null ist, die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung kann also durch geeignete Wahl von L und C zu Null gebracht werden (**Blindleistung** gleich Null).

Für den Strom im Wechselstromkreis gilt also bei der angelegten Spannung

$$U = U_0 \cos \omega t$$

$$I = I_0 \cos(\omega t - \phi)$$

mit

$$I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}},$$

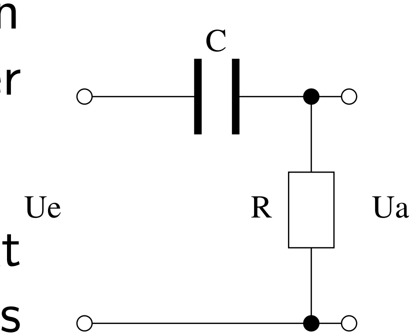
$$\tan \phi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

Lineare Netzwerke: Frequenzfilter

Lineare Netzwerke sind daruch gekennzeichnet, dass zwischen Strom I und Spannung U immer eine lineare Beziehung $U = Z \cdot I$ besteht, die die komplexe Schreibweise des Ohmschen Gesetzes darstellt. Fließen in einem Stromkreis gleichzeitig Wechselströme mit verschiedenen Frequenzen ω, so kann man die Ströme $I(\omega_i)$ bei einer beliebig ausgesuchten Frequenz ω_i aus den Spannungen $U(\omega_i)$ ausrechnen und dann die Anteile aller beteiligten Frequenzen addieren. Dieses **Superpositionsprinzip** ist für die Hochfrequenztechnik von großer Bedeutung, da es gestattet, die Veränderung komplizierter Spannungspulse $U(t)$ bzw. Strompulse $I(t)$ beim Durchgang durch lineare Netzwerke zu bestimmen, indem man die Eingangspulse in ihre Fourierkomponenten $U_e(\omega)$ bzw. $I_e(\omega)$ zerlegt, aus dem bekannten Wechselstromwiderstand $Z(\omega)$ die Anteile $U_a(\omega)$ bzw. $I_a(\omega)$ des Ausgangssignals bestimmt und anschließend diese Anteile addiert (**Fourrier-Synthese**).

Hochpaß

Ein elektrischer Hochpaß ist eine Schaltung, die hohe Frequenzen ω praktisch ungedämpft durchläßt, tiefe Frequenzen aber unterdrückt.



Für eine Wechselspannung $U_e(t) = U_0 \cos \omega t$ am Eingang wirkt die Schaltung wie ein frequenzabhängiger Spannungsteiler. Es gilt:

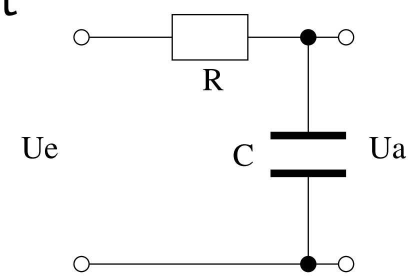
$$U_a = \frac{R}{R + \frac{1}{\mathrm{i}\omega C}} \cdot U_e$$

$$|U_a| = \frac{\omega \cdot R \cdot C}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}} \cdot |U_e|$$

$$\tan \phi = \frac{1}{\omega RC}$$

Tiefpaß

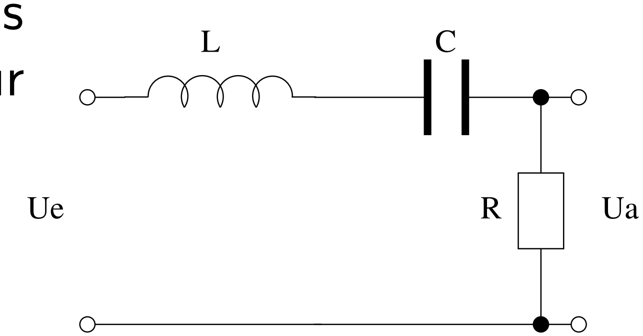
Wenn man R und C gegenüber dem Hochpaß vertauscht, erhält man einen Tiefpaß. Es gilt:



$$
\begin{aligned}
U_a &= \frac{1/\mathrm{i}\omega C}{R + 1/\left(\mathrm{i}\omega C\right)} \cdot U_e \\
&= \frac{1}{1 + \mathrm{i}\omega RC} \cdot U_e \\
|U_a| &= \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}} \cdot |U_e| \\
\tan\phi &= -\omega RC
\end{aligned}
$$

Frequenzfilter: Durchlaßfilter

Die Serienschaltung von L und C kann als schmalbandiges Frequenzfilter eingesetzt werden. Für die Spannung über dem Widerstand gilt:



$$U_a = \frac{R}{R + \mathrm{i}\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)} \cdot U_e$$

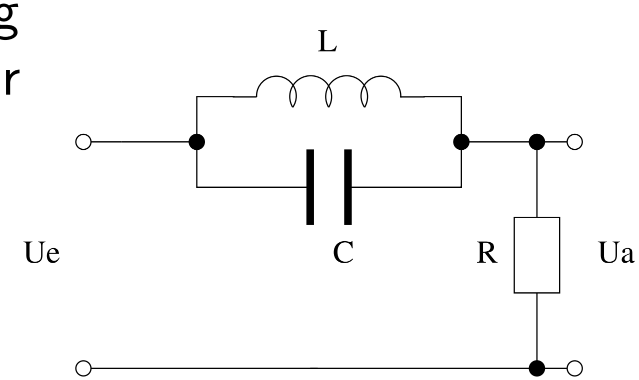
$$|U_a| = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \cdot U_e$$

$$\Delta\omega = \frac{R}{L}, \quad \tan\phi = \frac{\omega L - 1/\left(\omega C\right)}{R}$$

Frequenzfilter: Sperrfilter

Bei Parallelschaltung von L und C wirkt die Schaltung als Sperrfilter. Die Ausgangsamplitude wird zu Null für

$$\omega = \omega_R = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$



Transformatoren

Für den Transport elektrischer Energie über weite Entfernungen ist es günstig, möglichst hohe Spannungen U zu wählen, da dann der Leitungsverlust durch Joulesche Wärme möglichst klein wird. Will man eine elektrische Leistung $P_{el} = U \cdot I$ übertragen, so verliert man in der Leitung die Leistung $\Delta P_{el} = I^2 R$, so daß der relative Leistungsverlust

$$\frac{\Delta P_{el}}{P_{el}} = \frac{I^2 \cdot R}{U \cdot I} = \frac{I \cdot R}{U} = \frac{R}{U^2} P_{el}$$

bei vorgegebener Leistung P_{el} mit steigender Spannung proportional zu $1/U^2$ absinkt. Mit $\Delta U = I \cdot R$ folgt:

$$\frac{\Delta P_{el}}{P_{el}} = \frac{\Delta U}{U}$$

Die Umformung von Spannungen geschieht mit **Transformatoren**, die auf dem Faradayschen Induktionsgesetz basieren. Zwei Spulen L_1 und L_2 mit den Windungszahlen N_1 und N_2 werden durch ein Eisenjoch so miteinander gekoppelt, daß der magentische Fluß der vom Primärstrom I_1 durchflossenen Primärspule L_1 vollständig die Sekundärspule L_2 durchsetzt. Im unbelasteten Transformator fließt im Sekundärkreis kein Strom $(I_2 = 0)$. Bei einer Eingangsspannung

$$U_1 = U_0 \cos \omega t$$

fließt in L_1 ein Strom I_1, der einen magnetischen Fluß Φ_m erzeugt. Dieser bewirkt eine Induktionsspannung

$$U_{ind} = -L \frac{\mathrm{d}I_1}{\mathrm{d}t} = -N_1 \frac{\mathrm{d}\Phi_m}{\mathrm{d}t}$$

die der angelegten Spannung entgegengesetzt gleich ist:

$$U_1 + U_{ind} = 0$$

Wenn der gesamte in L_1 erzeugte Fluß Φ_m auch durch die Sekundärspule L_2 geht, wird dort eine Spannung $U_2 = -N_2 \frac{\mathrm{d}\Phi_m}{\mathrm{d}t}$ erzeugt. Wegen $\mathrm{d}\Phi_m/\mathrm{d}t = U_1/N_1$ folgt:

$$\frac{U_2}{U_1} = -\frac{N_2}{N_1}$$

Die vom idealen **unbelasteten** Transformator aufgenommene mittlere Leistung ist:

$$\bar{P}_e l = \frac{1}{2} U_{01} I_{01} \cos\phi = 0$$

Belasteter Transformator

Belastet man die Sekundärseite durch einen Verbraucher mit Widerstand R, so fließt ein Strom $I_2 = U_2/R$, der selbst einen magnetischen Fluß $\Phi_2 \propto I_2$ erzeugt, welcher gegenüber dem von I_1 erzeugten Fluß Φ_1 um 90°gegen Φ_1 phasenverschoben ist. Dieser vom Sekundärstrom I_2 erzeugte Fluß Φ_2 überlagert sich dem Fluß Φ_1 zu einem Gesamtfluß

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2,$$

der eine Phasenverschiebung von $0 < \Delta\Phi < 90^{\circ}$gegenüber der Eingangsspannung U_1 hat, wobei gilt: $\tan = \Phi_2/\Phi_1$. dadurch überlagert sich dem Primär-Blindstrom I_1 ein phasenverschobener Anteil, der durch Φ_2 induziert wird. Die aus dem

Primäranschluß entnommene Leistung

$$\bar{P}_{el} = \frac{1}{2} U_0 \sqrt{I_{01}^2 + I_{02}^2 \cdot \cos\left(\phi - \Delta\phi\right)}$$

ist also nicht mehr Null, da $\phi - \Delta\phi \neq 90^{\circ}$ist.

Gleichrichtung

Für die meisten elektrischen Geräte werden Gleichspannungen und -ströme benötigt. Deshalb werden Schaltungen benötigt, die die Netzspannung (Wechselspannung!) in Gleichspannung umwandelt. Die dabei gewonnenen Spannungen bzw. Ströme sollen möglichst konstant, d.h. ohne Welligkeit, sein. Dazu werden **Gleichrichter** verwendet. Einfache Gleichrichter werden mit einer Röhrendiode oder Halbleiterdiode realisiert. Dabei wird jeweils nur die positive Halbwelle der Spannung (technische Stromrichtung: Strom fließt von Plus nach Minus) durchgelassen. Bei positiven Spannungen leitet die Diode, bei negativen sperrt sie. Bei realen Dioden fließt jedoch auch bei negativen Spannungen noch ein kleiner Strom.

Mit nur einer Diode wird immer nur die positive Halbwelle der Wechselspannung durchgelassen, die Welligkeit bei der **Einweggleichrichtung** ist daher sehr groß. Durch einen Glättungskondensator kann die Welligkeit etwas reduziert werden.

Bei der **Zweiweggleichrichtung** bildet die Mitte der Sekundärwicklung des Transformators das Bezugspotential (Erde). Die beiden Enden der Sekundärspule werden über zwei parallel geschaltete Dioden zusammengeführt und bilden damit den anderen Pol der Gleichspannung. Die Dioden leiten abwechselnd den Strom für die positive bzw. negative Halbwelle der Wechselspannung. es treten also keine Lücken wie bei der Einweggleichrichtung auf. Die maximale Gleichspannung ist $U_0/2$ bei einer Eingangspannung mit einer Amplitude von U_0 zwischen den Enden des Transformators.

Brückenschaltung

Die heute vorwiegend verwendete Gleichrichterschaltung ist die **Graetz-Schaltung**, bei der vier Dioden in einer Brückenschaltung eingesetzt werden. Man erhält die gleiche Form wie bei der Zweiweggleichrichtung, die Spannungsamplitude beträgt aber U_0 statt $U_0/2$.